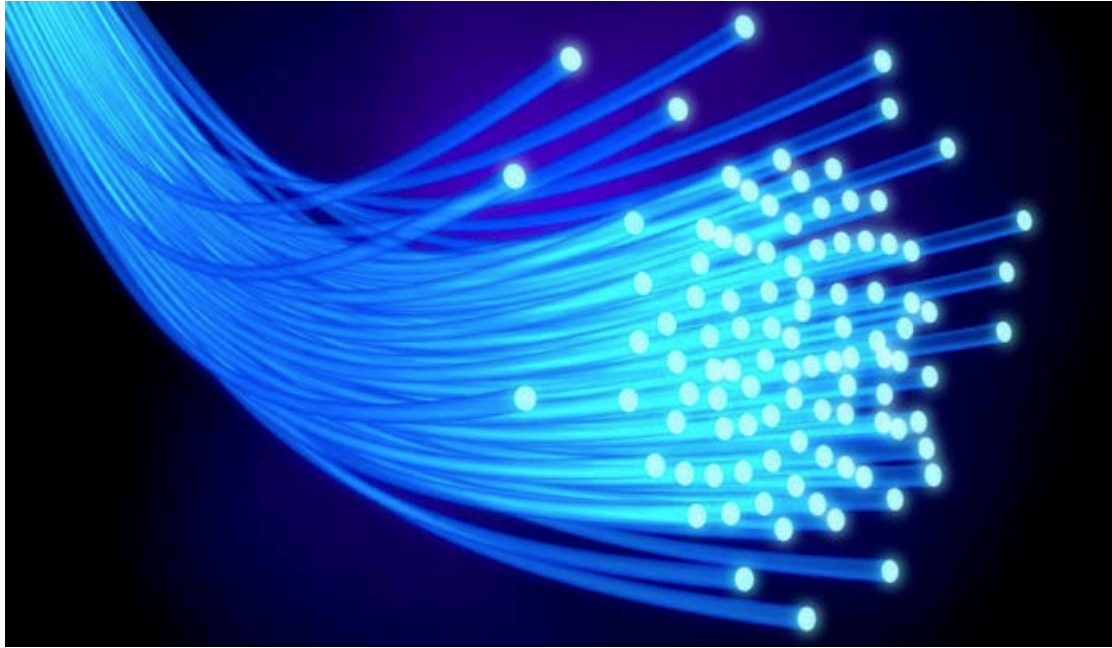




ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΗΠΕΙΡΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

ΔΙΚΤΥΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΑΤΣΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

A.M. : 9878

**Επιβλέπων Καθηγητής: ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

ΑΡΤΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2015

Ευχαριστίες

Με την ευκαιρία της ολοκλήρωσης των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε. θα ήθελα να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους που με βοήθησαν να φτάσω μέχρι αυτό το σημείο.

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου για τη δυνατότητα που μου προσέφερε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον, όσο και υποσχόμενο, θέμα όπως είναι τα δίκτυα οπτικών ινών. Αισθάνομαι ότι οι γνώσεις που αποκόμισα θα είναι πολύ σημαντικό εφόδιο στη μετέπειτα πορεία μου.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους αυτούς με τους οποίους μοιράστηκα τα ενδιαφέροντα και τις ανησυχίες μου κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Τους συμφοιτητές και φίλους για την ανακούφιση που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, αλλά και κυρίως για όλα όσα έχουμε να θυμόμαστε από τον τελευταίο χρόνο.

Τέλος, θα ήθελα πάνω απ'όλα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υποστήριξή τους και για όλα όσα μου παρείχαν μέχρι σήμερα, ώστε να μπορώ να ακολουθώ ανεπηρέαστος τις επιλογές μου και να επιτύχω τους στόχους μου.

Περίληψη

Η ραγδαία αύξηση της κίνησης στο διαδίκτυο έχει δημιουργήσει ολοένα και μεγαλύτερη ζήτηση για ευρυζωνικά δίκτυα. Τα δίκτυα οπτικών ινών είναι μια κατηγορία ευρυζωνικών δικτύων που υπόσχονται ευέλικτες και ικανές να υποστηρίξουν πληθώρα υπηρεσιών, δικτυακές επικοινωνίες με θεωρητικά απεριόριστη χωρητικότητα. Πλέον, τα οπτικά δίκτυα δεν καλύπτουν μόνο το βασικό δίκτυο κορμού, αλλά εκτείνονται μέχρι τον τοπικό βρόχο αλλά και την κατοικία των τελικών χρηστών. Έτσι, τα οπτικά δίκτυα πρόσβασης FTTx και οι διάφορες τεχνολογίες τους όπως PON, AON και Home Run εφαρμόζονται στις δικτυακές υποδομές που αναπτύσσονται από το κεντρικό γραφείο του δικτύου της περιοχής κάλυψης μέχρι το συνδρομητή.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία σκοπό έχει να αναλύσει όλες τις τεχνολογίες που αφορούν τις οπτικές ίνες και τα δίκτυα οπτικών ινών. Θα μελετήσουμε τις οπτικές ίνες ως μέσο μετάδοσης πληροφορίας στο σύγχρονο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο. Αρχικά θα αναφερθούμε στις βασικές αρχές της οπτικής, την δομή, τα χαρακτηριστικά και τις παραμέτρους των οπτικών ινών, με περαιτέρω ανάλυση των τεχνολογιών που διέπουν ένα δίκτυο οπτικών ινών.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1^ο :Εισαγωγική ανάλυση της τεχνολογίας των οπτικών ινών

Εισαγωγή : Το φως ως μέσο επικοινωνίας	σελ 6
1.1 Ιστορική αναδρομή στα δίκτυα	σελ 7
1.2 Επεξήγηση του όρου της οπτικής ίνας	σελ 8
1.3 Ενσύρματες επικοινωνίες και ο ρόλος των οπτικών ινών	σελ 9
1.4 Εξέλιξη των οπτικών δικτύων.....	σελ 14
1.5 Οι εφαρμογές των οπτικών ινών	σελ 16

Κεφάλαιο 2^ο :Μελέτη των διάφορων τύπων καλωδιώσεων οπτικής ίνας

Εισαγωγή.....	σελ18
2.1Εσωτερικό μιας Οπτικής Ίνας	σελ 18
2.2.Κατηγοριοποίηση των καλωδιώσεων	σελ 19
2.3 Οι παράμετροι των καλωδίων και οι τυπικές τιμές τους	σελ 25
2.4 Οι περιβαλλοντικές παράμετροι	σελ 27

Κεφάλαιο 3^ο :Λειτουργική δομή δικτύων οπτικών ινών

Εισαγωγή	σελ 33
3.1 Ανάλυση της τεχνικής μεταδοσης σήματος μέσω Οπτικής Ίνας	σελ 33
3.2 Η επικοινωνία στα Δίκτυα Οπτικών Ινών	σελ 34
3.3 Η Μετάδοση στα Οπτικά Δίκτυα :Στοιχεία Οπτικού Δικτύου	σελ 36
3.4 Προβλήματα κατά την μετάδοση μέσω οπτικών ινών	σελ 46

Κεφάλαιο 4^ο :Αρχιτεκτονικές οπτικών δικτύων

Εισαγωγή	σελ 49
4.1 Ενεργό Οπτικό Δίκτυο (Active Optical Network, AON)	σελ 50
4.2 Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical Network, PON)	σελ 51
4.3 Οπτικά δίκτυα και Πολυπλεξία (WDM)	σελ 55
4.4 Τεχνολογία Free Space Optics	σελ 58
4.5 Μελέτη των προτύπων SONET και SDH	σελ 67
4.6 Fiber to the Home	σελ 70

Κεφάλαιο 5^ο :Σύγκριση τεχνολογιών διαδικτύου

Εισαγωγή	σελ 72
5.1 Είδη ζεύξεων	σελ 73
5.2 Σύγκριση των μέσων μετάδοσης	σελ 75
5.3 Σύγκριση ενσύρματων και ασύρματων μέσων μετάδοσης	σελ 77
5.4)Σύγκριση δορυφορικών και επίγειων συνδέσεων	σελ 79

Κεφάλαιο 6^ο : Ανάπτυξη δικτύων FTTH στην Ελλάδα.....	σελ 82
Συμπεράσματα	σελ 93
Ακρόνυμα	σελ 94
Λεξικό	σελ 96
Βιβλιογραφία	σελ 97

Δήλωση Πνευματικής Ιδιοκτησίας

Η παρούσα εργασία αποτελεί προϊόν αποκλειστικά δικής μου προσπάθειας. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία και γίνεται ρητή αναφορά σε αυτές μέσα στο κείμενο που έχουν χρησιμοποιηθεί.

Τάτσης Βασίλειος

Κεφάλαιο 1^ο :

Εισαγωγική ανάλυση της τεχνολογίας των οπτικών ινών

Εισαγωγή : Το φως ως μέσο επικοινωνίας

Η ιδέα της χρήσης του φωτός για την επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις δεν είναι κάτι νέο, αλλά έχει τις ρίζες της στην αρχαιότητα. Οι αρχαίοι Έλληνες άναβαν φωτιές σε ψηλά σημεία, όπως κορυφές βουνών, για να ανταλλάξουν πληροφορίες μεταξύ τους άμεσα, σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων. Ήταν τότε το ταχύτερο μέσο απομακρυσμένης επικοινωνίας και τελικά φαίνεται ότι ακόμη και σήμερα ισχύει το ίδιο, καθώς δεν υπάρχει τίποτα μέχρι στιγμής που να μπορεί να ξεπεράσει την ταχύτητα του φωτός.^[4]

Στα τέλη του 19ου αιώνα και στις αρχές του 20ου οι καπετάνιοι των πλοίων χρησιμοποιούσαν ειδικούς ισχυρούς φακούς τους οποίους αναβόσβηναν, σύμφωνα με τον κώδικα Μορς, επικοινωνώντας άμεσα μεταξύ τους. Αυτός ο τρόπος επικοινωνίας χρησιμοποιήθηκε εν μέρει και στην ξηρά, παρόλο που οι πρώτες συσκευές ενσύρματης επικοινωνίας είχαν κάνει την εμφάνισή τους την εποχή εκείνη.^[14]

Σε όλα τα παραπάνω παραδείγματα έχουμε τρία κοινά στοιχεία. Το πρώτο είναι ο αποστολέας του φωτεινού σήματος, το δεύτερο ήταν το μέσο μετάδοσης, δηλαδή ο αέρας και το τρίτο ήταν ο παραλήπτης που το αποκωδικοποιούσε και το μετέτρεπε σε κατανοητή μορφή. Φυσικά οι προαναφερθείσες μέθοδοι είχαν ως σημαντικότερο μειονέκτημα το πρόβλημα της ορατότητας. Το φως μιας φωτιάς ή ενός τεχνητού μέσου δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς δεν μπορούσε κανείς να το ξεχωρίσει από το πολύ ισχυρότερο ηλιακό φως. Ακόμη και τη νύχτα όμως, διάφορες συνθήκες όπως η αυξημένη υγρασία ή η ομίχλη, μπορούσαν να καταστήσουν ανέφικτη την παρατήρηση του φωτεινού σήματος σε μεγάλη απόσταση.

Σήμερα η φωτεινή ενέργεια εξακολουθεί να διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στις τηλεπικοινωνίες και κατ' επέκταση στην καθημερινή μας ζωή. Αν στα προηγούμενα χρόνια το φως μεταδιδόταν μέσω της ατμόσφαιρας, σήμερα αυτό έδωσε τη θέση του στο γυαλί και σε ειδικό ανακλαστικό υλικό που το περιβάλλει. Κάπως έτσι έχουν σχηματιστεί οι οπτικές ίνες, οι οποίες είναι σε θέση να μεταφέρουν πληροφορίες σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων, αποτελώντας έτσι αναπόσπαστο κομμάτι των σύγχρονων τηλεπικοινωνιών.^[8]

1.1 Ιστορική αναδρομή στα δίκτυα

Όλα τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα μετάδοσης έχουν ένα αντικειμενικό σκοπό: Να επιτυγχάνουν το μεγαλύτερο δυνατό γινόμενο χωρητικότητας-απόστασης (BxL) χωρίς σφάλματα. Γι' αυτό και στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα έχουν γίνει πολλές αλλαγές με την πάροδο του χρόνου. Όμως υπάρχουν τρεις βασικές εποχές, που μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε λόγω και της σημασίας τους στην εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών. Η πρώτη γενιά, η αναλογική μετάδοση σήματος, που κύριο μέσο ήταν τα μεταλλικά και χάλκινα καλώδια στη μετάδοση και ο έλεγχος της εγκαθίδρυσης καναλιών/ομιλιών γινόταν χειροκίνητα με Ηλεκτρομαγνητική μεταγωγή. Η δεύτερη γενιά, που έκαναν την εμφάνισή τους τα ψηφιακά ηλεκτρικά σήματα, που η μετάδοση γινόταν πάλι μέσω μεταλλικών και χάλκινων καλωδίων, όμως η μεταγωγή και η επεξεργασία ήταν σε ψηφιακή μορφή. Και η Τρίτη γενιά (που διανύουμε και σήμερα) είναι η υβριδική εποχή, με μετάδοση βασισμένη στην οπτική ίνα και έχουμε ψηφιακή ηλεκτρονική μεταγωγή. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται ευρέως στα δίκτυα κορμού λόγω της ικανότητάς τους να μεταφέρουν μεγάλο όγκο δεδομένων με πολύ μικρές απώλειες.^[12]

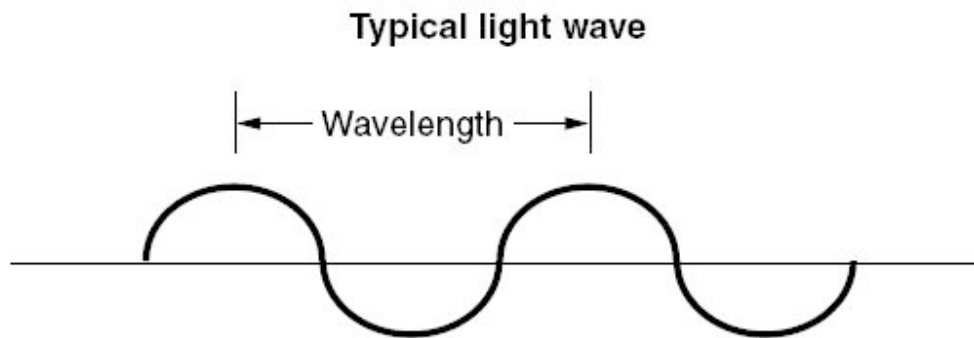
Στο ασύρματο πεδίο επικοινωνιών το Wi-Max είναι μια νέα τεχνολογία για ασύρματη μετάδοση χρήσης last-mile επικοινωνίας που σιγά-σιγά εφαρμόζεται σε πολλές χώρες. Στην Ελλάδα ο ΟΤΕ έχει ξεκινήσει την λειτουργία του Wi-Max από το 2008, αντικαθιστώντας τα ΣΑΡ (Συστήματα Αγροτικής Ραδιοκάλυψης)², ώστε να φτάνει σε δυσπρόσιτες περιοχές που δεν μπορούν να καλυφθούν με άλλους τρόπους λόγω γεωγραφίας. Αυτή η τεχνολογία ανέβασε τις επιδόσεις των ασύρματων δικτύων σε πολύ μεγαλύτερο επίπεδο.

Τα παραδοσιακά δίκτυα αναπτύχθηκαν για υπηρεσίες πάνω στην αναλογική φωνή. Για μια μεγάλη περίοδο, το εύρος ζώνης που χρειαζόταν για να υπάρξει μια σύνδεση απ' άκρη σ' άκρη (end-to-end) ήταν τα 4 kHz (εύρος ζώνης ακουστικότητας του ανθρώπινου αυτιού). Αν και υπήρχε η ψηφιακή μετατροπή του σήματος στα 64Kbps (DS-0) με πολυπλεξία χρόνου αυτό ξαναμετατρέποταν σε αναλογικό για να μπορέσει να είναι συμβατό με τις τότε αναλογικές συσκευές τηλεφωνίας. Κάποια παραδείγματα δικτύων, που χρησιμοποιούνται και σήμερα, είναι του συνεστραμμένου ζεύγους όπως πχ τα UTP,STP ή και τα ομοαξονικά καλώδια που χρησιμοποιούνται για την καλωδιακή τηλεόραση (Community Antenna TV - CATV).^[12]

Το Ίντερνετ εφευρέθηκε στα τέλη της δεκαετίας του '60 στα ερευνητικά ινστιτούτα των ΗΠΑ και ήταν η ωθητήρια δύναμη για τη χρήση της τεχνολογίας γνωστής σήμερα ως xDSL. Αν και το διαδίκτυο χρησιμοποιήθηκε στην αρχή κυρίως για ερευνητικούς, ακαδημαϊκούς και στρατιωτικούς σκοπούς, για κοινή χρήση δεδομένων έγινε για πρώτη φορά γνωστό με την χρήση του e-mail, που ανακαλύφθηκε γύρω στην δεκαετία του 70'. Με την εμφάνιση του Worldwide Web (www) που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο CERN στην Ελβετία, άρχισε και έμπαινε στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων σ' όλο τον κόσμο. Στις αρχές της δεκαετίας του '90 χρειάστηκε να χρησιμοποιηθούν τα 56 kbps ως πρώτη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων.^[19]

1.2 Επεξήγηση του όρου της οπτικής ίνας

Οι οπτικές ίνες αποτελούν μια μέθοδο μετάδοσης πληροφοριών με την μορφή παλμών φωτός και γι' αυτό η τεχνολογία τους είναι πιο περίπλοκη από αυτήν των χάλκινων καλωδίων. Η φωτεινή πηγή είναι είτε laser είτε κάποιο είδος LED. Τα καλώδια οπτικών ινών χρησιμοποιούν συγκεκριμένα μήκη κύματος φωτός.^[13] Το μήκος κύματος μιας συγκεκριμένης πηγής φωτός είναι το μήκος, υπολογισμένο σε nanometers, μεταξύ δύο συνεχόμενων κορυφών ενός κύματος φωτός που εκπέμπει η πηγή.



Η χρήση παλμών φωτός για μεταφορά πληροφοριών εξυπηρετεί τους ίδιους στόχους με το χάλκινο καλώδιο, που μεταφέρει ηλεκτρικά σήματα. Οποιοσδήποτε τύπος ηλεκτρικού σήματος που μπορεί να μετατραπεί σε παλμούς φωτός μπορεί να μεταδοθεί μέσα σε ένα καλώδιο οπτικών ινών.¹⁷

Τα καλώδια οπτικών ινών έχουν παρόμοια συστατικά στην κατασκευή τους με τα χάλκινα καλώδια. Η κύρια διαφορά είναι ότι τα καλώδια οπτικών ινών χρησιμοποιούν γυαλί για μετάδοση παλμών φωτός, ενώ τα χάλκινα καλώδια χρησιμοποιούν κάποια μορφή χάλκινου αγωγού για μετάδοση ηλεκτρικών σημάτων. Τα καλώδια οπτικών ινών έχουν επίσης κάποια μορφή προστατευτικού μονωτικού υλικού που καλύπτει τις γυάλινες οπτικές ίνες και ένα περίβλημα που καλύπτει όλη την συγκρότηση του καλωδίου. Ορισμένα καλώδια οπτικών ινών περιλαμβάνουν μια θωράκιση καλωδίου. Οι θωρακίσεις είναι ένα προαιρετικό συστατικό και περιλαμβάνονται μόνο σε μερικούς τύπους καλωδίων οπτικών ινών.

1.3 Ενσύρματες επικοινωνίες και ο ρόλος των οπτικών ινών

Η εποχή, την οποία διανύουμε, έχει χαρακτηριστεί δικαίως από πολλούς ως η εποχή της πληροφορίας. Οι μορφές πληροφόρησης που κατακλύζουν εδώ και κοντά έναν αιώνα την ανθρωπότητα είναι πολλές και ποικίλες. Η τηλεφωνία, το ραδιόφωνο, η τηλεόραση, το Internet κ.α. είναι μερικές από τις δυνατότητες επικοινωνίας και μεταφοράς πληροφορίας που πλαισιώνουν την καθημερινή μας ζωή. Η ανάπτυξη νέων μορφών πληροφόρησης και η περαιτέρω βελτίωση των δυνατοτήτων των ήδη γνωστών μορφών καθίσταται στις μέρες μας ως επιτακτική ανάγκη καθώς είναι γεγονός ότι η τάση της ανθρωπότητας για συνεχή και γρήγορη πληροφόρηση αυξάνει σε καθημερινή βάση. Χαρακτηριστική απόδειξη αυτής της ανάγκης είναι η ραγδαία

εξάπλωση του Διαδικτύου που έχει εκπλήξει ακόμα και τους πιο αισιόδοξους αναλυτές.^[24] Πέρα όμως από την ραγδαία εξάπλωση η συνεχής αύξηση των χρηστών καθώς και του χρόνου χρήσης του Διαδικτύου αποτελούν τον βασικότερο λόγο για τις ραγδαίες αλλαγές, που συμβαίνουν στην βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών, καθώς η ανάγκη αυτή συντελεί στη συνεχή ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και στην κατασκευή δικτύων με πολύ υψηλές ταχύτητες μετάδοσης. Οι σημαντικότεροι παράγοντες, που έχουν συντελέσει στη συνεχή αναζωογόνηση αυτής της ανάγκης, είναι :

- Η εκπληκτική ανάπτυξη του Διαδικτύου (Internet) και του Παγκόσμιου Ιστού (World Wide Web) αναφορικά με τον αριθμό των χρηστών, αλλά κυρίως με το χρόνο χρήσης και κατ' επέκταση το εύρος ζώνης που αντιστοιχεί σε καθένα από αυτούς.
- Η συνεχής βελτίωση της παροχής υπηρεσιών με ταυτόχρονη ανάπτυξη εφαρμογών ιδιαίτερα φιλικών προς τους χρήστες όλων των ηλικιών και ιδιαιτεροτήτων.
- Η εμφάνιση εφαρμογών πολυμέσων και επικοινωνιών με ξεχωριστά και πολλές φορές πρωτοποριακά χαρακτηριστικά που κυριολεκτικά δίνουν νέες διαστάσεις σε ήδη υπάρχοντες μορφές διασκέδασης και ψυχαγωγίας.
- Η δυνατότητα ανάπτυξης εφαρμογών εμπορίου αλλά και αξιόπιστων υπηρεσιών ενημέρωσης και εξυπηρέτησης των χρηστών με υψηλά επίπεδα ασφάλειας και λειτουργικότητας.
- Οι υποσχέσεις των εταιριών για συνεχή βελτίωση του Διαδικτύου τόσο ως προς την αύξηση των ταχυτήτων μετάδοσης όσο και προς τις παρεχόμενες υπηρεσίες και τα επίπεδα ασφάλειας.
- Η αυξανόμενη ανάπτυξη τεχνολογιών ευζωνικής πρόσβασης, όπως για παράδειγμα η ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (Digital Subscriber Line10DSL) και τα καλωδιακά modem, τα οποία μπορούν να προσφέρουν εύρος ζώνης της τάξης των μερικών Mb/s ανά χρήστη.
- Η συνεχής δικτύωση επιχειρήσεων με γραμμές μεταφοράς πολύ υψηλών ταχυτήτων. Τα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως είτε για εσωτερική αλληλοσύνδεση των διαφόρων τμημάτων της επιχείρησης, είτε για επικοινωνία διαφορετικών επιχειρήσεων μεταξύ τους.

- Η μείωση του κόστους παροχής εύρους ζώνης. Η μείωση αυτή είναι αποτέλεσμα αφενός της προόδου των τηλεπικοινωνιών, και αφετέρου της κατάργησης του μονοπωλίου μεμονωμένων παροχών υπηρεσιών (service providers), ως αποτέλεσμα της απελευθέρωσης του χώρου. Η εισροή πολλών ακόμα χρηστών, σύμφωνα με τις αναλύσεις, θα οδηγήσει σε ακόμα μεγαλύτερη μείωση του κόστους παροχής εύρους ζώνης.

- Οι αλλαγές στον τύπο της τηλεπικοινωνιακής κίνησης, καθώς τα τελευταία χρόνια τα δίκτυα κατακλύζονται από πληροφορίες δεδομένων. Μεγάλες τηλεπικοινωνιακές εταιρίες αναφέρουν ετήσια αύξηση στη μετάδοση δεδομένων της τάξης του 100%. Η αντίστοιχη αύξηση για τη μετάδοση φωνής είναι μόλις 10% ετησίως.

Η ανάγκη για όλο και μεγαλύτερη αύξηση των ταχυτήτων μετάδοσης, δηλαδή μεγαλύτερου εύρους συχνοτήτων, οδήγησε στην χρήση της οπτικής ίνας αντί του καλωδίου χαλκού. Η οπτική ίνα παρέχει σημαντικότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με το απλό χάλκινο καλώδιο που χρησιμοποιείται εδώ και δεκαετίες στις ενσύρματες επικοινωνίες.^[22] Ορισμένα από αυτά τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα είναι:

- Το τεράστιο εύρος ζώνης. Η οπτική ίνα παρέχει εύρος συχνοτήτων για μετάδοση περίπου ίσο με 25THz ή 25000GHz στην φασματική περιοχή του 1.5μm. Το εύρος αυτό είναι 1000 φορές μεγαλύτερο από ολόκληρο το διαθέσιμο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων.

- Οι μικρές απώλειες κατά την διάδοση του σήματος. Η οπτική ίνα σε σχέση με το χάλκινο καλώδιο παρουσιάζει περιορισμένες απώλειες γεγονός που επιτρέπει την μετάδοση δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς να είναι αναγκαία η ενδιάμεση ενίσχυση του σήματος. Αλλά ακόμα και στην περίπτωση που απαιτείται ενίσχυση και αναγέννηση του σήματος δεδομένων η διαδικασία λαμβάνει χώρα σπανιότερα.

- Χαμηλό κόστος. Η δημιουργία ενός καλωδίου οπτικών ινών είναι πιο συμφέρουσα οικονομικά, σε σχέση με ένα χάλκινο καλώδιο ίδιας απόστασης και δυνατοτήτων. Αυτό ωφελεί αρχικά τους πάροχους υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών, οι οποίοι με μικρότερο κόστος παρέχουν ποιοτικές υπηρεσίες. Τελικά αυτό μειώνει και τις ανάγκες απόσβεσης εξόδων των παροχών, επομένως ωφελεί και τον καταναλωτή, που επιβαρύνεται με μικρότερες χρεώσεις για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιεί.

- Μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν παρατηρούνται σημαντικές απώλειες σήματος, καθώς και στον τρόπο μετάδοση δεδομένων, δηλαδή με τη χρήση φωτεινής δέσμης, που απαιτεί πολύ μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, σε σχέση με το ηλεκτρικό σήμα.
- Αμιγώς ψηφιακό σήμα, που εξασφαλίζει υψηλότερη ποιότητα επικοινωνίας και αποφυγή προβλημάτων που θα προέκυπταν σε μια αναλογική μετάδοση. Στον κόσμο της ψηφιακής πληροφορίας, τα δεδομένα αναπαρίστανται από τους αριθμούς 0 και 1, οι οποίοι ονομάζονται bits. Το 0 ισοδυναμεί με την κατάσταση «κλειστό» και το 1 με την κατάσταση «ανοικτό». Μια ακολουθία 8 bits σχηματίζουν 1 ψηφιακή λέξη που λέγεται byte ή octet. Οι οπτικές ίνες μεταδίδουν τις φωτεινές αναλαμπές με υψηλή αξιοπιστία, μεταφέροντας τα bytes με πολύ μικρότερες αλλοιώσεις σε σχέση με αυτές ενός κοινού καλωδίου δικτύου, ή μιας ασύρματης σύνδεσης δεδομένων.
- Υψηλή διαθεσιμότητα, που οφείλεται κυρίως στην ανθεκτική κατασκευή των σύγχρονων οπτικών καλωδίων, που μειώνει στο ελάχιστο το ενδεχόμενο εξωτερικής ζημιάς.
- Μικρές διαστάσεις και βάρος, καθώς ένα μικρό και ελαφρύ καλώδιο οπτικών ινών, μεταφέρει πολύ περισσότερα δεδομένα από ένα μεγαλύτερο και πιο βαρύ χάλκινο καλώδιο. Έτσι, απαιτείται πολύ λιγότερος χώρος για την υλοποίηση ενός δικτύου οπτικών ινών.
- Τέλος στα πλεονεκτήματα συγκαταλέγονται και οι τεχνικές πολυπλεξίας που μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την αποδοτικότητα της οπτικής ίνας επιτρέποντας την ταυτόχρονη μετάδοση πληροφορίας μέσω πολλών διαφορετικών καναλιών. Οι δύο τεχνικές πολυπλεξίας είναι η WDM(πολυπλεξία κατά μήκος κύματος) και OTDM (πολυπλεξία στο χρόνο).
- Μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι οπτικές ίνες είναι οι παραμορφώσεις που μπορεί να υποστεί το μεταδιδόμενο οπτικό σήμα εξαιτίας φαινομένων διασποράς, μη γραμμικότητας και διπλοθλαστικότητας. Η επίδραση όμως αυτών των φαινομένων επιλύεται χρησιμοποιώντας συγκεκριμένη ίνα, για αντιστάθμιση της διασποράς, μειώνοντας την μεταδιδόμενη ισχύς, για τις μη γραμμικότητες και φροντίζοντας να μην τσαλακωθεί η ίνα κατά την εγκατάσταση της, για την διπλοθλαστικότητα.

Το εύρος ζώνης είναι αναμφισβήτητα ο βασικότερος λόγος εξάπλωσης της οπτικής ίνας παρόλα αυτά δεν μπορούμε να αμελήσουμε και τα υπόλοιπα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει σαν καλώδιο. Το γεγονός όμως ότι η οπτική ίνα παρουσιάζει μεγάλο εύρος ζώνης και ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (υπάρχουν αυτή την στιγμή εμπορικά διαθέσιμα συστήματα που λειτουργούν στα 10Gbps και σε λίγο καιρό θα υπάρχουν και τα αντίστοιχα στα 40Gbps) δεν σημαίνει ότι εν τέλει μπορούμε να έχουμε πρακτικά τέτοιους ρυθμούς. Ο λόγος είναι ότι σε κάθε κόμβο το οπτικό σήμα πρέπει να μετατρέπεται σε ηλεκτρικό και να επεξεργάζεται καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας του στην οπτική μορφή. Αυτό προσθέτει σημαντική καθυστέρηση στην διαδικασία της μετάδοσης ενώ αν προσθέσουμε και το γεγονός ότι τα ηλεκτρονικά δεν μπορούν να δουλέψουν σε τόσο υψηλούς ρυθμούς οδηγούμαστε στην διαπίστωση ότι μένουν ανεκμετάλλευτες οι δυνατότητες που μας παρέχει η οπτική ίνα.

Για την αντιμετώπιση αυτού του σοβαρού προβλήματος η τεχνολογία προωθεί την δημιουργία και ανάπτυξη διατάξεων επεξεργασίας οπτικού σήματος σε ρυθμούς αντίστοιχους των ρυθμών μετάδοσης. Οι διατάξεις αυτές πρέπει να πραγματοποιούν όλες τις αναγκαίες ενέργειες που θα καθιστούν δυνατή την μετάδοση οπτικού σήματος χωρίς τη ενδιάμεση παρεμβολή ηλεκτρονικών. Οι διατάξεις αυτές θα παρέχουν δυνατότητες ενίσχυσης, αναγέννησης, μεταγωγής και επεξεργασίας του οπτικού σήματος. Απώτερος στόχος είναι η δημιουργία των αμιγώς οπτικών δικτύων, δηλαδή δικτύων όπου όλες οι λειτουργίες θα πραγματοποιούνται σε οπτικό επίπεδο εξασφαλίζοντας ταχύτητα και λειτουργικότητα. Αναφορικά ως προς αυτή κατεύθυνση έχει παρουσιαστεί μεγάλη εξέλιξη και τα δεδομένα είναι ενθαρρυντικά για το μέλλον.

Η εμφάνιση των φτηνών οπτικών ενισχυτών ίνας ερβίου που παρουσιάζουν ικανοποιητικό κέρδος σε ένα αρκετά μεγάλο φάσμα συχνοτήτων καθώς και η ύπαρξη πολυπλεκτών / αποπολυπλεκτών σε συνδυασμό με διατάξεις αναγέννησης, μετατροπής μήκους κύματος αλλά και των πρώτων οπτικών πυλών που βασίζονται σε συμβολόμετρα αποτελούν την καλύτερη παρακαταθήκη για το μέλλον της φωτονικής τεχνολογίας. Σήμερα η έρευνα επικεντρώνεται στην δημιουργία και βελτίωση εκείνων των επιμέρους διατάξεων που στο μέλλον θα είναι η βάση για την δημιουργία των πρώτων αμιγώς οπτικών δικτύων.^[16]

1.4 Εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Η οπτική ίνα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως γραμμή μεταφοράς στο δίκτυο TAT-8 για τη μετάδοση υπεραστικών και υπερατλαντικών τηλεφωνικών σημάτων σε ρυθμό μετάδοσης 560 Mb/s. Η διείσδυση των οπτικών ινών στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα κορμού επιταχύνθηκε μετά την υλοποίηση των πρώτων οπτικών ενισχυτών με ίνες προσμίξεων ερβίου (Erbium Doped Fiber Amplifier-EDFA), οι οποίοι επέτρεψαν την ενίσχυση του σήματος απευθείας στο οπτικό επίπεδο χωρίς τη χρήση οπτο-ηλεκτρονικών μετατροπών, παρέχοντας τη δυνατότητα για την κατασκευή μεγαλύτερου μήκους οπτικών δικτύων. Έτσι, στα μέσα της δεκαετίας του 1990 ολοκληρώθηκε το υπερατλαντικό δίκτυο TAT-12/13, το οποίο διαχειρίζεται κίνηση σε ρυθμό μετάδοσης 10 Gb/s, το υποθαλάσσιο δίκτυο FLAG με παρόμοιες δυνατότητες και βάση τη Σύγχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία (Synchronous Digital Hierarchy-SDH), και το παναφρικανικό δίκτυο Africa ONE. Με την έναρξη της νέας χιλιετίας ολοκληρώθηκε το παγκόσμιο δίκτυο SEA-MEWE_3 (Ευρώπη-Ασία-Αυστραλία) με συνολική διέλευση 10 Gb/s, ενώ ανακοινώνεται και η έναρξη των δικτύων Flag-Atlantic1 και Flag-Pacific1 με διέλευση 5 και 10 Tb/s και βάση το SDH.^[18] Παράλληλα, έκαναν την εμφάνισή τους και τα πρώτα εμπορικά διαθέσιμα συστήματα μετάδοσης με ρυθμό μετάδοσης κάθε καναλιού στα 40 Gb/s.

