



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΚΑΙ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ
ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

**ΧΡΗΣΤΟΣ Ι. ΜΠΟΥΡΑΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΠΑΤΡΑ 2009

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι πανεπιστημιακές σημειώσεις γράφτηκαν εξ ολοκλήρου για να χρησιμοποιηθούν ως διδακτικό σύγγραμμα στα πλαίσια του μαθήματος Ευρυζωνικές Τεχνολογίες. Το μάθημα αυτό διδάσκεται στο Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών, από το ακαδημαϊκό έτος 2008-2009.

Η ύλη που καλύπτεται είναι:

1. Βασικά στοιχεία ευρυζωνικών επικοινωνιών
2. Τεχνολογίες xDSL
3. Τεχνολογίες Ethernet
4. Οπτικά συστήματα μετάδοσης (οπτικές ίνες, xWDM, SDH/SONET)
5. Δίκτυα και αρχιτεκτονικές FTTx
6. WiFi
7. WiMAX
8. Κινητά δίκτυα επικοινωνιών
9. Δορυφορικές Επικοινωνίες – Internet over Satellite
10. Επιχειρηματικά μοντέλα αξιοποίησης ευρυζωνικών υποδομών.

Οι Πανεπιστημιακές Σημειώσεις συμπληρώνονται και εμπλουτίζονται από τις διαλέξεις του μαθήματος καθώς και το πλούσιο υλικό (εργασίες, παρουσιάσεις και βιβλιογραφία) που υπάρχει στο δικτυακό τόπο του μαθήματος (<http://ru6.cti.gr/bouras/lessons.php?id=5&action=general>). Καλό είναι οι φοιτητές να επισκέπτονται και να ενημερώνονται για τα περιεχόμενα του δικτυακού τόπου.

Κλείνοντας θέλω να ευχαριστήσω τους συνεργάτες μου Αντώνη Αλεξίου, Βασίλη Κόκκινο, Λεωνίδα Πουλόπουλο, Δημήτρη Πρίμπα, Βαγγέλη Ρέκκα και Κώστα Στάμο οι οποίοι με σκληρή δουλειά βοήθησαν στη μεταμόρφωση του ακατέργαστου υλικού σε ένα χρήσιμο πανεπιστημιακό σύγγραμμα και δημιούργησαν το δικτυακό τόπο. Τους ευχαριστώ θερμά.

Πάτρα, Φεβρουάριος 2009

X. I. Μπούρας

Καθηγητής

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	23
1.1. ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ	23
1.2. ΜΟΝΤΕΛΟ ISO/OSI	25
1.2.1. Εισαγωγή.....	25
1.2.2. Πρότυπο OSI.....	25
1.2.2.1. Φυσικό επίπεδο	26
1.2.2.2. Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων (Data Link).....	26
1.2.2.3. Επίπεδο Δικτύου (Network).....	27
1.2.2.4. Επίπεδο Μεταφοράς (Transport)	27
1.2.2.5. Επίπεδο Συνόδου (Session).....	28
1.2.2.6. Επίπεδο Παρουσίασης (Presentation).....	28
1.2.2.7. Επίπεδο Εφαρμογών (Application).....	29
1.3. ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	29
1.4. ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΟΤΗΤΑ	31
1.5. Η ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΟΤΗΤΑΣ	33
1.6. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ.....	34
1.6.1. Προοπτικές στη ζωή των πολιτών.....	34
1.6.2. Προοπτικές στο Δημόσιο και Ιδιωτικό Τομέα	35
1.6.3. Δυνατότητα γεφύρωσης του ψηφιακού χάσματος	35
1.7. ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΜΕΣΩ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	36
1.7.1. Η υπηρεσία IPTV (Internet Protocol Television).....	37
1.7.2. Η υπηρεσία VoD (Video on Demand)	39
1.7.3. Η υπηρεσία VoIP (Voice over Internet Protocol)	40
1.7.4. Προβλέψεις για τη χρήση εύρους ζώνης από τις υπηρεσίες.....	41
1.7.5. Σύγκλιση υπηρεσιών φωνής – δεδομένων - βίντεο.....	43
1.7.5.1. Double play	44
1.7.5.2. Triple Play.....	44
1.7.5.3. Quadruple Play.....	45
1.7.5.4. Multi-play.....	45
1.8. ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ.....	45
1.8.1. Ενσύρματες Ευρυζωνικές Τεχνολογίες	46
1.8.2. Ασύρματες Ευρυζωνικές Τεχνολογίες	47
1.8.3. Σύγκριση ευρυζωνικών τεχνολογιών	48
1.9. LAST MILE	50
1.10. LOCAL LOOP	52
1.10.1. Μεταπώληση (Resale).....	53
1.10.2. Bitstream.....	53
1.10.3. Local Loop Unbundling	54
1.10.4. Ιδιόκτητη υποδομή	55
1.11. ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ POWER LINES (COPL)	55
2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ xDSL	63
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	63
2.1.1. Γενικά στοιχεία	63
2.1.2. Επισκόπηση των τεχνολογιών xDSL.....	64
2.1.2.1. ADSL.....	64

2.1.2.2.	ADSL2 (ITU G.992.3 και G.992.4).....	64
2.1.2.3.	ADSL2+ (ITU G.992.5).....	64
2.1.2.4.	RADSL.....	64
2.1.2.5.	UDSL (G.Lite / ITU G.992.2).....	65
2.1.2.6.	HDSL (G.991.1), HDSL2, HDSL4.....	65
2.1.2.7.	SDSL και SHDSL (ITU G.991.2).....	65
2.1.2.8.	IDSL.....	65
2.1.2.9.	VDSL (ITU-T G.993.1) και VDSL2 (ITU-T G.993.2).....	65
2.1.3.	<i>xDSL και υπάρχουσα υποδομή</i>	66
2.2.	ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ADSL.....	67
2.2.1.	<i>Η φιλοσοφία του ADSL</i>	67
2.2.2.	<i>Το φυσικό μέσο</i>	68
2.2.3.	<i>Γενική Αρχιτεκτονική</i>	68
2.2.4.	<i>Λειτουργία και εφαρμογές του POTS splitter</i>	71
2.2.5.	<i>Αρχιτεκτονική του DSLAM</i>	72
2.2.6.	<i>Τρόποι Μετάδοσης σε ένα ADSL Δίκτυο</i>	74
2.2.7.	<i>ADSL και ATM</i>	75
2.3.	ADSL2 (ITU G.992.3 και G.992.4).....	77
2.3.1.	<i>Διαγνωστικές μέθοδοι</i>	79
2.3.2.	<i>Βελτιώσεις στην κατανάλωση ισχύος</i>	80
2.3.3.	<i>Προσαρμογή ρυθμού μετάδοσης</i>	81
2.3.4.	<i>Κατάτμηση καναλιών και Voice over DSL</i>	82
2.4.	ADSL2+ (ITU G.992.5).....	83
2.5.	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ADSL.....	85
2.6.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ xDSL ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ.....	87
2.6.1.	<i>RADSL</i>	87
2.6.1.1.	<i>Τεχνική περιγραφή της τεχνολογίας RADSL</i>	87
2.6.1.2.	<i>Αξιολόγηση τεχνολογίας RADSL</i>	87
2.6.2.	<i>UDSL (G.Lite / ITU G.992.2)</i>	88
2.6.2.1.	<i>Τεχνική περιγραφή της τεχνολογίας UDSL</i>	88
2.6.2.2.	<i>Αξιολόγηση τεχνολογίας UDSL</i>	88
2.6.3.	<i>HDSL (G.991.1) και HDSL2</i>	89
2.6.3.1.	<i>Τεχνική περιγραφή της τεχνολογίας HDSL</i>	89
2.6.3.2.	<i>Αξιολόγηση τεχνολογίας HDSL</i>	89
2.6.3.3.	<i>Σύγκριση HDSL με HDSL2</i>	90
2.6.4.	<i>SDSL και SHDSL (ITU G.991.2)</i>	90
2.6.4.1.	<i>Τεχνική περιγραφή της τεχνολογίας SDSL</i>	90
2.6.4.2.	<i>Αξιολόγηση τεχνολογίας SDSL</i>	91
2.6.4.3.	<i>SHDSL (ITU G.991.2)</i>	91
2.6.5.	<i>IDSL</i>	92
2.6.5.1.	<i>Τεχνική περιγραφή της τεχνολογίας IDSL</i>	92
2.6.5.2.	<i>Αξιολόγηση τεχνολογίας IDSL</i>	92
2.6.6.	<i>VDSL (ITU-T G.993.1) και VDSL2 (ITU-T G.993.2)</i>	92
2.6.6.1.	<i>Τεχνική περιγραφή της τεχνολογίας VDSL</i>	92
2.6.6.2.	<i>Αξιολόγηση τεχνολογίας VDSL</i>	93
2.6.6.3.	<i>Αξιολόγηση τεχνολογίας VDSL2</i>	94
3.	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ETHERNET	97
3.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	97
3.2.	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	97
3.3.	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ GIGABIT ETHERNET.....	100
3.3.1.	<i>Συστάσεις</i>	100
3.3.2.	<i>Αρχιτεκτονική</i>	101
3.4.	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟ 1ο ΕΠΙΠΕΔΟ.....	102
3.4.1.	<i>802.3z</i>	103
3.4.1.1.	<i>1000BASE-X Πρότυπο</i>	103
3.4.1.2.	<i>PMA - PMD</i>	104
3.4.1.3.	<i>PCS - 8B/10B encoding</i>	104
3.4.1.4.	<i>Gigabit Media Independent Interface (GMII)</i>	105
3.4.2.	<i>802.3ab</i>	105
3.4.2.1.	<i>Θέματα καλωδίωσης</i>	105
3.4.2.2.	<i>Σχεδιαστική προσέγγιση</i>	106
3.5.	ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟ 2ο ΕΠΙΠΕΔΟ.....	107

3.5.1.	<i>Carrier extension</i>	108
3.5.2.	<i>Frame bursting</i>	109
3.5.3.	<i>802.3x full-duplex/flow control</i>	109
3.5.4.	<i>802.1p, 802.1Q, 802.3ad</i>	110
3.5.4.1.	802.1Q (VLAN) & πλεονεκτήματα που προσφέρουν	110
3.6.	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟ 3Ο ΕΠΙΠΕΔΟ	111
3.7.	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ GIGABIT ETHERNET	112
3.7.1.	<i>Εύκολη μετάβαση σε υψηλότερη απόδοση</i>	112
3.7.2.	<i>Χαμηλό κόστος ιδιοκτησίας</i>	112
3.7.3.	<i>Υποστήριξη νέων εφαρμογών και τύπων δεδομένων</i>	113
3.7.4.	<i>Ευέλικτο Internetworking και σχεδιασμός δικτύου</i>	113
3.8.	ΑΠΟΛΟΣΗ GIGABIT ETHERNET	113
3.9.	10 GIGABIT ETHERNET	115
3.9.1.	<i>Βασικά Σημεία του Προτύπου και η Αρχιτεκτονική του</i>	115
3.9.2.	<i>Εφαρμογές του 10 Gigabit Ethernet</i>	117
3.10.	METRO ETHERNET	118
3.10.1.	<i>Από το Ethernet στο Metro Ethernet</i>	119
3.10.2.	<i>Τύποι υπηρεσιών Metro Ethernet</i>	120
3.10.3.	<i>Τεχνολογίες Metro Ethernet</i>	122
3.10.3.1.	Ethernet over SONET/SDH (EOS)	122
3.10.3.2.	Resilient Packet Ring (RPR).....	123
3.10.3.3.	Ethernet Transport.....	125
3.10.3.4.	Ethernet MANs βασισμένα σε MPLS	125
3.11.	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΦΑΝΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ETHERNET ΔΙΑΜΕΣΟΥ ΤΟΥ MAN	126
3.11.1.	<i>Ethernet in the First Mile (802.3ah)</i>	127
4.	ΟΠΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ	131
4.1.	ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΙΚΤΥΩΝ	131
4.1.1.	<i>Τύποι οπτικών ινών</i>	132
4.1.2.	<i>Μετάδοση του φωτός μέσω οπτικών ινών</i>	133
4.1.3.	<i>Σηματοδότηση</i>	135
4.1.4.	<i>Οπτικοί Δέκτες</i>	136
4.1.5.	<i>Οπτικοί Ενισχυτές</i>	136
4.2.	Η ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ WDM.....	136
4.2.1.	<i>Εξοπλισμός της τεχνολογίας WDM</i>	138
4.2.2.	<i>Διαχείριση Εύρους Ζώνης με WDM σε τοπικά δίκτυα (LAN)</i>	140
4.2.2.1.	Κατηγορίες Πρωτοκόλλων Διαχείρισης σε LAN.....	140
4.3.	Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ DWDM	141
4.3.1.	<i>Η Αρχιτεκτονική των DWDM συστημάτων</i>	142
4.3.2.	<i>Κόστος υλοποίησης</i>	143
4.3.3.	<i>Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας DWDM</i>	143
4.4.	Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ CWDM.....	144
4.4.1.	<i>Παρούσα κατάσταση συστημάτων CWDM</i>	145
4.4.1.1.	Οπτική Ίνα.....	145
4.4.1.2.	Λείζερ.....	145
4.4.2.	<i>Διαφορές μεταξύ των συσκευών αποστολής σημάτων DWDM και CWDM</i>	146
4.4.2.1.	Δέκτες.....	146
4.4.2.2.	Φίλτρα.....	146
4.4.2.3.	Γενική σύγκριση συσκευών.....	147
4.5.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΣΕ ΟΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	147
4.6.	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ PDH.....	148
4.7.	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ SONET/SDH.....	150
4.7.1.	<i>STS-1</i>	151
4.7.2.	<i>STS-n</i>	155
4.7.3.	<i>STS-Nc</i>	156
4.7.4.	<i>Virtual Tributaries</i>	156
4.7.5.	<i>SDH</i>	156
4.7.6.	<i>Συσκευές δικτύων SONET</i>	157
4.7.7.	<i>Τοπολογίες οπτικών δικτύων SDH/SONET</i>	159
4.8.	WDM ΔΙΚΤΥΩΣΗ	163
4.8.1.	<i>Η τεχνολογία «IP over SONET/SDH» και «IP over SONET/SDH over WDM»</i>	164

4.8.2.	<i>Η τεχνολογία IP over WDM</i>	166
4.8.2.1.	<i>Η ολοκλήρωση των δύο στρωμάτων ενός IP over WDM δικτύου μέσω MPLS</i>	167
4.8.3.	<i>Σύγκριση IP over WDM και IP over SONET/SDH over WDM τεχνολογίας</i>	170
5.	ΔΙΚΤΥΑ FTTx	173
5.1.	ΜΥΘΟΙ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΝΕΑΣ ΓΕΝΙΑΣ.....	173
5.2.	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ FTTx	177
5.2.1.	<i>Τμήματα οπτικού δικτύου</i>	177
5.2.2.	<i>Κατηγοριοποίηση αρχιτεκτονικών FTTx</i>	178
5.2.3.	<i>Αρχιτεκτονικές PON</i>	181
5.2.3.1.	<i>Πρότυπα PON</i>	183
5.2.4.	<i>Αρχιτεκτονικές τύπου “home run”</i>	184
5.2.5.	<i>Αρχιτεκτονικές ενεργού δικτύου (Active Node – Ethernet Switch)</i>	185
5.2.6.	<i>Υβριδικές αρχιτεκτονικές (PON και Active Networks)</i>	186
5.2.7.	<i>Αρχιτεκτονικές Reverse PON και Customer Owned Last Mile</i>	187
5.2.8.	<i>Σύγκριση αρχιτεκτονικών</i>	188
5.2.9.	<i>Ποσοτική σύγκριση FTTx αρχιτεκτονικών</i>	193
5.3.	ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	194
5.4.	ΚΛΙΜΑΚΩΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	196
5.4.1.	<i>Εθνικό Δίκτυο</i>	197
5.4.2.	<i>Δίκτυο Διασύνδεσης Νομών</i>	197
5.4.3.	<i>Δίκτυο Διασύνδεσης Πόλεων</i>	198
5.4.4.	<i>Μητροπολιτικό Δίκτυο</i>	198
5.4.5.	<i>Δίκτυο Πρόσβασης</i>	199
5.5.	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	200
5.5.1.	<i>Απαιτήσεις για το κύριο δίκτυο</i>	204
5.5.2.	<i>Απαιτήσεις για το δίκτυο διανομής</i>	205
5.5.3.	<i>Απαιτήσεις για το δίκτυο πρόσβασης</i>	206
5.5.4.	<i>Απαιτήσεις για το δίκτυο συγκέντρωσης (τελικών χρηστών)</i>	206
5.5.5.	<i>Υλικά</i>	206
5.5.6.	<i>Φρεάτια</i>	207
5.5.7.	<i>Σωληνώσεις</i>	208
5.5.7.1.	<i>Συμβατική προσέγγιση με χρήση συγκολλήσεων και σωληνώσεων</i>	209
5.5.7.2.	<i>Χρήση συστοιχιών μικροσωληνώσεων</i>	211
5.5.8.	<i>Άλλες γενικές απαιτήσεις για οπτικά δίκτυα</i>	214
5.5.8.1.	<i>Ασφάλεια</i>	214
5.5.8.2.	<i>Ομοιόμορφη Δομή</i>	214
5.5.8.3.	<i>Προστασία απέναντι σε φθορές, απόπειρες κλοπής και φωτιές</i>	214
5.5.8.4.	<i>Μετρήσεις και δοκιμασίες</i>	215
6.	WI-FI ΚΑΙ IEEE 802.11	219
6.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	219
6.1.1.	<i>Εκπομπή Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων στον Ελεύθερο Χώρο</i>	219
6.1.2.	<i>Στοιχεία Θεωρίας Κεραιών</i>	222
6.1.3.	<i>Διάθεση Ζωνών Συχνότητων φάσματος</i>	225
6.1.3.1.	<i>Η ζώνη C (3,4-4,2 GHz)</i>	226
6.1.3.2.	<i>Η ζώνη UHF (470-862 MHz)</i>	226
6.2.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ WI-FI	226
6.3.	ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ	226
6.4.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ.....	228
6.5.	ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ - ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	228
6.6.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ.....	230
6.7.	ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ 802.11.....	231
6.8.	ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ MAC ΤΟΥ 802.11	232
6.8.1.	<i>Πρόσβαση στο Μέσο</i>	233
6.8.2.	<i>Χρόνοι Αναμονής (Interframe Spacing)</i>	233
6.8.3.	<i>Μηχανισμός Ανίχνευσης Φέροντος</i>	234
6.8.4.	<i>Πρόσβαση στο Μέσο με χρήση του Αλγορίθμου DCF</i>	235
6.8.5.	<i>Πρόσβαση στο Μέσο με χρήση του Αλγορίθμου PCF</i>	238
6.8.6.	<i>Πρόσβαση στο Μέσο με χρήση του Αλγορίθμου HCF</i>	239
6.8.7.	<i>Μηχανισμός RTS/CTS</i>	239

6.8.8.	<i>Εξοικονόμηση Ενέργειας</i>	241
6.8.9.	<i>Πλαισίωση Υποστρώματος MAC</i>	242
6.9.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	242
6.9.1.	<i>Scanning</i>	242
6.9.2.	<i>Joining</i>	244
6.9.3.	<i>Authentication</i>	244
6.9.4.	<i>Association</i>	245
6.10.	HANDOVER	245
6.11.	ΦΥΣΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ ΤΟΥ 802.11	247
6.11.1.	<i>Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)</i>	247
6.11.2.	<i>Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)</i>	249
6.11.3.	<i>Υπέρυθρες ακτίνες</i>	250
6.12.	ΥΠΟΠΡΟΤΥΠΑ IEEE 802.11	251
6.12.1.	<i>Υποπρότυπο IEEE 802.11b</i>	251
6.12.2.	<i>Υποπρότυπο IEEE 802.11a</i>	252
6.12.3.	<i>Υποπρότυπο IEEE 802.11g</i>	252
6.12.4.	<i>Υποπρότυπο IEEE 802.11n</i>	253
6.12.5.	<i>Υποπρότυπο IEEE 802.11e</i>	254
6.12.6.	<i>Υποπρότυπο IEEE 802.11f</i>	255
6.12.7.	<i>Υποπρότυπο IEEE 802.11i</i>	255
6.12.8.	<i>Υποπρότυπο IEEE 802.11h</i>	256
7.	WiMAX και IEEE 802.16	259
7.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	259
7.2.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ WiMAX	259
7.3.	ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ WiMAX	260
7.4.	ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ WiMAX	261
7.4.1.	<i>Ταχύτητα Μετάδοσης, Ποιότητα Υπηρεσίας και Ασφάλεια</i>	261
7.4.2.	<i>Υποστήριξη συνδέσεων LOS, OLOS και NLOS</i>	262
7.5.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΟΥ WiMAX	264
7.5.1.	<i>Δυναμικό TDMA MAC</i>	264
7.5.2.	<i>Ποιότητα υπηρεσιών</i>	264
7.5.3.	<i>Προσαρμογή συνδέσεων (Link Adaptation)</i>	265
7.5.4.	<i>Υποστήριξη NLOS</i>	265
7.5.5.	<i>Αποδοτική χρησιμοποίηση φάσματος</i>	265
7.5.6.	<i>Ευέλικτο εύρος ζώνης καναλιών</i>	265
7.5.7.	<i>Τεχνικές διόρθωσης σφαλμάτων (Error correction techniques)</i>	266
7.5.8.	<i>Έλεγχος ισχύος</i>	266
7.5.9.	<i>Ασφάλεια</i>	266
7.6.	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ WiMAX	266
7.6.1.	<i>Ρυθμός μετάδοσης και κάλυψη</i>	267
7.6.2.	<i>Ευελιξία και επεκτασιμότητα</i>	267
7.6.3.	<i>Μείωση εξόδων εγκατάστασης</i>	268
7.7.	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ WiMAX	268
7.7.1.	<i>Παραμβολή ραδιοσυχνοτήτων (interference)</i>	268
7.7.2.	<i>Τοποθέτηση υποδομής</i>	268
7.8.	ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ IEEE 802.16	269
7.8.1.	<i>Το φυσικό επίπεδο του IEEE 802.16</i>	269
7.8.2.	<i>Το επίπεδο MAC του προτύπου IEEE 802.16</i>	271
7.9.	ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΕΙ ΤΟ WiMAX	272
7.9.1.	<i>Ασύρματο VoIP</i>	272
7.9.2.	<i>Virtual Private LAN Services (VPLS)</i>	272
7.9.3.	<i>Video on Demand (VoD)</i>	272
7.9.4.	<i>ATM Τραπεζών</i>	273
7.9.5.	<i>Online παιχνίδια</i>	273
7.9.6.	<i>Εφαρμογές ασφάλειας και επιτήρησης</i>	273
7.9.7.	<i>Επικοινωνία πολυμέσων</i>	273
7.9.8.	<i>Άλλες υπηρεσίες</i>	273
7.10.	ΥΠΟ-ΠΡΟΤΥΠΑ IEEE 802.16	274
7.11.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ WiMAX ΜΕ ΤΑ ΗΔΗ ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ	275

7.12.	MOBILE WiMAX	275
8.	ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.....	279
8.1.	Το ΣΥΣΤΗΜΑ UMTS	279
8.2.	ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	279
8.3.	Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ UMTS	280
8.3.1.	<i>User Equipment</i>	280
8.3.2.	<i>UTRAN</i>	281
8.3.3.	<i>CN</i>	282
8.4.	ΔΙΕΠΑΦΕΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ	284
8.4.1.	<i>Η Διεπαφή Uu</i>	284
8.4.2.	<i>Η Διεπαφή Iub</i>	285
8.4.3.	<i>Η Διεπαφή Iur</i>	286
8.4.4.	<i>Η Διεπαφή Iu-PS</i>	287
8.4.5.	<i>Οι Υπόλοιπες Διεπαφές</i>	288
8.5.	ΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΤΟΥ UTRAN.....	289
8.5.1.	<i>Λογικά Κανάλια</i>	289
8.5.2.	<i>Κανάλια Μεταφοράς</i>	290
8.5.3.	<i>Φυσικά Κανάλια</i>	292
8.6.	ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ UMTS	293
8.6.1.	<i>PDP και GTP</i>	293
8.6.2.	<i>Μετάδοση Πακέτων στο UTRAN</i>	294
8.7.	HANDOVERS ΣΤΟ UMTS.....	296
8.7.1.	<i>Softer και Soft Handover</i>	296
8.7.2.	<i>SRNS Relocation</i>	300
8.7.3.	<i>Hard Handover</i>	302
8.7.4.	<i>Intersystem Handovers</i>	302
8.8.	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ.....	303
8.9.	HIGH SPEED PACKET ACCESS	304
8.9.1.	<i>Προτυποποίηση και Εμπορική Διάθεση της HSPA Τεχνολογίας</i>	305
8.9.2.	<i>High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)</i>	306
8.9.2.1.	<i>Διαμοιραζόμενο Κανάλι Μετάδοσης HS-DSCH</i>	306
8.9.2.2.	<i>Adaptive Modulation and Coding (AMC)</i>	307
8.9.2.3.	<i>Hybrid Automatic Repeat request (HARQ)</i>	308
8.9.2.4.	<i>Fast Scheduling</i>	309
8.9.3.	<i>High Speed Uplink Packet Access (HSUPA)</i>	310
8.9.3.1.	<i>Βασικά Χαρακτηριστικά HSUPA Τεχνολογίας</i>	310
8.9.4.	<i>Πλεονεκτήματα HSPA Τεχνολογίας</i>	312
8.9.5.	<i>Υπηρεσίες στην HSPA Τεχνολογία</i>	313
8.9.6.	<i>HSPA + : Γενικά Χαρακτηριστικά</i>	314
8.10.	3GPP LONG TERM EVOLUTION (LTE)	315
8.10.1.	<i>Απαιτήσεις για το LTE</i>	316
8.10.2.	<i>Βασικές Τεχνικές Μετάδοσης Πληροφορίας στο LTE</i>	317
8.10.3.	<i>Υπηρεσίες στο LTE</i>	318
9.	ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ – INTERNET OVER SATELLITE	321
9.1.	Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	322
9.2.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΕΝΟΣ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ	324
9.2.1.	<i>Ανατομία (περιγραφή κυρίως σώματος)</i>	324
9.2.2.	<i>Έλεγχος θέσης στην τροχιά</i>	326
9.2.3.	<i>Πηγές Ενέργειας</i>	326
9.2.4.	<i>Επικοινωνιακό σύστημα</i>	327
9.2.5.	<i>Υπολογιστικό σύστημα</i>	327
9.2.6.	<i>Τροχιές</i>	328
9.2.6.1.	<i>Γεωστατική τροχιά</i>	328
9.2.6.2.	<i>Ισημερινή τροχιά</i>	328
9.2.6.3.	<i>Πολική τροχιά</i>	329
9.2.6.4.	<i>Τροχιά συγχρονισμένη με τον ήλιο</i>	329
9.2.6.5.	<i>Ελλειπτικές τροχιές</i>	330
9.2.6.6.	<i>Χαμηλές τροχιές</i>	330
9.3.	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	330

9.3.1.	Ασυμμετρικά δορυφορικά δίκτυα	330
9.3.2.	Δορυφορικός σύνδεσμος «last hope».....	330
9.3.3.	Υβριδικά δορυφορικά δίκτυα	331
9.3.4.	Σημείο προς σημείο δορυφορικά δίκτυα	331
9.4.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	331
9.4.1.	Χαρακτηριστικά Δορυφόρων	331
9.4.1.1.	Θόρυβος	332
9.4.1.2.	Εύρος ζώνης (Bandwidth).....	332
9.4.2.	Μεγάλη καθυστέρηση ανάδρασης	333
9.4.2.1.	Μεγάλο γινόμενο καθυστέρησης*bandwidth.....	333
9.4.2.2.	Λάθη εκπομπής	333
9.4.2.3.	Ασυμμετρική χρήση.....	334
9.4.2.4.	Μεταβλητοί χρόνοι Round Trip.....	334
9.4.2.5.	Διακοπτόμενη συνδετικότητα.....	334
9.5.	ΖΩΝΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	334
9.6.	INTERNET OVER SATELLITE	335
9.6.1.	Είδη συνδέσεων.....	336
9.6.1.1.	Δορυφορική Σύνδεση απευθείας στον Τελικό Χρήστη	336
9.6.1.2.	Άμεση Δορυφορική Σύνδεση μέσω ISP.....	337
9.6.1.3.	Έμμεση Δορυφορική Σύνδεση μέσω ISP.....	338
9.6.2.	Απαιτούμενος εξοπλισμός και κόστος ανάπτυξης.....	338
9.6.3.	Ταχύτητες	339
9.6.4.	Θέματα Ασφάλειας.....	340
9.6.5.	Qos στο Internet over Satellite.....	340
9.6.6.	Προσφερόμενες Υπηρεσίες στο Internet over Satellite.....	342
10.	ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ	345
10.1.	ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΟΥ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	345
10.2.	ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ 345	
10.2.1.	Σενάριο 1: Ίση πρόσβαση (Equal Access).....	347
10.2.2.	Σενάριο 2: Πλήρης κρατικός έλεγχος μέσω κοινοπραξιών του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα (Full Public control through Public-Private Partnerships –PPPs).....	349
10.2.3.	Σενάριο 3: Κοινοπραξίες του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα χωρίς κρατικό έλεγχο (Public-Private Partnerships – PPPs orchestrated).....	349
10.2.4.	Σενάριο 4: Δημόσιος Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών (Public Sector Telco).....	350
10.2.5.	Σενάριο 5: Μοναδικός ιδιωτικός πάροχος υπηρεσιών (Sole Private Provider).....	350
10.3.	ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	351
10.4.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ	352
10.4.1.	Τι ορίζεται ως CAPEX.....	352
10.4.2.	Τι ορίζεται ως OPEX.....	354
10.5.	ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ, ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ.....	355
10.6.	ΣΤΟΙΧΕΙΑ OPEX	356
10.6.1.	Συντήρηση του εξοπλισμού και των συσκευών (υποδομών γενικότερα).....	356
10.6.2.	Άδειες εξοπλισμού και λογισμικού, υπεργολαβίες συντήρησης (maintenance outsourcing) 357	
10.6.3.	Πωλήσεις και μάρκετινγκ, απόκτηση πελατών	357
10.6.4.	Παροχές σε πελάτες.....	357
10.6.5.	Φροντίδα πελατών	357
10.6.6.	Χρέωση και τιμολόγηση	358
10.6.7.	Διαχείριση υπηρεσιών.....	358
10.6.8.	Διαχείριση δικτύων	358
10.6.9.	Ανάπτυξη προϊόντων/πλατφορμών	358
10.6.10.	Ενοίκιο φυσικών δικτυακών πόρων	358
10.6.11.	Roaming.....	359
10.6.12.	Διασύνδεση (Interconnection)	359
10.6.13.	Ετήσιο κόστος αδειών ραδιο-φάσματος.....	359
10.6.14.	Κανονισμοί/Ρυθμίσεις (Regulation).....	360
10.6.15.	Περιεχόμενο	360
10.7.	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ OPEX.....	360

10.7.1. Συντήρηση του εξοπλισμού και των συσκευών	360
10.7.2. Άδειες λογισμικού, υπεργολαβίες συντήρησης	361
10.7.3. Πωλήσεις και μάρκετινγκ, Απόκτηση πελατών	362
10.7.4. Παροχές σε πελάτες (εγκατάσταση/απεγκατάσταση).....	363
10.7.5. Φροντίδα πελατών	363
10.7.6. Χρέωση και τιμολόγηση	364
10.7.7. Διαχείριση υπηρεσιών	364
10.7.8. Διαχείριση δικτύων	364
10.7.9. Ανάπτυξη προϊόντων/πλατφορμών	364
10.7.10. Ενοίκιο φυσικών δικτυακών πόρων	364
10.7.11. Roaming.....	364
10.7.12. Διασύνδεση (Interconnection)	365
10.7.13. Ετήσιο κόστος αδειών ραδιο-φάσματος.....	366
10.7.14. Κανονισμοί/Ρυθμίσεις (Regulation)	366
10.7.15. Περιεχόμενο	366
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	367
ΑΚΡΩΝΥΜΑ.....	371

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Βασικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα.....	23
Σχήμα 2. Δίκτυο επικοινωνίας.....	23
Σχήμα 3. Πρότυπο OSI.....	26
Σχήμα 4. Η Εξέλιξη των Τεχνολογιών.....	31
Σχήμα 5. Ο απαιτούμενος IPTV εξοπλισμός.....	38
Σχήμα 6. Βασική αρχιτεκτονική Video on Demand.....	39
Σχήμα 7. Απαιτήσεις υπηρεσιών σε έυρος ζώνης (downstream).....	42
Σχήμα 8. Το παρόν και η πρόβλεψη για ζήτηση bandwidth σε Petabytes.....	43
Σχήμα 9. Γραφική αναπαράσταση της Triple Play υπηρεσίας.....	45
Σχήμα 10. Σύγκριση Ευρυζωνικών Τεχνολογιών για 1 και 20 χρήστες.....	49
Σχήμα 11. Στάδια επένδυσης εναλλακτικών τηλεπικοινωνιακών παρόχων.....	53
Σχήμα 12. Τυπικό παράδειγμα επικοινωνίας πάνω από Power Lines.....	56
Σχήμα 13. Επικοινωνία πάνω από Power Lines.....	57
Σχήμα 14. Συγκριτικό διάγραμμα ταχύτητας και απόδοσης.....	66
Σχήμα 15. Τα κανάλια στην ADSL μετάδοση.....	67
Σχήμα 16. Συχνότητες ADSL μετάδοσης.....	67
Σχήμα 17. SNR συναρτήσει της συχνότητας.....	68
Σχήμα 18. Βασική αρχιτεκτονική ενός συστήματος ADSL.....	69
Σχήμα 19. Γενική αρχιτεκτονική ενός ADSL δικτύου.....	70
Σχήμα 20. Το βασικό ADSL δίκτυο.....	71
Σχήμα 21. ATU-R με ενσωματωμένο POTS splitter.....	72
Σχήμα 22. ATU-R με εξωτερικό POTS splitter.....	72
Σχήμα 23. POTS Splitter στο DSLAM.....	73
Σχήμα 24. Αρχιτεκτονική δικτύου από την σκοπιά του DSLAM.....	74
Σχήμα 25. Οι τέσσερις ADSL τρόποι διανομής.....	74
Σχήμα 26. Μοντέλο αναφοράς ADSL για ATM μετάδοση.....	76
Σχήμα 27. Σύγκριση ρυθμού μετάδοσης και μέγιστης απόστασης για το ADSL και το ADSL2.....	79
Σχήμα 28. Κατανάλωση ισχύος σε ADSL και ADSL2.....	81
Σχήμα 29. Σχηματική αναπαράσταση των παρεμβολών μεταξύ γειτονικών ζευγών καλωδίων που μπορεί να οδηγήσουν στην διακοπή της ADSL σύνδεσης.....	81
Σχήμα 30. Σχηματική αναπαράσταση των αφοσιωμένων καναλιών φυσικού επιπέδου του CVoDSL για τη μεταφορά TDM γραμμών φωνής.....	83
Σχήμα 31. Σχηματική σύγκριση του CVoDSL και VoIP, VoATM.....	83
Σχήμα 32. Συχνότητες ADSL2, ADSL2+.....	84
Σχήμα 33. Ρυθμός μετάδοσης ανάλογα με την απόσταση για το ADSL2 και ADSL2+.....	84

Σχήμα 34. Μείωση crosstalk με τη δυνατότητα απόκρυψης (masking) συχνοτήτων κάτω από 1,1MHz του ADSL2+.....	85
Σχήμα 35. Ρυθμός μετάδοσης ανάλογα με την απόσταση για τα ADSL, ADSL2+, VDSL.....	86
Σχήμα 36. UDSL δίκτυο.....	88
Σχήμα 37. Στοίβα πρωτοκόλλου Gigabit Ethernet.....	101
Σχήμα 38. Αρχιτεκτονική IEEE 802.3z Gigabit Ethernet.....	102
Σχήμα 39. Λειτουργικά στοιχεία του Gigabit Ethernet.....	103
Σχήμα 40. IEEE 802.3 Frame.....	108
Σχήμα 41. Προσομοίωση της απόδοσης του Gigabit Ethernet (Πηγή: Intel).....	114
Σχήμα 42. Απόδοση δικτύου σε συνάρτηση με τον παρεχόμενο φόρτο (Πηγή: Εξομοιώσεις απόδοσης δικτύων 1 Gbps, AMD).....	114
Σχήμα 43. Η αρχιτεκτονική του πρότυπου 802.3ae.....	116
Σχήμα 44. E-Line υπηρεσία.....	120
Σχήμα 45. E-LAN υπηρεσία.....	121
Σχήμα 46. E-Tree υπηρεσία.....	121
Σχήμα 47. Ethernet over SONET.....	122
Σχήμα 48. Προστασία στις τεχνολογίες EOS και RPR.....	124
Σχήμα 49. Εκπομπή δέσμης φωτός διαμέσου οπτικής ίνας.....	131
Σχήμα 50. Οπτικές ίνες.....	132
Σχήμα 51. Τύποι οπτικών ινών.....	133
Σχήμα 52. Συχνοτικά παράθυρα.....	134
Σχήμα 53. Παράδειγμα διάχυσης του φωτός.....	135
Σχήμα 54. Η τεχνολογία WDM.....	137
Σχήμα 55. Ο πολυπλέκτης δικτύματος.....	138
Σχήμα 56. Δομικά στοιχεία WDM.....	138
Σχήμα 57. Τύποι WDM.....	144
Σχήμα 58. Metro CWDM πλέγμα μήκους κύματος όπως ορίζεται από την ITU-T G.694.2.....	145
Σχήμα 59. Σύγκριση αντιπροσωπευτικών DWDM και CWDM προϊόντων –διαφορές στον όγκο και την κατανάλωση ενέργειας.....	147
Σχήμα 60. Δομή πλαισίου στο STS-1.....	152
Σχήμα 61. Ένα SPE.....	152
Σχήμα 62. Ένα SPE ανάμεσα σε δύο συνεχόμενα πλαίσια.....	153
Σχήμα 63. Bytes επιβάρυνσης.....	153
Σχήμα 64. Δομή πλαισίου STS-N.....	155
Σχήμα 65. Δομή πλαισίου STS-Nc.....	156
Σχήμα 66. Μετατροπέας ηλεκτρικού (STS) σε οπτικό σήμα (OC).....	157
Σχήμα 67. Ένας τερματικός πολυπλέκτης.....	158
Σχήμα 68. Πολυπλέκτης εισαγωγής - απομάστευσης.....	158
Σχήμα 69. Ένα WDCS σύστημα.....	159
Σχήμα 70. Σύνδεση σημείο σε σημείο.....	160
Σχήμα 71. Δίκτυο εισαγωγής-απομάστευσης γραμμικής τοπολογίας.....	160
Σχήμα 72. Δίκτυο εισαγωγής-απομάστευσης δενδρικής τοπολογίας.....	161
Σχήμα 73. Δίκτυο βασισμένα σε hub.....	162
Σχήμα 74. Δίκτυο τοπολογίας δακτυλίου αυτόματης επιδιόρθωσης.....	163
Σχήμα 75. Η αρχή λειτουργίας του transponder.....	165
Σχήμα 76. IP over SONET/SDH over WDM.....	165
Σχήμα 77. IP over WDM σύστημα.....	167
Σχήμα 78. Σύγκριση IP over SONET/SDH over WDM – IP over WDM.....	170

Σχήμα 79. Επίπεδα δικτύου οπτικών ινών.....	174
Σχήμα 80. Βασικές τεχνολογίες FTTx.....	177
Σχήμα 81. Σύγκριση ενεργού και παθητικού δικτύου	179
Σχήμα 82. Αρχιτεκτονική τύπου “home run”	180
Σχήμα 83. Αρχιτεκτονική αστέρα (star) Ethernet.....	180
Σχήμα 84. Παράδειγμα αρχιτεκτονικής με χρήση τεχνολογιών PON.....	181
Σχήμα 85. Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical Network - PON)	182
Σχήμα 86. Home Run (Παθητικό point-to-point δίκτυο)	184
Σχήμα 87. Point-to-point συνδέσεις με έναν ενεργό κόμβο (Ethernet Switch).....	185
Σχήμα 88. Υβριδικό PON.....	186
Σχήμα 89. Αρχιτεκτονική Reverse PON.....	187
Σχήμα 90. Σύγκριση Τεχνολογιών FTTx για 1 και 20 χρήστες.....	193
Σχήμα 91. Κλιμάκωση δικτύων.....	197
Σχήμα 92. Δίκτυο Διασύνδεσης Νομών	197
Σχήμα 93. Δίκτυο Διασύνδεσης Πόλεων.....	198
Σχήμα 94. Μητροπολιτικό Δίκτυο	199
Σχήμα 95. Δίκτυο Πρόσβασης.....	199
Σχήμα 96. Η γενική μορφή ενός δικτύου οπτικών ινών	201
Σχήμα 97. Όδευση δικτύων οπτικών ινών.....	202
Σχήμα 98. Καλώδια οπτικών ινών	204
Σχήμα 99. Τομή φρεατίου.....	207
Σχήμα 100. Φρεάτιο μητροπολιτικού οπτικού δικτύου	208
Σχήμα 101. Ειδικές διατάξεις υπόγειας συγκόλλησης οπτικών ινών (Μούφες)	209
Σχήμα 102. Σύνδεση χρηστών με χρήση συμβατικών σωληνώσεων και συγκολλήσεων	211
Σχήμα 103. Συστοιχία μικροσωληνώσεων με 7 μικροσωλήνες	212
Σχήμα 104. Σύνδεση χρηστών με χρήση μικροσωληνώσεων	214
Σχήμα 105. Εγκάρσιο ηλεκτρομαγνητικό κύμα	220
Σχήμα 106. Σφαιρικό μέτωπο κύματος.....	220
Σχήμα 107. Αρχή λειτουργίας κεραίας.....	222
Σχήμα 108. Μοντέλο Αναφοράς OSI	227
Σχήμα 109. Διαστρωμάτωση του προτύπου 802.11	227
Σχήμα 110. Φυσικό στρώμα του προτύπου 802.11	227
Σχήμα 111. Τοπολογία IBSS	228
Σχήμα 112. Τοπολογία infrastructure BSS	229
Σχήμα 113. Τοπολογία infrastructure δύο BSSs.....	230
Σχήμα 114. Σύστημα διανομής.....	231
Σχήμα 115. Διαδικασία πρόσβασης στο μέσο με χρήση του αλγορίθμου DCF.....	236
Σχήμα 116. Μηχανισμός RTS/CTS	240
Σχήμα 117. Πρόβλημα κρυμμένου κόμβου	241
Σχήμα 118. Γενική μορφή πλαισίου υποστρώματος MAC του 802.11.....	242
Σχήμα 119. Παθητική ανίχνευση.....	243
Σχήμα 120. Ενεργητική Ανίχνευση	243
Σχήμα 121. Διαδικασία πιστοποίησης.....	244
Σχήμα 122. Διαδικασία Συσχέτισης	245
Σχήμα 123. Handover	246
Σχήμα 124. Spread Spectrum.....	247
Σχήμα 125. Εξέλιξη αλγορίθμων κρυπτογράφησης στο WiFi	256
Σχήμα 126. Χρήσεις του WiMAX.....	261
Σχήμα 127. Παράδειγμα μια point to multipoint σύνδεσης.....	262

Σχήμα 128. Οι ζώνες του Fresnel	263
Σχήμα 129. Παράδειγμα σύνδεσης χωρίς οπτική επαφή	263
Σχήμα 130. Ρυθμοί Μετάδοσης Δεδομένων για Διαφορετικές Ακτίνες Κάλυψης ...	267
Σχήμα 131. (a) Συμβατική Τεχνική Πολλών Φερουσών (b) OFDM.....	270
Σχήμα 132: Χρονοδιάγραμμα εξέλιξης του 802.16.....	276
Σχήμα 133: Διαφορές μεταξύ OFDM και OFDMA	276
Σχήμα 134. Η αρχιτεκτονική του UMTS σε υψηλό επίπεδο	280
Σχήμα 135. Η δομή του UTRAN.....	281
Σχήμα 136. RAs και URAs.....	282
Σχήμα 137. Η δομή του CN.....	284
Σχήμα 138. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Uu	285
Σχήμα 139. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iub	286
Σχήμα 140. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iur.....	287
Σχήμα 141. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iu-PS	288
Σχήμα 142. Η αρχιτεκτονική πρωτόκολλων για τη μεταφορά πληροφορίας	289
Σχήμα 143. Η αντιστοιχία λογικών καναλιών σε κανάλια μεταφοράς.....	292
Σχήμα 144. Αντιστοίχιση καναλιών για την downlink κατεύθυνση	293
Σχήμα 145. Η σύνοδος GTP στη διεπαφή Gn	294
Σχήμα 146. Μετάδοση πακέτων πληροφορίας στα διάφορα επίπεδα	296
Σχήμα 147. Οι δυνατές περιπτώσεις softer και soft handover.....	297
Σχήμα 148. Η ροή δεδομένων σε ένα inter-RNS/intra-SGSN handover.....	299
Σχήμα 149. Η ροή δεδομένων σε ένα inter-RNS/inter-SGSN handover.....	299
Σχήμα 150. Η ροή δεδομένων πριν και μετά το intra-SGSN SRNS relocation	301
Σχήμα 151. Η ροή δεδομένων πριν και μετά το inter-SGSN SRNS relocation	301
Σχήμα 152. PMM και RRC Μηχανισμοί.....	303
Σχήμα 153. Πορεία προτυποποίησης και εμπορικής διάθεσης των HSDPA και HSUPA τεχνολογιών	305
Σχήμα 154. Εξέλιξη των ρυθμών μετάδοσης των HSDPA και HSUPA τεχνολογιών	305
Σχήμα 155. Διαμοίραση κωδικών καναλιού για το HS-DSCH.....	306
Σχήμα 156. Διαμοίραση πόρων στο πεδίο του χρόνου για το HS-DSCH	306
Σχήμα 157. Σχήματα διαμόρφωσης QPSK, 16-QAM και 64-QAM	307
Σχήμα 158. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων καθορίζεται από τις στιγμιαίες συνθήκες καναλιού	308
Σχήμα 159. HARQ - Διαδικασία επαναμετάδοσης χαμένων δεδομένων.....	309
Σχήμα 160. Δρομολόγηση χρηστών με ευνοϊκές συνθήκες για αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου	309
Σχήμα 161 Υπηρεσίες με τη χρήση HSPA τεχνολογίας.....	314
Σχήμα 162. Η εξέλιξη των κινητών ευρυζωνικών standards.....	316
Σχήμα 163: Επικοινωνία μεταξύ σημείων που δεν έχουν οπτική επαφή	321
Σχήμα 164: Επικοινωνία μέσω δορυφόρου	322
Σχήμα 165: Το μοντέλο του Clarke	323
Σχήμα 166: Τα βασικά μέρη ενός δορυφόρου.....	325
Σχήμα 167: Γεωστατική τροχιά	328
Σχήμα 168: Ισημερινή τροχιά.....	329
Σχήμα 169: Πολική τροχιά	329
Σχήμα 170: Τροχιά συγχρονισμένη με τον ήλιο.....	329
Σχήμα 171: Ελλειπτική τροχιά.....	330
Σχήμα 172: Δορυφορική Σύνδεση απευθείας στον Τελικό Χρήστη	337
Σχήμα 173: Σχηματικό άμεσης δορυφορικής σύνδεσης μέσω ISP	337

Σχήμα 174. Σχηματικό διάγραμμα της NAT τεχνικής	341
Σχήμα 175. Επίπεδα επιχειρηματικού μοντέλου ευρυζωνικών υποδομών.....	347
Σχήμα 176. Σενάριο ίσης πρόσβασης.....	348
Σχήμα 177. Πλήρης κρατικός έλεγχος μέσω κοινοπραξιών του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα.....	349
Σχήμα 178. Κοινοπραξίες του Δημόσιου και του Ιδιωτικού τομέα χωρίς κρατικό έλεγχο.....	350
Σχήμα 179. Δημόσιος Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών.....	350
Σχήμα 180. Μοναδικός ιδιωτικός πάροχος υπηρεσιών	351
Σχήμα 181. Συστατικά ενός Ευρυζωνικού Δικτύου	352
Σχήμα 182. Ρυθμός μείωσης του CAPEX.....	353
Σχήμα 183. Κατανομή κόστους CAPEX.....	354
Σχήμα 184. Το μοντέλο συντήρησης του έργου OPTIMUM.....	361

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Προβλέψεις για ανάγκες σε εύρος ζώνης (πηγή: Liberty Global, 2006) ..	42
Πίνακας 2. Σύγκριση Ευρυζωνικών Τεχνολογιών για 1 και 20 χρήστες.....	50
Πίνακας 3. POTS-Band Modems	68
Πίνακας 4. Ορολογία ADSL αρχιτεκτονικής	69
Πίνακας 5. Απόδοση Gigabit Ethernet	115
Πίνακας 6. Πλεισιόχρονες ψηφιακές ιεραρχίες	149
Πίνακας 7. Πρότυπα ρυθμών μεταφοράς	151
Πίνακας 8. Bytes επιβάρυνσης τμήματος	154
Πίνακας 9. Bytes επιβάρυνσης γραμμής	154
Πίνακας 10. Bytes επιβάρυνσης μονοπατιού.....	154
Πίνακας 11. Τύποι FTTx	176
Πίνακας 12. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του PON	183
Πίνακας 13. Πρότυπα PON	184
Πίνακας 14. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Home Run	185
Πίνακας 15. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης ενός ενεργού κόμβου (Ethernet Switch)	186
Πίνακας 16. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός υβριδικού PON	187
Πίνακας 17. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός Reverse PON	188
Πίνακας 18. Ποιοτική σύγκριση τεχνολογιών PON, Active network και Home run	192
Πίνακας 19. Σύγκριση των τεχνολογιών FTTx για 1 και 20 χρήστες	194
Πίνακας 20. Διαθέσιμα κανάλια ανά περιοχή για το φυσικό στρώμα.....	248
Πίνακας 21. Διαθέσιμα κανάλια ανά περιοχή για το φυσικό στρώμα.....	250
Πίνακας 22. Βασικά χαρακτηριστικά προτύπων μετάδοσης δεδομένων IEEE 802.11	254
Πίνακας 23. Εξέλιξη ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης.....	260
Πίνακας 24. Αποστάσεις Επικοινωνίας (P2P)	264
Πίνακας 25. Αποστάσεις Επικοινωνίας (P2MP)	264
Πίνακας 26. Τύποι Διαμόρφωσης.....	271
Πίνακας 27. Χαρακτηριστικά του φυσικού επιπέδου του προτύπου IEEE 802.16a	271
Πίνακας 28. Χαρακτηριστικά του φυσικού MAC του προτύπου IEEE 802.16a	272
Πίνακας 29. Χαρακτηριστικά προτύπων για ασύρματη δικτύωση.....	275
Πίνακας 30. Τα χαρακτηριστικά του UMTS και η συμβατότητα του GSM	280
Πίνακας 31. Τα λογικά κανάλια του UTRAN	290
Πίνακας 32. Οι ιδιότητες των καναλιών μεταφοράς	291
Πίνακας 33. Τα κανάλια μεταφοράς του UTRAN	292
Πίνακας 34. Επιτεύξιμοι ρυθμοί μετάδοσης ανάλογα με την διαμόρφωση	308
Πίνακας 35. Χρησιμοποιούμενες συχνότητες δορυφορικών συστημάτων	335

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Εισαγωγή

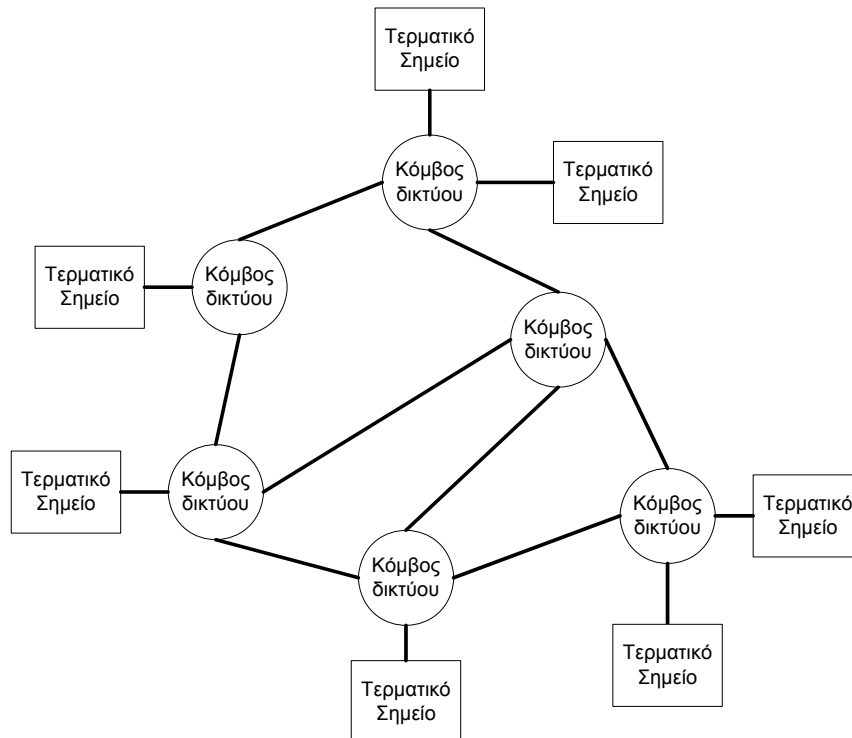
1.1. ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ

Σκοπός των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων είναι η μεταβίβαση πληροφοριών από ένα σημείο του χώρου που ονομάζεται πομπός σε ένα άλλο σημείο του χώρου που ονομάζεται δέκτης, με τη βοήθεια ενός μέσου διάδοσης. Η δομή ενός τυπικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Βασικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα

Το απλό μοντέλο (Σχήμα 1) καλύπτει τις ανάγκες επικοινωνίας μεταξύ δύο συνδρομητών. Για να καλυφθούν όμως οι ανάγκες επικοινωνίας πολλών συνδρομητών γίνεται απαραίτητη η δημιουργία ενός δικτύου (Σχήμα 2). Το δίκτυο δίνει τη δυνατότητα σε ένα συνδρομητή να επικοινωνήσει με οποιονδήποτε άλλο συνδρομητή διαθέτει την κατάλληλη διάταξη πρόσβασης σε κάποιο οριακό σύστημα του δικτύου που ονομάζεται κόμβος ή κέντρο. Βασική ιδιότητα του δικτύου είναι η παροχή επικοινωνίας με τον ελάχιστο δυνατό αριθμό διασυνδέσεων των κόμβων του.



Σχήμα 2. Δίκτυο επικοινωνίας

Δίκτυο Η/Υ είναι ένα σύστημα επικοινωνιών το οποίο διαθέτει συσκευές τηλεπικοινωνιών, τηλεπικοινωνιακούς κόμβους, καθώς και τα φυσικά μέσα διέλευσης της πληροφορίας. Επίσης στην ευρύτερη έννοιά του περιλαμβάνει και τις τερματικές συσκευές, όπως είναι οι υπολογιστές και τα τερματικά κάθε είδους και έχει μια δομή τέτοια ώστε να επιτυγχάνεται η όποια επιθυμητή μεταξύ τους επικοινωνία. Στα δίκτυα Η/Υ συναντάμε αυστηρούς κανόνες που διέπουν το τηλεπικοινωνιακό τμήμα του δικτύου καθώς επίσης και κανόνες συνομιλίας μεταξύ των υπολογιστών (πρωτόκολλα επικοινωνίας).

Πολλές φορές τα σύνορα μεταξύ της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών γίνονται δυσδιάκριτα. Άλλωστε ένα μεγάλο μέρος του λογισμικού επικοινωνιών αλλά και των πρωτοκόλλων φιλοξενείται στους υπολογιστές, είτε ενσωματωμένο στο λειτουργικό σύστημα, είτε σαν ανεξάρτητα προγράμματα.

Κύριες ιδιότητες ενός δικτύου είναι να επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να μοιράζονται ή να ανταλλάσσουν πληροφορίες και να εκμεταλλεύονται την επεξεργαστική ικανότητα υπολογιστών, να έχουν πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων κλπ. Όμως ακριβώς αυτή η προσφερόμενη δυνατότητα όπου ο καθένας με μια φθηνή τερματική συσκευή μπορεί να επικοινωνεί με υπολογιστές δημιουργεί και προβλήματα. Ανάλογα με την περίπτωση, χρειάζονται μεγάλη προσοχή, σαφείς κανόνες, αυστηρότητα και συνεπώς μεγάλη πολυπλοκότητα για να εξασφαλισθεί η με σαφείς όρους συμμετοχή του καθενός σε ένα τέτοιο δίκτυο.

Κάθε δίκτυο Η/Υ σχεδιάζεται έτσι ώστε να εξυπηρετεί τις εκάστοτε λειτουργικές απαιτήσεις των εφαρμογών. Επομένως σε κάθε δίκτυο υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι προσπέλασης της πληροφορίας, διαφορετικά πρωτόκολλα, διασυνδέσεις, φυσικά μέσα. Αυτό το φαινόμενο με τη πάροδο του χρόνου τείνει να μειωθεί, καθώς γίνονται συνεχείς προσπάθειες για τυποποίηση όλων των στοιχείων που απαρτίζουν ένα δίκτυο δεδομένων.

Τα δίκτυα διαιρούνται σε κατηγορίες που προσδιορίζονται ανάλογα με την οπτική γωνία από την οποία τα βλέπουμε. Οι σημαντικότερες υποδιαίρεσεις είναι:

- Ως προς την τοπολογία των διαφόρων σημείων έχουμε το ακτινωτό, το κομβικό και το βρογχικό δίκτυο.
- Ως προς την γεωγραφία τερματικών και υπολογιστικών σημείων διακρίνουμε τα δίκτυα ευρείας περιοχής (Wide area network WAN), τα αστικά δίκτυα (Metropolitan area network MAN) και τα τοπικά δίκτυα (Local area network LAN).
- Ως προς τον τηλεπικοινωνιακό τύπο εξυπηρέτησης έχουμε το κοινό τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN), τα ιδιωτικά δίκτυα, τα δημόσια δίκτυα δεδομένων, το ISDN, το xDSL. Μια ιδιαίτερη περίπτωση δικτύου είναι το παγκόσμιο διαδίκτυο Internet που είναι το μεγαλύτερο δίκτυο δεδομένων του πλανήτη.
- Τέλος ως προς την τεχνική προώθησης της πληροφορίας τα διακρίνουμε σε δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος (όπως είναι δομημένο το τηλεφωνικό δίκτυο) και μεταγωγής πακέτου (όπως είναι δομημένο το Internet).

1.2. ΜΟΝΤΕΛΟ ISO/OSI

1.2.1. Εισαγωγή

Το 1977 ο διεθνής οργανισμός τυποποιήσεων ISO ξεκίνησε μια προσπάθεια, που τα πρώτα της αποτελέσματα εμφανίσθηκαν το 1983 με την ανακοίνωση του προτύπου OSI (Open System Interconnection reference model), που ερμηνεύεται «*Πρότυπο διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων*». Το OSI αποτελεί το πλαίσιο μέσα στο οποίο κινούνται οι λεπτομερείς πλέον τυποποιήσεις, για την επίλυση όλων των επί μέρους προβλημάτων που εμφανίζονται στις επικοινωνίες υπολογιστών διαφορετικών κατασκευαστών.

Το πλαίσιο ενός τέτοιου προτύπου απαιτεί τον ακριβή προσδιορισμό αφ' ενός της αρχιτεκτονικής και αφ' ετέρου των πρωτοκόλλων επικοινωνίας υπολογιστών.

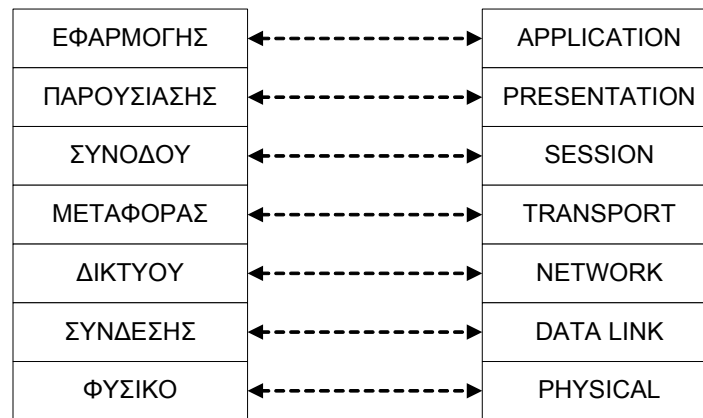
Εισάγοντας την έννοια της αρχιτεκτονικής μπορούμε να πούμε ότι προκειμένου να επιτευχθεί η επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών πρέπει να συντελεσθεί ένα σύνολο από φυσικές και λογικές διασυνδέσεις διαφόρων ανεξαρτήτων τμημάτων. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν πολλά θέματα ανεξάρτητα μεταξύ τους που πρέπει πρώτα να επιλυθούν για να πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη επιθυμητή επικοινωνία. Έτσι γίνεται και στις επικοινωνίες υπολογιστών. Η οργάνωση της όλης επικοινωνίας, η ιεράρχηση των λειτουργιών σε διάφορα επίπεδα, ο καθορισμός των πρωτοκόλλων και της μεταξύ τους σχέσης ονομάζεται Αρχιτεκτονική επικοινωνίας υπολογιστών. Όταν δύο υπολογιστές επικοινωνούν, στην ουσία επικοινωνούν μεταξύ τους οι ενότητες που βρίσκονται σε ομότιμα επίπεδα. Ορίζουμε δε σαν πρωτόκολλο ένα σύνολο από κανόνες για τη διεκπεραίωση της επικοινωνίας μεταξύ ενοτήτων μίας αρχιτεκτονικής.

Η αρχιτεκτονική του προτύπου OSI δεν είναι βέβαια η μοναδική. Την αξία ενός ενιαίου τρόπου συμπεριφοράς κατά την επικοινωνία μεταξύ δύο υπολογιστών, αναγνώρισαν πολύ γρήγορα όλες οι κατασκευάστριες εταιρίες υπολογιστών. Στη προσπάθειά τους μάλιστα να τυποποιήσουν τα δικά τους συστήματα ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα συμβατότητας στα ίδια τους τα προϊόντα, ανέπτυξαν τις δικές τους αρχιτεκτονικές όπως π.χ. η IBM την SNA (System Network Architecture), η Unisys την DCA (Distributed Communications Architecture), η Bull την DSA (Distributed System Architecture) και η DEC την DNA (Digital Network Architecture).

1.2.2. Πρότυπο OSI

Η βασική φιλοσοφία που διέπει το πρότυπο OSI είναι της επιπεδοποίησης (layering). Όλες οι απαιτούμενες για επικοινωνία λειτουργίες ομαδοποιούνται σε επτά μεγάλα επίπεδα. Οι λειτουργίες αυτές είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους έτσι ώστε αλλαγές σε ένα επίπεδο να μην έχουν επίδραση στα άλλα. Στο Σχήμα 3 βλέπουμε τα επτά επίπεδα, έτσι όπως έχουν τιτλοφορηθεί από τον ISO με παράλληλη παράθεση της Ελληνικής ορολογίας.

Οι διακεκομμένες γραμμές μεταφράζονται σε πρωτόκολλα που συνδέουν τα διάφορα επίπεδα (ενότητες) μεταξύ τους. Τα επίπεδα αυτά είναι έτσι επιλεγμένα, ώστε να γίνει ευκολότερος ο τρόπος ορισμού των τυποποιήσεων. Ο ISO για κάθε επίπεδο τυποποιεί τις υπηρεσίες που αυτό προσφέρει και τα πρωτόκολλα που το αφορούν.



Σχήμα 3. Πρότυπο OSI

Τα χαμηλότερα επίπεδα είναι τα καλύτερα προσδιορισμένα καθώς ήδη υπάρχουν πολλά και αποδεκτά πρωτόκολλα. Τα τρία χαμηλότερα επίπεδα είναι τα καθαρά επικοινωνιακά επίπεδα που αναφέρονται στον τρόπο μετάδοσης και υλοποιούνται σε συσκευές επικοινωνίας (τηλεπικοινωνιακοί κόμβοι, modem, κλπ.). Τα υψηλότερα επίπεδα αναφέρονται σε λειτουργίες που σχετίζονται με τις εφαρμογές και υλοποιούνται κυρίως στους υπολογιστές.

Στις επόμενες παραγράφους παρατίθεται συνοπτική περιγραφή των επτά επιπέδων του OSI.

1.2.2.1. Φυσικό επίπεδο

Αφορά τη μετάδοση των bit μέσω των διαφόρων φυσικών μέσων. Συμπεριλαμβάνει τα ηλεκτρικά, μηχανικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των διασυνδέσεων (interface) των δύο υπολογιστικών συστημάτων, τα δύο φυσικά επίπεδα δηλαδή των συμβαλλομένων μερών. Στο επίπεδο αυτό καθορίζεται ο τύπος του connector, τα σήματα μετάδοσης, ο συγχρονισμός των συσκευών, με ποια ηλεκτρική τάση θα παρίσταται το 1 και με ποια το 0 κλπ.

Οι υπηρεσίες που προσφέρει πέρα από την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση της φυσικής σύνδεσης είναι η μεταφορά των δεδομένων σε μορφή bit, σύγχρονα ή ασύγχρονα και η επισήμανση σφαλμάτων μετάδοσης.

Παράδειγμα τεχνολογίας του φυσικού επιπέδου αποτελεί η χρήση της WDM τεχνολογίας για τη μετάδοση πάνω από οπτικές ίνες.

1.2.2.2. Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων (Data Link)

Ασχολείται με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά και τις διαδικασίες που απαιτούνται προκειμένου να αποκατασταθεί, να υποστηριχθεί και τέλος να τερματιστεί μια σύνδεση μεταξύ των δυο άκρων μιας γραμμής.

Βασικός σκοπός του επιπέδου αυτού είναι να παίρνει τα data από το φυσικό επίπεδο και να τα προωθεί στο ανώτερό του επίπεδο δικτύου, αφού πρώτα εκτελέσει μερικές ουσιώδεις λειτουργίες όπως είναι η ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων μετάδοσης που λαμβάνουν χώρα στο φυσικό επίπεδο και ο έλεγχος ροής των πληροφοριών. Περιλαμβάνει τις διαδικασίες και τις λειτουργίες για την αποκατάσταση μιας λογικής ζεύξης δεδομένων πάνω σε μια φυσική σύνδεση μεταξύ δύο γειτονικών σημείων στο δίκτυο, όπως μεταξύ δύο κόμβων ή μεταξύ κόμβου και υπολογιστή. Η μεταφορά των δεδομένων γίνεται με block ή frame με ταυτόχρονο έλεγχο και διόρθωση σφαλμάτων.

Οι υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο αυτό είναι:

- Αποκατάσταση και απελευθέρωση της ζεύξης δεδομένων
- Μεταφορά δεδομένων, αρίθμηση - συγχρονισμός frame, διαφάνεια μετάδοσης
- Έλεγχος σφαλμάτων και έλεγχος ροής των block ή frame

Παράδειγμα υλοποίησης του επιπέδου ζεύξης δεδομένων είναι η τεχνολογία Ethernet για τη διασύνδεση τοπικών δικτύων.

1.2.2.3. Επίπεδο Δικτύου (Network)

Ενώ το 2ο επίπεδο φροντίζει για την επικοινωνία μεταξύ των άκρων μιας απλής γραμμής, το 3ο επίπεδο παρέχει τα μέσα για την αποκατάσταση, υποστήριξη και τερματισμό συνδέσεων μεταξύ των ακραίων συνδρομητών ενός μεγάλου δικτύου. Βασικές λειτουργίες του επιπέδου είναι η δρομολόγηση των μηνυμάτων, η οργάνωσή τους σε πακέτα, η απαρίθμηση και η ταξινόμησή τους. Φροντίζει για τη διαφανή μετάδοση δεδομένων προς τα παραπάνω επίπεδα. Οι διαδρομές που ακολουθούνται στο δίκτυο περιλαμβάνουν πολλές φυσικές συνδέσεις και ζεύξεις δεδομένων (πρώτο και δεύτερο επίπεδο δηλαδή).

Οι υπηρεσίες που προσφέρει είναι:

- Αποκατάσταση και τερματισμός συνδέσεων μεταξύ διαφόρων ακραίων σημείων του δικτύου.
- Προσδιορισμός των ακραίων σημείων σύνδεσης με χρήση διευθύνσεων
- Μεταφορά δεδομένων (κυρίως σε μορφή πακέτων)
- Απαρίθμηση και έλεγχος σφαλμάτων
- Έλεγχος ροής δεδομένων

Παράδειγμα υλοποίησης του επιπέδου δικτύου είναι το IP πρωτόκολλο (εκδόσεις IPv4 και IPv6).

1.2.2.4. Επίπεδο Μεταφοράς (Transport)

Παρέχει εκείνες τις διαδικασίες και τα μέσα που απαιτούνται, προκειμένου να έχουμε επιτυχημένη από άκρο σε άκρο μεταφορά δεδομένων απαλλαγμένη λαθών. Παρέχει τις διαδικασίες για την αποκατάσταση της ορθότητας της πληροφορίας μετά από σφάλμα, τον έλεγχο ροής της πληροφορίας απ' άκρου εις άκρον και τον έλεγχο ακολουθίας των μηνυμάτων.

Το επίπεδο αυτό είναι ουσιαστικά ένα software interface μεταξύ των τριών χαμηλότερων επιπέδων του προτύπου OSI που συνήθως υλοποιούνται στις συσκευές επικοινωνίας, και των υψηλότερων επιπέδων που σχετίζονται στενότερα με τους υπολογιστές και τις εφαρμογές που αυτοί εξυπηρετούν. Στην ουσία είναι το πρώτο επίπεδο που είναι υπό τον έλεγχο του χρήστη. Φροντίζει για τη διαφανή μεταφορά δεδομένων προς τα ανώτερα επίπεδα σύμφωνα με προκαθορισμένο από το χρήστη βαθμό αξιοπιστίας.

Οι υπηρεσίες που προσφέρει είναι:

- Αποκατάσταση και τερματισμός της σύνδεσης σε επίπεδο μεταφοράς

- Μετάδοση δεδομένων σύμφωνα με τον απαιτούμενο από τον χρήστη βαθμό αξιοπιστίας
- Καθορισμός και επιλογή από το χρήστη της ποιότητας εξυπηρέτησης της σύνδεσης
- Δυνατότητα πολύπλεξης μέσω της ίδιας ζεύξης
- Έλεγχος ροής

Παράδειγμα υλοποίησης του επιπέδου μεταφοράς είναι τα TCP και UDP.

1.2.2.5. Επίπεδο Συνόδου (Session)

Σκοπός του επιπέδου αυτού είναι η παροχή των αναγκαίων μέσων για την οργάνωση και το συγχρονισμό του διαλόγου μεταξύ των ανωτέρων επιπέδων από το επίπεδο συνόδου. Επιτρέπει ή απαγορεύει τη συγκεκριμένη παροχή υπηρεσίας, αποκαθιστά νέα σύνδεση όταν η πρώτη για κάποιο λόγο διακοπεί, επιτρέπει επικοινωνία αμφίδρομη, μονόδρομη κλπ.

Η διαδικασία της αποκατάστασης μίας συνόδου καλείται και binding και περιλαμβάνει λειτουργίες όπως η εξακρίβωση του χρήστη, η χρέωση, η ποιότητα της συνόδου κλπ. Σαν παράδειγμα αναφέρουμε τις διαδικασίες login και τον έλεγχο password για την είσοδο σε έναν υπολογιστή.

Το επίπεδο αυτό δίνει τα μέσα σε οντότητες του υψηλότερου επιπέδου (presentation) να οργανώσουν και να συγχρονίσουν τον διάλογό τους ώστε να εξασφαλίσουν την από άκρου σε άκρο επιτυχή μεταφορά δεδομένων.

Το επίπεδο συνόδου προσφέρει υπηρεσίες που προσθέτουν αξία στη λογική σύνδεση που έχει δημιουργηθεί μεταξύ των δύο άκρων μέσω των χαμηλότερων επιπέδων.

Οι υπηρεσίες αυτές επιγραμματικά είναι:

- Έναρξη και συντήρηση του διαλόγου
- Διαχείριση και έλεγχος προσπέλασης
- Επανορθωτικές διαδικασίες σε επίπεδο διαλόγου

Παράδειγμα υλοποίησης του επιπέδου συνόδου αποτελεί η υποστήριξη sessions σε εφαρμογές PHP πάνω από το πρωτόκολλο HTTP.

1.2.2.6. Επίπεδο Παρουσίασης (Presentation)

Ασχολείται με την αναπαράσταση της πληροφορίας που μεταφέρεται από εφαρμογή σε εφαρμογή, καθώς επίσης και με τη δομή των δεδομένων. Επιχειρεί δηλαδή την κατάλληλη τροποποίηση των δεδομένων ώστε να είναι κατανοητά από την εφαρμογή και έτσι ώστε οι συνδέσεις δύο υπολογιστών να μην απαιτούν υποχρεωτικά τη χρήση κοινού κώδικα. Σε αυτό το επίπεδο πραγματοποιούνται κυρίως οι διαδικασίες κρυπτογράφησης, συμπίεσης δεδομένων (data compression), ο μετασχηματισμός των κωδικών (protocol conversion) και των διαφόρων μορφών των αρχείων καθώς και η μετατροπή των χαρακτηριστικών του συγκεκριμένου τερματικού. Μέσω λοιπόν του επιπέδου παρουσίασης μπορούν να επικοινωνούν δύο υπολογιστές με διαφορετικούς κώδικες. Το επίπεδο παρουσίασης επιτρέπει σε μία εφαρμογή να μεταφράζει όταν απαιτείται τη σημασία της μεταφερόμενης πληροφορίας.

Εν συντομία οι υπηρεσίες που προσφέρονται είναι:

- Μετατροπή σύνταξης δεδομένων, όπως μετατροπή οικογενειών χαρακτήρων ή μετατροπή κωδικών, για παράδειγμα από ASCII σε EBCDIC
- Συμπίεση και αποσυμπίεση δεδομένων (Data compression)
- Κρυπτογράφηση για ασφαλή μεταφορά (Encryption)
- Μετάφραση κωδικοποίησης πληροφορίας για χρήση σε οθόνες και τερματικά (χρήση των attributes για την οθόνη)

Λειτουργίες επιπέδου παρουσίασης υλοποιεί για παράδειγμα ένας σύγχρονος HTTP web browser.

1.2.2.7. Επίπεδο Εφαρμογών (Application)

Είναι το τελευταίο επίπεδο προς το χρήστη, αυτό που παρέχει τον τρόπο για να μπορεί η μία εφαρμογή να συνομιλεί με την άλλη.

Το επίπεδο εφαρμογών είναι το υψηλότερο επίπεδο του προτύπου OSI και αποτελεί το interface μεταξύ της εφαρμογής και των λοιπών επιπέδων του προτύπου. Οι λειτουργίες του επιπέδου αυτού προσδιορίζονται σε μεγάλο βαθμό από το χρήστη του δικτύου γι' αυτό και οι τυποποιήσεις του είναι οι λιγότερο καθορισμένες.

Υπηρεσίες που προσφέρει το 7ο επίπεδο εκτός από τη μεταφορά πληροφορίας είναι:

- Εξακρίβωση της ταυτότητας των εφαρμογών που θέλουν να επικοινωνήσουν
- Επιβεβαίωση της διαθεσιμότητάς τους για συνομιλία
- Επιβεβαίωση /έλεγχος στο δικαίωμα συνομιλίας
- Συμφωνία στις αρμοδιότητες για το πώς θα γίνουν οι επανορθωτικές διαδικασίες
- Συμφωνία στις διαδικασίες για τον έλεγχο ροής των συναλλαγών και την αξιοπιστία της πληροφορίας

Παράδειγμα του επιπέδου εφαρμογής είναι οι εφαρμογές τηλεδιάσκεψης που χρησιμοποιούν προτυποποιημένα πρωτόκολλα όπως τα H.323 και SIP για την εγκαθίδρυση της συνομιλίας.

Στην πράξη πάντως, οι λειτουργίες των τριών τελευταίων επιπέδων (συνόδου, παρουσίασης και εφαρμογών) δεν διακρίνονται σαφώς και υλοποιούνται από την κάθε εφαρμογή που κάνει χρήση της δικτυακής στοίβας επιπέδου μεταφοράς (TCP/IP) του λειτουργικού συστήματος.

1.3. ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η μετάδοση δεδομένων λαμβάνει χώρα μεταξύ εκπομπού και δέκτη πάνω από κάποιο μέσο μετάδοσης. Τα μέσα μετάδοσης μπορούν να χαρακτηρισθούν ως κατευθυνόμενα (guided) και μη κατευθυνόμενα (unguided), η δε επικοινωνία και στις δύο περιπτώσεις είναι υπό την μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Στα κατευθυνόμενα μέσα, τα κύματα οδηγούνται κατά μήκος ενός φυσικού μονοπατιού, π.χ. καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους, οπτική ίνα, ομοαξονικό καλώδιο. Τα μη κατευθυνόμενα μέσα παρέχουν τρόπους μετάδοσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων αλλά δεν τα κατευθύνουν. Παραδείγματα τέτοιων μέσων είναι η μετάδοση μέσα στο κενό, στον αέρα, στη θάλασσα.

Το μονοπάτι μετάδοσης μεταξύ δύο συσκευών, μέσα από το οποίο μεταδίδονται σήματα κατευθείαν από τον εκπομπό στον δέκτη χωρίς να παρεμβάλλονται ενδιάμεσα άλλες συσκευές εκτός από ενισχυτές ή επαναλήπτες, που χρησιμεύουν στην ενίσχυση του σήματος, ονομάζεται κατευθείαν σύνδεσμος (direct link). Ο όρος αυτός ισχύει τόσο για κατευθυνόμενα όσο και για μη κατευθυνόμενα μέσα. Ένα κατευθυνόμενο μέσο μετάδοσης παρέχει σύνδεση σημείου προς σημείο (point-to-point) αν αποτελεί έναν κατευθείαν σύνδεσμο μεταξύ δύο συσκευών, οι οποίες είναι οι μοναδικές συσκευές που μοιράζονται το μέσο. Αν περισσότερες από δύο συσκευές μοιράζονται το μέσο τότε έχουμε σύνδεση πολλαπλών σημείων (multipoint).

Μία μετάδοση μπορεί να είναι μονόδρομη (simplex), αμφίδρομη εναλλασσόμενη (half duplex) ή αμφίδρομη ταυτόχρονη (full duplex). Σε μία μονόδρομη μετάδοση τα σήματα μεταδίδονται μόνο προς μία κατεύθυνση, ένας σταθμός είναι ο εκπομπός και ο άλλος ο δέκτης. Στην αμφίδρομη εναλλασσόμενη μετάδοση και οι δύο σταθμοί μπορούν να είναι εκπομποί αλλά κάθε φορά μεταδίδει μόνο ο ένας. Στην αμφίδρομη ταυτόχρονη μετάδοση και οι δύο σταθμοί μπορούν να μεταδίδουν ταυτόχρονα. Στην περίπτωση αυτή το μέσο μετάδοσης μεταφέρει σήματα ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις.

Τα δεδομένα μεταφέρονται πάνω από το μέσο μετάδοσης με την χρήση ηλεκτρικών σημάτων που το κάθε ένα περιέχει μία ζώνη συχνοτήτων, που ονομάζεται φάσμα (spectrum). Το πλάτος του φάσματος ονομάζεται απόλυτο εύρος ζώνης (absolute bandwidth). Τα περισσότερα σήματα έχουν άπειρο απόλυτο εύρος ζώνης, το μεγαλύτερο όμως ποσοστό της ενέργειας του σήματος περιέχεται σε μία στενή ζώνη συχνοτήτων που ονομάζεται αποδοτικό εύρος ζώνης ή απλά εύρος ζώνης (effective bandwidth). Υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ του εύρους ζώνης και του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων (ρυθμός μετάδοσης είναι ο ρυθμός σε bits per second με τον οποίο μπορούν να μεταδοθούν δεδομένα). Όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ενός σήματος, τόσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ζώνης. Αντίστροφα, όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ζώνης ενός συστήματος μετάδοσης τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων για το σύστημα αυτό.

Η μετάδοση δεδομένων από ένα σημείο προς ένα άλλο εμπλέκει τρεις παράγοντες, την φύση των δεδομένων, το φυσικό μέσο που χρησιμοποιείται για την μεταφορά των δεδομένων και την επεξεργασία ή τις τροποποιήσεις που μπορεί να απαιτούνται κατά μήκος της διαδρομής μετάδοσης ώστε να γίνει σωστή λήψη των μεταδιδόμενων δεδομένων.

Τα δεδομένα μπορούν να ορισθούν ως οντότητες που μεταφέρουν πληροφορία και είναι δύο ειδών αναλογικά και ψηφιακά. Τα αναλογικά δεδομένα λαμβάνουν συνεχείς τιμές πάνω σε κάποιο διάστημα. Τυπικά παραδείγματα αναλογικών δεδομένων είναι ο ήχος και η κινούμενη εικόνα. Τα ψηφιακά δεδομένα παίρνουν διακριτές τιμές και τέτοια παραδείγματα είναι το κείμενο και οι ακέραιοι.

Τα δεδομένα διαδίδονται από το ένα σημείο στο άλλο μέσω ηλεκτρικών σημάτων που είναι και αυτά δύο ειδών, τα αναλογικά και τα ψηφιακά σήματα. Το αναλογικό σήμα είναι ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο ηλεκτρομαγνητικό κύμα που μπορεί να διαδοθεί μέσα από μία πληθώρα μέσων όπως τα συρμάτινα μέσα (καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους, ομοαξονικό καλώδιο), οι οπτικές ίνες, η ατμόσφαιρα, κ.λπ. Το ψηφιακό σήμα είναι μία ακολουθία από παλμούς τάσης, π.χ. ένα σταθερό θετικό επίπεδο τάσης αναπαριστά το 1 ενώ ένα σταθερό αρνητικό επίπεδο τάσης αναπαριστά το 0, που μπορούν να μεταδοθούν μέσω ενός συρμάτινου μέσου.

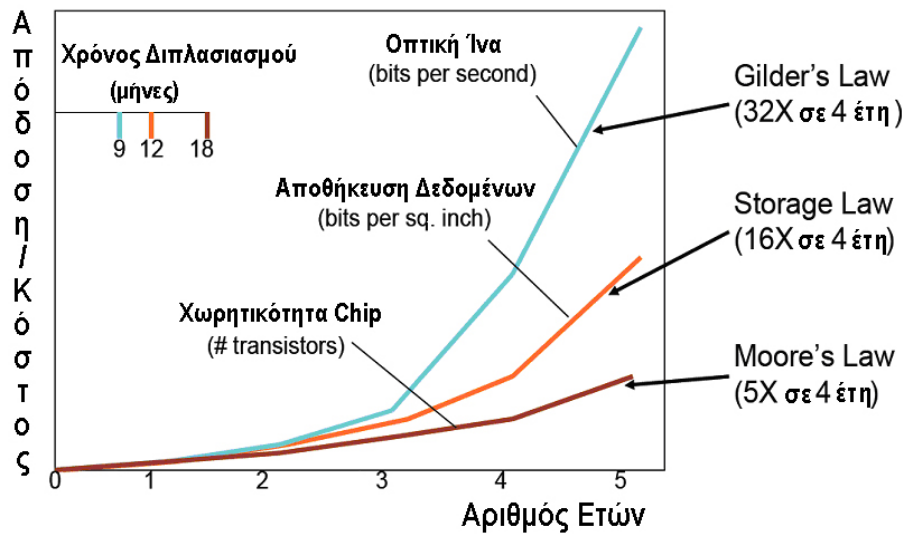
Ο συνδυασμός των δύο ειδών δεδομένων και των δύο ειδών σημάτων δίνει τέσσερις τρόπους μετάδοσης και συγκεκριμένα:

- Μετάδοση αναλογικών δεδομένων με χρήση αναλογικών σημάτων
- Μετάδοση αναλογικών δεδομένων με χρήση ψηφιακών σημάτων
- Μετάδοση ψηφιακών δεδομένων με χρήση αναλογικών σημάτων
- Μετάδοση ψηφιακών δεδομένων με χρήση ψηφιακών σημάτων

Για να μεταφερθούν τα δεδομένα μέσω σημάτων είναι αναγκαία η χρήση μεθόδων που κωδικοποιούν τα δεδομένα πάνω στο χρησιμοποιούμενο αναλογικό ή ψηφιακό σήμα. Η μετάδοση δεδομένων με χρήση αναλογικών σημάτων ονομάζεται αναλογική μετάδοση ενώ η μετάδοση δεδομένων με χρήση ψηφιακών σημάτων ονομάζεται ψηφιακή μετάδοση.

1.4. ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΟΤΗΤΑ

Η ταχύτατη ανάπτυξη των νέων δικτυακών τεχνολογιών και η επερχόμενη σύγκλιση των τηλεπικοινωνιών, πληροφορικής και ηλεκτρονικών μέσω μαζικής ενημέρωσης επιφέρουν σημαντικές ανατροπές στα οικονομικά μοντέλα ανάπτυξης στους τομείς των Τηλεπικοινωνιών, της Πληροφορικής, των Υπηρεσιών και του Εμπορίου. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η ανάπτυξη διαφόρων τεχνολογιών, όπως στις οπτικές ίνες, στα μέσα αποθήκευσης και στα chips, σε χρονικό διάστημα πενταετίας. Από αυτό το σχήμα είναι εμφανής η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας των οπτικών ινών με την οποία μπορεί να επιτευχθεί πολύ υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και συνεπώς πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Η εξέλιξη αυτή επιβεβαιώνει τη αλματώδη ανάπτυξη στις δικτυακές τεχνολογίες τα τελευταία χρόνια.



Σχήμα 4. Η Εξέλιξη των Τεχνολογιών

Παράλληλα, η ταχύτατη ανάπτυξη των νέων δικτυακών τεχνολογιών και η επερχόμενη σύγκλιση τηλεπικοινωνιών, πληροφορικής και ηλεκτρονικών μέσω μαζικής ενημέρωσης επιδρούν καθοριστικά και στα κοινωνικά μοντέλα οργάνωσης που σκοπό έχουν την εξασφάλιση της συμμετοχής, της συνοχής και της ισονομίας

των πολιτών, την ισότιμη επικοινωνία και την πρόσβαση στη γνώση. Η ανταγωνιστικότητα ενός κράτους στο σημερινό περιβάλλον υψηλής τεχνολογίας και ψηφιακής σύγκλισης, συσχετίζεται έντονα με την ύπαρξη προηγμένων δικτυακών υποδομών υψηλής ποιότητας, χωρητικότητας και απόδοσης, ορθολογικά ανεπτυγμένων και κοστολογημένων, οι οποίες προσφέρουν εύκολη, ασφαλή και αδιάλειπτη πρόσβαση στο διεθνές «ηλεκτρονικό πλέγμα» της γνώσης και του εμπορίου, με προσιτά τιμολόγια χωρίς τεχνητούς αποκλεισμούς.

Ο όρος ο οποίος έχει επικρατήσει διεθνώς για την περιγραφή των παραπάνω δικτύων είναι ο όρος «Broadband» και η ελληνική του μετάφραση «ευρυζωνικότητα».

Ως ευρυζωνικότητα με την ευρεία έννοια ορίζεται ως το προηγμένο, εφικτό και καινοτόμο από πολιτική, κοινωνική, οικονομική και τεχνολογική άποψη περιβάλλον, αποτελούμενο από:

- Την παροχή γρήγορων συνδέσεων στο Διαδίκτυο σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού, με ανταγωνιστικές τιμές (με τη μορφή καταναλωτικού αγαθού), χωρίς εγγενείς περιορισμούς στα συστήματα μετάδοσης και τον τερματικό εξοπλισμό των επικοινωνούντων άκρων
- Την κατάλληλη δικτυακή υποδομή που: α) επιτρέπει την κατανεμημένη ανάπτυξη υπαρχόντων και μελλοντικών δικτυακών εφαρμογών και πληροφοριακών υπηρεσιών, β) δίνει τη δυνατότητα αδιάλειπτης σύνδεσης των χρηστών σε αυτές γ) ικανοποιεί τις εκάστοτε ανάγκες των εφαρμογών σε εύρος ζώνης, αναδραστικότητα και διαθεσιμότητα, και δ) είναι ικανή να αναβαθμίζεται συνεχώς και με μικρό επιπλέον κόστος ώστε να εξακολουθεί να ικανοποιεί τις ανάγκες όπως αυτές αυξάνουν και μετεξελίσσονται με ρυθμό και κόστος που επιτάσσονται από την πρόοδο της πληροφορικής και της τεχνολογίας επικοινωνιών
- Τη δυνατότητα του πολίτη να επιλέγει α) ανάμεσα σε εναλλακτικές προσφορές σύνδεσης που ταιριάζουν στον εξοπλισμό του, β) μεταξύ διαφόρων δικτυακών εφαρμογών και γ) μεταξύ διαφόρων υπηρεσιών πληροφόρησης και ψυχαγωγίας και με πιθανή συμμετοχή του ίδιου του πολίτη στην παροχή περιεχομένου, εφαρμογών και υπηρεσιών
- Το κατάλληλο ρυθμιστικό πλαίσιο αποτελούμενο από πολιτικές, μέτρα, πρωτοβουλίες, άμεσες και έμμεσες παρεμβάσεις, αναγκαίες για την ενδυνάμωση της καινοτομίας, την προστασία του ανταγωνισμού και την εγγύηση σοβαρής ισορροπημένης οικονομικής ανάπτυξης ικανής να προέλθει από τη γενικευμένη συμμετοχή στην Ευρυζωνικότητα και την Κοινωνία της Πληροφορίας.

Η Ευρυζωνική πρόσβαση, υπό τη στενή έννοια, ταυτίζεται με την ικανότητα μεταφοράς μεγάλου όγκου πληροφορίας μεταξύ επικοινωνούντων συστημάτων και τελικών χρηστών με έμφαση στην δυνατότητα συνεχούς σύνδεσης με παρόχους πολυμεσικού περιεχομένου και την μετάδοση στο βρόχο πρόσβασης (τελευταίο μίλι) καλής ποιότητας διαδραστικού video. Προϋποθέτει πολιτικές και οικονομικές συνθήκες που διασφαλίζουν την επεκτασιμότητα, κλιμάκωση και βιωσιμότητα υποδομών και υπηρεσιών, με απαραίτητο όρο την ύπαρξη δικτυακών υποδομών κορμού υπέρ-υψηλών ταχυτήτων και αντιστοίχου όγκου, ενδιαφέροντος και οικονομικής αξίας διακινούμενης πληροφορίας.

1.5. Η ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η σπουδαιότητα των ευρυζωνικών υποδομών διεθνώς επιβεβαιώνεται από τη δραστηριοποίηση διαφόρων προηγμένων χωρών ώστε να αναπτυχθούν οι κατάλληλες ευρυζωνικές υποδομές, και να υιοθετηθούν με τρόπο επικουρικό στην ανάπτυξη της οικονομίας και στην αντιμετώπιση τυχόν «τεχνολογικών αποκλεισμών» των πολιτών. Οι εξελίξεις στον τομέα των ευρυζωνικών δικτύων και υποδομών αναμένεται να καθοριστούν διεθνώς τόσο από τους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς και τους παρόχους περιεχομένου όσο και από την απήχηση που θα έχουν οι νέες υπηρεσίες και οι εφαρμογές στους τελικούς χρήστες, αλλά και από τις πολιτικές που θα ακολουθήσει το κάθε κράτος. Η πολιτεία στο ρόλο ενός σημαντικού χρήστη τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών και κατά συνέπεια μεγάλου πελάτη, μπορεί μέσα από την προσπάθεια κάλυψης των αναγκών της να λειτουργεί ως καταλύτης σημαντικών αλλαγών στην εξέλιξη της τηλεπικοινωνιακής αγοράς.

Επομένως, ο σημαντικός ρόλος των ευρυζωνικών δικτύων στην ανάπτυξη μιας χώρας μπορεί να επιβεβαιωθεί και από την έντονη δραστηριοποίηση πολλών κρατών, τα οποία τοποθετούν τα έργα υλοποίησης τέτοιων υποδομών ως βασικό στρατηγικό τους στόχο. Ακόμη, η ανάπτυξη τέτοιων δικτύων έχει υιοθετηθεί από την κοινή Ευρωπαϊκή πολιτική για την υλοποίηση της Κοινωνίας της Πληροφορίας καθώς επίσης και από μεγάλους οργανισμούς όπως είναι ο μεγάλος οικονομικός αναπτυξιακός οργανισμός ΟΟΣΑ. Το σχέδιο δράσης eEurope 2005, που εγκρίθηκε από τους αρχηγούς κρατών και κυβερνήσεων στο Ευρωπαϊκό Συμβούλιο της Σεβίλλης τον Ιούνιο του 2002, θέτει την ευρυζωνική πρόσβαση σημαντική προτεραιότητα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στο σχέδιο αυτό αναφέρεται για πρώτη φορά η έννοια της ευρυζωνικής πρόσβασης, ενώ έχει σαν στόχους την τόνωση της ανάπτυξης υπηρεσιών, εφαρμογών και περιεχομένου με παράλληλη επιτάχυνση της παροχής ασφαλούς ευρυζωνικής πρόσβασης στο Internet, σύγχρονες δικτυακές δημόσιες υπηρεσίες, ηλεκτρονική διακυβέρνηση (e-government), ηλεκτρονικές υπηρεσίες μάθησης (e-learning), ηλεκτρονικές υπηρεσίες υγείας (e-health), δυναμικό περιβάλλον για το ηλεκτρονικό επιχειρείν (e-business), ασφαλή υποδομή πληροφοριών, μαζική διάθεση ευρυζωνικής πρόσβασης σε ανταγωνιστικές τιμές και συγκριτική αξιολόγηση της προόδου και διάδοση ορθών πρακτικών.

Στην Ελλάδα, η ανάγκη για ευρυζωνική πρόσβαση είναι εξίσου δεδομένη όπως ακριβώς και στις άλλες χώρες. Ωστόσο, η Ελλάδα υστερεί σε σχέση με άλλες ανεπτυγμένες χώρες όσον αφορά την ανάπτυξη προηγμένων τηλεπικοινωνιακών υποδομών αλλά και δικτυακών υπηρεσιών προς τους πολίτες. Μετά την απελευθέρωση της αγοράς των τηλεπικοινωνιών το 2001 (τελευταία από τις τότε 15 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης), αρκετές εταιρείες δραστηριοποιούνται στην παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Η συντονισμένη υλοποίηση των κατάλληλων ευρυζωνικών υποδομών αναμένεται να βελτιώσει σημαντικά τις συνθήκες της αγοράς, να προωθήσει την καινοτομία στην παροχή δικτυακών υπηρεσιών και εφαρμογών και να αυξήσει την επιχειρηματικότητα κυρίως σε ότι σχετίζεται με τις νέες τεχνολογίες.

Επιπλέον υπάρχει μια έντονη δραστηριοποίηση για τον εκσυγχρονισμό του δημόσιου τομέα εκτελώντας μεγάλα έργα ψηφιοποίησης δεδομένων και πληροφοριών και αυτοματοποίησης των εσωτερικών διαδικασιών και των παρεχόμενων υπηρεσιών προς τους πολίτες. Προκειμένου να είναι καθολικά αξιοποιήσιμο το αποτέλεσμα αυτών των προσπαθειών, θα πρέπει να αναπτυχθούν οι κατάλληλες υποδομές. Το γεγονός αυτό έχει αναγνωριστεί και πολλοί κρατικοί φορείς έχουν ήδη

προγραμματίζει την υλοποίηση τέτοιων έργων μέσα από τα επιχειρησιακά τους σχέδια. Οι ευρυζωνικές υποδομές έχουν όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που θα διασφαλίσουν την ποιοτική υποστήριξη των αναγκών του δημόσιου τομέα αλλά και την αξιόπιστη, γρήγορη και αποδοτική παροχή των υπηρεσιών προς τους πολίτες. Επίσης, η συγκέντρωση της ζήτησης, η διάθεση των πόρων και η ανταλλαγή των εμπειριών μεταξύ κυβέρνησης, κοινωνικών και εκπαιδευτικών οργανισμών αλλά και του ιδιωτικού τομέα θα αποτρέψει την ανάπτυξη πολλαπλών υποδομών, ενώ αναμένεται να μειώσει το σημαντικό κόστος που καταβάλλεται σήμερα για τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες.

1.6. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Τα πλεονεκτήματα της Ευρυζωνικής Πρόσβασης γίνονται αντιληπτά αν αξιολογήσουμε τους τομείς στους οποίους βρίσκουν εφαρμογή οι ευρυζωνικές υπηρεσίες. Η ανάπτυξη ευρυζωνικών υπηρεσιών στη δημόσια διοίκηση, την παιδεία και την υγεία, αποδεικνύονται μείζονος σημασίας για την βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών. Οι επιπτώσεις αυτές θα είναι ιδιαίτερα έντονες και άμεσα αντιληπτές στην καθημερινή ζωή του πολίτη. Οι επιπτώσεις αυτές δεν θα αφορούν όμως μόνο το δημόσιο τομέα. Στον ιδιωτικό τομέα, η έλευση ευρυζωνικών υπηρεσιών δημιουργεί νέους ορίζοντες στην οικονομία, ενώ προσφέρει μείωση του κόστους και αύξηση της ποιότητας των παρεχόμενων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Τέλος, η ανάπτυξη των κατάλληλων ευρυζωνικών υποδομών που θα είναι προσβάσιμες και προσιτές σε όλους, γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ των πολιτών της περιφέρειας και δίνει ίσες ευκαιρίες και δυνατότητες για την εξέλιξη των τοπικών κοινωνιών.

1.6.1. Προοπτικές στη ζωή των πολιτών

Τα ευρυζωνικά δίκτυα θα προσφέρουν στους χρήστες πρόσβαση σε μια μεγάλη ποικιλία εξελιγμένων υπηρεσιών και εφαρμογών. Μπορούμε ήδη να αναγνωρίσουμε τις εφαρμογές και τις υπηρεσίες εκείνες που θα έχουν ένα πρωταγωνιστικό ρόλο στο άμεσο μέλλον. Σε αυτές μπορεί κανείς να συμπεριλάβει όλες τις «τηλε»-υπηρεσίες (π.χ., τηλε-εργασία, τηλε-εκπαίδευση, τηλε-ιατρική, τηλε-συνεδρίαση κτλ.), δικτυακές υπηρεσίες ανάμεσα σε ομότιμους κόμβους (peer-to-peer networking services), μετάδοση video υψηλής ποιότητας, αλληλεπιδραστικά παιχνίδια, καθώς και ένα μεγάλο σύνολο υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας που σχετίζονται με την παροχή πληροφοριών, ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων αλλά και εμπορικών συναλλαγών. Με την έλευση αυτών των υποδομών, οι χρήστες θα απολαμβάνουν συνδέσεις υψηλού εύρους ζώνης με συνεχή πρόσβαση στις νέες εφαρμογές και υπηρεσίες, αλλάζοντας και πολλαπλασιάζοντας έτσι δραματικά τις σημερινές δυνατότητες πρόσβασης τους στο Διαδίκτυο. Τα χαρακτηριστικά αυτά αναμένεται να ενισχύσουν σημαντικά και τις δραστηριότητες του ηλεκτρονικού εμπορίου και κατά συνέπεια την οικονομία ενός κράτους. Αναμφισβήτητα λοιπόν τα πλεονεκτήματα που απορρέουν από την δημιουργία τέτοιων υποδομών είναι πολλά. Λέγεται ότι τα δίκτυα αυτά πρόκειται να αλλάξουν για πάντα τον τρόπο με τον οποίο επικοινωνούμε, ενημερωνόμαστε, συλλέγουμε και επεξεργαζόμαστε πληροφορίες, εργαζόμαστε, εκπαιδευόμαστε, συναλλασσόμαστε, ψυχαγωγούμαστε, απολαμβάνουμε ένα πιο εξελιγμένο σύστημα υγείας και συμμετέχουμε στις εκπαιδευτικές και ερευνητικές δραστηριότητες.

Έτσι οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως η ανάπτυξη ευρυζωνικών δικτυακών υποδομών θα βελτιώσει την καθημερινή ζωή των πολιτών και θα βοηθήσει στην οικοδόμηση της Κοινωνίας της Πληροφορίας, η οποία θα αντιμετωπίζει με αποτελεσματικότητα τις ανάγκες των πολιτών αλλά και θα γεφυρώνει το ψηφιακό χάσμα που αντιμετωπίζουν κοινωνικές και γεωγραφικά αποκλεισμένες ομάδες.

1.6.2. Προοπτικές στο Δημόσιο και Ιδιωτικό Τομέα

Η εγκατάσταση ευρυζωνικών δικτύων και υποδομών σε μία χώρα μπορεί να επιφέρει σημαντικές αλλαγές τόσο στο δημόσιο όσο και στον ιδιωτικό τομέα. Πιο συγκεκριμένα, οι υποδομές αυτές δίνουν τη δυνατότητα μιας αποδοτικότερης αλληλεπίδρασης μεταξύ δημόσιων υπηρεσιών και πολιτών μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να βελτιωθούν και να απλοποιηθούν σημαντικά οι παρεχόμενες υπηρεσίες του κράτους προς τους πολίτες και τις επιχειρήσεις. Επίσης, με την εξασφάλιση των κατάλληλων υποδομών δίνεται η δυνατότητα αξιοποίησης των νέων εφαρμογών και υπηρεσιών γεγονός που έχει σημαντικές επιπτώσεις στην προσπάθεια παροχής εκπαιδευτικών και ερευνητικών δραστηριοτήτων υψηλού επιπέδου. Αντίστοιχα πλεονεκτήματα μπορεί να παρατηρήσει κανείς και στον τομέα της υγείας αφού τα νέα δίκτυα δίνουν τη δυνατότητα παροχής υπηρεσιών υψηλής ποιότητας ανεξάρτητα από τη γεωγραφική περιοχή.

Παράλληλα οι ιδιωτικές επιχειρήσεις, μέσω των καινοτόμων χαρακτηριστικών των ευρυζωνικών δικτύων και υπηρεσιών θα μπορέσουν να έχουν μια δυναμική οικονομική ανάπτυξη. Η ανάπτυξη αυτή θα βασιστεί στην απλοποίηση του τρόπου εισαγωγής των επιχειρήσεων στο νέο ψηφιακό περιβάλλον, στην υλοποίηση νέων εξελιγμένων και αποδοτικών μηχανισμών διαφήμισης και προώθησης των προϊόντων και των υπηρεσιών τους, αλλά και στην ελαχιστοποίηση της σημασίας της γεωγραφικής περιοχής στην οποία εδρεύει και λειτουργεί μια επιχείρηση. Η ανάπτυξη των δραστηριοτήτων στον τομέα του ηλεκτρονικού εμπορίου, έχει διεθνώς αναγνωριστεί ότι μπορεί να ανατρέψει τα σημερινά δεδομένα για την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων.

1.6.3. Δυνατότητα γεφύρωσης του ψηφιακού χάσματος

Το πιο επαναστατικό χαρακτηριστικό των ευρυζωνικών δικτύων είναι η εξάλειψη σημαντικών παραγόντων «αποκλεισμού» μεγάλων ομάδων πληθυσμού και περιοχών της χώρας, όπως της απόστασης και του χρόνου. Η εγκατάσταση ευρυζωνικών υποδομών μπορεί να λειτουργήσει ευεργετικά στη γεφύρωση του ψηφιακού χάσματος, κυρίως σε απομακρυσμένες και λιγότερο ανεπτυγμένες περιοχές, οι οποίες συνήθως είναι αυτές που αντιμετωπίζουν τους πιο έντονους τεχνολογικούς αποκλεισμούς.

Η έλλειψη πρόσβασης σε αυτού του είδους τα δίκτυα και τις υπηρεσίες αναμένεται να επιφέρει οικονομική στασιμότητα ή επιβράδυνση στην ανάπτυξη μιας τοπικής οικονομίας. Η ύπαρξη παρωχημένων δικτυακών υποδομών θα οδηγήσει στην αποτυχία συγκέντρωσης νέων μορφών επενδύσεων υψηλής τεχνολογίας σε μία περιοχή, ενώ θα θέτει συνεχή προβλήματα στην διαφήμιση και προώθηση των τοπικών προϊόντων και υπηρεσιών. Επιπρόσθετα, τα εξελιγμένα συστήματα υγείας δεν θα μπορούν να λειτουργήσουν στο μέγιστο των δυνατοτήτων τους στερώντας

έτσι από τους πολίτες τα σημαντικά τους οφέλη. Παρόμοια προβλήματα αναμένεται να παρουσιαστούν και στους τομείς της έρευνας και της εκπαίδευσης. Η αδυναμία υποστήριξης εξελιγμένων εκπαιδευτικών διαδικασιών αναμένεται να επιφέρει σημαντικά προβλήματα δεδομένου ότι δεν είναι δυνατή η υποστήριξη διαφόρων δράσεων όπως αυτές που σχετίζονται με την κατάρτιση και δια βίου μάθηση των πολιτών. Όπως έχει αναγνωρισθεί από τα όργανα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι δράσεις αυτές έχουν ιδιαίτερη σημασία για την διατήρηση της ανταγωνιστικότητας μιας χώρας, για την αντιμετώπιση της ανεργίας και για την συνεχή αναβάθμιση του ανθρώπινου δυναμικού της.

1.7. ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΜΕΣΩ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Το εύρος των δυνατοτήτων που παρέχουν τα ευρυζωνικά δίκτυα είναι τόσο μεγάλο, ώστε συχνά θεωρείται ότι τα ευρυζωνικά δίκτυα θα είναι για τον 21ο αιώνα τόσο κριτικής σημασίας όσο ήταν για τον 19ο αιώνα οι δρόμοι, τα κανάλια των ποταμών και οι σιδηροδρομικές γραμμές και για τον 20ο αιώνα τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα και τα ταχύτατα μέσα μαζικής μεταφοράς. Οι βασικότερες κατηγορίες υπηρεσιών εντοπίζονται στους ακόλουθους τομείς:

- Στον τομέα της εκπαίδευσης, όπου με τις εφαρμογές e-learning προσφέρονται νέες δυνατότητες, όπως η παροχή on-line μαθημάτων με χαμηλό κόστος, η πρόσβαση παραδοσιακών μαθητών και φοιτητών σε πρόσθετο εκπαιδευτικό υλικό από το σπίτι τους και η δημιουργία και αξιοποίηση on-line βιβλιοθηκών.
- Στον τομέα της υγείας, όπου με εφαρμογές τηλεϊατρικής (e-health) παρέχονται πρωτόγνωρες δυνατότητες εξέτασης ασθενών από απόσταση και αρχικής διάγνωσης ασθενειών. Παράλληλα παρέχεται η δυνατότητα αποτελεσματικότερης αντιμετώπισης έκτακτων περιστατικών (ατυχημάτων), μέσω της μεταφοράς δεδομένων και της καθοδήγησης του προσωπικού άμεσης βοήθειας (από ειδικευμένο ιατρικό προσωπικό στο νοσοκομείο ή σε ένα κεντρικό σημείο βοήθειας) στο σημείο του συμβάντος ή κατά την μεταφορά του τραυματία.
- Στον τομέα της εξυπηρέτησης του πολίτη, όπου με τις εφαρμογές e-government παρέχεται η δυνατότητα εξυπηρέτησης του πολίτη και των επιχειρήσεων από το σπίτι ή την έδρα τους 7 ημέρες την εβδομάδα 24 ώρες την ημέρα, χωρίς να χάνεται χρόνος σε μεταβάσεις και ουρές και εξαλείφοντας φαινόμενα διαφθοράς. Αν και σε ορισμένο βαθμό η χρήση ορισμένων εφαρμογών είναι δυνατή και με απλές συνδέσεις dialup, τα ευρυζωνικά δίκτυα δημιουργούν προϋποθέσεις για ανάπτυξη νέων εφαρμογών, όπως υποβολή σχεδίων για έκδοση οικοδομικών αδειών, ηλεκτρονική υποβολή συμβολαίων σε υποθηκοφυλακεία, υποβολή ολοκληρωμένου φακέλου (με σχέδια) για έγκριση στεγαστικού δανείου, κλπ.
- Στον τομέα του παραδοσιακού επιχειρείν τα ευρυζωνικά δίκτυα προσφέρουν νέες δυνατότητες, όπως ενδεικτικά η γρήγορη αναζήτηση προϊόντων από τους πελάτες, πρόσβαση σε αυξημένο πλήθος πληροφοριών για τα προϊόντα, όπως φωτογραφίες, video, κλπ., δυνατότητες καλύτερης επικοινωνίας και συντονισμού των επιχειρήσεων με τους προμηθευτές τους και τα δίκτυα πωλήσεών τους. Παράλληλα δημιουργούνται και οι προϋποθέσεις για την εισαγωγή νέων προϊόντων ψηφιακής μορφής, όπως βιβλία, προσωποποιημένα CDs κλπ., αλλά και νέες προοπτικές για μια σειρά από επαγγελματίες, όπως νομικοί, οικονομολόγοι, οι οποίοι μπορούν εύκολα και γρήγορα να αναζητούν σε εξειδικευμένες βάσεις

δεδομένων που υπάρχουν στο διαδίκτυο στοιχεία απαραίτητα για την εργασία τους, όπως νόμοι, δικαστικές αποφάσεις, στατιστικά στοιχεία, ισολογισμοί εταιριών.

- Στον τομέα της επικοινωνίας η εισαγωγή των ευρυζωνικών δικτύων ανατρέπει πλήρως τα δεδομένα, τόσο σε επίπεδο κόστους όσο και σε επίπεδο νέων μεθόδων επικοινωνίας. Οι εφαρμογές μετάδοσης φωνής στο Internet (Voice over IP) αποκτούν με τα ευρυζωνικά δίκτυα επίπεδο υπηρεσίας αντίστοιχο με τα παραδοσιακά, τηλεφωνικά κανάλια με κόστος όμως υποπολλαπλάσιο. Παράλληλα, παρέχεται η δυνατότητα φθηνών τηλεδιασκέψεων σε συνδυασμό με εικόνα (videoconferencing) μειώνοντας την ανάγκη για μετακινήσεις και εξοικονομώντας κόστος και χρόνο.
- Στον τομέα της ενημέρωσης και της ψυχαγωγίας, όπου χάρη στην ευρυζωνικότητα αναπτύσσονται τα on-line παιχνίδια, η αμφίδρομη διαδραστική τηλεόραση (IPTV), η παρακολούθηση ταινιών με άμεση επιλογή από ηλεκτρονικές ταινιοθήκες (Video on Demand) με τον κάθε χρήστη να μπορεί να επιλέγει την ταινία που επιθυμεί να δει, η δυνατότητα άμεσης αγοράς της επιθυμητής μουσικής από ηλεκτρονικά δισκοπωλεία και η δυνατότητα μεταφοράς αρχείων μουσικής και video μεταξύ χρηστών σε peer to peer δίκτυα.

Πιο συγκεκριμένα, με τη ανάπτυξη και την ευρεία χρήση των ευρυζωνικών δικτύων καθίσταται δυνατή η δημιουργία και η παροχή νέων υπηρεσιών που αλλάζουν τον τρόπο ζωής και επικοινωνίας, όπως οι ακόλουθες:

1.7.1. Η υπηρεσία IPTV (Internet Protocol Television)

Η υπηρεσία IPTV (Internet Protocol Television), είναι ένα σύστημα ψηφιακής τηλεόρασης που μπορεί να μεταδοθεί στους συνδρομητές-χρήστες του διαδικτύου, μέσω του IP πρωτοκόλλου και μίας ευρυζωνικής σύνδεσης. Η μετάδοση IPTV προγραμμάτων μπορεί να παρέχεται δωρεάν ή και επί πληρωμή ενώ ήδη υπάρχουν εκατοντάδες δωρεάν IPTV τηλεοπτικά κανάλια στο διαδίκτυο.

Στην πραγματικότητα, η υπηρεσία IPTV αποτελεί την ταυτόχρονη μετάδοση ήχου, εικόνας και δεδομένων και ουσιαστικά η παροχή της κατέστη εφικτή τα τελευταία χρόνια λόγω της διάθεσης μεγάλου εύρους ζώνης και της παροχής υψηλών ταχυτήτων πρόσβασης στο Διαδίκτυο. Ιδιαίτερα, με την ταχύτατη ανάπτυξη των ευρυζωνικών συνδέσεων η υπηρεσία IPTV αναμένεται να επικρατήσει παγκοσμίως και να τύχει ευρείας αποδοχής ενώ ήδη κρίνεται ως μία πολύ επιτυχημένη υπηρεσία.

Ήδη βρίσκει εφαρμογή στο χώρο των επιχειρήσεων, αφού η υπηρεσία αυτή μπορεί να μεταδοθεί μέσω συνεργατικών LANs ή του δικτύου μίας επιχείρησης. Ωστόσο, αναμένεται ραγδαία ανάπτυξη της υπηρεσίας τα επόμενα χρόνια, ιδιαίτερα για τους οικιακούς χρήστες, οι οποίοι πλέον έχουν πιο εύκολη πρόσβαση σε ευρυζωνικές συνδέσεις. Ο χρήστης μπορεί να παρακολουθήσει το περιεχόμενο της υπηρεσίας IPTV που επιθυμεί μέσω ενός υπολογιστή ή μίας ειδικής set-top box (STB) συσκευής συνδεδεμένης στην τηλεόραση ή ακόμα και μέσω μίας τηλεφωνικής συσκευής. Ο ενδεικτικός, απαιτούμενος εξοπλισμός του χρήστη για την παρακολούθηση IPTV προγραμμάτων απεικονίζεται στο Σχήμα 5.



Σχήμα 5. Ο απαιτούμενος IPTV εξοπλισμός

Λόγω της χρήσης του IP πρωτοκόλλου, η υπηρεσία IPTV δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης τηλεοπτικών προγραμμάτων μέσω μίας διαδραστικής και εξατομικευμένης εμπειρίας για τους χρήστες. Για παράδειγμα, οι χρήστες μπορούν να πραγματοποιούν αναζήτηση περιεχομένου με βάση τον τίτλο μίας εκπομπής ή μίας ταινίας, με βάση το όνομα ενός ηθοποιού ή ακόμα και να παρακολουθούν τα στατιστικά ενός αθλητή κατά τη διάρκεια ενός αθλητικού γεγονότος. Επιπλέον, επειδή η υπηρεσία IPTV βασίζεται σε ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα δικτύωσης, υπόσχεται χαμηλότερο κόστος μετάδοσης τόσο για τους πάροχους όσο και για τους τελικούς χρήστες της υπηρεσίας αυτής.

Η υπηρεσία IPTV υποστηρίζει μετάδοση τόσο ζωντανών “live” τηλεοπτικών προγραμμάτων όσο και μετάδοση “playback” βίντεο ή όπως κοινώς αποκαλείται Video on Demand (VoD), η οποία περιγράφεται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα. Στην πρώτη περίπτωση, τα τηλεοπτικά προγράμματα μεταδίδονται από τον πάροχο σε μία προκαθορισμένη χρονική στιγμή. Για την ταυτόχρονη μετάδοση πολλών τηλεοπτικών προγραμμάτων απαιτείται τεράστια χωρητικότητα για το δίκτυο κορμού του πάροχου της υπηρεσίας IPTV η οποία, ωστόσο, μειώνεται δραστικά με χρήση της IP multicast μετάδοσης όπου όλες οι ροές (streams) προγραμμάτων μεταδίδονται μόνο μία φορά πάνω από το δίκτυο κορμού. Αντίθετα, στην περίπτωση του Video on Demand τα προγράμματα μεταδίδονται ξεχωριστά προς κάθε χρήστη μέσω μετάδοσης IP unicast, αφού ο χρήστης επιλέγει ο ίδιος το χρόνο έναρξης παρακολούθησης ενός τηλεοπτικού προγράμματος.

Συνήθως, πραγματοποιείται συμπίεση του βίντεο με MPEG-2 κωδικοποίηση. Ωστόσο, η χρήση MPEG-4 κωδικοποίησης η οποία οδηγεί σε μικρότερες απαιτήσεις εύρους ζώνης, τείνει να επικρατήσει και να υποκαταστήσει την MPEG-2 κωδικοποίηση. Κατόπιν, το κωδικοποιημένο περιεχόμενο αποστέλλεται είτε σε πολλούς συνδρομητές ταυτόχρονα στην περίπτωση της ζωντανής “live” μετάδοσης (IP multicast) είτε μεμονωμένα σε όσους συνδρομητές το ζητήσουν στην περίπτωση του Video on Demand (IP Unicast). Για τη μετάδοσή ζωντανών τηλεοπτικών προγραμμάτων, χρησιμοποιείται το Internet Group Management Protocol (IGMPv2) πρωτόκολλο για την σύνδεση σε ένα τηλεοπτικό κανάλι και για την εναλλαγή ανάμεσα σε διαφορετικά κανάλια, ενώ στην περίπτωση του Video on Demand χρησιμοποιείται το Real Time Streaming Protocol (RTSP).

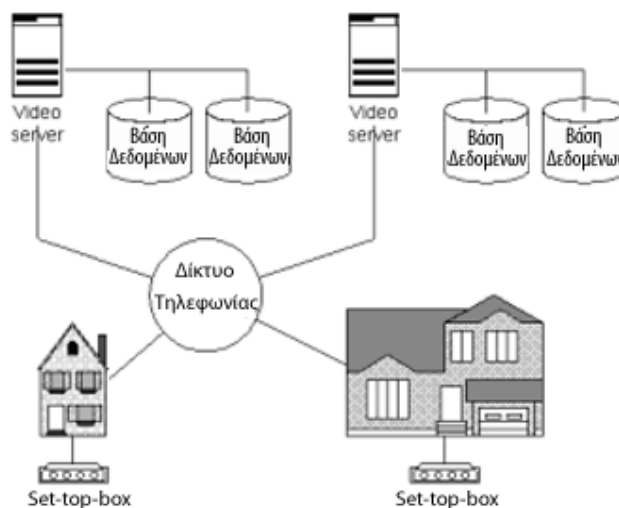
Για την μετάδοση της IPTV υπηρεσίας απαιτείται από την πλευρά του χρήστη μια ευρυζωνική σύνδεση της τάξης των 10 Mbps εάν χρησιμοποιείται MPEG-2 κωδικοποίηση, ενώ στη περίπτωση της MPEG-4 κωδικοποίησης απαιτείται

χωρητικότητα της τάξης 6-8 Mbps. Ωστόσο, μία σύνδεση των 8 Mbps τίθεται ως η ελάχιστη απαίτηση διότι επιτρέπει την ταυτόχρονη παρακολούθηση IP τηλεόρασης και χρήση του διαδικτύου. Για το λόγο αυτό, οι πάροχοι αναβαθμίζουν το δίκτυο τους για την παροχή υψηλότερων-ευρυζωνικών συνδέσεων που να εξασφαλίζουν τη μετάδοση μεγάλου πλήθους IPTV καναλιών και υψηλής ποιότητας ψηφιακής τηλεόρασης.

1.7.2. Η υπηρεσία VoD (Video on Demand)

Η υπηρεσία VoD (Video on Demand) επιτρέπει στους χρήστες να επιλέγουν και να βλέπουν ταινίες από ηλεκτρονικές ταινιοθήκες μέσω ενός αλληλεπιδραστικού συστήματος τηλεόρασης. Πιο συγκεκριμένα, οι χρήστες μπορούν να έχουν εύκολη και γρήγορη πρόσβαση σε μια μεγάλη ποικιλία από αρχεία βίντεο, τα οποία μπορούν να μεταφερθούν και να αναπαραχθούν τοπικά μέσω μίας δικτυακής υποδομής, όπως διακρίνεται στο Σχήμα 6.

Η υπηρεσία VoD παρέχει ιδιαίτερη ελευθερία και ευελιξία στους χρήστες αφού μπορούν να παρακολουθήσουν μία ταινία ή ένα εκπαιδευτικό βίντεο οποιαδήποτε χρονική στιγμή αυτοί το επιθυμούν. Αυτή η υπηρεσία ουσιαστικά μεταδίδει προς τους χρήστες βίντεο τα οποία είναι αποθηκευμένα στο αποθηκευτικό μέσο του Video Server (Σχήμα 6). Οι χρήστες μπορούν να παρακολουθήσουν την ταινία είτε αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία αποθήκευσης της στο αποθηκευτικό μέσο του χρήστη (download systems) είτε σε πραγματικό χρόνο (streaming systems) χωρίς να απαιτείται διαδικασία αποθήκευσης. Η πλειονότητα των χρηστών χρησιμοποιεί streaming συστήματα παρακολουθώντας άμεσα την ταινία ή το πρόγραμμα που μόλις επέλεξε.



Σχήμα 6. Βασική αρχιτεκτονική Video on Demand

Η υπηρεσία VoD παρέχει τη δυνατότητα ενός μεγάλου πλήθους λειτουργιών ελέγχου όπως pause, fast forward, fast rewind, jump to previous/future frame κτλ. Στην περίπτωση των streaming συστημάτων για την υποστήριξη των λειτουργιών αυτών απαιτείται μεγαλύτερο εύρος ζώνης, λόγω του μεγαλύτερου φόρτου από την πλευρά του server. Μπορούμε να διακρίνουμε δύο ειδών streaming συστήματα για την υπηρεσία VoD: τα βασισμένα σε δίσκους streaming συστήματα τα οποία απαιτούν μεγαλύτερο χώρο αποθήκευσης στο server για την εξασφάλιση των λειτουργιών fast

forward και fast rewind και τα βασισμένα σε μνήμη streaming συστήματα τα οποία έχουν το πλεονέκτημα να επεμβαίνουν κατευθείαν στη μνήμη RAM χωρίς καμία ανάγκη για περαιτέρω αποθηκευτικό μέσο και χωρίς επιπλέον επιβάρυνση στη λειτουργία του επεξεργαστή.

Επιπλέον, υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι μετάδοσης αυτής της υπηρεσίας: ο Near Video on Demand (NVoD) και ο Push Video on Demand (PVoD) τρόπος μετάδοσης. Στην περίπτωση του Near Video on Demand ο χρήστης πληρώνει για την παρακολούθηση μίας ταινίας (pay-per-view), ενώ πολλαπλά αντίτυπα του προγράμματος στέλνονται περιοδικά ώστε να μην απαιτείται ο συγχρονισμός των χρηστών με τη χρονική έναρξη ενός προγράμματος. Η Near Video on Demand τεχνική χρησιμοποιείται από πάροχους οι οποίοι χρησιμοποιούν μηχανισμούς μετάδοσης μεγάλου εύρους ζώνης, όπως δορυφορική ή καλωδιακή τηλεόραση. Αντίθετα, στην περίπτωση του Push Video on Demand, ο χρήστης πρέπει να αποθηκεύσει αρχικά την ταινία σε ένα αποθηκευτικό μέσο και στη συνέχεια να την παρακολουθήσει όποια χρονική στιγμή επιθυμεί. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται από συστήματα που στερούνται real-time αλληλεπίδρασης και ουσιαστικά προσομοιώνουν τη μετάδοση ζωντανού βίντεο.

Για την μετάδοση της VoD υπηρεσίας απαιτείται από την πλευρά του χρήστη μια ευρυζωνική σύνδεση της τάξης των 5 Mbps εάν χρησιμοποιείται MPEG-2 κωδικοποίηση. Αντίστοιχα, όταν πραγματοποιείται MPEG-4 κωδικοποίηση απαιτείται μία ευρυζωνική σύνδεση της τάξης των 2 Mbps.

1.7.3. Η υπηρεσία VoIP (Voice over Internet Protocol)

Η υπηρεσία VoIP (Voice over Internet Protocol) γνωστή και ως «τηλεφωνία μέσω Internet» αποτελεί το σύστημα δρομολόγησης των τηλεφωνικών συνομιλιών μέσω του διαδικτύου ή οποιουδήποτε δικτύου βασισμένου στο IP πρωτόκολλο, μετατρέποντας τη φωνή σε πακέτα δεδομένων. Παρέχει φωνητική συνομιλία σε πραγματικό χρόνο με σχετικά καλή ποιότητα και με ιδιαίτερα χαμηλό κόστος και τείνει να αντικαταστήσει τη συμβατική τεχνολογία του τηλεφώνου.

Η συχνότητα που απαιτεί η τεχνολογία IP για τη μετάδοση των δεδομένων είναι τουλάχιστον έξι φορές μικρότερη από την αντίστοιχη των παραδοσιακών τηλεπικοινωνιακών δικτύων που χρησιμοποιούν σήμερα οι περισσότεροι συνδρομητές σε όλο τον κόσμο. Η σημαντική αυτή διαφορά καθιστά τις κλήσεις μέσω του VoIP σαφέστατα πιο οικονομικές, και σε αρκετές περιπτώσεις το τηλεφώνημα μέσω Διαδικτύου μπορεί να στοιχίσει έως και 90% φθηνότερα απ' ό,τι μέσω του παραδοσιακού τηλεπικοινωνιακού δικτύου.

Η «τηλεφωνία μέσω Internet» είναι μία ιδιαίτερα ανερχόμενη τεχνολογία, η οποία ουσιαστικά προέρχεται από τη σύγκλιση των υποδομών μετάδοσης δεδομένων και των τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Η φωνή μετατρέπεται σε πακέτα σε πραγματικό χρόνο όπως ήδη συμβαίνει και με τα δεδομένα. Με αυτόν τον τρόπο, οδηγούμαστε σε μία μετάβαση από τη παραδοσιακή μετάδοση φωνής που ακολουθεί τη μεταγωγή κυκλώματος στην μετάδοση πακέτων φωνής που ακολουθεί τη μεταγωγή πακέτου. Η πακετοποίηση της φωνής επιτρέπει την καλύτερη διαχείριση του εύρους ζώνης επειδή πολλά πακέτα φωνής μπορούν να μεταδοθούν ταυτόχρονα. Επιπλέον, στην παραδοσιακή τηλεφωνία υπάρχουν πολλά κενά διαστήματα κατά τη διάρκεια μίας συνομιλίας στα οποία καταναλίσκονται πόροι που θα μπορούσαν να αποφευχθούν.

Πλέον, με την μετατροπή της φωνής σε πακέτα γίνεται καλύτερη διαχείριση των πόρων αυτών.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης της VoIP υπηρεσίας είναι ότι παρέχουν αυξημένη λειτουργικότητα που θα ήταν δύσκολο να επιτευχθεί με τα παραδοσιακά δίκτυα τηλεφωνίας. Για παράδειγμα, επιτρέπει τη διεξαγωγή κλήσεων ή video-conference μέσω του διαδικτύου ανεξάρτητα από τη γεωγραφική θέση του χρήστη και δεδομένης μίας σταθερής και γρήγορης σύνδεσης. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να ταξιδεύουν και παράλληλα να πραγματοποιούν ή να δέχονται κλήσεις. Ωστόσο, η χρήση της VoIP τηλεφωνίας έχει το μειονέκτημα ότι βασίζεται στην ύπαρξη μίας σταθερής, αξιόπιστης και γρήγορης σύνδεσης στο διαδίκτυο, κάτι που δεν είναι πάντα εφικτό.

Η χρήση της VoIP υπηρεσίας καλείται να αντιμετωπίσει μία σειρά από προβλήματα-προκλήσεις οι οποίες πρέπει να ξεπεραστούν. Το μεγαλύτερο πρόβλημα σχετίζεται με το γεγονός ότι η IP τηλεφωνία στερείται μίας εγγυημένης Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS). Η έλλειψη αυτή μπορεί να οδηγήσει σε υψηλή καθυστέρηση μετάδοσης της φωνής, υψηλό jitter, σε απώλεια πακέτων και σε κενά ασφάλειας, ιδιαίτερα σε δίκτυα με μεγάλη συμφόρηση. Όλα τα παραπάνω δε μπορούν να εγγυηθούν μία σταθερή ποιότητα επικοινωνίας μεταξύ των χρηστών.

Πολλές φορές οι κλήσεις από VoIP σε VoIP συσκευές είναι δωρεάν, ενώ στις κλήσεις από VoIP σε PSTN συσκευές υπεισέρχεται κόστος που επιβαρύνει τον VoIP χρήστη. Όσον αφορά τις κλήσεις από PSTN σε VoIP, διακρίνουμε δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση ο καλών συνδέεται απευθείας στο VoIP χρήστη (Direct Inward Dialing), ενώ στη δεύτερη περίπτωση ο καλών πρέπει να πληκτρολογήσει τον πλήρη αριθμό κλήσης του VoIP χρήστη (access number). Όταν χρησιμοποιούνται access numbers ο καλών χρεώνεται με χρέωση αστικής κλήσης, ενώ αυτός που δέχεται την κλήση δεν υφίσταται καμία χρέωση, σε αντίθεση με την περίπτωση Direct Inward Dialing στην οποία υπάρχει μηνιαίο πάγιο κλήσης.

Πλέον, υπάρχουν πολλές εφαρμογές που προσφέρουν VoIP τηλεφωνία, όπως οι Voipbuster, ICQ, MSN και Skype. Επιπλέον, με την ευρεία ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων έχουν δημιουργηθεί ορισμένες παραλλαγές της VoIP υπηρεσίας, όπως το mobile VoIP, το Voice over WiFi (VoWiFi) και το Voice over WiMAX (VoWiMAX). Υπολογίζεται ότι μέσα στα επόμενα χρόνια η ανάπτυξη της μετάδοσης φωνής μέσω Internet θα είναι ραγδαία και ο όγκος κίνησης θα είναι μεγαλύτερος απ' ό,τι στην παραδοσιακή τηλεφωνία.

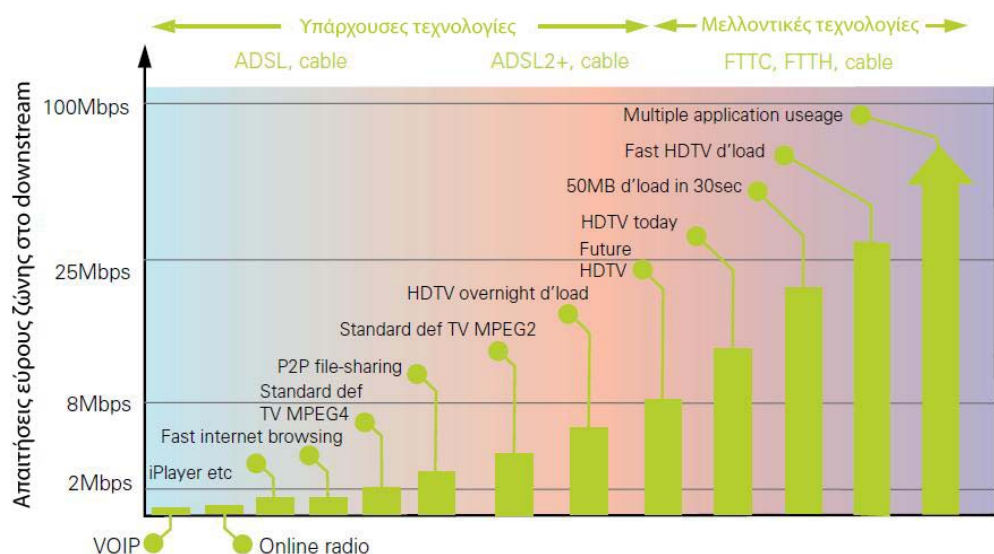
1.7.4. Προβλέψεις για τη χρήση εύρους ζώνης από τις υπηρεσίες

Συγκεντρωτικά, υιοθετώντας τις προβλέψεις για ραγδαία ανάπτυξη ευρυζωνικών τεχνολογιών και αύξηση της διείσδυσης χρήσης δικτυακών υπηρεσιών από την πλειονότητα των χρηστών, μπορεί να γίνει μία εκτίμηση των αναγκών σε εύρος ζώνης για τα νοικοκυριά. Πιο συγκεκριμένα, ο Πίνακας 1 παρουσιάζει αναλυτικά τη μεσοπρόθεσμη εκτίμηση σε εύρος ζώνης, τόσο για τον κατερχόμενο σύνδεσμο (downstream) όσο και τον ανερχόμενο σύνδεσμο (upstream), για τους οικιακούς χρήστες. Όπως γίνεται αντιληπτό από τον πίνακα αυτό η μέση ανάγκη για εύρος ζώνης αγγίζει τα 50 Mbps downstream και τα 8 Mbps upstream.

Υπηρεσίες	Downstream	Upstream
WWW browsing/e-mail	0.2-5 Mbps	2 Mbps
HDTV/κανάλι/συσκευή	8-10 Mbps	0.5 Mbps
Peer to Peer	0.2-5 Mbps	2 Mbps
VoIP	<1 Mbps	<1 Mbps
Interactive gaming	2 Mbps	3 Mbps
Instant messaging	<1 Mbps	<1 Mbps
Audio, web radio, podcasts	<0.5 Mbps	<0.5 Mbps
Video conference	2 Mbps	3 Mbps
Home security	2 Mbps	0.5 Mbps
e-government	<5 Mbps	<0.5 Mbps
Συνολική Πρόβλεψη	<50 Mbps	<8 Mbps

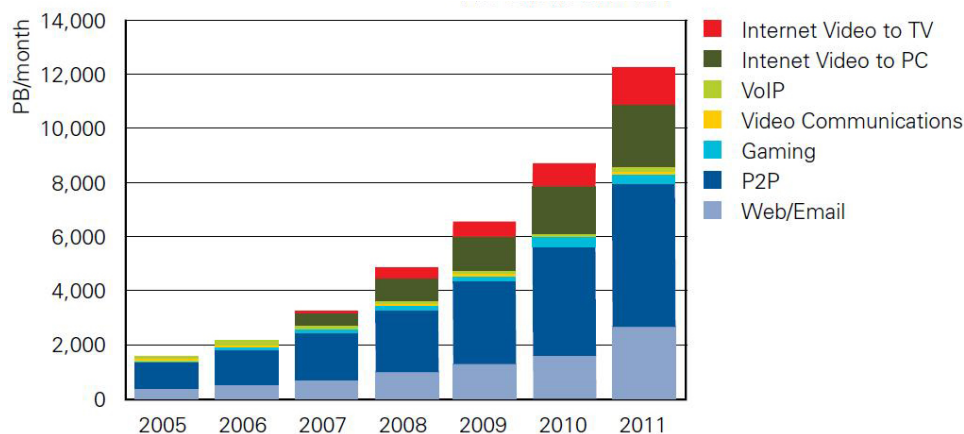
Πίνακας 1. Προβλέψεις για ανάγκες σε εύρος ζώνης (πηγή: Liberty Global, 2006)

Μια γραφική απεικόνιση απαιτήσεων των παραπάνω υπηρεσιών σε εύρος ζώνης παρουσιάζεται στο Σχήμα 7. Στο σχήμα αυτό, παράλληλα, απεικονίζεται και η δυνατότητα υποστήριξης των υπηρεσιών αυτών από τις υπάρχουσες και τις μελλοντικές τεχνολογίες πρόσβασης.



Σχήμα 7. Απαιτήσεις υπηρεσιών σε εύρος ζώνης (downstream)

Τέλος, το Σχήμα 8 παρουσιάζει σε χρονική κλίμακα την εξέλιξη της ζήτησης εύρους ζώνης σε Petabytes (1.000 TB). Όπως είναι φανερό, οι ανάγκες εύρους ζώνης αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά τα αμέσως επόμενα χρόνια, γεγονός που επιβάλλει την ανάπτυξη και τη χρήση νέων, ευρυζωνικών τεχνολογιών πρόσβασης προκειμένου να υποστηριχθούν οι υψηλές απαιτήσεις.



Σχήμα 8. Το παρόν και η πρόβλεψη για ζήτηση bandwidth σε Petabytes

1.7.5. Σύγκλιση υπηρεσιών φωνής – δεδομένων - βίντεο

Η έννοια της σύγκλισης άπτεται πολλών πλευρών της τηλεπικοινωνιακής αγοράς, συμπεριλαμβανομένων των κατασκευαστών, των δικτύων, των συσκευών και των υπηρεσιών. Πρόκειται για μία τάση η οποία διαμορφώνει το επιχειρηματικό τοπίο και προσφέρει αμέτρητες ευκαιρίες στους παρόχους, στους δημιουργούς περιεχομένου και στους καταναλωτές. Όσο οι καταναλωτές απαιτούν ανεμπόδιστη επικοινωνία, τόσο η σύγκλιση αυτή θα αναδεικνύεται ως η λύση-κλειδί. Οι χρήστες επιζητούν οικονομικές και αποτελεσματικές υπηρεσίες σύγκλισης, οι οποίες προσφέρονται σε ολοκληρωμένα και εύχρηστα πακέτα.

Πιο συγκεκριμένα, με την ολοένα και μεγαλύτερη ανάπτυξη των ευρυζωνικών δικτύων και την προσιτή σύνδεση σε αυτά και των οικιακών χρηστών παρατηρήθηκε μεγάλη ανάγκη για τη σύγκλιση των υπηρεσιών φωνής, δεδομένων και βίντεο σε ένα ενιαίο δίκτυο. Πλέον, αυτές οι υπηρεσίες μπορούν να χρησιμοποιούν κοινούς πόρους και παράλληλα να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους παρέχοντας έτσι πολλές νέες δυνατότητες. Μέχρι σήμερα οι υπηρεσίες αυτές διατίθεντο ξεχωριστά χωρίς καμία δυνατότητα αλληλεπίδρασης. Ωστόσο, οι μεγάλοι πάροχοι επιδιώκουν τη δημιουργία νέων ανταγωνιστικών πακέτων υπηρεσιών ώστε να προσφέρουν περισσότερες και υψηλής ποιότητας υπηρεσίες και να καλύψουν όσο το δυνατό μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς.

Έτσι, προέκυψαν ολοκληρωμένα επιχειρηματικά πακέτα που συνδυάζουν τις ακόλουθες υπηρεσίες:

- φωνής, με πλήρη διαλειτουργικότητα με τη συμβατική PSTN τηλεφωνία
- βίντεο
- δεδομένων, με παροχή πολύ υψηλών ταχυτήτων πρόσβασης στο Διαδίκτυο

Τα πακέτα αυτά που συνδυάζουν με ενιαίο τρόπο τις παραπάνω υπηρεσίες δημιουργούν ένα νέο είδος πακέτων υπηρεσιών με την ονομασία X-Play. Πιο συγκεκριμένα, ανάλογα με το βαθμό σύγκλισης των υπηρεσιών αυτών προκύπτουν τα πακέτα υπηρεσιών Double Play (2Play), Triple Play (3Play) και Quadruple Play (4Play).

1.7.5.1. *Double play*

Πρόκειται για τον μικρότερο βαθμό σύγκλισης υπηρεσιών που δημιουργήθηκε αρχικά με την ανάπτυξη των ευρυζωνικών δικτύων. Το πακέτο Double Play περιλαμβάνει το συνδυασμό των υπηρεσιών φωνής και δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, συνδυάζονται υπηρεσίες ευρυζωνικής πρόσβασης στο διαδίκτυο και τηλεφωνίας και το πακέτο αποκαλείται Double play, προκειμένου να διαφανεί η «δυναμικότητα» της υπηρεσίας. Σε αυτή την περίπτωση, το δίκτυο φωνής μπορεί να ενοποιηθεί με το δίκτυο μετάδοσης δεδομένων και να εξυπηρετήσει τόσο τις ανάγκες μετάδοσης φωνής όσο και τις ανάγκες μετάδοσης δεδομένων. Αυτό πραγματοποιείται μέσω ενός ενοποιημένου δικτύου (δικτύου σύγκλισης), που βασίζεται στην τεχνολογία και στο πρωτόκολλο IP.

Ανέκαθεν, τα δίκτυα δεδομένων και τα δίκτυα φωνής ήταν δύο διαφορετικά και διακριτά κανάλια, η επικοινωνία των οποίων ήταν τόσο δύσκολη όσο και κοστοβόρα. Το μεν πρώτο ανήκε στην κατηγορία της τεχνολογίας υπολογιστών, το δε δεύτερο στις τηλεπικοινωνίες. Η σύγκλιση των δύο δικτύων σε ένα καινούργιο δίκτυο που αξιοποιεί την τεχνολογία IP και μπορεί να μεταφέρει μέσα από τα καλώδιά του φωνή και δεδομένα αποτελεί μια νέα ιδέα που κερδίζει συνεχώς έδαφος.

Ουσιαστικά, η υπηρεσία Double play πρόκειται για ένα πρώτο στάδιο σύγκλισης των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών φωνής και δεδομένων. Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι η παροχή της υπηρεσίας αυτής δεν έχει ιδιαίτερα μεγάλες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, αφού μία ευρυζωνική σύνδεση της τάξης των 2-3 Mbps είναι αρκετή προκειμένου να ικανοποιήσει πλήρως τις απαιτήσεις.

1.7.5.2. *Triple Play*

Σε επόμενο στάδιο, βρίσκεται ο συνδυασμός της ταυτόχρονης παροχής υψηλών ταχυτήτων πρόσβασης στο διαδίκτυο, των υπηρεσιών τηλεόρασης (IPTV, VoD) και τηλεφωνίας (VoIP) μέσω μίας μοναδικής ευρυζωνικής σύνδεσης, που αποκαλείται Triple Play υπηρεσία. Η βασική ιδέα της Triple Play υπηρεσίας είναι η παροχή ενός ενιαίου πακέτου υπηρεσιών στον τελικό χρήστη χωρίς να απαιτείται η ξεχωριστή ενεργοποίηση των παραπάνω τριών υπηρεσιών. Ο χρήστης έχει με αυτό τον τρόπο τη δυνατότητα να πληρώνει για τις υπηρεσίες αυτές σε ένα μόνο πάροχο και μάλιστα με συγκριτικά πολύ μικρότερο κόστος. Πρόκειται, ουσιαστικά, για ένα ολοκληρωμένο πακέτο υπηρεσιών που σαν στόχο έχει κυρίως τη δημιουργία ενός εμπορικού μοντέλου παρά την αντιμετώπιση τεχνικών ζητημάτων από την ταυτόχρονη παροχή των υπηρεσιών φωνής – δεδομένων - βίντεο.

Ωστόσο, μία σειρά προκλήσεων εγείρονται με την ανάπτυξη της Triple Play υπηρεσίας. Οι υπηρεσίες φωνής, δεδομένων και βίντεο έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά μετάδοσης που οδηγούν σε ποικίλους περιορισμούς στο δίκτυο. Για παράδειγμα, οι υπηρεσίες φωνής επηρεάζονται σημαντικά από το jitter, ενώ τόσο η απώλεια πακέτων όσο και η επαναδιάταξη τους έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο στη μετάδοση υπηρεσιών βίντεο και δεδομένων. Επιπλέον, λόγω της μετάδοσης και των τριών υπηρεσιών πάνω από μία μοναδική ευρυζωνική σύνδεση, καθίσταται αναγκαία η εισαγωγή μηχανισμών εξασφάλισης ποιότητας (Quality of Service). Οι παραπάνω λόγοι εύλογα δημιουργούν περιορισμούς οι οποίοι πρέπει να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά.



Σχήμα 9. Γραφική αναπαράσταση της Triple Play υπηρεσίας

Είναι προφανές ότι για την παροχή της Triple Play υπηρεσίας τίθενται πολύ μεγαλύτερες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης κυρίως λόγω της μεγάλης χωρητικότητας που απαιτείται για τη μετάδοση βίντεο. Πιο συγκεκριμένα, απαιτείται μία ιδιαίτερα υψηλής ταχύτητας ευρυζωνική σύνδεση της τάξης των 20 Mbps. Σήμερα, η Triple Play υπηρεσία προσφέρεται κυρίως από παρόχους καλωδιακής τηλεόρασης και παρόχους τηλεπικοινωνιών, που ήδη διαθέτουν υπάρχουσες υποδομές με μεγάλη χωρητικότητα εύρους ζώνης.

1.7.5.3. Quadruple Play

Τα τελευταία χρόνια, η Triple Play υπηρεσία έχει εξελιχθεί στην Quadruple Play (ή 4play) υπηρεσία στις περιπτώσεις όπου πλέον της ενσύρματης δικτυακής υποδομής γίνεται χρήση και ασύρματων επικοινωνιών για τη μετάδοση υπηρεσιών βίντεο, τηλεφωνίας και Internet. Η πρόσφατη ανάπτυξη των διαφόρων στάνταρ της κινητής τηλεφωνίας και η ευρεία διάδοση και χρήση των δικτύων τρίτης και τέταρτης γενιάς (3G/4G) κατέστησαν εφικτή τη μετάδοση των παραπάνω υπηρεσιών και σε χρήστες που λαμβάνουν το περιεχόμενο που επιθυμούν στην κινητή τους συσκευή.

1.7.5.4. Multi-play

Τέλος, ο όρος multi-play αποτελεί μία γενική έννοια που περιγράφει όλα τα παραπάνω διαφορετικά πακέτα υπηρεσιών. Πιο συγκεκριμένα, ο όρος multi-play χρησιμοποιείται για την εμπορική περιγραφή της παροχής ποικίλων υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών, όπως η ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο, η ψηφιακή τηλεόραση, η IP τηλεφωνία και οι υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας, από πάροχους ή οργανισμούς που μέχρι πριν λίγο καιρό παρείχαν μόνο μία ή δύο από τις παραπάνω υπηρεσίες.

1.8. ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

Οι ευρυζωνικές συνδέσεις μπορούν να υποστηριχτούν και να υλοποιηθούν με διάφορες τεχνολογίες. Ωστόσο, η συνεχής αύξηση του αριθμού των χρηστών του διαδικτύου αλλά και οι αυξανόμενες απαιτήσεις των δικτυακών εφαρμογών οδηγούν στην υιοθέτηση τεχνολογιών με μεγάλο εύρος ζώνης.

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την ευρυζωνικότητα διακρίνονται κατά κύριο λόγο σε ενσύρματες και ασύρματες τεχνολογίες. Όσον αφορά τις ενσύρματες ευρυζωνικές τεχνολογίες γίνεται χρήση κυρίως οπτικών ινών και ασυμμετρικών

τεχνολογιών πρόσβασης. Σχετικά με τις ασύρματες ευρυζωνικές τεχνολογίες χρησιμοποιούνται οι τεχνολογίες WiFi, WiMAX και η τεχνολογία UMTS.

1.8.1. Ενσύρματες Ευρυζωνικές Τεχνολογίες

Οι οπτικές ίνες παρέχουν μεγάλο εύρος ζώνης, το οποίο σήμερα μπορεί να φθάσει τα 10Gbps, και μεταφέρουν το σήμα σε αρκετά μεγάλη απόσταση χωρίς σημαντικές απώλειες λόγω εξασθένησης. Επιπλέον, περιορίζουν τον αριθμό των ενδιάμεσων ενισχύσεων που απαιτούνται για να διασχίσει το σήμα μια μεγάλη απόσταση, και έχουν σημαντική ανοχή στον θόρυβο. Για την υλοποίηση οπτικών δικτύων ακολουθείται η αρχιτεκτονική τριών επιπέδων: κύριου δικτύου, δικτύου διανομής και δικτύου πρόσβασης. Το κύριο δίκτυο περιλαμβάνει το δίκτυο υποδομών και οπτικών καλωδίων για τη διασύνδεση μεταξύ των κυρίων κόμβων για κάλυψη των συναθροισμένων επικοινωνιακών αναγκών ενός μεγάλου δήμου ή μιας ευρύτερης αλλά πλέον αραιοκατοικημένης περιοχής ή μέρους ενός μεγάλου αστικού κέντρου. Το δίκτυο διανομής αποτελεί το πυκνότερο δίκτυο για τη διασύνδεση μεταξύ των κόμβων διανομής ή/και μεταξύ κόμβων διανομής και κύριων κόμβων. Ένας κόμβος διανομής συνιστά το σημείο διασύνδεσης οπτικών αγωγών και καλωδίων του κατ'εξοχήν μητροπολιτικού δικτύου (δικτύου διανομής) για συγκέντρωση των συναθροισμένων επικοινωνιακών αναγκών μιας γεωγραφικής περιοχής. Το δίκτυο πρόσβασης αποτελεί το δίκτυο σύνδεσης των κόμβων πρόσβασης με το δίκτυο διανομής. Ο κόμβος πρόσβασης ουσιαστικά συνιστά το σημείο διασύνδεσης μεμονωμένων κτιριακών εγκαταστάσεων ή συγκροτημάτων προς το δίκτυο πρόσβασης. Οι τεχνολογίες οπτικών ινών δημιουργούν μια οικογένεια αρχιτεκτονικών που ονομάζεται FTTx, όπου το 'x' παριστάνει τις διάφορες επιλογές όσον αφορά τον αριθμό των συνδρομητών που μοιράζονται το τελευταίο τμήμα της καλωδίωσης.

Οι ασυμμετρικές τεχνολογίες πρόσβασης αξιοποιούν πολύ καλύτερα το εύρος ζώνης του χαλκού σε σχέση με τη διαμόρφωση/αποδιαμόρφωση του ψηφιακού σήματος πάνω από το απλό PSTN ή και τη χρήση του ISDN. Το DSL προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Digital Subscriber Line και στην ουσία αποτελεί μια τεχνολογία που μετατρέπει το απλό τηλεφωνικό καλώδιο σε ένα δίαυλο ψηφιακής επικοινωνίας μεγάλου εύρους ζώνης με τη χρήση ειδικών modems, τα οποία τοποθετούνται στις δυο άκρες της γραμμής. Ο δίαυλος αυτός μεταφέρει τόσο τις χαμηλές όσο και τις υψηλές συχνότητες ταυτόχρονα, τις χαμηλές για τη μεταφορά του σήματος της φωνής και τις υψηλές για τα δεδομένα. Ανάλογα με το είδος του modem που θα συνδέσουμε, πετυχαίνουμε και διαφορετικές επιδόσεις. Με το DSL επιτυγχάνονται υψηλότερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων (μέχρι και 52,8 Mbps από το Διαδίκτυο ή άλλο απομακρυσμένο Τηλεπικοινωνιακό Δίκτυο προς το χρήστη -downstream- και 2,3 Mbps από το χρήστη προς το Διαδίκτυο -upstream- ενώ ταυτόχρονα μεταφέρονται και τα αναλογικά σήματα της φωνής. Οι τεχνολογίες DSL αναφέρονται γενικά ως xDSL και οι κυριότερες από αυτές είναι: ADSL, HDSL, SDSL και VDSL.

Το Gigabit Ethernet αποτελεί το σύνολο των τεχνολογιών για την υλοποίηση δικτύων Ethernet σε ονομαστικές ταχύτητες μετάδοσης ενός Gigabit δεδομένων το δευτερόλεπτο. Αξίζει να σημειωθεί ότι το Ethernet είναι μια τεχνολογία που είχε τεράστια επιτυχία στα δίκτυα LAN και εκτόπισε άλλες τεχνολογίες, όπως το Token Ring, το FDDI, και το ATM. Οι υπηρεσίες Ethernet μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης και στις υπάρχουσες υποδομές SONET/SDH. Το Ethernet, ωστόσο, δεν

περιορίζεται μόνο σαν μία τεχνολογία πρόσβασης. Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για την επέκταση του Ethernet στα Μητροπολιτικά Δίκτυα σαν τεχνολογία μεταφοράς. Όταν το Ethernet χρησιμοποιείται ως τεχνολογία μεταφοράς, η τοπολογία του δικτύου πρόσβασης έχει τη μορφή δακτυλίου (Gigabit Ethernet δακτύλιοι). Το Μάρτιο του 1996, η IEEE σχημάτισε το νέο 802.3z group για να τυποποιήσει το Gigabit Ethernet. Στόχος του Gigabit Ethernet ήταν αρχικά η λειτουργία μεταγωγής σε full-duplex πάνω από οπτική ίνα, σε αντιδιαστολή με τη χρήση shared-media χαλκού. Ο λόγος ήταν ότι το Gigabit Ethernet θα χρησιμοποιείτο αρχικά για να συνδέσει διαφορετικά backbones ή superservers και workstations. Το πρότυπο καλωδίωσης του Gigabit προήλθε από την τεχνολογία Fiber Channel, και το Gigabit Ethernet περιλαμβάνει ένα buffered repeater section, που επιτρέπει να χτιστούν οικονομικοί, shared-media repeaters. Το 802.3z standard τελείωσε τον Ιούνιο του 1998.

Η τεχνολογία Communication over Power Lines (CoPL) χρησιμοποιεί την υπάρχουσα υποδομή ηλεκτρικού ρεύματος για τη μεταφορά δεδομένων. Πρόκειται ουσιαστικά για μία εναλλακτική λύση για την υλοποίηση ευρυζωνικών δικτύων πρόσβασης. Το γεγονός ότι γίνεται χρήση μίας υπάρχουσας υποδομής, χωρίς να απαιτείται η τοποθέτηση νέων καλωδίων επικοινωνιών, αφενός επιτρέπει την ταχύτατη εξάπλωση των δικτύων, αφετέρου αποτελεί μία ιδιαίτερα ανταγωνιστική τεχνολογική λύση για την παροχή ευρυζωνικών συνδέσεων.

1.8.2. Ασύρματες Ευρυζωνικές Τεχνολογίες

Το πρότυπο IEEE 802.11, γνωστό και ως WiFi, δημιουργήθηκε τον Ιούνιο του 1997 και καθορίζει μια οικογένεια προτύπων με επιλογές για συγκεκριμένες ρυθμίσεις για τη δημιουργία ασύρματων τοπικών δικτύων LAN. Το WiFi έχει ταχύτητα 2Mbps, αποτελεί το πρώτο πρότυπο για ασύρματη δικτύωση και ακολουθείται από τα περισσότερα ασύρματα δίκτυα μέχρι και σήμερα. Έχουν δημιουργηθεί πολλά υποπρότυπα του IEEE 802.11, όπως το IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11e, IEEE 802.11f, IEEE 802.11g, IEEE 802.11i, IEEE 802.11n. Σήμερα τα ασύρματα δίκτυα που βασίζονται σε αυτήν την οικογένεια προτύπων είναι τα πλέον διαδεδομένα, ενώ κυκλοφορεί μεγάλη ποικιλία σχετικών προϊόντων στην αγορά. Με άλλα λόγια, το πρότυπο αυτό θέτει το πλαίσιο για μια προτυποποιημένη ασύρματη δικτυακή επικοινωνία ευρείας ζώνης.

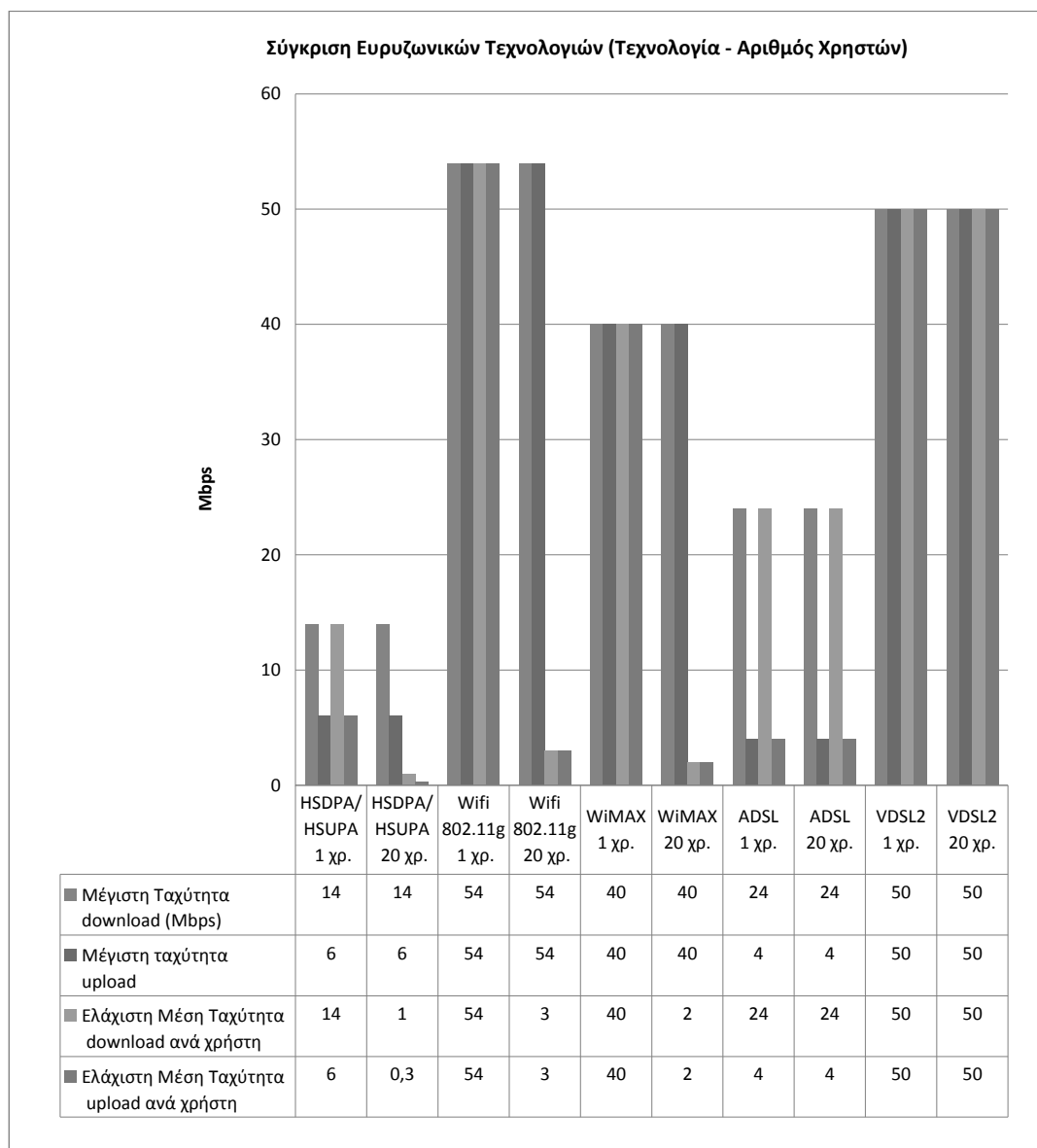
Το πρότυπο 802.16 γνωστό και σαν WiMAX υιοθετήθηκε από την IEEE το 2003, ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση (με σταθερούς ρυθμούς) ευρείας ζώνης. Υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης ως και 70Mbps στον αέρα ενώ η πραγματική ταχύτητα στο επίπεδο διασύνδεσης υπολογίζεται στα 50Mbps. Μια σημαντική διαφορά του προτύπου IEEE 802.16 σε σχέση με το IEEE 802.11 είναι ότι το πρώτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνθήκες μη οπτικής επαφής φυσικά με ρυθμούς μετάδοσης πολύ χαμηλότερους των 50Mbps. Το WiMAX σχεδιάστηκε κατά βάση ώστε να καλύπτει κυρίως point to multipoint (P2MP) συνδέσεις χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για point to point συνδέσεις. Η διαμόρφωση η οποία χρησιμοποιείται ονομάζεται OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Πρόκειται για μια πολύ ανθεκτική διαμόρφωση σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιάδευσης ειδικότερα στις συχνότητες πάνω των 2 GHz όπου το πρότυπο χρησιμοποιεί. Παραλλαγές του προτύπου, που στοχεύουν στους κινητούς χρήστες (802.16e) και στην παροχή ενισχυμένης QoS (802.16b) είναι ήδη σε εξέλιξη.

Το πρώτο 802.16a προϊόν καθώς και συμβατός με αυτό εξοπλισμός εκδόθηκε από την Redline Communications τον Μάρτιο του 2004.

Το Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) αποτελεί το σύστημα κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς που έχει επικρατήσει στην Ευρώπη και σταδιακά επεκτείνεται στη Βόρεια Αμερική με αποτέλεσμα η τρίτη γενιά κυψελωτών κινητών συστημάτων να τείνει να ταυτιστεί με αυτό το σύστημα. Το UMTS αποτελεί το διάδοχο του GSM και υποστηρίζει μετάδοση δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες (ονομαστικό εύρος ζώνης κοντά στα 2Mbps) για να υποστηριχτούν υπηρεσίες όπως συνομιλίες με εικόνα. Στην πραγματικότητα, πρόκειται για την τεχνολογία που συνδυάζει το WCDMA με το GSM και η οποία αναπτύσσεται από το 3GPP. Επιπρόσθετα, η τεχνολογία High Speed Packet Access (HSPA) αποτελεί την τεχνολογική εξέλιξη του WCDMA, η οποία πολλές φορές συναντάται και ως 3.5G ή 3G+, προκειμένου να δηλώσει την αναβάθμιση του 3G (UMTS) και ήδη έχει υιοθετηθεί από πολλά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ανά τον κόσμο. Παρά το γεγονός ότι η τεχνολογία αναμένεται να προσφέρει τη δυνατότητα παροχής πληθώρας ευρυζωνικών υπηρεσιών, το 3GPP ήδη μελετά και επεξεργάζεται νέες τεχνολογίες που θα επικρατήσουν την αμέσως επόμενη δεκαετία στην αγορά των κινητών επικοινωνιών. Το νέο αυτό project αποκαλείται Long Term Evolution (LTE) και στοχεύει στην επίτευξη ακόμη υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης σε συνδυασμό με την αξιοποίηση μεγαλύτερου εύρους ζώνης. Κύρια προοπτική του LTE αποτελεί η διασφάλιση της ανταγωνιστικότητας και η επικράτηση του προτύπου στο χρονικό ορίζοντα της επόμενης δεκαετίας.

1.8.3. Σύγκριση ευρυζωνικών τεχνολογιών

Στα διαγράμματα και στους πίνακες που ακολουθούν, συγκρίνονται η μέγιστη ταχύτητα download (ονομαστική), η μέγιστη ταχύτητα upload καθώς και η ελάχιστη μέση ταχύτητα download και upload ανά χρήστη για τις βασικές ευρυζωνικές τεχνολογίες. Το σενάριο χρήσης, αφορά σε αποκλειστική χρήση της εκάστοτε τεχνολογίας από ένα μόνο χρήστη στη μία περίπτωση και από 20 χρήστες στην άλλη. Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται αρχικά η σύγκριση των HSDPA, WiFi, WIMAX, ADSL και VDSL. Είναι φανερό πως σε συγκεκριμένες ευρυζωνικές τεχνολογίες οι οποίες θα παρουσιασθούν στη συνέχεια του βιβλίου, (HSDPA, WiFi, WiMax), η «συνύπαρξη» χρηστών, απαιτεί τη διαμοίραση του εύρους ζώνης με τέτοιο τρόπο ώστε να διαμοιράζεται το διαθέσιμο εύρος ζώνης μεταξύ τους. Για παράδειγμα, όσον αφορά το WiFi 802.11g, σε περίπτωση ύπαρξης 20 χρηστών οι οποίοι λαμβάνουν ταυτόχρονα δεδομένα από το ασύρματο σημείο σύνδεσης, η ελάχιστη μέση ταχύτητα download ανά χρήστη είναι περίπου 3Mbps σε αντίθεση με την ονομαστική ταχύτητα των 54Mbps η οποία θα ήταν εφικτή εάν ένας μόνο χρήστης λάμβανε δεδομένα.



Σχήμα 10. Σύγκριση Ευρυζωνικών Τεχνολογιών για 1 και 20 χρήστες

Ακολουθεί ο Πίνακας 2, όπου παρουσιάζονται τα δεδομένα από τα οποία προκύπτει το Σχήμα 10. Είναι φανερό πως η συνύπαρξη πολλών χρηστών επηρεάζει τόσο την ελάχιστη μέση ταχύτητα download ανά χρήστη όσο και το χρόνο που απαιτείται για το download.

Η χρήση αρχιτεκτονικών FTTx κυμαίνεται σε άλλη, πολύ υψηλότερη, κλίμακα όσον αφορά τις ταχύτητες download και upload. Ωστόσο, όπως θα φανεί στο αντίστοιχο κεφάλαιο, υπάρχουν αρχιτεκτονικές FTTx οι οποίες απαιτούν τη διαμοίραση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Ο αντίστοιχος συγκριτικός πίνακας για τις τεχνολογίες οπτικών ινών παρουσιάζεται στην ενότητα 5.2.9.

Τεχνολογία - Αριθμός Χρηστών	Μέγιστη Ταχύτητα download (Mbps)	Μέγιστη ταχύτητα upload	Ελάχιστη Μέση Ταχύτητα download ανά χρήστη	Ελάχιστη Μέση Ταχύτητα upload ανά χρήστη	Ελάχιστος χρόνος για download 1 GB (ωω:λλ:δδ)	Μέγιστος χρόνος για download 1 GB (ωω:λλ:δδ)	Ελάχιστος χρόνος για upload 1 GB (ωω:λλ:δδ)	Μέγιστος χρόνος για upload 1 GB (ωω:λλ:δδ)
HSDPA/ HSUPA 1 χρήστης	14	6	14	6	0:09:31	0:23:09	0:09:31	0:23:09
HSDPA/ HSUPA 20 χρήστες	14	6	1	0,3	0:09:31	0:23:09	3:10:29	7:42:58
Wifi 802.11g 1 χρήστης	54	54	54	54	0:02:28	0:02:28	0:02:28	0:02:28
Wifi 802.11g 20 χρήστες	54	54	3	3	0:02:28	0:02:28	0:49:23	0:49:23
WiMAX 1 χρήστης	40	40	40	40	0:03:20	0:03:20	0:03:20	0:03:20
WiMAX 20 χρήστες	40	40	2	2	0:03:20	0:03:20	1:06:40	1:06:40
ADSL 1 χρήστης	24	4	24	4	0:05:33	0:38:06	0:05:33	0:38:06
ADSL 20 χρήστες	24	4	24	4	0:05:33	0:38:06	0:05:33	0:38:06
VDSL2 1 χρήστης	50	50	50	50	0:02:40	0:02:40	0:02:40	0:02:40
VDSL2 20 χρήστες	50	50	50	50	0:02:40	0:02:40	0:02:40	0:02:40

Πίνακας 2. Σύγκριση Ευρυζωνικών Τεχνολογιών για 1 και 20 χρήστες

1.9. LAST MILE

Με τον όρο «last mile» (ή τελευταίο μίλι) ορίζεται το τελικό σκέλος της παροχής διασύνδεσης από έναν πάροχο επικοινωνιών σε έναν πελάτη. Πιο συγκεκριμένα, για να ικανοποιηθούν οι αυξημένες απαιτήσεις των τελικών χρηστών απαιτείται η χρήση ευρυζωνικών συνδέσεων, οι οποίες θα καλύπτουν το τελευταίο τμήμα της μετάδοσης των δεδομένων, γνωστό και ως τηλεπικοινωνιακό last mile. Η κάλυψη του last mile μπορεί να γίνει μέσω των τεχνολογιών που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Από τις επιλογές αυτές η κάλυψη του last mile με οπτική ίνα μοιάζει να είναι ένα άριστο μέσο όσον αφορά τη χωρητικότητα, δεν είναι όμως εύκολα διαθέσιμη στους περισσότερους τελικούς χρήστες. Οι ίνες τοποθετούνται γενικά σε υπόγειους αγωγούς, ωστόσο η σχετικά ακριβή εγκατάστασή τους τις καθιστά αρκετές φορές απαγορευτικές για τους περισσότερους χρήστες. Έως ότου αλλάξει αυτή η κατάσταση, άλλα μέσα θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να λύσουν οικονομικά το πρόβλημα του last mile.

