



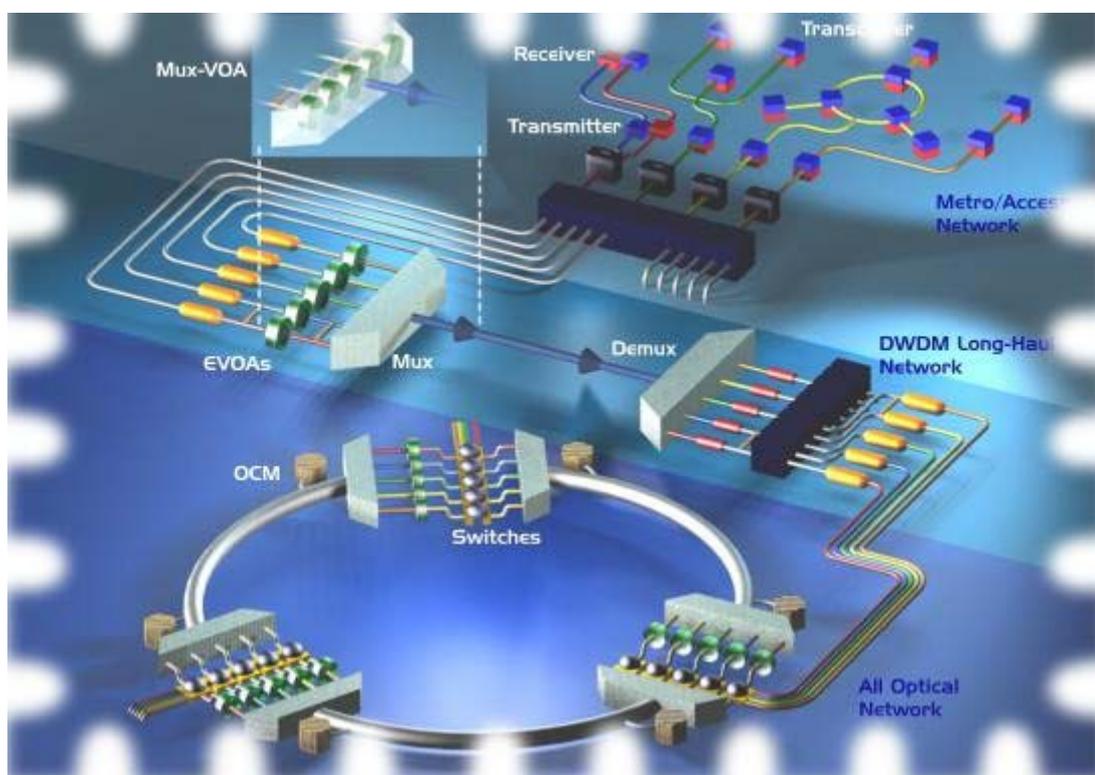
Τ.Ε.Ι ΗΠΕΙΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

με θέμα:

‘Πυκνή Πολυπλεξία Μήκους Κύματος’

DWDM



Σπουδαστής : Μαμάς Γεώργιος

Υπεύθυνος Καθηγητής : Λάμπας Κων/νος

Άρτα 2003



Περιεχόμενα

Πρόλογος	Σελ. 3
1.Εισαγωγή	Σελ. 4
1.1.Οπτικές ίνες	Σελ. 5
1.1.1.Δομή οπτικών ινών	Σελ. 5
1.1.2.Είδη οπτικών ινών	Σελ. 7
1.1.3.Πλεονεκτήματα Οπτικών ινών	Σελ. 8
1.2.Σύγχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία - SDH	Σελ. 9
1.3.Τεχνολογία ATM	Σελ. 11
2.Τεχνολογία πυκνής πολυπλεξία μήκους κύματος DWDM	Σελ. 13
2.1.Η Βασική ιδέα	Σελ. 13
2.2.Ορισμός του WDM / DWDM	Σελ. 13
2.3.Τεχνικές που βοήθησαν στην υλοποίηση	Σελ. 14
2.4.Η Βασική διάρθρωση μίας ζεύξης DWDM	Σελ. 15
3.Δομή & λειτουργία του DWDM	Σελ. 17
3.1.Αναμεταδότες	Σελ. 17
3.2.Ο πολυπλέκτης μήκους κύματος	Σελ. 19
3.3.Οι οπτικοί ενισχυτές	Σελ. 20
3.4.Ο αποπολυπλέκτης μήκους κύματος	Σελ. 21
3.5.Οι επιμέρους δέκτες	Σελ. 21
3.6.Οπτικοί πολυπλέκτες προσθαφαίρεσης	Σελ. 22
3.7.Οπτικοί διασταυρωτήρες	Σελ. 23
3.8.Οπτικές ίνες	Σελ. 23
4.Μητροπολιτικά δίκτυα & DWDM	Σελ. 24



4.1.Αξιολογώντας το DWDM στα μητροπολιτικά δίκτυα	Σελ. 25
4.2.Εφαρμογές & υπηρεσίες Μητροπολιτικών δικτύων	Σελ. 26
4.2.1.xDSL	Σελ. 27
4.2.2.Περιοχή αποθήκευσης δεδομένων - SAN	Σελ. 28
4.2.3.'IP over SDH over DWDM'	Σελ. 30
4.2.4.'IP over DWDM'	Σελ. 32
4.2.5.'ATM & DWDM'	Σελ. 33
5.Δικτυακές τοπολογίες σε Μητροπολιτικά Δίκτυα DWDM	Σελ. 35
5.1.Τοπολογία 'Σημείο με Σημείο'	Σελ. 35
5.2.Τοπολογία Δακτυλίου	Σελ. 36
5.3.Τοπολογία Πλέγματος	Σελ. 37
5.4.Δρομολόγηση & μετατροπή μήκους κύματος	Σελ. 38
6.ΕΔΕΤ2: Η πρώτη εφαρμογή του DWDM στην Ελλάδα	Σελ. 40
6.1.ΕΔΕΤ Α.Ε	Σελ. 40
6.2.ΕΔΕΤ2	Σελ. 42
Βιβλιογραφία	Σελ. 46



Πρόλογος

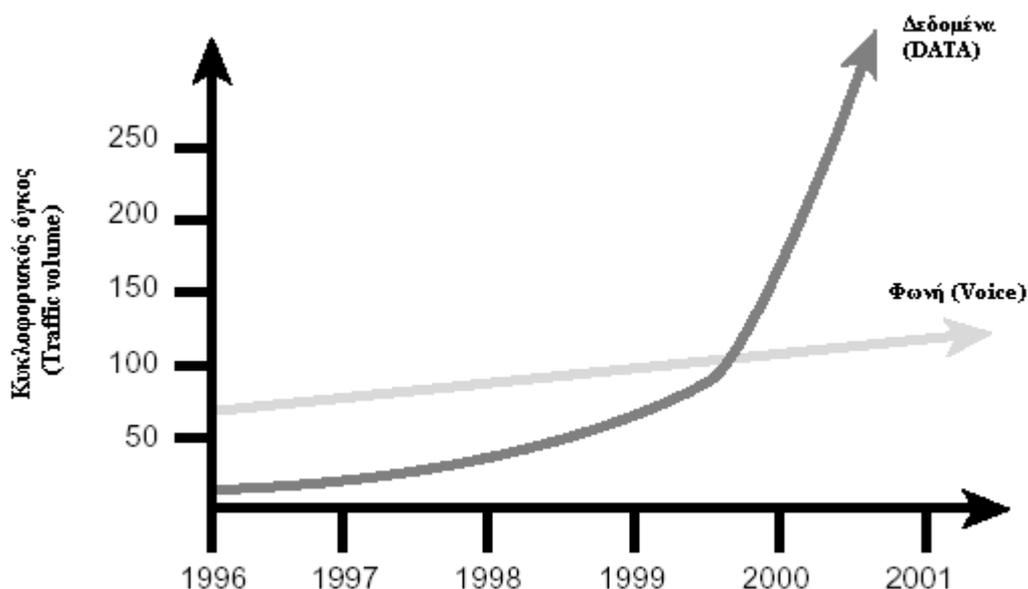
*Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την μεταφορά δεδομένων μέσω οπτικών ινών με την βοήθεια της ‘πυκνής πολυπλεξίας μήκους κύματος’ – **DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)**. Είναι μία καθαρά νέα τεχνολογία η οποία επιφέρει μεγιστοποίηση του μεταφερόμενου όγκου δεδομένων. Η βασική ιδέα πάνω στην οποία στηρίχτηκε η νέα αυτή τεχνολογία είναι η μεταφορά μέσα από μία οπτική ίνα πολλών φωτεινών ακτίνων δεδομένων, με κάθε μία από αυτές τις ακτίνες να αντιστοιχίζεται σε διαφορετική λειτουργία ακόμα και σε διαφορετική δομή πρωτοκόλλου.*

*Για να καταφέρουμε να κατανοήσουμε καλύτερα τον ακριβή τρόπο λειτουργίας του **DWDM** θα ήταν καλό να ξεκινήσουμε από πιο βασικά ερωτήματα που ίσως να μας απασχολήσουν όπως το τι είναι οπτική ίνα και πώς λειτουργεί καθώς επίσης και το πώς γινόταν μέχρι τώρα η μεταφορά δεδομένων μέσω των οπτικών φορέων.*



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η δεκαετία το 80’ και ιδιαίτερα του 90’ χαρακτηρίστηκαν από την αλματώδη ανάπτυξη της αγοράς των τηλεπικοινωνιών. Στην εποχή μας η τηλεπικοινωνιακή κίνηση αυξάνεται με πολύ υψηλούς ρυθμούς.



Οι ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις για μεγάλη ταχύτητα μετάδοσης, μεγάλο όγκο δεδομένων και εύρος ζώνης οδηγούν την έρευνα σε όλο και πιο πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες.