Τα οπτικά δίκτυα διαχωρίζονται σε δύο γενιές: στα δίκτυα πρώτης και στα δίκτυα δεύτερης γενιάς. Στα οπτικά δίκτυα πρώτης γενιάς η οπτική ίνα χρησιμοποιούνταν μόνο ως φυσικό μέσο μετάδοσης και παροχής χωρητικότητας, ενώ η μεταγωγή, η δρομολόγηση, καθώς και όλες οι άλλες ευφυείς δικτυακές διεργασίες επιτελούνταν από ηλεκτρονικά κυκλώματα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα των οπτικών δικτύων πρώτης γενιάς είναι το Σύγχρονο Οπτικό Δίκτυο (Synchronous Optical Network-SONET) και το SDH, τα οποία σχηματίζουν τον κορμό της τηλεπικοινωνιακής υποδομής στη Βόρεια Αμερική, την Ασία και την Ευρώπη. Στις μέρες μας σχηματίζονται σταδιακά τα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς, στα οποία μέρος της δρομολόγησης, της μεταγωγής καθώς και των άλλων ευφυών διαδικασιών έχει μετακινηθεί στο οπτικό επίπεδο (optical layer).^[19]

Για την αξιοποίηση της τεράστιας χωρητικότητας των οπτικών ινών και τη βέλτιστη εκμετάλλευση αυτής χρησιμοποιούνται τυπικές τεχνικές οπτικής πολυπλεξίας σε πλήρη αναλογία με τις τεχνικές ηλεκτρονικής πολυπλεξίας. Η ανάγκη

για πολυπλεξία γεννήθηκε από το γεγονός ότι είναι πολύ πιο οικονομική η μετάδοση δεδομένων με υψηλότερο ρυθμό μέσα από μία και μόνο ίνα, από το να χρησιμοποιούνται πολλές ίνες μεταφέροντας δεδομένα σε χαμηλούς ρυθμούς. Οι βασικοί τρόποι πολυπλεξίας μέσα σε μία οπτική ίνα, οι οποίοι έχουν αναφερθεί και στην αρχή στα πλεονεκτήματα των οπτικών δικτύων, είναι η πολυπλεξία κατά μήκος κύματος (Wavelength Division Multiplexing-WDM) και η οπτική πολυπλεξία δεδομένων στο πεδίο του χρόνου (Optical Time Division Multiplexing-OTDM).

Αν και τα οπτικά δίκτυα υιοθετήθηκαν αρχικά μόνο για τη μετάδοση των δεδομένων, πολύ γρήγορα διαπιστώθηκε ότι έχουν τις δυνατότητες για την υλοποίηση περισσότερων λειτουργικών διεργασιών πέραν της ζεύξης από σημείο σε σημείο. Μεταφέροντας ορισμένες από τις διεργασίες μεταγωγής και δρομολόγησης, που επιτελούνταν από ηλεκτρονικά κυκλώματα, απευθείας στο οπτικό επίπεδο, προκύπτουν ορισμένα πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα, καθώς έτσι ορισμένες λειτουργίες γίνονται σε συντομότερο χρονικό διάστημα και ταυτόχρονα απαλλάσσονται τα ηλεκτρονικά κυκλώματα από την επεξεργασία όλου του όγκου δεδομένων. Η διαπίστωση αυτή οδήγησε στα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς, τα οποία έχουν ήδη αρχίσει να εγκαθίστανται σταδιακά.^[20]

Αν και οι επιδόσεις των οπτικών δικτύων δεύτερης γενιάς είναι αρκετά ικανοποιητικές για τα δίκτυα ευρείας περιοχής, δεν επαρκούν για την αποδοτική διασύνδεση σε δίκτυα μεγαλύτερης εκρηκτικότητας και αμεσότερης πρόσβασης. Για την εξυπηρέτηση αυτών των δικτύων και τη βέλτιστη εκμετάλλευση του διαθέσιμου εύρους ζώνης οι ελπίδες έχουν εναποτεθεί στα μελλοντικά οπτικά δίκτυα τρίτης γενιάς, τα οποία έχουν συγκεντρώσει σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια, και για τα οποία γίνεται λόγος στην επόμενη ενότητα.

Ο βασικός στόχος των μελλοντικών οπτικών δικτύων τρίτης γενιάς είναι η αποδοτική εκμετάλλευση του διαθέσιμου εύρους ζώνης των οπτικών δικτύων, υπό την έννοια της παροχής συνδέσεων υψηλής χωρητικότητας μόνο κατά το χρονικό διάστημα, για το οποίο οι συνδέσεις αυτές είναι ενεργές. Για την επίτευξη της παροχής εύρους ζώνης κατ'απαίτηση τα οπτικά δίκτυα τρίτης γενιάς έχουν υιοθετήσει την τεχνική μεταγωγής πακέτου, η οποία ήδη λειτουργεί με αποδοτικό τρόπο στα ηλεκτρονικά δίκτυα. Ο όρος οπτικά δίκτυα τρίτης γενιάς είναι, επομένως,

ταυτόσημος με τον όρο οπτικά δίκτυα μεταγωγής πακέτων (All-Optical Packet Switched Networks – OPS).^[21]

1.5 Οι εφαρμογές των οπτικών ινών

➤ Οπτική ίνα επικοινωνίας

Η Οπτική ίνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο για τηλεπικοινωνιών και δικτύωσης, διότι είναι ευέλικτη και μπορεί να ομαδοποιείται. Είναι ιδιαίτερα επωφελής για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων, επειδή το φως διαδίδεται μέσα από την ίνα με μικρή εξασθένηση συγκριτικά με τη μεγαλύτερη εξασθένηση του σήματος των ηλεκτρικών καλωδίων. Αυτό επιτρέπει να εκτείνονται σε μεγάλες αποστάσεις με λίγους επαναλήπτες αναμετάδοσης. Επιπλέον, τα φωτεινά σήματα αναλύσεων στην ίνα μπορεί να διαμορφώνονται σε ποσοστά τόσο υψηλά όσο 40 Gb/s κάθε ίνα μπορεί να μεταφέρει πολλά ανεξάρτητα κανάλια, το καθένα με διαφορετική πολύπλεξη με επιμερισμό μήκους κύματος του Φώτος (wavelength-division multiplexing). Σε μικρές αποστάσεις, όπως η δικτύωση μέσα σε ένα κτίριο, η ίνα εξοικονομεί χώρο διότι μια ενιαία ίνα μπορεί να μεταφέρει πολύ περισσότερα δεδομένα από ένα ενιαίο ηλεκτρικό καλώδιο.^[1]

➤ Αισθητήρες οπτικών ινών

Οπτικές Ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αισθητήρες για τη μέτρηση της τάσεως παραμόρφωσης,(καταπόνηση μετάλλων, κόπωση των υλικών),της θερμοκρασίας, της πίεσης και άλλων παραμέτρων. Το μικρό μέγεθος και το γεγονός ότι η ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι απαραίτητη δίνει στην ίνα οπτικού αισθητήρα το πλεονέκτημα σε σχέση με τους συμβατικούς ηλεκτρικούς αισθητήρες, σε ορισμένες εφαρμογές.

Οπτικές Ίνες χρησιμοποιούνται ως υδρόφωνα για σεισμικές ή SONAR εφαρμογές. Έχουν αναπτυχθεί Hydrophone συστήματα με περισσότερους από 100 αισθητήρες ανά καλώδιο οπτικής ίνας. Οι υδρόφωνοι αισθητήρες χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία πετρελαίου, καθώς και από το πολεμικό ναυτικό μερικών χωρών. Η γερμανική εταιρεία Sennheiser ανέπτυξε ένα μικρόφωνο που εργάζεται με λέιζερ και τις Οπτικές Ίνες.^[1]

Οπτικοί αισθητήρες θερμοκρασίας και πίεσης έχουν αναπτυχθεί για μέτρηση σε γεωτρήσεις. Ο οπτικός αισθητήρας είναι κατάλληλος για το περιβάλλον αυτό, αφού μπορεί να λειτουργεί σε θερμοκρασίες πολύ υψηλές για αισθητήρες ημιαγωγών.

Μια άλλη χρήση της οπτική ίνα ως αισθητήρα είναι η χρήση ως οπτικό γυροσκόπιο που είναι σε χρήση στο Boeing 767 και σε ορισμένα μοντέλα αυτοκινήτων (για σκοπούς πλοηγείσεως) και τη χρήση σε μικροαισθητήρες υδρογόνου. Οι οπτικοί αισθητήρες έχουν αναπτυχθεί για τη μέτρηση ταυτόχρονα περιοχών θερμοκρασίας και πίεσης με πολύ μεγάλη ακρίβεια Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για να αποκτήσει πληροφορίες από μικρές πολύπλοκες δομές.^[3]

➤ Άλλες χρήσεις των οπτικών ινών

Η οπτική ίνα χρησιμοποιείται επίσης σε ένα οπτικό σύστημα απεικόνισης. Μια συνεκτική δέσμη ινών που χρησιμοποιούνται, μερικές φορές μαζί με φακούς, για μια μακρά, λεπτή συσκευή απεικόνισης, ονομάζεται ενδοσκόπιο endoscope, η οποία χρησιμοποιείται για να βλέπουμε αντικείμενα μέσω μιας μικρής τρυπάς. Ιατρικά ενδοσκόπια χρησιμοποιούνται για προληπτικές εξετάσεις, για διερευνητική ενδοσκόπηση και χειρουργικές επεμβάσεις. Βιομηχανικά ενδοσκόπια χρησιμοποιούνται για διερεύνηση σε σημεία που είναι δύσκολο να φτάσουμε, όπως το εσωτερικό μηχανών αεροσκαφών τύπου τζετ.^[1]

Μια οπτική ίνα νοθευμένη με ορισμένα σπάνια στοιχεία, όπως erbium μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο ενίσχυσης ενός λέιζερ ή οπτικού ενισχυτή. Νοθευμένες οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ενίσχυση σήματος με σύνδεση splicing ενός μικρού μέρους της νοθευμένης ίνας μέσα σε μια κανονική (ανόθευτη) γραμμή. Η νοθευμένη ίνα ενισχύεται οπτικά με ένα δεύτερο μήκους κύματος λέιζερ που συνδέεται στη γραμμή με το μονό σήμα κύματος. Και τα δυο μήκη κύματος του φωτός που μεταδίδονται μέσω της νοθευμένης ίνας, η οποία μεταβιβάζει την ενέργεια από το δεύτερο ενισχυμένο μήκος κύματος στο κύμα του σήματος. Η διαδικασία που προκαλεί ενίσχυση ονομάζεται διεγερόμενη εκπομπή (stimulated emission). Νοθευμένες οπτικές ίνες με μετατόπιση μήκους κύματος χρησιμοποιούνται για να συλλέγουν φως σπινθηροβολήματος σε πειράματα φυσικής.^[4]

Οπτική ίνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας (περίπου το ένα watt) σε ηλεκτρικές συσκευές που βρίσκονται σε ηλεκτρικά δύσκολα περιβάλλοντα (difficult electrical environment) Παραδείγματος χάρη σε ηλεκτρονικά στοιχεία κεραιών υψηλής ενέργειας και σε συσκευές μέτρησης που χρησιμοποιούνται περιβάλλον υψηλής τάσης.

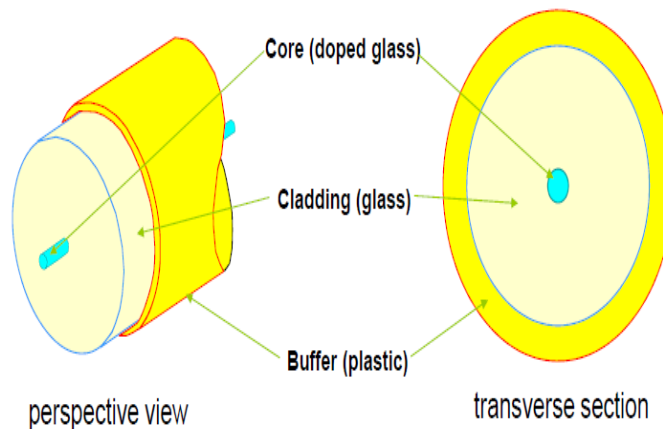
Κεφάλαιο 2^ο :

Μελέτη των διάφορων τύπων καλωδιώσεων οπτικής ίνας

Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο αναφέρεται στα χαρακτηριστικά των οπτικών ινών. Διακρίνονται 14 παράμετροι, σε παραμέτρους εγκατάστασης και περιβαλλοντικές παραμέτρους, ώστε να είναι επιτυχής η εγκατάσταση οπτικών καλωδίων. Για κάθε παράμετρο δίνονται τυπικές τιμές που αναφέρονται σε κάθε πιθανή εφαρμογή των οπτικών καλωδίων καθώς και πρακτικά παραδείγματα για κάθε περίπτωση. Επίσης με βάση αυτές τις παραμέτρους περιγράφονται τροποποιήσεις που γίνονται για την προστασία τους.^[6]

2.1 Εσωτερικό μιας Οπτικής Ίνας



Η οπτική ίνα καθοδηγεί το φως μέσω του φαινομένου της ολικής εσωτερικής ανάκλασης. Τα μέρη από τα οποία αποτελείται μία οπτική ίνα είναι από διάφορα υλικά, τα οποία έχουν διαφορετικό δείκτη διάθλασης ώστε να περιορίζουν – να καθοδηγούν δηλαδή – το φως. Αυτά είναι :

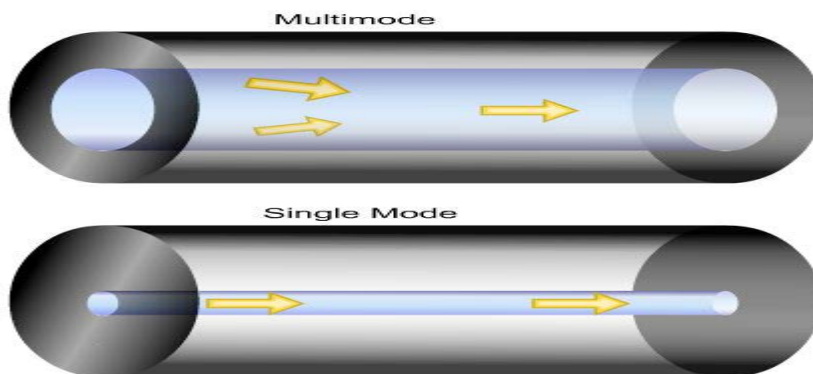
- ο πυρήνας (core) ο οποίος είναι η κύρια περιοχή της οπτικής ίνας που το φως ταξιδεύει και μεταφέρει την πληροφορία. Τα πιο συχνά μεγέθη πυρήνα που υπάρχουν στις τηλεπικοινωνίες σήμερα είναι 8.3 μm (μονότροπες ίνες), 50 μm και 62.5 μm (πολύτροπες ίνες).

- η επένδυση (cladding) η οποία πλαισιώνει τον πυρήνα και είναι κατασκευασμένη από γυαλί αλλά έχει μικρότερο δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα, έτσι το φως δεν περνάει την επένδυση και μένει στην περιοχή του πυρήνα. Η διάμετρος της επένδυσης είναι 125 μm ενώ ο πυρήνας και η επένδυση δεν μπορούν να ξεχωριστούν καθώς κατασκευάζονται σαν ενιαίο κομμάτι γυαλιού πυριτίου με ελαφρώς διαφορετικές συνθέσεις.
- το επίστρωμα (coating) το οποίο είναι το εξωτερικό στρώμα της ίνας που είναι κατασκευασμένο από πλαστικό και την προστατεύει μηχανικά, δηλαδή την προστατεύει από ζημιά και υγρασία. Κατά τη διαδικασία εγκατάστασης, το επίστρωμα απομακρύνεται από την επένδυση για να επιτρέψει την κατάληξή του σ' ένα οπτικό σύστημα μετάδοσης. Η διάμετρος του επιστρώματος είναι 250 μm ή 900 μm .

2.2 Κατηγοριοποίηση των καλωδιώσεων

Υπάρχουν δύο γενικές κατηγορίες οπτικών ινών που διαχωρίζονται κυρίως με βάση το μέγεθος του πυρήνα της οπτικής ίνας. Φυσικά λόγω του μεγέθους της οπτικής ίνας η μετάδοση στις δύο κατηγορίες πραγματοποιείται με διαφορετικό τρόπο που θα αναλυθεί παρακάτω και που μπορεί να αποτελέσει ένα ακόμα τρόπο διαχωρισμού μεταξύ των δύο κατηγοριών. Οι δύο αυτές κατηγορίες είναι οι εξής^[6] :

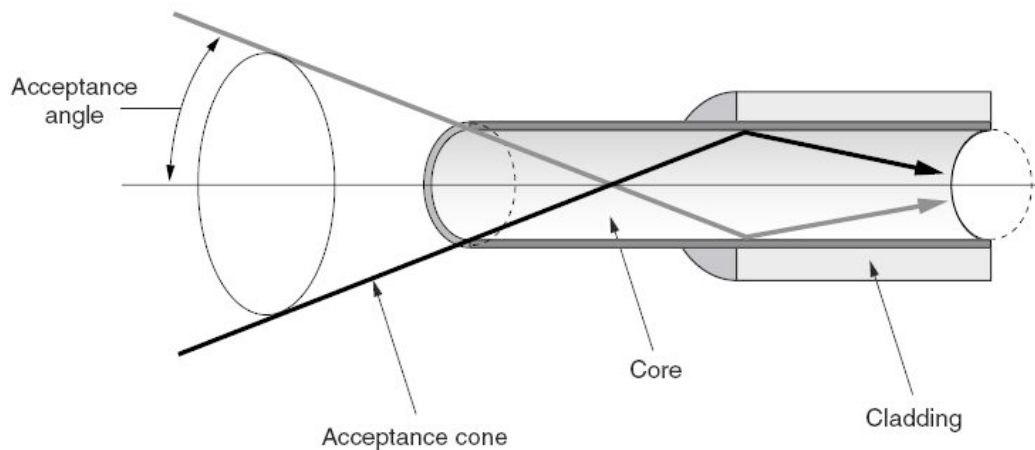
- Καλώδια πολύτροπων οπτικών ινών
- Καλώδια μονότροπων οπτικών ινών



Εικόνα . Πολύτροπη και μονότροπη ίνα.

2.2.1 Καλώδια πολύτροπων οπτικών ινών (Multimode fiber).

Το στοιχείο της οπτικής ίνας μέσω του οποίου ταξιδεύουν οι ακτίνες φωτός ονομάζεται πυρήνας (core). Ο πυρήνας στα καλώδια πολυτρόπων οπτικών ινών έχει μεγάλο μέγεθος και αυτό επιτρέπει σε πολλές ακτίνες φωτός να εισέλθουν σε αυτόν ταυτόχρονα. Οι ακτίνες φωτός μπορούν να εισέλθουν στον πυρήνα μόνο αν η γωνία τους ανήκει στο αριθμητικό φάσμα ανοίγματος της ίνας (δεκτή γωνία πρόσπτωσης). Έπειτα, αφού οι ακτίνες έχουν εισέλθει στον πυρήνα της ίνας, υπάρχει περιορισμένος αριθμός από οπτικά μονοπάτια που μια ακτίνα φωτός μπορεί να ακολουθήσει.^[7] Αυτά τα οπτικά μονοπάτια ονομάζονται modes. Αν η διάμετρος του πυρήνα της ίνας είναι αρκετά μεγάλη ώστε να υπάρχουν πολλά μονοπάτια τα οποία να μπορούν να διασχίσουν οι ακτίνες φωτός τότε η οπτική ίνα ονομάζεται πολύτροπη "multimode" ίνα. Η μονότροπη "Single-mode" ίνα έχει πολύ μικρότερο πυρήνα και επιτρέπει στις ακτίνες φωτός να ταξιδεύουν μέσα σε αυτόν μέσω ενός μόνο mode.



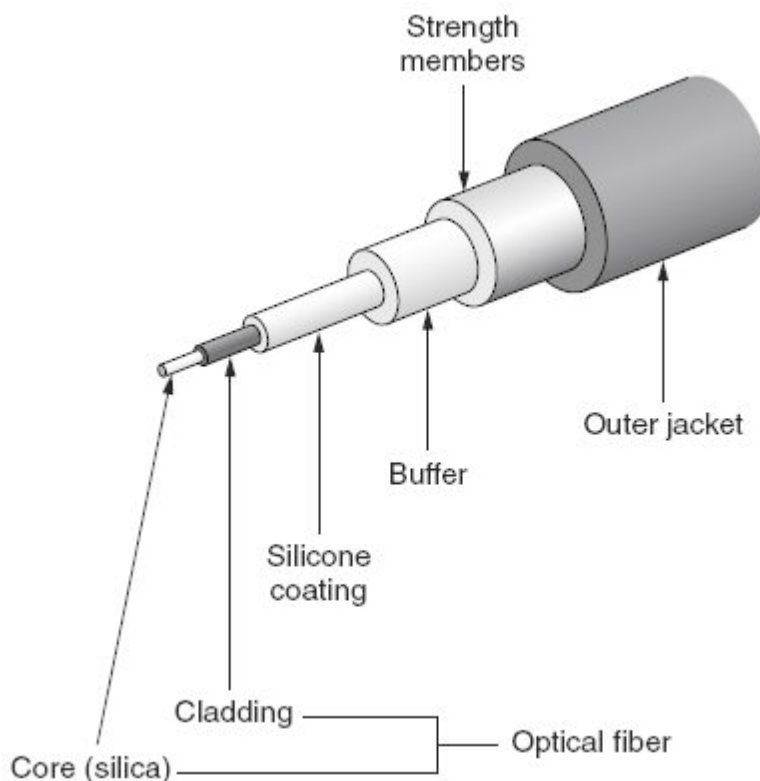
Εικόνα : Δεκτή γωνία πρόσπτωσης.

Κάθε καλώδιο οπτικής ίνας που χρησιμοποιείται στην δικτύωση αποτελείται από δύο ίνες οι οποίες εγκλείονται σε διαφορετικές θήκες. Αν υποθέσουμε πως έχουμε δύο συσκευές A και B η επικοινωνία μεταξύ τους επιτυγχάνεται ως εξής: η μία ίνα μεταφέρει δεδομένα από την συσκευή A στην συσκευή B ενώ η άλλη μεταφέρει δεδομένα από την συσκευή B στην συσκευή A. Οι ίνες λειτουργούν παρόμοια με δύο μονόδρομους που έχουν αντίθετες κατευθύνσεις. Αυτό το γεγονός παρέχει μία full-duplex επικοινωνία (επικοινωνία και προς τις δύο κατευθύνσεις ταυτόχρονα). Τα χάλκινα καλώδια συνεστραμμένων ζευγών χρησιμοποιούν ένα ζευγάρι καλωδίων για να αποστέλλουν δεδομένα και ένα άλλο ζευγάρι καλωδίων για

να λαμβάνουν δεδομένα. Έτσι και τα κυκλώματα των οπτικών ινών χρησιμοποιούν την μία ίνα για αποστολή και την άλλη για λήψη δεδομένων. Τυπικά αυτές οι δύο ίνες εγκλείονται σε ένα απλό εξωτερικό κάλυμμα μέχρι να φτάσουν στο σημείο που γίνεται η σύνδεση των συνδέσμων (connectors) .^[17]

Μέχρι την σύνδεση των συνδέσμων δεν υπάρχει η ανάγκη για προστατευτικό κάλυμμα επειδή το φως δεν μπορεί να δραπετεύσει όταν βρίσκεται μέσα στην ίνα. Οι ίνες μπορούν να μεταφέρουν πολύ περισσότερα bits ανά δευτερόλεπτο και σε μεγαλύτερες αποστάσεις απ' ότι ο χαλκός. Συνήθως το οπτικό καλώδιο απαρτίζεται από 5 μέρη . Αυτά τα μέρη είναι :

- Ο πυρήνας (core)
- Ο μανδύας (cladding)
- Η προστατευτική επικάλυψη (buffer)
- Τα ανθεκτικά μέλη (strength members)
- Μια εξωτερική προστασία (outer jacket)



Εικόνα : Τα 5 μέρη της οπτικής ίνας.

Ο πυρήνας αποτελεί το μέσο της μεταφοράς του φωτός και βρίσκεται στο κέντρο της οπτικής ίνας. Όλα τα φωτεινά σήματα ταξιδεύουν μέσω του πυρήνα. Ο πυρήνας ουσιαστικά είναι γυαλί φτιαγμένο από έναν συνδυασμό διοξειδίου πυριτίου (silica) και άλλων στοιχείων. Η Multimode ίνα χρησιμοποιεί για τον πυρήνα της ένα τύπο γυαλιού που ονομάζεται graded index. Αυτό το γυαλί έχει χαμηλότερο δείκτη διάθλασης προς την εξωτερική άκρη του πυρήνα.^[17] Επομένως η εξωτερική περιοχή του πυρήνα είναι λιγότερο οπτικά πυκνή από αυτήν στο κέντρο με αποτέλεσμα το φως να ταξιδεύει γρηγορότερα στο εξωτερικό μέρος του πυρήνα. Αυτός ο σχεδιασμός χρησιμοποιείται επειδή μια ακτίνα φωτός που ακολουθεί ένα mode το οποίο πηγαίνει κατευθείαν στο κέντρο του πυρήνα δεν ταξιδεύει τόσο μακριά όσο μια άλλη ακτίνα η οποία αναπηδά πάνω κάτω μέσα στην ίνα. Όλες οι ακτίνες πρέπει να φτάσουν στο τέρμα ταυτόχρονα. Έτσι ο παραλήπτης στο τέλος της ίνας λαμβάνει μια ισχυρή λάμψη φωτός και όχι ένα μακροχρόνιο, αδύναμο παλμό.

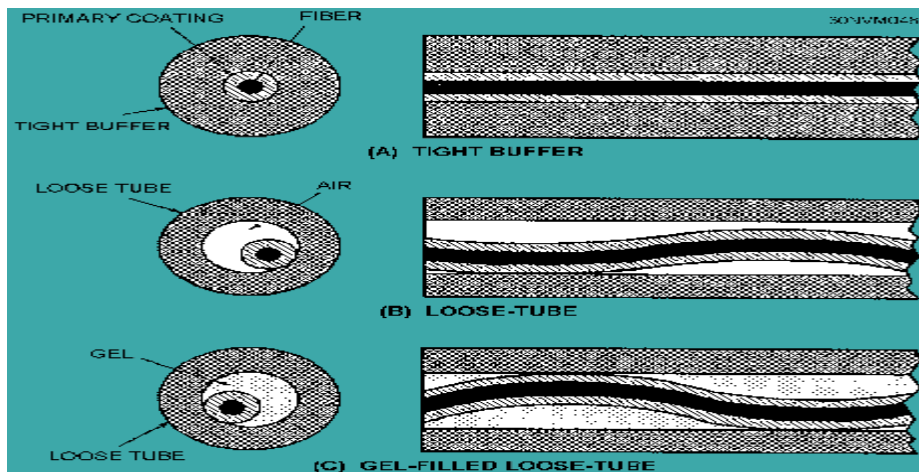
Ο πυρήνας περιβάλλεται από το cladding (μανδύας). Η εργασία του μανδύα είναι να κρατά το φως μέσα στον πυρήνα. Το υλικό από το οποίο φτιάχνεται το cladding είναι ίδιο με αυτό του πυρήνα αλλά με χαμηλότερο δείκτη διάθλασης. Ο πυρήνας έχει πάντα υψηλότερο δείκτη διάθλασης από τον μανδύα. Αυτό βοηθάει να μένουν οι ακτίνες φωτός μέσα στον πυρήνα, επειδή το φως τείνει να κυρτώνει φυσικά προς το υλικό με τον υψηλότερο δείκτη διάθλασης. Το κλασικό multimode καλώδιο οπτικής ίνας αποτελεί τον πιο κοινό τύπο καλωδίων οπτικών ιών που χρησιμοποιούνται στα LANs. Ένα κλασικό multimode καλώδιο οπτικής ίνας χρησιμοποιεί οπτική ίνα με πυρήνα διαμέτρου 62.5 ή 50 micron (1μ (micron) = ένα εκατομμυριοστό του μέτρου) και cladding διαμέτρου 125 micron [62.5/125 ή 50/125].

Το cladding περιβάλλεται από ένα buffer υλικό το οποίο συχνά είναι πλαστικό. Αυτό το υλικό βοηθάει στην προστασία του πυρήνα και του cladding από πιθανές ζημιές. Υπάρχουν δύο βασικοί σχεδιασμοί καλωδίων ο ένας είναι ο loose tube (χαλαρός σχεδιασμός) και ο άλλος ο tight-buffered (σφιχτός σχεδιασμός). Οι περισσότερες οπτικές ίνες που χρησιμοποιούνται στα LANs ακολουθούν τον δεύτερο σχεδιασμό στον οποίο το buffering υλικό που περικλείει το cladding είναι σε άμεση επαφή με αυτό.^[12]

Τα tight-buffered καλώδια έχουν πολύ μικρό μέγεθος και αυτό τα κάνει ιδιαίτερα εύκαμπτα, δηλαδή εύκολα στην εγκατάσταση. Η κατασκευή tight-buffered παρέχει εξαιρετική αντίσταση σε συγκρούσεις αλλά δεν προστατεύει το γυαλί της

οπτικής ίνας και δεν παρέχει αντοχή σε εναλλαγές θερμοκρασίας. Γι' αυτούς τους λόγους τα tight-buffered καλώδια χρησιμοποιούνται κυρίως για εσωτερικές εγκαταστάσεις.

Αντίθετα η τεχνολογία loose-tube παρέχει καλύτερη προστασία σε περιπτώσεις ακραίων εναλλαγών θερμοκρασίας. Οι περισσότεροι κατασκευαστές καλωδίων εγχύουν ένα ζελέ για προστασία από το νερό μέσα στους σωλήνες χαλαρής μόνωσης για να προστατεύουν την οπτική ίνα από καταστροφή από το νερό. Γι' αυτούς τους λόγους τα loose-tube καλώδια χρησιμοποιούνται για εξωτερικές εγκαταστάσεις. Τα καλώδια loose-tube που περιέχουν το ζελέ για την προστασία από το νερό δεν μπορούν να εγκατασταθούν σε εσωτερικούς χώρους γιατί παραβιάζουν τους κανονισμούς πυροπροστασίας καθώς το ζελέ αυτό είναι τυπικά ένα υλικό με βάση το πετρέλαιο.



Εικόνα: Σφιχτός και χαλαρός σχεδιασμός οπτικών ινών.

Τα ανθεκτικά μέλη που περιβάλλουν τον buffer προστατεύουν το καλώδιο από κακομεταχείριση όπως για παράδειγμα απότομο τράβηγμα. Το υλικό που συχνά χρησιμοποιείται εδώ είναι το Kevlar που επίσης χρησιμοποιείται και στην παραγωγή των αλεξίσφαιρων γιλέκων.

Το τελευταίο μέρος του οπτικού καλωδίου είναι η εξωτερική προστασία ή αλλιώς το περίβλημα του καλωδίου που προστατεύει την ίνα από γδαρσίματα, διαλυτικές ουσίες και από άλλες επικίνδυνες καταστάσεις. Συνήθως η εξωτερική προστασία έχει πορτοκαλί χρώμα.

Στις multimode οπτικές ίνες συνήθως χρησιμοποιούνται οι εξής δύο πηγές φωτός : Infrared Light Emitting Diodes (LEDs) ή Vertical Cavity Surface Emitting

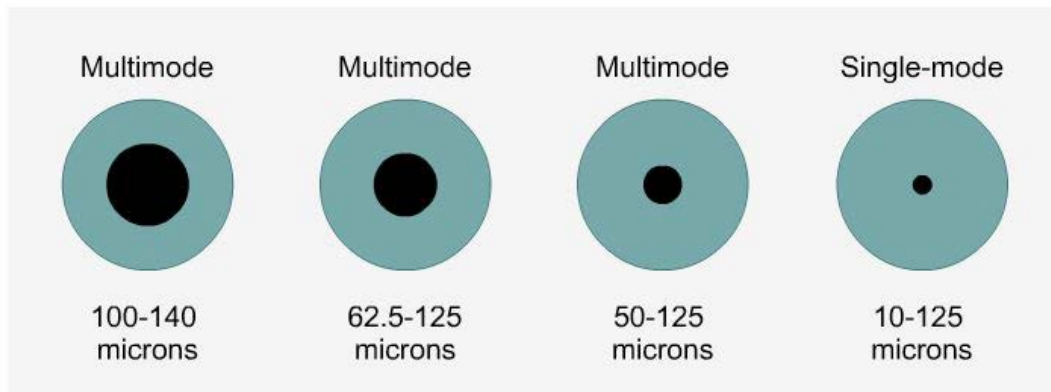
Lasers (VCSELs). Τα LEDs είναι λίγο φθηνότερα αλλά μπορούν να καλύψουν μικρότερες αποστάσεις σε σχέση με τα VCSELs.^[12]

2.2.2 Καλώδια μονότροπων οπτικών ινών (Singlemode fiber).

Η Single-mode (μονότροπη) ίνα αποτελείται από τα ίδια μέρη με την multimode ίνα. Η εξωτερική προστασία της single-mode ίνας είναι συνήθως κίτρινη. Η σημαντικότερη διαφορά μεταξύ multimode και single-mode είναι το γεγονός ότι η δεύτερη επιτρέπει μόνο σε ένα mode φωτός να μεταδίδεται μέσω του πυρήνα της. Ο πυρήνας της single-mode ίνας έχει διάμετρο από 8 ως 10 microns. Η πιο κοινή διάμετρος είναι αυτή των 9 microns ($9/125=9$ microns διάμετρος του πυρήνα και 125 microns διάμετρος του cladding, η τιμή αυτή αναγράφεται στην εξωτερική επιφάνεια της ίνας) .

Στις single-mode ίνες ως πηγή φωτός χρησιμοποιείται ένα infrared laser. Οι ακτίνες φωτός που αυτό παράγει εισέρχονται στον πυρήνα με γωνία 90 μοιρών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ακτίνα να ακολουθεί μία σταθερή ευθεία πορεία μέσα από το κέντρο του πυρήνα. Αυτό αυξάνει σημαντικά και την ταχύτητα και την απόσταση που μπορούν τα δεδομένα να μεταφερθούν. Εξαιτίας του σχεδιασμού της η single-mode ίνα είναι συμβατή με υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων (bandwidth) και μεγαλύτερες αποστάσεις σε σχέση με την multimode οπτική ίνα. Η single-mode ίνα μπορεί να μεταφέρει δεδομένα σε αποστάσεις μέχρι και τα 3000 μέτρα ενώ η multimode ίνα μέχρι και τα 2000 μέτρα και με bandwidth μικρότερο από τα 200 mb/sec. Παρά το γεγονός ότι αυτή η απόσταση θεωρείται ως στάνταρ οι νεότερες τεχνολογίες έχουν αυξήσει αυτές τις αποστάσεις. Τα laser ¹και οι single-mode ίνες είναι πιο ακριβά από τα led και τις multimode ίνες. Λόγω των χαρακτηριστικών τους οι single-mode ίνες συχνά χρησιμοποιούνται για εσωτερικές κτηριακές δικτυώσεις.

¹ Το φως του laser που χρησιμοποιείται για τις single-mode ίνες έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος από αυτό που μπορεί να δει το ανθρώπινο μάτι. Το laser είναι τόσο δυνατό που μπορεί να προκαλέσει σοβαρή ζημιά στα μάτια.



Εικόνα : Διάμετρος των πυρήνων multimode και singlemode ινών.