Μια εναλλακτική λύση σε πολλές περιοχές είναι η σύνδεση μέσω του καλωδίου που παρέχει την καλωδιακή τηλεόραση. Αυτή η υπηρεσία είναι κατά κύριο λόγο ασυμμετρική, με μέγιστη download ταχύτητα μεγαλύτερη της upload ταχύτητας. Η ταχύτητα είναι ανεξάρτητη της απόστασης αλλά εξαρτάται από τον αριθμό των χρηστών, με άλλα λόγια, όσο αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών που χρησιμοποιούν το καλώδιο για σύνδεση στο Διαδίκτυο σε μία δεδομένη στιγμή, τόσο μειώνεται η ταχύτητα της υπηρεσίας. Ακριβώς όπως και στο DSL, ο υπολογιστής χρειάζεται ένα Ethernet port. Ωστόσο, αντίθετα από το DSL η διασύνδεση μέσω του καλωδίου αυτού είναι τόσο αξιόπιστη όσο και η δυνατότητα λήψης καλωδιακής τηλεόρασης.

Η υποδομή του δικτύου παροχής ηλεκτρικού ρεύματος φαίνεται να είναι μια οικονομικώς αποδοτική λύση για το αποκαλούμενο τηλεπικοινωνιακό last mile. Τα δίκτυα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, υψηλής ή μέσης τάσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να γεφυρώσουν μια μεγαλύτερη απόσταση ώστε να αποφευχθεί ένα επιπλέον δίκτυο επικοινωνιών. Οι Power Line επικοινωνίες μπορούν επίσης να εφαρμοστούν μέσα σε κτίρια ή σπίτια, όπου η εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση θα χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση in-home δικτύων μέσω του δικτύου παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Η εφαρμογή αυτών των in-home δικτύων καθιστά ικανή τη διαχείριση πολυάριθμων ηλεκτρικών συσκευών μέσα σε ένα κτίριο ή σπίτι από μια κεντρική θέση ελέγχου χωρίς την εγκατάσταση ενός πρόσθετου δικτύου επικοινωνιών. Η τεχνολογία επικοινωνίας μέσω του δικτύου παροχής ηλεκτρικού ρεύματος παρουσιάζεται αναλυτικά σε επόμενη παράγραφο.

Ωστόσο, η επέκταση του δικτύου θα πρέπει να είναι εύκολη και οικονομική ακόμη και στις πιο απομακρυσμένες περιοχές. Οι ασύρματες συνδέσεις χρησιμοποιούν ραδιοκύματα για να μεταφέρουν δεδομένα. Επειδή αυτά τα κύματα δεν καθοδηγούνται (μέσα σε κάποιο καλώδιο) αλλά αποκλίνουν, τα συστήματα αυτά έχουν μεγαλύτερο βαθμό ευαισθησίας σε ανεπιθύμητες πηγές σημάτων και θορύβου, και αρκετά μεγάλη εξασθένιση, η οποία αυξάνεται με την απόσταση που καλύπτουν. Ωστόσο, τα ασύρματα συστήματα έχουν ένα βασικό πλεονέκτημα συγκριτικά με τα ενσύρματα για την κάλυψη του last mile, το γεγονός ότι δεν απαιτείται να εγκατασταθούν γραμμές και καλώδια επικοινωνίας για τη μεταφορά δεδομένων.

Για δίκτυα ευρείας περιοχής τα δορυφορικά συστήματα είναι σχετικά εύκολο να επεκταθούν και να παρέχουν πρόσβαση μεγάλης χωρητικότητας. Κατά συνέπεια, τα οικονομικά οφέλη των δορυφορικών συνδέσεων ξεπερνούν σε αρκετές περιπτώσεις τα οφέλη άλλων ευρυζωνικών τεχνολογιών πρόσβασης, οι οποίες θα ήταν απαγορευτικά δαπανηρές. Η χρήση δορυφορικών συστημάτων για μετάδοση επιτρέπει χαμηλό κόστος πρόσβαση με μεγάλο εύρος ζώνης και ικανότητα παροχής εγγυήσεων QoS, οπουδήποτε και ανεξάρτητα της επέκτασης του «επίγειου» δικτύου. Οι δορυφόροι ουσιαστικά καλύπτουν ολόκληρη τη γη, και μπορούν να παρέχουν μια σειρά από υπηρεσίες μετά από την απαίτηση, οποτεδήποτε, οπουδήποτε και με σχετικά χαμηλό κόστος. Τα δορυφορικά δίκτυα μπορούν να προσφέρουν point to point και δικτυακή πρόσβαση και μπορούν να θεωρηθούν ως πραγματικές λύσεις του last mile. Επομένως, οι δορυφόροι παρέχουν μια πολύτιμη προσθήκη στην υπάρχουσα υποδομή οπτικών ινών, ενσύρματων και ασύρματων συνδέσεων. Αρκετοί χρήστες του δικτύου που ζουν μακριά από μητροπολιτικές και πυκνοκατοικημένες περιοχές, απαιτούν μια αξιόπιστη σύνδεση. Σε περιοχές που δεν υπάρχει υποδομή με οπτικές ίνες, μόνο οι τηλεφωνικές γραμμές με τους σχετικά χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων είναι διαθέσιμες. Για τις περιοχές αυτές οι δορυφορικές συνδέσεις φαίνονται να είναι οι ιδανικές λύσεις για την κάλυψη του τηλεπικοινωνιακού last mile.

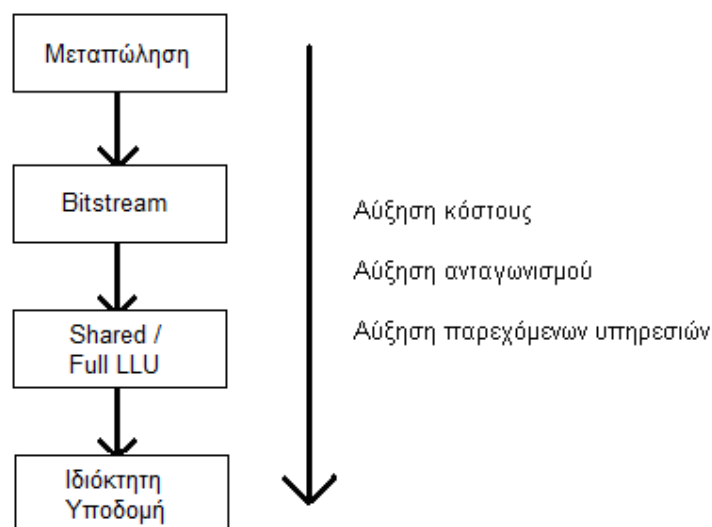
Γίνεται φανερό πως η γεφύρωση του last mile περιλαμβάνει τεχνολογικά, οικονομικά, γεωγραφικά ζητήματα και πολύ περισσότερο ζητήματα πολιτικής. Δεν είναι σε καμία περίπτωση τόσο απλή όσο η διεύρυνση του δικτύου κορμού του Internet. Η διεύρυνση του δικτύου κορμού αφορά κυρίως την τοποθέτηση περισσότερων γραμμών ή περισσότερων καλωδίων και ίνας. Καθώς όλο και περισσότερα σήματα μπορούν να μεταδοθούν σε μια οπτική ίνα, η ικανότητα του δικτύου πολλαπλασιάζεται με μια σχετικά μέτρια επένδυση.

Ωστόσο, η κάλυψη του last mile είναι ένας τελείως διαφορετικός τύπος πρόκλησης. Ο απλούστερος τρόπος είναι να χρησιμοποιηθεί κάτι που βρίσκεται ήδη σε ισχύ παρά να τοποθετηθούν νέα καλώδια ή ίνες. Οι τηλεφωνικές γραμμές και τα τηλεοπτικά καλώδια (στις χώρες όπως οι ΗΠΑ όπου η υποδομή αυτή είναι διαδεδομένη) είναι οι προφανείς επιλογές και απολαμβάνουν αυτήν την περίοδο την περισσότερη προσοχή. Υπάρχει επίσης σαν επιλογή και η υπάρχουσα υποδομή του δικτύου που παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στα σπίτια, καθώς και άλλες πιθανές επιλογές.

1.10. LOCAL LOOP

Στο συνηθισμένο τηλεφωνικό δίκτυο (Plain Old Telephone Service - POTS) καλούμε ως «local loop» τις point-to-point συνδέσεις των τελικών χρηστών με κάποιο κεντρικό κόμβο (Central Office - CO) του τοπικού τηλεπικοινωνιακού φορέα (Telephone Company - Telco). Αυτές οι συνδέσεις γίνονται συνήθως μέσω χάλκινων συνεστραμμένων ζευγών (twisted pair) καλωδίων. Το μέγιστο μήκος αυτών των συνδέσεων κυμαίνεται από 4 έως 7 Km, ανάλογα με την διατομή των καλωδίων, ενώ το μέσο μήκος είναι 1-2 Km. Αυτά τα καλώδια καταλήγουν σε καταναλωτές εγκατεστημένους στους δρόμους των πόλεων (στην Ελλάδα έχει επικρατήσει η ονομασία «ΚΑΦΑΟ») από όπου άλλα μικρότερης χωρητικότητας καλώδια ξεκινούν για να καταλήξουν σε άλλα σημεία διανομής, μέχρι τελικά να φτάσει κάποιο ζεύγος στον χρήστη.

Η υποδομή αυτή (Local Loop) αποδεσμοποιείται σύμφωνα με ενέργειες και οδηγίες των ρυθμιστικών αρχών, επιτρέποντας έτσι σε νόμιμα δικαιούχους οργανισμούς (τηλεπικοινωνιακούς παρόχους) να χρησιμοποιούν το δίκτυο πρόσβασης του ΟΤΕ για να παρέχουν τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες στους καταναλωτές. Σχεδόν όλοι οι πρώην κρατικοί Ευρωπαϊκοί τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί μεταξύ αυτών και ο ΟΤΕ, ανέπτυξαν το μεγαλύτερο μέρος του «μεταλλικού» δικτύου πρόσβασης, για το οποίο απαιτούνται τεράστιες επενδύσεις, προστατευόμενοι από ένα μονοπωλιακό καθεστώς. Η δυνατότητα παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών από δικαιούχους οργανισμούς, μέσω των δικτύων πρόσβασης των πρώην κρατικών Ευρωπαϊκών τηλεπικοινωνιακών οργανισμών αξιοποιεί στο έπακρο όλες τις δυνατότητες της «μεταλλικής» δικτυακής υποδομής. Έτσι η αποδέσμευση του τοπικού βρόχου δίνει την ευκαιρία ταχύτερης ανάπτυξης του ανταγωνισμού, επιταχύνει την εφαρμογή νέων τεχνολογιών (π.χ. xDSL) στα δίκτυα πρόσβασης, επιτρέποντας την παροχή νέων υπηρεσιών (π.χ. γρήγορη πρόσβαση στο διαδίκτυο), με άμεσο αποτέλεσμα οι καταναλωτές να απολαμβάνουν υπηρεσίες υψηλής ποιότητας σε προσιτές και ανταγωνιστικές τιμές.



Σχήμα 11. Στάδια επένδυσης εναλλακτικών τηλεπικοινωνιακών παρόχων

Η αποδέσμευση των υποδομών από τον κυρίαρχο (πρώην μονοπωλιακό) πάροχο, όπως είναι στην Ελλάδα ο ΟΤΕ, και η είσοδος στην αγορά ανταγωνιστικών τηλεπικοινωνιακών παρόχων γίνεται συχνά σταδιακά και με κλιμακούμενο κόστος και λειτουργική πολυπλοκότητα για τους νεοεισερχόμενους ανταγωνιστές. Στο Σχήμα 11 παρουσιάζονται τα διάφορα στάδια επένδυσης που μπορεί να κάνει ένας τέτοιος οργανισμός και στις επόμενες ενότητες περιγράφονται αναλυτικά.

Οι νέοι πάροχοι ξεκινούν τις δραστηριότητές τους συνήθως βασιζόμενοι στην υποδομή του ΟΤΕ, είτε ως μεταπωλητές υπηρεσιών είτε προφέροντας δικές τους υπηρεσίες χωρίς όμως καμία απαίτηση για ιδιόκτητες υποδομές (bitstream). Εφόσον ένας πάροχος έχει αναπτύξει δικό του δίκτυο κορμού το οποίο φτάνει μέχρι τα Αστικά Κέντρα του ΟΤΕ μπορεί να νοικιάσει το local loop για να φτάσει στον καταναλωτή, ενώ σε τελευταίο στάδιο μπορεί να αναπτύξει ιδιόκτητη υποδομή που να φτάνει μέχρι τους καταναλωτές, παρακάμπτοντας πλήρως το υπάρχον δίκτυο.

1.10.1. Μεταπώληση (Resale)

Στην περίπτωση αυτή ο υπάρχων δικτυακός πάροχος προσφέρει ολοκληρωμένες υπηρεσίες προς τον εναλλακτικό πάροχο και ο εναλλακτικός πάροχος τις μεταπωλεί με τη σειρά του στους πελάτες. Στην ακραία περίπτωση, ο πάροχος – μεταπωλητής μπορεί να μην προσθέτει άλλη λειτουργικότητα πέραν του συστήματος χρέωσης. Στο άλλο άκρο βρίσκεται η περίπτωση να διαθέτει δικό του μεταγωγέα (switch) και λειτουργικά συστήματα υποστήριξης. Συνήθως τέτοιου τύπου προϊόντα μεταπώλησης χρεώνονται στη βάση έκπτωσης πάνω στην αρχική χρέωση της υπηρεσίας, όπου το επίπεδο της έκπτωσης καθορίζεται από την αναλογία των εξόδων που καταφέρνει να αποφύγει ο τοπικός μεταπωλητής πάροχος.

1.10.2. Bitstream

Η περίπτωση του bitstream σημαίνει ότι ο υπάρχων πάροχος δίνει τη δυνατότητα χρησιμοποίησης του μέσου μετάδοσης (χαλκού ή οπτικής ίνας) αλλά και του συστήματος μετάδοσης (εξοπλισμού xDSL ή SDH), προκειμένου να παρασχεθεί η

υπηρεσία προς τον πελάτη. Αντί της αφιερωμένης χρήσης του φυσικού μέσου που γίνεται στην περίπτωση του Local Loop Unbundling, εδώ γίνεται απλά κράτηση ενός συγκεκριμένου μεριδίου του εύρους ζώνης (bandwidth). Το σημείο διασύνδεσης για τον εναλλακτικό πάροχο δεν μπορεί να είναι κοντύτερα στο χρήστη από τον τοπικό του μεταγωγέα (switch), ενώ είναι δυνατόν η bitstream υπηρεσία να παρέχεται σε υψηλότερο επίπεδο της δικτυακής ιεραρχίας (ούτως ώστε ο εναλλακτικός πάροχος να έχει πρόσβαση σε μεγαλύτερο αριθμό πελατών).

Ο υπάρχων πάροχος (όπως ο ΟΤΕ στην Ελλάδα) διατηρεί τον πλήρη έλεγχο και τη διαχείριση του συνόλου του δικτύου, και έτσι η υπηρεσία αυτή δεν παρεμποδίζει την αναβάθμιση του δικτύου του. Ο εναλλακτικός πάροχος είναι πλήρως εξαρτημένος από τον υπάρχοντα πάροχο για το σύνολο του συστήματος μετάδοσης, και έτσι δεν μπορεί εύκολα να διαφοροποιήσει τις υπηρεσίες του.

Συνοψίζοντας, η διαφορά του Bitstream με το Local Loop Unbundling που θα αναλυθεί παρακάτω, είναι ότι στο Local Loop Unbundling ο εναλλακτικός πάροχος πρέπει να διασυνδέεται σε φυσικό επίπεδο με τον υπάρχοντα πάροχο στο σημείο τερματισμού του τοπικού βρόχου, ενώ στο Bitstream η διασύνδεση είναι «υψηλότερα», στον τοπικό μεταγωγέα (switch) ή και παραπέρα.

1.10.3. Local Loop Unbundling

Σαν Αποδέσμευση Τοπικού Βρόχου (Local Loop Unbundling – LLU) αναφέρεται η διαδικασία που επιτρέπει σε «άλλους» εξουσιοδοτημένους παρόχους (Other Licensed Operators ή OLOs) να συνδέσουν το δίκτυό τους στο local loop ή τα καλώδια του «βασικού» παρόχου. Οι γραμμές ή τα καλώδια που χρησιμοποιούνται από έναν OLO αναφέρονται ως «unbundled» (αποδεσμευμένα).

Έχουν προκύψει τρεις τύποι LLU, οι οποίοι παρατίθενται στη συνέχεια:

- Full LLU: Στην περίπτωση της Full LLU ο OLO λαμβάνει τον πλήρη έλεγχο του καλωδίου από το βασικό πάροχο. Επομένως, είναι ο μοναδικός που συνδέεται στο βρόχο και αναλαμβάνει την υποχρέωση εξυπηρέτησης όλων των τηλεπικοινωνιακών αναγκών του συνδρομητή (υπηρεσίες φωνής και δεδομένων). Ο αρχικός πάροχος (ΟΤΕ) λαμβάνει στην περίπτωση αυτή πάγιο από το νέο πάροχο.
- Shared LLU: Στην περίπτωση της «μεριζόμενης πρόσβασης» (Shared LLU) ο νέος πάροχος προσφέρει κατά κανόνα μόνο την εξυπηρέτηση διασύνδεσης για υπηρεσίες δεδομένων (Internet), ενώ ο αρχικός πάροχος (ΟΤΕ) εξακολουθεί να προσφέρει τη βασική υπηρεσία φωνής. Αναλυτικότερα, στην περίπτωση του Shared LLU, ο OLO αποκτά τον έλεγχο μόνο το τμήμα της «υψηλής συχνότητας» του καλωδίου, ενώ ο βασικός πάροχος συνεχίζει να χρησιμοποιεί τις χαμηλές συχνότητες για να παρέχει τις circuit switched υπηρεσίες τηλεφωνίας. Ο αρχικός πάροχος (ΟΤΕ) συνεχίζει να λαμβάνει στην περίπτωση αυτή πάγιο από το συνδρομητή.
- Sub-loop LLU: Στην περίπτωση του Sub-loop LLU ο OLO αποκτά τον πλήρη έλεγχο για ένα τμήμα του βρόχου, μέσω εξωτερικής πρόσβασης σε ένα σημείο πρόσβασης (Distribution Point).

Για την πραγματοποίηση της αποδέσμευσης του local loop οι σημαντικές εργασίες δεν εκτελούνται στο άκρο του συνδρομητή αλλά στο Αστικό Κέντρο του ΟΤΕ, όπου

ο εναλλακτικός πάροχος πρέπει να διασυνδέσει το ιδιόκτητό του δίκτυο κορμού με κάθε local loop που υπενοικιάζει. Στα Αστικά Κέντρα του ΟΤΕ ή σε μικρή απόσταση από αυτά ο πάροχος εγκαθιστά δικό του εξοπλισμό και τον διασυνδέει με τον αντίστοιχο του ΟΤΕ. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται συνεγκατάσταση.

Η σημασία της σύνδεσης και άλλων παρόχων για λήψη unbundled πρόσβασης στο local loop του «βασικού» παρόχου αναγνωρίστηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η οποία υποστήριξε τη θέση ότι η απελευθέρωση του last mile των τηλεφωνικών γραμμών, που ανήκαν σε κυβερνητικές τηλεφωνικές επιχειρήσεις και οι οποίες είχαν απολαύσει μια μεγάλη περίοδο νομικού μονοπωλίου, θα ενισχύσει τον ανταγωνισμό και θα ωφελήσει τους καταναλωτές, οδηγώντας σε χαμηλότερες τιμές μεταξύ άλλων για υπηρεσίες όπως τοπικές κλήσεις, πρόσβαση στο Διαδίκτυο και άλλα προϊόντα. Το πλήθος των προϊόντων αυτών θα διευρυνθεί σημαντικά κατά τη διάρκεια του χρόνου ώστε να περιληφθούν οι καινοτόμες προσφορές, οι οποίες βασίζονται όλο και περισσότερο σε εφαρμογές υψηλού εύρους ζώνης και μπορούν να παρασχεθούν μέσω των γραμμών χαλκού.

1.10.4. Ιδιόκτητη υποδομή

Στην περίπτωση αυτή ο εναλλακτικός πάροχος κατασκευάζει τη δική του φυσική υποδομή μετάδοσης (καλώδια) και διασυνδέει τον τοπικό του μεταγωγέα με τους πελάτες του. Επομένως δεν χρειάζεται να χρησιμοποιήσει καθόλου υποδομή από τον υπάρχοντα πάροχο, και έχει τη μεγαλύτερη δυνατή ευελιξία και ελευθερία όσον αφορά τις υπηρεσίες που θα προσφέρει αλλά και την τιμολογιακή πολιτική που θα ακολουθήσει.

Λόγω όμως του μεγάλου κόστους εγκατάστασης της φυσικής υποδομής προς τον πελάτη, αυτή η προσέγγιση είναι συνήθως εφικτή σε μετέπειτα στάδιο ωρίμανσης της τηλεπικοινωνιακής αγοράς και σε περιοχές (αστικά κέντρα) με μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού ώστε να είναι ανταγωνιστική η τιμολόγηση.

1.11. ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ POWER LINES (CoPL)

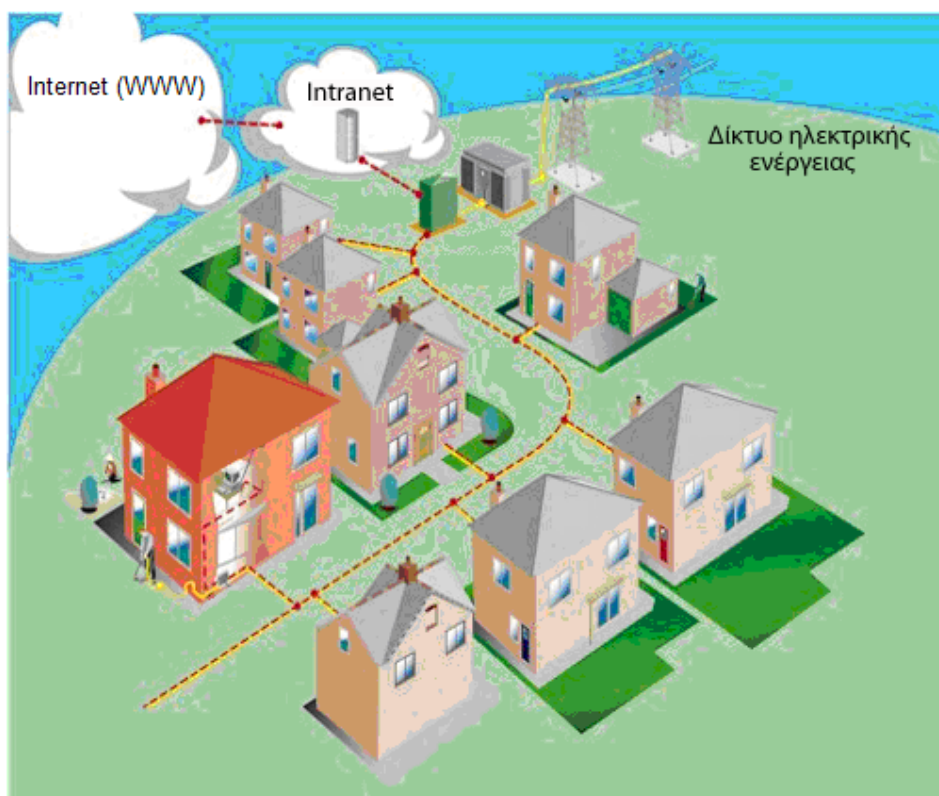
Μια εναλλακτική λύση για την υλοποίηση των δικτύων πρόσβασης προσφέρεται από την τεχνολογία CoPL (Communication over Power Line) ή PLC (Power Line Communication), η οποία χρησιμοποιεί την υπάρχουσα υποδομή του ηλεκτρικού δικτύου για τη μεταφορά δεδομένων. Κατά συνέπεια, για την υλοποίηση των δικτύων CoPL, δεν υπάρχει καμία ανάγκη για την τοποθέτηση νέων καλωδίων επικοινωνιών.

Με τον όρο Communication over Power Line εννοούμε την μεταφορά δεδομένων χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα υποδομή του ηλεκτρικού δικτύου. Η ιδέα υπάρχει εδώ και αρκετά χρόνια δεν έχει όμως υιοθετηθεί λόγω προβλημάτων όπως το υψηλό κόστος και η χαμηλή ταχύτητα. Πρόσφατες έρευνες φορέων που δραστηριοποιούνται γύρω από το θέμα δείχνουν ότι τα προβλήματα μπορούν να παρακαμφθούν και συγκεκριμένες κατηγορίες εφαρμογών θα είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν το ηλεκτρικό δίκτυο για να μεταφέρουν δεδομένα. Η τεχνολογία CoPL που είχε χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν ήταν σε γενικές γραμμές περιορισμένης ζώνης. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, τα ερευνητικά κέντρα σε συνεργασία με κατασκευαστικές εταιρίες έχουν αναπτύξει ευρυζωνικές επικοινωνίες

πάνω από καλώδια ηλεκτρικού ρεύματος, γεγονός που αλλάζει ολοκληρωτικά την έννοια αυτών των δικτύων.

Οι CoPL επικοινωνίες μπορούν πλέον να προσφέρουν ευρυζωνική τεχνολογία πρόσβασης, όπου η χρήση της υπάρχουσας υποδομής επιτρέπει την ταχύτατη εξάπλωση των δικτύων, θεωρώντας ότι η τεχνολογία CoPL και η εγκατάσταση εξοπλισμού έχουν εξελιχθεί αρκετά κατά τη διάρκεια των προηγούμενων ετών. Τη συγκεκριμένη περίοδο, αποτελεί μια ανταγωνιστική λύση που είναι σε θέση να παρέχει μια ευρεία σειρά υπηρεσιών, όπως την πρόσβαση στο διαδίκτυο, τηλεφωνία, υπηρεσίες πολυμέσων κλπ.

Στην ευρωπαϊκή αγορά, η τεχνολογία xDSL ταξινομείται ως η κορυφαία ευρυζωνική τεχνολογία διαδικτύου, με άλλες επιλογές, όπως ενσύρματες και ασύρματες τεχνολογίες να καταλαμβάνουν τις επόμενες θέσεις σε αυτήν την ταξινόμηση. Η τεχνολογία CoPL θεωρείται ως μια εναλλακτική τεχνολογία πρόσβασης που θα μπορούσε να ανταγωνιστεί ή/και να συμπληρώσει τις υπάρχουσες τεχνολογίες πρόσβασης στην αγορά και θα μπορούσε να βοηθήσει την ανάπτυξη της κοινωνίας της πληροφορίας. Εντούτοις, το περιθώριο επιτυχίας είναι περιορισμένο και ποικίλει από χώρα σε χώρα ανάλογα με το ανταγωνιστικό περιβάλλον και την ευρυζωνική διείσδυση. Στο κοντινό μέλλον, τα δίκτυα CoPL θα μπορούσαν να αποτελέσουν ένα μητροπολιτικό IP δίκτυο κορμού, συμπληρώνοντας τα υπόλοιπα δίκτυα τηλεπικοινωνιών, όπως τα Wi-fi hot spots, ή να συνδέσουν τον αυξανόμενο αριθμό των UMTS κεραιών. Οι διαφορετικές CoPL τεχνολογίες, που αναπτύσσονται από διάφορους προμηθευτές, επιτυγχάνουν αυτήν την περίοδο εύρος ζώνης μέχρι 45 Mbps, παρέχοντας ταχύτητες που μπορούν να ανταγωνιστούν άλλες ευρυζωνικές τεχνολογίες πρόσβασης.

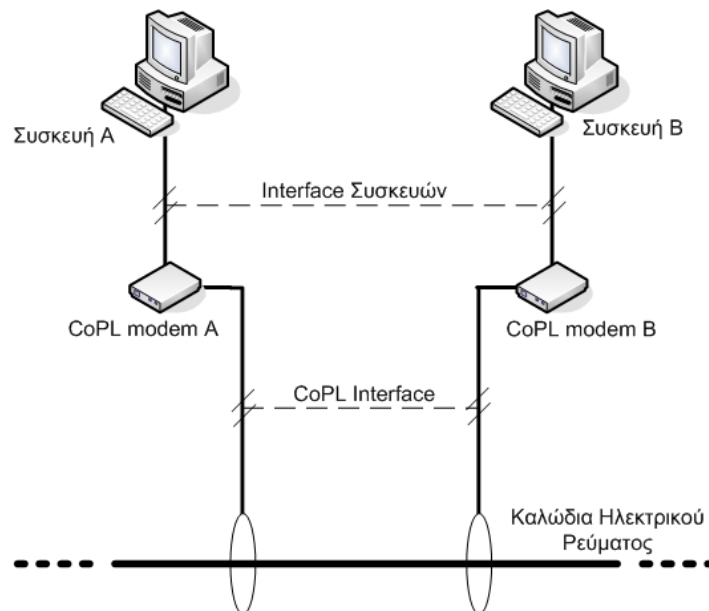


Σχήμα 12. Τυπικό παράδειγμα επικοινωνίας πάνω από Power Lines

Επιπρόσθετα, η εφαρμογή του CoPL στα δίκτυα παροχής χαμηλής τάσης φαίνεται να είναι μια οικονομικώς αποδοτική λύση για το «last mile». Τα δίκτυα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, υψηλής ή μέσης τάσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να γεφυρώσουν μια μεγαλύτερη απόσταση ώστε να αποφευχθεί ένα επιπλέον δίκτυο επικοινωνιών. Οι Power Line επικοινωνίες μπορούν επίσης να εφαρμοστούν μέσα σε κτίρια ή σπίτια, όπου η εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση θα χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση των in-home CoPL δικτύων. Τα εσωτερικά ηλεκτρικά δίκτυα χρησιμοποιούνται συνήθως για διάφορες υπηρεσίες αυτοματοποίησης. Η εφαρμογή των in-home CoPL δικτύων καθιστά πιθανή τη διαχείριση των πολυάριθμων ηλεκτρικών συσκευών μέσα σε ένα κτίριο ή σπίτι από μια κεντρική θέση ελέγχου χωρίς την εγκατάσταση ενός πρόσθετου δικτύου επικοινωνιών.

Σήμερα, οι συνδρομητές δικτύων χρησιμοποιούν τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες με υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και υψηλότερες απαιτήσεις QoS (ποιότητα της υπηρεσίας). Τα CoPL συστήματα που εφαρμόζονται στην περιοχή πρόσβασης και εξασφαλίζουν την πραγματοποίηση των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών με υψηλές απαιτήσεις QoS καλούνται «ευρυζωνικά δίκτυα πρόσβασης CoPL». Μεταξύ των σημαντικών πλεονεκτημάτων της CoPL τεχνολογίας, τα εξής είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτα:

- Χρησιμοποιεί την υπάρχουσα υποδομή (καλώδια ηλεκτρικού ρεύματος), η οποία επιτρέπει μεγαλύτερη κάλυψη από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία πρόσβασης.
- Επιτρέπει μια γρήγορη, απλή και επιλεκτική επέκταση.
- Η εσωτερική εγκατάσταση είναι γρήγορη και απλή.
- Οι επενδύσεις και το λειτουργικό κόστος είναι παρόμοιες με την xDSL.
- Ο υπάρχων εξοπλισμός CoPL προσφέρει ευρυζωνικές υπηρεσίες με ρυθμούς μετάδοσης ισοδύναμους ή υψηλότερους από άλλες τεχνολογίες πρόσβασης.
- Η επόμενη γενιά εξοπλισμού θα είναι σε θέση να αυξήσει αρκετές φορές το εύρος ζώνης και επομένως να παρέχει νέες λειτουργίες.



Σχήμα 13. Επικοινωνία πάνω από Power Lines

Για να καταστεί δυνατή η επικοινωνία σε ένα δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, είναι απαραίτητο να εγκατασταθούν τα αποκαλούμενα CoPL modem, τα οποία εξασφαλίζουν τη μετάδοση των δεδομένων μέσω των καλωδίων ηλεκτρικού ρεύματος (Σχήμα 13). Ο ρόλος του CoPL modem είναι να μετατρέπει ένα σήμα δεδομένων που παραλαμβάνεται από τις συμβατικές συσκευές επικοινωνιών (όπως οι υπολογιστές, τα τηλέφωνα, κτλ.) σε μια μορφή που είναι κατάλληλη για μετάδοση μέσω των καλωδίων ηλεκτρικού ρεύματος. Στην αντίθετη κατεύθυνση μετάδοσης, το modem λαμβάνει ένα σήμα δεδομένων από τα καλώδια ηλεκτρικού ρεύματος και μετά από τη μετατροπή του το παραδίδει στις συσκευές επικοινωνιών. Κατά συνέπεια, τα CoPL modems, παρέχουν την απαραίτητη διεπαφή για τη διασύνδεση των διάφορων συσκευών επικοινωνιών μέσω του δικτύου παροχής ηλεκτρικού ρεύματος.

Με τη βοήθεια της υποδοχή ρεύματος (πρίζα), το modem λαμβάνει το τηλεπικοινωνιακά δεδομένα και την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι, για την εγκατάσταση του modem απαιτείται απλά η σύνδεσή του με μια υποδοχή ρεύματος χωρίς να χρειάζεται κάποιο επιπλέον καλώδιο. Το modem χωρίζει την κυκλοφορία φωνής και δεδομένων και παραδίδει την κυκλοφορία στις συγκεκριμένες συσκευές του πελάτη, όπως οι προσωπικοί υπολογιστές και τα συμβατικά τηλέφωνα. Υπάρχουν διάφορα είδη modem: μόνο για το διαδίκτυο (Ethernet ή/και USB), modem για διαδίκτυο και τηλεφωνία (Ethernet ή/και USB και RJ-11 υποδοχές), και modem μόνο για φωνή (RJ-11). Πρόσθετες λειτουργίες, όπως ενσωματωμένο wi-fi, έχουν αναπτυχθεί ήδη για τα CoPL modem.

Τα δίκτυα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, ωστόσο, δεν έχουν σχεδιαστεί για επικοινωνία. Κατά συνέπεια, το CoPL κανάλι μετάδοσης χαρακτηρίζεται από μεγάλη, και εξαρτώμενη της συχνότητας εξασθένιση, μεταβαλλόμενη αντίσταση καθώς επίσης και από δυσμενείς συνθήκες θορύβου. Οι διάφορες πηγές θορύβου, που πηγάζουν από το δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, λόγω των διαφορετικών ηλεκτρικών συσκευών που συνδέονται με το δίκτυο, μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά ένα CoPL σύστημα προκαλώντας διαταραχές σε μια χωρίς λάθη μετάδοση δεδομένων. Αφ' ετέρου, για να παρέχουν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, τα CoPL δίκτυα πρέπει να λειτουργούν σε ένα φάσμα συχνότητας μέχρι 30 MHz, το οποίο φάσμα χρησιμοποιείται επίσης από διάφορες ραδιοφωνικές υπηρεσίες. Κατ' αυτό τον τρόπο ένα CoPL δίκτυο ενεργεί ως κεραία, παράγοντας ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και επηρεάζοντας άλλες υπηρεσίες που αναπτύσσουν δραστηριότητες στο ίδιο φάσμα συχνότητας. Οι ρυθμιστικοί οργανισμοί επομένως, θα πρέπει να ορίσουν πολύ ισχυρά όρια σχετικά με την ηλεκτρομαγνητική εκπομπή από τα CoPL δίκτυα, με συνέπεια τα τελευταία να πρέπει να λειτουργήσουν με περιορισμένη ισχύ. Το γεγονός αυτό με τη σειρά του προκαλεί μείωση των αποστάσεων του δικτύου και των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων, ενώ παράλληλα αυξάνει την ευαισθησία σε διαταραχές.

Η μείωση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων είναι ιδιαίτερα ασύμφορη λόγω του γεγονότος ότι τα CoPL δίκτυα πρόσβασης λειτουργούν σε ένα μέσο μετάδοσης, στο οποίο ένας αριθμός συνδρομητών ανταγωνίζεται για να χρησιμοποιήσει τους ίδιους πόρους μετάδοσης.

Το πρόβλημα των διαταραχών μπορεί επίσης να λυθεί από ήδη υπάρχοντες μηχανισμούς (π.χ. forward error correction (FEC), Automatic Repeat reQuest (ARQ)). Εντούτοις, η εφαρμογή τέτοιων μηχανισμών καταναλώνει ένα ποσοστό της χωρητικότητας του CoPL δικτύου, εξαιτίας του overhead και των αναμεταδόσεων.

Αφ' ετέρου, ένα δίκτυο πρόσβασης CoPL πρέπει να είναι οικονομικά αποδοτικό, εξυπηρετώντας ενδεχομένως έναν μεγάλο αριθμό συνδρομητών. Αυτό μπορεί να εξασφαλιστεί μόνο με αποδοτική χρήση της περιορισμένης χωρητικότητας των δικτύων. Ταυτόχρονα, τα συστήματα CoPL πρέπει να συναγωνιστούν άλλες τεχνολογίες πρόσβασης (π.χ. DSL, καλωδιακή τηλεόραση (CATV)) και να προσφέρουν διάφορες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες με ικανοποιητικό QoS. Τόσο η αποδοτική χρήση του δικτύου όσο και η παροχή εγγυημένης QoS μπορούν να επιτευχθούν με χρήση ενός αποδοτικού επιπέδου MAC. Ωστόσο, σήμερα, δεν υπάρχουν κάποια πρότυπα ή προδιαγραφές σχετικά με το φυσικό και το MAC επίπεδο για τα CoPL δίκτυα πρόσβασης.

Οι διάφορες εταιρίες που δραστηριοποιούνται στο τομέα των CoPL δικτύων αναφέρονται σε εφαρμογές κυρίως γύρω από τρεις κατηγορίες:

- Σύνδεση με το Internet

Η μεγαλύτερη ίσως φιλοδοξία είναι η παροχή υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων για σύνδεση χρηστών με το Internet. Σε αυτή τη κατηγορία δίνεται η δυνατότητα στις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού να παρέχουν στους πελάτες τους εκτός από ηλεκτρική ενέργεια και μόνιμη σύνδεση με το Internet. Για να γίνει η σύνδεση εφικτή, θα πρέπει η εταιρία ηλεκτρισμού να συνδέσει τον τελευταίο μετασχηματιστή με το Internet, και από εκεί και πέρα να μοιράσει τη σύνδεση στους συνδρομητές της μέσω των ηλεκτρικών γραμμών.

- Αυτοματισμός σπιτιού

Στη κατηγορία αυτή βρίσκονται οι πιο «τοπικές» εφαρμογές CoPL. Τέτοιες είναι:

- Απομακρυσμένος έλεγχος των οικιακών ηλεκτρικών συσκευών. Συνήθως αναφερόμαστε σε απλές on/off καταστάσεις στις οποίες μπορούν να τεθούν οι ηλεκτρικές συσκευές στέλνοντας σήματα μέσω των ηλεκτρικών γραμμών. Σε αυτή τη περίπτωση το PC μετατρέπεται σε Server από τον οποίο μπορούμε να ελέγξουμε τις συσκευές.
- Συστήματα ασφαλείας.

- Τοπικά δίκτυα

- Διασύνδεση σε τοπικό δίκτυο των υπολογιστών και των περιφερειακών συσκευών που βρίσκονται σε ένα σπίτι ή σε μια μικρή επιχείρηση χωρίς επιπλέον καλωδιώσεις απλά χρησιμοποιώντας τα ηλεκτρικά καλώδια. Για τη σύνδεση ενός υπολογιστή ή ενός περιφερειακού με το δίκτυο το μόνο που χρειάζεται είναι μια ελεύθερη πρίζα.

Η τεχνολογία CoPL αναμένει μια νέα γενιά chipset, η οποία θα αυξήσει αρκετές φορές το εύρος ζώνης που προσφέρεται αυτήν την περίοδο και θα παρέχει νέες λειτουργίες, βελτιώνοντας κατά συνέπεια την απόδοση και την ανταγωνιστικότητα. Η νέα γενιά θα προσθέσει νέα, βελτιωμένα χαρακτηριστικά, που επιτρέπουν στα δίκτυα CoPL να υποστηρίξουν όλα τα είδη υπηρεσιών και να βελτιώσουν τις τρέχουσες υπηρεσίες: πλήρης υποστήριξη VoIP, υποστήριξη μεγαλύτερου αριθμού φωνητικών κλήσεων, υποστήριξη VLAN, multicast, βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) κλπ.

Το αυξανόμενο εύρος ζώνης θα επιτρέψει την παροχή υπηρεσιών που απαιτούν την υψηλή ταχύτητα, όπως video-on-demand, High Definition TV streaming, on-line gaming κλπ. Κατά συνέπεια, η νέα γενιά CoPL θα μπορούσε να υποστηρίξει το λεγόμενο «triple-play» που αναφέρθηκε στην ενότητα 1.7.5.2: ταυτόχρονη μεταφορά

φωνής, δεδομένων και υπηρεσιών video. Επομένως, ο εξοπλισμός της νέας γενιάς θα βελτιώσει ουσιαστικά την ανταγωνιστικότητα της τεχνολογίας και θα βοηθήσει να επιταχυνθεί η διαδικασία επέκτασης των CoPL δικτύων.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε πως η τεχνολογία CoPL βρίσκεται αυτή τη στιγμή σε μια πολύ σημαντική φάση ανάπτυξης που θα καθορίσει το μέλλον της, τους τομείς εφαρμογής της και τη διείσδυσή της στον κόσμο των τηλεπικοινωνιών, δεδομένου του ότι έχει να ανταγωνιστεί άλλες ευρυζωνικές τεχνολογίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ XDSL

2. Τεχνολογίες xDSL

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2.1.1. Γενικά στοιχεία

Για πολλά χρόνια, τα χάλκινα καλώδια (συνεστραμμένα ζεύγη - twisted pairs) χρησιμοποιούνταν σε απλές τηλεφωνικές συνδέσεις. Στη συνέχεια μπήκαν στη ζωή μας τα modems και το Διαδίκτυο, ενώ στη συνέχεια εξαπλώθηκε η χρήση της τεχνολογίας ISDN με τα πλεονεκτήματα που αυτή προσφέρει σε σχέση με την απλή αναλογική PSTN σύνδεση. Στη συνέχεια πήραν τη σκυτάλη οι τεχνολογίες DSL και κυρίως η ADSL, η οποία διαδίδεται με ταχείς ρυθμούς και στην Ελλάδα, η οποία σε σχέση με τις άλλες ανεπτυγμένες χώρες μέχρι πρότινος υστερούσε.

Για δεκαετίες τα χάλκινα καλώδια χρησιμοποιούνταν για τη μεταφορά φωνής, χωρίς να αξιοποιείται στο έπακρο η μεγάλη χωρητικότητα που προσφέρει ο χαλκός. Ο ήχος της ανθρώπινης φωνής αποτελείται από συχνότητες που κυμαίνονται σε εύρος μεταξύ 100Hz και 4000Hz. Όλες αυτές οι συχνότητες όμως δεν είναι απαραίτητες για να γίνει καταληπτή η φωνή και η χροιά του συνομιλητή και έτσι με ειδικά φίλτρα αποκόπτονται οι επιπλέον συχνότητες, αφού όχι μόνο δε χρειάζονται, αλλά μπορεί και να δημιουργήσουν παρεμβολές- παράσιτα. Το εύρος ζώνης όμως του χαλκού είναι κατά πολύ μεγαλύτερο και μπορεί να αξιοποιηθεί σε άλλες εφαρμογές με κατάλληλους τρόπους, όπως και στην περίπτωση του DSL.

Το DSL προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Digital Subscriber Line και στην ουσία αποτελεί μια τεχνολογία που μετατρέπει το απλό τηλεφωνικό καλώδιο σε ένα δίαυλο ψηφιακής επικοινωνίας μεγάλου εύρους ζώνης με τη χρήση ειδικών modems, τα οποία τοποθετούνται στις δυο άκρες της γραμμής.

Ο δίαυλος αυτός μεταφέρει τόσο τις χαμηλές όσο και τις υψηλές συχνότητες ταυτόχρονα, τις χαμηλές για τη μεταφορά του σήματος της φωνής και τις υψηλές για τα δεδομένα. Ανάλογα με το είδος του modem που θα συνδέσουμε, πετυχαίνουμε και διαφορετικές επιδόσεις. Με το DSL επιτυγχάνονται υψηλότερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων (μέχρι και 52,8 Mbps από το Διαδίκτυο ή άλλο απομακρυσμένο Τηλεπικοινωνιακό Δίκτυο προς το χρήστη -downstream- και 2,3 Mbps από το χρήστη προς το Διαδίκτυο -upstream- ενώ ταυτόχρονα μεταφέρονται και τα αναλογικά σήματα της φωνής.

Οι τεχνολογίες DSL αναφέρονται γενικά ως xDSL. Μια βασική κατηγοριοποίηση των xDSL τεχνολογιών μπορεί να γίνει βάσει του εάν είναι συμμετρικές ή ασύμμετρες, αν επιτυγχάνουν δηλαδή τις ίδιες ταχύτητες για download και upload. Έτσι, συμμετρικές είναι οι HDSL, HDSL2, HDSL4, SDSL, SHDSL, IDSL, ασύμμετρες οι ADSL, ADSL2, ADSL2+, UDSL (G.Lite), ενώ οι RADSL, VDSL, VDSL2 μπορούν να λειτουργήσουν και με τους δύο τρόπους (συμμετρικά και ασύμμετρα).

2.1.2. Επισκόπηση των τεχνολογιών xDSL

2.1.2.1. ADSL

Το ADSL, το οποίο προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Asymmetric Digital Subscriber Line, είναι αυτό που δίνεται στους περισσότερους απλούς χρήστες και στην Ελλάδα αυτή τη στιγμή παρέχεται από τον ΟΤΕ αλλά και ιδιωτικούς παρόχους. Η τεχνολογία ADSL εξασφαλίζει πρόσβαση υψηλών ταχυτήτων στο Διαδίκτυο και σε άλλα Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα, δίνοντας τη δυνατότητα για ταυτόχρονη μετάδοση φωνής και δεδομένων (δεδομένα, κινούμενη εικόνα, γραφικά) μέσω της απλής τηλεφωνικής γραμμής. Κύριο χαρακτηριστικό της τεχνολογίας είναι ότι η μεταφορά δεδομένων γίνεται με ασύμμετρο τρόπο, δηλαδή προσφέρει διαφορετικό ρυθμό για τη λήψη (μέχρι 8 Mbps downstream) και διαφορετικό για την αποστολή δεδομένων (640 kbps upstream). Το σημαντικότερο είναι ότι το εύρος ζώνης δεν το μοιραζόμαστε, αλλά είναι εξ' ολοκλήρου στη διάθεσή μας. Ωστόσο θα πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι η απόδοση του ADSL εξαρτάται σημαντικά από την απόσταση του χρήστη από τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο και φθάνει τα:

- 1,5 Mbps για απόσταση 5,5 km
- 2,0 Mbps για απόσταση 4,9 km
- 6,3 Mbps για απόσταση 3,6 km
- 8,4 Mbps για απόσταση 2,7 km

2.1.2.2. ADSL2 (ITU G.992.3 και G.992.4)

Το ADSL2 χρησιμοποιεί τη μέθοδο διαμόρφωσης DMT και ακριβώς τις ίδιες συχνότητες που χρησιμοποιεί το απλό ADSL. Με αρκετές βελτιώσεις στη συμπεριφορά των καναλιών καταφέρνει να ανεβάσει το downstream κατά 50%. Έχει προτυποποιηθεί από την ITU ως G.992.3/4 και οι ρυθμοί μετάδοσης μπορούν υπό ιδανικές συνθήκες να φτάσουν τα 12 Mbit/s downstream και 3,5 Mbit/s upstream, ανάλογα και με την ποιότητα της γραμμής. Η απόσταση από το DSLAM μέχρι τον εξοπλισμό του πελάτη είναι συνήθως ο πιο καθοριστικός παράγοντας στην ποιότητα της γραμμής.

2.1.2.3. ADSL2+ (ITU G.992.5)

Και το ADSL2+ χρησιμοποιεί DMT αλλά διπλασιάζει το downloading από το ADSL2 χρησιμοποιώντας διπλάσιο χώρο συχνοτήτων και συγκεκριμένα χρησιμοποιεί τις συχνότητες 276 - 2200 kHz για το downloading. Έχει εξελιγμένα χαρακτηριστικά για το θόρυβο και υψηλότερους ρυθμούς συμβόλων κατά τη διαμόρφωση.

2.1.2.4. RADSL

Το RADSL (Rate-Adaptive Digital Subscriber Line) αποτελεί παραλλαγή της ADSL τεχνολογίας όπου το modem προσαρμόζει την ταχύτητα στο upstream ανάλογα με το μήκος και την ποιότητα της γραμμής προς τον πάροχο της DSL σύνδεσης, προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η ταχύτητα στο downstream. Όταν ένα modem συνδέεται χρησιμοποιώντας RADSL το upstream bandwidth επομένως προσαρμόζεται για να δημιουργηθεί μεγαλύτερος χώρος στη ζώνη συχνοτήτων για την downstream κίνηση. Με αυτή την τεχνική η γραμμή είναι πιο ανεκτική σε λάθη λόγω θορύβου και απώλεια σήματος.

2.1.2.5. *UDSL (G.Lite / ITU G.992.2)*

Το πρότυπο αυτό (Universal ADSL) προσφέρει μέγιστο ρυθμό 1,5 Mbit/s downstream και 512 kbit/s upstream και δεν απαιτεί τη χρήση splitters για την τηλεφωνική γραμμή.

2.1.2.6. *HDSL (G.991.1), HDSL2, HDSL4*

Το ακρωνύμιο HDSL προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων High-bit-rate Digital Subscriber Line και σε αντίθεση με το ADSL είναι συμμετρικό και προσφέρει τον ίδιο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων (μέχρι 2 Mbps) τόσο για τη αποστολή όσο και για τη λήψη. Ωστόσο, η μέγιστη απόσταση μεταξύ των δύο άκρων δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 3,5 km. Μια άλλη βασική διαφορά από το ADSL είναι ότι απαιτείται η εγκατάσταση 2 τηλεφωνικών γραμμών (2 συνεστραμμένα καλώδια).

Η HDSL που ήταν η πρώτη DSL τεχνολογία και αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ, έδωσε τη θέση της στις τεχνολογίες HDSL2 και SDSL. Η HDSL2 προσφέρει τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης χρησιμοποιώντας ένα ζευγάρι καλωδίων χαλκού (αντί δύο που απαιτεί η HDSL), προσφέρει μεγαλύτερη απόσταση σύνδεσης και μπορεί να λειτουργήσει πάνω από καλώδια χειρότερης ποιότητας.

Το HDSL4 είναι πρακτικά η ίδια τεχνολογία με το HDSL2 μόνο που προσφέρει περίπου 30% μεγαλύτερη απόσταση λόγω της χρήσης 2 ζευγών καλωδίων.

2.1.2.7. *SDSL και SHDSL (ITU G.991.2)*

Το SDSL, Single-line Digital Subscriber Line, είναι μια τεχνολογία παρόμοια με το HDSL όσον αφορά στο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων (μέχρι 2 Mbps), που απαιτεί όμως μόνο ένα συνεστραμμένο ζεύγος χαλκού. Για το λόγο αυτό, η μέγιστη απόσταση μεταξύ των δύο άκρων δεν μπορεί να ξεπερνά τα 3 km. Αντίθετα με την ADSL, η SDSL δεν μπορεί να συνυπάρξει με μια συμβατική υπηρεσία φωνής καθώς καταλαμβάνει το σύνολο του bandwidth.

Πρέπει εδώ να αναφερθεί ότι ο όρος SDSL χρησιμοποιείται κυρίως στη Βόρεια Αμερική και δεν έχει προτυποποιηθεί. Η προσπάθεια προτυποποίησης οδήγησε στο πρότυπο SHDSL (ITU G.991.2) το οποίο χρησιμοποιεί την πιο προηγμένη τεχνική κωδικοποίησης TC-PAM. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερες αποστάσεις με καλύτερη συμβατότητα με άλλες DSL τεχνολογίες. Σε περιοχές όπως την Ευρώπη ο γενικός όρος «Symmetric» DSL (SDSL) χρησιμοποιείται για να περιγράψει αυτό το πρότυπο (ITU 991.2 SHDSL). Το SHDSL έχει επίσης προτυποποιηθεί και από τους οργανισμούς ANSI (B. Αμερική) και ETSI (Ευρώπη).

2.1.2.8. *IDSL*

Η τεχνολογία IDSL (ISDN-DSL) υποστηρίζει συμμετρική μετάδοση μέχρι και 144 Kbps πάνω από τις τηλεφωνικές γραμμές. Διαφέρει από το συγγενικό ISDN (integrated services digital network) στο ότι είναι τεχνολογία «always-available» αλλά μπορεί να χρησιμοποιήσει τον ίδιο τερματικό εξοπλισμό ή modem που χρησιμοποιεί το ISDN. Η διαφορά γίνεται από τη μεριά του παρόχου, ο οποίος τερματίζει την IDSL σύνδεση και τη στέλνει σε έναν router ή ένα switch.

2.1.2.9. *VDSL (ITU-T G.993.1) και VDSL2 (ITU-T G.993.2)*

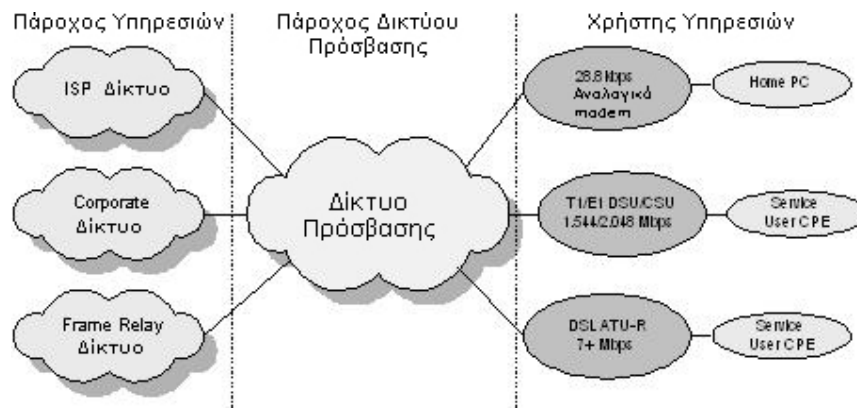
Το VDSL, Very-high-data-rate Digital Subscriber Line, είναι σχετικά νέα τεχνολογία και υπόσχεται να δώσει εντυπωσιακά μεγαλύτερες ταχύτητες που μπορεί να φτάνουν

τα 52 Mbps, με περιορισμό όμως τη μέγιστη απόσταση μεταξύ των δύο άκρων του χάλκινου αγωγού. Ανάλογα με την υλοποίηση, το VDSL δε μπορεί να ξεπερνά το 1,5 km και οι ρυθμοί μετάδοσης κυμαίνονται για τη λήψη από 13 έως 52 Mbps και για την αποστολή από 1,5 έως 2,3 Mbps. Η δεύτερη γενιά της τεχνολογίας (VDSL2) χρησιμοποιεί 30MHz φάσματος για ταχύτητες μέχρι και 100Mbps και στις δύο κατευθύνσεις για απόσταση 300 μέτρων, ενώ για μεγαλύτερες αποστάσεις ο ρυθμός φθίνει. Το VDSL είναι κυρίαρχη τεχνολογία στην Ιαπωνία και τη Νότια Κορέα, ενώ στις υπόλοιπες χώρες η τρέχουσα (2008) εξάπλωσή του είναι σχετικά μικρότερη.

2.1.3. xDSL και υπάρχουσα υποδομή

Η τεχνολογία Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) και οι διάφορες παραλλαγές της xDSL τεχνολογίας προσπαθούν να επιλύσουν το πρόβλημα του bottleneck («στενωπού») του δικτύου που παρουσιάζεται στα τελευταία χιλιόμετρα του δικτύου πρόσβασης μεταξύ του Παροχέα Πρόσβασης Δικτύου και του χρήστη των υπηρεσιών δικτύου. Χρησιμοποιεί το πιο κοινό μέσο μετάδοσης δηλαδή τα συνεστραμμένα καλώδια χαλκού του τηλεφωνικού δικτύου πετυχαίνοντας υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (μέχρι και 8 Mbps) που δίνουν τη δυνατότητα στους χρήστες των δικτύων να κάνουν πράξη προηγμένες επικοινωνιακές εφαρμογές εξασφαλίζοντας παράλληλα απόδοση και αξιοπιστία με χαμηλό κόστος.

Στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται ένα συγκριτικό διάγραμμα απ' όπου είναι εμφανές ότι οι υπηρεσίες βασισμένες στην τεχνολογία DSL, υπερέχουν σε απόδοση, και παρέχουν σημαντικά πλεονεκτήματα στους χρήστες των υπηρεσιών δικτύου, σε σύγκριση με άλλες μεθόδους πρόσβασης.



Σχήμα 14. Συγκριτικό διάγραμμα ταχύτητας και απόδοσης

Από το σχήμα αυτό φαίνεται ότι ο τελικός χρήστης έχει πρόσβαση στον πάροχο υπηρεσιών δικτύου (NSP – Network Service Provider) μέσω ενός παρόχου πρόσβασης δικτύου (NAP – Network Access Provider). Σε μία ανερχόμενη αγορά όπως αυτή του DSL η υποστήριξη πολλαπλών τύπων υπηρεσιών πάνω από την ίδια πλατφόρμα προσφέρει μια σημαντική προστασία της επένδυσης. Επίσης σημαντικοί παράμετροι για την ευελιξία των συστημάτων που βασίζονται στην τεχνολογία DSL είναι η επεκτασιμότητα ώστε να μπορεί να υποστηρίξει από μικρό έως μεγάλο πλήθος χρηστών και η ικανότητα να παρέχει αξιόπιστη διαχείριση του δικτύου από άκρο σε άκρο για να υποστηρίξει παράλληλα και εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η τεχνολογία DSL δεν αποτελεί στην πραγματικότητα την «επόμενη γενιά» τεχνολογίας πρόσβασης δικτύου, αλλά εξελιγμένη μορφή της «σημερινής γενιάς» τεχνολογίας πρόσβασης δικτύου αφού χρησιμοποιεί τις δομές που ήδη υπάρχουν.

2.2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ADSL

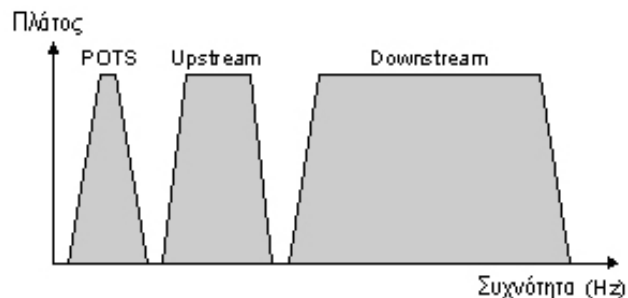
2.2.1. Η φιλοσοφία του ADSL

Η φιλοσοφία του ADSL είχε προταθεί στην αρχή της δεκαετίας από αναλυτές μελετών από τα εργαστήρια AT&T και Bell και το Πανεπιστήμιο Stanford και στηρίζεται σε ένα κανάλι υψηλού ρυθμού με καθοδική κατεύθυνση προς τον πελάτη και ένα με χαμηλότερο ρυθμό από τον πελάτη προς το δίκτυο (με ανοδική κατεύθυνση).



Σχήμα 15. Τα κανάλια στην ADSL μετάδοση

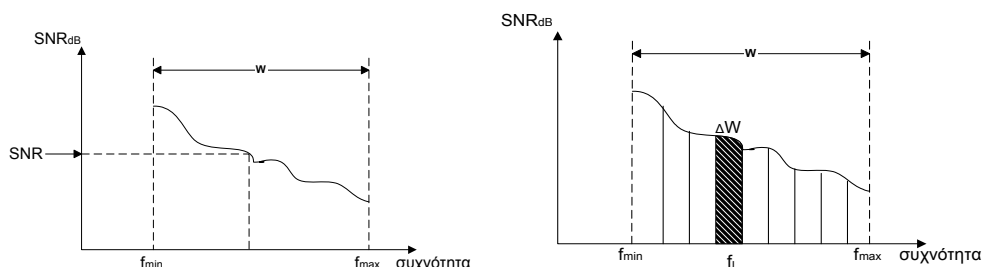
Το κανάλι υψηλής ταχύτητας με καθοδική κατεύθυνση και το κανάλι χαμηλής ταχύτητας με ανοδική κατεύθυνση περιέχουν ψηφιακές πληροφορίες. Στο ADSL έχουμε πολύπλεξη την ψηφιακής πληροφορίας με ένα κανάλι αναλογικής φωνής δίνοντας τη δυνατότητα στους πελάτες να διατηρούν την υπηρεσία ενώ ταυτόχρονα έχουν πρόσβαση στις ψηφιακές υπηρεσίες του ADSL. Αυτό επιτυγχάνεται με πολύπλεξη στην συχνότητα μεταξύ τηλεφωνικής υπηρεσίας και ADSL μετάδοσης και είτε με πολύπλεξη στην συχνότητα είτε με καταστολή ηχούς μεταξύ ανοδικού και καθοδικού ADSL καναλιού.



Σχήμα 16. Συχνότητες ADSL μετάδοσης

Στηριζόμενοι στο θεώρημα του Shannon γνωρίζουμε ότι ο ρυθμός σε ένα κανάλι εξαρτάται από το εύρος ζώνης και τον λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR- Signal to Noise Ratio). Βασικότερη παράμετρος στο να αυξηθεί το χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης φτάνοντας μέχρι και το 1 MHz ήταν η χρήση των μικροεπεξεργαστών, η οποία

επέτρεψε αφ' ενός μεν την αντιμετώπιση των προβλημάτων που παρουσιάζονται στις συχνότητες αυτές, αφ' ετέρου δε την πολύπλεξη των διαφορετικών συχνοτήτων με την βοήθεια του FFT. Στα ακόλουθα σχήματα είναι φανερή η διαφορά μεταξύ ενός καναλιού στο οποίο η εξασθένηση δεν μεταβάλλεται σημαντικά με την συχνότητα και ενός στο οποίο συμβαίνει το αντίθετο, όπως το συνεστραμμένο ζεύγος όταν χρησιμοποιείται για συχνότητες ADSL μετάδοσης.



Σχήμα 17. SNR συναρτήσει της συχνότητας

2.2.2. Το φυσικό μέσο

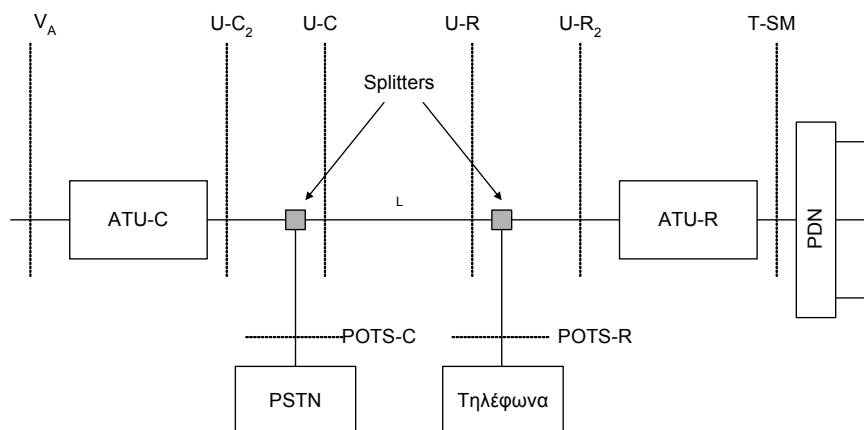
Η εξέλιξη των διατάξεων modem τηλεφωνίας φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Έτος	Ταχύτητα	Τύπος διαμόρφωσης (Modulation)
1960	modems πολύ χαμηλού ρυθμού (300 bps – 1,2 kbps)	
1968	2,4 kbps (V. 26)	QPSK
1972	4,8 kbps (V. 27)	8-PSK
1976	9,6 kbps (V. 29)	16-QAM
1986	14,4 kbps (V. 33)	64-QAM + TCM
1989	19,2 kbps (V. 33 bis)	64-QAM + TCM
1993	28,8 kbps (V. fast)	DMT

Πίνακας 3. POTS-Band Modems

2.2.3. Γενική Αρχιτεκτονική

Αρχικά η τεχνολογία ADSL είχε αναπτυχθεί για να προσφέρει υπηρεσίες Video-on-demand με ρυθμό μετάδοσης downstream (από τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο προς τον χρήστη) της τάξης των 1,544 Mbps και ρυθμό μετάδοσης upstream (από τον χρήστη προς τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο) από 16 kbps έως 64 kbps. Στο Σχήμα 18 παρουσιάζεται η βασική αρχιτεκτονική ενός συστήματος ADSL όπως περιγράφεται από το ADSL Forum, και ο Πίνακας 4 εξηγεί τη σχετική ορολογία.



Σχήμα 18. Βασική αρχιτεκτονική ενός συστήματος ADSL

ATU-C	ADSL Transmission Unit στην πλευρά του δικτύου (CO Side)
ATU-R	ADSL Transmission Unit στην πλευρά του πελάτη (Remote Side)
CO	Central Office
L	Loop (η φυσική υποδομή, το καλώδιο, που διασυνδέει πελάτη με CO)
PDN	Premises Distribution Network (Δίκτυο διανομής στον πελάτη)
PSTN	Public Switched Telephone Network
POTS-C	Interface μεταξύ του PSTN και του splitter στην πλευρά του CO
POTS-R	Interface μεταξύ του PSTN και του splitter στην πλευρά του πελάτη
T-SM	Interface μεταξύ του ATU-R και των Service Modules
U-C	Interface U μεταξύ POTS splitter και Loop στην πλευρά του CO
U-C ₂	Interface U στην πλευρά του CO από τον Splitter στο ATU-C
U-R	Interface U μεταξύ POTS splitter και Loop στην πλευρά του πελάτη
U-R ₂	Interface U στην πλευρά του πελάτη από τον Splitter στο ATU-R
V _A	Interface V, στην πλευρά του CO από τον κόμβο πρόσβασης στην υπηρεσία δικτύου

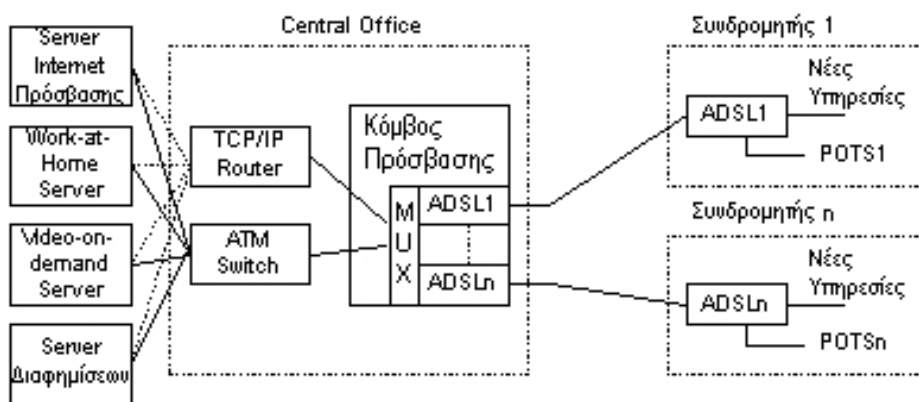
Πίνακας 4. Ορολογία ADSL αρχιτεκτονικής

Βασικό στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι επιτρέπεται η μετάδοση τηλεφωνικών υπηρεσιών (αναφέρονται ως POTS – Plain old telephone service). Ένα ακόμα χαρακτηριστικό είναι ότι οι υπηρεσίες που παρέχονται από ένα σύστημα ADSL, συμπεριλαμβανομένης και της ψηφιακής μετάδοσης δεδομένων, είναι ευρυζωνικές υπηρεσίες (για παράδειγμα υπηρεσίες video on demand ή προσπέλαση του διαδικτύου με υψηλές ταχύτητες). Η πρόσβαση σε αυτές τις υπηρεσίες πραγματοποιείται εκτός των διακοπών του CO (Central Office) ή LE (Local Exchange), λύνοντας έτσι το πρόβλημα της συμφόρησης στο τηλεφωνικό δίκτυο και στους διακόπτες μεταγωγής. Αυτό το σημείο πρόσβασης ονομάζεται DSLAM (DSL access module) η αρχιτεκτονική του οποίου θα εξηγηθεί αργότερα.

Στο προηγούμενο σχήμα δείχνονται οι διεπαφές (interfaces) μεταξύ των επιμέρους τμημάτων του δικτύου. Το B-interface είναι μία άμεση διεπαφή και δηλώνει μια

πιθανή βοηθητική είσοδο, όπως για παράδειγμα ένα set top box. Η διεπαφή T-SM μεταξύ του ATU-R και του service module μπορεί και να ταυτίζεται με την διεπαφή T κυρίως όταν το service module είναι ολοκληρωμένο μέσα στο ATU-R. Εάν υφίσταται η διεπαφή T-SM τότε μπορεί να είναι διαφορετικού τύπου για κάθε ATU-R, για παράδειγμα ένα ATU-R μπορεί να έχει δύο τύπου ηλεκτρικές συνδέσεις όπως 10Base-T ή V.35. Με παρόμοιο τρόπο, η διεπαφή T μεταξύ Premises Distribution Network και τερματικές συσκευές μπορεί επίσης να απουσιάζει εάν η τερματική συσκευή είναι με κάποιο τρόπο ολοκληρωμένη μέσα στο ATU-R. Οι διάφορες U διεπαφές μπορούν και να μην υπάρχουν εάν η συσκευή του splitter είναι μέρος των ATU συσκευών ή στην περίπτωση που αφαιρεθεί τελείως ο splitter. Επίσης, οι διεπαφές V μπορεί να είναι λογικές διεπαφές παρά φυσικές, πράγμα που ισχύει κυρίως για την V_A στην περίπτωση που το DSLAM εκτελεί λειτουργίες πολύπλεξης ή μεταγωγής. Εάν η διεπαφή VC προς τους παροχείς των υπηρεσιών είναι φυσική τότε επιτρέπεται να πάρει διάφορες μορφές (όπως για παράδειγμα TCP/IP ή ATM) προσαρμοσμένες στο δίκτυο υπηρεσιών.

Μετά την παραπάνω περιγραφή για τις διεπαφές στα διάφορα μέρη του δικτύου θα πρέπει να τονίσουμε ότι η τεχνολογία ADSL δεν είναι απλά ένας γρήγορος τρόπος προσπέλασης του δικτύου, αλλά είναι μέρος μιας ολοκληρωμένης αρχιτεκτονικής δικτύου που επιτρέπει σε όλους τους συνδρομητές να κάνουν χρήση ευρυζωνικών υπηρεσιών, όπου σαν «ευρυζωνικές» υπηρεσίες ορίζονται οι υπηρεσίες που απαιτούν ρυθμό μετάδοσης τουλάχιστον 1,5 Mbps (Αμερική) και 2 Mbps (Ευρώπη). Στο Σχήμα 19 παρουσιάζεται ένα ευρυζωνικό δίκτυο βασισμένο στην τεχνολογία ADSL. Στην πιο απλή του μορφή οι συνδρομητές χρειάζονται μόνο ένα ADSL modem. Η συσκευή αυτή έχει την κοινώς γνωστή RJ-11 ηλεκτρική διεπαφή η οποία υποστηρίζει τις υπάρχουσες τηλεφωνικές συσκευές σε ένα SOHO (Small Office/Home Office) περιβάλλον. Άλλες θύρες, όπως η 10Base-T Ethernet, μπορούν να πραγματοποιούν την διασύνδεση των προσωπικών υπολογιστών ή των Set-top boxes των τηλεοράσεων παρέχοντας υπηρεσίες όπως fast internet ή video on demand. Μια συσκευή, ο splitter (διαχωριστής), χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό των ψηφιακών υπηρεσιών (υπηρεσίες ADSL) από τις αναλογικές υπηρεσίες (τηλεφωνικές υπηρεσίες).



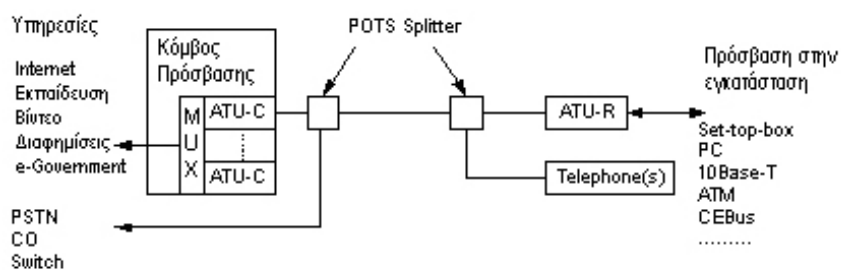
Σχήμα 19. Γενική αρχιτεκτονική ενός ADSL δικτύου

Στην μεριά του CO, οι αναλογικές υπηρεσίες διαβιβάζονται στα διακοπτικά συστήματα μέσω μιας διάταξης από splitters (διαχωριστές). Με τον τρόπο αυτό ο τοπικός ADSL βρόχος τερματίζεται στο ADSL access node και όχι απευθείας στον διακόπτη του CO. Ο access node (συνήθως πρόκειται για ένα DSLAM) πολυπλέκει τις επιμέρους ADSL συνδέσεις και διοχετεύει την κίνηση σε είτε σε TCP/IP

δρομολογητές είτε σε ATM διακόπτες. Αυτοί οι δρομολογητές και διακόπτες επιτρέπουν στον χρήστη να έχει πρόσβαση σε υπηρεσίες της προτίμησής του.

Τυπικές υπηρεσίες που παρέχονται είναι πρόσβαση στο Διαδίκτυο, πρόσβαση σε Intranets, video-on-demand, καθώς και πρόσβαση σε εξυπηρετητές εταιριών. Σημειώστε πως η πρόσβαση σε αυτές τις υπηρεσίες πραγματοποιείται είτε μέσω TCP/IP είτε μέσω ATM μια και η τεχνολογία ADSL επιτρέπει και τα δύο.

Το ADSL είναι μια πλήρης και ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική δικτύου. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως το ADSL δεν είναι απλά μια μέθοδος γρήγορης πρόσβασης του διαδικτύου αλλά παρέχει επιπλέον την δυνατότητα παροχής κάθε νέου τύπου υπηρεσίας ευρείας ζώνης. Με το σχήμα που βλέπουμε στη συνέχεια δείχνεται περισσότερο αναλυτικά ο τρόπος με τον οποίο μια συσκευή ATU-R μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να επιτρέψει την πρόσβαση του χρήστη στις διάφορες υπηρεσίες.



Σχήμα 20. Το βασικό ADSL δίκτυο

Η φυσική συσκευή μπορεί να είναι είτε ένα PC είτε ένα set-top box. Η διασύνδεση ανάμεσα στην συσκευή ATU-R και στην τελική συσκευή μπορεί να είναι είτε μία απλή διασύνδεση modem με υπολογιστή είτε ακόμα πιο πολύπλοκες μορφές διασυνδέσεων όπως η 10Base-T, Ethernet LAN ή και ακόμα private ATM δίκτυο. Όποια και να είναι όμως η μορφή διασύνδεσης, η καλωδίωση των είδη υπαρκτών αναλογικών συσκευών (τηλέφωνα, FAX) δεν απαιτείται να τροποποιηθεί μιας και η συσκευή του splitter κάνει τον διαχωρισμό των αναλογικών σημάτων από τα ψηφιακά σήματα.

Στην μεριά του CO, οι τηλεφωνικές υπηρεσίες διαχωρίζονται μέσω μιας διάταξης από splitters και οδηγούνται στους διακόπτες PSTN. Ο τοπικός ADSL βρόχος τερματίζεται πλέον στο DSLAM αντί να οδηγείται αμέσως στους διακόπτες του CO. Φυσικά, το λογισμικό των PSTN διακοπών δεν χρειάζεται να αναβαθμιστεί προκειμένου να υποστηρίξει αυτές τις υπηρεσίες (όπως συμβαίνει με το ISDN).

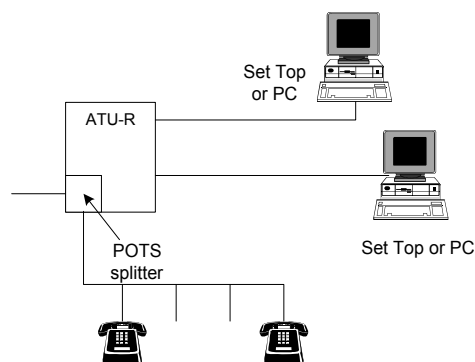
2.2.4. Λειτουργία και εφαρμογές του POTS splitter

Ο POTS splitter χρησιμοποιείται για να διαχωρίσει τα κανάλια upstream και downstream από το τηλεφωνικό κανάλι, δηλαδή για να πραγματοποιηθεί διαχωρισμός από 300 KHz μέχρι τα 3,5 MHz. Στο φάσμα αυτό, ο POTS splitter εκτός των σημάτων φωνής πρέπει να επιτρέπει και την διέλευση των τόνων dial, ringing και των σημάτων on/off hook.

Η δομή του POTS splitter είναι πανομοιότυπη και για το ATU-R και για το ATU-C. Αποτελείται κυρίως από ένα χαμηλοπερατό φίλτρο για την διεπαφή του POTS και

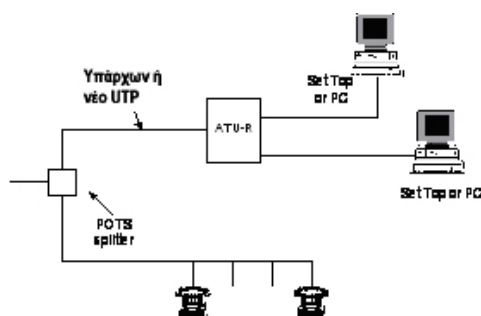
από ένα υπερπαστό φίλτρο για τα κανάλια upstream και downstream. Το χαμηλοπαστό φίλτρο αφαιρεί, από το κανάλι POTS, την παρεμβολή των καναλιών upstream και downstream. Το υπερπαστό φίλτρο αφαιρεί, από τα κανάλια upstream και downstream, την παρεμβολή από το κανάλι POTS. Επίσης θα πρέπει να αποφευχθεί η εισαγωγή των αρμονικών, που δημιουργούν τα σήματα ringing και των on/off hook, στα κανάλια upstream και downstream.

Ο POTS splitter μπορεί να είναι ενσωματωμένος στις διατάξεις ATU-R όπως δείχνεται στο Σχήμα 21.



Σχήμα 21. ATU-R με ενσωματωμένο POTS splitter

Το ATU-R συνδέεται με την τηλεφωνική γραμμή και πραγματοποιεί τον διαχωρισμό των καναλιών POTS και ADSL. Το κανάλι POTS δρομολογείται προς τις τηλεφωνικές συσκευές του συνδρομητή. Κάθε κανάλι ADSL πρέπει να συνδεθεί με ένα service module. Ο POTS splitter μπορεί να υλοποιηθεί και εξωτερικά σε ένα ATU-R. Μια τέτοια αρχιτεκτονική παρέχει την ευελιξία της θέσης του ATU-R, καθώς και της αποφυγής της μετάδοσης του καναλιού ADSL μέσα από τις εσωτερικές καλωδιώσεις του συνδρομητή. Χαμηλής ποιότητας καλωδίωση μπορεί να μειώσει αισθητά την απόδοση του συστήματος. Μια τέτοια υλοποίηση παρουσιάζεται ακολούθως.

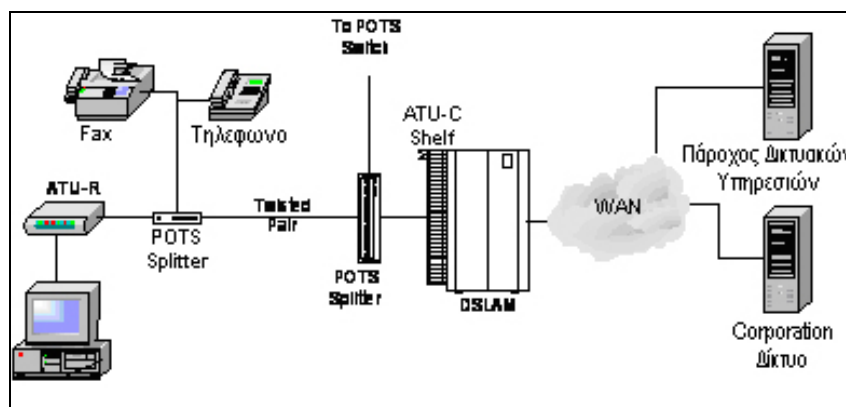


Σχήμα 22. ATU-R με εξωτερικό POTS splitter

2.2.5. Αρχιτεκτονική του DSLAM

Η βασική ιδέα του DSLAM είναι η εξυπηρέτηση πολλαπλών ATU-Cs ή και HTU-Cs. Πέραν τούτου, οι λειτουργίες που θα εκτελεί καθώς και ο τρόπος που θα τις εκτελεί, εξαρτάται από τον κατασκευαστή. Στη συνέχεια της ενότητας αυτής θα γίνει μια προσπάθεια ταξινόμησης των χαρακτηριστικών ενός τυπικού DSLAM.

Το DSLAM καταλαμβάνει μια θέση κλειδί σε ολόκληρη την αρχιτεκτονική του δικτύου ADSL. Όλη η κίνηση από και προς τους χρήστες διεκπεραιώνεται μέσω του DSLAM. Όλη η κίνηση από και προς τους εξυπηρετητές του δικτύου πίσω από το DSLAM περνάει επίσης μέσω αυτού. Το DSLAM εκτελεί λειτουργίες ολοκλήρωσης της ADSL κίνησης ανεξάρτητα από τον τύπο δεδομένων που μεταφέρει, είτε πρόκειται για δεδομένα είτε για φωνή. Το μόνο που βλέπει το DSLAM είναι ATM κελιά στην U διεπαφή. Τα κελιά αυτά πολυπλέκονται σε μια κοινή ανοδική σύνδεση η οποία επικοινωνεί με έναν ATM διακόπτη.



Σχήμα 23. POTS Splitter στο DSLAM

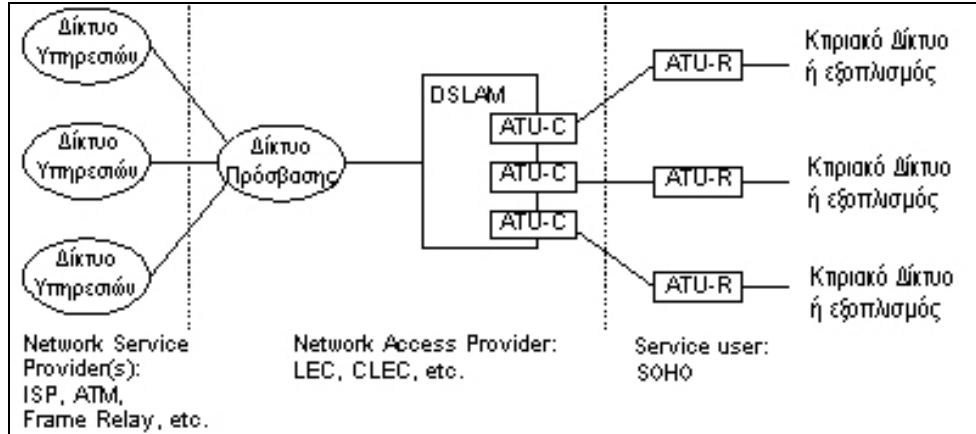
Στο Σχήμα 23 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική ενός ADSL δικτύου με έμφαση στο διαχωρισμό της τηλεφωνικής κίνησης από την ADSL κίνηση. Η ύπαρξη των POTS Splitter επιτρέπει την συνύπαρξη των ADSL σημάτων με τα τηλεφωνικά. Είναι απαραίτητη η παρουσία ενός POTS Splitter και στις δύο άκρες του συνεστραμμένου καλωδίου. Στην μία άκρη της σύνδεσης το POTS Splitter συνδυάζει τα δύο σήματα, ενώ στην άλλη άκρη γίνεται ο διαχωρισμός των σημάτων. Ουσιαστικά, τα POTS Splitter αποτελούν συσκευές τριών θυρών περιέχοντας ένα δικατευθυντήριο υπερπαστό φίλτρο και ένα δικατευθυντήριο χαμηλοπερατό φίλτρο. Το POTS Splitter μπορεί να είναι είτε μερικώς είτε πλήρως ολοκληρωμένο σε ένα ATU-R ή ATU-C. Έτσι, από την πλευρά του DSLAM τα POTS Splitter αποτελούν ένα subrack στο οποίο γίνεται ο διαχωρισμός των σημάτων και τα τηλεφωνικά σήματα οδεύουν προς τον POTS διακόπτη ενώ τα ADSL σήματα οδηγούνται προς τα ATU-Cs όπου και πολυπλέκονται και διοχετεύονται στο δίκτυο κορμού. Η σχεδίαση ενός DSLAM βασίζεται σε τρεις κυρίως παράγοντες:

- Ο συνολικός αριθμός των απαιτούμενων DSL θυρών (access links)
- Ο συνολικός αριθμός των απαιτούμενων trunk θυρών (trunk links)
- Συνολική κίνηση που προσφέρεται στο διακόπτη (το άθροισμα όλων των ρυθμών των θυρών – total ports).

Το μέγεθος του DSLAM καθορίζεται από την ικανότητα διαχείρισης της κίνησης καθώς και από τον αριθμό των θυρών.

Είναι δόκιμος ο διαχωρισμός ολόκληρης της αρχιτεκτονικής του δικτύου ADSL σε τρία μέρη, ιδίως από την σκοπιά του DSLAM. Στο μοντέλο αυτό τα ATU-Rs, ή άλλες xDSL συσκευές όπως ένα HTU-R, συνθέτουν το Service user (SU) τμήμα του δικτύου. Τα ATU-Cs, HTU-Cs, ή άλλες διεπαφές του DSLAM συνθέτουν το Network Access Provider (NAP) τμήμα του δικτύου. Το δίκτυο πρόσβασης και γενικά τα δίκτυα μέσω των οποίων παρέχονται οι υπηρεσίες αποτελούν το Network Service

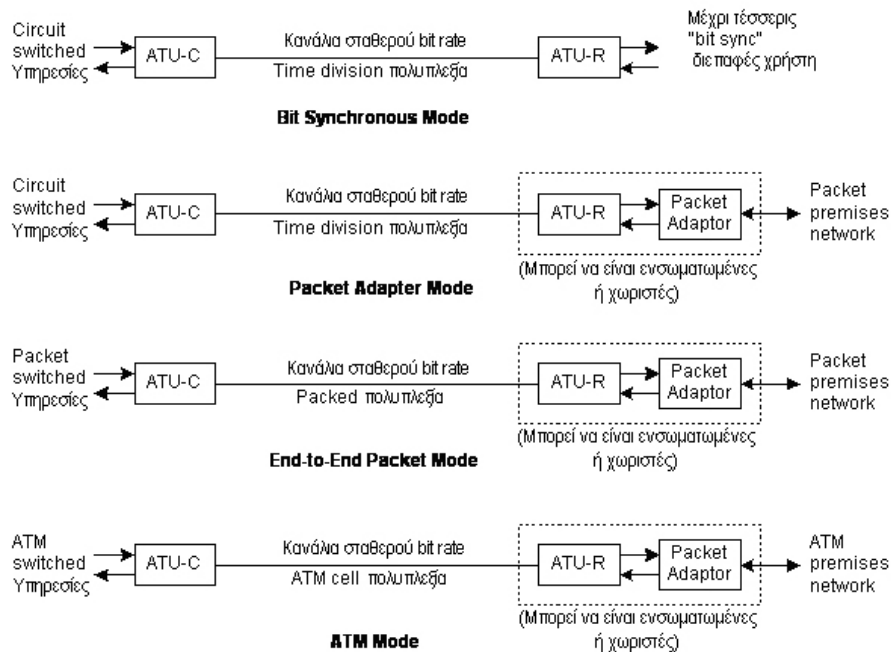
Provider (NSP) τμήμα. Ο κεντρικός ρόλος του DSLAM σαν NAP είναι η πραγματοποίηση της σύνδεσης μεταξύ του χρήστη και του παροχέα της υπηρεσίας.



Σχήμα 24. Αρχιτεκτονική δικτύου από την σκοπιά του DSLAM

2.2.6. Τρόποι Μετάδοσης σε ένα ADSL Δίκτυο

Κατά την διάρκεια μιας ADSL σύνδεσης αποστέλλεται κάθε 17 msec ένα superframe (υπερπλαίσιο) (περίπου 59 το δευτερόλεπτο) που αποτελείται από 68 ADSL frames (πλαίσια). Τα ADSL πλαίσια περιέχουν και τα δύο «fast» (ήχος και βίντεο, που είναι ευαίσθητα σε καθυστερήσεις και απαιτούν οι καθυστερήσεις να είναι όσο το δυνατόν περιορισμένες) και «interleaved» (για παράδειγμα ιστοσελίδες, που είναι συνήθως ευαίσθητες σε σφάλματα αλλά ανεκτικές σε καθυστερήσεις) bits. Το ερώτημα που γεννιέται είναι τι βρίσκεται μέσα στα ADSL πλαίσια. Το ADSL Forum έχει ορίσει τέσσερις διαφορετικούς τρόπους διανομής (distribution modes) για όλες τις xDSL τεχνολογίες συμπεριλαμβανομένου και την ADSL.



Σχήμα 25. Οι τέσσερις ADSL τρόποι διανομής

Οι τρόποι διανομής καθορίζουν ποια μορφή θα πάρουν τα bits μέσα στα ADSL πλαίσια πριν αποσταλούν. Παρακάτω παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά των τεσσάρων αυτών τρόπων διανομής.

Ο πρώτος τρόπος διανομής είναι ο bit synchronous mode που είναι ταυτόχρονα και ο πιο απλός. Ο όρος synchronous θέλει να δηλώσει ότι κάθε bit που τοποθετείται στον buffer (είτε πρόκειται για τον «fast» είτε για τον «interleaved» buffer δεδομένων) μιας συσκευής στο ένα άκρο της σύνδεσης (για παράδειγμα το ATU-R) θα εμφανιστεί στον buffer της συσκευής στο άλλο άκρο της σύνδεσης (το ATU-C). Το ADSL forum προτείνει ο «fast» buffer να λειτουργεί 10 φορές γρηγορότερα απ' ότι ο «interleaved» buffer. Οι καθυστερήσεις αναφέρονται ότι πρέπει να είναι περίπου 2 msec για τα «fast» δεδομένα και 20 msec για τα «interleaved» δεδομένα. Στον bit synchronous mode μπορούν να συνδεθούν μέχρι τέσσερις «bit synch» συμμετρικές συσκευές σε ένα ATU-R, πράγμα που είναι λογικό μια και υπάρχουν τέσσερα downstream κανάλια (AS0-AS3). Το upstream κανάλι πρέπει να περιέχει τουλάχιστον ένα κανάλι ελέγχου (Control C channel). Η ADSL σύνδεση λειτουργεί πάντα με σταθερή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, αυτό που καλούμε constant bit rate (CBR). Η ADSL σύνδεση μπορεί να χωριστεί σε κανάλια χρησιμοποιώντας την τεχνική TDM (Time Division Multiplexing) δημιουργώντας time slots μέσα στα ADSL πλαίσια.

Ο δεύτερος τρόπος διανομής είναι ο packed adapter mode. Η μόνη διαφορά που υπάρχει, παρατηρείται στις εγκαταστάσεις του συνδρομητή. Ειδικότερα, η διαφορά με το bit synchronous mode είναι ότι τώρα οι συσκευές στην πλευρά του χρήστη αποστέλλουν και λαμβάνουν πακέτα και όχι απλά συρμούς από bits. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να συνδεθεί από την πλευρά του χρήστη ένα SOHO (Small Office, Home Office) ή και ένα τοπικό δίκτυο (LAN). Έτσι, πακέτα από πολλές πηγές και από πολλούς προορισμούς (στο δίκτυο του συνδρομητή) μπορούν να μοιραστούν ένα LS1 κανάλι σε μια ADSL σύνδεση. Βέβαια, το ATU-R χαρτογραφεί τα πακέτα σε σταθερά κανάλια, και στην περίπτωση που στην άλλη άκρη πίσω από το DSLAM βρίσκεται ένας Internet Router η επεξεργασία των πακέτων γίνεται πιο αποτελεσματική.

Ο τρίτος τρόπος διανομής του σχήματος είναι ο end-to-end packed mode. Η κύρια διαφορά με τον packed adapter mode είναι ότι τώρα τα πακέτα πολυπλέκονται μέσα στο ADSL κανάλι. Τα πακέτα του χρήστη πρέπει να είναι τα ίδια με αυτά του παροχέα των υπηρεσιών στην άλλη άκρη της σύνδεσης. Το πρωτόκολλο στο οποίο βασίζεται αυτός ο τρόπος σύνδεσης είναι κυρίως το TCP/IP πρωτόκολλο.

Ο τελευταίος τρόπος διανομής είναι ο Asynchronous transfer mode (ATM), ή καλύτερα end-to-end ATM mode. Εδώ η πληροφορία τοποθετείται σε ATM κελιά και όχι σε IP πακέτα. Από την μεριά του CO, το ATU-C μεταβιβάζει τα κελιά σε ένα ATM δίκτυο. Σημειώστε, πως μέσα στα ATM κελιά μπορεί να βρίσκονται IP πακέτα (Το ADSL forum έχει υιοθετήσει το IP point-to-point over ATM πρωτόκολλο για αυτόν τον τρόπο διανομής). Το ADSL δίκτυο πρέπει όμως να επεξεργαστεί τα ATM κελιά προκειμένου να δημιουργήσει τα ADSL πλαίσια.

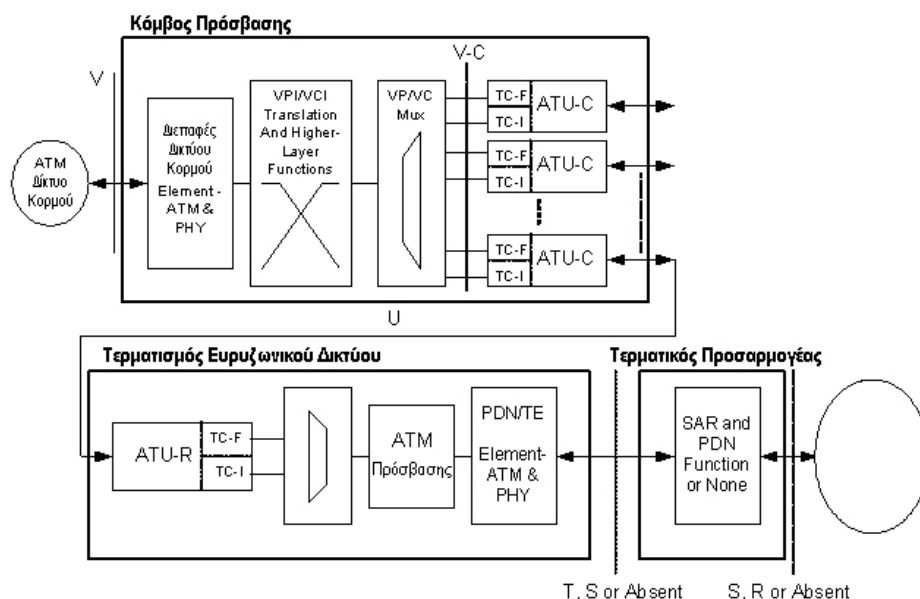
2.2.7. ADSL και ATM

Για την μεταφορά ATM κελιών από πομποδέκτες σύμφωνα με τις ADSL PHY συστάσεις, θα πρέπει τα κανάλια να μπορούν να αρχικοποιηθούν ανεξάρτητα, σε οποιοδήποτε ρυθμό μετάδοσης ο οποίος είναι ακέραιο πολλαπλάσιο των 32 Kbps

μέχρι ένα ανώτατο ρυθμό που έχει καθοριστεί κατά την διαδικασία αποκατάστασης της κλήσης (start-up). Επίσης, για κάθε κανάλι ο ρυθμός μετάδοσης upstream και downstream μπορεί να καθοριστεί ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.

Σύμφωνα με το T1.413 της ANSI και το G.992.1 της ITU, παρέχονται ένα «interleaved» κανάλι και ένα «fast» κανάλι που αντιστοιχούν σε κανάλια με χαμηλό ρυθμό εμφάνισης σφαλμάτων (BER: Bit Error Rate) αλλά με μεγάλη καθυστέρηση, καθώς και σε κανάλια με υψηλότερο ρυθμό εμφάνισης σφαλμάτων με μικρότερη όμως καθυστέρηση αντίστοιχα. Για την μεταφορά μόνο ATM πακέτων πάνω από ADSL, όλοι οι πομποδέκτες θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν το ATM0 κανάλι (AS0 downstream και LS0 upstream).

Στο σχήμα που ακολουθεί δείχνεται το μοντέλο αναφοράς ADSL για ATM μετάδοση. Το μοντέλο αυτό είναι βασισμένο στα τμήματα του ADSL PHY, συστάσεις που αναφέρονται στο μοντέλο αναφοράς συστήματος (System Reference Model) και στο μοντέλο ATM μετάδοσης (ATM transport mode).



Σχήμα 26. Μοντέλο αναφοράς ADSL για ATM μετάδοση

Παρόλο που το Σχήμα 26 δείχνει δύο κανάλια («fast» και «interleaved»), δεν είναι υποχρεωτικό και τα δύο κανάλια να μεταφέρουν δεδομένα συγχρόνως. Τα δομικά στοιχεία AN και B-NT καθώς και τα σημεία αναφοράς V, U, T, S, και R του σχήματος ορίζονται στα T1.413, και στις συστάσεις I.413 και I.432 της ITU-T.

Ο Access Node (AN) λειτουργεί σαν πολυπλέκτης / συγκεντρωτής επιπέδου ATM ανάμεσα στο ATM δίκτυο κορμού και το δίκτυο πρόσβασης (Access Network). Στην καθοδική κατεύθυνση μπορεί να εκτελέσει λειτουργίες δρομολόγησης / αποπολύπλεξης, ενώ στην ανοδική κατεύθυνση μπορεί να εκτελέσει λειτουργίες πολύπλεξης / συγκέντρωσης καθώς και λειτουργίες που ανήκουν σε ανώτερο επίπεδο από το φυσικό.

Ο AN περιέχει ένα στοιχείο διεπαφής με το δίκτυο κορμού (Core Network Interface Element) το οποίο εκτελεί όλες τις λειτουργίες του επιπέδου ATM και του φυσικού επιπέδου προκειμένου να πραγματοποιηθεί η διασύνδεση με το ATM δίκτυο κορμού (ATM core Network). Η μετάφραση του VPI/VCI καθώς και οι λειτουργίες ανωτέρου επιπέδου πραγματοποιούνται από τον πολυπλέκτη / αποπολυπλέκτη των VCs μεταξύ

των ATU-Cs και του στοιχείου διεπαφής με το δίκτυο κορμού. Στην περίπτωση που ένα ATU-C υποστηρίζει και τα δύο τύπου κανάλια, δηλαδή τα «fast» και «interleave» κανάλια, τότε απαιτούνται δύο λειτουργίες υποεπιπέδου ATM TC. Επίσης θα πρέπει να εκτελεστούν λειτουργίες διαχείρισης της κίνησης προκειμένου να πραγματοποιηθεί η προσαρμογή ρυθμού μεταξύ των διεπαφών V και U.

Το δομικό στοιχείο Broadband Network Termination (B-NT) εκτελεί τις λειτουργίες τερματισμού του ADSL σήματος που φτάνει στον χρήστη μέσω του συνεστραμμένου καλωδίου, παρέχοντας είτε τις διεπαφές T, S και R προς το δίκτυο διανομής του χρήστη (Premises Distribution Network, PDN) ή την τερματική συσκευή (Terminal Equipment, TE).

Το ATU-R στο B-NT εκτελεί λειτουργίες τερματισμού/επαναδημιουργίας της γραμμής μετάδοσης καθώς και λειτουργίες TC-F ή/και TC-I. Τα δομικά στοιχεία Access ATM και VP/VC Mux εκτελούν λειτουργίες επιπέδου ATM προκειμένου να υποστηριχτούν τα επίπεδα TC-F και TC-I του ATU-R. Το B-NT μπορεί να περιέχει και λειτουργίες μετάφρασης του VPI/VCI πεδίου ώστε να υποστηρίζει πολύπλεξη / αποπολύπλεξη των VCs μεταξύ του ATU-R και του στοιχείου PDN/TE interface με βάση το VPI ή/και το VCI. Το στοιχείο PDN/TE, εάν είναι υπαρκτό, εκτελεί λειτουργίες του ATM επιπέδου και του PHY επιπέδου για την επικοινωνία του B-NT με το PDN/TE. Επίσης θα πρέπει να εκτελεστούν λειτουργίες διαχείρισης της κίνησης προκειμένου να πραγματοποιηθεί η προσαρμογή ρυθμού μεταξύ των διεπαφών U και T ή S και R.

2.3. ADSL2 (ITU G.992.3 ΚΑΙ G.992.4)

Το ADSL2 (συστάσεις ITU G.992.3 και G.992.4) προσθέτει καινούρια χαρακτηριστικά και δυνατότητες που στοχεύουν στην βελτίωση της απόδοσης και της εμβέλειας, ενώ παρέχει καλύτερη υποστήριξη για νέες εφαρμογές και υπηρεσίες. Οι αλλαγές συμπεριλαμβάνουν βελτιώσεις στο ρυθμό μετάδοσης και την προσβασιμότητα, τις διαγνωστικές μεθόδους, την προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης, και την κατάσταση αναμονής (standby mode).

Το ADSL2 σχεδιάστηκε με σκοπό να βελτιώσει το ρυθμό μετάδοσης και την εμβέλεια του ADSL μέσω της επίτευξης καλύτερης απόδοσης σε γραμμές μεγάλου μήκους και κατά την παρουσία παρεμβολών. Το ADSL2 το επιτυγχάνει αυτό βελτιώνοντας την απόδοση της διαμόρφωσης (modulation), με τη μείωση της επιβάρυνσης για την κατασκευή των frames, με καλύτερο κέρδος από την κωδικοποίηση, με τη βελτίωση της αρχικοποίησης και με καλύτερους αλγόριθμους επεξεργασίας σήματος. Το αποτέλεσμα είναι το ADSL2 να ορίζει υψηλότερη απόδοση για όλες τις συμβατές με το πρότυπο συσκευές.

Η καλύτερη διαμόρφωση στο ADSL2 επιτυγχάνεται με τη χρήση τετραδιάστατης κωδικοποίησης trellis 16 καταστάσεων και 1-bit quadrature amplitude modulation (QAM), οι οποίες παρέχουν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης σε γραμμές μεγάλου μήκους όταν ο λόγος σήματος προς θόρυβο (signal-to noise ratio - SNR) είναι μικρός. Επιπλέον, επιτρέπει στον αποδέκτη να διασκορπίσει τον μη στατικό θόρυβο που προέρχεται από ραδιοφωνικές AM παρεμβολές. Η κωδικοποίηση trellis («πέργκολα», εξαιτίας της μορφής που έχει το διάγραμμα καταστάσεων) είναι μια μορφή διόρθωσης λαθών που συναντάται σε πολλά modems και επιτρέπει τη διόρθωση λαθών που προκύπτουν από διάφορα είδη παρεμβολών στις γραμμές επικοινωνίας.

Τα συστήματα ADSL2 επιτυγχάνουν μικρότερη επιβάρυνση στα frames με το να ορίζουν ένα frame με προγραμματιζόμενο αριθμό από bits επιβάρυνσης (overhead bits). Επομένως, αντίθετα με το ADSL πρώτης γενιάς όπου τα επιπρόσθετα bits ανά frame είναι σταθερά και καταναλώνουν 32 kbps από τα πραγματικά δεδομένα, στο ADSL2 τα επιπλέον bits ανά frame μπορούν να προγραμματιστούν από 4 έως το 32 kbps. Στα συστήματα ADSL πρώτης γενιάς, σε γραμμές μεγάλου μήκους όπου ο ρυθμός δεδομένων είναι χαμηλός (π.χ. 128 kbps), ένας σταθερός ρυθμός 32 kbps (ή 25% του συνολικού ρυθμού μετάδοσης) ανατίθεται σε επιπρόσθετη πληροφορία. Στο ADSL2, όπου αυτή η επιβάρυνση μπορεί να μειωθεί ως τα 4 kbps, κερδίζονται 28 kbps για πραγματικά δεδομένα.

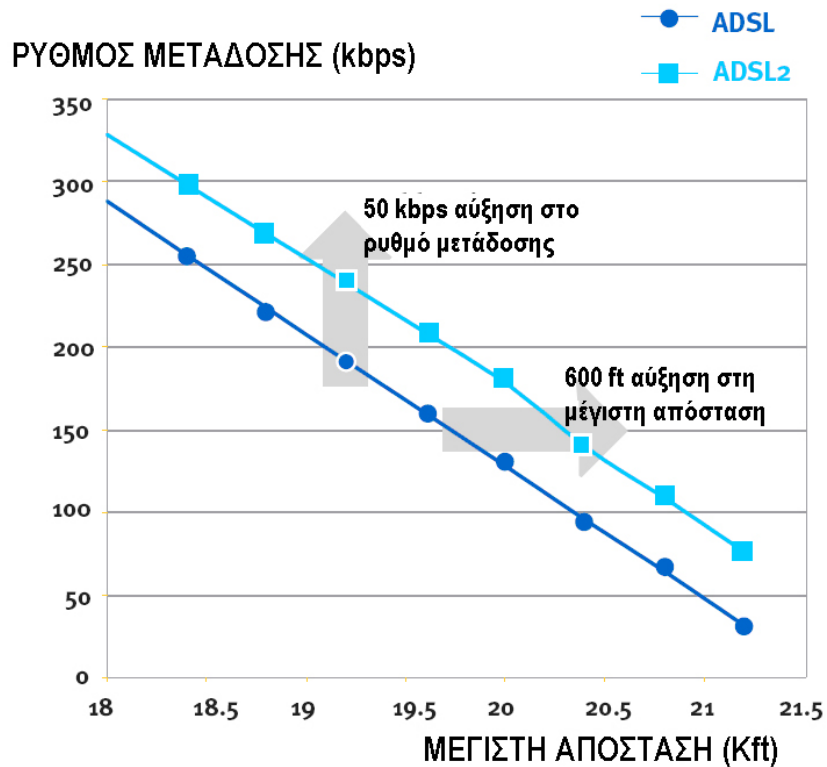
Ακόμα το ADSL2 παρέχει έναν προαιρετικό τρόπο λειτουργίας (all-digital mode) που επιτρέπει τη μετάδοση δεδομένων στο bandwidth που χρησιμοποιείται για τη φωνή, προσθέτοντας έτσι 256 kbps στον upstream ρυθμό μετάδοσης.

Σε γραμμές μεγάλου μήκους όπου ο ρυθμός δεδομένων είναι χαμηλότερος, το ADSL2 επιτυγχάνει καλύτερη κωδικοποίηση από τον κώδικα Reed-Solomon (RS). Ο λόγος είναι βελτιώσεις στο ADSL2 που επιτρέπουν την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα στην κατασκευή των κωδικών λέξεων του RS. Ο RS είναι ένας forward error correcting κώδικας που χρησιμοποιείται για να αναπληρώσει τα αποτελέσματα από εκρήξεις λαθών στην εισερχόμενη ροή bit.

Επιπλέον, το ADSL2 επιτυγχάνει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης με μια σειρά από άλλες βελτιώσεις που περιλαμβάνουν:

- Μείωση ηχούς και επιπέδων διασταυρούμενης ομιλίας (crosstalk) στα δύο άκρα της γραμμής. Crosstalk θεωρείται η παρεμβολή στην αναλογική γραμμή ενός γειτονικού σήματος με το επιθυμητό σήμα.
- Έλεγχος ορισμένων παραμέτρων από τον πομπό και τον δέκτη προκειμένου να επιτευχθεί βέλτιστη «εκπαίδευση» των συναρτήσεων επεξεργασίας σήματος του πομπού και του δέκτη.
- Εξουδετέρωση τόνων κατά την αρχικοποίηση ώστε να γίνει δυνατή η χρήση σχημάτων ακύρωσης της παρεμβολής ραδιοφωνικών συχνοτήτων (radio frequency interference (RFI) cancellation schemes).

Το ADSL2 μειώνει το χρόνο αρχικοποίησης σε λιγότερο από 3 δευτερόλεπτα, σε σχέση με πάνω από 10 δευτερόλεπτα που απαιτεί το ADSL.



Σχήμα 27. Σύγκριση ρυθμού μετάδοσης και μέγιστης απόστασης για το ADSL και το ADSL2

Στο Σχήμα 27 φαίνονται ο ρυθμός μετάδοσης και η μέγιστη απόσταση μετάδοσης για το ADSL2 συγκριτικά με το πρώτης γενιάς ADSL. Σε τηλεφωνικές γραμμές μεγάλου μήκους, το ADSL2 μπορεί να παρέχει επιπλέον 50 kbps ρυθμό μετάδοσης. Η αύξηση αυτή μεταφράζεται σε ισοδύναμη αύξηση της μέγιστης απόστασης της τάξης των 200 μέτρων, το οποίο σημαίνει αύξηση κάλυψης περίπου 6%, ή 6,5 τετραγωνικά χιλιόμετρα.

2.3.1. Διαγνωστικές μέθοδοι

Ο καθορισμός της αιτίας τυχόν προβλημάτων σε μια υπηρεσία ADSL δεν είναι ιδιαίτερα εύκολη υπόθεση. Για να διευκολυνθεί η διαδικασία εύρεσης των αιτιών των προβλημάτων, οι πομποδέκτες του ADSL2 έχουν ενισχυθεί με διαγνωστικές δυνατότητες. Οι δυνατότητες αυτές παρέχουν εργαλεία για την επίλυση προβλημάτων πριν και μετά την εγκατάσταση, παρακολούθηση της απόδοσης κατά τη διάρκεια χρήσης της υπηρεσίας, καθώς και πιστοποίηση για αναβαθμίσεις. Για τη διάγνωση και την επίλυση των προβλημάτων οι πομποδέκτες του ADSL2 παρέχουν ακόμα μετρήσεις του θορύβου της γραμμής, την εξασθένιση του σήματος, καθώς και το λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR) στα δύο άκρα της γραμμής. Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να συλλεχθούν χρησιμοποιώντας ένα ειδικό διαγνωστικό mode λειτουργίας ακόμα και όταν η ποιότητα της γραμμής είναι πολύ κακή για να πραγματοποιηθεί μία κανονική ADSL σύνδεση. Το ADSL2 περιλαμβάνει ακόμα την δυνατότητα παρακολούθησης της απόδοσης σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας πληροφορίες για την ποιότητα της γραμμής και το θόρυβο στα δύο άκρα. Η πληροφορία αυτή επεξεργάζεται από software και κατόπιν χρησιμοποιείται από τον πάροχο της

υπηρεσίας για να παρακολουθεί την ποιότητα της σύνδεσης και να αποφευχθούν μελλοντικές αστοχίες της υπηρεσίας. Μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί για να καθοριστεί εάν σε έναν πελάτη μπορούν να προσφερθούν υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης.

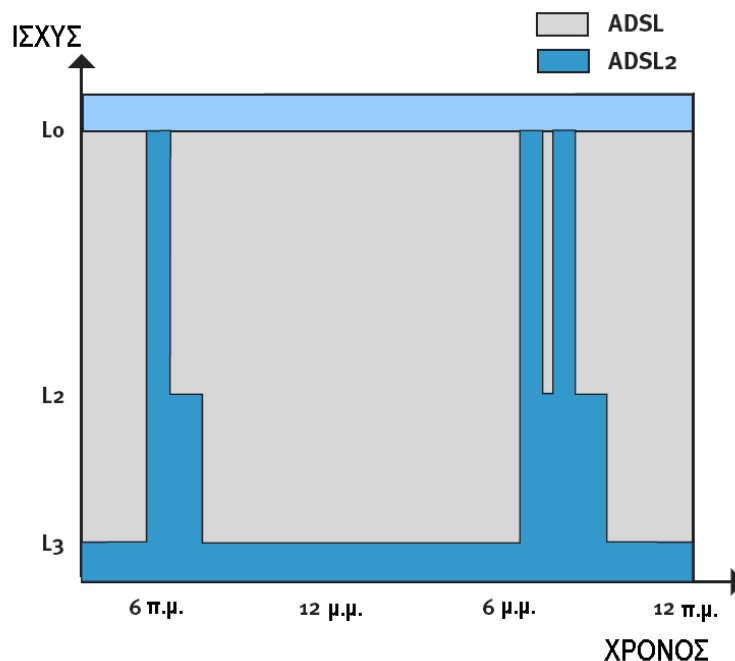
2.3.2. Βελτιώσεις στην κατανάλωση ισχύος

Οι πομποδέκτες του απλού ADSL πρώτης γενιάς λειτουργούν με πλήρη ισχύ καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, ακόμα και όταν δεν βρίσκονται σε χρήση. Με εκατομμύρια ADSL modems σε όλο τον κόσμο, το ποσό της ενέργειας που θα μπορούσε να εξοικονομηθεί εάν τα modems είχαν τη δυνατότητα standby/sleep mode όπως οι υπολογιστές, θα ήταν μεγάλο. Επιπλέον θα εξοικονομούσε ενέργεια σε πομποδέκτες που λειτουργούν σε μικρές απομονωμένες μονάδες και κοντινά με πολύ συγκεκριμένους περιορισμούς όσον αφορά τη διάχυση της παραγόμενης θερμότητας. Για το λόγο αυτό στο ADSL2 εισήχθησαν δύο modes διαχείρισης ενέργειας τα οποία εξοικονομούν ενέργεια διατηρώντας παράλληλα την “always-on” λειτουργικότητα για τους χρήστες. Τα modes αυτά είναι:

- L2 mode χαμηλής ισχύος: Στο mode αυτό εξοικονομείται ενέργεια στον πομποδέκτη της κεντρικής εγκατάστασης (ATU-C) με το να εισέρχεται και να εξέρχεται πολύ γρήγορα από την κατάσταση χαμηλής ισχύος ανάλογα με την κίνηση που διατρέπει την σύνδεση.
- L3 mode χαμηλής ισχύος: Στο mode αυτό εξοικονομείται ενέργεια στον πομποδέκτη της κεντρικής εγκατάστασης (ATU-C) και στον απομακρυσμένο πομποδέκτη (ATU-R) με το να εισέρχεται σε κατάσταση χαμηλής ισχύος όταν η σύνδεση δεν χρησιμοποιείται για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Το L2 mode είναι μια από τις σημαντικότερες καινοτομίες του ADSL2. Όταν γίνεται download μεγάλων αρχείων, η ADSL2 σύνδεση λειτουργεί σε πλήρη ισχύ (η οποία ονομάζεται L0 mode) προκειμένου να μεγιστοποιείται η ταχύτητα του download. Όταν η κίνηση στη σύνδεση μειώνεται, όπως όταν για παράδειγμα ο χρήστης διαβάζει ένα μεγάλο κείμενο, τα ADSL2 συστήματα μπορούν να μεταβούν στο L2 mode, στο οποίο ο ρυθμός μετάδοσης είναι σημαντικά μικρότερος και η κατανάλωση ισχύος μειώνεται. Από το L2 mode, το ADSL2 μπορεί να επανέλθει στιγμιαία στο L0 και να αυξήσει το ρυθμό μετάδοσης μόλις ο χρήστης ξεκινήσει για παράδειγμα ένα download. Ο μηχανισμός εισόδου και εξόδου στο L2 mode και οι επακόλουθες προσαρμογές του ρυθμού μετάδοσης επιτυγχάνονται χωρίς καμία διακοπή της υπηρεσίας, ούτε καν ένα bit λάθους, και επομένως δεν γίνονται αντιληπτές από το χρήστη.

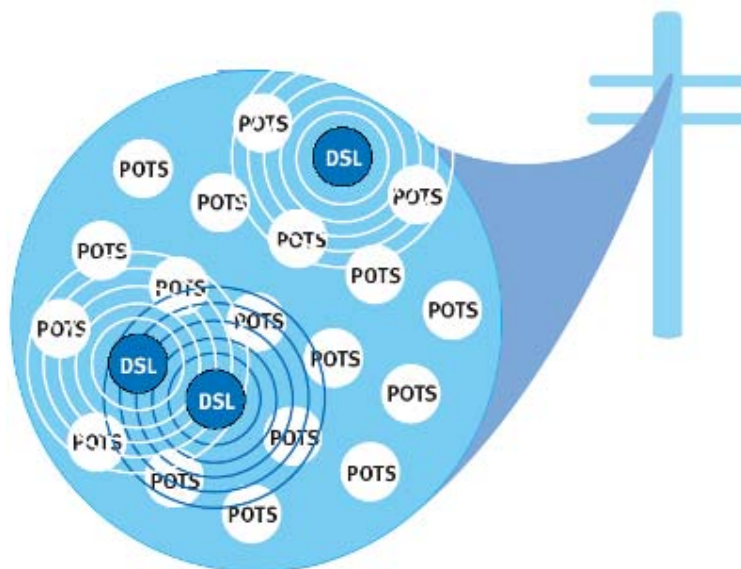
Το L3 mode είναι ένα sleep mode όπου η κίνηση δεν μπορεί να μεταφερθεί πάνω από την σύνδεση. Όταν ο χρήστης επιστρέφει, οι πομποδέκτες του ADSL2 χρειάζονται περίπου 3 δευτερόλεπτα για να επαναρχικοποιηθούν και να μουν σε κατάσταση πλήρους λειτουργίας.



Σχήμα 28. Κατανάλωση ισχύος σε ADSL και ADSL2

2.3.3. Προσαρμογή ρυθμού μετάδοσης

Τα τηλεφωνικά καλώδια είναι τοποθετημένα μαζί σε ομάδες των 25 ή και περισσότερων συνεστραμμένων ζευγών. Το αποτέλεσμα είναι ότι τα ηλεκτρικά σήματα από ένα συνεστραμμένο ζεύγος μπορεί να αλληλεπιδρούν ηλεκτρομαγνητικά με γειτονικά συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων. Το φαινόμενο αυτό λέγεται διασταυρούμενη ομιλία (crosstalk) και μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την απόδοση της ADSL σύνδεσης, που μπορεί να οδηγήσει το ADSL να διακόψει τη σύνδεση.



Σχήμα 29. Σχηματική αναπαράσταση των παρεμβολών μεταξύ γειτονικών ζευγών καλωδίων που μπορεί να οδηγήσουν στην διακοπή της ADSL σύνδεσης

Το crosstalk δεν είναι ο μόνος λόγος που μπορεί να διακοπεί μια ADSL σύνδεση. Αυτό μπορεί να συμβεί και εξαιτίας παρεμβολών από AM ράδιο, από αλλαγές στη θερμοκρασία, ή από εισροή νερού στα καλώδια.

Το ADSL2 αντιμετωπίζει τα προβλήματα αυτά με το να προσαρμόζει ομαλά το ρυθμό μετάδοσης σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνολογία αυτή ονομάζεται seamless rate adaptation (SRA), και δίνει τη δυνατότητα σε ένα ADSL2 σύστημα να αλλάζει το ρυθμό μετάδοσης της σύνδεσης ενώ βρίσκεται σε λειτουργία χωρίς διακοπή της υπηρεσίας και χωρίς λάθος bit. Το ADSL2 ανιχνεύει αλλαγές στις συνθήκες του καναλιού (όπως για παράδειγμα την διακοπή μετάδοσης ενός AM ραδιοσταθμού) και προσαρμόζει το ρυθμό λειτουργίας στη νέα κατάσταση του καναλιού με τρόπο διάφανο ως προς το χρήστη.

Το SRA βασίζεται στο διαχωρισμό του επιπέδου διαμόρφωσης (modulation layer) και επιπέδου πλαισίου (framing layer) των ADSL2 συστημάτων. Ο διαχωρισμός αυτός επιτρέπει στο επίπεδο διαμόρφωσης να αλλάζει τις παραμέτρους του ρυθμού μετάδοσης χωρίς να αλλάζει τις παραμέτρους του επιπέδου πλαισίου, γιατί κάτι τέτοιο θα έκανε τα modems να χάσουν το συγχρονισμό τους και άρα μη διορθώσιμα λάθη στα bit ή επανεκκίνηση του συστήματος.

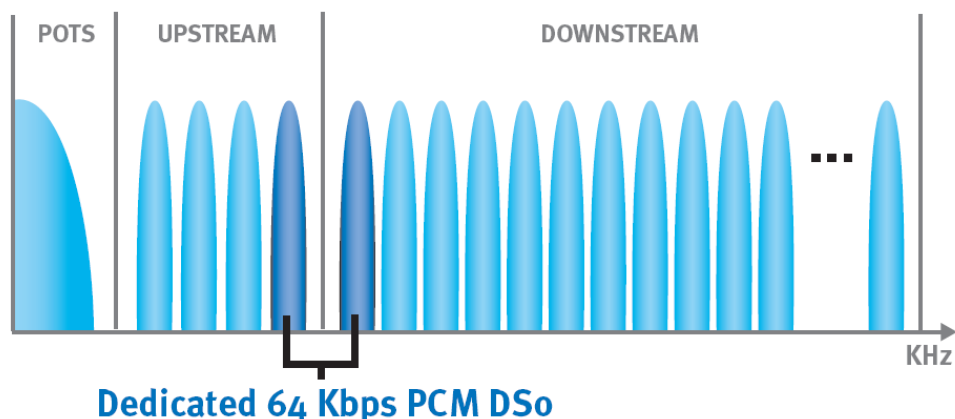
Το πρωτόκολλο του SRA λειτουργεί ως εξής:

1. Ο δέκτης παρακολουθεί το λόγο SNR του καναλιού και καθορίζει ότι απαιτείται αλλαγή του ρυθμού μετάδοσης για να ισορροπηθούν αλλαγές στις συνθήκες του καναλιού.
2. Ο δέκτης στέλνει ένα μήνυμα στον πομπό για να αρχικοποιήσει την αλλαγή στο ρυθμό μετάδοσης. Το μήνυμα περιέχει όλες τις απαραίτητες παραμέτρους για τη μετάδοση στο νέο ρυθμό, δηλαδή των αριθμό των διαμορφούμενων (modulated) bits και την ισχύ μετάδοσης σε κάθε υποκανάλι του συστήματος.
3. Ο πομπός στέλνει ένα σήμα “Sync Flag” που χρησιμοποιείται για να μαρκάρει την ακριβή χρονική στιγμή όπου θα αρχίσουν να χρησιμοποιούνται ο νέος ρυθμός μετάδοσης και οι παράμετροι μετάδοσης.
4. Το Sync Flag σήμα ανιχνεύεται από τον δέκτη και τα δύο άκρα μεταβαίνουν ομαλά και διάφανα για το χρήστη στο νέο ρυθμό μετάδοσης.

2.3.4. Κατάτμηση καναλιών και Voice over DSL

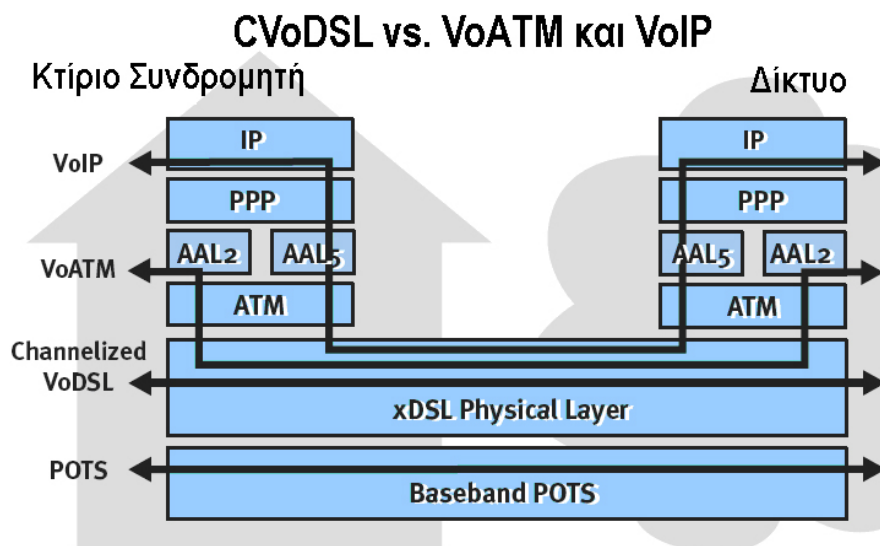
Το ADSL2 δίνει τη δυνατότητα κατάτμησης του εύρους ζώνης σε διαφορετικά κανάλια με διαφορετικά χαρακτηριστικά για διαφορετικές εφαρμογές. Για παράδειγμα το ADSL2 μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονη χρήση μιας εφαρμογής φωνής και μιας εφαρμογής δεδομένων, οι οποίες έχουν διαφορετικές απαιτήσεις όσον αφορά χαρακτηριστικά όπως ρυθμός λαθών και καθυστέρηση μετάδοσης (latency).

Επιπλέον το ADSL2 υποστηρίζει Channelized Voice over DSL (CVoDSL), μία μέθοδο για τη διάφανη μεταφορά κίνησης φωνής από TDM με το εύρος ζώνης του DSL. Το CVoDSL χρησιμοποιεί «κανάλια» των 64 kbps για τη μετάδοση PCM DS0 συνδέσεων από το DSL modem στο απομακρυσμένο τερματικό ή το central office.



Σχήμα 30. Σχηματική αναπαράσταση των αφοσιωμένων καναλιών φυσικού επιπέδου του CVoDSL για τη μεταφορά TDM γραμμών φωνής

Ο εξοπλισμός πρόσβασης τότε μεταδίδει τα DS0 της φωνής απευθείας στο κύκλωμα μέσω PCM, δηλαδή αποφεύγει την ανάγκη εισαγωγής της κίνησης φωνής σε πακέτα για υψηλότερα επίπεδα όπως το IP. Το Σχήμα 31 δείχνει σχηματικά το ότι στην περίπτωση του CVoDSL τα δεδομένα της φωνής δεν χρειάζεται να εισαχθούν σε πακέτα, αντίθετα από τις περιπτώσεις για παράδειγμα του VoIP και του VoATM.



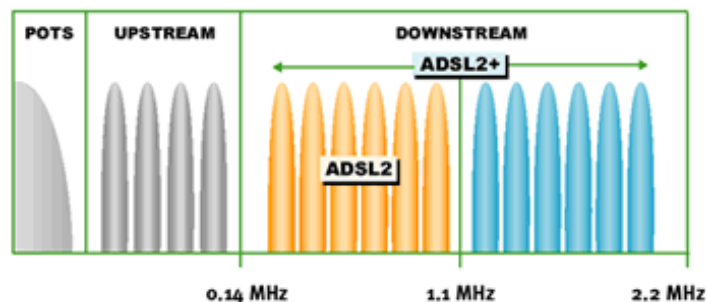
Σχήμα 31. Σχηματική σύγκριση του CVoDSL και VoIP, VoATM

Πολλαπλές συνδέσεις φωνής μπορούν να είναι ταυτόχρονα ενεργές. Βάσει των τυπικών περιορισμών του ADSL όσον αφορά το upstream εύρος ζώνης, 4 μη συμπιεσμένες συνδέσεις φωνής είναι ένα λογικό μέγιστο, χρησιμοποιώντας upstream εύρος ζώνης 256 kbps.

2.4. ADSL2+ (ITU G.992.5)

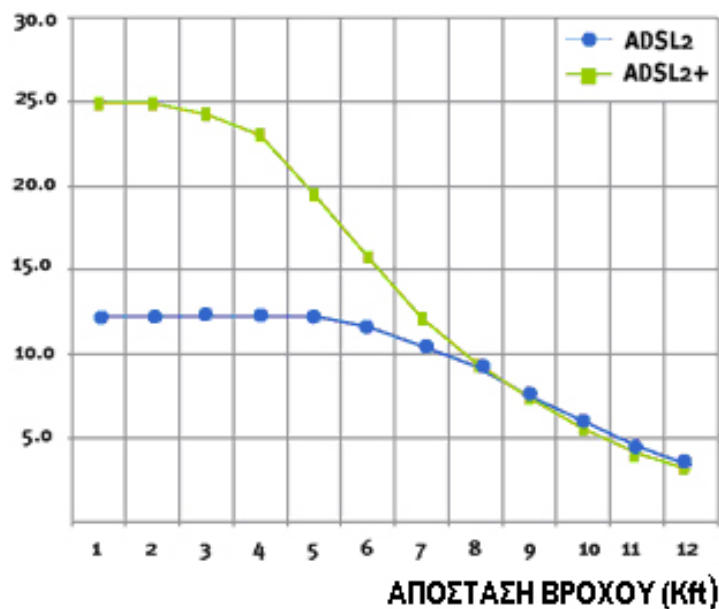
Το ADSL2+ οριστικοποιήθηκε ως πρότυπο από την ITU τον Ιανουάριο του 2003, οπότε και ενσωματώθηκε στην οικογένεια των ADSL2 προτύπων ως G.992.5. Το ADSL2+ διπλασιάζει το downstream bandwidth, αυξάνοντας το ρυθμό κατεβάσματος δεδομένων μέχρι και τα 25 Mbps.

Ενώ τα πρώτα δύο μέλη της οικογένειας των ADSL2 προτύπων, τα G.992.3 (G.dmt.bis) και G.992.4 (G.lite.bis) καθορίζουν μία μπάνα συχνοτήτων για downstream μέχρι το 1,1 MHz και τα 552 kHz αντίστοιχα, το ADSL2+ καθορίζει την downstream συχνότητα ως τα 2,2 MHz (Σχήμα 32). Το αποτέλεσμα είναι μια σημαντική αύξηση στους ρυθμούς μετάδοσης σε σχετικά κοντές τηλεφωνικές γραμμές, όπως φαίνεται στο Σχήμα 33.



Σχήμα 32. Συχνότητες ADSL2, ADSL2+

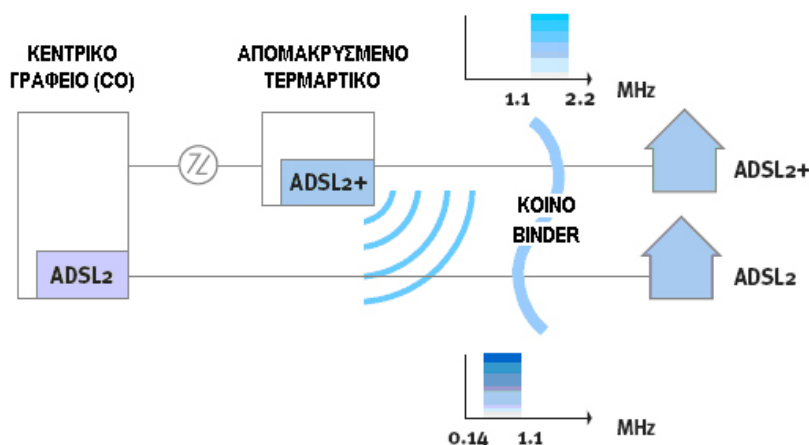
ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ (kbps)



Σχήμα 33. Ρυθμός μετάδοσης ανάλογα με την απόσταση για το ADSL2 και ADSL2+

Το ADSL2+ παρέχει επίσης έναν προαιρετικό τρόπο λειτουργίας που διπλασιάζει το upstream bandwidth και παρέχει επίσης διπλασιασμό του upstream ρυθμού μετάδοσης. Το ADSL2+ μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να μειωθεί η διασταυρούμενη ομιλία (crosstalk). Το ADSL2+ παρέχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν μόνο οι συχνότητες μεταξύ 1,1 MHz και 2,2 MHz με την απόκρυψη (masking) των downstream συχνοτήτων κάτω από το 1,1 MHz. Αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν οι ADSL υπηρεσίες από το κεντρικό γραφείο (central office – CO: εκεί όπου η τηλεφωνική εταιρία τερματίζει τη γραμμή του πελάτη και διαθέτει

τον εξοπλισμό μεταγωγής για τη διασύνδεση των γραμμών των πελατών με άλλα δίκτυα) και ένα απομακρυσμένο τερματικό (remote terminal - RT) είναι παρούσες στον ίδιο binder καθώς πλησιάζουν στα σπίτια των πελατών. Το crosstalk που δημιουργείται από τις ADSL υπηρεσίες από το RT πάνω στις γραμμές από το CO μπορεί να επηρεάσουν δυσμενώς τους ρυθμούς μετάδοσης στη γραμμή από το CO. Το ADSL2+ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διορθωθεί το πρόβλημα χρησιμοποιώντας συχνότητες κάτω από 1,1 MHz από το CO, και τις συχνότητες μεταξύ 1,1 MHz και 2,2 MHz από το RT μέχρι τις εγκαταστάσεις του πελάτη. Αυτό εξαφανίζει το μεγαλύτερο μέρος του crosstalk μεταξύ των υπηρεσιών και διατηρεί τους ρυθμούς μετάδοσης στη γραμμή από το CO. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 34, στον κοινό binder χρησιμοποιούνται διαφορετικές συχνότητες και μειώνονται τα προβλήματα παρεμβολής crosstalk.



Σχήμα 34. Μείωση crosstalk με τη δυνατότητα απόκρυψης (masking) συχνοτήτων κάτω από 1,1MHz του ADSL2+

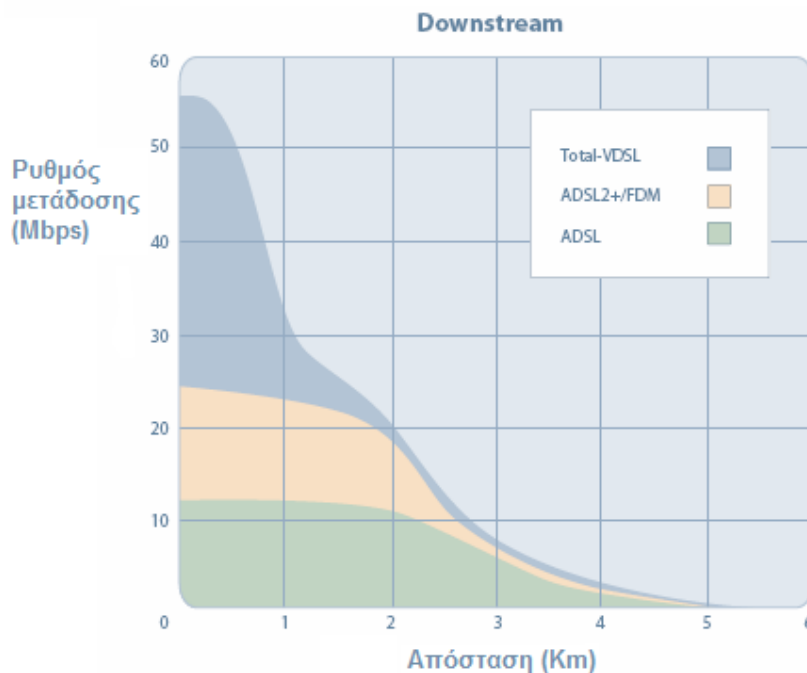
Μία παραλλαγή του ADSL2+ είναι το πρότυπο ITU G.992.5 Annex L, γνωστό και ως Reach Extended ADSL2+ (RE-ADSL2+), του οποίου η βασική διαφορά με το G.992.5 (ADSL2+) είναι η μέγιστη απόσταση στην οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Για να αυξηθεί η απόσταση χρησιμοποιείται περισσότερη ισχύς στις χαμηλότερες συχνότητες, δίνοντας στη δυνατότητα να λειτουργεί μια σύνδεση σε απόσταση 7 χιλιομέτρων. Συνήθως οι ιδιοκτήτες του local loop (τελευταίας σύνδεσης μέχρι το σπίτι του πελάτη) δεν επιτρέπουν τη χρησιμοποίησή του επειδή η υψηλή ισχύς μπορεί να δημιουργήσει crosstalk.

Το πρότυπο ITU G.992.5 Annex M είναι μια ακόμα παραλλαγή του ADSL2+ με βασική διαφορά σε σχέση με αυτό ότι το διαχωριστικό όριο μεταξύ των upstream και downstream συχνοτήτων έχει μετακινηθεί από τα 138kHz στα 276kHz, επιτρέποντας στο upstream bandwidth να αυξηθεί από το 1 Mbit/s στα 3,5 Mbit/s.

2.5. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ADSL

Η προτυποποίηση τεχνολογίας ADSL επόμενης γενιάς (ADSL3) δεν είναι στους άμεσους στόχους των κατασκευαστών καθώς ακόμα τελειοποιείται το ADSL2. Συχνά ως ADSL3 αντιμετωπίζεται μια ελαφρύτερη έκδοση του VDSL2, το οποίο μπορεί να προσφέρει 20-25 Mbps downstream. Γενικότερα το VDSL2 αντιμετωπίζεται ως το

μέλλον των γρήγορων xDSL συνδέσεων, και αναμένεται να ανταγωνιστεί τις μελλοντικές εκδόσεις του ADSL, με δεδομένα και τα κοινά στοιχεία των προτυποποιήσεών τους, που οδηγούν σε μεγάλο βαθμό interoperability μεταξύ των δύο τεχνολογιών. Στο Σχήμα 35 φαίνεται μία ακόμα σύγκριση των ρυθμών μετάδοσης που επιτυγχάνονται στο downstream σε συνάρτηση με την απόσταση για το βασικό ADSL και τις τεχνολογίες που αναμένεται να το διαδεχθούν.



Σχήμα 35. Ρυθμός μετάδοσης ανάλογα με την απόσταση για τα ADSL, ADSL2+, VDSL

Το ADSL στις διάφορες παραλλαγές και μετεξελίξεις του (ADSL2, ADSL2+) αποτελεί μία από τις βασικότερες τεχνολογίες με την οποία προωθείται η ευρυζωνικότητα στην Ελλάδα καθώς και στις περισσότερες χώρες του κόσμου σήμερα. Το 2008 οι διάφορες DSL τεχνολογίες με προεξάρχουσα την ADSL αποτελούσαν το 65% περίπου των ευρυζωνικών συνδέσεων παγκοσμίως. Παρά την μεγάλη σημασία της και τις έντονες ερευνητικές προσπάθειες που αναφέρθηκαν παραπάνω, η τεχνολογία αυτή περιορίζεται από τα φυσικά χαρακτηριστικά και όρια του μέσου το οποίο χρησιμοποιεί, δηλαδή του χαλκού. Έτσι, μπορεί το ADSL να θεωρείται σήμερα (το 2009) ευρυζωνικότητα, αλλά πιθανότατα αυτό δεν θα ισχύει σε λίγα χρόνια, με την εμφάνιση ολοένα και πιο απαιτητικών δικτυακών εφαρμογών. Υπάρχουν ενδείξεις ότι το 2012 η απαίτηση σε εύρος ζώνης για δικτυακές εφαρμογές θα είναι της τάξης των 100 Mbps, ταχύτητες δηλαδή που μόνο υποδομές οπτικών ινών μπορούν να καλύψουν. Το ίδιο υποστηρίζουν και οι μελέτες οργανισμών όπως ο ΟΟΣΑ και η Ευρωπαϊκή Ένωση για τις μελλοντικές τάσεις στο συγκεκριμένο τομέα.

Επιπλέον, το ADSL με την ασυμμετρική του φύση, είναι προσανατολισμένο στο μοντέλο του χρήστη – καταναλωτή. Τα τελευταία χρόνια καθώς οι απλοί χρήστες γίνονται σε ολοένα και μεγαλύτερο βαθμό και παραγωγικοί πολυμεσικού υλικού, οι μικρότερες ταχύτητες upload που προσφέρει το ADSL σε σχέση με τις ταχύτητες download καθίστανται ένας ακόμα περιοριστικός παράγοντας της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

2.6. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ xDSL ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται αναλυτικότερα οι πιο σημαντικές παραλλαγές της xDSL τεχνολογίας εκτός του βασικού ADSL και των βελτιώσεών του (ADSL2, ADSL2+) που αναλύθηκε εκτεταμένα παραπάνω.

2.6.1. RADSL

2.6.1.1. Τεχνική περιγραφή της τεχνολογίας RADSL

Το Rate Adaptive DSL (RADSL) αναφέρεται σε ένα περιορισμό που υπήρχε σε μερικές πρώιμες υλοποιήσεις του ADSL, κυρίως αυτών που ήταν βασισμένα στον CAP (carrierless amplitude/phase modulation) κώδικα γραμμής. Κάποιες αρχικές εφαρμογές σε modem ADSL διατηρούσαν σταθερό τον ρυθμό δεδομένων και προς τις δύο κατευθύνσεις ώστε να διατηρείται η γραμμή περισσότερο συνδεδεμένη.

Σήμερα ως RADSL εννοούμε το ADSL το οποίο χρησιμοποιεί τον κώδικα γραμμής QAM ή CAP ο οποίος είναι ένα ιδιοκτησιακό πρότυπο της Globespan Semiconductors και της AT&T. Πρέπει να τονιστεί ότι τα ADSL που χρησιμοποιούν κώδικα γραμμής DMT σύμφωνα με το πρότυπο T1.413 είναι επίσης rate adaptive αλλά γενικά δεν αναφέρονται έτσι. Ο uplink ρυθμός δεδομένων είναι ανάλογος προς τον downlink ρυθμό και εξαρτάται από τις συνθήκες της γραμμής και το λόγο σήματος προς θόρυβο.

Τα RADSL συστήματα υλοποιούνται με χρήση διαμόρφωσης σήματος FDM. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το upstream κανάλι που φτάνει ρυθμό μέχρι 1 Mbps να καταλαμβάνει τη μεσαία περιοχή μετά την τηλεφωνία και το downstream την ανώτερη περιοχή. Τα προβλήματα που παρουσιάζονται αφορούν τη συμβατότητα όσο αφορά το φάσμα συχνοτήτων μεταξύ των RADSL modems με QAM ή CAP με τα ADSL modems με DMT ή CAP στα οποία το upstream κανάλι φτάνει ρυθμούς το πολύ μέχρι 640 Kbps.

2.6.1.2. Αξιολόγηση τεχνολογίας RADSL

Τα προβλήματα που παρουσιάζονται και επηρεάζουν σημαντικά τη λειτουργία των εγκατεστημένων συστημάτων εξαρτώνται από το μήκος των καλωδίων, την διάμετρο και την κατάσταση των καλωδίων ακόμα και από τις καιρικές συνθήκες. Όλες αυτές οι παράμετροι διαφέρουν από δίκτυο σε δίκτυο παρόλο που παρέχονται από τον ίδιο τηλεπικοινωνιακό οργανισμό. Για να ξεπεραστούν λοιπόν αυτά τα προβλήματα και να διατηρηθεί η ποιότητα των παρεχομένων υπηρεσιών σε ικανοποιητικά επίπεδα αναπτύχθηκαν τεχνικές προσαρμογής του ρυθμού μετάδοσης. Επιπρόσθετα, πριν από οποιαδήποτε μετάδοση πληροφορίας, πραγματοποιούνται μια σειρά από δοκιμές στο δίκτυο προκειμένου να ανιχνευτεί ο μέγιστος ρυθμός με τον οποίο μπορούν να μεταδοθούν τα δεδομένα. Η ικανότητα αυτή της προσαρμογής του ρυθμού είναι προϊόν της RADSL τεχνολογίας, η οποία βασίζεται στις ADSL και SDSL τεχνολογίες.

Η RADSL είναι μια ευέλικτη τεχνολογία που υλοποιεί τα χαρακτηριστικά μετάδοσης και των δύο τεχνολογιών, χρησιμοποιώντας ότι καλύτερο έχει να προσφέρει η καθεμία. Ο μεταβλητός ρυθμός μετάδοσης προσφέρει σημαντικά οφέλη στους κατασκευαστές, οι οποίοι μπορούν και πουλούν ένα DSL προϊόν καλύπτοντας ένα φάσμα ρυθμών μετάδοσης και χρησιμοποιώντας και τους δύο τρόπους μετάδοσης,

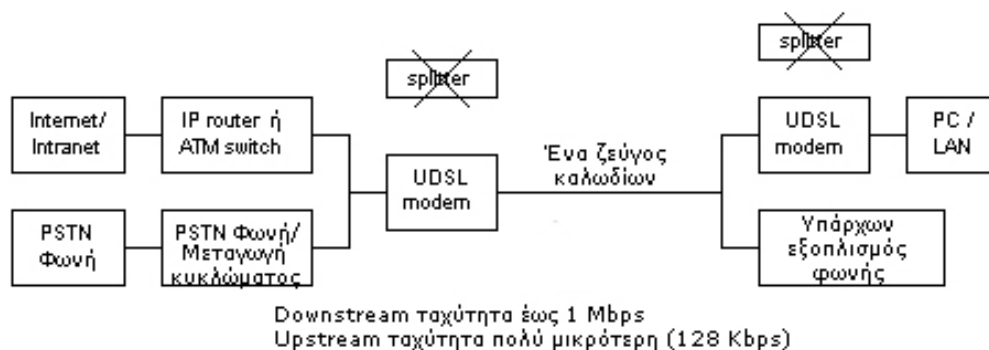
τον συμμετρικό και τον ασύμμετρο. Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα της RDSL τεχνολογίας είναι ότι επιτρέπει τηλεφωνική συνδιάλεξη και μετάδοση δεδομένων συγχρόνως.

2.6.2. UDSL (G.Lite / ITU G.992.2)

2.6.2.1. Τεχνική περιγραφή της τεχνολογίας UDSL

Οι πρώτες δοκιμές με τα ADSL και RDSL έφεραν στην επιφάνεια ένα σοβαρό πρόβλημα, στα κτήρια των πελατών. Τα ADSL και RDSL απαιτούσαν την εγκατάσταση και συντήρηση μιας συσκευής, το voice splitter. Πρώτα έπρεπε να γίνει η εγκατάσταση των splitter και οποιασδήποτε πιθανής καλωδίωσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο splitter παρέχονταν, ως μέρος της υπηρεσίας, από τους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς πράγμα που αύξανε σημαντικά το κόστος. Έτσι εάν ήταν δυνατόν η εγκατάσταση και αρχικοποίηση ADSL και RDSL ταχυτήτων, και η σύγχρονη υποστήριξη αναλογικών συσκευών χωρίς την χρήση ενός splitter θα μιλούσαμε για μια πολύ ελκυστική εναλλακτική μορφή του καθαρού ADSL και RDSL.

Η τεχνολογία UDSL (Universal ADSL), επίσης γνωστή και ως ADSL-lite ή G.Lite, αναπτύχθηκε από μια ομάδα εργασίας το 1997 η οποία περιλαμβάνει την εταιρεία Microsoft καθώς επίσης τηλεπικοινωνιακούς φορείς και κατασκευαστές από όλο το κόσμο. Η ομάδα εργασίας κάτω από το τίτλο Universal ADSL Working Group (UAWG), σχηματίστηκε για να αναπτύξει μια προδιαγραφή παγκόσμια, «ανοικτή», χωρίς διάταξη διαχωρισμού φωνής δεδομένων («splitterless»), ως επέκταση της τυποποίησης T1.413 ADSL, η οποία μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 1,5 Mbit/s στο κανάλι καθόδου (τυπικά μέχρι 500 kbit/s) και 512 kbit/s στο κανάλι ανόδου σε μεγαλύτερα μήκη τοπικού βρόχου (με ένα απλό συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων). Η τεχνολογία UDSL σχεδιάστηκε ως μια χαμηλού κόστους και μικρότερου εύρους ζώνης τεχνολογία ADSL και ως εκ τούτου είναι κατάλληλη για γρήγορες υπηρεσίες Internet αλλά όχι για εφαρμογές κινούμενης εικόνας. Στο σχήμα που ακολουθεί δείχνεται η γενική αρχιτεκτονική ενός UDSL συστήματος.



Σχήμα 36. UDSL δίκτυο

Η τεχνολογία προτυποποιήθηκε από τον οργανισμό ITU το 1999 με το όνομα G.992.2.

2.6.2.2. Αξιολόγηση τεχνολογίας UDSL

Για να επιτύχει εμπορικά οποιαδήποτε νέα υπηρεσία υψηλού ρυθμού μετάδοσης, πρέπει να εγκαθίσταται με εύκολο τρόπο τόσο στη πλευρά του παροχέα της

υπηρεσίας όσο και στη πλευρά του χρήστη. Με αυτό το σκεπτικό, η DSL G.Lite τεχνολογία μεταδίδει δεδομένα με ταχύτητες πάνω από 1,5 Mbps για την downstream κατεύθυνση και πάνω από 512 Kbps για την upstream κατεύθυνση εξασφαλίζοντας όλα τα θετικά σημεία του ADSL, ενώ ταυτόχρονα έχει και κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τα οποία επιλύουν προβλήματα της τεχνολογίας ADSL όπως την αποφυγή της χρήσης εξωτερικού splitter, που μάλιστα θα μπορούσαμε να πούμε ότι αποτελεί και το «κλειδί» της συγκεκριμένης τεχνολογίας, καθώς στη περίπτωση αυτή η υπάρχουσα τηλεφωνική υπηρεσία δεν επηρεάζεται από τη προσθήκη του DSL. Τα τηλεφωνικά σήματα διαχωρίζονται και προωθούνται στο τοπικό, ψηφιακό, δίκτυο επιλογής, ενώ τα δεδομένα συγκεντρώνονται σ' ένα μεγαλύτερο σύστημα και μεταφέρονται μέσα από το backbone δίκτυο του παρόχου. Επίσης με την ενσωμάτωση του splitter στο modem, η ανάγκη ενός ειδικού τεχνικού που θα τον εγκαταστήσει τόσο στον χρήστη όσο και στον παροχέα της υπηρεσίας εξαλείφεται. Με την απλούστευση αυτή ενεργοποιείται η μαζική εξάπλωση της τεχνολογίας αυτής και επιπλέον, μειώνεται το συνολικό κόστος εγκατάστασής της. Επιπλέον λειτουργεί με «*always on*» τρόπο με την έννοια ότι από τη στιγμή που κάποιος συνδέεται στο δίκτυο, παραμένει σ' αυτό για όσο χρόνο επιθυμεί. Το γεγονός της πρότασης του DSL G.Lite, δεν ανακαλεί την απαίτηση του ADSL πλήρους ρυθμού μετάδοσης, αλλά αποτελεί κατά κάποιο τρόπο ένα ενδιάμεσο βήμα ανάμεσα στα αναλογικά modems και στη λύση του ADSL. Η τεχνολογία G.Lite γνώρισε μέχρι σήμερα (2008) σχετικά μικρή εξάπλωση, αλλά εισήγαγε το πολύτιμο χαρακτηριστικό της εγκατάστασης DSL συστήματος χωρίς splitter.

2.6.3. HDSL (G.991.1) και HDSL2

2.6.3.1. Τεχνική περιγραφή της τεχνολογίας HDSL

Η πρώτη xDSL τεχνολογία που είχε αναπτυχθεί είναι η HDSL, και είναι διαθέσιμη εμπορικά για αρκετά χρόνια τώρα. Η HDSL τεχνολογία είναι η πρώτη που παρέχει ψηφιακή μετάδοση υψηλής ταχύτητας, χρησιμοποιώντας τις ήδη υπαρκτές τηλεφωνικές γραμμές. Βασικά αποτελεί έναν αποδοτικότερο τρόπο μετάδοσης πλαισίων T1 (1,54 Mbps) και E1 (2 Mbps) μέσω των γραμμών χαλκού, και χρησιμοποιεί ένα εύρος φάσματος από 80 - 240 KHz. Για να πετύχουμε αυτούς τους ρυθμούς για μια απόσταση των 4 Km πρέπει να χρησιμοποιηθούν δύο ζεύγη καλωδίων. Κάθε συρμός δεδομένων χωρίζεται σε δύο ή σε τρεις συρμούς (για T1 και E1 αντίστοιχα), οι οποίοι μεταδίδονται ανεξάρτητα μέσω δύο ή τριών ζευγών καλωδίων αντίστοιχα, και επανασυνδέονται στον δέκτη. Για παράδειγμα στη περίπτωση των πλαισίων T1, τα 1.554.000 bits ανά δευτερόλεπτο χωρίζονται σε δύο ίσα τμήματα με εύρος 784.000 bits ανά δευτερόλεπτο και μεταδίδονται μέσω δύο γραμμών (τέσσερα καλώδια).

2.6.3.2. Αξιολόγηση τεχνολογίας HDSL

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω η τεχνολογία HDSL αποτέλεσε την πρώτη xDSL τεχνολογία. Το βασικό της πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι απαιτεί μικρό εύρος ζώνης προκειμένου να μεταδώσει T1 και E1 πλαίσια. Επίσης έχει απλή υλοποίηση, εξασφαλίζει μικρότερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης (για τον service provider) και οι παροχείς υπηρεσιών δεν χρειάζεται να χρησιμοποιήσουν ειδικούς repeaters (για μικρές αποστάσεις). Η HDSL τεχνολογία αποτελεί μια καλή λύση για τους παροχείς υπηρεσιών. Το γεγονός ότι η μεταδιδόμενη πληροφορία χωρίζεται σε δύο συρμούς μειώνει κατά πολύ την ισχύ μετάδοσης και, λόγω του περιορισμένου

εύρους ζώνης που χρησιμοποιεί, είναι πιο σθεναρή στο θόρυβο και στις παρεμβολές. Όμως, από τη μεριά του χρήστη, η τεχνολογία αυτή παρουσιάζει μερικές ατέλειες που δεν την καθιστούν πολύ δημοφιλή. Αφού λοιπόν το κύριο μέλημα των χρηστών είναι το κόστος, η εγκατάσταση του απαραίτητου εξοπλισμού (modem και εξωτερικός voice splitter) αλλά και η χρήση μιας δεύτερης τηλεφωνικής γραμμής αυξάνει σημαντικά το κόστος πρόσβασης στο Internet (λαμβάνοντας υπ' όψη και το κόστος συνδρομής και σύνδεσης). Για τους λόγους αυτούς η χρήση της HDSL τεχνολογίας υποχωρεί έναντι της HDSL2 και της SDSL.

2.6.3.3. Σύγκριση HDSL με HDSL2

Η τεχνολογία HDSL2, χρησιμοποιώντας μόνο ένα ζεύγος καλωδίων (για την μετάδοση της ίδιας πληροφορίας) μειώνει το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας ενός συστήματος. Για την HDSL2, μπορούμε να αναφέρουμε συμπερασματικά ότι έχουμε μείωση των παρεμβολών και χρήση ενός ζεύγους καλωδίων.

Λόγω του γεγονότος ότι χρησιμοποιεί ένα ζεύγος καλωδίων, αυξάνεται η ισχύς για τη μετάδοση του σήματος. Έτσι, οι απώλειες είναι μεγαλύτερες απ' ό,τι στην HDSL των δύο ζευγών.

2.6.4. SDSL και SHDSL (ITU G.991.2)

2.6.4.1. Τεχνική περιγραφή της τεχνολογίας SDSL

Τα συστήματα SDSL έχουν την δυνατότητα να επιτυγχάνουν T1 ή E1 ρυθμούς μετάδοσης σ' ένα μόνο δισύρματο καλώδιο σε αποστάσεις που μερικές φορές ξεπερνούν αυτές που επιτυγχάνονται από ένα HDSL σύστημα, το οποίο χρησιμοποιεί δύο ζεύγη καλωδίων. Η SDSL τεχνολογία παρέχει συμμετρική, δικατευθυντήρια επικοινωνία υψηλού μεταβλητού ρυθμού, ενώ ταυτόχρονα υποστηρίζει την τηλεφωνική υπηρεσία. Εξ' αιτίας του γεγονότος ότι μόνο ένα ζεύγος καλωδίων απαιτείται για την μετάδοση, αξιοποιείται αποτελεσματικότερα η ήδη υπάρχουσα υποδομή του δικτύου και ευνοείται η σύντομη και με ικανοποιητικό κόστος υλοποίηση υπηρεσιών που απαιτούν μέσους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.

Οι δυνατοί ρυθμοί μετάδοσης του SDSL κυμαίνονται από 160 Kbps μέχρι και 2,048 Mbps, παρόλο που ο πιο διαδεδομένος ρυθμός μετάδοσης που χρησιμοποιείται είναι 768 Kbps και προς τις δύο κατευθύνσεις. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται συνήθως σε περιπτώσεις που απαιτούνται όμοιοι ρυθμοί μετάδοσης, και προς τις δύο κατευθύνσεις. Ειδικότερα, η SDSL απευθύνεται στους απλούς χρήστες που συνήθως τους διατίθεται μία μόνο τηλεφωνική γραμμή. Εξ' αιτίας τέλος, της συμμετρικής φύσεως της τεχνολογίας αυτής, η εφαρμογή της για την επίλυση των απαιτήσεων μιας εταιρίας είναι συνήθως επιβεβλημένη.

Αν συγκρίνουμε την SDSL με την ADSL τεχνολογία, παρατηρούμε ότι οι SDSL υπηρεσίες δεν είναι διαθέσιμες σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 3 περίπου χιλιόμετρα. Από την άλλη πλευρά σε τέτοιες αποστάσεις, η ADSL τεχνολογία επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 6 Mbps. Αυτό συμβαίνει ουσιαστικά, εξαιτίας του γεγονότος ότι τα συμμετρικά συστήματα μετάδοσης επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό από το crosstalk φαινόμενο. Από την άλλη πλευρά όμως, η SDSL τεχνολογία επιτρέπει στους παροχείς υπηρεσιών να αποκτήσουν σύντομα μεγάλη εμπειρία στην υποστήριξη νέων υπηρεσιών δεδομένων, διατηρώντας ταυτόχρονα τον εξοπλισμό δικτύου που ήδη έχουν, έτσι ώστε να μπορούν με εύκολο τρόπο να μεταβούν σε

τεχνολογίες υψηλότερου ρυθμού μετάδοσης όταν αυτό καταστεί επιθυμητό από λειτουργική και από κατασκευαστική άποψη.

2.6.4.2. *Αξιολόγηση τεχνολογίας SDSL*

Η τεχνολογία SDSL, που χρησιμοποιεί ένα μόνο ζεύγος καλωδίων και επιτυγχάνει την μετάδοση με ταχύτητες μέχρι και 2 Mbps με συμμετρικό τρόπο ανάλογα με την ποιότητα και το μήκος του καλωδίου, βασίζεται στην HDSL τεχνολογία που αρχικά χρησιμοποιήθηκε για την επίτευξη T1 ή E1 υπηρεσιών χωρίς την χρήση επαναληπτών σε περιοχές που η εγκατάστασή τους ήταν προβληματική ή ιδιαίτερα δαπανηρή. Ένα βασικό πλεονέκτημα της SDSL που οδηγεί στην αξιοποίηση της είναι ότι αποτελεί μια προσιτή υλοποίηση της xDSL τεχνολογίας εξ' αιτίας του γεγονότος ότι το SDSL χρησιμοποιεί την ίδια τεχνική διαμόρφωσης με αυτή του HDSL, που είχε αξιοποιηθεί τα πρώτα χρόνια εξάπλωσης του DSL και επωφελείται από την ωριμότητα των HDSL υλοποιήσεων. Για παράδειγμα, τα SDSL chipsets έχουν αρκετά χαμηλή τιμή, με αποτέλεσμα οι πάροχοι υπηρεσιών να μπορούν γρήγορα να προσφέρουν στους χρήστες τους μετάδοση δεδομένων με υψηλό ρυθμό. Επίσης έχουμε μικρή κατανάλωση αφού τα SDSL modems που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια έχουν κατανάλωση που δεν ξεπερνά τα 4 Watt. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για τους παρόχους υπηρεσιών. Επιπλέον έχουμε αποφυγή παρεμβολών επειδή η κωδικοποίηση γραμμής που χρησιμοποιεί είναι ίδια με αυτή του HDSL και του ISDN με αποτέλεσμα να μην δημιουργούνται παρεμβολές με τις ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες, όπως η T1. Αυτό σημαίνει ότι οι πάροχοι των υπηρεσιών μπορούν να δημιουργήσουν SDSL λύσεις χωρίς να ανησυχούν για την επίδραση που θα έχουν σε άλλες υπηρεσίες που βρίσκονται σε γειτονικά καλώδια. Ακόμα η συμμετρική φύση του SDSL αποτελεί μια πολύ καλή λύση για τις εταιρίες εκείνες που χρειάζονται την λήψη και την μετάδοση δεδομένων με τον ίδιο ρυθμό.

2.6.4.3. *SHDSL (ITU G.991.2)*

Καθώς το αρχικό SDSL είναι μια εμπορική τεχνολογία, η προσπάθεια προτυποποίησής της οδήγησε στο SHDSL πρότυπο (ITU G.991.2), το οποίο πέρα από τον παγκόσμιο οργανισμό ITU επίσης προτυποποιήθηκε από τους τοπικούς οργανισμούς ANSI της Β. Αμερικής και ETSI της Ευρώπης. Το SHDSL παρέχει συμμετρικούς ρυθμούς της τάξης των 2,3 Mbps σε απόσταση 3 km οι οποίοι γίνονται 192 kbps στα 6 km σε ένα ζευγάρι καλωδίων. Η προαιρετική διαμόρφωση με 4 καλώδια μπορεί να επεκτείνει τους ρυθμούς των 2,3 Mbps στα 5 km. Το SHDSL πρότυπο παρέχει την επιλογή αύξησης της απόστασης ή του ρυθμού με τη χρήση του δεύτερου ζεύγους καλωδίων. Επίσης το SHDSL είναι σχεδιασμένο για συμβατότητα με τις άλλες xDSL τεχνολογίες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κοινού δημιουργώντας ελάχιστες παρεμβολές.

Προκειμένου να επιτύχει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης το SHDSL χρησιμοποιεί το εύρος ζώνης της απλής τηλεφωνικής γραμμής. Για να υποστηριχτεί επομένως το POTS (απλό τηλεφωνικό δίκτυο) πρέπει να χρησιμοποιηθεί VoDSL ή Channelized VoDSL.

2.6.5. IDSL

2.6.5.1. Τεχνική περιγραφή της τεχνολογίας IDSL

Η διαρκής εμφάνιση κατασκευαστών DSL προϊόντων έχει σαν αποτέλεσμα τις συχνές αλλαγές στην τεχνολογία αυτή. Για παράδειγμα, το ISDN-DSL ή IDSL εμφανίστηκε αρχικά σαν μία νέα εξέλιξη της τεχνολογίας που ήδη υπήρχε κατά την δεκαετία του '80. Παρόλο που το IDSL αναβαθμίζει μια υπάρχουσα τεχνολογία, στην πραγματικότητα αποτελεί λειτουργικά ένα υποσύνολο του ISDN, με την έννοια ότι δεν υποστηρίζει τηλεφωνική υπηρεσία.

Ειδικότερα το IDSL αποτελεί ένα σύστημα στο οποίο αποκλειστικά, ψηφιακά δεδομένα μεταδίδονται με ταχύτητα 128 Kbps μέχρι τα 5 km σε ένα κοινό χάλκινο τηλεφωνικό καλώδιο ανάμεσα στο CO (central office) του τηλεπικοινωνιακού παρόχου και στον χρήστη με ψηφιακό τρόπο. Παρόλο που η ταχύτητα του IDSL είναι όμοια με αυτή του ISDN, το IDSL έχει το πλεονέκτημα της αποφυγής της συμφόρησης του δικτύου μετάδοσης φωνής, μειώνοντας τις Internet κλήσεις στο δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος. Η μόνη απαίτηση του από την εταιρία που παρέχει την υπηρεσία, είναι η τοποθέτηση ειδικών συγκεντρωτών σε κάθε CO και η σύνδεση των συσκευών σ' ένα μεγαλύτερο δίκτυο δεδομένων πάνω από T1 ή Frame relay links.

2.6.5.2. Αξιολόγηση τεχνολογίας IDSL

Το IDSL αποτελεί μία προσέγγιση που επιτρέπει την χρήση της ήδη υπάρχουσας ISDN τεχνολογίας για μετάδοση μόνο δεδομένων και όχι φωνής, δηλαδή χρησιμοποιεί το ήδη εγκατεστημένο ISDN. Οι εταιρίες που προσφέρουν Internet και POTS (παραδοσιακές τηλεφωνικές) υπηρεσίες μπορούν με εύκολο τρόπο να αναβαθμίσουν τον ISDN εξοπλισμό δικτύου που ήδη έχουν, εξασφαλίζοντας στους χρήστες 128 Kbps. Από την άλλη πλευρά οι ISDN χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα modem που ήδη έχουν. Επίσης έχει φτηνή υλοποίηση και το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό τόσο για τους καταναλωτές, που απαιτούν χαμηλό κόστος εγκατάστασης του modem, όσο και για τους παρόχους υπηρεσιών που επιζητούν την επένδυση ενός λογικού ποσού κατά την εφαρμογή μιας νέας τεχνολογίας. Επιπλέον αποκλείει τη συμφόρηση στο δίκτυο αφού η IDSL παρακάμπτει τους διακόπτες δικτύου, μειώνοντας τις Internet κλήσεις των χρηστών προς το δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος. Ενώ και ο ρυθμός μετάδοσης των 128 Kbps για πολλές εφαρμογές είναι αρκετά ικανοποιητικός για τους χρήστες κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του χρησιμοποιούμενου εύρους ζώνης.

Βέβαια, ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι η τεχνολογία IDSL πραγματοποιεί, σε αντίθεση με το ISDN, την μετάδοση μόνο δεδομένων και όχι φωνής. Το γεγονός αυτό επομένως οδηγεί στην χρήση μιας επιπλέον γραμμής για την μετάδοση φωνής, κάτι που είναι ιδιαίτερα ασύμφορο.

2.6.6. VDSL (ITU-T G.993.1) και VDSL2 (ITU-T G.993.2)

2.6.6.1. Τεχνική περιγραφή της τεχνολογίας VDSL

Η τεχνολογία VDSL είναι επέκταση της ADSL και έχει προτυποποιηθεί ως ITU G.993.1. Σε αντίθεση με την ADSL, η VDSL έχει την δυνατότητα να λειτουργήσει τόσο με συμμετρικό όσο και με ασύμμετρο τρόπο, χρησιμοποιώντας είτε μια απλή

τηλεφωνική γραμμή είτε μια ISDN γραμμή, μεταδίδοντας δεδομένα με υψηλές ταχύτητες σε μικρές αποστάσεις.

Ο ασύμμετρος τρόπος λειτουργίας του VDSL απευθύνεται κυρίως στους οικιακούς χρήστες, δίνοντας τους την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν υπηρεσίες ευρείας ζώνης μετάδοσης. Η συνύπαρξη τηλεφωνικών και VDSL σημάτων στο ίδιο καλώδιο πραγματοποιείται με τον διαχωρισμό των συχνοτήτων μετάδοσης με την χρήση ενός εξωτερικού splitter.

