



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.



Πτυχιακή εργασία

Εξελίξεις και μελλοντικές εφαρμογές των οπτικών δικτύων



Φοιτητής

Κακός Νικόλαος

A. M.: 073287

Επιβλέπων καθηγητής

Αμανατιάδης Δημήτριος

Θεσσαλονίκη 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Έχουν πλέον περάσει αρκετά χρόνια από την πρώτη φορά που οι οπτικές ίνες χρησιμοποιήθηκαν για δίκτυα δεδομένων. Η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση για μεγαλύτερο εύρος ζώνης (που μεταφράζεται σε νέες υπηρεσίες για τους τελικούς χρήστες), αναγκάζει τους παρόχους να προχωρήσουν στη δημιουργία οπτικών δικτύων. Τα πλεονεκτήματα είναι πολλά σε σχέση με την παραδοσιακή καλωδίωση του χαλκού η οποία πλέον έχει φτάσει σε τέλμα.

Σήμερα, η χρήση τους θεωρείται δεδομένη μόνο για λίγους αλλά γίνονται σημαντικά βήματα για τη δημιουργία οπτικών δικτύων «στο τελευταίο μίλι», όπως λέγεται η πρόσβαση των τελικών χρηστών στα οπτικά δίκτυα. Οι εξελίξεις στον τομέα αυτό δεν είναι εύκολο να προβλεφθούν αλλά η γνώση του παρελθόντος δείχνει τη ραγδαία ανάπτυξή τους. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι πολλά και γνωστά, ενώ γίνονται προσπάθειες να εξαλειφθούν τα όποια μειονεκτήματά έχουν εμφανιστεί.

Σκοπός της παρούσας επισκόπησης είναι, όχι μόνο να αναδείξει την εξέλιξη των οπτικών δικτύων και τις αλλαγές που έχουν επιφέρει στις επικοινωνίες μέχρι σήμερα αλλά και να παρουσιάσει το μέλλον τους, όπως αυτό διαγράφεται.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι οπτικές ίνες, αποτελούν ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα στο χώρο της τεχνολογίας, το οποίο έχει βοηθήσει ιδιαιτέρως στη βελτίωση των ταχυτήτων επικοινωνίας. Οι περιπτώσεις της ονομαζόμενης FTTX τεχνολογίας, αριθμούν πλήθος κατηγοριών, ενώ για να μπορέσουν να «ενωθούν» όλες οι ήπειροι μεταξύ τους και να επικοινωνούν χωρίς προβλήματα, έγινε επιτακτική η ανάγκη τοποθέτησης υποθαλάσσιων οπτικών καλωδίων. Το μέλλον πάντως των οπτικών δικτύων διαγράφεται λαμπρό, παρά τα προβλήματα που προκύπτουν. Έτσι, ανακαλύπτονται νέοι τρόποι επίτευξης υψηλότερων ταχυτήτων ή γίνεται εκμετάλλευση των ήδη υπάρχοντων, πάντα με γνώμονα την καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών.

ABSTRACT

Optical fiber is one of the greatest inventions, in the field of technology, helping connection speed be quicker than ever before. Cases of so-called FTTX technology, also, number a good crowd of categories, while, in order to connect every continent and communicate each other without problems, the installation of submarine cables became imperative. The future, however, of optical networks looks bright, despite the problems that arise. So, new ways are invented, achieving higher speeds or exploiting existing ones, always to the direction of better service.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω εκ βαθέων, τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Δημήτριο Αμανατιάδη για τη δυνατότητα που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την παρούσα πτυχιακή εργασία, καθώς και για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε για την περάτωση της. Οι σημαντικές υποδείξεις και συμβουλές του, με κατεύθυναν σε ένα σωστό τρόπο σκέψης, πάνω απ' όλα και μου προσέφεραν σημαντικά εφόδια για την μετέπειτα επαγγελματική μου ζωή.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμα, όλους του καθηγητές του Αλεξάνδρειου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Θεσσαλονίκης, για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, θέλω να εκφράσω ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, για την στήριξη και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Πέραν όμως από την πολύτιμη αυτή στήριξη, μου έδωσαν όλα τα εφόδια ώστε να γίνω ένας σωστός άνθρωπος και αυτό είναι κάτι που δεν μαθαίνεται αλλά μεταδίδεται.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ

Πρόλογος.....	10
1. Εισαγωγικά.....	10
1.1 Ανάγκη για επικοινωνία και δικτύωση.....	10
1.2 Ο ορισμός ενός δικτύου.....	11
1.3 Τα δομικά στοιχεία ενός δικτύου.....	12
1.4 Η μετάδοση των δεδομένων.....	13
1.4.1 Η διαδικασία της μετάδοσης.....	13
1.4.2 Τα είδη των κατευθύνσεων μετάδοσης δεδομένων.....	14
1.4.3 Οι τρόποι μετάδοσης δεδομένων.....	14
1.5 Πρωτόκολλα και αρχιτεκτονικές δικτύων.....	15
1.6 Ταξινόμηση δικτύων.....	16
1.6.1 Ταξινόμηση με βάση την τοπολογία.....	16
1.6.2 Ταξινόμηση με βάση τη γεωγραφική κάλυψη.....	18
1.6.3 Ταξινόμηση με βάση τον τρόπο πρόσβασης.....	20
1.6.4 Ταξινόμηση με βάση το μέσο μετάδοσης.....	20
1.6.5 Ταξινόμηση με βάση το είδος σύνδεσης.....	25
1.7 Οι χρήσεις των δικτύων.....	25
1.7.1 Οι επιχειρηματικές εφαρμογές.....	26
1.7.2 Οι εφαρμογές εκπαίδευσης.....	26
1.7.3 Οι εφαρμογές υγείας.....	27
1.7.4 Οι οικιακές εφαρμογές.....	27
1.7.5 Τα κοινωνικά δίκτυα.....	27
1.8 Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των δικτύων.....	28
Επίλογος.....	29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

Πρόλογος.....	31
2. Εισαγωγικά.....	31
2.1 Τι είναι οι οπτικές ίνες.....	32

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Νικόλαου Κακού

2.2 Η δομή ενός οπτικού καλωδίου.....	33
2.3 Τα είδη των οπτικών καλωδίων.....	35
2.3.1 Με βάση τον τρόπο μετάδοσης του σήματος.....	35
2.3.2 Με βάση τον τρόπο κατασκευής των ινών.....	37
2.3.3 Με βάση το περιβάλλον εγκατάστασης.....	39
2.4 Οι εφαρμογές και τα προβλήματα των οπτικών ινών.....	40
2.4.1 Οι εφαρμογές των οπτικών ινών.....	40
2.4.2 Τα προβλήματα των οπτικών ινών.....	41
2.5 Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των οπτικών ινών.....	43
2.6 Τυποποιημένες μορφές οπτικών καλωδίων.....	44
2.7 Η δομή ενός δικτύου οπτικών ινών.....	45
Επίλογος.....	45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Πρόλογος.....	46
3. Εισαγωγικά.....	46
3.1 Η δομή των τηλεπικοινωνιακών δικτύων.....	46
3.2 Η οπτική τεχνολογία.....	47
3.2.1 Οπτικοί πομποί.....	47
3.2.2 Οι οπτικοί ενισχυτές ίνας ερβίου και σπανίων γαιών.....	48
3.2.3 Η πολυπλεξία μήκους κύματος.....	48
3.3 Τα σημερινά οπτικά δίκτυα.....	50
3.3.1 Η δομή των δικτύων δρομολόγησης μήκους κύματος.....	51
3.3.2 Το οπτικό επίπεδο.....	51
3.4 Οι τοπολογίες οπτικών δικτύων.....	52
3.4.1 Point to multipoint - Παθητικά οπτικά δίκτυα (PON).....	53
3.4.2 Point to point - Ενεργός κόμβος (active node).....	54
3.4.3 Ring.....	55
3.5 Τεχνολογία δικτύου πάνω από το οπτικό στρώμα.....	56
3.6 Επίγειες οπτικές επικοινωνίες - Τεχνολογία ftx.....	58
3.7 Υποθαλάσσιες οπτικές επικοινωνίες.....	61
3.8 Μητροπολιτικά δίκτυα οπτικών ινών.....	61
Επίλογος.....	62

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ

Πρόλογος.....	63
4. Εισαγωγικά.....	63
4.1 Το πρόβλημα του τελευταίου μιλίου.....	64
4.2 Οι συνδέσεις ISDN30.....	65

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Νικόλαου Κακού

4.3 Τα σημερινά προβλήματα του συστήματος παροχής υπηρεσιών.....	66
4.4 Το κόστος, η απόδοση και οι οικονομίες κλίμακας.....	67
4.5 Προσπάθειες για ανεύρεση λύσης.....	69
4.5.1 Ο ασύρματος τοπικός βρόγχος.....	69
4.5.2 Το πρότυπο WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access).....	70
4.5.3 Η ευρυζωνικότητα μέσω γραμμών ηλεκτρικού ρεύματος.....	71
Επίλογος.....	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ - ΚΟΙΤΩΝΤΑΣ ΜΠΡΟΣΤΑ

Πρόλογος.....	75
5.1 Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων.....	75
5.2 Η αναβάθμιση της οπτικής δικτύωσης και των υποσυστημάτων.....	75
5.3 Η οπτική μετάδοση υψηλής χωρητικότητας.....	76
5.4 Οι βλέψεις των εταιρειών τεχνολογίας για το μέλλον.....	77
Επίλογος.....	79

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	79
-------------------	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	80
-------------------	----

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο στόχος αυτής της πτυχιακής, είναι η μελέτη των οπτικών δικτύων, μιας πολλά υποσχόμενης τεχνολογίας, η οποία αναπτύχθηκε με ραγδαίους ρυθμούς και είναι σίγουρο ότι έχει φέρει επαναστατικές αλλαγές στις τηλεπικοινωνίες.

Στο *πρώτο κεφάλαιο*, γίνεται μια συνοπτική αναφορά σε βασικές έννοιες των δικτύων υπολογιστών (ορισμός, ταξινόμηση, δομικά στοιχεία, χρήσεις των δικτύων, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, πρωτόκολλα και αρχιτεκτονικές δικτύων)

Στο *δεύτερο κεφάλαιο*, γίνεται μια εκτενής ανάλυση σε βασικές έννοιες των οπτικών ινών (τι είναι οι οπτικές ίνες, δομή και είδη οπτικών καλωδίων, εφαρμογές και προβλήματα, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα οπτικών ινών)

Στο *τρίτο κεφάλαιο*, γίνεται λόγος για την εμφάνιση και την εξέλιξη που είχαν τα οπτικά δίκτυα στα προηγούμενα χρόνια.

Στο *τέταρτο κεφάλαιο*, γίνεται λόγος για την ανάπτυξη που έχουν τα οπτικά δίκτυα στη σημερινή εποχή, καθώς και το άμεσο μέλλον τους.

Στο *πέμπτο κεφάλαιο*, γίνεται αναφορά για την μελλοντική εξέλιξη των οπτικών δικτύων, όπως αυτή διαγράφεται στις επόμενες δεκαετίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ

Πρόλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια επισκόπηση στις βασικές έννοιες των δικτύων με απώτερο στόχο την καλύτερη κατανόηση από πλευράς αναγνώστη. Επιπλέον, θα εξεταστεί η διάκριση των κατηγοριών των δικτύων με βάση παράγοντες όπως η τοπολογία, η γεωγραφική κάλυψη, το μέσο μετάδοσης κ.α. Στο τέλος, θα γίνει αναφορά στις χρήσεις του δικτύου, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν.

1. Εισαγωγικά

Τα δίκτυα υπολογιστών είναι μια κατηγορία των τηλεπικοινωνιακών δικτύων, που επιτρέπει στους χρήστες να επικοινωνούν μεταξύ τους, μέσω αποστολής και λήψης δεδομένων. Καθημερινά, τα άτομα έρχονται σε επαφή με τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών, όπως για παράδειγμα το τηλεφωνικό και τηλεοπτικό δίκτυο. (Diringer, 1982)

Τι είναι όμως αυτό που διαφοροποιεί τα δίκτυα Η/Υ από τα προαναφερθέντα; Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα σχεδιάστηκαν για να εξυπηρετούν μια συγκεκριμένη υπηρεσία (μετάδοση φωνής, εικόνας και ήχου), επομένως απαιτούν ειδικό τερματικό εξοπλισμό για να λειτουργήσουν, δηλαδή τις γνωστές σε όλους συσκευές της τηλεόρασης και του τηλεφώνου. Αντίθετα, τα δίκτυα Η/Υ είναι πιο ολοκληρωμένα, λειτουργούν με τερματικές συσκευές όπως υπολογιστές, που εξυπηρετούν πολλές μορφές πληροφορίας (φωνή, ήχο, εικόνα και βίντεο). Αυτό οδήγησε στην ενοποίηση των υπηρεσιών.

1.1 Ανάγκη για επικοινωνία και δικτύωση

Στην αρχαιότητα, για να επικοινωνήσει ο άνθρωπος, κατασκεύασε μηχανές μετάδοσης δεδομένων, τις φρυκτωρίες. Με την πάροδο του χρόνου, οι χρήστες δεν επικοινωνούσαν άμεσα, αφού υπήρχε ένας μεγάλος υπολογιστής που εκτελούσε όλα τα προγράμματα και έβγαζε τα αποτελέσματά τους. Λίγο αργότερα, πολλοί χρήστες μέσω των υπολογιστών τους, συνδέονταν ταυτόχρονα και επικοινωνούσαν άμεσα με έναν κεντρικό υπολογιστή, με αποτέλεσμα να εξυπηρετούνται γρήγορα τα αιτήματά τους. Έπειτα, εμφανίστηκαν οι μίνι-

υπολογιστές και οι χρήστες μοιράζονταν αρχεία, προγράμματα, περιφερειακά, με την ανταλλαγή δεδομένων να είναι ακόμη αργή, ειδικά με τους απομακρυσμένους γεωγραφικά υπολογιστές. Στη μετέπειτα εξέλιξη όμως, υπήρχαν υπολογιστές που βρίσκονταν πλέον παντού. Οι χρήστες επικοινωνούσαν, εκτελούσαν εφαρμογές και έστελναν με μεγάλη ταχύτητα δεδομένα, είτε στον ίδιο χώρο, είτε σε μεγάλες αποστάσεις.

Σήμερα, με τη ραγδαία ανάπτυξη των Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ), η επικοινωνία γίνεται γρήγορα και άμεσα με όλους, ανεξαρτήτως απόστασης, τόσο ενσύρματα όσο και ασύρματα. Επίσης διευκολύνεται η συνεργασία και η ανταλλαγή κάθε μορφής δεδομένων (κείμενο, ήχος, εικόνα, βίντεο) ταυτόχρονα, μέσα από αυτόνομους και συνδεδεμένους μεταξύ τους υπολογιστές (desktop, laptop, smartphone, tablet). (Berko et al, 2010)

Ωστόσο, η εξέλιξη αυτή των υπολογιστών και των δικτύων, οδήγησε σε αύξηση των επικοινωνιακών αναγκών και απαιτήσεων για δικτύωση. Τα πρώτα υπολογιστικά συστήματα είχαν μικρές επικοινωνιακές ανάγκες, το χρησιμοποιούμενο υλικό ήταν πολλών κατασκευαστών, με τις εταιρείες να έχουν αποκλειστική δέσμευση μαζί τους και το λογισμικό ήταν περιορισμένων δυνατοτήτων, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα, την έλλειψη της μεταξύ τους συνεργασίας. Οι σύγχρονες επικοινωνιακές ανάγκες, απαιτούσαν τα συστήματα να είναι **ανοικτά**, δηλαδή να επικοινωνούν ακόμα και αν είχαν διαφορετικό υλικό/λογισμικό. Για την κάλυψη λοιπόν των παραπάνω αναγκών, ο οργανισμός τυποποίησης ISO, πρότεινε το μοντέλο αρχιτεκτονικής δικτύου OSI, για το οποίο θα γίνει αναφορά στην συνέχεια.

1.2 Ο ορισμός ενός δικτύου

Τα δίκτυα δημιουργήθηκαν για να καλύψουν τις ανάγκες που υπήρχαν λόγω της τεράστιας εξάπλωσης της χρήσης των Η/Υ. Στη σημερινή εποχή, αποτελούν ισχυρά μέσα επικοινωνίας μεταξύ ανθρώπων που βρίσκονται σε ίδια αλλά και σε διαφορετικά μέρη του κόσμου. Δίκτυο υπολογιστών, είναι ένα σύνολο από τερματικές συσκευές ή/και αυτόνομους υπολογιστές (τους επονομαζόμενους κόμβους), τα οποία συνδέονται μεταξύ τους ενσύρματα ή ασύρματα, ανταλλάσσουν πληροφορίες (προγράμματα, αρχεία, δεδομένα, μηνύματα) και διαμοιράζονται κοινούς, υπάρχοντες πόρους του συστήματος. Οι πόροι είναι

διαθέσιμοι σε οποιονδήποτε κόμβο είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο, ανεξάρτητα της θέσης στην οποία βρίσκεται. (Αρβανίτης, 2007)

1.3 Δομικά στοιχεία ενός δικτύου

Σε αυτό το σημείο, θεωρείται σωστό να γίνει εξήγηση των εννοιών που αποτελούν βασικά στοιχεία, τα οποία κρίνονται απαραίτητα για να δημιουργηθεί/στηθεί ένα δίκτυο.

- ✓ Το υλικό διασύνδεσης: Δηλαδή οι υπολογιστές, οι περιφερειακές συσκευές που συνδέονται στο δίκτυο, καθώς και οι δικτυακές συσκευές, όπως είναι οι επαναλήπτες (hub), οι μεταγωγί (switch), οι γέφυρες και οι δρομολογητές.

Οι **υπολογιστές δικτύου** διακρίνονται σε εξυπηρετητές (servers) και σταθμούς εργασίας. Οι servers, είναι οι υπολογιστές που έχουν σαν ευθύνη, τη συνεχή παροχή των δικτυακών υπηρεσιών, ενώ οι σταθμοί εργασίας είναι υπολογιστές περιορισμένων δυνατοτήτων, στους οποίους εργάζονται οι διάφοροι χρήστες.

Η **κάρτα δικτύου** (network interface controller), είναι ένα εξάρτημα υλικού, το οποίο πρέπει οπωσδήποτε να διαθέτει ένας υπολογιστής-σταθμός, προκειμένου να επιτυγχάνεται ενσύρματη ή ασύρματη σύνδεση στο δίκτυο, έτσι ώστε να μπορεί να επικοινωνήσει με τους άλλους σταθμούς.

Το **hub** (διανομέας) είναι μια συσκευή που συνδέει δύο ή περισσότερους υπολογιστές, έτσι ώστε να μπορούν να επικοινωνήσουν. Επιπλέον, υπάρχει και το **switch**, το οποίο είναι μια συσκευή ανώτερου επιπέδου, η οποία δέχεται δεδομένα, γνωρίζει τη διεύθυνσή τους και τα προωθεί στον προορισμό τους, χωρίς να συγκρουστούν μεταξύ τους. (Tamara, 2011)

Η **γέφυρα**, είναι μια επιπλέον συσκευή, η οποία συνδέει δύο ή περισσότερα ομοειδή και ετερογενή δίκτυα μεταξύ τους. Ο **δρομολογητής** (router), έχει σαν καθήκον να διασυνδέει διάφορα δίκτυα μεταξύ τους, δρομολογώντας (στέλνοντας) τις πληροφορίες τους, είτε προς τον επόμενο δρομολογητή, είτε απευθείας στον παραλήπτη.

- ✓ Το λογισμικό: Περιλαμβάνει το λειτουργικό σύστημα του δικτύου (δηλαδή ένα πρόγραμμα που διαχειρίζεται τους πόρους ενός υπολογιστή και ενός δικτύου) και τις εφαρμογές που εκτελούν οι χρήστες των σταθμών εργασίας.

- ✓ Το μέσο σύνδεσης: Μπορεί να είναι είτε ενσύρματο (οπτική ίνα, ομοαξονικό καλώδιο, συνεστραμμένο καλώδιο), είτε ασύρματο (ραδιοκύματα, μικροκύματα, υπέρυθρες). (Αρβανίτης, 2007)

1.4 Μετάδοση δεδομένων

1.4.1 Η διαδικασία της μετάδοσης

Για να γίνει η μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των υπολογιστών ενός δικτύου, πρέπει να προϋπάρχει ένα απλό *μοντέλο επικοινωνίας*, δηλαδή ένας πομπός, ένα μέσο μετάδοσης και ένας δέκτης.

Η διαδικασία της μετάδοσης των δεδομένων έχει ως εξής: Η πληροφορία μπορεί να είναι οποιασδήποτε μορφής (μια τηλεφωνική συνομιλία, μια εικόνα, μια ιστοσελίδα ή οποιαδήποτε άλλη ακατέργαστη μορφή, δηλαδή ένα δεδομένο). Το δεδομένο είναι μια σειρά από δυαδικά ψηφία 0 ή 1 (bits). Τα bits συνδυάζονται ανά οκτώ, σε ομάδες που ονομάζονται bytes.

Για να μεταδοθούν αρχικά τα δεδομένα, θα πρέπει να κωδικοποιηθούν μέσω κάποιου κώδικα (όπως για παράδειγμα ο ASCII), δηλαδή να αναπαρασταθεί κάθε χαρακτήρας (αριθμός, γράμμα, σύμβολο) με ένα συγκεκριμένο αριθμό από bytes. Στην συνέχεια, ο πομπός θα πάρει αυτά τα bytes και θα τα μετατρέψει (ή αλλιώς διαμορφώσει) σε ηλεκτρικό σήμα (αναλογικό ή ψηφιακό), το οποίο θα μεταφερθεί από το μέσο μετάδοσης. Όταν αυτό το σήμα φτάσει στον δέκτη, αυτός θα το αποδιαμορφώσει, θα το αποκωδικοποιήσει και θα επεξεργαστεί τελικά τα δεδομένα που αυτό περιείχε. (Savard, 2013)

Το ηλεκτρικό σήμα κατά την μετάδοση εξασθενεί, λόγω θορύβου ή μεγάλης απόστασης, με αποτέλεσμα να μην φτάνει σε κάποιες περιπτώσεις, όπως αρχικά είχε μεταδοθεί από τον προορισμό. Για το λόγο αυτό, γίνεται η διαμόρφωση-αποδιαμόρφωση και η κωδικοποίηση-αποκωδικοποίηση του κάθε ηλεκτρικού σήματος.

Συνολικά, η διαδικασία της μετάδοσης των δεδομένων περιλαμβάνει τα πιο κάτω στάδια:

- ✓ Έναν υπολογιστή-πομπό, ο οποίος αποστέλλει τα δεδομένα.

- ✓ Ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας, δηλαδή τους κανόνες επικοινωνίας μεταξύ του πομπού και του δέκτη.
- ✓ Ένα μέσο μετάδοσης ή γραμμή επικοινωνίας, ενσύρματο είτε ασύρματο.
- ✓ Έναν υπολογιστή-δέκτη, ο οποίος παραλαμβάνει τα δεδομένα.

1.4.2 Είδη κατευθύνσεων μετάδοσης δεδομένων

Η γραμμή επικοινωνίας είναι το μέσο μεταφοράς των δεδομένων στο δίκτυο. Αποτελείται από ένα ή περισσότερα κανάλια που μεταφέρουν δεδομένα προς τη μια ή την άλλη κατεύθυνση της γραμμής. Οι τρόποι κατεύθυνσης των δεδομένων, κατηγοριοποιούνται στα πιο κάτω είδη:

- ✓ *Τη μετάδοση μονόδρομης κατεύθυνσης (simplex):* Σε αυτή την περίπτωση, τα δεδομένα κινούνται πάντοτε σε μια μόνο κατεύθυνση. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας μετάδοσης, είναι οι ραδιοφωνικές εκπομπές.
- ✓ *Τη μη ταυτόχρονη μετάδοση αμφίπλευρης κατεύθυνσης (half duplex):* Με αυτό τον τρόπο, τα δεδομένα κινούνται και προς τις δύο κατευθύνσεις άλλα όχι ταυτόχρονα. Ένα παράδειγμα τέτοιας μετάδοσης, είναι ο ασύρματος.
- ✓ *Τέλος, την ταυτόχρονη μετάδοση αμφίπλευρης κατεύθυνσης (full duplex):* Εδώ, τα δεδομένα κινούνται ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις. Πολύ γνωστό παράδειγμα μιας τέτοιας μετάδοσης, είναι το τηλέφωνο. (Αλεξόπουλος, 2010)

1.4.3 Τρόποι μετάδοσης δεδομένων

Οι τρόποι μετάδοσης των δεδομένων, είναι οι εξής δύο:

A) Η παράλληλη μετάδοση: Με αυτό τον τρόπο, τα bit ενός χαρακτήρα μεταφέρονται ταυτόχρονα και ανεξάρτητα, μέσω μιας ξεχωριστής γραμμής μετάδοσης. Το βασικό της πλεονέκτημα είναι η ταχύτερη μεταφορά των δεδομένων. Από την άλλη πλευρά όμως, βασικό της μειονέκτημα είναι το αυξημένο κόστος σύνδεσης, λόγω της ύπαρξης μεγάλου μήκους καλωδίων.

B) Η σειριακή μετάδοση: Με αυτό τον τρόπο, τα bits ενός χαρακτήρα μεταφέρονται ομαδικά και σειριακά από τον πομπό στον δέκτη, μέσω μιας μόνο

γραμμής επικοινωνίας. Το πλεονέκτημα της είναι η μείωση του κόστους σύνδεσης και της αλλοίωσης σήματος, ενώ το μειονέκτημα της είναι η αργή μεταφορά δεδομένων. Επίσης, πρέπει να υπάρχει συγχρονισμός πομπού-δέκτη, ώστε ο δέκτης να ξέρει το τέλος του παλαιού και την αρχή του νέου χαρακτήρα. Για το λόγο αυτό, έχουμε τα δύο παρακάτω είδη, σειριακής μετάδοσης:

- ✓ *Την ασύγχρονη μετάδοση*, όπου κάθε χαρακτήρας μεταδίδεται ξεχωριστά και διαδοχικά, σε τυχαίες στιγμές. Σημαντική παρατήρηση αποτελεί το γεγονός ότι, ο πομπός και ο δέκτης δεν συγχρονίζονται πριν την μετάδοση του χαρακτήρα αλλά μόνο μέσω των bits της αρχής και του τέλους.
- ✓ *Τη σύγχρονη μετάδοση*, όπου μεταδίδονται ομάδες από χαρακτήρες, σε τακτές και σταθερές στιγμές. Εδώ, ο πομπός και ο δέκτης δεν συγχρονίζονται πριν την μετάδοση της ομάδας των χαρακτήρων αλλά μόνο μέσω των χαρακτήρων συγχρονισμού. (Αλεξόπουλος, 2010)

1.5 Πρωτόκολλα και αρχιτεκτονικές δικτύων

Στην καθημερινότητά τους οι άνθρωποι ακολουθούν και τηρούν κάποιους κανόνες για να εκτελέσουν πλήθος ενεργειών. Αυτό συμβαίνει και στα δίκτυα των υπολογιστών, στα οποία οι υπολογιστές επικοινωνούν μεταξύ τους, ακολουθώντας μια σειρά από κανόνες. Αυτοί οι κανόνες συνιστούν ένα *πρωτόκολλο επικοινωνίας*. Το κάθε πρωτόκολλο έχει λειτουργίες και επιλέγεται βάση κάποιων κριτηρίων, όπως ο τρόπος εγκατάστασης του δικτύου, το πλήθος των Η/Υ και των μεταφερόμενων πληροφοριών κ.α. Τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα επικοινωνιών σήμερα, είναι το TCP/IP, το HTTP, το FTP. (Witzany, 2012)

Το κάθε δίκτυο έχει μια δική του *αρχιτεκτονική*, η οποία καθορίζει το ρόλο και τη σχέση του υλικού/λογισμικού, που χρησιμοποιείται στην επικοινωνία, καθώς και τα πρωτοκόλλα που θα ακολουθούνται. Για λόγους ευκολίας σχεδίασης και υλοποίησης δικτύων, χρησιμοποιήθηκαν ανεξάρτητα δομικά στοιχεία, τα *στρώματα ή επίπεδα (layers)*, με τα οποία δημιουργήθηκε η στρωματοποιημένη αρχιτεκτονική δικτύου. Έτσι, τα προβλήματα επικοινωνίας έγιναν μικρά και διαχωρίσιμα και προστέθηκαν/βελτιώθηκαν υπηρεσίες, αφού οι τυχόν αλλαγές είναι ενός επιπέδου.

Ο αριθμός, τα ονόματα και οι λειτουργίες των layers διαφέρουν από αρχιτεκτονική σε αρχιτεκτονική. Κάθε layer έχει συγκεκριμένες υπηρεσίες, υλοποιείται με συγκεκριμένα πρωτοκόλλα, δέχεται τις υπηρεσίες του κατωτέρου layer, προσφέρει διαφανώς τις υπηρεσίες του στο ανώτερο και επικοινωνεί μέσω μηνυμάτων με γειτονικά επίπεδα άλλου δικτύου.

Τα διάφορα συστήματα αποτελούνταν από υλικό/λογισμικό διαφορετικών κατασκευαστών, με αποτέλεσμα να μη μπορούν να επικοινωνήσουν, δηλαδή να μην έχουν καλή διαλειτουργικότητα. Αυτός ήταν και ο λόγος που δημιουργήθηκαν τα πρότυπα δικτύων, δηλαδή πρωτόκολλα τα οποία έγιναν ευρέως αποδεκτά από διεθνείς οργανισμούς τυποποίησης όπως ISO, IEEE, ΕΛΟΤ κ.α. και έλυσαν την ασυμβατότητα ανάμεσα στο διαφορετικό υλικό/λογισμικό των συσκευών των διαφόρων συστημάτων, διευκολύνοντας την μεταξύ τους επικοινωνία. Συνεπώς, με αυτό τον τρόπο όλα τα συστήματα έγιναν ανοικτά και η αρχιτεκτονική τους τυποποιήθηκε. Γνωστά πρότυπα δικτύων είναι το *Ethernet*, το οποίο χρησιμοποιείται σήμερα στα τοπικά δίκτυα, καθώς και «το πρότυπο ανοιχτής αρχιτεκτονικής OSI», το οποίο αποτελείται από 7 επίπεδα.

