

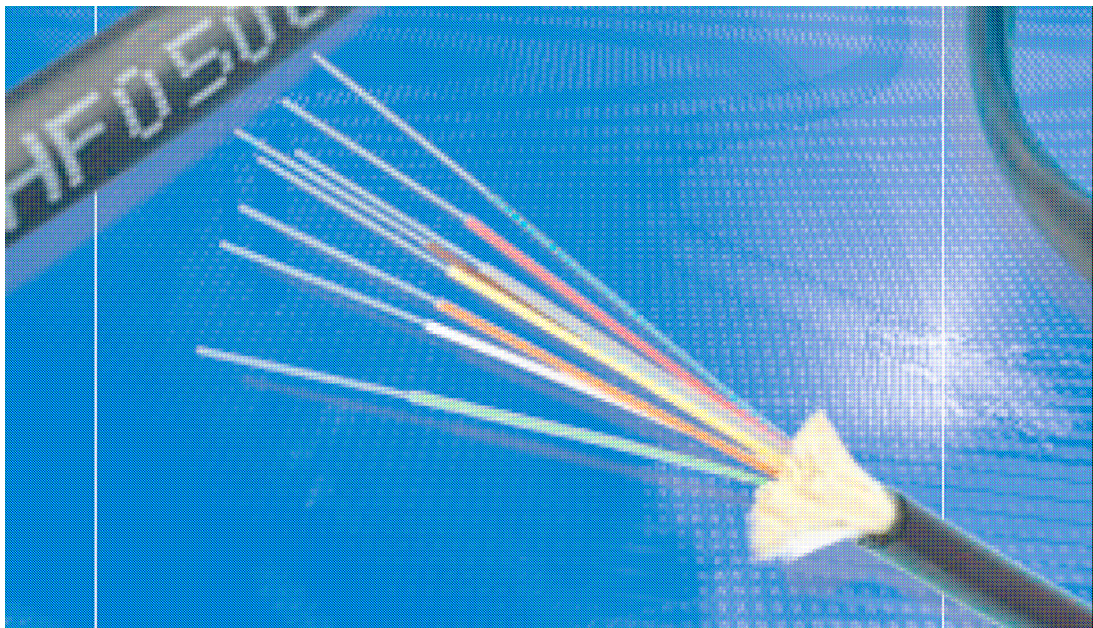


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

# ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα: «Υλοποίηση Gigabit Ethernet με χρήση οπτικών ινών»



**Επιμέλεια:**

Λουκάκης Εμμανουήλ, 2952

Νιαουνάκης Γεώργιος, 3102

**Επιβλέπων καθηγητής:**

Λιοδάκης Γεώργιος, Καθηγητής Εφαρμογών

*Χανιά, Σεπτέμβριος 2007*

Είναι σημαντικό να αναφερθούμε σε κάποιους ανθρώπους και να τους ευχαριστήσουμε διότι χωρίς την συνδρομή αυτών, η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας δε θα ήταν εφικτή.

Ευχαριστούμε λοιπόν, τον επιβλέποντα μας καθηγητή Εφαρμογών, κύριο Λιοδάκη Γεώργιο, ο οποίος είχε την ιδέα του θέματος και υπήρξε καθοδηγητής, όχι μόνο κατά το διάστημα της εργασίας, αλλά καθ' όλη την ακαδημαϊκή μας θητεία.

Επίσης, θα πρέπει να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας τον κύριο Πατεράκη Δημήτριο, του οποίου η προθυμία και οι τεχνικές γνώσεις μας έβγαλαν πολλές φορές από αδιέξοδα.

Τον κύριο Λυμπεράκη Νικόλαο, ο οποίος επέδειξε εξίσου ιδιαίτερη προθυμία να τείνει μια χείρα βοήθειας όποτε του το ζητήσαμε.

Τέλος, οι ευχαριστίες μας απευθύνονται στις οικογένειες μας, αφού μας συμπαραστάθηκαν ηθικά και υλικά, στη διάρκεια της μέχρι τώρα πορείας μας και ειδικότερα το διάστημα φοίτησης μας στο ΤΕΙ Κρήτης.

## **Implementation Issues of Gigabit Ethernet through Fiber Optics**

The evolution of Ethernet Technology in gigabits per seconds area lay led to the exploitation of fiber optics for data transmission. The aim of the thesis is to explore various implementation issues for Gigabit Ethernet (GbE) networking. In particular, issues concerning the physical as well as the medium access control sublayer of GbE are examined. Furthermore, a study including a power budget analysis for the establishment of a GbE link with glass and graded-index plastic optical fibers, is presented. Finally, field measurements carried out at the fiber campus network of T.E.I. of Crete, Branch of Chania, demonstrate the exploitation of GbE for inter-building communication

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1</b>	<b>Κεφάλαιο : Εισαγωγή</b>	<b>7</b>
1.1	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	7
1.2	ΟΠΤΙΚΕΣ ΊΝΕΣ ΚΑΙ GIGABIT ETHERNET	8
1.2.1	Στοιχεία μιας Διασύνδεσης	9
1.2.1.1	Είδη Πομπών	9
1.2.1.1.1	Τύποι Διόδων Laser (DFB, FP (BH, MQW), VCSEL)	10
1.2.1.1.2	Τύποι Διόδων LED	13
1.2.1.2	Είδη Οπτικών Ίνών	16
1.2.1.2.1	Πλαστική Οπτική Ίνα (Plastic Optical Fiber)	16
1.2.1.2.2	Πολύτροπη Ίνα	18
1.2.1.2.3	Μονότροπη Ίνα	20
1.2.1.2.4	Διάμετρος Πυρήνα	22
1.2.1.3	Ανιχνευτές Οπτικών Ίνών (Detectors)	23
1.2.1.3.1	PIN Φωτοδίοδος	24
1.2.1.3.2	Φωτοδίοδο Χιονοστιβάδας (APD)	25
1.2.1.3.3	Πομποί Φωτός ως Ανιχνευτές	26
1.2.1.4	Σύνδεσμοι Οπτικών Ίνών (Connectors)	27
1.2.2	Εξασθένηση	31
1.2.3	Διασπορά	31
1.2.3.1	Χρωματική Διασπορά	32
1.2.3.2	Διασπορά λόγω τρόπου πόλωσης (PMD)	33
1.2.4	Laser Backreflection – Η καταστροφή μιας καλής απόδοσης	33
1.2.5	Μη γραμμικότητα της ίνας	34
1.2.6	Μετρήσεις Ελέγχου Απώλειας Συνδέσμων (Connector Loss Test Measurements)	34
1.2.6.1	Στοιχεία που απαιτούνται στα συστήματα μέτρησης	35
1.2.6.2	Insertion Loss Test	38
1.2.6.3	Απώλειες λόγω διαφορετικών NA	39
1.2.6.4	Δοκιμές απώλειας λόγω διαφορετικής διαμέτρου πυρήνα/μανδύα	39
1.2.6.5	Δοκιμές απώλειας λόγω ευθυγράμμισης	39
1.2.6.6	Απώλεια αντανάκλασης Fresnel	40
1.2.6.7	Απώλειες σχετικές με το σύστημα	41
1.2.7	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα	42
1.3	ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΟΠΤΙΚΟΥ GBE	43
1.3.1	Couplers (Συζευκτήρες)	43
1.3.2	Splitters	43
1.3.3	Switches	46
1.3.3.1	Οπτό - μηχανικοί switches	47
1.3.3.2	Θέρμο-οπτικά switches	47
1.3.3.3	Ήλεκτρο-οπτικά switches	47
1.3.4	Οπτικοί Ενισχυτές	47
1.3.4.1	Οπτικοί Ενισχυτές Ημιαγωγών	48
1.3.4.2	EDFA	48
1.3.4.3	RAMAN οπτικοί ενισχυτές	50
1.4	ΕΙΔΗ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΊΝΕΣ	51
1.4.1	Wavelength-division Multiplexing (WDM)	51
1.4.2	Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM)	52

1.4.3	Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM).....	54
<b>2</b>	<b>Κεφάλαιο : Τεχνολογίες Δικτύων Ethernet.....</b>	<b>56</b>
2.1	ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ OSI.....	56
2.1.1	Τα επίπεδα του IEEE μέσα στο μοντέλο OSI.....	57
2.1.2	Logical Link Control (LLC) Layer.....	58
2.2	ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ MEDIA ACCESS CONTROL.....	59
2.2.1	Συγκρούσεις.....	60
2.2.2	Χρόνος Round – Trip.....	61
2.3	ETHERNET FRAME.....	61
2.3.1	Preamble (Εισαγωγή).....	62
2.3.1.1	Πρότυπο DIX.....	62
2.3.1.2	Πρότυπο IEEE.....	62
2.3.2	Destination Address (Διεύθυνση Προορισμού).....	63
2.3.2.1	Πρότυπο DIX.....	63
2.3.2.2	Πρότυπο IEEE.....	63
2.3.3	Source Address (Διεύθυνση Πηγής).....	63
2.3.4	VLAN Tag Header (Ετικέτα επικεφαλίδας VLAN).....	64
2.3.5	Type Field / Length Field (Πεδίο τύπου / Πεδίο μήκους).....	64
2.3.5.1	Πρότυπο DIX.....	64
2.3.5.2	Πρότυπο IEEE.....	65
2.3.6	Data Field (Πεδίο Δεδομένων).....	65
2.3.6.1	Πρότυπο DIX.....	65
2.3.6.2	Πρότυπο IEEE.....	65
2.3.7	FCS Field.....	66
2.3.8	Ανίχνευση τέλους πλαισίου (End of Frame).....	66
2.3.9	Κανόνες Media Access Control.....	67
2.3.10	Θεμελιώδεις Χρόνοι Συστήματος.....	69
2.3.10.1	Ethernet Slot Time.....	69
2.3.10.2	Slot Time και διάμετρος Δικτύου.....	70
2.3.11	Ανίχνευση Σύγκρουσης και Οπισθοχώρηση.....	70
2.3.11.1	Λειτουργία της ανίχνευσης Σύγκρουσης.....	71
2.3.11.2	Ο Αλγόριθμος Οπισθοχώρησης.....	72
2.3.11.3	Λειτουργία του Αλγόριθμου Υποχώρησης.....	73
2.4	GIGABIT ETHERNET HALF-DUPLEX.....	74
2.4.1	Διάμετρος Δικτύου half-duplex GbE.....	74
2.4.2	Επέκταση Φέροντος (Carrier Extension).....	75
2.4.3	Frame Bursting (Ομοβροντία Πλαισίου).....	76
2.5	FULL – DUPLEX ETHERNET.....	77
2.5.1	Λειτουργία Full-Duplex.....	77
2.5.2	Ethernet Flow Control.....	78
2.5.3	Πρωτόκολλο MAC Control.....	79
2.5.4	Λειτουργία PAUSE.....	79
2.6	ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΣΩΝ (PHYSICAL MEDIA SYSTEMS).....	80
2.6.1	10Mbps Ethernet.....	81
2.6.2	100Mbps Ethernet.....	82
2.6.3	1 Gigabit Ethernet.....	86
2.7	AUTOMATIC CONFIGURATION.....	89
2.7.1	Βασικά στοιχεία.....	90
2.7.2	Σηματοδосία Αυτόματης – Διαπραγμάτευσης.....	91

2.7.3	Λειτουργία FLP .....	91
2.7.4	Αυτόματη – Διαπραγμάτευση 1000BASE-X .....	93
2.8	ΔΙΕΠΑΦΕΣ ETHERNET .....	93
2.8.1	Attachment Unit Interface (AUI).....	94
2.8.2	Medium-Independent Interface (MII).....	95
2.8.3	Gigabit Medium-Independent Interface.....	95
2.9	10 GIGABIT ETHERNET .....	99
2.9.1	Αρχιτεκτονική Φυσικού Επιπέδου (PHY) .....	99
2.9.2	MAC .....	103
2.9.3	10 Gigabit Media Independent Interface (10GMII).....	105
<b>3</b>	<b>Κεφάλαιο : Υλοποίηση Gigabit Ethernet.....</b>	<b>107</b>
3.1	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΙΝΑ .....	107
3.2	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΓΙΑΛΙΝΗ ΙΝΑ .....	111
	<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α</i> .....	115
	<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β</i> .....	118
	<i>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</i> .....	120

# 1 Κεφάλαιο : Εισαγωγή

## 1.1 Ιστορική αναδρομή

Το Ethernet είναι μια τεχνολογία τοπικών δικτύων (LAN), συνηθισμένη σε δίκτυα που λειτουργούν μέσα στο ίδιο κτήριο, συνδέοντας συσκευές σε μικρή απόσταση. Ως επί το πλείστον, οι συσκευές Ethernet, μπορούσαν να λειτουργήσουν έχοντας μόνο μερικά μέτρα καλωδίων ανάμεσά τους, καθιστώντας αδύνατη τη διασύνδεση διασκορπισμένων γεωγραφικά τοποθεσιών. Η σύγχρονη πρόοδος ανέπτυξε σημαντικά αυτές τις αποστάσεις, επιτρέποντας τη σύνδεση για δεκάδες χιλιόμετρα.

Το Ethernet, αρχικά βασίστηκε στην ιδέα της επικοινωνίας υπολογιστών πάνω σε κοινό ομοαξονικό καλώδιο, το οποίο θα ενεργούσε ως μέσο ραδιοφωνικής μετάδοσης.

Με την πάροδο του χρόνου εξελίχθηκε, από μια απλή ιδέα, σε μια σύνθετη τεχνολογία, η οποία τροφοδοτεί την πλειοψηφία των δικτύων των υπολογιστών και συνεχίζει να εξελίσσεται εδώ και 30 χρόνια.

### 1992-1995: Fast Ethernet

Τα δίκτυα υψηλότερων ταχυτήτων ήταν ένα θέμα που απασχολούσε την IEEE 802 το 1992. Οι προτάσεις που παρουσιάστηκαν ήταν δυο. Η πρώτη πρότεινε τη διατήρηση του Ethernet πρωτοκόλλου, ενώ η δεύτερη παρότρυνε για ένα εντελώς καινούριο MAC πρωτόκολλο για μετάδοση 100Mbps. Επειδή η IEEE δεν μπορούσε να δώσει λύση στο θέμα, οι εταιρείες πήραν την κατάσταση στα χέρια τους και ίδρυσαν την Fast Ethernet Alliance με σκοπό την ανάπτυξη λύσεων 100-Mbps Ethernet, βασισμένα στο υπάρχον standard. Τον Οκτώβριο του 1993, η Fast Ethernet Alliance, δημοσίευσε την ενδομηματική προδιαγραφή του 100BASE-X, γνωστή ως 100BASE-TX. Τον Μάρτιο του 1995, η IEEE και η Executive Comitee δέχτηκαν την IEEE 802.3u (100BASE-T). Το αποτέλεσμα του προτύπου Fast Ethernet, ήταν η δημιουργία ενός νέου κύματος αγοράς με νέα προϊόντα Ethernet.

### 1996: Το Gigabit Ethernet

Σε λιγότερο από ένα χρόνο, μετά την επίσημη εισαγωγή του Fast Ethernet, οι διαδικασίες είχαν ξεκινήσει για τη δημιουργία του Gigabit Ethernet, το οποίο θα λειτουργούσε στα 1000Mbps. Το Νοέμβριο του 1995 η IEEE 802.3 σχημάτισε μια νέα ομάδα για να ερευνήσει τη δυνατότητα του Ethernet να τρέξει σε 1000Mbps.

Τον Μάρτιο του 1996, η IEEE σχημάτισε το νέο 802.3z για να τυποποιήσει το Gigabit Ethernet. Το Μάιο του 1996, οι εταιρείες της Fast Ethernet Alliance μαζί με κάποιες νέες, οργάνωσαν την Gigabit Ethernet Alliance (GEA). Στο σημείο αυτό δεν μπορούμε να πούμε με σιγουριά ποιοι ήταν οι εφευρέτες του Gigabit Ethernet. Η εταιρεία Packet Engineers έκανε την πρώτη δημόσια ανακοίνωση τον Σεπτέμβριο του 1995 και φιλοξένησε την πρώτη βιομηχανική συνάντηση τον Οκτώβριο του 1995.

Στόχος του Gigabit Ethernet ήταν αρχικά switched full-duplex operation πάνω σε οπτική ίνα, αντιτιθέμενο στο shared-media χαλκό. Ο λόγος ήταν ότι το Gigabit Ethernet θα χρησιμοποιούταν αρχικά για να συνδέσει διαφορετικά backbones ή superservers και workstations. Μερικά μέλη της IEEE σκέφτηκαν όμως ότι μια

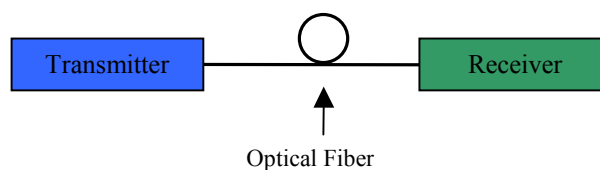
υλοποίηση βασισμένη σε χαλκό και σε shared-media έπρεπε να συμπεριληφθεί. Έτσι η IEEE υιοθέτησε ένα συμβιβασμό. Ένα υψηλότερης ποιότητας χάλκινο μέσο θα εξεταζόταν. Μια νέα task force, η 802.3ab, θα εστίαζε σε UTP κατηγορίας 5. Το πρότυπο καλωδίωσης του Gigabit προήλθε από μια τεχνολογία Fiber Channel, και το Gigabit Ethernet περιλαμβάνει ένα buffered repeater section, που επιτρέπει να χτιστούν οικονομικοί, shared-media repeaters. Το 802.3z standard τελείωσε τον Ιούνιο του 1998. Η τελική τυποποίηση περιλαμβάνει μια μηχανή CSMA/CD MAC καθώς και τρία πρότυπα καλωδίωσης - το 1000BASE-SX και LX για οπτική ίνα, και το 1000BASE-CX για υψηλής ποιότητας χάλκινη καλωδίωση. Το 1999 η επιτροπή IEEE 802.3ab επικύρωσε το πρότυπο 1000BASE-T που χρησιμοποιεί 4 ζεύγη UTP καλωδίωσης Κατηγορίας 5. Με την επικύρωση της IEEE 802.3ab, το Gigabit Ethernet καθιερώθηκε ως τεχνολογία desktop, αφού οι οργανισμοί μπορούσαν να αξιοποιήσουν την υπάρχουσα υποδομή χάλκινης καλωδίωσης.

### 1999: Το 10 Gigabit Ethernet

Με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, παράλληλα αναπτύσσεται και η αγορά και το κινήρι για νέες, ταχύτερες και πιο αξιόπιστες ζεύξεις δεν σταματά ποτέ. Έτσι, το 1999 η επιτροπή IEEE 802.3ae επικυρώνει το 10 Gigabit Ethernet, το οποίο θα προσέφερε ταχύτητες δεδομένων μέχρι και 10.000.000Mbps. Το 10 GbE είναι το πιο πρόσφατο και γρήγορα μέχρι σήμερα Ethernet πρότυπο.

## 1.2 Οπτικές Ίνες και Gigabit Ethernet

Η μετάδοση σημάτων μέσω οπτικών ινών χρησιμοποιεί τα ίδια βασικά στοιχεία με τα συστήματα μετάδοσης που είναι βασισμένα στο χαλκό: Ένα πομπό (transmitter), ένα δέκτη (receiver) και ένα μέσο μετάδοσης, όπου το σήμα περνά από το πομπό στο δέκτη, στην δική μας περίπτωση το μέσο είναι η οπτική ίνα. Το σχήμα 1.2.1 επεξηγεί αυτά τα στοιχεία.



Σχήμα 1.2.1 – Σύνδεση με Οπτική Ίνα

### Ορισμός

Τι είναι οι *Οπτικές Ίνες*;

Η οπτική ίνα είναι μια γυάλινη ή μια πλαστική ίνα που έχει σχεδιαστεί να καθοδηγεί το φως κατά μήκος της μέσω ολικής εσωτερικής ανάκλασης. Οι οπτικές ίνες είναι εξαιρετικά λεπτά νήματα.

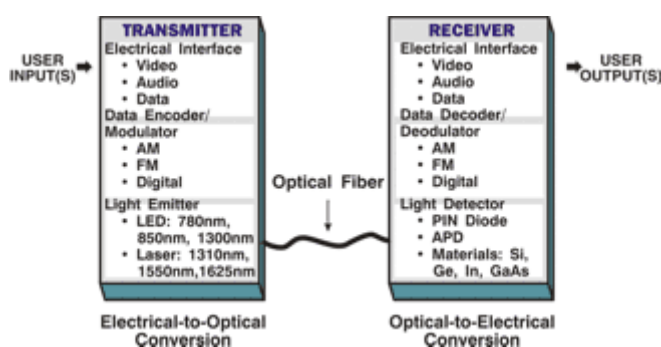
Οι οπτικές ίνες μπορεί να αποτελούνται είτε από γυαλί μεγάλης καθαρότητας, είτε από πλαστικό. Το γυαλί είναι αρκετά πιο εύθραυστο και δαπανηρό από το πλαστικό, παρ' όλα αυτά εμφανίζει καλύτερα οπτικά χαρακτηριστικά. Το γεγονός αυτό και



ειδικότερα η μεγάλη εξασθένιση του φωτός που συναντάμε σε μακρινές ζεύξεις, καθιστά το πλαστικό πιο πρακτικό μόνο για κοντινές ζεύξεις, σε αντίθεση με το γυαλί που εφαρμόζεται σε μεγάλες αποστάσεις.

### 1.2.1 Στοιχεία μιας Διασύνδεσης

Ο transmitter χρησιμοποιεί μια ηλεκτρική διασύνδεση για να κωδικοποιήσει τις πληροφορίες σε AM, FM ή ψηφιακή διαμόρφωση. Μια δίοδος laser ή ένα LED κάνουν την κωδικοποίηση για να επιτρέψουν μια οπτική έξοδο των 850nm, 1310 nm, ή 1550 nm.



Σχήμα 1.2.2 – Στοιχεία μια σύνδεσης με Οπτική Ίνα

Η οπτική ίνα συνδέει το transmitter με το receiver. Αυτή η ίνα μπορεί να είναι είτε μονότροπη είτε πολύτροπη. Η ίνα αποτελείται από τρία κύρια μέρη, τον πυρήνα, το μανδύα και το περιβλήμα.

Ο receiver χρησιμοποιεί είτε μια PIN φωτοδίοδο ή ένα APD για να λαμβάνει το οπτικό σήμα και να το μετατρέψει πάλι σε ηλεκτρικό σήμα. Ένας αποδιαμορφωτής δεδομένων μετατρέπει τα δεδομένα στην αρχική τους ηλεκτρική μορφή. Αυτά τα στοιχεία αποτελούν την απλούστερη σύνδεση, αλλά και άλλα στοιχεία μπορούν να εμφανιστούν σε ένα σύστημα μετάδοσης οπτικών ινών.

#### 1.2.1.1 Είδη Πομπών

Οι δίοδοι LED και Laser είναι πολύπλοκοι ημιαγωγοί που μετατρέπουν ένα ηλεκτρικό ρεύμα σε φως. Η διαδικασία της μετατροπής είναι αρκετά αποδοτική επειδή παράγει λίγη θερμότητα σε σχέση με το φως που παράγει. Πέντε ιδιότητες κάνουν τα Laser και τα LED ελκυστικά για χρήση στις οπτικές ίνες.

1. Είναι μικρά.
2. Έχουν υψηλή (έντονη) ακτινοβολία.
3. Η περιοχή εκπομπής είναι μικρή, συγκρίσιμη με τις διαστάσεις των οπτικών ινών.
4. Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, πράγμα που τα καθιστά αξιόπιστα.
5. Μπορούν να διαμορφώνουν το οπτικό σήμα (ανάβουν & σβήνουν) σε υψηλές ταχύτητες.

Οι δίοδοι LED και Laser τυπικά κατασκευάζονται από GaAlAs (γάλλιο αλουμίνιο αρσενίδιο) για μικρού μήκους κύματος συσκευές. Μεγάλου μήκους κύματος συσκευές γενικά ενσωματώνουν InGaAsP (ίνδιο γάλλιο αρσενίδιο φωσφίδιο).

### 1.2.1.1.1 Τύποι Διόδων Laser (DFB, FP (BH, MQW), VCSEL)

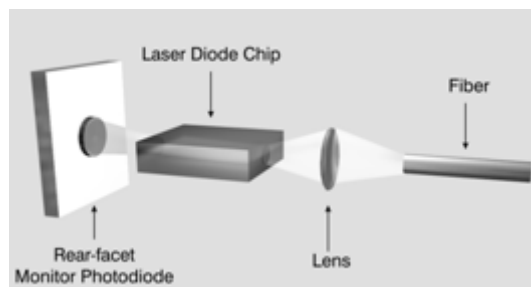
Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι δομών διόδου laser: Fabry-Perot (FP) και οι κατανεμημένης ανάδρασης (distributed feedback, DFB). Από τους δύο τύπους laser, τα Fabry-Perot laser είναι τα πιο οικονομικά, αλλά είναι γενικά θορυβώδη και πιο αργές συσκευές. Τα DFB lasers είναι πιο αθόρυβες συσκευές (π.χ. υψηλό σηματοθορυβικό λόγο, SNR), έχει στενότερα φασματικά πλάτη και είναι συνήθως γρηγορότερες συσκευές.

Τα DFB lasers έχουν τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης και το υψηλότερο κόστος από τους δύο τύπους. Είναι σχεδόν μονοχρωματικό (εκπέμπει ένα πολύ καθαρό και απλό χρώμα φωτός σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος) ενώ τα FP lasers εκπέμπουν φως που αποτελείται από έναν αριθμό διακριτών μηκών κύματος. Τα DFB lasers τείνουν να χρησιμοποιούνται στις υψηλότερης ταχύτητας ψηφιακές εφαρμογές και στις περισσότερες αναλογικές εφαρμογές εξαιτίας της γρήγορης ταχύτητας τους, του χαμηλότερου θορύβου τους και της καλύτερης γραμμικότητας τους. Τα Fabry-Perot lasers χωρίζονται περαιτέρω σε δύο τύπους, τους buried hetero (BH) και στους multi-quantum well (MQW) τύπους. Τα BH και άλλοι σχετικοί τύποι χρησιμοποιούνταν για πολλά χρόνια, αλλά τώρα οι MQW τύποι είναι πολύ διαδεδομένοι. Τα MQW lasers προσφέρουν περισσότερα σημαντικά πλεονεκτήματα από ότι όλοι οι τύποι των Fabry-Perot lasers. Προσφέρουν χαμηλότερο κατώτατο όριο ρεύματος, υψηλότερη βαθμό απόδοσης, χαμηλό θόρυβο, καλύτερη γραμμικότητα και πολύ καλύτερη σταθερότητα στη θερμοκρασία. Σαν αποτέλεσμα των μεγάλων περιθωρίων απόδοσης των MQW lasers, οι κατασκευαστές laser προμηθεύουν αυτό τον τύπο σε μεγαλύτερες ποσότητες, έτσι το κόστος των laser μειώνεται. Σημαντικό μειονέκτημα των MQW laser είναι ότι είναι επιρρεπής σε φαινόμενα back reflections.

Επίσης έχουμε και τα VCSELs Laser. Τα VCSELs (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser) είναι μια νέα δομή laser που εκπέμπει φως κάθετα από την επιφάνεια του και έχει κάθετη κοιλότητα laser.

Οι αρχές λειτουργίας του VCSEL μοιάζουν πολύ με εκείνων των συνηθισμένων edge-emitting ημιαγωγών laser. Η καρδιά του VCSEL γνωστή ως ενεργός περιοχή, εκπέμπει το φως. Τα στρώματα των ποικίλων ημιαγωγών πάνω και κάτω από την περιοχή κέρδους δημιουργούν τους καθρέφτες. Κάθε καθρέφτης ανακλά ένα στενό εύρος μηκών κύματος πίσω στην κοιλότητα προκαλώντας εκπομπή φωτός σε ένα ενιαίο μήκος κύματος.

Το σχήμα απεικονίζει τη δομή ενός VCSEL.



Σχήμα 1.2.3 – Δομή ενός VCSEL

Υπάρχουν αρκετά πλεονεκτήματα στην παραγωγή VCSELs σε σύγκριση με τη διαδικασία παραγωγής edge-emitting lasers. Τα edge-emitters δεν μπορούν να εξεταστούν κατά τη διάρκεια της παραγωγής τους παρά μόνο στο τέλος της

διαδικασίας παραγωγής. Εάν το edge-emitter δεν λειτουργεί, είτε λόγω των κακών επαφών είτε λόγω της κακής ποιότητας των υλικών, ο χρόνος παραγωγής και τα υλικά επεξεργασίας έχουν σπαταληθεί. Το VCSELS εντούτοις, μπορεί να εξεταστεί σε διάφορα στάδια σε όλη τη διαδικασία παραγωγής. Για παράδειγμα, εάν τα νίσις δεν έχουν καθαριστεί εντελώς από το διηλεκτρικό υλικό κατά τη διάρκεια της χάραξης, μια προσωρινή διαδικασία εξέτασης θα σηματοδοτήσει ότι το κορυφαίο στρώμα μετάλλων δεν κάνει επαφή με το αρχικό στρώμα μετάλλων. Επιπλέον, επειδή το VCSELS εκπέμπει ακτίνες κάθετα στην ενεργό περιοχή του laser σε αντιδιαστολή με τον παράλληλο όπως γίνεται στα edge-emitter, δεκάδες χιλιάδων VCSELS μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία ταυτόχρονα σε ένα wafer αρσενιδίου γαλλίου τριών ιντσών. Επιπλέον, ακόμα κι αν η διαδικασία παραγωγής VCSEL είναι περισσότερο κοπιαστική, η παραγωγή μπορεί να ελεγχθεί σε μια πιο προβλέψιμη έκβαση.

Επιπροσθέτως το μικρό τους μέγεθος και οι καθρέπτες υψηλής αποδοτικότητας παράγουν ένα χαμηλό κατώτατο όριο ρεύματος, λιγότερο από 1 mA. Η συνάρτηση μεταφοράς τους επιτρέπει σταθερότητα για ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, ένα χαρακτηριστικό που είναι μοναδικό σ' αυτόν τον τύπο διόδου laser. Αυτά τα χαρακτηριστικά κάνουν το VCSEL ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν μια σειρά συσκευών.

Το αντηχείο του VCSEL laser αποτελείται από δύο διανεμημένους καθρέπτες ανακλαστήρων Bragg (DBR) παράλληλους στην επιφάνεια wafer με μια ενεργό περιοχή που αποτελείται από ένα ή περισσότερα κβαντικές πηγές (quantum wells) για την ελαφριά παραγωγή laser ενδιάμεσα. Οι επίπεδοι dBR-καθρέπτες αποτελούνται από τα στρώματα με τους εναλλασσόμενους υψηλούς και χαμηλούς διαθλαστικούς δείκτες. Κάθε στρώμα έχει ένα πάχος ενός τετάρτου του μήκους κύματος του laser στο υλικό, που παράγει τις ανακλαστικότητες έντασης επάνω από 99%.

Σε κοινά VCSELS οι ανώτεροι και χαμηλότεροι καθρέπτες εμποτίζονται ως υλικά τύπου p και n, διαμορφώνοντας μια σύνδεση διόδων. Στις πιο σύνθετες δομές, οι περιοχές p και n μπορούν να θαφτούν μεταξύ των καθρεφτών, απαιτώντας μια πιο σύνθετη διαδικασία ημιαγωγών για να κάνουν την ηλεκτρική επαφή στην ενεργό περιοχή, αλλά που περιορίζουν την απώλεια ηλεκτρικής ισχύος στη δομή DBR.

Τα VCSELS για μήκη κύματος από 650 nm έως 1300 nm βασίζονται τυπικά σε wafer αρσενιδίου γαλλίου (GaAs) με DBRs που διαμορφώνονται από GaAs και Aluminium Gallium Arsenide ( $Al_xGa_{(1-x)}As$ ). Το σύστημα GaAs/AlGaAs ευνοείται για την κατασκευή VCSELS επειδή το δικτυωτό πλέγμα του υλικού δεν ποικίλλει έντονα καθώς η σύνθεση αλλάζει. Εντούτοις, ο δείκτης διάθλασης AlGaAs ποικίλλει σχετικά έντονα καθώς το μέρος Al αυξάνεται, ελαχιστοποιώντας τον αριθμό των στρωμάτων που απαιτούνται για να διαμορφώσουν έναν αποδοτικό καθρέπτη Bragg συγκρινόμενο με άλλα υποψήφια συστήματα υλικών. Επιπλέον, στις υψηλές συγκεντρώσεις αλουμινίου, ένα οξείδιο μπορεί να διαμορφωθεί από AlGaAs, και αυτό το οξείδιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιορίσει τη ροή ρεύματος σε ένα VCSEL, ενεργοποιώντας πολύ χαμηλά κατώτατα όρια ρευμάτων.

Πρόσφατα οι δύο κύριες μέθοδοι που περιορίζουν την ροή ρεύματος σε ένα VCSEL χαρακτηρίστηκαν από δύο τύπους VCSELS: Τα εμφυτευμένων ιόντων VCSELS και τα VCSELS οξειδίου.

Οι συσκευές με το μεγαλύτερο μήκος κύματος, από 1300 nm έως 2000 nm, έχουν καταδειχθεί με τουλάχιστον την ενεργό περιοχή κατασκευασμένη από φωσφίδιο του ίνδιου. Τα VCSELS σε υψηλότερα μήκη κύματος είναι πειραματικά και συνήθως οπτικά αντλούμενα. Τα VCSELS στα 1300 nm έχουν γίνει πιο επιθυμητά δεδομένου ότι η ανακλαστικότητα της οπτικής ίνας είναι καταλληλότερη σε μήκη κύματος γύρω από τα 1330 nm.

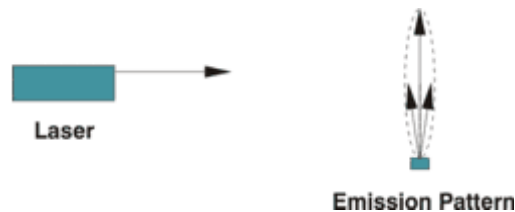
## Χαρακτηριστικά Απόδοσης Διόδων Laser

Αρκετά βασικά χαρακτηριστικά των lasers καθορίζουν την χρησιμότητα τους σε μια εφαρμογή. Αυτά είναι:

**Μήκος Κύματος Μέγ. Ισχύος (Peak Wavelength):** Αυτό είναι το μήκος κύματος στο οποίο η πηγή εκπέμπει τη περισσότερη ισχύ. Θα μπορούσε να σχετιστεί με τα μήκη κύματος που εκπέμπονται με τη λιγότερη εξασθένιση μέσα από την οπτική ίνα. Τα πιο κοινά μήκη κύματος είναι 1310nm, 1550nm και 1625 nm.

**Φασματικό Εύρος (Spectral Width):** Ιδανικά, όλο το εκπεμπόμενο φως από ένα laser θα έπρεπε να είναι στο peak wavelength, αλλά στην πράξη το φως εκπέμπεται σε ένα περιοχή από μήκη κύματος με κεντρικό το peak wavelength. Αυτή η περιοχή καλείται το φασματικό εύρος της πηγής.

**Μορφή Εκπομπής (Emission Pattern):** Η μορφή του εκπεμπόμενου φωτός επιδρά στο ποσοστό του φωτός που μπορεί να συζευχθεί στην οπτική ίνα. Το μέγεθος της εκπεμπόμενης περιοχής πρέπει να είναι αντίστοιχο με τη διάμετρο του πυρήνα της ίνας. Το σχήμα 1.2.4 απεικονίζει τη μορφή εκπομπής ενός laser.



Σχήμα 1.2.4 – Μορφή Εκπομπής ενός Laser

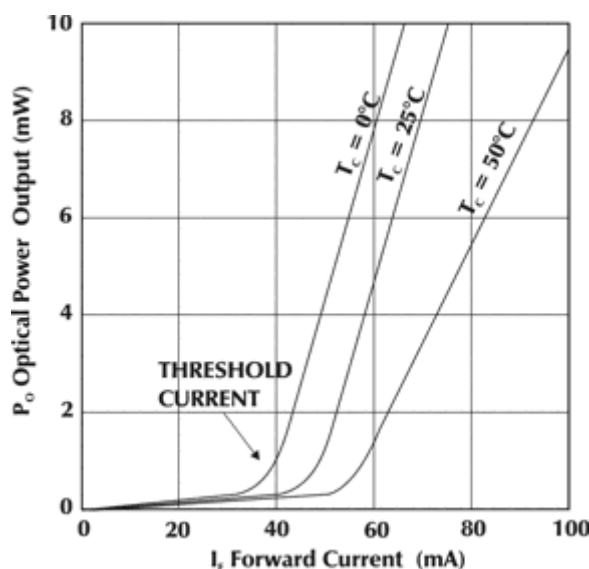
**Ισχύς (Power):** Το καλύτερα αποτελέσματα συνήθως επιτυγχάνονται με την καλύτερη δυνατή σύζευξη δηλαδή όσο περισσότερη ισχύ περάσει από την πηγή μέσα στην οπτική ίνα. Η βασική απαίτηση είναι η ισχύς εξόδου της πηγής να είναι αρκετά «δυνατή» για να παρέχει επαρκή ισχύ στο detector (receiver), λαμβάνοντας υπ' όψη την εξασθένιση της ίνας, τις απώλειες σύζευξης και άλλους περιορισμούς του συστήματος. Γενικά, τα lasers είναι πιο ισχυρά από ότι τα LEDs.

**Ταχύτητα (Speed):** Μια πηγή πρέπει να ανάβει και να σβήνει αρκετά γρήγορα ώστε να πετυχαίνει το εύρος ζώνης του συστήματος. Η ταχύτητα υπολογίζεται σύμφωνα με το χρόνο ανόδου και καθόδου μιας πηγής, το χρόνο που απαιτείται να πάει από το 10% στο 90% της μέγιστης ισχύος. Τα laser έχουν πιο γρήγορους χρόνους ανόδου και καθόδου από ότι τα LEDs.

Η **γραμμικότητα (Linearity)** είναι ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό για πηγές φωτός σε ορισμένες εφαρμογές. Η γραμμικότητα απεικονίζει το βαθμό στον οποίο η οπτική έξοδος είναι άμεσα ανάλογη στο ηλεκτρικό ρεύμα εισόδου. Οι

περισσότερες πηγές φωτός δίνουν μικρή ή και καθόλου προσοχή στη γραμμικότητα, κάνοντας την έτσι χρήσιμη μόνο σε ψηφιακές εφαρμογές. Αναλογικές εφαρμογές απαιτούν μεγάλη προσοχή στη γραμμικότητα. Μη γραμμικότητα στα laser προκαλεί αρμονικές διαταραχές στο αναλογικό σήμα που μεταδίδεται μέσω αναλογικής οπτικής σύνδεσης.

Τα lasers είναι ευαίσθητα στη θερμοκρασία, το κατώτατο όριο lasing θα αλλάξει με τη θερμοκρασία. Το σχήμα 1.2.5 δείχνει την τυπική συμπεριφορά μιας διόδου Laser. Καθώς η θερμοκρασία λειτουργίας αλλάζει, σημαντικές αλλαγές μπορούν να συμβούν. Πρώτα, το κατώτατο όριο ρεύματος αλλάζει. Το κατώτατο όριο ρεύματος είναι πάντα χαμηλότερο στις χαμηλές θερμοκρασίες και αντίθετα. Η δεύτερη αλλαγή που μπορεί να είναι σημαντική είναι η « κλίση – βαθμός απόδοσης». Η «κλίση – βαθμός απόδοσης» είναι ο αριθμός των milliwatts ή microwatts της εκπεμπόμενης οπτικής ισχύς ανά milliampere του αυξανόμενου ρεύματος οδήγησης επάνω από το κατώτατο όριο. Τα περισσότερα laser παρουσιάζουν μια πτώση στην κλίση – βαθμό απόδοσης καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται. Κατά συνέπεια, τα laser απαιτούν μια μέθοδο για να σταθεροποιήσουν το κατώτατο όριο για να επιτύχουν τη μέγιστη απόδοση. Συχνά, μια φωτοδίοδος χρησιμοποιείται για να ελέγξει την έξοδο φωτός στην πίσω όψη του laser. Το ρεύμα από την φωτοδίοδο αλλάζει με τις μεταβολές του φωτός και παρέχει μια ανάδραση για να ρυθμίσει το ρεύμα οδήγησης του laser.



Σχήμα 1.2.5 – Επίδραση της θερμοκρασίας στην Εκπεμπόμενη Οπτική Ισχύ του Laser

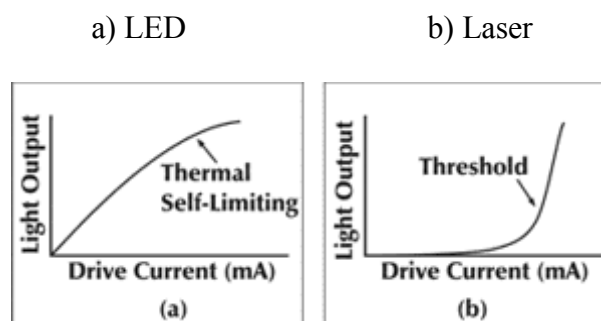
#### 1.2.1.1.2 Τύποι Διόδων LED

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι LED: Τα edge emitters (εκπομπής άκρου) και τα surface emitters (εκπομπής επιφάνειας). (Σχήμα 1.2.7)

Τα edge emitters είναι πιο πολύπλοκες και ακριβές συσκευές, αλλά παρέχουν μεγάλη ισχύ εξόδου και υψηλής ταχύτητας επιδόσεις. Η ισχύς εξόδου είναι υψηλή επειδή το σημείο εκπομπής είναι πολύ μικρό (μικρή επιφάνεια), τυπικά 30 – 50  $\mu\text{m}$ , επιτρέποντας έτσι αποδοτική σύζευξη μεταξύ παρόμοιου μεγέθους οπτικών ινών. Τα edge emitters έχουν σχετικά στενό φάσμα εκπομπής. Το FWHM (full-width, half maximum) είναι τυπικά το 7% του κεντρικού μήκους κύματος. Μια άλλη παραλλαγή του edge emitter είναι το super radiant LED. Αυτές οι συσκευές είναι μια

διασταύρωση ανάμεσα σε ένα τυπικό LED και ένα laser. Έχουν συνήθως μια υψηλή πυκνότητα ισχύος και έχουν κάποια εσωτερική οπτική απολαβή ισχύος όπως ένα laser, αλλά η οπτική έξοδος δεν σχετίζεται, αντίθετα από ένα laser. Τα super radiant LEDs έχουν πολύ στενά φάσματα εκπομπής, τυπικά 1-2% του κεντρικού μήκους κύματος και προσφέρουν επίπεδα ισχύος που συναγωνίζονται μια δίοδο laser.

Ο δεύτερος τύπος LED είναι τα surface emitters. Τα surface emitters έχουν μια πολύ απλή δομή, είναι σχετικά φθηνά, προσφέρουν χαμηλά προς μέτρια επίπεδα ισχύος εξόδου και είναι ικανά για χαμηλές προς μέτριες ταχύτητες λειτουργίας. Η συνολική οπτική ισχύς εξόδου είναι το ίδιο υψηλή ή υψηλότερη από ότι των edge-emitting LEDs, αλλά η περιοχή εκπομπής είναι μεγάλη, προκαλώντας έτσι χαμηλής αποδοτικότητας σύζευξη με την οπτική ίνα. Πρόσθετο μειονέκτημα στην αποδοτικότητα της σύζευξης είναι το γεγονός ότι τα surface-emitting LEDs είναι σχεδόν τέλειοι Lambertian emitters. Αυτό σημαίνει ότι εκπέμπουν φως προς όλες τις κατευθύνσεις. Κατά συνέπεια πολύ λίγο από το συνολικό φως πηγαίνει προς την απαιτούμενη κατεύθυνση για να μεταδοθεί μέσω της οπτικής ίνας.



Σχήμα 1.2.6 – Χαρακτηριστικά Εκπομπών

Το σχήμα 1.2.6 a δείχνει τη συμπεριφορά ενός LED, και το σχήμα 1.2.6 b δείχνει τη συμπεριφορά μιας δίοδου laser. Οι γραφικές μας δείχνουν τη σχέση του εκπεμπόμενου φωτός σε συνάρτηση με το ρεύμα οδήγησης.

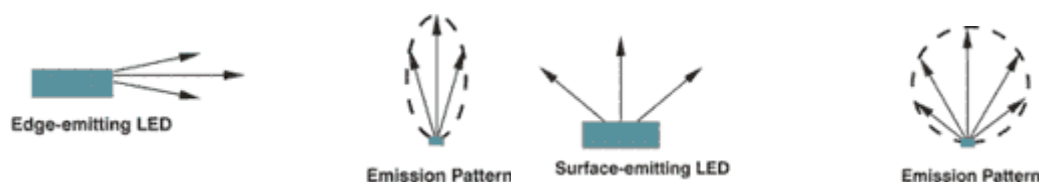
### Χαρακτηριστικά Απόδοσης Διόδων LED

Αρκετά βασικά χαρακτηριστικά των LED καθορίζουν την χρησιμότητα τους σε μια εφαρμογή. Αυτά είναι:

**Μήκος Κύματος Μέγ. Ισχύος (Peak Wavelength):** Αυτό είναι το μήκος κύματος στο οποίο η πηγή εκπέμπει τη περισσότερη ισχύ. Θα μπορούσε να σχετιστεί με τα μήκη κύματος που εκπέμπονται με τη λιγότερη εξασθένηση μέσα από την οπτική ίνα. Τα πιο κοινά μήκη κύματος είναι 780nm, 850nm και 1310nm.

**Φασματικό Εύρος (Spectral Width):** Ιδανικά, όλο το εκπεμπόμενο φως από ένα LED θα έπρεπε να είναι στο peak wavelength, αλλά στην πράξη το φως εκπέμπεται σε ένα περιοχή από μήκη κύματος με κεντρικό το peak wavelength. Αυτή η περιοχή καλείται το φασματικό εύρος της πηγής.

**Μορφή Εκπομπής (Emission Pattern):** Η μορφή του εκπεμπόμενου φωτός επιδρά στο ποσοστό του φωτός που μπορεί να συζευχθεί στην οπτική ίνα. Το μέγεθος της εκπεμπόμενης περιοχής πρέπει να είναι αντίστοιχο με τη διάμετρο του πυρήνα της ίνας. Το σχήμα 1.2.7 απεικονίζει τις μορφές εκπομπής ενός LED.



Σχήμα 1. 2.7 – Μορφές Εκπομπής ενός LED

**Ισχύς (Power):** Το καλύτερα αποτελέσματα συνήθως επιτυγχάνονται με την καλύτερη δυνατή σύζευξη δηλαδή όσο περισσότερη ισχύ περάσει από την πηγή μέσα στην οπτική ίνα. Η βασική απαίτηση είναι η ισχύς εξόδου της πηγής να είναι αρκετά «δυνατή» για να παρέχει επαρκής ισχύ στο detector (receiver), λαμβάνοντας υπ'όψιν την εξασθένηση της ίνας, απώλειες σύζευξης και άλλους περιορισμούς του συστήματος. Γενικά, τα LEDs είναι λιγότερο ισχυρά από ότι τα lasers.

**Ταχύτητα (Speed):** Μια πηγή πρέπει να ανάβει και να σβήνει αρκετά γρήγορα ώστε να πετυχαίνει το εύρος ζώνης του συστήματος. Η ταχύτητα υπολογίζεται σύμφωνα με το χρόνο ανόδου και καθόδου μιας πηγής, το χρόνο που απαιτείται να πάει από το 10% στο 90% της μέγιστης ισχύος. Τα LEDs έχουν πιο αργούς χρόνους ανόδου και καθόδου από ότι τα laser.

Η **γραμμικότητα (Linearity)** είναι ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό για πηγές φωτός σε ορισμένες εφαρμογές. Η γραμμικότητα απεικονίζει το βαθμό στον οποίο η οπτική έξοδος είναι άμεσα ανάλογη στο ηλεκτρικό ρεύμα εισόδου. Οι περισσότερες πηγές φωτός δίνουν μικρή ή και καθόλου προσοχή στη γραμμικότητα, κάνοντας την έτσι χρήσιμη μόνο σε ψηφιακές εφαρμογές. Αναλογικές εφαρμογές απαιτούν μεγάλη προσοχή στη γραμμικότητα. Μη γραμμικότητα στα laser προκαλεί αρμονικές διαταραχές στο αναλογικό σήμα που μεταδίδεται μέσω αναλογικής οπτικής σύνδεσης.

Τα LEDs είναι γενικά πιο αξιόπιστα από ότι τα lasers, αλλά και οι δύο πηγές θα αλλοιωθούν με το πέρασμα του χρόνου. Αυτή η αλλοίωση μπορεί να προκληθεί από ζέστη που παράγεται από την πηγή και από ακανόνιστες υπερτάσεις. Επιπρόσθετα τα LED είναι πιο εύκολα στη χρήση από ότι τα laser.

Τα LEDs τα βρίσκουμε σε μεγάλη ποικιλία σε καταστήματα ηλεκτρονικών προϊόντων. Τα LEDs χρησιμοποιούνται σαν ενδεικτικά λειτουργίας στις περισσότερες ηλεκτρονικές συσκευές και οι δίοδοι laser χρησιμοποιούνται ευρέως σε συσκευές αναπαραγωγής CD. Τα LEDs που χρησιμοποιούνται στις οπτικές ίνες διαφέρουν από τα κοινά LEDs σε δυο σημεία:

- 1 Το μήκος κύματος είναι γενικά κοντά στο υπέρυθρο (επειδή οι απώλειες στο γυαλί είναι μικρότερες σε αυτά τα μήκη κύματος).

2 Η εκπεμπόμενη περιοχή του LED είναι γενικά πολύ μικρότερη για να επιτρέψει το υψηλότερο δυνατό εύρος ζώνης διαμόρφωσης και να βελτιώσει την αποδοτικότητα της σύζευξης με μικρού πυρήνα οπτικές ίνες.

Οι δίοδοι LED και laser έχουν πολλά κοινά. Στην πραγματικότητα όταν λειτουργούν κάτω από το κατώτατο όριο ρεύματος, όλοι οι δίοδοι laser λειτουργούν ως LEDs.

Ο πίνακας 1.2.1 παρέχει μια σύγκριση κάποιων χαρακτηριστικών των LED και των laser.

Characteristic	LEDs	Lasers
<b>Output Power</b>	Linearly proportional to drive current	Proportional to current above the threshold
<b>Current</b>	Drive Current: 50 to 100 mA Peak	Threshold Current: 5 to 40 mA
<b>Coupled Power</b>	Moderate	High
<b>Speed</b>	Slower	Faster
<b>Output Pattern</b>	Higher	Lower
<b>Bandwidth</b>	Moderate	High
<b>Wavelengths Available</b>	0.66 to 1.65 $\mu\text{m}$	0.78 to 1.65 $\mu\text{m}$
<b>Spectral Width</b>	Wider (40-190 nm FWHM)	Narrower (0.00001 nm to 10 nm FWHM)
<b>Fiber Type</b>	Multimode Only	SM, MM
<b>Ease of Use</b>	Easier	Harder
<b>Lifetime</b>	Longer	Long
<b>Cost</b>	Low (\$5-\$300)	High (\$100-\$10,000)

*Πίνακας 1.2.1 - Σύγκριση μεταξύ LED και Laser*

### 1.2.1.2 Είδη Οπτικών Ινών

Έχουμε δύο είδη Οπτικών Ινών και είναι τα ακόλουθα : η πλαστική οπτική ίνα και η ίνα υάλου.

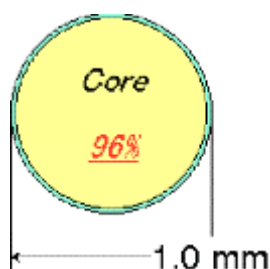
#### 1.2.1.2.1 Πλαστική Οπτική Ίνα (Plastic Optical Fiber)

Η πλαστική οπτική ίνα, εν συντομία POF, είναι μια οπτική ίνα κατασκευασμένη από πλαστικό. Συνήθως χρησιμοποιείται το PMMA (ακρυλικό) ως υλικό για τον πυρήνα (core) και fluorinated polymers για την επικάλυψη (cladding). Στα τέλη του 1990, υψηλότερης ποιότητας πλαστική ίνα, βασισμένη κυρίως σε perfluorinated polymers, άρχισε να εμφανίζεται στην αγορά.

Όπως οι γυάλινες οπτικές ίνες, έτσι και οι πλαστικές μεταδίδουν φωτεινά δεδομένα μέσω του πυρήνα της ίνας. Στις μεγάλης διαμέτρου ίνες το 96% της διατομής είναι ο πυρήνας που επιτρέπει τη μετάδοση του φωτός. Το μέγεθος του



πυρήνα της πλαστικής ίνας σε ορισμένες περιπτώσεις είναι 100 φορές μεγαλύτερο από αυτό της γυάλινης ίνας. Παρά την ευρεία χρήση της γυάλινης οπτικής ίνας, η πλαστική ίνα χαρακτηρίστηκε ως η καταναλωτική ίνα, λόγω της φθηνής εφαρμογής της.



Σχήμα 1.2.8 – Κάθετη Τομή Πλαστικής Ίνας

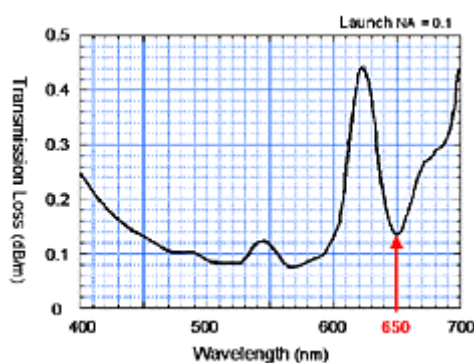
Η παραδοσιακή PMMA ίνα, χρησιμοποιείται συνήθως για χαμηλής ταχύτητας και μικρού μήκους αποστάσεις, όπως σε δικτυακές εφαρμογές σπιτιού και αυτοκινήτων. Οι perfluorinated polymer ίνες χρησιμοποιούνται για πολύ υψηλότερης ταχύτητας εφαρμογές, όπως καλωδιώσεις κτιριακών τοπικών δικτύων.

Στον τομέα των τηλεπικοινωνιών η χρήση της γυάλινης οπτικής ίνας είναι πιο κοινά αποδεκτή, παρά τις δυσκολίες που εμφανίζονται. Παρόλο που το πραγματικό κόστος της γυάλινης ίνας είναι πιο χαμηλό από αυτό της πλαστικής ίνας, το κόστος εφαρμογής είναι πολύ μεγαλύτερο εξαιτίας του ειδικού χειρισμού και των τεχνικών εγκατάστασης που απαιτούνται.

### Χαρακτηριστικά POF

- **Η πλαστική ίνα είναι πολύ «δυνατή» και δύσκαμπτη.** Υπάρχει μόνο μια μικρή απώλεια ακόμα και όταν λυγίζει σε 25mm ακτίνας. Παρ' όλα αυτά μπορεί να εγκατασταθεί μεταξύ τοίχων ή άλλες «στενές» περιοχές. Είναι επίσης κατάλληλη για «επιφώτιση» στενών εγκαταστάσεων.
- **Η εργασία εφαρμογής είναι υπερβολικά εύκολη.** Υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι για μετάδοση, η κοινή όμως είναι η “Hot plate” μέθοδος. Σε αυτήν τη μέθοδο, γίνεται χρήση του πλεονεκτήματος του ότι το υλικό που χρησιμοποιείται είναι πλαστικό, έτσι ώστε τα άκρα της ίνας θερμαίνονται μαλακώνουν και μετά σπρώχνονται προς την επιφάνεια του κατόπτρου. Αυτή η διαδικασία είναι γρήγορη και μπορεί να επαναληφθεί με μικρή απόκλιση. Παρόλα αυτά, η εφαρμογή είναι απλή ακόμα και για αυτούς που δεν έχουν χειριστεί οπτικές ίνες.
- **Συνήθως, γίνεται χρήση οπτικής πηγής LED, 650nm (ερυθρό) για οπτικούς πομποδέκτες POF module.** Εφόσον αυτό το μήκος είναι μέσα στο ορατό οπτικό φάσμα, ενεργεί ως χαρακτηριστικό προστασίας ματιού, επειδή ο χρήστης μπορεί εύκολα να πει αν διατρέχει άμεσο κίνδυνο κοιτώντας κατάματα την οπτική δέσμη. Επίσης, αφού το μήκος κύματος των 650nm, χρησιμοποιείται και ευρέως στις οπτικές πηγές της τεχνολογία DVD, μπορούμε να αναμένουμε την περαιτέρω πτώση του κόστους.
- **Η πλαστική ίνα δεν είναι κατάλληλη για μεγάλης απόστασης μεταδόσεις.** Εν συγκρίσει με την ίνα quartz, υπάρχει μια μεγάλη απώλεια μετάδοσης. Παρόλα αυτά οι εφαρμογές σε σπίτια και σε γραφεία δεν συνιστούν

μεταδόσεις μεγάλων αποστάσεων. Κρίνοντας απαραίτητη την ευκολία στη χρήση, το χαμηλό κόστος και τη σταθερότητα η πλαστική ίνα είναι ιδανική για τέτοιο περιβάλλον.