Η VDSL τεχνολογία μοιάζει αρκετά με την ADSL, παρότι η VDSL διαχειρίζεται ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων και επομένως η υλοποίηση του θα είναι πολύ πιο δύσκολη. Για την υλοποίηση του VDSL έχουν προταθεί τέσσερις διαφορετικοί κώδικες γραμμής που είναι:

- **CAP**: Αποτελεί μια διαφορετική μορφή της QAM διαμόρφωσης γραμμής.
- **DMT**: Είναι μια διαμόρφωση που χρησιμοποιεί ένα σύστημα με πολλαπλούς φορείς και διακριτό μετασχηματισμό Fourier για να δημιουργήσει και να αποδιαμορφώσει τους φορείς στην συχνότητα.
- **DWMT**: Είναι μια τεχνική διαμόρφωσης με πολλαπλούς φορείς που χρησιμοποιείται ώστε να αξιοποιηθεί το σύνολο των δυνατοτήτων των χάλκινων καλωδίων, έτσι ώστε να είναι δυνατή η προσφορά υπηρεσιών ευρείας ζώνης και προς τις δύο κατευθύνσεις.
- **SDMT**: Είναι μια τεχνική διαμόρφωσης που συνδυάζει δύο διαφορετικές τεχνικές μετάδοσης δεδομένων, την DMT για την μετάδοση και την τεχνική χρονικής απόπλεξης (TDD) για τον προγραμματισμό του ανοδικού και καθοδικού ρυθμού μετάδοσης.

2.6.6.2. Αξιολόγηση τεχνολογίας VDSL

Η VDSL είναι μια τεχνολογία μετάδοσης παρόμοια με την ADSL εκτός του ότι οι ρυθμοί μετάδοσης είναι μεγαλύτεροι και οι αποστάσεις μικρότερες. Τηλεφωνικές υπηρεσίες (POTS) υποστηρίζονται όπως και στην περίπτωση του ADSL. Σε αντίθεση με την ADSL, η VDSL μπορεί και λειτουργεί είτε συμμετρικά είτε ασύμμετρα χρησιμοποιώντας μια απλή δισύρματη γραμμή ή μια βασική ISDN γραμμή. Σύμφωνα με το G.933.1 πρότυπο της ITU-T οι ρυθμοί μετάδοσης και οι αποστάσεις κυμαίνονται από 12 Mbps για αποστάσεις μέχρι 1,5 Km καλωδίου, και 52 Mbps για αποστάσεις μέχρι 300 m (downstream - από το κεντρικό γραφείο μέχρι τον χρήστη). Για upstream μετάδοση (από τον χρήστη μέχρι το κεντρικό γραφείο) οι προτεινόμενοι ρυθμοί μετάδοσης είναι από 1,6 Mbps μέχρι 2,3 Mbps. Λόγω του ότι, οι αποστάσεις που μπορούν να καλυφθούν είναι μικρές, η VDSL μπορεί να υλοποιηθεί μόνο σε περιπτώσεις όπου τα CO's είναι κοντά. Επίσης, λόγω του ότι οι αποστάσεις που μπορούν να καλυφθούν είναι μικρότερες, εμφανίζονται λιγότερα προβλήματα σχετικά με την απόδοση των γραμμών, πράγμα που έχει ως αντίτιμο στην τιμή των VDSL modems συγκριτικά με τα αντίστοιχα της ADSL τεχνολογίας. Έχει καθοριστεί μέσω ερευνών και δοκιμών ότι η QAM είναι η πιο εφαρμόσιμη μέθοδο διαμόρφωσης, λαμβάνοντας υπ' όψη την κατανάλωση ισχύος, την απόδοση και το κόστος. Ως τεχνολογία προσανατολισμένη στο χρήστη, το κόστος αποτελεί επίσης έναν σημαντικό παράγοντα.

Σήμερα τα υπάρχοντα προϊόντα που υποστηρίζουν αυτή την τεχνολογία είναι λίγα διότι αυτή δεν έχει εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα, εκτός από την Ιαπωνία και τη

Νότια Κορέα, όπου είναι σήμερα (2008) ήταν κυρίαρχη τεχνολογία. Οι εταιρίες προσφέρουν modems που επιτυγχάνουν ταχύτητες από 12 έως 53 Mbps για 1,5 Km - 300 m.

Τέλος, αν και οι ρυθμοί μετάδοσης της VDSL τεχνολογίας αποτελούν μια ιδανική κατάσταση, οι απαιτήσεις των χρηστών μέχρι σήμερα δεν την καθιστούν αναγκαία. Οι τελικοί χρήστες έχουν απαίτηση για γρήγορη πρόσβαση στο Internet, οπότε οι ρυθμοί που επιτυγχάνονται με άλλες xDSL τεχνολογίες, όπως ADSL και RADSL θεωρούνται ικανοποιητικοί.

2.6.6.3. Αξιολόγηση τεχνολογίας VDSL2

Το VDSL2 είναι το νεότερο μέλος της οικογένειας των DSL τεχνολογιών και είναι σχεδιασμένο για Triple Play υπηρεσίες (φωνή, video, δεδομένα, υψηλής ευκρίνειας τηλεόραση – HDTV και διαδραστικά παιχνίδια). Το VDSL2 (πρότυπο G.993.2 της ITU-T) επιτρέπει την σταδιακή και ευέλικτη αναβάθμιση της υπάρχουσας xDSL υποδομής.

Αποτελεί βελτίωση στο πρότυπο G.993.1 (VDSL) στο ότι επιτρέπει τη μετάδοση συμμετρικών και ασύμμετρων ρυθμών (Full-Duplex) μέχρι 200 Mbit/s σε συνεστραμμένα ζεύγη χρησιμοποιώντας συχνότητες μέχρι 30 MHz.

Το VDSL2 γρήγορα εκφυλίζεται από το θεωρητικό maximum των 250 Mbit/s στα 100 Mbit/s για απόσταση 0,5 km και στα 50 Mbit/s για απόσταση 1 km, αλλά από εκεί και πέρα η μείωση είναι σημαντικά αργότερη όσο αυξάνει η απόσταση, και συνεχίζει να υπερισχύει του VDSL. Από τα 1,6 km η απόδοσή του είναι ισότιμη με το ADSL2+.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΤHERNET

3. Τεχνολογίες Ethernet

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες, το Ethernet έχει εξελιχθεί από ένα βασισμένο στον ανταγωνισμό ραδιοφωνικού καναλιού σύστημα μετάδοσης (contention-based radio channel transmission system) των 4800 bps, στο πιο δημοφιλές πρότυπο τοπικών δικτύων, ικανό να μεταδώσει 100 εκατομμύρια bps πάνω από αθωράκιστο συνεστραμμένου ζεύγους τηλεφωνικό καλώδιο (UTP).

3.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Στην παράγραφο αυτή γίνεται μια ιστορική αναδρομή για να γίνει κατανοητό πώς μέσα από ανταγωνιστικά πρότυπα κατέληξε το Ethernet να είναι απόλυτα κυρίαρχο σήμερα.

Το σημείο-κλειδί στο Ethernet είναι η χρήση του διαμοιραζόμενου καναλιού μετάδοσης. Η ιδέα αυτή ξεκίνησε στο Πανεπιστήμιο της Χαβάης στα τέλη της δεκαετίας του '60 όταν αναπτύχθηκε ένα ραδιοφωνικό δίκτυο με το όνομα «σύστημα ALOHA». Η αρχική ταχύτητα του συστήματος ήταν 4800 bps και αργότερα αυξήθηκε στα 9600 bps. Το είδος αυτού του δικτύου ονομάζεται δίκτυο βασισμένο στον ανταγωνισμό (contention-based network) επειδή οι διαφορετικοί σταθμοί που απαρτίζουν το δίκτυο, ανταγωνίζονται για το ίδιο κανάλι. Η αποδοτικότητα του συστήματος ALOHA υπολογίστηκε ίση με το 17% της θεωρητικής χωρητικότητας. Το 1972 το ALOHA αναβαθμίστηκε στο slotted ALOHA, μια αλλαγή που διπλασίαζε την αποδοτικότητα του.

Το Ethernet με τη σημερινή του μορφή ξεκίνησε τον Ιούλιο του 1972 από τον Bob Metcalfe ο οποίος εργαζόταν στο Xerox Palo Alto Research Center. Εκεί ο Metcalfe σχεδίαζε το ALTO ALOHA network, ένα δίκτυο που βασιζόταν στο σύστημα ALOHA και θα συνέδεε ένα μεγάλο αριθμό από υπολογιστές του ALTO για να υποστηρίξει την έρευνα. Το ALTO ALOHA Network, το πρώτο στον κόσμο τοπικό δίκτυο προσωπικών υπολογιστών, λειτούργησε τον Μάιο του 1973. Το πρώτο Ethernet σύστημα έγινε γνωστό ως το «πειραματικό Ethernet» το οποίο λειτουργούσε στα 2,94 Mbps.

Το Ethernet ήταν ένα μεγάλο βήμα σε σχέση με το προγενέστερο δίκτυο ALOHA. Το κύριο χαρακτηριστικό του ήταν το carrier-sense, το γεγονός δηλαδή ότι ένας σταθμός άκουγε το κανάλι πριν μεταδώσει τα δικά του δεδομένα ώστε να αποφύγει τη μετάδοση εάν το κανάλι ήταν ήδη κατειλημμένο, καθώς και ένα βελτιωμένο σχήμα επαναμετάδοσης που επέτρεπε τη χρήση του δικτύου σχεδόν στο 100%. Στο τέλος του 1977 ο Metcalfe και οι συνάδελφοι του έλαβαν μια πατέντα για το «Multipoint Data Communication System with Collision Detection». Αυτό το σύστημα μετάδοσης είναι το γνωστό CSMA/CD (Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection).

Στο τέλος του 1970 είχαν αναπτυχθεί δεκάδες από διαφορετικές τεχνολογίες τοπικών δικτύων εκτός από το Ethernet. Αυτό όμως που έκανε το Ethernet να επικρατήσει δεν ήταν τόσο η τεχνική του ανωτερότητα ή η ταχύτητα, όσο η ιδέα του Metcalfe να τυποποιήσει το Ethernet και να μη το αφήσει να αναπτυχθεί μόνο από ένα προμηθευτή (vendor). Το 1980 οι DEC, Intel και Xerox δημοσίευσαν το Ethernet

Blue Book, ή DIX Ethernet V1.0 specification. Παράλληλα, η IEEE οργάνωσε μια επιτροπή που ήταν υπεύθυνη να ορίσει και να προωθήσει βιομηχανικά πρότυπα LAN, που ονομάστηκε Project 802. Τον Ιούνιο του 1981 η επιτροπή αυτή σχημάτισε την υποεπιτροπή 802.3 για να παράγει ένα διεθνώς αναγνωρισμένο πρότυπο βασισμένο στη δουλειά της DIX. Μετά από ενάμιση χρόνο, 19 εταιρείες ανακοίνωσαν το νέο IEEE 802.3 draft standard. Το 1983 το draft ολοκληρώθηκε ως το IEEE 10BASE5 standard. Σήμερα, το Ethernet και το 802.3 θεωρούνται ισοδύναμα. Η διεθνής αναγνώριση για το IEEE 802.3 standard ήρθε το 1989 όταν η ISO υιοθέτησε το Ethernet ως standard number ISO 88023, προσδίδοντάς του παγκόσμια παρουσία.

Το 1981 η 3Com (εταιρία που ίδρυσε ο Metcalfe και οι συνεργάτες του) άρχισε να αναπτύσσει το EtherLink ISA adapter, το οποίο αποτέλεσε μια τεχνολογική καινοτομία. Η 3Com παρουσίασε και μια καινούρια, λεπτότερη μέθοδο καλωδίωσης που είναι γνωστή ως Thin Ethernet, η οποία σύντομα έγινε de facto standard αφού είχε αρκετά πλεονεκτήματα: περιόριζε την ανάγκη για εξωτερικό πομποδέκτη και καλώδιο πομποδέκτη, ήταν φθηνότερη, και έκανε τη δικτύωση περισσότερο φιλική προς το χρήστη, αφού το λεπτό ομοαξονικό καλώδιο ήταν πιο εύκολο στην εγκατάσταση και τη χρήση. Οι 3Com, ICL και Hewlett-Packard υπέβαλλαν την ιδέα του thin Ethernet στην IEEE, που το υιοθέτησε ως επίσημο standard το 1984. Το standard ήταν γνωστό ως 10BASE2 ή Cheapernet (λόγω του ότι ήταν φθηνότερο από προηγούμενες λύσεις).

Το thin Ethernet είχε κάποια μειονεκτήματα όπως ότι, εάν ένας χρήστης κατά λάθος αποσυνέδεε το ομοαξονικό καλώδιο, το δίκτυο θα δεν θα λειτουργούσε. Πρόβλημα ήταν και το network reconfiguration εάν ένας χρήστης μετακόμιζε σε άλλη θέση. Στο τέλος του 1983, η Intel μαζί με την AT&T και την NCR άρχισαν να δοκιμάζουν εάν το Ethernet λειτουργεί πάνω από UTP τηλεφωνικό καλώδιο. Η AT&T πρότεινε μια τοπολογία αστέρα, παρόμοια με αυτή της υπάρχουσας τηλεφωνικής καλωδιακής υποδομής. Τα πλεονεκτήματα ήταν ότι οι διαμορφώσεις αστέρα είναι πιο εύκολες και φθηνες να τις εγκαταστήσεις, να τις διαχειριστείς και να επιλύσεις τυχόν προβλήματα. Η IEEE 802 επιτροπή οργάνωσε την StarLan task force και το 1986 το 10BASE5 ήταν το νέο standard. Μάλιστα, αρκετοί vendors όπως η Hewlett-Packard και η AT&T άρχιζαν να πωλούν StarLan hubs και NICs. Καθώς όμως η ταχύτητα του 1 Mbps θεωρήθηκε χαμηλή, το StarLan παραγκωνίστηκε το 1987, καθώς η SynOptics παρουσίασε το LATTISNET, που προσέφερε full-speed 10-Mbps Ethernet πάνω από κανονική τηλεφωνική γραμμή.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1980 η επανάσταση των προσωπικών υπολογιστών (PCs) είχε ξεκινήσει και μαζί τους και η δικτυακή τεχνολογία. Δύο ακόμα γεγονότα συνέβησαν που έδωσαν στο Ethernet σημαντική ώθηση. Το 1985 η Novell άρχισε να πουλάει το Netware ένα λειτουργικό σύστημα υψηλής απόδοσης σχεδιασμένο ειδικά για τη δικτύωση PCs. Το άλλο γεγονός ήταν το 10BASE-Ta, δηλαδή full-speed 10 Mbps Ethernet πάνω από UTP τηλεφωνικό καλώδιο, το οποίο υιοθετήθηκε επίσημα το 1990.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, με τις οπτικές ίνες να κάνουν τη παρουσία τους ευρέως γνωστή, η Xerox αποφάσισε να εξετάσει το Ethernet πάνω από οπτική ίνα. Μάλιστα βρέθηκε ότι το Ethernet μπορούσε να τρέξει πάνω από οπτική ίνα σε τοπολογία αστέρα, όχι τοπολογία διαύλου.

Το 1985 η IBM άρχισε να πουλά το 4Mbps Token Ring LAN, το δικό της δικτυακό πρωτόκολλο. Αν και το Token Ring είχε τη μισή ταχύτητα από το 10Mbps Ethernet είχε το πλεονέκτημα ότι βασιζόταν σε ένα δομημένο καλωδιακό σύστημα που

ενσωματώνει ένα κεντρικό concentrator ή hub και καλώδιο στη διασύνδεση των κόμβων. Όμως το ανταγωνιστικό Ethernet επικράτησε πλήρως: Μέσα σε τέσσερα χρόνια, το Ethernet είχε δεκαπλασιάσει τις πωλήσεις, από 1 εκατομμύριο κομμάτια το 1988, σε 10 εκατομμύρια το 1992.

Στο τέλος της δεκαετίας του 1980 η αγορά απαιτούσε πλέον γρηγορότερες δικτυακές υποδομές: Πολλαπλά Ethernet LANs διασυνδέονταν μεταξύ τους. Το Shared Ethernet εξαρτάται από μια shared-media σύνδεση για όλους τους χρήστες, δηλαδή μόνο ένας σταθμός μπορεί να μεταδώσει για συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Η διασύνδεση διαφορετικών LANs αύξανε την κίνηση σημαντικά, καθώς περισσότεροι χρήστες ανταγωνίζονταν για το ίδιο περιορισμένο bandwidth.

Η λύση στο παραπάνω είναι η χρήση ενός bridge («γέφυρας»), το οποίο προωθεί μόνο την απαραίτητη κίνηση μεταξύ των συσκευών που είναι συνδεδεμένες σε αυτό, και δεν αναμεταδίδει τυφλά όλα τα πακέτα, με αποτέλεσμα να «σπάει» το τοπικό δίκτυο σε πολλαπλά collision domains (περιοχές μέσα στις οποίες μπορεί να μεταδώσει μόνο ένας σταθμός μια δεδομένη χρονική στιγμή).

Οι bridges με δύο θύρες (ports) είναι τόσο παλιές όσο το ίδιο το Ethernet και έγιναν δημοφιλείς για να συνδέσουν LANs και να χειριστούν κατάλληλα την κίνηση στο δίκτυο. Το 1990 εμφανίστηκε ένας διαφορετικός τύπος bridge που είχε μεγάλη εμπορική επιτυχία, το Kalpana EtherSwitch EPS-700 (η εταιρία Kalpana αργότερα αγοράστηκε από τη Cisco και τα προϊόντα της ενσωματώθηκαν στις μετέπειτα σειρές συσκευών switching της εταιρίας).

Το **EtherSwitch** είχε το βασικό πλεονέκτημα ότι διέθετε περισσότερα από τα συνήθη έως τότε 2 ports (συγκεκριμένα είχε 7), με αποτέλεσμα μια αρχιτεκτονική που επέτρεπε πολλαπλές ταυτόχρονες μεταδόσεις δεδομένων, όπως ένα τηλεφωνικό switch. Έτσι οι χρήστες δεν μοιράζονταν πια το bandwidth με άλλους, βελτιώνοντας σημαντικά την απόδοση. Το EtherSwitch χρησιμοποιούσε μια νέα bridging τεχνολογία που ονομάζεται cut-through (μετάδοση ενός πακέτου στο port εξόδου προτού ληφθεί ολόκληρο το πακέτο στο port εισόδου) αντί για τη συμβατική store-and-forward. Αυτό βελτίωνε αρκετά τους χρόνους καθυστέρησης. Για λόγους κυρίως marketing, το EtherSwitch πωλήθηκε ως ένα δικτυακό switch για τη βελτίωση της απόδοσης των LANs, και όχι ως bridge.

Το 1993 το Kalpana έφερε άλλη μια καινοτομία: **full-duplex Ethernet**. Τα πλεονεκτήματα ήταν προφανή: Η ταυτόχρονη αποστολή και λήψη δεδομένων μπορεί θεωρητικά να διπλασιάσει το data transmission rate. Το 1997 η IEEE επικύρωσε το 802.3x full-duplex/flow-control standard.

Τα network switches ήταν τέλειες συσκευές για να μειώσουν τη δικτυακή συμφόρηση, όμως κάθε Ethernet Switch μπορούσε να προσφέρει στο μέγιστο 10 Mbps ανά port. Η μόνη σοβαρή τεχνολογία για εφαρμογές που απαιτούσαν πάνω από 10 Mbps ήταν το FDDI, μια ακριβή 100-Mbps fiber-based τεχνολογία. Το FDDI δεν έγινε ποτέ κυρίαρχη τεχνολογία λόγω του υψηλού κόστους και της πολυπλοκότητας.

Ένα θέμα που απασχολούσε την IEEE 802 το 1992 ήταν τα δίκτυα υψηλότερων ταχυτήτων. Παρουσιάστηκαν δύο τεχνικές προτάσεις. Η πρώτη πρότεινε τη διατήρηση του Ethernet πρωτοκόλλου, ενώ η δεύτερη παρότρυνε για ένα εντελώς καινούριο MAC πρωτόκολλο για μετάδοση 100 Mbps. Αυτό ήταν η απαρχή του «πολέμου». Επειδή η IEEE δεν μπορούσε να δώσει λύση στο θέμα, οι εταιρείες πήραν την κατάσταση στα χέρια τους και ίδρυσαν την Fast Ethernet Alliance με σκοπό να αναπτυχθούν λύσεις 100-Mbps Ethernet βασισμένα στο υπάρχον πρότυπο.

Τον Οκτώβριο του 1993, η **Fast Ethernet Alliance** δημοσίευσε το 100BASE-X interoperability specification της, γνωστό ως 100BASE-TX. Τον Μάρτιο του 1995, η IEEE και η Executive Committee δέχτηκαν την IEEE 802.3u specification.

Μετά την υιοθέτηση του IEEE 802.3u το 1995, ξεκίνησαν αρκετές Ethernet καινοτομίες. Μεταξύ αυτών είναι το Gigabit Ethernet (802.3z), το νέο IEEE 802.3x full-duplex/flow control standard, το 802.1p standard για την προτεραιότητα του packet flow και το 802.1Q standard για virtual LAN (VLAN) tagging.

Στόχος του Gigabit Ethernet ήταν αρχικά switched full-duplex operation πάνω από οπτική ίνα, αντί για shared-media χαλκό. Ο λόγος ήταν ότι το Gigabit Ethernet θα χρησιμοποιείτο αρχικά για να συνδέσει διαφορετικά backbones ή superservers και workstations. Μερικά μέλη της IEEE σκέφτηκαν όμως ότι μια υλοποίηση βασισμένη σε χαλκό και σε shared-media έπρεπε να συμπεριληφθεί και έτσι η ομάδα IEEE 802.3ab εστίασε σε UTP κατηγορίας 5.

Το πρότυπο καλωδίωσης του Gigabit προήλθε από μια την τεχνολογία Fiber Channel, και το Gigabit Ethernet περιλαμβάνει ένα buffered repeater section, που επιτρέπει να χτιστούν οικονομικοί, shared-media repeaters.

Το 802.3z πρότυπο τελείωσε τον Ιούνιο του 1998. Η τελική τυποποίηση περιλαμβάνει μια CSMA/CD MAC engine καθώς και τρία cabling standards - το 1000BASE-SX και LX για οπτική ίνα, και το 1000BASE-CX για υψηλής ποιότητας copper cabling. Το 1999 η 802.3ab task force ολοκλήρωσε το Category-5 based cabling standard, γνωστό ως 1000BASE-T που θα χρησιμοποιεί 4 ζεύγη καλωδίωσης Κατηγορίας 5.

3.3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ GIGABIT ETHERNET

3.3.1. Συστάσεις

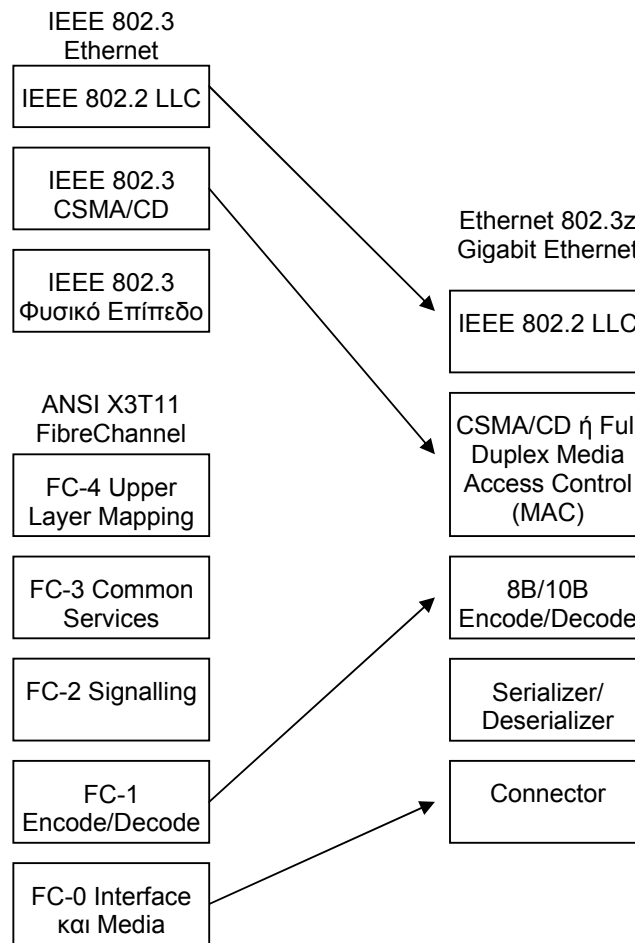
Τον Ιούλιο του 1996 η IEEE 802.3 working group δημιούργησε την 802.3z Gigabit Ethernet task force. Σκοπός της 802.3z ήταν η ανάπτυξη του προτύπου Gigabit Ethernet με τους εξής στόχους:

- half-duplex και full-duplex λειτουργία σε ταχύτητες της τάξης των 1000Mbps
- χρήση του ήδη υπάρχοντος 802.3 προτύπου για πλαίσια Ethernet
- χρήση της μεθόδου CSMA/CD με υποστήριξη ενός repeater ανά πεδίο σύγκρουσης (collision domain)
- προς τα πίσω συμβατότητα με τα πρότυπα 10BASE-T (Ethernet) και 100BASE-T (Fast Ethernet)
- Ως προς την τεχνολογία των συνδέσεων, τέθηκε ως στόχος η λειτουργία του προτύπου πάνω σε:
 - πολύτροπη οπτική ίνα μέγιστου μήκους 550 μέτρων (1000BASE-SX)
 - μονότροπη οπτική ίνα μέγιστου μήκους 3 χιλιομέτρων που αργότερα επεκτάθηκε στα 5 (1000BASE-LX)
 - χάλκινο (short-haul copper) καλώδιο μέγιστου μήκους 25 μέτρων (1000BASE-CX)

Επίσης δημιουργήθηκε η υποεπιτροπή IEEE 802.3ab με σκοπό την ανάπτυξη του 1000BASE-T προτύπου που υποστηρίζει Gigabit Ethernet πάνω σε αθωράκιστο συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων κατηγορίας 5 (UTP 5) και μέγιστο μήκος 100 μέτρα.

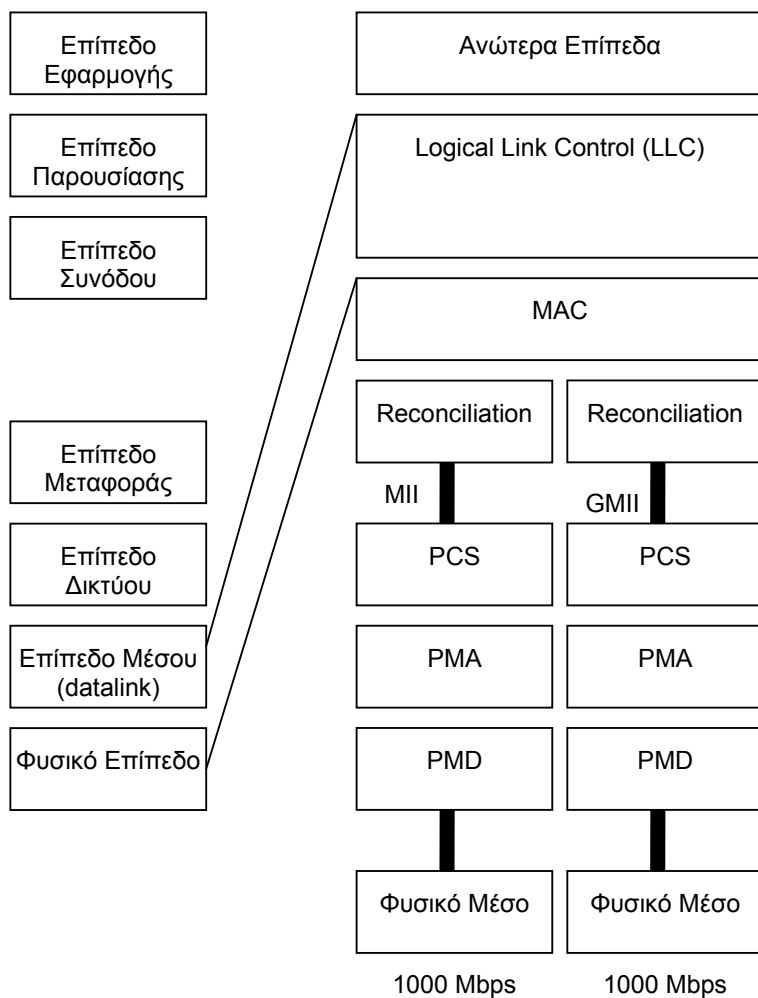
3.3.2. Αρχιτεκτονική

Για την επίτευξη ταχυτήτων τάξης 1Gbps χρειάζεται να γίνουν πολλές αλλαγές στο επίπεδο του φυσικού μέσου. Αποφασίστηκε επίσης ότι από το επίπεδο σύνδεσης και πάνω, το Gigabit Ethernet πρέπει να ταυτίζεται σε συμπεριφορά με το Ethernet. Έτσι για την υλοποίηση επιλέχθηκε ο συνδυασμός δύο τεχνολογιών (προτύπων): της IEEE 802.3 Ethernet και της ANSI X3T11 FibreChannel (Σχήμα 37).



Σχήμα 37. Στοιβά πρωτοκόλλου Gigabit Ethernet

Αυτό σημαίνει ότι το πρότυπο μπορεί να εκμεταλλευτεί την ήδη υπάρχουσα, υψηλής ταχύτητας πρόσβαση στο φυσικό μέσο, τεχνολογία του FibreChannel, ενώ διατηρείται ταυτόχρονα το πρότυπο πλαίσιο του Ethernet και η προς τα πίσω συμβατότητα με την εγκατεστημένη βάση συστημάτων.

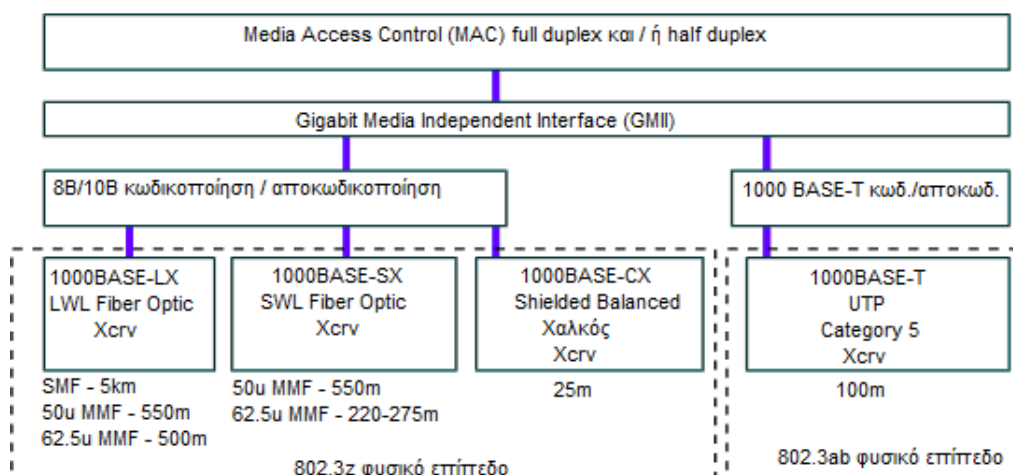


Σχήμα 38. Αρχιτεκτονική IEEE 802.3z Gigabit Ethernet

Το αρχιτεκτονικό μοντέλο του Gigabit Ethernet παρουσιάζεται στο Σχήμα 38. Τα επίπεδα παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.

3.4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟ 1Ο ΕΠΙΠΕΔΟ

Το Gigabit Ethernet υποστηρίζει full-duplex λειτουργία για συνδέσεις switch-to-switch και switch-to-end-station, και half-duplex λειτουργία για διαμοιραζόμενες συνδέσεις με τη χρήση repeater και της μεθόδου CSMA/CD. Στο Σχήμα 39 παρουσιάζονται τα λειτουργικά στοιχεία του Gigabit Ethernet.



Σχήμα 39. Λειτουργικά στοιχεία του Gigabit Ethernet

Το IEEE 802.3z πρότυπο περιλαμβάνει το Gigabit Ethernet MAC, όπως επίσης και τρία φυσικά στρώματα που χρησιμοποιούν την κωδικοποίηση 8B/10B. Το IEEE 802.3z πρότυπο περιγράφει δύο φυσικά στρώματα ίνας (fiber physical layer standards), τα 1000BASE-LX και 1000BASE-SX, καθώς και ένα φυσικό στρώμα χαλκού (copper PHY), το 1000BASE-CX. Ένα χρόνο αργότερα, τον Ιούνιο του 1999, η IEEE προτυποποίησε το 802.3ab μέσω χαλκού (over copper) ως 1000BASE-T επιτρέποντας Gigabit ταχύτητες να μεταδίδονται μέσω Cat-5 καλωδίου.

Η IEEE επίσης όρισε το Gigabit MII (GMII), το οποίο είναι παρόμοιο με το Fast Ethernet MII και συνδέει το Gigabit MAC και το PHY.

3.4.1. 802.3z

3.4.1.1. 1000BASE-X Πρότυπο

Το 1000BASE-X πρότυπο βασίζεται στο φυσικό επίπεδο του Καναλιού Ίνας (Fiber Channel). Το Κανάλι Ίνας είναι μία διασυνδεδετική τεχνολογία για την σύνδεση σταθμών εργασίας, υπερυπολογιστών, συσκευών αποθήκευσης και περιφερειακών. Το Κανάλι Ίνας έχει μία αρχιτεκτονική τεσσάρων επιπέδων. Τα χαμηλότερα δύο επίπεδα, τα FC-0 (Interface και media) και FC-1 (Encode/Decode) χρησιμοποιούνται στο Gigabit Ethernet. Το μόνο θέμα συζήτησης ήταν η ταχύτητα. Το Fiber Channel PMD τρέχει σε 1Gbaud και χρησιμοποιεί κωδικοποίηση 8B/10B. Αυτό μεταφράζεται σε ρυθμό δεδομένων μόνο 800Mbps. Επομένως η IEEE αύξησε την ταχύτητα του Fiber Channel PHY σε 1,2 Gbaud για να πετύχει πραγματικό throughput δεδομένων 1Gbps.

Τρεις τύποι μέσων περιλαμβάνονται στο πρότυπο 1000BASE-X.

- **1000BASE-SX:** Το 1000BASE-SX χρησιμοποιεί το ίδιο φυσικό επίπεδο με το LX και χρησιμοποιεί τις 850nm μικρού μήκους κύματος οπτικές διόδους. Το 1000BASE-SX χρησιμοποιεί μόνο πολυτροπικές ίνες (multimode fiber – MMF). Η αποστάσεις που υποστηρίζει κυμαίνονται από τα 220m μέχρι τα 550m, αναλόγως τον τύπο της καλωδίωσης ίνας που χρησιμοποιείται.

- **1000BASE-LX:** Το 1000BASE-LX στοχεύει σε μεγαλύτερες συνδέσεις. Το LX μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε πολύτροπες (MMF) είτε μονότροπες (single-mode fiber – SMF) και απαιτεί ακριβώς 1300nm laser. Η IEEE όρισε ένα μήκος 5000m για το LX με μονότροπες ίνες. Για το LX με πολύτροπες ίνες, η απόσταση είναι 550m (full-duplex συνδέσεις).
- **1000BASE-LH & 1000BASE-ZX:** Αξίζει να σημειωθεί ότι ορισμένοι κατασκευαστές προωθούν 2 ακόμη πρότυπα, ανεξάρτητα με τα πρότυπα της IEEE, το 1000Base-LH & 1000Base-ZX. Αυτά υποστηρίζουν μετάδοση πάνω σε μονότροπη οπτική ίνα με χρήση laser στα 1550nm και καλύπτουν αποστάσεις μέχρι 15 και 70 χιλιόμετρα αντίστοιχα.
- **1000BASE-CX:** Το τρίτο φυσικό επίπεδο που βασίζεται στο Κανάλι Ίνας, το 1000BASE-CX, σχεδιάστηκε για μικρές διασυνδέσεις. Ο χαλκός είναι το προτιμώμενο μέσο γιατί είναι ευκολότερη και γρηγορότερη η συναρμολόγηση χάλκινων συνδέσεων καλωδίων παρά ινών. Το μέγιστο μήκος καλωδίου είναι 25m (half- ή full-duplex).

3.4.1.2. PMA - PMD

Το υποεπίπεδο πρόσδεσης φυσικού μέσου (physical media attachment sublayer - PMA) στο Gigabit Ethernet είναι όμοιο με το PMA του FibreChannel. Η υποστήριξη πολλαπλών σχημάτων κωδικοποίησης και η παρουσίασή τους στα ανώτερα επίπεδα είναι ευθύνη του serializer/deserializer. Τα δεδομένα που μεταφέρει το φυσικό μέσο, τα οποία εισάγονται μέσω του υποεπιπέδου εξάρτησης από το φυσικό μέσο (physical media dependent sublayer - PMD), χρειάζεται να υποστηρίζουν κατάλληλο, για το μέσο, σχήμα κωδικοποίησης. Στην περίπτωση του FibreChannel αυτό το σχήμα είναι το 8B/10B που έχει σχεδιαστεί ειδικά για μετάδοση με οπτική ίνα. Το Gigabit Ethernet χρησιμοποιεί παρόμοια κωδικοποίηση. Η διαφορά του με το FibreChannel είναι στην ταχύτητα της σήμανσης: το FibreChannel χρησιμοποιεί σήμανση στα 1,062 gigabaud ενώ το Gigabit Ethernet σήμανση στα 1,25 gigabaud.

Για μετάδοση με καλωδίωση UTP 5 (1000Base-T) πρέπει να χρησιμοποιηθεί διαφορετικό σχήμα κωδικοποίησης.

3.4.1.3. PCS - 8B/10B encoding

Το επίπεδο FC-1 του FibreChannel περιγράφει το συγχρονισμό και το σχήμα κωδικοποίησης 8B/10B. Το FC-1 ορίζει το πρωτόκολλο μετάδοσης, συμπεριλαμβανομένου της σειριακής κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης από και προς το φυσικό μέσο, τους ειδικούς χαρακτήρες και τον έλεγχο λαθών. Το Gigabit Ethernet χρησιμοποιεί το ίδιο σχήμα (δηλαδή το 8B/10B) που χρησιμοποιείται και στο FC-1.

Το 8B/10B είναι παρόμοιο με το παλαιότερο 4B/5B που χρησιμοποιεί το FDDI. Το 4B/5B όμως κρίθηκε ακατάλληλο για το FibreChannel εξαιτίας της έλλειψης DC balance. Η έλλειψη DC balance μπορεί να προκαλέσει θέρμανση των laser ανάλογα με τα δεδομένα που μεταδίδονται (συγκεκριμένα αν μεταδίδονται περισσότερα 1 από 0) και να οδηγήσει σε αυξημένα επίπεδα λαθών.

Η κωδικοποίηση των δεδομένων προς μετάδοση προσφέρει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Επηρεάζει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της μετάδοσης, όπως π.χ. βελτιστοποιεί την αναλογία των 1 με τα 0

- Διευκολύνει το δέκτη να ανακτήσει το συγχρονισμό του με τον πομπό
- Αυξάνει την πιθανότητα ο δέκτης να ανιχνεύσει και να διορθώσει πιθανά λάθη κατά τη μετάδοση
- Βοηθάει στο διαχωρισμό bits δεδομένων από bits ελέγχου

Η 8B/10B κωδικοποίηση στο Gigabit Ethernet εφαρμόζεται ως εξής:

Το υποεπίπεδο προσαρμογής (reconciliation sublayer) στέλνει δεδομένα σε ομάδες των 8 bits στο υποεπίπεδο PCS, το οποίο αναλαμβάνει την κωδικοποίηση τους σε ομάδες των 10 bits με πρόσθεση bits ελέγχου και σύμφωνα με τις προδιαγραφές της 8B/10B κωδικοποίησης. Οι ομάδες των 10 bits στέλνονται στο PMA το οποίο τις κάνει serialize και προωθεί τα δεδομένα στο PMD.

Αντίστροφα, όταν λαμβάνονται δεδομένα το PMD τα μεταφέρει στο PMA που τα ευθυγραμμίζει και κάνει deserialize σε ομάδες των 10 bits. Οι ομάδες στέλνονται στο PCS που τις αποκωδικοποιεί και με τη σειρά του μεταφέρει τα δεδομένα στα ανώτερα επίπεδα.

3.4.1.4. *Gigabit Media Independent Interface (GMII)*

Το GMII είναι μια σειρά προδιαγραφών που καθορίζουν τη σύνδεση του MAC με το φυσικό επίπεδο. Σκοπός των προδιαγραφών αυτών είναι η ανεξάρτητη από το είδος του φυσικού μέσου λειτουργία από το υποεπίπεδο MAC και πάνω. Για παράδειγμα με το GMII γίνεται δυνατή η χρήση των υπάρχοντων Fibre Channel PHY chips από το Gigabit Ethernet ενώ μελλοντικά μπορούν να υιοθετηθούν καινούριες τεχνολογίες στο φυσικό μέσο χωρίς μεγάλες αλλαγές στον εξοπλισμό. Η χρήση του GMII δεν ορίζεται ως υποχρεωτική από το πρότυπο.

3.4.2. 802.3ab

Το αθωράκιστο συνεστραμμένο ζεύγος (UTP) είναι το πλέον διαδεδομένο είδος καλωδίωσης παγκοσμίως. Εκεί κυριαρχεί το 4-pair, 100 ohm, UTP Category 5. Η υποστήριξη του UTP 5, UTP 5e και UTP 6 από το Gigabit Ethernet κρίθηκε επιβεβλημένη. Οι δυσκολίες που παρουσίαζε η συγκεκριμένη μετάβαση αλλά και η ιδιαίτερη σημασία της οδήγησαν στη αποσύνδεση του σχεδίου από την 802.3z και τη δημιουργία ξεχωριστής επιτροπής, της 802.3ab που ανέλαβε το σχεδιασμό του 1000Base-T.

3.4.2.1. *Θέματα καλωδίωσης*

Το 1000Base-T υποστηρίζει λειτουργία πάνω σε 4-pair, 100 ohm, UTP 5 ή καλύτερου καλωδίου που συμβαδίζει με το πρότυπο ANSI/TIA/EIA-568-A ή κατασκευάζεται από υλικό σύμφωνο με το ISO/IEC 11801:1995 και διαθέτει τις επιδόσεις που ορίζονται στο ANSI/TIA/EIA-568-A ANNEX E.

Η μετάδοση σε ρυθμούς 1000Mb/s πάνω στο UTP 5 παρουσιάζει τις εξής δυσκολίες:

- ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές
- εξασθένηση του σήματος (attenuation, βλ. Long-Wave και Short-Wave lasers πάνω σε οπτική ίνα)

- απώλεια επιστροφής (return loss, βλ. 150-Ohm θωρακισμένο χάλκινο καλώδιο - 1000Base-CX)
- ηχώ (echo), η ηχώ είναι αποτέλεσμα της λειτουργίας σε full-duplex και παράγεται όταν το παραμένον σήμα μετάδοσης (residual transmit signal), εξαιτίας της trans-hybrid απώλειας, και η απώλεια επιστροφής του καλωδίου συνδυάζονται
- crosstalk, είναι ανεπιθύμητα σήματα που παράγονται από την αλληλεπίδραση των σημάτων μεταξύ δύο ζευγών. Εφόσον το 1000Base-T χρησιμοποιεί και τα 4 ζεύγη του UTP 5, κάθε ζεύγος μπορεί να επηρεαστεί από καθένα από τα άλλα 3 ζεύγη. Το crosstalk σε σχέση με τον πομπό χαρακτηρίζεται ως:
 - *Near-end crosstalk (NEXT)*, που δημιουργείται στην έξοδο του ζεύγους των καλωδίων, στην απόληξη του πομπού
 - *Far-end crosstalk (FEXT)*, που δημιουργείται στην έξοδο του ζεύγους των καλωδίων, στην απομακρυσμένη απόληξη του καλωδίου που ξεκινά από τον πομπό
 - *Equal level far-end crosstalk (ELFEXT)*, όμοια με το FEXT από το οποίο όμως αφαιρείται το μέγεθος της εξασθένησης του σήματος (attenuation)

3.4.2.2. Σχεδιαστική προσέγγιση

Η εξέλιξη της έρευνας στην ψηφιακή επικοινωνία τα τελευταία χρόνια, επέτρεψε την ανάπτυξη διαφόρων τεχνικών, οι οποίες συνέβαλλαν να ξεπεραστούν τα προβλήματα που παρουσίαζε η μετάδοση σε υψηλούς ρυθμούς δεδομένων πάνω σε UTP 5, 5e ή 6.

Για τη λειτουργία του 1000Base-T:

- χρησιμοποιείται καλωδίωση που συμβαδίζει με το πρότυπο ANSI/TIA/EIA-568 για Category 5, 5e ή 6 UTP
- γίνεται dual duplex χρήση και των 4 ζευγαριών καλωδίων για να επιτυγχάνεται ρυθμός συμβόλων 125Mbaud. Dual duplex μετάδοση αποτελεί η αποστολή και παραλαβή δεδομένων ταυτόχρονα σε κάθε διεύθυνση (full duplex) σε καθένα από τα 4 ζεύγη καλωδίων. Έτσι μειώνεται ο ρυθμός μετάδοσης συμβόλων (και το bandwidth που δεσμεύεται) στο μισό σε σχέση με τη μονόδρομη αποστολή/παραλαβή. Χρησιμοποιούνται υβριδικά κυκλώματα, που επιτρέπουν αμφίδρομη μετάδοση πάνω σε κάθε ζεύγος, τα οποία λειτουργούν φιλτράροντας το μεταδιδόμενο σήμα στο δέκτη. Τα υβριδικά κυκλώματα ελαχιστοποιούν αλλά δεν μπορούν ακόμα να εκμηδενίσουν τις επιδράσεις του παραμένουστος σήματος μετάδοσης, και της απώλειας επιστροφής για αυτό σε κάθε ζεύγος χρησιμοποιούνται κυκλώματα ακυρωτές (cancellors) που αναλαμβάνουν να απομακρύνουν την ηχώ.
- γίνεται χρήση της κωδικοποίησης PAM-5 που επιτρέπει την αποστολή περισσότερης πληροφορίας με κάθε σύμβολο. Η κωδικοποίηση 5-level PAM προσφέρει καλύτερη χρησιμοποίηση του bandwidth από την απλή δυαδική σήμανση, όπου κάθε σύμβολο παριστάνει τη τιμή ενός μόνο bit. Πιο συγκεκριμένα κάθε σύμβολο αναπαριστά ένα από πέντε διαφορετικά επίπεδα (-1, -1, 0, +1, +2), τέσσερα από τα επίπεδα χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση 2 bits ενώ το πέμπτο χρησιμοποιείται για την Forward Error Correction κωδικοποίηση. Με αυτόν τον τρόπο το signal bandwidth μειώνεται στο μισό. Φυσικά για την

υλοποίηση απαιτούνται καλύτερη απόκριση σήματος/θορύβου και η χρήση multi-bit D/A και A/D μετατροπών.

- γίνεται χρήση της 4D 8-state Trellis Forward Error Correction κωδικοποίησης για να αντισταθμιστεί η επίδραση του θορύβου και του crosstalk. Γενικά, η Forward Error Correction κωδικοποίηση λειτουργεί ως ένα δεύτερο επίπεδο κωδικοποίησης που βοηθά στην ανάκτηση των συμβόλων που αλλοιώνονται σε περιβάλλον υψηλού θορύβου και/ή εξαιτίας του crosstalk. Το συγκεκριμένο σχήμα κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται στο 1000Base-T είναι το 4-Dimensional 8-State Trellis Forward Error Correction, το οποίο λειτουργεί βελτιώνοντας την απόκριση σήματος/θορύβου στο σημείο απόφασης του A/D μετατροπέα του δέκτη.
- χρησιμοποιούνται τεχνικές διαμόρφωσης παλμού που προετοιμάζουν το προς μετάδοση φάσμα. Η διαμόρφωση παλμού επηρεάζει τα χαρακτηριστικά του φάσματος του μεταδιδόμενου σήματος ώστε αυτά να βελτιστοποιούνται για το συγκεκριμένο κανάλι μετάδοσης που χρησιμοποιείται. Συγκεκριμένα ελαχιστοποιείται η ενέργεια του σήματος σε συχνότητες που παρουσιάζουν μειωμένη αντοχή στο θόρυβο και τις παρεμβολές, μειώνονται οι συνιστώσες του σήματος τόσο στις υψηλές όσο και στις χαμηλές συχνότητες και απορρίπτονται οι υψηλής συχνότητας συνιστώσες που οφείλονται στο θόρυβο. Η διαμόρφωση παλμού υλοποιείται με συνδυασμό ψηφιακών και αναλογικών φίλτρων και χρησιμοποιείται τόσο στον πομπό όσο και στο δέκτη. Το φάσμα του σήματος στο 1000Base-T τελικά θα είναι σχεδόν όμοιο με αυτό του 100Base-TX.
- χρησιμοποιούνται υψηλής τεχνολογίας DSP τεχνικές εξισορρόπησης (equalize) του σήματος για την αντιμετώπιση του θορύβου, της ηχούς (echo) και του crosstalk καθώς και για την επίτευξη bit error rate 10^{-10}
- χρησιμοποιείται scrambling που είναι η τυχαία ανακατανομή της σειράς που μεταδίδονται τα σύμβολα. Αυτό γίνεται με σκοπό την αποφυγή μακρών φασματικών γραμμών στο σήμα

Πολλές από τις τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του 1000Base-T είχαν ήδη εμφανιστεί σε παλαιότερα πρότυπα του Fast Ethernet. Το γεγονός ότι προϋπήρχαν βοήθησε στην ταχύτερη ανάπτυξη του προτύπου και πρόσθεσε αξιοπιστία αφού πρόκειται για δοκιμασμένες λύσεις. Συγκεκριμένα:

- το 100Base-TX χρησιμοποιεί σήμανση στα 125Mbaud πάνω σε καλωδίωση UTP 5
- το 100Base-T4 χρησιμοποιεί πολυεπίπεδη σήμανση πάνω σε καλωδίωση 4-pair UTP
- το 100Base-T2 χρησιμοποιεί κωδικοποίηση 5 επιπέδων και DSP τεχνικές για την αντιμετώπιση του crosstalk

3.5. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟ 2Ο ΕΠΙΠΕΔΟ

Το υποεπίπεδο MAC του Gigabit Ethernet είναι σχεδόν πανομοιότυπο με το αντίστοιχο MAC των Ethernet και Fast Ethernet. Συγκεκριμένα:

- Χρησιμοποιεί τη μορφή πλαισίων που ορίζει το πρότυπο 802.3 (Σχήμα 40)

- Έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει είτε σε half-duplex (με τη χρήση της μεθόδου CSMA/CD) είτε σε full-duplex

Η 802.3z αντιμετώπισε αρκετές αντιρρήσεις για τη διατήρηση του half-duplex τρόπου λειτουργίας στο Gigabit Ethernet. Τελικά όμως περιλήφθηκε στο πρότυπο για δύο κυρίως λόγους: ο επανασχεδιασμός των υπαρχόντων MAC chips ώστε να λειτουργούν σε 10-πλάσια ταχύτητα ήταν πολύ ευκολότερη διαδικασία από τον πλήρη επανασχεδιασμό τους και επίσης κάποια μέλη της επιτροπής ήθελαν απλώς να διατηρήσουν την 25-χρονη παράδοση του CSMA/CD.

Bytes	8	6	6	2	0 - 1500
	Preamble	Διεύθυνση προορισμού	Διεύθυνση αποστολέα	Μήκος δεδομένων	Επικεφαλίδα πρωτοκόλλου, δεδομένα και γέμισμα (pad)

Σχήμα 40. IEEE 802.3 Frame

3.5.1. Carrier extension

Ο σχεδιασμός του αρχικού Ethernet (που λειτουργούσε μόνο σε half-duplex) όριζε ως μέγιστη απόσταση μεταξύ σταθμών τα 2 χιλιόμετρα. Ο περιορισμός αυτός είχε σχέση με τη μέθοδο CSMA/CD και το ελάχιστο μέγεθος πλαισίου (το οποίο στην περίπτωση του Ethernet είναι 64bytes). Όταν συμβεί μια σύγκρουση πρέπει οι σταθμοί που εμπλέκονται να το μάθουν πριν ολοκληρώσουν τη μετάδοση. Περιορίζοντας το μέγεθος του collision domain, επιτρέπουμε στο σήμα εμπλοκής (jam signal) που στέλνει το MAC να φθάσει έγκαιρα στους ενδιαφερόμενους σταθμούς, ώστε αυτοί να επαναμεταδώσουν το πλαίσιο. Το Fast Ethernet χρησιμοποιεί και αυτό την ίδια μορφή πλαισίων του Ethernet. Εφόσον όμως λειτουργεί σε 10-πλάσια ταχύτητα (100Mbit έναντι 10Mbit), τα πλαίσια απαιτούν 10 φορές λιγότερο χρόνο για να μεταδοθούν, οπότε για την ομαλή λειτουργία της μεθόδου CSMA/CD, το collision domain έπρεπε να μειωθεί ανάλογα από τα 2 χιλιόμετρα στα 200 μέτρα.

Στην περίπτωση του Gigabit Ethernet, εφόσον και εδώ διατηρούνταν το ελάχιστο μέγεθος πλαισίου, η διάμετρος του δικτύου έπρεπε να μειωθεί πάλι κατά 10 φορές, δηλαδή στα 20 μέτρα, πράγμα που καθιστούσε το πρότυπο πρακτικώς άχρηστο. Στην προσπάθεια να διατηρηθεί η μέγιστη απόσταση μεταξύ των σταθμών στα 200 μέτρα έγινε μια τροποποίηση στο MAC που ονομάστηκε **carrier extension**. Το carrier extension δουλεύει ως εξής: Όταν ένα πλαίσιο είναι μικρότερο των 512bytes τότε το MAC στέλνει ένα ειδικό σήμα που διαρκεί τόσο ώστε το πλαίσιο να φαίνεται στους άλλους σταθμούς ως πλαίσιο των 512bytes, οπότε παρέχεται ο απαιτούμενος χρόνος για να ανιχνευθεί τυχόν σύγκρουση. Αυτή η τεχνική δεν επηρεάζει το ελάχιστο μήκος πλαισίου που παραμένει στα 64bytes αλλά απλώς μεταχειρίζεται διαφορετικά τα πλαίσια που είναι μικρότερα των 512bytes.

Λογικά το carrier extension έπρεπε να δημιουργεί εικονικά πλαίσια των 640bytes και όχι των 512. Η 802.3z έκρινε ότι 640bytes ήταν μάλλον μεγάλη ποσότητα και προτίμησε τα 512bytes. Για να επιτευχθεί αυτό μειώθηκε ο αριθμός των repeaters που επιτρέπονται ανά collision domain από 2, που ίσχυε στο Fast Ethernet, σε 1. Επίσης στα παλαιότερα πρότυπα του Ethernet υπήρχε και ένα περιθώριο ασφαλείας το οποίο, για αυτό το σκοπό, ελαχιστοποιήθηκε στο Gigabit Ethernet.

3.5.2. Frame bursting

Η μέθοδος του carrier extension έχει ένα βασικό μειονέκτημα: η προέκταση δεν χρησιμοποιείται για δεδομένα ενώ καταναλώνει bandwidth. Στην περίπτωση που η κυκλοφορία αποτελείται αποκλειστικά από πλαίσια των 64bytes τότε ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης πέφτει στα 120Mbps, δηλαδή απόδοση μόλις 12%. Φυσικά μια τέτοια περίπτωση είναι μάλλον ακραία, όμως στα περισσότερα δίκτυα Ethernet τα πλαίσια έχουν μέγεθος 200-500bytes οπότε η απόδοση αναμένεται να κινείται αρκετά χαμηλότερα από το 1Gbps.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος έγινε μια ακόμα αλλαγή στο MAC που ονομάστηκε **frame bursting**. Το frame bursting είναι η μετάδοση πολλών μικρών (<512bytes) πλαισίων μαζί, συνολικού μεγέθους το πολύ 8192bytes.

Αν και το frame bursting, θεωρητικά, αντισταθμίζει το χαμένο bandwidth λόγω του carrier extension, πολλές από τις υπάρχουσες εφαρμογές δεν πρόκειται να το εκμεταλλευτούν γιατί απλά δεν σχεδιάστηκαν έχοντας το υπόψη. Επίσης κάποιες εφαρμογές client-server λειτουργούν με τη λογική της μετάδοσης κάποιου μικρού πλαισίου και την αναμονή απάντησης, έτσι δεν έχουν πλαίσια για να προσθέσουν στο bursting. Σε αυτήν την περίπτωση το bursting μπορεί να επιτευχθεί σε συνδυασμό με πλαίσια άλλων εφαρμογών ή κόμβων, λειτουργία όμως που πρέπει να γίνει από τον network server και η οποία έχει αυξημένη πολυπλοκότητα. Ακόμα και μέλη της 802.3z διατύπωσαν την άποψη ότι οι σχεδιαστές των εφαρμογών είναι αμφίβολο αν θα ασχοληθούν με την επανεγγραφή των προγραμμάτων τους και αυτό γιατί παραδοσιακά οι προγραμματιστές δεν ενδιαφέρονται για θέματα που ανήκουν σε τόσο χαμηλό επίπεδο.

Το carrier extension, το frame bursting και τα θέματα που συνδέονται με αυτά και αναφέρθηκαν παραπάνω έχουν εφαρμογή μόνο όταν έχουμε λειτουργία σε half-duplex. Σε full-duplex η μέθοδος CSMA/CD δεν χρειάζεται γιατί δεν υπάρχουν συγκρούσεις. Πάντως και σε full-duplex υπάρχουν προβλήματα τα οποία αναλαμβάνει αντιμετωπίσει το πρότυπο 802.3x full-duplex/flow control που περιγράφεται παρακάτω.

3.5.3. 802.3x full-duplex/flow control

Ο έλεγχος ροής (flow control) είναι απαραίτητος σε ένα δίκτυο, ειδικά όταν αναμειγνύονται τεχνολογίες που λειτουργούν σε διαφορετικές ταχύτητες. Ένας γρήγορος server μπορεί εύκολα να υπερφορτώσει έναν αργό client. Η μέθοδος CSMA/CD προσφέρει έναν εγγενή τρόπο αντιμετώπισης παρόμοιων καταστάσεων αφού οι συγκρούσεις που δημιουργούνται εμποδίζουν την υπερφόρτωση. Ακόμη ένας σταθμός ο οποίος για οποιονδήποτε λόγο δεν μπορεί να ανταποκριθεί σε αιτήσεις από το υπόλοιπο δίκτυο μπορεί να δημιουργεί τεχνητές συγκρούσεις μέχρι να επανέλθει σε κανονική λειτουργία.

Σε full-duplex η CSMA/CD απενεργοποιείται οπότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποια άλλη μέθοδος ελέγχου ροής. Στο Gigabit Ethernet αυτή η μέθοδος ορίζεται από το πρότυπο 802.3x full-duplex/flow control. Το 802.3x αναπτύχθηκε ξεχωριστά από το Gigabit Ethernet αλλά η χρήση του ορίζεται ως υποχρεωτική, σε full-duplex συνδέσεις, από το 802.3z.

Ο μηχανισμός του 802.3x είναι ως εξής: Όταν στη μία άκρη της σύνδεσης ο δέκτης δεν μπορεί να ανταποκριθεί στην κίνηση στέλνει ένα ειδικό PAUSE πλαίσιο που ειδοποιεί τον πομπό να σταματήσει προσωρινά τη μετάδοση για κάποιο χρονικό διάστημα. Όταν ο πομπός σταματήσει να δέχεται PAUSE πλαίσια συνεχίζει τη μετάδοση από το σημείο που είχε σταματήσει. Τα PAUSE πλαίσια χρησιμοποιούν συγκεκριμένη διεύθυνση ώστε να μην προωθούνται από τις γέφυρες και τα switches. Έτσι αποφεύγεται η παρεμβολή τους με τα μηνύματα ελέγχου ροής σε άλλο σημείο του δικτύου.

3.5.4. 802.1p, 802.1Q, 802.3ad

Μια σειρά από πρότυπα της IEEE τα οποία αναπτύχθηκαν ανεξάρτητα από το 802.3z συμπληρώνουν τις δυνατότητες του Gigabit Ethernet. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή:

- **802.1p**: ορίζει μια μέθοδο που επιτρέπει στους σταθμούς να ζητούν προτεραιότητα και επιτρέπει στα switches να μεταφέρουν τις αιτήσεις αυτές στον προορισμό τους. Ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται είναι το πεδίο Class of Service (CoS) των 3 bit στην επιπλέον επικεφαλίδα που προσθέτει το 802.1Q και το οποίο μπορεί να διακρίνει μέχρι 8 διαφορετικές κλάσεις εξυπηρέτησης.
- **802.1Q**: ορίζει μια τυποποίηση για εικονικά δίκτυα (Virtual LANs - VLANs).
- **802.3ad**: ορίζει μια τυποποίηση για link aggregation (η δυνατότητα ύπαρξης πολλαπλών παράλληλων point-to-point switch/switch ή switch/server συνδέσεων).

3.5.4.1. 802.1Q (VLAN) & πλεονεκτήματα που προσφέρουν

Ορίζοντας το VLAN θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι μια συλλογή από πολλά δίκτυα, που όμως εικονικά εμφανίζονται σαν να είναι ένα δίκτυο. Ενώ όλα αυτά τα δίκτυα είναι φυσικά συνδεδεμένα, λογικά είναι χωριστά. Επίσης τα πρωτόκολλα του καθενός μπορεί να είναι διαφορετικά. Μπορεί λοιπόν να υπάρχει ένα switch που να ελέγχει και να ρυθμίζει τη κίνηση ενός αριθμού δικτύων (δημιουργώντας ένα VLAN), αλλά δε μπορεί να συνδέσει ένα χρήστη ενός VLAN, με κάποιο άλλο χρήστη. Σε αυτή τη περίπτωση χρειάζεται ένας δρομολογητής, γιατί οι δρομολογητές μπορούν να συνδέσουν διαφορετικού τύπου δίκτυα.

Ένα μεταγωγίμο εικονικό LAN μπορεί να συνδέσει μία ομάδα από LAN επιτυγχάνοντας ταχύτητα καλωδίου. Για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί Ethernet switches για να δημιουργούν VLAN με ανάθεση θυρών. Έτσι τώρα μπορούν να δημιουργηθούν VLANs βασισμένα σε MAC διευθυνσιοδότηση αλλά και σε δικτυακή διευθυνσιοδότηση. Αυτό επιτρέπει τα VLANs να χωριστούν σε κλειστές λογικές ομάδες χρηστών, τα υποδίκτυα, που θα καθορίζονται από τον έλεγχο των διαχειριστών.

Ένα Ethernet VLAN μπορεί να εγκαθιδρυθεί με τη βοήθεια λογισμικού, επιτρέποντας στο διαχειριστή του δικτύου να ομαδοποιεί ένα αριθμό από switch θύρες σε μία άλλη υψηλού εύρους ζώνης και μικρής καθυστέρησης ομάδα θυρών. Για αναγνωριστικούς σκοπούς κατά τη διαχείριση του δικτύου, σε κάθε VLAN δίνεται ένας μοναδικός αριθμός δικτύου. Τα VLANs λειτουργούν σε μία αρχιτεκτονική γέφυρας, μεταδίδοντας τα δεδομένα από τις MAC διευθύνσεις πηγής και προορισμού. Η κίνηση ανάμεσα στα VLANs φιλτράρεται και διαχειρίζεται από ένα δρομολογητή στο επίπεδο δικτύου.

Για να γίνει κατανοητό πώς η τεχνολογία των VLAN μπορεί να συνδυαστεί και να συμπληρώσει αυτήν του Gigabit Ethernet παρατίθενται τα βασικά πλεονεκτήματα που προσδίδει στο δίκτυο. Αυτά είναι:

- **Αύξηση της απόδοσης.** Τα μεταγωγίμα δίκτυα από τη φύση τους θα αυξήσουν την απόδοση πάνω από τις διαμοιραζόμενες συσκευές, μειώνοντας έτσι το ποσοστό των συγκρούσεων. Η ομαδοποίηση χρηστών σε λογικά δίκτυα επίσης θα αυξήσει την απόδοση εκπέμποντας τα δεδομένα στους χρήστες που εκτελούν τις ίδιες εργασίες ανάμεσα στις διάφορες ομάδες εργασίας. Έτσι λιγότερη κίνηση θα χρειάζεται να δρομολογηθεί και οι καθυστερήσεις από τους δρομολογητές θα μειωθούν.
- **Βελτίωση της διαχειρισιμότητας.** Τα VLANs παρέχουν ένα εύκολο, ευέλικτο και φθηνότερο τρόπο να τροποποιούν τις λογικές ομάδες σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα. Τα VLANs κάνουν τα μεγάλα δίκτυα ευκολότερα διαχειρίσιμα επιτρέποντας κεντρική διαμόρφωση των συσκευών ακόμα και σε διαφορετικές τοποθεσίες.
- **Συντονισμός δικτύων και απλοποίηση των διαμορφώσεων λογισμικού.** Τα VLANs επιτρέπουν στους διαχειριστές LAN να «συντονίσουν» τα δίκτυα τους με τις λογικές ομάδες χρηστών. Οι διαμορφώσεις λογισμικού μπορούν να γίνουν ομοιόμορφες στις μηχανές, με τη σταθεροποίηση των πόρων ενός τμήματος σε ένα ενιαίο υποδίκτυο. Οι IP διευθύνσεις, οι μάσκες, και τα πρωτόκολλα τοπικών δικτύων θα είναι περισσότερο συνεπή κατά μήκος του VLAN. Επίσης σε ένα τέτοιο περιβάλλον, λιγότερες υλοποιήσεις του εξυπηρετητή όπως DHCP και BOOTP θα είναι αναγκαίες.
- **Ανεξαρτησία Φυσικής τοπολογίας.** Το VLAN παρέχει ανεξαρτησία από τη φυσική τοπολογία του δικτύου, επιτρέποντας διαφορετικά φυσικές ομάδες εργασίας να συνδεθούν λογικά σε μία κοινή περιοχή εκπομπής. Αν η φυσική δομή είναι ήδη έτοιμη, είναι ένα πολύ απλό θέμα η τοποθέτηση θυρών σε νέες τοποθεσίες, σε υπάρχοντα VLANs, εάν βέβαια μπορεί να γίνει επέκταση σε αυτές τις τοποθεσίες.
- **Βελτίωση του τομέα της ασφάλειας.** Τα VLANs έχουν την ιδιότητα να προσφέρουν επιπλέον ασφάλεια, η οποία δεν είναι διαθέσιμη σε άλλο διαμοιραζόμενο δικτυακό περιβάλλον. Γνωρίζουμε ότι ένα δίκτυο μεταγωγής παραδίδει πλαίσια μόνο σε συγκεκριμένους δέκτες και κάνει broadcast μόνο στα μέλη του VLAN. Αυτό επιτρέπει στο διαχειριστή του δικτύου, να ομαδοποιήσει τους χρήστες που ζητούν πρόσβαση σε κρίσιμες πληροφορίες, σε ξεχωριστά VLANs από τους υπόλοιπους χρήστες, ανεξαρτήτως φυσικής τοποθεσίας. Επίσης η παρακολούθηση μίας θύρας με ένα αναλυτή κίνησης, θα μας δώσει μόνο τη κίνηση που έχει να κάνει με αυτή τη συγκεκριμένη θύρα, κάνοντας τη παρακολούθηση συγκεκριμένης δικτυακής κίνησης ακόμη πιο δύσκολη, προσδίδοντας έτσι ασφάλεια.

3.6. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟ 3Ο ΕΠΙΠΕΔΟ

Το Gigabit Ethernet, όπως και οι προκάτοχοι του (με μερική εξαίρεση το 100VG-AnyLAN) δεν παρέχει μηχανισμούς Quality of Service (QoS), μπορεί όμως να παράσχει **Class of Service** (CoS - ή αλλιώς best-effort QoS), δηλαδή δέχεται αιτήσεις QoS χωρίς όμως να εγγυάται 100% ικανοποίηση τους. Η υποστήριξη CoS παρέχεται

στο Gigabit Ethernet μέσω προτύπων όπως τα 802.1p, 802.1Q και κυρίως μέσω του Resource reSerVation Protocol (RSVP).

3.7. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ GIGABIT ETHERNET

Η επιταχυνόμενη αύξηση του φορτίου σε περιβάλλοντα τοπικού δικτύου ωθεί τους διαχειριστές του δικτύου να αναζητήσουν δικτυακές τεχνολογίες υψηλότερης ταχύτητας για να επιλύσουν την απαίτηση σε bandwidth. Αν και κάθε δίκτυο έχει τα δικά του ξεχωριστά χαρακτηριστικά, το Gigabit Ethernet έχει αρκετά προτερήματα, ως δίκτυο υψηλών ταχυτήτων:

- Εύκολη και άμεση μετάβαση σε επίπεδα υψηλότερης απόδοσης χωρίς διάσπαση του δικτύου.
- Χαμηλό κόστος ιδιοκτησίας- συμπεριλαμβανομένου του κόστους αγοράς και υποστήριξης.
- Ικανότητα υποστήριξης νέων εφαρμογών και τύπων δεδομένων.
- Ευέλικτος σχεδιασμός δικτύου.

3.7.1. Εύκολη μετάβαση σε υψηλότερη απόδοση

Ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι διαχειριστές δικτύων είναι το πώς να αποκτήσουν υψηλότερο bandwidth χωρίς να διασπαστεί το υπάρχον δίκτυο. Το Gigabit Ethernet ακολουθεί την ίδια μορφή και λειτουργία με αυτή των προκατόχων του (10 Mbps και 100 Mbps Ethernet), επιτρέποντας μια άμεση και σταδιακή μετάβαση σε δίκτυα υψηλότερων ταχυτήτων, διατηρώντας παράλληλα την απλότητα του Ethernet. Τα τρία πρότυπα του Ethernet χρησιμοποιούν το ίδιο IEEE 802.3 σχήμα πλαισίου, full-duplex λειτουργία και μεθόδους ελέγχου ροής. Σε half-duplex mode, το Gigabit Ethernet χρησιμοποιεί τη θεμελιώδη μέθοδο πρόσβασης CSMA/CD για να επιλύσει τον ανταγωνισμό στο κοινό μέσο. Εξάλλου, το Gigabit Ethernet χρησιμοποιεί τα ίδια εργαλεία διαχείρισης που ορίζονται από την ομάδα IEEE 802.3. Τελικά αυτό που επιτυγχάνει το Gigabit Ethernet είναι μια δεκαπλάσια αύξηση απόδοσης σε σύγκριση με την πιο δημοφιλή διασύνδεση, το Fast Ethernet.

3.7.2. Χαμηλό κόστος ιδιοκτησίας

Το κόστος ιδιοκτησίας είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην εκτίμηση οποιασδήποτε νέας δικτυακής τεχνολογίας. Το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας δεν περιλαμβάνει μόνο την αγορά εξοπλισμού, αλλά επίσης και το κόστος εκπαίδευσης, συντήρησης και την επίλυση προβλημάτων. Το Ethernet είναι η κυρίαρχη και πιο ευρέως διαδεδομένη LAN τεχνολογία σήμερα, καθώς και η πιο κατανοητή τεχνολογία. Το Ethernet είναι δημοφιλές επειδή προσφέρει τον καλύτερο συνδυασμό *τιμής, απλότητας, scalability και ευκολίας διαχείρισης*. Εξάλλου, εφόσον η εγκατεστημένη βάση των χρηστών είναι εξοικειωμένη με την τεχνολογία, τα εργαλεία συντήρησης και troubleshooting στο Ethernet, τα κόστη υποστήριξης του Gigabit Ethernet θα είναι χαμηλότερα σε σχέση με άλλες τεχνολογίες. Ο χρήστης δεν χρειάζεται να μάθει νέα overlay πρωτόκολλα αλλά αυτό που απαιτείται είναι επιπρόσθετη εκπαίδευση προσωπικού και εργαλεία συντήρησης και επίλυσης

προβλημάτων. Επειδή το Gigabit Ethernet είναι Ethernet, οι network managers μπορούν να αξιοποιήσουν την υπάρχουσα επένδυσή τους σε δίκτυο, εκπαίδευση προσωπικού και εμπειρία για να μειώσουν το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας. Η ανάπτυξη του Gigabit Ethernet θα είναι γρηγορότερη από τις υπόλοιπες τεχνολογίες. Αφού γίνει η αναβάθμιση της εκπαίδευσης και των εργαλείων, το προσωπικό θα είναι ικανό να εγκαταστήσει και να υποστηρίξει εγκαταστάσεις σε Gigabit Ethernet, και μάλιστα με χαμηλό ρίσκο και διαδεδομένο end-to-end framing.

3.7.3. Υποστήριξη νέων εφαρμογών και τύπων δεδομένων

Η εμφάνιση πολυμεσικών εφαρμογών απαιτεί μίξη data και video πάνω από ενιαία υποδομή. Αυτό είναι εύκολα πλέον εφικτό με ένα συνδυασμό των παρακάτω:

- Αυξημένο bandwidth που παρέχεται από Fast Ethernet και Gigabit Ethernet, βελτιωμένο από LAN switching.
- Την εμφάνιση νέων πρωτοκόλλων όπως το RSVP που παρέχουν εξασφάλιση bandwidth.
- Την εμφάνιση νέων standards όπως το 802.1Q και 802.1p που θα παρέχουν εικονικά LAN (VLAN) και πληροφορίες προτεραιότητας για τα πακέτα μέσα στο δίκτυο.

Αυτή η τεχνολογία και τα πρωτόκολλα συνδυάζονται ώστε το Gigabit Ethernet να γίνει μια ελκυστική λύση για τη διανομή video και multimedia.

3.7.4. Ευέλικτο Internetworking και σχεδιασμός δικτύου

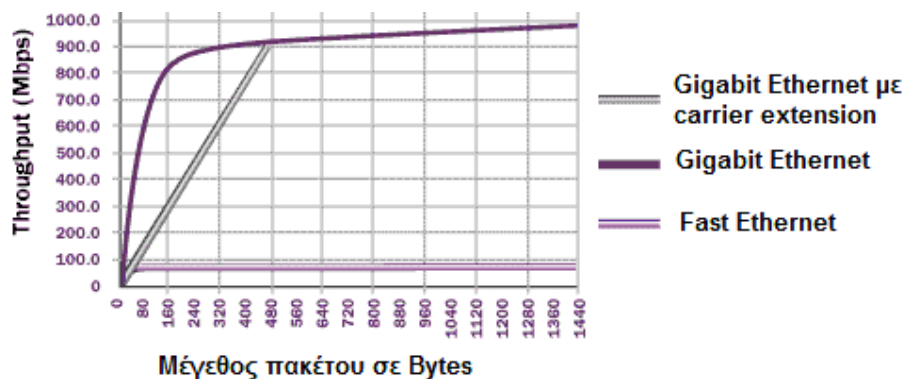
Οι διαχειριστές δικτύων σήμερα αντιμετωπίζουν ένα πλήθος από επιλογές internetworking και σχεδιασμού δικτύου. Συνδυάζουν routed και switched δίκτυα, και οικοδομούν intranets μεγάλης κλίμακας. Τα δίκτυα Ethernet είναι shared (χρησιμοποιώντας αναμεταδότες) και switched, βασισμένα σε απαιτήσεις bandwidth και κόστους. Όμως, η επιλογή ενός δικτύου υψηλών ταχυτήτων δεν πρέπει να περιορίζει την επιλογή internetworking ή δικτυακής τοπολογίας.

Το Gigabit Ethernet μπορεί να είναι switched, routed και shared. Οι τρέχουσες τεχνολογίες internetworking, καθώς και τεχνολογίες όπως IP-specific switching και Layer 3 switching, είναι πλήρως συμβατές με το Gigabit Ethernet, όπως ακριβώς είναι με το Ethernet και το Fast Ethernet. Το Gigabit Ethernet είναι διαθέσιμο σε full duplex αναμεταδότη, καθώς και σε LAN switches και routers.

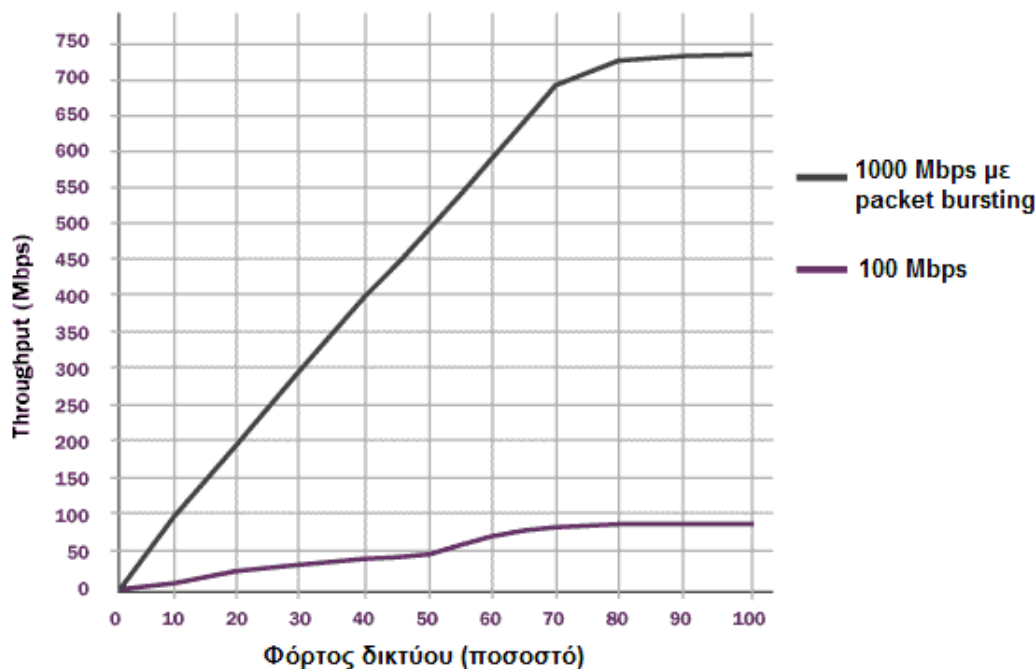
3.8. ΑΠΟΔΟΣΗ GIGABIT ETHERNET

Το Gigabit Ethernet επεκτείνει την απόδοση του Ethernet των 10/100 Mbps στα 1000 Mbps wire speed. Μια θεωρητική προσομοίωση που ετοιμάστηκε από την Intel Corporation δείχνει ότι το Gigabit Ethernet θα υπερβεί την απόδοση του Fast Ethernet όσο το μέγεθος του πακέτου αυξάνει κατά μια τάξη (Σχήμα 41). Καθώς υλοποιείται το packet bursting, το Gigabit Ethernet θα γίνεται ολοένα και πιο αποδοτικό στο χειρισμό μικρών πακέτων. Πειράματα που εκτελέστηκαν από την AMD δείχνουν ότι σε μια τοπολογία half-duplex με συγκρούσεις, ένα δίκτυο Gigabit

Ethernet πέτυχε throughput άνω των 720 Mbps σε συνθήκες προσφερόμενου φορτίου 100% (Σχήμα 42). Επειδή οι περισσότερες αρχικές υλοποιήσεις του Gigabit Ethernet θα είναι switched, full-duplex τοπολογίες χωρίς συγκρούσεις, οι χρήστες πρέπει να αναμένουν ότι θα υπερβούν εύκολα αυτό το 70% throughput rate, κα πιθανόν να προσεγγίσουν το θεωρητικό μέγιστο των 2Gbps του full-duplex throughput.



Σχήμα 41. Προσομοίωση της απόδοσης του Gigabit Ethernet (Πηγή: Intel)



Σχήμα 42. Απόδοση δικτύου σε συνάρτηση με τον παρεχόμενο φόρτο (Πηγή: Εξομοιώσεις απόδοσης δικτύων 1 Gbps, AMD)

Ο Πίνακας 5 παρουσιάζει αποτελέσματα πειραμάτων για την απόδοση ενός port ενός Gigabit Ethernet multi-port switch, με διαφορετικά μεγέθη πακέτων: 64 bytes, 128 bytes, ..., 1518 bytes. Το switch ήταν non-blocking και η συνολική απόδοση διαιρείται από 8 ports ώστε να βρεθεί η απόδοση για κάθε port αντίστοιχα. Ανάλογα με το μέγεθος του πακέτου, η απόδοση κυμάνθηκε από 81.274 rps έως 1,488 εκατομμύρια rps.

Το πείραμα δείχνει ότι η αποδοτικότητα φτάνει ως και 100%. Για παράδειγμα, με πακέτα των 64 bytes, η απόδοση είναι άνω των 1,488 εκατομμυρίων πακέτων το δευτερόλεπτο. Εφόσον το interframe gap των 12 bytes και η εισαγωγή (preamble)

των 8 bytes συμπεριλαμβάνονται, το τεστ δείχνει ότι το Gigabit Ethernet link αποδίδει σε full wire-speed 1 Gbps. ($1,488,095$ εκατομ. pps * $[64 + 12 + 8 \text{ bytes}] * 8$ bits/byte = 1 Gbps)

Παρομοίως, για το μεγαλύτερο πακέτο των 1518 bytes, με μετρημένη απόδοση των 81.274 pps, η αποδοτικότητα ξεπερνά το 99%. (81.274 pps * $[1518 + 12 + 8]$ * 8 bits/byte = 0,999 Gbps).

Μέγεθος πακέτου	Θεωρητική απόδοση (pps)	Πραγματική απόδοση (pps)	bps (*10 ³)	Αποδοτικότητα
64	1.488.095	1.488.095	1.000.000	100%
128	844.594	844.594	999.999	100%
256	452.898	452.898	999.999	100%
512	234.962	234.962	999.998	100%
768	158.629	158.629	999.997	100%
1024	119.731	119.731	999.993	100%
1280	96.153	96.153	999.991	100%
1518	81.274	81.274	999.995	100%

Πίνακας 5. Απόδοση Gigabit Ethernet

3.9. 10 GIGABIT ETHERNET

Από τη δημιουργία του, το Ethernet έχει εξελιχθεί για να ανταπεξέλθει στις ανάγκες των δικτύων που βασίζονται στη μεταφορά πακέτων. Εξαιτίας του μικρού κόστους υλοποίησης, της αξιοπιστίας του, της απλότητας εγκατάστασης και διατήρησης του, η δημοτικότητα του ethernet είναι πολύ υψηλή έτσι ώστε όλη η κίνηση στο διαδίκτυο αρχίζει και τερματίζει με μια ethernet σύνδεση. Όμως η μεγάλη απαίτηση για ακόμα ταχύτερα δίκτυα ανάγκασε και το ethernet να βελτιωθεί για να μπορεί να ανταποκριθεί με επιτυχία στη νέα πραγματικότητα.

Το πρότυπο IEEE 802.3ae 2002 (10 gigabit ethernet πρότυπο) που δημιουργήθηκε, είναι σε κάποια σημεία διαφορετικό από τις προηγούμενες ethernet τεχνολογίες όπως στο γεγονός ότι δουλεύει πάνω από οπτική ίνα και λειτουργεί μόνο σε πλήρη αμφίδρομο τρόπο (full duplex) κάνοντας έτσι τα πρωτόκολλα ανίχνευσης-συγκρούσεων να μην είναι απαραίτητα. Το ethernet μπορεί έτσι να δουλεύει με 10 gigabits ανά δευτερόλεπτο, διατηρώντας όμως όλες τις βασικές λειτουργίες του πρωτοκόλλου ethernet, όπως η μορφή των πακέτων, κάνοντας έτσι λειτουργικά τα χαρακτηριστικά του παραδοσιακού ethernet στο νέο πρότυπο.

3.9.1. Βασικά Σημεία του Προτύπου και η Αρχιτεκτονική του

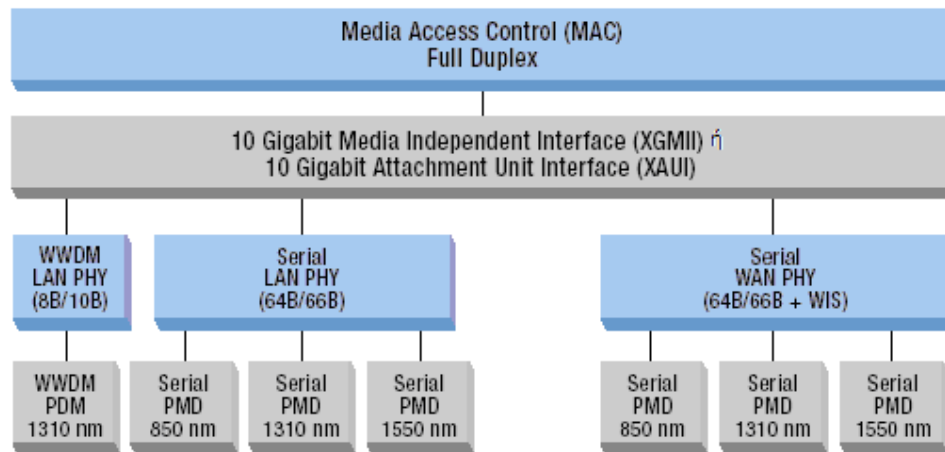
Το 10 Gigabit Ethernet πρότυπο επεκτείνει τα 802.3ae πρότυπα σε ενσύρματη ταχύτητα που φτάνει τα 10 Gbps, και επίσης επεκτείνει και τις εφαρμογές του ethernet για να περιλαμβάνουν WAN συμβατούς συνδέσμους. Το πρότυπο 10 Gigabit

Ethernet παρέχει μία σημαντική αύξηση του εύρους ζώνης, ενώ παράλληλα διατηρεί μέγιστη συμβατότητα με τις ήδη εγκαταστημένες 802.3 διεπαφές, προστατεύοντας έτσι τις ήδη υπάρχουσες επενδύσεις στη έρευνα και στην παραγωγή και διατηρώντας τις βασικές αρχές λειτουργίας και διατήρησης των δικτύων.

Με βάση το OSI μοντέλο, το ethernet είναι ένα πρωτόκολλο που αναφέρεται στα επίπεδα 1 και 2. Το 10 Gigabit Ethernet διατηρεί αυτή τη βασική αρχιτεκτονική, συμπεριλαμβάνοντας όμως και το πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC), και την ethernet μορφή πλαισίου, και το μέγιστο-ελάχιστο μέγεθος πλαισίου. Όπως στο Gigabit Ethernet και το 1000BASE-X και το 1000BASE-T ακολουθούν το βασικό ethernet μοντέλο, έτσι και το 10 Gigabit Ethernet συνεχίζει την ανάπτυξη του ethernet σε ταχύτητα και απόσταση, χρησιμοποιώντας τη βασική ethernet αρχιτεκτονική εκτός όμως από την εισαγωγή μιας βασικής διαφοράς σε αυτή την αρχιτεκτονική. Από τη στιγμή που το 10 Gigabit Ethernet είναι μια πλήρης αμφίδρομη (full duplex) τεχνολογία δε χρειάζεται το CSMA/CD (carrier-sensing multiple-access with collision detection) πρωτόκολλο το οποίο χρησιμοποιείται σε άλλες ethernet τεχνολογίες. Όμως σε κάθε άλλο θέμα αρχιτεκτονικής, το 10 Gigabit Ethernet τηρεί τις αρχές του αρχικού ethernet μοντέλου, που κάποιες από αυτές περιγράψαμε παραπάνω.

Όσον αφορά τώρα το φυσικό επίπεδο (επίπεδο 1), το ethernet PHY συνδέει το οπτικό μέσο με το MAC επίπεδο με τεχνολογία σύνδεσης. Η αρχιτεκτονική του ethernet διαιρεί το φυσικό επίπεδο σε τρία υποεπίπεδα:

1. Φυσικό μέσο εξάρτησης ή PMD
2. Φυσικό μέσο επισύναψης ή PMA
3. Φυσικό επίπεδο κωδικοποίησης ή PCS



Σχήμα 43. Η αρχιτεκτονική του πρότυπου 802.3ae

Το PMD υποεπίπεδο παρέχει φυσική σύνδεση και σηματοδότηση στο μέσο. Οι οπτικοί πομποδέκτες για παράδειγμα αναφέρονται στο PMD. Το PCS αποτελείται από κωδικοποιητή (όπως 64B και 66B) και από serializer ή πολυπλέκτη. Το πρότυπο IEEE 802.3ae καθορίζει δύο τύπους PHY:

- Το PHY LAN
- Το PHY WAN

Τα παραπάνω προσφέρουν την ίδια λειτουργικότητα, εκτός από το φυσικό επίπεδο του WAN, που διαθέτει ορισμένα ειδικά χαρακτηριστικά στο επίπεδο του PCS επιπέδου, που καθιστούν δυνατή τη σύνδεση με SONET STS-192c/SHD VC-4-64c δίκτυα.

Το 10 Gigabit Ethernet λειτουργεί πάνω από οπτική ίνα και σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.3ae υποστηρίζει και τους δύο τύπους οπτικής ίνας. Παρόλα αυτά οι αποστάσεις ποικίλουν ανάλογα με το τύπο της οπτικής ίνας και το μήκος κύματος (nm) που χρησιμοποιείται για κάθε εφαρμογή. Στις εφαρμογές μονότροπης ίνας το πρότυπο IEEE 802.3ae υποστηρίζει 10km για οπτικές μεταδόσεις των 1310 νανόμετρων και 40km για οπτικές μεταδόσεις των 1550 νανόμετρων. Στη περίπτωση όμως της πολύτροπης ίνας οι αποστάσεις δεν μπορούν να ορισθούν εύκολα, εξαιτίας της διαφοροποίησης των διαφορετικών τύπων ινών και τον τρόπο που αυτές ορίζονται.

Για να μπορούν να τηρούνται οι υποστηριζόμενες αποστάσεις, επιλέχθηκαν τέσσερα PMD's (physical media dependent devices):

- Ένα 1310nm σειριακό PMD για την υποστήριξη μονοτροπικής ίνας για μέγιστη απόσταση 10km.
- Ένα 1550nm σειριακό PMD για την υποστήριξη μονοτροπικής ίνας για μέγιστη απόσταση 40km
- Ένα 850nm σειριακό PMD για την υποστήριξη πολυτροπικής ίνας για μέγιστη απόσταση 300 μέτρων.
- Ένα 1310nm WDM (wide-wave division multiplexing) PMD για την υποστήριξη μονοτροπικής ίνας για μέγιστη απόσταση 10km, όπως επίσης για την υποστήριξη πολυτροπικής ίνας για μέγιστη απόσταση 300 μέτρα.

3.9.2. Εφαρμογές του 10 Gigabit Ethernet

Οι κατασκευαστές αλλά και οι χρήστες συμφωνούν στο ότι το ethernet είναι φτηνό, κατανοητό, ευρέως χρησιμοποιούμενο και απόλυτα συμβατό για τα σημερινά δίκτυα LAN. Έτσι, αναμένεται να έχει τις ακόλουθες εφαρμογές:

- **Εφαρμογή σε LAN.** Υπολογίζεται ότι περισσότερο από το 90% το κόμβων LAN που υπάρχουν στις επιχειρήσεις είναι Ethernet. Με δεδομένο ότι το 10 Gigabit Ethernet είναι συμβατό με την υπάρχουσα Ethernet τεχνολογία θα αποτελέσει τη νέα γενιά Ethernet LANs.
- **Εφαρμογή σε MAN.** Στη περίπτωση των μητροπολιτικών δικτύων (MAN) η τεχνολογία 10 Gigabit Ethernet μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δικτυακή σύνδεση ανάμεσα σε απομακρυσμένες γεωγραφικά περιοχές. Για να γίνει κατανοητό πώς αυτό μπορεί να επιτευχθεί, πρέπει να είναι γνωστοί οι περιορισμοί και τα προβλήματα που παρουσιάζονται στη MAN δικτύωση. Έτσι λοιπόν το SONET/SDH είναι το επικρατές πρωτόκολλο μεταφοράς στο MAN δίκτυο και επίσης οι MAN υπηρεσίες προσφέρονται σαν SONET OC-3 ή OC-12. Τα κύρια προβλήματα στα μητροπολιτικά δίκτυα είναι τα εξής:

- Μεγάλος αριθμός στοιχείων του δικτύου.
- Μεγάλο και πολύπλοκο δίκτυο.
- Περισσότερα επίπεδα πρωτοκόλλου.

Να σημειώσουμε εδώ ότι για απλότητα ο όρος MAN αναφέρεται σε δίκτυα για αποστάσεις που φτάνουν τα 100km, συνδέοντας π.χ. γραφεία σε αυτό το εύρος. Με βάση τα παραπάνω κάποιος μπορεί να καταλάβει τις υπηρεσίες που παρέχονται από το πρωτόκολλο 802.3ae σκεπτόμενος ένα ευρύτερο LAN. Αν εκμεταλλευτούμε λοιπόν τις μεγάλες αποστάσεις που μπορεί να υποστηρίξει 10 Gigabit Ethernet με τη χρήση «σκοτεινών» (dark) συνδέσμων οπτικής ίνας μεγάλου μήκους κύματος, μπορούμε να φτάσουμε τις αποστάσεις στις οποίες αναφέρονται τα μητροπολιτικά δίκτυα.

- **Εφαρμογή σε WAN.** Όπως και στη περίπτωση των μητροπολιτικών δικτύων το SONET/SDH είναι το κυρίαρχο πρωτόκολλο μεταφοράς στα WAN δίκτυα κορμού με αντίστοιχο ρυθμό μετάδοσης το OC-192 (ταχύτητες των 9,58 Gbps). Η τεχνολογία 10 Gigabit Ethernet έχει πάρα πολλές εφαρμογές σε αυτό το τομέα. Όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω το πρότυπο IEEE 802.3ae ορίζει δύο τύπους PHY. Αυτοί είναι το LAN και WAN PHY. Ο κύριος στόχος εδώ ήταν να οριστεί ένα PHY συμβατό με το SONET, το οποίο θα λειτουργεί με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που θα είναι συμβατός με το OC-192. Έτσι αυτή η WAN PHY διεπαφή θα επέτρεπε στα 10 Gigabit Ethernet switches και δρομολογητές να μπορούν να συλλειτουργήσουν με το SONET εξοπλισμό πρόσβασης, χρησιμοποιώντας την δομή του SONET για το επίπεδο 1. Όμως αυτό το WAN PHY δε κατέστησε το SONET συμβατό για να διατηρηθεί το κόστος του PHY χαμηλό και δε μπορεί να συνδεθεί με τη διεπαφή του SONET άμεσα.

Η τεχνολογία 10 Gigabit Ethernet δεν αυξάνει μόνο τη ταχύτητα του Ethernet στα 10 Gbps, αλλά επίσης επεκτείνει τη διασύνδεση και την απόσταση λειτουργίας στα 40 km. Όπως το Gigabit Ethernet έτσι και το 10 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ae) υποστηρίζει και μέσα μονότροπης και πολύτροπης ίνας. Όμως στη περίπτωση του 10 Gigabit Ethernet η απόσταση για μονότροπη ίνα είναι 40km, σε αντίθεση με το Gigabit Ethernet που είναι 10km (με βάση το πρότυπο).

3.10. METRO ETHERNET

Το Ethernet όπως περιγράφηκε στις παραπάνω ενότητες είναι μια τεχνολογία που είχε τεράστια επιτυχία στα δίκτυα LAN και εκτόπισε άλλες τεχνολογίες, όπως το Token Ring, το FDDI, και το ATM. Η απλότητα, το κόστος και η απόδοσή του έχουν κάνει το Ethernet να επεκταθεί ακόμα και σε μητροπολιτικά δίκτυα (Metro Ethernet). Το Ethernet, εντούτοις, δεν σχεδιάστηκε για εφαρμογές σε μητροπολιτικά δίκτυα και στερείται της εξελιξιμότητας και της αξιοπιστίας που απαιτείται για μαζικές επεκτάσεις. Η ανάπτυξη Ethernet σε Metro Ethernet απαιτεί τα χαρακτηριστικά εξελιξιμότητας και αξιοπιστίας που παρέχουν τα IP και MPLS πρωτόκολλα. Με αυτό τον τρόπο, τα πρωτόκολλα IP και MPLS μαζί με την απλότητα και το χαμηλό κόστος του Ethernet παρέχουν τη λύση για την επέκτασή του σε μητροπολιτικά δίκτυα.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης του Ethernet παρακινούν τους παρόχους να χρησιμοποιούν το Ethernet ως τεχνολογία πρόσβασης. Μερικοί πάροχοι έχουν επεκτείνει τις υπηρεσίες Ethernet εκτός από μητροπολιτικά δίκτυα (MAN) και σε δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN). Επιπλέον, αρκετοί είναι εκείνοι οι συνδρομητές που

ήδη χρησιμοποιούν υπηρεσίες Metro Ethernet και ο αριθμός τους αυξάνεται ταχύτατα. Αυτοί οι συνδρομητές προσελκύονται από τα οφέλη των υπηρεσιών Ethernet, που περιλαμβάνουν:

- Χαμηλό κόστος: το χαμηλότερο κόστος μιας διεπαφής πρόσβασης Ethernet ευνοεί την εγκατάσταση μιας διεπαφής Ethernet υψηλής-ταχύτητας. Οι υπηρεσίες Ethernet μπορούν να μειώσουν τα έξοδα των συνδρομητών και τα έξοδα λειτουργίας καταρχήν λόγω της ευρείας χρήσης της σχεδόν σε όλα τα προϊόντα δικτύωσης και του συνεπαγόμενου μικρού κόστους των Ethernet interfaces και των χαμηλότερων λειτουργικών δαπανών. Επιπλέον, πολλές υπηρεσίες Ethernet επιτρέπουν στους συνδρομητές να προσθέτουν εύρος ζώνης όταν εκείνοι θέλουν, με αποτέλεσμα να πληρώνουν μόνο για ό,τι χρειάζονται.
- Κλιμάκωση εύρους ζώνης: Μια διεπαφή Ethernet μπορεί να λειτουργήσει σε οποιοδήποτε εύρος ζώνης μικρότερο της μέγιστης ταχύτητας που μπορεί να επιτευχθεί. Οι αρχικές επεκτάσεις του Metro Ethernet αντιμετώπισαν προβλήματα με αυτήν τη λειτουργία επειδή υπήρχαν πολλοί Ethernet μεταγωγείς (switches) και δεν είχαν την ικανότητα να αστυνομεύσουν την κυκλοφορία και να επιβάλουν τα συμφωνημένα επίπεδα υπηρεσιών (Service Level Agreement ή SLAs).
- Γρήγορη παροχή: Αρκούν απλά κάποιες αλλαγές σε παραμέτρους λογισμικού για να αυξηθεί ή να μειωθεί το εύρος ζώνης, να εγκατασταθεί μια νέα σύνδεση, να παρασχεθεί μία νέα υπηρεσία κτλ.
- Ευελιξία: Πολλές υπηρεσίες Ethernet επιτρέπουν στους συνδρομητές να διασυνδέσουν τις επιχειρήσεις τους, γεγονός που θα ήταν είτε πιο σύνθετο είτε αδύνατο με εναλλακτικές υπηρεσίες. Παραδείγματος χάριν, μια Ethernet διεπαφή υπηρεσιών μπορεί να συνδέσει τα γραφεία μιας επιχείρησης που βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες μέσω του Intranet VPNs και να συνδέσει επιχειρησιακούς συνεργάτες ή τους προμηθευτές μέσω του Extranet VPNs. Επιπρόσθετα, με τις διαχειριστικές υπηρεσίες Ethernet, οι συνδρομητές μπορούν να προσθέσουν ή να αλλάξουν το εύρος ζώνης σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Όλες αυτές οι αλλαγές δεν απαιτούν από το συνδρομητή να αγοράσει νέο εξοπλισμό, γεγονός που κάνει το Ethernet ιδιαίτερα ευέλικτο σε αλλαγές.
- Ευκολία χρήσης: Οι υπηρεσίες Ethernet παρέχονται μέσω μιας τυποποιημένης, ευρέως διαθέσιμης και κατανοητής διεπαφής Ethernet. Ουσιαστικά όλος ο εξοπλισμός συνδέεται στο δίκτυο χρησιμοποιώντας το Ethernet. Επομένως, χρησιμοποιώντας τις Ethernet υπηρεσίες για να διασυνδεθεί ο εξοπλισμός απλοποιούνται οι διαδικασίες παροχής και διαχείρισης του δικτύου.

3.10.1. Από το Ethernet στο Metro Ethernet

Το Metro Ethernet μπορεί να χωριστεί σε τρία τμήματα:

- Πρόσβαση: αυτό το τμήμα αποτελεί το τμήμα του last mile, το οποίο είναι το μέρος του δικτύου που καταλήγει στον τελικό χρήστη. Για επιχειρήσεις, παραδείγματος χάριν, ο εξοπλισμός πρόσβασης μπορεί να βρίσκεται σε κιβώτια στο υπόγειο της επιχείρησης.
- Metro Edge: Πρόκειται για τις συνδέσεις που ξεκινούν από τα κτίρια, αθροίζονται σε κάποιον κόμβο σε μεγαλύτερους σωλήνες και μεταφέρονται σε όλο το δίκτυο.

- Metro Core: Το τμήμα αυτό αποτελεί ένα δεύτερο επίπεδο συνάθροισης όπου πολλοί κόμβοι συγκεντρώνονται σε ένα κεντρικό κόμβο. Οι κεντρικοί κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους για να διαμορφώσουν τον πυρήνα του δικτύου (metro core).

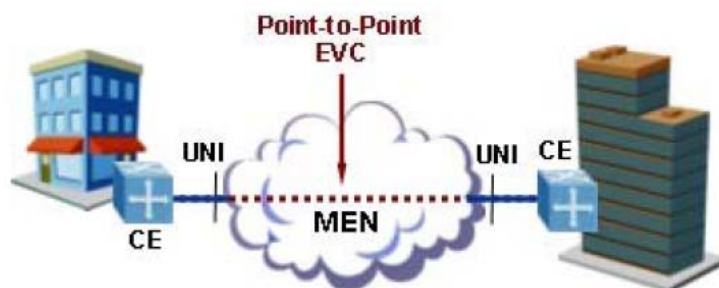
Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες αρχιτεκτονικές για να μεταφερθεί το Ethernet στα μητροπολιτικά δίκτυα:

- Χρήση του πρωτοκόλλου Multi Protocol Label Switching (MPLS) σαν τεχνολογία μεταφοράς στο μητροπολιτικό δίκτυο.
- Επέκταση του πρωτοκόλλου Ethernet.
- Μεταφορά του Ethernet χρησιμοποιώντας την τεχνολογία Synchronous Optical Network / Synchronous Digital Hierarchy (SONET/SDH).
- Χρήση γενικευμένου MPLS (GMPLS) για τον έλεγχο των Ethernet μεταγωγέων στο μητροπολιτικό δίκτυο.

3.10.2. Τύποι υπηρεσιών Metro Ethernet

Το Metro Ethernet Forum (MEF) έχει καθορίσει τρεις τύπους υπηρεσιών που μπορούν να παραδοθούν πάνω από Metro Ethernet δίκτυο (MEN):

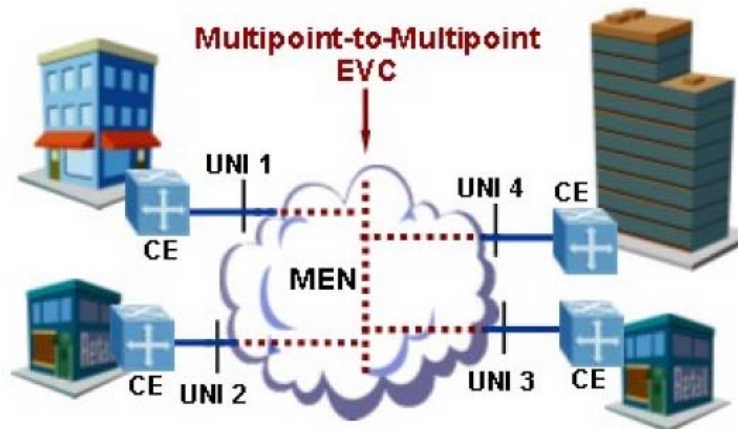
- **E-Line** γνωστό και ως Virtual Leased Line (VLL), Point-to-Point ή Ethernet Private Wire Service (EPVS): Χρησιμοποιείται για Ethernet point-to-point συνδεσιμότητα. Στην απλούστερη μορφή του μπορεί να παρέχει συμμετρικό εύρος ζώνης για την αποστολή και λήψη δεδομένων, χωρίς να παρέχει εγγύηση της απόδοσης (π.χ. υπηρεσία best effort). Σε πιο σύνθετες μορφές μπορεί να παρέχει εγγυήσεις για την καθυστέρηση, το jitter, και την απώλεια πακέτων. Γενικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει υπηρεσίες αντίστοιχες του Frame Relay ή των ιδιωτικών μισθωμένων γραμμών αλλά με πολύ μεγαλύτερο εύρος επιλογών συνδεσιμότητας και εύρους ζώνης.



Σχήμα 44. E-Line υπηρεσία

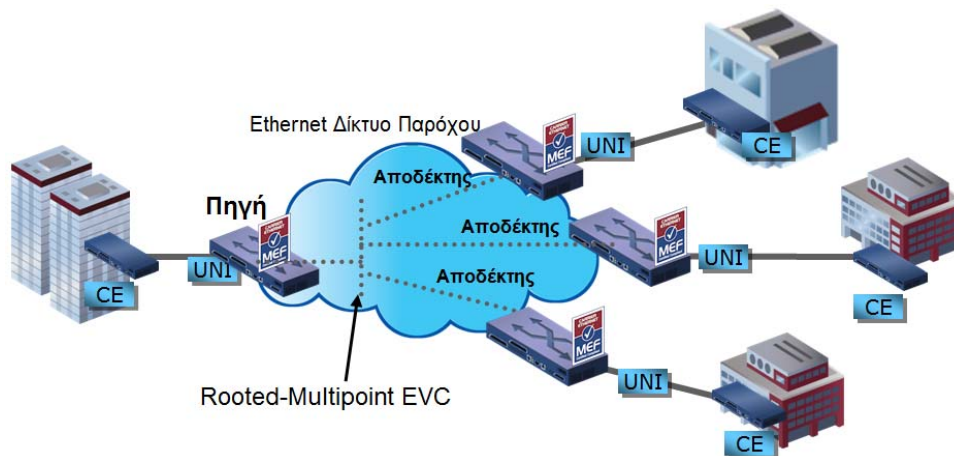
- **E-LAN** γνωστό και ως Virtual Private LAN Services (VPLS), Transparent LAN Services και MultiPoint-to-MultiPoint: Ο LAN τύπος υπηρεσιών Ethernet παρέχει multipoint συνδεσιμότητα. Τα δεδομένα που αποστέλλονται μπορούν να έχουν έναν ή περισσότερους παραλήπτες. Κάθε συμμετέχων στο E-LAN συνδέεται σε μία multipoint εικονική σύνδεση Ethernet (EVC). Όταν προστίθενται νέοι συμμετέχοντες συνδέονται στο ίδιο EVC απλοποιώντας έτσι τη διαδικασία ενεργοποίησης και παροχής της υπηρεσίας. Από τη μεριά του πελάτη η υπηρεσία E-LAN κάνει το Metro Ethernet δίκτυο (MEN) να μοιάζει με ένα απλό τοπικό

δίκτυο (LAN). Όπως και στην περίπτωση του E-Line τύπου υπηρεσιών στην απλούστερη μορφή του δεν παρέχει εγγύηση απόδοσης, ενώ σε πιο σύνθετες μορφές μπορεί να παρέχει εγγυήσεις για την καθυστέρηση, το jitter, και την απώλεια πακέτων.



Σχήμα 45. E-LAN υπηρεσία

- **E-TREE** γνωστό και ως Point-to-MultiPoint: Η υπηρεσία αυτή παρέχει multipoint συνδέσεις με λιγότερη ανάγκη ρυθμίσεων απ'ότι στην περίπτωση της E-Line υπηρεσίας. Παρέχει διαχωρισμό της κίνησης μεταξύ των χρηστών καθώς η κίνηση από τους αποδέκτες μιας πηγής κίνησης δεν μεταδίδεται στους άλλους αποδέκτες.



Σχήμα 46. E-Tree υπηρεσία

Επιπλέον διάφοροι τύποι υπηρεσιών μπορούν να παρασχεθούν από το Metro Ethernet συμπεριλαμβάνοντας υψηλής ταχύτητας πρόσβαση στο Internet access και IP/VPN πρόσβαση. Χρησιμοποιώντας τις τυποποιημένες διεπαφές Ethernet, οι συνδρομητές μπορούν να οργανώσουν ασφαλείς, ιδιωτικές Virtual Ethernet συνδέσεις σε μητροπολιτικά δίκτυα ή ακόμα και σε δίκτυα ευρείας περιοχής. Επιπλέον, με τις υπηρεσίες Ethernet οι συνδρομητές μπορούν να αγοράσουν ακριβώς το εύρος ζώνης που χρειάζονται, γνωρίζοντας ότι μπορούν γρήγορα και εύκολα να προσθέσουν το εύρος ζώνης και να δημιουργήσουν νέες συνδέσεις όποτε χρειάζονται.

3.10.3. Τεχνολογίες Metro Ethernet

Οι υπηρεσίες και οι εφαρμογές του Metro Ethernet δεν απαιτούν απαραίτητως να είναι το Ethernet η τεχνολογία μεταφοράς. Το Metro Ethernet μπορεί να στηριχτεί σε διαφορετικές τεχνολογίες, όπως

- Ethernet over SONET/SDH
- Resilient Packet Ring
- Ethernet Transport
- Ethernet MANs βασισμένα σε MPLS

3.10.3.1. Ethernet over SONET/SDH (EOS)

Αρκετοί πάροχοι έχουν ξοδέψει ήδη πολλά χρήματα για την κατασκευή υποδομών SONET/SDH. Αυτοί οι πάροχοι επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν τη συγκεκριμένη υποδομή για να παρέχουν υπηρεσίες Ethernet. Για τέτοιες επεκτάσεις, είναι απαραίτητη η διαχείριση του εύρους ζώνης στο δίκτυο, λόγω της χαμηλής χωρητικότητας των υπαρχόντων SONET/SDH δακτυλίων και του γεγονότος ο αριθμός των συνδρομητών μπορεί να αυξηθεί απότομα, ειδικά όταν οι δακτύλιοι χρησιμοποιούνται για υπηρεσίες δεδομένων.

Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας EOS είναι ότι εισάγει μια Ethernet υπηρεσία διατηρώντας όλες τις θετικές ιδιότητες της υποδομής SONET, όπως τη γρήγορη αποκατάσταση, τον ποιοτικό έλεγχο των συνδέσεων και τη χρήση της υπάρχουσας SONET OAM&P διαχείρισης δικτύων. Με το EOS, διατηρείται το πλήρες πλαίσιο του Ethernet, το οποίο ενσωματώνεται στο ωφέλιμο φορτίο του SONET κατά την είσοδο στο δίκτυο και αφαιρείται από αυτό κατά την έξοδο του από το δίκτυο.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 47, στο Ethernet πλαίσιο ενσωματώνεται μια EOS κεφαλίδα κατά την είσοδο στο δίκτυο. Στη συνέχεια, το Ethernet πλαίσιο ενσωματώνεται στο SONET/SDH Synchronous Payload Envelope (SPE) και μεταφέρεται στον SONET/SDH δακτύλιο. Η αντίστροφη διαδικασία πραγματοποιείται κατά την έξοδο του πλαισίου από το δίκτυο.



Σχήμα 47. Ethernet over SONET

Το EOS εισάγει μερικές ανεπάρκειες εύρους ζώνης στην ανάπτυξη των υπηρεσιών Metro Ethernet, κυρίως λόγω του κακού συνδυασμού εύρους ζώνης με τα μεγέθη των Ethernet πλαισίων. Το Virtual Concatenation (VCAT) είναι ένας μηχανισμός του SDH/SONET που χρησιμοποιείται για την αποφυγή τέτοιων ανεπαρειών.

Ο ρόλος του Virtual Concatenation

Το Virtual concatenation (VCAT) είναι ένα μέτρο αντιμετώπισης των ανεπαρειών του TDM εύρους ζώνης στους SONET/SDH δακτυλίους. Τα TDM κυκλώματα είναι είτε πολύ μικρά είτε πολύ μεγάλα για να προσαρμοστούν στο απαραίτητο εύρος

ζώνης. Μόλις δημιουργηθεί το κύκλωμα, ο SONET/SDH δακτύλιος χάνει αυτό το ποσό εύρους ζώνης είτε το εύρος ζώνης χρησιμοποιείται είτε όχι.

Με το VCAT, αρκετά μικρότερα πλαίσια συνδέονται και συγκεντρώνονται για να δημιουργήσουν ένα μεγαλύτερο που μεταφέρει περισσότερα δεδομένα ανά δευτερόλεπτο. Το VCAT πραγματοποιείται στο SONET/SDH επίπεδο (L1), γεγονός που σημαίνει ότι διαφορετικά μεμονωμένα κυκλώματα συνδέονται και παρουσιάζονται στα ανώτερα επίπεδα του δικτύου ως ένα ομοιόμορφο κύκλωμα.

Link Capacity Adjustment Scheme

Το VCAT είναι ένα ισχυρό εργαλείο που αποτελεσματικά ομαδοποιεί το εύρος ζώνης και δημιουργεί πλαίσια που ταιριάζουν στο απαιτούμενο εύρος ζώνης. Ωστόσο, η απαίτηση εύρους ζώνης από τους πελάτες μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια του χρόνου, γεγονός που απαιτεί να επαναπροσδιοριστεί το πλαίσιο SONET/SDH. Η διαδικασία αυτή θα μπορούσε να προκαλέσει τη διατάραξη του δικτύου, καθώς όλο και περισσότερα SONET/SDH κανάλια μπορεί να προστίθενται ή να αφαιρούνται. Το Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS) είναι ένα πρωτόκολλο που επιτρέπει στα κανάλια να επαναταξινομηθούν οποιαδήποτε στιγμή χωρίς να αναστατωθεί η κυκλοφορία ή η σύνδεση. Το LCAS εκτελεί ακόμη ελέγχους συνδεσιμότητας για να αφαιρέσει όλους τους αποτυχημένους συνδέσμους και να προσθέσει δυναμικά νέους χωρίς τη διατάραξη του δικτύου.

Ο συνδυασμός του EOS, του VCAT, και του LCAS παρέχει μέγιστη αποδοτικότητα κατά την ανάπτυξη των Ethernet υπηρεσιών πάνω από SONET.

3.10.3.2. Resilient Packet Ring (RPR)

Το RPR, γνωστό και ως πρότυπο IEEE 802.17, διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη υπηρεσιών δεδομένων του Metro Ethernet. Το RPR είναι ένα νέο πρωτόκολλο του υποστρώματος MAC, που σχεδιάστηκε για να βελτιστοποιήσει τη διαχείριση του εύρους ζώνης και να διευκολύνει την ανάπτυξη υπηρεσιών δεδομένων σε ένα δίκτυο δακτυλίου. Στόχος του είναι να παρέχει την ανοχή στα λάθη που έχει το SONET/SDH αλλά αντί να βασίζεται σε κυκλώματα μεταδίδει τα δεδομένα στη βάση πακέτων, προκειμένου να γίνει πιο αποτελεσματική η μετάδοση IP και Ethernet υπηρεσιών.

Το RPR λειτουργεί χρησιμοποιώντας ένα ζεύγος αντίστροφων δακτυλίων που στην ορολογία του πρωτοκόλλου ονομάζονται ringlets. Τα ringlets δημιουργούνται με την εγκαθίδρυση RPR σταθμών στους κόμβους όπου πρέπει να διαμοιράζεται η κίνηση. Οι κόμβοι διαπραγματεύονται το εύρος ζώνης μεταξύ τους με τη χρήση κατάλληλων αλγορίθμων για την αποφυγή συμφόρησης. Η διακοπή του δακτυλίου αποφεύγεται με τις τεχνικές «καθοδήγησης» (“steering”) και «διπλώματος» (“wrapping”). Με την τεχνική εάν ένας κόμβος ή τμήμα του δακτυλίου βγει εκτός λειτουργίας, όλοι οι κόμβοι ειδοποιούνται για την αλλαγή στην τοπολογία και αναδρομολογούν την κίνησή τους. Με την τεχνική wrapping η κίνηση επιστρέφεται από τον ακραίο κόμβο πριν το κομμάτι του δακτυλίου που έχει αστοχήσει και δρομολογείται από την άλλη κατεύθυνση του δακτυλίου στον προορισμό.

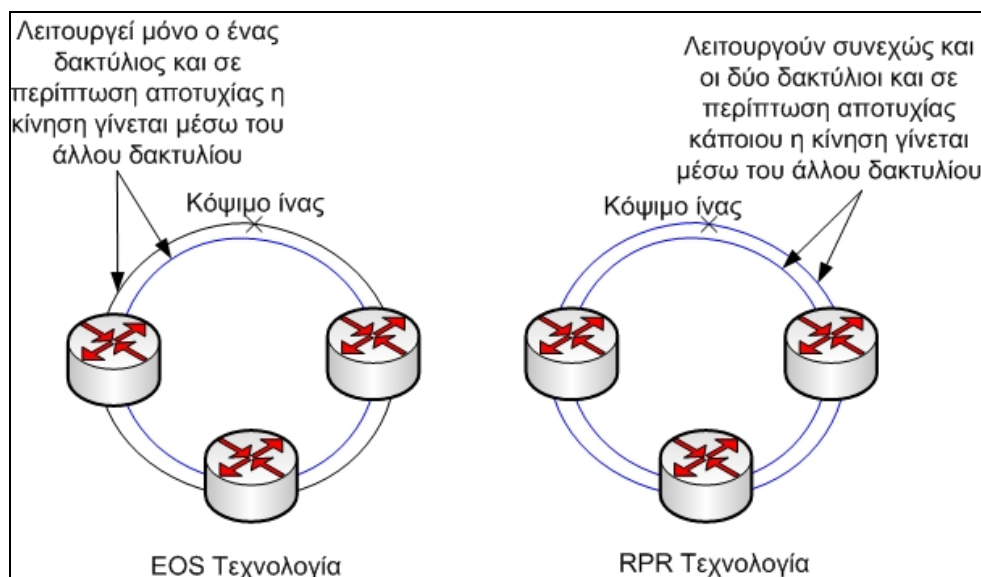
Όλη η κίνηση στο RPR κατατάσσεται σε μία κλάση υπηρεσίας (Class of Service - CoS) από τις 3 που καθορίζει το πρότυπο. Η κλάση A (High) είναι CIR (Committed Information Rate) για εφαρμογές με απαιτήσεις χαμηλής καθυστέρησης και διακύμανσης καθυστέρησης (jitter), όπως είναι η φωνή και το βίντεο. Η κλάση B (Medium) είναι μείγμα CIR και EIR (Excess Information Rate – η οποία υφίσταται

fair queuing). Η κλάση C (Low) είναι τέλος για κίνηση best effort traffic, και χρησιμοποιείται κυρίως για πρόσβαση στο Internet.

Το RPR θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και πάνω από την υπάρχουσα SONET/SDH υποδομή, ωστόσο, η πολυπλοκότητα χρήσης λογικών RPR δακτυλίων πάνω από τους φυσικούς SONET/SDH δακτυλίους δεν φαίνεται να είναι πολύ ελκυστική για πολλούς παρόχους.

Το πλεονέκτημα του RPR συγκριτικά με ένα παραδοσιακό switched Ethernet δακτύλιο δεδομένων, είναι ότι στον τελευταίο τα πακέτα προωθούνται σε κάθε κόμβο του δακτυλίου ανεξάρτητα από το εάν ο προορισμός των πακέτων είναι πίσω από εκείνο τον κόμβο. Αντίθετα, το RPR διαβιβάζει την κυκλοφορία στο δακτύλιο χωρίς να κάνει οποιαδήποτε μεταγωγή ή αποθήκευση στους ενδιάμεσους κόμβους, εάν η κυκλοφορία αυτή δεν ανήκει στο συγκεκριμένο κόμβο. Το γεγονός αυτό μειώνει κατά πολύ την εργασία που πρέπει να κάνουν οι μεμονωμένοι κόμβοι.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα του RPR, συγκριτικά αυτή τη φορά με ένα SONET/SDH δακτύλιο, είναι η τεχνική του RPR για την επαναχρησιμοποίηση των πόρων (“spatial reuse”). Καθώς το RPR αφαιρεί το σήμα από το δακτύλιο μόλις φτάσει στον προορισμό του (αντίθετα με το SONET/SDH όπου το εύρος ζώνης καταναλώνεται σε όλο το μήκος του δακτυλίου), και έτσι μπορεί να επαναχρησιμοποιήσει τον κενό χώρο για τη μεταφορά επιπλέον κίνησης.



Σχήμα 48. Προστασία στις τεχνολογίες EOS και RPR

Επιπρόσθετα, στην τεχνολογία EOS, χρησιμοποιείται συνήθως μόνο το 50% της χωρητικότητας των ινών, επειδή το άλλο μισό υπάρχει για χρήση σε περίπτωση αποτυχίας (πχ. όταν κοπεί μία ίνα του εξωτερικού δακτυλίου η κίνηση γίνεται μέσω του εσωτερικού δακτυλίου). Αντίθετα στην RPR τεχνολογία, και οι δύο δακτύλιοι ινών (ο εξωτερικός και ο εσωτερικός) χρησιμοποιούνται αξιοποιώντας με αυτόν τον τρόπο το 100% της χωρητικότητας των ινών (Σχήμα 48). Σε περίπτωση αποτυχίας, ο δακτύλιος «κλείνει», απομονώνοντας έτσι το μέρος στο οποίο εντοπίζεται το πρόβλημα. Ουσιαστικά, το εύρος ζώνης ενός RPR δακτυλίου είναι δύο φορές μεγαλύτερο από αυτό ενός SONET/SDH δακτυλίου, εξαιτίας της διαφορετικής προστασίας στον τελευταίο.

3.10.3.3. *Ethernet Transport*

Το Ethernet δεν περιορίζεται μόνο σαν μία τεχνολογία πρόσβασης. Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για την επέκταση του Ethernet στα Μητροπολιτικά Δίκτυα σαν τεχνολογία μεταφοράς. Όταν το Ethernet χρησιμοποιείται ως τεχνολογία μεταφοράς, η τοπολογία του δικτύου πρόσβασης έχει τη μορφή δακτυλίου.

Σε αυτή την περίπτωση όλη η τοπολογία του MAN υλοποιείται με τη χρήση switches επιπέδου 2, πράγμα το οποίο επιτρέπει έναν απλό και φθηνό σχεδιασμό, καθώς και σχετικά απλή αρχική ρύθμιση των συσκευών, καθώς δεν χρειάζεται γνώση του πρωτοκόλλου IP και πρωτοκόλλων όπως το BGP και το MPLS. Το αρχικό Ethernet ως διαμοιραζόμενο μέσο δεν ήταν κατάλληλο για εφαρμογή στο δίκτυο κορμού των τηλεπικοινωνιακών παρόχων, καθώς αδυνατούσε να υποστηρίξει ιδιωτικά κυκλώματα. Στα τέλη της δεκαετίας του '90 η ανάπτυξη της τεχνολογίας των VLANs επέτρεψε την προσομοίωση κυκλωμάτων σημείο-προς-σημείο ή πολλαπλά σημεία-προς-πολλαπλά σημεία. Σε συνδυασμό με χαρακτηριστικά όπως το VLAN Stacking (VLAN Tunneling), και VLAN Translation, κατέστη δυνατό να απομονωθεί η κίνηση ενός πελάτη από τον άλλο και από την κίνηση σηματοδότησης του δικτύου κορμού. Επιπλέον αναπτύχθηκαν μια σειρά από τεχνολογίες με εξαρχής στόχο την υλοποίηση του Ethernet ως πρωτόκολλο μεταφοράς υπηρεσιών για τους παρόχους: IEEE 802.1ad (Provider Bridges γνωστό και ως QinQ ή stacked VLANs), IEEE 802.1ah (Provider Backbone Bridges, γνωστό και ως MAC in MAC ή PBB) και IEEE 802.1Qay (Provider Backbone Transport, γνωστό και ως PBT ή PBB-TE). Σε αυτές τις χρήσεις του Ethernet, λειτουργίες όπως spanning-tree, και δυναμική εκμάθηση MAC διευθύνσεων είναι απενεργοποιημένες.

Η υποστήριξη χαρακτηριστικών traffic engineering (διαχείρισης της κίνησης) είναι πολύ περιορισμένη σε περιπτώσεις χρήσης απλού Ethernet, καθώς υπάρχουν λίγα εργαλεία για τη διαχείριση της τοπολογίας του δικτύου, και η προώθηση των πακέτων γίνεται από κόμβο σε κόμβο, κάνει την πρόβλεψη της κίνησης πολύ δύσκολη. Κάποιες τεχνικές που βασίζονται σε πολλαπλά spanning trees ή “per VLAN spanning trees” μπορούν να παρέχουν κάποιον έλεγχο των μονοπατιών της κίνησης.

Οι Gigabit Ethernet δακτύλιοι μπορούν να θεωρηθούν σαν μια σειρά point-to-point συνδέσεων μεταξύ των switches που βρίσκονται στα κτίρια και ενός κεντρικού κόμβου. Όσο απλοί κι εάν φαίνονται, οι Gigabit Ethernet δακτύλιοι μπορούν να δημιουργήσουν πολλά προβλήματα στους παρόχους, λόγω των περιορισμών προστασίας, εύρους ζώνης και αδυναμίας υποστήριξης traffic engineering χαρακτηριστικών. Επομένως, το Ethernet ως τεχνολογία μεταφοράς παρέχει έναν απλό και αποδοτικό τρόπο για την ανάπτυξη Ethernet υπηρεσιών, ωστόσο, αυτή η λύση κληρονομεί πολλές από τις ανεπάρκειες των L2 switched Ethernet δικτύων και για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρές τοπολογίες ή σε πειραματικές διατάξεις.

3.10.3.4. *Ethernet MANs βασισμένα σε MPLS*

Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο MPLS στο δίκτυο του παρόχου, ενώ ο πελάτης του δικτύου συνδέεται σε ένα Ethernet interface χαλκού ή οπτικής ίνας. Το Ethernet πακέτο του πελάτη μεταφέρεται πάνω από MPLS και το δίκτυο του παρόχου χρησιμοποιεί ξανά Ethernet ως την υποκείμενη τεχνολογία για τη μεταφορά του MPLS. Πρόκειται δηλαδή για Ethernet πάνω από MPLS πάνω από Ethernet.

Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτής της λύσης έναντι του απλού Ethernet είναι:

- **Ευελιξία:** το απλό Ethernet MAN περιορίζεται από το μέγιστο αριθμό VLANs για όλο το δίκτυο (4096 VLANs), ενώ με το MPLS τα VLANs έχουν μόνο τοπικό νόημα. Το ίδιο πλεονέκτημα κλιμακωσιμότητας έχει και όσον αφορά τις MAC διευθύνσεις όπου σε ένα απλό Ethernet MAN είναι ορατές σε όλο το δίκτυο, ενώ με την χρήση του MPLS έχουν μόνο τοπικό νόημα.
- **Αντοχή στις αστοχίες:** Το απλό Ethernet δίκτυο βασίζεται στα πρωτόκολλα spanning tree (STP, RSTP ή MSTP) προκειμένου να υπάρχουν εναλλακτικές διαδρομές σε περίπτωση αστοχίας κάποιου συνδέσμου. Ο χρόνος σύγκλισης για αυτά τα πρωτόκολλα όταν αλλάξει η τοπολογία του Ethernet δικτύου λόγω κάποιας αστοχίας είναι αρκετά μεγάλος, της τάξης των δευτερολέπτων. Με το MPLS χρησιμοποιείται κάποιος μηχανισμός όπως το MPLS Fast Reroute που επιτυγχάνει χρόνους επαναφοράς συγκρίσιμους με το SDH, της τάξης των 50 msec.
- **Σύγκλιση πολλαπλών πρωτοκόλλων:** Καθώς τα διάφορα πρότυπα για εικονικά κυκλώματα έχουν ωριμάσει (όπως ATM Virtual Leased Line VLL, Frame Relay VLL, κλπ.), ένα Metro Ethernet δίκτυο βασισμένο σε MPLS μπορεί να μεταφέρει όχι μόνο IP/Ethernet κίνηση αλλά οποιονδήποτε τύπο κίνησης έρχεται από τα δίκτυα των πελατών ή από άλλα δίκτυα πρόσβασης (π.χ. μπορούμε να επιτύχουμε ATM συνάθροιση κίνησης για UMTS ή TDM συνάθροιση κίνησης για GSM, στις περιπτώσεις όπου οι πελάτες / δίκτυα πρόσβασης είναι δίκτυα κυψελωτής κινητής τηλεφωνίας).
- **Από άκρο σε άκρο OAM:** OAM ονομάζονται οι διαδικασίες λειτουργικής διαχείρισης και συντήρησης των δικτύων. Στο βασισμένο σε MPLS MAN υπάρχει ένα διευρυμένο σύνολο διαδικασιών και εργαλείων ανεύρεσης προβλημάτων τα οποία διευκολύνουν τους παρόχους για τη διάγνωση και την επίλυσή τους.

3.11. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΦΑΝΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ETHERNET ΔΙΑΜΕΣΟΥ ΤΟΥ MAN

Το Metro Ethernet είναι μια τεχνολογία που εισάγει την χρήση Ethernet σε μητροπολιτικά δίκτυα πάνω από υποδομή οπτικών ινών. Στην περίπτωση αυτή, υλοποιούνται οπτικά δίκτυα σε μητροπολιτικές περιοχές και σε αυτά εισάγεται εξοπλισμός τεχνολογίας ethernet στο δίκτυο (από τον provider) και στους τελικούς χρήστες σαν τερματικός εξοπλισμός.

Βασική έννοια της πρόσβασης μέσω Ethernet είναι η συγκέντρωση συνδέσεων στον αντίστοιχο κόμβο πρόσβασης του δικτύου (Access Node). Αυτό σημαίνει ότι πολλαπλές συνδέσεις συντρέχουν σε ένα κόμβο και συνδυάζονται σε ιδιαίτερη φυσική ή λογική σύνδεση εύρους ζώνης τουλάχιστον ίσης με το άθροισμα του εύρους ζώνης όλων των εισερχομένων συνδέσεων πρόσβασης.

Ανάλογα με τις ανάγκες, την διαχείριση της υποδομής και το βαθμό ανεξαρτησίας μεταξύ υποδομών, λειτουργικών δικτύων και υπηρεσιών διασύνδεσης, υπάρχει μία ευρεία ομάδα λύσεων για τη συγκέντρωση και την οριοθέτηση της πρόσβασης Ethernet στο MAN η οποία συμπεριλαμβάνει α) την απλούστερη υπηρεσία διαχειριζόμενης πρόσβασης κατά IEEE 802.3ah (Ethernet in the First Mile) β) τα multi-service Layer 2-3 switches, έως γ) τις προωθημένες L2-L7 service gateways για υποστήριξη Virtual Private Services.

Η ανεξαρτησία από πρωτόκολλα (Protocol Transparency) στο επίπεδο πρόσβασης και ειδικότερα στις μονάδες που οριοθετούν (π.χ. κατά το πρότυπο 802.3ah) την πρόσβαση μέσω Ethernet (Optical Ethernet Services Demarcation units) είναι βασική απαίτηση για την υλοποίηση διαφανών υπηρεσιών Ethernet διαμέσου του MAN. Με τον όρο «διαφανείς υπηρεσίες LAN» (Transparent LAN Services – TLS), εννοούμε την επέκταση του LAN ενός οργανισμού σε ευρύτερη μητροπολιτική περιοχή χρησιμοποιώντας την υποδομή του MAN χωρίς να χρειάζεται καμία αλλαγή στις τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιεί ο οργανισμός για τη διαχείριση του τοπικού LAN και οι οποίες μπορούν να συμπεριλαμβάνουν:

- Spanning Tree protocols - 802.1D/Q
- Link Aggregation – 802.1ad
- Port Control – 802.1ab
- VLAN fragmentation (802.Q)
- Inter-VLAN routing
- VLAN encapsulation (QinQ)

Τα μεσολαβούντα ενεργά στοιχεία (από τον ή τους διαχειριστές του MAN) δεν πρέπει να επηρεάζουν καθόλου τη λειτουργία των παραπάνω τεχνικών ούτε να επιβάλλουν περιορισμούς στον τρόπο με τον οποίο οργανώνει και διαχειρίζεται το LAN του ο κάθε οργανισμός.

3.11.1. Ethernet in the First Mile (802.3ah)

Η φράση “Last Mile” χρησιμοποιείται συνήθως για το κομμάτι του τηλεπικοινωνιακού δικτύου που διασυνδέει τον τελευταίο κόμβο του παρόχου με τις εγκαταστάσεις του πελάτη. Το “First Mile” είναι ακριβώς το ίδιο πράγμα, από την οπτική γωνία όμως του πελάτη. Το πρότυπο 802.3ah δεν αποτελεί βελτίωση ή αντικατάσταση του Ethernet, αλλά παρέχει επιπλέον προδιαγραφές για να καταστεί δυνατή η λειτουργία του Ethernet πάνω από μέσα που προηγουμένως δεν υποστηρίζονταν.

Η πρόκληση για την ομάδα εργασίας IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile (EFM) ήταν η ενίσχυση της ως τώρα ad-hoc Ethernet πρόσβασης με: α) την απαιτούμενη αξιοπιστία, β) απλές και φθηνές μεθόδους παροχής bandwidth on demand και γ) απλό τρόπο διαχείρισης και ελέγχου (OAM) της γραμμής πρόσβασης (First Mile link). Το πρότυπο 802.3ah IEEE θέτει τις αρχές και τους κανόνες διαλειτουργικότητας για την ανάπτυξη της πρόσβασης Ethernet σε:

- Συνδέσεις Point to Point (P2P) Optical Ethernet Links συμπεριλαμβανομένων των οπτικών ιδιοτήτων για συνδέσεις Fast και Gigabit Ethernet, και των πρωτοκόλλων διαχείρισης των συνδέσεων.
- Συνδέσεις Point to Multipoint (P2MP) Optical Ethernet Links συμπεριλαμβανομένων των οπτικών ιδιοτήτων (PMD) για Gigabit Ethernet, και των πρωτοκόλλων διαχείρισης των συνδέσεων αυτών.

Το πρότυπο 802.3ah παρέχει μηχανισμούς παρακολούθησης της λειτουργίας και της «υγείας» της σύνδεσης πρόσβασης και την επισήμανση και απομόνωση λαθών. Βασική έννοια εδώ είναι αυτή του LINK δηλαδή (ολόκληρης της σύνδεσης μεταξύ

δύο επικοινωνούντων link partners) η οποία είναι διαχειριζόμενη εξ' ολοκλήρου από το σημείο συγκέντρωσης το οποίο βρίσκεται σε κόμβο του MAN. Σημειώνεται ότι το πρότυπο προχώρησε σε τροποποίηση του Ethernet PMD για τα links αυτά, ώστε να επιτρέπεται η μονο-κατευθυντική αναφορά (reporting) προς το σημείο συγκέντρωσης και το απομακρυσμένο άκρο να αποτελεί στην ουσία μία προέκταση της αντίστοιχης θύρας που βρίσκεται εντός του MAN.

Το 802.3ah παρέχει:

- Επισήμανση σφάλματος σύνδεσης (Link fault detection)
- Dying gasp –σηματοδοσία προς τον link partner για τοπική μη αναστρέψιμη βλάβη
- Άλλα critical events
- Δυνατότητα Link loopback

Επιπλέον, το πρότυπο παρέχει τη δυνατότητα για παρακολούθηση της απόδοσης της σύνδεσης με εκτεταμένα στατιστικά στοιχεία.

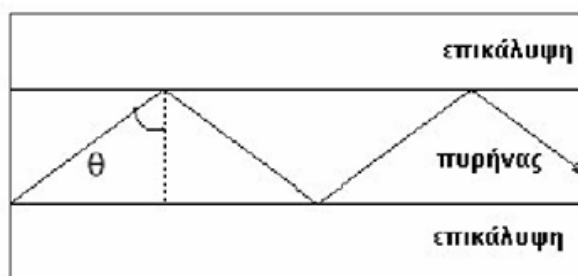
Μια τυπική λύση δίνει τη δυνατότητα παροχής κατευθείαν στο χώρο του συνδρομητή μιας θύρας 10/100 ή 1000 Mbps (συνήθως TX) πάνω από μία διαχειριζόμενη (διαφανώς για τον πελάτη) οπτική σύνδεση η οποία, είναι επιθυμητό, να ρυθμίζεται ως προς την ταχύτητα σύμφωνα με το SLA (Service Level Agreement) μεταξύ παρόχου και συνδρομητή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:
ΟΠΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

4. Οπτικά Συστήματα Μετάδοσης

4.1. ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΙΚΤΥΩΝ

Ένα οπτικό σύστημα μετάδοσης έχει τρία στοιχεία: την πηγή φωτός, το μέσο μετάδοσης και τον ανιχνευτή. Συμβατικά ένας παλμός φωτός αντιστοιχεί στο bit 1, ενώ η απουσία φωτός στο bit 0. Το μέσο μετάδοσης είναι μία εξαιρετικά λεπτή ίνα γυαλιού. Ο ανιχνευτής δημιουργεί έναν ηλεκτρικό παλμό όταν πέφτει πάνω του φως. Συνδέοντας μια πηγή φωτός στο ένα άκρο οπτικής ίνας και έναν ανιχνευτή στο άλλο, έχουμε ένα μονοκατευθυντικό σύστημα μετάδοσης, που δέχεται ένα ηλεκτρικό σήμα, το μετατρέπει σε παλμούς φωτός και το μεταδίδει, ενώ στο τέλος το μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα στη λήψη.



Σχήμα 49. Εκπομπή δέσμης φωτός διαμέσου οπτικής ίνας

Τα οπτικά σήματα εσωτερικά ανακλώμενα μπορούν να ταξιδέψουν μεγάλες αποστάσεις αφού ισχύει η αρχή της φυσικής: «Όταν μία ακτίνα φωτός περνά από το ένα μέσο σε άλλο, π.χ. από γυαλί σε αέρα η ακτίνα διαθλάται στη διαχωριστική επιφάνεια γυαλιού/αέρας». (Σχήμα 49). Η ποσότητα διάθλασης εξαρτάται από τις ιδιότητες των δύο μέσων. Για γωνίες πρόσπτωσης μεγαλύτερες από μία συγκεκριμένη κρίσιμη τιμή, το φως διαθλάται πίσω στο γυαλί, δεν διαφεύγει στον αέρα. Συνεπώς μια ακτίνα φωτός προσπίπτουσα με γωνία ίση ή μεγαλύτερη της κρίσιμης τιμής παγιδεύεται εντός της ίνας. Με αυτό τον τρόπο η ακτίνα μπορεί να διαδοθεί για πολλά χιλιόμετρα, με σχεδόν μηδενική απώλεια. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να διαδίδονται πολλές διαφορετικές ακτίνες αρκεί να στέλνονται με διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης και η γωνία αυτή να είναι μεγαλύτερη της κρίσιμης.

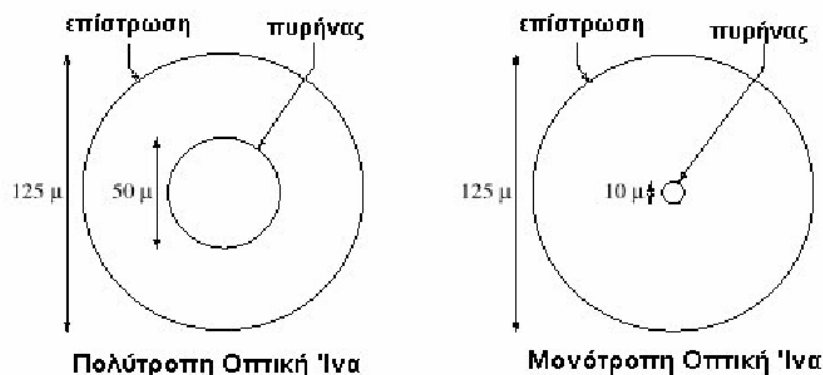
Μια οπτική ίνα αποτελείται από μία δέσμη γυάλινων νημάτων (fibers), κάθε μία από τις οποίες είναι ικανή να μεταδίδει μηνύματα διαμορφωμένα σε κύματα φωτός. Οι οπτικές ίνες έχουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά τηλεπικοινωνιακά μέσα, όπως είναι το μεγαλύτερο εύρος ζώνης (bandwidth) και κατά συνέπεια μπορούν να μεταφέρουν περισσότερες πληροφορίες, επηρεάζονται λιγότερο από παρεμβολές από ότι τα μεταλλικά καλώδια, είναι πιο λεπτές και πιο ελαφρές και μπορούν να μεταδώσουν δεδομένα σε ψηφιακή αντί για αναλογική μορφή.

Οι οπτικές ίνες έχουν στο κέντρο τους τον πυρήνα μέσω του οποίου μεταδίδεται το οπτικό σήμα. Ο πυρήνας εγκλωβίζει τις ακτίνες φωτός και τις οδηγεί στο τέρμα. Τα κύματα μεταφέρονται από τον πυρήνα της οπτικής ίνας. Όσο πιο στενός είναι ο πυρήνας, τόσο πιο γρήγορα μεταφέρεται το κύμα φωτός. Ο οπτικός πυρήνας περιβάλλεται από στρώμα γυάλινης επικάλυψης. Η επικάλυψη (cladding), η οποία περιβάλλει την οπτική ίνα κρατάει το φως στον πυρήνα, εμποδίζοντας το σήμα να διασκορπιστεί και να χάσει την ισχύ του. Η επικάλυψη με τη σειρά της περιβάλλεται

από το εξωτερικό προστατευτικό υλικό, το οποίο προστατεύει την ίνα από τους περιβαλλοντικούς κινδύνους.

4.1.1. Τύποι οπτικών ινών

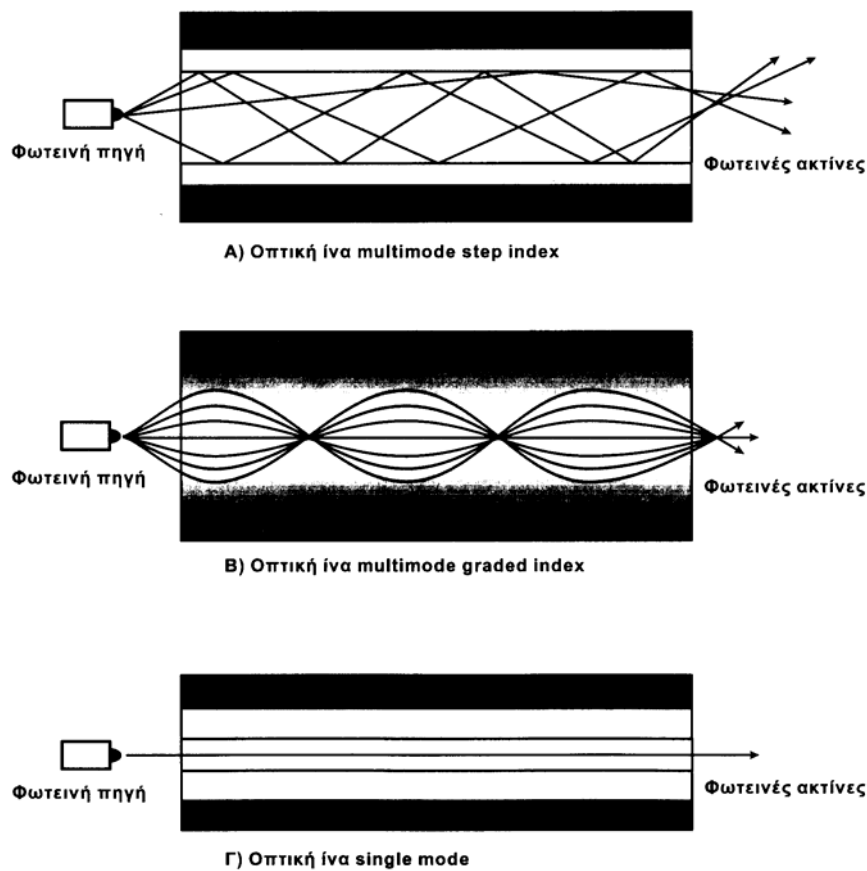
Υπάρχουν πολλές γωνίες με τις οποίες το φως μπορεί να εισέλθει σε μία οπτική ίνα και να δημιουργήσει διαφορετικές γωνίες προσβολής της επικάλυψης οι οποίες αναφέρονται και ως τρόποι (modes).



Σχήμα 50. Οπτικές ίνες

Ο αριθμός των τρόπων (modes) αυξάνει καθώς αυξάνει η διάμετρος του πυρήνα. Οι μονότροπες (single-mode) οπτικές ίνες έχουν συνήθως διάμετρο πυρήνα περίπου 10 μm ενώ οι πολύτροπες 50 - 100 μm (Σχήμα 50). Οι μονότροπες οπτικές ίνες, σε αντίθεση με τις πολύτροπες δεν διαχέουν τη δέσμη φωτός αλλά απαιτούν συγκέντρωση φωτός μεγάλης έντασης σε πυρήνα μικρής διαμέτρου, γεγονός που απαιτεί τη χρήση Laser. Η διάμετρος δηλαδή του πυρήνα πρέπει να είναι στο επίπεδο του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου οπτικού σήματος. Αναφέρεται και σαν ομοαξονική μετάδοση.

Επιπλέον, για τις πολύτροπες ίνες υπάρχει ένας επιπλέον διαχωρισμός ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους και πιο συγκεκριμένα με το αν η μεταβολή του δείκτη διαθλάσεως μεταξύ του πυρήνα και της επικάλυψης είναι απότομη (step index) ή είναι βαθμιαία όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο του πυρήνα της ίνας (graded index). Οι τρόποι διάδοσης του οπτικού σήματος σε κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις φαίνονται στο Σχήμα 51.



Σχήμα 51. Τύποι οπτικών ινών

4.1.2. Μετάδοση του φωτός μέσω οπτικών ινών

Μια τεχνολογία μετάδοσης δεδομένων χαρακτηρίζεται από δύο παράγοντες. Είναι τα bits per second (B) που μεταδίδονται χωρίς ενίσχυση σε απόσταση L χιλιομέτρων. Αν λοιπόν το ζητούμενο είναι η μετάδοση B_T bps σε απόσταση L_T χιλιομέτρων, τότε αυτό σημαίνει ότι απαιτούνται N repeaters που προκύπτουν από την απλή σχέση

$$N_R = \frac{B_T \times L_T}{B \times L}$$

Γίνεται αντιληπτό έτσι ότι αυτό που μας ενδιαφέρει είναι το κόστος μιας τέτοιας σύνδεσης το οποίο καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την απόσταση που μπορεί να καλυφθεί με όσο το δυνατό λιγότερη εμφάνιση των repeaters. Στο τομέα αυτό λοιπόν βρίσκεται το μεγάλο πλεονέκτημα των οπτικών ινών ιδιαίτερα αν αναλογιστούμε την εμφάνιση των οπτικών ενισχυτών που έλυσαν προβλήματα κόστους και ταχύτητας.

Σε ένα φυσικό μέσο όπως είναι η οπτική ίνα ορίζεται και η έννοια της εξασθένησης του σήματος. Βέβαια, συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες και φυσικά μέσα, η οπτική ίνα υπερέρχει αλλά ο παράγοντας αυτός αποκτά σημασία αν ληφθούν υπόψη οι μεγάλες αποστάσεις που διανύονται. Ειδικότερα αν η δύναμη του σήματος που εκπέμπεται είναι P_T και αποδίδεται από τη συνάρτηση $P(L)$ η ισχύς σε απόσταση L

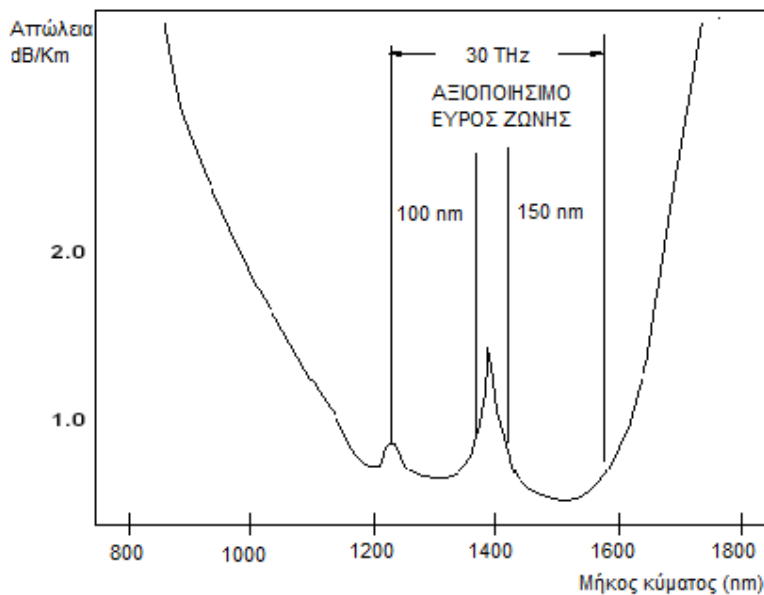
τότε εύκολα διαπιστώνει κανείς την γραμμικότητα της σχέσης αυτής που θα πρέπει να αποδίδεται ως εξής :

$$P(L)=a(L)\times P_T$$

Όπου το $a(L)$ εξαρτάται από το μήκος κύματος και τη φύση της οπτικής ίνας. Συνεπώς η εξασθένιση σε decibel/km. δίνεται από τον τύπο:

$$\text{εξασθένιση (db)} = 10 \log_{10}(\text{Ισχύς μετάδοσης} / \text{Ισχύς Λήψης}) = 10 \log_{10}(a(L))$$

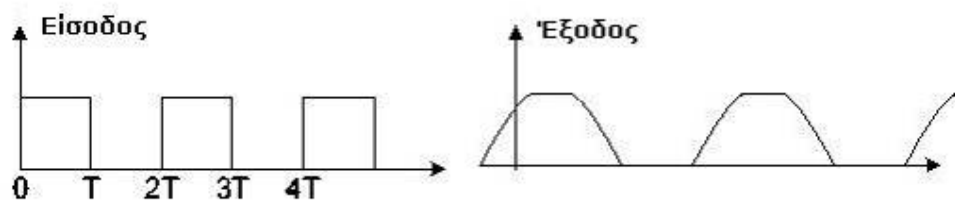
Πάντα σχετικά με την εξασθένιση του σήματος θα πρέπει να τονιστεί ότι για να έχουμε τη μικρότερη δυνατή απώλεια ισχύος το φωτεινό σήμα θα πρέπει να βρίσκεται μέσα στα όρια κάποιων συχνοτήτων. Ειδικότερα τα όρια αυτά χαρακτηρίζονται σαν δύο «παράθυρα» μέσα στο συχνοτικό χώρο των σημάτων και αναφέρονται σε κύματα μήκους 1,3μm και 1,55μm με εύρος παραθύρου 100nm και 150nm αντίστοιχα (Σχήμα 52). Αν συσχετιστεί αυτό με τη ταχύτητα του φωτός τότε προκύπτει ότι είναι δυνατή η μετάδοση, μόνο από το πρώτο παράθυρο, 16THz, δηλαδή περίπου 8TBs πληροφορίας.



Σχήμα 52. Συχνοτικά παράθυρα

Στην κατασκευή των οπτικών ιών αναφέρεται συχνά και ο όρος «water peak» (ακμή του νερού), που είναι ένα διάστημα στο φάσμα συχνοτήτων κοντά στο μήκος κύματος $1383\text{nm} \pm 50\text{nm}$, στο οποίο η εξασθένιση του σήματος γίνεται ιδιαίτερα ισχυρή και απρόβλεπτη. Η αιτία είναι η υγρασία η οποία παραμένει στην οπτική ίνα κατά τη διαδικασία κατασκευής της. Τα άτομα του υδρογόνου και του οξυγόνου στο ιόν του υδροξυλίου («νερό») δονούνται προκαλώντας το φαινόμενο του “water peak”, με αποτέλεσμα τα μήκη κύματος κοντά στα 1383nm να αποφεύγονται συνήθως. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι παραγωγής που εξουδετερώνουν σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό το φαινόμενο αυτό, παράγοντας οπτικές ίνες τύπου “low water peak” και “zero water peak”.

Όμως υπάρχει και η έννοια της διάχυσης του φωτεινού σήματος που μας αναγκάζει να υπο-τετραπλασιάσουμε την χωρητικότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα διάχυσης, όταν έχουμε στην είσοδο ένα σήμα 10101 τότε το λαμβάνουμε στην έξοδο παραμορφωμένο (Σχήμα 53).



Σχήμα 53. Παράδειγμα διάχυσης του φωτός

Το φως ταξιδεύει στο κενό με ταχύτητα $c=3 \times 10^8$ m/s. Το φως μπορεί επίσης να ταξιδεύει μέσα σε οποιοδήποτε διαφανές υλικό, αλλά η ταχύτητά του θα είναι μικρότερη από ότι στο κενό. Ο λόγος της ταχύτητας στο κενό προς την ταχύτητα μέσα στο υλικό ονομάζεται δείκτης διάθλασης.

4.1.3. Σηματοδότηση

Για τη δημιουργία της φωτεινής δέσμης μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο είδη πηγών, οι Δίοδοι Εκπομπής Φωτός LED (Light Emitting Diodes) και τα laser ημιαγωγών.

Οι Δίοδοι Εκπομπής Φωτός LED παράγουν δεδομένα με χαμηλό ρυθμό και χρησιμοποιούνται για μετάδοση δεδομένων σε μικρές αποστάσεις. Αποτελούν σχετικά αργές συσκευές, κατάλληλες για εφαρμογές με ταχύτητες χαμηλότερες από 1Gbps, ενώ εμφανίζουν ένα σχετικά ευρύ πλάτος φάσματος. Οι διατάξεις αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως σε επικοινωνιακές εφαρμογές πολύτροπων οπτικών ινών. Ωστόσο παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα όπως είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής, η μικρή ευαισθησία σε μεταβολές της θερμοκρασίας και το χαμηλό κόστος.

Από την άλλη πλευρά οι συσκευές Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) παράγουν δέσμες φωτονίων μέσω της διέγερσης με ηλεκτρικό ρεύμα ιονισμένων υλικών. Οι δέσμες φωτονίων ενισχύονται με σύστημα καθρεπτών και στη συνέχεια εξέρχονται με τη μορφή εξαιρετικά εστιασμένων ακτινών. Τα Lasers μπορούν να συντονιστούν, όσον αφορά το μήκος κύματος τους, με χρήση μεθόδων συντονισμού όπως είναι ο μηχανικός συντονισμός, ο οπτικοακουστικός συντονισμός, ο οπτικοηλεκτρικός συντονισμός και ο injection-current-based συντονισμός. Τα μηχανικά συντονιζόμενα Lasers μπορούν να συντονιστούν σε όλο το ωφέλιμο φάσμα (τάξεως των 100nm) αλλά ο χρόνος εναλλαγής καναλιών είναι της τάξης msec εξαιτίας των μηχανικών στοιχείων μέσω των οποίων γίνεται ο συντονισμός. Τα ακουστοοπτικά Lasers συνδυάζουν μέσο εύρος και μέσο χρόνο συντονισμού (τάξεως των 10 μsec). Οι μικρότεροι χρόνοι εναλλαγής καναλιών μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση Laser ημιαγωγών όπως τα Distributed-Feedback Laser (DFB) και Distributed-Bragg-Reflector (DBR) που έχουν χρόνο συντονισμού μικρότερο των 10 nsec αλλά έχουν περιορισμένο εύρος μήκους κύματος (της τάξεως μερικών καναλιών). Διαθέτουν χαρακτηριστικά και απόδοση που τους καθιστά καταλληλότερους για εφαρμογές μονότροπης οπτικής ίνας.

4.1.4. Οπτικοί Δέκτες

Το άκρο λήψης μιας οπτικής ίνας αποτελείται από μία φωτοδίοδο η οποία με κατάλληλους καθρέπτες δέχεται τη δέσμη φωτός από την οπτική ίνα και συντονίζεται σε συγκεκριμένο μήκος κύματος ανάλογα με την απόσταση των καθρεπτών μεταξύ τους. Οι οπτικοί δέκτες μπορεί να είναι παθητικοί (passive), ενεργοί (active) και δίοδου Laser (Laser-diode-amplifier-based). Το πλεονέκτημα των παθητικών δεκτών είναι ότι μπορούν να πετύχουν υψηλή ανάλυση. Το μειονέκτημα τους είναι οι σημαντικές απώλειες και ο μεγάλος χρόνος συντονισμού (της τάξεως msec) καθώς στην κατασκευή τους περιλαμβάνουν μηχανικά στοιχεία. Οι ενεργοί και οι δίοδου Laser δέκτες, μπορούν να συντονιστούν με μεγαλύτερες ταχύτητες (της τάξεως nsec) έχοντας όμως μικρότερη ανάλυση με αποτέλεσμα να μπορούν να συντονιστούν σε λιγότερα κανάλια.

4.1.5. Οπτικοί Ενισχυτές

Με τους εκπομπούς (Lasers) και τους δέκτες (filters), οι οπτικοί ενισχυτές (optical amplifiers) είναι από τα βασικά στοιχεία στη σχεδίαση οπτικών δικτύων. Οι οπτικοί ενισχυτές παρέχουν το μέσο στα οπτικά σήματα ώστε να αναγεννιούνται χωρίς την ανάγκη χρήσης οπτικό-ηλεκτρικών μεταλλακτών. Οι οπτικοί ενισχυτές τύπου Erbium-doped (Erbium-doped fiber amplifiers (EDFA)) που λειτουργούν σε οπτικό μήκος κύματος 1,5μm χρησιμοποιούνται στο πεδίο των επικοινωνιών μεγάλων αποστάσεων και είναι από τις πλέον αξιόπιστες λύσεις. Με τη χρήση των παραπάνω οπτικών ενισχυτών EDFA είναι δυνατή η εκπομπή σημάτων σε μεγάλες αποστάσεις.

4.2. Η ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ WDM

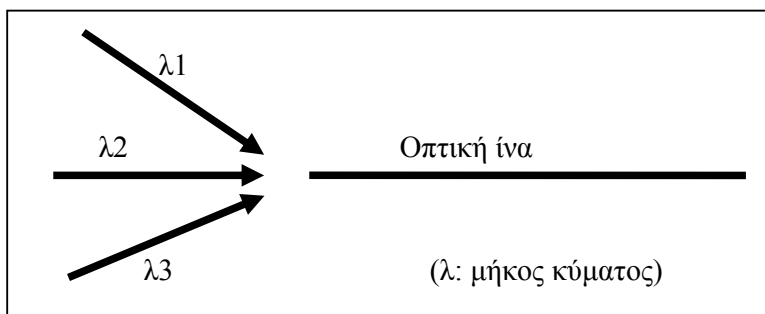
Μια στρατηγική για τη δημιουργία δικτύων που μπορούν να υποστηρίξουν τις νέες απαιτητικές για εύρος ζώνης εφαρμογές είναι η τεχνολογία πολυπλεξίας μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing).

Η βασική ιδέα πάνω στην οποία στηρίζεται η τεχνολογία αυτή είναι η εξής: καθώς σε κάθε οπτική ίνα το οπτικό σήμα που διαδίδεται έχει μια συγκεκριμένη συχνότητα, είναι δυνατόν από την ίδια ίνα να περάσουν περισσότερα του ενός διαφορετικά σήματα διαφορετικής συχνότητας (λ) ή αλλιώς διαφορετικού χρώματος μιας και μιλάμε για οπτικά σήματα, τα οποία το καθένα να αντιπροσωπεύει και μία ροή δεδομένων (Σχήμα 54). Αυτή η ιδέα δεν ήταν καινούρια, άλλωστε η πολυπλεξία στο ίδιο μέσο παραπάνω του ενός σήματος με διαφορετικές συχνότητες, συνεπώς και διαφορετικά μήκη κύματος χρησιμοποιείται από πολύ παλιά στις εκπομπές ραδιοφώνου αλλά και σε πολλές άλλες εφαρμογές, αλλά έγινε τελευταία εφικτή η υλοποίηση της και στα οπτικά δίκτυα. Με βάση αυτό το χαρακτηριστικό έγινε δυνατή η παράλληλη μετάδοση σήματος και στις οπτικές ίνες, με τα πρώτα WDM συστήματα να εμφανίζονται σε εργαστήρια στα τέλη της δεκαετίας του 1970. Ενώ εκείνα τα πρώτα συστήματα ξεκίνησαν με το να συνδυάζουν 2 σήματα (μήκη κύματος), τα πιο σύγχρονα συστήματα φτάνουν μέχρι και τα 160.

Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να θεωρηθεί ως μεταφορά πληροφορίας μέσω οπτικών καναλιών (optical channels), τα οποία έχουν ένα κοινό μέσο μεταφοράς, την οπτική ίνα. Έτσι είναι δυνατή η αύξηση και η καλύτερη διαχείριση της

χωρητικότητας των ήδη υπάρχοντων οπτικών ινών, χωρίς να είναι απαραίτητη η εγκατάσταση νέων (που έχει μεγάλο κόστος).

Η τεχνολογία WDM είναι επομένως ένας τύπος πολυπλεξίας συχνότητας (FDM – Frequency Division Multiplexing). Παρότι το μήκος κύματος είναι αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητας και άρα οι δύο όροι τυπικά σημαίνουν το ίδιο πράγμα, ο όρος πολυπλεξία συχνότητας (FDM) έχει επικρατήσει να χρησιμοποιείται για τις ραδιοφωνικές μεταδόσεις, ενώ ο όρος πολυπλεξία μήκους κύματος (WDM) για τις οπτικές επικοινωνίες.



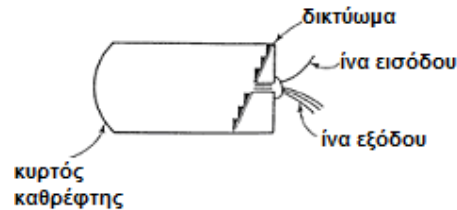
Σχήμα 54. Η τεχνολογία WDM

Έτσι η πολυπλεξία μήκους κύματος είναι η τεχνική μετάδοσης πληροφορίας μέσα από οπτική ίνα η οποία επιτρέπει την παράλληλη μετάδοση bits ή αλλιώς τη σειριακή μετάδοση χαρακτήρων.

Είναι γνωστό πως τα οπτικά σήματα όταν ταξιδεύουν κατά μήκος ακόμα και της πιο διαφανούς ίνας για μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα εξασθενούν σε μη ανιχνεύσιμα σήματα. Ο μόνος τρόπος για την επίτευξη οπτικής επικοινωνίας σε αποστάσεις παραπάνω από κάποια τέτοια απόσταση ήταν η ενίσχυση του σήματος μέσω μιας οπτικοηλεκτρονικής διαδικασίας. Πιο συγκεκριμένα, απαιτείται η μετατροπή του οπτικού σήματος, με χρήση ενός οπτικού ανιχνευτή (light detector), σε ηλεκτρικό το οποίο ενισχύεται και έπειτα ξαναμετατρέπεται σε οπτικό μέσω ενός laser. Δυστυχώς όμως οι οπτικοί ανιχνευτές (που υπήρχαν) δεν μπορούσαν να διακρίνουν οπτικά σήματα διαφορετικών μηκών κύματος με έναν αποτελεσματικό τρόπο έτσι ώστε να είναι δυνατή η ενίσχυση καθενός σήματος ξεχωριστά. Λύση σε αυτό το πρόβλημα έδωσε μια τεχνική που καθιστά δυνατή την ενίσχυση του οπτικού σήματος κατευθείαν χωρίς να απαιτείται η μετατροπή του πρώτα σε ηλεκτρικό. Η τεχνική αυτή ονομάζεται οπτική ενίσχυση ερβίου (erbium-doped optical amplifier) και λειτουργεί ως εξής: Το εξασθενημένο οπτικό σήμα εισόδου διεγείρει τα ιονισμένα άτομα ερβίου που βρίσκονται στην έξοδο της οπτικής ίνας τα οποία με την σειρά τους εκπέμπουν οπτικό σήμα στο ίδιο μήκος κύματος με την ακτινοβολία που τα διέγειρε. Συνεπώς επειδή αυτή η τεχνική διατηρεί το μήκος κύματος του σήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση σημάτων διαφορετικών μηκών κύματος που ταξιδεύουν παράλληλα στην ίδια οπτική ίνα. Έτσι αλυσίδες τέτοιων οπτικών ενισχυτών μπορούν να συνδυαστούν για την διάδοση του οπτικού σήματος διαμέσου ίνας για χιλιάδες χιλιόμετρα. Επιπλέον έχει διαπιστωθεί πως οι οπτικοί ενισχυτές δουλεύουν ικανοποιητικά στο κομμάτι εκείνο του φάσματος στο οποίο λειτουργούν τα συστήματα οπτικών ινών.

Επίσης είναι προφανές πως στα δύο άκρα της οπτικής ίνας απαιτούνται κάποιες διατάξεις οι οποίες θα διαχωρίζουν τα οπτικά σήματα διαφορετικών μηκών κύματος. Γι' αυτό το σκοπό μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε διαφορεικά φίλτρα ή δικτυώματα

περίθλασης (Σχήμα 55). Τα πρώτα όμως παρουσιάζουν ατέλειες όταν τα πολυπλεγμένα μήκη κύματος είναι πολλά και τα διαφορετικά μήκη κύματος κοντά. Ενώ αντίστοιχα τα δικτυώματα περίθλασης μπορούν να διαχωρίσουν παράλληλα πολλά μήκη κύματος με σχετικά απλές διατάξεις και εξοπλισμό. Η λειτουργία τους στηρίζεται στο γεγονός ότι όταν τα οπτικά σήματα προσπίπτουν πάνω στο δικτύωμα περιθλώνται κατά μία γωνία η οποία εξαρτάται από το μήκος κύματος τους. Η αντίστροφη διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην είσοδο της ίνας, δηλαδή τα διάφορα οπτικά σήματα που πρόκειται να πολυπλεχτούν «στοχεύονται» πάνω στο δικτύωμα με γωνία ανάλογη του μήκους κύματος τους και οδηγούνται προς μία και μοναδική διεύθυνση.



