



**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ»

Πολυγένης Ιωάννης Α.Μ.1265

Γκίρης Σπυρίδων Α.Μ.1670

Εισηγητής: Δρ. Ασαρίδης Ηλίας

Αντίρριο, 2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία είναι αποτέλεσμα εκτενούς αναζήτησης και έρευνας και εγγράφηκε από τον Πολυγένη Ιωάννη και τον ΓκίρηΣπυρίδωνστα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας. Θα θέλαμε να απευθύνουμε θερμές ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Ασαρίδη Ηλία για την καθοδήγηση και την άμεση και ουσιαστική βοήθεια που μας παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους τους καθηγητές του τμήματος μας οι οποίοι μας καθοδήγησαν και συνέβαλαν τα μέγιστα στην απόκτηση γνώσεων.

Τέλος, δε μπορούμε να μην αναφερθούμε στις οικογένειες μας που ήταν δίπλα μας σε κάθε μας βήμα. Χρωστάμε σε όλους ένα μεγάλο ευχαριστώ!

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θέμα της παρούσης πτυχιακής εργασίας είναι η εξέλιξη των οπτικών δικτύων. Αρχικά στην εισαγωγή δίνονται βασικές έννοιες σχετικές με το θέμα.

Στο 1^ο κεφάλαιο τα: «Δίκτυα επικοινωνιών», καταγράφονται γενικά στοιχεία, η ιστορική αναδρομή του θέματος, ομβασικές έννοιες επικοινωνιών & δικτύων (οφέλη δικτύων, δίκτυα τηλεπικοινωνιών), και τέλος η επικοινωνία δεδομένων (τύποι μετάδοσης, μορφές μετάδοσης).

Στο 2^ο κεφάλαιο τα: «Μέσα δικτύων επικοινωνιών», παρουσιάζονται γενικά στοιχεία (χαρακτηριστικά των μέσων μετάδοσης, ενσύρματη μετάδοση), και οι τοπολογίες δικτύων (γραμμές μεταφοράς, επικοινωνιακοί κόμβοι, βασικές τοπολογίες δικτύου, σημειακή, διαύλου, αστέρα, δακτυλίου, κατανεμημένη).

Στο 3^ο κεφάλαιο τα: «Οπτικά δίκτυα», αναλύονται γενικά στοιχεία, οι παράγοντες απωλειών και περιορισμού του εύρους ζώνης στις οπτικές ίνες (εξασθένιση, διασπορά και διεύρυνση οπτικών παλμών, διασπορά τρόπων / modal dispersion, χρωματική διασπορά, διασπορά τρόπου πόλωσης / polarization mode dispersion – PMD, είδη οπτικών ινών και οπτικά καλώδια), η εξέλιξη των οπτικών συστημάτων επικοινωνίας, τα πρότυπα οπτικών δικτύων (το πρότυπο FDDI, πρότυπο SONET/SDH λειτουργία και ρυθμοί μετάδοσης), και τέλος οι κατηγορίες οπτικών δικτύων (δίκτυα long-haul, δίκτυα πρόσβασης / access networks, μητροπολιτικά δίκτυα / metropolitan networks).

Στο 4^ο κεφάλαιο η: «Πολυπλεξία Μήκους Κύματος (WDM)» αναφέρονται γενικά στοιχεία, η τεχνολογία των WDM συστημάτων, η Coarse WDM, η Dense WDM, η Enhanced WDM, οι διαφορές μεταξύ της CWDM και της DWDM, και τέλος το μέλλον της παγκόσμιας υποδομής επικοινωνιών.

Στο 5^ο και τελευταίο κεφάλαιο τα: «Συμπεράσματα», παρουσιάζεται συνοπτικά η εξέλιξη των οπτικών δικτύων, δηλαδή διάφορα στοιχεία για τα μέσα δικτύων επικοινωνιών, τα οπτικά δίκτυα, η Πολυπλεξία Μήκους Κύματος (WDM).

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Δίκτυα επικοινωνιών

Οπτικά δίκτυα

Πολυπλεξία Μήκους Κύματος (WDM)

Coarse WDM

Dense WDM

SUMMARY

The subject of this dissertation is the development of optical networks. Initially the introduction introduces basic concepts related to the subject.

In Chapter 1, «Communications Networks», general data, historical background, basic communications & networks (network benefits, telecommunication networks) and data communication (transmission types, transmission formats) are recorded.

In the second chapter, «Networks of communication networks», general elements (characteristics of transmission media, wired transmission) and network topologies (transmission lines, communication nodes, basic network topologies, point, channel, star, ring, distributed) are presented.

In Chapter 3, «Optical Networks», general data are analyzed, loss factors and bandwidth reduction in optical fibers (attenuation, dispersion and widening of optical pulses, modal dispersion, color dispersion, polarization mode dispersion - PMD, Fiber Optic and Optical Cables), the development of optical communication systems, optical network standards (FDDI standard, SONET / SDH mode and transmission rates) and optical network categories (long-haul networks, access / access networks, metropolitan networks).

In Chapter 4, «WDM» refers generally to WDM systems, Coarse WDM, Dense WDM, Enhanced WDM, differences between CWDM and DWDM, and the future of the global communications infrastructure.

In the 5th and final chapter, «Conclusions», there is a summary of the development of optical networks, i.e. various elements of the communications media networks, optical networks, WDM (wavelength multiplex).

KEYWORDS

Communication networks

Optical networks

Wavelength Multiplex (WDM)

Coarse WDM

Dense WDM

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	Error! Bookmark not defined.
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ.....	iv
SUMMARY	v
KEYWORDS	vi
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ – ΕΙΚΟΝΩΝ.....	x
ΣΧΗΜΑΤΑ.....	x
ΕΙΚΟΝΕΣ	x
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ - ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ	xii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xv
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: «ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ».....	1
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	1
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	1
1.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ & ΔΙΚΤΥΩΝ	3
1.3.1 Οφέλη δικτύων	3
1.3.2 Δίκτυα τηλεπικοινωνιών	4
1.4 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	6
1.4.1 Τύποι μετάδοσης	6
1.4.2 Μορφές μετάδοσης.....	8
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: «ΜΕΣΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ».....	10
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	10
2.1.1 Χαρακτηριστικά των μέσων μετάδοσης.....	10
2.1.2 Ενσύρματη μετάδοση	10

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

2.2	ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	15
2.2.1	Γραμμές μεταφοράς.....	15
2.2.2	Επικοινωνιακοί Κόμβοι.....	16
2.2.3	Βασικές τοπολογίες δικτύου.....	18
2.2.4	Δισημειακή	18
2.2.5	Διαύλου	18
2.2.6	Αστέρα.....	19
2.2.7	Δακτυλίου.....	20
2.2.8	Κατανεμημένη	21
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: «ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ»	24
3.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	24
3.2	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ	24
3.2.1	Εξασθένιση.....	24
3.2.2	Διασπορά και διεύρυνση οπτικών παλμών	26
3.2.3	Διασπορά τρόπων (modal dispersion).....	27
3.2.4	Χρωματική διασπορά	28
3.2.5	Διασπορά τρόπου πόλωσης	28
3.2.6	Είδη οπτικών ινών και οπτικά καλώδια	29
3.3	Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	31
3.4	ΠΡΟΤΥΠΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	35
3.4.1	Το πρότυπο FDDI.....	36
3.4.2	Πρότυπο SONET/SDH Λειτουργία και ρυθμοί μετάδοσης.....	37
3.5	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	37
3.5.1	Δίκτυα Long-Haul	38
3.5.2	Δίκτυα πρόσβασης (Access Networks).....	39

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

3.5.3	Μητροπολιτικά δίκτυα (Metropolitan Networks)	39
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: «ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ (WDM)».....	41
4.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	41
4.2	Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ WDM ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	41
4.3	Coarse WDM.....	45
4.4	Dense WDM.....	47
4.5	Enhanced WDM	50
4.6	CWDM Vs DWDM.....	50
4.7	ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.....	52
4.8	ΧΡΗΣΗ OTDR ΓΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ WDM-PON.....	55
4.8.1	Εισαγωγικά	55
4.8.2	Προτεινόμενο Σύστημα Διαμόρφωσης	56
4.8.3	Πειραματικά αποτελέσματα	59
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: «ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ»	66
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	71

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ – ΕΙΚΟΝΩΝ

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 4.1: Αρχή λειτουργίας WDM.....	42
Σχήμα 4.2: Τα συστήματα WDM χωρίζονται σε τρία διαφορετικά πρότυπα μήκους κύματος.	43

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1: Οι φρυκτωρίες ήταν ένα σύστημα συνεννόησης με σημάδια που μεταβιβάζονταν από περιοχή σε περιοχή με τη χρήση πυρσών στη διάρκεια της νύκτας.....	2
Εικόνα 1.2: Παραμόρφωση (διαπλάτυνση) παλμών λόγω περιορισμού της φασματικής τους ζώνης.	3
Εικόνα 1.3: Ασύγχρονη λειτουργία μεταφοράς (ATM),.....	5
Εικόνα 1.4: Switched Ethernet (Εναλλασσόμενο δίκτυο Ethernet),	7
Εικόνα 1.5: Σειριακή μετάδοση των δεδομένων ενός ADC 8-bit.	8
Εικόνα 2.1: Δισύρματα καλώδια.	11
Εικόνα 2.2: Ομοαξονικό καλώδιο.	13
Εικόνα 2.3: Οπτική ίνα (fiber optic).....	14
Εικόνα 2.4: Η δισημειακή τοπολογία (point-to-point topology).....	18
Εικόνα 2.5: Τοπολογία διαύλου (bus topology).....	19
Εικόνα 2.6: Τοπολογία αστέρα (star topology).....	20
Εικόνα 2.7: Τοπολογία δακτυλίου (ring topology).	21
Εικόνα 2.8: Πλήρως καταναμημένη τοπολογία (fully connected topology).	22
Εικόνα 2.9: Μερικώς καταναμημένη τοπολογία (Partially connected mesh topology).	23

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Εικόνα 3.1: Η ολική εξασθένιση σε μια τυπική οπτική ίνα. Διακρίνονται οι κορυφές που οφείλονται στη ύπαρξη των ιόντων OH ⁻ .	25
Εικόνα 3.2: Σκέδαση (Scattering).	26
Εικόνα 3.3: Το φαινόμενο της διασποράς στις οπτικές ίνες.	27
Εικόνα 3.4: Το χρησιμοποιούμενο φάσμα συχνοτήτων στις οπτικές επικοινωνίες.	33
Εικόνα 3.5: Δίκτυο Οπτικής Διασύνδεσης Κατανεμημένων Δεδομένων (Δακτύλιος FDDI).	36
Εικόνα 3.6: Δίκτυα Long-Haul.	38
Εικόνα 4.1: Διαφορές στις απεικονίσεις των CWDM και DWDM.	51
Εικόνα 4.2: Φάσματα εκπομπής 32 καναλιών του AWG.	56
Εικόνα 4.3: Φάσμα μετάδοσης ενός μόνο καναλιού του AWG.	57
Εικόνα 4.4: Φάσματα SOA ASE για διαφορετικά παλμικά ρεύματα αιχμής.	58
Εικόνα 4.5: Συνδυασμένη ρύθμιση OTDR.	59
Εικόνα 4.6: Ο συνεχής θόρυβος Rayleigh για διαφορετικά εύρη γραμμών.	60
Εικόνα 4.7: Στατιστική κατανομή της μετρούμενης έντασης Rayleigh στην ευθυγραμμισμένη ευθεία για διαφορετικά εύρη γραμμών.	61
Εικόνα 4.8: Rayleigh πίσω θόρυβος για διαφορετικές τεχνικές εξομάλυνσης με γραμμικό εύρος 1GHz.	62
Εικόνα 4.9: Στατιστική κατανομή της μετρούμενης έντασης Rayleigh στην ευθυγραμμισμένη ευθεία για διαφορετικές τεχνικές εξομάλυνσης και πλάτος γραμμών. TLS = Προσαρμόσιμη πηγή λέιζερ. LS = Πηγή λέιζερ.	63
Εικόνα 4.10: Έγινε μέτρηση του ίχνους OTDR του καναλιού AWG 29 με τη βοήθεια της δυναμικής περιοχής και των παραμέτρων μέτρησης.	64
Εικόνα 4.11: Έγινε μέτρηση του ίχνους OTDR του καναλιού AWG 31 με τη βοήθεια της δυναμικής περιοχής και των παραμέτρων μέτρησης.	64
Εικόνα 4.12: Εντοπισμός σφαλμάτων χρησιμοποιώντας το ρυθμιζόμενο set-up OTDR.	65

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ - ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

ADC: analog-to-digital converter (μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό)

ATM: Asynchronous Transfer Mode (Λειτουργία ασύγχρονης μεταφοράς)

DSF: Dispersion-Shifted Fiber (ίνα μετατοπισμένης διασποράς)

EDFAs: Erbium-Doped Fiber Amplifiers (ενισχυτές μείνινα προσμίξεων ερβίου)

EIA/TIA - Electronic/ Telecommunication Industry Association (Ενωση Ηλεκτρονικών / Τηλεπικοινωνιών)

FET: field-effect transistor (τρανζίστορ επίδρασης πεδίου)

FDDI: Fiber Distributed Data Interface (διασυνδεδεμένη διασύνδεση δεδομένων)

ISDN: Integrated Services Digital Network (Ψηφιακό Δίκτυο Ενοποιημένων Υπηρεσιών)

LED: Light emitting diode (Δίοδος εκπομπής φωτός)

LSB: Least Significant Bit (Λιγότερο σημαντικό ψηφίο)

MAC: media access control (έλεγχος πρόσβασης πολυμέσων)

MSB: Most Significant Bit (περισσότερο σημαντικό ψηφίο)

NDSF: Non Dispersion Sifted Fiber (ίνα μη μετατοπισμένης διασποράς)

NZ-DSF: Non Zero Dispersion Sifted Fiber (ίνα μη μηδενικής μετατοπισμένης διασποράς)

NIC: network interface controller (ελεγκτές διασύνδεσης δικτύου)

OSI: Open Systems Interconnection (Ανοικτή διασύνδεση συστημάτων)

PCM: Pulse-code modulation (διαμόρφωση παλμικού κώδικα)

PMD: Polarization Mode Dispersion (διασπορά τρόπου πόλωσης)

SDH: Synchronous Digital Hierarchy (σύγχρονη ψηφιακή οπτική δικτύωση)

SMF: Single Mode Fiber (απλές μονότροπες ίνες)

SOPs: State Of Polarizations (διάφορες καταστάσεις πόλωσης)

SONET: Synchronous Optical Network (σύγχρονη οπτική δικτύωση)

UTP: Unshielded Twisted Pair (αθωράκιστα συνεστραμμένα ζεύγη)

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

TAT: transatlantic communications cable (διατλαντικό καλώδιο επικοινωνίας)

Bandwidth: εύρος ζώνης

Broadcast: ακρόαση

bridges: γέφυρες

bus topology: τοπολογία διαύλου

cladding: μανδύα

Compression: συμπίεση

coaxial cable: ομοαξονικά καλώδια

core: κεντρική ίνα

Data: Δεδομένα

datalink layer: επίπεδο σύνδεσης

data transmission: μετάδοση δεδομένων

error rate: ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων

fiber optic: οπτικές ίνες

hubs: πλήμνες

internet: Διαδίκτυο

links: συνδέσεις ή ζεύξεις

Material Dispersion: διασπορά υλικού

Metropolitan Area Network: αστικά δίκτυα

modal dispersion: Διασπορά τρόπων

modem: MOdulator και DEModulator (διαμορφωτής / αποδιαμορφωτής)

multiplexing: πολυπλεξία

Networked: δικτύωση

network topology: Τοπολογία δικτύου

nodes: κόμβοι

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Optical fibers: οπτικές ίνες

Partially connected mesh topology: μερικώς κατανεμημένη τοπολογία

repeaters: επαναλήπτες

ring topology: τοπολογία δακτυλίου

routers: δρομολογητές

shielded: θωρακισμένα

Scattering: Σκέδαση

star topology: Τοπολογία αστερά

Step Index: βηματικού δείκτη διάθλασης

Switched: μεταγωγή

Time Division Multiplexing: πολυπλεξία στο πεδίο του χρόνου

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καινούργια τεχνολογία των Οπτικών Επικοινωνιών κυριαρχεί τα τελευταία χρόνια στην ενσύρματημεταφορά πληροφορίας. Πρόκειται για τα οπτικάσυστήματα επικοινωνίας, τα οποία συγκριτικά με τα συμβατικά χρησιμοποιούν ως φορέα «φως» ορατό ή μη (οπτική ζώνη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με μήκη κύματος από 0.4 μμέως 3 μm). Αντί των κλασικών χάλκινων γραμμώνμεταφοράς (δισύρματες γραμμές - ομοαξονικά καλώδια)χρησιμοποιούνται ως μέσο μεταφοράς της πληροφορίας πολύ λεπτές ίνες από γυαλί(μεδιάμετρο όσο μιας τρίχας)(Πεπούδη, 2009).

Οι ίνες αυτές ονομάζονται οπτικές ίνες (Opticalfibers) και αποτελούν τα πλέονκατάλληλα μέσα για την οδήγηση της οπτικής δέσμης η οποία μεταφέρει την πληροφορία σεψηφιακή μορφή. Αδιαμφισβήτητα χωρίς την οπτική ίνα δεν θα υπήρχαν οιοπτικές επικοινωνίες.Μάλιστα ακόμη και σήμερα τα υπάρχοντα οπτικά συστήματα δεν αξιοποιούνπλήρως τις δυνατότητές της. Ο στόχος ενός μεγάλου μέρους της σύγχρονης έρευνας είναι ηανάπτυξη νέων διατάξεων και τεχνικών για την πλήρη εκμετάλλευση των χαρακτηριστικώντης(Rice, 2011).

Η καθιέρωση των οπτικών συστημάτωνέγινε με την εγκατάσταση του TAT-8 (όγδοη υπερατλαντικήζεύξη Ευρώπης – ΗΠΑ, 1988) και σήμερα επεκτείνονται στα τοπικά και στα δίκτυα μεγάλωναποστάσεων.

Σκοπός της παρούσης πτυχιακής εργασίας είναι να παρουσιαστεί ηεξέλιξη των οπτικών δικτύων, έως τηνΠολυπλεξία Μήκους Κύματος (WDM).

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε κατά την συγγραφή της παρούσης πτυχιακής εργασίας είναι η τεχνική της βιβλιογραφίας, με στόχο την εξαγωγή επιστημονικά τεκμηριωμένων συμπερασμάτων για την εξέλιξη των οπτικών δικτύων.

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: «ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ»

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο στόχος των επικοινωνιών είναι η αποστολή ενός μηνύματος από ένα σημείο σε ένα άλλο, αλλά και η επιβεβαίωση της πλήρους, σωστής και κατανοητής λήψης του από ένα παραλήπτη. Πίσω από τις επικοινωνίες κρύβεται ένα πλήθος από θεωρίες και τεχνικές που ασχολούνται με τη ναποστολή του παραπάνω μηνύματος.

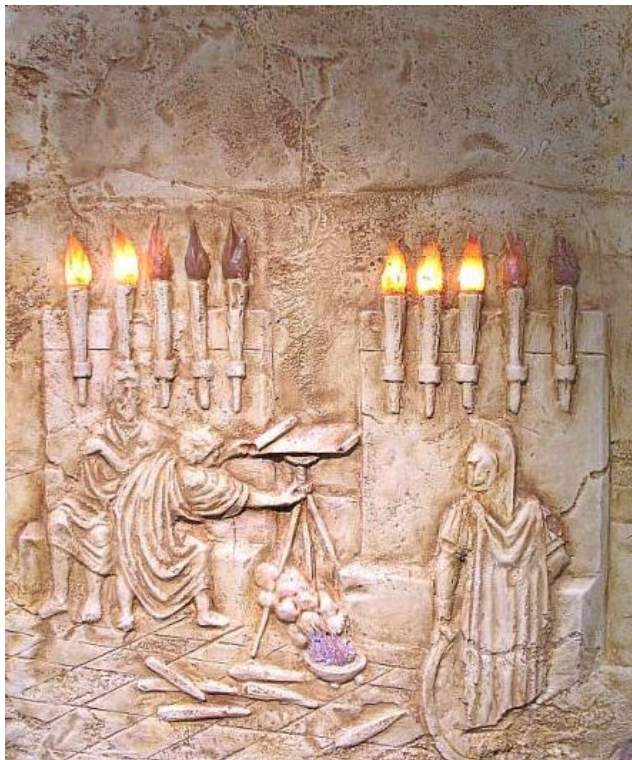
Είναι ενδιαφέρον η διάκριση μεταξύ των όρων Επικοινωνία και Τηλεπικοινωνία. Από την ετυμολογία του όρου καθορίζεται και η ροπή χρήσης του. Ειδικότερα, όταν πρόκειται για Επικοινωνίες μακρινής απόστασης, τότε χρησιμοποιείται ο όρος Τηλεπικοινωνίες. Για τις επικοινωνίες σε μεγάλες αποστάσεις, λόγω της ανεπάρκειας του μέσου μετάδοσης είναι υποχρεωτικό να αλλάξει μορφή της πληροφορίας προκειμένου να μεταδοθεί. Άρα όταν η πληροφορία δεν αλλάζει μορφή προκειμένου να μεταφερθεί σε μικρές αποστάσεις πρόκειται απλώς για Επικοινωνία, ενώ όταν αλλάζει μορφή για να μεταδοθεί σε μεγαλύτερες αποστάσεις πρόκειται για Τηλεπικοινωνία (Μανωλάκος, 2014).

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Διάφορες μορφές τηλεπικοινωνιών αναπτύχθηκαν από την αρχή της ανθρώπινης ύπαρξης καθώς από τότε ήταν απαραίτητη η ανάγκη για επικοινωνία από πολύ μακριά και στο λιγότερο δυνατό χρόνο. Σε κάθε εποχή είναι χαρακτηριστικοί οι τρόποι που συντελούνται οι τηλεπικοινωνίες. Μερικοί από τους βασικούς τρόπους μεταφοράς της πληροφορίας σε κάποιες εποχές, από τα προϊστορικά χρόνια μέχρι το 18^ο αιώνα μ.Χ., ήταν τα σήματα καπνού, οι ήχοι των τυμπάνων και της καμπάνας και το άναμμα φωτιάς. Παραδείγματα χάριν στην αρχαία Ελλάδα ο Δαυήρχαν Πύργος, που ονομάζονταν Φρυκτωρίες, χτισμένοι σε στρατηγικά σημεία και εκεί άναβαν φωτιές. Με το άναμμα της φωτιάς από Φρυκτωρία σε Φρυκτωρία, έφθανε η πληροφορία στον προορισμό της (Λάζος, 1997). Αργότερα, ο στρατός του Ναπολέοντα είχε προσχρήσει κινητούς πύργους οπτικής επικοινωνίας μέσω κωδικοποιημένων σημάτων οι οποίοι του έδιναν σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των αντιπάλων. Βέβαια,

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

αυτοί οι τρόποι της επικοινωνίας δεν ήταν ακριβείς ούτε είχαν βέβαιη επιτυχία. Επιπλέον ήταν μικρή η ταχύτητα μεταφοράς της πληροφορίας, ο όγκος της πληροφορίας ελάχιστος και η ασφάλειά της ελάχιστη (Καραϊσκος, 2010).



Εικόνα 1.1: Οι φρουκτωρίες ήταν ένα σύστημα συνεννόησης με σημάδια που μεταβιβάζονταν από περιοχή σε περιοχή με τη χρήση πυρσών στη διάρκεια της νύκτας.

Πηγή: (Λάζος, 1997).

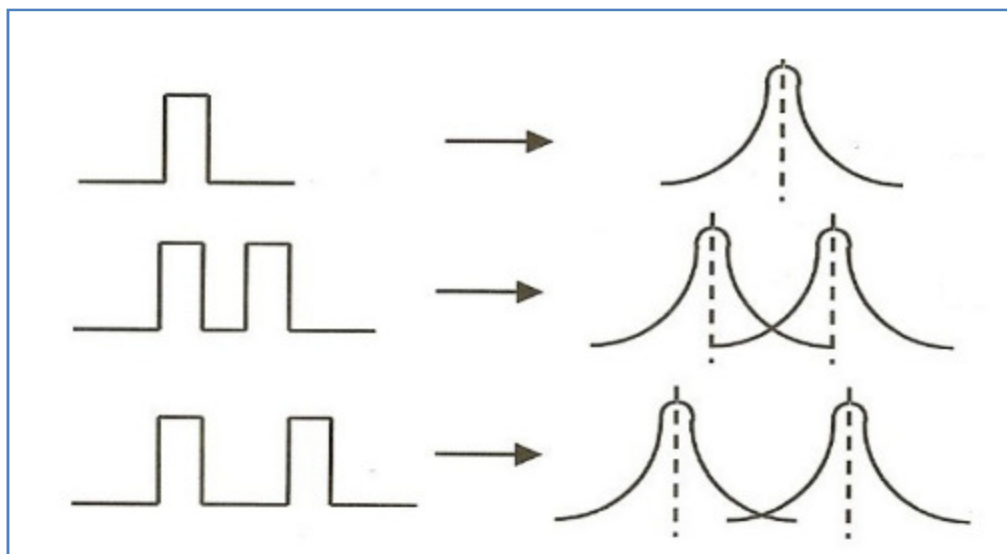
Μέχρι την εμφάνιση του ηλεκτρισμού αυτές οι μορφές επικοινωνίας διατηρήθηκαν. Από εκείνη την περίοδο και μετά έγιναν τα πρώτα σοβαρά βήματα με το τηλέφωνο και το τηλέγραφο, έως τη σημερινή μορφή της ψηφιακής τεχνολογίας, με αποτέλεσμα η καθημερινή εξέλιξη στις τεχνικές των τηλεπικοινωνιών να είναι αλματώδης και απρόβλεπτη.

Σήμερα η Τηλεφωνία, το Διαδίκτυο (internet), η Ραδιοφωνία και η Τηλεόραση είναι οι πιο γνωστές εφαρμογές των τηλεπικοινωνιών, των οποίων η μαζικότητα από πλευράς χρήσης τις καθιστά ευρύτατα γνωστές. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται επέκταση της χρήσης των υπολογιστών και του Διαδικτύου σε ευρύτερα στρώματα του πληθυσμού, με

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

αποτέλεσμα να αναπτύσσονται συνεχώς νέες μορφές τηλεπικοινωνιών και παράλληλα να υπάρχει μια τάση συνένωσης και ολοκλήρωσης των τεχνολογιών αυτών (Μανωλάκος, 2014).

Κάποιες από τις νέες τεχνολογίες που εισήλθαν στη τηλεπικοινωνία είναι η ψηφιακή μετάδοση των σημάτων και η ψηφιακή μεταγωγή και επεξεργασία. Με αυτό τον τρόπο οι αναλογικές τεχνολογίες στις οποίες στηρίχθηκαν η κλασική τηλεφωνία, το ραδιόφωνο και η τηλεόραση, σταδιακά αντικαθίστανται από την ψηφιακή τεχνολογία που αναπτύχθηκε κυρίως από τις επικοινωνίες data. Παράλληλα ήρθαν βελτίωση των μέσων μετάδοσης, της υποδομής (οπτικές ίνες, δορυφορικές ζεύξεις, κλπ.) και των τεχνικών μετάδοσης (multiplexing, compression, κωδικοποιήσεις, διαμορφώσεις κλπ.) (Καραϊσκος, 2010).



Εικόνα 1.2: Παραμόρφωση (διαπλάτνση) παλμών λόγω περιορισμού της φασματικής τους ζώνης.

Πηγή: (Καραϊσκος, 2010).

Πλέον αναπτύσσεται ένα νέο επιστημονικό κλάδος που καλείται Τηλεπληροφορική (από τους όρους Τηλεπικοινωνίες και Πληροφορική). Μέσω αυτού του κλάδου της τεχνολογίας υπάρχουν ευρύτερες δυνατότητες επικοινωνιών στην εξυπηρέτηση φωνής αλλά και άλλων μορφών πληροφορίας όπως είναι το κείμενο, τα δεδομένα (data), η εικόνα κλπ. των οποίων η ολοκλήρωσή τους βοηθείται από τη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας.

1.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ & ΔΙΚΤΥΩΝ

1.3.1 Οφέλη δικτύων

Όταν αρχίσει να εφαρμόζεται το τηλέφωνο πρακτικά ή να παραίτηται η αδυστηλέφωνική συσκευή και μια γραμμή. Εάν κάποιος, για

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

παράδειγμα, ήθελαν να επικοινωνήσουμε δύο διαφορετικά μέρη, τότε έπρεπε να έχει δύο τηλέφωνα και δύο τηλεφωνικές γραμμές και αν ήθελε και με έναν τρίτο χρειαζόταν επιπλέον τηλεφωνική συσκευή και γραμμή σύνδεσης. Με άλλα λόγια θα έπρεπε να υπάρχουν τόσες συσκευές όσες και οι συνδέσεις (Μανωλάκος, 2014).

Επομένως, όσο μεγαλύτερο αριθμό στων χρηστών τόσο μεγαλύτερο και ο αριθμός των συσκευών και των γραμμών. Το αποτέλεσμα ήταν η αύξηση να είναι τέτοια ώστε σε λίγο χρονικό διάστημα η κατάσταση αυτή δεν μπορούσε να συνεχιστεί γιατί το πρόβλημα της πληθώρας ήταν άλυτο. Έτσι, ότι υπάρχουν σημεία που θέλουν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, τότε χρειάζονται $(n-1)/2$ συνδέσεις και ο κάθε συνδρομητής πρέπει να έχει $n-1$ συσκευές (Μπίλλης, 2013).