Η εποχή κατά την οποία το Διαδίκτυο ήταν μια καθαρά ακαδημαϊκή υπόθεση και αυτό που κυρίως προσέφερε στους χρήστες του ήταν η ανταλλαγή γραπτών μηνυμάτων (e-mails) ανάμεσα στους επιστήμονες για θέματα του ενδιαφέροντός τους έχει περάσει οριστικά και αμετάκλητα. Μέλη του Διαδικτύου είναι πλέον από απλοί χρήστες που αναζητούν σε αυτό νέους τρόπους ψυχαγωγίας, ενημέρωσης αλλά και διεκπεραίωσης των καθημερινών εργασιών τους, μέχρι μεγάλες επιχειρήσεις που έχουν ως κύριο αντικείμενό τους την παροχή υπηρεσιών μέσω αυτού.

Μέχρι πριν λίγα χρόνια η μετάδοση των δεδομένων στηριζόταν κυρίως στη χρησιμοποίηση καλωδίων χαλκού. Από τα modems (**modulators-demodulators**) που όλοι έχουμε στα σπίτια μας, μέχρι τις υπερατλαντικές συνδέσεις που πραγματοποιούνται ο χαλκός μας συντροφεύει. Πολλές μάλιστα από τις πιο

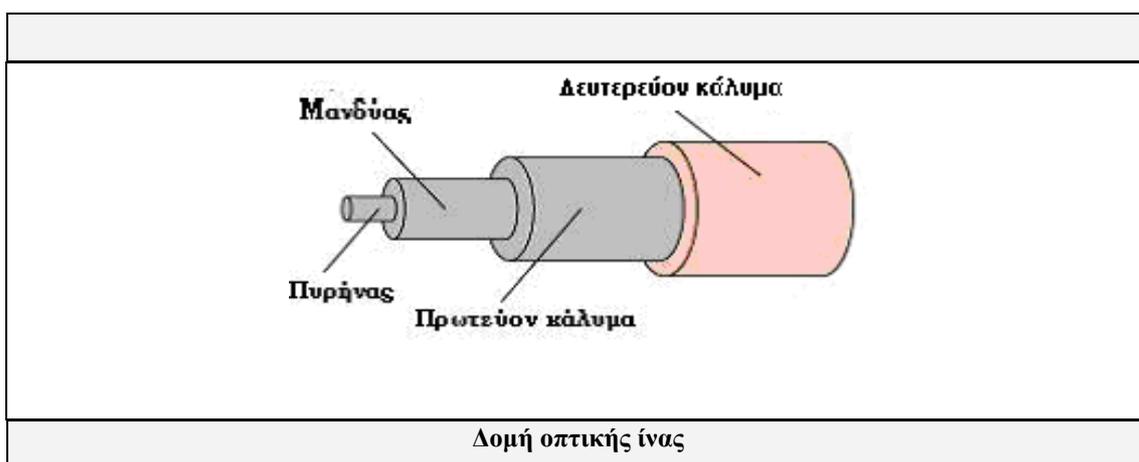


πρόσφατες τεχνολογίες μετάδοσης (ISDN, xDSL) εξακολουθούν να χρησιμοποιούν καλώδια χαλκού, απλώς προσφέρουν πολύ υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης. Η απάντηση στο ζήτημα των αυξημένων απαιτήσεων σε εύρος ζώνης (Bandwidth) δόθηκε μέσω της χρησιμοποίησης οπτικών ινών. Από πολύ νωρίς η πλειοψηφία των εταιρειών που δραστηριοποιούνται στην παροχή εύρους ζώνης είχε μία μόνο απάντηση στο πρόβλημα και αυτή ήταν η χρησιμοποίηση οπτικών ινών για την υλοποίηση των μεγάλων δικτύων κορμού.

1.1. Οπτικές ίνες

1.1.1. Δομή οπτικών ινών

Η οπτική ίνα είναι ένας γυάλινος κυματοδηγός κυλινδρικής διατομής. Η βασική της δομή περιλαμβάνει μία κεντρική κυλινδρική ράβδο, που ονομάζεται πυρήνας (core), και έναν σωλήνα, που περιβάλλει τον πυρήνα και ονομάζεται μανδύας (cladding). Για λόγους προστασίας, ο μανδύας καλύπτεται από πρωτογενή επικάλυψη πλαστικού, γνωστή ως προστατευτικό κάλυμμα ή εξωτερικό περίβλημα.



Η διάδοση του οπτικού σήματος γίνεται στον πυρήνα ο οποίος είναι φτιαγμένος από γυαλί ή πλαστικό, που έχει την ιδιότητα να εγκλωβίζει τις ακτίνες φωτός και να τις οδηγεί στο τέρμα της ίνας. Η φωτεινή δέσμη που μεταφέρει την πληροφορία οδεύει με διαδοχικές ανακλάσεις στα τοιχώματα της ίνας προς το άλλο άκρο. Αυτό



συμβαίνει επειδή το σήμα υφίσταται ολικές ανακλάσεις με αποτέλεσμα η ενέργεια της φωτεινής δέσμης να παραμένει εγκλωβισμένη στην ίνα. Βασικές προϋποθέσεις για να συμβεί ολική ανάκλαση είναι ο δείκτης διαθλάσεως του μανδύα να είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο του πυρήνα μέσω της επιλογής των κατάλληλων υλικών και η γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας στον πυρήνα να είναι μεγαλύτερη από κάποια τιμή που ονομάζεται «οριακή γωνία». Αν η γωνία πρόσπτωσης είναι μικρότερη της οριακής γωνίας τότε το φως διαθλάται μέσα από τον μανδύα και χάνεται μετά από κάποια απόσταση.

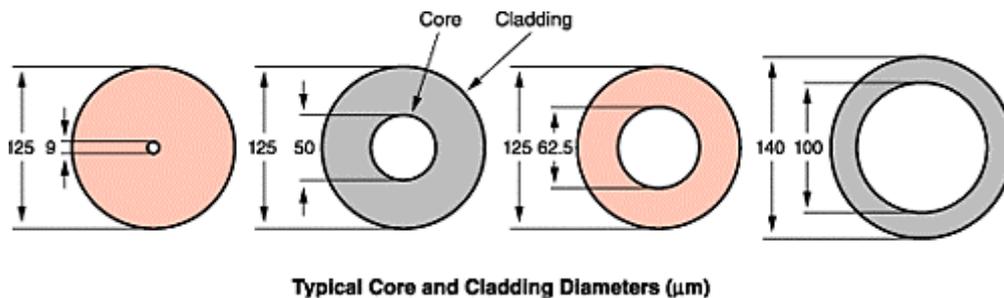
Για την μετατροπή των ηλεκτρικών σημάτων σε φωτεινές δέσμες χρησιμοποιούνται πηγές-πομποί οπτικών σημάτων. Υπάρχουν δύο τύποι συσκευών εκπομπής φωτός, οι δίοδοι LED(Light Emitting Diode) και τα πλέον γνωστά σε όλους μας Laser (Light Amplification by Stimulates Emission of Radiation) τα πλεονεκτήματα των οποίων εμφανίζονται στο παρακάτω πίνακα.

LED	LASER
<ul style="list-style-type: none">• Σημαντικά χαμηλότερο κόστος• Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.• Μικρή ευαισθησία σε μεταβολές της θερμοκρασίας	<ul style="list-style-type: none">• Μεγαλύτερη ισχύς εκπομπής.• Υψηλότερος ρυθμός μετάδοσης (Bit Rate).• Στενή δέσμη φωτός.• Χρήση και σε μονότροπη (Single Mode) και σε πολύτροπη (Multi Mode) οπτική ίνα (αυτοί οι τύποι οπτικών ινών θα αναλυθούν στην επόμενη παράγραφο).• Μικρή χρωματική διάχυση καθώς είναι σχεδόν μονοχρωματική