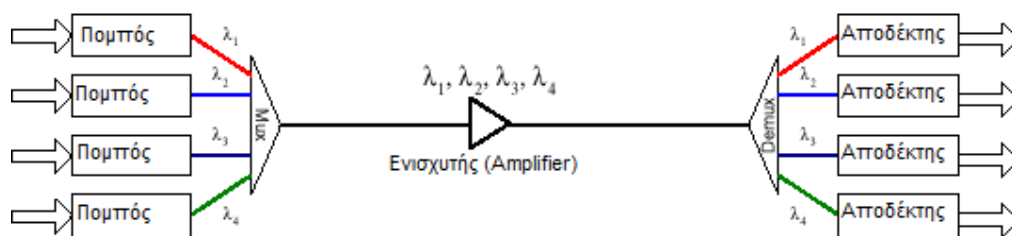
Σχήμα 55. Ο πολυπλέκτης δικτυώματος

Η ποιότητα και ο τρόπος κατασκευής του δικτυώματος αποτελούν βασικά στοιχεία της τεχνολογίας πολυπλεξης. Πιο αναλυτικά, ο αριθμός των αυλακιών πάνω στο δικτύωμα καθορίζει σημαντικά και τον αριθμό των διαφορετικών καναλιών που μπορούν να πολυπλεχτούν. Επίσης ένα καλά κατασκευασμένο δικτύωμα παρουσιάζει μικρότερες απώλειες, μειώνει το φαινόμενο της πόλωσης και τέλος περιορίζει σημαντικά την «παραδιαφωνία» (near-end Cross talk) και έτσι επιτρέπει την δικατευθυντικότητα στην ίδια οπτική ίνα.

Το μέρος του φάσματος που χρησιμοποιείται στην τεχνολογία WDM είναι δυο παράθυρα στις περιοχές γύρω από τα 1300nm, στο οποίο παράθυρο έχουμε την ελάχιστη διασπορά σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο μέρος του φάσματος και το άλλο είναι στην περιοχή των 1550 nm στο οποίο αντίστοιχα έχουμε την ελάχιστη εξασθένιση. Σε καθένα από τα δύο παράθυρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα εύρος γύρω στα 100nm. Θεωρητικά σ' αυτό το εύρος είναι δυνατόν να οριστούν περίπου 3000 διαφορετικά κανάλια με διαφορά μεταξύ τους 0,03 nm.

4.2.1. Εξοπλισμός της τεχνολογίας WDM

Τα βασικά στοιχεία της WDM τεχνολογίας, είναι τα παρακάτω:



Σχήμα 56. Δομικά στοιχεία WDM

- Οπτικές ίνες, στην πλευρά της σύνδεσης, που εμφανίζουν χαμηλές απώλειες και υψηλή απόδοση στο αντίστοιχο φάσμα μηκών κύματος.

- Συσκευές ακτινών laser, στην πλευρά της μετάδοσης
- Οπτικοί ενισχυτές (optical amplifiers) για την ενίσχυση του σήματος και τη μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις. Η παρουσία συσκευών οπτικής ενίσχυσης καθίσταται απαραίτητη λόγω της εξασθένησης του οπτικού σήματος κατά τη μεταφορά του μέσα από την ίνα. Το σημαντικό όφελος που προκύπτει από τη χρήση αυτών των συσκευών είναι η δυνατότητα ταυτόχρονης ενίσχυσης όλων των μηκών κύματος, δίχως να είναι απαραίτητη η πρότερη μετατροπή των οπτικών σημάτων σε ηλεκτρικά (OEO conversion). Ειδικά για την περίπτωση της τεχνολογίας WDM, η οποία επιβάλλει την εκπομπή υψηλών φορτίων και σε υψηλές αποστάσεις, ο ιδανικός τύπος οπτικού ενισχυτή είναι ο Οπτικός Ενισχυτής Σταθεροποιημένου Ερβίου. Τέλος, οι οπτικοί ενισχυτές είναι συσκευές ανεξάρτητες πρωτοκόλλου και Bit Rate του οπτικού σήματος, γεγονός που επιτρέπει το συνδυασμό διαφορετικών πρωτοκόλλων (ATM, SONET, Gigabit Ethernet κτλ.) σε οποιοδήποτε Bit Rate. Οι οπτικοί ενισχυτές έκαναν το WDM οικονομικά εφικτό.
- Συσκευές φωτοανίχνευσης (photodetectors), στην πλευρά του δέκτη. Οι συσκευές φωτοανίχνευσης είναι διαθέσιμες σε δύο γενικούς τύπους, τις θετικές-εσωτερικές-αρνητικές φωτοδιόδους (PIN photodiodes) και τις φωτοδιόδους χιονοστιβάδας (APD photodiodes). Ο πρώτος τύπος, βασίζεται στην αντίστροφη αρχή λειτουργίας των LEDs (τα οποία μετατρέπουν ηλεκτρικά σήματα σε φωτεινά), μετατρέποντας τα φωτεινά σήματα σε ηλεκτρόνια μέσω μιας σχέσης 1:1. Ο δεύτερος τύπος διαφέρει από τον προηγούμενο στο γεγονός ότι παρέχει επιπλέον και τη διεργασία της ενίσχυσης, μέσω της μετατροπής ενός φωτονίου σε πολλά ηλεκτρόνια. Τα κύρια πλεονεκτήματα των PIN φωτοδίοδων περιλαμβάνουν το χαμηλό κόστος και την αξιοπιστία, ενώ οι APD φωτοδιόδοι έχουν υψηλότερη ακρίβεια και ευαισθησία.
- Οπτικοί πολυπλέκτες ελεγχόμενης πολύπλεξης (add/drop optical multiplexers) και Οπτικοί αποπολυπλέκτες (optical demultiplexers). Οπτικός πολυπλέκτης είναι η συσκευή εκείνη που αναλαμβάνει να συνδυάσει τα διαφορετικά σήματα, το καθένα με διαφορετικό μήκος κύματος στην ίδια οπτική ίνα, και αντίστοιχα ο αποπλέκτης ξεχωρίζει τα πολυπλεγμένα σήματα σε διαφορετικές ροές και τα οδηγεί στους οπτικούς δέκτες. Συνήθως οι παραπάνω λειτουργίες συνδυάζονται σε μία συσκευή. Για αυτές τις λειτουργίες χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες, μεταξύ των οποίων διηλεκτρικά φίλτρα λεπτού φιλμ (thin-film dielectric filters) και οπτικά φράγματα περιθλάσεως (optical gratings). Πολλές συσκευές πολύπλεξης – απόπλεξης λειτουργούν χωρίς ηλεκτρική παροχή, δηλαδή είναι εντελώς παθητικά στοιχεία και συμπεριφέρονται σαν πρίσματα υψηλής ακρίβειας, που συνδυάζουν και διαχωρίζουν τα χρώματα του οπτικού σήματος. Όπως και τα πρίσματα, τα περισσότερα παθητικά στοιχεία λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο και όταν αντιστραφεί η φορά του φωτός.
- Οπτικά στοιχεία διασύνδεσης (optical cross-connect components). Οι οπτικές ίνες μπορούν να συνδεθούν με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Ένας τρόπος είναι να τερματίζονται σε ακροδέκτες (connectors) και να βυσματώνονται σε πρίζες ινών. Οι ακροδέκτες χάνουν περίπου 10-20% του φωτός αλλά διευκολύνουν την αναδιάταξη των συστημάτων. Ένας δεύτερος τρόπος είναι η μηχανική ένωση. Οι μηχανικές ενώσεις απλά τοποθετούν τα δύο κομμένα άκρα αντικριστά σε μια ειδική θήκη και τα συγκρατούν. Η ευθυγράμμιση μπορεί να βελτιωθεί περνώντας φως μέσα από την ένωση και κάνοντας στη συνέχεια μικρές διορθώσεις ώστε να

μεγιστοποιηθεί το σήμα. Οι μηχανικές ενώσεις επιφέρουν απώλεια 10% του φωτός. Τέλος η σύνδεση μπορεί να γίνει με την τήξη των δύο κομματιών της οπτικής ίνας. Η σύντηξη είναι αρκετά καλή, όσο μια ενιαία οπτική ίνα, αλλά βέβαια και εδώ υπεισέρχεται μια μικρά ποσότητα εξασθένισης. Σε όλους τους τύπους της ένωσης είναι δυνατόν να συμβούν ανακλάσεις στο σημείο της ένωσης και η ανακλώμενη ενέργεια μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές στο σήμα.

4.2.2. Διαχείριση Εύρους Ζώνης με WDM σε τοπικά δίκτυα (LAN)

Δύο προσεγγίσεις έχουν προταθεί για τα δίκτυα WDM:

- Τα δίκτυα ενός βήματος - single hop
- Τα δίκτυα πολλαπλών βημάτων - multi hop networks.

Τα multi-hop δίκτυα στηρίζονται στην χρήση ενδιάμεσων συστατικών σταθερά συντονισμένων ή συντονιζόμενων με αργό ρυθμό όπου κατασκευάζεται μια ψευδο-στατική τοπολογία δικτύου. Το κύριο πλεονέκτημα είναι ότι ο κάθε κόμβος χρειάζεται να έχει πρόσβαση σε ένα μικρό αριθμό καναλιών στα οποία μπορεί να επιτευχθεί υψηλός χρονισμός και κλιμάκωση (scalability). Ωστόσο το κάθε πακέτο πρέπει να ταξιδέψει από ένα ή περισσότερους ενδιάμεσους σταθμούς από τους οποίους εισάγεται χρονική καθυστέρηση και επιπλέον απαιτείται επιπρόσθετος μηχανισμός δρομολόγησης. Σε αντίθεση με τα multi-hop δίκτυα, τα single hop δίκτυα είναι ιδανικά για LAN γιατί στηρίζονται σε απευθείας σύνδεση των κόμβων μεταξύ τους.

Ζητήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη σχεδίαση πρωτοκόλλων ελέγχου πρόσβασης μέσου στα δίκτυα WDM αφορούν κυρίως τις απαιτήσεις σε επεξεργασία, την χρονική καθυστέρηση κατά το συντονισμό/μεταγωγή σε διαφορετικά μήκη κύματος, το χρόνο μετάδοσης, τη διαχείριση της κίνησης π.χ. με σύνδεση ή χωρίς, και το κόστος.

4.2.2.1. Κατηγορίες Πρωτοκόλλων Διαχείρισης σε LAN

Τα υπάρχοντα πρωτόκολλα ανήκουν σε τρία βασικά είδη ανάλογα με το πώς εντοπίζονται τα κανάλια:

- Πρωτόκολλα τυχαίας προσπέλασης στα οποία το κανάλι επιλέγεται τη στιγμή στην οποία λαμβάνει χώρα η έναρξη της εκπομπής του πακέτου. Χαρακτηριστικό αυτών των πρωτοκόλλων είναι η απλότητα και το γεγονός ότι το δίκτυο μπορεί να διαχειρίζεται έναν αυθαίρετο αριθμό καναλιών. Το βασικό όμως πρόβλημα που καλούνται να αντιμετωπίσουν είναι η σχετικά φτωχή απόδοση λόγω των συγκρούσεων εκπομπής (transmission collisions). Γι' αυτό το λόγο τα πρωτόκολλα αυτά υιοθετούν και μηχανισμούς βασισμένους στα πρωτόκολλα ALOHA ή slotted-ALOHA ή CSMA/CD (Πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φορτίου και Ανίχνευση Σύγκρουσης). Ωστόσο τα πρωτόκολλα αυτά αν και έχουν πετύχει να κυριαρχήσουν σε συμβατικά LAN (όπως του Ethernet π.χ. CSMA/CD) δε φαίνεται ότι θα επαναλάβουν την επιτυχία αυτή και στα οπτικά δίκτυα. Η αποτελεσματικότητα του πρωτοκόλλου CSMA/CD στηρίζεται στη μεγάλη τιμή του λόγου του χρόνου εκπομπής ενός πακέτου (transmission time) και του χρόνου διάδοσης (propagation delay) όπου έχουμε μεγάλα πακέτα έως και 1500 bytes και χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 10 Mbit/s. Στα οπτικά δίκτυα όμως η κατάσταση είναι διαφορετική με αποτέλεσμα ακόμη και σε μέτρια φορτία

κυκλοφορίας να γίνονται αρκετές συγκρούσεις που οδηγούν το σύστημα σε κορεσμό.

- Πρωτόκολλα ανάθεσης σχισμής με καθορισμό, που το κανάλι επιλέγεται κατά το χρόνο που λαμβάνει χώρα ο ορισμός της διαμόρφωσης του δικτύου (configuration). Τα πρωτόκολλα αυτά αναθέτουν σχισμή (slot) σε κάποιο κόμβο θεωρώντας ότι η κυκλοφορία είναι γνωστή και σταθερή. Αυτό έχει σαν συνέπεια τα παρακάτω:
 - Δεν υπάρχουν συγκρούσεις πακέτων.
 - Οι τεχνικές αυτές δεν επηρεάζονται από την καθυστέρηση διάδοσης (propagation delay).
 - Στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτούνται συστατικά δικτύου που είναι σταθερά συντονισμένα σε συγκεκριμένα μήκη και συνεπώς οι απαιτήσεις υλοποίησης είναι χαμηλές.
- Πρωτόκολλα εντοπισμού πριν την εκπομπή, που το κανάλι επιλέγεται πριν γίνει η εκπομπή του πακέτου. Τα πρωτόκολλα αυτά διαφέρουν από τα προηγούμενα στο ότι βασίζονται στη διασπορά της πληροφορίας της κατάστασης του δικτύου προκειμένου να γίνει επιλογή καναλιού. Τα πρωτόκολλα αυτά διαφέρουν μεταξύ τους στον τρόπο που μεταδίδεται η πληροφορία αυτή, στον τρόπο που συλλέγεται, και στον τρόπο που χρησιμοποιείται.

Φυσικά εκτός από τις 3 αυτές κατηγορίες υπάρχουν και πολλά υβριδικά πρωτόκολλα που ουσιαστικά αποτελούν συνδυασμό των παραπάνω κατηγοριών. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι το να έχουν οι κόμβοι του δικτύου τη δυνατότητα να συντονίζονται σε διάφορα μήκη κύματος ώστε να μεταφέρονται από τις ίνες ταυτόχρονα δεδομένα. Αυτό που διαφοροποιεί τις διάφορες τεχνικές είναι ο τρόπος ανάθεσης του μήκους κύματος καθώς και η διαχείριση συγκρούσεων στο ίδιο μήκος κύματος.

4.3. Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ DWDM

Τα συστήματα WDM μπορούν να μεταδώσουν μέχρι 24 κανάλια αλλά η τάση της τεχνολογίας είναι να αυξηθεί η χωρητικότητα στα 128 και παραπάνω μέσα από μια ίνα. Σήμερα η τεχνική DWDM (Dense Wave Division Multiplexing = Πυκνή Πολυπλεξία στο πεδίο του Μήκους Κύματος) έχει ενταχθεί στην τεχνική WDM. Τεχνικά είναι η ίδια μεθοδολογία αλλά όπως φαίνεται και από το όνομα η DWDM εμπεριέχει περισσότερα κανάλια και μεγαλύτερη χωρητικότητα σε εύρος ζώνης. Συχνά οι δύο αυτές τεχνικές αναφέρονται σαν μια, WDM, χωρίς να διακρίνεται η ειδοποιός διαφορά. Η τεχνολογία DWDM είναι η περισσότερα υποσχόμενη τεχνολογία για μεταφορά δεδομένων μέσα από οπτικές ίνες και συνίσταται στην πολυπλεξία (multiplexing) σημάτων διαφορετικού μήκους κύματος (wavelength) και στην μετάδοσή τους μέσω μιας μόνο οπτικής ίνας. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η αύξηση του συνολικού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων ανά οπτική ίνα, που προκύπτει από την άθροιση των ρυθμών μεταφοράς κάθε σήματος διαφορετικού μήκους κύματος. Ενδεικτικά, αναφέρουμε ότι με τα σημερινά δεδομένα είναι δυνατή η πολυπλεξία σαράντα τέτοιων σημάτων σε μια και μόνο οπτική ίνα, κάθε ένα από τα οποία μπορεί να μεταφέρει δεδομένα με ρυθμό 10 Gb/s, κάτι που οδηγεί σε συνολικό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων ίσο με 400 Gb/s. Σε πειραματικό, μάλιστα, επίπεδο έχουν επιτευχθεί ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων της τάξης των Tb/s.

Η δυνατότητα για μεταφορά IP πακέτων πάνω από δίκτυα DWDM, δύο τεχνικών που η κάθε μια στον τομέα της αποτελεί την πιο ολοκληρωμένη λύση, διαδραματίζει σημαντικότατο ρόλο όσον αφορά σε μεθόδους για γρήγορη μεταφορά δεδομένων με ταυτόχρονη ενοποίηση των υπαρχόντων δικτύων.

Στα DWDM συστήματα τα μήκη κύματος του φωτός βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους, συνήθως 100GHz ή περίπου 0,75nm χωριστά. Τα DWDM συστήματα, μέσω διεθνών καθορισμένων κριτηρίων, χρησιμοποιούν DFB laser επικεντρωμένα σε συγκεκριμένα μήκη κύματος και διαχωρισμένα μεταξύ τους σε 100, 200 ή 50 GHz σχετισμένα στα 1,5nm, 0,75nm ή 0,38nm αντίστοιχα. Το κεντρικό μήκος κύματος μιας τυπικής DFB laser εφαρμογής κατευθύνεται με 0,08nm/°C. Σε διάταξη 100GHz μια αλλαγή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος λειτουργίας κατά 10°C θα τοποθετούσε το μήκος κύματος του laser σε μια γειτονική μπάντα. Σε ένα DWDM laser, το chip είναι τοποθετημένο σε ένα θερμοηλεκτρικό ψύκτη ώστε να ελέγχεται η θερμοκρασία και έτσι να ελέγχεται το μήκος του κύματος.

4.3.1. Η Αρχιτεκτονική των DWDM συστημάτων

Η αρχιτεκτονική που εφαρμόζεται για την υλοποίηση της τεχνολογίας DWDM μπορεί να ακολουθεί δύο διαφορετικές κατευθύνσεις. Η μία είναι η αρχιτεκτονική ανοικτών συστημάτων DWDM, στην οποία ο εξοπλισμός που υλοποιεί την τεχνολογία είναι ανεξάρτητος από τον υπόλοιπο δικτυακό εξοπλισμό και μιλώντας αφαιρετικά αυτό που προσφέρει είναι η παροχή μιας ροής δεδομένων σε ταχύτητες 2,5 Gbps μέχρι 10Gbps σε οποιονδήποτε χρειάζεται αυτό το εύρος ζώνης με την αφιέρωση ενός μήκους κύματος. Εδώ η έξοδος του WDM συστήματος είναι τυποποιημένες οπτικές διεπαφές (interfaces) και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν από οποιοδήποτε εξοπλισμό. Το πλεονέκτημα αυτής της αρχιτεκτονικής είναι η μεγάλη ευελιξία που παρέχει στους διαχειριστές μιας και μπορεί να γίνει επιλογή και επένδυση σε εξοπλισμό και εύρος ζώνης που είναι απαραίτητο και όχι καθοδηγούμενο από τον υπάρχοντα εξοπλισμό και την εταιρία κατασκευής.

Η δεύτερη αρχιτεκτονική είναι η ολοκλήρωση της τεχνολογίας με άλλες ενεργές δικτυακές συσκευές όπως ATM switches, SONET/SDH Add Drop –Multiplexers και IP routers. Σ' αυτήν την περίπτωση, ο εξοπλισμός που απαιτείται παρέχεται σαν modules για τις συσκευές που αναφέρθηκαν. Στόχος είναι η διαχειριστική απλότητα και η αποφυγή δυσλειτουργιών σε περιπτώσεις που γίνεται προσπάθεια συνεργασίας εξοπλισμού από διαφορετικούς κατασκευαστές.

Φυσικά η επιλογή για το ποια από τις δύο αρχιτεκτονικές θα ακολουθήσει κάθε οργανισμός – εταιρία στη ανάπτυξη της υποδομής του σαφώς είναι υποκειμενική και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που διαφοροποιούνται για κάθε έναν από αυτούς. Πάντως φαίνεται να υπερισχύει ο κανόνας ότι όταν πρόκειται για συνδέσεις σε μεγάλη απόσταση (πχ υπερωκεάνιες συνδέσεις) τότε επιλέγεται κατά κύριο λόγο η ανοιχτή αρχιτεκτονική ενώ τείνει να γίνεται η ολοκλήρωση της νέας τεχνολογίας με άλλες δικτυακές συσκευές όταν πρόκειται για συνδέσεις μικρότερες των 65 χιλιομέτρων.

4.3.2. Κόστος υλοποίησης

Κάθε νέα τεχνολογία για να επιτύχει θα πρέπει συγκριτικά να χαρακτηρίζεται σαν πιο πλούσια από πλευράς δυνατοτήτων, πιο φθηνή σχετικά με το συντελεστή απόδοση / κόστος και πιο γρήγορη. Σε ερευνητικό επίπεδο η τεχνολογία DWDM αναπτύχθηκε πριν αρκετά χρόνια και σαν πλεονέκτημα της είχε το γεγονός ότι έδινε τη δυνατότητα για τη μεταφορά περισσότερων δεδομένων γρηγορότερα και φθηνότερα. Σήμερα πια η υλοποίηση της είναι γεγονός και προσφέρει τη δυνατότητα να αναβαθμιστούν οι οπτικές συνδέσεις με κόστος μόλις το 1/3 σε σχέση με την κλασική μέθοδο πρόσθεσης νέων οπτικών ινών. Το κόστος μάλιστα αυτό αναμένεται να μειωθεί και άλλο καθώς η τεχνολογία των lasers και των οπτικών ενισχυτών είναι ακόμα νέα και συνεχώς θα βελτιώνεται με αποτέλεσμα να υποχωρούν οι τιμές στα συστήματα προτελευταίας γενιάς.

4.3.3. Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας DWDM

Συμπερασματικά, η τεχνολογία πολυπλεξίας μήκους κύματος εισάγει πολλά νέα δεδομένα στην αξιοποίηση των οπτικών δικτύων. Ας δούμε όμως πιο συγκεκριμένα τα συγκριτικά πλεονεκτήματα που προσφέρει .

- Το αδιαμφισβήτητο πλεονέκτημα της νέας τεχνολογίας είναι η δυνατότητα για πολλαπλασιασμό του εύρους ζώνης που παρέχεται από μια οπτική ίνα. Τα 2,5Gbps που ήταν μέχρι τώρα το εύρος ζώνης που μπορούσε να δώσει μια εγκατάσταση οπτικής ίνας πολλαπλασιάζεται με έναν παράγοντα μέχρι 100, ο οποίος όμως δεν είναι στάσιμος αλλά συνεχώς αυξάνεται.
- Επίσης ένα ακόμα χαρακτηριστικό που κάνει την DWDM τεχνολογία ιδιαίτερα ελκυστική για τους μεγάλους παρόχους (Internet Service Providers) είναι το γεγονός ότι για την ενίσχυση του οπτικού σήματος προκειμένου αυτό να διανύσει αποστάσεις μεγαλύτερες από 65 – 70 km, δεν απαιτούνται πλέον οι κλασικές οπτικοηλεκτρονικές διατάξεις που μετατρέπουν το σήμα σε ηλεκτρικό προκειμένου να το ενισχύσουν αλλά γίνεται χρήση οπτικού ενισχυτή, ο οποίος λειτουργεί το ίδιο ανεξάρτητα από τον αριθμό των διαφορετικών μηκών κύματος και το bit rate που έχουν τα σήματα. Για να γίνει περισσότερο κατανοητό το μέγεθος της οικονομίας που γίνεται παρατίθεται το εξής παράδειγμα. Έστω ένα οπτικό link μήκους 600 χιλιομέτρων το οποίο αποτελείται από 8 ζευγάρια οπτικών ινών. Ένα οπτικό δίκτυο SONET/SDH για να προσφέρει το απαιτούμενο connectivity μεταξύ των δύο άκρων θα χρειαζόταν 72 οπτικοηλεκτρονικούς ενισχυτές. Ενώ αντίστοιχα με χρήση της τεχνολογίας WDM στη ίδια εγκατάσταση οπτικών ινών θα χρειαζόμασταν μόνο 4 οπτικούς ενισχυτές. Επιπλέον αυτού χωρίς περαιτέρω αλλαγές θα μπορούσε να γίνει αναβάθμιση του link μεταξύ των δύο άκρων, απλά κάνοντας χρήση περισσότερων καναλιών, δηλαδή περνώντας κι άλλα μήκη κύματος από την ίδια οπτική ίνα. Είναι σημαντικό να τονιστεί πως η οικονομία που γίνεται δεν είναι μόνο στον αριθμό των ενισχυτών αλλά και στο γεγονός ότι δεν υπάρχει πλέον η ανάγκη για δημιουργία των υποδομών εκείνων που θα ήταν απαραίτητες για την στέγαση και την τροφοδοσία των 72 ενισχυτών.
- Τέλος η χρήση της τεχνολογίας WDM προσφέρει την δυνατότητα για εύκολη αναβάθμιση της υποδομής αφού η δημιουργία μιας νέας εικονικής ίνας μπορεί να γίνει άμεσα και χωρίς ιδιαίτερο κόστος. Πέραν αυτού η τεχνολογία είναι εντελώς διαφανής και στο bit rate αλλά και στα πρωτόκολλα που έχουν εφαρμοστεί.

4.4. Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ CWDM

Η τραχύς μήκους κύματος διαίρεση πολυπλεξία (CWDM – Coarse Wavelength Division Multiplexing) είναι μια τεχνολογία μεταφοράς πολυπρωτοκόλλων, που παρουσιάζει σημαντική ανάπτυξη στην αγορά λόγω των ιδιοτήτων χαμηλότερου κόστους και της απλότητας στον σχεδιασμό της. Η CWDM τεχνολογία αντιπροσωπεύει μια οικονομική τεχνολογία τόσο σε πρόσβαση όσο και στην αγορά δικτύων κορμού και ειδικά σε σχετικά μικρές αποστάσεις (έως 50 Km). Παραδίδει τα πολλαπλάσια μήκη κύματος μέσω μιας οπτικής ίνας σε ένα μέρος του κόστους και πολυπλοκότητας των συστημάτων DWDM. Ένας ακριβέστερος ορισμός του CWDM είναι «μια μορφή διαίρεσης και πολυπλεξίας μήκους κύματος που έχει ευρύτερα διαστήματα μεταξύ των μηκών κύματος από αυτά που χρησιμοποιούνται στο DWDM. Επίσης, αντίθετα από άλλες μορφές WDM, χρησιμοποιεί ένα πολύ ευρύτερο φωτονικό φάσμα ζωνών από άλλα τέτοια συστήματα, τα οποία συχνά είναι περιορισμένα σε μια ή δύο ζώνες». (Μέχρι 18 μήκη κύματος μπορούν να σταλούν χρησιμοποιώντας μερικούς τύπους CWDM). Η CWDM μπορεί να χρησιμοποιηθεί πάνω από πολύτροπες και μονότροπες ίνες αν και οι αποστάσεις του σήματος είναι γενικά πιο σύντομες από το DWDM.

Οι τεχνολογίες CWDM ήταν σε χρήση από την αρχή της δεκαετίας του '80, πολύ πριν από τη γενική αποδοχή της WDM στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών. Οι αρχικές επεκτάσεις περιλάμβαναν μήκη κύματος με διαστήματα 25 nm με παράθυρο 850 nm πάνω από την πολύτροπες ίνες σε τοπικά δίκτυα. Οι εφαρμογές περιλάμβαναν την πολυδιαυλική τηλεοπτική διανομή, αμφίδρομες ευαίσθητες πληροφορίες τηλεμετρίας και ελέγχους λανθάνουσας κατάστασης που διαβιβάζονται πέρα από μια ενιαία οπτική ίνα. Στα αρχικά στάδια, η CWDM τεχνολογία δεν είχε συγκεκριμένα πρότυπα και υπήρξε αρχική σύγχυση στον καθορισμό της έννοιας και της αίτησής της.

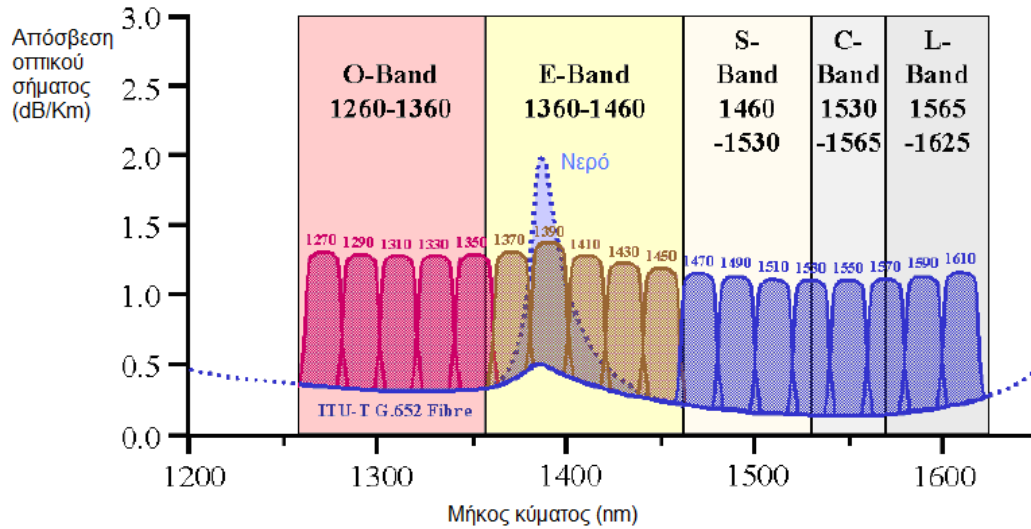
Αυτό άλλαξε στο τέλος της δεκαετίας του '90, όταν η CWDM έτυχε ενδιαφέροντος από διάφορες ομάδες εργασίες που ασχολούνταν κυρίως με την επίλυση των προβλημάτων διασποράς και απώλειας για 10 Gigabit Ethernet LANs και μερικές 10Gbe WAN εφαρμογές.

	Coarse WDM (περιλαμβάνεται το WWDM)	WDM	DWDM (περιλαμβάνεται το ultra dense WDM)
Κενά μεταξύ καναλιών	Μεγάλα, από 1,6nm (200GHz) μέχρι 25nm	Χρησιμοποιούνται lasers μήκους κύματος 1310nm σε συνδυασμό με lasers μήκους κύματος 1550nm	Μικρά, από 200GHz και κάτω
Μπάντες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται	O, E, S, C και L	O και C	C και L
Κόστος ανά κανάλι	Χαμηλό	Χαμηλό	Υψηλό
Αριθμός καναλιών που παραδίδονται	17-18 το πολύ	2	Εκατοντάδες
Ιδανική εφαρμογή	Μικρές αποστάσεις (short-haul), Metro	PON (Passive Optical Network)	Μεγάλες αποστάσεις (long-haul)

Σχήμα 57. Τύποι WDM

Οι τεχνολογίες metro CWDM περιλαμβάνουν τώρα τα οπτικά φίλτρα και τα μη ψυχόμενα λέιζερ με διαστήματα 20 nm. Υπάρχουν 18 μήκη κύματος που

διευκρινίζουν αυτήν την περίοδο με την ονομαστική έκταση μηκών κύματος από 1270 nm μέχρι 1610 nm. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 58, πέντε από τα μήκη κύματος CWDM εμπίπτουν στην E-band.



Σχήμα 58. Metro CWDM πλέγμα μήκους κύματος όπως ορίζεται από την ITU-T G.694.2

4.4.1. Παρούσα κατάσταση συστημάτων CWDM

4.4.1.1. Οπτική Ίνα

Οι οπτικές ίνες τελευταίας γενιάς που ικανοποιούν τα πρότυπα της ITU-T G.652.C και G.652.D καταφέρνουν να εξαφανίσουν σχεδόν το φαινόμενο της ακμής νερού (water peak) με αποτέλεσμα να γίνεται δυνατή η πλήρης λειτουργία όλων των καναλιών που έχει προτυποποιήσει η ITU μεταξύ 1310 nm και 1610 nm (ανά 20 nm) για το CWDM. Η προδιαγραφή G.652.C ορίζει μειωμένη εμφάνιση του φαινομένου της ακμής νερού, ενώ η προδιαγραφή G.652.D ορίζει επιπλέον και χαμηλότερη PMD (polarization mode dispersion, δηλαδή διασπορά του σήματος λόγω τυχαίων ατελειών και ασυμμετριών στο υλικό της οπτικής ίνας).

4.4.1.2. Λείζερ

- Άμεσα διαμορφωμένα λέιζερ CWDM. Τα άμεσα διαμορφωμένα λέιζερ CWDM με ρυθμό μετάδοσης μέχρι 2,5 Gbit/s βελτιστοποιούνται για το χαμηλότερο κόστος. Το σχέδιό τους είναι βασισμένο στη δοκιμασμένη και αποδεδειγμένη τεχνολογία DFB. Τα λέιζερ CWDM είναι ικανά για μετάδοση 2,5 Gbit/s πέρα από τις αποστάσεις 80 χλμ. σε οπτική ίνα που ακολουθεί το πρότυπο ITU G.652. Το χαμηλότερο κόστος, η μικρή δύναμη και οι μειωμένες παρεμβολές των συσκευών αποστολής σημάτων λέιζερ CWDM προκύπτουν από το μη ψυχόμενο σχέδιό τους. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχουν τους ογκώδεις μηχανισμούς για να ελέγξουν τα κυκλώματα θέρμανσης – ψύξης που συνδέονται κοντά στο λέιζερ προκειμένου να διασφαλίσουν τη σωστή λειτουργία τους από μεταβολές της θερμότητας.
- Κάθετη επιφάνεια κοιλοτήτων που εκπέμπει τα λέιζερ (VCSELs). Τα VCSELs κατασκευάζονται τώρα σε μεγάλες ποσότητες για GbE και 10 GbE WWDM εφαρμογές σε 850 nm/1310 nm και τις single-mode/multimode επιλογές.

- CWDM vs DWDM τεχνολογίας λέιζερ. Ο κυρίαρχος παράγοντας που διαφοροποιεί τις δαπάνες συσκευών αποστολής σημάτων CWDM από τη συσκευή αποστολής σημάτων DWDM είναι τα WDM διαστήματα καναλιών. Τα διαστήματα καναλιών καθορίζουν πόσο μακριά το σχετικό λέιζερ που ανάβει το κανάλι μπορεί να παρασυρθεί από το ονομαστικό μήκος κύματος λόγω των κατασκευαστικών ανοχών, της θερμοκρασίας και του ρεύματος διαμόρφωσης.

4.4.2. Διαφορές μεταξύ των συσκευών αποστολής σημάτων DWDM και CWDM

Η ενέργεια που καταναλώνεται από μια συσκευή αποστολής σημάτων DWDM είναι περίπου 20 φορές η ενέργεια που καταναλώνεται από μια συσκευή αποστολής σημάτων CWDM. Για ένα WDM σύστημα 16 καναλιών, οι συσκευές αποστολής σημάτων CWDM καταναλώνουν περίπου 4Watt, ενώ η ίδια λειτουργία σε ένα σύστημα DWDM μπορεί να καταναλώσει πάνω από 80 Watt.

Εξαιτίας των παραπάνω ζητημάτων, η συσκευασία μιας συσκευής αποστολής σημάτων λέιζερ DWDM είναι ακριβότερη από μια μη ψυχόμενη συσκευή αποστολής σημάτων λέιζερ CWDM. Κατά συνέπεια, τμήματα συσκευών αποστολής σημάτων DWDM έχουν χαρακτηριστικά τέσσερις έως πέντε φορές το κόστος των αντίστοιχων CWDM.

4.4.2.1. Δέκτες

Οι δέκτες που χρησιμοποιούνται στα πολυδιαυλικά συστήματα CWDM είναι ουσιαστικά οι ίδιοι με εκείνους που χρησιμοποιούνται σε συστήματα DWDM. Οι μπροστινές άκρες αυτών των δεκτών χρησιμοποιούν τους wavelength agnostic PIN ή Avalanche Photodiode detectors (APDs) που καλύπτουν ολόκληρη τη ζώνη ITU CWDM. Το όφελος των ανιχνευτών PIN είναι το χαμηλότερο κόστος. Αντίθετα, το όφελος των ανιχνευτών APD είναι μια βελτίωση 9-10 dB στην ευαισθησία δεκτών.

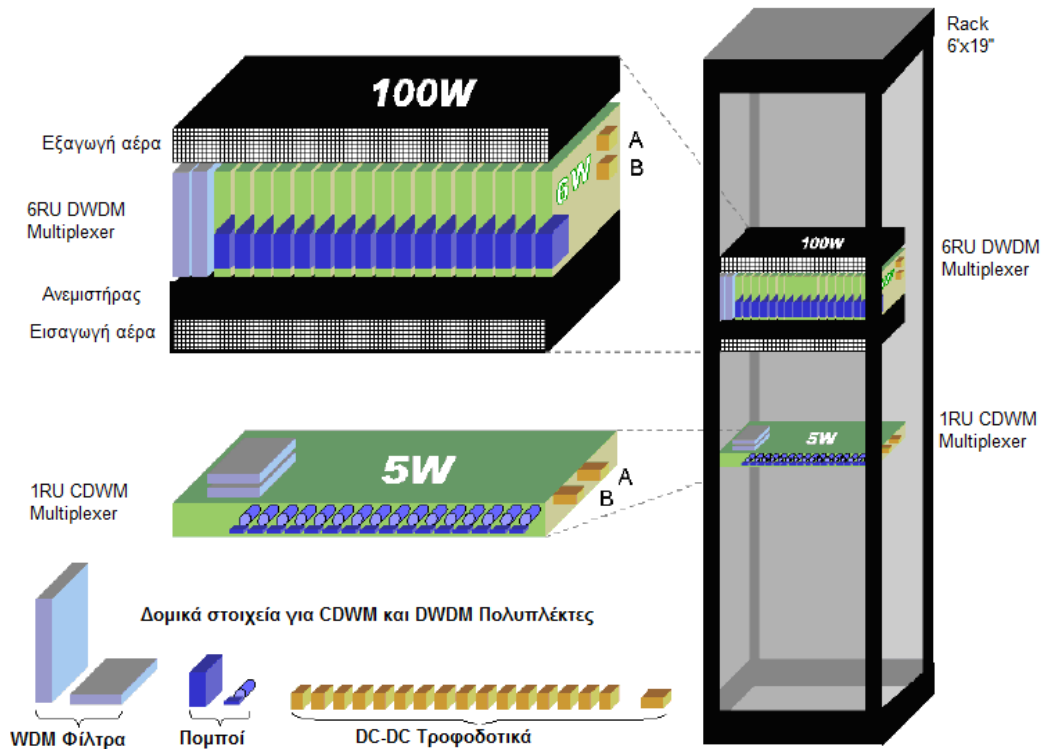
4.4.2.2. Φίλτρα

- Φίλτρα CWDM: Τα φίλτρα CWDM εφαρμόζονται χρησιμοποιώντας τη λεπτή τεχνολογία φίλτρων (TFF). Είναι διαθέσιμα είτε ως απλού διαύλου συσκευές φίλτρων είτε ως ενσωματωμένες συσκευές πολυδιαυλωτών/αποπολυπλεκτών. Οι διάφορες διαμορφώσεις αυτών των συσκευών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εφαρμοστούν σε έναν πολυδιαυλικό οπτικό add/drop πολυπλέκτη. Τα φίλτρα CWDM μπορούν να είναι εξειδικευμένα για την ομοιοκατευθυνόμενη μετάδοση στα δίκτυα δύο-ινών ή για αμφίδρομη μετάδοση στα δίκτυα μονότροπης ίνας. Η τελευταία επιλογή έχει τα πλεονεκτήματα χαμηλότερου κόστους για τις εφαρμογές μισθωμένης οπτικής ίνας (leased-fiber).
- Σύγκριση CWDM και DWDM φίλτρων: Τα φίλτρα CWDM είναι εγγενώς λιγότερο ακριβά από τα φίλτρα DWDM λόγω μικρότερου αριθμού στρώματων στο σχέδιο φίλτρων. Χαρακτηριστικά υπάρχουν πάνω από 100 στρώματα που απαιτούνται για 200 GHz όπως χρησιμοποιούνται στα προϊόντα metro DWDM, σε αντίθεση με μόνο 50 στρώματα σε φίλτρο 20nm στα προϊόντα metro CWDM. Το αποτέλεσμα είναι πιο σύντομος χρόνος κατασκευής, λιγότερα υλικά και υψηλότερη κατασκευή για τα φίλτρα CWDM. Κατά συνέπεια, οι δαπάνες φίλτρων

CWDM είναι γενικά λιγότερο από 50% του κόστους των αντιστοίχων φίλτρων DWDM.

4.4.2.3. Γενική σύγκριση συσκευών

Το μικρότερο μέγεθος και η πιο μικρή κατανάλωση ισχύος του CWDM σε σχέση με τα στοιχεία ενός DWDM συστήματος μεταφράζονται στις μικρότερες διαστάσεις πολυδιαυλωτών CWDM, στις λιγότερες ή τις χαμηλότερες παροχές ηλεκτρικού ρεύματος και στον μειωμένο θερμικό εξοπλισμό για την αφαίρεση της θερμότητας που οι συσκευές αποστολής σημάτων και οι παροχές ηλεκτρικού ρεύματος παράγουν.



Σχήμα 59. Σύγκριση αντιπροσωπευτικών DWDM και CWDM προϊόντων – διαφορές στον όγκο και την κατανάλωση ενέργειας

Οι αρχιτεκτονικές πολυπλεκτών που παρουσιάζονται στο Σχήμα 59 είναι βασισμένες μόνο στις σημαντικότερες συστατικές διαφορές μεταξύ των τεχνολογιών WDM 200GHz και CWDM.

4.5. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΣΕ ΟΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Για την μετάδοση δεδομένων έχουν δημιουργηθεί διάφορες τεχνικές που εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου και την βελτίωση της τεχνολογίας. Ειδικότερα, τα πρώτα συστήματα μετάδοσης ήταν αναλογικά και εφάρμοζαν την κλασική πολυπλεξία με καταμερισμό χρόνου TDM (Time Division Multiplexing). Η αρχή της TDM είναι ευρέως γνωστή. Από μια ομάδα αναλογικών σημάτων, λαμβάνονται δείγματα σε χρονική διαδοχή και με κοινό ρυθμό δειγματοληψίας. Τα δείγματα αυτά στη συνέχεια πολυπλέκονται για μετάδοση πάνω από κοινό κανάλι. Η

ψηφιακή πολυπλεξία επιτρέπει το συνδυασμό διαφορετικών ψηφιακών σημάτων με διαφορετικούς ρυθμούς δυαδικών ψηφίων, μέσα σε μια ενιαία ροή δεδομένων.

Στις αρχές του 1960 όλα τα συστήματα μετάδοσης και μεταγωγής ήταν αναλογικά. Στην περίοδο αυτή άρχισε να αναπτύσσεται η τεχνολογία της παλμοκωδικής διαμόρφωσης (PCM – Pulse Code Modulation). Στην περίπτωση αυτή το σήμα δέχεται επεξεργασία (δειγματοληψία, κβάντιση, ψηφιοποίηση και κωδικοποίηση) ώστε να μετατρέπεται σε μια ακολουθία δυαδικών ψηφίων, τα οποία ύστερα μπορούσαν να πολυπλεχθούν σε σήματα με υψηλότερο ρυθμό. Με την μέθοδο αυτή δημιουργήθηκε το «ψηφιακό σήμα 1^{ου} επιπέδου» (DS1 – Digital Stream 1). Στις ΗΠΑ αναπτύχθηκε το πρώτο επίπεδο πολυπλεξίας που είχε συνολικό ρυθμό 1,544 Mbps και είναι γνωστό ως T1. Αυτό περιλάμβανε 24 PCM ψηφιακά κανάλια φωνής των 64 Kbps και 8Kbps σηματοδοσίας. Αντίστοιχα, στην Ευρώπη αναπτύχθηκε το λεγόμενο E1 σήμα που έχει ρυθμό 2,048 Mbps και στο οποίο πολυπλέκονται 30 κανάλια φωνής (καθώς και 2 ακόμη κανάλια συγχρονισμού και σηματοδοσίας). Πολυπλέκοντας στη συνέχεια πολλά σήματα T1 (ή E1) παίρνουμε ακόμα πιο υψηλούς ρυθμούς δεδομένων και έτσι δημιουργήθηκαν τα σήματα DS2 ή T2 (6,312 Mbps), DS3 ή T3 (44,376 Mbps), DS4 ή T4 (274, 176 Mbps). Ανάλογα δημιουργήθηκαν στην Ευρώπη τα σήματα E2, E3, E4, E5 με πολυπλεξία των σημάτων E1.

Στην συνέχεια της εξέλιξης της τεχνολογίας άρχισαν να αναπτύσσονται διάφορα πρότυπα για την μετάδοση και πολυπλεξία τέτοιων σημάτων και προέκυψαν διάφορες κατηγορίες. Ειδικότερα, παρουσιάστηκαν συστήματα σύγχρονης, ασύγχρονης και πλεισιόχρονης πολυπλεξίας. Η διαφοροποίηση της σύγχρονης από την ασύγχρονη πολυπλεξία έγκειται στην ύπαρξη μοναδικού ρολογιού που συγχρονίζει τις πηγές των σημάτων. Η σύγχρονη πολυπλεξία φαίνεται να επικρατεί καθώς παρουσιάζει μεγάλη απόδοση και υψηλή χωρητικότητα. Αντίθετα στην πλεισιόχρονη μετάδοση, τα πολυπλεγμένα σήματα έχουν ίδια ονομαστική τιμή αλλά διαφορετική πραγματική που κυμαίνεται μέσα σε ένα εύρος τιμών. Προκειμένου να επιτευχθεί σταθερή τιμή ρυθμού, εισάγονται δυαδικά ψηφία παρεμβολής (stuff bits).

4.6. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ PDH

Η PDH τεχνολογία προήλθε από τα Bell Labs στην Αμερική και στόχο είχε την μεταφορά φωνής. Η βασική ροή δεδομένων παραμένει το «βασικό ψηφιακό ρεύμα» (DS0 - Digital Stream 0) που μεταφέρει bit με ρυθμό 64Kbps και το οποίο δομείται σε μια ιεραρχία όπου εφαρμόζεται πολυπλεξία σε διαδοχικά επίπεδα, αυξάνοντας έτσι και την ταχύτητα μετάδοσης. Ανάλογα ιεραρχικά σχήμα τα αναπτύχθηκαν τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Ιαπωνία. Τις ιεραρχίες αυτές συνοψίζει ο Πίνακας 6.

Αριθμός Επιπέδων Πολυπλεξίας	Αριθμός Καναλιών φωνής	Ρυθμός [Mbps] Μετάδοσης (B. Αμερική)	Ρυθμός [Mbps] Μετάδοσης (Ευρώπη)	Ρυθμός [Mbps] Μετάδοσης (Ιαπωνία)
0	1	0,064	0,064	0,064
1	24 (1xDS1)	1,554 (T1)		1,554
	30		2,084 (E1)	
	48	3,152		3,152
2	96 (24xDS1)	6,312 (T2=4xT1)		6,312
	120		8,448 (E2)	

Αριθμός Επιπέδων Πολυπλεξίας	Αριθμός Καναλιών Φωνής	Ρυθμός [Mbps] Μετάδοσης (B. Αμερική)	Ρυθμός [Mbps] Μετάδοσης (Ευρώπη)	Ρυθμός [Mbps] Μετάδοσης (Ιαπωνία)
3	480		34,368 (E3)	32,064
	672 (7xDS2)	44,376 (T3=7xT2)		
	1344	91,053		
	1440			97,728
4	1920		139,264 (E5)	
	4032 (6xDS3)	274,176(T4=6xT3)		
	5760			397,200
5	7680		565,148	

Πίνακας 6. Πλεισιόχρονες ψηφιακές ιεραρχίες

Η τεχνολογία PDH βασίζεται στην πλεισιόχρονη πολυπλεξία και χρησιμοποιεί την τεχνική bit stuffing για να αντιμετωπίσει τις απαιτήσεις συγχρονισμού. Συγκεκριμένα, κατά τον σχηματισμό των ανωτέρων τάξεων (πέραν της πρώτης), εμφανίζεται το ακόλουθο πρόβλημα συγχρονισμού. Στην πολυπλεξία πρώτης τάξης εμπλέκεται ένα ρολόι, το οποίο οδηγεί το μεταδιδόμενο σήμα. Είναι πολύ πιθανό όμως οι τέσσερις γραμμές στην είσοδο ενός πολυπλέκτη για το σχηματισμό του DS-2 (4xT1) να προέρχονται από φυσικά απομακρυσμένες θέσεις και επομένως να χρησιμοποιούν τέσσερα ξεχωριστά μη συγχρονισμένα ρολόγια. Τα ρολόγια αυτά τίθενται μεν σε συχνότητα όσο το δυνατόν εγγύτερη στην ονομαστική, αλλά αναπόφευκτα εμφανίζεται μια σχετική ολίσηση συχνότητας, μιας και δεν υπάρχει ένας μηχανισμός για τη μεταξύ τους επικοινωνία. Για να αντιμετωπισθούν οι απαιτήσεις συγχρονισμού, έτσι ώστε να γίνουν ανεκτές οι υπάρχουσες μεταβολές στους ρυθμούς των δεδομένων εισόδου, χρησιμοποιείται, η τεχνική bit stuffing, σύμφωνα με την οποία:

- Ο πολυπλέκτης διαβάσει κάθε εισερχόμενο προς πολυπλεξία σήμα (μερική ροή - tributary) με τον υψηλότερο επιτρεπόμενο ρυθμό, που προφανώς καθορίζεται από το ρολόι που οδηγεί το εισερχόμενο σήμα.
- Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν bits στον καταχωρητή αναμονής εισόδου (διότι αυτά θα φτάνουν στον πολυπλέκτη με χαμηλότερο ρυθμό από το μέγιστο επιτρεπτό που ορίζει ο πολυπλέκτης ως ρυθμό ανάγνωσης), τότε προσθέτει επιπλέον δυαδικά ψηφία, γνωστά και ως δυαδικά ψηφία συμπλήρωσης (stuffing bits).

Η τεχνική της συμπλήρωσης βασίζεται στη χρήση μιας ελαστικής μνήμης (elastic store), όπου ένα ρεύμα δυαδικών ψηφίων μπορεί να διαβαστεί με διαφορετικό ρυθμό από αυτόν που εγγράφεται. Τα πρόσθετα bits δεν περιέχουν πληροφορία. Ο πολυπλέκτης ενημερώνει τον αποπολυπλέκτη για την παρεμβολή, έτσι ώστε αυτός να αφαιρεί τα δυαδικά ψηφία συμπλήρωσης και να διαβάσει τη χρήσιμη πληροφορία. Με αυτή την τεχνική αυξάνει ο ρυθμός κάθε εισερχόμενου σήματος και επιτυγχάνεται η εξίσωση με το ρυθμό που καθορίζει ένα τοπικό ρολόι.

Το PDH παρουσιάζει μια σειρά από μειονεκτήματα με κυριότερα:

- Μειωμένη απόδοση εξαιτίας του γεγονότος πως σε κάθε οπτικό σήμα μετάδοσης εισάγονται δυαδικά ψηφία συμπλήρωσης, σπαταλώντας έτσι χωρητικότητα.

- Για να υπάρξει πρόσβαση σε ένα σήμα χαμηλότερα στην ιεραρχία πρέπει να γίνει αποπολυπλεξία όλων των επιπέδων.
- Τα πρότυπα και οι μηχανισμοί μεταφοράς πληροφοριών ελέγχου και διαχείρισης είναι περιορισμένα.

Για την αντιμετώπιση όλων των προβλημάτων που παρουσίασε η PDH τεχνολογία υπήρξε μεταστροφή σε μια νέα ομάδα προτύπων - τεχνολογιών, την SONET/SDH που βασίζεται στην σύγχρονη (synchronous) πολυπλεξία. Η βασική διαφορά της σε σχέση με το PDH είναι ότι οι ρυθμοί μετάδοσης των δεδομένων είναι αυστηρά συγχρονισμένοι κατά μήκος ολόκληρου του δικτύου, χρησιμοποιώντας ρολόγια μεγάλης ακριβείας.

4.7. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ SONET/SDH

Η τεχνολογία αυτή παρουσιάστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και αφορούσε μια μεγάλη ομάδα προτύπων που άπτονται των οπτικών επικοινωνιών. Στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Ιαπωνία, οι τυποποιήσεις αυτές είναι γνωστές ως SONET (Synchronous Optical Network). Αντίθετα, στη Ευρώπη ονομάζονται SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Το πρότυπο SONET δημιουργήθηκε από τη Bellcore ενώ το SDH αρχικά τυποποιήθηκε από τον οργανισμό ETSI και στη συνέχεια έγινε διεθνές πρότυπο με κάποιες τροποποιήσεις από την ITU-T.

Το πρότυπο SONET (και στη συνέχεια το SDH), προσπάθησε να αποτελέσει πρότυπο οπτικής διασύνδεσης με στόχο τη διαλειτουργικότητα συστημάτων διαφορετικών κατασκευαστών. Χωρίς το SONET, η διασύνδεση γίνεται μόνο με αποπολυπλεξία στο ηλεκτρικό επίπεδο, κάτι που επιβαρύνει πολύ τη μεταφορά δεδομένων μιας και η μετατροπή του σήματος από οπτικό σε ηλεκτρικό και το αντίστροφο είναι μια χρονοβόρα διαδικασία. Τα πρότυπα SONET/SDH ορίζουν μια νέα ψηφιακή ιεραρχία πολυπλεξίας που είναι κατάλληλη για τον χειρισμό σημάτων που βασίζονται στη μεταφορά τους σε οπτικές ίνες, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπουν την εύκολη εξαγωγή από ένα πολυπλεγμένο σήμα των διαφόρων σημάτων χαμηλότερων ρυθμών.

Το βασικό δομικό στοιχείο του SONET είναι ένα πλαίσιο 810 bytes, διάρκειας 125 μsec. Αποτελείται από μια περιοχή με μέγεθος 774 bytes στην οποία μεταφέρεται το payload (ωφέλιμο φορτίο) και μια περιοχή overhead (επιβάρυνση μετάδοσης). Η περιοχή ωφέλιμου φορτίου ορίζεται και σαν «Φάκελος Σύγχρονου Φορτίου» (SPE – Synchronous Payload Envelope) και περιλαμβάνει και την επιβάρυνση μονοπατιού/διαδρομής (path overhead - POH). Το overhead έχει μέγεθος 36 bytes και χωρίζεται σε δύο τμήματα, την επιβάρυνση τμήματος και την επιβάρυνση γραμμής που αναφέρονται σαν SOH (Section Overhead) και LOH (Line Overhead) αντίστοιχα.

Το πλαίσιο του SONET μεταδίδεται σχηματίζοντας ένα σήμα 51,840 Mbps, γνωστό ως «Σήμα Σύγχρονης Μεταφοράς-1ου επιπέδου» (STS-1 Synchronous Transport Signal-level 1). Η λειτουργικότητα του SONET επιτυγχάνεται ορίζοντας το βασικό STS-1 σήμα και δημιουργώντας στη συνέχεια μια πολλαπλάσια δομή η οποία προκύπτει από την πολυπλεξία σημάτων STS-1 με τη μέθοδο της παρεμβολής οκτάδων. Έτσι ανάλογα με το βαθμό πολυπλεξίας δημιουργούνται σήματα με ρυθμούς N φορές μεγαλύτερους από το βασικό ρυθμό του STS-1 που είναι 51,840 Mbps. Επί του παρόντος οι τιμές του N είναι 1,3,9,12,18,24,36,48, 96, 192 και 768, με μελλοντική προοπτική τις τιμές 1536 και 3072, όταν ο εξοπλισμός μπορεί να υποστηρίξει αυτές τις ταχύτητες.

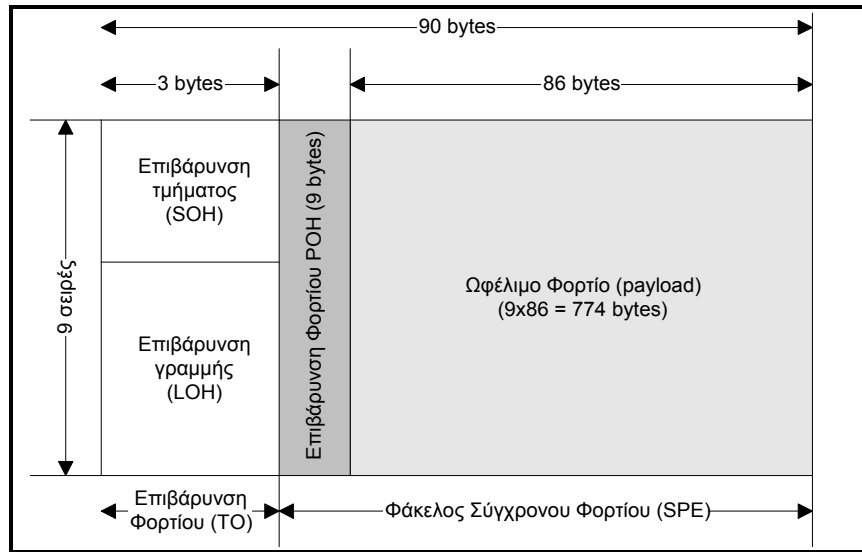
SONET (ANSI)	Οπτικός φορέας (OC)	SDH	Ρυθμός δεδομένων (Mbps)
STS-1	OC-1		51,84
STS-3	OC-3	STM-1	155,52
STS-9	OC-9	STM-3	466,56
STS-12	OC-12	STM-4	622,08
STS-18	OC-18	STM-6	933,12
STS-24	OC-24	STM-8	1244,16
STS-36	OC-36	STM-12	1866,24
STS-48	OC-48	STM-16	2488,32
STS-96	OC-96	STM-32	4976,64
STS-192	OC-192	STM-64	9953,28
STS-768	OC-768	STM-256	39813,12

Πίνακας 7. Πρότυπα ρυθμών μεταφοράς

Όταν η μετάδοση γίνεται χρησιμοποιώντας οπτική ίνα, ορίζεται ένα οπτικό αντίστοιχο του σήματος STS-1 που ονομάζεται «Οπτικός Φορέας – 1ου επιπέδου» (OC-1 Optical Carrier - level 1). Το OC-1 είναι το σήμα που λαμβάνεται στην έξοδο ενός ηλεκτρικό-οπτικού μετατροπέα, όταν στην είσοδό του εισάγεται το σήμα STS-1. Το OC-1 αποτελεί το βασικό δομικό στοιχείο μετάδοσης στο SONET και από αυτό μπορούν να παραχθούν σήματα υψηλότερης ιεραρχίας. Για παράδειγμα το OC-3 μεταφέρει πληροφορία με ρυθμό $3 \times 51,84$ δηλαδή 155,42 Mbps. Ο αριθμός που συνοδεύει το πρόθεμα OC δείχνει το πλήθος των σημάτων ψηφιακού ρεύματος (DS3), που το τοπικό σήμα μπορεί να μεταφέρει. Έτσι έχουν δημιουργηθεί διάφορα πρότυπα ρυθμών μεταφοράς δεδομένων πάνω από οπτικές ίνες τα οποία αντιστοιχίζονται με τους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων από ηλεκτρικά σήματα (Πίνακας 7).

4.7.1. STS-1

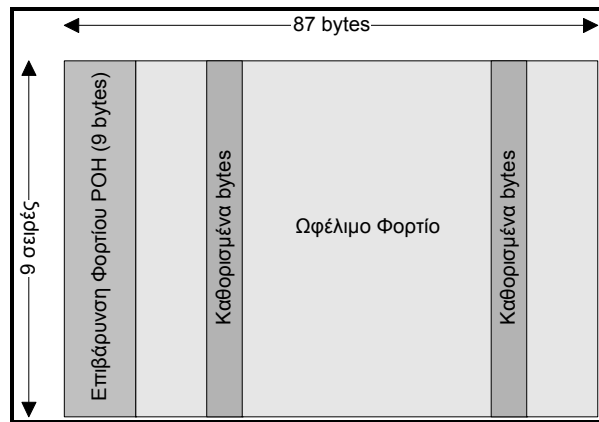
Το STS-1 είναι το κύριο σήμα που υποστηρίζει το SONET και το οποίο αντιστοιχεί σε ρυθμό δεδομένων 51,840 Mbps. Το πλαίσιο του STS-1 είναι ένας πίνακας 9 σειρών και 90 στηλών, που συνολικά δίνει ένα πλαίσιο (frame) μεγέθους $9 \times 90 = 810$ bytes. Η μετάδοση των bytes γίνεται γραμμή-γραμμή, όπου σε κάθε γραμμή τα bytes μεταδίδονται από αριστερά προς τα δεξιά. Το πλαίσιο του STS-1 φαίνεται στο Σχήμα 60.



Σχήμα 60. Δομή πλαισίου στο STS-1

Η διάρκεια ενός STS-1 πλαισίου είναι 125 μsec , που αντιστοιχεί σε 8000 πλαίσια το δευτερόλεπτο. Για να υπολογίσουμε το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων έχουμε $9 \times 90 \text{ bytes/frame} \times 8 \text{ bits/byte} \times 8000 \text{ frames/sec} = 51.480 \text{ Mbps}$. Ο παραπάνω ρυθμός είναι γνωστός σαν ο ρυθμός σήματος STS-1, ενώ ο αντίστοιχος οπτικός ρυθμός είναι ο OC-1.

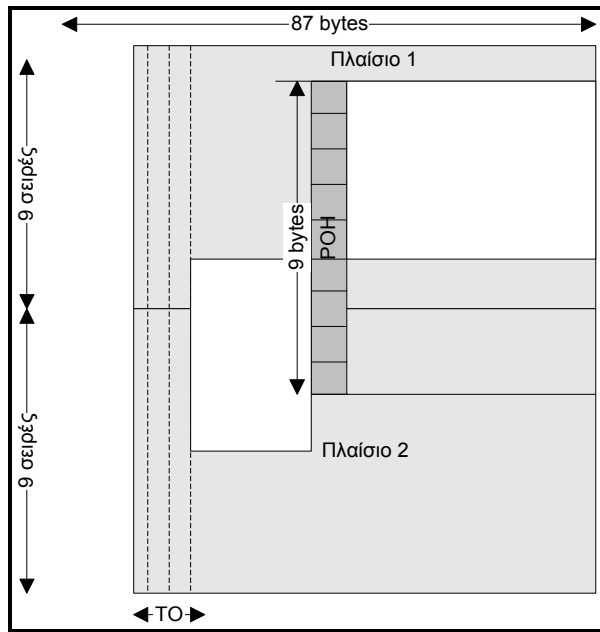
Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 60 οι τρεις πρώτες στήλες του πλαισίου είναι η επιβάρυνση φορτίου. Κάθε μια από τις τρεις αυτές στήλες περιέχει 9 bytes. Από αυτά 9 Bytes είναι η επιβάρυνση για το επίπεδο τμήματος και 18 για το επίπεδο γραμμής. Συνολικά τα 27 αυτά bytes επιβάρυνσης ονομάζονται «ένθετα κανάλια λειτουργιών» (Embedded Operations Channels).



Σχήμα 61. Ένα SPE

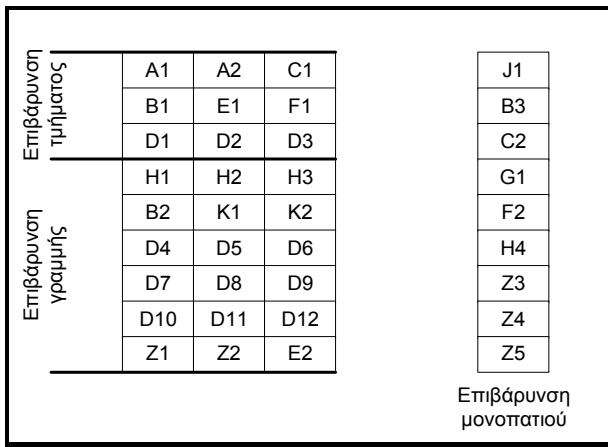
Οι υπόλοιπες 87 στήλες αποτελούν τον Φάκελο Σύγχρονου Φορτίου (SPE). Η επιβάρυνση μονοπατιού POH, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 60, βρίσκεται στην τέταρτη στήλη του πλαισίου και αποτελείται από 9 bytes. Γενικά πάντως αυτό δεν είναι απαραίτητο και μπορεί να μεταφερθεί σε άλλη στήλη. Η θέση (αρχή) του SPE καθορίζεται από δύο δείκτες που αποθηκεύονται στην επιβάρυνση γραμμής. Ένα παράδειγμα SPE φαίνεται στο Σχήμα 61, όπου από τις 87 στήλες η μία έχει ξοδευτεί για την επιβάρυνση φορτίου, δύο στήλες περιέχουν καθορισμένα bits (fixed staff), και

έτσι απομένει για πραγματικό ωφέλιμο φορτίο 84 στήλες. Τα 756 bytes που αντιστοιχούν στις 84 αυτές στήλες είναι η χωρητικότητα του SPE (Payload Capacity). Τέλος ένα SPE μπορεί να ξεκινάει οπουδήποτε μέσα σε ένα πλαίσιο STS-1 και να τελειώνει στο επόμενο. Παράδειγμα ενός τέτοιου φακέλου σύγχρονου φορτίου αποτελεί το SPE στο Σχήμα 62.



Σχήμα 62. Ένα SPE ανάμεσα σε δύο συνεχόμενα πλαίσια

Το Σχήμα 63 και η ανάλυση που ακολουθεί περιγράφει πλήρως τα 27 bytes της επιβάρυνσης μεταφοράς και το ρόλο που αυτά παίζουν στο πλαίσιο του STS-1.



Σχήμα 63. Bytes επιβάρυνσης

Ο Πίνακας 8 περιγράφει ένα-ένα τα bytes επιβάρυνσης τμήματος.

Byte	Περιγραφή
A1 και A2	Αυτά τα δύο bytes καθορίζουν την αρχή ενός STS-1 πλαισίου. Σημαντικά για το συγχρονισμό των STS-1 πλαισίων μέσα σε ένα STS-N
C1/J0/Z0	Ταυτότητα σήματος STS-1 σε ένα STS-N

Byte	Περιγραφή
B1	Καθορίζεται μόνο για το 1ο STS-1 πλαίσιο ενός STS-N. Τα 8 του bits χρησιμοποιούνται ως parity bits για έλεγχο λαθών μετάδοσης του προηγούμενου STS-N
E1	Αυτό το byte δεσμεύεται σαν τοπικό επικοινωνιακό κανάλι (φωνή) μεταξύ αναμεταδοτών, hub και απομακρυσμένων περιοχών
F1	Αυτό το byte μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον χρήστη ο οποίος βρίσκεται στο τερματικό σημείο
D1, D2, D3	Κανάλι επικοινωνίας δεδομένων (DCC). Μαζί τα 3 bytes δίνουν ένα κανάλι στα 192 Kbps το οποίο χρησιμοποιείται για λειτουργία, διαχείριση, συντήρηση και παροχή (Operations, Administration, Maintenance & Provision – OAP&P)

Πίνακας 8. Bytes επιβάρυνσης τμήματος

Ο Πίνακας 9 περιγράφει ένα-ένα τα bytes επιβάρυνσης γραμμής.

Byte	Περιγραφή
H1, H2	είναι οι δείκτες που καθορίζουν την αρχή SPE σε σχέση με την αρχή του STS-1
H3	Χρησιμοποιείται στα STS-1s μέσα σε ένα STS-N για να μεταφέρει το επιπλέον Byte του SPE στην περίπτωση αρνητικού δείκτη.
B2	είναι ένα parity byte για έλεγχο λαθών σε επίπεδο γραμμής. Τα 8 του bits χρησιμοποιούνται ως parity bits για έλεγχο λαθών μετάδοσης του προηγούμενου STS-1.
K1, K2	Κανάλι αυτόματης Προστασίας (APS – Automatic Protection Switching). Χρησιμοποιούνται για την APS σηματοδότηση μεταφέροντας τα σήματα AIS (alarm indication signal) και RDI (Remote Defect Signal)
D4 έως D12	Κανάλι επικοινωνίας δεδομένων (DCC) με ρυθμό 576 Kbps για OAM&P πληροφορία της γραμμής
Z1, Z2	Δεσμευμένα Bytes για μελλοντική χρήση
E2	64 Kbps κανάλι για επικοινωνία οντοτήτων σε επίπεδο γραμμής

Πίνακας 9. Bytes επιβάρυνσης γραμμής

Ο Πίνακας 10 περιγράφει ένα-ένα τα bytes επιβάρυνσης μονοπατιού.

Byte	Περιγραφή
J1	Επιβεβαιώνει τη συνεχή σύνδεση μεταξύ πομπού και δέκτη
B3	Parity byte για ανίχνευση λαθών σε επίπεδο μονοπατιού
C2	Χρησιμοποιείται για να δείξει το περιεχόμενο του SPE, συμπεριλαμβανομένης της κατάστασης του ωφέλιμου φορτίου
G1	Παρακολούθηση της κατάστασης και απόδοσης μεταξύ πομπού και δέκτη
F2	Χρησιμοποιείται από το χρήστη σε επίπεδο μονοπατιού
H4	Χρησιμοποιείται για ωφέλιμα φορτία με νοητές ροές (VTs)
Z3,Z4,Z5	Δεσμευμένα bytes για μελλοντική χρήση

Πίνακας 10. Bytes επιβάρυνσης μονοπατιού

Μετά την παρουσίαση της δομής του STS-1 θα περιγραφούν τα βήματα κατασκευής ενός πλαισίου:

1. Δημιουργία του ωφέλιμου φορτίου

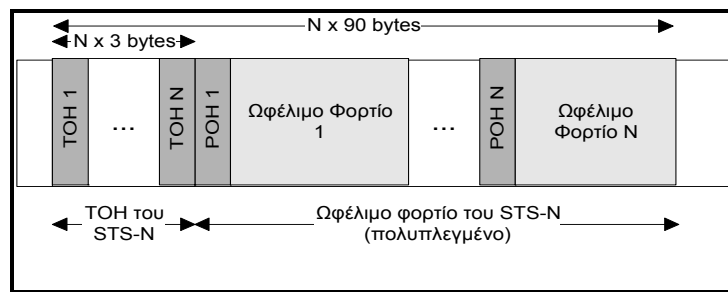
2. Προσθήκη των bytes επιβάρυνσης μονοπατιού
3. Υπολογισμός του byte ισοτιμίας B3 και τοποθέτησή του στο επόμενο πλαίσιο
4. Καθορισμός της θέσης του SPE μέσα στο πλαίσιο STS-1 και υπολογισμός των δεικτών H1, H2
5. Προσθήκη των bytes επιβάρυνσης γραμμής
6. Υπολογισμός του byte ισοτιμίας B2 και τοποθέτησή του στο επόμενο πλαίσιο
7. Προσθήκη των bytes B1 έως D3 επιβάρυνσης τμήματος
8. Scrambling των bytes επιβάρυνσης τμήματος με βάση ένα ψευδοτυχαίο κώδικα
9. Προσθήκη των υπόλοιπων bytes επιβάρυνσης τμήματος
10. Υπολογισμός του byte ισοτιμίας B1 και τοποθέτησή του στο επόμενο πλαίσιο

Ας σημειωθεί ότι η διαδικασία του scrambling (αλλαγή της τιμής των bits) είναι απαραίτητη, έτσι ώστε να αποφεύγεται η μετάδοση πολλών συνεχόμενων ίδιων bits κατά τη μεταφορά του πλαισίου μέσα από την οπτική ίνα, γιατί αυτό το γεγονός μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα συγχρονισμού στον δέκτη.

4.7.2. STS-n

Η διαθέσιμη χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου ενός STS-1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά ενός σήματος DS3 με ρυθμό 44,736 Mbps ή 28 σημάτων DS1 ρυθμού 1,544 Mbps. Αν επιθυμούμε μεγαλύτερο εύρος ζώνης τότε είναι δυνατός ο συνδυασμός ή η διασύνδεση πολλών STS-1 πλαισίων, τα οποία σχηματίζουν ένα πλαίσιο ανώτερης τάξης STS-N ή STS-Nc αντίστοιχα.

Ένα σήμα Σύγχρονης Μεταφοράς $N^{ο\upsilon}$ επιπέδου STS-N σχηματίζεται πολυπλέκοντας (με τη μέθοδο παρεμβολής οκτάδων) N σήματα STS-1. Στο Σχήμα 64 φαίνεται η δομή ενός STS-N πλαισίου.



Σχήμα 64. Δομή πλαισίου STS-N

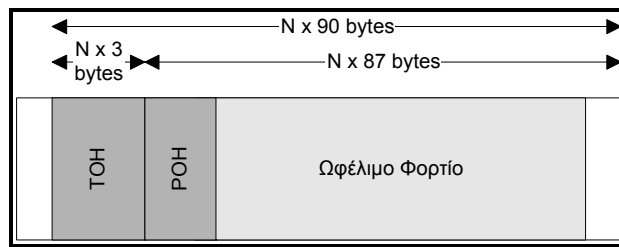
Η διαδικασία πολυπλεξίας N πλαισίων STS-1 σε ένα πλαίσιο STS-N είναι:

1. Τα επί μέρους σήματα (tributaries) τοποθετούνται στο ν-οστό Φάκελο Σύγχρονου Φορτίου (SPE) ενός σήματος STS-1, μαζί φυσικά με την επιβάρυνση μονοπατιού (POH)
2. Τα σήματα STS-1 ευθυγραμμίζονται
3. Τα σήματα που προκύπτουν πολυπλέκονται
4. Προστίθεται η ολική επιβάρυνση μεταφοράς TOH

5. Το τελικό σήμα υπόκειται σε scrambling για τους ίδιους λόγους με το STS-1
6. Το ηλεκτρικό σήμα μετατρέπεται σε οπτικό

4.7.3. STS-Nc

Όπως προαναφέρθηκε αντί να πολυπλεχθούν τα STS-1 σήματα μεταξύ τους υπάρχει η δυνατότητα του συνδυασμού τους. Σε αυτήν την περίπτωση προκύπτει το Συνδεδεμένο Σήμα Σύγχρονης Μεταφοράς (STS-Nc). Η κύρια διαφορά με το STS-N είναι ότι το SPE μεταδίδεται σαν μια ενιαία οντότητα και όχι ως N ξεχωριστά σήματα. Έτσι απαιτείται ένα μόνο σύνολο από επιβαρύνσεις μονοπατιού (POH), το οποίο βρίσκεται πριν από το πρώτο STS-1 από τα σήματα που συνδυάζονται. Η δομή ενός τέτοιου πλαισίου φαίνεται στο Σχήμα 65.



Σχήμα 65. Δομή πλαισίου STS-Nc

4.7.4. Virtual Tributaries

Όπως φάνηκε στην προηγούμενη παράγραφο στην περίπτωση εξυπηρέτησης υπηρεσιών με ανάγκες σε εύρος ζώνης μεγαλύτερο από αυτές που προσφέρει το STS-1 μπορούμε να συνδυάσουμε πολλά σήματα STS-1 και να σχηματίσουμε σήματα STS-N που λύνουν το πρόβλημα.

Από την άλλη μεριά όμως, υπάρχει η περίπτωση υπηρεσίας που απαιτεί ρυθμούς εξυπηρέτησης χαμηλότερους από αυτόν που αντιστοιχεί στο DS3. Στις περιπτώσεις αυτές ο Φάκελος Σύγχρονου Φορτίου (SPE) ενός πλαισίου STS-1 μπορεί να διαιρεθεί σε συνιστώσες χαμηλότερων ρυθμών. Αυτές οι συνιστώσες είναι ειδικές δομές που ονομάζονται «νοητές μερικές ροές» (VT-Virtual Tributary) και επιτρέπουν τη μεταφορά ωφέλιμων φορτίων, που είναι μικρότερα από το ωφέλιμο φορτίο του STS-1. Για παράδειγμα η νοητή ροή VT1.5 μπορεί να μεταφέρει σήμα 1,544 Mbps (T1).

4.7.5. SDH

Το πρότυπο που καθορίστηκε πρώτο αφορούσε το SONET. Στη συνέχεια ορίστηκε το SDH από τον ETSI και από την ITU-T. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος το SDH βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στο SONET και μάλιστα επεκτείνει κάποια στοιχεία του έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει διεθνές standard.

Παρά τη μεγάλη ομοιότητα υπάρχουν κάποιες διαφορές μεταξύ τους. Η πιο βασική είναι η διαφορά στον βασικό ρυθμό. Στο SDH ο ρυθμός αυτός είναι περίπου 150Mbps, ενώ στο SONET είναι 50Mbps. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται η συνένωση

(concatenation) τριών βασικών σημάτων STS-1 του SONET για να προκύψει το STM-1 του SDH.

Επίσης τα SONET και SDH διαφέρουν στο πλήθος και την πυκνότητα των ρυθμών μετάδοσης που υποστηρίζουν. Επειδή η τιμή του βασικού πλαισίου του SDH είναι 155,520 Mbps, με την πολυπλεξία π.χ. τεσσάρων καναλιών θα προκύψει ροή πληροφορίας με ρυθμό 622,080Mbps (STM-4) και αν πολυπλεχθούν 16, ο ρυθμός που θα προκύψει ισούται με 2488,320 (STM-16). Αντίθετα, στο SONET, που έχει βασικό ρυθμό ίσο με 51,840Mbps, ορίζεται πολυπλεξία τριών σημάτων με ρυθμό 155,520Mbps (STS-3) κλπ. όπως δείχνει ο Πίνακας 7.

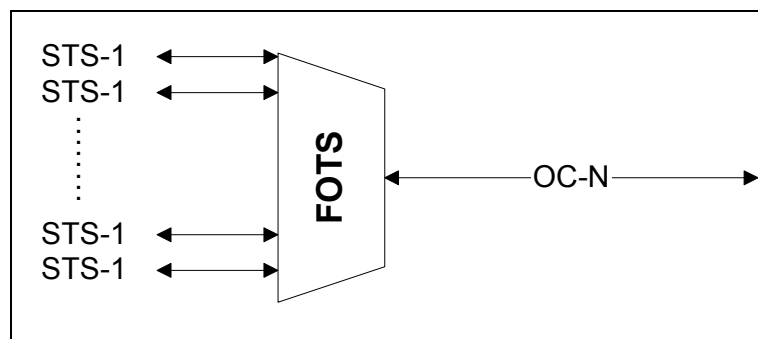
Επίσης, όσον αφορά το πλαίσιο μετάδοσης, το πλαίσιο του SONET μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι το ένα τρίτο του SDH. Το πλαίσιο του SDH αποτελείται από 9 γραμμές των 270 bytes, ενώ του SONET από 9 γραμμές των 90 bytes. Παρόμοιες αναλογίες υπάρχουν και για την επικεφαλίδα.

Επειδή στο SDH ορίζεται πολύ υψηλός βασικός ρυθμός, υπάρχει μια μεγαλύτερη δυσκολία για τη μεταφορά των σημάτων μικρότερου ρυθμού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα στα δίκτυα SONET, να ορίζονται ως ρεύματα μικρότερου ρυθμού μόνο τα VT (Virtual Tributaries). Αντίθετα στο SDH ορίζονται τα C (container), VC (virtual container), TU (tributary unit), TUG (tributary unit group), AU (administrative unit), AUG (administrative unit group).

Τέλος, μια ακόμη διαφορά βρίσκεται στο τρόπο με τον οποίο ορίζεται η διαστρωμάτωση στα δύο δίκτυα. Στα δίκτυα SDH τα πρώτα επίπεδα ονομάζονται επίπεδο του φυσικού μέσου (physical medium), τμήμα αναγεννητή (regenerator section), τμήμα πολυπλεξίας (multiplexer section) και επίπεδο μονοπατιού. Αντίθετα στο SONET, τα επίπεδα αυτά ονομάζονται επίπεδα photonic, τμήματος (section), γραμμής (line) και μονοπατιού (path).

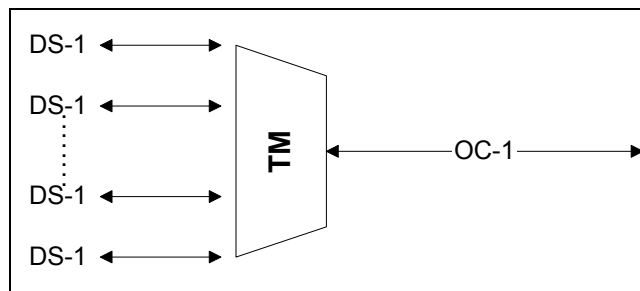
4.7.6. Συσκευές δικτύων SONET

- **Συστήματα μετατροπής ηλεκτρικού σε οπτικό σήμα (FOTS – Fiber Optic Transmission Systems):** Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή N ηλεκτρικών σημάτων STS-1 σε ένα ηλεκτρικό σήμα STS-N και στη συνέχεια με τα κατάλληλα κυκλώματα μετατρέπουν αυτό το σήμα σε οπτικό σήμα OC-N. Σε ένα τέτοιο σύστημα εκτός από σήματα STS-1 μπορούν να τερματίσουν και σήματα DS3.



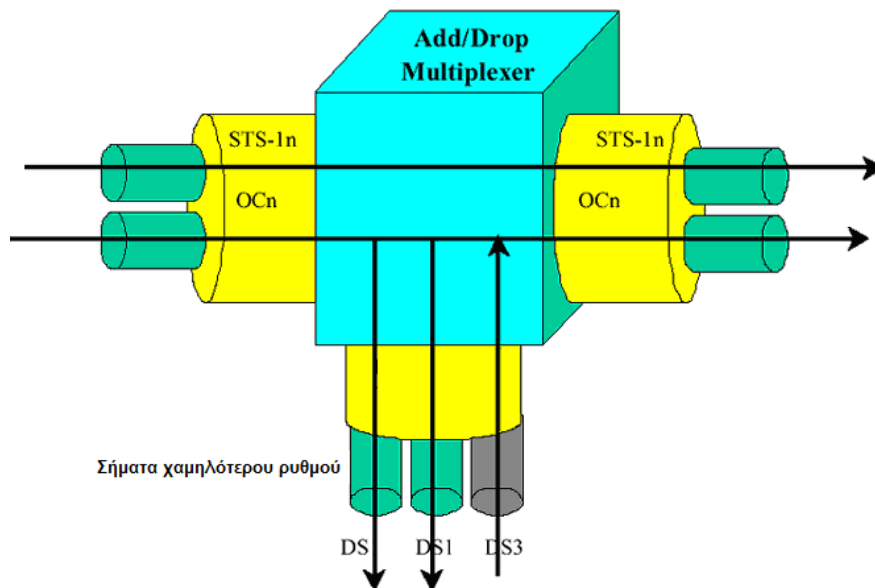
Σχήμα 66. Μετατροπέας ηλεκτρικού (STS) σε οπτικό σήμα (OC)

- **Τερματικοί Πολυπλέκτες (TM – Terminal Multiplexers):** Οι τερματικοί πολυπλέκτες (TM) τοποθετούνται στην αρχή μιας γραμμής και χρησιμοποιούνται για να κατασκευαστεί ένα σήμα STS-1 από ένα σύνολο 28 σημάτων DS1. Συνήθως διαθέτουν και κυκλώματα μετατροπής ηλεκτρικού σήματος σε οπτικό και μετατρέπουν το ηλεκτρικό σήμα STS-1 σε οπτικό σήμα OC-1. Λειτουργούν επίσης και σαν αποπολυπλέκτες, οπότε και εκτελούν την αντίστροφη διαδικασία λαμβάνοντας σαν είσοδο ένα σήμα OC-1 (ή STS-1) και δίνοντας στην έξοδο τα σήματα μικρότερης ταχύτητας. Υπάρχουν επίσης και TM τα οποία δέχονται σαν είσοδο 84 σήματα DS-1 και δημιουργούν στην έξοδο ένα σήμα OC-3.



Σχήμα 67. Ένας τερματικός πολυπλέκτης

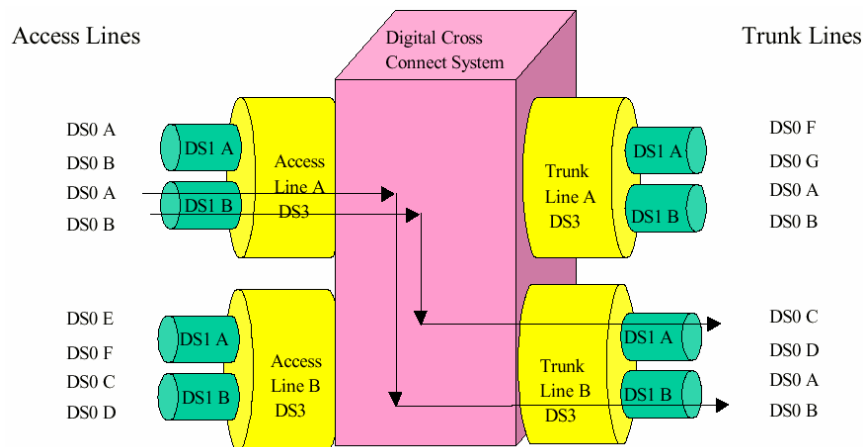
- **Πολυπλέκτες εισαγωγής-απομάστευσης (ADM – Add-Drop Multiplexers):** Οι πολυπλέκτες αυτοί, σε αντίθεση με τους TM, μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου και παρέχουν τη δυνατότητα άμεσης εισαγωγής σε ένα σήμα STS ενός ή περισσοτέρων σημάτων DS χαμηλότερου ρυθμού. Λειτουργούν επίσης και σαν αποπολυπλέκτες οπότε και δίνουν τη δυνατότητα για άμεση εξαγωγή από ένα σήμα STS του σήματος χαμηλότερου ρυθμού, χωρίς να χρειάζονται διαδοχικές αποπολυπλεξίες. Αυτό γίνεται γιατί τα σήματα χαμηλότερης ταχύτητας είναι άμεσα διακριτά στα σήματα των δικτύων SONET.



Σχήμα 68. Πολυπλέκτης εισαγωγής - απομάστευσης

- **Wideband συστήματα ψηφιακής διασύνδεσης (WDCS – Wideband Digital Cross-connect Systems):** Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν το switching της κυκλοφορίας που υπάρχει σε ένα SONET δίκτυο στο επίπεδο των ρευμάτων που

περιέχονται στα VTs ενός STS σήματος. Αυτό προσφέρει το πλεονέκτημα ότι το switching της πληροφορίας γίνεται πολύ απλούστερα και χωρίς διαδικασίες πολυπλεξίας και αποπολυπλεξίας που ήταν απαραίτητες πριν την εισαγωγή της ιεραρχίας SONET.



Σχήμα 69. Ένα WDCS σύστημα

Ένα WDCS συνήθως διαχειρίζεται κυκλοφορία στην κλίμακα από 1,5 Mbps έως και 50Mbps, δηλαδή διαχειρίζεται ρεύματα μικρότερης τάξης από STS-1. Στο φαίνεται ένα WDCS το οποίο δέχεται σαν εισόδους DS-3 σήματα και κάνει switching των επιμέρους DS-1 σημάτων για να δημιουργήσει στην έξοδο διαφορετικά σήματα DS-3.

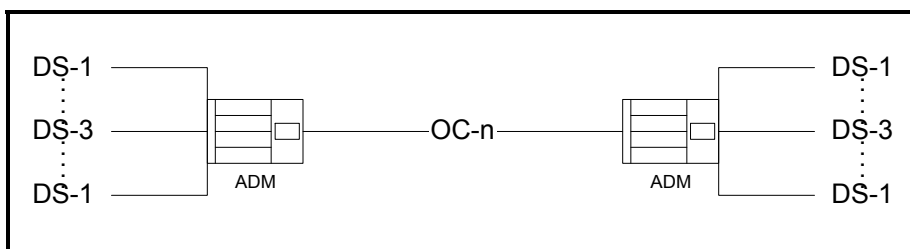
- **Broadband συστήματα ψηφιακής διασύνδεσης (BDCS – Broadband Digital Cross-connect Systems):** Τα συστήματα αυτά εκτελούν πάλι διαδικασίες switching, αλλά σε αντίθεση με τα WDCSs εδώ το switching γίνεται σε σήματα με ρυθμούς της τάξης από 50Mbps έως 600Mbps. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται για να συγκεντρώνεται η κίνηση από πολλά μέρη και να μεταδίδεται με καλωδιώσεις που υποστηρίζουν μεγάλες ταχύτητες μεταφοράς, μειώνοντας έτσι το απαιτούμενο κόστος καλωδίωσης. Παράλληλα επιτυγχάνεται και μείωση του κόστους στην περίπτωση όπου μεταφέρονται ταυτόχρονα πολλά σήματα STS πάνω από τον ίδιο φυσικό φορέα, καθώς το κόστος πολυπλεξίας και αποπολυπλεξίας είναι μικρό σε συστήματα SONET.

4.7.7. Τοπολογίες οπτικών δικτύων SDH/SONET

Τα δίκτυα τα οποία βασίζονται σε τεχνολογίες SONET είναι δυνατό να κατασκευαστούν με διάφορες τοπολογίες έτσι ώστε να εξυπηρετούνται όσο το δυνατόν καλύτερα οι απαιτήσεις που έχουμε από το δίκτυο (σε αξιοπιστία, bandwidth κλπ.), ικανοποιώντας ταυτόχρονα και τους περιορισμούς που τίθενται, κυρίως σε θέματα κόστους.

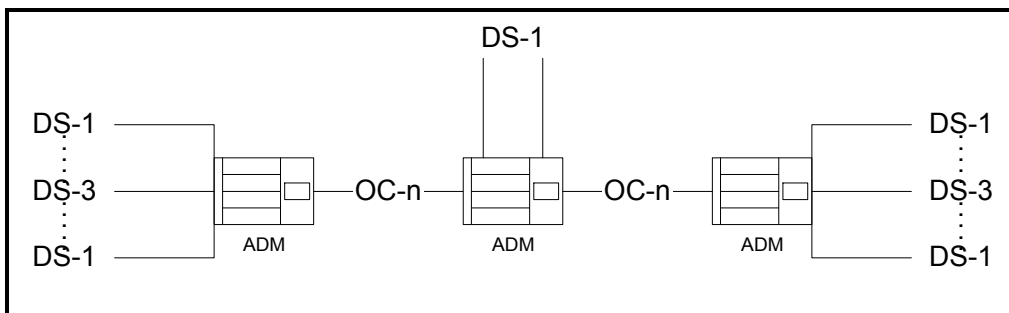
- **Σύνδεση σημείο σε σημείο (Point-to-point):** Οι συνδέσεις αυτού του τύπου είναι οι απλούστερες και οι πρώτες που υπήρξαν. Σε αυτή την τοπολογία έχουμε τερματιστές στα άκρα κάθε οπτικής ίνας, οι οποίοι μπορεί να είναι είτε TM είτε ADM. Σε αυτά τα σημεία φτάνουν σήματα χαμηλότερου ρυθμού και δημιουργούν οπτικά σήματα OC-1, OC-2 και OC-3, στις περισσότερες των περιπτώσεων. Η συνδεσμολογία αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για συνδέσεις μεταξύ σημείων τα

οποία θεωρούνται «κομβικά» στο δίκτυο και ανταλλάσσουν μεγάλο όγκο δεδομένων. Τα μόνα στοιχεία που χρειάζονται για τη δημιουργία της σύνδεσης είναι η φυσική σύνδεση με τη μορφή οπτικής ίνας καθώς και δύο τερματιστές-πολυπλέκτες. Η αξιοπιστία της σύνδεσης μπορεί να αυξηθεί αν μεταξύ των δύο σημείων τοποθετηθεί άλλη μία σύνδεση που να περνά από διαφορετική φυσική τοποθεσία σε σχέση με την πρώτη (backup γραμμή). Σε περιπτώσεις πολλαπλών κόμβων, η υλοποίηση όλων των συνδέσεων μεταξύ των κόμβων με τέτοιου είδους συνδέσεις προσφέρει το μεγαλύτερο βαθμό αξιοπιστίας, αλλά το κόστος και η πολυπλοκότητα της υλοποίησης αυξάνεται με τον αριθμό των κόμβων.



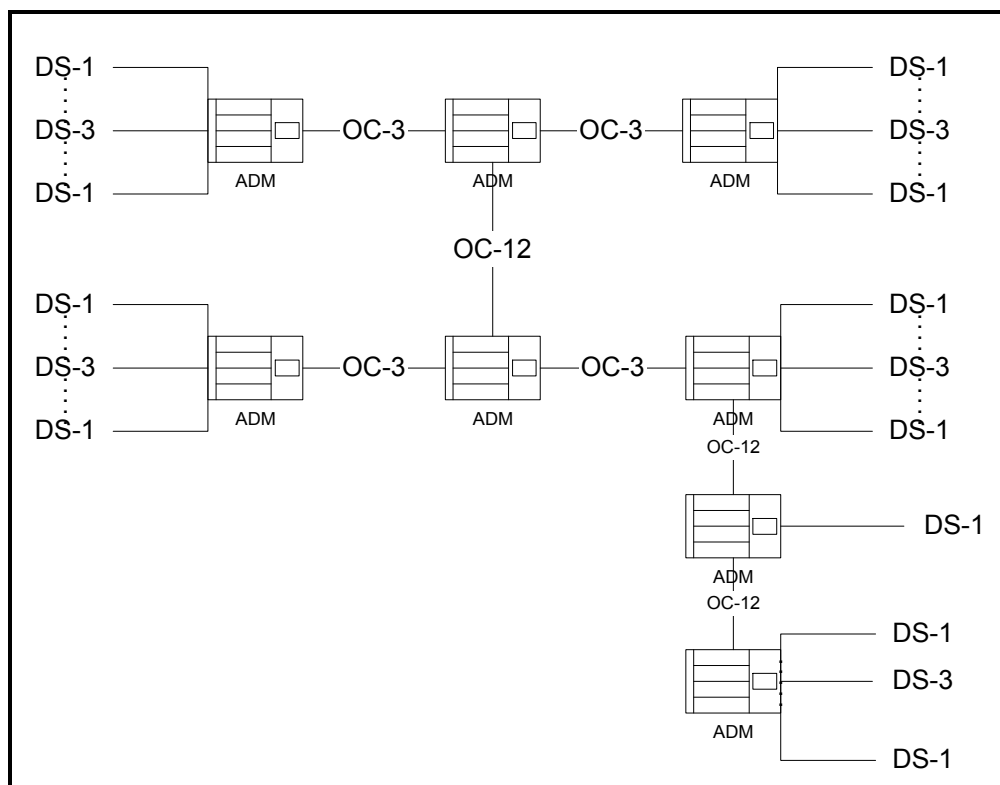
Σχήμα 70. Σύνδεση σημείο σε σημείο

- Δίκτυα εισαγωγής-απομάστευσης γραμμικής τοπολογίας:** Τα δίκτυα αυτά έχουν γραμμική τοπολογία και χρησιμοποιούν ADM όχι μόνο στα άκρα των οπτικών ινών (ως τερματιστές), αλλά χρησιμοποιούνται επίσης και στο ενδιάμεσο της γραμμής ώστε να είναι δυνατή η άμεση εισαγωγή αλλά και η άμεση απομάστευση σημάτων τα οποία περιέχονται στα VTs του STS πλαισίου. Η τοπολογία αυτή επιτρέπει τη συγκέντρωση και διανομή ρευμάτων χαμηλού ρυθμού ανάμεσα στα διάφορα σημεία του δικτύου, χωρίς να χρειάζεται να αποκατασταθεί απευθείας σύνδεση μεταξύ των δύο σημείων. Έχουμε δηλαδή ένα δίκτυο στο οποίο εκμεταλλευόμαστε τις δυνατότητες που μας δίνουν τα δίκτυα SONET να εισάγουμε και να εξάγουμε άμεσα σήματα χαμηλού ρυθμού από τα πλαίσια STS-N, χωρίς διαδικασίες διαδοχικών πολυπλεξιών και αποπολυπλεξιών που κοστίζουν σε ταχύτητα, αλλά και σε κόστος συσκευών.



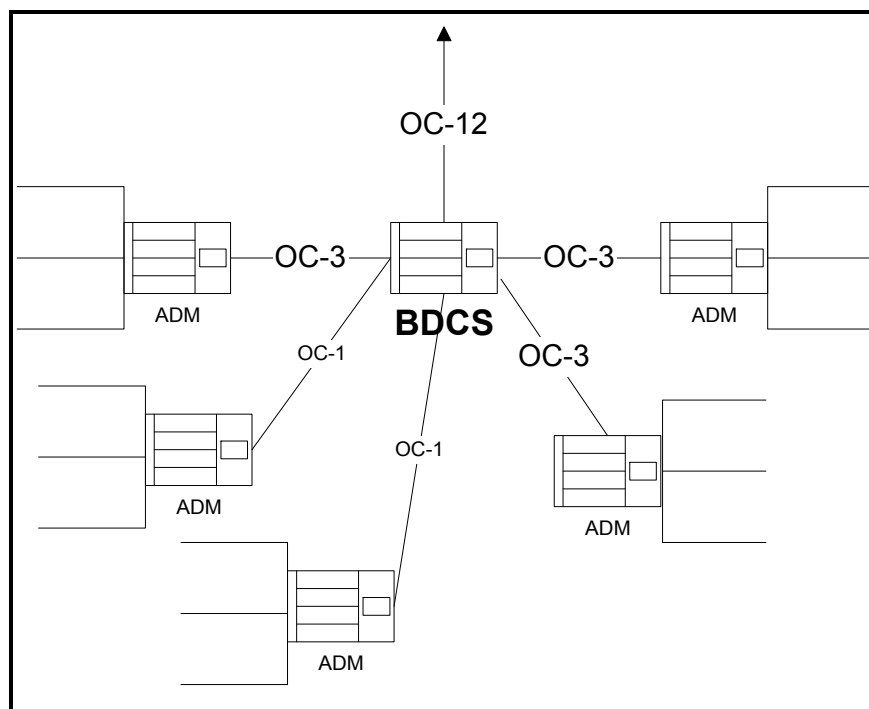
Σχήμα 71. Δίκτυο εισαγωγής-απομάστευσης γραμμικής τοπολογίας

- Δίκτυα εισαγωγής-απομάστευσης δενδρικής τοπολογίας:** Τα δίκτυα αυτά έχουν την ίδια φιλοσοφία με αυτά της προηγούμενης περίπτωσης, μόνο που εδώ μπορούμε να δημιουργήσουμε «ομάδες» οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με links χωρητικότητας τέτοιας ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις, χωρίς να χρειάζεται όμως να τοποθετηθούν links υψηλής ταχύτητας σε όλα τα σημεία της υποδομής.



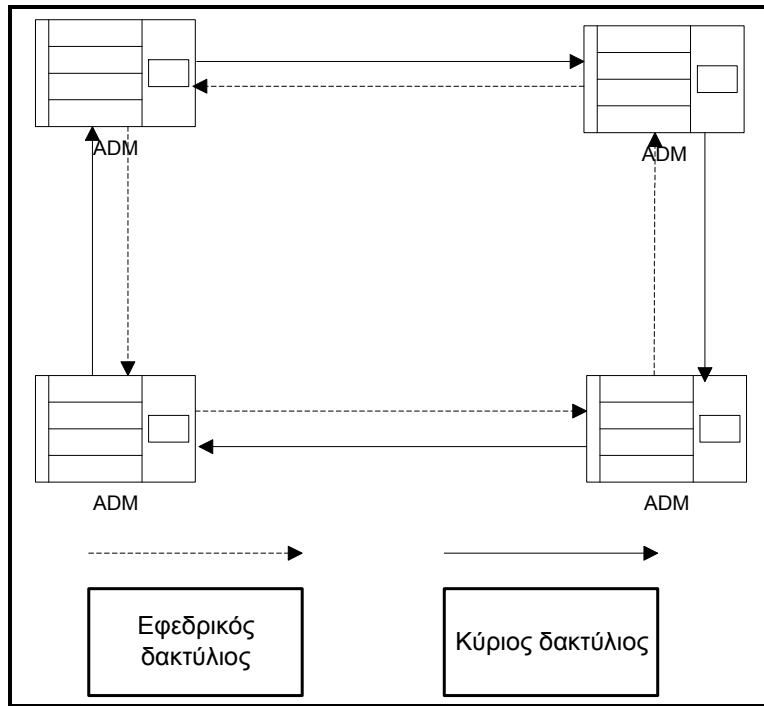
Σχήμα 72. Δίκτυο εισαγωγής-απομάστευσης δενδρικής τοπολογίας

- Δίκτυα βασισμένα σε hub:** Στα δίκτυα αυτά έχουμε ένα κεντρικό σημείο στο οποίο συγκεντρώνεται η κυκλοφορία από πολλά περιφερειακά σημεία. Από το κεντρικό αυτό σημείο η κυκλοφορία μπορεί να μεταφερθεί μέσω μιας άλλης σύνδεσης σε κάποιο άλλο κομβικό σημείο του δικτύου. Αυτή η τοπολογία μοιάζει με τα δίκτυα εισαγωγής-απομάστευσης δενδρικής τοπολογίας, αλλά εδώ οι συνδέσεις μεταξύ του κεντρικού σημείου και των περιφερειακών κόμβων είναι point-to-point και δεν παρεμβάλλονται ADM στην γραμμή για να εισάγουν ή να εξάγουν κάποια άλλα σήματα. Με την τοπολογία αυτή μειώνουμε τον απαιτούμενο εξοπλισμό για την δημιουργία ενός δικτύου που διασυνδέει πολλαπλά σημεία. Συνήθως ο κεντρικός κόμβος αποτελείται από ένα WDSC ή ένα BDCS (ανάλογα με τις ταχύτητες διασύνδεσης με τα περιφερειακά σημεία του δικτύου) και χρησιμοποιείται για να μετακινεί την πληροφορία ανάμεσα στα περιφερειακά σημεία καθώς και (όταν υπάρχει τέτοια σύνδεση) προς τα κεντρικότερα σημεία του δικτύου.



Σχήμα 73. Δίκτυο βασισμένα σε hub

- **Δίκτυα τοπολογίας δακτυλίου αυτόματης επιδιόρθωσης:** Η τεχνολογία SONET διευκολύνει τη δημιουργία δακτυλίων οι οποίοι προσφέρουν ταυτόχρονα και πολύ καλές επιδόσεις και αποδεκτό λειτουργικό κόστος. Οι οπτικοί δακτύλιοι που βασίζονται στο SONET αποτελούνται από κόμβους οι οποίοι είναι ADM δίνοντας έτσι δυνατότητες εισαγωγής και απομάστευσης κίνησης προς και από τον οπτικό δακτύλιο αντίστοιχα. Επίσης μία τέτοια τοπολογία δίνει τη δυνατότητα γρήγορης και απλής επικοινωνίας των κόμβων που είναι συνδεδεμένοι πάνω στο δακτύλιο. Σχεδόν όλες οι τοπολογίες δακτυλίου στα δίκτυα SONET είναι δακτύλιοι αυτόματης επιδιόρθωσης και χρησιμοποιούν την τεχνική «αυτόματη προστασία δακτυλίου» (APS - Automatic Protection Switching) η οποία δίνει αυξημένες ικανότητες προστασίας του δακτυλίου από βλάβες οποιουδήποτε είδους. Οι πιο συνηθισμένες βλάβες που μπορούν να συμβούν σε ένα οπτικό δακτύλιο είναι οι εξής:
 - Βλάβη στην οπτική ίνα (π.χ. κόψιμο)
 - Προβλήματα με την ακτίνα laser (βλάβη στον πομπό, ή μειωμένη ισχύς ακτίνας)
 - Βλάβη σε κόμβο του δακτυλίου



Σχήμα 74. Δίκτυο τοπολογίας δακτυλίου αυτόματης επιδιόρθωσης

Η τεχνολογία αυτόματης προστασίας δακτυλίου απαιτεί όλοι οι κόμβοι που συνδέονται στο δακτύλιο να συνδέονται με κάθε γείτονά τους με δύο οπτικές ίνες. Η δεύτερη οπτική ίνα χρησιμοποιείται σε περίπτωση βλάβης στον δακτύλιο. Η δεύτερη οπτική ίνα είναι ενεργή και κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας του δακτυλίου και ο κάθε κόμβος αποφασίζει ποια από τις δύο θα χρησιμοποιήσει βασιζόμενος σε έναν εσωτερικό αλγόριθμο (π.χ. ανάλογα με το ποια οπτική ίνα εγκαταστάθηκε πρώτη στον πολυπλέκτη). Η μεταγωγή στην εφεδρική ίνα γίνεται μέσα σε 60ms από τότε που θα διαγνωστεί βλάβη στον δακτύλιο.

4.8. WDM ΔΙΚΤΥΩΣΗ

Η ενότητα αυτή παρουσιάζει την τεχνική με την οποία συνδυάζεται η τεχνολογία WDM με αρχιτεκτονικές δικτύου υψηλότερων επιπέδων ώστε να καταστεί δυνατή η χρήση των μεγάλων ρυθμών μετάδοσης. Αυτή η «συνεργασία» του WDM με τις αρχιτεκτονικές υψηλότερων επιπέδων δημιουργεί προβλήματα λόγω της μεγάλης πολυπλοκότητας που χαρακτηρίζει τα οπτικά δίκτυα. Τα προβλήματα αυτά συνίστανται κυρίως στο μεγάλο κόστος υλοποίησης και στην δυσκολία επέκτασης ενός οπτικού δικτύου.

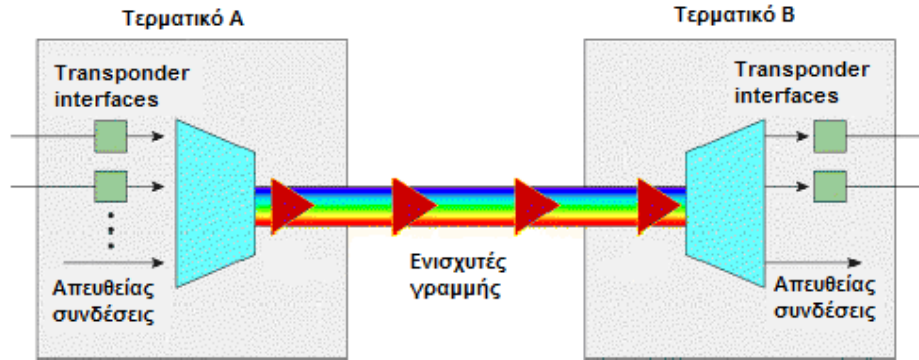
Η χρήση της οπτικής μετάδοσης σε backbone δίκτυα στα οποία συνδέονται πελάτες με διαφορετικές ανάγκες σε ταχύτητες πρόσβασης και διαφορετικού τύπου εξοπλισμό ήταν ένας από τους λόγους που οδήγησαν στην δημιουργία προτύπων περιγραφής του τρόπου μεταφοράς δεδομένων πάνω από ένα οπτικό δίκτυο και κυρίως του τρόπου διασύνδεσης πάνω σε ένα οπτικό δίκτυο. Έτσι δημιουργήθηκαν οι αρχιτεκτονικές SONET και SDH που καθορίζουν πρότυπα για τους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων πάνω από οπτικά δίκτυα καθώς και τους τρόπους ομαδοποίησης και μετάδοσης των δεδομένων σε πλαίσια.

Πριν την εφαρμογή του WDM, οι αρχιτεκτονικές SONET/SDH υπέθεταν ότι η μετάδοση των δεδομένων γίνεται με χρήση ενός μόνο μήκους κύματος πάνω από μια οπτική ίνα. Τα πρότυπά τους όμως μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς αλλαγές και για μετάδοση πάνω από ένα σύστημα WDM. Ουσιαστικά οι αρχιτεκτονικές SONET/SDH αποτελούν ένα επίπεδο που βρίσκεται πάνω από το επίπεδο των οπτικών ινών και του ακριβούς τρόπου μετάδοσης του οπτικού σήματος μέσα από αυτές. Παρόλα αυτά όμως τον τελευταίο καιρό αρχίζει μια έντονη αμφισβήτηση της χρησιμότητας ύπαρξης του επιπέδου SONET/SDH η οποία έχει οδηγήσει στην υλοποίηση συστημάτων WDM που δεν απαιτούν την ύπαρξη συστήματος SONET/SDH για την παροχή υπηρεσιών σε αρχιτεκτονικές υψηλότερων επιπέδων.

4.8.1. Η τεχνολογία «IP over SONET/SDH» και «IP over SONET/SDH over WDM»

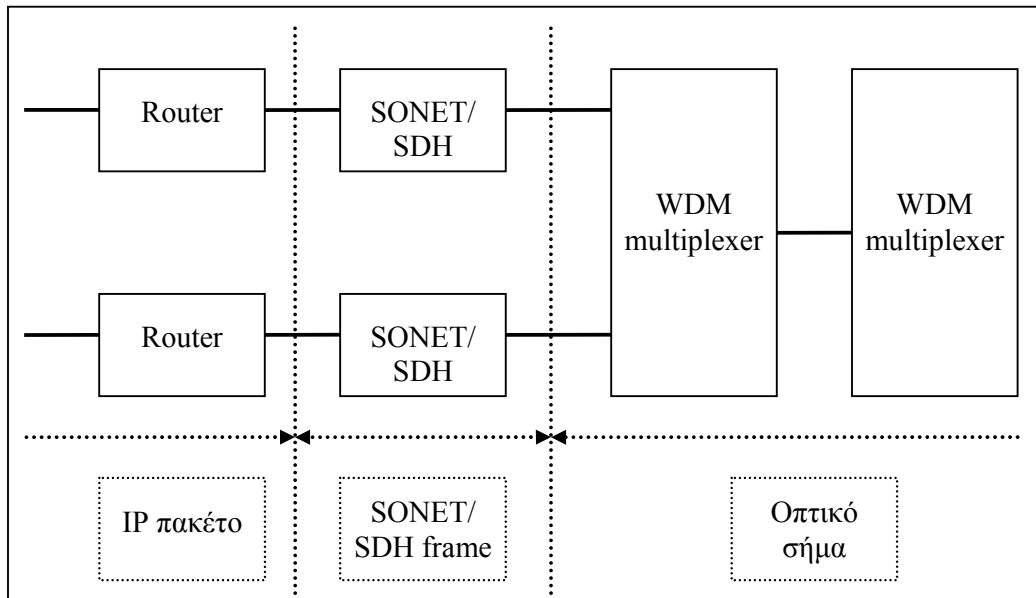
Ο όρος «IP over SONET/SDH», ή αλλιώς «Packet over SONET/SDH», αναφέρεται ουσιαστικά στην προσθήκη SONET/SDH διασυνδέσεων με κάποιον δρομολογητή που αποτελεί τερματικό στοιχείο για τη διακίνηση δεδομένων μέσω του πρωτοκόλλου από-σημείο-σε-σημείο (Point-to-Point Protocol-PPP). Το πρωτόκολλο PPP αποτελεί το ευρύτερα αποδεκτό πρωτόκολλο μορφοποίησης για την κυκλοφορία δεδομένων στο διαδίκτυο (Internet Protocol-IP traffic). Στην πραγματικότητα, η IP κυκλοφορία μέσω ενός SONET/SDH δρομολογητή προσομοιάζεται ως μια σειριακή ροή δεδομένων (datastream) που μετακινείται κατά μήκος του δικτύου, χρησιμοποιώντας το PPP πρωτόκολλο για τις λειτουργίες μορφοποίησης και συμπίκνωσής της. Αυτές οι ροές δεδομένων χαρτογραφούνται σε καθορισμένα STS πλαίσια, όπως προβλέπεται από το RFC 1619. Τα πλαίσια μπορούν να έχουν τυπικό ρυθμό μετάδοσης OC-3/STM-1, OC-12/STM-4 και OC-48/STM-16. Σε κάθε κόμβο του δικτύου το IP πακέτο δεδομένων απομονώνεται από το PPP πλαίσιό του, εξετάζεται η διεύθυνση προορισμού του και τελικά αυτό εντάσσεται σε ένα νέο PPP πλαίσιο για να συνεχιστεί η μεταφορά του. Τα βασικά πλεονεκτήματα που προσέφερε η τεχνολογία “IP over SONET/SDH” συνοψίζονται στα εξής

- Η αποτελεσματική από-σημείο-σε-σημείο μεταφορά της IP κυκλοφορίας.
- Η πρόβλεψη σχετικά υψηλών ευρών ζώνης για την παροχή μη διαφοροποιημένων υπηρεσιών (nondifferentiated services). Ωστόσο, κατά τα τελευταία χρόνια, η αύξηση της κυκλοφορίας δεδομένων στο διαδίκτυο είναι εκρηκτική. Κάθε χρόνο ο όγκος της διακινουμένης πληροφορίας υπερδιπλασιάζεται και αυτό αναμένεται να διατηρηθεί και κατά τα επόμενα έτη.



Σχήμα 75. Η αρχή λειτουργίας του transponder

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της έλλειψης εύρους ζώνης, κρίθηκε αναγκαία η ενσωμάτωση της τεχνολογίας πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος (WDM) στην υπάρχουσα «IP over SONET/SDH» τεχνολογία. Έτσι, προέκυψε μια νέα βελτιωμένη μέθοδος μετάδοσης IP δεδομένων η οποία αναφέρεται ως «IP over SONET/SDH over WDM». Σε ένα τέτοιο σύστημα, καθοριστικό ρόλο έχει μια εξειδικευμένη διάταξη εκπομπής (transponder - Σχήμα 75), η οποία αναλαμβάνει τη μετατροπή του συμβατού με το πρότυπο SONET/SDH οπτικού σήματος, που περιέχει τις πληροφορίες του IP πακέτου, σε ηλεκτρικό σήμα.



Σχήμα 76. IP over SONET/SDH over WDM

Αυτό το ηλεκτρικό σήμα χρησιμοποιείται ως οδηγός μιας «WDM laser διάταξης», η οποία είναι εξαιρετικής ακρίβειας και λειτουργεί σε περιοχή μήκους κύματος γύρω από τα 1550nm. Ένα σύστημα «IP over SONET/SDH over WDM» (Σχήμα 76) περιλαμβάνει πολλές διατάξεις τύπου transponder, καθεμιά από τις οποίες μετατρέπει τις πληροφορίες του πακέτου που δέχεται σε ένα ελαφρώς διαφορετικό μήκος κύματος. Στη συνέχεια, τα μήκη κύματος όλων των transponders του συστήματος πολυπλέκονται οπτικά και μεταφέρονται διαμέσου της οπτικής ίνας. Στο άκρο λήψης, λαμβάνει χώρα η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή τα μήκη κύματος διαχωρίζονται (διαδικασία οπτικής αποπολύπλεξης) και καθένα από αυτά τροφοδοτείται σε έναν

transponder. Έτσι, το σήμα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό και μέσω μιας προτυποποιημένης SONET/SDH διασύνδεσης, τα IP πακέτα αποκαλύπτονται.

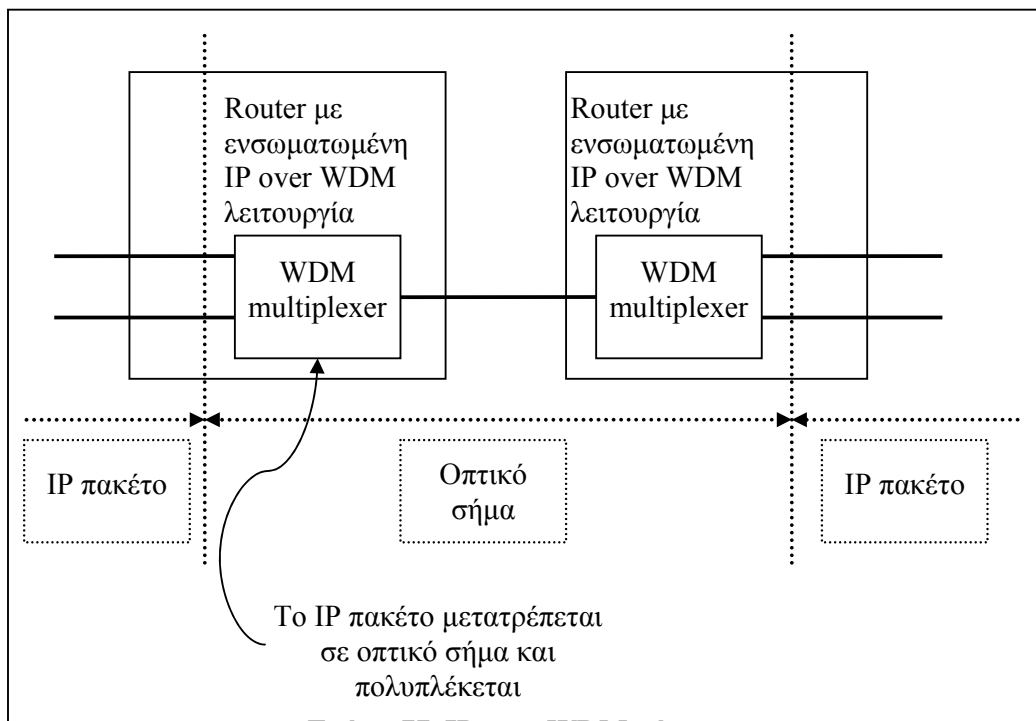
Η προσθήκη της WDM τεχνολογίας στα τυπικά «IP over SONET» συστήματα προσφέρει μια σειρά από σημαντικότερα πλεονεκτήματα όπως:

- Η αύξηση της χωρητικότητας της υπάρχουσας οπτικής ίνας, δίχως να απαιτείται η εγκατάσταση επιπλέον οπτικών ινών.
- Η αντικατάσταση των ηλεκτρικών αναγεννητών (electrical regenerators), που αποτελούν διατάξεις υψηλού κόστους και είναι πολύπλοκες, με αυτές των οπτικών ενισχυτών (optical amplifiers). Έτσι, δεν απαιτείται η πρότερη μετατροπή του σήματος σε ηλεκτρικό προκειμένου να ενισχυθεί ενώ όλα τα κανάλια ενισχύονται ταυτόχρονα. Επιπλέον, οι οπτικοί ενισχυτές τοποθετούνται κάθε περίπου 1000 km, σε αντίθεση με τους ηλεκτρικούς αναγεννητές του «IP over SONET» συστήματος που τοποθετούνται κάθε 60-100km.
- Η διαδικασία προσθήκης νέων καναλιών στο δίκτυο απλοποιείται σημαντικά. Η μοναδική απαίτηση είναι η εγκατάσταση του κατάλληλου αριθμού transponders στο σύστημα, στα δύο άκρα του WDM υποσυστήματος. Οι οπτικοί ενισχυτές αναλαμβάνουν την ενίσχυση των επιπλέον καναλιών, ταυτόχρονα με τα προϋπάρχοντα, δίχως την απαίτηση επιπλέον αναγεννητών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα προαναφερθέντα οφέλη για τα WAN δίκτυα υποσκελίζουν, σχεδόν πάντοτε, σε μεγάλο βαθμό το κόστος εγκατάστασης του WDM υποσυστήματος στο υπάρχον «IP over SONET» σύστημα και για αυτό το λόγο η συντριπτική πλειοψηφία των δικτύων αυτής της κατηγορίας έχει ενσωματώσει την τεχνολογία της πολύπλεξης στο πεδίο του μήκους κύματος.

4.8.2. Η τεχνολογία IP over WDM

Η τεχνολογία μεταφοράς IP πακέτων απευθείας μέσω του WDM οπτικού επιπέδου (IP over WDM), δίχως τη μεσολάβηση κάποιου ενδιάμεσου επιπέδου, αποτελεί τη μελλοντική δικτυακή υλοποίηση που θα εξασφαλίσει την ύπαρξη ενός ουσιαστικά απεριόριστου εύρους ζώνης. Η τεχνολογία αυτή, προχωρώντας ένα βήμα παραπέρα σε σχέση με την IP over SONET/SDH over WDM υλοποίηση και προβλέπει την εξολοκλήρου απαλοιφή του παραδοσιακού SONET/SDH στρώματος. Έτσι, τα IP πακέτα δεδομένων μετατρέπονται απευθείας σε οπτικό σήμα και ακολουθεί η διαδικασία της πολύπλεξης στο πεδίο του μήκους κύματος. Όπως γίνεται αντιληπτό, η απουσία της ενδιάμεσης μετατροπής των πακέτων σε προτυποποιημένα SONET/SDH πλαίσια απλοποιεί σημαντικά τη διαδικασία. Σημαντικό ρόλο για την επίτευξη μιας τέτοιας υλοποίησης, με τον απλούστερο δυνατό τρόπο, αποτελεί η ύπαρξη ενός καινοτόμου δρομολογητή που θα ενσωματώνει ορισμένες βασικές WDM λειτουργίες.



Σχήμα 77. IP over WDM σύστημα

Το σημείο-κλειδί που θα επιτρέψει την αποτελεσματική λειτουργία και την πλήρη εκμετάλλευση των σημαντικών δυνατοτήτων ενός IP over WDM δικτύου είναι ο ξεκάθαρος ορισμός των υπηρεσιών και της λειτουργικότητας που καθένα από τα IP και WDM στρώματα θα προσφέρουν. Είναι σημαντικό να μην υπάρχει σύγκρουση αλλά συμπληρωματικότητα μεταξύ των δύο αυτών στρωμάτων. Ως παράδειγμα αναφέρονται τα θέματα της αλληλεπίδρασης μεταξύ της αναδιαμόρφωσης των οπτικών μονοπατιών και της IP δρομολόγησης ή της αλληλεπίδρασης μεταξύ της IP αποκατάστασης (IP restoration) και της προστασίας στο οπτικό επίπεδο. Επιπλέον, η διαμόρφωση του IP στρώματος θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η μέγιστη εκμετάλλευση των προσφερόμενων από το WDM στρώμα υπηρεσιών. Για παράδειγμα, εφόσον το IP στρώμα θα μπορούσε να παρέχει υπηρεσίες σε ότι αφορά στον τύπο της κυκλοφορίας και τις απαιτήσεις των πακέτων σε ποιότητα υπηρεσιών (QoS), τότε και το WDM στρώμα θα μπορούσε να δίνει τη δυνατότητα για κατά παίτηση οπτικά μονοπάτια (on-demand lightpaths) συγκεκριμένης υψηλού όγκου IP κυκλοφορίας. Η υλοποίηση ενός εξολοκλήρου οπτικού (all-optical) και από-άκρο-σε-άκρο WDM δικτύου έχει προσελκύσει σημαντικότερες ερευνητικές προσπάθειες καθώς πλέον έχουν αντιληφθεί τα σημαντικά πλεονεκτήματα της ολοκλήρωσης μιας τέτοιας υλοποίησης.

4.8.2.1. Η ολοκλήρωση των δύο στρωμάτων ενός IP over WDM δικτύου μέσω MPLS

Όπως είναι φυσικό, η αποδοτική λειτουργία μιας καινοτόμου υλοποίησης όπως η συγκεκριμένη εξαρτάται άμεσα από την ύπαρξη ενός ισχυρού και πλήρους πρωτοκόλλου που θα εξασφαλίζει την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών διευθυνσιοδότησης (addressing), σηματοδότησης (signaling) και δρομολόγησης (routing) του δικτύου. Το βέλτιστο πρωτόκολλο για την επίτευξη των διαδικασιών αυτών και την ολοκλήρωση των IP και WDM στρωμάτων θεωρείται το MPLS και

ειδικότερα η επέκταση αυτού στο οπτικό πεδίο που αναφέρεται ως «Πολλαπλό Πρωτόκολλο Μεταγωγής στο Πεδίο του Μήκους Κύματος» (Multi-Protocol Lambda Switching- MPLS). Τα δύο βασικά πλεονεκτήματα του πρωτοκόλλου αυτού έγκεινται αφενός στην αποτελεσματική διαχείριση της IP κυκλοφορίας όπως αυτή χρειάζεται στα δίκτυα πολλαπλών υπηρεσιών και αφετέρου αποτελεί το ειδικά σχεδιασμένο εργαλείο για τα WDM οπτικά δίκτυα. Αρχικά, όσον αφορά στη διαδικασία της διευθυνσιοδότησης, αυτή θα πρέπει να εγκαθιστά WDM οπτικά μονοπάτια μεταξύ των οπτικών στοιχείων διασύνδεσης (optical cross connects-OXCs) στα άκρα του δικτύου. Για την επικοινωνία μεταξύ του IP στρώματος με το WDM επίπεδο, είναι απαραίτητη η γνώση των διευθύνσεων εισόδου και εξόδου των οπτικών στοιχείων διασύνδεσης-OXCs. Ένας προφανής και σίγουρος τρόπος να γίνει αυτό, είναι η λειτουργία των OXCs ως συσκευών που μπορούν να δεχθούν κάποια IP διεύθυνση ενώ παράλληλα θα ενσωματώνουν μεγάλο αριθμό θυρών. Έτσι, ανατίθεται μια IP διεύθυνση σε κάθε OXC στοιχείο, ενώ η ταυτοποίηση των θυρών του καθενός επιτυγχάνεται με ιεραρχικό τρόπο –πρώτα μέσω της IP διεύθυνσης και στη συνέχεια μέσω του αύξοντα αριθμού της θύρας. Το δεύτερο πολύ σημαντικό ζήτημα στο επίπεδο ελέγχου, αυτό της σηματοδότησης (signaling), αναφέρεται στην εξεύρεση των πόρων του δικτύου που θα χρησιμοποιηθούν κάθε φορά. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των IP και WDM συσκευών του δικτύου καθώς και τη δημιουργία, απαλοιφή και τροποποίηση των μονοπατιών δρομολόγησης. Εξαιτίας των σημαντικών διαφοροποιήσεων μεταξύ των λειτουργιών σηματοδότησης στα δύο στρώματα, η ροή ελέγχου θα πρέπει να τερματίζεται σε κάθε OXC στοιχείο ώστε να προστίθεται ή εξάγεται η απαραίτητη πληροφορία ελέγχου. Ανάλογα με το μηχανισμό σηματοδότησης υπάρχουν τρία βασικά μοντέλα για την IP over WDM υλοποίηση:

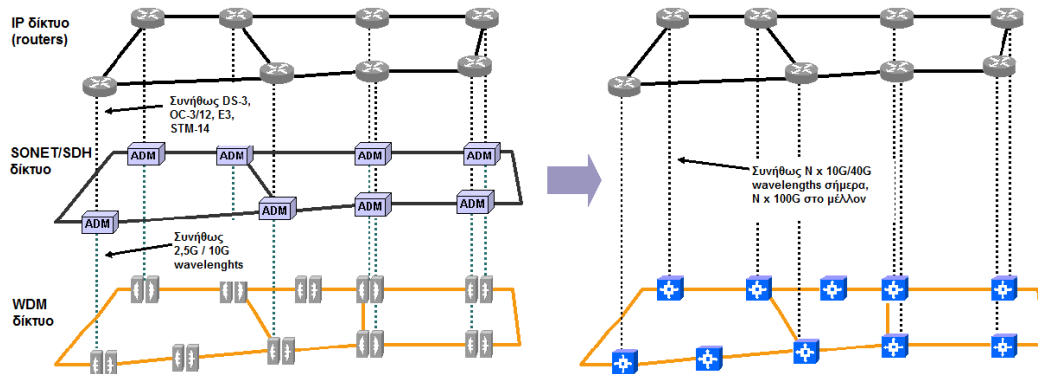
- Το μοντέλο Πελάτη-Διακομιστή (Client-Server model). Στην περίπτωση αυτή, το WDM στρώμα αντιμετωπίζεται ως ένα ξεχωριστό-ευφυές δικτυακό στρώμα. Τα επίπεδα ελέγχου στο οπτικό επίπεδο (διακομιστής) και στο επίπεδο του πελάτη λειτουργούν ανεξάρτητα, δίχως την ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης. Για τις υπηρεσίες του ανώτερου στρώματος (πελάτης), το οπτικό δίκτυο αποτελεί «μαύρο κουτί» με κάποιες διασυνδέσεις, μέσω των οποίων τα πρωτόκολλα του πελάτη απαιτούν κανάλια οπτικών μονοπατιών κυκλώματος μεταγωγής (circuit switched lightpath channels). Σημειώνεται ότι το μοντέλο αυτό προϋποθέτει ότι οι διεπιφάνειες χρήστη-δικτύου (User-to-Network Interface-UNI) και δικτύου-δικτύου (Network-to-Network Interface-NNI) είναι ξεχωριστές. Το κύριο πλεονέκτημα αυτού του μοντέλου είναι η ευκολία της εμπορικής εφαρμογής του. Ωστόσο, ο σχεδιασμός αυτός εισάγει μια σχετική πολυπλοκότητα στην προσπάθεια ολοκλήρωσης των δύο στρωμάτων, ενώ δεν είναι βελτιστοποιημένη ως προς τα λειτουργικά κόστη του δικτύου.
- Το ομότιμο μοντέλο (Peer-to-Peer model). Το μοντέλο αυτό αποτελεί μια IP-κεντρική WDM υλοποίηση, στην οποία τα OXC στοιχεία και οι δρομολογητές ετικετών μεταγωγής (label-switching routers) ανταλλάσσουν ελεύθερα πληροφορίες, εκτελώντας κοινά πρωτόκολλα δρομολόγησης και σηματοδότησης. Η αρχιτεκτονική αυτή διαιρείται σε δύο επίπεδα, το επίπεδο δεδομένων (data plane) και το επίπεδο απλού ενοποιημένου ελέγχου (single unified control plane). Επιπλέον, οι διεπιφάνειες χρήστη-δικτύου (UNI) και δικτύου-δικτύου δεν διαχωρίζονται. Ένα βασικό πλεονέκτημα αυτής της υλοποίησης έγκειται στην εξάλειψη της πολύπλοκης διαχείρισης υβριδικών διαδικτυακών συστημάτων. Επιπρόσθετα, παρέχεται η δυνατότητα ενός προσανατολισμένου στις υπηρεσίες

δικτυακού μοντέλου παράλληλα με την προσφορά μιας κλιμακούμενης και επιβιώσιμης αρχιτεκτονικής. Το μειονέκτημα εντοπίζεται στις δυσκολίες προτυποποίησης του συγκεκριμένου μοντέλου.

- Το επαυξημένο μοντέλο (Augmented model). Η υλοποίηση αυτή αποτελεί το ενδιάμεσο των δύο προηγούμενων. Έτσι, διατηρείται η ύπαρξη ξεχωριστών επιπέδων ελέγχου για τα στρώματα διακομιστή (WDM) και πελάτη (IP). Ωστόσο, επιτρέπεται η ελεγχόμενη ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης μεταξύ των δύο αυτών επιπέδων. Γενικά, επικρατεί η άποψη ότι το πρώτο βήμα προς την ολοκλήρωση της αμιγούς IP over WDM υλοποίησης θα είναι μέσω του μοντέλου Διακομιστή-Πελάτη. Το επόμενο στάδιο θα περιλαμβάνει το Επαυξημένο Μοντέλο και τελικά τα δίκτυα αυτής της τεχνολογίας θα καταλήξουν σε μια Ομότιμη Υλοποίηση.

Όσον αφορά στις εργασίες της δρομολόγησης, το MPLS πρωτόκολλο αρχικά υπολογίζει τα μονοπάτια εκείνα που ικανοποιούν καθορισμένες προδιαγραφές ικανοποιώντας ταυτόχρονα συγκεκριμένους περιορισμούς. Ειδικότερα, η υλοποίηση γίνεται μέσω της εκτέλεσης ενός αλγορίθμου επιλογής μονοπατιού (path-selection algorithm) από μια βάση δεδομένων κυκλοφορίας που περιέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για τη διαθεσιμότητα των πόρων του δικτύου, την τοπολογία των πόρων αυτών και τους περιορισμούς της απόδοσης κάθε μονοπατιού. Η δρομολόγηση μπορεί να είναι συγκεντρωμένη (centralized) ή κατανεμημένη (distributed). Πιο συγκεκριμένα, η συγκεντρωμένη μέθοδος απαιτεί τον υπολογισμό και την υλοποίηση των μονοπατιών στην ίδια περιοχή. Έτσι, απλοποιείται ο έλεγχος και γίνεται βέλτιστη χρήση των πόρων του δικτύου, δίχως ωστόσο να δίνεται η δυνατότητα καλής κλιμάκωσης μεγέθους. Από την άλλη, στην κατανεμημένη υλοποίηση η δρομολόγηση και ο έλεγχος πραγματοποιούνται σε κάθε διακόπτη ή δρομολογητή, εξασφαλίζοντας μεν καλή κλιμάκωση μεγέθους αλλά υπάρχει και το κόστος της ανταλλαγής μεγάλου όγκου πληροφορίας μεταξύ των κόμβων του δικτύου. Τέλος, το ζήτημα της επιβιωσιμότητας διαθέτει δύο σκέλη: το σκέλος της προστασίας (protection) και αυτό της αποκατάστασης (restoration). Ο πρώτος σχεδιασμός προστασίας περιλαμβάνει την ταυτόχρονη μετάδοση της κυκλοφορίας μέσω του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος μονοπατιού, με το σημείο λήψης να επιλέγει το σήμα με την υψηλότερη ποιότητα. Ένας δεύτερος σχεδιασμός χρησιμοποιεί το προκαθορισμένο δευτερεύον μονοπάτι για την κυκλοφορία χαμηλής προτεραιότητας έως ότου αυτό χρειαστεί για την προστασία του πρωτεύοντος. Στη διαδικασία της αποκατάστασης γίνεται αναδρομολόγηση (rerouting). Έτσι, υπολογίζεται μεν κάποιο δευτερεύον μονοπάτι, αλλά η εγκατάστασή του γίνεται μόνον αφότου το πρωτεύον μονοπάτι καταρρεύσει. Η διαδικασία της αποκατάστασης είναι γενικά πιο αργή.

4.8.3. Σύγκριση IP over WDM και IP over SONET/SDH over WDM τεχνολογίας



Σχήμα 78. Σύγκριση IP over SONET/SDH over WDM – IP over WDM

Η ενδεχόμενη απαλοιφή του SONET/SDH στρώματος από την όλη διαμόρφωση ενός οπτικού δικτύου θα μπορούσε να προσφέρει μια σειρά από σημαντικότερα πλεονεκτήματα όπως:

- Ευνοείται η ταχύτερη κλιμάκωση μεγέθους και ταυτόχρονα υπάρχει μεγάλη μείωση του κόστους υλοποίησης και λειτουργίας
- Περιορισμός σε υψηλό βαθμό του πλεονασμού που εισάγει η ύπαρξη του επιπλέον SONET/SDH στρώματος. Έτσι, παύει πλέον η αναγκαιότητα χρήσης ενός σοβαρού ποσοστού των πόρων του δικτύου που απορρέουν από τις μη βελτιστοποιημένες λειτουργίες διαχείρισης που διεξάγονται από το SONET/SDH στρώμα.
- Ο χαμηλός βαθμός πολυπλοκότητας της IP over WDM υλοποίησης. Μετά πλέον και τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις, πολλοί θεωρούν ότι το SONET/SDH επίπεδο παύει να προσφέρει λειτουργικότητα στο δίκτυο, γεγονός που έως τώρα αποτελούσε το βασικό πλεονέκτημά του.
- Ο υψηλός βαθμός ευελιξίας που προσφέρει η απλή υλοποίηση δύο στρωμάτων, για την υλοποίηση και διαχείριση δικτύων υψηλής χωρητικότητας.
- Παρέχεται η δυνατότητα προσφοράς νέων υπηρεσιών προς τους χρήστες-πελάτες του δικτύου, μέσα σε ένα περιβάλλον αυξανόμενης κυκλοφορίας IP δεδομένων (bandwidth on demand με χρήση lightpaths).

Ωστόσο, στα παραπάνω θα πρέπει να συνυπολογιστεί ότι η SONET/SDH τεχνολογία διαθέτει υψηλό επίπεδο ωριμότητας και όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την WDM λύση στο χαμηλότερο στρώμα, μέσω μιας IP over SONET/SDH over WDM υλοποίησης, μπορεί να προσφέρει επιπλέον αξιοπιστία στο δίκτυο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:
ΔΙΚΤΥΑ FTTH

5. Δίκτυα FTTx

5.1. ΜΥΘΟΙ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΝΕΑΣ ΓΕΝΙΑΣ

Καθώς η ευρυζωνικότητα αναπτύσσεται και νέες δικτυακές εφαρμογές και δραστηριότητες εμφανίζονται, προκύπτει το ερώτημα ποιος είναι ο αποτελεσματικότερος δρόμος για τα δίκτυα νέας γενιάς που θα υποστηρίξουν τις σημερινές και μελλοντικές ανάγκες των χρηστών του δικτύου. Στα πλαίσια αυτά έχουν αναπτυχθεί κάποιοι σχετικοί «μύθοι»:

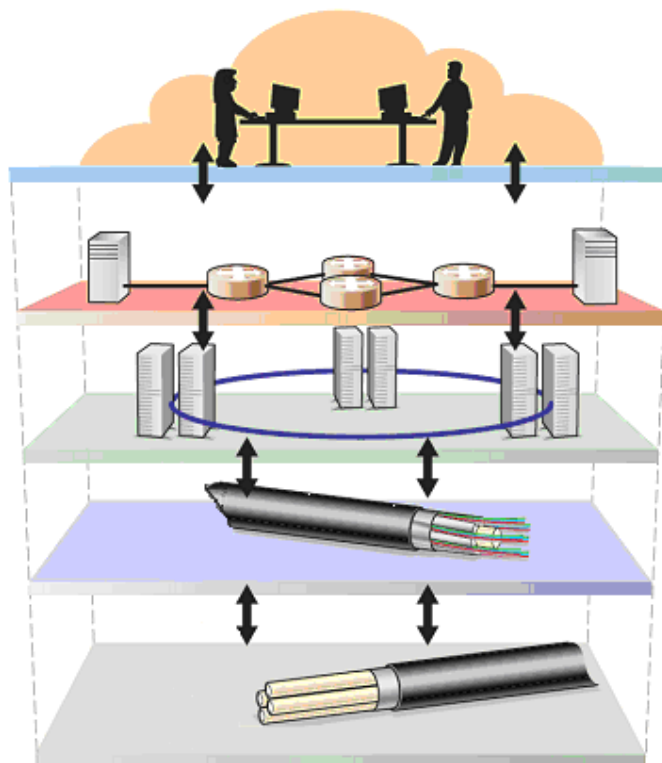
1. **Μύθος: Το γρήγορο Internet ταυτίζεται με το ADSL.** Η ταύτιση αυτή μπορεί να ισχύει σήμερα (2009), αλλά δεν θα είναι επαρκής σε λίγα χρόνια, καθώς θα εμφανίζονται όλο και πιο απαιτητικές δικτυακές εφαρμογές, όπως βίντεο και τηλεδιάσκεψη υψηλής ευκρίνειας που θα απαιτούν εύρος ζώνης της τάξης των 100Mbps για οικιακή χρήση. Επομένως, όσες χώρες παραμένουν στα χάλκινα καλώδια θα πρέπει να αναμένουν ραγδαία τεχνολογική υποβάθμιση απέναντι στις χώρες που θα μεταβούν σε οπτικά δίκτυα.
2. **Μύθος: Το ADSL μπορεί να εξελίσσεται καλύπτοντας τις ανάγκες των χρηστών.** Παρά τις αρκετές ερευνητικές προσπάθειες που εστιάζουν κυρίως στη μείωση του θορύβου από τα χάλκινα καλώδια, η φύση του χαλκού αδυνατεί να προσφέρει αξιόπιστα τις ταχύτητες που απαιτούν οι χρήστες. Οργανισμοί όπως ο ΟΟΣΑ και η ΕΕ επιμένουν πως οι οπτικές ίνες είναι το μόνο μέσο μετάδοσης που αντέχει στο χρόνο για την κάλυψη των αναγκών των χρηστών.
3. **Μύθος: Τα δίκτυα οπτικών ινών είναι αναγκαία μόνο για επιχειρηματικούς χρήστες.** Η αλήθεια είναι ότι είναι πιο οικονομική η εξαρχής εγκατάσταση οπτικής καλωδίωσης σε νέα κτίρια, όπως έχουν διαπιστώσει ήδη χώρες που κάνουν μαζικές επενδύσεις σε οπτικές ίνες μέχρι το σπίτι (Ανατολική Ασία, Βόρεια Ευρώπη και Βόρεια Αμερική).
4. **Μύθος: Η ελληνική αγορά δεν απαιτεί ακόμα μεγάλες ταχύτητες σύνδεσης στο Internet.** Τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκε ότι και οι έλληνες χρήστες διέψευσαν τις θεωρίες αυτές, καθώς με την αύξηση της μέσης ταχύτητας πρόσβασης, η ζήτηση αυξήθηκε, και εμφανίζονται νέες απαιτητικές εφαρμογές όπως ηλεκτρονική εκπαίδευση και on-line διανομή τηλεοπτικών προγραμμάτων.
5. **Μύθος: Το κόστος του FTTH είναι απαγορευτικό.** Με τις νέες τεχνολογίες εγκατάστασης οπτικών καλωδίων έχει μειωθεί σημαντικά το κόστος οπτικής σύνδεσης ανά οικία. Ενδεικτικά υπολογίζεται ότι το 2009, σε μία ενδεικτική περιοχή η κάλυψη 1.000.000 νοικοκυριών μπορεί να κοστίσει κάτω από 1.000 € / οικία. Επιπλέον η επένδυση στις οπτικές ίνες είναι μία μακροπρόθεσμη επένδυση.
6. **Μύθος: Είναι σοφότερο αντί να κάνουμε άλματα, να ακολουθούμε τα βήματα των άλλων.** Η άποψη αυτή είναι χρήσιμη σε άλλους τομείς της οικονομίας με βραδύτερους κύκλους ζωής. Όμως μια τεχνολογική υστέρηση 4 ετών στην εφαρμογή τεχνολογιών FTTH σημαίνει κατάταξη σε χώρες τρίτου κόσμου και ανυπολόγιστες συνέπειες σε κοινωνική και οικονομική ανέλιξη μιας χώρας.
7. **Μύθος: Η Ελλάδα είναι καταδικασμένη να μείνει μια μικρή περιφερειακή χώρα, χωρίς ουσιαστικές δυνατότητες στην παγκόσμια κοινωνία της γνώσης.** Η αλήθεια είναι ότι οι νέες τεχνολογίες μπορούν να δώσουν ώθηση σε

«περιφερειακές» χώρες και ότι το Διαδίκτυο έχει δώσει ανάσες ζωής σε πολλές «ξεγραμμένες» περιοχές. Επομένως οι μεγαλύτερες ταχύτητες και το μικρότερο κόστος στην πρόσβαση στο Διαδίκτυο αποτελούν προϋποθέσεις για ενεργό συμμετοχή πολιτών και επιχειρήσεων στην παγκόσμια κοινωνία της γνώσης.

Επομένως η πλειοψηφία των εταιριών - οργανισμών αναγνώρισε ότι η μόνη απάντηση στο πρόβλημα της εύρεσης διαθέσιμου εύρους ζώνης, είναι η χρησιμοποίηση οπτικών ινών για την υλοποίηση των μεγάλων δικτύων κορμού. Οι οπτικές ίνες παρέχουν μεγάλο εύρος ζώνης, το οποίο μπορεί να φθάσει τα 10Gbps και μεταφέρουν το σήμα σε αρκετά μεγάλη απόσταση χωρίς σημαντικές απώλειες λόγω εξασθένησης. Η απόσταση κυμαίνεται μεταξύ 70-100 Km ανάλογα με τον τύπο της οπτικής ίνας και το σήμα που μεταφέρεται. Συνεπώς, με τη χρήση οπτικών ινών περιορίζεται ο αριθμός των ενδιάμεσων ενισχύσεων που απαιτούνται για να διασχίσει το σήμα μια μεγάλη απόσταση και ταυτόχρονα αυξάνεται σημαντικά η ανοχή στον θόρυβο.

Έτσι λοιπόν, η αναγνώριση της ανάγκης χρήσης των οπτικών ινών για την μεταφορά της ολοένα και αυξανόμενης πληροφορίας στα δίκτυα κορμού, διανομής και όχι μόνο, είναι καθολική. Αυτό όμως αποτελεί την απάντηση μόνο για το πρώτο επίπεδο του μοντέλου OSI. Για τα ανώτερα επίπεδα οι διάφοροι πάροχοι χρησιμοποιούν μια πληθώρα τεχνολογιών για να διανείμουν δεδομένα. Γίνεται χρήση μιας ολόκληρης στοίβας τεχνολογιών για την επίτευξη του στόχου, στην οποία στοίβα κάθε τεχνολογία προσδίδει και ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό στο δίκτυο προκειμένου να εξασφαλιστούν κάποια πρότυπα.

Μια σχηματική αναπαράσταση των επιπέδων ενός δικτύου που χρησιμοποιεί υποδομές οπτικών ινών παρουσιάζεται στο Σχήμα 79.



Σχήμα 79. Επίπεδα δικτύου οπτικών ινών

Από κάτω προς τα πάνω η διαστρωμάτωση του δικτύου διαμορφώνεται ως εξής:

- Φυσικό Μέσο – Υποδομή: Σωληνώσεις, μικροσωληνώσεις (κενές υποδομές προκειμένου να φιλοξενήσουν καλώδια οπτικών ινών), ιστοί κεραιών
- Παθητική μετάδοση και διασύνδεση μέσων: Καλώδια οπτικών ινών, σύνδεσμοι οπτικών ινών, παθητικός εξοπλισμός
- Ενεργά συστήματα μετάδοσης: Εξοπλισμός που υλοποιεί λογικές συνδέσεις πάνω από το φυσικό μέσο
- Επίπεδο IP: Το δίκτυο του εκάστοτε παρόχου προς τον τελικό χρήστη
- Επίπεδο εφαρμογών: Εξοπλισμός, εφαρμογές και δεδομένα χρηστών

Το χαμηλότερο επίπεδο σε ένα τέτοιο δίκτυο είναι το επίπεδο του φυσικού μέσου ή αλλιώς, της φυσικής δρομολόγησης. Απαρτίζεται από σωληνώσεις με προδιαγεγραμμένες διαστάσεις για όλο το δίκτυο και μικροσωληνώσεις εντός των οποίων μπορούν να φιλοξενηθούν καλώδια οπτικών ινών.

Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι το μεγαλύτερο κόστος σε ένα ευρυζωνικό δίκτυο αφορά στο σχεδιασμό και την εγκατάσταση του επιπέδου φυσικής δρομολόγησης. Είναι, κατά συνέπεια, σημαντικό να έχει προηγηθεί ένας ορθός σχεδιασμός του επιπέδου αυτού. Η εγκατάσταση και η τεκμηρίωση θα πρέπει να είναι ακριβείς και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν να είναι υψηλής ποιότητας.

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε η οικογένεια τεχνολογιών FTTx, όπου το 'x' παριστάνει τόσο τις διάφορες επιλογές όσον αφορά τον αριθμό των συνδρομητών που μοιράζονται το τελευταίο τμήμα της καλωδίωσης, όσο και το βαθμό προσέγγισης του συνδρομητή με οπτική ίνα. Γενικά με τον όρο FTTx εννοούμε ότι η οπτική ίνα φτάνει σε κάποιο σημείο του δικτύου πέρα από το central office (CO) του τηλεπικοινωνιακού πάροχου. Ο Πίνακας 11 παρουσιάζει αναλυτικά τις περισσότερες κατηγορίες FTTx που αναφέρονται.

FTTx Fiber To The...	Περιγραφή
FTTN (Node) / FTTN (Neighborhood) / FTTCab (Cabinet) / FTTS (Street)	Ορίζεται μέχρι περίπου 1500 μέτρα από τις εγκαταστάσεις του τελικού χρήστη. Οι οπτικές ίνες φτάνουν μέχρι το cabinet (κουτί) που εξυπηρετεί μια γειτονιά, και από εκεί μέχρι τον τελικό χρήστη χρησιμοποιείται η υπάρχουσα υποδομή (π.χ. χαλκός).
FTTC (Curb)	Ορίζεται ως περίπου 150 μέτρα από τις εγκαταστάσεις του τελικού χρήστη. Από εκεί μέχρι τον τελικό χρήστη χρησιμοποιείται η υπάρχουσα υποδομή (π.χ. χαλκός).
FTTB (Building)	Η οπτική ίνα φτάνει στο οικοδομικό τετράγωνο, αλλά όχι σε κάθε όροφο, γραφείο ή διαμέρισμα.
FTTH (Home) / FTTO (Office)	Η οπτική ίνα φτάνει σε ιδιωτικά σπίτια / διαμερίσματα και γραφεία.
FTTP (Premises)	Η οπτική ίνα φτάνει σε κάθε τύπο κτιρίου (χρησιμοποιείται κάποιες φορές για να περιγράψει το FTTH ή/και το FTTB). Η βασική διαφορά από τα FTTN και FTTC είναι ότι η οπτική ίνα καλύπτει και το "last mile" μέχρι τον τελικό χρήστη.

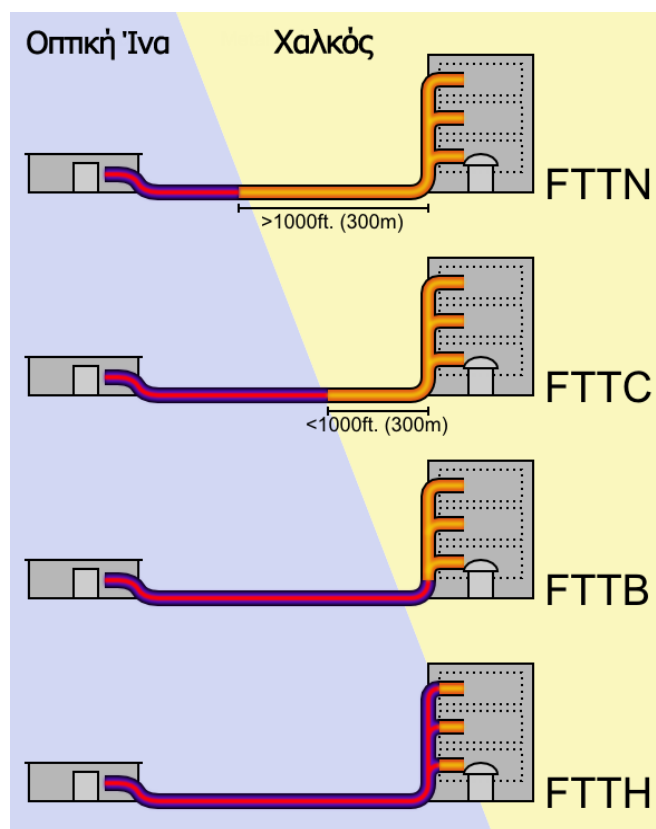
FTTx Fiber To The...	Περιγραφή
FTTA (Apartment)	Περιλαμβάνει την οπτική ίνα από το υπόγειο της πολυκατοικίας στο διαμέρισμα.
FTTD (Dormitory)	Η οπτική ίνα φτάνει στους χώρους κατοικίας των σπουδαστών σε κολλέγια και πανεπιστήμια.

Πίνακας 11. Τύποι FTTx

Οι πιο βασικές περιπτώσεις μπορούν επομένως να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- FTTC (Fibre-to-the-Curb), FTTS (Fibre-to-the-Street) και FTTN (Fibre-to-the-Neighbourhood), όπου η οπτική τερματική συσκευή (ONU) που υπάρχει σε κάποιο σημείο διανομής διασυνδέει τους συνδρομητές σε επίπεδο μίας γειτονιάς. Στη συνέχεια, η διασύνδεση των χρηστών στις οπτικές τερματικές συσκευές γίνεται μέσω του local loop με τεχνολογίες χαλκού. Η περίπτωση αυτή περιορίζει το μήκος του χαλκού μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα, επιτρέποντας ταχύτητες πρόσβασης μέχρι μερικές δεκάδες Mbps, π.χ. χρησιμοποιώντας συστήματα VDSL. Η λύση αυτή θεωρείται κατάλληλη για την εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού συνδρομητών, οι οποίοι είναι συγκεντρωμένοι σε μία μικρή περιοχή (π.χ. οικοδομικό τετράγωνο), και έχουν σχετικά μικρές απαιτήσεις ταχύτητας πρόσβασης.
- FTTB (Fibre-to-the-Building) και FTTO (Fibre-to-the-Office), όπου η τερματική συσκευή διασυνδέει τους συνδρομητές σε επίπεδο ενός κτιρίου, και την FTTH (Fibre-to-the-Home) σε επίπεδο μιας οικίας. Σε αυτή την περίπτωση, η οπτική ίνα μπαίνει στο κτίριο των συνδρομητών (συγκρότημα γραφείων, πολυκατοικία, σπίτι) και η ONU τοποθετείται εσωτερικά μέσα στο κτίριο εξυπηρετώντας τους συνδρομητές του κτιρίου. Το μήκος του χαλκού περιορίζεται σε αυτό της δομημένης καλωδίωσης του κτιρίου ή ακόμη και μηδενίζεται (οπτική εσωτερική καλωδίωση), επιτρέποντας πρακτικά οποιαδήποτε ταχύτητα πρόσβασης. Η λύση αυτή θεωρείται κατάλληλη για την εξυπηρέτηση μεμονωμένων μεγάλων επιχειρήσεων με μεγάλες απαιτήσεις ταχύτητας ή κτιρίων με μεγάλη συγκέντρωση συνδρομητών σχετικά μικρών απαιτήσεων (π.χ. εμπορικά και επαγγελματικά κέντρα). Η κατηγορία αυτή αντιστοιχεί και στο μεγαλύτερο μέρος των αναπτυξιακών έργων των ευρυζωνικών παρόχων στις μέρες μας, που σχεδιάζουν και αναπτύσσουν FTTN και FTTB δίκτυα.

Τα παραπάνω απεικονίζονται στο Σχήμα 80.



Σχήμα 80. Βασικές τεχνολογίες FTTx

5.2. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ FTTx

5.2.1. Τμήματα οπτικού δικτύου

Σε κάθε περίπτωση και ανεξάρτητα από τον βαθμό προσέγγισης των συνδρομητών, ένα δίκτυο FTTx αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

- OLT: Optical Line Termination (Οπτικός Τερματισμός Γραμμής). Ο OLT αποτελεί την οπτική τερματική διάταξη του FTTx προς την πλευρά του τηλεπικοινωνιακού παρόχου και είναι εγκατεστημένος στο σημείο παρουσίας του (Point-Of-Presence ή POP). Ο OLT είναι υπεύθυνος για τη διασύνδεση του FTTx με το υπόλοιπο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο (PSTN, IP, ATM, κλπ.).
- ONU (ή και ONT): Optical Network Unit (Οπτική Τερματική Συσκευή). Οι ONU αποτελούν τις οπτικές τερματικές διατάξεις προς την πλευρά των πελατών, στις οποίες καταλήγει το FTTx δίκτυο. Σε κάθε ONU γίνεται η οπτικοηλεκτρονική μετατροπή και αποπολυπλεξία του οπτικού σήματος και παρέχονται οι υπηρεσίες προς τους πελάτες μέσω χάλκινων αγωγών. Οι ONU έχουν τη μορφή καμινών (υπαίθριων ή εσωτερικού χώρου).
- Οπτικό Δίκτυο: Πρόκειται για την οπτική καλωδίωση που συνδέει την OLT με τις ONU. Η καλωδίωση γίνεται με μονότροπο (single-mode) καλώδιο οπτικών ινών, συνήθως προσαρμοσμένο για μεγάλη χωρητικότητα και μπορεί γενικά να έχει οποιαδήποτε τοπολογία: Δακτυλίου, Αστέρα ή Δενδρική. Η οπτική καλωδίωση

σχεδιάζεται έτσι ώστε οι πιθανοί κόμβοι του δικτύου να μην βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τους συνδρομητές. Η απόσταση αυτή εξαρτάται από τις τελικές ταχύτητες πρόσβασης που θα δοθούν.

5.2.2. Κατηγοριοποίηση αρχιτεκτονικών FTTx

Η βασική κατηγοριοποίηση των δικτύων οπτικών ινών γίνεται βάσει του κατά πόσο η οπτική ίνα συνδέει τον χρήστη ατομικά με το δίκτυο κορμού ή εάν η οπτική ίνα διαμοιράζεται μεταξύ πολλών χρηστών. Έτσι έχουμε τα οπτικά δίκτυα τύπου point-to-point και point-to-multipoint, τα οποία μπορούμε να διακρίνουμε περαιτέρω ως εξής:

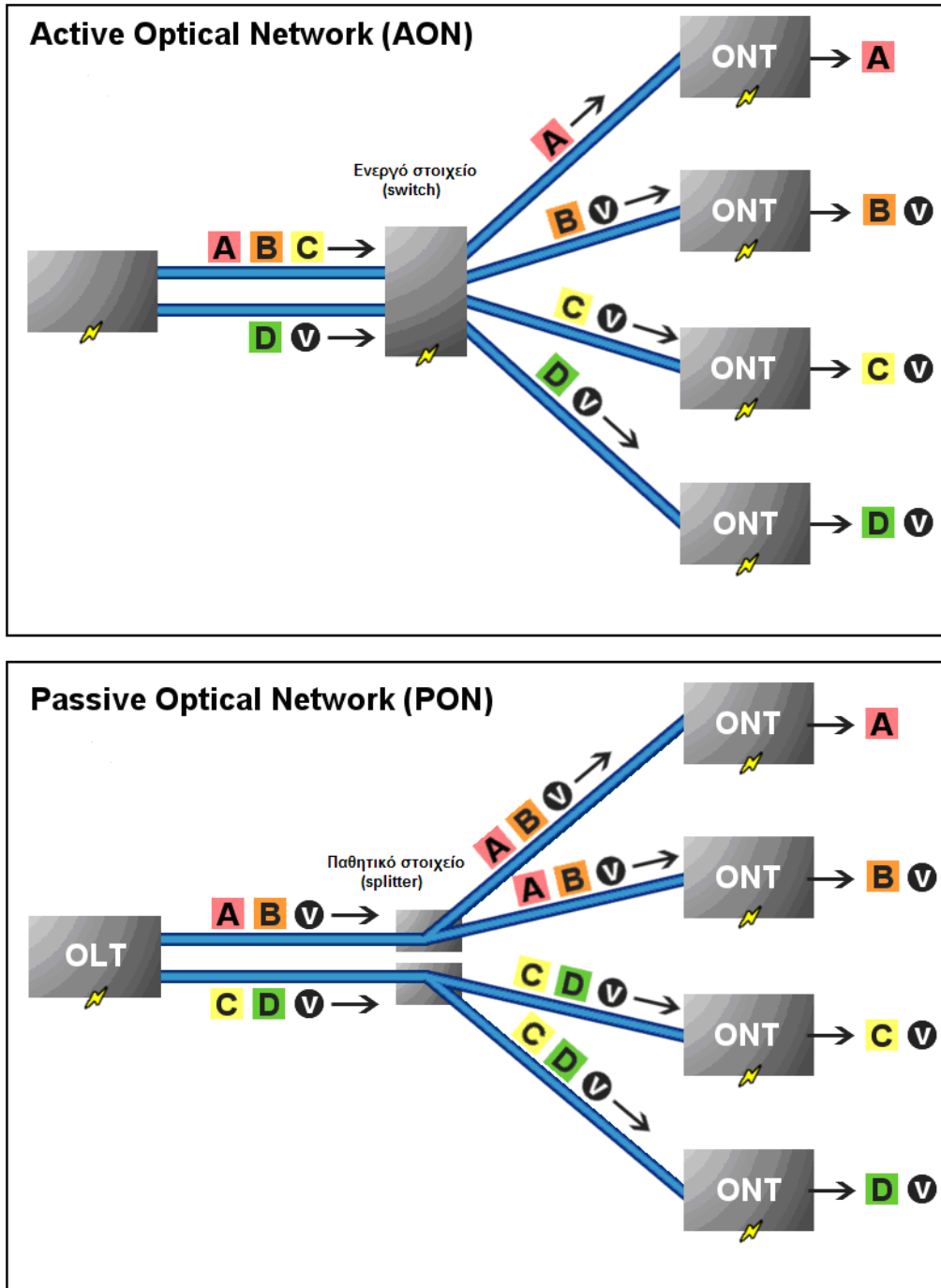
- Point-to-point (σημείο-προς-σημείο)
 - Αρχιτεκτονικές **Active Network** (ενεργού δικτύου) με χρήση Ethernet switches (σε μορφή δακτυλίου ή αστέρα), όπου κάθε χρήστης διαθέτει αφοσιωμένη οπτική ίνα μέχρι το σημείο όπου βρίσκεται εγκατεστημένος ενεργός εξοπλισμός (συνήθως Ethernet switches), ο οποίος μετάγει από εκεί και πέρα την κίνηση πολλών χρηστών προς το κυρίως δίκτυο (backbone).
 - Αρχιτεκτονικές τύπου “**Home Run**”, που σημαίνει ότι για κάθε χρήστη υπάρχει μια αφοσιωμένη οπτική ίνα που έρχεται από το OLT και καταλήγει σε αυτόν.
- Point-to-multipoint (σημείο-προς-πολλαπλά σημεία)
 - Δενδρικές αρχιτεκτονικές με χρήση τεχνολογιών **Passive Optical Network** (PON). Οι αρχιτεκτονικές αυτού του τύπου είναι αρκετά διαδοσμένες και υπάρχουν μια σειρά από πρότυπα που τις καθορίζουν τα οποία θα αναφερθούν στη σχετική ενότητα.

Στην πρώτη περίπτωση (αρχιτεκτονικές Active Network) λέμε ότι έχουμε ενεργό (active) δίκτυο, καθώς αυτό περιλαμβάνει και ενεργούς κόμβους (τα switches), τα οποία τροφοδοτούνται με ηλεκτρικό ρεύμα. Στην περίπτωση του PON έχουμε παθητικό δίκτυο, δηλαδή χρησιμοποιούνται διατάξεις που δεν χρειάζονται ηλεκτρικό ρεύμα, και συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται οπτικοί διαχωριστές (splitters), για να δώσουν τη δυνατότητα μία οπτική ίνα να διαμοιραστεί σε πολλαπλούς χρήστες. Το τελευταίο ενεργό στοιχείο στην περίπτωση του PON βρίσκεται στο δίκτυο κορμού (backbone).

Στο Σχήμα 81 φαίνεται σχηματικά η βασική διαφορά μεταξύ ενεργού και παθητικού οπτικού δικτύου. Στο ενεργό οπτικό δίκτυο (AON) υπάρχει χωριστή οπτική ίνα από τον ενεργό εξοπλισμό προς κάθε χρήστη, και το switch αναλαμβάνει να μεταγάγει την κίνηση προς την κοινή σύνδεση με το κυρίως δίκτυο. Για το λόγο αυτό το ενεργό δίκτυο είναι αρχιτεκτονική τύπου point-to-point (σημείο-προς-σημείο). Αντίθετα, στο παθητικό οπτικό δίκτυο (PON) όλοι οι χρήστες διαμοιράζονται μια κοινή οπτική ίνα που διαχωρίζεται από το splitter. Το PON επομένως είναι μια αρχιτεκτονική τύπου point-to-multipoint (σημείο-προς-πολλαπλά σημεία). Το αποτέλεσμα είναι τα δεδομένα να γίνονται broadcast σε όλους τους χρήστες, ενώ στην περίπτωση του ενεργού δικτύου ο ενεργός εξοπλισμός φροντίζει να μεταγάγει τα κατάλληλα δεδομένα σε κάθε χρήστη.

Στην αρχιτεκτονική τύπου “home run” οι χρήστες μπορεί να είναι ως και 80 χιλιόμετρα μακριά από το CO (Central Office) που βρίσκεται το OLT. Η

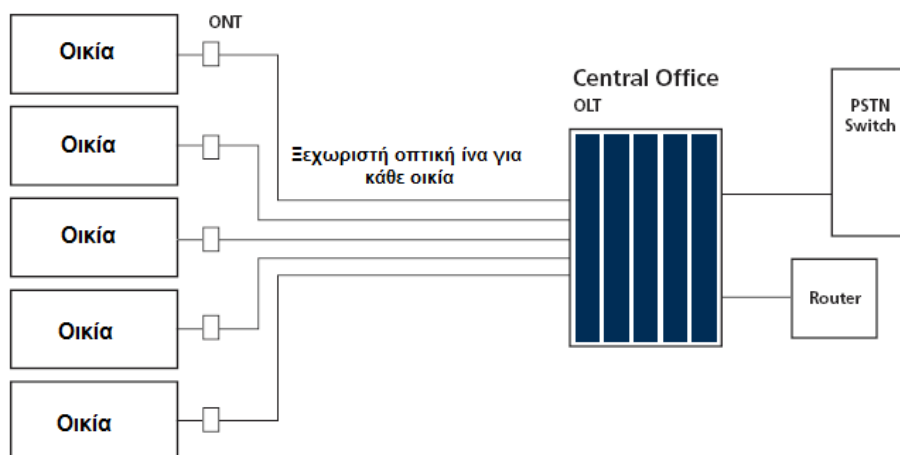
αρχιτεκτονική αυτή είναι η πιο ευέλικτη και με τη μέγιστη χωρητικότητα, καθώς κάθε χρήστης έχει εντελώς δική του μια οπτική ίνα σε ολόκληρη τη διαδρομή ως το OLT. Γενικά όμως δεν είναι τόσο ελκυστική λόγω κόστους, καθώς απαιτεί το μεγαλύτερο πλήθος οπτικών ινών, με κάθε οπτική ίνα να καλύπτει μεγάλη απόσταση. Το κόστος τόσων οπτικών ινών για μεγάλες αποστάσεις κάνει την αρχιτεκτονική αυτή ασύμφορη για πολλές περιοχές.



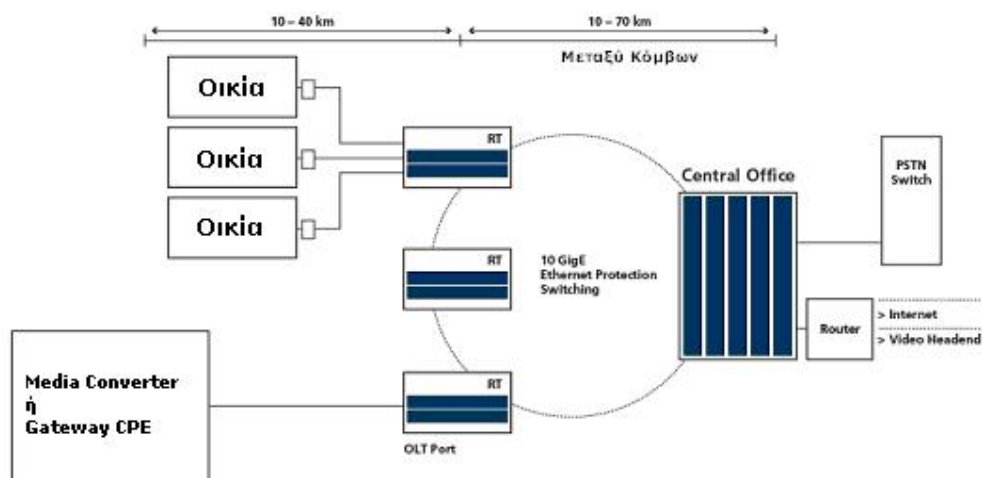
Σχήμα 81. Σύγκριση ενεργού και παθητικού δικτύου

Ιστορικά, οι πάροχοι καλωδιακών υπηρεσιών (όπως η καλωδιακή τηλεόραση που είναι διαδεδομένη στις ΗΠΑ) έχουν αναπτύξει αρχιτεκτονικές τύπου PON, μιας και ενδείκνυται για broadcast μετάδοση, ενώ το τηλεφωνικό δίκτυο με χρήση χαλκού πλησιάζει περισσότερο στο point-to-point μοντέλο.

