

#1/γ

504

A47



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

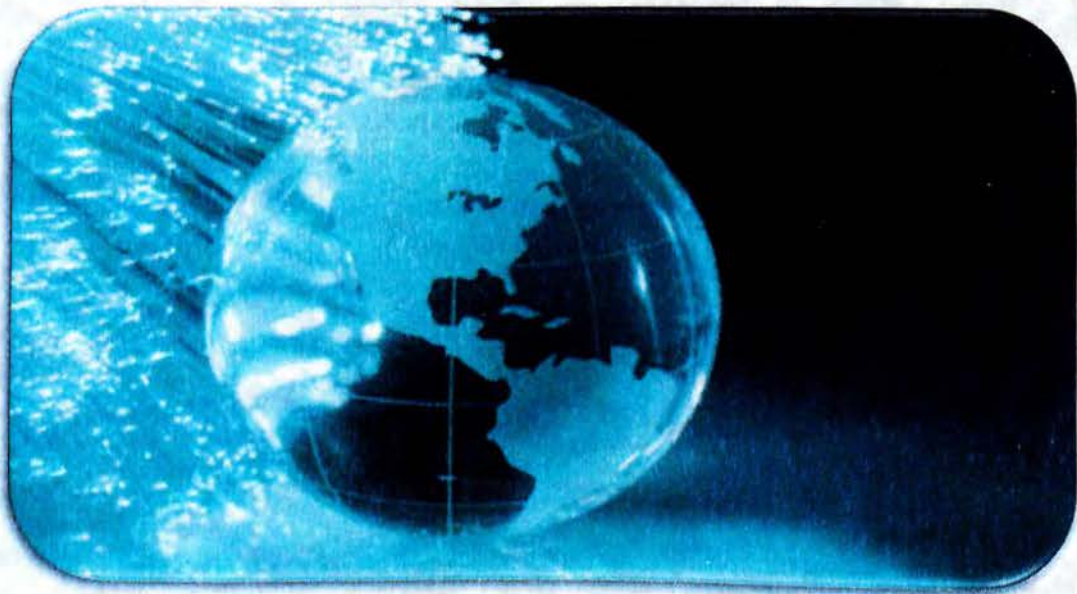
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

WDM

ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ



ΑΘΗΝΑ 2012

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

WDM

ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ



ΑΘΗΝΑ 2012

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΕΠΩΝΥΜΟ: ΚΥΡΙΑΚΟΥ

ΟΝΟΜΑ: ΔΗΜΗΤΡΗΣ

Α.Μ: 37343

ΕΞΑΜΗΝΟ: 10^{ov}

ΤΜΗΜΑ: ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ.ΙΩΑΝΝΗΣ ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ

ΤΙΤΛΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: WDM

(WAVELENGTHH DIVISION MULTIPLEXING-
ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ)

Περιγραφή Θέματος:

Εφαρμόζοντας την τεχνική WDM η μετάδοση των δεδομένων γίνεται ταυτόχρονη μετάδοση πολλών μηκών κύματος μέσα από την ίδια ίνα. Με αυτόν τον τρόπο η πολυπλεξία μήκους κύματος παρέχει πολλές εικονικές ίνες σε μία μόνο φυσική οπτική ίνα. Σήμερα η WDM είναι η πιο δημοφιλής τεχνική για την πολυπλεξία στο οπτικό πεδίο.

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και η ανάλυση της πολυπλεξίας μήκους κύματος (WDM).

Κάνοντας μια προεπισκόπηση της πτυχιακής εργασίας θα αναπτυχθούν τα παρακάτω:

- Γενική επεξήγηση των οπτικών ινών και πόσο σπουδαία είναι η λειτουργία τους σήμερα.
- Ανάλυση και ανάπτυξη σε μεγάλο βαθμό της WDM πολυπλεξίας μήκους κύματος οποία παρέχει πολλές εικονικές ίνες σε μία μόνο φυσική οπτική ίνα. Εφαρμόζοντας δηλαδή την τεχνική WDM η μετάδοση των δεδομένων γίνεται ταυτόχρονη μετάδοση πολλών μηκών κύματος μέσα από την ίδια ίνα.
- Πλεονεκτήματα μειονεκτήματα WDM
- DWDM
- Διατάξεις – Ζεύξεις WDM
- Αναφορά και ανάπτυξη στα παθητικά οπτικά δίκτυα WDM-PONS πως συνδέονται με τα WDM και ποια η χρησιμότητά τους.
- Αναφορά και ανάπτυξη στην οπτική μεταγωγή Optical switching και ποια η χρησιμότητά της στα οπτικά δίκτυα

Εισαγωγή:

Είναι πλέον αναμφισβήτητο γεγονός ότι η εποχή που διανύουμε χαρακτηρίζεται από μια πληθώρα πηγών πληροφορίας οι οποίες εκμεταλλευόμενες τις ραγδαίες εξελίξεις της τεχνολογίας του 20ου αιώνα έγιναν προσιτές σε κάθε σημείο του κόσμου. Η εξέλιξη αυτή είναι αποτέλεσμα μιας εκπληκτικής ανάπτυξης που παρουσίασε ο χώρος των τηλεπικοινωνιών στα τέλη του περασμένου αιώνα. Αποτέλεσμα αυτής της ανάπτυξης είναι το διαδίκτυο το οποίο είναι αυτό μέσω του οποίου διακινείται αυτός ο τεράστιος όγκος δεδομένων και πάνω στο οποίο σχεδιάστηκαν καινοτόμες εφαρμογές για τη μεταφορά όχι μόνο δεδομένων, Φυσικό αποτέλεσμα όλων αυτών ήταν να αυξηθεί η κίνηση στο διαδίκτυο. Σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις ο όγκος της αποθηκευμένης ψηφιακής πληροφορίας παγκοσμίως αυξήθηκε από 3 σε 24 δισεκατομμύρια GB στο χρονικό διάστημα από το 2000 ως το 2003.

Όπως διαμορφώθηκε πλέον η νέα αυτή πραγματικότητα τα δίκτυα που ήταν ήδη εγκατεστημένα από προηγούμενες δεκαετίες και υπήρξαν βάση για τα σταθερά τηλεφωνικά δίκτυα φάνηκαν ανεπαρκή όχι μόνο από πλευράς αρχιτεκτονικών και εκμετάλλευσης του εύρους ζώνης αλλά και όσον αφορά το ίδιο το εύρος ζώνης που αυτά μπορούσαν να υποστηρίξουν.

Επιπλέον, εκτός από τις τεχνολογίες χρηστών που εμφανίστηκαν, όπως για παράδειγμα η τεχνολογία xDSL, ιδιαίτερη ανάπτυξη είχαμε στους τομείς των εταιρικών ιδιωτικών δικτύων αλλά και των πανεπιστημιακών και ακαδημαϊκών δικτύων (NRENs).

Πολλά από αυτά μάλιστα δίνουν πρόσβαση σε χρήστες η οποία βασίζεται σε ασύρματη τεχνολογία (Wi-Fi) που καθιστά πιο εύκολη την πρόσβαση.

Σημαντικός παράγοντας στην έκρηξη των επικοινωνιών υπήρξε και η απελευθέρωση της αγοράς του κλάδου από τις μονοπωλιακές πρακτικές που ίσχυαν παλαιότερα .

Οι μελλοντικές εκτιμήσεις ωστόσο ακόμη και για την περίπτωση των οικιακών χρηστών είναι ιδιαίτερα αισιόδοξες αφού οι νέες υπηρεσίες Triple Play, που έχουν κάνει την εμφάνιση τους στην Ευρώπη, και περιλαμβάνουν μετάδοση συνδυασμού δεδομένων, φωνής και βίντεο υψηλής ποιότητας (HDTV) είναι ιδιαίτερα απαιτητικές σε εύρος ζώνης το οποίο στην περίπτωση αυτή είναι της τάξης των δεκάδων ή ακόμα και εκατοντάδων Mbps για να ικανοποιηθούν αυτές οι απαιτήσεις. Μάλιστα σε χώρες όπως η Ιαπωνία η ζήτηση αρχίζει και ξεπερνάει πλέον αυτά τα πρότυπα και οι παρεχόμενες υπηρεσίες εκμεταλλευόμενες τον εγκατεστημένο οπτικό εξοπλισμό σε οικιακούς χρήστες (Fiber To The Home) θα μπορέσουν να δώσουν ακόμη μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Επιπλέον σημαντική ζήτηση σε εύρος ζώνης εμφανίζεται σε χρήστες που χρησιμοποιούν κινητά τερματικά. Τα δίκτυα αυτά παρότι ξεκίνησαν σαν δίκτυα που πρόσφεραν υπηρεσίες φωνής και γραπτών μηνυμάτων, όπως είναι το ευρωπαϊκό δίκτυο GSM, σήμερα υπόσχονται ότι θα μπορέσουν να παρέχουν και αυτά υπηρεσίες Triple Play. Η σημαντική μετάβαση στα ασύρματα δίκτυα κινητών χρηστών είναι ότι θα πρέπει να αποκτήσουν ικανότητα μετάδοσης και μεταγωγής πακέτου. Για το λόγο αυτό έχουν εμφανιστεί πολλές ανταγωνιστικές τεχνολογίες όπως είναι τα δίκτυα UMTS που βασίζονται σε κωδικοποίηση CDMA και τα δίκτυα WiMax που βασίζονται σε τεχνικές OFDM. Είναι λοιπόν αντιληπτό ότι τα ασύρματα δίκτυα χρειάζονται και αυτά Οπτικά δίκτυα Κορμού (Backbone Networks) για την μεταγωγή αυτού του ολοένα και αυξανόμενου όγκου πληροφορίας.

Για όλους τους παραπάνω λόγους οι επικοινωνίες οπτικών ινών από μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία μετατράπηκε στην κυρίαρχη τεχνολογία στην οποία στηρίζονται οι πάροχοι για να λειτουργήσουν τα δίκτυα κορμού τους. Τα προφανή οφέλη από αυτή τη μετάβαση βασίζονται στα συγκριτικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η τεχνολογία οπτικών ινών σε σχέση με τα υπόλοιπα ενσύρματα και ασύρματα μέσα μετάδοσης και μπορούν να συνοψιστούν στα εξής :

1) Μεγαλύτερο φασματικό εύρος ζώνης από άλλα μέσα μετάδοσης που είναι της τάξης των 50 THz στην περιοχή των 1.3 και 1.5 μm .

2) Ιδιαίτερα χαμηλές απώλειες που είναι της τάξης των 0.2 dB/km για τις συμβατικές ίνες που χρησιμοποιούνται στην περιοχή των 1.5 μm .

3) Εξαιρετική συμπεριφορά σε παρεμβολές και θόρυβο.

Λόγω των ισχυρών περιορισμών που εισήγαγαν τα διαθέσιμα ηλεκτρονικά συστήματα επεξεργασίας τα πρώτα οπτικά δίκτυα που λειτούργησαν δεν εκμεταλλεύονταν το συνολικό διαθέσιμο εύρος ζώνης που μπορούσαν να προσφέρουν οι οπτικές ίνες. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα δόθηκε από την δεύτερη γενιά οπτικών δικτύων στην οποία χρησιμοποιήθηκαν νέες τεχνικές για την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης και θα σχολιαστούν παρακάτω.

Ακόμη, μέχρι την εμφάνιση των Ενισχυτών Ίνας Ερβίου (EDFA) ήταν αναγκαία η αναγέννηση του σήματος αντί για την απλή ενίσχυση του, γεγονός που καθιστούσε τα συστήματα οπτικών επικοινωνιών ακριβά. Ωστόσο τα οπτικά συστήματα δεν έχουν μόνο πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα που πολλά από αυτά δεν εμφανίζονται σε τυπικά συστήματα επικοινωνιών. Στα φαινόμενα που εμφανίζονται ανήκουν η χρωματική διασπορά που είναι η εξάρτηση του δείκτη διάθλασης από το μήκος κύματος, η διασπορά κυματοδηγού που οφείλεται στην ύπαρξη διαφορετικής ταχύτητας διάδοσης για κάθε κυματοδηγούμενο ρυθμό και η διασπορά δείκτη διάθλασης. Ακόμη έχουμε φαινόμενα όπως η αυτοδιαμόρφωση φάσης (SPM), η ετεροδιαμόρφωση φάσης (XPM), η μίξη τεσσάρων φωτονίων (FWM), η εξαναγκασμένη σκέδαση Raman (SRS) και η εξαναγκασμένη σκέδαση Brillouin (SBS). Τα παραπάνω φαινόμενα αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη ενός φωτονικού δικτύου γιατί επηρεάζουν την ποιότητα του μεταδιδόμενου σήματος και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός φωτονικού δικτύου αφού μπορούν οδηγήσουν σε διασυμβολική παρεμβολή. Παρ' όλα αυτά, τα προβλήματα αυτά αντιμετωπίζονται με ειδικές τεχνικές και περιορισμό της ισχύος και έτσι τα φωτονικά δίκτυα χαρακτηρίζονται ως εξαιρετικά αξιόπιστα κατά τη μετάδοση αφού σε εμπορικά διαθέσιμα συστήματα συναντούμε ρυθμούς σφαλμάτων (BER) της τάξης των 10^{-15} μειώνοντας έτσι την πολυπλοκότητα που εισάγουν περίπλοκες μέθοδοι κωδικοποίησης και διαμόρφωσης.

Η πολυπλεξία διαίρεσης κύματος, η οποία παρουσιάστηκε το 1995, διαιρεί κύματα φωτός σε κανάλια (διαφορετικές συχνότητες) υπέρυθρου φωτός, με κάθε συχνότητα ικανή να μεταδίδει δεδομένα σε μεγάλες ταχύτητες. Η πολυπλεξία διαίρεσης κύματος χρησιμοποιείται κυρίως στα δίκτυα κορμού (backbone networks) μεγάλων αποστάσεων, στους από-σημείο-σε σημείο συνδέσμους και χρησιμοποιώντας το πρότυπο SONET στα υψηλά στρώματα της στοίβας πρωτοκόλλου (protocol stack).



Η Πολυπλεξία Μήκους Κύματος (Wavelength Division Multiplexing) είναι πλέον αποδεκτό ότι αποτελεί μια αξιόπιστη τεχνική για την αύξηση του συνολικού Ρυθμού Μετάδοσης μέσα σε μια Οπτική Ζεύξη, καθώς και την αποδοτικότερη διαχείριση του διατιθέμενου εύρους ζώνης. Οι απαιτήσεις που αφορούν τις πηγές Laser είναι ιδιαίτερα υψηλές και έτσι προκύπτει η ανάγκη για οπτικές πηγές με υψηλή επίδοση και σταθερότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

1.1 Οπτική ίνα και δομή της

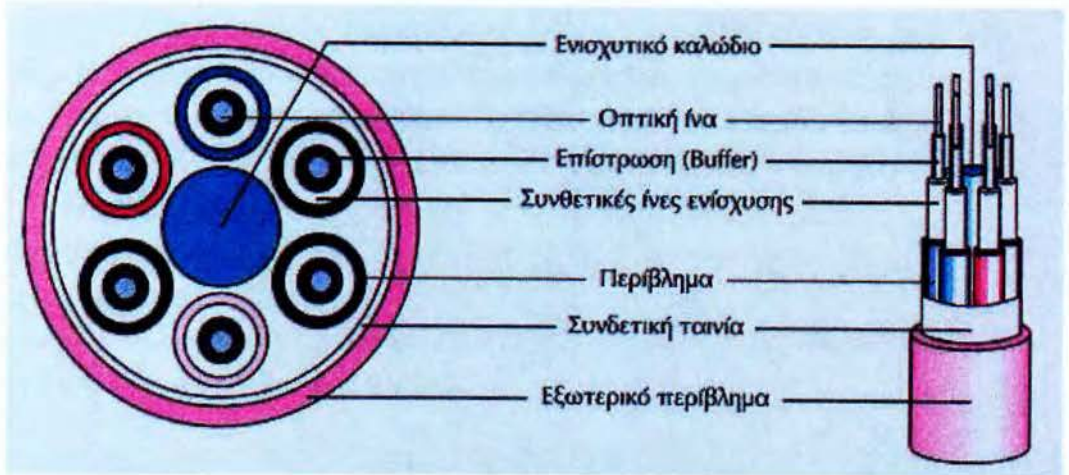
Οι οπτικές ίνες, είναι ειδικά νήματα που έχουν κατασκευαστεί από γυαλί και με διάμετρο περίπου όσο μια ανθρώπινη τρίχα. Το υλικό από το οποίο έχουν κατασκευαστεί επιτρέπει τη μετάδοση φωτός από το εσωτερικό τους, ενώ συνήθως τις συναντάμε συγκεντρωμένες κατά χιλιάδες σε δέσμες, που σχηματίζουν τα λεγόμενα οπτικά καλώδια. Η οπτική ίνα αποτελείται από τον πυρήνα, τον μανδύα και το πλαστικό περίβλημα. Ο πυρήνας αποτελείται από εξαιρετικά καθαρό οπτικό γυαλί που θα μπορούσε να καμφθεί, και έχει δείκτη διάθλασης ($n=1,46$).

Ο πυρήνας χρησιμεύει ως το πέρασμα για τα σήματα που είναι υπό μορφή φωτός. Ο μανδύας όπου περιβάλλει τον πυρήνα χρησιμεύει ως η προστασία στο καλώδιο από τα εξωτερικά στοιχεία που μπορούν να βλάψουν την οπτική ίνα και το πλαστικό περίβλημα που καλύπτει τον μανδύα χρησιμοποιείται κυρίως για λόγους προστασίας.



Εικόνα 1: Δομή οπτικής ίνας

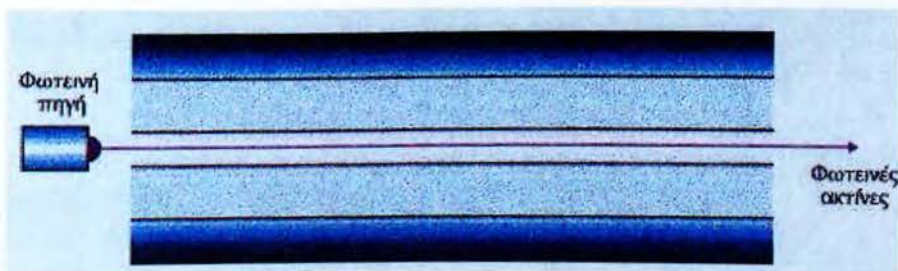
Ένα καλώδιο οπτικών ινών αποτελείται από πολλές οπτικές ίνες με την συγκεκριμένη δομή. Τα καλώδια περιέχουν αριθμό ινών ανάλογα με τις απαιτήσεις που υπάρχουν για την υλοποίηση του δικτύου.



Εικόνα 2: Δομή καλωδίου οπτικών ινών

Υπάρχουν δύο τύποι οπτικών ινών. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες και οι μονότροπες οπτικές ίνες.

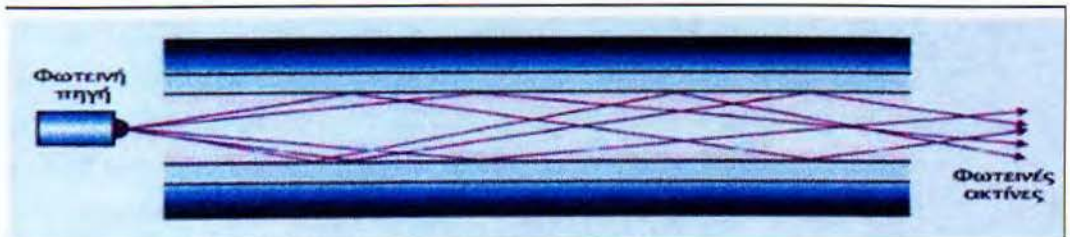
Στις μονότροπες οπτικές ίνες η διάμετρος της κεντρικής ίνας είναι πολύ μικρή και πλησιάζει περίπου το επίπεδο του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου σήματος. Στην περίπτωση αυτή, έχουμε έναν μόνο δυνατό τρόπο μετάδοσης του οπτικού σήματος, τον αξονικό. Η κεντρική ίνα στις μονότροπες οπτικές ίνες έχει διάμετρο από 5 μm έως 10 μm με συνηθέστερη τιμή τα 8,3 μm .



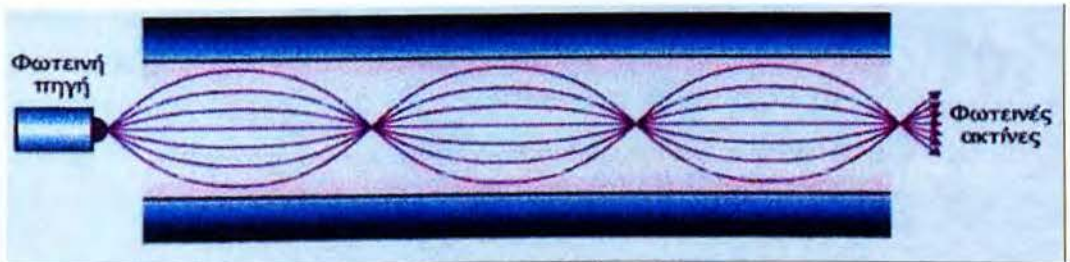
Σχ. 3 Μονότροπη οπτική ίνα

Οι πολύτροπες οπτικές ίνες έχουν τυπικά μεγέθη 50 μm/ 125 μm, 62,5/125, 85/125 ή 100/140.

Ο συνηθέστερος τύπος, ο οποίος κυκλοφορεί, είναι ο 62,5/125. Η ολική διάμετρος της οπτικής ίνας συμπεριλαμβανομένων των ενισχυτικών συνθετικών ινών και του εξωτερικού περιβλήματος φτάνει τα 900 μm. Η αρχή μετάδοσης σε πολύτροπη οπτική ίνα είναι ότι οι διάφορες ακτίνες του οπτικού σήματος ανάλογα με την είσοδο τους στην οπτική ίνα ταξιδεύουν ανακλώμενες υπό διαφορετικές γωνίες. Αυτός ο τρόπος μετάδοσης ονομάζεται πολύτροπος (multimode), επειδή έχουμε πολλούς δρόμους μετάδοσης, που αντιστοιχούν στις διαφορετικές γωνίες ανάκλασης. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: τις διακριτού βήματος (step index) και τις βαθμιαίου βήματος (graded index).



Σχ. 4 Πολύτροπη οπτική ίνα διακριτού βήματος



Σχ. 5 Πολύτροπη οπτική ίνα βαθμιαίου βήματος

1.2 Ιστορική αναδρομή και οπτικά δίκτυα πρώτης γενιάς

Η οπτική ίνα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως γραμμή μεταφοράς στο δίκτυο TAT-8 για τη μετάδοση υπεραστικών και υπερατλαντικών τηλεφωνικών σημάτων σε ρυθμό μετάδοσης 560 Mb/s. Η διεύθυνση των οπτικών ινών στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα κορμού επιταχύνθηκε μετά την υλοποίηση των πρώτων οπτικών ενισχυτών με ίνες

προσμίξεων ερβίου (Erbium Doped Fiber Amplifier- EDFA), οι οποίοι επέτρεψαν την ενίσχυση του σήματος απευθείας στο οπτικό επίπεδο χωρίς τη χρήση οπτο-ηλεκτρονικών μετατροπών, παρέχοντας τη δυνατότητα για την κατασκευή μεγαλύτερου μήκους οπτικών δικτύων. Έτσι, στα μέσα της δεκαετίας του 1990 ολοκληρώθηκε το υπερατλαντικό δίκτυο TAT-12/13, το οποίο διαχειρίζεται κίνηση σε ρυθμό μετάδοσης 10 Gb/s, το υποθαλάσσιο δίκτυο FLAG με παρόμοιες δυνατότητες και βάση τη Σύγχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία (Synchronous Digital Hierarchy-SDH), και το παναφρικανικό δίκτυο Africa ONE. Με την έναρξη της νέας χιλιετίας ολοκληρώθηκε το παγκόσμιο δίκτυο SEA-MEWE_3 (Ευρώπη-Ασία-Αυστραλία) με συνολική διέλευση 10 Gb/s, ενώ ανακοινώνεται και η έναρξη των δικτύων Flag-Atlantic1 και Flag-Pacific1 με διέλευση 5 και 10 Tb/s και βάση το SDH.

Παράλληλα, έκαναν την εμφάνισή τους και τα πρώτα εμπορικά διαθέσιμα συστήματα μετάδοσης με ρυθμό μετάδοσης κάθε καναλιού στα 40 Gb/s. Τα σημαντικά χαρακτηριστικά των οπτικών δικτύων, που οδήγησαν στην ταχύτατη διείσδυση τους στις τηλεπικοινωνίες, είναι οι χαμηλές τους απώλειες, η παροχή τεράστιου εύρους ζώνης, η δυνατότητα ενιαίας υποδομής για την παροχή πολλαπλών υπηρεσιών, και η διάθεση εύρους ζώνης όπου και όποτε χρειάζεται. Οι οπτικές ίνες έχουν πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης από το χαλκό και είναι πολύ λιγότερο ευάλωτες σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και σε άλλες ανεπιθύμητες επιδράσεις κατά τη μετάδοση πληροφορίας.

Κατά συνέπεια, η οπτική ίνα προτιμάται έναντι του χαλκού ως μέσο μετάδοσης, όταν πρόκειται για μετάδοση δεδομένων με ρυθμό μετάδοσης μεγαλύτερο από μερικές δεκάδες Mb/s και σε αποστάσεις πάνω από 1 km.

Τα οπτικά δίκτυα διαχωρίζονται σε δύο γενιές: στα δίκτυα πρώτης και στα δίκτυα δεύτερης γενιάς. Στα οπτικά δίκτυα πρώτης γενιάς η οπτική ίνα χρησιμοποιούνταν μόνο ως φυσικό μέσο μετάδοσης και παροχής χωρητικότητας, ενώ η μεταγωγή, η δρομολόγηση, καθώς και όλες οι άλλες ευφυείς δικτυακές διεργασίες επιτελούνταν από ηλεκτρονικά κυκλώματα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα των οπτικών δικτύων πρώτης γενιάς είναι το Σύγχρονο Οπτικό Δίκτυο (Synchronous Optical Network-SONET) και το SDH, τα οποία σχηματίζουν τον κορμό της τηλεπικοινωνιακής υποδομής στη Βόρεια Αμερική, την Ασία και την Ευρώπη.

Στις μέρες μας σχηματίζονται σταδιακά τα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς, στα οποία μέρος της δρομολόγησης, της μεταγωγής καθώς και των άλλων ευφυών διαδικασιών έχει μετακινηθεί στο οπτικό επίπεδο (optical layer).

Για την αξιοποίηση της τεράστιας χωρητικότητας των οπτικών ινών και τη βέλτιστη εκμετάλλευση αυτής χρησιμοποιούνται τυπικές τεχνικές οπτικής πολυπλεξίας σε πλήρη αναλογία με τις τεχνικές ηλεκτρονικής πολυπλεξίας. Η ανάγκη για πολυπλεξία γεννήθηκε από το γεγονός ότι είναι πολύ πιο οικονομική η μετάδοση δεδομένων με υψηλότερο ρυθμό μέσα από μία και μόνο ίνα, από το να χρησιμοποιούνται πολλές ίνες μεταφέροντας δεδομένα σε χαμηλούς ρυθμούς. Οι βασικοί τρόποι πολυπλεξίας μέσα σε μία οπτική ίνα, οι οποίοι έχουν αναφερθεί και στην αρχή στα πλεονεκτήματα των οπτικών δικτύων, είναι η πολυπλεξία κατά μήκος κύματος (Wavelength Division Multiplexing-WDM) και η οπτική πολυπλεξία δεδομένων στο πεδίο του χρόνου (Optical Time Division Multiplexing-OTDM). Η τεχνική WDM χρησιμοποιείται στα οπτικά δίκτυα σε πλήρη αντιστοιχία με την πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (Frequency Division Multiplexing-FDM) στα δίκτυα ραδιοεπικοινωνιών.

Σύμφωνα με την τεχνική WDM η μετάδοση των δεδομένων γίνεται με ταυτόχρονη μετάδοση πολλών μηκών κύματος μέσα από την ίδια ίνα, όπου το κάθε μήκος κύματος φέρει ένα ποσοστό του συνολικού όγκου των δεδομένων. Τα εμπορικά διαθέσιμα WDM δίκτυα, που έχουν ανακοινωθεί από μεγάλες τηλεπικοινωνιακές εταιρίες, περιλαμβάνουν ως και 160 κανάλια σε ρυθμό μετάδοσης 2.5^{-10} Gb/s το καθένα ή 80 κανάλια με ρυθμό μετάδοσης 40 Gb/s ανά κανάλι.

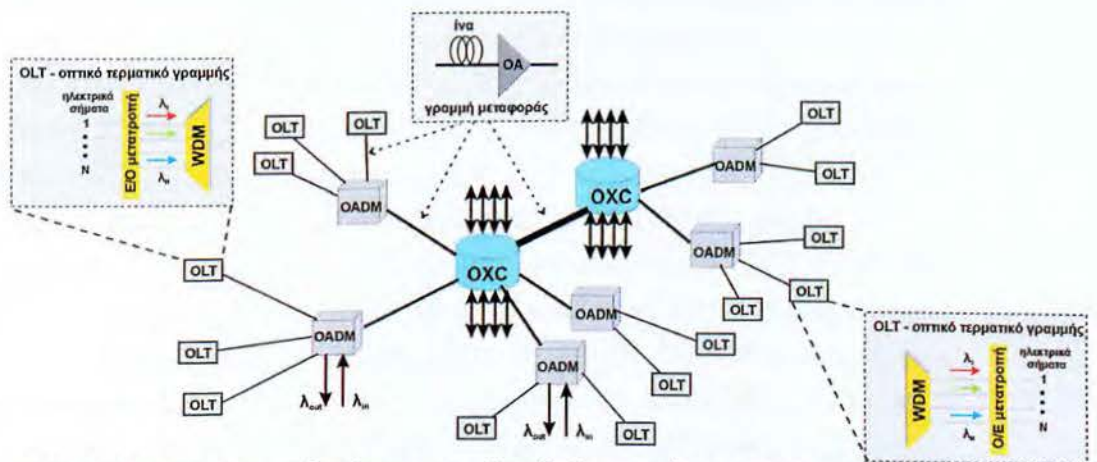
Σε εργαστηριακό/ερευνητικό επίπεδο οι επιδόσεις των WDM συστημάτων μετάδοσης είναι πολύ πιο εντυπωσιακές.

Η τεχνική πολυπλεξίας OTDM χρησιμοποιείται στα οπτικά συστήματα σε πλήρη αντιστοιχία με την ηλεκτρονική πολυπλεξία στο πεδίο του χρόνου (Electronic Time Division Multiplexing-ETDM), που χρησιμοποιείται στα ηλεκτρονικά δίκτυα, με μόνη διαφορά ότι στην OTDM πολυπλεξία οι ρυθμοί μετάδοσης είναι πολύ υψηλότεροι. Στην τεχνική OTDM τα δεδομένα μεταδίδονται σε ένα και μόνο κανάλι (φέρουσα συχνότητα) παρεμβάλλοντας με οπτικό τρόπο τα ψηφία πολλών ροών δεδομένων χαμηλής ταχύτητας σε μία μοναδική ροή δεδομένων υψηλού ρυθμού μετάδοσης. Οι βασικότεροι παράγοντες για την επίδοση των OTDM συστημάτων είναι ο ακριβής χρονισμός των οπτικών σημάτων και το χρονικό εύρος των οπτικών παλμών για την αποφυγή φαινομένων διασυμβολικής παρεμβολής

(intersymbol interference) στο πολυπλεγμένο κανάλι. OTDM συστήματα μετάδοσης δεν υπάρχουν αυτή τη στιγμή ως εμπορικά διαθέσιμα προϊόντα, καθώς η OTDM πολυπλεξία δεν θεωρείται ακόμα αρκετά πρακτική τεχνική μετάδοσης.

1.3 Τα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς

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



Εικόνα 6: Τα βασικά δομικά τμήματα και η διασύνδεση αυτών στα WDM οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς

Στα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς είναι δυνατή η χρήση και των δύο τεχνικών πολυπλεξίας παρολαυτά στην πραγματικότητα χρησιμοποιείται μόνο η WDM. Τα βασικά δομικά συστήματα αυτών των δικτύων είναι τα οπτικά τερματικά γραμμής (optical line terminal-OLT), οι οπτικοί πολυπλέκτες προσθήκης/αφαίρεσης δεδομένων (optical add/drop multiplexer-OADM) και τα οπτικά στοιχεία διασύνδεσης (optical cross-connect-OXC). Σημαντικά δομικά συστήματα είναι, επίσης, οι οπτικοί ενισχυτές, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ανά τακτές αποστάσεις μετάδοσης για την επανενίσχυση των οπτικών σημάτων.

Τα οπτικά τερματικά γραμμής χρησιμοποιούνται στα τερματικά άκρα μίας ζεύξης για τη μετατροπή του ηλεκτρικού σήματος σε οπτικό ή αντίστροφα και την πολυπλεξία ή αποπολυπλεξία κατά WDM των καναλιών διαφορετικού μήκους κύματος, ανάλογα με το αν το τερματικό είναι στην είσοδο ή στην έξοδο της ζεύξης.

Κατά συνέπεια, N ηλεκτρικά σήματα αντιστοιχίζονται σε N κανάλια διαφορετικού μήκους κύματος.

Για την υλοποίηση των WDM πολυπλεκτών και αποπολυπλεκτών χρησιμοποιούνται συστοιχίες φραγμάτων περίθλασης (Arrayed Waveguide Gratings-AWG), συστοιχίες διηλεκτρικών φίλτρων λεπτού φύλλου (dielectric thin-film filters), ή συστοιχίες φραγμάτων περίθλασης Bragg.