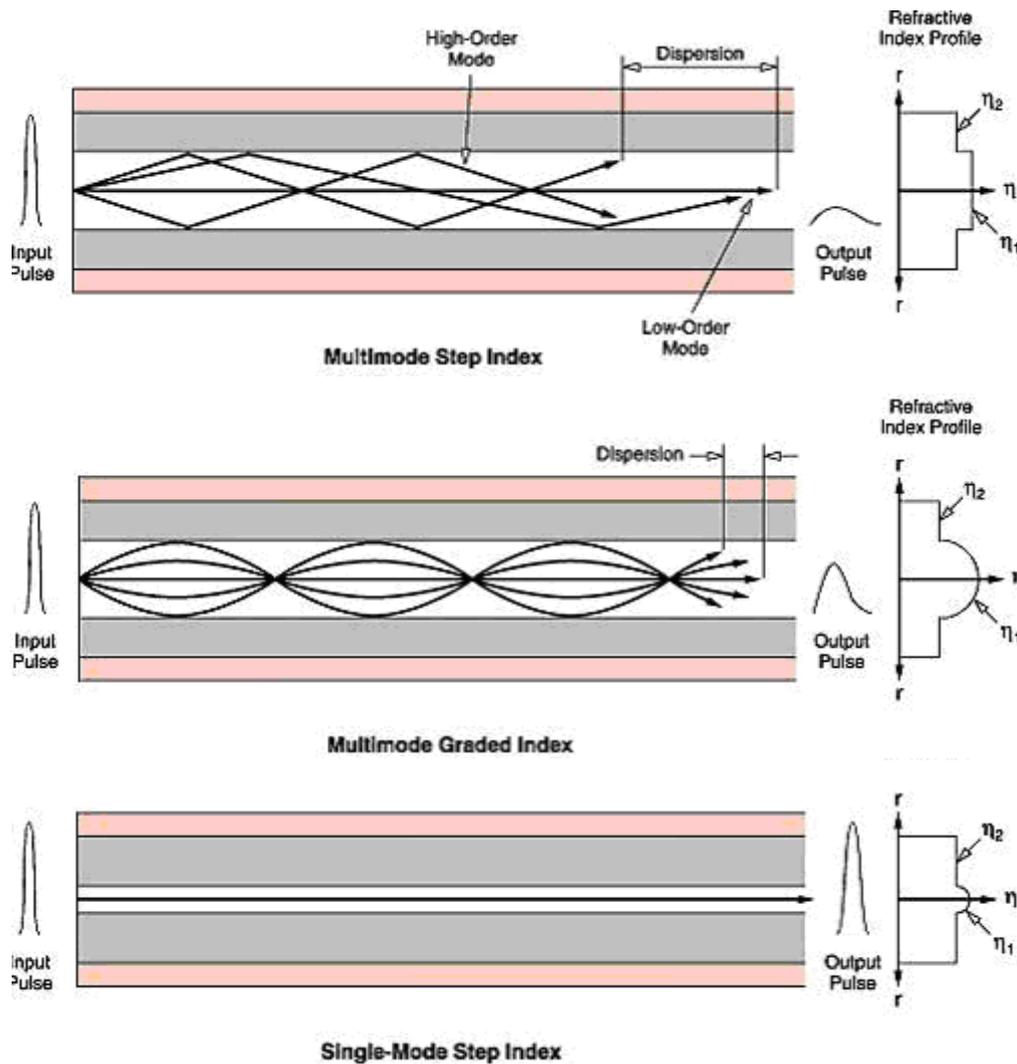
1.1.1 Είδη οπτικών ινών

Οι οπτικές ίνες κατηγοριοποιούνται ως προς τον τρόπο μετάδοσης του σήματος σε πολύτροπες (Multimode) και μονότροπες (Single Mode). Στην πρώτη περίπτωση οι ίνες που χρησιμοποιούνται έχουν τυπική διάμετρο 50, 62.5 ή 100 μm .



Οι διάφορες ακτίνες του οπτικού σήματος (στις πολύτροπες ίνες) ανάλογα με την είσοδο τους στην ίνα οδεύουν ανακλώμενες υπό διαφορετικές γωνίες. Όπως προαναφέρθηκε, μόνο εκείνες οι ακτίνες που προσπίπτουν με γωνία μεγαλύτερη της οριακής διαδίδονται, ενώ οι υπόλοιπες διαθλώνται στον μανδύα (cladding). Έτσι, λοιπόν, έχουμε τη δημιουργία πολλών δρόμων διάδοσης ανάλογα με την γωνία προσπτώσεως ή αλλιώς ανάλογα με το μήκος κύματος. Όσο μικρότερη είναι η διάμετρος της κεντρικής ίνας τόσο λιγότεροι είναι οι διαφορετικοί δρόμοι διάδοσης που δημιουργούνται. Όταν η διάμετρος μειωθεί στο επίπεδο του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου οπτικού σήματος τότε υπάρχει μόνο ένας τρόπος μετάδοσης, η αξονική μετάδοση, η οποία και ονομάζεται μονότροπη. Δηλαδή στις μονότροπες οπτικές ίνες το φως δεν μεταδίδεται με συνεχείς ανακλάσεις στα κοινά τοιχώματα πυρήνα – μανδύα, αλλά κινείται κατά μήκος του πυρήνα.

Επιπλέον, για τις πολύτροπες ίνες υπάρχει ένας επιπλέον διαχωρισμός ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους και πιο συγκεκριμένα με το αν η μεταβολή του δείκτη διαθλάσεως μεταξύ του πυρήνα και της επικάλυψης είναι απότομη (step index) ή είναι βαθμιαία όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο του πυρήνα της ίνας (graded index). Οι τρόποι διάδοσης του οπτικού σήματος σε κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα:



1.1.3. Πλεονεκτήματα οπτικών ινών

Τα πλεονεκτήματα των οπτικών ινών σε σύγκριση με τα χάλκινα καλώδια συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- *Πρακτικά απεριόριστο εύρος ζώνης.* Στην πράξη η επίδοση ανά ζεύξη υπερβαίνει τα 10 Gb/s, επιτρέποντας την ταυτόχρονη μετάδοση άνω των 150,000 τηλεφωνικών συνδιαλέξεων από ένα ζευγάρι οπτικών ινών. Η χωρητικότητα της ίνας μπορεί να αυξηθεί με την χρήση πολλών φερουσών ακτινοβολιών σε διάφορα μήκη κύματος μέσα από την ίδια ίνα σύμφωνα με



την τεχνική της πολυπλεξίας μήκους κύματος (WDM) η οποία θα αναλυθεί εκτενώς στα επόμενα κεφάλαια.

- *Πολύ μικρή εξασθένιση*, που μόλις υπερβαίνει το 0,1 db/km (για μονότροπες ίνες και σε μήκος κύματος 1500nm), επιτρέποντας την υλοποίηση ζεύξεων σε απόσταση άνω των 200 km χωρίς την χρήση ενδιάμεσων βαθμίδων αναγέννησης σήματος.
- *Μικρές διαστάσεις και μικρό βάρος*, που επιτρέπουν την τοποθέτηση μεγάλου αριθμού ινών στο ίδιο καλώδιο, χωρίς να αυξάνονται η διατομή και το βάρος του.
- *Αναισθησία σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές*. Οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε βιομηχανικό περιβάλλον με υψηλά επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής μόλυνσης. Οπτικές ίνες τοποθετούνται κατά μήκος σιδηροδρομικών γραμμών και ενεργειακών καλωδίων .
- *Προστασία δεδομένων από υποκλοπή*. Επειδή το οπτικό σήμα που μεταφέρει τα δεδομένα περιορίζεται στον πυρήνα της οπτικής ίνας, δεν είναι δυνατή η υποκλοπή των δεδομένων, χωρίς υποβάθμιση της στάθμης του σήματος, που γίνεται όμως αντιληπτή στον δέκτη.
- *Μόνωση*. Η οπτική ίνα αποτελείται από διηλεκτρικό υλικό, και ως εκ τούτου δεν μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα, που μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρικό σπινθήρα με κίνδυνο έκρηξης ή πυρκαγιάς.
- *Χαμηλότερο κόστος πρώτης ύλης*. Η πρώτη ύλη από την οποία κατασκευάζονται οι οπτικές ίνες είναι το πυρίτιο (γυαλί), που βρίσκεται σε αφθονία στους κόκκους της άμμου, σε σύγκριση με το χαλκό, που αποτελεί το υλικό των δισύρματων και ομοαξονικών καλωδίων, τα αποθέματα του οποίου είναι σπανιότερα.

1.2. Σύγχρονη ψηφιακή ιεραρχία – SDH

Ως σήμερα ο βασικός τρόπος μεταφοράς δεδομένων μέσω οπτικών καναλιών γίνεται με βάση ένα σύνολο προκαθορισμένων προτύπων που περιγράφουν την εκπομπή δεδομένων με τη μέθοδο της πολύπλεξης στο πεδίο του χρόνου (Time - Division Multiplexing-TDM) σε δίκτυα οπτικών ινών (fiber optical networks). Ουσιαστικά, πρόκειται για την Αμερικανική και την διεθνή έκδοση της ίδιας σειράς



προτύπων. Έτσι, το Αμερικανικό Ινστιτούτο Εθνικών Προτύπων (ANSI) είναι υπεύθυνο για το συντονισμό και την έκδοση των προτύπων του ‘Σύγχρονου οπτικού δικτύου’ SONET (Synchronous Optical Network), ενώ η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU-International Telecommunications Union) είναι υπεύθυνη για τη σειρά της ‘Σύγχρονης ψηφιακής ιεραρχίας’ SDH (Synchronous Digital Hierarchy).

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

Το πλαίσιο του SDH μεταδίδεται σχηματίζοντας ένα βασικό σήμα 155 Mbps, γνωστό ως ‘Μονάδα σύγχρονης μεταφοράς -1ου επιπέδου’ (STM-1 Synchronous Transfer Module-level 1). Η λειτουργικότητα του SDH επιτυγχάνεται ορίζοντας το βασικό STM-1 σήμα και δημιουργώντας στη συνέχεια μια πολλαπλάσια δομή η οποία προκύπτει από την πολυπλεξία σημάτων STM-1. Έτσι ανάλογα με το βαθμό πολυπλεξίας δημιουργούνται σήματα με ρυθμούς N φορές μεγαλύτερους από το βασικό ρυθμό του STM-1 που είναι 155,5 Mbps. Επί του παρόντος οι τιμές του N είναι 1,4,16,64,256.

Όταν η μετάδοση γίνεται χρησιμοποιώντας οπτική ίνα, ορίζεται ένα ‘οπτικό σήμα’ αντίστοιχο του σήματος STM-1 που ονομάζεται ‘Οπτικός Φορέας’ (OC Optical Carrier) που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι 3^ο επιπέδου OC-3 (ο ‘Οπτικός Φορέας’ 1^ο επιπέδου OC-1 έχει να κάνει πιο πολύ με ‘Σήματα Σύγχρονης Μεταφοράς’ STS-1 = 51,840Mbps (Synchronous Transport Signal-level 1) τα οποία όμως αντιστοιχούν στα πρότυπα της SONET τεχνολογίας). Το OC-3 είναι το σήμα που λαμβάνεται στην έξοδο ενός ηλεκτρικό-οπτικού μετατροπέα, όταν στην είσοδό του εισάγεται το σήμα STM-1. Ο αριθμός που συνοδεύει το πρόθεμα OC δείχνει το πλήθος των σημάτων STS-1, που το τοπικό σήμα μπορεί να μεταφέρει. Έτσι έχουν



δημιουργηθεί διάφορα πρότυπα ρυθμών μεταφοράς δεδομένων πάνω από οπτικές ίνες τα οποία αντιστοιχίζονται με τους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων από ηλεκτρικά σήματα με βάση τον παρακάτω πίνακα.

