



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ**

*ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ*

*ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ*

---

---

*FIBER TO THE HOME*

---

---

**ΒΛΑΧΟΣΠΥΡΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ**

**A.M 1047058**

**ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2019**



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

---

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	I
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....	III
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>1</b>
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	1
1.2 ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	5
1.3 ΟΠΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΕΣ ΎΠΕΣ.....	7
1.3.1 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΙΝΑΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΧΑΛΚΟ .....	10
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: FIBER TO THE X.....</b>	<b>12</b>
2.1 FTTN-FTTC-FTTB.....	12
2.2 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΕ ΚΟΣΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΤΑΧΥΤΗΤΑ .....	16
2.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	18
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: FIBER TO THE HOME.....</b>	<b>20</b>
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	20
3.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΟΡΟΥ FTTH.....	21
3.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ FTTH.....	22

<b>3.2.1 FTTH ACTIVE STAR NETWORK .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.2 FTTH PON: PASSIVE OPTICAL NETWORK .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.3 TRIPLE PLAY SYSTEMS.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2.4 POWERING FTTH.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ .....</b>	<b>26</b>
<b>ΕΠΙΛΟΓΟΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>29</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>31</b>

# ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

---

---

FTTx	Fiber to the x
FTTH	Fiber to the home
FTTN	Fiber to the node
FTTC	Fiber to the curb
FTTB	Fiber to the building
UTP	Unshielded twisted pair
STP	Shielded Twisted Pair
WAN	Wide area network
LAN	Local area network
WDM	Wavelength-division multiplexing
TDM	time division multiplexing
PON	passive optical network
MPLS	Multiprotocol Label Switching
ATM	Asynchronous Transfer Mode



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

---

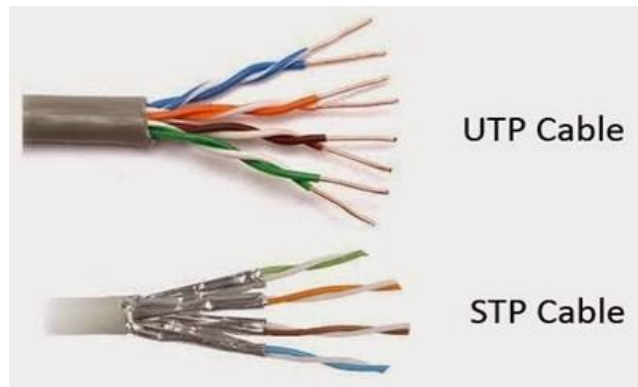
## 1.1 Ιστορική Αναδρομή



Εικόνα 1 Optical Network [1]

Τα μέσα μετάδοσης (συχνά αναφέρονται στη βιβλιογραφία και ως φυσικά μέσα) που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση συσκευών και για τη δημιουργία ενός δικτύου υπολογιστών είναι το ηλεκτρικό καλώδιο, οι οπτικές ίνες και τα ραδιοκύματα. Στο μοντέλο OSI, αυτά ορίζονται στα στρώματα 1 και 2 - το φυσικό στρώμα και το στρώμα διασύνδεσης δεδομένων. Τα φυσικά μέσα αναφέρονται στα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση πληροφοριών στις επικοινωνίες δεδομένων. Αυτά τα φυσικά μέσα είναι αντικείμενα κατασκευασμένα από υλικά όπως χαλκό ή γυαλί. Μπορούν να αγγιχτούν και να αισθανθούν, και έχουν φυσικές ιδιότητες όπως το βάρος και το χρώμα. [2] Για αρκετά χρόνια, ο χαλκός και το γυαλί ήταν τα μόνα μέσα που χρησιμοποιούνται στη δικτύωση υπολογιστών. Στην συνέχεια θα αναλύσουμε τα μέσα μετάδοσης που συνεχίζουν μέχρι και σήμερα να χρησιμοποιούνται και θα δούμε πως φτάσαμε στην χρήση των οπτικών ινών.[3]

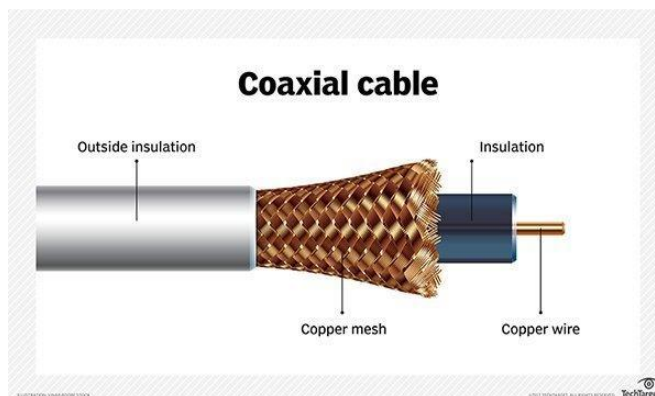
- Copper wire : Το σύρμα από χαλκο είναι σήμερα ο συνηθέστερα χρησιμοποιούμενος τύπος φυσικών μέσων λόγω της αφθονίας του χαλκού στον κόσμο, καθώς και της ικανότητάς του να είναι αγωγός της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο χαλκός είναι επίσης ένα από τα φθηνότερα μέταλλα καθιστώντας έτσι πιο εφικτή τη χρήση του. Τα περισσότερα καλώδια από χαλκό που χρησιμοποιούνται στις επικοινωνίες δεδομένων σήμερα έχουν οκτώ κλώσματα χαλκού, οργανωμένα σε συνεστραμμένα ζεύγη ή UTP. Τα καλώδια στρεβλώνουν το ένα το άλλο επειδή μειώνουν τις ηλεκτρικές παρεμβολές από εξωτερικές πηγές. Εκτός από το UTP, μερικά καλώδια χρησιμοποιούν θωρακισμένα συνεστραμμένα ζεύγη (STP), τα οποία μειώνουν περαιτέρω τις ηλεκτρικές παρεμβολές. Ο τρόπος που τα σύρματα χαλκού περιστρέφονται το ένα γύρω από το άλλο έχει επίσης επίδραση στα ποσοστά δεδομένων που το καθένα μεταφέρει. Το καλώδιο κατηγορίας 3 (Cat3) έχει τρεις έως τέσσερις στροφές ανά πόδι και μπορεί να υποστηρίζει ταχύτητες 10 Mbit / s. Το καλώδιο κατηγορίας 5 (Cat5) είναι νεότερο και έχει τρία έως τέσσερα στροφές ανά ίντσα, με αποτέλεσμα μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 100 Mbit / s. Επιπλέον, υπάρχουν καλώδια κατηγορίας 5e (Cat5e) που μπορούν να υποστηρίξουν ταχύτητες έως και 1.000 Mbit / s, και πιο πρόσφατα, καλώδια κατηγορίας 6 (Cat6), τα οποία υποστηρίζουν ταχύτητες δεδομένων μέχρι 10.000 Mbit / s (ή 10 Gbit / s). Κατά μέσο όρο, το σύρμα χαλκού κοστίζει περίπου \$ 1 ανά μετρώ.[4][5]





- Coaxial cables (Ομοαξονικά καλώδια) : Τα ομοαξονικά καλώδια έχουν δύο διαφορετικά στρώματα που περιβάλλουν έναν πυρήνα χαλκού. Το πιο εσωτερικό στρώμα έχει μονωτικό υλικό. Το επόμενο στρώμα έχει μια αγωγίμη ασπίδα. Αυτά καλύπτονται και τα δύο από ένα πλαστικό περίβλημα. Τα ομοαξονικά καλώδια χρησιμοποιούνται για μικροκύματα, τηλεοράσεις και υπολογιστές. Αυτό ήταν το δεύτερο μέσο μετάδοσης που εισήχθη μετρά τα καλώδια συνεστραμμένου ζεύγους, γύρω στα μέσα της δεκαετίας του 1920. Στο κέντρο ενός ομοαξονικού καλωδίου υπάρχει ένα σύρμα χαλκού που λειτουργεί ως αγωγός, όπου οι πληροφορίες ταξιδεύουν μέσω αυτού. Το σύρμα χαλκού στο ομοαξονικό καλώδιο είναι παχύτερο από αυτό στο

συνεστραμμένο ζεύγος και επίσης δεν επηρεάζεται από τα περιβάλλοντα καλώδια που συμβάλλουν στις



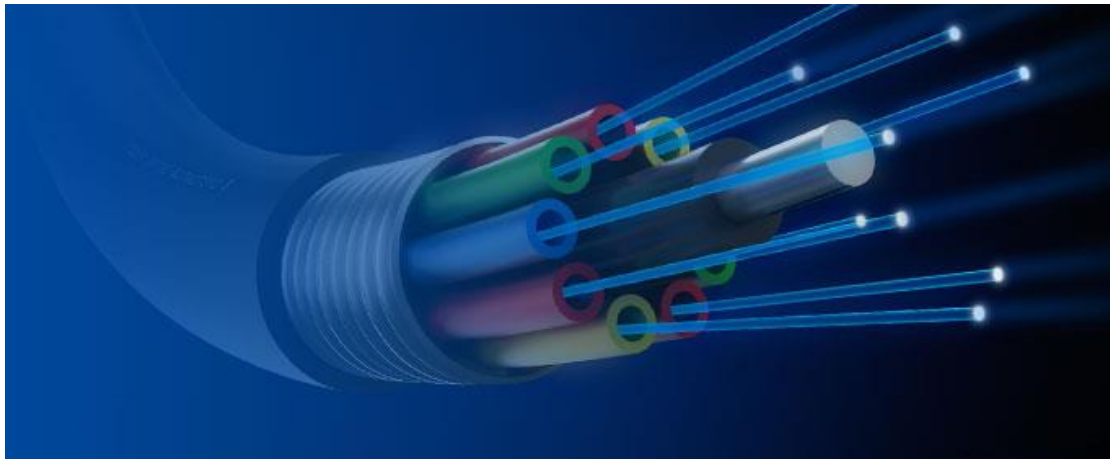
ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, ώστε να μπορεί να παρέχει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης από το συνεστραμμένο ζεύγος. Ο κεντρικός αγωγός περιβάλλεται από πλαστική μόνωση, η οποία βοηθά στη διήθηση εξωτερικών παρεμβολών. Αυτή η μόνωση καλύπτεται από μια διαδρομή επιστροφής, η οποία συνήθως είναι προστατευμένη από χαλκό ή θωράκιση από αλουμινόχαρτο. Τα εξωτερικά στρωματά σχηματίζουν ένα προστατευτικό κάλυμμα για το ομοαξονικό καλώδιο, ο αριθμός και ο τύπος των εξωτερικών στρωμάτων εξαρτάται από την προβλεπόμενη χρήση του καλωδίου (π.χ. περισσότερα στρωματά έχουμε εάν το καλώδιο υποτίθεται ότι είναι κρεμασμένο στον αέρα ή στο υπόγειο, εάν απαιτείται προστασία τρωκτικών). Οι δύο πιο δημοφιλείς τύποι ομοαξονικής καλωδίωσης χρησιμοποιούνται σε δίκτυα Ethernet. Το Thinnet χρησιμοποιείται σε δίκτυα Ethernet 10BASE2 και είναι το λεπτότερο και πιο ευέλικτο από τα δύο. Το Thinnet είναι μέρος της οικογένειας καλωδίων RG-58 με μέγιστο μήκος καλωδίου 185 μέτρα και ταχύτητες μετάδοσης 10 Mbit / s. Η ομοαξονική καλωδίωση Thicknet χρησιμοποιείται σε δίκτυα Ethernet