Οι αυξημένες λειτουργικές δυνατότητες των οπτικών δικτύων δεύτερης γενιάς οφείλονται στη χρήση των οπτικών πολυπλεκτών προσθήκης/αφαίρεσης δεδομένων (OADM) και των οπτικών στοιχείων διασύνδεσης (OXCs). Τα στοιχεία αυτά τοποθετούνται σε ενδιάμεσα σημεία της ζεύξης, και ο βασικός τους ρόλος είναι η δρομολόγηση των εισερχόμενων WDM καναλιών.

Οι OADM επιλεκτικά «αφαιρούν» ορισμένα κανάλια από τη ζεύξη και επιτρέπουν τη διέλευση των υπολοίπων καναλιών, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να «προσθέτουν» νέα κανάλια στη ζεύξη στη θέση αυτών που «αφαιρέθηκαν». Ανάλογη λειτουργία επιτελούν και οι OXCs, αλλά με πολύ μεγαλύτερο αριθμό καναλιών. Οι OXCs διαχειρίζονται σημαντικά περισσότερες εισόδους/εξόδους και πιο πολύπλοκες τοπολογίες δικτύων από τους OADM. Συνήθως χρησιμοποιούνται για την σύνδεση πολύπλοκων τοπολογιών δικτύου και διαφόρων υποδικτύων μεταξύ τους.

Αντίθετα, οι OADMs χρησιμοποιούνται σε σημεία της ζεύξης, στα οποία απαιτείται ο τοπικός τερματισμός της μετάδοσης κάποιων καναλιών και η εισαγωγή και η δρομολόγηση νέων καναλιών σε διαφορετικούς προορισμούς του δικτύου, και συνδέονται σε τοπολογίες γραμμής ή τοπολογίες δακτυλίου. Δεδομένης της ικανότητας των OXCs να χειρίζονται πολύ μεγαλύτερο όγκο δεδομένων, οι OXCs τοποθετούνται σε κεντρικά ενδιάμεσα σημεία της ζεύξης, ενώ οι OADMs τοποθετούνται περισσότερο κοντά στα τερματικά σημεία της ζεύξης. Για την υλοποίηση και των δύο μπορούν να χρησιμοποιηθούν 2x2 διακόπτες μεταγωγής ή οπτικοί ενισχυτές ημιαγωγού (Semiconductor Optical Amplifier-SOA), μικρο-ηλεκτρο-μηχανικοί διακόπτες (Micro-Electro-Mechanical Switches-MEMS) ή μετατροπείς μήκους κύματος (wavelength converters).

Με βάση την παραπάνω ανάλυση τα WDM οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς παρέχουν συνδέσεις μήκους κύματος μεταξύ των τερματικών, και για το λόγο αυτό αποκαλούνται και δίκτυα δρομολόγησης μήκους κύματος (wavelengthrouted networks). Κατά συνέπεια οι συνδέσεις μεταξύ των τερματικών γραμμής είναι υψηλής χωρητικότητας και παρέχονται σε σταθερή βάση. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά αυτής της αρχιτεκτονικής είναι τα εξής:

- **Επαναχρησιμοποίηση μήκους κύματος (wavelength reuse):**

Δεδομένου ότι η σύνδεση μεταξύ δύο τερματικών γίνεται μέσω ενός μήκους κύματος, το ίδιο μήκος κύματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά για τη σύνδεση δύο άλλων τερματικών, αρκεί να μην υπάρχει επικάλυψη των δύο συνδέσεων σε κάποιο σημείο της ζεύξης. Η δυνατότητα αυτή παρέχει το πλεονέκτημα των πολλαπλών συνδέσεων με χρήση ενός περιορισμένου αριθμού μηκών κύματος.

- **Μετατροπή μήκους κύματος (wavelength conversion)**

Η διαδικασία αυτή συνίσταται στην αντιγραφή των δεδομένων ενός μήκους κύματος, έστω λ_1 , σε ένα νέο μήκος κύματος, έστω λ_2 , και τη μετάδοση του νέου μήκους κύματος μέσα από το δίκτυο. Η μετατροπή μήκους κύματος επιτρέπει την αποδοτικότερη εκμετάλλευση των διαθέσιμων μηκών κύματος στο δίκτυο.

Τα βασικότερα οπτικά στοιχεία, που χρησιμοποιούνται ως μετατροπείς μήκους κύματος, είναι οι οπτικοί ημιαγωγίμοι ενισχυτές (SOAs) και οι οπτικές συμβολομετρικές πύλες.

○ **Διαφάνεια (Transparency):**

Η διαφάνεια αφορά στο γεγονός ότι σε κάθε σύνδεση μήκους κύματος μπορούν να μεταδίδονται δεδομένα με διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης, διαφορετικά πρωτόκολλα ή διαφορετικό τύπο δεδομένων, δεδομένου ότι η δρομολόγηση αυτών γίνεται απευθείας στο οπτικό επίπεδο και με μοναδικό κριτήριο το φέρον μήκος κύματος. Κατά συνέπεια το δίκτυο μπορεί να εξυπηρετεί ταυτόχρονα μια ποικιλία τηλεπικοινωνιακών στρωμάτων υψηλότερου επιπέδου, όπως, για παράδειγμα, τερματικά SONET και δρομολογητές IP.

○ **Μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching) :**

Οι συνδέσεις μήκους κύματος στα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς παραμένουν στατικές, αφού εδραιωθούν, σε πλήρη αναλογία με τις συνδέσεις στα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος. Στην πράξη, μία σύνδεση μήκους κύματος παραμένει «ανοιχτή» για μήνες ή ακόμα και για χρόνια μετά την εδραίωσή της.

○ **Ανθεκτικότητα :**

Το δίκτυο μπορεί να κατασκευαστεί κατά τέτοιο τρόπο, ούτως ώστε σε περίπτωση αποτυχίας κατά τη μετάδοση των δεδομένων αυτά να επαναδρομολογούνται αυτόματα μέσα από εναλλακτικές διαδρομές μέσα στο δίκτυο.

Με βάση τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά των WDM δικτύων δεύτερης γενιάς προκύπτει αναμφισβήτητα το συμπέρασμα, ότι τα δίκτυα αυτά παρέχουν τη δυνατότητα για ευρυζωνικές συνδέσεις υψηλής ταχύτητας δεδομένων και μεγάλης χρονικής διάρκειας, καθώς και τη δυνατότητα για αποδοτική διαχείριση ενός τεράστιου όγκου δεδομένων απευθείας στο οπτικό επίπεδο. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι ιδιαίτερος ελκυστικά για τα μεγάλης έκτασης δίκτυα ευρείας περιοχής (WANs), στα οποία η τηλεπικοινωνιακή κίνηση συναθροίζεται σε οντότητες δεδομένων μεγάλου μεγέθους και είναι επιθυμητή η δέσμευση υψηλής χωρητικότητας για μεγάλο χρονικό διάστημα. Για το λόγο αυτό, τα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς βρίσκουν κυρίως εφαρμογή στα δίκτυα ευρείας περιοχής, χρησιμοποιώντας υψηλής χωρητικότητας στατικές συνδέσεις μηκών κύματος για τη διασύνδεσή τους.

Τα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς δεν παρέχουν, όμως, τη δυνατότητα για χειρισμό οντοτήτων δεδομένων μικρού μεγέθους (granularity), αν και αυτή η δυνατότητα θα ανήκει σίγουρα στις βασικές απαιτήσεις των χρηστών από τα μελλοντικά οπτικά δίκτυα. Η επέμβαση στη μεταδιδόμενη πληροφορία περιορίζεται, όμως, στα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς σε επίπεδο μήκους κύματος και ο χρόνος μεταγωγής της πληροφορίας (switching period) είναι της τάξης δεκάδων λεπτών, με αποτέλεσμα η δέσμευση ενός τεράστιου εύρους ζώνης σε μία σύνδεση να διατηρείται στατική για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την εδραίωση της σύνδεσης, ακόμα και αν αυτή είναι ανενεργή.

Κατά συνέπεια, τα δίκτυα αυτά επιτελούν μεταγωγή κυκλώματος, δεν είναι σε θέση να παρέχουν εύρος ζώνης κατ' απαίτηση και είναι πλήρως αδύνατη η εξυπηρέτηση εκρηκτικών ροών δεδομένων. Επιπλέον, ο αριθμός των δυνατών συνδέσεων στα οπτικά δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος καθορίζεται από το μέγιστο αριθμό χρησιμοποιούμενων καναλιών-μηκών κύματος, με αποτέλεσμα να υπάρχουν συγκρούσεις (collisions) στην κίνηση δεδομένων, όταν οι επιθυμητές συνδέσεις ξεπερνούν σε αριθμό τα διαθέσιμα μήκη κύματος.

Τα μειονεκτήματα αυτά καθιστούν απαγορευτική τη χρήση των οπτικών συστημάτων δεύτερης γενιάς σε δίκτυα, στα οποία απαιτείται άμεσα η παροχή πολλαπλών υπηρεσιών τόσο συνεχούς, όσο και εκρηκτικής ροής δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες μετάδοσης. Τέτοια δίκτυα είναι, για παράδειγμα, τα μητροπολιτικά δίκτυα (MANs).

Η εκμετάλλευση του εύρους ζώνης στα δίκτυα αυτά προφανώς δε θα είναι αποδοτική, καθώς για κάθε μία από τις εν γένει πολλές συνδέσεις τους θα χρειάζεται και ένα ολόκληρο μήκος κύματος, το οποίο θα παραμένει ανενεργό στο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

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

1.4 Τα μελλοντικά δίκτυα τρίτης γενιάς

Ο βασικός στόχος των μελλοντικών οπτικών δικτύων τρίτης γενιάς είναι η αποδοτική εκμετάλλευση του διαθέσιμου εύρους ζώνης των οπτικών δικτύων, υπό την έννοια της παροχής συνδέσεων υψηλής χωρητικότητας μόνο κατά το χρονικό διάστημα, για το οποίο οι συνδέσεις αυτές είναι ενεργές. Για την επίτευξη της παροχής εύρους ζώνης κατ' απαίτηση τα οπτικά δίκτυα τρίτης γενιάς έχουν υιοθετήσει

την τεχνική μεταγωγής πακέτου, η οποία ήδη λειτουργεί με αποδοτικό τρόπο στα ηλεκτρονικά δίκτυα.

Ο όρος οπτικά δίκτυα τρίτης γενιάς είναι, επομένως ταυτόσημος με τον όρο οπτικά δίκτυα μεταγωγής πακέτων (All- Optical Packet Switched Networks - OPS).



Δομικά στοιχεία οπτικής τεχνολογίας

• Οπτικά φίλτρα

Τα οπτικά φίλτρα είναι συσκευές που εμποδίζουν ένα μέρος του εισερχόμενου φωτός από το να φτάσει σε ένα συγκεκριμένο σημείο ή προορισμό. Στα συστήματα WDM τα οπτικά φίλτρα είναι απαραίτητα αφού διαχωρίζουν τα σήματα στα επιμέρους μήκη κύματος δρομολόγηση σε διαφορετικούς προορισμούς.

Τα οπτικά φίλτρα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

A) Στα σταθερά φίλτρα.

Συντονισμένα σε ένα μήκος κύματος.

B) Στα μεταβλητά (ή συντονισμένα) φίλτρα.

Επιλεκτική προσθήκη ή εξαγωγή συγκεκριμένων μηκών κύματος από και προς ένα πολυκαναλικό δίκτυο. Δομικά στοιχεία οπτικής τεχνολογίας

• **διαχωριστής (splitter)**

Ο διαχωριστής (splitter) είναι μία οπτική συσκευή που διαχωρίζει το οπτικό σήμα από μία σε δύο οπτικές ίνες.

Ο πιο διαδεδομένος διαχωριστής είναι ο 1×2 :

1.5 Εφαρμογές των οπτικών ινών:

1.5.1 Γενικές εκτιμήσεις

Σήμερα σπάνια βρίσκει κανείς κάποια δημοσίευση για τηλεπικοινωνίες ή κάποια σύσκεψη στην οποία να μην υπάρχει αναφορά για τις οπτικές ίνες. Αυτό το ενδιαφέρον προκύπτει από τις πραγματικές δυνατότητες που προσφέρουν τα συστήματα ή τα προϊόντα της τεχνολογίας των οπτικών ινών. Αναλόγικα και Ψηφιακά συστήματα μπορούν τώρα να μεταφερθούν σε πολλά χιλιόμετρα μέσω των οπτικών ινών, σε ρυθμούς ίσους με εκείνους των γνωστών μέχρι τώρα καλωδίων ή και μεγαλύτερους χωρίς τα προβλήματα της ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής ή και της παρεμβολής ραδιοσυχνότητας, ηλεκτρικών εκκενώσεων, βροχών γείωσης, διαρροής ακτινοβολίας και διαφόρων άλλων περιοριστικών παραγόντων.

1.5.2 Τηλεπικοινωνιακά συστήματα

Η εισαγωγή των οπτικών συστημάτων έχει ήδη προκαλέσει επανάσταση στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Η χαμηλή απώλεια κατά τη χαμηλή διαβίβαση σημάτων και η χωρητικότητα του μεγάλου εύρους ζώνης των συστημάτων οπτικών ινών επιτρέπουν την κάλυψη πολύ μεγάλων αποστάσεων με πολύ λιγότερους επαναλήπτες σε σύγκριση με τα χάλκινα καλώδια.

Τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα με οπτικές ίνες έχουν τη δυνατότητα διαβίβασης σημάτων φωνής, δεδομένων και εικόνας.

1.5.3 Εφαρμογές σε διασυνδέσεις υπολογιστών και τερματικών

Οι οπτικές ίνες πρέπει να είναι εύκολο να εφαρμοστούν στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, γιατί οι προϋποθέσεις ταχύτητας των πληροφοριών στις βασικές συνιστώσες σύνδεσεις οπτικών ινών είναι λιγότερο αυστηρές από αυτές των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων υψηλής λειτουργικότητας. Αυτό σημαίνει ότι λίγες εφαρμογές στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές θα απαιτήσουν το υψηλό κέρδος των APD διόδων. Συνεπώς, μπορούν να χρησιμοποιηθούν LEDs όσο και p-i-n διόδοι που λειτουργούν στην περιοχή των 0.8 ως 0.9 μm και που είναι σταθερές. Οι οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο για την εξωτερική σύνδεση του ηλεκτρονικού υπολογιστή με περιφερειακά, αλλά και για τη σύνδεση μεταξύ ερμαριών και ακόμα και για την καλωδίωση των κυκλωμάτων από πλακέτα σε πλακέτα.

Μια σύνδεση οπτικής ίνας σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή είναι δυνατόν να γίνεται μέσω μίας σύνδεσης προσαρμογής που να μπορεί να προσεγγιστεί απευθείας από το σημείο διαβίβασης, αλλά και από το σημείο λήψης. Αυτό επιτρέπει μια μείωση του χρόνου επιστροφής, που με τη σειρά του επιτρέπει την εξωτερική σύνδεση με περισσότερους από ένα ηλεκτρονικούς υπολογιστές με μία μοναδική γραμμή διαμέσου ενός ζεύκτη οπτικής ίνας.

1.5.4 Εφαρμογές στις μετρήσεις και στο βιομηχανικό έλεγχο:

Οι οπτικές ίνες όταν χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές επεξεργασίες και μετρήσεις προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα καλώδια χαλκού. Τα σημαντικότερα είναι η ανοσία θορύβου, η ασφάλεια, το μέγεθος και το βάρος.

Για την εκμετάλλευση της τεχνολογίας οπτικών ινών σε εφαρμογές βιομηχανικού ελέγχου έχουν αναπτυχθεί αισθητές (sensors), για τη μέτρηση της πίεσης και της θερμοκρασίας και θέσης (συγχρόνως γωνιακής και ευθείας γραμμής). Ιδανικά αυτοί οι αισθητές πρέπει να συνδέονται απευθείας με τις οπτικές ίνες.

Ένα από τα σπουδαιότερα συστήματα μετρήσεων για οπτικές ίνες είναι το οπτικό ανακλασιόμετρο (OTDR= Optical Time Domain Reflectometer), που είναι χρήσιμο για την εντόπιση ασυνεχειών της ίνας, τον προσδιορισμό του μήκους και τον υπολογισμό των απώλειων στους συνδετήρες και τις ενώσεις.

1.5.5 Χρησιμοποίηση οπτικών ινών σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Οι οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλα σχεδόν τα επίπεδα στη βιομηχανία παραγωγής ενέργειας. Υπάρχουν διαθέσιμα οπτικά καλώδια που μπορούν να ανταποκριθούν σε ορισμένες ειδικές ανάγκες, όπως π.χ σε υπόγεια κανάλια, μέσα σε σωλήνες, στον αέρα ή να χρησιμοποιηθούν απευθείας θαμμένα. Καθώς ελαττώνονται οι τιμές των καλωδίων και γίνονται διαθέσιμα μηχανήματα μεγαλύτερου μήκους κύματος. Υπάρχει μία αυξανόμενη χρήση των οπτικών ινών στη βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε εφαρμογές όπως:

- α. Επικοινωνία μεταξύ κτιρίων.
- β. Συνδέσεις ενδοεπικοινωνίας σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας.
- γ. Εσωτερική σύνδεση συσκευών μέτρησης.
- δ. Έλεγχος ενέργειας σε συστήματα μέσα από την ίδια πόλη.
- ε. Απόκτηση πληροφοριών και συστήματα συναγερμού.
- στ. Μικρογραφικά ενδεικτικά μηχανήματα.

1.5.6 Εφαρμογές στα μέσα μεταφοράς

Ο ρόλος των συστημάτων οπτικών ινών στα μέσα μεταφοράς είναι πολλαπλός . Στα μαζικά μέσα μεταφοράς οι διάφορες λειτουργίες μπορούν να γίνουν κατά πολύ αποδοτικότερες και περισσότερο αξιόπιστες με τη χρήση οπτικών ινών στα συστήματα ελέγχου. Μια σπουδαια εφαρμογή είναι η παρακολούθηση της θέσης και της ταχύτητας των τρενών. Για της μεταφορές που βασίζονται σε ηλεκτρικές γραμμές η χρήση των οπτικών ινών καθιστάται αναγκαία για λόγους ελέγχου και επικοινωνίας λόγω του πλεονεκτήματος της ανοσίας που παρουσιάζονται έναντι των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών.

Ο σχεδιασμός σύγχρονων αυτοκινήτων, πλοίων, αεροπλάνων και δορυφόρων περιλαμβάνει ολοένα και περισσότερα συστήματα οπτικών ινών λόγω του ότι αυτά παρουσιάζουν μικρό όγκο και βάρος, μεγαλύτερο εύρος ζώνης, και είναι απρόσβλητα από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τις επιδράσεις των αστραπών.

1.5.7 Εφαρμογές στην Ιατρική:

Σε ένα ρόλο διαφορετικό από εκείνο μίας γραμμής πληροφοριών, η οπτική ίνα ως ένας αγωγός φωτός χρησιμοποιείται για τη μεταφορά φωτεινών ειδωλείων σε ιατρικά μηχανήματα και για φωτισμό και για παρακολούθηση πολύ μικρων και μη προσιτών περιοχών. Μπορεί ακόμα σε συνδιασμό με ένα ειδικό λέιζερ να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την κοπή ορισμένων τμημάτων ή την καταστροφή όγκων.

1.5.8 Στρατιωτικές εφαρμογές:

Διάφορες νέες εφαρμογές των οπτικών ινών που έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον αφορούν τον στρατιωτικό τομέα. Οι εφαρμογές αυτές περιλαμβάνουν στρατηγικές χρήσεις, τακτικές χρήσεις, ταχείες ρίψεις από αεροπλάνα, συστήματα αισθητών και πληροφόρησης, συστήματα κατεύθυνσης πυραύλων και γενικά επικοινωνείες για τη διαβίβαση φωνής, δεδομένων και εικόνων(πεδίου μάχης), χωρίς τις γνωστές παρεμβολές και χωρίς τη δυνατότητα των εύκολων υποκλοπών από τον εχθρό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Πολυπλεξία Διαίρεσης Μήκους Κύματος (WDM)

Η Πολυπλεξία Διαίρεσης Μήκους Κύματος (WDM) μπορεί να οριστεί σαν μια διαδικασία που έχει στόχο την αύξηση του συνολικού ρυθμού μετάδοσης σε μια οπτική ζεύξη μέσω της χρησιμοποίησης πολλών καναλιών σε διαφορετικά και προκαθορισμένα φέροντα μήκη κύματος.

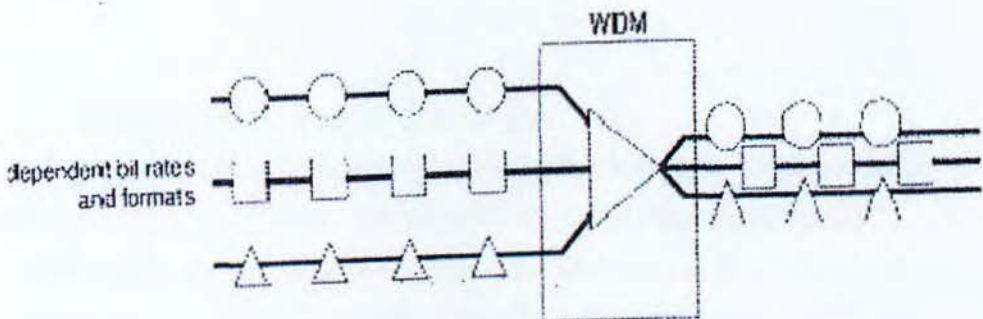
Τα διάφορα φέροντα αυτά μπορούν να έχουν διαφορετικούς και ανεξάρτητους μεταξύ τους ρυθμούς μετάδοσης που στην συνέχεια πολυπλέκονται με οπτικό τρόπο και μεταδίδονται. Ιδιαίτερη προσοχή κατά τη σχεδίαση συστημάτων WDM απαιτείται και καθοριστικοί παράγοντες για αυτό είναι το εύρος των καναλιών καθώς και η μεταξύ τους απόσταση, η ολική οπτική ισχύς που εισάγεται προς μετάδοση, τα μη – γραμμικά φαινόμενα που προκύπτουν καθώς και οι περιορισμοί και οι ατέλειες που έχουν σαν αίτιο την αμιγώς οπτική ενίσχυση με την βοήθεια αμιγώς οπτικών ενισχυτών. Στη συνέχεια ακολουθείται μια ευρύτερη μελέτη στα συστήματα αυτά και εξετάζονται τόσο αρχιτεκτονικές όσο και διατάξεις που αφορούν τα συστήματα αυτά.

2.1 Η Ανάγκη για πολυπλεξία

Οι οικονομίες κλίμακας παίζουν σημαντικό ρόλο στο τηλεφωνικό σύστημα. Μεταξύ δύο κέντρων μεταγωγής, κοστίζει το ίδιο η εγκατάσταση και η συντήρηση ενός κυκλώματος μικρού ή μεγάλου εύρους ζώνης (το κόστος συνίσταται στο σκάψιμο του αυλακιού και όχι στο χάλκινο καλώδιο ή στην οπτική ίνα). Οπότε οι εταιρείες έχουν αναπτύξει πολύπλοκα σχέδια για την πολυπλεξία πολλών σημάτων μέσα σ' ένα φυσικό κύκλωμα.

2.2 Γενική Περιγραφή "WDM"

Η τεχνολογία αυτή συνίσταται στην πολυπλεξία φωτεινών ακτινών με διαφορετικά μήκη κύματος και την μετάδοση τους μέσα από μια μόνο οπτική ίνα. Κάθε μια από αυτές τις ακτίνες μεταφέρει διαφορετική ροή δεδομένων και η πολυπλεξία τους οδηγεί σε πολλαπλάσιο εύρος ζώνης μετατρέποντας μια οπτική ίνα σε πολλαπλές ιδεατές ίνες, που κάθε μια λειτουργεί σε διαφορετικό μήκος κύματος. Η τεχνολογία πολύπλεξης στο πεδίο του μήκους κύματος (WDM) αποτελεί μια μέθοδο σημαντικής αύξησης της χωρητικότητας της οπτικής ίνας, μέσω της εκχώρησης σε καθένα από τα εισερχόμενα οπτικά σήματα ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος (λ) ή συχνότητας, από ένα καθορισμένο εύρος συχνοτήτων.



Σε ένα σύστημα WDM, ένα πλήθος διαφορετικών σημάτων μεταφέρονται υπό τη μορφή διακριτών μηκών κύματος ή καναλιών μέσω της οπτικής ίνας και αποπολυπλέκονται στο σημείο λήψης. Με βάση το χαρακτηριστικό της πολυπλεξίας έγινε δυνατή η παράλληλη μετάδοση σήματος και στις οπτικές ίνες. Η πολυπλεξία μήκους κύματος είναι η τεχνική μετάδοσης της πληροφορίας μέσα από οπτική ίνα η οποία επιτρέπει την παράλληλη μετάδοση bits ή αλλιώς τη σειριακή μετάδοση χαρακτήρων. Η πολυπλεξία στο πεδίο του μήκους κύματος έχει ανέλθει σαν το πιο αποδοτικό μέσο για την κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων απαιτήσεων στον τομέα των επικοινωνιακών εφαρμογών. Τα πλεονεκτήματα δικτύων WDM σε σχέση με τα συμβατικά είναι το μεγάλο εύρος ζώνης, μικρή απώλεια ισχύος, αξιοπιστία ασφάλεια, ταχύτητα και διαφάνεια πρωτοκόλλων.

2.3 Λύσεις του προβλήματος πολυπλεξίας

Ένας απλός τρόπος πολυπλεξίας σημάτων σε ένα μοναδικό μέσο μεταφοράς τους (κανάλι) είναι η πολυπλεξία στο πεδίο συχνότητας (FDM) με την οποία στην ουσία ανατίθενται διαφορετικές συχνότητες στο κάθε σήμα ώστε να μην υπάρχει επικάλυψη μεταξύ τους. Ένας άλλος τρόπος είναι η πολυπλεξία στο πεδίο του χρόνου (TDM) με την οποία ανατίθενται στο κάθε σήμα διαφορετικές χρονικές σχισμές (time slots). Τα πρώτα τηλεφωνικά συστήματα πολυπλεξίας χρησιμοποιούσαν FDM, ωστόσο η πολυπλεξία TDM κυριάρχησε στη διαχείριση πολλαπλών data streams μέσα από ένα καλώδιο.

Σε ένα δίκτυο που βασίζεται στην πολυπλεξία στο χρόνο (TDM), τα κανάλια εξετάζονται σειριακά και στο κάθε ένα από αυτά διατίθεται στην κάθε περίοδο μια χρονική σχισμή για μετάδοση δεδομένων. Εάν δεν υπάρχουν δεδομένα προς μετάδοση, η χρονική σχισμή μένει

αχρησιμοποίητη και ο έλεγχος περνά κανονικά στο επόμενο κανάλι. Το πέρασμα από όλα τα κανάλια στη διάρκεια μιας περιόδου δημιουργεί το πλαίσιο δεδομένων (frame) το οποίο από άποψη μεγέθους είναι σταθερό, πράγμα που σημαίνει ότι όταν κάποια κανάλια δεν έχουν δεδομένα για μετάδοση υπάρχουν «άχρηστα» bit. Λόγω ότι τα πλαίσια φτάνουν σε συγκεκριμένους και αναμενόμενους χρόνους η τεχνική TDM χρησιμοποιείται εκτενώς στα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος για μετάδοση φωνητικών μηνυμάτων. Παραδείγματα κυκλωμάτων TDM είναι τα T1 (15 Mbit/sec) και T3 (45 Mbit/sec) που χρησιμοποιούνται και για ήχο (voice) και για δεδομένα (data). Μια άλλη τεχνολογία που βασίζεται στην τεχνική αυτή είναι το SONET (Synchronous Optical Network) γνωστό και σαν SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Η τεχνολογία αυτή έχει κερδίσει έδαφος χάρη στην επέκταση της σε όλο και μεγαλύτερα εύρη ζώνης και χρησιμοποιείται πάνω στις τεχνικές ATM και TCP/IP. Βασική συστατική μονάδα στο SONET είναι ομάδες από κυκλώματα DS-O (64Kbit/sec) που 4 πολυπλέκονται σε μια τυχερή γραμμή οπτικού φέροντος (Optical Carrier) 51 Mbits/sec που αποτελεί ένα κύκλωμα OC-1. Τα κυκλώματα αυτά μπορεί να πολυπλεχθούν παραπέρα σε ακόμη ταχύτερα κυκλώματα π.χ. OC-3 στα 155 Mbits/sec, OC-12 που αποτελείται από τρία OC-3) στα 622 Mbits/sec, OC-48 (που μπορεί να φέρει τέσσερα OC3) κ.λ.π

Το πρόβλημα όμως με το SONET και γενικά με την πολυπλεξία στο πεδίο του χρόνου (TDM) είναι ότι όσο πιο πολλά σήματα πολυπλέκονται στις ίνες τόσο πιο πολύ αυξάνουν οι απαιτήσεις σε χωρητικότητα και ταχύτητα σε συστατικά του δικτύου που έχουν σχέση με την μεταγωγή κυκλωμάτων και δρομολόγηση. Επίσης δημιουργούνται ενδιάμεσα επίπεδα υψηλότερων ταχυτήτων και απαιτούνται συνεπώς νέοι ενδιάμεσοι πολυπλέκτες. Έτσι, αλλαγή στην ταχύτητα μετάδοσης συνεπάγεται αλλαγή σε δομικά συστατικά του δικτύου. Επιπρόσθετα, ένα άλλο μειονέκτημα έχει να κάνει με τη δυνατότητα επέκτασης. Σήμερα η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης για κυκλώματα TDM είναι 10 Gbits/sec και βασιζόμενοι στην ιεραρχία του SONET μπορούμε να δούμε ότι το επόμενο βήμα είναι τα 40 Gbits/sec, πράγμα αμφίβολο για το αν είναι δυνατό να επιτευχθεί με τον σημερινό εξοπλισμό. Εδώ λοιπόν η τεχνική WDM (που είναι το αντίστοιχο της

FDM για τα οπτικά δίκτυα) φαίνεται πιο προσοδοφόρα στην επίλυση των παραπάνω προβλημάτων. Η τεχνική αυτή διαχωρίζει το φως που περνά μέσα από μια ίνα σε μήκη κύματος. Το κάθε μήκος κύματος μπορεί να υποστηρίζει ταχύτητες ακόμη και της τάξης των 10 Gbits/sec μέσα από την ίδια ίνα, που στην περίπτωση της προηγούμενης τεχνικής θα απαιτούνταν διαφορετικές ίνες για το κάθε μήκος κύματος. Τα δίκτυα WDM μπορούν μέσα από τις ίνες τους να μεταδώσουν ταυτόχρονα διαφορετικά και ανεξάρτητα σήματα π.χ. OC-3 για ήχο/φωνή σε ένα μήκος κύματος και σήματα αναλογικού video σε άλλο και OC12 ATM σε κάποιο άλλο μέσα στην ίδια ίνα. Σε δίκτυα μεγάλων αποστάσεων το κόστος εγκατάστασης είναι ελκυστικότερο από ότι για τεχνικές TDM ωστόσο για μικρές αποστάσεις ακόμη δεν φαίνεται να είναι επιτακτική η αλλαγή από κυκλώματα TDM σε WDM/DWDM. Σήμερα σε δίκτυα MAN ή και WAN ο υπάρχον εξοπλισμός αφορά κυρίως συστήματα TDM γιατί αυτή η τεχνική αναπτύχθηκε πρώτη, παρά το ότι η τεχνική WDM είναι πιο αποδοτική.

Σε τοπικά καθώς και σε μητροπολιτικά δίκτυα (LAN's και MAN's), με τις τελευταίες εξελίξεις στις τεχνικές WDM, OTDM (Optical Time Division Multiplexing-Πολυπλεξία στο χρόνο για οπτικά συστήματα), CDMA (Code Division Multiple Access) κ.λ.π., ή σε συνδυασμούς των τεχνικών αυτών, είναι πλέον δυνατή τεχνικά η δημιουργία πολλαπλών καναλιών ικανών για μεταφορά αρκετών Gbit/sec. Ειδικότερα όσον αφορά την εξέλιξη στην τεχνολογία WDM οι προκλήσεις που υπάρχουν (πέρα από την συνεχή ανάπτυξη αποδοτικών ως προς το κόστος συστατικών δικτύου) αφορούν στην ανάπτυξη πρωτοκόλλων MAC (Medium Access Control - Έλεγχος Προσπέλασης Μέσου) εκμεταλλεύοντας όσο το δυνατόν περισσότερο την οπτική τεχνολογία στις περιοχές των οπτικών πηγών και αναμεταδοτών, δεκτών, φίλτρων, ενισχυτών οπτικών μετατροπέων ώστε να είναι αποδοτικότερη και πληρέστερη η χρήση του τεράστιου εύρους ζώνης που παρέχεται.

2.4 Τοπολογίες Δικτύων WDM

Η πολυπλεξία WDM μπορεί να υιοθετηθεί σε πολλές τοπολογίες και αρχιτεκτονικές ως βασική μέθοδος αύξησης του ολικού ρυθμού μετάδοσης αλλά και διαχείρισης των επιμέρους καναλιών.

2.4.1 Ζεύξεις Σημείου – προς – Σημείο Υψηλής Χωρητικότητας

Μια πρώτη προσέγγιση για τη χρήση αυτής της τεχνολογίας είναι σε ζεύξεις σημείου – προς – σημείο υψηλής χωρητικότητας. Οι ζεύξεις αυτές υποστηρίζουν τεράστιους ρυθμούς μετάδοσης που έχουν φτάσει πλέον πάνω από το όριο του 1 Tbps και γενικά συναντώνται εμπορικά σε υποθαλάσσια συστήματα. Πειραματικά έχουν δειχθεί πολλές εφαρμογές με ολοένα και αυξανόμενο το μέγεθος $B \cdot L$ όπου B ο συνολικός υποστηριζόμενος ρυθμός μετάδοσης ($B = B_1 + B_2 + \dots + B_N$) και L η απόσταση μετάδοσης.