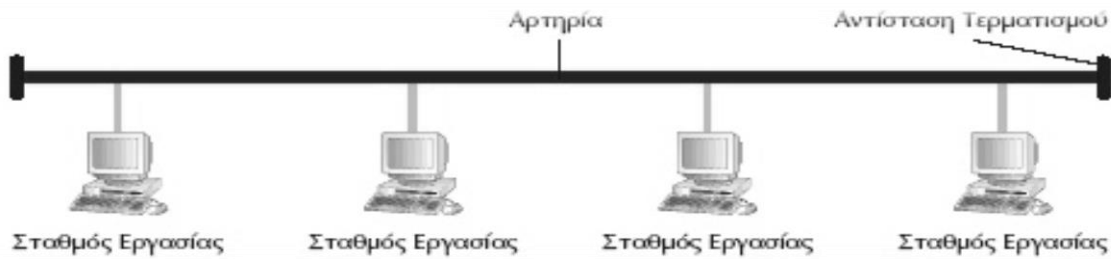
1.6 Ταξινόμηση των δικτύων

Τα δίκτυα ταξινομούνται σε κατηγορίες με βάση διάφορους παράγοντες. Η διάκρισή τους, γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την τοπολογία, τη γεωγραφική κάλυψη, τον τρόπο πρόσβασης, το μέσο μετάδοσης και το είδος της σύνδεσης.

1.6.1 Ταξινόμηση με βάση την τοπολογία

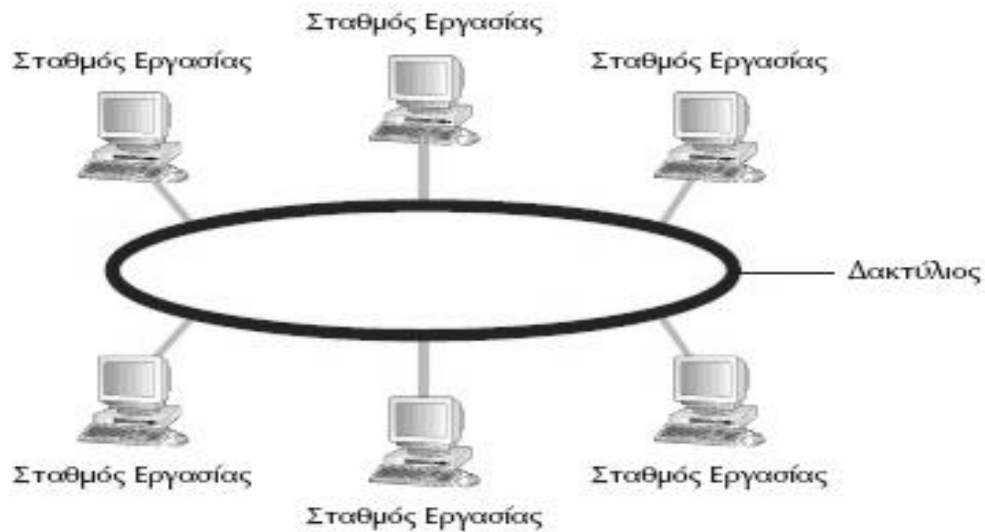
Η τοπολογία ενός δικτύου καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο διασυνδέονται μεταξύ τους οι υπολογιστές και οι διάφορες περιφερειακές συσκευές στο δίκτυο. Οι βασικότερες τοπολογίες είναι οι εξής: (Μαρκασιωτης, 2005)

A) Η τοπολογία αρτηρίας (bus): Οι σταθμοί εργασίας ενώνονται μεταξύ τους σειριακά, μέσω ενός μόνο καλωδίου, την αρτηρία. Βασικά πλεονεκτήματα είναι το μικρό κόστος και η ευκολία εγκατάστασης. Το βασικό της μειονέκτημα, είναι ότι αν υπάρξει πρόβλημα στην αρτηρία, τότε όλο το δίκτυο δεν θα μπορεί λειτουργήσει. (Εικόνα 1, επόμενη σελίδα)



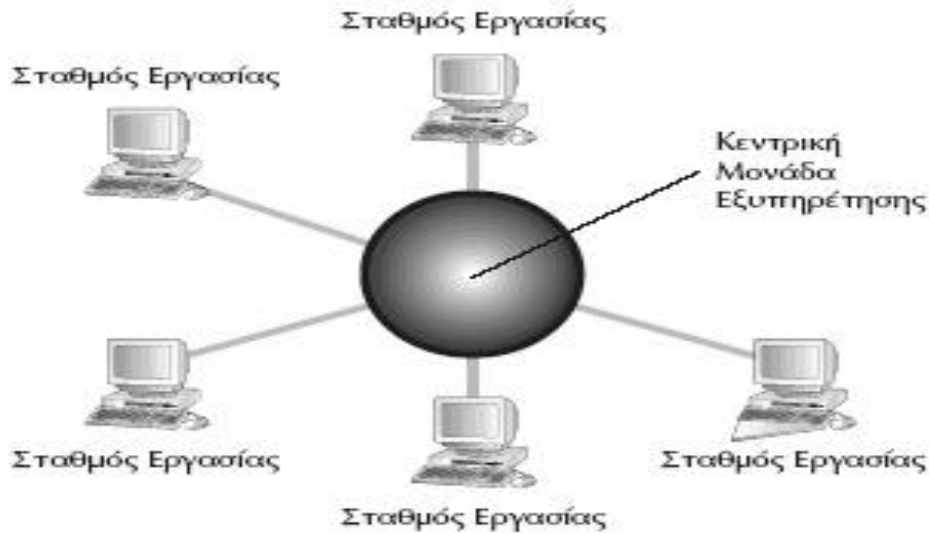
Εικόνα 1: Τοπολογία αρτηρίας

B) Η τοπολογία δακτυλίου (ring): Σε αυτή, οι σταθμοί εργασίας ενώνονται σε ένα καλώδιο και σχηματίζουν έναν δακτύλιο. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω του δακτυλίου, έχουν μονόδρομη κατεύθυνση και περνούν από όλους τους σταθμούς. Βασικό της πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι δεν υπάρχει κίνδυνος συγκρούσεων, αφού κάθε φορά περνάει από τον δακτύλιο ένα μόνο δεδομένο. Από την άλλη όμως, βασικό της μειονέκτημα είναι ότι αν υπάρξει κάποια βλάβη σε έναν σταθμό, διακόπτεται η λειτουργία του δικτύου. (Εικόνα 2) (Mitchell, 2010)



Εικόνα 2: Τοπολογία δακτυλίου

C) Η τοπολογία αστέρα (star): Οι σταθμοί εργασίας διατάσσονται σε μορφή αστεριού και συνδέονται point-to-point, με ένα κεντρικό switch, το οποίο βοηθά στην μεταξύ τους επικοινωνία και παρέχει τις δικτυακές υπηρεσίες που απαιτούνται. Το πλεονέκτημα της είναι ότι τα δεδομένα, περνούν από το switch, άρα φθάνουν στον σταθμό-παραλήπτη χωρίς την ύπαρξη συγκρούσεων. Το μειονέκτημα της είναι ότι αν υπάρξει κάποια βλάβη στο switch, τότε το αποτέλεσμα είναι η διακοπή της λειτουργίας όλου του δικτύου. (Εικόνα 3)



Εικόνα 3: Τοπολογία αστέρα

D) Η τοπολογία χάους (mesh): Οι σταθμοί εργασίας συνδέονται μέσω ξεχωριστών καλωδίων και επικοινωνούν μέσα από πολλές διαδρομές, είτε απευθείας με όλους τους άλλους σταθμούς, είτε με μερικούς σταθμούς, είτε μόνο με τους γειτονικούς τους σταθμούς. Το πλεονέκτημα της είναι ότι, εάν καταστραφεί κάποιο καλώδιο, οι σταθμοί έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν μέσω εναλλακτικών διαδρομών, χωρίς να χαθούν τα δεδομένα. Το μειονέκτημα της είναι ότι τα καλώδια είναι πολύ ακριβά. (Mitchell, 2010)

1.6.2 Ταξινόμηση με βάση τη γεωγραφική κάλυψη

Γεωγραφική κάλυψη είναι η απόσταση που έχουν μεταξύ τους οι υπολογιστές των δικτύων. Τα βασικότερα είδη δικτύων είναι τα παρακάτω:

A) Τα τοπικά δίκτυα (LAN): Πρόκειται για δίκτυα που καλύπτουν αποστάσεις μερικών εκατοντάδων μέτρων ή λίγων χιλιομέτρων. Είναι εγκατεστημένα σε μικρές γεωγραφικά περιοχές, όπως για παράδειγμα σε ένα σπίτι, σε ένα γραφείο ή ένα κτίριο, όπου οι διασυνδεδεμένοι υπολογιστές μοιράζονται κοινόχρηστους δικτυακούς πόρους. Η σύνδεση των υπολογιστών είναι είτε ενσύρματη (χρήση ομοαξονικού καλωδίου ή οπτικής ίνας), είτε ασύρματη (χρήση ραδιοκυμάτων ή δορυφορικών ζεύξεων). Οι δικτυακές συσκευές που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ των LAN είναι τα hub, τα switches, οι γέφυρες και οι δρομολογητές. Τα βασικότερα χαρακτηριστικά τους είναι το περιορισμένο μέγεθός τους, η πολλαπλή πρόσβαση στο μέσο (μόνο ένας υπολογιστής μεταδίδει κάθε χρονική στιγμή), οι υψηλοί ρυθμοί μεταφοράς (10Mbps έως 10Gbps), η μεγάλη

επεκτασιμότητα, ο μικρός αριθμός συνδεδεμένων υπολογιστών και συσκευών, η μικρή καθυστέρηση μετάδοσης των δεδομένων, ο μικρός αριθμός σφαλμάτων και η χρήση ιδιωτικών μέσων.

B) Τα δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN): Πρόκειται για δίκτυα που καλύπτουν αποστάσεις δεκάδων χιλιομέτρων στην ίδια πόλη, όπως και αποστάσεις χιλιάδων χιλιομέτρων σε διαφορετικές πόλεις, κράτη, ακόμα και ηπείρους. Έχουν την ικανότητα να διασυνδέουν μεταξύ τους πολλά τοπικά δίκτυα. Η διασύνδεση μεταξύ των υπολογιστών, επιτυγχάνεται είτε ενσύρματα (χρήση καλωδίων τηλεφωνικού δικτύου και οπτικών ινών), είτε ασύρματα (με τη χρήση δορυφόρων). Οι δικτυακές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση και επικοινωνία μεταξύ των WAN, είναι ο δρομολογητής και η γέφυρα. Τα βασικά χαρακτηριστικά τους, είναι η μίσθωση δημόσιων τηλεπικοινωνιακών γραμμών, οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης (>622 Mbps) και ο αυξημένος αριθμός χρηστών. (Groth & Skandier, 2009)

C) Μητροπολιτικά δίκτυα (MAN): Είναι δίκτυα που συνδέουν μεταξύ τους δύο ή περισσότερα τοπικά δίκτυα ή δίκτυα περιοχής πανεπιστημιούπολεων, δεν επεκτείνονται έξω από μια κωμόπολη ή μια πόλη, δηλαδή καλύπτουν τις ανάγκες μιας ομάδας γειτονικών γραφείων μιας επιχείρησης ή μιας πόλης. Η επικοινωνία μεταξύ των υπολογιστών είναι ενσύρματη (χρήση κυρίως οπτικών ινών) αλλά και ασύρματη (χρήση μικροκυμάτων, ραδιοκυμάτων ή υπέρυθρων). Οι δικτυακές συσκευές που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ των δικτύων είναι τα switches και οι δρομολογητές. Βασικά χαρακτηριστικά τους είναι η μεγάλη τους ταχύτητα, η υποστήριξη δεδομένων, φωνής και εικόνας, η αύξηση σφαλμάτων στην μετάδοση και οι χαμηλοί ρυθμοί μετάδοσης (από 56 Kbps-100 Mbps).

D) Διαδίκτυο (Internet): Αποκαλείται “δίκτυο των δικτύων”. Με αυτό τον όρο, ονομάζουμε ένα σύνολο από διασυνδεδεμένα δίκτυα, που επικοινωνούν μέσω πρωτοκόλλων επικοινωνίας, όπως το TCP/IP και χρησιμοποιούν υπηρεσίες άλλων δικτύων. Επειδή τα δίκτυα μπορεί να έχουν διαφορετικό υλικό/λογισμικό, σημαντικό ρόλο στη διαδίκτυωση, παίζει και ο χρησιμοποιούμενος δικτυακός εξοπλισμός, που συνήθως είναι οι πύλες δικτύου, οι οποίες συνδέουν τα δίκτυα μεταξύ τους, κάνοντας τις κατάλληλες μετατροπές υλικού και λογισμικού. Ειδικότερα, συνδέει τα δίκτυα LAN και WAN, σε ένα διαρκώς επεκτάσιμο,

άγνωστου μεγέθους, ενιαίο δίκτυο. Βασικές υπηρεσίες του είναι, ο παγκόσμιος ιστός, η μεταφορά αρχείων, το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, το chat (ηλεκτρονική συνομιλία) κ.α. (Forouzan, 2003)

1.6.3 Ταξινόμηση με βάση τον τρόπο πρόσβασης

Ο όρος, τρόπος πρόσβασης, δείχνει το είδος του δικτύου στο οποίο υπάρχει πρόσβαση, σύμφωνα με τον τηλεπικοινωνιακό φορέα. Τα είδη δικτύων είναι τα εξής:

- ✓ **Τα ιδιωτικά δίκτυα:** Τα συγκεκριμένα, ανήκουν εξ ολοκλήρου σε ιδιωτικούς οργανισμούς και χρησιμοποιούν, είτε κάποιες αποκλειστικές γραμμές επικοινωνίας, από τους δημόσιους τηλεπικοινωνιακούς φορείς (τις οποίες παρεπιπτόντως δεν μοιράζονται με άλλους χρήστες), είτε ιδιόκτητες γραμμές επικοινωνίας.
- ✓ **Τα δημόσια δίκτυα:** Αυτά εξυπηρετούν τις συνδέσεις μεταξύ των απομακρυσμένων σημείων. Χρησιμοποιούνται αρκετά, όταν η απόσταση είναι μεγάλη και αποκλείεται η χρήση αποκλειστικών γραμμών, λόγω υψηλού κόστους.

1.6.4 Ταξινόμηση με βάση το μέσο μετάδοσης

Το μέσο μετάδοσης ή αλλιώς κανάλι επικοινωνίας, είναι το μέσο που μεταφέρει την πληροφορία. Σε αυτή την περίπτωση, τα δίκτυα διακρίνονται στις εξής κατηγορίες: (Αλεξόπουλος, 2010)

A) Στα ενσύρματα δίκτυα: Σε αυτή την κατηγορία, η σύνδεση δύο ή περισσότερων υπολογιστών, ανεξαρτήτως γεωγραφικής απόστασης, γίνεται με χρήση κάποιων από τα πιο κάτω ενσύρματα μέσα μετάδοσης:

- ✓ *Τα ομοαξονικά καλώδια:* Είναι πιο δύσκαμπτα και κοστίζουν περισσότερο από τα άλλα καλώδια. Αποτελούνται επίσης, από δύο χάλκινους αγωγούς, έναν εσωτερικό και έναν εξωτερικό, οι οποίοι έχουν τον ίδιο άξονα. Ο εξωτερικός αγωγός καλύπτεται από ένα προστατευτικό περίβλημα και χωρίζεται από τον εσωτερικό, με την τοποθέτηση ενός μονωτικού υλικού. (Εικόνα 4)



Εικόνα 4: Η δομή του ομοαξονικού καλωδίου

Εξαιτίας της κατασκευής τους, τα ομοαξωνικά καλώδια είναι καλά θωρακισμένα και ανθεκτικά σε θορύβους και εξασθενήσεις σημάτων. Μπορούν επίσης να καλύψουν μεγάλες αποστάσεις και να προσφέρουν μεγάλο εύρος ζώνης, άρα υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (1 GHz). Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ευρέως σε αναλογικές μεταδόσεις, όπως για παράδειγμα στην καλωδιακή τηλεόραση και σε ψηφιακές μεταδόσεις (συνήθης χρήση, σε τοπικά δίκτυα) (McQuerry, 2003)

- ✓ *Τα καλώδια συνεστραμμένων ζευγών:* Τα καλώδια αυτά, αποτελούνται από 4 ζεύγη συνεστραμμένων χάλκινων συρμάτων, τα οποία περιβάλλονται από μονωτικό υλικό (Εικόνα 7). Όσο πυκνότερο είναι το πλέξιμο των καλωδίων, τόσο ανθεκτικότερα είναι σε θόρυβο και παρεμβολές, παρέχοντας μεγάλη χωρητικότητα και υψηλό ρυθμό μετάδοσης (έως 1 Gbps), σε μικρές και κοντινές πάντα αποστάσεις. Υπάρχουν δύο είδη καλωδίων συνεστραμμένων ζευγών. Το ένα είναι τα αθωράκιστα συνεστραμμένα καλώδια και το δεύτερο, τα θωρακισμένα συνεστραμμένα καλώδια. Τα *αθωράκιστα συνεστραμμένα καλώδια (UTP)*, αποτελούνται από ζεύγη χάλκινων συρμάτων που περιβάλλονται από πλαστικό μονωτικό υλικό και το οποίο παρέχει λιγότερη ανοχή στον θόρυβο. Ανάλογα με την πυκνότητα της πλέξης, χωρίζονται σε 7 κατηγορίες (cat1-cat7). Χρησιμοποιούνται ευρέως στις τηλεφωνικές γραμμές, αφού είναι φθηνά και εύκολα στην εγκατάσταση, την επισκευή και τη συντήρησή τους. Από την άλλη πλευρά, τα *θωρακισμένα συνεστραμμένα καλώδια (STP)*, αποτελούνται από ζεύγη χάλκινων συρμάτων που προστατεύονται από μεταλλικό περίβλημα, το οποίο προσφέρει μεγάλη ανοχή σε θόρυβο και ηλεκτρικές παρεμβολές. Αυτός είναι και ο λόγος που συνήθως τα συναντάμε σε αεροδρομια ή νοσοκομεία. (Αρβανίτης και άλλοι, 2007)

- ✓ *Οι οπτικές ίνες:* Είναι ειδικά γυάλινα ή πλαστικά νήματα με διάμετρο ανθρώπινης τρίχας. Το υλικό κατασκευής τους, επιτρέπει τη μετάδοση φωτός από το εσωτερικό τους. Συνήθως τις συναντάμε συγκεντρωμένες σε δέσμες που σχηματίζουν ένα οπτικό καλώδιο. Αυτό το οπτικό καλώδιο, αποτελείται από 3 τμήματα: τον πυρήνα, την εσωτερική επένδυση και το περίβλημα. Υπάρχουν δύο είδη οπτικών ινών: οι μονότροπες και οι πολύτροπες. Χρησιμοποιούνται στα δίκτυα υπολογιστών και επιτρέπουν ασφαλείς μεταδόσεις φωτεινών σημάτων σε μεγάλες αποστάσεις και με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Είναι ανθεκτικές στην απώλεια σήματος, στο θόρυβο και στις παρεμβολές, έχουν πολύ μικρό βάρος και ταυτόχρονα είναι λεπτές αλλά κοστίζουν πολύ, είναι δύσκαμπτες και παρουσιάζουν δυσκολίες στην εγκατάστασή τους. Εδώ θα ήταν καλό να σημειωθεί ότι, οι οπτικές ίνες θα μελετηθούν αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο. (Hecht, 2002)

B) Τα ασύρματα δίκτυα: Η επικοινωνία και η σύνδεση δύο ή περισσότερων υπολογιστών, ανεξαρτήτως απόστασης, γίνεται είτε απευθείας (για παράδειγμα με τα ad-hoc δίκτυα), είτε με τη χρήση κάποιων ενδιάμεσων σημείων πρόσβασης (όπως στην περίπτωση της κινητής τηλεφωνίας). Η μεταφορά των δεδομένων γίνεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα, δηλαδή με κάποιο από τα παρακάτω ασύρματα μέσα μετάδοσης:

- ✓ *Τα ραδιοκύματα:* Είναι μια κατηγορία των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, η οποία καλύπτει πολύ μεγάλες περιοχές συχνοτήτων (από 3 KHz έως και 300 MHz), καθώς επίσης και αποστάσεις από 1 m μέχρι και 100 km. Για να μεταδοθούν, χρησιμοποιείται μια κεραία, το κύκλωμα της οποίας διαρρέει ρεύμα που απελευθερώνει ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Αυτά τα κύματα, τα συλλέγει η κεραία λήψης, η οποία δεν χρειάζεται να έχει οπτική επαφή με την κεραία εκπομπής αυτών των κυμάτων. Τα ραδιοκύματα είναι ευέλικτα, υπερευαίσθητα σε παρεμβολές (όπως δηλαδή την αλλαγή των καιρικών συνθηκών) και έχουν επιπλέον την ιδιότητα να διαπερνούν αδιαφανή αντικείμενα, όπως τους τοίχους. Βρίσκουν ιδιαίτερα μεγάλη εφαρμογή, στην ασύρματη σταθερή και κινητή τηλεφωνία, στη ραδιοφωνία (κλίμακα FM) και στις ασύρματες τηλεοπτικές μεταδόσεις. Ανάλογα με τη συχνότητά τους

χωρίζονται σε 5 κατηγορίες (υπέρμακρα, μακρά, μεσαία, βραχεία και υπερβραχεία). (Anderson & Johnnesson, 2006)

- ✓ *Επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις:* Είναι ραδιοκύματα υψηλών συχνοτήτων (από 300 MHz έως και 30 GHz). Ανάλογα με το μήκος κύματός τους, χωρίζονται σε 3 κατηγορίες (δεκατομετρικά, εκατοστομετρικά, χιλιοστομετρικά). Κύριο χαρακτηριστικό τους, είναι το γεγονός ότι μεταδίδονται ευθύγραμμα και ακολουθούν την καμπυλότητα της Γης, κινούμενα κατά μήκος της επιφάνειάς της με αποτέλεσμα το σήμα να εξασθενεί. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται αναμεταδότες, οι οποίοι ενισχύουν και προωθούν το σήμα στον τελικό προορισμό του. Δεν διαπερνούν αδιαφανή αντικείμενα, ούτε μεταδίδονται εάν υπάρχουν εμπόδια, όπως βουνά ή ψηλά κτίρια ή ακόμα και κακές καιρικές συνθήκες. Η οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη, επιτυγχάνεται με παραβολικά πιάτα, τα οποία πρέπει να βρίσκονται τοποθετημένα σε ψηλούς πύργους και να απέχουν δεκάδες χιλιόμετρα μακριά το ένα από το άλλο. Έτσι, με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται κάλυψη μεγάλων αποστάσεων (δηλαδή οι επικοινωνίες σε δύσβατες περιοχές). Χρησιμοποιούνται αρκετά στην τηλεφωνική, τηλεοπτική και ραδιοφωνική επικοινωνία, αφού επεκτείνονται και εγκαθίστανται σε λίγο χρόνο, καθώς επίσης και για λόγους ασφαλούς επικοινωνίας των δικτύων, από τον κίνδυνο υποκλοπής δεδομένων. Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι, η επικοινωνία που συναντάται γίνεται μεταξύ πομπών και δεκτών που βρίσκονται στο έδαφος και γενικότερα στη γήινη ατμόσφαιρα. Αυτός είναι και ο λόγος που αναφέρονται συνήθως ως επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις. (Nave, 2014)

- ✓ *Δορυφορικές μικροκυματικές ζεύξεις:* Η δορυφορική επικοινωνία γίνεται με τη χρήση ειδικών διαστημικών δορυφόρων, οι οποίοι κινούνται κυκλικά γύρω από τη Γη και επίγειων σταθμών, με τους οποίους οι δορυφόροι έχουν συνεχή οπτική επαφή. Αυτό επιτυγχάνεται όταν ο δορυφόρος, είναι τοποθετημένος σε γεωστατική τροχιά, ύψους 36.000 km από την Γη, δηλαδή βρίσκεται στην ίδια θέση με τον επίγειο σταθμό. Έχουν την ικανότητα να λαμβάνουν με τις κεραιές τους, τα μικροκυματικά σήματα που εκπέμπουν οι επίγειοι σταθμοί σε συγκεκριμένες συχνότητες, τα ενισχύουν και τα

αναμεταδίδουν σε διαφορετική συχνότητα προς αυτούς, μέσω ενός από τους 20 δορυφορικούς αναμεταδότες τους οποίους διαθέτουν. Κάθε αναμεταδότης, έχει διαφορετικό εύρος ζώνης και λειτουργεί σε διαφορετικές συχνότητες, με αποτέλεσμα τα σήματα να διανύουν μεγάλες αποστάσεις και να μεταδίδονται καθυστερημένα και προς τις δύο κατευθύνσεις. Όμως, η καθυστέρηση αυτή καθιστά τη δορυφορική επικοινωνία ασύμφορη για τις τηλεφωνικές επικοινωνίες. Ωστόσο το μεγάλο πλεονέκτημα των δορυφορικών επικοινωνιών, είναι ότι το κόστος δέσμευσης ενός καναλιού είναι ανεξάρτητο της απόστασης που διανύουν τα σήματα. Έτσι, οι συνδρομητές διαφορετικών χωρών, συνδέονται μέσω των επίγειων σταθμών των υπεραστικών δικτύων της χώρας τους με το δορυφόρο και παρακολουθούν πολλά κανάλια, κάτι που σημαίνει ότι η δορυφορική επικοινωνία είναι κατάλληλη για τηλεοπτικές μεταδόσεις. Επίσης, είναι κατάλληλη για ραδιοφωνικές μεταδόσεις, καθώς και για επικοινωνία μεταξύ μακρινών περιοχών. Να σημειωθεί ότι η επικοινωνία που συναντάται, γίνεται μεταξύ πομπών και δεκτών που δεν βρίσκονται μόνο στο έδαφος (επίγειοι σταθμοί) αλλά και στο διάστημα (δορυφόροι). Γι' αυτό αναφέρονται συνήθως ως δορυφορικές μικροκυματικές ζεύξεις. (Brodkin, 2013)

- ✓ *Οι υπέρυθρες ακτίνες και οι ακτίνες laser:* Είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία καλύπτουν περιοχές συχνοτήτων μεγαλύτερες από 300 GHz. Δεν μπορούν να διαπεράσουν τοίχους, ενώ είναι ευαίσθητες σε φωτεινές παρεμβολές και παρουσιάζουν υψηλό ρυθμό μετάδοσης (περίπου 10 Mbps). Επειδή είναι φθηνές και εύκολες στην εγκατάσταση τους, εφαρμόζονται σε συνδέσεις γραφείων και κτιρίων, βοηθώντας αρκετά με αυτό τον τρόπο, στην επίτευξη άμεσης επικοινωνίας. Επιπλέον, έχουν μια κατεύθυνση και καλύπτουν αποστάσεις μέχρι 30 μέτρα, προσφέροντας ασφαλή επικοινωνία και υψηλές ταχύτητες σε καλές καιρικές συνθήκες. Ωστόσο, η κατεύθυνση τους μπορεί να αλλάξει, αν κατά τη μετάδοση της ακτίνας παρεμβάλλεται κάποιο άτομο, αντικείμενο ή κακός καιρός. Το βασικό χαρακτηριστικό τους, είναι ότι απαιτούν οπτική επαφή μεταξύ πομπού-δέκτη. Επιπροσθέτως, θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα ασύρματα μέσα έχουν διαφορετικές περιοχές συχνοτήτων και άρα διαφορετικό εύρος

ζώνης (η διαφορά της μέγιστης από την ελάχιστη συχνότητα μιας περιοχής συχνοτήτων), ενώ είναι ευαίσθητα σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και θορύβους και παρουσιάζουν χαμηλό επίπεδο ασφάλειας στις επικοινωνίες, μιας και το μέσο μετάδοσης είναι ο αέρας και όχι ένα καλώδιο. Αυτό βέβαια ισχύει και στα ενσύρματα μέσα, όπου εκτός των άλλων, σημαντικό ρόλο παίζει και η χωρητικότητα του μέσου (δηλαδή ο μέγιστος ρυθμός αποστολής ή λήψης δεδομένων χωρίς προβλήματα), καθώς και το είδος του σήματος που μεταφέρεται. (William, 2011)

1.6.5 Ταξινόμηση με βάση το είδος σύνδεσης

Είδος σύνδεσης, είναι ο τρόπος σύνδεσης και επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων δικτυακών υπολογιστών-κόμβων. Τα δίκτυα διακρίνονται στις εξής δύο κατηγορίες:

- ✓ **Στα δίκτυα με σύνδεση point to point:** Αυτά συνδέουν μόνο δύο κόμβους κάθε φορά, που επικοινωνούν άμεσα μεταξύ τους, χρησιμοποιώντας κάποια από τις διαφορετικές γραμμές επικοινωνίας. Το χαρακτηριστικό τους είναι ότι, το μήνυμα λαμβάνεται μόνο από τον κόμβο στον οποίο στάλθηκε και όχι από όλους τους κόμβους. Γνωστά *δίκτυα point to point*, είναι τα δίκτυα ευρείας περιοχής, το internet και τα τηλεφωνικά δίκτυα.
- ✓ **Στα δίκτυα με σύνδεση point to multiple point:** Αυτά συνδέουν ταυτόχρονα δύο ή και περισσότερους κόμβους μεταξύ τους. Οι δικτυακοί κόμβοι επικοινωνούν μέσα από ένα μοναδικό διαμοιραζόμενο κανάλι επικοινωνίας. Το χαρακτηριστικό τους είναι ότι, το μήνυμα που αποστέλλεται έχει τη διεύθυνση του παραλήπτη και λαμβάνεται από όλους τους κόμβους, οι οποίοι εξετάζουν τη διεύθυνση του παραλήπτη. Αν είναι αυτοί οι παραλήπτες τότε το κρατάνε, αλλιώς το αγνοούν. Γνωστά *δίκτυα point to multiple point*, είναι τα τοπικά δίκτυα και τα ραδιοφωνικά δίκτυα.