Σε περίπτωση 100 τέτοιων σημείων, χρειάζονται 4950 γραμμές και 9900 τηλεφωνικές συσκευές που σημαίνει ότι κάθε συνδρομητής θα πρέπει να διαθέτει 99 συσκευές. Ως εκ τούτου προέκυψε η ανάγκη του Δικτύου. Η λύση του προβλήματος πέρασε από πολλά στάδια. Δημιουργήθηκαν τα πρώτα τηλεφωνικά κέντρα, στα οποία ο κάθε συνδρομητής συνδεόταν ακτινωτά με μια αφιερωμένη γραμμή και μια συσκευή.

Πλέον τα σύγχρονα δίκτυα δεν χρειάζονται πολλαπλάσια αφιερωμένες συνδέσεις μεταξύ των συνδρομητών. Ο κάθε συνδρομητής μπορεί να συνδέεται μόνο με μια γραμμή με το πλησιέστερο τηλεπικοινωνιακό κέντρο. Προς αυτή την κατεύθυνση δημιουργήθηκαν ιδιωτικά και δημόσια δίκτυα από το τηλεφωνικό, το δίκτυο telex, τα σύρματα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, το ISDN, το Ίντερνετ και άλλα.

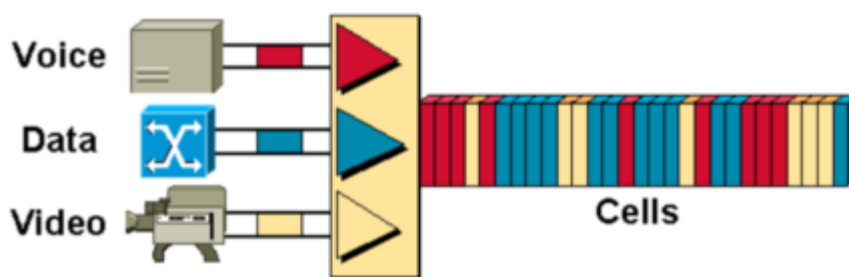
1.3.2 Δίκτυα τηλεπικοινωνιών

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα δομούνται ιεραρχικά. Αποτελούνται από αστικά ή τοπικά τερματικά κέντρα, συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν το αστικό δίκτυο (συνδρομητικό δίκτυο ή συνδρομητικός βρόχος). Στο κομβικό κέντρο συνδέονται όλα τα αστικά κέντρα πόλης ή περιοχής. Με μια απομακρυσμένη περιοχή για να είναι ιδιαιτέρως επικοινωνία υπάρχει το υπεραστικό δίκτυο το οποίο συνδέει όλα τα κομβικά κέντρα. Αυτά συνδέονται μέσω των Κύριων Κέντρων τομέρος δηλαδή του κορμού ενός εθνικού υπεραστικού δικτύου. Με άλλα

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

λόγια τα Κύρια Κέντρα και τα κομβικά αποτελούν το περαστικό δίκτυο και ονομάζονται διαβιβαστικά κέντρα, καθώς δεν συνδέονται με συνδρομητές αλλά διεκπεραιώνουν την κίνηση στο δίκτυο (Καραϊσκος, 2010).

Πλέον τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα πραγματοποιούν ανάγκες μετάδοσης φωνής, data, εικόνας κλπ. και ολοκληρώνονται μέσω ψηφιακών δικτύων υψηλών ταχυτήτων που χρησιμοποιούν τεχνολογίες bandwidth on demand, για βέλτιστη εκμετάλλευση της χωρητικότητας των καναλιών και των επικοινωνιακών κόμβων με την χρήση τεχνικών όπως η ATM (Asynchronous Transfer Mode) (Εικόνα 1.3). Η δημιουργία νέων δικτύων και υπηρεσιών όπως video on demand, βιντεοτηλεφωνία, επικοινωνίες πολυμέσων κλπ συμβάλλει στην ανάπτυξη της τεχνολογίας στα μέσα μετάδοσης (οπτικές ίνες), σε τεχνικές μεταγωγής και κόμβους υψηλών ταχυτήτων. Τέλος η επανάσταση στα δίκτυα, είναι η επέκταση των ψηφιακών ασύρματων επικοινωνιών υψηλών ταχυτήτων που δίνουν τη δυνατότητα πρόσβασης σε φορητά τεμαχικά πολυμέσων, που αλλάζει τη μορφή των δικτύων καθώς τα σύγχρονα τεμαχικά σημεία του δικτύου θα έχουν ελευθέρια κίνησης λόγω ασύρματης επικοινωνίας (Μανωλάκος, 2014).



Εικόνα 1.3: Ασύγχρονη λειτουργία μεταφοράς (ATM),

θεωρείται ως η τεχνολογία του 21^{ου} αιώνα και η επίδρασή της αναμένεται να είναι σχεδόν όπως PCM (κωδικοποίηση παλμικού κώδικα) η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στον πλανήτη στον τομέα των τηλεπικοινωνιών.

Πηγή: (Electronics (ECE) Seminar Topics On Asynchronous Transfer Mode, 2017).

Σήμερα, η τεχνολογία επιτρέπει την ύπαρξη τηλεπικοινωνιακών δικτύων καλωδιακής μορφής (απλά καλώδια, οπτικές ίνες), ασύρματων, κυψελωτών και δορυφορικών.

1.4 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Ο όρος Επικοινωνίες Δεδομένων ορίζει την ανταλλαγή πληροφοριών με μορφή data μεταξύ υπολογιστικών και τεμαχικών σταθμών. Πρόκειται για δεδομένα (data) που μπορεί να κωδικοποιούνται χαρακτηριστικά ως είναι τα γράμματα της αλφαβήτου, οι αριθμοί, τα σημεία στίξης και διάφορα άλλα σύμβολα (Μανωλάκος, 2014).

Η διάκριση μεταξύ των επικοινωνιών data και των άλλων μορφών, δηλαδή φωνής, εικόνας κλπ. είναι το τι μεταφέρεται και ο χιλιόμετρος με τον οποίο μεταφέρεται.

Σήμερα ο ψηφιακός τρόπος μετάδοσης που χρησιμοποιούταν σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα για την μεταφορά data, χρησιμοποιείται πλέον και για μεταφορά φωνής και εικόνας.

Στις επικοινωνίες με τον όρο πληροφορία ερμηνεύεται κάθε οργανωμένο σήμα, ενώ με τη λέξη δεδομένα ή data εννοείται ο σύμβολισμός που αναπαριστά την κωδικοποιημένη μορφή της πληροφορίας με τη μορφή γραμμάτων ή συμβόλων. Η κωδικοποίηση γίνεται ψηφιακά προκειμένου να καταστήσει την πληροφορία κατάλληλη για επεξεργασία, αποθήκευση ή μετάδοση. Με την έννοια μετάδοση δεδομένων (data transmission) προσδιορίζεται η μετακίνηση της πληροφορίας μέσα από φυσικά κανάλια μετάδοσης.

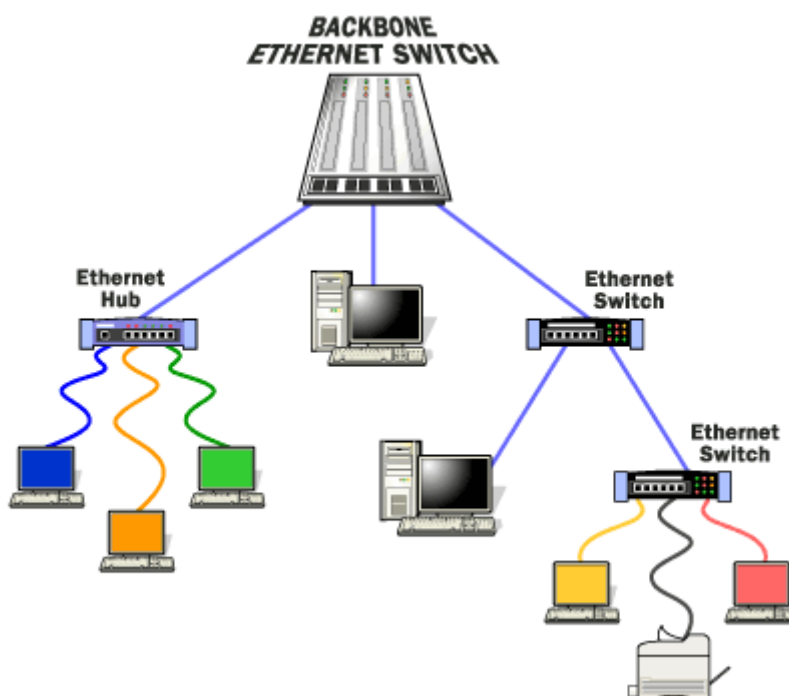
Ευρύτερη έννοια από αυτήν της μετάδοσης είναι η Επικοινωνία Δεδομένων, καθώς εκτός από τη λειτουργία της εκπομπής και της κωδικοποίησης της πληροφορίας, περιέχει ο έλεγχο της μετάδοσης ως προς τη φορά, η ορθότητα αλλά και οι κανόνες που πρέπει να διέπουν συστήματα ανταλλαγής πληροφοριών. Δηλαδή περιέχονται τα φυσικά κυκλώματα μετάδοσης, ο απαιτούμενος εξοπλισμός και το λογισμικό, οι διαδικασίες αναγνώρισης και διόρθωσης των σφαλμάτων μετάδοσης, ο έλεγχος της ροής των δεδομένων και συνολικά οι κανόνες για την εξασφάλιση της επικοινωνίας δύο ή περισσότερων υπολογιστικών σταθμών (Μπίλλης, 2013).

1.4.1 Τύποι μετάδοσης

Ανάλογα με την τεχνική μεταβίβαση της πληροφορίας από ένα τεμαχικό σημείο προς ένα άλλο υπάρχουν οι εξής περιπτώσεις (Μανωλάκος, 2014):

Η εξέλιξη των οπτικώνδικτύων

- Broadcast (ακρόαση): Πρόκειται για τα δίκτυα με κοινό μέσο επικοινωνίας, με τη βοήθεια των οποίων ένας σταθμός εκπέμπει και όλοι οι τελεματικοί σταθμοί λαμβάνουν το ίδιο μήνυμα. Τέτοια δίκτυα είναι τα ραδιοηλεκτρονικά, τα δορυφορικά και τα τοπικά (LAN).
- Switched (μεταγωγή): Πρόκειται για τα δίκτυα που αποτελούνται από συνδεδεμένους κόμβους με τους οποίους λαμβάνονται δεδομένα εισερχόμενα στο δίκτυο από ένα τελεματικό σημείο και μεταφέρονται από κόμβο σε κόμβο μέχρι το τελικό τελεματικό σημείο. Υπάρχουν κόμβοι που ενσυνδέονται με τελεματικό σημείο και απλά παίζουν το ρόλο του διακροτητή των δεδομένων (Εικόνα 1.4). Υπάρχουν τρία είδη μεταγωγής: μεταγωγή κυκλώματος, μήνυματος και πακέτου. Τέτοια δίκτυα έχουν οι τηλεπικοινωνιακές εταιρείες.
- Networked (δικτύωση): Πρόκειται για τα δίκτυα τα οποία μεταφέρουν δεδομένα που αντιστοιχούν σε μια διεύθυνση και μεταφέρονται προς μία άλλη μέσω ενός απόλυτου συστήματος επιμέρους δικτύων. Ουσιαστικά συντελείται η αποκατάσταση επικοινωνίας μεταξύ δύο ακραίων τελεματικών σημείων ενός μεγάλου δικτύου. Οι διαδρομές που ακολουθούνται περιλαμβάνουν φυσικές συνδέσεις και ζεύξεις δεδομένων. Το Internet είναι ένα παράδειγμα τέτοιου δικτύου.



Εικόνα 1.4: Switched Ethernet (Εναλλασσόμενο δίκτυο Ethernet),

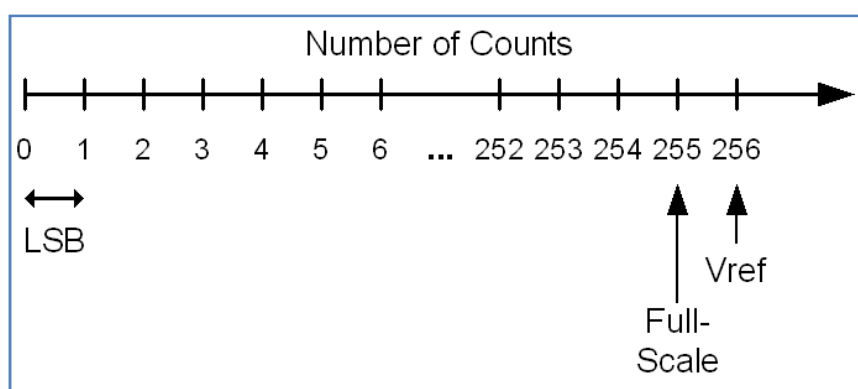
Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Οι σύγχρονες εφαρμογές Ethernet συχνά δεν μοιάζουν με τους ιστορικούς ομολόγους τους. Όπου υπάρχουν μακρές διαδρομές που παρέχονται για συστοιχίες ομοαξονικών καλωδίων για πολλαπλούς σταθμούς Ethernet παλαιού τύπου, τα σύγχρονα δίκτυα Ethernet χρησιμοποιούν καλωδιώσεις συνεστραμμένου ζεύγους ή οπτικές ίνες για τη σύνδεση σταθμών με ακτινικό μοτίβο. Όταν τα δίκτυα Ethernet παλαιού τύπου μεταδίδουν δεδομένα με ταχύτητα 10 megabits ανά δευτερόλεπτο (Mbps), τα σύγχρονα δίκτυα μπορούν να λειτουργούν στα 100 ή ακόμα και στα 1000 Mbps.

Πηγή: (Pidgeon, 2017).

1.4.2 Μορφές μετάδοσης

Οι μορφές μετάδοσης των δεδομένων είναι οι εξής (Μανωλάκος, 2014):



Εικόνα 1.5: Σειριακή μετάδοση των δεδομένων ενός ADC 8-bit.

Πηγή: (Nastase, 2016).

➤ Σειριακή:

Σε αυτή τα bit των χαρακτήρων στέλνονται ένα με το άλλο μέσα από ένα απλό φυσικό κανάλι μετάδοσης. Τις περισσότερες φορές μεταδίδεται πρώτο το λιγότερο σημαντικό bit (LSB - Least Significant Bit) (Εικόνα 1.5) του χαρακτήρα και μόνο σε κάποιες περιπτώσεις μεταδίδεται πρώτο το πιο σημαντικό bit (MSB - Most Significant Bit). Η σειριακή μετάδοση και χρησιμοποιείται σε συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων μέσω modem, ωστόσο η τυποποίηση και η ευρεία διάδοσή της έχει ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται και σε συνδέσεις μικρών αποστάσεων.

➤ Παράλληλη: Σε αυτή, όλα τα bit του χαρακτήρα στέλνονταιυτόχρονα. Αυτό γίνεται με τη χρήση πολλαπλών καναλιών μετάδοσης τόνωνόσα και τα bit του χαρακτήρα. Επιπλέον, υπάρχουν και άλλα κανάλια για μεταφορά σημάτων ελέγχου επιτυχούς μετάδοσης. Ο λόγος που η μετάδοση αυτή χρησιμοποιείται για μικρές αποστάσεις είναι τα πολλά κανάλια.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: «ΜΕΣΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ»

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σε ένα σύστημα επικοινωνίας, οι πομπές και οι δέκτες συνδέονται με ένα φυσικό μέσο από το οποίο περνάει το σήμα. Πρόκειται για τις γραμμές ή τα κανάλια επικοινωνίας. Τα μέσα μετάδοσης χωρίζονται στις εξής κατηγορίες (Μανωλάκος, 2014):

- ενσύρματα από πουσημαντικότερα είναι τα (συνεστραμμένα) χάλκινα και τα μονοαξονικά καλώδια
- οπτικές ίνες και
- ασύρματα από που περιλαμβάνονται οι ραδιοεπικοινωνίες και οι μικροκυματικές επίγειες και δορυφορικές ζεύξεις

Τα ενσύρματα και οι οπτικές ίνες ονομάζονται και κατευθυντικά μέσα γιατί το σήμα ηγαίνει προς συγκεκριμένη κατεύθυνση, ενώ τα ασύρματα γενικά είναι μη κατευθυντικά αφού διαχέουν το σήμα προς διάφορες κατευθύνσεις.

2.1.1 Χαρακτηριστικά των μέσων μετάδοσης

Τα μέσα μετάδοσης έχουν κάποια χαρακτηριστικά στοιχεία. Όπως είναι η ασφάλεια από ανεπιθύμητες παρεμβολές και ίσως αποκλοπές, το εύρος ζώνης συχνοτήτων (bandwidth), το οποίο φανερώνει το φάσμα των συχνοτήτων που μπορούν να διέλθουν από το μέσον, και η ηρεάζει άμεσα τον ρυθμό μετάδοσης και τον όγκο της μεταφερόμενης πληροφορίας, το μέγιστο μήκος του μέσου μετάδοσης που εξαρτάται από τις απώλειες των σημάτων επικοινωνίας, η ευαισθησία στο θόρυβο, δηλαδή ο βαθμός επίδρασης του και η ευκολία χρήσης, αναφορικά με την εγκατάσταση, τη διασύνδεση, τον έλεγχο και την συντήρηση του μέσου (Μανωλάκος, 2014).

2.1.2 Ενσύρματα μετάδοση

2.1.2.1 Δισύρματα καλώδια

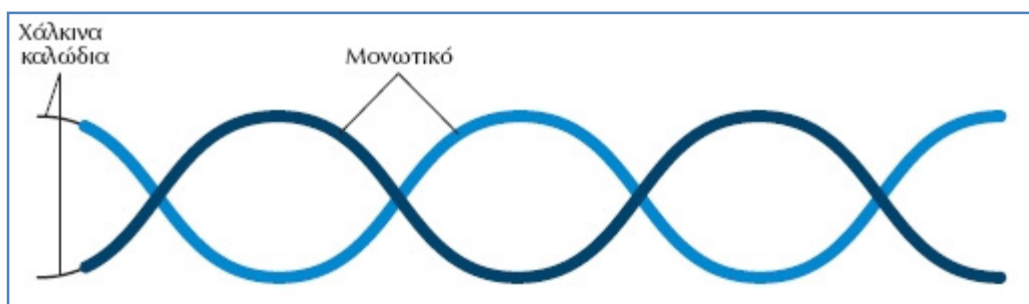
Πρόκειται για ένα από τα παλαιότερα μέσα μετάδοσης το οποίο εξακολουθεί να είναι από τα πιο συνηθισμένα.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Είναι τα πιο απλά φούτα συνθέτουν δύο σύρματα μονωμένα μεταξύ τους.

Χρησιμοποιούνται για συνδέσεις πολύ κοντινά αποστάσεων όπως πολυλογιστών με περιφερειακά, ενώ δεν ενδείκνυνται για μακρινές αποστάσεις λόγω μεγάλης ευαισθησίας στο θόρυβο.

Τα συνεστραμμένα ζεύγη (twisted pair) αποτελούν την εξελιγμένη μορφή τους, όπου μονωμένα χάλκινα σύρματα πάχους περίπου 1 mm συστρέφονται ελικοειδώς μεταξύ τους για μεγαλύτερη αντίσταση στο θόρυβο αλλά και για τη μείωση της ακτινοβολίας που εκπέμπουν δύο παράλληλα σύρματα, επειδή αποτελούν κεραία (Μανωλάκος, 2014).



Εικόνα 2.1: Δισύρματα καλώδια.

Πηγή: (Πεπούδη, 2009).

Με αυτά, ένα σήμα μπορεί να διανύσει αποστάσεις χιλιομέτρων και για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε στα τηλεφωνικά δίκτυα, αν και για μεγαλύτερες αποστάσεις χρειάζονται επαναλήπτες (repeaters). Το εύρος ζώνης συχνοτήτων εξαρτάται από τη διάμετρο και το μήκος και κυμαίνεται από μερικά ΚHz έως εκατοντάδες MHz. Τα σύρματα αυτά λέγονται και αθωράκιστα συνεστραμμένα ζεύγη (UTP-Unshielded Twisted Pair) (Κωττής & Αράπογλου, 2010).

Αντίθετα, τα θωρακισμένα (shielded) συνεστραμμένα καλώδια είναι τα ίδια αλλά μονωμένα με εξωτερικό προστατευτικό κάλυμμα για ακριβώς όμοια μεγάλη αντίσταση στον θόρυβο.

Μέσω των συνεστραμμένων καλωδίων μεταδίδονται αναλογικά σήματα από ψηφιακά σήματα αλλά σε μικρές αποστάσεις.

Η εξασθένηση του σήματος στα συνεστραμμένα καλώδια είναι της τάξης του 1 dB ανά χιλιόμετρο. Η χρήση των καλωδίων συνεστραμμένου ζεύγους είναι ευρεία λόγω της επαρκούς απόδοσης, της εύκολης χρήσης και του χαμηλού τους κόστους.

Υπάρχουν σε πολλές ποικιλίες όψεις για παράδειγμα τα καλώδια κατηγορίας 3 που αποτελούνται από δύο μονωμένα σύρματα ελαφρώς συνεστραμμένα μεταξύ τους εύρος ζώνης

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

16 MHz. Από το 1988 περίπου εμφανίστηκαν τα καλώδια συνεστραμμένου ζεύγους κατηγορίας 5 παρόμοια με αυτή της κατηγορίας 3 αλλά με περισσότερες στροφές ανά εκατοστό και εύρος ζώνης 100 MHz, γεγονός που οδηγεί σε λιγότερες παρεμβολές και καλύτερη ποιότητα σήματος. Οι ανερχόμενες κατηγορίες 6 και 7 έχουν εύρος ζώνης 250 MHz και 600 MHz αντίστοιχα (Κωττής & Αράπογλου, 2010).

Οι τύποι αυτοί ανήκουν στα καλώδια UTP.

Τα συνεστραμμένα χάλκινα καλώδια χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα. Επειδή υπάρχουν πολλοί τύποι καλωδίων, για να αποφευχθεί η διαφοροποίηση ξεχωριστών τύπων για τον ίδιο σκοπό καθιερώθηκαν τυποποιήσεις κυρίως από την EIA/TIA - Electronic/Telecommunication Industry Association (Μανωλάκος, 2014).

2.1.2.2 Ομοαξονικά καλώδια - κυματοδηγοί

Τα ομοαξονικά καλώδια (coaxial cable) έχουν αυτό το όνομα λόγω της κατασκευής τους και αποτελούν συνηθισμένο μέσο μετάδοσης. Χρησιμοποιούνται στη θέση των συνεστραμμένων για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί με τη ναπόσταση μετάδοσης και τη ταχύτητα επικοινωνίας αλλά και γιατί είναι περισσότερο ασφαλή για την επικοινωνία. Αποτελούνται από ένα πυρήνα άκαμπτου χάλκινου καλωδίου, ο οποίος περιβάλλεται από ένα μονωτικό υλικό. Ο μονωτής καλύπτεται από ένα κυλινδρικό αγωγό με μορφή πυκνού δικτυωτού πλέγματος και εξωτερικό αγωγό καλύπτεται από πλαστικό προστατευτικό περίβλημα. Η διάμετρος τους είναι 0,6-2 cm και προσφέρουν υψηλό εύρος ζώνης συχνοτήτων που φτάνει τα 1 GHz. Χρησιμοποιούνται στην καλωδιακή τηλεόραση, σε τοπικά δίκτυα υπολογιστών ή σε κομβικές συνδέσεις του τηλεφωνικού συστήματος. Επίσης, μεταδίδουν και αναλογικό και ψηφιακό σήμα και για μεγάλες αποστάσεις παρεμβάλλονται ανάμεσα δότες. Οι δύο τύποι ομοαξονικού καλωδίου που χρησιμοποιούνται ευρέως, είναι το καλώδιο των 50 Ohm, το οποίο προορίζεται από τη αρχή για ψηφιακή μετάδοση και το καλώδιο των 75 Ohm, το οποίο προορίζεται για αναλογική μετάδοση στην καλωδιακή τηλεόραση και για πρόσβαση στο Internet (Μανωλάκος, 2014).

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων



Εικόνα 2.2: Ομοαξονικό καλώδιο.

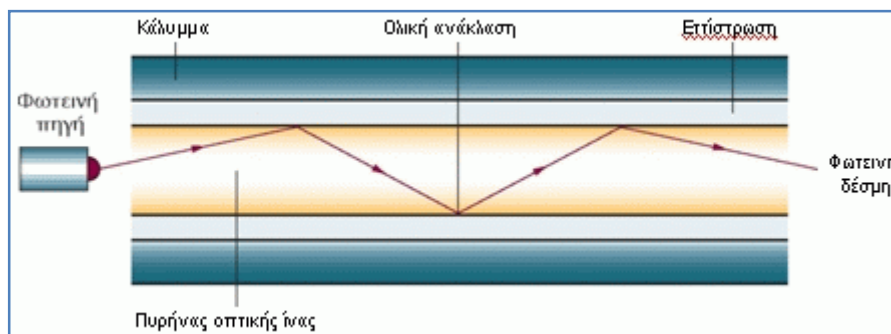
Πηγή: (Πεπούδη, 2009).

2.1.2.3 Οπτικές ίνες

Η καλύτερη λύση στα μέσα μετάδοσης ζώπου το φως είναι οι οπτικές ίνες (fiber optic). Αποτελούνται από τρεις μορφές κυλινδρικές ζώντες. Στο κέντρο βρίσκεται ένα γυάλινο πυρήνα, η κεντρική ίνα (core) μέσω του οποίου διαδίδεται το φως και έχει περίπου το πάχος μιας ανθρώπινης τρίχας. Ο πυρήνας περικλείεται από μια γυάλινη επικάλυψη, το μανδύα (cladding) και στη συνέχεια υπάρχει ένα λεπτό πλαστικό κάλυμμα (buffer) για προστασία του μανδύα (Fitz, 2012).

Συνήθως οι οπτικές ίνες μορφοποιούνται σε δέσμες οι οποίες προστατεύονται από το εξωτερικό περίβλημα. Η φωτεινή δέσμη που μεταφέρει την πληροφορία, μεταδίδεται μέσω της κεντρικής ίνας (core) και διαδίδεται με διαδοχικές ανακλάσεις στα τοιχώματα της ίνας προς το άλλο άκρο (Μανωλάκος, 2014).

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων



Εικόνα 2.3: Οπτική ίνα (fiberoptic).

Πηγή: (Πεπούδη, 2009).

Σε αντίθεση με τα χάλκινα καλώδια, όσο μικρότερη είναι η διάμετρος της ίνας, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση διάδοσης του σήματος. Στο τέρμα της οπτικής ίνας, βρίσκεται ένας φωτοδέκτης, ο οποίος ανιχνεύει την έλευση του φωτός.

Οι οπτικές ίνες διασυνδέονται με τρεις τρόπους. Αρχικά, μπορεί να τεμαχίζονται με συζευκτήρες και να συνδέονται σε υποδοχές οπτικών ινών ή να συγκολλούνται μηχανικά. Δηλαδή, τα εξαρτήματα μηχανικής συγκόλλησης τοποθετούνται δύο προσεκτικά κομμένα άκρα, το ένα δίπλα στο άλλο, μέσα σε ένα ειδικό κάλυμμα και τα σφίγγουν στη σωστή θέση ή δύο μήματα οπτικής ίνας μπορούν να τηχθούν έτσι ώστε να σχηματίσουν μια συμπαγή σύνδεση που είναι σχεδόν το ίδιο καλή με μια μονοκόμματη οπτική ίνα (Κωττής & Αράπογλου, 2010).

Οι οπτικές ίνες έχουν πλεονεκτήματα, όπως το μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων, με αποτέλεσμα την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης της τάξης 5 Gbps, είναι ανεπηρέαστα από θόρυβο, ο ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων (error rate) είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα, το βάρος και ο όγκος τους είναι σημαντικά μικρότεροι από άλλους αντίστοιχους αγωγούς, είναι αρκετά ασφαλείς και προξενούν μικρότερη εξασθένηση στα σήματα από ότι τα χάλκινα και τα μαξονικά καλώδια (επιτυγχάνονται αποστάσεις χωρίς να μεταδοτή, άνω των 300 χιλιομέτρων).

Τα μειονεκτήματά τους είναι η δυσκολία στον τρόπο σύνδεσης σε πομπό και δέκτη και η δυσκολία σύνδεσης πολλών χρηστών πάνω σε ένα καλώδιο.

Τα συστήματα καλωδίωσης με οπτικές χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνιακές συνδέσεις μακρινών αποστάσεων, σε βιομηχανικές περιοχές με υψηλό επίπεδο ηλεκτρομαγνητικών θορύβων,

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

σε τοπικά δίκτυα για επικοινωνίες data μεγάλων ταχυτήτων, (Metropolitan Area Network)

και για μεταδόσεις υψηλών απαιτήσεων ασφαλείας κρατικών υπηρεσιών (Fitz, 2012).

2.2 ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ

Η διάταξη των διαφόρων στοιχείων (συνδέσεις, κόμβοι, κλπ) των τηλεπικοινωνιακών δικτύων λέγεται Τοπολογία δικτύου (network topology). Πρόκειται για μια τοπολογική αναπαράσταση ενός δικτύου η οποία μπορεί να απεικονιστεί φυσικά ή λογικά. Με τη φυσική τοπολογία απεικονίζονται οι θέσεις των στοιχείων του δικτύου (συσκευές, καλώδια, κλπ) όπως θα ήταν στο χώρο. Με τη λογική τοπολογία παρουσιάζεται η ροή των δεδομένων μέσα στο δίκτυο. Ωστόσο, δύο δίκτυα που έχουν την ίδια φυσική τοπολογία είναι πιθανόν να έχουν διαφορετική λογική (τοπολογία) αν διαφέρουν στην τεχνολογία των συσκευών και των μέσων μετάδοσης (Μανωλάκος, 2014).