10BASE5, έχει μέγιστο μήκος καλωδίου 500 μέτρα και ταχύτητες μετάδοσης 10 Mbit / s. Είναι ακριβό και δεν χρησιμοποιείται συνήθως, αν και αρχικά χρησιμοποιήθηκε για απευθείας σύνδεση υπολογιστών. Ο υπολογιστής είναι συνδεδεμένος στον πομποδέκτη στο καλώδιο από τη διεπαφή της μονάδας προσάρτησης της κάρτας δικτύου χρησιμοποιώντας ένα καλώδιο ρίψης. Οι μέγιστοι κόμβοι πυκνότητας είναι 100 σε ένα τμήμα. Το ένα άκρο κάθε καλωδίου είναι γειωμένο. [4]

Με την τεχνολογία να εξελίσσεται άρχισε σιγά σιγά να μπαίνει στην αγορά και η οπτική ίνα η οποία στην πρόωμη μορφή της ήταν αρκετά πιο ακριβή και ασύμφορη. Όμως η πρόοδος και η απαίτηση για κάτι καινούργιο ώστε να καλυφθούν οι τεράστιοι όγκοι σε δεδομένα και οι απαιτήσεις σε ταχύτητα κατάφεραν να πείσουν τους πάροχους ότι ήταν απαραίτητη. Αυτό σε συνδυασμό και με το γεγονός ότι η τιμή της έχει πέσει αισθητά ήταν αρκετά για να αρχίσουν όλα τα δίκτυα να αντικαθιστούν τον χαλκό με γυαλί. Περισσότερα θα δούμε και θα αναλύσουμε στα επόμενα κεφάλαια. Με την τεχνολογία να αλλάζει διαρκώς, υπάρχει μια συζήτηση για το εάν τα φυσικά μέσα είναι ακόμα χρήσιμα και απαραίτητα για έναν όλο και πιο ασύρματο κόσμο. Τα ασύρματα και τα φυσικά μέσα μπορούν στην πραγματικότητα να αλληλοσυμπληρώνονται και τα φυσικά μέσα να έχουν και αυτά σημασία, σε μια κοινωνία που κυριαρχείται από την ασύρματη τεχνολογία. Ωστόσο, άλλες απόψεις θεωρούν τα φυσικά μέσα είναι μια νεκρή τεχνολογία που τελικά θα εξαφανιστεί.[4][5]

## 1.2 Οπτικά δίκτυα

Ένα οπτικό δίκτυο είναι ένας τύπος δικτύου επικοινωνίας δεδομένων που έχει κατασκευαστεί με βάση την τεχνολογία των οπτικών ινών. Χρησιμοποιεί καλώδια οπτικών ινών ως το κύριο μέσο επικοινωνίας για τη μετατροπή δεδομένων και τη διαβίβαση δεδομένων ως παλμών μεταξύ κόμβων αποστολέα και δέκτη. Ένα οπτικό δίκτυο είναι επίσης γνωστό και ως δίκτυο οπτικών ινών ή φωτονικό δίκτυο.



Εικόνα 2 Fiber [18]

Η οπτική τεχνολογία είναι ένα μέσο επικοινωνίας που χρησιμοποιεί δεδομένα που κωδικοποιούνται στο φως για τη μετάδοση τους μεταξύ διαφόρων κόμβων ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου. Λειτουργούν από το μικρό σε εύρος δίκτυο (LAN) ή μέσω ενός πολύ μεγαλύτερου δικτύου ευρείας περιοχής (WAN), το οποίο μπορεί να διασχίσει μητροπολιτικές και περιφερειακές περιοχές μέχρι τις εθνικές, διεθνείς και υπερωκεάνιες παγκόσμιες αποστάσεις. Η βάση της οπτικής τεχνολογίας βασίζεται σε οπτικούς ενισχυτές, λέιζερ ή LED και στην πολυπλεξία διαίρεσης κυμάτων (WDM) για τη μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων, γενικά μέσω καλωδίων οπτικών ινών. Επειδή είναι σε θέση να επιτύχει εξαιρετικά υψηλό εύρος ζώνης, είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει στο διαδίκτυο και στα δίκτυα επικοινωνίας να εξυπηρετούν της πολύ μεγάλες ανάγκες που υπάρχουν σήμερα καθώς και να μεταδίδουν τη συντριπτική πλειοψηφία όλων των πληροφοριών του ανθρώπου.[6]

Ίσως ο σημαντικότερος παράγοντας που έχει κάνει τα οπτικά δίκτυα υψηλής χωρητικότητας να γνωρίσουν τέτοια αξιοσημείωτη ανάπτυξη τις δύο τελευταίες δεκαετίες, είναι το γεγονός ότι παρέχουν εύρος ζώνης το οποίο δεν είναι δυνατόν να προσεγγιστεί από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία μετάδοσης. Ένας άλλος παράγοντας που ήταν καταλυτικός στην ανάπτυξη των οπτικών δικτύων είναι η αύξηση της

κίνησης που διακινείται στο Διαδίκτυο και τον Παγκόσμιο Ιστό σε επίπεδο μεγέθους των δεδομένων καθώς και λόγω της αύξησης του τελικού αριθμού χρηστών, αλλά και της αύξησης του εύρους ζώνης που παρέχεται σε κάθε χρήστη. Συγκεκριμένα, η κίνηση στο Διαδίκτυο διπλασιάζεται κάθε έξι μήνες, καθώς ευρυζωνικές συνδέσεις DSL παρέχουν εύρος ζώνης μεγαλύτερο από 1 Mbps ανά χρήστη, σε σύγκριση με τα 56 και 128 Kbps που παρέχονται παραδοσιακά από PSTN και ISDN συνδέσεις.[7] Τυπικές εταιρικές συνδέσεις κυμαίνονται σε επίπεδο δεκάδων ή και εκατοντάδων Mbps. Τέλος, πέραν του ιδιαίτερος αυξημένου εύρους ζώνης που παρέχουν, αυτό που άλλαξε και τα κάνει όλο και πιο περιζήτητα είναι το γεγονός ότι η πρόοδος της τεχνολογίας και οι ιδιότητες τους τα κάνουν να αποτελούν την οικονομικότερη επιλογή «ενσύρματης» επικοινωνίας, τόσο όσον αφορά το δίκτυο κορμού (backbone), όσο και το δίκτυο διανομής. Στα πρώτα οπτικά δίκτυα (δίκτυα πρώτης γενιάς) η οπτική τεχνολογία χρησιμοποιούνταν μόνο στη μετάδοση των δεδομένων, οι υπόλοιπες λειτουργίες του δικτύου (όπως δρομολόγησης και ευφυείς λειτουργίες) γίνονταν ηλεκτρονικά. Καθώς όμως οι ταχύτητες μετάδοσης που επιτύγχανε η οπτική τεχνολογία αυξήθηκαν σε δεκάδες Gbps ανά κανάλι, οι χρόνοι εκτέλεσης των παραπάνω λειτουργιών περιορίστηκαν σε μερικές δεκάδες ή εκατοντάδες ns η μετατροπή του σήματος από οπτικό σε ηλεκτρονικό και ξανά το αντίστροφο ήταν πάρα πολύ κοστοβόρο και σε χρόνο και σε εξοπλισμό με αποτελέσματα να κάνει τα δίκτυα αυτά ασύμφορα. Πλέον, εγκαθίστανται οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς, ή δίκτυα δρομολόγησης μήκους κύματος, στα οποία τμήμα των διαδικασιών δρομολόγησης, μεταγωγής λαμβάνουν χώρα στο οπτικό επίπεδο γλιτώνοντας έτσι κάθε μορφή μετατροπής και εξοικονομώντας χρόνο και χρήμα.. Σημαντικό θέμα, αποτελεί το γεγονός ότι τα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς παρέχουν οπτικά μονοπάτια, συνεπώς είναι κατά βάση δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος. Βασικό μειονέκτημα της μεταγωγής κυκλώματος αποτελεί η μη ικανότητα των δικτύων αυτών για αποδοτικής μετάδοσης εκρηκτικής κίνησης, δηλαδή κίνηση η οποία δεν παρουσιάζει σταθερό ρυθμό και κατά διαστήματα μπορεί να είναι πολύ μεγάλη η πολύ μικρή. Η εκρηκτική κίνηση οδηγεί σε απώλεια πληροφορίας, όταν για παράδειγμα παράγεται περισσότερη κίνηση από όση είναι δυνατόν να ικανοποιήσει το οπτικό μονοπάτι, ενώ δεν αξιοποιεί πλήρως το παρεχόμενο εύρος ζώνης σε περιόδους που η παραγόμενη κίνηση κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα.. Επιπλέον, παρέχει τη δυνατότητα της μελλοντικής λειτουργίας του δικτύου ακόμα και αν

αλλάζουν τα πρωτόκολλα ή οι ρυθμοί μετάδοσης, χωρίς να είναι αναγκαία η ριζική αναβάθμιση.[6][7][11]

### **1.3 Οπτική τεχνολογία και Οπτικές Ίνες**

Η οπτική τεχνολογία αποτελεί την καλύτερη τεχνολογική λύση, τόσο από πλευράς παρεχόμενου εύρους όσο και από πλευράς κόστους, για την υλοποίηση ενσύρματων δικτύων. Ο βασικός παράγοντας της ευρυζωνικότητας που παρέχει η οπτική τεχνολογία είναι το φυσικό μέσο μετάδοσης, δηλαδή οι οπτικές ίνες. Παράλληλα, οι οπτικές ίνες δεν εμφανίζουν ευαισθησία σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, και κατά συνέπεια τα δίκτυα που τις χρησιμοποιούν δεν επηρεάζονται από την παρουσία άλλων ενσύρματων ή ασύρματων δικτύων. Πέραν των οπτικών ινών, στη διάδοση της οπτικής τεχνολογίας συντέλεσε η ανάπτυξη κατάλληλων δομικών στοιχείων όπως οπτικοί πομποί και ενισχυτές, αλλά και η ανάπτυξη της τεχνολογίας πολυπλεξίας μήκους κύματος.[11]

Εκτός από την εξέλιξη των οπτικών ινών, η αύξηση των ρυθμών μετάδοσης στα οπτικά δίκτυα επιτεύχθηκε και χάρη στην υλοποίηση κατάλληλων οπτικών πομπών. Οι πρώτοι οπτικοί πομποί που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα Light Emitting Diodes – LEDs, τα οποία παρήγαγαν οπτικούς παλμούς μέσω της διαμόρφωσης του ρεύματός τους. Βασικό μειονέκτημα των LEDs αποτελεί η χαμηλή οπτική ισχύς που παράγουν, οπότε σύντομα αντικαταστάθηκαν από διοδικά lasers. Τα πρώτα διοδικά lasers κατάφεραν και είχαν μεγαλύτερη οπτική ισχύ από τα LED, αλλά δημιουργούσαν παλμούς με μεγάλο φασματικό εύρος, το οποίο σε συνδυασμό με τη χρωματική διασπορά της ίνας προκαλούσε σημαντική αύξηση στους οπτικούς παλμούς. Η εξέλιξη των διοδικών lasers κατανεμημένης ανάδρασης (Distributed Feedback Lasers - DFBs) επέτρεψε τη μείωση του φασματικού τους εύρους των παραγόμενων οπτικών παλμών, και συνεπώς οδήγούσε στο ελάχιστο την επίδραση της χρωματικής διασποράς. Ο ρυθμός μετάδοσης, όμως, που είναι δυνατόν να επιτευχθεί σε DFBs με διαμόρφωση του ρεύματός τους περιορίζεται σε μερικά Gbps ρυθμός μικρότερος από ότι σε προηγούμενες τεχνολογίες. Η εξέλιξη των οπτικών πομπών στη σημερινή τους μορφή έγινε με διαχωρισμό της λειτουργίας παραγωγής του οπτικού σήματος από τη λειτουργία διαμόρφωσής του. Στους σημερινούς πομπούς, τα DFBs αποτελούν τους ταλαντωτές ακριβείας για την παραγωγή του οπτικού σήματος, ενώ η διαμόρφωση του οπτικού σήματος από τα ηλεκτρικά