- **Η πλαστική ίνα είναι ανθεκτική ενάντια σε καταπονήσεις και στο λύγισμα.** Εκτός από την χρήση της ίνας σε υψηλής-ταχύτητας τρέινα και αυτοκίνητα, πρόσφατα άρχισε να χρησιμοποιείται και στα οχήματα, λόγω της αυξημένης ζήτησης των οδηγών για τα πολυμέσα.
- **Η πλαστική ίνα εκπέμπει πολύ λίγο υπέρυθρο χρώμα,** μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ψυχρή ακτινοβολία, ακτινοβολία η οποία δεν παράγει θερμότητα, για εργοστασιακό εξοπλισμό ημιαγωγών και φωτεινές προβολές τέχνης.

Το να καταλάβουμε τα χαρακτηριστικά των διαφορετικών τύπων οπτικών ινών βοηθάει στην κατανόηση των εφαρμογών στις οποίες χρησιμοποιούνται. Η σωστή λειτουργία ενός συστήματος οπτικών ινών βασίζεται στη γνώση του τύπου της οπτικής ίνας που χρησιμοποιούμε και γιατί. Υπάρχουν δυο βασικοί τύποι ινών : η πολύτροπη ίνα και η μονότροπη. Η πολύτροπη ίνα είναι κατάλληλα σχεδιασμένη για μικρές αποστάσεις μετάδοσης και κατάλληλη για χρήση σε τοπικό δίκτυο (LAN) και συστήματα παρακολούθησης. Η μονότροπη ίνα είναι σχεδιασμένη για μεγάλες αποστάσεις μετάδοσης, κάνοντας την κατάλληλη για τηλεφωνία μεγάλης απόστασης και ευρυζωνικά συστήματα πολυκαναλικής τηλεόρασης.

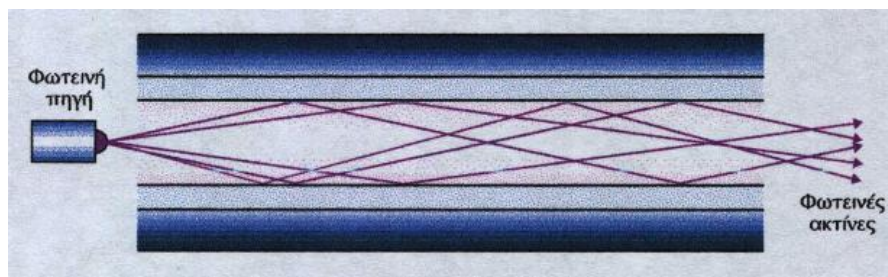
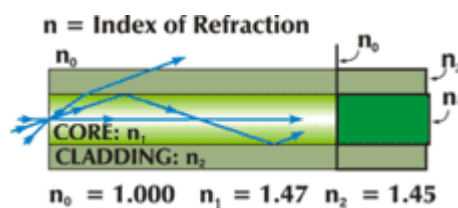
#### 1.2.1.2.2 Πολύτροπη Ίνα

Η πολύτροπη ίνα είναι η πρώτη που κατασκευάστηκε και εμπορευματοποιήθηκε, αναφέρεται απλά στο γεγονός ότι οι πολυάριθμοι τρόποι μετάδοσης ή οι φωτεινές ακτίνες μεταφέρονται (φέρονται) ταυτόχρονα μέσω του κυματοδηγού. Οι τρόποι μετάδοσης προκύπτουν από το γεγονός ότι το φως θα διαδοθεί μόνο στον πυρήνα της ίνας σε συγκεκριμένες γωνίες μέσα στην περιοχή αποδοχής. Αυτός ο τύπος ίνας έχει μια πολύ μεγαλύτερη διάμετρο πυρήνα, έναντι της μονότροπης ίνας, επιτρέποντας έτσι μεγαλύτερο αριθμό τρόπων μετάδοσης και με τη πολύτροπη ίνα είναι ευκολότερο να γίνει σύζευξη από ότι με τη μονότροπη ίνα. Η πολύτροπη ίνα μπορεί να ταξινομηθεί ως step-index ή graded index ίνα.

## Πολύτροπη ίνα διακριτού δείκτη (step-index)

Το σχήμα 1.2.9 δείχνει πως το φαινόμενο της ολικής εσωτερικής ανάκλασης εφαρμόζεται στην πολύτροπη step-index ίνα. Επειδή ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα είναι μεγαλύτερος από το δείκτη διάθλασης του μανδύα, το φως που εισέρχεται με γωνία μικρότερη από την κρίσιμη γωνία οδηγείται κατά μήκος της ίνας.

Τρία διαφορετικά κύματα φωτός ταξιδεύουν στην ίνα. Στον πρώτο τρόπο μετάδοσης η ακτίνα φωτός ταξιδεύει ευθεία στο κέντρο του πυρήνα της ίνας. Στον δεύτερο τρόπο ταξιδεύει υπό μεγάλη γωνία ως προς τον ορίζοντα και χτυπά συνεχώς πάνω και κάτω λόγω της ολικής εσωτερικής ανάκλασης. Στον τρίτο τρόπο μετάδοσης υπερβαίνει την κρίσιμη γωνία και διαθλάται στο μανδύα. Διαισθητικά μπορεί να δει κανείς ότι ο δεύτερος τρόπος μετάδοσης ταξιδεύει για μεγαλύτερη απόσταση από ότι ο πρώτος τρόπος μετάδοσης, προκαλώντας τους δύο τρόπους μετάδοσης να φτάσουν σε διαφορετικούς χρόνους.



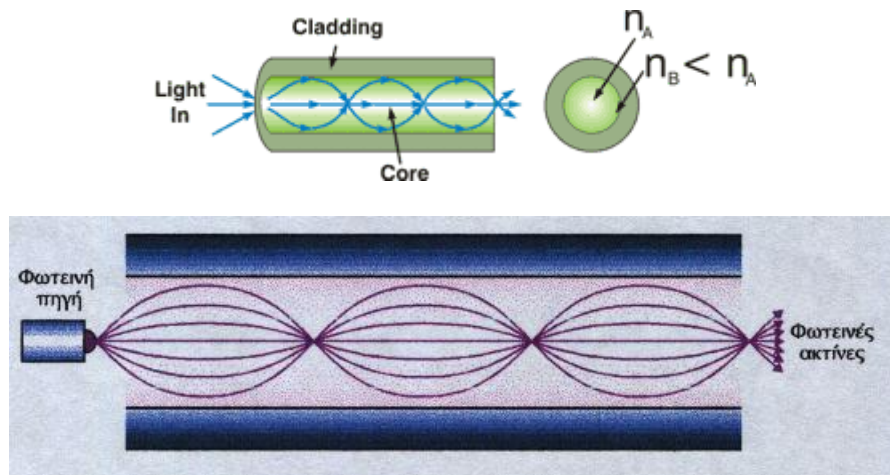
Σχήμα 1.2.9 – Ολική Εσωτερική Ανάκλαση σε Πολύτροπη Step-index ίνα

Αυτή η ανομοιότητα μεταξύ των χρόνων άφιξης των διαφορετικών ακτίνων φωτός καλείται διασπορά, και το αποτέλεσμα είναι ένα ασαφές (θολό) σήμα στο σημείο λήψης (τέλος της ίνας). Παρ' όλα αυτά είναι σημαντικό να πούμε ότι μεγάλη διασπορά είναι ένα αναπόφευκτο χαρακτηριστικό για πολύτροπες step-index ίνες.

## Πολύτροπη ίνα βαθμιαίου δείκτη (Graded-index)

Το Graded-index αναφέρεται στο γεγονός ότι ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα σταδιακά μειώνεται καθώς απομακρύνεται από το κέντρο του πυρήνα. Η αυξημένη διάθλαση στο κέντρο του πυρήνα μειώνει την ταχύτητα ορισμένων ακτινών φωτός, επιτρέποντας σε όλες τις ακτίνες φωτός να φτάσουν στο σημείο λήψης (τέλος της ίνας) περίπου την ίδια χρονική στιγμή, μειώνοντας έτσι τη διασπορά.

Το σχήμα 1.2.10 δείχνει την αρχή λειτουργίας μια πολύτροπης graded-index ίνας. Ο δείκτης διάθλασης στο κέντρο του πυρήνα,  $n_A$ , είναι μεγαλύτερος από το δείκτη διάθλασης στο εξωτερικό σημείο του πυρήνα,  $n_B$ . Όπως είπαμε και προηγουμένως ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα είναι παραβολικός, όντας μεγαλύτερος στο κέντρο του πυρήνα.



Σχήμα 1. 2.10 – Πολύτροπη ίνα βαθμιαίου δείκτη (Graded-index)

Όπως το βλέπουμε στο σχήμα 1.2.10, οι ακτίνες φωτός δεν ακολουθούν πλέον τις ευθείες γραμμές ακολουθούν μια ελικοειδή πορεία βαθμιαία που κάμπτεται πίσω προς το κέντρο λόγω του μικρότερου δείκτη διάθλασης. Αυτό μειώνει τη χρονική διαφορά άφιξης επειδή όλοι οι τρόποι μετάδοσης φθάνουν σχεδόν στο ίδιο χρόνο. Οι τρόποι μετάδοσης που ταξιδεύουν σε μια ευθεία γραμμή είναι σε έναν υψηλότερο δείκτη διάθλασης, έτσι ταξιδεύουν πιο αργά από τους ελικοειδείς τρόπους μετάδοσης. Αυτοί ταξιδεύουν μακρύτερα αλλά κινούνται γρηγορότερα στο μικρότερο δείκτη διάθλασης της εξωτερικής περιοχής του πυρήνα.

### 1.2.1.2.3 Μονότροπη Ίνα

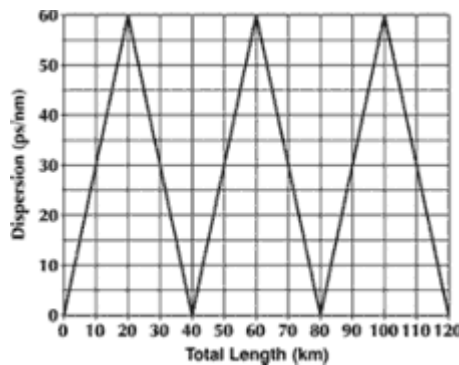
Η μονότροπη ίνα έχει μεγαλύτερη ικανότητα να διαβιβάζει πληροφορίες επειδή μπορεί να διατηρήσει την πιστότητα κάθε φωτεινού παλμού σε μεγαλύτερες αποστάσεις, και δεν παρουσιάζει καμία διασπορά που προκαλείται από τους πολλαπλούς τρόπους μετάδοσης. Η μονότροπη ίνα έχει επίσης μικρότερη εξασθένηση από ότι η πολύτροπη ίνα. Κατά συνέπεια, περισσότερες πληροφορίες μπορούν να μεταδοθούν στην μονάδα του χρόνου. Όπως η πολύτροπη ίνα, η πρόωρη μονότροπη ίνα χαρακτηρίστηκε γενικά ως step-index ίνα που σημαίνει ότι ο δείκτη διάθλασης του πυρήνα της ίνας είναι ένα «βήμα» επάνω από αυτόν του μανδύα της ίνας παρ' όλα αυτά φέρει διαβαθμίσεις σαν να ήταν graded-index ίνα. Οι σύγχρονες μονότροπες ίνες έχουν εξελιχθεί σε πιο σύνθετα σχέδια όπως είναι οι matched clad, οι depressed clad και άλλες «εξωτικές» δομές.

Η μονότροπη ίνα έχει μειονεκτήματα. Η μικρότερη διάμετρος του πυρήνα κάνει τη σύζευξη φωτός μέσω του πυρήνα πιο δύσκολη. Οι ανοχές για τους συνδέσμους της μονότροπης ίνας και splices(συγκολλήσεις) είναι επίσης πιο απαιτητικές.



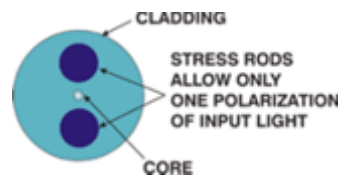
Σχήμα 1.2.11 – Μονότροπη Οπτική Ίνα

Η μονότροπη ίνα εξελισσόταν συνεχώς για αρκετές δεκαετίες. Κατά συνέπεια, υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι μονότροπης ίνας που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα συστήματα τηλεπικοινωνιών. Ο παλαιότερος και ευρύτερα διαδεδομένος τύπος είναι ο *NDSF* (*non dispersion shifted fiber*). Αυτές οι ίνες προορίστηκαν αρχικά για τη χρήση κοντά στα 1310 nm. Αργότερα, τα συστήματα των 1550 nm κατέστησαν την ίνα *NDSF* ανεπιθύμητη λόγω της πολύ υψηλής διασποράς της στο μήκος κύματος των 1550 nm. Για να εξετάσουν αυτήν την ατέλεια, οι κατασκευαστές ινών ανέπτυξαν, την *DSF* (*dispersion-shifted fiber*), όπου «μετακίνησαν» το σημείο μηδενικής διασποράς στην περιοχή των 1550 nm. Χρόνια αργότερα, οι επιστήμονες θα ανακάλυπταν ότι ενώ η *DSF* λειτουργήσε εξαιρετικά καλά με ένα ενιαίο μήκος κύματος των 1550 nm, παρουσιάζει σοβαρές μη γραμμικότητες όταν πολλαπλά, στενά μήκη κύματος στα 1550 nm διαβιβαστούν στα συστήματα *DWDM*. Πρόσφατα, για να εξεταστεί το πρόβλημα της μη γραμμικότητας, ένας νέος τύπος ινών παρουσιάστηκε. Αυτές είναι ταξινομημένες ως *NZ-DSF* (*non zero dispersion shifted fibers*). Η ίνα είναι διαθέσιμη σε ποικιλίες θετικής και αρνητικής διασποράς και στο εξής είναι η πιο διαδεδομένη ίνα που επιλέγεται σε νέα δίκτυα οπτικών ινών.



Σχήμα 1.2.12 – Διασπορά για 20Km μήκους. Εναλλακτικά για (+D) NZ-DSF και (-D) NZ-DSF ίνα

Ένα ακόμα σημαντικό είδος μονότροπης ίνας είναι η *PM* (*polarization – maintaining*). Όλες οι άλλες μονότροπες ίνες που συζητήθηκαν έως τώρα είναι ικανές να μεταφέρουν τυχαία πολωμένο φως. Η *PM* ίνα είναι σχεδιασμένη να μεταδίδει μόνο μια πόλωση του εισερχόμενου φωτός. Αυτό είναι σημαντικό για συσκευές όπως εξωτερικοί διαμορφωτές που απαιτούν μια είσοδο πολωμένου φωτός.

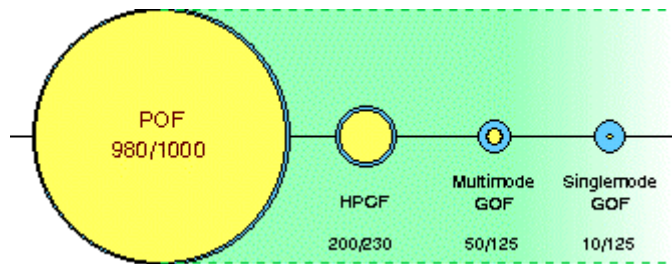


Σχήμα 1.2.13 – Τομή μια Polarization-maintaining ίνας

Το σχήμα 1.2.13 δείχνει την τομή μιας *PM* ίνας. Αυτή η ίνα περιέχει ένα χαρακτηριστικό που δεν φαίνεται στους άλλους τύπους ινών. Εκτός του πυρήνα υπάρχουν δύο πρόσθετοι κύκλοι που καλούνται *stress rods*. Όπως και το όνομα τους υποδηλώνει, αυτά τα *stress rods* προκαλούν πίεση στον πυρήνα της ίνας έτσι ώστε να ευνοείται η μετάδοση μιας μόνο πολωμένης στάθμης φωτός.

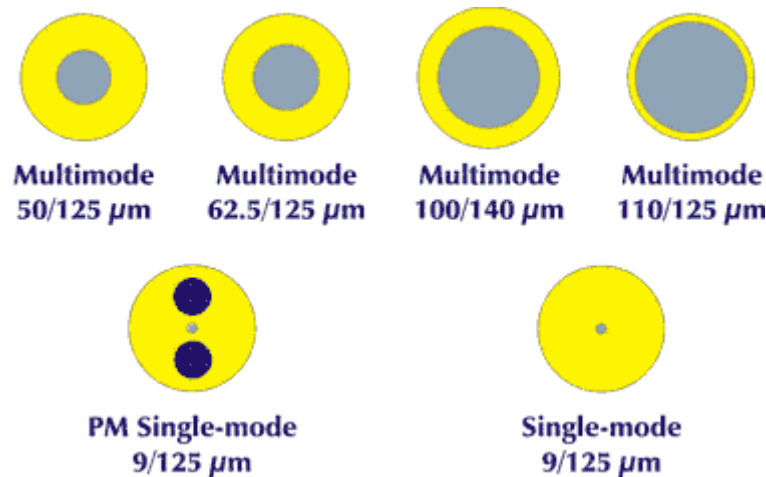
#### 1.2.1.2.4 Διάμετρος Πυρήνα

Η πλαστική ίνα που χρησιμοποιείται στις τηλεπικοινωνίες είναι πολύ μεγαλύτερης διαμέτρου από αυτήν των υπολοίπων ινών. Οι περισσότερες χρησιμοποιούμενες πλαστικές ίνες έχουν διάμετρο περί τα 1000μm, με διάμετρο πυρήνα περί τα 980μm. Χάρης σ' αυτήν τη μεγάλη διάμετρο, η εκπομπή είναι εφικτή ακόμα και στην περίπτωση κατά την οποία η ποιότητα της ίνας έχει υποστεί κακουχίες ή ακόμα και αν ο άξονας της φωτεινής ακτίνας δεν έχει κεντράρει σωστά. Παρ' όλα αυτά, η χρήση συνδέσμων μπορεί να απλοποιήσει και να καταστήσει πιο συμφέρον οικονομικά το κόστος εγκατάστασης.



Σχήμα 1.2.14 – Σύγκριση της πλαστικής ίνας με διάφορα άλλα είδη οπτικών ινών

Τώρα όσον αφορά τη διάμετρο του πυρήνα των γυάλινων οπτικών ινών έχουμε μια ποικιλία ινών που έχουν είτε ίδια εξωτερική διάμετρο αλλά διαφορετική διάμετρο πυρήνα ή ακόμα διαφορετική εξωτερική διάμετρο αλλά και διάμετρο πυρήνα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2.15.



Σχήμα 1.2.15 – Σχέση μεταξύ πυρήνα και μανδύα μιας οπτικής ίνας

Αυτό το σχήμα απεικονίζει τα μεγέθη του μανδύα και του πυρήνα των 6 πιο «διαδεδομένων» οπτικών ινών. Από αυτά τα 6 τα δύο τελευταία, η μονότροπη PM 9/125 μm και η μονότροπη 9/125 μm, είναι τα πιο συνηθισμένα ενώ η πολύτροπη ίνα 110/125 μm είναι η λιγότερο συνηθισμένη από τους 6 αυτούς τύπους ινών.

Βασικά με 5 μόνο μεγέθη οπτικής ίνας είναι πολύ εύκολο να διαλέξεις το σωστό μέγεθος. Υπάρχει επίσης μια ποικιλία μεγαλύτερων ινών αλλά αυτές περιορίζονται σε τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές. Οι μεγαλύτερες ίνες περιλαμβάνουν την 200/230 μm,

την 400/430  $\mu\text{m}$  και την 1000/1050  $\mu\text{m}$ . Η τελευταία ίνα είναι σχεδόν μια γυάλινη «ράβδος».

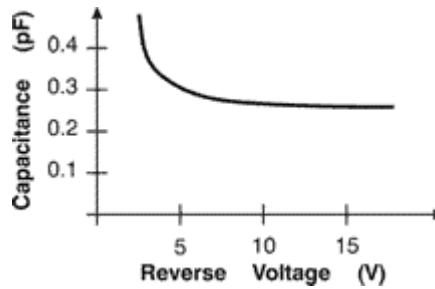
Υπάρχουν φανταστικοί τρόποι για να προσδιορίσεις το μέγεθος μιας οπτικής ίνας. Για παράδειγμα μια πολύτροπη πηγή φωτός (LED) (π.χ. ένας πομπός σήματος εικόνας μέσω οπτικής ίνας), μια απλή δοκιμή μετάδοσης φωτός μπορεί να πραγματοποιηθεί ώστε να προσδιοριστεί το μέγεθος της ίνας. Έτσι έχοντας μια βάση δεδομένων με αποτελέσματα σχετικά με το μέγεθος της ίνας και την εκπεμπόμενη ισχύ μπορούμε να προσδιορίσουμε την άγνωστη οπτική ίνα. Είναι γενικά πολύ εύκολο να ξεχωρίσεις τα μεγέθη των ινών. Ένα μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η πιθανότητα μεγάλης εξασθένησης λόγω ενός κακού συνδέσμου (connector) οπτικής ίνας ή μιας πιεσμένης ή σπασμένης οπτικής ίνας. Έτσι τοποθετώντας το LED και στις δύο άκρες (του καλωδίου) της οπτικής ίνας εναλλάξ θα μειωθεί η πιθανότητα λανθασμένου αποτελέσματος.

### 1.2.1.3 Ανιχνευτές Οπτικών Ινών (Detectors)

Οι ανιχνευτές κάνουν την αντίθετη λειτουργία από αυτή των πομπών φωτός. Μετατρέπουν το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό σήμα που κατόπιν χρησιμοποιείται από συσκευές δεδομένων, ήχου ή εικόνας που βρίσκονται στο τέλος της οπτικής ίνας. Ο πιο συνηθισμένος ανιχνευτής είναι η φωτοδίοδος, η οποία παράγει ρεύμα ανάλογα με το φως που προσπίπτει σε αυτή. Οι ανιχνευτές λειτουργούν βασισμένοι στην αρχή της P-N σύνδεσης. Ένα φωτόνιο που χτυπά τη δίοδο «δίνει» ικανοποιητική ενέργεια σε ένα ηλεκτρόνιο για να μετακινηθεί από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, δημιουργώντας έτσι ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και μια οπή. Εάν η δημιουργία αυτών των φορέων συμβεί σε μια αποσυμφορημένη περιοχή, οι φορείς γρήγορα θα διαχωριστούν και θα παράγουν ρεύμα. Καθώς πλησιάζουν την άκρη της αποσυμφορημένης περιοχής, οι ηλεκτρικές δυνάμεις ελαττώνονται και το ρεύμα παύει. Ενώ οι P-N δίοδοι είναι ανεπαρκής ανιχνευτές για συστήματα οπτικών ινών, η PIN φωτοδίοδος μαζί με τη φωτοδίοδο χιονοστιβάδας (APDs) σχεδιάστηκαν για να αντισταθμίσουν τα μειονεκτήματα της P-N φωτοδίοδου.

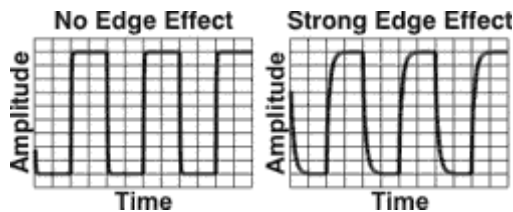
#### Σημαντικοί Παράμετροι των Ανιχνευτών

- **Ευαισθησία (Responsivity):** Είναι ο λόγος του ρεύματος εξόδου προς το φως εισόδου. Υψηλή responsivity ισοδυναμεί με υψηλή ευαισθησία στον δέκτη.
- **Quantum Efficiency:** Είναι ο λόγος των αρχικών ζευγών ηλεκτρονίων-οπών που δημιουργήθηκαν από προσπίπτοντα φωτόνια προς τον αριθμό των φωτονίων που προσέκρουσαν στο υλικό του ανιχνευτή.
- **Χωρητικότητα (Capacitance):** Εξαρτάται από την ενεργό περιοχή της συσκευής και την ανάστροφη τάση διαμέσου της συσκευής. Αυτή η σχέση απεικονίζεται στο σχήμα 1.2.16.
- **Χρόνος Απόκρισης (Response Time):** Είναι ο χρόνος που χρειάζεται η φωτοδίοδος για να ανταποκριθεί σε οπτικά σήματα εισόδου και να παράγει ένα ρεύμα εξόδου.



Σχήμα 1.2.16 – Γραφική παράσταση της χωρητικότητας και της ανάστροφης τάσης

Ο χρόνος απόκρισης μπορεί να επηρεαστεί από το ρεύμα σκότους, το θόρυβο, τη γραμμικότητα, το back reflection και από edge effects (όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2.17). Edge effect μπορεί να προκληθεί από το γεγονός ότι οι ανιχνευτές έχουν γρήγορη απόκριση μόνο στην κεντρική τους περιοχή. Η εξωτερική περιοχή του ανιχνευτή έχει υψηλότερη ευαισθησία από ότι η κεντρική περιοχή, η οποία μπορεί να προκαλέσει προβλήματα κατά την ευθυγράμμιση της ίνας στον ανιχνευτή. Η υψηλότερη ευαισθησία μπορεί να κοροϊδέψει κάποιον νομίζοντας ότι έχει ευθυγραμμίσει την ίνα στην κεντρική περιοχή. Επειδή η απόκριση είναι πολύ πιο αργή στην άκρη, αυτή η κακή ευθυγράμμιση θα μειώσει το χρόνο απόκρισης του ανιχνευτή.

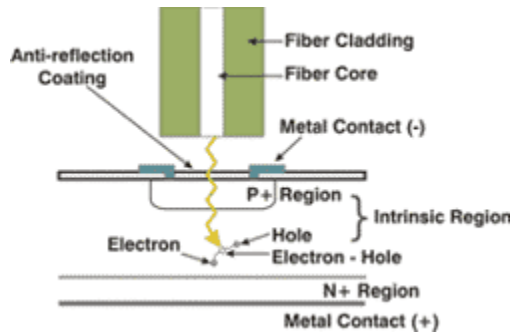


Σχήμα 1.2.17 – Ακραία Αποτελέσματα

### 1.2.1.3.1 PIN Φωτοδίοδος

Το ελάττωμα μιας P – N διόδου σχετίζεται με το γεγονός ότι η ενεργός περιοχή ανίχνευσης είναι πολύ μικρή. Πολλά ζευγάρια ηλεκτρονίων – οπών επανασυνδέονται πριν αυτά μπορέσουν να παράγουν ρεύμα στο εξωτερικό κύκλωμα. Στην PIN φωτοδίοδο, η ενεργός περιοχή είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη. Ένα ελαφρά διεγερμένο φυσικό επίπεδο διαχωρίζει τους περισσότερους διεγερμένους p και n τύπους. Το όνομα της διόδου προέρχεται από τα υλικά των επιπέδων του (positive, intrinsic, negative – PIN). Το σχήμα 1.2.18 δείχνει τη διατομή και τη λειτουργία μιας PIN φωτοδίοδου.

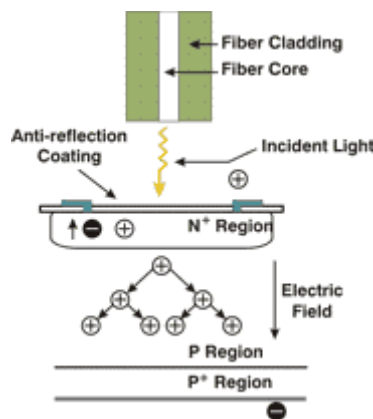




Σχήμα 1.2.18 - PIN φωτοδίοδος

### 1.2.1.3.2 Φωτοδίοδο Χιονοστιβάδας (APD)

Η φωτοδίοδος χιονοστιβάδας λειτουργεί όπως οι αρχικοί φορείς, δηλ. τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και οι οπές που δημιουργούνται από απορροφώμενα φωτόνια, επιταχύνονται, αποκτώντας έτσι κινητική ενέργεια αρκετών ηλεκτρονιοβόλτ. Μια σύγκρουση αυτών των γρήγορων φορέων με ουδέτερα άτομα προκαλεί τους φορείς που έχουν επιταχυνθεί να χρησιμοποιήσουν λίγη από τη δική τους ενέργεια για να βοηθήσουν τα δεσμευμένα ηλεκτρόνια να διαφύγουν από τη ζώνη σθένους. Ελεύθερα ζευγάρια ηλεκτρονίων – οπών, που αποκαλούνται δευτερεύοντες φορείς, εμφανίζονται. Ιονισμός σύγκρουσης καλείται η διαδικασία που δημιουργεί τους δευτερεύοντες φορείς. Όπως οι κύριοι φορείς δημιουργούν δευτερεύοντες, έτσι και αυτοί με τη σειρά τους επιταχύνουν και δημιουργούν νέους φορείς. Συλλογικά, αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως φωτοπολλαπλασιασμός. Ένας τυπικός φωτοπολλαπλασιασμός κυμαίνεται μεταξύ δεκάδων και εκατοντάδων. Για παράδειγμα, ένας πολλαπλασιαστικός παράγοντας ογδόντα σημαίνει ότι, κατά μέσο όρο, ογδόντα εξωτερικά ηλεκτρόνια ρέουν για κάθε φωτόνιο φωτός που απορροφάται.



Σχήμα 1.2.19 – APD φωτοδίοδος

Τα APD απαιτούν υψηλής τάσης τροφοδοτικά για τη λειτουργία τους. Η τάση μπορεί να κυμανθεί από 30 έως 70 Volt για InGaAs APD και πάνω από 300 Volt για Si APD. Αυτό προσθέτει κάποια πολυπλοκότητα στο κύκλωμα. Επίσης τα APD είναι πολύ ευαίσθητα στη θερμοκρασία, που σημαίνει επιπλέον πολυπλοκότητα στα κυκλώματα. Γενικά τα APD είναι χρήσιμα μόνο στα ψηφιακά συστήματα γιατί έχουν

πολύ μικρή γραμμικότητα. Λόγο της πρόσθετης πολυπλοκότητας του κυκλώματος και των υψηλών τάσεων τα APD είναι πάντα λιγότερο αξιόπιστα από ότι οι PIN ανιχνευτές. Αυτό, συν το γεγονός ότι σε μικρότερους ρυθμούς δεδομένων οι δέκτες που βασίζονται σε PIN ανιχνευτές μπορούν σχεδόν να έχουν την ίδια απόδοση με τους δέκτες που βασίζονται σε APD, κάνουν τους PIN ανιχνευτές να είναι η πρώτη επιλογή για τα περισσότερα συστήματα χαμηλής ταχύτητας. Ωστόσο, σε πολλαπλούς Gigabit ρυθμούς δεδομένων τα APD έχουν την απόλυτη κυριαρχία.

Parameter	PIN Photodiodes	APDs
Construction Materials	<a href="#">Si</a> , <a href="#">Ge</a> , <a href="#">InGaAs</a>	Si, Ge, InGaAs
Bandwidth	DC to 40+ GHz	DC to 40+ GHz
Wavelength	0.6 to 1.8 $\mu\text{m}$	0.6 to 1.8 $\mu\text{m}$
Conversion Efficiency	0.5 to 1.0 Amps/Watt	0.5 to 100 Amps/Watt
Support Circuitry Required	None	High Voltage, Temperature Stabilization
Cost (Fiber Ready)	\$1 to \$500	\$100 to \$2,000

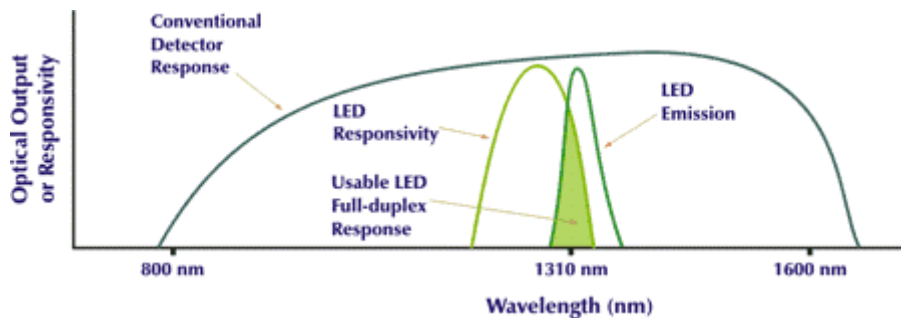
Πίνακας 1.2.2 – Σύγκριση των PIN και APD φωτοδιόδων

### 1.2.1.3.3 Πομποί Φωτός ως Ανιχνευτές

Πομποί φωτός όπως LED και laser, μπορούν να λειτουργήσουν επίσης και σαν ανιχνευτές φωτός, επιτρέποντας μία μοναδική τεχνολογία να αναπτυχθεί, χρησιμοποιώντας πομπούς φωτός σαν ημιαμφίδρομη (half-duplex) επικοινωνίας συσκευές οπτικών ινών. Το σχέδιο αυτό περιλαμβάνει τη χρήση του LED και του laser εναλλακτικά σαν πομπό φωτός, έπειτα σαν ανιχνευτή φωτός, που επιτρέπει την μετάδοση της πληροφορίας και προς τις δύο κατευθύνσεις μέσω της ίνας. Ενώ όλα τα LED και τα laser έχουν την ικανότητα να λειτουργούν σαν ανιχνευτές, λίγοι εκτελούν αυτή τη λειτουργία πολύ καλύτερα από τους περισσότερους. Η παράμετρος κλειδί που αναζητούμε είναι η πολύ αποδοτική σύζευξη μεταξύ του πομπού και της ίνας. Αυτό επιτρέπει καλή απόδοση και με τους δύο τρόπους. Είναι επίσης σημαντικό ότι τα LED έχουν σταθερά φασματικά χαρακτηριστικά. Ενώ ένας καλός InGaAs ανιχνευτής μπορεί να έχει μια ευαισθησία της τάξης των 0.8 A/W σε ένα μήκος κύματος των 1310 nm, ένα LED που λειτουργεί σαν ανιχνευτής μπορεί να έχει ευαισθησία της τάξης των 0.08 A/W στα 1310 nm.

Ο βασικός λόγος για την πολύ μικρότερη απόκριση είναι το γεγονός ότι το LED που λειτουργεί σαν ανιχνευτής έχει σχετικά ένα στενό εύρος φασματικής απόκρισης που δεν υπερκαλύπτεται πλήρως με το φάσμα εκπομπής του LED. Το σχήμα 1.2.20 δείχνει τη φασματική απόκριση ενός InGaAs ανιχνευτή καθώς και το φάσμα εκπομπής ενός InGaAs LED και τη φασματική απόκριση ενός LED ως ανιχνευτής. Μπορούμε να δούμε ότι ένας κανονικός InGaAs ανιχνευτής έχει ένα πολύ ευρύ φάσμα απόκρισης από τα 800 nm έως και πέρα των 1600 nm. Επειδή η απόκριση είναι τόσο ευρεία, ο ανιχνευτής ανταποκρίνεται σε όλα τα φωτόνια που εκπέμπονται από το LED. Το φάσμα εκπομπής ενός LED είναι ένα σχετικά στενό φάσμα, εύρους περίπου 60 nm, με κέντρο περίπου τα 1310 nm. Σημειώστε ότι η φασματική απόκριση του ίδιου LED που λειτουργεί όμως ως ανιχνευτής αλλάζει κατεύθυνση προς τα αριστερά. Το κέντρο της φασματικής απόκρισης είναι περίπου στα 1270 nm. Η ολική απόκριση ως ανιχνευτής είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή ως πομπός. Όμως,

σημειώστε ότι η επικάλυψη ανάμεσα στην φασματική εκπομπή και στη φασματική απόκριση ενός LED είναι σχετικά μικρή. Αυτό εξηγεί την χαμηλή απόκριση χαρακτηριστικό για τα περισσότερα LED που λειτουργούν ως ανιχνευτές. Το πρόβλημα γίνεται ακόμα μεγαλύτερο όταν το LED εκπομπής και το LED ανίχνευσης λειτουργούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Αυτό προκαλεί τις ξεχωριστές φασματικές αποκρίσεις να ολισθαίνουν εξαρτώμενες η μια από την άλλη. Αυτό είτε θα αυξήσει είτε θα μειώσει το ποσοστό της επικάλυψης. Το βασικό μέλημα όταν χρησιμοποιούμε αμφίδρομης (full-duplex) επικοινωνίας LEDs είναι οι διαφορετικές θερμοκρασίες στις οποίες θα βρίσκονται τα δύο άκρα. Οι δίοδοι laser παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά των LEDs.

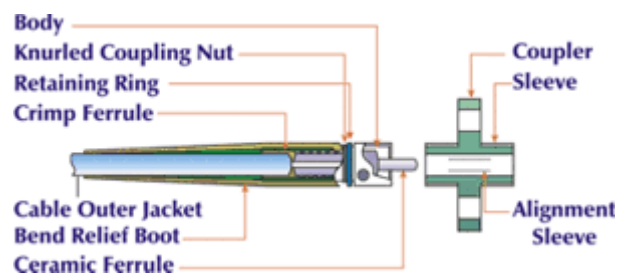


Σχήμα 1.2.20 – Φασματικές αποκρίσεις InGaAs ανιχνευτή, InGaAs LED και LED ως ανιχνευτή

#### 1.2.1.4 Σύνδεσμοι Οπτικών Ινών (Connectors)

Παραδοσιακά οι σύνδεσμοι οπτικών ινών έχουν αποτελέσει το μεγαλύτερο ζήτημα στη χρήση τους σε συστήματα οπτικών ινών. Ενώ οι σύνδεσμοι ήταν άβολοι και δύσκολοι στη χρήση, οι κατασκευαστές συνδέσμων τους τυποποίησαν και τους απλοποίησαν αρκετά. Αυτή η αυξανόμενη «φιλικότητα» προς το χρήστη συνέβαλλε στην αύξηση της χρήσης των συστημάτων οπτικών ινών, επίσης μείωσε και την έμφαση που δινόταν για την φροντίδα και το χειρισμό των οπτικών συνδέσμων.

Σε αυτή την ενότητα θα μιλήσουμε για τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένας σύνδεσμος οπτικών ινών, πως εγκαθίσταται και γενικά για το χειρισμό ενός συνδέσμου ήδη τοποθετημένου σε μια οπτική ίνα. Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένας οπτικός σύνδεσμος περιγράφονται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 1. 2.21 – Τα μέρη ενός συνδέσμου οπτικών ινών

Διασύνδεση ίνας με ίνα μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με συγκόλληση (splice), μια μόνιμη σύνδεση, ή με ένα σύνδεσμο που διαφέρει από τη συγκόλληση στην ικανότητα να αποσυνδέεται και να επανασυνδέεται. Υπάρχουν ωστόσο τόσοι

διαφορετικοί τύποι συνδέσμων οπτικών ινών όσες και οι εφαρμογές για τις οποίες έχουν σχεδιασθεί. Διαφορετικοί τύποι συνδέσμων έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και διαφορετικά χαρακτηριστικά απόδοσης. Παρ' όλα αυτά όλοι οι σύνδεσμοι έχουν 4 όμοια βασικά στοιχεία.

## **1. Ο μεταλλικός κρίκος (Ferrule)**

Η ίνα τοποθετείται σε ένα μακρύ, λεπτό κύλινδρο, το μεταλλικό κρίκο (ferrule), ο οποίος ουσιαστικά είναι ένας μηχανισμός ευθυγράμμισης ινών. Το ferrule είναι τρυπημένο στο κέντρο σε μια διάμετρο λίγο μεγαλύτερη από τη διάμετρο του μανδύα των ινών. Η άκρη της ίνας τοποθετείται στο τέλος του ferrule. Τα ferrules κατασκευάζονται από μεταλλικό ή κεραμικό υλικό αλλά μπορούν επίσης να κατασκευασθούν και από πλαστικό.

## **2. Το σώμα του συνδέσμου**

Επίσης καλείται και προστατευτικό κάλυμμα του συνδέσμου (connector housing). Το σώμα του συνδέσμου κρατά (στηρίζει) το ferrule. Συνήθως κατασκευάζεται από μέταλλο ή πλαστικό και περιέχει ένα ή περισσότερα συναρμολογημένα κομμάτια που κρατούν την ίνα στην θέση της. Οι λεπτομέρειες αυτών των συναρμολογημένων κομματιών διαφέρουν μεταξύ των συνδέσμων, αλλά συγκόλληση και/ ή πτύχωση (τσάκισμα – πρεσάρισμα) χρησιμοποιούνται συνήθως για να συνδέσουν γερά κάποια κομμάτια και το περίβλημα του καλωδίου στο σώμα του συνδέσμου. Το ferrule εκτείνεται πέραν του σώματος του συνδέσμου για να εισέλθει στη συσκευή σύζευξης.

## **3. Το καλώδιο**


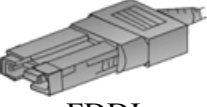

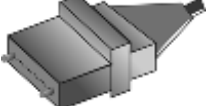
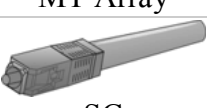
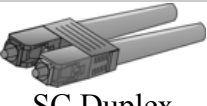

Το καλώδιο συνδέεται στο σώμα του συνδέσμου. Ενεργεί ως το σημείο εισόδου για την ίνα. Τυπικά ένα σφιχτό ενισχυμένο κομμάτι (strain-relief boot) τοποθετείται εξωτερικά στην σύνδεση μεταξύ του καλωδίου και του συνδέσμου, παρέχοντας έτσι καλύτερη σταθερότητα στην ένωση.

## **4. Η συσκευή σύζευξης**

Οι περισσότεροι σύνδεσμοι οπτικών ινών δεν χρησιμοποιούν την αρσενική – θηλυκή (male – female) διαμόρφωση που είναι κοινή στους ηλεκτρονικούς συνδέσμους. Αντ' αυτού χρησιμοποιείται μια συσκευή σύζευξης, όπως ένα κυλινδρικό εξάρτημα (θήκη) ευθυγράμμισης, για να «ζευγαρώσει» τους συνδέσμους. Παρόμοιες συσκευές μπορούν να εγκατασταθούν σε πομπούς οπτικών ινών και δέκτες για να επιτρέψουν αυτές τις συσκευές να ζευγαρωθούν μέσω ενός συνδέσμου. Αυτές οι συσκευές είναι επίσης γνωστές ως feed-through bulkhead διατάξεις προσαρμογής.

Ο πίνακας 1.2.3 παρουσιάζει μερικούς τύπους οπτικών συνδέσμων και τις προδιαγραφές τους. Κάθε τύπος σύνδεσμος είναι καταλληλότερος για συγκεκριμένου τύπου εφαρμογές. Παραδείγματος χάριν, οι σύνδεσμοι τύπου ST είναι μια καλή

επιλογή για εύκολη και γρήγορη εγκατάσταση, ο σύνδεσμος FC έχει floating ferrule που παρέχει καλή μηχανική απομόνωση, ο σύνδεσμος SC προσφέρει άριστη πυκνότητα συσκευασίας, και το ιδανικό του σχέδιο σύνδεσης αποσύνδεσης (push-pull) προστατεύει την άκρη της ίνας από ζημιές κατά τη διάρκεια των πολλαπλών συνδέσεων και αποσυνδέσεων.

Connector	Insertion Loss	Repeatability	Fiber Type	Applications
 FC	0.50-1.00 dB	0.20 dB	SM, MM	Datacom, Telecommunications
 FDDI	0.20-0.70 dB	0.20 dB	SM, MM	Fiber Optic Network
 LC	0.15 db (SM) 0.10 dB (MM)	0.2 dB	SM, MM	High Density Interconnection
 MT Array	0.30-1.00 dB	0.25 dB	SM, MM	High Density Interconnection
 SC	0.20-0.45 dB	0.10 dB	SM, MM	Datacom
 SC Duplex	0.20-0.45 dB	0.10 dB	SM, MM	Datacom
 ST	Typ. 0.40 dB (SM) Typ. 0.50 dB (MM)	Typ. 0.40 dB (SM) Typ. 0.20 dB (MM)	SM, MM	Inter-/Intra- Building, Security, Navy

Πίνακας 1.2.3 – Διάφοροι τύποι Οπτικών συνδέσμων

### Απαιτούμενη προσοχή και σωστός χειρισμός των συνδέσμων οπτικών ινών

Διάφορα γεγονότα μπορούν να καταστρέψουν τους συνδέσμους. Απροστάτευτες άκρες συνδέσμων μπορεί να πάθουν ζημιά από κάποια «σύγκρουση», από αιωρούμενα σωματίδια σκόνης ή από υπερβολική υγρασία. Οι περισσότεροι κατασκευαστές παρέχουν μαζί με τους συνδέσμους και κάποια προστατευτικά καλύμματα. Τα καλύτερα προστατευτικά καλύπτουν ολόκληρο τον σύνδεσμο, αλλά συνήθως είναι πλαστικοί σωλήνες κλειστοί από την μια άκρη που εφαρμόζουν μόνο στο ferrule. Η αυξημένη οπτική ισχύς εξόδου των σύγχρονων laser έχει την δυνατότητα να καταστρέψει ένα σύνδεσμο, ένας συχνά αγνοημένος παράγοντας στις συζητήσεις για το χειρισμό και τη φροντίδα των οπτικών ινών και των συνδέσμων. Οι περισσότεροι σχεδιαστές τείνουν να θεωρούν τα επίπεδα ισχύος στις οπτικές ίνες ως

σχετικά ασήμαντα για την πρόκληση σωματικών βλαβών. Παρ' όλα αυτά μερικά mill watts στα 850 nm μπορούν να προκαλέσουν μόνιμη ζημιά στο αμφιβληστροειδή χιτώνα του ματιού. Σήμερα, οι οπτικοί ενισχυτές μπορούν να παράγουν οπτική ισχύ 1 Watt σε μια μονότροπη ίνα. Αυτό είναι αρκετά σημαντικό αν σκεφτεί κανείς ότι αυτή η οπτική ισχύς περιορίζεται στον πυρήνα της οπτικής ίνας που έχει διάμετρο μόνο μερικά μικρόμετρα. Οι πυκνότητες ισχύος σε μια μονότροπη ίνα που φέρει οπτική ισχύ 1 Watt (+30dBm) μπορεί να φτάσουν τα 3 Megawatt/cm<sup>2</sup> ή ακόμα και τα 30 Gigawatt/m<sup>2</sup>. Για να το ερμηνεύσουμε σε καθημερινούς όρους, το φως του ηλίου στην επιφάνεια της Γης έχει πυκνότητα ισχύος περίπου 1000 Watt/m<sup>2</sup>. Τα περισσότερα οργανικά υλικά θα καούν εάν εκτεθούν σε ακτινοβολίες ενέργειας 100 Kilowatt/m<sup>2</sup>. Σαφώς οι πυκνότητες ισχύος της τάξης των 30 Gigawatt/m<sup>2</sup> αξίζουν προσοχής.

Ακολουθώντας βλέπουμε 3 βασικά στοιχεία που σχετίζονται με το χειρισμό του συνδέσμου.

1. Ποτέ δεν πρέπει να ακουμπάμε την άκρη του οπτικού συνδέσμου
2. Σύνδεσμοι που δεν χρησιμοποιούνται πρέπει να καλύπτονται με ένα πλαστικό κάλυμμα. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι στο εσωτερικό του καλύμματος υπάρχει μια κολλώδη ουσία (υπόλειμμα) που είναι υποπροϊόν του υλικού από το οποίο είναι φτιαγμένο το κάλυμμα. Αυτή η ουσία (υπόλειμμα) θα παραμείνει στο ferrule μετά τη μετακίνηση του καλύμματος.
3. Η χρήση ή όχι index-matching gel, μια ζελατινώδης ουσίας που έχει δείκτη διάθλασης σχετικά ίδιο με αυτό της οπτικής ίνας, είναι ένα σημείο διαμάχης μεταξύ των κατασκευαστών συνδέσμων. Η γλυκερίνη που είναι διαθέσιμη σε οποιοδήποτε φαρμακείο, είναι ένα χαμηλού κόστους, αποτελεσματικό index-matching gel. Παρ' όλα αυτά το index-matching gel μπορεί να μαζέψει σκόνη ή σωματίδια που μπορεί να καταστρέψουν την άκρη της ίνας. Επίσης μπορεί το index-matching gel να διαρρεύσει με το πέρασμα του χρόνου, προκαλώντας έτσι την αύξηση του back reflection.

## **Καθαρισμός**

Ένα ακόμα σημαντικό πράγμα που πρέπει να θυμόμαστε για το χειρισμό των συνδέσμων οπτικών ινών είναι ότι η άκρη της ίνας και το ferrule πρέπει να είναι απολύτως καθαρά πριν τοποθετηθεί σε ένα πομπό ή ένα δέκτη. Σκόνη, χνούδι, λάδι ή άλλα ξένα σωματίδια καλύπτουν την άκρη της ίνας, περιορίζοντας την ακεραιότητα του οπτικού σήματος που στέλνεται μέσω της ίνας. Από την μεριά του οπτικού σήματος, οι βρώμικες συνδέσεις είναι όπως τα βρώμικα παράθυρα. Λιγότερο φως περνά από ένα βρώμικο από ότι από ένα καθαρό.

Είναι δύσκολο να αντιληφθεί κανείς το μέγεθος του πυρήνα ενός συνδέσμου οπτικών ινών. Μονότροπες ίνες έχουν πυρήνες με διάμετρο 8 – 9 μm. Σαν σημείο αναφοράς μια ανθρώπινη τρίχα έχει διάμετρο 50 – 75 μm, περίπου 6 – 9 φορές μεγαλύτερη! Τα σωματίδια σκόνης μπορεί να έχουν διάμετρο 20 μm ή και μεγαλύτερη. Μόρια σκόνης μικρότερα από 1 μm μπορούν να αιωρούνται στον αέρα. Ένα σωματίδιο σκόνης του 1 μm που θα «προσγειωθεί» στον πυρήνα μιας μονότροπης ίνας μπορεί να προκαλέσει απώλειες μέχρι και 1 dB. Μεγαλύτερα μόρια σκόνης (9 μm ή και μεγαλύτερα) μπορούν να καλύψουν τελείως τον πυρήνα μιας μονότροπης ίνας. Οι σύνδεσμοι οπτικών ινών χρειάζεται να καθαρίζονται κάθε φορά που συνδέονται και αποσυνδέονται.

Επίσης πολλά από τα προστατευτικά καλύμματα των συνδέσμων περιέχουν κάποια jelly ουσία που παραμένει στο ferrule όταν αυτό αφαιρεθεί. Ένα φύσημα με αέρα ή ένα γρήγορο βούτηγμα σε οινόπνευμα δεν θα απομακρύνει αυτό το υπόλειμμα. Αυτό το υπόλειμμα μπορεί να αναμιχθεί με τους κοινούς ρύπους και να δημιουργηθεί έτσι μια κολλώδη βρωμιά η οποία προκαλεί το σφήνωμα (κάλυμα) του ferrule στη συνδεδεμένη διάταξη προσαρμογής. Συχνά, το σφηνωμένο ferrule κόβεται στην προσπάθεια κάποιου να το αποσυνδέσει. Το ηθικό δίδαγμα είναι ότι πρέπει πάντοτε ο σύνδεσμος να καθαρίζεται πριν συνδεθεί, ακόμα και αν είχε καθαριστεί πριν τοποθετηθεί το προστατευτικό κάλυμμα.

### 1.2.2 Εξασθένηση

Η εξασθένηση είναι μια σημαντική αιτία στο σύγχρονο κόσμο των ασύρματων τηλεπικοινωνιών. Οι άνθρωποι επηρεάζονται καθημερινά από αυτή καθώς βασίζονται όλο και περισσότερο στα κινητά τηλέφωνα, την τηλεόραση, τη δορυφορική επικοινωνία, και το ασύρματο διαδίκτυο (internet). Η εξασθένηση περιορίζει το εύρος των ράδιο σημάτων και επηρεάζεται από τα υλικά, ένα σήμα πρέπει να ταξιδεύει μέσω π.χ. του αέρα, του ξύλου, του σκυροδέματος ή της βροχής.

Στις οπτικές ίνες, η εξασθένηση είναι ο ρυθμός με τον οποίο το σήμα φωτός μειώνεται σε ένταση. Για αυτόν τον λόγο, η ίνα υάλου (που έχει έναν χαμηλή εξασθένηση) χρησιμοποιείται σε μεγάλου μήκους καλώδια οπτικών ινών, οι πλαστικές ίνες έχουν μεγαλύτερη εξασθένηση και ως εκ τούτου μικρότερο εύρος. Επίσης υπάρχουν οι οπτικοί εξασθενητές που μειώνουν το σήμα σε ένα καλώδιο οπτικών ινών σκόπιμα.

Στις οπτικές ίνες εξασθένηση μπορεί να έχουμε είτε από διασπορά (dispersion), είτε από back reflection, είτε από μη γραμμικότητα (nonlinearities) ή ακόμα και από απώλειες από τους συνδέσμους (connector loss).

### 1.2.3 Διασπορά

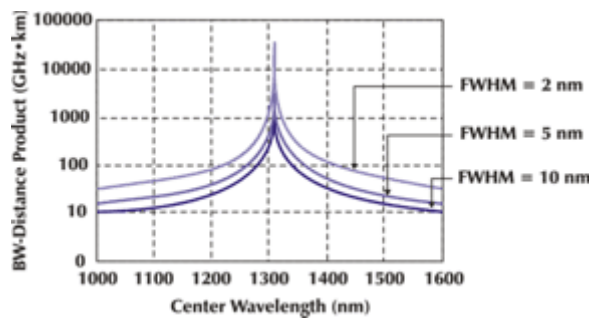
Παλαιότερα, ο κόσμος πίστευε ότι η ίνα κατείχε απεριόριστο εύρος ζώνης και ότι θα ικανοποιούσε τις ανάγκες επικοινωνίας της ανθρωπότητας στο εγγύς μέλλον. Καθώς προέκυψε η ανάγκη να σταλούν πληροφορίες σε όλο και μεγαλύτερες αποστάσεις, η κοινότητα των ατόμων που ασχολείται με τις οπτικές ίνες ανέπτυξε πρόσθετα «παράθυρα» μήκους κύματος που επέτρεπαν πιο μακρινές μεταδόσεις. Η περιοχή των 1550 nm, με εξασθένηση μόνο 0.2 db/Km φαίνεται να είναι η απάντηση. Εκατομμύρια χιλιόμετρα οπτικών ινών εγκαταστάθηκαν σε όλο τον κόσμο δημιουργώντας έτσι ένα υψηλής ταχύτητας δίκτυο επικοινωνιών. Παρ' όλα αυτά καθώς οι ρυθμοί μετάδοσης αυξάνονταν και τα μήκη των οπτικών ινών αυξάνονταν, περιορισμοί λόγω της διασποράς στην ίνα ήταν αδύνατον να αποφευχθούν.

Η διασπορά ήταν αρχικά ένα πρόβλημα όταν εισήχθησαν για πρώτη φορά οι πολύτροπες ίνες διακριτού δείκτη. Οι πολύτροπες ίνες βαθμιαίου δείκτη βελτίωσαν λίγο την κατάσταση, αλλά η μονότροπη ίνα ήταν αυτή που περιορίσε σημαντικά την διασπορά που παρουσίαζαν οι πολύτροπες ίνες και άφησε μόνο τη χρωματική διασπορά και τη διασπορά λόγω τρόπου πόλωσης να εξετασθεί από τους μηχανικούς. Σε αυτό το σημείο θα αναλύσουμε τα δύο είδη διασποράς.

### 1.2.3.1 Χρωματική Διασπορά

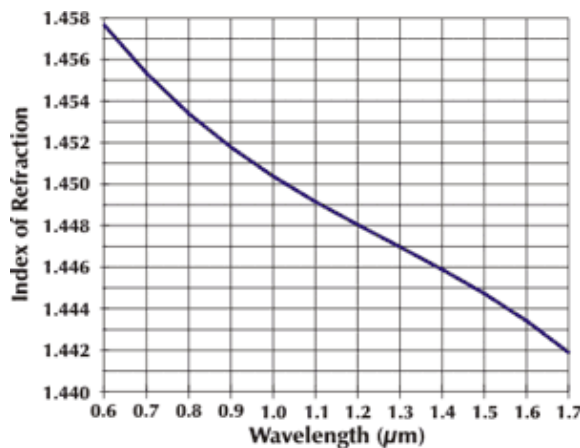
Η χρωματική διασπορά αντιπροσωπεύει το γεγονός ότι διαφορετικά χρώματα ή μήκη κύματος ταξιδεύουν με διαφορετικές ταχύτητες ακόμα και μέσα στον ίδιο ρυθμό. Η χρωματική διασπορά είναι αποτέλεσμα της υλικής διασποράς, της διασποράς κυματοδηγού ή της διασποράς σχεδιαγράμματος. Το σχήμα 1.2.22 παρουσιάζει τη χρωματική διασπορά μαζί με τα βασικά «συστατικά» του κυματοδηγού διασποράς και της υλικής διασποράς.