Οι απαιτήσεις για χαμηλότερο κόστος ανά συνδρομητή έχουν ευνοήσει τις δικτυακές αρχιτεκτονικές που βασίζονται σε Ethernet switching. Τα αρχικά Ethernet FTTx προγράμματα στην Ευρώπη βασίζονταν σε αρχιτεκτονικές όπου οι μεταγωγείς (switches) βρίσκονται σε υπόγειες μονάδες και διασυνδέονταν σε μια δομή δακτυλίου. Μια τέτοια δομή παρέχει την άριστη ανθεκτικότητα ενάντια στις περιπτώσεις που κάποια ίνα κοπεί και μπορεί σε γενικές γραμμές να είναι οικονομική, η εγκατάστασή του ωστόσο, έχει το μειονέκτημα της διαμοίρασης του εύρους ζώνης σε κάθε δακτύλιο πρόσβασης (1 Gbps), γεγονός που μπορεί να αποδειχτεί κρίσιμο όσο οι απαιτήσεις αυξάνονται.



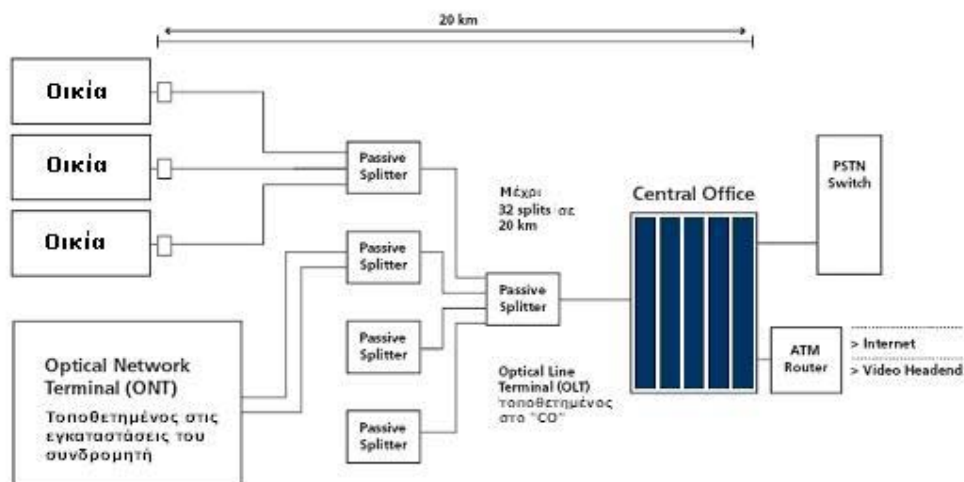
Σχήμα 82. Αρχιτεκτονική τύπου “home run”



Σχήμα 83. Αρχιτεκτονική αστέρα (star) Ethernet

Σχετικά πιο πρόσφατα, άρχισαν να εφαρμόζονται και οι αρχιτεκτονικές αστέρα (star) Ethernet (Σχήμα 83). Οι αρχιτεκτονικές αστέρα παρέχουν αφιερωμένες ίνες από κάθε

τελικό σημείο (endpoint) στο σημείο παρουσίας (Point of Presence ή POP), όπου οι ίνες τερματίζονται σε ένα switch. Οι αρχιτεκτονικές FTTx που περιλαμβάνουν τοπολογίες βασισμένες σε δακτύλιο ή point-to-point συνδέσεις και υιοθετούν την τεχνολογία Ethernet θα αναφέρονται εφεξής ως Ethernet FTTx.



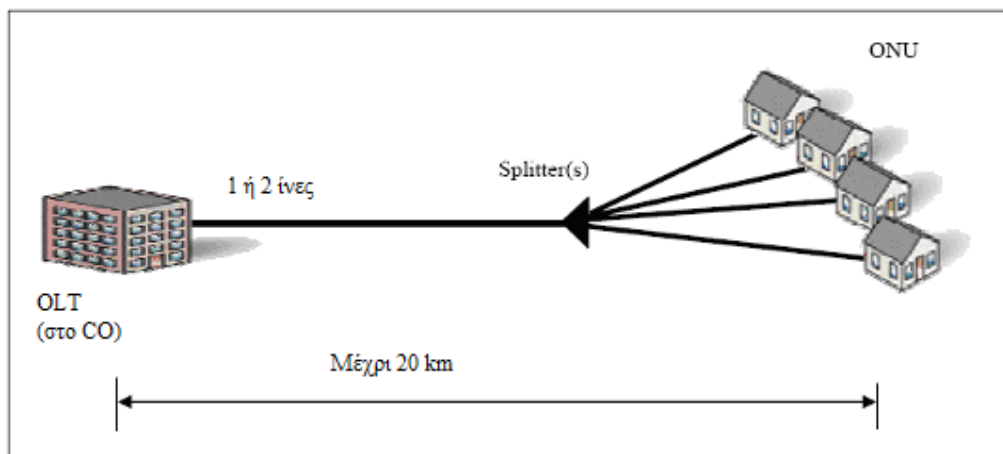
Σχήμα 84. Παράδειγμα αρχιτεκτονικής με χρήση τεχνολογιών PON

Τέλος, σε ένα δίκτυο PON το ζευγάρι ινών που ξεκινά από την OLT διαχωρίζεται σε κλάδους μέσω παθητικών διαχωριστών (passive splitter), και κάθε κλάδος συνδέεται με μία ONU, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 84. Έτσι, οι κόμβοι διακλάδωσης του οπτικού δικτύου είναι παθητικοί. Η τοπολογία του PON είναι από τη φύση της δενδρική. Τα δίκτυα PON (στις διάφορες μορφές τους: TAPON, ATM-PON, κλπ.) προσβλέπουν στη μαζική διείσδυση ευρυζωνικών υπηρεσιών και έχουν χρησιμοποιηθεί διεθνώς.

Παρακάτω αναλύονται οι σημαντικότερες επιλογές τοπολογιών κατά το σχεδιασμό ενός FTTx οπτικού δικτύου χρησιμοποιώντας τις παραπάνω κατηγορίες ή συνδυασμούς αυτών.

5.2.3. Αρχιτεκτονικές PON

Μια πρώτη επιλογή είναι να χρησιμοποιηθούν συνδέσεις ενός-σημείο-προς-πολλά (point-to-multipoint), επεκτείνοντας ένα PON (παθητικό οπτικό δίκτυο), το οποίο παρουσιάζεται στο Σχήμα 85. Σήμερα, η κυριότερη point-to-multipoint διαμόρφωση ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης είναι ένα TDM (time division multiplexing)-based PON με διαμοίραση ισχύος. Ένα PON αποτελείται από την καλωδίωση οπτικών ινών, από παθητικούς διαχωριστές (splitters) και συνδετήρες (couplers) που κατανέμουν ένα οπτικό σήμα μέσω μιας διακλαδωμένης τοπολογίας «δέντρων» στους συνδετήρες που τερματίζουν κάθε τμήμα ινών.



Σχήμα 85. Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical Network - PON)

Έναντι άλλων τεχνολογιών πρόσβασης, το PON εξαλείφει ένα μεγάλο μέρος του κόστους εγκατάστασης, συντήρησης, και διαχείρισης, το οποίο απαιτείται για την διασύνδεση με τις εγκαταστάσεις πελατών. Εντούτοις, ένα TDM-PON με διαμοίραση ισχύος έχει επίσης ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα.

Τα σημερινά TDM-PON πρότυπα καθορίζουν τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης των γραμμών στα 2,5 Gbps και τη μέγιστη απόσταση συνδέσεων στα 20 χιλιόμετρα, με μια τυπική αναλογία διαχωρισμού (split ratio) στα 1:32.

Στα οπτικά δίκτυα πρόσβασης πρώτης γενιάς, η σημαντικότερη ώθηση ήταν η οικονομική επέκταση, και ένα PON με διαμοίραση ισχύος ήταν η καταλληλότερη λύση. Σήμερα, το κόστος των οπτικών συσκευών έχει μειωθεί πολύ και οι μελέτες σχεδιασμού αρχίζουν να γίνονται σημαίνουσες. Για να ξεπεραστούν μερικά από τα μειονεκτήματα ενός TDM-PON με διαμοίραση ισχύος, είναι επίσης διαθέσιμοι μερικοί διαφορετικοί τύποι των PONs: WDM PONs, WDM power splitting PONs, WDM PONs με επικάλυψη για broadcast.

Χάρη στο WDM ένα PON μπορεί επίσης να δημιουργήσει μια εικονική σύνδεση point-to-point. Το WDM θεωρείται ως η ιδανική λύση για την αναβάθμιση των δυνατοτήτων των PONs χωρίς τη δραστική αλλαγή της υπάρχουσας υποδομής οπτικών. Επιπλέον διατηρεί πολλά από τα οφέλη του TDM-PON.

Ο Πίνακας 12 παρουσιάζει συνοπτικά τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του PON.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Δεν είναι ενεργός κανένας απομακρυσμένος κόμβος	Το ίδιο εύρος ζώνης πρέπει να διαιρεθεί μεταξύ διάφορων χρηστών
Πλήρως παθητικό δίκτυο	Η οπτική ισχύς διαχωρίζεται μεταξύ των θυρών εξόδου (output ports), γεγονός που περιορίζει την μέγιστη απόσταση
Επιτρέπει την εύκολη μετάδοση βίντεο και δεδομένων	Το ίδιο οπτικό σήμα παραλαμβάνεται από όλες τις μονάδες (ONUs), εγείροντας ανησυχίες για την ασφάλεια δικτύων

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Υλοποίηση με το λιγότερο δυνατό αριθμό πομποδεκτών	Το εύρος ζώνης που χρησιμοποιείται για uploading δεν είναι broadcast (λιγότερο εύρος ζώνης από πλήρες P2P)
Χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής	Απαίτηση για έναν αυστηρό αλγόριθμο για την σύλληψη upstream κυκλοφορίας (καταμερισμός χρόνου για την upstream σύνδεση)
Ελάχιστη ίνα	Πιο σύνθετοι πομποδέκτες (οπτική ισχύς, δυνατότητα burst mode)

Πίνακας 12. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του PON

5.2.3.1. Πρότυπα PON

Το παλιότερο πρότυπο είναι το ITU-T G.983 το οποίο βασίζεται στην τεχνολογία Asynchronous Transfer Mode (ATM), και αναφέρεται ως APON (ATM PON). Οι περαιτέρω βελτιώσεις στο αρχικό πρότυπο και η σταδιακή απόσυρση του ATM οδήγησε στην πλήρη και τελική έκδοση του ITU-T G.983 να αναφέρεται ως broadband PON (BPON). Ένα τυπικό APON/BPON δίκτυο παρέχει 622 Mbit/s στην downstream κατεύθυνση και 155 Mbit/s στην upstream, αν και το πρότυπο περιλαμβάνει και υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Το BPON μπορεί λοιπόν να θεωρηθεί σαν παλιότερη τεχνολογία που εκτοπίστηκε γρήγορα από τις άλλες αρχιτεκτονικές.

Το πρότυπο ITU-T G.984 (GPON) αύξησε σημαντικά το συνολικό bandwidth και βελτίωσε την αποδοτικότητα χρησιμοποιώντας μεγαλύτερα και μεταβλητού μεγέθους πακέτα. Το πρότυπο και πάλι επιτρέπει διάφορους ρυθμούς μετάδοσης, αλλά η βιομηχανία έχει συγκλίνει στα 2,488 Gbit/s στο downstream και στο 1,244 Gbit/s στο upstream. Η τεχνολογία GPON Encapsulation Method (GEM) επιτρέπει την αποδοτική ενθυλάκωση της κίνησης των χρηστών, με σπάσιμο (segmentation) για καλύτερη Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS) σε κίνηση ευαίσθητη στην καθυστέρηση όπως φωνή και βίντεο. Το GPON σχεδιάστηκε ώστε να παρέχει και δυνατότητα μεταφοράς ATM και TDM. Ωστόσο, το τελευταίο αυτό χαρακτηριστικό γνώρισμα χρησιμοποιείται πολύ σπάνια στις εφαρμογές. Αντί αυτού, το GPON χρησιμοποιείται ως Ethernet πλατφόρμα μεταφοράς.

Το πρότυπο IEEE 802.3 Ethernet PON (EPON ή GEPON) ολοκληρώθηκε το 2004 και χρησιμοποιεί τα συνηθισμένα 802.3 Ethernet frames με συμμετρικό ρυθμό μετάδοσης 1 Gbit/s σε upstream και downstream κατεύθυνση. Το EPON ταιριάζει σε δίκτυα δεδομένων, καθώς και σε γενικής χρήσης δίκτυα για φωνή, δεδομένα και βίντεο. Το EPON σχεδιάστηκε για χαμηλότερο κόστος χρησιμοποιώντας την τεχνολογία Gigabit Ethernet. Σύμφωνα με σχετικά στατιστικά στοιχεία, οι παγκόσμιες πωλήσεις EPON έφθασαν το 90% των συνολικών πωλήσεων PON, στο δεύτερο τέταρτο του 2005.

Στις αρχές του 2006 ξεκίνησε και η εργασία πάνω στο πρότυπο EPON υψηλής ταχύτητας (της τάξης των 10 Gbit/s) με την ονομασία XEPON ή 10-GEPON.

Τα βασικά πρότυπα για τα PON δίκτυα παρουσιάζει συνοπτικά ο Πίνακας 13. Το εύρος ζώνης εμφανίζει το συνολικό ρυθμό μετάδοσης προς τις upstream και downstream κατευθύνσεις. Αυτός ο ρυθμός μετάδοσης πρέπει να διαμοιραστεί από κάποιο συγκεκριμένο αριθμό συνδρομητών, ανάλογα με το αντίστοιχο σενάριο.

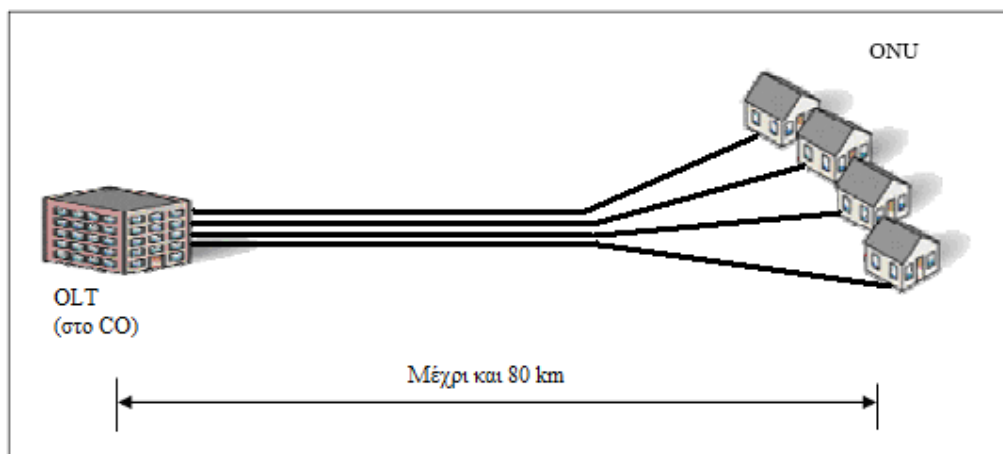
	BPON	EPON	GPON
Πρότυπο	ITU-T G.983	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984
Εύρος Ζώνης	Downstream έως 622 Mbps Upstream 155 Mbps	Έως 1,25 Gbps (Συμμετρικό)	Downstream έως 2,5 Gbps Upstream έως 1,25 Gbps
Downstream μήκος κύματος	1490 και 1550 nm	1550 nm	1490 και 1550 nm
Upstream μήκος κύματος	1310 nm	1310 nm	1310 nm
Μετάδοση	ATM	Ethernet	Ethernet, ATM, TDM

Πίνακας 13. Πρότυπα PON

5.2.4. Αρχιτεκτονικές τύπου “home run”

Στον τύπο αυτό αρχιτεκτονικής έχουμε ένα point-to-point δίκτυο, το οποίο παρέχει αφοσιωμένη οπτική ίνα από το σημείο παρουσίας του παρόχου (point-of-presence) μέχρι το χρήστη. Η διαθέσιμη χωρητικότητα της οπτικής ίνας δεν διαμοιράζεται και άρα το μοντέλο αυτό προσφέρει τη μέγιστη δυνατή χωρητικότητα και άρα μελλοντική κλιμακωσιμότητα όσον αφορά τις ανάγκες του χρήστη. Η μέγιστη δυνατή ταχύτητα που μπορεί να υποστηριχτεί εξαρτάται μόνο από τις ηλεκτρονικές διατάξεις που είναι εγκατεστημένες στο χρήστη και στο σημείο παρουσίας του παρόχου.

Βασικό χαρακτηριστικό της αρχιτεκτονικής αυτής είναι ότι η παρουσία της αφοσιωμένης οπτικής ίνας κάνει πολύ εύκολη την διάκριση παρόχου υποδομής και παρόχου υπηρεσιών. Ένας πάροχος υπηρεσιών μπορεί είτε να εγκαταστήσει δικό του εξοπλισμό στο σημείο παρουσίας (point-of-presence) είτε να συνδεθεί με το χρήστη χρησιμοποιώντας το δίκτυο κορμού του παρόχου της φυσικής υποδομής, και έτσι μπορεί να παρέχει την υπηρεσία του στο χρήστη έχοντας ένα ξεκάθαρο σημείο διαχωρισμού μεταξύ των δύο παρόχων.



Σχήμα 86. Home Run (Παθητικό point-to-point δίκτυο)

Ο Πίνακας 14 παρουσιάζει συνοπτικά τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Home Run.

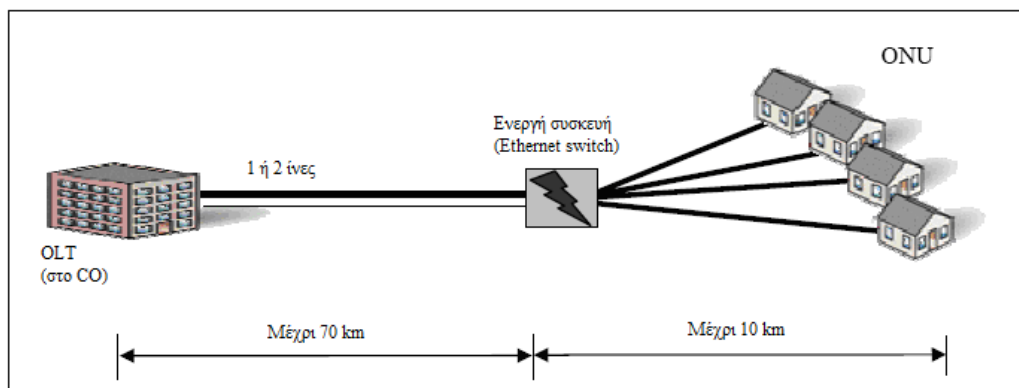
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μέγιστο εύρος ζώνης	Μεγαλύτερο κόστος λόγω μεγαλύτερης ποσότητας οπτικής ίνας
Μέγιστη κλιμακωσιμότητα	Ανάγκη για μεγαλύτερο χώρο στα PoP και τις σωληνώσεις
Εύκολη διάκριση παρόχου υποδομής και παρόχου υπηρεσιών	Εκτενέστερες επισκευές σε περίπτωση βλάβης
Υλοποίηση με το λιγότερο δυνατό αριθμό πομποδεκτών	
Ασφάλεια	

Πίνακας 14. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Home Run

5.2.5. Αρχιτεκτονικές ενεργού δικτύου (Active Node – Ethernet Switch)

Η κύρια διαφορά ενός ενεργού δικτύου σε σχέση με το PON είναι η αντικατάσταση του παθητικού splitter από έναν ενεργό κόμβο, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 87. Μια σημαντική συνέπεια είναι ότι είναι απαραίτητο ένα ηλεκτροφόρο καλώδιο (power line) μεταξύ του CO και του ενεργού κόμβου. Εκτός από μια διακλαδισμένη δενδρική αρχιτεκτονική όπως χρησιμοποιείται σε ένα PON, ένα ενεργό δίκτυο μπορεί επίσης να υλοποιείται με μια αρχιτεκτονική δακτυλίου ή αστέρα. Η επιλογή οποιασδήποτε ιδιαίτερης αρχιτεκτονικής εξαρτάται από τον τύπο υλοποίησης, τη διαθεσιμότητα και την τοπολογία της ίνας, το κόστος και τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού.

Δεύτερον, αντί της διανομής του εύρους ζώνης μεταξύ πολλαπλών συνδρομητών, σε κάθε τελικό χρήστη παρέχεται αφιερωμένη σύνδεση που του παρέχει το συνολικό αμφίδρομο εύρος ζώνης. Αυτό μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας τεχνικές SDM (Space Division Multiplexing) ή WDM. Λόγω της φύσης του, αυτός ο τύπος αρχιτεκτονικής αναφέρεται επίσης ως από-σημείο-σε-σημείο (point-to-point - P2P).



Σχήμα 87. Point-to-point συνδέσεις με έναν ενεργό κόμβο (Ethernet Switch)

Η τρίτη διαφορά στην αρχιτεκτονική του PON και του ενεργού κόμβου είναι ο περιορισμός της απόστασης. Σε ένα PON, ο πιο απομακρυσμένος συνδρομητής πρέπει να βρίσκεται σε μια ακτίνα 10-20km από το CO, ανάλογα με το συνολικό αριθμό των διαμοιράσεων (μέγιστο 1:32). Αντίθετα, ένα ενεργό δίκτυο, έχει έναν περιορισμό απόστασης περίπου 80km, ανεξάρτητα από τον αριθμό συνδρομητών που εξυπηρετεί. Ο αριθμός συνδρομητών περιορίζεται μόνο από τους κόμβους μεταγωγής (switches) που χρησιμοποιούνται και όχι από την ίδια την υποδομή, όπως στην περίπτωση PON. Ο ενεργός κόμβος θα είναι χαρακτηριστικά ένα Ethernet Switch και ο διαθέσιμος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων θα είναι πάνω από 10 Gbps.

Ο Πίνακας 15 παρουσιάζει συνοπτικά τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης ενός ενεργού κόμβου.

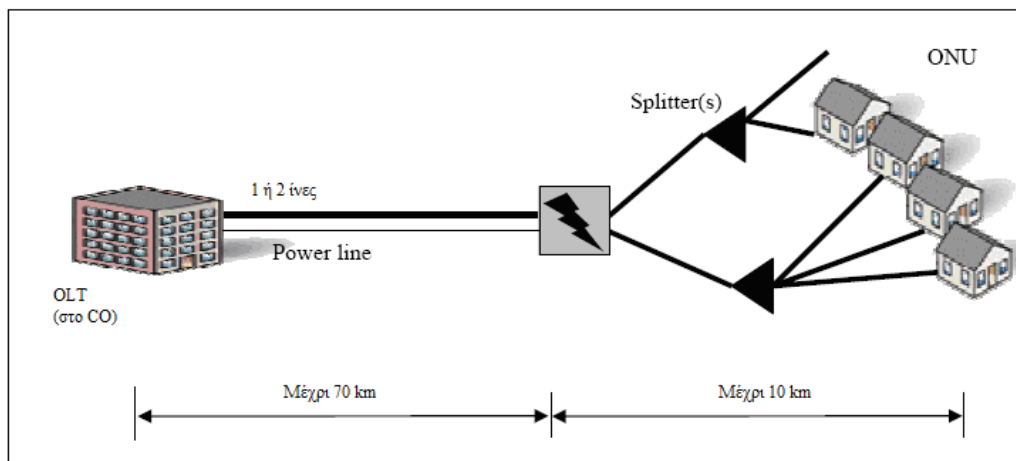
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Υψηλότερο εύρος ζώνης	Ανάγκη ενός ηλεκτροφόρου καλωδίου
Υψηλότερη πιθανή απόσταση	Πιο πολύπλοκη υποδομή καλωδίων
Μεγαλύτερη ασφάλεια	-

Πίνακας 15. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης ενός ενεργού κόμβου (Ethernet Switch)

5.2.6. Υβριδικές αρχιτεκτονικές (PON και Active Networks)

Επίσης, αναπτύσσονται υβριδικά PON τα οποία αποτελούν ένα συνδυασμό ενός ενεργού κόμβου και μιας αρχιτεκτονικής PON. Η αρχιτεκτονική των υβριδικών PON παρουσιάζεται στο Σχήμα 88.

Η εφικτή απόσταση είναι υψηλότερη από ότι στην περίπτωση χρησιμοποίησης ενός PON με διαμοίραση ισχύος. Παράλληλα, αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μια απλούστερη υποδομή σε σχέση με μια απολύτως ενεργή τοπολογία.



Σχήμα 88. Υβριδικό PON

Ο Πίνακας 16 παρουσιάζει συνοπτικά τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός υβριδικού PON.

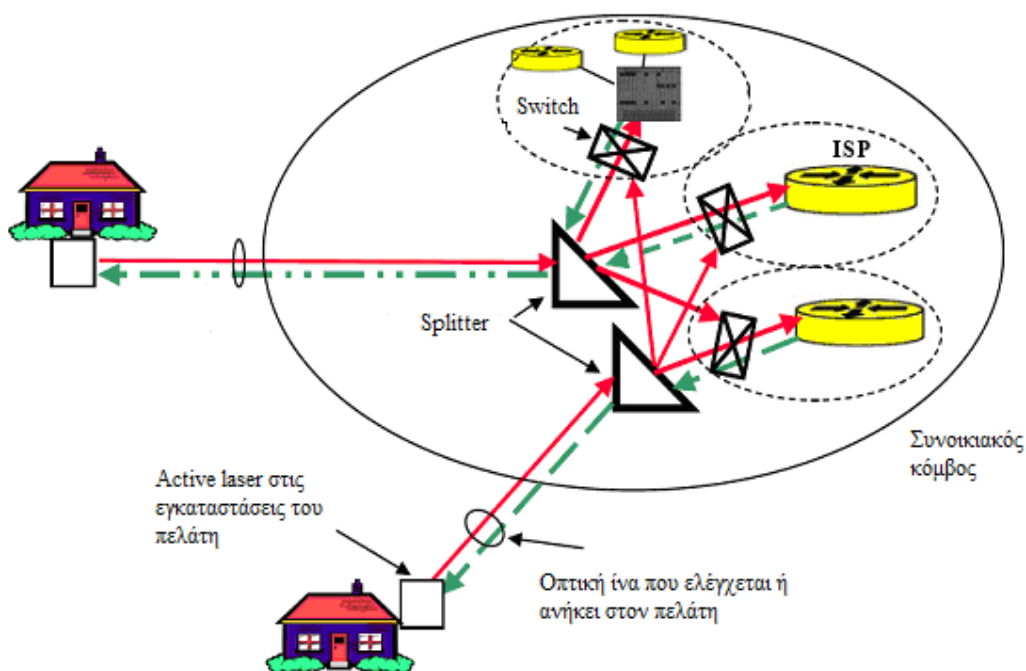
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Υψηλή εφικτή απόσταση	Ανάγκη ενός ηλεκτροφόρου καλωδίου
Απλούστερη υποδομή απ' ότι στην ενεργή τοπολογία	-

Πίνακας 16. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός υβριδικού PON

5.2.7. Αρχιτεκτονικές Reverse PON και Customer Owned Last Mile

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί και παρουσιάζεται δειλά-δειλά η ιδέα των υποδομών οπτικών ινών που συνδέουν τελικούς χρήστες και ανήκουν στους ίδιους. Η πρόταση αυτή έρχεται σε «σύγκρουση» με τις υπάρχουσες κραταιές πολιτικές των τηλεπικοινωνιακών παρόχων και των service providers. Η εφαρμογή της ιδέας αυτής έχει αρχίσει να δοκιμάζεται σε διάφορα projects και πιλοτικές δράσεις ανά τον κόσμο. Γενικά, εισάγει αναγκαστικά την δημιουργία ανοικτών κόμβων συνεγκατάστασης (carrier neutral colocation facilities), όπου οι «ιδιωτικές» οπτικές ίνες των τελικών χρηστών διασυνδέονται και δρομολογούν υπηρεσίες από τους service providers. Μια (η βασικότερη) από τις αρχιτεκτονικές που δημιουργείται καλείται reverse PON και ουσιαστικά αποτελεί την αντιστροφή της κλασικής αρχιτεκτονικής PON, με τον εξοπλισμό του πελάτη να παρέχει διακριτές «συνδέσεις» με διάφορους service providers. Παράλληλα, η ιδέα της υποδομής που ανήκει στον πελάτη μπορεί να λειτουργήσει και με άλλες αρχιτεκτονικές, όπως του ενεργού κόμβου κλπ.

Ένα τυπικό παράδειγμα της αρχιτεκτονικής Reverse PON παρουσιάζεται στο Σχήμα 89.



Σχήμα 89. Αρχιτεκτονική Reverse PON

Ο Πίνακας 17 παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αρχιτεκτονικής αυτής.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Υψηλή εφικτή απόσταση	Ανάγκη για διαχείριση της οπτικής ίνας και του τερματικού εξοπλισμού από τον τελικό χρήστη
Μεγαλύτερη ασφάλεια	Υψηλό αρχικό κόστος απόκτησης
Υψηλότερο εύρος ζώνης και πλήρως διαχειρίσιμο	
Ευελιξία στην επιλογή services	

Πίνακας 17. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός Reverse PON

5.2.8. Σύγκριση αρχιτεκτονικών

Ένας τηλεπικοινωνιακός πάροχος πρέπει να εξετάσει πολλούς παράγοντες για την επιλογή της κατάλληλης FTTx αρχιτεκτονικής, αλλά ο πιο σημαντικός παράγοντας είναι η πυκνότητα των συνδρομητών. Επειδή η αρχιτεκτονική αστέρα με Ethernet switches μπορεί να λειτουργήσει σε μεγαλύτερες αποστάσεις, είναι πιο οικονομική σε περιοχές με χαμηλή πυκνότητα συνδρομητών. Και δεδομένου ότι αυτή η αρχιτεκτονική μπορεί να επεκταθεί κατά απαίτηση, μειώνει τα έξοδα των αρχικών συνδρομητών. Από την άλλη πλευρά, σε περιοχές υψηλής πυκνότητας συνδρομητών, οι αποστάσεις μεταξύ των κτιρίων-συνδρομητών είναι πιο μικρές και μια αρχιτεκτονική PON μπορεί να είναι πιο οικονομική. Ωστόσο, στην αρχιτεκτονική PON ένας πάροχος μπορεί να επωμιστεί ένα υψηλό κόστος κάθε φορά που εισέρχεται ένας νέος συνδρομητής.

Στην ενότητα αυτή ανακεφαλαιώνουμε και συγκρίνουμε τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε επιλογής.

Υπάρχουν ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα για τα οποία οι πάροχοι προτιμούν τις αρχιτεκτονικές PON έναντι των σύνδεσης ινών από σημείο σε σημείο, αν και μερικοί από αυτούς τους λόγους γίνονται όλο και λιγότερο αναγκαστικοί.

- Εξοικονόμηση ινών πρόσβασης: Η εξοικονόμηση ινών μεταξύ των οπτικών διαχωριστών (optical splitter) και των σημείων παρουσίας των παρόχων είναι το σημαντικότερο πλεονέκτημα για την ανάπτυξη PON FTTx δικτύων. Εάν ένας πάροχος διαθέτει εφεδρικές ίνες ή διαθέσιμους αγωγούς μεταξύ του σημείου παρουσίας του και κάποιου καταναμητή μπορεί να αποτρέψει την ανάγκη σκαψίματος στις οδούς. Εντούτοις, η εμπειρία δείχνει ότι η διαθεσιμότητα της υποδομής ινών συχνά υπερεκτιμάται, γεγονός το οποίο οδηγεί τελικά στο σκάψιμο σε περισσότερες περιπτώσεις από ότι αρχικά αναμενόταν. Σε περιπτώσεις ωστόσο, όπου δεν υπάρχει η απαραίτητη υποδομή ή σε περιπτώσεις επέκτασης του δικτύου σε νέες γειτονιές, η εξοικονόμηση ινών είναι συνήθως ασήμαντη, επειδή το κόστος για πρόσθετες ίνες είναι αμελητέο συγκριτικά με το κόστος που απαιτείται για να σκαφτούν νέοι τάφροι.
- Εξοικονόμηση θυρών στο σημείο παρουσίας (POP) του παρόχου: Η εξοικονόμηση θυρών έχει τρεις πτυχές. Αρχικά, το γεγονός ότι υπάρχει μια

αφιερωμένη οπτική διεπαφή για κάθε πελάτη σε ένα point-to-point σενάριο μπορεί να υπονοήσει ότι αυτή η αρχιτεκτονική είναι ακριβότερη από μια αρχιτεκτονική όπου οι θύρες διαμοιράζονται σε ένα μεγαλύτερο αριθμό πελατών. Από την άλλη, οι αφιερωμένες Ethernet θύρες είναι οικονομικά ανταγωνιστικές αν ληφθεί υπόψη το μεγάλο κόστος των PON θυρών. Το χαμηλό κόστος των θυρών Ethernet οφείλεται στην τεράστια χρήση τους στα δίκτυα των επιχειρήσεων και των φορέων παροχής υπηρεσιών, ενώ αντίθετα οι GPON θύρες δεν χρησιμοποιούνται ακόμα σε σημαντικές ποσότητες. Δεύτερον, ακόμα και στην περίπτωση όπου υπάρχει 100% ζήτηση ενός προσφερόμενου FTTx δικτύου, το POP για μία PON αρχιτεκτονική θα είχε λιγότερο από τον μισό εξοπλισμό συγκριτικά με ένα Ethernet FTTx. Τρίτον, η διαχείριση ενός μεγάλου αριθμού ινών γίνεται πολύ πιο εύκολη με τη διαθεσιμότητα των optical distribution frames, που επιτρέπουν στα POPs των παρόχων να χειρίζονται χιλιάδες ίνες που εισάγονται από εξωτερικές εγκαταστάσεις. Σε ένα τέτοιο πλαίσιο μπορούν να τερματιστούν πάνω από 2000 ίνες.

- Broadcast μετάδοση: Δεδομένου ότι η δομή του PON είναι εγγενώς ένα μέσο broadcast μετάδοσης, αρκετοί πάροχοι υπηρεσιών ενδιαφέρονται να χρησιμοποιήσουν αυτήν την ικανότητα τους για broadcast διανομή video, το οποίο επιτρέπει τη χρήση ομοαξονικού καλωδίου από τη μεριά των πελατών για την αναλογική/ψηφιακή τηλεόραση. Η προσθήκη μιας δεύτερης ίνας σε ένα point-to-point Ethernet FTTx σενάριο, εντούτοις, γίνεται όλο και πιο κοινή, και οι φορείς παροχής υπηρεσιών αναπτύσσουν υβριδικές αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιούν τις point-to-point δομές για όλες τις interactive υπηρεσίες (όπως της IPTV), και μια πρόσθετη PON δομή για την broadcast διανομή video. Αυτή η δομή PON μπορεί στη συνέχεια να βελτιστοποιηθεί για έναν μεγαλύτερο αριθμό συνδρομητών συγκριτικά με τη χρήση PON για interactive υπηρεσίες.
- Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος: Καθώς το PON δεν διαθέτει ενεργά στοιχεία, δεν χρειάζεται την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο δίκτυο, όπως γίνεται και στην περίπτωση του home run.
- Επισκευή βλαβών: Αν και η επισκευή των παραδοσιακών χάλκινων συνδέσεων είναι σχετικά γρήγορη διαδικασία, η επισκευή μιας οπτικής ίνας είναι πιο περίπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία. Παρέχοντας περισσότερες οπτικές ίνες (όπως στην περίπτωση του home run) αυξάνεται και ο χρόνος αποκατάστασης για μία βλάβη σε μία σωλήνωση.
- Ροή χρημάτων: Η επιθυμία των παρόχων γενικά είναι να κάνουν όσο το δυνατόν μικρότερη επένδυση αρχικά, και να επενδύουν περαιτέρω όταν αρχίσουν να προσθέτουν πελάτες. Η υποδομή του δικτύου οπτικών ινών συνήθως τοποθετείται προτού εμφανιστεί ο πρώτος πελάτης, και άρα από λογιστικής άποψης είναι προτιμότερη μια λύση που ελαχιστοποιεί το κόστος αρχικά με την πιθανότητα επιπλέον εξόδων όταν αρχίσουν να αυξάνονται οι πελάτες.

Ωστόσο, υπάρχουν διάφορα σημαντικά ζητήματα που αντιμετωπίζουν οι φορείς παροχής υπηρεσιών που αναπτύσσουν αρχιτεκτονικές PON. Μερικά από αυτά τα ζητήματα είναι τα εξής:

- Κοινό εύρος ζώνης: Το εύρος ζώνης σε μία δεντρική αρχιτεκτονική ινών PON μοιράζεται μεταξύ όσο το δυνατόν περισσότερων πελατών προκειμένου να υπάρξει μία πιθανή μείωση του κόστους ανά-συνδρομητή.

- Κρυπτογράφηση: Δεδομένου ότι κάθε PON αποτελεί ένα κοινό μέσο (shared medium), απαιτείται κρυπτογράφηση σε όλες τις ροές δεδομένων. Η κρυπτογράφηση προσθέτει κάποιο ουσιαστικό overhead σε κάθε πακέτο, γεγονός που μπορεί, ανάλογα με τη συνολική κίνηση, να μειώσει αρκετά το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.
- Local Loop Unbundling: Τα δίκτυα PON δεν υποστηρίζουν άμεσα απαιτήσεις LLU, επειδή με μία μόνο ίνα μπορούν να εξυπηρετηθούν αρκετοί χρήστες. Επομένως δεν μπορεί να υπάρξει διάκριση στο φυσικό επίπεδο αλλά μόνο σε ένα λογικό επίπεδο.
- Ανίχνευση λαθών και συντήρηση: Οι παθητικοί οπτικοί διαχωριστές δεν μπορούν να μεταδώσουν οποιαδήποτε ένδειξη αποτυχίας στο κέντρο λειτουργίας του δικτύου. Επομένως, οποιοδήποτε πρόβλημα στις εγκαταστάσεις ινών μεταξύ του διαχωριστή και της ONU είναι πολύ δύσκολο να εντοπιστεί. Αυτό καθιστά την ανίχνευση λαθών πολύ σύνθετη σε μια αρχιτεκτονική PON και οδηγεί στην αύξηση του διαχειριστικού κόστους.
- Ανθεκτικότητα: Μία ελαττωματική ONU που μεταδίδει συνεχές φως στη δεντρική τοπολογία ινών μπορεί να προκαλέσει την κατάρρευση της επικοινωνίας όλων των συνδρομητών που βρίσκονται σε εκείνο το PON, κάνοντας έτσι πολύ δύσκολο τον εντοπισμό της ελαττωματικής συσκευής.
- Συμβατότητα με νέες τεχνολογίες: Σε κάποιο σημείο στο μέλλον, ο εξοπλισμός του PON θα πρέπει να αναβαθμιστεί σε μία νέα τεχνολογία με υψηλότερες δυνατότητες εύρους ζώνης. Ήδη, έχουν ξεκινήσει να γίνονται βήματα τυποποίησης των απαιτήσεων του 10-Gbps PON. Αυτές οι λύσεις είναι πολύ πιθανό να μην είμαι συμβατές με τα υπάρχοντα πρότυπα PON (GPON ή EPON).

Από την άλλη μεριά, η χρήση των αρχιτεκτονικών Ethernet FTTx έχει αρκετά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τις αρχιτεκτονικές PON. Αρκετά από αυτά είναι:

- Ουσιαστικά απεριόριστο εύρος ζώνης: Μια ίνα μπορεί να παρέχει ουσιαστικά απεριόριστο εύρος ζώνης, γεγονός το οποίο προσφέρει απόλυτη ευελιξία σε μελλοντικές επεκτάσεις υπηρεσιών καθώς οι ανάγκες εύρους ζώνης θα αυξάνονται. Το Ethernet FTTx επιτρέπει στους παρόχους να εγγυηθούν εύρος ζώνης για κάθε συνδρομητή. Σε κάθε χρήστη (είτε είναι επιχείρηση είτε κάποιο σπίτι) μπορεί να παρασχεθεί οποιοδήποτε εύρος ζώνης εκείνος επιθυμεί, οποιαδήποτε χρονική στιγμή.
- Προσιτότητα: Οι χαρακτηριστικές επεκτάσεις των δικτύων πρόσβασης Ethernet FTTx χρησιμοποιούν χαμηλού κόστους ίνες, τεχνολογίας 100BX ή 1000BX, οι οποίες μπορούν να διανύσουν έως και 10 χιλιόμετρα χωρίς να είναι απαραίτητη η ενίσχυσή τους. Για να καλυφθούν ακόμα μεγαλύτερες αποστάσεις, υπάρχουν οπτικές μονάδες διαθέσιμες στην αγορά, που αυξάνουν ωστόσο το συνολικό κόστος, καθώς επίσης και οπτικοί πομποδέκτες.
- Δυνατότητα Επέκτασης: Μόνο πελάτες που έχουν συνδρομή με κάποιο πάροχο υπηρεσιών μπορούν να καταλάβουν κάποια θύρα στο Ethernet FTTx switch πρόσβασης. Σε αυτήν την περίπτωση, δεδομένου ότι ο αριθμός πελατών αυξάνεται, αρκεί απλά να προστεθούν Ethernet κάρτες για να καλυφθεί η αυξανόμενη ζήτηση. Από την άλλη μεριά, στην αρχιτεκτονική PON όπου η τοπολογία είναι δενδρική, ο πρώτος πελάτης που συνδέεται απαιτεί μία ακριβή

OLT θύρα και το κόστος ανά συνδρομητή βελτιώνεται μόνο με την προσθήκη νέων πελατών στο ίδιο δέντρο PON.

- Ευκολία αναβάθμισης εύρους ζώνης: Είναι εύκολο οποιοσδήποτε πελάτης να «αναβαθμιστεί» σε κάποιο υψηλότερο εύρος ζώνης χωρίς το γεγονός αυτό να έχει επιρροή στους άλλους πελάτες. Αυτό σημαίνει, παραδείγματος χάριν, ότι ένας πελάτης που έχει Fast Ethernet μπορεί να αναβαθμιστεί σε Gigabit Ethernet, με απλή τοποθέτηση της ίνα του σε μία διαφορετική θύρα του Ethernet FTTx switch και αντικατάσταση της συσκευής Ethernet στις εγκαταστάσεις του. Όλοι οι υπόλοιποι πελάτες στο δίκτυο πρόσβασης Ethernet FTTx θα παραμείνουν ανεπηρέαστοι από αυτήν την αλλαγή.
- LLU: Το LLU είναι μια εγγενής ιδιότητα των αρχιτεκτονικών Ethernet FTTx, αλλά είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί σε μια αρχιτεκτονική PON λόγω του διαμοιραζόμενου μέσου σε μία δενδρική τοπολογία PON. Το ζήτημα του LLU αποτελεί ένα σημαντικό κριτήριο για αρκετούς από τους νέους φορείς FTTx στην Ευρώπη, δεδομένου ότι αναπτύσσουν δίκτυα όπου η υποδομή των δικτύων πρόσβασης των συνδρομητών θα πρέπει να είναι διαθέσιμη σε πολλούς παρόχους.
- Ασφάλεια: Σε φυσικό επίπεδο, η αφιερωμένη ίνα θεωρείται το ασφαλέστερο μέσο, ειδικότερα όταν συγκρίνεται με οποιοδήποτε διαμοιραζόμενο μέσο. Επιπρόσθετα, τα Ethernet switches αναπτύσσονται με σκοπό να παρέχουν δυνατότητα διάκρισης του φυσικού επιπέδου των θυρών και λογικού διαχωρισμού των πελατών, έχοντας πολλά επίπεδα ασφάλειας που αποτρέπουν ουσιαστικά όλες τις παραβάσεις.
- Λειτουργικές δαπάνες: Για επιχειρήσεις που ενδιαφέρονται για επεκτάσεις FTTx, εκτός από την κύρια δαπάνη που συνδέεται με την αγορά του εξοπλισμού και την τοποθέτηση των ινών, οι λειτουργικές δαπάνες μιας τέτοιας αρχιτεκτονικής διαδραματίζουν έναν πολύ σημαντικό ρόλο. Αν και δεν υπάρχουν πολλά διαθέσιμα στοιχεία που θα επέτρεπαν μια άμεση σύγκριση μεταξύ των αρχιτεκτονικών, υπάρχουν σαφή δεδομένα ότι το λειτουργικό κόστος για μια επέκταση Ethernet FTTx είναι κατά πολύ μικρότερο από αυτό για τις αρχιτεκτονικές PON FTTx.

Είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε εδώ ότι το θέμα του LLU μπορεί να ειπωθεί από τη σκοπιά των παρόχων που αναπτύσσουν τα δίκτυα οπτικών ινών και ως πλεονέκτημα των δικτύων PON, με την έννοια ότι δυσκολεύουν τεχνικά το unbundling, και άρα ένας πάροχος που έχει επενδύσει σε ένα δίκτυο PON μπορεί να ελπίζει ότι δεν θα αναγκαστεί να παρέχει την οπτική υποδομή του σε ανταγωνιστές κάτω από την πίεση των ρυθμιστικών φορέων της τηλεπικοινωνιακής αγοράς στην οποία δραστηριοποιείται.

Ακόμα είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι σύμφωνα με ορισμένες έρευνες η διαφορά κόστους μεταξύ αρχιτεκτονικών PON και ενεργών δικτύων ίσως να μην είναι και ιδιαίτερα μεγάλη, με κάποιες εκτιμήσεις να τοποθετούν τη διαφορά κόστους μεταξύ PON και home run αρχιτεκτονικής μόλις στο 8% της συνολικής επένδυσης, ανάλογα βέβαια και με τις συγκεκριμένες συνθήκες κάθε περίπτωσης.

Ο Πίνακας 18 συνοψίζει και συγκρίνει τα βασικότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αρχιτεκτονικών PON, Active Network και Home Run.

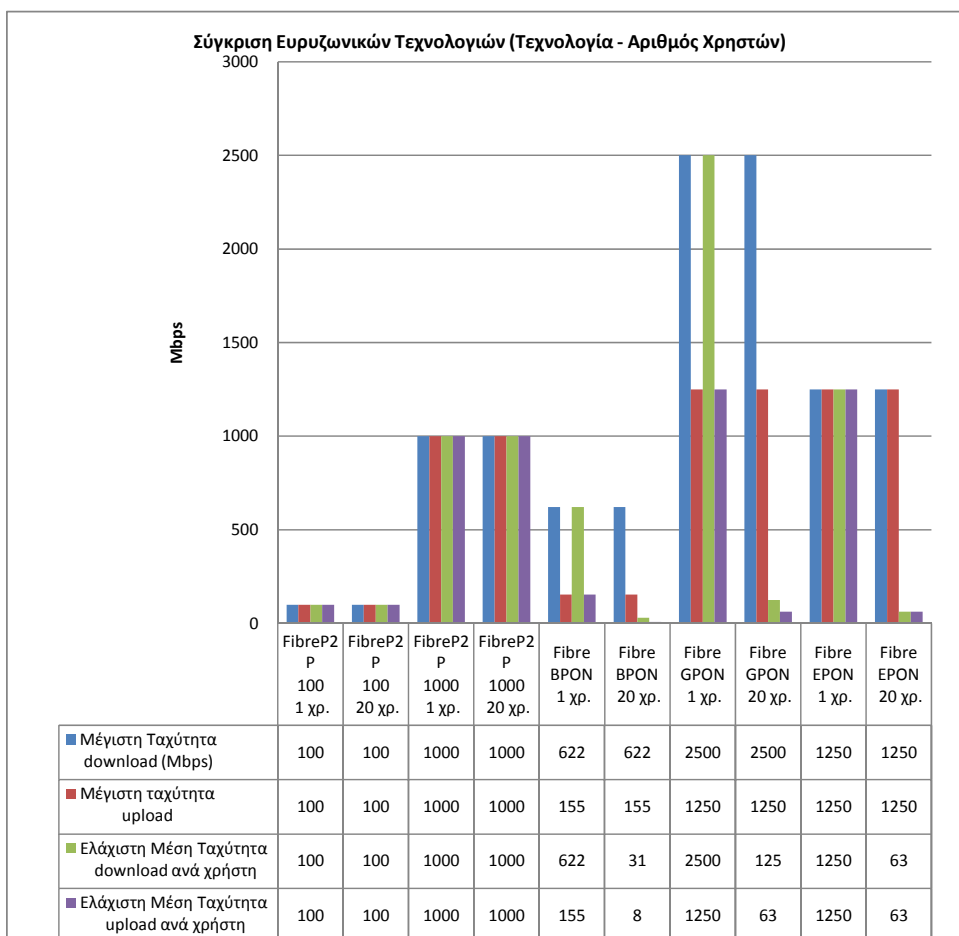
Χαρακτηριστικό	B(G) PON (σε παρένθεση ότι ισχύει χωριστά για το GPON)	E(GE) PON	Active Ethernet	Home Run
Τύπος δικτύου διανομής	Παθητικό	Παθητικό	Ενεργό	-
Πρότυπο	ITU-T G.983 (G.984)	IEEE 802.3ah	IEEE 802.3ah	-
Χωρητικότητα	Μέχρι 32 (64) χρήστες ανά παθητικό δέντρο	16 χρήστες ανά παθητικό δέντρο	-	-
Εμβέλεια	20 km από OLT	20 km	10 km από ενεργό κόμβο	Εξαρτάται από τον εξοπλισμό
Ρυθμοί μετάδοσης	Μέχρι 2,4 Gbps ανά PON	Μέχρι 1,2 Gbps ανά PON	Μέχρι 1,2 Gbps ανά χρήστη	Εξαρτάται από τον εξοπλισμό
Αποδοτικότητα αξιοποίησης bandwidth	Υψηλή	Χαμηλή	Χαμηλή	Χαμηλή
Υπηρεσίες	Φωνή με χρονική πολυπλεξία (TDM), RF video, Δεδομένα, IPTV και VoIP πάνω από σύνδεση δεδομένων	VoIP, Δεδομένα, IP video	VoIP, Δεδομένα, IP video	Οτιδήποτε
Υποστήριξη QoS	Προτυποποιημένο	Μερικώς προτυποποιημένο	Μερικώς προτυποποιημένο	Εξαρτάται από τον εξοπλισμό
Ασφάλεια	AES	AES	AES	Εξαρτάται από τον εξοπλισμό
Κλιμακωσιμότητα	Επιπλέον χρήστες υποστηρίζονται με περισσότερη οπτική ίνα και εξοπλισμό	Επιπλέον χρήστες υποστηρίζονται με περισσότερη οπτική ίνα και εξοπλισμό	Υψηλότερες ταχύτητες και περισσότεροι χρήστες υποστηρίζονται με επιπλέον εξοπλισμό	Απεριόριστη θεωρητικά χωρητικότητα ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό
Ωριμότητα	Προϊόντα από πολλούς κατασκευαστές	Προϊόντα από πολλούς κατασκευαστές	Προϊόντα από πολλούς κατασκευαστές	Προϊόντα από πολλούς κατασκευαστές
Αποδοχή	Μεγάλοι πάροχοι ειδικά στην Αμερική	Μεγάλοι πάροχοι ειδικά εκτός Αμερικής	Δήμοι και υπηρεσίες	Εγκατάσταση παρθένων δικτύων (σε αντιδιαστολή με την εξέλιξη ήδη υπαρχόντων)

Πίνακας 18. Ποιοτική σύγκριση τεχνολογιών PON, Active network και Home run

5.2.9. Ποσοτική σύγκριση FTTx αρχιτεκτονικών

Στην ενότητα 1.8.3 έγινε μια σύγκριση μεταξύ διαφόρων ενσύρματων (με χρήση καλωδίων χαλκού) και ασύρματων ευρυζωνικών τεχνολογιών. Στα διαγράμματα και στους πίνακες που ακολουθούν, παρουσιάζεται η υπεροχή της χρήσης των τεχνολογιών FTTx σε σχέση με τις υπόλοιπες γνωστές ευρυζωνικές τεχνολογίες και συγκρίνονται ποσοτικά οι διάφορες FTTx αρχιτεκτονικές. Συγκρίνονται η μέγιστη ταχύτητα download (ονομαστική), η μέγιστη ταχύτητα upload καθώς και η ελάχιστη μέση ταχύτητα download και upload ανά χρήστη. Το σενάριο χρήσης, αφορά σε αποκλειστική χρήση της εκάστοτε τεχνολογίας από ένα μόνο χρήστη στη μία περίπτωση και από 20 χρήστες στην άλλη.

Από μια πρώτη επισκόπηση είναι φανερό πως κύριο μειονέκτημα των αρχιτεκτονικών PON σε σχέση με τις αρχιτεκτονικές P2P, είναι ο διαμοιρασμός του εύρους ζώνης. Ωστόσο, μελετώντας τους απαιτούμενους χρόνους για download και upload, είναι ξεκάθαρο πως όλες οι αρχιτεκτονικές FTTx, υπερέχουν σημαντικά των ασύρματων τεχνολογιών και των τεχνολογιών χαλκού.



Σχήμα 90. Σύγκριση Τεχνολογιών FTTx για 1 και 20 χρήστες

Τεχνολογία - Αριθμός Χρηστών	Μέγιστη Ταχύτητα download (Mbps)	Μέγιστη ταχύτητα upload	Ελάχιστη Μέση Ταχύτητα download ανά χρήστη	Ελάχιστη Μέση Ταχύτητα upload ανά χρήστη	Ελάχιστος χρόνος για download 1 GB (ωω:λλ:δδ)	Μέγιστος χρόνος για download 1 GB (ωω:λλ:δδ)	Ελάχιστος χρόνος για upload 1 GB (ωω:λλ:δδ)	Μέγιστος χρόνος για upload 1 GB (ωω:λλ:δδ)
FibreP2P 100 1 χρήστης	100	100	100	100	0:01:20	0:01:20	0:01:20	0:01:20
FibreP2P 100 20 χρήστες	100	100	100	100	0:01:20	0:01:20	0:01:20	0:01:20
FibreP2P 1000 1 χρήστης	1000	1000	1000	1000	0:00:08	0:00:08	0:00:08	0:00:08
FibreP2P 1000 20 χρήστες	1000	1000	1000	1000	0:00:08	0:00:08	0:00:08	0:00:08
Fibre BPON 1 χρήστης	622	155	622	155	0:00:13	0:00:52	0:00:13	0:00:52
Fibre BPON 20 χρήστες	622	155	31	8	0:00:13	0:00:52	0:04:17	0:17:12
Fibre GPON 1 χρήστης	2500	1250	2500	1250	0:00:03	0:00:06	0:00:03	0:00:06
Fibre GPON 20 χρήστες	2500	1250	125	63	0:00:03	0:00:06	0:01:04	0:02:08
Fibre EPON 1 χρήστης	1250	1250	1250	1250	0:00:06	0:00:06	0:00:06	0:00:06
Fibre EPON 20 χρήστες	1250	1250	63	63	0:00:06	0:00:06	0:02:08	0:02:08

Πίνακας 19. Σύγκριση των τεχνολογιών FTTx για 1 και 20 χρήστες

5.3. ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Στην ενότητα αυτή βλέπουμε το αντικείμενο της τοπολογίας των δικτύων οπτικών ινών όσον αφορά το γενικότερο σχεδιασμό τους και όχι αποκλειστικά όσον αφορά τον τρόπο προσέγγισης του τελικού χρήστη που είδαμε ως τώρα.

Τα δίκτυα τα οποία βασίζονται σε χρήση οπτικών ινών είναι δυνατό να κατασκευαστούν με διάφορες τοπολογίες έτσι ώστε να εξυπηρετούνται όσο το δυνατόν καλύτερα οι απαιτήσεις που υπάρχουν από το δίκτυο (σε αξιοπιστία, bandwidth κλπ.), ικανοποιώντας ταυτόχρονα και τους περιορισμούς που τίθενται, κυρίως σε θέματα κόστους.

- Σύνδεση σημείο σε σημείο (Point-to-point). Οι συνδέσεις αυτού του τύπου είναι οι απλούστερες και οι πρώτες που εμφανίστηκαν. Σε αυτή την τοπολογία υπάρχουν τερματιστές στα άκρα κάθε οπτικής ίνας. Η συνδεσμολογία αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για συνδέσεις μεταξύ σημείων τα οποία θεωρούνται «κομβικά» στο δίκτυο και ανταλλάσσουν μεγάλο όγκο δεδομένων. Τα μόνα στοιχεία που χρειάζονται για τη δημιουργία της σύνδεσης είναι η φυσική σύνδεση με τη μορφή οπτικής ίνας

καθώς και δύο τερματιστές ή και πολυπλέκτες αναλόγως με την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία επιπέδου 2. Η αξιοπιστία της σύνδεσης μπορεί να αυξηθεί αν μεταξύ των δύο σημείων τοποθετηθεί άλλη μία σύνδεση που να περνά από διαφορετική φυσική τοποθεσία (όδευση) σε σχέση με την πρώτη (backup γραμμή). Σε περιπτώσεις πολλαπλών κόμβων, η υλοποίηση όλων των συνδέσεων μεταξύ των κόμβων με τέτοιου είδους συνδέσεις προσφέρει το μεγαλύτερο βαθμό αξιοπιστίας, αλλά προφανώς το κόστος και η πολυπλοκότητα της υλοποίησης αυξάνεται ανάλογα.

- Δίκτυα εισαγωγής-απομάστευσης. Τα δίκτυα αυτά έχουν γραμμική ή δενδρική τοπολογία και χρησιμοποιούν ενεργές συσκευές πολυπλεξίας όχι μόνο στα άκρα των οπτικών ινών (ως τερματιστές), αλλά και στο ενδιάμεσο της γραμμής ώστε να είναι δυνατή η άμεση εισαγωγή αλλά και η άμεση απομάστευση σημάτων. Η υλοποίηση τέτοιων δικτύων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες στο αμέσως επόμενο επίπεδο (π.χ. SONET/SDH, Ethernet).
- Δίκτυα βασισμένα σε hub. Στα δίκτυα αυτά ορίζεται ένα κεντρικό σημείο στο οποίο συγκεντρώνεται η κυκλοφορία από πολλά περιφερειακά σημεία. Από το κεντρικό αυτό σημείο η κυκλοφορία μπορεί να μεταφερθεί μέσω μιας άλλης σύνδεσης σε κάποιο άλλο κομβικό σημείο του δικτύου. Αυτή η τοπολογία μοιάζει με τα δίκτυα εισαγωγής-απομάστευσης δενδρικής τοπολογίας, αλλά εδώ οι συνδέσεις μεταξύ του κεντρικού σημείου και των περιφερειακών κόμβων είναι point-to-point και δεν παρεμβάλλονται ενεργός εξοπλισμός πολυπλεξίας σήματος στην γραμμή για να εισάγουν ή να εξάγουν κάποια άλλα σήματα. Με την τοπολογία αυτή μειώνεται ο απαιτούμενος εξοπλισμός για την δημιουργία ενός δικτύου που διασυνδέει πολλαπλά σημεία.
- Δίκτυα τοπολογίας δακτυλίου. Στην τοπολογία αυτή, η όδευση των ινών υλοποιείται σε δακτυλίους όπου συνδέονται τα τελικά σημεία. Οι τοπολογίες αυτές συμπληρώνονται από τις τεχνολογίες μεγαλύτερων επιπέδων (SONET/SDH, Ethernet) ή από άλλους μηχανισμούς management και δημιουργείται κατ' αυτόν τον τρόπο πλήθος παραλλαγών. Επίσης, ο αριθμός των ινών στην τοπολογία δακτυλίου δίνει τη δυνατότητα αυτόματης επιδιόρθωσης με τη χρήση κατάλληλων μηχανισμών. Οι πιο συνηθισμένες βλάβες που μπορούν να συμβούν σε ένα οπτικό δακτύλιο είναι οι εξής:
 - Βλάβη στην οπτική ίνα (π.χ. κόψιμο)
 - Προβλήματα με την ακτίνα laser (βλάβη στον πομπό, ή μειωμένη ισχύς ακτίνας)
 - Βλάβη σε κόμβο του δακτυλίου

Το SONET για παράδειγμα υλοποιεί την τεχνική η οποία ονομάζεται «αυτόματη προστασία δακτυλίου» (APS - Automatic Protection Switching) η οποία δίνει αυξημένες ικανότητες προστασίας του δακτυλίου από βλάβες οποιουδήποτε είδους. Η τεχνολογία αυτόματης προστασίας δακτυλίου απαιτεί όλοι οι κόμβοι που συνδέονται στο δακτύλιο να συνδέονται με κάθε γείτονά τους με δύο οπτικές ίνες. Η δεύτερη οπτική ίνα χρησιμοποιείται σε περίπτωση βλάβης στον δακτύλιο. Η δεύτερη οπτική ίνα είναι ενεργή και κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας του δακτυλίου και ο κάθε κόμβος αποφασίζει ποια από τις δύο θα χρησιμοποιήσει βασιζόμενος σε έναν εσωτερικό αλγόριθμο (π.χ. ανάλογα με το ποια οπτική ίνα εγκαταστάθηκε πρώτη

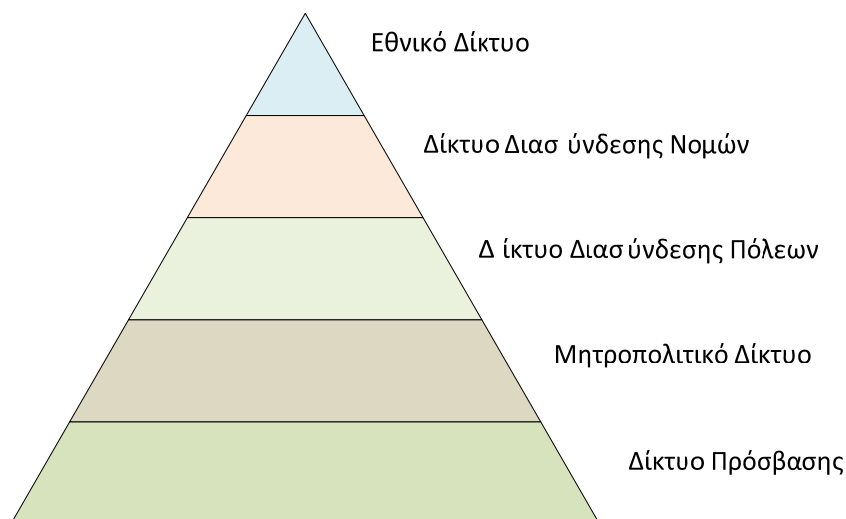
στον πολυπλέκτη). Η μεταγωγή στην εφεδρική ίνα γίνεται μέσα σε 60ms από τότε που θα διαγνωστεί βλάβη στον δακτύλιο.

Αντίστοιχα, έχει δημιουργηθεί και το πρότυπο IEEE 802.17 (Resilient Packet Ring - RPR) για βελτιστοποίηση της μετάδοσης δεδομένων πάνω από οπτικές ίνες. Αυτό παρέχει αυτόματη προστασία όπως το SONET, αλλά στηρίζεται σε μετάδοση πακέτων και όχι σε μεταγωγή κυκλώματος όπως το SONET. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνει την αύξηση της απόδοσης του Ethernet και IP υπηρεσιών. Η λειτουργία του βασίζεται στη χρήση διπλού δακτυλίου που καλείται ringlet. Τα ringlets δημιουργούνται με τη χρήση RPR σταθμών σε κόμβους. Το RPR χρησιμοποιεί τις MAC διευθύνσεις για να κατευθύνει την κίνηση που περνά από τις 2 κατευθύνσεις του δακτυλίου. Οι RPR κόμβοι διαπραγματεύονται το απαιτούμενο bandwidth μεταξύ τους χρησιμοποιώντας διάφορους ειδικούς αλγορίθμους, αποφεύγοντας έτσι τη δημιουργία συμφόρησης ή «κομμένες διαδρομές». Η αποφυγή των κομμένων διαδρομών επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας εκ των τεχνικών «steering» και «wrapping». Με την τεχνική «steering», όταν ένας κόμβος ή μια γραμμή σύνδεσης είναι «κομμένη», τότε όλοι οι άλλοι κόμβοι (μέσω σηματοδότησης) ενημερώνονται και αναδρομολογούν την κίνηση. Αντίθετα, στην τεχνική «wrapping», ο τελευταίος κόμβος (πριν την κομμένη σύνδεση) απλά αναδρομολογεί την κίνηση σε βρόγχο (loop) και τη στέλνει στην αντίθετη κατεύθυνση για να καταλήξει στον προορισμό. Μια επιπλέον λειτουργία της τεχνικής RPR είναι γνωστή με το όνομα «spatial reuse». Με δεδομένο ότι το πρότυπο RPR αφαιρεί (strips) το οπτικό σήμα από τον δακτύλιο όταν φτάσει στον προορισμό, σε αντίθεση με την τεχνική του SONET, ο ελεύθερος χώρος μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για να μεταφέρει επιπλέον πληροφορία. Τέλος, το πρότυπο RPR υποστηρίζει και συνεργάζεται με άλλα πρότυπα όπως το IEEE 802.1D (bridging) και 802.1Q (vlan tagging).

5.4. ΚΛΙΜΑΚΩΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η κλιμάκωση που μπορούν να λάβουν τα δίκτυα οπτικών ινών, ξεκινώντας από επίπεδο χώρας και καταλήγοντας στο μικρότερο συστατικό ενός τέτοιου δικτύου που είναι το δίκτυο πρόσβασης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 91.

Όσο πιο ψηλά βρίσκεται ένα δίκτυο στην ιεραρχία τόσο πιο αυξημένες είναι οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, διαθεσιμότητα και ασφάλεια. Όλη η IP κίνηση μπορεί να κατανεμηθεί, γεγονός το οποίο μπορεί μελλοντικά να οδηγήσει σε διεύρυνση της πυραμίδας. Προς το παρόν, θα γίνει αναφορά σε ένα δίκτυο κλασσικής τηλεφωνίας σε συνδυασμό με ένα μελλοντικό IP δίκτυο. Η πληροφορία σε ένα τέτοιο δίκτυο διοχετεύεται από τις βέλτιστες διαδρομές εφόσον αυτές είναι διαθέσιμες.



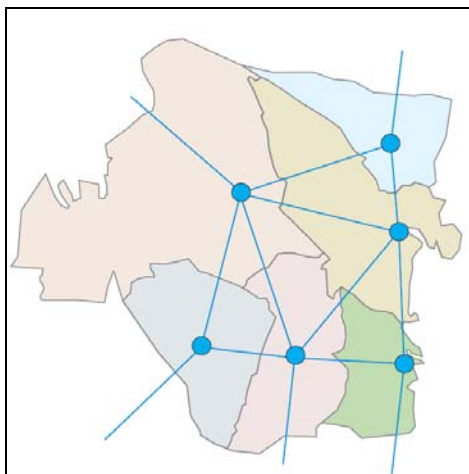
Σχήμα 91. Κλιμάκωση δικτύων

5.4.1. Εθνικό Δίκτυο

Ένα εθνικό δίκτυο διασυνδέει όλες τις περιοχές μιας χώρας και πιθανά διασυνδέεται με εθνικά δίκτυα άλλων χωρών. Σε αυτό το επίπεδο, τα στάνταρντ ασφαλείας είναι πολύ υψηλά.

5.4.2. Δίκτυο Διασύνδεσης Νομών

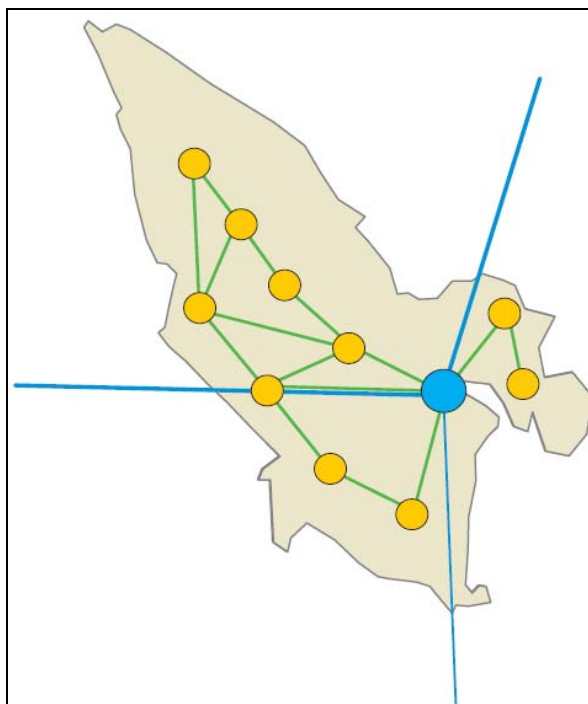
Το δίκτυο διασύνδεσης νομών διασυνδέει δίκτυα γειτονικών νομών σε μια ευρύτερη περιοχή και επιπλέον, συνδέεται στο εθνικό δίκτυο όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 92.



Σχήμα 92. Δίκτυο Διασύνδεσης Νομών

5.4.3. Δίκτυο Διασύνδεσης Πόλεων

Το δίκτυο διασύνδεσης πόλεων, με τη σειρά του, διασυνδέει τα δίκτυα πόλεων ή αλλιώς μητροπολιτικά δίκτυα, εντός ενός νομού και συνδέεται στο δίκτυο διασύνδεσης νομών όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 93.



Σχήμα 93. Δίκτυο Διασύνδεσης Πόλεων

5.4.4. Μητροπολιτικό Δίκτυο

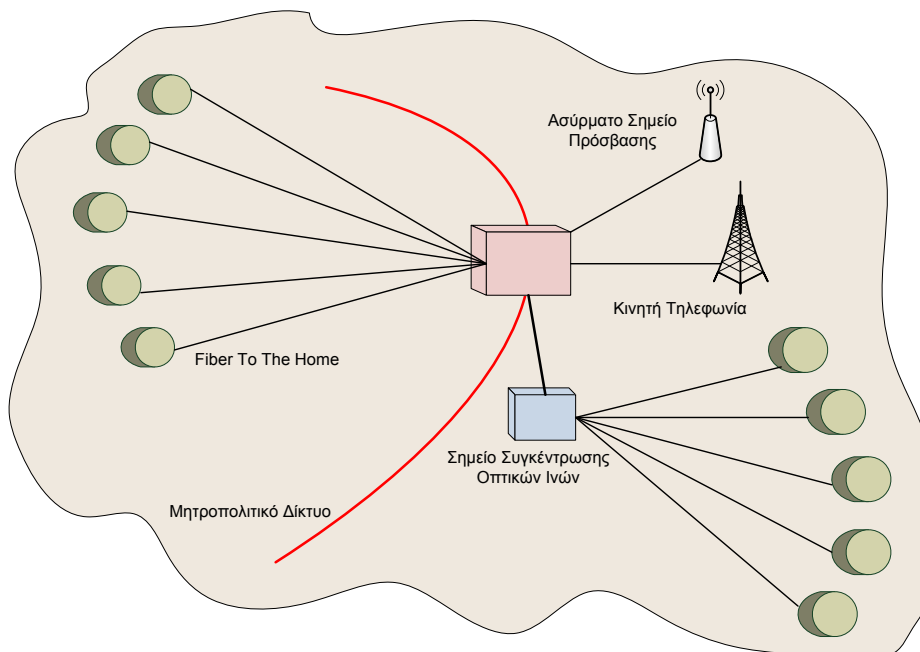
Τα μητροπολιτικά δίκτυα ή δίκτυα πόλεων έχουν σα στόχο να παρέχουν την ευρυζωνική υποδομή η οποία μπορεί να εξυπηρετήσει μακροχρόνιες ανάγκες. Με ορθό σχεδιασμό, μπορεί να επιτευχθεί ευκολία επέκτασης ενός μητροπολιτικού δικτύου καλύπτοντας σε βάθος χρόνου τις ανάγκες ολοένα και περισσότερων συνδρομητών. Τα μητροπολιτικά δίκτυα συνδέουν δίκτυα πρόσβασης σε κύριους κόμβους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 94



Σχήμα 94. Μητροπολιτικό Δίκτυο

5.4.5. Δίκτυο Πρόσβασης

Το δίκτυο πρόσβασης συνδέει συνδρομητές – τελικούς χρήστες ή ομάδες συνδρομητών σε κόμβους πρόσβασης. Στο δίκτυο πρόσβασης συνδέονται χρήστες όπως μεμονωμένες οικίες, πολυκατοικίες, επιχειρήσεις, νοσοκομεία, δημόσιοι οργανισμοί. Επιπλέον, υπάρχουν υποδοχές για σύνδεση κόμβων ασύρματης πρόσβασης και κεραιών κινητής τηλεφωνίας. Παράλληλα, στο δίκτυο πρόσβασης μπορούν να συνδεθούν συστήματα ασφαλείας όπως συναγερμοί, απομακρυσμένη παρακολούθηση χώρων καθώς και συστήματα απομακρυσμένου ελέγχου.



Σχήμα 95. Δίκτυο Πρόσβασης

Στις επόμενες παραγράφους, θα γίνει εκτενής αναφορά στις τεχνικές υλοποίησης των μητροπολιτικών δικτύων και των δικτύων πρόσβασης.

5.5. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται μία ενδεικτική μεθοδολογία υλοποίησης μητροπολιτικών δικτύων οπτικών ινών, βασισμένη στην αρχιτεκτονική των τριών επιπέδων:

Κύριος κόμβος

Κύριο σημείο διασύνδεσης οπτικών αγωγών και καλωδίων του περιφερειακού ιστού για κάλυψη των συναθροισμένων επικοινωνιακών αναγκών ενός μεγάλου δήμου ή μιας ευρύτερης αλλά πλέον αραιοκατοικημένης περιοχής ή μέρους ενός μεγάλου αστικού κέντρου. Για λόγους διαθεσιμότητας της υποδομής, επιδιώκεται κάθε κύριος κόμβος να είναι άμεσα συνδεδεμένος με παραπάνω του ενός ομότιμους κύριους κόμβους. Στους κύριους κόμβους εγκαθίσταται ενεργός εξοπλισμός, πέραν των παθητικών διατάξεων μικτονόμησης οπτικών ινών και προβλέπεται συν-εγκατάσταση ή πρόσβαση διαχειριστών και παρόχων υπηρεσιών και εφαρμογών.

Κύριο δίκτυο

Το δίκτυο υποδομών και οπτικών καλωδίων για τη διασύνδεση μεταξύ των κυρίων κόμβων με την έννοια που ορίστηκαν παραπάνω. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι διαδρομές μεταξύ των κύριων κόμβων γειτνιάζουν ή ταυτίζονται με εθνικά ή περιφερειακά δίκτυα υποδομών άλλου τύπου (όπως οδικά δίκτυα, σιδηροδρομικά δίκτυα, δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, δίκτυα μεταφοράς φυσικού αερίου, δίκτυα άρδευσης ή ύδρευσης).

Κόμβος διανομής

Το σημείο διασύνδεσης οπτικών αγωγών και καλωδίων του κατ' εξοχήν μητροπολιτικού δικτύου (δικτύου διανομής) για συγκέντρωση των συναθροισμένων επικοινωνιακών αναγκών μιας γεωγραφικής περιοχής. Ανάλογα με το μοντέλο ανάπτυξης των λειτουργικών δικτύων, στους κόμβους διανομής μπορεί να μην εγκατασταθεί ενεργός εξοπλισμός, αλλά μόνο διατάξεις μικτονόμησης οπτικών ινών. Για διάφορους λόγους όμως, όπως η μεγάλη απόσταση από τον πλησιέστερο κύριο κόμβο ή η έλλειψη κύριου κόμβου ή η στενότητα στον αριθμό οπτικών ινών ή η επιθυμία πολλαπλασιασμού του εύρους ζώνης ή άλλες εξωγενείς αιτίες, στον κόμβο διανομής μπορεί να τοποθετηθεί παθητικός ή/και ενεργός εξοπλισμός για πολυπλεξία.

Δίκτυο διανομής

Το πυκνότερο δίκτυο για τη διασύνδεση μεταξύ των κόμβων διανομής ή/και μεταξύ κόμβων διανομής και κύριων κόμβων. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι διαδρομές (χάνδακες) μεταξύ κόμβων διανομής ταυτίζονται με διαδρομές του δικτύου κορμού, του δικτύου πρόσβασης και «τρέχουν» παράλληλα με δίκτυα άλλων υποδομών (οδικό δίκτυο, δίκτυο αποχέτευσης, κλπ.). Για λόγους διαθεσιμότητας της υποδομής, επιδιώκεται η έμμεση σύνδεση κάθε κόμβου διανομής με περισσότερους του ενός κύριους κόμβους είτε απ' ευθείας είτε εμμέσως ή/και μέσω ενδιάμεσων συνδέσεων με άλλους κόμβους διανομής (π.χ. με τη μορφή φυσικών δακτυλίων).

Κόμβος πρόσβασης

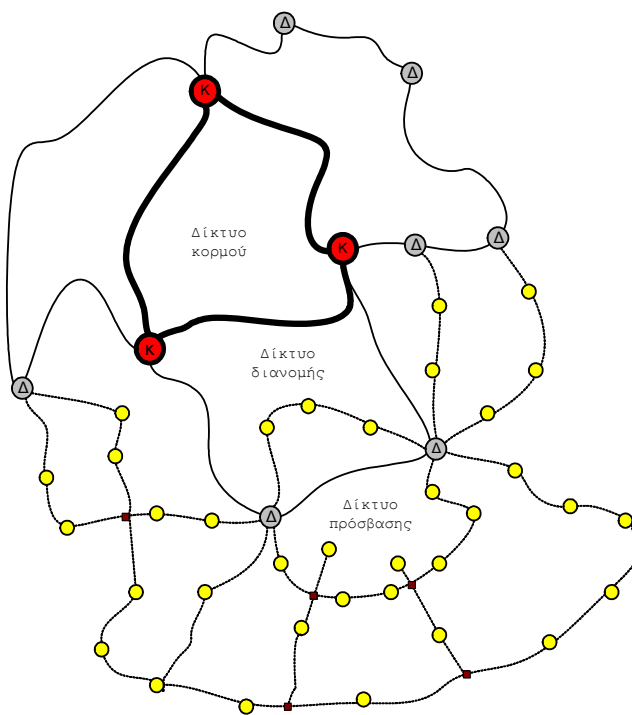
Το σημείο διασύνδεσης μεμονωμένων κτιριακών εγκαταστάσεων ή συγκροτημάτων προς το δίκτυο πρόσβασης. Αποτελεί και σημείο τοποθέτησης ενεργού εξοπλισμού για παροχή δικτυακών υπηρεσιών προς τους τελικούς χρήστες.

Δίκτυο πρόσβασης

Το πυκνό δίκτυο σύνδεσης των κόμβων πρόσβασης με το δίκτυο διανομής. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι διαδρομές μεταξύ κόμβων πρόσβασης γειτνιάζουν ή ταυτίζονται και με δίκτυα άλλων υποδομών σε τοπικό επίπεδο π.χ. μιας γειτονιάς. Για λόγους διαθεσιμότητας και ασφάλειας της υποδομής, αποτελεί λογική επιδίωξη ή έμμεση σύνδεση κάθε κόμβου πρόσβασης με περισσότερους του ενός κόμβους διανομής (π.χ. με την τοποθέτησή τους σε φυσικό δακτύλιο), αν και αυτό λόγω της πυκνότητας της υποδομής, του συνεπαγόμενου μεγάλου κόστους εναλλακτικών οδύσεων, της μικρής σχετικά σημασίας των βλαβών στο επίπεδο μεμονωμένων χρηστών, και της παραδοσιακής πρακτικής ακτινοειδούς ανάπτυξης του τοπικού βρόχου, μπορεί να μην είναι καθολικά υλοποιήσιμο. Η δομή του δικτύου πρόσβασης διαφοροποιείται ως προς την πυκνότητα και την τοπολογία ανάλογα με την περίπτωση της εξυπηρετούμενης περιοχής (αστική, βιομηχανική, αγροτική).

Σημαντικό σημείο στην υλοποίηση του οπτικού δικτύου αποτελεί ο κατανεμητής (ODF – Optical Distribution Frame), ο οποίος χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση των οπτικών καλωδίων. Χρησιμοποιείται κυρίως μεταξύ του οπτικού εξοπλισμού και του οπτικού δικτύου καθώς και μεταξύ των οπτικών καλωδίων των χρηστών στο δίκτυο πρόσβασης.

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται για αναφορά, η γενική δομή ενός φυσικού δικτύου οπτικών υποδομών.

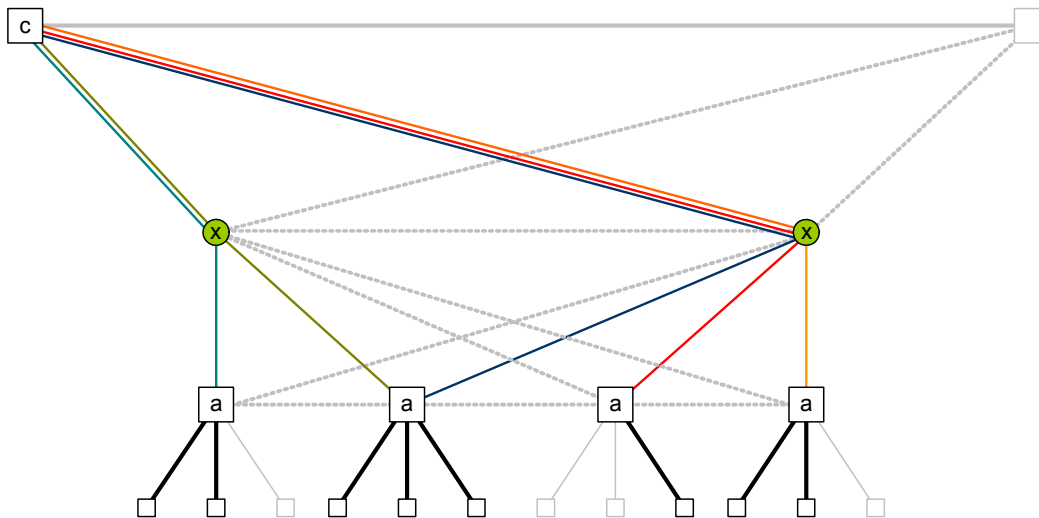


Σχήμα 96. Η γενική μορφή ενός δικτύου οπτικών ινών

Η οπτική υποδομή, πρέπει να αναπτυχθεί με κατάλληλο τρόπο ώστε:

1. Να έχει το στοιχείο του πλεονασμού και τη δυνατότητα εναλλακτικών συνδέσεων σε ένα πάροχο.
2. Να μπορεί να προσαρμοσθεί σε διαφοροποιημένες απαιτήσεις παρόχων δικτυακών υπηρεσιών με διαφορετικούς τρόπους και αρχιτεκτονικές παροχής υπηρεσιών από τον καθένα.
3. Να επιτρέπει λειτουργικές (λογικές) τοπολογίες αρτηρίας, δένδρων και δακτυλίων σε υποσύνολο της υποδομής.
4. Να επιτρέπει την πολυπλεξία υψηλής ρυθμαπόδοσης (throughput) (α) μεταξύ κύριων κόμβων, β) μεταξύ κύριων κόμβων και κόμβων πρόσβασης, γ) μεταξύ κόμβων πρόσβασης και γ) μεταξύ κόμβων πρόσβασης και διακριτών χρηστών.
5. Να είναι επεκτάσιμη ακόμη και με πρωτοβουλία τρίτων μερών τα οποία θα μπορούν να κατασκευάσουν συμπληρωματικές υποδομές συγκέντρωσης χρηστών και πρόσβασης και να επιζητήσουν τη διασύνδεση των υποδομών αυτών (κατά τεκμήριο σε κόμβους διανομής ή πρόσβασης) μέσω φρεατίων και σωληνώσεων της παρούσας υποδομής. Επίσης να μπορούν να προστεθούν κόμβοι οποιουδήποτε επιπέδου μεταξύ υπαρχόντων κόμβων.
6. Να επιτρέπει με φυσικό τρόπο το μερισμό της και την κοστολόγηση των μερών που ενοικιάζονται ή εκχωρούνται μακροχρόνια ανάλογα με το διαχειριστικό σχήμα που θα προκύψει.
7. Να έχει μειωμένο κόστος διαχείρισης και αποκατάστασης βλαβών.

Όσον αφορά την απαίτηση 1, θα ήταν ιδιαίτερα επιθυμητό να υπάρχει πλήρης επάρκεια ινών ώστε να είναι δυνατή η άμεση ή έμμεση σύνδεση οποιουδήποτε σημείου προς οποιοδήποτε σημείο και μάλιστα με επιπλέον εναλλακτική όδευση, όπως παραδείγματος χάριν από κάθε κύριο κόμβο προς κάθε κόμβο πρόσβασης με πλεονασματικές, εάν απαιτείται, ζεύξεις, όπως φαίνεται στο Σχήμα 97.



Σχήμα 97. Όδευση δικτύων οπτικών ινών

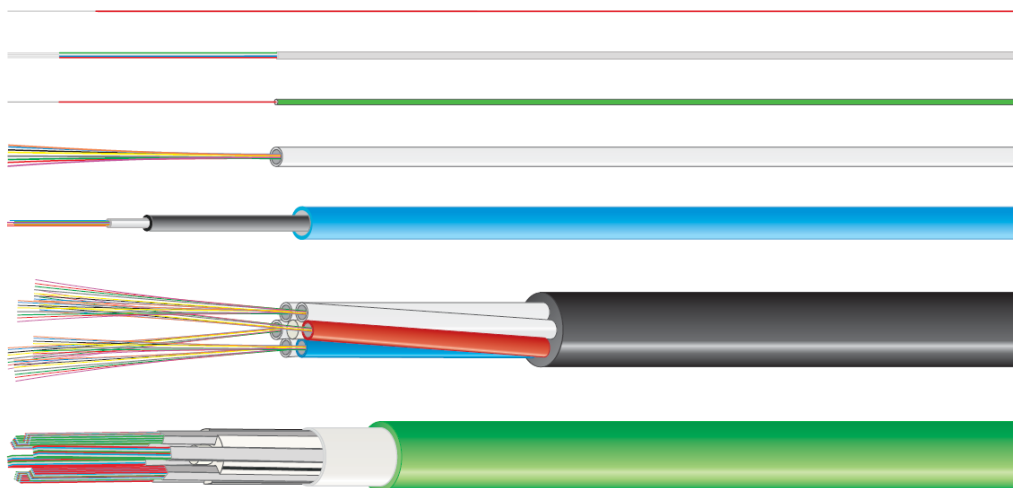
Αυτό όμως, εγείρει μεγάλες απαιτήσεις για τον αριθμό ινών του δικτύου διανομής οι οποίες πρέπει να προβλεφθούν αλλά και να εγκατασταθούν από το αρχικό στάδιο.

Επίσης η χρήση διαθέσιμων μικροσωληνώσεων, όπως θα αναφερθεί παρακάτω, με τη δυνατότητα γρήγορης τοποθέτησης καλωδίου από οποιοδήποτε σημείο σε οποιοδήποτε άλλο σημείο, με επιπλέον δυνατότητα εύκολης αντικατάστασης καλωδίου και αύξησης του αριθμού των ινών, μπορεί να ικανοποιεί τις ανάγκες όταν αυτές παρουσιαστούν, χωρίς να χρειάζεται τοποθέτηση πλεονασματικών ινών στο αρχικό στάδιο.

Όσον αφορά τις απαιτήσεις 2 και 3, σε κάθε περίπτωση η οπτική υποδομή θα πρέπει να έχει την προοπτική (από άποψη εγκατεστημένων σωληνώσεων και δυνατότητας εισαγωγής νέων καλωδίων) της υποστήριξης αυξημένων μελλοντικών απαιτήσεων για πολλαπλές επιπλέον συνδέσεις σημείου προς σημείο (point-to-point) μεταξύ κύριου κόμβου και κόμβων διανομής, μεταξύ κόμβων διανομής, μεταξύ κόμβου διανομής και κόμβων πρόσβασης και μεταξύ κόμβων πρόσβασης.

Για λόγους ευελιξίας, μπορεί αν είναι επιθυμητό, να υπάρχει η δυνατότητα άμεσης φυσικής σύνδεσης εν σειρά μεταξύ επιλεγμένων κόμβων πρόσβασης χωρίς την ανάγκη αυτό να επιτευχθεί μέσω μικτονόμησης σε κόμβους διανομής. Το ίδιο μπορεί να ισχύει για τη σύνδεση μεταξύ κόμβων διανομής χωρίς την ανάγκη να μεσολαβήσει κύριος κόμβος. Κατ' αυτό τον τρόπο, αρτηρίες πολυπλεξίας θα μπορούν να διατρέξουν τμήματα που αρχίζουν από κύριο κόμβο ή κάποιο κόμβο πρόσβασης και να συμπεριλαμβάνουν περισσότερους του ενός κόμβους πρόσβασης εν σειρά.

Όσον αφορά την απαίτηση 4 για μεγάλη ρυθμαπόδοση σε κάθε τμήμα του δικτύου, μεγάλο ρόλο παίζει το είδος της οπτικής ίνας, οι αποστάσεις, ο αριθμός των συγκολλήσεων και η ποιότητά τους, καθώς και η εξασφάλιση των απαιτούμενων προδιαγραφών ως προς τα μηχανικά χαρακτηριστικά των καλωδίων. Η χρήση καλωδίου σύμμορφου τουλάχιστον προς τις προδιαγραφές ITU-G.652.C (low water peak) και καλύτερα της ITU-G.652.D (low water peak and low polarization mode dispersion - PMD), επιτρέπει την ασφαλή χρήση όλου του διαθέσιμου φάσματος 1270-1610 nm για χρήση CWDM ενώ για τις αρτηρίες του κυρίου δικτύου μπορεί να εξετασθεί και η συμπληρωματική χρήση οπτικών ινών με χαρακτηριστικά που επιτρέπουν υψηλές ρυθμαποδόσεις σε μεγάλες αποστάσεις (οπτικές ίνες τύπου non-zero dispersion shifted NZDS, ITU-G.655) εάν και μόνον εάν προκύπτει η σχετική ανάγκη σε γενικότερο περιφερειακό σχεδιασμό. Οι οπτικές ίνες NZDS σχεδιάστηκαν για να υπερκεράσουν τα προβλήματα των οπτικών ινών τύπου dispersion shifted, οι οποίες μπορεί να εισάγουν ανεπιθύμητα μη-γραμμικά φαινόμενα (non-linear effects). Στο Σχήμα 98 παρουσιάζονται ορισμένα είδη καλωδίων οπτικών ινών.



Σχήμα 98. Καλώδια οπτικών ινών

Επίσης το μέγεθος των φρεατίων, η προσοχή και επιμέλεια στη διευθέτηση καλωδίων ώστε να μη παραβιάζονται οι περιορισμοί σχετικά με την ελάχιστη ακτίνα κάμψης και τις δυνάμεις ελκυσμού ή θλίψης που εξασκούνται στα καλώδια και τις ίνες κατά την τοποθέτηση και λειτουργία, καθώς και τα μηχανικά χαρακτηριστικά κιβωτίων συγκόλλησης και διακλάδωσης που εξασφαλίζουν την προστασία από υγρασία, συντελούν αθροιστικά στην διατήρηση των επιθυμητών χαρακτηριστικών λειτουργίας.

Όσον αφορά την απαίτηση 5 και 6 για επεκτασιμότητα, και ευκολία στην κοστολόγηση, οι τεχνικές που αναφέρθηκαν παραπάνω οι οποίες περιορίζουν τον αριθμό των απαιτούμενων ινών στο δίκτυο διανομής ή εκμεταλλεύονται εναλλακτικές οδεύσεις, συνδυασμένες με στρατηγική τοποθέτηση φρεατίων και κόμβων σε σημεία που προβλέπεται μελλοντική αύξηση της ζήτησης, και την πρόβλεψη για μεγάλο αριθμό μικροσωληνώσεων μπορούν να διευκολύνουν την επέκταση του δικτύου και να περιορίσουν το αυξητικό κόστος των νέων συνδέσεων. Όπως θα αναφερθεί στην ενότητα 5.5.7.2 το κόστος τοποθέτησης νέων ινών μπορεί να περάσει εξ' ολοκλήρου στους χρήστες του δικτύου στην περίπτωση που το διαχειριστικό σχήμα επιτρέπει τον μερισμό στο επίπεδο μικροσωληνώσεων.

Για την απαίτηση 7, που αφορά το κόστος λειτουργίας και διαχείρισης βλαβών, μεγάλο ρόλο θα παίζει α) η ποιότητα της εγκατάστασης, β) η τεκμηρίωση και συστηματική σήμανση, γ) το διαχειριστικό σχήμα που θα επιλεγεί και η επάρκειά του σε τεχνογνωσία και σε εξοπλισμό, δ) η ασφάλεια των υποδομών από κλοπές και κακόβουλες ενέργειες που μπορούν να αποβούν καταστροφικές για τμήματα της υποδομής και άλλα.

5.5.1. Απαιτήσεις για το κύριο δίκτυο

Μεταξύ των κυρίων κόμβων του δικτύου, πρέπει να γίνει κάθε προσπάθεια ώστε το καλώδιο να είναι διακριτό και ενιαίο χωρίς ενδιάμεσες μικτονομήσεις ή, αν αυτό δεν είναι δυνατόν, το κύριο δίκτυο θα μπορεί να μοιράζεται καλώδιο από το δίκτυο διανομής. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να έχει τον ελάχιστο αριθμό συγκολλήσεων, οι οποίες στη δεύτερη αναφερόμενη παραπάνω περίπτωση θα γίνουν κατά προτίμηση εντός των κόμβων διανομής, χωρίς όμως δυνατότητα τερματισμού και μικτονόμησης,

δηλαδή λειτουργικά/λογικά ένας συγκεκριμένος αριθμός ινών θα πρέπει να ενώνει κύριο κόμβο με κύριο κόμβο. Τα ενιαία τμήματα μεταξύ συγκολλήσεων σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να είναι μικρότερα των 2 χιλιομέτρων (εκτός προφανώς των τερματικών τμημάτων που απομένουν μετά την τελευταία συγκόλληση στην κατεύθυνση εγκατάστασης της ίνας προς τον επόμενο κεντρικό κόμβο). Συνήθως μόνο ένα οπτικό καλώδιο εντός ιδιαίτερης υπο-σωλήνωσης απαιτείται για τη σύνδεση δύο κυρίων κόμβων προς τη μία κατεύθυνση ενός κεντρικού δακτυλίου με την προϋπόθεση ότι αυτό είναι επαρκώς διαστασιολογημένο. Η αντίστροφη κατεύθυνση προφανώς θα έχει άλλη διαδρομή. Προβλέποντας την επέκταση του κυρίου δικτύου σε περιφερειακό επίπεδο θα χρειαστεί χώρος για ίνες και συνεπώς για καλώδιο και σωληνώσεις στο μέλλον. Γενικότερα, θα πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον $K+1$ υποσωληνώσεις όπου K είναι ο αριθμός των προβλεπόμενων κυρίων κόμβων στους οποίους θα συνδεθούν οι κόμβοι διανομής. Προφανώς πρέπει να γίνει προσπάθεια για την εκμετάλλευση της εκσκαφής της συγκεκριμένης διόδευσης για τις σωληνώσεις και καλώδια διανομής και της πρόσβασης.

5.5.2. Απαιτήσεις για το δίκτυο διανομής

Δεδομένου ότι κάθε κόμβος διανομής συνδέεται τυπικά με δύο κύριους κόμβους ή με ένα κύριο κόμβο μέσω δύο διαδρομών, μία (1) υποσωλήνωση προς κάθε κατεύθυνση ή δύο (2) υπο-σωληνώσεις προς τη μία κατεύθυνση απαιτούνται για το σκοπό αυτό (ανάλογα με το εάν ο κόμβος διανομής είναι ανάμεσα από τους κύριους κόμβους ή από την ίδια πλευρά αντιστοίχως), για κάθε κόμβο διανομής. Για το δίκτυο διανομής, η απόλυτη ελάχιστη προτεινόμενη ποσότητα είναι πέντε (5) εγκατεστημένες υπο-σωληνώσεις ή μικροσωληνώσεις. Συνήθως, σωληνώσεις για περισσότερους του ενός κόμβους διανομής, καθώς και σωληνώσεις του δικτύου πρόσβασης θα συνυπάρχουν στην ίδια διόδευση. Συνεπώς πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη για περισσότερες υπο-σωληνώσεις.

Αν και το καλώδιο από κύριο κόμβο προς κάθε κόμβο διανομής στη βέλτιστη περίπτωση πρέπει είναι διακριτό και ενιαίο, μπορεί ένας κύριος κόμβος να εξυπηρετήσει με το ίδιο καλώδιο παραπάνω από έναν κόμβο διανομής, με την προϋπόθεση α) ότι το καλώδιο έχει αριθμό ινών ικανό να εξυπηρετήσει τους κόμβους πρόσβασης που αντιστοιχούν σε κάθε κόμβο διανομής και β) ότι σε κάθε κόμβο διανομής, μέσω συγκόλλησης ινών αναχωρούν και επιστρέφουν μόνο οι ίνες που αφορούν το συγκεκριμένο κόμβο ενώ οι υπόλοιπες, οργανωμένες συνήθως σε πολλαπλάσια θαλάμων (tubes) ή ταινιών (ribbons) των 12 ινών, παρακάμπτουν τη διαδικασία της συγκόλλησης.

Σημειώνεται ότι οι κόμβοι διανομής μπορεί αρχικά (για λόγους απλότητας και μικρού κόστους διαχείρισης) να μην είναι τίποτε παραπάνω από διατάξεις μικτονόμησης (cross-connect) οι οποίες υλοποιούν κατά περίπτωση μία ή παραπάνω φυσικές συνδέσεις (χωρίς πλεονασμό ή με πλεονασμό αντίστοιχα) μεταξύ ενός κόμβου πρόσβασης και ενός κυρίου κόμβου. Αυτό όμως σημαίνει ότι σε πλήρη ανάπτυξη, και με ανάγκη πλεονασματικής σύνδεσης κάθε σημείου πρόσβασης προς δύο κεντρικούς κόμβους, ο αριθμός των ινών που πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει ο κόμβος διανομής είναι ιδιαίτερα μεγάλος. Η πρόβλεψη ενεργών ή παθητικών στοιχείων πολυπλεξίας και απο-πολυπλεξίας στους κόμβους διανομής, καθώς και της σύνδεσης εν σειρά κόμβων για υλοποίηση τοπικών δακτυλίων ή αρτηριών με ένα ή

περισσότερα σημεία εξόδου, μπορεί να μειώσει κατά πολύ τις παραπάνω απαιτήσεις σε αριθμό εγκατεστημένων ινών.

5.5.3. Απαιτήσεις για το δίκτυο πρόσβασης

Το δίκτυο πρόσβασης ενώνει τους κόμβους πρόσβασης με τους κόμβους διανομής μέσω του καλωδίου πρόσβασης το οποίο με τη μορφή βρόχου διατρέχει φρεάτια διακλάδωσης και συγκόλλησης. Σημειώνεται ότι στον κόμβο πρόσβασης, θα υπάρχουν ενεργά στοιχεία μεταγωγής ή/και ενεργά ή παθητικά στοιχεία πολυπλεξίας για την υποστήριξη των χρηστών, οπότε ο αριθμός των ινών που αντιστοιχούν σε συνδέσεις με χρήστες μπορεί τελικά να ικανοποιηθεί από πολύ μικρότερο αριθμό ινών μεταξύ κόμβου πρόσβασης και κύριου κόμβου.

Από τον κόμβο πρόσβασης αναχωρούν ζεύξεις για διακριτούς χρήστες της περιοχής. Ο αριθμός των σωλήνων, υπο-σωλήνων, κλπ. που θα τοποθετηθεί στο χάνδακα που ενώνει τα φρεάτια πρόσβασης θα εξαρτηθεί από το εάν κοινοί χάνδακες και σωληνώσεις εξυπηρετούν κατά μήκος της διαδρομής τους και άλλους χρήστες.

5.5.4. Απαιτήσεις για το δίκτυο συγκέντρωσης (τελικών χρηστών)

Τυπικά κάθε χρήστης (κτίριο σε fiber to the home - FTTH) εξυπηρετείται από έναν κόμβο πρόσβασης, μέσω φρεατίων και διαδρομών οι οποίες στο φυσικό επίπεδο μπορούν να έχουν μικτή τοπολογία απαρτιζόμενη από αστέρα, αρτηρία ή και δακτύλιο. Κάθε χρήστης θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα πλεονασματικών συνδέσεων (εντός της ίδιας όδευσης) προς τον οικείο κόμβο πρόσβασης και σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να γίνεται εκμετάλλευση κοινών διοδεύσεων όπου αυτό είναι δυνατόν. Δεδομένου του ότι, μπορεί να υπάρχει και πρόβλεψη για απ' ευθείας φυσική εν σειρά ζεύξη των κόμβων πρόσβασης που ανήκουν στον ίδιο βρόχο, θα υπάρχει δυνατότητα πολλών τρόπων διασύνδεσης μεταξύ ομοειδών χρηστών. Αυτό μπορεί να περιορίσει τον αριθμό των αφιερωμένων απαιτούμενων ινών και συνδέσεων στους ενδιάμεσους κόμβους όλων των επιπέδων.

5.5.5. Υλικά

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τα οπτικά δίκτυα συμπεριλαμβάνουν φρεάτια, σωληνώσεις, καλώδια, μούφες συγκόλλησης, κιβώτια συγκολλήσεων, υπαίθρια κιβώτια ή κιβώτια εσωτερικού χώρου με ερμάρια συγκόλλησης η/και διατάξεις μικτονόμησης (cross-connect) τερματισμού και σύνδεσης με ενεργό εξοπλισμό, χώρο οργάνωσης πλεονάζοντος καλωδίου, τα ικριώματα παθητικού και ενεργού εξοπλισμού και όλες τις βοηθητικές διατάξεις και εξαρτήματα για ένωση και διακλάδωση σωληνώσεων και υπό-σωληνώσεων, για τη στήριξη, τη δρομολόγηση και την οργάνωση μεγάλου αριθμού καλωδίων. Δεδομένου ότι υπάρχει μεγάλος αριθμός από επιλογές και διαδικασίες για την τοποθέτηση των παραπάνω υλικών, η επιλογή υλικών και διαδικασιών πρέπει να λαμβάνει υπ' όψη, τους τοπικούς περιορισμούς και ιδιομορφίες, τη συγκεκριμένη διαβάθμιση τεχνογνωσίας μεταξύ των διαφόρων μεθόδων, τους συγκεκριμένους τεchnοοικονομικούς στόχους κλπ. Σε κάθε περίπτωση όμως είναι προφανής η ανάγκη ανάπτυξης των δικτύων με συνεπή και δομημένο τρόπο λαμβάνοντας υπ' όψη το κόστος της συντήρησης και της

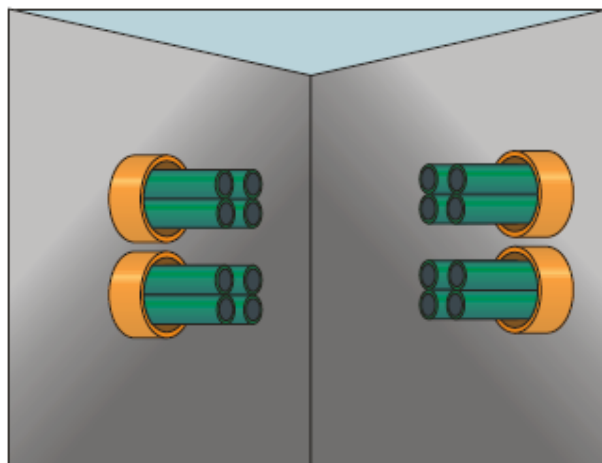
επέκτασης μετά την αρχική λειτουργία του. Το δίκτυο αγωγών (ducting) περιλαμβάνει φρεάτια (ή εναλλακτικά υπαίθρια κιβώτια) και σωληνώσεις.

5.5.6. Φρεάτια

Τα φρεάτια, Σχήμα 99 και Σχήμα 100, χρησιμοποιούνται για τρεις κυρίως σκοπούς: α) για τοποθέτηση πλεονασματικού καλωδίου (looping cable), β) για συγκόλληση/διακλάδωση καλωδίων και φιλοξενία των διατάξεων συγκόλλησης (cable splicing) ή διακλαδωτήρων μικροσωληνώσεων (microtube branching) και γ) ως σημεία για την υποβοήθηση της έλξης ή της εμφύσησης καλωδίου. Για ομοιομορφία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας τύπος φρεατίου (με μεταβλητές διαστάσεις ανάλογα με τη λειτουργία του και τους εκάστοτε περιορισμούς). Σε περιπτώσεις που ο υπόγειος χώρος είναι περιορισμένος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπαίθρια κιβώτια καλωδίων.

Στις πυκνοδομημένες αστικές περιοχές, τα φρεάτια συγκόλλησης ή διακλάδωσης συστήνεται να τοποθετούνται σε αποστάσεις από 200 έως 300m ενώ για διαδρομές καλωδίων σε αραιοκατοικημένες περιοχές οι αντίστοιχες αποστάσεις μπορούν να φτάνουν τα 500 μέτρα. Σε κάθε περίπτωση όμως, οι αποστάσεις μεταξύ των φρεατίων που θα χρησιμοποιηθούν για την υποβοήθηση του περάσματος ίνας με έλξη ή εμφύσηση, πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να υποστηρίζονται απρόσκοπτα όλες οι προβλεπόμενες τεχνικές περάσματος του καλωδίου για τον προβλεπόμενο τύπο και αριθμό καλωδίων και τον υπάρχοντα ή προβλεπόμενο τύπο σωληνώσεων, υποσωληνώσεων ή μικρο-σωληνώσεων.

Φρεάτια για τοποθέτηση πλεονασματικού καλωδίου συστήνεται να τοποθετούνται σε τακτά διαστήματα ιδιαίτερα σε περιοχές όπου προβλέπονται μελλοντικές μικρο-μετατοπίσεις της διόδευσης. Πρέπει να δοθεί προσοχή στον προσδιορισμό της θέσης των φρεατίων ώστε να μπορούν να προστεθούν εύκολα χρήστες στο μέλλον.



Σχήμα 99. Τομή φρεατίου



Σχήμα 100. Φρεάτιο μητροπολιτικού οπτικού δικτύου

5.5.7. Σωληνώσεις

Αναφερόμαστε στο σύστημα σωλήνων και υπο-σωλήνων HDPE (High-density polyethylene) ή και συστοιχιών μικρο-σωληνώσεων που θα εγκατασταθούν για την υποδοχή των οπτικών καλωδίων.

Ένα σημαντικό κόστος της υποδομής αποτελούν οι εκσκαφές και η τοποθέτηση των σωληνώσεων αυτών. Αυτό αυξάνει τις απαιτήσεις για καλό σχεδιασμό και πρόβλεψη. Σχετικά με τον προσδιορισμό των μελλοντικών αναγκών, η εμπειρία δείχνει, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου ανάλογες υποδομές αναπτύχθηκαν από τηλεπικοινωνιακούς φορείς με σκοπούς την κάλυψη άμεσων αναγκών και την ελαχιστοποίηση του κόστους, ότι αυτά ήταν υπο-διαστασιολογημένα όσον αφορά σωληνώσεις, καλώδια, μέγεθος και πυκνότητα φρεατίων.

Στην επιλογή της διάδεσης, πρέπει να δοθεί προσοχή στη μελλοντική δομή του πλήρως ανεπτυγμένου δικτύου. Οι σωληνώσεις για το κύριο δίκτυο, το δίκτυο διανομής και το δίκτυο πρόσβασης διαστασιολογούνται χωριστά, αλλά είναι επιθυμητό να εμπερικλείονται στην ίδια διάδεση (χάνδακα και φρεάτια) όπου αυτό είναι εφικτό. Ο αριθμός των σωλήνων (ή υπο-σωλήνων ή συστοιχιών μικροσωλήνων εντός ενός κοινού σωλήνα) εξαρτάται από τον αριθμό των απαιτούμενων οπτικών καλωδίων. Η τοποθέτηση ενός (και μόνο) καλωδίου ανά υπο-σωλήνωση ή μικροσωλήνα πρέπει να θεωρείται γενικός κανόνας και να αποφεύγονται οι παρεκκλίσεις. Σε κάθε περίπτωση, ο σχεδιασμός κύριου δικτύου, δικτύου διανομής, και δικτύου πρόσβασης, πρέπει να προβλέπει την άμεση τοποθέτηση κενών σωλήνων ή συστοιχιών μικροσωληνώσεων και τη μελλοντική εισαγωγή υπο-σωλήνων και οπτικών καλωδίων για την ικανοποίηση της μελλοντικής ζήτησης. Η θεώρηση των

αναπτυξιακών και ρυμοτομικών σχεδίων της περιοχής είναι απαραίτητη ώστε η πιθανότητα να προκύψει ανάγκη αχρήστευσης ή μετακίνησης μεγάλου μέρους της υποδομής να ελαχιστοποιηθεί.

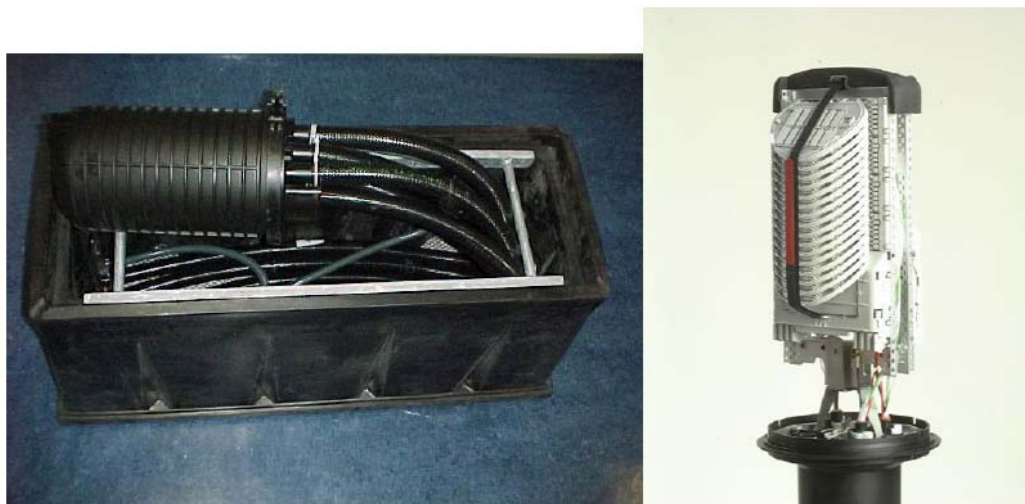
Γενικά διακρίνουμε 2 προσεγγίσεις όσον αφορά τις σωληνώσεις:

- Χρήση συμβατικών σωληνώσεων για τις κύριες αρτηρίες ή/και τις αρτηρίες διανομής εάν μεσολαβούν μεγάλες αποστάσεις και υπάρχει η ανάγκη για μεγάλο αριθμό ινών ανά καλώδιο και συγκολλήσεις σε φρεάτια συγκόλλησης.
- Χρήση συστοιχιών μικροσωληνώσεων οι οποίες και προτείνονται να χρησιμοποιηθούν τουλάχιστον για τις συνδέσεις των χρηστών, το δίκτυο πρόσβασης ή/και τις αρτηρίες διανομής (ακόμη και του κυρίου δικτύου εάν αυτό είναι εφικτό).

5.5.7.1. Συμβατική προσέγγιση με χρήση συγκολλήσεων και σωληνώσεων

Η προσέγγιση αυτή μπορεί να ακολουθηθεί για το κύριο δίκτυο στην περίπτωση μεγάλων αποστάσεων και επίσης πρέπει να εξετασθεί η καταλληλότητα της χρήσης της για το δίκτυο διανομής και πρόσβασης καθώς και για τις συνδέσεις προς τους χρήστες, ανάλογα με την περίπτωση, και σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω. Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή την οποία εφ' εξής αποκαλούμε «συμβατική» ισχύουν τα παρακάτω:

Κάθε καλώδιο του κυρίου δικτύου τοποθετείται εντός ιδιαίτερης υπο-σωλήνωσης και οδεύει χωρίς διακοπές από κύριο κόμβο σε κύριο κόμβο με προσπάθεια για μεγιστοποίηση των τμημάτων τα οποία μεσολαβούν μεταξύ συγκολλήσεων. Οι συγκολλήσεις όλων των ινών του καλωδίου ασφαλιζονται και προστατεύονται από την υγρασία εντός ειδικής διάταξης (μούφας), Σχήμα 101.



Σχήμα 101. Ειδικές διατάξεις υπόγειας συγκόλλησης οπτικών ινών (Μούφες)

Το δίκτυο διανομής, δηλαδή οι συνδέσεις από τους κύριους κόμβους προς τους κόμβους διανομής αναπτύσσεται με τον ίδιο τρόπο εφ' όσον αυτό είναι δυνατόν. Η πρόβλεψη πλεονασματικής απ' ευθείας σύνδεσης ενός κόμβου διανομής προς δεύτερο κύριο κόμβο, απαιτεί την ύπαρξη κενής υπο-σωλήνωσης καθ' όλο το μήκος

της σχετικής διαδρομής. Έτσι για ένα τμήμα με N κόμβους διανομής μεταξύ δύο κυρίων κόμβων απαιτούνται N υπο-σωλήνες.

Για τη μείωση του απαιτούμενου αριθμού καλωδίων και υπο-σωληνώσεων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν καλώδια μεγαλύτερου αριθμού ινών και στο πέρασμά τους από τους κόμβους διανομής να εξέρχονται μέσω διάταξης συγκόλλησης μόνο οι απαιτούμενες για το συγκεκριμένο κόμβο ίνες από τον κατάντη της διαδρομής κύριο κόμβο και να εισέρχονται οι ίνες που προορίζονται για τον ανάντη της διαδρομής κύριο κόμβο.

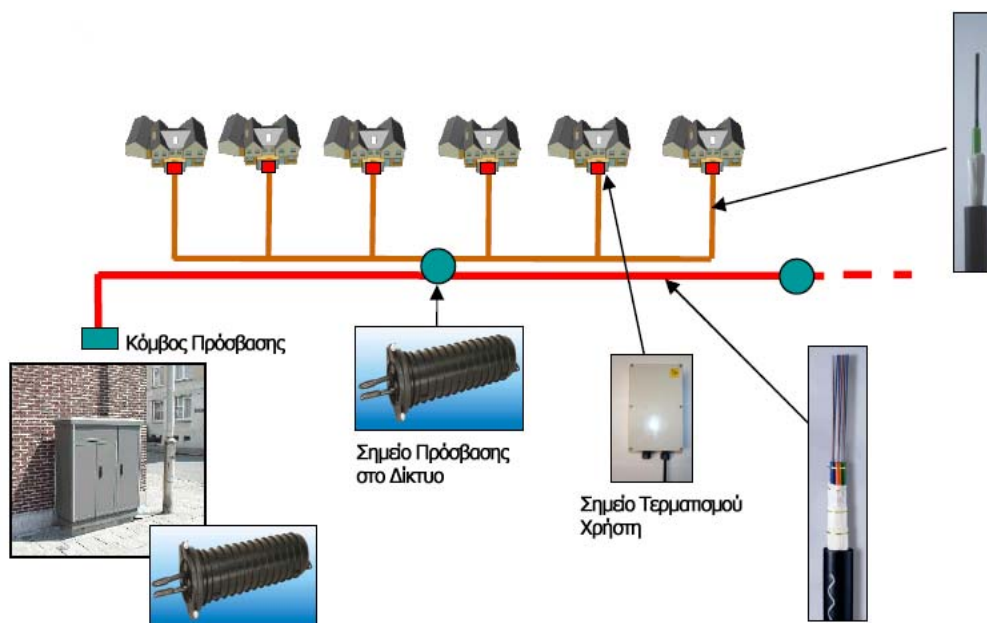
Το δίκτυο πρόσβασης αναπτύσσεται με τον ίδιο τρόπο που αναφέρθηκε στην παραπάνω παράγραφο για το δίκτυο διανομής.

Οι χρήστες γενικά υποστηρίζονται με διακριτά καλώδια από τον κόμβο πρόσβασης χωρίς να αποκλείεται η προαναφερθείσα τεχνική με καλώδιο που εκκινεί από κόμβο πρόσβασης και «ξεφλουδίζεται» τμηματικά παρέχοντας συγκεκριμένο αριθμό ινών ανά χρήστη. Η διαμεσολάβηση χρήστη στο δίκτυο πρόσβασης δεν αποκλείεται σε περιπτώσεις μεγάλου χρήστη ισοδύναμου από άποψη απαίτησης ινών με κόμβο πρόσβασης.

Η μέθοδος παρουσιάζει μερικά μειονεκτήματα:

- Μεγάλος αριθμός και μέγεθος καλωδίων συνεπάγονται αυξημένες διαστάσεις σωλήνων οι οποίοι απαιτούν μεγάλες εκσκαφές, και παρουσιάζουν προβλήματα τοποθέτησης λόγω της αυξημένης ακαμψίας τους και του μικρότερου διαθέσιμου μήκους σε στροφεία.
- Ο αριθμός ινών που αναχωρεί και εισέρχεται στο καλώδιο μέσω διάταξης συγκόλλησης είναι ίσος με τον αριθμό των ινών που αντιστοιχούν στο χαμηλότερο επίπεδο οργάνωσης των καλωδίων (θάλαμος-tube ή ταινία-gibbon), καθιστώντας προβληματική την εξυπηρέτηση κόμβων διαφορετικής δυναμικότητας με μεταβαλλόμενο αριθμό ινών.
- Για την εισαγωγή νέου κόμβου σε υπάρχον φρεάτιο απαιτείται α) να υπάρχει διαθέσιμο καλώδιο, β) να έχει πλεόνασμα μήκους γ) να υπάρχουν διαθέσιμες ίνες στο καλώδιο, δ) να γίνει προσεκτική τομή του εξωτερικού φλοιού του καλωδίου, ε) να απομονωθεί ο ελεύθερος θάλαμος, στ) να γίνουν προσεκτικά οι συγκολλήσεις και να διευθετηθούν οι υπόλοιποι θάλαμοι στον προσδιορισμένο για το σκοπό αυτό χώρο εντός της διάταξης συγκόλλησης.
- Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται καλώδια μεγάλου αριθμού ινών, για την εξυπηρέτηση ενδιάμεσων υπαρχόντων ή μελλοντικών κόμβων ή χρηστών, πέραν των προβλημάτων που επιφέρει η αύξηση βάρους, ακαμψίας, απαιτήσεων χώρου και κόστους, πιθανή βλάβη σε ολόκληρο το καλώδιο επιφέρει προβλήματα στη λειτουργία πολλών χρηστών συγχρόνως.
- Η υλοποίηση εν σειρά συνδέσεων μεταξύ επιλεγμένων κόμβων α) είναι δύσκολη και απαιτεί προγραμματισμό (αριθμό ινών, ποιος με ποιόν κλπ.).
- Ο αριθμός των συγκολλήσεων μεταξύ δύο απομακρυσμένων σημείων είναι ιδιαίτερα αυξημένος με αποτέλεσμα την εξασθένηση του οπτικού σήματος.

Η σύνδεση χρηστών με τη χρήση σωληνώσεων και συγκολλήσεων απεικονίζεται σχηματικά στο Σχήμα 102.



Σχήμα 102. Σύνδεση χρηστών με χρήση συμβατικών σωληνώσεων και συγκολλήσεων

5.5.7.2. Χρήση συστοιχιών μικροσωληνώσεων

Σύμφωνα με τη δεύτερη προσέγγιση, προτείνεται να χρησιμοποιηθούν συστοιχίες μικροσωληνώσεων για τις συνδέσεις των χρηστών, το δίκτυο πρόσβασης ή/και τις αρτηρίες διανομής.

Οι μικροσωληνώσεις είτε έχουν τη μορφή μίας ολοκληρωμένης συστοιχίας σωληνίσκων με εξωτερικό περιβάλλοντα προστατευτικό μανδύα (κατάλληλο για άμεσο ενταφιασμό πχ. από HDPE), Σχήμα 103, είτε μπορούν να τοποθετηθούν τμηματικά κατά δέσμες, εφόσον προκύπτει ανάγκη, εντός υπάρχοντος προστατευτικού σωλήνα με ειδικές διατάξεις προώθησης.



Σχήμα 103. Συστοιχία μικροσωληνώσεων με 7 μικροσωλήνες

Αν και εκ πρώτης όψεως το σύστημα φαίνεται παρόμοιο με αυτό των συμβατικών υπο-σωληνώσεων που χρησιμοποιούνται στη συμβατική προσέγγιση, η διαφορά έγκειται στο εξής: Αντί της δρομολόγησης οπτικών ινών μέσω συγκόλλησης μεταξύ διαφορετικών καλωδίων και χρήσης διατάξεων συγκόλλησης, αυτά που δρομολογούνται είναι οι μικροσωληνώσεις μέσω κατάλληλων διακλαδωτήρων και συνδέσμων. Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται ένα λείο φυσικό κανάλι από επιλεγμένο σημείο προς επιλεγμένο σημείο, με τη δυνατότητα το κανάλι αυτό να ενώνει κόμβους διαφορετικών επιπέδων, κόμβους ίδιου επιπέδου ή χρήστες με κόμβους πρόσβασης. Τα άκρα των κενών μικροσωληνίων σφραγίζονται με υδατοστεγή πώματα στα σημεία που αυτές καταλήγουν (κατά τεκμήριο σε κόμβους). Το μικρο-καλώδιο εμφυσάται με κατάλληλες συσκευές σε ύστερο χρόνο, όταν απαιτείται, και με τον απαιτούμενο αριθμό ινών ο οποίος με την τρέχουσα τεχνολογία μπορεί να κυμαίνεται από 2 έως 96 ίνες με την μέγιστη εξωτερική διάμετρο του μικρο-καλωδίου να παραμένει στο επίπεδο των 4-6mm, ανάλογα με τον αριθμό των ινών.

Η διάμετρος και το βάρος του μικρο-καλωδίου είναι δυνατό να παραμένει σε χαμηλά επίπεδα επειδή λόγω της μεθόδου τοποθέτησης και λόγω της προστασίας από τη μικροσωληνώση και το εξωτερικό περίβλημα της συστοιχίας, δεν αναπτύσσονται δυνάμεις ελκυσμού ή θλίψης οπότε εκλείπει η ανάγκη για ενισχυτικούς μανδύες στο ίδιο το καλώδιο. Βεβαίως η απαιτούμενη αντοχή του μικροκαλωδίου πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αντέχει τα συνήθη φορτία κρούσης και θλίψης τα οποία μπορούν να αναπτυχθούν κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης του καλωδίου καθ' όσο διάστημα αυτό βρίσκεται εκτεθειμένο εκτός των μικροσωληνώσεων.

Όπως γίνεται φανερό, απουσιάζουν οι διατάξεις συγκόλλησης οι οποίες πλέον περιορίζονται στο εσωτερικό των κόμβων και στο εσωτερικό των εγκαταστάσεων

των χρηστών. Οι συνδέσεις με τον απαιτούμενο αριθμό ιών γίνονται όταν προκύψει ανάγκη. Δεν τοποθετείται μικρο-καλώδιο εάν αυτό δεν χρειάζεται άμεσα ή μεσοπρόθεσμα.

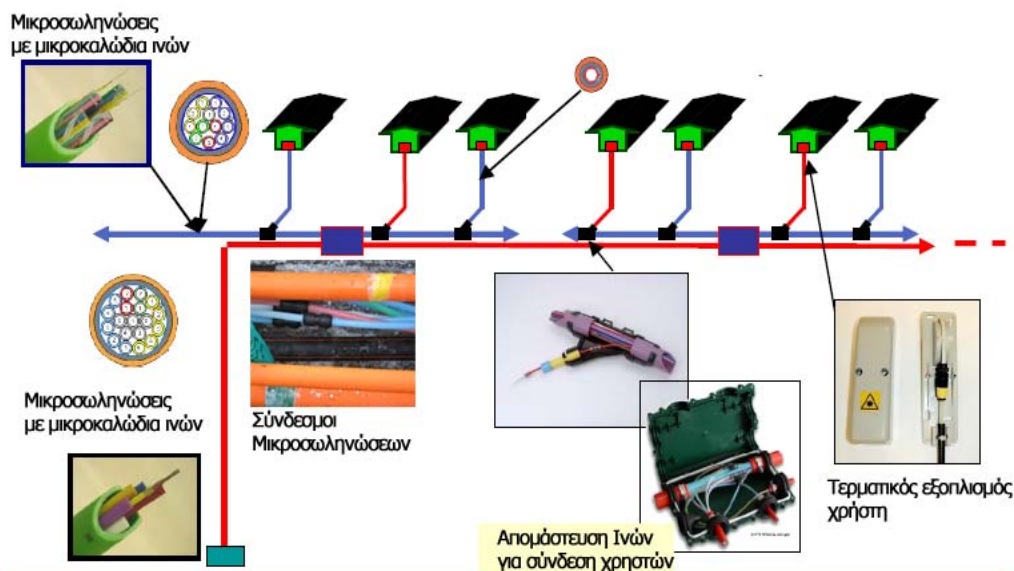
Για μεγάλες αποστάσεις, η εμφύσηση του καλωδίου μπορεί να γίνει από ενδιάμεσο σημείο προς τα υπο σύνδεση άκρα ή ακόμη και να επαναληφθεί σε σειρά. Το καλώδιο μπορεί να παραγγελθεί σε στροφεία μεγάλου μήκους αλλά εάν παρουσιασθεί η ανάγκη συγκόλλησης μεταξύ δύο τμημάτων μεγάλου μήκους, αυτό μπορεί να γίνει με διακλάδωση των σχετικών μικροσωληνώσεων προς κιβώτιο συγκόλλησης.

Η μέθοδος παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα μερικά από τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

- Ο αριθμός των συγκολλήσεων μεταξύ δύο απομακρυσμένων σημείων είναι μειωμένος με αποτέλεσμα την μείωση της απόσβεσης του οπτικού σήματος αλλά και τη μείωση του κόστους εγκατάστασης
- Η εξυπηρέτηση κόμβων διαφορετικής δυναμικότητας με μεταβαλλόμενο αριθμό ιών είναι εφικτή.
- Για την εισαγωγή νέου κόμβου σε υπάρχον φρεάτιο απαιτείται να υπάρχει μόνο διαθέσιμη μικροσωλήνωση.
- Με τη χρήση διακριτών καλωδίων μικρού αριθμού ιών, η βλάβη ενός καλωδίου δεν επηρεάζει τη λειτουργία πολλών χρηστών.
- Η υλοποίηση εν σειρά συνδέσεων μεταξύ επιλεγμένων κόμβων είναι πολύ εύκολη χωρίς να απαιτεί προγραμματισμό και υπερ-διαστασιολόγηση κοινού καλωδίου.
- Το αρχικό κόστος μειώνεται κατά πολύ.

Επιπλέον των προαναφερθέντων πλεονεκτημάτων θα πρέπει να τονιστεί ότι η χρήση μικροσωληνώσεων ευνοεί το δομικό διαχωρισμό μεταξύ αυτών οι οποίοι τελικά μπορούν να συμβάλλουν στην ανάπτυξη ευρυζωνικών υπηρεσιών. Η χρήση μικροσωληνώσεων επιτρέπει το μερισμό και την ανοιχτή πρόσβαση στο επίπεδο της μικροσωλήνωσης.

Η σύνδεση χρηστών με τη χρήση μικροσωληνώσεων απεικονίζεται σχηματικά στο Σχήμα 104.



Σχήμα 104. Σύνδεση χρηστών με χρήση μικροσωληνώσεων

5.5.8. Άλλες γενικές απαιτήσεις για οπτικά δίκτυα

5.5.8.1. Ασφάλεια

Ένα οπτικό δίκτυο πρέπει να κατασκευάζεται εξ αρχής με τρόπο τέτοιο ώστε να επιδεικνύει το μέγιστο βαθμό λειτουργικής διαθεσιμότητας, ώστε οποιεσδήποτε διακοπές εξ' αιτίας βλαβών να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο αντιληπτές από το χρήστη. Οι βλάβες πρέπει να είναι αναγνωρίσιμες και επιδιορθώσιμες σε μικρό σχετικά χρόνο. Για να επιτευχθεί αυτό, το δίκτυο πρέπει να έχει:

- Ενιαία δομή.
- Προστασία από φθορές, φωτιά και κλοπή .
- Πλεονασματικότητα σε ίνες.
- Δυνατότητα άμεσης ανα-δρομολόγησης στο φυσικό ή λειτουργικό επίπεδο.

5.5.8.2. Ομοιόμορφη Δομή

Η ομοιόμορφη δομή καθιστά εύκολη την επέκταση, τη συντήρηση και την αποκατάσταση. Οι επιδιορθώσεις βλαβών μπορεί να εκτελεστούν γρήγορα επειδή όλα τα μέρη έχουν κατασκευαστεί με ομοιόμορφο τρόπο.

5.5.8.3. Προστασία απέναντι σε φθορές, απόπειρες κλοπής και φωτιές

Το επίπεδο των προστατευτικών μέτρων που πρέπει να παρθούν για την αντιμετώπιση φθοράς, κλοπής και φωτιάς θα πρέπει να καθορίζεται πιθανά σε συνεργασία με μια ασφαλιστική εταιρία που θα καλύπτει τον εξοπλισμό.

Τα διαφορετικά μέρη του δικτύου θα πρέπει να προστατεύονται απέναντι σε φθορές και εισβολές. Στα κομβικά σημεία υπάρχει ένα προκαθορισμένο επίπεδο ασφαλείας απέναντι σε απόπειρες κλοπής, αλλά θα πρέπει και τα φρεάτια, τα καλώδια, τα κιβώτια και οι σωλήνες όδευσης να είναι επίσης προστατευμένα. Τα κιβώτια θα πρέπει να ασφαλιζονται από πόρτες με κλειδαριές. Οι σωλήνες θα πρέπει να επιλεγούν ώστε να έχουν τη μέγιστη δυνατή προστασία.

5.5.8.4. Μετρήσεις και δοκιμασίες

Μετρήσεις και δοκιμασίες γίνονται για να επιτευχθεί το σωστό επίπεδο ποιότητας, και για να επιβεβαιωθεί ότι οι απαιτήσεις μετάδοσης που ορίζονται για ένα δίκτυο, ικανοποιούνται από το οπτικό καλώδιο, τις συγκολλήσεις και τις επαφές.

Οι μετρήσεις και οι δοκιμές βασίζονται κυρίως σε δύο διαδικασίες, την ονομαζόμενη OTDR και την μέτρηση εξασθένισης σήματος (μέτρηση dB). Η μέτρηση OTDR μας προμηθεύει με γνώση σχετικά με το αν κάθε κομμάτι της οπτικής επαφής είναι χωρίς προβλήματα. Η μέτρηση εξασθένισης σήματος δίνει την πιο ακριβή τιμή για την συνολική εξασθένιση της οπτικής επαφής από άκρο σε άκρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:
WIFI ΚΑΙ IEEE 802.11

6. Wi-Fi και IEEE 802.11

6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναλυθεί το Wi-Fi ή πρότυπο 802.11. Για την καλύτερη κατανόηση του προτύπου αυτού, αρχικά θα αναφερθούν ορισμένες έννοιες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και της θεωρίας κεραιών, βασικές έννοιες που αφορούν την ασύρματη μετάδοση και τη θεωρία που διέπει τη μετάδοση δεδομένων στον ελεύθερο χώρο. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου Wi-Fi καθώς και των υποπροτύπων του.

6.1.1. Εκπομπή Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων στον Ελεύθερο Χώρο

Όταν τροφοδοτείται ένα ηλεκτρικό κύκλωμα με ισχύ, αναπτύσσεται σε αυτό ένα σύστημα ρευμάτων και τάσεων, των οποίων η σχέση εξαρτάται από την τοπολογία του κυκλώματος. Με τον όρο ελεύθερο χώρο εννοούμε έναν χώρο στον οποίον δεν υπάρχουν μαγνητικά πεδία και πεδία βαρύτητας, χωρίς συμπαγή σώματα και ιονισμένα σωματίδια. Γενικά λέγοντας ελεύθερο χώρο εννοούμε κάτι το ιδανικό, το οποίο δεν υπάρχει στην πραγματικότητα. Ωστόσο η έννοια του ελεύθερου χώρου χρησιμοποιείται γιατί απλουστεύει το φαινόμενο της διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, καθώς είναι εύκολο να υπολογιστούν οι συνθήκες διάδοσης. Ακόμη οι συνθήκες διάδοσης μερικές φορές στην πραγματικότητα προσεγγίζουν τις συνθήκες του ελεύθερου χώρου, ειδικά στις υψηλές συχνότητες.

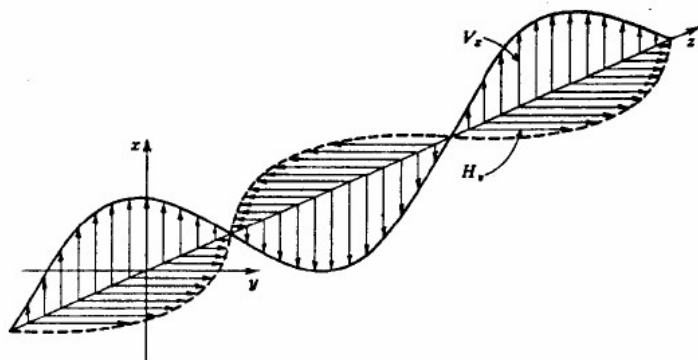
Η θεωρία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αναπτύχθηκε από τον Άγγλο φυσικό James Clerk Maxwell το 1857 και τελειοποιήθηκε το 1873. Αποτελεί την βασική μαθηματική εξήγηση της συμπεριφοράς των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Επειδή η μαθηματική εξήγηση των εξισώσεων του Maxwell δεν είναι το αντικείμενο του βιβλίου αυτού θα δοθεί έμφαση στην περιγραφή και εξήγηση της διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων με αναφορές στο μαθηματικό υπόβαθρο όπου απαιτείται.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι ταλαντώσεις που μεταδίδονται στον ελεύθερο χώρο με την ταχύτητα του φωτός ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$). Η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων έχει πολλές ομοιότητες με τη διάδοση των κυμάτων που δημιουργούνται στο νερό όταν μια πέτρα διαταράζει την ισορροπία του, με μια σημαντική διαφορά. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι εγκάρσια ενώ τα κύματα στο νερό διαμήκη (Σχήμα 105). Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι κάθετα μεταξύ τους όπως δείχνει και το Σχήμα 105. Αυτή είναι μια θεώρηση που πρακτικά δε μπορεί να ελεγχθεί αφού τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι μη ορατά.

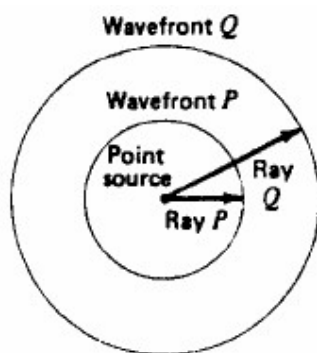
Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που εκπέμπεται από μια σημειακή πηγή διαδίδεται στον ελεύθερο χώρο ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις. Η διάδοση του κύματος είναι σφαιρική όπως φαίνεται και στο Σχήμα 106. Για να απλουστεύσουμε την έννοια της διάδοσης φανταζόμαστε ακτίνες που εκπέμπονται από την σημειακή πηγή προς όλες τις κατευθύνσεις.

Σε κάποια απόσταση από τη σημειακή πηγή το κύμα έχει μια συγκεκριμένη φάση. Η ηλεκτρομαγνητική ακτίνα αφήνει τη σημειακή πηγή όταν η τάση και το ρεύμα είναι

μέγιστα σε ένα κύκλωμα το οποίο τροφοδοτεί την σημειακή πηγή π.χ. σε ένα μέγιστο του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου.



Σχήμα 105. Εγκάρσιο ηλεκτρομαγνητικό κύμα



Σχήμα 106. Σφαιρικό μέτωπο κύματος

Όλα τα σημεία εκείνα τα οποία έχουν την ίδια φάση σχηματίζουν ένα επίπεδο το οποίο ονομάζεται μέτωπο κύματος. Αν το μήκος της ακτίνας Q είναι διπλάσιο του μήκους της ακτίνας P τότε η νέα σφαίρα που δημιουργείται έχει επιφάνεια 4 φορές μεγαλύτερη της σφαίρας της ακτίνας P . Αποδεικνύεται, ότι η συνολική ισχύς της σημειακής πηγής εξαπλώνεται καλύπτοντας τετραπλάσια περιοχή (σφαιρική) για κάθε διπλασιασμό της απόστασης. Έτσι αν ορίσουμε την πυκνότητα ισχύος σαν ακτινοβολούμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας τότε η πυκνότητα ισχύος ελαττώνεται στο $\frac{1}{4}$ της τιμής της όταν η απόσταση από την πηγή διπλασιάζεται.

Αποδεικνύεται ότι η πυκνότητα ισχύος είναι αντίστροφα ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης από την πηγή. Ο νόμος αυτός ονομάζεται νόμος του αντίστροφου τετραγώνου και ισχύει για κάθε μορφή διάδοσης στον ελεύθερο χώρο. Έτσι έχουμε:

$$P = \frac{P_t}{4\pi r^2}$$

Όπου P είναι η πυκνότητα ισχύος σε απόσταση r από την ισοτροπική πηγή και P_t η ακτινοβολούμενη ισχύς. Με τον όρο ισοτροπική πηγή εννοούμε μια πηγή η οποία ακτινοβολεί ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις στο χώρο. Αν και στην πραγματικότητα δεν υπάρχει ισοτροπική πηγή, η έννοια της ισοτροπικής ακτινοβολίας είναι πολύ χρήσιμη και πολύ συχνά χρησιμοποιούμενη. Αποδεικνύεται ότι ο νόμος του αντίστροφου τετραγώνου ισχύει ακόμα και όταν η πηγή δεν είναι ισοτροπική. Ωστόσο, για σφαιρικά κύματα η ταχύτητα διάδοσης της ακτινοβολίας

πρέπει να είναι σταθερή σε όλα τα σημεία του χώρου (όπως είναι για παράδειγμα στον ελεύθερο χώρο). Ένας χώρος για τον οποίο ισχύει το παραπάνω κατά την διάδοση των σφαιρικών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ονομάζεται ισοτροπικός.

Οι εντάσεις του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι επίσης σημαντικές. Οι δύο αυτές ποσότητες αντιπροσωπεύουν την τάση και το ρεύμα σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, και οι μονάδες τους αντίστοιχα είναι Volt/m και A/m. Για ένα ηλεκτρικό κύκλωμα έχουμε $V=ZI$, ενώ για ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα ισχύει:

$$E = ZH$$

Όπου E είναι η ενεργός τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, Z η χαρακτηριστική αντίσταση του μέσου (Ω) και H η ενεργός τιμή της έντασης του μαγνητικού πεδίου. Η χαρακτηριστική αντίσταση του μέσου δίνεται από τη σχέση:

$$Z = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$$

Όπου μ είναι η μαγνητική διαπερατότητα του μέσου και ε η διηλεκτρική σταθερά του μέσου. Για το κενό ισχύουν:

$$\mu = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F / m}$$

$$\varepsilon = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ H / m}$$

Θυμίζουμε, ότι η διαπερατότητα είναι ισοδύναμη της επαγωγής και η διηλεκτρική σταθερά είναι το ισοδύναμο της χωρητικότητας στα ηλεκτρικά κυκλώματα. Μπορούμε τώρα από την παραπάνω σχέση να υπολογίσουμε την χαρακτηριστική αντίσταση του κενού.

$$Z = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = 120\pi = 377\Omega$$

Η γνώση της χαρακτηριστικής αντίστασης κάνει δυνατό τον υπολογισμό της έντασης του πεδίου σε απόσταση r από την ισοτροπική πηγή. Έτσι όπως στα ηλεκτρικά κυκλώματα ισχύει $P=V^2/Z$, για ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα ισχύει $P=E^2/Z$. Από την τελευταία εξίσωση προκύπτει:

$$E = PZ = \frac{P_t}{4\pi r^2} \cdot 120\pi = \frac{30P_t}{r^2}$$

Από την παραπάνω εξίσωση είναι φανερό ότι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι αντίστροφα ανάλογη της απόστασης από την πηγή και ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας της πυκνότητας ισχύος.

Όπως προαναφέρθηκε το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι σφαιρικό αν το μέσο είναι ισοτροπικό. Σε μεγάλες αποστάσεις από την πηγή κάθε μικρή περιοχή του κύματος μπορεί να ληφθεί σαν επίπεδο κύμα. Αυτό είναι φανερό από την γεωμετρία του κύματος αλλά και από την καθημερινή εμπειρία (ενώ η γη είναι σφαιρική θεωρούμε ένα γήπεδο ποδοσφαίρου επίπεδο). Η προσέγγιση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σαν επίπεδα είναι πολύ χρήσιμη διότι απλοποιεί ορισμένα φαινόμενα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων όπως η διάθλαση και η περίθλαση.

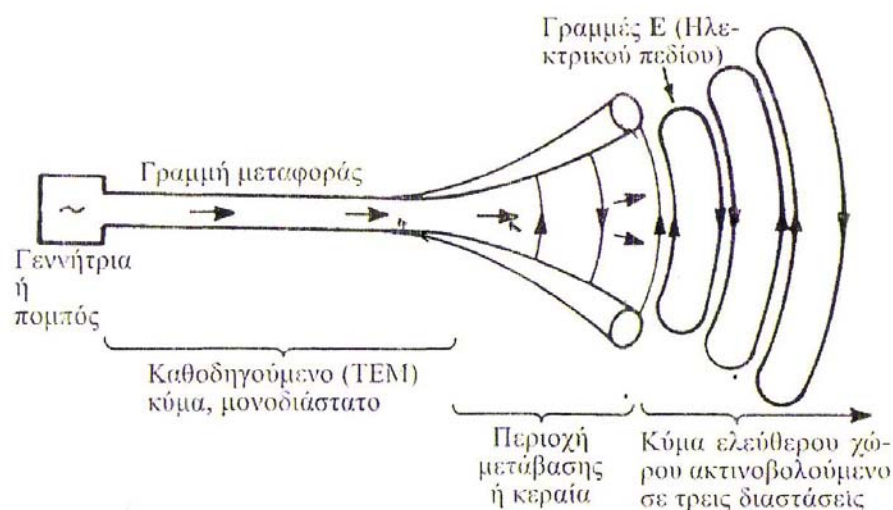
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 105 το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι εγκάρσιο και το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο είναι κάθετα μεταξύ τους. Το μαγνητικό πεδίο όπως

αναφέρθηκε, περιβάλλει το καλώδιο και είναι κάθετο σε αυτό, το οποίο σημαίνει ότι το ηλεκτρικό πεδίο θα είναι παράλληλο στο καλώδιο. Αυτό ισχύει μετά την εκπομπή του ηλεκτρομαγνητικού κύματος από την κεραία.

Η πόλωση αναφέρεται στο φυσικό προσανατολισμό του εκπεμπόμενου κύματος στο χώρο. Τα κύματα ονομάζονται πολωμένα (γραμμικά πολωμένα) αν έχουν τον ίδιο προσανατολισμό στο χώρο. Είναι χαρακτηριστικό των περισσότερων κεραιών ότι η ακτινοβολία που εκπέμπουν είναι γραμμικά πολωμένη. Για παράδειγμα, μια κάθετη κεραία ακτινοβολεί ηλεκτρομαγνητικά κύματα των οποίων τα διανύσματα των ηλεκτρικών τους πεδίων είναι κάθετα και παραμένουν κάθετα κατά τη διάδοσή τους στον ελεύθερο χώρο. Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα στο Σχήμα 105 είναι γραμμικά πολωμένο και επίσης κατακόρυφα πολωμένο αφού τα διανύσματα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου είναι κάθετα μεταξύ τους. Γενικά ισχύει ότι η κατεύθυνση της πόλωσης είναι ίδια με την κατεύθυνση της κεραίας. Έτσι κατακόρυφες κεραιές ακτινοβολούν κατακόρυφα πολωμένα κύματα και οριζόντιες κεραιές ακτινοβολούν οριζόντια πολωμένα κύματα. Γενικά επικρατεί η τάση να αναφέρονται κεραιές σαν κατακόρυφα ή οριζόντια πολωμένες παρόλο που αυτό δεν είναι απόλυτα σωστό. Είναι επίσης πιθανό κεραιές να εκπέμπουν κυκλικά ή ελλειπτικά πολωμένα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, με αποτέλεσμα η κατεύθυνση του κύματος να περιστρέφεται συνεχώς με ελικοειδή τρόπο.

6.1.2. Στοιχεία Θεωρίας Κεραιών

Σύμφωνα με τις εκδόσεις της IEEE περί τυποποίησης των ορισμών και των σχετικών με τις κεραιές όρων (IEEE Std 145-1983), μια κεραία ορίζεται ως «ένα μέσο εκπομπής ή λήψης ακτινοβολίας». Με άλλα λόγια, μία κεραία ορίζεται ως η δομή που σχετίζεται με την περιοχή μετάβασης μεταξύ ενός κύματος που καθοδηγείται από μία γραμμή μεταφοράς και ενός κύματος στον ελεύθερο χώρο, ή και το αντίστροφο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 107.



Σχήμα 107. Αρχή λειτουργίας κεραίας

Η γραμμή μεταφοράς ή αλλιώς διάταξη κυματοδότησης, είναι μία επινοήση για τη μετάδοση ενέργειας ραδιοσυχνότητας από ένα σημείο σε κάποιο άλλο. Μπορεί να μεταφέρει την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια από μία πηγή εκπομπής στην κεραία ή από

την κεραία στο δέκτη. Στην πρώτη περίπτωση γίνεται λόγος για κεραία εκπομπής ενώ στη δεύτερη για κεραία λήψης.

Συνήθως είναι επιθυμητό να μεταδώσουμε την ενέργεια με τις κατά το δυνατό ελάχιστες απώλειες σε ακτινοβολία και θερμότητα. Αυτό σημαίνει ότι ενώ η ενέργεια μεταφέρεται από ένα σημείο στο άλλο περιορίζεται στη γραμμή μεταφοράς ή δεσμεύεται στενά κοντά σε αυτή. Έτσι, το κύμα που μεταδίδεται κατά μήκος της γραμμής είναι μονοδιάστατο με την έννοια ότι δεν απλώνεται στο χώρο αλλά ακολουθεί τη γραμμή. Από αυτή τη γενική άποψη ο όρος γραμμή μεταφοράς μπορεί να επεκταθεί και να συμπεριλάβει όχι μόνο τις ομοαξονικές και δυσύρματες (ανοιχτές) γραμμές μεταφοράς, αλλά και τους κοίλους σωλήνες, ή κυματοδηγούς.

Μία γεννήτρια συνδεδεμένη με μία γραμμή μεταφοράς άπειρου μήκους και μηδενικών απωλειών, παράγει ένα ομοιόμορφο οδεύον κύμα κατά μήκος της γραμμής. Αν η γραμμή είναι βραχυκυκλωμένη, το εξερχόμενο οδεύον κύμα ανακλάται, παράγοντας ένα στάσιμο κύμα επί της γραμμής, λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ των εξερχόμενων (ή ορθής φοράς) κυμάτων και των ανακλώμενων κυμάτων. Άρα, ένα στάσιμο κύμα σχετίζεται με τοπικές συγκεντρώσεις ενέργειας, διότι αποτελεί θύλακα συγκέντρωσης και αποθήκευσης ενέργειας. Αν το ανακλώμενο κύμα είναι ίσου πλάτους με το εξερχόμενο, έχουμε ένα αμιγές στάσιμο κύμα. Οι συγκεντρώσεις ενέργειας σε ένα τέτοιο κύμα ταλαντώνονται από πλήρως ηλεκτρικές σε πλήρως μαγνητικές και αντίστροφα, δύο φορές ανά κύκλο. Τέτοια συμπεριφορά της ενέργειας είναι χαρακτηριστική για ένα συντονισμένο κύκλωμα.

Κατά συνέπεια, οι κεραίες ακτινοβολούν (ή λαμβάνουν) ενέργεια, οι γραμμές μεταφοράς καθοδηγούν ενέργεια, ενώ τα συντονισμένα κυκλώματα αποθηκεύουν ενέργεια.

Ένα καθοδηγούμενο κύμα, το οποίο οδεύει κατά μήκος μίας γραμμής μεταφοράς που σταδιακά ανοίγει (βλ. Σχήμα 107), θα ακτινοβοληθεί σαν κύμα ελεύθερου χώρου. Το καθοδηγούμενο κύμα είναι ένα επίπεδο κύμα, ενώ το κύμα ελεύθερου χώρου είναι ένα κύμα σφαιρικά εκτεινόμενο. Κατά μήκος του ομοιόμορφου τμήματος της γραμμής μεταφοράς η ενέργεια καθοδηγείται σαν ένα επίπεδο κύμα με μικρή απώλεια, με την προϋπόθεση ότι η απόσταση μεταξύ των συρμάτων είναι ένα μικρό κλάσμα του μήκους κύματος. Στα δεξιά του σχήματος, καθώς η απόσταση μεταξύ των συρμάτων προσεγγίζει το ένα μήκος κύματος ή και περισσότερο, το κύμα τείνει να ακτινοβλεπεί, έτσι ώστε η ανοιγμένη γραμμή ενεργεί σαν κεραία που ακτινοβολεί ένα κύμα ελεύθερου χώρου. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή μετάβασης μεταξύ του καθοδηγούμενου κύματος και του κύματος ελεύθερου χώρου μπορεί να ορισθεί ως μία κεραία.

Η παραπάνω περιγραφή ερμηνεύει την κεραία σαν στοιχείο εκπομπής. Ο ορισμός αντιστρέφεται για λήψη, και μία κεραία είναι μια περιοχή μεταξύ ενός κύματος ελεύθερου χώρου και ενός καθοδηγούμενου κύματος. Κατά συνέπεια, μία κεραία είναι ένα στοιχείο μετάβασης, ή μετατροπέας, μεταξύ ενός καθοδηγούμενου κύματος και ενός κύματος ελεύθερου χώρου, ή το αντίστροφο.

Ενώ οι γραμμές μεταφοράς (ή κυματοδηγοί) σχεδιάζονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιούν την ακτινοβολία, οι κεραίες σχεδιάζονται έτσι ώστε να ακτινοβολούν (ή λαμβάνουν) ενέργεια όσο πιο αποδοτικά γίνεται.

Τέλος, σημειώνεται ότι η κεραία είναι το πιο κρίσιμο στοιχείο ενός ασύρματου τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Μία καλή σχεδίαση της κεραίας μειώνει τις απαιτήσεις του συστήματος και βελτιώνει τη συνολική του απόδοση.

Συνοπτικά μερικά από τα πολλά είδη κεραιών είναι τα παρακάτω:

- **Κεραίες σύρματος.** Είναι οι πιο διαδεδομένες κεραιές που τις συναντούμε στα αυτοκίνητα, τα κτίρια κ.α. Υπάρχουν πολλά είδη τέτοιων κεραιών, όπως το ευθύγραμμο σύρμα (δίπολο), ο βρόχος και η έλικα. Η πιο κοινή από αυτές είναι ο κυκλικός βρόχος, επειδή είναι απλούστερος στην κατασκευή. Ένα παράδειγμα μιας διπολικής κεραιάς είναι η κεραία του ραδιοφώνου.
- **Κεραίες ανοίγματος.** Οι κεραιές ανοίγματος απαντώνται σήμερα πιο συχνά απ' ό,τι στο παρελθόν, επειδή αυξάνεται η απαίτηση για πολυπλοκότερες κεραιές και επειδή αυξάνεται διαρκώς η συχνότητα λειτουργίας τους. Οι κεραιές αυτές χρησιμοποιούνται κύρια σε μικροκυματικές ζεύξεις ενώ η πιο σημαντική από αυτές, η κεραία χοάνης, χρησιμοποιείται σας στοιχείο τροφοδοσίας μεγάλων παραβολικών κατόπτρων.
- **Κεραίες Μικροταινίας (Microstrip antennas).** Έγιναν δημοφιλείς στη δεκαετία του 1970, κυρίως στα διαστημόπλοια, ενώ σήμερα χρησιμοποιούνται σε κυβερνητικές και εμπορικές εφαρμογές. Αποτελούνται από μία μεταλλική λωρίδα πάνω σε ένα γειωμένο υπόστρωμα. Οι μικροταινιακές κεραιές είναι διακριτικές, συμμορφώνονται με επίπεδες και μη επιφάνειες, κατασκευάζονται εύκολα με τη σύγχρονη τεχνολογία τυπωμένων κυκλωμάτων, στερεώνονται γερά πάνω στις σκληρές επιφάνειες, είναι συμβατές με τις σχεδιάσεις MMIC, και είναι εύκολη η ρύθμιση της συχνότητας, της πόλωσης, του διαγράμματος ακτινοβολίας και της σύνθετης αντίστασης τους.
- **Στοιχειοκεραίες (Array antennas).** Μερικές φορές τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ακτινοβολίας δε μπορούν να επιτευχθούν με ένα μόνο στοιχείο ακτινοβολίας, οπότε χρησιμοποιούνται ομάδες τέτοιων στοιχείων, που συνδέονται με ένα ορισμένο ηλεκτρικό ή γεωμετρικό τρόπο (στοιχειοσειρά). Τα στοιχεία μπορεί να συνδέονται με τρόπο ώστε η στοιχειοσειρά να δίνει ένα μέγιστο ακτινοβολίας σε μία ορισμένη διεύθυνση ή διευθύνσεις, ελάχιστο σε άλλες ή οποιοδήποτε άλλο επιθυμητό χαρακτηριστικό ακτινοβολίας. Συνήθως, ο όρος στοιχειοσειρά (array), αποδίδεται μόνο σε μία διάταξη όπου τα επί μέρους ακτινοβολούντα στοιχεία διαχωρίζονται. Παρά ταύτα, ο όρος χρησιμοποιείται και για την περιγραφή ενός συστήματος ακτινοβολούντων στοιχείων που βρίσκονται πάνω σε μία συνεχή δομή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων κεραιών είναι οι κεραιές των τηλεοράσεων.
- **Κεραίες Ανακλαστήρα (Reflector antennas).** Η επιτυχία στην εξερεύνηση του διαστήματος έδωσε μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη της θεωρίας των κεραιών. Η ανάγκη επικοινωνίας σε μεγάλες αποστάσεις επέβαλε τη χρήση πολύπλοκων κεραιών ικανών να εκπέμπουν και να λαμβάνουν σήματα που ταξίδευαν εκατομμύρια χιλιόμετρα. Ένας κοινός τύπος τέτοιων κεραιών είναι ο παραβολικός ανακλαστήρας, που μερικές φορές έχει διάμετρο μέχρι και μερικές εκατοντάδες μέτρα, ώστε να επιτυγχάνονται οι υψηλές απολαβές που απαιτούνται για τέτοιες αποστάσεις. Ένας άλλος τύπος ανακλαστήρα, όχι τόσο κοινός όσο ο παραβολικός, είναι ο γωνιώδης ανακλαστήρας (corner reflector).
- **Φακοειδής κεραιές (Lens antennas).** Οι φακοί χρησιμοποιούνται για τη συγκέντρωση μίας αποκλίνουσας ενεργειακής δέσμης, αποτρέποντας τη διασπορά της σε ανεπιθύμητες κατευθύνσεις. Με το κατάλληλο σχήμα και υλικό, οι φακοί μπορούν να μετασχηματίσουν διάφορες μορφές αποκλίνουσας ενέργειας σε επίπεδα κύματα, και να χρησιμοποιηθούν σχεδόν σε όλες τις εφαρμογές όπως και

οι παραβολικοί ανακλαστήρες, προπαντός στις μεγάλες συχνότητες. Οι φακοειδείς κεραίες ταξινομούνται είτε με βάση το υλικό κατασκευής τους, είτε με βάση τη γεωμετρία τους.

6.1.3. Διάθεση Ζωνών Συχνοτήτων φάσματος

Το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων είναι ένας σπάνιος πόρος και ένα δημόσιο αγαθό με στρατηγικό χαρακτήρα για όλα τα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, για το οποίο απαιτείται κατάλληλος συντονισμός μεταξύ των διαφόρων χρηστών, ώστε να διασφαλίζεται ότι θα λαμβάνονται υπόψη όλες οι ανάγκες. Η ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας καθώς και η σύγκλιση των τηλεπικοινωνιών, των μέσων μαζικής ενημέρωσης και των ηλεκτρονικών συσκευών δημιούργησαν ένα δυναμικό περιβάλλον, όπου η πρόσβαση στο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων καθίσταται αναγκαία. Η τεχνολογική πρόοδος έχει αρχίσει να αλλάζει την ποιότητα και την έννοια των επικοινωνιών, σηματοδοτώντας την απαρχή μίας νέας εποχής διάδοσης των επικοινωνιών και των πληροφοριών με βάση ισχυρές ηλεκτρονικές λεωφόρους.

Αξιίζει να σημειωθεί ότι οι υπηρεσίες που εξαρτώνται από το φάσμα αντιπροσωπεύουν περίπου το 2-3% του ΑΕΠ της Ευρώπης. Ωστόσο, ενώ η ζήτηση για διαθέσιμο εύρος φάσματος ραδιοσυχνοτήτων είναι ιδιαίτερα υψηλή, αυτό δεν φαίνεται να είναι και επαρκές. Θα πρέπει να βρεθούν τρόποι για την αποτελεσματική διασφάλιση του πολύτιμου αυτού πόρου με βασικό στοιχείο την αρχή της ουδετερότητας ως προς την υπηρεσία και ως προς την τεχνολογία.

Οι νέες εφαρμογές στην κοινωνία των πληροφοριών θα στηριχθούν μελλοντικά σε μεγάλο βαθμό σε ασύρματες επικοινωνίες (ιδίως σε κινητές επικοινωνίες τρίτης γενιάς) για τις οποίες κρίσιμος παράγοντας επιτυχούς εξάπλωσης είναι η διάθεση φάσματος. Η ελευθέρωση, βέβαια, επαρκούς ραδιοφάσματος θα εγείρει σαφώς κάποια θέματα για τους σημερινούς χρήστες, όπως για παράδειγμα το θέμα των ενδεχόμενων παρεμβολών.

Σημαντικό στοιχείο που πρέπει να συνεκτιμηθεί είναι η μετάβαση προς την ψηφιακή τηλεόραση (αναμένεται η κατάργηση της από το 2012 έως το 2015). Με τη διαδικασία αυτή απελευθερώνεται μεγάλο εύρος πολύτιμου ραδιοφάσματος (αποκαλούμενο και ως «ψηφιακό μείρισμα»). Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητη η συντονισμένη προσέγγιση όσον αφορά στην κατανομή του εν λόγω φάσματος σε ευρωπαϊκό επίπεδο, ώστε να αξιοποιηθούν τα οφέλη της μετάβασης και να δοθεί η δυνατότητα σε νέες, καινοτόμες υπηρεσίες να αναπτυχθούν σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Το φάσμα, λοιπόν, θα μπορούσε να διευκολύνει σε εξαιρετικό βαθμό την παροχή καινοτόμων δημόσιων υπηρεσιών υψηλής ποιότητας, με την προϋπόθεση, βέβαια, ότι χρησιμοποιείται αποδοτικά σε μακροπρόθεσμη βάση. Θα πρέπει να μεγιστοποιηθούν οι κοινωνικές και οικονομικές δυνατότητες του «ψηφιακού μείρισματος». Με τη μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή μετάδοση θα απελευθερωθούν εκατοντάδες MHz ραδιοφάσματος, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα ανακατανομής του ραδιοφάσματος καθώς και νέες ευκαιρίες για την ανάπτυξη της αγοράς. Είναι σημαντικό για την οικονομία της Ευρωπαϊκής Ένωσης να συνεχίσει η βιομηχανία κινητής επικοινωνίας να έχει πρόσβαση σε επαρκείς πόρους φάσματος ραδιοσυχνοτήτων για να μη μετατραπεί το «ψηφιακό μείρισμα» σε ψηφιακό χάσμα.

6.1.3.1. Η ζώνη C (3,4-4,2 GHz)

Μεταξύ των υποψήφιων ζωνών υψηλότερων συχνοτήτων από το διατιθέμενο μέχρι σήμερα φάσμα για κινητά συστήματα στην Ευρώπη συγκαταλέγεται η ζώνη C (3,4-4,2 GHz). Ενώ η ζώνη αυτή είναι ελκυστική για μελλοντικά συστήματα κινητών επικοινωνιών, χρησιμοποιείται ως βασικό ευρυζωνικό δίκτυο για δορυφορικές επικοινωνίες. Απαιτείται διεξαγωγή μελετών επιμερισμού για την εξεύρεση τεχνικών λύσεων που να καλύπτουν τις απαιτήσεις κινητών υπηρεσιών, ενώ παράλληλα προστατεύουν επαρκώς τις δορυφορικές επικοινωνίες στη ζώνη C από επιζήμιες παρεμβολές.

6.1.3.2. Η ζώνη UHF (470-862 MHz)

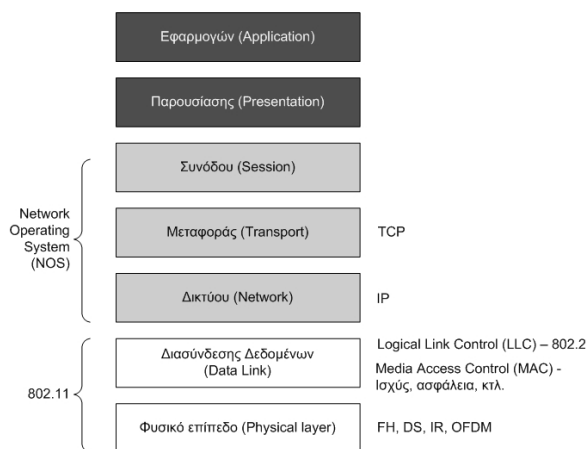
Λόγω της χαμηλής συχνότητας, η ζώνη εκπομπής UHF (470-862 MHz) προσφέρει βέλτιστα χαρακτηριστικά μετάδοσης σήματος από πλευράς κάλυψης και διείσδυσης σε εσωτερικό χώρο. Πιο συγκεκριμένα, το φάσμα στη ζώνη UHF θεωρείται το πλέον κατάλληλο για υπηρεσίες κινητών πολυμέσων. Οι δικτυακές υποδομές στη ζώνη UHF θα μπορούσαν επομένως να αποβούν σημαντικά συμφερότερες οικονομικά από τα υφιστάμενα συστήματα και θα μπορούσαν να διευκολύνουν την εγκατάσταση κινητών συστημάτων σε αραιοκατοικημένες περιοχές και σε αστικές περιοχές πυκνής δόμησης.

6.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ WI-FI

Το 802.11 είναι το όνομα του project της ομάδας εργασίας του IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών). Δημιουργήθηκε τον Ιούνιο του 1997, έχει ταχύτητα 2Mbps, αποτελεί το πρώτο πρότυπο για ασύρματη δικτύωση και ακολουθείται από τα περισσότερα ασύρματα δίκτυα μέχρι και σήμερα. Στην συνέχεια δημιουργήθηκαν υποπρότυπα του IEEE 802.11, όπως το IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11e, IEEE 802.11f, IEEE 802.11g, IEEE 802.11i, IEEE 802.11n. Σήμερα τα ασύρματα δίκτυα που βασίζονται σε αυτήν την οικογένεια προτύπων είναι τα πλέον διαδεδομένα, ενώ κυκλοφορεί μεγάλη ποικιλία σχετικών προϊόντων στην αγορά. Με άλλα λόγια, το πρότυπο αυτό θέτει το πλαίσιο για μια προτυποποιημένη ασύρματη δικτυακή επικοινωνία ευρείας ζώνης. Στις επόμενες ενότητες δίνεται αναλυτική περιγραφή του 802.11 πρωτοκόλλου, και περιγράφονται και οι τροποποιήσεις του (μέλη της οικογένειας του 802.11).

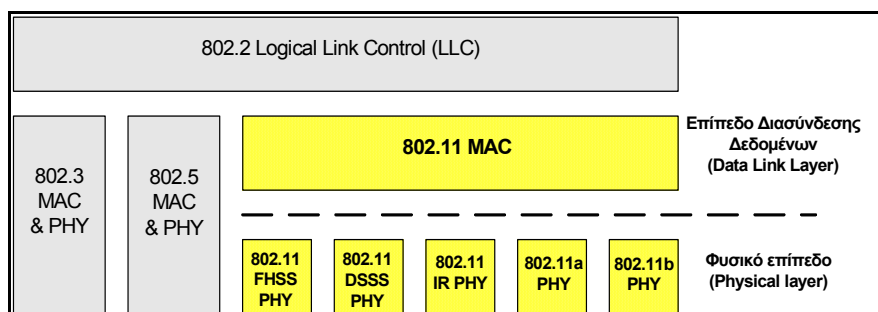
6.3. ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ

Όπως όλα τα πρότυπα 802 της IEEE, έτσι και το 802.11 επικεντρώνεται στα δύο χαμηλότερα στρώματα του μοντέλου διαστρωμάτωσης OSI (Open System Interconnection), δηλαδή στο φυσικό στρώμα (Physical Layer – PHY) και στο υπόστρωμα MAC (Medium Access Control) του στρώματος ζεύξης δεδομένων (Data Link Layer), όπως φαίνεται στο Σχήμα 108.



Σχήμα 108. Μοντέλο Αναφοράς OSI

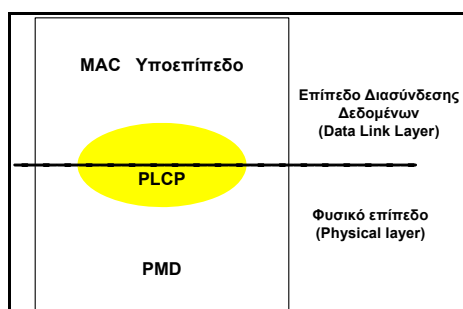
Το άλλο υπόστρωμα του στρώματος ζεύξης δεδομένων, δηλαδή το υπόστρωμα ελέγχου λογικής ζεύξης (Logical Link Control – LLC), είναι αυτό που έχει προτυποποιηθεί ως IEEE 802.2 και χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με όλα τα διαφορετικά MAC της σειράς IEEE 802, όπως φαίνεται στο Σχήμα 109.



Σχήμα 109. Διαστρωμάτωση του προτύπου 802.11

Η φιλοσοφία που ακολουθεί το πρότυπο 802.11 είναι η ύπαρξη ενός μόνο MAC που όμως υποστηρίζει περισσότερα του ενός φυσικά στρώματα. Κάθε φυσικό στρώμα χωρίζεται σε δύο υποστρώματα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 110.

Το υπόστρωμα PLCP (Physical Layer Convergence Procedure) χρησιμεύει στην προσαρμογή των διαφόρων φυσικών στρωμάτων στο κοινό MAC. Το υπόστρωμα PMD (Physical Medium Dependent) περιέχει όλες τις λειτουργίες που απαιτούνται για τη μετάδοση της πληροφορίας από το εκάστοτε φυσικό στρώμα.