Δύο είναι τα κύρια συστατικά μέρη του δικτύου στην τοπολογική απεικόνιση. Πρώτον, οι κόμβοι (nodes), δηλαδή οι συσκευές, και δεύτερον οι συνδέσεις ή ζεύξεις (links), δηλαδή τα μέσα που συνδέουν τις συσκευές.

2.2.1 Γραμμές μεταφοράς

Τα μέσα μεταφοράς / ζεύξεις της πληροφορίας που ζευγνύουν τις συσκευές του δικτύου μπορεί να είναι ηλεκτρικά καλώδια, οπτικές ίνες ή ραδιοκύματα. Στο μοντέλο OSI¹ αναφέρονται στο φυσικό επίπεδο (επίπεδο 1) και στο επίπεδο ζεύξης (επίπεδο 2) (Πίνακας 1.1). Σαν μέσο μεταφοράς πληροφορίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και η ηλεκτρική εγκατάσταση ενός κτηρίου (Μπίλλης, 2013).

Πίνακας 2.1: Μοντέλο OSI.

Μοντέλο OSI			
	Μονάδα δεδομένων	Επίπεδο	Λειτουργία
Λογισμικό	Δεδομένα	7. Εφαρμογών	Παρέχεται στις εφαρμογές πρόσβαση στο δίκτυο
		6. Παρουσίασης	Αναπαράσταση δεδομένων και

¹Το μοντέλο αναφοράς Ανοικτής Διασύνδεσης Συστημάτων, ή μοντέλο αναφοράς OSI (OSI reference model) πρόκειται για μια διαστρωματωμένη, αφηρημένη περιγραφή για τη σχεδίαση τηλεπικοινωνιακών και δικτυακών πρωτοκόλλων η οποία καθορίστηκε από την πρωτοβουλία Ανοικτή Διασύνδεση Συστημάτων – OSI. Είναι γνωστό και ως μοντέλο των επτά επιπέδων.

Η εξέλιξη των οπτικώνδικτύων

Μοντέλο OSI			
			κρυπτογράφηση
		5. Συνόδου	Έλεγχος του διαλόγου μεταξύ των άκρων της επικοινωνίας
	Τμήμα	4. Μεταφοράς	Αξιόπιστη επικοινωνία από άκρο σε άκρο
Υλικό	Πακέτο	3. Δικτύου	Καθορισμός διαδρομών και λογικών διευθύνσεων των κόμβων στα πλαίσια ενός διαδικτύου
	Πλαίσιο	2. Ζεύξηςδεδομένων	Φυσικήδιευθυνσιοδότηση (MAC & LLC)
	Δυαδικά ψηφία / Bit	1. Φυσικό	Δυαδική μετάδοση σήματος μέσω του φυσικού μέσου

Πηγή: (Μπίλλης, 2013).

- Σε μικρές αποστάσεις χρησιμοποιούνται τα ηλεκτρικά καλώδια και είναι εύκολα στην εγκατάσταση. Επίσης, υπάρχουν διαφορετικά είδη (ομοαξονικά, συνεστραμμένα ζεύγη, κλπ) τα οποία διαφέρουν στο ρυθμό μεταφοράς πληροφορίας και στην απόσταση που μπορούν να αποδώσουν.
- Σε μικρές και μεγάλες αποστάσεις αποδίδουν οι οπτικές ίνες. Παρέχουν μεγαλύτερους ρυθμούς μεταφοράς πληροφορίας και συνήθως χρησιμοποιούνται σε υποθαλάσσιες διηπειρωτικές επικοινωνιακές εγκαταστάσεις.
- Σε μικρές αποστάσεις (Wi-Fi), όπως και σε μεγάλες (δορυφορικές επικοινωνίες) χρησιμοποιούνται τα ραδιοκύματα. Ανάλογα με την εγκατάσταση κυμαίνονται και οι ταχύτητες μετάδοσης. Στην καθημερινή χρήση υπερτερούν στην ευκολία σύνδεσης με το δίκτυο (πχ στις φορητές υπολογιστικές συσκευές, κινητά τηλέφωνα, κλπ).

2.2.2 Επικοινωνιακοί Κόμβοι

Οι συσκευές που χρησιμοποιούν τις ζεύξεις για να επικοινωνούν μεταξύ τους λέγονται κόμβοι (nodes) και γι' αυτό έχουν μία ή περισσότερες διεπαφές δικτύου (network interfaces). Οι συσκευές που αναμεταδίδουν την πληροφορία (πχ μεταγωγείς, δρομολογητές) ή την παράγουν-καταναλώνουν, μπορεί να είναι ένας σταθμός εργασίας, ένας εκτυπωτής, ένας εξυπηρετητής ή μια τηλεφωνική συσκευή. Οι συνηθέστερες λειτουργίες τους είναι (Κωττής & Αράπογλου, 2010):

Η εξέλιξη των οπτικώνδικτύων

- Οι επαναλήπτες (repeaters) οι οποίοι μεταφέρουν την πληροφορία από την μια ζεύξη στην άλλη ενισχυμένη. Χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει μεγαλύτερη απόσταση από αυτή που μπορεί να υποστηρίξει μια ζεύξη για να ενισχύσουν το σήμα.
- Οι πλήμνες (hubs)² οι οποίες λαμβάνουν την πληροφορία από μία ζεύξη και την μεταβιβάζουν σε όλες τις άλλες.
- Οι γέφυρες (bridges)³ οι οποίες λαμβάνουν την πληροφορία από μία ζεύξη και την μεταβιβάζουν σε μια δεύτερη αν προορίζεται γι' αυτήν.
- Οι μεταγωγείς (switches)⁴ οι οποίοι κάνουν ό, τι οι πλήμνες και οι γέφυρες μαζί. Δηλαδή λαμβάνουν την πληροφορία από μια ζεύξη (όπως οι πλήμνες) και την μεταβιβάζουν μόνο στη ζεύξη για την οποία προορίζεται (όπως οι γέφυρες).
- Οι δρομολογητές (routers)⁵ οι οποίοι επεξεργάζονται την πληροφορία και την προωθούν σε άλλα δίκτυα.
- Οι ελεγκτές διασύνδεσης δικτύου (NIC)⁶, η διεπαφή, οι οποίοι επιτρέπουν σε μια συσκευή να συνδεθεί μέσω ζεύξης.

Υπάρχουν και άλλες δικτυακές συσκευές που μπορεί να είναι συνδυασμός των παραπάνω και επιφορτισμένες με πιο πολύπλοκες λειτουργίες.

²Είναι μια συσκευή στην οποία συνδέονται δικτυακοί κόμβοι μέσω καλωδίων συνεστραμμένων ζευγών ή οπτικής ίνας ώστε να δρουν ως ενιαίο τμήμα. Κυρίως χρησιμοποιείται σε τοπικά δίκτυα ethernet. Οι αναμεταδότες λειτουργούν στο φυσικό επίπεδο (στρώμα 1) του μοντέλου OSI.

³Είναι ηλεκτρονικές συσκευές που υλοποιούν τη διασύνδεση/επικοινωνία μεταξύ τοπικών δικτύων υπολογιστών στο επίπεδο σύνδεσης (data link layer) του μοντέλου OSI. Οι γέφυρες χρησιμοποιούν τις διευθύνσεις υλικού (MAC address) των σταθμών εργασίας του τοπικού δικτύου, για να μεταδώσουν τα πλαίσια δεδομένων (data frames) μεταξύ των δικτύων που συνδέουν.

⁴Είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που χρησιμοποιείται σε δίκτυα υπολογιστών. Αποτελεί ένα συνδυασμό του επαναλήπτη (Hub) και της γέφυρας (bridge). Στην αρχή οι μεταγωγείς χρησιμοποιήθηκαν σε δίκτυα τύπου Ethernet, πλέον κυκλοφορούν μεταγωγείς και για άλλου τύπου πρωτόκολλα όπως για παράδειγμα FDDI, ATM.

⁵Είναι μια ηλεκτρονική συσκευή η οποία αναλαμβάνει την αποστολή και λήψη πακέτων δεδομένων μεταξύ ενός ή περισσότερων διακομιστών, άλλων δρομολογητών και πελατών, κατά μήκος πολλαπλών δικτύων (δρομολόγηση).

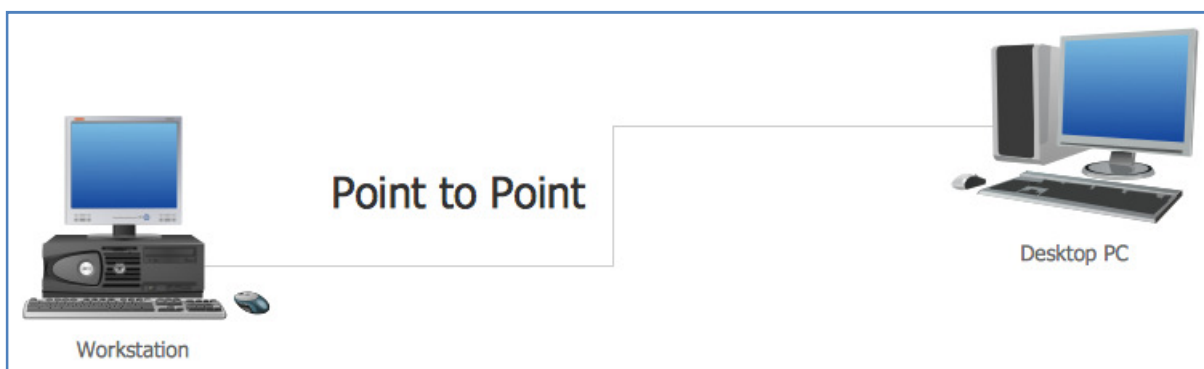
⁶Η κάρτα δικτύου αποτελεί ένα στοιχείο του υλικού που συνδέει έναν υπολογιστή σε ένα δίκτυο υπολογιστών.

2.2.3 Βασικές τοπολογίες δικτύου

Στις παρακάτω βασικές τοπολογίες μπορεί να ταξινομηθεί η διάταξη των στοιχείων ενός δικτύου (Κωττής & Αράπογλου, 2010):

2.2.4 Δισημειακή

Η δισημειακή τοπολογία (point-to-point topology) αποτελεί την απλούστερη τοπολογία, καθώς πρόκειται για μια μόνιμη σύνδεση μεταξύ δύο σημείων. Με αυτή τη σύνδεση επιτρέπεται η ανεμπόδιστη επικοινωνία μεταξύ δύο σημείων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η σύνδεση των δικτύων σε απομακρυσμένα υποκαταστήματα μιας εταιρείας μέσω μισθωμένων (αποκλειστικών) τηλεφωνικών κυκλωμάτων.



Εικόνα 2.4: Η δισημειακή τοπολογία (point-to-point topology).

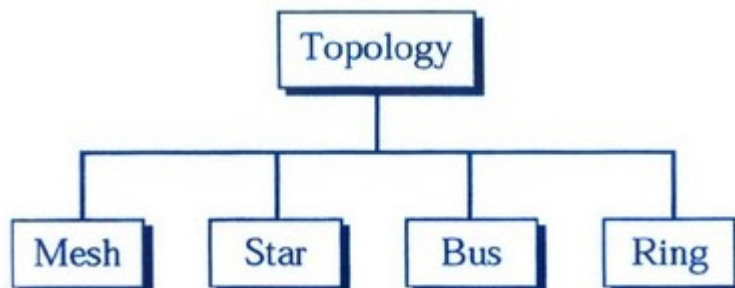
Ένα δισημειακό κύκλωμα στις τεχνολογίες μεταγωγής κυκλωμάτων ή μεταγωγής πακέτων, μπορεί να δημιουργηθεί προσωρινά και λήγει όταν δεν χρειάζεται πλέον. Δύο τηλεφωνικές συσκευές στη συμβατική τηλεφωνία συνδέονται δισημειακά μέσω τηλεφωνικού κέντρου (Κωττής & Αράπογλου, 2010).

2.2.5 Διαύλου

Κάθε κόμβος στην τοπολογία διαύλου (bus topology), συνδέεται σε ένα κεντρικό καλώδιο. Αυτό το κεντρικό καλώδιο αποτελεί τον κορμό (backbone ή bus) του δικτύου και είναι γνωστό ως δίαυλος ή αρτηρία. Ένα πακέτο δεδομένων με αφετηρία έναν από τους κόμβους ταξιδεύει και στις δύο κατευθύνσεις και διέρχεται από όλους τους άλλους κόμβους του διαύλου διαδοχικά. Κάθε κόμβος αρχικά ελέγχει τη διεύθυνση παραλήπτη του πακέτου και στη συνέχεια αν ταιριάζει με την δική του το αποδέχεται, διαφορετικά το αγνοεί. Έχει χαμηλό κόστος και εγκαθίσταται εύκολα κυρίως στα μικρά δίκτυα λόγω του μοναδικού κεντρικού καλωδίου. Καθώς τα πακέτα διασχίζουν όλο το δίκτυο ανεξάρτητα της θέσης του

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

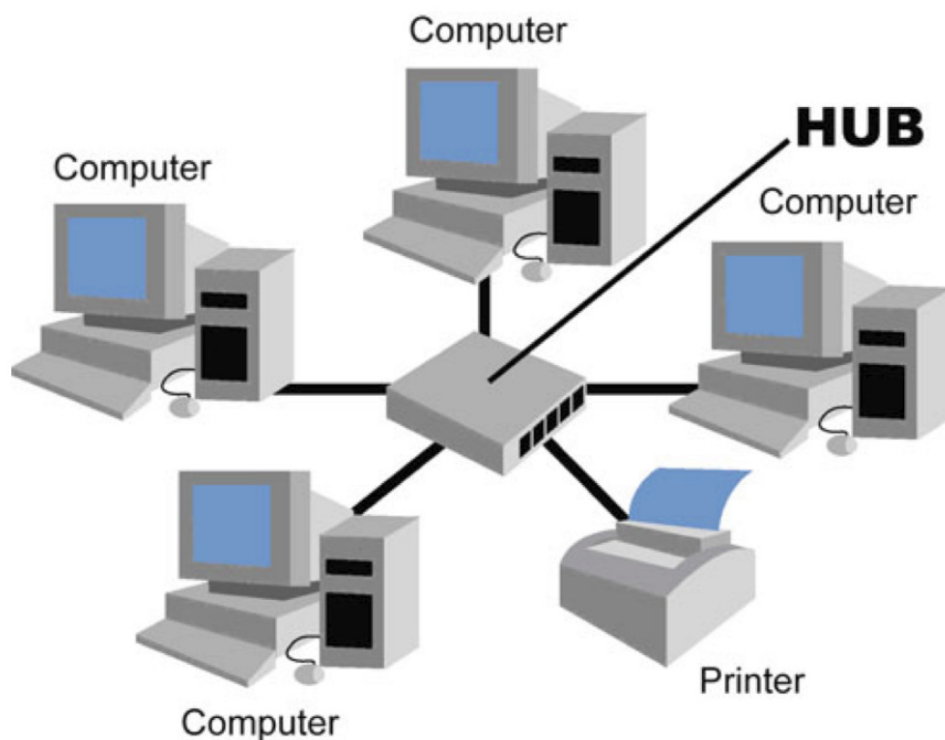
κόμβου-αποδέκτη μπορεί να επιβαρύνουν την συνολική του απόδοση. Επίσης, στα μειονεκτήματα μπορεί να προστεθεί το γεγονός ότι εάν προστεθεί ή αφαιρεθεί ένας κόμβος, ολόκληρο το δίκτυο τίθεται εκτός λειτουργίας. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση κάποιας βλάβης στο κεντρικό καλώδιο. Για τους λόγους αυτούς αυτή η τοπολογία καθίσταται ακατάλληλη για μεγάλα δίκτυα (Κωττής & Αράπογλου, 2010).



Εικόνα 2.5: Τοπολογία διαύλου (bus topology)

2.2.6 Αστέρα

Κάθε κόμβος στην τοπολογία αστέρα (star topology) συνδέεται σε έναν «κεντρικό» κόμβο. Συγκεκριμένα ένα πακέτο δεδομένων σε αυτή την τοπολογία με αφετηρία έναν από τους περιφερειακούς κόμβους κατευθύνεται πάντα στον κεντρικό κόμβο ο οποίος το αναμεταδίδει σε όλους τους κόμβους. Οι περιφερειακοί κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους με αποστολές και λήψεις στον κεντρικό κόμβο. Από τον κεντρικό κόμβο εξαρτάται πολύ η αποδοτική λειτουργία του δικτύου (Κωττής & Αράπογλου, 2010).



Εικόνα 2.6: Τοπολογία αστέρα (startopology).

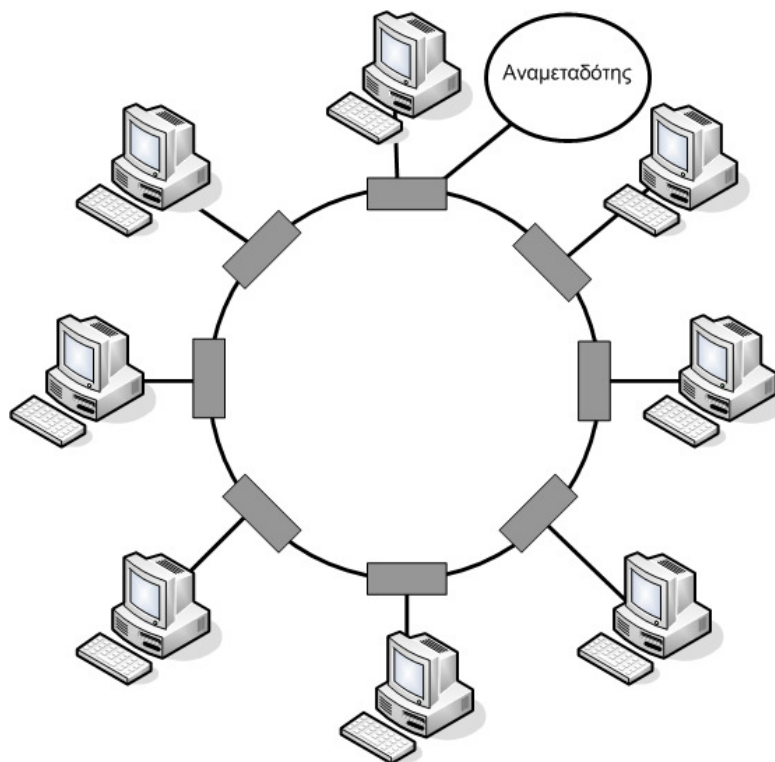
Το πακέτο που θα παραλάβει από ένα κόμβο, αν είναι απλή πλήμνη (hub), θα το στείλει σε όλους τους άλλους κόμβους και τελικά θα παραληφθεί από αυτόν που έχει την διεύθυνση παραλήπτη στο πακέτο, ενώ οι άλλοι κόμβοι θα το αγνοήσουν. Η απόδοση του δικτύου, όπως και στην τοπολογία διαύλου, επιβαρύνεται λόγω της μεταφοράς πακέτων σε όλους τους κόμβους. Όταν ο κεντρικός κόμβος είναι μεταγωγέας (switch) τότε το δίκτυο γίνεται πιο αποτελεσματικό. Στην περίπτωση αυτή ο μεταγωγέας διαβάζει την διεύθυνση παραλήπτη του πακέτου και το στέλνει αποκλειστικά στον κόμβο-αποδέκτη. Στη συγκεκριμένη τοπολογία μπορεί να προστεθεί ή να αφαιρεθεί περιφερειακός κόμβος χωρίς να επηρεαστεί η λειτουργία του υπόλοιπου δικτύου. Ο κεντρικός κόμβος υποστηρίζει περιορισμένο αριθμό συνδέσεων (Κωττής & Αράπογλου, 2010).

2.2.7 Δακτυλίου

Σαν την τοπολογία διαύλου (bus) λειτουργεί και η τοπολογία δακτυλίου (ringtopology) στην οποία όμως τα δύο άκρα ενώνονται σε έναν κλειστό βρόχο. Αν και υπάρχουν δακτύλιοι διπλής κατεύθυνσης τα δεδομένα διαδίδονται προς μία κατεύθυνση. Στην περίπτωση που ένας κόμβος στέλνει πακέτα δεδομένων σε έναν άλλο, τότε τα πακέτα περνούν από κάθε ενδιάμεσο κόμβο καθώς διατρέχουν τον δακτύλιο μέχρι τον κόμβο που προορίζονται. Καθώς το σήμα στις καλωδιώσεις των δικτύων εξασθενεί με την

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

απόσταση, πρέπει ο κάθε ενδιάμεσος κόμβος εκτός από τον έλεγχο της διεύθυνσης του πακέτου για να δει αν είναι ο αποδέκτης, μετά το επαναπροωθεί στον επόμενο κόμβο αφού το ενισχύσει (Κωττής & Αράπογλου, 2010).



Εικόνα 2.7: Τοπολογία δακτυλίου (ringtopology).

Πηγή: (Κωττής & Αράπογλου, 2010).

Με άλλα λόγια εκτελεί την λειτουργία ενός επαναλήπτη (repeater). Συνεπώς η τοπολογία μπορεί να καλύψει μεγάλες αποστάσεις. Όπως συμβαίνει και στην τοπολογία διαύλου αν σε κάποιο σημείο του το δίκτυο υποστεί βλάβη, τότε δεν λειτουργεί στο σύνολό του. Έναντι της τοπολογίας αστέρα το πλεονέκτημά του είναι ότι δεν χρειάζεται τον «κεντρικό» κόμβο.

Το μειονέκτημά του είναι ότι αν μία από τις συνδέσεις μεταξύ των κόμβων έχει μικρότερη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων καθυστερεί ολόκληρο το δίκτυο.

2.2.8 Κατανεμημένη

Όλοι οι κόμβοι (συσκευές) του δικτύου στην κατανεμημένη τοπολογία (meshtopology) συνδέονται μεταξύ τους μερικά ή στο σύνολό τους, με αποτέλεσμα να μην κατατάσσονται σε κάποια από τις προηγούμενες τοπολογίες (Rice, 2011).

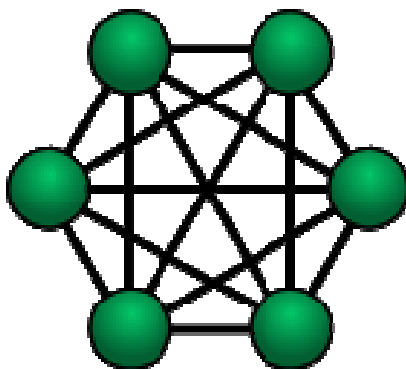
Διακρίνονται οι:

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

1. Πλήρως καταναμημένη τοπολογία

Όλοι οι κόμβοι στην πλήρως καταναμημένη τοπολογία (fullyconnectedtopology) συνδέονται μεταξύ τους. Στον αριθμό των συνδέσεων (connections) υπάρχει τετραγωνική αύξηση σε σχέση με τον αριθμό των κόμβων (nodes).

Δηλαδή: $connections = \frac{nodes(nodes-1)}{2}$, που για δίκτυα με πολλούς κόμβους είναι περίπου $\frac{nodes^2}{2}$. Η τοπολογία αυτή δεν εφαρμόζεται πρακτικά στα μεγάλα δίκτυα.



Εικόνα 2.8: Πλήρως καταναμημένη τοπολογία (fullyconnectedtopology).

Πηγή: (Rice, 2011).

2. Μερικώς καταναμημένη τοπολογία

Κάποιοι κόμβοι στην μερικώς καταναμημένη τοπολογία (Partiallyconnectedmeshtopology) έχουν περισσότερες από μια συνδέσεις με τους άλλους κόμβους του δικτύου. Δύο απομακρυσμένοι κόμβοι σε μια τέτοια τοπολογία μπορούν να επικοινωνούν ακολουθώντας μια διαδρομή ενδιάμεσων κόμβων. Επιπλέον μπορούν να υπάρχουν πολλές διαφορετικές διαδρομές επικοινωνίας μεταξύ δύο κόμβων. Δηλαδή αν κάποια από τις συνδέσεις του τεθεί εκτός λειτουργίας ή παρατηρηθεί μείωση στο ρυθμό μετάδοσης, τότε υπάρχει η δυνατότητα εναλλακτικών διαδρομών. Αυτό προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλων αλγορίθμων που θα καθορίζουν την βέλτιστη διαδρομή δρομολόγησης(routing) ανάλογα με την κάθε περίπτωση(Rice, 2011).

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: «ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ»

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η τεχνολογία εξελίσσεται ραγδαία με αποτέλεσμα την ανάγκη για μεγαλύτερο εύρος ζώνης και υψηλότερες απαιτήσεις στη συνδεσιμότητα των χρηστών. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν κερδίσει πολύ έδαφος οι οπτικές και οι ασύρματες τεχνολογίες καθώς προσφέρουν χωρητικότητα εύρους ζώνης και υποστήριξη QoS των πελατών. Με τις οπτικές ίνες παρέχεται υψηλή ταχύτητα και διανύονται μεγάλες αποστάσεις. Επίσης οι υπηρεσίες broadband καλύπτουν κι αυτές ένα μεγάλο κομμάτι της αγοράς. Βέβαια υπάρχουν και μειονεκτήματα τα οποία τις θέτουν εκτός από το να είναι η μελλοντική λύση δικτυακής υποδομής (Fitz, 2012).

3.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΪΝΕΣ

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η διερεύνηση των παραγόντων που σχετίζονται με το εύρος ζώνης της οπτικής ίνας και την εξασθένηση που προκαλεί στο οπτικό σήμα. Το εύρος ζώνης έχει άμεσο συσχετισμό με το ρυθμό πληροφορίας που μπορεί να μεταδοθεί μέσω της ίνας, ενώ μέσω της εξασθένησης καθορίζεται ο αριθμός των επαναληπτικών ενισχυτών που θα τοποθετηθούν μεταξύ πομπού και δέκτη σε μια οπτική ζεύξη. Μεγάλη επίδραση στο ολικό κόστος του συστήματος έχει η τοποθέτηση και συντήρηση αυτών των διατάξεων (Μανωλάκος, 2014).

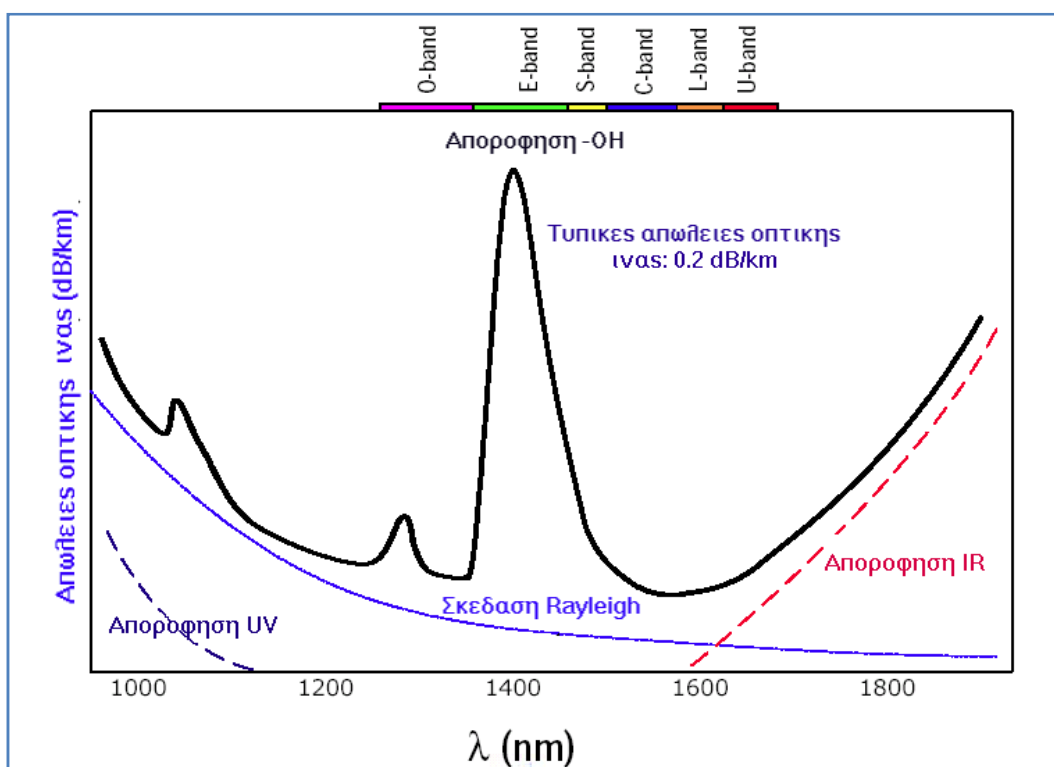
3.2.1 Εξασθένηση

Ο λόγος της οπτικής ισχύος στην έξοδο της σε σχέση με τη ισχύ εισόδου ορίζεται η εξασθένηση σήματος (ή απώλεια σήματος) σε μια οπτική ίνα και εκφράζεται σε dB/km. Έστω ότι μια οπτική ίνα έχει απώλειες 3 dB/km, τότε η ισχύς του σήματος μειώνεται κατά 50% σε απόσταση 1km.

Η εξασθένηση μιας οπτικής ίνας οφείλεται κυρίως σε δύο μηχανισμούς (Μανωλάκος, 2014), (Κωττής & Αράπογλου, 2010):

3.2.1.1 Απορρόφηση (absorption)

Μέρος της μεταδιδόμενης οπτικής ισχύος απορροφούν τα ηλεκτρόνια ξένων προσμειξεων που υπάρχουν στο γυαλί της ίνας. Κυρίως τα ιόντα OH^- , ευθύνονται για τις μεγάλες απώλειες στα οπτικά κινώνα. Ακόμα απώλειες απορρόφησης υπάρχουν και στην περιοχή του υπεριώδους λόγω του ίδιου του υλικού της ίνας και στο υπέρυθρο λόγω αλληλεπίδρασης των φωτονίων με ταλαντούμενα μόρια του πλέγματος του γυαλιού. Επίσης, στις απώλειες λόγω απορρόφησης συμβάλλουν άλλοι εξωγενείς παράγοντες όπως ξένες προσμίξεις ή ανομοιογένειες στην κατασκευή της ίνας (Μανωλάκος, 2014).



