



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

ΔΙΚΤΥΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ & ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ

Διαδικτυακές Συσκευές

ΓΟΥΛΑΣ ΣΠΥΡΟΣ

A.M 4706

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2016

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή
2. Κλασσικές δικτυακές συσκευές
 - 2.1 gateway
 - 2.2 hub
 - 2.3 router
 - 2.4 switch
 - 2.5 bridge
3. Υβριδικές δικτυακές συσκευές
 - 3.1 multilayer switch
 - 3.2 Μετατροπέας Πρωτοκόλου
4. Οπτικές δικτυακές συσκευές
 - 4.1 Optical Switch
 - 4.2 Wavelength division multiplexer
 - 4.3 Optical Amplifier
5. Ακρωνύμια
6. Βιβλιογραφία

AKPONYMIA

OSI model→ Open Systems Interconnection model

IP address→ Internet Protocol address

SNMP→ Simple Network Management Protocol

LAN→ Local Area Network

WAN→ Wide Area Network

MAN→ Metropolitan Area Network

ISP→ Internet Service Provider

VPN→ Virtual Private Network

FDDI→ Fiber Distributed Data Interface

ATM→ Asynchronous Transfer Mode

MAC→ Media Access Control

CLI→ Command Line Interface

IPX/SPX→ Internet Packet eXchange / Sequenced Packet eXchange

ASIC→ Application Specific Integrated Circuit

PDU→ Protocol Data Unit

MEMS→ Micro Electro Mechanical System

SONET/SDH→ Synchronous Optical Networking / Synchronous Digital Hierarchy

1. Εισαγωγή

Ίσως σήμερα πιο ποτέ από άλλοτε ζούμε στην εποχή της πληροφορίας. Καθημερινά παράγονται τεράστιες ποσότητες πληροφορίας. Αυτός ο όγκος δεδομένων πριν ακόμα καν επεξεργαστεί πρέπει να *αποσταλεί* και εδώ έρχεται ο αυξανόμενο σημαντικός ρόλος των δικτυακών συσκευών.

Αυτή η εργασία έχει σκοπό να εξετάσει μερικές από τις πιο διαδεδομένες και σημαντικές δικτυακές συσκευές.

Γίνονται αναφορές τόσο σε παλιές και “κλασσικές” όπως τις ονομάζουμε εδώ δικτυακές συσκευές όσο και σε συσκευές που βρίσκουν χρήση σε νέες και ανερχόμενες τεχνολογίες οι οποίες ήδη αλλάζουν δραστικά το πεδίο των τηλεπικοινωνιών όπως οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στα οπτικά δίκτυα.

Ο αναγνώστης θα διαπιστώσει πως κάποιες περιπτώσεις κάποιες συσκευές συγκεντρώνουν χαρακτηριστικά που παραδοσιακά ανήκαν σε ένα σύνολο άλλων συσκευών. Συσκευές δηλαδή οι οποίες δουλεύουν σε παραπάνω επίπεδα του μοντέλου OSI, ή πέραν της δρομολόγησης των δεδομένων τα ελέγχουν ή αλλάζουν. Αυτές είναι οι λεγόμενες “υβριδικές” δικτυακές συσκευές τις επίσης και εξετάζουμε σε αυτήν την εργασία.

Παράλληλα, έχει γίνει προσπάθεια να αναφερθούν οι πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα της τεχνολογίας των συσκευών που εξετάζουμε, χωρίς ωστόσο να δοθεί λίγη σημασία στις παλαιότερες τεχνολογίες που οδήγησαν την μετέπειτα εξέλιξη των συσκευών για τις οποίες γίνεται λόγος σε αυτές που ξέρουμε σήμερα.

Τέλος, κάποιες συσκευές εμφανίζονται με διαφορετικές προδιαγραφές. Καθώς η τεχνολογία προχωρά και το κόστος των συσκευών αυτών ή των προκατόχων τους πέφτει, βρίσκουν εφαρμογή σε διάφορες κλίμακες. Έτσι κάποια μοντέλα συσκευών χρησιμοποιούνται στο σπίτι ή σε μικρά δίκτυα γραφείων/εταιριών ενώ κάποια άλλα μοντέλα ίδιας τεχνολογίας έχουν ανώτερες προδιαγραφές για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις γραμμών παραγωγής ή σε δίκτυα διηπειρωτικής ή και παγκόσμιας εμβέλειας. Θέλουμε να ελπίζουμε πως ο αναγνώστης θα βρει παραδείγματα και από τις δύο περιπτώσεις.

2.Κλασσικές δικτυακές συσκευές

Το πρώτο κομμάτι της εργασίας είναι αφιερωμένο στις λεγόμενες “κλασσικές” δικτυακές συσκευές. Πρόκειται για τις συσκευές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην αρχή και που στην πλειοψηφία τους επιβιώνουν και σήμερα. Η αρχική τους μορφή ήταν τεχνολογικά υποδεέστερη της σημερινής ωστόσο η ανάπτυξη της τεχνολογίας τις έχει φέρει σε γραμμή με τις σημερινές απαιτήσεις. Αυτές οι συσκευές έχουν πλέον μοντέλα διάφορων “γενεών”, κάθε μία εκ των οποίων αντικατοπτρίζει τις νέες τεχνολογικές απαιτήσεις της εκάστοτε εποχής ή/και τις νέες ικανότητες που απέκτησε η συσκευή.

Ένας ακόμα λόγος που αναφερόμαστε σε αυτές τις συσκευές ως “κλασσικές” είναι επειδή η λειτουργία τους είναι καλώς ορισμένη, δηλαδή η χρησιμότητά τους είναι συγκεκριμένη, ενώ οι λειτουργίες τους είναι εξειδικευμένες για ένα συγκεκριμένο πεδίο. Ο αναγνώστης θα διαπιστώσει παρακάτω πως με την ανάπτυξη της τεχνολογίας τα λειτουργικά χαρακτηριστικά διάφορων συσκευών συμπτήχθηκαν και πλέον τα όρια ανάμεσά τους είναι δισδιάκριτα. Αυτές είναι οι λεγόμενες υβριδικές δικτυακές συσκευές για τις οποίες θα γίνει λόγος αργότερα.

2.1 Gateways



Ο γενικότερος ορισμός του gateway είναι “το υλικό ή λογισμικό που χρησιμοποιείται ανάμεσα σε διαφορετικά δικτυακά περιβάλλοντα”. Στα πλαίσια ωστόσο αυτής της εργασίας θα ασχοληθούμε με τη δικτυακή συσκευή που επιτελεί αυτήν την λειτουργία και όχι με το αντίστοιχο λογισμικό. Το gateway είναι βασικό συστατικό των περισσότερων router αν και άλλες συσκευές όπως προσωπικοί υπολογιστές ή servers μπορούν να λειτουργήσουν σαν gateway.

Το gateway μπορεί να λειτουργήσει σε αρκετά από τα ανώτερα στρώματα του μοντέλου OSI, κυρίως στα στρώματα συνόδου (έλεγχος επικοινωνίας), παρουσίασης (αναπαράσταση και κρυπτογράφηση δεδομένων) και εφαρμογών (παροχή στις εφαρμογές πρόσβαση στο Internet), δηλαδή στα επίπεδα 5,6 και 7 αντίστοιχα.

Όπως αναφέρθηκε ένα gateway χρησιμοποιείται για τη σύνδεση μεταξύ τους διαφορετικών δικτύων. Το ακριβές είδος της λειτουργίας εξαρτάται από τον τύπο της σύνδεσης, αλλά μία γενική σύνοψη είναι η εξής:

→ **Μετατροπή format ή και μεγέθους πακετών, πχ από ASCII σε EBCDIC**

→ **Μετατροπή πρωτοκόλλου**

→ **Μετατροπή ή μετάφραση δεδομένων**

→ **Πολυπλεξία**

Πέραν των ανωτέρω βασικών λειτουργιών ενός gateway, επειδή de facto η συσκευή ελέγχει τη ροή δεδομένων, είναι δυνατόν να φιλτράρει κάποια δεδομένα (ανάλογα με την ρύθμισή της), **παίζοντας έτσι και το ρόλο ενός firewall**, μιας και κακόβουλο λογισμικό όπως trojans δεν καταφέρνει να περάσει διαμέσου του gateway στο υπόλοιπο δίκτυο.

Στη γενικότερη και πιο συνηθισμένη μορφή του, έχουμε ένα δίκτυο υπολογιστών και ένα gateway για να συνδέονται με το Internet. Όλη η ροή πληροφορίας ανάμεσα στους υπολογιστές τους δικτύου και σε οποιονδήποτε άλλο αποστολέα/παραλήπτη στο Internet, περνάει μέσα από το gateway.

Εντός λοιπόν του δικτύου μας το gateway έχει 2 IP διευθύνσεις. Μία για επικοινωνία με άλλους υπολογιστές/συσκευές στο Internet και μία για επικοινωνία με τους υπολογιστές του δικτύου, οι οποίοι “βλέπουν” αυτήν την IP όταν επικοινωνούν στο Internet.

Στην παραπάνω εικόνα όλοι οι υπολογιστές “βλέπουν” την IP 192.168.1.2 σαν την IP μέσω της οποίας επικοινωνούν με το Internet, η οποία όμως δεν είναι άλλη από την IP που έχει το gateway εντός του δικτύου. Όλα τα αιτήματα όμως προωθούνται σύμφωνα με την εξωτερική IP της gateway.

Αυτόματα αυτό μας αποκαλύπτει ένα ακόμα πλεονέκτημα της χρήσης gateway πέραν όσων αναφέραμε ήδη. Ο διαχειριστής ενός δικτύου που κάνει χρήση gateway μπορεί με πολύ απλό και εύκολο τρόπο να ελέγξει τη ροή πληροφορίας στο δίκτυο του αρκεί να ελέγχει το gateway, από το οποίο περνά όλη η πληροφορία εντός και εκτός του δικτύου.

Παράλληλα με αυτό όμως, το gateway παίζει αποφασιστικό ρόλο στη ρύθμιση της επικοινωνίας μεταξύ συσκευών/αρχιτεκτονικών που κάνουν χρήση διαφορετικών πρωτοκόλλων, με αποτέλεσμα η επικοινωνία να είναι απρόσκοπτη. Τα gateways σαν συσκευές επιτρέπουν την επεξεργασία των δεδομένων ώστε τα (δυναμικά) διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη να μην δημιουργούν πρόβλημα. Αυτό βέβαια είναι και ένα σημαντικό στοιχείο του gateway, η δυνατότητα δηλαδή να επέμβει στα δεδομένα που περνάνε μέσα από αυτό. Κάτι τέτοιο φέρνει την εν λόγω διαδικτυακή συσκευή σε αντίθεση με τους repeaters, τα bridges και τα routers, τα οποία λειτουργούν μόνο σε ένα επίπεδο (physical, data link και network αντίστοιχα) και τα οποία δεν μπορούν σε αλλάζουν με οποιονδήποτε τρόπο τα δεδομένα που χειρίζονται.

Ποια είναι όμως τα μειονεκτήματα των gateways; Τα παλαιότερα χρόνια σε ένα από αυτά ήταν σίγουρα η τιμή, ωστόσο όπως συμβαίνει με κάθε τεχνολογία που υπάρχει πολύ καιρό, αυτή τείνει να γίνει όλο και πιο προσιτή, είτε γενικά, είτε σε σύγκριση με άλλες ανάλογες συσκευές που επιτελούν παρόμοιο έργο. Ένα σημαντικό μειονέκτημα ωστόσο των gateways είναι πως έχουν throughput μόλις μερικών εκατοντάδων πακέτων το δευτερόλεπτο. Ακόμα και αν εκ πρώτης όψης αυτός ο αριθμός φαίνεται μεγάλος, πολύ γρήγορα καταλαβαίνει κανείς πως κάτι τέτοιο δεν

ισχύει, αν σκεφτούμε πως ένα bridge έχει throughput της τάξης των δεκάδων χιλιάδων πακέτων.

Πρακτικά αυτό σημαίνει πως σε ένα δίκτυο που έχει σχεδιαστεί με μεγάλη έμφαση στα gateways και που αναμένεται ένα τεράστιο φόρτο πακέτων, το gateways θα λειτουργεί ως bottleneck καθυστερώντας την ροή πακέτων προς τον εκάστοτε προορισμό τους. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα διάφοροι κατασκευαστές ανέπτυξαν λεγόμενα “έξυπνα gateways”, τα οποία όμως σε τελική ανάλυση μοιάζουν περισσότερο με router παρά με “κλασσικό” gateway όπως αναφέραμε παραπάνω.

2.2 Hubs



hub 4 θύρων

Το hub είναι μία δικτυακή συσκευή που χρησιμοποιείται για να συνδέσει πολλαπλές ethernet συσκευές μαζί για τον σχηματισμό ενός ενιαίου δικτύου. Το hub αποτελείται από πολλαπλές θύρες εισόδου/εξόδου, κάθε σήμα που εισάγεται σε μία θύρα εμφανίζεται στην έξοδο όλων των άλλων θυρών (εκτός της άρχικής που το έστειλε). Το hub υλοποιεί λειτουργίες του φυσικού (πρώτου) επιπέδου του μοντέλου OSI.

Παρόλα αυτά το hub πρόκειται για μία ξεπερασμένη πλέον τεχνολογία, μιας και έχει σχεδόν εξ ολοκλήρου αντικατασταθεί από network switches, με εξαίρεση πολύ παλιά ή πολύ εξειδικευμένα δίκτυα που το χρησιμοποιούν ακόμα.