2.3 Οι παράμετροι των καλωδίων και οι τυπικές τιμές τους

Για τον πλήρη προσδιορισμό των χαρακτηριστικών ενός καλωδίου οπτικών ινών, απαιτούνται τουλάχιστον 14 παράμετροι. Οι παράμετροι αυτές υποδιαιρούνται σε δύο κατηγορίες, αυτές των εγκαταστάσεων και αυτές που αφορούν το περιβάλλον λειτουργίας. Τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά αυτά ελέγχονται με τυποποιημένες μεθόδους. Σημειώστε, ότι δεν εφαρμόζονται όλες οι χαρακτηριστικές παράμετροι σε όλες τις περιπτώσεις. Ο προσδιορισμός των απαιτούμενων χαρακτηριστικών εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής. Για παράδειγμα, καλώδια μέσα σε σωληνώσεις ή προστατευμένες τοποθεσίες δεν απαιτείται να εκπληρώνουν προδιαγραφές φορτίου σύνθλιψης.^[18]

2.3.1 Οι χαρακτηριστικές παράμετροι εγκαταστάσεων

Τα χαρακτηριστικά αυτά εξασφαλίζουν την επιτυχή εγκατάσταση των καλωδίων. Υπάρχουν δυο τέτοια χαρακτηριστικά :

1. Η ελάχιστη συνιστώμενη ακτίνα κάμψης, και η ακτίνα κάμψης κατά την εγκατάσταση (σε ίντσες ήmm)
2. Η διάμετρος του καλωδίου

2.3.2 Η ελάχιστη συνιστώμενη ακτίνα κάμψης και η ακτίνα κάμψης κατά την εγκατάσταση

Η ελάχιστη συνιστώμενη ακτίνα κάμψης κατά την εγκατάσταση αποτελεί την ελάχιστη ακτίνα στην οποία επιτρέπεται το καλώδιο να καμφθεί, ενώ φορτίζεται από

το μέγιστο συνιστώμενο φορτίο. Η ακτίνα αυτή περιορίζεται περισσότερο από τα υλικά του καλωδίου, παρά από τις ίδιες τις ίνες. Η επιτρεπόμενη αυτή κάμψη δεν προκαλεί μόνιμη αλλαγή των απωλειών σήματος ή θραύση των ινών ή θραύση οποιουδήποτε σημείου του καλωδίου. Συνήθως, η ακτίνα αυτή καθορίζεται ως 20 φορές η διάμετρος του καλωδίου που κάμπτεται. Ο καθορισμός του χαρακτηριστικού αυτού είναι σημαντικός κατά την έλξη του καλωδίου (χειροκίνητη ή μηχανική) μέσα από σωληνώσεις ή σε μεγάλου μήκους διαδρομές. Για τον προσδιορισμό της τιμής αυτής απαιτείται προηγουμένως η εξέταση του χώρου της εγκατάστασης του καλωδίου, για την εύρεση της ακτίνας κάμψης κατά την εγκατάσταση.^[10]

2.3.3 Η διάμετρος καλωδίου, εμπιερχόμενων καλωδίων και σωλήνων απομόνωσης

Το καλώδιο θα πρέπει να χωράει στην προβλεπόμενη για εγκατάσταση θέση. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για καλώδια που πρόκειται να τοποθετηθούν μέσα σε σωληνώσεις, ενώ δεν είναι σημαντικό για τις περιπτώσεις απευθείας ταφής, ανάρτησης από οροφές ή τοποθέτησης πάνω σε οδηγούς. Εάν ο διαθέσιμος χώρος αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, τότε ίσως το μέγεθος της διαμέτρου προσδιορίζει τελικά ποιον τύπο καλωδίου θα διαλέξουμε. Εάν πρέπει να επιλέξουμε τη μικρότερη διάμετρο, τότε οι σχεδιάσεις MFPT είναι οι κατάλληλες (είναι οι μικρότερης διαμέτρου).^[18]

Περιοριστικούς παράγοντες μπορεί επίσης να αποτελούν η διάμετρος των εμπιερχόμενων καλωδίων και ο απομονωτής σωλήνας του καλωδίου. Στις περιπτώσεις των διαρρηγνυόμενων καλωδίων, η διάμετρος των εμπιερχομένων καλωδίων πρέπει να είναι μικρότερη από τη μέγιστη διάμετρο του βύσματος σύνδεσης.^[19]

2.4 Οι περιβαλλοντικές παράμετροι

Οι περιβαλλοντικές παράμετροι είναι τα χαρακτηριστικά εκείνα που απαιτούνται για την εξασφάλιση της ορθής λειτουργίας του καλωδίου στο περιβάλλον του. Υπάρχουν 11 τέτοια χαρακτηριστικά^[17]:

1. Το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας
2. Το φορτίο μακροπρόθεσμης χρήσης
3. Η αντίσταση στην πυρκαγιά
4. Αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV)
5. Αντοχή στην καταστροφή από τρωκτικά
6. Αντοχή στην υγρασία / νερό
7. Αντίσταση στην αγωγιμότητα κάτω από πεδία υψηλής τάσης
8. Τοξικότητα
9. Αντοχή στις εκδορές
10. Αντίσταση στη ραδιενέργεια
11. Αντίσταση στις συγκρούσεις

2.4.1. Το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας

Το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας είναι αυτό που απαιτείται, ώστε οι απώλειες σήματος του καλωδίου να μην υπερβαίνουν ποτέ τη καθορισθείσα τιμή. Γενικά, υπάρχουν πολύ λίγες εφαρμογές στις οποίες οι απώλειες των οπτικών ινών υπερβαίνουν τις καθορισθείσες τιμές λόγω θερμοκρασιών λειτουργίας. Στην πραγματικότητα, ορισμένες ίνες διαθέτουν περιβλήματα τα οποία επιβιώνουν κάτω από συνθήκες συνεχούς λειτουργίας μέχρι και 400 °C. Για λειτουργία σε τέτοιες θερμοκρασίες, συνήθως οι ίνες περιβάλλονται από μεταλλικούς σωλήνες. Για λειτουργία σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, τα καλώδια κατασκευάζονται από υλικά που διατηρούν την ευκαμψία τους.^[22]

Για τα καλώδια που χρησιμοποιούνται σε λιγότερες αντίξοες συνθήκες (80-200 °C), χρησιμοποιούνται πλαστικά φθοριούχου άνθρακα, π.χ. Teflon, Tefzel, Kynar, κτλ. Υπάρχουν δύο λόγοι για τους οποίους ενδιαφερόμαστε για τη θερμοκρασία λειτουργίας του καλωδίου. Ο ένας λόγος αφορά τη φυσική επιβίωση του καλωδίου και ο άλλος τις αυξημένες απώλειες σήματος των ινών, όταν αυτές εκτίθενται σε ακραίες θερμοκρασιακές συνθήκες.

Όλα τα καλώδια κατασκευάζονται από πλαστικά υλικά, τα οποία διαθέτουν θερμοκρασίες πάνω και κάτω από τις οποίες παύουν να διατηρούν τις μηχανικές τους ιδιότητες. Μετά από μακρά έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες, τα πλαστικά καταστρέφονται, μαλακώνουν και σε ορισμένες περιπτώσεις θρυμματίζονται. Μετά από έκθεση σε χαμηλές θερμοκρασίες, τα υλικά αυτά γίνονται εύθραυστα και καταστρέφονται όταν καμφθούν ή μετακινηθούν. Προφανώς, κάτω από τέτοιες συνθήκες τα καλώδια παύουν να παρέχουν προστασία στις οπτικές ίνες.^[22]

Ο δεύτερος λόγος, για τον οποίο είναι σημαντικό το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας, είναι η αύξηση των απωλειών σήματος, κάτω από εξαιρετικά ακραίες θερμοκρασιακές συνθήκες. Οι οπτικές ίνες έχουν ευαισθησία στο χειρισμό τους, η οποία διαφαίνεται κατά τη μηχανική τους κάμψη. Η κάμψη αυτή, οδηγεί σε αύξηση των απωλειών σήματος, και είναι γνωστή ως αύξηση απωλειών λόγω μικροκάμψης. Όταν τα καλώδια βρίσκονται σε ακραίες θερμοκρασίες λειτουργίας, τα πλαστικά υλικά συστέλλονται και διαστέλλονται με πολύ μεγαλύτερους ρυθμούς από αυτούς των γυάλινων ινών (περί τις 100 φορές). Αυτές οι συστολές και διαστολές οδηγούν σε μηχανικές κάμψεις των ινών, μικροσκοπικού επιπέδου. Είτε η ίνα συμπιέζεται κατά τη συστολή του πλαστικού εξωτερικού σωλήνα, είτε τραβιέται προς τα έξω καθώς το πλαστικό διαστέλλεται.^[18] Και στις δύο περιπτώσεις, η ίνα αναγκάζεται να πάρει τη μορφή της μικροσκοπικά ανομοιόμορφης επιφάνειας του πλαστικού. Οι μικροσκοπικές αυτές κάμψεις οδηγούν σε διαφυγή του φωτός από τον πυρήνα της ίνας, πράγμα το οποίο σημαίνει αύξηση των απωλειών σήματος. Αυτού του είδους η συμπεριφορά σημαίνει ότι ο χρήστης θα πρέπει να προσδιορίζει το εύρος θερμοκρασιακών μεταβολών κατά τη λειτουργία του καλωδίου, ώστε να εξασφαλίζεται αρκετή ποσότητα φωτός για την ομαλή λειτουργία του συστήματος.

2.4.2 Το φορτίο μακροπρόθεσμης χρήσης

Τα περισσότερα καλώδια οπτικών ινών σχεδιάζονται για χρήση χωρίς σημαντικό φορτίο. Ιδιαίτερα σημαντικά φορτία εμφανίζονται σε εφαρμογές κατακόρυφων διαδρομών, σε άξονες ανελκυστήρων, σε πύργους ραδιοφώνου ή τηλεόρασης και σε εναέρια καλώδια εξωτερικού χώρου. Στις περιπτώσεις αυτές, τα καλώδια υπόκεινται σε φορτία είτε των ιδίων είτε οφειλόμενα σε εξωτερικά αίτια, όπως είναι ο άνεμος, το χιόνι και ο πάγος. Όλοι αυτοί οι παράγοντες εξαρτώνται από τις αποστάσεις μεταξύ των στύλων ανακρέμασης. Απαιτείται μεγάλη προσοχή στον καθορισμό του φορτίου μακροπρόθεσμης χρήσης, ώστε η ασκούμενη παραμόρφωση

στις οπτικές ίνες να μην υπερβαίνει κάποια κρίσιμη τιμή. Σε διαφορετική περίπτωση, οι οπτικές ίνες είναι δυνατό ξαφνικά να σπάσουν δίχως καμία φαινομενική αιτία.

2.4.3 Αντίσταση στην πυρκαγιά

Η αντίσταση στην πυρκαγιά απαιτείται ιδιαίτερα σε εφαρμογές πλοίων και αεροσκαφών. Στις περιπτώσεις αυτές, απαιτείται η χρήση καλωδίων από υλικά ανθεκτικά στη φωτιά. Πολλά συνήθη υλικά ανθεκτικά στη φωτιά είτε είναι στη συνήθη τους μορφή είτε μπορούν να γίνουν τέτοια με τη χρήση ορισμένων προσθετικών ουσιών.^[18]

2.4.4 Σταθερότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV)

Εάν τα καλώδια προορίζονται για συνεχή εξωτερική χρήση, τότε απαιτείται ο καθορισμός της αντοχής ή της σταθερότητας στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV). Σε διαφορετική περίπτωση, η συνεχής έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί απώλεια της ευκαμψίας και θραύση του εξωτερικού περιβλήματος του καλωδίου. Τα περισσότερα καλώδια, που προορίζονται για διαρκή εξωτερική χρήση, διαθέτουν περίβλημα από μαύρο πολυαιθυλένιο, επειδή το υλικό αυτό απορροφά την ακτινοβολία UV και δε διαθέτει πλαστικοποιητές που εξατμίζονται με την πάροδο του χρόνου.

2.4.5 Αντοχή στην καταστροφή από τρωκτικά

Σε περιβάλλοντα με τρωκτικά, απαιτείται η προστασία των θαμμένων καλωδίων από τη φθορά την οποία μπορεί να προξενήσουν. Τελευταία, αποφεύγεται η χρήση θωρακισμένων καλωδίων, προστασία που παλαιότερα παρείχαν τα θωρακισμένα καλώδια. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ίσως απαιτηθεί η χρήση θωρακισμένων καλωδίων. Τα καλώδια αυτά διαθέτουν ένα επιπλέον στρώμα υλικού, το οποίο προσδίδει στο καλώδιο σημαντική αντοχή στη σύνθλιψη και στα τρωκτικά.^[18]

Επιπλέον, ένα τελικό στρώμα πλαστικού περιβλήματος συνήθως επικαλύπτει το θώρακα. Τα επιπρόσθετα αυτά στρώματα δεν είναι όμως δίχως αντίτιμο. Πρώτον, τα θωρακισμένα καλώδια είναι περισσότερο ακριβά. Δεύτερον, τα καλώδια αυτά συνήθως δεν είναι και τόσο εύκαμπτα. Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι θωρακισμένων καλωδίων: με χαλύβδινο γαλβανισμένο θώρακα (με ή χωρίς εξωτερική πλαστική επίστρωση), με θώρακα μορφής χάλκινης ταινίας, με μπλεντάζ (χαλύβδινο ή μπρούτζινο) και με διηλεκτρικό θώρακα. Η συνηθέστερη περίπτωση,

που συναντάται σε θωρακισμένα καλώδια οπτικών ινών, είναι η πρώτη. Εφαρμόζεται σε πτυχωτή ή σε διαμήκη σφραγισμένη / συγκολλημένη μορφή. Είναι αποτελεσματική θωράκιση και διαθέτει το χαμηλότερο κόστος. Ωστόσο, είναι η σκληρότερη. Η θωράκιση μορφής χάλκινης ταινίας τυλίγεται γύρω από το καλώδιο ελικοειδώς, με κάποια κενά διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών περιτυλίξεων.

Ο τύπος αυτός θωράκισης χρησιμοποιείται σπανίως σε καλώδια οπτικών ινών. Η θωράκιση μπλεντάζ, λόγω της σχετικά ευέλικτης φύσης της, χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις στις οποίες ταυτόχρονα με την αντοχή στα τρωκτικά είναι επιθυμητή και η ευελιξία του καλωδίου. Η διηλεκτρική θωράκιση διατίθεται από μία και μοναδική πηγή στις Η.Π.Α. Αυτός ο τύπος απαιτείται και χρησιμοποιείται πολύ σπάνια. Αποτελεί το σκληρότερο και πιο ακριβό τύπο θωράκισης. Η προσθήκη διηλεκτρικής θωράκισης συνήθως διπλασιάζει το κόστος του καλωδίου.^[6]

2.4.6 Αντοχή στην υγρασία/νερό

Εάν το υποψήφιο καλώδιο πρόκειται να λειτουργήσει μέσα σε περιβάλλον νερού, είτε μόνιμα είτε για μεγάλες χρονικές περιόδους (όπως αυτό συμβαίνει σε πολλές εφαρμογές εξωτερικού χώρου και σε όλες τις υποβρύχιες εφαρμογές), τότε απαιτείται η χρήση ενός ειδικού τύπου καλωδίου. Ένα τέτοιο καλώδιο διαθέτει ειδική γέμιση μέσα σε κάθε χαλαρή σωλήνα απομονωτή, καθώς και υλικά που μπλοκάρουν τον κενό χώρο μεταξύ των σωλήνων. Χρήση διαφορετικού τύπου καλωδίων από αυτόν οδηγεί σε αύξηση των απωλειών σήματος και τελικά σε θραύση των ινών. Επιπρόσθετα, καλώδια χωρίς γέμιση και υλικά μπλοκαρίσματος ενεργούν ως σωλήνες που διοχετεύουν νερό μέχρι τις απολήξεις στα ηλεκτρονικά τμήματα της εγκατάστασης. Ορισμένοι κατασκευαστές διαθέτουν καλώδια μόνο με γέμιση, τα οποία όμως δεν είναι τόσο υδατοστεγή όσο τα καλώδια που διαθέτουν εκτός από γέμιση και υλικά μπλοκαρίσματος.^[6]

2.4.7 Αντίσταση στην αγωγιμότητα κάτω από πεδία υψηλής τάσης

Σε ορισμένες εφαρμογές κάτω από την επίδραση πεδίων υψηλής τάσης, τα καλώδια οπτικών ινών θα πρέπει να είναι μη-αγώγιμα. Ορισμένα από αυτά εκτίθενται σε τάσεις έως και 1.000.000 volts. Σε άλλες εφαρμογές, τα καλώδια οπτικών ινών δε θα πρέπει να έλκουν τους κεραυνούς. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, απαιτούνται πλήρως διηλεκτρικές κατασκευές, οι οποίες είναι διαθέσιμες στο εμπόριο .

2.4.8 Τοξικότητα

Σε ορισμένες εφαρμογές, π.χ. σε πλοία, αεροσκάφη και μέσα μαζικής μεταφοράς, απαιτούνται καλώδια χωρίς αλογόνα. Η ύπαρξη αλογόνων, κατά την καύση, παράγει τοξικά αέρια που προσβάλλουν τους πνεύμονες και διαβρώνουν τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Τα καλώδια αυτά, είναι 10-15% περισσότερο ακριβά από τα καλώδια PVC. Επιπρόσθετα, σε ορισμένες περιοχές, π.χ. στη Νέα Υόρκη, απαιτείται η καταγραφή όλων των εγκατεστημένων καλωδίων, ώστε να παρακολουθούνται τα εμπειροχόμενα υλικά. Τα καλώδια που κατασκευάζονται για την Ευρωπαϊκή και Ιαπωνική αγορά απαιτείται να είναι επίσης ελεύθερα αλογόνων.^[8]

2.4.9 Αντοχή στις εκδορές

Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες το καλώδιο κινδυνεύει να γδαρθεί, τότε θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η αντίσταση στις εκδορές. Η προδιαγραφή αυτή αφορά το υλικό του περιβλήματος του καλωδίου.

2.4.10 Αντίσταση στη ραδιενέργεια

Όταν τα καλώδια πρόκειται να εγκατασταθούν σε περιβάλλον με ιονίζουσα ακτινοβολία, όπως π.χ. στον πυρήνα ενός πυρηνικού αντιδραστήρα, στο διάστημα, σε ένα θάλαμο ακτίνων X, κτλ, τότε απαιτείται τα υλικά κατασκευής τόσο του καλωδίου όσο και της ίνας να είναι ανθεκτικά στις ακτινοβολίες. Τα υλικά κατασκευής των καλωδίων θα πρέπει να είναι ανθεκτικά στις ακτινοβολίες, ώστε να διατηρούν τις μηχανικές τους ιδιότητες, ενώ ταυτόχρονα οι ίνες θα διατηρούν τις χαμηλές απώλειες σήματος. Οπτικές ίνες ανθεκτικές στη ραδιενέργεια υπάρχουν διαθέσιμες από αρκετούς κατασκευαστές. Αυτές παρουσιάζουν μικρή αύξηση των απωλειών σήματος κάτω από την επίδραση της ακτινοβολίας, συγκριτικά με τις συνήθεις ίνες. Επί πλέον, οι ίνες αυτές έχουν μικρότερο χρόνο επαναφοράς και χαμηλότερη παραμένουσα αύξηση των απωλειών σήματος, μετά από κάθε έκθεση σε ακτινοβολίες.^[18]

2.4.11 Αντίσταση στις συγκρούσεις

Σε ορισμένες περιπτώσεις, απαιτείται ο καθορισμός της αντίστασης του καλωδίου σε μηχανικές συγκρούσεις. Παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων αφορούν στρατιωτικές εφαρμογές σε τακτικά περιβάλλοντα, εφαρμογές συνεργείων δημοσιογραφίας, και οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, κατά την οποία είναι δυνατό να

πέσουν πάνω στα καλώδια βαριά αντικείμενα. Πρακτικά, τα περισσότερα καλώδια οπτικών ινών είναι αρκετά ανθεκτικά στις συγκρούσεις. Εάν δεν υπάρχει πιθανότητα σύγκρουσης στο περιβάλλον εγκατάστασης του καλωδίου, τότε δεν απαιτείται να ασχοληθούμε με την προδιαγραφή αυτή.^[11]

Κεφάλαιο 3^ο :

Λειτουργική δομή δικτύων οπτικών ινών

Εισαγωγή

Τα οπτικά δίκτυα μπορούν να στείλουν και να λάβουν, όχι μόνο πληροφορίες αναλογικής μορφής όπως είναι το Video, αλλά επίσης μπορούν να μεταφέρουν πληροφορίες ψηφιακής μορφής όπως είναι για παράδειγμα τα δεδομένα υπολογιστών, αλλά και ψηφιοποιημένα σήματα ήχου ή video. Γενικά για να γίνει η μετάδοση της πληροφορίας σ' ένα οπτικό σύστημα, αρχικά η πληροφορία κωδικοποιείται σε ηλεκτρικά σήματα, τα οποία μετατρέπονται σε οπτικά σήματα. Στη συνέχεια αυτά τα οπτικά σήματα ταξιδεύουν στην οπτική ίνα μέχρι να συναντήσουν έναν ανιχνευτή (photodetector) που τους δίνει πάλι την αρχική τους μορφή, δηλαδή τα μετατρέπει σε ηλεκτρικά σήματα. Ενώ στο τελευταίο στάδιο τα ηλεκτρικά αυτά σήματα αποκωδικοποιούνται σε πληροφορία με μορφή φωνής, βίντεο ή άλλων δεδομένων.^[11]

3.1) Ανάλυση της τεχνικής μεταδοσης σήματος μέσω Οπτικής Ίνας

Οι οπτικές ίνες είναι λεπτές και διαφανείς ίνες, φτιαγμένες από γυαλί, και χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση του φωτός. Μια οπτική ίνα είναι ένας κυλινδρικός διηλεκτρικός κυματοδηγός που διαβιβάζει το φως κατά μήκος του άξονά του, με τη διαδικασία της ολικής εσωτερικής ανάκλασης. Η ίνα αποτελείται από έναν πυκνό πυρήνα, μέσω του οποίου μεταδίδεται το οπτικό σήμα στο τέρμα της ίνας. Όσο πιο στενός είναι ο πυρήνας, τόσο πιο γρήγορα μεταφέρεται το κύμα φωτός. Ο οπτικός πυρήνας περιβάλλεται από στρώμα γυάλινης επικάλυψης. Η επικάλυψη (cladding), η οποία περιβάλλει την οπτική ίνα κρατάει το φως στον πυρήνα, εμποδίζοντας το σήμα να διασκορπιστεί και να χάσει την ισχύ του^[11]. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα είναι μεγαλύτερος από αυτόν της επένδυσης. Η επικάλυψη με τη σειρά της περιβάλλεται από το εξωτερικό προστατευτικό υλικό, το οποίο προστατεύει την ίνα από τους περιβαλλοντικούς κινδύνους.^[18]

3.2 Η επικοινωνία στα Δίκτυα Οπτικών Ινών.

Τα περισσότερα από τα δεδομένα που στέλνονται σε ένα τοπικό δίκτυο (LAN) ταξιδεύουν με την μορφή ηλεκτρικών σημάτων. Ωστόσο όπως γνωρίζουμε οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούν το φως για την αποστολή δεδομένων. Επομένως για την σωστή επικοινωνία σε ένα δίκτυο που υπάρχουν και οπτικές ίνες και χάλκινα καλώδια θα πρέπει να υπάρχει κάποιος μηχανισμός που να μετατρέπει τον ηλεκτρισμό σε φως στην μία άκρη της ίνας και το φως σε ηλεκτρισμό στην άλλη άκρη της. Ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται για να κάνει αυτή την μετατροπή είναι ο transmitter από την μία άκρη της ίνας και ο receiver από την άλλη άκρη της.

Ο transmitter λαμβάνει τα δεδομένα προς αποστολή από switches και routers. Αυτά τα δεδομένα είναι στην μορφή ηλεκτρικών σημάτων. Ο transmitter μετατρέπει τα ηλεκτρικά σήματα στους αντίστοιχους φωτεινούς παλμούς. Υπάρχουν δύο τύποι φωτεινών πηγών που χρησιμοποιούνται για την κρυπτογράφηση και για την αποστολή δεδομένων μέσω των καλωδίων :

- Τα LED και
- Τα Laser

Τα LED παράγουν υπέρυθρο φως με μήκος κύματος των 850 nm ή των 1310nm και χρησιμοποιούνται στα τοπικά δίκτυα με multimode ίνες. Τα Laser παράγουν μια λεπτή ακτίνα υπέρυθρου φωτός με μήκος κύματος που συνήθως κυμαίνεται μεταξύ των 1310-1550 nm και χρησιμοποιούνται στα WANs ή στα campus backbones με single-mode ίνες.^[16]

Κάθε μια από αυτές τις πηγές μπορεί να αναβοσβήνει πολύ γρήγορα για να στείλει δεδομένα (σε μορφή 1,0) σε υψηλό αριθμό bits ανά second. Στην άλλη άκρη της οπτικής ίνας βρίσκεται ο receiver.^[8] Ο receiver λειτουργεί κάπως σαν τις φωτοηλεκτρικές κυψέλες που υπάρχουν στα κομπιουτεράκια που τροφοδοτούνται με ηλιακή ενέργεια. Όταν το φως χτυπάει στον receiver αυτός παράγει ηλεκτρισμό. Η πρώτη δουλειά του receiver είναι να εντοπίσει τον φωτεινό παλμό που έρχεται από την ίνα. Έπειτα μετατρέπει τον φωτεινό παλμό πίσω στο αρχικό ηλεκτρικό σήμα που είχε εισαχθεί στον transmitter στην άλλη άκρη της ίνας. Τώρα που το σήμα είναι ξανά στην αρχική του μορφή είναι έτοιμο να αποσταλεί μέσω του χάλκινου καλωδίου σε κάθε ηλεκτρονική συσκευή όπως ένας υπολογιστής, ένα switch ή ένας router. Οι

ημιαγωγοί που χρησιμοποιούνται σαν δέκτες στις συνδέσεις των οπτικών ινών ονομάζονται p-intrinsic-n diodes (PIN photodiodes).

Τα PIN photodiodes σχεδιάζονται έτσι ώστε να είναι ευαίσθητα στα 850,1310 ή 1550 nm μήκη κύματος φωτός που παράγονται από τον transmitter στην άλλη άκρη της ίνας. Όταν δέχεται ένα χτύπημα από ένα παλμό φωτός στα παραπάνω μήκη κύματος τότε το PIN photodiode παράγει γρήγορα ένα ηλεκτρικό ρεύμα της σωστής τάσης για το δίκτυο και στιγμιαία σταματάει αυτή την παραγωγή όταν κανένα φως δεν χτυπάει πάνω του. Αυτό παράγει τις αλλαγές της τάσης που αναπαριστούν τα δεδομένα σε μορφή 0 και 1 στο χάλκινο καλώδιο.

Οι σύνδεσμοι στις άκρες των ινών είναι συνδεδεμένοι έτσι ώστε οι ίνες να μπορούν να συνδεθούν στις πόρτες του transmitter και του receiver. Στις multimode οπτικές ίνες οι τύποι συνδέσμων που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι οι Subscriber Connectors (SC) (ενώ στις single-mode ίνες χρησιμοποιούνται οι Straight Tip (ST) σύνδεσμοι.^[1]

Εκτός από τους transmitters, τους receivers, τους connectors και τις ίνες που είναι απαραίτητα σε ένα οπτικό δίκτυο συνήθως χρησιμοποιούνται και κάποιοι επαναλήπτες (repeaters). Οι επαναλήπτες είναι οπτικοί ενισχυτές που λαμβάνουν ένα αποδυναμωμένο φωτεινό παλμό που ταξιδεύει σε μεγάλες αποστάσεις και το επαναφέρουν στο αρχικό του σχήμα.^[3]

Μερικά σημαντικά **πλεονεκτήματα των οπτικών ινών** είναι τα εξής :

- Ανοσία στην ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή.
- Επίτευξη υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης.
- Κάλυψη μεγαλύτερων αποστάσεων.
- Μεγαλύτερη ασφάλεια.

Και μερικά σημαντικά **μειονεκτήματα των οπτικών ινών** είναι τα εξής :

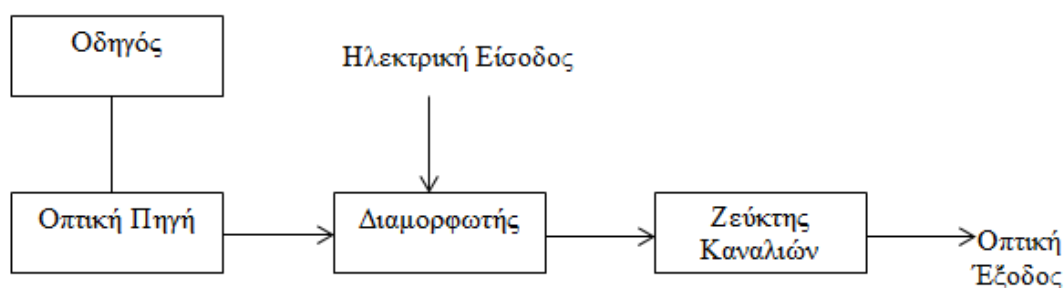
- Μεγαλύτερο κόστος.
- Δυσκολία στην εγκατάσταση.

3.3 Η Μετάδοση στα Οπτικά Δίκτυα :Στοιχεία Οπτικού Δικτύου

Στην ενότητα αυτή θα αναφέρουμε τα βασικά στοιχεία που απαιτούνται για την οπτική μετάδοση μιας πληροφορίας^[7]:

3.3.1 Οπτικός Πομπός

Ο ρόλος του οπτικού πομπού είναι να μετατρέπει το ηλεκτρικό σήμα σε μια οπτική μορφή και να εισάγει το τελικό οπτικό σήμα μέσα στην οπτική ίνα η οποία χρησιμεύει σαν κανάλι επικοινωνίας. Τα βασικά μέρη ενός οπτικού πομπού είναι μια οπτική πηγή, ένας διαμορφωτής και ένας ζεύκτης με το τηλεπικοινωνιακό κανάλι.



Εικόνα : Οπτικός Πομπός

Το κύκλωμα οδήγησης συνήθως αποτελείται από ένα τρανζίστορ και χρησιμοποιείται για να ανάβει και να σβήνει την πηγή φωτός σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα. Έτσι χρησιμοποιώντας το τρανζίστορ, μπορούμε να καταφέρουμε μια πολύ δυνατή πηγή φωτός να ανοίγει και να κλείνει στα χρονικά διαστήματα που εμείς επιθυμούμε. Πιο συγκεκριμένα, ο σκοπός των κυκλωμάτων οδήγησης είναι να παρέχουν ηλεκτρική ισχύ στην οπτική πηγή και να διαμορφώνουν την έξοδο του φωτός, σύμφωνα με το σήμα που πρόκειται να μεταδοθεί.^[8] Τα κυκλώματα αυτά είναι σχετικά απλά για τους πομπούς LED, αλλά γίνονται όλο και πιο περίπλοκα για οπτικούς πομπούς υψηλού ρυθμού μετάδοσης bit, οι οποίοι χρησιμοποιούν Laser με ημιαγωγούς, που πολώνονται κοντά στο επίπεδο καταφλίου και έπειτα διαμορφώνονται μέσω ενός ηλεκτρικού σήματος, που εξαρτάται από το χρόνο. Επομένως, τα κυκλώματα οδήγησης έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν ένα σταθερό ρεύμα πόλωσης καθώς και ένα διαμορφωμένο ηλεκτρικό σήμα. Επιπλέον, συχνά χρησιμοποιείται ένας βοηθητικός βρόχος για να διατηρήσει τη μέση οπτική ισχύ.^[9]

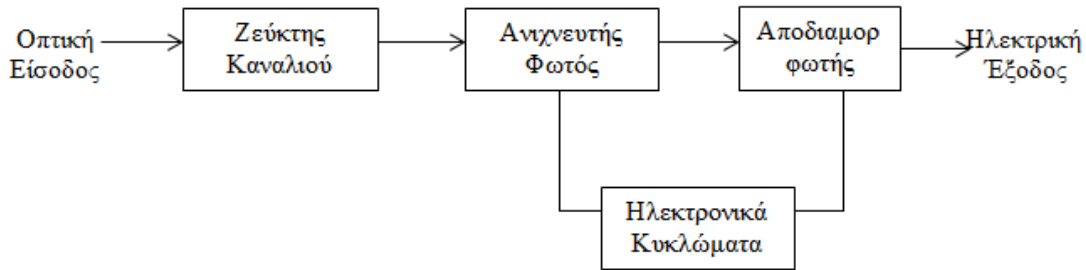
Η οπτική πηγή μπορεί να είναι ένα LED ή ένα Laser (και είναι το κυριότερο εξάρτημα των οπτικών πομπών). Τα οπτικά συστήματα επικοινωνίας συχνά χρησιμοποιούν οπτικές πηγές με ημιαγωγούς όπως για παράδειγμα φωτοδιόδους (LED) και Laser με ημιαγωγούς, λόγω των διάφορων πλεονεκτημάτων που προσφέρουν. Μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι το μικρό μέγεθος, η υψηλή απόδοση, η μεγάλη αξιοπιστία, η κατάλληλη περιοχή μηκών κύματος, η μικρή επιφάνεια εκπομπής σε σχέση με τις διαστάσεις του πυρήνα της οπτικής ίνας και η δυνατότητα άμεσης διαμόρφωσης σε σχετικά υψηλές συχνότητες και έτσι εξαλείφεται η ανάγκη χρήσης ενός εξωτερικού διαμορφωτή μέσα στον οπτικό πομπό. Η τεχνολογία βέβαια με Laser είναι πιο ακριβή και μπορεί να γίνει χρήση της για πιο μεγάλες αποστάσεις. Οι πομποί εκπέμπουν φως σε συγκεκριμένες κυματομορφές, δηλαδή αυτοί με τα LEDs εκπέμπουν σε εύρος 850 και 1310 nm με συχνότητα περίπου 200 MHz ενώ αυτοί με τα Laser εκπέμπουν σε εύρος 1310 ή 1550nm με συχνότητα περίπου 1 GHz. Βέβαια οι ρυθμοί των δεδομένων που μπορούν να υποστηρίξουν οι σύγχρονοι πομποί είναι μέχρι 10 Gbps.

Παρόλο που μερικές φορές χρησιμοποιείται ένας εξωτερικός διαμορφωτής, στις περισσότερες περιπτώσεις παραλείπεται, αφού η έξοδος μιας οπτικής πηγής από ημιαγωγό μπορεί να διαμορφωθεί κατευθείαν αλλάζοντας το ρεύμα που τη διαρρέει. Μία τέτοια τεχνική απλοποιεί τη σχεδίαση του πομπού και είναι γενικά αποδοτική ως προς το κόστος.

Τέλος, ο ζεύκτης καναλιών είναι τυπικά ένας μικροφακός που εστιάζει το οπτικό σήμα στο επίπεδο εισόδου της οπτικής ίνας με τη μέγιστη δυνατή απόδοση.