δεδομένα γίνεται σε εξωτερικούς ηλεκτρο-οπτικούς διαμορφωτές, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα λειτουργίας σε ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 10-40 Gbps.[6]

Τα πρώτα οπτικά συστήματα χρησιμοποιούσαν για την μετάδοση της απαιτούμενης πληροφορίας πολυρρυθμικές ίνες. Οι πολυρρυθμικές ίνες έχουν στα χαρακτηριστικά τους μεγάλη διατομή πυρήνα (50-85  $\mu\text{m}$ ) και συνεπώς οι διαδιδόμενες οπτικές ακτίνες έχουν τη δυνατότητα να ακολουθήσουν πέραν της μίας διαδρομής, ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης μέσω της οποίας διαδίδονται. Κάθε διαδρομή μπορούμε αν την πούμε και τρόπο μετάδοσης και αντιστοιχεί μια σε κάθε διαφορετικό μήκος διάδοσης. Σαν αποτέλεσμα των παραπάνω, δύο ακτίνες που ανήκουν στον ίδιο οπτικό παλμό είναι δυνατόν να ακολουθήσουν διαφορετικές διαδρομές και να διανύσουν διαφορετικό μήκος στην ίνα, οπότε και να φθάσουν στην έξοδό της σε διαφορετικούς χρόνους. Το παραπάνω φαινόμενο προκαλεί χρονική διεύρυνση (διασπορά) των οπτικών παλμών, και καλείται διασπορά τρόπων διάδοσης. Η διασπορά τρόπων διάδοσης μπορεί να αυξηθεί με την αύξηση του διαλυόμενου μήκους ίνας, ενώ για σταθερό μήκος ίνας περιορίζει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης (ελάχιστη χρονική απόσταση μεταξύ παλμών). Έτσι το πλεονέκτημα της ίνας αυτής είναι το γεγονός ότι μπορούμε ανάλογα με τα ποσά μήκη κύματος υποστηρίζει να περνάμε και τόσες διαφορετικές πληροφορίες. Μια τέτοια ίνα πχ με 7 μήκη κύματος είναι σαν να έχουμε 7 διαφορετικά καλώδια μετάδοσης. Βέβαια έχει και τα μειονεκτήματα που υποθηκών και παραπάνω με αποτέλεσμα, η μετάδοση πάνω από πολυρρυθμικές ίνες περιορίζεται σε λίγα χιλιόμετρα και ρυθμούς μετάδοσης που δεν υπερβαίνουν τις εκατοντάδες Mbps. Η σμίκρυνση της διατομής του πυρήνα της ίνας σε 8-10  $\mu\text{m}$  εξαλείφει το φαινόμενο της διασποράς τρόπων διάδοσης, καθώς οι οπτικές ακτίνες έχουν τη δυνατότητα να ακολουθήσουν μία μόνο οπτική διαδρομή. Καθώς υπάρχει μοναδική διαδρομή διάδοσης, οι παραπάνω ίνες καλούνται μονορρυθμικές. Οι μονορρυθμικές ίνες δίνουν τη δυνατότητα σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις, οι οποίες πλέον το μόνο που τις περιορίζει φαίνεται να είναι φαινόμενα όπως η εξασθένηση (στην περιοχή των 1.3  $\mu\text{m}$ ) και η χρωματική διασπορά (στην περιοχή 1.55  $\mu\text{m}$ ). Η χρωματική διασπορά οφείλεται στην εξάρτηση του δείκτη διάθλασης από τη συχνότητα, οπότε οι διάφορες συχνότητες που συνιστούν τον οπτικό παλμό διαδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες. Τελικό αποτέλεσμα, όπως και στην περίπτωση της διασποράς τρόπων μετάδοσης, είναι η χρονική διεύρυνση του οπτικού παλμού. Το φαινόμενο, όμως, της χρωματικής διασποράς καθιστά δυνατή

την οπτική μετάδοση σε ρυθμούς μερικών Gbps για εκατοντάδες χιλιόμετρα. Επιπλέον, με χρήση κατάλληλων ινών αντιστάθμισης της χρωματικής διασποράς και οπτικών ενισχυτών η απόσταση μετάδοσης αυξάνει σε χιλιάδες χιλιόμετρα.[11]

Το πρόβλημα που μένει δηλαδή αυτό της εξασθένησης των οπτικών ινών μετρά την πάροδο κάποιων χιλιομέτρων λύθηκε με την υλοποίηση οπτικών ενισχυτών ίνας με προσμίξεις σπάνιων γαιών. Ανάλογα με τη σπάνια γαία η οποία προσμειγνύεται στην ίνα είναι δυνατόν να ενισχυθεί οπτικό σήμα το οποίο ανήκει στην S-, C- η L-Band. Οι ενισχυτές σπάνιων γαιών δίνουν τη δυνατότητα ταυτόχρονης ενίσχυσης πολλαπλών καναλιών, γεγονός το οποίο συντέλεσε καίρια στην ανάπτυξη συστημάτων πολυπλεγμένων κατά WDM. Μέχρι αυτή τη στιγμή, έχουν υλοποιηθεί WDM συστήματα με συνολικό ρυθμό μετάδοσης που υπερβαίνει το 1 Tbps και σε αποστάσεις οι οποίες προσεγγίζουν μερικές χιλιάδες χιλιόμετρα. Η πλήρης αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης των οπτικών ινών γίνεται με την πολυπλεξία μήκους κύματος (wavelength division multiplexing-WDM). Η πολυπλεξία WDM αντιστοιχεί στην κλασσική πολυπλεξία συχνότητας (frequency division multiplexing-FDM), όμως αντί για μια συγκεκριμένη συχνότητα ανατίθεται ένα μήκος κύματος  $\lambda$  που έχει το φως σε κάθε οπτικό κανάλι. Τα σημερινά οπτικά συστήματα χρησιμοποιούν την περιοχή των 1.55  $\mu\text{m}$  (193.1 THz) για δύο κυρίως λόγους:

- Ο πρώτος είναι ότι η εξασθένηση των οπτικών ινών είναι η ελάχιστη
- Ενώ ο δεύτερος είναι ότι ιδεί υπάρχουν εμπορικά διαθέσιμες τεχνολογίες ενισχυτών (π.χ. ενισχυτές με προσμίξεις ερίου), στη συγκεκριμένη περιοχή.

Πάντως, υπάρχει τάση για μείωση της απόστασης μεταξύ καναλιών, άρα και αύξηση του συνολικού αριθμού διαθέσιμων καναλιών, σε 25 GHz. Περαιτέρω, η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών οπτικών ενισχυτών με προσμίξεις σπάνιων γαιών δίνει τη δυνατότητα της αξιοποίησης επιπλέον περιοχών, πλην αυτής των 1.55  $\mu\text{m}$  (**Center-Band** 1530-1565 nm). [11]

### 1.3.1 Διαφορές ίνας από τον χαλκό

Αφού έχουμε δει πλέον και τι σημαίνει οπτικό δίκτυο και τι πλεονεκτήματα έχει καθώς και τα συστατικά του στοιχεία, στον παρακάτω πίνακα παραθέτουμε με ένα σύντομο και συνοπτικό τρόπο τι έχουμε τελικά κερδίσει από την χρήση της ίνας και γιατί πλέον όλα τα δίκτυα χαλκού τείνουν να αντικατασταθούν από ίνα από την αρχή τους μέχρι τον τελικό χρήστη.[8]

Καθώς οι ίνες καθίστανται όλο και πιο παρούσες, οι τιμές τους μειώνονται σταθερά - καθιστώντας τες βιώσιμες και προτιμώμενες από οικονομικής άποψης καθώς και από τεχνολογικής. Υπάρχουν τρεις καθοριστικοί λόγοι για την επιλογή της ίνας σε σχέση με οποίο άλλο ενσύρματο μέσο και αυτοί αναλύονται παρακάτω :

- Μεγαλύτερη απόσταση χωρίς υποβάθμιση-απειλή καθυστέρησης σε μεγάλες αποστάσεις, η ίνα είναι η επιλογή για ταχύτητα και αξιοπιστία σε δίκτυα που τείνουν να καλύψουν μικρές αποστεώσεις η υπερατλαντικές. Η υποβάθμιση του σήματος είναι σημαντικά μικρότερη σε ένα δίκτυο οπτικών ινών - περίπου 5dB / k - που σημαίνει ότι απαιτείται λιγότερη ενέργεια κατά τη διάρκεια της μετάδοσης. Εξαιτίας αυτού, μειώνεται επίσης η ισχύς που απαιτείται για την εισαγωγή σημάτων εντός του δικτύου, με αποτέλεσμα το χαμηλότερο συνολικό κόστος μετάδοσης.
- Υψηλότερη χωρητικότητα : η ίνα είναι πολύ πιο γρήγορη όταν πρόκειται για ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων σε όλο το δίκτυο, καθιστώντας το κατάλληλο μέσο μετάδοσης για δεδομένα μεταξύ των κέντρων δεδομένων των παροχών, δίκτυα μεγάλα και δίκτυα που απαιτούν αυξημένη ασφάλεια και αναισθησία στις ηλεκτρικές παρεμβολές. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς η υιοθέτηση εφαρμογών cloud αυξάνεται και οι γρήγοροι χρόνοι απόκρισης του μεταφράζονται σε μεγαλύτερη απόδοση γενικά στο σύστημα και ορθότερη και πιο επικερδής επένδυση .
- Χωρίς παρεμβολές: Σε αντίθεση με το χαλκό, οι ίνες μπορούν να εγκατασταθούν παράλληλα με γραμμές μεταφοράς ρεύματος και άλλα αντικείμενα που προκαλούν παρεμβολές χωρίς απώλεια σήματος ή υποβάθμιση δεδομένων. Αυτό επιτρέπει την εγκατάσταση δικτύων



οπτικών ινών παράλληλα με νέες και υπάρχουσες ηλεκτρικές υποδομές σε μεγάλες και μικρές κλίμακες. Αυτό μειώνει σημαντικά την επέκταση των υποδομών και το κόστος διαχείρισης για τις επιχειρήσεις.