Εξαιτίας της απλότητας της σχεδίασης του hub τα δίκτυα που το χρησιμοποιούν έχουν μεγάλο αριθμό συγκρούσεων, μιας και το hub ουσιαστικά στέλνει σε όλες τις θύρες κάθε σήμα που λαμβάνει από μία άλλη θύρα (όταν ανιχνεύει σύγκρουση στέλνει "jam" σήμα για να τη σταματήσει). Επιπλέον, το hub δεν έχει μνήμη, άρα δεν μπορεί να αποθηκεύσει οποιαδήποτε πληροφορία. Όπως έρχονται δεδομένα από μία θύρα απλά τα προωθεί στις άλλες κατευθείαν. Για αυτόν τον λόγο αν ένα πακέτο χαθεί ή συγκρουστεί με άλλα απαιτείται η αναμετάδοσή του. Ο αποστολέας θα πρέπει να ανιχνεύσει μία τέτοια σύγκρουση ή απώλεια και να ξαναστείλει τα δεδομένα. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο δίκτυα που κάνουν

χρήση hubs έχουν μεγάλο βαθμό συγκρούσεων σε σύγκριση με δίκτυα που βασίζονται σε πιο “έξυπνες” δικτυακές συσκευές.

Ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα των hubs είναι πως παρόλο που μπορούν να υποστηρίξουν πολλά διαφορετικά πρωτόκολλα (Ethernet, ARCnet, FDDI ή Token Ring βλ. **Έξυπνα hubs παρακάτω**), μπορούν να συνδέουν μόνο κόμβους με κοινή αρχιτεκτονική.

Ένα ακόμα μειονέκτημα των δικτύων που κάνουν χρήση hubs είναι το άνω φράγμα του μεγέθους τους. Επειδή πρέπει να γίνεται ανίχνευση συγκρούσεων δεν γίνεται να χρησιμοποιούνται πολλά hubs, άρα το μέγεθος του δικτύου μειώνεται σημαντικά. Για δίκτυα ταχυτήτων 10Mbits/sec ιστορικά χρησιμοποιείται ο κανόνας 5-4-3, δηλαδή μέχρι 5 τμήματα (4 hubs) επιτρέπονται μεταξύ δύο τερματικών σταθμών και από τα πέντε τμήματα μόνο τρία να έχουν συνδεδεμένους σταθμούς. Για δίκτυα υψηλότερων ταχυτήτων (100Mbits/sec) το όριο ελαττώνεται σε 3 τμήματα (2 hubs) ανάμεσα σε οποιαδήποτε 2 τερματικά, αλλά μόνο όταν γίνεται χρήση hub κλάσης 2.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως οι τελευταίες γενιές hub προσφέρουν κάποια πλεονεκτήματα που δεν υπήρχαν στα πρώτα μοντέλα όπως ευκολίες στη διαχείριση του δικτύου (όπως το simple network management protocol ή αλλιώς **SNMP** που προσφέρει real time στατιστικά και πληροφορίες όπως bandwidth, uptime και routing tables για τις διασυνδεδεμένες συσκευές).

Ειδικές εφαρμογές προσφέρουν καλύτερη εποπτεία επί του δικτύου που ενώνει το hub, όπως η δυνατότητα προβολής στατιστικών για την διερχόμενη πληροφορία ή η διαχείριση της ροής. Ακόμα και αυτά τα τεχνολογικά άλματα όμως δεν μπορούν να καταστήσουν το hub καλύτερη επιλογή από ένα switch. **Μόνη εξαίρεση** είναι όταν ύψιστο κριτήριο είναι το κόστος. Ιστορικά το μόνο πλεονέκτημα των hubs έναντι των switches ήταν το μικρότερο συγκριτικά κόστος των πρώτων, ωστόσο κάτι τέτοιο σήμερα δεν ισχύει μιας και το κόστος αγοράς switch έχει μειωθεί, άρα και το βασικό μειονέκτημά του έναντι του hub έχει πάψει να υφίσταται.

Τα hubs χωρίζονται σε **τρεις μεγάλες κατηγορίες**.

→ **Παθητικά hubs**: πρόκειται απλά για την απλούστερη μορφή η οποία το μόνο που κάνει είναι να συνδέει συσκευές. Η αντίθεσή με τις άλλες γίνεται περισσότερο εμφανής διαβάζοντας τι περιγραφές των άλλων δύο κατηγοριών.

→ **Ενεργά hubs**: πρόκειται για hubs τα οποία όχι απλά μεταφέρουν την πληροφορία, αλλά ενισχύουν και το σήμα εισόδου για να μην φτάσει αποδυναμωμένο. Πρόκειται για hubs πρώτης γενιάς που σήμερα υπάρχουν ακόμα κυρίως για λόγους πίσω-συμβατότητας με υπάρχοντα δίκτυα μικρά LAN (το πολύ 20 χρηστών).

→ **Έξυπνα hubs**: επιπλέον της βασικής λειτουργίας προσφέρει μία ποικιλία ενεργειών όπως διαχείριση δικτύου, γεφύρωση (bridging), δρομολόγηση (routing) και switching. Έχουν επιπλέον τη δυνατότητα να συλλέγουν ξεχωριστά στατιστικά για κάθε port αλλά και να υποστηρίξουν πολλαπλά πρωτόκολλα όπως Ethernet, token ring και FDDI.



Ένα “έξοπνο” hub

2.3 routers



*τυπικό router για χρήση σε σπίτι ή σε μικρό γραφείο.
Στην εικόνα φαίνονται οι 4 θύρες ethernet και η θύρα ADSL*

Απο τις πλέον ευρέως διαδεδομένες συσκευές και από τις πλέον αναγνωρίσιμες κιάλας, το router κατέχει κομβικής σημασίας θέση στις δικτυακές συσκευές.

Σαν συσκευή, το router είναι επιφορτισμένο με την προώθηση πακέτων δεδομένων ανάμεσα σε δίκτυα υπολογιστών. Ένα δίκτυο στη γενική του μορφή μπορεί να αποτελείται από πολλά router. Κάθε φορά που ένα router λαμβάνει ένα πακέτο δεδομένων, διαβάζει τη διεύθυνση προορισμού και επαναπροωθεί το πακέτο στο επόμενο router, με βάση μία πολιτική προώθησης ή έναν αντίστοιχο πίνακα (routing policy και routing table αντίστοιχα).

Στην καθημερινή ζωή πλέον κάθε σπίτι ένα και ένα router, επιφορτισμένα με την κίνηση δεδομένων ανάμεσα σε προσωπικούς υπολογιστές και το internet.

Τα κλασικά router έχουν καλώδιο DSL και συνδέουν τον προσωπικό υπολογιστή με το internet μέσω ενός δικτύου παρόχου (ISP – Internet Service Provider).

Υψηλών προδιαγραφών router (βιομηχανικών και ακαδημαϊκών εφαρμογών) αναλαμβάνουν την κίνηση δεδομένων μεταξύ τεράστιων εσωτερικών δικτύων (εταιριών, πανεπιστημίων) ή ISP. Τα δεδομένα προωθούνται σε **core routers**, τα οποία είναι σχεδιασμένα για να μετακινούν δεδομένα σε μεγάλες ταχύτητες στο Internet backbone (κύριες οδοί δεδομένων, για μεταφορά δεδομένων μεταξύ διαφορετικών χωρών και/ή ηπείρων), μέσω δικτύων οπτικών ινών.

Οι τυπικές ταχύτητες σε αυτά τα “core” (κεντρικά) δίκτυα είναι 40 Gbit/s, ενώ

πολλοί σύνδεσμοι πιάνουν ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες, ξεπερνώντας ακόμα και τα 100 Gbit/s (η θεωρητικά μέγιστη ταχύτητα με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα είναι τα 111 Gbit/s). Αυτό επιτρέπει την άνθηση τεχνολογιών και υπηρεσιών που κάνουν χρήση τέτοιων ταχυτήτων και που είναι ιδιαίτερα απαιτητικές όσον αφορά στο bandwidth και το latency. Η τεχνολογία **cloud computing** που κερδίζει συνεχώς έδαφος στις μέρες μας, το streaming βίντεο υψηλών ποιότητας (HD video streaming) αλλά και το Voice over IP (VoIP) είναι λίγα μόλις παραδείγματα εφαρμογών και υπηρεσιών που επωφελούνται από αυτά τα δίκτυα και κατ'επέκτασιν από τα core routers.



Ένα Cisco CRS-1 Backbone Core Router

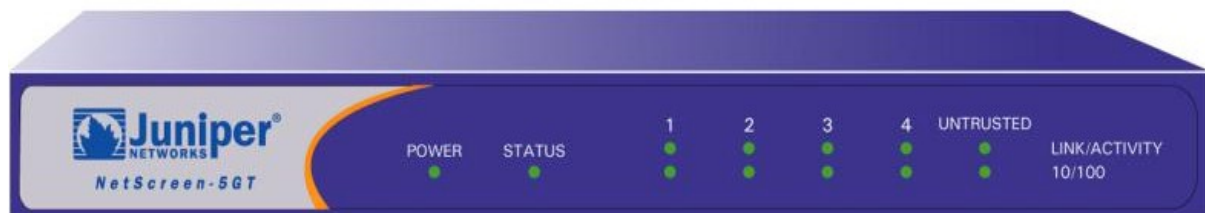
Ένα router έχει **2 στάδια λειτουργιών**:

Στο πρώτο στάδιο που ονομάζεται **στάδιο ελέγχου** το router διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης σύμφωνα με τον οποίο παίρνονται οι αποφάσεις ποιες διαδρομές (routes) θα χρησιμοποιηθούν για τη δρομολόγηση του κάθε πακέτου. Αυτός ο πίνακας δρομολόγησης μπορεί να είναι είτε στατικός, με τις διαδρομές να έχουν καθοριστεί από την αρχή και να μην αλλάζουν, είτε δυναμικός με τις διαδρομές να αλλάζουν δυναμικά με βάση κάποιο πρωτόκολλο δρομολόγησης (routing protocol).

Το δεύτερο στάδιο είναι το στάδιο προώθησης. Σε αυτό, ανάλογα με τις πληροφορίες που υπάρχουν στο header του εκάστοτε πακέτου το router κάνει δρομολόγηση της πληροφορίας ανάμεσα στις εισερχόμενες και εξερχόμενες συνδέσεις.

Πέραν των δύο προαναφερθέντων λειτουργιών κάποια routers μπορεί να περιλαμβάνουν και λειτουργία προστασίας. Τέτοια routers συνήθως περιέχουν ένα firewall, τρόπους χειρισμού VPN κ.α.

Αξίζει να αναφερθεί πως κάποιες εταιρίες παράγουν routers με έμφαση ξεκάθαρα στον τομέα της ασφάλειας (Το PIX και η σειρά ASA5500 της Cisco System, το Netscreen της Juniper, το Watchguard της Firebox κ.α).



To router NetScreen – 5GT της εταιρίας Juniper

Υπάρχουν 2 ειδών router:

Στατικά router → ο πίνακας δρομολόγησης ενός στατικού router είναι εκ των προτέρων κατασκευασμένος από κάποιον άνθρωπο με γνώση της τοπολογίας του δικτύου. Εκτός της αρχικής κατασκευής του εν λόγω πίνακα δρομολόγησης, οποιαδήποτε αλλαγή/ανανέωση επίσης πραγματοποιείται από άνθρωπο. Η στατική δρομολόγηση μπορεί να λειτουργήσει καλά σε μικρά δίκτυα, αλλά σε μεγαλύτερα λόγω της δυναμικής φύσης τους (συχνή προσθαφαίρεση κόμβων και/ή αδυναμίας

προηγούμενης γνώσης της τοπολογίας του δικτύου) δεν ενδείκνυται. Επιπλέον, σε περίπτωση που ένας σύνδεσμος της τοπολογίας καταστραφεί/τεθεί εκτός λειτουργίας, το στατικό router δεν θα μπορέσει να ανακάμψει από το λάθος χωρίς την άμεση παρέμβαση ανθρώπου, μιας και η διάρκεια ζωής αυτών των προκαθορισμένων διαδρομών στον πίνακα δρομολόγησης είναι άπειρος.

Δυναμικά router → στα δυναμικά router ο πίνακας δρομολόγησης αλλάζει δυναμικά καθώς τα δεδομένα της τοπολογίας αλλάζουν. Routers ανταλλάζουν μηνύματα μεταξύ τους που περιέχουν πληροφορίες για τυχόν αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου και έτσι ο πίνακας δρομολόγησης αλλάζει ανάλογα με τα νέα δεδομένα. Για αυτόν τον λόγο τα δυναμικά router είναι καλύτερα όταν μας ενδιαφέρει η επεκτασιμότητα του δικτύου. Επιπροσθέτως αν κάποια σύνδεση στο δίκτυο καταρρεύσει αυτό θα γίνει γνωστό επειδή η διάρκεια ζωής των δρομολογήσεων του πίνακα είναι πεπερασμένη. Όταν το router διαπιστώσει πως μία δρομολόγηση "πέθανε" αυτόματα μοιράζεται αυτήν την πληροφορία με τα άλλα routers του δικτύου και αυτό ανακάμπτει από το λάθος. Αυτό συμβαίνει μέσω της δημιουργίας νέων διαδρομών δρομολόγησης οι οποίες δεν κάνουν χρήση του προβληματικού κόμβου/ων.

Μία ακόμα κατηγοριοποίηση των routers μπορεί να γίνει ανάλογα με το αν υποστηρίζουν ένα ή πολλαπλά πρωτόκολλα.

Αξίζει να σημειωθεί πως μία σύγχρονη δικτυακή συσκευή που επιτελεί τόσο τις λειτουργίες του router όσο και του bridge είναι το brouter.

Το brouter (bridge router) δρομολογεί πακέτα με βάση γνωστά πρωτόκολλα και απλά προωθεί τα πακέτα ακριβώς όπως θα έκανε και ένα bridge.