Εικόνα 3.1: Η ολική εξασθένιση σε μια τυπική οπτική ίνα. Διακρίνονται οι κορυφές που οφείλονται στη ύπαρξη των ιόντων OH^- .

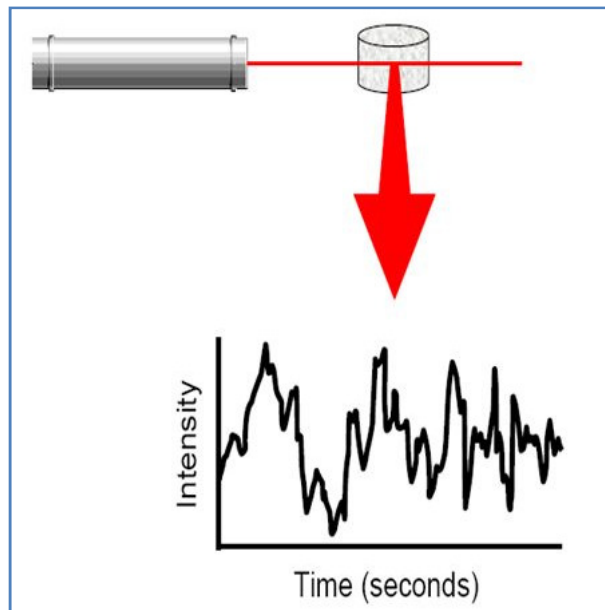
Πηγή: (Μανωλάκος, 2014).

3.2.1.2 Σκέδαση (Scattering)

Ο όρος αυτός χαρακτηρίζει τη διάχυση που υφίσταται η φωτεινή ακτινοβολία στο μανδύα καθώς διαδίδεται στον πυρήνα της ίνας. Κυρίως οφείλεται σε ανωμαλίες στη σύνθεση του υλικού της ίνας, με μέγεθος μικρότερο από το χαρακτηριστικό μήκος κύματος λ. Η εξασθένιση που

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

προκαλείται είναι ανάλογη του λ^4 , κυριαρχεί στα μικρά μήκη κύματος και είναι γνωστή και σαν σκέδαση Rayleigh (Κωττής & Αράπογλου, 2010). Στην εικόνα φαίνεται η εξάρτηση των απωλειών μιας τυπικής οπτικής ίνας σε σχέση με το χρησιμοποιούμενο μήκος κύματος και με τους μηχανισμούς που τις προκαλούν. Επίσης, φαίνονται οι περιοχές (O-band, S, C, L, U-band) γύρω από τα μήκη κύματος 1.3 μm και 1.5 μm , όπου η οπτική ίνα παρουσιάζει μικρή εξασθένιση. Οι περιοχές αυτές, γνωστές και σαν «φασματικά παράθυρα» των οπτικών επικοινωνιών χρησιμοποιούνται για τη φυσική μετάδοση (Μανωλάκος, 2014).



Εικόνα 3.2: Σκέδαση (Scattering).

Πηγή: (Μανωλάκος, 2014).

Βέβαια δεν διακρίνεται το «ιστορικό» παράθυρο των 0.8 μm που χρησιμοποιήθηκε αρχικά. Τα παράθυρα των 1.3 μm με εύρος περίπου 12 THz και των 1.55 μm με εύρος περίπου 15 THz, χρησιμοποιούνται πλέον στα σημερινά συστήματα, αφού η τεχνολογία επέτρεψε την κατασκευή κατάλληλων φωτοπηγών και φωτοφωρατών.

Εξωγενή αίτια απωλειών οι μακροσκοπικές (macrobending) και οι μικροσκοπικές (microbending) κάμψεις της οπτικής ίνας αποτελούν.

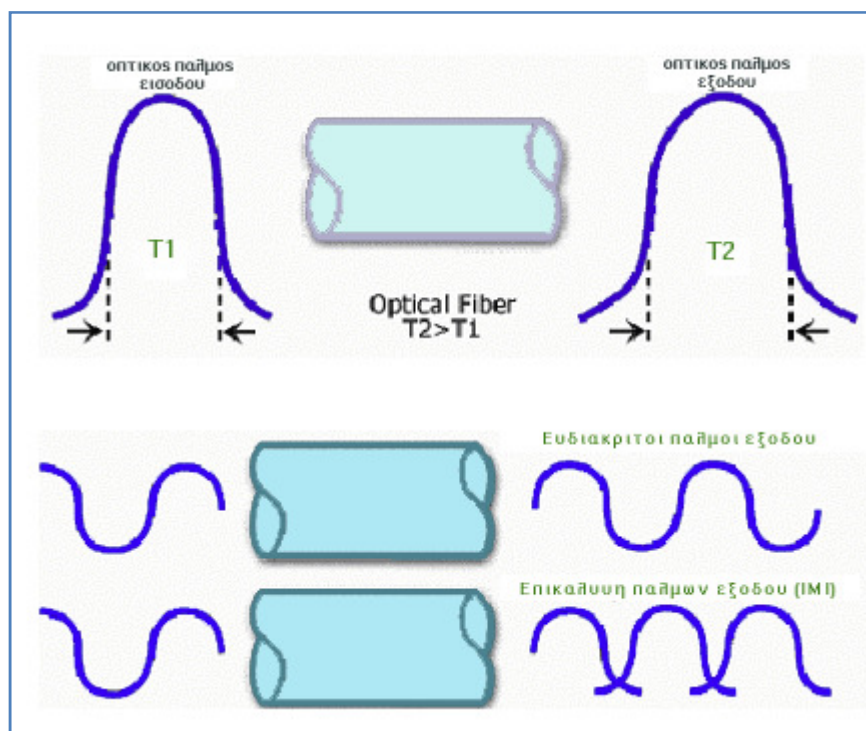
3.2.2 Διασπορά και διεύρυνση οπτικών παλμών

Όσο το μήκος κύματος αυξάνει τόσο μειώνεται η τιμή του δείκτη διάθλασης. Η ταχύτητα διάδοσης είναι συνάρτηση του δείκτη διάθλασης και συνεπώς του μήκους κύματος.

Αυτό το φαινόμενο χαρακτηρίζεται με τον όρο διασπορά (dispersion)

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

και προκαλεί την παραμόρφωση των φωτεινών παλμών που διαδίδονται στην ίνα καθώς η ισχύς τους κατανέμεται σε μια περιοχή μικρότερη από την αρχική. Το αποτέλεσμα είναι η διαπλάτυνση του οπτικού παλμού και ο περιορισμός του εύρους ζώνης ενός οπτικού συστήματος λόγω αλληλοπαραβολής συμβόλων (ISI – Inter Symbol Interference). Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται αυτό το φαινόμενο (Μανωλάκος, 2014), (Κωττής & Αράπογλου, 2010).



Εικόνα 3.3: Το φαινόμενο της διασποράς στις οπτικές ίνες.

Πηγή: (Μανωλάκος, 2014).

3.2.3 Διασπορά τρόπων (modal dispersion)

Σε περισσότερους από έναν τρόπους διαμοιράζεται ανάλογα με τις διαστάσεις του πυρήνα της η ισχύς ενός παλμού, καθώς αυτός κυματοδηγείται σε οπτική ίνα με σταθερούς δείκτες διάθλασης. Όμως η ταχύτητα διάδοσης κάθε τρόπου είναι διαφορετική, ώστε ο φωτεινός παλμός στην έξοδο της ίνας να διαπλάτνεται. Για μια ίνα μήκους L με σταθερό δείκτη διάθλασης πυρήνα (βηματικού δείκτη διάθλασης – Step Index) η διαπλάτυνση $\Delta\tau_{m(SI)}$ αποδεικνύεται ότι δίνεται από τη σχέση (Μανωλάκος, 2014):

$$\Delta\tau_{m(SI)} = n_c \frac{L}{c} \Delta$$

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Με τη χρήση οπτικής ίνας μετριάζεται το πρόβλημα, στην οποία ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα δεν είναι σταθερός αλλά μειώνεται ακτινικά μέχρι το μανδύα (ίνα διαβαθμισμένου δείκτη διάθλασης – graded index).

Με τη χρήση οπτικών ινών που μπορούν να διαδώσουν μόνο ένα τρόπο (μονότροπες ίνες) εξαλείφεται πλήρως η διασπορά τρόπων. Η πολύ μικρή διάμετρος του πυρήνα είναι το χαρακτηριστικό τους.

Η διασπορά τρόπων σε αυτή την περίπτωση εξαλείφεται πλήρως με αποτέλεσμα την αύξηση του εύρους ζώνης.

Βέβαια οι μονότροπες ίνες είναι πιο ακριβές και εμφανίζουν δυσκολίες στη σύζευξη τους με τις οπτικές πηγές (Μανωλάκος, 2014), (Κωττής & Αράπογλου, 2010).

3.2.4 Χρωματική διασπορά

Ακόμη και αν χρησιμοποιείται μόνο ο βασικός τρόπος διάδοσης σε μια οπτική ίνα, η ισχύς του οπτικού σήματος κατανέμεται σε μια μικρή περιοχή μηκών κύματος, επειδή η οπτική πηγή δεν είναι μονοχρωματική, αλλά και λόγω της διαδικασίας της διαμόρφωσης. Ωστόσο, διαφορετικά μήκη κύματος διαδίδονται στην ίνα με διαφορετικές ταχύτητες.

Τα μεγαλύτερα μήκη κύματος κινούνται πιο γρήγορα από τα μικρότερα με το αποτέλεσμα να είναι η διαπλάτυνση του διαδιδόμενου σήματος. Αυτός ο μηχανισμός αποτελεί τη διασπορά υλικού (Material Dispersion) και αποτελεί

τον σημαντικότερο παράγοντα περιορισμού του ρυθμού σηματοδότησης R_b σε μια οπτική ίνα μήκους L ,

αφού η διέγερση των παλμών του σήματος συνεπάγεται αύξηση του ISI και της δυσκολίας στο δέκτη να ξεχωρίσει τους λαμβανόμενους παλμούς (Μανωλάκος, 2014).

3.2.5 Διασπορά τρόπου πόλωσης

Η διασπορά τρόπου πόλωσης (Polarization Mode Dispersion – PMD) προκαλείται επειδή ο πυρήνας της ίνας είναι ελλειπτικός κιάρα διαφορετικές πολώσεις διαδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες. Επιπλέον, στις διάφορες καταστάσεις πόλωσης (State Of Polarizations – SOPs) η κατανομή της ενέργειας του οπτικού σήματος αλλάζει αργά με το χρόνο, λόγω παραδείγματος χάριν στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τέλος, η PMD είναι δυνατόν να προκύψει και λόγω της εξάρτησης από την πόλωση της λειτουργίας των διαφόρων δομικών στοιχείων του δικτύου (Μανωλάκος, 2014).

3.2.6 Είδη οπτικών νημάτων και οπτικά καλώδια

Η ταξινόμηση των οπτικών νημάτων γίνεται σύμφωνα με τα ακόλουθα κριτήρια (Μανωλάκος, 2014), (Κωττής & Αράπογλου, 2010):

- Προφίλ του δείκτη διάθλασης του πυρήνα.
- Υλικό πυρήνα και περιβλήματος.
- Τρόπος διάδοσης του φωτός.
- Χαρακτηριστικά της διάδοσης.

3.2.6.1 Τύποι οπτικών νημάτων

Ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα μπορεί να είναι σταθερός, οπότε πρόκειται για ίνες βηματικού δείκτη (step index) ή μπορεί να μεταβάλλεται ακτινικά, οπότε πρόκειται για ίνες διαβαθμισμένου δείκτη (graded index). Ο αριθμός των τρόπων που μπορούν να διαδοθούν στην ίνα καθορίζουν τις μονότροπες (διάδοση ενός μόνο τρόπου) και τις πολύτροπες (διάδοση πολλών τρόπων) ίνες.

Οι μονότροπες ίνες διαθέτουν πολύ μικρές διαστάσεις διαμέτρου του πυρήνα (~ 5 - 8 μm), πολύ καλά χαρακτηριστικά διάδοσης, αλλά και μεγάλο κόστος και δυσκολία στον χειρισμό τους.

Ο πυρήνας και ο μανδύας είναι φτιαγμένοι από πυριτύλιο και πλαστικό. Συνεπώς υπάρχουν οι ίνες silica (μανδύας και πυρήνας από γυαλί), οι ίνες PCS (μανδύας από γυαλί και πυρήνας από πλαστικό) και οι πλαστικές ίνες (μανδύας και πυρήνας από πλαστικό) οι οποίες χρησιμοποιούνται σε εξεύξεις μικρών αποστάσεων λόγω της εύκολης σύνδεσης τους με τα ενεργά στοιχεία του οπτικού συστήματος. Τύπου silica βηματικού δείκτη είναι πάντα οι μονότροπες ίνες, καθώς πρόκειται για τον τύπο που χρησιμοποιείται πλέον στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα μεγάλων αποστάσεων αποκλειστικά (Μανωλάκος, 2014), (Κωττής & Αράπογλου, 2010).

3.2.6.2 Τύποι μονότροπων οπτικών νημάτων

Αρκετές δεκαετίες διήρκεσε η εξέλιξη των μονότροπων οπτικών νημάτων. Σύμφωνα με την ITU-

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Τ⁷ οι τρεις κυρίαρχοι τύποι και οι προδιαγραφές τους είναι (Μανωλάκος, 2014), (Κωττής & Αράπογλου, 2010):

1. Η ίνα μη μετατοπισμένης διασποράς (Non Dispersion Sifted Fiber NDSF), G.652
2. Η ίνα μετατοπισμένης διασποράς (Dispersion-Shifted Fiber-DSF), G.653
3. Η ίνα μη μηδενικής μετατοπισμένης διασποράς (Non Zero Dispersion Sifted Fiber NZ-DSF), G.655

Στην περιοχή του υπέρυθρου που αξιοποιούνται για μετάδοση οπτικές ίνες υπάρχουν τρία οπτικά παράθυρα. Το πρώτο παράθυρο, που βρίσκεται στην περιοχή των 850 nm, σχεδόν αποκλειστικά χρησιμοποιείται σε εξεύξεις μικρών αποστάσεων με πολύτροπες ίνες. Στο δεύτερο οπτικό παράθυρο, στην περιοχή των 1310 nm χρησιμοποιούνται οι ίνες μη μετατοπισμένης διασποράς NDSF, που είναι απλές μονότροπες ίνες (Single Mode Fiber-SMF). Η χρωματική διασπορά σε αυτό το μήκος κύματος είναι σχεδόν μηδενική.

Στην περιοχή των 1550 nm (ζώνη C) βρίσκεται το τρίτο οπτικό παράθυρο, το οποίο προσφέρει δύο πλεονεκτήματα: πολύ πιο χαμηλή εξασθένηση και συχνότητα λειτουργίας συμπίπτουσα με αυτή των νέων ενισχυτών με ένα προσμίξεω νεοβίου (Erbium-Doped Fiber Amplifiers-EDFAs). Επίσης, τα χαρακτηριστικά διασποράς σε μεγάλο βαθμό περιορίζονται με τη χρήση laser στενότερου εύρους γραμμής και υψηλότερης ισχύος. Όμως από τη στιγμή που το τρίτο οπτικό παράθυρο έχει μικρότερη εξασθένηση από αυτή του παραθύρου των 1310 nm, οι κατασκευαστές σχεδίασαν την ίνα μετατοπισμένης-διασποράς, μετακινώντας το σημείο μηδενικής διασποράς στην περιοχή των 1550 nm. Μολονότι αυτή η λύση συνδύαζε την χαμηλότερη οπτική εξασθένηση και το σημείο μηδενικής διασποράς στο παράθυρο των 1550 nm, παρουσίαστηκαν καταστροφικά μη γραμμικά φαινόμενα στην οπτική ίνα στην περιοχή του σημείου μηδενικής διασποράς, για τα οποία δεν υπάρχει αποτελεσματική αντιστάθμιση. Αυτές οι ίνες λόγω αυτού του περιορισμού, δεν είναι κατάλληλες για DWDM εφαρμογές (Μανωλάκος, 2014).

⁷Ο τομέας τυποποίησης τηλεπικοινωνιών της ITU (Telecommunication Standardization Sector / ITU-T) είναι ένας από τους τρεις τομείς (τμήματα ή μονάδες) της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU) συντονίζει τα πρότυπα για τις τηλεπικοινωνίες.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Η έναμιμη δεικτική μετατοπισμένη διασποράς NZ DSF αποτελεί τον τρίτο τύπο και έχει σχεδιαστεί συγκεκριμένα για τις ανάγκες των DWDM εφαρμογών. Η σχεδίαση αυτή στοχεύει στη χαμηλή διασπορά στην περιοχή των 1550nm αλλά όχι στη δεικτική. Με αυτή τη στρατηγική εισάγεται ένα ελεγχόμενο ποσό διασποράς, το οποίο εκμηδενίζει τα μη γραμμικά φαινόμενα, όπως η μίξη τεσσάρων κυμάτων που καθιστά δύσκολη τη σχεδίαση DWDM συστημάτων.

3.2.6.3 Οπτικά καλώδια

Οι οπτικές ίνες δίνουν τη δυνατότητα στους μηχανικούς να τις συσκευάζουν μετέτοις τρόπους να τις προστατεύουν αλλά και να κάνουν εύκολα συνδέσεις.

Η οπτική ίνα σε μικρά μήκη, μπορεί να προστατευτεί από πλάσμα μέχρι και με τη χρήση λεπτών πλαστικών περιβλημάτων. Αντίθετα, για μεγάλα μήκη, υπόκειται σε μηχανικές τάσεις και πρέπει να ληφθεί μέριμνα για την προστασία της στην κατασκευή της, στην εγκατάσταση και στη διάρκεια της χρησιμοποίησής της. Οι μικρές διαστάσεις των οπτικών ινών επιτρέπουν ακόμη τη νομαδοποίηση τους σε ένα καλώδιο μικρής διαμέτρου.

Πλέον υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία οπτικών καλωδίων, τα οποία όλα στοχεύουν στην καλύτερη των μηχανικών ιδιοτήτων των οπτικών ινών που περιέχουν, χωρίς να υποβαθμίζουν τις οπτικές τους ιδιότητες. Το αποτέλεσμα είναι τα οπτικά καλώδια να προστατεύουν τις ίνες από τις μηχανικές τάσεις που αναπτύσσονται κατά και μετά την εγκατάστασή τους, με τη βοήθεια ατσάλινων συρμάτων ενίσχυσης. Επιπλέον αυξάνουν την αντοχή της ίνας στα σπασίματα λόγω πλευρικών δυνάμεων και μεγάλων κάμψεων και την προστατεύουν από γδαρσίματα. Τέλος, μειώνουν τις δονήσεις και προστατεύουν την ίνα από την γρασία και από χημικές επιδράσεις (Μανωλάκος, 2014), (Κωττής & Αράπογλου, 2010).

3.3 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Ασφαλώς και δεν πρόκειται για μια καινούργια ιδέα η χρήση του φωτός για τη μεταφορά πληροφορίας. Ο άνθρωπος από πολύ νωρίς χρησιμοποίησε οπτικές τεχνικές για τη μετάδοση πληροφοριών σε κοντινές ή μακρινές αποστάσεις. Από τις πρώτες τεχνικές ήταν τα σήματα καπνού και οι φρυκτωρίες μέχρι και ο αργότερος οπτικός τηλεγράφος και τελικά

Η εξέλιξη των οπτικώνδικτύων

ηλεκτρικός τηλεγράφος, το τηλέφωνο και οι ραδιοφωνικές ζεύξεις, τα μικροκύματα, τα radar, η τηλεόραση, τα τηλετύπα και οι δορυφορικές επικοινωνίες.

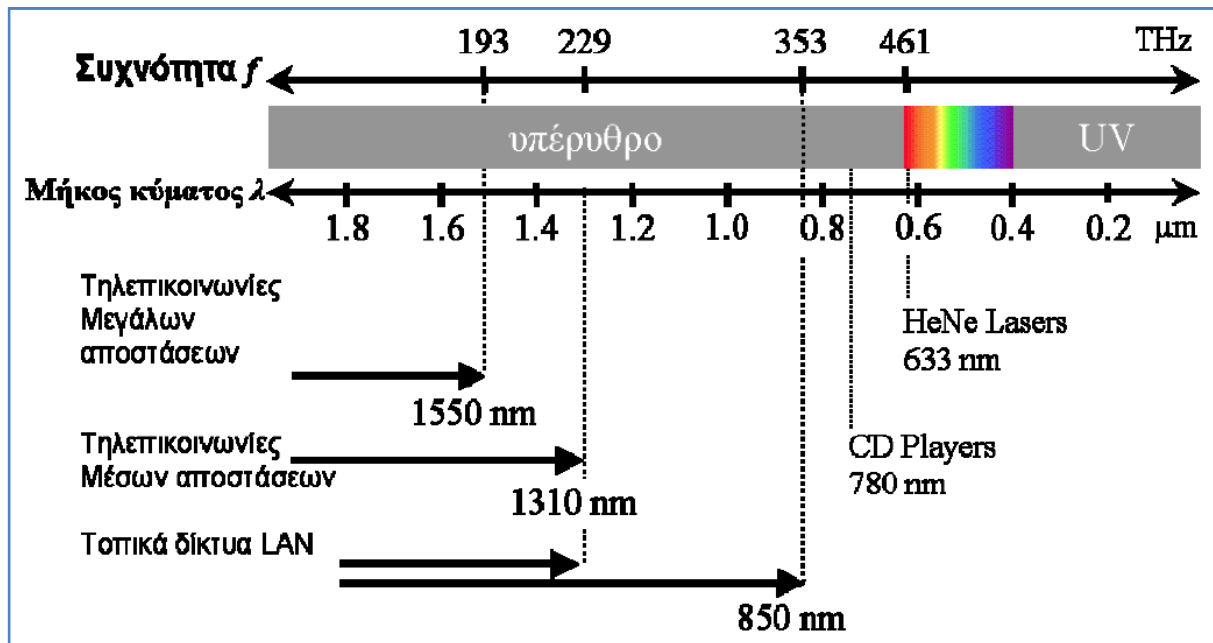
Καθώς η ζήτηση για τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες ολοένα αυξανόταν ήταν προφανές ότι τα ραδιοηλεκτρικά κύματα δεν θα επαρκούσαν για την κάλυψη των αναγκών της ανθρωπότητας. Ωστόσο το πρόβλημα του συνωστισμού των τηλεπικοινωνιακών καναλιών καθιστούσε αδύνατη την αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης από τα ραδιοηλεκτρικά κύματα. Για το λόγο αυτό αρχίζουν οι προσπάθειες για την αξιοποίηση του τεράστιου εύρους ζώνης, που προσφέρει η οπτική περιοχή (υπέρυθρο, ορατό και υπεριώδες) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Μανωλάκος, 2014).

Είναι αξιοσημείωτο οι πρακτικοί λόγοι που οδηγούσαν τους τηλεπικοινωνιακούς μηχανικούς σε δόλο και υψηλότερες συχνότητες. Ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα χαρακτηρίζεται κυρίως από τη χωρητικότητα της πληροφορίας του, η οποία ουσιαστικά καθορίζει τον ρυθμό πληροφορίας (bps) ή το πλήθος των «σημάτων πληροφορίας» που μπορεί να μεταδώσει με συγκεκριμένο λόγο σήματος προς θόρυβο (S/N). Μάλιστα η χωρητικότητα πληροφορίας μιας ζεύξης είναι ανάλογη με το εύρος ζώνης της διαμορφωμένης φέρουσας συχνότητας, την οποία διαθέτει η ζεύξη. Η διαμόρφωση αποτελεί μια απαραίτητη διαδικασία όσον αφορά τη μεταφορά της πληροφορίας. Το αποτέλεσμα της είναι η διεύρυνση του φάσματος της φέρουσας συχνότητας, σε έκταση τουλάχιστον διπλάσια από το εύρος συχνοτήτων που έχει το σήμα διαμόρφωσης.

Όντως αν φείναι η συχνότητα του φέροντος και fm η μέγιστη συχνότητα του σήματος πληροφορίας, τότε για τη μετάδοσή της χωρίς παραμόρφωση, πρέπει να υπάρξει στη ζεύξη εύρος ζώνης από $f_c - f_m$ έως $f_c + f_m$ δηλαδή $2 f_m$. Άρα για τη μετάδοση ενός τηλεοπτικού καναλιού το οποίο απασχολεί συνήθως ένα εύρος συχνοτήτων 5 MHz, με φέρουσα συχνότητα $f_c = 150$ MHz, θα πρέπει να έχει τη ζώνη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από 145 MHz έως 155 MHz. Το φασματικό αυτό εύρος μεγαλώνει, όταν χρησιμοποιηθούν τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης (πρακτικά είναι πολλαπλάσιο του ρυθμού σηματοδότησης). Αν παρατηρήσει κάποιος το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, θα δει ότι όλες μαζί οι κλασικές τηλεπικοινωνιακές ζώνες (μακρά, μεσαία, βραχεία, υπερβραχεία και μικροκύματα) έχουν μια έκταση συχνοτήτων

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

$B = 30$ GHz η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταυτόχρονη μετάδοση $= \frac{B}{2f_m}$ σημάτων πληροφορίας (Μανωλάκος, 2014), (Κωττής & Αράπογλου, 2010).



Εικόνα 3.4: Το χρησιμοποιούμενο φάσμα συχνοτήτων στις οπτικές επικοινωνίες.

Πηγή: (Κωττής & Αράπογλου, 2010).

Η λειτουργία των οπτικών συστημάτων είναι λίγο πιο κατά τα άκρα του φάσματος, γύρω στα 1.55 μm και 1.3 μm. Κάνοντας χρήση σαν φέρον σήματος αντίστοιχων συχνοτήτων 193 THz και εκμεταλλευόμενοι το 5-10% του φάσματος γύρω από αυτήν, όπως συμβαίνει και στις συμβατικές τηλεπικοινωνίες, τότε το διαθέσιμο εύρος ζώνης προκύπτει ως $B \approx 30.000$ GHz, αυξάνοντας τον αριθμό των τηλεπικοινωνιακών καναλιών τα οποία μπορούν να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα, κατά έναν παράγοντα τουλάχιστον 1000. Βέβαια πρόκειται για ένα θεωρητικό όριο και αφορά μόνο τη φέρουσα συχνότητα. Κατά την υλοποίηση ενός οπτικού συστήματος συμμετέχουν διάφορες διατάξεις οι οποίες περιορίζουν σημαντικά το εύρος ζώνης B , το οποίο όμως παραμένει αρκετά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των συμβατικών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Άρα αναξιοποίητο είναι το οπτικό φάσμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, τότε τουλάχιστον για το άμεσο μέλλον υπερκαλύπτονται οι ανάγκες της ανθρωπότητας για επικοινωνία και πληροφόρηση (Μανωλάκος, 2014), (Κωττής & Αράπογλου, 2010).

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Η ανακάλυψη του laser γύρω στα 1960 αποτελεί το έναυσμα για τη χρήση του οπτικού φάσματος. Το laser αποτελεί μια μονοχρωματική πηγή στην οπτική περιοχή, με σταθερά κυματικά χαρακτηριστικά, εξαιρετική πυκνότητα ακτινοβολίας, κατευθυντικότητα και με δυνατότητα διαμόρφωσης στις υψηλές συχνότητες. Αν και αρχικά η τεχνολογία δεν διέθετε τις κατάλληλες διατάξεις διαμόρφωσης και φώτασης του φωτός, ωστόσο η κινητοποίηση των ερευνητών και των μηχανικών ήταν πρωτοφανής. Νέα υλικά ανακαλύπτονται και εξελίσσονται για τη λεπικοινωνιακή χρήση όπως φωτοδίοδοι, φωτοτρανζίστορ, φωτο-FET και άλλα είδη φωτοπηγών όπως οι φωτοεκπέμψουσες δίοδοι ή LED (Μπίλλης, 2013).

Τα πρώτα οπτικά συστήματα είναι ασύρματα. Η πορεία των ακτίνων laser στην ατμόσφαιρα είναι ελεύθερη χρησιμοποιώντας διατάξεις φακών εστίασης και καθρεπτών. Ωστόσο τα προβλήματα είναι πολλά, όπως δυσκολία στην εστίαση της φωτεινής δέσμης, εξάρτηση από την κατάσταση της ατμόσφαιρας και απαραίτητη οπτική επαφή πομπού δέκτη. Γι' αυτό οι έρευνες στράφηκαν στην ανακάλυψη ενός καταλλήλου μέσου μεταφοράς για το οπτικό φέρον.

Στα εργαστήρια της Αγγλικής Standard Telecommunications Labs στα τέλη της δεκαετίας του 1960 παρουσιάστηκε ένα απλό οπτικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιήθηκε σαν μέσο μεταφοράς του οπτικού φέροντος συνεχίνα από γυαλί. Ήδη στην ιατρική χρησιμοποιούνταν οι πρώτες οπτικές ίνες για την κατασκευή ενδοσκοπίων, αλλά δεν ήταν κατάλληλες για χρήση στις τηλεπικοινωνίες. Αυτό συνέβαινε διότι εμφάνιζαν μεγάλη εξασθένηση της τάξης των 1000 dB/Km, (δηλαδή η ισχύς του σήματος εξόδου είναι 10100 φορές μικρότερη από την ισχύ του σήματος εισόδου μετά από διαδρομή ενός km) τη στιγμή που τα ομοαξονικά καλώδια των συμβατικών ενσύρματων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων εμφάνιζαν αντίστοιχα εξασθένηση της τάξης των 5-10 dB/Km. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές με κατάλληλες τεχνικές (απομακρύνοντας τις διάφορες προσμείξεις και κυρίως τα ιόντα υδροξυλίου) περιορίσαν την εξασθένηση στα 20 dB/Km. Η εξασθένηση μέχρι το 1975 έγινε 2 dB/Km και το 1980 0.25 dB/Km (δηλαδή το οπτικό σήμα χάνει μόλις το 5% της ισχύος του μετά από διαδρομή ενός km).