Optical Level	Electrical Level	Line Rate (Mbps)	Payload Rate (Mbps)	Overhead Rate (Mbps)	SDH Equivalent
OC-1	STS-1	51.840	50.112	1.728	-
OC-3	STS-3	155.520	150.336	5.184	STM-1
OC-12	STS-12	622.080	601.344	20.736	STM-4
OC-48	STS-48	2488.320	2405.376	82.944	STM-16
OC-192	STS-192	9953.280	9621.504	331.776	STM-64
OC-768	STS-768	39813.120	38486.016	1327.104	STM-256

Τα δίκτυα SDH περιλαμβάνουν συσκευές οι οποίες με τις ανάλογες διεπαφές (interfaces) έχουν την δυνατότητα σύνδεσης ηλεκτρικών σημάτων διαφόρων τύπων E_n (σήμα E₁=2,048Mbps) και STM-N τα οποία πολυπλέκονται σε ένα ηλεκτρικό σήμα STM-N που στη συνέχεια μετατρέπεται σε οπτικό σήμα OC-N ή εκτελούν την αντίστροφη διαδικασία (δηλ. απόπλεξης).

1.3. Τεχνολογία ATM

Η τεχνολογία ATM (Asynchronous Transfer Mode) είναι ένα σύνολο διεθνών προτύπων που καθορίστηκαν από την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών ITU (International Telecommunications Union) και μας βοηθάει να εκμεταλλευτούμε καλύτερα το εύρος ζώνης μιας οπτικής ίνας.

Ποίο συγκεκριμένα ο ασύγχρονος τρόπος μετάδοσης ATM είναι μια τεχνολογία μεταγωγής κυψελίδας και πολυπλεξίας με μεγάλες δυνατότητες που επιτρέπει σε πακέτα καθορισμένου μεγέθους να μεταφέρουν διάφορους τύπους φορτίων. Επίσης δίνει τη δυνατότητα για υψηλών ταχυτήτων μεταφορά, φωνής και βίντεο αλλά και υποστήριξη των μελλοντικών απαιτητικών πολυμεσικών εφαρμογών.

Τεχνικά μπορεί να προσδιοριστεί ως εξέλιξη της μεταγωγής πακέτου (packet switching). Η τεχνολογία ATM ενοποιεί τις λειτουργίες πολυπλεξίας και μεταγωγής, είναι κατάλληλη για κυκλοφορία καταιγισμού και επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ συσκευών που λειτουργούν σε διαφορετικές ταχύτητες. Αντίθετα με τη μεταγωγή



πακέτου η ATM είναι σχεδιασμένη για δικτυακή υποστήριξη πολυμεσικών εφαρμογών υψηλών απαιτήσεων. Εφαρμόζεται σε ένα πολύ ευρύ φάσμα συνδεσμικών συσκευών, από συνδέσεις για pc και workstation, μέχρι και δίκτυα κορμού (ATM - backbone switches). Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της ATM είναι τα νοητά κυκλώματα τα οποία είναι end-to-end συνδέσεις των οποίων τα τελικά σημεία και η διαδρομή καθορίζονται, χωρίς όμως να δεσμεύεται εύρος ζώνης γι' αυτές. Το εύρος ζώνης κατανέμεται από το δίκτυο αναλόγως με τη ζήτηση, καθώς οι χρήστες του δικτύου επιθυμούν να καλύψουν τις κυκλοφοριακές τους απαιτήσεις .



2.Η Τεχνολογία πυκνής πολυπλεξίας μήκους κύματος DWDM

2.1. Η βασική ιδέα

Την δεκαετία 1930 πρωτοεμφανίστηκε στα καλώδια χαλκού η πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητα – FDM (Frequency Division Multiplexing). Σύμφωνα με την τεχνολογία FDM καταφέραμε να περάσουμε ταυτόχρονα πολλά σήματα πάνω από ένα χάλκινο καλώδιο ή ακόμα και από ένα ασύρματο σύστημα. Η διαφορά μεταξύ του κάθε ενός σήματος είναι ότι το κάθε ένα από αυτά έχει ή ακόμα καλύτερα χαρακτηρίζεται από την δική του συγκεκριμένη συχνότητα. Επομένως εύκολα μπορούμε να επιτύχουμε και την απόπλεξη των σημάτων κατευθύνοντας τα έτσι στις ανάλογες εφαρμογές που λαμβάνουν χώρα.

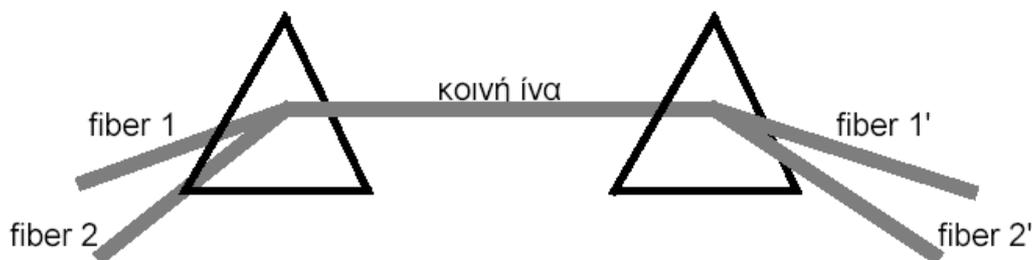
Λόγω των μεγάλων δυνατοτήτων που προσφέρει η τεχνική αυτή της πολυπλεξίας συχνότητας - FDM έγινε η βασική ιδέα για την εφαρμογή της στις οπτικές ίνες. Μία όμως σημαντική δυσκολία που υπήρχε ήταν ότι οι δέσμες φωτός, οι οποίες είναι το μέσο μεταφοράς των δεδομένων στις οπτικές ίνες, δεν μπορούν να αντιστοιχηθούν με συχνότητες. Έπρεπε λοιπόν να βρεθεί η ανάλογη μονάδα η οποία θα μας βοηθούσε να πολυπλέξουμε αλλά και να αποπυπλέξουμε τα διάφορα σήματα. Η απάντηση στο πρόβλημα ήταν το μήκος κύματος του οπτικού σήματος. Όπως είδη προαναφέραμε μία οπτική ίνα μπορεί να έχει πολλούς δρόμους διάδοσης του σήματος ανάλογα με το μήκος κύματος του (παράγραφος 1.1.2).

2.2. Ορισμός του WDM/DWDM

Η πολυπλεξία μήκους κύματος – WDM (Wavelength Division Multiplexing) είναι μία τεχνική πολυπλεξίας η οποία επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση πολλών ψηφιακών σημάτων μέσω της εκχώρησης σε κάθε ένα από αυτά, μίας ιδιαίτερης περιοχής μήκους κύματος καναλιού. Ένας απλός τρόπος περιγραφής της πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα όπου δύο φωτεινές ακτίνες περνούν μέσα από ένα πρίσμα και στην έξοδο τους από αυτό μοιράζονται την



ίδια ίνα. Στη συνέχεια περνούν από ένα άλλο πρίσμα στην έξοδο της ίνας από το οποίο χωρίζονται στην αρχική τους μορφή.



Το συγκεκριμένο παράδειγμα είναι πολύ γενικό και αφορά απλά την αρχή, βάση της οποίας γίνεται η πολυπλεξία των φωτεινών σημάτων. Εδώ το σύστημα είναι σταθερό από την άποψη ότι η οπτική ίνα 1 στέλνει δεδομένα στην 1' και η 2 στην 2'. Υπάρχει η δυνατότητα όμως στα σημερινά συστήματα WDM να γίνεται μεταγωγή, ώστε τα δεδομένα οποιασδήποτε εισόδου να καταλήγουν σε όποια έξοδο απαιτείται.

Συχνά, η τεχνολογία WDM αναφέρεται και ως DWDM (Dense-WDM) και προφανώς η μόνη διαφορά της DWDM έγκειται στο μεγαλύτερο αριθμό των μεταφερόμενων καναλιών, μέσω της διαίρεσης του καθορισμένου εύρους συχνοτήτων σε περισσότερα μήκη κύματος (πρακτικά περισσότερα από 8 κανάλια). Στη συνέχεια, ο όρος DWDM θα εννοείται ότι περιλαμβάνει και την WDM μορφή για λόγους απλοποίησης.

2.3. Τεχνικές που βοήθησαν στην υλοποίηση

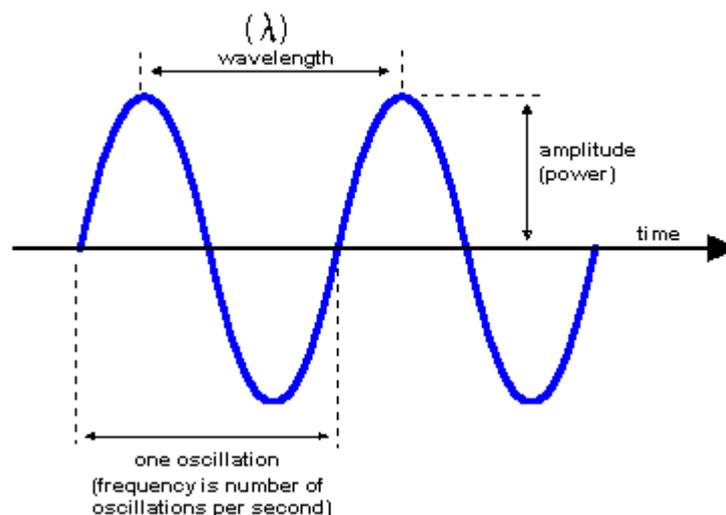
Παρ' όλο που, ως τεχνική, η πολυπλεξία μήκους κύματος αποτελούσε αντικείμενο έρευνας ήδη από τη δεκαετία του '80, η χρησιμοποίησή της, σε πραγματικές ινοοπτικές ζεύξεις, ξεκίνησε λίγο πριν τα μέσα της δεκαετίας του '90. Σημαντική ώθηση στη χρήση της τεχνικής DWDM έδωσε η ανάπτυξη *οπτικών ενισχυτών ίνας Erbίου (Erbium-Doped Fibre Amplifiers - EDFAs)* οι οποίοι είναι σε θέση να ενισχύουν ταυτόχρονα (και αμιγώς οπτικά) όλα τα πολυπλεγμένα (κατά DWDM) ψηφιακά σήματα. Η δυνατότητα αυτή είναι πολύ σημαντική για τη μείωση της πολυπλοκότητας και του κόστους μιας ζεύξης DWDM, δεδομένου ότι, σε περίπτωση



χρήσης ηλεκτροοπτικών αναγεννητών, θα απαιτείτο αριθμός αναγεννητών ίσος με τον αριθμό των πολυπλεγμένων ψηφιακών σημάτων. Οι *οπτικών ενισχυτές ίνας Erbium* θα αναλυθούν εκτενότερα στο επόμενο κεφάλαιο.