Σχήμα 110. Φυσικό στρώμα του προτύπου 802.11

6.4. ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ

Τα ασύρματα δίκτυα 802.11 αποτελούνται από τις κάτωθι τέσσερις βασικές μονάδες:

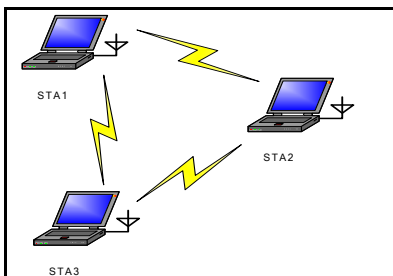
- Σημείο πρόσβασης (Access Point – AP): Το AP είναι η μονάδα που παίζει το ρόλο γέφυρας μεταξύ του ενσύρματου και του ασύρματου δικτύου, μετατρέποντας κατάλληλα τα πλαίσια που ανταλλάσσονται μεταξύ αυτών. Επιτελεί και πολλές άλλες λειτουργίες στο ασύρματο δίκτυο που θα αναφερθούν στη συνέχεια.
- Σύστημα διανομής (Distribution System): Το σύστημα διανομής ενώνει τα διάφορα AP του ίδιου δικτύου, επιτρέποντάς τους να ανταλλάσσουν πλαίσια. Το 802.11 δεν προσδιορίζει τον τρόπο που θα γίνεται αυτό.
- Ασύρματο μέσο μετάδοσης (Wireless Medium): Έχουν οριστεί διάφορα φυσικά στρώματα που χρησιμοποιούν είτε ραδιοσυχνότητες είτε υπέρυθρες ακτίνες για τη μετάδοση των πλαισίων μεταξύ των σταθμών του ασύρματου δικτύου.
- Σταθμοί (Stations): Οι σταθμοί που ανταλλάσσουν πληροφορία μέσω του ασυρμάτου δικτύου συνήθως είναι φορητές συσκευές (για παράδειγμα laptops), χωρίς όμως αυτό να είναι απαραίτητο.

Η βασική δομική μονάδα κάθε 802.11 δικτύου αποκαλείται Basic Service Set (BSS) και αποτελείται από μία ομάδα σταθμών που επικοινωνούν μεταξύ τους. Τα όρια του BSS καθορίζονται από την περιοχή ραδιοκάλυψης, που ονομάζεται Basic Service Area (BSA). Ένας σταθμός σε ένα BSS μπορεί να επικοινωνεί με οποιονδήποτε άλλο σταθμό στο ίδιο BSS.

6.5. ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ - ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Είναι γνωστό πως υπάρχουν δύο βασικές τοπολογίες, βάσει των οποίων ορίζονται δύο είδη ασυρμάτων δικτύων. Πρόκειται για τα ανεξάρτητα δίκτυα (independent networks) και τα δίκτυα υποδομής (infrastructure networks).

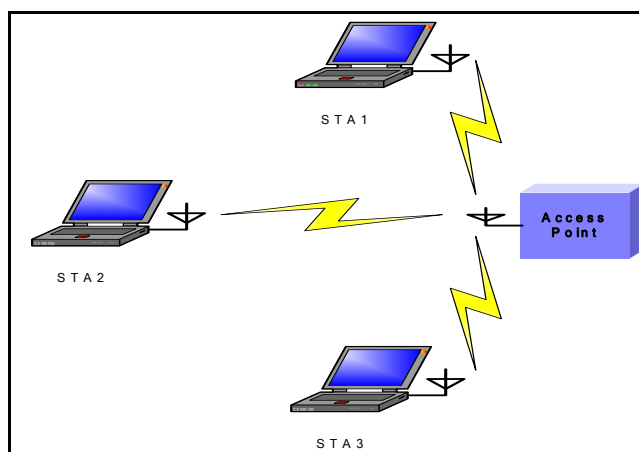
Σε ένα independent δίκτυο κάθε σταθμός επικοινωνεί απευθείας με όλους τους υπόλοιπους. Το BSS σε αυτήν την περίπτωση ονομάζεται και IBSS (Independent BSS) ή ad-hoc BSS ή πιο απλά ad-hoc δίκτυο. Το IBSS αποτελείται το λιγότερο από δύο σταθμούς και συνήθως είναι προσωρινό, δηλαδή δημιουργείται για κάποιο σκοπό και μετά διαλύεται. Είναι ο απλούστερος τύπος ασύρματου δικτύου. Ένα IBSS φαίνεται στο Σχήμα 111.



Σχήμα 111. Τοπολογία IBSS

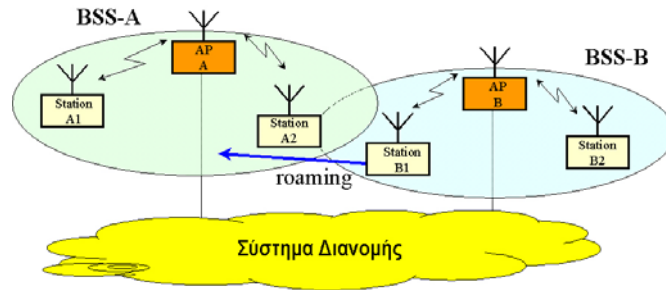
Ο άλλος τύπος δικτύου είναι το infrastructure δίκτυο. Σε αυτήν την περίπτωση το BSS διακρίνεται από την παρουσία ενός AP σε αυτό. Το AP, εκτός από το ότι συνδέει

το BSS με το ενσύρματο δίκτυο, είναι υπεύθυνο για την ανταλλαγή πλαισίων μεταξύ των σταθμών και γενικότερα για τον κεντρικό έλεγχο της λειτουργίας του BSS. Όταν ένας σταθμός θέλει να στείλει ένα πλαίσιο σε έναν άλλο σταθμό, το πλαίσιο αρχικά αποστέλλεται στο AP και αυτό με την σειρά του το στέλνει στον τελικό προορισμό του. Η BSA σε αυτήν την περίπτωση είναι η περιοχή όπου υπάρχει ραδιοκάλυψη από το AP. Έτσι σε αντίθεση με το IBSS, όπου όλοι οι σταθμοί πρέπει να βρίσκονται στην περιοχή ραδιοκάλυψης των υπολοίπων, για να επικοινωνήσουν με αυτούς, εδώ αρκεί να βρίσκονται στην περιοχή ραδιοκάλυψης του AP, άσχετα με την μεταξύ τους απόσταση. Για να συμμετέχει ένας σταθμός στο BSS πρέπει να ακολουθήσει τη διαδικασία του association (στην οποία θα αναφερθούμε παρακάτω) με το AP. Η διαδικασία αυτή ξεκινάει πάντα με πρωτοβουλία του σταθμού και είναι απόφαση του AP αν ο σταθμός θα γίνει τελικά δεκτός στο BSS. Το 802.11 δεν ορίζει μέγιστο αριθμό σταθμών που μπορούν να συμμετάσχουν σε ένα BSS, αλλά τίθενται περιορισμοί στις διάφορες υλοποιήσεις AP. Ένα infrastructure δίκτυο φαίνεται στο Σχήμα 112.



Σχήμα 112. Τοπολογία infrastructure BSS

Στην περίπτωση infrastructure δικτύων ένας αριθμός από BSSs μπορούν να συνδεθούν και να αποτελέσουν ένα Extended Service Set (ESS). Αυτό δημιουργείται ενώνοντας τα APs των BSSs μέσω ενός ενσύρματου δικτύου κορμού, που ονομάζεται Σύστημα Διανομής (Distribution System –DS). Με αυτόν τον τρόπο είναι εφικτή η επικοινωνία μεταξύ σταθμών που ανήκουν σε διαφορετικά BSSs αλλά στο ίδιο ESS. Σε αυτήν την περίπτωση πρέπει τα APs να επικοινωνούν στο στρώμα ζεύξης δεδομένων μέσω του δικτύου κορμού, επιτελώντας τη λειτουργία της γέφυρας για τους σταθμούς διαφορετικών BSSs. Το ESS τελειώνει όταν παρεμβληθεί μεταξύ των APs οντότητα δικτύου που λειτουργεί σε υψηλότερο στρώμα, όπως είναι ο δρομολογητής (router). Τα παραπάνω φαίνονται καλύτερα στο Σχήμα 113.



Σχήμα 113. Τοπολογία infrastructure δύο BSSs

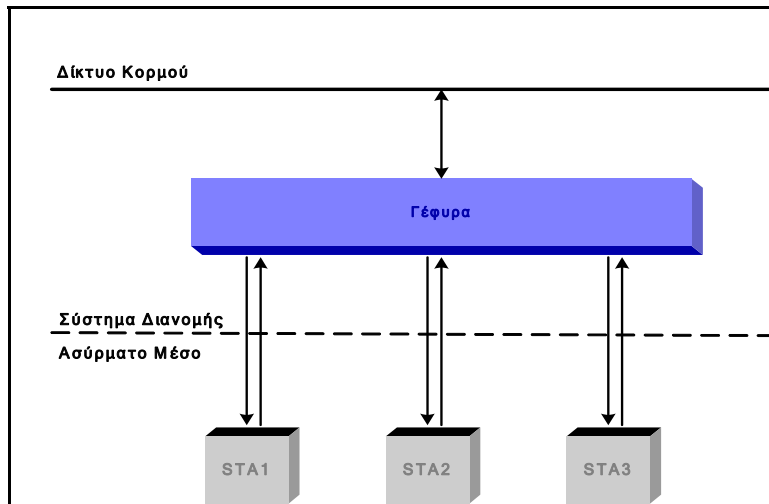
Το 802.11 προσφέρει κινητικότητα σε ένα ESS, αρκεί το δίκτυο κορμού να είναι ένα απλό LAN ή και VLAN (Virtual LAN). Σε κάθε άλλη περίπτωση η σύνδεση στα ανώτερα επίπεδα θα χαθεί, εκτός κι αν χρησιμοποιείται κάποια άλλη τεχνολογία όπως το Mobile IP.

6.6. ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Το σύστημα διανομής παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του 802.11, αν και δεν περιγράφεται στο πρότυπο η υλοποίησή του, αλλά μόνο οι υπηρεσίες που πρέπει να προσφέρει στους ασύρματους σταθμούς. Όπως αναφέρθηκε λίγο πιο πάνω, το σύστημα διανομής είναι υπεύθυνο για τη διασύνδεση APs, δηλαδή BSSs, και τη δημιουργία ESSs. Με αυτόν τον τρόπο καθιστά δυνατή την ανταλλαγή πλαισίων ανάμεσα σε σταθμούς που ανήκουν σε διαφορετικά BSSs εντός του ίδιου ESS.

Για τη σωστή παράδοση των πλαισίων, τα APs πρέπει να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του συστήματος διανομής. Αυτή η επικοινωνία γίνεται με χρήση ενός πρωτοκόλλου που ονομάζεται Inter Access Point Protocol (IAPP), γνωστό και ως IEEE 802.11f (αναλύεται στην ενότητα 6.12.6) το οποίο δεν έχει προδιαγραφεί στο αρχικό 802.11. Εφόσον ανά πάσα στιγμή κάθε σταθμός μπορεί να ανήκει σε ένα μόνο BSS, έχοντας προχωρήσει στο association με το αντίστοιχο AP, πρέπει όλα τα APs να ενημερώνονται μέσω του συστήματος διανομής, ώστε να προωθούν τα πλαίσια προς το συγκεκριμένο σταθμό στο κατάλληλο AP.

Στο Σχήμα 114 φαίνεται καλύτερα η λειτουργία του συστήματος διανομής.



Σχήμα 114. Σύστημα διανομής

Τα APs παίζουν το ρόλο γέφυρας μεταξύ του συστήματος διανομής και του ασυρμάτου δικτύου. Μπορούν να θεωρηθούν και αυτά ως μέρη του συστήματος διανομής, τουλάχιστον όσο αναφορά το interface τους προς το ενσύρματο LAN που αποτελεί το μέσο μετάδοσης του συστήματος διανομής. Στο Σχήμα 114 τα βέλη αντιπροσωπεύουν ροή πλαισίων από και προς το σύστημα διανομής μέσω ενός AP. Αν ο σταθμός STA1 θέλει να στείλει ένα πλαίσιο στον STA2 αυτό πρέπει να πάει στο αντίστοιχο AP, να μετατραπεί σε πλαίσιο του μέσου μετάδοσης του συστήματος διανομής (συνήθως Ethernet), να μεταδοθεί στο AP που εξυπηρετεί το STA2, να μετατραπεί ξανά σε πλαίσιο 802.11 και να μεταδοθεί από το AP στον STA2.

Το σύστημα διανομής είναι δυνατόν να είναι κι αυτό ασύρματο δίκτυο. Τέτοια περίπτωση είναι η διασύνδεση δύο LANs σε διαφορετικές φυσικές τοποθεσίες μέσω μιας ασύρματης ζεύξης σημείο – προς – σημείο. Τότε το ασύρματο δίκτυο χρησιμεύει ως γέφυρα που ενώνει τα δύο LANs στο στρώμα ζεύξης δεδομένων. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται wireless bridging.

Σημειώνεται τέλος ότι οι σταθμοί χρησιμοποιούν κανονικές 48-μπιτες διευθύνσεις MAC, κάτι που κάνει τη θεώρηση του ασύρματου δικτύου ως επέκταση του ενσύρματου ευκολότερη.

6.7. ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ 802.11

Το ασύρματο δίκτυο 802.11 προσφέρει εννέα βασικές υπηρεσίες. Οφείλουμε να επισημάνουμε ότι τρεις από αυτές σχετίζονται με τη μεταφορά δεδομένων και οι υπόλοιπες έξι σχετίζονται με τη διαχείριση. Οι υπηρεσίες αυτές είναι οι εξής:

- **Distribution:** Η υπηρεσία αυτή είναι απαραίτητη για την παράδοση ενός πλαισίου από το AP στον τελικό προορισμό του. Συνίσταται στον εντοπισμό του παραλήπτη, ώστε να γίνει εφικτή η τελική παράδοση του πλαισίου. Έτσι λαμβάνεται απόφαση αν ένα πλαίσιο πρέπει να σταλεί στο ίδιο BSS ή πρέπει να σταλεί στο DS προς παράδοση σε σταθμό συσχετιζόμενο με άλλο AP.
- **Integration:** Η υπηρεσία αυτή παρέχεται από το σύστημα διανομής. Είναι υπεύθυνη για τη διασύνδεση του συστήματος διανομής DS σε ένα δίκτυο

διαφορετικό του 802.11. Στην ουσία είναι υπεύθυνη για την μετάφραση των πλαισίων από τον ένα τύπο στον άλλο.

- **MSDU Delivery:** Η παράδοση των πλαισίων MAC (MAC Service Data Unit) στον τελικό προορισμό τους.
- **Association:** Απαραίτητη διαδικασία συσχετισμού ενός σταθμού με το AP, προκειμένου να είναι σε θέση να στείλει και να δεχτεί πλαίσια μέσω του ασυρμάτου δικτύου. Όταν ένας σταθμός είναι συσχετισμένος με ένα AP, δημιουργείται τότε μια λογική σχέση μεταξύ τους, ώστε το DS να γνωρίζει πού και πώς να παραδώσει δεδομένα σε έναν ασύρματο σταθμό.
- **Reassociation:** Χρησιμοποιείται από τους κινητούς σταθμούς σε περίπτωση μετακίνησης από μία BSS σε μία άλλη. Είναι μέρος του μηχανισμού της διαπομπής.
- **Disassociation:** Η διαδικασία αυτή αφαιρεί έναν σταθμό από το δίκτυο. Το MAC του 802.11 μπορεί να χειριστεί και σταθμούς που εγκαταλείπουν το δίκτυο χωρίς να κάνουν πρώτα disassociation.
- **Authentication:** Αν απαιτείται από το διαχειριστή του δικτύου, πρέπει κάθε χρήστης να πιστοποιεί την ταυτότητά του πριν να προχωρήσει στη διαδικασία του association.
- **Deauthentication:** Τερματισμός μιας ισχύουσας κατάστασης authentication. Τερματίζει επίσης και το association, εφόσον το authentication είναι προαπαιτούμενο αυτού.
- **Privacy:** Λόγω του ασύρματου περιβάλλοντος μετάδοσης έχει οριστεί από το 802.11 μία προαιρετική υπηρεσία κρυπτογράφησης των δεδομένων που ονομάζεται WEP (Wired Equivalent Privacy). Το WEP δεν προσφέρει σε καμία περίπτωση ασφαλή μεταφορά δεδομένων και ήδη μελετάται η αντικατάστασή του.

6.8. ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ MAC ΤΟΥ 802.11

Το υπόστρωμα MAC του 802.11 είναι ίσως το πιο σημαντικό κομμάτι της προτυποποίησης. Υποστηρίζει όλα τα φυσικά στρώματα και προσφέρει υπηρεσίες αξιόπιστης μεταφοράς δεδομένων και πρόσβασης στο μέσο στα ανώτερα στρώματα. Οι όποιες διαφοροποιήσεις του από το αντίστοιχο MAC ενσύρματων δικτύων οφείλονται στις ιδιαιτερότητες του ασύρματου μέσου μετάδοσης που χρησιμοποιείται στο φυσικό επίπεδο.

Σαν μηχανισμός πρόσβασης στο μέσο έχει επιλεγεί ο CSMA (Carrier Sense Multiple Access). Για να αποφευχθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι συγκρούσεις αντί για το μηχανισμό ανίχνευσης συγκρούσεων CD (Collision Detection) που χρησιμοποιείται στο 802.3 επιλέχτηκε ο μηχανισμός αποφυγής συγκρούσεων CA (Collision Avoidance). Αιτία για την επιλογή αυτή είναι η αδυναμία του δέκτη να αντιλαμβάνεται την κατάσταση του ασύρματου μέσου την χρονική στιγμή που μεταδίδει κάποια πληροφορία. Επομένως, το φαινόμενο της σύγκρουσης (που λαμβάνει χώρα όταν δυο ή περισσότεροι σταθμοί μεταδίδουν την ίδια ακριβώς χρονική στιγμή) γίνεται αντιληπτό από τους σταθμούς εργασίας μόνο εκ του αποτελέσματος που είναι φυσικά η μη παράδοση των πακέτων της πληροφορίας.

Επιπλέον η αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των διαφόρων σταθμών δυσχεραίνεται ακόμα περισσότερο εξαιτίας του ασύρματου φυσικού μέσου. Προβλήματα όπως η κακή ποιότητα της ασύρματης ζεύξης λόγω θορύβου ή παρεμβολών, η πιθανότητα κάποιος κόμβος να βγει προσωρινά εκτός της περιοχής κάλυψης του δικτύου και η ύπαρξη κρυμμένων κόμβων (hidden nodes) δεν υπάρχουν σε ενσύρματα δίκτυα. Για να αντιμετωπιστούν τα παραπάνω το 802.11 MAC προσφέρει τους κατάλληλους μηχανισμούς, όπως η θετική επιβεβαίωση (positive acknowledgment) κάθε πλαισίου και την ανταλλαγή πλαισίων RTS (Request To Send) και CTS (Clear To Send) πριν την μετάδοση κάποιου πλαισίου. Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα αναφερθούμε λεπτομερώς στους παραπάνω μηχανισμούς.

6.8.1. Πρόσβαση στο Μέσο

Όπως αναφέρθηκε ήδη ο μηχανισμός πρόσβασης στο μέσο που χρησιμοποιείται από το 802.11 MAC είναι ο CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance). Έχουν προβλεφθεί δύο τρόποι λειτουργίας, ένας αποκεντρωμένος μέσω του αλγορίθμου DCF (Distributed Coordination Function) και ένας με κεντρικό έλεγχο μέσω του αλγορίθμου PCF (Point Coordination Function) που αποτελεί προέκταση του DCF. Ο αλγόριθμος PCF εκτελείται μόνο σε AP, οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε infrastructure δίκτυα. Μία τρίτη επιλογή προσφέρεται στο υποπρότυπο 802.11e, το οποίο συμπληρώνει το MAC υπόστρωμα του 802.11 και ορίζει έναν επιπλέον μηχανισμό ελέγχου πρόσβασης μέσω του αλγορίθμου HCF (Hybrid Coordination Function). Ο αλγόριθμος DCF είναι κατάλληλος για εξυπηρέτηση ασύγχρονης κίνησης, ενώ ο PCF είναι κατάλληλος για σύγχρονη κίνηση. Ο HCF εισάγει ένα σχήμα προτεραιοτήτων για να προσφέρει συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service – QoS).

6.8.2. Χρόνοι Αναμονής (Interframe Spacing)

Οι παραπάνω αλγόριθμοι χρησιμοποιούν διάφορες χρονικές περιόδους για τον έλεγχο της πρόσβασης στο μέσο. Γενικά, κάθε σταθμός που θέλει να μεταδώσει κάποιο πλαίσιο πρέπει πρώτα να περιμένει ένα ορισμένο χρονικό διάστημα (interframe space) και αν δεν ανιχνεύσει άλλη μετάδοση σε αυτό τότε να προχωρήσει στο επόμενο βήμα της διαδικασίας απόκτησης πρόσβασης στο μέσο, που διαφέρει ανάλογα με τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται (DCF ή PCF). Το χρονικό διάστημα αυτό ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του πλαισίου που πρόκειται να μεταδοθεί. Οι χρόνοι αναμονής που ορίζονται από το πρότυπο είναι οι ακόλουθοι:

- Short Interframe Space (SIFS): Ο μικρότερος χρόνος αναμονής. Χρησιμοποιείται για μεταδόσεις μέγιστης προτεραιότητας, όπως είναι τα πλαίσια RTS/CTS και οι επιβεβαιώσεις.
- PCF Interframe Space (PIFS): Μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από το SIFS, χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο PCF. Οι σταθμοί περιμένουν PIFS χρόνο πριν μεταδώσουν κατά την περίοδο που την πρόσβαση στο μέσο ελέγχει ο κεντρικός αυτός αλγόριθμος (περίοδος χωρίς ανταγωνισμό - contention – free period), αποκτώντας προτεραιότητα έναντι αυτών που προσπαθούν να μεταδώσουν με χρήση του DCF.

- DCF Interframe Space (DIFS): Ο μικρότερος χρόνος αναμονής για λειτουργία με βάση τον αλγόριθμο DCF (περίοδος με ανταγωνισμό - contention period). Μεγαλύτερος σε διάρκεια από τους δύο προηγούμενους χρόνους.
- Extended Interframe Space (EIFS): Ο μέγιστος χρόνος αναμονής, δεν έχει κάποια συγκεκριμένη τιμή και χρησιμοποιείται όταν συμβεί κάποιο σφάλμα κατά την μετάδοση του πλαισίου.

Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι κάθε σταθμός πρέπει να έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύει αν υπάρχει κάποια άλλη μετάδοση σε εξέλιξη πριν αρχίσει να μεταδίδει αυτός. Για τον σκοπό λοιπόν αυτό ο μηχανισμός ανίχνευσης φέροντος που χρησιμοποιείται παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον και συνεπώς παρουσιάζεται αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο.

6.8.3. Μηχανισμός Ανίχνευσης Φέροντος

Είναι γνωστό πως στα ενσύρματα δίκτυα ο τρόπος λειτουργίας του μηχανισμού ανίχνευσης φέροντος είναι σχετικά απλός. Κάθε σταθμός παρακολουθεί το μέσο μετάδοσης και αν εντοπίσει σήμα συγκεκριμένης ισχύος καταλαβαίνει ότι κάποια μετάδοση πλαισίου βρίσκεται σε εξέλιξη. Όταν όμως το μέσο μετάδοσης γίνει ασύρματο τότε αυτός ο μηχανισμός δεν είναι επαρκής. Εξαιτίας του μεγάλου αριθμού στα σχήματα διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται, των διαφόρων περιπτώσεων όσο αφορά τις αποστάσεις μεταξύ των σταθμών αλλά και με το πρόβλημα των hidden nodes είναι πολύ δύσκολο να δημιουργηθεί αξιόπιστος μηχανισμός ανίχνευσης φέροντος που να λειτουργεί αποκλειστικά στο φυσικό επίπεδο.

Γι' αυτό το λόγο το πρότυπο 802.11 προβλέπει και έναν δεύτερο μηχανισμό ανίχνευσης φέροντος που λειτουργεί όμως στο υπόστρωμα MAC. Ο εικονικός μηχανισμός ανίχνευσης φέροντος (virtual carrier sensing) χρησιμοποιεί έναν μετρητή χρόνου που ονομάζεται NAV (Network Allocation Vector). Στην ουσία πρόκειται για μια δομή δεδομένων, η οποία κατασκευάζεται με βάση τα όσα «ακούν» οι διάφοροι σταθμοί του δικτύου από μεταδόσεις πλαισίων RTS/CTS/DATA/ACK καθένα από τα οποία περιλαμβάνουν την διάρκεια μιας επερχόμενης μετάδοσης. Αυτός ο μετρητής συμπεριλαμβάνεται στα περισσότερα πλαίσια που ανταλλάσσονται. Κάθε σταθμός θέτει το πεδίο αυτό ίσο με το χρόνο που θέλει να κρατήσει δεσμευμένο το μέσο μετάδοσης, όταν αποκτήσει βέβαια δικαίωμα να το κάνει. Οι υπόλοιποι σταθμοί βλέποντας ότι το πεδίο NAV είναι μη μηδενικό καταλαβαίνουν ότι το μέσο είναι δεσμευμένο και ξεκινάνε έναν αντίστροφο τοπικό μετρητή με αρχική τιμή ίση με NAV, αν η τιμή του NAV είναι μεγαλύτερη από την υπάρχουσα τιμή του τοπικού μετρητή αυτού. Με χρήση του NAV οι σταθμοί μπορούν να επιτελέσουν συγκεκριμένες ενέργειες χωρίς να χάσουν τον έλεγχο του μέσου μετάδοσης. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η αποστολή ενός πλαισίου με χρήση του μηχανισμού RTS/CTS, όπως παρουσιάζεται στην ενότητα 6.8.7. Για να ολοκληρωθεί αυτή η ενέργεια οι δύο σταθμοί πρέπει να ανταλλάξουν συνολικά 4 πλαίσια. Παίρνοντας τον έλεγχο με χρήση του NAV μπορούν να το κάνουν χωρίς να διακοπούν από άλλη μετάδοση.

6.8.4. Πρόσβαση στο Μέσο με χρήση του Αλγορίθμου DCF

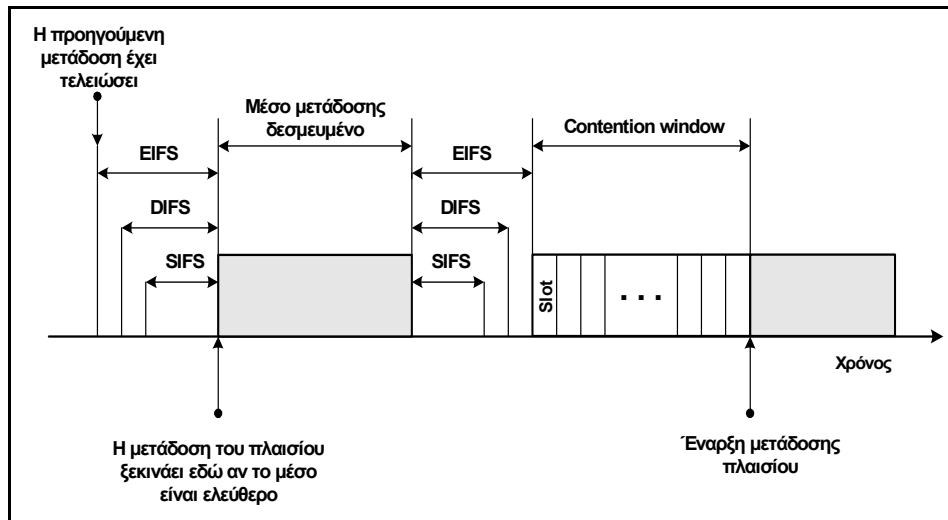
Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται ο αλγόριθμος DCF, προκειμένου να επιτευχθεί η πρόσβαση στο μέσο, δίδεται έμφαση στην αντιμετώπιση μιας αποτυχημένης προσπάθειας μετάδοσης και εισάγεται η έννοια του παραθύρου ανταγωνισμού, ώστε να δοθεί μια λύση σε περίπτωση που περισσότεροι του ενός σταθμοί διεκδικούν τον έλεγχο του μέσου.

Ο αλγόριθμος DCF

Ο αλγόριθμος DCF, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι αποκεντρωμένος και έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε είδους ασύρματο δίκτυο. Τα βασικά βήματα του, όπου πρέπει να ακολουθήσει κάθε σταθμός πριν εκπέμψει κάποιο πλαίσιο είναι τα εξής:

- Κάθε σταθμός, πριν επιχειρήσει να εκπέμψει, ελέγχει το μέσο μετάδοσης για να δει αν είναι διαθέσιμο. Ο έλεγχος γίνεται και σε φυσικό επίπεδο και μέσω εικονικής ανίχνευσης φέροντος.
- Αν το μέσο μετάδοσης είναι δεσμευμένο τότε ο σταθμός συνεχίζει να ελέγχει το ασύρματο μέσο περιοδικά περιμένοντας να ελευθερωθεί. Αν το μέσο είναι διαθέσιμο ο σταθμός περιμένει ένα χρονικό διάστημα που εξαρτάται από το είδος του πλαισίου που θέλει να μεταδώσει (IFS) και ελέγχει ξανά το μέσο. Ο χρόνος αναμονής που χρησιμοποιείται συνήθως είναι ο DIFS. Στην περίπτωση που ο σταθμός θέλει να στείλει πλαίσιο CTS, πλαίσιο θετικής επιβεβαίωσης (ACK), ή τμήμα (fragment) μεγαλύτερου πλαισίου τότε ο χρόνος αναμονής είναι ο SIFS. Τέλος, στην περίπτωση που η μετάδοση του προηγούμενου πλαισίου περιείχε λάθη τότε ο χρόνος αναμονής είναι ο EIFS.
- Αν πάλι το μέσο είναι ελεύθερο τότε ο σταθμός μεταδίδει το πλαίσιο που θέλει. Αν το μέσο είναι δεσμευμένο ο σταθμός περιμένει μέχρι το μέσο να μείνει ελεύθερο για IFS. Τότε ξεκινάει τη διαδικασία της δυαδικής εκθετικής υποχώρησης (binary exponential backoff) για να καθορίσει πόσο θα είναι το επιπλέον χρονικό διάστημα αναμονής. Αυτό γίνεται επιλέγοντας τυχαία μια σχισμή του παραθύρου ανταγωνισμού (contention window). Αφού περάσει και αυτό το τελευταίο χρονικό διάστημα, ο σταθμός μεταδίδει το πλαίσιο που θέλει.
- Αν η μετάδοση είναι αποτυχημένη θεωρείται ότι έχει συμβεί σύγκρουση (collision). Τότε ο σταθμός επιλέγει πάλι τυχαία μια σχισμή του contention window, το οποίο όμως είναι μεγαλύτερο αυτή τη φορά, και επιχειρεί ξανά να μεταδώσει. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να υπάρξει επιτυχής μετάδοση του πλαισίου ή να απορριφθεί το πλαίσιο.

Τα παραπάνω βήματα φαίνονται καλύτερα στο Σχήμα 115.



Σχήμα 115. Διαδικασία πρόσβασης στο μέσο με χρήση του αλγορίθμου DCF

Πρόκειται για τον βασικό μηχανισμό ώστε να μπορέσει ένας σταθμός να αποκτήσει τον έλεγχο του μέσου. Υπάρχουν και άλλοι κανόνες που συμπληρώνουν τα παραπάνω και εξαρτώνται από την συγκεκριμένη κατάσταση ή από την κατάληξη της προηγούμενης μετάδοσης. Μερικοί τέτοιοι κανόνες παρατίθενται στη συνέχεια.

- Κάθε μετάδοση πλαισίου θεωρείται επιτυχημένη μόνο αν ληφθεί σωστά και το αντίστοιχο πλαίσιο ACK. Όλα τα πλαίσια μονοεκπομπής (unicast) πρέπει να επιβεβαιώνονται από τον παραλήπτη. Αντίθετα, πλαίσια τύπου πολυεκπομπής (multicast) και ευρυεκπομπής (broadcast) δεν απαιτούν επιβεβαίωση. Είναι ευθύνη του αποστολέα να ξαναστείλει το πλαίσιο αν δεν ληφθεί η ανάλογη επιβεβαίωση. Κάθε αποτυχία αποστολής που οφείλεται είτε σε αδυναμία ελέγχου του μέσου είτε σε μη λήψη ACK αυξάνει έναν μετρητή (retry counter) που χρησιμεύει για τον προσδιορισμό του χρόνου μέχρι την επόμενη προσπάθεια αποστολής του πλαισίου.
- Κάθε σταθμός που συμμετέχει στην ανταλλαγή πολλαπλών πλαισίων μπορεί να ανανεώνει το NAV μετά από κάθε λήψη πλαισίου. Έτσι ο έλεγχος του μέσου διατηρείται μέχρι να ολοκληρωθεί η ανταλλαγή. Η διατήρηση του ελέγχου μπορεί να εξασφαλιστεί επιπλέον με τη χρήση του SIFS στις περιπτώσεις που έχουν ήδη αναφερθεί.
- Υπάρχουν συγκεκριμένα κατώφλια μεγέθους για τα πλαίσια. Κάθε πλαίσιο μεγαλύτερο από το κατώφλι RTS πρέπει να σταλεί χρησιμοποιώντας το μηχανισμό RTS/CTS (που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια). Κάθε πλαίσιο μεγαλύτερο από το κατώφλι κατακερματισμού (fragmentation threshold) διασπάται σε μικρότερα πλαίσια πριν σταλεί.

Αντιμετώπιση αποτυχημένης προσπάθειας μετάδοσης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο εντοπισμός και η διόρθωση κάποιου λάθους κατά τη μετάδοση είναι ευθύνη του αποστολέα. Σε περίπτωση που η αποστολή ενός πλαισίου δεν ολοκληρωθεί κανονικά ο αποστολέας πρέπει να το ξαναστείλει. Για τον έλεγχο της διαδικασίας αυτής κάθε πλαίσιο έχει έναν μετρητή (retry counter) συσχετισμένο με αυτό. Κάθε φορά που το πλαίσιο αυτό επανεκπέμπεται ο retry counter που του αντιστοιχεί αυξάνεται κατά 1. Αν ο μετρητής ξεπεράσει κάποιο προκαθορισμένο

όριο, το πλαίσιο απορρίπτεται και η απώλειά του αναφέρεται στα υψηλότερα στρώματα.

Κάθε σταθμός διακρίνει τα πλαίσια σε short και long. Ως short χαρακτηρίζονται τα πλαίσια που έχουν μήκος μικρότερο από το RTS threshold και ως long τα υπόλοιπα. Ο σταθμός διατηρεί και δύο αντίστοιχους μετρητές, τους short retry count και long retry count. Κάθε φορά που η μετάδοση ενός πλαισίου αποτυγχάνει ο αντίστοιχος μετρητής αυξάνεται. Οι μετρητές αυτοί μηδενίζονται σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Για τον short retry count αυτές είναι:

- Λήψη CTS πλαισίου σε απάντηση ενός RTS.
- Λήψη πλαισίου ACK μετά από μη κατακερματισμένη μετάδοση πλαισίου.
- Λήψη broadcast ή multicast πλαισίου.
- Αντίστοιχα, ο long retry count μηδενίζεται στις ακόλουθες περιπτώσεις:
- Λήψη πλαισίου ACK για πλαίσιο μεγαλύτερο του RTS threshold.
- Λήψη broadcast ή multicast πλαισίου.

Σε περίπτωση κατακερματισμού ενός πλαισίου όλα τα fragments έχουν έναν μετρητή διάρκειας ζωής (lifetime counter). Αυτός ξεκινάει όταν μεταδοθεί το πρώτο fragment. Αν μέχρι να μηδενιστεί δεν έχει μεταδοθεί ολόκληρο το πλαίσιο, αυτό απορρίπτεται και δεν γίνεται προσπάθεια μετάδοσης των υπόλοιπων fragments του.

Παράθυρο Ανταγωνισμού

Σε προηγούμενη ενότητα ήδη έχει αναφερθεί η έννοια του παραθύρου ανταγωνισμού (contention window) και που χρησιμεύει. Το contention window χωρίζεται σε σχισμές (slots) που η διάρκειά τους είναι εξαρτώμενη από το φυσικό στρώμα. Κάθε σταθμός διαλέγει μια σχισμή και περιμένει τη σειρά του πριν επιχειρήσει να αποκτήσει πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης. Η επιλογή γίνεται τυχαία, με χρήση μιας διαδικασίας που ονομάζεται δυαδική εκθετική υποχώρηση. Αν περισσότεροι του ενός σταθμοί διεκδικούν τον έλεγχο του μέσου, νικητής θα αναδειχθεί αυτός που θα επιλέξει την πρώτη σχισμή.

Κάθε σταθμός επιλέγει τη σχισμή του contention window μέσα από ένα εύρος τιμών που αυξάνεται όσο αποτυγχάνει η επιθυμητή μετάδοση πλαισίου. Υπενθυμίζεται ότι η μετάδοση θεωρείται αποτυχημένη αν δεν ληφθεί έγκαιρα επιβεβαίωση ή αν ο σταθμός δεν καταφέρει να πάρει τον έλεγχο του μέσου για να μεταδώσει το πλαίσιο. Το εύρος τιμών από το οποίο καλείται να επιλέξει τυχαία ο κάθε σταθμός είναι πάντα αριθμός κατά ένα μικρότερος από κάποια δύναμη του 2. Κάθε φορά που η μετάδοση αποτυγχάνει το εύρος υπολογίζεται ξανά με βάση την αμέσως επόμενη δύναμη του 2. Αυτό γίνεται μέχρι να φτάσει το εύρος μία μέγιστη τιμή, οπότε δεν μεγαλώνει άλλο. Το εύρος αυτό επανέρχεται στην ελάχιστη τιμή του μετά από επιτυχημένη μετάδοση ή από απόρριψη του προς μετάδοση πλαισίου. Κάθε φυσικό στρώμα χρησιμοποιεί δικές του παραμέτρους για την παραπάνω διαδικασία. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η σταθερότητα της λειτουργίας του δικτύου, ακόμη και κάτω από καταστάσεις έντονης κίνησης.

6.8.5. Πρόσβαση στο Μέσο με χρήση του Αλγορίθμου PCF

Ο αλγόριθμος PCF είναι η εναλλακτική λύση στο πρόβλημα του ελέγχου της πρόσβασης στο μέσο. Η λειτουργία του μοιάζει αρκετά με σχήματα ελέγχου πρόσβασης με σκυτάλη (token based). Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δεν χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στα προϊόντα που κυκλοφορούν στην αγορά, ενώ οι κατασκευαστές δεν είναι υποχρεωμένοι να τον υποστηρίξουν, αφού αποτελεί προαιρετικό μέρος του προτύπου 802.11. Επιπλέον, εφόσον απαιτεί κεντρικό έλεγχο από κάποιο AP, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε infrastructure δίκτυα.

Σκοπός του PCF είναι να προσφέρει πρόσβαση στο μέσο χωρίς ανταγωνισμό μεταξύ των σταθμών (contention - free medium access). Υλοποιείται χρησιμοποιώντας την υποδομή του αλγορίθμου DCF και προσθέτοντας την επιπλέον λειτουργικότητα. Η χρήση του συνεπάγεται τη δημιουργία χρονικών περιόδων χωρίς ανταγωνισμό (contention - free periods), ενώ κατά τον υπόλοιπο χρόνο η πρόσβαση ελέγχεται κανονικά από τον DCF (contention periods). Υπάρχει δυνατότητα καθορισμού της σχέσης των δύο παραπάνω χρονικών περιόδων ανάλογα με τη χρήση του δικτύου. Αυτές οι περίοδοι επαναλαμβάνονται διαδοχικά, ενώ η διάρκειά τους κάθε φορά ονομάζεται contention - free repetition interval.

Κατά τη διάρκεια του contention - free period η διαδικασία πρόσβασης στο μέσο για τους σταθμούς ελέγχεται από το AP. Στην αρχή της περιόδου αυτής το AP στέλνει ένα πλαίσιο Beacon το οποίο περιέχει τη μέγιστη διάρκεια της contention - free period. Οι σταθμοί θέτουν το NAV σε αυτήν την τιμή αποτρέποντας την πρόσβαση μέσω του DCF γι' αυτήν την περίοδο.

Όταν το AP πάρει τον έλεγχο του μέσου δίνει την άδεια σε κάθε σταθμό διαδοχικά να μεταδώσει στέλνοντάς του ένα polling πλαίσιο (CF - Poll). Τα polling πλαίσια πρέπει να επιβεβαιωθούν από τους σταθμούς. Αν κάποιος σταθμός δεν στείλει ACK αφού λάβει το polling πλαίσιο το AP προχωράει στον επόμενο σταθμό. Όλοι οι σταθμοί κατά τη διαδικασία του association με το AP μπαίνουν σε μία λίστα (polling list) ώστε το AP να τους δίνει το δικαίωμα μετάδοσης κατά την contention - free period. Σημειώνεται ότι κάθε πλαίσιο polling δίνει στο σταθμό που το έλαβε δικαίωμα μετάδοσης ενός μόνο πλαισίου.

Για να διασφαλιστεί περισσότερο ότι ο έλεγχος του μέσου θα μείνει στο AP κατά την contention - free period, όλοι οι χρόνοι αναμονής που χρησιμοποιούνται είναι SIFS ή PIFS. Ο χρόνος αναμονής από το AP για να επιβεβαιωθεί το polling πλαίσιο που έστειλε είναι ίσος με τον PIFS ενώ όλοι οι υπόλοιποι χρόνοι αναμονής είναι ίσοι με SIFS.

Η διάρκεια της contention - free period πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με το χρόνο που απαιτείται να μεταδοθεί και να επιβεβαιωθεί ένα πλαίσιο μέγιστου μεγέθους. Σε περίπτωση που η contention period δεν τελειώσει όταν πρέπει να αρχίσει η contention - free period, η δεύτερη έχει μειωμένη διάρκεια. Το AP που τρέχει τον PCF μπορεί να διακόψει νωρίτερα την contention - free period για οποιοδήποτε λόγο. Τέλος, για να εκμεταλλευονται οι σταθμοί όσο το δυνατόν περισσότερο την contention - free period είναι σύνηθες να συνδυάζουν σε ένα πλαίσιο επιβεβαιώσεις, polling και μεταφορά δεδομένων, οπότε προκύπτουν σύνθετα πλαίσια με πολλές λειτουργίες. Για παράδειγμα ένας σταθμός μπορεί να συνδυάσει τη μεταφορά δεδομένων με την επιβεβαίωση του πλαισίου polling σε ένα κοινό πλαίσιο και να το στείλει. Το AP που θα το λάβει μπορεί να στείλει σε κοινό πλαίσιο την επιβεβαίωση λήψης των δεδομένων στον αποστολέα και τα δεδομένα στον παραλήπτη.

6.8.6. Πρόσβαση στο Μέσο με χρήση του Αλγορίθμου HCF

Ο αλγόριθμος πρόσβασης HCF είναι ο νεότερος αλγόριθμος πρόσβασης που θα προστεθεί στο υπόστρωμα MAC όταν ολοκληρωθούν οι εργασίες της ομάδας 802.11e. Ονομάζεται και Enhanced DCF (EDCF) και σκοπός του είναι να προσφέρει πρόσβαση στο μέσο είτε με ανταγωνισμό είτε χωρίς ανταγωνισμό μεταξύ των σταθμών, προσφέροντας ταυτόχρονα έναν μηχανισμό προτεραιοτήτων. Χρησιμοποιεί στοιχεία από τους DCF και PCF και διατηρεί τη συμβατότητα με αυτούς.

Κατά τη λειτουργία του EDCF ορίζονται κάποιες κατηγορίες πρόσβασης (Access Categories – ACs) και οι αντίστοιχοι μηχανισμοί πρόσβασης. Κάθε AC αντιστοιχίζεται με ροές πληροφορίας συγκεκριμένης προτεραιότητας (για παράδειγμα βέλτιστης προσπάθειας, video, φωνής). Κάθε AC χρησιμοποιεί μία παραλλαγή του DCF για να αποκτήσει πρόσβαση στο μέσο. Υπάρχει διαφοροποίηση τόσο του contention window (CW), όσο και του IFS, που σε αυτήν την περίπτωση ονομάζεται arbitration IFS (AIFS), ανάλογα με την AC. Το AIFS είναι τουλάχιστον ίσο με DIFS. Επιπλέον, κάθε AC σε έναν σταθμό συμπεριφέρεται σαν εικονικός σταθμός (virtual station), προσπαθώντας να αποκτήσει πρόσβαση στο μέσο με τις δικές τις παραμέτρους. Οι συγκρούσεις εντός του ίδιου σταθμού διευθετούνται σαν τις κλασικές συγκρούσεις στο ασύρματο μέσο.

Για την κεντρικά ελεγχόμενη λειτουργία του αλγορίθμου χρειάζεται, όπως και στον PCF, ένα AP στο οποίο θα τρέχει ο αλγόριθμος ελέγχου HC (Hybrid Coordinator). Ο τελευταίος έχει πρόσβαση στο μέσο με μεγαλύτερη προτεραιότητα από τον EDCF και έχει την δυνατότητα να προσφέρει QoS χαρακτηριστικά στην κίνηση από και προς τους σταθμούς. Μπορεί να λειτουργεί και σε contention periods, σε αντίθεση με τον PCF.

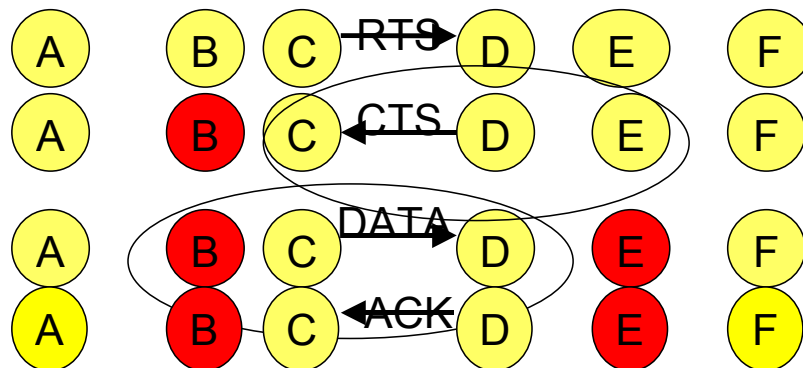
6.8.7. Μηχανισμός RTS/CTS

Για να διασφαλιστεί ότι μία συγκεκριμένη ανταλλαγή πλαισίων θα γίνει χωρίς διακοπή από μετάδοση τρίτου σταθμού, το πρότυπο 802.11 υποστηρίζει το μηχανισμό RTS/CTS. Αυτός ο μηχανισμός διαφοροποιεί την διαδικασία αποστολής πλαισίου που είχε αναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο, εισάγοντας δύο επιπλέον πλαίσια, τα RTS (Ready To Send) και CTS (Clear To Send). Προστατεύοντας την ανταλλαγή πλαισίων, ο μηχανισμός RTS/CTS βελτιώνει την απόδοση της χρήσης του ασύρματου δικτύου σε περιπτώσεις μεγάλου φόρτου εξαιτίας της ύπαρξης πολλών τερματικών και αντιμετωπίζει το πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου. Αν όμως χρησιμοποιείται χωρίς λόγο, έχει το ακριβώς αντίθετο αποτέλεσμα, εφόσον προσθέτει επιπλέον φορτίο στο ασύρματο δίκτυο.

Η βασική ιδέα είναι ότι ο αποστολέας στέλνει αρχικά ένα πλαίσιο RTS στον παραλήπτη που δεν περιέχει δεδομένα. Αυτό το πλαίσιο έχει ως σκοπό να δεσμεύσει ο αποστολέας το μέσο μετάδοσης για όσο χρόνο υπολογίζει ότι θα διαρκέσει η αποστολή του πλαισίου δεδομένων και να το ανακοινώσει στους υπόλοιπους σταθμούς μέσω του μετρητή NAV στο πλαίσιο RTS. Ο παραλήπτης λαμβάνοντας το RTS απαντάει με ένα πλαίσιο CTS. Υπενθυμίζεται ότι η αποστολή πλαισίου CTS γίνεται με το συντομότερο χρόνο αναμονής SIFS. Τότε ο αποστολέας στέλνει το πλαίσιο δεδομένων και περιμένει την επιβεβαίωση ορθής λήψης του από τον παραλήπτη. Έτσι η διαδικασία αποστολής πλαισίου απαιτεί την ανταλλαγή τεσσάρων πλαισίων για να ολοκληρωθεί σωστά.

Η παραπάνω διαδικασία γίνεται κατανοητή με το ακόλουθο παράδειγμα. Όσοι σταθμοί ακούνε το πλαίσιο CTS παραμένουν σιωπηλοί για να μη δημιουργηθεί σύγκρουση κατά την μετάδοση του πλαισίου δεδομένων από τον σταθμό C στον σταθμό D, όπως φαίνεται στο Σχήμα 116.

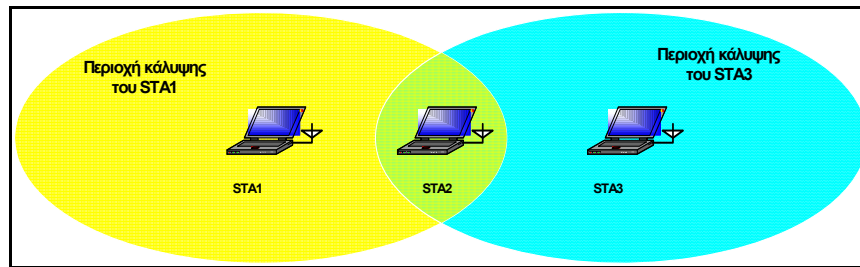
Επίσης σιωπηλοί παραμένουν και όσοι σταθμοί ακούνε το πλαίσιο RTS, προκειμένου να μην δημιουργήσουν σύγκρουση κατά την μετάδοση της επιβεβαίωσης ACK από τον σταθμό D στον C. Το διάστημα στο οποίο οι σταθμοί παραμένουν σιωπηλοί περιλαμβάνεται σε ένα πεδίο RTS/CTS πλαισίων και εξαρτάται από την διάρκεια του πλαισίου πληροφορίας. Το πλαίσιο επιβεβαίωσης χρησιμοποιείται, διότι παρά την ύπαρξη του RTS/CTS μηχανισμού, υπάρχει πάντα η πιθανότητα λαθών λόγω του θορύβου του καναλιού καθώς επίσης και η πιθανότητα σύγκρουσης. Αν ένας σταθμός δεν λάβει πλαίσιο επιβεβαίωσης, επαναμεταδίδει τότε το πλαίσιο.



Σχήμα 116. Μηχανισμός RTS/CTS

Ο μηχανισμός αυτός ενεργοποιείται αυτόματα όταν το μέγεθος ενός πλαισίου είναι μεγαλύτερο από το RTS threshold για να διασφαλίσει την ομαλή αποστολή μεγάλων πλαισίων. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με τον κατακεραματισμό. Συνήθως τα κατώφλια RTS threshold και Fragmentation threshold τίθενται στην ίδια τιμή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα όλα τα fragments ενός πλαισίου να μεταδίδονται με τη σειρά προστατευμένα από το μηχανισμό RTS/CTS. Σε αυτήν την περίπτωση το πλαίσιο RTS που στέλνει ο αποστολέας στην αρχή της διαδικασίας δεσμεύει το μέσο για όσο χρόνο απαιτεί η αποστολή και η επιβεβαίωση του πρώτου τμήματος του πλαισίου. Όταν ο αποστολέας πάρει το CTS αρχίζει να στέλνει διαδοχικά τα τμήματα περιμένοντας φυσικά κάθε φορά για το αντίστοιχο πλαίσιο ACK, του οποίου η αποστολή γίνεται με χρήση του χρόνου SIFS. Ο αποστολέας και ο παραλήπτης ανανεώνουν το NAV κατά τη διάρκεια της ανταλλαγής πλαισίων, εξασφαλίζοντας ότι θα διατηρήσουν τον έλεγχο του μέσου. Το μέσο αποδεσμεύεται με την λήψη από τον αποστολέα του τελευταίου πλαισίου ACK από τον παραλήπτη. Ένας άλλος τρόπος μετάδοσης των τμημάτων ενός πλαισίου είναι να δεσμεύσει ο αποστολέας το μέσο με χρήση του μετρητή NAV στο πρώτο τμήμα που θα στείλει.

Ο εν λόγω μηχανισμός αντιμετωπίζει αποτελεσματικά το πρόβλημα ύπαρξης κρυμμένου κόμβου (hidden node). Το πρόβλημα αυτό απεικονίζεται στο Σχήμα 117.



Σχήμα 117. Πρόβλημα κρυμμένου κόμβου

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 117, ο σταθμός STA1 δεν γνωρίζει την ύπαρξη του STA3, εφόσον αυτός είναι έξω από την περιοχή κάλυψής του. Το ίδιο συμβαίνει και με τον STA3, ο οποίος δεν γνωρίζει την ύπαρξη του STA1, για τον ίδιο λόγο με την προηγούμενη περίπτωση. Ο STA2 βρίσκεται στην κοινή περιοχή κάλυψης των STA1 και STA3 και συνεπώς μπορεί να ανταλλάσσει πλαίσια και με τους δύο. Το πρόβλημα δημιουργείται στην περίπτωση που οι STA1 και STA3 επιχειρούν να επικοινωνήσουν με τον STA2 ταυτόχρονα. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία συγκρούσεων και τα πλαίσια που έχουν εκπεμφθεί χάνονται.

Τη λύση λοιπόν σ' αυτό το πρόβλημα έρχεται να δώσει ο μηχανισμός RTS/CTS. Σύμφωνα μ' αυτόν, ο κόμβος STA2 θα εκπέμπει ένα πλαίσιο CTS σε απάντηση του RTS που θα του έχει στείλει νωρίτερα ο STA1. Αυτό το πλαίσιο CTS θα το λάβει και ο STA3 (καθώς «ακούει») και έτσι θα αποφύγει να μεταδώσει κι αυτός κάποιο πλαίσιο που θα προκαλούσε σύγκρουση. Τον ίδιο ρόλο παίζει και το πλαίσιο RTS που μεταδίδει ο STA1, δηλαδή ενημερώνει άλλους κρυφούς κόμβους που μπορεί να βρίσκονται γύρω του και δεν βλέπουν τον STA2.

6.8.8. Εξοικονόμηση Ενέργειας

Εφόσον οι σταθμοί που χρησιμοποιούν ένα ασύρματο δίκτυο είναι κινητοί, πρέπει να ενδιαφερθούμε για την όσο το δυνατόν μικρότερη κατανάλωση ισχύος από αυτούς, κάτι που θα επιμηκύνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας τους και θα αυξήσει την αυτονομία τους. Επίσης είναι γνωστό πως η μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος σε ασύρματα συστήματα προέρχεται από τους ενισχυτές που ενισχύουν το σήμα αμέσως πριν την εκπομπή ή μετά τη λήψη του.

Γι' αυτό το λόγο λοιπόν, στο πρότυπο 802.11 υπάρχει η δυνατότητα ένας σταθμός να σταματήσει τη λειτουργία του πομποδέκτη του για κάποια περίοδο, που ονομάζεται sleeping period. Παράλληλα οι σταθμοί, συμπεριλαμβανομένων και των APs, έχουν τη δυνατότητα της προσωρινής αποθήκευσης (buffering) των πλαισίων που προορίζονται για σταθμούς που έχουν εισέλθει σε sleeping period. Με αυτόν τον τρόπο οι σταθμοί μπορούν να «ξυπνούν» περιοδικά και να δέχονται τα πλαίσια που έχει αποθηκεύσει το AP ή να στέλνουν οι ίδιοι πλαίσια στο AP.

Ένας σταθμός που μόλις έχει ξυπνήσει μπορεί να ζητήσει από το AP να του στείλει όσα πλαίσια έχει αποθηκευμένα για αυτόν με την αποστολή ενός PS-Poll πλαισίου. Το AP όταν λάβει ένα τέτοιο πλαίσιο μπορεί είτε να αρχίσει να στέλνει αμέσως πλαίσια στον σταθμό, αν φυσικά υπάρχουν, ή να του στείλει άμεσα ένα πλαίσιο ACK και να στείλει αργότερα τα αποθηκευμένα πλαίσια. Ο σταθμός στη δεύτερη περίπτωση πρέπει να περιμένει μέχρι να του αποσταλούν τα πλαίσια χωρίς φυσικά να ξαναμπει σε sleeping period.

Οι σταθμοί έχουν επίσης την υποχρέωση να ξυπνούν κατά περιόδους και να λαμβάνουν Beacon πλαίσια από το AP. Αυτά, πέραν των άλλων λειτουργιών που επιτελούν, έχουν ένα πεδίο που ονομάζεται TIM (Traffic Indication Map). Εκεί σημειώνεται κάθε σταθμός για τον οποίο το AP έχει αποθηκευμένα πλαίσια, τα οποία ο σταθμός μπορεί στη συνέχεια να τα ζητήσει με ένα PS-Poll πλαίσιο.

6.8.9. Πλαισίωση Υποστρώματος MAC

Η γενική μορφή του πλαισίου του υποστρώματος MAC στο πρότυπο IEEE 802.11 δίδεται στο Σχήμα 118.

Mac Header (30)							Data (0-2312)	CRC (4)
FC	ID	Add 1	Add 2	Add 3	SC	Add 4	Data	CRC
2	2	6	6	6	2	6	0-2312	4

Protocol Version	Type	Sub Type	To DS	From DS	More Frag	Retry	Power Management	More Data	WEP	Order
2	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1

Σχήμα 118. Γενική μορφή πλαισίου υποστρώματος MAC του 802.11

Επισημαίνεται ότι η παραπάνω μορφή χρησιμοποιείται σε όλους τους τύπους πλαισίων (Data, Control, Management – όπως θα δούμε παρακάτω), αλλά δεν χρησιμοποιούνται όλα τα πεδία από κάθε τύπο με τον ίδιο τρόπο

6.9. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

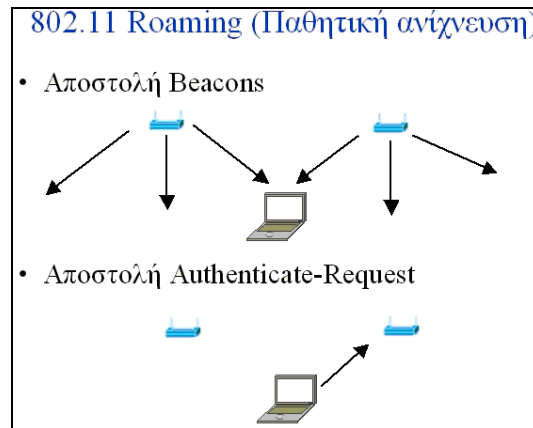
Η διαδικασία του association ενός κινητού σταθμού με ένα AP, όπως είδαμε λίγο πιο πάνω, είναι απαραίτητη προκειμένου να αποκτήσει ο σταθμός πλήρη πρόσβαση στο ασύρματο δίκτυο. Η πρόσβαση όμως ενός σταθμού στο ασύρματο δίκτυο περιλαμβάνει κι άλλα βήματα που προηγούνται του association. Παράλληλα η διαχείριση της πρόσβασης στο δίκτυο είναι απαραίτητη για την υποστήριξη της κινητικότητας (mobility) του σταθμού και παίζει σημαντικό ρόλο στον μηχανισμό της διαπομπής (handover). Στην συνέχεια παρατίθενται τα βασικά βήματα για να αποκτήσει ένας σταθμός πρόσβαση σε ένα ασύρματο δίκτυο 802.11.

6.9.1. Scanning

Ο σταθμός πρέπει πρώτα να εντοπίσει το δίκτυο στο οποίο θέλει να αποκτήσει πρόσβαση. Για τον σκοπό λοιπόν αυτό πρέπει να εντοπίσει όλα τα υπάρχοντα δίκτυα στην περιοχή που βρίσκεται. Υπάρχουν δύο παραλλαγές του scanning, το ενεργό (active scanning) και το παθητικό (passive scanning).

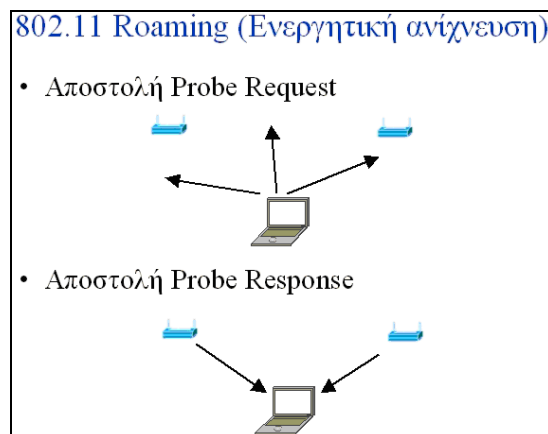
Κατά το passive scanning ο σταθμός δεν εκπέμπει τίποτα, εξοικονομώντας έτσι ενέργεια. Παρακολουθεί τα διαθέσιμα κανάλια ψάχνοντας για πλαίσια Beacon που δηλώνουν την ύπαρξη κάποιου δικτύου. Τα πλαίσια Beacon περιέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για το BSS απ' όπου εκπέμπονται ώστε ο σταθμός να

μπορεί να προχωρήσει στο επόμενο βήμα, δηλαδή στη διαδικασία του joining. Η διαδικασία φαίνεται στο Σχήμα 119.



Σχήμα 119. Παθητική ανίχνευση

Κατά το active scanning ο σταθμός εκπέμπει περιοδικά σε όλα τα διαθέσιμα κανάλια πλαίσια Probe Request που περιέχουν και το SSID (ή network name) του δικτύου που ψάχνει. Για να εκπέμπει αυτό το πλαίσιο ο σταθμός πρέπει να αποκτήσει κανονικά πρόσβαση στο μέσο χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο DCF. Επίσης έχει προβλεφθεί κάποια διαδικασία ώστε να καταλαβαίνει ο σταθμός πότε ένα κανάλι είναι ανενεργό. Σε κάθε BSS ένας σταθμός είναι υπεύθυνος για να απαντάει σε πλαίσια Probe Request. Σε infrastructure δίκτυα υπεύθυνο είναι το AP, ενώ σε IBSS υπεύθυνο είναι ο σταθμός που εξέπεμψε το τελευταίο πλαίσιο Beacon. Σε κάθε περίπτωση ο σταθμός που έστειλε το Probe Request θα λάβει ένα ή περισσότερα πλαίσια Probe Response αν υπάρχουν ασύρματα δίκτυα στην περιοχή του. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στο Σχήμα 120.



Σχήμα 120. Ενεργητική Ανίχνευση

Όποιο τρόπο scanning κι αν ακολουθεί ο σταθμός, στο τέλος της διαδικασίας θα έχει αποκτήσει κάποιες βασικές πληροφορίες για τα διαθέσιμα δίκτυα.

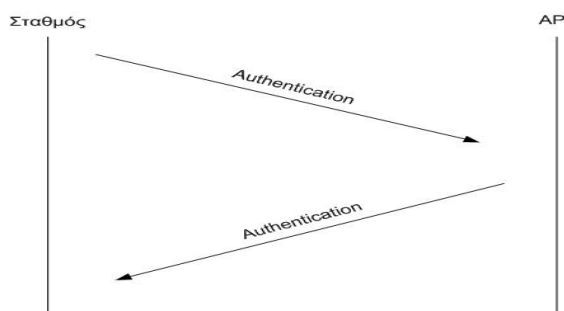
6.9.2. Joining

Αφού εντοπιστεί το δίκτυο ακολουθεί η διαδικασία του joining, δίχως όμως ο κινητός σταθμός να αποκτήσει ακόμα πρόσβαση στο δίκτυο. Με άλλα λόγια η διαδικασία του joining δεν δίνει σε έναν σταθμό πρόσβαση στο δίκτυο, απλώς είναι ένα απαραίτητο βήμα στη διαδικασία του association. Ο σταθμός, έχοντας τις απαραίτητες πληροφορίες από το scanning, εξετάζει τις παραμέτρους κάθε BSS και αποφασίζει με ποιο από αυτά θα προχωρήσει τη διαδικασία του association.

Για να επιλέξει ο σταθμός ένα BSS πρέπει φυσικά να μπορεί να λειτουργήσει με τις συγκεκριμένες παραμέτρους του BSS. Επιπλέον, κριτήρια όπως το επίπεδο ισχύος ή η ένταση του σήματος από κάθε BSS παίζουν ρόλο. Παρόλα αυτά δεν υπάρχει συγκεκριμένη διαδικασία επιλογής ενός δικτύου έναντι κάποιου άλλου. Η επιλογή γίνεται εσωτερικά στο σταθμό και εξαρτάται από τον εκάστοτε κατασκευαστή.

6.9.3. Authentication

Αφού ο σταθμός επιλέξει σε ποιο BSS θέλει να προσχωρήσει (joining) πρέπει να ακολουθήσει τη διαδικασία του authentication. Η διαδικασία αυτή είναι εξαιρετικά σημαντική στη διατήρηση της ασφάλειας στα ασύρματα δίκτυα, εφόσον δεν υπάρχουν ουσιαστικά φυσικοί περιορισμοί για κάποιον που θέλει να αποκτήσει πρόσβαση σε ένα δίκτυο. Για την πιστοποίηση πρέπει να ανταλλαχθούν οι κατάλληλες πληροφορίες και κλειδιά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 121.



Σχήμα 121. Διαδικασία πιστοποίησης

Η διαδικασία αυτή έχει μεγαλύτερη σημασία σε infrastructure δίκτυα εφόσον το authentication είναι μονόδρομο και όχι αμφίδρομο. Αυτό σημαίνει ότι κάθε σταθμός που θέλει να αποκτήσει πρόσβαση στο δίκτυο πρέπει να πιστοποιήσει τον εαυτό του σε κάποιο AP, αλλά το AP δεν έχει καμιά υποχρέωση πιστοποίησης. Αυτό εξυπηρετεί τους διαχειριστές του δικτύου που θέλουν να πιστοποιούνται όλοι οι χρήστες που αποκτούν πρόσβαση στο δίκτυο αλλά δημιουργεί πιθανά προβλήματα ασφάλειας. Για παράδειγμα ένα AP μπορεί να στέλνει πλαίσια Beacon ενός δικτύου του οποίου δεν είναι μέρος για να υποκλέψει στοιχεία του authentication από το δίκτυο αυτό. Υπάρχουν τα παρακάτω δύο είδη authentication:

- Open – System authentication: Αυτό το είδος authentication είναι το μόνο που απαιτείται από το πρότυπο 802.11. Στην ουσία δεν πρόκειται για πραγματικό authentication, εφόσον το AP δέχεται την ταυτότητα του σταθμού χωρίς οποιαδήποτε διαδικασία πιστοποίησής της.

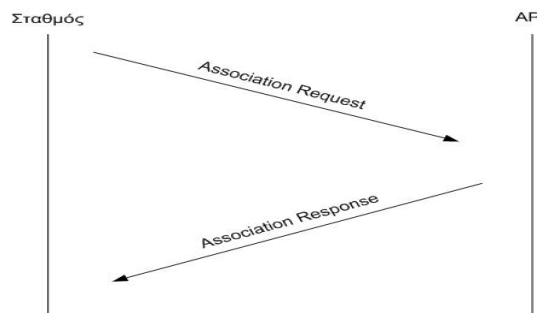
- **Shared – Key authentication:** Αυτός ο τύπος πιστοποίησης ταυτότητας χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο κρυπτογράφησης WEP (Wired Equivalent Privacy), ο οποίος στοχεύει στην ασφάλεια κατά την μεταφορά δεδομένων μέχρι το AP (η αναλυτική περιγραφή του ξεφεύγει από το παρών σύγγραμμα). Υπενθυμίζεται ότι το πρότυπο 802.11 δεν θεωρεί υποχρεωτική την υποστήριξη του WEP, άρα αυτός ο τύπος πιστοποίησης μπορεί να μην είναι πάντα διαθέσιμος. Για να λειτουργήσει απαιτεί την ύπαρξη ενός μοιραζόμενου κλειδιού (shared key) από τους σταθμούς.

Η διαδικασία του authentication πρέπει οπωσδήποτε να ολοκληρωθεί με επιτυχία για να ακολουθήσει το association, αλλά δεν είναι υποχρεωτικό να ακολουθήσει το association αμέσως μετά. Οι σταθμοί μπορούν να ολοκληρώσουν το authentication με διάφορα AP έτσι ώστε όταν απαιτηθεί association με οποιοδήποτε από αυτά να γίνει χωρίς άλλη καθυστέρηση. Αυτό μπορεί να χρησιμεύσει στην περίπτωση διαπομπής, αν το AP έχει ήδη ολοκληρώσει το authentication με το καινούργιο AP πριν την διαπομπή. Αυτού του είδους το authentication ονομάζεται και preauthentication.

6.9.4. Association

Το association του σταθμού με το AP είναι το τελικό βήμα για να αποκτήσει ο σταθμός πρόσβαση στο δίκτυο. Το association απαιτεί την ανταλλαγή δύο πλαισίων μεταξύ σταθμού και AP.

Το πρώτο πλαίσιο το στέλνει ο σταθμός και είναι τύπου Association Request. Σε περίπτωση που δεν έχει προηγηθεί authentication το AP απαντά με ένα πλαίσιο Deauthentication. Σε περίπτωση που το authentication έχει γίνει κανονικά το AP αποφασίζει αν θα ολοκληρώσει ή όχι τη διαδικασία. Δεν υπάρχει ούτε εδώ κάποιος προβλεπόμενος από το 802.11 τρόπος απόφασης αλλά είναι θέμα της συγκεκριμένης υλοποίησης. Αν τελικά η αίτηση γίνει δεκτή, το AP απαντά με ένα πλαίσιο Association Response. Επίσης, γνωστοποιεί την ύπαρξη του σταθμού στο δικό του BSS στο σύστημα διανομής (Distribution System – DS) ώστε να δρομολογούνται σωστά πλαίσια που προορίζονται για τον σταθμό αυτόν. Η όλη διαδικασία φαίνεται στο Σχήμα 122.



Σχήμα 122. Διαδικασία Συσχέτισης

6.10. HANDOVER

Ένα γνωστό πρόβλημα το οποίο εμφανίζεται στις κινητές επικοινωνίες προκύπτει κατά τη μετακίνηση ενός χρήστη από ένα AP στο οποίο είναι αρχικά «ασύρματα»

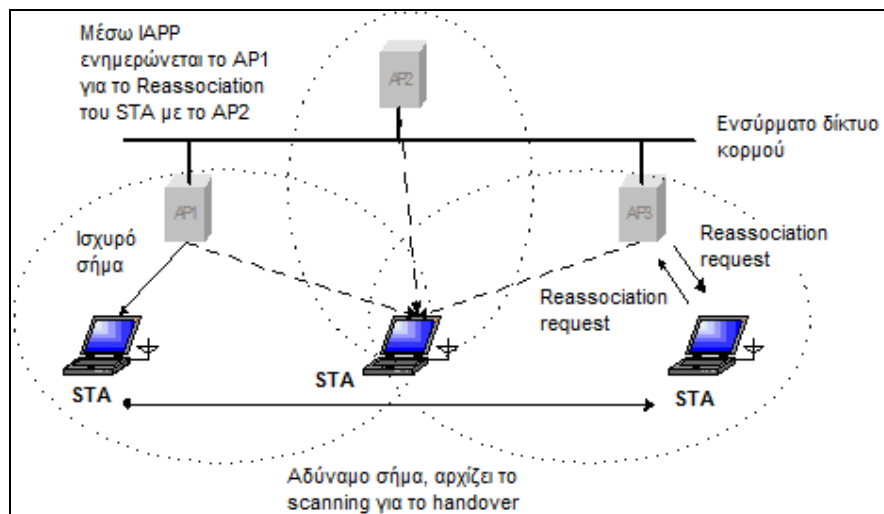
συνδεδεμένος στην σύνδεσή του σε ένα άλλο AP. Η διαδικασία αποσύνδεσης ενός ασύρματου χρήστη από ένα AP και η σύνδεση με ένα άλλο ονομάζεται “handover”. Κατά το handover ενός κινητού χρήστη, διακόπτονται οι οποιοσδήποτε ενεργές συνδέσεις του και όσα πακέτα φτάνουν στη συνέχεια στον προηγούμενο AP του χάνονται (η φυσική σύνδεση έχει κοπεί).

Στο πρότυπο 802.11 είναι γνωστό πως υπάρχουν τα παρακάτω δύο διαφορετικά είδη κινητικότητας:

Roaming (περιαγωγή) ενός κινητού σταθμού εντός των ορίων του ίδιου ESS (Intra-Network Handover). Η AP διεύθυνση ενός σταθμού παραμένει ίδια κατά την αλλαγή AP.

Roaming (περιαγωγή) ενός κινητού σταθμού μεταξύ BSS που ανήκουν σε διαφορετικά ESS (Inter-Network Handover). Η AP διεύθυνση ενός σταθμού μπορεί να αλλάξει κατά την αλλαγή AP.

Στην δεύτερη περίπτωση ο κινητός σταθμός επαναλαμβάνει τη διαδικασία του association με το νέο AP. Η διαδικασία Handover μπορεί να περιγραφεί καλύτερα με τη βοήθεια του ακόλουθου παραδείγματος. Στο Σχήμα 123, τα AP’s ανήκουν στο ίδιο ESS.



Σχήμα 123. Handover

Καθώς ο σταθμός (STA) κινείται προς τα όρια της περιοχής κάλυψης του AP1 παρατηρεί την πτώση της ισχύος του σήματος μέσω των πλαισίων Beacon που στέλνει περιοδικά το AP1 και αρχίζει να ψάχνει (με passive ή active scanning) για AP με δυνατότερο σήμα. Στο Σχήμα 123, ο STA θα λάβει πλαίσια (Beacon ή Probe Response, ανάλογα με το είδος του scanning) από το AP2 και το AP3. Υποθέτοντας ότι το σήμα από το AP3 είναι δυνατότερο, ο STA θα ξεκινήσει τη διαδικασία του Reassociation με το AP3.

Ο STA στέλνει στο AP3 πλαίσιο Reassociation Request. Η μόνη διαφορά του πλαισίου αυτού από το πλαίσιο Association Request είναι ότι περιέχει τη διεύθυνση του προηγούμενου AP (AP1). Το AP3 απαντάει με πλαίσιο Reassociation Response. Αν η διαδικασία ολοκληρωθεί χωρίς πρόβλημα το AP3 πρέπει να επικοινωνήσει με το AP1 και να του γνωστοποιήσει ότι ο STA ανήκει πλέον στο δικό του BSS. Η επικοινωνία μεταξύ APs γίνεται μέσω ενός πρωτοκόλλου IAPP (Inter Access Point Protocol), γνωστό και σαν πρότυπο IEEE 802.11f (ενότητα 6.12.6). Η επικοινωνία

αυτή γίνεται μέσω του ενσύρματου δικτύου (Ethernet) στο οποίο είναι συνδεδεμένα τα APs. Σημειώνεται πάντως πως δεν είναι ευθύνη του STA να ειδοποιήσει το παλιό AP για το Handover.

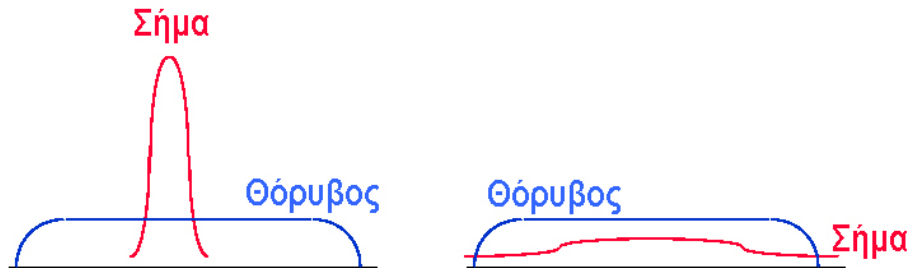
Τελικά μετά το Reassociation το AP1 στέλνει όσα αποθηκευμένα πλαίσια έχει και προορίζονται για το STA στο AP3 και τερματίζει το association με το STA. Πλέον όλα τα πλαίσια από και προς το STA θα επεξεργάζονται από το AP3.

6.11. ΦΥΣΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ ΤΟΥ 802.11

Στο φυσικό στρώμα προδιαγράφονται οι κάτωθι τρεις τεχνικές διαμόρφωσης:

- Direct Sequence Spread Spectrum στην ISM μπάντα των 2,4 GHz με ρυθμούς μετάδοσης 1 και 2 Mbps.
- Frequency Hopping Spread Spectrum στην ISM μπάντα των 2,4 GHz με ρυθμούς μετάδοσης 1 και 2 Mbps.
- Infrared (Υπέρυθρες Ακτίνες) σε μήκη κύματος μεταξύ 850 και 950 nm με ρυθμούς μετάδοσης 1 και 2 Mbps.

Πρέπει να τονίσουμε ότι οι δύο πρώτες είναι τεχνικές εξάπλωσης φάσματος (Spread Spectrum). Σε αυτές αφού διαμορφώσουμε το σήμα πληροφορίας στη συνέχεια εξαπλώνουμε την ισχύ του σήματος σε μία ευρεία περιοχή συχνοτήτων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 124.



Σχήμα 124. Spread Spectrum

6.11.1. Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)

Η τεχνική Frequency Hopping χρησιμοποιήθηκε ευρέως σε εμπορικά προϊόντα. Πλεονεκτήματά του έναντι του εναλλακτικού Direct Sequence φυσικού στρώματος, αποτελούν τα απλούστερα και φθηνότερα ηλεκτρονικά για την υλοποίηση των ανάλογων συσκευών, η χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και η δυνατότητα συνύπαρξης πολλών τέτοιων δικτύων στην ίδια περιοχή χωρίς να επηρεάζεται η συνολική διέλευση.

Όσον αφορά την μετάδοση, η τεχνική FHSS βασίζεται στην ιδέα της αλλαγής της φέρουσας ενός σήματος μέσα σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων και σύμφωνα με μια συγκεκριμένη ψευδοτυχαία ακολουθία (hopping pattern). Μοιάζει με την κλασσική FDMA (Frequency Division Multiple Access), με τη διαφορά ότι κάθε χρήστης

χρησιμοποιεί διάφορες φέρουσες ανάλογα με το hopping pattern του. Για να επιτευχθεί επικοινωνία μεταξύ πομπού και δέκτη πρέπει ο δέκτης να γνωρίζει το hopping pattern του πομπού και να υπάρχει καλός συγχρονισμός μεταξύ τους.

Πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι η δυνατότητα συνύπαρξης διαφορετικών ασυρμάτων δικτύων, αρκεί τα hopping patterns τους να είναι διαφορετικά, δηλαδή σε κάθε χρονική στιγμή κάθε σύστημα να μεταδίδει σε διαφορετική φέρουσα. Τότε τα hopping patterns ονομάζονται ορθογώνια και η συνολική διέλευση μεγιστοποιείται.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα συνύπαρξης με χρήστες που εκπέμπουν σήματα στενής ζώνης. Αν η εκπομπή γίνεται με αρκετά μεγάλη ισχύ τότε η παρεμβολή από το Frequency Hopping σύστημα σε αυτούς είναι αμελητέα. Αλλά και η δική τους παρεμβολή στο Frequency Hopping σύστημα είναι αμελητέα, εφόσον μπλοκάρουν μία μόνο φέρουσα από όσες αυτό χρησιμοποιεί.

FHSS και 802.11 Φυσικό Στρώμα

Το φυσικό στρώμα αυτό διαιρεί την ISM μπάντα των 2,4 GHz σε κανάλια εύρους 1 MHz, με το πρώτο κανάλι (κανάλι 0) να έχει τη κεντρική του συχνότητα στα 2,4 GHz. Επιπλέον ορίζεται ότι περίπου το 99% της ενέργειας του εκπεμπόμενου σήματος πρέπει να βρίσκεται μέσα στο κανάλι. Διαφορετικά κανάλια είναι διαθέσιμα για χρήση σε διάφορες χώρες, όπως δείχνει ο Πίνακας 20.

Επιπλέον έχει προδιαγραφεί αυστηρά τόσο ο χρόνος εκπομπής σε ένα κανάλι (dwell time), που ισούται με 0,4 seconds περίπου, όσο και οι λεπτομέρειες της μεταπήδησης από κανάλι σε κανάλι ανάλογα με το hopping pattern. Έχουν οριστεί συγκεκριμένες αριθμητικές ακολουθίες των διαθέσιμων καναλιών ως hopping patterns και έχουν διαιρεθεί σε μη επικαλυπτόμενες ομάδες. Οποιαδήποτε δύο μέλη της ίδιας ομάδας είναι ορθογώνια μεταξύ τους. Όπως και στα διαθέσιμα κανάλια, έτσι και στα hopping patterns κάθε χώρα έχει διαφορετικούς περιορισμούς. Τα παραπάνω παρουσιάζει ο Πίνακας 20.

Περιοχή / Υπεύθυνη Αρχή	Επιτρεπόμενα Κανάλια	Αριθμός hopping patterns / ομάδα
ΗΠΑ / FCC – Καναδάς / IC	2 έως 79 (2,402 – 2,479 GHz)	26
Ευρώπη (εκτός Γαλλίας και Ισπανίας) / ETSI	2 έως 79 (2,402 – 2,479 GHz)	26
Γαλλία	48 έως 82 (2,448 – 2,482 GHz)	27
Ισπανία	47 έως 73 (2,447 – 2,473 GHz)	35
Ιαπωνία / MKK	73 έως 95 (2,473 – 2,495 GHz)	13

Πίνακας 20. Διαθέσιμα κανάλια ανά περιοχή για το φυσικό στρώμα

Στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη οι αρμόδιοι οργανισμοί έχουν θεσπίσει διαφορετικούς περιορισμούς για τα συστήματα Frequency Hopping. Για παράδειγμα, στις ΗΠΑ η FCC απαιτεί τουλάχιστον 75 διαφορετικά κανάλια (hopping channels) ενώ η Ευρωπαϊκή ETSI μόλις 20, περιορίζοντας όμως περισσότερο την ακτινοβολούμενη ισχύ. Τελικά, για να ικανοποιεί ένα προϊόν τις προδιαγραφές και της FCC και της ETSI πρέπει να ικανοποιεί τις αυστηρότερες από αυτές σε κάθε τομέα (στο παραπάνω παράδειγμα δηλαδή ένα σύστημα πρέπει να έχει τουλάχιστον 75 hopping channels και να ικανοποιεί και τους αυστηρούς περιορισμούς ισχύος της ETSI).

Όσο αναφορά την επίδοση του Frequency Hopping φυσικού στρώματος παρουσία θορύβου και παρεμβολών στενής ζώνης, αυτή είναι αρκετά καλή και μειώνεται γραμμικά όσο αυξάνονται οι παρεμβολές. Μεγάλες παρεμβολές σε ένα από τα χρησιμοποιούμενα κανάλια δεν προκαλεί σπουδαία χειροτέρευση της επίδοσης. Όσο όμως ο αριθμός των καναλιών που επηρεάζονται από τις παρεμβολές αυξάνει, η χειροτέρευση της επίδοσης αρχίζει να γίνεται πιο έντονη.

6.11.2. Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

Η τεχνική Direct Sequence είναι η πιο επιτυχημένη τεχνική που έχει χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με τα ασύρματα δίκτυα. Σε σχέση με τη Frequency Hopping τεχνική μετάδοσης απαιτεί περισσότερη ενέργεια για να επιτύχει παρόμοια διέλευση, όμως το μεγάλο πλεονέκτημά της είναι ότι μπορεί εύκολα να αναβαθμιστεί για την επίτευξη υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης.

Όσον αφορά την μετάδοση, η τεχνική DSSS αντικαθιστά κάθε bit πληροφορίας με μία σειρά από bits που ονομάζεται spreading code (κώδικας εξάπλωσης). Τα bits του spreading code κατά σύμβαση ονομάζονται chips. Τα chips μεταδίδονται σε πολύ υψηλότερο ρυθμό από τα αρχικά bits πληροφορίας και έτσι το φάσμα του μεταδιδόμενου σήματος «απλώνεται». Για παράδειγμα αν αντικαθίσταται κάθε bit με μια ακολουθία από 10 chips το τελικό σήμα θα καταλαμβάνει 10 φορές μεγαλύτερο φασματικό εύρος από το αρχικό. Υποθέτουμε πάντα ότι ο χρόνος μετάδοσης bits είναι ο ίδιος και στις δύο περιπτώσεις, δηλαδή ότι τα 10 chips πρέπει να μεταδοθούν στον ίδιο χρόνο με το αρχικό bit. Ο αριθμός των chips που κωδικοποιούν κάθε bit ονομάζεται και processing gain (κέρδος επεξεργασίας) ή και spreading ratio (παράγοντας εξάπλωσης).

Αυτή η τεχνική έχει λοιπόν το χαρακτηριστικό ότι διευρύνει το φάσμα του προς μετάδοση σήματος, μειώνοντας ταυτόχρονα το πλάτος του, δηλαδή απλώνει την ισχύ του σήματος σε πολύ μεγαλύτερο φασματικό εύρος. Ο δέκτης εκτελεί την αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή εξάγει τα αρχικά bits πληροφορίας, δημιουργώντας ξανά ένα σήμα στενής ζώνης. Για να το κάνει αυτό πρέπει να γνωρίζει το spreading code που χρησιμοποίησε ο πομπός. Ένα πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι η ανοχή σε παρεμβολές στενής ζώνης, καθώς και μεγαλύτερη ασφάλεια, εφόσον το «απλωμένο» σήμα μοιάζει σαν απλός θόρυβος σε πομπό που λαμβάνει μόνο σήμα στενής ζώνης.

DSSS και 802.11 Φυσικό Στρώμα

Στην προδιαγραφή αυτού του φυσικού στρώματος, ορίστηκε σαν spreading code μία λέξη Barker των 11 bits και συγκεκριμένα η λέξη «10110111000». Κάθε bit προστίθεται κατά modulo-2 στην παραπάνω ακολουθία για να προκύψει η ακολουθία των chips που θα μεταδοθούν. Αυτό σημαίνει ότι για bit «1» η ακολουθία που μεταδίδεται είναι η λέξη Barker με όλα τα bit ανεστραμμένα, ενώ για bit «0» μεταδίδεται αυτούσια η λέξη Barker. Η χρήση μιας ακολουθίας Barker σαν spreading code αποφασίστηκε επειδή προσφέρει αρκετά μεγάλη ανοχή στη διασπορά της χρονικής καθυστέρησης λόγω διάδοσης μέσω πολλαπλών διαδρομών (multipath delay spread) και σε παρεμβολές στενής ζώνης.

Για το φυσικό στρώμα αυτό ορίστηκαν 14 κανάλια στην μάντα των 2,4 GHz με εύρος 5 MHz το κάθε ένα. Το κανάλι 1 έχει κεντρική συχνότητα τα 2,412 GHz τα υπόλοιπα ακολουθούν κάθε 5 MHz. Στην πράξη κάθε κανάλι καταλαμβάνει περίπου 22 MHz εύρος, γύρω από την κεντρική του συχνότητα. Γίνεται χρήση RF φίλτρων για

να καταπιέζονται οι πλευρικοί λοβοί έξω από τα 22 MHz κατά 30 και 50 dB κάτω από την ισχύ της κεντρικής συχνότητας. Ακόμα και έτσι, κανάλια που χρησιμοποιούνται σε διπλανές «κυψέλες» πρέπει να απέχουν μεταξύ τους 25 MHz (πέντε κανάλια των 5 MHz) για να αποφεύγονται οι παρεμβολές. Αυτό περιορίζει τον μέγιστο αριθμό καναλιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Σε κάθε χώρα επιτρέπεται η χρήση συγκεκριμένων καναλιών. Ο Πίνακας 21 παρουσιάζει τα κανάλια που χρησιμοποιούνται σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές.

Περιοχή / Υπεύθυνη Αρχή	Επιτρεπόμενα Κανάλια
ΗΠΑ / FCC – Καναδάς / IC	1 έως 11 (2,412 – 2,462 GHz)
Ευρώπη (εκτός Γαλλίας και Ισπανίας) / ETSI	1 έως 13 (2,412 – 2,472 GHz)
Γαλλία	10 έως 13 (2,457 – 2,472 GHz)
Ισπανία	10 έως 11 (2,457 – 2,462 GHz)
Ιαπωνία / MKK	14 (2,484 GHz)

Πίνακας 21. Διαθέσιμα κανάλια ανά περιοχή για το φυσικό στρώμα

Στην Ευρώπη υπάρχουν διαθέσιμα 13 κανάλια. Με βάση όμως τον περιορισμό για τον διαχωρισμό των καναλιών που χρησιμοποιούνται σε διπλανές «κυψέλες» μένουν τελικά μόνο 3 διαθέσιμα κανάλια, για παράδειγμα τα 1, 6 και 11.

Σε σύγκριση με το εναλλακτικό Frequency Hopping Spread Spectrum φυσικό επίπεδο, επισημαίνουμε τα παρακάτω:

- Το Direct Sequence είναι πιο ανθεκτικό στις παρεμβολές, λόγω της φασματικής εξάπλωσης του σήματος.
- Ο θόρυβος αντιμετωπίζεται πολύ καλά μέχρι ενός συγκεκριμένου επιπέδου, από εκεί και πέρα η μετάδοση καταστρέφεται.
- Σε σχέση με το Frequency Hopping είναι πιο εύκολη η συνύπαρξη ενός Direct Sequence συστήματος με έναν πρωταρχικό χρήστη που εκπέμπει σήματα στενής ζώνης. Αντίθετα η συνύπαρξη δύο ή περισσότερων Direct Sequence συστημάτων είναι πρόβλημα που αντιμετωπίζεται με τον σωστό διαχωρισμό των χρησιμοποιούμενων καναλιών.

6.11.3. Υπέρυθρες ακτίνες

Η τεχνική των υπέρυθρων ακτινών (Infrared – IR) δεν χρησιμοποιείται ιδιαίτερα και γι' αυτό το λόγο θα παρουσιαστεί συνοπτικά. Η λειτουργία του βασίζεται στην εκπομπή παλμών διάρκειας 250 nsec, που παράγονται από τα LEDs (Light Emitting Diode) του πομπού. Η ακτίνα λειτουργίας του μπορεί να φτάσει περίπου τα 20 μέτρα, σε ελεύθερο φυσικά οπτικό πεδίο. Άλλη περίπτωση είναι η ανάκλαση των υπέρυθρων ακτινών από κατάλληλη επιφάνεια, για παράδειγμα τοίχος λευκού χρώματος, ώστε να επιτευχθεί κάλυψη μιας συγκεκριμένης περιοχής.

6.12. ΥΠΟΠΡΟΤΥΠΑ ΙΕΕΕ 802.11

Τα νέα υποπρότυπα ΙΕΕΕ 802.11x αρχίζουν να κάνουν την εμφάνισή τους. Πρόκειται για την απόρροια επιστημονικών ερευνών των μελών της ομάδας εργασίας του ΙΕΕΕ, που συνεργάζονται για να φέρουν σε πέρας την προτυποποίηση των προσπαθειών τους. Στην συνέχεια παραθέτουμε αυτά τα υποπρότυπα ανά κωδικό ομάδας εργασίας, που στην ουσία αποτελούν και τα μέλη της οικογένειας του προτύπου ΙΕΕΕ 802.11.

6.12.1. Υποπρότυπο ΙΕΕΕ 802.11b

Το 802.11b είναι σήμερα, το πιο δημοφιλές από τα μέλη της οικογένειας των προτύπων ασύρματης δικτύωσης ΙΕΕΕ 802.11, με υποστήριξη από πολλούς κατασκευαστές. Το πρώτο 802.11 πρότυπο παρείχε αρκετά χαμηλή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων με αρκετά υψηλό κόστος για να υιοθετηθεί ευρέως. Έτσι το 1999, η ΙΕΕΕ εξέδωσε ένα νέο πρότυπο, το 802.11b, το οποίο υποστηρίζει ταχύτητες μέχρι 11 Mb/s και χρησιμοποιεί την ελεύθερη μπάντα συχνοτήτων των 2,4 GHz. Επίσης είναι το πιο διαδεδομένο στην αγορά ανεξάρτητα από το γεγονός ότι το 802.11a, προσφέρει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Όταν η ποιότητα επικοινωνίας είναι φτωχή, το σύστημα μπορεί να ρίξει την ταχύτητα σε 5,5 Mb/s, 2 Mb/s ή 1 Mb/s προκειμένου να διατηρηθεί η σύνδεση μεταξύ των ασύρματων συσκευών.

Χρησιμοποιεί το ίδιο υπόστρωμα MAC όπως και τα άλλα πρότυπα, την τεχνική HR/DSSS (High Rate/ Direct Sequence Spread Spectrum) και την διαμόρφωση CCK (Complementary Code Keying - χρησιμοποιεί το πλήρες εύρος ζώνης συχνοτήτων κάθε υποκαναλιού για να διαμορφώσει τα σήματά του). Μπορεί να θεωρηθεί σαν επέκταση του αρχικού DSSS φυσικού στρώματος που ορίστηκε στο 802.11 και μάλιστα χρησιμοποιεί τα ίδια κανάλια με αυτό, πετυχαίνοντας αρκετά μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης

Τα περισσότερα 802.11 προϊόντα προορίζονται ώστε να χρησιμοποιηθούν σε ενδοκτιριακές εφαρμογές, όπου επιτυγχάνουν κάλυψη ως 150 μέτρα κάτω από τις βέλτιστες συνθήκες (ειδικές κεραιές είναι διαθέσιμες για την επέκταση της κάλυψης για ανοικτές περιοχές ή από σημείο σε σημείο επικοινωνίες). Εντούτοις, πολλοί πελάτες χρησιμοποιούν το πρότυπο για κάλυψη έκτασης όχι παραπάνω από 30 μέτρα, ώστε να εξασφαλίσουν καλή απόδοση χωρίς να χρειάζεται να κάνουν εκτενείς μελέτες για την εξασφάλιση των αναγκών τους.

Το ΙΕΕΕ 802.11 πρότυπο υποστηρίζει πιστοποίηση ταυτότητας των συσκευών και κρυπτογράφηση των δεδομένων. Η πιστοποίηση ταυτότητας μπορεί να βασιστεί σε έναν καθορισμένο από το χρήστη κατάλογο έγκυρων μελών ή σε ένα κοινό κλειδί. Ούτε όλοι οι κατασκευαστές, ούτε όλα τα προϊόντα από τον ίδιο κατασκευαστή, υποστηρίζουν τα ίδια επίπεδα ασφάλειας. Το ΙΕΕΕ 802.11b πρότυπο επιτάσσει την ύπαρξη ενός ελάχιστου επιπέδου ασφάλειας, αλλά καθορίζει και άλλα ασφαλέστερα επίπεδα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν προαιρετικά. Εντούτοις, η πιστοποίηση Wi-Fi (Wireless Fidelity) απαιτεί τα προϊόντα να υποστηρίζουν τουλάχιστον ένα μήκους 40 bits κλειδί κρυπτογράφησης (WEP key).

Η προαιρετική δυνατότητα κρυπτογράφησης WEP είναι διαθέσιμη στις ασύρματες συσκευές των περισσότερων κατασκευαστών, αλλά όχι απαραίτητα στην πλήρη γραμμή των προϊόντων τους. Μόνο τα δεδομένα κρυπτογραφούνται πριν την μετάδοση, ενώ οι επικεφαλίδες μεταδίδονται χωρίς κάποια επεξεργασία.

6.12.2. Υποπρότυπο IEEE 802.11a

Η IEEE αναγνωρίζοντας ότι οι τηλεοπτικές, όπως και οι 'βαριές' εφαρμογές πολυμέσων θα απαιτούσαν ταχύτητες υψηλότερες από 11 Mb/s, εξέδωσε το 1999 το πρότυπο IEEE 802.11a, το οποίο είναι βελτιστοποιημένο για υψηλή απόδοση στα εσωτερικά περιβάλλοντα. Παρέχει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μέχρι 54 Mb/s, ενώ χρησιμοποιεί την μπάντα των 5GHz. Ένας κατασκευαστής μάλιστα έχει δηλώσει ότι είναι σε θέση να προχωρήσει το πρότυπο ώστε να υποστηρίζει ταχύτητες μέχρι 108 Mb/s, με κάποιος μικρές αλλαγές.

Το 802.11a βασίζεται στην τεχνική πολυπλεξίας OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Ορθογωνική Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας). Η βασική ιδέα πίσω από την OFDM είναι η διαίρεση ενός κύριου υψηλού ρυθμού σε πολλούς μικρότερους ρυθμούς και η χρήση αυτών για την αποστολή των δεδομένων ταυτόχρονα. Όλα τα «αργά» κανάλια πολυπλέκονται τελικά σε ένα «γρήγορο» κανάλι και μεταδίδονται. Με την ορθογονοποίηση λύνεται το πρόβλημα της σπατάλης του εύρους ζώνης, προκειμένου να διαχωρίσουμε τα κανάλια μεταξύ τους.

Τα χαμηλότερα 200 MHz υποδιαιρούνται σε οκτώ κανάλια 20 MHz το κάθε ένα (τα πρόσθετα 40 MHz χρησιμοποιούνται για το χωρισμό καναλιών) Κάθε κανάλι με τη σειρά του υποδιαιρείται σε 52 υποκανάλια, 300 KHz το κάθε ένα. Διαδοχικά υποκανάλια απέχουν μεταξύ τους 0,3125 MHz. Αυτά τα στενότερα κανάλια βελτιώνουν τη μεταφορά δεδομένων επειδή είναι λιγότερο ευαίσθητα στη διασπορά χρόνου και συχνότητας. Από τα 52 κανάλια, τα 48 χρησιμοποιούνται για δεδομένα και τα υπόλοιπα τέσσερα χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση σφάλματος.

Κάθε κανάλι χρησιμοποιεί διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (PSK). Το πρότυπο απαιτεί τα συμβατά συστήματα να υποστηρίζουν διαμόρφωση φάσης 90 μοιρών 2, 4 και 16 επιπέδων για κάθε κανάλι. Αυτά αντιστοιχούν σε ταχύτητες 6, 12, και 24 Mb/s αντίστοιχα.

Στις ΗΠΑ έχει κρατηθεί συγκεκριμένο τμήμα της μπάντας των 5 GHz (U-NII) για χρήση από ασύρματα δίκτυα 802.11a. Συνολικά είναι διαθέσιμα 12 κανάλια των 20 MHz.

Τα πρότυπα 802.11a και 802.11b πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργήσουν παράλληλα στο τοπικό LAN δεδομένου ότι χρησιμοποιούν την ίδια MAC και λειτουργούν σε διαφορετικές περιοχές συχνότητας. Εντούτοις, οι διαφορές στη διάδοση μπορούν να κάνουν απαραίτητο τον επαναπροσδιορισμό των περιοχών κάλυψής τους.

6.12.3. Υποπρότυπο IEEE 802.11g

Τον Ιούνιο του 2003 η ομάδα εργασίας IEEE ολοκλήρωσε τις εργασίες τις και εξέδωσε το πρότυπο 802.11g, το οποίο επεκτείνει το 802.11b προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης μέχρι 54 Mbps αλλά και συμβατότητα με το 802.11b. Χρησιμοποιεί και αυτό την ISM μπάντα των 2,4 GHz. Σε αντίθεση με το 802.11b χρησιμοποιεί την OFDM για να πετύχει τους επιθυμητούς ρυθμούς μετάδοσης.

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του 802.11g είναι η συμβατότητά του με το 802.11b. Το 802.11b ως γνωστόν αποτελεί σήμερα το φυσικό στρώμα που υλοποιείται στα περισσότερα προϊόντα ασύρματης δικτύωσης. Το 802.11g

λειτουργώντας ταυτόχρονα με το 802.11b μπορεί να το αντικαταστήσει σταδιακά εξολοκλήρου.

Σημειώνεται τέλος ότι προϊόντα που βασίζονται στο 802.11g είχαν αρχίσει να κυκλοφορούν στην αγορά αρκετά πριν την ανακοίνωση του τελικού προτύπου. Βασίζονταν σε ενδιάμεσες εκδόσεις του προτύπου και οι κατασκευαστές τους υπόσχονταν πλήρη συμβατότητα με την τελική μορφή.

6.12.4. Υποπρότυπο IEEE 802.11n

Το 802.11n είναι το πιο πρόσφατο πρότυπο της οικογένειας τεχνολογιών ασύρματης δικτύωσης IEEE 802.11 που υπόσχεται υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και αυξημένη αξιοπιστία. Τα τεχνολογικά του χαρακτηριστικά είναι τέτοια που έχουν ήδη κινήσει το ενδιαφέρον μεγάλων εταιριών κατασκευής δικτυακού εξοπλισμού αλλά και γενικότερα της αγοράς. Η διαδικασία προτυποποίησης του 802.11n είχε ξεκινήσει ήδη από το 2004, με τη σύσταση της ομάδας εργασίας 802.11 Task Group (TGn). Αν και η τελική έκδοση του συγκεκριμένου προτύπου αναμένεται να παρουσιαστεί το Μάρτιο του 2009, έχουν ήδη εμφανιστεί στην αγορά τα πρώτα προϊόντα βασισμένα σε προσχέδια της τεχνολογίας αυτής, με την ονομασία “pre-n”.

Το πρότυπο 802.11n αναμένεται να δώσει μεγάλη ώθηση στη μετάδοση υψηλού ρυθμού δεδομένων, όπως είναι η μεταφορά πολυμεσικού περιεχομένου. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία 802.11n υπόσχεται να παράσχει ασύρματη μετάδοση δεδομένων σε ταχύτητες που θα φτάνουν θεωρητικά τα 600Mbps. Ωστόσο, πρώτες μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε προϊόντα που έχουν αναπτυχθεί έχουν καταδείξει πως η μέση ταχύτητα του 802.11n κυμαίνεται από 100 Mbps έως 140Mbps, αρκετά πιο χαμηλά από το θεωρητικό του μέγιστο, αλλά ταυτόχρονα πολύ μεγαλύτερη από τα προηγούμενα πρότυπα της οικογένειας IEEE 802.11. Αναφορικά με την εμβέλεια της συγκεκριμένης τεχνολογίας δεν έχει ακόμα προσδιοριστεί απόλυτα. Ωστόσο, αναμένεται ότι θα είναι τουλάχιστον διπλάσια από αυτή που παρέχουν τα μέχρι τώρα πρότυπα 802.11a, 802.11b και 802.11g.

Ιδιαίτερο στοιχείο του προτύπου 802.11n, που ουσιαστικά αποτελεί και το βασικό λόγο διαφοροποίησής του από τα υπάρχοντα πρότυπα, είναι η ενσωμάτωση μίας σειράς από βελτιωμένα χαρακτηριστικά. Το κρισιμότερο από αυτά είναι το σύστημα Πολλαπλής Εισόδου Πολλαπλής Εξόδου (ΠΕΠΕ, MIMO – Multiple Input Multiple Output). Το σύστημα αυτό αξιοποιεί πολλαπλές κεραιές για την μετάδοση διαφορετικών ροών δεδομένων από ένα σημείο σε πολλά. Αντί, λοιπόν, να μεταφέρεται σε κάθε χρονική στιγμή μία ροή δεδομένων, το σύστημα MIMO μπορεί να μεταδώσει και να λάβει παράλληλες ροές δεδομένων. Κατά συνέπεια, είναι εφικτή η μετάδοση μεγαλύτερης ποσότητας δεδομένων σε ορισμένο χρονικό διάστημα σε σχέση με τα προηγούμενα πρότυπα.

Επιπρόσθετα, μία σημαντική διαφοροποίηση από τους προκατόχους συνιστά το γεγονός ότι το πλάτος του καναλιού μετάδοσης στην περίπτωση του 802.11n είναι 40 MHz, διπλάσιο, δηλαδή, σε σχέση με τα προηγούμενα πρότυπα (20 MHz). Το γεγονός αυτό αφενός επιτρέπει διπλάσιους ρυθμούς μετάδοσης, αφετέρου, όμως, περιορίζει τον αριθμό των συσκευών που μπορούν να συνδεθούν σε ένα σημείο πρόσβασης 802.11n.

Επιπλέον, το πρότυπο 802.11n παρέχει ευελιξία στην υλοποίησή του, αφού επιτρέπει την ανάπτυξη πολλών προϊόντων συμβατών μεταξύ τους, αλλά με διαφοροποιήσεις

στην ταχύτητα μετάδοσης και την εμβέλεια. Μάλιστα, η τελευταία έκδοση του προτύπου περιλαμβάνει 576 διαφορετικές διαμορφώσεις (configurations) συγκριτικά με τις μόλις 12 διαφορετικές διαμορφώσεις που περιλάμβανε το αμέσως προηγούμενο πρότυπο 802.11g.

Τέλος, βασικός στόχος της τελικής έκδοσης του προτύπου είναι η διαλειτουργικότητα, ώστε τα προϊόντα τύπου 802.11n να μπορούν να λειτουργήσουν στην υπάρχουσα υποδομή ασύρματων δικτύων. Πιο συγκεκριμένα, οι συσκευές ασύρματης πρόσβασης (access points) της τεχνολογίας 802.11n θα μπορούν να λειτουργούν σε τρεις διαφορετικές καταστάσεις. Στην πρώτη θα υποστηρίζουν συσκευές που διαθέτουν κάρτα δικτύου τύπου 802.11a, 802.11b ή 802.11g, στην δεύτερη θα υποστηρίζονται όλες οι τεχνολογίες και στην τρίτη θα υποστηρίζονται μόνο συσκευές τύπου 802.11n. Η μέγιστη απόδοση της τεχνολογίας 802.11n θα επιτυγχάνεται στην τελευταία κατάσταση, ενώ στις υπόλοιπες καταστάσεις η απόδοση της θα μειώνεται αισθητά, λόγω της ταυτόχρονης παρουσίας και των υπολοίπων προτύπων.

Συγκεντρωτικά, ο Πίνακας 22 παρουσιάζει τα βασικότερα χαρακτηριστικά των προτύπων 802.11a, 802.11b, 802.11g και 802.11n ασύρματης μετάδοσης.

	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Έκδοση Προτύπου	Ιούλιος 1999	Ιούλιος 1999	Ιούνιος 2003	Μάρτιος 2009
Μέγιστοι Ρυθμοί Μετάδοσης	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	600 Mbps
Διαμόρφωση	OFDM	DSSS ή CCK	DSSS ή CCK ή OFDM	DSSS ή CCK ή OFDM
RF Band	5 GHz	2.4 GHz	5.4 GHz	2.4 GHz ή 5 GHz
Πλήθος Μεταδιδόμενων Ροών	1	1	1	1, 2, 3 ή 4
Πλάτος Καναλιού	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz ή 40 MHz

Πίνακας 22. Βασικά χαρακτηριστικά προτύπων μετάδοσης δεδομένων IEEE 802.11

6.12.5. Υποπρότυπο IEEE 802.11e

Το πρότυπο αυτό παρέχει εγγυήσεις για ποιότητα υπηρεσίας. Στην ουσία το πρότυπο αυτό παρέχει λειτουργίες Quality of Service (QoS), με εισαγωγή προτεραιοτήτων στα πακέτα των δικτύων 802.11, για μεταδώσεις VoIP και streaming media. Η πραγματοποίηση αυτού του στόχου θα απαιτήσει συνεννόηση μεταξύ σταθμών πελατών και Access Points, αλλά και από τον διαχειριστή του δικτύου.

Στα WLAN, όπως και στην περίπτωση των LAN η ποιότητα υπηρεσιών από άκρη σε άκρη δεν είναι εξασφαλισμένη. Οι αλγόριθμοι πρόσβασης στο μέσο DCF και PCF δεν υποστηρίζουν μηχανισμούς Diffserv και κατ' επέκταση QoS. Την λύση έρχεται φυσικά να δώσει ο αλγόριθμος πρόσβασης στο μέσο HCF που ονομάζεται και Enhanced DCF (EDCF) και περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα. Υπενθυμίζεται πως σκοπός του είναι να προσφέρει πρόσβαση στο μέσο είτε με ανταγωνισμό είτε χωρίς ανταγωνισμό μεταξύ των σταθμών, προσφέροντας ταυτόχρονα έναν μηχανισμό

προτεραιοτήτων. Παράλληλα, χρησιμοποιεί στοιχεία από τους DCF και PCF και διατηρεί τη συμβατότητα με αυτούς. Ένα BSS που υποστηρίζει το πρότυπο IEEE 802.11e ονομάζεται QoS supporting BSS.

6.12.6. Υποπρότυπο IEEE 802.11f

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, λόγω κινητικότητας του χρήστη λαμβάνει χώρα handover. Υπενθυμίζεται ότι κατά το handover του κινητού χρήστη, διακόπτονται οι οποιοσδήποτε ενεργές συνδέσεις του και όσα πακέτα φτάνουν στη συνέχεια στον προηγούμενο σταθμό βάσης του χάνονται (η φυσική σύνδεση έχει κοπεί). Προκειμένου να πραγματοποιηθεί επιτυχώς επαναφορά των ενεργών συνδέσεων του χρήστη, ώστε να είναι δυνατή η δρομολόγηση πακέτων από και προς τη νέα τοποθεσία του σταθμού, έχουν προταθεί αρκετοί μηχανισμοί οι οποίοι βοηθούν / στηρίζουν το handover των κινητών χρηστών.

Το πρότυπο, που είναι ακόμα γνωστό και σαν IAPP (Inter Access Point Protocol), ορίζει ακριβώς την διαδικασία handover, ανάλογα με τα δύο είδη κινητικότητας που θα παρουσιάσαμε προηγουμένως. Έτσι προσδιορίζει την επικοινωνία των APs ενός IEEE 802.11 ESS. Εφαρμόζεται σε ένα Σύστημα Διανομής (Distribution System - DS) το οποίο υποστηρίζει ένα ασύρματο δίκτυο 802.11. Σκοπός του είναι προσφέρει έναν τρόπο ώστε τα APs από διαφορετικούς κατασκευαστές να μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, προκειμένου να εκτελούνται σωστά οι λειτουργίες του DS. Επομένως το πρότυπο καθορίζει την πληροφορία η οποία πρέπει να ανταλλάσσεται ανάμεσα στα APs καθώς και με διαχειριστικές οντότητες σε ανώτερα δικτυακά επίπεδα.

6.12.7. Υποπρότυπο IEEE 802.11i

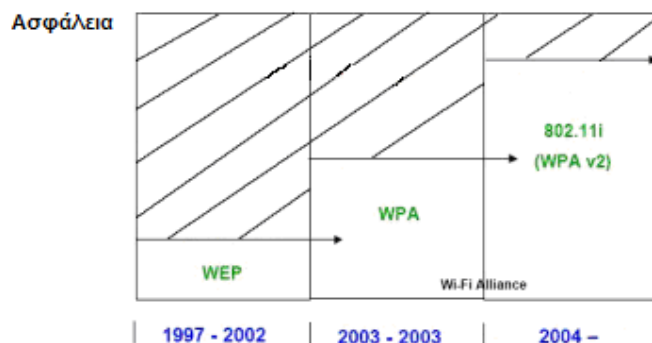
Πρόκειται για το πρότυπο που μελετά θέματα ασφαλείας στα WLAN. Είναι σαφές ότι τα ενσύρματα LAN είναι πιο ασφαλή από ότι τα ασύρματα και αυτό οφείλεται στους παρακάτω δύο λόγους:

- Στα WLAN το μέσο μετάδοσης (Ασύρματο κανάλι) έχει συγκεκριμένες δυνατότητες απόδοσης και εμφανίζει σημαντικές και μεγάλες διαφορές συγκρινόμενο με το ασύρματο κανάλι των LANs. Κάτι τέτοιο οφείλεται προφανώς στην ασύρματη φύση του καναλιού και στο ότι παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές με το πέρασμα του χρόνου.
- Ο οποιοσδήποτε μπορεί να έχει πρόσβαση στο κανάλι μετάδοσης (αέρας), κάτι που δεν ισχύει στα ενσύρματα δίκτυα.

Οι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης που χρησιμοποιούνται σήμερα, όπως ο WEP (Wired Equivalent Privacy), ο WPA (Wi-Fi Protected Access) και IP SEC παρουσιάζουν κάποια προβλήματα. Για παράδειγμα ο πρώτος εμφανίζει σημαντικά κενά ασφαλείας, ο WPA ενώ έρχεται να καλύψει τα κενά του WEP, στην πραγματικότητα δεν καλύπτει την ουσιαστική ασφάλεια στα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Τέλος ο IP SEC εφαρμόζεται τοπικά σε κάθε χρήστη και καλύπτει Point-to-Point συνδέσεις.

Η ομάδα εργασίας θα προσπαθήσει να αντικαταστήσει το WEP και την υποστήριξή του σε συσκευές, αρχικά με την δημιουργία ανώτερου πρωτοκόλλου ασφαλείας προς τα πίσω συμβατό με το WEP, και τελικά με την πλήρη κατάργησή του. Η αρχική

προσέγγιση προσανατολίζεται στην αύξηση του μήκους κλειδιού, έτσι ώστε κακόβουλες επιθέσεις σε αυτόν να έχουν απαγορευτικούς χρόνους επιτυχίας με την υπάρχουσα τεχνολογία. Δυστυχώς και πάλι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδιαστικές ατέλειες που θα καταστήσουν έναν τέτοιο αλγόριθμο ανασφαλή. Έτσι η ομάδα εργασίας προσανατολίζεται στην δημιουργία του προτύπου IEEE 802.11i (Extensible Authentication Protocol-EAP, Advanced Encryption Standard-AES, Temporal Key Integrity Protocol-TKIP, Robust Security Network-RSN). Στο Σχήμα 125 επιχειρείται να γίνει μια αναδρομή στους διάφορους αλγορίθμους κρυπτογράφησης.



Σχήμα 125. Εξέλιξη αλγορίθμων κρυπτογράφησης στο WiFi

6.12.8. Υποπρότυπο IEEE 802.11h

Η ομάδα αυτή θα προσπαθήσει να εισάγει στο 802.11a την δυνατότητα για καλύτερο έλεγχο συγκρούσεων, καθώς και την λειτουργία Transmit Power Control (TPC) και Dynamic Frequency Selection (DFS). Μια συσκευή θα επιλέγει αυτόματα την ελάχιστη αναγκαία ισχύ εκπομπής, πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε ανταλλαγή δεδομένων. Επίσης θα επιλέγει αυτόματα σε ποια συχνότητα θα λειτουργήσει, αναλόγως την χρήση της κάθε συχνότητας στον περιβάλλοντα χώρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:
WIMAX ΚΑΙ ΙΕΕΕ 802.16

7. WiMAX και IEEE 802.16

7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σχετικά αργή εξάπλωση της τεχνολογίας Wi-Fi στα πρώιμα στάδιά της δεν οφειλόταν σε κάποιο συγκεκριμένο ζήτημα αλλά στα πολλαπλά προβλήματα που αντιμετώπιζε. Το πιο σημαντικό από αυτά τα προβλήματα ήταν η έλλειψη ασφάλειας, γεγονός που μπορούσε να καταστήσει διαθέσιμα σε ξένους κάποια ευαίσθητα δεδομένα. Επιπρόσθετα, τα πολλά και διαφορετικά πρότυπα, εκδόσεις και προϊόντα προκαλούσαν μεγάλη σύγχυση, με αποτέλεσμα πολλά προϊόντα να μην είναι συμβατά με όλα τα πρότυπα.

Σε κάθε περίπτωση, η έλλειψη ασφάλειας είναι αυτή που περιόρισε σε μεγάλο βαθμό την υιοθέτηση του Wi-Fi, κυρίως στις εταιρίες. Ακόμη και η τρέχουσα τεχνολογία ασφάλειας, γνωστή ως Wired Equivalent Privacy (WEP), είναι σχετικά εύκολο να παραβιαστεί από κάποιον ειδικό. Το υποπρότυπο 802.11i βέβαια, επιδιώκει να βελτιώσει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ασφάλειας στα διάφορα πρότυπα 802.11 με διαχείριση και διανομή κλειδιών, κωδικοποίηση και πιστοποίηση χρηστών, ωστόσο το πρόβλημα εξακολουθεί να υπάρχει.

Η συμβατότητα και διαλειτουργικότητα είναι επίσης από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζει το Wi-Fi. Παραδείγματος χάριν, τα προϊόντα 802.11a δεν είναι συμβατά με τα προϊόντα 802.11b, λόγω των διαφορετικών συχνοτήτων λειτουργίας, και επομένως ένα hotspot 802.11a δεν θα μπορούσε να εξυπηρετήσει έναν πελάτη 802.11b. Επίσης, εξ αιτίας της έλλειψης τυποποίησης και πιστοποίησης, διαφορετικοί προμηθευτές κατασκευάζουν προϊόντα που δεν λειτουργούν το ένα με το άλλο. Αυτά τα προβλήματα έχουν περιορίσει σε μεγάλο βαθμό την εξάπλωση του Wi-Fi.

Από την άλλη μεριά, το WiMAX είναι σε θέση να ικανοποιήσει ποικίλες ανάγκες πρόσβασης, ξεπερνώντας τα προβλήματα που αντιμετωπίζει το Wi-Fi. Οι πιθανές εφαρμογές του περιλαμβάνουν την επέκταση των ευρυζωνικών δικτύων προς τη μεριά των συνδρομητών, την κάλυψη των κενών των ενσύρματων τεχνολογιών, όπως της τεχνολογίας DSL, καθώς και τη χρήση ως κυψελοειδή υποδομή ώστε να καλύψει το τηλεπικοινωνιακό last mile.

Το WiMAX μπορεί να καλύψει ευρείες περιοχές και να προσφέρει ποιότητα υπηρεσιών σε εφαρμογές που είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση, όπως VoIP και streaming video, εξασφαλίζοντας ότι οι συνδρομητές θα λαμβάνουν την απόδοση που αναμένουν για όλους τους τύπους επικοινωνίας.

Είναι μια IP-based ασύρματη ευρυζωνική τεχνολογία που μπορεί να λειτουργήσει παράλληλα με τα κινητά δίκτυα 3ης γενιάς, επιτρέποντας την αδιάλειπτη ευρυζωνική πρόσβαση στο διαδίκτυο οποτεδήποτε και οπουδήποτε.

7.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ WiMAX

Το WiMAX υιοθετήθηκε το 2003 από την IEEE ως πρότυπο 802.16, ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση (με σταθερούς ρυθμούς) ευρείας ζώνης. Όπως συμβαίνει με τα πρότυπα της σειράς 802 για ασύρματα τοπικά

δίκτυα LAN, έτσι και το 802.16 καθορίζει μια οικογένεια προτύπων με επιλογές για συγκεκριμένες ρυθμίσεις.

Το πρότυπο αυτό σχεδιάστηκε ώστε να λειτουργεί σε μια ευρεία μάντα συχνοτήτων η οποία εκτείνεται από 2 ως 66 GHz. Υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης ως και 70Mbps στον αέρα ενώ η πραγματική ταχύτητα στο Ethernet υπολογίζεται στα 50Mbps. Οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν ξεπερνούν τα 50Km σε συνθήκες οπτικής επαφής. Μια σημαντική διαφορά του προτύπου IEEE 802.16 σε σχέση με το IEEE 802.11 είναι ότι το πρώτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνθήκες μη οπτικής επαφής φυσικά με ρυθμούς μετάδοσης πολύ χαμηλότερους των 50Mbps.

Το WiMAX σχεδιάστηκε κατά βάση ώστε να καλύπτει κυρίως point to multipoint (P2MP) συνδέσεις χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για point to point (P2P) συνδέσεις. Η διαμόρφωση η οποία χρησιμοποιείται ονομάζεται OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Πρόκειται για μια πολύ ανθεκτική διαμόρφωση σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιάδευσης ειδικότερα στις συχνότητες πάνω των 2 GHz όπου το πρότυπο χρησιμοποιεί.

Παραλλαγές του προτύπου, που στοχεύουν στους κινητούς χρήστες (802.16e) και στην παροχή ενισχυμένης QoS (802.16b) είναι ήδη σε εξέλιξη. Το πρώτο 802.16a προϊόν καθώς και συμβατός με αυτό εξοπλισμός εκδόθηκε από την Redline Communications τον Μάρτιο του 2004. Αρκετοί προμηθευτές που έχουν ασχοληθεί με εξοπλισμό για ευρείας ζώνης ασύρματη πρόσβαση, έχουν εκδηλώσει το ενδιαφέρον τους για το WiMAX και έτσι δραστηριοποιούνται στην κατασκευή προϊόντων συμβατών με το εν λόγω πρότυπο. Ο Πίνακας 23 παρουσιάζει την ιστορική εξέλιξη των ασύρματων τοπικών δικτύων σε ότι αφορά το πρότυπο που χρησιμοποιείται κάθε χρονική περίοδο, τις ταχύτητες που υποστηρίζει και τη διαμόρφωση που χρησιμοποιεί. Γενικά η τάση είναι από τις proprietary λύσεις προς λύσεις βασισμένες στις WiMAX προτυποποιήσεις.

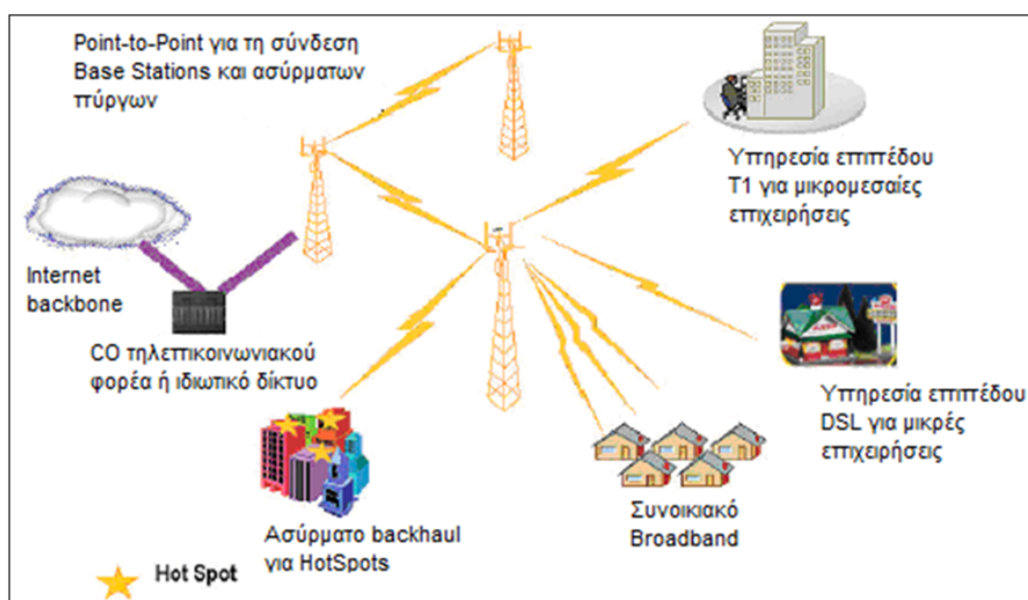
Έτος	Ρυθμός μετάδοσης	Chipsets	Φυσικό μέσο (αέρας)
2000 – 2001	2-11 Mbps	802.11/b RF και PHY ή πατενταρισμένα (proprietary)	Frequency Hopping και Direct Sequence
2002 – 2003	6-54 Mbps	Οι κατασκευαστές υλοποιούν δικά τους (κάποια χρησιμοποιούν 802.11a RF και PHY)	OFDM και SCDMA
2004 – 2005	Μέχρι 72 Mbps	Προμήθεια από εξειδικευμένους κατασκευαστές σε μεγάλες ποσότητες	256 FFT OFDM και OFDMA

Πίνακας 23. Εξέλιξη ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης

7.3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ WiMAX

Λόγω των μεγάλων αποστάσεων που καλύπτει και ταυτόχρονα τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που μπορεί να παρέχει, το πρότυπο WiMAX βρίσκει πολλές εφαρμογές. Τρεις είναι οι βασικότερες χρήσεις του (Σχήμα 126):

- **Δίκτυο κορμού στα κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας.** Η εισαγωγή του προτύπου αυτού αναμένεται να μειώσει σημαντικά το κόστος εξάπλωσης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας μιας και αποτελεί μια οικονομικότερη πρόταση, αν συγκριθεί με την οπτική ίνα, για τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας. Εξασφαλίζει ταυτόχρονα αξιοπιστία και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που απαιτούν τα δίκτυα κορμού των κινητών δικτύων επικοινωνιών.
- **Broadband on Demand.** Παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης κάνοντας εφικτή τη χρήση της τεχνολογίας για εφαρμογές πραγματικού χρόνου κάτι που με το πρότυπο IEEE 802.11 σε μεγάλες αποστάσεις δεν ήταν εφικτό.
- **Παρέχει κάλυψη σε περιοχές που είναι αδύνατο να καλυφθούν με χρήση χαλκού ή οπτικής ίνας.** Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συμπλήρωμα δικτύων οπτικών ινών σε τμήματα του εδάφους στα οποία το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης δικτύων οπτικών ινών είναι απαγορευτικό.



Σχήμα 126. Χρήσεις του WiMAX

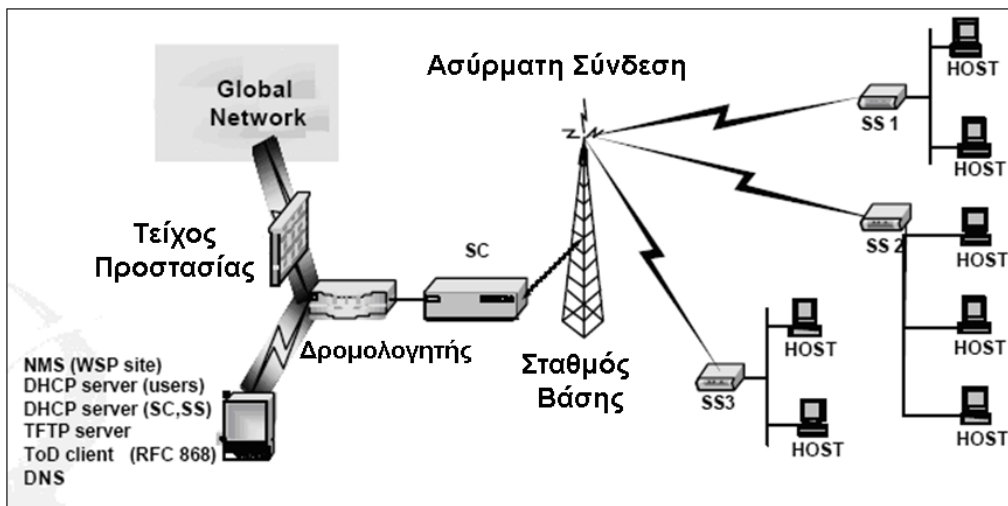
7.4. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ WiMAX

7.4.1. Ταχύτητες Μετάδοσης, Ποιότητα Υπηρεσίας και Ασφάλεια.

Οι **ταχύτητες μετάδοσης** του προτύπου εξαρτώνται από την εκάστοτε ψηφιακή διαμόρφωση που χρησιμοποιείται. Συνήθεις διαμορφώσεις είναι η 64 QAM η οποία μπορεί να εξασφαλίσει και τη μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης, η 16 QAM και η QPSK η οποία μπορεί να εξασφαλίσει μεγάλη κάλυψη του συστήματος.

Το πρότυπο IEEE 802.16 παρέχει υψηλού επιπέδου **ποιότητα υπηρεσίας**. Το επίπεδο MAC του προτύπου είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει στους χρήστες, όταν οι ίδιοι το επιθυμούν, εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης και ταυτόχρονα κίνηση best effort σε χρήστες που καλύπτονται από το ίδιο Base Station κάτι που το πρότυπο IEEE 802.11 δε μπορούσε να εξασφαλίσει. Αν υποθέσουμε ότι δύο χρήστες καλύπτονται από το ίδιο Base Station, είναι δυνατό ο ένας χρήστης να έχει εγγυημένη

ποιότητα υπηρεσίας και ο δεύτερος χρήστης να δέχεται και να στέλνει απλή IP κίνηση best effort κάτι που με το πρότυπο 802.11 δεν ήταν δυνατό. Για παράδειγμα, χρήστες που βρισκόταν στην κάλυψη ενός Access Point είχαν υποχρεωτικά την ίδια ποιότητα υπηρεσίας.



Σχήμα 127. Παράδειγμα μια point to multipoint σύνδεσης

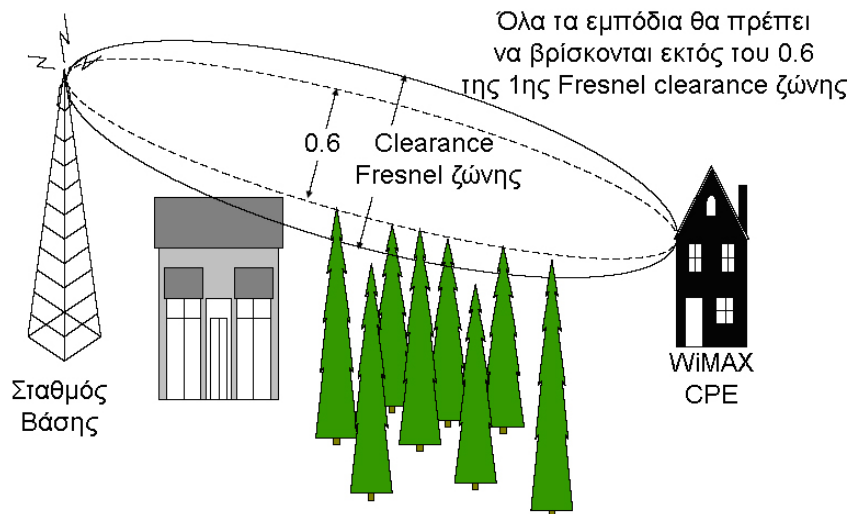
Την ασφαλή μετάδοση των δεδομένων στο WiMAX αναλαμβάνει ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης DES (Data Encryption Standard, Πρότυπο Κωδικοποίησης Δεδομένων) και συγκεκριμένα μια παραλλαγή του αλγορίθμου ο Triple DES. Το DES αναπτύχθηκε το 1970 από το Αμερικανικό Εθνικό Γραφείο Προτύπων. Η βασική ιδέα ήταν η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου κρυπτογράφησης που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί (και να βελτιωθεί) από διάφορες εταιρείες ή οργανισμούς. Το DES ανήκει στην οικογένεια των συμμετρικών αλγορίθμων και κάνει χρήση κλειδιών με μήκος 56bit. Ο «κλασικός» αλγόριθμος DES είναι πλέον ξεπερασμένος, αφού με τη χρήση ενός σύγχρονου υπολογιστή μπορεί να παραβιαστεί σχετικά εύκολα. Στο μεταξύ, εφαρμόζοντας διάφορες τεχνικές επάνω στο DES, μπορούμε να αυξήσουμε σημαντικά την ασφάλειά του. Με τη μέθοδο Triple-DES, για παράδειγμα, το μήνυμα κωδικοποιείται τρεις φορές, με τρία διαφορετικά κλειδιά.

7.4.2. Υποστήριξη συνδέσεων LOS, OLOS και NLOS

Όταν ζητείται η ασύρματη ζεύξη μεταξύ δύο σημείων είναι βασικό να γνωρίζουμε αν τα σημεία αυτό βρίσκονται σε συνθήκες οπτικής επαφής (LOS) ή όχι (NLOS). Σε μια ζεύξη σημείων που βρίσκονται σε οπτική επαφή, το ηλεκτρομαγνητικό κύμα κατευθύνεται απευθείας από την κεραία του πομπού στην κεραία του δέκτη χωρίς να υποστεί κάποια ανάκλαση από γειτονικά εμπόδια. Απαραίτητη προϋπόθεση για να συμβαίνει το παραπάνω είναι να είναι ελεύθερη από εμπόδια μια περιοχή του ασύρματου καναλιού μεταξύ των δύο σημείων προς επικοινωνία που ονομάζεται ελλειψοειδής του Fresnel (Fresnel Zone). Η ζώνη Fresnel υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$F_N = \sqrt{\frac{N * \lambda * D_1 * D_2}{D_1 + D_2}}$$

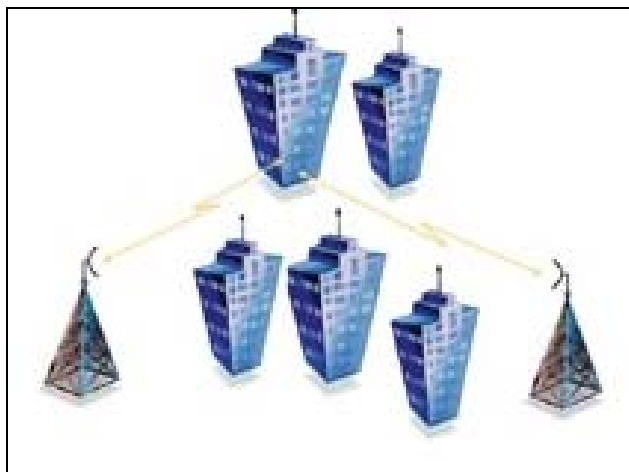
όπου N είναι ο αριθμός της ζώνης (πχ για $N=1$ έχουμε την 1^η ζώνη Fresnel... κτλ.), λ είναι το μήκος κύματος και D_1 , D_2 είναι οι αποστάσεις των δύο κεραιών από το εμπόδιο. Τα παραπάνω παρουσιάζονται παραστατικά στο Σχήμα 128.



Σχήμα 128. Οι ζώνες του Fresnel

Όταν ένα εμπόδιο βρίσκεται μέσα στη πρώτη ζώνη του Fresnel τότε το κανάλι χαρακτηρίζεται σαν OLOS (Optical Line of Sight). Το πρότυπο IEEE 802.16 μπορεί να παρέχει επικοινωνία και σε σημεία τα οποία βρίσκονται σε συνθήκες OLOS κάτι που ο προκάτοχος του (IEEE 802.11) δύσκολα μπορούσε να πετύχει.

Η χρήση της διαμόρφωσης OFDM επιτρέπει στο πρότυπο να εξασφαλίζει σταθερές και αξιόπιστες συνδέσεις ακόμα και σε συνθήκες μη οπτικής επαφής (Non Line of Sight - NLOS) (Σχήμα 129). Η τεχνική OFDM υποστηρίζει μετάδοση με πολλαπλές φέρουσες προσδίδοντας στο πρότυπο ανθεκτικότητα στη μετάδοση των δεδομένων και πολύ καλές επιδόσεις σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιόδευσης (multipath fading). Επιπλέον η χρήση κωδίκων διόρθωσης σφαλμάτων όπως οι FEC (Forward Error Correction) και CRC (Cyclic Redundancy Check) προσδίδει στο πρότυπο τη δυνατότητα αξιόπιστης μετάδοσης κρατώντας σε χαμηλά επίπεδα την ισχύ εκπομπής και λήψης.



Σχήμα 129. Παράδειγμα σύνδεσης χωρίς οπτική επαφή

Ζεύξεις σημείου προς σημείο (P2P) μπορούν να επιτευχθούν καλύπτοντας μεγάλες αποστάσεις και μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Ο Πίνακας 24 δείχνει ενδεικτικές αποστάσεις επικοινωνίας σε Οπτική Επαφή με Fresnel Zone Clearance (LOS) όπως επίσης και τους αντίστοιχους ενδεικτικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Ο Πίνακας 25 απεικονίζει τις αποστάσεις και τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων σε πολυσημειακή (P2MP) ανάπτυξη δικτύου.

Μέσος ρυθμός μετάδοσης Ethernet (Mbps)	Απόσταση (km)
8	50
17	45
33	33
48	13

Πίνακας 24. Αποστάσεις Επικοινωνίας (P2P)

Μέσος ρυθμός μετάδοσης Ethernet (Mbps)	Απόσταση (km)
8	28
17	24
33	15
48	4

Πίνακας 25. Αποστάσεις Επικοινωνίας (P2MP)

7.5. ΒΑΣΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΟΥ WiMAX

Το WiMAX περιέχει ενσωματωμένες αρκετές καινοτόμες τεχνολογίες που καλύπτουν διαφορετικές περιοχές. Μερικές από τις βασικές εξελίξεις συγκριτικά με άλλες ασύρματες τεχνολογίες, που έχουν σχέση με την άμεση εμπορική αποδοχή και την ταχύτερη εξάπλωση του WiMAX παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους.

7.5.1. Δυναμικό TDMA MAC

Το πρότυπο 802.16 είναι σε θέση να προσφέρει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης στους σταθμούς των συνδρομητών. Αυτό σημαίνει ότι το WiMAX μπορεί να επεκτείνει τις δυνατότητες των ευρυζωνικών ασύρματων συστημάτων, παρέχοντας υψηλότερα ποσοστά κάλυψης και υποστηρίζοντας νέες, ακόμα πιο απαιτητικές εφαρμογές.

7.5.2. Ποιότητα υπηρεσιών

Τα πρότυπα 802.16 περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά γνωρίσματα ποιότητας υπηρεσιών, γεγονός που επιτρέπει την υποστήριξη ακόμα πιο απαιτητικών υπηρεσιών, όπως για παράδειγμα του βίντεο κατά απαίτηση (VoD).

Τα χαρακτηριστικά του 802.16 MAC επιτρέπουν σε έναν πάροχο να προσφέρει ταυτόχρονα διαφορετικά επίπεδα εγγύησης. Έτσι, σε μία περιοχή που καλύπτει ένας

σταθμός βάσης μπορεί να προσφέρονται υψηλά επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών (π.χ. σε επιχειρήσεις), και “best effort” υπηρεσίες (π.χ. για μεμονωμένους χρήστες).

7.5.3. Προσαρμογή συνδέσμων (Link Adaptation)

Η προσαρμοστική διαμόρφωση και η κωδικοποίηση λαμβάνουν χώρα από συνδρομητή σε συνδρομητή. Η προσαρμογή μετάδοσης (transmission adaptation), με τη βοήθεια της διαμόρφωσης (modulation) ανάλογα με την κατάσταση του καναλιού, παρέχει υψηλή αξιοπιστία στο σύστημα. Όταν κατά τις μεταδόσεις το επίπεδο θορύβου είναι υψηλό ή γενικότερα η ισχύς του σήματος είναι χαμηλή, η προσαρμοστική διαμόρφωση διατηρεί την επικοινωνία και μόνο σε ιδιαίτερες, ακραίες περιπτώσεις την διακόπτει.

Επιπρόσθετα, η δυναμική προσαρμοστική διαμόρφωση επιτρέπει στο σταθμό βάσης να “ανταλλάξει” το ρυθμό μετάδοσης με την εμβέλεια. Παραδείγματος χάριν, εάν ο σταθμός βάσης δεν μπορεί να εγκαταστήσει μια σύνδεση με έναν απομακρυσμένο συνδρομητή χρησιμοποιώντας το σχήμα διαμόρφωσης της υψηλότερης τάξης (64 QAM), η τάξη της διαμόρφωσης μειώνεται σε 16 QAM ή QPSK. Το γεγονός αυτό μειώνει το ρυθμό μετάδοσης αλλά αυξάνει την εμβέλεια, με αποτέλεσμα να μπορεί να εξυπηρετηθεί ο απομακρυσμένος συνδρομητής.

7.5.4. Υποστήριξη NLOS

Τα προβλήματα που πηγάζουν από τις καταστάσεις όπου δεν υπήρχε οπτική επαφή μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού χρήστη λύνονται, ή μετριάζονται με τη χρησιμοποίηση: του OFDM και OFDMA για NLOS εφαρμογές, κατευθυντικών κεραιών, προσαρμοστική διαμόρφωσης, τεχνικών διόρθωσης σφαλμάτων και αλγορίθμων ελέγχου ισχύος.

7.5.5. Αποδοτική χρησιμοποίηση φάσματος

Το επίπεδο MAC, το οποίο έχει σχεδιαστεί για την αποδοτική χρήση του φάσματος, ενσωματώνει τεχνικές για την αποδοτική επαναχρησιμοποίηση συχνότητας, επιτρέποντας την αποδοτικότερη χρήση του φάσματος του συστήματος πρόσβασης.

7.5.6. Ευέλικτο εύρος ζώνης καναλιών

Δεδομένου ότι η απόσταση μεταξύ ενός συνδρομητή και του σταθμού βάσης δεν παραμένει σταθερή εξαιτίας της κίνησης του συνδρομητή, είναι δύσκολο να διαβιβαστούν επιτυχώς τα δεδομένα από και προς το σταθμό βάσης ενώ το επίπεδο ισχύος παραμένει σταθερό. Επομένως, πολλές φορές είναι αδύνατη η επικοινωνία με το σταθμό βάσης σε μεγάλες αποστάσεις εάν το εύρος ζώνης καναλιών παραμένει ευρύ.

Τα πρότυπα 802.16 έχουν ευέλικτα εύρη ζώνης καναλιών μεταξύ 1,5 και 20 MHz για να διευκολύνουν τη μετάδοση σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Αυτή η ευελιξία του εύρους ζώνης των καναλιών είναι κρίσιμη για τον σχεδιασμό των κελιών.

7.5.7. Τεχνικές διόρθωσης σφαλμάτων (Error correction techniques)

Τεχνικές διόρθωσης σφαλμάτων έχουν ενσωματωθεί στο WiMAX για να μειώσουν τις απαιτήσεις του λόγου σήματος προς θόρυβο. Τεχνικές όπως η FEC, η κωδικοποίηση και οι αλγόριθμοι interleaving χρησιμοποιούνται για να ανιχνεύσουν και να διορθώσουν τα σφάλματα κατά τις μεταδόσεις και να βελτιώσουν τους ρυθμούς μετάδοσης. Η τεχνική Automatic Repeat Request (ARQ) χρησιμοποιείται για να διορθώσει τα σφάλματα που δεν μπορούν να διορθωθούν από την FEC, με την αποστολή της χαμένης πληροφορίας. Το γεγονός αυτό βελτιώνει σημαντικά το bit error rate.

7.5.8. Έλεγχος ισχύος

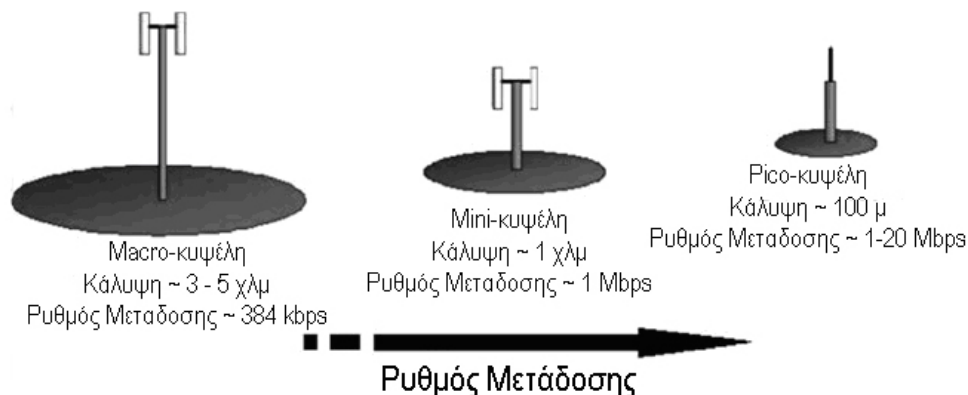
Οι αλγόριθμοι ελέγχου ισχύος χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν τη συνολική απόδοση του συστήματος. Υλοποιούνται στο σταθμό βάσης, ο οποίος αποστέλλει πληροφορίες ελέγχου ισχύος σε κάθε έναν συνδρομητή ώστε να ρυθμίσει την ισχύ μετάδοσης του στο ιδανικό επίπεδο. Ο έλεγχος ισχύος μειώνει την κατανάλωση ισχύος στις συσκευές των συνδρομητών και την πιθανότητα παρεμβολής με άλλους σταθμούς βάσης. Για περιπτώσεις LOS η ισχύς μετάδοσης της συσκευής του συνδρομητή είναι περίπου ανάλογη προς την απόστασή της από το σταθμό βάσης ενώ για περιπτώσεις NLOS η ισχύς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα εμπόδια που παρεμβάλλονται.

7.5.9. Ασφάλεια

Το WiMAX ενσωματώνει ένα μεγάλο αριθμό τεχνικών ασφάλειας για να επιτραπεί η εξασφαλισμένη ανταλλαγή δεδομένων: authentication συσκευών με ανταλλαγή πιστοποιητικών, authentication χρηστών, κρυπτογράφηση των δεδομένων με χρήση του data encryption standard (DES) ή του advanced encryption standard (AES), τα οποία είναι πολύ πιο ασφαλή από το WEP που χρησιμοποιούταν αρχικά στα ασύρματα δίκτυα. Επιπλέον, κάθε υπηρεσία κρυπτογραφείται ξεχωριστά.

7.6. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ WiMAX

Το WiMAX έχει ως κύριο στόχο να καλύψει ευρείες γεωγραφικές περιοχές που εξυπηρετούν μεγάλο αριθμό χρηστών με χαμηλότερο κόστος και να παρέχει μια εναλλακτική λύση στα ενσύρματα δίκτυα υποδομής και στο τηλεπικοινωνιακό last mile. Όσον αφορά το last mile, το WiMAX θεωρείται μια από τις καλύτερες λύσεις εξαιτίας των εξαιρετικών χαρακτηριστικών απόδοσής του (Σχήμα 130).



Σχήμα 130. Ρυθμοί Μετάδοσης Δεδομένων για Διαφορετικές Ακτίνες Κάλυψης

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας WiMAX παρουσιάζονται στη συνέχεια.

7.6.1. Ρυθμός μετάδοσης και κάλυψη

Η τεχνολογία WiMAX μπορεί να φθάσει σε μια θεωρητική ακτίνα κάλυψης δεκάδων χιλιομέτρων και να επιτύχει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μέχρι 70Mbps, αν και σε μεγάλες αποστάσεις ο ρυθμός μετάδοσης πλησιάζει στα 1,5Mbps. Η δυναμική προσαρμοστική διαμόρφωση (Dynamic Adaptive Modulation) δίνει τη δυνατότητα στο σταθμό βάσης να επιλέξει το ρυθμό μετάδοσης ανάλογα με την απόσταση που πρέπει κάθε φορά να καλυφθεί.

Εκτός από την υποστήριξη δυναμικού σχήματος διαμόρφωσης, τα 802.16 πρότυπα υποστηρίζουν τεχνολογίες που μπορούν να αυξήσουν την κάλυψη. Δεδομένου ότι η τεχνολογία αυτή συνεχώς βελτιώνεται, ενώ παράλληλα το κόστος της μειώνεται, η δυνατότητα αύξησης της κάλυψης και του ρυθμού μετάδοσης με τη χρήση πολλαπλών κεραιών θα ενισχύσει σε μεγάλο βαθμό την κάλυψη ακόμα και στα πιο ακραία περιβάλλοντα.

7.6.2. Ευελιξία και επεκτασιμότητα

Τα πρότυπα 802.16 υποστηρίζουν επαναχρησιμοποίηση των καναλιών συχνότητας με αποτέλεσμα να αυξάνεται η συνολική ικανότητα των δικτύων. Υποστηρίζουν επίσης έλεγχο ισχύος μετάδοσης (Transmission Power Control) και επιτρέπουν ποιοτικές μετρήσεις καναλιών ως πρόσθετα εργαλεία για την αποδοτική χρήση του φάσματος. Η εύκολη προσθήκη νέων τομέων (sectors) μεγιστοποιεί την ικανότητα των κελιών, επιτρέποντας στους παρόχους την εύκολη επέκταση του δικτύου καθώς ο αριθμός πελατών θα αυξάνεται. Έτσι, οι πάροχοι μπορούν να αναδιανείμουν το φάσμα καθώς ο αριθμός συνδρομητών αυξάνεται. Τα πρότυπα έχουν σχεδιαστεί ώστε να μπορούν να εξυπηρετούν εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες χρήστες μέσα σε ένα κανάλι ραδιοσυχνότητας.

Τα πρότυπα 802.16 προσφέρουν παράλληλα το πλεονέκτημα της ευελιξίας σε επιχειρήσεις που υποχρεωτικά μετακινούνται συχνά, όπως για παράδειγμα μία κατασκευαστική εταιρεία όπου τα γραφεία της θα πρέπει να μετακινούνται κάθε φορά στο σημείο όπου γίνονται έργα. Αντίθετα από μια DSL γραμμή, η ασύρματη

ευρυζωνική πρόσβαση μπορεί με το WiMAX να πραγματοποιηθεί γρήγορα και εύκολα.

7.6.3. Μείωση εξόδων εγκατάστασης

Το ασύρματο μέσο που χρησιμοποιείται από το WiMAX επιτρέπει στους φορείς παροχής υπηρεσιών να αποφύγουν έξοδα που συνδέονται με την ανάπτυξη καλωδιακών υποδομών. Έτσι, σε πολύ λιγότερο χρόνο και με πολύ μικρότερο κόστος μπορεί να πραγματοποιηθεί μία ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση.

7.7. ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ WiMAX

Μερικές από τις προκλήσεις που αυτή τη στιγμή αντιμετωπίζει το WiMAX παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους.

7.7.1. Παρεμβολή ραδιοσυχνοτήτων (interference)

Η παρεμβολή μίας πηγής ραδιοσυχνοτήτων μπορεί να σταματήσει μια μετάδοση ή να μειώσει την απόδοση της με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη, ή ακόμα και αδύνατη, η ερμηνεία ενός σήματος από κάποιον δέκτη. Οι πιο συνηθισμένες μορφές παρεμβολής ραδιοσυχνοτήτων είναι η multipath παρεμβολή και η εξασθένιση (attenuation). Η multipath παρεμβολή προκαλείται όταν τα σήματα ανακλώνται σε διάφορα αντικείμενα, όπως πολυκατοικίες, με συνέπεια την αλλοίωση του σήματος όταν αυτό φτάνει στο δέκτη. Η εξασθένιση εμφανίζεται όταν ένα σήμα περνά μέσω ενός στερεού αντικειμένου, όπως ένα δέντρο, μειώνοντας την ισχύ του σήματος και επομένως την εμβέλεια του. Η επικαλύπτουσα παρεμβολή (overlapping interference) από έναν παρακείμενο σταθμό βάσης μπορεί να παράγει τυχαίο θόρυβο.

Η multipath παρεμβολή και η εξασθένιση μπορούν βέβαια να μειωθούν με χρήση προσαρμοστικής διαμόρφωσης, με κατάλληλο σχεδιασμό του δικτύου, φιλτράρισμα, συγχρονισμό των σημάτων καθώς και με χρήση ενισχυτών ισχύος.

7.7.2. Τοποθέτηση υποδομής

Η τοποθεσία υποδομής αναφέρεται στη φυσική θέση των στοιχείων υποδομής (κεραίες κτλ.). Οι φορείς παροχής υπηρεσιών προσπαθούν να ανακαλύψουν λύσεις σχετικά με την κατάλληλη τοποθεσία της υποδομής, ώστε να καλύψουν περιοχές με υψηλή πυκνότητα συνδρομητών και παράλληλα να έχουν μέγιστη αποδοτικότητα του φάσματος. Οι καταλληλότερες τοποθεσίες για την τοποθέτηση της υποδομής περιλαμβάνουν σημεία που βρίσκονται σε μεγαλύτερο υψόμετρο από την περιοχή που επιθυμείται κάθε φορά να καλυφθεί. Από την άλλη μεριά, το σημείο που στεγάζει το σταθμό βάσης θα πρέπει να είναι συμβατό με τη φύση των ραδιοσυχνοτήτων. Έτσι, η τοποθέτηση ενός σταθμού βάσης σε κάποιο σημείο που βρίσκεται ανάμεσα στα δέντρα μπορεί να προκαλέσει τη μείωση της ισχύος του σήματος.

Εμπόδια όπως δέντρα και κτίρια εμποδίζουν την πορεία των σημάτων και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την τοποθέτηση της υποδομής. Η NLOS απόδοση του WiMAX έχει αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό κυρίως λόγω της βελτιωμένης αντίστασης

στη multipath παρεμβολή. Ακόμη και χωρίς άμεσο LOS μεταξύ του σταθμού βάσης και των συνδρομητών, τα σήματα μπορούν να παραληφθούν αφότου ανακλαστούν σε κάποιο εμπόδιο. Παράγοντες όπως αυτοί καθιστούν την προκαταρκτική έρευνα των περιοχών όπου θα τοποθετηθεί η υποδομή αναπόφευκτη.

7.8. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ IEEE 802.16

Όπως όλα τα πρότυπα της σειράς 802 της IEEE, έτσι και το 802.16 επικεντρώνεται στα δύο χαμηλότερα στρώματα του μοντέλου διαστροφώσεως OSI (Open System Interconnection), δηλαδή στο φυσικό στρώμα (Physical Layer – PHY) και στο υπόστρωμα MAC (Medium Access Control). Οι αλλαγές που επιτελέστηκαν στα δύο παραπάνω στρώματα σε σχέση με το πρότυπο 802.11 είναι σημαντικές. Οι αλλαγές αυτές έχουν σαν κύριο στόχο την δημιουργία ενός προτύπου το οποίο θα μπορούσε να καλύψει τα κενά που αφήνει ο προκάτοχος του (IEEE 802.11) και ταυτόχρονα να κάνει γεγονός την Ασύρματη Ευρυζωνική Πρόσβαση (Broadband Wireless Access).

7.8.1. Το φυσικό επίπεδο του IEEE 802.16

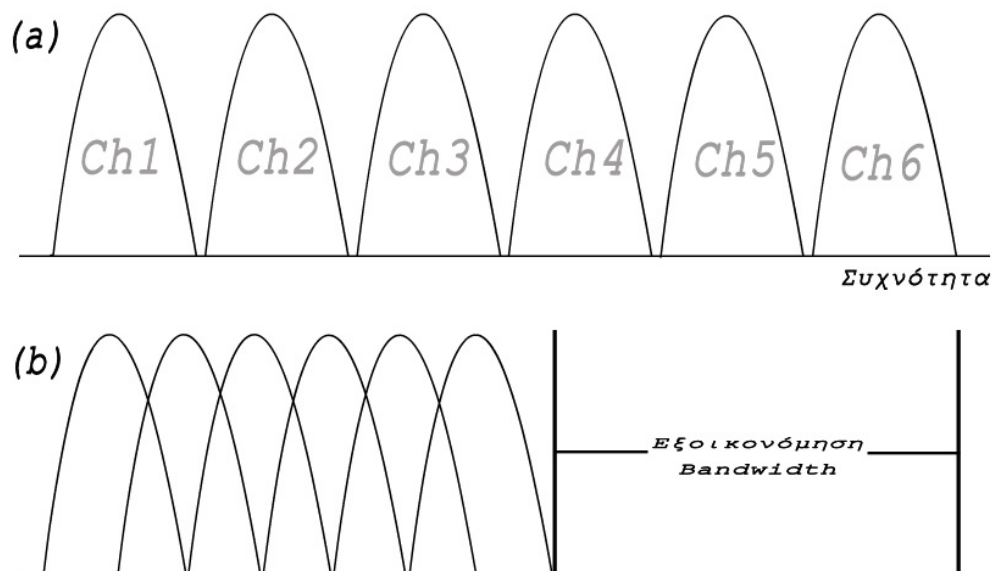
Η πρώτη έκδοση του προτύπου 802.16 υποστήριζε κύρια επικοινωνία μεταξύ σημείων τα οποία βρίσκονται σε οπτική επαφή. Η συχνότητα λειτουργίας του ορίστηκε στη ζώνη των 10-66 GHz. Στη συνέχεια το πρότυπο 802.16a υιοθέτησε μια ζώνη συχνοτήτων λειτουργίας η οποία εκτείνεται από 2 ως 11 GHz και αυτή είναι η ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιούν και τα πρώτα προϊόντα WiMAX τα οποία είναι διαθέσιμα στην αγορά σήμερα. Το κύριο πλεονέκτημα της δεύτερης ζώνης λειτουργίας είναι ότι κάνει εφικτή την επικοινωνία σημείων τα οποία δεν βρίσκονται σε οπτική επαφή κάτι που στις υψηλότερες συχνότητες δεν είναι εφικτό. Στο φυσικό επίπεδο η διαμόρφωση η οποία έχει υιοθετηθεί από το πρότυπο είναι το OFDM.

Ένας από τους κυριότερους λόγους υιοθέτησης του OFDM ως του μοντέλου διαμόρφωσης για ένα ασύρματο τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι η μεγάλη αντοχή που επιδεικνύει σε περιβάλλοντα εξασθένησης σήματος και παρεμβολών. Σε συστήματα μονής φέρουσας ένας επίδοξος παρεμβολέας μπορεί να προκαλέσει ακόμα και την κατάρρευση ενός link, σε αντίθεση με τα συστήματα πολλών φερουσών, όπου ένα μικρό μόνο ποσοστό των φερουσών θα επηρεαστεί. Μία από τις προτεινόμενες λύσεις για βέλτιστη αντιμετώπιση του προβλήματος είναι η χρήση Κωδικοποίησης Διόρθωσης Σφάλματος (Error Correction Coding).

Σε ένα κλασικό σύστημα παράλληλης μετάδοσης δεδομένων η συνολικά διαθέσιμη μπάνα συχνοτήτων διαιρείται σε N μη επικαλυπτόμενα υποκανάλια συχνοτήτων. Κάθε υποκανάλι διαμορφώνεται και από διαφορετικό σύμβολο και ακολούθως τα N υποκανάλια πολυπλέκονται στο πεδίο των συχνοτήτων. Η ιδέα που εισήγαγε το OFDM ήταν πρωτοποριακή μιας και οδηγούσε στην εξοικονόμηση φάσματος. Πιο συγκεκριμένα, έκανε λόγο για χρήση επικαλυπτόμενων υποκαναλιών, που χαρακτηρίζονται από την κοινή ιδιότητα της μεταξύ τους ορθογωνιότητας γεγονός που οδηγεί στην αποφυγή ισοστάθμισης, την αντιμετώπιση θορύβου και εξασθένησης σήματος λόγω πολυδιόδευσης (multipath fading) καθώς και την πλήρη αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος.

Το Σχήμα 131 αποδεικνύει τα ανωτέρω. Φαίνεται καθαρά η διαφορά μεταξύ των συμβατικών τεχνικών με μη επικαλυπτόμενα υποκανάλια και του OFDM. Κατά αυτό

τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση εύρους φάσματος που αγγίζει κατά περίπτωση ακόμα και το 50%. Βέβαια όπως προαναφέρθηκε οφείλουμε να εξασφαλίσουμε την όσο τη δυνατόν μικρότερη παρεμβολή μεταξύ των υποφερουσών.



Σχήμα 131. (α) Συμβατική Τεχνική Πολλών Φερουσών (β) OFDM

Τα σπουδαιότερα από τα πλεονεκτήματα χρήσης του OFDM είναι συνοπτικά τα ακόλουθα :

- Το OFDM αντιμετωπίζει αποτελεσματικά το φαινόμενο της πολυδιόδευσης (multipath) ενώ η πολυπλοκότητα ενός OFDM συστήματος είναι αισθητά μικρότερη από ένα σύστημα μονής φέρουσας (SC) με χρήση ισοσταθμιστή, ο οποίος θα αναλαμβάνει το ίδιο έργο.
- Σε συστήματα όπου οι δίαυλοι μετάδοσης μεταβάλλονται πολύ αργά σε σχέση με τη συχνότητα μετάδοσης των δεδομένων είναι εφικτή η αύξηση της χωρητικότητας με την ανάλογη προσαρμογή της συχνότητας δεδομένων ανά υποφέρουσα σε σχέση πάντα και με το λόγο σήματος προς θόρυβο για το συγκεκριμένο κανάλι (Signal to Noise Ratio - SNR).
- Το OFDM είναι εξαιρετικά ανθεκτικό στην παρεμβολή στενού φάσματος διότι τέτοιου είδους παρεμβολή επηρεάζει μόνο ένα μικρό ποσοστό των υποφερουσών.

Τα συστήματα WiMAX συνδυάζουν τεχνολογίες και αλγόριθμους ώστε να επιτυγχάνουν απόδοση Bit Error Rate (BER) των 10^{-9} (BER of 10^{-9}) με διαθεσιμότητα ζεύξης 99,999%.

Η αύξηση της φασματικής απόδοσης είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει απ' ευθείας το αποτέλεσμα. Για το λόγο αυτό, τα συστήματα WiMAX προσφέρουν διπλής κατευθύνσεως προσαρμοστική διαμόρφωση (Adaptive Modulation) που τα προσαρμόζει ανάμεσα σε έξι τύπους διαμόρφωσης (από QPSK σε 64 QAM) με σκοπό να προσαρμόζει τη ποιότητα διαβάθμισης της ζεύξης ενώ προσφέρουν το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης για δεδομένα σενάρια ανάπτυξης.

Ο Πίνακας 26 απεικονίζει τους τύπους διαμόρφωσης και κωδικοποίησης σε σχέση με τον ρυθμό μετάδοσης. Τέλος ο Πίνακας 27 παρουσιάζει συνοπτικά ορισμένα χαρακτηριστικά του φυσικού επιπέδου του προτύπου IEEE 802.16a.

Διαμόρφωση	FEC Coding Rate	Uncoded Burst Rate (Mbps)	Από άκρο σε άκρο Ethernet Throughput (Mbps)
BPSK	$\frac{1}{2}$	6	5,7
BPSK	$\frac{3}{4}$	9	8,6
QPSK	$\frac{1}{2}$	12	11,4
QPSK	$\frac{3}{4}$	18	17
16QAM	$\frac{1}{2}$	24	22,4
16QAM	$\frac{3}{4}$	36	33
64QAM	$\frac{2}{3}$	48	43,2
64QAM	$\frac{3}{4}$	54	48,1

Πίνακας 26. Τύποι Διαμόρφωσης

Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα
Χρήση OFDM με 256 φέρουσες	Επικοινωνία LOS και NLOS
Χρήση προσαρμοστικής διαμόρφωσης και κωδίκων διόρθωσης σφαλμάτων	Αποτελεσματικές ζεύξεις με μέγιστο αριθμό bits/sec σε κάθε χρήστη
Υποστήριξη TDD και FDD	Ικανοποιεί τις συνθήκες διαχείρισης φάσματος κάθε χώρας
Μεταβλητό εύρος ζώνης καναλιού (3,5 MHz , 5MHz , 10MHz)	Δυνατότητα λειτουργίας σε πολλές ζώνες συχνοτήτων ανάλογα με τον κανονισμό κάθε χώρας
Υποστήριξη έξυπνων κεραιών	Εξασφαλίζεται υψηλό κέρδος ισχύος

Πίνακας 27. Χαρακτηριστικά του φυσικού επιπέδου του προτύπου IEEE 802.16a

7.8.2. Το επίπεδο MAC του προτύπου IEEE 802.16

Σε κάθε ασύρματο δίκτυο είναι απαραίτητος ένας μηχανισμός ο οποίος να ελέγχει την πρόσβαση στο κοινό ασύρματο μέσο. Το πρότυπο IEEE 802.16a για το σκοπό αυτό χρησιμοποιεί ένα slotted TDMA πρωτόκολλο το οποίο εκτελείται στο Base Station με στόχο τη δέσμευση χωρητικότητας από το δίκτυο για τους χρήστες μιας P2MP δομής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα συστήματα WiMAX, να είναι ικανά τόσο για παροχή υπηρεσιών υψηλών ταχυτήτων με δεδομένο SLA (Service Level Agreement), όσο και για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, οι οποίες όπως είναι γνωστό είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση. Ορισμένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του επιπέδου MAC του προτύπου IEEE 802.16a παρουσιάζει ο Πίνακας 28.

Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα
Χρήση TDM/TDMA	Αποδοτικότητα εύρους ζώνης (Bandwidth efficiency)
Υποστήριξη μέχρι και 100 χρηστών ανά Base Station	Ικανότητα να καλύπτουν αξιόπιστα αστικές περιοχές
Υποστήριξη QoS	- Μικρή καθυστέρηση για υπηρεσίες όπως TDM Voice, VoIP - Αποδοτική μετάδοση VBR κίνησης
Υποστήριξη ARQ	Βελτίωση της από άκρο σε άκρο απόδοσης του συστήματος
Χρήση προσαρμοστικής διαμόρφωσης και κωδίκων διόρθωσης σφαλμάτων	Αποτελεσματικές ζεύξεις με μέγιστο αριθμό bits/sec σε κάθε χρήστη
Χρήση Triple DES για ασφάλεια	Προστασία δεδομένων
Automatic Power Control	Δυνατότητα για δημιουργία κυψελοειδών αρχιτεκτονικών

Πίνακας 28. Χαρακτηριστικά του φυσικού MAC του προτύπου IEEE 802.16a

7.9. ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΕΙ ΤΟ WiMAX

7.9.1. Ασύρματο VoIP

Ενώ οι υπηρεσίες VoIP προσφέρονται εδώ και αρκετά χρόνια, είναι γεγονός πως οι υπηρεσίες αυτές δεν παρείχαν μια βιώσιμη εναλλακτική λύση για τις περισσότερες εφαρμογές λόγω αρκετών περιορισμών στην τεχνολογία. Ωστόσο, η πρόοδος της τεχνολογίας έχει βελτιώσει εντυπωσιακά την ποιότητα και τώρα οι φορείς παροχής VoIP υπηρεσιών είναι σε θέση να προσφέρουν μια προσιτή εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές υπηρεσίες φωνής μεταγωγής κυκλώματος, τόσο στις επιχειρήσεις όσο και στους καταναλωτές.

Το ασύρματο VoIP είναι μία απλή και οικονομικά αποδοτική υπηρεσία που επιτρέπει σε έναν συνδρομητή να χρησιμοποιήσει τις VoIP υπηρεσίες ενώ κινείται. Αυτό γίνεται εφικτό με το WiMAX το οποίο είναι σε θέση να συνδυάζει τα οφέλη του VoIP και την ευελιξία της ασύρματης τεχνολογίας.

7.9.2. Virtual Private LAN Services (VPLS)

Το VPLS είναι μια κατηγορία του VPN που επιτρέπει τη σύνδεση πολλαπλών sites σε ένα γεφυρωμένο domain. Από την πλευρά του χρήστη, φαίνονται σαν όλα τα sites να συνδέονται σε ένα ιδιωτικό LAN. Το WiMAX παρέχει μια άριστη λύση για την παροχή VPLS, λόγω του QoS και της ασφάλειας που μπορεί να παρέχει.

7.9.3. Video on Demand (VoD)

Η τεχνολογία VoD, είναι μία από τις υποσχόμενες τεχνολογίες που ωστόσο δεν είχε μεγάλη απήχηση στα ασύρματα δίκτυα. Το WiMAX ωστόσο, με τους υψηλούς

ρυθμούς μετάδοσης που προσφέρει μπορεί να εξυπηρετήσει περισσότερους συνδρομητές (με αρκετά χαμηλότερο κόστος), με άμεσο επακόλουθο όλο και περισσότεροι άνθρωποι να χρησιμοποιούν αυτές τις υπηρεσίες.