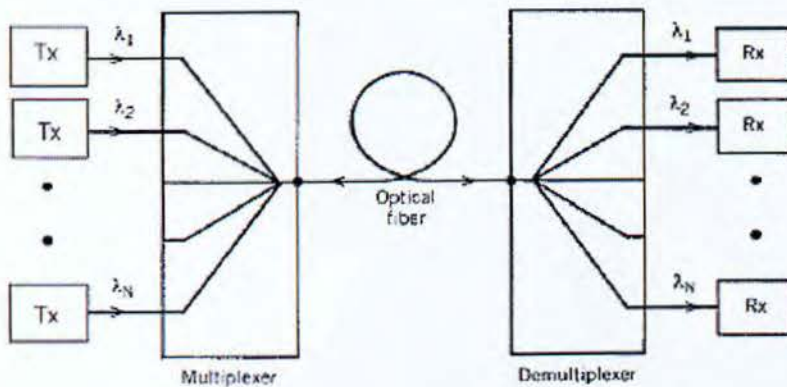
2.4.2 Η βασική διάρθρωση μιας ζεύξης WDM

Στον πομπό υπάρχει ένας αριθμός αναμεταδοτών (Transponders T_1, T_2, \dots, T_N όπου N ο αριθμός των πολυπλεγμένων σημάτων) και ένας πολυπλέκτης μήκους κύματος (multiplexer ή mux). Αντίστοιχα στο δέκτη υπάρχει ο αποπολυπλέκτης (demultiplexer ή demux) και ο αριθμός <<επιμερούς>> δεκτών (R_1, R_2, \dots, R_N) ίσος με τον αριθμό των πολυπλεγμένων σημάτων.

Στην παραπάνω ζεύξη, κάθε αναμεταδοτής υποδέχεται ένα οπτικό σήμα, προερχόμενο από άλλα τμήματα του ινοοπτικού ζευκτικού δικτύου. Το σήμα αυτό (Που μπορεί να ανήκει στο παράθυρο είτε των 1310 είτε των 1550 nm) επανεκπέμπεται από τον αναμεταδωτή σε κάποιο προκαθορισμένο μήκος κυμάτος λ_n (κανάλι) που, λόγω της

χρήσης οπτικών ενισχυτών (EDFA), επιλέγεται υποχρεωτικά από το οπτικό παράθυρο των 1550 nm. Στη συνέχεια μέσω του πολυπλέκτη, τα επιμέρους οπτικά σήματα (κανάλια $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$) πολυπλέκονται και σχηματίζουν το σύνθετο σήμα το οποίο αφού ενισχυθεί οπτικά από τον ενισχυτή ισχύος, διοχετεύεται από την οπτική ίνα. Το σύνθετο αυτό σήμα μεταδίδεται προς την πλευρά του δέκτη (κατά μήκος της ζεύξης σε τακτές αποστάσεις, μπορεί να ενισχύεται από οπτικούς ενισχυτές) και φθάνει στον αποπολυπλέκτη. Εκεί, τα επιμέρους οπτικά σήματα αποπολυπλέκονται και στη συνέχεια οδηγούνται στους αντίστοιχους δέκτες (R_1, R_2, \dots, R_N) όπου αποδιαμορφώνονται και παρέχουν τα αντίστοιχα ηλεκτρικά σήματα (πληροφορίας)

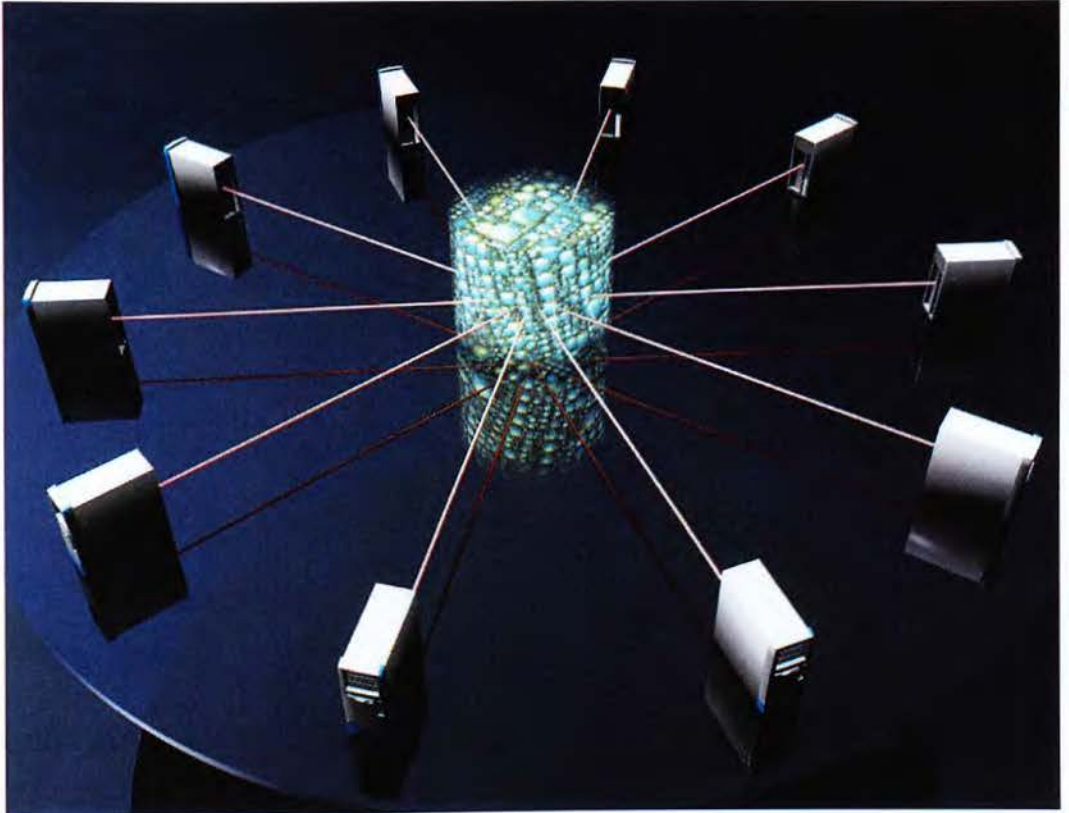
Μια σχηματική απεικόνιση της παραπάνω φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 7: Σχηματική αναπαράσταση ζεύξης σημείου-προς-σημείο

- Η χρήση οπτικών ενισχυτών ίνας Ερβίου (EDFAs), επιβάλλει τη λειτουργία των ζεύξεων WDM στο οπτικό παράθυρο των 1550nm (οπτικοί ενισχυτές με ικανοποιητικές επιδόσεις και λειτουργία στα 1310nm δεν υπάρχουν επι του παρόντος). Από την άλλη πλευρά, η χρήση οπτικών ενισχυτών γραμμής (αντί των ηλεκτροοπτικών αναγεννητών) είναι καθοριστική, τόσο για τη βελτίωση των επιδόσεων μίας ζεύξης WDM, όσο και για τη μείωση του κόστους της. Ο λόγος είναι ότι αρκεί ένας μόνο οπτικός ενισχυτής για τη ενισχύση του σύνθετου σήματος εάν χρησιμοποιούνταν ηλεκτροοπτικοί αναγεννητές θα χρειαζόταν

ξεχωριστός αναγέννητης για κάθε πολυπλεγμένο σήμα. Πρέπει πάντως να αναφερθεί ότι της δημιουργίας θορύβου από τους οπτικούς ενισχυτές (και συσσωρευτής του κατά τις διαδοχικές οπτικές ενισχύσεις) , επιβάλλεται η (ηλεκτροοπτική) αναγέννηση του πολυπλεγμένου σήματος σε τακτές αποστάσεις.



Η ολική χωρητικότητα των συστημάτων μετάδοσης WDM εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των καναλιών και για το λόγο αυτό μπορούμε να κάνουμε έναν επιπλέον ακόμα διαχωρισμό σε συστήματα CWDM (Coarse WDM) και DWDM (Dense WDM).

Στα CWDM συστήματα η απόσταση μεταξύ των καναλιών είναι της τάξης των μερικών nm ενώ στα DWDM είναι της τάξης του 1 nm. Συγκεκριμένα, για απόσταση μεταξύ των καναλιών στα 100 GHz έχουμε $\sim 0,8$ nm όπως καθορίζεται από την ITU, ενώ έχει οριστεί και φασματικό πλέγμα με απόσταση 50 GHz .

Στο φάσμα της περιοχής χαμηλής εξασθένησης των 1550 nm η ITU έχει ορίσει 3 ζώνες μετάδοσης τις S (1491.88 – 1529.55 nm), C (1529.94 – 1569.59 nm) και L (1570.01 – 1611.79 nm).

Αυτή η συνολική περιοχή δίνει φασματικό άθροισμα 15 THz που αντιστοιχούν σε 120 nm).

Οστόσο το εύρος ζώνης αυτό παρ' ότι φαίνεται ελκυστικό, είναι πολύ δύσκολο να εκμεταλλευτεί σωστά λόγω των σημαντικών περιορισμών που εισάγονται από τη χρήση των Ενισχυτών Ίνας Ερβίου (EDFA). Οι ενισχυτές αυτοί έχουν περιορισμένο εύρος ζώνης που σε πολλές περιπτώσεις είναι της τάξης των 40 nm και έτσι δεν καλύπτουν όλο το φάσμα γύρω από την περιοχή των 1550 nm. Μια λύση στο πρόβλημα αυτό είναι η χρήση Ενισχυτών Raman που έχουν εύρος ζώνης της τάξης των 100 nm.

Άλλοι παράγοντες που μπορούν να εισάγουν 45 περιορισμούς στη μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις είναι η σταθερότητα των Laser Κατανεμημένης Ανάδρασης (Distributed FeedBack Lasers), η υποβάθμιση του μεταδιδόμενου σήματος λόγω μη γραμμικών φαινομένων και η διασυμβολική παρεμβολή μεταξύ των καναλιών μετάδοσης.

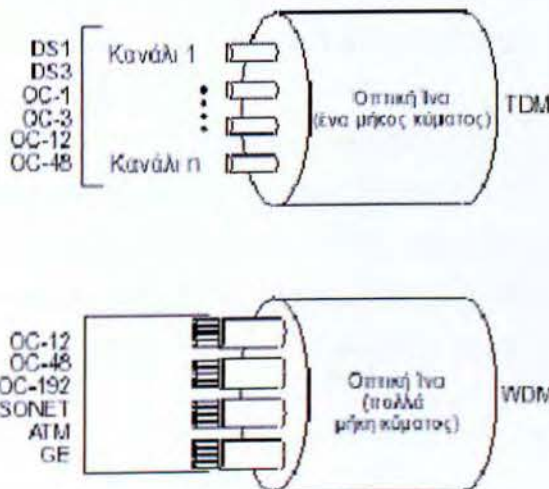
Σε ότι αφορά τις προοπτικές των ζεύξεων σημείου προς σημείο αυτό που απασχολεί περισσότερο την ερευνητική κοινότητα είναι η αύξηση του ρυθμού στη μετάδοση αλλά και η αναγέννηση του σήματος με αξιόπιστο και οικονομικό τρόπο.

2.5 Σύγκριση TDM-WDM

Η μέθοδος TDM Πολυπλέκει περισσότερα σήματα σε ένα ενιαίο υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης και τα μεταδίδει χρησιμοποιώντας ένα φέρον μήκος κύματος μέσα από την οπτική ίνα. Το WDM Παίρνει πολλά οπτικά σήματα, Σε συγκεκριμένα μήκη κύματος, Και τα πολυπλέκει μέσα σε μία μόνο οπτική ίνα. Η WDM Είναι επομένως ίδια με την FDM, Όπου κάθε σήμα μεταδίδεται σε διαφορετική φέρουσα συχνότητα, Επειδή όμως στα WDM Οι συχνότητες αυτές είναι πολύ μεγαλύτερες και ανήκουν στο οπτικό φάσμα, Αναφερόμαστε σε μήκη κύματος (W) Και όχι συχνότητες (F). Επίσης Μέσω της τεχνολογίας WDM Είναι δυνατή η μεταφορά σημάτων σε διαφορετικά πρωτόκολλα, Δίχως να απαιτείται η χρήση μιας ενιαίας τυποποίησης των σημάτων.

Μερικές Από τις βασικές διαφορές μεταξύ

TDM Και WDM Φαίνονται στο Σχήμα



Σχήμα 8: Βασικές Διαφορές TDM Και WDM (Σχηματική αναπαράσταση)

2.6 Διαχείριση Εύρους Ζώνης με WDM σε τοπικά δίκτυα

Δύο προσεγγίσεις έχουν προταθεί για τα δίκτυα WDM:

1. Τα δίκτυα ενός βήματος-single hop και
2. Τα δίκτυα πολλαπλών βημάτων-multi hop networks.

Τα multi-hop δίκτυα στηρίζονται στην χρήση ενδιάμεσων συστατικών σταθερά συντονισμένων ή συντονιζόμενων με αργό ρυθμό όπου κατασκευάζεται μια ψευδοστατική τοπολογία δικτύου. Το κύριο πλεονέκτημα είναι ότι ο κάθε κόμβος χρειάζεται να έχει πρόσβαση σε ένα μικρό αριθμό καναλιών στα οποία μπορεί να επιτευχθεί υψηλός ταυτοχρονισμός και κλιμακοποίηση (scalability).

Ωστόσο το κάθε πακέτο πρέπει να ταξιδέψει από ένα ή περισσότερους ενδιάμεσους σταθμούς από τους οποίους εισάγεται χρονική καθυστέρηση και επιπλέον απαιτείται επιπρόσθετος μηχανισμός δρομολόγησης. Σε αντίθεση με τα multi-hop δίκτυα, τα single hop δίκτυα είναι ιδανικά για LAN γιατί στηρίζονται σε απευθείας σύνδεση των κόμβων μεταξύ τους.

Ζητήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη σχεδίαση πρωτοκόλλων ελέγχου πρόσβασης μέσου στα δίκτυα WDM αφορούν κυρίως τις απαιτήσεις σε επεξεργασία, την χρονική καθυστέρηση κατά το συντονισμό/μεταγωγή σε διαφορετικά μήκη κύματος, το χρόνο μετάδοσης, τη διαχείριση της κίνησης π.χ. με σύνδεση ή χωρίς, και το κόστος.

2.7 Κατηγορίες Πρωτοκόλλων Διαχείρισης σε LAN

Τα υπάρχοντα πρωτόκολλα ανήκουν σε τρία βασικά είδη ανάλογα με το πώς εντοπίζονται τα κανάλια:

- I. Πρωτόκολλα τυχαίας προσπέλασης στα οποία το κανάλι επιλέγεται τη στιγμή στην οποία λαμβάνει χώρα η έναρξη της εκπομπής του πακέτου.
- II. Πρωτόκολλα ανάθεσης σχισμής με καθορισμό, που το κανάλι επιλέγεται κατά το χρόνο που λαμβάνει χώρα ο ορισμός της διαμόρφωσης του δικτύου (configuration).
- III. Πρωτόκολλα εντοπισμού πριν την εκπομπή, που το κανάλι επιλέγεται πριν γίνει η εκπομπή του πακέτου.

Φυσικά υπάρχουν και πολλά υβριδικά πρωτόκολλα που ουσιαστικά αποτελούν συνδυασμό των παραπάνω κατηγοριών. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι το να έχουν οι κόμβοι του δικτύου τη δυνατότητα να συντονίζονται σε διάφορα μήκη κύματος ώστε να μεταφέρονται από τις ίνες ταυτόχρονα δεδομένα. Αυτό που διαφοροποιεί τις διάφορες τεχνικές, είναι ο τρόπος ανάθεσης του μήκους κύματος καθώς και η διαχείριση συγκρούσεων στο ίδιο μήκος κύματος.

2.8 Πρωτόκολλο τυχαίας προσπέλασης

Χαρακτηριστικό αυτών των πρωτοκόλλων είναι η απλότητα και το γεγονός ότι το δίκτυο μπορεί να διαχειρίζεται έναν αυθαίρετο αριθμό καναλιών. Το βασικό όμως πρόβλημα που καλούνται να αντιμετωπίσουν είναι η σχετικά φτωχή απόδοση λόγω των συγκρούσεων εκπομπής (transmission collisions). Γι' αυτό το λόγο τα πρωτόκολλα αυτά υιοθετούν και μηχανισμούς βασισμένους στα πρωτόκολλα ALOHA ή slotted-ALOHA ή CSMA/CD (Πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φορτίου και ανίχνευσης σύγκρουσης).

Ωστόσο, τα πρωτόκολλα αυτά αν και έχουν πετύχει να κυριαρχήσουν σε συμβατικά LAN (όπως του Ethernet π.χ. CSMA/CD) δεν φαίνεται ότι θα επαναλάβουν την επιτυχία αυτή και στα οπτικά δίκτυα. Η αποτελεσματικότητα του τού πρωτοκόλλου CSMA/CD στηρίζεται στη μεγάλη τιμή του λόγου του χρόνου εκπομπής ενός πακέτου (transmission time) και του χρόνου διάδοσης (propagation delay) όπου έχουμε μεγάλα πακέτα έως και 1500 bytes και χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 10 Mbit/s. Στα οπτικά δίκτυα όμως η κατάσταση είναι διαφορετική με αποτέλεσμα ακόμη και σε μέτρια φορτία κυκλοφορίας να γίνονται αρκετές συγκρούσεις που οδηγούν το σύστημα σε κορεσμό.

II. Πρωτόκολλα ανάθεσης σχισμής με καθορισμό

Τα πρωτόκολλα αυτά αναθέτουν σχισμή (slot) σε κάποιο κόμβο θεωρώντας ότι η κυκλοφορία είναι γνωστή και σταθερή. Αυτό έχει σαν συνέπεια τα παρακάτω:

- Δεν υπάρχουν συγκρούσεις πακέτων.
- Οι τεχνικές αυτές δεν επηρεάζονται από την καθυστέρηση διάδοσης (propagation delay).
- Στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτούνται συστατικά δικτύου που είναι σταθερά συντονισμένα σε συγκεκριμένα μήκη και συνεπώς οι απαιτήσεις υλοποίησης είναι χαμηλές.

III. Πρωτόκολλα εντοπισμού καναλιού πριν από την εκπομπή

Τα πρωτόκολλα αυτά διαφέρουν από τα προηγούμενα στο ότι βασίζονται στη διασπορά της πληροφορίας της κατάστασης του δικτύου προκειμένου να γίνει επιλογή καναλιού. Τα πρωτόκολλα αυτά διαφέρουν μεταξύ τους στον τρόπο που μεταδίδεται η πληροφορία αυτή, στον τρόπο που συλλέγεται, και στον τρόπο που χρησιμοποιείται.

2.9 Δίκτυα Ευρείας και Μητροπολιτικής Ζώνης

Πέρα από αυτού του τύπου τις ζεύξεις η τεχνολογία WDM επεκτείνεται σε δίκτυα Ευρείας (WAN), Μητροπολιτικής (MAN) και Τοπικής Ζώνης (LAN) όπου όλα βασίζονται, τουλάχιστον σε πρώτη φάση, σε δρομολόγηση μήκους κύματος.

Τα WAN παραδοσιακά καλύπτουν περιοχές ευρείας κλίμακας, συνήθως σε εθνικό επίπεδο, και αφορούν είτε τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, είτε δίκτυα δεδομένων. Τα δίκτυα αυτά συνήθως είναι σε τοπολογίες μερικώς διασυνδεδεμένες (mesh networks).

Οι κόμβοι που αποτελούν τα δίκτυα αυτά διασυνδέονται είτε με εικονικά κυκλώματα, είτε με μεταγωγή πακέτου υιοθετώντας κάποια από τα γνωστά πρωτόκολλα μεταγωγής πακέτου όπως IP, ATM κτλ.

Η τεχνολογία WDM συνέβαλε καθοριστικά στην μετατροπή αυτών των ζεύξεων σε υψηλής χωρητικότητας. Ωστόσο η τεχνολογία αυτή αναμένεται να προσδώσει και κάποιου είδους ευφυΐα στο φυσικό στρώμα του δικτύου αφού πραγματοποιείται μεταγωγή μήκους κύματος σε αμιγώς οπτικό επίπεδο. Μια άλλη προσέγγιση ακολουθεί τη λογική της τοπολογίας πολλών διασυνδεδεμένων δακτυλιδιών (interconnected rings).

Τα δίκτυα Μητροπολιτικής Ζώνης διασυνδέουν κόμβους σε μια περιοχή περιορισμένη στη γεωγραφική έκταση μιας μεγάλης πόλης. Στα δίκτυα αυτά συνήθως ακολουθείται η αρχιτεκτονική δακτυλιδιού με πολυπλεξία CWDM. Επιπρόσθετα, δύο οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται (η μια από αυτές σε περιπτώσεις εφεδρική).

Αυτά τα δίκτυα ως πρόσφατα χρησιμοποιούσαν ηλεκτρονική επεξεργασία του οπτικού σήματος αν και έχει δειχθεί με ιδιαίτερα ικανοποιητικά αποτελέσματα ένα αμιγώς οπτικό μητροπολιτικό δίκτυο, το MONET.

Τα κανάλια του δικτύου αυτού απέχουν μεταξύ τους 200 GHz στην περιοχή των 1550 nm και μπορεί να υποστηρίξει διάφορα πρωτόκολλα ανωτέρου επιπέδου (ATM, SDH).

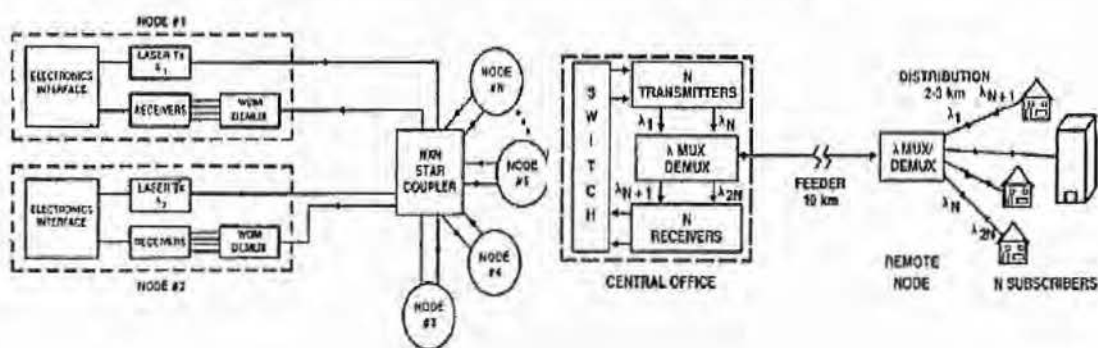
Όλα τα ερευνητικά προγράμματα που προσανατολίζονται σε φωτονικά δίκτυα μεσαίας και ευρείας ζώνης έχουν σαν απώτερο σκοπό την αμιγώς οπτική επεξεργασία του σήματος απαλλάσσοντας έτσι το δίκτυο ολοένα και περισσότερο από τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό.

2.10 Δίκτυα Πολλαπλής Πρόσβασης

Τα δίκτυα πολλαπλής πρόσβασης παρέχουν στους χρήστες τους την ικανότητα αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ δύο οποιωνδήποτε ή και περισσότερων χρηστών που ανήκουν στο δίκτυο αυτό. Σε πολλές περιπτώσεις ακόμη η πρόσβαση στο δίκτυο ενός παρόχου γίνεται μέσω ηλεκτρονικού εξοπλισμού όπως για παράδειγμα στον ενσύρματο τοπικό βρόχο που συνδέει τον οικιακό χρήστη με το δίκτυο του παρόχου ή σε τοπικά δίκτυα (LAN) όπως για παράδειγμα το Ethernet. Λόγω της χρήσης ηλεκτρονικού εξοπλισμού η ταχύτητες πρόσβασης δεν μπορούν να ξεπεράσουν τα ανώτατα όρια που είναι της τάξης των μερικών Gbps. Η πολλαπλή πρόσβαση μέσω WDM δίνει τη δυνατότητα για δρομολόγηση μήκους κύματος και διαμοιρασμό των καναλιών στους χρήστες του δικτύου. Οι πλέον συνηθισμένες τοπολογίες δεν διαφέρουν σημαντικά από ότι σε άλλες περιπτώσεις και έτσι μπορούμε να έχουμε ένα δαχτυλίδι WDM, ένα μερικώς διασυνδεδεμένο δίκτυο ή τέλος μια τοπολογία αστέρα .

Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων δικτύων είναι το Lambda-net αλλά και ο Παθητικός Οπτικός Τοπικός Βρόχος (passive optical loop) .

Σχήμα 9: Αρχιτεκτονικές Lambda-net και Παθητικού Οπτικού Τοπικού βρόχου



Στην πρώτη περίπτωση έχουμε αρχιτεκτονική μετάδοσης και επιλογής (broadcast – and – select) ενώ στη δεύτερη αρχιτεκτονική Παθητικού Οπτικού Δικτύου (Passive Optical Network).

Η έρευνα πάνω στις φωτονικές τεχνολογίες πρόσβασης είναι διαρκώς εξελισσόμενη και γίνεται μεγάλη προσπάθεια για μείωση του κόστους της προσαρμογής των δικτύων πρόσβασης στη σύγχρονη φωτονική προοπτική. Ο απώτερος σκοπός είναι η ικανότητα του δικτύου πρόσβασης να μεταφέρει κάθε τύπο δεδομένων στον οικιακό χρήστη όπως τηλέφωνο, βίντεο και δεδομένα με χαμηλό κόστος σε υψηλές ταχύτητες. Ιδιαίτερα η μείωση του κόστους του εξοπλισμού θα είναι καθοριστικής σημασίας για τους παρόχους που θέλουν να αντικαταστήσουν τον παραδοσιακό εξοπλισμό του τηλεφωνικού δικτύου με οπτικό εξοπλισμό. Οι οπτικές πολυκυματικές πηγές με χαμηλό κόστος κατασκευής θα αποτελέσουν θεμελιώδες στοιχείο στην έλευση αυτής της νέας πραγματικότητας που ωστόσο κανείς δεν μπορεί να αμφισβητήσει ότι η απαιτήσεις για σημαντικές επενδύσεις από τη μεριά των παρόχων την κάνουν προς το παρόν εμπορικά ασύμφορη.

2.11 Αναφορικές ζεύξεις που χρησιμοποιούν wdm

Η χρήση οπτικών ενισχυτών ίνας Ερβίου (EDFAs) επιβάλλει τη λειτουργία των ζεύξεων WDM στο οπτικό παράθυρο των 1550 nm. Από την άλλη πλευρά, η χρήση οπτικών ενισχυτών γραμμής είναι

καθοριστική, τόσο για τη βελτίωση των επιδόσεων μια ζεύξης WDM, όσο και για τη μείωση του κόστους της. Ο λόγος είναι ότι αρκεί ένας μόνον οπτικός ενισχυτής για την ενίσχυση του σύνθετου σήματος ενώ, αν χρησιμοποιούνται ηλεκτροοπτικοί αναγεννητές θα χρειαζόταν ξεχωριστός αναγεννητής για κάθε περιπλεγμένο σήμα.

Πρέπει πάντως να αναφερθεί ότι, λόγω της δημιουργίας θορύβου από τους οπτικούς ενισχυτές, επιβάλλεται η ηλεκτροπτική αναγέννηση του περιπλεγμένου σήματος σε τακτές αποστάσεις της τάξης των 600 km.

-Στις ζεύξεις WDM, κάθε κανάλι (λν) χρησιμοποιείται για τη μετάδοση ενός ψηφιακού σήματος είτε PDH είτε συνήθως SDH. Τα σήματα SDH είναι συνήθως τάξης STM-16 (2,5 Gbit/s) και σπανιότερα λόγω αυξημένης διασποράς STM-64 (10 Gbit/s).

Ο αριθμός των πολυπραγμών σημάτων είναι συνήθως 8, 16, 32 ή 64. Σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνικής WDM είναι η διαφάνεια της ως προς τον τύπο και την τάξη των πολυπλεγμένων σημάτων. -Ο ρόλος των αναμεταδοτών (T1, T2,..., TN) είναι η δημιουργία οπτικών σημάτων συμβατών με την τεχνική WDM.

Τα οπτικά σήματα που λαμβάνονται από τους αναμεταδότες και μεταφέρουν τα ψηφιακά σήματα πληροφορίας προέρχονται από άλλα συνοπτικά δίκτυα και δεν ικανοποιούν κατ' ανάγκη τις απαιτήσεις των συστημάτων WDM.

Έτσι ο κάθε αναμεταδότης λαμβάνει ένα οπτικό σήμα, εξάγει μέσω ηλεκτροπτικής αναδιαμόρφωσης το αντίστοιχο ψηφιακό σήμα πληροφορίας και με αυτό διαμορφώνει ένα laser τα χαρακτηριστικά του οποίου είναι προκαθορισμένα και συμβατά με τις απαιτήσεις της τεχνικής WDM. Σημειωτέον ότι η χρήση αναμεταδοτών μπορεί να αποφευχθεί όταν έχει ληφθεί πρόνοια τα προς πολυπλεξία οπτικά σήματα να είναι συμβατά με την προς ανάπτυξη ζεύξη WDM.

Η ευελιξία μια ζεύξης WDM μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη, σε ένα ή περισσότερα ενδιάμεσα σημεία της ζεύξης, οπτικών πολυπλεξιών προσθαφαίρεσης (Optical Add-Drop Multiplexers- OADMs) οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να εξάγουν (drop) και να εισάγουν (add) οπτικά κανάλια χωρίς την ανάγκη εξαγωγής των ψηφιακών σημάτων πληροφορίας που μεταφέρονται μέσα από αυτά.

Με τον τρόπο αυτόν, ένα ή περισσότερα πολυπράγμονα σήματα μπορεί να διοχετευθούν και προς άλλους κόμβους του τηλεπικοινωνιακού

2.12 Τα βασικά δομοστοιχεία μίας ζεύξης WDM

2.12.1 Οι αναμεταδότες

Δομή και λειτουργία:

Ο ρόλος των αναμεταδοτών είναι η προσαρμογή των προς πολυπλεξία οπτικών σημάτων(που προέρχονται από άλλα τμήματα του ινοοπτικού τηλεπικοινωνιακού δικτύου) στις απαιτήσεις της τεχνικής WDM.

Στην είσοδο κάθε αναμεταδότη λαμβάνεται ένα συγκεκριμένο οπτικό σήμα(μήκους λ_0 στην περιοχή είτε των 1310 είτε των 1550nm) το οποίο μεταφέρει ένα ψηφιακό σήμα πληροφορίας (πχ ένα σήμα STM-16) Ο αναμεταδότης χρησιμοποιώντας οπτικο αποδιαμορφωτή(φωτοδίοδο) εξάγει το (ηλεκτρικό) σήμα πληροφορίας με το οποίο στη συνέχεια, διαμορφώνει την οπτική έξοδο ενός laser ημιαγωγού. Το laser αυτό είναι υψηλών επιδόσεων(συνήθως τύπου κατανεμημένης ανάδρασης Distributed FeedBack- DFB) και κατασκευασμένο έτσι ώστε να εκπέμπει σε μία από τις προκαθορισμένες περιοχές μήκους κύματος. Με τον τρόπο αυτό από τους διαθέσιμους αναμεταδότες δημιουργούνται ισάριθμα οπτικά κανάλια, κάθε ένα από τα οποία χρησιμοποιείται για τη μεταδοσή ενός ψηφιακού σήματος πληροφορίας . Στις εξόδους των αναμεταδοτών μπορούν να τοποθετηθούν εξασθενητές για την

προσαρμογή τις οπτικής ισχύος στις απαιτήσεις του πολυπλέκτη και των οπτικών ενισχυτών που ακολουθούν.

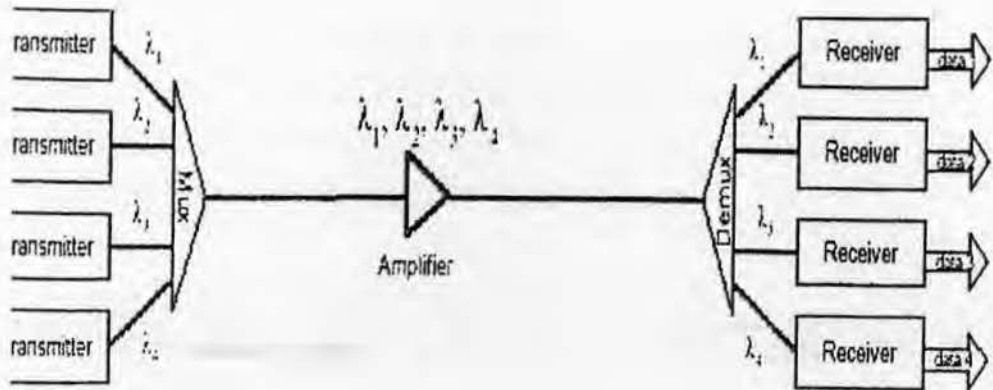
2.12.2 Διατάξεις δικτύων WDM

Η εφαρμογή των καινοτομιών που εισάγει η ολοένα και μεγαλύτερη διεξόδωση της αμιγώς οπτικής τεχνολογίας δεν θα μπορούσε να είναι πραγματικότητα χωρίς την πολυετή έρευνα που έχει γίνει και συνεχίζεται αδιάκοπα στον τομέα των οπτικών διατάξεων. Η οπτική τεχνολογία παρέχει πολλή γνώση για τη λειτουργία διαφόρων θεμελιωδών οπτικών στοιχείων που δομούνται ιεραρχικά και σχηματίζουν αμιγώς οπτικές διατάξεις.