Το brouter λειτουργεί τόσο σε στο network επίπεδο των πρωτοκόλλων δρομολόγησης όσο και στο data link επίπεδο για πρωτόκολλα που δεν έχουν να κάνουν με δρομολόγηση.

Καθώς η ανάγκη για περισσότερο σύνθετα δίκτυα γίνεται μεγαλύτερη, υπάρχει ταυτόχρονα η ζήτηση για δικτυακές συσκευές που θα παρέχουν την ευελιξία του να συνδυάζουν τόσο τα χαρακτηριστικά του bridge όσο και του router. Έτσι το brouter λειτουργεί σαν router για πρωτόκολλα δρομολόγησης αλλά και σαν bridge για πρωτόκολλα μη δρομολόγησης.

Το brouter σε επίπεδο δικτύου λειτουργεί σαν bridge, ενώ σε επίπεδο διασυνδεδεμένων δικτύων (internetwork) λειτουργεί σαν router.

2.4 switches



Τα switches (ελλ. μεταγωγείς) είναι δικτυακές συσκευές που χρησιμοποιούνται για διασύνδεση ενός δικτύου υπολογιστών. **Αποτελούν ένα συνδυασμό Hub και bridge.** Ενώ αρχικά οι μεταγωγείς βρήκαν χρήση σε δίκτυα ethernet σήμερα βρίσκουν εφαρμογή και σε διαφορετικού τύπου πρωτόκολλα όπως για παράδειγμα **FDDI** και **ATM**.

Τα switches κάνουν χρήση packet switching για να λάβουν, επεξεργαστούν και προωθήσουν πληροφορία ενώ σε αντίθεση με άλλες συσκευές όπως τα hubs, η πληροφορία στέλνεται σε μία ή παραπάνω συσκευές-δέκτη, αλλά όχι σε όλες ταυτόχρονα (broadcast). Μία πληθώρα συσκευών είναι συνδεδεμένες πάνω στο ίδιο switch και κάθε φορά που πρέπει να γίνει αποστολή από μία συσκευή σε μία άλλη το switch επιλέγει στον δέκτη και του προωθεί την πληροφορία.

Ένα network switch είναι κατά βάση ένα bridge με υποστήριξη πολλών θυρών. Ένα τέτοιου τύπου switch κάνει χρήση MAC διευθύνσεων για να επεξεργαστεί και να προωθήσει στον κατάλληλο δέκτη πληροφορίες, σε επίπεδο data link layer (2ο layer) του επιπέδου OSI. Επιπλέον, κάνοντας ενσωμάτωση τεχνολογίας routing για packet forwarding ένα switch είναι δυνατόν να επεξεργαστεί δεδομένα στο 3ο layer του μοντέλου OSI. Αυτού του είδους τα switches ονομάζονται multilayer switches για αυτόν ακριβώς τον λόγο.

Στα σημερινά δίκτυα τα switches είναι δυνατόν να αντικαταστήσουν τα hubs χωρίς να είναι απαραίτητο ο μηχανικός του δικτύου να επανασχεδιάσει το δίκτυο. Η μόνη διαφορά θα είναι η προσθήκη επιπλέον εύρους ζώνης στους συνδεδεμένους σταθμούς εργασίας.

Το switch αποτελείται από μία σειρά από θύρες η κάθε μία εκ των οποίων προσφέρει προκαθορισμένο εύρος ζώνης (σε αντίθεση με το hub όπου όλοι οι διασυνδεδεμένες συσκευές μοιράζονται το ίδιο εύρος ζώνης). Κάθε θύρα του switch αποτελεί ένα collision domain. Αυτό σημαίνει πως κάθε μέσο που επιχειρεί να αποστείλει πληροφορία το κάνει με την πιθανότητα αυτή να μην σταλεί τελικά επειδή μία άλλη πληροφορία αξιοποιεί τον ίδιο δικτυακό πόρο εκείνη τη χρονική στιγμή.

Εξαιτίας αυτού του χαρακτηριστικού, το switch είναι μία

“αναβαθμισμένη” ή καλύτερα “πιο έξυπνη” εκδοχή του hub, μιας και στο τελευταίο δεν υπάρχει η δυνατότητα αποστολής σε συγκεκριμένο παραλήπτη. Το hub κάνει αναμετάδοση του μηνύματος σε όλες τις θύρες του (εκτός προφανώς από στη θύρα αποστολέα), ενώ το switch μπορεί να επιλέξει μόνο τη θύρα στην οποία είναι συνδεδεμένος ο δέκτης.

Το switch είναι μία εξαιρετικά διαδεδομένη δικτυακή συσκευή. Μερικά από τα πλεονεκτήματα της χρήσης τους είναι η δυνατότητα του κάθε χρήστη (της κάθε συσκευής που είναι συνδεδεμένη πάνω στο switch) να στέλνει δεδομένα χωρίς να καθυστερούν άλλοι χρήστες του ίδιου δικτύου, ενώ ο φόρτος δικτύου είναι σημαντικά μικρός σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες (πχ hub) επειδή η πληροφορία από τον αποστολέα προωθείται μόνο στον τελικό δέκτη και όχι σε άλλες συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε άλλες θύρες του switch. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι πως είναι δυνατόν να υλοποιήσουμε πίνακα MAC διευθύνσεων για δρομολόγηση της πληροφορίας.

Στη σύγχρονη εκδοχή τους όλα τα switch υποστηρίζουν power over ethernet (**Poe**), μία τεχνολογία μέσω της οποίας το ίδιο καλώδιο που μεταφέρει ενέργεια σε μία ηλεκτρική συσκευή μεταφέρει και δεδομένα. Αυτό προσφέρει το πλεονέκτημα πως οι συνδεδεμένες συσκευές (όπως IP camera ή συσκευές ασύρματης σύνδεσης στο Ίντερνετ) πάνω στο switch δεν έχουν ανάγκη για εξωτερική πηγής ενέργειας.

Τα switches έχουν τη δυνατότητα να εργάζονται σε δύο διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας:

→**Store and forward**

Όλο το πλαίσιο εξετάζεται και σε περίπτωση που υπάρχει κάποιο λάθος στο πεδίο ακολουθίας ελέγχου (Frame Check sequence , FCS), το πλαίσιο απορρίπτεται.

→**Cut-trough**

Σε αυτή τη λειτουργία, από το πλαίσιο εξετάζεται μόνο η διεύθυνση προορισμού (destination MAC) και προβαίνει στην προώθηση του πλαισίου.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να κατηγοριοποιηθούν τα switches, ανάλογα με το κριτήριο που θα επιλέξει κάποιος.

Όσον αφορά τις κατασκευαστικές μορφές του ένα switch μπορεί να είναι:

→Desktop

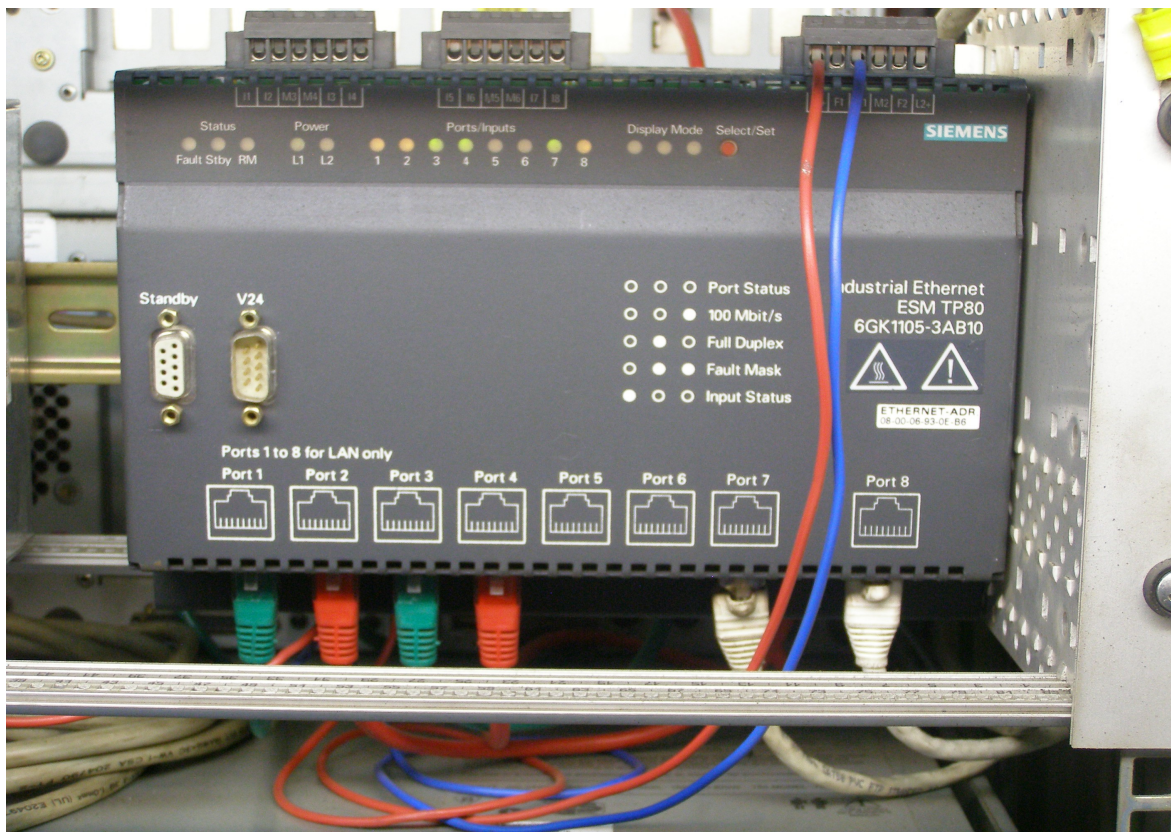
Η πιο απλή μορφή, προορισμένη για οικιακή χρήση

→Rack-mounted

Switch το οποίο τοποθετείται μέσα στα λεγόμενα “racks”, που είναι στοίβες από ηλεκτρονικό εξοπλισμό σε μεγάλα κιβώτια. Τα racks συναντώνται κυρίως σε server rooms και επαγγελματικές εγκαταστάσεις.

→DIN rail-mounted

Switch κατασκευασμένο για να χρησιμοποιηθεί σε εργοστασιακό περιβάλλον. Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο αυτοματοποιημένων διαδικασιών, είναι πιο γρήγορο ενώ υποστηρίζει και αρχιτεκτονική peer-to-peer. Αυτού του είδους το switch προορίζεται για χρήση σε αντίξοες συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών, υγρασίας και έντονων κραδασμών, που ξεπερνούν τις τυπικές προδιαγραφές λειτουργίας ηλεκτρονικής συσκευής σε ελεγχόμενο περιβάλλον.



Ένα παράδειγμα switch εργοστασιακών προδιαγραφών

Μία ακόμα κατηγοριοποίηση των switches μπορεί να γίνει ανάλογα με τις επιλογές διαμόρφωσής τους. Η δυαδικότητα αυτής της κατάστασης μας οδηγεί στις προφανείς διαφοροποιήσεις, στα switches που μπορείς να διαμορφώσεις και σε αυτά που δεν επιδέχονται διαμόρφωσης. Αμφότερα εξετάζονται στη συνέχεια:

Unmanagable Switches

Αυτού του είδους τα switches δεν επιδέχονται διαμόρφωσης. Δεν έχουν interface που να παρέχει οποιαδήποτε επιλογή ή εναλλακτικές λειτουργίες. Είναι τα πιο φθηνά και ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται σε περιβάλλον γραφείου ή σπιτιού. Αυτού του είδους τα switches μπορεί να είναι τύπου desktop ή rack mounted (βλέπε παραπάνω και για τα δύο αυτά είδη).

Managable Switches

Αυτά τα switch είναι κατασκευασμένα για να επιτρέπουν στον χρήστη να τα διαμορφώνει με κάποιον τρόπο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της παροχής γραμμής εντολών η οποία με τη σειρά της είναι προσβάσιμη από κονσόλα, telnet, ή secure shell. Το πρωτόκολλο SNMP που είχαμε συναντήσει προηγουμένως στα hubs επίσης εμφανίζεται εδώ και επιτρέπει στον χρήστη να έχει πρόσβαση στα στατιστικά του δικτύου από κάποια απομακρυσμένη κονσόλα ή ακόμα και διεπαφή διαδικτύου (web interface).