3.3.2) Οπτικός Δέκτης

Ο ρόλος ενός οπτικού δέκτη είναι να μετατρέπει το οπτικό σήμα πάλι σε ηλεκτρικό και να ανακτά τις πληροφορίες που έχουν μεταδοθεί μέσω ενός οπτικού συστήματος. Το βασικό του εξάρτημα είναι ένας φωτοανιχνευτής που μετατρέπει το φως σε ηλεκτρικό παλμό μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Το ζητούμενο βέβαια είναι το μήκος κύματος που αναγνωρίζει ο δέκτης να είναι παρόμοιο μ' αυτό που στάλθηκε από τον πομπό.^[12]



Ο ζεύκτης εστιάζει το λαμβανόμενο οπτικό σήμα πάνω στο φωτοανιχνευτή. Σαν φωτοανιχνευτές χρησιμοποιούνται φωτοдиодοι ημιαγωγών λόγω της συμβατότητας τους με το συνολικό σύστημα. Ο ανιχνευτής φωτός είναι συνήθως ένα φωτοτρανζίστορ ή μια φωτοдиодο όπου μετατρέπει την φωτεινή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η σχεδίαση του αποδιαμορφωτή εξαρτάται από τον τύπο της διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται από το σύστημα οπτικών ινών. Η χρήση διαμορφώσεων FSK και PSK, που γενικά είναι κατάλληλες για σύμφωνα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, απαιτεί ετερόδυνα ή ομόδυνα τεχνική αποδιαμόρφωσης. Τέτοιοι σύμφωνοι δέκτες έχουν πολλά εξαρτήματα και είναι σχετικά ακριβοί. Συχνά, το λαμβανόμενο σήμα είναι υπό μορφή οπτικών παλμών που αναπαριστούν το bit “1” ή το bit “0” και μετατρέπονται κατευθείαν σε ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Η αποδιαμόρφωση γίνεται από ένα κύκλωμα λογικής επιλογής που αναγνωρίζει τα bit σαν “1” ή σαν “0” ανάλογα με το πλάτος του ηλεκτρικού ρεύματος. Η ακρίβεια του κυκλώματος λογικής επιλογής εξαρτάται από το λόγο σήματος προς θόρυβο SNR, του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται στο φωτοανιχνευτή. ^[8]

Οι απαιτήσεις για έναν φωτοανιχνευτή είναι παρόμοιες με εκείνες μίας οπτικής πηγής. Θα πρέπει να έχει μεγάλη ευαισθησία, γρήγορη απόκριση, χαμηλό θόρυβο, χαμηλό κόστος και μεγάλη αξιοπιστία. Τέλος το μέγεθός του είναι συγκρίσιμο με το μέγεθος του πυρήνα της οπτικής ίνας.

3.3.3 Οπτικοί Ενισχυτές

Η παρουσία συσκευών ενίσχυσης οπτικού σήματος καθίσταται απαραίτητη λόγω της εξασθένησής του κατά τη μετάδοσή του μέσα από την ίνα. Πριν την ανάπτυξή τους, ο μόνος τρόπος να ενισχυθεί το σήμα ήταν μέσω ηλεκτρικής αναγέννησης, δηλαδή να μετατραπεί το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό, να ενισχυθεί, να επαναμετατραπεί σε οπτικό και ακολούθως να μεταδοθεί. Κάτι τέτοιο θα απαιτούσε

μία ξεχωριστή συσκευή (regenerator - αναγεννητή) για κάθε μήκος κύματος. Αντιθέτως, ο οπτικός ενισχυτής μπορεί να ενισχύσει ταυτόχρονα όλα τα μήκη κύματος σε μια ίνα. Έτσι, το κόστος της ενίσχυσης μπορεί να κατανεμηθεί σε διάφορους χρήστες ή εφαρμογές.^[12]

Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι πως επειδή είναι αυστηρά οπτικές συσκευές, είναι ανεξάρτητες από πρωτόκολλο και ρυθμό μετάδοσης. Αυτό το γεγονός παρέχει ευελιξία στο ότι μια σύνδεση μπορεί να υποστηρίξει διάφορα πρωτόκολλα (π.χ. ATM, SONET, PPP) με οποιονδήποτε ρυθμό μετάδοσης. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως πρόκειται για μικρές σε μέγεθος συσκευές και με ελάχιστες απαιτήσεις σε ηλεκτρική ισχύ κάτι που αποτελεί πολύ σημαντικό πλεονέκτημα.

Επιπρόσθετα της χρήσης των συσκευών αυτών στις οπτικές συνδέσεις, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και για την ενίσχυση της ισχύος του σήματος μετά από διαδικασίες πολύπλεξης/αποπολύπλεξης, οι οποίες προκαλούν απώλειες στο σύστημα. Ειδικά για την περίπτωση της τεχνολογίας WDM, η οποία επιβάλλει την εκπομπή υψίρρυθμων σημάτων και σε μεγάλες αποστάσεις, ο ιδανικός τύπος οπτικού ενισχυτή είναι ο Ινο-Οπτικός Ενισχυτής Ερβίου (Erbium-Doped Fiber Amplifier-EDFA).^[11]

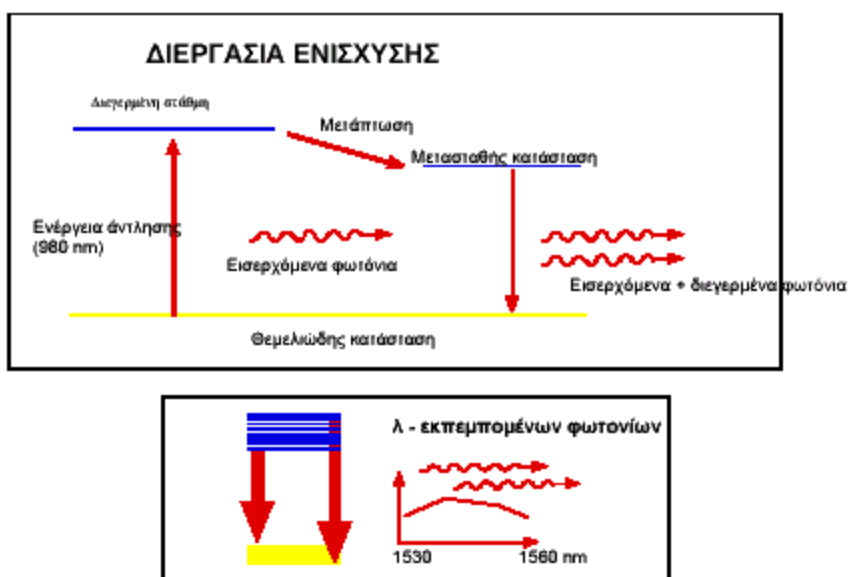
➤ **Ινο-Οπτικός Ενισχυτής Ερβίου (EDFA)**

Οι οπτικοί ενισχυτές που χρησιμοποιούνται σήμερα στα ινοοπτικά δίκτυα είναι Ινο- Οπτικοί Ενισχυτές Ερβίου (Erbium-Doped Fibre Amplifiers - EDFAs). Το βασικό στοιχείο των ενισχυτών αυτών είναι μια οπτική ίνα, μήκους μερικών δεκάδων μέτρων, της οποίας ο πυρήνας είναι νοθευμένος με ιόντα Ερβίου. Όταν η ίνα αυτή τροφοδοτηθεί με τη δέσμη ενός laser άντλησης (pump laser), με τη «μεσολάβηση» των ιόντων Ερβίου, ξεκινάει μια διεργασία «αναστροφής πληθυσμών», η οποία οδηγεί σε (αμιγώς οπτική) ενίσχυση τωνπολυπλεγμένων οπτικών σημάτων. Λόγω του ότι, στους συνήθεις EDFAs, η οπτικήενίσχυση, επιτελείται στην περιοχή 1525 - 1565 nm, οι ζεύξεις WDM λειτουργούν στοοπτικό παράθυρο των 1550 nm.^[14]

Λόγω της παρουσίας των ιόντων Ερβίου στο υλικό της ίνας ενίσχυσης, δημιουργείται μια δομή τριών ενεργειακών ζωνών, με ενεργειακές διαφορές ΔE_{12} και ΔE_{31} , τέτοιες ώστε τα αντίστοιχα μήκη κύματος $\lambda_{12} = hc/\Delta E_{12}$ και $\lambda_{31} = hc/\Delta E_{31}$ να είναι ίσα με 980 nm και 1525 - 1565 nm αντίστοιχα. (Ως γνωστόν, ενεργειακή διαφορά ΔE αντιστοιχεί σε φωτόνια συχνότητας f (αντίστοιχα, μήκους

κύματος $\lambda=c/f$), μέσω του τύπου $\Delta E = hf = hc/\lambda$, όπου h είναι η σταθερά του Plank). Υπό την επίδραση της δέσμης του laser άντλησης ($\lambda_{12} = 980 \text{ nm}$), φωτόνια «μεταφέρονται» στην ανώτερη ζώνη, από την οποία «μεταπίπτουν» στην ενδιάμεση. Η ζώνη αυτή είναι μετασταθής (metastable) και, λόγω του μεγάλου χρόνου ημιζωής της ($\tau_a = 10 \text{ ms}$), προσφέρεται για τη «συσσώρευση» ηλεκτρονίων και τη δημιουργία κατάστασης «αναστροφής πληθυσμών» σε βάρος της βασικής ζώνης. Έτσι, μεταξύ της μετασταθούς και της βασικής ζώνης ξεκινάει μια διεργασία «εξαναγκασμένης εκπομπής» (lasing) η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία φωτονίων μηκών κύματος $\lambda = 1525\text{-}1565 \text{ nm}$ και την ενίσχυση του αρχικού οπτικού σήματος (που περιέχει τα πολυπλεγμένα κανάλια).^[15]

Όπως φαίνεται και στο σχήμα παρακάτω, η διεργασία άντλησης μπορεί να πραγματοποιηθεί και με laser μήκους κύματος 1480 nm (τα φωτόνια «μεταφέρονται» απευθείας στην ενδιάμεση μετασταθή ζώνη). Πράγματι, lasers άντλησης 1480 nm χρησιμοποιούνται στους ενισχυτές ίνας Erbium, προσφέροντας μεγαλύτερες ενισχύσεις αλλά και υψηλότερο θόρυβο.



Σχήμα :Μηχανισμός Οπτικής Ενίσχυσης Erbium

Επειδή αυτός ο μηχανισμός ενίσχυσης είναι ανεξάρτητος από το μήκος κύματος εντός μιας συγκεκριμένης φασματικής περιοχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση σημάτων διαφορετικών μηκών κύματος στην ίδια οπτική ίνα. Έτσι, περισσότεροι τέτοιοι οπτικοί ενισχυτές μπορούν να συνδυαστούν σε σειρά για τη

διάδοση του οπτικού σήματος μέσω μιας οπτικής ίνας για χιλιάδες χιλιόμετρα. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι ο μέγιστος αριθμός ενισχυτών σε σειρά δεν πρέπει να υπερβαίνει τους έξι, λόγω θορύβου που εισάγουν και που ενισχύεται σε κάθε βαθμίδα.^[19] Επιπλέον, έχει διαπιστωθεί ότι οι οπτικοί ενισχυτές δουλεύουν ικανοποιητικά στο κομμάτι εκείνο του φάσματος στο οποίο λειτουργούν τα συστήματα οπτικών ινών.^[25]

Σε ότι αφορά τη θέση των οπτικών ενισχυτών σε μία ζεύξη WDM, διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- Ο οπτικός ενισχυτής χρησιμοποιείται ως ενισχυτής ισχύος (booster amplifier ή postamplifier) μετά την έξοδο του πολυπλέκτη, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ενίσχυση του σύνθετου (aggregate) οπτικού σήματος. Ο οπτικός ενισχυτής χρησιμοποιείται ως ενισχυτής γραμμής (in-line amplifier) για την ενίσχυση του σήματος σε τακτές αποστάσεις (συνήθως 80-120 km).
- Ο οπτικός ενισχυτής χρησιμοποιείται ως προενισχυτής (pre-amplifier) πριν την είσοδο του αποπολυπλέκτη, προκειμένου το οπτικό σήμα να αποκτήσει επαρκή ισχύ για τη διεργασία της αποπολυπλεξίας και τη λήψη των αποπολυπλεγμένων καναλιών από τους επιμέρους δέκτες.

3.3.4 Βασικές παράμετροι οπτικών ενισχυτών

Υπάρχουν αρκετές οπτικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν ένα συγκεκριμένο οπτικό ενισχυτή. Για τον πρακτικό σχεδιασμό ενός οπτικού συστήματος είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παράμετροι^[26]:

➤ Κέρδος

Το κέρδος ενός οπτικού ενισχυτή αναφέρεται από τον κατασκευαστή και δηλώνει τη διαφορά σε dB της ισχύος του σήματος εισόδου με τη ισχύ του σήματος εξόδου. Στον υπολογισμό του κέρδους συμπεριλαμβάνονται οι απώλειες από τον απομονωτή αλλά όχι οι απώλειες από την κόλληση του ενισχυτή στη γραμμή μετάδοσης του συστήματος. Σε εργαστηριακό περιβάλλον έχει επιτευχθεί κέρδος κοντά στα 50 dB. Οι συνηθισμένοι ενισχυτές που κυκλοφορούν στην αγορά παρέχουν κέρδος κοντά στα 30 dB.

➤ Κέρδος εύρους ζώνης

Το κέρδος εύρους ζώνης μπορεί να οριστεί με διάφορους τρόπους. Η πιο σημαντική πληροφορία που μας παρέχει είναι η μέγιστη απόκλιση από το καθορισμένο κέρδος του ενισχυτή μέσα σε ένα συγκεκριμένο διάστημα μηκών

κύματος. Τις περισσότερες φορές παρέχεται από τον κατασκευαστή ένα διάγραμμα του κέρδους του ενισχυτή σε συνάρτηση με το μεταδιδόμενο μήκος κύματος για συγκεκριμένη τιμή ισχύος εισόδου. Το διάγραμμα αυτό μας βοηθά να επιλέξουμε το κεντρικό μήκος κύματος στο οποίο θα μεταδίδει ο πομπός.

➤ **Ισχύς σήματος εξόδου**

Λόγω φαινομένων κορεσμού, το κέρδος μειώνεται όταν η ισχύς εισόδου ξεπερνά κάποια συγκεκριμένη τιμή. Στην περίπτωση αυτή ο ενισχυτής δεν είναι πια ενεργός και λέμε ότι βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού. Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε το ποσό της ισχύος σήματος που μπορούμε να πάρουμε από κάποιον ενισχυτή για συγκεκριμένο επίπεδο άντλησης. Στα περισσότερα βιβλία η ισχύς εξόδου κορεσμού, ορίζεται ως η ισχύς σήματος εξόδου για την οποία το κέρδος μειώνεται κατά 3 dB από την τιμή που έχει καθορίσει ο κατασκευαστής. Οι κατασκευαστές συνήθως καθορίζουν το ποσό της ισχύος εξόδου που μπορεί να αποδώσει ένας ενισχυτής σε συνάρτηση της ισχύος σήματος εισόδου. Με χρήση μεγαλύτερων επιπέδων άντλησης μπορούμε να αυξήσουμε την ισχύ του σήματος εξόδου.

➤ **Συντελεστής θορύβου**

Κυριότερη συνιστώσα θορύβου είναι η ενισχυμένη αυθόρμητη εκπομπή, ASE. Κατά το φαινόμενο αυτό ένα διεγερμένο ιόν αποδιεγείρεται εξαναγκασμένα χωρίς την πρόσπτωση φωτονίου σήματος. Το ασύμφωνο φωτόνιο που παράγεται ενισχύεται κινούμενο και προς τα δυο τερματικά άκρα, με αποτέλεσμα στην έξοδο να έχουμε σήμα, άσχετο με το πραγματικό σήμα, που μπορεί να μην υπάρχει. Το σημαντικότερο μέγεθος που χρησιμοποιείται στην πράξη για το θορυβικό χαρακτηρισμό ενός οπτικού ενισχυτή είναι ο συντελεστής θορύβου N_f που δίνεται από τον παρακάτω τύπο :

$$N_f = \frac{S / N_{\text{without amplifier}}}{S / N_{\text{with amplifier}}}$$

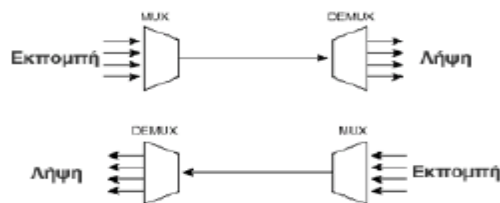
Ο συντελεστής θορύβου δίνει τη μεταβολή του σηματοθορυβικού λόγου κατά μήκος της ίνας. Καθώς ο ενισχυτής εισάγει πάντα πρόσθετο θόρυβο, είναι λογικό να αναμένουμε ότι ο N_f θα είναι πάντα μεγαλύτερος της μονάδας, δηλαδή η ίνα δε μπορεί να βελτιώσει τον SNR του σήματος. Μπορεί να δειχτεί ότι για υψηλό σήμα εισόδου, η μεγαλύτερη πηγή θορύβου είναι ο όρος που προκύπτει από την αυθόρμητη εκπομπή ακτινοβολίας του ενισχυτή. Τότε $N_f = 2nsp$, όπου nsp είναι ο συντελεστής

αυθόρμητης εκπομπής. Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε, ότι για ένα συγκεκριμένο σήμα εισόδου, υπάρχει ένα βέλτιστο ζεύγος (μήκος ίνας, ισχύς άντλησης) για το οποίο ο συντελεστής θορύβου παίρνει την ελάχιστη τιμή του. Αυξάνοντας το μήκος της ίνας και την ισχύ άντλησης θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ASE προς την αντίθετη κατεύθυνση και τον κορεσμό του κέρδους στο μπροστινό μέρος όπου το σήμα είναι χαμηλό.^[17]

3.3.5 Οπτικοί Πολυπλέκτες-Αποπολυπλέκτες

Οι συσκευές πολύπλεξης και αποπολύπλεξης επιτρέπουν το συνδυασμό των εισερχόμενων προς μετάδοση σημάτων (σημείο εκπομπής) ή το διαχωρισμό του οπτικού σήματος στα στοιχειώδη σήματα που το απαρτίζουν (σημείο λήψης) αντίστοιχα. Συνήθως οι παραπάνω λειτουργίες συνδυάζονται σε μία συσκευή, αν και σε κάποιες περιπτώσεις ο πολυπλέκτης και ο αποπολυπλέκτης είναι διαφορετικές συσκευές. Πολλές συσκευές πολύπλεξης-αποπολύπλεξης λειτουργούν χωρίς ηλεκτρική παροχή, δηλαδή είναι εντελώς παθητικά στοιχεία και συμπεριφέρονται σαν φίλτρα υψηλής επιλεκτικότητας, που συνδυάζουν και διαχωρίζουν τα μήκη κύματος του οπτικού σήματος. Τα περισσότερα παθητικά στοιχεία λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο και όταν αντιστραφεί η φορά του οπτικού σήματος.^[17]

Οι διαδικασίες πολύπλεξης/αποπολύπλεξης διαφοροποιούνται ελαφρώς ανάλογα με το αν τα συστήματα μετάδοσης είναι μονόδρομης ή αμφίδρομης κατεύθυνσης (Unidirectional/Bidirectional Systems). Το γεγονός αυτό απεικονίζεται στα ακόλουθα σχήματα:



Σχήμα : Εκπομπή/Λήψη σε Διαφορετικές Οπτικές Ύνες



Σχήμα : Εκπομπή/Λήψη σε μία Οπτική Ύνα

➤ **Οπτικοί Πολυπλέκτες Προσθαφαίρεσης**

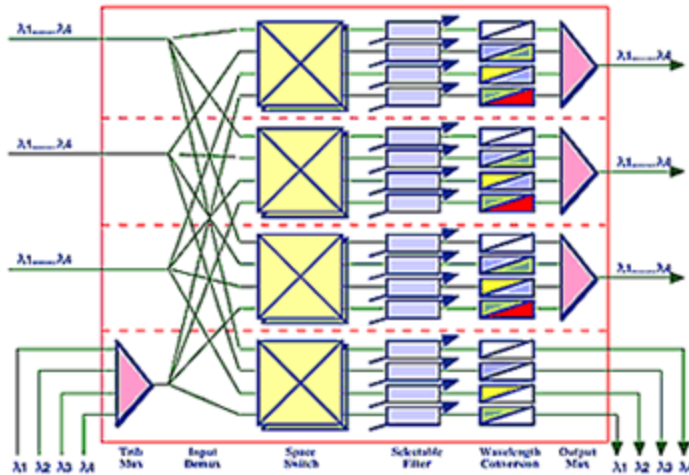
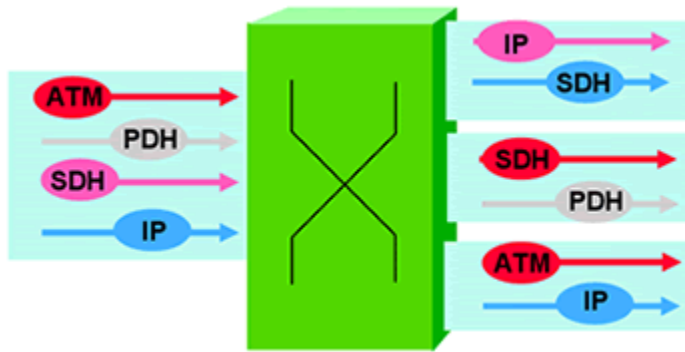
Μια ειδική κατηγορία οπτικών πολυπλεκτών, αυτή των οπτικών πολυπλεκτών προσθαφαίρεσης (Optical Add/Drop Multiplexers-OADM's) κατέχει σημαντικότατο ρόλο στην προσπάθεια δημιουργίας εξολοκλήρου οπτικών δικτύων. Ο ρόλος τους είναι η εξαγωγή (dropping) από το σύνθετο (aggregate) οπτικό σήμα ή/και η εισαγωγή (adding) σε αυτό, ενός ή περισσοτέρων οπτικών καναλιών (Σχήμα 5.14). Ένας OADM μπορεί να εκτελέσει τις παραπάνω λειτουργίες απευθείας στο οπτικό επίπεδο (optical layer) χωρίς να υπάρχει η ανάγκη για εξαγωγή των ψηφιακών σημάτων από τα οπτικά κανάλια στο ηλεκτρικό επίπεδο. Η λειτουργία τους έχει πολλά κοινά σημεία με τις αντίστοιχες ADM/SONET διατάξεις, με τη βασική διαφορά-πλεονέκτημα της μη μετατροπής του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό πριν το διαχωρισμό. Η σημαντικότερη παράμετρος για έναν OADM είναι ο αριθμός των καναλιών τα οποία μπορεί να εισάγει/εξάγει. Ανάλογα με τον κατασκευαστή, ο αριθμός αυτός ποικίλει από 4 έως 32.^[16]

Υπάρχουν δύο γενικοί τύποι των OADM's. Ο πρώτος τύπος είναι μια σταθερή συσκευή που είναι φυσικά διαμορφωμένη ώστε να εξαγάγει (drop) συγκεκριμένα και προκαθορισμένα μήκη κύματος καθώς εισάγει (add) άλλα. Ο δεύτερος τύπος είναι ικανός να επιλέγει δυναμικά ποια μήκη κύματος να εισάγει (add) και ποια να εξαγάγει (drop).²

➤ **Οπτικοί Διασταυρωτήρες**

Ένας οπτικός διασταυρωτήρας (Optical Cross Connect – OXC) είναι μια διάταξη N οπτικών εισόδων και N οπτικών εξόδων, η οποία, στην πιο εξελιγμένη της μορφή, έχει τη δυνατότητα δρομολόγησης οπτικών καναλιών (στο οπτικό επίπεδο, χωρίς εξαγωγή των ψηφιακών σημάτων από τα οπτικά κανάλια στο ηλεκτρικό επίπεδο) από οποιαδήποτε είσοδο σε οποιαδήποτε έξοδο και μάλιστα δυναμικά. Η σημασία μιας τέτοιας διάταξης, για την ανάπτυξη ευέλικτων ολο-οπτικών δικτύων (all-optical networks) είναι προφανής.^[15]

² Τα φίλτρα λεπτών στρώσεων ή φίλτρα παρεμβολής πολλαπλών στρωμάτων έχουν αποδειχθεί ως η καλύτερη επιλογή για OADM's μητροπολιτικών WDM συστημάτων λόγω του χαμηλότερου κόστους και της σταθερότητάς τους.



Σχήμα: Οπτικός διασταυρωτήρας

Στην οπτική περιοχή, όπου μπορούν να μεταδοθούν 40 οπτικά κανάλια από μία μόνο οπτική ίνα, απαιτείται ένα στοιχείο δικτύου να μπορεί να δέχεται διάφορα μήκη κύματος στις εισόδους του και να τα καθοδηγεί στις κατάλληλες εξόδους. Για να πραγματοποιηθεί αυτό ο οπτικός διασταυρωτήρας (OXC) χρειάζεται τρεις δομικές μονάδες^[18] :

- Μεταγωγή οπτικής ίνας (fiber switching) – Η ικανότητα να καθοδηγούνται όλα τα μήκη κύματος από μια οπτική ίνα εισόδου σε μια διαφορετική οπτική ίνα εξόδου.
- Δρομολόγηση μήκους κύματος (wavelength switching) – Η ικανότητα δρομολόγησης συγκεκριμένων μήκων κύματος από μια οπτική ίνα εισόδου σε πολλαπλές οπτικές ίνες εξόδου.
- Μετατροπή μήκους κύματος (wavelength conversion) – Η ικανότητα μετατροπής επαναχρωματισμού των εισερχόμενων μήκων κύματος και η μετάδοσή τους με άλλη συχνότητα στην έξοδο.

3.4 Προβλήματα κατά την μεταδοση μέσω οπτικών ινών

Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι οι απώλειες που επιτυγχάνονται στις οπτικές ίνες, είναι της τάξης των 0.2-0.3 db/km και το σήμα μπορεί να ταξιδέψει από 80 έως 140 χλμ. χωρίς να χρειαστεί αναγέννηση. Το συνολικό εύρος ζώνης που μπορεί να επιτευχθεί θεωρητικά, με χρήση προηγμένων μορφών πολυπλεξίας, είναι της τάξης των 300 THz. Αντίθετα στο ομοαξονικό καλώδιο, εμφανίζονται απώλειες της τάξης των 1000 db/km, γι'αυτό και χρειάζεται πολύ συχνότερα ενίσχυση, όπως είπαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, και το εύρος ζώνης που μπορεί να μεταφερθεί είναι της τάξης του 1 GHz.^[2]

Τα καλώδια οπτικών ινών μειώνουν και αυξάνουν την ένταση του φωτός για να παρουσιάσουν τα δυαδικά 0 και 1 στις μεταδόσεις δεδομένων. Η δύναμη του φωτεινού σήματος δεν εξασθενεί τόσο πολύ όσο η δύναμη του ηλεκτρικού σήματος σε παρόμοιες αποστάσεις. Τα οπτικά σήματα δεν επηρεάζονται από τον ηλεκτρικό θόρυβο και οι οπτικές ίνες δεν χρειάζεται να γειωθούν εκτός και αν η εξωτερική προστασία τους περιέχει κάποιο μεταλλικό υλικό.

Τα καλώδια οπτικών ινών δεν επηρεάζονται από τις πηγές εξωτερικών θορύβων που προκαλούν προβλήματα στα χάλκινα καλώδια επειδή το εξωτερικό φως δεν μπορεί να εισέλθει στην ίνα. Τα υλικά που καλύπτουν την ίνα δεν επιτρέπουν να μπαίνει ή να βγαίνει φως από αυτήν. Αυτό σημαίνει πως στις ίνες δεν έχουμε προβλήματα με το crosstalk όπως στα χάλκινα καλώδια. Επίσης, η ποιότητα των οπτικών συνδέσμων είναι τόσο καλή που τα πρόσφατα πρότυπα για το gigabit και για το 10 gigabit Ethernet καθορίζουν αποστάσεις μεταφοράς που υπερβαίνουν τις παραδοσιακές αποστάσεις των 2 χιλιομέτρων των κλασικών Ethernet. Η μεταφορά μέσω οπτικών ινών επιτρέπει στο πρωτόκολλο Ethernet να χρησιμοποιείται στα MANs και WANs.^[11]

Παρά το γεγονός ότι οι οπτικές ίνες είναι οι καλύτερες από όλα τα μέσα μετάδοσης στο να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις, αυτό δεν σημαίνει ότι δεν παρουσιάζουν και προβλήματα. Όταν το φως ταξιδεύει μέσω της ίνας μερική από την ενέργεια του χάνεται. Όσο πιο μακριά ταξιδεύει το φως μέσα στην ίνα τόσο περισσότερη ενέργεια χάνει το σήμα. Αυτή η εξασθένιση (attenuation) του σήματος συμβαίνει για διάφορους λόγους

περιλαμβάνοντας και την ίδια την φύση της ίνας. Ο πιο σημαντικός λόγος πάντως είναι το scattering (διασκορπισμός). Ο διασκορπισμός του φωτός μέσα στην ίνα συμβαίνει εξαιτίας των μικροσκοπικών μη ομοιόμορφων μέσα στην ίνα που αντανακλούν και διασκορπίζουν μερική από την ενέργεια του φωτός.

Η απορρόφηση (Absorption) αποτελεί μία ακόμα αιτία για την αποδυνάμωση της ενέργειας του φωτός. Όταν οι ακτίνες φωτός χτυπάνε σε μερικές χημικές ακαθαρσίες μέσα στην ίνα αυτές απορροφούν ένα μέρος της ενέργειας. Αυτή η ενέργεια φωτός μετατρέπεται σε ένα μικρό σύνολο θερμικής ενέργειας. Η απορρόφηση κάνει το σήμα φωτός πιο αδύναμο.^[11]

Η διασπορά (Dispersion) του φωτός επίσης μειώνει τις αποστάσεις μετάδοσης σε μια ίνα. Η διασπορά είναι ο τεχνικός όρος του διασκορπισμού των φωτεινών παλμών καθώς ταξιδεύουν μέσω της ίνας. Όταν μερικά μήκη κύματος φωτός ταξιδεύουν σε ελάχιστα διαφορετικές ταχύτητες μέσα στο γυαλί σε σχέση με άλλα τότε δημιουργείται η χρωματική διασπορά. Αυτό συμβαίνει γιατί ένα πρίσμα διαχωρίζει τα μήκη κύματος του φωτός.

Σε μια ιδανική περίπτωση που μια πηγή LED ή Laser παράγει φως μίας μόνο συχνότητας τότε η χρωματική διασπορά δεν αποτελεί πλέον πρόβλημα. Δυστυχώς τα lasers και ειδικά τα LEDs παράγουν μια ποικιλία από μήκη κύματος και έτσι η χρωματική διασπορά ελαττώνει την απόσταση μεταφοράς μέσω μιας οπτικής ίνας. Αν το σήμα μεταφέρεται σε μεγάλη απόσταση τότε αυτό που αρχικά είναι ένας δυνατός παλμός καταλήγει να απλώνεται, να διαχωρίζεται και να σκοτεινιάζει με αποτέλεσμα όταν φτάνει στον παραλήπτη αυτός να μην μπορεί να ξεχωρίσει ένα 0 από ένα 1.^[17]

3.4.1 Προβλήματα κατά την σύνδεση.

- **Απώλειες λόγω διαφορετικής διαμέτρου πυρήνα.**

Αν το φως ταξιδεύει από ένα πυρήνα με μεγαλύτερη διάμετρο σε ένα πυρήνα με μικρότερη διάμετρο τότε όπως παρατηρούμε και στο παρακάτω σχήμα αρκετή από την ενέργεια του φωτός μπορεί να χαθεί.

- **Απώλειες Πλευρικής Μετατόπισης.**

Οι σύνδεσμοι οπτικών ινών είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να ευθυγραμμίζουν καλώδια οπτικών ινών επάνω στους κεντρικούς τους άξονες. Όταν ο άξονας μιας ίνας δεν ευθυγραμμίζεται πλήρως με τον άξονα της άλλης ίνας, υπάρχουν απώλειες. Οι απώλειες συσχετίζονται με τον βαθμό της απώλειας ευθυγράμμισης ανάμεσα στους

δύο άξονες.^[17]

- **Απώλειες διαχωρισμού άκρων.**

Δύο οπτικές ίνες που χωρίζονται από ένα διάκενο αέρα θα έχουν σαν αποτέλεσμα απώλεια σήματος. Όσο μεγαλύτερο είναι το διάκενο, τόσο μεγαλύτερη είναι η απώλεια. Ο βαθμός απώλειας είναι μικρότερος από τα 0.5db όταν οι άκρες των ινών χωρίζονται από μια απόσταση ίση με την διάμετρο των πυρήνων τους.

- **Απώλειες γωνιαίας απώλειας ευθυγράμμισης.**

Όταν τα άκρα των δύο οπτικών ινών είναι κάθετα, τότε οι ακτίνες φωτός θα εισέρχονται επιτυχώς στο άλλο καλώδιο. Αν οι επιφάνειες των δύο καλωδίων οπτικών ινών είναι υπό γωνία, τότε οι ακτίνες φωτός θα ανακλώνται στην επιφάνεια του δεύτερου καλωδίου οπτικών ινών.

- **Απώλειες από ανωμαλίες επιφάνειας.**

Μια σημαντική αιτία δημιουργίας μεγάλης εξασθένησης στα καλώδια οπτικών ινών είναι η λανθασμένη εγκατάστασή τους. Αν η ίνα τεντώνεται ή διπλώνεται πολύ σκληρά μπορεί να προκληθούν μικροσκοπικές ρωγμές μέσα στον πυρήνα που θα διασκορπίζουν τις ακτίνες φωτός. Άλλες ανωμαλίες επιφάνειας είναι διάφορα σκαλίσματα, ξυσίματα, αγκάθια και κοψίματα.

- **Απώλειες από κάμψη της ίνας.**

Η κάμψη της ίνας σε μια πάρα πολύ σφιχτή καμπύλη μπορεί να αλλάξει την προσπίπτουσα (incident) γωνία των φωτεινών ακτινών που χτυπάνε στα σύνορα του πυρήνα και της επικάλυψης. Τότε η προσπίπτουσα γωνία της ακτίνας θα γίνει μικρότερη από την κριτική γωνία που απαιτείται για ολική εσωτερική διάθλαση . Εκτός από την διάθλαση γύρω από την κάμψη της ίνας μερικές ακτίνες φωτός θα διαθλασθούν μέσα στην επικάλυψη και θα χαθούν . Όσο πιο απότομη είναι η κάμψη της ίνας τόσο μεγαλύτερη είναι και η απώλεια. Για να αποφευχθούν οι πολύ απότομες κάμψεις της ίνας, η ίνα, τοποθετείτε σε ένα είδος σωλήνα που ονομάζεται interdicting. Το interdicting βοηθάει σημαντικά στην προστασία της ίνας και διευκολύνει στο τράβηγμα την ίνα χωρίς την ανησυχία για δημιουργία κάποιας κάμψης σε αυτήν.

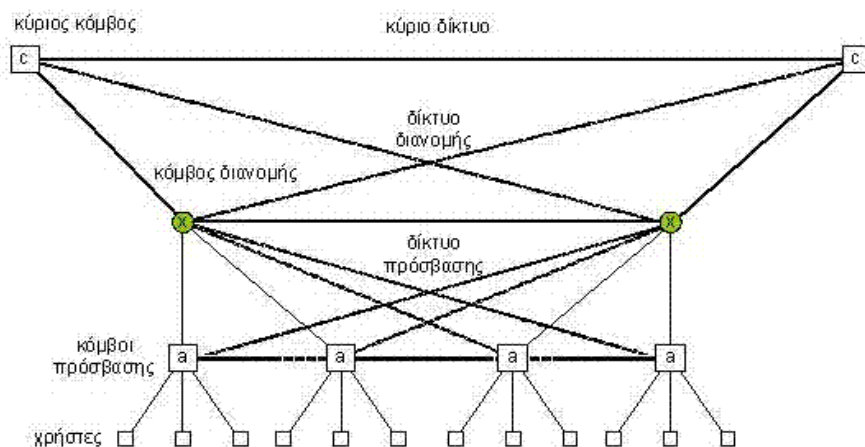
Κεφάλαιο 4^ο :

Αρχιτεκτονικές οπτικών δικτύων

Εισαγωγή

Προς το παρόν οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση ευρυζωνικού δικτύου κορμού και διανομής, καθώς είναι ουσιαστικά η μόνη τεχνολογία που μπορεί να υποστηρίξει τη συγκέντρωση ευρυζωνικών συνδέσεων πρόσβασης και να μεταφέρει τις μεγάλες ποσότητες δεδομένων με υψηλό ρυθμό που απαιτεί η παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών από κεντρικά σημεία διανομής προς τους συνδρομητές. Για το λόγο αυτό είναι κοινή περίπτωση ο συνδυασμός υποδομών οπτικών ινών με άλλες ευρυζωνικές τεχνολογίες, όπου η υποδομή οπτικών ινών δημιουργείται και φτάνει μέχρι τις γειτονιές ή τα κτίρια των συνδρομητών και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται οι υπόλοιπες τεχνολογίες ευρυζωνικής πρόσβασης για να δημιουργηθεί το δίκτυο πρόσβασης που φτάνει μέχρι το χώρο του χρήστη.^[15]

Όσον αφορά την αρχιτεκτονική ενός δικτύου οπτικών ινών, σημειώνεται ότι αποτελείται από τρεις βασικές λογικές μονάδες: το δίκτυο κορμού, το δίκτυο διανομής και το δίκτυο πρόσβασης. Η λογική αυτή παρουσιάζεται καλύτερα στα σχήματα που ακολουθούν:



Σχήμα: Δίκτυο Οπτικών Ινών

Το δίκτυο κορμού αποτελείται από έναν αριθμό κόμβων οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους. Σημειώνεται ότι υπάρχει σύνδεση μεταξύ των κύριων κόμβων οι οποίοι βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους.