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Πλέον το μέσο μεταφοράς των οπτικών συστημάτων είναι η βρεθεί.

Παράλληλα η ανάπτυξη των νέων υλικών οδηγεί στην κατασκευή ημιαγωγικών πηγών laser και φωτοφωρατών με διαστάσεις συγκρίσιμες με τα χρησιμοποιούμενα μήκη κύματος 0.8 – 1.6 μm. Πλέον η έρευνα οδηγεί με σταθερά βήματα στη μονολιθική ολοκλήρωσή τους, άρα και στη μαζική παραγωγή τους κατά τα πρότυπα των ολοκληρωμένων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων (Rice, 2011).

3.4 ΠΡΟΤΥΠΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Στα δίκτυα διαφορετικών τύπων ένα από τα κύρια προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι η ανάγκη χρήσης πολύπλοκων διαδικασιών μετατροπής, όπως είναι η πολυπλεξία και η αποπολυπλεξία, τα οποία είναι απαραίτητα για την επικοινωνία μεταξύ τους.

Αυτό το γεγονός κατορθώνεται μέσω της προτυποποίησης των ρυθμών μεταφοράς και των τρόπων μετονομοίε είναι οργανωμένα δεδομένα. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνει η μεταφορά πολλών διαφορετικών τύπων δεδομένων μέσω μιας κοινής γραμμής.

Σαν διεθνή πρότυπα έχουν προταθεί δυο τύποι δικτύων με οπτικές ζίνες. Το οπτικό δίκτυο FDDI (Fiber Distributed Data Interface) αποτελεί ένα ευρυζωνικό τοπικό δίκτυο δεδομένων (LAN) το οποίο λειτουργεί στα 100 Mbps και το SDH (Synchronous Digital Hierarchy) το οποίο αποτελεί ένα οπτικό δίκτυο ευρείας γεωγραφικής περιοχής (WAN) του αντίστοιχου αμερικάνικου προτύπου SONET (Synchronous Optical Network) με βασικό ρυθμό μετάδοσης στα 155 Mbps και με δυνατότητα επέκτασης ώστε να φτάνει σε μερικές δεκάδες Gbps. Στην πράξη είναι ένα σύνολο καθορισμένων προτύπων τα

οποία περιγράφουν την εκπομπή δεδομένων με τη μέθοδο της πολυπλεξίας στο πεδίο του χρόνου (Time Division Multiplexing) σε δίκτυα οπτικών ινών.

Αυτά τα πρότυπα καθορίζουν μια ομάδα από ρυθμούς μετάδοσης και προδιαγραφές πλαισίωσης που βοηθούν στην μετάδοση δεδομένων μέσω ενός οπτικού σήματος μέσω καλωδίων οπτικών ινών. Το 1985 το SONET αναπτύχθηκε από την Bellcore και το 1988 έγινε πρότυπο αφού ήταν αρκετά διαδεδομένη η χρήση του για την μεταφορά δεδομένων στο BISDN δίκτυο, ενώ το SDH καθιερώθηκε το 1989 (ITU) (Μανωλάκος, 2014).

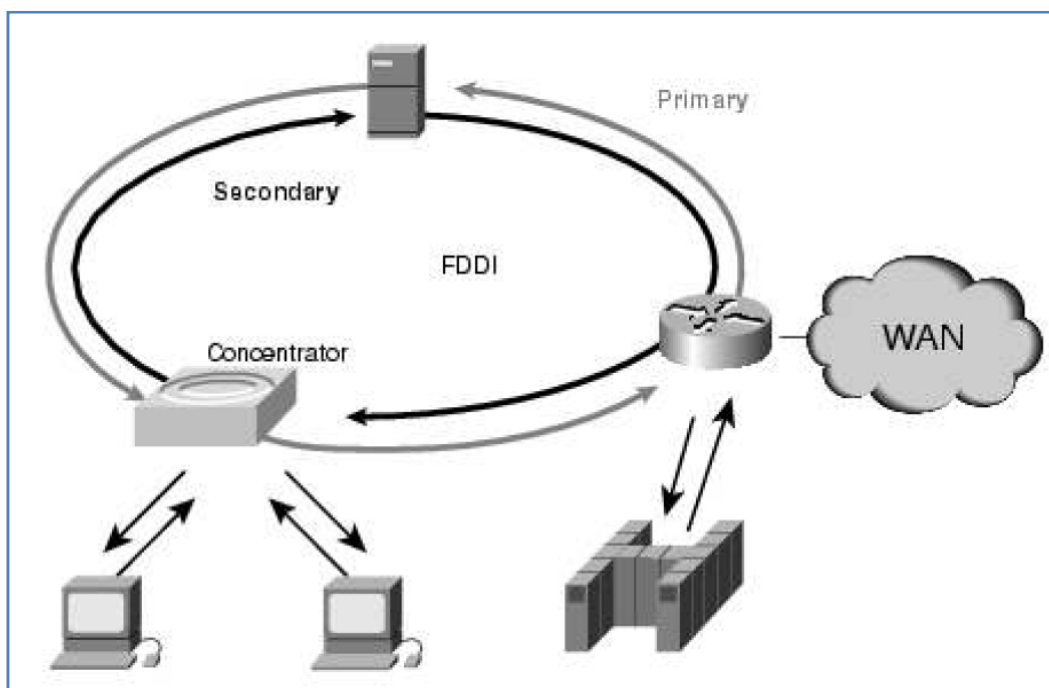
Πρόκειται για τη βάση των υλοποιήσεων του IP over WDM με τις οποίες πρακτικά προσφέρεται ένα περιορισμένο εύρος ζώνης,

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

συμβάλλοντας ταυτόχρονα στην πραγματοποίηση πληθώρας διαδικτυακών υπηρεσιών μέσω του IP πρωτοκόλλου.

3.4.1 Το πρότυπο FDDI

Στα τέλη της δεκαετίας του 80 καθορίστηκε το FDDI, δηλαδή ένα πρότυπο για LAN με χρήση οπτικής ζίνιας. Ουσιαστικά πρόκειται για μια μέθοδο Token Ring μεταχύτητες από 100Mbps μέχρι 1 Gbps (G-Ethernet). Περισσότερο χρησιμοποιείται στα δίκτυα κορμού λόγω του υψηλού κόστους. Όσον αφορά τη λειτουργία του βασίζεται σε μια διπλή δομή δακτύλιου, τον πρωτεύοντα και τον δευτερεύοντα δακτύλιο πλεονασμού (Εικόνα 2.5) (Μπίλλης, 2013):



Εικόνα 3.5: Δίκτυο Οπτικής Διασύνδεσης Κατανεμημένων Δεδομένων (Δακτύλιος FDDI).

Πηγή: (Μπίλλης, 2013).

Με τον ένα δακτύλιο μεταφέρονται τα δεδομένα ενώ με τον άλλον παρέχεται ασφάλεια και άλλες υπηρεσίες.

Η χρήση δεδομένων στους δύο δακτύλιους εξεχειαντίθετη κατεύθυνση.

Τα τεμαχικά και άλλες διατάξεις (γέφυρες, δρομολογητές) μπορούν να συνδεθούν με τον ένα ή και τους δύο δακτύλιους.

Σε ένα καλώδιο οπτικής ζίνιας, μήκους μέχρι 200 km το FDDI επιτρέπει ένα μέγιστο αριθμό 100 συνδέσεων. Εάν συμβεί κάποιο λάθος (κοπή καλωδίου), οι πλησιέστεροι σταθμοί

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

προσθηθήμετο πρόβλημα, μεταβιβάζονται δεδομένα στον δεύτερο δακτύλιο αλλά με αντίθετη φορά, επαναφέροντας έτσι σε λειτουργία τον διακεκομμένο δακτύλιο.

3.4.2 Πρότυπο SONET/SDH Λειτουργία και ρυθμοί μετάδοσης

Στο πρότυπο SONET/SDH χρησιμοποιείται πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM) και σε κάθε εκπομπή διατίθεται όλο το εύρος ζώνης. Με το SONET/SDH τυποποιείται ο τρόπος με τον οποίο μεταφέρονται δεδομένα με σύγχρονο τρόπο διαμέσου οπτικών καναλιών. Καθώς πρόκειται για ένα σύγχρονο σύστημα εκπέμπει συνεχώς ανεξάρτητα από το αν υπάρχουν αρχικά τινα μεταδοθεί ή όχι και διαθέτει ένα ρολόιο ακριβείας, η θεμελιώδης συχνότητα του οποίου γύρω από τη οποία γίνεται ο συγχρονισμός είναι 8kHz, δηλαδή 125μsec.

Ο θεμελιώδης ρυθμός μετάδοσης των οπτικών διασυνδέσεων της τεχνολογίας SONET OC-1 είναι ίσος με 51.84 Mbps (OC-1 ή STS-1 οπτικός φορέας - Optical carrier ή σύγχρονο σήμα μεταφοράς Synchronous Transport Signal), ενώ για το πρότυπο SDH είναι ο STM-1 (σύγχρονη μονάδα μεταφοράς - Synchronous Transfer Module), που ισούται με 155.52 Mbps. Όλες οι προδιαγραφόμενες ταχύτητες προκύπτουν από τα πολλαπλάσια τους. Για παράδειγμα για το SONET ο ρυθμός 155.52 Mbps προκύπτει ως 3x51.84 Mbps. (Μανωλάκος, 2014).

3.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Νέες λύσεις στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα προσέφερε η τεχνολογία Πυκνής Πολυπλεξίας Διαίρεσης Μήκους Κύματος (Dense Wavelength Division Multiplexing), με τη οποία επιτυγχάνεται σε μεγάλο βαθμό η εκμετάλλευση του διαθέσιμου εύρους ζώνης της οπτικής ζώνης.

Πλέον η τεχνολογία DWDM, μετά την επιτυχημένη εγκατάσταση και λειτουργία DWDM δικτύων μεγάλων αποστάσεων (Long-Haul Networks), αρχίζει να επεκτείνεται στην περιοχή των μητροπολιτικών δικτύων (Metropolitan Networks) και των δικτύων πρόσβασης (Access Networks),

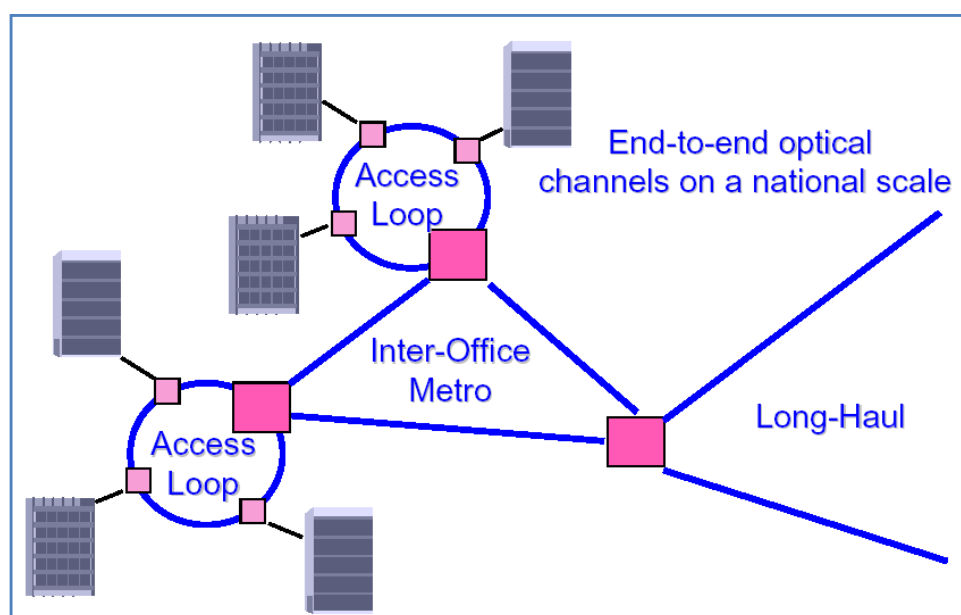
Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

προκειμένου να επωφεληθούν οι τελικοί χρήστες από τα πλεονεκτήματα κόστους και απόδοσης που προσφέρει (Μανωλάκος, 2014).

Το χάσμα μεταξύ των Long-Haul δικτύων και των δικτύων πρόσβασης γεφυρώνουν τα μητροπολιτικά δίκτυα. Στη συνέχεια υπάρχουν οι διάφορες κατηγορίες δικτύων.

3.5.1 Δίκτυα Long-Haul

Πρόκειται για δίκτυα τα οποία εκτείνονται σε μεγάλες γεωγραφικές αποστάσεις τάξης των χιλιάδων χιλιομέτρων και εξυπηρετούν μεγάλους διεθνείς φορείς. Σε αυτά τα δίκτυα η βασική προτεραιότητα είναι η χωρητικότητα μεταφοράς (transport capacity) (Μπίλλης, 2013).



Εικόνα 3.6: Δίκτυα Long-Haul.

Πηγή: (Μπίλλης, 2013).

Ο περασμένος αριθμός οπτικών ινών, αν και τα δίκτυα Long-Haul βασίζονταν παραδοσιακά στην τεχνολογία SDH/SONET, οδήγησε τους φορείς στην υιοθέτηση της τεχνολογίας DWDM σε μεγάλη κλίμακα. Καθώς αυξημένος αριθμός καναλιών DWDM σημαίνει διάφορα προβλήματα τεχνικής φύσης, τότε απαιτούνται λύσεις που εξασφαλίζουν τη διατήρηση της ποιότητας των καναλιών σε μεγάλες αποστάσεις. Μάλιστα, σε πολλές περιπτώσεις είναι απαραίτητη η μετατροπή του οπτικού σε ηλεκτρικό σήμα (Opto-Electronic Conversion).

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

μαζί με πλήρη ηλεκτρική αναγέννηση του σήματος. Αυτό βέβαια σημαίνει αύξηση του κόστους των δικτύων Long-Haul και γι' αυτό αποτελούν μακροπρόθεσμες επενδύσεις στρατηγικού χαρακτήρα. Τα δίκτυα Long-Haul λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας των επιμέρους στοιχείων (ενισχυτές, φίλτρα, isolators, ίνες αντιστάθμισης διασποράς), παρουσιάζουν μεγάλη κλίμακα αύξηση της χωρητικότητας (Μανωλάκος, 2014).

3.5.2 Δίκτυα πρόσβασης (Access Networks)

Τα δίκτυα πρόσβασης χαρακτηρίζονται από μια μεγάλη ποικιλία πρωτοκόλλων και εξοπλισμού με τις ταχύτητές τους να καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα από το ρυθμό DS-1 έως και τον STM-64. Οι πελάτες των δικτύων πρόσβασης είναι από οικιακούς χρήστες του διαδικτύου μέχρι μεγάλους οργανισμούς (ιδιωτικούς, δημόσιους και εκπαιδευτικά ιδρύματα). Τα δίκτυα πρόσβασης για την υποστήριξη όλων αυτών των πελατών, πρέπει να μεταφέρουν εφαρμογές οι οποίες βασίζονται σε μια ευρεία γκάμα πρωτοκόλλων που περιλαμβάνουν τα: IP (Internet Protocol), ATM (Asynchronous Transfer Mode), SONET/SDH, ψηφιακό video, φωνή πολυπλεγμένα κατά TDM, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, και άλλα πιο εξειδικευμένα πρωτόκολλα, όπως τα FDDI (Fiber Distributed Data Interface), ESCON (Enterprise System Connectivity) και Fiber Channel. Σε αυτή την αγορά η ξεκάθαρη τάση είναι ότι η IP κίνηση είναι συνεχώς αυξανόμενη.

Αυτή η τάση συνεπάγεται μεγάλες τεχνικές προκλήσεις λόγω της φύσης της IP κίνησης, η οποία γίνεται με τη μορφή ριπών και είναι ασύμμετρη και απρόβλεπτη. Επίσης, υπάρχει η εμφάνιση πολλών νέων εφαρμογών όπως το internet video, η τηλεϊατρική και η τηλεδιάσκεψη. Συνολικά, τα δίκτυα πρόσβασης καθοδηγούνται από δύο παραμέτρους-κλειδιά, τις διαφορετικές εφαρμογές και τις ευέλικτες αρχιτεκτονικές. (Μανωλάκος, 2014).

3.5.3 Μητροπολιτικά δίκτυα (Metropolitan Networks)

Τα μητροπολιτικά δίκτυα (Metropolitan Networks) είναι τα δίκτυα τα οποία καλύπτουν τις περιοχές μερικών εκατοντάδων χιλιομέτρων και εξυπηρετούν μεγάλες μητροπολιτικές περιοχές. Μέσω των μητροπολιτικών δικτύων γεφυρώνεται το χάσμα μεταξύ των Long-Haul δικτύων και των δικτύων πρόσβασης, συνδέοντας μια ολόκληρη γκάμα πρωτοκόλλων από πελάτες των δικτύων πρόσβασης στα δίκτυα κορμού των παροχών υπηρεσιών. Με τη βοήθεια αυτών

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

των δικτύων διοχετεύεται η κίνησή της στα αστικά μητροπολιτικά τομεία (μεταξύ εταιριών, γραφείων κ.λ.π) όπως επίσης από και προς τα μεγάλα Points of Presence (POPs) των δικτύων Long-Haul.

Ο ρόλος των μητροπολιτικών δικτύων έχει πολλές τεχνολογικές προκλήσεις, ειδικά όσον αφορά την ύπαρξη σε ευρεία κλίμακα δικτύων SONET/SDH σε μητροπολιτικές περιοχές. Ο σχεδιασμός αυτών των παραδοσιακών δικτύων TDM (Time Division Multiplexing) έγινε για τη μεταφορά κυρίως φωνής και τηλεσεμιών ιδιωτικών γραμμών. Ωστόσο, η σημερινή μητροπολιτική αγορά οδηγείται από την ανάγκη για εκσυγχρονισμό και απλοποίηση των δικτύων πιεζόμενη από τις αυξανόμενες απαιτήσεις για εύρος ζώνης.

Το αποτέλεσμα ήταν μια ισχυρή τάση για μεταπήδηση από την υπάρχουσα αρχιτεκτονική που βασίζεται στο SONET-SDH σε ένα πιο δυναμικό, έξυπνο δίκτυο πολλαπλών υπηρεσιών. Αυτό θα επιτρέψει στους παρόχους υπηρεσιών να αποφύγουν τις πολυδάπανες αναβαθμίσεις της υπάρχουσας αρχιτεκτονικής ή την εγκατάσταση νέων οπτικών καλωδίων, το οποίο εκτός από πολυδάπανο είναι και πολλές φορές πρακτικά ανέφικτο (Μανωλάκος, 2014).

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: «ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ (WDM)»

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η πολυπλεξία διαχωρισμού μήκους κύματος (wavelength-division multiplexing/ WDM) στις επικοινωνίες οπτικών ινών, αποτελεί μια τεχνολογία η οποία πολλαπλασιάζει έναν αριθμό σημάτων οπτικών φορέων⁸ σε μία μόνο οπτική ίνα κάνοντας χρήση διαφορετικών μηκών κύματος (δηλαδή χρώματα) φωτός λέιζερ. Αυτή η τεχνική καθιστά δυνατή την αμφίδρομη επικοινωνία μέσω μιας δέσμης ινών, καθώς και τον πολλαπλασιασμό της χωρητικότητας.

Ο όρος πολυπλεξία διαχωρισμού μήκους κύματος χρησιμοποιείται συνήθως σε έναν οπτικό φορέα, ο οποίος τυπικά περιγράφεται από το μήκος κύματός του, ενώ η πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας⁹ (frequency-division multiplexing / FDM) συνήθως εφαρμόζεται σε ένα φορέα ραδιοσυχνοτήτων ο οποίος περιγράφεται συχνότερα με συχνότητα. Αυτό είναι καθαρά σύμβαση επειδή το μήκος κύματος και η συχνότητα επικοινωνούν τις ίδιες πληροφορίες.

4.2 Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ WDM ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ένα σύστημα WDM χρησιμοποιεί έναν πολυπλέκτη¹⁰ στον πομπό για να ενώσει τα διάφορα σήματα μαζί και έναν αποπολυπλέκτη¹¹ στον δέκτη για να τα χωρίσει. Με το σωστό

⁸Τα ποσοστά μετάδοσης οπτικών φορέων είναι ένα τυποποιημένο σύνολο προδιαγραφών του εύρους ζώνης μετάδοσης για ψηφιακά σήματα που μπορούν να μεταφερθούν σε δίκτυα οπτικών ινών σύγχρονης οπτικής δικτύωσης (SONET).

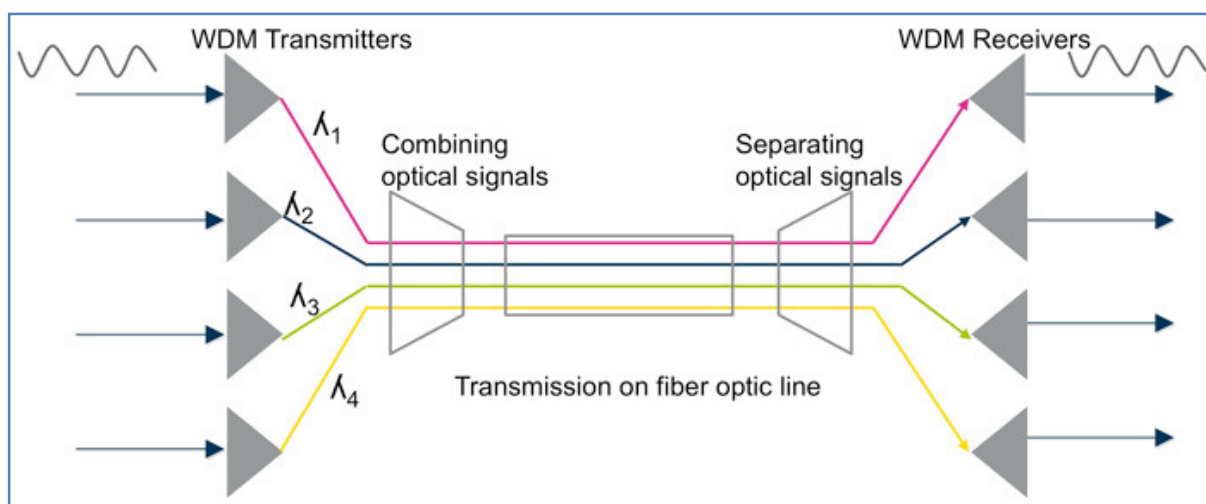
⁹Η πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας είναι μια τεχνική με την οποία το συνολικό εύρος ζώνης που είναι διαθέσιμο σε ένα μέσο επικοινωνίας χωρίζεται σε μια σειρά μη επικαλυπτόμενων ζωνών συχνοτήτων, καθένα από τα οποία χρησιμοποιείται για τη μεταφορά ξεχωριστού σήματος. Αυτό επιτρέπει σε ένα και μόνο μέσο μετάδοσης, όπως καλώδιο ή οπτική ίνα, να μοιράζονται με πολλαπλά ανεξάρτητα σήματα. Μια άλλη χρήση είναι να μεταφέρονται χωριστά σειριακά bits ή τμήματα ενός σήματος υψηλότερου ρυθμού παράλληλα.

¹⁰Ένας πολυπλέκτης (mux) είναι μια συσκευή που επιλέγει ένα από τα πολλά αναλογικά ή ψηφιακά σήματα εισόδου και προωθεί την επιλεγμένη είσοδο σε μία μόνο γραμμή.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

τύπο οπτικής ίνας είναι δυνατό να υπάρχει μια συσκευή που να κάνει και τα δύο ταυτόχρονα και μπορεί να λειτουργήσει ως πολυπλέκτης οπτικής προσθήκης (optical add-drop multiplexer (OADM))¹².

Οι χρησιμοποιούμενες συσκευές οπτικής διήθησης έχουν συμβατικά στάνταρτ (σταθερά στερεοστατικά μονοφασικά ιντερφερόμετρα «Fabry-Pérot» με τη μορφή επιχρισμένου-με λεπτό υμένιο- οπτικό γυαλί). Επειδή υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι WDM, από τους οποίους ένας ονομάζεται «WDM», η συμβολική αναφορά «xWDM» χρησιμοποιείται συνήθως όταν γίνεται λόγος για την τεχνολογία αυτή καθαυτή (Srivastava & Zyskind, 2011).



Σχήμα4.1: Αρχή λειτουργίας WDM.

Πηγή: (Working Principle of OTDM vs WDM, 2015).

Η ιδέα δημοσιεύτηκε για πρώτη φορά το 1978, ενώ μέχρι το 1980 πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο συστήματα WDM. Τα πρώτα συστήματα WDM συνδυάζουν μόνο δύο σήματα. Τα σύγχρονα συστήματα μπορούν να χειριστούν 160 σήματα και έτσι μπορούν να επεκτείνουν ένα βασικό σύστημα 100 Gbit/σε ένα ζεύγος ινών σε

¹¹Οι αποπολυπλέκτες λαμβάνουν μία είσοδο δεδομένων και έναν αριθμό εισόδων επιλογής και έχουν πολλές εξόδους. Προωθούν την είσοδο δεδομένων σε μία από τις εξόδους ανάλογα με τις τιμές των εισόδων επιλογής.

¹²Είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται σε συστήματα πολυπλεξίας διαχωρισμού μήκους κύματος για την πολυπλεξία και τη δρομολόγηση διαφορετικών καναλιών φωτός μέσα ή έξω από μία μονή λειτουργία ίνας (single mode fiber/SMF).

Η εξέλιξη των οπτικώνδικτύων

περισσότερα από 16 Tbit/s. Υπάρχει επίσης ένα σύστημα 320 καναλιών (απόσταση καναλιών 12,5 GHz)(Khan, 2018).

Τα συστήματα WDM είναι δημοφιλή στις εταιρείες τηλεπικοινωνιών επειδή τους επιτρέπουν να επεκτείνουν την χωρητικότητα του δικτύου χωρίς να βάζουν περισσότερες ίνες. Με τη χρήση WDM και οπτικών ενισχυτών, μπορούν να φιλοξενήσουν αρκετές γενιές τεχνολογικής ανάπτυξης στην οπτική τους υποδομή χωρίς να χρειάζεται να επανεξετάσουν το δίκτυο κορμού. Η χωρητικότητα ενός δεδομένου συνδέσμου μπορεί να διευρυνθεί απλά αναβαθμίζοντας τους πολυπλέκτες και τους αποπολυπλέκτες σε κάθε άκρο.

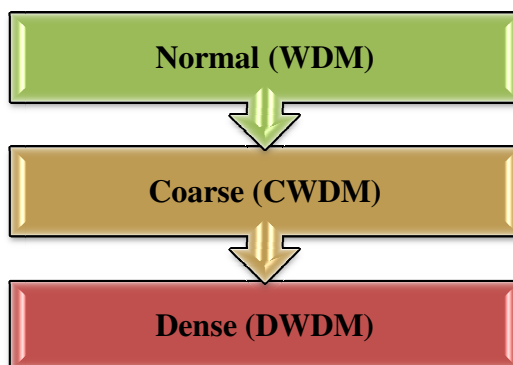
Αυτό γίνεται συχνά με τη χρήση μετατροπής από οπτικό σε ηλεκτρικό προς οπτικό (optical-to-electrical-to-optical -O/E/O) στην άκρη του δικτύου μεταφοράς, επιτρέποντας έτσι τη διαλειτουργικότητα με τον υπάρχοντα εξοπλισμό με οπτικές διεπαφές.

Τα περισσότερα συστήματα WDM λειτουργούν με οπτικά καλώδια ιών μονής λειτουργίας, τα οποία έχουν διάμετρο πυρήνα 9 μm . Ορισμένες μορφές WDM μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε καλώδια ιών πολλαπλών λειτουργιών (επίσης γνωστά ως καλώδια εγκατάστασης) που έχουν διάμετρο πυρήνα 50 ή 62,5 μm .

Τα πρώτα συστήματα WDM ήταν δαπανηρά και πολύπλοκα για να «τρέξουν». Ωστόσο, η πρόσφατη τυποποίηση και η καλύτερη κατανόηση της δυναμικής των συστημάτων WDM έχουν καταστήσει το WDM λιγότερο δαπανηρό για την ανάπτυξη.

Οι οπτικοί δέκτες, σε αντίθεση με τις πηγές λέιζερ, τείνουν να είναι συσκευές ευρείας ζώνης. Επομένως, ο αποπολυπλέκτης πρέπει να παρέχει την επιλεκτικότητα του δέκτη στο σύστημα WDM για το μήκος κύματος.

Τα συστήματα WDM χωρίζονται σε τρία διαφορετικά πρότυπα μήκους κύματος, normal (WDM), coarse(CWDM) και dense (DWDM)(Inniss, 2011).



Σχήμα 4.2: Τα συστήματα WDM χωρίζονται σε τρία διαφορετικά πρότυπα μήκους κύματος.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Πηγή: (Inniss, 2011).

Το normal WDM (μερικές φορές ονομάζεται BWDM) χρησιμοποιεί τα δύο κανονικά μήκη κύματος 1310 και 1550 σε μία ίνα. Το Coarse WDM παρέχει έως και 16 κανάλια σε ζώνες μήκους κύματος μετάδοσης ινών διοξειδίου του πυριτίου. Η πολυπλεξία διαίρεσης μεγάλου μήκους κύματος (DWDM) χρησιμοποιεί τη ζώνη μετάδοσης C-Band (1530 nm-1565 nm) αλλά με πυκνότερη απόσταση διαύλων. Τα σχέδια καναλιών ποικίλλουν, αλλά ένα τυπικό σύστημα DWDM θα χρησιμοποιεί 40 κανάλια σε απόσταση 100 GHz ή 80 κανάλια με απόσταση 50 GHz. Ορισμένες τεχνολογίες είναι ικανές να χωρίζουν 12,5 GHz. Νέες επιλογές ενίσχυσης (ενίσχυση Raman)¹³ επιτρέπουν την επέκταση των χρησιμοποιούμενων μηκών κύματος στη ζώνη L (1565 nm-1625 nm), διπλασιάζοντας περισσότερο ή λιγότερο αυτές τις τιμές.