1.7 Χρήσεις των δικτύων

Η τεράστια χρήση των δικτύων, αλλάζει καθημερινά πλήθος από τομείς, όπως η οικονομία, η υγεία και άλλους, αφού πλέον έχει μειωθεί σημαντικά το κόστος των Η/Υ και έχουν αυξηθεί οι δυνατότητές τους.

1.7.1. Οι επιχειρηματικές εφαρμογές

Στη σημερινή εποχή, πολλές επιχειρήσεις χρησιμοποιούν υπολογιστές με στόχο την εκτέλεση διαφόρων εργασιών και την άμεση ενημέρωσή τους, μέσω των διαδικτυακών υπηρεσιών (e-mail, newsgroup, ftp) για ό,τι νέο υπάρχει, συλλέγοντας έτσι χρήσιμα δεδομένα. (Tanenbaum, 2003)

Οι πιο διαδεδομένες επιχειρηματικές_εφαρμογές είναι:

A) η τηλεδιάσκεψη, κατά την οποία τα άτομα που βρίσκονται σε διαφορετικά μέρη, μέσα από τις συσκέψεις που οργανώνονται, μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, ακούγοντας ο ένας τον άλλο και γράφοντας τις σημειώσεις τους σε ένα κοινόχρηστο εικονικό πίνακα.

B) το ηλεκτρονικό εμπόριο, δηλαδή η εκτέλεση συναλλαγών μέσω internet. Η εταιρεία επικοινωνεί διαδικτυακά με άλλες εταιρείες, με πελάτες και προμηθευτές της, βλέπει τις τιμές και τα νέα προϊόντα και πραγματοποιεί μια καλή ερεύνα αγοράς, πριν προχωρήσει σε κάποια ηλεκτρονική παραγγελία, όταν αυτή χρειαστεί.

1.7.2. Οι εφαρμογές εκπαίδευσης

Παλιότερα στην εκπαίδευση εφαρμόζονταν ο κλασικός τρόπος διδασκαλίας ενός μαθήματος, όπου ο καθηγητής και οι μαθητές βρίσκονται σε μια αίθουσα και παραδίδεται το μάθημα. Εάν ο μαθητής χάσει το μάθημα, υστερεί σε γνώσεις. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας όμως, άλλαξε δραστικά την εκπαιδευτική διαδικασία. Σήμερα, σχεδόν όλα τα σχολεία έχουν υπολογιστές, με τους οποίους το μάθημα διδάσκεται πιο ευχάριστα και οι μαθητές έρχονται σε επαφή με τις υπηρεσίες του Διαδικτύου.

Η πιο διαδεδομένη εκπαιδευτική εφαρμογή είναι η *ηλεκπαίδευση*, όπου ο μαθητής παρακολουθεί στον ίδιο ή σε διαφορετικό χρόνο το μάθημα, ενώ δίνεται η δυνατότητα να βρίσκεται σε διαφορετικό χώρο από τον καθηγητή και να μαθαίνει με τον ρυθμό που επιθυμεί και όχι με το ρυθμό που του επιβάλλουν. Επίσης, μέσω των online συνδέσεων και συζητήσεων σε τακτά χρονικά διαστήματα, ο καθηγητής γνωρίζει τους μαθητές του και επικοινωνεί καλύτερα μαζί τους, επομένως δεν υπάρχει αποξένωση ούτε μεταξύ τους, ούτε από την εκπαιδευτική διαδικασία. (Moore, Dickson-Deane & Galyen, 2011)

1.7.3. Οι εφαρμογές υγείας

Στην εποχή μας, πολλά νοσοκομεία διαθέτουν υπολογιστές προκειμένου να εκτελέσουν διάφορες εργασίες (συνταγογράφηση φαρμάκων, έλεγχος καρτέλας ασθενών, ραντεβού) και να ενημερωθούν διαδικτυακά για ό,τι νέο κυκλοφορεί, συλλέγοντας με αυτό τον τρόπο χρήσιμα δεδομένα και παρέχοντας ηλεκτρονικά μια καλύτερες υπηρεσίες υγείας. Η πιο διαδεδομένη εφαρμογή υγείας, είναι η *τηλεϊατρική*, η οποία προσφέρει κλινική βοήθεια σε ασθενείς, εξ αποστάσεως. Ο γιατρός και ο ασθενής ανεξαρτήτως περιοχής, επικοινωνούν εύκολα, μέσω ταυτόχρονης μετάδοσης ήχου και εικόνας.

1.7.4. Οικιακές εφαρμογές

Τα τελευταία χρόνια, δεν υπάρχει σπίτι που δεν θα έχει έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή για σύνδεση στο internet. Η ανάγκη των ανθρώπων για επικοινωνία και δικτύωση είναι μεγάλη. Γι' αυτό αναπτύχθηκε η *οικιακή δικτύωση*. Η βασική ιδέα της είναι, μελλοντικά, να δημιουργηθούν σπίτια έτοιμα για να δικτυωθούν, με τις διάφορες συσκευές να επικοινωνούν και να χρησιμοποιούνται διαδικτυακά. Παρατηρείται ότι αυτό υλοποιήθηκε μερικώς, αφού σήμερα υπάρχουν οικιακές συσκευές που μπορούν να δικτυωθούν (ακόμα και με χρήση τηλεχειριστηρίου) όπως για παράδειγμα τα laptop, τα κινητά τηλέφωνα, οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, τα κλιματιστικά, τα συστήματα συναγερμού διάρρηξης και πυρόσβεσης, τα ψυγεία, οι φούρνοι κ.α.

Το internet έχει αρκετές χρήσεις, τις οποίες καθημερινά απολαμβάνουν οι οικιακοί χρήστες. Οι πιο δημοφιλείς από αυτές είναι:

- A)** η πρόσβαση σε απομακρυσμένες πληροφορίες
- B)** η ηλεκτρονική επικοινωνία μέσω κοινωνικών δικτύων και e-mail
- C)** η διασκέδαση μέσω παιχνιδιών και ψυχαγωγικών προγραμμάτων (τηλεοπτικά και ραδιοφωνικά προγράμματα, προβολή ταινιών και μουσικών τραγουδιών)
- D)** το ηλεκτρονικό εμπόριο, συνήθως με τις ηλεκτρονικές παραγγελίες και τις ηλεκτρονικές πληρωμές. (Μαρκασιωτης, 2005)

1.7.5. Τα κοινωνικά δίκτυα

Ένα κοινωνικό δίκτυο, είναι στην ουσία μια πλατφόρμα, μέσω της οποίας αναπτύσσονται κοινωνικές σχέσεις οι άνθρωποι που είναι μέλη αυτού του δικτύου

και έχουν κάτι κοινό μεταξύ τους. Οι ιστοσελίδες κοινωνικής δικτύωσης, παρέχουν βασικές, δωρεάν υπηρεσίες, όπως δημιουργία προφίλ χρήστη, ανέβασμα εικόνων και βίντεο, σχολιασμό ενεργειών από άλλα μέλη του δικτύου ή μίας ομάδας, online ανταλλαγή μηνυμάτων κ.α. Επιπλέον, επιτρέπουν στα μέλη τους να μοιράζονται τις ιδέες τους, τις φωτογραφίες τους, τις δημοσιεύσεις τους, τις δραστηριότητες τους και τις εκδηλώσεις τους, με άλλα μέλη που ανήκουν και αυτά στο δίκτυό τους. Γνωστά κοινωνικά δίκτυα είναι το Facebook, το Twitter, το Instagram, το LinkedIn κ.α.

Από τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι τα κοινωνικά δίκτυα έχουν θετικά στοιχεία, αφού προάγουν το διάλογο, τη διατύπωση της γνώμης και της ελεύθερης σκέψης, την επικοινωνία και την επαφή μεταξύ ανθρώπων που βρίσκονται είτε κοντά, είτε μακριά, βοηθούν στην ανάπτυξη φιλικών σχέσεων και εξελίσσουν τις δεξιότητες των ανθρώπων. Ταυτόχρονα όμως, κρύβουν και διάφορους ηθικούς, κοινωνικούς και πολιτικούς κινδύνους, όπως η ρωγμώδης ασφάλεια των προσωπικών δεδομένων κάθε χρήστη, λόγω πιθανής εκμετάλλευσης και εξαπάτησης από τρίτους (για παράδειγμα μέσω hacking), η αβεβαιότητα της ταυτότητας του μέλους με το οποίο υπάρχει επικοινωνία, η εύκολη αποδοχή και λογοκρισία των απόψεων από τους άλλους, η υπερβολική κατανάλωση χρόνου σε παιχνίδια και εφαρμογές που προσφέρονται, η ψευδαίσθηση του ωραίου εικονικού κόσμου, με ταυτόχρονη απομάκρυνση από τον πραγματικό κόσμο και η έλλειψη της προσωπικής επικοινωνίας και ευχαρίστησης. (Eick & King)

1.8 Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των δικτύων

Τα δίκτυα έχουν πλέον μεγάλη εφαρμογή στις καθημερινές δραστηριότητες, όπως είναι για παράδειγμα οι τραπεζικές συναλλαγές και η κράτηση ξενοδοχείων ή ταξιδιωτικών εισητηρίων, αφού διευκολύνουν τη διεκπαιρέωση των όποιων εργασιών, σε ελάχιστο χρόνο.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των δικτύων είναι τα παρακάτω:

- ✓ Η επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών υπολογιστών και η εύκολη ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ τους.

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Νικόλαου Κακού

- ✓ Ο διαμοιρασμός πόρων του δικτύου, δηλαδή η διαθεσιμότητα και ταυτόχρονη χρήση κοινού εξοπλισμού, προγραμμάτων και δεδομένων από όλους τους υπολογιστές.
- ✓ Η εξοικονόμηση χρημάτων, μέσω της αγοράς ακριβού εξοπλισμού, ο οποίος όμως θα είναι κοινόχρηστος.
- ✓ Η παροχή υψηλής αξιοπιστίας, δηλαδή η παροχή κάποιων εναλλακτικών λύσεων στην εκτέλεση μιας εργασίας, όταν κάποιο τμήμα του εξοπλισμού υποστεί κάποια βλάβη, όπως με τη δημιουργία backup ασφαλείας σε άλλον υπολογιστή.
- ✓ Η ευκολία επέκτασης του δικτύου με προσθήκη νέων υπολογιστών ή κοινόχρηστων περιφερειακών συσκευών, ανάλογα πάντοτε με τις υπάρχουσες ανάγκες. (Madge et al, 2009)

Από την άλλη πλευρά, τα βασικότερα μειονεκτήματα των δικτύων είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Η εύθραυστη ασφάλεια που έχει πολλές αιτίες, όπως η απροστάτευτη δηκτικότητα και υποκλοπή των προσωπικών δεδομένων από hackers, η καταπάτηση των πνευματικών δικαιωμάτων, η αναξιοπιστία των διακινούμενων πληροφοριών, η προώθηση ακατάλληλου υλικού, η λογοκρισία των θέσεων ή απόψεων και η ανευθυνότητα των παρόχων δικτύου. Μερικά μέτρα προστασίας είναι η εισαγωγή password και η χρήση firewall.
- ✓ Η εξάπλωση κακόβουλου λογισμικού (ιοί, δούρειοι ίπποι, σκουλήκια), που μολύνει γρήγορα πολλούς υπολογιστές. Κάποια μέτρα προστασίας, είναι η εγκατάσταση προγραμμάτων antivirus και η τακτική λήψη backup ασφαλείας σε εξωτερικά αποθηκευτικά μέσα, όπως τα ευρέως χρησιμοποιούμενα usb sticks, οι εξωτερικοί σκληροί δίσκοι κ.α. (Junco, Heiberger & Loken, 2011)

Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό, έγινε μια εκτενής εισαγωγή στις βασικές έννοιες των δικτύων υπολογιστών, βοηθώντας τον αναγνώστη να κατανοήσει άνετα τις έννοιες που θα συναντήσει στο επόμενο κεφάλαιο. Αναλύθηκαν επίσης, διεξοδικά, οι

τρόποι με τους οποίους μπορεί να γίνει μια σύνδεση δικτύου, καθώς και τα είδη των δικτύων που χρησιμοποιούνται.

Το δεύτερο κεφάλαιο, θα εστιάσει στην *οπτική ίνα*, η οποία αποτελεί και το φυσικό μέσο μετάδοσης των λεγόμενων **οπτικών δικτύων**, που αποτελούν την ουσιαστική μελέτη της παρούσας πτυχιακής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

Πρόλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα γίνει μια εκτενής επισκόπηση σε βασικές έννοιες των οπτικών ινών. Θα πραγματοποιηθεί περιγραφή των τμημάτων που αποτελούν ένα οπτικό καλώδιο και θα γίνει αναφορά στις εφαρμογές, στα συνήθη προβλήματα, καθώς και στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι οπτικές ίνες. Στο τέλος, θα πραγματοποιηθεί μια μικρή ανάλυση των στοιχείων τα οποία αποτελούν ένα απλό οπτικό δίκτυο.

2. Εισαγωγικά

Η ιδέα της χρήσης του φωτός για τη μετάδοση δεδομένων, δεν είναι καινούρια. Από νωρίς, ο άνθρωπος χρησιμοποίησε διάφορες τεχνικές για να επικοινωνήσει και να μεταδώσει δεδομένα σε μακρινές ή κοντινές αποστάσεις.

Στην αρχαιότητα, πολλοί λαοί άναβαν φωτιές σε ψηλές κορυφές και χρησιμοποιούσαν σήματα καπνού για να ανταλλάξουν πληροφορίες σε μεγάλες χιλιομετρικές αποστάσεις. Στα μεταγενέστερα χρόνια, οι καπετάνιοι των πλοίων χρησιμοποιούσαν ισχυρούς φακούς, τους οποίους αναβόσβηναν για να επικοινωνούν άμεσα μεταξύ τους. Ωστόσο, ούτε η φωτιά ούτε τα τεχνητά μέσα βοήθησαν στην επικοινωνία, αφού σε πάρα πολλές περιπτώσεις, το φωτεινό σήμα που μεταδίδονταν εξασθενούσε λόγω καιρικών συνθηκών (υγρασία, ομίχλη) και δεν ξεχώριζε από το ηλιακό φως.

Με το πέρασμα των χρόνων, οι επικοινωνιακές ανάγκες αυξάνονταν και γίνονταν σταδιακά διάφορες προσπάθειες για την κάλυψη τους. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε ο οπτικός και ο ηλεκτρικός τηλεγράφος, μέσω των οποίων οι άνθρωποι έστελναν μηνύματα μεταξύ τους. Στη συνέχεια, για την επίτευξη επικοινωνιών σε κάθε απόσταση, χρησιμοποιήθηκε το τηλέφωνο και το φωνόφωνο, μόνο που η ατμόσφαιρα δεν μετέδιδε το φως όπως τα καλώδια τον ηλεκτρισμό. (Williams, 2007)

Αργότερα εμφανίστηκε η τεχνολογία που θα έλυσε το πρόβλημα της οπτικής μετάδοσης. Στηρίζονταν στο φαινόμενο της εσωτερικής αντανάκλασης, που περιορίζει το φως σε ένα υλικό που περιβάλλεται από άλλα υλικά, με χαμηλότερη δυνατότητα ανάκλασης, όπως το γυαλί στον αέρα. Ουσιαστικά

πρόκειται για τις οπτικές ίνες, δηλαδή λεπτές κυλινδρικές κλωστές, οι οποίες αναγκάζουν τις δέσμες φωτός να ακολουθήσουν μια συγκεκριμένη πορεία. Παρόλο που από τη Ρωμαϊκή εποχή κατασκευάζονταν γυάλινες ίνες, κανείς στη συνέχεια της ιστορίας δεν σκέφτηκε να χρησιμοποιήσει το γυαλί, ως υλικό μετάδοσης του φωτός. (Kouznetsov & Moloney, 2003)

Με την πάροδο του χρόνου, έγινε δυνατή η ψηφιακή μετάδοση δεδομένων, η οποία πραγματοποιούνταν με τη χρήση χάλκινων καλωδίων, που μετέφεραν διαμορφωμένα ηλεκτρικά σήματα. Με τον καιρό έγινε γνωστό ότι οι διαφανείς γυάλινες ίνες, είναι οι κατάλληλοι οδηγοί μεταφοράς του φωτός. Σε αυτό συνέβαλε η ανακάλυψη του λέιζερ, η δημιουργία συσκευών (από)διαμόρφωσης του φωτός, η χρήση κάποιων νέων υλικών και πηγών φωτός (φωτοδίοδοι, φωτοτρανζίστορ, LED). Έτσι, τα βαριά και δαπανηρά χάλκινα καλώδια αντικαταστάθηκαν από τις ελαφριές και φθηνές οπτικές ίνες, που παρουσίαζαν μεγάλη χωρητικότητα, δεν επηρεάζονταν πολύ από παρεμβολές και κάλυπταν επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων, με μικρή εξασθένηση του φωτεινού σήματος.

Σήμερα, οι οπτικές ίνες έχουν μπει για τα καλά στη ζωή μας, έχουν αλλάξει τον τομέα των τηλεπικοινωνιών και συνεχώς εξελίσσονται. Έχουν επίσης αξιοποιήσει το τεράστιο εύρος ζώνης που προσφέρει η οπτική περιοχή (υπεριώδες, ορατό φως, υπέρυθρο), ξεπερνώντας το διαθέσιμο εύρος ζώνης των μικροκυμάτων, ραδιοκυμάτων και δορυφορικών επικοινωνιών, καλύπτοντας αρκετά, τις ήδη αυξημένες τηλεπικοινωνιακές ανάγκες.

2.1 Τι είναι οι οπτικές ίνες

Οι οπτικές ίνες αποτελούν αναμφίβολα, μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, η οποία διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στις τηλεπικοινωνίες, στα δίκτυα και κατ'επέκταση στην καθημερινή ζωή. Πρόκειται για λεπτές, κυλινδρικές, γυάλινες ή πλαστικές ίνες με διάμετρο μιας ανθρώπινης τρίχας. Είναι εύκαμπτες και διαφανείς. Επιτρέπουν την εύκολη και άμεση μετάδοση φωτεινών παλμών σε μεγάλες αποστάσεις(>50 km), χωρίς ενίσχυση και με ταχύτητα που αγγίζει εκείνη του φωτός, κάτι που τις καθιστά πιο αποτελεσματικές από τα χάλκινα καλώδια. Επίσης, χρησιμοποιούνται έναντι των μεταλλικών καλωδίων, αφού τα σήματα ταξιδεύουν με μικρή απώλεια, χωρίς να επηρεάζονται παρά πολύ από τυχόν ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Η οπτική ίνα, στην ουσία αποτελεί έναν

φωτοοδηγό, αφού μπορεί να εγκλωβίζει ακτίνες led ή laser, οι οποίες αντανακλώνονται στο εσωτερικό της και αναγκάζονται να ακολουθήσουν μια συγκεκριμένη διαδρομή. Συνήθως, οι οπτικές ίνες βρίσκονται συγκεντρωμένες κατά χιλιάδες, σε δέσμες που σχηματίζουν το λεγόμενο *οπτικό καλώδιο*.

Τα οπτικά καλώδια με τη σειρά τους, διέπονται από κάποιες αρχές λειτουργίας. Οι κατασκευαστές τους, έπρεπε να λύσουν το πρόβλημα της διαρροής φωτός στο εξωτερικό του καλωδίου. Ο απώτερος στόχος τους, ήταν να βρεθεί ένας τρόπος ώστε το φως να παραμένει στο εσωτερικό του καλωδίου και να φτάνει χωρίς εξασθένιση στον προορισμό. Η λύση στο πρόβλημα ήρθε από ένα φαινόμενο της Φυσικής και της Οπτικής: την **ολική εσωτερική αντανάκλαση**, η οποία αποτελεί τη βασικότερη αρχή λειτουργίας, ενός οπτικού καλωδίου. Σύμφωνα με αυτή, όταν το φως αντανακλάται σε έναν κλειστό εσωτερικό χώρο, μπορεί να ταξιδέψει σε μεγάλες αποστάσεις φθάνοντας τελικά στο δέκτη χωρίς αλλοιώσεις.

Επομένως, ένα οπτικό καλώδιο καλύπτεται από ειδικό υλικό, το οποίο εξασφαλίζει, τόσο την ολική εσωτερική αντανάκλαση, όσο και την αποφυγή διαρροής φωτός εκτός του καλωδίου. Το φωτεινό σήμα φθίνει στο εσωτερικό της οπτικής ίνας, υπό συγκεκριμένη γωνία, ώστε να επιτευχθεί η κατάλληλη αντανάκλαση που θα αποτρέψει τη διαρροή του. Μέχρι να φθάσει στον προορισμό του, πραγματοποιεί χιλιάδες αντανακλάσεις στα τοιχώματα της οπτικής ίνας, τα οποία λειτουργούν σαν καθρέφτες. (Αλεξανδρή, 2002)

2.2 Η δομή ενός οπτικού καλωδίου

Τα οπτικά καλώδια μεταδίδουν ταυτόχρονα και αμφίπλευρα πληροφορίες, με τη μορφή παλμών φωτός και γι' αυτό το λόγο η τεχνολογία τους είναι πιο περίπλοκη από αυτή των χάλκινων καλωδίων. Αποτελούνται από πολλές ίνες, ώστε να υπάρχει μετάδοση και από τα δύο ακρα. Τα τμήματα που απαρτίζουν συνήθως ένα οπτικό καλώδιο (από μέσα προς τα έξω) είναι τα εξής:

- ✓ Μια κεντρική κυλινδρική ίνα, που ονομάζεται **πυρήνας (core)**. Το υλικό κατασκευής της είναι, είτε το πλαστικό, είτε συνήθως το λιωμένο πυριτικό γυαλί, ένα υλικό με υψηλό βαθμό διάθλασης. Αυτό αποτελεί το τμήμα, μέσω του οποίου μεταδίδεται το φως. Εγκλωβίζει τις ακτίνες φωτός και τις οδηγεί

στο τέλος της διαδρομής που πρέπει να ακολουθήσουν. Όσο στενότερος είναι ο πυρήνας, τόσο ταχύτερα μεταφέρονται τα φωτεινά κύματα και μάλιστα με τις ελάχιστες δυνατές απώλειες. (Hecht, 2005)

- ✓ Μια επικάλυψη που ονομάζεται **μανδύας ή επίστρωση (cladding)**. Αυτή περιβάλλει τον πυρήνα της ίνας και είναι συνήθως κατασκευασμένη από πυριτικό γυαλί (silica), μικρότερου βαθμού διάθλασης από αυτό του πυρήνα. Αυτό τον βοηθά να παγιδεύει τις εισερχόμενες φωτεινές ακτίνες, προκαλώντας τη συνεχή ανάκλαση και την πρόσπτωση τους στον πυρήνα, με γωνία μικρότερη της *κρίσιμης γωνίας*, ώστε να διανύουν αναλλοίωτες την πορεία τους μέσα στο μέσο. Αλλιώς, οι ακτίνες διαθλώνται στο εξωτερικό περίβλημα του καλωδίου και δραπετεύουν από το καλώδιο.

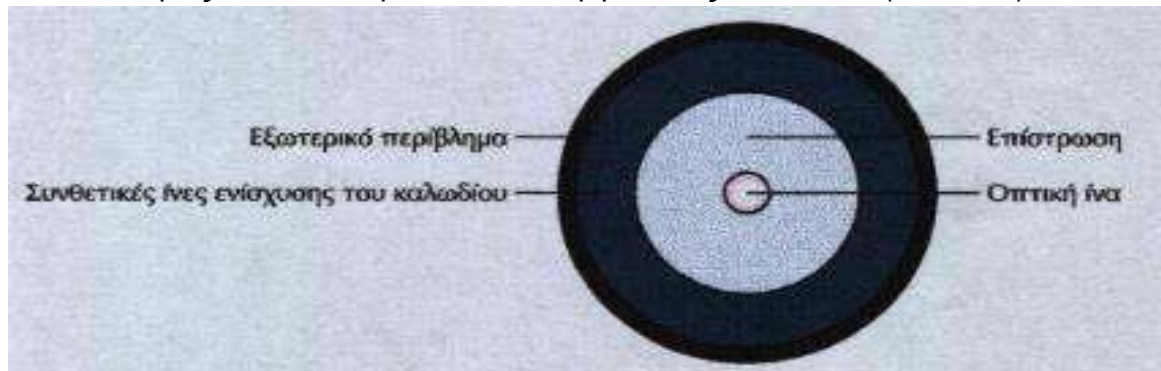
Ο δείκτης διάθλασης, δείχνει την αλλαγή κατεύθυνσης και ταχύτητας της φωτεινής ακτίνας, όταν περνά από το ένα υλικό στο άλλο. Η κρίσιμη γωνία ή αλλιώς το αριθμητικό διάφραγμα, είναι η μεγαλύτερη και ταυτόχρονα αποδεκτή γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας στον πυρήνα και καθορίζεται από τη διαφορά μεταξύ των δεικτών διάθλασης του πυρήνα και του μανδύα.

Συνήθως, επιλέγεται ο πυρήνας και ο μανδύας να κατασκευάζονται από γυαλί με διαφορετικούς δείκτες διάθλασης, ώστε να υπάρξει ολική ανάκλαση του φωτός μεταξύ της συνοριακής επιφάνειας τους, άρα και παγίδευση του στον πυρήνα, καθώς και η επιλογή της γωνίας πρόσπτωσης του φωτός. Ωστόσο, εκτός από τα *γυάλινα οπτικά καλώδια*, υπάρχουν τα *πλαστικά οπτικά καλώδια*, τα οποία είναι πολύτροπα, βηματικού δείκτη καλώδια, που χρησιμοποιούνται μόνο για κοντινές αποστάσεις και κυρίως σε εσωτερικούς χώρους, λόγω των υψηλών απωλειών και του χαμηλού εύρους διέλευσης συχνοτήτων που παρουσιάζουν. Τα συγκεκριμένα, χωρίζονται σε *εντελώς πλαστικά οπτικά καλώδια (POF)*, σε *σκληρού πυριτικού μανδύα οπτικά καλώδια (HCS)* και σε *πυριτικά, πλαστικού μανδύα οπτικά καλώδια (PCS)*. (Thyagarajan & Ghatak, 2007)

- ✓ Τις **ενισχυτικές συνθετικές ίνες**, που περιβάλλουν την επίστρωση. Είναι κατασκευασμένες από ισχυρό υλικό (Kevlar), προστατεύοντας έτσι το οπτικό καλώδιο, από πιθανά τραβήγματα που μπορεί να σπάσουν τον πυρήνα.

- ✓ Μια εξωτερική πλαστική επικάλυψη, που ονομάζεται **περίβλημα (buffer)**, το οποίο περιβάλλει τις συνθετικές ίνες. Είναι κατασκευασμένο από ανθεκτικό υλικό (ασφάλι ή καουτσούκ) και προστατεύει το καλώδιο από εξωτερικές φθορές, παρεμβολές και περιβαλλοντικούς κινδύνους, όπως η υγρασία. (Hecht, 2005)

Η δέση φωτός φθάνει και προσπίπτει με τέτοια γωνία στον πυρήνα, ώστε να υπάρξει ολική ανάκλαση, για να μεταδοθεί κατά μήκος του μέσου. Ο μανδύας παγιδεύει την ακτίνα στον πυρήνα, που απορροφά την ενέργειά της. Το περίβλημα ανακλά το φως πίσω στον μανδύα, όταν βγει εκτός καλωδίου. (Εικόνα 5)



Εικόνα 5: Τα μέρη ενός καλωδίου οπτικών ινών

2.3 Είδη των οπτικών καλωδίων

Τα οπτικά καλώδια ταξινομούνται σε κατηγορίες, με βάση διάφορα κριτήρια. Συνήθως, διακρίνονται λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο μετάδοσης του φωτεινού σήματος, τον τρόπο κατασκευής τους και το περιβάλλον εγκατάστασης τους.