Το δίκτυο διανομής, παρέχει συνδέσεις σημείου-πολλαπλών σημείων μεταξύ των κυρίων κόμβων και των κόμβων πρόσβασης. Στους κόμβους διανομής μπορεί να τοποθετηθεί ενεργός ή παθητικός εξοπλισμός για το διαχωρισμό του σήματος, οπότε λέμε ότι χρησιμοποιούμε Ενεργό Οπτικό Δίκτυο (AON, Active Optical Network) ή Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (PON, Passive Optical Network) αντίστοιχα. ^[16]

Τέλος, το δίκτυο πρόσβασης, που καταλήγει στις Οπτικές Μονάδες Δικτύου, αποτελεί τον οπτικό τερματισμό του σήματος. Από εκεί κι έπειτα το σήμα γίνεται ηλεκτρικό και μεταφέρεται μέσω χάλκινου καλωδίου στον συνδρομητή. Κάθε ΟΜΔ επικοινωνεί με 20 περίπου χρήστες. Αν αυτό το κομμάτι αναδιαταχθεί έτσι ώστε κάθε ΟΜΔ να επικοινωνεί με έναν χρήστη και μεταφερθεί η ΟΜΔ στο χώρο του χρήστη, θα έχει επιτευχθεί η τεχνολογία Οπτική Ίνα Στο Σπίτι (FTTH). Μέχρι τότε μπορούν να χρησιμοποιούνται οι τεχνολογίες ADSL/VDSL2 στο τελευταίο κομμάτι του δικτύου.

4.1 Ενεργό Οπτικό Δίκτυο (Active Optical Network, AON)

Η τεχνολογία AON χρησιμοποιεί διατάξεις ενεργού εξοπλισμού στους κόμβους διανομής. Η διαφορά της τεχνολογίας AON από την PON βρίσκεται στον τρόπο υλοποίησης της διάταξης όπου τερματίζει το δίκτυο διανομής και από την οποία ξεκινούν οι υψηλού εύρους ζώνης συνδέσεις και φτάνουν μέχρι το συνδρομητή. Στην τεχνολογία AON η διάταξη αυτή αποτελείται από ενεργό εξοπλισμό, δηλ. εξοπλισμό που απαιτεί ηλεκτρική τροφοδοσία και εκτελεί έξυπνες εργασίες δρομολόγησης δεδομένων. Ο εξοπλισμός αυτός μετατρέπει το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό και ξανά σε οπτικό οπότε, μέσα από την αναγέννηση, εξαλείφεται η εξασθένηση του οπτικού σήματος.^[7] Επίσης η τεχνολογία AON επιτρέπει τη δημιουργία οπτικών δακτυλίων όπου παρέχεται η δυνατότητα προστασίας του δικτύου μέσω της μετάδοσης του σήματος σε δυο διαδρομές (η προστασία συνίσταται στην εξασφάλιση της δυνατότητας μετάδοσης δεδομένων ακόμη και αν εμφανιστεί βλάβη στη μια διαδρομή).

Φυσικά απαιτείται από την πλευρά του χρήστη ο κατάλληλος εξοπλισμός τερματισμού των οπτικών ινών (Optical Network Unit – ONU) που παρέχει τη θύρα πρόσβασης στο οπτικό δίκτυο.

Τα ενεργά Οπτικά Δίκτυα, είναι μια προσέγγιση, που δεν είναι πολύ διαδεδομένη για το σχεδιασμό των κόμβων διανομής. Οι συνδέσεις point-to-point (P2P) μεταξύ των κύριων κατανεμητών και των συνδρομητών, που χρησιμοποιούν κατεξοχήν την τεχνολογία IEEE 802.3ah EFM (Ethernet in the First Mile) για την πρόσβαση στο ευρυζωνικό περιεχόμενο. Οι συνδέσεις P2P δίνουν στους χρήστες μεγαλύτερο αποκλειστικό εύρος ζώνης, σε σχέση με τα διαμοιραζόμενα συστήματα και τη δυνατότητα πρόσβασης σε περισσότερο υλικό μελλοντικά. Η αναβάθμισή τους γίνεται εύκολα και επηρεάζει ένα χρήστη κάθε φορά και δεν απαιτούνται αλλαγές σε κεντρικές εγκαταστάσεις.^[24]

4.2 Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical Network, PON)

Όπως είπαμε και παραπάνω, τα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα, είναι αυτά που στους κόμβους διανομής χρησιμοποιούν παθητικό εξοπλισμό. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούν διαχωριστές για την πολλαπλή μετάδοση ενός σήματος σε πολλές Οπτικές Μονάδες Δικτύου, τυπικά 32. Αποτελούνται από έναν Τερματιστή Οπτικής Γραμμής (Optical Line Termination, OLT) στο κεντρικό γραφείο του φορέα παροχής υπηρεσιών και τις οπτικές μονάδες δικτύου (ONUs) κοντά στους τελικούς χρήστες. Αυτό επιτρέπει την εξοικονόμηση σε οπτικές ίνες αλλά και σε εξοπλισμό κυρίων κατανεμητών, που χρησιμοποιείται στις σημείο-προς-σημείο συνδέσεις.^[25]

Τα PONs έχουν μια τοπολογία δέντρου προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η κάλυψή τους με χρήση ελάχιστων διαχωριστών, μειώνοντας κατά συνέπεια τις απώλειες οπτικής ισχύος. Αυτό είναι σημαντικό, καθώς το παθητικό δίκτυο διανομής δεν έχει κανέναν ενισχυτή ή αναγεννητή.

Υπάρχουν τρεις τυποποιημένες εκδόσεις PON: Ethernet PON (EPON, IEEE 802.3ah), ATM PON και Broadband PON (APON-BPON, ITU-T G.983) και Gigabit PON (GPON, ITU-T G.984). Όλες χρησιμοποιούν δύο μήκη κύματος, ένα για την προς τα κάτω και ένα για την προς τα πάνω μετάδοση δεδομένων. Αυτά τα μήκη κύματος μοιράζονται χρονικά μεταξύ των χρηστών, με πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDMA - PONs). Το συνολικό διαθέσιμο εύρος ζώνης ανά χρήστη περιορίζεται έτσι από αυτό το μοίρασμα.^[25] Ένα τρίτο μήκος κύματος μπορεί προαιρετικά να

χρησιμοποιηθεί για την προς τα κάτω μετάδοση αναλογικής τηλεόρασης (RF). Η Πολυπλεξία Μήκους Κύματος (WDM) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα PON για να αυξήσει τη συνολική χωρητικότητα του δικτύου. Ο πίνακας 6 συγκρίνει μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά των τεχνολογιών PON.

	EPON	BPON	GPON	WDM-PON
Standard	IEEE 802.3ah	ITU G.983	ITU G.984	None
Framing	Ethernet	ATM	GFP/ATM	Protocol Independent
Maximum Bandwidth	1 Gbit/s	622 Mbit/s	2.488 Gbit/s	1-10 Gbit/s per channel
Users/PON	16	32	64	100's
Average Bandwidth per User	60 Mbit/s	20 Mbit/s	40 Mbit/s	1-10 Gbit/s
Video	RF/ IP	RF	RF/ IP	RF/ IP
Estimated Cost	Lowest	Low	Medium	High

Πίνακας: Σύγκριση των τεχνολογιών PON

4.2.1 BPON και GPON

Το 1995, οι πάροχοι των ΗΠΑ ένωσαν τις δυνάμεις τους στην FSAN για να προτυποποιήσουν την τεχνολογία PON. Τα αποτελέσματα των προσπαθειών τους τυποποιήθηκαν στις συστάσεις της ITU G.983 και G.984. Η ελλοχέουσα τεχνολογία μετάδοσης για την πρώτη κατηγορία προτύπου βασίζεται στην ATM-ενθυλάκωση. Λόγω αυτού, ονομάστηκε ATM PON (APON). ^[26] Το όνομα άλλαξε αργότερα σε Ευρυζωνικό PON (BPON) για να υπογραμμίσει ότι η κίνηση δεν περιορίζεται σε μεταδόσεις ATM μόνο. Τα πρότυπα BPON διευκρινίζουν τη λειτουργία από το φυσικό στρώμα μέχρι το OAM. Οι μέγιστες ταχύτητες είναι 622 Mbit/s προς τα κάτω και 155 Mbit/s προς τα πάνω.

Καθώς η ενθυλάκωση της IP κυκλοφορίας σε πακέτα ATM δημιουργεί μεγάλο πλεόνασμα δεδομένων που οφείλονται στην επικεφαλίδα, και στην προσπάθεια να δημιουργηθεί ένα πιο ευέλικτο πρότυπο, αναπτύχθηκε το GPON (Gigabit PON). Στο GPON, η ενθυλάκωση πραγματοποιείται μέσω ενός πρωτοκόλλου που λέγεται Generic Framic Protocol, μία ευέλικτη μέθοδο που επιτρέπει τη διαχείριση πληροφοριών μεταβλητού ρυθμού δεδομένων. Χρησιμοποιούνται μεγαλύτερα πακέτα μεταβλητού μήκους και προσφέρεται η δυνατότητα στα δεδομένα που είναι ευαίσθητα στην καθυστέρηση, όπως η φωνή και το βίντεο, να μπαίνουν σε προτεραιότητα και τα υπόλοιπα δεδομένα να ακολουθούν

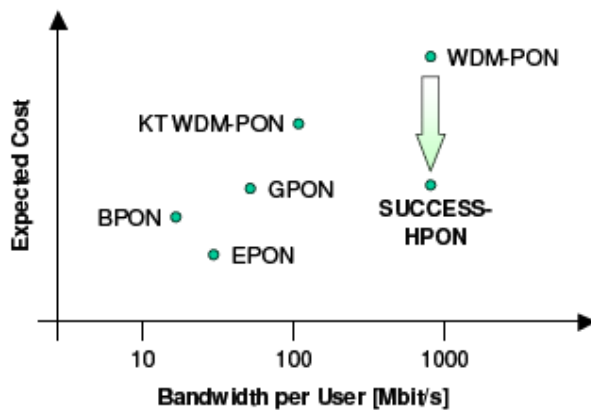
(Quality of Service, QoS). Το δίκτυο GPON παραδίδει μέχρι 2,488 Gbps ρυθμό δεδομένων και προς τις δύο κατευθύνσεις και είναι ικανό να προσφέρει υπηρεσίες triple play (φωνή, βίντεο, δεδομένα).^[24]

4.2.2 EPON

Μια ξεχωριστή προσπάθεια τυποποίησης PON άρχισε με βάση το IEEE Ethernet πρωτόκολλο. Η ιδέα εδώ ήταν να χρησιμοποιηθεί η τεράστια υποδομή Ethernet χαμηλού κόστους για να γίνει απλούστερη και πιο φθηνή τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα PON. Το μειονέκτημα είναι ότι το Ethernet είναι κατασκευασμένο συνήθως για εκρηκτικού ρυθμού υπηρεσίες και όχι για υπηρεσίες σταθερού ρυθμού ή πολυπλεξίας TDM. Το EPON αναπτύχθηκε και τυποποιήθηκε ως το IEEE 802.ah πρότυπο. Το πρότυπο εστιάζει κυρίως στο φυσικό στρώμα μετάδοσης και έτσι η διαλειτουργικότητα των υψηλότερων στρωμάτων δεν είναι εγγυημένη. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης για το EPON είναι θεωρητικά τα 1,25 Gbit/s, αλλά λόγω της χρήσης της κωδικοποίησης 8B/10B, αυτός γίνεται ουσιαστικά 1 Gbit/s.

4.2.3 WDM-PON

Τα WDM-PON, όπως αναφέραμε ανωτέρω, χρησιμοποιούν ακριβό εξοπλισμό και, εκτός από τα μεγάλης απόστασης δίκτυα, το κόστος τους μοιράζεται σε μερικές δεκάδες χρηστών μόνο. Εντούτοις, μπορούν να παρέχουν ρυθμούς Gbit/s σε κάθε χρήστη, που τα TDM-PONs δεν μπορούν. Το ζήτημα όμως είναι πώς να γίνεται αυτό κατά τρόπο οικονομικά αποδοτικό.

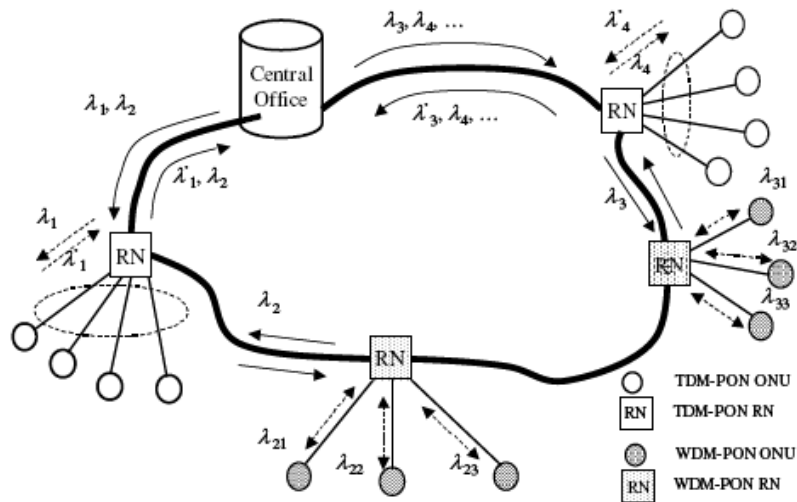


Σχήμα: Σχέση Κόστους και εύρος ζώνης των Παθητικών Οπτικών Δικτύων

4.2.4 Υβριδικά TDM/WDM-PONs

Η ανάπτυξη των τεχνολογιών TDMA-PONs έχει ξεκινήσει. Αναμένεται ότι μέχρι το 2009 ο αριθμός των χρηστών θα είναι μεγαλύτερος από 10 εκατομμύρια παγκοσμίως. Λαμβάνοντας υπόψη τις υφιστάμενες υποδομές και τις αυξανόμενες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, το ζήτημα θα είναι πώς να περάσουμε στην τεχνολογία WDM-PON με έναν εύκαμπτο και οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Κάποια υβριδικά TDM/WDM PON μοντέλα έχουν προταθεί, συμπεριλαμβανομένων των Hybrid PON της Samsung και του SUCCESS-DWA και του SUCCESS-HPON του Στάνφορντ.^[17]

Οι παραλλαγές SUCCESS-DWA και SUCCESS-HPON που προτάθηκαν από το πανεπιστήμιο του Stanford, παρέχουν μια ομαλή μετάβαση από τις υλοποιήσεις TDM στις WDM-PON. Το Σχήμα 3.33 δίδει τη θέση του SUCCESS-HPON ανάμεσα στις άλλες υλοποιήσεις PON. Παρέχει εύρος ζώνης συγκρίσιμο με τις απλές WDM-PON, αλλά σε χαμηλότερα κόστη. Αυτό επιτυγχάνεται καταργώντας την εγκατάσταση των laser στο χώρο των συνδρομητών και τοποθετώντας τους στους κύριους καταναμητές. Σ' αυτήν την περίπτωση, ένα συνεχές κύμα στέλνεται από τον κυριο καταναμητή στους συνδρομητές, με το οποίο θα διαμορφώσουν τα δεδομένα που θα στείλουν πίσω στο δίκτυο.^[16] Με την αφαίρεση των laser και την τοποθέτησή τους στους κύριους καταναμητές, η εγκατάσταση γίνεται πολύ πιο φθηνή αφού μειώνονται οι απαραίτητες συσκευές που πρέπει να τοποθετηθούν στο σύστημα.



Σχήμα: Αρχιτεκτονική SUCCESS-HPON

4.3) Οπτικά δίκτυα και Πολυπλεξία (WDM)

Τα οπτικά δίκτυα είναι τηλεπικοινωνιακά δίκτυα που χρησιμοποιούν ως μέσο μετάδοσης της πληροφορίας την οπτική ίνα. Η πληροφορία ταξιδεύει με τη μορφή ακτίνων φως και φτάνει στον προορισμό της μέσω συνεχών ανακλάσεων στο εσωτερικό του διάφανου πυρήνα της οπτικής ίνας. Τις τελευταίες δεκαετίες τα οπτικά δίκτυα έχουν γνωρίσει μεγάλη ανάπτυξη καθώς παρέχουν εύρος ζώνης κατά πολύ μεγαλύτερο από κάθε άλλη τεχνολογία μετάδοσης.^[24]

Στα δίκτυα οπτικών ινών χρησιμοποιείται συνήθως πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing - WDM). Κατά την WDM πολυπλεξία, το φάσμα μετάδοσης της οπτικής ίνας χωρίζεται σε μη επικαλυπτόμενες περιοχές μηκών κύματος (συχνοτήτων) και κάθε μήκος κύματος μεταφέρει ένα κανάλι σε ρυθμό μετάδοσης ίσο με αυτό του τερματικού ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Επιτρέποντας τη μεταφορά πολλαπλών WDM καναλιών πάνω από μία οπτική ίνα επιτυγχάνεται πλήρης αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης, ενώ παράλληλα τα δομικά στοιχεία των δικτύων WDM είναι ευκολότερο να υλοποιηθούν, καθώς καλούνται να υποστηρίξουν ρυθμούς μετάδοσης ανά κανάλι ίσους με αυτό των ηλεκτρονικών πομποδεκτών.

Για τη μετάδοση της πληροφορίας σε ένα οπτικό δίκτυο, τοποθετούνται στους κόμβους

συσκευές μεταγωγής (optical switches) οι οποίες διατηρούν, ενισχύουν και κατευθύνουν το σήμα. Μια ακόμα λειτουργία των switch είναι να εναλλάσσουν το μήκος κύματος του μεταδιδόμενου μηνύματος σύμφωνα με τις ανάγκες και το φόρτο του δικτύου.

4.3.1 Optical Burst Switching και άλλες τεχνικές

Η μεταγωγή ριπής είναι μία από τις τρεις υπάρχουσες τεχνικές που επιτυγχάνουν τη ροή δεδομένων μέσα σε οπτικά δίκτυα WDM. Η λογική του OBS αποτελεί ουσιαστικά συνδυασμό των δύο άλλων τεχνικών και προκατόχων του, των δικτύων *Μεταγωγής Κυκλώματος* (Optical Circuit Switching - OCS) και των δικτύων *Μεταγωγής Πακέτων* (Optical Packet Switching - OPS).^[24]

➤ Optical Circuit Switching - Μεταγωγή Κυκλώματος

Στα OCS δίκτυα, για να ανταλλάξουν δεδομένα δυο σταθμοί, αποκαθίσταται μια αποκλειστική φυσική σύνδεση μεταξύ τους που διατηρείται σταθερή σε όλη την διάρκεια της επικοινωνίας. Μετά τη δημιουργία της σύνδεσης ξεκινά η μετάδοση του συνόλου της πληροφορίας. Όταν η επικοινωνία τελειώσει, οι κόμβοι που συμμετείχαν στη συγκεκριμένη σύνδεση ενημερώνονται κατάλληλα, ώστε να ελευθερώσουν τους πόρους που είχαν δεσμεύσει. Αυτοί οι πόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για κάποια άλλη σύνδεση.^[25]

Η τεχνική μεταγωγής κυκλώματος εφαρμόστηκε από τις αρχές της ύπαρξης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, πολύ πριν ανακαλυφθούν τα οπτικά δίκτυα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι πρώιμες τηλεφωνικές επικοινωνίες. Για την επίτευξη κλήσης ο χρήστης ζητούσε από το διαχειριστή (operator) να επικοινωνήσει με κάποιον άλλο χρήστη του τηλεφωνικού δικτύου. Τότε ο διαχειριστής, που ήταν συνήθως κάποιος εργαζόμενος σε τηλεφωνικό κέντρο, πραγματοποιούσε φυσική σύνδεση μεταξύ των δύο συνδρομητών ή, σε περίπτωση που ο δεύτερος συνδρομητής ανήκε σε διαφορετικό τηλεφωνικό κέντρο, γινόταν σύνδεση του πρώτου με το κέντρο του δεύτερου, ώστε να εξυπηρετηθεί από εκεί. Σε κάθε περίπτωση, το τελικό αποτέλεσμα ήταν η φυσική ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ των συνδρομητών καθ' όλη τη διάρκεια της συνομιλίας. Άλλες περιπτώσεις στις οποίες χρησιμοποιήθηκε η μεταγωγή κυκλώματος, με διαφοροποιήσεις, πριν από τα οπτικά δίκτυα είναι^[25]:

- Public Switched Telephone Networks (PSTN)
- Integrated Services Digital Networks (ISDN) B-Channel

- Circuit Switched Data (CSD) και High-Speed Circuit Switched Data (HSCSD) σε συστήματα κινητής τηλεφωνίας όπως το GSM

➤ **Optical Packet Switching - Μεταγωγή Πακέτου**

Στην τεχνολογία OPS, η προς μετάδοση πληροφορία τεμαχίζεται σε *πακέτα* (packets) μικρού αριθμού bytes, συνήθως περί τα 1200. Κάθε πακέτο περιέχει τμήμα της ωφέλιμης πληροφορίας του χρήστη, μια διεύθυνση προορισμού κι ένα σειριακό αριθμό που χρησιμεύει στη συναρμολόγηση της πληροφορίας. Καθώς υπάρχουν συνήθως περισσότερες από μία πιθανές διαδρομές, κάθε κόμβος αποφασίζει πού πρέπει να προωθήσει το πακέτο, εξετάζοντας τη διεύθυνση προορισμού και τις πληροφορίες που έχει για την κίνηση στους κόμβους του δικτύου.^[28]

Η επέκταση του Διαδικτύου ανέδειξε την τεχνολογία αυτή ως βολικότερη για διακίνηση δεδομένων, σε σχέση με τη μεταγωγή κυκλώματος, καθώς παρείχε βελτιστοποίηση στη χρήση του *εύρους ζώνης* (bandwidth) και ελαχιστοποιούσε την *καθυστερήση* (latency) της επικοινωνίας. Η λογική της αποστολής μικρών πακέτων δεδομένων εξερευνήθηκε αρχικά από τον Paul Baran, μηχανικό δικτύων υπολογιστών, στις αρχές της δεκαετίας του 60', ενώ παράλληλα ασχολήθηκε με το ίδιο θέμα και ο Βρετανός Donald Davies. Ο τελευταίος πρότεινε το 1965 την εγκατάσταση ενός δικτύου μεταγωγής πακέτου που θα κάλυπτε όλη τη Μ.Βρετανία. Εν τέλει, το πρώτο δίκτυο υπολογιστών που λειτούργησε με τεχνολογία μεταγωγής πακέτων ήταν το Octopus Network στο Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) της Καλιφόρνια με στόχο να εξυπηρετήσει το διαμοιρασμό αρχείων μεταξύ τεσσάρων υπολογιστών και διάφορων μέσων αποθήκευσης. Το 1974 οι Vint Cerf και Bob Kahn περιέγραψαν το Transmission Control Protocol (TCP), ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας υπολογιστών για τη σύνθεση δικτύων μεταγωγής πακέτου.

➤ **Optical Burst Switching - Μεταγωγή Ριπής**

Καθώς το Ίντερνετ υπέφερε από την ίδια του την επιτυχία, με την αύξηση του αριθμού χρηστών αλλά και του μεγέθους της πληροφορίας που διακινούταν, ήταν επιβεβλημένο να αναζητηθούν νέες λύσεις που θα εξυπηρετούσαν τις ανάγκες δικτύωσης. Στις αρχές του 21^{ου} αιώνα πολλοί ερευνητές επικεντρώθηκαν σε μια νέα ιδέα, τα Οπτικά Δίκτυα Μεταγωγής Ριπής.

Με σχετική βιβλιογραφία που ξεπερνά τις 150 ερευνητικές μελέτες (στο διάστημα 1999-2012), η τεχνική των OBS δείχνει τη δυναμική της να εξελιχθεί σε

σημαντικό κομμάτι της τεχνολογίας των οπτικών δικτύων. Η λειτουργία του OBS θυμίζει πολύ αυτή του OPS και συνοψίζεται στο γεγονός ότι τα δεδομένα που πρέπει να αποσταλούν από τους *ακρικούς κόμβους* (edge nodes) ενός οπτικού δικτύου ομαδοποιούνται σε *ριπές* (bursts) πριν από την αποστολή τους. Οι ριπές αυτές είναι πρακτικά ομάδες πακέτων^[25], στα οποία είναι ήδη οργανωμένη η προς μετάδοση πληροφορία.

Το πλεονέκτημα της λογικής του OBS έγκειται στο γεγονός ότι επιτυγχάνεται πιο αποδοτική δέσμευση πόρων. Η δέσμευση γίνεται για τη χρονική διάρκεια της μετάδοσης μιας ριπής. Το διάστημα αυτό είναι μεν πολύ μικρότερο από το χρόνο δέσμευσης που απαιτεί η τεχνολογία μεταγωγής κυκλώματος (OCS), ενώ είναι παράλληλα αρκετά μεγάλο ώστε να μην απαιτούνται πολύ γρήγοροι μεταγωγείς, όπως συμβαίνει στην τεχνολογία μεταγωγής πακέτων (OPS).

Ένα άλλο πλεονέκτημα των ριπών έναντι των πακέτων είναι ότι μειώνουν σημαντικά τον αριθμό των ελέγχων που γίνονται στους κόμβους για την εύρεση των διευθύνσεων παραλήπτη, επόμενου κόμβου κλπ. Τέλος, η τεχνολογία OBS υστερεί των άλλων δύο στο γεγονός ότι απαιτεί πιο πολύπλοκους μεταγωγείς (edge routers) και μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας.^[26]

4.4 Τεχνολογία Free Space Optics

Τα συστήματα Ασύρματων Οπτικών Επικοινωνιών ή Free Space Optics, ή Wireless Optics, έχουν αντίστοιχο εύρος ζώνης και καθυστέρηση με αυτά μιας σύνδεσης με μία οπτική ίνα, αφού το σύστημα αυτό είναι πρακτικά μια φυσική Οπτική σύνδεση, όπου για κανάλι, αντί για οπτική ίνα, έχουμε το χώρο, που για επίγειες συνδέσεις το κανάλι είναι η ατμόσφαιρα. Η τεχνολογία Free Space Optics, μπορεί να περιγραφεί σαν μια ασύρματη ζεύξη μεταφοράς δεδομένων χρησιμοποιώντας σαν μέσο την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κοντά, αλλά και εντός του οπτικού φάσματος συχνοτήτων.^[27]

Ιστορικά, η πρώτη οπτική ζεύξη μεταφοράς δεδομένων υλοποιήθηκε τον προηγούμενο αιώνα, από τον Alexander Graham Bell,^[7] μάλιστα πριν παρουσιάσει το τηλέφωνο, στη μορφή του φωτοφώνου. Ήταν μια συσκευή όπου μετέτρεπε τη φωνή σε ηλεκτρικό σήμα που διαμόρφωνε μια δέσμη φωτός, μεταφέροντας τη φωνή γύρω

στα 200 μέτρα μακρυνά. Δεν βγήκε ποτέ στην παραγωγή, αλλά είναι η βάση όλων των ασύρματων οπτικών ζεύξεων. Μετέπειτα, τα τελευταία 50 περίπου χρόνια υλοποιούνται τέτοιες ζεύξεις, ξεκινώντας από στρατιωτικές εφαρμογές και σταδιακά με την εξέλιξη της τεχνολογίας αυτής, εμφανίστηκε και σε εμπορικές εφαρμογές.

Η αρχή λειτουργίας ενός συστήματος Free Space Optics, ορίζεται από την εκπομπή και λήψη διαμορφωμένου φωτός, μέσω της ατμόσφαιρας μεταξύ δυο σημείων (point to point επικοινωνία). Αναλυτικότερα, αποτελείται από ένα ζεύγος συστημάτων A και B που αναλαμβάνουν την υλοποίηση ενός οπτικού φυσικού καναλιού διαμέσου της ατμόσφαιρας, μέσω του οποίου διασυνδέουν δυο εκ των προτέρων διαφορετικά δίκτυα. Τα δεδομένα από το δίκτυο του συστήματος A, εφόσον απαιτείται, αποδιαμορφώνονται από το ένα υποσύστημα του, και διαμορφώνονται ξανά από ένα δεύτερο υποσύστημα, συνήθως σε διαμόρφωση Έντασης (IM – Intensity Modulation), για τη μετάδοσή τους στο σύστημα B, όπου αυτό αναλαμβάνει την αντίστροφη διαδικασία για τη μετάδοση των δεδομένων στο δίκτυο που είναι αυτό συνδεδεμένο.^[7]

Οι ζεύξεις τεχνολογίας Free Space Optics είναι ιδανικές για τη διασύνδεση δυο δικτύων όπου απαιτείται μεγάλο εύρος ζώνης, μηδενικές παρεμβολές από και προς άλλα συστήματα ασύρματων τηλεπικοινωνιών, αυξημένη ασφάλεια μετάδοσης των δεδομένων, χαμηλή έως μηδενική καθυστέρηση, και η εγκατάσταση οπτικών ινών για τη ζεύξη αυτή είναι ανέφικτη λόγω κόστους, χρόνου, ή ιδιομορφίας του τόπου. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή ενδιαφέροντος καλύπτει εφαρμογές όπως^[22]:

- Last Mile ζεύξεις από μερικά μέτρα έως λίγα χιλιόμετρα και ρυθμούς από 1Mbps έως 2.5Gbps, ενώ αναμένεται στο μέλλον να εμφανιστούν συστήματα FSO με ρυθμούς της τάξης των 10Gbps και 40/46Gbps με χρήση πολύπλοκων τεχνικών διαμόρφωσης.
- Εφεδρικές ζεύξεις υποστήριξης μόνιμων ζεύξεων οπτικών ινών σε περίπτωση βλάβης ή περιορισμένης διαθεσιμότητας.
- Backbone ζεύξεις μεταξύ σταθμών κινητής τηλεφωνίας ειδικότερα όπου υλοποιείται επικοινωνία 3G/4G λόγω των μεγάλων ρυθμών μεταφοράς δεδομένων.
- Προσωρινές ζεύξεις σε περίπτωση βλάβης ή αιφνίδιας απαίτησης ευρυζωνικής ζεύξης, λόγω του μικρού χρόνου εγκατάστασης.
- Διασύνδεση πολλαπλών μικρότερων τοπικών δικτύων (campus networks).

- Δύσκολα υλοποιήσιμες ζεύξεις όπως πάνω από κεντρικούς δρόμους συχνής κυκλοφορίας, γραμμές τρένου, ποτάμια, και γενικότερα δύσβατες και απομακρυσμένες περιοχές.
- Ζεύξεις σε περιοχές που απαγορεύεται η εκπομπή RF και μικροκυματικής ακτινοβολίας.

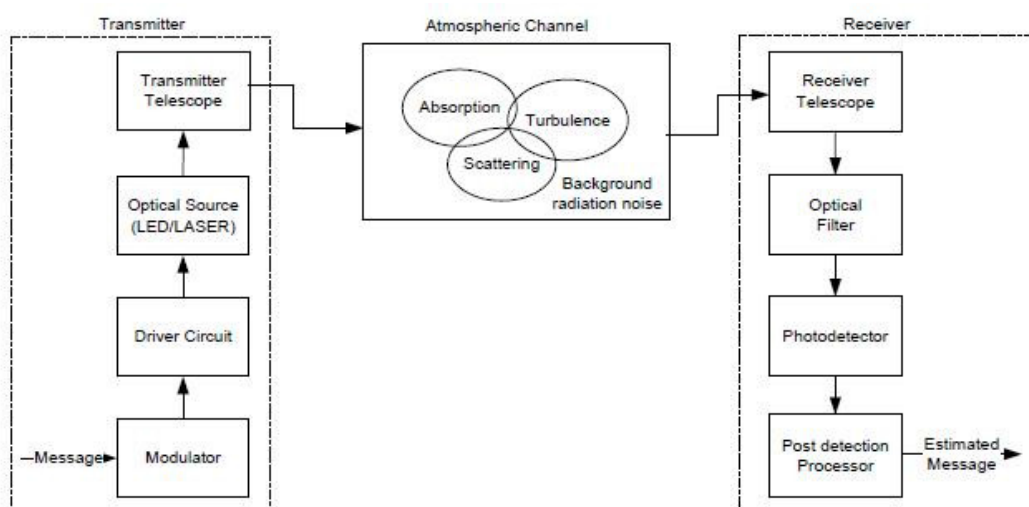
Συχνές υλοποιήσεις συναντώνται σε ζεύξεις μεταξύ καταστημάτων τραπεζών, μεταξύ συμπλεγμάτων γραφείων, σε αεροδρόμια όπου απαγορεύεται η εκπομπή μεγάλου φάσματος συχνοτήτων, σε ζεύξεις μεταξύ αναμεταδοτών για την αποφυγή παρεμβολών, και σε στρατιωτικές εφαρμογές. Επίσης χρησιμοποιείται και για την επικοινωνία μεταξύ δορυφόρων.^[27]

Το κόστος μιας ασύρματης οπτικής ζεύξης είναι κατά πολλές φορές χαμηλότερο από αυτό της υλοποίησης μιας ζεύξης οπτικών ινών, αλλά και πολλές φορές μεγαλύτερο από μια μικροκυματική ζεύξη αντίστοιχων επιδόσεων εύρους ζώνης. Το πραγματικό κόστος σε ολοκληρωμένες μελέτες προϋποθέτει και τον υπολογισμό συντήρησης, την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service, QoS) το κόστος στη περίπτωση απώλειας της ζεύξης, και άλλων παραγόντων που κρίνουν τελικά εάν μια τέτοια ζεύξη είναι εντός του προϋπολογισμού κόστους ή όχι. Αντικειμενικά το κόστος του εξοπλισμού κυμαίνεται σε μερικές χιλιάδες ευρώ, ανάλογα των χαρακτηριστικών.^[27]

Υπάρχουν αρκετές διαφοροποιήσεις σε τέτοια συστήματα, παρότι η αρχή είναι ίδια, όπως στο αν το ζεύγος συστημάτων είναι ενεργό ή παθητικό, αν και σε ποιο στάδιο του φυσικού επιπέδου στο εκάστοτε δίκτυο επεμβαίνει, το μήκος κύματος και την ισχύ του φωτός που μεταδίδει, τη διαμόρφωση αυτού, αλλά ακόμη και διαφορές στον τρόπο εκπομπής στο επίπεδο μορφοποίησης του κάθε παλμού που μεταδίδεται. Κάθε τέτοια διαφοροποίηση εκμεταλλεύεται και διαφορετικές παραμέτρους ανάλογα της συνθήκης της ατμόσφαιρας και του περιβάλλοντος στο εκάστοτε σημείο που υλοποιείται η ζεύξη. Σήμερα, εμπορικές και μη εφαρμογές Free Space Optics ζεύξεων φέρουν κάποια χαρακτηριστικά, αποτέλεσμα έρευνας και σταδιακής βελτίωσης, σύγχρονα της τεχνολογίας, ειδικότερα στον τομέα της οπτοηλεκτρονικής, και αποτελούν βάση σε όλα τα συστήματα Free Space Optics.