Η πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος (CWDM) σε αντίθεση με το DWDM χρησιμοποιεί αυξημένο διάστημα καναλιών για να επιτρέψει λιγότερο εξειλιγμένα και επομένως φθηνότερα σχέδια πομποδέκτη. Για την παροχή 16 καναλιών σε μία μόνο ίνα, το CWDM χρησιμοποιεί ολόκληρη τη ζώνη συχνοτήτων που καλύπτει το δεύτερο και το τρίτο παράθυρο μήκους κύματος μετάδοσης (1310/1550 nm αντίστοιχα) συμπεριλαμβανομένων των παραθύρων (ελάχιστο παράθυρο διασποράς και ελάχιστο παράθυρο εξασθένησης), αλλά επίσης την κρίσιμη περιοχή όπου μπορεί να συμβεί διασπορά OHυδροξειδίου, συνιστώντας τη χρήση ινών διοξειδίου του πυριτίου (χωρίς διοξείδιο του πυριτίου σε περίπτωση που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν τα μήκη κύματος μεταξύ δευτέρου και τρίτου παραθύρου μετάδοσης). Αποφεύγοντας αυτή την περιοχή, τα κανάλια 47, 49, 51, 53, 55, 57, 59, 61 παραμένουν και αυτά είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα. Με τις οπτικές ίνες OS2 ξεπερνιέται το παραπάνω πρόβλημα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα τα πιθανά 18 κανάλια (Srivastava & Zyskind, 2011).

Τα συστήματα WDM, DWDM και CWDM βασίζονται στην ίδια έννοια της χρήσης πολλαπλών μηκών κύματος φωτός σε μία μόνο ίνα, αλλά διαφέρουν στην απόσταση των μηκών κύματος, στον αριθμό των καναλιών και στην ικανότητα ενίσχυσης των

¹³Raman ενίσχυση, βασίζεται στην διεγείρονται σκέδαση Raman φαινόμενο (SRS), όταν μια χαμηλότερη συχνότητα «σήματος» φωτονίων επάγει την ανελαστική σκέδαση της υψηλότερης συχνότητας φωτονίων σε ένα οπτικό μέσο. Ως αποτέλεσμα αυτού, παράγεται ένα άλλο φωτόνιο «σήματος», με την πλεονάζουσα ενέργεια να μεταδίδεται συντονισμένα στις δονητικές καταστάσεις του μέσου.

πολυπλεγμένων σημάτων στον οπτικό χώρο. Το EDFA (erbiumdopedfiberamplifiersοπτικός ενισχυτής) παρέχει μια αποδοτική ευρυζωνική ενίσχυση για τη ζώνη C(υπερύθρων)¹⁴, η ενίσχυση του Raman προσθέτει ένα μηχανισμό ενίσχυσης στην ζώνη L. Για CWDM, η οπτική ενίσχυση ευρείας ζώνης δεν είναι διαθέσιμη, περιορίζοντας τα οπτικά πεδία σε αρκετά δεκάδες χιλιόμετρα(Inniss, 2011).

4.3 Coarse WDM

Αρχικά, ο όρος πολυπλεξία διαίρεσης μεγάλου μήκους κύματος (CWDM) ήταν αρκετά γενικός και σήμαινε διαφορετικές τεχνικές. Γενικά, αυτές οι διαφορετικές τεχνικές μοιράζονται το γεγονός ότι η επιλογή των αποστάσεων των καναλιών και της σταθερότητας της συχνότητας ήταν τέτοια που δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν οπτικοί ενισχυτές (erbiumdopedfiberamplifiers /EDFAs). Πριν από τη σχετική πρόσφατη τυποποίηση του όρου, η κοινή έννοια για το coarse WDM σήμαινε δύο (ή ενδεχομένως περισσότερα) σήματα πολυπλεγμένα σε μία μόνο ίνα, όπου ένα σήμα ήταν στη ζώνη 1550 nm και το άλλο στη ζώνη των 1310 nm.

Το 2002, η ITU (International Telecommunication Union / Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών) τυποποίησε ένα πλέγμα διαστήματος καναλιών για χρήση με CWDM (ITU-T G.694.2), χρησιμοποιώντας τα μήκη κύματος από 1270 nm έως 1610 nm με απόσταση διαύλου 20 nm. (Το G.694.2 αναθεωρήθηκε το 2003 για να μετατοπίσει τα κέντρα των πραγματικών καναλιών κατά 1 nm, έτσι ώστε αυστηρά τα κεντρικά μήκη κύματος να είναι 1271 έως 1611 nm). Πολλά μήκη κύματος CWDM κάτω από 1470 nm θεωρούνται «άχρηστα» στις παλαιότερες ίνες G.652, λόγω της αυξημένης εξασθένησης στις ζώνες των 1270-1470 nm. Οι νεώτερες ίνες που συμμορφώνονται με τα πρότυπα G.652.C και G.652.D, όπως το Corning SMF-28e και το Samsung Widepass, σχεδόν εξαλείφουν την κορυφή εξασθένησης κορυφής και επιτρέπουν την πλήρη λειτουργία και των 18 ITU CWDM κανάλια σε μητροπολιτικά δίκτυα(Srivastava & Zyskind, 2011).

¹⁴Στις υπέρυθρες οπτικές επικοινωνίες, η ζώνη C αναφέρεται στην περιοχή μήκους κύματος από 1530 έως 1565 nm, η οποία αντιστοιχεί στην περιοχή ενίσχυσης των ενισχυτών ίνας (EDFAs).

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Το πρότυπο φυσικού επιπέδου¹⁵ 10GBASE-LX4 10 Gbit/s είναι ένα παράδειγμα ενός συστήματος CWDM στο οποίο τέσσερα μήκη κύματος κοντά στα 1310 nm, που το καθένα φέρει δεδομένα 3.125gigabit ανά δευτερόλεπτο (Gbit/s), χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά 10 Gbit/s των συγκεντρωτικών δεδομένων(Rice, 2011).

Το κύριο χαρακτηριστικό του προτύπου ITU CWDM είναι ότι τα σήματα δεν διαχωρίζονται κατάλληλα για ενίσχυση με EDFA. Επομένως, το συνολικό οπτικό εύρος CWDM περιορίζεται σε περίπου 60 km για ένα σήμα 2,5 Gbit/s, το οποίο είναι κατάλληλο για χρήση σε μητροπολιτικές εφαρμογές. Οι απαιτήσεις χαλάρωσης της σταθεροποίησης των οπτικών συχνοτήτων επιτρέπουν στο σχετικό κόστος του CWDM να προσεγγίσει εκείνα των οπτικών στοιχείων που δεν είναι WDM.

Το CWDM χρησιμοποιείται επίσης σε δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης, όπου χρησιμοποιούνται διαφορετικά μήκη κύματος. Σε αυτά τα συστήματα, τα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται είναι συχνά ευρέως διαχωρισμένα, για παράδειγμα το downstream σήμα μπορεί να είναι στα 1310 nm ενώ το αντίθετο σήμα (upstream) είναι στα 1550 nm.

Μία ενδιαφέρουσα και σχετικά πρόσφατη εξέλιξη που σχετίζεται με το coarse WDM είναι η δημιουργία πομποδεκτών GBIC και μικρού φορτίου (form-factor pluggable/ SFP)¹⁶ που χρησιμοποιούν συμβατικά μήκη κύματος CWDM. Τα οπτικά συστήματα GBIC και SFP επιτρέπουν κάτι πολύ κοντά στην απρόσκοπτη αναβάθμιση σε ακόμη και παλαιότερα συστήματα που υποστηρίζουν διεπαφές SFP. Έτσι, ένα παλιό σύστημα διακόπτη μπορεί εύκολα να «μετατραπεί» ώστε να επιτρέπει την πολυπλεξία μεταφοράς μήκους κύματος πάνω σε μια ίνα απλά με συνετή επιλογή των μηκών κύματος του πομποδέκτη, σε συνδυασμό με μια φθηνή παθητική οπτική πολυπλεκτική συσκευή.

Το παθητικό CWDM είναι μια εφαρμογή του CWDM που δεν χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια. Διαχωρίζει τα μήκη κύματος χρησιμοποιώντας παθητικά οπτικά εξαρτήματα όπως φίλτρα ζώνης και πρίσματα. Πολλοί κατασκευαστές προωθούν την παθητική CWDM για την ανάπτυξη ινών για οικιακή χρήση(Khan, 2018).

¹⁵Το πρώτο και το χαμηλότερο του μοντέλου OSI της δικτύωσης υπολογιστών, αποτελείται από τις τεχνολογίες μετάδοσης ηλεκτρονικού κυκλώματος ενός δικτύου.

¹⁶Είναι ένας συμπαγής, θερμός-συνδέσιμος πομποδέκτης οπτικής μονάδας που χρησιμοποιείται τόσο για τηλεπικοινωνίες όσο και για εφαρμογές επικοινωνίας δεδομένων.

4.4 Dense WDM

Η πολυπλεξία πυκνού διαχωρισμού μήκους κύματος (Dense wavelength division multiplexing/DWDM) αναφέρεται αρχικά σε οπτικά σήματα πολυπλεγμένα εντός της ζώνης των 1550 nm έτσι ώστε να αξιοποιούν τις δυνατότητες (και το κόστος) ενισχυτών ινών ερυθροποιημένης ίνας (EDFA), οι οποίες είναι αποτελεσματικές για μήκη κύματος μεταξύ περίπου 1525-1565 nm (ζώνη C) ή 1570-1610 nm (ζώνη L). Τα EDFAs αναπτύχθηκαν αρχικά για να αντικαταστήσουν την SONET / SDH¹⁷, τα οποία έχουν σχεδόν καταστεί άνευ αντικειμένου. Τα EDFAs μπορούν να ενισχύσουν οποιοδήποτε οπτικό σήμα στο εύρος λειτουργίας τους, ανεξάρτητα από το ρυθμιζόμενο ρυθμό δυαδικών ψηφίων. Όσον αφορά τα σήματα μήκους κύματος πολλαπλών κυμάτων, εφόσον η EDFA έχει αρκετή ενέργεια αντλίας διαθέσιμη σε αυτήν, μπορεί να ενισχύσει όσα οπτικά σήματα μπορούν να πολλαπλασιάζονται στη ζώνη ενίσχυσης (αν και οι πυκνότητες σήματος περιορίζονται από την επιλογή της μορφής διαμόρφωσης). Επομένως, τα EDFA επιτρέπουν την αναβάθμιση ενός μονοκαναλικού οπτικού ζεύγους σε ρυθμό μετάδοσης δεδομένων αντικαθιστώντας μόνο τον εξοπλισμό στα άκρα του συνδέσμου, διατηρώντας ταυτόχρονα την υπάρχουσα EDFA ή σειρά EDFAs μέσω μιας διαδρομής μεγάλου μήκους. Επιπλέον, οι συνδέσεις ενός μήκους κύματος που χρησιμοποιούν EDFAs μπορούν να αναβαθμιστούν παρομοίως σε συνδέσεις WDM με λογικό κόστος. Έτσι, το κόστος του EDFA αξιοποιεί το σύνολο των διαύλων που μπορούν να πολλαπλασιάζονται στη ζώνη των 1550 nm (Khan, 2018).

Οι πρόσφατες καινοτομίες στα συστήματα μεταφοράς DWDM περιλαμβάνουν ενσωματωμένες μονάδες πομποδέκτη που μπορούν να συνδεθούν και μπορούν να λειτουργήσουν σε 40 ή 80 κανάλια. Αυτό μειώνει δραματικά την ανάγκη για διακριτά

¹⁷Η σύγχρονη οπτική δικτύωση (SONET) και η σύγχρονη ψηφιακή ιεραρχία (SDH) είναι τυποποιημένα πρωτόκολλα που μεταφέρουν συγχρόνως πολλές ψηφιακές ροές bit πάνω σε οπτικές ίνες χρησιμοποιώντας λέιζερ ή πολύ συνεκτικό φως από διόδους εκπομπής φωτός. Σε χαμηλές ταχύτητες μετάδοσης μπορούν επίσης να μεταφερθούν δεδομένα μέσω ηλεκτρικής διεπαφής. Η μέθοδος αναπτύχθηκε για να αντικαταστήσει το σύστημα plesiochronous digital hierarchy (PDH) για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων τηλεφωνικών κλήσεων και δεδομένων κυκλοφορία μέσω των ίδιων ινών χωρίς προβλήματα συγχρονισμού.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

ανταλλακτικά βύσματα, όταν μια χούφτα συσκευών που μπορούν να συνδεθούν μπορούν να χειριστούν το πλήρες φάσμα των μηκών κύματος.

Ένα βασικό σύστημα DWDM περιέχει πολλά κύρια στοιχεία (Srivastava & Zyskind, 2011):

1. Πολυπλέκτης τερματικού DWDM (terminal multiplexer). Ο τερματικός πολυπλέκτης περιέχει αναμεταδότη μετατροπής μήκους κύματος για κάθε σήμα δεδομένων, οπτικό πολυπλέκτη και, όπου χρειάζεται, οπτικό ενισχυτή (EDFA). Κάθε αναμεταδότης μετατροπής μήκους κύματος λαμβάνει ένα οπτικό σήμα δεδομένων από το στρώμα πελάτη, όπως η σύγχρονη οπτική δικτύωση [SONET / SDH] ή άλλος τύπος σήματος δεδομένων, μετατρέπει αυτό το σήμα στην ηλεκτρική περιοχή και μεταδίδει εκ νέου το σήμα σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος χρησιμοποιώντας λέιζερ ζώνης 1.550 nm. Αυτά τα σήματα δεδομένων συνδυάζονται κατόπιν σε ένα οπτικό σήμα πολλαπλού μήκους κύματος χρησιμοποιώντας έναν οπτικό πολυπλέκτη, για μετάδοση πάνω από μία μόνο ίνα (π.χ. ίνα SMF-28). Ο τερματικός πολυπλέκτης μπορεί ή δεν μπορεί επίσης να περιλαμβάνει ένα τοπικό EDFA μετάδοσης για ενίσχυση ισχύος του οπτικού σήματος πολλαπλού μήκους κύματος. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990 τα συστήματα DWDM περιείχαν 4 ή 8 αναμεταδότες μετατροπής μήκους κύματος, έως το 2000 ήσαν διαθέσιμα εμπορικά συστήματα ικανά να μεταφέρουν 128 σήματα.
2. Αναμεταδότης ενδιάμεσης γραμμής (intermediate line repeater): τοποθετείται περίπου κάθε 80-100 χιλιόμετρα για να αντισταθμίσει την απώλεια οπτικής ισχύος καθώς το σήμα μετακινείται κατά μήκος της ίνας. Το «οπτικό σήμα πολλαπλού μήκους κύματος» ενισχύεται από ένα EDFA, που αποτελείται συνήθως από διάφορα στάδια ενισχυτή.
3. Ένα ενδιάμεσο οπτικό τερματικό ή πολυπλέκτη οπτικής προσθήκης (intermediate optical terminal, or optical add-drop multiplexer). Πρόκειται για μια απομακρυσμένη περιοχή ενίσχυσης που ενισχύει το σήμα μήκους κύματος πολλαπλών κυμάτων που μπορεί να έχει διανύσει μέχρι 140 km ή περισσότερο πριν φτάσει στην απομακρυσμένη περιοχή. Η οπτική διάγνωση και η τηλεμετρία συχνά εξάγονται ή εισάγονται σε μια τέτοια θέση, ώστε να επιτρέπεται ο εντοπισμός οποιωνδήποτε διακοπών ινών ή βλαβών σήματος. Σε πιο εξελιγμένα συστήματα (τα οποία δεν είναι πλέον σημείο-προς-σημείο), αρκετά σήματα από το οπτικό σήμα πολλαπλών κυμάτων μπορούν να αφαιρεθούν και να πέσουν τοπικά.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

4. Αποδιαμορφωτήζερματικού DWDM (terminaldemultiplexer). Στο απομακρυσμένο σημείο, ο αποδιαμορφωτής τερματικού αποτελούμενος από έναν οπτικό αποκρυπτογράφο και έναν ή περισσότερους αναμεταδότες μετατροπής μήκους κύματος διαχωρίζει το οπτικό σήμα πολλαπλού μήκους κύματος πίσω σε μεμονωμένα σήματα δεδομένων και τα εξάγει σε ξεχωριστές ίνες για συστήματα στρώματος πελάτη (όπως ως SONET / SDH). Αρχικά, αυτή η απο-πολυπλεξία πραγματοποιήθηκε εντελώς παθητικά, εκτός από κάποια τηλεμετρία, καθώς τα περισσότερα συστήματα SONET μπορούν να λάβουν σήματα 1.550 nm. Εντούτοις, προκειμένου να επιτραπεί η μετάδοση σε απομακρυσμένα συστήματα στρώματος πελάτη (και για να επιτραπεί ο προσδιορισμός ακεραιότητας σήματος ψηφιακού τομέα), αυτά τα σήματα αποκωδικοποίησης αποστέλλονται συνήθως στους αναμεταδότες εξόδου O / E / O. Συχνά, η λειτουργικότητα του αναμεταδότη εξόδου έχει ενσωματωθεί σε εκείνη του αναμεταδότη εισόδου, έτσι ώστε τα περισσότερα εμπορικά συστήματα να έχουν αναμεταδότες που υποστηρίζουν αμφίδρομες διεπαφές τόσο στην πλευρά των 1.550 nm (εσωτερική), όσο και στην εξωτερική. Οι αναμεταδότες σε ορισμένα συστήματα που υποστηρίζουν ονομαστική λειτουργία 40 GHz μπορούν επίσης να εκτελούν διορθώσεις σφαλμάτων προς τα εμπρός (forwarderrorcorrection / FEC)¹⁸ μέσω ψηφιακής τεχνολογίας περιτύλιξης, όπως περιγράφεται στο πρότυπο ITU-T G.709¹⁹.
5. Οπτικό κανάλι εποπτείας (Optical Supervisory Channel / OSC). Αυτός είναι ο διάυλος δεδομένων ο οποίος χρησιμοποιεί ένα πρόσθετο μήκος κύματος συνήθως εκτός της ζώνης ενίσχυσης EDFA (στα 1.510 nm, 1.620 nm, 1.310 nm ή σε άλλο ιδιόκτητο μήκος κύματος). Το OSC μεταφέρει πληροφορίες σχετικά με το οπτικό σήμα πολλαπλού μήκους κύματος καθώς και τις απομακρυσμένες συνθήκες στο οπτικό τερματικό ή στο σημείο EDFA. Χρησιμοποιείται επίσης κανονικά για αναβαθμίσεις λογισμικού απομακρυσμένου δικτύου και για πληροφορίες διαχείρισης δικτύου (π.χ. Είναι το ανάλογο πολλαπλού κύματος ανάλογο με το DCC (ή το εποπτικό κανάλι) του SONET). Τα πρότυπα της ITU υποδηλώνουν ότι το OSC θα πρέπει να χρησιμοποιεί μια δομή σήματος OC-3, αν και ορισμένοι πωλητές έχουν επιλέξει να χρησιμοποιούν 100

¹⁸Είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο σφαλμάτων στη μετάδοση δεδομένων μέσω καναλιών ανακρίβων ή θορυβώδους επικοινωνίας.

¹⁹Πρόκειται για μια τυποποιημένη μέθοδο για διαφανή μεταφορά υπηρεσιών σε οπτικά μήκη κύματος σε συστήματα DWDM.

megabitEthernet ή άλλη μορφή σήματος. Σε αντίθεση με το σήμα μήκους κύματος 1550 nm που περιέχει δεδομένα πελάτη, ο OSC τερματίζεται πάντοτε σε ενδιάμεσους σταθμούς ενισχυτή, όπου λαμβάνει τοπικές πληροφορίες πριν από την επανάδοση.

4.5 Enhanced WDM

Το ενισχυμένο σύστημα WDM της Cisco²⁰ συνδυάζει συνδέσεις πολλαπλών συνδέσεων πολλαπλών συνδέσεων 1 Gb (CWDM) χρησιμοποιώντας SFP και GBIC με συνδέσεις DWDM 10 Gb χρησιμοποιώντας DENOMIX XENPAK, X2 ή XFP DWDM. Αυτές οι συνδέσεις DWDM μπορούν είτε να είναι παθητικές ή ενισχυμένες ώστε να επιτρέπουν μεγαλύτερο εύρος σύνδεσης. Εκτός αυτού, οι μονάδες CFP παρέχουν Ethernet 100 Gbit/s κατάλληλη για συνδέσεις ραχοκοκαλιάς Internet υψηλής ταχύτητας (Khan, 2018).

4.6 CWDM Vs DWDM

Στις επικοινωνίες οπτικών ινών, η πολυπλεξία διαχωρισμού μήκους κύματος (WDM) είναι μια τεχνολογία που πολλαπλασιάζει έναν αριθμό σημάτων οπτικού φορέα σε μία μόνο οπτική ίνα χρησιμοποιώντας διαφορετικά μήκη κύματος φωσ λείζερ. Αυτή η τεχνική επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία μέσω μιας δέσμης ινών, καθώς και τον πολλαπλασιασμό της χωρητικότητας. Ένα σύστημα WDM χρησιμοποιεί έναν πολυπλέκτη στον πομπό για να ενώσει διάφορα σήματα μαζί και έναν αποπολυπλέκτη στον δέκτη για να τα χωρίσει. Όταν ασχολείται με το σύστημα οπτικών επικοινωνιών, υπάρχουν δύο κύριοι τύποι συστημάτων WDM που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση των απαραίτητων δεδομένων: CWDM και DWDM (Khan, 2018).

Η πολυπλεξία διαίρεσης μεγάλου μήκους κύματος (CWDM) είναι η τεχνολογία της επιλογής για αποδοτική μετάδοση σε κοντινή απόσταση σε τηλεπικοινωνιακά ή επιχειρηματικά δίκτυα. Ενώ η πολυπλεξία διαίρεσης μεγάλου μήκους κύματος (DWDM) έχει σχεδιαστεί για τη μετάδοση μακρών αποστάσεων, όπου τα μήκη κύματος συσκευάζονται στενά μεταξύ τους, παρέχοντας λύση υψηλής χωρητικότητας σε τηλεπικοινωνιακά

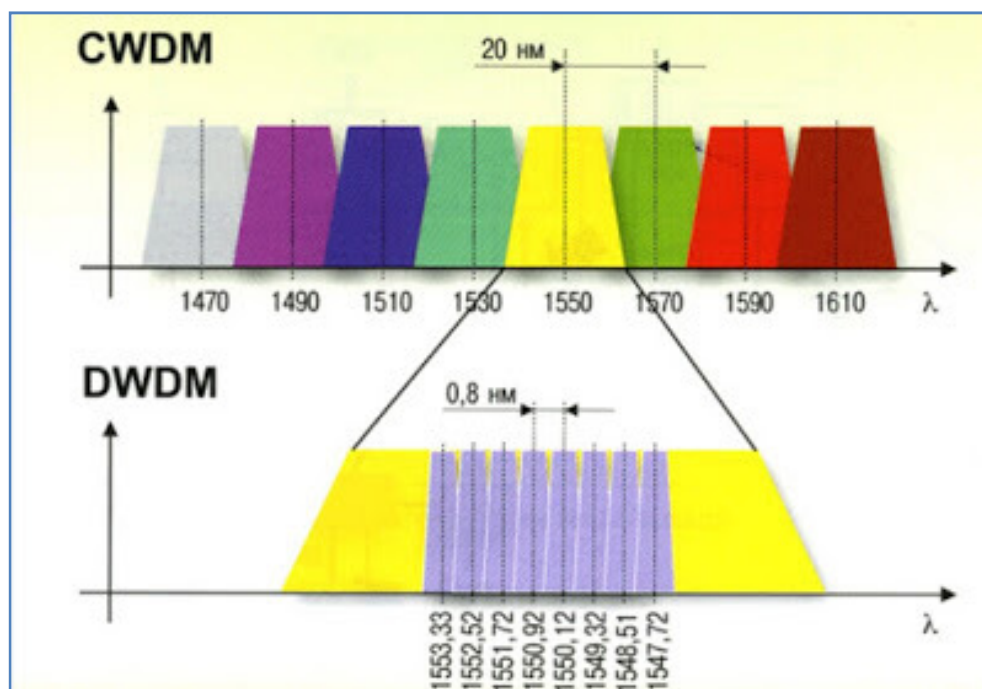
²⁰Η Cisco Systems, Inc. σχεδιάζει και εμπορεύεται ηλεκτρονικά προϊόντα, συσκευές δικτύωσης υπολογιστών, και προϊόντα και υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

δίκτυα. Σε γενικές γραμμές, το DWDM και το CWDM βασίζονται στην ίδια έννοια της χρήσης πολλαπλών μηκών κύματος φωτός σε μία μόνο ίνα, αλλά διαφέρουν στην απόσταση μεταξύ των μηκών κύματος, στον αριθμό των καναλιών και στην ικανότητα ενίσχυσης των πολυπλεγμένων σημάτων στον οπτικό χώρο.

Η κύρια διαφορά μεταξύ τους είναι ότι τα συστήματα πολυπλεξίας DWDM γίνονται για μεγαλύτερη μετάδοση μεταφοράς, διατηρώντας τα μήκη κύματος γεμάτα. Μπορούν να μεταδώσουν περισσότερα δεδομένα σε σημαντικά μεγαλύτερο μήκος καλωδίου με λιγότερες παρεμβολές από ένα συγκρίσιμο σύστημα CWDM. Το CWDM δεν μπορεί να μετακινηθεί σε μεγάλες αποστάσεις, επειδή τα μήκη κύματος δεν ενισχύονται και συνεπώς το CWDM περιορίζεται στη λειτουργικότητά του σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Επομένως, η τεχνολογία DWDM είναι μια από τις καλύτερες επιλογές για τη μεταφορά εξαιρετικά μεγάλων ποσοτήτων κίνησης δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις σε οπτικά δίκτυα.

Σε σύγκριση με το DWDM που είναι ένα πιο σφιχτά συσκευασμένο σύστημα WDM, το CWDM έχει μεγαλύτερα μήκη κύματος, με λιγότερα μήκη κύματος να μεταφέρονται με την ίδια ίνα. Για παράδειγμα, το CWDM έχει συνήθως απόσταση 20 nm, ενώ το DWDM τυπικά έχει περίπου 0,8 nm, επομένως μπορεί να συσκευάσει κανάλια 40 plus σε σύγκριση με το CWDM στην ίδια περιοχή συχνοτήτων. Έτσι, μπορούν να επιτευχθούν περισσότερα κανάλια και μεγαλύτερη χωρητικότητα χρησιμοποιώντας το DWDM (Khan, 2018).



Εικόνα 4.1: Διαφορές στις απεικονίσεις των CWDM και DWDM.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Τα συστήματα CWDM, από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιούν λέιζερ DFB που δεν ψύχονται. Αυτά τα τυπικά συστήματα λειτουργούν από 0 έως 70 ° C με το μήκος κύματος λέιζερ να παρασύρεται περίπου 6 nm σε αυτό το εύρος. Αυτή η μετατόπιση μήκους κύματος, σε συνδυασμό με την μεταβολή του μήκους κύματος λέιζερ μέχρι ± 3 nm (λόγω των διεργασιών κατασκευής μήτρας λέιζερ), αποδίδει ολική μεταβολή μήκους κύματος περίπου ± 12 nm. Ωστόσο, τα συστήματα DWDM απαιτούν μεγαλύτερα ψυχθέντα λέιζερ DFB για μετατοπίσεις μήκους κύματος λέιζερ ημιαγωγών περίπου 0.08 nm /°C με θερμοκρασία. Η χρήση μη ψυγμένων λέιζερ προκαλεί χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, γεγονός που έχει θετικές οικονομικές επιπτώσεις για τους φορείς εκμετάλλευσης συστημάτων. Για παράδειγμα, το κόστος της μπαταρίας ελαχιστοποιείται με τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, γεγονός που μειώνει το λειτουργικό κόστος. Επομένως, τα συστήματα DWDM είναι ακριβότερα από τα συστήματα CWDM για την εφαρμογή ψυχρών λέιζερ.

Από την παραπάνω ανάλυση, συμπεραίνεται ότι το CWDM είναι μια οικονομικά αποδοτική λύση στη μετάδοση σε κοντινή απόσταση και το DWDM είναι μια λύση μεγάλης χωρητικότητας στη μετάδοση μεγάλων αποστάσεων.

4.7 ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Η παγκόσμια αγορά οπτικών πομποδεκτών είναι έτοιμη να επιτύχει σημαντική ανάπτυξη καθώς τα δεδομένα στα δίκτυα επεκτείνονται εκθετικά. Καθώς τα συστήματα cloud πολλαπλασιάζονται και τα ασύρματα δεδομένα διατηρούν την αποδοτικότητα που επιφέρουν τα υψηλής ταχύτητας οπτικά δίκτυα από άκρο σε άκρο (end-to-end), απαιτούνται από τους μεταφορείς και το κέντρο δεδομένων. Η εξέλιξη αυτή οφείλεται στα έξυπνα κινητά τηλέφωνα και tablet που παρέχουν καθολική συνδεσιμότητα (Inniss, 2011).

Λόγω των έξυπνων τηλεφώνων, πολλοί άνθρωποι έχουν πρόσβαση στην κινητή επικοινωνία. Τα βίντεο, οι υπηρεσίες που βασίζονται σε cloud, το διαδίκτυο και το Machinetomachine (M2M)²¹ προσφέρουν κινητή συνδεσιμότητα.