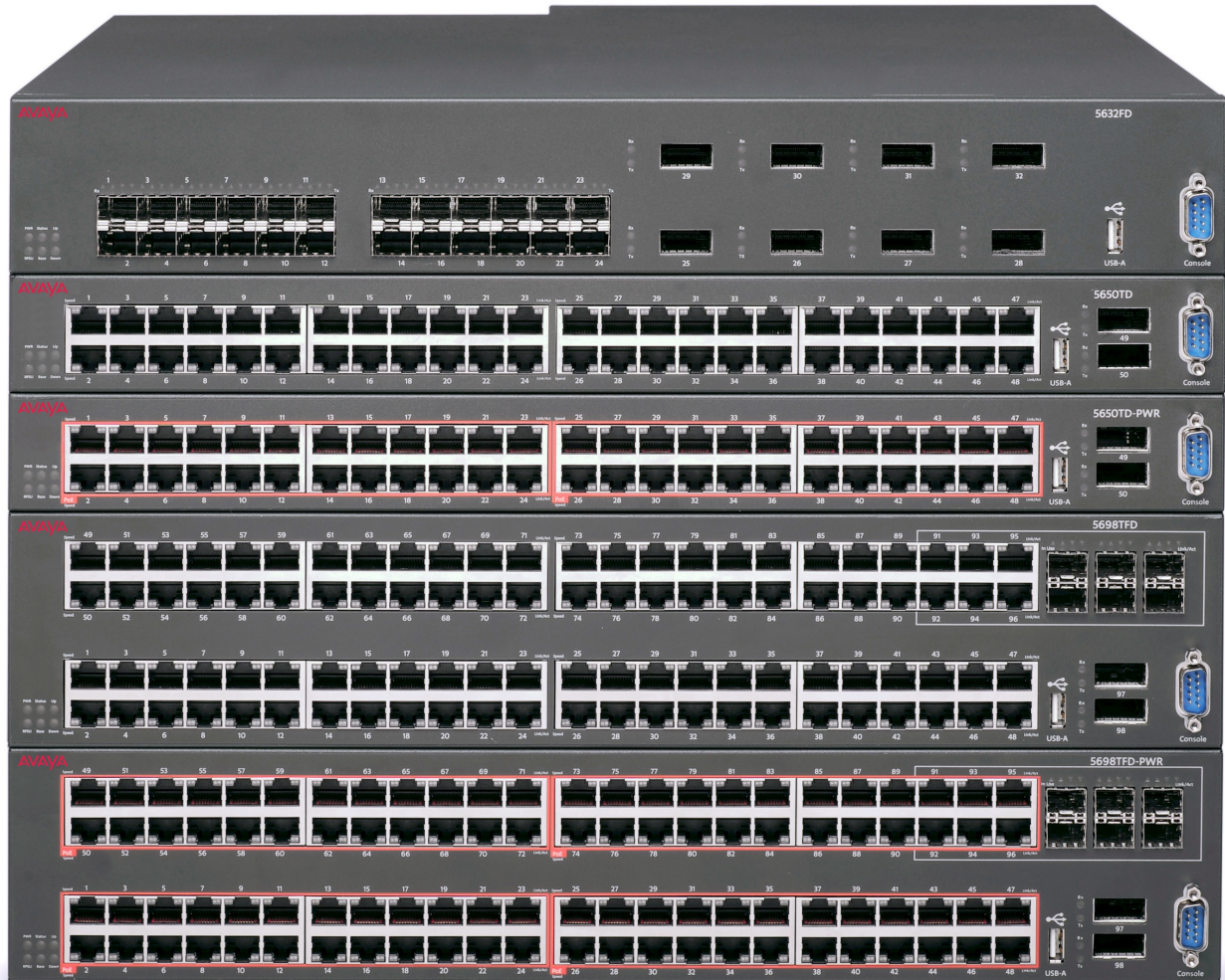
Οι πιο συνηθισμένες επιλογές διαμόρφωσης ενός switch που προσφέρονται στον χρήστη περιλαμβάνουν πρωτόκολλο δέντρου επικάλυψης (spanning tree protocol) ή port mirroring (αντιγραφή πακέτων ενός κόμβου ή και όλου του VLAN σε ένα άλλο switch port με σκοπό την εποπτεία του δικτύου), καθορισμός του bandwidth των port και δημιουργία/έλεγχος εικονικών τοπικών δικτύων (VLANs)

Τα manageable switches χωρίζονται περαιτέρω σε δύο κατηγορίες, τα έξυπνα (smart switch) και τα επιχειρησιακά (enterprise managed switch)

→ Τα smart switches έχουν περιορισμένο set διαχειριστικών επιλογών και ανήκουν στον χώρο ανάμεσα στα unmanageable και manageable switches. Δεν προσφέρουν γραμμή εργαλείων για έλεγχο του switch και συνοδεύονται από κάποια διαδικτυακή διεπαφή που επιτρέπει τον χειρισμό και/ή την αλλαγή κάποιων βασικών λειτουργιών όπως το port bandwidth, χειρισμό VLAN και αμφίδρομη επικοινωνία (duplex).

→ Τα enterprise managed switches από την άλλη συνοδεύονται από όλο το πακέτο των διαθέσιμων επιλογών διαχείρισης που περιγράψαμε παραπάνω (βλέπε: manageable switches), αυτό σημαίνει γραμμή εντολών (CLI), υποστήριξη πρωτοκόλλου SNMP, δυνατότητα φόρτωσης και αποθήκευσης συγκεκριμένου σετ

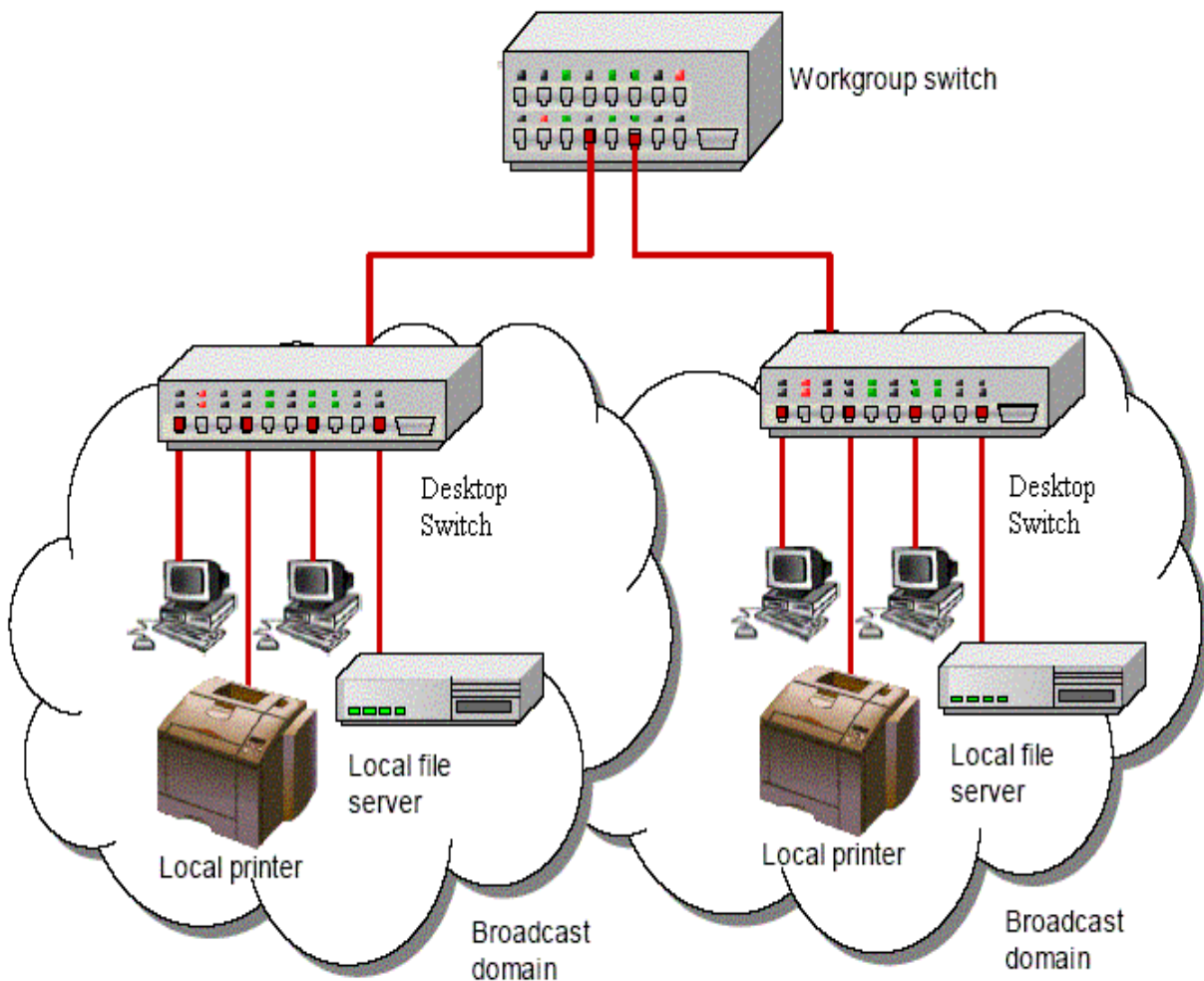
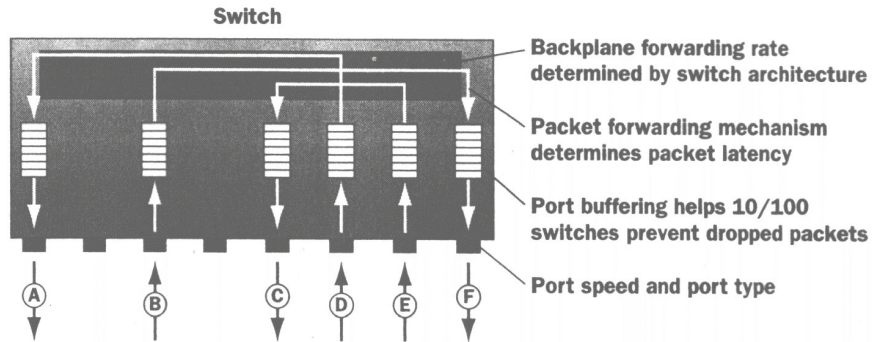
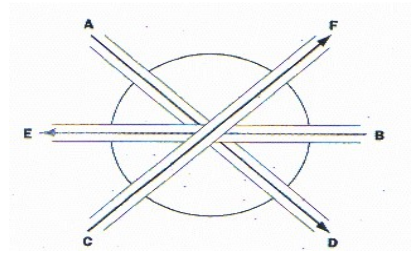
διαμορφώσεων (configuration set) και γενικά περισσότερες επιλογές σε σύγκριση με τα smart switches. Η πληθώρα των επιλογών που προσφέρει αυτό το είδος switches αντικατοπτρίζεται και στην τιμή τους η οποία είναι σημαντικά υψηλότερη σε σύγκριση με τα smart switches. Από την άλλη όμως, κάτι τέτοιο δεν είναι απαραίτητα κακό εάν τα enterprise switches χρησιμοποιηθούν στο κατάλληλο περιβάλλον, δηλαδή σε μεγάλα δίκτυα όπου η ανάγκη για κάποιας μορφής κεντρικής διαχείρισης ή ελέγχου είναι σημαντική και θα σήμαινε σημαντική εξοικονόμηση χρόνου.



Ένα enterprise manageable switch της εταιρίας Avaya
(Ethernet routing switch 5600 series)

Ακολουθούν δύο ακόμα εικόνες που περιγράφουν σχηματικά την λειτουργία του switch.

Λειτουργία Switch



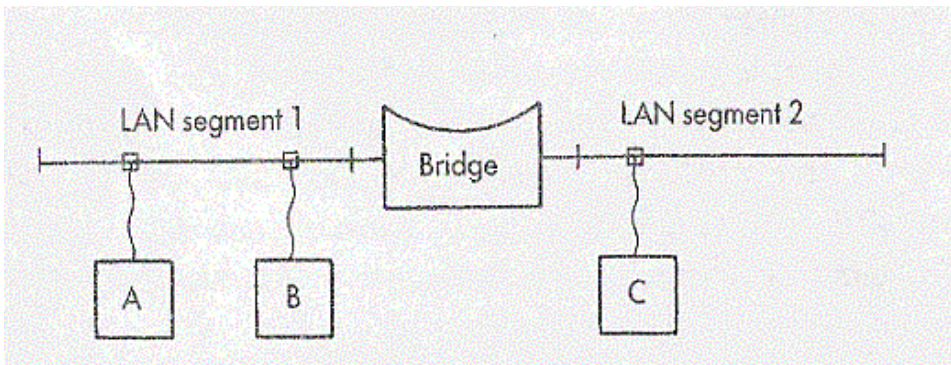
2.5 bridge



UT-3302 - Encrypted Ethernet Bridge Device της εταιρίας Hullspeed

Το bridge (γέφυρα) αποτελεί εξέλιξη του repeater και λειτουργεί στο Data-link επίπεδο του μοντέλου OSI. Η κύρια χρήση του bridge έγκεται στο να “σπάει” το υπάρχον δίκτυο σε μικρότερο ώστε να υπάρχει μικρότερη συμφόρηση. Ουσιαστικά η τοποθέτηση ενός bridge στο δίκτυο το σπάει σε περισσότερες ethernet διεπαφές. Όταν ένα πακέτο του ενός δικτύου (μίας διεπαφής) στέλνεται σε κάποιον κόμβο που ανήκει σε άλλο δίκτυο τότε το bridge το προωθεί, όταν στέλνεται σε κάποιον κόμβο δικτύου που ταυτίζεται με τον αρχικό τότε το bridge δεν το προωθεί στο άλλο δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η άσκοπη κίνηση πακέτων στο δίκτυο ενώ παράλληλα εξακολουθεί να το κάνει να φαίνεται ενιαίο σε προγράμματα και πρωτόκολλα ανώτερου επιπέδου.

Αυτό πρακτικά σημαίνει πως για πρωτόκολλα όπως το IPX/SPX της Novell ή το NetBios της IBM ή το πλέον γνωστό TCP/IP που λειτουργούν στο επίπεδο network του μοντέλου OSI, ένα δίκτυο που έχει διαιρεθεί σε μικρότερα με χρήση bridge φαίνεται σαν ένα. Αυτό επιτρέπει στον μηχανικό αλλά και στα προαναφερθέντα πρωτόκολλα να χειρίζονται σαν ένα ενιαίο δίκτυο ένα λογικό δίκτυο του οποίου το μέγεθος υπερβαίνει τα όρια ενός φυσικού, χωρίς ωστόσο να χρειαστεί καμία περαιτέρω αλλαγή.