Το παράδειγμα δείχνει τη χρωματική διασπορά να πηγαίνει προς το μηδέν στο μήκος κύματος κοντά στα 1550 nm. Αυτό είναι χαρακτηριστικό της bandwidth dispersion-shifted fiber (διασποράς εύρους ζώνης μετατοπισμένης ίνας). Η τυποποιημένη ίνα, είτε μονότροπη είτε πολύτροπη έχει μηδενική διασπορά στο μήκος κύματος των 1310 nm.



Σχήμα 1.2.22 – Χρωματική Διασπορά

Κάθε laser έχει ένα εύρος μηκών κύματος όπου η ταχύτητα του φωτός στην οπτική ίνα ποικίλει ανάλογα με το μήκος κύματος. Το σχήμα 1.2.23 απεικονίζει το δείκτη διάθλασης της οπτικής ίνας καθώς αλλάζει ανάλογα με το μήκος κύματος. Από τη στιγμή που ένας παλμός φωτός laser περιέχει πλήθος από μήκη κύματος αυτά τα μήκη κύματος τείνουν να εξαπλωθούν αφού πρώτα διανύσουν κάποια απόσταση στην ίνα. Ο δείκτης διάθλασης της ίνας μειώνεται καθώς το μήκος κύματος αυξάνεται, έτσι μεγαλύτερο μήκος κύματος ταξιδεύει γρηγορότερα. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι ο λαμβανόμενος παλμός είναι πλατύτερος από ότι ο εκπεμπόμενος ή καλύτερα αποτελεί μια υπέρθεση (superposition) των ποικίλων καθυστερημένων παλμών διαφορετικού μήκους κύματος.



Σχήμα 1. 2.23 – Δείκτης Διάθλασης λιωμένου πυριτίου



Μια ακόμα πολυπλοκότητα είναι ότι τα laser τείνουν να έχουν μια ελαφρώς μετατόπιση του μήκους κύματος όταν τίθενται σε λειτουργία, προσθέτοντας αποτελεσματικά κάποια FM διαμόρφωση στο σήμα. Αυτό καλείται chirp και προκαλεί το laser να έχει ένα ακόμα ευρύτερο οπτικό πλάτος. Η επίδραση στη μετάδοση είναι πιο σημαντική στα 1550 nm που χρησιμοποιούν non dispersion-shifted fiber επειδή αυτή η ίνα έχει την υψηλότερη διασπορά που συνήθως εμφανίζεται σε οποιαδήποτε πραγματική εγκατάσταση.

### 1.2.3.2 Διασπορά λόγω τρόπου πόλωσης (PMD)

Η διασπορά λόγω τρόπου πόλωσης (PMD, Polarization Mode Dispersion) είναι άλλη μια σύνθετη οπτική επίδραση που μπορεί να συμβεί σε μονότροπες οπτικές ίνες. Οι μονότροπες οπτικές ίνες υποστηρίζουν δύο κάθετες πολώσεις του αρχικού εκπεμπόμενου σήματος. Εάν ήταν τελείως στρογγυλή και χωρίς καταπονήσεις και τα δύο ήδη πόλωσης θα διαδίδονταν ακριβώς με την ίδια ταχύτητα, έχοντας ως αποτέλεσμα μηδενική διασπορά λόγω τρόπου πόλωσης. Εντούτοις οι ίνες που χρησιμοποιούνται δεν είναι τέλειες, επομένως οι δύο διαδιδόμενες πολώσεις μπορούν να ταξιδέψουν σε διαφορετικές ταχύτητες και συνεπώς να φτάσουν στο τέλος της ίνας σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Το σχήμα 1.2.24 απεικονίζει αυτή την κατάσταση. Η ίνα φαίνεται να έχει ένα «γρήγορο» άξονα και έναν «αργό». Η διαφορά στους χρόνους άφιξης, ομαλοποιείται με το μήκος και είναι γνωστό ως PMD (Polarization Mode Dispersion) ( $\text{ps}/\text{km}^{0.5}$ )



Σχήμα 1.2.24 – Polarization Mode Dispersion

Υπερβολικά επίπεδα PMD που συνδυάζονται με το laser chirp και τη χρωματική διασπορά, μπορεί να παράγουν χρονομεταβλητή (time-varying) σύνθετη δευτερογενής παραμόρφωση (composite second order distortion - CSO) σε συστήματα video που χρησιμοποιούν διαμόρφωση πλάτους. Αυτό οδηγεί σε μια εικόνα που μπορεί να παρουσιάσει ένα κύλισμα ή μια διακεκομμένη διαγώνια γραμμή κατά μήκος της τηλεοπτικής οθόνης.

Όπως στη χρωματική διασπορά, η PMD αναγκάζει τους ψηφιακά μεταδιδόμενους παλμούς να εξαπλωθούν καθώς οι πολωμένοι ρυθμοί φτάνουν στον προορισμό τους σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Για υψηλούς ρυθμούς ψηφιακής μετάδοσης bit, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα bit στο δέκτη ή να περιορίσει την ευαισθησία του δέκτη.

### 1.2.4 Laser Back reflection – Η καταστροφή μιας καλής απόδοσης

Όλα τα laser είναι ευαίσθητα στα back reflections. Τα back reflections διαταράσσουν την ταλάντωση των στάσιμων κυμάτων στην κοιλότητα του laser, αυξάνοντας έτσι το κατώτατο όριο θορύβου του laser. Ένα ισχυρό back reflection προκαλεί σε ορισμένα laser μεγάλη αστάθεια και τα κάνει απολύτως ακατάλληλα

προς χρήση σε ορισμένες εφαρμογές. Ένα back reflection μπορεί επίσης να προκαλέσει μη γραμμικότητες στην απόκριση του laser που συχνά περιγράφονται ως διακοπές (kinks). Αρκετές αναλογικές αλλά και κάποιες ψηφιακές εφαρμογές δεν μπορούν να «ανεχτούν» αυτές τις υποβαθμίσεις.

### **Επεξήγηση των Back reflections**

Η γενική γνώση είναι ότι τα back reflections βλάπτουν την απόδοση μιας σύνδεσης επειδή το ανακλώμενο φως μπαίνει στην κοιλότητα του laser, διαταράσσοντας τα οπτικά στάσιμα κύματα και δημιουργώντας θόρυβο. Ορισμένα laser είναι πολύ ευαίσθητα στο back reflection λόγω του σχεδιασμού του ίδιου του chip του laser. Πολύ συχνά ο καθοριστικός παράγοντας είναι το πόσο «σφιχτά» (καλά) η ίνα συνδέεται με το laser. Σε ένα laser χαμηλής ισχύος μόνο το 5 – 10% της ισχύος του laser περνάει στην ίνα. Αυτό σημαίνει ότι μόνο το 5 – 10% του back reflection θα περάσει στην κοιλότητα του laser, κάνοντας έτσι το laser σχετικά αναισθητο σε backreflections. Από την άλλη μεριά, σε ένα υψηλής ισχύος laser το 50 – 70% της ισχύος εξόδου του laser μπορεί να περάσει στην ίνα. Αυτό σημαίνει ότι 50 – 70% του back reflection περνάει στην κοιλότητα του laser.

#### **1.2.5 Μη γραμμικότητα της ίνας**

Τα φαινόμενα της μη γραμμικότητας εμφανίζονται σαν ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων οπτικών ινών (optical fiber data rates), σαν μήκη μετάδοσης (transmission lengths), σαν πλήθος από μήκη κύματος (number of wavelengths) και σαν αυξημένα επίπεδα οπτικής ισχύος. Τα μόνα προβλήματα που απασχόλησαν τις οπτικές ίνες από τις πρώτες μέρες ήταν η εξασθένηση, και μερικές φορές η διασπορά. Παρ' όλα αυτά, τα παραπάνω προβλήματα αντιμετωπίστηκαν εύκολα με τη χρήση διαφόρων τεχνικών αποφυγής και ακύρωσης της διασποράς. Οι μη γραμμικότητες της ίνας αντιπροσωπεύουν ένα νέο κυρίαρχο εμπόδιο που πρέπει να υπερνικηθεί. Αυτές οι μη γραμμικότητες είχαν εμφανιστεί παλαιότερα σε εξειδικευμένες εφαρμογές όπως οι υποθαλάσσιες εφαρμογές. Εντούτοις, οι νέες μη γραμμικότητες χρειάζονται περισσότερη προσοχή κατά το σχεδιασμό των οπτικών συστημάτων. Στις νέες μη γραμμικότητες περιλαμβάνονται η υποκινούμενη Brillouin σκέδαση (SBS), υποκινούμενη Raman σκέδαση (SRS), μίξη τεσσάρων κυμάτων (FWM), self-phase διαμόρφωση (SPM), cross-phase διαμόρφωση (XPM) και ενδοδιαμόρφωση.

Οι μη γραμμικότητες των ινών αντιπροσωπεύουν τους θεμελιώδεις περιοριστικούς μηχανισμούς στο ποσοστό των δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν σε μία απλή οπτική ίνα. Οι σχεδιαστές συστημάτων πρέπει να γνωρίζουν τους περιορισμούς αυτούς και τα μέτρα που πρέπει να λάβουν για να ελαχιστοποιήσουν τα καταστροφικά αποτελέσματα της μη γραμμικότητας των ινών.

#### **1.2.6 Μετρήσεις Ελέγχου Απώλειας Συνδέσμων (Connector Loss Test Measurements)**

Στην ιδανική σύνδεση μιας ίνας με μια άλλη θα έπρεπε να είχαμε δύο ίνες που θα ήταν οπτικά και φυσικά ίδιες, και που θα συγκρατούνται με ένα βύσμα ή με συγκόλληση (splice) ευθυγραμμισμένες ακριβώς στους κεντρικούς τους άξονες. Παρ'

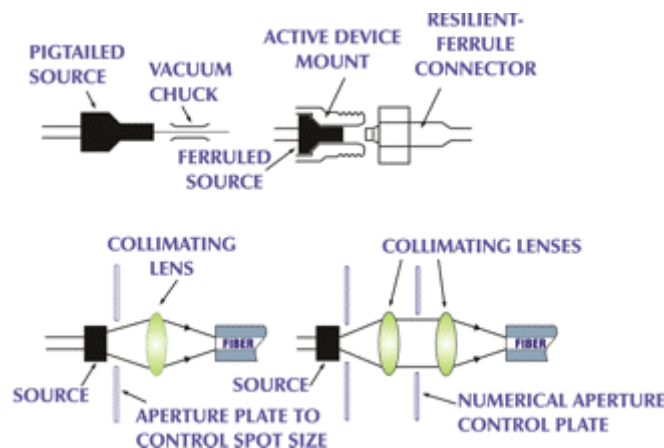
όλα αυτά, στην πραγματικότητα, απώλειες λόγω σύνδεσης ινών είναι γεγονός. Insertion loss είναι η κύρια αιτία για την απόδοση των συνδέσεων. Υπάρχουν τρία είδη insertion loss : απώλειες που σχετίζονται με την ίνα, απώλειες που σχετίζονται με τους συνδέσμους και παράγοντες του συστήματος που συμβάλλουν στις απώλειες. Λόγω της ασυμφωνίας μεταξύ του ελέγχου του insertion loss και της απόδοσης των συνδέσεων, οι χρήστες πρέπει να κατανοήσουν τις μεθόδους ελέγχου που χρησιμοποιούνται για να μετρηθεί το insertion loss. Τα καλύτερα αποτελέσματα ελέγχου επιτυγχάνονται όταν κομμάτια ίνας συνδέονται στη πηγή και τον ανιχνευτή ως μόνιμα μέρη του συστήματος ελέγχου. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγονται διαφορές των αποτελεσμάτων, από δοκιμή σε δοκιμή, που προκαλούνται λόγω απωλειών σύνδεσης της πηγής και του ανιχνευτή.

### 1.2.6.1 Στοιχεία που απαιτούνται στα συστήματα μέτρησης

Υπάρχουν διάφορα στοιχεία που απαιτούνται για να ελέγξουν τις απώλειες σύνδεσης.

1. **Πηγές Φωτός :** Οι πηγές φωτός περιλαμβάνουν τα laser, τα LED, ευρυζωνικές πηγές ή συσκευές μονοχρωματισμού.

A) Τα laser και οι φωτοдиодοι εκπομπής (LEDs) χρησιμοποιούνται ευρέως ως πηγές. Τα σημαντικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν την ισχύ εξόδου, την ταχύτητα, τον τύπο εξόδου (output pattern) ή το αριθμητικό άνοιγμα (NA), το φασματικό εύρος, τη συμβατότητα μεταξύ των διαφορετικών τύπων ινών, την ευκολία στη χρήση, τη διάρκεια ζωής, και το κόστος. Το σχήμα 1.2.25 απεικονίζει τις διάφορες μεθόδους αλληλεπίδρασης μια πηγής φωτός σε μια οπτική ίνα.



Σχήμα 1.2.25 – Μέθοδοι αλληλεπίδρασης μιας Πηγής φωτός σε μια Ίνα.

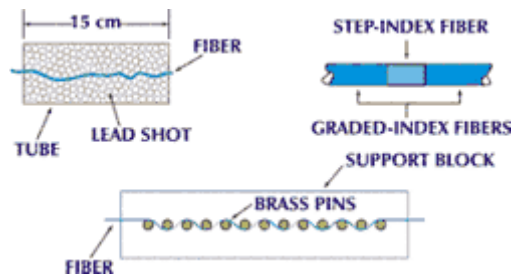
B) Ευρυζωνικές Πηγές : Κάποτε ήταν δημοφιλής αλλά τώρα σπάνια χρησιμοποιούνται, τυπικές πηγές πυρακτώσεως περιλαμβάνουν λυχνίες χαλαζία, αλογόνο ή ξένον με φίλτρα παρεμβολής. Εάν είναι δυνατό το φίλτρο πρέπει να έχει μια ζώνη διέλευσης (band pass) που να προσεγγίζει την έξοδο της πηγής που χρησιμοποιείται στο προτεινόμενο σύστημα έτσι

ώστε να ταιριάζει καλύτερα για μήκη κύματος εξαρτώμενα από τα χαρακτηριστικά των ινών όπως το NA, την εξασθένηση και τη διασπορά.

C) Συσκευές μονοχρωματισμού : Αυτή η συσκευή απομονώνει τα στενά τμήματα φωτός διαχωρίζοντας το φως στα θεμελιώδη μήκη κύματος (βασικά). Οι περισσότερες εμπορικές συσκευές μονοχρωματισμού παρουσιάζουν πολύ χαμηλή ενέργεια από πλευράς απόδοσης (παραγωγής) και επιλέγουν ένα πολύ στενό εύρος ζώνης.

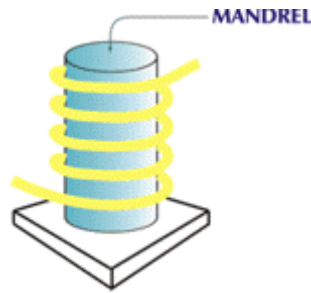
2. **Mode Scramblers** : Οι mode scramblers αναμειγνύουν φως για να διεγείρουν κάθε πιθανό τρόπο εκπομπής μέσα στην ίνα. Ο ευκολότερος mode scrambler μπορεί να γίνει με ένα σωλήνα μήκους 15 cm και διαμέτρου τουλάχιστον 7 cm που γεμίζεται με 1 mm σφαιρίδια μόλυβδου (σκάγια) μέσα από τον οποίο περνά η «γυμνή» ίνα.

Ένας άλλος τύπος χρησιμοποιεί μια σειρά από μπρούτζινα pin με διάμετρο 1/8 της ίντσας μέσα από τα οποία η ίνα περνά με ζικ ζακ. Τα λυγίσματα (bends) σε κάθε ένα από τους παραπάνω τύπους προκαλούν ένα mode coupling που «γεμίζει» (ικανοποιεί) την ίνα. Ένας πιο σύνθετος scrambler είναι η συγκόλληση με splice τριών τμημάτων ίνας όπου το πρώτο είναι βαθμιαίου δείκτη το δεύτερο διακριτού δείκτη και το τρίτο πάλι βαθμιαίου δείκτη. Το τμήμα ίνας διακριτού δείκτη έχει συνήθως μήκος 1 μέτρο. Οι ασυνέχειες που προκύπτουν αναμειγνύουν το φως, παρ' όλα αυτά, scramblers συγκόλλησης με splice είναι δύσκολο να κατασκευαστούν και είναι ευπαθή, παρουσιάζοντας λιγότερο από το 20% της αρχικής μηχανικής αντοχής της ίνας.



Σχήμα 1.2.26 – Mode Scrambler

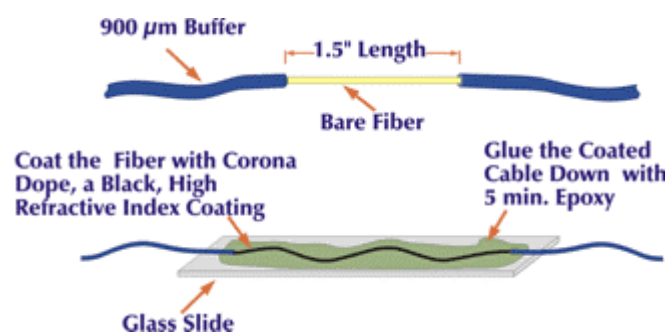
3. **Core Mode Filter**: Το φίλτρο τύπου Mandrel wrap core mode επιτρέπει την απομάκρυνση των high-order σημάτων από τον πυρήνα. Τα high-order σήματα ταξιδεύουν αρκετά μέτρα μέσω της ίνας διαρρέουν στο μανδύα και χάνονται. Αυτό οδηγεί σε ένα εξερχόμενο αριθμητικό άνοιγμα (NA) μικρότερο από το πρακτικό NA της ίνας. Μια ίνα που έχει φτάσει σε τυπική ισορροπία, μαζί με το μειωμένο NA, λέγεται ότι παρουσιάζει συνθήκες long-launch.



Σχήμα 1.2.27 – Φίλτρο Mandrel wrap core mode

Από το να εξετάζεις την απώλεια του συνδέσμου μέσω αρκετών εκατοντάδων μέτρων ίνας, τα core mode filters προσομοιώνουν αυτή την απόσταση. Ένα τυπικό core mode filter για τη μικρότερη ίνα είναι 12.5 mm διαμέτρου άξονας γύρω από τον οποίο η ίνα τυλίγεται 5 φορές υπό μηδενικές «τάσεις». Το φίλτρο αυτό μειώνει το εξερχόμενο NA περίπου κατά 50% από το πραγματικό NA της ίνας. Επίσης μειώνει κατά 50% την εκπεμπόμενη περιοχή φωτός του πυρήνα μιας βαθμιαίου δείκτη ίνας. Αυτή η μείωση στην εκπεμπόμενη περιοχή επηρεάζει την απόδοση ενός συνδέσμου ή και μια συγκόλλησης (splice) κατά τη διάρκεια μετρήσεων εξασθένησης.

4. **Cladding Mode Stripper:** Η χρήση του άξονα τυλίγματος που περιγράψαμε παραπάνω ανακατεύει τα mode ή αφαιρεί (διαχωρίζει) τα high order modes. Αυτό το διαχωρισμένο φως δεν έχει που να πάει εκτός από το μανδύα. Σε μικρού μήκους ίνα ή σε εγκαταστάσεις όπου ο άξονας τυλίγματος βρίσκεται στο τέλος της ίνας, αυτό το φως που εκτρέπεται στο μανδύα μπορεί να είναι ουσιαστικό. Είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ένα cladding mode stripper για να απομακρυνθούν αυτά τα mode, το οποίο είναι ενσωματωμένο σε μια ίνα χωρίς μανδύα, και επικαλυμμένη με corona dope ή κάποιο άλλο υγρό με δείκτη διάθλασης μεγαλύτερο από του μανδύα. Η Corona Dope έχει το πλεονέκτημα ότι έχει χαμηλό κόστος, έχει έναν υψηλό δείκτη διάθλασης, και το επικαλυπτικό στρώμα είναι μαύρο.



Σχήμα 1.2.28 – Cladding Mode Stripper

5. **Συστήματα Ανίχνευσης :** Οπτικά πολύμετρα, επίσης γνωστά ως οπτικοί μετρητές ισχύος (οπτικά ισχυόμετρα), διαβάζουν τα οπτικά επίπεδα ισχύος. Το όργανο είναι απολύτως ηλεκτρονικό με αισθητήρες που συνδέονται μέσα στην μονάδα. Διαφορετικοί αισθητήρες είναι διαθέσιμοι για χρήση σε διαφορετικά επίπεδα ισχύος και μήκη κύματος λειτουργίας. Διατάξεις προσαρμογής

επιτρέπουν γυμνές ίνες ή ποικιλία από συνδέσμους να συνδεθούν σε έναν αισθητήρα. Ένα μειονέκτημα του πολυμέτρου είναι ότι σε πολλές εφαρμογές και οι δύο άκρες της ίνας πρέπει να είναι διαθέσιμες. Ένας οπτικός time-domain μετρητής ανάκλασης επιτρέπει να γίνονται μετρήσεις όταν μόνο ένα άκρο της ίνας είναι διαθέσιμο. Αυτή η συσκευή βασίζεται στο backscattering του φωτός που συμβαίνει στην οπτική ίνα.

### 1.2.6.2 Insertion Loss Test

Οι δοκιμές εισαγωγής εξασθένησης θα μειώσουν την επιρροή των σχετικά με την ίνα απωλειών. Μια γενική δοκιμή πρέπει να μπορεί να αναπαραχθεί και να παρέχει εφαρμόσιμα αποτελέσματα. Οι περισσότερες δοκιμές μετρούν την ισχύ εξόδου ( $P_1$ ) για ένα συγκεκριμένο μήκος της ίνας. Έπειτα η ίνα κόβεται στη μέση και terminated με έναν σύνδεσμο ή ένα splice. Η ισχύς εξόδου ( $P_2$ ) μετριέται πάλι. Η απώλεια εισαγωγής δίνεται από:

$$\text{Loss (dB)} = 10 \cdot \log_{10} (P_1/P_2)$$

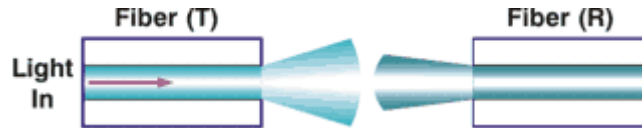
Η ίνα πρέπει να είναι σπασμένη ακριβώς στη μέση για να παραγάγει μια ίδια ίνα σε κάθε πλευρά του splice. Αυτή η μέθοδος εξαλείφει εσκεμμένα προκληθείσες απώλειες της ίνας προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση συνδέσμων ανεξάρτητα από τις παραλλαγές που σχετίζονται με τη ίνα. Τρία είδη launch συνθηκών έχουν ενδιαφέρον.

1. Short launch, short receive: Αντιπροσωπεύεται από μικρού μήκους ίνες χωρίς άξονα τυλίγματος ούτε στην μια ούτε στην άλλη άκρη (άκρη εκπομπής και άκρη λήψης). Short launch, short receive καταστάσεις παρουσιάζουν απώλειες που αυξάνονται με τη μικρότερη μηχανική μετατόπιση (offset) της σύνδεσης. Η πλευρική μη ευθυγράμμιση είναι μια κρίσιμη παράμετρος κάτω από αυτές τις συνθήκες.
2. Long launch, short receive: Ένας άξονας τυλίγματος (mandrel wrap) υπάρχει στην άκρη εκπομπής της ίνας (αρχή της ίνας) αλλά όχι στην άκρη λήψης (τέλος της ίνας). Αυτή η κατάσταση μειώνει το εξερχόμενο NA της ίνας και οι end-separation απώλειες είναι μικρότερες. Από τότε που όλος ο πυρήνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί, καλύτερος διαχωρισμός των ινών μπορεί να επιτευχθεί.
3. Long launch, long receive: Αυτή η κατάσταση δημιουργείται με τη χρησιμοποίηση ενός άξονα τυλίγματος και στις δύο άκρες και παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία σε πλευρική μη ευθυγράμμιση παρά στις άλλες δύο καταστάσεις. Επειδή η ενεργός περιοχή του πυρήνα και στις δύο ίνες μειώνεται, κάθε μετατόπιση (offset) αυξάνει την εξασθένηση πιο πολύ.

Η δοκιμή εισαγωγής απώλειας υπέθεσε ότι δύο κομμάτια της ίδιας ίνας χρησιμοποιήθηκαν. Παρ' όλα αυτά εάν δύο διαφορετικοί τύποι ινών συνδεθούν, τότε οι απώλειες λόγω διαφορετικών NA (numerical aperture) αλλά και οι απώλειες λόγω της διαμέτρου πρέπει να ερμηνευθούν.

### 1.2.6.3 Απώλειες λόγω διαφορετικών NA

Απώλειες λόγω διαφορετικών NA συμβαίνουν όταν το numerical aperture (NA) της ίνας εκπομπής (που στέλνει δεδομένα, t) είναι μεγαλύτερο από αυτό της ίνας λήψης (που λαμβάνει, r).



Σχήμα 1.2..29 – Απώλειες λόγω διαφορετικού NA

Οι απώλειες λόγω NA υπολογίζονται προσεγγιστικά από τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Loss}_{\text{NA}} = 10 \cdot \log_{10} (\text{NA}_t / \text{NA}_r)$$

### 1.2.6.4 Δοκιμές απώλειας λόγω διαφορετικής διαμέτρου πυρήνα/ μανδύα

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.2.30, ανομοιομορφία της διαμέτρου του πυρήνα έχουμε όταν η διάμετρος του πυρήνα της ίνας εκπομπής (t) είναι μεγαλύτερη από τη διάμετρο του πυρήνα της ίνας λήψης (r). Η ανομοιομορφία του μανδύα είναι παρόμοια με τις απώλειες λόγω ανομοιομορφίας της διαμέτρου του πυρήνα με τη διαφορά ότι η διάμετρος του μανδύα της ίνας εκπομπής διαφέρει από τη διάμετρο του μανδύα της ίνας λήψης. Και οι δύο ανομοιομορφίες, του πυρήνα και του μανδύα, εμποδίζουν την ευθυγράμμιση των πυρήνων.



Σχήμα 1.2.30 – Ανομοιομορφία στη διάμετρο του πυρήνα

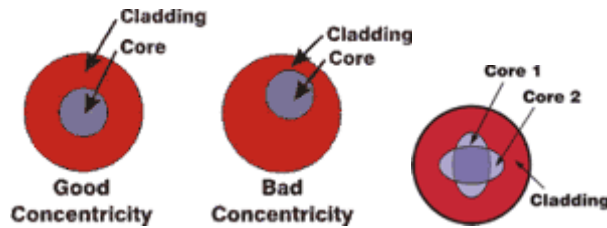
Και οι δύο τύποι απωλειών υπολογίζονται προσεγγιστικά από τον τύπο:

$$\text{Loss}_{\text{dia}} = 10 \cdot \log_{10} (\text{dia}_t / \text{dia}_r)^2$$

Αυτή η εξίσωση είναι ακριβής μόνο εάν όλοι οι ρυθμοί στην ίνα είναι «διεγερμένοι». Εάν μόνο οι lower-order ρυθμοί είναι διεγερμένοι, η απώλεια μειώνεται πολύ και μπορεί να μην υπάρξει και καθόλου.

### 1.2.6.5 Δοκιμές απώλειας λόγω ευθυγράμμισης

Concentricity συμβαίνει επειδή ο πυρήνας δεν είναι απόλυτα κεντραρισμένος στο μανδύα. Η ελλειπτικότητα (ellipticity) περιγράφει το γεγονός ότι ο πυρήνας ή ο μανδύας μπορεί να είναι ελλειπτικοί παρά κυκλικοί. Η ευθυγράμμιση των δύο ελλειπτικών πυρήνων ποικίλει ανάλογα με το τρόπο που οι ίνες «ενώνονται». Αυτά τα είδη απωλειών φαίνονται στο σχήμα 1.2.31.



Σχήμα 1. 2.31 – Concentricity και Ellipticity (Ομοκεντρικότητα και Ελλειπτικότητα)

Απώλειες που σχετίζονται με το σύνδεσμο μπορούν να προκύψουν επίσης και από μηχανική μη ευθυγράμμιση των πυρήνων των οπτικών ινών. Υπάρχουν διάφοροι τύποι απωλειών λόγω μη ευθυγράμμισης όπως: πλευρική μετατόπιση (lateral displacement), γωνιακή μη ευθυγράμμιση (angular misalignment) και end separation.

Ένας σύνδεσμος πρέπει να ευθυγραμμίσει τις ίνες στους κεντρικούς τους άξονες, αλλά όταν ένας άξονας μιας ίνας δεν συμπίπτει με τον άξονα μιας άλλης ίνας, έχουμε πλευρική μετατόπιση. Μια μετατόπιση μόνο 10% της διαμέτρου του άξονα του πυρήνα οδηγεί σε μια απώλεια περίπου 0.5 db. Οι άκρες των συνδεδεμένων ινών πρέπει να είναι κάθετες στους άξονες των ινών αλλά και η μια στην άλλη. Η αποτυχία να είναι κάθετες καλείται γωνιακή μη ευθυγράμμιση. Τα σχήματα που ακολουθούν μας δείχνουν αυτά τα δύο είδη απωλειών.



Σχήμα 1. 2.32 – Πλευρική μη ευθυγράμμιση



Σχήμα 1.2.33 – Γωνιακή μη ευθυγράμμιση

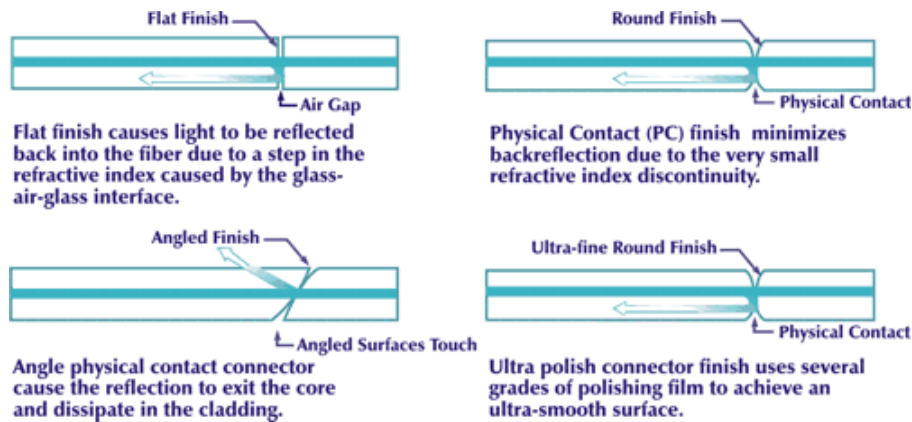
#### 1.2.6.6 Απώλεια αντανάκλασης Fresnel

Κάποιοι από τους συνδέσμους κρατούν τις δύο ίνες ελαφρώς σε απόσταση για να αποφευχθεί πιθανό τρίψιμο μεταξύ τους καταστρέφοντας έτσι τις γυαλισμένες τους άκρες. Απώλεια αντανάκλασης Fresnel ή end separation προκαλείται από τη διαφορά στους δείκτες διάθλασης των δύο ινών και του αέρα που συμπληρώνει το κενό μεταξύ των δύο ινών. Κάποιοι κατασκευαστές συνδέσμων πιστεύουν ότι η χρήση του gel για το ταίριασμα του δείκτη διάθλασης, γνωστό ως index-matching gel, στο κενό μεταξύ των ινών θα μειώσει τις απώλειες αντανάκλασης Fresnel, αλλά άλλοι κατασκευαστές δεν συνιστούν τη χρήση τέτοιου gel. Αυτό το κενό μπορεί να συλλέξει μικρά τραχιά σωματίδια που θα καταστρέψουν τις άκρες των ινών και η προσθήκη αυτού του gel θα μπορούσε να αυξήσει αυτή την μόλυνση.

Σε μια μονότροπη ίνα διασύνδεση με επίπεδο τελείωμα, οι απώλειες αντανάκλασης Fresnel μπορεί να είναι τουλάχιστον - 11dB, ένα ικανοποιητικό επίπεδο για να διαταράξει τη λειτουργία του laser. Αυτές οι απώλειες μπορούν να μειωθούν στρογγυλεύοντας την άκρη των ινών κατά τη φάση του γυαλίσματος, ή της τελειοποίησης (αποκαλούμενο PC ή φυσικό τελείωμα επαφών). Ενώ θα φαινόταν



πρακτικό να χρησιμοποιηθούν επίπεδα τελειώματα και να ενώσει τις άκρες της ίνας, παίρνοντας 2 ομαλές επιφάνειες, ωστόσο τα τελείως επίπεδα τελειώματα είναι σχεδόν αδύνατον να επιτευχθούν. Με στρογγυλεμένο τελείωμα, οι ίνες πάντα ακουμπάνε σε ένα υψηλό σημείο κοντά στον πυρήνα της ίνας που φέρει το φως.

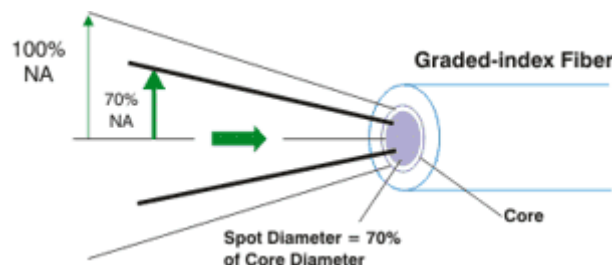


Σχήμα 1.2.34 – Είδη τελειώματος των άκρων των ινών

### 1.2.6.7 Απώλειες σχετικές με το σύστημα

Παράγοντες που σχετίζονται με το σύστημα στην απώλεια συνδέσμων περιλαμβάνουν συνθήκες εκκίνησης (launch) και λήψης (receive). Αυτές οι συνθήκες προκύπτουν από τρόπο κατανομής στις ίνες. Η απόδοση του συνδετήρα εξαρτάται από τυπικές συνθήκες και από τη θέση του συνδετήρα στο σύστημα.

Αυτές οι συνθήκες launch πρέπει να ελέγχονται έτσι ώστε να παρέχουν επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Long launch συνθήκες γενικά προτιμώνται. Long launch ή receive συνθήκες σημαίνει ότι υπάρχει στην ίνα ισορροπημένου τρόπου κατανομή (Equilibrium Mode Distribution), όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2.35. Η Ηλεκτρονική Ένωση Βιομηχανίας (Electronic Industry Association, EIA) συστήνει ένα 70/70 launch: 70% της διαμέτρου των πυρήνων των ινών και 70% του NA των ινών πρέπει να γεμίσουν. Αυτή η σύσταση ανταποκρίνεται στο EMD σε μια ίνα βαθμιαίου-δείκτη. Το EMD μπορεί να επιτευχθεί με τρεις τρόπους: από την οπτική προσέγγιση, το φιλτράρισμα ή από μεγάλου μήκους ίνες. Γενικά, απώλειες συνδέσμων υπό long-launch συνθήκες έχουν εύρος από 0.4-0.5 dB. Υπό short-launch συνθήκες, οι απώλειες έχουν εύρος από 1.3-1.4 dB.



Σχήμα 1.2.35 – Ισορροπημένοι τρόποι κατανομής

### 1.2.7 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Οι οπτικές ίνες φαίνεται να είναι σήμερα η καλύτερη λύση στα μέσα μετάδοσης και αυτό γιατί τα πλεονεκτήματα, που παρουσιάζουν, σε σχέση με τα άλλα μέσα είναι ιδιαίτερα σημαντικά.

Οι οπτικές ίνες διαθέτουν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται υψηλές ταχύτητες μετάδοσης (της τάξης των Gbps). Συνήθεις ταχύτητες μετάδοσης είναι αυτές των 2 και 10 Gbps, ενώ έχουν επίσης αναπτυχθεί συστήματα των 20,40 και 50 Gbps. Σε περίπτωση πολυπλεξίας με διαίρεση μήκους κύματος, οι ταχύτητες φθάνουν στα μερικά Tbps. Επίσης, δεν επηρεάζονται από ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, με αποτέλεσμα να συνιστάται η χρήση τους σε βιομηχανικό περιβάλλον και σε χώρους με υψηλό θόρυβο. Η εξασθένιση των σημάτων είναι μικρότερη από ότι στα χάλκινα και ομοαξονικά καλώδια, με αποτέλεσμα οι αποστάσεις μεταξύ ενισχυτών ή άλλων ενεργών στοιχείων να κυμαίνονται από μερικά μέχρι και μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα, ανάλογα με τη τεχνική και το ρυθμό μετάδοσης. Η υποκλοπή ή η παρεμβολή πληροφορίας είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθούν, με αποτέλεσμα οι οπτικές ίνες να συνιστούν πολύ ασφαλές μέσο μετάδοσης. Επίσης, το βάρος και ο όγκος τους είναι σημαντικά μικρότερος από τα αντίστοιχα μεγέθη των άλλων αγωγών. Αξίζει να αναφέρουμε, σαν παράδειγμα, ότι χάλκινο καλώδιο με 1000 ζεύγη και μήκος 500 μέτρων ζυγίζει περίπου 4000 κιλά, ενώ οπτική ίνα του ίδιου μήκους, που περιέχει τον ίδιο αριθμό καναλιών, ζυγίζει μόνο 45 κιλά. Επιπλέον, δεν είναι ευαίσθητη σε υγρό περιβάλλον, όπου τα χάλκινα καλώδια μπορεί να δημιουργήσουν βραχυκυκλώματα. Επειδή η οπτική ίνα δεν μεταφέρει ηλεκτρικό σήμα, προτιμάται σε περιοχές υψηλού κίνδυνου εκρήξεων από σπινθήρες (χώροι καυσίμων, εύφλεκτων αερίων κλπ.).

Συμπερασματικά, θα πρέπει να αναφέρουμε, ότι τα καλώδια οπτικών ινών παρουσιάζουν ίδιες μηχανικές ιδιότητες με τα ομοαξονικά, αλλά είναι ελαφρότερα σε βάρος, μικρότερα σε διάμετρο και οι αποστάσεις μεταξύ των επαναληπτών είναι μεγαλύτερες. Ένα από τα βασικότερα μειονεκτήματα, που παρουσιάζουν οι οπτικές ίνες, είναι η δυσκολία υλοποίησης συνδέσεων, επειδή απαιτείται υψηλή προσαρμογή και ευθυγράμμιση της φωτεινής πηγής, για να μην υπάρχει διασπορά και να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες. Όμως, η πρόοδος της τεχνολογίας, που έχει σημειωθεί τα τελευταία χρόνια στην περιοχή των οπτικών ινών, αντιμετώπισε με επιτυχία την παραπάνω δυσκολία, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η χρήση τους και για συνδέσεις σημείου προς πολλά σημεία. Παρόλα αυτά, η χρήση τους σε τέτοιες συνδέσεις δεν έχει ακόμη ευρέως εξαπλωθεί, ιδιαίτερα λόγω του αυξημένου κόστους, που παρουσιάζουν τέτοια συστήματα.

### Συμπερασματικά λοιπόν:

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μεγάλης χωρητικότητας της τάξης των Gbps	Δυσκολία στη σύνδεση, με συνέπεια την ανάγκη ύπαρξης επιδέξιων εγκαταστατών
Με νέες τεχνικές πολυπλεξίας με διαίρεση μήκους κύματος (Wave division Multiplexing) επιτυγχάνονται ταχύτητες της τάξης των Tbps	Δυσκολία διασύνδεσης πολλών χρηστών πάνω σε ένα καλώδιο
Μικρό μέγεθος και βάρος	Ακριβές για μικρές αποστάσεις
Χαμηλή Εξασθένιση	-
Απρόσβλητη σε περιβαλλοντολογικές παρεμβολές	-
Υψηλή ασφάλεια – δυσκολία στις υποκλοπές	-
Μεγάλες εγκαταστάσεις μειώνουν το κόστος	-

## 1.3 Δομικά Στοιχεία Υλοποίησης Οπτικού GbE

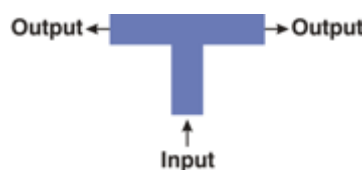
### 1.3.1 Couplers (Συζευκτήρες)

Οι οπτικοί συζευκτήρες ινών είτε χωρίζουν τα οπτικά σήματα σε πολλαπλές πορείες είτε ενώνουν τα πολλαπλά σήματα σε μια πορεία. Τα οπτικά σήματα είναι πιο πολύπλοκα από τα ηλεκτρικά σήματα, καθιστώντας τους οπτικούς συζευκτήρες πιο δύσκολους (trickier) στο σχεδιασμό από ότι τους αντίστοιχους ηλεκτρικούς. Όπως το ηλεκτρικό ρεύμα, μια ροή φέροντων σημάτων, σε αυτήν την περίπτωση φωτόνια, αποτελούν το οπτικό σήμα. Εντούτοις, ένα οπτικό σήμα δεν διατρέχει μέσω του δέκτη στο έδαφος. Μάλλον, στο δέκτη, ένας ανιχνευτής απορροφά τη ροή των σημάτων. Πολλαπλοί δέκτες, που συνδέονται σε σειρά, δεν θα λάμβαναν κανένα σήμα μετά τον πρώτο δέκτη που θα απορροφούσε ολόκληρο το σήμα. Κατά συνέπεια, πολλαπλές παράλληλες οπτικές θύρες παραγωγής πρέπει να διαιρέσουν το σήμα μεταξύ των θυρών, μειώνοντας την ένταση του. Ο αριθμός των θυρών εισαγωγής και εξαγωγής, εκφράζεται ως  $N \times M$  διαμόρφωση, και χαρακτηρίζει έναν συζευκτήρα. Το γράμμα  $N$  αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ινών εισαγωγής, και το  $M$  αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ινών εξαγωγής. Οι συζευκτήρες μπορούν να κατασκευαστούν σε οποιαδήποτε διαμόρφωση, αλλά χρησιμοποιούν συνήθως τα πολλαπλάσια του δύο ( $2 \times 2$ ,  $4 \times 4$ ,  $8 \times 8$ , κ.λπ.).

### 1.3.2 Splitters

Οι απλούστεροι συζευκτήρες είναι οι splitters οπτικών ινών. Αυτές οι συσκευές έχουν συνήθως τρεις θύρες αλλά μπορεί να έχουν και περισσότερες από 32 για πιο πολύπλοκες συσκευές. Στο σχήμα 1.3.1 απεικονίζεται ένας απλός splitter 3 θυρών, επίσης ονομάζεται και T coupler. Μπορεί να θεωρηθεί ως κατευθυντικός συζευκτήρας. Μια ίνα μπορεί να ονομάζεται κοινή ίνα, ενώ οι άλλες δύο μπορεί να ονομάζονται θύρες εισόδου ή εξόδου. Ο κατασκευαστής των συζευκτών είναι αυτός που καθορίζει την αναλογία του φωτός που θα παίρνουμε σε κάθε μια από τις εξόδους του συζευκτήρα. Υπάρχουν διάφορες αναλογίες και οι πιο γνωστές είναι 50%-50%, 90%-10%, 95%-5%, και 99%-1%, παρ' όλα αυτά, σχεδόν οποιαδήποτε

αναλογία μπορεί να επιτευχθεί. (Αυτές οι αναλογίες μερικές φορές δίνονται σε db.) Για παράδειγμα χρησιμοποιώντας ένα splitter με αναλογία 90%-10% με πηγή φωτός των 50μW, οι έξοδοι θα είναι 45μW και 5μW αντίστοιχα. Εντούτοις, η υπερβολική απώλεια εμποδίζει αυτή την απόδοση. Όλοι οι splitters και οι συζευκτήρες μοιράζονται αυτή την παράμετρο. Η υπερβολική απώλεια διασφαλίζει ότι η συνολική έξοδος δεν θα είναι τόσο υψηλή όσο η είσοδος. Οι απώλειες για διάφορους τύπους συζευκτών κυμαίνονται από 0.05db έως και 2 db. Μια ενδιαφέρουσα και απροσδόκητη ιδιότητα των splitter είναι ότι είναι συμμετρικοί. Για παράδειγμα εάν ο ίδιος ο συζευκτήρας εισήγαγε 50μW μέσα στη θύρα εξόδου με αναλογία 10% μόνο τα 5μW θα έφθαναν στην κοινή θύρα.



Σχήμα 1.3.1 – Splitter 3 θυρών ή T coupler

Ακολουθεί ο πίνακας 1.3.1 που παρουσιάζει ενδεικτικά κάποιες απώλειες εισαγωγής στους σύγχρονους συζευκτήρες μονότροπων οπτικών ινών.

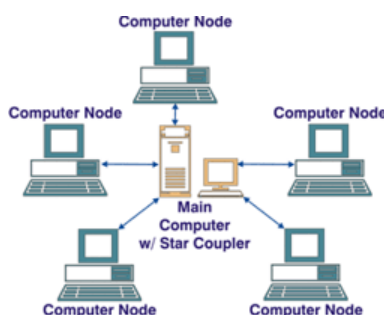
Split Ratio (%)	Typical Insertion Loss (dB)
50/50	3.1/3.1
45/55	3.6/2.7
40/60	4.1/2.3
35/65	4.7/2.0
30/70	5.4/1.7
25/75	6.2/1.4
15/85	8.4/0.8
10/90	10.2/0.6
5/95	13.2/0.4
10/45/45	10.5/4.0/4.0
20/40/40	7.3/4.5/4.5
30/35/35	5.4/4.8/4.8
40/30/30	4.1/5.4/5.4
50/25/25	3.1/6.2/6.2
60/20/20	2.3/7.2/7.2
70/15/15	1.7/8.5/8.5
80/10/10	1.0/10.5/10.5
25/25/25/25	6.4/6.4/6.4/6.4

Πίνακας 1.3.1 – Αντιστοιχία αναλογίας διαχωρισμού και απωλειών Splitter

### Coupler και Splitter Εφαρμογές

Σε εφαρμογές που απαιτούν συνδέσεις εκτός από σημείου προς σημείο, οι οπτικοί συζευκτήρες βρίσκουν ευρύτερη χρήση. Αυτό περιλαμβάνει τις αμφίδρομες συνδέσεις και τα τοπικά δίκτυα (LAN). Στις εφαρμογές τοπικού δικτύου, είτε σε τοπολογία αστέρα είτε σε τοπολογία bus οι συζευκτήρες χρησιμοποιούνται

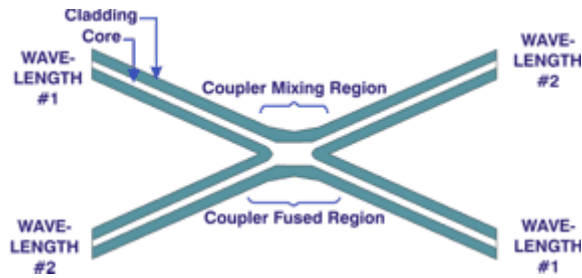
(ενσωματώνονται). Στο σχήμα 1.3.2 απεικονίζεται ένα τοπικό δίκτυο συνδεδεμένο σε τοπολογία αστέρα, παρατηρείστε ότι ο κάθε σταθμός διακλαδίζεται με το κεντρικό hub και μοιάζει με ακτίνες ενός τροχού. Αυτό επιτρέπει την εύκολη επέκταση του αριθμού των σταθμών εργασίας, αλλάζοντας το από 4x4 σε 8x8 διπλασιάζεται η χωρητικότητα του συστήματος. Ο συζευκτήρας τύπου αστέρα διανέμει όλα τα αποτελέσματα επιτρέποντας σε κάθε σταθμό να «ακούσει» οποιοδήποτε άλλο σταθμό. Οι συζευκτήρες τύπου αστέρα έχουν πολλές θύρες (συνήθως είναι μια δύναμη του 2) και συζευκτήρες με 32 ή 64 θύρες δεν είναι ασυνήθιστοι. Η χρήση ενός συζευκτήρα τύπου αστέρα δημιουργεί ένα μεγάλο party line κύκλωμα. Πολλοί πομποδέκτες συνδέονται στο συζευκτήρα τύπου αστέρα και μπορούν να επικοινωνήσουν με όλους τους άλλους πομποδέκτες, υποθετικά το δίκτυο υιοθετεί ένα πρωτόκολλο που αποτρέπει δύο ή περισσότερους πομποδέκτες να επικοινωνήσουν ταυτόχρονα. Μεγάλες απώλειες εισαγωγής, δημιουργούν το μεγαλύτερο μειονέκτημα για ένα συζευκτήρα τύπου αστέρα, όπως είναι η ανάγκη για ένα πολύπλοκο πρωτόκολλο αποφυγής συγκρούσεων (collision prevention).



Σχήμα 1.3.2 – Σύνδεση σε τοπολογία αστέρα

Η bus τοπολογία χρησιμοποιεί ένα συζευκτήρα T για να συνδέσει μια σειρά σταθμών που συνδέονται σε μια ενιαία ραχοκοκαλιά καλωδίου. Σε ένα τυπικό δίκτυο bus τοπολογίας, ένας συζευκτήρας σε κάθε κόμβο διαχωρίζει μέρος της ισχύος και το «μεταφέρει» σε ένα πομποδέκτη στο προσαρτημένο εξοπλισμό. Σε ένα σύστημα με N τερματικά, ένα σήμα πρέπει να περάσει μέσα από N-1 συζευκτήρες πριν φτάσει στο δέκτη. Η απώλεια αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται ο αριθμός N. Μια bus τοπολογία μπορεί να λειτουργήσει σε μια κατεύθυνση (single direction) ή σε μια αμφίδρομη (bidirectional) ή σε μια διπλής μετάδοσης (duplex transmission) διαμόρφωση. Σε μια μονόδρομη, μονοκατευθυντική εγκατάσταση, μια συσκευή εκπομπής στη μια άκρη του διαύλου επικοινωνεί με ένα δέκτη στην άλλη άκρη. Επίσης κάθε τερματικό περιέχει ένα δέκτη. Τα διπλής επικοινωνίας δίκτυα προσθέτουν ένα ακόμα δίαυλο ίνας ή χρησιμοποιούν ένα πρόσθετο κατευθυντικό συζευκτήρα σε κάθε άκρη αλλά και σε κάθε τερματικό. Κατ' αυτό τον τρόπο τα σήματα «ρέουν» και προς τις δύο κατευθύνσεις.

Ο δημοφιλέστερος τύπος συζευκτήρα που χρησιμοποιείται σήμερα είναι ένας συζευκτήρας λιωμένης ίνας. Σε αυτό το τύπο συζευκτήρα, δύο ή περισσότερες ίνες συστρέφονται μαζί και λιώνουν σε μια φλόγα. Το σχήμα 1.3.3 δείχνει τη βασική κατασκευή.



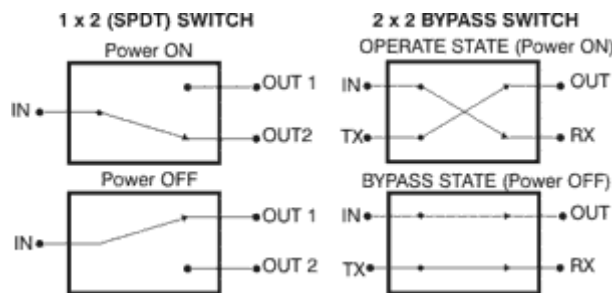
Σχήμα 1.3.3 – Συζευκτήρας λιωμένων ινών

Αυτή η τεχνική κατασκευής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κατασκευαστούν συζευκτήρες με ποσοστό αναλογίας 50% - 50%, 99% - 1% καθώς και WDM. Το μήκος της περιοχής σύζευξης (η λιωμένη περιοχή) καθώς επίσης και το ποσοστό της συστροφής και του τραβήγματος που γίνεται στην ίνα καθώς λιώνεται, καθορίζει το αποτέλεσμα. Αυτός ο συζευκτήρας έχει μεγάλη δημοτικότητα λόγω του χαμηλού κόστους των βασικών στοιχείων που απαιτούνται για την κατασκευή του: λίγα μέτρα οπτικής ίνας, μερικά δοχεία μίξης και ένα μεταλλικό σωλήνα. Η μαγεία είναι να ξέρεις πώς να λιώσεις, να συστρέψεις και να τραβήξεις την ίνα.

Ο πιο ενδιαφέρων τύπος συζευκτήρα λιωμένων ινών είναι ο WDM. Είναι δυνατό να επιτευχθεί μόνο με μονότροπη ίνα. Ένα μετρήσιμο παράγοντα παραμόρφωσης δημιουργεί το WDM μέσα στη λιωμένη περιοχή μίξης. Όπως ένα ιντερφερόμετρο, αυτό προκαλεί μια ημιτονοειδής απόκριση καθώς το μήκος αυξάνεται. Το WDM λειτουργεί σε δύο συγκεκριμένα μήκη κύματος. Τα WDM διαμορφώνεται ρυθμίζοντας το ελάχιστο του ημίτονου να ανταποκρίνεται στο πρώτο μήκος κύματος που μας ενδιαφέρει και το μέγιστο του ημίτονου να ανταποκρίνεται στο δεύτερο μήκος κύματος που μας ενδιαφέρει.

### 1.3.3 Switches

Πολλά οπτικά δίκτυα ενσωματώνουν οπτικά switches. Δίκτυα που χρειάζονται switching protection (εναλλαγή μεταξύ εφεδρικών κυκλωμάτων), όπου τα βασικά χαρακτηριστικά πρέπει να λειτουργούν αξιόπιστα μετά από μια μακρά περίοδο σε μια θέση, πρέπει να χαρακτηρίζονται από παρακολούθηση των συστημάτων και έγκαιρη διάγνωση. Η ταχύτητα δεν είναι μια καθοριστική παράμετρος για αυτή την εφαρμογή, καθώς ταχύτητα υψηλότερη από κάποια δέκατα του millisecond είναι αποδεκτή. Παρ' όλα αυτά, στο μέλλον, θα απαιτηθούν υψηλότερες ταχύτητες μεταγωγής στα οπτικά switches.



Σχήμα 1.3.4 – Τυπικές Διαμορφώσεις Switches

### 1.3.3.1 Οπτό - μηχανικοί switches

Οι οπτό-μηχανικοί διακόπτες είναι ο παλαιότερος τύπος οπτικού switch και ο πιο ευρέως διαδομένος προς στιγμή. Αυτές οι συσκευές επιτυγχάνουν το switching μετακινώντας την ίνα ή κάποιο άλλο οπτικό εξάρτημα μέσω βηματικών κινητήρων ή ρελέ οπλισμού. Αυτό τους κάνει να είναι σχετικά αργοί με switching χρόνους εύρους από 10-100 ms. Μπορούν να επιτύχουν την άριστη αξιοπιστία, την απώλεια εισαγωγής και το crosstalk. Συνήθως, τα οπτό-μηχανικά οπτικά switches ευθυγραμμίζουν την οπτική δέσμη από κάθε είσοδο και έξοδο της ίνας και μετακινούν αυτές τις ευθυγραμμισμένες δέσμες στο εσωτερικό της συσκευής. Αυτό επιτρέπει τη χαμηλή οπτική απώλεια και επιτρέπει την ύπαρξη απόστασης μεταξύ της ίνας εισαγωγής και της ίνας εξαγωγής χωρίς επιβλαβή αποτελέσματα. Αυτές οι συσκευές έχουν περισσότερο όγκο σε σχέση με άλλες εναλλακτικές λύσεις, αν και οι νέες μικρό-μηχανικές συσκευές έχουν ξεπεράσει τέτοιου είδους προβλήματα.

### 1.3.3.2 Θέρμο-οπτικά switches

Τα θερμό-οπτικά switches κανονικά βασίζονται στους κυματοδηγούς που κατασκευάζονται από πολυμερή ή σιλικόνη. Για τη λειτουργία, στηρίζονται στην αλλαγή του δείκτη διάθλασης με τη θερμοκρασία που δημιουργείται από ένα θερμαντήρα (resistive heater) που είναι τοποθετημένος πάνω στο κυματοδηγό. Η βραδύτητα τους δεν τους περιορίζει στις ήδη υπάρχουσες εφαρμογές.

### 1.3.3.3 Ήλεκτρο-οπτικά switches

Αυτοί είναι βασικά ημιαγωγοί και η λειτουργία τους εξαρτάται από την αλλαγή του δείκτη διάθλασης με το ηλεκτρικό πεδίο. Αυτό το χαρακτηριστικό τα κάνει πραγματικά υψηλής ταχύτητας συσκευές με μικρή κατανάλωση ισχύος. Εντούτοις, ούτε τα ήλεκτρο-οπτικά αλλά ούτε και τα θερμό-οπτικά switches δεν μπορούν ακόμα να επιτύχουν την απώλεια εισαγωγής, το back reflection και τη long-term σταθερότητα των οπτό-μηχανικών οπτικών switches.