Εξοπλισμός της τεχνολογίας WDM

Τα βασικά στοιχεία της WDM τεχνολογίας, είναι τα παρακάτω:

- Οπτικές ίνες, στην πλευρά της σύνδεσης, που εμφανίζουν χαμηλές απώλειες και υψηλή απόδοση στον αντίστοιχο φάσμα μηκών κύματος.
- Συσκευές ακτινών laser, στην πλευρά της μετάδοσης, όπως τις περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.
- Οπτικοί ενισχυτές (optical amplifiers) για την ενίσχυση του σήματος και τη μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις.
- Συσκευές φωτοανίχνευσης (photo detectors), στην πλευρά του δέκτη.
- Οπτικοί πολυπλέκτες ελεγχόμενης πολύπλεξης (add/drop optical multiplexers)
- Οπτικοί αποπολυπλέκτες (optical demultiplexers).
- Οπτικά στοιχεία διασύνδεσης (optical cross-connect components).



2.12.3. Οπτικές ίνες και WDM

Βασικό και περισσότερο δομικό στοιχείο των συστημάτων WDM είναι οι κοινές μονορυθμικές οπτικές ίνες. Οι περισσότερες ίνες που είναι εγκατεστημένες υπάρχουν εδώ και πολλά χρόνια ήδη από τον πρώτο καιρό της χρήσης των οπτικών ινών. Οι ίνες γενικά έχουν την ικανότητα κυματοδότησης ενός οπτικού σήματος μεγάλου εύρους ζώνης με χαμηλή εξασθένιση, υψηλό SNR και εξαιρετική ανοχή σε παρεμβολές. Η λειτουργία των οπτικών ινών είναι γνωστή εδώ και πολλά χρόνια και έχει αναλυθεί εκτενώς.) Οστόσο η έρευνα γύρω από αυτές έχει δείξει νέους τύπους οπτικών ινών (Photonic Crystal Fibers) που μπορούν να αποτελέσουν τόσο δομικό στοιχείο μετάδοσης των μελλοντικών δικτύων όσο και στοιχείο διατάξεων εξειδικευμένων εφαρμογών (π.χ. σε περιπτώσεις που απαιτείται μεγάλη διασπορά).

2.12.4. Οπτικοί Ενισχυτές

Αμιγώς οπτικοί ενισχυτές

Είναι γεγονός ότι η μετάδοση πολλών καναλιών μήκους κύματος μέσα από μια οπτική ίνα δεν θα μπορούσε να είναι εφικτή χωρίς την παρουσία σε μια ζεύξη μετάδοσης των αμιγώς οπτικών ενισχυτών. Οι τρεις σημαντικότεροι τύποι ενισχυτών είναι οι εξής:

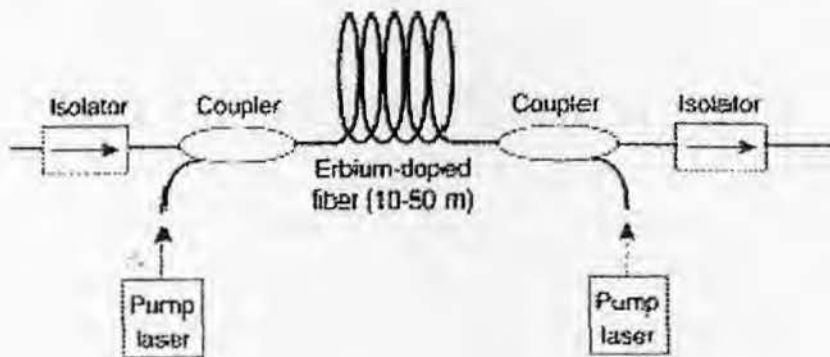
1. Οπτικοί Ενισχυτές Ημιαγωγού (SOA)
2. Ενισχυτές Ίνας Ερβίου (EDFA)
3. Ενισχυτές Raman

Η παρουσία συσκευών οπτικής ενίσχυσης καθίσταται απαραίτητη λόγω της εξασθένησης του οπτικού σήματος κατά τη μεταφορά του μέσα από την ίνα. Το σημαντικό όφελος που προκύπτει από τη χρήση αυτών των συσκευών είναι η δυνατότητα ταυτόχρονης ενίσχυσης όλων των μηκών κύματος, δίχως να είναι απαραίτητη η πρότερη μετατροπή των οπτικών σημάτων σε ηλεκτρικά (OEO conversion). Επιπρόσθετα της χρήσης των συσκευών αυτών στις οπτικές συνδέσεις, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και για την ενίσχυση της ισχύος του σήματος μετά από διαδικασίες πολύπλεξης/αποπολύπλεξης, οι οποίες προκαλούν απώλειες στο σύστημα. Ειδικά για την περίπτωση της τεχνολογίας WDM η οποία επιβάλλει την εκπομπή υψηλών φορτίων και σε υψηλές αποστάσεις,

1. Οι Οπτικοί Ενισχυτές Ημιαγωγού (SOA) είναι από τους πρώτους τύπους οπτικών ενισχυτών που χρησιμοποιήθηκαν και η αρχή λειτουργίας τους προέρχεται από τα Laser.

Ο ιδανικός τύπος οπτικού ενισχυτή είναι ο Οπτικός Ενισχυτής Σταθεροποιημένου Ερβίου (Erbium-Doped Fiber Amplifier-EDFA).

Η βασική αρχή σχεδίασης ενός EDFA ενισχυτή παρατίθεται στο ακόλουθο σχήμα:



2. Οι ενισχυτές «Erbium-doped fiber Amplifiers» (EDFA) λειτουργούν ως εξής: το εξασθετισμένο οπτικό σήμα εισόδου διεγείρει τα ιονισμένα άτομα ερβίου που βρίσκονται στην έξοδο της οπτικής ίνας τα οποία με την σειρά τους εκπέμπουν οπτικό σήμα στο ίδιο μήκος κύματος με την ακτινοβολία που τα διεγείρει. Το στοιχείο έρβιο (Er68) ενισχύει λοιπόν κάθε μήκος κύματος και καθιστά τη μετατροπή του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό μη αναγκαία.

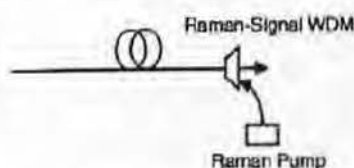
Οι Ενισχυτές Ίνας Ερβίου (EDFA), που είναι και οι πλέον δημοφιλείς, είναι μέρος της γενικότερης κατηγορίας ενισχυτών που βασίζουν τη λειτουργία τους στις λεγόμενες Σπάνιες Γαίες . Σε αυτούς τους ενισχυτές ακτινοβολία σε μήκη κύματος 980 ή 1480 nm χρησιμοποιείται για την διέγερση των ιόντων Ερβίου αν και η απορρόφηση είναι καλύτερη στα 980 nm. Διεγείροντας τα ιόντα Ερβίου αυτά αποδιεγείρονται στην περιοχή των 1550 nm, που είναι και η πλέον σημαντική για τις οπτικές

επικοινωνίες, παρέχοντας έτσι ενισχυμένο το σήμα εισάγεται σε αυτούς.

Επειδή αυτή η τεχνική διατηρεί το μήκος κύματος του σήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση σημάτων διαφορετικών μηκών κύματος που ταξιδεύουν για την ενίσχυση σημάτων διαφορετικών μηκών κύματος που ταξιδεύουν παράλληλα στην ίδια οπτική ίνα. Έτσι, αλυσίδες τέτοιων οπτικών ενισχυτών μπορούν να συνδυαστούν για τη διάδοση του οπτικού σήματος μέσω μιας οπτικής ίνας για χιλιάδες χιλιόμετρα.

Επιπλέον, έχει διαπιστωθεί ότι οι οπτικοί ενισχυτές δουλεύουν ικανοποιητικά στο κομμάτι εκείνο του φάσματος στο οποίο λειτουργούν τα συστήματα οπτικών ινών, οι οπτικοί ενισχυτές είναι συσκευές ανεξάρτητες πρωτοκόλλου και Bit Rate του οπτικού σήματος, γεγονός που επιτρέπει το συνδυασμό διαφορετικών πρωτοκόλλων (ATM, SONET, Gigabit Ethernet κτλ.) σε οποιοδήποτε Bit Rate. Οι οπτικοί ενισχυτές έκαναν το WDM οικονομικά εφικτό.

3. Τέλος, οι ενισχυτές Raman είναι μια άλλη κατηγορία αμιγώς οπτικών ενισχυτών. Η λειτουργία των ενισχυτών αυτών βασίζεται στο φαινόμενο της διεγερμένης σκέδασης Raman που εμφανίζεται στις οπτικές ίνες πυριτίου.



Εικόνα 10: Σχηματική αναπαράσταση Ενισχυτή Raman

Η σχεδίαση Raman είναι ένα φαινόμενο κατά το οποίο ένα υψηλής ενέργειας φωτόνιο αλληλεπιδρά με τα μόρια του διηλεκτρικού με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός δευτέρου φωτονίου χαμηλότερης ενέργειας και ενός άλλου κύματος γνωστού ως φωνόνιο, που στην περίπτωση της σκέδασης Raman έχουμε οπτικά φωνόνια που υπολογίζονται έτσι ώστε να διατηρείται η ενέργεια και η ορμή. Αν η ισχύς άντλησης είναι κατάλληλη λόγω των μηχανισμών σκέδασης ένα μεγάλο μέρος της ισχύος μεταφέρεται από το μήκος κύματος άντλησης στο επιθυμητό μήκος κύματος που θέλουμε να ενισχύσουμε. Για να παρουσιάζουν οι απώλειες εκθετική αύξηση θα πρέπει να ισχύει ότι:

$$P_{th} \approx 16 \frac{A_{eff}}{g_R L_{eff}}$$

όπου P_{th} είναι το κατώφλι ισχύος, A_{eff} είναι η ενεργός διατομή της ίνας, g_R η σταθερά κέρδους της SRS και L_{eff} το ενεργό μήκος διάδοσης. Έτσι έχουμε μεταφορά ισχύος από τη μήκος άντλησης στο επιθυμητό. Το συγκριτικό πλεονέκτημα που παρουσιάζουν οι ενισχυτές Raman σε σχέση με τους EDFA έγκειται στο ότι έχουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης λειτουργίας από αυτούς που μπορεί να φτάσει τα 70 nm και επιπλέον μπορούν να συντονιστούν σε μεγαλύτερο εύρος μηκών κύματος.

Επιπλέον οι ενισχυτές Raman εμφανίζουν υψηλότερη ισχύ εξόδου και έχουν καλύτερο συντελεστή θορύβου (noise figure) . Ανάλογα με την εφαρμογή και το αναμενόμενο κόστος η επιλογή των κατάλληλων ενισχυτών είναι σημαντική. Ιδιαίτερα σε συστήματα μεγάλης απόστασης (long-haul applications) ο συνδυασμός των δύο αυτών τύπων ενισχυτών είναι η πλέον συνηθισμένη πρακτική.

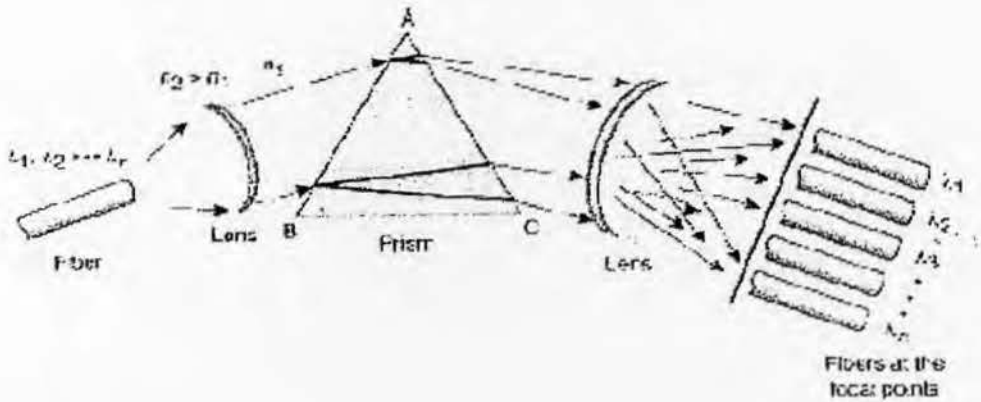
2.12.5. Συσσκευές φωτοανίχνευσης

Οι συσκευές φωτοανίχνευσης είναι διαθέσιμες σε δύο γενικούς τύπους, τις θετικές-εσωτερικές-αρνητικές φωτοδιόδους (PIN photodiodes) και τις φωτοδιόδους χιονοστιβάδας (APD photodiodes). Ο πρώτος τύπος, βασίζεται στην αντίστροφη αρχή λειτουργίας των LEDs, μετατρέποντας τα φωτεινά σήματα σε ηλεκτρόνια μέσω μιας σχέσης 1:1. Ο δεύτερος τύπος διαφέρει από τον προηγούμενο στο γεγονός ότι παρέχει επιπλέον και τη διεργασία της ενίσχυσης, μέσω της μετατροπής ενός φωτονίου σε πολλά ηλεκτρόνια. Τα κύρια πλεονεκτήματα των PIN φωτοδίοδων περιλαμβάνουν το χαμηλό κόστος και την αξιοπιστία, ενώ οι APD φωτοδιόδοι έχουν υψηλότερη ακρίβεια και ευαισθησία.

2.12.6 Οπτικοί πολυπλέκτες / αποπολυπλέκτες

Οπτικός πολυπλέκτης είναι η συσκευή εκείνη που αναλαμβάνει να συνδυάσει τα διαφορετικά σήματα, το καθένα με διαφορετικό μήκος κύματος στην ίδια οπτική ίνα, και αντίστοιχα ο αποπλέκτης ξεχωρίζει τα πολυπλεγμένα σήματα σε διαφορετικές ροές και τα οδηγεί στους οπτικούς δέκτες. Συνήθως οι παραπάνω λειτουργίες συνδυάζονται σε μία συσκευή. Για αυτές τις λειτουργίες χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες, μεταξύ των οποίων διηλεκτρικά φίλτρα λεπτού φιλμ (thin-film dielectric filters) και οπτικά φράγματα περιθλάσεως (optical gratings). Πολλές συσκευές πολύπλεξης-απόπλεξης λειτουργούν χωρίς ηλεκτρική παροχή, δηλαδή είναι εντελώς παθητικά

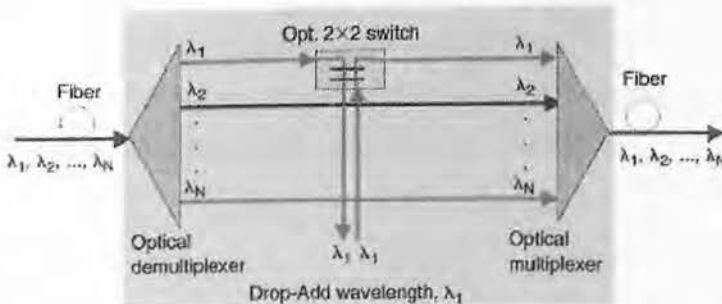
στοιχεία και συμπεριφέρονται σαν πρίσματα υψηλής ακρίβειας, που συνδυάζουν και διαχωρίζουν τα χρώματα του οπτικού σήματος. Όπως και τα πρίσματα, τα περισσότερα παθητικά στοιχεία λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο και όταν αντιστραφεί η φορά του φωτός.



2.12.7 Οπτικοί πολυπλέκτες προσθήκης/ αφαίρεσης

Ένα από τα πλέον σημαντικά στοιχεία που επέτρεψαν την τεχνολογία DWDM είναι οι Οπτικοί Πολυπλέκτες Προσθήκης/Αφαίρεσης (Optical Add – Drop Multiplexers).

Οι OADMs είναι διατάξεις που κατά τη διέλευση ενός πολυπλεγμένου σήματος μέσα από αυτούς, έχουν την ικανότητα να προσθέτουν ή να αφαιρούν ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος και να γράφουν/διαβάζουν τη ροή των bits που πρέπει αυτό να μεταφέρει.



Εικόνα 11 : Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας OADM

Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται σε σημεία της ζεύξης που είναι απαραίτητος ο τερματισμός ορισμένων συνδέσεων μήκους κύματος και κατά κύριο λόγο σε μεσαίας και ευρείας κλίμακας δίκτυα. Βασικό δομικό στοιχείο της διάταξης αυτής είναι ο αμιγώς οπτικός διακόπτης 2x2, που μπορεί να ελέγχεται δυναμικά ή όχι .

Ο ρόλος του διακόπτη αυτού είναι να αφαιρεί ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος και να «γράφει» πάνω σε αυτό μια άλλη ροή πληροφορίας.

2.12.8 Οπτικά φίλτρα

Η χρησιμότητα των οπτικών φίλτρων – συμβολόμετρων είναι τεράστια στην σύγχρονη οπτική τεχνολογία λειτουργώντας είτε σαν φίλτρα, είτε σαν δομικά στοιχεία για την υλοποίηση κυκλωμάτων αμιγούς οπτικής λογικής, ειδικά για Αμιγώς Οπτική Μεταγωγή (all optical switching). Τα στοιχεία αυτά μπορούν να είναι συντονιζόμενα σε κάποιες συχνότητες.

Μερικά από αυτά παρουσιάζονται σύντομα παρακάτω:

Συμβολόμετρο Fabry – Perot

Το Συμβολόμετρο Fabry–Perot είναι από τα πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενα συντονιζόμενα οπτικά φίλτρα, όπως και τα Συμβολόμετρα Mach–Zehnder, και αποτελείται από μια κοιλότητα στα άκρα της οποίας βρίσκονται δύο ανακλαστικές επιφάνειες. Οι ιδιότητες των επιφανειών αυτών μπορούν να καθοριστούν από την ανακλαστικότητα των επιφανειών αυτών η οποία ορίζεται ως R και τις απώλειες A. Η συνάρτηση μεταφοράς του συμβολόμετρου Fabry– Perot δίνεται παρακάτω:

$$T(f) = \left(1 - \frac{A}{1-R}\right)^2 \left[1 + \left(\frac{2\sqrt{R}}{1-R} \sin \frac{4\pi f \tau}{2}\right)^2\right]^{-1}$$

Βασικά χαρακτηριστικά των στοιχείων αυτών είναι η Ελεύθερη Φασματική Περιοχή (Free Spectral Range) και το Εύρος Ημίσειας Ισχύος (Full Width at Half Maximum) που ορίζονται ως εξής:

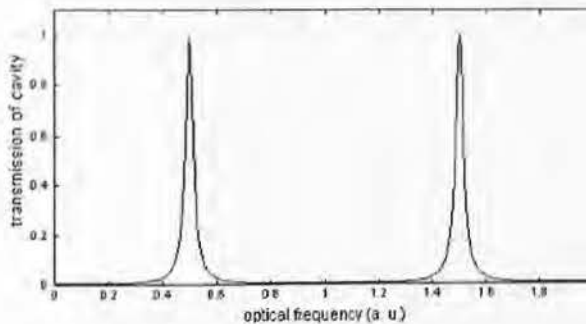
$$FSR = \frac{1}{2\tau} = \frac{c}{2nL}$$

$$FWHM = \frac{c}{2nL} \frac{1-R}{\pi\sqrt{R}}$$

Από τις δύο παραμέτρους αυτές προκύπτει και η Λεπτότητα του φίλτρου(Finesse):

$$F = \frac{FSR}{FWHM} = \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R}$$

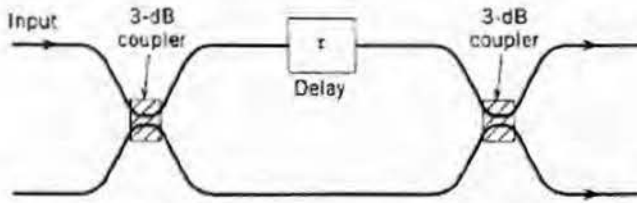
Η συνάρτηση μεταφοράς (συνάρτηση του Airy) για διάφορες τιμές του R και αντίστοιχα του F φαίνεται παρακάτω:



Συνάρτηση μεταφοράς του συμβολόμετρου Fabry–Perot για διάφορες τιμές του R

Συμβολόμετρο Mach–Zehnde

Μια άλλη διάταξη που έχει χρησιμοποιηθεί είναι το Συμβολόμετρο Mach–Zehnder. Η συγκεκριμένη διάταξη μπορεί να κατασκευαστεί πολύ εύκολα με δύο συζεύκτες 3- dB σε σειρά και την παρεμβολή μιας γραμμής καθυστέρησης στον ένα βραχίονα της διάταξης όπως φαίνεται και στο σχήμα παρακάτω:



Εικόνα 12: Σχηματική αναπαράσταση του συμβολόμετρου Mach-Zehnder

Η καθυστέρηση που υπόκειται το οπτικό σήμα στον πάνω βραχίονα οδηγεί σε διαφορετική ολίσθηση φάσης των σημάτων στον κάθε βραχίονα.

Η συνάρτηση μεταφοράς δίνεται από τη σχέση:

$$T(f) = |H(f)|^2 = \cos^2(\pi f \tau)$$

όπου τ είναι η σχετική χρονική καθυστέρηση που υπόκειται το σήμα. Μια αλυσίδα τέτοιων συμβολόμετρων μπορεί να λειτουργήσει σαν συντονιζόμενο οπτικό φίλτρο με συνάρτηση μεταφοράς:

$$T(f) = |H(f)|^2 = \prod_{m=1}^M \cos^2(\pi f \tau_m)$$

όπου τ_m είναι η καθυστέρηση του m – οστού συμβολόμετρου. Επιπλέον τα συμβολόμετρα Mach-Zehnder, όπως επίσης και τα Fabry-Pérot, έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές όπως για ανάκτηση ρολογιού, κατασκευή πολυκυματικών πηγών, αλλά και υλοποίηση αμιγώς οπτικής λογικής.

Οπτικά φίλτρα τύπου Bragg (Φράγματος Μεταγωγής)

Τα φίλτρα αυτού του τύπου βασίζονται στην φωτοεπαγόμενη μεταβολή του δείκτη διάθλασης με τη βοήθεια προσμίξεων Ge. Τα φράγματα αυτά ανακλούν πίσω στην πηγή όλα τα ανεπιθύμητα μήκη κύματος ή ένα συγκεκριμένο επιτρέποντας την διέλευση όλων των άλλων. Χαρακτηριστικά των φίλτρων αυτών είναι η ανακλαστικότητα και το εύρος ζώνης και έχουν ιδιαίτερη εφαρμογή σε δίκτυα DWDM στην πολυπλεξία και αποπολυπλεξία των διαφόρων μηκών κύματος.

2.13 Παθητικός συζεύκτης αστέρα

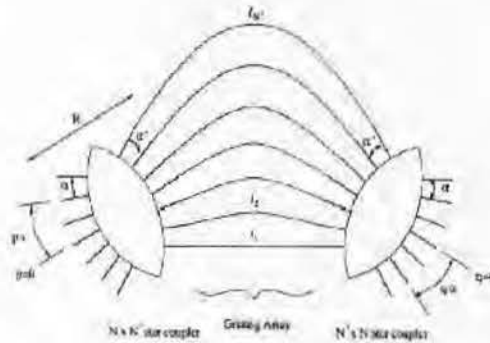
Σε δίκτυα κοινοποίησης και επιλογής (broadcast and select) το δομικό στοιχείο είναι ο Παθητικός Συζεύκτης Αστέρα (Passive Star Coupler). Η διάταξη αυτή αποτελείται συνήθως από έναν αριθμό θυρών εισόδου M και εξόδου N που σε πολλές περιπτώσεις ταυτίζονται και έχει την ικανότητα να μεταδίδει τα σήμα από κάθε θύρα εισόδου σε κάθε θύρα εξόδου διαιρώντας την ισχύ εισόδου κατά ίσα τμήματα:

$$P_{out} = \frac{P_{in}}{N}$$

Ο Παθητικός Συζεύκτης Αστέρα βρίσκει πολλές εφαρμογές σε δίκτυα μετάδοσης, όπως για παράδειγμα σε δίκτυα ψηφιακής καλωδιακής τηλεόρασης, σε εφαρμογές LAN και γενικά σε Παθητικά Οπτικά δίκτυα μικρής εμβέλειας.

2.14 Δρομολογητές μήκους κύματος

Μια άλλη διάταξη που είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε δίκτυα Πολυπλεξίας Διάρθρωσης Μήκους Κύματος είναι οι δρομολογητές Μήκους Κύματος (Wavelength Routers).



Εικόνα13 : Δρομολογητές Μήκους Κύματος

Οι διατάξεις αυτές παρά το ότι είναι στατικές μπορούν να είναι ιδιαίτερα χρήσιμες ως αποπολυπλέκτες μηκών κύματος. Συγκεκριμένα, τα οπτικά σήματα που εισέρχονται στις N εισόδους της διάταξης αποπολυπλέκονται σε ανεξάρτητα κανάλια και κατευθύνονται στις N θύρες εξόδου.

2.15 Μετατροπείς μήκους κύματος

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

Ετεροδιαμόρφωση Φάσης (Cross – Phase Modulation), ιδιαίτερα σε Ημιαγωγικούς Οπτικούς Ενισχυτές.

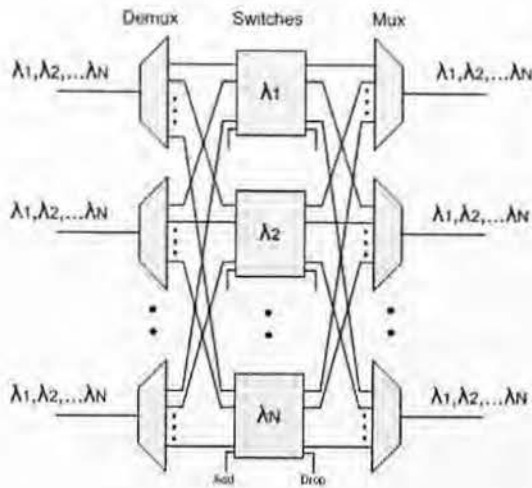


Εικόνα14 :Γενική αρχή λειτουργίας Μετατροπέα Μήκους Κύματος

Σε πολλές περιπτώσεις το μη – γραμμικό στοιχείο αυτό είναι ένας ενισχυτής ημιαγωγού (SOA) ή ακόμη και ένα συμβολόμετρο Mach –Zehnder με SOA σε κάθε βραχίονα του. Σε κάθε περίπτωση το μήκος κύματος του σήματος εξόδου είναι συνάρτηση των σημάτων εισόδου και προκύπτει ως μη – γραμμικό παράγωγο αυτών των δύο.

2.16 Οπτικά στοιχεία διασύνδεσης

Βασικό στοιχείο σε μεγάλης κλίμακας Οπτικά Δίκτυα WDM είναι τα Οπτικά Στοιχεία διασύνδεσης (Optical Cross Connects). Τα OXCs αποτελούν τα βασικό στοιχείο που επιτελεί δρομολόγηση μήκους κύματος σε ένα αμιγώς Οπτικό δίκτυο WDM και μπορεί να υλοποιηθεί με διάφορες τεχνολογίες. Το θεμελιώδες δομικό στοιχείο από το οποίο αποτελείται ένα OXC είναι ο 2x2 διακόπτης ο οποίος μπορεί να είναι είτε μικρο – ηλεκτρομηχανικός (MEMS), είτε θερμο – οπτικός, είτε ηλεκτρο – οπτικός, είτε ακόμη και αμιγώς οπτικός. Για την τεχνολογία των αμιγώς οπτικών διακοπών 2x2 πιθανές υλοποιήσεις είναι με συμβολόμετρα Mach – Zehnder ή με SOA.



Εικόνα 15: Αναπαράσταση Οπτικού Στοιχείου διασύνδεσης (ΟΧΣ)

Στοιχεία διασύνδεσης

Οι οπτικές ίνες μπορούν να συνδεθούν με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Ένας τρόπος είναι να τερματίζονται σε ακροδέκτες (connectors) και να βυσματώνονται σε πρίζες ινών. Οι ακροδέκτες χάνουν περίπου 10-20% του φωτός αλλά διευκολύνουν την αναδιάταξη των συστημάτων. Ένας δεύτερος τρόπος είναι η μηχανική ένωση. Οι μηχανικές ενώσεις απλά τοποθετούν τα δύο κομμένα άκρα αντικριστά σε μια ειδική θήκη και τα συγκρατούν. Η ευθυγράμμιση μπορεί να βελτιωθεί περνώντας φως μέσα από την ένωση και κάνοντας στη συνέχεια μικρές διορθώσεις ώστε να μεγιστοποιηθεί το σήμα. Οι μηχανικές ενώσεις επιφέρουν απώλεια 10% του φωτός. Τέλος η σύνδεση μπορεί να γίνει με την τήξη των δύο κομματιών της οπτικής ίνας.

Η σύντηξη είναι αρκετά καλή, όσο μια ενιαία οπτική ίνα, αλλά βέβαια και εδώ υπεισέρχεται μια μικρή ποσότητα εξασθένισης. Σε όλους τους τύπους της ένωσης είναι δυνατόν να συμβούν ανακλάσεις στο σημείο της ένωσης και η ανακλώμενη ενέργεια μπορεί να παρεμβάλει στο σήμα.

2.17 Πομποί/δέκτες σε συστήματα wdm

Ένα από τα περισσότερο βασικά στοιχεία για την ανάπτυξη και εμπορική χρήση της τεχνολογίας WDM αλλά και της οπτικής τεχνολογίας γενικώς είναι η ανάπτυξη οπτικών πηγών laser. Στην τεχνολογία WDM απαιτούνται πηγές οι οποίες εκτός από τις καλές ιδιότητες που εμφανίζουν τα laser θα πρέπει να έχουν την ικανότητα είτε να λειτουργούν συντονιζόμενες σε διάφορα κανάλια, είτε να παράγουν φέροντα για όλα τα κανάλια και στη συνέχεια να γίνεται επιλογή. Σε εμπορικά διαθέσιμα συστήματα χρησιμοποιούνται συστοιχίες laser τύπου DFB (Distributed FeedBack Laser) τα οποία ωστόσο δεν έχουν την ικανότητα να παράγουν μεγάλο αριθμό από διαμορφώσιμα φέροντα.

Έτσι έχουν προκύψει δύο τύποι πηγών που χρησιμοποιούνται ως πομποί για τέτοιου είδους εφαρμογές και έτσι έχουμε:

1. Lasers που λειτουργούν σε μια συχνότητα και έχουν μεγάλο εύρος συντονισμού
2. Πολυκυματικές πηγές που παράγουν ταυτόχρονα όλα τα προς χρήση στο σύστημα κανάλια

Η μέχρι σήμερα έρευνα έχει κάνει περισσότερο ελκυστική την ιδέα των Πολυκυματικών Πηγών (Multiwavelength Sources) με διάφορες υλοποιήσεις που έχουν παρουσιαστεί τα τελευταία χρόνια. Πρέπει να τονιστεί ότι οι διάφορες πηγές που έχουν κατά καιρούς παρουσιαστεί θα πρέπει να είναι συντονισμένες στο πλέγμα της ITU που ορίζει ακριβώς τα μήκη κύματος των καναλιών κάθε ζώνης μετάδοσης για απόσταση 50 και 100 GHz. Μια κλασσική τεχνική είναι η μονολιθική ολοκλήρωση πολλών DFB ή DBR lasers και το συντονισμό και τη σταθεροποίηση αυτών με διάφορους τρόπους.

Επιπλέον μια άλλη μέθοδος ολοκληρώνει μέσα σε μια κοιλότητα laser ένα AWG (Arrayed Waveguide Grating) δίνοντας 18 κανάλια, ενώ σε μια άλλη προσέγγιση σε μια κοιλότητα laser μπορούν να ολοκληρωθούν ένα φίλτρο Fabry – Perot ή άλλοι συνδυασμοί διατάξεων που να παράγουν αντίστοιχο φάσμα.

Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει τραβήξει τα τελευταία χρόνια η μέθοδος της Φασματικής Τμηματοποίησης (Spectral Slicing). Σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόζεται ένα φίλτρο (συνήθως Fabry – Perot) σε ένα υπερσυνεχές φάσμα (supercontinuum) το οποίο είτε μπορεί να προκύψει από ένα laser που μπορεί να παράγει εξαιρετικά λεπτούς παλμούς, στο πεδίο των femtosecond, είτε από τις μη – γραμμικές ιδιότητες που εμφανίζουν ορισμένοι τύποι οπτικών ινών.

Από την οπτική γωνία του δέκτη η κατάσταση φαντάζει λιγότερο περίπλοκη αφού σε συστήματα WDM είναι απαραίτητο να υπάρχει στο άκρο του δέκτη μια συστοιχία από φωτοδιόδους αλλά και ενός αποπολυπλέκτη που να διαχωρίζει τα επιμέρους κανάλια. Σε ορισμένες περιπτώσεις αυτού του τύπου οι διατάξεις έχουν υλοποιηθεί μονολιθικά ενώ σε άλλες υλοποιήσεις έχουν ολοκληρωθεί και ηλεκτρονικοί ενισχυτές.

2.18 Το παρόν και το μέλλον της τεχνολογίας wdm

Παρ'ότι, ως υλοποιήσιμη λύση, η τεχνολογία WDM εμφανίστηκε πριν μερικά χρόνια, η πρόοδος που σημειώθηκε στις επιδόσεις των συστημάτων WDM ήταν ραγδαία. Ζεύξεις WDM εγκαθίστανται συνεχώς για τον εμπλουτισμό τόσο των εθνικών όσο και των διεθνών συνοπτικών δικτύων.

Συμφώνα με μελέτη της αμερικανικής συμβουλευτικής εταιρείας KMI, η αξία των συστημάτων WDM που ήταν εγκατεστημένα ανά τον κόσμο, το 1998, ανερχόταν περίπου σε 2.160.000.000 € με εκτιμώμενη αύξηση 28% ανά έτος μέχρι το 2004.

Από την αξία αυτή, ποσοστό 80% αφορούσε συστήματα εγκατεστημένα στις ΗΠΑ, ποσοστό που αναμένονταν να μειωθεί στο 61%, μέχρι το 2004.