Το βασικό πλεονέκτημα της τεχνικής DWDM είναι η δυνατότητα δραστηκής αύξησης της χωρητικότητας μιας ζεύξης με αντικατάσταση μόνον του τερματικού εξοπλισμού, χωρίς την ανάγκη για χρήση πρόσθετων ινών ή εγκατάσταση νέων ινοοπτικών καλωδίων.

Το μέρος του φάσματος που χρησιμοποιείται στην τεχνολογία DWDM είναι δύο παράθυρα το ένα γύρω από τα 1300nm, στο οποίο έχουμε την ελάχιστη διασπορά σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο μέρος του φάσματος και το άλλο στην περιοχή των 1550 nm στο οποίο έχουμε την ελάχιστη εξασθένιση. Σαν παράθυρο μίας ίνας ορίζουμε το μήκος κύματος της λ και μετριέται σε nanometers.

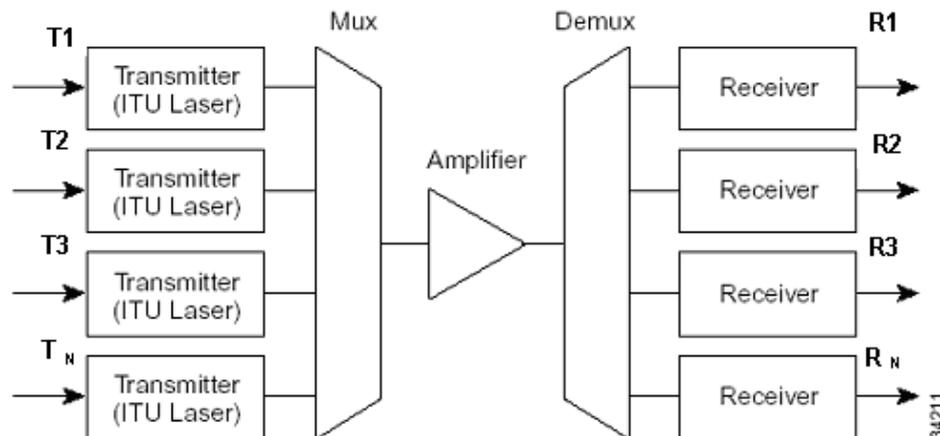


2.4. Η βασική διάρθρωση μιας ζεύξης DWDM

Η βασική διάρθρωση μιας ζεύξης DWDM απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Στον πομπό υπάρχει ένας αριθμός *αναμεταδοτών* (*transponders* ή *transmitters* T1, T2, ..., TN όπου N ο αριθμός των πολυπλεγμένων σημάτων και ένας *πολυπλέκτης μήκους κύματος* (*multiplexer-MUX*). Αντίστοιχα, στο δέκτη υπάρχει ο *αποπολυπλέκτης* (*demultiplexer-DEMUX*) και αριθμός δεκτών (Receivers R1, R2, ..., RN) ίσος με τον αριθμό των πολυπλεγμένων σημάτων. Στην παραπάνω ζεύξη, κάθε αναμεταδότης



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 αναμεταδότη (π.χ. τον Tv) σε κάποιο προκαθορισμένο μήκος κύματος 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 στην οπτική ίνα. Το σύνθετο αυτό σήμα μεταδίδεται προς την πλευρά του δέκτη (κατά μήκος της ζεύξης μπορεί να ενισχύεται οπτικά σε τακτές αποστάσεις), όπου, μετά την οπτική προενίσχυση, αποπολυπλέκεται από τον αποπολυπλέκτη, ο οποίος οδηγεί τα επιμέρους οπτικά σήματα τους αντίστοιχους δέκτες (Receivers R1, R2, ..., RN).



Βασική διάρθρωση ζεύξης DWDM



3. Δομή και λειτουργία του DWDM

Όπως προαναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο τα βασικά δομικά στοιχεία που απαιτούνται για να γίνει η υλοποίηση της νέας τεχνολογίας είναι:

- Οι αναμεταδότες
- Οι πολυπλέκτες μήκους κύματος
- Οι οπτικοί ενισχυτές
- Οι αποπολυπλέκτες μήκους κύματος
- Οι επιμέρους δέκτες
- Οι οπτικοί πολυπλέκτες προσθαφαίρεσης
- Οι οπτικοί διασταυρωτές
- Οι οπτικές ίνες

3.1. Οι αναμεταδότες

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο ρόλος των αναμεταδοτών (transponders T1, T2, ..., TN) είναι η προσαρμογή των προς πολυπλεξία οπτικών σημάτων (που προέρχονται από άλλα τμήματα του ινοοπτικού τηλεπικοινωνιακού δικτύου) στις απαιτήσεις της τεχνικής DWDM.

Στην είσοδο κάθε αναμεταδότη λαμβάνεται ένα συγκεκριμένο οπτικό σήμα (μήκους κύματος λ₀ στην περιοχή είτε των 1310 ή των 1550 nm) το οποίο μεταφέρει ένα ψηφιακό σήμα πληροφορίας (π.χ. ένα σήμα STM-16). Ο αναμεταδότης, χρησιμοποιώντας οπτικό αποδιαμορφωτή, 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 (για τη ζεύξη DWDM) περιοχές μήκους κύματος. Με τον τρόπο αυτόν, από τους διαθέσιμους αναμεταδότες, δημιουργούνται ισάριθμα οπτικά κανάλια (με κεντρικά μήκη κύματος τα λ₁, λ₂, ..., λ_N) καθένα από τα οποία χρησιμοποιείται για τη μετάδοση ενός ψηφιακού σήματος πληροφορίας. Στις εξόδους των αναμεταδοτών, μπορούν να τοποθετηθούν εξασθενητές για την προσαρμογή της



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

Η ανάγκη για συμβατότητα μεταξύ των χρησιμοποιούμενων διατάξεων και συστημάτων έχει οδηγήσει την ITU-T στην υιοθέτηση συγκεκριμένων μηκών κύματος στα οποία μπορεί να εκπέμψει ένας αναμεταδότης (Σύσταση G.692). Αυτά τα μήκη κύματος (και οι αντίστοιχες συχνότητες) συνιστούν ένα “πλέγμα” τιμών (Βλ. πίνακα) με συχνότητα αναφοράς τα 193.100 GHz (1552,527 nm) και απόσταση μεταξύ των συχνοτήτων $\Delta f = 100$ GHz ($\Delta \lambda = 0,8$ nm).

f (THz)	λ (nm)								
197,100	1521,020								
197,000	1521,792	195,000	1537,400	193,000	1553,331	191,000	1569,597	189,000	1586,206
196,900	1522,565	194,900	1538,189	192,900	1554,137	190,900	1570,419	188,900	1587,046
196,800	1523,338	194,800	1538,978	192,800	1554,943	190,800	1571,242	188,800	1587,886
196,700	1524,113	194,700	1539,769	192,700	1555,750	190,700	1572,066	188,700	1588,728
196,600	1524,888	194,600	1540,560	192,600	1556,557	190,600	1572,891	188,600	1589,570
196,500	1525,664	194,500	1541,352	192,500	1557,366	190,500	1573,716	188,500	1590,414
196,400	1526,441	194,400	1542,145	192,400	1558,175	190,400	1574,543	188,400	1591,258
196,300	1527,218	194,300	1542,939	192,300	1558,986	190,300	1575,370	188,300	1592,103
196,200	1527,997	194,200	1543,733	192,200	1559,797	190,200	1576,199	188,200	1592,949
196,100	1528,776	194,100	1544,528	192,100	1560,609	190,100	1577,028	188,100	1593,796
196,000	1529,556	194,000	1545,325	192,000	1561,422	190,000	1577,858	188,000	1594,643
195,900	1530,337	193,900	1546,122	191,900	1562,235	189,900	1578,689	187,900	1595,492
195,800	1531,118	193,800	1546,919	191,800	1563,050	189,800	1579,520	187,800	1596,342
195,700	1531,901	193,700	1547,718	191,700	1563,865	189,700	1580,353	187,700	1597,192
195,600	1532,684	193,600	1548,517	191,600	1564,681	189,600	1581,187	187,600	1598,044
195,500	1533,468	193,500	1549,318	191,500	1565,499	189,500	1582,021	187,500	1598,896
195,400	1534,253	193,400	1550,119	191,400	1566,316	189,400	1582,856	187,400	1599,749
195,300	1535,038	193,300	1550,921	191,300	1567,135	189,300	1583,692	187,300	1600,603
195,200	1535,825	193,200	1551,723	191,200	1567,955	189,200	1584,529	187,200	1601,458
195,100	1536,612	193,100	1552,527	191,100	1568,775	189,100	1585,367	187,100	1602,314

Η βασική απαίτηση για έναν αναμεταδότη είναι η δυνατότητα εκπομπής σε συγκεκριμένο και αυστηρά καθορισμένο μήκος κύματος. Η απαίτηση αυτή υπαγορεύονται από την ανάγκη για πολυπλεξία καναλιών των οποίων τα μήκη κύματος απέχουν μεταξύ τους λιγότερο από 1 nm. Έτσι στους αναμεταδότες, ο καθορισμός του μήκους κύματος εκπομπής γίνεται μέσω της κατάλληλης επιλογής των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών του laser ενώ ο μηχανισμός κατανεμημένης ανάδρασης που εφαρμόζεται στα DFB lasers εξασφαλίζει την εκπομπή μιας αυστηρά μονοχρωματικής δέσμης (με $\Delta \lambda < 1$ nm).