	<b>COPPER</b>	<b>FIBER</b>
<b><i>BANDWIDTH</i></b>	MAX. IS 1 GIGABIT	10 GIGABIT AND CLIMBING
<b><i>FUTURE NEEDS</i></b>	CAT 7 IS STILL BEING DEFINED	VERY EXPANDABLE AND IS EVOLVING
<b><i>DISTANCE</i></b>	100 METERS @ 1000 Mbps	40 km+ @ 10,000 Mbps
<b><i>NOISE</i></b>	Negative response to EMI/RFI and Voltage surges	No Effect
<b><i>SECURITY</i></b>	Easily tapped into	Almost impossible to tap
<b><i>PULL-STRENGTH</i></b>	25 pounds	100-200 pounds

Εικόνα 3 Copper vs Fiber [8]

Οι εταιρείες θα πρέπει επίσης να λάβουν υπόψη ότι η αξιοπιστία του χαλκού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα φυσικά χαρακτηριστικά του καλωδίου. Το ίδιο ισχύει και για την ένταση της γραμμής και τις συσπάσεις κάτι που μπορεί να προκαλέσει απώλεια απόδοσης, σε αντίθεση με την ίνα που έχει τις δικές της προδιαγραφές, αλλά είναι πολύ πιο ευέλικτη.[8]

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: FIBER TO THE X

---

---

## 2.1 FTTN-FTTC-FTTB

Το FTTX ή η fiber to the x είναι ένας γενικός όρος για οποιαδήποτε αρχιτεκτονική ευρυζωνικού δικτύου που χρησιμοποιεί οπτικές ίνες για την παροχή του συνόλου ή μέρους του τοπικού βρόχου που χρησιμοποιείται για τηλεπικοινωνίες τελευταίου μιλίου. Καθώς τα καλώδια οπτικών ινών είναι σε θέση να μεταφέρουν πολύ περισσότερα δεδομένα από τα καλώδια χαλκού, ειδικά σε μεγάλες αποστάσεις, τα χάλκινα τηλεφωνικά δίκτυα που χτίστηκαν τον 20ό αιώνα αντικαθίστανται από ίνες. Το FTTX είναι μια γενίκευση για διάφορες διαμορφώσεις οπτικών ινών, διατεταγμένες σε δύο ομάδες: FTTP / FTTH / FTTB (Fiber τοποθετημένα μέχρι το κτίριο / σπίτι / κτίριο) και FTTC / N καλώδια που ολοκληρώνουν τη σύνδεση). Τα σπίτια που εξυπηρετούνται ήδη από σταθμούς διανομής απαιτούν ένα συνδυασμό μεταξύ κόστους και χωρητικότητας. Όσο πιο κοντά βρίσκεται η κεφαλή των ινών, τόσο υψηλότερο είναι το κόστος κατασκευής και τόσο μεγαλύτερη είναι η χωρητικότητα του καναλιού. Όσο πιο κεντρικά είναι το σημείο που τερματίζει η ίνα τόσο πιο οικονομικό είναι το σχέδιο αλλά και τόσο μικρότερο είναι και το ευρέως ζώνης καθώς η συνέχεια πρέπει να γίνει με χάλκινα μέσα όπως πάντα. [9]

Στην συνέχεια θα δούμε ποιο αναλυτικά τις τεχνικές FTTN,FTTC,FTTB τι σημαίνει το καθένα και σε τι διαφέρει και σε παρακάτω κεφάλαιο θα αναλύσουμε ακόμα καλύτερα τις διαφορές και τα πλεονεκτήματα του. Αρχικά ας δούμε τι είναι και τι σημαίνει το καθένα :

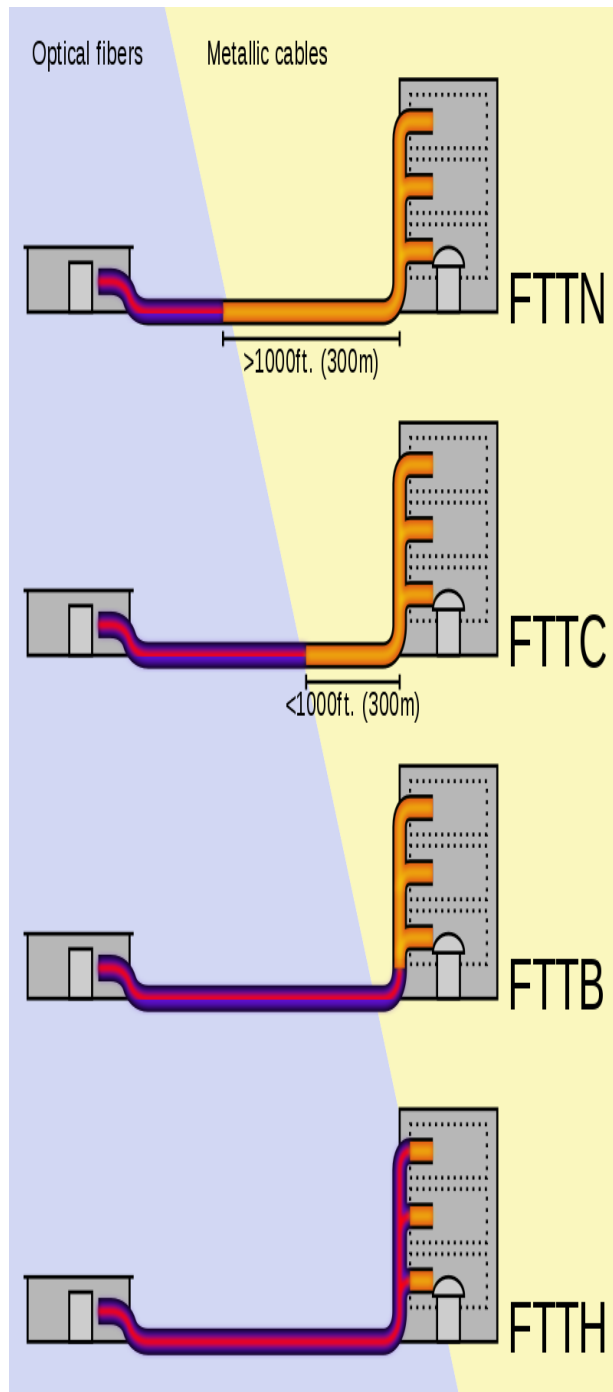
- Fiber to the Node (FTTN) : Το Fiber to the Node (FTTN) είναι μια από τις πολλές επιλογές για την παροχή καλωδιακών τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών σε πολλούς προορισμούς. Το Fttn βοηθά στην παροχή ευρυζωνικής σύνδεσης και άλλων υπηρεσιών δεδομένων μέσω ενός κοινού πλαισίου δικτύου, το οποίο ονομάζεται συχνά κόμβος. Η τεχνική Ίνα προς κόμβο μπορεί επίσης να ονομαστεί και ίνα στην γειτονιά. Ένα από τα κύρια οφέλη της ίνας στον κόμβο και σε

παρόμοια συστήματα είναι η δυνατότητα παροχής δεδομένων μέσω πιο αποδοτικών γραμμών οπτικών ινών, παρά σε άλλες γραμμές με μεγαλύτερους περιορισμούς ταχύτητας. Η υπόλοιπη διαδρομή από τον κόμβο σε έναν μεμονωμένο προορισμό, συχνά αποκαλούμενο "τελευταίο μίλι" (last mile), μπορεί να επιτευχθεί με χάλκινα ή άλλα καλώδια. Τα συστήματα FTTN συχνά χρησιμοποιούν καλώδιο ομοαξονικού ή συνεστραμμένου ζεύγους για να επιτύχουν την παράδοση σε πολλούς πελάτες στο τέλος.

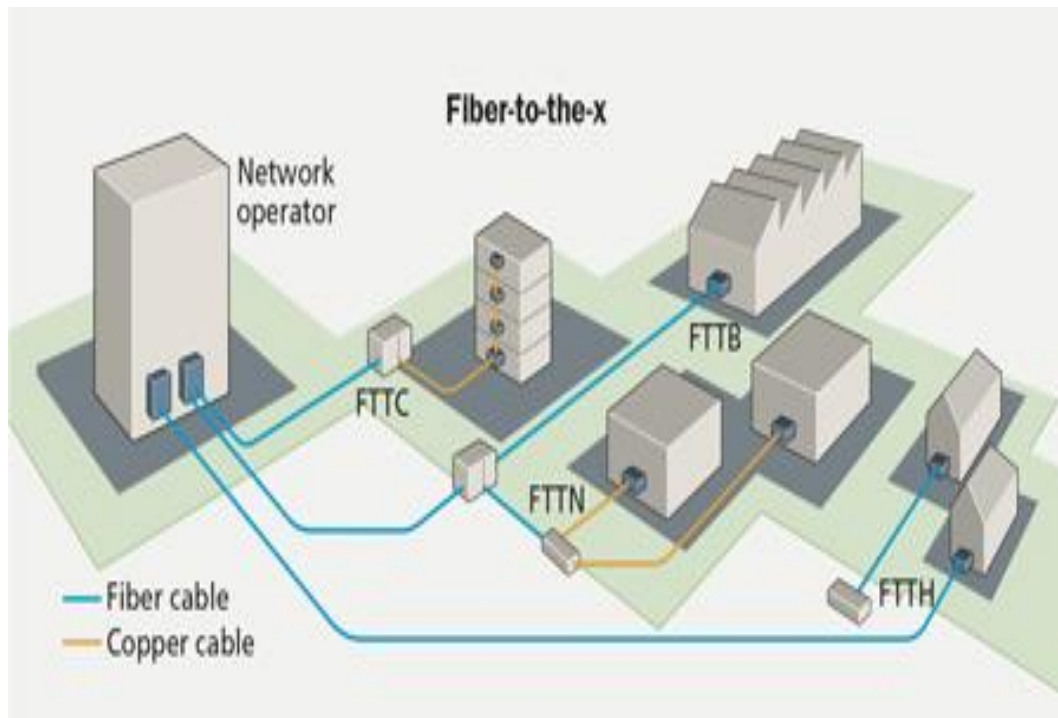
- Fiber to the Curb (FTTC): Η ίνα στο καφάο αναφέρεται στην εγκατάσταση και τη χρήση καλωδίου οπτικών ινών απευθείας σε μέρη κοντά σε σπίτια ή επιχειρήσεις. Το Fiber to the curb είναι σχεδιασμένο για να αντικαταστήσει την απλή παλιά τηλεφωνική υπηρεσία, το ομοαξονικό καλώδιο ή όποιο άλλο μέσο μεταδίδει τα δεδομένα. Το Fiber to the curb χρησιμοποιεί υπάρχουσες υποδομές ομοαξονικών ή συνεστραμμένων ζευγαριών για να παρέχει υπηρεσία τελευταίου μιλίου. Ως εκ τούτου, αυτό το σύστημα είναι φθηνό να χρησιμοποιηθεί. Η βασική ιδέα της τεχνολογίας των οπτικών ινών είναι ότι τα κατάλληλα καλώδια μπορούν να μεταφέρουν σήματα υψηλής ταχύτητας σε μικρές αποστάσεις. Τα ζεύγη συνεστραμμένων συρμάτων ή τα ομοαξονικά καλώδια έχουν αποδεκτή απώλεια εύρους ζώνης ενώ στέλνουν σήματα μόνο μερικές εκατοντάδες πόδια. Το Fiber to the curb είναι ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα βασισμένο σε καλώδια οπτικών ινών που τρέχουν σε πλατφόρμες που εξυπηρετούν πολλούς πελάτες. Οι πελάτες συνδέονται με τις πλατφόρμες μέσω συνεστραμμένων ζευγών ή ομοαξονικών καλωδίων. Το Fiber to the curb επιτρέπει την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών όπως το Internet υψηλής ταχύτητας. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας υψηλής ταχύτητας χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση του σήματος μεταξύ του πελάτη και του θαλάμου. Οι ταχύτητες δεδομένων διαφέρουν ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο και την απόσταση μεταξύ του πελάτη και του γραφείου.