Η σημερινή κατάσταση πραγμάτων αναφορικά με τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας WDM, συνοψίζεται παρακάτω:

-Αν και περισσότερα συστήματα είναι ανοικτά, η συμβατότητα μεταξύ φωτοστοιχείων διαφορετικών κατασκευαστών δεν μπορεί να θεωρηθεί δεδομένη.

-Έχει ανακοινωθεί η πολυπλεξία 128 σημάτων 2,5 Gbit/s (STM-16) καθώς και 32 σημάτων 10 Gbit/s (STM-64) που ανεβάζουν τη συνολική χωρητικότητα των ζεύξεων WDM στα 320 Gbit/s.

-Βασικές λειτουργίες, όπως η μετατροπή μήκους κύματος (αναμεταδότες), η μεταγωγή και δρομολόγηση (διασταυρωτηρες) γίνεται ηλεκτροοπτικά.

-Στους περισσότερους διαθέσιμους οπτικούς πολύπλοκες προσθαφαίρεσης (OADMs), τα προς εισαγωγή/εξαγωγή κανάλια προεπιλέγονται .

-Δεν διατίθενται αμιγώς οπτικοί διασταυρωμένες (OXC).

-Η διαχείριση των ζεύξεων WDM γίνεται με τη βοήθεια αφιερωμένου καναλιού και περιορίζεται σε απλή επιτήρηση των παραμέτρων της ζεύξης.

Από τα παραπάνω, προκύπτει ότι παρά την εντυπωσιακή βελτίωση των επιδόσεων των συστημάτων πολυπλεξίας μήκους κύματος, η τεχνολογία WDM στερείται ακόμη της ευελιξίας που θα επέτρεπε την επέκταση της χρήσης της και σε άλλα πεδία πέραν των ζεύξεων κορμού. Κύρια αιτία για αυτό η αδυναμία της οπτικής τεχνολογίας να υποστηρίζει την αυτοδύναμη υλοποίηση λειτουργιών όπως η μεταγωγή, η δρομολόγηση κλπ.

Η εντατική ερευνά που διεξάγεται, σήμερα σε πανεπιστημιακά και βιομηχανικά εργαστήρια στην Ευρώπη, τις ΗΠΑ και την Ιαπωνία, αναμένεται να παραγάγει συστήματα αναβαθμισμένα, όχι μόνον ως προς τους υλοποιούμενους ρυθμούς μετάδοσης, αλλά και ως προς τις τεχνικές που θα εφαρμόζουν.

Απώτερος στόχος είναι η ανάπτυξη υπερταχέων «ολο-οπτικών» (all-optical) δικτύων WDM, στα οποία όλες οι απαραίτητες λειτουργίες θα γίνονται στο οπτικό στρώμα (optical layer) χωρίς ενδιάμεσες ηλεκτροοπτικές μετατροπές. Πιο συγκεκριμένα, η διεξαγόμενη έρευνα έχει στραφεί προς τις εξής κατευθύνσεις:

Αστικοποίηση λειτουργιών: Αναφέρονται ενδεικτικά οι λειτουργίες της μετατροπής μήκους κύματος, της αναγέννησης, της μεταγωγής και της επιτήρησης που θα επιδιωχθεί να γίνονται οπτικά. Η αστικοποίηση των λειτουργιών αυτών είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη ολο-οπτικών δικτύων.

Ανάπτυξη νέων τεχνολογιών: αναφέρεται ενδεικτικά η μετάδοση σολιτονίων. Τα σολιτόνια είναι παλμοί ειδικής μορφής, αναισθητοι στη διασπορά. Ένα ημιτόνιο μπορεί να διαδοθεί σε μεγάλες αποστάσεις της τάξης των 10.000 km, χωρίς ουσιαστική διεύρυνση. Η χρήση ημιτονίων θα διευκολύνει τη μετάδοση σημάτων 40 Gbit/s (STM-256), αρκεί να επιλυθούν προβλήματα που συσχετίζονται με τη διατήρηση της μορφής και του πλάτους των ημιτονίων κατά τη διάρκεια της μετάδοσης.

Αναβάθμιση φωτοστοιχείων: Αφορά την ανάπτυξη ρυθμιζόμενων lasers κατανεμημένης ανάδρασης, ενισχυτικών διατάξεων ίνας Ερβίου με περιοχή λειτουργίας 1525-1605 nm, διορθώσιμων OADMs και οπτικών διασταυρωμένων (OXCs). Από τα δομοστοιχεία αυτά, τα ρυθμιζόμενα lasers θα προσφέρουν ευελιξία και οικονομία στα συστήματα WDM, ενώ οι ενισχυτές Ερβίου θα παρέχουν περιοχή μήκων κύματος λειτουργίας της τάξης των 80 nm με αποτέλεσμα την αύξηση των πολυπλεξιών καναλιών. Με τη σειρά τους, οι διορθώσιμοι OADMs και OXCs θα παράσχουν την απαιτούμενη δυναμικότητα και ευελιξία στην τεχνολογία WDM που θα επιτρέψει την εφαρμογή της στα μητροπολιτικά δίκτυα και τα δίκτυα πρόσβασης.

Αναβάθμιση συστημάτων:

Αφορά τη χρήση σημάτων 10 Gbit/s (STM- 64) και 40 Gbit/s (STM-256) και την πολυπλεξία 128 ή και περισσότερων καναλιών. Αναφορικά με τη χρήση σημάτων 40 Gbit/s, προϋπόθεση είναι η αντιμετώπιση των επιδράσεων της διασποράς ενώ για την πολυπλεξία 128 ή περισσότερων καναλιών, θα απαιτηθεί η ανάπτυξη ενισχυτών με εύρος ζώνης λειτουργίας 80 nm σε συνδυασμό με την μείωση της διακαναλικής απόστασης. Απώτερος στόχος η υλοποίηση δικτύων με χωρητικότητες της τάξης του 1-5 Tbit/s.

2.19 WDM Networking

Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε τον τρόπο με τον οποίο συνδυάζεται η τεχνολογία WDM με αρχιτεκτονικές δικτύου υψηλότερων επιπέδων ώστε να καταστεί δυνατή η χρήση των μεγάλων ρυθμών μετάδοσης, που υποστηρίζεται το WDM, από τις υψηλότερου επιπέδου δικτυακές υπηρεσίες που παρέχονται στους χρήστες. Αυτή η συνεργασία του WDM με τις αρχιτεκτονικές υψηλότερων επιπέδων δημιουργεί προβλήματα λόγω της μεγάλης πολυπλοκότητας που χαρακτηρίζει τα οπτικά δίκτυα. Τα προβλήματα αυτά συνίστανται κυρίως στο μεγάλο κόστος υλοποίησης και στην δυσκολία επέκταση ενός οπτικού δικτύου.

Η χρήση της οπτικής μετάδοσης σε backbone δίκτυα στα οποία συνδέονται πελάτες με διαφορετικές ανάγκες σε ταχύτητες πρόσβασης και διαφορετικού τύπου εξοπλισμό ήταν ένας από τους λόγους που οδήγησαν στην δημιουργία προτύπων περιγραφής του τρόπου μεταφοράς δεδομένων πάνω από ένα οπτικό δίκτυο και κυρίως του τρόπου διασύνδεσης πάνω σε ένα οπτικό δίκτυο. Έτσι δημιουργήθηκαν οι αρχιτεκτονικές SONET και SDH που καθορίζουν πρότυπα για τους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων πάνω από οπτικά δίκτυα καθώς και τους τρόπους ομαδοποίησης και μετάδοσης των δεδομένων σε πλαίσια.

Πριν την εφαρμογή του WDM οι αρχιτεκτονικές SONET/SDH υπέθεταν ότι η μετάδοση των δεδομένων γίνεται με χρήση ενός μόνο μήκους κύματος πάνω από μια οπτική ίνα. Τα πρότυπά τους όμως

μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς αλλαγές και για μετάδοση πάνω από ένα σύστημα WDM. Ουσιαστικά οι αρχιτεκτονικές SONET/SDH αποτελούν ένα επίπεδο που βρίσκεται πάνω από το επίπεδο των οπτικών ινών και του ακριβούς τρόπου μετάδοσης του οπτικού σήματος μέσα από αυτές. Παρόλα αυτά όμως, τον τελευταίο καιρό αρχίζει μια έντονη αμφισβήτηση της χρησιμότητας ύπαρξης του επιπέδου SONET/SDH η οποία έχει οδηγήσει στην υλοποίηση συστημάτων WDM που δεν απαιτούν την ύπαρξη συστήματος SONET/SDH για την παροχή υπηρεσιών σε αρχιτεκτονικές υψηλότερων επιπέδων. Για το λόγο αυτό θα μελετήσουμε στη συνέχεια την τεχνολογία SONET/SDH.

2.20 Τεχνολογία SONET/SDH

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

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

2.21 Πυκνή Πολυπλεξία Διαχωρισμού Μήκους Κύματος (DWDM)

Η Πυκνή Πολυπλεξία Διαχωρισμού Μήκους Κύματος (DWDM) είναι μια τεχνολογία οπτικών δικτύων η οποία χρησιμοποιείται για να αυξηθεί η χωρητικότητα του μέσου μεταφοράς των δεδομένων (οπτικές ίνες).

2.21.1 Από το WDM στο DWDM

Τα συστήματα WDM μπορούν να μεταδώσουν μέχρι 24 κανάλια αλλά στο μέλλον όλα δείχνουν ότι η χωρητικότητα θα αυξηθεί στα 128 και παραπάνω μέσα από μια ίνα. Σήμερα η τεχνική DWDM (Dense Wave Division Multiplexing = Πυκνή Πολυπλεξία στο πεδίο του Μήκους Κύματος) έχει ενταχθεί στην τεχνική WDM. Τεχνικά είναι το ίδιο πράγμα αλλά όπως φαίνεται και από το όνομα, η DWDM εμπεριέχει περισσότερα κανάλια και μεγαλύτερη χωρητικότητα σε εύρος ζώνης. Συχνά οι δύο αυτές τεχνικές αναφέρονται σαν μια, WDM χωρίς να διακρίνεται η ειδοποιός διαφορά.

Η τεχνολογία DWDM είναι η περισσότερα υποσχόμενη τεχνολογία για μεταφορά δεδομένων μέσα από οπτικές ίνες και αποτελεί σίγουρα μονόδρομο για την υλοποίηση σχεδίων όπως το Gigabit Internet. Η τεχνολογία αυτή συνίσταται στην πολυπλεξία (multiplexing) σημάτων διαφορετικού μήκους κύματος (wavelength) και στην μετάδοσή τους μέσω μιας μόνο οπτικής ίνας. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η αύξηση του συνολικού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων ανά οπτική ίνα, που προκύπτει από την άθροιση των ρυθμών μεταφοράς κάθε σήματος διαφορετικού μήκους κύματος. Ενδεικτικά, αναφέρουμε

ότι με τα σημερινά δεδομένα είναι δυνατή η πολυπλεξία σαράντα τέτοιων σημάτων σε μια και μόνο οπτική ίνα, κάθε ένα από τα οποία μπορεί να μεταφέρει δεδομένα με ρυθμό 10Gb/s, κάτι που οδηγεί σε συνολικό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων ίσο με 400 Gb/s. Σε πειραματικό, μάλιστα επίπεδο έχουν επιτευχθεί ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων της τάξης των Tb/s.

Στα αρχικά στάδια η τεχνολογία αυτή είχε την ονομασία WDM (wavelength division multiplexing) και ήταν δυνατόν να πολυπλεχθούν λιγότερα από σαράντα σήματα διαφορετικού μήκους κύματος. Σε κατοπινά στάδια (και μέχρι σήμερα) έγινε εφικτή η πολυπλεξία περισσότερων τέτοιων σημάτων. Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να ειπωθεί ως μεταφορά πληροφορίας μέσω οπτικών καναλιών (optical channels), τα οποία έχουν ένα κοινό μέσο μεταφοράς: την οπτική ίνα. Έτσι, είναι δυνατή η αύξηση και η καλύτερη διαχείριση της χωρητικότητας των ήδη υπάρχοντων οπτικών ινών, χωρίς να είναι απαραίτητη η εγκατάσταση νέων. Γίνεται λοιπόν δυνατή, η επέκταση των δυνατοτήτων των ήδη εγκατεστημένων δικτυακών υποδομών, χωρίς να είναι αναγκαία η προσφυγή σε δαπανηρές λύσεις. Από τα παραπάνω καθίσταται προφανές ότι η δυνατότητα για μεταφορά IP πακέτων πάνω από δίκτυα DWDM, δύο τεχνικών που η κάθε μια στον τομέα της αποτελεί την πιο ολοκληρωμένη λύση, θα διαδραματίσει στο μέλλον τον σημαντικότερο ρόλο, όσον αφορά σε μεθόδους για γρηγορότερη μεταφορά δεδομένων με ταυτόχρονη ενοποίηση των υπάρχοντων δικτύων.

Στα DWDM συστήματα, τα μήκη κύματος του φωτός βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους, συνήθως 100GHz ή περίπου 0,75nm χωριστά.

Τα DWDM συστήματα, μέσω διεθνών καθορισμένων κριτηρίων, χρησιμοποιούν DFB laser επικεντρωμένα σε συγκεκριμένα μήκη κύματος και διαχωρισμένα μεταξύ τους σε 100, 200 ή 50 GHz σχετισμένα στα 1,5nm, 0,75nm ή 0,38nm αντίστοιχα. Το κεντρικό μήκος κύματος μιας τυπικής DFB laser εφαρμογής κατευθύνεται με 0,08nm/°C. Σε διάταξη 100GHz μια αλλαγή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος λειτουργίας κατά 10°C θα τοποθετούσε το μήκος κύματος του laser σε μια γειτονική μπάντα. Σε ένα DWDM laser, το chip είναι τοποθετημένο

σε ένα θερμοηλεκτρικό ψύκτη, ώστε να ελέγχεται η θερμοκρασία και έτσι να ελέγχεται το μήκος του κύματος.

Το DWDM έχει και διάφορα άλλα ξεχωριστά χαρακτηριστικά. Αυτά περιλαμβάνουν τη δυνατότητα ενίσχυσης όλων των μηκών κύματος αμέσως χωρίς να μεσολαβήσει η μετατροπή τους σε ηλεκτρικά σήματα, και τη δυνατότητα μεταφοράς σημάτων διαφορετικών ταχυτήτων και είδους διαφανώς πάνω από μία ίνα (ανεξαρτησία στο είδος πρωτοκόλλου και στο ρυθμό μετάδοσης). Η διαφορά μεταξύ του WDM και του DWDM είναι απλώς διαφορά μεγέθους. Το DWDM τοποθετεί τα μήκη κύματος πιο κοντά μεταξύ τους από το WDM, και επομένως έχει μεγαλύτερη συνολική χωρητικότητα.

2.21.2 Αρχιτεκτονική του DWDM

Η αρχιτεκτονική που ακολουθείται για την υλοποίηση της τεχνολογίας ακολουθεί δύο διαφορετικούς δρόμους. Η μία είναι η αρχιτεκτονική ανοικτών συστημάτων DWDM στην οποία ο εξοπλισμός που υλοποιεί την τεχνολογία είναι ανεξάρτητος από τον υπόλοιπο δικτυακό εξοπλισμό και μιλώντας αφαιρετικά αυτό που προσφέρει είναι η παροχή μιας ροής δεδομένων σε ταχύτητες 2,5 Gbps μέχρι 10Gbps σε οποιοδήποτε χρειάζεται αυτό το εύρος ζώνης με την αφαίρεση ενός μήκους κύματος. Εδώ, η έξοδος του WDM συστήματος είναι τυποποιημένες οπτικές διεπαφές (interfaces) και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν από οποιονδήποτε εξοπλισμό. Το πλεονέκτημα αυτής της αρχιτεκτονικής είναι η μεγάλη ευελιξία που παρέχει στους διαχειριστές μιας και μπορεί να γίνει επιλογή και επένδυση σε εξοπλισμό και εύρος ζώνης που είναι απαραίτητο και όχι καθοδηγούμενο από τον υπάρχοντα εξοπλισμό και την εταιρεία κατασκευής.

Η δεύτερη αρχιτεκτονική είναι η ολοκλήρωση της τεχνολογίας με άλλες ενεργές δικτυακές συσκευές όπως ATM switches, SONET/SDH Add Drop Multiplexers και IP routers. Σ' αυτή την περίπτωση, ο εξοπλισμός που απαιτείται, παρέχεται σαν modules για τις συσκευές που αναφέρθηκαν. Στόχος είναι η διαχειριστική απλότητα και η αποφυγή δυσλειτουργιών σε περιπτώσεις που γίνεται προσπάθεια συνεργασίας εξοπλισμού από διαφορετικούς κατασκευαστές.

Φυσικά, η επιλογή για το ποια από τις δύο αρχιτεκτονικές θα ακολουθήσει κάθε ενδιαφερόμενος οργανισμός – εταιρεία, σαφώς είναι υποκειμενική και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που διαφοροποιούνται για κάθε έναν από αυτούς. Πάντως, φαίνεται να υπερισχύει ο κανόνας ότι όταν πρόκειται για συνδέσεις σε μεγάλη απόσταση (π.χ. υπερωκεάνιες συνδέσεις) τότε επιλέγεται κατά κύριο λόγο η ανοιχτή αρχιτεκτονική ενώ τείνει να γίνεται η ολοκλήρωση της νέας τεχνολογίας με άλλες δικτυακές συσκευές όταν πρόκειται για συνδέσεις μικρότερες των 65 χιλιομέτρων.

2.21.3 Ενοποίηση των τεχνολογιών ATM και DWDM

Η ενοποίηση των WDM και ATM δεν είναι κάτι που επιδιώκεται και ερευνάται τυχαία. Το εύρος ζώνης που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της συγκεκριμένης ενοποίησης αποτελεί ένα πραγματικά πολύ ισχυρό κίνητρο που προωθεί τη συγκεκριμένη έρευνα. Καθώς όλο και περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιούν φωνή και βίντεο ταυτόχρονα με ένα αυξανόμενο μέγεθος δεδομένων, η ανεπάρκεια εύρους ζώνης που αντιμετωπίζουν οι παραπάνω εφαρμογές γίνεται περισσότερο εμφανής. Οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης για το Internet, διπλασιάζονται κάθε χρόνο και το πρόβλημα αυτό είναι ιδιαίτερος μεγάλο στον κορμό του δικτύου. Ο τομέας των τηλεπικοινωνιών αναγκάζεται σε τεράστιες επενδύσεις, έτσι ώστε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις για χωρητικότητα εύρος ζώνης. Παράλληλα, οι τηλεπικοινωνίες καλούνται να παρέχουν αυξημένη Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service), να προβλέπουν για διάφορες κλάσεις υπηρεσιών να ανταποκρίνονται στις αυστηρές απαιτήσεις φωνής και βίντεο και τέλος να μπορούν να

αντιμετωπίσουν τις τεράστιες ποσότητες δεδομένων στα δίκτυα τους. Τα καλά νέα για τις συγκεκριμένες συνθήκες που έχουν διαμορφωθεί, είναι ότι η λύση των παραπάνω προβλημάτων είναι διαθέσιμη σήμερα. Ο συνδυασμός της τεχνολογίας πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος (WDM) με την τεχνολογία ασύγχρονου τρόπου μετάδοσης (ATM) μπορεί να λύσει τα ζητήματα εύρους ζώνης και ποιότητας υπηρεσιών με έναν, τόσο αποδοτικό, όσο και οικονομικό τρόπο. Η τεχνολογία DWDM κάνει βέλτιστη χρήση των υποδομών, επιτρέποντας στις οπτικές ίνες να μεταφέρουν πολλά κανάλια ταυτόχρονα και παρέχοντας δυνατότητες μετάδοσης από τέσσερις μέχρι και δεκαέξι φορές περισσότερο από τα παραδοσιακά συστήματα τεχνολογίας πολυπλεξίας στο πεδίο του χρόνου (TDM). Η χρήση της WDM επίσης, επιτρέπει στους παροχές να μεταφέρουν IP, ATM και SONET πάνω από το οπτικό επίπεδο. Αυτή η ενοποιητική ικανότητα, παρέχει στον μεταφορέα (carrier) την ευελιξία να ανταποκρίνεται σταδιακά σε μεταβαλλόμενες απαιτήσεις πελατών πάνω από ένα μόνο δίκτυο. Επίσης, με την WDM η ανάγκη για στοιχεία (elements) και υποδομές (facility) του δικτύου, μειώνεται με αποτέλεσμα η αξιοπιστία του δικτύου να αυξάνεται.

Η δοκιμή των WDM δικτύων, πρέπει να συνοδεύεται από μεγάλη προσοχή σε έναν αριθμό περιοριστικών παραγόντων απόδοσης του δικτύου.

2.21.4 Τρέξιμο ATM πάνω από DWDM

Τα πλεονεκτήματα της ενοποίησης της τεχνολογίας ATM λειτουργώντας πάνω από την τεχνολογία WDM είναι πολύ σημαντικά, αλλά λίγα μόνο ζητήματα επ' αυτής παρουσιάζουν σημαντικό ενδιαφέρον. Ο καθορισμός του μεγέθους των καναλιών είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στα συστήματα ATM/WDM. Πολλά και διαφορετικά σχήματα (schemes) έχουν επιστρατευθεί για να μειώσουν τις επιδράσεις του φαινομένου της μίξης των τεσσάρων κυμάτων (four-wave mixing-FWM). Η μίξη των τεσσάρων κυμάτων συμβαίνει όταν κανάλια με ίσα μεγέθη αλληλεπιδρούν και δημιουργούν νέα οπτικά

σήματα με συχνότητες που παρεμβάλλονται με τα κανάλια μήκους κύματος (wavelength channels). Η ελαχιστοποίηση, συνεπώς, του μήκους των καναλιών είναι απολύτως ζωτικής σημασίας στην τεχνολογία ATM/WDM και γι' αυτό το λόγο η ανάπτυξη μεθόδων ακριβούς μέτρησης των καναλιών μήκους κύματος είναι απαραίτητη. Η οπτική ισχύς είναι ένα ακόμα ζήτημα θεμελιώδους ενδιαφέροντος στα συστήματα ATM/WDM. Η ισχύς του οπτικού σήματος μειώνεται καθώς αυτό μεταδίδεται μέσα από την οπτική ίνα. Η απόδοση ενός οπτικού δέκτη, όσον αφορά στην συχνότητα λήψης λαθεμένων bits, είναι απευθείας συσχετισμένη με την οπτική ισχύ του σήματος. Στην WDM συνεπώς, η οπτική ισχύς μετατρέπεται σε μια λειτουργία καθορισμού του αριθμού των καναλιών που μεταδίδονται μέσα από την οπτική ίνα. Προφανώς, όσα περισσότερα είναι τα κανάλια, τόσο μειώνεται η οπτική ισχύς σε καθένα απ' αυτά. Καθώς τα 10 Gbps γίνονται ο μικρότερος δυνατός ρυθμός μετάδοσης στη WDM, οι μεταφορείς (carriers) εκτελούν τεχνικές διατήρησης των wavelengths μέσα στο ίδιο το WDM σύστημα. Μια τέτοια τεχνική είναι η Forward Error Correction (FEC). Η συγκεκριμένη τεχνική επιτρέπει μια μοναδική αύξηση στην απόδοση του δικτύου. Δύο βασικοί τύποι FEC χρησιμοποιούνται στα δίκτυα σήμερα. Ο πρώτος, που λέγεται in-band FEC χρησιμοποιούνται στα δίκτυα σήμερα. Ο πρώτος, που λέγεται in-band FEC, κωδικοποιεί τα δεδομένα του στο τμήμα του SONET, που περνά από πάνω και δεν χρησιμοποιείται. Έτσι παρέχεται βελτίωση στο σύστημα, αλλά επειδή ο χώρος στο SONET είναι περιορισμένος, ως εκ τούτου και η παρεχόμενη βελτίωση στην απόδοση είναι περιορισμένη. Ο δεύτερος, και πιο ισχυρός τύπος FEC είναι ο out-of-band FEC, ο οποίος δεν επιβαρύνει σχεδόν καθόλου την γραμμή μετάδοσης όταν κωδικοποιεί τα δεδομένα του. Τέλος, μια ακόμη τεχνική που έχει νόημα στην ενοποίηση των ATM και WDM, είναι η χρήση ενός «πιλοτικού φωτός» (pilot light) σε κάθε κανάλι ώστε να εκτελεστεί έλεγχος σε όλα τα οπτικά κανάλια. Με την παρακολούθηση ενός κύματος φωτός που θα εισαχθεί σε κάθε κανάλι, τα συστήματα διαχείρισης του δικτύου μπορούν να αναγνωρίσουν τυχόντα σφάλματα και να επιβεβαιώσουν την καλή διασύνδεση και την ποιότητα του σήματος σε καθένα από τα κανάλια. Αυτή η τεχνική απλοποιεί σε πολύ μεγάλο βαθμό την αντιμετώπιση

προβλημάτων μέσα στο δίκτυο και είναι παρόμοια με τον τρόπο που η ATM χρησιμοποιεί τις δοκιμαστικές κυψελίδες σε συγκεκριμένα νοητά μονοπάτια/κανάλια. Σήμερα, υπάρχουν διάφορες εταιρείες που ασχολούνται με το σχεδιασμό και την παραγωγή συσκευών με τεχνολογία ATM/WDM, όπως η Lucent Technologies, η Cisco Systems, η Wavesplitter και η Fore Systems. Παράδειγμα μιας τέτοιας συσκευής αποτελεί το προϊόν ForeRunner ASX-4000 ATM switch της Fore Systems το οποίο περιλαμβάνει την τεχνολογία WDM και προορίζεται για δίκτυα μεγάλων αποστάσεων. Το ASX-4000 switch σχεδιάστηκε για μεγάλες επιχειρήσεις και δίκτυα παροχής υπηρεσιών και ο συνδυασμός των τεχνολογιών ATM και WDM που υποστηρίζει, δίνει εύρος ζώνης του μεγέθους των 10 Gbps σε μια απλή οπτική ίνα. Το βασικό χαρακτηριστικό τέτοιων συσκευών είναι ο συνδυασμός της WDM μετάδοσης (transmission) και της ATM μεταγωγής (switching), ο οποίος αυξάνει της ταχύτητας μετάδοσης στα δίκτυα μεγάλων αποστάσεων.

2.21.5 Δοκιμή ATM Α πάνω από DWDM

Η δοκιμή της ATM πάνω από WDM αποτελείται από τις ίδιες περίπου αρχές που χρησιμοποιήθηκαν για την δοκιμή της ATM πάνω από το SONET. Κάποιος που θα την επιχειρήσει πρέπει να δοκιμάσει τη συνδεσιμότητα (connectivity) και τη γενικότερη απόδοση με βάση συγκεκριμένη συμφωνία ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Service agreement). Στην περίπτωση του WDM οι συνθήκες είναι ακόμα πιο περίπλοκες επειδή υπάρχουν πολλαπλές παράλληλες συνδέσεις με την οπτική ίνα. Αυτές οι παράλληλες συνδέσεις θεωρητικά είναι αποκλειστικές και κλειστές μεταξύ τους, αλλά αυτό πρέπει να επιβεβαιωθεί και πρακτικά. Η μεγαλύτερη νέα απαίτηση σε σχέση με τη δοκιμή και την παρακολούθηση των συστημάτων ATM/WDM είναι η ανάγκη να χαρακτηριστούν και να μετρηθούν οι διάφορες παράμετροι σε σχέση με το μήκος κύματος (wavelength). Οι βασικές/θεμελιώδεις μετρήσεις που πρέπει να πραγματοποιηθούν είναι:

- Αναλογία σήματος/θορύβου (Signal-to-Noise Ratio): Είναι ο καλύτερος δείκτης της συνολικής απόδοσης ενός καναλιού.
- Ισχύς του καναλιού (Channel power): Η οπτική ισχύς κάθε καναλιού επιβεβαιώνει την ίση κατανομή της ισχύος σε ολόκληρο το εύρος ζώνης των οπτικών ενισχυτών που χρησιμοποιούνται.
- Κεντρικό μήκος κύματος και μέγεθος κάθε καναλιού (Channel centre wavelength and spacing): Το κεντρικό μήκος κύματος κάθε καναλιού με το οποίο ανιχνεύονται οι κατευθύνσεις της κίνησης (drifts) από τις πηγές λέιζερ.
- Έγχυση θορύβου (Crosstalk): Το επίπεδο του ανεπιθύμητου σήματος (δηλαδή του θορύβου και των παρεμβολών από τα άλλα κανάλια) που περνά από το υπό δοκιμή κανάλι.
- Συνολική οπτική ισχύς (Total optical power): Τα αρνητικά αποτελέσματα των μη γραμμικών φαινομένων στην οπτική ίνα εξαρτώνται από τη συνολική ισχύ που μεταφέρεται. Στον τομέα αυτό πρέπει να δοθεί προσοχή, διότι οι μετρητές οπτικής ισχύος που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι ρυθμισμένοι για χαμηλά επίπεδα ισχύος συσχετισμένα με ένα μόνο κανάλι (+6dBm). Τα συστήματα WDM υποστηρίζουν περισσότερα κανάλια ταυτόχρονα. Έτσι, πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποιο συμβατό επίπεδο ισχύος.
- Χρωματική διάχυση (Chromatic Dispersion): Η διακύμανση του επιπέδου διάχυσης του φωτός μέσα στην ίνα που μεταφέρεται το μήκος κύματος (wavelength) και η οποία είναι απαραίτητο να ελέγχεται κατά μήκος του οπτικού μονοπατιού.
- Διασπορά της πόλωσης (Polarization Mode Dispersion-PMD): Διαφορετικές καταστάσεις πόλωσης του οπτικού σήματος μεταδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες. Η PMD επηρεάζει την ποιότητα μετάδοσης εκπέμποντας παλμούς σήματος και ανεβάζοντας τη συχνότητα λαθεμένων bits (bit error rate-BER).

Οι παραπάνω παράμετροι πρέπει να δοκιμαστούν μετά την εγκατάσταση διότι οι ίνες είναι δυνατό να καταστραφούν ή να αλλοιωθούν κατά τη συγκεκριμένη διαδικασία. Οι τακτικές δοκιμές κατά περιόδους κρίνονται, επίσης, απαραίτητες διότι οι ίνες μπορεί να αλλοιωθούν με το χρόνο, τη θερμοκρασία, την άσκηση πίεσης και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

2.21.6 Προδιαγραφές για σωστή λειτουργία ATM/DWDM σχημάτων

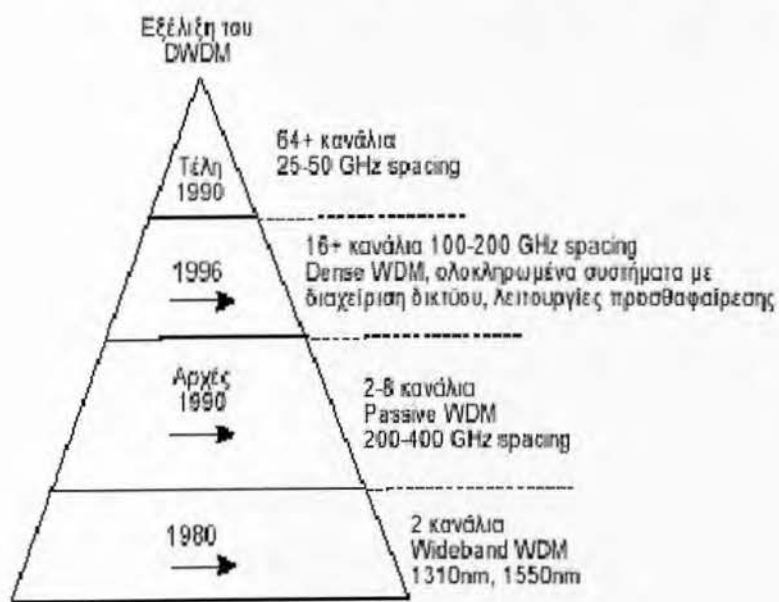
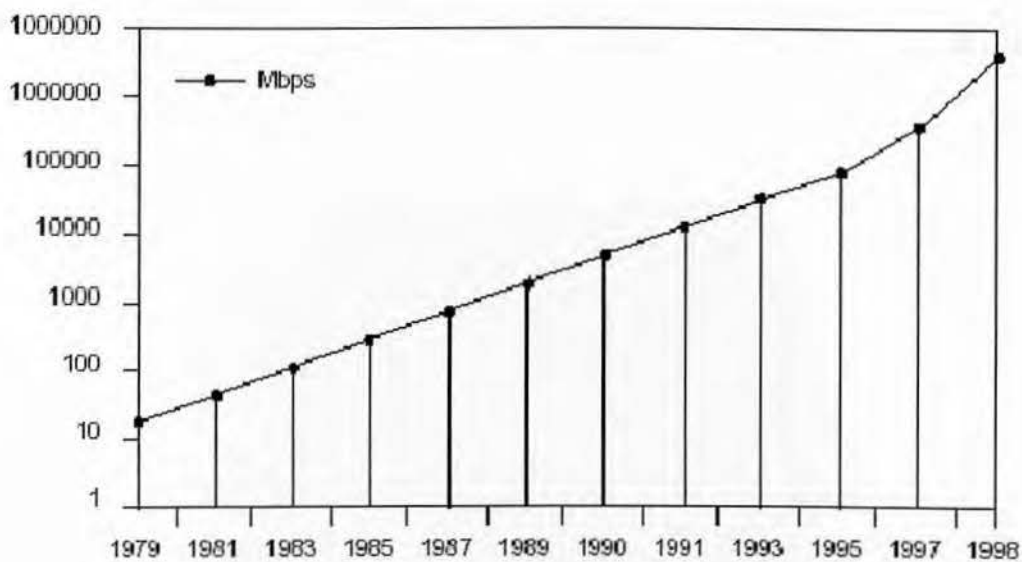
Οι προδιαγραφές/προτάσεις που θα πρέπει να τηρούνται από σχήματα ATM/WDM, όπως αυτές έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές και επιστήμονες, και που θα υποστηρίζουν πολύ υψηλές ταχύτητες μεταγωγής του επιπέδου Tbit/sec, είναι οι παρακάτω:

- **Μεγιστοποίηση της χρησιμοποίησης του εύρους ζώνης (Maximal bandwidth utilization):** Ο αλγόριθμος που θα χρησιμοποιηθεί για την διαχείριση της κυκλοφορίας και μεταγωγής θα πρέπει να μεγιστοποιεί τη χρήση του εσωτερικού εύρους ζώνης μεταγωγής, ώστε να παρέχει τη μέγιστη κυκλοφορία μέσω αυτού.
- **Βέλτιστη ανάλυση μήκους κύματος (Contention-resolution):** Επειδή τα μήκη κύματος συνιστούν έναν αρκετά ακριβό πόρο, θα πρέπει να επιλεγεί προσεκτικά ο αριθμός των εσωτερικών καναλιών που θα περιληφθούν. Δύο ή περισσότερες μεταδόσεις πάνω από το ίδιο μήκος κύματος έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία συγκρούσεων. Έτσι, η απώλεια πακέτων εξαιτίας οπτικών συγκρούσεων θα πρέπει να αποφεύγεται.
- **Όχι τεχνητές επιταχύνσεις (No speedup):** Στο οπτικό πλαίσιο, η επιτάχυνση των εσωτερικών μεταδόσεων είναι μια πράξη που δεν έχει όφελος. Σχήματα που δεν απαιτούν επιτάχυνση είναι πιο αποδοτικά σε ευέλικτα (scalable) δίκτυα όπως το ATM/WDM.