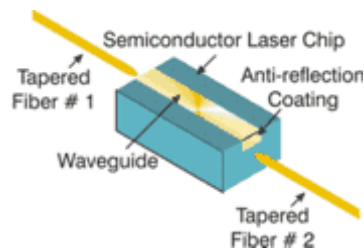
Η πιο πρόσφατη τεχνολογία ενσωματώνει όλα τα οπτικά switches που μπορούν να συνδέσουν ίνες χωρίς να μετατρέψουν το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό. Αυτό αυξάνει πολύ την ταχύτητα switching, επιτρέποντας στα σημερινά τηλεπικοινωνιακά συστήματα και δίκτυα να αυξήσουν τους ρυθμούς μετάδοσης. Παρ' όλα αυτά, αυτή η τεχνολογία είναι τώρα σε ανάπτυξη και τα αναπτυσσόμενα συστήματα κοστίζουν περισσότερο από ότι τα συστήματα που χρησιμοποιούν τους παραδοσιακούς οπτό-μηχανικούς διακόπτες.

### 1.3.4 Οπτικοί Ενισχυτές

Με την απαίτηση για μεγαλύτερες αποστάσεις μετάδοσης, οι οπτικοί ενισχυτές έχουν γίνει ένα βασικό στοιχείο σε μεγάλης απόστασης συστήματα οπτικών ινών. Οπτικοί ενισχυτές ημιαγωγών (SOA), εμποτισμένου ερβίου οπτικοί ενισχυτές (EDFA) και Raman οπτικοί ενισχυτές μειώνουν τις επιδράσεις της διασποράς και της εξασθένησης επιτρέποντας βελτιωμένη απόδοση των μεγάλης απόστασης οπτικών συστημάτων.

### 1.3.4.1 Οπτικοί Ενισχυτές Ημιαγωγών

Οι οπτικοί ενισχυτές ημιαγωγών (SOA) είναι ουσιαστικά δίοδοι laser, χωρίς καθρέπτες, οι οποίοι συνδέονται με οπτική ίνα και από τις δύο άκρες. Ενισχύουν οποιοδήποτε οπτικό σήμα που προέρχεται είτε από τη μια ίνα και μεταδίδουν μια ενισχυμένη «έκδοση» του πρωτεύοντος σήματος στην δεύτερη ίνα. Οι SOA βασικά κατασκευάζονται σε μικρές συσκευασίες και λειτουργούν σε συστήματα των 1310 nm και 1550 nm. Επιπλέον μεταδίδουν και προς τις δύο κατευθύνσεις, κάνοντας το μειωμένο μέγεθος της συσκευής ένα πλεονέκτημα έναντι των αναγεννητών των EDFA. Παρ' όλα αυτά στα μειονεκτήματα των SOA περιλαμβάνονται οι υψηλές απώλειες σύζευξης, η εξάρτηση της πόλωσης και οι υψηλότερες τιμές θορύβου. Το σχήμα 1.3.5 απεικονίζει τα βασικά στοιχεία ενός οπτικού ενισχυτή ημιαγωγών.



Σχήμα 1.3.5 – Βασικά στοιχεία ενός SOA ενισχυτή

Τα σύγχρονα οπτικά δίκτυα χρησιμοποιούν τους SOA με τους ακόλουθους τρόπους:

**Ενισχυτές Ισχύος (Power Booster):** Πολλά αρμονικά laser έχουν σχεδιασθεί να παράγουν χαμηλή οπτική ισχύ και πρέπει να χρησιμοποιούνται πάντα μαζί με οπτικό ενισχυτή. (Ένας ενισχυτής ισχύος μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε SOA ή EDFA).

**Ενισχυτές Γραμμής (In-Line Amplifier):** Επιτρέπει στα σήματα να ενισχόνται κατά μήκος της διαδρομής τους.

**Μετατροπείς μήκους κύματος (Wavelength Conversion):** Περιλαμβάνει την αλλαγή του μήκους κύματος ενός οπτικού σήματος.

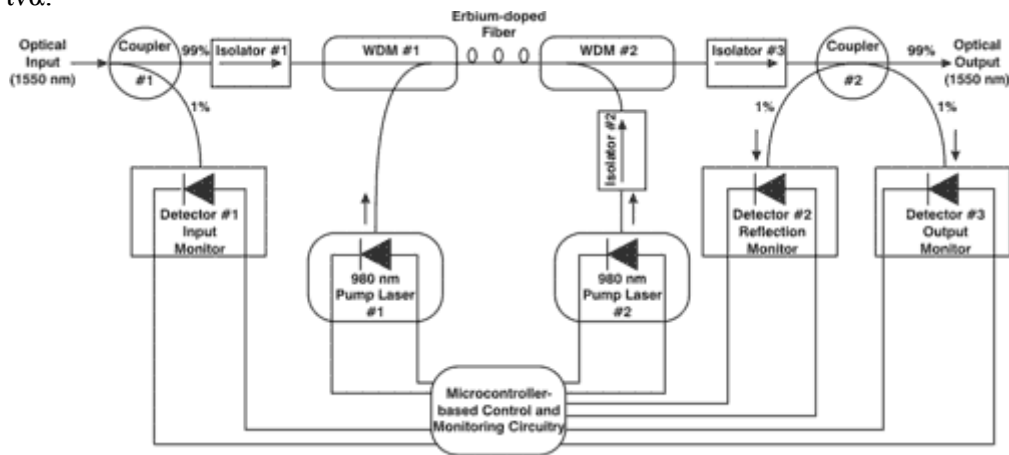
**Προενισχυτές δεκτών (Receiver Preamplifier):** Οι SOA μπορούν να τοποθετηθούν πριν από τους ανιχνευτές για να ενισχύσουν την ευαισθησία.

### 1.3.4.2 EDFA

Η «έκρηξη» των Dense Wavelength-Division Multiplexing (DWDM) εφαρμογών κάνει αυτούς τους οπτικούς ενισχυτές μια ουσιαστική δομική μονάδα στα συστήματα οπτικών ινών. Τα EDFA επιτρέπουν πληροφορίες να μεταδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς τη χρήση συμβατικών επαναληπτών (repeater). Η ίνα εμποτίζεται



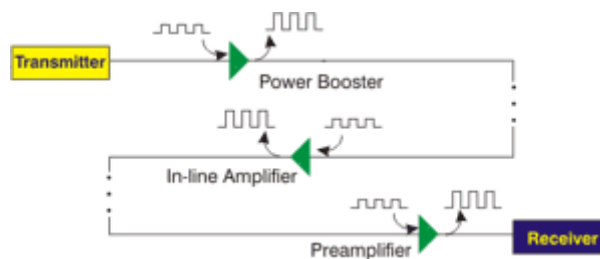
το έρβιο, ένα στοιχείο σπάνιο, το οποίο έχει τις κατάλληλες ενεργειακές στάθμες στην ατομική του δομή για την ενίσχυση του φωτός. Τα EDFA έχει σχεδιασθεί να ενισχύουν το φως στα 1550 nm. Η συσκευή χρησιμοποιεί ένα laser άντλησης στα 980 nm ή 1480 nm για να διοχετεύσει την ενέργεια στη εμποτισμένη ίνα. Όταν ένα αδύνατο σήμα στα 1310 nm ή στα 1550 nm εισάγεται στην ίνα, το φως υποκινεί τα σπάνια άτομα (ερβίου) να απελευθερώσουν την αποθηκευμένη ενέργειά τους σαν συμπληρωματική στο φως των 1550 nm ή 1310 nm. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται καθώς το σήμα περνά από την ίνα, και γίνεται όλο και πιο ισχυρό καθώς συνεχίζει στην ίνα.



Σχήμα 1.3.6 – Block Διάγραμμα ενός EDFA

Υπάρχουν τέσσερις σημαντικές εφαρμογές που απαιτούν τη χρήση οπτικών ενισχυτών:

**Ενισχυτές Ισχύος (Power Amplifier):** Το σχήμα 1.3.7 απεικονίζει την πρώτη τριπλή εφαρμογή για τους οπτικούς ενισχυτές. Οι ενισχυτές ισχύος τοποθετούνται αμέσως μετά την συσκευή εκπομπής (transmitter). Αυτή η εφαρμογή απαιτεί το EDFA να πάρει ένα μεγάλο σήμα εισόδου και να δώσει το μέγιστο επίπεδο εξόδου. Η απόκριση των μικρών σημάτων δεν είναι τόσο σημαντική επειδή η άμεση έξοδος εκπομπής είναι συνήθως -10db ή υψηλότερη. Ο θόρυβος που προστίθεται από τον ενισχυτή σε αυτό το σημείο δεν είναι και τόσο κρίσιμος επειδή το σήμα που εισέρχεται έχει μεγάλο σηματοθρομβικό λόγο (SNR).



Σχήμα 1.3.7 – Τρεις εφαρμογές για ένα EDFA

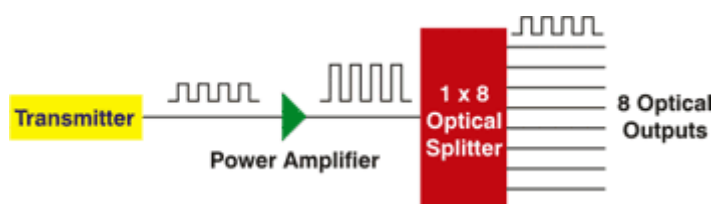
**Ενισχυτές Γραμμής (In-Line Amplifiers):** Οι ενισχυτές γραμμής ή οι επαναλήπτες τροποποιούν ένα μικρό σήμα εισόδου και το προωθούν για

επανεκπομπή (αναμετάδοση) στην ίνα. Ο έλεγχος της απόδοσης των μικρών σημάτων και του θορύβου που εισάγεται από το EDFA μειώνει τον κίνδυνο περιορισμού της εμβέλειας ενός συστήματος λόγω του θορύβου που παράγεται από τα ενισχυμένα σήματα

**Προενισχυτές (Preamplifiers):** Η προηγούμενη ευαισθησία των δεκτών που ήταν -30db, στα 622Mb/s ήταν αποδεκτή, εντούτοις, τώρα οι απαιτήσεις χρειάζονται ευαισθησία της τάξης των -40dbm ή -45dbm. Αυτή η απόδοση μπορεί να επιτευχθεί με την τοποθέτηση ενός οπτικού ενισχυτή πριν από το δέκτη. Ενισχύοντας το σήμα σε εαυτό το σημείο παρουσιάζεται ένα πολύ μεγαλύτερο σήμα στο δέκτη, έτσι μειώνονται οι απαιτήσεις για το σχεδιασμό του δέκτη. Αυτή η εφαρμογή απαιτεί μεγάλη προσοχή στο θόρυβο που προστίθενται από το EDFA, ο θόρυβος που προστίθενται από τον ενισχυτή πρέπει να είναι ελάχιστος για να πάρουμε το μέγιστο SNR.

### Αντιστάθμιση για τις απώλειες στα Οπτικά Δίκτυα (Compensating for Loss in Optical Networks)

Εισάγοντας ένα EDFA πριν από ένα 8 X 1 οπτικός splitter αυξάνεται η ισχύς σχεδόν 19 dBm επιτρέποντας έτσι σε κάθε ένα από τις οκτώ εξόδους να παρέχουν επιπλέον 9 dBm, πράγμα που καθιστά την ισχύ εξόδου σχεδόν ίση με την αρχική ισχύ εκπομπής. Ο οπτικός splitter από μόνος του έχει μια ονομαστική οπτική απώλεια εισαγωγής 10 db. Η συσκευή εκπομπής έχει μια οπτική ισχύ εξόδου +10 dBm, που σημαίνει ότι η έξοδος του splitter χωρίς ένα EDFA θα ήταν 0 dBm. Αυτή η δύναμη παραγωγής θα ήταν αποδεκτή για τις περισσότερες ψηφιακές εφαρμογές, εντούτοις, στις αναλογικές εφαρμογές CATV αυτό είναι η ελάχιστη αποδεκτή λαμβανόμενη ισχύς. Επομένως, η εισαγωγή του EDFA πριν από τον οπτικό splitter αυξάνει πολύ την ισχύ εξόδου.



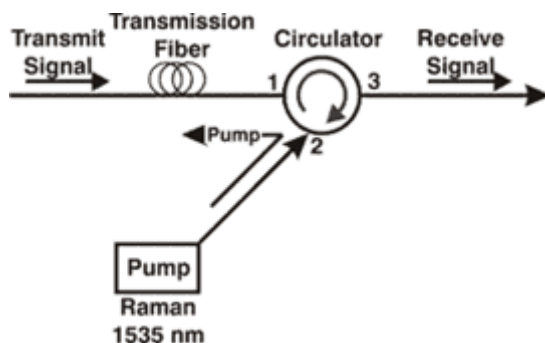
Σχήμα 1.3.8 – Αντιστάθμιση απωλειών στα Οπτικά Δίκτυα

#### 1.3.4.3 RAMAN οπτικοί ενισχυτές

Ένας οπτικός ενισχυτής RAMAN είναι λίγο μεγαλύτερος από ένα laser άντλησης υψηλής ισχύος και ένα WDM ή κατευθυντικό ζεύκτη. Η οπτική ενίσχυση συμβαίνει από μόνη της στην ίνα εκπομπής και διανέμεται κατά μήκος της πορείας εκπομπής. Τα οπτικά σήματα ενισχύονται μέχρι και 10db στο δίκτυο οπτικών ινών. Οι οπτικοί ενισχυτές RAMAN έχουν μεγάλη απολαβή σε εύρος ζώνης μέχρι και 10 nm. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν για μετάδοση οποιαδήποτε εγκατεστημένη οπτική ίνα. Συνεπώς, μειώνουν αποτελεσματικά την απώλεια σύνδεσης για να βελτιώσουν την απόδοση του θορύβου ενισχύοντας το οπτικό σήμα κατά τη μετάδοση. Μπορούν να

συνδυαστούν με EDFA για να επεκτείνουν το οπτικό κέρδος του επίπεδου εύρους ζώνης.

Το σχήμα 1.3.9 παρουσιάζει την τοπολογία ενός RAMAN οπτικού ενισχυτή. Το laser άντλησης και ο κυκλοφορητής αποτελούν τα δύο βασικά στοιχεία του RAMAN οπτικού ενισχυτή. Το laser άντλησης, σε αυτή την περίπτωση λειτουργεί στα 1535 nm. Ο κυκλοφορητής παρέχει εύκολους τρόπους για την αποστολή φωτός προς τα πίσω στην ίνα εκπομπής με τις ελάχιστες οπτικές απώλειες.



Σχήμα 1.3.9 – Τυπικός διάταξη RAMAN ενισχυτή

## 1.4 Είδη Πολυπλεξίας που χρησιμοποιούνται στις Οπτικές Ίνες

### 1.4.1 Wavelength-division Multiplexing (WDM)

Η βιομηχανία οπτικών ινών ανέπτυξε αρχικά τις συνδέσεις εκπομπής απλού μήκους κύματος. Καθώς οι απαιτήσεις άλλαζαν, η βιομηχανία ανταποκρινόταν στην πολυπλεξία του μήκους κύματος (WDM), το οποίο στέλνει δύο ευδιάκριτα (ξεχωριστά) σήματα ανά οπτική ίνα, διπλασιάζοντας έτσι τη χωρητικότητα της εκπομπής. Παρόμοια με έναν απλό splitter, η WDM έχει τυπικά ένα κοινό σημείο (άκρο) και ένα πλήθος από σημεία εισόδου ή εξόδου. Αντίθετα από το splitter, όμως, έχουν μια πολύ μικρή απώλεια εισαγωγής. Πράγματι έχουν το ίδιο εύρος στην απώλεια υπερβολής. Δύο σημαντικοί παράγοντες σε μία διάταξη WDM είναι το crosstalk και ο διαχωρισμός καναλιού. Το Crosstalk, επίσης καλείται κατευθυντικότητα, αναφέρεται στο διαχωρισμό αποπολυπλεγμένων καναλιών. Κάθε κανάλι θα έπρεπε να εμφανίζεται μόνο στη δική του προτεινόμενη θύρα. Οι προδιαγραφές του crosstalk εκφράζουν το πόσο καλά ένας συζευκτήρας (coupler) υποστηρίζει αυτό το διαχωρισμό από θύρα σε θύρα (port to port). Ο διαχωρισμός των καναλιών περιγράφει την ικανότητα ενός coupler να διακρίνει τα μήκη κύματος. Στους περισσότερους couplers, τα μήκη κύματος πρέπει να είναι αραιά διαχωρισμένα επιτρέποντας έτσι στο φως να ταξιδεύει και προς τις δύο κατευθύνσεις χωρίς το σφάλμα να εντοπίζεται στους splitters. Τα WDMs επιτρέπουν πολλαπλές ανεξάρτητες ακολουθίες δεδομένων να σταλούν μέσω μιας ίνας. Το πιο συνηθισμένο WDM σύστημα χρησιμοποιεί δύο μήκη κύματος, παρόλο που συστήματα τεσσάρων ή περισσότερων μηκών κύματος είναι διαθέσιμα.

Το σχήμα 1.3.10 απεικονίζει δύο WDM που επιτρέπουν δύο ακολουθίες δεδομένων να μεταφερθούν μέσω μιας οπτικής ίνας. Το είδος των δεδομένων δεν έχει σημασία. Για παράδειγμα, μία ακολουθία θα μπορούσε να είναι ένα σήμα εικόνας και η άλλη μία RS-232 ακολουθία δεδομένων. Εναλλακτικά, και τα δύο σήματα θα

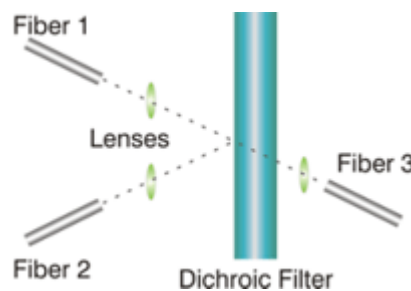
μπορούσαν να είναι σήματα εικόνας ή σήματα δεδομένων υψηλής ταχύτητας στα 2.488 Gb/s. Η διάταξη που φαίνεται είναι μιας κατεύθυνσης, αλλά επίσης είναι διαθέσιμες και διατάξεις διπλής κατεύθυνσης.



Σχήμα 1.3.10 – WDM εφαρμογή

### WDM εφαρμογές

Το σχήμα 1.3.11 απεικονίζει bulk optics WDM. Κατασκευασμένο από ξεχωριστούς φακούς και φίλτρα, ένα διχρωματικό φίλτρο βρίσκεται στο κέντρο του WDM. Τα διχρωματικά φίλτρα, βασίζονται σε ιντερφερομετρικές τεχνικές, αντανακλούν το φως, το οποίο δεν μεταδίδουν. Κοιτάζοντας το σχήμα θεωρούμε ότι η ίνα No 1 μεταφέρει δύο μήκη κύματος, 850 nm και 1310 nm. Επίσης υποθέτουμε ότι το διχρωματικό φίλτρο περνάει μήκη κύματος μεγαλύτερα από τα 1100 nm, τα οποία είναι γνωστά ως long-wave pass (LWP) φίλτρα. Καθώς το φως βγαίνει από την ίνα No 1 περνάει πρώτα μέσα από τους φακούς, οι οποίοι εστιάζουν το φως σε ένα σημείο. Καθώς το φως χτυπά στο φίλτρο, το φως με μήκος κύματος 1310 nm περνάει μέσα από το φίλτρο και συλλέγεται από την ίνα No 3. Το φως με μήκος κύματος τα 850 nm βγαίνει από την ίνα No 1 αντανακλάται από το φίλτρο και συλλέγεται από την ίνα No 2. Έτσι οι πληροφορίες και στα δύο αποτελεσματικά ταξινομημένα μήκη κύματος μπορούν να αποκωδικοποιηθούν ανεξάρτητα. Το διχρωματικό φίλτρο μπορεί να προσφέρει μια πολλή καλή αναλογία απομόνωσης στο τρόπο μετάδοσης, αλλά έχει «φτωχή» απομόνωση στον τρόπο ανάκλασης. Συνήθως αυτοί οι τύποι WDM χαρακτηρίζουν και short-wave pass (SWP) και LWP φίλτρα και συνδυασμός αυτών των φίλτρων επιτυγχάνει την καλύτερη απόδοση των συστημάτων.

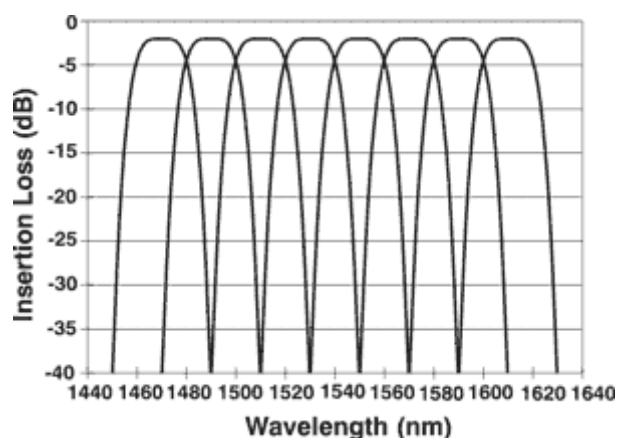


Σχήμα 1.3.11 – Bulk Optic WDM

### 1.4.2 Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM)

Η ανάπτυξη του CWDM (coarse wavelength-division multiplexing), μια ενδιάμεση τεχνολογία, ανταποκρίθηκε στις αυξανόμενες απαιτήσεις των δικτύων οπτικών ινών. Με μια χωρητικότητα μεγαλύτερη από του WDM και μικρότερη από

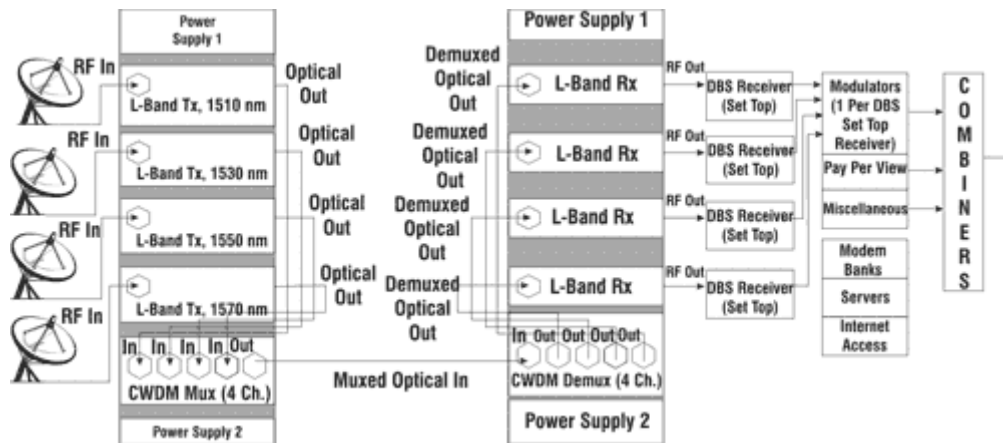
του DWDM, η CWDM επιτρέπει ένα μέτριο αριθμό καναλιών, συνήθως οχτώ ή λιγότερα, να συσσωρευτούν στην περιοχή των 1550 nm της οπτικής ίνας, η οποία καλείται C-Band. Προκειμένου να μειωθεί εξαιρετικά το κόστος, τα CWDM χρησιμοποιούν αναξιόπιστα laser με μια ανοχή της τάξης των  $\pm 3$  nm. Αν και τα συστήματα DWDM χρησιμοποιούν απόσταση καναλιών όσο πιο κοντά στα 0.4 nm, η CWDM χρησιμοποιεί μια απόσταση των 20 nm. Το wide spacing εξυπηρετεί τα μήκη κύματος των μη ψυχωμένων laser που ολισθαίνουν καθώς η θερμοκρασία περιβάλλοντος αλλάζει. Το αναξιόπιστο laser μεταβάλλεται περίπου  $\pm 0.06$  nm/°C. Η CWDM μετάδοση μπορεί να συμβεί σε ένα από τα οχτώ μήκη κύματος: συνήθως 1470 nm, 1490nm, 1510 nm, 1530 nm, 1550 nm, 1570 nm, 1590 nm, 1610 nm. Το σχήμα 1.3.12 δείχνει την ζωνοπερατότητα της CWDM σε μία διάταξη οχτώ καναλιών.



Σχήμα 1.3.12 – CWDM ζωνοπερατότητα για μια συσκευή οχτώ καναλιών

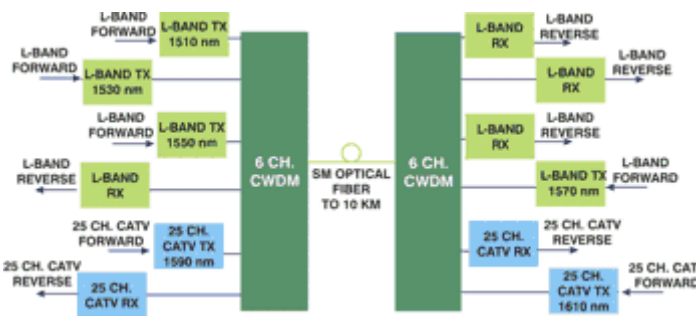
### Μιας κατεύθυνσης εφαρμογές

Οι απώλειες εισαγωγής για μια συσκευή οχτώ καναλιών είναι περίπου 2 db ανά άκρη (τέλος). Το ζωνοπερατό έχει εύρος περίπου 13 nm στο σημείο απώλειας των  $-0.5$  db. Οι CWDM αποπολυπλέκτες τυπικά έχουν μια μεγαλύτερη απώλεια εισαγωγής και αρκετά καλύτερη απώλεια απομόνωσης. Ο πολυπλέκτης έχει μια μικρότερη απώλεια εισαγωγής και μια «φτωχή» απώλεια απομόνωσης. Η απομόνωση δεν έχει σημασία σε μια εφαρμογή μιας κατεύθυνσης επειδή ο πολυπλέκτης συνδυάζει αρκετές εξόδους εκπομπής. Το σχήμα 1.3.13 απεικονίζει μια μονής κατεύθυνσης εφαρμογή CWDM.



Σχήμα 1.3.13 – Μονής κατεύθυνσης CWDM εφαρμογή

Σε μια διπλής κατεύθυνσης εφαρμογή, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3.14, κάθε είσοδος σε οποιαδήποτε άκρη της ίνας μπορεί να είναι είσοδος ή έξοδος, απαιτώντας η υψηλή απομόνωση του αποπολυπλέκτη να εγγυηθεί ότι το σύστημα θα δουλεύει χωρίς παρεμβολές μεταξύ των καναλιών.



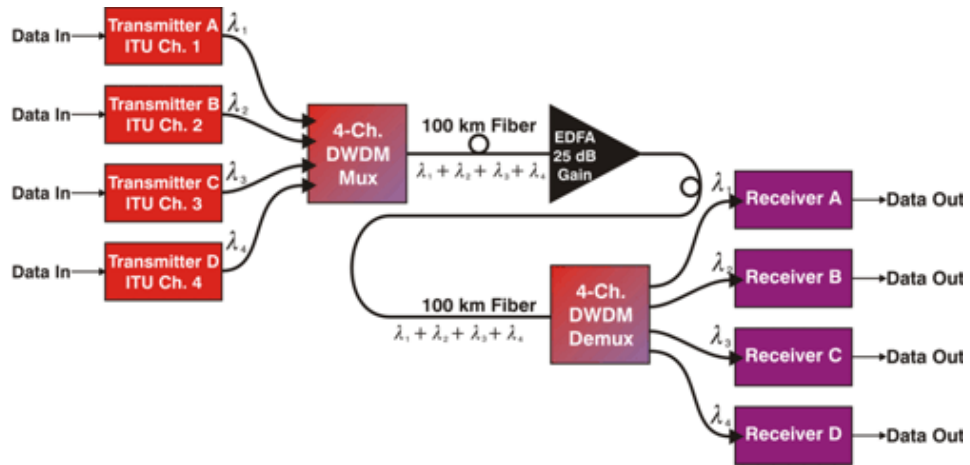
Σχήμα 1. 3.14 – Διπλής κατεύθυνσης CWDM εφαρμογή

### 1.4.3 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

Το Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) ανατρέπει την τεχνολογία μετάδοσης δεδομένων αυξάνοντας την χωρητικότητα μιας εμπεδωμένης (εγκατεστημένης) ίνας. Αυτή η αύξηση σημαίνει ότι τα εισερχόμενα οπτικά σήματα είναι προσδιορισμένα σε συγκεκριμένα μήκη κύματος μέσα σε μια καθορισμένη ζώνη συχνοτήτων, έπειτα πολυπλέκεται μέσα στην ίνα. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει σε πολλαπλά κανάλια εικόνας, ήχου και δεδομένων να μεταδοθούν μέσω μιας ίνας, ενώ διατηρείται η απόδοση του συστήματος και η αύξηση των συστημάτων μεταφοράς. Αυτή η τεχνολογία ανταποκρίνεται στην αυξανόμενη ζήτηση για αποδοτική και αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων δουλεύοντας με διαφορετικές διαμόρφωσης, όπως SONET/SDH, ενώ αυξάνεται το εύρος ζώνης.

Τα στοιχεία του ενισχυτή οπτικών ιών ενός DWDM συστήματος παρέχουν μια αποδοτική οικονομικά μέθοδο η οποία αντιλαμβάνεται και ενισχύει οπτικά σήματα χωρίς να τα μετατρέπει σε ηλεκτρικά σήματα. Επιπρόσθετα, το DWDM ενισχύει ευρεία κλίμακα από μήκη κύματος στην περιοχή των 1550 nm. Για παράδειγμα, με ένα DWDM σύστημα πολυπλεξίας 16 μηκών κύματος σε μια ενιαία οπτική ίνα, τα φέροντα μπορούν να μειώσουν τον αριθμό των ενισχυτών κατά 16 σε κάθε περιοχή

αναγέννησης. Χρησιμοποιώντας λιγότερους αναγεννητές στα μεγάλης απόστασης δίκτυα έχει σαν αποτέλεσμα λιγότερες διακοπές και ενισχυμένη αποδοτικότητα.



Σχήμα 1.3.15 – Εφαρμογή DWDM συστήματος

## 2 Κεφάλαιο : Τεχνολογίες Δικτύων Ethernet

### 2.1 Το μοντέλο αναφοράς OSI

Στις αρχές της δεκαετίας του 70 ο ISO (International Standardization Organisation) διαβλέποντας την ανάγκη ενός πρότυπου μοντέλου στη σύνδεση μεταξύ υπολογιστών, δημιούργησε το μοντέλο OSI (Open Systems Interconnection). Το μοντέλο OSI αποτελείται από 7 επίπεδα, και περιγράφει όλη την επικοινωνία μέσα σε ένα δίκτυο, αλλά και μεταξύ περισσότερων δικτύων. Στο μοντέλο OSI ορίζονται ο έλεγχος ροής των δεδομένων, ο έλεγχος των λαθών, το user-interface, καθώς και κάποιες προδιαγραφές software και hardware που ρυθμίζουν την ανταλλαγή δεδομένων στο δίκτυο. Παρόλο που έχουν περάσει πολλά χρόνια από την πρώτη πρόταση, το OSI δεν έχει καταφέρει ακόμη να επικρατήσει εμπορικά σαν πρότυπο. Παρόλο που όλα τα πρωτόκολλα αναφέρονται σε αυτό, κανένα δεν είναι απόλυτα συμβατό. Αυτό οφείλεται στην άμεση ανάγκη που υπήρχε, και που δεν μπορούσε να περιμένει τον χρόνο που χρειαζόταν η τυποποίηση του OSI

Τα επίπεδα επικοινωνίας του OSI είναι τα ακόλουθα:

- Φυσικό επίπεδο (Physical Layer)
- Επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων (Data Link Layer)
- Επίπεδο Δικτύου (Network Layer)
- Επίπεδο Μεταφοράς (Transport Layer)
- Επίπεδο Συνόδου (Session Layer)
- Επίπεδο Παρουσίασης (Presentation Layer)
- Επίπεδο Εφαρμογής (Application Layer)

Στο πρώτο, το *φυσικό επίπεδο* (physical layer), ορίζονται οι ηλεκτρικές και οι μηχανικές παράμετροι, δηλαδή η bit προς bit μεταφορά των δεδομένων μέσα από το καλώδιο του δικτύου.

Το δεύτερο επίπεδο (*επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων*, data link layer) αποτελεί ένα ορισμένο πλαίσιο για την μεταφορά των δεδομένων. Το επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων εξασφαλίζει την αλάνθαστη μεταφορά των δεδομένων μέσα στο δίκτυο.

Το τρίτο επίπεδο, το *επίπεδο δικτύου* (network layer), αποτελεί τον σύνδεσμο μεταξύ του hardware και του software και ρυθμίζει την παραλαβή και παράδοση των δεδομένων από το hardware. Πιο αναλυτικά, οι λειτουργίες που υποστηρίζει είναι η δημιουργία και διακοπή σύνδεσης, έναρξη και διακοπή μετάδοσης, αναγνώριση λαθών και διαφανής μεταφορά δεδομένων μεταξύ των σταθμών του δικτύου. Σε αυτό το επίπεδο λαμβάνεται η απόφαση για τον πιο φυσικό δρόμο θα ακολουθήσει κάποιο πακέτο δεδομένων στο δίκτυο.

Στο τέταρτο επίπεδο, το *επίπεδο μεταφοράς* (transport layer), γίνεται ο συντονισμός της μεταφοράς των δεδομένων σε ολόκληρο το δίκτυο. Αν για παράδειγμα παρουσιαστεί βλάβη σε κάποια γραμμή του δικτύου, τότε θα αναζητηθεί εναλλακτικός δρόμος, ή στην ανάγκη θα αποθηκευτούν τα δεδομένα μέχρι να αποκατασταθεί αυτή.

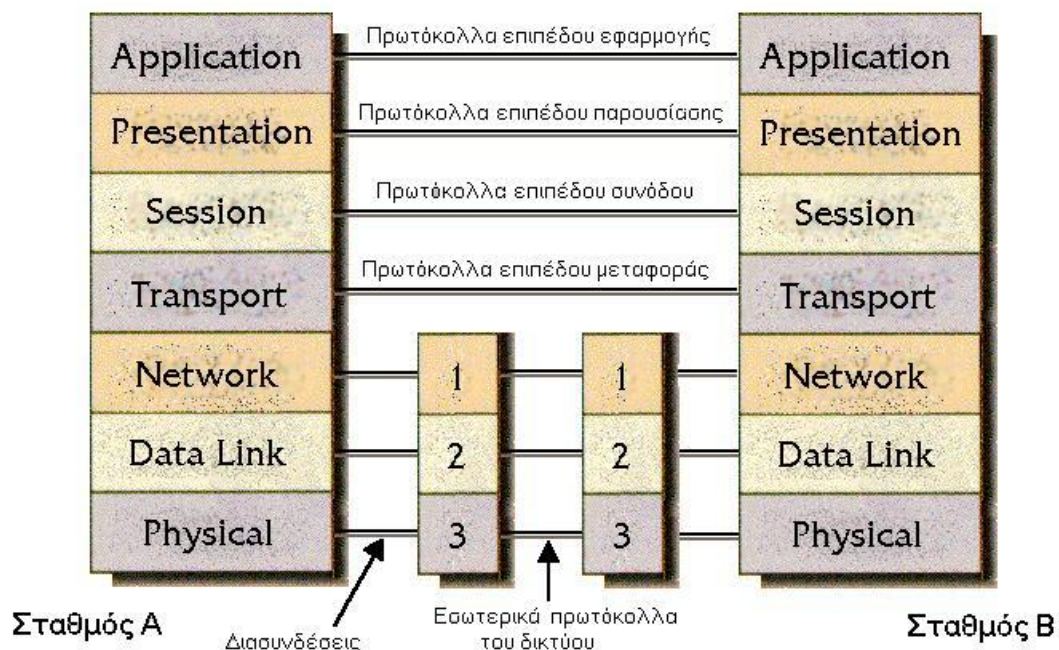
Το πέμπτο επίπεδο, το *επίπεδο συνόδου* (session layer), προσφέρει τα μέσα επικοινωνίας για ολόκληρο το δίκτυο. Στα καθήκοντα αυτού του επιπέδου περιλαμβάνεται ο έλεγχος του password, η επικοινωνία με τον χρήστη, καθώς και ο



συγχρονισμός και η αποκατάσταση κάποιων sessions μετά από κάποιο λάθος στα χαμηλότερα επίπεδα.

Στο έκτο επίπεδο (επίπεδο παρουσίασης, presentation layer) γίνεται η "μετάφραση" των δεδομένων για το ακόλουθο έβδομο επίπεδο, το επίπεδο εφαρμογής. Εδώ γίνεται επίσης ο έλεγχος των εισερχόμενων και εξερχόμενων δεδομένων, μεταφράζονται οι κωδικοί μετάδοσης και προσαρμόζονται τα formats της οθόνης και του εκτυπωτή. Τα MS Windows και ο Presentation Manager του OS/2 χρησιμοποιούν αποκλειστικά τις λειτουργίες του επιπέδου αυτού.

Τέλος στην πιο υψηλή θέση του μοντέλου του OSI βρίσκεται το επίπεδο εφαρμογής (application layer). Αυτό αποτελεί το πραγματικό interface του δικτύου με τον χρήστη. Ασχολείται επίσης με την διαχείριση του συστήματος και των εφαρμογών στο δίκτυο. Για αυτό το λόγο τα περισσότερα προγράμματα βασίζονται στο επίπεδο εφαρμογής και δεν ασχολούνται με τα χαμηλότερα επίπεδα.



Σχήμα 2. 1.1 - Μοντέλο OSI

### 2.1.1 Τα επίπεδα του IEEE μέσα στο μοντέλο OSI

Το πρότυπο Ethernet αφορά στοιχεία τα οποία περιγράφονται στο επίπεδο 2 και στο επίπεδο 1, τα οποία περιλαμβάνουν από το επίπεδο Data Link και κάτω. Για το λόγο αυτό το Ethernet αναφέρεται συχνά ως πρότυπο Link Layer (επίπεδο ζεύξης).

Τα πρότυπα του Ethernet περιγράφουν έναν αριθμό οντοτήτων τα οποία εμπεριέχονται στο επίπεδο δεδομένων (data) και στο φυσικό επίπεδο (physical) του μοντέλου OSI. Για να υπάρξει ευχέρεια στην οργάνωση αυτών των λεπτομερειών, το IEEE, ορίζει, πρόσθετα υπό-επίπεδα που περιέχονται στα δυο χαμηλότερα επίπεδα του μοντέλου OSI, το οποίο σημαίνει ότι το πρότυπο IEEE περιέχει μερικά μια πιο λεπτομερειακή διαστρωμάτωση από το μοντέλο OSI.

Ενώ κατά μια πρώτη ματιά, αυτά τα επιπρόσθετα επίπεδα, μοιάζουν να είναι εκτός του μοντέλου αναφοράς OSI, το OSI δεν ορίζει αυστηρά τη δομή των δικτυακών προτύπων. Αντιθέτως, το μοντέλο OSI είναι ένα εξεζητημένο και

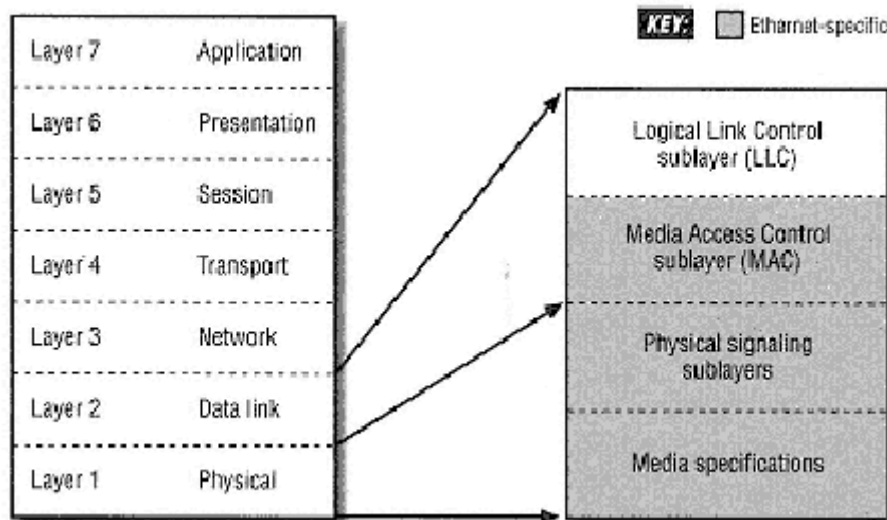
οργανωτικό εργαλείο, υποστρώματα μπορούν να προστεθούν έτσι ώστε να αναλογούν στην πολυπλοκότητα ενός δεδομένου προτύπου.

Στη σχετική εικόνα αποκρυπτογραφούνται τα δυο επίπεδα το μοντέλου OSI και επιδεικνύεται πώς οργανώνονται τα υποεπίπεδα της προδιαγραφής Ethernet. Μεταξύ αυτών των υποεπιπέδων ορίζονται επιπλέον επίπεδα για τις λειτουργίες του MAC, νέα πρότυπα σηματοδότησης κ.α. Στο επίπεδο Data Link, υπάρχουν τα υποεπίπεδα του Logical Link Control (LLC) και του MAC, τα οποία είναι σταθερά ίδια για όλες τις εναλλακτικές ταχύτητες του Ethernet. Το επίπεδο LLC, αποτελεί έναν μηχανισμό αναγνώρισης των δεδομένων που μεταφέρονται μέσα σε ένα πλαίσιο Ethernet. Το επίπεδο MAC ορίζει το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για την διετήτευση της πρόσβασης στο σύστημα Ethernet.

Στο φυσικό επίπεδο, τα υποεπίπεδα του Ethernet ποικίλουν από την ταχύτητα του προτύπου, 10, 100 ή 1000Mbps. Καθένα από αυτά τα υποεπίπεδα χρησιμοποιούνται για την οργάνωση των προδιαγραφών του Ethernet για συγκεκριμένες λειτουργίες που είναι απαραίτητο να επιτευχθούν ώστε να λειτουργεί.

Η κατανόηση αυτών των υποεπιπέδων, μπορεί να βοηθήσει επίσης την κατανόηση του σκοπού των επιπέδων που εμπλέκονται. Για παράδειγμα η προσθήκη του MAC είναι πάνω από τις χαμηλότερες προδιαγραφές του φυσικού επιπέδου. Γι' αυτό το λόγο είναι λειτουργικά ανεξαρτητοποιημένο από το φυσικό επίπεδο μέσου και δεν αλλάζει, ανεξάρτητα από το πιο φυσικό μέσο μπορεί να χρησιμοποιείται.

Το πρότυπο IEEE LLC είναι ανεξάρτητο του προτύπου 802.3 Ethernet LAN και δεν αλλάζει, ανεξάρτητα από το είδος του συστήματος LAN που χρησιμοποιείται. Οι περιοχές του ελέγχου LLC προτίθενται για χρήση σε όλα τα συστήματα LAN και όχι μόνο για Ethernet, γι' αυτό και το υποεπίπεδο LLC δεν αποτελεί επίσημο τμήμα των προδιαγραφών του IEEE 802.3.



Σχήμα 2.1.2 – Επίπεδα Ethernet στο OSI

## 2.1.2 Logical Link Control (LLC) Layer

Το πρωτόκολλο 802.2 της IEEE περιγράφει τον τρόπο ελέγχου της λογικής σύνδεσης (LLC) μεταξύ σταθμών στα τοπικά δίκτυα. Το πρωτόκολλο του δεύτερου

επιπέδου προσδιορίζει μόνο τη ζεύξη μεταξύ δυο σταθμών και δεν έχει καμιά σχέση με τα πρωτόκολλα των ανώτερων επιπέδων, όπως IP, TCP κλπ.

Όπως ειπώθηκε, το πρωτόκολλο LLC είναι κοινό και ανεξάρτητο του τρόπου προσπέλασης, προσφέροντας μια ευέλικτη διεπαφή, με κοινό τρόπο πρόσβασης προς τα υπερκείμενα επίπεδα των πρωτοκόλλων του δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο, τα πρωτόκολλα των ανώτερων επιπέδων διευκολύνονται έτσι στην αποστολή δεδομένων, ενθυλακώνοντάς τα προς αποστολή δεδομένα σε πακέτα LLC, χωρίς να τα απασχολεί ο τύπος τους πρωτοκόλλου τους φυσικού επιπέδου του LAN.

Η αποστολή του επιπέδου LLC είναι η απεικόνιση του Ethernet ως ένα σημείο-προς-σημείο δίκτυο, ανεξάρτητα από το αν το επίπεδο MAC χρησιμοποιεί ένα κοινό ή αφιερωμένο μέσο μετάδοσης.

Το υποεπίπεδο LLC ασχολείται κυρίως:

- Πολύπλεξη πρωτοκόλλων που μεταδίδονται πάνω στο επίπεδο MAC, κατά την μετάδοση και αποπολύπλεξη τους, κατά τη λήψη.
- Προαιρετικά παρερχομένη λειτουργία ελέγχου ροής (flow control), ανίχνευση και επαναμετάδοση ακυρωμένων πακέτων.

## 2.2 Πρωτόκολλο Media Access Control

Η λειτουργία του half-duplex, που περιγράφεται στο αρχικό πρότυπο Ethernet, χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο MAC. Το MAC, αποτελεί μια σειρά κανονισμών για τη διετήτευση της πρόσβασης σε ένα κοινό κανάλι, μεταξύ πλήθους σταθμών που συνδέονται σε αυτό. Ο τρόπος με τον οποίο αυτό το πρωτόκολλο πρόσβασης λειτουργεί, είναι απλός, κάθε σταθμός Ethernet λειτουργεί ανεξάρτητα από τους υπολοίπους σταθμούς του δικτύου και δεν υπάρχει κεντρικός έλεγχος. Όλοι αυτοί οι σταθμοί συνδεδεμένοι σε half-duplex Ethernet είναι συνδεδεμένοι σε ένα κοινό κανάλι σηματοδοσίας, γνωστό και ως *δίανλο* (bus).

Το Ethernet, χρησιμοποιεί έναν μηχανισμό *ανακοίνωσης μετάδοσης* (broadcast delivery), κατά τον οποίον κάθε πλαίσιο που μεταδίδεται, «ακούγεται» σε κάθε σταθμό. Μπορεί να φαίνεται αναποτελεσματικό, αλλά το πλεονέκτημα έγκειται στην ταυτοποίηση διεύθυνσης της διεπαφής κάθε σταθμού, το οποίο επιτρέπει στο σύστημα μέσου να είναι όσο πιο απλό γίνεται. Σε ένα Ethernet LAN, το μόνο που πρέπει να κάνει το σύστημα μέσου και η φυσική σηματοδοσία είναι να δουν αν τα bits στέλνονται ορθά σε κάθε σταθμό, ενώ η διεπαφή Ethernet επιτελεί την υπόλοιπη εργασία.

Τα σήματα Ethernet μεταδίδονται από τη διεπαφή και στέλνονται πάνω σε ένα κοινό κανάλι σηματοδοσίας σε κάθε συνδεδεμένο σταθμό. Για την αποστολή δεδομένων, κάθε σταθμός «ακούει» αρχικά το κανάλι και αν το κανάλι είναι ανενεργό, ο σταθμός μεταδίδει τα δεδομένα του σε μορφή Ethernet πλαισίου ή πακέτου.

Καθώς κάθε πλαίσιο Ethernet αποστέλλεται πάνω σε ένα κοινό κανάλι σηματοδοσίας, ή μέσο, όλες οι διεπαφές Ethernet που είναι συνδεδεμένες στο κανάλι διαβάζουν τα bits του σήματος και κοιτούν το δεύτερο πεδίο του πλαισίου, το οποίο περιέχει τη διεύθυνση προορισμού (destination address). Οι διεπαφές συγκρίνουν τη διεύθυνση προορισμού του πλαισίου, με τη δική τους 48bit unicast διεύθυνση ή multicast την οποία είναι σε θέση να αναγνωρίζουν. Οι διεπαφές Ethernet, των οποίων η διεύθυνση ταυτίζεται με τη διεύθυνση προορισμού του πλαισίου, θα

συνεχίσουν την ανάγνωση ολόκληρου του πλαισίου και στη συνέχεια την παράδοσή του στο λογισμικό δικτύου που τρέχει στον υπολογιστή. Όλες οι υπόλοιπες διεπαφές θα σταματήσουν την ανάγνωση πλαισίου, όταν ανακαλύψουν ότι η διεύθυνση προορισμού δεν ταιριάζει με τις δικές τους unicast ή multicast ενεργοποιημένες διευθύνσεις.

Οι διευθύνσεις multicast επιτρέπουν σε ένα πλαίσιο Ethernet να ληφθεί από μια ομάδα σταθμών. Μετά την μετάδοση κάθε πλαισίου, κάθε σταθμός του δικτύου που έχει να μεταδώσει κίνηση, θα συναγωνιστεί ισάξια για την επόμενη ευκαιρία μετάδοσης πλαισίου. Αυτό εξασφαλίζει ότι η πρόσβαση στο δικτυακό κανάλι θα είναι δίκαιη και ότι δε θα γίνεται κατάχρηση μόνο από έναν σταθμό. Η δίκαιη πρόσβαση σε ένα κοινό κανάλι καθίσταται εφικτή μέσω της χρήσης του συστήματος MAC που βρίσκεται στη διεπαφή Ethernet κάθε σταθμού. Ο μηχανισμός MAC, ελέγχου πρόσβασης στο μέσο, για χρήσεις Ethernet, χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο CSMA/CD.

### 2.2.1 Συγκρούσεις

Αν δυο ή περισσότεροι σταθμοί, τύχει να μεταδώσουν κατά την ίδια στιγμή στο κανάλι Ethernet, τότε τα σήματα λέγεται ότι *συγκρούονται*. Οι σταθμοί λαμβάνουν γνώση του γεγονότος και επαναπρογραμματίζουν τις μεταδόσεις τους χρησιμοποιώντας ένα τυχαίο διάστημα που επιλέγεται από έναν ειδικά σχεδιασμένο αλγόριθμο οπισθοχώρησης. Επιλέγοντας τυχαίους χρόνους επαναμετάδοσης, βοηθάει τους σταθμούς να αποφύγουν παρόμοια φαινόμενα σύγκρουσης στην επόμενη μετάδοση.

Παρά τον κακόηχο χαρακτήρα της λέξης «σύγκρουση», αυτά τα φαινόμενα είναι απολύτως συνηθισμένα στο Ethernet και απλά δείχνουν πώς το πρωτόκολλο CSMA/CD λειτουργεί όπως έχει σχεδιαστεί. Όσο περισσότεροι υπολογιστές προστίθενται σε ένα δεδομένο δίκτυο Ethernet, τόσο μεγαλύτερη θα είναι κίνηση που θα συνιστά περισσότερες συγκρούσεις, ως δείγμα της ομαλής λειτουργίας του δικτύου. Οι συγκρούσεις επιλύονται ταχύτατα. Για παράδειγμα, η σχεδιάσει του πρωτοκόλλου CSMA/CD εξασφαλίζει ότι η πλειονότητα των συγκρούσεων σε ένα δίκτυο Ethernet των 10Mbps θα επιλύονται σε microseconds. Επίσης η ύπαρξη σύγκρουσης δεν συνιστά «χάσιμο» δεδομένων. Στο φαινόμενο της σύγκρουσης, η διεπαφή Ethernet *οπισθοχωρεί* (back off) για κάποιο διάστημα μικροδευτερολέπτων και κατόπιν αυτόματα ξαναστέλνει το πλαίσιο.

Στα δίκτυα υψηλών φορτίων κίνησης, είναι πιθανόν να συμβούν πολλαπλές συγκρούσεις για κάθε απόπειρα μετάδοσης. Αυτό επίσης αποτελεί προβλεπόμενη συμπεριφορά. Επαναλαμβανόμενες συγκρούσεις για μια δεδομένη απόπειρα μετάδοσης πακέτου υποδεικνύει υπερφορτωμένο δίκτυο. Αν συμβούν συνεχόμενες συγκρούσεις, οι εμπλεκόμενοι σταθμοί θα επεκτείνουν του εκθετικούς χρόνους οπισθοχώρησης, ώστε να επιτευχθεί η επαναμετάδοση των δεδομένων. Η εκθετική διαδικασία οπισθοχώρησης που είναι γνωστή και ως *αλγόριθμος δυαδικής υποχώρησης* είναι ένα έξυπνο χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου Ethernet MAC το οποίο παρέχει μια αυτόματη μέθοδο προσαρμογή σε εναλλασσόμενες καταστάσεις κίνησης δικτύου. Μόνο στην περίπτωση που συμβούν 16 συνεχόμενες συγκρούσεις για μια δεδομένη προσπάθεια μετάδοσης θα απορριφθεί το πλαίσιο Ethernet από τη διεπαφή. Αυτό μπορεί να συμβεί μόνο στην περίπτωση που το κανάλι Ethernet είναι υπερφορτωμένο για μια μεγάλη χρονική περίοδο ή έχει «κοπεί» η ζεύξη.

### 2.2.2 Χρόνος Round – Trip

Για την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος MAC, όλες οι διεπαφές Ethernet πρέπει να είναι ικανές να ανταποκριθούν στα σήματα των υπολοίπων μέσα σε ένα σαφές καθορισμένο χρονικό πλαίσιο. Αυτό ο χρόνος για το Ethernet βασίζεται στο χρόνο εκείνο που μεσολαβεί μέχρι το σήμα να ταξιδέψει από τη μια άκρη του μέσου στην άλλη. Αυτός ο χρόνος ονομάζεται *χρόνος round – trip*. Ο μέγιστος χρόνος round – trip σήματος για ένα half-duplex Ethernet είναι αυστηρά περιορισμένος. Περιορίζοντας αυτό το χρονικό όριο εξασφαλίζουμε ότι κάθε διεπαφή θα είναι σε θέση να ακούσει όλα τα σήματα του δικτύου, μέσα σε αυτό το καθορισμένο χρονικό πλαίσιο.

Όσο πιο μεγάλο το τμήμα του δικτύου, τόσο πιο πολύ χρόνος χρειάζεται το σήμα για να το διανύσει. Σκοπός των οδηγιών σχηματισμού του προτύπου είναι η διαβεβαίωση ότι τηρούνται οι απαιτήσεις του round-trip, ανεξάρτητα από τους συνδυασμούς των μέσων που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο. Αυτές οι οδηγίες παρέχουν προδιαγραφές για μέγιστο μήκος τμήματος και κανόνες για συνδυασμούς διαφόρων τύπων καλωδίωσης LAN. Οι προδιαγραφές αυτές πρέπει να ακολουθούνται αυστηρά και να μην παραβαίνονται, διαφορετικά καθίσταται αδύνατη η επικοινωνία μεταξύ των υπολογιστών.

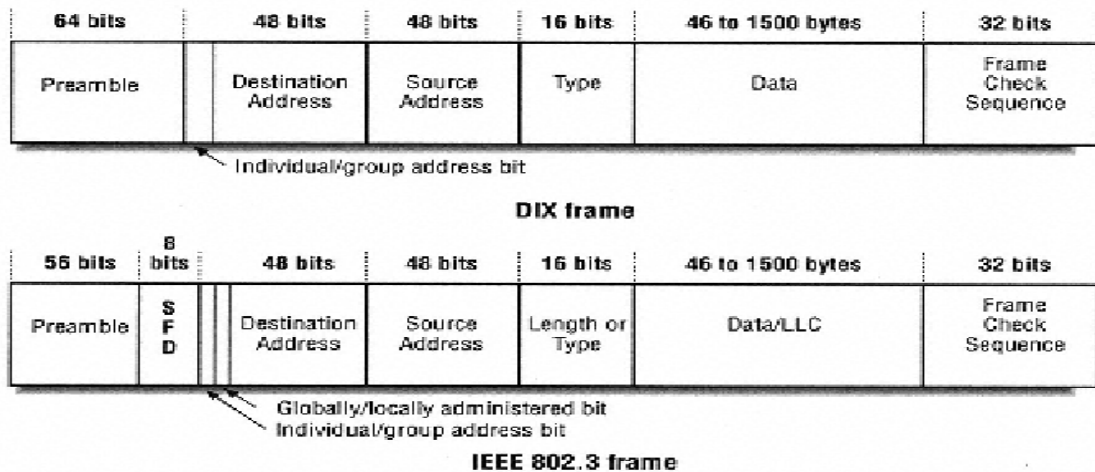
### 2.3 Ethernet Frame

Οι προδιαγραφές του Ethernet, προσδιορίζουν τόσο τη δομή ενός πλαισίου, όσο και τη στιγμή που επιτρέπεται στο σταθμό να εκπέμψει ένα πλαίσιο. Τα πλαίσια είναι η καρδιά ενός συστήματος Ethernet. Οι συσκευές Ethernet ενυπάρχουν σε ένα δίκτυο, με μόνο σκοπό τη διάδοση αυτών των πλαισίων Ethernet μεταξύ σταθμών. Η πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης κατά το πρότυπο του Ethernet, βασίζεται στον αλγόριθμο CSMA/CD, όπου ο σταθμός «αφουγκράζεται» το κανάλι, προτού εκπέμψει. Το σύστημα Ethernet ενυπάρχει ώστε να μετακινούν πλαίσια τα οποία μεταφέρουν εφαρμογές δεδομένων μεταξύ υπολογιστών. Η οργάνωση του πλαισίου, αποτελεί μείζονος σημασίας ενέργεια της λειτουργίας του συστήματος. Τα bit του πλαισίου Ethernet διευθετούνται με βάση κάποια καθορισμένα πεδία, κάποιες σαφώς διαχωρισμένες περιοχές.