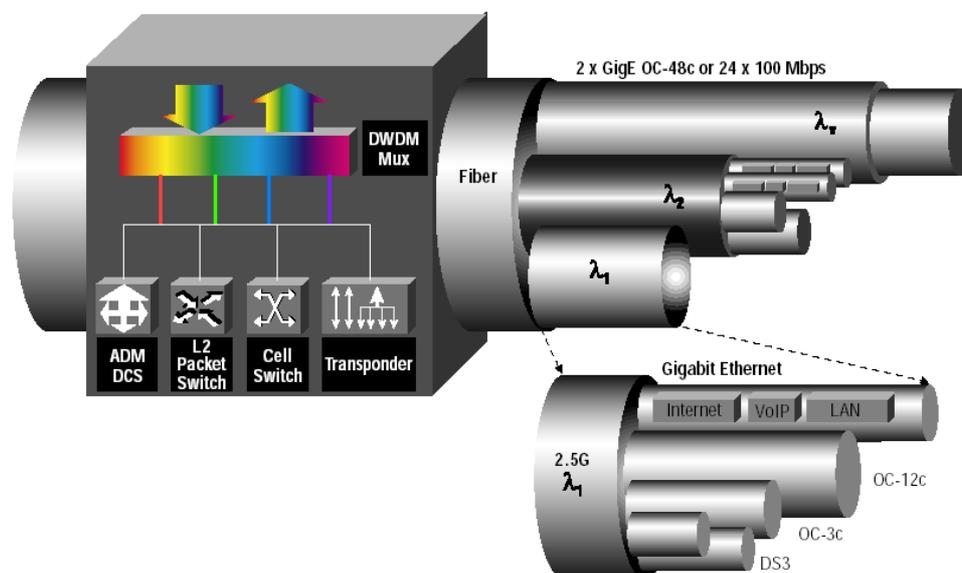


3.2. Ο πολυπλέκτης μήκους κύματος

Στην πιο συνηθισμένη του μορφή, ένας πολυπλέκτης μήκους κύματος (wavelength division multiplexer) είναι ένας παθητικός οπτικός συνδυαστής (combiner) N:1 (όπου N ο αριθμός των πολυπλεκόμενων σημάτων), μέσω του οποίου, τα επιμέρους οπτικά σήματα (όπως έχουν δημιουργηθεί από τους αναμεταδότες) οδηγούνται στην οπτική ίνα που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση.

Όσον αφορά τις οπτικές επιδόσεις ενός πολυπλέκτη μήκους κύματος, οι βασικές του παράμετροι είναι οι παρακάτω:

- *Απώλεια εισαγωγής (Insertion Loss – IL):* Η απώλεια εισαγωγής εκφράζει το ποσοστό της απώλειας οπτικής ισχύος καθώς το οπτικό σήμα διέρχεται μέσω της υπό εξέταση οπτικής διάταξης (του πολυπλέκτη). Έτσι όπως ορίζεται, η απώλεια εισαγωγής είναι ένας θετικός αριθμός (σε dB) ο οποίος πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν μικρότερος (ιδανική τιμή η $IL = 0$ dB, τυπική τιμή η $IL = 10$ dB)8.
- *Οπτική απώλεια επιστροφής (Optical Return Loss – ORL):* Είναι ο λόγος $ORL = 10 \log_{10}(P_{in}/P_{refl})$ όπου P_{in} , P_{refl} η οπτική ισχύς εισόδου και η ανακλώμενη οπτική ισχύς σε μια διάταξη (εν προκειμένω του πολυπλέκτη). Έτσι όπως ορίζεται, η ORL είναι ένας θετικός αριθμός (σε dB) ο οποίος πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν μεγαλύτερος (τυπική τιμή η $ORL = 40$ dB).





3.3. Οι οπτικοί ενισχυτές

Γενικά, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η χρήση οπτικών ενισχυτών γραμμής (αντί ηλεκτροοπτικών αναγεννητών) υπήρξε καθοριστική για τη χρήση της τεχνικής DWDM στα ινοοπτικά δίκτυα. Ο βασικός λόγος είναι η σημαντική μείωση του κόστους των συστημάτων DWDM αφού ένας οπτικός ενισχυτής αρκεί για να ενισχύσει ταυτόχρονα και αμιγώς οπτικά, όλα τα πολυπλεγμένα κανάλια ενώ, αν εχρησιμοποιούντο ηλεκτροοπτικοί αναγεννητές, θα χρειαζόταν ξεχωριστός αναγεννητής για κάθε πολυπλεγμένο σήμα. Από την άλλη πλευρά, λόγω του ότι η οπτική ενίσχυση είναι ουσιαστικά αναλογική διεργασία, η συσσώρευση θορύβου κατά τις διαδοχικές οπτικές ενισχύσεις επιβάλλει την ηλεκτροοπτική αναγέννηση του πολυπλεγμένου σήματος σε τακτές αποστάσεις, συνήθως της τάξης των 600 km.

Οι οπτικοί ενισχυτές που χρησιμοποιούνται σήμερα στα ινοοπτικά δίκτυα είναι *ενισχυτές ίνας Ερβίου – EDFAs (Erbium-Doped Fibre Amplifiers)*. Το βασικό στοιχείο των ενισχυτών αυτών είναι μια οπτική ίνα, μήκους μερικών δεκάδων μέτρων, της οποίας ο πυρήνας είναι νοθευμένος με ιόντα Ερβίου. Όταν η ίνα αυτή τροφοδοτηθεί με τη δέσμη ενός laser άντλησης (pump laser), με τη “μεσολάβηση” των ιόντων Ερβίου, ξεκινάει μια διεργασία “αναστροφής πληθυσμών”, η οποία οδηγεί σε (αμιγώς οπτική) ενίσχυση των πολυπλεγμένων οπτικών σημάτων. Λόγω του ότι, στους συνήθεις EDFAs, η οπτική ενίσχυση επιτελείται στην περιοχή 1525 – 1565 nm, οι ζεύξεις DWDM λειτουργούν στο οπτικό παράθυρο των 1550 nm.

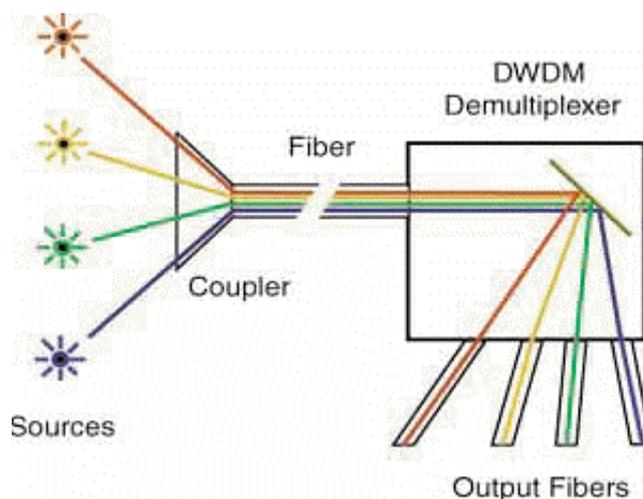
Σε ότι αφορά τη θέση των οπτικών ενισχυτών σε μία ζεύξη DWDM, διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

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



3.4. Ο αποπολυπλέκτης μήκους κύματος

Ο ρόλος του αποπολυπλέκτη (demultiplexer) είναι η ο διαχωρισμός των καναλιών ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$) μέσω των οποίων μεταδίδονται τα πολυπλεγμένα ψηφιακά σήματα. Ο διαχωρισμός αυτός είναι φασματικός και πραγματοποιείται με τη βοήθεια κάποιας επιλεκτικής, ως προς μήκος κύματος, διάταξης. Στις εξόδους του αποπολυπλέκτη, μπορεί να τοποθετηθούν εξασθενητές για τον έλεγχο της ισχύος των εξερχόμενων αποπολυπλεγμένων σημάτων.



Βασική παράμετρος για έναν αποπολυπλέκτη μήκους κύματος είναι η *επιλεκτικότητα* του, που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το σηματοθορυβικό λόγο (S/N) στην είσοδο των επιμέρους δεκτών (R_1, R_2, \dots, R_N). δεδομένης της εξαιρετικά μικρής φασματικής απόστασης μεταξύ των καναλιών (0,8 nm). Οι απαιτήσεις για τη σχεδίαση και κατασκευή των αποπολυπλεκτών είναι πολύ αυστηρές και το κόστος τους συνήθως υψηλό. Άλλη σημαντική παράμετρος είναι η *απώλεια εισαγωγής* η οποία πρέπει να διατηρείται κατά το δυνατόν χαμηλή.

3.5. Οι επιμέρους δέκτες

Ο ρόλος των επιμέρους δεκτών (Receivers R_1, R_2, \dots, R_N) είναι η λήψη των αποπολυπλεγμένων οπτικών σημάτων και η εξαγωγή των ψηφιακών σημάτων πληροφορίας. Βασική μονάδα ενός τέτοιου δέκτη είναι μία φωτοδίοδος, μέσω της οποίας, το λαμβανόμενο οπτικό σήμα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό το οποίο στη



συνέχεια διαβιβάζεται σε μια ηλεκτρονική διάταξη αναγνώρισης παλμών η οποία αναπαράγει το αρχικό ψηφιακό σήμα πληροφορίας .