σχηματική αναπαράσταση διαίρεσης δικτύου
με χρήση bridge

Τα bridges έχουν 3 βασικές λειτουργίες:

→ Προώθηση πακέτων

Όπως ήδη αναφέραμε στην εισαγωγή για τα bridges όταν μία από τις ethernet διεπαφές δέχεται ένα πακέτο, διαβάζει τη διεύθυνση προορισμού του πακέτου. Αν ανήκει σε κάποια άλλη ethernet διεπαφή τότε το bridge το προωθεί, αλλιώς αν ανήκει στην ίδια ethernet διεπαφή από την οποία προήλθε δεν το προωθεί στις άλλες. Με αυτόν τον τρόπο δεν υπάρχει άσκοπη κίνηση πακέτων στους υπόλοιπους κόμβους.

→ Ανίχνευση βρόγχων

Είναι πιθανόν καθώς εισάγονται κόμβοι και bridges να δημιουργηθούν βρόγχοι που θα έχουν σαν αποτέλεσμα ένα πακέτο να ταξιδεύει συνέχεια στο δίκτυο. Η ανίχνευση βρόγχων εντοπίζει τότε κάτι τέτοιο συμβαίνει και διακόπτει την άσκοπη κίνηση του πακέτου άρα και την χωρίς νόημα συμφόρηση του δικτύου.

→ Τεχνικές Εκμάθησης

Ουσιαστικά τα bridges μαθαίνουν την τοπολογία του δικτύου και πιο συγκεκριμένα, κατασκευάζουν πίνακες με τις διευθύνσεις των κόμβων των υποδικτύων που συνδέουν. Αυτό γίνεται με δύο μεθόδους

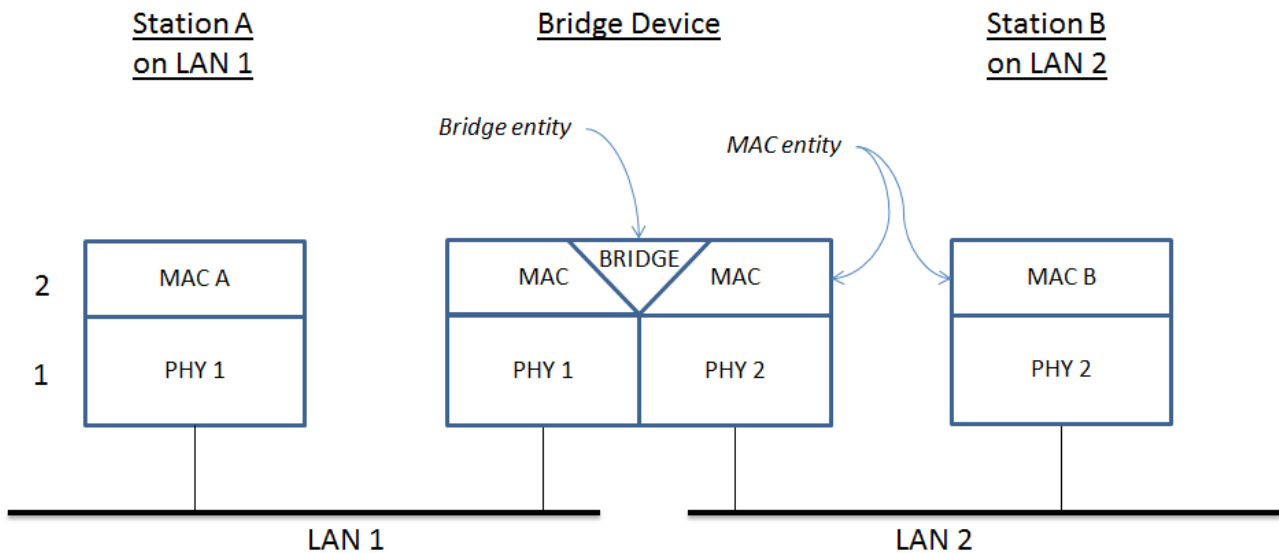
→ Διαφανής Γεφύρωση

Όπου το bridge εξετάζει την ροή των πακέτων για να κατασκευάσει τον πίνακα με τις προαναφερθείσες πληροφορίες.

→ Πηγαία δρομολόγηση

Σε αυτήν την περίπτωση το bridge στέλνει το ίδιο κάποια πακέτα μέσα στο δίκτυο προκειμένου καθώς αυτά ταξιδεύουν μέσα του να συλλέγουν πληροφορίες για την τοπολογία του τις οποίες και επιστρέφουν πίσω στο bridge.

A bridge connecting two LAN segments



Μία σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας που επιτελεί το bridge

Εδώ αξίζει να σημειώσουμε όπως αναφέραμε και στην ενότητα για το switch, πως ένα bridge με υποστήριξη πολλών θυρών είναι κατά βάση ένα multilayer switch, ικανό να λειτουργήσει τόσο στο 2ο (data link layer) όσο και στο 3ο (network) επίπεδο του μοντέλο OSI (εάν κάνει χρήση routing για την προώθηση πακέτων).

Όπως είδαμε και στις προηγούμενες δικτυακές συσκευές οι απαιτήσεις της βιομηχανίας αλλά και της καθημερινότητας είναι πολλές και συνεχείς, με αποτέλεσμα να παράγονται συνεχώς “υβριδικές” δικτυακές συσκευές που δανείζονται χαρακτηριστικά από ένα σύνολο άλλων συσκευών και τα ενσωματώνουν σε μία μόνο.

3.1 Υβριδικές δικτυακές συσκευές

Το δεύτερο κομμάτι της εργασίας είναι αφιερωμένο στις λεγόμενες “υβριδικές” δικτυακές συσκευές. Πρόκειται για συσκευές των οποίων τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τις καθιστούν περισσότερο ευέλικτες από τους προτακόχους τους, τις “κλασσικές” δικτυακές συσκευές. Αυτό συμβαίνει είτε επειδή έχουν λειτουργίες που τυπικά ανήκαν διαφορές δικτυακές συσκευές, είτε επειδή λειτουργούν παράλληλα σε παραπάνω από ένα επίπεδα του μοντέλου OSI.

Οι υβριδικές δικτυακές συσκευές είναι αποτέλεσμα της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας στον τομέα των τηλεπικοινωνιών που είχε σαν αποτέλεσμα την ανάγκη για πιο σύνθετες δικτυακές συσκευές οι οποίες θα μπορούσαν να προσφέρουν στον μηχανικό του δικτύου μεγαλύτερη ευελιξία, δυνατότητες αλλά και “ποιότητα ζωής”.

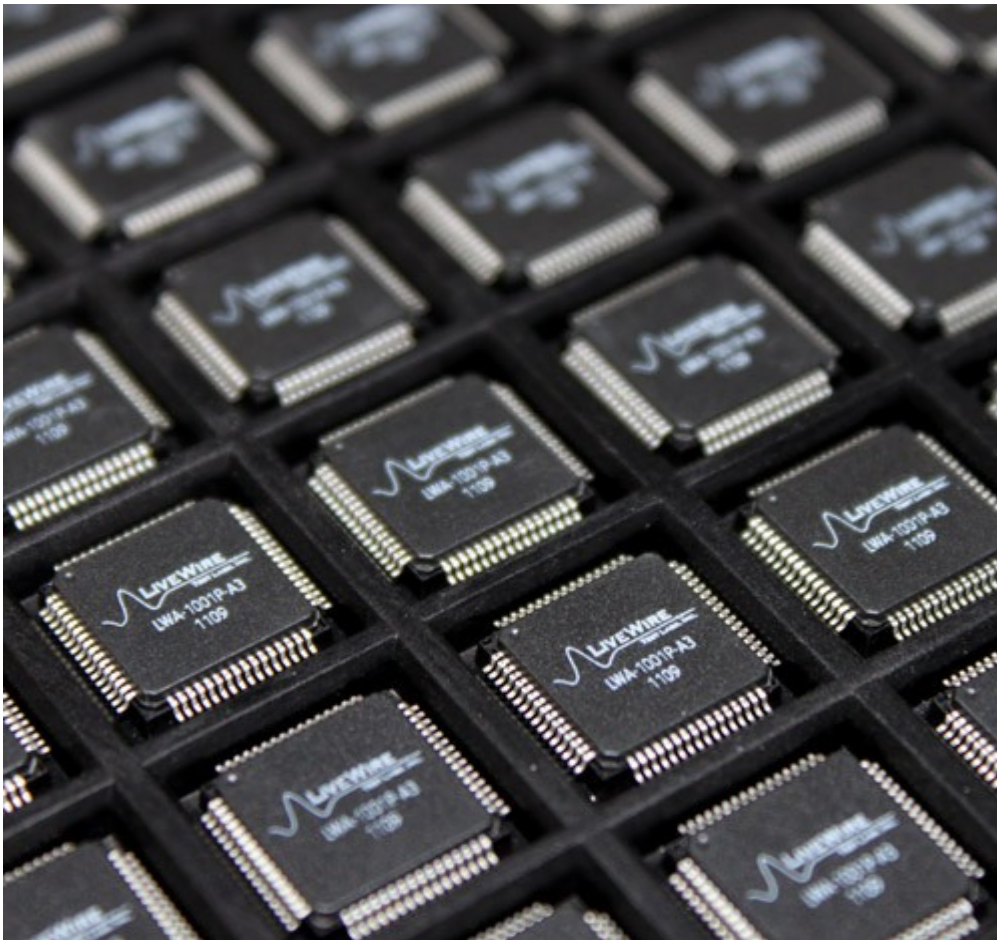
3.1 Multilayer switch



Cisco catalyst multilayer switch 3560 series

Ενώ ένα παραδοσιακό switch λειτουργεί στο δεύτερο (data link) επίπεδο του μοντέλου OSI, ένα multilayer switch προσφέρει την επιπλέον δυνατότητα παροχής υπηρεσιών σε υψηλότερα επίπεδα.

Τα κλασσικά switch εξετάζουν την πληροφορία ανά frames ενώ το multilayer switch την εξετάζει ανά πακέτα. Επιπλέον, το multilayer switch επιτρέπει την δρομολόγηση της πληροφορίας μέσω χρήσης εξειδικευμένων κυκλωμάτων (ASIC hardware units – Application Specific integrated circuit). Έτσι, σε διαφορά με κλασσικά router που υλοποιούν εργασίες δρομολόγησης μέσω software, το multilayer switch τις επιτελεί πιο χαμηλά, σε επίπεδο hardware, σε πολύ υψηλότερες ταχύτητες.

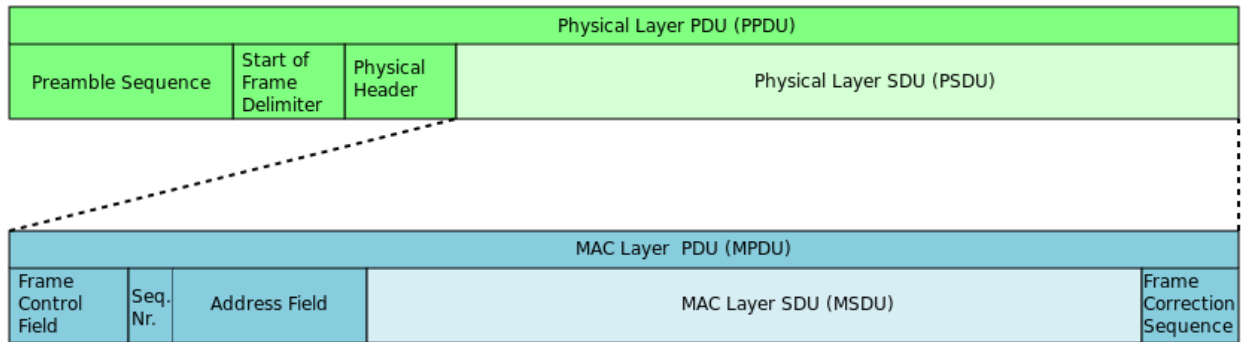


Ένα tray από ASIC chips

Τα multilayer switches επιπλέον έχουν τη δυνατότητα να εξετάζουν σε διαφορετικά επίπεδα τη μονάδα πρωτοκόλλου (PDU- protocol data unit) για επιπλέον πληροφορία που θα μπορούσε να επιταχύνει την διαδικασία προώθησης πακέτων. Έτσι, τα switches αυτής της τεχνολογίας εξετάζουν την πληροφορία στα επίπεδα 2 έως 7 του μοντέλου OSI, κάτι αδύνατον με τα συμβατικά switch.

Η μονάδα πρωτοκόλλου διαφέρει ανάλογα το επίπεδο του μοντέλου OSI στο οποίο βρισκόμαστε, έτσι έχουμε τις εξής διαφορές:

- 2ο επίπεδο:** η μονάδα πρωτοκόλλου είναι το frame
- 3ο επίπεδο:** η μονάδα πρωτοκόλλου είναι το πακέτο
- 4ο επίπεδο:** η μονάδα πρωτοκόλλου είναι το segment ή το datagram ανάλογα αν πρόκειται για TCP ή UDP πρωτόκολλο αντίστοιχα
- 5-6-7ο επίπεδο:** η μονάδα πρωτοκόλλου πλέον είναι τα δεδομένα, τα οποία μπορεί να είναι σε μορφή απλού κειμένου, κρυπτογραφημένα ή συμπιεσμένα.