Το πλαίσιο, ορίστηκε αρχικά από το αρχικό πρότυπο DIX και αργότερα επαναπροσδιορίστηκε από το πρότυπο IEEE 802.3, το οποίο είναι και το επίσημο πρότυπο Ethernet. Οι αλλαγές μεταξύ των δυο προτύπων, είναι ως επί το πλείστον κοσμητικές, με εξαίρεση τον τύπο πεδίου (type field).

Το πρότυπο DIX όρισε έναν τύπο πεδίου μέσα στο πλαίσιο. Το πρώτο πρότυπο 802.3, που εκδόθηκε το 1985, προσδιόρισε αυτό το πεδίο ως πεδίο μήκους (length field), με έναν μηχανισμό ο οποίος επέτρεπε και στις δυο εκδόσεις πλαισίων να συνυπάρχουν στο ίδιο Ethernet. Τα περισσότερα λογισμικά δικτύου, συνέχισαν να χρησιμοποιούν την έκδοση πλαισίου με τον τύπο πεδίου και πρόσφατα, το πρότυπο IEEE 802.3 άλλαξε για να προσδιορίσει την ταυτότητα αυτού του πεδίου, αν πρόκειται δηλαδή για τύπο ή για μήκος, σε σχέση με τη χρήση.

Αφού το πλαίσια DIX και IEEE είναι πανομοιότυπα στον αριθμό και το μήκος των πεδίων, οι διεπαφές Ethernet μπορούν να χρησιμοποιηθούν, έτσι ώστε να μεταχειρίζονται και τις δυο μορφές πλαισίου. Η μόνη διαφορά τους, έγκειται στο περιεχόμενο των πεδίων και στη διαδοχική μετάφραση αυτών των περιεχομένων από τους σταθμούς που στέλνουν και λαμβάνουν αυτά τα πλαίσια.



Σχήμα 2. 3.1 – Βασικά πλαίσια DIX και Ethernet

### 2.3.1 Preamble (Εισαγωγή)

Το πλαίσιο ξεκινάει με ένα πεδίο εισαγωγής 64 bit, το οποίο επιτρέπει στις διεπαφές 10Mbps Ethernet να συγχρονίζονται με τα εισερχόμενα ρεύματα δεδομένων (data streams) προτού φθάσουν τα σημαντικά πεδία δεδομένων. Η εισαγωγή υπάρχει για την προστασία του πλαισίου από απώλειες σημαντικών bits, κατά τη διάδοση του μέσω του συστήματος. Θα μπορούσαμε να πούμε με απλά λόγια πώς προσφέρει την ασπίδα στα υπόλοιπα bits του πλαισίου.

Η εισαγωγή διατηρείται στα συστήματα Fast Ethernet και Gigabit Ethernet ώστε να προσφέρει συμβατότητα με το αρχικό Ethernet πλαίσιο. Παρόλα αυτά το Fast Ethernet καθώς και το Gigabit Ethernet χρησιμοποιούν πιο πολύπλοκους μηχανισμούς κωδικοποίησης σήματος για την αποφυγή απωλειών. Αυτά τα δυο συστήματα δεν έχουν την ανάγκη της εισαγωγής για θωράκιση των σημάτων πλαισίου, αλλά διατηρείται μονάχα για προς-τα-πίσω συμβατότητα (backward compatibility). Ας δούμε πώς το περιγράφει το κάθε πρότυπο:

#### 2.3.1.1 Πρότυπο DIX

Στο πρότυπο DIX, η εισαγωγή συνίσταται από 8 bytes, εναλλασσόμενων άσων και μηδενικών. Το όγδοο byte της εισαγωγής περιέχει 6 bits εναλλασσόμενων μηδενικών και άσων, αλλά καταλήγει με ένα ειδικό τύπο «1.1.». Αυτά τα δυο σήματα από bits, σηματοδοτούν τη διεπαφή που βρίσκεται σε λήψη, ότι έφτασε στο τέλος της εισαγωγής και ότι τα bits που ακολουθούν είναι τα ουσιώδη πεδία του πλαισίου.

#### 2.3.1.2 Πρότυπο IEEE

Στην προδιαγραφή 802.3, το πεδίο εισαγωγής είναι τυπικά διαιρεμένο σε δυο μέρη, αποτελούμενο από 7 bytes εισαγωγής και 1 byte, *start of frame delimiter* (SFD). Τα δυο τελευταία bits του SFD – του οριοθέτη αρχής πλαισίου – είναι επίσης «1.1.» όπως και στο πρότυπο DIX. Ανεξάρτητα από το ότι το πρότυπο IEEE επιλέγει

το διαχωρισμό του πεδίου SFD, το οποίο περιέχει τα τελευταία 8 bits της εισαγωγής, δεν υφίσταται καμία πρακτική διαφορά μεταξύ των πεδίων εισαγωγής του DIX και της IEEE.

### 2.3.2 Destination Address (Διεύθυνση Προορισμού)

Το πεδίο της διεύθυνσης προορισμού ακολουθεί την εισαγωγή. Σε κάθε διεπαφή Ethernet εκχωρείται μια μοναδική διεύθυνση των 48 bits, η οποία ονομάζεται φυσική διεύθυνση (physical address). Το πεδίο διεύθυνσης προορισμού περιέχει μια διεύθυνση Ethernet των 48 bit η οποία αντιστοιχεί στη διεύθυνση της διεπαφής του σταθμού που είναι ο προορισμός του πλαισίου. Αυτό το πεδίο μπορεί να εναλλακτικά να περιέχει μια multicast διεύθυνση των 48 bit, την οποία μια ή περισσότερες διεπαφές του δικτύου καλούνται να λάβουν.

Κάθε διεπαφή Ethernet που βρίσκεται συνδεδεμένη στο δίκτυο διαβάζει κάθε μεταδιδόμενο πλαίσιο μέχρι το πεδίο διεύθυνσης προορισμού. Αν η διεύθυνση προορισμού δεν συμπίπτει με την διεύθυνση του σταθμού, τότε το πλαίσιο αγνοείται.

#### 2.3.2.1 Πρότυπο DIX

Το πρώτο bit της διεύθυνσης, όπως στέλνεται μέσα στο μέσο του δικτύου, χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό των φυσικών διευθύνσεων από τις multicast διευθύνσεις. Αν το πρώτο bit είναι «0», τότε η διεύθυνση είναι μια φυσική διεύθυνση μιας διεπαφής, η οποία είναι επίσης γνωστή ως *unicast διεύθυνση*, αφού το πλαίσιο που αποστέλλεται σε αυτή τη διεύθυνση, παραδίδεται μόνο σε μια διεύθυνση. Αν το πρώτο bit της διεύθυνσης είναι «1», τότε το πλαίσιο στέλνεται σε μια *multicast διεύθυνση*.

#### 2.3.2.2 Πρότυπο IEEE

Η προδιαγραφή IEEE 802.3 του πλαισίου, προσθέτει σπουδαιότητα στο δεύτερο bit της διεύθυνσης προορισμού, το οποίο χρησιμοποιείται στο διαχωρισμό μεταξύ τοπικών (locally) και υπερτοπικών (globally) διευθύνσεων διαχείρισης. Μια υπερτοπική διεύθυνση διαχείρισης, είναι μια φυσική διεύθυνση που εκχωρείται στη διεπαφή από τον κατασκευαστή, το οποίο υποδεικνύεται θέτοντας το δεύτερο bit, σε «0». Οι διευθύνσεις του DIX Ethernet είναι πάντοτε υπερτοπικά διαχειρισμένες. Αν η διεύθυνση της διεπαφής Ethernet είναι διαχειρισμένη τοπικά για κάποιο λόγο, τότε το δεύτερο bit θεωρείται ότι έχει την τιμή «1». Στην περίπτωση διεύθυνσης broadcast το δεύτερο bit είναι επίσης «1», τόσο για το πρότυπο DIX όσο και για το IEEE.

### 2.3.3 Source Address (Διεύθυνση Πηγής)

Το επόμενο πεδίο του πλαισίου ονομάζεται *source address*. Αυτό το πεδίο αναπαριστά τη φυσική διεύθυνση της διεπαφής που στέλνει το πλαίσιο. Η διεύθυνση πλαισίου δε διερμηνεύεται από το πρωτόκολλο Ethernet MAC. Αντιθέτως, παρέχεται για τη λειτουργία των πρωτοκόλλων υψηλότερων επιπέδων. Κάθε σταθμός Ethernet

χρησιμοποιεί τη φυσική του διεύθυνση ως τη διεύθυνση πηγής για κάθε πλαίσιο που μεταδίδει.

Το πρότυπο DIX σημειώνει ότι κάθε σταθμός μπορεί να αλλάξει τη διεύθυνση πηγής Ethernet, ενώ το πρότυπο IEEE δεν αποτρέπει κατηγορηματικά την ικανότητα παράκαμψης της φυσικής διεύθυνσης που έχει καταχωρηθεί από τον κατασκευαστή. Παρόλα αυτά, σήμερα, όλες οι διεπαφές Ethernet φαίνονται να επιτρέπουν την αλλαγή της φυσικής διεύθυνσης.

Για να προμηθευτεί μια συσκευή με φυσική διεύθυνση, πρέπει ο κατασκευαστής του εξοπλισμού να αιτήσει από την επιτροπή IEEE, ένα αναγνωριστικό OUI (organizationally unique identifier). Το OUI είναι ένα μοναδικό αναγνωριστικό των 24 bit, το οποίο αποτελεί το πρώτο μισό της φυσικής διεύθυνσης κάθε διεπαφής που υλοποιείται από τον κατασκευαστή. Καθώς κατασκευάζεται η διεπαφή, ο παραγωγός εκχωρεί μια μοναδική διεύθυνση που χρησιμοποιεί τα υπόλοιπα 24 bit της διεύθυνσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια φυσική διεύθυνση των 48 bit για κάθε διεπαφή, η οποία περιέχει ένα αναγνωριστικό OUI στο πρώτο μισό της. Το OUI χρησιμοποιείται συχνά για την αναγνώριση του κατασκευαστή, το οποίο μπορεί να φανεί πολύ χρήσιμο κατά την εκσφαλμάτωση δικτυακών προβλημάτων.

### 2.3.4 VLAN Tag Header (Ετικέτα επικεφαλίδας VLAN)

Υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης μια ετικέτας επικεφαλίδας VLAN, μήκους 4 bytes, μεταξύ της διεύθυνσης πηγής του πεδίου Type/Field, ως αναγνωριστικό του virtual LAN στο οποίο ανήκει το πλαίσιο. Τα εικονικά LANs χρησιμοποιούνται σε hubs, σαν έναν τρόπο καθοδήγησης της κίνησης του Ethernet στις θύρες του hub, οι οποίες ορίζονται ως μέλη ενός δεδομένου VLAN. Η κίνηση του VLAN μπορεί να σταλεί μεταξύ hubs και άλλων συσκευών χρησιμοποιώντας την ετικέτα επικεφαλίδας επικυρώνοντας έτσι τα πλαίσια με έναν αναγνωριστικό VLAN. Η ανάπτυξη του προτύπου IEEE 802.1Q που αφορά εικονικά LANs προμηθεύει την ετικέτα VLAN για την αναγνώριση του VLAN προέλευσης.

Η προσθήκη της ετικέτας VLAN έχει επίπτωση στο μήκος του πλαισίου Ethernet, επεκτείνοντας το από τα 1518 bytes, μη συμπεριλαμβανομένης της εισαγωγής, στα 1522 bytes. Εφόσον οι ετικέτες VLAN προστίθενται στα πλαίσια Ethernet μόνο από hubs και άλλες συσκευές, προγραμματισμένες σε δοσοληψίες πλαισίων με ετικέτες VLAN, αυτό δεν επηρεάζει την κανονική λειτουργία του Ethernet.

### 2.3.5 Type Field / Length Field (Πεδίο τύπου / Πεδίο μήκους)

Το επόμενο πεδίο του πλαισίου Ethernet είναι είτε το πεδίο μήκους είτε το πεδίο τύπου.

#### 2.3.5.1 Πρότυπο DIX

Κατά το πρότυπο DIX, το πεδίο των 16 bit καλείται *τύπος πεδίου* (type field) και πάντα περιέχει ένα αναγνωριστικό το οποίο αναφέρεται στον τύπο του πρωτοκόλλου υψηλού-επιπέδου που μεταφέρεται στο πεδίο δεδομένων του πλαισίου. Για παράδειγμα η δεκαεξαδική τιμή 0x0800 έχει εκχωρηθεί ως αναγνωριστικό για το



πρωτόκολλο διαδικτύου IP. Ένα πλαίσιο DIX χρησιμοποιείται για τη μεταφορά πακέτων IP με την τιμή 0x800 στον τύπο πεδίου του πλαισίου

### 2.3.5.2 Πρότυπο IEEE

Όταν πρωτοδημοσιεύθηκε το πρότυπο IEEE 802.3, το 1985, ο τύπος πεδίου του πλαισίου δε συμπεριλαμβανόταν και αντί αυτού, βάσει των προδιαγραφών IEEE, ονομάστηκε *πεδίο μήκους* (length field). Τα πεδία τύπου προστέθηκαν στο πρότυπο IEEE 802.3 το 1997, έτσι ώστε η χρήση τους να αναγνωρίζεται και επισήμως. Τα αναγνωριστικά του πεδίου τύπου εκχωρούνται αρχικά από την Xerox, αλλά τώρα πια αποτελεί ευθύνη της τυποποίησης IEEE. Στο πιο πρόσφατο πρότυπο IEEE 802.3, αυτό το πεδίου ονομάζεται πεδίο Μήκους/Τύπου και η δεκαεξαδική τιμή του πεδίου αναπαριστά τον τρόπο χρήσης του.

Αν η τιμή του πεδίου είναι αριθμητικά ίση ή μικρότερη από το μέγιστο πλαίσιο των 1518 byte – χωρίς την ετικέτα VLAN – τότε το πεδίο χρησιμοποιείται ως πεδίο μήκους. Σε αυτή την περίπτωση η τιμή του πεδίου δείχνει τον αριθμό των δεδομένων του Logical Link Control (LLC) σε bytes που ακολουθούν στο πεδίο δεδομένων του πλαισίου. Αν ο αριθμός των LLC bytes είναι μικρότερος από τον ελάχιστο απαιτούμενο για το πεδίο δεδομένων, τότε αυτόματα θα προστεθούν δεδομένα για να πληρεί το μήκος. Το περιεχόμενο αυτών των δεδομένων «γεμίσματος» δεν καθορίζεται από το πρότυπο. Κατά τη λήψη το πεδίο μήκους χρησιμοποιείται για την ανάγνωση του μήκους των έγκυρων δεδομένων στο πεδίο δεδομένων, ενώ τα δεδομένα «γεμίσματος» αγνοούνται.

Αν η τιμή του πεδίου είναι αριθμητικά ίση ή μεγαλύτερη των 1536 bytes, τότε το πεδίο χρησιμοποιείται ως πεδίο τύπου, όπως ορίζεται από το αρχικό πρότυπο DIX. Σε αυτή την περίπτωση, το αναγνωριστικό του πεδίου χρησιμοποιείται για την ένδειξη του τύπου του πρωτοκόλλου το οποίο μεταφέρεται στο πεδίο δεδομένων του πλαισίου.

### 2.3.6 Data Field (Πεδίο Δεδομένων)

Επόμενο πεδίο του πλαισίου Ethernet είναι το πεδίο δεδομένων.

#### 2.3.6.1 Πρότυπο DIX

Στο πλαίσιο DIX αυτό το πεδίο πρέπει να περιέχει ένα ελάχιστο αριθμό δεδομένων της τάξης των 46 bytes μέχρι το μέγιστο πλήθος των 1500 bytes δεδομένων. Το λογισμικό πρωτοκόλλου δικτύου περιμένει ελάχιστη παροχή 46 bytes δεδομένων.

#### 2.3.6.2 Πρότυπο IEEE

Το όρια του πεδίου δεδομένων στο πλαίσιο IEEE 802.3 είναι ίδια με αυτά του πλαισίου DIX. Παρόλα αυτά, ένα πρωτόκολλο LLC ορισμένο από το πρότυπο IEEE 802.2 LLC μπορεί να παρέμβει στο πλαίσιο δεδομένων, για να το προμηθεύσει με

πληροφορίες ελέγχου. Το πρωτόκολλο LLC χρησιμοποιείται επίσης ως ένας τρόπος αναγνώρισης του τύπου του πρωτοκόλλου που μεταφέρουν τα δεδομένα.

Η διαδικασία αναγνώρισης του πρωτοκόλλου που μεταφέρεται στα δεδομένα ενός εισερχόμενου πλαισίου είναι γνωστή ως *αποπολύπλεξη* (demultiplexing). Ένα πλαίσιο Ethernet μπορεί να χρησιμοποιήσει το πεδίο τύπου για να αναγνωρίσει το πρωτόκολλο υψηλού-επιπέδου που μεταφέρεται στο πλαίσιο. Κατά την προδιαγραφή LLC, ο σταθμός που βρίσκεται σε λήψη αποπολυπλέκει το πλαίσιο, αποκρυπτογραφώντας τα περιεχόμενα του πρωτοκόλλου LLC.

### 2.3.7 FCS Field

Το τελευταίο πεδίο στα πλαίσια DIX και IEEE είναι το πεδίο *frame check sequence* (FCS), το οποίο επίσης καλείται και *cyclic redundancy check* (CRC). Αυτό το πεδίο των 32 bits περιέχει μια τιμή η οποία συνηθίζεται να ελέγχει την ακεραιότητα των bits στα πεδία του πλαισίου, εξαιρουμένης της εισαγωγής/SFD. Η τιμή αυτή υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το CRC, με ένα πολυώνυμο το οποίο υπολογίζεται από τα περιεχόμενα των πεδίων προορισμού, πηγής, τύπου (ή μήκους) και δεδομένων. Καθώς το πλαίσιο δημιουργείται από το σταθμό που εκπέμπει, συγχρόνως υπολογίζεται και η τιμή CRC. Η τιμή της CRC, των 32 bits αποθηκεύεται ως αποτέλεσμα στο πεδίο FCS. Ο συντελεστής x31 του πολυωνύμου CRC στέλνεται σαν το πρώτο bit του πεδίου, ενώ ο συντελεστής x0 ως το τελευταίο.

Το πολυώνυμο CRC υπολογίζεται ξανά από τη διεπαφή του σταθμού σε λήψη, καθώς διαβάζεται το πλαίσιο. Το αποτέλεσμα του δεύτερου υπολογισμού, συγκρίνεται με την τιμή του πεδίου FCS. Αν οι δυο τιμές είναι πανομοιότυπες, τότε ο σταθμός σε λήψη προμηθεύεται με μια υψηλή εγγύηση ότι δεν έχουν συμβεί σφάλματα κατά τη μετάδοση στο κανάλι Ethernet.

### 2.3.8 Ανίχνευση τέλους πλαισίου (End of Frame)

Η παρουσία σήματος σε ένα κανάλι Ethernet είναι γνωστή ως *φέρων*. Η διεπαφή που εκπέμπει σταματά την αποστολή δεδομένων μετά και την εκπομπή του τελευταίου bit του πλαισίου, το οποίο καθιστά το κανάλι Ethernet σε κατάσταση αδρανείας. Στο σύστημα 10Mbps, η ανυπαρξία φέροντος όταν το κανάλι γίνεται αδρανές, σηματοδοτεί τη διεπαφή λήψης, ότι το πλαίσιο τελείωσε. Όταν δηλαδή, η διεπαφή ανιχνεύσει την ανυπαρξία φέροντος, γνωρίζει ότι η μετάδοση του πλαισίου ολοκληρώθηκε.

Το σήμα ανίχνευσης φέροντος μπορεί να συνεχίσει να διαβεβαιώνει τον πομποδέκτη για ένα μικρό χρονικό διάστημα μετά τη λήξη του πλαισίου, εξαιτίας κάποιων καθυστερήσεων που οφείλονται στα ηλεκτρονικά κυκλώματα του πομποδέκτη. Αν συμβαίνει αυτό, είναι πιθανόν για τη διεπαφή να διαβάσει κάποιο τυχαίο θόρυβο, αφού κάποια «φανταστικά» bits μπορεί να περάσουν μετά το τέλος του πεδίου. Αυτά τα επιπρόσθετα bits ονομάζονται *dribble bits*.

Το πρότυπο σηματοδοτεί ότι η επαφή πρέπει «κόψει» το ληφθέν πλαίσιο στο πιο κοντινό οριακό byte, μετά και το τέλος της ανίχνευσης φέροντος, το οποίο απορρίπτει και τα dribble bits, εφόσον υπάρχουν λιγότερα από 8 dribble bits. Αν η τιμή CRC του ληφθέν πλαισίου είναι σωστή, τότε το πλαίσιο αποδέχεται ως έγκυρο. Αυτός ο μηχανισμός επιτρέπει στη διεπαφή να ξεφορτωθεί μέχρι και 7 dribble bits τα οποία μπορεί να εμφανιστούν στο τέλος του πλαισίου.

Τα συστήματα Fast Ethernet και Gigabit Ethernet χρησιμοποιούν πιο σύνθετα σχήματα κωδικοποίησης, τα οποία περιέχουν ειδικούς χαρακτήρες για τη σηματοδότηση της αρχής και του τέλους του πλαισίου. Σε αυτά τα συστήματα η διεπαφή ανιχνεύει την αρχή και το τέλος του πλαισίου, χάρις στα ειδικά σύμβολα που προηγούνται και ακολουθούν τη μετάδοση ενός πλαισίου.

### 2.3.9 Κανόνες Media Access Control

Αφού είδαμε τη δομή του πλαισίου, ας κοιτάξουμε τους κανόνες μετάδοσης ενός πλαισίου σε ένα κοινό Ethernet half-duplex κανάλι. Όταν μεταδίδεται ένα πλαίσιο, ο σταθμός ακολουθεί τα επόμενα βήματα:

Όταν μεταδίδεται ένα σήμα στο κανάλι, η κατάσταση αυτή καλείται *φέρων* (carrier).

Όταν ένας σταθμός, συνδεδεμένος κατά Ethernet, επιλέγει να στείλει ένα πλαίσιο, περιμένει έως τη στιγμή που το κανάλι θα είναι αδρανές, όπως δείχνεται από την απουσία *φέρωντος*.

Όταν ένα κανάλι βρίσκεται σε αδράνεια, ο σταθμός περιμένει για ένα μικρό χρονικό διάστημα που αποκαλείται *interframe gap* (IFG) και κατόπιν μεταδίδει το πλαίσιο.

Αν δυο σταθμοί συμβαίνει να εκπέμπουν ταυτόχρονα, ανιχνεύουν τη σύγκρουση σημάτων και επαναπρογραμματίζουν τη μετάδοση των πλαισίων τους. Αυτό το συμβάν αναφέρεται ως *ανίχνευση σύγκρουσης*.

Υπάρχουν δυο μεγάλα ζητήματα τα οποία πρέπει να αναλάβει η διεπαφή που είναι συνδεδεμένη κατά half-duplex Ethernet και επιθυμεί να εκπέμψει. Πρέπει να ξεκαθαρίσει πότε πρέπει να εκπέμψει και πρέπει να είναι ικανή να ανιχνεύσει και να απαντήσει σε μια σύγκρουση.

Οι κανόνες που δεσμεύουν μια διεπαφή που θέλει να εκπέμψει είναι απλοί:

1. Αν δεν υπάρχει φέρων, για παράδειγμα το μέσο βρίσκεται σε αδράνεια και η περίοδος μη ύπαρξης φέρωντος έχει συνεχιστεί για μια χρονική περίοδο η οποία ισοδυναμεί ή ξεπερνά το IFG, τότε εκπέμπει άμεσα. Αν ένας σταθμός επιθυμεί να αποστείλει πολλαπλά πλαίσια, πρέπει να περιμένει για μια περίοδο του χρόνου ισοδύναμη με το IFG, μεταξύ κάθε πλαισίου.

Το IFG έχει ως σκοπό την προμήθεια κάποιου μικρού χρόνου «ανάκαμψης» για τις διεπαφές Ethernet, μεταξύ της λήψης πλαισίων. Ο χρόνος του IFG έχει τεθεί σε 96 bit-times. Αυτό ισοδυναμεί με 9.6 microseconds για το 10Mbps Ethernet, 960 nanoseconds για το 100Mbps Ethernet και 96 nanoseconds για το Gigabit Ethernet.

2. Αν υπάρχει φέρων, για παράδειγμα το κανάλι είναι απασχολημένο, τότε ο σταθμός συνεχίζει να «ακούει» το κανάλι, μέχρι το φέρων να σιγάσει, δηλαδή να αδρανήσει το κανάλι. Αυτό είναι γνωστό και ως *αναβολή* της προωθούμενης κίνησης. Όταν το κανάλι γίνει αδρανές, ο σταθμός μπορεί να ξεκινήσει τη διαδικασία εκπομπής του πλαισίου, το οποίο συμπεριλαμβάνει το διάστημα IFG.

3. Αν ανιχνευθεί κάποια σύγκρουση κατά τη διάρκεια της εκπομπής, ο σταθμός μπορεί να συνεχίσει να εκπέμπει 32 bits δεδομένων, που ονομάζεται *collision enforcement jam signal*. Αν η σύγκρουση ανιχνευθεί πολύ νωρίς στην μετάδοση του πλαισίου, τότε ο σταθμός θα συνεχίσει να στέλνει μέχρι να ολοκληρωθεί το πεδίο εισαγωγής του πλαισίου, μετά το οποίο στέλνει 32 bits του σήματος jam.

Η ολοκλήρωση της αποστολή της εισαγωγής και του σήματος jam, διασφαλίζει ότι το σήμα παραμένει στο μέσο για αρκετό διάστημα, ώστε να αναγνωρίσουν όλοι οι εμπλεκόμενοι σταθμοί το φαινόμενο της σύγκρουσης και να ενεργήσουν αναλόγως.

α. Μετά την αποστολή του σήματος jam, ο σταθμός περιμένει για ένα εύλογο χρονικό διάστημα, επιλεγμένο με τη βοήθεια ενός αλγόριθμου με χρήση τυχαίας επιλογής και συνεχίζει να μεταδίδει ξανά, ξεκινώντας από το πρώτο στάδιο. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται *backoff*, οπισθοχώρηση. Με τη βοήθεια του τυχαία επιλεγόμενου χρόνου, οι συγκρουόμενοι σταθμοί είναι ικανοί να επιλέξουν διαφορετικούς χρόνους καθυστέρησης, ώστε να μειωθεί η πιθανότητα επανάληψης σύγκρουσης.

β. Αν η επόμενη απόπειρα εκπομπής πλαισίου, καταλήγει σε άλλη μια σύγκρουση, τότε ο σταθμός επαναλαμβάνει τη διαδικασία οπισθοχώρησης. Η διαφορά είναι ότι το εύρος του χρόνου οπισθοχώρησης αυτή τη φορά θα μεγαλώσει. Αυτό μειώνει περισσότερο την πιθανότητα επανάληψης φαινομένων σύγκρουσης και αποτελεί ένα μηχανισμό αυτόματης προσαρμογής για υψηλά φορτία κίνησης.

4. Αφού ο σταθμός των 10Mbps ή των 100Mbps εκπέμπει τα 512 bits του πλαισίου, χωρίς να υπολογίζεται η εισαγωγή, χωρίς συγκρούσεις, τότε λέγεται πώς ο σταθμός κατέχει το κανάλι. Σε ένα δίκτυο Ethernet που λειτουργεί ορθά, δε θα πρέπει να υπάρχει σύγκρουση μετά την εκχώρηση καναλιού. Τα 512 bits ονομάζονται slot time του καναλιού. Για τα 1000Mbps χρησιμοποιείται ένα επεκτειμένο σχήμα slot time.

Όταν ο σταθμός κατέχει το κανάλι και εκπέμπει το πλαίσιο, μηδενίζει και τον καταμετρητή του σύγκρουσης, ο οποίος χρησιμοποιείται για τη γένεση του χρόνου οπισθοχώρησης. Αν καταμετρηθεί κάποια σύγκρουση στην επόμενη εκπομπή, θα ξαναρχίσει τους υπολογισμούς οπισθοχώρησης εκ νέου.

Ας σημειωθεί ότι οι σταθμοί εκπέμπουν τα δεδομένα του ανά ένα πλαίσιο κάθε φορά και ότι κάθε σταθμός πρέπει να ακολουθεί αυτή τη σειρά κανονισμών προκειμένου να έχει πρόσβαση στο κανάλι. Αυτή η διαδικασία εξασφαλίζει τη δίκαιη πρόσβαση στο κανάλι προς όλους τους σταθμούς, αφού όλοι οι σταθμοί ανταγωνίζονται επί ίσοις όροις την πρόσβαση στο κανάλι για την ευκαιρία αποστολής του επόμενου πλαισίου, μετά από κάθε εκπομπή. Το πρωτόκολλο MAC εξασφαλίζει ότι κάθε σταθμός του δικτύου έχει μια δίκαιη ευκαιρία χρήσης του δικτύου.

Το half-duplex Ethernet λειτουργεί σαν ένας διάυλος σήματος, στον οποίο όλοι οι σταθμοί μοιράζονται το κοινό κανάλι. Κάθε σταθμός μπορεί να χρησιμοποιήσει τους κανόνες MAC, στην προσπάθεια να εκπέμπει όποτε το επιθυμεί, αφού δεν υπάρχει κεντρικός έλεγχος. Παρ' όλα αυτά, για να λειτουργήσει αυτή η διαδικασία ορθά, κάθε σταθμός πρέπει να παρακολουθεί την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το κοινό κανάλι. Πιο σημαντικά, πρέπει όλοι οι σταθμοί να είναι ικανοί να ακούσουν το φέρον που δημιουργείται από κάθε μετάδοση φέροντος. Επιπρόσθετα το σύστημα μέσου του Ethernet πρέπει να σχηματίζεται έτσι ώστε να επιτρέπει στο σταθμό να λαμβάνει νέα συγκρούσεων μέσα σε ένα σαφές καθορισμένο χρονικό περιθώριο, που ονομάζεται slot time.

Το slot time βασίζεται στο μέγιστο χρόνο διάδοσης round-trip του συστήματος Ethernet. Ο πραγματικός χρόνος διάδοσης round-trip για ένα δεδομένο σύστημα δικτύου μπορεί να ποικίλλει, σε σχέση με το μήκος και τον τύπο καλωδίωσης που χρησιμοποιείται, ο αριθμός των συσκευών κ.α. Το πρότυπο παρέχει προδιαγραφές για μέγιστα μήκη καλωδίωσης και του μέγιστου αριθμού επαναληπτών τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κάθε μέσο. Αυτό εξασφαλίζει ότι ο μέγιστος χρόνος round-trip για κάθε Ethernet σχεδιασμένο βάση του προτύπου, δε θα υπερβαίνει το μέγιστο χρόνο round-trip ενσωματωμένο σε slot time.

### 2.3.10 Θεμελιώδεις Χρόνοι Συστήματος

Παρ' όλο που τα σήματα ταξιδεύουν πολύ γρήγορα στο Ethernet, χρειάζονται ένα πεπερασμένο χρόνο να διαδοθούν πάνω στο μέσο. Όσο πιο μεγάλα είναι τα καλώδια που χρησιμοποιούνται, τόσο περισσότερος χρόνος μεσολαβεί για την διάδοση σημάτων από τη μια άκρη στην άλλη. Ο μέγιστος χρόνος round-trip που χρησιμοποιείται στο slot time περιέχει το χρόνο τον οποίο απαιτείται για τη διάσχιση των τμημάτων μέσω από τα σήματα πλαισίων. Περιέχει επίσης το χρόνο που χρειάζεται για να περάσει από όλες τις υπόλοιπες συσκευές.

Το μέγιστο μήκος καλωδίων είναι προσεκτικά σχεδιασμένο, έτσι ώστε ο ουσιώδης χρόνος σήματος του συστήματος να διατηρείται. Οι οδηγίες για κάθε ποικιλία μέσου συμπεριλαμβάνουν τις ουσιώδης επιταγές του χρόνου round-trip που προδιαγράφονται για την εύρυθμη λειτουργία του half-duplex Ethernet.

#### 2.3.10.1 Ethernet Slot Time

Οι χρονοκαθυστερήσεις round-trip των σημάτων συνοψίζονται στο Ethernet slot time, το οποίο ορίζεται ως συνδυασμός δυο στοιχείων:

Το χρόνο που απαιτείται για ένα σήμα να ταξιδέψει από τη μια άκρη ενός συστήματος με το μέγιστο όριο, στην άλλη και να επιστρέψει πίσω πάλι. Αυτό ονομάζεται *χρόνος διάδοσης round-trip φυσικού επιπέδου*.

Ο μέγιστος χρόνος που απαιτείται από μια επιβολή σύγκρουσης, το οποίο μεταφράζεται στον απαιτούμενο χρόνο ανίχνευσης μια σύγκρουσης και αποστολής του σήματος jam.

Και τα δυο στοιχεία, υπολογίζονται σε αριθμούς μονάδας bit time. Προσθέτοντας τα δυο αυτά στοιχεία μαζί, συν μερικά πρόσθετα bit για προστασία, έχουμε 512 bit times για τα συστήματα 10Mbps και 100Mbps.

Ο χρόνος που απαιτείται για την εκπομπή ενός πλαισίου το οποίο είναι μακρύτερο 512 bits είναι οριακά μεγαλύτερο από το πραγματικό χρόνο διάδοσης των σημάτων από άκρη σε άκρη του δικτύου, συμπεριλαμβανομένου και του χρόνου που μεσολαβεί για την εκπομπή της ακολουθίας jam. Παρ' όλα αυτά, όταν εκπέμπεται το μικρότερο δυνατό πλαίσιο, βάση των κανονισμών, ο σταθμός εκπομπής θα έχει πάντοτε στη διάθεσή του αρκετό χρόνο για να μάθει τα νεότερα, αν συμβεί κάποια σύγκρουση, ακόμα και αν ο συγκρουόμενος σταθμός βρίσκεται στην αντίπερα πλευρά ενός δικτύου Ethernet μέγιστου μήκους.

Το slot time περιλαμβάνει το χρόνο διάδοσης μέσω του μέγιστου αριθμού στοιχείων τα οποία μπορούν να συνθέσουν ένα δίκτυο μέγιστου μήκους. Αν χρησιμοποιήσουμε τμήματα μέσω, μεγαλύτερα από αυτά που ορίζονται από τις προδιαγραφές, το αποτέλεσμα θα είναι μια αύξηση του χρόνου round-trip που μπορεί να καταλήξει εχθρικά προς την λειτουργία του συστήματος.

Οποιαδήποτε στοιχεία ή συσκευές οι οποίες προσθέτουν μεγάλη καθυστέρηση σήματος μπορούν να προκαλέσουν τα ίδια αρνητικά αποτελέσματα. Από την άλλη, μικρότερα δίκτυα, θα έχουν μικρότερους χρόνους round-trip το οποίο συνεπάγεται ότι η ανίχνευση σύγκρουση θα συμβεί ταχύτερα και ότι οι τεμαχισμοί συγκρούσεων θα είναι μικρότεροι.

### 2.3.10.2 Slot Time και διάμετρος Δικτύου

Το μέγιστο μήκος καλωδίωσης και το slot time είναι στενά δεμένα. Ο χρόνος των 512 bits είναι μια ανταλλαγή μεταξύ μέγιστου μήκους καλωδίωσης και ελάχιστου μήκους πλαισίου. Το μέγιστο μήκος καλωδίωσης που επιτρέπεται στο σύστημα, καθορίζει τη διάμετρο του συστήματος.

#### 10 Mbps slot time

Στο σύστημα 10Mbps, τα σήματα μπορούν να ταξιδέψουν μετά βίας τα 2800m ομοαξονικού καλωδίου και πίσω σε 512 bit time.

#### Fast Ethernet slot time

Όταν αναπτύχθηκε το γρήγορο Ethernet το 1995, το slot time κρατήθηκε στα 512 bits, αφού οι αλλαγές στο ελάχιστο μήκος πλαισίου θα απαιτούσε δραστικές αλλαγές στα στοιχεία του δικτύου.

Παρόλα αυτά, τα σήματα τρέχουν δέκα φορές ταχύτερα, κάτι που σημαίνει ότι το bit time είναι 10 φορές μικρότερο από αυτό που ισχύει στο 10Mbps Ethernet. Εφόσον λοιπόν το bit time είναι δέκα φορές μικρότερο, αυτό σημαίνει ότι βρίσκεται στο καλώδιο για ένα δέκατο του χρόνου. Ως αποτέλεσμα, τα 512 bits θα ταξιδέψουν το ένα δέκατο του μήκους του καλωδίου στο Fast Ethernet, σε σύγκριση με το 10Mbps Ethernet. Έτσι η μέγιστη διάμετρος του Fast Ethernet δικτύου είναι μετά βίας 205m.

Αυτός ο περιορισμός έγινε αποδεκτός, αφού από το 1995 τα περισσότερα δίκτυα χρησιμοποιούσαν καλωδίωση συνεστραμμένου ζεύγους. Οι προδιαγραφές για τη δομημένη καλωδίωση συνεστραμμένων ζευγών επιτρέπει μέγιστο όριο τμημάτων στα 100m.

#### Gigabit Ethernet slot time

Κατά τη δημιουργία του Gigabit Ethernet, η κράτηση του slot time στα 512 bits θα συνιστούσε σμίκρυνση του δικτύου στα 20m half-duplex. Παρόλα αυτά, όλα τα πλεονεκτήματα για την κράτηση του ελάχιστου πλαισίου στα 512 bits υπάρχουν ακόμα.

Ως απάντηση σε αυτό το δίλλημα, το πρότυπο Gigabit Ethernet ήρθε με έναν μηχανισμό ο οποίος διατηρεί το ελάχιστο μήκος πλαισίου στα 512bits, ενώ επεκτείνει το slot time στα 4096 bits (512 bytes). Αυτό πραγματοποιείται με μια μεθοδολογία που ονομάζεται *carrier extension*.

### 2.3.11 Ανίχνευση Σύγκρουσης και Οπισθοχώρηση

Η ανίχνευση σύγκρουσης και η οπισθοχώρηση είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του πρωτόκολλου Ethernet MAC. Πρέπει να ξεκαθαριστούν μερικά πράγματα όμως:

*Οι συγκρούσεις δεν αποτελούν σφάλματα.* Αντιθέτως, οι συγκρούσεις είναι μέρος της κανονικής λειτουργίας του Ethernet. Είναι αναμενόμενο να συμβούν και μεταχειρίζονται ταχέως και αυτόματα.

*Οι συγκρούσεις δεν προκαλούν φθορά δεδομένων.* Κάθε πλαίσιο το οποίο αντιμετωπίζει μια σύγκρουση, αποστέλλεται ξανά από τον σταθμό το εξέπεμψε.

Οποιοδήποτε πλαίσιο είναι μήκους μικρότερου των 512 bits, θεωρείται τεμαχισμός σύγκρουσης και αυτόματα αγνοείται από όλες τις διεπαφές.

Ανεξάρτητα από το όνομα, οι συγκρούσεις δεν αποτελούν πρόβλημα για το Ethernet. Αντίθετα η ανίχνευση συγκρούσεων και η δυνατότητα οπισθοχώρησης αποτελούν χαρακτηριστικά της ομαλής λειτουργίας του Ethernet και συντελούν στην ταχύτητα και αυτόματη επίλυση των μεταδόσεων.

Οι ρυθμοί των συγκρούσεων μπορούν να ποικίλουν, γεγονός που εξαρτάται από το ρυθμό κίνησης του καναλιού και τον αριθμό των σταθμών που μεταδίδουν. Ακόμα και σε ελαφριά φορτία κίνησης, συγκρούσεις μπορούν να συμβούν σποραδικά.

### 2.3.11.1 Λειτουργία της ανίχνευσης Σύγκρουσης

Ακόμα και αν οι σταθμοί ακούν το δίκτυο και αναβάλλουν την κίνησή τους (carrier sense), είναι πιθανόν δυο ή περισσότεροι σταθμοί να ανιχνεύσουν ένα αδρανές κανάλι και να εκπέμψουν ταυτόχρονα. Μια σύγκρουση μπορεί να συμβεί κατά τη διάρκεια της μετάδοσης του σταθμού, η οποία ισοδυναμεί με 512 bit slot time, που καλείται και *παράθυρο σύγκρουσης*. Το παράθυρο σύγκρουσης κράτα για όσο διάστημα χρόνου απαιτείται σε ένα σήμα σταθμού να διαδοθεί σε όλα τα μέλη του κοινού καναλιού και πίσω πάλι. Αφού περάσει το παράθυρο σύγκρουσης, ο σταθμός δηλώνει πώς καταλαμβάνει το κανάλι. Σε αυτή την περίπτωση δε θα πρέπει να υπάρξει πιθανότητα σύγκρουσης αφού όλοι οι σταθμοί θεωρείται ότι λαμβάνουν γνώση του σήματος και αναβάλλουν τις ενέργειές τους κατά την παρουσία του.

#### Αργοπορημένες Συγκρούσεις

Υπό κανονικές συνθήκες οι συγκρούσεις συμβαίνουν κατά τη διάρκεια των πρώτων 512 bits της μετάδοσης πλαισίου. Αν μια σύγκρουση συμβεί μετά από το χρόνο των 512 bits, τότε θεωρείται ως σφάλμα και καλείται *αργοπορημένη σύγκρουση*. Η αργοπορημένη σύγκρουση αποτελεί ένα σοβαρό σφάλμα, αφού καταδεικνύει κάποιο πρόβλημα στο σύστημα του δικτύου και αφού συντελεί στην απόρριψη του μεταδιδόμενου πλαισίου.

Η διεπαφή Ethernet δε θα επανεκπέμψει αυτόματα ένα πλαίσιο που έχει χαθεί εξαιτίας της αργοπορημένης σύγκρουσης. Αυτό σημαίνει πώς το λογισμικό εφαρμογής πρέπει να ανιχνεύσει την ανυπαρξία απάντησης που οφείλεται στο χαμένο πλαίσιο και να επανεκπέμψει την πληροφορία. Αυτό μπορεί να κρατήσει μια σημαντική χρονική περίοδο, που οφείλεται στην αναμονή των χρονιστών επιβεβαίωσης του δικτύου να λήξουν και να αποστείλουν ξανά την πληροφορία. Γι' αυτό ακόμα και ένας μικρός αριθμός αργοπορημένων συγκρούσεων μπορεί να συντελέσει την αργή απόδοση του δικτύου. Κάθε αναφορά για τέτοια φαινόμενα στο δίκτυο, πρέπει να ληφθούν σοβαρά και να επιλυθούν ταχύτατα.

#### Κοινές Αιτίες αργοπορημένων Συγκρούσεων

Η πιο συνηθισμένη αιτία αργοπορημένης σύγκρουσης είναι η ασυμβατότητα μεταξύ των duplex σχηματισμών σε κάθε τέρμα του τμήματος της ζεύξης. Για παράδειγμα, αργοπορημένες συγκρούσεις μπορούν να συμβούν στην περίπτωση που η μια άκρη της ζεύξης έχει διαμορφωθεί για half-duplex λειτουργία, ενώ μια θύρα μεταγωγέα (switch) από την άλλη άκρη έχει διαμορφωθεί για full-duplex λειτουργία.

Το full-duplex απενεργοποιεί τον αλγόριθμο CSMA/CD και η θύρα εκπέμπει όποτε το επιθυμεί. Αν η άκρη full-duplex της ζεύξης συμβεί να εκπέμπει ενώ ή half-duplex άκρη στέλνει ένα πλαίσιο και έχει καταλάβει το κανάλι, τότε η τελευταία βλέπει μια αργοπορημένη σύγκρουση.

Επίσης, αργοπορημένες συγκρούσεις μπορούν να συμβούν εξαιτίας προβλημάτων που μπορεί να προκαλούνται από το μέσο, όπως κάποιο τμήμα συνεστραμμένου ζεύγους με υπερβολική παρεμβολή σήματος crosstalk. Κάποιος πομποδέκτης μπορεί να ανιχνεύσει συγκρούσεις από ταυτόχρονες μεταδόσεις στις διαδρομές λήψης και μετάδοσης. Γι' αυτό, αυτό το συμβάν μπορεί να κάνει τον πομποδέκτη να ανιχνεύσει «ανύπαρκτες» συγκρούσεις. Αν το φαινόμενο crosstalk χρειαστεί κάποιο διάστημα μέχρι να πάρει διαστάσεις που θα ενεργοποιήσουν το κύκλωμα ανίχνευσης συγκρούσεις, υπάρχει πιθανότητα γένεσης αργοπορημένων συγκρούσεων.

### 2.3.11.2 Ο Αλγόριθμος Οπισθοχώρησης

Αφού ανιχνευθεί κάποια σύγκρουση, οι σταθμοί επαναπρογραμματίζουν τις μεταδόσεις τους χρησιμοποιώντας των αλγόριθμο οπισθοχώρησης (backoff) με σκοπό την μείωση της πιθανότητας μιας ακόμη σύγκρουσης. Επιπρόσθετα, αυτός ο αλγόριθμος, επιτρέπει σε μια ομάδα σταθμών που μοιράζονται ένα κοινό κανάλι Ethernet, να τροποποιήσουν αυτόματα τη συμπεριφορά τους, σε σύγκριση με το επίπεδο λειτουργίας του δικτύου. Όσους περισσότερους σταθμούς διαθέτει ένα δίκτυο και όσο πιο ενεργοί είναι, τόσες περισσότερες θα είναι και οι συγκρούσεις που θα εμφανιστούν. Στην περίπτωση πολλαπλών συγκρούσεων για μια δεδομένη απόπειρα μετάδοσης, ο αλγόριθμος υποχώρησης παρέχει στο σταθμό έναν τρόπο εκτίμησης του πόσοι άλλοι σταθμοί επιδιώκουν πρόσβαση στο δίκτυο την ίδια στιγμή. Αυτό επιτρέπει στο σταθμό να προσαρμόσει το ρυθμό επαναμετάδοσης αναλόγως.

Όταν ο πομποδέκτης αισθάνεται μια σύγκρουση στο μέσο, στέλνει ένα σήμα ύπαρξης σύγκρουσης πίσω στην διεπαφή του σταθμού. Αν η σύγκρουση αναγνωριστεί πολύ νωρίς κατά την μετάδοση του πλαισίου, η διεπαφή του σταθμού σε μετάδοση, δεν απαντά στο σήμα ύπαρξης σύγκρουσης, μέχρι να αποσταλεί ολόκληρη η εισαγωγή. Σε αυτό το σημείο στέλνει ένα σήμα jam, των 32 bits και διακόπτει τη μετάδοση. Ως αποτέλεσμα, το σήμα σύγκρουση θα μείνει για αρκετό διάστημα, ικανό για να γίνει αντιληπτό από όλους τους υπόλοιπους σταθμούς. Τότε οι σταθμοί που εμπλέκονταν στη σύγκρουση, πρέπει να επαναπρογραμματίσουν τα πλαίσιά τους για επανάληψη της μετάδοσης. Αυτό πραγματοποιείται από τη δημιουργία μιας χρονικής περιόδου αναμονής μέχρι την επαναμετάδοση, η οποία βασίζεται σε έναν τυχαίο αριθμό που επιλέγεται από κάθε σταθμό και χρησιμοποιείται από αυτούς.

Για ένα επιβαρυσμένο κανάλι Ethernet, η σύγκρουση μπορεί να συμβεί κατά οποιαδήποτε επόμενη επαναμετάδοση. Αν εμφανιστεί άλλη μια σύγκρουση, ο αλγόριθμος οπισθοχώρησης παρέχει έναν μηχανισμό προσαρμογής του χρόνου των επαναμεταδόσεων για την αποφυγή συμφόρησης. Η διαδικασία προγραμματισμού έχει σχεδιαστεί βάση, ενός, εκθετικά αυξανόμενου εύρους χρόνων οπισθοχώρησης, άμεσα συνδεδεμένου με τον πλήθος συγκρούσεων κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης μετάδοσης πλαισίου.

Όσες περισσότερες οι συγκρούσεις ανά πλαίσιο, τόσο μεγαλύτερο το εύρος του χρόνου οπισθοχώρησης που θα επιλέγεται κάθε φορά. Με άλλα λόγια, όσες περισσότερες συγκρούσεις, τόσο μεγαλύτερη και η αναμονή του σταθμού κάθε φορά



πριν ξαναδοκιμάσει. Η διαδικασία αυτή προγραμματισμού της μετάδοσης, ονομάζεται *αλγόριθμος εκθετικής υποχώρησης*.

### 2.3.11.3 Λειτουργία του Αλγόριθμου Υποχώρησης

Αφού συμβεί μια σύγκρουση, ο αρχικός χρόνος καθυστέρησης προτού ακολουθήσει η επαναμετάδοση, ορίζεται στα 512 bit times για τα 10 και 100Mbps Ethernet. Ας σημειωθεί ότι τα 512 bit times μεταφράζονται διαφορετικά για κάθε ταχύτητα Ethernet. Έτσι έχουμε 100nanoseconds αναμονή για τα 10Mbps και 10nanoseconds για τα 100Mbps.

Η ποσότητα του χρόνου αναμονής εξαιτίας της οπισθοχώρησης, υπολογίζεται από την πολύπλεξη του χρόνου slot με έναν τυχαία επιλεγμένο ακέραιο. Το πλήθος επιλογής των ακεραίων δημιουργείται κάθε φορά σύμφωνα με τους κανόνες του αλγόριθμου οπισθοχώρησης. Συγκεκριμένα, κάθε φορά που δημιουργείται σύγκρουση για μια απόπειρα μετάδοσης ενός δεδομένου πλαισίου, αυτό το πλήθος επιλογών αυξάνεται. Τότε, η διεπαφή επιλέγει τυχαία έναν ακέραιο από αυτό το πλήθος, και το αποτέλεσμα αυτού και το χρόνο slot, δημιουργεί έναν καινούργιο χρόνο οπισθοχώρησης.

Ο αλγόριθμος οπισθοχώρησης χρησιμοποιεί την ακόλουθη μεθοδολογία προσδιορισμού του ακεραίου  $r$ , ο οποίος χρησιμοποιείται στον πολλαπλασιασμό του με το χρόνο slot, αποδίδοντας μια αναμονή οπισθοχώρησης.

$$0 \leq r \leq 2^k$$

Όπου,  $k = \min(n, 10)$

Ο όρος  $r$  είναι ένας ακέραιος τυχαία επιλεγμένος από ένα πλήθος ακεραίων. Η τιμή του  $r$  μπορεί να ποικίλει από μηδέν μέχρι τη δύναμη του 2 εις την  $k$  μειωμένο κατά 1.

Ο όρος  $k$  αναπαριστά τον αριθμό των προσπαθειών μετάδοσης.

Ας πάρουμε ως παράδειγμα ότι μια διεπαφή επιχειρεί να στείλει ένα πλαίσιο και συμβαίνει μια σύγκρουση. Κατά την πρώτη επανάληψη της προσπάθειας, η τιμή του  $2^k$  είναι 2, αφού το πλήθος των προσπαθειών είναι 1. Κατά την πρώτη απόπειρα, μετά τη σύγκρουση, η διεπαφή έχει τη δυνατότητα να επιλέξει μια τιμή  $r$  που ποικίλει από 0 μέχρι 1. Αυτό σημαίνει πως μετά την πρώτη σύγκρουση, η διεπαφή μπορεί να περιμένει για χρόνο 0 slot και να επιχειρήσει να επανεκπέμψει άμεσα. Διαφορετικά, ο σταθμός θα περιμένει για 1 slot time, για χρόνο οπισθοχώρησης που αντιστοιχεί στα 51.2μs για ένα κανάλι των 10Mbps.

Αν το κανάλι είναι υπερφορτωμένο, από το πλήθος των σταθμών που επιχειρούν να εκπέμψουν και η απόπειρα επαναμετάδοσης καταλήξει και αυτή σε σύγκρουση, βρισκόμαστε την προσπάθεια νούμερο 2. Τώρα, ο αριθμός  $r$  επιλέγεται από ένα πλήθος τιμών που ποικίλει από 0 μέχρι την τιμή του  $2^k$  μείων 1. Αυτή τη φορά, η διεπαφή, μπορεί να επιλέξει τυχαία των πολλαπλασιαστή του slot έναν από τους αριθμούς 0, 1, 2, 3. Ο ακέραιος που επιλέγεται πολλαπλασιάζεται με το slot time και αποδίδει ένα χρόνο οπισθοχώρησης πριν την επανεκπομπή.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η διεπαφή δεν χρειάζεται να επιλέξει πάντα το μεγαλύτερο ακέραιο και κατ' επέκταση ένα μεγαλύτερο χρόνο οπισθοχώρησης, για

κάθε σύγκρουση ενός δεδομένου πλαισίου. Αντίθετα, αυτό που συμβαίνει είναι ότι το πλήθος των ακεραίων που επιλέγεται μεγαλώνει, καθώς και η πιθανότητα επιλογής ενός μεγαλύτερου χρόνου αναμονής. Όσες φορές επαναλαμβάνεται η σύγκρουση για ένα συγκεκριμένο πλαίσιο, τόσο αυξάνει και το πλήθος τιμών του  $k$ , μέχρι και τις 10 πρώτες απόπειρες.

Μετά τις 10 προσπάθειες, η τιμή του  $k$  σταματά να αυξάνεται. Σε αυτό το σημείο, η τιμή του  $2^k$  είναι ίση με 1024, έτσι η τιμή του  $r$  επιλέγεται από το σύνολο τιμών από 0, μέχρι και 1023. Αν το πλαίσιο συνεχίζει να αντιμετωπίζει συγκρούσεις μετά και από 16 προσπάθειες, η διεπαφή παραιτείται, ακυρώνει το πλαίσιο, δημοσιεύει μια αναφορά αποτυχίας μετάδοσης, έτσι ώστε να το λάβουν υπόψιν τους τα υψηλότερα επίπεδα και τελικά προχωρά με το επόμενο πλαίσιο, αν υπάρχει.

Σε δίκτυα με ανεκτά φορτία κίνησης, ο σταθμός θα κατοχυρώσει το κανάλι και θα αποστείλει το πλαίσιο του στις επόμενες, λίγες προσπάθειες. Μόλις ο σταθμός ολοκληρώσει αυτήν την κίνηση, μηδενίζει τον καταμετρητή οπισθοχώρησης. Αν εμφανιστεί μια καινούργια σύγκρουση, σε ένα καινούργιο πλαίσιο, θα υπολογίσει έναν νέο χρόνο αναμονής.

Κάθε σταθμός, έχει την ικανότητα να εκτιμά, τον αριθμό των σταθμών που προσπαθούν να προωθήσουν φορτίο στο κανάλι. Αυτό, βασίζεται στο πλήθος των φορών που ο σταθμός επιχείρησε πρόσβαση στο κανάλι και αντιμετώπισε μια σύγκρουση.

## 2.4 Gigabit Ethernet Half-Duplex

Το Gigabit Ethernet σε half-duplex λειτουργία χρησιμοποιεί το ίδιο σχήμα πρόσβασης, το CSMA/CD, όπως και οι πρόγονοί του, με την εξαίρεση του slot time. Στο Gigabit Ethernet, το slot time τροποποιήθηκε έτσι ώστε να προσαρμόζεται στις χρονικές απαιτήσεις που ανακύπτουν από την ταχύτητα του συστήματος.

Σήμερα, όλος ο εξοπλισμός Gigabit Ethernet βασίζεται στην full-duplex λειτουργία. Παρ' όλα αυτά ορίστηκε μια προδιαγραφή για το half-duplex GbE, έτσι ώστε να ικανοποιεί τις αρχές του προτύπου 802.3 CSMA/CD.

### 2.4.1 Διάμετρος Δικτύου half-duplex GbE

Η πρόκληση ήταν η δημιουργία ενός προτύπου GbE, που θα λειτουργούσε κατά full-duplex και η διάμετρος του δικτύου θα παρέμενε μεγάλη. Η μέγιστη διάμετρος του δικτύου, μεταξύ δυο σταθμών καθορίζει για το μήκος του slot time, το οποίο αποτελεί και καθοριστικό παράγοντα του μηχανισμού CSMA/CD.