3.6. Οπτικοί πολυπλέκτες προσθαφαίρεσης

Ο ρόλος των *οπτικών πολυπλεκτών προσθαφαίρεσης – OADMs (Optical Add-Drop Multiplexers)* είναι η εξαγωγή (dropping) από το σύνθετο οπτικό σήμα ή και η εισαγωγή (adding) σε αυτό, ενός ή περισσοτέρων οπτικών καναλιών. Ένας OADM μπορεί να εκτελέσει τις παραπάνω λειτουργίες απευθείας στο οπτικό στρώμα (optical layer) χωρίς να υπάρχει η ανάγκη για εξαγωγή των ψηφιακών σημάτων από τα οπτικά κανάλια. Με τον τρόπο αυτόν, μέρος της κίνησης που μεταφέρεται μέσω της ζεύξης DWDM μπορεί να κατευθυνθεί και προς άλλους κόμβους του τηλεπικοινωνιακού δικτύου. Όπως και οι αποπολυπλέκτες, έτσι και οι OADMs χρησιμοποιούν για την εξαγωγή και την εισαγωγή των οπτικών καναλιών, διατάξεις επιλογής μήκους κύματος.

Η σημαντικότερη παράμετρος για έναν OADM είναι ο *αριθμός των καναλιών* τα οποία μπορεί να εισάγει / εξάγει (add/drop). Ανάλογα με τον κατασκευαστή ο αριθμός αυτός συνήθως ποικίλει από 4 έως 32. Επίσης υπάρχει η παράμετρος της *απώλεια εισαγωγής (Insertion Loss – IL)* και η παράμετρος της απομόνωση μεταξύ των εισαγόμενων/εξαγόμενων καναλιών (*διακαναλική απομόνωση - interchannel isolation*).

Μια άλλη πολύ σημαντική παράμετρος είναι η *διαρθρωσιμότητα* του OADM δηλαδή η δυνατότητα δυναμικού καθορισμού των χαρακτηριστικών του (π.χ. των καναλιών τα οποία ο OADM θα εισάγει ή θα εξάγει). Οι διαθέσιμοι OADMs δεν παρέχουν την παραπάνω δυνατότητα, τα δε προς εισαγωγή/εξαγωγή κανάλια είναι καθορισμένα από πριν. Λόγω της σημασίας της διαρθρωσιμότητας των οπτικών πολυπλεκτών προσθαφαίρεσης για την ανάπτυξη ευέλικτων ινοοπτικών δικτύων, η έρευνα έχει στραφεί προς την ανάπτυξη αναδιαρθρώσιμων OADMs, αρχικά στο πεδίο (on the field) και στο απώτερο μέλλον, από απόσταση (remotely). Ο χρόνος αναδιάρθρωσης αυτών των OADMs εκτιμάται ότι θα είναι της τάξης των 20 ms.



3.7. Οπτικοί διασταυρωτήρες

Ένας οπτικός διασταυρωτήρας – *OXC (Optical Cross Connect)* είναι μια διάταξη N οπτικών εισόδων και N οπτικών εξόδων, η οποία στην πιο εξελιγμένη της μορφή, έχει τη δυνατότητα δρομολόγησης οπτικών καναλιών, στο οπτικό στρώμα χωρίς την εξαγωγή των ψηφιακών σημάτων από τα οπτικά κανάλια, από οποιαδήποτε είσοδο σε οποιαδήποτε έξοδο και μάλιστα δυναμικά. Η σημασία μιας τέτοιας διάταξης, για την ανάπτυξη ευέλικτων ολο-οπτικών δικτύων (all-optical networks) είναι προφανής. Αν και επί του παρόντος, οπτικοί διασταυρωτήρες δεν διατίθενται από τους κατασκευαστές, αρκετές εταιρείες έχουν ανακοινώσει τη μελλοντική διάθεση των πρώτων σχετικών προϊόντων. Στα ερευνητικά εργαστήρια, έχουν δοκιμαστεί και δοκιμάζονται διάφορες τεχνικές με ελπιδοφόρα αποτελέσματα. Κύριοι στόχοι, στις προσπάθειες αυτές, είναι η μείωση του χρόνου διασταύρωσης (*cross-connection time*), σήμερα της τάξης των 2 – 30 ms (ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη τεχνική), η μείωση των απωλειών εισαγωγής (*insertion losses*) και η επίτευξη υψηλής (80 dB) διακαναλικής απομόνωσης (*interchannel isolation*) για την αποφυγή των αλληλοπαρεμβολών.

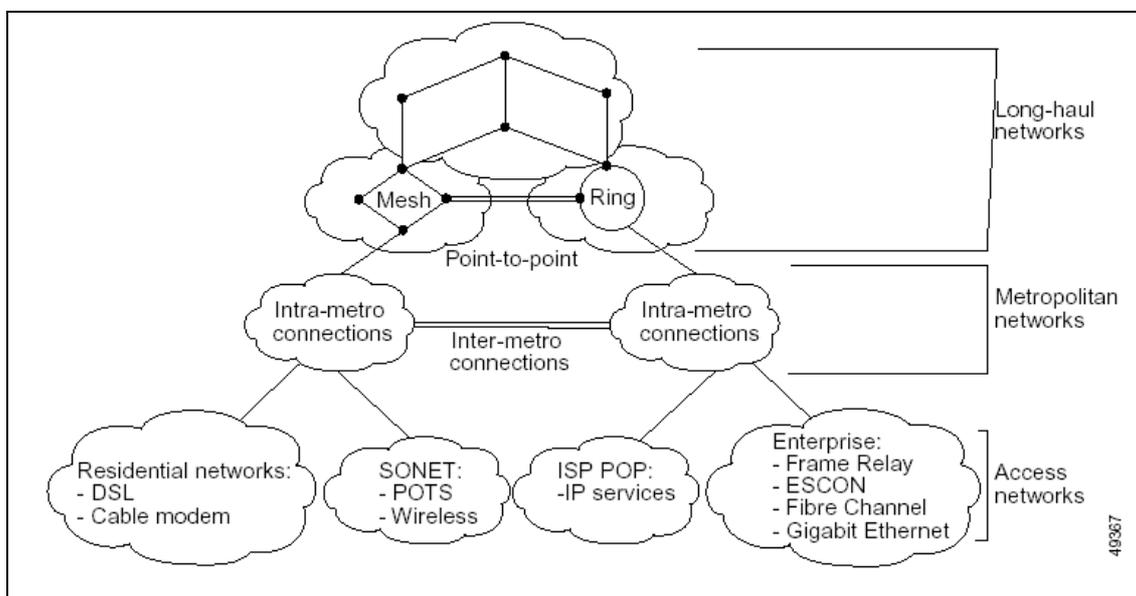
3.8. Οπτικές ίνες

Όπως είπαμε και παραπάνω οι ζεύξεις DWDM χρησιμοποιούν τους ίδιους τύπους ινοοπτικών καλωδίων με αυτές των ζεύξεων ενός μήκους κύματος. Αποτελούν βασικό πλεονέκτημα και παρέχουν την δυνατότητα δραστηκής αύξησης της χωρητικότητας μιας ζεύξης με αντικατάσταση μόνον του τερματικού εξοπλισμού, χωρίς την ανάγκη για χρήση πρόσθετων ινών ή εγκατάσταση νέων ινοοπτικών καλωδίων.



4. Μητροπολιτικά δίκτυα και DWDM

Το παγκόσμιο δίκτυο απαρτίζεται από τρία είδη δικτύων: τα δίκτυα κορμού (long-haul networks) ή αλλιώς δίκτυα ευρείας περιοχής (Wide Area Networks-WAN), τα μητροπολιτικά δίκτυα (Metropolitan Area Networks-MAN) και τα δίκτυα πρόσβασης (Access networks). Τα μητροπολιτικά δίκτυα, με τα οποία θα ασχοληθούμε περισσότερο στην συνέχεια, θα μπορούσαμε να πούμε ότι βρίσκονται ανάμεσα από τα δίκτυα κορμού και τα δίκτυα πρόσβασης και αποτελούν τον συνδετικό κρίκο μεταξύ τους.



Τα δίκτυα κορμού ή αλλιώς τα δίκτυα ευρείας περιοχής είναι διασκορπισμένα γεωγραφικά και αποτελούν την βάση του παγκόσμιου δικτύου. Λόγω της θέσης τους στο παγκόσμιο δίκτυο μεταφέρουν μεγάλο όγκο δεδομένων και επομένως βασικό τους μέλημα είναι η ταχύτητα και η χωρητικότητα του μέσου μεταφοράς. Σε πολλές περιπτώσεις βασίστηκαν στην σύγχρονη ψηφιακή ιεραρχία SDH και στα σύγχρονα οπτικά δίκτυα SONET, τα οποία αποτελούν προηγμένη ψηφιακή τεχνολογία μεγάλου εύρους ζώνης. Στις μέρες μας το DWDM έχει καταφέρει να κυριαρχήσει στα δίκτυα αυτά λόγω της μεγάλης χωρητικότητας που προσφέρει αλλά και λόγω της μείωσης του χρηματικού κόστους σε σχέση με την απόδοση του.



Από την άλλη έχουμε τα *δίκτυα πρόσβασης*, τα οποία είναι και τα πλησιέστερα σε όλους μάς δηλαδή στον απλό χρήστη. Χαρακτηρίζονται από μία μεγάλη ποικιλία πρωτοκόλλων και υλοποιήσεων και προσφέρουν στους χρήστες τους ένα πλήθος υπηρεσιών ποικίλων ταχυτήτων και εύρους ζώνης. Σαν ένα παράδειγμα δικτύων πρόσβασης θα μπορούσαμε να αναφέρουμε τις εταιρίες παροχής internet και τηλεφωνίας.