7.9.4. ATM Τραπεζών

Η δυνατότητα κάλυψης μιας μητροπολιτικής περιοχής με χρήση WiMAX παρέχει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τις τράπεζες ώστε να εγκαταστήσουν μηχανήματα αυτόματης ανάληψης χρημάτων (ATM) χαμηλού κόστους σε αγροτικές και προαστιακές περιοχές, γεγονός που ήταν ακατόρθωτο μέχρι σήμερα λόγω του υψηλού κόστους των δορυφορικών συνδέσεων και των ζητημάτων ασφάλειας με άλλες δικτυακές υποδομές.

7.9.5. Online παιχνίδια

Είναι μία από τις πιο επιτυχημένες υπηρεσίες που προσφέρονται στις μέρες μας. Το WiMAX μπορεί να είναι η τεχνολογία που θα παρέχει στους κατοίκους αγροτικών και αστικών περιοχών τις υπηρεσίες αυτές, τόσο στην κατοικία τους, όσο και εκτός αυτής.

7.9.6. Εφαρμογές ασφάλειας και επιτήρησης

Ιδρύματα όλων των ειδών – από τα εμπορικά κέντρα ως τις στρατιωτικές βάσεις – επιθυμούν να εγκαταστήσουν κάμερες ασφαλείας για την επιτήρηση περιοχών που είναι απομακρυσμένες, και επομένως θα ήταν δαπανηρή ή φυσικά αδύνατη η κάλυψη τους με την παραδοσιακή ενσύρματη τεχνολογία.

Το WiMAX μπορεί να υπερπηδήσει τα εμπόδια αυτά, επιτρέποντας ουσιαστικά την εγκατάσταση ενός απεριόριστου αριθμού τηλεοπτικών καμερών επιτήρησης, εύκολα και επικερδώς, σε ένα νέο ή ένα υπάρχον σύστημα ασφάλειας. Επομένως, με το WiMAX, βίντεο υψηλής ευκρίνειας μπορούν να διαβιβάζονται σε πραγματικό χρόνο από τις κάμερες ασφαλείας στο κέντρο ασφάλειας.

7.9.7. Επικοινωνία πολυμέσων

Η IP-based ασύρματη ευρυζωνική τεχνολογία μπορεί να διαδραματίσει έναν σημαντικό ρόλο κατά τη μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων οποτεδήποτε και οπουδήποτε. Η τηλεδιάσκεψη είναι μία τέτοια υπηρεσία που μπορεί να γίνει πραγματικότητα με το WiMAX.

7.9.8. Άλλες υπηρεσίες

Μερικές ακόμα εφαρμογές που μπορούν να πραγματοποιηθούν από το WiMAX είναι:

- Απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών στις εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης με αποτέλεσμα την άμεση ανταπόκριση σε περίπτωση κάποιου προβλήματος στην πορεία του ασθενή.
- Άμεση αποστολή και λήψη χαρτών, σχεδιαγραμμάτων και αρχιτεκτονικών σχεδίων στις πυροσβεστικές μονάδες και γενικότερα σε μονάδες διάσωσης που συμμετέχουν σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

7.10. ΥΠΟ-ΠΡΟΤΥΠΑ IEEE 802.16

Τα υποπρότυπα που έχουν οριστεί έως το 2008 για το IEEE 802.16 είναι τα εξής:

- IEEE 802.16a
- IEEE 802.16c
- IEEE 802.16d
- IEEE 802.16-2004
- IEEE 802.16e

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στην αρχική του έκδοση το πρότυπο IEEE 802.16 λειτουργούσε στην ζώνη συχνοτήτων 10-66 GHz. Στις παραπάνω συχνότητες η επικοινωνία μεταξύ δύο σταθμών επιτυγχάνεται μόνο όταν οι σταθμοί αυτοί βρίσκονται σε συνθήκες οπτικής επαφής. Η παραπάνω διαδικασία περιγράφεται στο υποπρότυπο **IEEE 802.11c**. Η ανάγκη για επικοινωνία μεταξύ σταθμών που δεν βρίσκονται σε οπτική επαφή ήταν το κίνητρο για τη δημιουργία του υποπρότυπου **IEEE 802.16a**. Τον Ιανουάριο του 2003 το πρότυπο επεκτάθηκε ώστε να λειτουργεί και στις συχνότητες από 2-11 GHz όπου στις συχνότητες αυτές ήταν δυνατή η δημιουργία συνδέσεων χωρίς οπτική επαφή πομπού – δέκτη. Το υποπρότυπο το οποίο περιγράφει τη διαδικασία αυτή ονομάστηκε IEEE 802.16a. Τα πρώτα προϊόντα WiMAX τα οποία σήμερα είναι διαθέσιμα στην αγορά ακολουθούν στην μεγαλύτερη τους πλειοψηφία το υποπρότυπο αυτό.

Καθώς η πολυπλοκότητα των εφαρμογών που διαδίδονται πάνω από ένα ασύρματο δίκτυο ολοένα και αυξάνει, η ποιότητα υπηρεσίας πάνω από τέτοια δίκτυα γίνεται ένας πολύ καθοριστικός παράγοντας για την ποιότητα της επικοινωνίας. Για παράδειγμα, η μετάδοση video σε πραγματικό χρόνο απαιτεί από το δίκτυο συνθήκες πολύ χαμηλής καθυστέρησης μετάδοσης. Για αυτό το λόγο, προκειμένου να ικανοποιηθεί η ανάγκη για ποιότητα υπηρεσίας ορίστηκε το υποπρότυπο **IEEE 802.16d**.

Η ένωση των υποπρότυπων IEEE 802.11 a, c, d όρισε το πρότυπο **IEEE 802.16-2004** το οποίο περιγράφει τη συνολική λειτουργικότητα των επιμέρους υποπρότυπων που προαναφέρθηκαν για συχνότητες λειτουργίας 2-66 GHz.

Το πρότυπο IEEE 802.16-2004 ορίζει την επικοινωνία χρηστών οι οποίοι βρίσκονται μέσα σε ένα κελί το οποίο καλύπτεται από ένα Base Station. Όταν κάποιος χρήστης κινηθεί σε περιοχή που βρίσκεται εκτός περιοχής κάλυψης του Base Station η σύνδεση χάνεται. Το υποπρότυπο **IEEE 802.16e** εισάγει και περιγράφει την έννοια της κινητικότητας των χρηστών από ένα Base Station σε άλλο. Στο υποπρότυπο αυτό ορίζεται ότι ένας κινητός χρήστης μπορεί να συνεχίσει να εξυπηρετείται από το δίκτυο ακόμα και αν κινείται με ταχύτητες οι οποίες προσεγγίζουν τα 120Km/h.

Ωστόσο η παραπάνω τιμή είναι ενδεικτική – πειραματική, καθώς μέχρι τη στιγμή αυτή δεν υπάρχει κάποιο διαθέσιμο προϊόν στην αγορά συμβατό με το 802.16e υποπρότυπο που να πιστοποιεί την προαναφερθείσα τιμή.

7.11. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ WiMAX ΜΕ ΤΑ ΗΔΗ ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ.

Ο Πίνακας 29 δίνει μια συγκριτική παρουσίαση των προτύπων που χρησιμοποιούνται σήμερα για ασύρματη δικτύωση τοπικής πρόσβασης σε ότι αφορά παράγοντες όπως ταχύτητα μετάδοσης, αποστάσεις κάλυψης, συχνοτήτων λειτουργίας, διαθεσιμότητας και εταιριών που παρέχουν προϊόντα συμβατά με το πρότυπο.

Το WiMAX υπόσχεται τους υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων και αρκετά μεγαλύτερη εμβέλεια. Το Bluetooth στις μέρες μας είναι ευρέως διαδεδομένο, κυρίως στην κινητή τηλεφωνία, λόγω του χαμηλού του κόστους και της ευκολίας που προσφέρει. Οι υπόλοιπες από τις παραπάνω λύσεις δεν έχουν ως σκοπό την άμεση αντικατάσταση του πατροπαράδοτου καλωδιωμένου Ethernet, λόγω της δυσανάλογης σχέσης κόστους / ταχύτητας που έχουν αυτή τη στιγμή, αλλά και των χαμηλών επιδόσεων. Στις μέρες μας όμως, το πρότυπο ασύρματης δικτύωσης που είναι ευρέως διαδεδομένο είναι το IEEE 802.11.

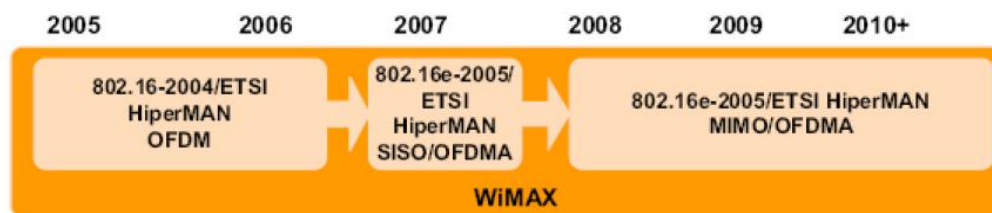
	Ταχύτητα (Mbps)	Εμβέλεια	Συχνότητα	Διασύνδεση	Κατάσταση
HomeRF	2 Mbps	50 m	2,4 GHz	Ethernet	Διαθέσιμο
HiperLAN Type 1	24 Mbps	50 m	5 GHz	Ethernet	Διαθέσιμο
HiperLAN Type 2	54 Mbps	<150m	5 GHz	Ethernet, ATM, IP, UMTS, Firewire, PPP	
IEEE 802.11	2 Mbps	100m-2Km	2,4 GHz	Ethernet	Διαθέσιμο
802.11b	11 Mbps	100m-2Km	2,4 GHz	Ethernet	Διαθέσιμο
802.11a	54 Mbps	100m-2Km	5 GHz	Ethernet	Διαθέσιμο
802.11g	54 Mbps	100m-2Km	2,4 GHz	Ethernet	Διαθέσιμο
Wi-Max	70 Mbps	70 Km	2-11 GHz	Ethernet	Διαθέσιμο

Πίνακας 29. Χαρακτηριστικά προτύπων για ασύρματη δικτύωση

7.12. MOBILE WiMAX

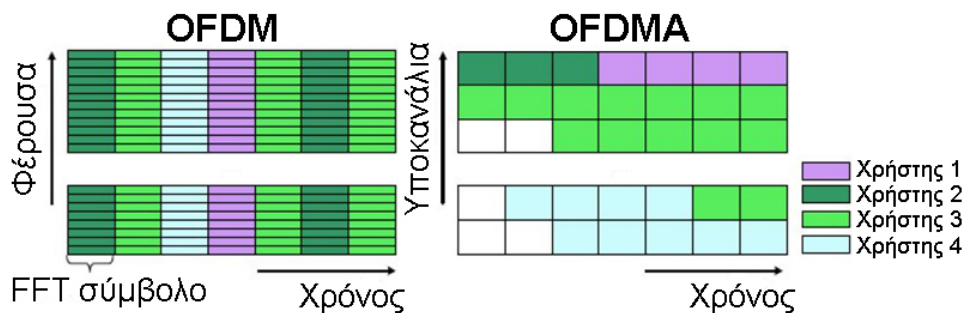
Το πρότυπο Mobile WiMAX είναι ένα σχετικά νέο πρότυπο που έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ευρυζωνική πρόσβαση σε κινητά δίκτυα. Μέσω των καθιερωμένων προτύπων του WiMAX, το Mobile WiMAX επικεντρώνεται στην point to multipoint ευρυζωνική πρόσβαση, στην λύση του προβλήματος του last mile και στην εξυπηρέτηση κινητών χρηστών. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης προβλέπεται να

αγγίζει τα 75 Mbps, ωστόσο οι τυπικές τιμές του θα είναι μικρότερες. Ο ρυθμός μετάδοσης βέβαια εξαρτάται από το εύρος ζώνης στο οποίο λειτουργεί το σύστημα. Σχηματικά η εξέλιξη του προτύπου 802.16 παρουσιάζεται στο Σχήμα 132.



Σχήμα 132: Χρονοδιάγραμμα εξέλιξης του 802.16

Το Mobile WiMAX βασίζεται στο πρωτόκολλο Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA). Το OFDMA επιτρέπει την εξυπηρέτηση πολλών χρηστών σε διάφορες φέρουσες του ίδιου καναλιού ταυτόχρονα. Υποστηρίζει επίσης Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) το οποίο μειώνει την καθυστέρηση και Multiple Input Multiple Output (MIMO) στις κεραίες, γεγονός που αυξάνει τους ρυθμούς μετάδοσης και μειώνει τον αριθμό σφαλμάτων. Διαφορές μεταξύ του πρωτοκόλλου OFDMA και του OFDM παρουσιάζονται στο Σχήμα 133.



Σχήμα 133: Διαφορές μεταξύ OFDM και OFDMA

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:
ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

8. Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών

8.1. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ UMTS

Αν θέλαμε να περιγράψουμε συνοπτικά το σύστημα UMTS που αναπτύσσει και εξελίσσει το 3GPP τότε θα λέγαμε ότι είναι «μία διεπαφή CDMA στον αέρα μέσω της οποίας ανταλλάσσονται πακέτα, σε συνδυασμό με ένα εξελιγμένο κεντρικό δίκτυο GSM/GPRS». Από την άλλη πλευρά, η οικογένεια προτύπων IMT-2000 περιλαμβάνει πολλές άλλες τεχνολογίες. Όμως, η τεχνολογία που συνδυάζει το WCDMA με το GSM και η οποία αναπτύσσεται από το 3GPP, είναι η πιο δημοφιλής. Ο λόγος για αυτή την επικράτηση είναι προφανής: μεταξύ των τεχνολογιών δεύτερης γενιάς, η τεχνολογία GSM ήταν η πιο διαδεδομένη. Συνεπώς, οι εταιρίες επέλεξαν την οικονομικότερη μεταξύ των προτάσεων του IMT-2000, δηλαδή αυτήν την πρόταση η οποία διατηρούσε την αξία και τη λειτουργικότητα των προηγούμενων επενδύσεών τους. Ο συνδυασμός του WCDMA με τις εξελίξεις του GSM όσον αφορά το δίκτυο κορμού, ονομάζεται Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Πρόκειται για το σύστημα τρίτης γενιάς που έχει επικρατήσει στην Ευρώπη και σταδιακά επεκτείνεται στη Βόρεια Αμερική με αποτέλεσμα η τρίτη γενιά κυψελωτών κινητών συστημάτων να τείνει να ταυτιστεί με αυτό το σύστημα. Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν τα χαρακτηριστικά, η δομή και η λειτουργία του συστήματος εστιάζοντας σε αυτή την τεχνολογία ως κύριο εκπρόσωπο των τεχνολογιών τρίτης γενιάς. Επίσης στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί αναλυτικά η αρχιτεκτονική και οι λειτουργικότητες του συστήματος UMTS.

8.2. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η μετάβαση ενός δικτύου GSM σε ένα δίκτυο UMTS είναι ιδιαίτερα ομαλή, και είναι ακόμα απλούστερη αν στο δίκτυο GSM έχει ενσωματωθεί και η τεχνολογία GPRS. Τα συστήματα GSM σταδιακά ενσωμάτωσαν πολλά χαρακτηριστικά τα οποία είναι συμβατά με τις απαιτήσεις του UMTS. Ο Πίνακας 30 παρουσιάζει τα βασικά χαρακτηριστικά του UMTS και εξετάζει το κατά πόσο υπάρχει συμβατότητα με τις λειτουργίες του GSM.

Χαρακτηριστικά του UMTS	Συμβατότητα του GSM
Μικρές και άνετες φορητές συσκευές	Ναι
Οπουδήποτε και κάθε στιγμή (συμβατότητα με οικιακά ασύρματα δίκτυα)	Ναι (picocells, GSM office)
Οπουδήποτε (συμβατότητα με δορυφορικά δίκτυα)	Ναι
Διεσδυτικότητα σε κτίρια, υπόγεια κ.α.	Ναι
Ομιλία υψηλής ποιότητας	Ναι
Παγκόσμια περιαγωγή	Ναι
Υπηρεσίες νοήμονος δικτύου	Ναι

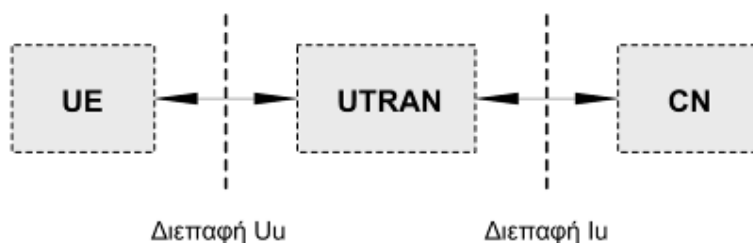
Χαρακτηριστικά του UMTS	Συμβατότητα του GSM
Υπηρεσίες Δεδομένων	Ναι (GPRS)
Υποστήριξη υψηλής πυκνότητας χρηστών	Ναι (ιεραρχίες κελιών)
Πολυμέσα, ψυχαγωγία	Ναι (HSCSD)
Εναλλαγή μεταξύ φορέων πραγματικού χρόνου και όχι	Όχι
Υπηρεσίες ρυθμών μετάδοσης άνω των 200 Kbps	Όχι

Πίνακας 30. Τα χαρακτηριστικά του UMTS και η συμβατότητα του GSM

Όπως δείχνει ο Πίνακας 30, ένα δίκτυο GSM με όλες τις προσθήκες και τις βελτιώσεις προσεγγίζει ένα δίκτυο UMTS. Τα μόνα χαρακτηριστικά του UMTS τα οποία δεν καλύπτονται από ένα δίκτυο GSM οφείλονται στην πιο ευέλικτη διεπαφή CDMA που χρησιμοποιεί στον αέρα, η οποία μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονα διαφορετικούς τύπους φορέα. Επίσης, το UMTS μπορεί να υποστηρίξει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης που όμως δεν απέχουν πολύ από τους ρυθμούς μετάδοσης που υποστηρίζουν τα δίκτυα GSM της γενιάς 2.5.

8.3. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ UMTS

Το Σχήμα 134 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική του συστήματος UMTS σε ένα υψηλό επίπεδο. Σε αυτό το κεφάλαιο του βιβλίου θα περιγραφούν όλες οι συνιστώσες που παρουσιάζονται στο Σχήμα 134, καθώς και οι μεταξύ τους διεπαφές.



Σχήμα 134. Η αρχιτεκτονική του UMTS σε υψηλό επίπεδο

8.3.1. User Equipment

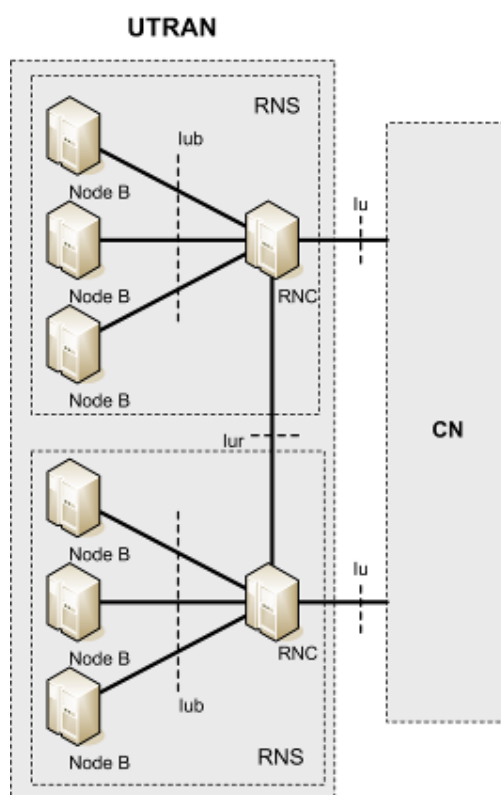
Ο όρος User Equipment (UE) θα λέγαμε ότι ταυτίζεται με την έννοια της φορητής συσκευής. Για παράδειγμα, UE μπορεί να αποτελέσει ένα κινητό τηλέφωνο, μία συσκευή Personal Digital Assistant (PDA) ή ένας φορητός υπολογιστής. Το UE είναι συνδεδεμένο μέσω της διεπαφής Uu, που είναι βασισμένη στην τεχνολογία WCDMA, με το UTRAN. Ένα UE μπορεί να συνδεθεί ταυτόχρονα με περισσότερα του ενός κελιά. Το UE αποτελείται από δύο τμήματα:

- Τον Mobile Equipment: αποτελείται από το ίδιο το hardware της φορητής συσκευής. Όμως, η συσκευή από μόνη της δε μπορεί να παρέχει καμία υπηρεσία.
- Την κάρτα USIM: πρόκειται για μία κάρτα η οποία περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες προκειμένου να είναι δυνατή η πρόσβαση στο δίκτυο UMTS και η

ταυτοποίηση από αυτό. Η κάρτα USIM είναι μία κάρτα αντίστοιχη της κάρτας SIM των δικτύων GSM. Όμως, ενώ η χωρητικότητα μίας κάρτας SIM είναι 8 ή 32 Kbytes, η χωρητικότητα της κάρτας USIM είναι τέτοια ώστε να μπορεί να αποθηκεύει προσωπικά δεδομένα της τάξης των Mbytes.

8.3.2. UTRAN

Το UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) είναι ένα νέο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης το οποίο είναι ειδικά σχεδιασμένο για το σύστημα UMTS. Διαχωρίζεται από το UE μέσω της διεπαφής Uu και από το Core Network (CN) μέσω της διεπαφής Iu. Η βασικότερη λειτουργία του UTRAN είναι η εποπτεία και η διαχείριση των ασύρματων πόρων του δικτύου. Η λειτουργία αυτή συμπεριλαμβάνει την ευθύνη για τον έλεγχο της ισχύος καθώς και την υποστήριξη και διαχείριση των handovers. Το Σχήμα 135 απεικονίζει τη δομή του UTRAN.



Σχήμα 135. Η δομή του UTRAN

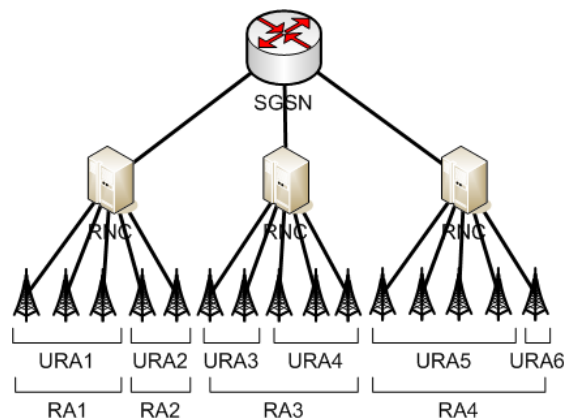
Όπως φαίνεται από το Σχήμα 135, το δίκτυο UTRAN αποτελείται από τους Radio Network Controllers (RNCs) και τους Node Bs. Οι Node Bs είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο ενός ή περισσοτέρων κελιών. Μία ομάδα από Node Bs συνδέεται, μέσω των διεπαφών Iub, με έναν κόμβο RNC. Ο Node B λειτουργεί στο επίπεδο φυσικού μέσου και δικτύου (μοντέλο OSI) και μεταφέρει δεδομένα προς τον RNC στον οποίο είναι συνδεδεμένος. Επιπλέον, κάνει μετρήσεις πάνω στην ποιότητα και την ισχύ των ασύρματων συνδέσεων προς τα UEs και δίνει αναφορές στον RNC.

Κάθε κόμβος RNC ελέγχει έναν ή περισσότερους Node Bs. Ένας κόμβος RNC μαζί με τους συνδεδεμένους σε αυτόν Node Bs αποτελούν ένα Radio Network Subsystem (RNS). Ο RNC λαμβάνει τις πληροφορίες που συλλέγουν οι Node Bs του δικού του

RNS και προσαρμόζει τις παραμέτρους του ασύρματου υποσυστήματος. Μία τέτοια παράμετρος μπορεί να είναι η ισχύς του ασύρματου σήματος στο UE ή στον Node B. Επίσης, ο RNC είναι υπεύθυνος για την ανάθεση του κώδικα WCDMA που θα χρησιμοποιήσουν ο Node B και το UE στη μεταξύ τους επικοινωνία, έτσι ώστε να μην υπάρξουν παρεμβολές από άλλους ασύρματους συνδέσμους. Τέλος, μία άλλη λειτουργία των κόμβων RNC είναι ο έλεγχος των handovers που λαμβάνουν χώρα μεταξύ διαφορετικών RNSs. Προκειμένου να υλοποιηθεί η συγκεκριμένη διαδικασία οι RNCs είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω της διεπαφής Iur (Σχήμα 135). Πρόκειται για μία διεπαφή η οποία είναι υλοποιημένη με δίκτυο Asynchronous Transfer Mode (ATM).

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 135, ένας κόμβος RNC συνδέεται με το CN μέσω της διεπαφής Iu. Η συγκεκριμένη διεπαφή έχει δύο συνιστώσες: τη συνιστώσα Iu-Circuit Switched (Iu-CS) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος (φωνή) και τη συνιστώσα Iu-Packet Switched (Iu-PS) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων (υπηρεσίες δεδομένων).

Στο UTRAN τα κελιά ομαδοποιούνται σε ομάδες κελιών οι οποίες ονομάζονται Routing Areas (RAs). Επίσης, τα κελιά σε μια RA ομαδοποιούνται περαιτέρω σε UTRAN Registration Areas (URAs) όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 136.



Σχήμα 136. RAs και URAs

8.3.3. CN

Το CN είναι το δίκτυο κορμού του συστήματος UMTS. Είναι συνδεδεμένο με άλλα δίκτυα όπως τηλεφωνικά δίκτυα Public Telephone Switched Network (PSTN), δίκτυα δεδομένων Public Data Networks (PDNs) όπως το Internet καθώς και με άλλα κινητά δίκτυα. Το CN είναι υπεύθυνο για τη δρομολόγηση, την ταυτοποίηση, τον εντοπισμό των χρηστών καθώς και για άλλες πολλές βασικές λειτουργίες. Το CN διαιρείται σε δύο πεδία: το πεδίο μεταγωγής κυκλώματος (CS) και το πεδίο μεταγωγής πακέτων (PS).

Όσον αφορά το πεδίο CS, αυτό περιλαμβάνει τους εξής κόμβους:

- Mobile Services Switching Center (MSC): ο κόμβος MSC αποτελεί έναν κόμβο μεταγωγής ο οποίος δρομολογεί τα δεδομένα των υπηρεσιών μεταγωγής κυκλώματος εντός του δικτύου UMTS. Κάθε κόμβος MSC διαχειρίζεται πολλά RNCs τα οποία συνδέονται σε αυτόν μέσω της διεπαφής Iu-CS. Επίσης, είναι συνδεδεμένος με τις βάσεις δεδομένων του δικτύου όπως τη βάση δεδομένων

Home Location Register (HLR) και τη Visitor Location Register (VLR). Τέλος, μία άλλη πολύ χρήσιμη λειτουργία του κόμβου MSC είναι η διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών για τις υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος.

- Gateway Mobile Services Switching Center (GMSC): Ο κόμβος GMSC είναι συνδεδεμένος με τους κόμβους MSC. Η λειτουργία του είναι να διασυνδέει το δίκτυο UMTS με άλλα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος όπως PSTN και ISDN.
- Visitor Location Register (VLR): Ο κόμβος VLR είναι μία βάση δεδομένων. Συνήθως κάθε VLR αντιστοιχεί σε έναν MSC. Η βάση VLR αποθηκεύει προσωρινή πληροφορία σχετικά με την ταυτοποίηση και την ασφάλεια καθώς και άλλες χρήσιμες πληροφορίες που σχετίζονται με όλους τους χρήστες που διαχειρίζεται κάθε δεδομένη στιγμή ο αντίστοιχος MSC. Η βάση VLR λαμβάνει την αρχική πληροφορία από τη βάση HLR και αναλαμβάνει να την ενημερώσει για τυχόν μεταβολές στα δεδομένα της. Όλες οι συναλλαγές μεταξύ VLR και HLR γίνονται μέσω ενός MSC.

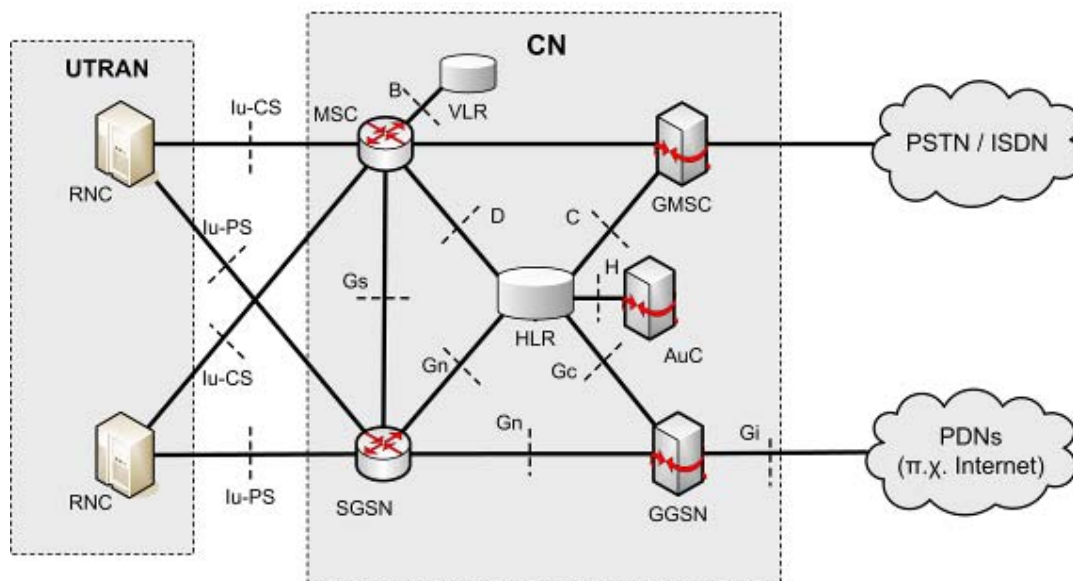
Όσον αφορά το πεδίο PS, αυτό αποτελείται από τους παρακάτω κόμβους. Αξίζει να επισημανθεί η αντιστοιχία που υπάρχει με τους κόμβους του πεδίου CS.

- Serving GPRS Support Node (SGSN): Ο SGSN αποτελεί τον αντίστοιχο κόμβο του MSC στο πεδίο CS. Αυτό σημαίνει ότι αναλαμβάνει τη δρομολόγηση δεδομένων των υπηρεσιών μεταγωγής πακέτων εντός του δικτύου UMTS. Επιπλέον, διαχειρίζεται τους κόμβους RNCs οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε αυτόν μέσω της διεπαφής Iu-PS. Επίσης, αλληλεπιδρά με βάσεις δεδομένων, όπως η βάση HLR. Τέλος, ο κόμβος SGSN είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών για τις υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων.
- Gateway GPRS Support Node (GGSN): Πρόκειται για έναν κόμβο αντίστοιχο του GMSC του πεδίου CS. Διασυνδέει τους κόμβους SGSNs με εξωτερικά δίκτυα μεταγωγής πακέτων όπως το X.25 και το Internet.

Τέλος, υπάρχουν ορισμένοι κόμβοι του CN οι οποίοι είναι κοινοί, δηλαδή τους χρησιμοποιούν και τα δύο πεδία. Παρακάτω, αναφέρονται οι δύο σημαντικότεροι από αυτούς:

- Home Location Register (HLR): Πρόκειται για μία βάση δεδομένων η οποία αποθηκεύει δεδομένα των χρηστών τα οποία μένουν σχετικά σταθερά στο χρόνο. Αυτά τα δεδομένα είναι αναγνωριστικά, πληροφορίες για τις υπηρεσίες του δικτύου στις οποίες συμμετέχει ο συνδρομητής κ.α.
- Authentication Center (AuC): Αποτελεί έναν κόμβο που είναι συσχετισμένος με έναν HLR. Ο κόμβος αυτός αποθηκεύει πληροφορίες ταυτοποίησης και κρυπτογράφησης για τους συνδρομητές. Οι πληροφορίες αυτές φορτώνονται στον κόμβο κατά την έναρξη της συνδρομής από το χρήστη.

Το Σχήμα 137 δείχνει τη δομή του CN. Εκτός από τους κόμβους που προαναφέρθηκαν, στο σχήμα αυτό σημειώνονται οι διεπαφές μεταξύ των κόμβων του CN.



Σχήμα 137. Η δομή του CN

8.4. ΔΙΕΠΑΦΕΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν οι βασικότερες διεπαφές του δικτύου UMTS. Επίσης, για κάθε διεπαφή θα παρουσιαστούν τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και σηματοδότησης που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία των κόμβων που αλληλεπιδρούν. Η ανάλυση που θα ακολουθήσει θα εστιαστεί στο πεδίο PS το οποίο είναι και το πεδίο που θα μας απασχολήσει από το σημείο αυτό και έπειτα.

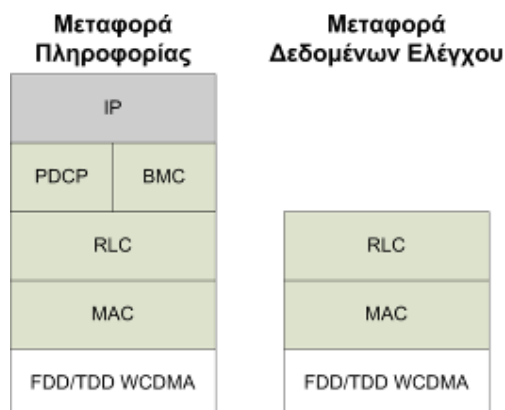
8.4.1. Η Διεπαφή Uu

Η ασύρματη διεπαφή είναι πάντοτε η πιο κρίσιμη διεπαφή κατά το σχεδιασμό των πρωτοκόλλων ενός κινητού δικτύου. Για το UMTS, η διεπαφή Uu μεταξύ του Node B και του UE, έχει υλοποιηθεί με την αρχιτεκτονική που απεικονίζει το Σχήμα 138. Όπως φαίνεται, έχουν προσδιοριστεί τα επίπεδα πρωτοκόλλων που αντιστοιχούν στο επίπεδο φυσικού μέσου, το επίπεδο ζεύξης δεδομένων καθώς και το επίπεδο δικτύου.

Το επίπεδο φυσικού μέσου (1ο επίπεδο στο μοντέλο διασυνδέσεων OSI) είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση των δεδομένων μέσω της ασύρματης διεπαφής. Όπως φαίνεται και από την Σχήμα 138, για το επίπεδο αυτό οι προδιαγραφές του UMTS καθορίζουν τη χρήση των τεχνολογιών FDD και TDD του WCDMA.

Όσον αφορά το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (2ο επίπεδο), αυτό περιέχει τέσσερα υπο-επίπεδα. Τα δύο πρώτα υπο-επίπεδα χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου αλλά και πληροφορίας. Το πρώτο υπο-επίπεδο χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο Medium Access Control (MAC). Το πρωτόκολλο MAC βρίσκεται αμέσως μετά το φυσικό επίπεδο. Χρησιμοποιεί λογικά κανάλια και τα αντιστοιχίζει σε κανάλια μεταφοράς για την επικοινωνία του φυσικού επιπέδου με τα υψηλότερα επίπεδα.

Επίσης, το πρωτόκολλο αυτό διαχειρίζεται τις προτεραιότητες μεταξύ των UEs, όπως επίσης και τις προτεραιότητες μεταξύ των ροών δεδομένων που αφορούν ένα συγκεκριμένο UE. Άλλες λειτουργίες που εκτελεί το πρωτόκολλο MAC είναι ο έλεγχος των κινήσεων, η κρυπτογράφηση, η πολυπλεξία κ.α. Το δεύτερο πρωτόκολλο που συναντάμε στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων της διεπαφής Uu είναι το Radio Link Control (RLC). Το πρωτόκολλο αυτό είναι υπεύθυνο για την εγκατάσταση και παρακολούθηση της μεταφοράς δεδομένων καθώς και για τις ρυθμίσεις QoS.



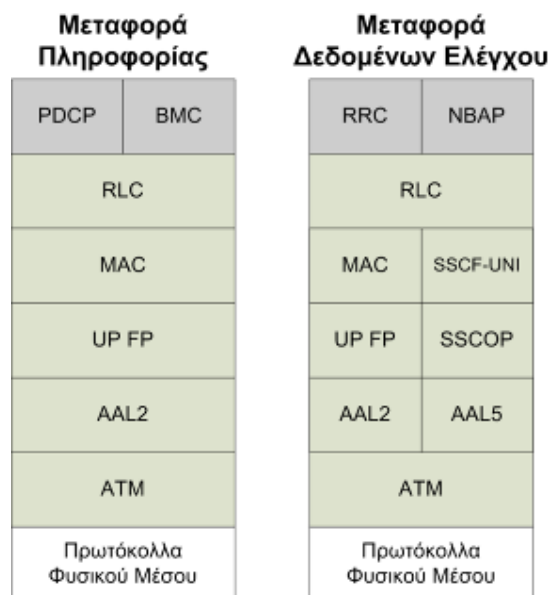
Σχήμα 138. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Uu

Τα επόμενα δύο πρωτόκολλα χρησιμοποιούνται μόνο για τη μεταφορά πληροφορίας και όχι για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου. Τα πρωτόκολλα αυτά είναι το Packet Data Convergence Protocol (PDCP) και το Broadcast/Multicast Control (BMC). Το πρώτο είναι υπεύθυνο για τη μετατροπή των δεδομένων που παρέχουν τα πραγματικά πρωτόκολλα δεδομένων των πιο πάνω επιπέδων, σε ασύρματα πρωτόκολλα. Το PDCP προς το παρόν υποστηρίζει τα πρωτόκολλα IPv4 και IPv6 και μπορεί εύκολα να επεκταθεί προκειμένου να υποστηρίζει περισσότερα. Το πρωτόκολλο BMC είναι υπεύθυνο για τις υπηρεσίες broadcast και multicast μετάδοσης.

8.4.2. Η Διεπαφή Iub

Η διεπαφή Iub είναι αυτή που διασυνδέει τους κόμβους RNC με τους Node Bs. Το Σχήμα 139 δείχνει την ιεραρχία των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση της συγκεκριμένης διεπαφής. Πρόκειται για μία διεπαφή η οποία είναι ενσύρματη και, κατά συνέπεια, το επίπεδο φυσικού μέσου μπορεί να υλοποιηθεί από πρωτόκολλα όπως το ETSI STM-1, STM-4, SONET STS-3c, ITU STS-1 κ.α. Πάνω από το επίπεδο αυτό, στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο ATM. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο το οποίο χρησιμοποιείται σε όλες τις ενσύρματες διεπαφές του δικτύου UMTS. Αυτό γιατί αποτελεί ένα πανίσχυρο πρωτόκολλο που μπορεί να χειρίζεται όλους τους τύπους κινήσεων. Για την ακρίβεια, το ATM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σύγχρονες αλλά και για ασύγχρονες κινήσεις όπως επίσης και για κινήσεις μεταγωγής πακέτων αλλά και κυκλώματος.

Όπως δείχνει το Σχήμα 139, πάνω από το επίπεδο του ATM χρησιμοποιούνται τα πρωτόκολλα ATM Adaptation Layer (AAL) 2 και 5. Το AAL2 χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου όπως επίσης και για τη μεταφορά πληροφορίας. Το AAL5 χρησιμοποιείται μόνο για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου. Τα πρωτόκολλα αυτά αναλαμβάνουν την επεξεργασία των δεδομένων από τα υψηλότερα επίπεδα προκειμένου να μπορούν να μεταδοθούν από το επίπεδο ATM.

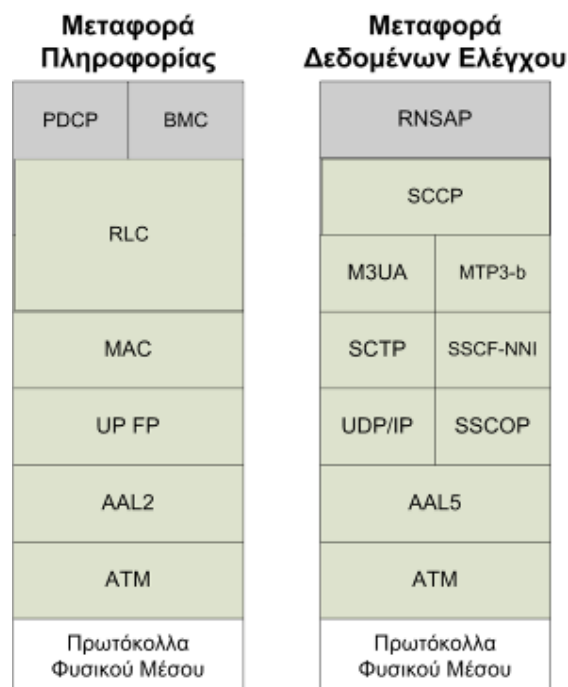


Σχήμα 139. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iub

Στο αμέσως υψηλότερο υπο-επίπεδο συναντούμε δύο άλλα πρωτόκολλα. Πρόκειται για το User Plane Framing Protocol (UP FP) και Service Specific Connection-Oriented Protocol (SSCOP). Το πρώτο πρωτόκολλο βρίσκεται πάνω από το AAL2 και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου αλλά και πληροφορίας. Αντίθετα, το πρωτόκολλο SSCOP τοποθετείται πάνω από το AAL5. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο που παρέχει αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων παράλληλα με συντήρηση της σύνδεσης και έλεγχο ροής. Η χρήση του στη διεπαφή Iub σχετίζεται με τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 139, στα ανώτερα υπο-επίπεδα του επιπέδου ζεύξης δεδομένων συναντούμε το πρωτόκολλο Service Specific Coordination Function for Support of Signalling at the User-Network Interface (SSCF-UNI) καθώς και τα ήδη γνωστά πρωτόκολλα MAC, RLC, RRC, και PDCP. Τέλος, το πρωτόκολλο Node B Application Part (NBAP) χρησιμοποιείται προκειμένου να δίνεται η δυνατότητα στον RNC να διαχειρίζεται κάθε Node B που έχει συνδεθεί σε αυτόν.

8.4.3. Η Διεπαφή Iur

Η διεπαφή Iur διασυνδέει δύο RNCs. Πρόκειται για μία διεπαφή η οποία εισήχθη στα συστήματα UMTS, ενώ στα συστήματα GSM δεν υπήρχε άμεση σύνδεση μεταξύ των αντίστοιχων κόμβων. Χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου αλλά και πληροφορίας. Ειδικότερα, όσον αφορά τα δεδομένα ελέγχου, αυτά σχετίζονται με τη διαχείριση των ασύρματων πόρων καθώς και με τις διαδικασίες του handover και του SRNS relocation. Η ιεραρχία των πρωτοκόλλων που υλοποιούν τη διεπαφή Iur φαίνεται στο Σχήμα 140.

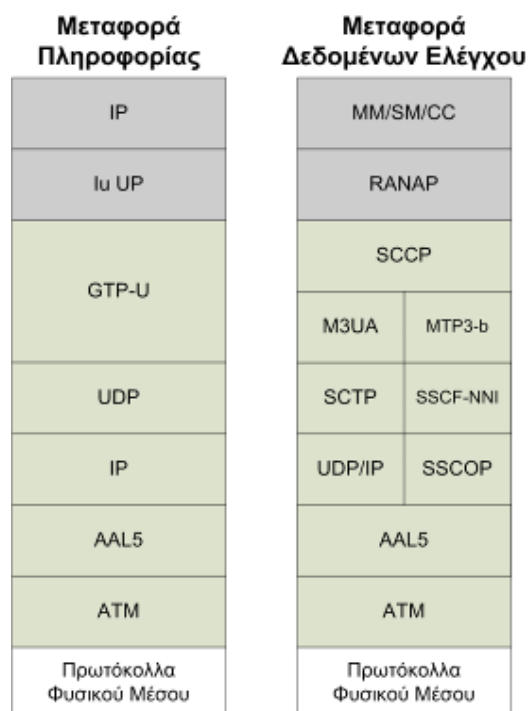


Σχήμα 140. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iur

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 140, η ιεραρχία των πρωτοκόλλων για τη μεταφορά πληροφορίας δε διαφέρει από τη διεπαφή Iub. Όσον αφορά τα δεδομένα ελέγχου έχουμε τη χρήση αρκετών νέων πρωτοκόλλων σε σχέση με τις προηγούμενες διεπαφές. Καταρχήν, το Σχήμα 140 δείχνει ότι χρησιμοποιείται ο συνδυασμός Internet Protocol (IP) / User Datagram Protocol (UDP) ακριβώς πάνω από το επίπεδο του AAL5. Πρόκειται για την υλοποίηση του «IP over ATM» κατά την οποία η πληροφορία του IP καταμερίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να μεταδοθεί πάνω από το ATM. Επιπλέον, τα υπόλοιπα τέσσερα νέα πρωτόκολλα ελέγχου και σηματοδοσίας είναι: το Message Transfer Part Level 3 (MTP3-b) για τον έλεγχο της δρομολόγησης των μηνυμάτων, το MTP3 User Adaptation Layer (M3UA), το Signalling Connection Control Part (SCCP) και το Radio Network Sublayer Application Part (RNSAP). Ειδικότερα για το RNSAP, πρόκειται για ένα πρωτόκολλο το οποίο παρέχει όλες τις λειτουργίες για τη διαχείριση των ασύρματων πόρων, για τις μετρήσεις πάνω σε αυτούς και για την υποστήριξη των διαδικασιών του handover και SRNS relocation.

8.4.4. Η Διεπαφή Iu-PS

Η παρούσα παράγραφος παρουσιάζει την ιεραρχία των πρωτοκόλλων όσον αφορά τη διεπαφή Iu-PS. Η διεπαφή Iu-PS είναι, για το πεδίο PS, ο σύνδεσμος όχι μόνο των RNCs με τους κόμβους SGSN αλλά και μεταξύ των δύο δομικών στοιχείων του UMTS, του UTRAN και του CN. Το βασικότερο πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων ελέγχου που χρησιμοποιείται πάνω από αυτή τη διεπαφή είναι το Radio Access Network Application Part (RANAP) το οποίο απεικονίζεται μεταξύ των άλλων στο Σχήμα 141.



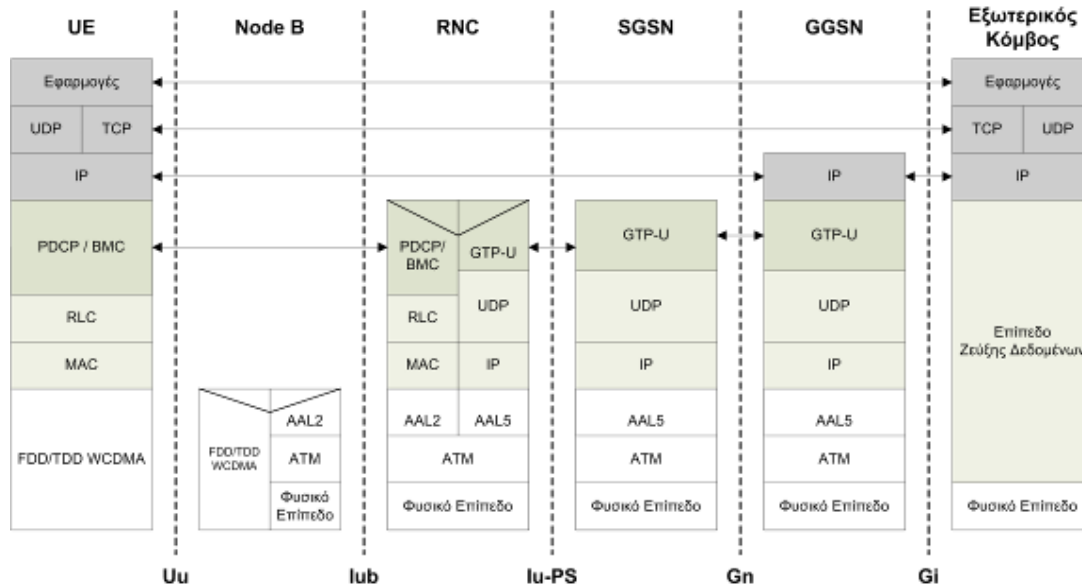
Σχήμα 141. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iu-PS

Το RANAP είναι το πρωτόκολλο που εξασφαλίζει τη σηματοδότηση μεταξύ του UTRAN και του CN. Το πρωτόκολλο αυτό παρέχει υπηρεσίες που σχετίζονται με τη διαδικασία SRNS relocation, τη διαχείριση ροής και συμφόρησης της διεπαφής Iu-PS, τον εντοπισμό της θέσης κάθε UE καθώς και τη διαχείριση σφαλμάτων γενικότερα. Προκειμένου να μπορεί να εκτελεί τις πιο πάνω λειτουργίες διαχείρισης, το πρωτόκολλο RANAP διαθέτει και τις αντίστοιχες δυνατότητες για εποπτεία και αναφορά της κατάστασης του συστήματος. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθούν οι λειτουργίες κρυπτογράφησης που παρέχει το συγκεκριμένο πρωτόκολλο. Μέσω της διεπαφής Iu-PS ανταλλάσσονται οι πληροφορίες κρυπτογράφησης μεταξύ UTRAN και CN προκειμένου τα δεδομένα που ανταλλάσσονται να είναι προστατευμένα από τυχόν απόπειρα υποκλοπής.

8.4.5. Οι Υπόλοιπες Διεπαφές

Οι υπόλοιπες διεπαφές του δικτύου UMTS περιλαμβάνουν τις επιμέρους διεπαφές του CN. Μεταξύ αυτών, οι πιο σημαντικές είναι: η διεπαφή Gn η οποία διασυνδέει τους κόμβους SGSN και GGSN καθώς και η Gi η οποία συνδέει τους κόμβους GGSN με τους εξωτερικούς κόμβους μεταγωγής πακέτων. Όσον αφορά τη διεπαφή Gi, αυτή αποτελεί τη σύνδεση μεταξύ του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και των εξωτερικών δικτύων μεταφοράς δεδομένων. Οι διεπαφές αυτές δεν έχουν κάτι ιδιαίτερο στην αρχιτεκτονική των πρωτοκόλλων τους συγκριτικά με οποιοδήποτε ενσύρματο δίκτυο μεταφοράς δεδομένων. Για την ακρίβεια, χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο IP πάνω από το ATM, καθώς και πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων όπως το Transmission Control Protocol (TCP) και το UDP. Στο σημείο αυτό πρέπει να διαχωρίσουμε τα δύο επίπεδα IP που εμφανίζονται. Το χαμηλότερο επίπεδο IP αναφέρεται στη μεταφορά σηματοδότησης μεταξύ των κόμβων του συστήματος UMTS. Αντίθετα, το υψηλότερο

αναφέρεται στη μεταφορά των δεδομένων για τις εφαρμογές του χρήστη. Για το λόγο αυτό, μόνο το υψηλότερο επίπεδο IP είναι ορατό στα εξωτερικά IP δίκτυα.



Σχήμα 142. Η αρχιτεκτονική πρωτόκολλων για τη μεταφορά πληροφορίας

Το Σχήμα 142 απεικονίζει τη συνολική αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων για τη μεταφορά πληροφορίας στο UMTS δίκτυο. Οι υπηρεσίες στις οποίες αντιστοιχεί η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική αφορούν στη μεταγωγή πακέτων, δηλαδή στο πεδίο PS του δικτύου. Οι συνδέσεις στο σχήμα απεικονίζονται με βέλη. Αυτό που έχει σημασία είναι η αποκατάσταση των συνδέσεων από άκρο σε άκρο, όπως φαίνονται στο πάνω μέρος του σχήματος. Οι συνδέσεις αυτές πρακτικά αποτελούνται από επιμέρους συνδέσεις μεταξύ των κόμβων του συστήματος, οι οποίες σημειώνονται με μικρότερα βέλη.

8.5. ΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΤΟΥ UTRAN

Στο UTRAN υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι καναλιών: τα λογικά κανάλια, τα κανάλια μεταφοράς και τα φυσικά κανάλια. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται κάθε τύπος καναλιού και δίνονται ορισμένα παραδείγματα κατά περίπτωση.

8.5.1. Λογικά Κανάλια

Οι υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων του πρωτοκόλλου MAC παρέχονται μέσω των λογικών καναλιών. Τα λογικά κανάλια είναι αυτά που προσδιορίζουν τον τύπο της πληροφορίας που μεταδίδεται. Χρησιμοποιούνται στη διεπαφή μεταξύ των επιπέδων RLC και MAC. Τα κανάλια αυτά μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες: τα κανάλια ελέγχου και τα κανάλια κίνησης. Στη συνέχεια, ένα κανάλι ελέγχου μπορεί να είναι είτε κοινό είτε αφιερωμένο. Κοινά λέγονται τα κανάλια point-to-multipoint, ενώ αφιερωμένα λέγονται τα κανάλια point-to-point, δηλαδή αυτά που χρησιμοποιούνται μόνο από ένα χρήστη. Ο Πίνακας 31 παρουσιάζει τα λογικά κανάλια καθώς και τη λειτουργία τους.

Λογικό Κανάλι Ελέγχου	Λειτουργία
Broadcast Control Channel (BCCH)	Κατερχόμενο κανάλι για broadcasting πληροφοριών ελέγχου
Paging Control Channel (PCCH)	Κατερχόμενο κανάλι μεταφορά πληροφορίας paging
Dedicated Control Channel (DCCH)	Κανάλι διπλής κατεύθυνσης για μεταφορά πληροφοριών αφιερωμένου ελέγχου
Common Control Channel (CCCH)	Κανάλι διπλής κατεύθυνσης για μεταφορά πληροφοριών ελέγχου μεταξύ του δικτύου και των UEs
Dedicated Traffic Channel (DTCH)	Αφιερωμένο κανάλι για τη μεταφορά πληροφοριών για ένα UE
Common Traffic Channel (CTCH)	Κατερχόμενο κανάλι point-to-multipoint για μεταφορά πληροφοριών για όλους ή μία ομάδα UEs

Πίνακας 31. Τα λογικά κανάλια του UTRAN

8.5.2. Κανάλια Μεταφοράς

Τα κανάλια μεταφοράς είναι αυτά που προσδιορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θα μεταφερθούν τα δεδομένα από το επίπεδο φυσικού μέσου. Ουσιαστικά, τα κανάλια αυτά χρησιμοποιούνται στη διεπαφή που βρίσκεται μεταξύ του MAC πρωτοκόλλου και του αμέσως κατώτερου επιπέδου.

	Αφιερωμένα Κανάλια	Κοινά Κανάλια		
		DCH	HS-DSCH	FACH
Ανερχόμενος / Κατερχόμενος Σύνδεσμος	Και οι δύο	Κατερχόμενος	Κατερχόμενος	Ανερχόμενος
Χρήση Κώδικα	Σύμφωνα με το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης	Κοινός κώδικας μεταξύ των χρηστών	Σταθεροί κώδικες για κάθε κελί	Σταθεροί κώδικες για κάθε κελί
Γρήγορος Έλεγχος Ισχύος	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
Soft handover	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
Ενδεικνυόμενη Χρήση	Μεγάλα ποσά δεδομένων	Μεγάλα ποσά δεδομένων	Μικρά ποσά δεδομένων	Μικρά ποσά δεδομένων
Κατάλληλο για Καταιγιστικότητα	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι

	Αφιερωμένα Κανάλια	Κοινά Κανάλια		
	DCH	HS-DSCH	FACH	RACH
Τεχνολογία Διαθέσιμη στα Πρώιμα Συστήματα	Ναι	Όχι	Ναι	Ναι

Πίνακας 32. Οι ιδιότητες των καναλιών μεταφοράς

Υπάρχουν δύο κατηγορίες καναλιών μεταφοράς: τα κοινά κανάλια (common channels) και τα αφιερωμένα (dedicated). Τα κοινά κανάλια είναι κανάλια μονής κατεύθυνσης τα οποία χρησιμοποιούνται από όλους τους χρήστες σε ένα κελί. Τα σημαντικότερα από τα κανάλια αυτά είναι το Forward Access Channel (FACH) για τον κατερχόμενο σύνδεσμο και το Random Access Channel (RACH) για τον ανερχόμενο. Επίσης, στην κατηγορία των κοινών καναλιών ανήκει το Downlink Shared Channel (DSCH) καθώς και το High-Speed DSCH (HS-DSCH). Τα συγκεκριμένα κανάλια είναι πάντα συσχετισμένα με ένα αφιερωμένο κανάλι. Ειδικότερα, το HS-DSCH αποτελεί ένα κανάλι που υλοποιεί την τεχνολογία High-Speed Downlink Packet Access (HSPDA). Είναι ένα βελτιστοποιημένο κανάλι για ταχύτατη μετάδοση δεδομένων το οποίο ενσωματώνει έναν ευέλικτο μηχανισμό προσαρμογής του ρυθμού μετάδοσης. Από την άλλη πλευρά, υπάρχει μόνο ένα είδος αφιερωμένου καναλιού. Πρόκειται για το Dedicated Channel (DCH) το οποίο είναι διπλής κατεύθυνσης και δεσμεύεται για ένα μόνο χρήστη. Αυτό σημαίνει ότι αν ένα DCH δεσμευθεί είτε ως ανερχόμενος είτε ως κατερχόμενος σύνδεσμος, τότε πρέπει να δεσμευθεί και για την αντίθετη κατεύθυνση. Στην αντίθετη κατεύθυνση όμως, ο ρυθμός μετάδοσης μπορεί να διαφέρει.

Ο Πίνακας 32 απεικονίζει τις βασικές ιδιότητες των σημαντικότερων καναλιών μεταφοράς. Όπως φαίνεται στον πίνακα, η διαδικασία του soft handover υποστηρίζεται μόνο από το κανάλι DCH. Αντίθετα, τα υπόλοιπα κανάλια υποστηρίζουν άλλων ειδών handovers. Από την άλλη πλευρά, μεταξύ των κοινών καναλιών, μόνο το HS-DSCH υποστηρίζει υψηλούς ρυθμούς δεδομένων. Επιπλέον, όλα τα κανάλια μεταφορά εκτός του DCH δεν υποστηρίζουν γρήγορο έλεγχο ισχύος (Fast Power Control). Αυτό είναι λογικό αφού είναι κοινά μεταξύ των χρηστών που βρίσκονται στο ίδιο κελί, με αποτέλεσμα ο έλεγχος ισχύος να μην είναι εύκολα εφικτός.

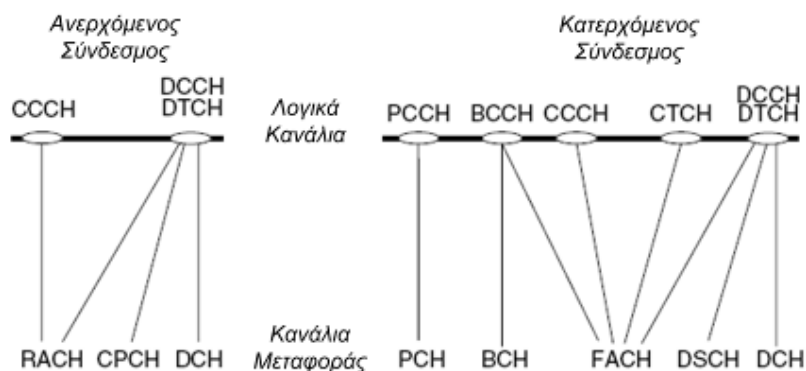
Ο Πίνακας 33, παρουσιάζει συνοπτικά όλα τα κανάλια μεταφοράς που χρησιμοποιούνται στο UTRAN καθώς και τη λειτουργία τους.

Κοινά Κανάλια	Λειτουργία
Broadcast Channel (BCH)	Κατερχόμενο κανάλι για broadcasting πληροφοριών
Paging Channel (PCH)	Κατερχόμενο κανάλι μεταφορά πληροφορίας paging
Random Access Channel (RACH)	Ανερχόμενο κανάλι για αρχική πρόσβαση στο δίκτυο

Κοινά Κανάλια	Λειτουργία
Common Packet Channel (CPCH)	Ανερχόμενο κανάλι για μετάδοση καταγωγιστικής πληροφορίας
Forward Access Channel (FACH)	Κατερχόμενο κανάλι για μεταφορά μικρών ποσοτήτων πληροφορίας
Downlink Shared Channel (DSCH)	Κατερχόμενο κανάλι για μεταφορά αφιερωμένων δεδομένων ελέγχου και κίνησης
High-Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH)	Κατερχόμενο κανάλι βελτιστοποιημένο για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης
Uplink Shared Channel (USCH)	Ανερχόμενο κανάλι για μεταφορά αφιερωμένων δεδομένων ελέγχου και κίνησης
Dedicated Channel (DCH)	Κανάλι διπλής κατεύθυνσης αφιερωμένο σε ένα UE

Πίνακας 33. Τα κανάλια μεταφοράς του UTRAN

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο ρόλος του πρωτοκόλλου MAC είναι να αντιστοιχίζει τα λογικά κανάλια σε κανάλια μεταφοράς. Οι συγκεκριμένες αντιστοιχίες που υπάρχουν μεταξύ των λογικών και των καναλιών μεταφοράς, όσον αφορά τους κατερχόμενους και τους ανερχόμενους συνδέσμους, απεικονίζονται στο Σχήμα 143.

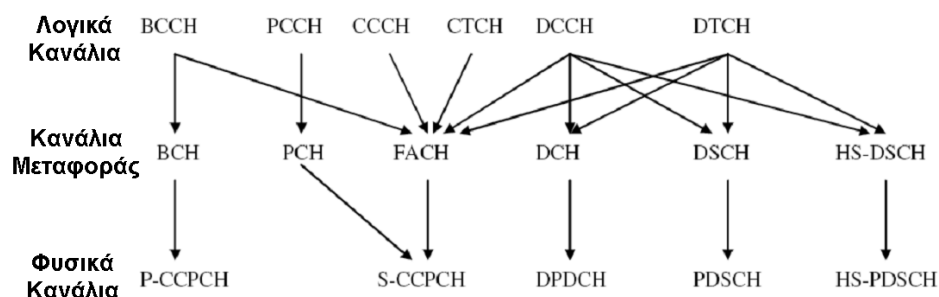


Σχήμα 143. Η αντιστοιχία λογικών καναλιών σε κανάλια μεταφοράς

8.5.3. Φυσικά Κανάλια

Τα φυσικά κανάλια είναι αυτά που προσδιορίζουν τα ακριβή χαρακτηριστικά του φυσικού μέσου. Αυτό γιατί αποτελούν τα κανάλια τα οποία χρησιμοποιούνται στο επίπεδο φυσικού μέσου της ασύρματης διεπαφής. Το φάσμα συχνοτήτων που διατίθεται σε αυτά τα κανάλια μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους. Στη λειτουργία FDD, οι ανερχόμενοι και οι κατερχόμενοι σύνδεσμοι έχουν το δικό τους κανάλι συχνοτήτων. Αντίθετα, στη λειτουργία TDD υπάρχει μόνο ένα κανάλι συχνοτήτων το οποίο χωρίζεται σε χρονοσχισμές. Στη συνέχεια οι χρονοσχισμές μοιράζονται στον ανερχόμενο και τον κατερχόμενο σύνδεσμο. Με βάση τον τρόπο διαχείρισης του φάσματος συχνοτήτων τα φυσικά κανάλια διαχωρίζονται σε FDD και TDD φυσικά κανάλια. Κάθε κατηγορία διαιρείται περαιτέρω σε άλλες δύο

κατηγορίες ανάλογα με το αν το συγκεκριμένο φυσικό κανάλι χρησιμοποιείται στον ανερχόμενο ή στον κατερχόμενο σύνδεσμο. Στο Σχήμα 144 παρουσιάζεται η αντιστοιχία όλων των καναλιών του UMTS που χρησιμοποιούνται στην downlink κατεύθυνση.



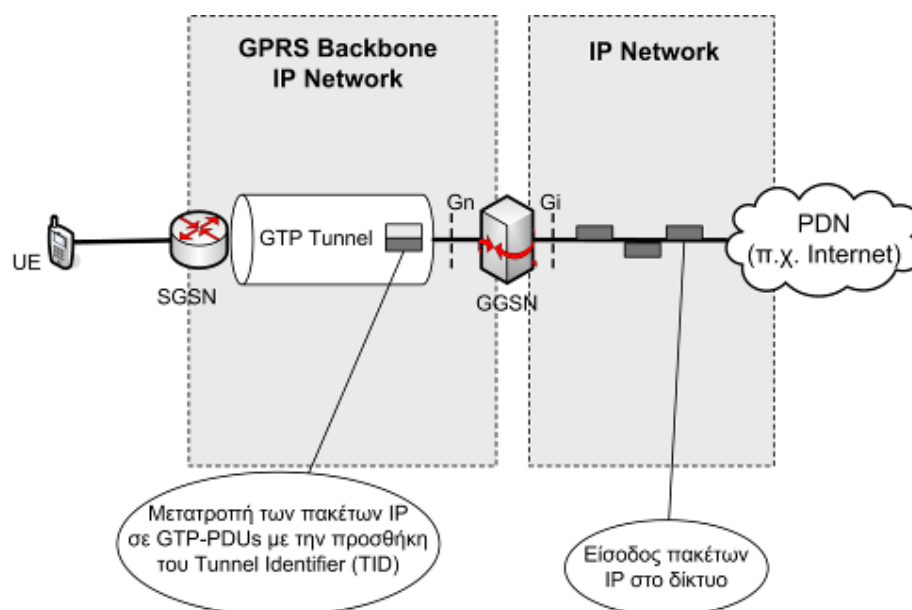
Σχήμα 144. Αντιστοιχίση καναλιών για την downlink κατεύθυνση

8.6. ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ UMTS

8.6.1. PDP και GTP

Προτού ένα UE μπορέσει να ανταλλάξει δεδομένα με ένα PDN, θα πρέπει να αποκατασταθεί μία εικονική σύνδεση μεταξύ του συγκεκριμένου UE και του PDN. Από τη στιγμή που το UE είναι γνωστό στο PDN, τα πακέτα μεταφέρονται μεταξύ του UE και του PDN μέσω του πρωτοκόλλου Packet Data Protocol (PDP). Το πρωτόκολλο αυτό αποτελεί το πρωτόκολλο επιπέδου δικτύου (3ο επίπεδο στο μοντέλο OSI) για το UMTS. Για κάθε σύνοδο του UE, δημιουργείται μία δομή του PDP, η οποία περιέχει τις παραμέτρους της συνόδου (διευθύνσεις εμπλεκόμενων κόμβων, επίπεδο QoS κ.α.). Το υπεύθυνο πρωτόκολλο για τη δημιουργία μίας δομής του PDP όπως και για τη μεταφορά της πληροφορίας, είναι το GPRS Tunneling Protocol (GTP).

Το GTP είναι ένα πρωτόκολλο βασισμένο στο IP το οποίο χρησιμοποιείται στα δίκτυα UMTS. Το πρωτόκολλο αυτό δημιουργήθηκε και προτυποποιήθηκε από το ίδρυμα ETSI για το GSM. Στη συνέχεια, το 3GPP ενσωμάτωσε το GTP στο πρότυπο του UMTS. Το επίπεδο του GTP αντιστοιχεί στο επίπεδο πάνω από το UDP. Ουσιαστικά, πρόκειται για το πρωτόκολλο που είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση των δομών του PDP, καθώς και για τη μεταφορά των δεδομένων που αντιστοιχούν σε κάθε σύνοδο. Για το σκοπό αυτό, υπάρχουν τρεις διαφορετικές μορφές του πρωτοκόλλου: η μορφή GTP-C, η GTP-U και η GTP'.



Σχήμα 145. Η σύνοδος GTP στη διεπαφή Gn

Το πρωτόκολλο GTP-C χρησιμοποιείται στο CN για τη σηματοδότηση μεταξύ των SGSNs και των GGSNs. Ο ρόλος του GTP-C είναι να διαχειριστεί μία δομή PDP. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να ενεργοποιήσει μία σύνοδο για ένα συγκεκριμένο χρήστη, να απενεργοποιήσει την ίδια σύνοδο, να ρυθμίσει τις παραμέτρους του QoS ή, τέλος, να ανανεώσει μία σύνοδο για ένα συνδρομητή που προέρχεται από έναν άλλο SGSN. Από την άλλη πλευρά, το πρωτόκολλο GTP-U χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των πακέτων πληροφορίας μέσα στο CN ή μεταξύ του UTRAN και του CN. Τα δεδομένα του χρήστη μπορούν να μεταφερθούν με μορφή IPv4, IPv6 ή PPP. Ουσιαστικά, η επιτυχημένη δημιουργία της δομής PDP σημαίνει τη δημιουργία δύο συνόδων GTP. Η πρώτη βρίσκεται μεταξύ του GGSN και του SGSN (διεπαφή Gn), ενώ η δεύτερη μεταξύ του SGSN και του RNC (Iu-PS). Τέλος, η μορφή GTP' του πρωτοκόλλου χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων χρέωσης του συνδρομητή από τους κόμβους SGSNs και GGSNs προς το μηχανισμό χρέωσης του δικτύου.

Η μορφή της συνόδου GTP στη διεπαφή Gn, απεικονίζεται στο Σχήμα 145.

8.6.2. Μετάδοση Πακέτων στο UTRAN

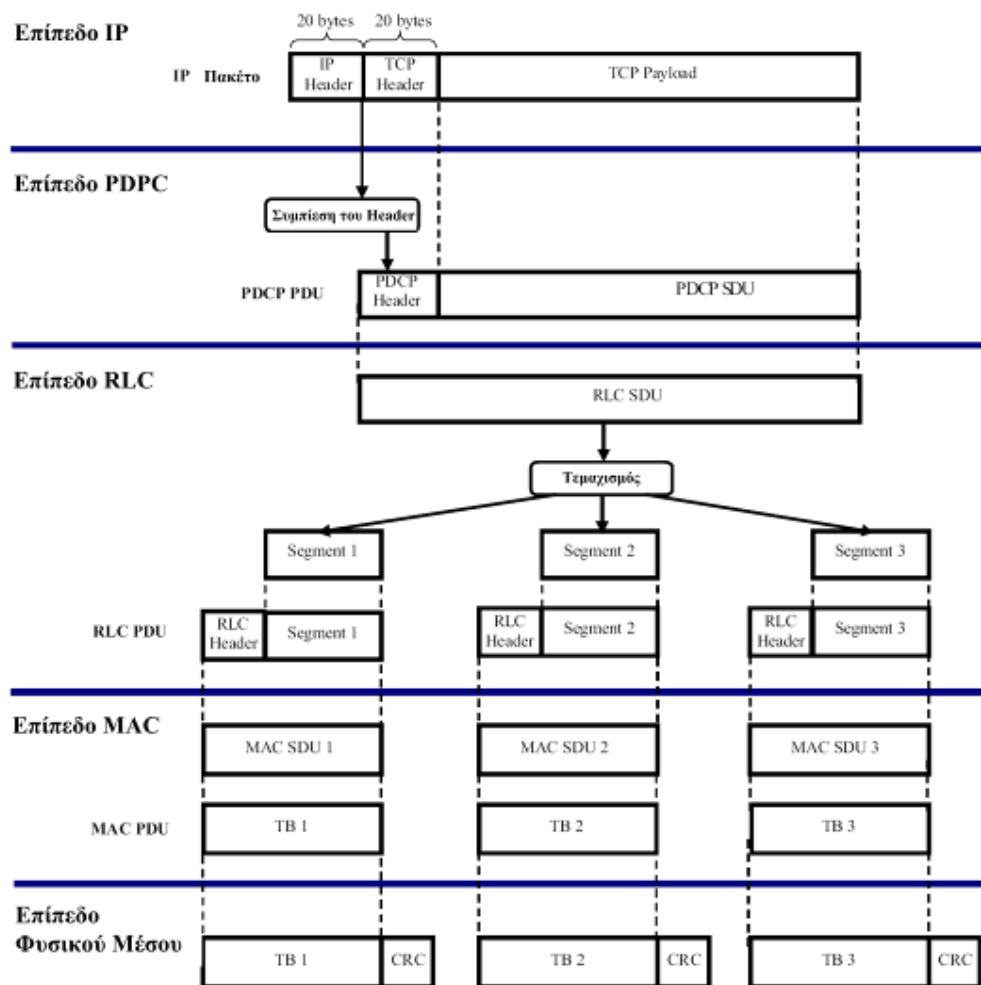
Η μετάδοση δεδομένων στο UTRAN σχετικά με το δεύτερο επίπεδο του μοντέλου OSI (επίπεδο ζεύξης δεδομένων), εξαρτάται από τον τρόπο μετάδοσης για το πρωτόκολλο RLC, σε συνδυασμό με το κανάλι μεταφοράς που χρησιμοποιείται από το πρωτόκολλο MAC. Οι δυνατές επιλογές για το πρωτόκολλο RLC είναι με (Acknowledged Mode - AM) ή χωρίς (Unacknowledged Mode - UM) χρήση πακέτων επιβεβαίωσης, ή με διάφανο τρόπο (Transparent Mode) για τα παραπάνω επίπεδα. Από το πρωτόκολλο MAC, μπορεί να χρησιμοποιηθούν κοινά ή αφιερωμένα κανάλια μεταφοράς.

Το Σχήμα 146 απεικονίζει ένα παράδειγμα μετάδοσης δεδομένων στο οποίο χρησιμοποιούνται πακέτα επιβεβαίωσης (Acknowledged Mode – AM), καθώς και ένα αφιερωμένο κανάλι μεταφοράς DCH. Όπως φαίνεται στο πάνω μέρος του σχήματος, το αρχικό πακέτο που λαμβάνεται από το επίπεδο IP, μετατρέπεται σε Service Data

Unit (SDU). Ουσιαστικά, τα SDUs αποτελούν τα πακέτα για το πρωτόκολλο PDCP. Προκύπτουν από τα πακέτα του IP με την εφαρμογή κάποιας τεχνικής συμπίεσης πάνω στο IP/TCP header του πακέτου.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, κάτω από το επίπεδο του PDCP, βρίσκεται το πρωτόκολλο RLC. Το πρωτόκολλο RLC έχει την ευθύνη για τον τεμαχισμό των μεγαλύτερων PDCP SDUs σε μικρότερα Protocol Data Units (PDUs). Με αυτό τον τρόπο τα RLC PDUs έχουν το κατάλληλο μέγεθος για μεταφορά/μετάδοση. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 146, το μέγεθος πακέτου που ορίζεται από το πρωτόκολλο RLC δε μεταβάλλεται στα κατώτερα επίπεδα. Αυτό γιατί τα κατώτερα πρωτόκολλα, όπως το MAC, δε διαθέτουν αντίστοιχο μηχανισμό τεμαχισμού. Το μέγεθος πακέτου για το RLC καθορίζεται κατά τη δημιουργία του ασύρματου φορέα και για το λόγο αυτό είναι ημι-στατικό. Πάντως, το τυπικό μέγεθος των RLC PDUs είναι αυτό των 40 bytes.

Το πρωτόκολλο MAC βρίσκεται κάτω από το επίπεδο RLC και η βασική του λειτουργία είναι να προσφέρει υπηρεσίες μεταφοράς στα λογικά κανάλια του RLC. Επειδή, στο MAC δε χρησιμοποιείται μηχανισμός επιβεβαίωσης, το RLC είναι υπεύθυνο για την παράδοση των πακέτων του υψηλότερου επιπέδου με αξιοπιστία. Το πρωτόκολλο MAC λαμβάνει το μέγεθος των πακέτων που θα χρησιμοποιηθεί από το φυσικό επίπεδο (WCDMA) κατά τον ορισμό της μορφής με την οποία θα μεταφερθούν τα δεδομένα. Επίσης, το πρωτόκολλο αυτό έχει τη δυνατότητα να πολυπλέκει τα πακέτα που λαμβάνει από το υψηλότερο επίπεδο και να τα μεταφέρει πάνω από κοινά ή αφιερωμένα κανάλια μεταφοράς. Η αναγνώριση των UEs στα κοινά κανάλια μεταφοράς γίνεται με τη χρήση ενός προσωρινού αναγνωριστικού. Η μετάβαση μεταξύ κοινών και αφιερωμένων καναλιών γίνεται στο επίπεδο του πρωτοκόλλου MAC, παρόλο που μία εντολή για μετάβαση δίνεται από το επίπεδο RRC. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι, ανεξάρτητα από τον τρόπο μετάδοσης που χρησιμοποιείται από το πρωτόκολλο RLC, ο εντοπισμός λαθών γίνεται στο επίπεδο φυσικού μέσου μέσω της μεθόδου Cyclic Redundancy Check (CRC). Στη συνέχεια, το αποτέλεσμα του ελέγχου CRC μαζί με τα δεδομένα, παραδίδονται στο επίπεδο RLC.



Σχήμα 146. Μετάδοση πακέτων πληροφορίας στα διάφορα επίπεδα

8.7. HANDOVERS ΣΤΟ UMTS

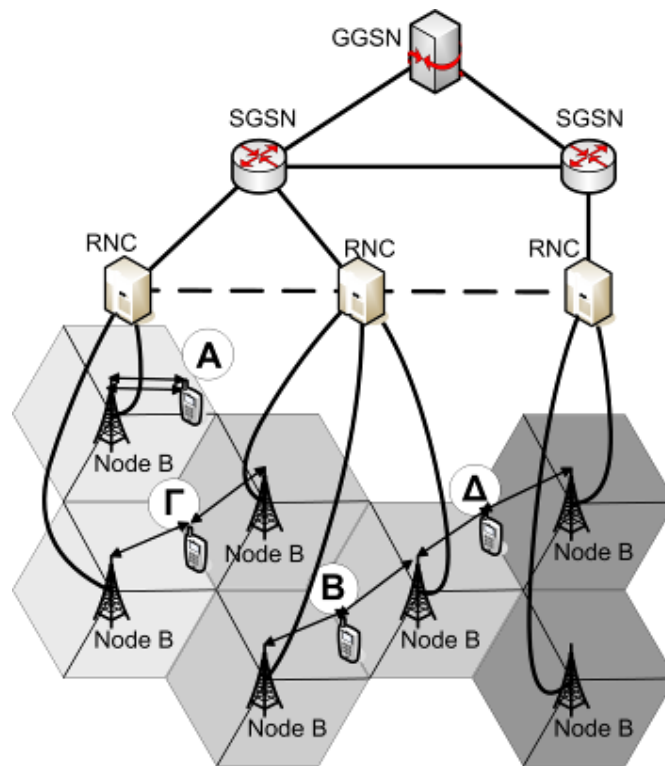
Όπως είναι γνωστό, τα κινητά τηλέφωνα μπορούν να διατηρούν τις συνδέσεις τους καθώς κινούνται από ένα κελί σε ένα άλλο. Αυτή η διαδικασία η οποία μεταφέρει τη σύνδεση από τον ένα Node B στον άλλο, λέγεται handover. Τα handovers στο CDMA (συστήματα UMTS) διαφέρουν κατά πολύ από τα handovers στο TDMA (συστήματα GSM). Αυτό γιατί στο UMTS, αντίθετα με το GSM, όλα τα UEs χρησιμοποιούν διαρκώς το ίδιο φάσμα συχνοτήτων. Στις επόμενες παραγράφους θα αναλυθούν οι διάφοροι τύποι handover, καθώς και η διαδικασία SRNS relocation.

8.7.1. Softer και Soft Handover

Κατά τη διάρκεια ενός soft handover, το UE είναι συνδεδεμένο ταυτόχρονα σε περισσότερους από έναν Node Bs. Για την ακρίβεια, δέχεται τις μεταδόσεις δύο ή περισσότερων Node Bs. Επειδή οι μεταδόσεις αυτές γίνονται στην ίδια συχνότητα,

ένα UE τις αντιλαμβάνεται σαν αλληλοσυμπληρούμενα τμήματα της ίδιας πληροφορίας. Το μόνο που διαφέρει σε κάθε τμήμα είναι ο κώδικας διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται σε κάθε μετάδοση. Όταν η σύνδεση με έναν από τους Node Bs δεν είναι απαραίτητη, η αντίστοιχη σύνδεση μπορεί να εγκαταλειφθεί. Το softer handover είναι ένα handover μεταξύ δύο τομέων ενός κελιού. Η περίπτωση A στο Σχήμα 147 απεικονίζει ένα softer handover. Από την πλευρά του UE, το softer handover είναι μία άλλη περίπτωση soft handover. Από την πλευρά του κινητού δικτύου, πρόκειται για μία εσωτερική διαδικασία του εμπλεκόμενου Node B. Ο κόμβος RNC που ελέγχει τον Node B δε συμμετέχει στη διαδικασία, με αποτέλεσμα την οικονομία στη δέσμευση της χωρητικότητας της διεπαφής Iub.

Η διαδικασία του soft handover εκτελείται στα όρια μεταξύ των κελιών. Με τη διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται η αδιάλειπτη παροχή της υπηρεσίας, αφού η ένταση του σήματος που λαμβάνει το UE είναι μεγαλύτερη από αυτή που θα λάμβανε αν χρησιμοποιούνταν μόνο ένας ασύρματος σύνδεσμος. Χωρίς τη χρήση του soft handover ο Node B θα έπρεπε να μεταδίδει με μεγαλύτερη ένταση προκειμένου να φτάσει το UE. Το γεγονός αυτό θα προκαλούσε αύξηση της παρεμβολής.



Σχήμα 147. Οι δυνατές περιπτώσεις softer και soft handover

Προκειμένου η χρήση των soft handovers να γίνεται με αποδοτικότητα, το δίκτυο διαθέτει ένα μηχανισμό ο οποίος κάνει τη διαχείριση των handovers. Για το σκοπό αυτό γίνονται μετρήσεις στις ανερχόμενες συνδέσεις, ενώ για τις κατερχόμενες συνδέσεις τα αποτελέσματα λαμβάνονται από τα UEs. Τα εμπλεκόμενα κελιά διαχωρίζονται σε τρία σύνολα: το active set, το monitored set και το detected set. Σε κάθε σύνολο αντιστοιχούν κάποιες απαιτήσεις ως προς τις μετρήσεις που του γίνονται. Το active set περιέχει τους Node Bs που αναμειγνύονται σε ένα soft handover με ένα UE. Όταν η ένταση του σήματος ενός Node B ξεπερνά κάποιο κατώφλι, ο συγκεκριμένος Node B προστίθεται στο active set. Φυσικά υπάρχει

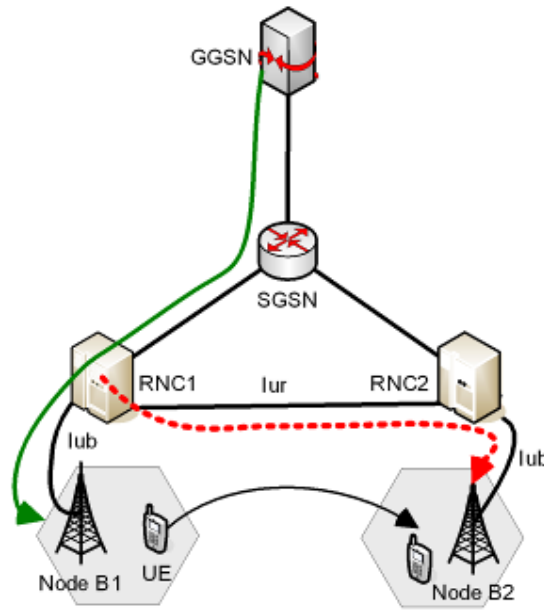
αντίστοιχο κατώφλι για την απόρριψη ενός Node B. Το monitored set περιέχει κελιά που συνορεύουν με το κελί στο οποίο βρίσκεται το UE, και τα οποία είναι υποψήφια για handover. Φυσικά από το monitored set εξαιρούνται οι Node Bs που έχουν ήδη προστεθεί στο active set, αν υπάρχει. Το UE πρέπει να παρακολουθεί την ένταση του σήματος από τους Node Bs του monitored set σύμφωνα με κάποιους κανόνες. Τέλος, το detected set περιέχει όλους τους Node Bs από τους οποίους το UE λαμβάνει σήμα, και οι οποίοι δε συνορεύουν με το κελί στο οποίο βρίσκεται το UE τη συγκεκριμένη στιγμή.

Ανάλογα με το πού βρίσκεται τοπολογικά ο νέος Node B σε σχέση με τον αρχικό, υπάρχουν οι εξής τύποι soft handover:

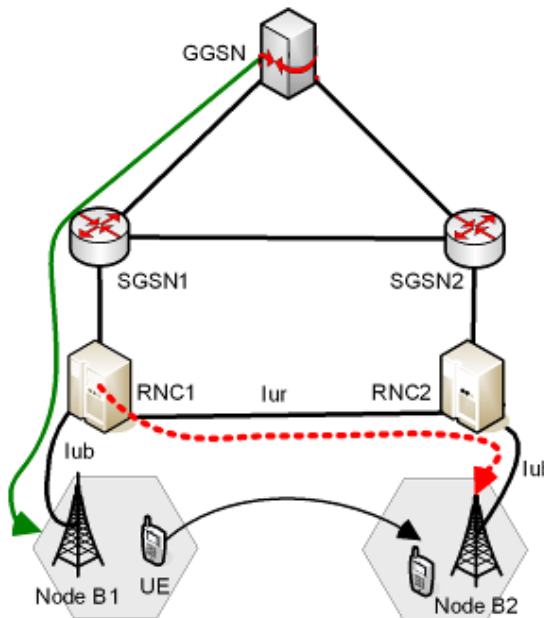
- **Inter-Node B/intra-RNS handover:** Αυτός ο τύπος handover εκτελείται όταν το UE μετακινείται από ένα κελί ενός Node B σε ένα κελί άλλου Node B ο οποίος ανήκει στο ίδιο RNS με τον αρχικό (περίπτωση Β στο Σχήμα 147).
- **Inter-Node B/inter-RNS/intra-SGSN:** Σε αυτή την περίπτωση το UE μετακινείται από ένα κελί ενός Node B στο κελί ενός άλλου Node B ο οποίος ανήκει σε διαφορετικό RNS σε σχέση με τον αρχικό. Συνεπώς, οι Node Bs ελέγχονται από διαφορετικούς RNCs οι οποίοι όμως συνδέονται με τον ίδιο SGSN (περίπτωση Γ στο Σχήμα 147).
- **Inter-Node B/inter-RNS/inter-SGSN:** Σε αυτή την περίπτωση το UE μετακινείται από ένα κελί ενός Node B στο κελί ενός άλλου Node B ο οποίος ανήκει σε διαφορετικό RNS σε σχέση με τον αρχικό. Επιπλέον, οι αντίστοιχοι RNCs συνδέονται με διαφορετικούς SGSNs (περίπτωση Δ στο Σχήμα 147).

Ένα σημείο που αξίζει να αναφερθεί στη συγκεκριμένη περίπτωση αφορά στις περιπτώσεις που ένα inter-RNS handover λαμβάνει χώρα. Ο σκοπός του soft handover είναι να απαλλάξει τις διεπαφές Iu-PS καθώς και αυτές του CN από την αποστολή της ίδιας πληροφορίας. Επίσης, ένας άλλος στόχος του soft handover είναι να απαλλάξει το CN από τη συμμετοχή του στη διαδικασία του handover, κάτι το οποίο ίσχυε στα συστήματα GSM. Για το σκοπό αυτό, στην περίπτωση που ένα inter-RNS handover εκτελείται, ο αρχικός RNC είναι ο μόνος RNC που διατηρεί σύνδεση με το CN. Ο συγκεκριμένος RNC ονομάζεται Serving RNC (SRNC) και είναι ο κόμβος που μεταδίδει τα δεδομένα της κίνησης προς το UE, στους υπόλοιπους RNC. Οι υπόλοιποι RNCs ονομάζονται Drift RNCs (DRNCs). Η προώθηση των δεδομένων από τον SRNC προς τους DRNCs γίνεται μέσω της διεπαφής Iur.

Προκειμένου να δοθεί μία σχηματική απεικόνιση των ροών δεδομένων, το Σχήμα 148 δείχνει τη ροή των δεδομένων για το inter-RNS/intra-SGSN handover, ενώ το Σχήμα 149 δείχνει την αντίστοιχη ροή για το inter-RNS/inter-SGSN handover. Όσον αφορά και στις δύο εικόνες, ο RNC1 είναι ο SRNC, ενώ ο RNC2 είναι ο DRNC. Επίσης, η ενιαία γραμμή απεικονίζει την αρχική ροή δεδομένων προς το UE. Αντίθετα, η διακεκομμένη γραμμή απεικονίζει τη ροή δεδομένων που αποκαθίσταται μέσω της διεπαφής Iur μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας του soft handover. Μέσω της σχηματικής αυτής απεικόνισης υπονοείται η αποχή του CN από τη διαδικασία. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 148, φαίνεται ότι ο κόμβος SGSN2 δε μεταδίδει δεδομένα στον RNC2, αντίθετα ο RNC2 λαμβάνει τα δεδομένα που θα αποστείλει στο UE από τον RNC1.



Σχήμα 148. Η ροή δεδομένων σε ένα inter-RNS/intra-SGSN handover



Σχήμα 149. Η ροή δεδομένων σε ένα inter-RNS/inter-SGSN handover

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των softer και soft handovers σε ένα UMTS δίκτυο είναι πολλά. Το σημαντικότερο είναι ότι η ποιότητα της επικοινωνίας διατηρείται υψηλή αφού το UE λαμβάνει ταυτόχρονα την ίδια πληροφορία από περισσότερες της μίας κεραίες. Επιπλέον, δεν υπάρχουν διακοπές στην επικοινωνία, λόγω του τερματισμού της σύνδεσης με μία κεραία. Αντίθετα, η μετάβαση από το ένα κελί στο άλλο γίνεται ομαλά, αφού το UE διατηρεί σύνδεση με τουλάχιστον μία κεραία σε όλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι τα ίδια δεδομένα φτάνουν στο UE δύο ή περισσότερες φορές, με αποτέλεσμα ο έλεγχος λάθους να είναι απλός και να μην χρειάζεται αναμετάδοση των πακέτων. Με αυτόν τον τρόπο περιορίζεται το overhead που προσδίδει η υψηλή συχνότητα λαθών και γίνεται

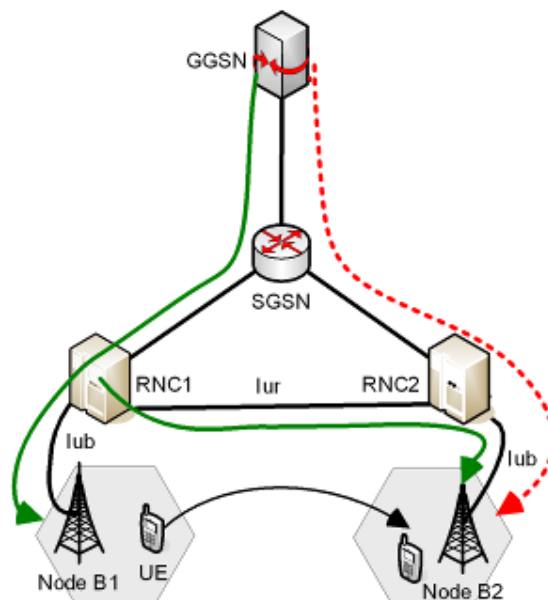
οικονομία στους ενεργειακούς πόρους του δικτύου αλλά και του UE. Ένας άλλος παράγοντας που συντελεί στην οικονομία ενέργειας είναι το γεγονός ότι υπάρχουν περισσότερες κεραιές που μεταδίδουν στο ίδιο UE, κάθε κεραιά μπορεί να διατηρεί ένα σχετικά χαμηλό επίπεδο έντασης του σήματος. Αντίθετα, αν ήταν η μοναδική κεραιά που συνδέεται με το απομακρυσμένο UE, τότε θα έπρεπε να μεταδίδει με υψηλή ένταση, με αποτέλεσμα να κάνει παρεμβολές και να βλάπτει την υγεία του πληθυσμού. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τεχνική του soft handover απαλείφει το φαινόμενο ping-pong. Κατά το φαινόμενο αυτό, ένα UE που βρίσκεται ανάμεσα από δύο κεραιές συνδέεται εναλλάξ πότε με τη μία και πότε με την άλλη, μειώνοντας κατά πολύ την ποιότητα της επικοινωνίας του.

Το μοναδικό μειονέκτημα των softer και soft handover είναι ότι είναι πολύπλοκες διαδικασίες που απαιτούν μεγάλο κόστος υλοποίησης. Αυτό γιατί απαιτείται η προσθήκη στους κόμβους UTRAN, όχι μόνο επιπλέον λογισμικού, αλλά και υλικού. Επιπλέον, ανάλογες μετατροπές πρέπει να γίνουν και στον εξοπλισμό του χρήστη (UE).

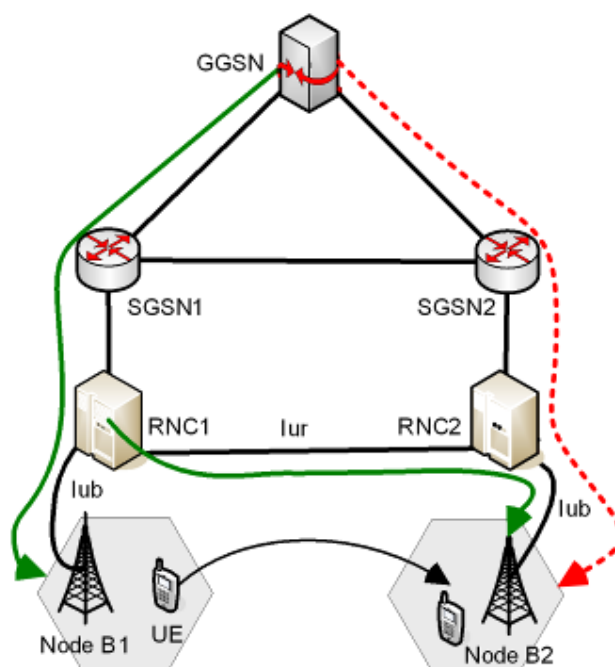
8.7.2. SRNS Relocation

Η Serving Radio Network Subsystem (SRNS) relocation διαδικασία είναι η διαδικασία κατά την οποία αλλάζει η σύνδεση του UTRAN με το CN για τη σύνοδο που αφορά ένα συγκεκριμένο UE. Η SRNS relocation συμβαίνει όταν έχει ήδη προηγηθεί ένα inter-RNS soft handover. Μετά την εκτέλεση του soft handover, ο SRNC αναλαμβάνει να προωθήσει προς τον DRNC τα δεδομένα που απευθύνονται στο συγκεκριμένο UE. Όπως ήδη αναφέρθηκε αυτή η μετάδοση γίνεται μέσω της διεπαφής Iur. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότεροι από έναν DRNCs. Μετά την εκτέλεση της SRNS relocation, ο SRNC παύει να εξυπηρετεί το UE και κάποιος από τους DRNCs αναλαμβάνει την εξυπηρέτηση του συγκεκριμένου UE. Στο σημείο αυτό αποδεσμεύονται οι διεπαφές Iur που είχαν δεσμευθεί για την επικοινωνία των RNCs.

Ανάλογα με τη σχετική θέση του αρχικού με τον τελικό SRNC, υπάρχουν δύο είδη διαδικασιών SRNS relocation: η intra-SGSN SRNS relocation και η inter-SGSN SRNS relocation. Η intra-SGSN SRNS relocation συμβαίνει όταν οι δύο RNCs είναι συνδεδεμένοι με τον ίδιο κόμβο SGSN του CN. Πρόκειται για τη διαδικασία που ακολουθεί ένα inter-RNS/intra-SGSN handover. Αντίθετα, η inter-SGSN SRNS relocation ακολουθεί ένα inter-RNS/inter-SGSN handover. Αυτό σημαίνει ότι οι δύο RNCs συνδέονται με διαφορετικούς SGSNs.



Σχήμα 150. Η ροή δεδομένων πριν και μετά το intra-SGSN SRNS relocation



Σχήμα 151. Η ροή δεδομένων πριν και μετά το inter-SGSN SRNS relocation

Ο λόγος για τον οποίο ενεργοποιείται η διαδικασία SRNS relocation είναι η οικονομία στους πόρους του ασύρματου δικτύου. Κατά τη διάρκεια του soft handover ο UE λαμβάνει την ίδια πληροφορία τόσο από κεραιές που ελέγχονται από τον SRNC, όσο και από κεραιές που ελέγχονται από τον DRNC. Στην περίπτωση που το UE έχει απομακρυνθεί αρκετά από τον SRNC, το σήμα που λαμβάνει από τις αντίστοιχες κεραιές είναι αδύναμο. Συνεπώς, στο σημείο αυτό, η συγκεκριμένη εκπομπή των κεραιών δε συνεισφέρει στη μετάδοση της πληροφορίας στο UE. Προκειμένου να μη υπάρχει σπατάλη στους πόρους του SRNC, κάποιο άλλο RNC

αναλαμβάνει το ρόλο του SRNC για το UE. Ένας άλλος λόγος για τον οποίο είναι απαραίτητη η SRNS relocation είναι προκειμένου να μη χρησιμοποιείται άσκοπα χωρητικότητα της διεπαφής Iur.

Το Σχήμα 150 απεικονίζει τη ροή δεδομένων προς το UE, πριν και μετά τη διαδικασία SRNS relocation. Οι δύο ενιαίες γραμμές αντιστοιχούν στη ροή δεδομένων πριν την εκτέλεση της SRNS relocation, δηλαδή κατά τη διάρκεια του intra-SGSN soft handover. Μετά την εκτέλεση της SRNS relocation οι συγκεκριμένες ροές παύουν να υπάρχουν. Αντίθετα, αποκαθίσταται η ροή που απεικονίζεται με τη διακεκομμένη γραμμή. Αυτή η γραμμή αντιστοιχεί στο μοναδικό μονοπάτι μέσω του οποίου τα δεδομένα φτάνουν στο UE. Ομοίως, το Σχήμα 151 απεικονίζει τις αντίστοιχες ροές πριν και μετά από μία inter-SGSN SRNS relocation.

8.7.3. Hard Handover

Το hard handover είναι η τεχνική που ακολουθείται στα συστήματα GSM. Κατά τη διάρκεια ενός hard handover, η ασύρματη συχνότητα που χρησιμοποιεί το UE αλλάζει. Πιο συγκεκριμένα, το UE παύει να χρησιμοποιεί την αρχική συχνότητα, στη συνέχεια μετακινείται σε διαφορετική συχνότητα και ξεκινά να λειτουργεί στη συχνότητα αυτή. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένα κενό επικοινωνίας μεταξύ του UE και του κινητού δικτύου.

Στα συστήματα CDMA, το hard handover είναι δύσκολο στην υλοποίηση. Αυτό γιατί δε χρησιμοποιούνται χρονοσχισμές, επομένως, κάθε UE δέχεται και μεταδίδει ασύρματη πληροφορία σε όλη τη διάρκεια του χρόνου. Γι' αυτό το λόγο δεν υπάρχουν ελεύθερες χρονοσχισμές προκειμένου το UE να κάνει μετρήσεις σε άλλη συχνότητα. Επειδή όμως αυτές οι μετρήσεις είναι απαραίτητες για την εκτέλεση του hard handover, το δίκτυο δε μπορεί να κάνει σωστή εκτίμηση του κελιού το οποίο είναι καταλληλότερο για σύνδεση με το UE. Κατά συνέπεια, τα hard handovers χρησιμοποιούνται όταν, για κάποιο λόγο, η συχνότητα λειτουργίας του UE πρέπει να αλλάξει ή όταν δεν υπάρχει διεπαφή Iur μεταξύ δύο RNCs ώστε να μπορεί να εκτελεστεί ένα soft handover. Πάντως, είναι γεγονός ότι η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις.

8.7.4. Intersystem Handovers

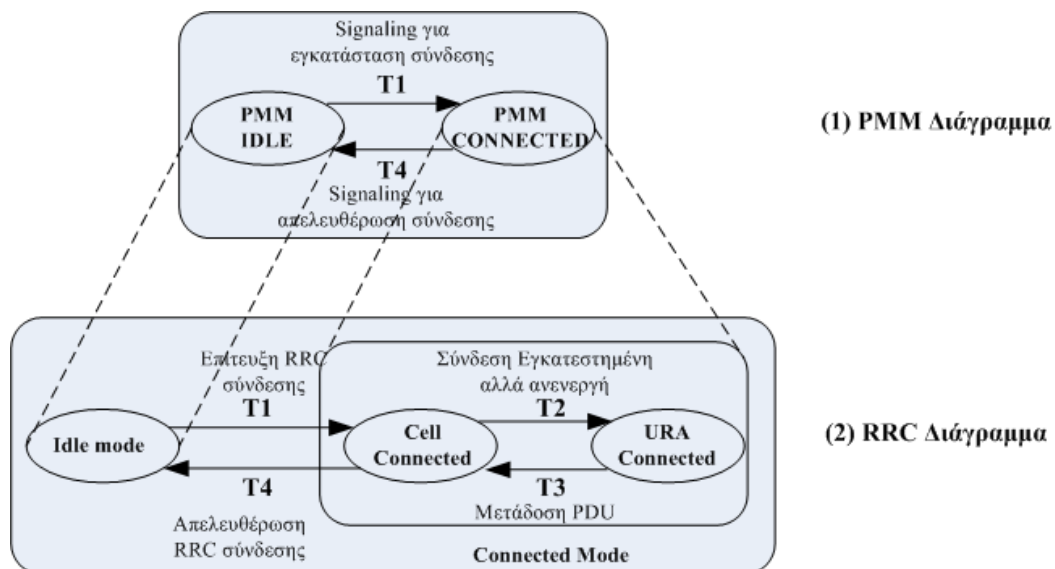
Τα intersystem handovers είναι handovers μεταξύ δύο διαφορετικών τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης. Προς το παρόν, το 3GPP έχει θέσει τις προδιαγραφές για intersystem handovers μεταξύ συστημάτων GSM και UMTS. Κατά συνέπεια, υπάρχουν δύο τύποι intersystem handover: το handover από UMTS σε GSM και το handover από GSM σε UMTS. Η υποστήριξη της διαδικασίας αυτής είναι απαραίτητη διότι, για τα δίκτυα UMTS, δεν αναμένεται να έχουν μεγάλη περιοχή κάλυψης σύντομα. Επομένως, οι χρήστες των δικτύων UMTS θα εξυπηρετούνται σε μεγάλο βαθμό από δίκτυα πρόσβασης του GSM. Προκειμένου να είναι δυνατή η πραγματοποίηση ενός intersystem handover, θα πρέπει να υπάρχει ένα UE που υποστηρίζει και τα δύο συστήματα.

Τα intersystem handovers αποτελούν διαδικασίες οι οποίες είναι εξαιρετικά πολύπλοκες, επειδή κατά τη διάρκειά τους δημιουργούνται πολλά και δύσκολα προβλήματα. Το πρώτο πρόβλημα που δημιουργείται είναι το πώς το UE θα γνωρίζει

τη συχνότητα εκπομπής του νέου κελιού (για ένα handover προς το GSM) ή τον κώδικα που χρησιμοποιεί το κελί του UTRAN. Η λύση που προτάθηκε από το 3GPP και υιοθετήθηκε από τη βιομηχανία ήταν η αποστολή αυτής της πληροφορίας από το αρχικό κελί. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ο υπολογισμός της έντασης του σήματος στα υποψήφια κελιά προκειμένου να επιλεγθεί το κατάλληλο για το intersystem handover. Για το σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο δέκτες στο UE ή να δημιουργηθούν κάποιες χρονοσχισμές, προκειμένου να γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις. Τέλος, ένα άλλο πρόβλημα είναι η ραγδαία μείωση του ρυθμού μετάδοσης στην περίπτωση του handover από UMTS προς GSM. Είναι δυνατό να συμβεί το ενδεχόμενο ένας χρήστης ενώ λαμβάνει δεδομένα από το UTRAN με ρυθμό που προσεγγίζει τα 2 Mbps, μετά την πραγματοποίηση του handover να λαμβάνει μόνο ένα μικρό ποσοστό από τον αρχικό ρυθμό.

8.8. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ

Η διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών στο UMTS γίνεται από δύο διαδικασίες/μηχανισμούς οι οποίοι ονομάζονται Mobility Management (MM) και Radio Resource Control (RRC) (Σχήμα 152). Ο μηχανισμός Packet MM (PMM) διαχειρίζεται την κινητικότητα των χρηστών στο επίπεδο του CN ενώ ο μηχανισμός RRC στο επίπεδο του UTRAN. Πρέπει να τονίσουμε ότι οι παραπάνω μηχανισμοί ισχύουν για την PS λειτουργία του UMTS δικτύου. Κάθε κινητός χρήστης μπορεί να βρίσκεται σύμφωνα με το μηχανισμό PMM σε δύο διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας: PMM idle και PMM connected. Αντίθετα, ο κινητός χρήστης όσον αφορά το μηχανισμό RRC μπορεί να βρίσκεται σε μια από τις παρακάτω καταστάσεις: RRC idle, RRC cell connected και RRC URA connected.



Σχήμα 152. PMM και RRC Μηχανισμοί

Όταν δεν υπάρχει μετάδοση δεδομένων μεταξύ του CN και του κινητού χρήστη (UE), ο χρήστης βρίσκεται στην κατάσταση PMM idle και RRC idle (Σχήμα 152). Σε αυτή την περίπτωση το UTRAN δεν έχει καμιά πληροφορία για το συγκεκριμένο UE ενώ ο μόνος κόμβος που διαθέτει πληροφορίες για το συγκεκριμένο UE είναι ο κόμβος

SGSN (RA level tracking). Κατά τη διαδικασία ενεργοποίησης μιας PS σύνδεσης μεταξύ του UE και του SGSN (PS Signaling), ο κινητός χρήστης μεταβαίνει στην κατάσταση PMM connected (περίπτωση T1 στο Σχήμα 152 (1)). Αμέσως μετά λαμβάνει χώρα η εγκατάσταση της σύνδεσης για τη μετάδοση των δεδομένων μεταξύ του UE και RNC στο επίπεδο του UTRAN και ο κινητός χρήστης μεταβαίνει στην κατάσταση RRC cell connected (περίπτωση T1 στο Σχήμα 152 (2)). Σε αυτή την περίπτωση ο κόμβος RNC διαθέτει όλες τις πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση και τη θέση του συγκεκριμένου UE. Μόνο σε αυτή την κατάσταση (PMM connected/RRC cell connected) μπορούν να μεταφερθούν δεδομένα στον κινητό χρήστη.

Αν ο χρήστης ενώ βρίσκεται στην κατάσταση PMM connected/RRC cell connected σταματήσει να λαμβάνει ή να στέλνει δεδομένα για ένα χρονικό διάστημα η RRC κατάστασή του αλλάζει από cell connected σε URA connected (περίπτωση T2 στο Σχήμα 152 (2)). Και σε αυτή την περίπτωση ο κόμβος RNC διαθέτει όλες τις πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση και τη θέση του συγκεκριμένου UE. Αν μετά από αυτό το χρονικό διάστημα ο χρήστης στείλει ή λάβει εκ νέου δεδομένα η RRC κατάστασή του αλλάζει σε cell connected (περίπτωση T3 στο Σχήμα 152 (2)). Επιπρόσθετα, αν ο χρήστης βρίσκεται στην κατάσταση PMM connected/RRC URA connected και μετά το πέρας ενός χρονικού διαστήματος εξακολουθεί να μη στέλνει ή δέχεται δεδομένα η σύνδεσή του με το UTRAN διακόπτεται και μεταβαίνει στην κατάσταση PMM connected/RRC idle αρχικά (περίπτωση T4 στο Σχήμα 152 (2)) και τελικά μεταβαίνει στην κατάσταση PMM idle/RRC idle (περίπτωση T4 στο Σχήμα 152 (1)).

8.9. HIGH SPEED PACKET ACCESS

Η σημαντικότερη πρόκληση που αντιμετωπίζει σήμερα η παγκόσμια αγορά κινητών τηλεπικοινωνιών είναι η παροχή νέων, ελκυστικών και διαδραστικών υπηρεσιών προς τους τελικούς χρήστες. Η τεχνολογία High Speed Packet Access (HSPA) αποτελεί τη φυσιολογική εξέλιξη του WCDMA προς αυτή την κατεύθυνση, η οποία πολλές φορές συναντάται και ως 3.5G ή 3G+, προκειμένου να δηλώσει την αναβάθμιση του 3G (UMTS) και ήδη έχει υιοθετηθεί από πολλά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ανά τον κόσμο.

Η εισαγωγή του HSPA κρίθηκε απαραίτητη καθώς, στην πράξη, οι μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης για τα UMTS δίκτυα αποδείχθηκαν χαμηλοί για εφαρμογές πολυμέσων. Ουσιαστικά, το HSPA αποτελεί μία σημαντική αναβάθμιση των UMTS δικτύων προσφέροντας υψηλότερο εύρος ζώνης στους κινητούς χρήστες και αυξημένη χωρητικότητα για τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους με αποτέλεσμα την παροχή υπηρεσιών και εφαρμογών αυξημένης διαδραστικότητας.

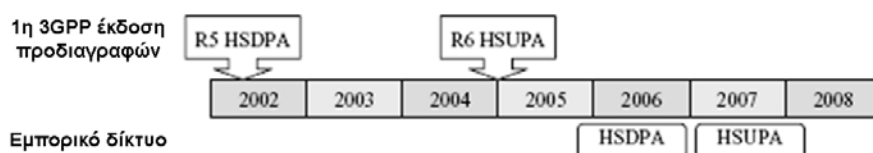
Η ορολογία HSPA αναφέρεται σε μία γενικότερη έννοια που υιοθετήθηκε από το UMTS Forum προκειμένου να τονίσει τις αναβαθμίσεις του UMTS Radio Interface στις εκδόσεις 5 και 6 του 3GPP στάνταρ. Η συμβολή της HSPA τεχνολογίας, προσεγγίζει μόνο το δίκτυο πρόσβασης, δηλαδή το UTRAN, χωρίς να επεμβαίνει καθόλου στη δομή και τη λειτουργικότητα του Core Network του UMTS.

Πιο συγκεκριμένα, το HSPA αναφέρεται σε βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν τόσο στον κατερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, μέσω του High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) όσο και στον ανερχόμενο, μέσω του High Speed Uplink Packet

Access (HSUPA). Αξίζει να αναφερθεί ότι τόσο το HSDPA όσο και το HSUPA μπορούν να υλοποιηθούν στο ίδιο εύρος ζώνης με το UMTS (των 5 MHz), γεγονός που επιτρέπει την παράλληλη λειτουργία τόσο του HSPA όσο και του κλασσικού UMTS.

8.9.1. Προτυποποίηση και Εμπορική Διάθεση της HSPA Τεχνολογίας

Όπως προαναφέρθηκε, το HSPA αποτελείται από δύο διακριτές, επιμέρους τεχνολογίες, τις HSDPA και HSUPA για τον κατερχόμενο και τον ανερχόμενο σύνδεσμο αντίστοιχα. Η τεχνολογία HSDPA, προτάθηκε στην έκδοση 5 του 3GPP στάνταρ, το Μάρτιο του 2002. Παράλληλα, η τεχνολογία HSUPA προτυποποιήθηκε αρχικά στην έκδοση 6 του 3GPP στάνταρ, το Δεκέμβριο του 2004. Η πρώτη εμπορική διάθεση του HSDPA πραγματοποιήθηκε κατά το τέλος του 2005, ενώ του HSUPA το στη διάρκεια του 2007. Το Σχήμα 153 απεικονίζει γραφικά την πορεία προτυποποίησης και εμπορικής διάθεσης των HSDPA και HSUPA τεχνολογιών.



Σχήμα 153. Πορεία προτυποποίησης και εμπορικής διάθεσης των HSDPA και HSUPA τεχνολογιών

Η σημαντικότητα της τεχνολογίας HSPA γίνεται εύκολα αντιληπτή αν αναλογιστεί κανείς την ιδιαίτερη αναβάθμιση που αυτή παρέχει, κυρίως στον κατερχόμενο σύνδεσμο, αφού μέσω του HSDPA υποστηρίζονται ρυθμοί μετάδοσης θεωρητικά έως και 14,4 Mbps ανά χρήστη, σύμφωνα με τις αρχικές προδιαγραφές. Στην πραγματικότητα, ωστόσο, σε πρώτο στάδιο ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων έφθανε τα 1.8Mbps, ενώ κατά τη διάρκεια των ετών 2006 και 2007 οι ρυθμοί αυτοί αυξήθηκαν σταδιακά στα 3.6Mbps και 7.2Mbps. Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων του HSDPA αναμένεται να αγγίξει (και να ξεπεράσει κατά πολύ) τα 10Mbps τα αμέσως επόμενα έτη.

Αναφορικά με τον ανερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, το HSUPA παρέχει τη δυνατότητα υποστήριξης μέχρι και 5,8 Mbps μέσω ενός αφιερωμένου uplink καναλιού. Ωστόσο, οι αρχικές ταχύτητες φθάνουν αρχικά τα 1-2Mbps και σε μεταγενέστερη φάση προβλέπεται η επίτευξη ταχύτητας της τάξης των 3-4Mbps. Το Σχήμα 154 απεικονίζει γραφικά την Εξέλιξη των ρυθμών μετάδοσης των HSDPA και HSUPA τεχνολογιών.



Σχήμα 154. Εξέλιξη των ρυθμών μετάδοσης των HSDPA και HSUPA τεχνολογιών

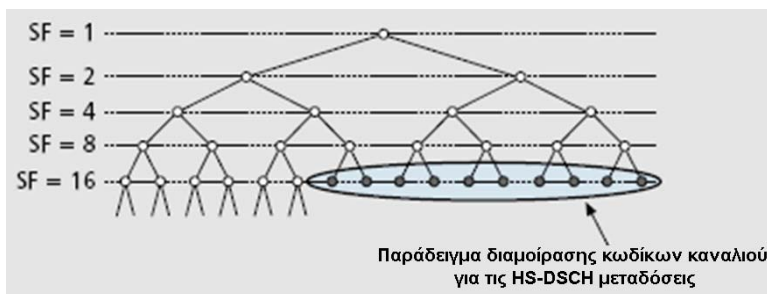
8.9.2. High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)

Η τεχνολογία HSDPA αναπτύχθηκε με σκοπό την αποδοτικότερη χρήση των πόρων του συστήματος UMTS, κυρίως όσον αφορά στη χρήση τους για εξυπηρέτηση υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων, και την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες.

Η τεχνολογία HSDPA βασίζεται στο σχήμα πρόσβασης WCDMA, χρησιμοποιεί το σχήμα αμφιδρόμησης FDD και λειτουργεί στην μπάντα IMT-2000 (1,9-2,1GHz) με εύρος ζώνης 5MHz. Η χωρητικότητα ενός δικτύου HSDPA εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό από παράγοντες- παραμέτρους τεχνικής υλοποίησης όπως, η αποκλειστική χρήση ενός δεύτερου carrier των 5MHz ή από κοινού με την υφιστάμενη τεχνολογία UMTS, και η επιλογή συγκεκριμένης υλοποίησης από τις προτυποποιημένες εναλλακτικές (δηλαδή η υλοποίηση HSDPA με 5, 10 ή 15 κώδικες).

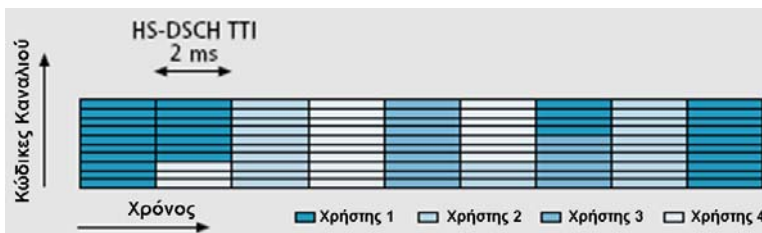
8.9.2.1. Διαμοιραζόμενο Κανάλι Μετάδοσης HS-DSCH

Μέσω του HSDPA, το UMTS δίκτυο επεκτείνεται με μία σειρά νέων, αναβαθμισμένων καναλιών μεταφοράς και ελέγχου. Το κυριότερο κανάλι, ωστόσο, είναι το High Speed-Downlink Shared Channel (HS-DSCH) διαμοιραζόμενο κανάλι μεταφοράς. Η χρήση του διαμοιραζόμενου αυτού καναλιού (shared channel), συνίσταται στο ότι οι κώδικες καναλιού και η ισχύς εκπομπής σε μια κυψέλη θεωρούνται μια κοινή πηγή που μοιράζεται δυναμικά μεταξύ των χρηστών στο πεδίο του χρόνου και του κώδικα (βλ Σχήμα 155 και Σχήμα 156). Οι διαθέσιμοι κώδικες για το HS-DSCH είναι 15, ενώ η κατανομή των διαμοιραζόμενων πόρων πραγματοποιείται κάθε 2ms (TTI = 2ms).



Σχήμα 155. Διαμοίραση κωδικών καναλιού για το HS-DSCH

Η χωρητικότητα μιας κυψέλης διαμοιράζεται στους χρήστες ανάλογα με τη διαχείριση των χρηστών (user prioritization, προγραμματισμός (scheduling): Round-Robin, Proportional Fair, κοκ.), το προφίλ της ζεύξης τους (HSDPA ή Release '99 users, voice users), τις δυνατότητες κάθε κινητής συσκευής, τις συνθήκες του ραδιοδιαύλου της ζεύξης κάθε χρήστη καθώς και άλλους παράγοντες.



Σχήμα 156. Διαμοίραση πόρων στο πεδίο του χρόνου για το HS-DSCH

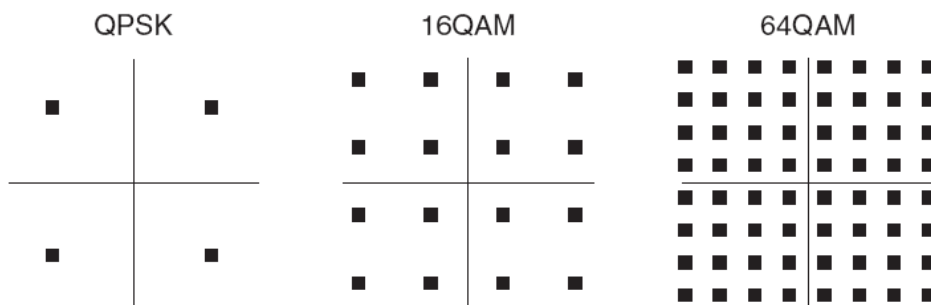
Οι ρυθμοί μετάδοσης που μπορούν να επιτευχθούν μέσω του HS-DSCH είναι της τάξης των 1,8Mbps, 3,6Mbps, 7,2Mbps μέχρι και 14,4Mbps για την κατερχόμενη ζεύξη. Στην πραγματικότητα, το HSDPA διπλασιάζει τη χωρητικότητα της ασύρματης διεπαφής και παρέχει σχεδόν δεκαπλάσιους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων συγκριτικά με τα UMTS δίκτυα.

Η αυξημένη απόδοση του HS-DSCH βασίζεται κατά κύριο λόγο σε τεχνικές όπως το Adaptive Modulation and Coding (AMC), στη χρήση μικρότερου Transmission Time Interval (TTI) ίσο με 2 ms (σε αντίθεση με τα 10-80 ms του UMTS), στην υποστήριξη Hybrid Automatic Repeat request (HARQ) καθώς και στη χρήση γρήγορης δρομολόγησης (fast scheduling). Οι παραπάνω τεχνικές περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

Εκτός, όμως, από τη σημαντική αύξηση του ρυθμού μεταφοράς των δεδομένων, το HSDPA βελτιστοποιεί τη φασματική απόδοση (spectral efficiency) των συχνοτήτων, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή διεκπεραιωτικότητα (throughput) και κατά συνέπεια να αυξάνεται η χωρητικότητα των δικτύων όσον αφορά την εξυπηρέτηση χρηστών, που επιχειρούν την πρόσβαση σε υπηρεσίες δεδομένων. Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα του HSDPA έναντι των υπολοίπων τεχνολογιών, είναι η χαμηλή καθυστέρηση (low latency), η οποία κυμαίνεται μεταξύ 100 και 200 χιλιοστών του δευτερολέπτου.

8.9.2.2. Adaptive Modulation and Coding (AMC)

Η μέγιστη δυνατή απόδοση που επιτυγχάνει το HS-DSCH οφείλεται σε ένα μεγάλο βαθμό στη χρήση προσαρμοζόμενης διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (adaptive modulation and coding). Ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο κανάλι και ειδικότερα ανάλογα με την στιγμιαία τιμή του σηματοπαρεμβολικού λόγου, χρησιμοποιείται το κατάλληλο σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης δεδομένων. Η επιλογή διαμόρφωσης γίνεται ανάμεσα στην QPSK, την 16 QAM ή ακόμη και στην 64 QAM διαμόρφωση, για την μεγιστοποίηση του ρυθμού μετάδοσης του κατερχόμενου συνδέσμου. Η QPSK διαμόρφωση χρησιμοποιεί 2 bits/σύμβολο ενώ η 16 QAM και η 64 QAM διαμόρφωση 4 bits/σύμβολο και 6 bits/σύμβολο αντίστοιχα, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 157.

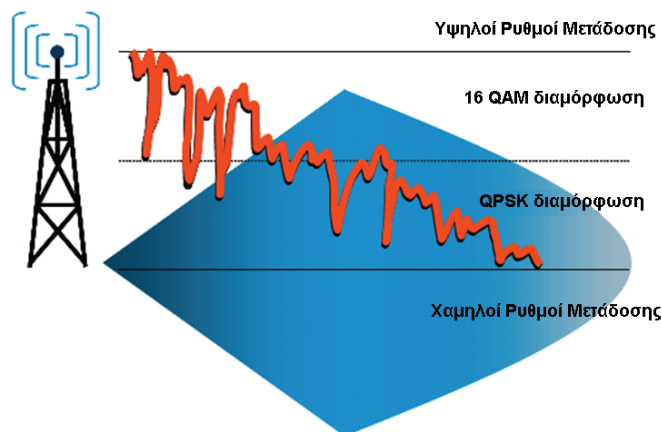


Σχήμα 157. Σχήματα διαμόρφωσης QPSK, 16-QAM και 64-QAM

Πιο συγκεκριμένα, η higher-order διαμόρφωση, όπως η 16 QAM, μπορεί να επιφέρει καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης συγκριτικά με την QPSK διαμόρφωση. Παράλληλα, όμως, η 16 QAM διαμόρφωση απαιτεί υψηλότερο λόγο σήματος προς θόρυβο. Κατά συνέπεια, όταν οι συνθήκες καναλιού είναι καλές εννοείται η χρήση 16 QAM διαμόρφωσης, ενώ στην αντίθετη περίπτωση γίνεται

χρήση της QPSK διαμόρφωσης. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι μπορεί να γίνει χρήση 64-QAM διαμόρφωσης όταν επικρατούν βέλτιστες συνθήκες καναλιού.

Η ιδιαιτερότητα αυτή της χρήσης πολλαπλών σχημάτων διαμόρφωσης δικαιολογεί το γεγονός ότι το HS-DSCH είναι μάλλον rate-controlled και όχι power-controlled κανάλι μεταφοράς, αφού ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων καθορίζεται από τις στιγμιαίες συνθήκες κάθε φορά και κατά συνέπεια στο αντίστοιχο επιλεγόμενο σχήμα διαμόρφωσης (Σχήμα 158).



Σχήμα 158. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων καθορίζεται από τις στιγμιαίες συνθήκες καναλιού

Επίσης, ο Πίνακας 34 παρουσιάζει τους επιτεύξιμους ρυθμούς μετάδοσης ανάλογα με την διαμόρφωση και την κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται.

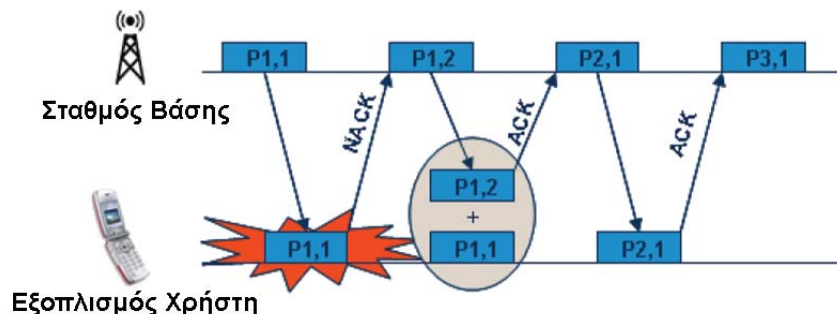
Διαμόρφωση	Spreading factor	Code rate	Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων		
			5 κώδικες	10 κώδικες	15 κώδικες
QPSK	16	1/4	600 kbps	1.2 Mbps	1.8 Mbps
	16	2/4	1.2 Mbps	2.4 Mbps	3.6 Mbps
	16	3/4	1.8 Mbps	3.6 Mbps	5.3 Mbps
	16	4/4	2.4 Mbps	4.8 Mbps	7.2 Mbps
16 QAM	16	2/4	2.4 Mbps	4.8 Mbps	7.2 Mbps
	16	3/4	3.6 Mbps	7.2 Mbps	10.7 Mbps
64 QAM	16	3/4	5.25 Mbps	10.50 Mbps	15.75 Mbps

Πίνακας 34. Επιτεύξιμοι ρυθμοί μετάδοσης ανάλογα με την διαμόρφωση

8.9.2.3. Hybrid Automatic Repeat request (HARQ)

Η τεχνική fast hybrid Automatic Repeat Request που εφαρμόζεται στο HS-DSCH, επιτυγχάνει τη μείωση του χρόνου επαναμετάδοσης των χαμένων πακέτων/δεδομένων. Τα δεδομένα διατηρούνται σε καταχωρητή στο σταθμό βάσης (Node B). Αν για κάποιο πακέτο το κινητό τερματικό δεν αποστείλει επιβεβαίωση ορθής παράδοσης (acknowledgment, ACK), το πακέτο θεωρείται χαμένο. Σε αυτήν την περίπτωση τα δεδομένα επανεκπέμπονται από τον σταθμό βάσης και ο χρήστης συνδυάζει όλα τα μπλοκ δεδομένων από προηγούμενες λήψεις (soft combining), αυξάνοντας έτσι τις πιθανότητες να αποκωδικοποιήσει επιτυχώς το μήνυμα. Κατά συνέπεια, έχουμε μειωμένη καθυστέρηση μετάδοσης (round trip delay) και βελτιωμένη απόδοση.

Σχηματικά, το Σχήμα 159 απεικονίζει τη διαδικασία επαναμετάδοσης χαμένων δεδομένων.

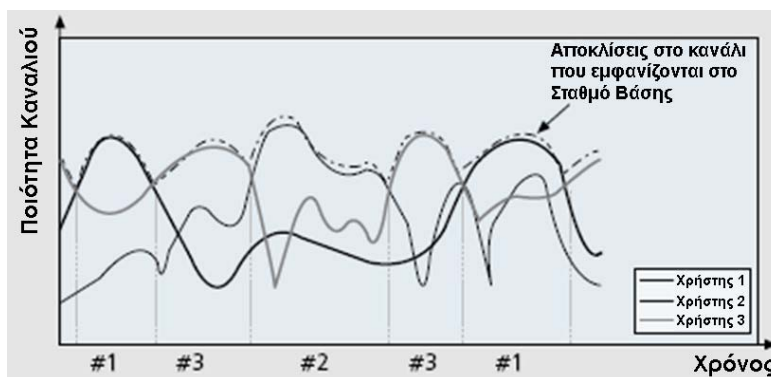


Σχήμα 159. HARQ - Διαδικασία επαναμετάδοσης χαμένων δεδομένων

8.9.2.4. Fast Scheduling

Σημαντικό ρόλο στην επίτευξη υψηλής απόδοσης του HSDPA δικτύου διαδραματίζει η επιλογή του κατάλληλου αλγόριθμου δρομολόγησης (scheduler), ιδιαίτερα σε ένα δίκτυο με υψηλό φόρτο εργασίας. Το HS-DSCH βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην τεχνική ταχείας δρομολόγησης κίνησης (fast scheduling). Ο αλγόριθμος fast scheduling αποφασίζει σε κάθε TTI (δηλαδή κάθε 2ms), σε συνεργασία με το AMC, σε ποιόν/ποιους χρήστη/χρήστες θα αποστείλει πακέτα δεδομένων.

Σημειώνεται ότι μπορεί να επιτευχθεί μεγάλη χωρητικότητα όταν χρησιμοποιηθεί η λεγόμενη “channel-dependent” δρομολόγηση. Σε αυτή την περίπτωση, λόγω της μεγάλης διαφοροποίησης των συνθηκών σε μία κυψέλη, υπάρχει σχεδόν πάντα ένας χρήστης του οποίου η ποιότητα καναλιού είναι βέλτιστη. Το κέρδος που προκύπτει από τη μετάδοση δεδομένων σε χρήστες με ιδανικές συνθήκες αποκαλείται macro-diversity gain και το κέρδος είναι μεγαλύτερο όσο περισσότεροι είναι οι εξυπηρετούμενοι χρήστες. Συνεπώς, σε αντίθεση με τις παραδοσιακή αντίληψη ότι το fading είναι ένα ανεπιθύμητο φαινόμενο και πρέπει να αντιμετωπίζεται, στο HSDPA το fading είναι άκρως επιθυμητό και πρέπει να αξιοποιείται. Το γεγονός αυτό μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό από το Σχήμα 160.



Σχήμα 160. Δρομολόγηση χρηστών με ευνοϊκές συνθήκες για αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου

Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή ανακύπτει το ζήτημα της δικαιοσύνης ανάμεσα στους χρήστες, καθώς ενθαρρύνεται η μετάδοση σε χρήστες με ευνοϊκές συνθήκες, έτσι ώστε να αυξάνεται η συνολική χωρητικότητα του δικτύου. Κάθε αλγόριθμος δρομολόγησης κίνησης αξιολογεί με διαφορετική βαρύτητα τα παραπάνω δεδομένα

και κινείται ανάμεσα στην επίτευξη υψηλής απόδοσης για το δίκτυο και στη δικαιοσύνη ανάμεσα στους χρήστες.

8.9.3. High Speed Uplink Packet Access (HSUPA)

Η τεχνολογία HSUPA βασίζεται στο σχήμα πρόσβασης WCDMA, χρησιμοποιεί το σχήμα αμφιδρόμησης FDD και λειτουργεί στην μπάντα IMT-2000 με εύρος ζώνης 5MHz. Η τεχνολογία HSUPA αποτελεί το ανάλογο της τεχνολογίας HSDPA στην ανερχόμενη ζεύξη, επομένως κατ' αντιστοιχία, η χωρητικότητα ενός δικτύου HSUPA εξαρτάται από αντίστοιχους παράγοντες όπως στην περίπτωση του HSDPA.

Στην πραγματικότητα, το HSUPA, το οποίο εναλλακτικά αποκαλείται και Enhanced Dedicated Channel (E-DCH), περιγράφει τα πρότυπα μιας ιδιαίτερα αποδοτικής μεθόδου για την αποστολή πληροφοριών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των συσκευών τρίτης γενιάς. Η χρήση του HSUPA θα επιτρέψει την πρόσβαση σε «συμμετρικές» εφαρμογές υψηλής ταχύτητας, όπως υπηρεσίες Voice over Internet Protocol (VoIP) και interactive multimedia, παρέχοντας υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων στο uplink και την περαιτέρω μείωση της καθυστέρησης. Ο συνδυασμός των δύο τεχνολογιών, HSDPA και HSUPA, επιτρέπει την πλήρη αξιοποίηση των υποδομών τρίτης γενιάς των δικτύων κινητής τηλεφωνίας.

Ο πρωταρχικός στόχος εισαγωγής του HSUPA στο 3GPP standard ήταν να αυξήσει την κάλυψη και το συνολικό throughput και ταυτόχρονα να μειώσει τις συνολικές καθυστερήσεις στον ανερχόμενο σύνδεσμο. Τα σημεία κλειδιά για την επιτυχία του HSUPA ήταν η εισαγωγή ενός νέου αφιερωμένου καναλιού στον ανερχόμενο σύνδεσμο με αυξημένη λειτουργικότητα και απόδοση, η χρήση HARQ και το fast scheduling, όπως και στην περίπτωση του HSDPA.

Η υλοποίηση του συστήματος στηρίζεται στην υλοποίηση ενός βελτιωμένου αφιερωμένου καναλιού για την ανερχόμενη ζεύξη (E-DCH), ενώ η δυνατότητα ενός χρήστη να μεταδώσει δεδομένα στην ανερχόμενη ζεύξη εξαρτάται από τη διαχείριση των χρηστών (user prioritization, user profile: HSUPA, Release '99 users, voice users, κοκ.). Το HSUPA σύστημα μπορεί να προσφέρει μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στην ανερχόμενη ζεύξη (UL) μέχρι και 5,76Mbps.

Όπως προαναφέρθηκε, η τεχνολογία HSUPA προτυποποιήθηκε αρχικά στην έκδοση 6 του 3GPP στάνταρ, το Δεκέμβριο του 2004. Σε αυτή καθορίστηκε ως μέγιστη θεωρητική ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων κατά την ανοδική ζεύξη τα 5,76Mbps, ενώ κατά τη διάρκεια επιδείξεων της συγκεκριμένης τεχνολογίας έχουν πρακτικά πραγματοποιηθεί μεταφορές δεδομένων με ρυθμούς μεταφοράς που φθάνουν τα 1,4 Mbps.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια επισκόπηση της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται, ο αντίκτυπος για τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύου και το όφελος για τους τελικούς χρήστες. Αναλυτικότερα, νέες υπηρεσίες βασισμένες στο IP Multimedia Subsystem (IMS) είναι πιθανό να επωφεληθούν από τους υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και τις μειωμένες καθυστερήσεις που προσφέρουν τα HSDPA και HSUPA.

8.9.3.1. Βασικά Χαρακτηριστικά HSUPA Τεχνολογίας

Σταχυολογώντας, τα βασικότερα χαρακτηριστικά του HSUPA είναι τα ακόλουθα:

- Υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων, μικρότερες χρονικές καθυστερήσεις, πιο αποδοτική χρήση του φάσματος

- Νέο σύστημα προγραμματισμού στο Node B
- HSUPA τεμαχικά που υποστηρίζουν HSDPA
- Κανάλια παρόμοια με το HSDPA, αλλά χρησιμοποιούν ένα ειδικό, μη διαμοιραζόμενο κανάλι
- Σε αντίθεση με το HSDPA, δεν χρησιμοποιείται το Adaptive Modulation
- Έξι κατηγορίες για το HSUPA σε αντίθεση με τις δώδεκα για το HSDPA

Όπως με το HSDPA, το HSUPA έχει στόχο να αυξήσει την χωρητικότητα μειώνοντας ταυτόχρονα τις καθυστερήσεις. Μια σειρά από βελτιώσεις που έχουν εισαχθεί για να επιτευχθεί αυτό, συμπεριλαμβανομένου και ενός ειδικού uplink καναλιού μεταφοράς (E-DCH), το οποίο λειτουργεί σε συνδυασμό με ένα νέο μηχανισμό προγραμματισμού που βρίσκεται στον κόμβο B. Όπως με το HSDPA, το HARQ και η χρήση TTI ίσου με 2ms χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν την ταχύτητα του uplink καναλιού. Προσοχή έχει δοθεί στα πρότυπα για τον περιορισμό της πολυπλοκότητας του uplink καναλιού, εξασφαλίζοντας ότι οι πρακτικές εφαρμογές είναι δυνατές.

Επίσης, οι βασικότερες αλλαγές στο φυσικό επίπεδο εντοπίζονται στην εισαγωγή ενός ενισχυμένου uplink καναλιού, του E-DCH, ενώ παράλληλα διατηρείται και το κανάλι DCH της Release '99 έκδοσης του 3GPP. Οι ιδιότητες του E-DCH καναλιού μεταφοράς είναι:

- Νέα φυσικά κανάλια: E-DPDCH και E-DPCCH. Πιλοτικά σύμβολα που ανακτώνται από το E-DPCCH χρησιμοποιούνται από τον δέκτη για να βοηθήσουν την αποκωδικοποίηση του E-DPDCH, το οποίο μεταφέρει το E-DCH κανάλι μεταφοράς δεδομένων.
- Το E-DPCCH επίσης μεταφέρει το E-TFCI (E-DCH πρότυπο μεταφοράς με συνδυασμό δείκτη), το RSN (retransmission sequence number) και “ένα χαρούμενο” bit, το οποίο χρησιμοποιείται για να δηλώσει αν ο UE είναι ικανοποιημένος με τους πόρους που χορηγούνται.
- Ταχύτητες δεδομένων έως και 5.76Mbps μπορεί να επιτευχθούν με διαφοροποίηση του Spreading Factor και του αριθμού των κωδικών που χρησιμοποιούνται στα κανάλια.
- Τόσο 2ms όσο και 10ms TTI είναι διαθέσιμα σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Ένα 2ms TTI επιτρέπει αποδοτικότερο έλεγχο και μεταφορά ενός προσαρμοσμένου μεγέθους block.
- Ένα μπλοκ μεταφορών αποστέλλεται ανά TTI

Σημειώνεται ότι υπάρχει μόνο ένα E-DCH ανά UE, και ότι το DCH περιορίζεται σε 64Kbps οπότε το E-DCH εκκινεί. Σε αντίθεση με το HSDPA, το HSUPA δεν κάνει χρήση της προσαρμοστικής διαμόρφωσης κωδικοποίησης. Για να υποστηριχθεί το ενισχυμένο uplink κανάλι, εισάγονται τρία νέα downlink κανάλια σηματοδότησης :

- E-HICH - E-DCH HARQ κανάλι δεικτοδότησης. Αυτό το downlink κανάλι φυσικού επιπέδου χρησιμοποιείται από το HARQ για να βεβαιώνει τις E-DCH μεταδόσεις από τον UE.

- E-AGCH – E-DCH Absolute Grant Channel. Αυτό το διαμοιραζόμενο downlink κανάλι φυσικού επιπέδου χρησιμοποιείται για να υποδείξει στον UE πόσα δεδομένα μπορούν να σταλούν στο uplink κανάλι επιτρέποντας να προσδιορίσει το E-DCH TFC (Traffic Format Combination) και τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ.
- E-RGCH - E-DCH Relative Grant Channel. Αυτό το διαμοιραζόμενο downlink κανάλι φυσικού επιπέδου χρησιμοποιείται για να αυξήσει ή να μειώσει τους πόρους του uplink καναλιού σε σύγκριση με αυτούς που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν.

Για να καταστεί το uplink κανάλι ανθεκτικό σε λάθη σήματος, μπορεί να ζητηθεί από τον κόμβο Node B αναμετάδοση ελαττωματικών πακέτων, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο HARQ. Αυτός ο μηχανισμός 'stop and wait' στηρίζεται σε βεβαιώσεις/αρνητικές βεβαιώσεις, οι οποίες ανατροφοδοτούν τον UE σχετικά με το νέο E-HICH κανάλι. Το πρωτόκολλο αυτό, που βρίσκεται στο Node B και όχι στο RNC, μπορεί να εξασφαλίσει ταχεία ανάκτηση των χαμένων ή κατεστραμμένων πακέτων.

8.9.4. Πλεονεκτήματα HSPA Τεχνολογίας

Ανάμεσα στα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της HSPA τεχνολογίας συγκαταλέγονται τα ακόλουθα:

- **αυξημένες ταχύτητες για τους τελικούς χρήστες.** Με τη χρήση του HSDPA στον κατερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, οι χρήστες μπορούν να λαμβάνουν υπηρεσίες με ρυθμό μετάδοσης θεωρητικά έως και 14,4 Mbps. Παρόλα αυτά, για την επίτευξη αυτής της ταχύτητας απαιτούνται ιδιαίτερα ευνοϊκές συνθήκες, με αποτέλεσμα οι εφικτοί ρυθμοί μετάδοσης να προσεγγίζουν τα 3,6 Mbps. Ακόμα και αυτή η ταχύτητα, ωστόσο, κρίνεται ιδιαίτερα υψηλή συγκριτικά με τα 384 Kbps που παρέχει το παραδοσιακό UMTS. Γίνεται εύκολα αντιληπτό, λοιπόν, ότι επιτυγχάνεται μία αύξηση σχεδόν 10-πλάσια στο συνολικό throughput. Περαιτέρω αύξηση του ρυθμού μετάδοσης στο HSDPA μπορεί να επιτευχθεί με χρήση τεχνικών όπως το Multiple Input-Multiple Output (MIMO).
- **αυξημένη διαδραστικότητα των υπηρεσιών.** Η υψηλή διαδραστικότητα των υπηρεσιών που παρέχονται μέσω του HSPA οφείλεται κατά κύριο λόγο στον περιορισμό των καθυστερήσεων και στη μικρή round trip καθυστέρηση (της τάξης των 60 ms). Κατά συνέπεια, μπορούν να υποστηριχθούν υπηρεσίες video ή και multi-user gaming με αυξημένη απόδοση σε πραγματικό χρόνο.
- **υψηλή χωρητικότητα του δικτύου προς όφελος κυρίως των πάροχων.** Με τη χρήση της τεχνολογίας HSPA γίνεται πιο αποδοτική εκμετάλλευση του φάσματος στο δίκτυο πρόσβασης. Μάλιστα, η βελτίωση είναι τόσο σημαντική αφού μελέτες αποδεικνύουν ότι η χωρητικότητα στο εύρος ζώνης των 5 MHz του UMTS γίνεται 5 φορές μεγαλύτερη με την αναβάθμιση στην HSDPA τεχνολογία.

Η μείωση των καθυστερήσεων μετάδοσης παράλληλα με τις αυξημένες πλέον ταχύτητες μετάδοσης στο ασύρματο μέσο μεταφράζονται στην δυνατότητα παροχής μίας μεγάλης γκάμας πολυμεσικών εφαρμογών. Αναλυτικότερα, οι υπηρεσίες που μπορούν να μεταδοθούν μέσω της τεχνολογίας HSPA περιγράφονται στην επόμενη ενότητα.

8.9.5. Υπηρεσίες στην HSPA Τεχνολογία

Όπως γίνεται κατανοητό από τις παραπάνω ενότητες, οι δύο τεχνολογίες HSDPA και HSUPA αλληλοσυμπληρώνονται ώστε να βελτιώσουν την προσφερόμενη ποιότητα υπηρεσίας για εφαρμογές με απαιτήσεις σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και μειωμένο latency τόσο στην κατερχόμενη όσο και στην ανερχόμενη ζεύξη.

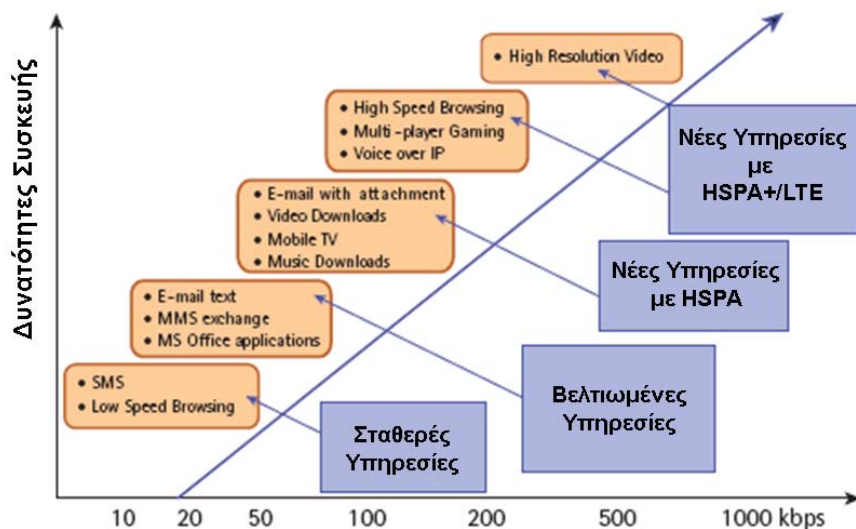
Κατά συνέπεια, οι κινητοί χρήστες έχουν πλέον την ικανότητα να απολαμβάνουν υπηρεσίες που μέχρι τώρα παρέχονταν μόνο σε χρήστες με ενσύρματη ευρυζωνική σύνδεση. Ειδικότερα, μετά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης των τεχνολογιών HSDPA και HSUPA, οι δύο τεχνολογίες αναμένεται να αποτελέσουν και πρακτικά –εκτός από θεωρητικά- ένα σύστημα το HSPA το οποίο θα επιτρέπει την ευρυζωνική πρόσβαση σε κινητούς χρήστες με ταχύτητες της τάξης των 14,4Mbps στην κατερχόμενη και 5,76Mbps στην ανερχόμενη ζεύξη και σημαντικά μικρότερο latency συγκριτικά με το UMTS. Πιο συγκεκριμένα, οι κατηγορίες υπηρεσιών που μπορούν να υποστηριχθούν είναι κυρίως:

- Βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort)
- Παρασκηνίου (Background)
- Διαδραστικές (Interactive) και
- Ροοθήκευσης (Streaming).

Οι υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort), και παρασκηνίου (Background), βελτιώνονται κυρίως μέσω της τεχνολογίας HSDPA, ενώ οι διαδραστικές υπηρεσίες οι οποίες απαιτούν εκτός από υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και χαμηλό latency τόσο στην ανερχόμενη όσο και στην κατερχόμενη ζεύξη βελτιώνονται κυρίως μέσω της τεχνολογίας HSUPA. Μερικά παραδείγματα ψηφιακών εφαρμογών και ψηφιακού περιεχομένου τα οποία μπορούν να υποστηριχθούν μέσω της τεχνολογίας HSDPA/HSUPA είναι:

- Πλοήγηση στο ψηφιακό περιεχόμενο του διαδικτύου (Internet, downloads) και δυνατότητα τοπικής αποθήκευσής του (download), ανεξάρτητα από τον τύπο του -θέαση και αποθήκευση στατικού περιεχομένου, αρχείων κειμένου, πολυμεσικού περιεχομένου (multimedia downloads, video clips) κοκ.
- Υπηρεσίες μεταφοράς/διαμοιρασμού αρχείων οποιουδήποτε ψηφιακού τύπου περιεχομένου (file sharing/ftp, P2P, remote surveillance, βίντεο κατ' απαίτηση (VoD), video/MP3 streaming)
- Υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (κατάλληλο για αποστολή (HSUPA)/λήψη (HSDPA) μεγάλων επισυναπτόμενων αρχείων)
- Υπηρεσίες τοπικών δικτύων (Intranet)
- Video telephony και video conferencing για κινητούς χρήστες
- Αποστολή/Λήψη απλών και πολυμεσικών μηνυμάτων (instant messaging, SMS, MMS, video /audio MMS)
- Διαδραστικές εφαρμογές (π.χ. online/interactive gaming, televoting, ...)

Σχηματικά, η επίδραση της HSPA τεχνολογίας στις προσφερόμενες υπηρεσίες προς τους κινητούς χρήστες απεικονίζονται στο Σχήμα 161.



Σχήμα 161 Υπηρεσίες με τη χρήση HSPA τεχνολογίας

8.9.6. HSPA + : Γενικά Χαρακτηριστικά

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ήδη μελετώνται περαιτέρω δυνατότητες αναβάθμισης της ίδιας της HSPA τεχνολογίας από το 3GPP, κατά κύριο λόγο προς τον τομέα της βελτιστοποίησης του ασύρματου μέσου μετάδοσης. Όλες αυτές οι προσπάθειες αναβάθμισης προσδιορίζονται από την ορολογία HSPA+.

Η τεχνολογία HSPA+ είναι ουσιαστικά μια εξέλιξη του συστήματος HSPA και αποτελεί μέρος της έκδοσης 7 (Release 7) της 3GPP. Αναπτύχθηκε με σκοπό:

- την αποδοτικότερη χρήση των πόρων του συστήματος HSPA, κυρίως στο δίκτυο κορμού μέσω της πλήρους διανομής υπηρεσιών μέσω του packet-switched (PS) τομέα, βελτιώνοντας ταυτόχρονα την ποιότητα των υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων,
- την περαιτέρω αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες,
- την αποτελεσματική μείωση του latency.

Οι βασικές προσεγγίσεις προς την κατεύθυνση αυτή είναι η χρήση της τεχνολογίας MIMO και η χρήση 64 QAM κωδικοποίησης. Η MIMO τεχνική απαιτεί επιπρόσθετες κεραιές λήψης (συστοιχία κεραιών) καθώς και επιπλέον κεραιές μετάδοσης στους σταθμούς βάσης. Παράλληλα, η εφαρμογή 64 QAM κωδικοποίησης αναμένεται να αυξήσει σημαντικά τους ρυθμούς μετάδοσης υπό την προϋπόθεση ότι επικρατούν πολύ καλές συνθήκες μετάδοσης.

Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία αυτή αναμένεται να προσφέρει μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 28Mbps για την κατερχόμενη ζεύξη και των 11,5Mbps για την ανερχόμενη ζεύξη στα 5MHz εύρους ζώνης (χρησιμοποιώντας 2x2 MIMO σχήμα και διαμόρφωση 16QAM). Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης για την κάτω ζεύξη μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 42Mbps ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της υλοποίησης (χρήση υψηλότερης τάξης διαμόρφωση 64QAM).

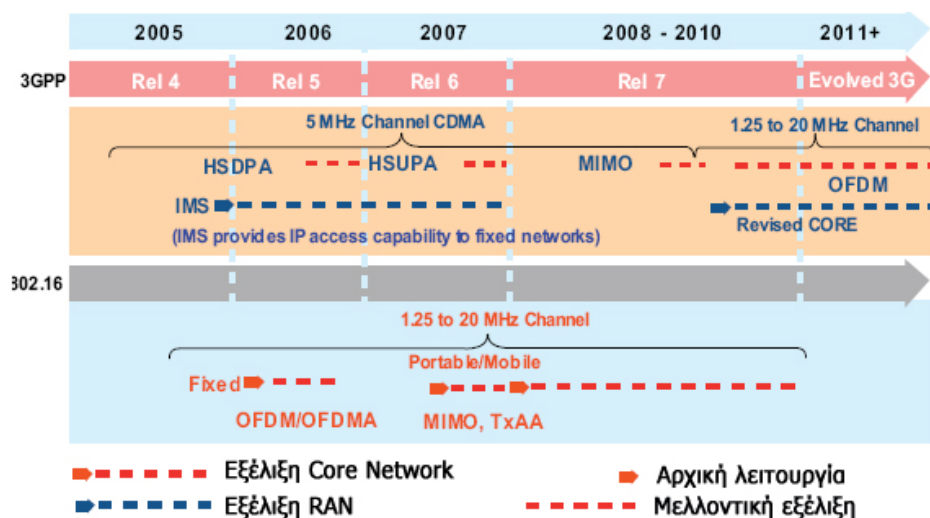
Όπως προαναφέρθηκε, η τεχνολογία HSPA+ αναπτύχθηκε με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων, και την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες, επιτρέποντας την υποστήριξη και ανάπτυξη ενός μεγάλου συνόλου ψηφιακών υπηρεσιών. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία HSPA+ δεν φαίνεται να εισάγει κάποια καινούργια «Killer Application», καθώς ουσιαστικά παρέχει βελτιωμένη ποιότητα (υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, μικρότερο latency) για τις υπηρεσίες που υποστηρίζονται από την τεχνολογία HSPA. Ωστόσο, δύναται επιπρόσθετα να υποστηρίξει:

- Διαδραστικές υπηρεσίες, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι υπηρεσίες διαδικτυακών αγορών (on-line shopping (π.χ., αγορών CD ή καταφόρτωση ήχων κλήσης κατά τη διάρκεια ευρυεκπομπής ενός μουσικού video clip)), τηλενηφοφορίες, αποστολή μηνυμάτων, φωνητικών κλήσεων, κ.α.
- Διαδραστικά παιχνίδια (multiplayer interactive/ online gaming)
- Προσωποποιημένες υπηρεσίες/εφαρμογές, όπως για παράδειγμα η διαμόρφωση προγραμμάτων με εμπλουτισμένο ψηφιακό περιεχόμενο – καιρός, νέα, σαπουνόπερες, μουσική, κοκ.– βασισμένα στο προφίλ του κάθε χρήστη

8.10. 3GPP LONG TERM EVOLUTION (LTE)

Παρά το γεγονός ότι οι τεχνολογίες HSPA και HSPA+ αναμένονται να προσφέρουν τη δυνατότητα παροχής πληθώρας ευρυζωνικών υπηρεσιών, το 3GPP ήδη μελετά και επεξεργάζεται νέες τεχνολογίες που θα επικρατήσουν την αμέσως επόμενη δεκαετία στην αγορά των κινητών επικοινωνιών. Το νέο αυτό project αποκαλείται Long Term Evolution (LTE) και στοχεύει στην επίτευξη ακόμη υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης σε συνδυασμό με την αξιοποίηση μεγαλύτερου εύρος ζώνης. Κύρια προοπτική του LTE αποτελεί η διασφάλιση της ανταγωνιστικας και η επικράτηση του προτύπου στο χρονικό ορίζοντα της επόμενης δεκαετίας.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι το «αντίπαλο» πρότυπο που ανταγωνίζεται το LTE είναι το Mobile WiMAX. Το LTE ήδη γνωρίζει έντονη ερευνητική δραστηριότητα και αναμένεται να λειτουργήσει στην αγορά σταδιακά, ξεκινώντας γύρω στο 2010. Γραφικά, η χρονική εξέλιξη των δύο ανταγωνιστικών προτύπων (3GPP και 802.16) απεικονίζεται στο Σχήμα 162.



Σχήμα 162. Η εξέλιξη των κινητών ευρυζωνικών standards

8.10.1. Απαιτήσεις για το LTE

Το LTE εστιάζει αποκλειστικά στη βελτιστοποίηση υποστήριξης και μετάδοσης packet-switched εφαρμογών, όπως είναι οι πολυμεσικές εφαρμογές. Επίσης, θέτει πολύ υψηλούς και φιλόδοξους στόχους προκειμένου να ξεπεράσει τα όρια των 14.4 Mbps και 5.8 Mbps που επιτυγχάνονται στο HSDPA και HSUPA αντίστοιχα. Οι βασικότερες απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί το πρότυπο LTE σταχυολογούνται στη συνέχεια:

- **Εύρος Ζώνης:** Κλιμακωτή χρήση φάσματος εύρους ζώνης της τάξης των 5, 10, 15 και 20 MHz. Επίσης, μπορεί να γίνει και χρήση εύρους ζώνης μικρότερου των 5 MHz (1.5 MHz και 2.5 MHz) για επιπλέον ευελιξία.
- **Ρυθμοί Μετάδοσης:** Επίτευξη μέγιστων ρυθμών μετάδοσης της τάξης των 100 Mbps στον κατερχόμενο σύνδεσμο και 50 Mbps στον ανερχόμενο σύνδεσμο για εύρος ζώνης ίσο με 20 MHz.
- **Mode Λειτουργίας:** Λειτουργία του LTE τόσο σε FDD όσο και TDD mode.
- **Throughput:** Επίτευξη 3-4 φορές μεγαλύτερου μέσου throughput χρήστη ανά MHz στον κατερχόμενο σύνδεσμο και αντίστοιχα 2-3 φορές μεγαλύτερου για τον ανερχόμενο σύνδεσμο συγκριτικά με τις εκδόσεις 6 και 7 του 3GPP στάνταρ (HSDPA και HSUPA).
- **Αποδοτικότητα φάσματος:** Επίτευξη 2-3 φορές μεγαλύτερης αποδοτικότητας φάσματος σε σχέση με την έκδοση 6 του 3GPP στάνταρ (HSDPA).
- **Καθυστερήση:** Σημαντική μείωση της round-trip καθυστέρησης από το χρήστη έως το σταθμό βάσης στα 5ms-10ms.
- **Κινητικότητα:** Δυνατότητα βέλτιστης λειτουργίας του συστήματος για χαμηλές ταχυτητες κίνησης των χρηστών (0-15 χλμ/ώρα) καθώς και δυνατότητα υποστήριξης χρηστών που κινούνται σε πολύ υψηλές ταχύτητες.
- **Διαλειτουργικότητα:** Δυνατότητα ταυτόχρονης λειτουργίας με μη-3GPP πρότυπα επικοινωνιών καθώς και με τα υπάρχοντα UTRAN/GERAN συστήματα κινητών

επικοινωνιών. Επίσης, υποστήριξη δυνατότητας handover από και προς τα συστήματα αυτά.

- **Ποιότητα Υπηρεσίας:** Υποστήριξη από άκρο σε άκρο ποιότητας υπηρεσίας (QoS), για την υποστήριξη απαιτητικών σε QoS υπηρεσιών όπως είναι οι VoIP εφαρμογές.

8.10.2. Βασικές Τεχνικές Μετάδοσης Πληροφορίας στο LTE

Για την επίτευξη των παραπάνω απαιτήσεων είναι προφανές ότι το LTE πρέπει να βασιστεί σε βέλτιστες τεχνολογίες μετάδοσης πληροφορίας στο ασύρματο τμήμα του δικτύου πρόσβασης. Μία από τις κύριες τεχνολογίες αυτές που υιοθετεί το LTE είναι το OFDM. Κύριος λόγος υιοθέτησης του OFDM ως μοντέλου διαμόρφωσης για το LTE είναι η μεγάλη αντοχή που επιδεικνύει σε περιβάλλοντα εξασθένησης σήματος και παρεμβολών.

Ειδικότερα, για την περίπτωση της μετάδοσης δεδομένων στον κατερχόμενο σύνδεσμο, η OFDM τεχνολογία διαδραματίζει κυριαρχό ρόλο, και είναι αυτή που προτείνεται από το 3GPP ως η πλέον καταλληλή τεχνική. Η OFDM αποτελεί μία εξ' ολοκλήρου ψηφιακή προσέγγιση πολυπλεξίας πληροφορίας, η οποία κάνει χρήση του Fast Fourier Transform (FFT) για να διαχωρίσει το σήμα σε μικρού εύρου ζώνης επικαλυπτόμενα κανάλια. Τα κανάλια αυτά χαρακτηρίζονται από την κοινή ιδιότητα της μεταξύ τους ορθογωνιότητας, γεγονός που οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση φάσματος.

Παράλληλα, για τον ανερχόμενο σύνδεσμο, στο LTE προτείνεται η χρήση της τεχνολογίας Single Carrier OFDM (SC-OFDM). Στο σημείο αυτό, το LTE διαφοροποιείται από το πρότυπο WiMAX, το οποίο χρησιμοποιεί την OFDMA τεχνική για τον ανερχόμενο σύνδεσμο. Η OFDMA τεχνική, παρά τα σημαντικά πλεονεκτηματά της, μπορεί να αποβεί ανασταλτικός παράγοντας για τη μπαταρία των κινητών συσκευών των χρηστών, καθώς απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ισχύος. Για το λόγο αυτό, στο LTE υιοθετείται η SC-OFDM τεχνική. Η SC-OFDM τεχνική παρουσιάζει ιδιαίτερα καλή απόδοση, αφού έχει και πολύ υψηλό λόγο Peak-to-Average Ratio (PAR) σήματος. Ο λόγος PAR είναι πολύ κρίσιμη μετρική για το uplink, και σχετίζεται άμεσα με την κατανάλωση ισχύος. Επιπλέον, η SC-OFDM τεχνική επιτρέπει υψηλή απόδοση και μικρή πολυπλοκότητα υλοποίησης της κεραίας του σταθμού βάσης. Εν γένει, η SC-OFDM τεχνική επιφέρει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης στον ανερχόμενο σύνδεσμο, κυρίως όταν ο χρήστης βρίσκεται κοντά στο σταθμό βάσης.

Τέλος, μια ακόμη τεχνολογία που υπόσχεται ακόμη μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, αυξημένη κάλυψη δικτύου και χωρητικότητα στο LTE είναι η MIMO τεχνική. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία MIMO συνίσταται στην ύπαρξη πολλαπλών κεραιών (κεραιοσυστημάτων) τόσο στον πομπό-σταθμό βάσης όσο και στο δέκτη-συσκευή του χρήστη. Για την περίπτωση του LTE, σε πρώτη φάση η ύπαρξη MIMO κεραιοσυστημάτων 2x2 (δύο κεραιές στο σταθμό βάσης και δύο κεραιές στη συσκευή του χρήστη) θεωρείται απαραίτητο στοιχείο για την επίτευξη υψηλής απόδοσης. Σε μεταγενέστερη φάση ανάπτυξης είναι δυνατόν να γίνει χρήση συστημάτων MIMO 4x4. Στο MIMO διακρίνουμε δύο διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας. Το Spatial Multiplexing (στο οποίο η πληροφορία διαχωρίζεται σε

stream τα οποία μεταδίδονται ταυτόχρονα σε διαφορετικές κεραίες) και το Transmit Diversity.

8.10.3. Υπηρεσίες στο LTE

Η τεχνολογία LTE επιτρέπει τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων, και την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες. Μέσω της εξέλιξης της τεχνολογίας MBMS σε enhanced MBMS επιτρέπει και την παροχή υπηρεσιών ευρυεκπομπής ψηφιακού περιεχομένου, ταυτόχρονα με τις υπηρεσίες δεδομένων, πιο αποδοτικά και με περισσότερες δυνατότητες όσον αφορά στη χωρητικότητα και στον αριθμό των προσφερόμενων καναλιών ευρυεκπομπής. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία LTE ουσιαστικά παρέχει βελτιωμένη ποιότητα (υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, μικρότερο latency) για τις υπηρεσίες που υποστηρίζονται από την τεχνολογία HSPA+, και δύναται επιπρόσθετα να υποστηρίξει μέσω της τεχνολογίας enhanced MBMS:

- Μετάδοση υψηλής ποιότητας περιεχόμενου σε πραγματικό χρόνο – Υπηρεσίες ροοθήκευσης ήχου και εικόνας (Video and Audio stream services): τηλεόραση, ραδιόφωνο. Το μεταδιδόμενο περιεχόμενο μπορεί να μεταφέρεται σε πραγματικό χρόνο ή να είναι αποθηκευμένο και να αναμεταδίδεται, και
- Υπηρεσίες παρεχόμενες/διαφοροποιούμενες ανά εντοπισμένη περιοχή εξυπηρέτησης (Localized services) – δυνατότητα συνδυασμού εθνικών και τοπικών προγραμμάτων τηλεόρασης ή άλλου περιεχομένου ευρυεκπομπής ανά γεωγραφική περιοχή, ευρυεκπομπή τουριστικού περιεχομένου (video-clips, διαφημίσεις) με πληροφορίες για φεστιβάλ, εστιατόρια, ξενοδοχεία, μουσεία κ.ο.κ.

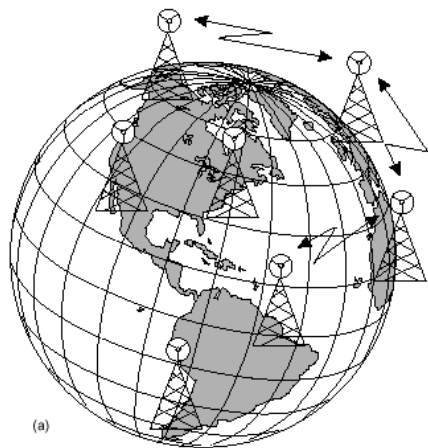
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9:
ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ –
INTERNET OVER SATELITE

9. Δορυφορικές Επικοινωνίες – Internet over Satellite

Τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος (communications satellite) ονομάζεται ένας μη επανδρωμένος τεχνητός δορυφόρος (unmanned artificial satellite) μέσω του οποίου επιτυγχάνονται υπηρεσίες μεγάλων αποστάσεων, τηλεοπτικής μετάδοσης (television broadcasting), τηλεφωνικών επικοινωνιών (telephone communications) και συνδέσεων ηλεκτρονικών υπολογιστών (computer links). Οι δορυφόροι μπορούν να έχουν ενεργητικό ή παθητικό ρόλο. Δορυφόρος με ενεργητικό ρόλο συλλέγει δεδομένα ή σήματα, τα επεξεργάζεται και τα επανεκπέμπει στη γη. Αντίθετα, ένας παθητικός δορυφόρος απλά τα ανακλά.

Οι δορυφόροι εξυπηρετούν κυρίως τρεις σκοπούς: μελέτη του διαστήματος, εφαρμογές και τηλεπικοινωνίες. Για τη μελέτη του διαστήματος γίνονται μετρήσεις όπως του μαγνητικού πεδίου του ήλιου ή για τις διάφορες συχνότητες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στο σύμπαν. Οι εφαρμογές μπορεί να είναι μετεωρολογικές ή μετρήσεις των φυσικών πόρων της γης. Τέλος οι επικοινωνιακοί δορυφόροι μεταφέρουν τηλεφωνικές συνδιαλέξεις, τηλεοπτικά κανάλια και πληροφορίες ελέγχου για τους δορυφόρους.

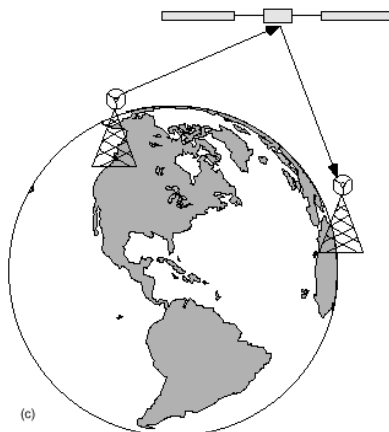
Η ανακάλυψη ότι το σχήμα της γης είναι σφαιρικό οδήγησε στο συμπέρασμα ότι είναι αδύνατη η αποστολή ραδιοκυμάτων από ένα σημείο του πλανήτη σε ένα άλλο όταν δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ τους. Για τον λόγο αυτό, για να είναι δυνατή η επικοινωνία μεταξύ δύο οποιονδήποτε σημείων, θα πρέπει να υπάρχουν ενδιάμεσα αναμεταδότες έτσι ώστε ανά δύο να έχουν οπτική επαφή (Σχήμα 163). Λόγω του ιδιαίτερου ανάγλυφου της γης, η χρήση αναμεταδοτών είναι είτε αδύνατη, είτε πολύ ακριβή.



Σχήμα 163: Επικοινωνία μεταξύ σημείων που δεν έχουν οπτική επαφή

Μία άλλη εναλλακτική λύση για την αποκατάσταση επικοινωνίας μεταξύ δύο απομακρυσμένων σημείων είναι η χρήση της ατμόσφαιρας και της ιονόσφαιρας της γης. Εάν αποστείλουμε ραδιοσήματα προς την ατμόσφαιρα / ιονόσφαιρα, τότε μέρος του σήματος ανακλάται και επιστρέφει, με κάποια εξασθένιση προς την γη με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η λήψη του σήματος από σημεία που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση. Το πρόβλημα με τέτοιου είδους μεταδόσεις είναι το περιορισμένο εύρος ζώνης και το γεγονός ότι εξαρτώνται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που μεταβάλλονται συνεχώς με αποτέλεσμα η ποιότητα της επικοινωνίας να είναι απρόβλεπτη.