Στο Gigabit Ethernet, η σηματοδότηση τρέχει δέκα φορές πιο γρήγορα από ότι στο Fast Ethernet, το οποίο σημαίνει ότι ο χρόνος bit μειώνεται στο ένα δέκατο. Αυτό θα συνιστούσε τη σμίκρυνση του δικτύου κατά ένα ανάλογο ποσοστό που θα έφτανε αντιστοιχούσε σε μια μέγιστο διάμετρο δικτύου των 20m. Αυτός ο περιορισμός, αντίβαινε στις προσδοκίες αυτής της τεχνολογίας να υποστηρίξει δίκτυα μεγάλης διαμέτρου. Τα πρότυπα δομημένης καλωδίωσης επιβάλλουν μέγιστη απόσταση μεταξύ σταθμού και θύρα hub στα 100m για εφαρμογές γραφείων. Αυτό σήμαινε πως η μέγιστη διάμετρος δικτύου δυο σταθμών, μεταξύ των οποίων θα παρεμβалλόταν ένα GbE hub, θα μπορούσε να φτάσει το πολύ τα 200m

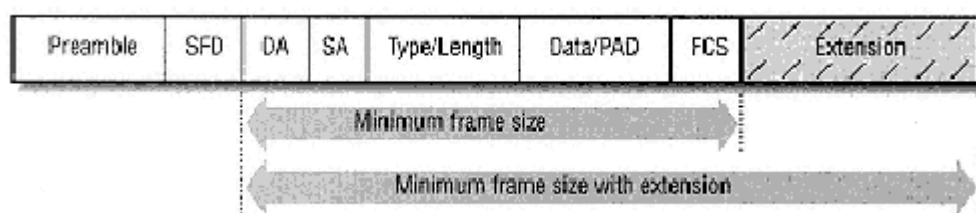
Για να επιτευχθούν αυτά τα 200m διαμέτρου, οι σχεδιαστές έπρεπε να αυξήσουν το χρόνο round-trip ώστε να ικανοποιεί μεγαλύτερα μήκη καλωδίων. Ο τρόπος με τον

οποίο μπορεί να κερδιθεί χρόνος και ταυτόχρονα να επιτευχθούν μεγαλύτερες αποστάσεις είναι η τροποποίηση της προδιαγραφής του ελάχιστου πλαισίου μετάδοσης. Αν το ελάχιστο πλαίσιο μπορούσε να επεκταθεί, τότε το σήμα Ethernet, θα μπορούσε να παραμείνει για περισσότερο χρόνο στο κανάλι. Έτσι, επεκτείνοντας το χρόνο round-trip του συστήματος, θα μπορούσε να επιτευχθεί ο στόχος των 200m διαμέτρου καλωδίωσης. Το πρόβλημα που θα ανέκυπτε θα ήταν ότι με την μετατροπή του ελάχιστου μήκους πλαισίου, το πλαίσιο θα ήταν πια ασύμβατο με τις υπόλοιπες τεχνολογίες Ethernet, οι οποίες χρησιμοποιούν το ίδιο σχήμα πλαισίου.

#### 2.4.2 Επέκταση Φέροντος (Carrier Extension)

Η λύση στο σχήμα πλαισίου ήρθε με το συνδυασμό επέκτασης του χρόνου παραμονής του σήματος του ελάχιστου μήκους πλαισίου, χωρίς να μετασχηματίζεται στην πραγματικότητα το μήκος ή τα πεδία του πλαισίου. Το Gigabit Ethernet, το επιτυγχάνει αυτό με την επέκταση του χρόνου που το πλαίσιο παραμένει ενεργό στο σύστημα half-duplex, με τη βοήθεια ενός μηχανισμού που ονομάζεται *επέκταση φέροντος* (carrier extension). Το σήμα πλαισίου, ή φέρον, επεκτείνεται με την προσάρτηση σημάτων non-data, που ονομάζονται bits επέκτασης. Τα bits επέκτασης, χρησιμοποιούνται όταν στέλνονται μικρά πλαίσια, έτσι ώστε το σήμα πλαισίου να παραμείνει στο σύστημα για έναν ελάχιστο χρόνο των 512 bytes ή 4096 bit times, που είναι και το νέο slot time για το Gigabit Ethernet. Αυτό το slot time καθιστά εφικτή τη χρησιμοποίηση μεγαλύτερων καλωδίων και χρησιμοποιείται επίσης στους υπολογισμούς του αλγορίθμου εκθετικής υποχώρησης σε συστήματα GbE.

Με την επέκταση φέροντος, ένα ελάχιστου μήκους πλαίσιο των 64 bytes (512 bits), αποστέλλεται στο κανάλι Gigabit Ethernet μαζί με 448 bytes επέκτασης (3.538 bits), συνιστώντας ένα σήμα φέροντος το οποίο φθάνει τα 512 bytes σε μήκος. Οποιοδήποτε πλαίσιο μικρότερο των 4096 bits σε μήκος, θα επεκτείνεται όσο χρειάζεται ώστε να μετασχηματιστεί σε ένα φέρον των 4096 bit times, αλλά όχι παραπάνω.



Σχήμα 2.4.1 – Επέκταση Φέροντος

Η επέκταση φέροντος μπορεί να αποτελεί ένα απλό σχήμα που επεκτείνει τη διάμετρο του collision domain, αλλά από την άλλη, προσθέτει σημαντική υπερφόρτωση σε εκπομπές μικρών πλαισίων. Ένα ελάχιστο πλαίσιο σε μέγεθος που μεταφέρει 46 bytes δεδομένων είναι 64 bytes σε μήκος. Η επέκταση φέροντος προσθέτει άλλα 448 bytes επέκτασης non-data, κατά την μετάδοση του πλαισίου, το οποίο υποβαθμίζει σημαντικά την απόδοση του καναλιού, όποτε πρόκειται για μεταδόσεις μικρών πλαισίων.

Ο αντίκτυπος στην αποδοτικότητα του καναλιού είναι άμεσα συνυφασμένος με τη μίξη του μεγέθους του πλαισίου που βλέπει το δίκτυο. Καθώς το μέγεθος του

πλαisiού προς αποστολή μεγαλώνει, το πλήθος των bits επέκτασης που απαιτούνται για τη μετάδοση, μειώνεται. Όταν το πλαίσιο είναι 512 bytes ή μεγαλύτερο σε μήκος, δεν χρειάζονται bits επέκτασης. Γι' αυτό, η υπερφόρτωση από την επέκταση φέροντος που συναντάται κατά την αποστολή, θα ποικίλλει ανάλογα με το μήκος του πλαisiού. Η επέκταση φέροντος χρησιμοποιείται μόνο στο half-duplex GbE. Στη full-duplex λειτουργία δε χρησιμοποιείται το σχήμα CSMA/CD, το οποίο εξαλείφει την υπόθεση του slot time. Γι' αυτό, οι ζεύξεις full-duplex GbE δε χρειάζονται επέκταση φέροντος και είναι ικανές να λειτουργήσουν σε πλήρης αποδοτικότητα.

### 2.4.3 Frame Bursting (Ομοβροντία Πλαisiού)

Το πρότυπο Gigabit Ethernet, ορίζει, μια προαιρετική δυνατότητα η οποία καλείται *frame bursting* και βελτιώνει την αποδοτικότητα μικρών πλαisiών για κανάλια half-duplex. Αυτό βοηθά το σταθμό να στείλει περισσότερα πλαίσια σε μια δεδομένη μετάδοση, βελτιώνοντας την απόδοση του συστήματος, για μικρά πλαίσια. Το μέγιστο μέγεθος ενός frame burst, περιορίζεται στα 65536 bit time, συν την τελική μετάδοση πλαisiού, η οποία θέτει ένα όριο στο μέγιστο χρόνο μετάδοσης της ομοβροντίας.

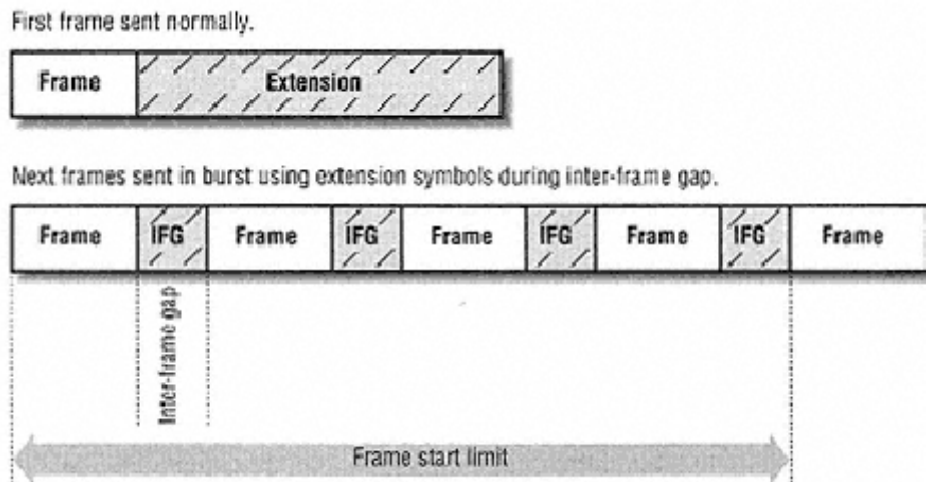
Ας δούμε πώς δουλεύει η ομοβροντία πλαisiού. Το πρώτο πλαίσιο της μετάδοσης στέλνεται πάντα κανονικά, έτσι ώστε να αποσταλεί μόνο του και να επεκταθεί, αν κρίνεται απαραίτητο. Επειδή συγκρούσεις συμβαίνουν πάντα στο πρώτο slot time, μόνο αυτό το πλαίσιο μπορεί να προσβληθεί από σύγκρουση, απαιτώντας την επαναμετάδοσή του. Αυτό το πλαίσιο μπορεί να αντιμετωπίσει μια ή περισσότερες συγκρούσεις, κατά την απόπειρα μετάδοσης. Ωστόσο, τη στιγμή που θα αποσταλεί επιτυχώς το πρώτο πλαίσιο, τότε ο σταθμός που είναι εξοπλισμένο με ομοβροντία πλαisiών, μπορεί να συνεχίσει να στέλνει επιπρόσθετα πλαίσια μέχρι το όριο των 65536 bit times της ομοβροντίας, να επιτευχθεί. Για να καταστεί κάτι τέτοιο εφικτό, ο σταθμός που βρίσκεται σε εκπομπή, πρέπει να μην επιτρέψει στο κανάλι να αδρανοποιηθεί, μεταξύ των μεταδόσεων. Σε αντίθετη περίπτωση, οι υπόλοιποι σταθμοί θα προσπαθήσουν να αποκτήσουν πρόσβαση στο κανάλι, οδηγώντας σε συγκρούσεις.

Ο σταθμός που επιτελεί ομοβροντία πλαisiών, κρατά το κανάλι ενεργό μεταδίδοντας ειδικά σύμβολα, που γίνονται αντιληπτά από όλους τους σταθμούς, ότι πρόκειται για σύμβολα non-data, μεταξύ των interframe gap των πλαisiών. Έτσι, όλοι οι σταθμοί συνεχίζουν να αισθάνονται την ύπαρξη φέροντος στο κανάλι και κατά συνέπεια αναβάλλουν τη μετάδοσή τους, επιτρέποντας στο σταθμό να ολοκληρώσει την ομοβροντία του, χωρίς να αντιμετωπίσει συγκρούσεις.

Στην πραγματικότητα, το πρώτο πλαίσιο, «καθαρίζει» το κανάλι για τις ομοβροντίες πλαisiού που επακολουθούν. Αφού μεταδοθεί επιτυχώς το πρώτο πλαίσιο, τα επόμενα πλαίσια ομοβροντίας εγγυώνται την αποφυγή συγκρούσεων. Τα πλαίσια που στέλνονται στην ομοβροντία, δεν απαιτούν bits επέκτασης. Ο σταθμός που μεταδίδει, επιτρέπεται να συνεχίσει να μεταδίδει μέχρι την επίτευξη του ορίου ομοβροντίας (FBL), το οποίο σηματοδοτεί τη στιγμή εκκίνησης του τελευταίου πλαisiού της ομοβροντίας.

Για μικρά πλαίσια, ο προαιρετικός μηχανισμός ομοβροντίας μπορεί να βελτιώσει το ρυθμό του καναλιού. Εν τούτοις, αυτό μπορεί να συμβεί μόνο εάν το λογισμικό του σταθμού είναι σχεδιασμένο να εκμεταλλευτεί την ικανότητα της αποστολής ομοβροντίας πλαisiών. Χωρίς αυτό το μηχανισμό το κανάλι half-duplex GbE, είναι λιγότερο από δυο φορές πιο αργό από το αντίστοιχο Fast Ethernet για το ελάχιστο

μήκος πλαισίου. Με τη χρήση της ομοβροντίας, το κανάλι GbE είναι σχεδόν 9 φορές ταχύτερο από τον πρόγονό του.



Σχήμα 2.4.2 – Ομοβροντία πλαισίου

## 2.5 Full – Duplex Ethernet

Η λειτουργία Full-Duplex είναι μια προαιρετική μέθοδος, που επιτρέπει την ταυτόχρονη επικοινωνία μεταξύ σταθμών. Η ζεύξη μεταξύ των σταθμών πρέπει να είναι μέσο σημείου-προς-σημείου, έτσι ώστε να παρέχονται ανεξάρτητα μονοπάτια εκπομπής και λήψης. Ενεργοποιώντας το Full-Duplex και οι σταθμοί μπορούν να εκπέμπουν και να λαμβάνουν ταυτόχρονα, γεγονός που διπλασιάζει τη χωρητικότητα της ζεύξης. Για παράδειγμα, κατά τη λειτουργία half-duplex, το μέσο του Fast-Ethernet μπορεί να επιτύχει ένα μέγιστο εύρος ζώνης των 100Mbps. Αντίστοιχα, το ίδιο μέσο, κατά τη λειτουργία full-duplex μπορεί να παρέχει ένα μέγιστο εύρος ζώνης της τάξης των 200Mbps.

Ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημα της λειτουργίας του full-duplex, είναι ότι το μέγιστο μήκος του μέσου, δεν περιορίζεται πια από τις χρονικές απαιτήσεις που αντιμετωπίζουμε στα κοινά κανάλια του half-duplex Ethernet. Ο μόνος περιορισμός που συναντάμε σ' αυτή τη λειτουργία, επιβάλλεται από την χωρητικότητα της σηματοδότησης του μέσου.

Η λειτουργία full-duplex, προσδιορίζεται από το συμπληρωματικό πρότυπο 802.3x, το οποίο εγκρίθηκε από το πρότυπο IEEE 802.3 το Μάρτιο του 1997. Επίσης, το 802.3x περιγράφει μια σειρά μηχανισμών που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ροής (flow control) των full-duplex ζεύξεων. Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση αυτού του ελέγχου ροής, καλούνται *MAC Control* και *PAUSE*.

### 2.5.1 Λειτουργία Full-Duplex

Το πρότυπο 802.3x, περιγράφει τις ακόλουθες απαιτήσεις για τη λειτουργία του full-duplex:

Το σύστημα μέσου πρέπει να είναι εφοδιασμένο με ανεξάρτητα μονοπάτια, για εκπομπή και λήψη, τα οποία θα μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα. Τέτοιου είδους

μονοπάτια δεδομένων μπορούν να βρεθούν σε ζεύξεις συνεστραμμένου ζεύγους ή οπτικών ινών.

Υπαρξη μιας ζεύξης η οποία θα συνδέει απευθείας δυο σταθμούς, σημείο-προς-σημείο, αφού δεν υφίσταται ανταγωνισμός για κάποιο κοινό μέσο και οι αλγόριθμοι πολλαπλής πρόσβασης, όπως το CSMA/CD κρίνονται περιττοί.

Και οι δυο σταθμοί του τοπικού δικτύου, είναι ικανοί και έχουν τροποποιηθεί έτσι ώστε να μπορούν χρησιμοποιήσουν τη λειτουργία full-duplex. Αυτό μεταφράζεται στο ότι και οι δυο διεπαφές Ethernet έχουν την ικανότητα να εκπέμπουν και να λαμβάνουν πλαίσια.

Η αρχική λειτουργία του Ethernet στηρίζεται στο half-duplex και τον αλγόριθμο CSMA/CD, όπου κάθε σταθμός εκπέμπει σε δεδομένη χρονική στιγμή. Για την παροχή υπηρεσιών full-duplex πρέπει να υπάρχουν ανεξάρτητες ζεύξεις σε κάθε σταθμό έτσι ώστε να μην παρεμβάλουν οι ενέργειες του ενός σταθμού στον άλλο. Τόσο ο η διεπαφή του σταθμού (controller) όσο και ο πομποδέκτης κάθε σταθμού πρέπει να τροποποιηθούν ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν το full-duplex.

Κατά την αποστολή στο full-duplex, οι σταθμοί αγνοούν την ανίχνευση φέροντος. Παρόλα αυτά ο σταθμός συνεχίζει να περιμένει για μια περίοδο interframe gap μεταξύ κάθε πλαισίου. Αυτό το κενό εξασφαλίζει ότι οι διεπαφές σε κάθε άκρο της ζεύξης μπορούν να συμβαδίσουν με το ρυθμό πλαισίων.

Κατά τη λειτουργία full-duplex ο αλγόριθμος CMA/CD δεν χρησιμοποιείται. Κάθε σταθμός εκπέμπει όποτε το επιθυμεί αγνοώντας την ανίχνευση φέροντος (CS). Δεν υπάρχει πολλαπλή πρόσβαση (MA), αφού υπάρχει μόνο ένας σταθμός σε κάθε τέρμα της ζεύξης. Αφού δεν υπάρχει και συναγωνισμός πρόσβασης δεν υπάρχουν και συγκρούσεις, έτσι αγνοείται και η ανίχνευση σύγκρουσης (CD).

Ενώ το full-duplex έχει τη δυνατότητα να διπλασιάσει το εύρος ζώνης μια ζεύξης Ethernet, το σύνηθες είναι να μην οδηγεί σε υψηλή βελτίωση της απόδοσης. Αυτό συμβαίνει γιατί τα περισσότερα πρωτόκολλα δικτύων είναι σχεδιασμένα να στέλνουν δεδομένα και κατόπιν να περιμένουν για μια επιβεβαίωση. Αυτό οδηγεί σε ασυμμετρικά δείγματα δεδομένων κατά τα οποία η πλειονότητα των δεδομένων στέλνεται προς τα μια κατεύθυνση, ενώ μια μικρότερη ποσότητα δεδομένων, με τη μορφή επιβεβαιώσεων, επιστρέφουν από την άλλη κατεύθυνση. Γι' αυτό και χρησιμοποιείται συνήθως μόνο σε backbone ζεύξεις.

## 2.5.2 Ethernet Flow Control

Ο ρυθμός διακίνησης στις ραχοκοκαλιές (backbones) του δικτύου μεγαλώνει συνεχώς και ως αποτέλεσμα οι μεταγωγείς των ραχοκοκαλιών, που συνδέονται μεταξύ τους με full-duplex ζεύξεις, μπορούν να φορτωθούν με υψηλή κίνηση. Ένας μεταγωγέας hub, κατέχει μια σειρά από πόρους, με τη μορφή εσωτερικών μεταγωγών εύρους ζώνης και αποθηκευτών πακέτων, οι οποίες διανέμονται αναλογικά στις θύρες-διακόπτες. Για να προστατευτούν αυτοί οι πόροι από την υπερφόρτωση, αναπτύχθηκε ένα πλήθος από μηχανισμούς ελέγχου ροής (flow control), από τους παροχείς hub για full-duplex επικοινωνίες. Αυτοί οι μηχανισμοί περιλαμβάνουν μια μικρή πυροδότηση (burst) του σήματος φέροντος που αποστέλλεται από το hub, προκειμένου να επιβάλλει στους σταθμούς, στο half-duplex τμήμα, να σταματήσουν να στέλνουν δεδομένα, όποτε οι αποθηκευτές (buffers) σε μια θύρα-μεταγωγής είναι γεμάτοι.

Αυτού του τύπου μηχανισμοί είναι βασισμένοι στη λειτουργία full-duplex και δεν βρίσκουν εφαρμογή στο half-duplex που χρησιμοποιεί αλγόριθμο CSMA/CD. Ως

αποτέλεσμα ένα hub συνδεδεμένο σε τμήματα full-duplex χρειάζεται έναν μηχανισμό για την αποστολή μηνυμάτων ελέγχου ροής. Ένα σαφές μήνυμα ελέγχου παρέχεται από τις προαιρετικές MAC Control και PAUSE προδιαγραφές στο παράρτημα του full-duplex, 802.3x.

### 2.5.3 Πρωτόκολλο MAC Control

Η προαιρετική προσθήκη MAC Control της συμπλήρωσης 802.3x, παρέχει έναν μηχανισμό ελέγχου πλαισίων σε κάθε σταθμό Ethernet, σε και σε πραγματικό χρόνο. Κατά την κανονική λειτουργία Ethernet, το πρωτόκολλο MAC καθορίζει πώς γίνεται η λήψη και εκπομπή πλαισίων. Στο προαιρετικό σύστημα ελέγχου ροής Ethernet, το πρωτόκολλο MAC εφοδιάζει με κάποιους μηχανισμούς, που ελέγχουν πότε θα στέλνονται τα πλαίσια Ethernet.

Το σύστημα MAC Control δίνει την ευχέρεια στο σταθμό να λαμβάνει ένα πλαίσιο MAC και να ενεργεί πάνω του. Αυτά τα πλαίσια MAC έχουν σχεδιαστεί για να επιτρέπουν στους σταθμούς να αλληλεπιδρούν, έτσι ώστε να μπορούν να ελέγξουν την ροή της κίνησης. Τα πλαίσια MAC αναγνωρίζονται με έναν τύπο αξίας 0x8808 hex. Οι σταθμοί οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με το προαιρετικό MAC Control λαμβάνουν όλα τα πλαίσια, χρησιμοποιώντας τις συνηθισμένες λειτουργίες του Ethernet MAC και κατόπιν περνάει τα πλαίσια στο λογισμικό του MAC Control για μετάφραση. Αν το πλαίσιο περιέχει την δεκαεξαδική τιμή 0x8808 στον τύπο πεδίου, τότε το MAC Control το διαβάζει, προσπαθώντας να ανιχνεύσει κώδικες λειτουργίας MAC Control που μεταφέρονται στο πεδίο δεδομένων. Αν η δεκαεξαδική τιμή 0x8808 δεν αναφέρεται στον τύπο πεδίου, τότε το MAC Control παραμένει αδρανές και το πλαίσιο περνά στο λογισμικό λήψης του σταθμού.

Τα πλαίσια MAC Control περιέχουν λειτουργικούς κώδικες (opcodes) στον τύπο πεδίου του πλαισίου. Τα μήκος του πλαισίου είναι προσαρμοσμένο στο ελάχιστο επιτρεπτό μήκος πλαισίου του προτύπου, που αντιστοιχεί σε 46 bytes. Οι λειτουργικοί κώδικες βρίσκονται στα δυο πρώτα bytes του πεδίου δεδομένων. Δεν υπάρχει κάποιος μηχανισμός αξιόπιστης μεταφοράς, έτσι το MAC Control πρέπει να είναι ικανό να συμβιβαστεί με την πιθανότητα πώς κάποια πλαίσια MAC Control μπορεί να χαθούν, απορριφθούν, καταστραφούν ή καθυστερήσουν.

### 2.5.4 Λειτουργία PAUSE

Το σύστημα PAUSE του ελέγχου ροής, για full-duplex ζεύξεις, περιγράφεται από το πρότυπο 802.3x και χρησιμοποιεί τα πλαίσια MAC Control να μεταφέρουν οδηγίες PAUSE. Ο λειτουργικός κώδικας (opcode) του MAC Control, για οδηγίες PAUSE, αναπαρίσταται με την δεκαεξαδική τιμή 0x0001. Σταθμός ο οποίος λαμβάνει πλαίσια MAC Control με τέτοια τιμή στο πρώτο byte του πεδίου δεδομένων, γνωρίζει πώς πρέπει να επιτελέσει λειτουργία PAUSE, προκειμένου να υλοποιηθεί έλεγχος ροής σε μια full-duplex ζεύξη. Μόνο οι σταθμοί που έχουν τροποποιηθεί για full-duplex εργασίες μπορούν να στείλουν πλαίσια PAUSE.

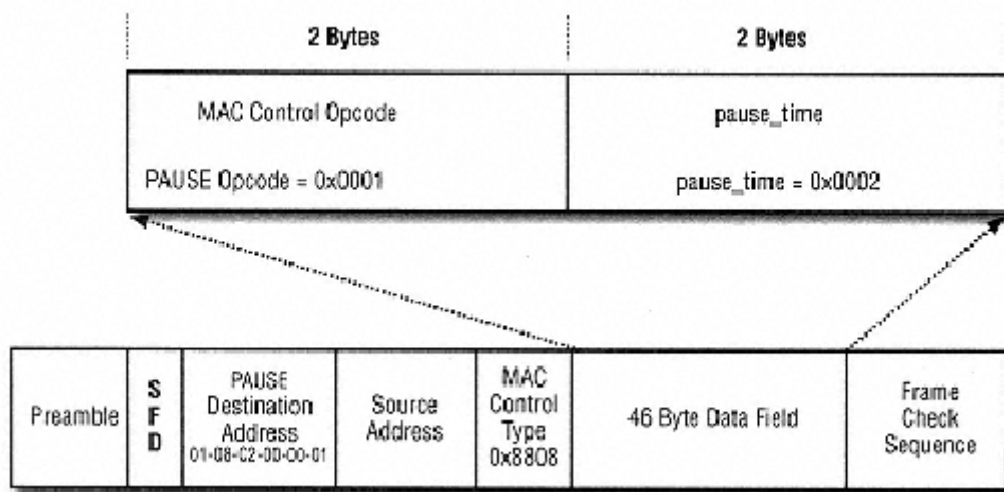
Όταν ένας σταθμός, εξοπλισμένος με το MAC Control, επιθυμεί να αποστείλει μια εντολή PAUSE, στέλνει ένα πλαίσιο PAUSE στην multicast διεύθυνση των 48 bit 01-80-C2-00-00-01. Αυτή η ειδική multicast διεύθυνση έχει καταχωρηθεί σε πλαίσια PAUSE. Η χρήση γνωστών διευθύνσεων multicast, απλοποιεί τη διαδικασία ελέγχου

ροής, αφού ο κάθε σταθμός μπορεί εύκολα να ανιχνεύσει και να υποθηκεύσει την διεύθυνση του άλλου.

Ένας σταθμός που στέλνει ένα πλαίσιο σε μια multicast διεύθυνση, περιέχει το κώδικα PAUSE και επίσης περιέχει την περίοδο PAUSE που έχει ζητηθεί, στη μορφή των 2 ακεραίων byte. Αυτός ο αριθμός περιέχει τη διάρκεια του χρόνου για την οποία ζητείται από το σταθμό που το λαμβάνει, να σταματήσει τη μετάδοση δεδομένων. Ο χρόνος PAUSE μετριέται σε μονάδες «κβάντα», όπου κάθε μονάδα είναι ίση με 512 bit times. Το εύρος των αιτήσεων PAUSE, χρονικά, μπορεί να ποικίλει από 0 μέχρι και 65535 μονάδες.

Τα πεδία PAUSE μεταφέρονται στο πεδίο δεδομένων του πλαισίου MAC Control. Ο κώδικας (opcode) MAC Control 0x0001 δηλώνει πώς πρόκειται για ένα πλαίσιο PAUSE. Το πλαίσιο PAUSE μεταφέρει μια παράμετρο, που ορίζεται ως ο χρόνος *pause* του προτύπου. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, το περιεχόμενο του χρόνου *pause* είναι 2, γεγονός που δείχνει ότι η συσκευή στην αντίπερα άκρη της ζεύξης, πρέπει να διακόψει τις μεταδόσεις της, για μια περίοδο των 2 slot times.

Ο σταθμός που χρησιμοποιεί τα πλαίσια MAC Control για να αποστείλει αιτήσεις PAUSE, μπορεί να ζητήσει από το σταθμό στον οποίο αναφέρεται να σταματήσει τις μεταδόσεις του για ένα χρονικό διάστημα. Αυτό παρέχει έλεγχο ροής σε πραγματικό χρόνο μεταξύ hubs, ή μεταξύ hub και server, που είναι εξοπλισμένοι με το προαιρετικό λογισμικό MAC Control και βρίσκονται συνδεδεμένοι κατά full-duplex.



Σχήμα 2.5.1 – Εντολές PAUSE στο πλαίσιο Ethernet

## 2.6 Φυσικά Συστήματα Μέσων (Physical Media Systems)

Το IEEE προσδιόρισε κάποια αναγνωριστικά συντόμευσης των προδιαγραφών για τα διάφορα συστήματα μέσων του Ethernet. Τα αναγνωριστικά αυτά έχουν τρία μέρη που περιέχουν την ταχύτητα, τον τύπο της σηματοδοσίας που χρησιμοποιείται και πληροφορίες για το φυσικό μέσο.

Στα πρώτα συστήματα μέσων, το μέρος του αναγνωριστικού που αναφερόταν στο φυσικό μέσο αναπαριστούσε το μήκος του καλωδίου σε μέτρα. Στα πιο σύγχρονα συστήματα, στην προδιαγραφή δεν αναφέρεται το μήκος καλωδίου αλλά ο τύπος του μέσου που χρησιμοποιείται.



## 2.6.1 10Mbps Ethernet

### 10BASE5

Το 10BASE5 υποδεικνύει το αρχικό σύστημα Ethernet, που βασίζεται σε χοντρό ομοαξονικό καλώδιο. Γι' αυτό και ονομάστηκε και "thick Ethernet". Ο πρώτος δείκτης, το «10», υποδηλώνει την ταχύτητα της μετάδοσης σε Mbps, ενώ ο τρίτος δείκτης «5» αναφέρεται στο μέγιστο μήκος των 500μέτρων του μέσου. Ο δεύτερος δείκτης «base» αναφέρεται στη λέξη baseband, που σημαίνει ότι το μέσο μετάδοσης, το παχύ ομοαξονικό καλώδιο εν προκειμένω, είναι αφιερωμένο στη μεταφορά μιας υπηρεσίας, στα σήματα Ethernet.

### 10BASE2

Το υψηλό κόστος και η δυσκολία χρήσης του Thick Ethernet, δε βοήθησε στη μαζική εξάπλωσή του. Το 10BASE2 χρησιμοποιεί ένα μικρότερης διαμέτρου και χαμηλότερου κόστους εύκαμπτο, ομοαξονικό καλώδιο, γι' αυτό και είναι γνωστό ως το λεπτό (thin) σύστημα Ethernet. Λειτουργεί στα 10Mbps σε βασική ζώνη με μέγιστο μήκος 185 μέτρων, περίπου 200 μέτρα δηλαδή. Ο περιορισμός από τα 500m του 10BASE5, στα 185m του 10BASE2, γίνεται γιατί το καλώδιο που χρησιμοποιεί το δεύτερο είχε μεγαλύτερη απόσβεση. Επίσης 30 το πολύ σταθμοί μπορούν πλέον να συνδεθούν πάνω στο τμήμα το καλωδίου σε σύγκριση με τους 100 του thick Ethernet, ενώ η απόσταση των υπολογιστών πρέπει να είναι μεγαλύτερη του μισού μέτρου (0,5m).

### 10BROAD36

Το 10BROAD36 σχεδιάστηκε για αποστολές σημάτων στα 10Mbps, για ευρυζωνικά (broadband), συστήματα καλωδίων που υποστηρίζουν πολλαπλές υπηρεσίες πάνω σε ένα μοναδικό καλώδιο, διαιρώντας το εύρος ζώνης του καλωδίου, σε διαχωριστές συχνότητες το καθένα.

### 1BASE5

Το πρότυπο 1BASE5 περιγράφει ένα σύστημα του 1Mbps βασισμένο σε καλωδίωση συνεστραμμένου ζεύγους, το οποίο δεν αποδείχθηκε ιδιαίτερα δημοφιλές. Το 1BASE5 αντικαταστάθηκε αγοραστικά από το 10BASET, το οποίο παρείχε όλα τα πλεονεκτήματα της καλωδίωσης του συνεστραμμένου ζεύγους, καθώς και μια ταχύτερη μετάδοση της τάξης των 10Mbps.

### 10BASE-T

Ο δείκτης «T» αναπαριστά τον τύπο καλωδίου του συνεστραμμένου ζεύγους (twisted-pair) χάλκινων καλωδίων που χρησιμοποιείται από το πρότυπο. Δυο ζεύγη συρμάτων απαιτούνται για τη σύνδεση του σταθμού, το ένα ζεύγος χρησιμοποιείται για εκπομπή και το άλλο για λήψη. Τα ζεύγη είναι συνεστραμμένα ώστε να αποφεύγεται η παρά-διαφωνία μεταξύ εκπομπής και λήψης. Η μέγιστη απόσταση μεταξύ hub και σταθμού εργασίας οριζόταν στα 100m. Η μετάδοση γίνεται στα 10Mbps και είναι επίσης στη βασική ζώνη.

## **FOIRL**

Η χρήση οπτικών ινών στα δίκτυα Ethernet ξεκίνησε κατ' αρχή για τη σύνδεση μεταξύ επαναληπτών ή ισοδύναμα με τη σύνδεση μεταξύ hub ώστε να ξεπεραστούν τα εμπόδια απόσταση που επιβάλλουν τα συνεστραμμένα ζεύγη (100m) και τα ομοαξονικά καλώδια (500m ή 185m). Έτσι γεννήθηκε το πρότυπο FOIRL - *Fiber Optic Inter Repeater Link*. Το αρχικό πρότυπο του DIX Ethernet αναφερόταν σε σημείο-προς-σημείο ζεύξεις, οι οποίες μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μεταξύ επαναληπτών, αλλά δεν παρείχε προδιαγραφές μέσου. Κατόπιν, η επιτροπή IEEE, ανέπτυξε το πρότυπο FOIRL και το δημοσίευσε το 1989 που προοριζόταν για ζεύξεις οπτικών ινών, πολύτροπου τύπου. Οι προδιαγραφές του αρχικά υποστήριζαν μόνο συνδέσεις δυο επαναληπτών. Κατόπιν το πρότυπο αναπτύχθηκε και η σύνδεση σταθμών ήταν εφικτή με διάμετρο που δεν μπορούσε να ξεπεράσει τα 2,5km. Αυτό αποτέλεσε και την απαρχή του προτύπου 10BASE-F.

## **10BASE-F**

Το 1993 η IEEE δημιούργησε τον αντικαταστάτη του FOIRL, το 10BASE-F. Ο δείκτης «F» υποδηλώνει το μέσο των οπτικών ινών (fiber optics), το οποίο χρησιμοποιεί το πρότυπο. Η νέα αυτή τυποποίηση διπλασιάζει την απόσταση σύνδεσης επαναληπτών στα 2km Το πρότυπο 10BASE-F καθορίζει τρεις ομάδες προδιαγραφών:

### **10BASE-FB**

Η προδιαγραφή 10BASE-FB (Fiber Backbone) είναι κατάλληλη μόνο για διασύνδεση επαναληπτών η hub, σε αντίθεση με το 10BASE-FL. Η σύνδεση δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 2km. Αυτό είναι για ενεργά fiber hubs, βασισμένα σε σύγχρονους επαναλήπτες (repeaters) για την επέκταση ενός συστήματος backbone.

### **10BASE-FP**

Η προδιαγραφή 10BASE-FP (Fiber Passive) στοχεύει σε μικρές εγκαταστάσεις λίγων σταθμών εργασίας που συνδέονται ακτινωτά με παθητικούς εξοπλισμούς hub, με σκοπό τη ζεύξη σταθμών εργασίας με ένα hub οπτικών ινών. Η μέγιστη απόσταση μεταξύ σταθμών εργασίας και παθητικού hub, ορίζεται στα 500m.

### **10BASE-FL**

Η προδιαγραφή 10BASE-FL (Fiber Link) είναι κατάλληλη για σύνδεση σταθμών εργασίας με hub όσο και για σύνδεση επαναληπτών ή hub μεταξύ τους. Οι αποστάσεις που επιτρέπει είναι μεγαλύτερες των 2km.

## **2.6.2 100Mbps Ethernet**

Η δημοφιλία και η μεγάλη εισχώρηση στην αγορά του 10Mbps, συντέλεσε καταλυτικά στην ανάπτυξη ταχύτερων τεχνολογιών και στο διαχωρισμό των προσανατολισμών στη δομή του Ethernet. Παρόλα αυτά, η πορεία των προτύπων δεν αποδεικνύεται πάντα σωστή, κατά τον προσανατολισμό διαίρεσης του Fast Ethernet,

σε δυο αντιμαχόμενα πρότυπα που δημιουργήθηκαν, το 100BASE-T και το 100VG-AnyLAN. Τελικά όμως το 100BASE-T επικράτησε ως διάδοχος του προγόνου του 10BASE-T.

Το πρώτο πρότυπο, γνωστό ως 100BASE-T, υποστηρίζεται από εταιρίες όπως η 3Com, η Intel, η Synoptics. Μπορούμε να πούμε ότι αποτελεί απόλυτα την επέκταση του αρχικού προτύπου 802.3, που διατηρεί το πρότυπο CSMA/CD (ο σταθμός ακούει το κανάλι πριν εκπέμψει). Η δεύτερη ανταγωνιστική τεχνολογία, γνωστή ως 100VG-AnyLAN, προωθήθηκε από εταιρίες συμπεριλαμβανομένης της IBM και της Hewlett Packard. Η τεχνοτροπία που βασιζόταν στο AnyLAN ήταν εντελώς καινούργια. Αντί της χρήσης του CSMA/CD, χρησιμοποιεί ένα μη-συγγενικό πρωτόκολλο αίτησης προτεραιότητας.

### **100BASE-T**

Αυτή η έκδοση του Fast Ethernet κέρδισε την πιστοποίηση του προτύπου στα μέσα της δεκαετίας του 1990 και οι μεγάλοι πωλητές του προϊόντος σχημάτισαν μια επιτροπή που έγινε γνωστή ως Fast Ethernet Alliance. Η μετάδοση του περιορίζεται σε μήκη καλωδίων των 250m, πριν της χρήσης μια συσκευής όπως η γέφυρα (bridge) ή ο δρομολογητής (router) η οποία είναι απαραίτητη ώστε να αναγεννήσει το σήμα. Αυτό ικανοποιεί τις ανάγκες των περισσότερων δραστηριοτήτων, αλλά θα μπορούσε να αποδειχθεί περιοριστικός παράγοντας σε μερικές περιπτώσεις, όπως το ενδιαφέρον για κάτι εναλλακτικό.

Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί τρεις διαφορετικούς τύπους καλωδιώσεων:

100BASE-TX

100BASE-FX

100BASE-T4

### **100BASE-TX**

Η προδιαγραφή 100BASE-TX, χρησιμοποιεί δυο ζεύγη υψηλής ποιότητας, αθωράκιστο συνεστραμμένο καλώδιο (UTP) κατηγορίας 5, με ταχύτητα δεκαπλάσια από αυτή του 10BASE-T. Η χρήση δυο ζευγών επιτρέπει τη δυνατότητα τόσο της half-duplex όσο και της full-duplex επικοινωνίας. Το σχήμα κωδικοποίησης που ορίζεται είναι το 4B/5B, το οποίο είναι πιο πολύπλοκο από την κωδικοποίηση κατά Manchester, που χρησιμοποιείται στο 10Mbps Ethernet, αλλά εμφανίζει λιγότερα φαινόμενα παρεμβολής. Αυτό το πρότυπο έγινε δημοφιλές χάρις στην στενή συμβατότητά του με το πρότυπο 10BASE-T. Το μήκος των 100m του τμήματος (segment) είναι επίσης κοινό.

### **100BASE-T4**

Η προδιαγραφή του 100BASE-T4 επικεντρώνεται σε δίκτυα που λειτουργούν σε τέσσερα ζεύγη μικρότερης κατηγορίας UTP (αθωράκιστου συνεστραμμένου ζεύγους) καλωδίωσης τύπου 3. Επιτυγχάνει την ταχύτητα διαιρώντας ένα data stream των 100Mbps σε τρία streams των 33Mbps. Αυτά τα τρία streams αποστέλλονται πάνω στα τρία από τα τέσσερα ζεύγη, με το εναπομείναν να χρησιμοποιείται ως εφεδρικό σε περίπτωση ανίχνευσης σύγκρουσης. Στο τέταρτο ζεύγος δεν στέλνονται δεδομένα, αντίθετα το hub το χρησιμοποιεί για να σηματοδοτήσει τον σταθμό εργασίας όταν συμβεί μια σύγκρουση. Διαιρώντας το data stream κατά μήκος των καλωδίων,

ενισχύεται η εξασφάλιση την ακεραιότητας του σήματος, παρόλα αυτά η λειτουργία full-duplex δεν μπορεί να υποστηριχθεί. Το σχήμα κωδικοποίησης του 100BASE-T4 είναι γνωστό ως 8B6T.

### **100BASE-FX**

Η οπτική ίνα χρησιμοποιείται με το 100BASE-FX. Δυο είναι οι ίνες που χρησιμοποιούνται, μια για μετάδοση και μια για λήψη διαμέτρου 62,5μ. Το σχήμα κωδικοποίησης είναι το ίδιο που χρησιμοποιεί και το 100BASE-TX, το 4B/6B. Η μέγιστη απόσταση ενός σταθμού είναι 100m, με μέγιστη διάμετρο δικτύου που φθάνει τα 400m.

### **100BASE-T2**

Η προδιαγραφή 100BASE-T2 λειτουργεί στα 100Mbps, στη βασική ζώνη, πάνω σε επίσης τέσσερα ζεύγη συνεστραμμένου αθωράκιστου καλωδίου, τύπου 3 ή καλύτερου. Αυτή η προδιαγραφή, δεν αναπτύχθηκε από κάποιον βέντορα τελικά και έτσι εξοπλισμός που να βασίζεται σε αυτήν δεν υπάρχει

### **100VG-AnyLAN**

Το 100VG-AnyLAN είναι μια τεχνολογία που προτάθηκε από τη Hewlett-Packard και την AT&T στην επιτροπή 802.12 της IEEE τον Νοέμβριο του 1992. Τρέχει πάνω σε τέσσερα ξεχωριστά ζεύγη χάλκινου καλωδίου UTP κατηγορίας 3,5 ή και 5, διανέμοντας ισότιμα τα δεδομένα σε κάθε ζεύγος. Επιτρέπει μήκη καλωδίου 4000m, χωρίς την ανάγκη για χρήση συσκευών αναγέννησης σήματος. Ο ρυθμός που παρέχει είναι

Το 100VG-AnyLAN υποστηρίζει τόσο πλαίσια Ethernet όσο και πλαίσια δακτυλίου με κουπόνι (token-ring), καθιστώντας το πολύ ευέλικτο. Παρόλα αυτά η μέθοδος μετάδοσης που χρησιμοποιεί διαφοροποιείται σημαντικά, από τα όσα έχουν εισαχθεί μέχρι τώρα. Αντί της χρήσης της μεθόδου του CSMA/CD ή του token ring, χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο που αποφασίζει για την προτεραιότητας της αίτησης. Μια συσκευή στέλνει έναν τόνο ελέγχου στο hub του δικτύου, όποτε επιθυμεί να εκπέμψει πλαίσια και το hub επερωτά τις συνδεδεμένες συσκευές και κατόπιν παρέχει πρόσβαση βασισμένη σε προτεραιότητα.

**Προτεραιότητα αίτησης (demand priority).** Αντί της χρήσης ταύτισης ελέγχου για ένα απασχολημένο δίκτυο, το 100VG-AnyLAN, χρησιμοποιεί ένα σχήμα προτεραιότητας αίτησης. Αυτό το σχήμα λειτουργεί ως σηματοδοσία κίνησης. Η λογική το hub ορίζει ποιος έλεγχος έχει πρόσβαση στο δίκτυο. Το hub σφυγμομετρά έναν ένα ελεγκτή για να προσδιορίσει ποιος ελεγκτής διαθέτει δεδομένα προς μετάδοση και κατόπιν επιτρέπει τη μετάδοση κατά σειρά θυρών.

Ας πάρουμε ως παράδειγμα, ότι υπάρχει μια αίτηση η οποία βρίσκεται σε αναμονή στη θύρα ένα ή στη θύρα τρία, όλες οι αιτήσεις είναι ίσης προτεραιότητας. Το hub, ξεκινά να εξυπηρετεί τη θύρα ένα. Κατόπιν, το hub επιτελεί έλεγχο ώστε να σιγουρευτεί ότι δεν υπάρχουν νέες αιτήσεις στη θύρα δυο, την επόμενη κατά σειρά. Υποθέτοντας ότι δεν έχουν γίνει νέες αιτήσεις, το hub προχωρά στην εξυπηρέτηση της θύρας τρία.

Στην περίπτωση που γίνει κάποια αίτηση από τη θύρα δυο ή τέσσερα, ενώ έχει εξυπηρετηθεί η θύρα τρία, η θύρα τέσσερα θα είναι η επόμενη που θα εξυπηρετηθεί και κατόπιν το hub θα ξεκινήσει την εξυπηρέτηση από την αρχή στη θύρα ένα. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την ισοδύναμη πρόσβαση στο μέσο του δικτύου, ενώ υπάρχει η δυνατότητα του ορισμού προτεραιοτήτων από τον διαχειριστή του δικτύου, ρυθμίζοντας το hub.

Θεωρητικά, κάθε σταθμός οριστεί σε κατάσταση “high”, το οποίο ακυρώνει την ανάγκη χρήσης προτεραιοτήτων. Σε ένα ιδανικό δίκτυο μόνο μια θύρα που θα χρησιμοποιούσε εφαρμογές όπως συνδιάσκεψη video και πολυμέσα θα ήταν σε κατάσταση “high”. Αυτοί οι τύποι εφαρμογών απαιτούν απόκριση σε πραγματικό χρόνο, γι’ αυτό και χρειάζονται προτεραιότητα σε κατάσταση “high”. Αν μια θύρα έχει κανονική προτεραιότητα αίτησης και οι θύρες δυο και τρία έχουν υψηλή προτεραιότητα, το hub παρακάμπτει τη θύρα ένα και δυο και εξυπηρετεί τις θύρες δυο και τρία αρχικά.

Αν ο timer έχει λήξει:

Το hub ολοκληρώνει την εργασία της τρέχουσας αίτησης υψηλής προτεραιότητας.

Το hub αλλάζει την προτεραιότητα της αίτησης στη θύρα ένα από υψηλή σε χαμηλή

Το hub κάνει «ερωτήσεις» σε όλες τις θύρες και προσδιορίζει, χρησιμοποιώντας σειρά θυρών, ποια πόρτα θα προχωρήσει σε ενέργεια.

Στο παράδειγμα που αναφέρθηκε προηγουμένως, το hub θα μπορούσε να εκτελέσει την αίτηση της θύρας δυο, να ολοκληρώσει την ανεκπλήρωτη αίτηση της θύρας τρία και μετά να εκπληρώσει την αίτηση της θύρας ένα. Η χειραγώγηση των προτεραιοτήτων εξασφαλίζει ότι δε θα ξεπεραστεί ο καθορισμένος χρόνος καθυστέρησης.

**Hub layers.** Μέχρι τρία ιεραρχικά, διαδοχικά επίπεδα hubs επιτρέπονται σε ένα 100VG-AnyLAN δίκτυο. Το hub (root hub) του πρώτου επιπέδου ελέγχει την σειρά των αιτήσεων που θα εξυπηρετηθούν. Όταν το hub του πρώτου επιπέδου δεχθεί αίτηση από άλλο hub, παραδίδει τον έλεγχο του δικτύου στο hub του δεύτερου επιπέδου. Το hub του δεύτερου επιπέδου εξυπηρετεί τις αιτήσεις κατά σειρά θύρας (θυρειακή σειρά). Το root hub συνεχίζει τη προώθηση όλων των αιτήσεων από το hub του δεύτερου επιπέδου, προτού συνεχίσει την εξυπηρέτηση της τρίτης θύρας του ίδιου hub.

### Σύγκριση εναλλακτικών τεχνολογιών Fast Ethernet

Οι δυο επιλογές του Fast Ethernet έχουν πολύ διαφορετικές προσεγγίσεις και γι’ αυτό έχουν διαφοροποιημένα χαρακτηριστικά. Αναφέρονται το κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του καθενός.

Η τεχνολογία του 100BASE-T είναι ανέξοδη. Εφαρμόζει ομαλά με την υπάρχουσα τεχνολογία LAN και ενδυναμώνει την υπάρχουσα τεχνογνωσία. Η συγγένεια με το Ethernet επιτρέπει στους χρήστες να συγχωνεύσουν την νέα τεχνολογία με ευχέρεια της νέας τεχνολογίας. Παρόλα αυτά η ακτίνα του δικτύου με

το 100BASE-T είναι μικρότερη από το αντίστοιχο δίκτυο με το 100VG-AnyLAN αν χρησιμοποιηθούν επαναλήπτες αντί για switching hubs που είναι πιο πολυέξοδα. Επίσης, αποτελεί μια λύση κοινόχρηστης ευρηζώνικότητας χωρίς χρήση προτεραιότητας. Έτσι πολλοί τελικοί σταθμοί συναγωνίζονται για ένα κανάλι των 100Mbps επί ίσης όρης, χωρίς προτεραιότητα.

Η τεχνολογία 100VG-AnyLAN προσφέρει μια ευκολότερη λύση μετάβασης από το token ring από ότι η τεχνολογία 100BASE-T, επειδή το πρώτο είναι ικανό να υποστηρίξει τη φόρμα πλαισίου του token ring(802.5).

Παρόλα αυτά δεν παρέχει τον ίδιο βαθμό προς τα πίσω συμβατότητας με τις ενυπάρχουσες τεχνολογίες Ethernet όπως κάνει το 100BASE-T και η τελική παραγωγή του δεν μπορεί να ξεπεράσει τα 100Mbps. Με το 100BASE-T και με αποδοτικά switching hubs είναι εφικτή η πραγματοποίηση υψηλότερης απόδοσης.

### 2.6.3 1 Gigabit Ethernet

#### 1000BASE-X

Η οικογένεια φυσικών στρωμάτων 1000BASE-X ήταν η πρώτη που αναπτύχθηκε κάτω από το πρότυπο του Gb Ethernet και σχετίζεται άμεσα με τη σχεδίαση του φυσικού στρώματος για το κανάλι της οπτικής ίνας (fiber channel) [ANSI94]. Το 1000BASE-X προσαρτά το φυσικό επίπεδο του Fiber Channel και συγκεκριμένα τα υποστρώματα FC0 και FC1.

#### 1000Base-X Block Coding

Το 1000Base-X χρησιμοποιεί την κωδικοποίηση 8B/10B. Τα 8 data bits (1byte), κωδικοποιούνται σε 10 code bits. Η μεθοδολογία αυτή, αποτελεί πατέντα της IBM Corporation και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε κανάλι οπτικών ινών (Fiber Channel) όσο και σε GbE.

Τα σημαντικά χαρακτηριστικά που παρέχει αυτή η κωδικοποίηση είναι:

Εξασφαλίζει επαρκής μεταβάσεις σήματος για την ανάκτηση του σήματος ρολογιού στον δέκτη.

Επιτρέπει σε σήματα ελέγχου να κωδικοποιούνται μέσα στο μέσο στο σήμα δεδομένων.

Συγκεκριμένες επιλογές στην χαρτογράφηση του κώδικα, αυξάνουν σημαντικά την πιθανότητα ανίχνευσης ενός ή πολλαπλών σφαλμάτων bit, αποδεδειγμένα την εξάρτηση από το Ethernet 32-bit CRC.

Μερικές κωδικοποιήσεις, που χρησιμοποιούνται για σήματα ελέγχου, περιέχουν ένα μοναδικό πρότυπο bit (*comma*), το οποίο επιταχύνει τον συγχρονισμό και τη «ευθυγράμμιση» του δέκτη.

## Η Κωδικοποίηση 8B/10B

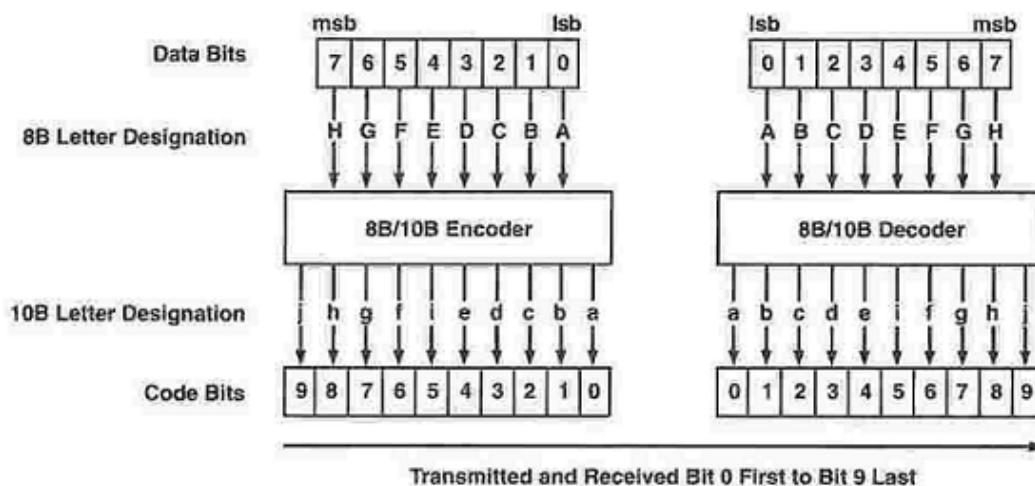
Η κωδικό-γραμμή διαιρείται σε δύο ομάδες κωδικών:

Την ομάδα “D”, που χρησιμοποιείται στην κωδικοποίηση δεδομένων bits.

Την ομάδα “K”, που χρησιμοποιείται στην κωδικοποίηση ειδικών χαρακτήρων ελέγχου.

Ένα byte, αποτελείται από 8 bits, που σημειώνονται στο παράδειγμα, ως A,B,C,D,E,F,G και H, από το λιγότερο σημαντικό (least significant bit - lsb) στο πιο σημαντικό (most significant bit - msb) bit. Ο κωδικοποιητής, μεταφράζει αυτά τα 8 bits σε 10 bits, a, b, c, d, e, i, f, g, h, και j. Η κωδικό-λέξη επεξεργάζεται ως δυο υποομάδες, όπου η μια περιέχει 6 bits (a, b, c, d, e, i) και η δεύτερη 4 bits (f, g, h, j). Ο δοσμένος κωδικός αναφέρεται με τη συντόμευση /Dx.y/, για τους κωδικούς δεδομένων και /Kx.y/, για τους ειδικούς κωδικούς, όπου ως x αναφέρεται η δεκαδική τιμή του EDCBA και ως y αναφέρεται η δεκαδική τιμή του HGF.

Οι κωδικοποιημένες 10B κωδικό-λέξεις μεταδίδονται και λαμβάνονται σειριακά σε διάταξη abcdeifghj.



Σχήμα 2.6.1 – Σχήμα κωδικοποίησης 8B/10B

## Optical Fiber Media

Η οικογένεια 1000BASE-X υποστηρίζει τρεις τύπους οπτικών ινών:

50 - μm πολύτροπη ίνα (multimode)

62.5 - μm πολύτροπη ίνα

10 - μm μονότροπη ίνα (single mode)

Επίσης υποστηρίζει οδηγούς Laser, για δυο διαφορετικά μήκη κύματος:

Shortwave (ονομαστικά στα 850nm, που προσδιορίζεται από το 1000BASE-SX)

Longwave (ονομαστικά στα 1300nm, που προσδιορίζεται από το 1000BASE-LX)

### **Shortwave Lasers (1000BASE-SX)**

Τα Shortwave Lasers (βραχαιίου μήκους κύματος) με μήκος κύματος που «παίζει» στα 770-860nm, χρησιμοποιούνται με πολύτροπη ίνα αποκλειστικά. Για αποστάσεις μεγαλύτερες των 260m, χρησιμοποιούνται με 62.5μm ίνα και για 525m με 50μm ίνα.

Τα όρια της οπτικής πηγής κυμαίνονται από -10 έως 0 dbm, με ένα extinction ratio (on/off) της τάξης των 9dB. Τα όρια του οπτό-ανιχνευτή κυμαίνονται μεταξύ -17 έως 0 dbm. Το πρότυπο αυτό είναι πολύ δημοφιλές για ενδο-κτιριακές ζεύξεις σε μεγάλα κτήρια γραφείων και υπηρεσιών.