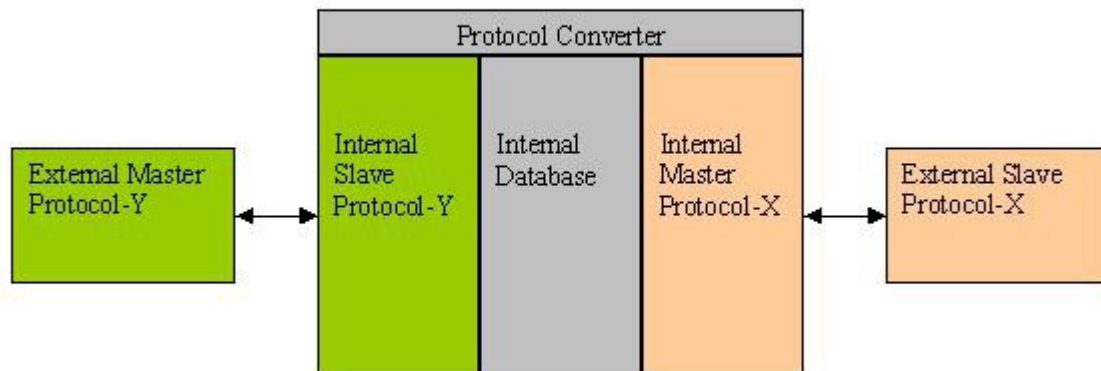
3.2 Μετατροπéας Πρωτοκόλλου

Στις τηλεπικοινωνίες υπάρχουν πάρα πολλά διαφορά πρωτόκολλα επικοινωνίας και διαρκώς συστήνονται νέα. Αυτό συμβαίνει είτε γιατί εταιρίες/βιομηχανίες έχουν τα δικά τους πρωτόκολλα, είτε γιατί πρόοδοι στην τεχνολογία προτάσουν την ανάγκη δημιουργίας νέων.

Με την εισαγωγή νέων πρωτοκόλλων να είναι ένα συχνό φαινόμενο είναι μεγάλη η ανάγκη ύπαρξης μίας συσκευής “μετάφρασης” ενός πρωτοκόλλου σε διαφορετικό, κάτι που θα επιτρέπει την επικοινωνία ανάμεσα σε συσκευές που κάνουν χρήση διαφορετικών πρωτοκόλλων να επικοινωνήσουν καθώς και που θα παρείχε ευελιξία στους μηχανικούς δικτύων οι οποίοι θα μπορούσαν να κάνουν χρήση πέραν του ενός πρωτοκόλλου για να καλύψουν τις ανάγκες/προδιαγραφές του δικτύου τους.

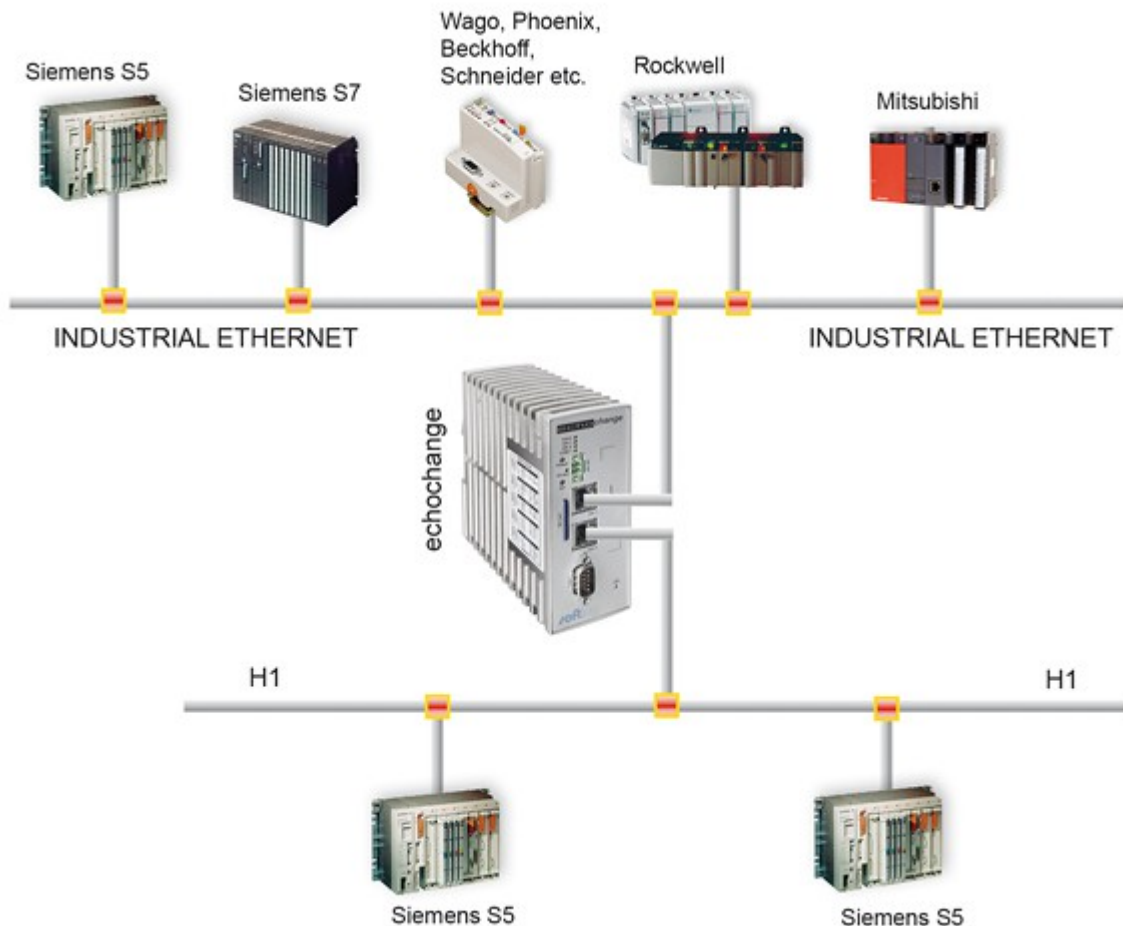
Αυτή η ανάγκη είναι ακόμα μεγαλύτερη όταν πρόκειται για συσκευές που

χρησιμοποιούν πρωτόκολλα που είναι ιδιοκτησία μίας εταιρίας (proprietary protocols), τα οποία και θα πρέπει να μεταφραστούν όταν αυτές οι συσκευές επικοινωνήσουν με άλλες που κάνουν χρήση πιο ευρέως χρησιμοποιημένων πρωτοκόλλων



Σημαντική αναπαράσταση της λειτουργίας που επιτελεί ο μετατροπέας πρωτοκόλλου

Η γενική αρχιτεκτονική ενός μετατροπέα πρωτοκόλλου όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα περιλαμβάνει έναν εξωτερικό master που κάνει μία οποιαδήποτε αίτηση, αυτή κωδικοποιείται από τον εσωτερικό slave και αντιστοιχίζονται σε μία βάση, η οποία στέλνει τα αποτελέσματα σε έναν εσωτερικό master ο οποίος στη συνέχεια προωθεί το μεταφρασμένο πλέον αίτημα σε έναν εξωτερικό slave ο οποίος και θα το ικανοποιήσει.



Echochange, μετατροπέας πρωτοκόλλου για βιομηχανική χρήση (συμβατότητα συσκευών αυτοματισμού) της εταιρίας softing με δυνατότητα μετατροπής των πρωτοκόλλων: TCP, UDP, IP, ISO (H1), ISO on TCP (RFC1006), PLC-Header, Ethernet/IP

Παρόλα τα πλεονεκτήματα που αναφέραμε στην αρχή υπάρχουν και σημαντικά μειονεκτήματα στη χρήση μετατροπέων πρωτοκόλλου που ο μηχανικός δικτύου θα πρέπει να λάβει σοβαρή υπόψιν του.

Για αρχή, είναι αυτονόητο πως η μετατροπή ενός αιτήματος από το ένα πρωτόκολλο στο άλλο εισάγει ένα κάποιο **overhead** (καθυστέρηση) από μερικά *miliseconds* έως και ένα δευτερόλεπτο, ανάλογα την πολυπλοκότητα του αιτήματος και των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται σαν πηγή/προορισμός.

Επιπροσθέτως υπάρχει το μεινέκτημα της επιπλέον απαιτούμενης υπολογιστικής ισχύς, χρόνου ρύθμισης (*configuration*) και συντήρησης, που απαιτεί η χρήση μετατροπέα πρωτοκόλλου, τα οποία επηρεάζουν είτε την απαιτούμενη τελική ισχύ των υπολογιστικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο είτε το τελικό κόστος και χρόνο που απαιτείται για την υλοποίηση/συντήρηση ενός τέτοιου δικτύου.

4. Οπτικές δικτυακές συσκευές

Το τρίτο κομμάτι της εργασίας είναι αφιερωμένο στις λεγόμενες “οπτικές” δικτυακές συσκευές. Πρόκειται για δικτυακές συσκευές που χρησιμοποιούνται στα οπτικά δίκτυα, τα οποία σιγά σιγά αντικαθιστούν τα συμβατικά δίκτυα που υπήρχαν.

Στη σημερινή εποχή οι τηλεπικοινωνίες βασίζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό στα οπτικά δίκτυα, δηλαδή σε δίκτυα όπου η μετάδοση πληροφορίας γίνεται μέσω οπτικών σημάτων. Η εμβέλεια των οπτικών δικτύων ξεκινά από τα μικρά LAN (local area network), συνεχίζει στα WAN (wide area network) και μπορεί να φτάσει ακόμα και σε επίπεδα μεγέθους MAN (metropolitan area network) ή και παγκόσμιας εμβέλειας. Η τεχνολογία των οπτικών δικτύων βασίζεται κυρίως σε lasers και πολυπλεξία κυμάτων (wave division multiplexer) και προσφέρει ιδιαίτερα υψηλό bandwidth. Για αυτόν τον λόγο στη σημερινή εποχή τα οπτικά δίκτυα και οι τεχνολογίες που τα διέπουν αποτελούν την ραχοκοκαλιά των τηλεπικοινωνιών αλλά και του ίδιου του Internet.

Σε σύγκριση με τα συμβατικά δίκτυα τα οπτικά προσφέρουν μεγαλύτερες ταχύτητες ενώ το οπτικό σήμα μπορεί να ταξιδέψει μεγαλύτερες αποστάσεις πριν χρειαστεί να ενισχυθεί, σε σύγκριση με ένα μη οπτικό σήμα που διαδίδεται μέσω ενός ομοαξονικού καλωδίου.

4.1 Optical switches



Ένα LT 800 1x8 Optical Switch της εταιρίας Lightech

Με την τεχνολογία των οπτικών ινών να αναπτύσσεται όλο και περισσότερο και όλο και τα πολλά τους πλεονεκτήματα να είναι εμφανή (ευκολία εγκατάστασης, μεγάλο bandwidth σε μεγάλες αποστάσεις, μη-αγωγιμότητα των οπτικών καλωδίων, data-security με το να αποτρέπουν διαρροή του σήματος κ.α) άρχισαν να κατασκευάζονται οπτικά switches με στόχο τη χρήση τους σε οπτικά δίκτυα (optical networks).

Ένα optical switch μπορεί να λειτουργεί με μηχανικά μέσα, ώστε να κάνει μία οπτική ίνα να “οδηγήσει” την είσοδο μίας ή παραπάνων εναλλακτικών ινών, ή μέσω ηλεκτρο-οπτικών ή μαγνητικο-οπτικών φαινομένων.

Μέχρι σήμερα, τα optical switches χωρίζονται σε δύο μεγάλες τεχνολογικές κατηγορίες:

→ **Τα optical switches πρώτης γενιάς** είναι πιο αργά και χρησιμοποιούνται κυρίως για εργασίες δρομολόγησης (κυρίως για την εύρεση εναλλακτικής διαδρομής του σήματος όταν αυτό χρειαστεί, όπως πχ σε περίπτωση κάποιου σφάλματος).

→ **Τα optical switches της επόμενης γενιάς (next-gen optical switches)** μπορούν να δουλέψουν σε υψηλότερες ταχύτητες από αυτά της πρώτης γενιάς και

έτσι μπορού να χρησιμοποιηθούν για να γίνουν λογικές πράξεις (logical operations) μεταξύ των οπτικών σημάτων.

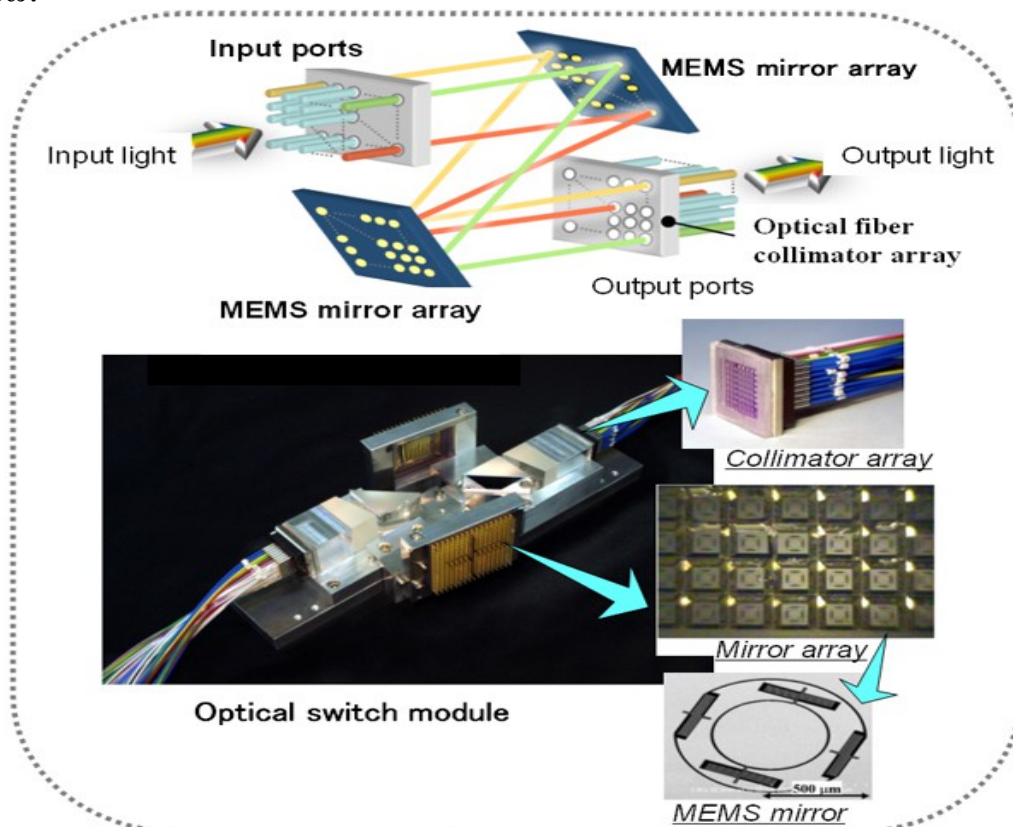
Το optical switch στην γενική του μορφή έχει δύο θύρες (ports). Η κατάσταση της σύνδεσης είναι “on” ή “off” ανάλογα με το αν υπάρχει ή δεν υπάρχει απώλεια της ισχύς του σήματος από τη μία θύρα στην άλλη. Οι συνδέσεις επίσης στην γενική περίπτωση είναι αμφίδρομες.