2.3.1 Ταξινόμηση με βάση τον τρόπο μετάδοσης του σήματος

Η εκπομπή των φωτεινών σημάτων μέσα από μια οπτική ίνα, γίνεται είτε από πηγές LED, είτε από πηγές LASER, με κάποιο συγκεκριμένο μήκος κύματος που μετριέται σε nanoseconds. Ο τρόπος που μεταδίδεται το φωτεινό σήμα εξαρτάται από τη διάμετρο του πυρήνα του οπτικού καλωδίου, επομένως επηρεάζει τις ανακλάσεις του και τη γενικότερη πορεία που ακολουθεί στο εσωτερικό του. Το μέγεθος του οπτικού καλωδίου, καθορίζεται από τη διάμετρο του πυρήνα και από τη διάμετρο της επίστρωσης. Μετριέται σε μm (10^{-6}) και με βάση αυτό το κριτήριο οι οπτικές ίνες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

A) Οι πολύτροπες οπτικές ίνες (multi mode): Αποτελούν τον τύπο καλωδίωσης των τοπικών δικτύων. Η πηγή φωτός που χρησιμοποιείται για την αποστολή των δεδομένων, είναι το φθινό LED, που παράγει υπέρυθρο φως με μήκος κύματος 850 nm ή 1310nm. Έχουν πολλά τυπικά μεγέθη (50μm/125μm, 85μm/125μm, 100μm/140μm), με το σύνηθες μέγεθός τους να είναι 62,5μm/125μm. Έχουν επίσης μεγάλη διάμετρο πυρήνα και επίστρωσης. Έτσι, οι διάφορες φωτεινές ακτίνες που εισέρχονται στον πυρήνα της ίνας, πάντοτε υπό ελαφρώς διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης, ακολουθούν έναν από τους πολλούς δρόμους μετάδοσης (ή μονοπάτια), ανακλώμενες στα τοιχώματα της οπτικής ίνας, μέχρι να φθάσουν στον προορισμό τους. Στις πολύτροπες ίνες, παίζει σημαντικό ρόλο ο δείκτης διάθλασης. Με βάση αυτόν, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- ✓ *Τις οπτικές ίνες βηματικού δείκτη (step index):* Ο γυάλινος πυρήνας έχει σταθερό δείκτη διάθλασης, σε αντίθεση με τον μεταβλητό δείκτη διάθλασης του υλικού επίστρωσης, ο οποίος είναι πάντοτε μικρότερος από αυτόν του πυρήνα, για να επιτυγχάνεται η ανάκλαση των ακτινών. Όλες οι ακτίνες φωτός, ταξιδεύουν σε ευθείες γραμμές με την ίδια ταχύτητα, ανακλώνται στη διαχωριστική επιφάνεια επίστρωσης-πυρήνα και ανάλογα με τη γωνία που εισήλθαν, ακολουθούν διαφορετικά μονοπάτια, φθάνοντας έτσι σε διαφορετικούς χρόνους στο δέκτη. (Bozinovic et al, 2013)
- ✓ *Τις οπτικές ίνες βαθμιαίου δείκτη (graded index):* Χαρακτηρίζονται από βαθμιαία μεταβολή του δείκτη διάθλασης, του γυάλινου πυρήνα της ίνας. Αυτό συνεπάγεται τη μείωση της ταχύτητας μετάδοσης των φωτεινών ακτινών όσο απομακρύνονται από την εξωτερική επιφάνεια της επίστρωσης και φθίνουν κοντά στον πυρήνα. Όλες οι ακτίνες φωτός, ακολουθούν ένα μονοπάτι και πηγαίνουν στο κέντρο του πυρήνα, φθάνοντας έτσι ταυτόχρονα στον δέκτη, ως λάμψη. Δεν εμφανίζουν διασπορά. Η καμπυλόγραμμη πορεία τους. (Bozinovic et al, 2013)

B) Μονότροπες οπτικές ίνες (single mode): Αποτελούν τον τύπο καλωδίωσης των δικτύων ευρείας περιοχής και γενικότερα των σημερινών τηλεπικοινωνιών. Η πηγή φωτός που χρησιμοποιείται για την αποστολή δεδομένων, είναι το LASER που παράγει υπέρυθρο φως με μήκος κύματος από 1310 έως 1550 nm. Το

συνήθως μέγεθος τους, είναι 9 μm /125 μm . Η διάμετρος του πυρήνα είναι πολύ μικρή, με αποτέλεσμα να υπάρχει ένα μόνο μονοπάτι. Συνήθως, η διάμετρος της οπτικής ίνας, φθάνει στο επίπεδο του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου σήματος όποτε το οπτικό σήμα ακολουθεί το μοναδικό μονοπάτι. Επομένως, ο τρόπος μετάδοσης μοιάζει με αυτόν στο ομοαξονικό καλώδιο και επιπλέον, δεν υπόκεινται σε χρωματική διασπορά. Η σταθερά ευθύγραμμη πορεία των ακτινών φωτός που περνούν μέσα από το κέντρο του πυρήνα.

Οι πιο σημαντικές διαφορές μεταξύ των μονότροπων και των πολύτροπων ινών είναι οι παρακάτω: (Hayes, 1999)

- ✓ Οι μονότροπες ίνες μπορούν να μεταδώσουν φωτεινούς παλμούς με μικρή παραμόρφωση, σε μεγάλη απόσταση, σε σχέση με τις πολύτροπες, αφού το φως ακολουθεί έναν δρόμο μετάδοσης.
- ✓ Η μονότροπη ίνα, παρουσιάζει χαμηλότερη εξασθένιση σήματος από την πολύτροπη, άρα καλύπτει μεγάλες αποστάσεις και προσφέρει υψηλό εύρος ζώνης.
- ✓ Οι μονότροπες ίνες, μπορούν να κατασκευαστούν μόνο από γυαλί πυριτίου, ενώ οι πολύτροπες ίνες μπορούν να κατασκευαστούν και από άλλο υλικό.
- ✓ Οι μονότροπες ίνες, λόγω του πολύ μικρού πυρήνα τους, είναι δύσκολες στον γενικότερο χειρισμό τους, σε σχέση με τις πολύτροπες.
- ✓ Οι πολύτροπες ίνες είναι απλούστερες στην κατασκευή τους, άρα φθηνότερες και πιο ευέλικτες. Επίσης, συνδυάζονται με πηγές LED, οι οποίες είναι φθηνότερες από τις πηγές Laser που υπάρχουν στις μονότροπες.
- ✓ Ο πυρήνας της πολύτροπης ίνας είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν της μονότροπης, επιτρέποντας έτσι εκατοντάδες ακτίνες φωτός να μετακινούνται μέσα από την ίνα ταυτόχρονα. Μεταφέρουν δηλαδή περισσότερο φως, κάτι όμως που στις τηλεπικοινωνίες δεν αποτελεί πλεονέκτημα.

2.3.2 Με βάση τον τρόπο κατασκευής των ινών

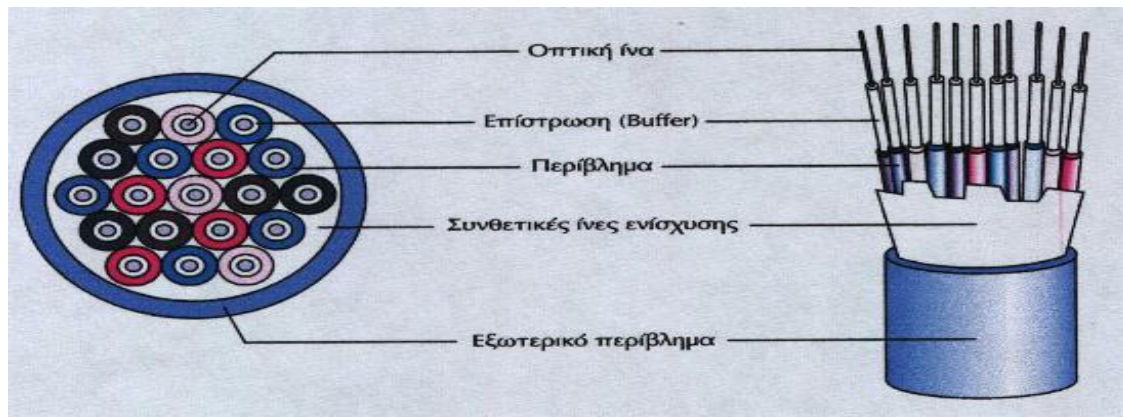
Τα καλώδια οπτικών ινών όπως αναφέρθηκε, αποτελούνται συνήθως από τον πυρήνα, την επίστρωση, τις συνθετικές ίνες και το εξωτερικό περίβλημα. Ωστόσο, είναι πιθανό να έχουν και διαφορετική σχεδίαση, δηλαδή να περιέχουν και άλλα τμήματα. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε δυο τύπους οπτικών καλωδίων:

- ✓ Τα καλώδια σφιχτής σχεδίασης (tight buffer), όπου η οπτική ίνα έχει την συνήθη μορφή, αποτελώντας ένα ξεχωριστό καλώδιο. Τα οπτικά καλώδια αποτελούνται από πολλά τέτοια ξεχωριστά καλώδια και από άλλα ενισχυτικά τα οποία περικλείονται από μια συνδετική ταινία και συνολικά από ένα εξωτερικό περίβλημα (Εικόνα 6). Τα tight-buffer καλώδια, έχουν πολύ μικρό μέγεθος και εύκολη εγκατάσταση. Αντιστέκονται εξαιρετικά σε συγκρούσεις, χωρίς να προστατεύουν τον γυάλινο πυρήνα και αντέχουν σε εναλλαγές θερμοκρασίας. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται συνήθως σε εσωτερικές εγκαταστάσεις.



Εικόνα 6: Οπτικό καλώδιο Tight buffer

- ✓ Τα καλώδια χαλαρής σχεδίασης (loose buffer), όπου οι οπτικές ίνες με την επίστρωση και το περίβλημά τους, είναι τοποθετημένες ελεύθερα μέσα στο καλώδιο. Αποτελούν ξεχωριστά καλώδια, που καλύπτονται με επίστρωση συνθετικών ενισχυτικών ινών για λόγους ανθεκτικότητας. Συνολικά, το καλώδιο περιβάλλεται από εξωτερικό περίβλημα (Εικόνα 7). Τα loose buffer καλώδια, παρέχουν καλή προστασία σε εναλλαγές θερμοκρασίας. Οι κατασκευαστές τους, εγχύουν και ένα ζελέ σιλικόνης στο καλώδιο, για προστασία της οπτικής ίνας από υγρασία. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται σε εξωτερικές εγκαταστάσεις. (Hecht, 2005)



Εικόνα 7: Οπτικό καλώδιο Loose buffer

2.3.3 Με βάση το περιβάλλον εγκατάστασης

Ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο προορίζονται να εγκατασταθούν, τα οπτικά καλώδια κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- ✓ *Στα υπόγεια καλώδια εξωτερικού χώρου:* Είναι loose buffer καλώδια με ζελέ, που χρησιμοποιούνται περισσότερο για να καλύψουν μεγάλες ή μεσαίες αποστάσεις. Μπορεί να περιέχουν εκατοντάδες μονότροπες οπτικές ίνες ή συνδυασμό μονότροπων και πολύτροπων ινών. Παρουσιάζουν καλή θωράκιση, πολύ καλή προστασία κατά της υγρασίας και απαρτίζονται από ένα τμήμα που παρέχει μηχανική αντοχή. Συνήθως, τοποθετούνται σε ασάλινους σωλήνες.
- ✓ *Στα υπέργεια καλώδια εξωτερικού χώρου:* Είναι και αυτά loose buffer καλώδια με ζελέ, που παρουσιάζουν ισχυρή αντοχή σε εφελκυσμό, αφού περιέχουν και ένα τμήμα το οποίο ελέγχει τις τάσεις που ασκούνται στο καλώδιο.
- ✓ *Στα υποβρύχια καλώδια:* Το υποθαλάσσιο περιβάλλον δεν είναι φιλικό για τα καλώδια, αφού ασκείται μεγάλη πίεση στο περίβλημά τους, από το νερό. Χωρίζονται σε καλώδια μικρού και μεγάλου βάθους και περιέχουν συνήθως μικρότερο αριθμό ινών, λόγω της ισχυρής θωράκισης που διαθέτουν. Αποτελούνται από πλαστικά loose buffer καλώδια με ζελέ, που βρίσκονται σε χάλκινη θήκη, η οποία καλύπτεται από σκληρό πλαστικό μονωτικό υλικό και εξωτερικά από πλαστικό περίβλημα.
- ✓ *Στα καλώδια εσωτερικού χώρου:* Είναι tight buffer καλώδια, που αποτελούνται από δύο πολύτροπες οπτικές ίνες και έχουν μήκος περίπου

300 m. Δεν διαθέτουν ισχυρή θωράκιση, ενώ έχουν εύκολη εγκατάσταση και ισχυρή προστασία για τοποθέτηση σε εσωτερικούς χώρους. Το περίβλημά τους είναι ανθεκτικό σε τοξικές ουσίες.

- ✓ *Στα καλώδια ειδικών χρήσεων:* Είναι οπτικά καλώδια, που έχουν ειδικά χαρακτηριστικά όπως, μικρό βάρος, αντοχή σε ακραίες θερμοκρασίες (από -65° έως και 200° C) και σε επικίνδυνες χημικές ουσίες. Χρησιμοποιούνται αρκετά στα αεροπλάνα και σε ιδιαίτερα τοξικούς χώρους.

2.4 Εφαρμογές και προβλήματα οπτικών ινών

2.4.1 Εφαρμογές οπτικών ινών

Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται σήμερα ευρέως σε διάφορους τομείς. Μερικά από τα βασικότερα τεχνολογικά πεδία εφαρμογής τους είναι: (Hayes, 1999)

A) Οι τηλεπικοινωνίες

- ✓ Για επίγειες και υποθαλάσσιες συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων, που υποκαθιστούν τα ομοαξονικά καλώδια, τις μικροκομματικές ζεύξεις και τους δορυφόρους.
- ✓ Για τη διασύνδεση μεταξύ των ηπείρων.
- ✓ Για συνδέσεις σε βιομηχανικές περιοχές, όπου υπάρχει υψηλό επίπεδο ηλεκτρομαγνητικών θορύβων.
- ✓ Για μεταδόσεις με υψηλές απαιτήσεις ασφάλειας, τις οποίες ζητούν οι διάφορες κρατικές υπηρεσίες πληροφοριών, οι στρατιωτικές εφαρμογές κλπ.
- ✓ Για την επικοινωνία και τη μεταφορά δεδομένων στα δίκτυα υπολογιστών (LAN, WAN, MAN), στα τηλεφωνικά και τηλεοπτικά δίκτυα, με υψηλό ρυθμό μετάδοσης, μικρή εξασθένιση και με ελαχιστοποίηση ενισχυτών σήματος.

B) Οι ιατρικές εφαρμογές

- ✓ Για την πραγματοποίηση εφαρμογών λέιζερ, όπου υπάρχει επιτυχής συνδυασμός οπτικής ίνας-λέιζερ, όπως σε καυτηριασμούς, φυσιοθεραπείες, εγχειρήσεις. Δίνεται έτσι η δυνατότητα μεταφοράς της φωτεινής δέσμης

λείζερ από την πηγή, μέχρι τη λαβή που χειρίζεται ο γιατρός διπλά στον ασθενή.

- ✓ Για την εύκολη πραγματοποίηση ενδοσκοπήσεων, όπου δίνουν την δυνατότητα προβολής και μετάδοσης εικόνας για τα ανθρώπινα όργανα και το εσωτερικό τους, χωρίς τη χρήση φακών.

C) Τα συστήματα φωτισμού και πληροφόρησης

- ✓ Για τη μεταφορά φωτός σε μη προσπελάσιμα σημεία κτηρίων.
- ✓ Για το φωτισμό στην οριοθέτηση των διαδρόμων.
- ✓ Για τη δημιουργία σύγχρονων, διακοσμητικών κατασκευών και διαφημιστικών πινακίδων.
- ✓ Για τον εικαστικό φωτισμό σε μουσειακά εκθέματα (πίνακες, αγάλματα κ.α.)
- ✓ Για τον μοναδικό φωτισμό πινάκων οργάνων στο πιλοτήριο αεροπλάνων.
- ✓ Για τον σχηματισμό φωτεινών χαρακτήρων ή σχημάτων σε πινακίδες οδικής σηματοδότησης.

D) Ο έλεγχος συστημάτων

- ✓ Συνδυασμός με κατάλληλες οπτικοηλεκτρονικές διατάξεις, για τον έλεγχο της γραμμής παραγωγής ενός προϊόντος σε βιομηχανίες.
- ✓ Χρήση σε σύγχρονα επιστημονικά όργανα ανίχνευσης παραμορφώσεων, πίεσης, θερμοκρασίας (ηφαιστειών και πυρηνικών αντιδραστήρων).
- ✓ Για τη μελλοντική κατασκευή αεροσκαφών με οπτικό περίβλημα.

2.4.2 Τα προβλήματα των οπτικών ινών

Τα καλώδια οπτικών ινών, μεταφέρουν πολλές πληροφορίες, είτε σε κοντινές, είτε σε μακρινές αποστάσεις, πάντοτε υπό μορφή φωτεινών σημάτων ή αλλιώς φωτεινών παλμών (0 ή 1). Δεν επηρεάζονται από κάποιον εξωτερικό ηλεκτρικό θόρυβο, αφού το εξωτερικό φως δεν εισέρχεται στην οπτική ίνα, επειδή τα υλικά που την καλύπτουν δεν του επιτρέπουν να μπει ή να βγει από αυτή. Επίσης, δεν γειώνονται, εκτός αν έχουν μεταλλικό περίβλημα. Παρόλο που οι οπτικές ίνες είναι καλύτερες από όλα τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης, αυτό δεν σημαίνει ότι δεν παρουσιάζουν προβλήματα. Όταν το φως ταξιδεύει μέσω της ίνας, μπορεί να υποστεί *εξασθένιση* ή *διασπορά*. Αυτές είναι οι δύο κύριες αιτίες υποβάθμισης των οπτικών σημάτων. Πιο συγκεκριμένα:

A) Η εξασθένηση του σήματος: Μετριέται σε decibel ανά χιλιόμετρο (db/km). Διακρίνεται στην εξασθένηση, τη σχετική με το υλικό της ίνας και στην εξασθένηση εξαιτίας κατασκευαστικής φύσεως. Στην πρώτη κατηγορία, ανήκουν η απορρόφηση και η σκέδαση, ενώ στη δεύτερη ανήκουν οι απώλειες κάμψης της οπτικής ίνας.

- ✓ *Απορρόφηση:* Εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό, από το υλικό της οπτικής ίνας. Προκαλείται από διάφορους μηχανισμούς, όπως ατέλειες στη δομή του υλικού της ίνας (μεγάλη πυκνότητα μορίων ή απουσία ατόμων) ή προσμίξεις στο υλικό της ίνας (ιόντα σιδηρού, χρωμίου, κοβαλτίου κ.α.) που προκαλούν την αδυναμία και την εσωτερική απορρόφηση της ενέργειας του φωτεινού σήματος, από τα βασικά άτομα που συνιστούν το υλικό της. (Goff, 2002)

- ✓ *Σκέδαση:* Είναι η σοβαρότερη αιτία απωλειών στις οπτικές ίνες. Όταν το φως προσπίπτει σε συγκεκριμένα άτομα του υλικού με γωνίες μεγαλύτερες της κρίσιμης τιμής, απορροφάται από το μανδύα ή εκτοξεύεται προς όλες τις κατευθύνσεις (ακόμα και πίσω στην πηγή). Οι απώλειες σκέδασης προέρχονται, είτε από μικροσκοπικές μεταβολές της πυκνότητας του υλικού της ίνας, που προκαλούν διακύμανση στον δείκτη διάθλασης, είτε από δομικές ανομοιογένειες και ατέλειες, οι οποίες σήμερα έχουν περιοριστεί. Αν το μήκος κύματος (λ) του μεταδιδόμενου φωτεινού σήματος είναι μεγάλο, η σκέδαση μειώνεται σημαντικά κατά $1/\lambda^4$.

- ✓ *Απώλειες κάμψης:* Η κάμψη της οπτικής ίνας προκαλεί απώλειες σήματος και επομένως αποτυχία μετάδοσης. Είναι ευκολότερη η κάμψη ενός μικρού κομματιού ίνας παρά μιας οπτικής ίνας ενός χιλιόμετρου. Σε κάθε περίπτωση, το βασικότερο είναι ότι έτσι κάμπτεται ο κεντρικός πυρήνας της οπτικής ίνας, με αποτέλεσμα η ακτίνα φωτός να προσπίπτει με λάθος γωνία και τελικά να δραπετεύει εκτός του οπτικού μέσου, προκαλώντας μεγάλες απώλειες δεδομένων. Οι μικροκάμψες ωστόσο εξαρτώνται από τον τύπο των οπτικών καλωδίων.

B) Η διασπορά: Είναι η υπερβολική επιμήκυνση των φωτεινών παλμών κατά τη μετάδοσή τους, μέσω της οπτικής ίνας. Αυτό προκαλεί την αλληλοκάλυψη μεταξύ τους και την εσφαλμένη λήψη τους από τον δέκτη. Έχουμε έτσι δύο τύπους διασποράς:

- ✓ *Τη διασπορά ρυθμών:* Εμφανίζεται στις πολύτροπες ίνες βαθμιαίου δείκτη και οφείλεται στους διαφορετικούς δρόμους μετάδοσης που ακολουθεί η φωτεινή ακτίνα, καθώς επίσης και στον διαφορετικό δείκτη διάθλασης μανδύα-πυρήνα. Το γεγονός ότι η κάθε ακτίνα ακολουθεί άλλο μονοπάτι και μεταδίδεται με ασταθή ταχύτητα ανάλογα με το αν βρίσκεται κοντά ή μακριά από τον πυρήνα, προκαλεί μεταβολή στο εύρος ζώνης και διέλευσης συχνοτήτων του μέσου. (Agrawal, 2001)
- ✓ *Τη χρωματική διασπορά:* Δημιουργείται όταν η πηγή LASER ή LED, εκπέμπει παράλληλα, φωτεινές ακτίνες διαφορετικού μήκους κύματος μεταξύ τους, οι οποίες περνούν από την οπτική ίνα με διαφορετικές ταχύτητες. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση της πολυπλεξίας διαίρεσης μήκους κύματος (WDM). Οι πηγές δεν παράγουν φως ενός μόνο χρώματος, δηλαδή της ίδιας συχνότητας αλλά ποικιλία συχνοτήτων, με τη χρωματική διασπορά να μειώνει την απόσταση μεταφοράς και το εύρος ζώνης και διέλευσης συχνοτήτων του μέσου. Έτσι, η ακτίνα φωτός που διανύει μεγάλη απόσταση, απλώνεται και δεν ξεχωρίζει τελικά ο δεκτής το 0 από το 1.

2.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα οπτικών ινών

Οι οπτικές ίνες σήμερα, θεωρούνται η καλύτερη λύση στα μέσα μετάδοσης και αυτό δικαιολογείται από τα σημαντικά πλεονεκτήματα τους, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω. (Goff, 2002)

- ✓ Διαθέτουν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (από 100 Mbps έως και 50 Gbps). Επομένως, μεταφέρουν γρήγορα, μεγάλο όγκο δεδομένων.
- ✓ Είναι ανεπηρέαστες από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, υγρά και βιομηχανικά περιβάλλοντα, αφού δεν μεταφέρουν ηλεκτρικό σήμα.
- ✓ Ο ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων είναι σε χαμηλά επίπεδα.
- ✓ Έχουν χαμηλό βάρος και μικρό μέγεθος.

- ✓ Παρουσιάζουν μεγάλη ασφάλεια, αφού λόγω της κατασκευής τους είναι πολύ δύσκολο να γίνει υποκλοπή δεδομένων.
- ✓ Καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις (>300 χιλιόμετρα), χωρίς ιδιαίτερη χρήση αναμεταδότη (κάθε 40-60 km) και με μικρή εξασθένηση σήματος.
- ✓ Η μετάδοση δεδομένων είναι ψηφιακή κάτι που σημαίνει πιο γρήγορη κωδικοποίηση-αποκωδικοποίηση δεδομένων, με ελάχιστες απώλειες.

Ωστόσο όπως κάθε μέσο μετάδοσης, έτσι και οι οπτικές ίνες παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα. Ειδικότερα: (Glaesemann, 1999)

- ✓ Η σύνδεση και η εγκατάστασή τους είναι δύσκολη, αφού πρέπει να έχουν ελαφριά κλίση. Αλλιώς προξενείται διασπορά ή εξασθένηση σήματος.
- ✓ Είναι αρκετά εύθραυστες, λόγω του γυάλινου πυρήνα και μερικώς εύκαμπτες, με αποτέλεσμα να έχουμε απώλειες δεδομένων όταν τις λυγίζουμε.
- ✓ Είναι πολύ ακριβές και ειδικά σε μικρές αποστάσεις, παρόλο που το γυαλί ως υλικό είναι φθηνότερο από τον χαλκό.
- ✓ Είναι δύσκολη η σύνδεση πολλών χρηστών πάνω σε ένα οπτικό καλώδιο, ικανοποιώντας κυρίως point to point συνδέσεις. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, γίνονται προσπάθειες για υποστήριξη point to multiple point συνδέσεων αλλά λόγω υψηλού κόστους του καλωδίου προχωρούν αργά.
- ✓ Η τεχνολογική κατάσταση και υποδομή τους είναι ακόμα αναπτυσσομένη.

2.6 Τυποποιημένες μορφές οπτικών καλωδίων

Η εξέλιξη της τεχνολογίας των οπτικών ινών και η ευρεία εφαρμογή τους, οδήγησε σε de facto τυποποιήσεις από εταιρείες κατασκευής και οργανισμούς τυποποιήσεων. Οι πιο γνωστές μορφές τυποποίησης οπτικών καλωδίων είναι οι εξής:

- ✓ *AT&T PDS*: Το PDS (Premises Distribution System) αποτελεί το καλωδιακό σύστημα της AT&T. Τα χρησιμοποιούμενα καλώδια είναι οι πολύτροπες οπτικές ίνες με τυπικό μέγεθος 62,5 μm/125 μm, που διανύουν μέχρι και 2,2 km χωρίς να χρειάζονται ενισχυτές σήματος.

- ✓ *FDDI*: Καθορίζει πολύτροπες οπτικές ίνες με τυπικά μεγέθη (50/125, 62,5/125 και 85/125), που διανύουν μέχρι 2 km χωρίς να χρειάζονται ενισχυτές σήματος. Ο τυποποιημένος ρυθμός μετάδοσης είναι 100 Mbps.
- ✓ *SONET*: Είναι ένα πρότυπο που εκμεταλλεύεται τις οπτικές ίνες και έχει θέσει τις βάσεις για ένα ολοκληρωμένο δίκτυο, που θα αποτελείται αποκλειστικά από μονότροπες οπτικές ίνες μεγέθους 8,5/125 που θα διανύουν μέχρι και 30 km, χωρίς να χρειάζονται ενισχυτές σήματος.
- ✓ *IBM Cabling System Type 5*: Το καλωδιακό σύστημα της IBM, αποτελείται από καλώδια τύπου 5, δηλαδή πολύτροπες, βηματικού δείκτη οπτικές ίνες, μεγέθους 100/140, που διανύουν μέχρι και 2 Km χωρίς να χρειαστούν ενισχυτές σήματος.

2.7 Δομή ενός δικτύου οπτικών ινών

Η σημερινή δομή ενός δικτύου οπτικών ινών είναι πολύπλοκη. Ωστόσο, ένα απλό δίκτυο οπτικών ινών, αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα:

- ✓ έναν *οπτικό πομπό*, που μετατρέπει τα ψηφιακά δεδομένα σε φωτεινά σήματα Laser ή LED και τα εκπέμπει στο μέσο.
- ✓ ένα *μέσο μεταφοράς*, όπου χρησιμοποιείται το καλώδιο οπτικών ινών.
- ✓ έναν *ενισχυτή σήματος*, που χρησιμοποιείται μόνο σε συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων, όπου συχνά το σήμα εξασθενεί. Λαμβάνει το εξασθενημένο φωτεινό σήμα, το ενισχύει πλήρως και το εκπέμπει εκ νέου.
- ✓ έναν *οπτικό δέκτη*, που λαμβάνει τα φωτεινά σήματα Laser ή LED και τα μετατρέπει στην αρχική τους μορφή, δηλαδή σε ψηφιακά δεδομένα. (Melling & Thompson, 2002)

Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό, έγινε μια εκτενής εισαγωγή και ανάλυση στις βασικές έννοιες των οπτικών ινών, θα εστιάσει αρκετά στην εμφάνιση, στη δομή και στην εξέλιξη των οπτικών δικτύων τις προηγούμενες δεκαετίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Πρόλογος

Τα οπτικά δίκτυα, είναι δίκτυα υπολογιστών, που χρησιμοποιούν παλμούς από φως για την αναπαράσταση των δυαδικών ψηφίων, είναι πιο αξιόπιστα και παρουσιάζουν μεγαλύτερες χωρητικότητες από όσα χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς παλμούς. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν τα οπτικά δίκτυα από την πλευρά της τοπολογίας, οι τεχνολογίες πρόσβασής και η γενικότερη κατηγοριοποίησή τους.

3. Εισαγωγικά

Τα δίκτυα οπτικών ινών, χρησιμοποιούνται εδώ και δεκαετίες σε μερικές χώρες, για τη μεταφορά δεδομένων αλλά το κόστος εγκατάστασής τους, έχει μόλις πρόσφατα επιτρέψει τη σύνδεση και τη χρήση απευθείας στο σπίτι. Κατά την τελευταία δεκαετία πάντως, η εφαρμογή και χρήση της ευρυζωνικής τεχνολογίας με οπτικές ίνες, έχει λάβει εκρηκτικές διαστάσεις, αφού ωθείται προς τα μπρος από τις προτιμολήτες που θέτουν τα κράτη για υψηλού επιπέδου επικοινωνίες αλλά και τις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις των καταναλωτών. Στις μέρες μας, αναμένουμε υπηρεσίες 3-σημείων (triple-play), με τη χρήση ήχου, βίντεο και δεδομένων, όλα σε μια σύνδεση. Εφαρμογές όπως, το διαδικτυακό παιχνίδι (online gaming), το μοίρασμα αρχείων (file sharing), η αναπαραγωγή εικόνων έπειτα από απαίτηση (video on demand) και η παρακολούθηση προγραμμάτων σε υψηλής ευκρίνειας εικόνα (High Definition), απαιτούν μεγάλη χωρητικότητα εύρους ζώνης, η οποία σπρώχνει στα όρια τις δυνατότητες των παραδοσιακών τρόπων σύνδεσης, όπως το DSL. Μόνο η οπτική ίνα έχει τη δυνατότητα να παρέχει γρήγορα και αξιόπιστα, όλες τις προαναφερθείσες υπηρεσίες, αφού προσφέρει ένα σχεδόν απεριόριστο εύρος ζώνης και γίνεται συνεχώς οικονομικότερη σε σχέση με το παρελθόν. (FOA, 2014)

3.1 Η δομή των τηλεπικοινωνιακών δικτύων

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, είναι δυνατόν να διαχωριστούν σε μητροπολιτικά και ευρείας έκτασης. Τα ευρείας έκτασης δίκτυα, αφορούν τη διασύνδεση γεωγραφικά απομακρυσμένων περιοχών και είναι δυνατόν να καλύπτουν μέχρι και χιλιάδες χιλιόμετρα αποστάσεων. Αντίθετα, τα μητροπολιτικά

περιορίζονται σε συγκεκριμένη γεωγραφική έκταση, όπως για παράδειγμα στα όρια ενός μεγάλου δήμου. Έπειτα, τα μητροπολιτικά δίκτυα κατηγοροποιούνται περαιτέρω, σε δίκτυα διανομής και δίκτυα πρόσβασης. Τα δίκτυα διανομής συνδέουν τους κόμβους πρόσβασης, σε μεγαλύτερους κόμβους διανομής, ενώ τα δίκτυα πρόσβασης συγκεντρώνουν την κίνηση που παράγεται από τους χρήστες σε αντίστοιχους κόμβους.