### **Longwave Lasers (1000BASE-LX)**

Τα Longwave Lasers (μακρού μήκους κύματος), με μήκος κύματος που «παίζει» στα 1270- 1355nm, χρησιμοποιούνται κυρίως με μονότροπη ίνα. Παρ' όλα αυτά, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και με πολύτροπη ίνα. Σ' αυτήν την περίπτωση, επιτρέπουν μεγαλύτερη κάλυψη απόστασης, από αυτήν των Shortwave Lasers. Με χρήση πολύτροπης ίνας, 62.5μm ή 50μm, είναι εφικτή η κάλυψη αποστάσεων 550m, ενώ αποστάσεις 3km, με χρήση μονότροπης ίνας, 10μm.

Τα όρια της οπτικής πηγής κυμαίνονται μεταξύ -13.5 έως -3dbm, με ένα ελάχιστο extinction ratio της τάξης των 9dB. Τα όρια του οπτικού ανιχνευτή κυμαίνονται σ' ένα εύρος μεταξύ -13.5 έως -3 dbm.

### **1000BASE-ZX και 1000BASE-LH**

Τα 1000BASE-ZX και 1000BASE-LH, δεν αποτελούν πρότυπα, αλλά βιομηχανικά αποδεκτούς όρους, που αναφέρονται σε μεταδόσεις Gigabit Ethernet και λειτουργούν σε μήκη κύματος 1550 nm, επιτυγχάνοντας αποστάσεις τουλάχιστον 70km, πάνω σε μονότροπη ίνα.

### **Συζεύκτες Οπτικών Ινών (Connectors)**

Το πρότυπο Gigabit Ethernet, προσδιορίζει μόνο έναν τύπο οπτικού συζεύκτη, τον δημοφιλή duplex SC. Αυτός είναι ο ίδιος συζεύκτης που χρησιμοποιείται και στο 100BASE-FX, στο Fiber Channel και σε πολλά άλλα συστήματα. Ο συζεύκτης, καλείται να επισφαλίζει την ορθή σύζευξη της ίνας μεταξύ πομπού και δέκτη. Παρ' όλα αυτά δεν υπάρχει τρόπος να αποτραπεί η σύνδεση Shortwave οδηγών σε Longwave δέκτες, ή η σύνδεση διαφορετικών τύπων ινών (fiber type mismatch).

Είναι επίσης εφικτή, η παρέκκλιση από το πρότυπο και η χρησιμοποίηση άλλου τύπου συζευκτών, από την πληθώρα που υπάρχει στην αγορά σήμερα. Μερικά πλεονεκτήματα που μπορεί να ανακύψουν είναι:

- Μικρότερο μέγεθος
- Χαμηλότερο κόστος
- Ευκολότερη εγκατάσταση



## Επιγαλωμένα μέσα 1000BASE-CX (Copper Media)

Η οικογένεια 1000BASE-X, υποστηρίζει επίσης λειτουργίες πάνω σε διπλό συνεστραμμένου ζεύγους θωρακισμένο καλώδιο των 150Ω. Η επωνυμία αυτού του προτύπου είναι 1000BASE-CX. Ως “c” συμβολίζεται ο χαλκός (copper) και συχνά, αυτού του τύπου καλώδια, αναφέρονται ως “short copper jumpers”. Έχει σχεδιαστεί για τη σύνδεση hubs, routers, switches, bridges που βρίσκονται στο ίδιο “wiring closet” και για αποστάσεις μικρότερες των 25m. Η ιδέα βασίζεται στην ευκολία και το χαμηλό κόστος του χαλκού έναντι των οπτικών ινών.

### 1000BASE-CX Connectors

Δυο είναι οι συζεύκτες που ορίζονται για τους short copper jumpers:

**8-pin High-Speed Serial Data Connector (HSSDC).** Αυτός ο συζεύκτης, παρέχει βελτιωμένα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά σε σχέση με την εναλλακτική επιλογή που προβλέπει το πρότυπο. Συνιστάται για χρήση με το 1000BASE-CX.

**9-pin shielded D-subminiature Connector.** Αυτός ο συζεύκτης, είναι διαθέσιμος σαν μια εναλλακτική επιλογή του συζεύκτη Style-2. Είναι ο ίδιος συζεύκτης που χρησιμοποιείται και στο Token Ring, 100BASE-TX(STP) και άλλων συστημάτων που χρησιμοποιούνται καλώδια θωρακισμένου ζεύγους (STP). Ενώ δεν αποτελεί την καλύτερη δυνατή επιλογή για ηλεκτρικά χαρακτηριστικά 625MHz., είναι χαμηλού κόστους, ευρέως διαδεδομένο και εύκολα συνδέσιμο.

### 1000BASE-T

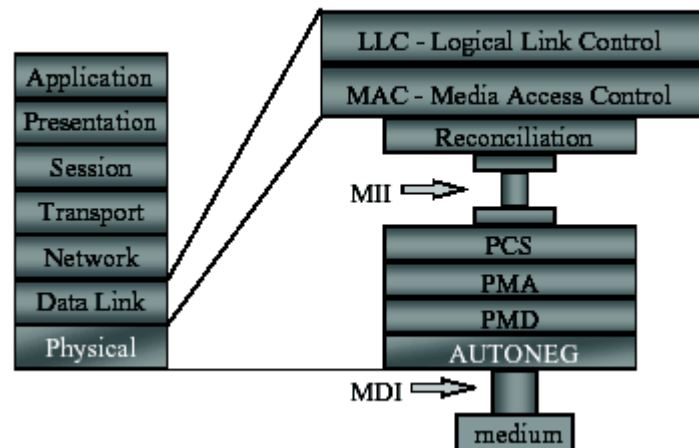
Το 1000BASE-X, μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όπως προειπόθηκε, σε οπτική ίνα και σε μικρούς χάλκινους jumpers, αλλά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αθωράκιστο συνεστραμμένο ζεύγος (UTP). Το UTP είναι ένα διαδεδομένο είδος καλωδίωσης κυρίως για μικρής εμβέλειας και οικιακά τοπικά δίκτυα, αφού είναι οικονομικό και εύκολο στην εγκατάσταση, γιατί είναι λεπτό και εύκαμπτο. Έτσι, τον Ιούνιο του 1999, η επιτροπή της IEEE 802.ab, όρισε το φυσικό στρώμα που θα επέτρεπε σε δίκτυα Gigabit Ethernet να λειτουργούν πάνω σε UTP καλώδια, κατηγορίας 5 (4-pair, 100Ω). Έτσι, εγκρίθηκε το πρότυπο 1000BASE-T.

## 2.7 Automatic Configuration

Το *Automatic Configuration*, (αυτόματος σχηματισμός), παρέχεται από το πρωτόκολλο του *Automatic-Negotiation* (αυτόματης διαπραγμάτευσης), προβλεπόμενο από το πρότυπο Ethernet. Το πρωτόκολλο της αυτόματης διαπραγμάτευσης, επιτρέπει στον εξοπλισμό του Ethernet να επιλέξει αυτόματα τη μέγιστη ταχύτητα του δικτύου, καθώς και σωρεία άλλων λειτουργιών, απαλλάσσοντας τον ανθρώπινο παράγοντα από αυτήν την εργασία.

## Η ανάπτυξη της Αυτόματης – Διαπραγμάτευσης

Οι προδιαγραφές της αυτόματης – διαπραγμάτευσης εκδόθηκαν το 1995, ως μέρος του παραρτήματος 802.3u του Fast Ethernet. Οι προδιαγραφές αυτές βασίστηκαν στο σύστημα αυτόματης – διαχείρισης NWay, που εφευρέθηκε από τη National Semiconductor.



Σχήμα 2.7.1 – Η θέση της αυτόματης διαπραγμάτευσης στο φυσικό επίπεδο

### 2.7.1 Βασικά στοιχεία

Η αυτόματη – διαπραγμάτευση επιτρέπει στους σταθμούς Ethernet την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με την χωρητικότητα της ζεύξης. Διαδοχικά, αυτό σημαίνει πώς μπορούν να επιτελέσουν αυτόματο – σχηματισμό, προκειμένου να επιτύχουν τη καλύτερη δυνατή λειτουργία της ζεύξης. Για παράδειγμα, η αυτόματη – διαπραγμάτευση μπορεί προνοήσει για το συντονισμό της ταχύτητας κάθε τερματικού. Χρησιμοποιώντας έναν τέτοιου είδους μηχανισμό, ένας σταθμός Ethernet μπορεί να εκμεταλλευτεί τη μέγιστη προσφέρομενη ταχύτητα ενός πολλαπλής ταχύτητας hub.

Η λειτουργία της Αυτόματης – Διαπραγμάτευσης περιλαμβάνει τις ακόλουθες αρχές:

*Λειτουργία πάνω σε τμηματικές ζεύξεις.* Η αυτόματη – διαπραγμάτευση είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί μόνο πάνω σε τμηματικές ζεύξεις. Μια τμηματική ζεύξη μπορεί να έχει μόνο δυο συσκευές συνδεδεμένες πάνω σε αυτή, κάθε μια σε κάθε άκρο.

*Η αυτόματη – διαπραγμάτευση συμβαίνει κατά την αρχικοποίηση της ζεύξης.* Όταν μια συσκευή τίθεται σε λειτουργία ή όταν αρχικοποιείται η ζεύξη από κάθε τερματικό της. Η αρχικοποίηση της ζεύξης και η αυτόματη – διαπραγμάτευση συμβαίνουν μια φορά και προηγούνται της αποστολής δεδομένων πάνω στη ζεύξη.

*Η αυτόματη – διαπραγμάτευση χρησιμοποιεί δικό της σύστημα σηματοδοσίας.* Κάθε σύστημα μέσου Ethernet ακολουθεί μια συγκεκριμένη μέθοδο αποστολής σημάτων πάνω στο καλώδιο. Παρόλα αυτά, το σύστημα της αυτόματης – διαπραγμάτευσης χρησιμοποιεί τη δικιά του μέθοδο σηματοδοσίας, σχεδιασμένη για καλωδίωση

συνεστραμμένου ζεύγους. Αυτά τα σήματα στέλνονται μια μοναδική φορά, κατά την αρχικοποίηση της ζεύξης.

Περιγράφοντας τη λειτουργία της αυτόματης – διαπραγμάτευσης, κάθε συσκευή που βρίσκεται στην αντίθετη άκρη της ζεύξης, ονομάζεται *link partner* (συνέταιρος ζεύξης). Κατά τη χρήση αυτού του πρωτοκόλλου, κάθε συσκευή δημοσιεύει τη χωρητικότητά της στον συνέταιρο ζεύξης. Κατόπιν, το πρωτόκολλο επιλέγει τον υψηλότερο κοινό παρονομαστή μεταξύ των δυο συσκευών.

### 2.7.2 Σηματοδοσία Αυτόματης – Διαπραγμάτευσης

Το πρωτόκολλο αυτόματης – διαπραγμάτευσης χρησιμοποιεί τα σήματα FLP (fast link pulse) για να μεταφέρουν πληροφορίες μεταξύ των συσκευών σε κάθε άκρη της ζεύξης. Αυτά, αποτελούν μια τροποποίηση των σημάτων NLP (normal link pulse), που χρησιμοποιήθηκαν για την επαλήθευση της ακεραιότητας της ζεύξης στο σύστημα 10BASE-T. Τα σήματα FLP που συνηθίζεται να μεταφέρουν πληροφορίες αυτόματης – διαπραγμάτευσης είναι προδιαγεγραμμένες για τα ακόλουθα συστήματα μέσου συνεστραμμένων καλωδίων:

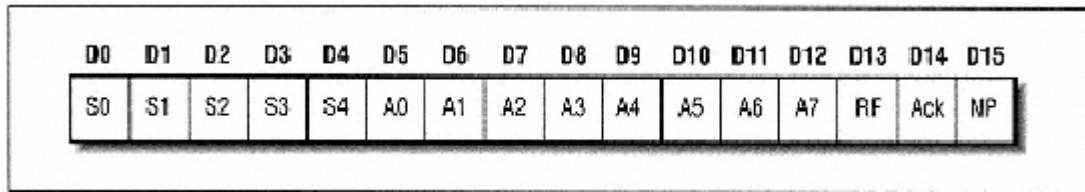
- 10BASE-T
- 100BASE-TX (UTP)
- 100BASE-T4
- 100BASE-T2
- 1000BASE-T

Με εξαίρεση το σύστημα Gigabit Ethernet οπτικών ινών, δεν υπάρχει πρότυπο IEEE Αυτόματης – διαπραγμάτευσης για κάποιο άλλο τμήμα Ethernet σε οπτικές ίνες.

### 2.7.3 Λειτουργία FLP

Οι παλμοί FLP στέλνονται σε ριπές, αποτελούμενοι από 33 μικρούς παλμούς. Κάθε παλμός είναι διάρκειας 100 nanosecs. Ο χρονοσμός μεταξύ κάθε ρίψης (burst) είναι ο ίδιος με τους NLP. Αυτές οι ρίψεις χρησιμοποιούνται για την αποστολή πληροφοριών χωρητικότητας κάθε συσκευής. Κάθε ριπή FLP, περιέχει 33 θέσεις παλμών, από τις οποίες οι 17 θέσεις παλμών περιέχουν έναν παλμό που αναπαριστούν πληροφορίες χρονοσμού. Οι 16 υπόλοιπες θέσεις παλμών, μεταφέρουν δεδομένα, όπου η παρουσία παλμού αναπαρίσταται με το λογικό «1» και η απουσία παλμού αναπαρίσταται με το λογικό «0». Αυτό το σχήμα κωδικοποίησης χρησιμοποιείται κατά την μετάδοση μηνυμάτων που περιέχουν πληροφορίες για την λειτουργία της αυτόματης – διαπραγμάτευσης.

Όταν συμβαίνει η αρχικοποίηση ζεύξης, το πρωτόκολλο αυτόματης – διαπραγμάτευσης στέλνει όσο 16bit-μηνύματα απαιτούνται. Παρόλα αυτά, πολλά συστήματα μέσω μπορούν να ολοκληρώσουν τη διαδικασία της διαπραγμάτευσης κατά το πρώτο μήνυμα (base page). Τα 16 bits του *base page* φέρουν επιγραφές από D0 μέχρι D15. Τα bits από το D0 μέχρι D4 χρησιμοποιούνται ως *Πεδίο Επιλογής* (selector field), το οποίο αναγνωρίζει τον τύπο της τεχνολογίας LAN που χρησιμοποιείται. Αυτό το πεδίο επιτρέπει στο πρωτόκολλο αυτόματης – διαπραγμάτευσης να επεκτείνεται και σε μελλοντικά LANs. Για το Ethernet, η θέση S0, τίθεται σε «1» και οι υπόλοιπες θέσεις του πεδίου επιλογής (S1-S3), τίθενται σε 0.



Σχήμα 2.7.1 - Το βασικό μήνυμα (base message) της Αυτόματης – Διαπραγμάτευσης

Το πεδίο των 8 bits από το D5 ως το D12 καλείται *Πεδίο Δυνατότητας Τεχνολογίας* (Technology Ability Field). Τα bits σ' αυτό το πεδίο προσδιορίζονται ως A0 έως A7 και χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση υποστήριξης πλήθους τεχνολογιών. Αν η συσκευή υποστηρίζει μια ή περισσότερες ικανότητες, θέτει το ανάλογο bit σε κατάσταση «1». Μια συσκευή αυτόματης – διαπραγμάτευσης χρησιμοποιεί αυτά τα bits για να δημοσιεύσει όλες τις δυνατότητες του σε ένα βασικό μήνυμα (base message).

Bit	Technology
A0 (D5)	10BASE-T
A1 (D6)	10BASE-T full-duplex
A2 (D7)	100BASE-TX
A3 (D8)	100BASE-T full-duplex
A4 (D9)	100BASE-T4
A5 (D10)	PAUSE operation for flow control
A6 (D11)	Reserved
A7 (D12)	Reserved

Σχήμα 2.7.2 – Αντιστοιχία bit και τεχνολογίας

Το bit D13 είναι ο *Remote Fault Indicator*. Αυτό το bit μπορεί να αποσταλεί από τον απομακρυσμένο συνεργό της ζεύξης (link partner), για να δώσει ένδειξη ανίχνευση σφάλματος στην άλλη πλευρά της ζεύξης.

Το bit D14 είναι ένα bit *Ack* και χρησιμοποιείται για την επιβεβαίωση (acknowledge) της λήψης του βασικού μηνύματος. Τα μηνύματα διαπραγμάτευσης στέλνονται κατ' επανάληψη έως ότου το συνεργάτης ζεύξης να τα επιβεβαιώσει, το οποίο ολοκληρώνει και την διαδικασία της αυτόματης-διαπραγμάτευσης. Ο συνεργάτης, στέλνει μια επιβεβαίωση, μετά από τρία συνεχόμενα ληφθέντα μηνύματα. Αυτό βοηθά στην εξασφάλιση ότι ο κατά τη διαδικασία της διαπραγμάτευσης θα λαμβάνονται ορθά τα μηνύματα, ακόμα και αν υπάρξουν κάποια εσφαλμένα bit κατά τη διάρκειά της.

Το τελευταίο bit, το bit D15, χρησιμοποιείται για τη σηματοδότηση της *Επόμενης Σελίδας* (Next Page). Οι δυνατότητες που δεν αναφέρονται στο πεδίο δυνατότητας

τεχνολογίας (A0-A7) μπορεί να δημοσιευθούν σε ένα ή περισσότερα μηνύματα Επόμενης Σελίδας.

#### 2.7.4 Αυτόματη – Διαπραγμάτευση 1000BASE-X

Το σύστημα 1000BASE-X συνεστραμμένου ζεύγους GbE, χρησιμοποιεί το ίδιο σύστημα αυτόματης διαπραγμάτευσης που χρησιμοποιείται από όλα τα συστήματα Ethernet συνεστραμμένου ζεύγους. Παρόλα αυτά, το 1000BASE-X χρησιμοποιεί ένα δικό του σύστημα αυτόματης – διαπραγμάτευσης. Όπως έχει ξαναειπωθεί τα συστήματα οπτικών ινών Ethernet χρησιμοποιούν διαφορετικές σηματοδοσίες και μήκη κύματος ώστε να είναι αδύνατη η αποστολή σημάτων αυτόματης – διαπραγμάτευσης, τα οποία να μπορούσαν να ανιχνευθούν από όλους τους σταθμούς.

Παρ' όλα αυτά, οι σχεδιαστές του 1000BASE-X αποφάσισαν να αναπτύξουν το σύστημα αυτόματης – διαπραγμάτευσης το οποίο ειδικευόταν σε τρεις τύπους μέσων, το 1000BASE-SX, το 1000BASE-LX, για οπτικές ίνες και το 1000BASE-CX για short copper (χαλκό). Αφού όλα τα συστήματα μέσων λειτουργούν στα 1000Mbps, δεν υπάρχει ανάγκη για αυτόματο συντονισμό της ταχύτητας. Το εν λόγω σύστημα αυτόματης – διαπραγμάτευσης δημοσιεύει και μετατρέπει μόνο τις ικανότητες όπως λειτουργιών half-duplex και full-duplex και υποστήριξη για έλεγχο ροής και πλαίσια PAUSE.

### 2.8 Διεπαφές Ethernet

Για την πραγματοποίηση της αποστολής σημάτων από έναν σταθμό σε έναν άλλο, οι σταθμοί είναι συνδεδεμένοι σε ένα σύστημα μέσου, βασισμένο σε μια ομάδα σταθερών στοιχείων. Μερικά από αυτά τα στοιχεία είναι συσκευές (hardware), προσδιορισμένα για συγκεκριμένα συστήματα καλωδίωσης, όπως τα καλώδια και οι συνδετήρες (connectors). Άλλα στοιχεία όπως οι διεπαφές (interfaces) Ethernet, είναι κοινές για όλα τα συστήματα μέσων.

Καθώς το Ethernet αναπτυσσόταν, δημιουργήθηκαν κάποιες προσαρτήσεις στοιχείων που ήταν ανεξάρτητες του μέσου (media independent). Η ανεξαρτησία στο μέσο, σημαίνει πώς η διεπαφή του Ethernet δεν χρειάζεται να γνωρίζει κάτι για το σύστημα μέσου. Αυτές οι προσαρτήσεις επιτρέπουν στην διεπαφή Ethernet να συνδέονται σε οποιοδήποτε τύπο συστήματος μέσου. Με αυτή τη μέθοδο, μπορούν να αναπτυχθούν πολλαπλά συστήματα μέσων, χωρίς να χρειάζεται η αλλαγή των ελεγκτών διεπαφής Ethernet.

Η πρώτη, ανεξάρτητη από το μέσο διεπαφή, δημιουργήθηκε για το 10Mbps Ethernet και καλείται *attachment unit interface* (AUI). Το AUI υποστηρίζει μόνο συστήματα μέσων 10Mbps. Η επόμενη, ανεξάρτητη από το μέσο διεπαφή αναπτύχθηκε ως μέρος του προτύπου του Fast Ethernet και καλείται *medium-independent interface* (MII). Το MII υποστηρίζει συστήματα μέσων και για 10Mbps αλλά και για 100Mbps. Ενώ για τις ανάγκες του προτύπου του Gigabit Ethernet, δημιουργήθηκε η *gigabit-independent interface* (GMII).

### 2.8.1 Attachment Unit Interface (AUI)

Όπως προειπόθηκε, το AUI δημιουργήθηκε ως μέρος του αρχικού συστήματος Ethernet των 10Mbps. Το Ethernet ξεκίνησε, προσανατολισμένο για λειτουργίες σε ομοαξονικό καλώδιο. Αργότερα, νέα συστήματα μέσω βασισμένα σε συνεστραμμένους ζεύγους και οπτικών ινών ζεύξεις ανακαλύφθηκαν. Στα τέλη του 1990, το 10BASE-T συνεστραμμένου ζεύγους έγινε μια δημοφιλής μέθοδος σύνδεσης υπολογιστών, το οποίο βοήθησε και στην υιοθέτηση της τεχνολογίας Ethernet.

Το AUI καθιστά εφικτή τη σύνδεση μιας διεπαφής Ethernet σε οποιοδήποτε σύστημα μέσου των 10Mbps, ανεξαρτητοποιώντας την επαφή από τα χαρακτηριστικά του συστήματος μέσου που είναι σε χρήση. Η ανάπτυξη της προσάρτησης ανεξάρτητης από το μέσο, ήταν στην πραγματικότητα μια παράπλευρη επίδραση του σχεδιασμού του αρχικού συστήματος καλωδίωσης παχέος ομοαξονικού. Το σύστημα παχέος ομοαξονικού απαιτεί τη χρήση εξωτερικών πομποδεκτών που συνδέονται απευθείας στο καλώδιο. Η ανάγκη σύνδεσης μεταξύ της διεπαφής Ethernet του σταθμού και του εξωτερικού πομποδέκτη πάνω στο ομοαξονικό καλώδιο, οδήγησε στην πραγματοποίηση του AUI.

#### AUI Connector

Ο AUI κονέκτορας των 15 pins προμηθεύει έναν τη σύνδεση εξωτερικού πομποδέκτη ενός σταθμού. Αυτός ο κονέκτορας τροφοδοτεί τον εξωτερικό πομποδέκτη και αποτελεί ένα μονοπάτι για τα σήματα Ethernet μεταξύ της διεπαφής Ethernet και του συστήματος μέσου.

Τα σήματα που αποστέλλονται από τον πομποδέκτη και λαμβάνονται από τη διεπαφή Ethernet είναι χαμηλής τάσης διαφορικά σήματα. Υπάρχουν δυο καλώδια για κάθε σήμα, ένα καλώδιο για θετικό τμήμα (+) και ένα καλώδιο για το αρνητικό τμήμα (-). Η στάθμη σήματος αυτών των καλωδίων ποικίλει από +0.7 volts μέχρι -0.7 volts παρέχοντας ένα ονομαστικό άθροισμα των 1.4 volts peak-to-peak για ολόκληρο το σήμα.

#### Το καλώδιο Πομποδέκτη AUI

Το καλώδιο πομποδέκτη 10Mbps, γνωστό και ως καλώδιο AUI έχει ένα βύσμα (αρσενικό κονέκτορα) στη μια άκρη και μια πρίζα (θηλυκό κονέκτορα) από την άλλη. Το καλώδιο πομποδέκτη μεταφέρει τρία σήματα δεδομένων μεταξύ μια διεπαφής 10Mbps Ethernet και ενός εξωτερικού πομποδέκτη:

*Μετάδοση δεδομένων, από μια διεπαφή Ethernet στον πομποδέκτη.*

*Λήψη δεδομένων, από τον πομποδέκτη στη διεπαφή.*

*Παρουσία σήματος σύγκρουσης, από τον πομποδέκτη στη διεπαφή.*

Κάθε σήμα αποστέλλεται πάνω σε συνεστραμμένους ζεύγους καλώδια. Ένα άλλο ζεύγος καλωδίων χρησιμοποιείται στη μεταφορά ισχύος 12-volt DC από μια διεπαφή στον πομποδέκτη.

## Medium Attachment Unit (MAU)

Το MAU δεν είναι τίποτε άλλο από έναν πομποδέκτη. Ο πομποδέκτης έχει αυτό το όνομα αφού στέλνει και λαμβάνει δεδομένα στο και από το φυσικό μέσο. Ο πομποδέκτης AUI είναι η ζεύξη μεταξύ διαφορετικού τύπου ηλεκτρικής σηματοδότησης που χρησιμοποιούνται από τα συστήματα μέσω και τα σήματα που στέλνονται μέσω της διεπαφής AUI στο σταθμό.

### 2.8.2 Medium-Independent Interface (MII)

Η εφεύρεση του Fast Ethernet των 100Mbps, αποτέλεσε την αφορμή για την ανάπτυξη μια νέας διεπαφής, η οποία ονομάστηκε *medium-independent interface* (MII). Η MII μπορεί να υποστηρίξει λειτουργίες τόσο των 10 όσο και των 100Mbps. Εδώ ο πομποδέκτης καλείται *physical layer device* (PHY), αντί για MAU. Στην ουσία η MII είναι μια αναβαθμισμένη και βελτιωμένη έκδοση του αρχικού AUI για τα 10Mbps. Η διεπαφή MII μπορεί να βρίσκεται με στον εξοπλισμό του υπολογιστή, τόσο αυτή όσο και ο πομποδέκτης.

Μια συσκευή Ethernet μπορεί επίσης να προμηθεύεται με έναν κονέκτορα MII 40-pin, το οποίο επιτρέπει συνδέσεις εξωτερικών πομποδεκτών. Οι εξωτερικοί πομποδέκτες παρέχουν μέγιστη ευελιξία, αφού χρησιμοποιείται είτε συνεστραμμένου ζεύγους πομποδέκτης είτε οπτικών ινών. Η διεπαφή MII έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε οι διαφορές σηματοδότησης μεταξύ των διαφόρων τμηματικών μέσων να γίνονται εμφανείς στη συσκευή Ethernet. Αυτό γίνεται με την μετάφραση των λαμβανόμενων σημάτων από τον πομποδέκτη, σε διακριτά ψηφιακά σήματα, τα οποία προωθούνται στη διαδικτυακή συσκευή μέσω ενός 4bit data path.

### 2.8.3 Gigabit Medium-Independent Interface

Τα διάφορα επίπεδα της αρχιτεκτονικής του Gigabit Ethernet πρωτόκολλου παρουσιάζονται στην επόμενη εικόνα. Το GMII είναι μία διεπαφή μεταξύ του MAC επιπέδου και του φυσικού επιπέδου. Είναι μία επέκταση του MII (Media Independent Interface) που χρησιμοποιείται στο Fast Ethernet. Υποστηρίζει 10, 100 και 1000Mbps ρυθμούς bits. Παρέχει ξεχωριστές 8-bit μετάδοσης και λήψης διαδρομές δεδομένων, έτσι μπορεί να υποστηρίξει λειτουργίες full-duplex όπως και half-duplex.

Το GMII παρέχει δύο σήματα κατάστασης μέσου: το ένα δηλώνει την παρουσία φέροντος, και το άλλο δηλώνει την απουσία σύγκρουσης. Το υπόστρωμα Reconciliation (RS – υπόστρωμα προσαρμογής ) αντιστοιχίζει αυτά τα σήματα στις φυσικές αρχές σηματοδότησης (PLC) γνωστές από το υπάρχον MAC υπόστρωμα. Με το GMII, είναι δυνατόν να συνδεθούν διαφορετικοί τύποι μέσων όπως με κάλυμμα ή χωρίς συνεστραμμένα ζεύγη (shielded and unshielded twisted pair) και μονοτροπικές και πολυτροπικές οπτικές ίνες, όσο χρησιμοποιούν τον ίδιο MAC ελεγκτή.

Το GMII διαίρεται σε τρία υποστρώματα: το PCS, το PMA και το PMD, όπως και το MII.

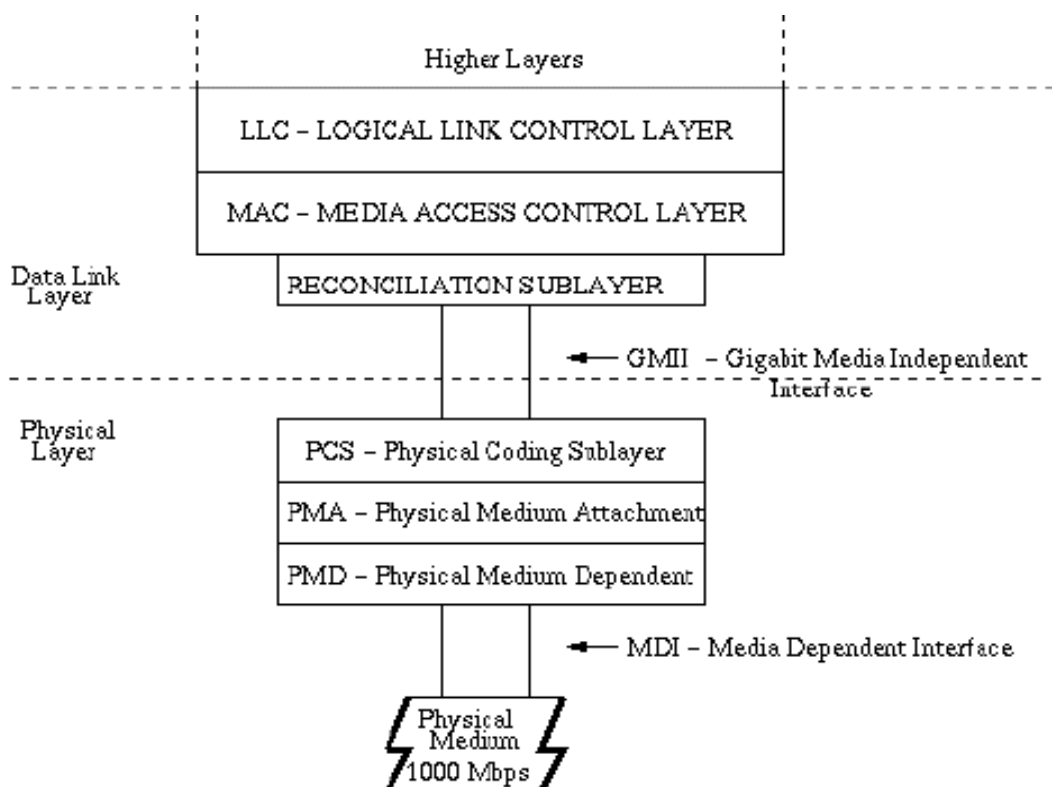
## PCS (Physical Coding Sublayer)

Αυτό είναι το υπόστρωμα του GMII που παρέχει μία ενιαία διεπαφή στο Reconciliation υπόστρωμα για όλα τα φυσικά μέσα. Χρησιμοποιεί κωδικοποίηση 8B/10B όπως το Κανάλι Ίνας (Fiber Channel). Σε αυτόν τον τύπο κωδικοποίησης, ομάδες των 8 bits αναπαρίστανται από 10-bit κωδικές ομάδες (code groups). Μερικές κωδικές ομάδες αναπαριστούν 8-bit σύμβολα δεδομένων. Άλλες είναι σύμβολα ελέγχου. Τα σύμβολα επέκτασης που χρησιμοποιούνται στο Carrier Extension είναι ένα παράδειγμα συμβόλων ελέγχου.

Η ανίχνευση φέροντος και ο εντοπισμός σύγκρουσης δημιουργούνται από αυτό το υπόστρωμα. Επίσης διαχειρίζεται την διαδικασία αυτό-διαπραγμάτευσης (auto-negotiation) με την οποία το NIC (Network Interface) επικοινωνεί με το δίκτυο για να καθορίσουν την δικτυακή ταχύτητα (10, 100 ή 1000Mbps) και τον τρόπο λειτουργίας (full-duplex ή half-duplex).

## PMA (Physical Medium Attachment)

Το υπόστρωμα παρέχει τρόπους ανεξάρτητους μέσου για το PCS για την υποστήριξη διαφορετικών σειριακών bit-oriented φυσικών μέσων. Αυτό το επίπεδο διατάσσει σειριακά κωδικές ομάδες για μετάδοση και αποδιατάσσει τα λαμβανόμενα bits από το μέσο σε κωδικές ομάδες.



Σχήμα 2. 8.1 – η διεπαφή GMII

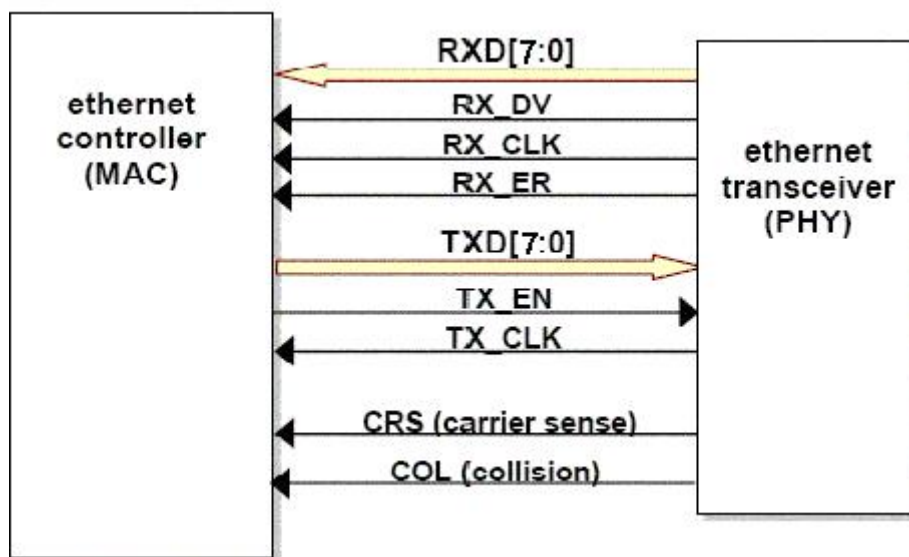
## PMD (Physical Medium Dependent)

Αυτό το υπόστρωμα αντιστοιχίζει το φυσικό μέσο στο PCS. Αυτό το επίπεδο ορίζει τη σηματοδότηση φυσικού επιπέδου που χρησιμοποιείται για φυσικά μέσα. Το



MDI (Medium Dependent Interface), το οποίο είναι μέρος του PMD, είναι η πραγματική διεπαφή του φυσικού επιπέδου. Αυτό το επίπεδο ορίζει το πραγματική φυσική σύνδεση για διαφορετικούς τύπους μέσων.

Προφανώς ορίζονται συγκεκριμένοι connectors για τη διασύνδεση του MAC controller με τον transceiver, οι οποίοι επικοινωνούν με τα σήματα ελέγχου που απεικονίζονται στο παραπάνω σχήμα. Διακρίνουμε τα δύο data busses, RXD και TXD για λήψη και μετάδοση δεδομένων αντίστοιχα τα οποία είναι ξεχωριστά, εφ' όσον η λήψη και η μετάδοση μπορούν να γίνονται ταυτόχρονα (full duplex τεχνολογία). Τα δεδομένα μεταδίδονται σε ομάδες των 8 bit, και συγχρονίζονται στην κατερχόμενη ακμή του ρολογιού TX\_CLK και RX\_CLK, συχνότητας 125 MHz. Ακόμα, προβλέπονται τα σήματα CRS και COL, που δηλώνουν ότι ανιχνεύτηκε φέρον, και ότι προέκυψε σύγκρουση αντίστοιχα. Πάντως η υποστήριξη του GMII δε θεωρείται υποχρεωτική και υπάρχουν μάλιστα υλοποιήσεις που ενσωματώνουν τον Ethernet controller και τον transceiver σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα.



Σχήμα 2. 8.2 – κατεύθυνση σημάτων μεταξύ MAC και πομποδέκτη

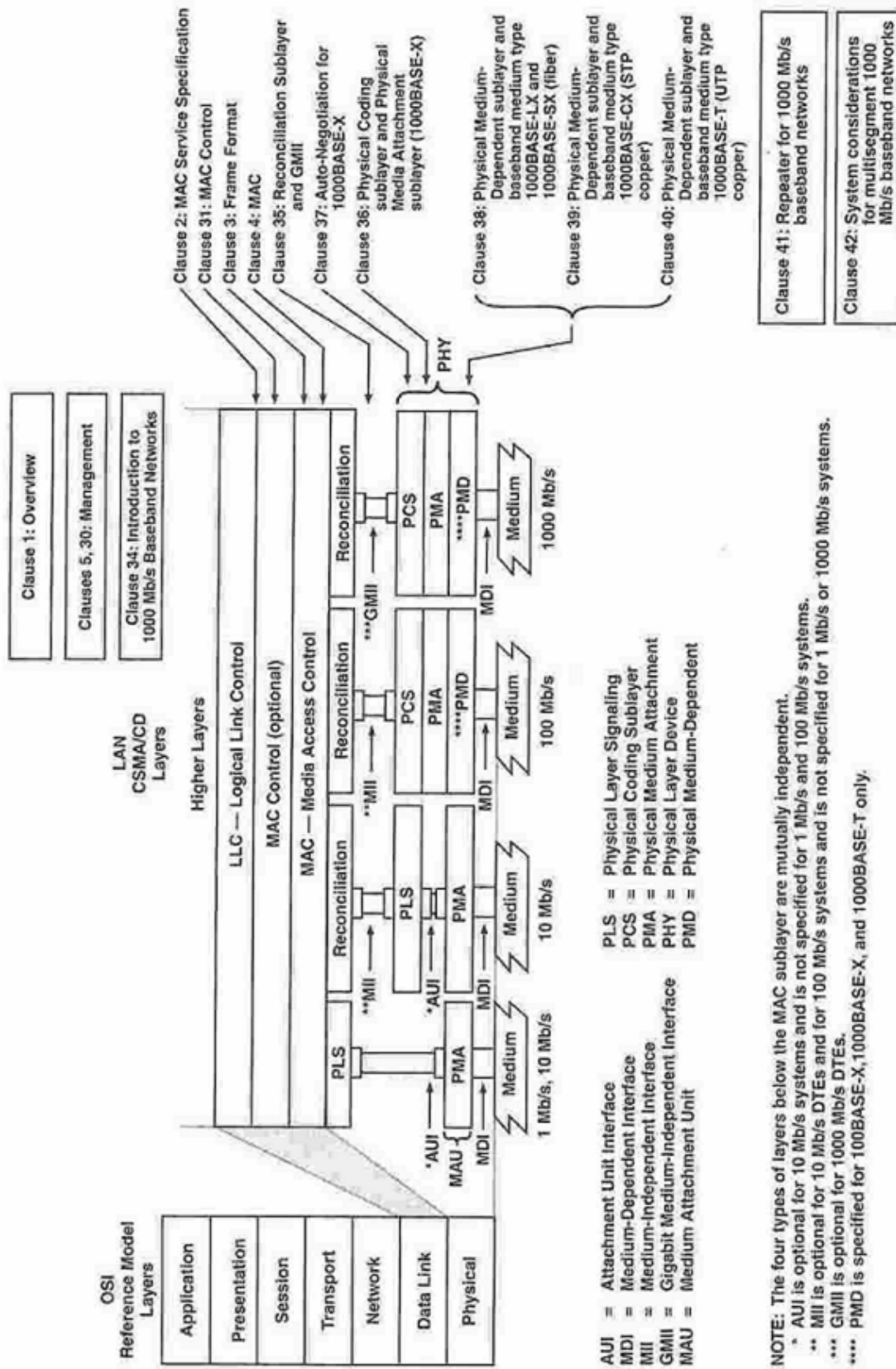


Figure 13-2 IEEE 802.3 Standards architecture and 802.3z clauses.

## 2.9 10 Gigabit Ethernet

Το νεότερο μέλος της οικογένειας Ethernet, είναι το 10 Gigabit Ethernet. Την προδιαγραφή αυτή επικύρωσε η επιτροπή IEEE 802.3ae. Η γενική δομή του είναι πανομοιότυπη με την προηγούμενη και όποιες απαραίτητες αλλαγές εισάγονται, γίνονται για να ταιριάζουν με τις ταχύτερες λειτουργίες.

Το 10 Gigabit Ethernet, ορίζεται ως μια full-duplex τεχνολογία, αποκλειστικά για οπτικές ίνες. Το πρότυπο αυτό, δε χρησιμοποιεί το “carrier sense multiple access” με CSMA/CD, που είχε καθιερωθεί στις προηγούμενες τεχνολογίες Ethernet, ούτε ως μέσο το χαλκό, η ανάπτυξη του οποίου θα ήταν τόσο περιορισμένη όσο και ανέφικτη. Από κάθε άποψη, παρόλο που το 10GbE παραμένει πιστό στο αρχικό μοντέλο, μια φυσική συσκευή η οποία αντιστοιχεί στο Layer 1 του μοντέλου ISO, χρησιμοποιείται για να συνδέσει το μέσο, οπτικό στη συγκεκριμένη περίπτωση, με το MAC Layer, το οποίο αντιστοιχεί στο Layer 2.

Όπως το Gigabit Ethernet, έτσι και η αρχιτεκτονική του 10GbE διαιρεί το φυσικό επίπεδο σε PMD και PCS. Για παράδειγμα οι οπτικοί πομποδέκτες είναι PMD. Το PCS έχει δημιουργηθεί για λειτουργίες κωδικοποίησης, Serializer ή πολυπλεξιάς. Με την προδιαγραφή 802.3ae, ορίζονται δυο τύποι φυσικού επιπέδου, ένα για LAN (local area networks) και ένα για WAN (wide area networks). Το υπόστρωμα επικοινωνίας WAN στην κεντρική επιλογή ώστε να παρέχει WAN PHY. Το WAN PHY έχει μια πληθώρα χαρακτηριστικών που προστίθενται στις λειτουργίες του LAN PHY. Τα δυο επίπεδα LAN PHY ξεχωρίζουν από το PCS.

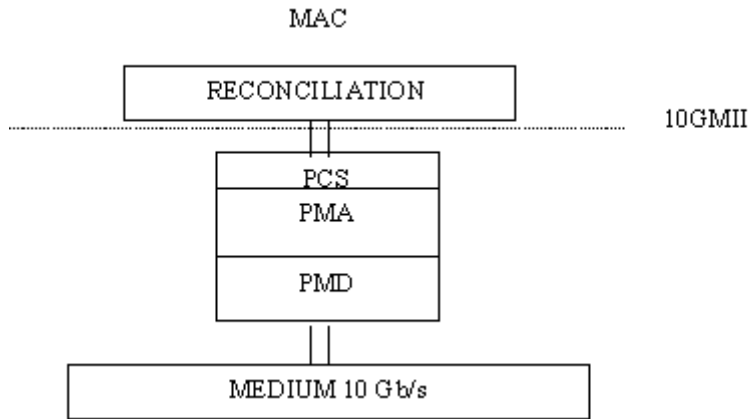
### 2.9.1 Αρχιτεκτονική Φυσικού Επιπέδου (PHY)

Ένα από τα πρώτα πράγματα που θα παρατηρούσε κάποιος εξοικειωμένος με το Ethernet, σχετικά με την παραλλαγή του 10GbE, είναι ότι υπάρχουν δυο επιλογές για την υλοποίηση του φυσικού επιπέδου, μια *σειριακή* και μια *παράλληλη* λύση.

Η σειριακή επιλογή χρησιμοποιεί ένα μπλοκ κύκλωμα υψηλής ταχύτητας (10 Gbps) PCS/PMA/PMD. Η δε παράλληλη επιλογή έχει πολλαπλά μπλοκ κυκλώματα PCS/PMA/PMD, καθένα από τα οποία λειτουργεί σε χαμηλότερη ταχύτητα. Οι δυο αυτές διαφορετικές επιλογές εμφανίζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, που συζητούνται παρακάτω. Το PMD υποεπίπεδο παρέχει φυσική σύνδεση και σηματοδότηση στο μέσο. Οι οπτικοί πομποδέκτες για παράδειγμα αναφέρονται στο PMD. Το PCS αποτελείται από κωδικοποιητή (όπως 64B και 66B) και από serializer ή πολυπλέκτη

#### Σειριακή Υλοποίηση

Στη σειριακή υλοποίηση ένα φυσικό κανάλι λειτουργεί στα 10Gbps, όπως φαίνεται και στο σχήμα. Η λειτουργία είναι άμεση. Κατά τη μετάδοση, η μονάδα *reconciliation* στέλνει τα σήματα, ανταποκρινόμενο στα δεδομένα του MAC, λέξη προς λέξη στη μονάδα PCS. Η μονάδα PCS, κωδικοποιεί τα σήματα με μια προσυμφωνημένη τεχνική κωδικοποίησης και παραδίδει τα κωδικοποιημένα σήματα στη μονάδα PMA. Κατόπιν, η μονάδα PMA «σειριακοποιεί» (serialize) τα κωδικοποιημένα σήματα και παραδίδει με τη σειρά του τη ροή δεδομένων, στη μονάδα PMD. Τελικά, η μονάδα PMD εκπέμπει τη ρεύμα δεδομένων πάνω σε οπτική ίνα με ταχύτητα 10Gbps. Κατά τη λήψη ακολουθεί η αντίστροφη διαδικασία.



Σχήμα 2.9.1 – Σειριακή υλοποίηση 10GbE

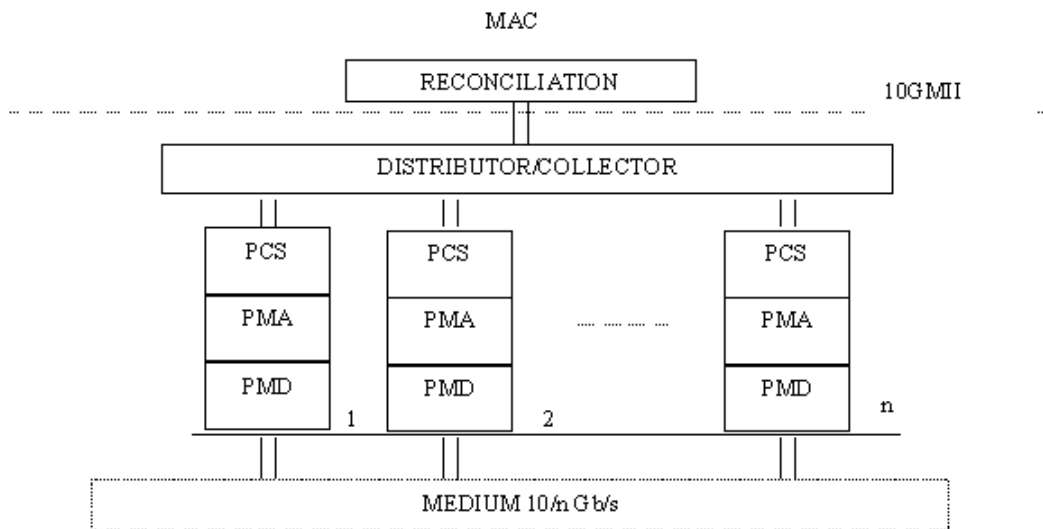
Το κύριο χαρακτηριστικό της σειριακής αρχιτεκτονικής είναι η απλότητά της. Τόσο η μετάδοση όσο και η λήψη είναι άμεση, ενώ δεν απαιτείται κάποια περίπλοκο σχήμα πολύπλεξης/αποπολύπλεξης όπως γίνεται κατά την παράλληλη υλοποίηση. Για το λόγο αυτό, οι απαιτήσεις του χρονικού jitter, μπορεί να είναι λιγότερο αυστηρές. Επιπροσθέτως, η σειριακή χρειάζεται μόνο ένα fiber channel και ένα σετ εξοπλισμού laser, το οποίο μειώνει το κόστος της υλοποίησης. Στα μειονεκτήματα καταγράφεται η ανάγκη για ακριβό εξοπλισμό λογικών κυκλωμάτων υψηλής ταχύτητας.

Η σειριακή αρχιτεκτονική καθιστά αναγκαία τη χρήση ακριβών λογικών κυκλωμάτων και τεχνολογιών υψηλής ταχύτητας. Για να επιτευχθεί η μείωση του ρυθμού μετάδοσης, θα μπορούσε να συστηθεί μια υψηλότερης ταχύτητας κωδικοποίηση, όπως η PAM-5. Σε μια τέτοια περίπτωση, είναι πιθανόν να χρειαστεί μόνο ένα φθινό laser. Κατά την έκδοση, η πρακτική εμπειρία καλείται να επιβεβαιώσει τη βιωσιμότητα αυτής της εναλλακτικής.

### Παράλληλη Υλοποίηση

Στην παράλληλη υλοποίηση, υπάρχουν πολλαπλά φυσικά κανάλια. Κάθε υπό-κανάλι μπορεί να υλοποιηθεί με τη χρήση παράλληλων καλωδίων ή με χρήση WDM πολυπλεξίας.

Κατά την μετάδοση, ο διανομέας πολυπλέκει τα δεδομένα, τα οποία έχει δεχθεί από το επίπεδο MAC, σε έναν αριθμό διαφορετικών ροών (stream), χρησιμοποιώντας άμεσο και κυκλικό σχήμα. Κάθε stream παραδίδεται σε καθεμία μονάδα PCS. Κάθε μονάδα PCS κωδικοποιεί το stream το οποίο έλαβε και το παραδίδει με τη σειρά του σε καθεμία μονάδα PMA για «σειριοποίηση» (serialization). Κατόπιν καθεμία PMD μεταδίδει κάθε «σειριοποιημένο» data stream σε ένα κλάσμα bit rate 10Gbps, που εξαρτάται από το βαθμό της παραλληλίας που χρησιμοποιείται. Η αντίστροφη διαδικασία ακολουθείται κατά τη λήψη.



Σχήμα 2.9.2 – Παράλληλη υλοποίηση 10GbE

Το βασικό πλεονέκτημα της παράλληλης υλοποίησης είναι ότι ο ρυθμός λειτουργίας στις PMA/PCS μονάδες μειώνεται. Αυτό δημιουργεί έδαφος για χρήση φθηνότερων συσκευών (π.χ. ολοκληρωμένα CMOS). Στα μειονεκτήματα σημειώνονται η ανάγκη για μονάδα διανομέα/συλλέκτη (distributor/ collector) η οποία μπορεί να είναι ευαίσθητη στο jitter και στη χρήση πολλαπλών σετ λογικών κυκλωμάτων και εξοπλισμού LASER. Δυο είναι οι τεχνικές για επίτευξη πολλαπλών καναλιών: η παράλληλη καλωδίωση και η διαίρεση στο μήκος κύματος (WDM).

Για να επιτευχθεί ο ρυθμός των 10Gbps (10 x 1 ή 10 x 1.25Gbps βάση του σχήματος κωδικοποίησης) χρησιμοποιούνται οπτικές ίνες. Η ικανότητα του 1GbE καθιστά δυνατή αυτή τη μέθοδο αναβάθμισης, παρ' όλα το κόστος δεκαπλασιάζεται. Κάτι τέτοιο μετατρέπει το 10GbE σε μη ελκυστική λύση. Καθώς όμως, ο εξοπλισμός της τεχνολογίας διαδίδεται ευρέως, μόνο τέσσερις παράλληλες οπτικές ίνες ή μια μοναδική ίνα θα χρειαστεί. Αυτή η τεχνική μπορεί να γίνει πολύ ελκυστική για short-haul (μικρότερες από 200m) εφαρμογές, όπου το κόστος της οπτικής πολυπλεξίας μπορεί να αντισταθμίσει το κόστος της καλωδίωσης της ίνας. Η παράλληλη καλωδίωση πάντως, δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην υπάρχουσα δομή.

## PMD

Έχοντας υπ' όψιν το εκτεταμένο εύρος των εφαρμογών του 10Gigabit Ethernet, η IEEE 802.3ae task force, όρισε τους ακόλουθους αριθμούς PMD (physical medium dependent sublayers)

**10GBASE-SR** Ένα σειριακό PMD στα 850nm, ορισμένο να πετύχει τον στόχο των 65m πάνω σε πολύτροπη ίνα.

**10GBASE-LR** Ένα σειριακό PMD στα 1310nm, για αποστάσεις 2-10km, πάνω σε μονότροπη ίνα.

**10GBASE-ER** Ένα σειριακό PMD στα 1510nm, για αποστάσεις ίσες και μεγαλύτερες των 40km πάνω σε μονότροπη ίνα.

Η τρίτη επιλογή αποτελεί την επιτυχή ανάπτυξη των λύσεων που προσφέρει το Gigabit Ethernet σε μητροπολιτικές και μεγάλων αποστάσεων εφαρμογές.

Επιπρόσθετα, η task force επέλεξε τις ακόλουθες δυο εκδοχές του προτύπου 10GBASE-LX4, για πολυπλεξία στο μήκος κύματος (WDM) PMD:

**10GBASE-LX4** Μια εκδοχή 1310nm, πάνω σε μονότροπη ίνα, με στόχο την επίτευξη μιας απόστασης της τάξης των 10km.

**10GBASE-LX4** Μια εκδοχή 1310nm, πάνω σε πολύτροπη ίνα, με στόχο της επίτευξη μιας απόστασης 300m.

Το 10GBASE-LX4 χάρις στην τεχνολογία WDM μεταφέρει ταυτόχρονα 4 μήκη κύματος, μέσα από ένα μόνο ζεύγος οπτικών ινών. Αυτά τα δυο PMD συμπεριλαμβάνονται στο πρότυπο 10Gigabit Ethernet, ώστε να συντελέσουν στην επίτευξη των στόχων του για επίτευξη δικτύων LAN, MAN και WAN.

Ένα πρόσφατα δημοσιευμένο πρότυπο, το **10GBASE-T** της επιτροπής IEEE 802.3an-2006, επιτρέπει συνδέσεις 10Gbps πάνω σε ζεύγος συνεστραμμένης καλωδίωσης.

### **Παραλλαγές Φυσικού Επιπέδου**

Τα δυο φυσικά επίπεδα που ορίζονται από το πρότυπο 10GbE, το LAN PHY και το WAN PHY, λειτουργούν εξίσου σε κοινά PMDs και γι' αυτό υποστηρίζουν τις ίδιες αποστάσεις. Μόνο το PCS ξεχωρίζει τα δυο φυσικά επίπεδα μεταξύ τους.

Το 10GbE LAN PHY προτίθεται να υποστηρίξει όλες τις υπάρχουσες GbE εφαρμογές σε δεκαπλάσιο εύρος ζώνης και με έναν πιο αποδοτικά οικονομικά τρόπο. Με την πάροδο του χρόνου προβλέφθηκε ότι τα LAN PHY θα χρησιμοποιούνταν σε καθαρά οπτικό περιβάλλον, τα οποία θα εκτείνονταν σε όλα τα WANs. Παρά ταύτα, για λόγους συμβατότητας με την υπάρχουσα τεχνολογία WAN, το 10GbE υποστηρίζει συνδέσεις με το SONET/SDH. Το WAN PHY διαφέρει από το LAN PHY συμπεριλαμβάνοντας έναν απλουστευμένο SONET/SDH framer στο υπόστρωμα επικοινωνίας του WAN (WIS). Επειδή ο ρυθμός του SONET OC-192 και του SDH ισοδύναμου του STM-64, είναι πολύ κοντά στα 10Gbps, είναι σχετικά απλή η υλοποίηση ενός MAC, το οποίο θα λειτουργεί με μια LAN PHY στα 10Gbps ή με ένα WAN PHY στα 9.29Gbps.

Για να περιοριστεί το κόστος της υλοποίησης του WAN PHY, η επιτροπή IEEE 802.3ae σοφά απέρριψε την πλήρη συμμόρφωση με το SONET/SDH. Αντιθέτως το WAN PHY ορίστηκε ως το πιο οικονομικά αποδοτικό χρησιμοποιώντας κοινά Ethernet PMDs για να έχει πρόσβαση στο SONET/SDH. Το κέρδος είναι ότι ενεργοποιεί μια προσάρτηση packet-based IP και Ethernet δρομολογητών και μεταγωγών στη δομή του SONET/SDH. Έτσι, ένας χρήστης Ethernet, μπορεί να εκπέμψει πληροφορίες στο backbone του WAN μέσω SONET/SDH.