4.4.1 Χαρακτηριστικά

Γενικότερα, όλα τα συστήματα Free Space Optics χαρακτηρίζονται από πραγματική αμφίδρομη επικοινωνία, φέροντας για πομπό ένα ή περισσότερα οπτοηλεκτρονικά εξαρτήματα, τεχνολογίας LED ή LASER,^[29] και για δέκτη μια φωτοδίοδο συνήθως τύπου PIN ή APD, αντίστοιχα συνοδευόμενα με συστήματα οδήγησης και ενίσχυσης. Βασικό διάγραμμα ενός τέτοιου συστήματος αποτυπώνεται στην εικόνα .



Εικόνα : Βασικό διάγραμμα συστήματος Free Space Optics

Όσον αφορά τον πομπό, η επιλογή ανάμεσα σε LED και LASER είναι αποτέλεσμα μελέτης της ζεύξης προς υλοποίησης, και ανάλογα τις απαιτήσεις και ιδιότητες της περιοχής υλοποίησης λαμβάνονται με ανάλογο βάρος και τα προτερήματα του πομπού LED και LASER. Ξεκινώντας με την κατηγορία των LED – Light Emitting Diode , βασικό τους χαρακτηριστικό είναι η εκπομπή φωτός από μια ευρεία επιφάνεια, σχεδόν προς όλες τις κατευθύνσεις και εκπέμποντας σε ένα σχετικά ευρύ φάσμα μήκους κύματος, της τάξης των μερικών δεκάδων νανομέτρων. Επομένως η ακτινοβολία που εκπέμπει το LED είναι μη συνεκτική ή ασύμφωνη και μη μονοχρωματική. Επίσης η απόδοση του LED στη μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε ακτινοβολία είναι περίπου 10%.

Στην οικογένεια των LED ανήκουν και τα RCLED – Resonant Cavity LED , τα οποία διαφέρουν από τα συμβατικά LED στην αρχιτεκτονική τους, ενσωματώνοντας μια κάθετη στην επιφάνεια εκπομπής μια κοιλότητα που

περικλείεται από δυο ανακλαστικές επιφάνειες κατανομής Bragg η μία πλήρως ανακλαστική και η δεύτερη που βρίσκεται στην επιφάνεια εκπομπής, μερικώς ανακλαστική, διαμορφώνοντας ένα χώρο ταλάντωσης της ακτινοβολίας, θυμίζοντας τη λειτουργία των LASER^[29], και ανάμεσά τους η ενεργός περιοχή του ημιαγωγού LED. Οι ανακλαστικές επιφάνειες τύπου κατανομής Bragg, αποτελούνται από αλληπάλληλες περιοχές υλικών διαφορετικού δείκτη διάθλασης, όπου η ανακλαστικότητα τους μεγιστοποιείται σε ένα μήκος κύματος, κοντά σε τέσσερις φορές το πάχος του κάθε στρώματος ($\lambda/4$), και φθίνει με την απόκλιση από το κεντρικό μήκος κύματος. Οι αλληπάλληλες αυτές εναλλαγές υλικών δημιουργούν όχι μόνο μια εξαιρετικά ανακλαστική επιφάνεια, αλλά ένα οπτικό ανακλαστικό φίλτρο, τα χαρακτηριστικά του οποίου μεταβάλλονται από τον αριθμό των ζευγών των στρωμάτων και το πάχος αυτών. Με το σχεδιασμό αυτό επιτυγχάνονται επιδόσεις που πλησιάζουν αυτές των LASER, όπως υψηλή κατευθυντικότητα, περισσότερο συνεκτική ακτινοβολία στο χώρο, και περισσότερο “μονοχρωματική” ακτινοβολία συγκριτικά με απλά LED.^[27]

Σημειώτέο ότι η ακτινοβολία από το RCLED δεν είναι συμφασική όπως στα LASER, και είναι αποτέλεσμα αυθόρμητης εκπομπής φωτονίων. Απέναντι στα LASER, παρουσιάζει μεγαλύτερη ανοχή σε θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, και έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Αλλά ακόμη τα και τα RCLED, έχουν περιορισμένο εύρος ζώνης μεταφοράς δεδομένων σε σχέση με τα LASER, λιγότερο από 1Gbps. Επιπλοσθέτως πρέπει να σημειωθεί ότι με ειδικά συστήματα οδήγησης, πειραματικά, έχει επιτευχθεί μετάδοση μέσω πλαστικής οπτικής ίνας μήκους 50m με ρυθμό 1,25Gbps, και αρκετά ανοιχτό διάγραμμα οφθαλμού.

Αναφορικά, τα LED έχουν σημαντικό ρόλο σε μία σχετικά νέα τεχνολογία, VLC – Visible Light Communication που ανήκει και αυτή στα συστήματα Free Space Optics, και όχι τόσο διαδεδομένη, τα συστήματα Li-Fi, όπου πολλαπλά LED εκπέμπουν διάχυτη ακτινοβολία σχεδόν όλου του ορατού φάσματος σε ένα χώρο και για τη μετάδοση πληροφοριών εκμεταλλεύονται και όλες τις πιθανές ανακλάσεις της στο χώρο, και φυσικά την πολυπλεξία μήκους κύματος, αφού ο δέκτης αποτελείται από συστοιχία φωτοδιόδων ευαίσθητες σε διαφορετικά μήκη κύματος, ανιχνεύοντας η κάθε μία τις διακυμάνσεις στο μήκος κύματος που εστιάζει. Επειδή η εκπομπή είναι σε όλο σχεδόν το οπτικό φάσμα και με σχετικά μεγάλους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων, το ανθρώπινο μάτι αναγνωρίζει την ακτινοβολία αυτή σαν λευκό φως, και ιδανικά στο μέλλον επιζητούν αντίστοιχη ευελιξία με το γνωστό Wi-Fi, αλλά

αντικαθιστώντας τον κοινό φωτισμό με συστήματα VLC. Από την οικογένεια των LASER, στα συστήματα Free Space Optics χρησιμοποιούνται τα συμβατικά ημιαγωγά Edge-Emitting LASERs, και τα VCSEL – Vertical Cavity Surface Emitting Lasers.^[29]

Η αρχή λειτουργίας των ημιαγωγών laser διαφέρει από τα LED στο γεγονός ότι περνώντας ένα συγκεκριμένο κατώφλι (lasing threshold) ρεύματος τα παραγόμενα φωτόνια που ταλαντώνουν στην εσωτερική κοιλότητα του laser συνεισφέρουν σε επιπλέον διέγερση του ενεργού μέσου στο εσωτερικό του με αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων φωτονίων όμοιων και σε φάση με αυτά που τα δημιούργησαν. Έτσι περνώντας το κατώφλι αυτό ξεκινά η διαδικασία οπτικής ενίσχυσης, στην οποία βασίζεται η λειτουργία του laser, η ονομασία των οποίων ουσιαστικά είναι τα ακρόνυμα της διαδικασίας αυτής – Light Amplification through Stimulated Emission of Radiation. Το αποτέλεσμα είναι μονοχρωματική συνεκτική καισυμφασική ακτινοβολία.^[28] Τα Edge-Emitting LASERs έχουν μια δομή όπου η κοιλότητα ταλάντωσης και ενίσχυσης της ακτινοβολίας βρίσκεται ανάμεσα σε ημιαγωγά p και n επίπεδα, και η ακτινοβολία εξέρχεται από τη μία πλευρά του ημιαγωγού. Τα p και n επίπεδα τοποθετούνται σε ζεύγη διαφορετικού δείκτη διάθλασης ώστε να περιορίζουν την ακτινοβολία στο εσωτερικό της κοιλότητας αποδοτικότερα. Το πάχος της περιοχής ανάμεσα στα p και n ημιαγωγά υλικά καθώς και το μήκος της κοιλότητας καθορίζουν το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. λόγω του ότι η ακτινοβολία περιορίζεται σε μια πολύ λεπτή περιοχή αλλά μεγάλου πλάτους, στην έξοδό της έχει ελλειπτική μορφή με μεγάλη διασπορά στον x άξονα και χαμηλή στον y άξονα, που γενικότερα δεν προτείνεται ή απαιτεί μορφοποίηση σε κυκλική με διορθωτικά οπτικά μέσα.

4.4.2 Ασφάλεια συστήματος FSO

- **Φυσική Ασφάλεια και Κανονισμοί**

Ο περιορισμός ισχύος του εκπεμπόμενης ακτινοβολίας στα FSO σχετίζεται άμεσα και αποκλειστικά με την επικινδυνότητα της ακτινοβολίας για τον άνθρωπο, και συγκεκριμένα με τις επιβλαβείς επιπτώσεις στην όραση. Η ένταση της ακτινοβολίας κατηγοριοποιείται βάσει επικινδυνότητας από δύο παράγοντες. Το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και την ένταση φωτός ανά επιφάνεια (W/m^2). Το μάτι είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στο ορατό και στο κοντινό υπέρυθρο (IR-A) συνολικά από τα 400nm έως τα 1400nm, όπου η περισσότερη ακτινοβολία απορροφάται από

τον αμφιβληστροειδή, ενώ το φάσμα των 315nm – 390 και 1400nm - 3000nm απορροφούνται από το φακό και το φάσμα των 180nm – 315nm και 3000nm - 1mm απορροφούνται από τον κερατοειδή.

Επίσης, λόγω του ότι το μάτι εστιάζει την εικόνα σε ένα πολύ μικρό σημείο στο πίσω μέρος του, λειτουργεί ως ένας φυσικός οπτικός ενισχυτής όπου η οπτική ισχύς που εμφανίζεται στον αμφιβληστροειδή είναι 10⁵ - 10⁶ φορές μεγαλύτερη απ' ό,τι μπροστά από αυτό. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα Laser, σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από τα Led για το λόγο ότι στα laser τα φωτόνια είναι συμφασικά και παράλληλα.^[28]

Ο παράγοντας της παραλληλίας τους έχει ως αποτέλεσμα την εστίαση της ακτινοβολίας σε μικρότερο σημείο απ' ό,τι της διάχυτης, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη ισχύ ανά επιφάνεια, και ο παράγοντας της συμφασικής φύσης της ακτινοβολίας των laser, την οπτική ισχύ του κάθε κύματος να προστίθεται, σε στιγμιαία ισχύ πολλές φορές μεγαλύτερη, συγκριτικά με την ακτινοβολία από ένα Led που κατά μέσο όρο η μέγιστη τιμή είναι αυτή του μεγαλύτερου κύματος. Λόγω αυτών των ιδιοτήτων, τα laser έχουν κατηγοριοποιηθεί σε κατηγορίες επικινδυνότητας ώστε να περιορίζεται η χρήση τους σε ελεγχόμενο περιβάλλον ή να απαιτείται η χρήση ειδικού προστατευτικού εξοπλισμού. Οι κατηγορίες αυτές των laser αναλύονται παρακάτω.

Class 1: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι πηγές ακτινοβολίας που δεν προκαλούν κανένα πρόβλημα, ή πηγές laser των οποίων η δέσμη δεν μπορεί να έρθει σε οπτική επαφή λόγω κάλυψης. Οριοθετεί το Μέγιστο Επιτρεπτό Όριο Εκπομπής (Maximum Permissible Exposure MPE), τυπικά 2mW/cm².

Class 2: Περιλαμβάνει πηγές laser των οποίων η ισχύς είναι της τάξης του 1mW, αρκετά μικρή ώστε να μη μπορεί να προξενήσει προβλήματα εφόσον έρθει σε οπτική επαφή για πολύ μικρό χρόνο, ενώ μπορεί να προξενήσει πρόβλημα αν η επαφή γίνει εκτεταμένα. Επιβάλλεται χρήση ενδεικτικού προσοχής (CAUTION).

Class 3a: Laser ισχύος 1mW – 5mW, με ακτινοβολία αβλαβή στο γυμνό μάτι, αλλά επιβλαβή εάν έρθει σε επαφή μέσω εξοπλισμού οπτικής ενίσχυσης, όπως κιάλια. Επιβάλλεται χρήση ενδεικτικού, ανάλογα της ισχύος, προσοχής ή κινδύνου (DANGER).

Class 3b: Laser ισχύος 5mW – 500mW, με ακτινοβολία αρκετά ισχυρή ώστε να μπορούν να προκαλέσουν τραυματισμό στον αμφιβληστροειδή, στην περίπτωση οπτικής επαφής χωρίς προστατευτικό εξοπλισμό όρασης. Επίσης προκαλεί επιβλαβείς

ανακλάσεις. Επιβάλλεται ενδεικτικό κινδύνου, και προστατευτικός εξοπλισμός όρασης.

Class 4: Laser ισχύος πάνω από 500mW, με ακτινοβολία αρκετά ισχυρή ώστε να προκαλεί τραυματισμό στην όραση και το δέρμα σε περίπτωση απευθείας επαφής, αντανάκλασης, και διάχυσης. Επίσης μπορεί να προκαλέσει ανάφλεξη με κίνδυνο φωτιάς. Επιβάλλεται ενδεικτικό κινδύνου, και προστατευτικός εξοπλισμός όρασης και δέρματος.

Τα Laser με ακτινοβολία στο υπέρυθρο φάσμα είναι σαφώς πιο επικίνδυνα, λόγω της έλλειψης της αντανάκλαστικής αυτοάμυνας του ανθρώπου, να αλλάξει οπτικό πεδίο ή να κλείσει τα μάτια. Η αντίδραση αυτή ουσιαστικά ελαττώνει το χρόνο έκθεσης στην ακτινοβολία, πράγμα που δεν συμβαίνει στην υπέρυθρη. Επίσης, είναι πιθανό να προκληθεί τραυματισμός και από ακτινοβολία του υπόλοιπου οπτικού φάσματος, αλλά με έκθεση μεγαλύτερης διάρκειας και τον τραυματισμό να επικεντρώνεται στην περιοχή απορρόφησης.

Στα συστήματα των Free Space Optics η εκπεμπόμενη ισχύς είναι μεγάλης σημασίας, αλλά περιορίζεται στο όριο MPE, λόγω του ότι το όριο αυτό μετράται σε ισχύ ανά επιφάνεια, υπάρχουν τεχνικές χρήσης μεγαλύτερης ισχύος ακτινοβολίας, τηρώντας παράλληλα και τις προδιαγραφές ασφαλείας όρασης κατηγορίας Class 1. Δύο απλοί τρόποι να πραγματοποιηθεί αυτό είναι η διεύρυνση της δέσμης ώστε η ισχύ να κατανέμεται σε μεγαλύτερη επιφάνεια μέσω beam expanders, και η χρήση πολλαπλών laser ώστε η συνολική ισχύ να μοιράζεται σε πολλές διαφορετικές δέσμες, αλλά και ο συνδυασμός των δύο συναντάται σε πολλά συστήματα. Υποθετικά ένα Class 3b laser εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία ισχύος 6mW με επιφάνεια δέσμης 10mm² και πυκνότητα ισχύος 60mW/cm². Εάν η δέσμη διευρυνθεί σε δέσμη διαμέτρου 96mm και επιφάνειας 300mm² περίπου, η σχετική οπτική ισχύς ανά επιφάνεια είναι 33 φορές μικρότερη, και η πυκνότητα οπτικής ισχύος 1,8mW/cm², πράγμα που κατηγοριοποιεί την πηγή laser με beam spreader ως Class 1. Άλλος ένας τρόπος χρήσης μεγαλύτερης ισχύος με ασφάλεια, είναι η χρήση laser ακτινοβολίας στα 1550nm όπου λόγω απορρόφησης του φακού του ματιού, το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο είναι τα 100mW/cm², δηλαδή 50 φορές μεγαλύτερο απ' ό τι αυτό της ορατής ακτινοβολίας laser.^[27]

•

- **Ασφάλεια συστήματος**

Όσον αφορά την ασφάλεια του συστήματος ως προς την ιδιωτικότητα, δηλαδή την προστασία από υποκλοπές, και μη-εγκεκριμένη πρόσβαση στο δίκτυο, οι ασύρματες ζεύξεις είναι το ευκολότερο σημείο πρόσβασης, και απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό ειδικό όταν πρόκειται για ζεύξη με υψηλές απαιτήσεις στην ασφάλεια των δεδομένων.

Σε μικροκυματικές ζεύξεις, ο κεντρικός λοβός εκπομπής και λήψης των κεραιών είναι δύσκολο να περιοριστεί σε λιγότερο από μερικές μοίρες, και παράλληλα η ύπαρξη των πλευρικών και οπίσθιων λοβών καθιστά τα συστήματα αυτά σχετικά εύκολα σε πρόσβαση. Για το λόγο αυτό, και ειδικά σε point to multipoint ζεύξεις όπου η πρόσβαση είναι εύκολη όπως στα WiFi, χρησιμοποιούνται πολύπλοκοι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης, όπως WEP, WPA και WPA2, αλλά και δικλείδες ασφαλείας στο επίπεδο πρωτοκόλλου Layer 3 όπως hardware ή software Firewalls, και πληθώρα βοηθητικών συστημάτων για την εξασφάλιση της ιδιωτικότητας ενάντια στη συνεχώς εξελισσόμενη δυνατότητα παράκαμψης αυτών των συστημάτων.^[28]

Η πληθώρα των επιπλέον συστημάτων καταλαμβάνει πόρους, μειώνοντας την απόδοση του συστήματος και αυξάνοντας το κόστος συντήρησης του δικτύου, με το βέλτιστο αποτέλεσμα σε ορισμένες περιπτώσεις να μην είναι αρκετό. Τα συστήματα Free Space Optics παρέχουν αξεπέραστες επιδόσεις ασφαλείας του συστήματος στην κατηγορία των ασύρματων τηλεπικοινωνιών για το λόγο ότι η ασφάλεια της ζεύξης παρέχεται στο φυσικό επίπεδο. Με την ακτινοβολία στη μορφή μιας εξαιρετικά στενής δέσμης, η υποκλοπή θα μπορούσε να γίνει μόνο στην περίπτωση παρεμβολής όμοιου συστήματος μεταξύ των δυο συστημάτων πομποδεκτών, και αυτό υπό την προϋπόθεση ότι είναι εφικτό, γιατί στις περισσότερες περιπτώσεις, οι ζεύξεις υλοποιούνται σε γωνίες κτηρίων. Στην περίπτωση που η ζεύξη συνδέει δυο αυτόνομα δίκτυα, χωρίς άλλη πρόσβαση, η απαίτηση επιπλέον συστημάτων ασφαλείας είναι περιττή.^[27]

4.5 Μελέτη των προτύπων SONET και SDH

Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 δημοσιεύτηκε μια ομάδα προτύπων που αφορούσε συνολικά την περιοχή των οπτικών επικοινωνιών. Το σύνολο των τυποποιήσεων είναι γνωστό στις μεν Ηνωμένες Πολιτείες και στην Ιαπωνία, ως “Σύγχρονο Οπτικό Δίκτυο” (SONET - Synchronous Optical Network), στη δε Ευρώπη ως “Σύγχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία” (SDH - Synchronous Digital Hierarchy). Το πρότυπο SONET δημιουργήθηκε από τη Bellcore ενώ το SDH αρχικά τυποποιήθηκε από τον ETSI και στη συνέχεια έγινε διεθνές πρότυπο με κάποιες τροποποιήσεις από την ITU-T. ^[30]

Είναι κοινά αποδεκτό ότι τα οπτικά συστήματα μεταφοράς δεδομένων αποτελούν μια ιδιαίτερα ελκυστική τεχνικοοικονομική επιλογή για γρήγορη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων πληροφορίας. Η ανάπτυξη προτύπων που να καλύπτουν το θέμα των τυποποιημένων οπτικών διασυνδέσεων ήταν μια φυσιολογική απόρροια της παραπάνω διαπίστωσης. ^[31]

Για όλους τους παραπάνω λόγους τα πρότυπα SONET/SDH αναμένεται να κυριαρχήσουν στο χώρο των τηλεπικοινωνιών για τουλάχιστον τις δύο ή τρεις επόμενες δεκαετίες.

Το πρότυπο SONET (και στη συνέχεια το SDH), αναπτύχθηκε αρχικά ως πρότυπο οπτικής διασύνδεσης με στόχο τη διευκόλυνση της ζεύξης συστημάτων διαφορετικών κατασκευαστών και φορέων. Χωρίς το SONET, η διασύνδεση των ετερογενών συστημάτων γίνεται μόνο με αποπολυπλεξία στο ηλεκτρικό επίπεδο, κάτι που επιβαρύνει πολύ τη μεταφορά δεδομένων μιας και η μετατροπή του σήματος από οπτικό σε ηλεκτρικό και το αντίστροφο είναι μια χρονοβόρα διαδικασία. Τα πρότυπα SONET/SDH ορίζουν μια νέα ψηφιακή ιεραρχία πολυπλεξίας. Η ιεραρχία αυτή είναι κατάλληλη για τον χειρισμό σημάτων που βασίζουν τη μεταφορά τους σε οπτικές ίνες, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την εύκολη εξαγωγή από ένα πολυπλεγμένο σήμα των διάφορων σημάτων χαμηλότερων ρυθμών. ^[31]

Τα συστήματα σύγχρονης ψηφιακής ιεραρχίας αποτελούν τη βάση των ευρυζωνικών ψηφιακών δικτύων ενοποιημένων υπηρεσιών (B-ISDN) και αναμένεται να αποτελέσουν τη βάση για την επόμενη γενιά τοπικών δικτύων, τα Gigabit LANs.

4.5.1 Βασικές Έννοιες

Ένας τύπος πολυπλεξίας χαρακτηρίζεται σύγχρονος ή ασύγχρονος ανάλογα με την ύπαρξη ή μη κάποιου κεντρικού ρολογιού, που ελέγχει και συγχρονίζει όλες τις πηγές των προς πολυπλεξία σημάτων.

Στη σύγχρονη πολυπλεξία (Synchronous multiplexing) υπάρχει κάποιο κεντρικό ρολόι που ελέγχει όλες τις πηγές, εξαλείφοντας τις διακυμάνσεις στους ρυθμούς των προς πολυπλεξία σημάτων. Στη σύγχρονη πολυπλεξία οι ψηφιακές μεταδόσεις των σημάτων πραγματοποιούνται στον ίδιο πάντα ρυθμό. Υπάρχει περίπτωση βέβαια να υπάρχει μια διαφορά φάσης μεταξύ των μεταδόσεων δύο σημάτων, αλλά αυτή η διαφορά κυμαίνεται μέσα σε καθορισμένα πλαίσια. Αυτές οι διαφορές φάσης προέρχονται είτε από καθυστερήσεις διάδοσης (propagation delay), είτε από jitter που εμφανίζεται στο δίκτυο μετάδοσης. Η μεγάλη απόδοση και η υψηλή χωρητικότητα σε κανάλια αποτελούν πλεονεκτήματα της μεθόδου, με βασικό μειονέκτημα την πολυπλοκότητα που εισάγει το απαιτούμενο σύστημα διανομής του σήματος συγχρονισμού.

Στην πλεισιόχρονη πολυπλεξία (Plesiochronous Multiplexing) οι μεταδόσεις των σημάτων γίνονται “σχεδόν” στον ίδιο ρυθμό, με μια πολύ μικρή απόκλιση η οποία περιορίζεται από προκαθορισμένα όρια. Πλεισιόχρονα συστήματα ψηφιακής μετάδοσης χρησιμοποιήθηκαν στα δημόσια δίκτυα για την οικονομική μεταφορά αρχικά φωνής και στη συνέχεια δεδομένων.

Φυσικά στην ασύγχρονη πολυπλεξία (asynchronous multiplexing) δεν υπάρχει κεντρικό ρολόι. Οι μεταδόσεις δεν πραγματοποιούνται απαραίτητα στον ίδιο ρυθμό. Η έννοια του ασύγχρονου σε αυτά τα συστήματα σημαίνει ότι η διαφορά μεταξύ δύο ρολογιών είναι μεγαλύτερη από την πλεισιόχρονη διαφορά.

4.5.2 Σχέση των επιπέδων του ATM και του SONET/SDH

Όπως είναι γνωστό η τεχνολογία ATM (Asynchronous Transfer Mode) έχει επιλεγεί για να χρησιμοποιηθεί ως τεχνολογία μεταγωγής στα δίκτυα B-ISDN (Broadband – Integrated Services Digital Networks). Αν θέλαμε να τοποθετήσουμε τα δίκτυα αυτά στην ιεραρχία του μοντέλου αναφοράς ISO/OSI, θα τα βάζαμε στο δεύτερο επίπεδο. Αυτό σημαίνει ότι απαιτούν για τη λειτουργία τους ένα επίπεδο φυσικού μέσου. Η τεχνολογία που προτείνεται να χρησιμοποιηθεί ως «φυσικό μέσο» του ATM είναι τα δίκτυα SONET/SDH. ^[32]

Στα δίκτυα ATM μπορούμε να διακρίνουμε δύο ουσιαστικά επίπεδα. Το πρώτο είναι το επίπεδο των νοητών κυκλωμάτων (Virtual Circuits Layer - VC), το οποίο χρησιμοποιείται από τις εφαρμογές για τη μεταφορά της πληροφορίας χρήστη. Ο τύπος της πληροφορίας που μπορεί να μεταφέρεται έχει διάφορες μορφές όπως είναι ήχος, video και δεδομένα. Το επίπεδο αυτό εξυπηρετείται από το επίπεδο νοητού μονοπατιού (Virtual Path Layer - VP). Τα επίπεδα αυτά μπορούμε να θεωρήσουμε ότι συμπληρώνουν τα επίπεδα των δικτύων SONET/SDH, διότι τα χρησιμοποιούν για τη μεταφορά της πληροφορίας. Φυσικά τα VPs μπορούν να εξυπηρετηθούν και από άλλα φυσικά μέσα και δίκτυα όπως τα PDH.^[30]

4.5.3 Αντιστοίχιση cell σε πλαίσια SONET/SDH

Τα δίκτυα SONET και SDH δεν είχαν σχεδιαστεί για να χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά και μόνο για δίκτυα ATM και φυσικά ούτε και το αντίστροφο. Για να γίνει δυνατή η μεταφορά cell σε δίκτυα οπτικών ιεραρχιών καθορίστηκαν πρότυπα τα οποία περιγράφουν τον τρόπο με τον οποίο τα cell μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα πλαίσια των SONET και SDH.

Η βασική ιδέα είναι ότι τα cell τοποθετούνται το ένα μετά το άλλο στις γραμμές του frame χωρίς να ενδιαφέρει αν παραβιάστηκαν τα όρια της γραμμής ή τα όρια του cell. Αυτό σημαίνει ότι αν ένα cell δεν χωρά σε μια γραμμή τότε τα byte που θα περισσέψουν θα τοποθετηθούν στην επομένη. Επίσης, αν ένα cell δεν χωρά ολόκληρο σε ένα πλαίσιο, τότε το υπόλοιπο θα μεταφερθεί στο επόμενο.

Ο τρόπος με τον οποίο σηματοδοτείται η αρχή των cell εξαρτάται από την συγκεκριμένη τεχνολογία (SONET ή SDH) και από το payload το οποίο θα χρησιμοποιηθεί (π.χ. VC-4 ή VC-4-c). Για παράδειγμα στην περίπτωση του VC-4, το πεδίο H4 καθορίζει τη θέση του πρώτου byte του cell στη γραμμή (row).

Η φύση των δικτύων ATM, όπως προκύπτει και από τα αρχικά Asynchronous Transfer Mode, είναι ασύγχρονη. Αυτό σημαίνει ότι γεννώνται cell μόνο όταν υπάρχει πληροφορία που πρέπει να αποσταλεί. Αντιθέτως τα SDH και SONET είναι σύγχρονα. Για να διατηρηθεί η ασύγχρονη φύση του ATM και ταυτόχρονα να μην παραβιαστεί η αρχή λειτουργίας των σύγχρονων δικτύων, πρέπει να εισαχθούν από το φυσικό επίπεδο του ATM cell που δεν έχουν πληροφορία (idle cell).

Το επίπεδο του φυσικού μέσου του ATM, που καθορίζει την προσαρμογή των cell ώστε να μπορούν να μεταφερθούν από το SONET ή το SDH, δεν τοποθετεί τα cell στο payload με την μορφή που τα έδωσε ο χρήστης. Αυτό γίνεται διότι υπάρχει ο κίνδυνος στα δεδομένα του χρήστη να υπάρχει η ακολουθία συγχρονισμού του πλαισίου του SONET/SDH. Αν συμβεί κάτι τέτοιο θα σταματήσει η καλή λειτουργία του δικτύου και αυτό πρέπει να αποφευχθεί. Ο τρόπος ο οποίος χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό είναι το «ανακάτεμα» της πληροφορίας του cell (scrambling). Φυσικά στον δέκτη συμβαίνει η αντίστροφη διαδικασία, ώστε να επανακτηθούν οι πληροφορίες που έστειλε ο χρήστης.

4.6 Fiber to the Home

Ο όρος Fiber to the X είναι ένας γενικός όρος ο οποίος αναφέρεται σε οποιαδήποτε αρχιτεκτονική δικτύου χρησιμοποιεί οπτική ίνα για να αντικαταστήσει, μέρος ή όλο το μεταλλικό κύκλωμα που χρησιμοποιούνταν στο τελευταίο στάδιο του δικτύου έως το χρήστη (last mile telecommunication). Στην πραγματικότητα η χρήση του X έρχεται σαν ενσωμάτωση σε έναν όρο όλων των σχετικών χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών όπως FTTN, FTTC, FTTB, FTTH κλπ, που όλες αρχίζουν με το Fiber to the αλλά διαφοροποιούνται στο τελευταίο γράμμα.^[33]

Η διαφορά μεταξύ των τεχνολογιών αυτών, αν και δεν είναι ιδιαίτερος αντιληπτή στον χρήστη, έχει απασχολήσει τους παρόχους internet και καλωδιακής τηλεόρασης, που έχουν διαφοροποιηθεί κυρίως στις εξής υλοποιήσεις:

- **FTTN, fiber to the node/neighborhood**, δηλαδή χρήση οπτικής ίνας μέχρι το καφάο της γειτονιάς
- **FTTC, fiber to the curb**, δηλαδή ίνα μέχρι έξω από το κτίριο (στο πεζοδρόμιο)
- **FTTB, fiber to the building**, δηλαδή τροφοδότηση του κτιρίου με ίνα,
- **FTTH, fiber to the home**, δηλαδή η ίνα να φτάνει μέχρι να τροφοδοτήσει εξοπλισμό μέσα στο σπίτι του χρήστη.

Τον τελευταίο καιρό δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην FTTH τεχνολογία καθώς υπόσχεται μεγάλο εύρος ζώνης και συνεπώς πολύ υψηλές ταχύτητες στον χρήστη, με τη διασύνδεση των συσκευών του απευθείας σε οπτική ίνα, χωρίς να παρεμβάλλεται κάποιο μεταλλικό τμήμα. Οι ανάγκες που θα εξυπηρετεί θα είναι το σύνολο των

ευρυζωνικών υπηρεσιών, όπως καλωδιακή τηλεόραση, HDTV, videophone, videoconference, ακόμα και υπηρεσίες απλής τηλεφωνίας. Οι υλοποιήσεις αυτής της τεχνολογίας που έχουν προταθεί έως τώρα αναθέτουν ενός μήκος κύματος ανά χρήστη, πάνω από το οποίο θα μεταφέρεται ένα baseband σήμα πολύ υψηλού BitRate. Αυτό το μήκος κύματος μπορεί να φθάνει στο χρήστη με τους παρακάτω τρόπους:

- **Απευθείας ίνα (Direct Fiber)**

Είναι η πιο απλή μέθοδος για την πραγματοποίηση ενός τέτοιου δικτύου. Προβλέπει την αποκλειστική χρήση μιας ίνας, που θα ξεκινάει από ένα κεντρικό σταθμό, από έναν χρήστη. Αυτή η τεχνολογία υπόσχεται πολύ μεγάλο εύρος ζώνης υπηρεσιών, καθώς ο κάθε χρήστης έχει τη δική του ευρυζωνική διασύνδεση με τον κεντρικό σταθμό. Ωστόσο το κόστος κατασκευής είναι γενικά αυξημένο αφού απαιτεί πολύ μεγαλύτερη ποσότητα ίνας. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι δεν χρειάζεται καθόλου επεξεργασία δευτέρου επιπέδου όσον αφορά το δίκτυο αφού δεν υπάρχει ανάγκη για διαδικασίες όπως switching κλπ..

- **Διαμοιραζόμενη οπτική ίνα**

Συνήθως μια οπτική ίνα που φεύγει από έναν κεντρικό σταθμό, χρησιμοποιείται από πολλούς χρήστες, με εφαρμογή διαφόρων τεχνικών πολυπλεξίας π.χ. OTDM, WDM κλπ. Στην πραγματικότητα η ίνα αυτή διαχωρίζεται στις επιμέρους αποκλειστικές ίνες, πολύ κοντά στους χρήστες.

Κεφάλαιο 5^ο :

Σύγκριση τεχνολογιών διαδικτύου

Εισαγωγή

Για την επεξηγηματική ανάλυση των διαφόρων ζεύξεων που υπάρχουν σήμερα θα πρέπει να αναφερθούν συνοπτικά τα εξής κανάλια επικοινωνίας^[34]:

1)Καλωδιακή επικοινωνία : Αποτελεί τον πιο κοινό τρόπο σύνδεσης . Το κανάλι επικοινωνίας είναι ένα φυσικό υλικό μέσο το οποίο είναι καλός αγωγός του μεταδιδόμενου σήματος.

- **Καλωδιακά μέσα μετάδοσης:**
 - Καλώδια συστραμμένων ζευγών (twisted wires): Είναι τα γνωστά χάλκινα σύρματα των τηλεφωνικών γραμμών. Αποτελείται από τέσσερις ή περισσότερους χάλκινους αγωγούς συστραμμένους σε ζεύγη (ένα για τη γείωση κι ένα για τη μεταφορά του σήματος).Συνήθως, με το ένα ζεύγος γίνεται η αποστολή και με το άλλο η λήψη.
 - Ομοαξονικά καλώδια (coaxial cables): Οι (δύο) αγωγοί είναι τοποθετημένοι ό ένας μέσα στον άλλο και χωρίζονται μεταξύ τους από ένα μονωτικό υλικό. Μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης (μέχρι 200 Mbits ανά sec).
 - Καλώδια οπτικών ινών (fiber-optic cables): Αποτελεί το ταχύτερο (έως billions of bits per sec), ασφαλέστερο αλλά και πιο δαπανηρό μέσο μετάδοσης. Πρόκειται για εύκαμπτες ίνες (νήματα-καλώδια) από πλαστική ύλη ή γυαλί, μέσω των οποίων διέρχονται ακτίνες φωτός ή laser . Προτιμάται συχνά ως λύση στο στήσιμο της ραχοκοκαλιάς (backbone) ενός Δικτύου.

2) Ασύρματη επικοινωνία: Η μετάδοση των σημάτων γίνεται μέσω της ατμόσφαιρας με την χρήση αναμεταδοτών για την μετάδοση σύντομων αλφαριθμητικών μηνυμάτων^[35].