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, μπορούν να χωριστούν επίσης σε δημόσια και ιδιωτικά δίκτυα. Τα δημόσια παρέχουν εκτεταμένη γεωγραφική κάλυψη και η διαχείρισή τους καλύπτεται από δικτυακούς παρόχους (service providers). Επιπλέον, καλούνται να παρέχουν διάφορες υπηρεσίες, όπως τηλεφωνικές γραμμές αλλά και υποδομές σε δίκτυα εναλλακτικών παρόχων διαδικτύου και κινητής τηλεφωνίας.

Αντιθέτως, τα ιδιωτικά δίκτυα είναι ιδιοκτησία διάφορων οργανισμών και υλοποιούνται για να καλύψουν τηλεπικοινωνιακές τους ανάγκες. Τα ιδιωτικά επίσης, μπορούν να διαχωριστούν σε τοπικά δίκτυα, μητροπολιτικά και ευρείας περιοχής δίκτυα. Η οπτική τεχνολογία καθιστά εφικτή τη διασύνδεση όλων των δικτύων, παρέχοντας μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης και κοινή υποδομή για πολλές υπηρεσίες. Οπτικές ίνες έχουν εγκατασταθεί ευρέως σε δίκτυα ευρείας έκτασης και μητροπολιτικά, δεν υπάρχει όμως εκτεταμένη εγκατάσταση οπτικών ινών στον τελικό χρήστη (δίκτυα πρόσβασης), λόγω μεγάλου κόστους υλοποίησης της συγκεκριμένης υποδομής αλλά και πιθανής αποτυχίας μιας τέτοιας επένδυσης. (Haring, 2008)

3.2 Η οπτική τεχνολογία

Η οπτική τεχνολογία αποτελεί προτιμητέα τεχνολογική λύση τόσο από πλευράς παρεχόμενου εύρους όσο και από πλευράς κόστους, για την υλοποίηση ενσύρματων δικτύων. Πέρα των οπτικών ινών όμως, στη διάδοση της οπτικής τεχνολογίας συνετέλεσε και η ανάπτυξη διάφορων στοιχείων, όπως οι οπτικοί πομποί και οι ενισχυτές αλλά και η πολυπλεξία του μήκους κύματος.

3.2.1 Οι οπτικοί πομποί

Εκτός της εξέλιξης των οπτικών ινών, η αύξηση των ρυθμών μετάδοσης στα οπτικά δίκτυα επιτεύχθηκε μέσω της χρήσης οπτικών πομπών. Ο ρόλος του

οπτικού πομπού σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα, είναι να μετατρέπει τα ηλεκτρικά σήματα, σε αντίστοιχα οπτικά και στη συνέχεια να τα προωθεί στον οπτικό κορμό. Οι πρώτοι οπτικοί πομποί που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν τα LEDs, τα οποία παρήγαγαν οπτικούς παλμούς μέσω της διαμόρφωσης του ρεύματός τους και καλούνται ημιαγωγοί, οι οποίοι εκπέμπουν φως στενού φάσματος όταν τους παρέχεται μία ηλεκτρική τάση κατά τη φορά ορθής πόλωσης.

Βασικό μειονέκτημά τους, είναι η χαμηλή οπτική ισχύς που παράγουν, οπότε αντικαταστάθηκαν από lasers. Τα ημιαγωγικά laser εκπέμπουν φως μέσω της εξαναγκασμένης εκπομπής. Τα πρώτα lasers, έδιναν μεγαλύτερη οπτική ισχύ από τα leds αλλά παρήγαγαν παλμούς με μεγάλο φασματικό εύρος. Ο ρυθμός μετάδοσης που είναι δυνατόν να επιτευχθεί σε DFBs, που είναι η εξέλιξη των διοδικών lasers με διαμόρφωση του ρεύματός τους, περιορίζεται σε μερικά Gbps. Στους σημερινούς πομπούς, DFBs, η διαμόρφωση του οπτικού σήματος από τα ηλεκτρικά δεδομένα, γίνεται σε εξωτερικούς ηλεκτρο-οπτικούς διαμορφωτές, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα λειτουργίας σε ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 10-40 Gbps. (Webb, 2014)

3.2.2 Οι οπτικοί ενισχυτές ίνας ερβίου και σπανίων γαιών

Η οπτική ίνα, όπως και κάθε μέσο μετάδοσης, παρουσιάζει απώλειες οι οποίες συντελούν στην εξασθένηση του μεταδιδόμενου σήματος. Η εξασθένηση των οπτικών ινών, αντισταθμίστηκε με την υλοποίηση οπτικών ενισχυτών ίνας με προσμίξεις σπάνιων γαιών, με αποτέλεσμα την ενίσχυση του οπτικού σήματος. Οι ενισχυτές σπάνιων γαιών δίνουν τη δυνατότητα ταυτόχρονης ενίσχυσης πολλαπλών καναλιών, γεγονός το οποίο συντέλεσε καίρια στην ανάπτυξη συστημάτων πολυπλεγμένων κατά WDM.

3.2.3 Η πολυπλεξία μήκους κύματος

Η πλήρης αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης των οπτικών ινών, γίνεται με την πολυπλεξία μήκους κύματος (WDM). Η πολυπλεξία WDM, αντιστοιχεί στην κλασσική πολυπλεξία συχνότητας (FDM), όμως αντί για μια συγκεκριμένη συχνότητα, ανατίθεται ένα μήκος κύματος σε κάθε οπτικό κανάλι. Εφαρμόζοντας την τεχνική WDM η μετάδοση των δεδομένων γίνεται ταυτόχρονη μετάδοση πολλών μηκών κύματος μέσα από την ίδια ίνα. Με την τεχνολογία αυτή, πολλά μήκη κύματος συνδέονται στην ίδια οπτική ίνα, δίνοντας έτσι εύρος ζώνης

ίσο με το άθροισμα των ρυθμών μετάδοσης του κάθε μήκους κύματος. Η εκπομπή γίνεται από lasers και στη συνέχεια τα σήματα πολυπλέκονται πάνω σε μία μόνο οπτική ίνα. Μετά τη διέλευσή τους από την ίνα, τα σήματα πρέπει να διαχωριστούν και πάλι και το καθένα από αυτά να αντιστοιχιστεί σε ένα μόνο μήκος κύματος και αυτό γίνεται με την χρήση ρυθμιζόμενων οπτικών φίλτρων.

Απαραίτητες τεχνολογίες για WDM δίκτυα δεύτερης γενιάς

Τα πρώτα WDM οπτικά δίκτυα παρείχαν συνδέσεις σημείου προς σημείο, είτε στατικές είτε χειρωνακτικά ρυθμιζόμενες. Τα WDM δίκτυα δεύτερης γενιάς παρέχουν οπτικές συνδέσεις από άκρο σε άκρο (οπτικά μονοπάτια) μέσω των στοιχείων όπως οι τερματισμοί οπτικοί γραμμής, οι πολυπλέκτες και οι οπτικές διασυνδέσεις.

➤ Οπτικοί Τερματισμοί – OLTs

Οι οπτικοί τερματισμοί χρησιμοποιούνται στα άκρα της από σημείο σε σημείο οπτικής σύνδεσης για την πολυπλεξία και αποπολυπλεξία μηκών κύματος. Τα βασικά στοιχεία που απαρτίζουν τους OLTs είναι οι transponders, οι πολυπλέκτες μήκους κύματος, και πιθανόν οπτικοί ενισχυτές.

Οι transponders μετατρέπουν το σήμα το οποίο έρχεται από τους χρήστες του οπτικού δικτύου σε μορφή συμβατή με τη λειτουργία του δικτύου. Ομοίως, κατά την αντίστροφη κατεύθυνση διάδοσης, οι transponders μετατρέπουν το εισερχόμενο από το δίκτυο σήμα σε μορφή αποδεκτή από το χρήστη. Επιπλέον, ενδέχεται να πλαισιώνει την εισερχόμενη πληροφορία με πληροφορίες σχετικά με τη διαχείριση του δικτύου, ή να προσθέτει πληροφορία για Forward-Error-Correction (FEC), ιδιαίτερα σε μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης.

➤ Οπτικοί Πολυπλέκτες – OADMs

Σε ένα σύστημα WDM είναι επιθυμητό να υπάρχει δυνατότητα προσθήκης-ADD και/ή εξαγωγής-DROP μηκών κύματος σε ενδιάμεσα σημεία μιας διαδρομής μεταξύ των σημείων πολύπλεξης και αποπολύπλεξης. Αυτό μπορεί να γίνει με χρήση ενός οπτικού πολυπλέκτη προσθήκης εξαγωγής μηκών κύματος. Ο OADM έχει την δυνατότητα να ανεβάσει στη γραμμή ζεύξης ένα μήκος κύματος ή και περισσότερα αλλά μπορεί να κατεβάσει κατά αντίστοιχο τρόπο ένα ή περισσότερα

μήκη κύματος χωρίς να επηρεάσει τα υπόλοιπα. Οι OADM αποτελούν τον κορμό για την δημιουργία οπτικών δικτύων υψηλών ταχυτήτων.

➤ **Οπτικές Διασυνδέσεις – OXCs**

Οι OADMs έχουν τη δυνατότητα διαχείρισης απλών δικτυακών τοπολογιών, όπως η τοπολογία δακτυλίου, και σχετικά μικρό αριθμό μηκών κύματος. Για περισσότερα μήκη κύματος και για πιο πολύπλοκες δικτυακές τοπολογίες είναι ανάγκη η χρήση των OXCs, ιδιαίτερα σε κόμβους οι οποίοι διαχειρίζονται μεγάλα ποσά πληροφορίας. Ο οπτικός διασταυρωτής είναι μια οπτική μονάδα η οποία έχει πολλές εισόδους και εξόδους οπτικών ινών και κάθε μία από αυτές τις ίνες πιθανόν να φέρει πέραν του ενός μήκους κύματος. Το πλεονέκτημά του είναι ότι μπορεί να προγραμματιστεί να δρομολογεί οποιοδήποτε μήκος κύματος εισόδου σε οποιαδήποτε έξοδο και δεν απαιτεί την μετατροπή του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό και ξανά σε οπτικό. Η μεταγωγή γίνεται απ' ευθείας χωρίς καμία παρέμβαση από ηλεκτρονική διάταξη μετατροπής του σήματος σε ηλεκτρικό.

➤ **Μετατροπείς Μήκους Κύματος**

Η αρχιτεκτονική που έχει ως τώρα διαμορφωθεί στα δίκτυα WDM απαιτεί για την λειτουργία τους την Μετατροπή Μήκους Κύματος (Wavelength Conversion) σε ορισμένους κόμβους. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διατάξεις που πραγματοποιούν μετατροπή μήκους κύματος. Η λειτουργία των διατάξεων αυτών είναι η μετατροπή μιας ροής δεδομένων, που είναι διαμορφωμένη σε ένα φέρον μήκος κύματος λ_1 , σε ένα άλλο μήκος κύματος λ_2 χωρίς καμιά αλλαγή στην πληροφορία. Για την υλοποίηση τέτοιων διατάξεων έχουν προταθεί πολλές μέθοδοι. Μερικές από αυτές τις μεθόδους στηρίζονται στο φαινόμενο της Μίξης Τεσσάρων Φωτονίων (FWM) αλλά και σε άλλες μη – γραμμικότητες που συναντώνται σε οπτικά συστήματα, όπως η Ετεροδιαμόρφωση Κέρδους (Cross – Gain Modulation) και Ετεροδιαμόρφωση Φάσης (Cross – Phase Modulation), ιδιαίτερα σε Ημιαγώγιμους Οπτικούς Ενισχυτές.

3.3 Τα σημερινά οπτικά δίκτυα

Στα πρώτα οπτικά δίκτυα (δίκτυα πρώτης γενιάς, SDH δίκτυα), η οπτική τεχνολογία χρησιμοποιούνταν μόνο στη μετάδοση, ως μέσο για την παροχή μεγάλου εύρους ζώνης με μικρούς ρυθμούς εμφάνισης σφαλμάτων. Οι υπόλοιπες

λειτουργίες, όπως η δρομολόγηση δικτύου γίνονταν ηλεκτρονικά. Τα δίκτυα δεύτερης γενιάς ή δίκτυα δρομολόγησης μήκους κύματος, αποτελούν τμήματα των διαδικασιών δρομολόγησης μεταγωγής και λαμβάνουν χώρα σε τοπικό επίπεδο. (Thyagarajan & Ghatak, 2007)

3.3.1 Η δομή των δικτύων δρομολόγησης μήκους κύματος

Τα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς, παρέχουν ζεύξεις (που καλούνται οπτικά μονοπάτια), μεταξύ των χρηστών τους (τερματικά ή δρομολογητές). Περισσότερα του ενός οπτικά μονοπάτια, πολυπλέκουν δύο ή και πιο πολλές οπτικές ίνες, με την τεχνολογία πολυπλεξίας WDM. Τα οπτικά μονοπάτια συνδέουν τον κόμβο τερματισμού με τον κόμβο αρχής, μέσω ενδιάμεσων κόμβων. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει δυνατότητα μετατροπής μήκους κύματος στους ενδιάμεσους, το οπτικό μονοπάτι διατηρεί το ίδιο μήκος κύματος σε όλες τις ενδιάμεσες ζεύξεις μεταξύ αποστολέα παραλήπτη. Αντίθετα, αν υπάρχει δυνατότητα μετατροπής μήκους κύματος στους ενδιάμεσους κόμβους, το οπτικό μονοπάτι είναι δυνατόν να μεταφέρεται από διαφορετικό μήκος κύματος σε κάθε ενδιάμεση ζεύξη.

Βασικά δομικά στοιχεία τα οποία, καθιστούν δυνατή την υλοποίηση οπτικών δικτύων δρομολόγησης μήκους κύματος, είναι οι τερματισμοί οπτικής γραμμής (olts), οι οπτικοί πολυπλέκτες και οι οπτικές διασυνδέσεις. Οι OLTs χρησιμοποιούνται στα άκρα μιας WDM σύνδεσης για να πολυπλέκουν πολλά μήκη κύματος σε μία οπτική ίνα στο άκρο-αφετηρία, και αντιστρόφως να αποπολυπλέκουν τα μήκη κύματος σε πολλές ίνες στο άκρο-προορισμό. (Breck, 2003)

3.3.2 Το οπτικό επίπεδο

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα ακολουθούν μια πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική, σύμφωνη με το σκεπτικό της ιεραρχίας του ISO για τα ακόλουθα επίπεδα: φυσικό, ζεύξης δεδομένων, δικτύου, μεταφοράς, συνόδου, παρουσίασης και εφαρμογών. Κάθε στρώμα επιτελεί συγκεκριμένες λειτουργίες και παρέχει υπηρεσίες στο αμέσως επόμενο στρώμα. Τα γειτονικά στρώματα επικοινωνούν μεταξύ τους με συγκεκριμένες διεπαφές (SAPs). Συνοπτικά, οι λειτουργίες που επιτελούν τα τέσσερα κατώτερα επίπεδα της ιεραρχίας OSI είναι οι εξής:

- **Φυσικό Επίπεδο:** Παρέχει τη φυσική σύνδεση με συγκεκριμένο εύρος ζώνης μεταξύ δύο δικτυακών συσκευών. Παραδείγματα αποτελούν τα

ομοαξονικά καλώδια, τα συνεστραμμένα ζεύγη, οι οπτικές ίνες και οι ασύρματες ζεύξεις.

- **Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων:** Παρέχει την αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων πάνω από το φυσικό επίπεδο. Επιτελεί λειτουργίες όπως η πολυπλεξία και η αποπολυπλεξία συνδέσεων, η διαίρεση της πληροφορίας σε πλαίσια και η διόρθωση σφαλμάτων. Παραδείγματα αποτελούν τα Point-to-point protocol(PPP) και high-level data link control(HDLC).

- **Επίπεδο Δικτύου:** Το επίπεδο δικτύου δημιουργεί συνδέσεις μεταξύ τερματικών δικτυακών συσκευών. Βασική λειτουργία του επιπέδου αποτελεί η δρομολόγηση πακέτων. Το πλέον διαδεδομένο παράδειγμα είναι το Internet Protocol(IP), το οποίο υλοποιεί στατιστική πολυπλεξία και δρομολόγηση αυτοδύναμων πακέτων.

- **Επίπεδο Μεταφοράς:** Το επίπεδο μεταφοράς υλοποιεί την σωστή σειρά ,χωρίς λάθη, μεταφορά πακέτων από άκρο σε άκρο. Το πλέον διαδεδομένο παράδειγμα είναι το Transfer Control Protocol(TCP).

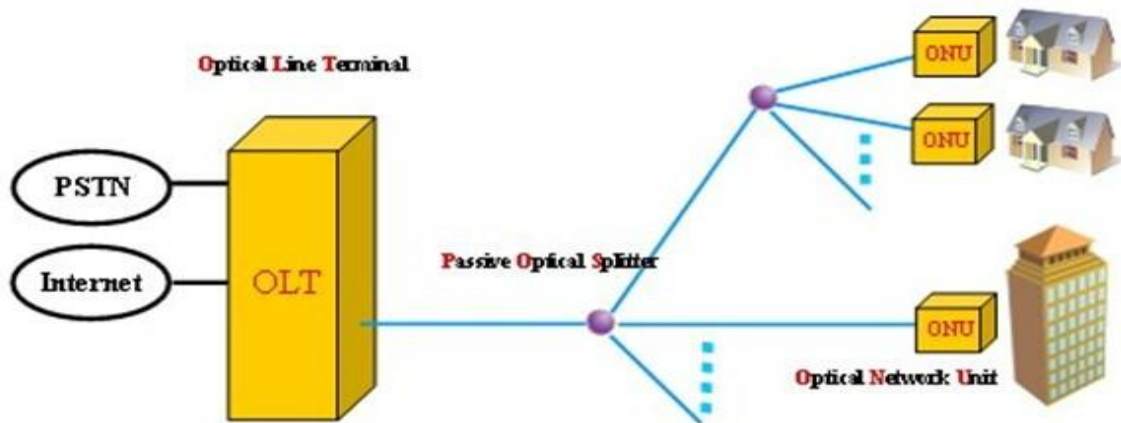
Ένα ακόμη σημαντικό επίπεδο μεταγωγής πακέτων είναι το Asynchronous Transfer Mode-ATM. Το ATM δημιουργεί ιδεατά κυκλώματα για τη μεταγωγή πακέτων σταθερού μεγέθους 53 Bytes με δυνατότητα παροχής διαφόρων τύπων ποιότητας υπηρεσίας. Η υλοποίηση οπτικών δικτύων δεύτερης γενιάς εισάγει ακόμα ένα επίπεδο στην ιεραρχία πρωτοκόλλων, το οπτικό επίπεδο. Το οπτικό επίπεδο αποτελεί επίπεδο παροχής υπηρεσιών σε ανώτερα επίπεδα και στην παρούσα φάση παρέχει οπτικά μονοπάτια(μόνιμα ή κατ' απαίτηση), ενώ μελλοντικά αναμένεται ότι θα παρέχει ιδεατά κυκλώματα για μεταγωγή πακέτου ή υπηρεσίες αυτοδύναμου πακέτων. Επιπλέον, το οπτικό επίπεδο πολυπλέκει τα οπτικά μονοπάτια σε μία ίνα και επιτρέπει την απομάστευση οπτικών μονοπατιών στους κόμβους του δικτύου.

3.4 Οι τοπολογίες οπτικών δικτύων

Ο βασικός στόχος του συνόλου των ενσύρματων επικοινωνιών, είναι η παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών (μηδενικές απώλειες, υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης), όσο το δυνατόν πλησιέστερα στους τελικούς χρήστες. Στην περίπτωση των οπτικών δικτύων, ο στόχος είναι η αντικατάσταση των καλωδίων χαλκού με οπτική ίνα.

Σε ένα οπτικό δίκτυο πρόσβασης, το Κεντρικό Γραφείο (Central office) περιλαμβάνει ένα τερματικό οπτικών γραμμών (OLT), το οποίο παρέχει τη διεπαφή δικτύου και συνδέεται με μια ή περισσότερες μονάδες οπτικών δικτύων (ONU) στην πλευρά του χρήστη. Ανεξάρτητα από την αρχιτεκτονική, τα καλώδια τροφοδοσίας οπτικών ινών τερματίζουν στο κεντρικό γραφείο, πάνω σε μια τέτοια μονάδα OLT. (Kostovski, Stoddart & Mitchell, 2014)

Στην πλευρά του χρήστη, υπάρχει ο εξοπλισμός του κτιρίου του πελάτη (CPE) που περιλαμβάνει την οπτική μονάδα δικτύου (onu) ή το οπτικό τερματικό δίκτυο (ont). Τα καλώδια που φτάνουν στις κατοικίες, λέγονται καλώδια πρόσβασης ενώ τα καλώδια που φτάνουν μέχρι ένα σημείο εκτός σπιτιών και διανέμουν το δίκτυο, λέγονται καλώδια διανομής.



Η αντικατάσταση των συνδέσεων σε ένα δίκτυο πρόσβασης από οπτικά καλώδια, οδηγεί σε πολλές τοπολογίες και για την κατάλληλη επιλογή τα κριτήρια είναι το κόστος, η αξιοπιστία, η ασφάλεια κ.α. Πιο κάτω, ακολουθεί μια σύντομη αναφορά των τοπολογιών.

3.4.1 Point to multipoint - Παθητικά οπτικά δίκτυα (PON)

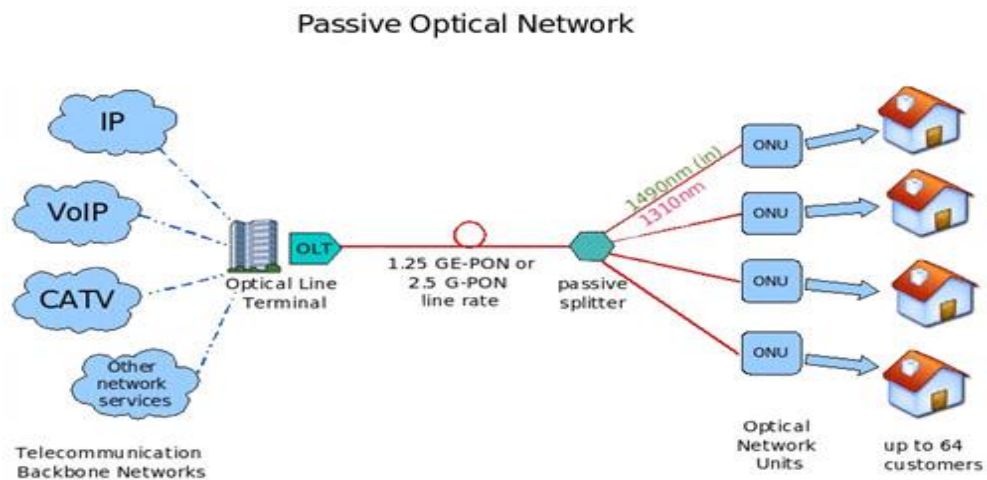
Η αρχιτεκτονική PON, είναι μία τοπολογία σημείου προς πολλά σημεία και το οπτικό σήμα εισέρχεται στους παθητικούς διαχωριστές (splitters), οι οποίοι βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία διακλάδωσης και διαχωρίζεται. Με βάση αυτό, μία οπτική ίνα εξέρχεται από το τοπικό κέντρο και συνδέεται με πολλά σημεία τερματισμού, δημιουργώντας έτσι συνδέσεις σημείου προς πολλά σημεία μεταξύ του OLT και των ONU. Στα παθητικά οπτικά δίκτυα, δεν υπάρχουν ενεργά στοιχεία μεταξύ κεντρικού γραφείου και των κατοικιών, που σημαίνει ότι δεν έχουμε

μετατροπή του σήματος από οπτικό σε ηλεκτρικό. Τα μόνα στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι παθητικοί ζεύκτες και διαιρέτες. (Εικόνα 8)

Τα PON, αποτελούν μια αξιόπιστη λύση για τα δίκτυα πρόσβασης, αφού επιτρέπουν τη χρήση υπηρεσιών ευρείας ζώνης, με οικονομικούς όρους, ώστε να είναι εφικτή η πρόσβαση από μεμονωμένους χρήστες, οι οποίοι δεν έχουν την οικονομική δυνατότητα χρησιμοποίησης οπτικών ινών αποκλειστικής χρήσης.

Ένα PON έχει μερικά σημαντικά πλεονεκτήματα:

- επιτρέπει μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ του κέντρου σύνδεσης και του συνδρομητή (20 km ή και μεγαλύτερες).
- παρέχει μεγάλο εύρος ζώνης, λόγω της εγκατάστασης οπτικών ινών μέχρι τον χρήστη.
- θεωρούνται κατάλληλα για κοινοποίηση πληροφορίας, όπως η αναμετάδοση video.
- και τέλος, μειώνουν το πλήθος και συνεπώς το κόστος των οπτικών ινών στον τοπικό βρόχο.

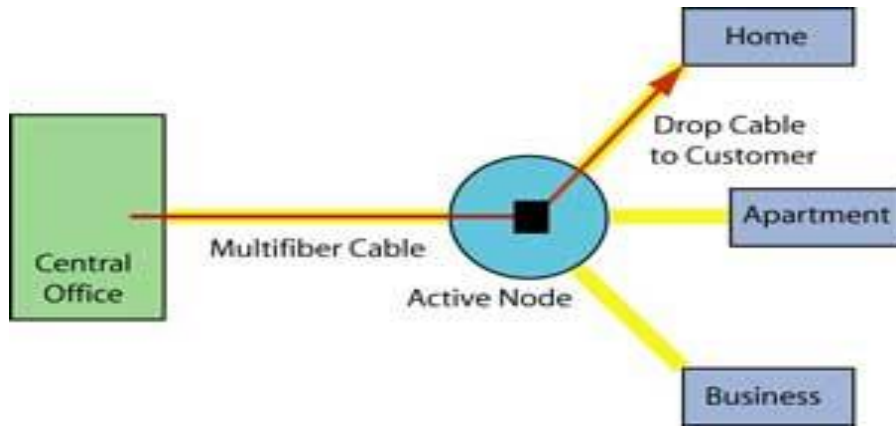


Εικόνα 8: Δίκτυο PON

3.4.2 Point to point - Ενεργός κόμβος (active node)

Η κύρια διαφορά μεταξύ ενός ενεργού δικτύου και ενός παθητικού, είναι η αντικατάσταση του παθητικού splitter, από έναν ενεργό κόμβο. Σε αυτή την αρχιτεκτονική, ο ενεργός κόμβος τοποθετείται μεταξύ του κεντρικού γραφείου και των πελατών. Στην περίπτωση του κόμβου, αντί της διανομής του εύρους ζώνης μεταξύ των συνδρομητών, παρέχεται σε κάθε τελικό χρήστη μια σύνδεση, η οποία του παρέχει το συνολικό αμφίδρομο εύρος ζώνης.