Ένα optical switch θεωρείται “διαφανές” όταν το οπτικό σήμα στην είσοδο παραμένει οπτικό κατά τη διάδοσή του μέσα στη συσκευή και παραμένει οπτική και στην έξοδό της (στην εναλλακτική περίπτωση θα υπήρχε μετρατοπή από οπτικό σήμα σε μία εναλλακτική μορφή πχ ηλεκτρικό ή μαγνητικό).

Το εύρος της περιοχής μήκων κύματος επί της οποίας λειτουργούν οι οπτικές συσκευές (στις οποίες ανήκει και το optical switch) ονομάζεται passband.

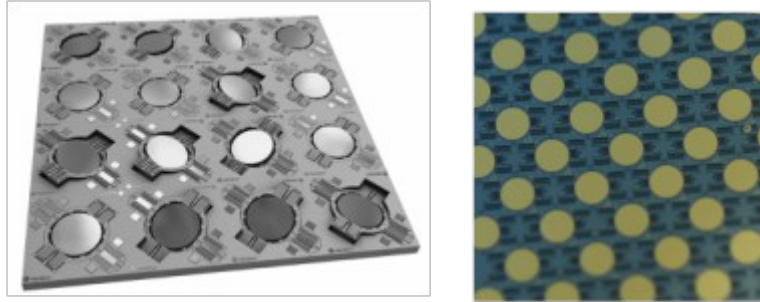
Τα optical switches μπορούν να είναι παθητικά ή ενεργά, με τον διαχωρισμό αυτό να βασίζεται στο αν το οπτικό σήμα ενισχύεται ή όχι. Ωστόσο σε όλων των ειδών τα optical switches ένα οπτικό σήμα χρησιμοποιείται για να επηρεάσει το μονοπάτι που ακολουθεί ένα άλλο οπτικό σήμα μέσα στο switch.

Ένα σχήμα που εξηγεί τον τρόπο λειτουργίας ενός optical switch είναι το παρακάτω:



Όπως βλέπουμε και στο παραπάνω σχήμα, το optical switch δέχεται ένα οπτικό σήμα στην είσοδό του και στη συνέχεια με χρήση συστοιχίας ειδικών καθρεπτών ανακατευθύνει το σήμα στις εξερχόμενες θύρες.

Οι καθρέπτες που χρησιμοποιούνται είναι όμοιοι με αυτούς της παρακάτω εικόνας:



MEMS mirror array chip

Παρατηρούμε πως κάθε καθρέπτης της συστοιχίας μπορεί να αλλάξει κλίση ώστε να ανακατευθύνει την ακτίνα φωτός που πέφτει πάνω του στην επιθυμητή έξοδο του switch. Με αυτόν τον τρόπο το οπτικό σήμα επανα-δρομολογείται.

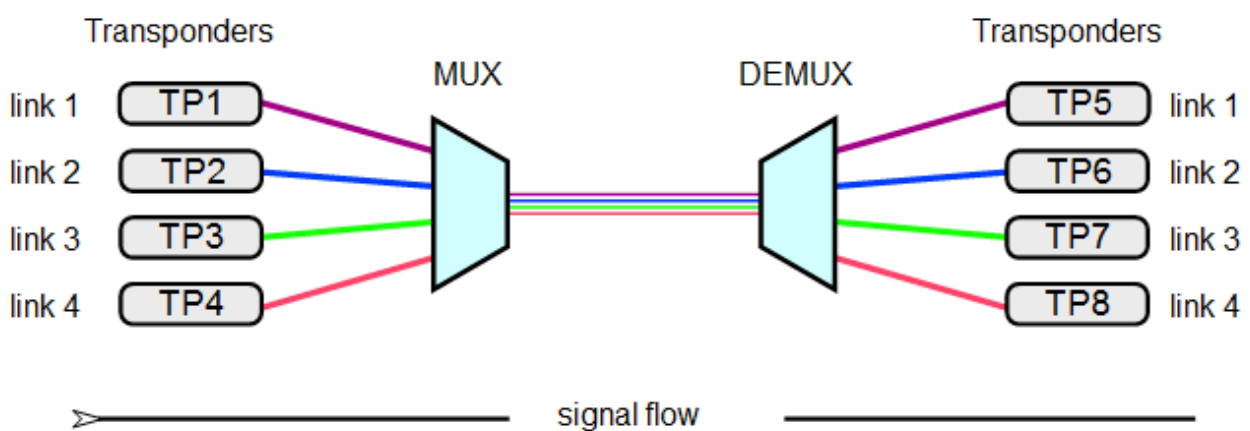
4.2 Wavelength division multiplexer



*wavelength division multiplexer
της εταιρίας Nortel*

Ένας wavelength division multiplexer είναι μία δικτυακή συσκευή που βρίσκει χρήση στα οπτικά δίκτυα. Ο σκοπός της είναι να πολυπλέξει ένα σύνολο οπτικών σημάτων πάνω σε μία μόνο οπτική ίνα χρησιμοποιώντας διαφορεικό μήκος κύματος για κάθε σήμα. Αυτό πολλαπλασιάζει την χωρητικότητα μίας οπτικής ίνας, η οποία πλέον μπορεί να χρησιμοποιείται ταυτόχρονα από παραπάνω από ένα οπτικά σήματα), ενώ την ίδια στιγμή επιτρέπει αμφίδρομη επικοινωνία μέσω της ίδιας οπτικής ίνας μιας και τα διαφορετικά οπτικά σήματα δεν συγκρούονται.

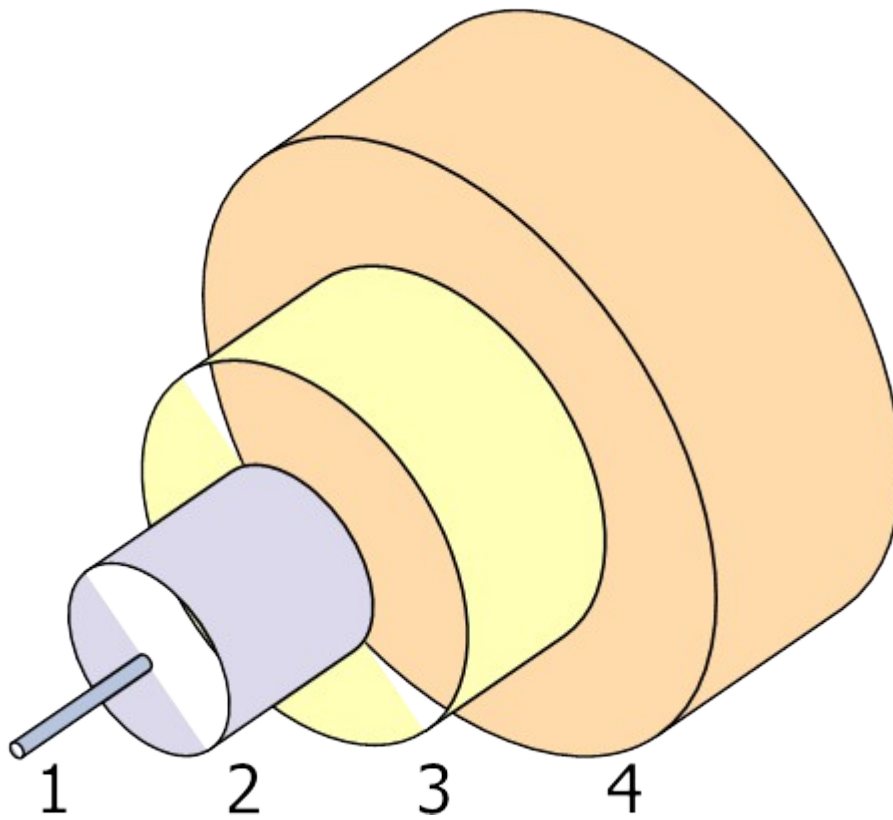
wavelength-division multiplexing (WDM)



Μια σχηματική αναπαράσταση της μετάδοσης πολυπλεγμένων οπτικών σημάτων μπορεί να βρεθεί στην παραπάνω εικόνα. Παρατηρούμε πως τα σήματα εισόδου πολυπλέκονται από ένα πολυπλέκτη, μεταδίδονται μέσω μίας μόνο οπτικής ίνας και στη συνέχεια με τη χρήση ενός απο-πολυπλέκτη χωρίζονται στα αρχικά οπτικά σήματα.

Αυτό αυτόματα φανερώνει ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της πολυπλεξίας του οπτικού σήματος. Η χωρητικότητα του δικτύου δεν εξαρτάται από την οπτική ίνα, αλλά από την τεχνολογία του πολυπλέκτη. Όταν μία εταιρία θέλει να αναβαθμίσει τη χωρητικότητα του δικτύου της αρκεί να αναβαθμίσει τον πολυπλέκτη ώστε να μπορεί να πολυπλέξει μεγαλύτερο αριθμό οπτικών σημάτων σε μία οπτική ίνα. Χωρίς την χρήση αυτής της τεχνολογίας η αναβάθμιση της χωρητικότητας του δικτύου θα σήμαινε απαραίτητα την εγκατάσταση περισσότερων οπτικών ινών κάτι που χρειάζεται περισσότερο χρόνο και φυσικά έχει μεγαλύτερο κόστος.

Τα περισσότερα wavelength division multiplexers λειτουργούν με καλώδια οπτικής ίνας “single mode” (single mode fiber optical cable) τα οποία έχουν διάμετρο 9 μm (9 micrometers). Ωστόσο κάποιες εκδοχές της δικτυακής συσκευής χρησιμοποιούν 'multi-mode' καλώδια οπτικής ίνας.



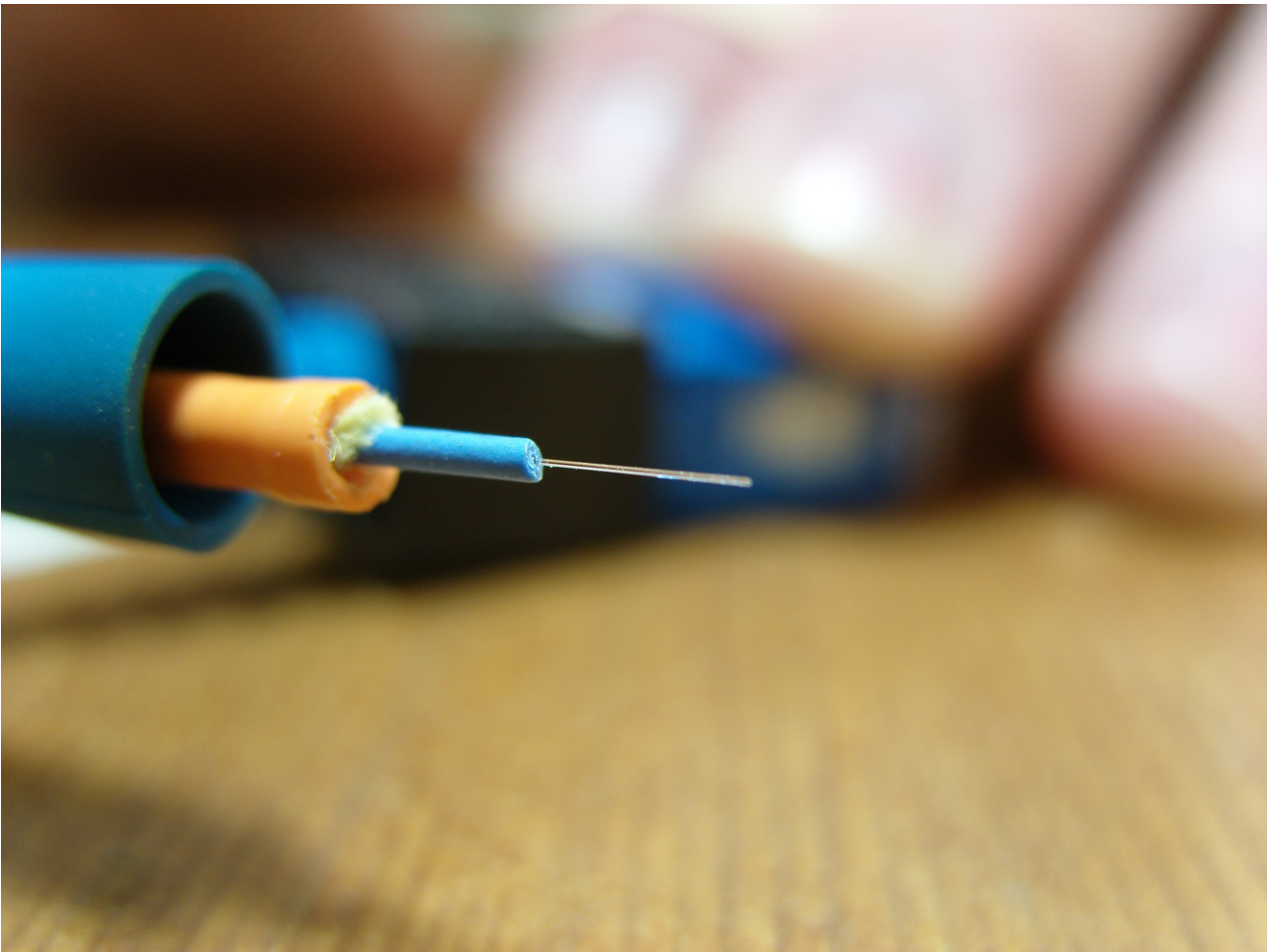
Single mode οπτική ίνα

1: πυρήνας (8μm διάμετρος)

2: επένδυση (125 μm διάμετρος)

3: buffer (250 μm διάμετρος)

4: περίβλημα (400 μm διάμετρος)



multi – mode οπτική ίνα

Όταν πρωτοπαρουσιάστηκαν οι wavelength division multiplexers είχαν ως αρχικό σκοπό, όπως αναφέραμε, την πολυπλεξία των οπτικών σημάτων σε μία οπτική ίνα και στη συνέχεια την απο-πολυπλεξία του ενδιέμαστος πολυ-σήματος στα αρχικά του.