²¹ Αναφέρεται στην απευθείας επικοινωνία μεταξύ συσκευών χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε κανάλι επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των ενσύρματων και ασύρματων.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Όλες αυτές οι συσκευές είναι δικτυωμένες και οδηγούν σημαντική κίνηση με το ευρυζωνικό δίκτυο, διεγείροντας την ανάγκη οπτικών πομποδεκτών. Το οπτικό δίκτυο μεταφορών (Optical Transport Network/ OTN) είναι ένα σύνολο οπτικών στοιχείων του δικτύου που συνδέονται μεταξύ τους με συνδέσμους οπτικών ινών. Στοιχεία οπτικού δικτύου παρέχουν τη μεταφορά, την πολυπλεξία, την αλλαγή, τη διαχείριση, την επίβλεψη και την επιβίωση των διαύλων επικοινωνίας.

Το CarrierEthernet²² αναδύεται. Ο οπτικός πομποδέκτης, ο πομπός, ο δέκτης και οι αναμεταδότες υποστηρίζουν την εφαρμογή της νέας χωρητικότητας του δικτύου.

Τα στοιχεία οπτικών πομποδεκτών είναι μια μηχανή καινοτομίας για το δίκτυο. Τα οπτικά στοιχεία πομποδέκτη υποστηρίζουν και καθιστούν δυνατή τη μεταφορά χαμηλού κόστους σε όλο το δίκτυο.

Απαιτούνται οπτικοί πομποδέκτες για την κατασκευή υποδομών δικτύου υψηλής ταχύτητας. Αυτά είναι τόσο για τους μεταφορείς όσο και για τα κέντρα δεδομένων.

Η υποδομή δικτύων εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των ειδικών συμβούλων. Οι σύμβουλοι με εκτεταμένη εμπειρία είναι απαραίτητοι για την ανάπτυξη του σχεδιασμού, της εγκατάστασης, της αναβάθμισης και της συντήρησης του οπτικού στοιχείου. Τα οπτικά στοιχεία χρησιμοποιούνται για τον εξοπλισμό κέντρων δεδομένων, FTTx²³, metroaccess ή δίκτυα πυρήνα (corenetworks)²⁴.

Χρησιμοποιούνται για Κεντρικούς διαύλους μεγάλου μήκους (Longhaultrunks)²⁵ και WAN²⁶. Μια παλέτα οπτικών πομποδεκτών με δυνατότητα σύνδεσης περιλαμβάνει τους

²²Το CarrierEthernet είναι ένας όρος μάρκετινγκ για επεκτάσεις στο Ethernet που επιτρέπει στους παρόχους τηλεπικοινωνιακών δικτύων να παρέχουν υπηρεσίες Ethernet στους πελάτες και να χρησιμοποιούν τεχνολογία Ethernet στα δίκτυά τους.

²³Το FTTx περιγράφει κάθε αρχιτεκτονική δικτύου που χρησιμοποιεί οπτικές ίνες για να αντικαταστήσει ολόκληρο ή μέρος του τοπικού βρόχου που χρησιμοποιείται για την παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.

²⁴Ένα βασικό δίκτυο είναι το βασικό τμήμα του τηλεπικοινωνιακού δικτύου, το οποίο προσφέρει πολλές υπηρεσίες στους πελάτες που διασυνδέονται από το δίκτυο πρόσβασης. Βασική λειτουργία του είναι να κατευθύνει τηλεφωνικές κλήσεις μέσω του δημόσιου τηλεφωνικού δικτύου.

²⁵Οι δίαυλοι αυτοί έχουν μέσο μήκος 1500 χιλιόμετρα και μεταφέρουν 20 έως 60 χιλιάδες κανάλια φωνής.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

παράγοντες μορφής GBIC, SFP, XFP, SFP+, X2, CFP. Αυτά είναι ικανά να φιλοξενούν ένα ευρύ φάσμα συνδέσεων συνδέσμων (Khan, 2018).

Οι προμηθευτές συνεργάζονται στενά με τους υπεύθυνους σχεδιασμού δικτύων και τους διαχειριστές υποδομής για το σχεδιασμό συστημάτων οπτικών μεταφορών υψηλής ταχύτητας. Οι οπτικοί πομποδέκτες εξελίσσονται και είναι συμβατοί με την προδιαγραφή MSA (Plug-in Multiple Source Agreement (MSA) 10Gbps Plugable Multi-Source Agreement (XFP)) για συσκευές οπτικών πομποδεκτών επόμενης γενιάς. Ο οπτικός πομποδέκτης 10 Gbps μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές τηλεπικοινωνιών και δεδομένων (SONET / SDH / DWDM / Gigabit Ethernet) για την αλλαγή ενός ηλεκτρικού σήματος σε οπτικό σήμα και αντίστροφα. Ο οπτικός πομποδέκτης 10Gbps είναι γενικά συμβατός με την προδιαγραφή συμφωνίας πολλαπλών πηγών XENPAK (MSA) για τον οπτικό πομποδέκτη επόμενης γενιάς. Ένα τυπικό 1550nm cranp που διαχειρίζεται απευθείας διαμορφωμένο λέιζερ είναι σε συσκευασία πεταλούδας και χρησιμοποιείται για 10G / 200km. Μια λύση για την αναβάθμιση των δικτύων μετρό σε 10Gbps ενεργοποιείται από τους πομποδέκτες.

Τα νέα εξαρτήματα είναι πιο ανθεκτικά στη διασπορά. Παρέχουν μικρότερο αποτύπωμα, χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και εξοικονόμηση κόστους για τους πωλητές εξοπλισμού. Οι κινητήριες δυνάμεις της αγοράς οπτικών πομποδεκτών σχετίζονται με την αυξημένη επισκευσιμότητα που προέρχεται από το Διαδίκτυο. Η αγορά σήματος οπτικών πομποδέκτη είναι έντονα ανταγωνιστική.

Υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση των οπτικών πομποδεκτών καθώς οι αγορές επικοινωνιών αναπτύσσονται ανταποκρινόμενοι στην περισσότερη χρήση των έξυπνων τηλεφώνων και σε μεγαλύτερη μετάδοση δεδομένων στο Διαδίκτυο. Η αγορά εξοπλισμού υποδομής δικτύου και ημιαγωγών επικοινωνιών προσφέρει ελκυστική μακροπρόθεσμη ανάπτυξη: Αναμένεται τεράστια επένδυση σε σταθμούς βάσης ασύρματων κυψελών, καθώς η ποσότητα της κίνησης του δικτύου αυξάνεται εκθετικά. Οι μεταφορείς παγκοσμίως ανταποκρίνονται στις προκλήσεις που προκαλεί η μαζική αύξηση της ασύρματης ροής δεδομένων.

²⁶Ένα δίκτυο ευρείας περιοχής ή ζώνης (wideareanetwork / WAN) είναι ένα σύνολο τερματικών που εκτείνονται σε μια ευρεία γεωγραφική περιοχή.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Η εμφάνιση μεγάλων δεδομένων και η εκθετική ανάπτυξη δεδομένων που διαχειρίζονται τα κέντρα δεδομένων των επιχειρήσεων αποτελεί σημαντικό παράγοντα της αγοράς. Η παγκόσμια αγορά οπτικών πομποδεκτών θα αυξηθεί στα 6,7 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2019 λόγω της διαθεσιμότητας συσκευών 100 Gbps και των τεράστιων αυξήσεων της κίνησης δεδομένων στο Διαδίκτυο. Η αύξηση της επισκεψιμότητας του Διαδικτύου προέρχεται από ποικίλες πηγές, από τα οποία τουλάχιστον 1.6 δισεκατομμύρια νέα smartphones πωλούνται ανά έτος. Η ανάπτυξη της αγοράς smartphone προκαλεί την ανάγκη για επενδύσεις στην τεχνολογία backhaul και celltower. Τα παγκόσμια έσοδα από τις οπτικές μεταφορές προβλέπεται να αυξηθούν έως το 2019. Αυτό συμβαίνει στο πλαίσιο μιας παγκόσμιας υποδομής επικοινωνιών που αλλάζει (Khan, 2018).

4.8 ΧΡΗΣΗ OTDR ΓΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ WDM-PON

4.8.1 Εισαγωγικά

Παρακάτω επιδεικνύεται ένα ρυθμιζόμενο optical time-domain reflectometer (OTDR) για την παρακολούθηση πολυπλεγμένων παθητικών οπτικών δικτύων (wavelength-division-multiplexed/ WDM-passive optical networks/ PONs) με διαίρεση μήκους κύματος. Η προτεινόμενη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για διαφορετικές συνεχείς πηγές λέιζερ (Continuous Wave Tuneable Laser Sources/ CWTLS) και χρησιμοποιεί οπτικό ενισχυτή ημιαγωγών (semiconductor optical amplifier/ SOA) ως διακόπτη για το σήμα του αισθητήρα. Επίσης, βελτιώνονται τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους για να μετρηστούν τα αποτελέσματα παρεμβολών (Caballero & Weid, 2017).

Το παθητικό οπτικό δίκτυο επόμενης γενιάς (next generation passive optical network/ NG-PON2) εξετάζεται και μελετάται με τα πολυπλεγμένα παθητικά οπτικά δίκτυα (WDM-PONs) ως τη νέα αρχιτεκτονική για δίκτυα πρόσβασης. Η αρχιτεκτονική αυτή πιθανόν θα υιοθετηθεί στο εγγύς μέλλον ως πρότυπο. Ωστόσο, έχουν επιτευχθεί ορισμένες αναπτύξεις παγκοσμίως, οι περισσότερες από αυτές στην Κορέα. Προκειμένου να μειωθούν οι επιχειρησιακές δαπάνες (operational expenditure / OPEX) και να διασφαλιστεί η ποιότητα εξυπηρέτησης (quality-of-service/ QoS) απαιτείται ένα σύστημα παρακολούθησης σε συνεχή λειτουργία. Πολλές διαφορετικές προτάσεις παρατηρούνται για το θέμα στην διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία, και μάλιστα μερικές από τις οποίες επαναχρησιμοποιούν την downstream source για παρακολούθηση, κατά συνέπεια, διακόπτουν την κανονική κυκλοφορία. Μια άλλη τεχνική που παρακάμπτει το AWG (Arrayed Waveguide Grating)

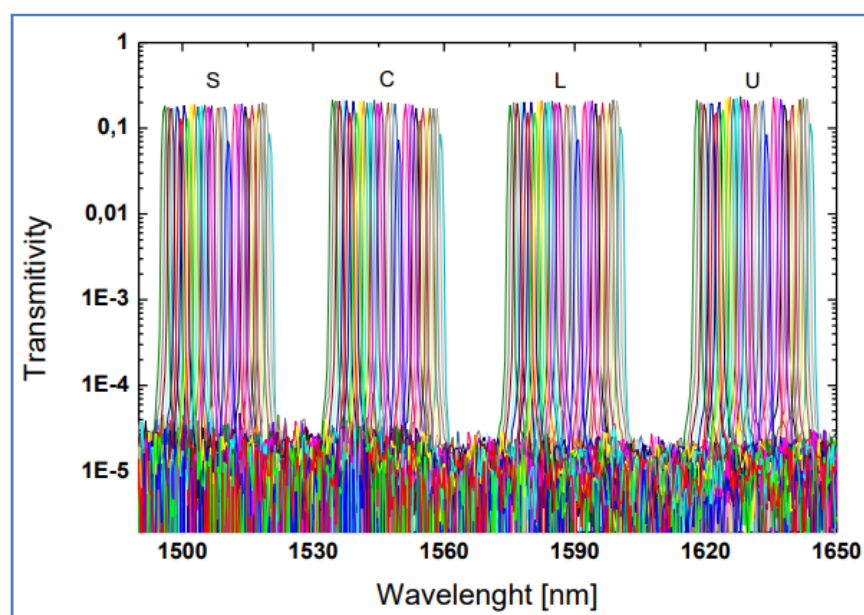
Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

χρησιμοποιεί ένα πολύπλοκο δίκτυο για την επίτευξη επιτήρησης από σημείο σε σημείο (point-to-point). Στην παρούσα έρευνα προτείνεται ένα ρυθμιζόμενο οπτικό πεδίο (tunable optical time-domain reflectometer / T-OTDR) που λειτουργεί με διαφορετικές πηγές λέιζερ (CW TLS) που ρυθμίζονται από έναν μεταγωγέα οπτικού ενισχυτή ημιαγωγού (SOA). Αυτό το σύστημα παρακολούθησης αποδεικνύεται πειραματικά και βελτιώνεται σε προσομοιωμένο WDM-PON που χρησιμοποιεί κυκλικό AWG ως διανομέα μήκους κύματος.

4.8.2 Προτεινόμενο Σύστημα Διαμόρφωσης

4.8.2.1 Ο κυκλικός διανομέας μήκους κύματος AWG

Η Εικόνα 4.2 δείχνει τα φάσματα εκπομπής του AWG 32Channel που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα, με μετάδοσης στις ζώνες S, C, L και U. Η συσκευή είναι ιδανική για WDM-PON, όπου συνήθως χρησιμοποιούνται τρεις ζώνες για downstream, upstream και παρακολούθηση (monitoring) (Caballero & Weid, 2017).

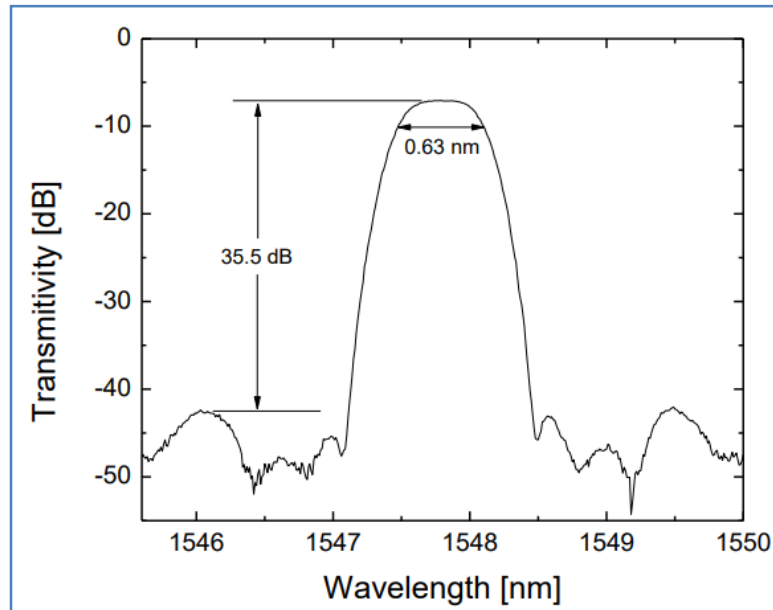


Εικόνα 4.2: Φάσματα εκπομπής 32 καναλιών του AWG.

Πηγή: (Caballero & Weid, 2017).

Η Εικόνα 4.3 παρουσιάζει ένα φάσμα μετάδοσης ενός καναλιού μετρούμενη σε υψηλή ανάλυση στη ζώνη C, με 35,5 dB αναλογία απόρριψης σε γειτονικά κανάλια και πλάτος 0,63nm στα 3 dB, συμβατό με το διάστημα καναλιών ITU των 100 GHz στην C-μπάντα. Η απόσταση διαύλου συσκευής είναι στην πραγματικότητα 0,8 nm, έτσι ώστε η απόσταση μεταξύ των συχνοτήτων να είναι 105 GHz στην ζώνη S και 90 GHz στη ζώνη U.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων



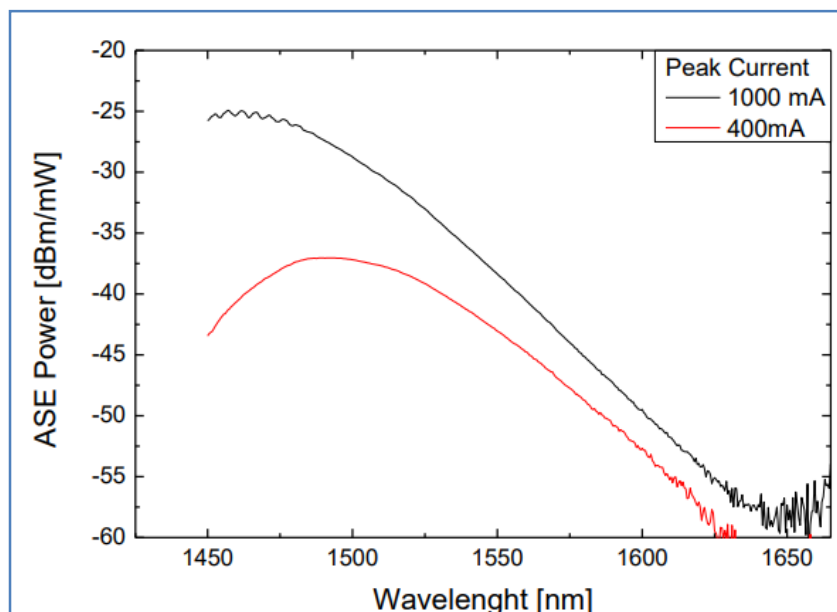
Εικόνα 4.3: Φάσμα μετάδοσης ενός μόνο καναλιού του AWG.

Πηγή: (Caballero & Weid, 2017).

4.8.2.2 Διακόπτης / διαμορφωτής SOA

Για τη λήψη μετρήσεων υψηλής ανάλυσης, πρέπει να επιτευχθούν πλάτη παλμών της τάξης ps , κατά συνέπεια ο διαμορφωτής SOA με απόκριση υψηλής συχνότητας και εξαιρετική αναλογικότητα εξαλείφεται απόλυτα. Η Εικόνα 4.4 εμφανίζει τα φάσματα ενισχυμένης πηγαίας εκπομπής (amplified spontaneous emission / ASE) του διαμορφωτή SOA. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με 100 ps πλάτος παλμών και ρυθμό επανάληψης 5 kHz . Διαφαίνεται ότι η συσκευή λειτουργεί καλά στις ζώνες S-, C- και L, αλλά όχι στη ζώνη U.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων



Εικόνα 4.4: Φάσματα SOA ASE για διαφορετικά παλμικά ρεύματα αιχμής.

Πηγή: (Caballero & Weid, 2017).

Επειδή ο κύκλος λειτουργίας είναι πολύ μικρός, το μέγιστο ρεύμα θα μπορούσε να αυξηθεί πάνω από το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα CW για τη συσκευή (400mA), έτσι ώστε να λειτουργεί ως συσκευή διαμόρφωσης με κέρδος και υψηλή απώλεια. Μέγιστα ρεύματα μέχρι 2000mA μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Κατά την ισχύκορυφής αλλά και την εξάλειψη διεξήχθησαν μετρήσεις αναλογίας για τον έλεγχο της φασματικής περιοχής του SOA το οποίο λειτουργεί ως διακόπτης.

Ο πίνακας 4.1 παρουσιάζει την αναλογία εξάλειψης και τις μέγιστες ισχύς που μετρήθηκαν για διαφορετικά μήκη κύματος με ισχύ εισόδου +6 dBm. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο OTDR λειτουργεί στις ζώνες C και L, αλλά όχι και στη ζώνη U. Για σωστή λειτουργία στη ζώνη αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαμορφωτές λιθίου Niobate, αλλά αυτοί έχουν προβλήματα στους περιορισμούς αναλογίας εξάλειψης.

Πίνακας 4.1: Συντονισμός Εξάλειψης και ενίσχυση βάσης.

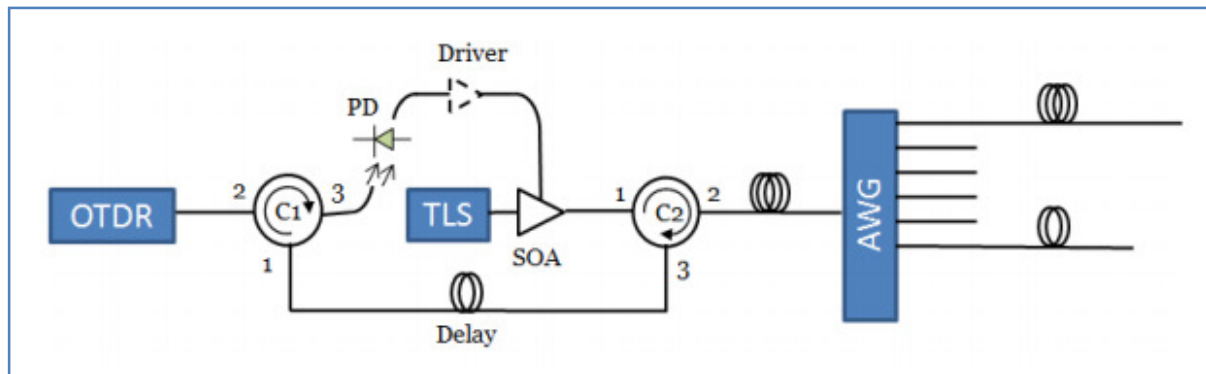
Μήκος κύματος	Ισχύς Κορυφής (παλμική)	Λόγος Εξάλειψης
1520 nm	20.5 dBm	83.5 dB
1615 nm	15.5 dBm	75 dB

Πηγή: (Caballero & Weid, 2017).

Σε κάθε περίπτωση, σύμφωνα με τις μετρήσεις / πειράματα με αυτή τη συσκευή εκτελείται η βασική αρχή της τεχνικής WDM-PON στη ζώνη S διατηρώντας ταυτόχρονα τις ζώνες C και L για μεταδόσεις downstream και upstream.

4.8.2.3 Ρυθμιζόμενη ρύθμιση OTDR.

Στην Εικόνα 4.5 παρουσιάζεται η ρύθμιση που χρησιμοποιείται για τον συντονισμό μετρήσεων OTDR που περιλαμβάνουν ένα προσομοιωμένο WDM-PON με το AWG.



Εικόνα 4.5: Συνδυασμένη ρύθμιση OTDR.

Πηγή: (Caballero & Weid, 2017).

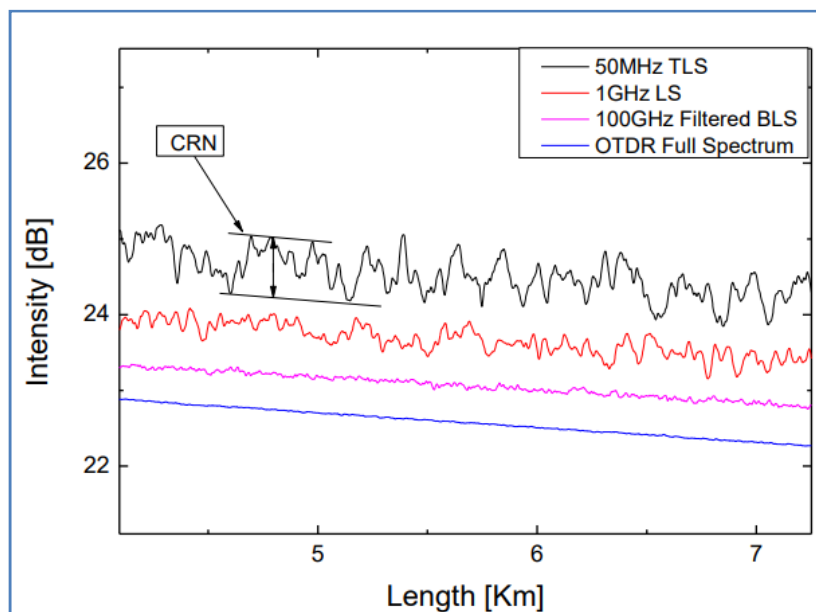
Ο παλμός OTDR χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση του διακόπτη SOA, δημιουργώντας έναν συντονισμένο παλμό από ένα CW TLS. Η καθυστέρηση του χρόνου των ηλεκτρονικών συσκευών αντισταθμίζεται από ένα κομμάτι ίνας το οποίο παράγει την ίδια οπτική καθυστέρηση στο πίσω φως. Ένα ζεύγος κυκλοφορητών φέρνει το backscattered φως στο OTDR.

4.8.3 Πειραματικά αποτελέσματα

Διαφορετικές πηγές λέιζερ που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στις ρυθμίσεις του OTDR. Όπως ήταν αναμενόμενο, το εύρος γραμμής πηγής είναι μια σημαντική παράμετρος για το ίχνος του OTDR την εξομάλυνση, καθώς και το εύρος ζώνης πηγής και η χωρική ανάλυση (πλάτος παλμού). Ο συνοπτικός θόρυβος Rayleigh (Coherent Rayleigh noise / CRN) ή ο ήχος εξασθένισης υπάρχει στις μετρήσεις και επιπλέον έχει παρατηρηθεί στις μετρήσεις C-OFDR και C-OTDR.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν με την εγκατάσταση και την στατιστική σχεδίαση της απόκλισης από τα μετρούμενα δεδομένα στο ιδανικό ίχνος του OTDR εμφανίζονται στις Εικόνες 4.6 και 4.7. Για σκοπούς σύγκρισης πραγματοποιείται μία μέτρηση με το βασικό πλήρες φάσμα OTDR, παρακάμπτοντας το AWG με το πλήρες φάσμα (ίδιος μέσος χρόνος και πλάτος παλμού).

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων



Εικόνα 4.6: Ο συνεχής θόρυβος Rayleigh για διαφορετικά εύρη γραμμών.

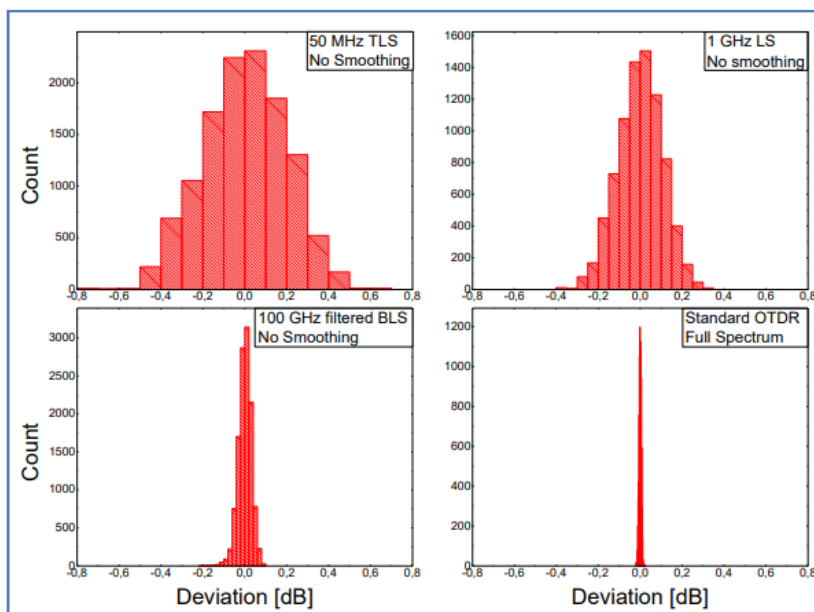
TLS (Tunable Laser Source): Ρυθμιζόμενη Πηγή λέιζερ, LS (Laser Source): Πηγή λέιζερ, BLS (Broadband Laser Source): Ευρυζωνική πηγή λέιζερ. CRN (Coherent Rayleigh Noise): Συναφής θόρυβος Rayleigh.

Πηγή: (Caballero & Weid, 2017).

Ο θόρυβος εξασθένησης στις μετρήσεις είναι εγγενής ακτινοβολία Rayleigh backscattered και οφείλεται στην παρεμβολή μεταξύ ενός μεγάλου αριθμού σημάτων που παράγονται από διαφορετικά γειτονικά σημεία σκέδασης ή από την κατάσταση πόλωσης του φωτός, αυτό προκαλεί τη μετατροπή θορύβου φάσης έντασης που εκδηλώνονται ως διακυμάνσεις πλάτους στο ίχνος OTDR.

Σε αντίθεση με τον θόρυβο του δέκτη, το CRN δεν μπορεί να μειωθεί με σήμα, πρέπει να χρησιμοποιούνται μέσες τιμές και άλλες τεχνικές βελτίωσης.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων



Εικόνα 4.7: Στατιστική κατανομή της μετρούμενης έντασης Rayleigh στην ευθυγραμμισμένη ευθεία για διαφορετικά εύρη γραμμών.

TLS: Ρυθμιζόμενη Πηγή λέιζερ, LS: Πηγή λέιζερ, BLS: Ευρυζωνική πηγή λέιζερ.

Πηγή: (Caballero & Weid, 2017).

Η τυπική απόκλιση του CRN ως κλάσμα του σήματος Rayleigh δίνεται από το τύπο:

Εξίσωση 4.1: Η τυπική απόκλιση του CRN ως κλάσμα του σήματος Rayleigh.