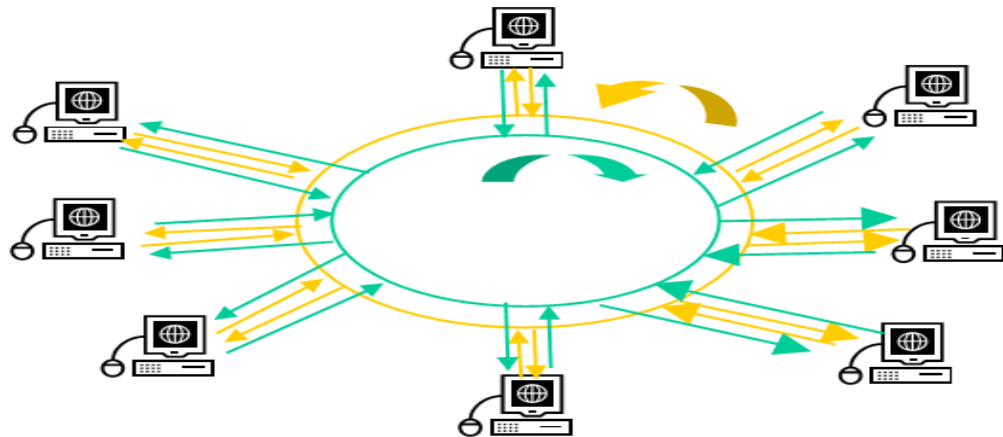
Όταν ο απομακρυσμένος κόμβος περιέχει ενεργές συσκευές, όπως πολυπλέκτες και μεταγωγείς, τότε η αρχιτεκτονική ονομάζεται ενεργού αστέρα και τα αντίστοιχα δίκτυα ενεργά οπτικά δίκτυα, με απαίτηση τη συνεχή παροχή ρεύματος. (Εικόνα 9) (Simpson, 1994)



Εικόνα 9: Απεικόνιση ενεργού κόμβου

3.4.3 Ring

Η τοπολογία δακτυλίου, επιτρέπει την κοινή χρήση οπτικού μέσου, το οποίο, υπό τη μορφή δακτυλίου, συνδέει χρήστες ή/και παρόχους ή/και εσωτερικούς κόμβους του δικτύου. Ο διαχωρισμός των κινήσεων, μπορεί να γίνει είτε με παθητικές διατάξεις πολυπλεξίας στο φυσικό επίπεδο, όπως WDM, είτε με ενεργά στοιχεία (L2 ή L3). (Εικόνα 10) (Mitchell, 2010)



Εικόνα 10: Κόμβος δακτυλίου

3.5 Τεχνολογίες διαδικτύου πάνω από το οπτικό στρώμα

✓ **SONET/SDH**

Τα SONET (Synchronous Optical Network) και SDH(Synchronous Digital Hierarchy) είναι πρωτυποποιημένα πρωτόκολλα πολυπλεξίας και μετάδοσης τα οποία χρησιμοποιούνται στη Β.Αμερική και Ευρώπη-Ιαπωνία, αντίστοιχα. Τα βασικά τους χαρακτηριστικά συνοψίζονται στα εξής:

- Απλοποιημένη πολυπλεξία και αποπολυπλεξία: Όλοι οι κόμβοι του δικτύου είναι συγχρονισμένοι με κεντρικό ρολόι και οι ρυθμοί μετάδοσης που καθορίζονται από το SONET/SDH είναι ακέραια πολλαπλάσια ενός βασικού ρυθμού (51.84 ή 155 Mbps). Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά χρονισμού, κάθε κόμβος πολυπλεξίας/αποπολυπλεξίας γνωρίζει την ακριβή χρονική στιγμή θέση δεδομένων που πρέπει να εξαχθούν/εισαχθούν στη ροή και συνεπώς απλοποιούνται σημαντικά οι διαδικασίες πολυπλεξίας και αποπολυπλεξίας.
- Διαχείριση δικτύου: Το SONET/SDH παρέχει μηχανισμούς διαχείρισης δικτύου όπως εποπτεία απόδοσης, ανίχνευση τύπου κίνησης, ανίχνευση και προβολή σφαλμάτων.
- Διασυνδεσιμότητα: Το SONET/SDH προτυποποιεί τις οπτικές διεπαφές παρέχοντας διασυνδεσιμότητα δικτυακών συσκευών που προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές.
- Διαθεσιμότητα δικτύου: Το πρότυπο SONET/SDH συμπεριλαμβάνει συγκεκριμένες τοπολογίες και τεχνικές προστασίας, καθώς και αντίστοιχα πρωτόκολλα για την παροχή υπηρεσιών με υψηλή διαθεσιμότητα.

✓ **Μορφή πλαισίου του πρωτόκολλου SDH**

Στη σύσταση G.707 της ITU – T ορίζεται η «μονάδα σύγχρονης μεταφοράς» (Synchronous Transport Module), που αναφέρεται συνοπτικά ως STM – 1 και η οποία αποτελεί το πλαίσιο μεταφοράς δεδομένων σε συνδέσμους SDH με ρυθμό μετάδοσης ίσο με 155,52 Mbps. Το πλαίσιο STM – 1 μπορούμε να το θεωρήσουμε ως έναν πίνακα από bytes, μεγέθους 9 γραμμών x 270 στηλών. Η μετάδοσή του γίνεται γραμμή γραμμή, αρχίζοντας από την πάνω αριστερά γωνία και τελειώνοντας στην κάτω δεξιά γωνία. Η μετάδοση του πλαισίου εκτελείται σε 125 msec, δίνοντας έτσι ένα συνολικό ρυθμό μετάδοσης ίσο με 9 γραμμές x 270 στήλες

$x 8 \text{ bits/byte} \times 8000 \text{ πλαίσια/sec} = 155,52 \text{ Mbps}$. Τα πρώτα 9 bytes από κάθε γραμμή περιέχουν τις αναγκαίες πληροφορίες ελέγχου του πρωτοκόλλου, ενώ τα υπόλοιπα 261 bytes περιέχουν τα δεδομένα του χρήστη του πρωτοκόλλου SDH. Τα πρώτα 6 bytes του πλαισίου περιέχουν μια ειδική ακολουθία από bits, η οποία υποδηλώνει την αρχή του. Το τέλος του πλαισίου είναι, εκ κατασκευής, γνωστό ότι βρίσκεται σε απόσταση ίση με 2.430 bytes από την αρχή του.

✓ Τοπολογίες SONET/SDH

Το SONET/SDH εγκαθίσταται με τρεις βασικές τοπολογίες: δακτυλίου, γραμμική τοπολογία και ζεύξεις σημείου προς σημείο. Στις ζεύξεις σημείου προς σημείο οι κόμβοι στα άκρα της ζεύξης ονομάζονται τερματικοί πολυπλέκτες. Οι τοπολογίες δακτυλίου χρησιμοποιούνται για την παροχή υπηρεσίας κατά την αντιμετώπιση δικτυακών βλαβών. Οι δακτύλιοι παρέχουν μία τουλάχιστον εναλλακτική διαδρομή για την επαναδρομολόγηση της κίνησης και χρησιμοποιούνται τόσο για το δίκτυο πρόσβασης όσο και για το δίκτυο κορμού.

✓ Διαφορές SONET – SDH

Το πρότυπο SDH βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στο SONET και μάλιστα επεκτείνει κάποια στοιχεία του έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει διεθνές standard. Παρά τη μεγάλη ομοιότητα που έχουν, υπάρχουν κάποιες διαφορές μεταξύ τους. Η πιο βασική είναι η διαφορά στον βασικό ρυθμό. Στο SDH ο ρυθμός αυτός είναι περίπου 150Mbps, ενώ στο SONET είναι 50Mbps. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται η συνένωση (concatenation) τριών βασικών σημάτων STS-1 του SONET για να προκύψει το STM-1 του SDH. Επίσης τα SONET και SDH διαφέρουν στο πλήθος και την πυκνότητα των ρυθμών μετάδοσης που υποστηρίζουν. Επειδή η τιμή του βασικού πλαισίου του SDH είναι 155,520 Mbps, με την πολυπλεξία π.χ. τεσσάρων καναλιών θα προκύψει ροή πληροφορίας με ρυθμό 622,080Mbps (STM-4) και αν πολυπλεχθούν 16, ο ρυθμός που θα προκύψει ισούται με 2488,320 (STM-16). Επιπλέον, όσον αφορά το πλαίσιο μετάδοσης, το πλαίσιο του SONET μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι το ένα τρίτο του SDH. Το πλαίσιο του SDH αποτελείται από 9 γραμμές των 270 bytes, ενώ του SONET από 9 γραμμές των 90 bytes. Τέλος, επειδή στο SDH ορίζεται πολύ υψηλός βασικός ρυθμός, υπάρχει μια μεγαλύτερη δυσκολία για τη μεταφορά των σημάτων μικρότερου ρυθμού.

✓ **ATM**

Το ATM (Asynchronous Transfer Mode) είναι δικτυακό πρότυπο το οποίο δημιουργήθηκε με πολλούς στόχους, ένας από τους οποίους είναι η ενοποίηση των δικτύων δεδομένων και φωνής. Βασικό πλεονέκτημα του ATM είναι η παροχή εγγυήσεων ποιότητας υπηρεσίας σε εφαρμογές για μεγέθη όπως το εύρος ζώνης και η καθυστέρηση. Οι εγγυήσεις συνήθως αφορούν όρια στην απώλεια πακέτων, στη χρονική καθυστέρηση και τη διασπορά της χρονικής καθυστέρησης. Επίσης το πρότυπο αυτό χρησιμοποιεί έλεγχο αποδοχής για να αποτρέψει νέες συνδέσεις όταν είναι αναγκαίο, έτσι ώστε να εξακολουθούν να ικανοποιούνται οι εγγυήσεις ποιότητας των υπάρχουσών συνδέσεων.

✓ **Multiprotocol Label Switching (MPLS)**

Το MPLS προέκυψε από την ανάγκη για βελτίωση της απόδοσης, επεκτασιμότητας και των δυνατοτήτων παροχής υπηρεσίας των IP δικτύων, καθώς και για την αντιμετώπιση περιορισμών όπως η αδυναμία κίνησης στα IP δίκτυα. Επίσης συνδυάζει την επιπέδου 3 λειτουργία δρομολόγησης με την επιπέδου 2 λειτουργία μεταγωγής, συνεπώς και την ευελιξία που παρέχει η δρομολόγηση με την απόδοση και την παροχή υπηρεσίας της μεταγωγής. Το MPLS είναι ανεξάρτητο από την τεχνολογία ζεύξης δεδομένων και μπορεί να λειτουργήσει πάνω από ATM, μεταγωγή πλαισίου και WDM. Συμπερασματικά, το MPLS παρέχει επιπλέον λειτουργικές δυνατότητες στην βασισμένη σε IP δρομολόγηση και προώθηση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπως VPNs, παροχή ποιότητας υπηρεσίας και αποκατάσταση του IP επιπέδου.

3.6 Επίγειες οπτικές επικοινωνίες - Τεχνολογία FTTX

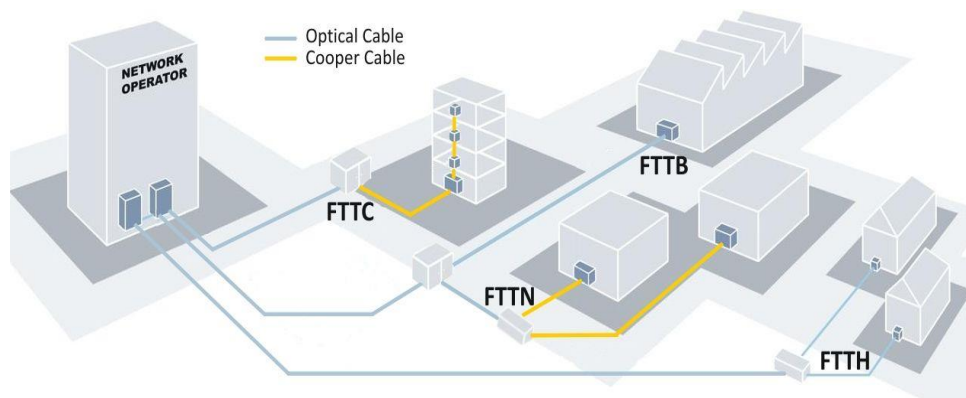
Με τον όρο Fiber to the x ή Fttx, περιγράφεται κάθε αρχιτεκτονική δικτύου που χρησιμοποιεί οπτικές ίνες, σε αντικατάσταση όλου ή μέρους του χάλκινου τοπικού βρόγχου που χρησιμοποιείται για την παροχή υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών.

Ο καταίγισμός των πληροφοριών και η αυξανόμενη ζήτηση για νέες υπηρεσίες με μεγάλες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, οδήγησαν τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους στην αλλαγή του τηλεπικοινωνιακού δικτύου πρόσβασης, από το παραδοσιακό δίκτυο χαλκού, στις λύσεις των οπτικών ινών. Στην τεχνολογία fttx, η κατάληξη «x» αναφέρεται στο σημείο που καταλήγει η

οπτική ίνα, κοντά στον τελικό πελάτη. Το σημείο αυτό είναι η οπτικο-ηλεκτρονική διασύνδεση και συνήθως βρίσκεται σε κάποιο εξοπλισμό μετάδοσης, που ονομάζεται Οπτική Μονάδα Δικτύου (ONU) ή Οπτικό Τερματικό Δικτύου (ONT). Συνοπτικά, τα ακρωνύμια που χρησιμοποιούνται για αυτές τις περιπτώσεις, στην παγκόσμια αγορά είναι τα εξής:

- FTTH (Fiber-to-the-Home), οπτική ίνα μέχρι το σπίτι
- FTTP (Fiber-to-the-Premise), οπτική ίνα μέχρι το κτίσμα
- FTTC (Fiber-to-the-Curb), οπτική ίνα μέχρι τον διακλαδωτή
- FTTB (Fiber-to-the-Building), οπτική ίνα μέχρι το κτίριο
- FTTU (Fiber-to-the-User), οπτική ίνα μέχρι τον χρήστη
- FTTN (Fiber-to-the-Node), οπτική ίνα μέχρι τον κόμβο

Όπου μερικά από αυτά απεικονίζονται στο πιο κάτω σχήμα:

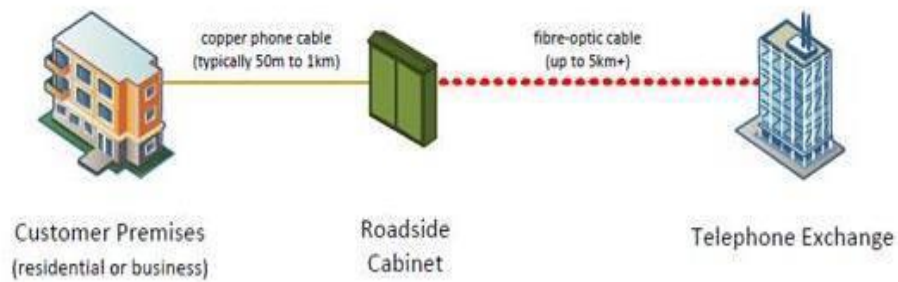


Εικόνα 11: Τεχνολογία FttX

Παρακάτω, περιγράφονται τα διάφορα είδη του fttx, που ορίζουν και το σημείο στο οποίο καταλήγει η οπτική ίνα.

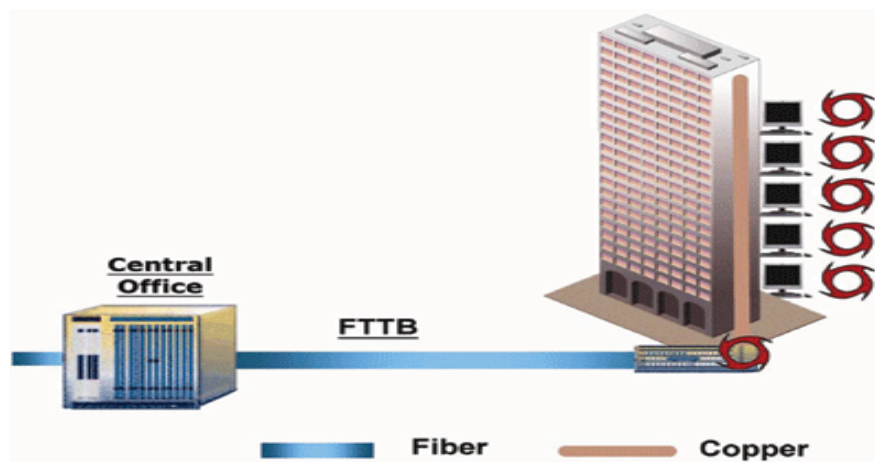
- FTTC (Fiber-to-the-Curb), οπτική ίνα μέχρι τον διακλαδωτή: Η οπτική ίνα φτάνει σε ένα cabinet στο δρόμο, συνήθως λιγότερο από 300 μέτρα από το κτίριο του τελικού χρήστη. Η οπτική ίνα τερματίζεται σε κουτί διακλάδωσης, όπου εισέρχονται όλοι οι συνδρομητικοί βρόχοι και το υπόλοιπο κομμάτι της σύνδεσης μέχρι τον χρήστη, αποτελείται συνήθως από καλώδια χαλκού. (Εικόνα 12) (da Silva, 2005)

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Νικόλαου Κακού



Εικόνα 12: Αναπαράσταση FTTC

- FTTB (Fiber-to-the-Building), οπτική ίνα μέχρι το κτίριο: Η ίνα εκτείνεται από τον εξοπλισμό μεταγωγής ενός δικτυακού παρόχου, φτάνοντας μέχρι το κτίριο των χρηστών και η τελική σύνδεση στους χρήστες γίνεται με χρήση άλλων μέσων, όπως ομοαξονικό καλώδιο, συνεστραμμένα ζεύγη ή ασύρματα. (Εικόνα 13)



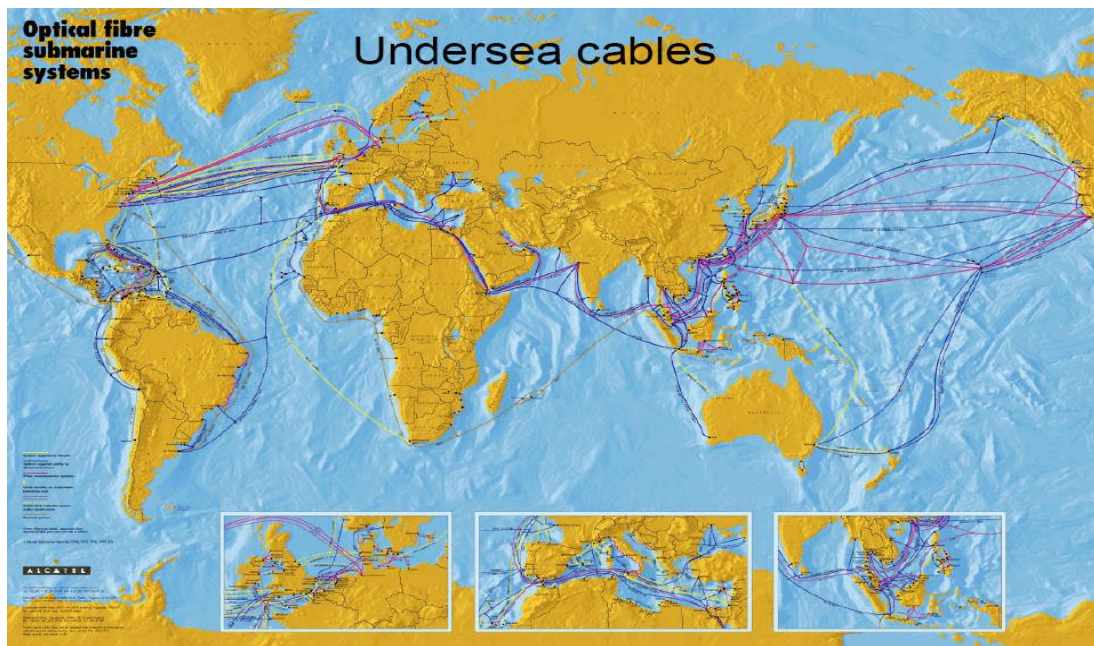
Εικόνα 13: Αναπαράσταση FTTB

- FTTH (Fiber-to-the-Home), οπτική ίνα μέχρι το σπίτι: Η οπτική ίνα φτάνει μέχρι το χώρο (κατοικίας ή εργασίας) του τελικού χρήστη. Το FttH έρχεται σε αντίθεση με όλα τα υπόλοιπα, στα οποία χρησιμοποιείται κάποιο παραδοσιακό φυσικό μέσο, όπως χάλκινα ή ομοαξονικά καλώδια και λόγω του γεγονότος ότι χρησιμοποιεί 100% οπτικές ίνες, μπορεί να πετύχει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και χαμηλό θόρυβο. Το μεγάλο του μειονέκτημα, είναι το υψηλό του κόστος.

3.7 Υποθαλάσσιες οπτικές επικοινωνίες

Τα καλώδια οπτικών ινών, τα οποία συνήθως περιέχουν δεσμίδες οπτικών ινών, χρησιμοποιούνται κυρίως από τους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς για τις επίγειες και υποθαλάσσιες συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων, αντικαθιστώντας τόσο τις γραμμές ομοαξονικών καλωδίων, όσο και τις επίγειες και δορυφορικές μικροκυματικές ζεύξεις.

Τα τελευταία χρόνια έχουν ποντισθεί πολλά καλώδια οπτικών ινών, με χωρητικότητα η οποία ξεπερνά τα 30.000 κυκλώματα φωνής, για τη διασύνδεση ηπείρων. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν το καλώδιο BSFOCS, που εκτείνεται στην περιοχή της Μαύρης θάλασσας και συνδέει τη Βουλγαρία, την Ουκρανία και τη Ρωσία, το καλωδιακό σύστημα SEA-ME-WE 3 (South East Asia-Middle East-West Europe), που ξεκινά από τη Δυτική Ευρώπη (Γερμανία, Μεγάλη Βρετανία), περνά από τα στενά του Γιβραλτάρ στη Μεσόγειο (Ιταλία, Ελλάδα, Κύπρο), συνεχίζει από τα στενά του Σουέζ προς την Ασία και χωρίζεται σε δύο μέρη, με το ένα άκρο να καταλήγει στην Ιαπωνία και το άλλο στην Αυστραλία και το καλώδιο ADRIA-1 που συνδέει την Ελλάδα, την Αλβανία και την Κροατία. (Εικόνα 14) (Headrick & Griset, 2001)

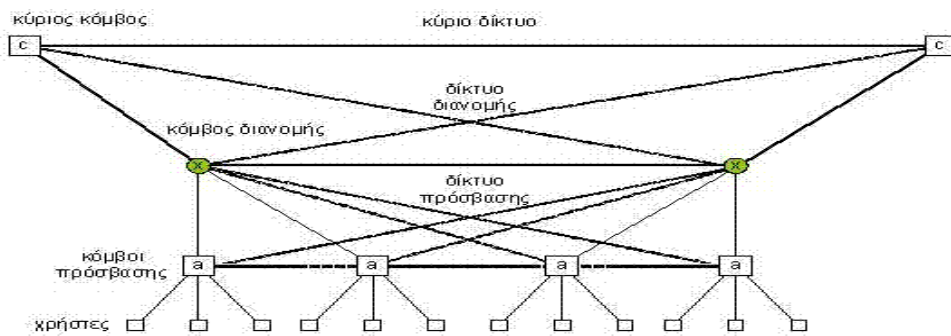


Εικόνα 14: Υποθαλάσσια οπτικά καλώδια ανά τον κόσμο

3.8 Τα μητροπολιτικά δίκτυα οπτικών ινών

Στην εποχή μας, οι αρχιτεκτονικές FTTC και FTTB χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση μητροπολιτικών ευρυζωνικών δικτύων. Χαρακτηριστικό των

δικτύων αυτών, είναι το γεγονός ότι συνδέουν πλήθος σημείων μίας πόλης, όπου τα περισσότερα από αυτά τα σημεία είναι δημόσιες υπηρεσίες, νοσοκομεία, πανεπιστήμια, εταιρίες και στα οποία δίνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιούν απαιτητικές ευρυζωνικές υπηρεσίες, που σε μεγάλο ποσοστό είναι κοινής ωφέλειας. Στα σημεία όπου σταματά η υποδομή οπτικών ινών, χρησιμοποιούνται οι υπόλοιπες τεχνολογίες ευρυζωνικής πρόσβασης, για να δημιουργηθεί το δίκτυο πρόσβασης που φτάνει μέχρι τους τελικούς χρήστες. Η αρχιτεκτονική ενός μητροπολιτικού δικτύου οπτικών ινών, μπορεί να περιγραφεί σε τρία επίπεδα. (Εικόνα 15) Αυτά είναι το δίκτυο κορμού, το δίκτυο διανομής και το δίκτυο πρόσβασης.



Εικόνα 15: Αρχιτεκτονική μητροπολιτικού δικτύου

Το δίκτυο κορμού, είναι το βασικό μέρος του δικτύου και αποτελείται από πλήθος κύριων κόμβων, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με απευθείας διασυνδέσεις. Το δίκτυο διανομής, περιλαμβάνει τους κόμβους διανομής που συνδέονται μεταξύ τους αλλά και με τους κύριους κόμβους. Σκοπός είναι, κάθε κόμβος διανομής, να συνδέεται, είτε με δύο διαφορετικούς κύριους κόμβους, είτε στον ίδιο κύριο αλλά μέσω διαφορετικών διαδρομών, ώστε σε περίπτωση βλάβης να μην γίνει αντιληπτό στους χρήστες. Το δίκτυο πρόσβασης, αποτελείται από τους κόμβους πρόσβασης, στους οποίους συνδέονται τα κτίρια που περιλαμβάνονται στο δίκτυο. (Skontorp, 2000)

Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο έγινε αναφορά στη δομή των τηλεπικοινωνιακών δικτύων και αναλύθηκε η οπτική τεχνολογία στο σύνολό της. Οι τελευταίες και πολύ σημαντικές αναφορές, σχετίζονταν με την τοπολογία των οπτικών δικτύων και την τεχνολογία fttx. Επίσης, έγινε μια μικρή αναφορά, στις περιπτώσεις όπου κατέσται απαραίτητη η πόντιση υποθαλασσίων καλωδίων, για την τηλεπικοινωνιακή σύνδεση των ηπείρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ

Πρόλογος

Παρά το γεγονός ότι η οπτική ίνα έχει ανεβάσει το επίπεδο των επικοινωνιών, δεν έχει ακόμα βρεθεί λύση για το πρόβλημα που ονομάζεται «το τελευταίο μίλι (ή χιλιόμετρο ανάλογα με τη χώρα)». Ο όρος αναφέρεται στο τελευταίο κομμάτι της παροχής τηλεπικοινωνιών, δηλαδή στον τελικό δέκτη, που δεν είναι άλλος από τον απλό καταναλωτή. Το τελικό νόημα, είναι το γεγονός ότι δημιουργείται ένα τηλεπικοινωνιακό «στένωμα» (bottleneck), αφού τα δίκτυα οπτικών ινών συνδέονται με τα παλαιότερα και η ταχύτητά τους μειώνεται αισθητά, αποτρέποντας εν τέλει τον χρήστη, από την 100% εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του δικτύου.

4. Εισαγωγικά

Ως καινοτομία που διαμόρφωσε το τοπίο στο χώρο της παγκόσμιας οικονομίας, η οπτική ίνα φαίνεται να παρουσιάζει ένα μέλλον τόσο λαμπρό, όσο το ίδιο το φως που τη διαπερνά. Χάρη στη συμβατότητάς της με τις άλλες τεχνολογίες, το συνδυασμό αύξησης κόστους-αποτελεσματικότητας και το σχεδόν απεριόριστο εύρος ζώνης της, η οπτική ίνα έχει τη δυναμική να αναπτυχθεί και να προσαρμοστεί, στις μελλοντικές απαιτήσεις των χρηστών, για πληθώρα δεδομένων. Έτσι, αν έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε μια μόνο λέξη για να περιγράψουμε τη σημερινή εποχή, αυτή θα ήταν «συνδεδεμένος», αφού με περισσότερα από 2 δις χιλιόμετρα οπτικών ινών που έχουν εγκατασταθεί ή τοποθετούνται αυτή τη στιγμή ανά τον κόσμο και συνδέουν επιχειρήσεις, κοινότητες, χώρες ή και ολόκληρες ηπείρους, η σημασία που δίνει είναι ακριβής.

Μια παρατήρηση που πρέπει να κάνουμε σε αυτό το σημείο, είναι το γεγονός ότι έχουμε το ίδιο αποτέλεσμα, ακόμα και αν η πληροφορία μεταφέρεται από τον χρήστη, προς τον εξωτερικό κόσμο και η ταχύτητα ξανά, δεν είναι η επιθυμητή.

Πρέπει επομένως να ληφθούν ορισμένες σημαντικές αποφάσεις, ώστε να μπορέσουμε να προχωρήσουμε. Η λύση έχεις πάντως δωθεί με τον εξής τρόπο. Γνωρίζουμε ότι η ασύρματη σύνδεση, έχει λύσει το πρόβλημα της κινητικότητας. Γνωρίζουμε επίσης, ότι οι οπτικές ίνες έχουν επιλύσει το πρόβλημα της ταχύτητας και της χωρητικότητας και τέλος, ότι η δημόσια ιδιοκτησία, προσφέρει ένα δίκτυο

που χτίστηκε, με σκοπό να οφελεί την κοινωνία. Άρα, μάλλον πρέπει να βρεθεί μια φόρμουλα, ώστε αυτά τα τρία να συνδυαστούν. (Mitchell, 2014)

4.1 Το πρόβλημα του τελευταίου μιλίου

Τα παλαιότερης τεχνολογίας καλώδια (χάλκινα), έχουν ένα περιορισμένο εύρος ζώνης. Οι πληροφορίες που διαχέονται σε αυτά έχουν πλέον φτάσει το μέγιστο της ταχύτητας και της ποσότητας που μπορούσε να τους προσφέρει ο χαλκός. Στα σημεία όπου ενώνονται λοιπόν τα χάλκινα καλώδια με τις οπτικές ίνες, συμβαίνει το απόλυτα λογικό, να «φρενάρει» το δεδομένο και να κόβει ταχύτητα.

Ένα πολύ πετυχημένο παράδειγμα, το οποίο κάνει πιο κατανοητό το όλο ζήτημα είναι αυτό του αυτοκινητόδρομου. Ας φανταστούμε ένα πολύ γρήγορο αμάξι (δεδομένο-πληροφορία-βίντεο), το οποίο κινείται με ιλιγγιώδη ταχύτητα σε έναν δρόμο Ευρωπαϊκών προδιαγραφών (οπτική ίνα). Ξαφνικά, πρέπει να μεταφερθεί σε έναν δρόμο ο οποίος είναι επαρχιακός (χάλκινο καλώδιο). Είναι επόμενο, ότι πρέπει να ελαττώσει την ταχύτητά του ώστε να μπει και να προχωρήσει με ασφάλεια. Κάπως έτσι μπορούμε να πούμε ότι λειτουργεί και η διαδικασία, στα σημεία όπου οι οπτικές ίνες, συνδέονται με τα ξεπερασμένης τεχνολογίας καλώδια.