– Κινητή τηλεφωνία

– Ασύρματα δίκτυα δεδομένων

– Personal Digital Assistants (PDAs) : Υπολογιστές χειρός (δυνατότητες e-mail και πρόσβασης στο Internet, διάφορα προγράμματα εφαρμογών)

– Smart phones :

Ασύρματη τηλεφωνία με δυνατότητες μετάδοσης φωνής, κειμένου και πρόσβασης στο Internet

5.1 Είδη ζεύξεων

Το Internet ένα πολύ μεγάλο δίκτυο που αποτελείται από μικρότερα κ.ο.κ. Μέσα σε αυτό το σύνολο από δίκτυα, μικρά και μεγάλα, εμφανίζεται πληθώρα ορολογίας για το κάθε επιμέρους κομμάτι και λειτουργίας του. Οι όροι “Last Mile” και “Backbone” εμφανίζονται και αυτοί για την περιγραφή δύο διαφορετικών ειδών ζεύξεων στο μεγάλο αυτό δίκτυο.

Ο όρος “**Last Mile**” σημαίνει τη σύνδεση μεταξύ ενός τοπικού δικτύου (από έναν και πάνω χρήστες) και ενός μεγαλύτερου δικτύου π.χ. μητροπολιτικό δίκτυο. Αυτή η σύνδεση μπορεί να είναι μεταξύ του τοπικού παροχέα Internet και ενός δομημένου δικτύου σε ένα μεγάλο κτήριο ή κτιριακό συγκρότημα, αλλά και στο σπίτι ή στο γραφείο του καθένα.

Ο όρος “**Backbone**” σημαίνει τη ραχοκοκαλιά ενός μεγαλύτερου εύρους δικτύου, δηλαδή ένα κανάλι που συνδέει δυο δίκτυα μεταξύ τους. Οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, ασφάλεια, ευελιξία και κόστος, και στα δύο είδη ζεύξεων κυμαίνονται από μια κοινή, απλή σύνδεση PSTN μέσω του τηλεφωνικού δικτύου, έως τη σύνδεση μεταξύ ολόκληρων Πόλεων ή ακόμα και Χωρών μέσω ενός διαύλου πολλαπλών φυσικών συνδέσεων οπτικών ινών που καλύπτει ένα τεράστιο εύρος ζώνης.

Η υλοποίηση της καθεμίας από τις πολλές αυτές φυσικές συνδέσεις μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, όπως:

· Μέσω χάλκινων καλωδίων

· Μέσω οπτικών ινών

- Ασύρματα μέσω επίγειων μικροκυματικών ζεύξεων με κεραίες
- Ασύρματα μέσω δορυφόρου(-δορυφόρων)
- Μέσω Ασύρματων Οπτικών Ζεύξεων (Free Space Optics)

Η ζεύξη μέσω χάλκινων καλωδίων είναι ιδανική για χαμηλού κόστους συνδέσεις, που απευθύνεται στον περισσότερο κόσμο σαν σύνδεση PSDN, ISDN, xDSL και μισθωμένων γραμμών, μέσω του υπάρχοντος τηλεφωνικού δικτύου, αλλά και σαν cable connection μέσω ομοαξονικών καλωδίων, όπου οι απαιτήσεις είναι σχετικά χαμηλές. Χρησιμοποιούνται κατά κόρον για τις Last Mile ζεύξεις απο το εκάστοτε κέντρο στον τελικό χρήστη.^[38]

Παλαιότερα εμφανιζόταν και σαν Backbone ζεύξεις μεταξύ κέντρων, αλλά πλέον έχουν αντικατασταθεί απο ζεύξεις οπτικών ινών. Η ζεύξη Οπτικών Ινών είναι η μεγαλύτερη σε εύρος ζώνης, ασφάλεια, και ποιότητα σύνδεσης (QoS). Επίσης είναι η ακριβότερη, δυσκολότερα υλοποιήσιμη, και καθόλου ευέλικτη αφού η διαδικασία τοποθέτησης και συντήρησης της οπτικής ίνας, περιλαμβάνεται στο κόστος, επιδρά απόλυτα στο χρόνο υλοποίησης της σύνδεσης, και άπαξ και η φυσική σύνδεση υλοποιηθεί, είναι αδύνατη η αλλαγή της τοπολογίας της. Η βασική υλοποίηση μιας ζεύξης οπτικών ινών βρίσκεται σε Backbone ζεύξεις να συνδέει μέχρι και δίκτυα ολόκληρων ηπείρων, διαμέσου υποθαλάσσιων πολύκλωνων καλωδίων οπτικών ινών μεταφέροντας δεδομένα σε ρυθμούς πολλαπλών Terrabits ανά δευτερόλεπτο. Υλοποιείται όμως και σαν Last Mile ονομαζόμενη Fiber to the Curb και Fiber to the Home/Office.

Η Ασύρματη μικροκυματική ζεύξη (σε συχνότητες από τα δεκάδες GHz) καλύπτοντας ένα μεγάλο εύρος ζώνης από μερικά Mbps έως και 2,5 Gbps (Σύστημα Airfiber). Τέτοιες συνδέσεις συναντώνται παντού, από τα κινητά τηλέφωνα μέχρι Backbone μεταξύ βουνών για τη σύνδεση κεραιών κινητής τηλεφωνίας, και μεταξύ κτιριακών συγκροτημάτων με γραφεία και ανάγκες για εύρος ζώνης.

«Μεσαία» μέχο

Ο μεγαλύτερος περιορισμός αυτών των συνδέσεων βρίσκονται στο γεγονός ότι η εκπνεύμενη ακτινοβολία τείνει να καταλαμβάνει περισσότερο χώρο απ' όσο χρειάζεται. Οι κεραίες χαρακτηρίζονται από ένα λοβό εκπομπής, που στην καλύτερη περίπτωση έχει ένα άνοιγμα μερικών μοιρών. Επίσης η αντανάκλαση της ακτινοβολίας σε πολλές επιφάνειες, προκαλεί τη διάχυσή της στο χώρο. Έτσι ξεκινά το γενικότερο πρόβλημα του ηλεκτρομαγνητικού θορύβου.

Στις ασύρματες ζεύξεις που υλοποιούν συνδέσεις ραχοκοκαλιάς δικτύων ανήκουν και οι δορυφορικές ζεύξεις οι οποίες υλοποιούνται σε μόνιμη βάση με κάποιες εξαιρέσεις σε απόμακρα μέρη όπου δεν υπάρχει άλλος τρόπος επικοινωνίας, όπως βουνά και μικρά νησιά που δεν αξίζει η σύνδεση με οπτικές ίνες ή η μικροκυματική επίγεια ζεύξη δεν είναι εφικτή. Το εύρος ζώνης των συνδέσεων αυτών είναι μεγάλο, αλλά και η καθυστέρηση μεγάλη, καθιστώντας το ιδανικό για εφαρμογές και υπηρεσίες όπου η καθυστέρηση δεν έχει σημαντικό ρόλο.^[37]

Στην κατηγορία των ασύρματων μικροκυματικών ζεύξεων ανήκει και τεχνολογία εκπομπής σε μήκη κύματος της τάξης των χιλιοστών (millimeter wave radio) ή 71-76GHz και 81-86GHz. Η τεχνολογία αυτή φέρει την εμπορική ονομασία WiFiber της Gigabeam η οποία παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα απέναντι στις μικροκυματικές ζεύξεις και πολλές ομοιότητες με την τεχνολογία των Free Space Optics ειδικότερα σε θέματα ρυθμών μετάδοσης και QoS.

5.2 Σύγκριση των μέσων μετάδοσης

5.2.1 Σύγκριση των καλωδιακών μέσων

Αν και το ανώτερο καλωδιακό μέσο θεωρείται ότι είναι η οπτική ίνα , υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν, ώστε να μπορεί κάποιος με βεβαιότητα να αποφασίσει για το καλωδιακό μέσο που θα πρέπει να χρησιμοποιήσει σε μία σύνδεση. Οι παράγοντες αυτοί σχετίζονται με την καταλληλότητα του καλωδιακού μέσου για το συγκεκριμένο περιβάλλον εγκατάστασης , με την τεχνολογία που εφαρμόζεται , με το κόστος του μέσου και των παρελκόμενων , με το κόστος εγκατάστασης και άλλα. Για παράδειγμα , είναι γνωστό ότι οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου απαιτούν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης . Επομένως κάθε οργανισμός , προκειμένου να λειτουργήσει ωφέλιμα και παραγωγικά , θα πρέπει να εκτιμήσει προσεκτικά τις άμεσες και τις μελλοντικές ανάγκες του και σε συνάρτηση με το επιτρεπόμενο κόστος σε πάγιες επενδύσεις να προχωρήσει σε επενδύσεις υποδομής , βελτιώνοντας τις δικτυακές υπηρεσίες του.

5.2.2 Σύγκριση ομοαξονικού καλωδίου και καλωδίου UTP ή STP

Το μεγάλο πλεονέκτημα των καλωδίων συνεστραμμένου ζεύγους συνίσταται στο γεγονός ότι αυτά μπορούν να μεταδώσουν με ρυθμούς 10 ή και 100 φορές μεγαλύτερους από τους ρυθμούς των ομοαξονικών καλωδίων . Πέρα από αυτό , η συντήρηση και η επισκευή τους δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα , όπως η περίπτωση των ομοαξονικών καλωδίων. Όμως ενώ η εγκατάσταση του ομοαξονικού καλωδίου είναι συνήθως εύκολη και περισσότερο οικονομική , όλες οι τηλεφωνικές εταιρίες αντικαθιστούν σταδιακά τις συνδέσεις ομοαξονικού καλωδίου μεγάλων αποστάσεων με καλώδιο UTP ή με οπτική ίνα.^[36]

Το κύριο πλεονέκτημα του ομοαξονικού καλωδίου έναντι του καλωδίου συνεστραμμένου ζεύγους (UTP,STP) είναι ότι αποτελεί έναν καλό συνδυασμό υψηλού εύρους ζώνης και εξαιρετικής ανοχής στο θόρυβο. Επειδή το ομοαξονικό καλώδιο διαθέτει καλή θωράκιση στο θόρυβο , η οποία είναι ανάλογη με αυτή του STP , είναι κατάλληλο και για μεταδόσεις σε μεγάλες αποστάσεις . Όμως το πόσο μεγάλο θα είναι το εύρος ζώνης του εξαρτάται από το μήκος του καλωδίου .Για παράδειγμα , καλώδια του 1km μπορούν να δώσουν ρυθμό μετάδοσης 10Mbps.

5.2.3 Σύγκριση οπτικής ίνας και καλωδίου UTP ή STP

Οι οπτικές ίνες παρέχουν υπερβολικά μεγάλο εύρος ζώνης με μικρή απώλεια ισχύος , με αποτέλεσμα να μπορούν να καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις ανάμεσα στους επαναλήπτες . Επίσης δεν επηρεάζονται από απότομες μεταβολές στην τάση του δικτύου , από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, από οξειδωτικές χημικές ουσίες , καθώς και από άλλα ατμοσφαιρικά ή βιομηχανικά παράσιτα, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επιβαρημένο βιομηχανικό περιβάλλον , που θεωρείται ακατάλληλο για UTP ή ακόμη και για STP καλώδια . Οι οπτικές ίνες είναι πολύ λεπτές και ελαφριές , στοιχεία που προσδίδουν ένα μεγάλο συγκριτικό πλεονέκτημα ως προς την ευελιξία προσαρμογής τους σε διαφορετικά περιβάλλοντα εγκατάστασης , ως προς την εξοικονόμηση χώρου και κόστους και άλλων. Τέλος , δύσκολα γίνεται υποκλοπή , αφού όπως θα εξηγηθεί στη συνέχεια , η διακλάδωση τους είναι αρκετά δύσκολη εργασία και απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό και προσωπικό.^[8]

Η τεχνολογία των οπτικών ινών είναι περισσότερο πολύπλοκη από αυτήν των καλωδίων UTP , με αποτέλεσμα και η εγκατάστασή τους να είναι πιο απαιτητική . Ειδικότερα η διασύνδεση (συγκόλληση) και διακλάδωση των οπτικών ινών είναι τεχνικά δύσκολη εργασία , ενώ ο εξοπλισμός διασύνδεσης που απαιτείται είναι ευπαθής και ακριβός . Το κόστος αυξάνεται ακόμη περισσότερο , αν ληφθεί υπόψη ότι η μετάδοση είναι πάντοτε προς μία μόνο κατεύθυνση .^[14] Σε πολλές περιπτώσεις έχει υπολογιστεί ότι είναι προτιμότερη η προμήθεια και εγκατάσταση ενός καλωδίου UTP κατηγορίας 5 , του οποίου το κόστος είναι πολύ μικρό , από την καλωδίωση οπτικής ίνας , αρκεί να ικανοποιούνται οι απαιτούμενοι ρυθμοί μετάδοσης των εκάστοτε δικτυακών εφαρμογών.

	Συνεστραμμένο ζευγός		Ομοαξονικό καλώδιο		Οπτική ίνα	
Ρυθμός μετάδοσης	Ανάλογα με την κατηγορία, έως 100 Mbps		Ίσος ή υψηλότερος από τα καλώδια συνεστραμμένων ζευγών		Από 100 Mbps έως μερικά Gbps	
Απόσταση	Δεκάδες μέτρα		Εκατοντάδες μέτρα		Πολλά χιλιόμετρα	
Ευαισθησία σε παρεμβολές	Μέτρια		Μέτρια		Χαμηλή	
Τεχνολογική κατάσταση	Ωριμη		Ωριμη		Αναπτυσσόμενη	
Ευκολία εγκατάστασης	Υψηλή		Μέτρια		Χαμηλή	
Ανάγκη ανασυναρμολόγησης	Κάθε 3 - 4 km		Κάθε 3 - 4 km		Κάθε 40 - 60 km	
Επιλογή	Αθιβάσιμο: Αιχμηρότερο σε μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης	Θυρακίσιμο: Αιχμηρότερο σε παρεμβολές	50 Ohm, 5 mm: περισσότερο ευέλικτο (βασική ζώνη)	75 Ohm, 10 mm: μεγαλύτερο εύρος (κυρκία ζώνη)	Μονότροπη: υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης	Πολύτροπη: φθηνότερη και πιο εύκολη

Πίνακας : Σύγκριση καλωδιακών μέσων μετάδοσης

5.3 Σύγκριση ενσύρματων και ασύρματων μέσων μετάδοσης

Οι διαφορές μεταξύ των ενσύρματων και ασύρματων μέσων μετάδοσης είναι αρκετές . Η καταλληλότητα κάποιου μέσου εξαρτάται κυρίως από τη φυσική θέση της σύνδεσης , τους επιζητούμενους ρυθμούς μετάδοσης , την ποιότητα της σύνδεσης

, το αναμενόμενο κόστος και άλλα. Επομένως η επιλογή του καταλληλότερου μέσου δεν είναι πάντα απλή , αλλά αποτελεί συνδυασμό πολλών παραγόντων . Οι κυριότερες διαφορές μπορούν να καταγραφούν ως ακολούθως^[23]:

- Μια από τις βασικές διαφορές των ενσύρματων από τις ασύρματες συνδέσεις συνίσταται στο υψηλότερο κόστος προμήθειας και εγκατάστασης του ενσύρματου μέσου . Είναι ενδιαφέρον να τονιστεί ότι η διαφορά του κόστους αυτού φαίνεται να αυξάνεται , όσο μεγαλώνει η απόσταση που συνδέει τους σταθμούς επικοινωνίας.
- Στις ενσύρματες συνδέσεις η χρήση των αναμεταδοτών κατά μήκος όλης της διαδρομής είναι , στην πλειονότητα των περιπτώσεων , αναπόφευκτη. Οι αναμεταδότες αυτοί πρέπει περιοδικά να συντηρούνται , διότι τα καλωδιακά μέσα είναι ευαίσθητα σε φυσικές φθορές ή άλλης αιτιολογίας καταστροφές .Αντίθετα , κανένα από αυτά τα προβλήματα δεν παρουσιάζεται στην περίπτωση των περισσότερων ασύρματων συνδέσεων.
- Τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα μεταδίδονται με χαμηλότερους ρυθμούς στα χάλκινα καλώδια από ότι στον αέρα. Δε συμβαίνει όμως το ίδιο και με τις οπτικές ίνες , οι οποίες μεταδίδουν αυτά τα σήματα με υψηλότερους ρυθμούς .
- Τα κυριότερα μειονεκτήματα των ασύρματων συνδέσεων έχουν σχέση με τις γενικότερες αδυναμίες μετάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων , όταν αυτά μεταδίδονται στη ατμόσφαιρα . Για παράδειγμα , τα σήματα από μια απλή κεραία είναι δυνατόν να διαχωριστούν και να μεταδοθούν ακολουθώντας ελαφρώς διαφορετικά μονοπάτια σε σχέση με την κεραία λήψης . Όταν αυτά τα εκτός φάσης σήματα επανασυνδεθούν , μπορεί να παρεμβληθούν το ένα στο άλλο , μειώνοντας έτσι την ισχύ του σήματος.
- Συνήθως η ασύρματη μετάδοση επηρεάζεται από ατμοσφαιρικά φαινόμενα , όπως είναι οι καταιγίδες , η βροχή , σύννεφα , θερμοκρασία κτλ, φαινόμενα που σπάνια επηρεάζουν τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης , είτε αυτά είναι οπτικές ίνες είτε απλώς θωρακισμένα χάλκινα καλώδια.
- Τα ασύρματα μέσα μετάδοσης επηρεάζονται από βιομηχανικούς θορύβους πολύ περισσότερο από τα ενσύρματα μέσα, ιδιαίτερα αν τα δεύτερα είναι οπτικές ίνες ή θωρακισμένα χάλκινα καλώδια.^[34]

5.4) Σύγκριση δορυφορικών και επίγειων συνδέσεων.

Οι δορυφορικές συνδέσεις έχουν αρκετές ιδιότητες οι οποίες είναι εντελώς διαφορετικές από τις ιδιότητες των επίγειων ενσύρματων ή ασύρματων συνδέσεων σημείου προς σημείο . Για το λόγο αυτό εξετάζονται χωριστά. Οι διαφορές αυτές μπορούν να ταξινομηθούν ως ακολούθως^[30]:

- Η τεράστια συνολικά απόσταση που πρέπει να διανύουν τα σήματα προς και από ένα δορυφόρο , ακόμα και αν μεταδίδονται με την ταχύτητα του φωτός (300.000km/sec), προκαλεί μια σημαντική καθυστέρηση . Ανάλογα με την απόσταση μεταξύ του χρήστη και του επίγειου σταθμού , όπως και ανάλογα με το ύψος του δορυφόρου επάνω από τον ορίζοντα , ο χρόνος μετάδοσης , από άκρο σε άκρο , είναι μεταξύ 250 και 300 msec . Για λόγους σύγκρισης , οι επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις έχουν μια καθυστέρηση μετάδοσης ίση με 0,003 msec/km περίπου, ενώ στις ζεύξεις ομοαξονικών καλωδίων η καθυστέρηση είναι ίση με 0,005 msec/km περίπου.
- Στη δορυφορική επικοινωνία το κόστος της μετάδοσης ενός μηνύματος είναι ανεξάρτητο τόσο από την απόσταση όσο και από τον αριθμό των σταθμών λήψης του μηνύματος. Τα χαρακτηριστικά αυτά , τα οποία συνιστούν συγχρόνως και ουσιαστική διαφορά με τις επίγειες συνδέσεις , οφείλονται στην ικανότητα εκπομπής (broadcasting) των δορυφορικών συνδέσεων , δηλαδή στην ικανότητα των σταθμών βάσης που λειτουργούν στο εύρος της συχνότητας εκπομπής να συλλέγουν ότι μεταδίδεται σε αυτή τη συχνότητα. Είναι φανερό ότι με τις δορυφορικές συνδέσεις δημιουργείται η ανάγκη προστασίας των ατομικών πληροφοριών αφού υπάρχει πάντοτε η δυνατότητα της ελεύθερης πρόσβασης των χρηστών σε ένα πλήθος πληροφοριών που μεταδίδεται σε συγκεκριμένη συχνότητα. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί πολλές κρυπτογραφικές μέθοδοι , οι οποίες όμως δεν εξασφαλίζουν πάντα τους χρήστες.
- Ασφαλώς μια ακόμη αξιόλογη διαφορά των δορυφορικών από τις επίγειες συνδέσεις είναι το εύρος ζώνης που διατίθεται . Ειδικότερα στο χώρο της ψηφιακής επικοινωνίας , οι υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης που συναντώνται σήμερα σε μισθωμένες τηλεφωνικές γραμμές με κανονική χρήση φθάσουν στα 56 Kbps , ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις , ιδιαίτερα όταν το

προκαλούμενο υψηλό κόστος είναι αποδεκτό , χρησιμοποιώντας γραμμές T1 των 1,544 Mbps. Σε αντιδιαστολή , η δορυφορική επικοινωνία μέσω των σταθμών VSATs παρακάμπτει ολόκληρο το τηλεφωνικό σύστημα και μπορεί να προσφέρει πολύ υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης . Ο σταθμός VSAT(Very Small Aperture Terminal) χρησιμοποιεί , στην απλούστερη περίπτωση , μια μικρού κόστους κεραία στέγης για άμεση επικοινωνία με έναν ισχυρό επίγειο δορυφορικό σταθμό που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση . Ασφαλώς , επειδή η κυκλογορία των πληροφοριών μεταξύ των υπολογιστών έχει τη μορφή καταιγισμού , η δυνατότητα να αποκτηθεί ένα τεράστιο εύρος ζώνης για ένα μικρό χρονικό διάστημα είναι αρκετά ελκυστική . Για παράδειγμα , για την αποστολή μιας μαγνητικής ταινίας μέσω μιας τηλεφωνικής γραμμής των 50 Kbps απαιτούνται 7 ώρες . Αντίθετα , για την αποστολή της ίδιας ταινίας μέσω ενός απλού δορυφορικού αναμεταδότη των 50 Mbps απαιτούνται 30 sec.

- Το κύριο πλεονέκτημα της οπτικής ίνας συνιστάται στο ότι διαθέτει πολύ μεγάλο εύρος ζώνης , το οποίο υπερκαλύπτει το εύρος ζώνης όλων των δορυφορικών ζεύξεων που προσφέρονται από Όλους τους δορυφόρους επικοινωνίας . όμως αυτό το εύρος ζώνης δεν είναι διαθέσιμο στην πλειονότητα των μεμονωμένων χρηστών . Συγκεκριμένα , είναι πολύ περιορισμένος ο αριθμός εκείνων των χρηστών που διαθέτουν πρόσβαση σε γραμμές οπτικών ινών . Οι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί , που αντικαθιστούν σήμερα σταδιακά τις χάλκινες συνδέσεις με οπτικές ίνες , τις χρησιμοποιούν στο τηλεφωνικό σύστημα για τη διαχείριση πολλών ταυτοχρόνως κλήσεων μεγάλης απόστασης και όχι για να εφοδιάσουν μεμονωμένους χρήστες με υψηλό εύρος ζώνης .
- Σε αντιδιαστολή , οι δορυφορικές συνδέσεις προσφέρουν ένα ασύγκριτα πρακτικό αποτέλεσμα στους χρήστες , οι οποίοι με ένα μικρό σχετικά κόστος εγκατάστασης μπορούν να τοποθετήσουν μια κεραία στην οροφή του κτιρίου τους και να επιτύχουν δορυφορική ζεύξη , παρακάμπτοντας με αυτό τον τρόπο πλήρως το τηλεφωνικό σύστημα . Η ιδέα αυτή –που είναι αρκετά ελκυστική για τις χώρες των οποίων το έδαφος δε διευκολύνει τέτοιου είδους εγκατάσταση και οι οποίες διαθέτουν ελάχιστη τηλεπικοινωνιακή υποδομή-ενισχύει διαρκώς τη δημοτικότητα των δορυφορικών επικοινωνιών. Είναι

φυσικό ο ανταγωνισμός αυτός να αυξάνεται , ιδιαίτερα όσο προχωρεί η αντικατάσταση των χάλκινων καλωδιακών μέσων των ψηφιακών τηλεφωνικών συστημάτων με οπτικές ίνες. Ασφαλώς οι οπτικές ίνες έχουν ένα πολύ μεγάλο μερίδιο στη τηλεπικοινωνιακή αγορά των μέσων μετάδοσης , εκτός ίσως από τις περιπτώσεις εκείνες που απαιτούν εφαρμογές εκπομπής , όπως είναι για παράδειγμα η τηλεοπτική μετάδοση

Συνοψίζοντας στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι αποδόσεις ταχυτήτων αναλογα με το μέσο μετάδοσης της πληροφορίας :

Μέσο μετάδοσης	Ταχύτητα
Καλώδια συστραμμένων ζευγών	300 BPS – 10 MBPS
Μικροκύματα	256 KBPS – 100 MBPS
Δορυφόρος	256 KBPS – 100 MBPS
Ομοαξονικά καλώδια	56 KBPS – 200 MBPS
Καλώδια οπτικών ινών	500 KBPS – 10 GBPS

Κεφάλαιο 6^ο :

Ανάπτυξη δικτύων FTTH στην Ελλάδα

Εισαγωγή

Μετά από περίπου ένα χρόνο από την επίσημη ανακοίνωση της πρόθεσης για ανάπτυξη δικτύων FTTH στην Ελλάδα από την Κυβέρνηση, έχουν γίνει συγκεκριμένα βήματα για την υλοποίησή του. Τον σχεδιασμό του έργου διαχειρίζεται διυπουργική επιτροπή και οι επιλογές της θα καθορίσουν το μέλλον του ανταγωνισμού μεταξύ των παρόχων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στην Ελλάδα, το επίπεδο νέων ιδιωτικών επενδύσεων στους κατασκευαστικούς και τηλεπικοινωνιακούς κλάδους της ελληνικής βιομηχανίας και κατ' επέκταση την ανάπτυξη της οικονομίας καθώς και την διαθεσιμότητα μελλοντικών καινοτόμων υπηρεσιών σε όσο το δυνατό περισσότερους πολίτες της χώρας

Μετά από περίπου ένα χρόνο από την επίσημη ανακοίνωση της πρόθεσης για ανάπτυξη δικτύων FTTH στην Ελλάδα από την Κυβέρνηση, παρουσιάστηκε το σχέδιο έργου και στο συνέδριο «FTTH Council Europe» που έγινε στην Δανία στις 11-12 Φεβρουαρίου και προσέλκυσε πάνω από 2000 συμμετέχοντες και 70 εταιρείες που παρουσίαζαν τα προϊόντα τους. Ο Καθηγητής ΕΜΠ κ. Παναγιώτης Τσανάκας, Πρόεδρος του ΕΔΕΤ και Μέλος της ΕΕΤΤ, παρουσίασε τις επιλογές όσον αφορά τον σχεδιασμό για την υλοποίηση του άξονα της στρατηγικής τηλεπικοινωνιών που αφορά στην ανάπτυξη δικτύων πρόσβασης FTTH (η ομιλία και οι σχετικές ανακοινώσεις είχαν σημαντική διεθνή ειδησεογραφική κάλυψη). Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι κατά την διάρκεια του συνεδρίου καταγράφηκε έντονο ενδιαφέρον θεσμικών επενδυτών για το έργο από στελέχη του Οργανισμού «Invest in Greece».

Τον σχεδιασμό του έργου διαχειρίζεται διυπουργική επιτροπή και οι επιλογές της θα καθορίσουν το μέλλον του ανταγωνισμού μεταξύ των παρόχων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στην Ελλάδα, το επίπεδο νέων ιδιωτικών επενδύσεων στους κατασκευαστικούς και τηλεπικοινωνιακούς κλάδους της ελληνικής βιομηχανίας και κατ'επέκταση την ανάπτυξη της οικονομίας καθώς και την διαθεσιμότητα μελλοντικών καινοτόμων υπηρεσιών σε όσο το δυνατό περισσότερους

πολίτες της χώρας. Ευτυχώς λίγοι είναι αυτοί που δεν βλέπουν ακόμη την αναγκαιότητα να αναπτυχθούν αυτές οι υποδομές στην Ελλάδα και εκφράζουν μόνο αρνητικές θέσεις προσπαθώντας να προασπίσουν τα συμφέροντα τους (και ο ΟΤΕ άλλαξε πλέον θέση που ανακοίνωσε και επισήμως). Οι περισσότεροι παράγοντες της αγοράς τηλεπικοινωνιών στην Ελλάδα σχολιάζουν με ενδιαφέρον τις δυνατές επιλογές και προτείνουν μικρές ή μεγάλες τροποποιήσεις προκειμένου να προχωρήσει η χώρα στην ανάπτυξη FTTH με τους πιο ευνοϊκούς όρους. Ο βασικός προβληματισμός πλέον εστιάζεται κυρίως στο εάν το συγκεκριμένο μοντέλο ΣΔΙΤ που έχει επιλεγεί είναι το πιο κατάλληλο, καθώς και το πως το σχέδιο της κυβέρνησης θα εξασφαλίσει άμεση έγκριση από την Επιτροπή Ανταγωνισμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Εάν δεν υπάρξει κάποιο πρόβλημα με την υποβολή του σχετικού φακέλου στην Επιτροπή αυτή, τότε όπως αναφέρθηκε το φθινόπωρο του τρέχοντος έτους θα έχει προκυρηχθεί το έργο. Ελπίζουμε ότι η σωστή προετοιμασία του φακέλου και οι σχετικές διαβουλεύσεις θα επιτρέψουν την απρόσκοπτη υλοποίηση του χρονοδιαγράμματος.

Βεβαίως παρόλο που βασικές παραμέτροι του έργου όπως: ο προϋπολογισμός, η επιλογή του επιχειρηματικού μοντέλου ανάπτυξης των υποδομών και η αρχιτεκτονική του δικτύου έχουν καθοριστεί, υπάρχουν ακόμα πολλά ανοιχτά θέματα. Οι τεχνολογικές λύσεις των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων που θα χρησιμοποιηθούν (π.χ. η τεχνολογία WDM-PON που παρουσιάστηκε και στο συνέδριο ως μια καινοτόμος λύση και συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας PON και της τεχνολογίας point-to-point Ethernet), η διαχείριση κινδύνων που σχετίζονται με το επιλεγμένο χρηματοδοτικό μοντέλο (π.χ. καθορισμός των όρων δανεισμού από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων, όροι αποπληρωμής της συνεισφοράς του Δημοσίου), οι πιθανές υποχρεώσεις κοστοστρέφειας στην εμπορική εκμετάλευση των υποδομών (π.χ. ενδεχόμενος καθορισμός μέγιστου τιμήματος ανά σύνδεση), είναι μερικά από τα εκκρεμή αυτά θέματα. Επιπλέον ένας αριθμός άλλων παραμέτρων, όπως η χρηματοδότηση ανάπτυξης εσωτερικής καλωδίωσης οπτικών ινών στις πολυκατοικίες/σπίτια (π.χ. όροι πιθανής κρατικής επιχορήγησης), οι ρυθμιστικές και νομικές παρεμβάσεις που θα βοηθήσουν στην ελαχιστοποίηση του κόστους και στην ταχύτερη υλοποίηση του έργου (π.χ. αποδεσμοποίηση αγωγών/υποδομών που μπορούν να αξιοποιηθούν συμπληρωματικά, δικαιώματα διέλευσης, όροι πρόσβασης σε πολυκατοικίες), καθώς και ο σωστός διαχωρισμός της

χώρας σε τρεις ζώνες (π.χ. έτσι ώστε να είναι επενδυτικά ισοδύναμες), θα καθορίσει την προσβασιμότητα των νέων υποδομών σε όσο το δυνατόν περισσότερους καταναλωτές και το τελικό ενδιαφέρον των ιδιωτών επενδυτών αφού προφανώς θα επηρεάσει τα αποτελέσματα των μελετών βιωσιμότητας των επενδύσεων. Ελπίζουμε ότι στο αμέσως επόμενο διάστημα όλα αυτά τα θέματα θα έχουν μελετηθεί διεξοδικά και συγκεκριμένες αποφάσεις θα έχουν ληφθεί και ανακοινωθεί επίσημα. Ο σωστός σχεδιασμός μπορεί να εξασφαλισθεί μόνο μέσω της άμεσης συνεργασίας των δημόσιων και ιδιωτικών φορέων που ενδέχεται να εμπλακούν στο έργο στα πλαίσια ενός δημόσιου διαλόγου.

Η σημασία της Ευρυζωνικότητας στην Ελλάδα

Η ανάγκη για Ευρυζωνικότητα στην Ελλάδα^[42] σε συνδυασμό πάντα με τη χρήση προηγμένων Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών (ΤΠΕ), είναι εξίσου δεδομένη όσο και για τις άλλες χώρες. Τα πλεονεκτήματα από την εξάπλωση και χρήση των νέων τεχνολογιών θα αποτελέσουν ουσιαστικό εργαλείο για ανοιχτή και αποτελεσματική διακυβέρνηση, καθώς και για τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας των επιχειρήσεων. Επίσης, θα δημιουργήσουν νέες μορφές εργασίας, νέες δεξιότητες και θα διασφαλίσουν τη συνεχή κατάρτιση και δια βίου μάθηση των πολιτών. Ταυτόχρονα, θα συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας ζωής με την παροχή προηγμένων υπηρεσιών υγείας, μεταφορών και προστασίας του περιβάλλοντος. Η εξάπλωση και χρήση της Ευρυζωνικότητας αναμένεται να αυξήσει την αποδοτικότητα και την ποιότητα υπηρεσιών στην κοινωνία, τον πολιτισμό και την οικονομία και ταυτόχρονα να εξασφαλίσει οικονομίες κλίμακας.

Η Ελλάδα υστερεί σημαντικά στην ύπαρξη προηγμένων τηλεπικοινωνιακών υποδομών αλλά και δικτυακών υπηρεσιών προς τους πολίτες. Μετά την απελευθέρωση της αγοράς τηλεπικοινωνιών, αρκετές εταιρείες έχουν αρχίσει να δραστηριοποιούνται στην παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Η συντονισμένη υλοποίηση των κατάλληλων ευρυζωνικών υποδομών αναμένεται να βελτιώσει σημαντικά τις συνθήκες της αγοράς, να προωθήσει την καινοτομία στην παροχή δικτυακών υπηρεσιών και εφαρμογών και να αυξήσει την επιχειρηματικότητα, κυρίως σε ότι σχετίζεται με τις νέες τεχνολογίες. Παράλληλα, με τις κατάλληλες

υποδομές, αναμένεται μια σημαντική διευκόλυνση στη δραστηριοποίηση νέων μικρομεσαίων επιχειρήσεων, ανεξάρτητα από τη γεωγραφική τους θέση στο νέο ψηφιακό επιχειρηματικό περιβάλλον.

Επομένως, η ανάπτυξη ευρυζωνικών υποδομών και υπηρεσιών είναι στρατηγικής σημασίας για την Ελλάδα, αφού μπορεί να δώσει σημαντική ώθηση στις οικονομικές δραστηριότητες αλλά και να συμβάλλει ουσιαστικά στην βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών. Η υστέρηση στην εκτέλεση τέτοιων έργων, ειδικά την περίοδο υλοποίησης άλλων σημαντικών αλλά και συναφών δράσεων τεχνολογικής αναβάθμισης θα οδηγήσει τη χώρα σε δυσμενέστερη θέση στην παγκόσμια ανταγωνιστική οικονομία. Ο ρόλος της ευρυζωνικής πρόσβασης στην αποτελεσματική διαμόρφωση της Κοινωνίας της Πληροφορίας (ΚτΠ) είναι ουσιαστικός και σημαντικός. Έτσι, η υλοποίηση έργων του Επιχειρησιακού Σχεδίου της ΚτΠ πρέπει να δώσει τη δυνατότητα για την παροχή ευρυζωνικής πρόσβασης σε όλους τους πολίτες και σε όλους τους τομείς της δημόσιας και ιδιωτικής ζωής. Η Ελλάδα οφείλει να κινηθεί γρήγορα και αποδοτικά για να διασφαλίσει αυτό το στόχο.