- Fiber to the Building (FTTB) : Το Fiber to the Building (FTTB) είναι ένας τύπος εγκατάστασης καλωδίου οπτικών ινών όπου το καλώδιο οπτικών ινών μεταφέρεται σε ένα σημείο μιας κοινόχρηστης ιδιοκτησίας και η καλωδίωση μέχρι τα ρουτερ παρέχεται από άλλα καλώδια. Οι εφαρμογές FTTB χρησιμοποιούν συχνά ενεργά ή παθητικά οπτικά

δίκτυα για τη διανομή σημάτων μέσω ενός κοινού καλωδίου οπτικών ινών σε μεμονωμένα νοικοκυριά ή γραφεία. Οι ίνες στο κτίριο μπορεί επίσης να είναι γνωστές ως ίνες στο υπόγειο. Οι ρυθμίσεις οπτικών ινών επιτρέπουν υψηλότερες ταχύτητες παράδοσης και μεγαλύτερο εύρος ζώνης σε σχέση με ορισμένες άλλες υποδομές. Μερικά από τα δίκτυα οπτικών ινών που εκπέμπουν σήματα με πιο εξελιγμένο εξοπλισμό μπορούν να επωφεληθούν από



μια σύνδεση πολυρυθμικών ινών, όπου ένα καλώδιο οπτικών ινών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βέλτιστη ταχύτητα στο κτήριο.



Εικόνα 4 Fiber to the X [10]

Και σε αυτή και την προηγούμενη φωτογραφία μπορούμε να δούμε και σχηματικά τι σημαίνει η κάθε τιμή που μπορεί να πάρει το  $X = (N,C,B,H)$ . Βλέπουμε λοιπόν ότι η μεγάλη τους διαφορά είναι η τελική απόσταση από τον χρήστη μέχρι που δηλαδή θα φέρουμε την ίνα με ότι βεβαία αυτό συνεπάγεται καθώς δεν είναι τόσο απλό. Το FTTH που υπάρχει και στα δυο σχήματα θα αναλυθεί σε παρακάτω κεφάλαιο.[9][10]

## 2.2 Διαφορές σε κόστος εξοπλισμό ταχύτητα

Και οι τρεις τύποι συνδέσεων βασίζονται σε καλώδιο οπτικών ινών, αν και μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ίνες, χαλκός και άλλες τεχνολογίες. Το καλώδιο οπτικών ινών χρησιμοποιείται επειδή επιτρέπει γρήγορες μεταφορτώσεις και λήψεις. Ωστόσο, οι ταχύτητες σύνδεσης για το FTTN μπορούν να μειώσουν περαιτέρω τις εγκαταστάσεις που βρίσκονται από τον κόμβο και μετρά.[12]

Ποια είναι λοιπόν καλύτερη;

Παρόλο που όλα παρέχουν ταχύτερη σύνδεση στο διαδίκτυο σε σύγκριση με το ADSL, ίσως είναι χρήσιμο να σκεφτούμε ότι το FTTN είναι κάτι σαν το ADSL, το FTTC ένα βήμα μπροστά από το FTTN και το FTTP είναι η υψηλότερη ποιοτικά σύνδεση αυτών των διαθέσιμων τεχνολογιών. Αν και τα FTTC και FTTP είναι σημαντικά ταχύτερα από το FTTN, το κόστος για τον καταναλωτή για το FTTP και το FTTN είναι σχετικά παρόμοιο και αρκετά μεγαλύτερο από τεχνολογίες FTTN. Όσον αφορά το κόστος εγκατάστασης, το FTTC θα είναι φθηνότερο λόγω της ευκολίας αναβάθμισης της σύνδεσης και της απαιτούμενης μειωμένης υποδομής χαλκού. Δυστυχώς, η προσβασιμότητα σε κάθε έναν από αυτούς τους τύπους σύνδεσης εξαρτάται από το τι έχει παρασχεθεί στην περιοχή και τι ακόμα χρειάζεται.

- Ταχύτητα : Το FTTP θεωρήθηκε η καλύτερη σύνδεση λόγω της ανώτερης ταχύτητάς του. Το FTTP προσφέρει τυπικές ταχύτητες λήψης μέχρι 100Mbps και ταχύτητες upload μέχρι και 40Mbps. Ορισμένες συνδέσεις FTTP μπορούν να επιτύχουν μέχρι 1Gbps για λήψεις και 400Mbps για μεταφορτώσεις. Για λόγους σύγκρισης, το FTTN προσφέρει ταχύτητες περίπου 50Mbps έως 100Mbps. Οι εφικτές ταχύτητες συγχρονισμού ποικίλλουν ανεξάρτητα από την απόσταση που οφείλεται σε πολλούς παράγοντες και περιλαμβάνει την εγγύτητα προς τον κόμβο. Για παράδειγμα, η μέση ταχύτητα για τα περισσότερα από 700 μέτρα σε απόσταση είναι περίπου 25Mbps - 30Mbps. Ωστόσο, με την εισαγωγή του FTTC, αυτοί οι αριθμοί ταχύτητας έχουν αλλάξει δραματικά. Λόγω της απαιτούμενης μικρής ποσότητας χαλκού, μειώνοντας τον κίνδυνο υποβάθμισης της ταχύτητας, οι μελλοντικές αναβαθμίσεις του FTTC θα είναι σε θέση να επιτύχουν ταχύτητες μέχρι 1Gbps ή δέκα φορές πιο γρήγορα από την

τρέχουσα μέγιστη ταχύτητα. Η ταχύτητα σύνδεσης θα ποικίλει επίσης ανάλογα με το επίπεδο ταχύτητας που επιλέγει ο καταναλωτής.

- **Κόστος :** Όλα τα σχέδια συμπεριλαμβανομένων των συνδέσεων FTTN, FTTC και FTTP, ακολουθούν μια παρόμοια δομή τιμολόγησης. Αυτό που αλλάζει είναι ότι όσο πιο κοντά φτάνει στον καταναλωτή η ίνα τόσο ακριβαίνει και η τελική τιμή εγκατάστασης και αυτό γιατί γίνεται πιο πολύπλοκος ο εξοπλισμός και γιατί πρέπει να τοποθετηθούν περισσότερα μετρά ίνας καθώς και να τεθούν εκτός λειτουργίας υπάρχουσες δομές του δικτύου καθώς θα είναι πλέον άχρηστες.
- **Εγκατάσταση :** Ένα βασικό πλεονέκτημα του FTTN μέσω του FTTP είναι ότι είναι πολύ πιο γρήγορη η ανάπτυξη. Χρειάστηκαν δύο χρόνια για την εγκατάσταση του FTTN σε 3,7 εκατομμύρια τοποθεσίες, σε σύγκριση με οκτώ με 10 χρόνια, για να φέρει το FTTP σε 10 εκατομμύρια νοικοκυριά. Το FTTN αναπτύσσεται ταχύτερα από το FTTP επειδή χρησιμοποιεί υπάρχουσες χάλκινες γραμμές και συνεπώς απαιτεί να εγκατασταθεί λιγότερη νέα υποδομή. Το FTTC λέγεται ότι κυκλοφορεί σε πάνω από 200.000 εγκαταστάσεις το 2018 στην Αμερική. Δυστυχώς, οι καταναλωτές δεν έχουν την πολυτέλεια να επιλέξουν τον τρόπο παράδοσης που κυκλοφορεί στην περιοχή τους.
- **Εξοπλισμός :** Και για το FTTN και το FTTB (Fiber to the Building), το κομμάτι του εξοπλισμού που χρειάζεστε είναι ένας δρομολογητής μόντεμ έτοιμος για VDSL2. Για τις συνδέσεις FTTP, Σταθερές ασύρματες και HFC (Υβριδικές ομοαξονικές συνδέσεις), απαιτείται ασύρματος δρομολογητής. Το FTTN τρέχει τα σύρματα χαλκού σας απευθείας στον κόμβο, οπότε δεν θα χρειαστεί να έχετε ένα κιβώτιο εγκατεστημένο στην ιδιοκτησία σας. Θα έχετε επίσης μια συσκευή τερματισμού δικτύου (NTD) εγκατεστημένη σε εσωτερικούς χώρους και μια τροφοδοσία ρεύματος. Για μια σύνδεση FTTC, θα χρειαστείτε μια συσκευή σύνδεσης που είναι εγκατεστημένη και έναν ασύρματο δρομολογητή. Η συσκευή σύνδεσης απαιτεί μια πρίζα καθώς και μια σύνδεση με τηλεφωνική πρίζα μέσω καλωδίου RJ11.

## 2.3 Αρχιτεκτονικές παθητικών οπτικών Δικτύων

Το δίκτυο μεταξύ των κεντρικών γραφείων των παροχών και των καφαο που φτάνουν σε κάθε γειτονιά είναι κατά κύριο λόγο εάν παθητικό οπτικό δίκτυο (Passive Optical Network - PON). Το RN στα παθητικά οπτικά δίκτυα είναι απλώς ένας συζεύκτης αστέρα (star coupler) και τοποθετείται κατευθείαν στο central office (CO). [11] Το καφαο μοιράζονται από κοινού το διαθέσιμο εύρος ζώνης με μεθόδους πολυπλεξίας χρόνου (TDM). Βασικά πλεονεκτήματα των PON είναι τα εξής:

- Τα PON είναι απλά, αξιόπιστα και εύκολο να συντηρηθούν.
- Ο εξοπλισμός δε χρειάζεται να παράγει οπτική ισχύ, γεγονός το οποίο τα καθιστά οικονομικά συμφέροντα.
- Η οπτική υποδομή στα PON, όντας πλήρως παθητική, είναι ανεξάρτητη από τους ρυθμούς μετάδοσης του δικτύου και τις τεχνικές διαμόρφωσης.
- Είναι δυνατόν να αναβαθμιστεί η λειτουργία των PON χωρίς να γίνουν σημαντικές αλλαγές στην υπάρχουσα οπτική υποδομή.

### 1. Telephony PON

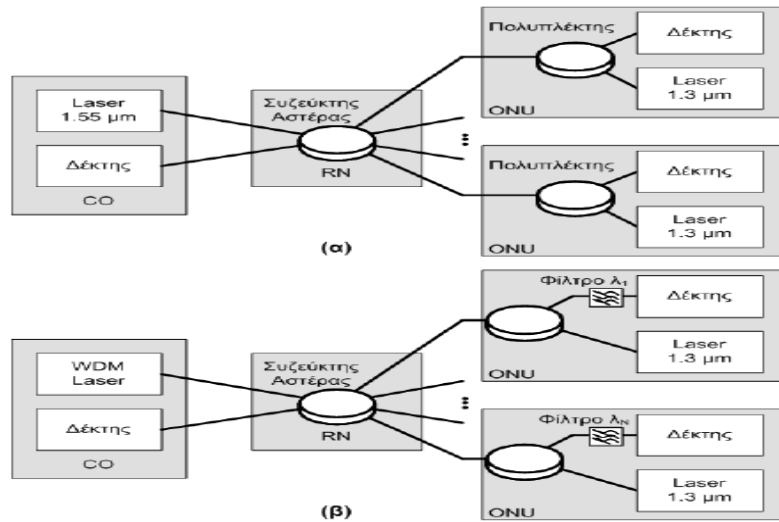
Πλέον κοινή τοπολογία παθητικού οπτικού δικτύου είναι το TPON (Telephony PON) που δίκτυο δηλαδή χρήση των τηλεφωνικών γραμμών. Η κίνηση προς τους χρήστες μεταφέρεται από τα κέντρα σε όλες τις ONU μέσω συζευκτη αστέρα. Η κίνηση από τους χρήστες μεταφέρεται από τις ONU μέσω διαμοιρασμένου εύρους ζώνης, και η πρόσβαση σε αυτό γίνεται με πολυπλεξία στον χρόνο ή κάποια άλλη μέθοδο πολλαπλής πρόσβασης. Η αρχιτεκτονική επιτρέπει στις ONU να μοιράζονται τον ακριβό εξοπλισμό του κέντρου (laser και οπτικός δέκτης) και χρησιμοποιεί χαμηλού κόστους εξοπλισμό στις ONU.[11]