- Μη μπλοκαρισμένος σχηματισμός ενός σταδίου (Non-blocking, single-stage constellation): Η τεχνολογία WDM πολλαπλών συνδέσεων (cross-connect) αναπτύσσεται συνήθως σε σχηματισμό (constellation) ενός σταδίου και μη μπλοκαρίσματος, όπου τα οπτικά σήματα δεν επαναδρομολογούνται ούτε και επαναμεταδίδονται μέσα στον πυρήνα μεταγωγής. Οι διαδικασίες πολύ γρήγορων αποφάσεων απαιτούν ότι τα στοιχεία πολλαπλών συνδέσεων πρέπει να συνεισφέρουν ελάχιστη καθυστέρηση στη μετάδοση.
- Μεγάλος αριθμός εισόδων (ports): Η ποικιλία των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και διαφορετικών γραμμάτων ταχυτήτων υπονοούν ότι στο άμεσο μέλλον τα συστήματα μεταγωγής ATM/WDM θα έχουν πυκνότητα εισόδων του μεγέθους δεκάδων ή ακόμα και εκατοντάδων εισόδων. Συνεπώς, μια καλή αρχιτεκτονική ενός συστήματος μεταγωγής πρέπει να υποστηρίζει έναν μεγάλο αριθμό μη συμμετρικών εισόδων (asymmetric ports).
- Απλός σχεδιασμός: Η απόδοση ενός συστήματος ATM/WDM με όρους ταχύτητας επηρεάζεται απευθείας από την απλότητα του σχεδιασμού του hardware του.

Συμπερασματικά, ο συνδυασμός των τεχνολογιών ATM και WDM είναι δυνατό να οδηγήσει σε τεχνολογικές λύσεις που θα ανταποκρίνονται στη διαρκώς αυξανόμενη ανάγκη των τηλεπικοινωνιών και των δικτύων για μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Βέβαια, υπάρχει και κάποιο αντίτιμο για τη χρήση αυτών των υπέροχων τεχνολογιών. Οι απαιτήσεις και ο εξοπλισμός για δοκιμές (testing requirements) είναι πολύ πιο μπροστά από αυτές που χρειάζονται για τα δίκτυα παλαιότερων γενεών. Πολύπλοκες δοκιμές πρέπει να εκτελούνται επί τόπου.

Τέλος, ειδικά όσον αφορά στην διάσταση του φάσματος του φωτός, που παλαιότερα εξεταζόταν μόνο από ερευνητές, τώρα αυτή πρέπει να εκτιμάται σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του δικτύου, από το σχεδιασμό και την εγκατάσταση μέχρι και τη διατήρηση και την επίλυση των τεχνικών προβλημάτων.



Σχήμα16: Εξέλιξη Της τεχνολογίας DWDM (Σχηματική αναπαράσταση)

Τα όρια αυτού του διαστήματος δεν είναι ακριβώς γνωστά, και πιθανώς δεν έχουν επιτευχθεί, αν και από το μέσο του έτους 2000 είναι διαθέσιμα συστήματα με μια ικανότητα μεταφοράς 128 λάμδα σε μια ίνα.



2.22 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ CWDM

Η τραχύς Πολυπλεξία στο πεδίο του Μήκους Κύματος (CWDM) είναι μια τεχνολογία μεταφοράς πολυπρωτοκόλλων, που παρουσιάζει σημαντική ανάπτυξη στην αγορά λόγω των ιδιοτήτων χαμηλότερου κόστους και της απλότητας στον σχεδιασμό της. Η CWDM αντιπροσωπεύει μια τέλεια οικονομική τεχνολογία τόσο σε πρόσβαση όσο και στην αγορά πυρήνων. Παρέχει εξαιρετική σύνδεση από την DWDM στο μεγάλης απόστασης δίκτυο επιχείρησης ή τοπικού χρήστη. Παραδίδει τα πολλαπλάσια μήκη κύματος μέσω μιας οπτικής ίνας σε ένα μέρος του κόστους και πολυπλοκότητας των συστημάτων DWDM.

2.22.1 Ορισμός CWDM

Η CWDM είναι μια μορφή διαίρεσης και πολυπλεξίας μήκους κύματος που έχει ευρύτερα διαστήματα μεταξύ των μηκών κύματος από αυτά που χρησιμοποιούνται στο DWDM. Επίσης, αντίθετα από άλλες μορφές WDM, χρησιμοποιεί ένα πολύ ευρύτερο φωτονιακό φάσμα ζωνών από άλλα τέτοια συστήματα, τα οποία συχνά είναι περιορισμένα σε μια ή δύο ζώνες. Μέχρι 18 μήκη κύματος μπορούν να σταλούν χρησιμοποιώντας μερικά σχέδια CWDM. Η CWDM μπορεί να χρησιμοποιηθεί πάνω από πολύτροπες και μονότροπες ίνες αν και οι αποστάσεις του σήματος είναι γενικά πιο σύντομες από το DWDM. Οι δαπάνες CWDM είναι σημαντικά χαμηλότερες από ότι στο DWDM.

2.22.2 Πρώτες γενιές CWDM τεχνολογιών και των εφαρμογών της

Οι τεχνολογίες CWDM ήταν σε χρήση από την αρχή της δεκαετίας του '80, πολύ πριν από τη γενική αποδοχή της WDM στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών. Οι αρχικές επεκτάσεις περιελάμβαναν μήκη κύματος με διαστήματα 25 NM με παράθυρο 850 NM πάνω από τις πολύτροπες ίνες σε δίκτυα (LANs). Οι εφαρμογές περιελάμβαναν την πολυδιαυλική τηλεοπτική διανομή, αμφίδρομες ευαίσθητες πληροφορίες τηλεμετρίας και ελέγχους λανθάνουσας κατάστασης που διαβιβάζονται πέρα από μια ενιαία οπτική ίνα. Η αγορά για τις εφαρμογές CWDM στα μέσα της δεκαετίας του '90 συνέχισε να αποτελείται από πολλαπλού τρόπου εφαρμογές του τοπικού LAN 850 NM, που βοηθιούνται από τη νέα κάθετη επιφάνεια κοιλοτήτων που εκπέμπει το λέιζερ (VCSEL) και από λεπτές τεχνολογίες φίλτρων για να μειώσει το κόστος και να αυξήσει την πυκνότητα συσκευασίας. Κατά τρόπο ενδιαφέροντα, ο όρος CWDM δεν μπήκε στη χρήση της βιομηχανίας έως το 1996. Στην πραγματικότητα, ο όρος «τραχύς», αντιπαραβλήθηκε με τον όρο «πυκνό» στον καθορισμό WDM και ήταν μη χρησιμοποιημένος μέχρι η DWDM να μπει στην ονοματολογία. Στα αρχικά στάδια του, η CWDM δεν έχει συγκεκριμένα πρότυπα και υπήρξε αρχική σύγχυση στον καθορισμό της έννοιας και της αίτησής της.

Αυτό επρόκειτο να αλλάξει προς το τέλος της δεκαετίας του '90, όταν η CWDM έτυχε ενδιαφέροντος μέσα από την IEEE 802,3 υψηλή ομάδα μελέτης ταχύτητας για την επίλυση των προβλημάτων διασποράς και απώλειας για 10 Gigabit Ethernet LANs και μερικές 10 GbE WAN εφαρμογές. Για τις εφαρμογές σε τοπικά LAN 10 GbE, προτάθηκαν τέσσερα μήκη κύματος στα παράθυρα 850 NM ή 1310 NM για να επεκταθεί η ζωή της εγκατεστημένης βάσης της πολύτροπου ίνας στα περιβάλλοντα κτήρια και πανεπιστημιούπολεις. Για διαφοροποίηση μεταξύ των δύο παραθύρων του τοπικού LAN, η υψηλή ομάδα μελέτης ταχύτητας 802,3 (High Speed Study Group) αναφέρεται στα μήκη κύματος 850 NM ως CWDM και στα μήκη κύματος 1310 NM ως (WWDM). Και οι δύο όροι μπορούν να συνδυαστούν στην ονοματολογία CWDM.

Τύποι WDM:

	Coarse WDM (includes WWDM)	WDM	DWDM (includes ultra dense WDM)
Channel Spacings	Large from 1,6nm (200 GHz) to 25 nm	1310 nm lasers used in conjunction with 1550 nm lasers	Small, 200 GHz and less
Number of bands used	O.E.S.C and L	O and C	C and L
Cost per channel	Low	Low	High
Number of channels delivered	17-18 at most	2	Hundreds of channels possible
Best Application	Short-haul.Metro	PON	Long-haul

Η WDM χρησιμοποιείται επίσης στις εφαρμογές δικτύων πρόσβασης μεταφορέων όπως τα παθητικά οπτικά δίκτυα (PONs). Εντούτοις, αυτή η μορφή πολυπλεξίας διαίρεσης μήκους κύματος περιλαμβάνει απλούς θραύστες μπαντών για τον πολλαπλασιασμό της προς τα πάνω και προς τα κάτω κυκλοφορίας στα 1310 NM και με παράθυρο 1550 NM.

2.22.3 Πρώτη παρουσία CWDM στην αγορά

Όταν εισάγεται στις αρχές της δεκαετίας του '90, η WDM υπό μορφή DWDM χρησιμοποιήθηκε κυρίως σε μεγάλης απόστασης διαστήματα. Η αρχική εφαρμογή ήταν να ενισχυθεί η μεγάλης τηλεφωνικής απόστασης (που είναι γνωστή ως interexchange) μεταφορά με χρήση ινών μεταξύ των πόλεων. Αυτό άρχισε να αλλάζει προς το τέλος της δεκαετίας του '90 δεδομένου ότι τα WDM προϊόντα άρχισαν επίσης να βοηθούν στην ανακούφιση συμφόρησης στις metro και περιφερειακές περιοχές.

Εντούτοις, η metro περιοχή είχε εξ ολοκλήρου ένα διαφορετικό σύνολο απαιτήσεων: οι αποστάσεις ήταν πιο σύντομες, περισσότερη ίνα ήταν διαθέσιμη, επιπρόσθετα στο SONET/SDH, περισσότερα πρωτόκολλα όπως Gigabit Ethernet και Fiber Channel έπρεπε να υποστηριχτούν. Τα ποσά πληροφοριών ήταν συχνά μικρότερα και η πιθανότητα να πληρώσεις για μεγάλο εύρος ζώνης ήταν πολύ μικρότερη.

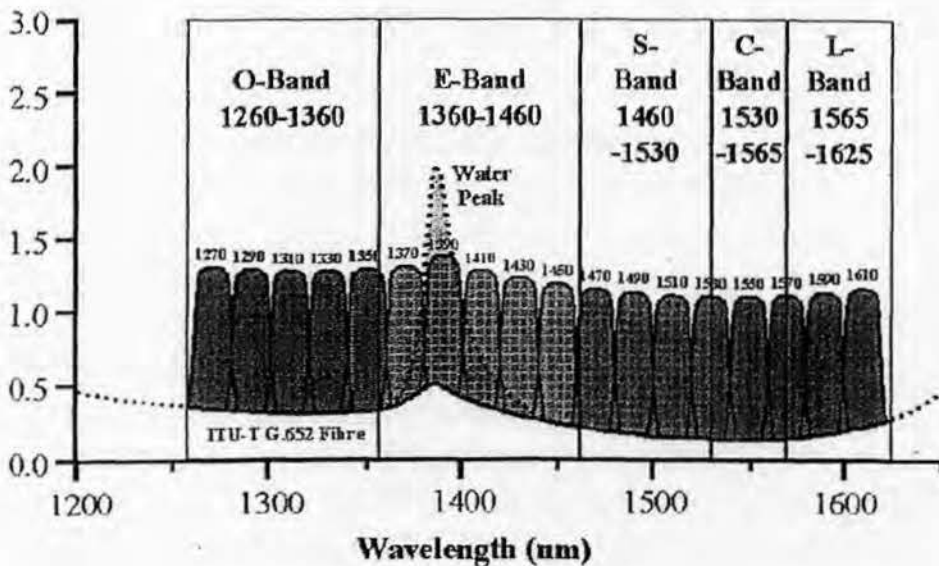
Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα χαρακτηριστικά, μεταφορείς και επιχειρήσεις ζητούσαν μέσα μετάδοσης αρκετά διαφορετικά από πυκνά, εξαιρετικά ακριβή, με υψηλό εύρους ζώνης DWDM που ήταν τόσο χρήσιμα στην μετάδοση σε μεγάλη απόσταση. Δεδομένου ότι η μεγάλης απόστασης αγορά ήταν το παράδειγμα, οι μεταφορείς στην περιοχή metro, επιδίωξαν μια περισσότερο χαλαρή και λιγότερο ακριβή μορφή του DWDM. Οι έννοιες «του μήκους κύματος που ενώνει» ή

«ιεραρχικό WDM» και «χώρισε κατά διαστήματα πιο αραιά τα μήκη κύματος» προτάθηκαν ως τεχνολογικές λύσεις.

Για να μειώσουν περαιτέρω τις δαπάνες προϊόντων metro, οι ακριβοί αποζημιωτές διασποράς που χρησιμοποιούνταν κανονικά μέσα στα μεγάλης απόστασης δίκτυα θα μπορούσαν να αφαιρεθούν λόγω των πιο σύντομων αποστάσεων που απαιτήθηκαν. Εντούτοις, ακριβά EDFAs απαιτούνταν ακόμα. Αυτοί οι καθορισμοί οδήγησαν στη δημιουργία του όρου «Metro DWDM». Ενώ υπήρξαν καθαρισμοί, υπήρξε μια γενική αποτυχία εκ μέρους των προμηθευτών στα μεγάλης απόστασης DWDM να παρέχουν οικονομική συσκευασία για τα διαστήματα metro. Ενώ το metro DWDM ήταν μια προσπάθεια να αποκριθεί σε μερικές από αυτές τις διαφορετικές μεταβλητές, είχε ακόμα πολλά από τα ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά των προϊόντων που κατασκευάζονται για την αγορά ανταλλαγής (inter-exchange). Η CWDM άρχισε να προκύπτει ως προφανής εναλλακτική λύση. Εντούτοις, το προϊόν CWDM που είχε αναπτυχθεί για τις μικρές αποστάσεις LAN έπρεπε να ανακατασκευαστεί για να παρέχει μια σειρά από μήκη κύματος περισσότερο ταιριαστά στις απαιτήσεις απόστασης μετάδοσης των εφαρμογών metro. Όπως φαίνεται στο σχήμα μερικές lesser-kmown ζώνες μήκους κύματος χρησιμοποιούνται σε CWDM για τις εφαρμογές metro. Αυτοί περιέλαβαν τον Αρχικό (1310 NM), Εκτεταμένα, Κοντά & Μακριά, ή απλούστερα, τις O,E,S&L ζώνες. Αυτές οι ζώνες μπορούν ενδεχομένως να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν 10x περισσότερο εύρος ζώνης από την C-band ή 10x ευρύτερο διάστημα μήκους κύματος για το ίδιο εύρος ζώνης. Η τελευταία επιλογή ήταν μια λογική λύση στην WDM metro τεχνολογία.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα, πέντε από τα μήκη κύματος CWDM εμπίπτουν στην E-band. Αυτή η ζώνη κανονικά δεν χρησιμοποιείται στην τυποποιημένη ίνα τύπου G.652 λόγω της αιχμής ύδατος. Η απώλεια λόγω της αιχμής ύδατος που είναι χαρακτηριστικά 0,5 DB/hl_m, δεν είναι μεγάλη. Εντούτοις, η μέγιστη απώλεια μπορεί να είναι 2 DB/hl_m ή μεγαλύτερη. Οι μεταφορείς δεν είναι πρόθυμοι να διατρέξουν τον κίνδυνο ότι ο αγορασμένος εξοπλισμός δεν μπορεί να λειτουργήσει σε μικρή ή σε όλη την ίνα τύπου metro G.652. Συνεπώς,

τα πρώτα προϊόντα που εφαρμόστηκε και επεκτάθηκε η CWDM σε εφαρμογές metro στρέφονται στις ζώνες O,S, C&L.



Σχήμα 17: Metro CWDM πλέγμα μήκους κύματος όπως ορίζεται από την ITU-T G.694.2

2.22.4 ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ CWDM

2.22.4.1 Τμήμα συστημάτων CWDM

I. Οπτική Ίνα

Για τις βελτιώσεις δικτύων ινών metro και τις εφαρμογές Greenfield, η ευκαιρία που υπάρχει τώρα είναι η εγκατάσταση της πιο πρόσφατης τεχνολογίας ινών ITU-T G.652.C, η οποία αποβάλλει ουσιαστικά την αιχμή ύδατος στα 1383 NM και απελευθερώνει έτσι την E-band για την περαιτέρω επέκταση της ικανότητας χωρητικότητας. Η OFS υπερασπίστηκε την ανάπτυξη

ίνας χαμηλής απώλειας, η οποία υπερνίκησε το μέγιστο πρόβλημα αιχμής ύδατος, και τώρα τόσο η OFS όσο και η Corning παρέχουν την ίνα που προσαρμόζεται στα πρότυπα G.652.C. Η Legacy Dispersion Shifted Fiber (ίνα DFS ή DS) που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί με DWDM στην C-band λόγω των 4^{ωv} κυμάτων που αναμειγνύει τώρα να επαναχρησιμοποιηθεί με τις νέες τεχνολογίες metro CWDM. Αυτό μπορεί να αποτρέψει περιττό σκίσιμο ενός ολόκληρου τμήματος του DS καλωδίου που εγκαταστάθηκε μια φορά για να υποστηρίξει τα μελλοντικά συστήματα 40Gbit/s TDM.

II. Λέιζερ

α) Άμεσα διαμορφωμένα λέιζερ CWDM

Τα άμεσα διαμορφωμένα λέιζερ CWDM με τα ποσοστά δυαδικών ψηφίων μέχρι 2,5 Gbit/s βελτιστοποιούνται για το χαμηλότερο κόστος. Το σχέδιό τους είναι βασισμένο στη δοκιμασμένη και αποδεδειγμένη τεχνολογία DFB. Η τεχνολογία DFB έχει οφέλη ενός στενού line-width με τους ιδιαίτερα κατασταλαμένους side-modes, παρέχοντας κατά συνέπεια παρόμοια χαμηλή απόδοση διασποράς στα άμεσα διαμορφωμένα λέιζερ DWDM. Κατά συνέπεια, τα λέιζερ CWDM είναι ικανά για μετάδοση 2,5 Gbit/s πέρα από τις αποστάσεις 80 χλμ στην ίνα ITU G.652. Το χαμηλότερο κόστος, η μικρή δύναμη και τα μειωμένα διαστημικά οφέλη των συσκευών αποστολής σημάτων λέιζερ CWDM προκύπτουν από το μη ψυχόμενο σχέδιο τους. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχουν τους ογκώδεις νεροχύτες θερμότητας, να ελέγξουν και κυκλώματα και θερμοηλεκτρικά δοχεία ψύξης (TECs) που συνδέονται κοντά στο τσιπ λέιζερ, το οποίο σώζει την ηλεκτρική δύναμη και τα διαστήματα. Μια χαρακτηριστική οπτική παραγωγή 1 mW (0dBm) επιτυγχάνεται με τα λέιζερ χαμηλότερου κόστους CWDM.

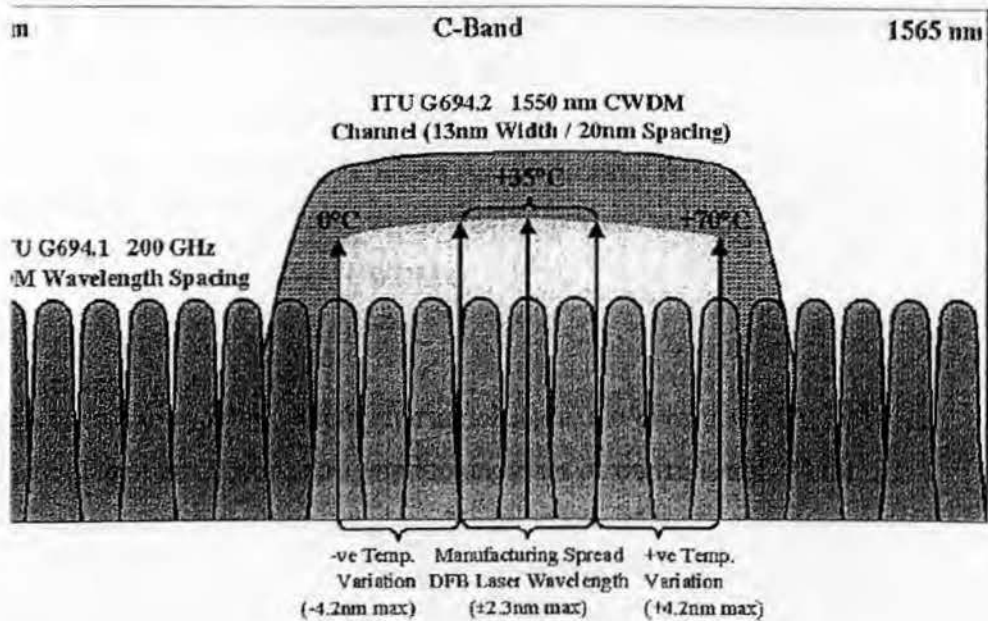
β) Κάθετη επιφάνεια κοιλοτήτων που εκπέμπει τα λέιζερ (VCSELS)

Τα VCSELS κατασκευάζονται τώρα στον όγκο για GbE και 10 LAN GbE WWDM εφαρμογές με 850 NM/1310 NM και τις single-mode/multimode επιλογές. Όπως αναφέρεται νωρίτερα, ο OIF VSR-5 ομάδα μελέτης διευκρινίζει τώρα 4 X 10 Gbit/s λέιζερ

CWDM O-band που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για VSR LANs και το κεντρικό γραφείο (CO). Αυτές οι συσκευές CWDM πιθανότατα βασίζονται στο χαμηλότερο κόστος 1310 NM VCSELs. Το μακροχρόνιο κύμα (1500-1610 NM) VCSELs (LW-VCSELs) έχει αναπτυχθεί τώρα για singlemode εφαρμογές ινών και WDM. Αποστάσεις μετάδοσης 80 χλμ έχουν επιτευχθεί σε 2,5 Gbit/s με τη μικρή ποινική ρήτρα δύναμης και 10 μονάδες Gbit/s αναμένονται σύντομα. Επίσης, έχουν επιτευχθεί μήκη κύματος κατάλληλα για CWDM και 100 GHz DWDM.

2.22.4.2 CWDM vs DWDM τεχνολογίας λέιζερ

Ο κυρίαρχος παράγοντας που διαφοροποιεί τις δαπάνες συσκευών αποστολής σημάτων CWDM από τη συσκευή αποστολής σημάτων DWDM είναι τα WDM διαστήματα καναλιών. Τα διαστήματα καναλιών καθορίζουν πόσο μακριά το σχετικό λέιζερ που ανάβει το κανάλι μπορεί να παρασυρθεί από το ονομαστικό μήκος κύματος λόγω των κατασκευαστικών ανοχών, της θερμοκρασίας και το ρεύμα διαμόρφωσης. Αυτό είναι διευκρινισμένο στο Σχήμα για το φίλτρο CWDM 1550nm και πολλαπλάσια χωρισμένο κατά διαστήματα 200GHz DWDM φίλτρο και αντιπροσωπευτικού DFB μήκος κύματος λέιζερ στη C-band



Σχήμα 18: CWDM vs DWDM-Εργοστασιακές και θερμοκρασιακές ανοχές

2.22.5 Διαφορές μεταξύ των συσκευών αποστολής σημάτων DWDM και CWDM:

- Ο όγκος που καταλαμβάνεται από μια συσκευή αποστολής σημάτων λέιζερ DWDM είναι περίπου οκτώ φορές ο όγκος μιας ομοαξονικής συσκευής αποστολής σημάτων λέιζερ CWDM.
- Η ενέργεια που καταναλώνεται από μια συσκευή αποστολής σημάτων DWDM είναι περίπου 20 φορές η ενέργεια που καταναλώνεται από μια συσκευή αποστολής σημάτων CWDM. Για ένα WDM 16-καναλιών σύστημα, οι συσκευές αποστολής σημάτων CWDM καταναλώνουν περίπου τέσσερα Watt, ενώ η

ίδια λειτουργία σε ένα σύστημα DWDM μπορεί να καταναλώσει πάνω από 80 Watt.

- Εξαιτίας των παραπάνω ζητημάτων, η συσκευασία μιας συσκευής αποστολής σημάτων λέιζερ DWDM είναι ακριβότερη από μια μη ψυχόμενη συσκευή αποστολής λέιζερ CWDM. Κατά συνέπεια, τα τμήματα συσκευών αποστολής σημάτων DWDM έχουν χαρακτηριστικά τέσσερις έως πέντε φορές το κόστος των αντίστοιχων CWDM.

2.22.6 Δέκτες

Οι δέκτες που χρησιμοποιούνται στα πολυδιαυλικά συστήματα CWDM είναι ουσιαστικά οι ίδιοι με εκείνους που χρησιμοποιούνται σε συστήματα DWDM. Σε αντίθεση με τους τυποποιημένους ενιαίους δέκτες πρωτοκόλλου, απαιτούν συχνά μεγαλύτερο εύρος ζώνης για να μπορούν να συλλάβουν όλα τα διευκρινισμένα ποσοστά δυαδικών ψηφίων και τα πρωτόκολλα. Οι μπροστινές άκρες αυτών των δεκτών χρησιμοποιούν τους wavelength agnostic PIN ή Avalanche Photodiode detectors (APDs) που καλύπτουν ολόκληρη τη ζώνη ITU CWDM. Είναι τα φίλτρα CWDM που παρέχουν την επιλεκτικότητα μήκους κύματος. Το όφελος των ανιχνευτών PIN είναι το χαμηλότερο κόστος, και το απλούστερο λαμβάνουν σχέδιο. Το όφελος των ανιχνευτών APD είναι μια βελτίωση 9-10 DB στην ευαισθησία δεκτών.

2.22.7 Φίλτρα

Φίλτρα CWDM:

Τα φίλτρα CWDM εφαρμόζονται χρησιμοποιώντας τη λεπτή τεχνολογία φίλτρων (TFF). Είναι διαθέσιμα όπως ιδιαίτερες απλού διαύλου συσκευές φίλτρων και ως ενσωματωμένες συσκευές πολυδιαυλωτών/αποπολυπλεκτών με χαρακτηριστικά τέσσερις ή οκτώ λιμένες μήκους κύματος. Οι διάφορες διαμορφώσεις αυτών των συσκευών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εφαρμοστούν σε έναν πολυδιαυλικό οπτικό add/drop πολυπλέκτη. Τα φίλτρα CWDM μπορούν

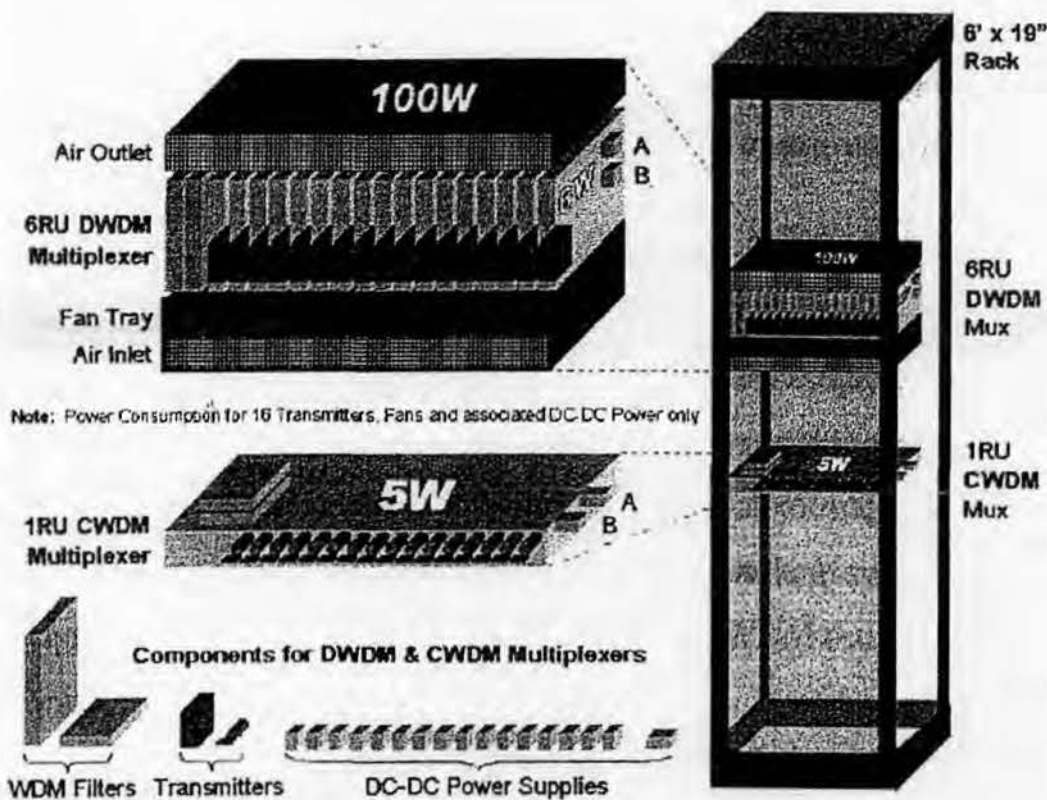
να είναι διευκρινισμένα για την ομοιοκατευθυνόμενη μετάδοση στα δίκτυα δύο-ινών ή για αμφίδρομη μετάδοση στα δίκτυα ενιαίας –ίνας. Η τελευταία επιλογή έχει τα πλεονεκτήματα χαμηλότερου κόστους για τις εφαρμογές leased-fiber και μειωμένη αρίθμηση ινών για τις εφαρμογές υπαρχουσών ινών. Οφειλόμενη στις χρησιμοποιούμενες διαδικασίες και τα υλικά λεπτών ταινιών, η θερμική σταθερότητα του κέντρου του φίλτρου CWDM είναι άριστη (χαρακτηριστικά λιγότερη από 0,002 κλίση nm/C).

CWDM vs DWDM φίλτρων:

Τα φίλτρα CWDM είναι εγγενώς λιγότερο ακριβά να φτιαχτούν από τα φίλτρα DWDM λόγω μικρότερου αριθμού στρωμάτων στο σχέδιο φίλτρων. Χαρακτηριστικά υπάρχουν πάνω από 100 στρώματα που απαιτούνται για 200 GHz όπως χρησιμοποιούνται στα προϊόντα metro DWDM, όπου υπάρχουν μόνο 50 στρώματα σε φίλτρο 20nm που χρησιμοποιείται στα προϊόντα metro CWDM. Το αποτέλεσμα είναι πιο σύντομος χρόνος κατασκευής, λιγότερα υλικά και υψηλότερη κατασκευή για τα φίλτρα CWDM. Κατά συνέπεια, οι δαπάνες φίλτρων CWDM είναι γενικά λιγότερο από 50 τοις εκατό του κόστους των αντιστοιχών φίλτρων DWDM.

2.22.8 Σχετικά με το προϊόν οφέλη

Το μικρότερο μέγεθος και η πιο μικρή κατανάλωση ισχύος της CWDM εναντίον των συστατικών CWDM μεταφράζονται στις μικρότερες διαστάσεις πολυδιαυλωτών CWDM, στις λιγότερες ή τις χαμηλότερες παροχές ηλεκτρικού ρεύματος και στον μειωμένο θερμικό διοικητικό εξοπλισμό για την αφαίρεση της θερμότητας που και οι συσκευές αποστολής σημάτων και οι παροχές ηλεκτρικού ρεύματος παράγουν. Αυτές οι διαφορές είναι γραφικά παρουσιασμένες στο Σχήμα που χρησιμοποιεί τα στοιχεία από τα 16 τμήματα μήκους κύματος DWDM και CWDM.