Είναι επίσης σημαντικό να σημειώσουμε ότι το Ethernet παραμένει ένα ασύγχρονο πρωτόκολλο ζεύξης. Όπως σε κάθε δίκτυο Ethernet, έτσι και στο 10GbE ο χρόνος και ο συγχρονισμός πρέπει να διατηρούνται σε κάθε χαρακτήρα του data bit stream. Το hub, μεταγωγέας ή ο δρομολογητής μπορεί να «αναχρονίσουν» ή να ανασυγχρονίσουν τα δεδομένα κατά τη λήψη. Σε αντίθεση, τα σύγχρονα πρωτόκολλα, όπως το SONET και το SDH, χρειάζονται κάθε μια συσκευή για να μοιραστούν το σύστημα ρολογιού, έτσι ώστε να αποφευχθεί ολίσθηση χρόνου μεταξύ του

εξοπλισμού μετάδοσης και λήψης και η δημιουργία σφαλμάτων (errors) όπου η μεταβίβαση χρόνου είναι κρίσιμη.

Το WAN PHY επιτρέπει πρόσδεση εξοπλισμού δεδομένων, όπως μεταγωγούς ή δρομολογητές σε ένα δίκτυο SONET/SDH και γι' αυτό διευκολύνεται η επέκταση των ζεύξεων Ethernet σ' αυτά τα δίκτυα. Δυο δρομολογητές θα συμπεριφέροντε σαν να είναι απευθείας συνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω μια ζεύξης Ethernet. Εφόσον δε χρησιμοποιούνται γέφυρες ούτε "store-and-forward" buffers, ενδιάμεσά τους, όλα τα συστήματα διαχείρισης της IP κίνησης για διαφορετικές υπηρεσίες και την ποιότητα υπηρεσίας (QOS-quality of service), λειτουργούν πάνω σε εκτεταμένες ζεύξεις 10GbE που συνδέουν τους δυο δρομολογητές. Για να απλοποιηθεί η διαχείριση των εκτεταμένων ζεύξεων, το WAN PHY παρέχει τις περισσότερες πληροφορίες διαχείρισης του SONET/SDH. Παρ' όλα αυτά είναι εφικτή η end-to-end παρακολούθηση δράσης και απομόνωση σφάλματος σε ολόκληρο το δίκτυο, συμπεριλαμβανομένης της 10GbE WAN ζεύξης, από το σταθμό διαχείρισης του SONET/SDH. Οι πληροφορίες αυτού του σταθμού παρέχονται από το WIS, το οποίο εμπεριέχει τον SONET/SDH framer. Το WIS λειτουργεί μεταξύ του PCS και των κοινών σειριακών επιπέδων PMD του LAN PHY.

## 2.9.2 MAC

Το επίπεδο MAC του 10 Gigabit Ethernet, είναι πανομοιότυπο του αντιστοίχου επιπέδου MAC, που χρησιμοποιείται σε προηγούμενες τεχνολογίες Ethernet. Χρησιμοποιεί την ίδια διεύθυνση και σχήμα πλαισίου Ethernet, αλλά δεν υποστηρίζει half-duplex επικοινωνία. Οι ρυθμοί δεδομένων που υποστηρίζει είναι μικρότεροι των 10Gbps κάνοντας χρήση ενός βηματικού μηχανισμού προσαρμογής ρυθμού και ελέγχου ροής.

### Full - Duplex

Στα προηγούμενα πρότυπα Ethernet, υπήρχαν δυο μέθοδοι λειτουργίας, το half-duplex και το full-duplex. Η μέθοδος half-duplex έχει καθιερωθεί από την αρχική έκδοση του Ethernet. Σε αυτήν τη μέθοδο, τα δεδομένα εκπέμπονται χρησιμοποιώντας το διάσημο πρωτόκολλο CSMA/CD σε ένα κοινό μέσο. Η απλότητά του συνέβαλλε στην γρήγορη επιτυχία του Ethernet. Αυτές οι μέθοδοι λειτουργίας είναι τόσο διάσημες που πολλοί εσφαλμένα συγχέουν το πρωτόκολλο CSMA/CD με την συνηθισμένη λειτουργία του Ethernet. Η οριοθέτηση αποδοτικότητας και απόσταση είναι τα κύρια μειονεκτήματα του half-duplex. Σε αυτή τη λειτουργία η απόσταση της ζεύξης περιορίζεται από το ελάχιστο μήκος του πλαισίου MAC. Αυτός ο περιορισμός μειώνει την αποδοτικότητα δραματικά για εκπομπές υψηλού ρυθμού. Για παράδειγμα, η τεχνική επέκτασης φέροντος (carrier extension) χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει το ελάχιστο μήκος πλαισίου των 512bytes στο GbE ώστε να επιτύχει μια λογική απόσταση ζεύξης.

Για ρυθμούς μετάδοσης 10Gbps, το half-duplex δεν είναι ελκυστικό, ενώ η αγορά για τέτοια λειτουργία σε τέτοιους ρυθμούς δε θα υπήρχε, καθώς οι περισσότερες ζεύξεις στα 10 Gbps είναι σημείο-προς-σημείο πάνω σε οπτικές ίνες. Σε αυτήν την περίπτωση το full-duplex θα ήταν η βέλτιστη λύση, γι' αυτό και το πρότυπο των 10 GbE ορίζει μόνο full-duplex λειτουργία.

Στην την full-duplex επικοινωνία, δεν υπάρχει ανταγωνισμός. Το επίπεδο MAC μπορεί να εκπέμπει όποτε το επιθυμεί, υπό την προϋπόθεση ότι η βάση του είναι έτοιμη για λήψη. Τα όρια απόστασης καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά του φυσικού μέσου και των συσκευών, σχεδιασμού της ισχύος και διαμόρφωσης. Σε αυτήν την περίπτωση, μια επιθυμητή τοπολογία μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση μεταγωγών και buffer διανομής.

### **MAC Frame Format**

Ένας από τους πρωταρχικούς στόχους κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του προτύπου του 10 Gigabit Ethernet ήταν η χρήση του ίδιου πλαισίου MAC, όπως ορίζεται από τα προηγούμενα πρότυπα Ethernet. Αυτό επιτρέπει την ενοποίηση του 10GbE με τα υπάρχοντα δίκτυα Ethernet. Εφόσον χρησιμοποιείται μόνο full-duplex μετάδοση, η απόσταση της ζεύξης δεν επηρεάζει το μέγεθος του πλαισίου MAC. Το ελάχιστο μέγεθος του πλαισίου MAC θα είναι ίσο των 64 bytes, όπως προσδιορίζεται και από τα προηγούμενα πρότυπα Ethernet. Η επέκταση φέροντος (carrier extension) δεν κρίνεται απαραίτητη.

### **Ρυθμός Δεδομένων**

Ο προσδιορισμός του ρυθμού δεδομένων του 10GbE δεν αποτελούσε απλή διαδικασία. Το μεγαλύτερο μέρος της κοινότητας τεχνολογίας δικτύων που προσανατολιζόταν στα τοπικά δίκτυα επιθυμούσε ρυθμό δεδομένων 10Gbps, έτσι ώστε ένας μεταγωγέας 10Gbps να μπορεί να υποστηρίξει δέκα θύρες 1GbE. Η κοινότητα τηλεπικοινωνιών από την άλλη, επιθυμούσε ρυθμό 9.584640Gbps, έτσι ώστε να ισοφαρίσει το ήδη υπάρχον OC-192 πρότυπο των συστημάτων μετάδοσης.

Η λύση είναι να υποστηρίξει και τους δυο ρυθμούς. Αυτό έγινε καθορίζοντας το ρυθμό δεδομένων στα 10Gbps και μετά με τη βοήθεια ενός βηματικού μηχανισμού να επιτευχθεί η ομαλή μετάβαση σε πιο αργούς ρυθμούς. Αυτό που μπορεί να προκύψει ως προβληματικό με αυτήν την λύση, είναι ότι απαιτείται μια συσκευή μεγάλου buffer προκειμένου να γεφυρώσει τους δυο ρυθμούς. Αξίζει να σημειωθεί ότι εφόσον ο ρυθμός δεδομένων οριστεί στα 9.584640Gbps δεν είναι δυνατόν να υποστηριχθεί ρυθμός 10Gbps.

### **Βηματικός Μηχανισμός (Pacing Mechanism)**

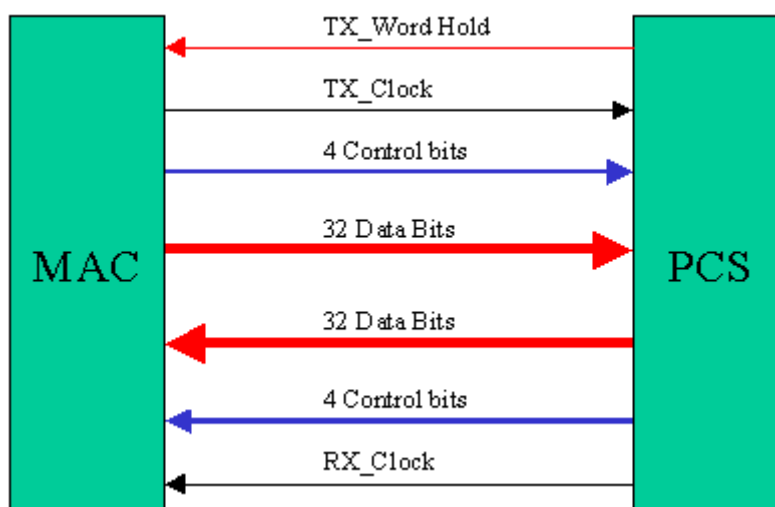
Ο βηματικός μηχανισμός επιτρέπει στο επίπεδο MAC να υποστηρίξει ρυθμούς μετάδοσης, 1Gbps ή 10Gbps σε τοπικά δίκτυα, όπως επίσης και ένα ρυθμό των ~9.58Gbps για μεταδόσεις πάνω σε εκτενείς περιοχές. Για την επίτευξη αυτού, το επίπεδο MAC, διαθέτει την ικανότητα να «παγώσει» (pause) το ρυθμό δεδομένων για ένα εύλογο χρονικό διάστημα, επιτυγχάνοντας έναν έλεγχο ροής ή προσαρμογής ρυθμού δεδομένων. Προβλέπονται δυο μεθοδολογίες, η πρώτη είναι με μηχανισμό κατακράτησης λέξης-προς-λέξη και η δεύτερη είναι η τεχνική «τέντωμα ενδο-πλαισιακού κενού» (Interframe Gap stretching – IFG). Στην τεχνική λέξη-προς-λέξη, το επίπεδο MAC παγώνει για να στείλει μια λέξη 32bit δεδομένων για μια προκαθορισμένη περίοδο χρόνου, με ή χωρίς την αίτηση του φυσικού επιπέδου. Το κύριο μειονέκτημα του “IFG stretch” είναι ότι απαιτείται ένας buffer μεγάλης



χωρητικότητα, επειδή ο αλγόριθμος διενεργείται μεταξύ πλαισίων. Ο μηχανισμός κατακράτησης λέξης-προς-λέξη προτιμάται χάρις στην ευελιξία του να υποστηρίζει οποιαδήποτε τεχνική κωδικοποίησης. Επιπροσθέτως, δεν απαιτεί buffer υψηλής χωρητικότητας για να κατακρατά πολλαπλά πλαίσια MAC, γι' αυτό και το μέγεθος του buffer επιλέγεται ανεξάρτητα από την ταχύτητα της ζεύξης.

### 2.9.3 10 Gigabit Media Independent Interface (10GMII)

Το 10-Gigabit MII (10GMII) παρέχει τη διασύνδεση (interface) μεταξύ του επιπέδου MAC και του φυσικού (Physical) επιπέδου. Επίσης, επιτρέπει στο επίπεδο MAC την υποστήριξη πλήθους φυσικού επιπέδου παραλλαγών.



Σχήμα 2.9.3 - 10 Gigabit Media Independent Interface

Η γραμμή TX\_word\_hold υποστηρίζει τον «λεκτικό βηματικό μηχανισμό». Τα δεδομένα των 32bit προορίζονται για εφαρμογές εκπομπής και λήψης, καθένα από τα οποία είναι εφοδιασμένο με τέσσερα bit ελέγχου, ένα για κάθε byte. Το bit ελέγχου τίθεται σε κατάσταση “1” για ειδικούς χαρακτήρες και χαρακτήρες οριοθέτησης και σε κατάσταση “0” για δεδομένα. Οι ειδικοί χαρακτήρες και οι χαρακτήρες οριοθέτησης αποφασίζονται από την τιμή των 8bit όταν το bit ελέγχου βρίσκεται σε κατάσταση “0” και είναι οι ακόλουθοι:

*IDLE*, σηματοδοτείτε κατά τη διάρκεια του “interpacket gap” και όταν δεν υπάρχουν δεδομένα προς αποστολή.

*SOP*, σηματοδοτείτε στην αρχή κάθε πακέτου.

*EOP*, σηματοδοτείτε στο τέλος κάθε πακέτου.

*ERROR*, σηματοδοτείτε όταν ανιχνεύεται κάποιο σφάλμα στο ληφθέν σήμα ή όταν κάποιο σφάλμα χρειάζεται να τοποθετηθεί στο μεταδιδόμενο σήμα.

Αυτοί οι ειδικοί χαρακτήρες και οριοθέτησης ενεργοποιούν τον πρόβον συγχρονισμό για τις λειτουργίες της πολυπλεξης και αποπολύπλεξης. Πρέπει να σημειωθεί ότι η διασύνδεση μπορεί επίσης να κλιμακωθεί σε εύρος και ταχύτητα. Επί παραδείγματι, 8 data bits με 1 bit ελέγχου μπορεί να χρησιμοποιηθούν τέσσερις φορές ταχύτερα από το ρυθμό ρολογιού. Με αυτόν τον τρόπο αυτοί οι χαρακτήρες

παραμένουν अपαράλλαχτοι, γι' αυτό και μπορεί να υποστηριχθούν και σειριακές και παράλληλες υλοποιήσεις του PCS.

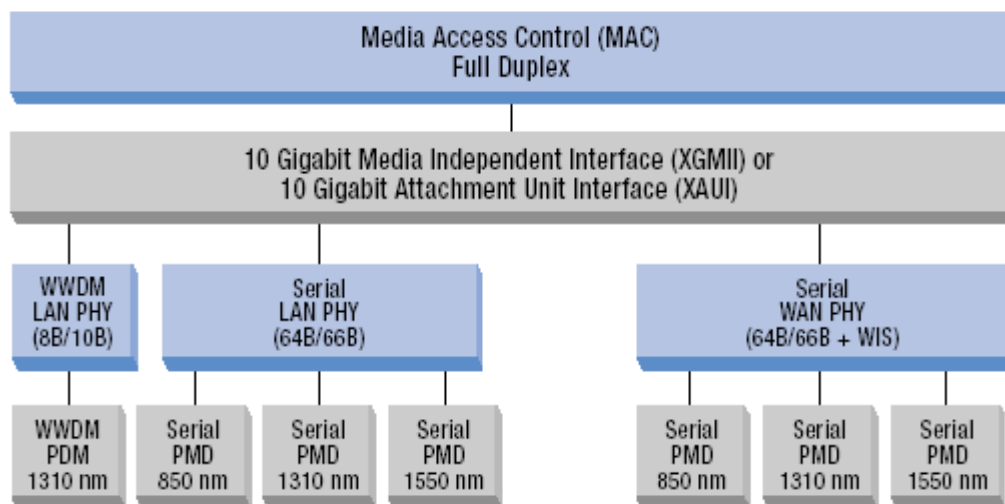
### Διεπαφή XAUI

Μια καινοτομία η οποία προτείνεται από την IEEE 802.3ae είναι μια διασύνδεση (interface) η οποία ονομάζεται XAUI. Το “AUI”, προέρχεται από το Ethernet “Attachment Unit Interface”, ενώ το “X” αναπαριστά το ρωμαϊκό νούμερο 10 προσδιορίζοντας τα 10Gbps. Το XAUI είναι σχεδιασμένο ως interface extender και το interface το οποίο προεκτείνει είναι το XGMII, το 10Gb MII.

Το XGMII είναι ένα interface 74 σημάτων, με 32bit data paths, για κάθε λήψη και μετάδοση, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην σύνδεση του Ethernet MAC με το PHY. Το XAUI μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προέκταση ή αντικατάσταση του XGMII σε εφαρμογές chip προς chip των περισσότερων διασυνδέσεων του MAC με το PHY. Το XAUI είναι ένας σειριακός διάυλος, με δικό του ρολόι και αποτελεί συγγενή του 1000BASE-X PHY του GbE.

Η ταχύτητα του XAUI είναι 2.5 φορές αυτήν του 1000BASE-X, το οποίο σημαίνει ότι χρησιμοποιώντας τέσσερις σειριακές διαδρομές, το τετράμπιτο XAUI είναι ικανό να υποστηρίξει την αύξηση της ροής των δεδομένων που απαιτείται από το 10GbE. Το σχήμα κωδικοποίησης είναι το ίδιο με αυτό του 1000BASE-X, το 8B/10B και παρέχει πολύ καλή ακεραιότητα σήματος μέσω χαλκού. Επιπρόσθετα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας XAUI συμπεριλαμβάνει δυνατότητες χαμηλή ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή (Electromagnetic Interference – EMI), απομόνωση και εντοπισμό σφάλματος κ.α.

Η XAUI interface μετατρέπεται σε μια ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία και ισοδύναμη σε άλλες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στη βιομηχανία, όπως το 10Gigabit Fiber Channel, μπορεί να εξασφαλίσει το χαμηλότερο δυνατό κόστος.



Σχήμα 2.9.4 – εναλλακτικές μορφές και δυνατές επιλογές υλοποίησης του 10GbE

### **3 Κεφάλαιο : Υλοποίηση Gigabit Ethernet**

#### **3.1 Υλοποίηση με πλαστική ίνα**

##### **Πειράματα Μετάδοσης Gigabit Ethernet με τη χρήση GI-POF**

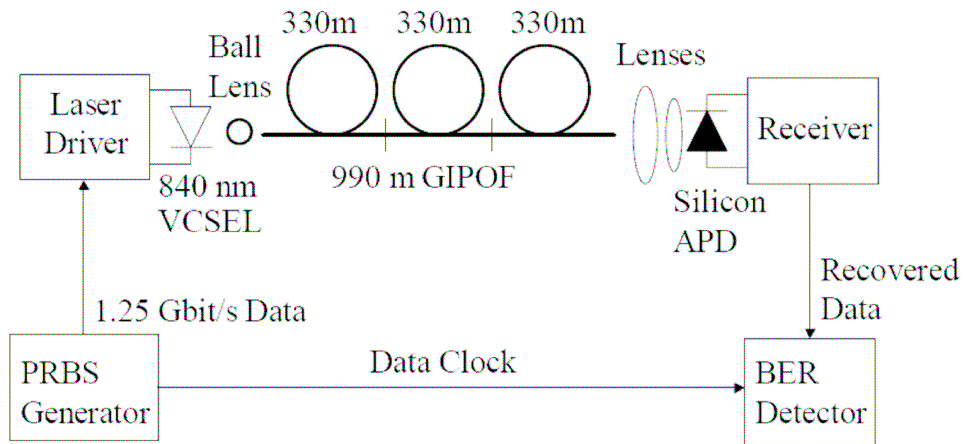
Τα πειράματα μετάδοσης Gigabit Ethernet με τη χρήση Graded Index-Polymer Optical Fiber (GI-POF) αναφέρονται σε αποστάσεις πέραν της τάξης του 1 Km και σε μήκη κύματος των 850 nm και των 1300 nm. Ο ρυθμός μετάδοσης στα πειράματα είναι 1,25 Gbps, λαμβάνοντας υπόψιν και την 8B10B κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται συνήθως στα φυσικά επίπεδα του Gigabit Ethernet. Το Gigabit Ethernet υποστηρίζει ένα μέγιστο μήκος 100 m σε χάλκινο καλώδιο, 550 m σε πολύτροπη ίνα υάλου και 5 Km σε μονότροπη ίνα υάλου. Αυτό το πείραμα με τη χρήση ίνας του 1 Km δείχνει ότι η GI-POF, που είναι εύκολη και φτηνή στην εγκατάσταση, είναι ένας ισχυρός υποψήφιος για αποστάσεις μικρές αλλά και ενδιάμεσες σε Gigabit Ethernet εφαρμογές.

##### **Εισαγωγή**

Το πρωτόκολλο Ethernet που χρησιμοποιείται στο 80% με 85% των παγκόσμιων LAN-συνδεδεμένων PC και των τερματικών σταθμών έχει προσαρμοστεί για να ικανοποιήσει τις μεταβαλλόμενες ανάγκες των πελατών διατηρώντας την απλότητα, διαλειτουργικότητα, ευρωστία και το χαμηλότερο κόστος. Η πρώτη γενιά Ethernet καθορίστηκε το 1985 και λειτούργησε σε ένα ρυθμό μετάδοσης των 10 Mbps. Το Fast Ethernet, που έγινε πρότυπο το 1995, χρησιμοποιεί το ίδιο σχήμα πλαισίων Ethernet αλλά με δέκα φορές μεγαλύτερη ταχύτητα συγκεκριμένα 100 Mbps μετάδοσης. Το Gigabit Ethernet είναι η σημαντικότερη πρόσφατη προσθήκη στο πρωτόκολλο Ethernet, που είναι ικανό να μεταδώσει 1.000 Mbps. Το φυσικό επίπεδο του Gigabit Ethernet χρησιμοποιεί 8B10B κωδικοποίηση για να προσθέσει επιπλέον πληροφορίες για το clock, για να μειώσει τα χαμηλής συχνότητας στοιχεία και για την ανίχνευση λάθους. Σε αυτήν την τεχνική κωδικοποίησης, 8 bit δεδομένων κωδικοποιούνται σε 10 bit, αυξάνοντας το ρυθμό μετάδοσης της σύνδεσης σε 1.250 Mbps.

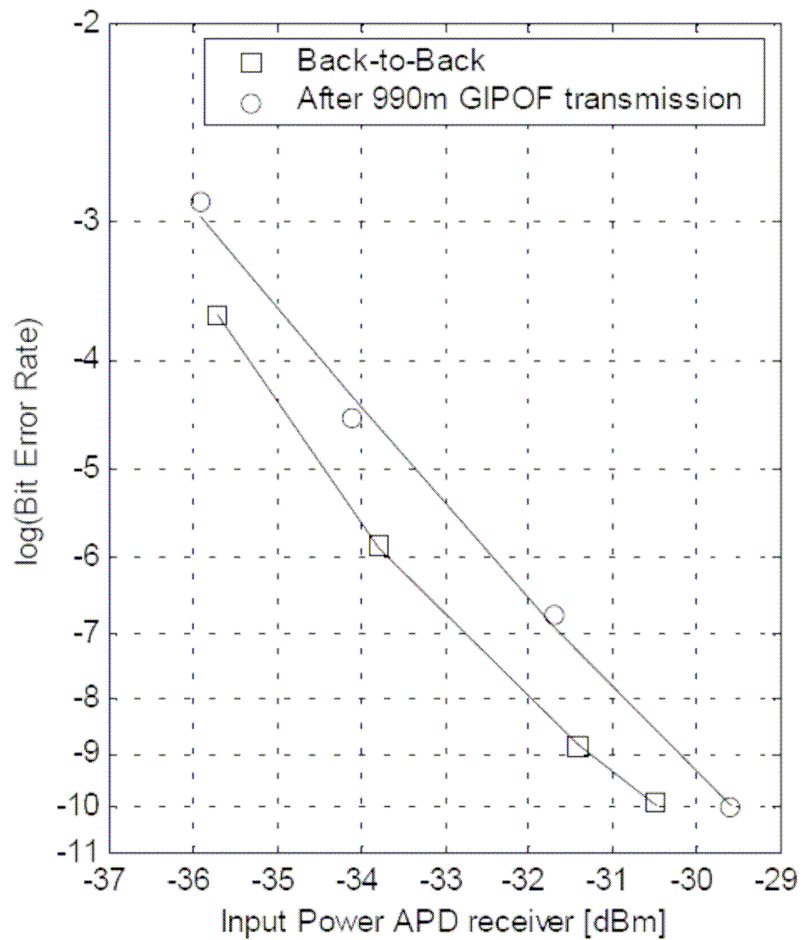
##### **Πειράματα συστήματος**

Στο σχήμα 3.1.1 απεικονίζεται μία πειραματική διάταξη εκπομπής Gigabit Ethernet που χρησιμοποιεί GI-POF μήκους μεγαλύτερου των 990 m και σε ένα μήκος κύματος των 840 nm. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται σε αυτό το πείραμα είναι ένα βελτιωμένο χαμηλών απωλειών GI-POF που προωθείται με ορισμένα mode, ένα VCSEL Laser με ένα μικρό φασματικό εύρος και ένα υψηλό εύρος ζώνης 2GHz, και μια φωτοδίοδος χιονοστιβάδων πυριτίου (APD) με μεγάλη ενεργό περιοχή διαμέτρου 230 micron.



Σχήμα 3.1.1 – Πειραματική διάταξη εκπομπής

Η συνολική σύνδεση των 990 m δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας 3 χωριστά τμήματα 330 m το κάθε ένα. Το Bit Error Rate (BER) ως λειτουργία της μέσης λαμβανόμενης οπτικής ισχύος στην είσοδο του APD έχει μετρηθεί, Back to Back και μετά από τη μετάδοση στα 990 m GI-POF (Σχήμα 3.1.2).



Σχήμα 3.1.2 – Bit Error Rate αποτελέσματα μέτρησης για μήκος κύματος των 840nm

Η Back to Back μέτρηση έχει πραγματοποιηθεί με ένα μικρό κομμάτι ίνας μερικών μέτρων μεταξύ της συσκευής αποστολής και του δέκτη. Η λαμβανόμενη ισχύς έχει αλλάξει με την αλλαγή της απόστασης μεταξύ του laser και του GI-POF. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας μια Non Return to Zero (NRZ) ψευδό τυχαία δυαδική ακολουθία (PRBS) με μήκος  $2^{23}-1$ . Η μέση ισχύς εξόδου του VCSEL ήταν 1.1 dBm, και η ευαισθησία του δέκτη ήταν  $-31.3$  dBm για ένα BER  $10^{-9}$ , και με ένα ρυθμό μετάδοσης 1.25 Gbps, βλέπε σχήμα 52, έτσι η διαθέσιμη ισχύς είναι 32.4 dB. Η συνολική εξασθένηση στα 990 m της σύνδεσης με GI-POF και σε μήκος κύματος 840 nm ήταν 26.9 dB, έτσι η μέση εξασθένηση αυτής της ίνας είναι περίπου 27 dB/km στο μήκος κύματος των 840 nm. Σε ένα προηγούμενο πείραμα μετάδοσης με χρήση GI-POF σε μια απόσταση 550 m επιτεύχθηκε χρησιμοποιώντας μια ίνα με μια εξασθένηση 43.6 dB/km στο μήκος κύματος των 840 nm. Ο ρυθμός μετάδοσης σε αυτό το πείραμα ήταν 2.5 Gbps. Μια υποβάθμιση της ευαισθησίας του δέκτη κατά 1.1 dB παρατηρήθηκε σε ένα BER  $10^{-9}$ , βλέπε σχήμα 52, λόγω της πολύτροπης διασποράς της ίνας και λόγω του τυπικού θορύβου. Η σύζευξη του οπτικού σήματος του VCSEL στο GI-POF γίνεται με τη χρήση μιας σφαίρα φακών και στην άλλη άκρη οι φακοί χρησιμοποιούνται για να μεταδοθεί το φως από το GI-POF στο APD. Η συνολική απώλεια των συζεύξεων από το VCSEL στο GI-POF και από το GI-POF στο APD ήταν 2.6 dB, έτσι ένας συνολικός προϋπολογισμός ισχύος 30.6 dB απαιτήθηκε. Αυτό οδηγεί σε ένα περιθώριο του συστήματος του 1.8 dB.

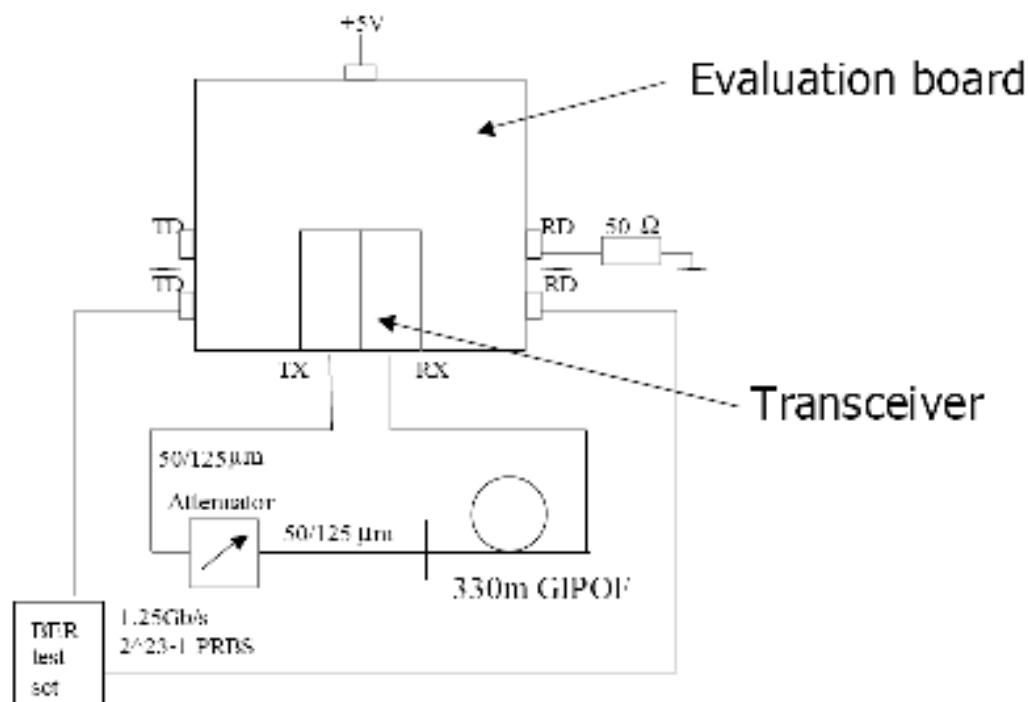
Attenuation 990 m GIPOF	26.9 dB
Laser to GIPOF loss	1.0 dB
GIPOF to APD loss	1.6 dB
Fiber dispersion penalty	1.1 dB
<hr/>	
Needed power budget	30.6 dB
Laser output power	1.1 dBm
Sensitivity receiver (BER= $10^{-9}$ )	-31.3 dBm
<hr/>	
Available power budget	32.4 dB
System margin	1.8 dB

*Πίνακας 3.1.1 – Προϋπολογισμός Ισχύος*

Το διαμορφωμένο φασματικό εύρος του οπτικού σήματος εξόδου του VCSEL ήταν μικρότερο από 1 nm. Αυτή η μικρή τιμή μικραίνει βεβαίως τον αντίκτυπο της υλικής διασποράς της ίνας. Η διασπορά μειώνεται περαιτέρω με την προσαρμογή του όρου της προώθησης του οπτικού σήματος στην είσοδο των οπτικών ινών. Μόνο μερικά modes διεγείρονται επειδή ο πυρήνας του GI-POF φωτίζεται μόνο από ένα μικρό σημείο.

Στο σχήμα 53 το «στήσιμο» μιας πειραματικής διάταξης εκπομπής Gigabit Ethernet με χρήση GI-POF παρουσιάζεται χρησιμοποιώντας έναν διαθέσιμο στο εμπόριο πομποδέκτη Gigabit Ethernet σε συνδυασμό με έναν κύκλωμα αξιολόγησης. Με αυτό το σύστημα μια απόσταση 330 m έχει γεφυρωθεί με ένα BER μικρότερο

από  $10^{-11}$ . Το μήκος κύματος του VCSEL του πομποδέκτη ήταν 850 nm και η ισχύς εξόδου ήταν -9.3 dBm. Η ευαισθησία του PIN δέκτη ήταν -20.0 dBm για ένα BER  $10^{-9}$ , έτσι ο διαθέσιμος προϋπολογισμός ισχύος ήταν 10.7 dB.



Σχήμα 3.1. 3 – Χρήση ενός εμπορικού Gigabit Ethernet transceiver στην πειραματική διάταξη εκπομπής

Επιπλέον, ακόμα ένα πείραμα μετάδοσης Gigabit Ethernet σε απόσταση 660 m και σε μήκος κύματος 1310 nm έχει πραγματοποιηθεί. Τα βασικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό το πείραμα είναι ένα μικρής απώλειας GI-POF, ένα DFB laser με εύρος ζώνης 5 GHz, και ένα InGaAs APD με μια μεγάλη ενεργό περιοχή διαμέτρου 80 micron. Η εξασθένηση στα 660 m GI-POF στα 1310 nm ήταν 20.3dB, η ισχύς εξόδου του laser ήταν 1.1 dB και η ευαισθησία του δέκτη -27.9 dBm. Η εξασθένηση στα 990 m GI-POF στα 1310 nm είναι 34.0 dB έτσι ο διαθέσιμος προϋπολογισμός ισχύος 29.0 dB δεν είναι αρκετός. Με τη χρησιμοποίηση ενός οπτικού ενισχυτή ημιαγωγών (SOA) μεταξύ του DFB laser και του GI-POF, η ισχύς εκπομπής αυξάνεται κατά 10 dBm. Εντούτοις, ο θόρυβος που παράγεται από το SOA μείωσε την ευαισθησία δεκτών στα 4.3 dB. Ένα BER  $1.3 \cdot 10^{-4}$  έχει επιτευχθεί με αυτό το πείραμα στα 990 m και σε μήκος κύματος 1310 nm. Η εξασθένηση του GI-POF είναι περίπου 5 dB χαμηλότερα στα 1290 nm έναντι της εξασθένησης στα 1310 nm. Πιθανώς, ένα BER λιγότερο από  $10^{-9}$  μπορεί να επιτευχθεί σε αυτό το πιο σύντομο μήκος κύματος.

## Τέλος

Πειράματα μετάδοσης με τη χρήση GI-POF με ρυθμό μετάδοσης 1.25 Gbps στα μήκη κύματος 850 and 1300 nm αναφέρθηκαν, επιτυγχάνοντας μέγιστη απόσταση περίπου 1 Km, παρουσιάζοντας έτσι την δυνατότητα αυτών των ινών σε Gigabit Ethernet εφαρμογές σε εγκαταστάσεις πελατών και σε τοπικά δίκτυα. Πιστεύουμε ότι

αυτά τα αποτελέσματα θα αποτελέσουν ένα σημαντικό ορόσημο που μπορεί να ενθαρρύνει την ανάπτυξη συστημάτων από πολυμερές ίνες.

### **3.2 Υλοποίηση με γυάλινη ίνα**

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια αναλυτική περιγραφή της ζεύξης οπτικών ινών, που υπάρχει στο T.E.I. . Επίσης θα γίνει και μια περιγραφή του τρόπου διεξαγωγής των μετρήσεων καθώς και αναλυτική παρουσίαση αυτών.

#### **Ανάλυση της ζεύξης μεταξύ του server room και του αμφιθεάτρου**

Στο χώρο του T.E.I. υπάρχει εγκατεστημένο ένα οπτικό καλώδιο, το HF062C8LU της Brand – Rex μήκους περίπου 200m που αποτελείται από 8 πολύτροπες οπτικές ίνες υάλου στα 1310 nm και χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση του χώρου του αμφιθεάτρου με το υπόλοιπο κτιριακό συγκρότημα του ιδρύματος. Για την υλοποίηση αυτού του δικτύου χρησιμοποιούνται εκτός από το μέσω διασύνδεσης (οπτικό καλώδιο) και δύο media converters της D-Link για full duplex επικοινωνία στα 1310nm. Ο ένας media converter βρίσκεται στο χώρο του server όπου και καταλήγει η μια άκρη της ίνας ενώ ο άλλος βρίσκεται εγκατεστημένος στο χώρο του αμφιθεάτρου. Ο media converter του server room με ένα patch cord (UTP) συνδέεται στο patch panel που είναι συνδεδεμένο και το υπόλοιπο δίκτυο του ιδρύματος ενώ στην άλλη άκρη (αμφιθέατρο) ο media converter συνδέεται μέσω ενός patch cord (UTP) σε ένα switch/hub που είναι συνδεδεμένο το τοπικό δίκτυο του αμφιθεάτρου. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η δικτυακή διασύνδεση του αμφιθεάτρου με το υπόλοιπο ίδρυμα.

Από τις ίνες του οπτικού καλωδίου δύο είναι αυτές που χρησιμοποιούνται και πάνω στις οποίες έχουν γίνει και οι μετρήσεις που θα περιγραφούν στην επόμενη ενότητα. Στις ίνες από την πλευρά του αμφιθεάτρου έχουν τοποθετηθεί δυο σύνδεσμοι (connectors) τύπου SC για τη σύνδεση των οποίων στην ίνα έχουν πραγματοποιηθεί δυο splicing. Στο server room τώρα το οπτικό καλώδιο έχει τοποθετηθεί για να έχει καλύτερη στήριξη αλλά και λιγότερη μηχανική καταπόνηση σε έναν οπτικό κατανεμητή, ο οποίος έχει τρεις διπλές οπτικές εξόδους τύπου SC. Εμείς έχουμε τοποθετήσει τις δύο ίνες σε μια από τις τρεις διπλές εξόδους και από εκεί με δύο fiber patch cord συνδέουμε ουσιαστικά την ίνα με τον media converter. Κατά μήκος της ίνας οφείλουμε να επισημάνουμε ότι δεν παρεμβάλλονται ούτε επαναλήπτες αλλά δεν έχει και κανένα άλλο splicing εκτός από αυτά που χρειάστηκαν για να τοποθετηθούν οι σύνδεσμοι στη μια άκρη του οπτικού καλωδίου.

#### **Αναφορά στο τρόπο διεξαγωγής των μετρήσεων και παρουσίαση αυτών.**

Λόγο της μη ύπαρξης επαρκή εξοπλισμού για τη διεξαγωγή πολύπλοκων μετρήσεων αρκεστήκαμε μόνο σε μετρήσεις για την εύρεση της εξασθένησης που προκαλεί η κάθε ίνα του οπτικού καλωδίου. Ο εξοπλισμός που χρειαστήκαμε για να πάρουμε τις μετρήσεις ήταν μια πηγή laser (laser source) στα 1310nm , ένα ισχύομετρο (power meter) με δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε τέσσερα διαφορετικά μήκη κύματος 850nm, 1300nm, 1310nm και 1550nm, ένα coupler και τρία fiber patch cord.

## Παρουσίαση της πειραματικής διαδικασίας

Σε πρώτη φάση έπρεπε να δούμε τι εξασθένιση προκαλούν τα 200m της οπτικής ίνας χωρίς τη χρήση των media converters. Για να επιτευχθεί αυτή η μέτρηση σε πρώτη φάση πήραμε την πηγή laser των 1310nm και τη συνδέσαμε απευθείας στο ισχύόμετρο μέσω ενός fiber patch cord για να μετρήσουμε την ισχύ εκπομπής της πηγής (Πείραμα 1). Έπειτα μεταξύ του ισχύόμετρου και της πηγής παρεμβάλαμε τον coupler με τη βοήθεια και ενός ακόμη fiber patch cord για να μετρήσουμε την εξασθένιση που προκαλεί στο σήμα μας ο coupler (Πείραμα 2). Ο λόγος που παρεμβάλαμε τον coupler μεταξύ της πηγής και του ισχύόμετρου είναι ότι ο connector της οπτικής ίνας δεν μπορούσε να προσαρμοστεί άμεσα στο ισχύόμετρο για τη διεξαγωγή της μέτρησης και έτσι ο coupler ήταν μια εφικτή λύση στο πρόβλημα μας. Έπειτα από τις δύο αυτές μετρήσεις ήρθε η στιγμή της μέτρησης της εξασθένισης των οπτικών ινών. Έτσι τοποθετήσαμε στην μια άκρη της ίνας (server room) την πηγή και στην άλλη άκρη της (αμφιθέατρο) τον coupler και έπειτα το ισχύόμετρο και έτσι βρήκαμε την εξασθένιση της μιας ίνας (Πείραμα 3). Το τελευταίο στάδιο των μετρήσεων ακολουθήθηκε για να βρούμε την εξασθένιση και της δεύτερης ίνας (Πείραμα 4). Έτσι γνωρίζοντας την εξασθένιση και των δύο ινών το πρώτο στάδιο του πειράματος (υλοποίησης) ολοκληρώθηκε.

Το δεύτερο στάδιο που θα περιγράψουμε αμέσως τώρα περιελάμβανε στις μετρήσεις τη χρήση των media converter αντί για την πηγή laser των 1310nm. Σε πρώτη φάση μετρήσαμε της ισχύ του σήματος που παίρνουμε από την TX έξοδο του media converter με τη βοήθεια του ισχύόμετρου και ενός fiber patch cord (Πείραμα 5). Σε δεύτερη φάση παρεμβάλαμε και την οπτική ίνα και μετρήσαμε με την βοήθεια του coupler αυτή τη φορά την ισχύ που φτάνει στη μια άκρη της ίνας (αμφιθέατρο) (Πείραμα 6). Την ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθήσαμε και στο χώρο του server με την διαφορά ότι λόγω της ύπαρξης του οπτικού κατανεμητή που χρησιμοποιείται για την στήριξη της ίνας και λόγω του ότι μας παρέχει εξόδους τύπου SC τοποθετήσαμε το ισχύόμετρο κατευθείαν πάνω στην ίνα χωρίς τη παρέμβαση του coupler (Πείραμα 7). Σε αυτό το στάδιο ολοκληρώθηκαν οι μετρήσεις που έπρεπε να πάρουμε για να καταλήξουμε σε κάποια συμπεράσματα.

Παρακάτω παραθέτουμε τις τιμές των μετρήσεων που πήραμε.

### Πείραμα 1:

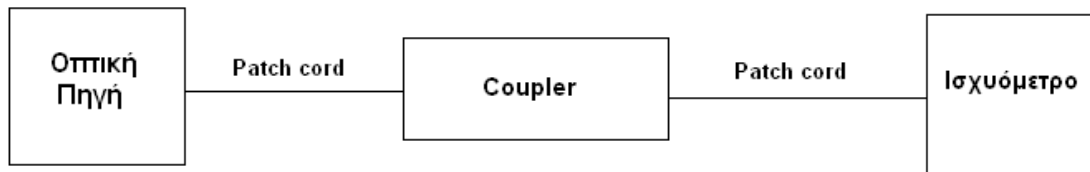
$$P_{LED} = -7,07dBm$$





### Πείραμα 2:

$$P_{LED} - L_C = -7,07\text{dBm} - 10,53\text{dB} = -17,6\text{dBm}$$



### Πείραμα 3:

$$P_{LED} - L_{OC} - L_{OF} - L_C = -7,07\text{dBm} - 0\text{dB} - 0,2\text{km} * 1,5\text{dB/km} - 10,53\text{dB} = -17,9\text{dBm}$$



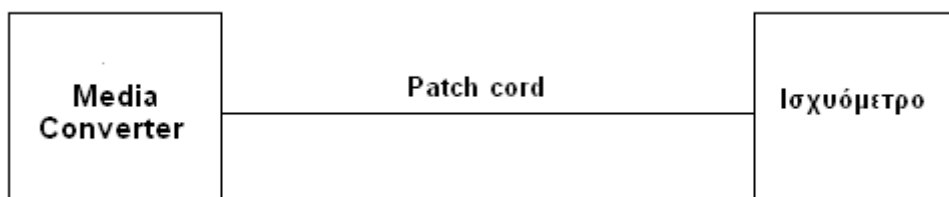
### Πείραμα 4:

$$P_{LED} - L_C - L_{OF} - L_{OC} = -7,07\text{dBm} - 10,53\text{dB} - 0,2\text{km} * 1,5\text{dB/km} - 0\text{dB} \approx -18\text{dBm}$$



### Πείραμα 5:

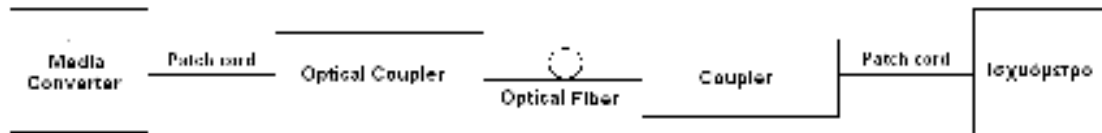
$$P_{MC} = -41,6\text{dBm}$$



### Πείραμα 6:

$$P_{MC} - L_{OC} - L_{OF} - L_C = -41,6\text{dBm} - 0\text{dB} - 0,2\text{km} * 1,5\text{dB/km} - 10,53\text{dB} = -52,43\text{dBm}$$

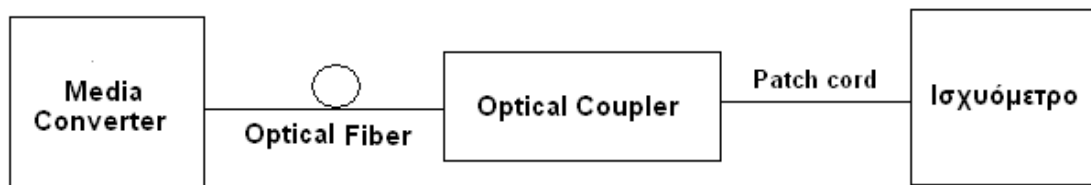
Κατά την πειραματική όμως, εφαρμογή, το αποτέλεσμα που πήραμε ήταν διαφορετικό σε σχέση με το αναμενόμενο. Ήτοι: **-47dBm**.



### Πείραμα 7:

$$P_{MC} - L_{OF} - L_{OC} = -41,6\text{dBm} - 0,2\text{km} * 1,5\text{dB/km} - 0\text{dB} = -41,9\text{dBm}$$

Κατά την πειραματική όμως, εφαρμογή, το αποτέλεσμα που πήραμε ήταν διαφορετικό σε σχέση με το αναμενόμενο. Ήτοι: **-38dBm**.





**10/100Base-TX to 100Base-FX  
Converter  
Quick Installation Guide**

## Introduction

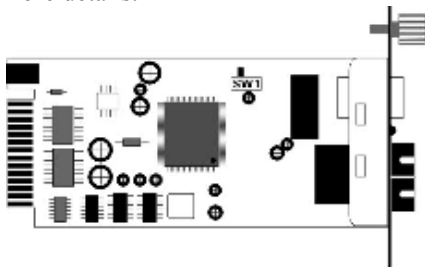
This Quick Installation Guide gives step-by-step instructions for setting up the D-Link Media Converter. The model you have purchased may appear slightly different from those shown in the illustrations. For more detailed information about the switch, its components, making network connections and technical specifications, please refer to the User's Guide included with your switch.

## Connecting to Power

1. This Converter is a plug-and-play device.
2. Connect the supplied AC to DC power adaptor with a power voltage of 7.5Vdc/1.5Amp to the DC-Jack on the converter, and then attach the plug into a standard AC outlet.

## Sliding Switch

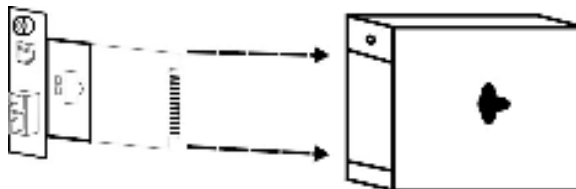
There is a sliding switch for duplex mode setting for fiber port. Refer to the table below for more details.



	Half Duplex		Full Duplex (default)
--	-------------	--	-----------------------

## Installing in a Chassis

The Converter can be fit into any of the expansion slots on a special designed chassis.



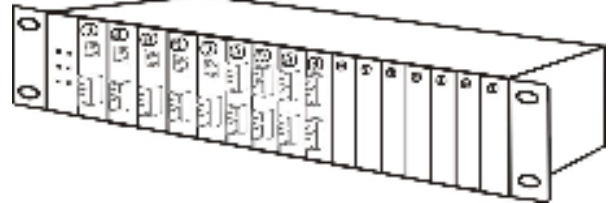
Unscrew and pull out the media converter board

- First, install the converter onto a carrier supplied with the chassis:

Step 1- Unscrew and pull out the media converter board.

Step 2- Plug in the media board to any of the vacant slot.

Step 3- Fit the converter onto the carrier and use the screw to secure it.



## LED Indicator



LEDs	State	Indication
Power (PWR)	Steady	Power on
	Off	Power off
100 Mbps (100)	Steady	Runs at 100Mbps on TX port
	Off	Runs at 10Mbps on TX port
TX Port (TX) FX Port (FX) FDX/COL	Steady (FDX)	Connection in full duplex mode FDX stands for FULL-DUPLEX
	Lights off	Connection in half duplex mode
	Blinking (COL)	Data collision
TX Port (TX) FX Port (FX) LINK/ACT	Steady (LINK)	A valid network connection established
	Lights off	Not Linking
	Blinking (ACT)	Transmitting or receiving data ACT stands for Activity

## Additional Information

If you are encountering problems setting up your network, please refer to the User's Guide that came with the switch. It contains many more rules, charts, explanations and examples to help you get your network up and running.

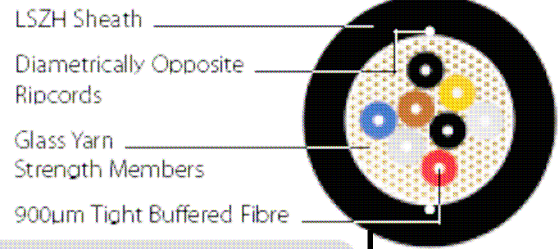
Additional help is available online at <http://www.dlink.com> in the United States, at <http://www.dlink.co.uk> in the United Kingdom, or through our offices listed at the back of the User's Guide.

Media Converter	Media Type Conversion	Max. Cable Length	Network Speed	Fiber Connector	Wave Length	Min. Tx Power (Launch Power)	Max. Tx Power (Launch Power)	Sensitivity	Power Budget
<b>DMC-300M</b>	Copper to Multi-Mode Fiber	2 km	100Mbps	MT-RJ	1300 nm	-23.5 dB	-14 dB	-31 dB	7.5 V
<b>DMC-300SC</b>	Copper to Multi-Mode Fiber	2 km	100Mbps	SC	1300 nm	-23.5 dB	-14 dB	-31 dB	7.5 V

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### Brand-Rex Optical Cable

### HF 062 C8 LU ή HF 062 PDC08 LU



#### Technical specifications

Description		4-core	8-core	12-core	16-core	24-core
Outer diameter	mm	5.30	6.10	6.70	7.50	8.50
Weight	kg/km	29	40	45	55	65
Max load (installation)	N	640	920	1100	1430	1430
Min bend (installed)	mm	55	65	70	75	85
Min bend (installation)	mm	80	95	100	113	128
Crush	N	2000	2000	2000	2000	2000
Impact	Nm	15	15	15	15	15
Torsion	(turns/m)	5	5	5	5	5
Fire Performance		IEC 60332-1				
Operating temp	°C	-25 to +70				
Storage temp	°C	-40 to +80				
Installation temp	°C	-10 to +70				
Water penetration		<3m @ 24 hours				

#### Product Part Numbering

	62.5/125	50/125	OM3	8/125
<b>2 Fibre</b>	HF 062 PDC02 LU	HF 050 PDC02 LU	HF OM3 PDC02 LU	HF 008 PDC02 LU
<b>4 Fibre</b>	HF 062 PDC04 LU	HF 050 PDC04 LU	HF OM3 PDC04 LU	HF 008 PDC04 LU
<b>6 Fibre</b>	HF 062 PDC06 LU	HF 050 PDC06 LU	HF OM3 PDC06 LU	HF 008 PDC06 LU
<b>8 Fibre</b>	HF 062 PDC08 LU	HF 050 PDC08 LU	HF OM3 PDC08 LU	HF 008 PDC08 LU
<b>12 Fibre</b>	HF 062 PDC12 LU	HF 050 PDC12 LU	HF OM3 PDC12 LU	HF 008 PDC12 LU
<b>16 Fibre</b>	HF 062 PDC16 LU	HF 050 PDC16 LU	HF OM3 PDC16 LU	HF 008 PDC16 LU
<b>24 Fibre</b>	HF 062 PDC24 LU	HF 050 PDC24 LU	HF OM3 PDC24 LU	HF 008 PDC24 LU

#### Fibre Selection

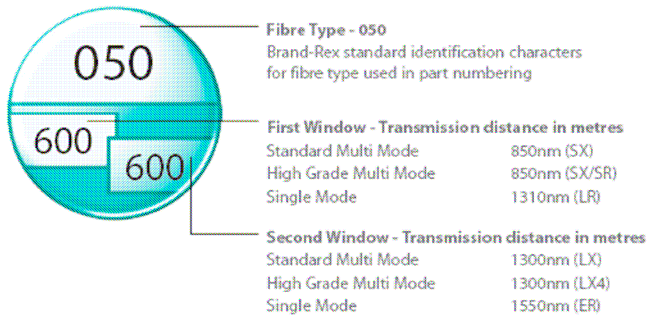
062 H62

050 H50

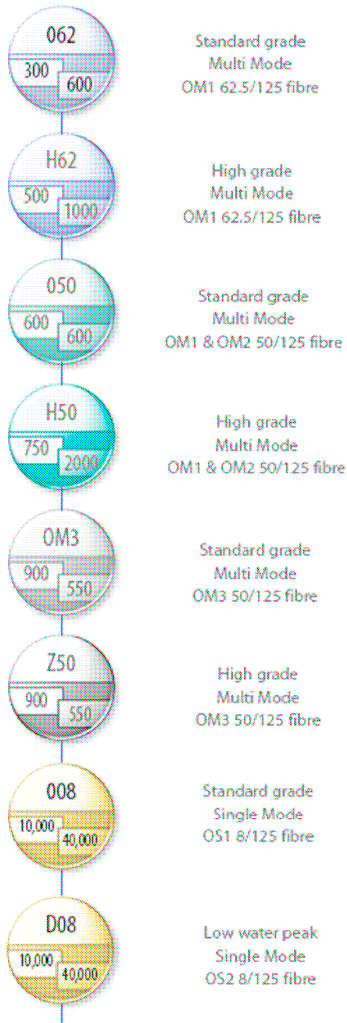
OM3 Z50

008 D08

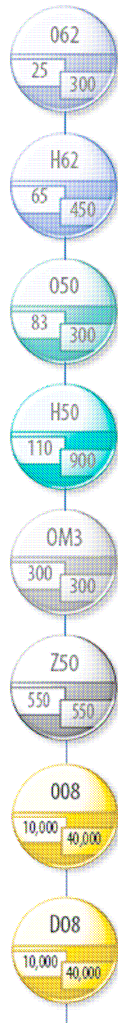
## Transmission Distance Identification



### Gigabit Ethernet



### 10 Gigabit Ethernet



## Application Protocols

PDC series cables provide a foundation for building reliable, high speed, Local Area Networks to support transmission of optical class protocols currently defined in ISO 11801, EN 50173 and TIA 568B.

High speed LAN protocols supported include:

- 10BASE-FL
- 100BASE-FX
- 1000BASE-SX
- 1000BASE-LX
- 10GBASE-LX4
- 10GBASE-SX(R)
- 10GBASE-LX(W)
- 10GBASE-EX
- Fibre Channel (FC-PH) @1062Mbit/s
- FDDI LCF-PMD
- FDDI PMD
- FDDI SMF-PMD

## Optical Performance

The optical performance of the cable versus the current published and new draft standards is shown in the table below.

Fibre Type		Maximum Attenuation (dB/km) 850nm	Maximum Attenuation (dB/km) 1300nm
OM1	062	3.5	1.5
OM1*	H62	3.5	1.5
OM2	050	3.5	1.5
OM2*	H50	3.5	1.5
OM3	OM3	3.5	1.5
OM3*	Z50	3.5	1.5

\* Fibre is a higher bandwidth than standard. Full spec in main brochure.

Fibre Type		Maximum Attenuation (dB/km) 1310nm	Maximum Attenuation (dB/km) 1500nm
OS1	008	0.4	0.3
OS2	D08**	0.4	0.3

\*\* Fibre is low water-peak. Full spec in main brochure.

## **BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- (1). “Gigabit Ethernet Networking” – Cunningham D.G. 1999
- (2). “Τοπικό Δίκτυο Ethernet” – Πρωτονοτάριος Ε. 1990
- (3). “Gigabit Ethernet” – Seifert R. 1998
- (4). Δίκτυα Επικοινωνίας Υπολογιστών – Στασινόπουλος
- (5). Τεχνολογική Ιστοσελίδα : [www.fiber-optics.info](http://www.fiber-optics.info)
- (6). Δικτυακή ανοικτή εγκυκλοπαίδεια WIKIPEDIA – [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- (7). Institute of Electrical & Electronics Engineers – [www.ieee.gr](http://www.ieee.gr)
- (8). Gigabit Ethernet Technology and Application – M. Norris 2003
- (9). Ethernet the Definitive Guide – O’ Riley 2000
- (10). Gigabit Ethernet Alliance data sheets