### 2. WDM PON

Εξέλιξη του TPON αποτελεί το WDM PON (WPON), στο οποίο η βασική διαφορά του είναι ότι ο μονοκομματικός πομπός και δέκτης του κεντρικού αντικαθίσταται από πολυκυματικούς, όπως φαίνεται πιο κάτω στην περίπτωση β. Αντίστοιχα, σε κάθε ONU τοποθετείται κατάλληλο φίλτρο, ώστε να λαμβάνει μόνο ένα μήκος κύματος. Το κύριο πλεονέκτημα των WPON είναι ότι το εύρος ζώνης που παρέχεται σε κάθε ONU στα δεδομένα προς τους χρήστες είναι αυξημένο σε σχέση με αυτό που παρέχεται από τα TPON, και είναι δυνατόν να



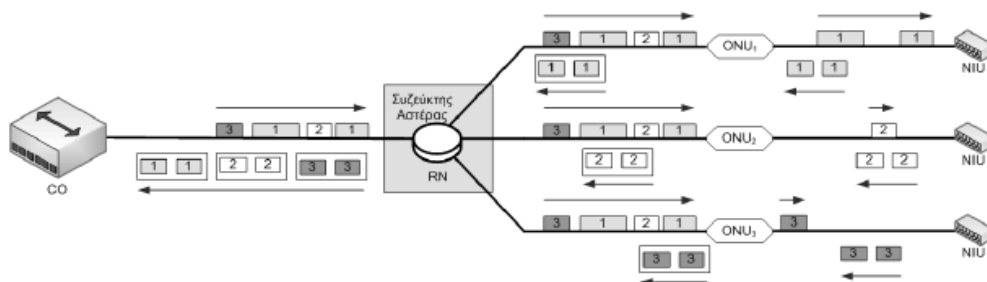
ισούνται με το μέγιστο ρυθμό downstream μετάδοσης στο TPON. Επιπλέον, κάθε ONU μπορεί και να έχει ενδεχομένως διαφορετικό ρυθμό μετάδοσης downstream από τις υπόλοιπες με αποτέλεσμα να καθιστά εφικτή την παροχή ποιότητας υπηρεσιών.



Εικόνα 5 WDM PON [1]

### 3. Ethernet PON

Στα πρώτα πρότυπα PON είχε υιοθετηθεί το ATM ως πρωτόκολλο για την επικοινωνία μεταξύ των κέντρων και των συζευκτών της κάθε γειτονιάς. Έκτοτε, το Ethernet έχει γνωρίσει ιδιαίτερη άνθηση λόγω του ότι ο εξοπλισμός είναι ιδιαίτερα φθηνός, ενώ επίσης τα δίκτυα μπορούν να λειτουργούν σε ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 10 Gbps. Το Ethernet είναι αποδοτικότερο από το ATM σαν πρωτόκολλο πρόσβασης, καθώς επιτρέπει τη μεταφορά μεγάλου μήκους πλαισίων, ενώ νεότερες τεχνικές παροχής ποιότητας υπηρεσίας έδωσαν στα Ethernet δίκτυα τη δυνατότητα της αξιόπιστης μεταφοράς φωνής, εικόνας και δεδομένων.[11]



Εικόνα 6 Ethernet PON [11]

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: FIBER TO THE HOME

## 3.1 Εισαγωγή



Εικόνα 7 FTTH [12]

Από τις πρώτες εγκαταστάσεις των δικτύων οπτικών ινών στα τέλη της δεκαετίας του 1970, ο στόχος της βιομηχανίας οπτικών ινών ήταν να εγκατασταθούν οι οπτικές ίνες μέχρι το σπίτι. Από οικονομική άποψη, οι ίνες ήταν οικονομικά πολύ πιο αποδοτικές στα δίκτυα μεγάλων αποστάσεων. Σε σύγκριση με τα χάλκινα ή τα ψηφιακά μέσα μετάδοσης, το υψηλό εύρος ζώνης της ίνας και η χαμηλή εξασθένηση αντισταθμίζουν εύκολα το υψηλότερο κόστος που μπορεί να έχει η ίνα. Σε σύγκριση με το καλώδιο χαλκού που χρησιμοποιείται στην τηλεφωνία, οι ίνες μπορούν να μεταφέρουν χιλιάδες φορές περισσότερες τηλεφωνικές συνομιλίες με εκατοντάδες φορές μεγαλύτερο ρυθμό, καθιστώντας το κόστος μιας τηλεφωνικής σύνδεσης πάνω σε ίνες πολύ πιο συμφέρον από ότι σε χαλκό. Χρειάστηκαν λίγα μόνο χρόνια πριν οι οπτικές ίνες κυριαρχήσουν στην αγορά μεγάλων αποστάσεων. Τα υπόγεια θαμμένα καλώδια ή αντίστοιχα τα εναέρια καλώδια αρχίσαν να τοποθετούνται με ραγδαίους ρυθμούς ώστε να αναβαθμίσουν τις υπεραστικές υπηρεσίες.[1] Ταυτόχρονα, αναπτύχθηκε τεχνολογία για υποβρύχια καλώδια και μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980, όλες οι καλωδιακές επικοινωνίες επεκτάθηκαν στην χρήση των οπτικών ινών, αντικαθιστώντας καλώδια από χαλκό και δορυφόρους. Σήμερα, ουσιαστικά όλες οι

επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων μεταφέρονται μέσω του εγκατεστημένου δικτύου οπτικών ινών. Το επόμενο βήμα ήταν η σύνδεση των τοπικών κεντρικών γραφείων και η σύνδεση μεταξύ των συνδρομητών με το τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής. Ένα πρόβλημα με τη μετατροπή σπιτιών από χαλκό σε ίνες ήταν το τεράστιο μέγεθος του έργου. Τα καλώδια μεγάλων αποστάσεων αντιπροσωπεύουν περίπου το 10% του τηλεπικοινωνιακού δικτύου. Τα μητροπολιτικά δίκτυα αντιπροσωπεύουν ένα ακόμη 10%. Αλλά η σύνδεση με το σπίτι, που παραδοσιακά ονομάζεται "τελευταίο μίλι", αντιπροσωπεύει περίπου το 80% όλων των καλωδίων στην τηλεπικοινωνία, καθιστώντας τη μετατροπή του χαλκού σε ίνα στο σπίτι μια τεράστια εργασία. Εκτός από τις τιμές των εξαρτημάτων που μειώνονται ως αποτέλεσμα της υπερπροσφοράς, έχουν αναπτυχθεί νέες αρχιτεκτονικές δικτύων που επιτρέπουν την κοινή χρήση δαπανηρών εξαρτημάτων για το FTTH. Ένας παθητικός διαχωριστής που λαμβάνει μία είσοδο και το μεταδίδει σε 32 χρήστες μειώνει αναπόφευκτα το κόστος των συνδέσεων, μοιράζοντας, για παράδειγμα, ένα ακριβό λείζερ σε έως και 32 σπίτια. Αυτό είναι ουσιαστικά το πλεονέκτημα ενός δικτύου PON ή παθητικού οπτικού δικτύου που αναλύσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Επομένως, οι ίνες κερδίζουν τώρα την αποδοχή τους στα τελικά κομμάτια των τηλεφωνικών δικτύων αλλιώς τη σύνδεση με το σπίτι. Οι εταιρείες τηλεφωνίας συνειδητοποιούν τώρα ότι η μόνη επιλογή για αναβάθμιση της σύνδεσης συνδρομητών είναι η οπτική ίνα στο σπίτι (FTTH). Οι πάροχοι υπηρεσιών έχουν δεσμεύσει δισεκατομμύρια δολάρια για τη σύνδεση εκατομμυρίων σπιτιών με ίνες στο εγγύς μέλλον.[13][14]

### **3.1.1 Ορισμός και ανάλυση του ορόυ FTTH**

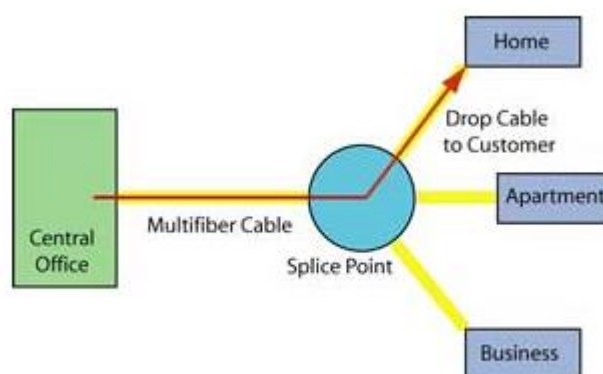
Το FTTH, που ονομάζεται επίσης "fiber to the premises" (FTTP), είναι η εγκατάσταση και η χρήση οπτικών ινών από κεντρικό σημείο απευθείας σε μεμονωμένα κτίρια όπως κατοικίες, πολυκατοικίες και επιχειρήσεις για την παροχή πρωτοφανών επίπεδων υψηλής ταχύτητας πρόσβαση στο διαδίκτυο. Το FTTH αυξάνει δραματικά τις ταχύτητες σύνδεσης που είναι διαθέσιμες στους χρήστες υπολογιστών σε σύγκριση με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται πλέον στα περισσότερα μέρη. Ενώ το FTTH υπόσχεται ταχύτητες σύνδεσης έως και 100 megabits ανά δευτερόλεπτο (Mbps) - 20 έως 100 φορές τόσο γρήγορα όσο ένα τυπικό καλωδιακό μόντεμ ή DSL (Digital Subscriber Line) σύνδεση - η υλοποίηση του FTTH σε μεγάλη κλίμακα είναι δαπανηρή, απαιτεί την εγκατάσταση νέων σετ καλωδίων στους "τελευταίους συνδέσμους" από υπάρχοντα καλώδια οπτικών ινών σε

μεμονωμένους χρήστες. Ορισμένες κοινότητες έχουν επί του παρόντος υπηρεσία «FTTC», η οποία αναφέρεται στην εγκατάσταση και χρήση καλωδίου οπτικών ινών στα καφαι κοντά σε σπίτια ή επιχειρήσεις, με χρήση χάλκινων μέσων για την σύνδεση τους με αυτή των τελικών χρηστών . Το κύριο πλεονέκτημα της ίνας στο σπίτι είναι η παροχή ταχύτερων συνδέσεων και μεγαλύτερης χωρητικότητας από τους αγωγούς συνεστραμμένου ζεύγους, το ομοαξονικό καλώδιο ή τη ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (DSL). Το μεγαλύτερο μειονέκτημα είναι το κόστος - το οποίο καθιστά τις ίνες μη ρεαλιστικές για πολλές ρυθμίσεις.[13][14][15]

## 3.2 Αρχιτεκτονικές δικτύων FTTH

### 3.2.1 FTTH Active Star Network

Ο απλούστερος τρόπος σύνδεσης των σπιτιών με τις ίνες είναι να υπάρχει ένας σύνδεσμος ίνας που συνδέει κάθε σπίτι με τους τηλεφωνικούς διακόπτες της εταιρείας, είτε στο πλησιέστερο κεντρικό γραφείο (CO) είτε σε ένα τοπικό ενεργό διακόπτη.