Σχήμα 19: Αντιπροσωπευτικό DWDM vs CWDM προϊόν-χωρητικές & Δυναμικές διαφορές

Οι αρχιτεκτονικές πολυπλεκτών που παρουσιάζονται στο Σχήμα είναι βασισμένες μόνο στις σημαντικότερες συστατικές διαφορές μεταξύ των τεχνολογιών WDM 200 GHz και CWDM, που είναι λεπτές ταινίες φίλτρων και άμεσα διαμορφωμένες συσκευές αποστολής σημάτων λέιζερ DFB. Και στις δύο περιπτώσεις, τα λέιζερ υποτίθεντο

Οι αντιπροσωπευτικές διαφορές διαστήματος και δύναμης προϊόντων είναι σημαντικές αλλά λίγη έκπληξη προκαλούν στους κατασκευαστές εξοπλισμού που έχουν εμπειρία στις εξελίξεις προϊόντων DWDM και CWDM. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.8, ο συνδυασμός διαχείρισης και δύναμης ιών (θερμότητα) οδηγεί τα προϊόντα DWDM προς ένα μεγάλο πλαίσιο με πολλούς κάθετους τύπους καρτών. Αντίθετα, η χαμηλή

πυκνότητα ισχύος των τεχνολογιών CWDM επιτρέπει ένα πλαίσιο χαμηλής σχεδίασης με λιγότερους τύπους ενότητας ή ακόμα και μια ενιαία μητρική κάρτα στην περίπτωση ενός προϊόντων εμπορικού βαθμού.

Οι πρόσθετες απαιτήσεις σε διάστημα των προϊόντων DWDM οδηγούν στο ιδιαίτερο πρόσθετο κόστος ειδικά στις καταστάσεις ομοθέσης όπου το διάστημα μισθώνεται από έναν άλλο μεταφορέα. Επιπλέον, το διάστημα απαιτείται επίσης για τις μεγαλύτερες παροχές ηλεκτρικού ρεύματος συνεχές ρεύμα ή/και τις εφεδρικές μπαταρίες που είναι μια σημαντική εκτίμηση στη λειτουργία του εξοπλισμού τηλεπικοινωνιών. Εκτός από την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, τις θερμικές διοικητικές απαιτήσεις και σχετικές capex δαπάνες των συστημάτων DWDM, στα opex οι δαπάνες αυξάνονται επίσης λόγω της δύναμης και του φορτίου κλιματισμού. Λόγω όλων αυτών των εκτιμήσεων, το κόστος κύκλου της ζωής μιας λύσης DWDM έναντι μιας λύσης CWDM είναι μεγαλύτερη στα βασικά συστατικά, όπως θα έδειχνε η σύγκριση δαπανών.

2.22.9 Μελλοντικές προοπτικές

Η CWDM έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει αποτελεσματικά και οικονομικά σε όλο τον metro core και metro access σε εγκαταστάσεις πελατών. Η δυνατότητα να παρέχει πολλαπλά μήκη κύματος με λογικό κόστος πρέπει να αντηχήσουν καλά σε όλη την κοινότητα μεταφορέων, η οποία ήταν ανίκανη να δικαιολογήσει τις μεγάλες δαπάνες που συνδέονται με DWDM όταν αντιστοιχίζονται στις οικονομικές απαιτήσεις της τοπικής ανταλλαγής.

2.22.10 Οπτική ίνα στο κτήριο

Τα δωμάτια εξοπλισμού οικοδόμησης είναι δημοφιλή για την από κοινού τοποθέτηση εξοπλισμού metro-access και του ιδιωτικού επιχειρηματικού τοπικού LAN/WAN. Επιχειρηματικοί πελάτες και μεταφορείς απαιτούν από δίκτυα με ίνα να υποστηρίζουν τις πολλαπλάσιες υπηρεσίες (π.χ., OC-n, FICON και GbE) καθώς και πολλαπλάσιες επιλογές προστασίας μονοπατιών.

Τα δίκτυα metro CWDM είναι ιδανικά για αυτές τις εφαρμογές δεδομένου ότι το διάστημα να είναι ασφαλισμένο μέσα στα δωμάτια εξοπλισμού και ο υψηλής κατανάλωσης εξοπλισμός δεν είναι επιθυμητός όπου υπάρχει ανεπαρκής κλιματισμός. Το χαμηλό capex και opex κόστος της CWMD είναι αρκετό για να δικαιολογήσει νέες υπηρεσίες υψηλότερου εύρους ζώνης που οι επιχειρηματικοί πελάτες απαιτούν αλλά είναι συχνά απρόθυμοι να πληρώσουν. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν την επέκταση του τοπικού LAN GbE, ESCON και FICON(Κανάλι ιών), στα δίκτυα περιοχής αποθήκευσης (SANs) καθώς επίσης και στις υπάρχουσες ευρυζωνικές υπηρεσίες μεταφοράς μέσω του ATM ή πακέτων πάνω από SONET.

2.22.11 Απομακρυσμένα τερματικά

Εξαιτίας του χαμηλού κόστους και τα οφέλη στη δύναμη και το διάστημα της CWDM, αποτελεί μια ιδανική τεχνολογία για την εγκατάσταση σε εξωτερικές εφαρμογές κοντά στον πελάτη. Σε αντίθεση με τις βελτιώσεις NG-SONET, ένα αναπαραγωγικό δίκτυο CWDM παρέχει μια οικονομικά αποδοτική λύση «no fork-lift βελτίωση» για την προσθήκη νέου OC-12 έως Oc-48 backhaul για τις νέες ευρυζωνικές υπηρεσίες DSL, χωρίς επιρροή ενός υπάρχοντος δαχτυλιδιού OC-1 ή OC-3 εγκατεστημένου προηγουμένως για τις βασικές υπηρεσίες POTS.

2.22.12 Μελλοντική μαζική παραγωγή συστατικών και συστημάτων

Οι σημαντικές μειώσεις κόστους παραγωγής των συστατικών CWMD και των συστημάτων αναμένονται κατά τη διάρκεια των επόμενων 2-3 ετών λόγω των αυτοματοποιημένων διαδικασιών κατασκευής και της αυξανόμενης ολοκλήρωσης. Οι δαπάνες φίλτρων TFF προβάλλονται να μειωθούν σε έναν παράγοντα τρία κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Οι LWVCSEL συσκευές αποστολής σημάτων και οι συστοιχίες δεκτών APD με ακέραιο λεπτό φίλμπυx/demux φίλτρων είναι πιθανές να αναπτυχθούν για τις πολυδιαυλικές εφαρμογές σημείο-σημείου σε metro CWDM. Αυτό περαιτέρω μειώνει το κόστος ανά κανάλι. Σαν στοιχεία αυτής της τάσης, είναι ήδη διαθέσιμα 10 GbE CWDM VCSEL πομποδέκτες και mux/demux φίλτρα με αυτό το επίπεδο ολοκλήρωσης και σχετικά οφέλη δαπανών για μαζική παραγωγή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

WDM PONS-(Passive optical network)

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως απάντηση στη διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση για εύρος ζώνης και δικτυακές υπηρεσίες τόσο από τους οικιακούς χρήστες όσο και από τους επιχειρησιακούς πελάτες, τα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα (Passive Optical Networks) έχουν αναδειχθεί την τελευταία δεκαετία ως μια υποσχόμενη τεχνολογία πρόσβασης που προσφέρει ευελιξία, δυνατότητες ευρείας κάλυψης και οικονομικός αποδοτικό διαμοιρασμό των ακριβών οπτικών ζεύξεων συγκριτικά με τις συμβατικές λύσεις σημείου-προς-σημείο.

Τα συγκεκριμένα πλεονεκτήματα των Παθητικών Οπτικών Δικτύων έχουν πυροδοτήσει τα τελευταία χρόνια σημαντική εμπορική δραστηριότητα, η οποία αντικατοπτρίζεται και στις εργασίες αρκετών αρχών προτυποποίησης.

Το 1998 ο τομέας προτυποποίησης της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU-T) δημοσίευσε τις πρώτες συστάσεις της σειράς G.983.x, οι οποίες αναφέρονται συχνά ως πρωτόκολλο B-PON και είχαν συνταχθεί από την ομάδα Full Service Access Network (FSAN). Το πρωτόκολλο B-PON χρησιμοποιεί το ATM ως στρώμα μεταφοράς και επιδεικνύει ορισμένα ισχυρά χαρακτηριστικά, γεγονός που επαληθεύεται από το εύρος των υλοποιήσεων βασισμένες στο πρωτόκολλο B-PON που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα.

Το 2004 δύο νέες τεχνολογίες Παθητικών Οπτικών Δικτύων προτυποποιήθηκαν:

Το πρωτόκολλο E-PON από το ινστιτούτο IEEE και το πρωτόκολλο G-PON από τον τομέα ITU-T, το οποίο συντάχθηκε από την ομάδα FSAN και επικυρώθηκε με τις συστάσεις G.984.x. Και οι δύο τεχνολογίες προσφέρουν μεταφορά δεδομένων βασισμένη σε λειτουργίες πακέτων, με ταχύτητες τάξεως Gigabit ανά δευτερόλεπτο.

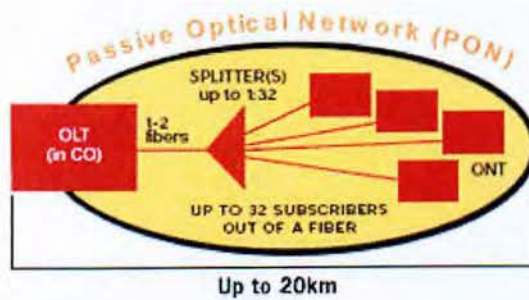
Παρόλο που οι δύο τεχνολογίες αναπτύχθηκαν και προτυποποιήθηκαν σε παρόμοιο χρονικό πλαίσιο και υπήρχε επικοινωνία μεταξύ των δύο

ομάδων με στόχο την ανταλλαγή πληροφοριών και την κατάληξη σε κοινές προδιαγραφές, στην τελική μορφή τους τα δύο πρωτόκολλα εμφανίζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις. Σε τεχνικό επίπεδο, το πρωτόκολλο E-PON σχεδιάστηκε με γνώμονα την απλουστευμένη λειτουργία, επιτυγχάνοντας συμβατότητα με τα πρότυπα 802.3. Η ομάδα FSAN αντίθετα, επιχείρησε τη δημιουργία του πρωτοκόλλου G-PON από την αρχή με βάση συγκεκριμένες απαιτήσεις απόδοσης και υποστήριξης υπηρεσιών. Στην πράξη τελικά υιοθετήθηκαν αρκετά χαρακτηριστικά από το πρωτόκολλο B-PON, ωστόσο η τελική μορφή του πρωτοκόλλου G-PON απαιτούσε τη χρησιμοποίηση πιο πολύπλοκου εξοπλισμού επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα αυξημένη απόδοση.

Παράλληλα με την οικονομική ανάπτυξη και λειτουργία που επιτυγχάνεται με τα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα, η οποία είναι εξαιρετικά σημαντική για τους διαχειριστές και τους παρόχους υπηρεσιών, εξίσου σημαντική αποδεικνύεται η υψηλή και δίκαιη χρησιμοποίηση των διαθέσιμων πόρων. Για την επίτευξη αυτής, ο μηχανισμός κατανομής εύρους ζώνης πρέπει να σχεδιασθεί ώστε να επιτυγχάνει βέλτιστη ισορροπία μεταξύ αποδοτικότητας και συγκεκριμένων εγγυήσεων επίδοσης, ώστε να υποστηρίζονται υπηρεσίες και εφαρμογές με διαφορετικές απαιτήσεις. Η υποστήριξη ξεχωριστών επιπέδων ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service) είναι κρίσιμη για την επιτυχία μιας τεχνολογίας πρόσβασης, αφού σχετίζεται άμεσα με τη προσφορά υπηρεσιών όπως είναι η τηλεφωνία, το διαδίκτυο και τα πολυμέσα κατά παραγγελία.

3.2 Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical Network, PON)

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



Σχήμα 20: Παθητικό Οπτικό Δίκτυο

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

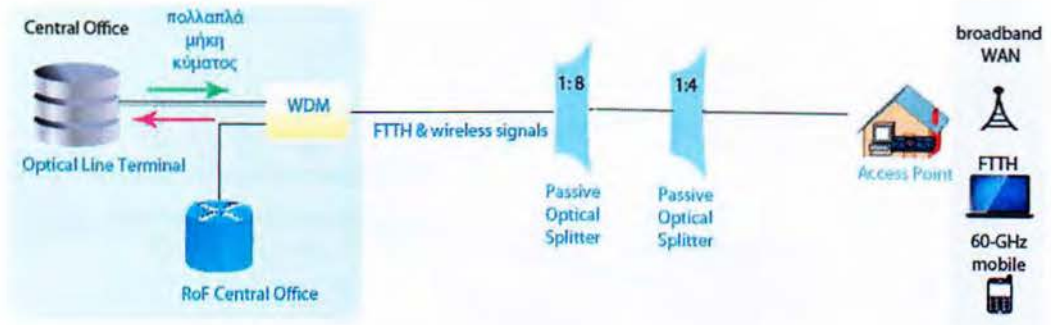
Υπάρχουν τρεις τυποποιημένες εκδόσεις PON: Ethernet PON (EPON, IEEE 802.3ah), ATM PON και Broadband PON (APON-BPON, ITU-T G.983) και Gigabit PON (GPON, ITU-T G.984). Όλες χρησιμοποιούν δύο μήκη κύματος, ένα για την προς τα κάτω και ένα για την προς τα πάνω μετάδοση δεδομένων. Αυτά τα μήκη κύματος μοιράζονται χρονικά μεταξύ των χρηστών, με πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDMA - PONs). Το συνολικό διαθέσιμο εύρος ζώνης ανά χρήστη περιορίζεται έτσι από αυτό το μοίρασμα. Ένα τρίτο μήκος κύματος μπορεί προαιρετικά να χρησιμοποιηθεί για την προς τα κάτω μετάδοση αναλογικής τηλεόρασης (RF). Η Πολυπλεξία Μήκους Κύματος (WDM) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα PON για να αυξήσει τη συνολική χωρητικότητα του δικτύου.

Ο πίνακας συγκρίνει μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά των τεχνολογιών PON.

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

Πίνακας: Σύγκριση των τεχνολογιών PON

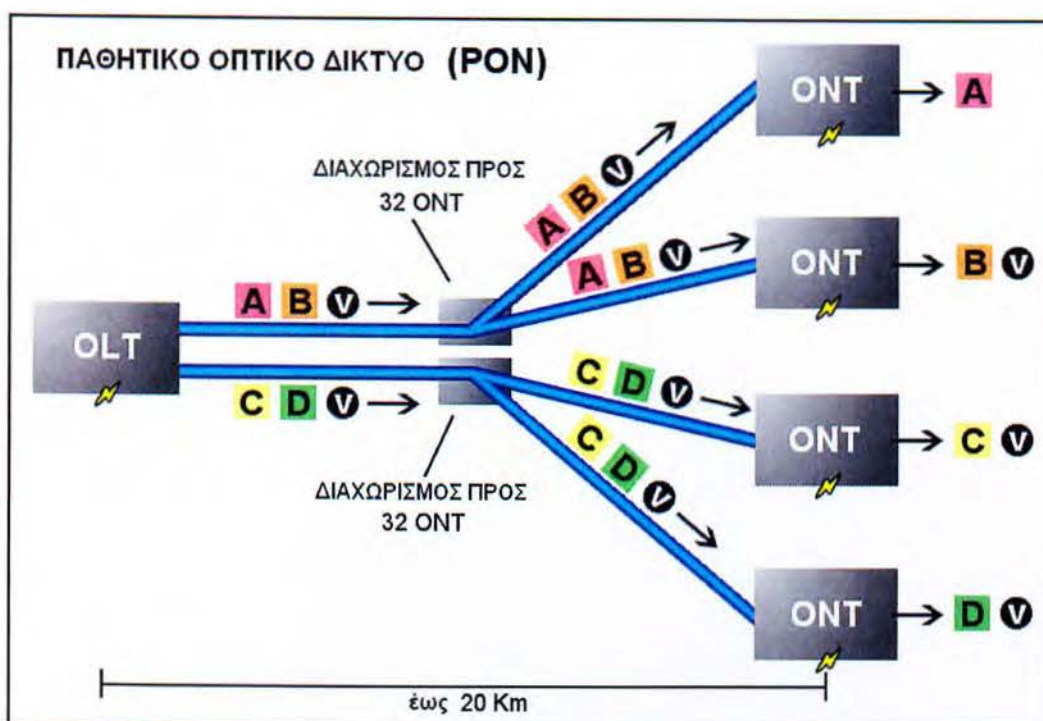
3.2.1 Αρχιτεκτονική οπτικών δικτύων πρόσβασης



Αρχιτεκτονική PON

Εικόνα 21: Αρχιτεκτονική ενός PON δικτύου

Η ανταλλαγή δεδομένων στα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα πραγματοποιείται μεταξύ του Οπτικού Τερματιστή Γραμμής (Optical Line Termination, OLT) και των Οπτικών Μονάδων Δικτύου (Optical Network Unit, ONU) ή των Οπτικών Τερματιστών Δικτύου (Optical Network Termination, ONT), μέσω του Οπτικού Δικτύου Διανομής (Optical Distribution Network, ODN) που τα διασυνδέει. Το τερματικό OLT αποτελεί το σημείο προσαρμογής μεταξύ του δικτύου PON και του δικτύου κορμού στο κέντρο μεταγωγής.



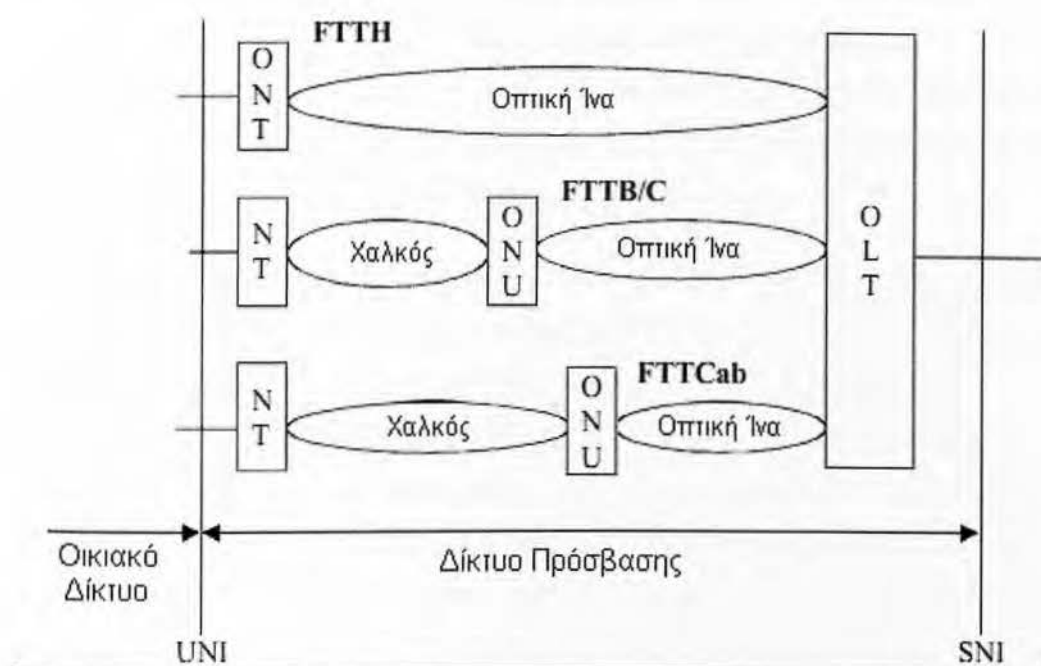
Σχήμα 22: Παθητικό Οπτικό Δίκτυο τοπολογίας δέντρου

Σημείωση σχετικά με τους όρους ONU/ONT: το δικτυακό στοιχείο που λειτουργεί ως διεπαφή για το Οπτικό Δίκτυο Διανομής και τις εγκαταστάσεις πρόσβασης του τελικού χρήστη, θα αναφέρεται από αυτό το σημείο ως Οπτική Μονάδα Δικτύου (ONU). Σε ορισμένες συστάσεις της ITU-T πραγματοποιείται διάκριση των εννοιών ONU και ONT, θεωρώντας το τερματικό ONT ως μία ειδική περίπτωση (που αφορά ένα μόνο χρήστη) μιας μονάδας ONU.

Ωστόσο, δεδομένου ότι από τη σκοπιά της λειτουργίας του στρώματος σύγκλισης μετάδοσης του δικτύου G-PON οι δύο οντότητες θεωρούνται ταυτόσημες, ο όρος μονάδα ONU θα αναφέρεται εφεξής και στις δύο έννοιες.

Οι αρχιτεκτονικές Οπτικών Δικτύων Πρόσβασης που έχουν επικρατήσει μέχρι σήμερα είναι οι:

- Οπτική Ίνα μέχρι το Σπίτι (Fiber To The Home, FTTH)
- Οπτική Ίνα μέχρι το Κτίριο/Πεζοδρόμιο (Fiber To The Building/Curb, FTTB/C)
- Οπτική Ίνα μέχρι το Καφάο (Fiber To The Cabinet, FTTCab)



Σχήμα 23: Αρχιτεκτονικές Οπτικών Δικτύων Πρόσβασης

3.3 BPON και GPON

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

Καθώς η ενθυλάκωση της IP κυκλοφορίας σε πακέτα ATM δημιουργεί μεγάλο πλεόνασμα δεδομένων που οφείλονται στην επικεφαλίδα, και στην προσπάθεια να δημιουργηθεί ένα πιο ευέλικτο πρότυπο, αναπτύχθηκε το GPON (Gigabit PON). Στο GPON, η ενθυλάκωση πραγματοποιείται μέσω ενός πρωτοκόλλου που λέγεται Generic Framing Protocol, μία ευέλικτη μέθοδο που επιτρέπει τη διαχείριση πληροφοριών μεταβλητού ρυθμού δεδομένων. Χρησιμοποιούνται μεγαλύτερα πακέτα μεταβλητού μήκους και προσφέρεται η δυνατότητα στα δεδομένα που είναι ευαίσθητα στην καθυστέρηση, όπως η φωνή και το βίντεο, να μπαίνουν σε προτεραιότητα και τα υπόλοιπα δεδομένα να ακολουθούν (Quality of Service, QoS). Το δίκτυο GPON παραδίδει μέχρι 2,488 Gbps ρυθμό δεδομένων και προς τις δύο κατευθύνσεις και είναι ικανό να προσφέρει υπηρεσίες triple play (φωνή, βίντεο, δεδομένα).

3.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων G-PON

Με βάση την προτυποποίηση του τομέα ITU-T ([4], [5]), για τα δίκτυα G-PON ισχύουν τα ακόλουθα:

Ρυθμός μετάδοσης (citrade): τα δίκτυα G-PON στοχεύουν σε ρυθμούς μετάδοσης μεγαλύτερους ή ίσους με 1.24416 Gbit/s. Οι επιτρεπτοί συνδυασμοί ρυθμών μετάδοσης στην πράξη είναι:

- 1.24416 Gbit/s στην άνοδο, 2.48832 Gbit/s στην κάθοδο
- 2.48832 Gbit/s στην άνοδο, 2.48832 Gbit/s στην κάθοδο

Ο πιο συνηθισμένος συνδυασμός ρυθμών μετάδοσης, ο οποίο συνιστά την πλειοψηφία των εγκατεστημένων και προγραμματισμένων προς εγκατάσταση συστημάτων G-PON είναι ο 1.24416 Gbit/s στην άνοδο, 2.48832 Gbit/s στην κάθοδο.

Λογική Εμβέλεια (logical reach): η λογική εμβέλεια ορίζεται ως η μέγιστη απόσταση μεταξύ των μονάδων ONU και του τερματικού OLT, μη συμπεριλαμβανομένων των περιορισμών του φυσικού στρώματος. Για τα δίκτυα G-PON, η μέγιστη λογική εμβέλεια ορίζεται στα 60 km.

Φυσική Εμβέλεια (physical reach): η φυσική εμβέλεια ορίζεται ως η μέγιστη φυσική απόσταση μεταξύ των μονάδων ONU και του τερματικού OLT. Για Οπτικά Δίκτυα Διανομής κλάσης C, η φυσική εμβέλεια είναι ορισμένη για τα δίκτυα G-PON στα 20 km.

Διαφορική απόσταση οπτικών ινών (differential fiber distance): για τα δίκτυα G-PON η μέγιστη διαφορική απόσταση οπτικών ινών ορίζεται στα 20 km.

Μέγιστη μέση καθυστέρηση μεταφοράς σήματος (maximum mean signal transfer delay):

τα δίκτυα G-PON οφείλουν να υποστηρίζουν υπηρεσίες που απαιτούν μέγιστη μέση καθυστέρηση μεταφοράς σήματος 1.5 ms.

Λόγος διαχωρισμού (split ratio): όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος διαχωρισμού που υποστηρίζεται από το δίκτυο G-PON, τόσο πιο ελκυστικό αποδεικνύεται για τον πάροχο. Ωστόσο ένας υψηλός λόγος διαχωρισμού μεταφράζεται σε υψηλότερο οπτικό διαχωρισμό, για τον οποίο απαιτείται αυξημένος προϋπολογισμός ισχύος για την κάλυψη της φυσικής εμβέλειας. Λόγοι διαχωρισμού μέχρι 1:64 αποδεικνύονται ρεαλιστικοί για το φυσικό στρώμα (βασισμένο σε Οπτικά Δίκτυα Διανομής κλάσης C), με βάση την υπάρχουσα τεχνολογία. Ωστόσο με τη διαρκή εξέλιξη των οπτικών μονάδων, το στρώμα σύγκλισης μετάδοσης οφείλει να υποστηρίζει λόγο διαχωρισμού μέχρι 1:128.

Μήκος Κύματος λειτουργίας: στην κατεύθυνση ροής καθόδου, το εύρος μήκους κύματος λειτουργίας για συστήματα μονής οπτικής ίνας είναι 1480-1500 nm. Στην κατεύθυνση ροής ανόδου το αντίστοιχο εύρος είναι 1260-1360 nm.

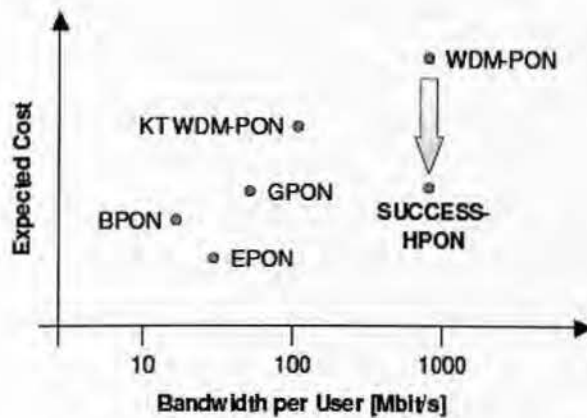
Κωδικοποίηση γραμμής: κωδικοποίηση NRZ, στην άνοδο και τη κάθοδο.

3.4 EPON

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

3.5 WDM-PON

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



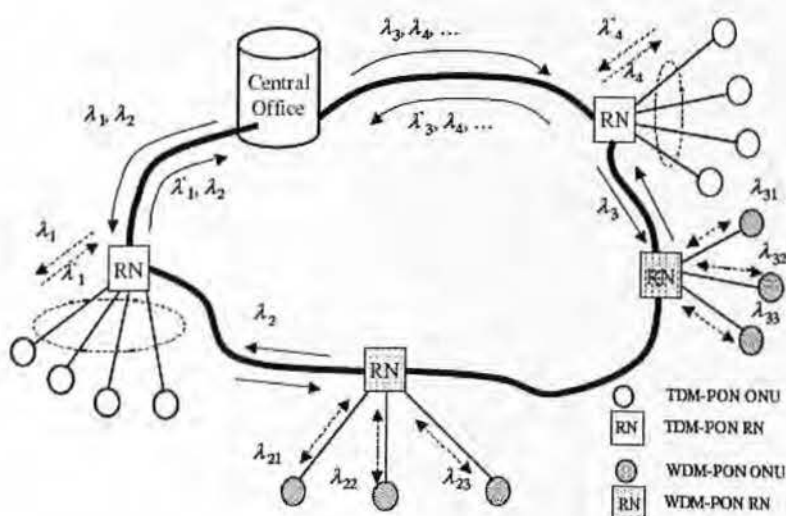
Σχήμα 24: Σχέση Κόστους και εύρος ζώνης των Παθητικών Οπτικών Δικτύων

3.6 Υβριδικά TDM/WDM-PONs

Η ανάπτυξη των τεχνολογιών TDMA-PONs έχει ξεκινήσει. Αναμένεται ότι μέχρι το 2009 ο αριθμός των χρηστών θα είναι μεγαλύτερος από 10 εκατομμύρια παγκοσμίως. Λαμβάνοντας υπόψη τις υφιστάμενες υποδομές και τις αυξανόμενες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, το ζήτημα θα είναι πώς να περάσουμε στην τεχνολογία WDM-PON με έναν εύκαμπτο και οικονομικά αποδοτικό τρόπο.

Κάποια υβριδικά TDM/WDM PON μοντέλα έχουν προταθεί, συμπεριλαμβανομένων των Hybrid PON της Samsung και του SUCCESS-DWA και του SUCCESS-HPON του Στάνφορντ.

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



Σχήμα 25: Αρχιτεκτονική SUCCESS-HPON

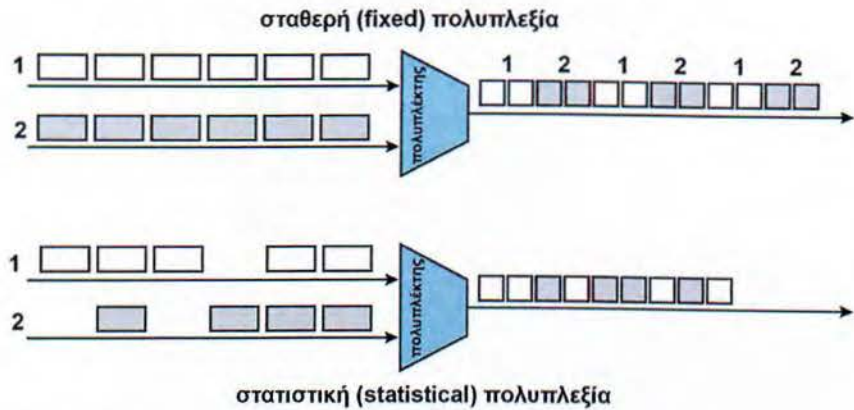
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΟΠΤΙΚΗ ΜΕΤΑΓΩΓΗ-OPTICAL SWITCHING

4.1 Μεταγωγή κυκλώματος – Μεταγωγή πακέτων

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι υποδομών εγκατεστημένων δικτύων, ανάλογα με τον τρόπο πολυπλεξίας και μεταγωγής της κίνησης σε αυτά: τα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος και τα δίκτυα μεταγωγής πακέτου. Στο σχήμα φαίνονται μερικές από τις διαφορές στον τρόπο πολυπλεξίας για αυτά τα δύο είδη μεταγωγής.

Η **μεταγωγή κυκλώματος** προϋποθέτει την κατανομή εγγυημένου μεγέθους εύρους ζώνης σε κάθε σύνδεση. Το εύρος ζώνης είναι διαθέσιμο σε όλη τη διάρκεια της σύνδεσης από τη στιγμή που αυτή ξεκινάει, και κατά συνέπεια η σύνδεση παραμένει στατική μετά την εδραίωσή της. Το συνολικό εύρος ζώνης της τηλεπικοινωνιακής ζεύξης καθορίζεται ως το άνω όριο του αθροίσματος όλων των επιμέρους ευρών ζώνης, που αντιστοιχούν σε κάθε κύκλωμα ή σύνδεση. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα δικτύου μεταγωγής κυκλώματος είναι το τηλεφωνικό δίκτυο. Στο δίκτυο αυτό παρέχεται σταθερά εύρος ζώνης ~ 4 KHz με κάθε σύνδεση.



Σχήμα 26 : Δύο διαφορετικά είδη πολυπλεξίας: σταθερή (fixed) και στατιστική (statistical).

Στη μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching) ο επιλογικός εξοπλισμός του δικτύου ψάχνει ένα φυσικό χάλκινο μονοπάτι συμπεριλαμβανόμενων των οπτικών ινών και των ασύρματων ζεύξεων που να καλύπτει όλη την απόσταση από-άκρο-σε-άκρο. Το αφιερωμένο αυτό μονοπάτι ανάμεσα στα άκρα υπάρχει από την στιγμή που δημιουργείται η κλήση και συνεχίζει να υπάρχει μέχρι να τερματιστεί η κλήση ή η σύνδεση.

Είναι δηλαδή, υποχρεωτικό να δημιουργηθεί το μονοπάτι προτού σταλούν οποιαδήποτε δεδομένα. Αφού η εγκατάσταση της κλήσης ολοκληρωθεί, η μόνη καθυστέρηση των δεδομένων είναι ο χρόνος διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού σήματος, περίπου 5 msec ανά 1000 km.

Η μεταγωγή κυκλώματος ακολουθεί την σειρά σύνδεσης (connect), διακίνησης (traffic) και αποσύνδεσης (disconnect).

Τα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος είναι ιδανικά για συνεχή τηλεπικοινωνιακή κίνηση από την στιγμή, που θα ξεκινήσει μία σύνδεση. Στην περίπτωση, όμως, που η τηλεπικοινωνιακή κίνηση χαρακτηρίζεται από “εκρηκτικότητα” (burstiness), η χρήση της μεταγωγής κυκλώματος καθίσταται αναποτελεσματική. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πλοήγηση στο Διαδίκτυο, κατά την οποία κάποιος χρήστης “κατεβάζει” συνεχώς σελίδες. Το χρονικό διάστημα,

κατά το οποίο ο χρήστης “διαβάζει” μία σελίδα, είναι, στην ουσία, ανενεργός. Με τυχαίο τρόπο, όμως, μπορεί κάποια στιγμή να επιθυμήσει το “άνοιγμα” μιας νέας σελίδας όσο το δυνατό πιο γρήγορα, οπότε και αυτόματα γίνεται ενεργός. Συνεπώς, μια “εκρηκτική” κίνηση απαιτεί διαφορετικό εύρος ζώνης, ανάλογα με τον είναι ενεργοποιημένη ή όχι.