- Επιπτώσεις στη ζωή των πολιτών:

Τα ευρυζωνικά δίκτυα θα δώσουν στους χρήστες πρόσβαση σε μια μεγάλη ποικιλία εξελιγμένων υπηρεσιών και εφαρμογών. Σε αυτές μπορούμε να συμπεριλάβουμε όλες τις «τηλε»-υπηρεσίες (e-services), όπως π.χ. τηλε-εργασία, τηλε-εκπαίδευση, τηλε-ιατρική, τηλε-συνεδρίαση, κλπ., δικτυακές υπηρεσίες ανάμεσα σε ομότιμους κόμβους (peer-to-peer networking services), μετάδοση video υψηλής ποιότητας, αλληλεπιδραστικά παιχνίδια, καθώς και ένα μεγάλο σύνολο υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας που σχετίζονται με την παροχή πληροφοριών, ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων αλλά και εμπορικών συναλλαγών.

- Επιπτώσεις στο δημόσιο και ιδιωτικό τομέα:

Η εγκατάσταση ευρυζωνικών δικτύων και υποδομών σε μία χώρα μπορεί να επιφέρει σημαντικές αλλαγές τόσο στο δημόσιο όσο και στον ιδιωτικό τομέα. Αναλυτικότερα, οι υποδομές αυτές δίνουν τη δυνατότητα μιας αποδοτικότερης αλληλεπίδρασης μεταξύ δημοσίων υπηρεσιών και πολιτών μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να βελτιωθούν και να απλοποιηθούν

σημαντικά οι παρεχόμενες υπηρεσίες του κράτους προς τους πολίτες και τις επιχειρήσεις. Επίσης, με την εξασφάλιση των κατάλληλων υποδομών δίνεται η δυνατότητα αξιοποίησης των νέων εφαρμογών και υπηρεσιών, γεγονός που έχει σημαντικές επιπτώσεις στην προσπάθεια παροχής εκπαιδευτικών και ερευνητικών δραστηριοτήτων υψηλού επιπέδου. Αντίστοιχα πλεονεκτήματα μπορούν να διαπιστωθούν και στον τομέα της υγείας, αφού τα νέα δίκτυα δίνουν τη δυνατότητα παροχής υπηρεσιών υψηλής ποιότητας, ανεξάρτητα από τη γεωγραφική περιοχή.

Η εξάπλωση λοιπόν των ευρυζωνικών δικτύων και υπηρεσιών μπορεί να συνδράμει σημαντικά στην απλοποίηση των διαδικασιών και των λειτουργιών του δημοσίου τομέα, βοηθώντας στην αύξηση της παραγωγικότητας του αλλά και στη μείωση του κόστους υποστήριξής του. Αντίστοιχα οφέλη θα υπάρξουν και για τις ιδιωτικές επιχειρήσεις, δεδομένου ότι η ύπαρξη κατάλληλων υποδομών δίνει τη δυνατότητα αύξησης της ανταγωνιστικότητάς τους μέσω νέων μεθόδων λειτουργίας και προώθησης των προϊόντων και των υπηρεσιών τους, όπως επίσης και των εμπορικών συναλλαγών.

- Δυνατότητα γεφύρωσης του ψηφιακού χάσματος:

Το πιο επαναστατικό χαρακτηριστικό των ευρυζωνικών δικτύων είναι η εξάλειψη σημαντικών παραγόντων «αποκλεισμού» μεγάλων ομάδων πληθυσμού και περιοχών της χώρας, όπως της απόστασης και του χρόνου. Η εγκατάσταση ευρυζωνικών υποδομών μπορεί να λειτουργήσει ευεργετικά στη γεφύρωση του ψηφιακού χάσματος, κυρίως σε απομακρυσμένες περιοχές, οι οποίες συνήθως είναι αυτές που αντιμετωπίζουν τους πιο έντονους τεχνολογικούς αποκλεισμούς. Επομένως, η ανάπτυξη κατάλληλων ευρυζωνικών υποδομών, οι οποίες θα είναι προσιτές και προσβάσιμες από όλους τους πολίτες, μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τον κίνδυνο διεύρυνσης του ψηφιακού χάσματος ανάμεσα στους πολίτες και να δώσει ίσες ευκαιρίες και δυνατότητες για την εξέλιξη των τοπικών κοινωνιών.

Εθνικό δίκτυο οπτικών ινών

Έπειτα από σχετικό διαγωνισμό του υπουργείου Υποδομών^[39], η κοινοπραξία «Ευρωσύμβουλοι - ΕΠΙΤΣ - ΕΠΙΣΕΥ» ανέλαβε ρόλο τεχνοοικονομικού συμβούλου, που θα επανακαθορίσει το τελικό φυσικό αντικείμενο του έργου. Προσεχώς, αναμένεται και ο διαγωνισμός για τον νομικό σύμβουλο. Είχαν προηγηθεί άλλες δύο μελέτες. Η πρώτη είχε εκπονηθεί το 2008 και πρότεινε την ανάπτυξη δικτύου οπτικών ινών μόνο στα μεγάλα αστικά κέντρα, καθώς μόνο εκεί θα υπήρχε βιωσιμότητα. Αυτή η μελέτη δεν εφαρμόστηκε. Στην συνέχεια, εξαγγέλθηκε η δημιουργία ενός εκατομμυρίου συνδέσεων οπτικών ινών σε όλες τις πόλεις της χώρας. Φυσικά, δεν υλοποιήθηκε. Ο νέος σύμβουλος του έργου καλείται να επαναπροσδιορίσει το έργο τόσο ως προς την έκτασή του όσο και προς την τεχνοοικονομική του διάσταση. Και αυτό διότι η επένδυση σε δίκτυα οπτικών ινών αποτελεί ιδιαίτερα ακριβό σπορ, με τεράστιο προϋπολογισμό (σε μία εποχή δημοσιονομικής ένδοιας) και, άρα, ακριβό λογαριασμό για τον τελικό χρήστη. Έτσι, εξετάζεται ένα «κούρεμα» των παλαιότερων μεγαλόπνοων εξαγγελιών, χάριν ενός πιο βιώσιμου οικονομικά σχεδίου.

Στο υπουργείο Υποδομών η κυρίαρχη άποψη κάνει λόγο για τη δημιουργία δικτύου οπτικών ινών στον άξονα Αθήνας - Θεσσαλονίκης, με κάποιες επεκτάσεις σε τοποθεσίες όπου εμφανίζεται βιωσιμότητα. Ωστόσο, αναμένεται το πόρισμα των μελετητών. Και αυτά είναι τα εύκολα, διότι υπάρχουν και άλλα πιο δύσκολα σκέλη σε αυτό το φιλόδοξο σχέδιο. Η συνέχεια προβλέπει δράσεις σε δύο επίπεδα. Το πρώτο βρίσκεται στις Βρυξέλλες, καθώς η χώρα μας θα παρουσιάσει ένα πολύπλοκο πλάνο με σύμπραξη ιδιωτικού και δημοσίου τομέα (ΣΔΙΤ), κρατική επιδότηση και ευρωπαϊκούς πόρους. Το δεύτερο επίπεδο βρίσκεται μεταξύ Παπάγου και πλατείας Συντάγματος, καθώς τα υπουργεία Υποδομών, Οικονομικών και Περιφερειακής Ανάπτυξης, θα κληθούν να συμβασιοποιήσουν το σχέδιο, το οποίο θα πάρει τον δρόμο του διαγωνισμού, έπειτα από την έγκριση της Ε.Ε.

Ο ΟΤΕ και τα δίκτυα οπτικών ινών

Ανεπισημώς, δεν είναι λίγοι εκείνοι που θεωρούν ως σωτήρια^[39] την

σύμπραξη με τον ΟΤΕ για την δημιουργία του δικτύου οπτικών ινών. Και αυτό διότι ο ΟΤΕ ήδη διαθέτει δίκτυο οπτικών ινών VDSL, οι οποίες φτάνουν μέχρι το ΚΑΦΑΟ, γεγονός που θα επέτρεπε στο κράτος να συνδέσει το ΚΑΦΑΟ με τα σπίτια των καταναλωτών. Έτσι, το κόστος της επένδυσης θα μειωνόταν ραγδαία. Όπως εξηγούν οι ίδιες πηγές, και ο ΟΤΕ θα έβλεπε με καλό μάτι μία τέτοια σύμπραξη, καθώς η ανάπτυξη ενός παράλληλου - με το δικό του - δικτύου οπτικών ινών θα λειτουργούσε άκρως ανταγωνιστικά προς τον ίδιο. Όμως, μία τέτοια προοπτική, αν και λογική από άποψη κόστους, θα δημιουργούσε τεράστιες αντιδράσεις από τους εναλλακτικούς παρόχους, καθώς συγκρούεται με τον ελεύθερο ανταγωνισμό, αλλά και με τη στάση της ΕΕΤΤ, η οποία έχει θέσει υπό ρύθμιση ακόμη και την παραμικρή κίνηση του πρώην δημοσίου οργανισμού και έχει «μπλοκάρει» την εμπορική διάθεση της VDSL.

Ένα άλλο σημείο, όπου συναντώνται διαφωνίες στον τηλεπικοινωνιακό κόσμο είναι εάν κατά πόσον η χώρα χρειάζεται FTTH και γιατί δεν αρκείται στην επίσης γρήγορη VDSL. Όσοι υποστηρίζουν την λύση της FTTH, θέτουν ως παράδειγμα το μεταβατικό στάδιο που πέρασε η Ελλάδα με την ISDN, που την άφησε πίσω στις εξελίξεις της ευρυζωνικότητας. Άλλοι, βέβαια, υποστηρίζουν ότι FTTH και VDSL δεν είναι ανταγωνιστικές, αλλά συμπληρωματικές τεχνολογίες, καθώς η πρώτη μπορεί να απαιτήσει έως και 20 έτη για την πλήρη ανάπτυξή της.

Επισημώς, ο ΟΤΕ έχει τοποθετηθεί παλαιότερα για την δημιουργία δικτύου FTTH, επισημαίνοντας το πενταπλάσιο κόστος που θα είχε η ανάπτυξή του σε σύγκριση με την τεχνολογία VDSL, το υψηλό κόστος σύνδεσης και την μη ανταποδοτικότητα της επένδυσης σε πολλές περιοχές της χώρας. Τότε, ο ΟΤΕ είχε προτείνει να στηθεί η επένδυση πάνω στο δικό του δίκτυο VDSL, να δοθούν επενδυτικά κίνητρα, να γίνουν οι απαραίτητες ρυθμιστικές παρεμβάσεις και να χρησιμοποιηθεί ένα μείγμα υβριδικών τεχνολογιών ανάλογα με το γεωγραφικό περιβάλλον και την οικονομική τους βιωσιμότητα, λόγω της σταδιακής μετάβασης των καταναλωτών προς τις νέες τεχνολογίες. Προς αυτή την κατεύθυνση, τουλάχιστον στο «υβριδικό» της σκέλος κινείται και η κυβέρνηση. Το τηλεπικοινωνιακό «μείγμα» της Ελλάδας, θα βασιστεί στο FTTH στις μεγάλες πόλεις, στα μητροπολιτικά δίκτυα οπτικών ινών (MAN), στην ανάπτυξη ευρυζωνικών δικτύων σε μειονεκτικές περιοχές (rural broadband) και σε ασύρματες τεχνολογίες, όπως η αξιοποίηση του ψηφιακού φάσματος των ραδιοσυχνοτήτων με LTE.

Πέρα από την ταχύτητα, το μεγάλο πλεονέκτημα της FTTH είναι η

συμμετρική τεχνολογία της. Δηλαδή, εν αντιθέσει με τις υπάρχουσες τηλεπικοινωνιακές υποδομές, η ταχύτητα μεταφόρτωσης είναι η ίδια τόσο στο «ανέβασμα» όσο και στο «κατέβασμα» των αρχείων. Αυτή η ιδιότητα, σύμφωνα με τους θεωρητικούς των τηλεπικοινωνιών, δύναται να μεταβάλλει το ίδιο το καταναλωτικό μοντέλο, καθώς ισότιμα ο καταναλωτής θα μπορεί να γίνει παραγωγός. Στο ερώτημα, βέβαια, τι υπηρεσίες και αγαθά μπορούν να αναπτυχθούν από τις τηλεπικοινωνιακές «υπερταχείες», απάντηση πλην των υπηρεσιών TV και βίντεο δεν μπορούν ακόμη να δοθούν. Όπως και δεν μπορούσε να απαντηθεί, άλλωστε, η ίδια ερώτηση το 1987, όταν οι προσωπικοί υπολογιστές διέθεταν σκληρούς δίσκους που χωρούσαν 10 MB, τα οποία, τότε, φαίνονταν πολλά! Η συνέχεια, βέβαια, δικαίωσε τους οραματιστές.

Συνολικά, για τη δημιουργία υποδομών οπτικών ινών νέας γενιάς, ο ΟΤΕ θα κάνει σημαντικές επενδύσεις την τριετία 2010-2012, ώστε να φέρει τις οπτικές ίνες πιο κοντά στα σπίτια των καταναλωτών. Υπενθυμίζεται ότι το δίκτυο κορμού του ΟΤΕ αποτελείται εδώ και χρόνια εξολοκλήρου από οπτικές ίνες που ξεπερνούν τα 35.000 χιλιόμετρα πανελλαδικά^[43], ενώ οι βασικοί κόμβοι του δικτύου συνδέονται μεταξύ τους με πολλαπλά κυκλώματα των 10 Gbps.

Με την ολοκλήρωση των εργασιών, ο ΟΤΕ σκοπεύει να προσφέρει στις παραπάνω περιοχές νέες αναβαθμισμένες ταχύτητες: Download: έως 30 Mbps – Upload: έως 2,5 Mbps
Download: έως 50 Mbps – Upload: έως 5 Mbps Επιπλέον, για τις ανάγκες των επιχειρήσεων, ανάλογα με το ενδιαφέρον και όπου αυτό είναι εφικτό, ο ΟΤΕ κατασκευάζει λύσεις τύπου FTTB (Fiber to the Building), όπου οι οπτικές ίνες φθάνουν έως το κτίριο.

Για τη δημιουργία δικτύων οπτικών ινών νέας γενιάς είναι απαραίτητη η πραγματοποίηση εκσκαφών από όπου θα διέρχονται οι οπτικές ίνες. Για το λόγο αυτό η συνεργασία με τους φορείς τοπικής αυτοδιοίκησης είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η επιλογή των παραπάνω περιοχών για την υλοποίηση του νέου δικτύου, εκτός από εμπορικά κριτήρια, έγινε και λόγω της προθυμίας των τοπικών Αρχών αυτοδιοίκησης να στηρίζουν το εγχείρημα.

Οι διαθέσιμες αρχιτεκτονικές ανάπτυξης δικτύων πρόσβασης νέας γενιάς βασίζονται στην χρήση οπτικής ίνας και διακρίνονται ανάλογα με το βαθμό διεξόδου της οπτικής ίνας στο δίκτυο (FTTx ή Fiber to the X) και τις τεχνολογίες πρόσβασης (xDSL, Ethernet, GPON κλπ.). Με βάση τον βαθμό διεξόδου της οπτικής ίνας στο δίκτυο, οι πιο γνωστές

αρχιτεκτονικές είναι: Ίνα μέχρι μια υπαίθρια καμπίνα – FTTC (Fibre to the cabinet or curb)
Ίνα μέχρι την εισαγωγή του κτιρίου – FTTB (Fibre to the building)
Ίνα μέχρι το διαμέρισμα του συνδρομητή – FTTH (Fibre to the home)

Το πρώτο πιλοτικό δίκτυο Fiber-to-the-Home της Forthnet

Το πρώτο πιλοτικό δίκτυο Fiber-to-the-Home στην Αττική αναπτύσσεται από τη Forthnet^[40], σε συνεργασία με το Δήμο Νέας Σμύρνης, και θα καλύψει τουλάχιστον 2.000 νοικοκυριά, προσφέροντας ταχύτητες πρόσβασης που ξεπερνούν τα 100 Mbps. Σε αντίθεση με τα δίκτυα VDSL που υλοποιούνται σήμερα από τον ανταγωνισμό, τα δίκτυα FTTH φέρνουν την οπτική ίνα μέχρι το σπίτι του συνδρομητή αντικαθιστώντας τα δίκτυα χαλκού, διασφαλίζοντας παράλληλα την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Στα δίκτυα FTTH η ταχύτητα πρόσβασης που επιλέγει ο πελάτης είναι εγγυημένη ανεξαρτήτως απόστασης από το κέντρο .

Οι ταχύτητες πρόσβασης φτάνουν θεωρητικά το 1 Gbps στο κατέβασμα και τα 100 Mbps στο ανέβασμα δεδομένων. Εκτός από υπηρεσίες τηλεφωνίας και Διαδικτύου, το πιλοτικό δίκτυο της Forthnet θα προσφέρει και υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας, όπως τηλεόραση, βιντεοπαιχνίδια και υπηρεσίες νέφους. Για την υλοποίηση του παθητικού δικτύου οπτικών ινών ο Όμιλος Forthnet θα συνεργαστεί με την εταιρεία Optronics Technologies, ενώ σημαντικός παράγοντας ήταν η συνεργασία του Δήμου Νέας Σμύρνης. Το Φεβρουάριο του 2008, ο τότε υπουργός Μεταφορών και Επικοινωνιών Κωστής Χατζηδάκης είχε ανακοινώσει σχέδιο 3 δισ. ευρώ για την εγκατάσταση οπτικών ινών σε δύο εκατομμύρια ελληνικά σπίτια (Fiber To The Home) έως το 2013. Το σχέδιο όμως δεν υλοποιήθηκε και ο ΟΤΕ αποφάσισε να στραφεί στην ενδιάμεση εναλλακτική λύση του VDSL.

Η Forthnet επιμένει ότι η αρχιτεκτονική FTTH είναι η καλύτερη λύση για το μέλλον: «Ο Όμιλος Forthnet πιστεύει ότι η στρατηγική για τη μετάβαση στα δίκτυα νέας γενιάς θα πρέπει να βασιστεί στην αρχιτεκτονική του FTTH κατ' ελάχιστον για τις αστικές περιοχές, όπως αυτή έχει στρατηγικά προσδιοριστεί και από το υπουργείο Ανάπτυξης, Ανταγωνιστικότητας, Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων, ώστε η χώρα να κάνει το αναγκαίο τεχνολογικό άλμα και να φθάσει στο επίπεδο των προηγμένων

τεχνολογικά χωρών στις υποδομές τηλεπικοινωνιών», σχολίασε ο Γιάννης Καβακλής, γενικός εμπορικός διευθυντής του Ομίλου Forthnet.

Επέκταση του δικτύου οπτικών ινών της HOL

Σε σημαντικό ύψους επενδύσεις, μεταξύ άλλων, για την επέκταση του ιδιόκτητου δικτύου οπτικών ινών της θα προχωρήσει μέσα στο 2013 η hellas on line^[41], συνεχίζοντας, σύμφωνα με το στρατηγικό της σχεδιασμό, να ενισχύει τις υποδομές της με στόχο την περαιτέρω ενίσχυση της ποιότητας των προσφερόμενων υπηρεσιών και τη μείωση του λειτουργικού κόστους. Το δίκτυο οπτικής ίνας της εταιρείας εκτείνεται σήμερα σε πάνω από 5.000 χιλιόμετρα πανελλαδικά, το μεγαλύτερο μετά τον ΟΤΕ, καλύπτοντας την ηπειρωτική Ελλάδα κατά το μεγαλύτερο μέρος της και φτάνοντας σε 50 νομούς και 141 πόλεις^[44]. Οι συνεγκαταστάσεις με τον ΟΤΕ, φτάνουν τις 363, παρέχοντας πρόσβαση σε 75% των γραμμών του ΟΤΕ και καθιστώντας την εταιρία το μεγαλύτερο πάροχο αποδεσμοποίητης πρόσβασης στον τοπικό βρόχο από πλευράς γεωγραφικής κάλυψης ενώ είναι ο πρώτος πάροχος στην Ελλάδα που αναβαθμίζει το δίκτυο οπτικών ινών του με 100 Gigabit. Το αρχικό πλάνο αφορά σε δύο πολύ μεγάλες γεωγραφικές περιοχές της χώρας όπου δεν υπάρχει σημαντική παρουσία εναλλακτικών παρόχων και ως εκ τούτου στόχος της hol είναι μέσω της επέκτασης να αποσπάσει πελάτες προσφέροντας ανταγωνιστικά προϊόντα και τιμές.

Το ύψος των επενδύσεων που έχει προγραμματίσει η διοίκηση για το 2013 εκτιμάται ότι θα ξεπεράσει τα 30 εκατ. ευρώ. Πέρυσι, οι επενδύσεις του ομίλου ανήλθαν σε 29 εκατ. ευρώ, ανεβάζοντας το συνολικό επενδυτικό πρόγραμμα στα 404 εκατ. ευρώ από τις αρχές του 2006, με επίκεντρο την ανάπτυξη του ιδιόκτητου δικτύου οπτικών ινών, τη βελτιστοποίηση των τεχνολογικών συστημάτων εξυπηρέτησης πελατών, τη συνεχιζόμενη αναβάθμιση της διασύνδεσης με το εξωτερικό, της συνολικής χωρητικότητας, καθώς και των υπηρεσιών hol cloud.

Η υλοποίηση νέων επενδυτικών κινήσεων από τη hellas on line καθίσταται ευχερέστερη λόγω και της αισθητής βελτίωσης των χρηματοοικονομικών της δεικτών. Την περυσινή χρήση, ο όμιλος πέτυχε αύξηση των EBITDA κατά 5,3% (στα 64,3 εκατ. ευρώ από 61,1 εκατ. ευρώ το 2011), με αντίστοιχη αύξηση του περιθωρίου EBITDA σε 26,7% από 26,3%. Παράλληλα, οι λειτουργικές ταμειακές ροές ανήλθαν

σε 55 εκατ. ευρώ για το 2012 από 51,3 εκατ. ευρώ την αντίστοιχη περσινή περίοδο.

Η βελτίωση των ταμειακών ροών επέτρεψε την μείωση του καθαρού τραπεζικού δανεισμού στα 166,1 εκατ. ευρώ για το 2012 από 180,9 εκατ. ευρώ στο τέλος του 2011 καθώς και την αντίστοιχη μείωση των υπολοίπων προμηθευτών σε 80 εκατ. από 85,7 εκατ. ευρώ το 2011. Πλέον, ο δείκτης καθαρού δανεισμού προς κέρδη προ φόρων, τόκων και αποσβέσεων (EBITDA) συνεχίζει να μειώνεται σε σχέση με τις προηγούμενες περιόδους και διαμορφώνεται στο 2,6x σε σύγκριση με 3x το προηγούμενο έτος. Σύμφωνα με την εταιρεία, η βελτίωση στο ρυθμό είσπραξης απαιτήσεων επετεύχθη σε ένα εξαιρετικά δύσκολο μακροοικονομικό περιβάλλον και συνεισέφερε στην καλύτερη διαχείριση του κεφαλαίου κίνησης, γεγονός που αντικατοπτρίζεται και στα ταμειακά διαθέσιμα της εταιρίας στο τέλος της χρήσης.

Για τη διοίκηση του ομίλου το πιο σημαντικό επίτευγμα της περυσινής περιόδου, δεδομένων των συνθηκών, ήταν η βελτίωση των ταμειακών ροών. Όποια εταιρεία μπορεί όχι μόνο να λειτουργεί χωρίς να χρειάζεται ενίσχυση αλλά και να μεγαλώνει θα έχει σημαντικό πλεονέκτημα έναντι του ανταγωνισμού. Η hellas online δεν έχει απλώς αποκτήσει εξαιρετικά αμυντικά χαρακτηριστικά αλλά έχει εξελιχθεί σε ρυθμιστή ενόψει του consolidation στον κλάδο, που αργά ή γρήγορα θα πραγματοποιηθεί. Όταν δεν υφίστασαι την πίεση του τραπεζικού δανεισμού ή ενός πραγματικού cash flow shortage, οι αποφάσεις που λαμβάνεις είναι πιο ορθολογικές. Γεγονός, πάντως παραμένει ότι η κατάσταση στην τηλεπικοινωνιακή αγορά απαιτεί εγρήγορση, συστηματική επόπτευση και ευελιξία, δεδομένου του αντίξοου οικονομικού κλίματος. Η εταιρεία δίνει μεγάλη βάση στο εταιρικό κομμάτι της συνδρομητικής της βάσης, και διακρίνοντας έγκαιρα τις τεχνολογικές τάσεις, λάνσαρε πέρυσι τις ολοκληρωμένες υπηρεσίες hol cloud που έχουν ήδη κερδίσει την εμπιστοσύνη αρκετών μεγάλων επιχειρήσεων από διάφορους κλάδους.

Στο τέλος του 2013, πάντως η συνολική LLU πελατειακή βάση της εταιρείας ανήλθε σε 519.072 πελάτες, σημειώνοντας αύξηση 5,6% σε σχέση με το περσινό έτος, με το εκτιμώμενο μερίδιο αγοράς να ανέρχεται στο 27,1%. Παράλληλα, η στρατηγική συνεργασία με την Vodafone ενδυναμώθηκε περαιτέρω, σημειώνοντας αύξηση πάνω από 30% στην κοινή συνδυαστική βάση.

Συμπεράσματα

Είναι πια ξεκάθαρο ότι η ψηφιακή εποχή έχει ήδη ξεκινήσει και τα οπτικά δίκτυα είναι το παρόν και το μέλλον στις Τηλεπικοινωνίες. Με την εκπόνηση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είχαμε την δυνατότητα να γνωρίσουμε τον τρόπο λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά των οπτικών δικτύων πρόσβασης. Η κατασκευή οπτικών δικτύων αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί εξειδικευμένη τεχνολογία ενώ έχει πολλά περιθώρια περαιτέρω εξέλιξης και αυτοματοποίησης. Στις κατασκευές οπτικών δικτύων πρέπει να έχουμε ως γνώμονα την μεγάλη προσοχή στην λεπτομέρεια. Αν αναλογιστούμε ότι μια οπτική ίνα έχει διατομή ίση με μια ανθρώπινη τρίχα καταλαβαίνουμε πως πρόκειται για διαδικασία που απαιτεί ακριβό εξοπλισμό, εμπειρία, λεπτομέρεια και τεχνογνωσία.

Ακρόνυμα

AON Active Optical Network
APON ATM Passive Optical Network
ATM Asynchronous Transfer Mode
AP Access Point
AWGs Array Waveguide Gratings
BPON Broadband Passive Optical Network
CAPEX Capital Expenditure
CO Central Office
CPE Customer Premises Equipment
DSL Digital Subscriber Line
EPON Ethernet Passive Optical Network
FTTB Fiber To The Building
FTTC Fiber To The Curb
FTTH Fiber To The Home
FTTP Fiber To The Premises
FTTx Fiber To The x
FTTLA Fiber To The Last Amplifier
FTTN Fiber To The Node
FTTN Fiber To The Neighborhood
FTTO Fiber To The Office
FTTP Fiber To The Premises
FTTU Fiber To The User
Gbps Gigabits per second
GPON Gigabit Passive Optical Network
IP Internet Protocol
ISP Internet Service Provider
ITU International Telecommunication Union
Kbps Kilobits per second
LAN Local Area Network
LCP Local Convergence Point
LDMS Local Multipoint Distribution System
LED Light Emitting Diode
Mbps Megabits per second
NAP Network Access Point
NRZ Non return to zero
OLT Optical Line Terminal
ONT Optical Network Terminal
ONU Optical Network Unit
ODF Optical Distribution Frame
OPEX Operational Expenditure

OSI Open Systems Interconnection
OOK On-off Keying
P2P Point To Point
PON Passive Optical Network
RN Remote Node
TDM Time Division Multiplexing
TDMA Time Division Multiple Access
TLS Tunable Laser Diodes
WDM Wireless Local Area Network

Λεξικό

- Ορισμός του: **backbone** (Δικτυακός κορμός). Το μέρος του δικτύου που διαχειρίζεται την μεγαλύτερη κίνηση. Έχει τα γρηγορότερα μονοπάτια μετάδοσης στο δίκτυο και καλύπτει τις μεγαλύτερες αποστάσεις.
- Ορισμός του: **EMI** (Ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή). Μια ηλεκτρική αναταραχή σε ένα σύστημα εξαιτίας φυσικών φαινομένων.
Ορισμός του: **RFI** (Ραδιοφωνική παρεμβολή συχνοτήτων). Μια διαταραχή στην λήψη ραδιοσημάτων και άλλων ηλεκτρομαγνητικών σημάτων λόγω της διένεξης με ανεπιθύμητα σήματα.
- Ορισμός του: **cancellation** (Ακύρωση). Μια κατάσταση στην οποία θετικά και αρνητικά φορτία ή όμοιες συχνότητες από θετικές ή αρνητικές πολικότητες εξουδετερώνονται μεταξύ τους.
- Ορισμός του: **patch cord** (Καλώδιο Σύνδεσης). Ένα συγκεκριμένο μήκος καλωδίων που τερματίζεται σε κάθε άκρη με μία πρίζα ή ένα βύσμα. Κάθε μικρού μήκους καλώδιο κάθε τύπου (τηλεφώνου, ήχου, βίντεο, κτλ.) που έχει σύνδεσμους και στα δύο άκρα του μπορεί να ονομαστεί patch cord.
- Ορισμός του: **patch panel** (Συγκεντρωτής καλωδίων). Ένα γκρουπ από πρίζες που χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν τις εισερχόμενες και εξερχόμενες γραμμές σεεπικοινωνιακά και ηλεκτρονικά συστήματα.

Βιβλιογραφία

- [1] John Crisp – Barry Elliott , “*Introduction to Fiber Optics,Third Edition*” , 2005
- [2] Jeff Hecht , “*Understanding Fiber Optics*” , 2005
- [3] Jim Hayes , “ *Εγχειρίδιο Οπτικών Ινών*” , Εκδόσεις Ίων , 1999
- [4] Αλέξανδρος Αλεξανδρής , “*Οπτικές Ίνες*” , Εκδόσεις Ίων , 2002
- [5] David Goff , “*Fiber Optics Reference Guide,Third Edition*” , 2002
- [6] Jim Hayes , “*Fiber Optics Technician’s Manual*” , 2005
- [7] Agrawal G.P., “*Συστήματα Επικοινωνιών με Οπτικές Ίνες*” , Εκδ. Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2001.
- [8] R.P.Khare , “*Fiber Optics and Optoelectronics*” , 2004
- [9] Chomycz Bob , “*Fiber Optic Installer’s Field Manual*” , 2000
- [10] Byoung Y. Kim , “ *13th International Conferencs On Optical Fiber Sensors*” , 1999
- [11] Anurag Sharma , “*Fiber Optics and Photonics*” , 1999
- [12] Keigo Lizuka , “*Photonics for Fiber and Integrated Optics*” , 1998
- [13] Randy Frank , “*Understanding Smart Sensors, 2nd Edition*” , 2000
- [14] Volotinen , “*Reliability Of Optical Fibers and Components*” , 1999
- [15] Harry Dutton , “*Understanding Optical Communications*” , 1999
- [16] Ivan P. Kaminow , “ *Optical Fiber Telecommunications I,II,III Volume B*” , 1997
- [17] John G. Nellist , “*Understanding Telecommunications and Lightwave Systems : an Entry-Level Guide*” , 1996
- [18] B.Culshaw , “*Optical Fiber Sensors Volumes III & IV*” , 1997
- [19] K.Nosu , “ *Optical Fdm Network Technologies*” , 1997
- [20] E.R. Pearson , “ *The Complete Guide to Fo Cable System Install*” , 1997
- [21] R.Marz , “*Integrated Optics*” , 1995
- [22] A unified study of burst assembly in optical burst switching networks – Chi Yuan, Zhenrong Zhang, Zhengbin Li, Yongqi He, Anshi Xu, 2010
- [23] Το Αλφαβητάρι της Ασύρματης Δικτύωσης, Ιανουάριος 2005, Γιαννακός Νικήτας, Κοσσιφίδης Νικόλαος, Πανουσίου Σωκράτης, Πεικίδης Ιωάννης
- [24] Νικόλαος Γαλανάκης , «Αναλυση και αναπτυξη σχεδιασης οπτικων ευρυζωνικων δικτυων νέας γενιάς»
- [25] Roger L. Freeman, *Fiber Optic Systems for Telecommunications*, John Wiley and Sons, New York, 2002.
- [26] Djafar K. Mynbaev and Lowell L. Scheiner, *Fiber-Optic Communications Technology*, PrenticeHall, 2001.
- [27] Heinz Willebrand & Baksheesh Ghuman (December 2001). *Free Space Optics: Enabling Optical Connectivity in Today's Networks*. SAMS.
- [28] Moll, Florian (December 2013). "Free-space laser system for secure air-to-ground quantum communications". *SPIE Newsroom*.
- [29] David G. Aviv (2006). *Laser Space Communications*. ARTECH HOUSE. ISBN 1-59693-028-4.
- [30] Geneva: International Telecommunications Union,(March 2006) :*Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks*.

- [31] Geneva: International Telecommunications Union, (March 2000)
: *Architecture of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH)*
- [32] Hassan, Rosilah, James Irvine, and Ian Glover. "Design and Analysis of Virtual Bus Transport Using Synchronous Digital Hierarchy/Synchronous Optical Networking." *Journal of Computer Science* 4.12 (2008)
- [33] "FTTH networking: Active Ethernet versus Passive Optical Networking and point-to-point vs. point-to-multipoint", Tim Poulus, *Telecompaper*, 17 November 2010. Retrieved 12 July 2013
- [34] Martin, Michael (2000). *Understanding the Network* (The Networker's Guide to AppleTalk, IPX, and NetBIOS), SAMS Publishing, ISBN 0-7357-0977-7.
- [35] Goggin, Gerard, *Global Mobile Media* (New York: Routledge, 2011), p. 176. ISBN 978-0415469180
- [36] Haring, John (2008). "Telecommunications". In David R. Henderson (ed.). *Concise Encyclopedia of Economics* (2nd ed.). Library of Economics and Liberty. ISBN 978-0865976658. OCLC 237794267.
- [37] OECD, *Universal Service and Rate Restructuring in Telecommunications*, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) Publishing, 1991. ISBN 92-64-13497-2
- [38] When, Andrew. *DOT-DASH TO DOT.COM: How Modern Telecommunications Evolved from the Telegraph to the Internet* (Springer, 2011)

ΙΣΤΟΤΟΠΙΟΙ

- [39] <http://www.tovima.gr/finance/article/?aid=397855>
- [40] <http://www.newsbomb.gr/bombplus/tecnologia/story/218999/proto-pilotiko-ftth-apo-forthnet-kai-dimo-neas-smyrnis>
- [41] <http://www.ypodomes.com/index.php/alles-upodomes/tilepikoinonies-diktya/item/18849-e%CF%80%CE%AD%CE%BA%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B7-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CF%84%CF%8D%CE%BF%CF%85-%CE%BF%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD-%CE%B9%CE%BD%CF%8E%CE%BD-%CF%84%CE%B7%CF%82-hol-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%84%CE%BF-2013>
- [42] http://broadband.physics.auth.gr/gr/broadband/broadband_greece.htm
- [43] <https://www.ote.gr/web/guest/corporate/company/who-we-are/network>
- [44] <https://www.hol.gr/basic-page/104/etairiko-profil>