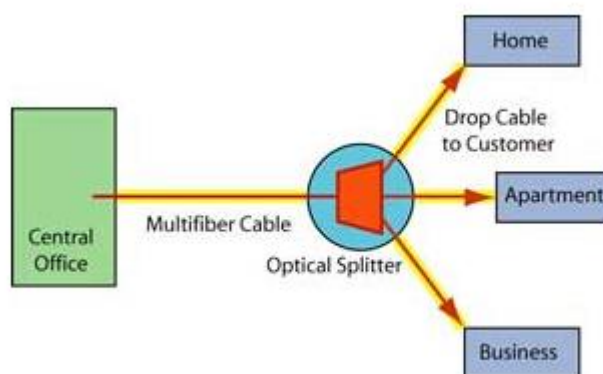


Εικόνα 8 FTTC [16]

Ένα ενεργό δίκτυο μέχρι το σπίτι έχει μια ίνα που είναι αφιερωμένη σε κάθε σπίτι (ή εγκαταστάσεις στην περίπτωση επιχειρήσεων, διαμερισμάτων ή condos.) Αυτή η αρχιτεκτονική προσφέρει το μέγιστο εύρος ζώνης και ευελιξία, αλλά με υψηλότερο κόστος, τόσο στα ηλεκτρονικά σε κάθε άκρο (σε σύγκριση με την αρχιτεκτονική PON που περιγράφεται παρακάτω) όσο και στις αποκλειστικές ίνες που απαιτούνται για κάθε κατοικία.[16]

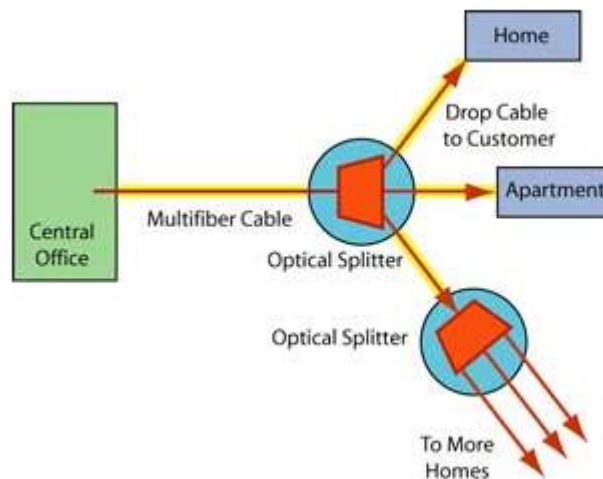
### 3.2.2 FTTH PON: *Passive Optical Network*

Ένα σύστημα PON επιτρέπει την κοινή χρήση όλων των δαπανηρών εξαρτημάτων που απαιτεί ένα δίκτυο για υπηρεσίες FTTH. Ένας παθητικός διαχωριστής που παίρνει μία είσοδο και την χωρίζει για να μεταδίδει σε πολλούς χρήστες, κόβει το κόστος των συνδέσεων υποστατικά, μοιράζοντας, για παράδειγμα, ακριβά λέιζερ σε έως και 32 σπίτια. Οι διαχωριστές PON είναι αμφίδρομοι, δηλαδή τα σήματα μπορούν να αποστέλλονται προς τα κάτω από το κεντρικό γραφείο σε όλους τους χρήστες και τα σήματα από τους χρήστες μπορούν να αποστέλλονται προς τα πάνω και να συνδυάζονται σε μία ίνα για να επικοινωνούν με το κεντρικό γραφείο.[16]



Εικόνα 9 FTTH PON [16]

Ο διαχωριστής μπορεί να είναι μία μονάδα σε μία θέση όπως φαίνεται παραπάνω ή αρκετοί διαχωριστές να κατανομηθούν όπως φαίνεται παρακάτω. Οι διαχωριστές με διακεκομμένες γραμμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση της ποσότητας ινών που απαιτείται σε ένα δίκτυο τοποθετώντας τους διαχωριστές κοντά στον χρήστη. Ένας διαχωριστής 4 κατευθύνσεων που ακολουθείται από έναν διαχωριστή 8 κατευθύνσεων θα είναι ένας διαχωρισμός 32 σημείων. Το Cascading γίνεται συνήθως όταν τα σπίτια που εξυπηρετούνται συγκεντρώνονται σε μικρότερες ομάδες. Οι διαχωριστές τοποθετούνται μερικές φορές στο κεντρικό γραφείο και ξεχωριστές ίνες πηγαίνουν από το γραφείο σε κάθε συνδρομητή. Αυτό μπορεί να βελτιώσει την εξυπηρέτηση του δικτύου, καθώς όλο το υλικό του δικτύου βρίσκεται σε μια θέση με μικρή μόνο ποινή στο συνολικό κόστος.[16]

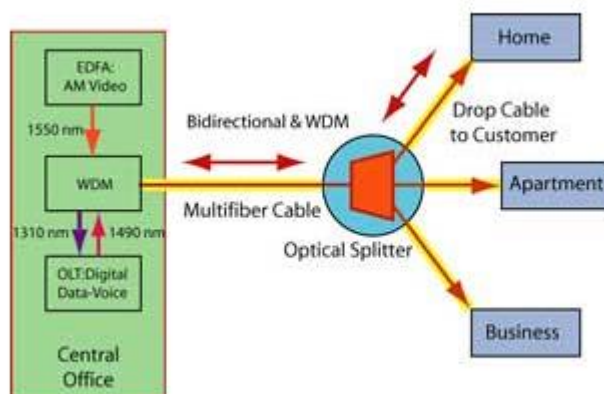


Εικόνα 10 Optical PON splitter [16]

Οι περισσότεροι διαχωριστές PON είναι 1X32 ή 2X32. Οι σύνδεσμοι είναι βασικά συμμετρικοί, ας πούμε 32X32. Οι ζεύκτες λειτουργούν διαιρώντας το σήμα εξίσου σε όλες τις ίνες στην άλλη πλευρά του ζεύκτη. Οι διαχωριστές προσθέτουν σημαντική απώλεια σε έναν σύνδεσμο FTTH, περιορίζοντας την απόσταση ενός συνδέσμου FTTH σε σύγκριση με τον τυπικό σύνδεσμο telco από σημείο σε σημείο. Όταν σχεδιάζετε ένα δίκτυο οπτικών ινών, ακολουθούν κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με την απώλεια των συζευκτών PON.[16]

### 3.2.3 Triple Play Systems

Τα περισσότερα συστήματα FTTH είναι συστήματα "τριπλής αναπαραγωγής" που παρέχουν φωνή (τηλεφωνία), βίντεο (τηλεόραση) και δεδομένα (πρόσβαση στο Διαδίκτυο). Για την παροχή και των τριών υπηρεσιών πάνω σε μία ίνα, τα σήματα αποστέλλονται αμφίδρομα σε μία μόνο ίνα χρησιμοποιώντας δύο ή τρία χωριστά μήκη κύματος φωτός. Τρία διαφορετικά πρωτόκολλα χρησιμοποιούνται σήμερα, το BPON, που φαίνεται παρακάτω, χρησιμοποιεί ένα τρίτο μήκος κύματος για βίντεο, ενώ το EPON και το GPON χρησιμοποιούν ψηφιακή μετάδοση IPTV.[16]



Εικόνα 11 Triple Play Systems [16]

Τα ψηφιακά σήματα από τον CO μέσω του διαχωριστή προς το σπίτι αποστέλλονται στα 1490 ή 1550 nm. Αυτό το σήμα μεταφέρει τόσο τη φωνή όσο και τα δεδομένα στο σπίτι. Το βίντεο στα συστήματα BPON χρησιμοποιεί την ίδια τεχνολογία με το CATV, ένα αναλογικό διαμορφωμένο σήμα, που εκπέμπεται ξεχωριστά χρησιμοποιώντας λέιζερ 1550 nm που μπορεί να απαιτεί ενισχυτή ίνας για να παρέχει αρκετή ισχύ σήματος για να ξεπεραστεί η απώλεια του οπτικού διαιρέτη. Τα προηγούμενα ψηφιακά σήματα για τη φωνή και τα δεδομένα αποστέλλονται πίσω στο CO από το σπίτι χρησιμοποιώντας ένα μη δαπανηρό λέιζερ 1310 nm. Οι ζεύκτες WDM διαχωρίζουν τα σήματα τόσο στο σπίτι όσο και στο CO.[16]

### 3.2.4 Powering FTTH

Τα τηλέφωνα POTS βρισκόταν σε έναν βρόγχο ρεύματος που τροφοδοτείται από μπαταρίες ή κάποιο άλλο είδος αδιάλειπτης ισχύος στο CO. Όταν ο συνδρομητής είχε διακοπή ηλεκτρικής ενέργειας, αναμένεται να είναι σε θέση να χρησιμοποιεί το τηλέφωνό του, για να καλέσει την ηλεκτρική εταιρεία να αναφέρει την διακοπή λειτουργίας, φυσικά! Προφανώς, το FTTH δεν πρόκειται να λειτουργήσει με τον ίδιο τρόπο. Οι ίνες δεν μεταφέρουν εύκολα ηλεκτρική ενέργεια, αν και έχουν αναπτυχθεί συστήματα για την τροφοδοσία αισθητήρων πάνω από το φως στις ίνες, είναι αναποτελεσματική και δαπανηρή. Πολλά συστήματα FTTH παρέχουν μια εφεδρική μπαταρία στις εγκαταστάσεις του πελάτη που τροφοδοτείται από το ηλεκτρικό σύστημα του πελάτη για να διατηρεί το σύστημα λειτουργικό κατά τη διάρκεια διακοπών ρεύματος. Ορισμένα συστήματα χρησιμοποιούν τα παλιά καλώδια από χαλκό που αντικαθίστανται από την ίνα για να παραδώσουν ισχύ για να διατηρήσουν

το αντίτιμο φορτισμένο, έτσι ώστε ο πάροχος του συστήματος FTTH να πληρώσει για την ισχύ που χρειάζεται το σύστημα. Και ορισμένα συστήματα, αναγνωρίζοντας ότι οι περισσότεροι έχουν κινητό τηλέφωνο, δεν αντιμετωπίζουν καθόλου το ζήτημα της εφεδρικής ισχύος.[15]

### **3.3 Πρωτόκολλά και Τεχνικές δρομολόγησης**

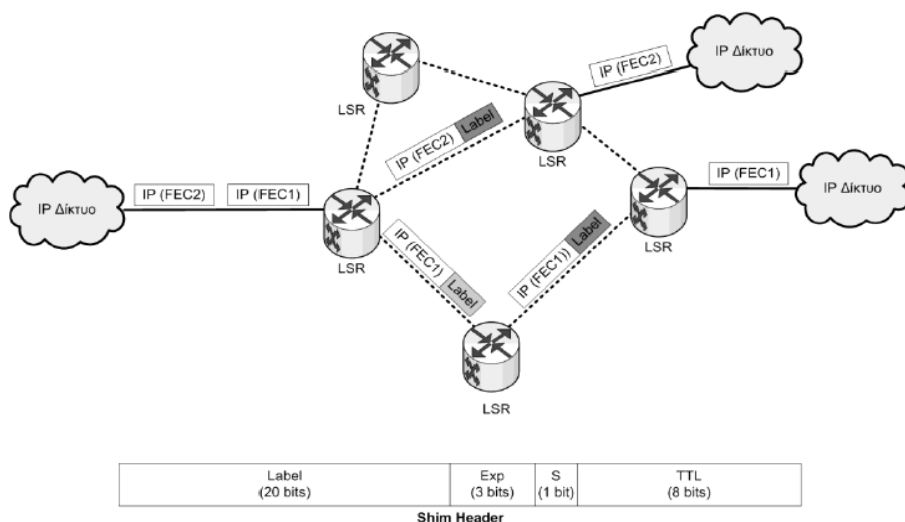
Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε και θα αναλύσουμε τεχνικές δρομολόγησης σε ένα οπτικό δίκτυο. Είναι σημαντικό να καταλάβουμε ότι πλέον τα δεδομένα μας μεταφέρονται με διαφορετικό τρόπο με αποτέλεσμα κλασσικές τεχνικές μεταγωγής πακέτων και δρομολόγησης με βάση την ip δεν στέκουν η πρέπει να τροποποιηθούν για να καλύψουν τις ανάγκες του νέου αυτού δικτιού.[11]