Τηλεπικοινωνιακές κινήσεις αυτού του είδους χαρακτηρίζονται από μια μέση τιμή εύρους ζώνης (average bandwidth) και μία αντίστοιχη μέγιστη τιμή (peak bandwidth). Καθεμία από αυτές τις τιμές αντιστοιχεί στον μακροπρόθεσμο και βραχυπρόθεσμο ρυθμό “εκρηκτικότητας” της πληροφορίας.

Η αναποτελεσματικότητα της τεχνικής μεταγωγής κυκλώματος για τέτοιου είδους κινήσεις δεδομένων έγκειται στο γεγονός ότι απαιτείται δέσμευση εύρους ζώνης στο δίκτυο για την διαχείριση της απαιτούμενης μέγιστης τιμής εύρους ζώνης της κίνησης. Αυτό σημαίνει ότι τα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος δεν μπορούν να χειριστούν οντότητες δεδομένων μικρού μεγέθους σε εύρος ζώνης, και ότι σε όλες τις άλλες περιπτώσεις (απαιτούμενο εύρος ζώνης μικρότερο της μέγιστης τιμής) το δεσμευμένο εύρος ζώνης παραμένει ανεκμετάλλευτο.

Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού και για την αποδοτικότερη εκμετάλλευση του εύρους ζώνης μίας τηλεπικοινωνιακής ζεύξης υιοθετήθηκε η τεχνική της **μεταγωγής πακέτου**.

Στην τεχνική μεταγωγής πακέτων οι ροές δεδομένων χωρίζονται σε μικρά πακέτα δεδομένων, τα οποία πολυπλέκονται με άλλα πακέτα, που προέρχονται από άλλες ζεύξεις μέσα στο δίκτυο. Κατόπιν, τα πακέτα μεταγόνται ως αυτοδύναμες οντότητες στους κόμβους του δικτύου ανάλογα με τον προορισμό τους. Η πληροφορία του προορισμού κάθε πακέτου βρίσκεται στο πεδίο της επικεφαλίδας (header) του, το οποίο και προσκολλάται στο φορτίο-περιεχόμενό του

(payload). Οι ενδιάμεσοι κόμβοι του δικτύου αναγνωρίζουν τις επικεφαλίδες των πακέτων και τα δρομολογούν/μετάγουν ανάλογα με τον προορισμό, που επιθυμούν, μέσω ορισμένων πολύπλοκων διαδικασιών. Η επανασύνδεση των πακέτων στην αρχική μορφή της ροής δεδομένων γίνεται μόλις αυτά φτάσουν, τελικά, στην επιθυμητή διεύθυνση. Οι εφαρμογές Διαδικτύου είναι οι κυριότερες, ίσως, εφαρμογές, οι οποίες χρησιμοποιούν δίκτυα μεταγωγής πακέτων. Στις εφαρμογές αυτές χρησιμοποιείται για την μεταγωγή και τη δρομολόγηση κάθε πακέτου στον επιθυμητό προορισμό του το πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet protocol-IP).

Στη μεταγωγή πακέτων (packet switching) υπάρχουν συνήθως οι ίδιες φάσεις σύνδεσης, διακίνησης και αποσύνδεσης, όπως και στην μεταγωγή κυκλώματος, αλλά αυτό που δημιουργείται δεν είναι ένα πραγματικό φυσικό κύκλωμα, αλλά ένα εικονικό κύκλωμα (virtual circuit), χωρίς φυσική υπόσταση, που αποτελείται από μια ροή πακέτων με κοινή διεύθυνση προορισμού. Έτσι, ενώ στην μεταγωγή κυκλώματος το φυσικό κύκλωμα ήταν αφιερωμένο αποκλειστικά στο καθορισμένο ζευγάρι χρηστών καθ' όλη την διάρκεια του διαστήματος διακίνησης, στη μεταγωγή πακέτων κάθε ζεύξη μπορεί να μοιράζεται σε πολλές ταυτόχρονες συνδέσεις που κατευθύνονται σε διαφορετικές θέσεις.

Πριν περίπου μια δεκαετία, προτάθηκε μια καινούρια τεχνική μεταγωγής κυκλώματος και της μεταγωγής πακέτων και απαιτούσε λιγότερο πολύπλοκη τεχνολογία από την μεταγωγή πακέτων. Παρουσιάστηκε σαν μια επαρκής τεχνική μεταγωγής, η οποία εκμεταλλεύεται την χωρητικότητα που παρέχει η Πολυπλεξία Διαίρεσης Μήκους Κύματος (WDM).

Η τεχνική ονομάζεται Οπτική Ριπών και συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των τεχνικών μεταγωγής κυκλώματος και πακέτων, ενώ παράλληλα αποφεύγει τα μειονεκτήματά τους, όπου αναφέρεται αναλυτικά και παρακάτω.

Στα δίκτυα μεταγωγής πακέτου χρησιμοποιείται η τεχνική στατιστικής πολυπλεξίας (statistical multiplexing) για την πολυπλεξία πολλών “εκρηκτικών” ροών δεδομένων μιας ζεύξης σε μία ροή δεδομένων. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, η πιθανότητα κάθε πολυπλεγμένη ροή δεδομένων να είναι ενεργή είναι πολύ μικρή. Για το λόγο αυτό το απαιτούμενο εύρος ζώνης για τη συνολική ζεύξη μπορεί να γίνει σημαντικά μικρότερο σε σχέση με την περίπτωση, που όλες οι ροές δεδομένων είναι ταυτόχρονα ενεργές. Από αυτή την άποψη η τεχνική της στατιστικής πολυπλεξίας βελτιώνει σε μεγάλο βαθμό την αποδοτικότητα του διαθέσιμου εύρους ζώνης, αλλά μπορεί να οδηγήσει σε κάποια άλλα σημαντικά φαινόμενα. Αν οι ενεργές ροές δεδομένων είναι περισσότερες από το διαθέσιμο στη ζεύξη εύρος ζώνης, μερικά πακέτα θα πρέπει να μπουν σε μία ουρά αναμονής ή να καταχωρηθούν μέχρι η ζεύξη να αποκτήσει το απαιτούμενο/ελεύθερο εύρος ζώνης. Επιπλέον, κάποιες φορές μπορεί η τηλεπικοινωνιακή κίνηση να είναι τόσο έντονη, ώστε να υπάρχει υπερχειλίση των καταχωρητών και έτσι να απαιτείται η απόρριψη μερικών πακέτων. Στην περίπτωση του Διαδικτύου η λειτουργία αυτή επιτελείται από το υψηλού στρώματος πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης (Transmission Control Protocol-TCP). Βασικό λειτουργικό χαρακτηριστικό αυτού του πρωτοκόλλου είναι η εξασφάλιση ότι τα απορριπτόμενα πακέτα θα επαναμεταδοθούν.

Η μεταγωγή πακέτων δεν υποστηρίζει την έννοια της σύνδεσης. Το δίκτυο επεξεργάζεται τα πακέτα, που ανήκουν σε μία σύνδεση, σαν ανεξάρτητες οντότητες και διαφορετικά πακέτα μπορούν να δρομολογηθούν μέσα από διαφορετικά τμήματα του δικτύου μέχρι τον τελικό τους προορισμό, όπου και επανενώνονται. Το είδος αυτό της υπηρεσίας εντάσσεται στις ασύνδετες υπηρεσίες (connection-less services) και καλείται υπηρεσία datagram. Κατά συνέπεια, τα δίκτυα μεταγωγής πακέτων παρέχουν *υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας* (best effort services), καθώς στην πράξη γίνεται προσπάθεια για βέλτιστη μεταφορά των δεδομένων από την πηγή στον προορισμό τους στο συντομότερο χρονικό διάστημα, χωρίς όμως την δυνατότητα προσφοράς συγκεκριμένων εγγυήσεων.

Αυτού του είδους η υπηρεσία είναι κατάλληλη για έναν αριθμό εφαρμογών μη ευαίσθητων σε χρονικές καθυστερήσεις, όπως είναι η πλοήγηση στο διαδίκτυο και η μεταφορά αρχείων. Από την άλλη πλευρά, όμως, εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως η μετάδοση βίντεο ή φωνής, δεν μπορούν να ανεχτούν τυχαίες καθυστερήσεις πακέτων. Για το λόγο αυτό γίνεται σήμερα μεγάλη προσπάθεια για τον σχεδιασμό δικτύων μεταγωγής πακέτου, που θα προσφέρουν εγγυήσεις για την ποιότητα της υπηρεσίας.

Στα πλαίσια αυτής της προσπάθειας αναπτύχθηκε το δίκτυο Ασύγχρονου Τρόπου Μεταφοράς (Asynchronous Transfer Mode-ATM) ενώ αντίστοιχα και το IP έχει διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να παρέχει παρόμοιες υπηρεσίες. Οι περισσότερες προσπάθειες για QoS βασίζονται στην έννοια της ύπαρξης ενός επιπέδου προσανατολισμένων συνδέσεων.

Έτσι, για παράδειγμα το πρωτόκολλο MPLS (Multi-Protocol Label Switching) στα IP δίκτυα χρησιμοποιείται για την υποστήριξη ροών δεδομένων από τη μία άκρη του δικτύου στην άλλη μέσω της δημιουργίας εικονικών κυκλωμάτων (virtual circuits). Τα εικονικά κυκλώματα ωθούν όλα τα πακέτα, που ανήκουν σε ένα κύκλωμα, να ακολουθήσουν την ίδια διαδρομή μέσα από το δίκτυο, επιτρέποντας έτσι ιδανική κατανομή των πόρων αυτού, ώστε να παρέχονται συγκεκριμένες εγγυήσεις QoS, όπως είναι για παράδειγμα οι οριοθετημένες καθυστερήσεις πακέτων. Σε αντίθεση, όμως, με τα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος τα εικονικά κυκλώματα δεν εγγυώνται την παροχή σταθερού εύρους ζώνης κατά τη διάρκεια της μετάδοσης των πακέτων, καθώς χρησιμοποιείται στατιστική πολυπλεξία μεταξύ των εικονικών κυκλωμάτων ενός δικτύου.

4.2 ΟΠΤΙΚΗ ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΡΙΠΩΝ (Optical Burst Switching-OBS)

4.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Η οπτική Μεταγωγή Ριπών (Optical Burst Switching-OBS) Βασίζεται σε καποιές ιδέες που παρουσιάστικαν πρίν χρόνια για ηλεκτρική μεταγωγή ριπών.

Σε αυτό τον καιρό η μεταγωγή με ριπές ήταν μία προέκταση της γρήγορης μεταγωγής πακέτων, με πακέτα διαφορετικού μήκους.

Η οπτική μεταγωγή ριπών είναι μια τεχνική για μετάδοση ριπών δεδομένων διαμέσου ενός οπτικού δικτύου μεταφοράς, η οποία εγκαθιστά μια σύνδεση και κάνει κράτηση πόρων στους κόμβους από άκρο σε άκρο που διαρκεί όσο μεταδίδεται η ριπή. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της μεταγωγής με ριπές παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω.

- Η οπτική μεταγωγή ριπών είναι ένας συνδιασμός των μεταγωγών κύκλωματος και πακέτων.
- Υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ πληροφοριών ελέγχου(επικεφαλίδα-header) και δεδομένων. Επικεφαλίδα και δεδομένα μεταφέρονται συνήθως σε διαφορετικά κανάλια με μία προκαθορισμένη χρονική διαφορά.
- Εφαρμόζεται μονόδρομη κράτηση πόρων (one way reservation), αντί για αμφίδρομη από άκρο σε άκρο επικοινωνία.
- Οι ριπές μπορούν να έχουν διαφορετικό μήκος.

Η μεταγωγή ριπών δεν χρειάζεται προσωρινή αποθήκευση (buffering).

Η κεντρική ιδέα της μεταγωγής ριπών είναι ο διαχωρισμός του μονοπατιού που μεταφέρεται το πακέτο ελέγχου και του μονοπατιού που μεταδίδεται η ριπή δεδομένων.

4.3 Λειτουργία του OBS

Στην οπτική μεταγωγή με ριπές τα πακέτα δημιουργούνται στη αρχή του μονοπατιού και αποσυναρμολογούνται μόνο στον προορισμό τους. Τα πακέτα αυτά δεν έχουν προκαθορισμένο μέγεθος και λέγονται ριπές.

Οι ριπές δεδομένων(data bursts) ή απλά(bursts) είναι ψηφιοποιημένα μηνύματα δεδομένων. Σε ένα IP/WDM δίκτυο η ριπή η οποία σχηματίζεται σε έναν ακραίο διακόπτη ή δρομολογητή, αποτελείται από πολλά πακέτα IP(IP packets) και μπορεί να περιέχει αρκετά megabytes δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να είναι κελία ATM (Asynchronous Transfer Mode cells), εικόνες υψηλής ανάλυσης (high-resolution images), ταινίες βίντεο μικρού μήκους (short video clips), δεδομένα HDTV (High Definition Television data) και γενικά οτιδήποτε μεταδίδεται καθημερινά στο διαδίκτυο

Η συναρμολόγηση της ριπής είναι η διαδικασία που πακέτα προερχόμενα από διαφορετικές πηγές γίνονται μέρος ενός μεγαλύτερου πακέτου, που λέγεται ριπή. Η μονάδα μεταγωγής προωθεί εισερχόμενα πακέτα σε μονάδες συναρμολόγησης ριπών. Συνήθως υπάρχει μία αφιερωμένη ουρά συναρμολόγησης για κάθε τάξη κυκλοφορίας, ή κλάση προτεραιότητας. Ο προγραμματιστής ριπών είναι υπεύθυνος για την δημιουργία ριπών και των αντίστοιχων πακέτων ελέγχου τους, ρυθμίζοντας τον χρόνο έναρξης μετάδοσης για κάθε ριπή, προγραμματίζοντας κάθε ριπή στην αντίστοιχη έξοδο και προωθώντας τις ριπές και τα πακέτα ελέγχου τους στον πυρίνα του οπτικού δικτύου.

Διάφορες μελέτες που έχουν γίνει πάνω στην συναρμολόγηση ριπών έχουν δείξει ότι διαφορετικοί τρόποι συναρμολόγησης επηρεάζουν τον κυκλοφοριακό χαρακτήρα τις ριπής. Οι πιο συνηθισμένοι αλγόριθμοι συναρμολόγησης μπορούν να χωριστούν σε αυτούς που βασίζονται σε χρονιστή(time-based), σε αυτούς που βασίζονται στο μήκος της ριπής

(burstlength-based) και σε έναν συνδιασμό των δύο πρώτων (mixed timer/burstlength-based).

Στην πρώτη τεχνική, ένας χρονιστής, ή πιο απλά ένα χρονόμετρο ξεκινά να μετράει στην αρχή κάθε νέου κύκλου συναρμολότητας. Μετά από ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα T , όλα τα πακέτα που έφτασαν μέσα στο διάστημα αυτό, συναρμολογούνται σε μία ριπή.

Στην δεύτερη τεχνική υπάρχει ένα όριο στο ελάχιστο μήκος της ριπής. Η ριπή συναρμολογείται όταν φτάσει το πακέτο που θα κάνει το συνολικό μήκος της ριπής να ξεπεράσει το προκαθορισμένο όριο.

Το χρονικό διάστημα που θα επιλεχτεί για το χρονόμετρο στην πρώτη τεχνική θα πρέπει να είναι πολύ καλά μελετημένο. Αν η τιμή του είναι πολύ μεγάλη θα έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλη καθυστέρηση στον αρχικό κόμβο. Αν η τιμή του είναι πολύ μικρή θα δημιουργηθούν πολλές μικρές ριπές, που θα προκαλέσουν μεγάλη επιβάρυνση στον έλεγχο.

Ενώ η τεχνική που βασίζεται στο χρονιστή μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητα μήκη ριπών, ή δεύτερη τεχνική δεν μπορεί να παρέχει καμία εγγύηση για την καθυστέρηση που θα έχει η ριπή στον ακραίο κόμβο μέχρι να συναρμολογηθεί. Για την αποφυγή των προβλημάτων προτάθηκαν αλγόριθμοι που συνδιάζουν και τις δύο μεθόδους. Δηλαδή μία ριπή μπορεί να συναρμολογηθεί και να φύγει από τον ακραίο κόμβο, είτε όταν συμπληρωθεί ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, είτε όταν ξεπεραστεί ένα προκαθορισμένο μήκος.

Στην οπτική μεταγωγή με ριπές ένα πακέτο ελέγχου(control packet) ή πακέτο επικεφαλίδας (burst header packet) προηγείται της κάθε ριπής δεδομένων. Το πακέτο ελέγχου περιέχει πληροφορίες που απαιτούνται για να δρομολογήσουν την ριπή διαμέσου του πυρήνα του οπτικού δικτύου. Ακόμα περιλαμβάνει πληροφορίες για το μήκος της ριπής, τον χρόνο έναρξης μετάδοσης και την ενδεχόμενη προτεραιότητα της.

Ο χρόνος έναρξης μετάδοσης είναι ο χρόνος μεταξύ της μετάδοσης του πρώτου bit του πακέτου ελέγχου από τον πρώτο κόμβο και της μετάδοσης του πρώτου bit της ριπής από τον ίδιο κόμβο. Η ριπή μεταδίδεται αυτόματα μετά τον προκαθορισμένο χρόνο μετάδοσης και χωρίς να περιμένει καμία επιβεβαίωση. Η τεχνική αυτή ονομάζεται «Ξεχωριστού Ελέγχου Καθυστεριμένης Μετάδοσης» (SCDT, Separate-Control Delayed-Transmission).

Η φυσική διαδρομή σε ένα οπτικό δίκτυο είναι μία ίνα που υποστηρίζει πολυπλεξία WDM με έναν αριθμό από μήκη κύματος. Τα περισσότερα από αυτά τα μήκη κύματος είναι αφιερωμένα αποκλειστικά στην μετάδοση των ριπών και λέγονται μήκη κύματος δεδομένων (data wavelegths) Τα υπόλοιπα, είναι κανάλια αφιερωμένα στην μεταφορά των πακέτων ελέγχου μεταξύ των κόμβων και λέγονται μήκη κύματος ελέγχου(control wavelenghts).

4.4 Μελέτες και μοντέλα της μεταγωγής OBS

Η οπτική μεταγωγή ριπών συνδυάζει την επεξεργασία και την προσωρινή αποθήκευση των ηλεκτρικών σημάτων με τα πλεονεκτήματα της οπτικής μεταφοράς δεδομένων με DWDM και δρομολόγηση μύκους κύματος. Οι μελέτες και τα μοντέλα είναι πολλά, παρακάτω αναφέρονται τα πιο σημαντικά.

Οι σημαντικότερες εφαρμογές και διατάξεις και τα σημαντικότερα σχέδια που σχετίζονται με την Οπτική Μεταγωγή Ριπών είναι τα εξής:

- RFD (Reserved a Fixed Duration)
- JET (Just Enough Time)
- IBT (In Band Terminator)
- TAG (Tell And Go)
- TAW (Tell And Wait)
- JIT (Just In Time)
- RLD (Reserved a Limited Duration)
- Αλγόριθμος προγραμματισμού "Horizon"
- MPLS (Multi Protocol Label Switching)

4.5 Τα πλεονεκτήματα της Οπτικής Μεταγωγής Ριτών

Μηχανισμός Οπτικής Μεταγωγής	Χρησιμοποίηση Εύρους Ζώνης	Καθυστέρηση	Δυσκολία Υλοποίησης
Μεταγωγή Κυκλώματος	Χαμηλή	Υψηλή	Χαμηλή
Μεταγωγή Πακέτων	Υψηλή	Χαμηλή	Υψηλή
Μεταγωγή Ριτών	Υψηλή	Χαμηλή	Χαμηλή

Συγκρινόμενη με την μεταγωγή κυκλώματος όπου για να εγκατασταθεί ένα μονοπάτι χρειάζεται αμφίδρομη διαδικασία, η μεταγωγή με ριτές μπορεί να πετύχει πολύ καλύτερη χρησιμοποίηση και εκμετάλευση του εύρους ζώνης, επειδή επιτρέπει σε πολλές ριτές να μοιράζονται ένα κανάλι, ενώ σε άλλη περίπτωση θα καταλάμβαναν πολλά μύκη κύματος. Επιπλέον μία ριτή θα έχει μικρότερη καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, αφού ο χρόνος έναρξης που χρησιμοποιείται είναι συνήθως αρκετά μικρότερος από τον χρόνο που χρειάζεται για να εγκατασταθεί ένα μονοπάτι στη μεταγωγή κυκλώματος.

Σε σύγκριση με την μεταγωγή πακέτων όπου κάθε πακέτο έχει προκαθορισμένο μέγιστο μήκος και περιέχει και επικεφαλίδα, η μεταγωγή με ριτές αντιμετωπίζει λιγότερη επιβάρυνση ελέγχου και επεξεργασίας, επειδή η ριτές έχουν διαφορετικά μύκη και τις περισσότερες φορές είναι μεγαλύτερες από ένα πακέτο δεδομένων.

Θα πρέπει να αναφερθεί όμως ότι οι διαφορές ανάμεσα στην **μεταγωγή πακέτων** και στην **μεταγωγή ριτών** αρχίζουν να θολώνουν όταν τα πακέτα δεδομένων μπορούν να έχουν διαφορετικό μήκος, ή να δρομολογούνται ασύγχρονα, ή και να χρησιμοποιούν διαφορετικά κανάλια για την μετάδοση των επικεφαλίδων τους.

REPORT

1912

The following report was prepared by the
Committee on the Administration of Justice
in the year 1912.

The Committee has the honor to acknowledge
the assistance of the following gentlemen
in the preparation of this report:

Mr. J. H. ...
Mr. W. H. ...
Mr. C. H. ...
Mr. E. H. ...
Mr. F. H. ...
Mr. G. H. ...
Mr. I. H. ...
Mr. K. H. ...
Mr. L. H. ...
Mr. M. H. ...
Mr. N. H. ...
Mr. O. H. ...
Mr. P. H. ...
Mr. Q. H. ...
Mr. R. H. ...
Mr. S. H. ...
Mr. T. H. ...
Mr. U. H. ...
Mr. V. H. ...
Mr. W. H. ...
Mr. X. H. ...
Mr. Y. H. ...
Mr. Z. H. ...

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....σελ 4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

- 1.1 Οπτική ίνα και δομή της.....σελ 8
- 1.2 Ιστορική αναδρομή και οπτικά δίκτυα πρώτης γενιάς....σελ 10
- 1.3 Τα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς.....σελ13
- 1.4 Τα μελλοντικά δίκτυα τρίτης γενιάς.....σελ18
- 1.5 Εφαρμογες των οπτικών ινών.....σελ 20
 - 1.5.1 Γενικές εκτιμήσεις.....σελ 20
 - 1.5.2 Τηλεπικοινωνιακά συστήματα.....σελ20
 - 1.5.3 Εφαρμογές σε διασυνδέσεις υπολογιστών και τερματικών...σελ21
 - 1.5.4 Εφαρμογές στις μετρήσεις και στο βιομηχανικό έλεγχο..σελ 21
 - 1.5.5 Χρησιμοποίηση οπτικών ινών σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....σελ 22
 - 1.5.6 Εφαρμογές στα μέσα μεταφοράς.....σελ23
 - 1.5.7 Εφαρμογές στην Ιατρική.....σελ23
 - 1.5.8 Στρατιωτικές εφαρμογές.....σελ 24

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Πολυπλεξία Διαίρεσης Μήκους Κύματος (WDM).....σελ 25	σελ 25
2.1 Η Ανάγκη για πολυπλεξία	σελ 25
2.2 Γενική Περιγραφή “WDM ”	σελ 26
2.3 Λύσεις του προβλήματος πολυπλεξίας.....σελ 27	σελ 27
2.4 Τοπολογίες Δικτύων WDM.....σελ 30	σελ 30
2.4.1 Ζεύξεις Σημείου – προς – Σημείο Υψηλής Χωρητικότητας.....σελ 30	σελ 30
2.4.2 Η βασική διάρθρωση μιας ζεύξης WDM.....σελ 30	σελ 30
2.5 Σύγκριση TDM-WDM	σελ 34
2.6 Διαχείριση Εύρους Ζώνης με WDM σε τοπικά δίκτυα.....σελ 35	σελ 35
2.7 Κατηγορίες Πρωτοκόλλων Διαχείρισης σε LAN	σελ 36
2.8 Πρωτόκολλο τυχαίας προσπέλασης.....σελ 36	σελ 36
2.9 Δίκτυα Ευρείας και Μητροπολιτικής Ζώνης.....σελ 38	σελ 38
2.10 Δίκτυα Πολλαπλής Πρόσβασης.....σελ 39	σελ 39
2.11 Αναφορικές ζεύξεις που χρησιμοποιούν wdm.....σελ 40	σελ 40
2.12 Τα βασικά δομοστοιχεία μίας ζεύξης WDM.....σελ 42	σελ 42
2.12.1 Οι αναμεταδότες.....σελ 43	σελ 43
2.12.2 Διατάξεις δικτύων WDM.....σελ 43	σελ 43
2.12.3. Οπτικές ίνες και WDM.....σελ 44	σελ 44
2.12.4. Οπτικοί Ενισχυτές.....σελ 45	σελ 45
2.12.5. Συσκευές φωτοανίχνευσης.....σελ 49	σελ 49
2.12.6 Οπτικοί πολυπλέκτες / αποπολυπλέκτες	σελ 49
2.12.7 Οπτικοί πολυπλέκτες προσθήκης/ αφαίρεσης.....σελ 50	σελ 50
2.12.8 Οπτικά φίλτρα.....σελ 51	σελ 51

2.13	Παθητικός συζεύκτης αστέρα.....σελ	54
2.14	Δρομολογητές μήκους κύματος.....σελ	55
2.15	Μετατροπείς μήκους κύματος.....σελ	55
2.16	Οπτικά στοιχεία διασύνδεσης.....σελ	56
2.17	Πομποί/δέκτες σε συστήματα wdm.....σελ	58
2.18	Το παρόν και το μέλλον της τεχνολογίας wdm.....σελ	59
2.19	WDM Networking.....σελ	62
2.20	Τεχνολογία SONET/SDH.....σελ	63
2.21	Πυκνή Πολυπλεξία Διαχωρισμού Μήκους Κύματος (DWDM).....σελ	64
2.21.1	Από το WDM στο DWDM.....σελ	64
2.21.2	Αρχιτεκτονική του DWDM.....σελ	66
2.21.3	Ενοποίηση των τεχνολογιών ATM και DWDM.....σελ	67
2.21.4	Τρέξιμο ATM πάνω από DWDM.....σελ	68
2.21.5	Δοκιμή ATM Α πάνω από DWDM	σελ 70
2.21.6	Προδιαγραφές για σωστή λειτουργία ATM/DWDM σχημάτων.....σελ	72
2.22	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ CWDM.....σελ	75
2.22.1	Ορισμός CWDM.....σελ	76
2.22.2	Πρώτες γενιές CWDM τεχνολογιών και των εφαρμογών της	σελ 76
2.22.3	Πρώτη παρουσία CWDM στην αγορά	σελ 79
2.22.4	ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ CWDM	σελ 81
2.22.4.1	Τμήμα συστημάτων CWDM.....σελ	81
2.22.4.2	CWDM vs DWDM τεχνολογίας λέιζερ.....σελ	83
2.22.5	Διαφορές μεταξύ των συσκευών αποστολής σημάτων DWDM και CWDM:.....σελ	84
2.22.6	Δέκτες.....σελ	84

2.22.7 Φίλτρα.....σελ	85
2.22.8 Σχετικά με το προϊόν οφέλη.....σελ	86
2.22.9 Μελλοντικές προοπτικές.....σελ	87
2.22.10 Οπτική Ίνα στο κτήριο.....σελ	88
2.22.11 Απομακρυσμένα τερματικά.....σελ	88
2.22.12 Μελλοντική μαζική παραγωγή συστατικών και συστημάτων..σελ	88

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

WDM PONS-(Passive optical network)

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....σελ	90
3.2 Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical Network, PON).....σελ	92
3.2.1 Αρχιτεκτονική οπτικών δικτύων πρόσβασης.....σελ	94
3.3 ΒΡΟΝ και GΡΟΝ.....σελ	97
3.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων G-PON.....σελ	98
3.4 ΕΡΟΝ.....σελ	99
3.5 WDM-PON.....σελ	100
3.6 Υβριδικά TDM/WDM-PONs.....σελ	100

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΟΠΤΙΚΗ ΜΕΤΑΓΩΓΗ-OPTICAL SWITCHING

4.1	Μεταγωγή κυκλώματος – Μεταγωγή πακέτων.....σελ	102
4.2	ΟΠΤΙΚΗ ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΡΙΠΩΝ (Optical Burst Switching-OBS).....σελ	108
4.2.1	ΟΡΙΣΜΟΣ.....σελ	108
4.3	Λειτουργία του OBS.....σελ	109
4.4	Μελέτες και μοντέλα της μεταγωγής OBS.....σελ	112
4.5	Τα πλεονεκτήματα της Οπτικής Μεταγωγής Ριπών.....σελ	113

Εικόνες

Εικόνα 1: Δομή οπτικής ίνας

Εικόνα 2: Δομή καλωδίου οπτικών ινών

Εικόνα 3: Μονότροπη οπτική ίνα

Εικόνα 4: Πολύτροπη οπτική ίνα διακριτού βήματος

Εικόνα 5: Πολύτροπη οπτική ίνα βαθμιαίου βήματος

Εικόνα 6: Τα βασικά δομικά τμήματα και η διασύνδεση αυτών στα WDM οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς

Εικόνα 7: Σχηματική αναπαράσταση ζεύξης σημείου-προς-σημείο

Εικόνα 8: Βασικές Διαφορές TDM Και WDM (Σχηματική αναπαράσταση)

Εικόνα 9: Αρχιτεκτονικές Lambda net και Παθητικού Οπτικού Τοπικού βρόχου

Εικόνα 10: Σχηματική αναπαράσταση Ενισχυτή Raman

Εικόνα 11 : Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας OADM

Εικόνα 12: Σχηματική αναπαράσταση του συμβολόμετρου Mach-Zehnder

Εικόνα 13 : Δρομολογητές Μήκους Κύματος

Εικόνα 14 : Γενική αρχή λειτουργίας Μετατροπέα Μήκους Κύματος

Εικόνα 15: Αναπαράσταση Οπτικού Στοιχείου διασύνδεσης (OXC)

Εικόνα 16: Εξέλιξη Της τεχνολογίας DWDM (Σχηματική αναπαράσταση)

Εικόνα 17: Metro CWDM πλέγμα μήκους κύματος όπως ορίζεται από την ITU-T G.694.2

Εικόνα 18: CWDM vs DWDM-Εργοστασιακές και θερμοκρασιακές ανοχές

Εικόνα 19: Αντιπροσωπευτικό DWDM vs CWDM προϊόν-χωρητικές&Δυναμικές διαφορές

Εικόνα 20: Παθητικό Οπτικό Δίκτυο

Εικόνα 21: Αρχιτεκτονική ενός PON δικτύου

Εικόνα 22: Παθητικό Οπτικό Δίκτυο τοπολογίας δέντρου

Εικόνα 23: Αρχιτεκτονικές Οπτικών Δικτύων Πρόσβασης

Εικόνα 24: Σχέση Κόστους και εύρος ζώνης των Παθητικών Οπτικών Δικτύων

Εικόνα 25: Αρχιτεκτονική SUCCESS-HPON

Εικόνα 26 : Δύο διαφορετικά είδη πολυπλεξίας: σταθερή (fixed) και στατιστική (statistical).

Βιβλιογραφία

- Ινσοπτικές επικοινωνίες τεχνολογία-εφαρμογές , Γεράσιμος Κ. Παγιατάκης
- Πολυκυματική πηγή laser για δίκτυα- WDM, Ευθύμιος Ι. Ρούβαλης
- Δίκτυα οπτικών ινών, GreenPaul- Μετάφραση : Καρούμπαλος, Κωνσταντίνος
- Τηλεπικοινωνίες οπτικών ινών Ουζούνογλου, Νικόλαος Κ.
- Οπτικά δίκτυα τεχνολογίας WDM Τοπικά και μητροπολιτικά δίκτυα, Multiwavelength optical LANs
Παπαδημητρίου Γεώργιος Ι., Obaidat Mohammad S., Πομπόρτσας Ανδρέας Σ., Τσιμούλας Παρασκευάς Α. Μεταφραστής: Μηλιώτης Κωνσταντίνος, Παπάζογλου Χρυσούλα, Τσιμούλας Παρασκευάς Α.

Ιστοσελίδες

- http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/4126/3/cheimonasm_passiveopticalnetworks.pdf
- <http://ecommerce.hostip.info/pages/814/Optical-Switching.html>

- [http://photonics.ntua.gr/Diafaneies Susthmata metadoshs /Enotita 1a OptikaSustimataMetadosis.pdf](http://photonics.ntua.gr/Diafaneies_Susthmata_metadoshs/Enotita_1a_OptikaSustimataMetadosis.pdf)
- http://www.ebusiness-lab.gr/files/dmdocuments/Ptyxiakes-old/PDFs/Pouliou_%CE%97%20%CE%95%CF%85%CF%81%CF%85%CE%B6%CF%89%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CE%BF%CE%B9%20%CE%95%CF%86%CE%B1%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%AD%CF%82%20%CF%84%CE%B7%CF%82.pdf
- <http://www.fiber-optics.info/>
- <http://vivliothmyy.ee.auth.gr/682/1/%CE%94%CE%95-SONET-SDH.pdf>