Μιλώντας τώρα πιο επιστημονικά, το πιο πάνω θέμα προκύπτει επειδή τα δίκτυα επικοινωνιών λιανικής, έχουν την τοπολογία του «δέντρου» (tree topology), το οποίο σημαίνει ότι υπάρχουν σχετικά λίγοι, υψηλής χωρητικότητας «κορμοί», δηλαδή κανάλια επικοινωνίας και τα οποία καλούνται να τροφοδοτήσουν πολλά «φύλλα» στο τελευταίο μίλι. Οι συνδέσεις αυτής της τελικής απόστασης, μιας και αποτελούν το πολυπληθέστερο και πιο ακριβό κομμάτι του δικτύου, είναι και οι πιο δύσκολες στο να αναβαθμιστούν και να αντικατασταθούν από νεότερη τεχνολογία. Για παράδειγμα, οι τηλεφωνικές γραμμές που κουβαλούν τις κλήσεις μας, είναι πλέον κατασκευασμένες από οπτικές ίνες αλλά η τελευταία απόσταση που αποτελείται ακόμη από τα πεπλεγμένα ζεύγη καλωδίων, τα οποία παρέχουν το τελικό στάδιο της υπηρεσίας στον καταναλωτή, δεν έχουν αλλάξει και πολύ, εδώ και περίπου έναν αιώνα. (Forrester, 2009)

4.2 Οι συνδέσεις ISDN30

Η σύνδεση που ενώνει τα κατά τόπους τηλεφωνικά κέντρα με τις εγκατεστημένες, στο χώρο του πελάτη συσκευές, καλείται επίσης «τελευταίο μίλι». Στην πλειοψηφία των χωρών, αποτελείται από μια σύνδεση που ονομάζεται ISDN30 και η οποία παρέχει υπηρεσίες, είτε μέσω καλωδίων χαλκού, είτε μέσω οπτικών ινών. Αυτή η σύνδεση, έχει την ικανότητα να μεταφέρει ταυτόχρονα, έως και 30 διαφορετικές τηλεφωνικές κλήσεις.

Οι συνδέσεις αυτές, από τη στιγμή που βγαίνουν από το τηλεφωνικό κέντρο, βρίσκονται τοποθετημένες στο έδαφος, συνήθως σε μικρούς αγωγούς και θαμμένες σε σχετικά μικρό βάθος. Αυτή η πρακτική όμως, καθιστά ευάλωτες τις τηλεφωνικές γραμμές των επιχειρήσεων, κατά τη διάρκεια έργων που πραγματοποιούνται από διάφορους φορείς ή υπηρεσίες, όπως επίσης και σε ακραία καιρικά φαινόμενα (για παράδειγμα σε ισχυρές καταιγίδες). Επιπλέον, υπόκεινται και σε μια γενικότερη φθορά, η οποία μπορεί να προέρχεται από φυσικά αίτια. Όλα αυτά, σημαίνουν την απώλεια των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, προς τις υπηρεσίες που θα επηρεαστούν. (Madeline & Dawson, 2002)

Έτσι, όλες οι επιχειρήσεις με σύνδεση τύπου ISDN30, οφείλουν να εντάξουν στη λειτουργία τους και μια πρόβλεψη, για παρόμοια πιθανά σενάρια. Οι επιλογές που έχουν στη διαθεσή τους είναι αρκετές:

- το **“dual parenting”**, κατά το οποίο ο τηλεπικοινωνιακός φορέας, παρέχει τους ίδιους αριθμούς, από δύο όμως διαφορετικά κέντρα. Έτσι, αν κάποιος από τα καλώδια του πελάτη υποστεί κάποιου είδους ζημιά, ο πελάτης μπορεί να συνεχίσει να λαμβάνει τις υπηρεσίες του παρόχου από το άλλο, έως ότου πραγματοποιηθούν οι εργασίες επισκευής στο κατεστραμμένο.
- η εναλλαγή δρομολόγησης ή **“diverse routing”**, είναι μια παραλλαγή του dual parenting, όπου ο πάροχος προσφέρει περισσότερες από μια διαδρομές, οι οποίες όμως μπορούν να μοιράζονται την υπόγεια καλωδίωση ή τους κεντρικούς καταναμητές (τα γνωστά ΚΑΦΑΟ).
- ο διαχωρισμός ή **“separacy”**, είναι παρόμοιος με τον προηγούμενο τρόπο, με τη μόνη διαφορά ότι δεν μοιράζεται τις υπόγειες καλωδιώσεις ή τα κουτιά των κεντρικών διακομιστών.
- οι λύσεις **“exchange-based”**, στις οποίες συμμετέχει μια εξειδικευμένη εταιρεία, σε συνεργασία με τον βασικό πάροχο. Ο σκοπός είναι, σε περίπτωση βλάβης, να πραγματοποιείται η εκτροπή της γραμμής ISDN30

σε έναν άλλο αριθμό και να συνεχίζεται έτσι απερίσπαστα η παροχή υπηρεσιών τηλεπικοινωνίας.

- επιπλέον, οι λύση **“non exchange-based”**, κατά την οποία έχουμε ξανά τη συνεργασία μιας εξειδικευμένης εταιρείας με τον κύριο πάροχο για την εκτροπή της γραμμής, όμως με κάπως περιορισμένες υπηρεσίες, όπως στην περίπτωση του Ηνωμένου Βασιλείου, όπου δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί καταγραφή των τηλεφωνικών κλήσεων.
- υπάρχει επίσης η λύση των υπηρεσιών μεταφοράς αριθμού ή **“ported number services”**, όπου για άλλη μια φορά οι αριθμοί των πελατών μεταφέρονται σε μια εταιρεία (όχι του κυρίως φορέα), έτσι ώστε να συνεχίζονται οι εργασίες της επιχείρησης που αντιμετώπισε πρόβλημα με τις τηλεπικοινωνίες του.
- επιπροσθέτως, η λύση των **“hosted numbers”** (φιλοξενούμενοι αριθμοί), όπου οι φορείς ή οι εταιρείες του χώρου, φιλοξενούν τους αριθμούς του πελάτη σε ένα δικό τους δίκτυο και στη συνέχεια, μεταφέρουν τις τηλεφωνικές κλήσεις μέσω ενός δικτύου IP, σε χώρο όπου επιθυμεί ο πελάτης.
- τέλος, η λύση των **“inbound numbers”** ή εισερχόμενων αριθμών, οι οποίες είναι ευρέως γνωστές και ως «υπηρεσίες τύπου 08». Σε αυτές, προσφέρονται προσημειωμένοι αριθμοί τύπου 08 ή 03 ή 05 και γίνεται μεταφορά των κλήσεων σε άλλους αριθμούς. Η συγκεκριμένη υπηρεσία είναι ευρέως διαδεδομένη στο Ηνωμένο Βασίλειο. (Madeline & Dawson, 2002)

4.3 Τα σημερινά προβλήματα του συστήματος παροχής υπηρεσιών

Η αυξημένη ζήτηση παγκοσμίως για γρήγορες, μικρού χρόνου αναμονής και υψηλού όγκου κοινοποίησης πληροφοριών, τόσο σε οικιακό όσο και επιχειρησιακό περιβάλλον, έχει καταστήσει την οικονομική διανομή πληροφοριών, εξαιρετικά σημαντική. Καθώς η ζήτηση έχει κλιμακωθεί, τροφοδοτούμενη ιδιαίτερα και από την ευρεία υιοθέτηση του διαδικτύου, έχει ταυτόχρονα αυξηθεί και η ανάγκη για υψηλών ταχυτήτων αλλά συνάμα οικονομική πρόσβαση, από τους τελικούς χρήστες. (AIMMS, 2012)

Καθώς οι απαιτήσεις έχουν αλλάξει και τα υφιστάμενα συστήματα και δίκτυα, που αρχικά είχαν προγραμματιστεί να λειτουργήσουν για το σκοπό αυτό, πλέον έχουν αποδειχθεί ανεπαρκή. Μέχρι τις μέρες μας, παρά το γεγονός ότι ένας σημαντικός αριθμός λύσεων έχει δοκιμαστεί, δεν έχει αναδυθεί καμία απόλυτα ορθή λύση, που να αφορά το «τελευταίο μίλι».

Έτσι, όσων αφορά τη χωρητικότητα των πληροφοριών που μεταφέρει ένα κανάλι η παρουσία θορύβου στα συστήματα πληροφοριών, θέτει ένα ελάχιστο όριο απαίτησης (λόγο) σήματος προς θόρυβο, ακόμα και όταν είναι διαθέσιμο ένα επαρκές φασματικό εύρος ζώνης. Άρα, δημιουργείται μια ελάχιστη ποσότητα ενέργειας ανά bit, που είναι η μικρότερη ποσότητα δεδομένου. Επομένως, καθίσταται χρήσιμη για την εξέταση των ήδη υπαρχόντων συστημάτων, η έννοια του ICE (Information-Carrying Energy).

4.4 Το κόστος, η απόδοση και οι οικονομίες κλίμακας

Οι αγωγοί υψηλής χωρητικότητας στα συστήματα, έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν αποτελεσματικά τα δεδομένα σε μεγάλη απόσταση. Το ποσοστό των πόρων που χάνεται ή μεταφέρεται σε λάθος δέκτη, είναι πολύ μικρό. Δεν μπορεί να ειπωθεί βέβαια το ίδιο, για τους αγωγούς μικρότερης χωρητικότητας.

Τα συστήματα στα οποία αναφερόμαστε, αποτελούνται από τη λογική των διακλαδώσεων, τα οποία όμως όσο διαχωρίζονται προς τους τελικούς χρήστες, αποδυναμώνονται, δηλαδή μειώνεται η ικανότητά τους να μεταφέρουν με ταχύτητα μεγάλο όγκο δεδομένων. Παρά το γεγονός όμως του μικρού τους μεγέθους, η ποσότητα αυτών των σημείων τα καθιστά ακριβά, αφού η αναβάθμιση που απαιτείται, πρέπει να γίνει σε κάθε ένα από αυτά και επίσης, δεν πρέπει να ξεχνάμε και το κόστος συντήρησης. Επομένως, οι τοπικές ρυθμίσεις είναι αυτές που θα πρέπει να επωμιστούν τα προαναφερθέντα κόστη. (Lee et al, 2006)

Προκύπτει όμως και ένα πλεονέκτημα από τα παραπάνω, το οποίο ονομάζεται «μοντέλο μικρής κυβέρνησης». Αυτό σημαίνει ότι η διαχείριση αυτών των αγωγών, μπορεί να επιτευχθεί από τοπικούς φορείς, άρα να βρεθούν καλύτερες λύσεις στο άμεσο περιβάλλον αλλά και να γίνει καλύτερη χρήση των τοπικών πόρων. Ωστόσο, οι χαμηλές λειτουργικές αποδόσεις και τα σχετικά υψηλά κόστη εγκατάστασης, αποτρέπουν τις εταιρείες από να προβούν στο επόμενο βήμα.

Τα χαρακτηριστικά αυτά είχαν εμφανιστεί επίσης στη γέννηση, την ανάπτυξη και τη χρηματοδότηση του διαδικτύου. Η πρώτη επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών, έπρεπε αναγκαστικά να επιτευχθεί με χρήση ενσύρματων συνδέσεων μεταξύ των μεμονωμένων υπολογιστών. Αυτά στην πορεία μεγάλωσαν και μετατράπηκαν σε συμπλέγματα μικρών τοπικών δικτύων (LAN). Το TCP/IP σύνολο πρωτοκόλλων, γεννήθηκε από την ανάγκη να συνδεθούν μαζί, πολλά από αυτά τα τοπικά δίκτυα, ιδιαίτερος σε μια προσπάθεια υλοποίησης συνδέσεων μεταξύ του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ, της βιομηχανίας και ορισμένων πανεπιστημιακών ιδρυμάτων. (Lee et al, 2006)

Το δίκτυο ARPANET, τέθηκε σε λειτουργία με σκοπό την προώθηση αυτών των συμφερόντων. Εκτός από την παροχή, για πολλούς υπολογιστές και τους χρήστες τους, να μοιράζονται μια κοινή σύνδεση μεταξύ LAN, τα πρωτόκολλα TCP/IP παρέχουν ένα τυποποιημένο τρόπο σύνδεσης για την ανταλλαγή πληροφοριών, σε υπολογιστές και λειτουργικά συστήματα που παρουσιάζουν μεγάλες ανομοιότητες μεταξύ τους. Η χρηματοδότηση και υποστήριξη για τις συνδέσεις μεταξύ των LANs, θα μπορούσε να κλιμακωθεί σε ένα ή ακόμα και αρκετά τοπικά δίκτυα. (Senior, 2008)

Όσον αφορά τώρα την οικονομία κλίμακας, αυτή πραγματοποιεί μια αύξηση της χωρητικότητας, με κόστος που μειώνεται όσο αυξάνεται η χωρητικότητα.

Δεδομένου λοιπόν, ότι το διαδίκτυο έχει αυξηθεί σε μέγεθος (σύμφωνα με ορισμένες εκτιμήσεις, διπλασιάζεται από τον αριθμό των χρηστών, κάθε δεκαοκτώ μήνες), η οικονομία κλίμακας έχει οδηγήσει σε ολοένα και πιο μεγάλους αγωγούς μεταφοράς πληροφοριών, οι οποίοι παρέχουν προώθηση σε μεγαλύτερη απόσταση και με ικανότητα υψηλότερης ποιότητας συνδέσεων. Κατά τα τελευταία χρόνια, η ικανότητα επικοινωνίας των οπτικών ινών, με την υποστήριξη και της βιομηχανίας, έχει ως αποτέλεσμα την επέκταση της ικανότητας των πρώτων σε τέτοιο βαθμό, ώστε στις Ηνωμένες Πολιτείες να μη χρησιμοποιείται ένα μεγάλο ποσό της εγκατεστημένης υποδομής οπτικών ινών, επειδή αποτελεί πλεονάζουσα ικανότητα (και έχει ονομαστεί σκοτεινή ίνα ή dark fiber). (Senior, 2008)

Η ύπαρξη αυτής της πλεονάζουσας ικανότητας, υφίσταται παρά την αυξητική τάση του ρυθμού και της συνολικής ποσότητας μεταφοράς δεδομένων ανά χρήστη. Αρχικά, μόνο οι συνδέσεις τοπικού δικτύου ήταν υψηλής ταχύτητας. Οι τελικοί χρήστες χρησιμοποιούσαν τις υπάρχουσες τηλεφωνικές γραμμές και τα

μόντεμ, τα οποία ήταν ικανά για ταχύτητες δεδομένων, μόνο μερικών εκατοντάδων bit/sec. Τώρα, σχεδόν όλοι οι τελικοί χρήστες έχουν πρόσβαση σε 100 ή και περισσότερες φορές, πιο υψηλούς ρυθμούς. (Lee et al, 2006)

4.5 Προσπάθειες για ανεύρεση λύσης

Προκειμένου να επιλυθεί το πρόβλημα του τελευταίου μιλίου, ορισμένες εταιρείες αναμιγνύουν τα δίκτυά τους, εδώ και δεκαετίες. Οι προσπάθειες αυτές περιλαμβάνουν τους ασύρματους τοπικούς βρόγχους (WLL, Wireless Local Loop), το πρότυπο WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) και την ευρυζωνικότητα μέσω γραμμών ηλεκτρικού ρεύματος (BPL, Broadband over Power Lines)

4.5.1 Ο ασύρματος τοπικός βρόγχος (WLL)

Με τον όρο ασύρματο τοπικό βρόχο (WLL), ονομάζεται η χρήση μιας ασύρματης ζεύξης επικοινωνίας, όπως η σύνδεση «τελευταίο μίλι/πρώτο μίλι», για την παροχή παλιάς τηλεφωνικής υπηρεσίας (POTS) ή την πρόσβαση στο Internet (σημειωμένη με τον όρο «ευρυζωνική»), στους πελάτες των τηλεπικοινωνιακών παρόχων. Υπάρχουν διάφοροι τύποι συστημάτων WLL και τεχνολογιών.

Άλλοι όροι που συναντά κανείς για αυτό το είδος της πρόσβασης, περιλαμβάνουν ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση (Broadband Wireless Access), Radio In The Loop (RITL), Fixed-Radio Access (FRA), Σταθερή Ασύρματη Πρόσβαση (ΣΑΠ) και Metro Wireless (MW). (Gavin, 2012)

Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να προστεθεί ο ορισμός της τοπικής ασύρματης πρόσβασης. Οι μονάδες Σταθερών Ασύρματων Τερματικών (FWT), διαφέρουν από τις συμβατικές κινητές τερματικές μονάδες που λειτουργούν εντός των δικτύων, όπως το GSM. Αυτό έχει ως συνέπεια, ένα σταθερό ασύρματο τερματικό ή το τηλέφωνο ενός γραφείου, να πρέπει να περιοριστεί σε μια σχεδόν μόνιμη θέση, με σχεδόν καμιά ικανότητα μετακίνησης. Τα WLL και FWT επομένως, είναι οι γενικοί όροι των τηλεπικοινωνιών με βάση τις τεχνολογίες ραδιοσημάτων και των αντίστοιχων συσκευών, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. (Stallings, 2000)

Η ασύρματη υπηρεσία τοπικού βρόγχου, είναι χωρισμένη σε μια σειρά από ευρέως ανεπτυγμένες ομάδες της αγοράς. Οι υπηρεσίες χωρίζονται μεταξύ τους, σε «όσες έχουν πάρει άδεια» (που χρησιμοποιούνται συνήθως από τους

μεταφορείς και τις εταιρείες τηλεπικοινωνιών) και τις υπηρεσίες «χωρίς άδεια», οι οποίες χρησιμοποιούνται περισσότερο από τους οικιακούς χρήστες και wireless ISPs (WISPs).

Η αγορά ασύρματου τοπικού βρόχου, είναι σήμερα μια εξαιρετικά υψηλής ανάπτυξης αγορά, η οποία προσφέρει στους παρόχους υπηρεσιών διαδικτύου άμεση πρόσβαση σε αγορές πελατών, χωρίς να χρειάζεται να τοποθετούν πρώτα καλώδια μέσω μιας μητροπολιτικής περιοχής MTA ή να εργαστούν μέσω των ILECs, μεταπωλεί τα δίκτυα τηλεφώνου, τα καλωδιακά ή δορυφορικά δίκτυα, που ανήκουν σε εταιρείες που προτιμούν άμεση πώληση. (Gavin, 2012)

Η τάση αυτή, αναβίωσε τις προοπτικές για τα τοπικά και περιφερειακά ISPs, καθώς αυτοί που είναι πρόθυμοι να αναπτύξουν σταθερά ασύρματα δίκτυα, δεν βρέθηκαν στο έλεος των μεγάλων τηλεπικοινωνιακών μονοπωλίων. Ήταν όμως στο έλεος της ανεξέλεγκτης επαναχρησιμοποίησης των μη αδειοδοτημένων συχνοτήτων, με τα οποία επικοινωνούσαν.

Επιπροσθέτως, λόγω της τεράστιας ποσότητας του 802.11 "Wi-Fi" εξοπλισμού και λογισμικού, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι άδειες φάσματος δεν απαιτούνται στην περιοχή των ISM και U-NII ζωνών, η βιομηχανία έχει προχωρήσει πολύ πιο μπροστά από τις ρυθμιστικές αρχές και τους οργανισμούς τυποποίησης.

Οι τεχνολογίες που αφορούν τις κινητές επικοινωνίες, είναι οι Code Division Multiple Access (CDMA), Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT), Radio Access Profile (RAP), Global System for Mobile Communications (GSM), Time Division Multiple Access (TDMA), καθώς και η αναλογική τεχνολογία πρόσβασης, όπως τα Advanced Mobile Phone Systems (AMPS). (Skoglund, 2002)

4.5.2 Το πρότυπο WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

Το WiMAX, είναι στην ουσία ένα πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας, το οποίο έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ρυθμούς δεδομένων, από 30 έως 40 megabit ανά δευτερόλεπτο, με την αναβάθμιση του 2011 να αγγίζει έως και το 1 Gbit/s, για σταθερούς σταθμούς. Το όνομα WiMAX, δημιουργήθηκε από το WiMAX Forum, που ιδρύθηκε τον Ιούνιο του 2001, για την προώθηση της συμμόρφωσης και της διαλειτουργικότητας του προτύπου. Το φόρουμ, περιγράφει το WiMAX, ως μια «τεχνολογία βασισμένη σε πρότυπα, που επιτρέπει την παράδοση δεδομένων στο

τελευταίο μίλι της ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης, ως εναλλακτική λύση στην καλωδιακή και DSL πρόσβαση που υπάρχει ως σήμερα.

Το συγκεκριμένο πρότυπο, αναφέρεται σε διαλειτουργικές εφαρμογές του προτύπου IEEE 802.16, το οποίο αποτελεί οικογένεια ασύρματων δικτύων. Ομοίως, το Wi-Fi αναφέρεται σε διαλειτουργικές εφαρμογές των προτύπων IEEE 802.11, πιστοποιημένες από την Ένωση Ασύρματων Δικτύων. Η πιστοποίηση από το WiMAX Forum, επιτρέπει την πώληση σταθερών ή κινητών προϊόντων WiMAX ως πιστοποιημένα, εξασφαλίζοντας έτσι ένα επίπεδο συνεργασίας με άλλα, επίσης πιστοποιημένα προϊόντα, εφόσον ταιριάζουν στο ίδιο προφίλ. Για την ιστορία, το αρχικό πρότυπο IEEE 802.16 (πλέον γνωστό με την ονομασία "Fixed WiMAX»), δημοσιεύθηκε το 2001. Το πρότυπο, υιοθέτησε την τεχνολογία παραγωγής του από WiBro, που είναι μια υπηρεσία η οποία διατίθεται στο εμπόριο στην Κορέα. Επίσης, το WiMAX, αναφέρεται ορισμένες φορές ως «Wi-Fi με στεροειδή» και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια σειρά εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των ευρυζωνικών συνδέσεων, τις συνδέσεις backhaul (τμήμα του δικτύου που περιλαμβάνει τις ενδιάμεσες συνδέσεις μεταξύ του πυρήνα του δικτύου ή του κορμού, καθώς και τα μικρά υποδίκτυα στην «άκρη» του συνόλου του δικτύου), τα hotspots κ.α. Παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με το Wi-Fi αλλά μπορεί να επιτρέψει τη χρήση σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις. (Roger, 2006)

4.5.3 Η ευρυζωνικότητα μέσω γραμμών ηλεκτρικού ρεύματος

Η ευρυζωνικότητα μέσω γραμμών ισχύος (BPL), είναι μια μέθοδος επικοινωνίας με χρήση των γραμμών ρεύματος, η οποία επιτρέπει τη μετάδοση ψηφιακών δεδομένων σχετικά υψηλής ταχύτητας, μέσω της καλωδίωσης διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα δίκτυα BPL, χρησιμοποιούν υψηλότερες συχνότητες, ένα ευρύτερο φάσμα συχνοτήτων και διαφορετικές τεχνολογίες από άλλες μορφές επικοινωνίας που χρησιμοποιούν γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος, για την παροχή επικοινωνίας υψηλής συχνότητας σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Τα BPL χρησιμοποιούν συχνότητες οι οποίες αποτελούν μέρος του ραδιοφάσματος που κατανέμεται σε τηλεπικοινωνίες over-the-air (από αέρος). Η πρόληψη των παρεμβολών, από και προς, αυτές τις υπηρεσίες, είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στο σχεδιασμό των συστημάτων BPL. (Schwager & Berger, 2014)

Η υπηρεσία πρόσβασης στο διαδίκτυο, μέσω γραμμών ηλεκτροδότησης, συναντάται συχνά στο εμπόριο και ως «ηλεκτρικό internet». Ένας Η/Υ ή οποιαδήποτε άλλη συσκευή, χρειάζεται απλά να συνδέσει ένα ειδικό μόντεμ, τύπου BPL, σε μια οποιαδήποτε μπρίζα ενός κατάλληλα εξοπλισμένου κτηρίου, έτσι ώστε να έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο. Οι Διεθνείς Ευρυζωνικές Ηλεκτρονικές Επικοινωνίες (International Broadband Electric Communications, IBEC), είναι ένας πάροχος αυτού του είδους, ο οποίος εδρεύει στην Αμερική και λειτουργεί από το 2012. (Joaquin et al, 2013)

Σε αντίθεση με τους οικιακούς χρήστες, οι πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας είναι σε πιο ευνοϊκή θέση στο να εξετάσουν την ευρεία εξάπλωση των καλωδίων οπτικών ινών, με ταυτόχρονη ανοσία στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και για τα οποία υπάρχουν διαθέσιμες, δοκιμασμένες συσκευές (διακόπτες, αναμεταδότες). Κατά συνέπεια, δεν υπάρχει ακόμη κάποιος λόγος που να επιβάλλει τη μεταφορά των δεδομένων από τις υπάρχουσες γραμμές ηλεκτροδότησης, όπως συμβαίνει με το ρεύμα στα σπίτια, εκτός από την περίπτωση των απομακρυσμένων περιοχών, όπου τα δίκτυα οπτικών ινών δεν θα μπορούσαν να τοποθετηθούν εύκολα, κυρίως λόγω κόστους και ασύμφορου κέρδους από την περιορισμένη χρήση. Σε αυτό βοηθά η αρχιτεκτονική των δικτύων ενέργειας, με τους πολλούς μετασχηματιστές, οι οποίοι εξυπηρετούν τη χρήση των οπτικών ινών. (Hoch, 2011)

Ακόμη και αν ένα σπίτι χρησιμοποιεί BPL σύνδεση, μπορεί να μην εισέλθει στο διαδίκτυο χρησιμοποιώντας απαραίτητα μια πύλη BPL (συνήθως σε αυτές τις περιπτώσεις, γίνεται χρήση ενός έξυπνου μετρητή), αν και αυτό θα μπορούσε να έχει σημαντικά πλεονεκτήματα τόσο για τον καταναλωτή, όσο και για τον πάροχο. Τα πρότυπα NIST και IEEE, έχουν εξετάσει τότε απαιτείται η χρήση έξυπνων μετρητών παντού, ώστε να είναι πλήρως λειτουργικές οι πύλες BPL και να μην χρειάζεται παράλληλη διαχείριση (δηλαδή να γίνεται αυτόματα από τους μετρητές). Αυτό θα μπορούσε να δημιουργήσει μια αγορά, στην οποία οι πάροχοι θα πουλούσαν ταυτόχρονα ασφάλεια πρόσβασης αλλά και ατομικό έλεγχο από το σπίτι του κάθε χρήστη. (Schwager & Berger, 2014)

Η υπηρεσία BPL, μπορεί να προσφέρει οφέλη σε σύγκριση με το παραδοσιακό μόντεμ ή τη σύνδεση ψηφιακής συνδρομητικής γραμμής (DSL). Η ήδη διαθέσιμη και ευρέως εκτεταμένη υποδομή, επιτρέπει στους κατοίκους απομακρυσμένων περιοχών να έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο, με σχετικά μικρή

προσφορά απαραίτητου εξοπλισμού από τους παρόχους. Έτσι, παραβλέπεται το γεγονός ότι το κόστος των καλωδίων Ethernet σε ένα κτήριο, ενδεχομένως να είναι απαγορευτικό, ενώ η χρήση ασύρματου δικτύου πιθανόν να παρουσιάζει μια σειρά από προβλήματα, συμπεριλαμβανομένης της ασφάλειας, του περιορισμού της μέγιστης απόδοσης και της αδυναμίας αποτελεσματικής τροφοδότησης των συσκευών. (Hoch, 2011)

Όμως, οι διακυμάνσεις των φυσικών χαρακτηριστικών των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας και η έλλειψη προτύπων, συνεπάγεται ότι η υπηρεσία απέχει ακόμα από το χρησιμοποιηθεί σωστά και σε μεγάλη κλίμακα. ο ρυθμός των bit που μπορεί να μεταφέρει ένα σύστημα καλωδίων ρεύματος, σε σύγκριση πάντα με τα αντίστοιχα ήδη υπάρχοντα ή ακόμα και των ασύρματων δικτύων, είναι για την ώρα υπό αμφισβήτηση. Η προοπτική αυτή (της χρήσης δικτύων BPL), πρωτοεμφανίστηκε το 2004 και πιθανολογείται ότι άσκησε κατά κάποιο τρόπο πίεση, στις εταιρείες παρόχους, να επιταχύνουν τους ρυθμούς σύνδεσης με απομακρυσμένες περιοχές. (Galli & Le Clare, 2014)

Η εμφάνιση και μετέπειτα μελέτη των BPL συνδέσεων, έφερε στην επιφάνεια μια σειρά από θεμελιώδεις προκλήσεις, η σημαντικότερη από τις οποίες φαίνεται να είναι το γεγονός ότι, οι γραμμές ηλεκτροδότησης αποτελούν ένα πολύ «θορυβώδες» περιβάλλον για τις επικοινωνίες. Κάθε φορά που μια οποιαδήποτε συσκευή ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται, εισάγει στο δίκτυο έναν ήχο (κάτι σαν κλικ ή ποπ σύμφωνα με τις έρευνες). Δυστυχώς, σε αντίθεση με τα ομοαξωνικά καλώδια ή τα συνεστραμμένου ζεύγους, τα ηλεκτροφόρα δεν παρουσιάζουν καμιά ικανότητα απόρριψης θορύβων. Έτσι, το σύστημα θα πρέπει να επανασχεδιαστεί, ώστε να αντιμετωπίζει με αυτές τις διαταραχές. Αυτός είναι και ο λόγος που τα δίκτυα BPL μπορεί να θεωρηθούν ως η καλύτερη συμβιβαστική λύση μεταξύ ασύρματης και ενσύρματης μετάδοσης. (Schwager & Berger, 2014)

Η ευρυζωνικότητα μέσω ηλεκτρικού δικτύου, η οποία αναπτύχθηκε ταχύτερα στη Γηραιά Ήπειρο, παρά στις Ηνωμένες Πολιτείες, όπως ίσως να περίμενε κάποιος, οφείλεται σε μια ιστορική διαφορά στη φιλοσοφία σχεδιασμού των συστημάτων ηλεκτροδότησης. Επειδή τα σήματα BPL, δε μπορούν να περάσουν εύκολα από τους μετασχηματιστές (με απλά λόγια, τα σήματα υψηλής συχνότητας, δεν μπορούν να περάσουν), θα πρέπει πάνω στους μετασχηματιστές να συνδεθούν αναμεταδότες. Η διαφορά Ευρώπης-Αμερικής, είναι ότι στη δεύτερη ο μετασχηματιστής εξυπηρετεί από 1 έως μερικά σπίτια, ενώ στην πρώτη μέχρι και

100. Επομένως, στις Ηνωμένες Πολιτείες, απαιτείται αισθητά μεγαλύτερος αριθμός από αναμεταδότες, σε σύγκριση με την Ευρώπη.