Όπως έχουμε δει και πιο πάνω ένα μεγάλο ζήτημα στα δίκτυα αποτελεί το γεγονός ότι θέλουμε να επιτύχουμε όσο τον δυνατόν καλύτερη αξιοποίηση των μέσων μεταφοράς της πληροφορίας μας. Η αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης των οπτικών ινών γίνεται με την πολυπλεξία μήκους κύματος (WDM). Η πολυπλεξία αυτή αντιπροσωπεύει την κλασσική πολυπλεξία συχνότητας (frequency division multiplexing-FDM), όμως αντί για μια συγκεκριμένη συχνότητα έχουμε ένα μήκος κύματος, καθώς έχουμε να κάνουμε με φως, σε κάθε οπτικό κανάλι. Τα οπτικά δίκτυα έχουν ζεύξεις που καλούνται οπτικά μονοπάτια (light paths) μεταξύ των χρηστών τους. Τα οπτικά αυτά μονοπάτια αντιστοιχούν σε ένα μήκος κύματος το οποίο και πολυπλεκεται με τεχνολογίες WDM πάνω σε μια ίνα. Τα οπτικά μονοπάτια διασυνδέουν τον κόμβο προορισμού με τον κόμβο αποστολής μέσω ενδιάμεσων κόμβων, οι οποίοι δρομολογούν και μετάγουν κατάλληλα τα οπτικά μονοπάτια μεταξύ των οπτικών ινών στην είσοδο και έξοδο τους. Συχνά το οπτικό μονοπάτι διατηρεί το μήκος κύματος που θα του ανατεθεί στην αρχή άθολη την διάρκεια του ταξιδιού τους από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Αντίθετα, αν υπάρχει δυνατότητα μετατροπής μήκους κύματος στους ενδιάμεσους κόμβους, το οπτικό μονοπάτι είναι δυνατόν να μεταφέρεται από διαφορετικό μήκος κύματος σε κάθε ενδιάμεση ζεύξη. Το γεγονός ότι μπορούμε από κόμβο σε κόσμο να αλλάξουμε μήκος κύματος έχει ως αποτέλεσμα να εξυπηρετούνται περισσότεροι χρήστες καθώς δεν είναι αναγκαίο να περιμένεις το δικό σου μήκος κύματος για να αποδεσμευτεί από όλη την διαδρομή, καθώς είναι δυνατή η χωρική επαναχρησιμοποίηση των διαθέσιμων μηκών κύματος.



Τα επίπεδα χρήστες επεξεργάζονται τη διακινούμενη πληροφορία (π.χ. φωνή, δεδομένα) σε ηλεκτρονική μορφή, τη συγκεντρώνουν σε ροές με ρυθμούς μετάδοσης συμβατούς με αυτούς του οπτικού επιπέδου και χρησιμοποιούν στατική (μεταγωγή κυκλώματος) ή στατιστική (μεταγωγή πακέτου) πολυπλεξία για τη μεταφορά της πληροφορία πάνω από τα υποκείμενα οπτικά μονοπάτια. Κάθε επίπεδο χρήστη είναι δυνατόν να χρησιμοποιεί συνδέσεις που διαφοροποιούνται απλές ζεύξεις σημείου προς σημείο μέχρι και πολύπλοκες τοπολογίες που απαρτίζονται από πλήθος οπτικών μονοπατιών. Τα πιο διαδεδομένο επίπεδο χρήστη είναι το SONET/SDH για μεταγωγή κυκλώματος και τα IP και ATM για μεταγωγή πακέτου με το SDH συχνά να θεωρείται ως το ενδιάμεσο επίπεδο μεταξύ χρήστη και IP\_ATM. [11]

Το πρότυπο το οποίο ήρθε να κάνει εφικτό το οπτικό επίπεδο όπως το ξέρουμε σήμερα ήταν το MPLS. Το MPLS προέκυψε από την ανάγκη για βελτίωση της απόδοσης, επεκτασιμότητας και των δυνατοτήτων παροχής υπηρεσίας των IP δικτύων, καθώς και για την αντιμετώπιση περιορισμών όπως η αδυναμία διαχείρισης κίνησης στα IP δίκτυα. Τα πρωτοκολλά του MPLS χρησιμοποιούν τεχνικές label switching έτσι ώστε να μεταφέρουν μέσα στο οπτικό δίκτυο πολλά IP πακέτα χωρίς να χρειάζεται η μετατροπή σε ηλεκτρικό επίπεδο για να ελεγχθούν ετικέτες των IP η κάτι αντίστοιχο. Το MPLS συνδυάζει την επιπέδου 3 λειτουργία δρομολόγησης με την επιπέδου 2 λειτουργία μεταγωγής, συνεπώς και την ευελιξία που παρέχει η δρομολόγηση με την απόδοση και την παροχή υπηρεσίας της μεταγωγής. [11]



Εικόνα 12 MPLS [11]

Το γεγονός ότι το πρότυπο αυτό χρησιμοποιεί μηχανισμό αλλαγής ετικέτας σαν το ATM, για την προώθηση πακέτων, έχει ως αποτέλεσμα να απλοποιεί τη διαδικασία προώθησης και να αυξάνει την ταχύτητά της. Επιπλέον, το MPLS είναι ανεξάρτητο από την τεχνολογία ζεύξης δεδομένων και μπορεί να λειτουργήσει πάνω από ATM, μεταγωγή πλαισίου και WDM τεχνολογίες δηλαδή που υπάρχουν δεν είναι και δεν είναι απαραίτητο να βρεθούν καινούργιες. Συμπερασματικά, το MPLS παρέχει επιπλέον λειτουργικές δυνατότητες στην βασισμένη σε IP δρομολόγηση και προώθηση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπως VPNs, παροχή ποιότητας υπηρεσίας και αποκατάσταση του IP επιπέδου. Είναι δηλαδή το πρωτόκολλο που ήρθε να συνδυάσει τα οπτικά δίκτυα με τα IP δίκτυα που χρησιμοποιούνται σήμερα.[11]

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

---

Στην εργασία αυτή είχαμε ως σκοπό να εξετάσουμε και να αναλύσουμε εάν οπτικό δίκτυο και πιο συγκεκριμένα ορισμένες τεχνολογίες του. Αρχίσαμε βλέποντας την δομή του και από τι αποτελείται καθώς και τις διαφορές του με ένα κοινό δίκτυο χαλκού. Στην συνέχεια δώσαμε βάση στις τεχνολογίες FTTx αναλύοντας τες μια μια ξεχωριστά και τονίζοντας τα χαρακτηριστικά τους και τα πλεονεκτήματά τους. Τέλος κλείσαμε αφιερώνοντας το μεγαλύτερο κομμάτι αυτής της εργασίας στην τεχνολογία Fiber To The Home που ήταν και το ζητούμενο και είδαμε την σημασία της, αρχιτεκτονικές και τεχνικές δρομολόγησης μιας τέτοιας τεχνολογίας. ΜΕΤΚΑ το πέρας όλων αυτών είμαστε σε θέση να καταλάβουμε την σημασία της ίνας και τα πλεονεκτήματά της. Μια σύνδεση οπτικών ινών μπορεί να στείλει έναν μεγαλύτερο όγκο πληροφοριών σε μεγαλύτερες αποστάσεις πιο γρήγορα από ποτέ σε σχέση με μια χάλκινη, επιτρέποντάς μας να κάνουμε πλοήγηση στο διαδίκτυο, να προβάλλουμε βίντεο υψηλής ανάλυσης και πολλά ακόμα με αστραπιαία ταχύτητα. Εκτός από τις επαναστατικές ταχύτητες, μια σύνδεση ινών είναι πολύ πιο αξιόπιστη και ασφαλή από άλλες συνδέσεις στο Διαδίκτυο. Είναι λιγότερο πιθανό να χάσουμε την υπηρεσία κατά τη διάρκεια μιας διακοπής ρεύματος με το ίντερνετ οπτικών ινών καθώς η σύνδεσή δεν εξαρτάται από τον ηλεκτρισμό. Επίσης το Ίντερνετ μέσω ίνας είναι ένα ιδιωτικό δίκτυο εγκατεστημένο στο σπίτι μας, οπότε είναι πολύ πιο δύσκολο να δεχτεί κάποια επίθεση, προσφέροντας καλύτερη προστασία σε OnLine απειλές. Η τεχνολογία FTTH έρχεται να μας τα προσφέρει όλα αυτά στο σπίτι μας ακόμα πιο αποδοτικά. Τα στοιχεία δείχνουν ότι η τεχνολογία αυτή ήρθε για να καθιερωθεί και να γίνει κομμάτι του δικτιού κάθε χώρας. Με τις απαιτήσεις για μεγαλύτερη και ταχύτερη ροή δεδομένων να διογκώνονται διαρκώς και με την εξέλιξη της τεχνολογίας που έχει οδηγήσει στην μείωση της τιμής της ίνας η αλλαγή του δικτιού μας σε φωτονικό είναι μονόδρομος.



# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

---

- [1]. <https://primex.com/how-point-to-point-and-passive-optical-fiber-networks-are-different/>
- [2]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Computer\\_network#Network\\_links](https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_network#Network_links)
- [3]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Physical\\_media](https://en.wikipedia.org/wiki/Physical_media)
- [4]. [https://medium.com/@bilby\\_yang/comparison-between-utp-and-stp-27f7ac1d61aa](https://medium.com/@bilby_yang/comparison-between-utp-and-stp-27f7ac1d61aa)
- [5]. <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/coaxial-cable-illustrated>
- [6]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Optical\\_networking](https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_networking)
- [7]. <https://www.techopedia.com/definition/23643/optical-network>
- [8]. <http://www.interlinktel.com/fiber-optics-vs-copper/>
- [9]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Fiber\\_to\\_the\\_x](https://en.wikipedia.org/wiki/Fiber_to_the_x)
- [10]. <https://www.techopedia.com/definition/26908/fiber-to-the-node-FTTN>
- [11]. Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής Οπτικά Δίκτυα Επικοινωνιών Κυριάκος Βλάχος Πανεπιστημιακές σημειώσεις
- [12]. <https://pylinews.gr/%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B1-%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%AC%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B7%CF%82-%CE%BF%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD-%CE%B9%CE%BD%CF%8E%CE%BD-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%BB/>
- [13]. <http://www.thefoa.org/tech/ref/appln/FTTH.html>
- [14]. <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/fiber-to-the-home>
- [15]. <http://www.sopto.com/blog/powering-ftth/>
- [16]. <http://www.thefoa.org/tech/ref/appln/FTTHarch.html>

[17].<https://www.cablinginstall.com/articles/print/volume-25/issue-10/features/installation/what-the-future-holds-for-next-generation-pont-technologies.html>

[18].<http://www.cables-solutions.com/what-are-the-advantages-and-disadvantages-of-optical-fiber-cable.html>