Υποθέτοντας ότι η ατμόσφαιρα απλά ανακλά τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τότε και άλλα σώματα, όπως οι πλανήτες και τα αστέρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάκλαση των σημάτων. Μια διαφορετική προσέγγιση είναι η εγκατάσταση τεχνητών σταθμών στο διάστημα οι οποίοι δέχονται τα ραδιοσήματα και τα αναμεταδίδουν προς κάποιο άλλο σημείο της γης. Αυτή είναι η βασική ιδέα με την οποία κατασκευάστηκαν οι δορυφόροι. Μπορούμε να φανταστούμε τους δορυφόρους ως τις συσκευές που παρεμβάλλονται ανάμεσα σε δύο σημεία που επιθυμούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους (Σχήμα 164).



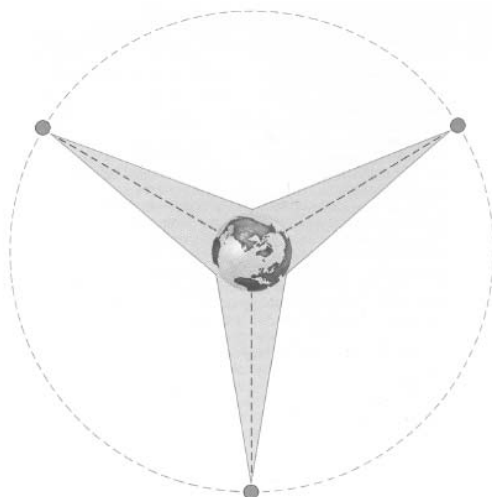
Σχήμα 164: Επικοινωνία μέσω δορυφόρου

Οι δορυφόροι χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές μεταφέροντας μεγάλες ποσότητες φωνής και δεδομένων, και παρέχοντας υπηρεσίες εύρεσης θέσης και πλοήγησης. Στους δορυφόρους μπορούμε να βρούμε χαρακτηριστικά που δεν υπάρχουν σε άλλα συστήματα επικοινωνιών. Το γεγονός ότι μπορούν και καλύπτουν μεγάλες περιοχές της γήινης επιφάνειας, δίνει την δυνατότητα επικοινωνίας σε απομακρυσμένα σημεία ή σε ομάδες χρηστών που βρίσκονται διασκορπισμένοι γεωγραφικά.

9.1. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η εκτόξευση του Syncom το 1963, του πρώτου δορυφόρου σε γεωστατική τροχιά, υπερνίκησε όλους τους περιορισμούς και σήμανε την αρχή μιας επικοινωνιακής επανάστασης. Αυτή τη στιγμή περισσότεροι από 180 απόγονοι βρίσκονται στην τροχιά που πρώτος ο Syncom διέγραψε. Λίγοι μπορούσαν να φανταστούν στις 26/7/1963 που έγινε η εκτόξευση τις συνέπειες που θα είχε ο δορυφόρος στις τηλεπικοινωνίες παγκοσμίως.

Η ιδέα, ότι ένα αντικείμενο πάνω από τον ισημερινό σε ύψος 36000 km και με ταχύτητα 11000 km/h θα είχε την ίδια γωνιακή ταχύτητα με τη γη, ξεκινάει το 1929 (H. Noordung). Για έναν παρατηρητή από το έδαφος ο δορυφόρος θα φαίνεται ακίνητος (γεωστατικός). Ο A. Clarke το 1945 υποστήριξε ότι 3 δορυφόροι γεωστατικής τροχιάς σε ίσες αποστάσεις θα μπορούσαν να καλύψουν ολόκληρη τη γη τηλεπικοινωνιακά (Σχήμα 165). Το 1959 θεωρία άρχισε να γίνεται πραγματικότητα, όταν η Hughes Aircraft Company ανέλαβε την υλοποίηση του πολλά υποσχόμενου project.



Σχήμα 165: Το μοντέλο του Clarke

Οι δορυφόροι πριν από τον Syncom χρησιμοποιούσαν χαμηλές τροχιές, πράγμα που έκανε απαραίτητη την ύπαρξη μεγάλων κεραιών και ισχυρών υπολογιστών για τον προσδιορισμό της θέσης τους. Αντίθετα, ο γεωστατικός δορυφόρος βρίσκεται σε σταθερό σημείο, κάνοντας την επικοινωνία με τους σταθμούς εδάφους πιο εύκολη. Επιπλέον, ο δορυφόρος, βρίσκεται κατά το 99% της τροχιάς στο ηλιακό φως, ικανοποιώντας τις ανάγκες του σε ενέργεια. Στη συνέχεια υιοθετήθηκε και η τεχνική της περιστροφής του δορυφόρου για καλύτερη σταθεροποίηση.

Το 1961 η Hughes Aircraft Company υπέγραψε συμβόλαιο με τη NASA για την κατασκευή 3 δορυφόρων. Η εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου Syncom έγινε στις 14/2/1963. Ενώ αρχικά όλα πήγαν καλά, την τελευταία στιγμή η επικοινωνία χάθηκε και το σύστημα σταμάτησε να λειτουργεί. Οι τεχνικοί προσδιόρισαν τα προβλήματα που δημιουργήθηκαν και προσπάθησαν στην δεύτερη έκδοση του δορυφόρου να τα απαλείψουν. Έτσι 5 μήνες αργότερα στις 26/7/1963 ο Syncom 2 κατάφερε να τεθεί σε τροχιά και με όλα τα συστήματα σε λειτουργία. Η εκτόξευση του τρίτου δορυφόρου της σειράς επισπεύστηκε, ώστε να μπορέσει να καλύψει τους Ολυμπιακούς αγώνες στο Τόκιο (1964).

Πολλοί δορυφόροι ακολούθησαν τον Syncom. Κάθε καινούργιο σύστημα είχε καινούργια βελτιωμένα χαρακτηριστικά από τα προηγούμενα. Έτσι σχεδόν 40 χρόνια μετά υπάρχει μια τεράστια ποικιλία μοντέλων και τεχνολογιών.

Από τις κυριότερες εταιρίες στον χώρο των δορυφορικών επικοινωνιών είναι η COMSAT, με περισσότερα από 30 χρόνια παρουσίας στον χώρο. Η COMSAT προσφέρει τηλεπικοινωνιακές λύσεις με τα δορυφορικά συστήματα Intelsat, Inmarsat.

Μέσω του συστήματος της Intelsat, η COMSAT παρέχει τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες, αναμετάδοση σήματος και ψηφιακά δίκτυα μεταξύ των Ηνωμένων Πολιτειών και του υπόλοιπου κόσμου. Οι υπηρεσίες αυτές χρησιμοποιούνται από παροχείς υπηρεσιών Internet (ISPs), πολυεθνικούς συνεταιρισμούς, τηλεπικοινωνιακούς φορείς ακόμα και από κυβερνήσεις.

Χρησιμοποιώντας το σύστημα της Inmarsat, η COMSAT παρέχει θαλάσσιες, αεροναυτικές και υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας ξηράς. Οι πελάτες μπορούν να είναι συνεχώς σε επαφή, ακόμα και στις πιο απομακρυσμένες περιοχές, με αξιόπιστες υπηρεσίες φωνής και δεδομένων.

Οι υπηρεσίες που υποστηρίζονται από το δορυφορικό δίκτυο Inmarsat περιλαμβάνουν άμεση τηλεφωνία, fax, e-mail και εφαρμογές δεδομένων για ναυτικές επικοινωνίες (πχ. GPS – προσδιορισμός θέσης). Επίσης το Inmarsat χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις άμεσης ανάγκης και από τα τηλεοπτικά μέσα για σύνδεση με περιοχές που δεν υπάρχει άλλη υποδομή.

Πλέον σήμερα υπάρχει μεγάλος αριθμός διαθέσιμων δορυφορικών τεχνολογιών, για πλήθος εφαρμογών. Ακολουθεί ένας κατάλογος με τις κυριότερες.

- Τεχνολογία ARCHIMEDES
- Τεχνολογία ARIES
- Τεχνολογία GEOSTAR
- Τεχνολογία GLOBALSTAR
- Τεχνολογία INMARSAT
- Τεχνολογία INTELSAT 5
- Τεχνολογία INTELSAT 6,7
- Τεχνολογία IRIDIUM
- Τεχνολογία MSAT

9.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΕΝΟΣ ΔΟΥΡΥΦΟΡΟΥ

Παρόλο ότι κάθε δορυφόρος προορίζεται για διαφορετική χρήση, υπάρχουν συγκεκριμένα στοιχεία που τα συναντούμε σε όλους τους δορυφόρους. Θα περιγράψουμε τα μέρη από τα οποία αποτελείται ο δορυφόρος, τις τεχνικές με τις οποίες προσδιορίζει τη θέση του και τους τρόπους εξασφάλισης της απαραίτητης ενέργειας για τις λειτουργίες του. Το πιο σημαντικό τμήμα του δορυφόρου είναι το επικοινωνιακό σύστημα, καθώς και το υπολογιστικό σύστημα που κάνει τον συνολικό έλεγχο. Τέλος θα αναφερθούμε στις τροχιές στις οποίες κινούνται και θα περιγράψουμε κάποιους σχηματισμούς δορυφόρων.

9.2.1. Ανατομία (περιγραφή κυρίως σώματος)

Το σώμα του δορυφόρου (Σχήμα 166) περιλαμβάνει όλο τον επιστημονικό εξοπλισμό και άλλα απαραίτητα εξαρτήματα του δορυφόρου. Τα εξαρτήματα των δορυφόρων είναι κατασκευασμένα από διάφορα υλικά, συνδυάζοντας τις φυσικές και μηχανικές τους ιδιότητες ώστε τα επικοινωνιακά και υπολογιστικά συστήματα να ταξιδέψουν με ασφάλεια στο διάστημα. Υπάρχουν διάφορα θέματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό και την επιλογή των υλικών από τους μηχανικούς.

Το εξωτερικό περίβλημα προστατεύει το δορυφόρο από τις συγκρούσεις με μικρομετεωρίτες και άλλα σώματα που βρίσκονται στο διάστημα. Έτσι το υλικό που θα καλύψει το εξωτερικό του δορυφόρου πρέπει να είναι ελαφρύ, αλλά σκληρό και ανθεκτικό στις ζημιές που μπορεί να προκαλέσουν σωματίδια που ταξιδεύουν με μεγάλες ταχύτητες.

Τα ηλεκτρονικά συστήματα του δορυφόρου είναι υψηλής ακρίβειας και συνεπώς αρκετά ευαίσθητα σε παρεμβολές από ακτινοβολίες. Η κύρια πηγή ακτινοβολίας στο

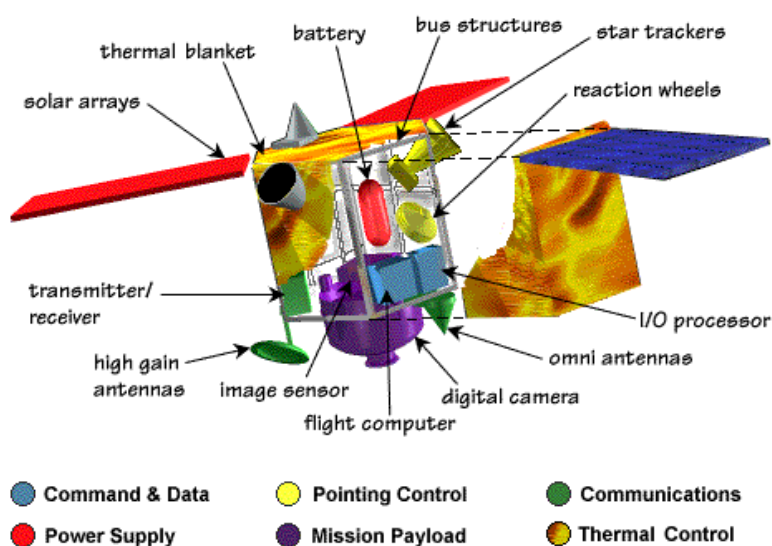
διάστημα είναι ο ήλιος, όπου επιπλέον η ατμόσφαιρα της γης δεν υπάρχει ώστε να την απορροφήσει και συνεπώς η θωράκιση κατά της ακτινοβολίας είναι απαραίτητη. Το κύριο υλικό με το οποίο καλύπτονται τα διάφορα εξαρτήματα ώστε να απορροφάται η ακτινοβολία είναι ο μόλυβδος, που είναι φθηνός και έχει μεγάλη αντοχή.

Όλα τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα λειτουργούν σωστά σε ένα ορισμένος εύρος θερμοκρασιών. Για παράδειγμα ψηφιακά κυκλώματα βασισμένα σε CMOS τεχνολογία λειτουργούν στην περιοχή $-20 \dots 120$ οC. Είναι λοιπόν απαραίτητη η θερμομόνωση, ώστε να εξομαλύνονται οι ακραίες θερμοκρασίες που επικρατούν στο διάστημα. Κατάλληλο υλικό για αυτόν το σκοπό είναι το Mylar (πολυεστερικό πλαστικό φιλμ) που έχει μέτρια αντοχή και διάρκεια ζωής.

Ηλεκτρικά φορτία παράγονται εύκολα στους δορυφόρους και μπορεί να είναι επικίνδυνα για τον εξοπλισμό. Τα φορτία παράγονται επειδή δεν υπάρχει αέρας γύρω από τον δορυφόρο ώστε να διασκορπιστούν τα φορτία. Για να απαλλαγούμε από αυτά τα φορτία, χρησιμοποιούνται αγωγοί που οδηγούν τα φορτία έξω από τον χώρο του δορυφόρου.

Ιδιαίτερης σημασίας είναι ο σκελετός του δορυφόρου. Είναι αυτό που συγκρατεί τα συστατικά τμήματα του δορυφόρου, το πλαίσιο. Αυτό το πλαίσιο πρέπει να είναι ελαφρύ και όσο το δυνατό πιο συμπακνωμένο, καθώς επίσης άκαμπτο και να έχει μορφή που να συμφωνεί με τα κριτήρια του σχεδιασμού. Ένα συχνά χρησιμοποιούμενο υλικό στην κατασκευή σκελετών δορυφόρων είναι το Kevlar, που είναι το όνομα προϊόντος ινών με μεγάλη αντοχή, χαμηλό βάρος, που είναι ανθεκτικό σε μεγάλες θερμοκρασίες.

Τέλος στη φυσική σχεδίαση του δορυφόρου μεγάλη σημασία έχει ο τρόπος που όλα τα συστατικά θα συνδεθούν μεταξύ τους, ώστε να έχουν την αντοχή και τη λειτουργικότητα που χρειάζεται.



Σχήμα 166: Τα βασικά μέρη ενός δορυφόρου

9.2.2. Έλεγχος θέσης στην τροχιά

Ένα άλλο ζήτημα που εγείρεται κατά τον σχεδιασμό ενός δορυφόρου είναι ο τρόπος με τον οποίο θα μπορεί να αντιλαμβάνεται που βρίσκεται στην τροχιά. Συχνά οι τροχιές αλλοιώνονται λόγω τριβών, και τότε χρειάζονται κάποιες ενέργειες για τη σταθεροποίηση του δορυφόρου, αλλιώς υπάρχει κίνδυνος να ξεφύγει από την προκαθορισμένη τροχιά.

Υπάρχουν τρεις συνηθισμένες τεχνικές για τη σταθεροποίηση ενός δορυφόρου. Ένας δορυφόρος μπορεί να κρατήσει τη σταθερότητά του με περιστροφή και προς τις τρεις κατευθύνσεις. Η περιστροφή επιτυγχάνεται με χρήση πηνίων από τα οποία περνάει ηλεκτρικό ρεύμα. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι το πολύ μικρό ποσό ενέργειας που απαιτείται (πολύ λιγότερο από τη χρήση προωθητηρίων). Τα μειονεκτήματα είναι ότι οι ηλιακοί συλλέκτες ενέργειας “βλέπουν” τον ήλιο περιοδικά και επίσης τα όργανα μετρήσεων παίρνουν περιοδικές μετρήσεις κι όχι συνεχόμενες. Για να παρακαμφθούν αυτά τα μειονεκτήματα, χρησιμοποιείται εναλλακτικά μια πλατφόρμα πάνω στην οποία βρίσκονται τα όργανα που πρέπει να βρίσκονται σε σταθερό προσανατολισμό, ενώ το υπόλοιπο περιστρέφεται ώστε να εξασφαλίζει σταθερότητα. Ο τελευταίος τρόπος σταθεροποίησης είναι η χρήση προωθητήρων στις τρεις διευθύνσεις, που όμως χρειάζεται μεγάλο ποσό ενέργειας.

9.2.3. Πηγές Ενέργειας

Όλοι οι δορυφόροι χρειάζονται μεγάλα ποσά ενέργειας για τη λειτουργία των ηλεκτρονικών συσκευών που φέρει. Την ενέργεια που χρειάζεται πρέπει να την συλλέγει ή να την παράγει από τη θέση που βρίσκεται.

Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι ένας τρόπος που χρησιμοποιεί την πηγή ενέργειας του ήλιου. Τα κύτταρα που έχει ένας τέτοιος συλλέκτης παράγουν ηλεκτρική ενέργεια καθώς το ηλιακό φως προσπίπτει πάνω τους. Επειδή κάθε κύτταρο ξεχωριστά δεν έχει μεγάλες δυνατότητες, απαιτούνται μεγάλες επιφάνειες, πράγμα που έρχεται σε αντίθεση με την απαίτηση για μικρό μέγεθος του δορυφόρου. Παρόλα αυτά οι ηλιακοί συλλέκτες είναι ανεξάντλητοι. Συχνά χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με μπαταρίες για την περίπτωση που οι ηλιακοί συλλέκτες δεν έχουν οπτική επαφή με τον ήλιο.

Άλλος τρόπος παροχής ενέργειας σε έναν δορυφόρο είναι η χρήση μπαταριών (συσσωρευτών). Αυτές μπορούν να ανανεώνονται, να ξαναγεμίζουν, σε συνδυασμό με κάποιον άλλο τρόπο παραγωγής ενέργειας. Μια μπαταρία δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν κύρια πηγή ενέργειας.

Η πυρηνική ενέργεια είναι μια λύση που προσφέρει απεριόριστα ποσά ενέργειας. Στους δορυφόρους η πυρηνική ενέργεια παράγεται στις θερμοηλεκτρικές γεννήτριες ραδιοϊσοτόπων. Αυτή η πηγή ενέργειας δεν προσφέρεται για χρήση σε δορυφόρους με τροχιά γύρω από τη γη επειδή σε περίπτωση καταστροφής τους ραδιενεργά στοιχεία θα εξαπλωθούν στην ατμόσφαιρα.

Μια τελευταία μέθοδος εκμεταλλεύεται τη θερμότητα που εκπέμπει ο ήλιος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχει ένα παραβολικό πιάτο που αντανακλά τη θερμότητα του ήλιου σε ένα boiler που κάνει τη μετατροπή. Η τεχνική αυτή βρίσκεται σε πειραματική φάση.

9.2.4. Επικοινωνιακό σύστημα

Κάθε δορυφόρος χρειάζεται κάποιον τρόπο ώστε να επικοινωνεί με επίγειους σταθμούς. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση κάποιας κεραίας. Κεραία είναι το εξάρτημα που λαμβάνει και εκπέμπει ραδιοκύματα.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κεραιών. Ο πιο απλός τύπος είναι η κλασική κεραία, ένα απλό σύρμα. Έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι απλές στην κατασκευή, αλλά πρέπει να έχουν μεγάλο μέγεθος, ώστε να μπορούν να λαμβάνουν τα σήματα. Ένας άλλος κλασικός τύπος είναι ο παραβολικός δίσκος. Λαμβάνει τα σήματα και τα αντανακλά σε ένα σημείο που ονομάζεται εστίαση (focus). Υπάρχουν ασφαλώς και εναλλακτικές υλοποιήσεις. Αυτές οι κεραίες είναι πιο μεγάλες, αλλά και πιο αποτελεσματικές στη λήψη. Έχουν μεγάλη αντοχή και μέτριο κόστος. Οι δικτυωτές κεραίες (patch array antennas) αποτελούνται από ένα πλέγμα. Συνήθως τυλίγονται γύρω από το σώμα του δορυφόρου για να μην αυξάνουν το μέγεθός του. Είναι εξαιρετικά πρακτικές και με μέτριο κόστος. Υπάρχουν και οι inflatable antennas που μοιάζουν με επίπεδο αλεξίπτωτο, είναι αρκετά αξιόπιστες, αλλά βρίσκονται ακόμα υπό έρευνα.

Οι δορυφόροι χρησιμοποιούν κάποιες περιοχές συχνοτήτων στις οποίες εκπέμπουν (μπάντες-bands). Αυτές είναι οι C, L, Ku, Ka. Για παράδειγμα η Ka, που είναι μια πολύ καινούργια περιοχή συχνοτήτων για μετάδοση μεγάλης ταχύτητας χρησιμοποιεί την κεντρική συχνότητα των 20 GHz για downlink (δορυφόρος – έδαφος) και 30 GHz για uplink (έδαφος – δορυφόρος). Γύρω από την κεντρική συχνότητα υπάρχουν πολλά κανάλια με τυπικό εύρος ζώνης γύρω στα 500MHz. Η διαμόρφωση των σημάτων γίνεται συνήθως με QPSK που κάνει δύο κάθετες μεταξύ τους διαμορφώσεις. Κάθε σύμβολο που μεταδίδεται αναπαριστά πολλά bits (μέχρι και 1024) για μεγαλύτερο bit rate.

9.2.5. Υπολογιστικό σύστημα

Ένας δορυφόρος εκτός από κεραίες και πηγές ενέργειας, κουβαλάει και διάφορα υπολογιστικά συστήματα. Αυτά τα συστήματα κάνουν τις μετρήσεις, καταγράφουν τις ενέργειες του δορυφόρου, ελέγχουν τη θέση του κλπ.

Το υποσύστημα που αποθηκεύει και αναλύει τα δεδομένα που έχει συλλέξει ο δορυφόρος λέγεται σύστημα τηλεμετρίας, ανίχνευσης και ελέγχου (telemetry tracking & control). Η τηλεμετρία είναι μια αυτοματοποιημένη διαδικασία επικοινωνίας που τα δεδομένα συλλέγονται από απόσταση και έπειτα μεταδίδονται για να αποθηκευθούν και να αναλυθούν. Στην περίπτωση των δορυφόρων τα δεδομένα που συλλέγονται αφορούν θερμοκρασίες ή άλλες παρατηρήσεις οι οποίες μεταδίδονται σε σταθμούς εδάφους. Επίσης είναι δυνατόν ο επίγειος σταθμός να δίνει εντολές ελέγχου στο δορυφόρο, όπως να επαναπρογραμματίσει κάποιες λειτουργίες, ακόμα και να αλλάξει το ύψος του δορυφόρου. Ανίχνευση είναι η διαδικασία προσδιορισμού της θέσης του δορυφόρου, πράγμα που γίνεται από το έδαφος, αλλιώς τα συστήματα θα έπρεπε να έχουν μεγαλύτερη πολυπλοκότητα και βάρος. Τέλος, το σύστημα ελέγχου ελέγχει όλα τα υπόλοιπα συστήματα και προλαμβάνει τα προβλήματα.

9.2.6. Τροχιές

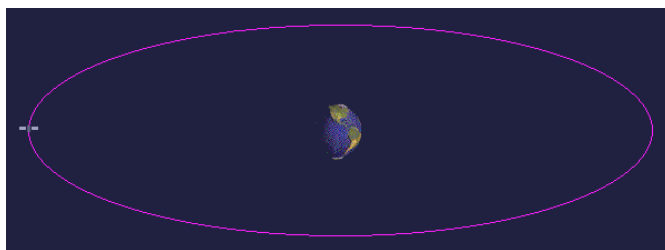
Όσο κι αν φαίνεται παράξενο, αφού ένας δορυφόρος εκτοξευθεί στο διάστημα, χρειάζεται ελάχιστη ως καθόλου ενέργεια για να συνεχίσει να κινείται. Οι δορυφόροι κινούνται σε ένα μονοπάτι γύρω από τη γη, που λέγεται τροχιά. Ένας δορυφόρος διατηρείται σε τροχιά, εξ αιτίας της ισορροπίας δύο δυνάμεων. Η τροχιά είναι ένας συνδυασμός της γραμμικής ταχύτητας του δορυφόρου και της ελκτικής δύναμης της γης πάνω στον δορυφόρο. Η βαρύτητα συγκρατεί τον δορυφόρο από το να χαθεί στο διάστημα και η ταχύτητά του επιτρέπει να κινείται γύρω από τη γη και να μην πέφτει σε αυτή.

Από τη γη ένας δορυφόρος μπορεί είτε να φαίνεται ότι κινείται πολύ αργά, είτε πολύ γρήγορα, είτε ακόμα και να μένει ακίνητος (γεωστατική τροχιά). Τα πλεονεκτήματα της τοποθέτησης ενός δορυφόρου σε μια τροχιά σε σχέση με μια άλλη, εξαρτώνται από τη γωνία ανύψωσης του δορυφόρου. Γωνία ανύψωσης είναι η γωνία που σχηματίζει η τροχιά του δορυφόρου με τον ισημερινό. Όταν λοιπόν σχεδιάζεται ο δορυφόρος και οι λειτουργίες του, η τροχιά που επιλέγεται πρέπει να εξυπηρετεί τις λειτουργίες αυτές. Αν, για παράδειγμα, ένας δορυφόρος κινείται σε πολύ υψηλή τροχιά, τότε οι παρατηρήσεις του στη γη δε θα έχουν πολύ μεγάλη ακρίβεια, σε σχέση με μια χαμηλότερη τροχιά. Παρόμοια, η ταχύτητα, η γωνία ανύψωσης, η συχνότητα περιστροφής και οι περιοχές που παρατηρεί ο δορυφόρος είναι θέματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό. Τέλος, το σημείο εκτόξευσης παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της τροχιάς.

Οι τροχιές χωρίζονται σε κυκλικές και ελλειπτικές. Οι κυκλικές μπορεί να είναι γεωστατικές (υψηλή τροχιά), χαμηλές/μέσες (LEO/MEO), πολικές, συγχρονισμένες με τον ήλιο (sun synchronous), ισημερινές (equatorial) κλπ. Οι ελλειπτικές μπορεί να έχουν οποιοδήποτε σχήμα και μέγεθος.

9.2.6.1. Γεωστατική τροχιά

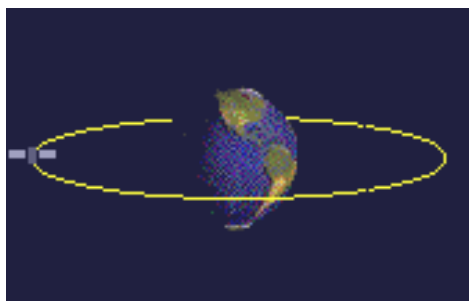
Ο δορυφόρος φαίνεται να μην κινείται στον ουρανό (Σχήμα 167). Στην πραγματικότητα κινείται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα που κινείται και η γη. Μια τέτοια τροχιά βρίσκεται πάνω από τον ισημερινό σε ύψος 35850 km και είναι γνωστή σαν υψηλή τροχιά. Ο δορυφόρος κοιτάζει συνεχώς την ίδια περιοχή που ονομάζεται και ίχνος (footprint).



Σχήμα 167: Γεωστατική τροχιά

9.2.6.2. Ισημερινή τροχιά

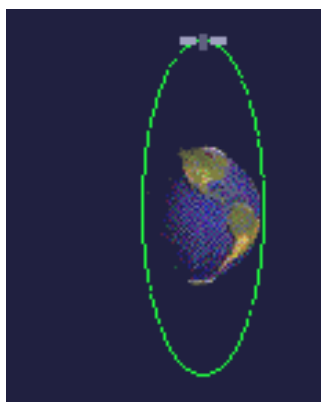
Ο δορυφόρος κινείται σε τροχιά πάνω από τον ισημερινό (Σχήμα 168). Συνήθως είναι χαμηλής/μέσης τροχιάς και χρησιμοποιούνται για την παρατήρηση τροπικών καιρικών συνθηκών.



Σχήμα 168: Ισημερινή τροχιά

9.2.6.3. Πολική τροχιά

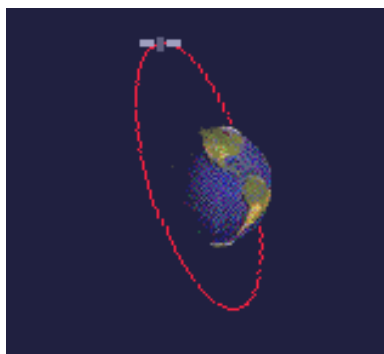
Έχει γωνία ανύψωσης 90° και η τροχιά διέρχεται από τους πόλους (Σχήμα 169). Εκμεταλλευόμενος την κίνηση της γης προς τα ανατολικά, ο δορυφόρος μπορεί να καλύψει όλη τη γη σε 14 μέρες.



Σχήμα 169: Πολική τροχιά

9.2.6.4. Τροχιά συγχρονισμένη με τον ήλιο

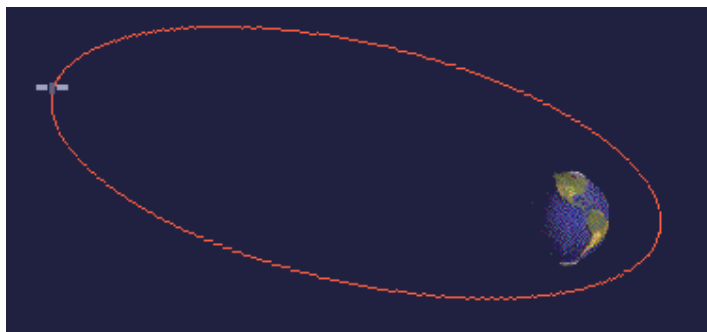
Είναι μια ειδική περίπτωση πολικής τροχιάς που ο δορυφόρος βρίσκεται συνεχώς στο φωτισμένο τμήμα της γης (Σχήμα 170). Ο δορυφόρος σε αυτή την τροχιά περνάει κάθε μέρα την ίδια τοπική ώρα από τον ίδιο σημείο της γης. Αυτή η τροχιά επιτρέπει στο δορυφόρο να χρησιμοποιεί συνεχώς ηλιακούς συλλέκτες. Παράδειγμα είναι ο Radarsat που έχει γωνία ανύψωσης 98.6° και βρίσκεται σε ύψος 798 km.



Σχήμα 170: Τροχιά συγχρονισμένη με τον ήλιο

9.2.6.5. *Ελλειπτικές τροχιές*

Τροχιά σε σχήμα έλλειψης (Σχήμα 171). Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της τροχιάς είναι ότι η ταχύτητα αλλάζει ανάλογα με τη θέση του δορυφόρου. Όταν βρίσκεται κοντά στη γη έχει μεγαλύτερη ταχύτητα λόγω της δυνατότερης έλξης που δέχεται και αντίστροφα. Αυτές οι τροχιές είναι χρήσιμες στις τηλεπικοινωνίες, γιατί ένας δορυφόρος παρατηρεί μια συγκεκριμένη περιοχή για μεγάλο διάστημα της τροχιάς και από την άλλη μεριά της γης περνάει ταχύτερα.



Σχήμα 171: Ελλειπτική τροχιά

9.2.6.6. *Χαμηλές τροχιές*

Επιτρέπουν στους δορυφόρους να κάνουν ακριβείς παρατηρήσεις από αρκετά χαμηλά. Χρησιμοποιούνται συχνά για μετεωρολογικές ανάγκες. Οι δορυφόροι σε χαμηλές τροχιές κινούνται μέσα στην ατμόσφαιρα της γης, που όμως είναι αρκετά αραιή ώστε να είναι οι τριβές πολύ μικρές. Επίσης έχουν το πλεονέκτημα ότι χρειάζονται πολύ λιγότερη ενέργεια για να τεθούν σε τροχιά.

9.3. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

9.3.1. Ασυμμετρικά δορυφορικά δίκτυα

Μερικά δορυφορικά δίκτυα παρουσιάζουν ένα ασύμμετρο εύρος ζώνης, περισσότερα δεδομένα προς τη μια κατεύθυνση από την άλλη, εξ αιτίας των ορίων πάνω στην δύναμη της μεταφοράς και στο μέγεθος της κεραίας στο τέλος του δεσμού. Εν τω μεταξύ, μερικά άλλα δορυφορικά συστήματα είναι μιας κατεύθυνσης και χρησιμοποιούν ένα μη δορυφορικό επιστρεφόμενο μονοπάτι (όπως είναι ένας επιλεγόμενος σύνδεσμος με μόντεμ). Η φύση της TCP επικοινωνίας είναι ασυμμετρική με τα δεδομένα να ρέουν προς τη μια κατεύθυνση και τα πακέτα επιβεβαίωσης προς την αντίθετη κατεύθυνση. Χρησιμοποιούμε την έκφραση «ασυμμετρική» για να δηλώσουμε τις διαφορετικές φυσικές χωρητικότητες στους προς τα εμπρός και επιστρεφόμενους συνδέσμους. Η ασυμμετρία είναι ένα πρόβλημα για το TCP.

9.3.2. Δορυφορικός σύνδεσμος «last hope»

Δορυφορικοί σύνδεσμοι που παρέχουν υπηρεσίες κατευθείαν στο τελικό χρήστη ίσως επιτρέψουν ειδικό σχεδιασμό πρωτοκόλλων για να χρησιμοποιηθούν για την

πραγματοποίηση του ονείρου της τελευταίας ελπίδας (last hope). Μερικοί providers δορυφόρων χρησιμοποιούν το δορυφορικό σύνδεσμο σαν ένα μοιραζόμενο υψηλής ταχύτητας σύνδεσμο προς πολλούς χρήστες με χαμηλότερη ταχύτητα, και μη διαμοιραζόμενους επίγειους συνδέσμους που χρησιμοποιούνται σαν επιστρεφόμενοι σύνδεσμοι για αιτήσεις και επιβεβαιώσεις. Πολλές φορές αυτό δημιουργεί ένα ασυμμετρικό δίκτυο.

9.3.3. Υβριδικά δορυφορικά δίκτυα

Στη πιο γενική περίπτωση οι δορυφορικοί σύνδεσμοι μπορούν να εγκατασταθούν σε οποιοδήποτε σημείο της δικτυακής τοπολογίας. Σε αυτή τη περίπτωση, ο δορυφορικός σύνδεσμος ενεργεί ακριβώς σαν ένας άλλος σύνδεσμος μεταξύ δύο πυλών. Σε αυτό το περιβάλλον, μια δοσμένη συνδεσμολογία μπορεί να σταλεί πάνω σε επίγειους συνδέσμους (περιλαμβανομένων και χωρίς καλώδια), αρκετά καλά όπως οι δορυφορικοί σύνδεσμοι. Από την άλλη μεριά, μια συνδεσμολογία μπορούσε επίσης να 'τρέξει' πάνω από επίγεια μόνο δίκτυα ή πάνω από δορυφορικά μόνο τμήματα του δικτύου.

9.3.4. Σημείο προς σημείο δορυφορικά δίκτυα

Στα σημείο προς σημείο δορυφορικά δίκτυα, η μόνη ελπίδα στο δίκτυο είναι πάνω από το δορυφορικό σύνδεσμο. Αυτό το αφηρημένο δορυφορικό περιβάλλον παρουσιάζει μόνο τα προβλήματα που σχετίζονται με δορυφορικούς συνδέσμους. Αφού είναι ένα ιδιωτικό δίκτυο, μερικές βελτιωτικές αλλαγές που δεν είναι κατάλληλες για διαμοιραζόμενα δίκτυα μπορούν να θεωρηθούν.

9.4. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Τα χαρακτηριστικά των δορυφορικών καναλιών μπορεί να επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο τα πρωτόκολλα μεταφοράς (όπως το TCP) συμπεριφέρονται. Όταν τα πρωτόκολλα, όπως το TCP, δεν έχουν καλή απόδοση, η χρησιμοποίηση του καναλιού είναι χαμηλή. Μολονότι η απόδοση ενός πρωτοκόλλου μεταφοράς είναι σημαντική, δεν είναι το μόνο στοιχείο που χρειάζεται να λάβουμε υπόψη στην υλοποίηση ενός δικτύου με δορυφορικές συνδέσεις. Για παράδειγμα, το πρωτόκολλο σύνδεσης δεδομένων, το πρωτόκολλο εφαρμογών το μέγεθος του buffer του router, η πολιτική αναμονής σε ουρές και η θέση του proxy είναι μερικά από τα στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Εμείς θα εστιάσουμε στις βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν στο TCP στο περιβάλλον ενός δορυφόρου.

9.4.1. Χαρακτηριστικά Δορυφόρων

Υπάρχει μια έμφυτη καθυστέρηση στη μετάδοση ενός μηνύματος μέσω μιας δορυφορικής σύνδεσης λόγω της πεπερασμένης ταχύτητας του φωτός και του ύψους στο οποίο βρίσκονται οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι.

Πολλοί τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι βρίσκονται σε γεωστατική τροχιά σε ύψος 36.000 χλμ. περίπου. Στο ύψος αυτό η περίοδος της τροχιάς είναι ίση με την περίοδο

περιστροφής της γης. Συνεπώς, κάθε επίγειος σταθμός μπορεί να «βλέπει» τον περιστρεφόμενο στην τροχιά του δορυφόρο στην ίδια θέση στον ουρανό. Ο χρόνος διάδοσης για ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα να διανύσει δύο φορές αυτήν την απόσταση είναι 239,6 milliseconds (ms). Για τους επίγειους σταθμούς που βρίσκονται στην άκρη της ορατής περιοχής του δορυφόρου, η απόσταση που διανύεται είναι 2x41,765 με συνολικό χρόνο διάδοσης 279 ms. Αυτές οι καθυστερήσεις υφίστανται για τη διαδρομή επίγειου σταθμού-δορυφόρου-επίγειου σταθμού (ή “hop”). Έτσι, η καθυστέρηση διάδοσης για ένα μήνυμα και την αντίστοιχη απόκριση (round-trip time ή RTT) μπορεί να είναι τουλάχιστον 558 ms. Το RTT δεν εξαρτάται μόνο από το χρόνο διάδοσης στο δορυφόρο. Το RTT μεγαλώνει και από άλλους παράγοντες μες στο δίκτυο, όπως ο χρόνος εκπομπής και διάδοσης από άλλες συνδέσεις στο μονοπάτι του δικτύου και η καθυστέρηση αναμονής στις πύλες (gateways). Επιπλέον, η καθυστέρηση δορυφορικής διάδοσης θα είναι μεγαλύτερη αν η σύνδεση περιλαμβάνει πολλαπλά hops ή αν χρησιμοποιούνται σύνδεσμοι μεταξύ δορυφόρων. Καθώς οι δορυφόροι γίνονται πιο πολύπλοκοι και ενσωματώνουν λειτουργίες επεξεργασίας σημάτων, επιπλέον καθυστέρηση μπορεί να σημειωθεί.

Υπάρχουν και άλλες τροχιές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δορυφορικές επικοινωνίες, όπως η χαμηλή τροχιά (Low Earth Orbit – LEO) και η μεσαία τροχιά (Medium Earth Orbit – MEO). Οι χαμηλές τροχιές απαιτούν τη χρήση σχηματισμών δορυφόρων για συνεχή κάλυψη. Με άλλα λόγια, καθώς ένας δορυφόρος χάνεται από το πεδίο λήψης ενός επίγειου σταθμού, ένας άλλος σταθμός εμφανίζεται στον ορίζοντα και το κανάλι μετακινείται σε αυτόν. Η καθυστέρηση διάδοσης σε μια χαμηλή τροχιά κυμαίνεται από μερικά milliseconds, όταν έχουμε απευθείας επικοινωνία με δορυφόρο, μέχρι και 80 ms όταν ο δορυφόρος είναι στον ορίζοντα. Τα συστήματα αυτά πιθανότερα χρησιμοποιούν συνδέσεις μεταξύ δορυφόρων και έχουν μεταβλητό μονοπάτι καθυστέρησης, ανάλογα με τη δρομολόγηση μες στο δίκτυο.

Τα δορυφορικά κανάλια εξαρτώνται πλήρως από δύο βασικά χαρακτηριστικά που περιγράφονται παρακάτω.

9.4.1.1. Θόρυβος

Η ισχύς ενός ραδιοσήματος μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης που διανύει. Η απόσταση για μια δορυφορική σύνδεση είναι μεγάλη και έτσι το σήμα εξασθενεί πριν φτάσει στον προορισμό του. Αυτό έχει ως συνέπεια χαμηλό λόγο σήματος-θορύβου. Μερικές συχνότητες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες σε ατμοσφαιρικά φαινόμενα, όπως η βροχή. Για κινητές εφαρμογές, τα δορυφορικά κανάλια είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε παρεμβολές λόγω πολλαπλών μονοπατιών και στη σκίαση (π.χ. παρεμπόδιση από κτίρια). Οι τυπικοί ρυθμοί λαθών bits (bit error rate – BER) για μια δορυφορική σύνδεση σήμερα είναι της τάξης του 1 λάθους ανά 10 εκατομμύρια bits ή λιγότερο. Προχωρημένες κωδικοποιήσεις ελέγχου λαθών (π.χ. Reed Solomon) μπορούν να προστεθούν στις υπάρχουσες δορυφορικές υπηρεσίες και χρησιμοποιούνται ήδη από αρκετές από αυτές.

9.4.1.2. Εύρος ζώνης (Bandwidth)

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι ένας πεπερασμένος φυσικός πόρος, οπότε υπάρχει ένα περιορισμένο ποσό εύρους ζώνης διαθέσιμο για δορυφορικά συστήματα που ελέγχεται τυπικά με άδειες. Αυτοί οι περιορισμοί δυσχεραίνουν τη χρησιμοποίηση bandwidth για την επίλυση άλλων σχεδιαστικών προβλημάτων. Τυπικές φέρουσες (carrier) συχνότητες για τις υπάρχουσες, από σημείο σε σημείο, εμπορικές δορυφορικές υπηρεσίες είναι 6 GHz (uplink) και 4 GHz (downlink), επίσης γνωστό

ως ζώνη (band) C, και 14/12 GHz (Ku band). Μια νέα υπηρεσία στα 30/20 GHz (Ka band) θα εμφανιστεί στα επόμενα χρόνια. Οι ασύρματοι αναμεταδότες για δορυφόρους ονομάζονται αλλιώς και πομποί. Το παραδοσιακό bandwidth ενός C band πομπού είναι τυπικά 36 MHz για να εξυπηρετήσει ένα έγχρωμο τηλεοπτικό κανάλι (ή 1200 κανάλια φωνής). Οι πομποί Ku band βρίσκονται τυπικά στα 50 MHz. Επιπλέον, κάθε δορυφόρος μπορεί να διαθέτει μερικές δεκάδες πομπών.

Το bandwidth δεν είναι περιορισμένο μόνο από τη φύση, αλλά η κατανομή του στις εμπορικές τηλεπικοινωνίες περιορίζονται από διεθνείς συμφωνίες, ώστε αυτός ο σπάνιος πόρος να μπορεί να χρησιμοποιηθεί δίκαια από πολλές διαφορετικές εφαρμογές.

Μολονότι οι δορυφόροι έχουν κάποια μειονεκτήματα συγκρινόμενοι με τα κανάλια οπτικών ινών (π.χ. δεν μπορούν να επισκευαστούν εύκολα, βροχοπτώσεις, κλπ.), έχουν και κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με τις επίγειες συνδέσεις. Πρώτον, οι δορυφόροι έχουν μια φυσική ικανότητα εκπομπής. Αυτό τους δίνει το πλεονέκτημα της χρήσης τους για εφαρμογές πολλαπλής μετάδοσης (multicast). Ύστερα, οι δορυφόροι μπορούν να προσεγγίσουν γεωγραφικά απομακρυσμένες περιοχές ή χώρες με μικρή επίγεια υποδομή. Ένα σχετικό με αυτό πλεονέκτημα είναι η ικανότητα των δορυφορικών συνδέσεων να φτάνουν στους κινούμενους χρήστες.

Τα δορυφορικά κανάλια έχουν αρκετά χαρακτηριστικά που διαφέρουν από τα περισσότερα επίγεια κανάλια. Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορεί να υποβαθμίζουν την απόδοση του TCP.

9.4.2. Μεγάλη καθυστέρηση ανάδρασης

Λόγω της μεγάλης καθυστέρησης διάδοσης μερικών δορυφορικών καναλιών (π.χ. περίπου 250 ms για ένα γεωστατικό δορυφόρο) απαιτείται πολύς χρόνος από τον TCP αποστολέα για να καθορίσει αν ένα πακέτο λήφθηκε επιτυχώς από τον τελικό προορισμό. Αυτή η καθυστέρηση ζημιώνει τις αλληλεπιδραστικές εφαρμογές, όπως το telnet, καθώς και μερικούς από τους αλγορίθμους ελέγχου συμφόρησης του TCP.

9.4.2.1. Μεγάλο γινόμενο καθυστέρησης*bandwidth

Το γινόμενο αυτό (delay*bandwidth product - DBP) ορίζει το μέγεθος των δεδομένων που ένα πρωτόκολλο πρέπει να έχει «στον αέρα» (δεδομένα που έχουν υποστεί εκπομπή, αλλά δεν έχει σταλεί ακόμα επιβεβαίωση γι' αυτά) σε κάθε στιγμή, ώστε να χρησιμοποιεί πλήρως τη διαθέσιμη χωρητικότητα του καναλιού. Η καθυστέρηση που χρησιμοποιείται στη σχέση αυτή είναι το RTT και το bandwidth είναι η χωρητικότητα της σύνδεσης με το μεγαλύτερο φόρτο (bottleneck) στο μονοπάτι του δικτύου. Επειδή η καθυστέρηση σε μερικά δορυφορικά περιβάλλοντα είναι μεγάλη, το TCP αναγκάζεται να κρατήσει ένα μεγάλο αριθμό πακέτων «στον αέρα» (σταλμένα, αλλά όχι επιβεβαιωμένα).

9.4.2.2. Λάθη εκπομπής

Τα δορυφορικά κανάλια παρουσιάζουν ένα υψηλότερο ρυθμό λαθών bit (BER) από τα τυπικά επίγεια δίκτυα. Το TCP αντιμετωπίζει τις απορρίψεις πακέτων ως ενδείξεις συμφόρησης του δικτύου και μειώνει το μέγεθος του παραθύρου σε μια προσπάθεια να μειώσει τη συμφόρηση. Λόγω της άγνοιας του λόγου για τον οποίο το πακέτο χάθηκε (συμφόρηση ή αλλοίωση), το TCP πρέπει να υποθέσει ότι η απόρριψη

οφείλεται στη συμφόρηση του δικτύου, για να αποφύγει την κατάρρευση λόγω συμφόρησης. Συνεπώς, η απόρριψη πακέτων λόγω αλλοίωσης αναγκάζει το TCP να μειώσει το μέγεθος του συρόμενου παραθύρου, παρ' ότι αυτές οι απορρίψεις πακέτων δεν σημαίνουν συμφόρηση στο δίκτυο.

9.4.2.3. Ασυμμετρική χρήση

Λόγω του κόστους του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για να στείλει δεδομένα στους δορυφόρους, συχνά κατασκευάζονται ασυμμετρικά δορυφορικά δίκτυα. Για παράδειγμα, ένα μηχάνημα θα στείλει όλη την εξερχόμενη κυκλοφορία μέσω μιας αργής επίγειας σύνδεσης (όπως ένα κανάλι μιας γραμμής με modem) και θα λάβει την εισερχόμενη κυκλοφορία μέσω του δορυφορικού καναλιού. Μια άλλη περίπτωση προκύπτει όταν τόσο η εισερχόμενη όσο και η εξερχόμενη κυκλοφορία γίνεται μέσω μιας δορυφορικής σύνδεσης, αλλά το uplink έχει λιγότερη διαθέσιμη χωρητικότητα από το downlink λόγω του κόστους του πομπού που απαιτείται για να παρέχει ένα κανάλι υψηλής χωρητικότητας. Αυτή η ασυμμετρία μπορεί να έχει αντίκτυπο στην απόδοση του TCP.

9.4.2.4. Μεταβλητοί χρόνοι Round Trip

Σε μερικά δορυφορικά περιβάλλοντα, όπως αυτό των σχηματισμών χαμηλής τροχιάς (LEO), η καθυστέρηση διάδοσης προς και από το δορυφόρο διαφέρει με το χρόνο. Το αν αυτό θα έχει κάποιο αντίκτυπο στην απόδοση του TCP είναι επί του παρόντος ένα ανοιχτό θέμα.

9.4.2.5. Διακοπτόμενη συνδετικότητα

Στις διαμορφώσεις μη γεωστατικών δορυφόρων, οι TCP συνδέσεις πρέπει να μεταφέρονται από ένα δορυφόρο σε έναν άλλο ή από έναν επίγειο σταθμό σε έναν άλλο ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Αυτή η αλλαγή μπορεί να προκαλέσει απώλειες πακέτων, αν δεν χειριστεί σωστά.

Τα περισσότερα δορυφορικά κανάλια διαθέτουν ένα υποσύνολο των παραπάνω χαρακτηριστικών. Επιπλέον, τα δορυφορικά δίκτυα δεν είναι τα μόνα περιβάλλοντα όπου συναντά κανείς αυτά τα χαρακτηριστικά. Όμως, τα δορυφορικά δίκτυα τείνουν να παρουσιάζουν περισσότερα από τα παραπάνω προβλήματα ή τα προβλήματα αυτά γίνονται εντονότερα σε περιβάλλον δορυφόρου.

9.5. ΖΩΝΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Οι συχνότητες άνω και κάτω ζεύξης που χρησιμοποιούνται σε ένα δορυφορικό σύστημα είναι γενικά μεγαλύτερες του 1 GHz ώστε να παρέχουν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης. Πολλές μικροκυματικές μπάντες συχνοτήτων έχουν παραχωρηθεί για χρήση σε σύστημα δορυφορικής επικοινωνίας. Πολλές από αυτές παρέχουν ένα εύρος ζώνης 500 MHz για τα σήματα άνω και κάτω ζεύξης. Μερικές από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες συχνότητες δορυφορικών συστημάτων επικοινωνίας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 35).

Ζώνη	Μπάντα συχνότητων	Άνω ζεύξη GHz	Κάτω ζεύξη GHz	Εύρος ζώνης MHz
C	4/6	5.925 – 6.425	3.7 – 4.2	500
X	7/8	7.9 – 8.4	7.25 – 7.75	500
Ku	12/14	14 – 14.5	11.7 – 12.2	500
Ka	20/30	27.5 – 31	17.7 – 21.2	3 500

Πίνακας 35. Χρησιμοποιούμενες συχνότητες δορυφορικών συστημάτων

Η μπάντα συχνότητων 4/6 GHz χρησιμοποιείται εκτεταμένα και σε επίγεια συστήματα επικοινωνίας. Σε ένα επίγειο σύστημα, ένας σταθμός εδάφους εκπέμπει ένα σήμα απευθείας σε ένα άλλο σταθμό εδάφους χωρίς να χρησιμοποιείται δορυφόρος. Έτσι αφού η μπάντα 4/6 GHz χρησιμοποιείται τόσο από δορυφορικά όσο και από επίγεια συστήματα επικοινωνίας, τα σήματα που εκπέμπουν οι δορυφόροι μπορούν να παρεμβάλλουν επίγειους δέκτες, και αντίστροφα σήματα που εκπέμπουν επίγειοι πομποί είναι δυνατόν να παρεμβάλλουν δορυφορικούς δέκτες. Έτσι οι δορυφορικοί πομποί περιορίζονται σε μια μέγιστη ισχύ 8 ή 10 W για κάθε κανάλι στα 4 GHz ώστε να ελαχιστοποιηθεί η παρεμβολή με τους επίγειους δέκτες. Με την ίδια λογική, η τοποθεσία των κεραιών λήψης και εκπομπής ενός δορυφορικού συστήματος πρέπει να εκλεγεί προσεκτικά για αποφυγή παρεμβολών. Έτσι αυτές τοποθετούνται κυρίως σε αγροτικές περιοχές.

Η ζώνη X χρησιμοποιείται για κυβερνητικούς και στρατιωτικούς σκοπούς.

Μια άλλη μπάντα συχνότητων που χρησιμοποιείται ευρύτατα από δορυφορικά συστήματα επικοινωνίας είναι των 12/14 GHz. Αυτή η μπάντα χρησιμοποιεί 14 ως 14.5 GHz για την άνω ζεύξη και 11.7 ως 12.2 GHz για την κάτω ζεύξη. Η μπάντα των 12/14 GHz δεν παρουσιάζει πολλά προβλήματα παρεμβολών με επίγεια συστήματα αφού υπάρχουν ελάχιστα τέτοια που χρησιμοποιούν αυτή την μπάντα. Έτσι η αποφυγή των παρεμβολών δίνει στα δορυφορικά συστήματα των 12/14 GHz πολλά πλεονεκτήματα:

- Η ισχύς εξόδου του φέροντος των δορυφορικών πομπών μπορεί να αυξηθεί, αυξάνοντας έτσι και την ακτινοβολούμενη ισχύ του δορυφόρου.
- Οι κεραιές των σταθμών εδάφους μπορούν να τοποθετηθούν σε αστικές περιοχές.

Οι μεγάλες συχνότητες που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη μπάντα προσδίδουν ένα επίσης πλεονέκτημα, αφού είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν κεραιές μικρότερης διαμέτρου, προσφέροντας το απαιτούμενο εύρος ζώνης και απολαβή. Κεραιές δεκτών π.χ. διαμέτρου μόνο 1 m είναι ικανές να προσφέρουν τα απαιτούμενα αποτελέσματα. Ένα μειονέκτημα της μπάντας 12/14 GHz συγκρινόμενη με αυτή των 4/6 GHz είναι η αυξημένη εξασθένηση που συμβαίνει στην ατμόσφαιρα κυρίως σε περιπτώσεις πολύ δυνατής βροχής.

9.6. INTERNET OVER SATELLITE

Τα τελευταία χρόνια η μεγάλη ανάπτυξη των δορυφορικών επικοινωνιών, έκανε αρκετές επιχειρήσεις παροχής Internet να επενδύσουν στο δορυφορικό Internet (Internet over Satellite), στοχεύοντας στην παροχή υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης και Quality of Service με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Ο συνδυασμός δορυφορικών και

επίγειων δικτύων παρουσιάζεται αρκετά υποσχόμενος αφού συγκεντρώνει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Είδος τοπολογίας: οι τοπολογίες των δορυφορικών δικτύων ταιριάζουν με την τοπολογία αστεριού με αποτέλεσμα την υποστήριξη multicast & broadcast μετάδοσης δεδομένων.
- Μεγάλο διαθέσιμο εύρος ζώνης: μεγάλοι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων, που φθάνουν τα αρκετά Mbps παρέχονται απευθείας στους τελικούς χρήστες.
- Πολλαπλή κάλυψη χρηστών: η δυνατότητα κάλυψης απομακρυσμένων χρηστών που δεν έχουν πρόσβαση σε κάποιο δίκτυο υπολογιστών.

9.6.1. Είδη συνδέσεων

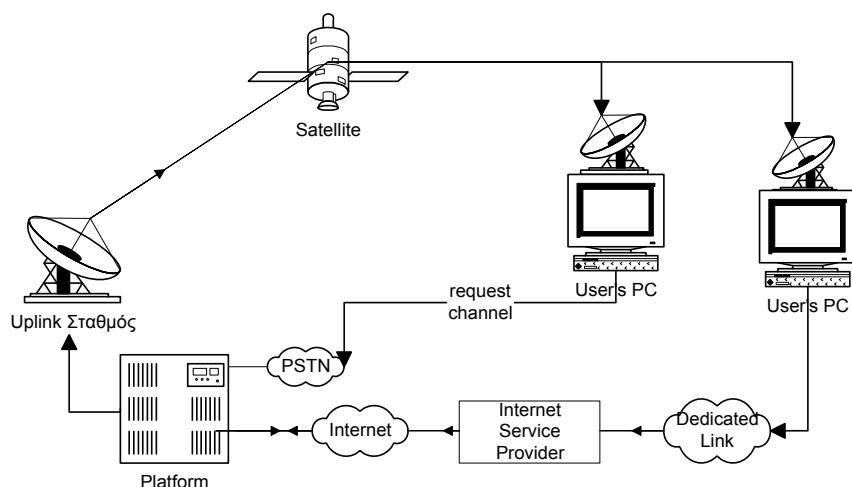
Μπορούμε να διακρίνουμε 3 διαφορετικές μορφές σύνδεσης στο Internet over Satellite. Στη πρώτη περίπτωση ο τελικός χρήστης (ιδιώτης ή επιχείρηση), συνδέεται απευθείας μέσω ενός ιδιωτικού συστήματος αποστολής και λήψης δεδομένων με το δορυφόρο. Στη δεύτερη περίπτωση η δορυφορική σύνδεση προσφέρεται στον τελικό χρήστη μέσω ενός Internet Service Provider (ISP) ο οποίος έχει τη δική του δορυφορική σύνδεση, ενώ στην τρίτη περίπτωση ο Internet Service Provider (ISP), δε διαθέτει απευθείας δορυφορική σύνδεση αλλά συνδέεται με κάποια εταιρεία η οποία διαθέτει δορυφορική σύνδεση με κάποιο δορυφόρο (είτε ιδιωτικό είτε μισθωμένο). Και στις τρεις μορφές σύνδεσης η απαιτούμενη κοινή υποδομή περιλαμβάνει:

- Έναν uplink σταθμό μετάδοσης δεδομένων προς το δορυφόρο.
- Μια πλατφόρμα προγραμμάτων δορυφορικής λήψης πολυμεσικών δεδομένων.
- Μια ή περισσότερες δορυφορικές συνδέσεις.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε μιας από αυτές τις συνδέσεις θα περιγραφούν στη συνέχεια.

9.6.1.1. Δορυφορική Σύνδεση απευθείας στον Τελικό Χρήστη

Σε αυτή την περίπτωση (Σχήμα 172), ο τελικός χρήστης (ιδιώτης ή επιχείρηση), συνδέεται απευθείας σε μια δορυφορική σύνδεση διαθέτοντας μια κάρτα δορυφορικής λήψης και ένα δορυφορικό δέκτη. Το κόστος ενός τέτοιου δικτύου, σε απαιτούμενο υλικό και λογισμικό, είναι αρκετά υψηλό κάνοντας τέτοιες συνδέσεις απαγορευτικές προς το παρόν.

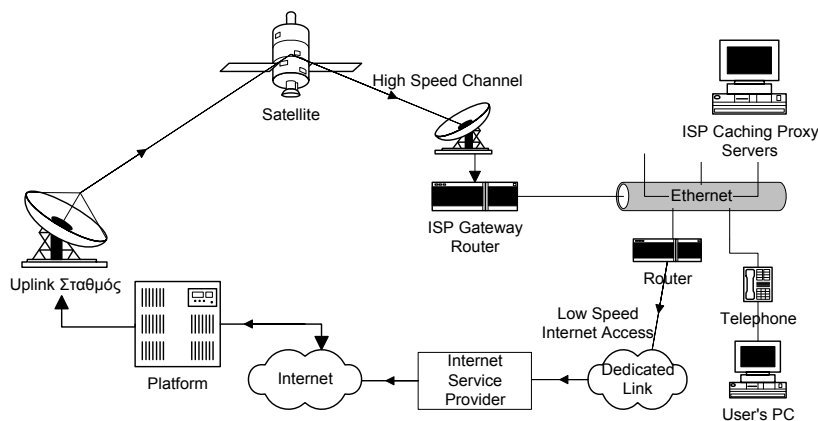


Σχήμα 172: Δορυφορική Σύνδεση απευθείας στον Τελικό Χρήστη

Σύγχρονα προϊόντα που απευθύνονται σε τελικούς χρήστες ενσωματώνουν το απαιτούμενο υλικό και λογισμικό, προσφέροντας οικονομικότερες ολοκληρωμένες λύσεις τόσο για τη λήψη πολυμεσικών δεδομένων αλλά και υπηρεσιών όπως Video on Demand. Η λήψη των δεδομένων γίνεται μέσω της δορυφορικής σύνδεσης, ενώ η αποστολή των δεδομένων συνεχίζει να γίνεται μέσω μιας παραδοσιακής σύνδεσης στο Internet. Γι' αυτό το λόγο αν και αυξάνεται ο ρυθμός λήψης δεδομένων αγγίζοντας τα 45Mbps, η ταχύτητα αποστολής των δεδομένων παραμένει χαμηλή.

9.6.1.2. Άμεση Δορυφορική Σύνδεση μέσω ISP.

Σε αυτή την περίπτωση (Σχήμα 173) ο ISP διαθέτει ένα δορυφορικό πιάτο επικοινωνίας με το δορυφόρο. Η κλήση κάθε χρήστη που συνδέεται με τον Internet Provider φθάνει μέσω των τηλεφωνικών γραμμών από το modem του χρήστη στο διακομιστή του ISP. Αν τα δεδομένα που ο χρήστης ζητά βρίσκονται ήδη αποθηκευμένα στο διακομιστή τότε επιστρέφονται στο χρήστη. Διαφορετικά η αίτηση του χρήστη μεταφέρεται στο δορυφόρο. Μόλις τα δεδομένα που ο χρήστης αναζητά συγκεντρωθούν αποστέλλονται στον υπολογιστή του χρήστη.



Σχήμα 173: Σχηματικό άμεσης δορυφορικής σύνδεσης μέσω ISP

Παρατηρούμε λοιπόν ότι σε αυτή την περίπτωση δεν έχουμε μια καθαρά δορυφορική σύνδεση αλλά ένα συνδυασμό επίγειων και δορυφορικών συνδέσεων με αποτέλεσμα η απόδοση της σύνδεσης να επηρεάζεται από τους περιορισμούς των dial-up επίγειων συνδέσεων (όπως για παράδειγμα ταχύτητες που ο επιλεγμένος ISP προσφέρει και κίνηση στο Διαδίκτυο τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή). Φυσικά η απόδοση της σύνδεσης εξαρτάται και από τις ταχύτητες uplink & downlink που ο κάθε ISP μπορεί να προσφέρει. Οι ταχύτητες αυτές μπορούν να φθάνουν έως και τα 5Mbps για uplink, ενώ αγγίζουν τα 45Mbps για downlink. Η συνολική ταχύτητα μπορεί να προσδιοριστεί ως ένας μέσος όρος των ενδιάμεσων ταχυτήτων που παρατηρούνται και φυσικά αναφέρονται σε ιδανικές συνθήκες. Η ζήτηση σε δορυφορικό Internet τα προσεχή χρόνια θα παίξει μεγάλο ρόλο στη δημιουργία ανταγωνισμού ανάμεσα στους ISPs ανάλογα βέβαια με τις απαιτήσεις των χρηστών και τη δυνατότητά τους να πληρώνουν τις προσφερόμενες υπηρεσίες.

9.6.1.3. Έμμεση Δορυφορική Σύνδεση μέσω ISP.

Σε αυτή την περίπτωση ο ISP δε διαθέτει δορυφορικό πιάτο επικοινωνίας με το δορυφόρο αλλά συνδέεται είτε δορυφορικά είτε επίγεια με κάποια εταιρεία που διαθέτει απευθείας σύνδεση με κάποιο δορυφόρο. Η κλήση κάθε χρήστη που συνδέεται με τον Internet Provider φθάνει μέσω των τηλεφωνικών γραμμών από το modem του χρήστη στο διακομιστή του ISP. Αν τα δεδομένα που ο χρήστης ζητά βρίσκονται ήδη αποθηκευμένα στο διακομιστή τότε επιστρέφονται στο χρήστη. Διαφορετικά η αίτηση του χρήστη μεταφέρεται στο διακομιστή της εταιρείας που παρέχει το δορυφόρο. Εκεί γίνεται εκ νέου ένας έλεγχος για το αν τα ζητούμενα δεδομένα βρίσκονται αποθηκευμένα στον εκεί διακομιστή. Αν ναι τότε συλλέγονται και μεταδίδονται στον υπολογιστή του χρήστη. Διαφορετικά η αίτηση του χρήστη προωθείται για εξυπηρέτηση στο δορυφόρο. Η επιστροφή των δεδομένων μπορεί να γίνει και απευθείας μέσω του δορυφόρου στο χρήστη αν αυτός διαθέτει δορυφορική κεραία, διαφορετικά επιστρέφονται μέσα από επίγειες συνδέσεις. Παρατηρούμε λοιπόν ότι και σε αυτή την περίπτωση έχουμε μια υβριδική σύνδεση επίγειων και δορυφορικών συνδέσεων με αποτέλεσμα η απόδοση της σύνδεσης να επηρεάζεται τόσο από τους περιορισμούς των dial-up επίγειων συνδέσεων όσο και από τα χαρακτηριστικά της δορυφορικής σύνδεσης της εταιρείας.

Από τις δύο παραπάνω συνδέσεις σίγουρα καλύτερη και ταχύτερη εμφανίζεται η πρώτη αφού μειώνει τον αριθμό και την πολυπλοκότητα των χρησιμοποιούμενων συνδέσεων.

9.6.2. Απαιτούμενος εξοπλισμός και κόστος ανάπτυξης

Οι περισσότεροι χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι στο Internet over Satellite είναι γεωστατικής τροχιάς (GEO). Αν και το κόστος τοποθέτησης τέτοιων δορυφόρων σε τροχιά γύρω από τη γη είναι μεγάλο ο συνδυασμός με χαμηλού κόστους σταθμούς λήψης αποτελεί μια ανταγωνιστική πρόταση σε σχέση με τις προσφερόμενες επίγειες λύσεις των Ασυμμετρικών Ψηφιακών Συνδρομητικών Γραμμών (ADSL- Asymmetric Digital Subscriber Line), δεδομένου ότι αυτές δεν παρέχουν multicast & broadcast μετάδοση δεδομένων. Η τοποθέτηση αυτών των γραμμών προϋποθέτει φυσικά τη δυνατότητα των τελικών χρηστών να μπορούν να πληρώσουν την εγκατάστασή τους.

Όπως προηγουμένως περιγράψαμε στα είδη συνδέσεων, δεν έχουμε καθαρά δορυφορικές συνδέσεις αλλά ένα συνδυασμό επίγειων και δορυφορικών δικτύων.

Αυτό σημαίνει ότι ο τελικός χρήστης διατηρεί τον εξοπλισμό που ήδη έχει, μόντεμ και σύνδεση στο δίκτυο (μέσω ISP ή μισθωμένων γραμμών), προκειμένου να μπορεί να στέλνει δεδομένα προς το δορυφόρο, αφού οι σημερινές συνδέσεις είναι μονόδρομες. Αυτό αποτελεί πλεονέκτημα αφού δεν απαιτείται πλήρης αλλαγή των σημερινών χρησιμοποιούμενων συνδέσεων.

Το κόστος ανάπτυξης επομένως μπορεί να χωριστεί στο κόστος εξοπλισμού και προσφοράς υπηρεσιών επίγειων συνδέσεων (για παράδειγμα, περιλαμβάνει σύνδεση με κάποιον ISP και modem), και σε κόστος εξοπλισμού και προσφοράς δορυφορικών υπηρεσιών (για παράδειγμα, περιλαμβάνει σύνδεση με κάποια εταιρεία και δορυφορικό δέκτη).

Στα προηγούμενα σχήματα είδαμε την ύπαρξη μιας πλατφόρμας διαχείρισης πολυμεσικών δεδομένων για μετάδοση σε δορυφορικά κανάλια. Η πλατφόρμα αυτή είναι η Digital Video Broadcast (DVB), η οποία διαχειρίζεται αμφίδρομες υπηρεσίες Internet και άλλες υπηρεσίες, όπως εκπομπή MPEG2 DVB ροών πληροφορίας. Η πλατφόρμα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για εφαρμογές τηλε-εκπαίδευσης, τηλε-ενημέρωσης και γενικά υπηρεσιών που απαιτούν προσφορά εικόνας και ήχου υψηλής ποιότητας στους τελικούς χρήστες.

9.6.3. Ταχύτητες

Οι ταχύτητες που το Internet over Satellite υπόσχεται είναι αρκετά δελεαστικές, με αποτέλεσμα αρκετοί ISPs να επενδύουν σε αναπτυσσόμενες δορυφορικές λύσεις. Όμως δε θα πρέπει να ξεχνάμε ότι οι ταχύτητες αυτές χαρακτηρίζουν ιδανικές συνθήκες μεταφοράς δεδομένων, όπου δεν παρατηρείται συμφόρηση ή απώλεια πακέτων. Φυσικά είναι πολύ νωρίς να μιλάμε για συμφόρηση στα δορυφορικά δίκτυα με τη δεδομένη ζήτηση και χρήση αλλά δεν ξέρουμε τι θα γίνει τα επόμενα χρόνια. Οι απαιτήσεις των τελικών χρηστών για τις προσφερόμενες υπηρεσίες είναι αυτές που θα διαμορφώσουν τις συνθήκες. Στις μέρες μας οι ταχύτητες λήψης δεδομένων από ένα δορυφόρο στον υπολογιστή του τελικού χρήστη φθάνουν τα 45Mbps, ενώ οι ταχύτητες αποστολής δεδομένων από έναν σταθμό στο δορυφόρο περιορίζονται στα 5Mbps. Φυσικά η συνολική ταχύτητα επηρεάζεται από τη μορφή της σύνδεσης και μπορεί να εκφραστεί ως ο μέσος όρος των ταχυτήτων μεταφοράς δεδομένων σε όλες τις ενδιάμεσες συνδέσεις. Δυο τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μείωση της καθυστέρησης μεταφοράς δεδομένων στα δορυφορικά δίκτυα είναι:

- α) η τεχνική της αποθήκευσης συχνά χρησιμοποιούμενων πακέτων δεδομένων στους διακομιστές (Intelligent Caching) και
- β) η αποστολή πακέτων χωρίς να είναι πάντα απαραίτητα η λήψη επιβεβαιώσεων, μειώνοντας το χρόνο που μεσολαβεί ανάμεσα στην αποστολή διαδοχικών πακέτων.

Μια επίσης παράμετρος που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπ' όψιν είναι ότι αν και μιλάμε για άπειρο εύρος ζώνης στην πραγματικότητα αυτό υπόκειται σε μια πολιτική χορήγησης αδειών για συγκεκριμένες συχνότητες καθώς ορισμένες είναι ήδη δεσμευμένες για ερευνητικούς και στρατιωτικούς σκοπούς.

9.6.4. Θέματα Ασφάλειας

Σημαντικό θέμα προβληματισμού αποτελεί η εξασφάλιση της ασφάλειας των μεταδιδόμενων δεδομένων πάνω από δορυφορικά δίκτυα. Η ασύρματη φύση μετάδοσης των δεδομένων επιτρέπει την παρακολούθηση ενός καναλιού επικοινωνίας χωρίς να είναι δυνατή η ανίχνευση. Μια προτεινόμενη λύση είναι η κρυπτογράφηση των δεδομένων από τον πομπό και η αποκρυπτογράφηση από το δέκτη, είτε με δημόσια είτε με ιδιωτικά κλειδιά, η οποία εξασφαλίζει ασφαλή μετάδοση των δεδομένων και αποφυγή υποκλοπών. Μέσα στην προσπάθεια πρωτοτυποποίησης των πρωτοκόλλων για δορυφορικά δίκτυα εντάσσεται και η ανάπτυξη ενός πρωτοκόλλου ασφάλειας.

9.6.5. Qos στο Internet over Satellite

Η δυνατότητα των δορυφορικών δικτύων να καλύπτουν μεγάλες περιοχές, καθώς και χρήστες οι οποίοι βρίσκονται σε γεωγραφικά απομακρυσμένα σημεία, οδηγεί στην ανάπτυξη του Internet over Satellite. Αρκετοί επιστήμονες ασχολούνται με την επέκταση και βελτίωση του TCP πρωτοκόλλου ώστε να είναι δυνατή η αποδοτική χρήση του σε δορυφορικές συνδέσεις.

Το αυξημένο εύρος ζώνης που προσφέρουν τα δορυφορικά δίκτυα, θα οδηγήσει στη διέλευση μεγάλου αριθμού δεδομένων του Internet μέσω δορυφορικών κόμβων στα επόμενα χρόνια. Το μεγάλο γινόμενο καθυστέρησης ανάδρασης \times εύρος ζώνης και η απώλεια πακέτων, που εμφανίζονται στις δορυφορικές συνδέσεις επηρεάζουν το Quality of Service (QoS) στο Internet over Satellite.

Η ανάπτυξη μηχανισμών που θα προσφέρουν QoS σε ένα πλήθος εφαρμογών αλλά και συνόλου χρηστών του Internet over Satellite αποτελεί αντικείμενο μελέτης αρκετών ερευνητών. Οι μηχανισμοί που θα αναπτυχθούν θα πρέπει να ικανοποιούν τα ακόλουθα πέντε χαρακτηριστικά του Quality of Service:

- Ταχύτητα μετάδοσης. Ο ελάχιστος αποτελεσματικός ρυθμός δεδομένων που πρέπει να παρέχεται μαζί με ένα ανεκτό ανώτατο όριο.
- Όρια στην καθυστέρηση και διακύμανσή της. Η μέγιστη αποτελεσματική διακοπή που επιτρέπεται, ειδικά για video και άλλα σήματα που μεταφέρουν πληροφορίες πραγματικού χρόνου.
- Throughput. Το ποσό των δεδομένων τα οποία μεταδίδονται σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο.
- Schedule. Οι χρόνοι έναρξης και λήξης για μian αιτούμενη υπηρεσία.
- Loss rate. Ο μέγιστος αναμενόμενος ρυθμός απώλειας πακέτων σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα (ειδικά στις δορυφορικές συνδέσεις στις οποίες η απώλεια πακέτων μπορεί να οφείλεται είτε στη συμφόρηση είτε στη δημιουργία λαθών ή στις προβληματικές συνδέσεις).

Η απαίτηση για υψηλό QoS αυξάνει και το κόστος παροχής υπηρεσιών, το οποίο πρέπει να είναι ξεκάθαρο στους χρήστες, ώστε αυτοί να μην απαιτούν υψηλότερο επίπεδο υπηρεσιών από ό,τι πραγματικά χρειάζονται. Αυτό αυτόματα διαχωρίζει τους χρήστες σε ένα σύνολο διαφορετικών κλάσεων.

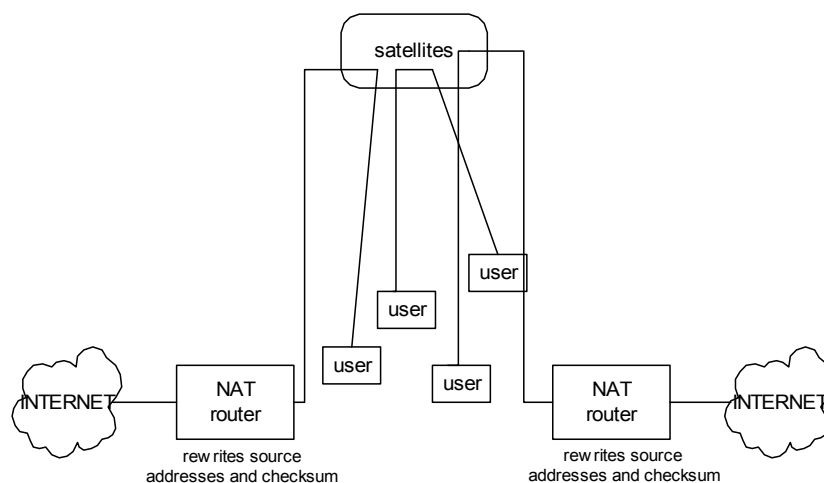
Κάθε κλάση χαρακτηρίζεται από ένα ανώτατο όριο στην καθυστέρηση μετάδοσης των δεδομένων, έναν ανώτατο όριο απώλειας πακέτων και ένα διαθέσιμο εύρος

ζώνης για τις αιτούμενες υπηρεσίες, το οποίο μοιράζεται με έναν ιεραρχικό τρόπο ανάμεσα στους χρήστες της κλάσης.

Εξαιτίας της καθυστέρησης στη λήψη επιβεβαιώσεων στις δορυφορικές συνδέσεις, η ιεραρχική σύνδεση των χρηστών που ανήκουν σε μια κλάση, επιτρέπει τη χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης που ένας χρήστης δε χρησιμοποιεί για κάποιο χρονικό διάστημα, από τους άλλους χρήστες με αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης του TCP πρωτοκόλλου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια αλγορίθμων που αποδίδουν «δίκαια» τους πόρους του δικτύου.

Σημαντικό θέμα έρευνας στο Internet over Satellite, αποτελεί και η δρομολόγηση των πακέτων δεδομένων. Οι δορυφόροι που δε βρίσκονται σε γεωστατική τροχιά αλλάζουν δυναμικά τις τοπολογίες των δορυφορικών δικτύων με αποτέλεσμα να χρειάζονται συχνή αλλαγή και οι πίνακες δρομολόγησης (routing tables). Η διατήρηση των πινάκων δρομολόγησης μέσα στους δορυφόρους δεν είναι συμφέρουσα καθώς δεν είναι εύκολη η ανανέωση και ενημέρωσή τους όταν οι δορυφόροι βρίσκονται σε τροχιά.

Μια καλή λύση είναι η χρησιμοποίηση ενός ιδιαίτερου τρόπου δρομολόγησης, όπως το Network Address Translation (NAT). Σε αυτή την τεχνική η αναγκαία πληροφορία για τη δρομολόγηση προέρχεται από το ίδιο το δίκτυο. Ο NAT router λαμβάνει τα δεδομένα και υπολογίζει κάθε φορά τις διευθύνσεις λήψης αλλά και προορισμού των πακέτων. Η διαδικασία είναι αμφίδρομη και παρουσιάζεται στο Σχήμα 174.



Σχήμα 174: Σχηματικό διάγραμμα της NAT τεχνικής

Αν και η NAT τεχνική λύνει το πρόβλημα δρομολόγησης στα δορυφορικά δίκτυα (καθώς και σε ιδιωτικά κινητά δίκτυα) το μόνο μειονέκτημα είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα των υπολογισμών που εμπλέκονται σε αυτή. Λύση σε αυτό το πρόβλημα μπορεί να προσφέρει η ενσωμάτωση μηχανισμών για switching & routing μέσα στους ίδιους τους δορυφόρους, που θα χειρίζεται τη μεταξύ τους επικοινωνία και μεταφορά πακέτων δεδομένων. Αυτό ήδη αποτελεί ερευνητικό στόχο των επιστημόνων για τα επόμενα χρόνια.

9.6.6. Προσφερόμενες Υπηρεσίες στο Internet over Satellite

Το μεγάλο εύρος ζώνης που εξασφαλίζει το Internet over Satellite, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα σύνολο υπηρεσιών προσφερόμενες είτε προς μεμονωμένους τελικούς χρήστες (ιδιώτες) είτε προς επιχειρήσεις. Τις δυνατότητες του Internet over Satellite, δεν εκμεταλλεύονται όμως το ίδιο καλά όλες οι εφαρμογές, αλλά περισσότερο όσες έχουν το χαρακτηριστικό της multicast και broadcast μετάδοσης. Αυτές οι εφαρμογές μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

α) τις μονόδρομες, όπως η δορυφορική τηλεόραση και

β) τις αμφίδρομες ή αλλιώς διαδραστικές (interactive), όπως η εξ' αποστάσεως εκπαίδευση, η τηλε-ιατρική και η τηλε-εργασία.

Οι μονόδρομες εφαρμογές χρησιμοποιούν τις δορυφορικές συνδέσεις μόνο ως προς τη μια κατεύθυνση (downlink), ενώ οι αμφίδρομες χρησιμοποιούν και τις δυο κατευθύνσεις (uplink & downlink), με αποτέλεσμα να απαιτούν πιο ακριβές συνδέσεις σε σχέση με τις αντίστοιχες επίγειες. Τόσο οι αμφίδρομες όσο και οι μονόδρομες εφαρμογές είναι γνωστές και ως ασυμμετρικές. Ορισμένες από τις προσφερόμενες εφαρμογές είναι οι ακόλουθες:

- Δίκτυο κορμού για εκπομπή Internet με μεγάλη ταχύτητα για ISP's (ISP Backbone Service).
- Εκπομπή σε εταιρικά δίκτυα (Intranets).
- Εκπομπή μέσω Διαδικτύου (Web casting).
- Δορυφορικά πολυμέσα
- Τηλε-εκπαίδευση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9:
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΔΟΜΩΝ

10. Επιχειρηματικά Μοντέλα Αξιοποίησης Ευρυζωνικών Υποδομών

Η ανάπτυξη ευρυζωνικών υποδομών δεν αποτελεί μόνο τεχνικό θέμα υλοποίησης, αλλά και αντικείμενο οικονομικού και επιχειρησιακού σχεδιασμού. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια ανάλυση της έννοιας του επιχειρηματικού μοντέλου και πώς αυτό μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση της αξιοποίησης ευρυζωνικών υποδομών.

10.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΟΥ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Γενικά έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι επιχειρηματικών μοντέλων. Ο ορισμός του επιχειρηματικού μοντέλου που χρησιμοποιείται στο κεφάλαιο αυτό είναι ο εξής:

Ένα «επιχειρηματικό μοντέλο» αποτελείται από ροές υπηρεσιών και πληροφορίας, περιλαμβάνοντας τις περιγραφές των διαφόρων παικτών της αγοράς, τους ρόλους και τις σχέσεις αυτών, τη σχετική τους θέση σε ένα δίκτυο αξίας, καθώς και την κοστολογική τους δομή και τις πηγές εσόδων τους.

Επιπλέον ορισμοί που χρησιμοποιούνται σε ένα επιχειρηματικό μοντέλο είναι οι εξής:

- **Παίκτης (player):** Μια οντότητα η οποία συμμετέχει σε ένα επιχειρηματικό μοντέλο. Μπορεί να είναι (α) μια επιχειρηματική οντότητα, η οποία παρέχει υπηρεσίες, ή (β) ένας πελάτης, ο οποίος αγοράζει υπηρεσίες.
- **Ρόλος (role):** Η λειτουργία ενός παίκτη σε ένα επιχειρηματικό μοντέλο. Ένας παίκτης μπορεί να πάρει έναν ή περισσότερους διαφορετικούς ρόλους.
- **Σχέση (relationship):** Απεικονίζει την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ δύο ρόλων/παικτών/επιπέδων σε ένα σύστημα. Αυτή η ανταλλαγή πληροφοριών μπορεί να είναι δύο τύπων (α) τεχνική (ροή δεδομένων, ροή ελέγχου κ.λπ.), ή (β) επιχειρηματική (ροή χρημάτων, συμβόλαια κ.λπ.).
- **Κάθετη δεσμοποίηση (vertical bundling):** Αναφέρεται στην έκταση στην οποία ένας παίκτης ελέγχει την παραγωγή και τη διανομή υπηρεσιών στην αλυσίδα αξίας. Ο όρος αυτός, είναι γνωστός και ως «κάθετη ολοκλήρωση». Παράδειγμα κάθετης δεσμοποίησης αποτελεί ένας πάροχος υπηρεσιών φωνής, ο οποίος έχει ολοκληρώσει τις λειτουργίες του παρόχου υπηρεσιών και δικτύου, διατηρώντας έτσι τον πλήρη έλεγχο της αλυσίδας αξίας.
- **Μοντέλο εσόδων:** Το μοντέλο εσόδων περιγράφει τις ροές των εσόδων τα οποία είναι διαθέσιμα για έναν παίκτη σε ένα επιχειρηματικό μοντέλο. Παραδείγματα μοντέλων εσόδων είναι τα μοντέλα χρέωσης της συνδρομής.

10.2. ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται μερικά επιχειρηματικά μοντέλα για την αξιοποίηση ευρυζωνικών δικτυακών υποδομών. Η διαφοροποίηση των

επιχειρηματικών μοντέλων μεταξύ τους έγκειται στο βαθμό στον οποίο ολοκληρώνονται ορισμένοι παράγοντες σε κάθε μοντέλο. Συγκεκριμένα:

- **Ολοκλήρωση ιδιοκτησίας:** Μέχρι ποιο σημείο τα διαφορετικά λειτουργικά στρώματα αναπτύσσονται κάτω από κοινή ιδιοκτησία;
- **Ολοκλήρωση στόχου:** Μέχρι ποιο σημείο εκτελούνται οι στόχοι με αμοιβαίο συντονισμό, πριν εισέλθει ο ανταγωνισμός (π.χ. co-location, εργασία σε ομάδες κ.λπ.);
- **Ολοκλήρωση γνώσης:** Μέχρι ποιο σημείο οι εμπλεκόμενοι φορείς έχουν γνώση σχετικά με τις δραστηριότητες των άλλων εμπλεκόμενων φορέων;

Ο βαθμός ολοκλήρωσης των παραπάνω παραγόντων καθορίζεται με τη μελέτη και έρευνα των παρακάτω σημείων αντίστοιχα:

- Ο βαθμός στον οποίο ο ίδιος φορέας έχει πολλαπλούς ρόλους στο επιχειρηματικό μοντέλο.
- Ο βαθμός στον οποίο διαφορετικοί συμμετέχοντες ευθυγραμμίζουν τις δραστηριότητες τους για την ολοκλήρωση ενός στόχου.
- Ο βαθμός στον οποίο διαφορετικοί συμμετέχοντες έχουν γνώση ο ένας για τις δραστηριότητες του άλλου.

Τα στοιχεία που εμπλέκονται στα επιχειρηματικά μοντέλα για την αξιοποίηση ευρυζωνικών δικτυακών υποδομών, την παροχή και εκμετάλλευση των οποίων αναλαμβάνουν οι εμπλεκόμενοι φορείς, είναι τα παρακάτω:

- Συσκευές
- Πύλες πρόσβασης (portals)
- Περιεχόμενο
- Υπηρεσίες
- Πλατφόρμες υπηρεσιών
- Υποδομή πρόσβασης

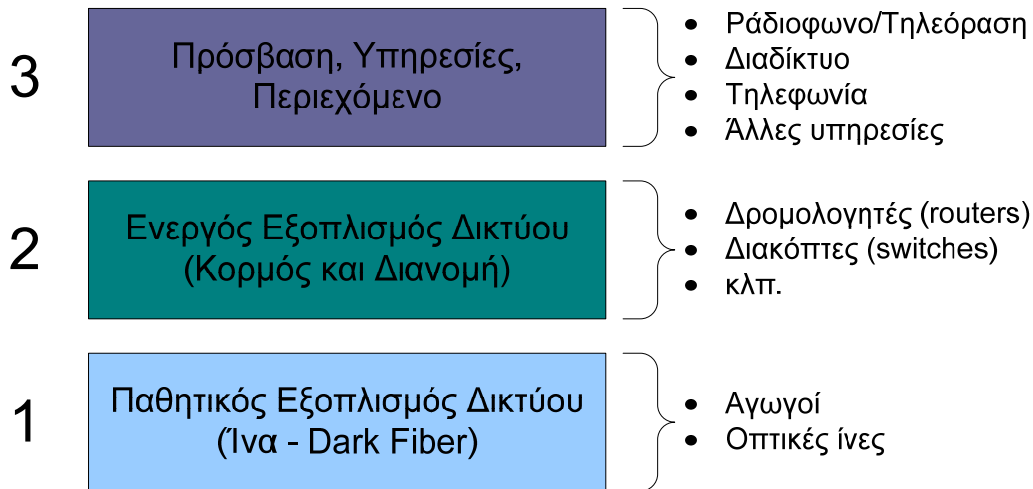
Οι επιχειρηματικές διαδικασίες ομαδοποιούνται σε δύο φάσεις:

- **Φάση ανάπτυξης:** άθροιση ζήτησης, προώθηση, προχρηματοδότηση, έναρξη, συντονισμός προτύπων, σχέδιο, υλοποίηση.
- **Φάση εμπορικής εκμετάλλευσης:** Λειτουργία, συντήρηση, διαφήμιση, πωλήσεις, CRM, τιμολόγηση.

Στην ενότητα που ακολουθούν περιγράφονται συνοπτικά παραδείγματα επιχειρηματικών μοντέλων. Το Σχήμα 175 παρουσιάζει τα τρία βασικά επίπεδα ενός επιχειρηματικού μοντέλου:

- Το πρώτο επίπεδο αφορά τον παθητικό εξοπλισμό του δικτύου, δηλαδή τους αγωγούς, τις οπτικές ίνες κ.λπ. Συγκεκριμένα, αναφέρεται στο ποιος φορέας (ιδιωτική ή δημόσια επιχείρηση, κ.λπ.) παρέχει και εκμεταλλεύεται την βασική υποδομή του ευρυζωνικού δικτύου.

- Το δεύτερο επίπεδο αφορά τον ενεργό εξοπλισμό του δικτύου. Συγκεκριμένα, αναφέρεται στο ποιος φορέας παρέχει και εκμεταλλεύεται την ενεργή υποδομή του ευρυζωνικού δικτύου.
- Το τρίτο επίπεδο αναφέρεται στο ποιος ελέγχει το δίκτυο, καθώς και τις υπηρεσίες και το περιεχόμενο που προσφέρονται πάνω από αυτό.



Σχήμα 175. Επίπεδα επιχειρηματικού μοντέλου ευρυζωνικών υποδομών

Με βάση το Σχήμα 175 παρουσιάζονται μερικά σενάρια επιχειρηματικών μοντέλων που δείχνουν το πώς οι δημόσιοι οργανισμοί και οι ιδιωτικοί πάροχοι υποδομών, εξοπλισμού και υπηρεσιών μπορούν να συνεργαστούν προς όφελος του τελικού χρήστη.

10.2.1. Σενάριο 1: Ίση πρόσβαση (Equal Access)

Στο συγκεκριμένο σενάριο (Σχήμα 176) στόχος είναι η διασφάλιση ίσης πρόσβασης στον παθητικό εξοπλισμό του δικτύου. Συγκεκριμένα:

- Στο πρώτο επίπεδο δραστηριοποιείται μια οντότητα, η οποία προσφέρει κοστοστρεφώς τον παθητικό εξοπλισμό του δικτύου στον πάροχο του ενεργού εξοπλισμού. Επειδή η παθητική υποδομή πρέπει να προσφέρεται κοστοστρεφώς, η οντότητα πρέπει να είναι μια εταιρεία κοινής ωφέλειας ή η δημοτική αρχή (υπό τη μορφή μιας δημόσιας, μη κερδοσκοπικής επιχείρησης).
- Στο δεύτερο επίπεδο δραστηριοποιούνται πολλοί πάροχοι, ο οποίοι προσφέρουν τον ενεργό εξοπλισμό του δικτύου.
- Στο τρίτο επίπεδο δραστηριοποιούνται επίσης πολλοί πάροχοι υπηρεσιών, που δρουν ανταγωνιστικά και προσφέρουν ευρυζωνικές υπηρεσίες στους χρήστες.



Σχήμα 176. Σενάριο ίσης πρόσβασης

Η οντότητα που δραστηριοποιείται στο πρώτο επίπεδο, κατασκευάζει την παθητική υποδομή και στη συνέχεια, την επινοικιάζει σε μια εταιρεία ή κοινοπραξία εταιρειών που λειτουργεί το δίκτυο. Η εταιρεία λειτουργίας του δικτύου παρέχει με τη σειρά της τον ενεργό εξοπλισμό και προσφέρει ευρυζωνική πρόσβαση στους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους και τους παρόχους περιεχομένου. Τέλος, οι πάροχοι υπηρεσιών πληρώνουν ένα μηνιαίο τέλος ανά χρήστη στην εταιρεία λειτουργίας του δικτύου.

Ο ρόλος της οντότητας που δραστηριοποιείται στο επίπεδο 1 σε αυτό το επιχειρηματικό μοντέλο, είναι να παρακινήσει τον ανταγωνισμό σε επίπεδο παροχής υπηρεσιών και περιεχομένου. Η οντότητα αυτή, με το να επενδύει σε παθητική υποδομή και λόγω του μη-κερδοσκοπικού χαρακτήρα της που επιτρέπει κοστοστρεφή χρέωση της παθητικής υποδομής, μειώνει το κόστος για τους παρόχους υπηρεσιών και επομένως το οικονομικό κατώφλι για να μπει κάποιος στην αγορά. Μέσα από την εταιρεία διαχείρισης του δικτύου εξασφαλίζεται ότι οι πάροχοι υπηρεσιών και περιεχομένου θα ανταγωνίζονται μεταξύ τους.

Υπάρχουν δύο σημαντικές παραλλαγές στο επιχειρηματικό μοντέλο ίσης πρόσβασης:

1. Η πρώτη παραλλαγή προκύπτει όταν υπάρχει ήδη σημαντική ευρυζωνική υποδομή στην περιοχή και δεν είναι αναγκαίες νέες επενδύσεις. Σε αυτή την περίπτωση ο ρόλος της δημοτικής αρχής είναι να λειτουργεί ως ενορχηστρωτής με το να εξασφαλίζει τη δημιουργία μιας ακμάζουσας αγοράς για ευρυζωνικές υπηρεσίες και περιεχόμενο. Συχνά, οι δημοτικές αρχές και οι ιδιοκτήτες της υπάρχουσας υποδομής δημιουργούν ένα κοινό φορέα (κοινοπραξία), ο οποίος και διαχειρίζεται την υποδομή. Η ενεργή υποδομή και η παροχή υπηρεσιών συνήθως διαχειρίζονται από έναν ή περισσότερους παρόχους υπηρεσιών, κατόπιν συμφωνίας με τον κοινό φορέα.
2. Η δεύτερη παραλλαγή προκύπτει όταν η δημοτική αρχή αναλαμβάνει και τη διαχείριση της ενεργής υποδομής μαζί με τη διαχείριση της παθητικής υποδομής.

Το επιχειρηματικό μοντέλο ίσης πρόσβασης προϋποθέτει ότι ένας μεγάλος αριθμός από παρόχους υπηρεσιών και περιεχομένου είναι διαθέσιμοι και ανταγωνίζονται μεταξύ τους. Αυτό δεν είναι πάντα εφικτό, καθώς η δημιουργία μιας ενεργής αγοράς σε ευρυζωνικές υπηρεσίες και περιεχόμενο παίρνει κάποιο χρονικό διάστημα να δημιουργηθεί. Επίσης, το επιχειρηματικό μοντέλο ίσης πρόσβασης υποθέτει πως το ευρυζωνικό δίκτυο θα αποφέρει γρήγορα ικανοποιητικά κέρδη (δηλαδή θα

δημιουργηθεί γρήγορα κρίσιμη μάζα πελατών), προκειμένου να υποστηρίξει μεγάλο αριθμό ανταγωνιστριών εταιρειών.

10.2.2. Σενάριο 2: Πλήρης κρατικός έλεγχος μέσω κοινοπραξιών του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα (Full Public control through Public-Private Partnerships –PPPs)

Το συγκεκριμένο σενάριο (Σχήμα 177) εμπλέκει την δημοτική αρχή σε όλα τα μέρη του ευρυζωνικού δικτύου, δηλαδή στην παθητική υποδομή, στην ενεργή υποδομή και στις υπηρεσίες. Με τον τρόπο αυτό, διασφαλίζεται η κρατική παρέμβαση και ο έλεγχος σε όλα τα επίπεδα, μέσω της συμμετοχής του κράτους σε κοινοπραξίες του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα.



Σχήμα 177. Πλήρης κρατικός έλεγχος μέσω κοινοπραξιών του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα

Το μοντέλο αυτό μπορεί να επιλεγεί γιατί είτε η δημοτική αρχή δεν είναι έτοιμη να επιτρέψει έστω ένα προσωρινό μονοπάτι για την παροχή υπηρεσιών, είτε γιατί δεν το επιτρέπει η νομοθεσία. Επίσης, το μοντέλο αυτό μπορεί να επιλεγεί όταν δεν υπάρχει προθυμία από παρόχους υπηρεσιών να επενδύσουν (π.χ. σε απομακρυσμένες ή αγροτικές περιοχές).

Πλεονέκτημα του παρόντος μοντέλου είναι η απλοποίηση της διαχείρισης του συνολικού έργου, εφόσον εμπλέκεται ένας μόνο οργανισμός. Από την άλλη πλευρά, μειονεκτήματα του μοντέλου αφορούν τη μη προαγωγή του ανταγωνισμού στην παροχή υπηρεσιών και περιεχομένου, με αποτέλεσμα οι πελάτες να έχουν λιγότερες επιλογές, την ύπαρξη περιορισμένων καινοτομικών στοιχείων, καθώς και την απουσία της πίεσης των τιμών. Τέλος, στο μοντέλο αυτό απαιτείται από την δημοτική αρχή να λειτουργεί ως πάροχος τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, τομέας στον οποίο δεν έχει εμπειρία.

10.2.3. Σενάριο 3: Κοινοπραξίες του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα χωρίς κρατικό έλεγχο (Public-Private Partnerships – PPPs orchestrated)

Στο συγκεκριμένο σενάριο (Σχήμα 178) δημιουργείται μια δημόσια – ιδιωτική κοινοπραξία για τον έλεγχο του παθητικού εξοπλισμού του δικτύου, καθώς και των υπηρεσιών που παρέχονται. Στην κοινοπραξία αυτή ο Δήμος συμμετέχει με μικρό ποσοστό, συνήθως μικρότερο του 20%, ενώ οι υπόλοιποι συμμετέχοντες είναι

ιδιωτικοί φορείς και εταιρείες. Το ενεργό μέρος τους δικτύου το κατέχει και το διαχειρίζεται αποκλειστικά μια ιδιωτική εταιρεία.

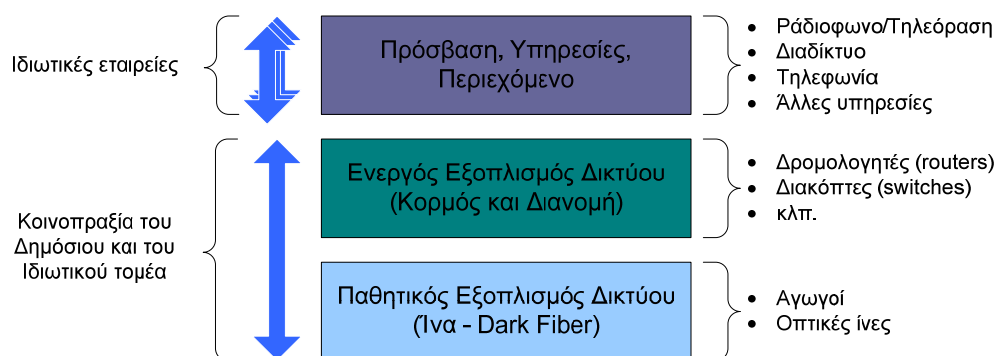


Σχήμα 178. Κοινοπραξίες του Δημόσιου και του Ιδιωτικού τομέα χωρίς κρατικό έλεγχο

10.2.4. Σενάριο 4: Δημόσιος Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών (Public Sector Telco)

Στο συγκεκριμένο σενάριο (Σχήμα 179) στόχος είναι η εκμετάλλευση του παθητικού και του ενεργού μέρους του δικτύου από μια δημόσια εταιρεία κοινής ωφέλειας. Πιο συγκεκριμένα:

- Στο πρώτο και το δεύτερο επίπεδο δραστηριοποιείται μια εταιρεία κοινής ωφέλειας ή η δημοτική αρχή (υπό τη μορφή μιας δημόσιας, μη κερδοσκοπικής επιχείρησης), η οποία στην περίπτωση αυτή προσφέρει τον παθητικό και τον ενεργό εξοπλισμό του δικτύου.
- Στο τρίτο επίπεδο δραστηριοποιούνται πολλές ιδιωτικές εταιρείες που δρουν ανταγωνιστικά, προσφέροντας ευρυζωνικές υπηρεσίες στους χρήστες.



Σχήμα 179. Δημόσιος Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών

10.2.5. Σενάριο 5: Μοναδικός ιδιωτικός πάροχος υπηρεσιών (Sole Private Provider)

Στο μοντέλο αυτό, ο ενεργός δικτυακός εξοπλισμός, η διαχείριση του δικτύου, καθώς και οι υπηρεσίες παρέχονται από έναν και μόνο ιδιωτικό πάροχο. Ένας δημόσιος φορέας (π.χ. ο Δήμος) έχει στην ιδιοκτησία του τον παθητικό δικτυακό εξοπλισμό.



Σχήμα 180. Μοναδικός ιδιωτικός πάροχος υπηρεσιών

Το πλεονέκτημα αυτού του μοντέλου είναι ότι το όλο εγχείρημα γίνεται εμπορικά βιώσιμο σε σημαντικά μικρότερα επίπεδα κόστους ανά πελάτη. Βέβαια, στους πελάτες παρέχονται περιορισμένες υπηρεσίες και δεν υπάρχει οικονομικό όφελος από τον ανταγωνισμό στις τιμές (γιατί δεν υφίσταται ανταγωνισμός). Για τους λόγους αυτούς, η δημοτική αρχή πρέπει να διασφαλίσει ότι το μονοπώλιο στις υπηρεσίες θα υφίσταται για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, κατά την διάρκεια του οποίου ο μοναδικός πάροχος υπηρεσιών θα δημιουργήσει ένα ικανοποιητικό αριθμό πελατών, ώστε να μπορεί κατόπιν να είναι βιώσιμη μια ανταγωνιστική αγορά. Προφανώς, ο καθορισμός αυτού του χρονικού διαστήματος είναι ένας κρίσιμος παράγοντας, καθώς επίσης και η μετάβαση στο μοντέλο ανοικτής πρόσβασης, για την οποία θα πρέπει να καθοριστούν προσεκτικά νομικά και άλλα σχετικά θέματα.

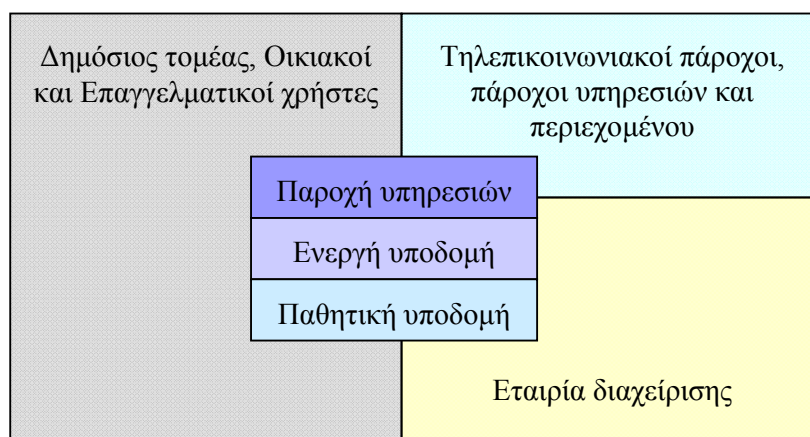
10.3. ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Ένα ευρυζωνικό δίκτυο αποτελείται από τα παρακάτω συστατικά (Σχήμα 181):

- **Παθητική υποδομή (Passive Infrastructure):** Αποτελεί την φυσική υποδομή η οποία χρησιμοποιείται για την παροχή ευρυζωνικής πρόσβασης και συνήθως αποτελείται από αγωγούς (σωληνώσεις), φρεάτια, καλώδια οπτικών ινών και οπτικούς κατανεμητές. Πολλές δημοτικές αρχές διαθέτουν υποδομές που θα μπορούσαν να φιλοξενήσουν δικτυακή υποδομή (π.χ. σωληνώσεις άλλων δημοσίων δικτύων, όπως ύδρευσης), οι οποίες μπορούν να μειώσουν δραματικά το κόστος δημιουργίας ευρυζωνικών δικτύων.
- **Ενεργή υποδομή (Active Infrastructure):** Η ενεργή υποδομή αποτελείται από στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται για την μετάδοση δεδομένων πάνω από την παθητική υποδομή. Τέτοια στοιχεία είναι π.χ. μεταγωγείς και δρομολογητές.
- **Παροχή υπηρεσιών (Service Offerings):** Είναι οι υπηρεσίες οι οποίες παρέχονται στους πελάτες, όπως για παράδειγμα πρόσβαση στο Διαδίκτυο με υψηλές ταχύτητες (10 Mbps ή περισσότερο), high definition TV, τηλεφωνία με χρήση βίντεο, βίντεο κατά απαίτηση κ.λπ.
- **Εταιρεία λειτουργίας του δικτύου:** Η εταιρεία αυτή εκμεταλλεύεται την παθητική υποδομή, και ίσως και την ενεργή υποδομή του δικτύου. Ανάλογα με το επιχειρηματικό μοντέλο, η εταιρεία αυτή προσφέρει υπηρεσίες πρόσβασης σε άλλες εταιρείες, οι οποίες παρέχουν υπηρεσίες στους πελάτες ή μπορεί να παρέχει και η ίδια απευθείας υπηρεσίες στους πελάτες. Επίσης η εταιρεία αυτή μπορεί να

είναι ο ιδιοκτήτης της παθητικής υποδομής ή μπορεί να έχει σχετικό συμβόλαιο με τον ιδιοκτήτη της υποδομής.

- **Πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών και πάροχοι περιεχομένου:** Οι εταιρείες που παρέχουν υπηρεσίες και περιεχόμενο στους τελικούς χρήστες.
- **Δημόσιος τομέας, οικιακοί και εταιρικοί χρήστες:** Αποτελούν τον τελικό χρήστη και αποτελούνται από όλες τις επιχειρήσεις, του κατοίκους και τους οργανισμούς του δημόσιου τομέα στην περιοχή την οποία εξυπηρετεί το ευρυζωνικό δίκτυο.



Σχήμα 181. Συστατικά ενός Ευρυζωνικού Δικτύου

10.4. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το κόστος ενός ευρυζωνικού δικτύου, όπως και κάθε δικτύου, χωρίζεται σε δύο μέρη, το κόστος κατασκευής του ευρυζωνικού δικτύου (CAPEX) και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του ευρυζωνικού δικτύου (OPEX).

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται αναλυτικότερα οι όροι CAPEX και OPEX.

10.4.1. Τι ορίζεται ως CAPEX

Ως CAPEX ορίζονται οι δαπάνες/κόστη που σχετίζονται με την κατασκευή ή την επέκταση του πάγιου ενεργητικού (δηλαδή των σταθερών πόρων, όπως για παράδειγμα η υποδομή του δικτύου), οι οποίες υπόκεινται σε μείωση κατά τη διάρκεια της οικονομικής ζωής ενός προγράμματος/έργου. Στην συνέχεια, υπάρχει μια υπόλοιπη αξία που συνδέεται σε αυτές τις δαπάνες.

Το CAPEX είναι απαραίτητο για την δημιουργία νέων ή τη βελτίωση των υπάρχουσών υπηρεσιών, αλλά και για την αναβάθμιση των δραστηριοτήτων των εταιριών. Η ανάλυση του CAPEX βασίζεται γενικά στις φυσικές και λογικές απαιτήσεις σε πόρους. Η κατασκευή ενός δικτύου, η υλοποίηση δικτυακών συσκευών, και η απόκτηση συστημάτων λογισμικού (ή υλικού) που επιτρέπουν τις

ιδιαίτερες προσφορές υπηρεσιών, παραδείγματος χάριν, περιλαμβάνουν σημαντικά χρηματικά ποσά για την αγορά απαραίτητων συσκευών ή ενός πληροφοριακού συστήματος.

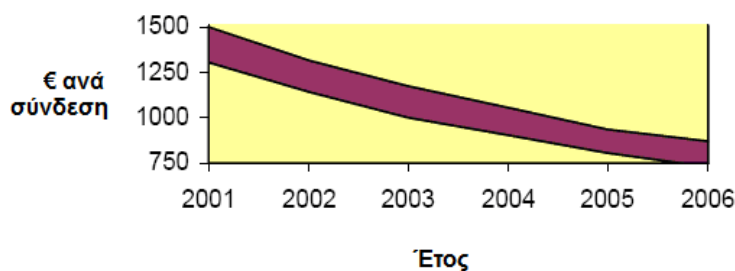
Με άλλα λόγια, στα ευρυζωνικά δίκτυα το CAPEX αποτελείται από τα παρακάτω:

- Παθητικός εξοπλισμός (σωληνώσεις, μικρο-σωληνώσεις, φρεάτια, οπτικές ίνες, καταναμητές, κ.λπ.).
- Ενεργός εξοπλισμός (μεταγωγείς, δρομολογητές, transceivers κ.λπ.).
- Εργασίες (εκσκαφές, συγκολλήσεις, αποκαταστάσεις κ.λπ.).

Οι τελευταίες εξελίξεις στην τεχνολογία έχουν οδηγήσει σε σημαντική μείωση του κόστους υλοποίησης ευρυζωνικών δικτύων, ενδεικτικά αναφέρουμε ότι τα τελευταία 5 χρόνια το κόστος αυτό έχει μειωθεί κατά 40% και αυτό για τους παρακάτω λόγους:

- Διαθεσιμότητα end-to-end λύσεων για την υλοποίηση ευρυζωνικών δικτύων.
- Εισαγωγή της τεχνολογίας tube-in-tube με την χρήση μικρο-σωληνώσεων όπου οι οπτικές ίνες εισάγονται λίγο πριν χρησιμοποιηθούν και όχι από την αρχή της υλοποίησης του ευρυζωνικού δικτύου.
- Νέας γενιάς υψηλής χωρητικότητας συσκευές διασύνδεσης.

Στο Σχήμα 182 φαίνεται η μείωση του CAPEX τα τελευταία χρόνια.



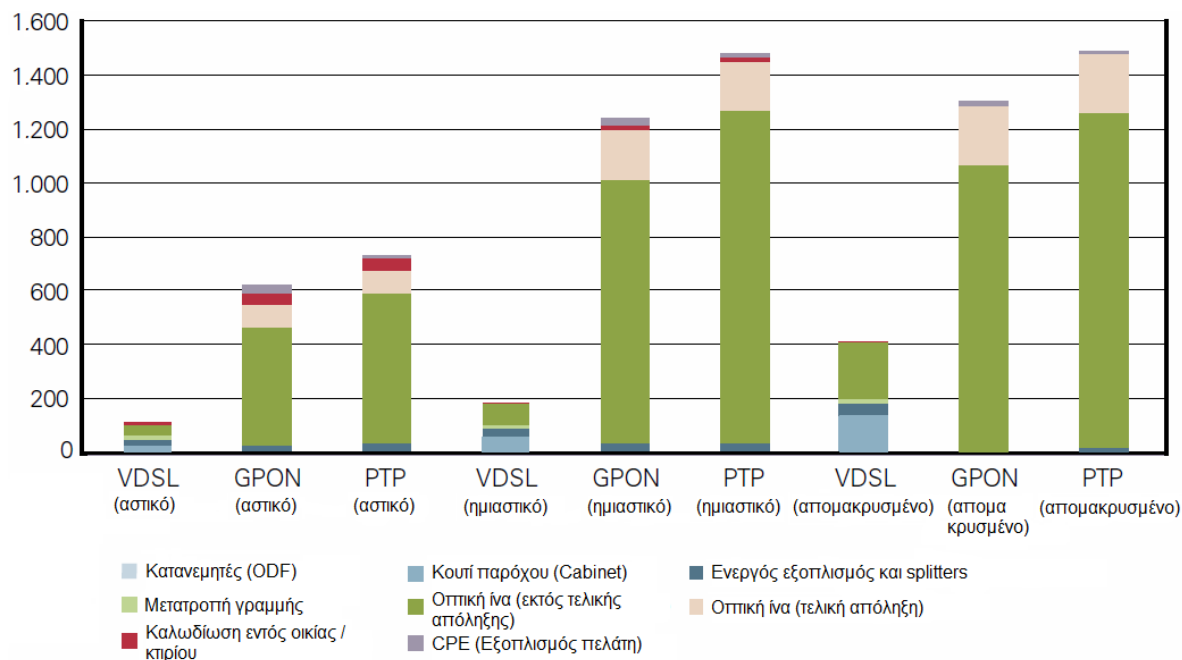
Σχήμα 182. Ρυθμός μείωσης του CAPEX

Στο Σχήμα 183 δίνεται μία ενδεικτική κατανομή των διαφόρων κοστών CAPEX από τα στοιχεία τηλεπικοινωνιακών παρόχων που έχουν αναπτύξει ευρυζωνικά δίκτυα στην Ευρώπη. Ο κατακόρυφος άξονας δείχνει το αρχικό κόστος εγκατάστασης ανά πελάτη που θα περάσει το δίκτυο. Η σύγκριση αφορά 3 βασικές τεχνολογίες: μία παραλλαγή xDSL (και συγκεκριμένα VDSL), την αρχιτεκτονική GPON για FTTx δίκτυα και την αρχιτεκτονική Point-to-Point για FTTx δίκτυα.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, ένας βασικός παράγοντας προσδιορισμού του αρχικού κόστους εγκατάστασης είναι ο βαθμός πυκνότητας των πελατών στη συγκεκριμένη περιοχή, και ειδικότερα αν πρόκειται για πυκνοκατοικημένο (αστικό) περιβάλλον, αγροτική / ημιαστική περιοχή ή για ιδιαίτερα απομακρυσμένη περιοχή.

Τα βασικά κόστη που υπολογίζονται στο Σχήμα 183 αφορούν το κόστος των εγκαταστάσεων ODF (καταναμητών), τη μετατροπή της γραμμής (στην περίπτωση που πρόκειται για xDSL τεχνολογία), το κόστος της καλωδίωσης εντός των εγκαταστάσεων του πελάτη, το κόστος για το κουτί του παρόχου στο δρόμο (cabinet), τον εξοπλισμό πελάτη (CPE – Customer Premises Equipment), το κόστος ενεργού εξοπλισμού και παθητικών διαχωριστών (splitters), και το κόστος απόκτησης και τοποθέτησης της οπτικής ίνας, διαχωρισμένο στο τμήμα τελικής απόληξης (δηλαδή

το 25% της απόστασης από το σημείο διανομής έως το κτίριο του πελάτη) και στο υπόλοιπο τμήμα.



Σχήμα 183. Κατανομή κόστους CAPEX

10.4.2. Τι ορίζεται ως OPEX

Ως OPEX ορίζονται οι δαπάνες/κόστη που είναι απαραίτητες για τη διεύθυνση της επιχείρησης ή του εξοπλισμού, και απολύτως αναγκαία για να διατηρήσουν τις προσφερόμενες υπηρεσίες συνεχώς και αδιάλειπτα ενεργές. Αυτές οι δαπάνες δεν προορίζονται για να επεκτείνουν το πάγιο ενεργητικό και δεν υπόκεινται στην μείωση. Μόλις γίνουν, αυτές οι δαπάνες δεν έχουν καμία υπόλοιπη αξία (residual value).

Στο παρόν κείμενο, γενικά, ως OPEX ορίζονται όλα τα στοιχεία δαπανών τα οποία δεν συμπεριλαμβάνονται στο CAPEX. Στην πραγματικότητα, τα όρια ανάμεσα στο CAPEX και το OPEX δεν είναι πάντα σαφώς καθορισμένα. Ορισμένες δαπάνες, όπως εκείνες που είναι σχετικές με το λογισμικό, είναι στα όρια ανάμεσα στο CAPEX και το OPEX, επειδή συσχετίζονται και με το ένα και με το άλλο.

Τα κόστη για την αγορά συστημάτων υλικού και λογισμικού ορίζονται ως CAPEX, αλλά η λειτουργία και η συντήρηση αυτών των συστημάτων, οι δαπάνες που σχετίζονται με το εργατικό δυναμικό και οι (περιοδικές) δαπάνες ανανέωσης αδειών (license costs) συμπεριλαμβάνονται στο OPEX.

Έτσι λοιπόν, στα ευρυζωνικά δίκτυα, το OPEX συμπεριλαμβάνει τα παρακάτω:

- Κόστος το οποίο σχετίζεται με τον χρήστη, για παράδειγμα κεντρική προετοιμασία (όπως βάσεις δεδομένων, χρεώσεις, ενεργοποίηση port, κ.λπ.), εγκατάσταση εξοπλισμού (κόστος το οποίο υφίσταται μόνο μία φορά), χρέωση (επαναλαμβανόμενο κόστος), κέντρο λειτουργίας δικτύου (επαναλαμβανόμενο κόστος), κλπ.

- Κόστος το οποίο σχετίζεται με τον εξοπλισμό, για παράδειγμα προληπτική συντήρηση (επαναλαμβανόμενο κόστος), αντιμετώπιση λαθών και προβλημάτων (επαναλαμβανόμενο κόστος), κατανάλωση ενέργειας (επαναλαμβανόμενο κόστος), κόστος χρήσης χώρων (επαναλαμβανόμενο κόστος), κλπ.

Σε επόμενη παράγραφο παρουσιάζονται όλοι οι παράγοντες που συνεισφέρουν στο OPEX. Η επιλογή των παραγόντων γίνεται έτσι ώστε να συνάδει με τις δαπάνες που συνήθως υφίστανται σε μια επιχείρηση τηλεπικοινωνιών.

10.5. ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ, ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ

Προκειμένου να κρατηθεί χαμηλά το CAPEX θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω:

- Προσεκτικός σχεδιασμός του δικτύου (planning)
- Προσεκτικός σχεδιασμός σχετικά με τα απαιτούμενα υλικά (logistics)
- Χρήση ευέλικτων τεχνικών (π.χ. υλοποίηση του δικτύου με χρήση μικρο-σωληνώσεων)
- Ισχυρή διείσδυση του δικτύου οδηγεί σε μείωση του CAPEX/πελάτη.

Προκειμένου να κρατηθεί χαμηλά το OPEX θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω:

- Χρήση self service portals
- Χρήση outsourcing για τις υπηρεσίες που έχουν σχέση με το περιεχόμενο
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας
- Ισχυρή διείσδυση του δικτύου, η οποία οδηγεί σε μείωση του OPEX/πελάτη
- Χρήση «ασφαλών» πολιτικών στην εγκατάσταση οπτικών ινών (π.χ. υλοποίηση του δικτύου με χρήση μικρο-σωληνώσεων)
- Χρήση εξοπλισμού με μεγάλη διάρκεια ζωής. Αυτό σχετίζεται και με το CAPEX, καθώς ενδεχόμενη χρήση τέτοιου εξοπλισμού μεγαλώνει το CAPEX.

Το συνολικό κόστος για την δημιουργία ενός ευρυζωνικού δικτύου εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως:

- Εξοπλισμός ο οποίος θα δίνεται στους τελικούς χρήστες: Θα παρέχεται εξοπλισμός μαζί με την υπηρεσία; Αυτό μπορεί να αυξήσει μέχρι και 20% το κόστος της αρχικής επένδυσης.
- Θα υπάρχει χρέωση κόστους διασύνδεσης στο δίκτυο: Εάν υπάρχει χρέωση κόστους διασύνδεσης μπορεί να υπάρξει σημαντική μείωση της χρηματοδότησης που απαιτείται.
- Συντήρηση και έλεγχος του δικτύου: Μπορεί να γίνει outsource;

Στην πράξη το ποσό της χρηματοδότησης του δικτύου εξαρτάται σημαντικά από το ποσό το οποίο είναι διατεθειμένοι οι χρήστες του δικτύου να πληρώσουν για την χρήση και αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, ώστε να υπάρχει υψηλή διείσδυση και κατά συνέπεια χαμηλό CAPEX και OPEX ανά διασυνδεδεμένο χρήστη.

Για την χρηματοδότηση δημιουργίας ευρυζωνικών δικτυακών υποδομών υπάρχουν διάφορες δυνατότητες:

- Επιχορήγηση (εθνική, κοινοτική κ.λ.π.) – ιδανική περίπτωση γιατί δεν απαιτεί αποπληρωμή.
- Μακρόχρονος δανεισμός – οι δημοτικές αρχές θεωρούνται αξιόπιστες και μπορούν να πάρουν μακροχρόνια δάνεια.
- Μετοχικό κεφάλαιο – ο χρηματοδότης θα λάβει ως «ανταμοιβή» μέρος της επιχείρησης. Συνήθως στα δημοτικά δίκτυα αυτό δεν ξεπερνά το 5~10%.
- Δημοτική και ιδιωτική σύμπραξη (Public Private Partnership - PPP): Σε αυτή την περίπτωση η δημοτική αρχή μοιράζεται το κόστος δημιουργίας του δικτύου με μία ή περισσότερες ιδιωτικές εταιρείες. Συνήθως η υποδομή του δικτύου παραμένει στην δημοτική αρχή, ενώ οι υπηρεσίες παρέχονται από τις ιδιωτικές εταιρείες για μια σχετικά μεγάλη χρονική περίοδο ώστε να αποσβέσουν την επένδυσή τους. Ενώ είναι μια ελκυστική επιλογή, στην πράξη είναι δύσκολο να επιτευχθεί για δημοτικά δίκτυα.

10.6. ΣΤΟΙΧΕΙΑ OPEX

Το σύνολο των στοιχείων OPEX που περιγράφονται στη συνέχεια πρέπει να καλύψει όλους τους σχετικούς ρόλους, όπως τον διαχειριστή υπηρεσιών, τον διαχειριστή δικτύων, τον υπεύθυνο υπηρεσιών, τον πάροχο υπηρεσιών κ.λπ. Τα στοιχεία πρέπει να είναι εφαρμόσιμα (και να ισχύουν) για όλα τα είδη δραστηριοτήτων τηλεπικοινωνιακών επιχειρήσεων (κινητή, σταθερή, convergent) και για τους κυρίαρχους παρόχους, αλλά και για τις νέες εταιρείες. Ακόμα, τα στοιχεία αυτά πρέπει να καλύψουν τα διαφορετικά είδη έργων που ασχολούνται, είτε με την δημιουργία νέων υπηρεσιών/προϊόντων, είτε με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών/πλατφορμών.

Οι παρακάτω ενότητες περιγράφουν τα κύρια στοιχεία OPEX. Για κάθε στοιχείο, παρατίθενται μερικά παραδείγματα των χαρακτηριστικών και των τομέων εφαρμογής. Οι δαπάνες για τεχνολογίες πληροφορικής έχουν καταταχιστεί στα διάφορα στοιχεία, και έτσι, δεν υπάρχει κάποιο στοιχείο που να αντιστοιχεί αποκλειστικά σε τεχνολογίες πληροφορικής. Πολλά από τα στοιχεία μπορούν επίσης να δοθούν ως υπεργολαβίες (outsourced), οπότε OPEX για αυτά σημαίνει η πληρωμή σε εξωτερικούς παράγοντες.

Τα στοιχεία OPEX που απαριθμούνται στην συνέχεια σχετίζονται με ανάλυση ταμειακών ροών (cash flow analysis).

10.6.1. Συντήρηση του εξοπλισμού και των συσκευών (υποδομών γενικότερα)

Περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Όλες τις επαναλαμβανόμενες δαπάνες που είναι περιοδικά απαραίτητες για την απρόσκοπτη λειτουργία δικτύων και υπηρεσιών.
- Την προληπτική συντήρηση και επιδιόρθωση.

- Οι νέες επενδύσεις (επανεπενδύσεις) λόγω ξεπερασμένου εξοπλισμού, αντιμετωπίζονται ως CAPEX. Επανεπένδυση σημαίνει μετάβαση σε νεότερη έκδοση του εξοπλισμού, συνήθως με αναβαθμισμένες λειτουργικότητες.
- Το κόστος απόσυρσης (δηλαδή ο παροπλισμός του παλαιού εξοπλισμού) μπορεί να θεωρηθεί ως OPEX ή να περιληφθεί στο CAPEX.

10.6.2. Άδειες εξοπλισμού και λογισμικού, υπεργολαβίες συντήρησης (maintenance outsourcing)

Περιλαμβάνει για παράδειγμα ετήσιες δαπάνες από τον πάροχο στον προμηθευτή εξοπλισμού μετά την αγορά του εξοπλισμού (συμφωνία συντήρησης και περιοδικές δαπάνες αδειών).

10.6.3. Πωλήσεις και μάρκετινγκ, απόκτηση πελατών

Αυτό το στοιχείο προορίζεται να καλύψει και τις δραστηριότητες που αφορούν την λιανική και χονδρική αγορά της επιχείρησης, σχετικά με:

- Μάρκετινγκ
- Διαφημίσεις
- Καμπάνιες
- Διαπραγματεύσεις SLA
- Επιδότησεις (για παράδειγμα παροχές σε προμηθευτές τηλεφωνικών συσκευών)

10.6.4. Παροχές σε πελάτες

Περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Εγγραφή/καταχώρηση πελατών
- Εγκατάσταση και επανεγκατάσταση των πελατών
- Ενεργοποίηση των συσκευών των πελατών

10.6.5. Φροντίδα πελατών

Περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Εξυπηρέτηση πελατών, χειρισμός των καταγγελιών κ.λπ.
- Λειτουργία γραφείων βοήθειας
- Λειτουργία διαχείρισης σχέσεων πελατών (Customer Relationship Management, CRM)
- Συχνά μπορεί να δοθεί υπεργολαβία και μπορεί να βασιστεί σε προσωπικά ή/και πληροφοριακά συστήματα

10.6.6. Χρέωση και τιμολόγηση

Περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Τρόποι μέτρησης, συλλογή δεδομένων, κ.λπ.
- Χρέωση
- Τιμολόγηση
- Λογιστική και έλεγχος (τακτική υποβολή έκθεσης σε τμήματα διαχείρισης πιο υψηλού επιπέδου)

10.6.7. Διαχείριση υπηρεσιών

Περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Διαχείριση προϊόντων (από αρμόδιο πρόσωπο)
- Επίβλεψη και έλεγχος των υπηρεσιών και της ποιότητας
- Διαχείριση SLA

10.6.8. Διαχείριση δικτύων

Περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Διαχείριση θεμάτων που αφορούν αστοχίες, ρυθμίσεις, λογιστική, απόδοση και ασφάλεια (Faults, Configuration, Accounting, Performance, and Security, FCAPS)
- Επίβλεψη και έλεγχος των στοιχείων του δικτύου
- Λειτουργία συστημάτων υποστήριξης λειτουργίας (Operation Support Systems, OSS)

10.6.9. Ανάπτυξη προϊόντων/πλατφορμών

Περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Σχεδιασμός δικτύων
- Σχεδιασμός και ανάπτυξη υπηρεσιών
- Σχεδιασμός SLA

10.6.10. Ενοίκιο φυσικών δικτυακών πόρων

Τα συγκεκριμένα στοιχεία είναι σχετικά με τους παρόχους υπηρεσιών ή τους εικονικούς χειριστές (virtual operators) που δεν κατέχουν τις δικτυακές πλατφόρμες, ή τις υποδομές, αλλά τις ενοικιάζουν από άλλους. Επίσης οι παραδοσιακοί πάροχοι πρέπει συχνά να πληρώσουν για μερικούς από αυτούς τους πόρους, αν και συνήθως σε μικρότερο βαθμό.

Περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Αδεσμοποίηση τοπικού βρόγχου (local loop unbundling - LLU)
- Χονδρική πώληση (π.χ. πρόσβαση DSL)
- Μισθωμένες γραμμές
- Σκοτεινή ίνα
- Co-location, φιλοξενία (hosting)
- Ιστός για τους σταθμούς βάσεων
- Κινητή πρόσβαση
- SAN (Storage area network)

10.6.11. Roaming

Περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Το κόστος για τη συμφωνία roaming και το κόστος τακτοποίησης (settlement cost): Το κόστος που επισύρεται στη διαπραγμάτευση και τη διαχείριση των συμφωνιών περιαγωγής και των οικονομικών τακτοποιήσεων.
- Σφαιρική δοκιμή roaming: Το κόστος που επισύρεται στη διεξαγωγή των δοκιμών διαλειτουργικότητας για το roaming σε διαφορετικά δίκτυα και τεχνολογίες.
- Συντήρηση VHE (Virtual home environment): Το κόστος που επισύρεται από τη συντήρηση του VHE, και είναι απαραίτητο για την παροχή του ίδιου εξατομικευμένου προφίλ σε πολλά διαφορετικά δίκτυα και τερματικά για έναν εισερχόμενο συνδρομητή.

10.6.12. Διασύνδεση (Interconnection)

Οι δαπάνες διασύνδεσης περιλαμβάνουν κυρίως τις δαπάνες τερματισμού που επιβάλλονται από έναν χειριστή δικτύων, αρμόδιο για την ολοκλήρωση μιας κλήσης ή συνόδου που δημιουργήθηκε σε ένα άλλο δίκτυο.

10.6.13. Ετήσιο κόστος αδειών ραδιο-φάσματος

Αποτελεί το ετήσιο κόστος για τις άδειες συχνότητας για το UMTS, WiMAX κ.λπ., ενώ δεν περιλαμβάνει τις one-time πληρωμές.

Μερικά ρυθμιστικά πλαίσια επιτρέπουν τη δυνατότητα εκμίσθωσης του φάσματος από έναν πάροχο σε έναν τρίτο. Σε μια τέτοια περίπτωση θα μπορούσε να είναι, για παράδειγμα, δυνατή η εκμίσθωση του φάσματος σε έναν MVNO (Mobile Virtual Network Operator) από ένα χειριστή δικτύων. Στην περίπτωση αυτή, το κόστος για την μίσθωση του φάσματος, θεωρείται ως OPEX για τον MVNO, ενώ το κόστος που αναλαμβάνεται από το χειριστή δικτύων για την αγορά της άδειας θεωρείται ως CAPEX.

10.6.14. Κανονισμοί/Ρυθμίσεις (Regulation)

Περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Κόστος για τις πληροφορίες και τον ρυθμιστή
- Συμπληρωματικό κόστος λόγω του αντίκτυπου αλλαγών που επισύρονται από ρυθμιστικές αποφάσεις
- Πρόστιμα βασισμένα στις αποφάσεις των ρυθμιστικών αρχών

10.6.15. Περιεχόμενο

Είναι το κόστος για την αγορά αδειών από έναν τρίτο (ιδιοκτήτη περιεχομένου) για την διανομή περιεχομένου.

10.7. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ OPEX

Η παρούσα ενότητα προσδιορίζει τους κύριους παράγοντες και παρουσιάζει απλούς τύπους για τον υπολογισμό των δαπανών OPEX, για τα στοιχεία που καθορίστηκαν προηγουμένως.

Αυτοί οι τύποι είναι γενικού επιπέδου και δεν υπεισέρχονται σε λεπτομέρειες συγκεκριμένων επιχειρησιακών περιπτώσεων. Οι επιχειρησιακές περιπτώσεις πρέπει να προσαρμόσουν και να καθορίσουν αυτούς τους τύπους βασισμένους στις διαθέσιμες πληροφορίες.

10.7.1. Συντήρηση του εξοπλισμού και των συσκευών

Οι δαπάνες συντήρησης έχουν οριστεί ως όλες οι δαπάνες σχετικές με την επίλυση των φυσικών προβλημάτων στο δίκτυο, όπως οι αποκοπές οπτικών ινών ή η αστοχία εξοπλισμού. Μπορεί να υπολογιστεί ως το συνολικό ποσό των δαπανών για την αντικατάσταση συσκευών και εξοπλισμού και των δαπανών για την πληρωμή του προσωπικού συντήρησης. Το πρώτο μέρος καλύπτει τις δαπάνες των αστοχιών των δικτυακών συσκευών και των βλαβών του εξοπλισμού, ενώ το δεύτερο περιλαμβάνει τις δαπάνες εργασίας και εξαρτάται προφανώς από τον απαραίτητο αριθμό προσωπικού.

Αυτές οι δαπάνες μπορούν να υπολογιστούν ως δαπάνες εργατικού δυναμικού. Επομένως, για κάθε αναλυθέν πρόγραμμα, θα ήταν χρήσιμο να αξιολογηθεί ο χρόνος μεταξύ των αστοχιών και ο χρόνος απασχόλησης που απαιτείται κατά μέσο όρο για να επισκευαστεί ένας δεδομένος τύπος εξοπλισμού. Αυτά τα στοιχεία θα πρέπει να δοθούν από τους κατασκευές και τους προμηθευτές εξοπλισμού.

Ωστόσο, μια εναλλακτική λύση είναι η χρήση ενός μοντέλου που υλοποιήθηκε στα πλαίσια του ευρωπαϊκού έργου AC226-OPTIMUM¹.

¹ <http://www.telenor.no/fou/prosjekter/optimum>

Τα κόστη συντήρησης διαχωρίζονται σε δύο ομάδες M1 και M2, οι οποίες είναι μέρη των παραδοσιακών δαπανών O&M (Operation, Administration & Maintenance-Λειτουργία, Διαχείριση και Συντήρηση), όπως φαίνεται στο Σχήμα 184.

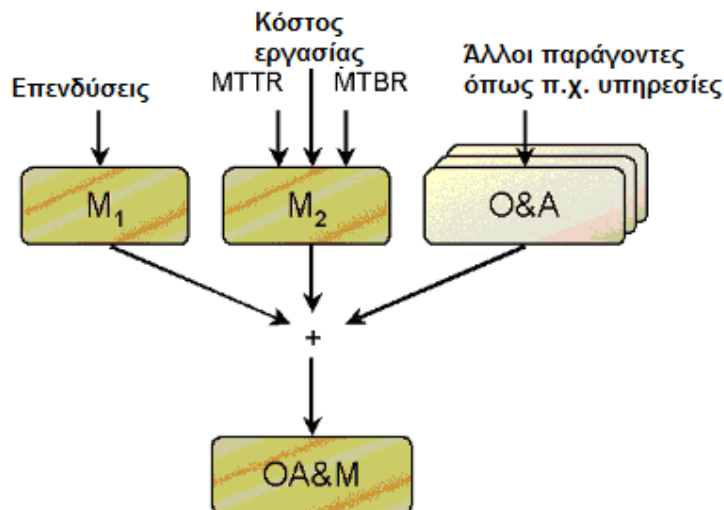
- M1: Αντιπροσωπεύει το κόστος των συσκευών/τμημάτων που χρειάζονται επισκευή. Αυτό το συστατικό οδηγείται από τις επενδύσεις.
- M2: Αντιπροσωπεύει το κόστος της εργασίας επισκευής.

Οι συνολικές δαπάνες συντήρησης που απαιτούνται από οποιοδήποτε μοναδιαίο τμήμα το έτος i είναι:

$$M_i = (M1+M2)_i = ((V_{i-1} + V_i)/2) * (P_i * R_{class} + P1 * (MTTR/MTBR))$$

όπου:

- Το V_i είναι ο όγκος εξοπλισμού το έτος i
- Το P_i είναι η τιμή του στοιχείου δαπανών το έτος i
- Το R_{class} είναι το ποσοστό δαπανών συντήρησης
- Το $P1$ είναι το κόστος μιας ώρας απασχόλησης
- MTTR (Mean Time To Repair) είναι ο μέσος χρόνος για την επισκευή του εν λόγω στοιχείου δαπανών
- MTBR (Mean Time Between Repairs) είναι ο μέσος χρόνος μεταξύ των αστοχιών του εν λόγω στοιχείου δαπανών



Σχήμα 184. Το μοντέλο συντήρησης του έργου OPTIMUM

10.7.2. Άδειες λογισμικού, υπεργολαβίες συντήρησης

Αυτό το στοιχείο καλύπτει τις ετήσιες δαπάνες του χειριστή προς τον προμηθευτή λογισμικού, μετά την αγορά του τελευταίου (δαπάνες συμφωνίας και αδειών συντήρησης).

Η σχετική σύμβαση συντήρησης λογισμικού με τους προμηθευτές περιλαμβάνει ετήσιες αμοιβές ή/και αναβαθμίσεις που υπολογίζονται με βάση:

- Το χρόνο απασχόλησης για την αναβάθμιση (χρόνος αναβάθμισης)
- Τη συχνότητα αναβαθμίσεων (Frequency of upgrades - FOU)
- Τον αριθμό στοιχείων δικτύων που ελέγχονται

Με βάση τα παραπάνω προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

- **Κόστος συντήρησης λογισμικού** = ετήσιο κόστος (παράγοντες: πελάτες, κόμβοι, δικτυακή κίνηση κ.λπ.).

ή/και

- **Κόστος συντήρησης λογισμικού** = χρόνος αναβάθμισης * κόστος χρόνου απασχόλησης * FOU * αριθμό στοιχείων δικτύων που ελέγχονται.

10.7.3. Πωλήσεις και μάρκετινγκ, Απόκτηση πελατών

Αυτό το στοιχείο προορίζεται να καλύψει τις δραστηριότητες που αφορούν την λιανική και χονδρική αγορά της επιχείρησης, σχετικά με:

- Το μάρκετινγκ, τις διαφημίσεις και τις καμπάνιες: Το OPEX για το μάρκετινγκ, τις διαφημίσεις κ.λπ. εξαρτάται κατά πολύ από την εκάστοτε περίπτωση (χονδρική, για λίγους πελάτες ή λιανική, για μαζική αγορά). Αυτό το στοιχείο OPEX αποτελείται από τις δαπάνες εργατικού δυναμικού (δηλ. το χρόνο εργασίας του προσωπικού μάρκετινγκ που απασχολείται σε κάθε περίπτωση με βάση το μέσο κόστος του εργατικού δυναμικού) και τις δαπάνες για την αγορά διαφημιστικού χρόνου στα μέσα επικοινωνίας.
- Τις διαπραγματεύσεις SLA: Οι δαπάνες εξαρτώνται από τη διάρκεια της προετοιμασίας και της διαπραγμάτευσης (που και εξαρτάται κατά πολύ από την υπηρεσία, τον πελάτη και γενικότερα την περίπτωση) και το κόστος του εργατικού δυναμικού.
- Τις επιδοτήσεις (παροχές σε προμηθευτές): Το OPEX για επιδοτήσεις είναι ο αριθμός των επιδοτούμενων μονάδων (π.χ. τηλεφωνικές συσκευές) επί την μέση επιδότηση ανά μονάδα. Η επιχορήγηση θα μπορούσε να είναι π.χ. μειωμένη τιμή της τηλεφωνικής συσκευής, ή η δωρεάν προσφορά συσκευών αναπαραγωγής DVD κ.λπ. Ο πάροχος που επιδοτεί τις τηλεφωνικές συσκευές θα προσπαθήσει να κερδίσει αυτό το OPEX είτε με αυξημένα τιμολόγια ή με πιο μεγάλη διάρκεια συμβολαίων με τους πελάτες.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

- **Κόστος μάρκετινγκ** = Κόστος ανά πιθανό πελάτη * μέγεθος της πιθανής βάσης πελατών
- **Κόστος απόκτησης πελατών** = (Πλήθος πελατών στο τέλος του έτους - Πλήθος πελατών στην αρχή του έτους + churned² πελάτες) * κόστος απόκτησης πελατών ανά πελάτη

² Πελάτες οι οποίοι τερματίζουν την συνδρομή στην υπηρεσία

- **Ρυθμός τερματισμού συνδρομών**³ = Απώλεια πελατών / [(Πλήθος πελατών στο τέλος του έτους + Πλήθος πελατών στην αρχή του έτους)/2]
- **Κόστος επιδότησης** = Αριθμός νέων (επιδοτούμενων) πελατών * κόστος επιχορήγησης ανά πελάτη

10.7.4. Παροχές σε πελάτες (εγκατάσταση/απεγκατάσταση)

Το OPEX για την εγκατάσταση των πελατών μπορεί να υπολογιστεί ως ο αριθμός νέων πελατών κάθε έτους επί το μέσο κόστος εγκατάστασης ανά νέο πελάτη.

Το OPEX για την επανεγκατάσταση των πελατών μπορεί να υπολογιστεί ως αριθμός πελατών οι οποίοι τερματίζουν την συνδρομή στην υπηρεσία (churned πελατών) κάθε έτος επί το μέσο κόστος επανεγκατάστασης ανά churned πελάτη.

Το μέσο κόστος εγκατάστασης/επανεγκατάστασης μπορεί να έχει κάποια συγκεκριμένη συμπεριφορά, δηλαδή μείωση κατά τη διάρκεια του χρόνου λόγω των οικονομιών κλίμακας.

Οι παροχές περιλαμβάνουν επίσης την αρχική ρύθμιση των υπηρεσιών, την αποσύνδεση ενός πελάτη, τη διαγραφή δεδομένων από τη βάση πελατών κλπ.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

- **Κόστος παροχών** = (Πλήθος πελατών στο τέλος του έτους - Πλήθος πελατών στην αρχή του έτους + churned πελάτες) * κόστος παροχών ανά πελάτη.

ή

- **Κόστος παροχών για ένα πελάτη** = κόστος εγκατάστασης + κόστος για εργασίες στην βάση δεδομένων + ... + ...

10.7.5. Φροντίδα πελατών

Η φροντίδα πελατών είναι ένα τυπικό στοιχείο όπου ισχύουν δεδομένες συμπεριφορές, δηλ. τα κόστη μονάδας μειώνονται με την πάροδο του χρόνου και τον αυξανόμενο όγκο.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

- **Κόστος φροντίδας πελατών** = μέσο πλήθος πελατών ανά έτος * κόστος μονάδας(t), όπου t ο χρόνος.

ή

- **Κόστος φροντίδας πελατών** = μέσο πλήθος πελατών ανά έτος * προσωπικό για την φροντίδα πελατών ανά πελάτη * ετήσιο κόστος εργατικού δυναμικού.

³ Churn rate

10.7.6. Χρέωση και τιμολόγηση

Οι δαπάνες χρέωσης και τιμολόγησης μπορούν να υπολογιστούν με βάση τα κόστη μονάδας (τιμή ανά πελάτη).

Πιο συγκεκριμένα ισχύει η παρακάτω σχέση:

- **Κόστος χρέωσης και τιμολόγησης** = μέσο πλήθος πελατών ανά έτος * κόστος μονάδας(t), όπου t ο χρόνος.

10.7.7. Διαχείριση υπηρεσιών

Αυτό το στοιχείο εξαρτάται πάρα πολύ από την εκάστοτε περίπτωση και οδηγείται συνήθως από τον αριθμό και την πολυπλοκότητα των υπηρεσιών. Άρα:

- **Κόστος διαχείρισης υπηρεσιών** = Κόστος διαχείρισης υπηρεσίας 1 + Κόστος διαχείρισης υπηρεσίας 2 + ... + Κόστος διαχείρισης υπηρεσίας n.

10.7.8. Διαχείριση δικτύων

Στην συγκεκριμένη περίπτωση το βασικό στοιχείο είναι το πλήθος των δικτυακών συσκευών. Άρα:

- **Κόστος διαχείρισης δικτύων** = F(πλήθος προσωπικού, πλήθος συστημάτων διαχείρισης δικτύων, πλήθος δικτυακών συσκευών).

10.7.9. Ανάπτυξη προϊόντων/πλατφορμών

Συνήθως το πλήθος και η πολυπλοκότητα των υπηρεσιών που αναπτύσσονται εσωτερικά (in-house) διαδραματίζουν τον σημαντικότερο ρόλο σε αυτό το στοιχείο:

- **Κόστος ανάπτυξης προϊόντων/πλατφορμών** = F(πλήθος μηχανικών, πλήθος υπηρεσιών, πολυπλοκότητα των υπαρχουσών και νέων υπηρεσιών).

10.7.10. Ενοίκιο φυσικών δικτυακών πόρων

Εδώ, οι παράγοντες εξαρτώνται πολύ από την επιχειρησιακή περίπτωση:

- Πλήθος πελατών (χονδρική εκμετάλλευση ADSL, αδεσμοποίηση τοπικού βρόγχου)
- Δικτυακή κίνηση (μισθωμένες γραμμές)
- Αριθμός περιοχών (ιστών για σταθμούς βάσεων)

Συνεπώς, ο υπολογισμός του κόστους εξαρτάται από την εκάστοτε περίπτωση. Το κόστος μονάδας προέρχεται συχνά από τους τιμοκαταλόγους των εταιριών.

10.7.11. Roaming

Όπως προαναφέρθηκε το roaming περιλαμβάνει τα ακόλουθα κόστη:

- Το κόστος για τη συμφωνία roaming και το κόστος τακτοποίησης (settlement cost): Το κόστος συμφωνίας και τακτοποίησης που επισύρεται ανά δίκτυο roaming εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό εισερχόμενων και εξερχόμενων συνδρομητών. Το συνολικό κόστος αυξάνεται με την αύξηση του αριθμού των συνεργαζόμενων δικτύων roaming. Επίσης επισύρονται συμπληρωματικές δαπάνες λόγω του προσωπικού που συμμετέχει στη διαπραγμάτευση και τη διαχείριση των συμφωνιών και των τακτοποιήσεων.
- Σφαιρική δοκιμή roaming: Σημαντικός παράγοντας για το OPEX είναι στην συγκεκριμένη περίπτωση ο αριθμός των διαφορετικών τεχνολογιών και δικτύων roaming τα οποία συμμετέχουν. Οι δαπάνες οφείλονται κυρίως στο προσωπικό που συμμετέχει στη δοκιμή.
- Συντήρηση VHE (Virtual home environment): Σημαντικοί παράγοντες είναι ο αριθμός εισερχόμενων συνδρομητών.

Σύμφωνα με τα παραπάνω το OPEX για roaming, εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό εισερχόμενων και εξερχόμενων συνδρομητών.

Οι διαφορετικοί τύποι τεχνολογιών και τερματικών δικτύων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως παράγοντες.

Για λόγους απλοποίησης, το OPEX για roaming θα μπορούσε να υπολογιστεί ως το κόστος ανά εισερχόμενους συνδρομητές επί το συνολικό πλήθος των εισερχόμενων συνδρομητών συν το κόστος ανά εξερχόμενους συνδρομητές επί το συνολικό πλήθος των εξερχόμενων συνδρομητών για έναν πάροχο. Άρα:

Κόστος roaming = κόστος ανά εισερχόμενους συνδρομητές * συνολικό πλήθος των εισερχόμενων συνδρομητών + κόστος ανά εξερχόμενους συνδρομητές * το συνολικό πλήθος των εξερχόμενων συνδρομητών για έναν πάροχο.

10.7.12. Διασύνδεση (Interconnection)

Για τις δαπάνες διασύνδεσης, ο κύριος παράγοντας είναι ο όγκος κίνησης στην διασύνδεση. Από την πλευρά ενός παρόχου, η κίνηση διασύνδεσης μπορεί να είναι είτε εισερχόμενη είτε εξερχόμενη. Ο όγκος κίνησης εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος της βάσης συνδρομητών του παρόχου ή/και το προφίλ του κάθε χρήστη. Για παράδειγμα, ένας πάροχος με μια μικρή βάση συνδρομητών μπορεί να παρουσιάσει υψηλότερη εξερχόμενη από ότι εισερχόμενη κίνηση. Αυτό θα σήμαινε υψηλότερο OPEX για τον πάροχο.

Οι καθαρές δαπάνες διασύνδεσης από έναν πάροχο μπορούν να υπολογιστούν ως κόστη ανά μονάδες κίνησης (σε λεπτά, Mbytes, γεγονότα κ.λπ.) επί το καθαρό ποσό εισερχόμενης και εξερχόμενης κίνησης. Άρα:

Κόστος διασύνδεσης = (κόστος ανά μονάδα κυκλοφορίας) * (συνολική εισερχόμενη κίνηση - συνολική εξερχόμενη κίνηση)

Οι τιμές είναι συχνά διαφορετικές στις διαφορετικές κατευθύνσεις (π.χ. κυρίαρχος πάροχος/μη-κυρίαρχος πάροχος). Οι δαπάνες διασύνδεσης μπορούν επίσης να ποικίλουν ανάλογα με τη γεωγραφική θέση όπως οι εθνικές και οι διεθνείς συνδέσεις. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το ποσό εθνικής και διεθνούς κίνησης και τα αντίστοιχα

κόστη τους θα πρέπει να εξεταστούν ξεχωριστά για τον υπολογισμό των συνολικών δαπανών διασύνδεσης που επισύρονται.

10.7.13. Ετήσιο κόστος αδειών ραδιο-φάσματος

Για το κόστος του ραδιο-φάσματος, ο κύριος παράγοντας είναι η βάση συνδρομητών και ο όγκος κυκλοφορίας που παράγεται από τους συνδρομητές. Με βάση αυτά τα δεδομένα υπολογίζεται το φάσμα που απαιτείται. Ο υπολογισμός του κόστους εξαρτάται από τις συμφωνίες μίσθωσης που μπορούν να προσφερθούν για 15-20 έτη ή και λιγότερο, με μια ετήσια σταθερή αμοιβή ή με εφάπαξ αμοιβή για όλη την διάρκεια της άδειας.

10.7.14. Κανονισμοί/Ρυθμίσεις (Regulation)

Ο σημαντικότερος παράγοντας για το OPEX που αφορά σε κανονισμούς είναι οι δαπάνες για προσωπικό που ασχολείται με υποβολή εκθέσεων και συλλογή πληροφοριών, καθώς επίσης και οι δαπάνες που περιλαμβάνονται στη συμμόρφωση με τις ρυθμιστικές αποφάσεις.

10.7.15. Περιεχόμενο

Για τα δικαιώματα διανομής περιεχομένου, ο κύριος παράγοντας είναι το πλήθος των αδειών, και το πλήθος των χρηστών του περιεχομένου. Συμπληρωματικές δαπάνες μπορούν επίσης να προέρχονται από τη συντήρηση συστημάτων διαχείρισης δικαιωμάτων και διανομής περιεχομένου.

Βιβλιογραφία

- Γκάμας Α., Καπούλας Ε., Μπούρας Χ., Πρίμπας Δ., Στάμος Κ., “Ειδικά Θέματα Δικτύων και Υπηρεσιών”, Ελληνικά Γράμματα, 2004, ISBN: 9604068911
- Μπαλάνης Κ., “Κεραίες”, Εκδόσεις Ίων, 2005, ISBN: 960-411-509-X
- Πομπόρτσας Α., “Εισαγωγή στις Νέες Τεχνολογίες Επικοινωνιών”, εκδόσεις Α. Τζιόλα Ε., 1997, ISBN : 960-7219-64-3
- Σκουλάτος Β., Βασιλόπουλος Χ., Ντόκος Ι., “Σύγχρονα Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα”, ΟΤΕ ΑΕ Γεν Δ/ση Λειτουργιών - Διεύθυνση Συντήρησης, Τόμοι Α-Β-Γ-Δ, Φεβρουάριος 2000
- Alwayn V., “Advanced MPLS Design and Implementation”, Cisco Press, 2001, ISBN 158705020X
- Bedell P., “Gigabit Ethernet for Metro Area Networks”, McGraw-Hill Professional, 2003, ISBN-13: 978-0071393898
- Brayley J., “Layer 2 Transport Services: An Emerging Application of MPLS”, White Paper, Laurel Networks, August 2001
- Breyer R., Riley S., “Switched, Fast and Gigabit Ethernet”, Macmillan Technical Publishing, 1998, ISBN: 1-57870-073-6
- Buckingham S., “An Introduction to the General Packet Radio Service”, Mobile Lifestreams Limited, 2000
- Byeong Gi Lee, Woo-June Kim, “Integrated Broadband Networks: TCP/IP, ATM, SDH/SONET and WDM/Optics”, Artech House, 2002, ISBN-13: 978-1580531634
- Chiong J. A., “Internetworking ATM for the Internet and Enterprise Networks”, McGraw-Hill, 1997, ISBN-13: 978-0070119413
- Cole R., “Computer Communications”, Springer, 1987, ISBN-13: 978-0387913063
- Crozier E., Klein A., “WiMAX’s technology for LOS and NLOS environments”, WiMAX Forum, 2004
- Golden P., “The Dsl Handbook”, Auerbach Publishers Inc., 2005, ISBN-13: 978-0849319136
- Goralski W. J., “ADSL and DSL Technologies”, Osborne/McGraw-Hill, U.S. - 2Rev Ed edition, 2001, ISBN-13: 978-0072132045
- Green P. E., “Δίκτυα Οπτικών Ινών”, Αθήνα 1994, εκδ. Παπασωτηρίου, ISBN : 960-7510-00-3
- Harte L., Flood R. L., “Introduction to Public Switched Telephone Networks; POTS, ISDN, DLC, DSL, and PON Technologies, Systems and Services”, Althos, 2005, ISBN-13: 978-0974278766
- van Helvoort H., “Next Generation SDH/SONET”, John Wiley & Sons, 2005, ISBN-13: 978-0470091203
- Iannone P.P., Reichmann K.C., Frigo N.J., “Broadcast Digital Video Delivered Over WDM Passive Optical Networks”, IEEE Photonics Technology Letters, Vol.8, No.7, pp 930, July 1996

- Korhonen J., "Introduction to 3G Mobile Communications", Artech House, 2003, ISBN-13: 978-1580532877
- Kraus J. D., "Κεραίες", Εκδόσεις Τζιόλα, 1998, ISBN: 960-7219-63-5
- Krauss O., "DWDM and Optical Networks: An Introduction to Terabit Technology", Wiley VCH, 2002, ISBN-13: 978-3895781742
- Liu K., "IP over WDM", John Wiley & Sons, 2002, ISBN-13: 978-0470844175
- McDysan D., Spohn D., "ATM Theory and Applications", McGraw-Hill, 1998, ISBN: 0-07-045346-2
- Meyers J., O'Shea D., Fitchard K., Gohring N., Resnick R., "Telephony's complete guide to WiMAX," TELEPHONY ONLINE, June 2004
- Modiano E., Barry R., "Architectural considerations in the design of WDM-based optical access networks", Computer Networks Vol. 31, Issue 4, p. 327 – 341, February 1999
- Mukherjee B., "Optical WDM Networks", Springer-Verlag New York Inc., 2006, ISBN-13: 978-0387290553
- Prasad R., Ojanperd T., "An Overview of CDMA Evolution toward Wideband CDMA", Delft University of Technology, Nokia Telecommunications, IEEE Commun. Surveys, vol. 1, no. 1, pp. 2-29, 1998, Fourth Quarter
- Ramaswami R., Sivarajan K., "Optical networks: A Practical Perspective", Morgan Kaufmann Publishers, 1998, ISBN-13: 978-1558604452
- Shepard S., "Sonet/SDH Demystified", McGraw-Hill Education, 2001, ISBN-13: 978-0071376181
- Schlar S. K., "INSIDE X.25: A Manager's Guide", McGraw-Hill, 1990, ISBN-13: 978-0070553279
- Stallings W., "Επικοινωνίες Υπολογιστών και Δεδομένων", Έκτη Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2003, ISBN: 9608050545
- Tanenbaum A. S., "Computer Networks (4th Edition)", Prentice-Hall, 2003, ISBN-13: 978-0130661029
- Walrand J., Varaiya P., "High Performance Communication Networks", Morgan Kaufmann Publishers, 2000, ISBN-13: 978-1558605749
- Zheng J., Mouftah H. T., "Optical WDM Networks: Concepts and Design Principles", John Wiley & Sons, 2004, ISBN-13: 978-0471671701
- "WiMAX – Unwiring the Last Mile", Siemens AG White Paper, 2004
- "WiMAX Forum Regulatory Working Group Initial Certification Profiles and the European regulatory framework" – September 2004
- "IEEE 802.16a Standard and WiMAX Igniting Broadband Wireless Access", White Paper, Worldwide Interoperability for Microwave Access Forum
- "IEEE 802.16 and WiMAX Broadband Wireless Access for Everyone", Intel White Paper, 2004
- "FTTX INFRASTRUCTURE - The CENELEC guideline" issued by TC86A, Draft 14 Dec 2006

UMTS Forum <http://www.umts-forum.org>

Third Generation Partnership Project, <http://www.3gpp.org>

WiMAX Forum, <http://www.wimax-forum.org>

Ακρόνυμα

Ακρόνυμο	Επεξήγηση
10GEPON	10 Gigabit Ethernet PON
3GPP	3rd Generation Partnership Project
AAL	ATM Adaptation Layer
AC	Access Categories
ADM	Add-Drop Multiplexer
ADSL	Asymmetrical Digital Subscriber Line
AES	Advanced Encryption Standard
AIFS	Arbitration IFS
AM	Acknowledged Mode
AMC	Adaptive Modulation and Coding
AN	Access Node
AON	Active Optical Network
AP	Access Point
APD	Avalanche Photodiode
APON	ATM PON
APS	Automatic Protection Switching
ARQ	Automatic Repeat reQuest
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ATM (όταν αναφέρεται σε τράπεζες)	Automatic Teller Machine
ATM (όταν αναφέρεται σε τεχνολογία μετάδοσης δεδομένων)	Asynchronous Transfer Mode
ATU-C	ADSL Transceiver Unit, Central
ATU-R	Transceiver Unit, Remote
AuC	Authentication Center
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
BDCS	Broadband Digital Cross-connect Systems
BER	Bit Error Rate
BMC	Broadcast/Multicast Control
BOOTP	Bootstrap Protocol

Ακρόνυμο	Επεξήγηση
BPON	Broadband PON
B-NT	Broadband Network Termination
BSA	Basic Service Area
BSS	Basic Service Set
CA	Collision Avoidance
CAP	Carrierless Amplitude / Phase Line Code
CAPEX	Capital Expenditure
CATV	Cable TV
CBR	Constant Bit Rate
CCCH	Common Control Channel
CCK	Complementary Code Keying
CD	Compact Disc
CDMA	Code Division Multiple Access
CLEC	Competitive Local Exchange Carrier
CN	Core Network
CO	Central Office
CoPL	Communication over Power Lines
CoS	Class of Service
CPE	Customer Premises Equipment
CPCH	Common Packet Channel
CRC	Cyclic Redundancy Check
CRM	Customer Relationship Management
CSMA / CD	Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection
CTCH	Common Traffic Channel
CTS	Clear To Send
CVoDSL	Channelized Voice over DSL
CW	Contention Window
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing
DBR	Distributed-Bragg Reflector
DCCH	Dedicated Control Channel
DCF	Distributed Coordination Function
DCH	Dedicated Channel
DES	Data Encryption Standard
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol

Ακρόνυμο	Επεξήγηση
DFB	Distributed-Feedback Laser
DFS	Dynamic Frequency Selection
DIFC	DCF Interframe Space
DMT	Discrete Multitone
DNA	Digital Network Architecture
DRNC	Drift RNC
DS (όταν αναφέρεται στην ιεραρχία συνδέσεων)	Digital Stream
DS (όταν αναφέρεται στην δομή δικτύων)	Distribution System
DSA	Distributed System Architecture
DSCH	Downlink Shared Channel
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
DTCH	Dedicated Traffic Channel
DWDM	Dense Wave Division Multiplexing
DWMT	Discrete Wavelet Multitone
EAP	Extensible Authentication Protocol
EBCDIC	Extended Binary Coded Decimal Interchange Code
EDCF	Enhanced DCF
EDFA	Erbium-Doped Fiber Amplifier
EFM	Ethernet in the First Mile
EIFS	Extended Interframe Space
ELFEXT	Equal Level Far End Crosstalk
EOS	Ethernet over SONET/SDH
EPON	Ethernet PON
ESS	Extended Service Set
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FACH	Forward Access Channel
FC	Fibre Channel
FCAPS	Faults, Configuration, Accounting, Performance, and Security
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency Division Duplex

Ακρόνυμο	Επεξήγηση
FDDI	Fiber Distributed Data Interface
FDM	Frequency Division Multiplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward Error Correction
FEXT	Far End CrossTalk
FFT	Fast Fourier Transform
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FOTS	Fiber Optic Transmission Systems
FOU	Frequency Of Upgrades
FR	Frame Relay
FTTx	Fiber to the X (Home, Curb, Premises, Building, ...)
FUNI	Frame User Network Interface
GEM	GPON Encapsulation Method
GEPON	Ethernet PON
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMI	Gigabit Media Independent Interface
GMSC	Gateway Mobile Services Switching Center
GPON	Gigabit PON
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communication
GTP	GPRS Tunnelling Protocol
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HC	Hybrid Coordinator
HCF	Hybrid Coordination Function
HDLC	High-level Data Link Control
HDPE	High-Density Polyethylene
HDSL	High data rate DSL
HDTV	High Definition TV
HLR	Home Location Register
HR/DSSS	High Rate/ Direct Sequence Spread Spectrum
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
HS-DSCH	High-Speed DSCH
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access

Ακρόνυμο	Επεξήγηση
HSPA	High Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
HTU-C	HDSL Transceiver Unit – Central Office
IAPP	Inter Access Point Protocol
IBSS	Independent BSS
ISDL	ISDN-DSL
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IGMP	Internet Group Management Protocol
ILEC	Incumbent Local Exchange Carrier
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
IPX	Internet Packet eXchange
IR	InfraRed
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISDN BRI	ISDN Basic Rate Interface
ISM	Industrial, Scientific and Medical band
ISO	International Standards Organization
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunications Union
IXC	Interexchange Carrier
LAN	Local Area Network
LCAS	Link Capacity Adjustment Scheme
LE	Local Exchange
LED	Light Emitting Diodes
LEX	Local Exchange Carrier
LLC	Logical Link Control
LLU	Local Loop Unbundling
LOH	Line Overhead
LOS	Line Of Sight
LTE	Long Term Evolution
M3UA	MTP3 User Adaptation Layer
MAC	Medium Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MIMO	Multiple Input Multiple Output

Ακρόνυμο	Επεξήγηση
MM	Mobility Management
MMF	Multimode Fiber
MMIC	Monolithic Microwave Integrated Circuit
MP	Multichannel Protocol
MPEG	Moving Picture Experts Group
MPLS	MultiProtocol Label Switching
MSC	Mobile Services Switching Center
MSDU	MAC Service Data Unit
MTBR	Mean Time Between Repairs
MTP3-b	Message Transfer Part Level 3
MTTR	Mean Time To Repair
MVNO	Mobile Virtual Network Operator
NAP	Network Access Provider
NAV	Network Allocation Vector
NBAP	Node B Application Part
NEXT	Near End CrossTalk
NIC	Network Interface Card
NLOS	No Line Of Sight
NNI	Network-to-Network Interface
NSP	Network Service Provider
NVoD	Near Video on Demand
NZDS	Non-Zero Dispersion Shifted
OAM	Operations, Administration and Maintenance
OC	Optical Carrier
ODF	Optical Distribution Frame
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
O-E-O	Optical-Electronic-Optical
OLO	Other Licensed Operator
OLOS	Optical Line of Sight
OLT	Optical Line Termination
ONU	Optical Network Unit
OPEX	Operating Expense
OSI	Open System Interconnection

Ακρόνυμο	Επεξήγηση
OSS	Operation Support Systems
OXC	Optical Cross-Connect
P2MP	Point to Multipoint
P2P	Point to Point
PAM	Pulse Amplitude Modulation
PAR	Peak-to-Average Ratio
PC	Personal Computer
PCCH	Paging Control Channel
PCF	Point Coordination Function
PCH	Paging Channel
PCM	Pulse Code Modulation
PCS	Physical Coding Sublayer
PDA	Personal Digital Assistant
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PDN (όταν αναφέρεται στην αρχιτεκτονική του DSL)	Premises Distribution Network
PDN (όταν αναφέρεται γενικά στα δίκτυα)	Public Data Network
PDP	Packet Data Protocol
PDU	Protocol Data Unit
PHP	Personal Home Page
PHY	Physical Layer
PIFS	PCF Interframe Space
PLCP	Physical Layer Convergence Procedure
PMA	Physical Media Attachment
PMD (όταν αναφέρεται στα επίπεδα του Ethernet)	Physical Medium Dependent
PMD (όταν αναφέρεται στις οπτικές ίνες)	Polarization Mode Dispersion
PMM	Packet MM
POH	Path Overhead
PON	Passive Optical Network
POP	Point-Of-Presence

Ακρόνυμο	Επεξήγηση
POTS	Plain Old Telephone Service
PPP (όταν αναφέρεται σε επιχειρηματικά μοντέλα)	Public-Private Partnership
PPP (όταν αναφέρεται σε πρωτόκολλα)	Point-to Point Protocol
PSK	Phase Shift Keying
PSTN	Public Switched Telephone Network
PVoD	Push Video on Demand
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RA	Routing Area
RACH	Random Access Channel
RADSL	Rate Adaptive ADSL
RAM	Random Access Memory
RANAP	Radio Access Network Application Part
RE-ADSL2+	Reach Extended ADSL2+
RFI	Radio Frequency Interference
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
RNSAP	Radio Network Sublayer Application Part
RPR	Resilient Packet Ring
RRC	Radio Resource Control
RS	Reed-Solomon
RSN	Robust Security Network
RSVP	Resource reSerVation Protocol
RTS	Request To Send
RTSP	Real Time Streaming Protocol
SAN	Storage Area Network
SCCP	Signalling Connection Control Part
SCDMA	Synchronous Code Division Multiple Access
SC-OFDM	Single Carrier OFDM
SDH	Synchronous Digital Hierarchy

Ακρόνυμο	Επεξήγηση
SDM	Space Division Multiplexing
SDMT	Synchronized DMT
SDSL	Symmetric DSL
SDU	Service Data Unit
SGSN	Serving GPRS Support Node
SHDSL	Symmetric High bit rate DSL
SIFS	Short Interframe Space
SIM	Subscriber Identity Module
SIP	Session Initiation Protocol
SLA	Service Level Agreement
SNA	System Network Architecture
SNR	Signal-to Noise Ratio
SOH	Section Overhead
SOHO	Small Office/Home Office
SONET	Synchronous Optical NETwork
SPE	Synchronous Payload Envelope
SRA	Seamless Rate Adaptation
SRNC	Serving RNC
SRNS	Serving Radio Network Subsystem
SSCF-UNI	Service Specific Coordination Function for Support of Signalling at the User-Network Interface
SSCOP	Service Specific Connection-Oriented Protocol
SSID	Service Set Identifier
STB	Set-Top Box
TCM	Trellis Coded Modulation
TCP	Transmission Control Protocol
TC-PAM	Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation
TDD	Time Division Duplex
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TE	Terminal Equipment
TIM	Traffic Indication Map
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
TLS	Transparent LAN Services

Ακρόνυμο	Επεξήγηση
TM	Terminal Multiplexer
TPC	Transmit Power Control
TPON	Telephone over PON
TTI	Transmission Time Interval
TU	Tributary Unit
UDP	User Datagram Protocol
UDSL	Unidirectional DSL
UE	User Equipment
UHF	Ultra High Frequency
UM	Unacknowledged Mode
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
U-NNI	Unlicensed-National Information Infrastructure
UNI	User-to-Network Interface
UP FP	User Plane Framing Protocol
URA	UTRAN Registration Area
USB	Universal Serial Bus
USCH	Uplink Shared Channel
USIM	Universal Subscriber Identity Module
UTP	Unshielded Twisted Pair
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VCAT	Virtual Concatenation
VDSL	Very high data rate DSL
VHE	Virtual Home Environment
VLAN	Virtual LAN
VLR	Visitor Location Register
VoATM	Voice over ATM
VoD	Video on Demand
VoWiFi	Voice over WiFi
VoWiMAX	Voice over WiMAX
VPLS	Virtual Private LAN Services
VPN	Virtual Private Network
VT	Virtual Tributary
WAN	Wide Area Network
WCDMA	Wide-band CDMA

Ακρόνυμο	Επεξήγηση
WDCS	Wideband Digital Cross-connect Systems
WDM	Wavelength Division Multiplexing
WEP	Wired Equivalent Privacy
WiFi	Wireless Fidelity
WWDM	Wide-Wave Division Multiplexing
XEPON	10 Gigabit Ethernet PON