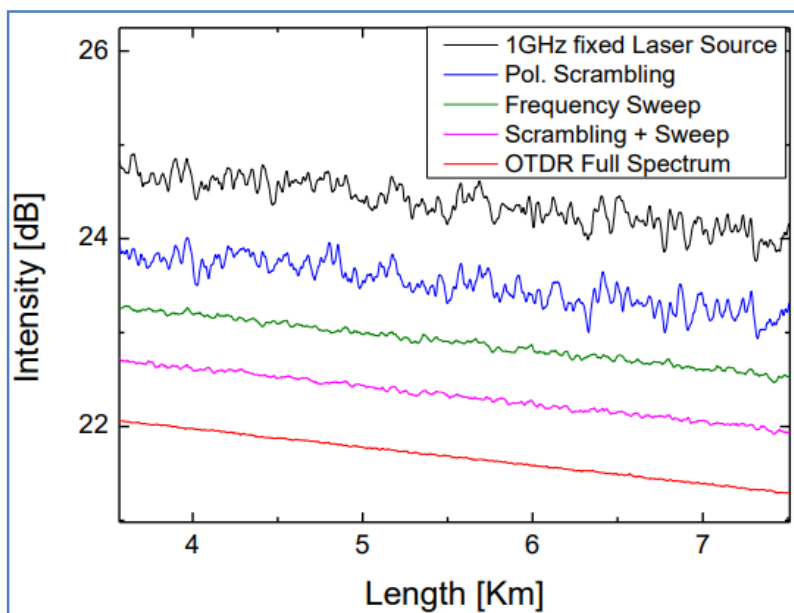
$$f_{CRN} = \sqrt{\frac{V_g}{4\Delta_Z\Delta_\nu}}$$

όπου V_g , Δ_Z και Δ_ν είναι ομαδική ταχύτητα φωτός στην οπτική ίνα, η χωρική ανάλυση και το πλάτος γραμμής πηγή αντίστοιχα. Το θεωρητικό ποσοστό CRN χρησιμοποιώντας την εξίσωση 4.1 για $V_g = 2 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$, $\Delta_Z = 10 \text{ m}$ και $\Delta_\nu = 50 \text{ MHz}$, 1 GHz και 100 GHz για 31,6%, 7,07% και 0,71% αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, μερικά απαιτούν τεχνικές βελτίωσης για την ελαχιστοποίηση του θορύβου επιπτώσεις στο σήμα Rayleigh backscattered. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιείται κρυπτογράφηση πόλωσης και σάρωση συχνότητας. Όπως αποδείχθηκε στο, το CRN μειώνεται ο θόρυβος με τη διεύρυνση παλμών και μειώνοντας τη χωρική ανάλυση, αλλά για τα σφάλμα στη WDM-PONs, η χωρική ανάλυση πρέπει να είναι καλύτερη.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Στην Εικόνα 4.8 φαίνεται ο θόρυβος Rayleigh για διαφορετικές τεχνικές εξομάλυνσης με γραμμικό εύρος 1GHz. Η Εικόνα 4.9 δείχνει τη στατιστική κατανομή για αυτές τις τεχνικές με διαφορετικά εύρη γραμμής. Όπως μπορεί να φανεί στην Εικόνα 4.9, η σάρωση της συχνότητας λέιζερ μέσα στο εύρος ζώνης AWG και διευρύνοντας τη διαμόρφωση φάσης λέιζερ με φάση 1 GHz (έλεγχος συνοχής) παρέχουν αποτελέσματα ισόδυναμα με εκείνα που λαμβάνονται με ευρυζωνικό φως 0.8 nm (φιλτραρισμένο ASE) που φαίνεται στην Εικόνα 4.7.

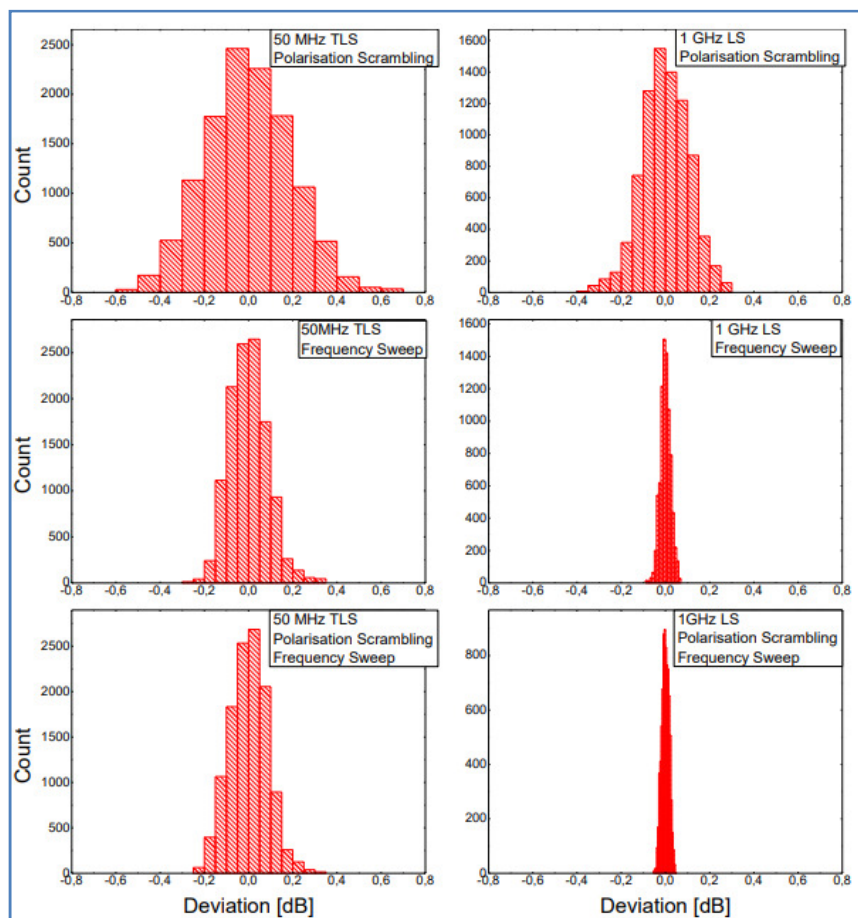


Εικόνα 4.8: Rayleigh πίσω θόρυβος για διαφορετικές τεχνικές εξομάλυνσης με γραμμικό εύρος 1GHz.

Πηγή: (Caballero & Weid, 2017).

Η κρυπτογράφηση πόλωσης έχει αμελητέα επίδραση λόγω του τύπου ανίχνευσης που χρησιμοποιείται (ασυνέχεια ανίχνευση έντασης). Αυτό το είδος του συστήματος είναι πιο αποτελεσματικό σε συνεκτικά συστήματα ανίχνευσης, όπου η κατάσταση πόλωσης του ανιχνευμένου σήματος ποικίλλει.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων



Εικόνα 4.9: Στατιστική κατανομή της μετρούμενης έντασης Rayleigh στην ευθυγραμμισμένη ευθεία για διαφορετικές τεχνικές εξομάλυνσης και πλάτος γραμμών. TLS = Προσαρμόσιμη πηγή λέιζερ. LS = Πηγή λέιζερ.

Πηγή: (Caballero & Weid, 2017).

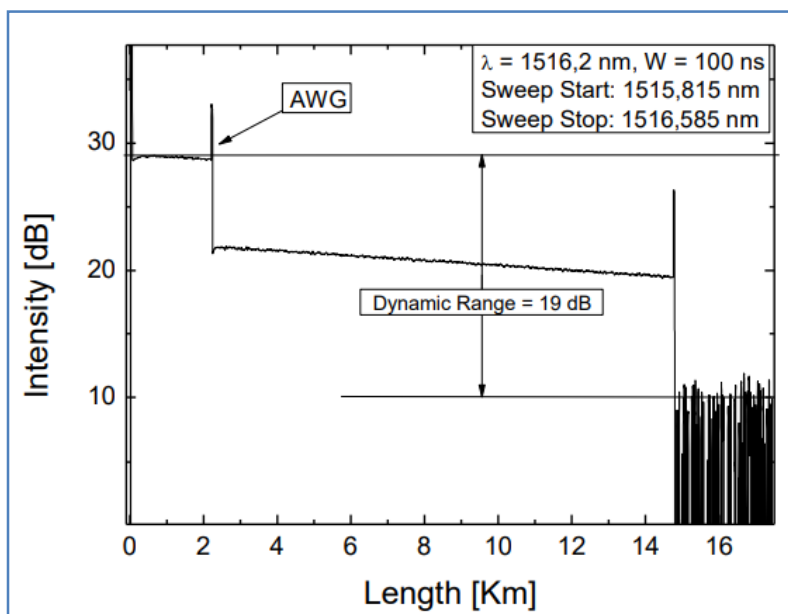
Το δίκτυο WDM-PON που μελετάται αποτελείται από συντονιζόμενο OTDR, οπτική ίνα τροφοδοσίας 2,3 χλμ., ακολουθούμενο από 0,8 nm κανάλι AWG στο RN (RemoteNode) και 4 γειτονικά κανάλια με διαφορετικά μήκη ινών (12.45, 4.76, 8.57 και 15.3 χλμ.). Η διάταξη είναι η ίδια όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.5.

Ο μειωμένος αριθμός καναλιών δεν επηρεάζει το επίπεδο επειδή το AWG υποστηρίζει 32 κανάλια και τη δυνατότητα συντονισμού με λέιζερ και το φάσμα κερδών SOA αρκούν για να καλύψουν τον πλήρη αριθμό καναλιών.

Οι ζώνες C και L χρησιμοποιούνται για downstream και upstream, η ζώνη S χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση των διαφόρων κλάδων ινών μέσα γραμμικό εύρος TLS 50MHz. Από την άλλη πλευρά, η βελτίωση που λαμβάνεται με τη σάρωση συχνότητας

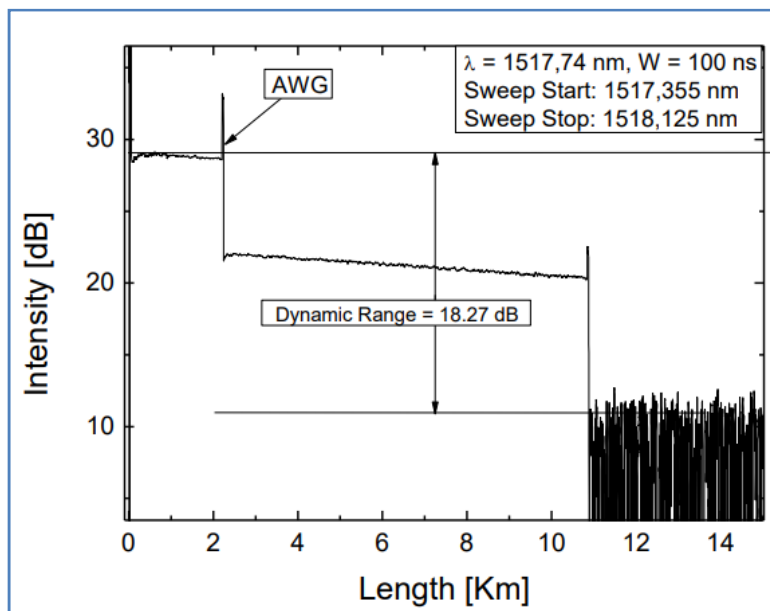
Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

της οπτικής πηγής μέσα στο AWG χρησιμοποιείται για την εξομάλυνση του ίχνους OTDR. Τα αποτελέσματα για τους κλάδους 1 και 3 δείχνονται στις Εικόνες 4.10 και 4.11.



Εικόνα 4.10: Έγινε μέτρηση του ίχνους OTDR του καναλιού AWG 29 με τη βοήθεια της δυναμικής περιοχής και των παραμέτρων μέτρησης.

Πηγή: (Caballero & Weid, 2017).



Εικόνα 4.11: Έγινε μέτρηση του ίχνους OTDR του καναλιού AWG 31 με τη βοήθεια της δυναμικής περιοχής και των παραμέτρων μέτρησης.

Πηγή: (Caballero & Weid, 2017).

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

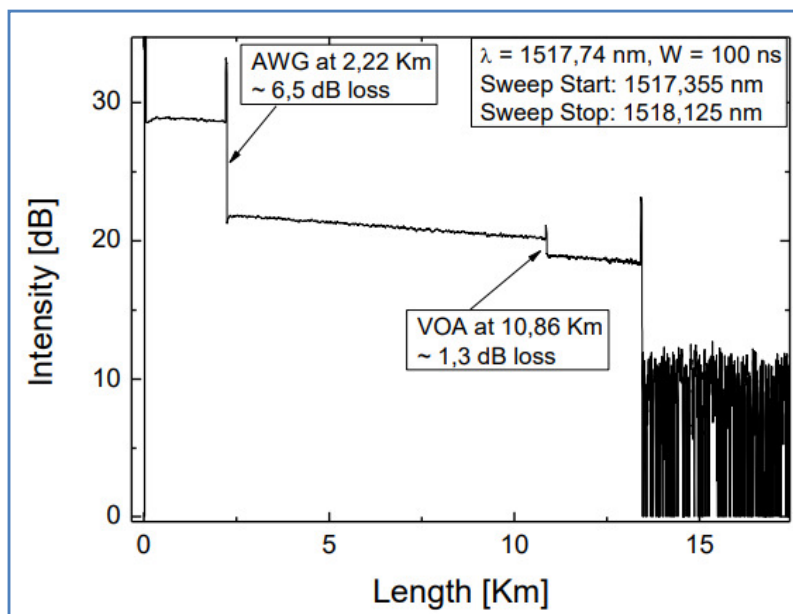
Μια χωρική ανάλυση 10m επιτυγχάνεται με ένα πλάτος παλμού 100ns, που περιορίζεται από τον ηλεκτρονικό οδηγό SOA:

Εξίσωση 4.2: η διάρκεια του παλμού οπτικού φωτός.

$$\tau \leq \frac{2n\Delta_z}{c}$$

Όπου τ είναι η διάρκεια του παλμού οπτικού φωτός, Δ_z είναι η χωρική ανάλυση, n είναι ο δείκτης διάθλασης της οπτικής ίνας και c είναι η ελεύθερη ταχύτητα του φωτός.

Τέλος, πραγματοποιείται εντοπισμός βλαβών στο δίκτυο WDM-PON. Χρησιμοποιείται ένας μεταβλητός οπτικός εξασθενητής (variable optical attenuator / VOA) με τυπική απώλεια εισόδου <1,3 dB συνδεδεμένη στο άκρο του καναλιού 31 ακολουθούμενη από οπτικές ίνες μονής κατεύθυνσης 2,5 km. Το ίχνος OTDR παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.12.



Εικόνα 4.12: Εντοπισμός σφαλμάτων χρησιμοποιώντας το ρυθμιζόμενο set-up OTDR.

Πηγή: (Caballero & Weid, 2017).

Διαπιστώθηκε ότι ένα συντονισμένο OTDR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παρακολούθηση και εντοπισμό σφαλμάτων σε δίκτυα WDM-PON. Το βασικό στοιχείο για την δυνατότητα συντονισμού είναι ένας διακόπτης SOA, ο οποίος καλύπτει πλήρως τις ζώνες S-, C- και L-, αλλά έχει κακή απόδοση στη ζώνη U. Ο ρυθμιζόμενος OTDR είναι χρήσιμος για την παρακολούθηση και τον εντοπισμό βλάβης στους κλάδους του δικτύου WDM-PON και στον οπλισμό τροφοδοσίας.

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: «ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ»

Ο στόχος των επικοινωνιών είναι η αποστολή ενός μηνύματος από ένα σημείο σε ένα άλλο, αλλά και η επιβεβαίωση της πλήρους, σωστής και κατανοητής λήψης του από έναν παραλήπτη. Πίσω από τις επικοινωνίες κρύβεται ένα πλήθος από θεωρίες και τεχνικές που ασχολούνται με τη ναποστολή του παραπάνω μηνύματος.

Σε ένα σύστημα επικοινωνίας, οπομοπόσ και οδέκτης συνδέονται με ένα φυσικό μέσο από το οποίο περνάει το σήμα. Πρόκειται για τις γραμμές ή τα κανάλια επικοινωνίας. Τα μέσα μετάδοσης χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- ✓ ενσύρματα όπου σημαντικότερα είναι τα (συνεστραμμένα) χάλκινα και τα ομοαξονικά καλώδια
- ✓ οπτικές ίνες και
- ✓ ασύρματα όπου περιλαμβάνονται οι ραδιοεπικοινωνίες και οι μικροκυματικές επίγειες και δορυφορικές ζεύξεις

Τα ενσύρματα και οι οπτικές ίνες ονομάζονται και κατευθυντικά μέσα γιατί το σήμα πηγαίνει προς συγκεκριμένη κατεύθυνση, ενώ τα ασύρματα γενικά είναι μη κατευθυντικά αφού διαχέονται προς διάφορες κατευθύνσεις.

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα δομούνται ιεραρχικά. Αποτελούνται από αστικά ή τοπικά τερματικά κέντρα, συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν το αστικό δίκτυο (συνδρομητικό δίκτυο ή συνδρομητικός βρόχος).

Πλέον τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα πραγματοποιούν ανάγκες μετάδοσης φωνής, data, εικόνας κλπ.

και ολοκληρώνονται μέσω ψηφιακών δικτύων υψηλών ταχυτήτων που χρησιμοποιούν τεχνολογίες bandwidth on demand, για βέλτιστη εκμετάλλευση της χωρητικότητας των καναλιών και των επικοινωνιακών κόμβων με τη χρήση τεχνικών όπως η ATM (Asynchronous Transfer Mode). Η δημιουργία

νέων δικτύων και υπηρεσιών όπως video on demand, βιντεοτηλεφωνία, επικοινωνίες πολυμέσων κλπ συμβάλλει στην ανάπτυξη της τεχνολογίας στα μέσα μετάδοσης (οπτικές ίνες), σε τεχνικές μεταγωγής και κόμβους υψηλών ταχυτήτων.

Η τεχνολογία εξελίσσεται ραγδαία με αποτέλεσμα την ανάγκη για μεγαλύτερο εύρος ζώνης και υψηλότερες απαιτήσεις στη συνδεσιμότητα των χρηστών. Τις τελευταίες δεκαετίες

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

έχουν κερδίζει πολύ έδαφος οι οπτικές και οι ασύρματες τεχνολογίες καθώς προσφέρουν χωρητικότητα εύρους ζώνης και υποστήριξη QoS των πελατών. Με τις οπτικές ίνες παρέχεται υψηλή ταχύτητα και διανύονται μεγάλες αποστάσεις. Επίσης οι υπηρεσίες broadband καλύπτουν κι αυτές ένα μεγάλο κομμάτι της αγοράς. Βέβαια υπάρχουν και μειονεκτήματα τα οποία τις θέτουν εκτός από το να είναι η μελλοντική λύση δικτυακής υποδομής.

Ασφαλώς και δεν πρόκειται για μια καινούργια ιδέα η χρήση του φωτός για τη μεταφορά πληροφορίας. Ο άνθρωπος από πολύ νωρίς χρησιμοποίησε οπτικές τεχνικές για τη μετάδοση πληροφοριών σε κοντινές ή μακρινές αποστάσεις. Από τις πρώτες τεχνικές ήταν τα σήματα καπνού και οι φρυκτωρίες μέχρι τα αργότερα ο οπτικός τηλεγράφος και τελικά ο ηλεκτρικός τηλεγράφος, το τηλέφωνο και οι ραδιοφωνικές ζεύξεις, τα μικροκύματα, τα radar, η τηλεόραση, τα τηλετύπα και οι ιδρυματικές επικοινωνίες. Καθώς η ζήτηση για τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες ολοένα αυξανόταν ήταν προφανές ότι τα ραδιοηλεκτρικά κύματα δεν θα επαρκούσαν για το πολύ για την κάλυψη των αναγκών της ανθρωπότητας.

Η καθιέρωση των οπτικών συστημάτων έγινε με την εγκατάσταση του TAT-8 (όγδοι υπερατλαντική ζεύξη Ευρώπης – ΗΠΑ, 1988) και σήμερα επεκτείνονται στα τοπικά και στα δίκτυα μεγάλων αποστάσεων.

Είναι αξιoσημείωτοι οι πρακτικοί λόγοι που οδηγούσαν τους τηλεπικοινωνιακούς μηχανικούς σε δόλο και υψηλότερες συχνότητες. Ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα χαρακτηρίζεται κυρίως από τη χωρητικότητα της πληροφορίας του, η οποία ουσιαστικά καθορίζει το ρυθμό πληροφορίας (bps) ή το πλήθος των «σημάτων πληροφορίας» που μπορεί να μεταδώσει με συγκεκριμένο λόγο σήματος προς θόρυβο (S/N). Μάλιστα η χωρητικότητα πληροφορίας μιας ζεύξης είναι ανάλογη με το εύρος ζώνης της διαμορφωμένης φέρουσας συχνότητας, την οποία διαθέτει η ζεύξη. Η διαμόρφωση αποτελεί μια απαραίτητη διαδικασία όσον αφορά τη μεταφορά της πληροφορίας. Το αποτέλεσμα της είναι η διεύρυνση του φάσματος της φέρουσας συχνότητας, σε έκταση τουλάχιστον διπλάσια από το εύρος συχνοτήτων που έχει το σήμα διαμόρφωσης.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Η πολυπλεξία διαχωρισμού μήκους κύματος (wavelength-divisionmultiplexing/ WDM) στις επικοινωνίες οπτικών ινών, αποτελεί μια τεχνολογία η οποία πολλαπλασιάζει έναν αριθμό σημάτων οπτικών φορέων σε μία μόνο οπτική ίνακάνοντας χρήση διαφορετικών μηκών κύματος(δηλαδή χρώματα) φωτός λέιζερ. Αυτή η τεχνική καθιστά δυνατή την αμφίδρομη επικοινωνία μέσω μιας δέσμης ινών, καθώς και τον πολλαπλασιασμό της χωρητικότητας.

Ο όρος πολυπλεξία διαχωρισμού μήκους κύματος χρησιμοποιείται συνήθως σε έναν οπτικό φορέα, ο οποίος τυπικά περιγράφεται από το μήκος κύματός του, ενώ η πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (frequency-divisionmultiplexing / FDM) συνήθως εφαρμόζεται σε ένα φορέα ραδιοσυχνοτήτων ο οποίος περιγράφεται συχνότερα με συχνότητα. Αυτό είναι καθαρά σύμβαση επειδή το μήκος κύματος και η συχνότητα επικοινωνούν τις ίδιες πληροφορίες.

Τα συστήματα WDM είναι δημοφιλή στις εταιρείες τηλεπικοινωνιών επειδή τους επιτρέπουν να επεκτείνουν την χωρητικότητα του δικτύου χωρίς να βάζουν περισσότερες ίνες. Με τη χρήση WDM και οπτικών ενισχυτών, μπορούν να φιλοξενήσουν αρκετές γενιές τεχνολογικής ανάπτυξης στην οπτική τους υποδομή χωρίς να χρειάζεται να επανεξετάσουν το δίκτυο κορμού. Η χωρητικότητα ενός δεδομένου συνδέσμου μπορεί να διευρυνθεί απλά αναβαθμίζοντας τους πολυπλέκτες και τους αποπολυπλέκτες σε κάθε άκρο.

Τα συστήματα WDM χωρίζονται σε τρία διαφορετικά πρότυπα μήκους κύματος, normal (WDM), coarse (CWDM) και dense (DWDM).

1. Coarse WDM

Αρχικά, ο όρος πολυπλεξία διαίρεσης μεγάλου μήκους κύματος (CWDM) ήταν αρκετά γενικός και σήμαινε διαφορετικές τεχνικές. Γενικά, αυτές οι διαφορετικές τεχνικές μοιράζονται το γεγονός ότι η επιλογή των αποστάσεων των καναλιών και της σταθερότητας της συχνότητας ήταν τέτοια που δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν οπτικοί ενισχυτές (erbiumdopedfiberamplifiers /EDFAs). Πριν από τη σχετική πρόσφατη τυποποίηση του όρου, η κοινή έννοια για το coarse WDM σήμαινε δύο (ή ενδεχομένως περισσότερα) σήματα πολυπλεγμένα σε μία μόνο ίνα, όπου ένα σήμα ήταν στη ζώνη 1550 nm και το άλλο στη ζώνη των 1310 nm.

Το κύριο χαρακτηριστικό του προτύπου ITU CWDM είναι ότι τα σήματα δεν διαχωρίζονται κατάλληλα για ενίσχυση με EDFA. Επομένως, το συνολικό οπτικό εύρος CWDM περιορίζεται σε περίπου 60 km για ένα σήμα 2,5 Gbit/s, το οποίο είναι κατάλληλο

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

για χρήση σε μητροπολιτικές εφαρμογές. Οι απαιτήσεις χαλάρωσης της σταθεροποίησης των οπτικών συχνοτήτων επιτρέπουν στο σχετικό κόστος του CWDM να προσεγγίσει εκείνα των οπτικών στοιχείων που δεν είναι WDM.

2. Dense WDM

Η πολυπλεξία πυκνού διαχωρισμού μήκους κύματος (Dense wavelength division multiplexing/DWDM) αναφέρεται αρχικά σε οπτικά σήματα πολυπλεγμένα εντός της ζώνης των 1550 nm έτσι ώστε να αξιοποιούν τις δυνατότητες (και το κόστος) ενισχυτών ινών ερυθροποιημένης ίνας (EDFA), οι οποίες είναι αποτελεσματικές για μήκη κύματος μεταξύ περίπου 1525-1565 nm (ζώνη L) ή 1570-1610 nm (ζώνη U). Τα EDFAs αναπτύχθηκαν αρχικά για να αντικαταστήσουν την SONET / SDH, τα οποία έχουν σχεδόν καταστεί άνευ αντικειμένου.

3. Enhanced WDM

Το ενισχυμένο σύστημα WDM της Cisco συνδυάζει συνδέσεις πολλαπλών συνδέσεων πολλαπλών συνδέσεων 1 Gb (CWDM) χρησιμοποιώντας SFP και GBIC με συνδέσεις DWDM 10 Gb χρησιμοποιώντας DENOMIX XENPAK, X2 ή XFP DWDM. Αυτές οι συνδέσεις DWDM μπορούν είτε να είναι παθητικές ή ενισχυμένες ώστε να επιτρέπουν μεγαλύτερο εύρος σύνδεσης. Εκτός αυτού, οι μονάδες CFP παρέχουν Ethernet 100 Gbit/s κατάλληλη για συνδέσεις ραχοκοκαλιάς Internet υψηλής ταχύτητας.

ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Η παγκόσμια αγορά οπτικών πομποδεκτών είναι έτοιμη να επιτύχει σημαντική ανάπτυξη καθώς τα δεδομένα στα δίκτυα επεκτείνονται εκθετικά. Καθώς τα συστήματα cloud πολλαπλασιάζονται και τα ασύρματα δεδομένα διατηρούν την αποδοτικότητα που επιφέρουν τα υψηλής ταχύτητας οπτικά δίκτυα από άκρο σε άκρο (end-to-end), απαιτούνται από τους μεταφορείς και το κέντρο δεδομένων. Η εξέλιξη αυτή οφείλεται στα έξυπνα κινητά τηλέφωνα και tablet που παρέχουν καθολική συνδεσιμότητα.

Λόγω των έξυπνων τηλεφώνων, πολλοί άνθρωποι έχουν πρόσβαση στην κινητή επικοινωνία. Τα βίντεο, οι υπηρεσίες που βασίζονται σε cloud, το διαδίκτυο και το Machine to machine (M2M) προσφέρουν κινητή συνδεσιμότητα.

Όλες αυτές οι συσκευές είναι δικτυωμένες και οδηγούν σημαντική κίνηση με το ευρυζωνικό δίκτυο, διεγείροντας την ανάγκη οπτικών πομποδεκτών. Το οπτικό δίκτυο μεταφορών (Optical Transport Network/ OTN) είναι ένα σύνολο οπτικών στοιχείων του

Η εξέλιξη των οπτικώνδικτύων

δικτύου που συνδέονται μεταξύ τους με συνδέσμους οπτικών ινών. Στοιχεία οπτικού δικτύου παρέχουν τη μεταφορά, την πολυπλεξία, την αλλαγή, τη διαχείριση, την επίβλεψη και την επιβίωση των διαύλων επικοινωνίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Electronics (ECE) Seminar Topics On Asynchronous Transfer Mode*. (2017, 4). Ανάκτηση από MTEch: <http://www.mtechprojects.org/electronics-ece-seminar-topics-on-asynchronous-transfer-mode.html>
- Fitz, M. (2012). *Βασικές αρχές συστημάτων επικοινωνίας*. Αθήνα: Κλειδάριθμος.
- Inniss, D. (2011). Market Trends for Optical Amplifiers. *Optically Amplified WDM Networks*, σσ. 417–443.
- Khan, A. (2018, 1). Routing and dimensioning in optical WDM networks for dynamic traffic using post-optimization approach. *Optical Fiber Technology*, 40, σσ. 76-81.
- Nastase, A. (2016). *ADC and DAC Least Significant Bit (LSB)*. Ανάκτηση από masteringelectronicsdesign: <https://masteringelectronicsdesign.com/an-adc-and-dac-least-significant-bit-lsb/>
- Pidgeon, N. (2017). *Switched Ethernet/How Ethernet Works*. Ανάκτηση από computer: <https://computer.howstuffworks.com/ethernet14.htm>
- Rice, M. (2011). *Ψηφιακές επικοινωνίες-Μια προσέγγιση διακριτού χρόνου*. Αθήνα: Τζιόλα.
- Srivastava, A., & Zyskind, J. (2011). Optical Amplifiers for Next Generation WDM Networks: A Perspective and Overview. *Optically Amplified WDM Networks*, σσ. 1–22.
- Working Principle of OTDM vs WDM*. (2015, 5 6). Ανάκτηση από chinacablesbuy: <http://www.chinacablesbuy.com/working-principle-of-otdm-vs-wdm.html>
- Καραϊσκος, Χ. (2010). *Αρχές τηλεπικοινωνιών*. Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική.
- Κωττής, Π., & Αράπογλου, Π. (2010). *Ασύρματες επικοινωνίες*. Αθήνα: Τζιόλα.
- Λάζος, Χ. (1997). *Τηλεπικοινωνίες των αρχαίων Ελλήνων*. Αθήνα: ΑΙΟΛΟΣ.
- Μανωλάκος, Η. (2014). Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες. *Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες-Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών / Τομέας Επικοινωνιών και Επεξεργασίας Σήματος*. Αθήνα, Αττικής, Ελλάδα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών-Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών.
- Μπίλλης, Ε. (2013). *Τηλεπικοινωνιακά συστήματα* (3η εκδ.). Αθήνα: Συμμετρία.

Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

Πεπούδη, Α. (2009). *Ενσύρματα Μέσα Μετάδοσης*. Ανάκτηση από <http://users.sch.gr/pepoudi/site/pages/page29.html>