Καθώς όμως η τεχνολογία εξελίχθηκε αυτές οι δικτυακές συσκευές ανέβηκαν σταδιακά και μία ακόμα λειτουργία, αυτήν της αναγέννησης του οπτικού σήματος (singal regeneration) το οποίο κατά τη διάρκεια της μετάδοσης έχει εξασθενήσει.

Ανάλογα με τον τύπο/ποιότητα της αναγέννησης του σήματος που επιτελούσαν αυτές οι συσκευές, χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες τις οποίες εξετάζουμε παρακάτω:

→**1R (re-transmission)**

Οι wavelength division multiplexers αυτής της κατηγορίας βασικά έκαναν αναμετάδοση. Οι αρχικές συσκευές δεν ήταν σε θέση να κάνουν σημαντικό “καθαρισμό” του σήματος από άσχετες παρεμβολές (“σκουπίδια”) οπότε περιορίζονταν στο να αναμεταδώσουν το σήμα που πήραν.

→**2R (re-time, re-transmission)**

Συσκευές αυτής της τεχνολογίας εστίαζαν κυρίως στις αναλογικές παραμέτρους του σήματος για signal monitoring καθώς σε καθαρισμό του σήματος, πέραν των λειτουργιών που πρόσφεραν οι συσκευές τύπου 1R.

→3R (re-time, re-transmission, re-shape)

Πλήρως ψηφιακές συσκευές που μπορούσαν να ελέγξουν τα bytes του SONET/SDH τμήματος του οπτικού σήματος για να ελέγχουν την ποιότητά του, πέραν της εκτέλεσης των λειτουργιών του προηγούμενων τεχνολογιών.

4.3 Optical Amplifier

Το optical amplifier (οπτικός ενισχυτής) είναι μία συσκευή που ενισχύει το οπτικό σήμα κατευθείαν, χωρίς προηγουμένως να το έχει μετατρέψει σε ηλεκτρικό. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές φυσικές μέθοδοι ενίσχυσης ενός σήματος και κάθε μία από αυτές αντιστοιχεί στο εκάστοτε είδος οπτικού ενισχυτή που εξετάζουμε.

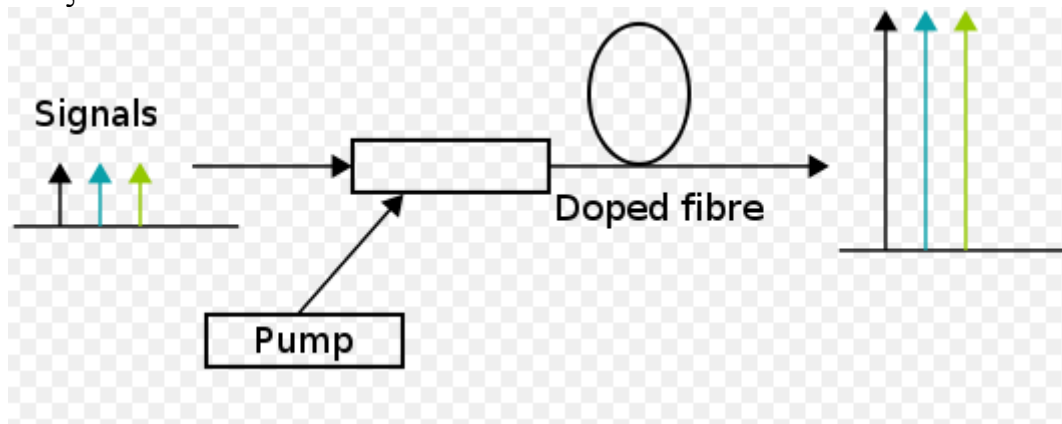
Πιο συγκεκριμένα και για τους σκοπούς αυτής της εργασίας θα εστιάσουμε στους οπτικούς ενισχυτές που χρησιμοποιούνται για να ενισχύσουν ένα σήμα που ταξιδεύει μέσα σε μία οπτική ίνα, μιας και αυτή είναι η περίπτωση στην οποία χρησιμοποιείται η οπτική ενίσχυση στις τηλεπικοινωνίες.

Για την ενίσχυση του οπτικού σήματος που ταξιδεύει στην οπτική ίνα χρησιμοποιούνται “νοθευμένοι ενισχυτές ίνας” (Doped fibre amplifiers ή αλλιώς DFA, οπτικές ίνες στις οποίες υπάρχουν νοθευμένα ιόντα από πριν μέσα τους). Η ακριβής επεξήγηση της λειτουργίας τους ξεφεύγει από τους σκοπούς αυτής της εργασίας, μιας και επαφίεται σε προχωρημένες γνώσεις Φυσικής και ιδιαίτερα γύρω από τον τρόπο συμπεριφοράς των ιόντων, ωστόσο θα εξηγήσουμε τις βασικές αρχές λειτουργίας του DFA για να γίνει κατανοητός, τουλάχιστον ακροθιγώς, ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η ενίσχυση του οπτικού σήματος.

Το αρχικό οπτικό σήμα κατευθύνεται μέσα στην “νοθευμένη” οπτική ίνα στην οποία ταυχρόνα διαχέεται και η έξοδος μίας “αντλίας” laser (laser pump). Και τα δύο πολυπλέκονται εντός της ίνας αυτής. Τότε τα ηλεκτρόνια “ενθουσιάζονται” (excited state, καταγράφουν μεγαλύτερα επίπεδα ενέργειας) και καθώς αλληλεπιδρούν με τα

φωτόνια του αρχικού οπτικού σήματος τα τελευταία πέφτουν σε χαμηλότερα επίπεδα ενέργειας. Η ενέργεια που έχασαν μεταφέρεται στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν νέα φωτόνια, με ίδια φάση, συχνότητα, πόλωση και κατεύθυνση με τα αρχικά φωτόνια, δηλαδή τα φωτόνια του οπτικού σήματος! Με αυτόν τον τρόπο τα νέα φωτόνια εισχωρούν στο αρχικό οπτικό σήμα και το ενισχύουν.

Παρακάτω μπορεί να βρεθεί μία σχηματική αναπαράσταση της παραπάνω διαδικασίας:



Ο τρόπος λειτουργίας του DFB ενισχυτή. Αριστερά, το αρχικό οπτικό σήμα περνά μέσα από την νοθευμένη ίνα, πολυπλέκεται με την έξοδο του laser και τελικά στην έξοδο έχουμε ενισχυμένο το αρχικό οπτικό σήμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

βιβλία:

Τεχνολογία δικτύων επικοινωνιών, Εκδ. Ο.Ε.Δ.Β.

Δημοσιεύσεις:

URLs:

https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_amplifier

https://en.wikipedia.org/wiki/Stimulated_emission

https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_networking

http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_97/journal/vol4/sm27/adv.html

https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_switch

<http://www.preciseley.com/mems-mirror-arrays.html>

https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength-division_multiplexing

http://compnetworking.about.com/cs/internetworking/g/bldef_bridge.htm

<https://www.techopedia.com/definition/3160/bridge>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Bridging_\(networking\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Bridging_(networking))

[https://en.wikipedia.org/wiki/Gateway_\(telecommunications\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Gateway_(telecommunications))

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%8D%CE%BB%CE%B7_%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CF%84%CF%8D%CE%BF%CF%85

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%AD%CE%BB%CE%BF_%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%AC%CF%82_OSI

https://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet_hub

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BB%CE%AE%CE%BC%CE%BD%CE>

[%B7_\(%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF_%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CF%84%CF%8E%CE%BD\)](#)

<http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/48876/passive-hub>

<http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/37455/active-hub>

<http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/45105/intelligent-hub>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Router_\(computing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Router_(computing))

https://en.wikipedia.org/wiki/Core_router

https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_backbone

https://en.wikipedia.org/wiki/Bridge_router

<https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc957844.aspx>

https://en.wikipedia.org/wiki/Network_switch

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AD%CE%B1%CF%82>

https://en.wikipedia.org/wiki/Port_mirroring

[https://en.wikipedia.org/wiki/Duplex_\(telecommunications\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Duplex_(telecommunications))

https://en.wikipedia.org/wiki/Multilayer_switch

<https://www.techopedia.com/definition/8465/multilayer-switch>

https://en.wikipedia.org/wiki/Protocol_data_unit

https://en.wikipedia.org/wiki/Application-specific_integrated_circuit

https://en.wikipedia.org/wiki/Protocol_converter

https://en.wikipedia.org/wiki/Proprietary_protocol

Αναφορές:

Παραδόσεις του μαθήματος “Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης & Διασύνδεση Δικτύων” υπό τη διδασκαλία του κ. Χρήστου Ι. Μπούρα *Πάτρα 2016*

Παλαιότερες Εργασίες:

“Δικτυακές Συσκευές” Σμύρνη Παρασκευή - Χρονοπούλου Αντωνία *Πάτρα 2007*

“Δικτυακές Συσκευές” Βασιλόπουλος Γρηγόρης - Μιχαλόπουλος Νίκος *Πάτρα 2007*

“Δικτυακές Συσκευές” Ρουμελιώτης Αριστείδης - Λιάμης Παναγιώτης *Πάτρα 2008*

“Δικτυακές Συσκευές” Μαυροειδής Θεμιστοκλής – Μήλιος Κωνσταντίνος – Πέττας Απόστολος *Πάτρα 2005*

“Δικτυακές Συσκευές” Ραμαντάς Κωνσταντίνος – Φαλιάγκα Ευανθία *Πάτρα 2004*

Πρότυπα:

Εικόνες:

"Doped fibre amplifier" by User:Wykis - Own work. Licensed under Public Domain via Commons -

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Doped_fibre_amplifier.svg#/media/File:Doped_fibre_amplifier.svg

<http://www.lightech.net/prodOpticalSWLinear.htm>

<https://hubtechinsider.wordpress.com/2009/04/24/whats-the-difference-between-a-first-generation-and-a-second-generation-optical-switch/>

<http://www.preciseley.com/mems-mirror-arrays.html>

"Optical Metro-5200" by PassportDude at the English language Wikipedia. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Optical_Metro-5200.jpg#/media/File:Optical_Metro-5200.jpg

"WDM operating principle" by Xens - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons -

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WDM_operating_principle.svg#/media/File:WDM_operating_principle.svg

"Singlemode fibre structure" by Original by Bob Mellish, SVG derivative by Benchill - derivative work by uploader. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons -

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Singlemode_fibre_structure.svg#/media/File:Singlemode_fibre_structure.svg

"MultimodeFiber" by Hhedeshian - Own work. Licensed under CC BY 3.0 via Commons - <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MultimodeFiber.JPG#/media/File:MultimodeFiber.JPG>

"Network Bridging" by Crvincenzi - MS Powerpoint. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons -
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Network_Bridging.png#/media/File:Network_Bridging.png

<https://hullspeed.com/lan-access-new-products/encrypted-ethernet-bridge-device-143.html>

"4 port netgear ethernet hub". Licensed under Public Domain via Commons -
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:4_port_netgear_ethernet_hub.jpg#/media/File:4_port_netgear_ethernet_hub.jpg

<http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/45105/intelligent-hub> (*Image courtesy of Cabletron Systems, Inc.*)

"Adsl connections" by Asim18 - Photographed by myself (Asim18). Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons -
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Adsl_connections.jpg#/media/File:Adsl_connections.jpg

"Cisco-rs1". Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons -
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cisco-rs1.jpg#/media/File:Cisco-rs1.jpg>

<http://www.morecomputers.com/product.aspx?pn=NS-5GT-115-A&man=Juniper>

"2550T-PWR-Front" by Geek2003 - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons -
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2550T-PWR-Front.jpg#/media/File:2550T-PWR-Front.jpg>

"Siemens ESM TP80" by Mixabest - Own work. Licensed under Public Domain via Commons -
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Siemens_ESM_TP80.JPG#/media/File:Siemens_ESM_TP80.JPG

"5600-Stack-Front-Avaya HiRes" by Geek2003 - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:5600-Stack-Front-Avaya_HiRes.jpg#/media/File:5600-Stack-Front-Avaya_HiRes.jpg

"SSDTR-ASIC technology" by LiveWireInnovation - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SSDTR-ASIC_technology.jpg#/media/File:SSDTR-ASIC_technology.jpg

"Pdu and sdu" by Mik81 - self-made en:Inkscape. Licensed under Public Domain via Commons -
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pdu_and_sdu.svg#/media/File:Pdu_and_sdu.svg