Τέλος, το δεύτερο μείζον θέμα, είναι η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (ElectroMagnetic Compratibility - EMC), με βασικές παραμέτρους την ισχύ του σήματος και τη συχνότητα λειτουργίας. Το σύστημα επικοινωνιών, σχεδιάστηκε να χρησιμοποιεί συχνότητες από 10 έως 30 MHz, στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων (High Frequencies - HF), ώστε να χρησιμοποιείται επί δεκαετίες από διάφορους φορείς, στρατιωτικούς μέχρι το απλό ραδιόφωνο. Όμως, οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος, είναι αθωράκιστες στις υψηλές συχνότητες και το αποτέλεσμα θα είναι να λειτουργήσουν ως κεραίες. Τα σύγχρονα συστήματα BPL, χρησιμοποιούν συστήματα ορθογώνιας διαίρεσης συχνοτήτων (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM), η οποία τους επιτρέπει να μειώνουν τις παρεμβολές με συγκεκριμένες ραδιοφωνικές υπηρεσίες, αποτρέποντας τη χρήση ορισμένων συχνοτήτων. (Galli & Le Clare, 2014)

Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο της εργασίας, έγινε μια αναλυτική παρουσίαση, καταρχήν του προβλήματος που εμποδίζει την καθολική επιβολή της οπτικής ίνας και στη συνέχεια, των πολύ σημαντικών συνδέσεων ISDN που κυριάρχησαν τις προηγούμενες δεκαετίες και συνεχίζουν ακόμα να αποτελούν μια από τις πιο αξιόπιστες λύσεις. Επίσης, έγινε αναφορά, στις προσπάθειες που πραγματοποιούνται ώστε να βρεθεί λύση για «το τελευταίο μίλι» και τις πιθανές λύσεις που έχουν κατά καιρούς ερευνηθεί ή προταθεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ - ΚΟΙΤΩΝΤΑΣ ΜΠΡΟΣΤΑ

Πρόλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθεί η εξέλιξη των οπτικών δικτύων και η αναβάθμιση της οπτικής δικτύωσης και των υποσυστημάτων. Επιπλέον, θα γίνει αναφορά στην οπτική μετάδοση υψηλής χωρητικότητας και στις βλέψεις των εταιριών τεχνολογίας για το μέλλον.

5.1 Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Τα οπτικά δίκτυα πρέπει να εξυπηρετούν τη συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για είσοδο στο διαδίκτυο. Η αύξηση της κίνησης τροφοδοτείται και από την εμφάνιση νέων υπηρεσιών, απαιτητικότερων χαρακτηριστικών εύρους ζώνης (όπως η υπηρεσία video on demand ή ακόμα και το νεοσύστατο cloud computing). Με την αύξηση της κίνησης, τα οπτικά δίκτυα βρίσκονται αντιμέτωπα με προκλήσεις, όπως η τεχνολογική ετερογένεια (παλιό εναντίον καινούριου), καθώς και αυστηρότατες απαιτήσεις για την απόδοση του οπτικού φάσματος. Ευτυχώς, η τεχνολογία της οπτικής μετάδοσης έχει εξελιχθεί ραγδαία την τελευταία δεκαετία, σε αντιστάθμισμα των αυξανόμενων απαιτήσεων παγκοσμίως, για υπηρεσίες επικοινωνιών. Τα οπτικά δίκτυα πλέον αναπτύσσουν μέχρι και 100 gigabit/sec ανά κανάλι (WDM - Wavelength Division Multiplexing), ενώ παρέχουν χωρητικότητα η οποία αγγίζει τα 20 terabit/sec, σε κάθε οπτική ίνα. Ωστόσο, σε μερικά χρόνια, η χωρητικότητα αυτή πιθανόν να πρέπει να αυξηθεί ξανά, ώστε να παραμείνει λειτουργικό το δίκτυο.

Μια από τις κύριες προκλήσεις αυτής της εξέλιξης, είναι το πως θα χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά οι πόροι του δικτύου. Η ερευνητική κοινότητα αναζητά καινοτομίες στον τομέα των προηγμένων μορφών διαμόρφωσης, πολιτικές κατανομής των καναλιών ευέλικτου πλέγματος (flexible-grid channel), ελαστικά και γνωστικά οπτικά δίκτυα, λογισμικό δικτύωσης και οπτικούς δρομολογητές ή ενισχυτές (optical routers & amplifiers). (Pataca et al, 2013)

5.2 Η αναβάθμιση της οπτικής δικτύωσης και των υποσυστημάτων

Για να αντιμετωπιστεί η μετάδοση υψηλής χωρητικότητας, απαιτείται κατάλληλη δικτυακή υποδομή. Σε αυτό το πλαίσιο, διάφορες εταιρείες αναπτύσσουν συνεχώς στοιχεία δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των διακοπών

μήκος κύματος (wavelength selective switches), διακόπτες πολλαπλής διανομής (multicast switches) και αναπροσαρμόσιμους οπτικούς πολυπλέκτες (reconfigurable optical add/drop multiplexers). Οι εξελίξεις αυτές, μειώνουν την ανάγκη για παρέμβαση από τεχνικούς δικτύων, όπως στις περιπτώσεις που απαιτούνται διορθώσεις σφαλμάτων μετά από αναβαθμίσεις.

Επίσης, υπάρχει και η πρόκληση του ποσοστού θορύβου εντός της οπτικής ίνας και πρέπει να πληρούνται πλέον συγκεκριμένες προϋποθέσεις, ώστε να αντιμετωπίζεται αυτό το πρόβλημα. Γίνεται λοιπόν έρευνα πάνω σε αυτό και δοκιμάζονται κάποιοι υβριδικοί οπτικοί ενισχυτές. Με τη χρήση νέων μορφών διαμόρφωσης (modulation formats), μειώνεται η ακρίβεια της μέτρησης της αναλογίας οπτικού σήματος προς θόρυβο, επειδή το επίπεδο θορύβου γίνεται πιο δύσκολο να ανιχνευθεί. Έτσι, αναπτύσσονται μηχανισμοί οι οποίοι μετρούν αυτή την αναλογία, με μια εσωτερική οθόνη (εντός ζώνης δηλαδή) και η οποία παρουσιάζει ευαισθησία σε ενδείξεις διασποράς πρώτης τάξης.

Γίνεται επίσης προσπάθεια για χρήση τυποποιημένων λύσεων σε συνδέσεις δικτύου. Χρησιμοποιώντας αλγορίθμους που βασίζονται σε γραφήματα, μπορούν να προκύψουν αλλαγές για τους διαχειριστές δικτύων και να τους διευκολύνουν στο έργο τους. Έτσι, η πολυπλοκότητα των υποσυστημάτων μπορεί να παραλειφθεί και οι προσεγγίσεις των μελλοντικών οπτικών δικτύων (όπως λογισμικό ορισμένο για δικτύωση ή λειτουργίες ψηφιακής δικτύωσης) μπορούν να ενσωματωθούν ευκολότερα. Η βασισμένη σε γράφημα προσέγγιση, μπορεί τέλος να αποτελέσει μια βάση για υπολογισμό προηγμένων διαδρομών και παρέχει πληροφορίες που απαιτούνται για επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων, κάτι που δεν είναι εφικτό με τα σημερινά εγκατεστημένα υλικά. (Pataca et al, 2013)

5.3 Η οπτική μετάδοση υψηλής χωρητικότητας

Με την εμπορική εκμετάλλευση των συστημάτων που προσφέρουν 100 Gbit/s, πλέον το ενδιαφέρον εστιάζεται στα οπτικά δίκτυα νέας γενιάς και στις τεχνολογίες με ταχύτητες από 400 Gbit/s έως 1 Tbit/s. Τα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιούν υψηλής ανάλυσης φόρμες διαμόρφωσης, σχηματισμό φάσματος και πυκνά τοποθετημένους μετασχηματιστές πολλαπλού πομπού (multicarrier transmitters), ώστε να αυξηθεί η συνολική χωρητικότητα του συστήματος, συγκριτικά με την τρέχουσα τεχνολογία. Έχουν επίσης προταθεί και δοκιμάζονται σε εργαστήρια, νέα πρότυπα, όπως πομποδέκτες πολλαπλής ροής,

αυξάνοντας έτσι την ευελιξία και τη διακριτότητα. Πρόσφατα, ενισχυμένα κανάλια (superchannels) που βασίζονται σε συχνότητες οπτικής τεχνολογίας ορθογώνιας πολυπλεξίας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), έθεσαν νέα δεδομένα στη μετάδοση χωρητικότητας και τη φασματική απόδοση, ενώ μένει να εφαρμοστεί πλέον στα ήδη εγκατεστημένα οπτικά δίκτυα, ώστε να ξεκινήσει μια νέα εποχή. Οι επιτυχίες αυτές, καταδεικνύουν τις δυνατότητες της τυποποίησης και της ανάπτυξης των υπερκαναλιών στο εγγύς μέλλον.

Ειδικότερα, η προαναφερθείσα τεχνολογία OFDM, έχει προταθεί ως μια πιθανή λύση για να ενισχυθεί η ευέλικτη διακριτότητα, προσαρμόζοντας τον αριθμό των οπτικών υποφορέων (subcarriers), σύμφωνα με την κατάσταση του καναλιού (για παράδειγμα, παίρνωντας υπ' όψιν το λόγο σήματος-θορύβου). Σημαντικό επίσης είναι το γεγονός ότι η πολυπλεξία ορθογώνιας διαίρεσης, απαιτεί και ορθογωνιότητα μεταξύ των οπτικών υποφορέων και ευρεία, δυναμική ακτίνα δράσης του μετασχηματιστή και του δέκτη.

Πρόσφατα σε ένα κέντρο ερευνών της Βραζιλίας, διερευνήθηκε και επιβεβαιώθηκε εργαστηριακά, μια πόλωση, στο πεδίο της υβριδικής τετραγωνικής μετατόπισης (Quadrature phase), που επέτρεψε στους ερευνητές να οραματιστούν ένα οπτικό σύστημα με προσαρμοστική συχνότητα. Φυσικά όλα αυτά, αφορούν την επόμενη γενιά ελαστικών οπτικών δικτύων.

5.4 Οι βλέψεις των εταιρειών τεχνολογίας για το μέλλον

Οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται στο χώρο της τεχνολογίας των οπτικών δικτύων, έχουν πλέον επικεντρωθεί στην τεχνολογία SDN (Software Defined Network) αλλά και την τεχνολογία φωτονίων (photonic technology), οι οποίες υποστηρίζεται ότι θα οδηγήσουν τις τεχνολογίες σε μια νέα εποχή.

Σύμφωνα με πλήθος ομιλητών, που θεωρούνται από τους σημαντικότερους ανθρώπους στο χώρο της τεχνολογίας (όπως ο Robert Tkach, διευθυντής έρευνας της Alcatel-Lucent Bell Labs ή ο David Clark, κύριος ερευνητής του MIT για την αρχιτεκτονική ανεπτυγμένων δικτύων), το SDN θα βοηθήσει να αντιμετωπιστούν ζητήματα σχετικά με τη χωρητικότητα του εύρους ζώνης. Στόχος της συγκεκριμένης τεχνολογίας, είναι η κατασκευή και αποτελεσματική λειτουργία μεγάλων δικτύων, μεταφέροντας τα καθήκοντα τους από τα πολύπλοκα κυκλώματα ASICs και τα APIs, σε πρότυπα διεπαφών, εμπορικά τσιπάκια και λογισμικά ανοιχτού κώδικα, κοινώς θα απλοποιηθεί η λειτουργία του όλου

συστήματος. Για την ώρα, τα καλύτερα εμπορικά συστήματα, παρουσιάζουν φασματική απόδοση περίπου 4 Bit/Hz, η οποία δεν είναι και τόσο επαρκής.

Στις μέρες μας λοιπόν, πραγματοποιείται μια μαζική μετάβαση, όπου αντικαθίστανται τα ζεύγη χαλκού με οπτικές ίνες με την απόδοση φάσματος να έχει αυξηθεί κατά 10 φορές τα τελευταία χρόνια. Η αυξημένη χρήση δεδομένων, η διευπολογιστική επικοινωνία και η ταχύτητα των επεξεργασιών, έχουν ελαφρώς επιβραδύνει την αποτελεσματικότητα των εξελίξεων. Η αύξηση της επεξεργασίας σήματος από μόνη της, θα δημιουργούσε στρεβλώσεις στη γραμμικότητα των οπτικών ινών, που τελικά θα περιόριζε την απόδοση του σήματος. Έτσι, το SDN είναι το επόμενο μεγάλο βήμα στην υψηλή χωρητικότητα, απλά είναι ακριβό και δύσκολο να χρησιμοποιηθεί σε ευρεία κλίμακα, για την ώρα. (Lipsky, 2014)

Οι μηχανικοί οπτικών δικτύων, είναι σε θέση να εγκαταστήσουν SDN χρησιμοποιώντας χωρική πολυπλεξία (spatial multiplexing), μια τεχνική μετάδοσης στην οποία χρησιμοποιούνται ξεχωριστά κωδικοποιημένα σήματα δεδομένων, από πολλαπλές κεραίες εκπομπής, ώστε να περιοριστούν οι ίνες. Σε αυτή την περίπτωση, οι ίνες πολλαπλών πυρήνων, μπορούν να λειτουργήσουν 10 φορές ισχυρότερα (σε θέμα χωρητικότητας). Πάντως, σύμφωνα με τους ειδικούς, η επέκταση του διαδικτύου δεν θα επιρρέαζε ιδιαίτερα την εξάπλωση της τεχνολογίας SDN αλλά προς το παρόν, δε μπορεί να γίνει ένα συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα μετάβασης σε SDN. (Cooney, 2014)

Παρά το τεράστιο εύρος ζώνης που προσφέρουν πάντως τα οπτικά δίκτυα, οι αξιόπιστες και εγγυημένες υπηρεσίες, απαιτούν μια αποτελεσματική διαχείριση του εύρους ζώνης, ταυτόχρονα με μια ορθολογική και προσεκτική χρήση των οπτικών στοιχείων, δεδομένου του υψηλού κόστους παραγωγής τους. Οι απαιτήσεις αυτές, έχουν οδηγήσει στην ανάγκη για εξελιγμένες φωτονικές συσκευές (photonic devices) στις εγκαταστάσεις των οπτικών δικτύων. Αυτές οι συσκευές έχουν την ικανότητα να παράγουν, μεταδίδουν, διαμορφώνουν, επεξεργάζονται, ενισχύουν και ανιχνεύουν το φως. Καλύπτουν όλο το φάσμα του φωτός, από την υπεριώδη έως την υπέρυθη αλλά οι περισσότερες εφαρμογές τους βρίσκονται στην περιοχή του ορατού ή ελαφρώς υπέρυθρου. Ο όρος πρωτοχρησιμοποιήθηκε τη δεκαετία του '60 αλλά αναπτύχθηκε σαν επιστήμη από τη δεκαετία του '70, οπότε και οι οπτικές ίνες άρχισαν να πρωτοεμφανίζονται εργαστηριακά. Σε αυτές τις συσκευές λοιπόν εναποθέτουν τις ελπίδες τους για περαιτέρω εξέλιξη των οπτικών δικτύων, οι ειδικοί.

Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάστηκε η μελλοντική εξέλιξη των οπτικών δικτύων, η αναβάθμισή τους, όπως και των υποσυστημάτων τους και τέλος, έγινε μια αναφορά στις βλέψεις των εταιρειών τεχνολογίας για το μέλλον.

Συμπεράσματα

Η ολοένα και αυξανόμενη ανάγκη του ανθρώπου για γρήγορη και αξιόπιστη επικοινωνία, όπως και για μετάδοση πληροφοριών οδήγησε στην ευρεία χρήση των οπτικών δικτύων. Αυτά με τη σειρά τους, έχουν γίνει αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας από εταιρείες τεχνολογίας, οι οποίες προσπαθούν να τα βελτιώσουν ακόμα περισσότερο. Παρόλα αυτά, η επικρατούσα τεχνολογία στο επίπεδο των οπτικών δικτύων αριθμεί ένα πλήθος μεθόδων, με τις οποίες οι υπηρεσίες των παρόχων φτάνουν στον τελικό καταναλωτή. Τα υπάρχοντα οπτικά δίκτυα, ταξινομούνται βάση τοπολογιών, γεωγραφικής κάλυψης, μεθόδου πρόσβασης κ.α., ενώ οι εφαρμογές τους βρίσκονται παντού, από τον ιδιωτικό μέχρι και το δημόσιο τομέα. Τα είδη των οπτικών καλωδίων, συναντώνται σε ποικιλία μορφών, ενώ είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι η οπτική τεχνολογία, συνδυάζει πληθώρα τομέων για να επιτύχει το επιθυμητό αποτέλεσμα, όπως η ασύρματες συνδέσεις και τα καλώδια ηλεκτρικού ρεύματος, μια μέθοδος η οποία ακόμα βρίσκεται σε εμβρυϊκό στάδιο. Τέλος, άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι η ανθρωπότητα μπορεί να ελπίζει σε μια ακόμα πιο γρήγορη οπτική μετάδοση πληροφοριών, κρίνοντας από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τις έρευνες τις δύο τελευταίες δεκαετίες. Το πρότυπο wimax και οι ασύρματοι οπτικοί βρόγχοι, είναι κομμάτι αυτών και δε μένει παρά να περιμένει κανείς τη μελλοντική εξέλιξη σε αυτόν τον τομέα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

Αλεξανδρή Α. (2001) «Οπτικές ίνες». Αθήνα: Ίων

Αλεξόπουλος Α., Λαγογιάννης Γ. (2010) «Τηλεπικοινωνίες και δίκτυα υπολογιστών», (7^η έκδοση). Αθήνα: Παπασωτηρίου

Αρβανίτης, Κ., Κολυβάς, Γ. & Ούτσιος, Σ. (2007) «Τεχνολογία δικτύων επικοινωνιών: Τεχνικά Επαγγελματικά Εκπαιδευτήρια», Αθήνα: Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων (ΥΠΕΠΘ)

Μαρκασιώτης Ι. (2005) «Δίκτυα υπολογιστών». Αθήνα: Γκιούρδας

Ξένη βιβλιογραφία

Agrawal, G.P. (2001) «Συστήματα επικοινωνιών με οπτικές ίνες». Θεσσαλονίκη: Τζιόλας

AIMMS (2012) “AIMMS modeling guide - Telecommunication network problem”. The Netherlands: Paragon Decision Technology Inc.

Anderson, J.B. & Johnnesson, R. (2006) “Understanding information transmission”. Sweden: Wiley-IEEE Press

Andrews, G. Titov, N. (2010) “Treating people you never see: Internet-based treatment of the internalising mental disorders”. Australian Health Review, 34, (2): 144-147

Barnlund, D.C. (2008) “A transactional model of communication”. New Jersey: Transaction

Berko, R.M. et al (2010) “Communicating”, (11th ed). Boston: Pearson Education inc.

Bodin, M. & Dawson, K. (2002) “The call center dictionary: The complete guide to call center & customer support technology solutions”. Focal Press

Bozinovic, et al (2013) “Terabit-scale orbital angular momentum mode division multiplexing in fibers”. Science, 340, (6140): 1545

Bush, R. & Meyer, D. (2002) “Some Internet architectural guidelines and philosophy”. Internet Engineering Task Force (IETF)

- Diringer, D. (1982) *“The book before printing: Ancient, medieval and oriental”*. New York: Dover Publications inc.
- Donahue, G.A. (2007) *“Network warrior”*, (2nd ed). Liverpool: O’ Reilly
- Eick, C.J. & King, D.T. (2012) *“Non-science majors’ perceptions on the use of YouTube video to support learning in an integrated science lecture”*. Journal of College Science Teaching, 42, (1): 26-30
- Forouzan, B.A. (2003) *“TCP/IP protocol suite”*, (2nd ed). Harcourt: McGraw-Hill
- Galli, S. Le Clare, J. (2014) *“Narrowband Power Line Standards”*. MIMO Power Line Communications: Devices, circuits and systems. CRC Press, pp. 270–300
- Gilbert, H. (2000) *“Understanding data communications: From fundamentals to networking”*, (3rd ed). New York: John Wiley & Sons
- Glaesemann, G.S. (1999) *“Advancements in mechanical strength and reliability of optical fiber”*. SPIE critical review, CR73
- Goff, D. (2002) *“Fiber optics reference guide”*, (3rd ed). Woburn, MA: Focal Press
- Green, P.E. (1993) *«Δίκτυα οπτικών ινών»*. Αθήνα: Παπασωτηρίου
- Groth, D. & Skandier, T. (2009) *“Network: Study guide”*, (4th ed). Alameda: Sybex
- Hallberg, B. (2010) *“Networking: A beginner’s guide”*, (5th ed). California: McGraw Hill
- Hayes, J. (1999) *«Εγχειρίδιο οπτικών ινών»*. Αθήνα: Ίων
- Headrick, D.R. & Griset, P. (2001) *“Submarine telegraph cables: Business and politics, 1838-1939”*. The Business History Review, 75(3), 543-578
- Hecht, E. (2002) *“Optics”*, (4th ed), San Francisco: Pearson Education Inc.
- Hecht, J. (2005) *“Understanding fiber optics”*. Columbus: Prentice Hall
- Hoch, M. (2011). *“Comparison of PLC G3 and Prime”*. 2011 IEEE Symposium on Powerline Communication and its Applications: pp. 165-169

- Joaquin, J. Berger, L.T. Schwager, A. & Escudero G. (2013) "*Power Line Communications for smart grid applications*". Hindawi Publishing Corporation Journal of Electrical and Computer Engineering, pp. 1-16
- Junco, R. Heiberger, G. & Loken, E. (2011). The effect of Twitter on college student engagement and grades. Journal of Computer Assisted Learning, 27, (2): 119-132
- Keiser, G. (2011) "*Optical fiber communications*", (4th ed). New York: McGraw-Hill
- Kostovski, G.P. Stoddart, R. & Mitchell, A. (2014) "*The optical fiber tip: An inherently light-coupled microscopic platform for micro and nanotechnologies*". Advanced Materials, 26, (23): 3797
- Kouznetsov, D. & Moloney, J.V. (2003) "*Highly efficient, high-gain, short-length and power-scalable incoherent diode slab-pumped fiber amplifier/laser*". IEEE Journal of Quantum Electronics, 39, (11): 1452-1461
- Lee, M.M. Roth, M.J. Ulmer, T.G. & Cryan, C.V. (2006) "*The fiber fuse phenomenon in polarization-maintaining fibers at 1.55 μm* ". Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference and Photonic Applications Systems Technologies, paper JWB66 (Optical Society of America)
- Lipsky, J. (2014) "*Experts look to SDN for optical network future*". EE Times
- Madge, C. Meek, J. Wellens, J. & Hooley, T. (2009) "*Facebook, social integration and informal learning at university: 'It is more for socialising and talking to friends about work than for actually doing work'*". Learning, Media and Technology, 34, (2): 141-155.
- McQuerry, S. (2003) "*CCNA self-study: Interconnecting Cisco network devices (ICND)*", (2nd ed). Indiana: Cisco Press
- Moher, M. & Haykin, S. (2009) "*Communication systems*". New Jersey: John Wiley & Sons
- Moore, J.L. Dickson-Deane, C. & Galyen, K. (2011) "*e-Learning, online learning, and distance learning environments: Are they the same?*". Columbia: Elsevier Inc.

- Paxson, P. (2010) “*Mass communications and media studies: An introduction*”. New York: Bloomsbury
- Schwager, A. & Berger, L.T. (2014) “*PLC electromagnetic compatibility Regulations*”. MIMO power line communications: Devices, circuits and systems. CRC Press, pp. 169-186
- Senior, J. (2008) “*Optical fiber communications: Principles and practice*”, (3rd ed) New Jersey: Prentice Hall
- Skoglund, M. (2002) “*Code design for combined channel estimation and error protection*”. IEEE Transactions on Information Theory, 48, (5), p. 1162
- Skontorp, A. (2000) “*Proceedings of SPIE*”. 5th European Conference on Smart Structures and Materials, 4073
- Stallings, W. (2000) “*Data & computer communications*”. New Jersey: Prentice Hall
- Tamara, D. (2012) “*Network+: Guide to networks*”, (6th ed). Indiana: Course Technology
- Tanenbaum, A.S. (2003) «*Δίκτυα υπολογιστών*», (4^η Αμερικανική Έκδοση). Αθήνα: Κλειδάριθμος
- Thyagarajan, K. & Ghatak, A.K. (2007) “*Fiber optic essentials*”. Wiley-Interscience, pp. 34
- William, H.M. (2011) “*CRC handbook of chemistry and physics*”, (92nd ed). CRC Press
- Williams, E.A. (2007). “*National Association of Broadcasters Engineering Handbook*”, (10th ed). 6, (10): 1667-1685
- Witzany, G. (2012) “*Biocommunication of Fungi*”. Germany: Springer

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

- Breck, H. (2003) “*Origin of 'fiber fuse' is revealed*” [Available from:] <http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=16745> [Accessed:] 11-01-2015

- Brodkin, J. (2013) “*Satellite Internet faster than advertised but latency still awful*”. [Available from:] <http://arstechnica.com/information-technology/2013/02/satellite-internet-faster-than-advertised-but-latency-still-awful/#p3n> [Accessed:] 20-01-2015
- da Silva, H.J.A. (2005) “*Optical Access Networks*” [Available from:] http://www.co.it.pt/seminarios/webcasting/itcbr_09_03_05.pdf [Accessed:] 19-01-2015
- FIA (2002) “*Solving the mystery of unexplained fibre optics*” [Available from:] <http://www.fia-online.co.uk/pdf/Guide/L3814.pdf> [Accessed:] 14-01-2015
- FOA (2014) “*FOA technical bulletin: Guide to fiber optic network design*”. [Available from:] <http://www.TheFOA.org> , [Accessed:] 29-12-2014
- Forrester, D. (2009) “*Internap chosen by sharedband to help bring high-speed internet to new business and residential customers*” [Available from:] <http://uk.reuters.com/article/2009/01/05/idUS92087+05-Jan-2009+BW20090105?symbol=INAP.O> [Accessed:] 18-01-2015
- Gavin, P. (2012) “*Wireless Local Loop: Made to go the extra mile*” [Available from:] <http://services.eng.uts.edu.au/~kumbes/ra/Access-Networks/wll/Gavin/Wll.htm> [Accessed:] 22-01-2015
- Haring, J. (2008) “*Telecommunications*” [Available from:] <http://www.econlib.org/library/Enc/Telecommunications.html> [Accessed:] 17-01-2015
- Markoff, J. (2011) “*Data centers’ power use, less than was expected*”. [Available from:] http://www.nytimes.com/2011/08/01/technology/data-centers-using-less-power-than-forecast-report-says.html?_r=1& [Accessed:] 27-12-2-1
- Melling, P.J. & Thomson, M. (2002) “*Fiber-optic probes for mid-infrared spectrometry*”. Handbook of Vibrational Spectroscopy, [Available from:] http://www.remspec.com/pdfs/2703_o.pdf [Accessed:] 12-01-2015
- Mitchell, B. (2010) “*Network topologies*”. [Available from:] <http://compnetworking.about.com/od/networkdesign/ig/Computer-Network-Topologies/> [Accessed:] 10-01-2015

- Mitchell, C. (2014) “*Municipal broadband: Demystifying wireless & fiber-optic options*”. [Available from:] <http://www.muninetworks.org/reports/municipal-broadband-demystifying-report> [Accessed:] 01-01-2015
- Nave, R. (2014) “*Interaction of radiation with matter*”. [Available from:] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/mod3.html> [Accessed:] 7-01-2015
- Pataca, D.M. et al (2013) “*Innovations in optical networks telecommunications research and development*” [Available from:] <https://itunews.itu.int/en/4622-Innovations-in-optical-networks-BR-Telecommunications-research-and-development-in-Brazil.note.aspx> [Accessed:] 10-02-2015
- Roger, M. (2006) “*IEEE 802.16 WirelessMAN standard: Myths and Facts*”, Presentation from 2006 Wireless Communications Conference
- Savard, J.J.G. (2013) “*Character sets*”. [Available from:] <http://www.iana.org/assignments/character-sets/character-sets.xhtml> [Accessed:] 6-01-2015
- Simpson, W. (1994) “*The Point-to-Point Protocol (PPP)*” [Available from:] <http://tools.ietf.org/html/rfc1661> [Accessed:] 4-01-2015
- Unknown (2010) “*FTTx solution white paper*” [Available from:] http://www.telecomasia.net/pdf/ZTE/ZTE_091709.pdf [Accessed:] 11-01-2015
- Webb, J. (2014) “*Invention of blue LEDs, wins physics’ Nobel*” [Available from:] <http://www.bbc.com/news/science-environment-29518521> [Accessed:] 22-01-2015