Ανάμεσα στα δύο παραπάνω είδη δικτύων βρίσκονται τα *μητροπολιτικά δίκτυα* τα οποία εξαπλώνονται και καλύπτουν συνήθως την γεωγραφική περιοχή μίας πόλης. Η βασική τους λειτουργία είναι η διασύνδεση επιχειρήσεων, γραφείων και εκπαιδευτικών ιδρυμάτων. Τα μητροπολιτικά δίκτυα χαρακτηρίζονται και αυτά από ποικιλομορφία πρωτοκόλλων και ταχυτήτων σύνδεσης το οποία αποτελούν κατά κάποιο τρόπο το κοινό χαρακτηριστικό τους με τα δίκτυα πρόσβασης. Για την υλοποίηση τους βασίστηκαν στις ψηφιακές τεχνολογίες SONET/SDH.

Η δομή των δικτύων κορμού είναι πιο σταθερή από αυτή των μητροπολιτικών δικτύων μιάς και τα MANs χαρακτηρίζονται από συχνές αλλαγές των τοπολογιών τους και κάνουν χρήση περισσότερων τύπων υπηρεσιών. Επίσης τα Μητροπολιτικά δίκτυα υποστηρίζουν την παραδοσιακή μετάδοση φωνής και των μισθωμένων υπηρεσιών, συμπεριλαμβάνουν χώρους αποθήκευσης δεδομένων (data storage), κατανεμημένες εφαρμογές (distributed applications) και μετάδοση βίντεο. Η διαφάνεια πρωτοκόλλων (protocol and speed transparency), η κλιμάκωση μεγέθους (scalability) και η δυναμική τροφοδότηση (dynamic provisioning) είναι μερικά ακόμα από τα βασικά χαρακτηριστικά των μητροπολιτικών δικτύων.

4.1. Αξιολογώντας το DWDM στα μητροπολιτικά δίκτυα

Το DWDM είναι ο σαφής νικητής στα δίκτυα κορμού. Η μεγάλη χωρητικότητα που προσφέρει ο εξοπλισμός του το έκανε τη λύση για τα νέα δίκτυα ευρείας περιοχής. Την ίδια περίοδο άρχισε και η αφθονία της ίνας πράγμα που οδήγησε στην μείωση του κόστους της με αποτέλεσμα να είναι εύκολη η εφαρμογή του DWDM και στα μητροπολιτικά δίκτυα. Το κόστος εγκατάστασης οπτικής ίνας είναι ακόμα μεγαλύτερο από το γνωστό σε όλους μας χάλκινο καλώδιο, η εφαρμογή όμως του DWDM αύξησε τις δυνατότητες της οπτικής ίνας με αποτέλεσμα να έχουμε στην πραγματικότητα μείωση του τελικού κόστους. Οι εναλλακτικές λύσεις για την



αύξηση της χωρητικότητας υπάρχουν, όπως το τράβηγμα νέων καλωδίων και η εφαρμογή τεχνολογιών SONET/SDH, αλλά το DWDM υπόσχεται και μπορεί να κάνει περισσότερα.

Η αλλαγή των απαιτήσεων των πελατών είναι ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των μητροπολιτικών δικτύων. Με την τεχνολογία SONET/SDH, που συνοδεύει την πλειοψηφία των μητροπολιτικών δικτύων, η αλλαγή ή δημιουργία μίας νέας υπηρεσίας αποτελεί μία σύνθετη διαδικασία η οποία αποτελείται από ανάλυση και επανασχεδίαση του δικτύου καθώς επίσης επαλήθευση των πορειών και των κυκλωμάτων, ένα σύνολο ενεργειών που μπορεί να διαρκίσει ακόμα και αρκετές εβδομάδες. Σε αντίθεση, στην τεχνολογία DWDM η αλλαγή ενός καναλιού η ακόμα και η εισαγωγή μίας νέας υπηρεσίας μπορεί να είναι τόσο απλή, αρκεί να προσθέσεις στο υπάρχον σύστημα ένα ακόμα οπτικό κανάλι. Σαν οπτικό κανάλι – *lightpath* ορίζεται το μονοπάτι που δημιουργείται κατά μήκος της ίνας μεταξύ δύο κόμβων και έχει σταθερό μήκος κύματος.

Η αλλαγή αυτή των καναλιών είναι γνωστή σαν επανασχηματισμός (*reconfiguration*). Ο επανασχηματισμός αυτός μπορεί να επιτευχθεί σε ένα σύστημα DWDM είτε *on-line* είτε *off-line*. Σε έναν *off-line* επανασχηματισμό το δίκτυο είναι εντελώς απενεργοποιημένο καθώς ορίζονται τα νέα κανάλια και η πρόσβαση δεν είναι εφικτή. Αντίθετα σε έναν *on-line* επανασχηματισμό δεν απενεργοποιείται όλο το δίκτυο. Εδώ, τα απαραίτητα κανάλια (*lightpaths*) καθιερώνονται ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των μηκών κύματος και των πομποδεκτών. Εάν αυτοί οι πόροι δεν είναι διαθέσιμοι, τότε κάποια από τα υπάρχον κανάλια μπορούν να αλλαχθούν. Ωστόσο ο φόρτος του δικτύου (*traffic*) επηρεάζεται ανάλογα με τα κανάλια που τυχόν θα αλλαχθούν. Επομένως γίνεται κατανοητό ότι ο *on-line* επανασχηματισμός προτιμάται στις πιο πολλές περιπτώσεις λόγω του ότι δεν διακόπτεται πάντα η κίνηση των δεδομένων κατά την διάρκεια του επανασχηματισμού.

4.2. Εφαρμογές και υπηρεσίες μητροπολιτικών δικτύων

Με την βοήθεια της τεχνολογίας και πιο συγκεκριμένα με τους οπτικούς ενισχυτές και τις νέου τύπου οπτικές ίνες, κατάφερε η τεχνολογία DWDM να κυριεύσει τον κόσμο των δικτύων μεγάλης απόστασης, υπερωκεάνια και επίγεια. Μόλις αυτές οι τεχνολογίες έγιναν εμπορικά βιώσιμες στην αγορά δικτύων μεγάλης απόστασης, ήταν επόμενο λογικό βήμα να τις επεκτείνει και στα δίκτυα μητροπολιτικής περιοχής και



τελικά στα δίκτυα πρόσβασης χρησιμοποιώντας υβριδικές αρχιτεκτονικές της ίνας και των ομοαξονικών μέσων.

Η μητροπολιτική αγορά δικτύων οδηγείται από τις απαιτήσεις για τις νέες υπηρεσίες εφαρμογής σε συνδυασμό με τις νέες υψηλές ταχύτητες πρόσβασης όπως η εφαρμογή της τεχνολογίας xDSL. Οι νέες αυτές εφαρμογές περιλαμβάνουν τις συναλλαγές ηλεκτρονικού εμπορίου, την μεταφορά φωνής, καθώς επίσης και τις γνωστές σε όλους μας εφαρμογές πολυμέσων. Οι σημαντικότεροι λόγοι που έδωσαν ώθηση για την αξιοποίηση του DWDM στα μητροπολιτικά δίκτυα είναι οι περιοχές αποθήκευσης δεδομένων (*Storage Area Networks- SANs*) και η ικανότητα του να ενσωματώσει και να αναβαθμίσει την τεχνολογία SONET/SDH.

4.2.1. xDSL (*Digital Subscriber Line*)

Η τεχνολογία της ψηφιακής συνδρομητικής γραμμής xDSL είναι μία καθαρά νέα και πολλά υποσχόμενη τεχνολογία η οποία μας παρέχει την δυνατότητα υψηλών ταχυτήτων πρόσβασης σε διάφορα δίκτυα μέσα από τα κοινά χάλκινα τηλεφωνικά ζεύγη . Ο δείκτης x αναφέρεται στην εξελικτική πορεία της τεχνολογίας DSL. Ο παρακάτω πίνακας μας βοηθάει να γνωρίσουμε τις διάφορες μορφές της τεχνολογίας αυτής.

Όνομα	Υπονοεί	Ρυθμός	Τρόπος	Εφαρμογές
DSL/IDSL	Digital Subscriber Line (Ψηφιακή Γραμμή Συνδρομητή)	160 kb/s	Duplex	ISDN-BRA Φωνή & Δεδομένα
HDSL	High data rate DSL (Υψίρρυθμη Ψ.Γ.Σ.)	1,5 Mb/s (T1) 2 Mb/s (E1)	Duplex	Υπηρεσίες T1/E1
ADSL	Asymmetric DSL (Ασύμμετρη Ψ.Γ.Σ.)	1,5 έως 8 Mb/s 16 έως 640 kb/s	Down Up	Internet, Video, Remote LAN Access, Interactive Multimedia
VDSL	Very high data rate DSL (Πολύ Υψίρρυθμη Ψ.Γ.Σ.)	13 έως 52 Mb/s 1,5 έως 2,3 Mb/s	Down Up	Ότι το ADSL με την προσθήκη Video on Demand
SDSL	Symmetric ή Single line DSL (Σύμμετρική Ψ.Γ.Σ.)	1,5 Mb/s (T1) 2 Mb/s (E1)	Duplex	Βίντεο - τηλεφωνία. Εφαρμογές οικιακών συνδρομητών
UDSL	Universal ADSL ή ADSL Lite (ADSL χαμηλού κόστους)	64 kb/s - 1,5/2 Mb/s 32 kb/s - 512 kb/s	Down Up	Χαμηλότερο κόστος για οικιακούς συνδρομητές

Από τις υπηρεσίες που φαίνονται στον πίνακα το HDSL απευθύνεται κυρίως σε επιχειρήσεις, το ADSL/UDSL/SDSL σε οικιακούς συνδρομητές, ενώ το VDSL είναι



μόνο για την παροχή εφαρμογών ευρυζωνικού Video και λόγω μειωμένης εμβέλειας, συνδυάζεται συνήθως με την χρήση οπτικών ινών σε υπαίθριο καταναμητή.

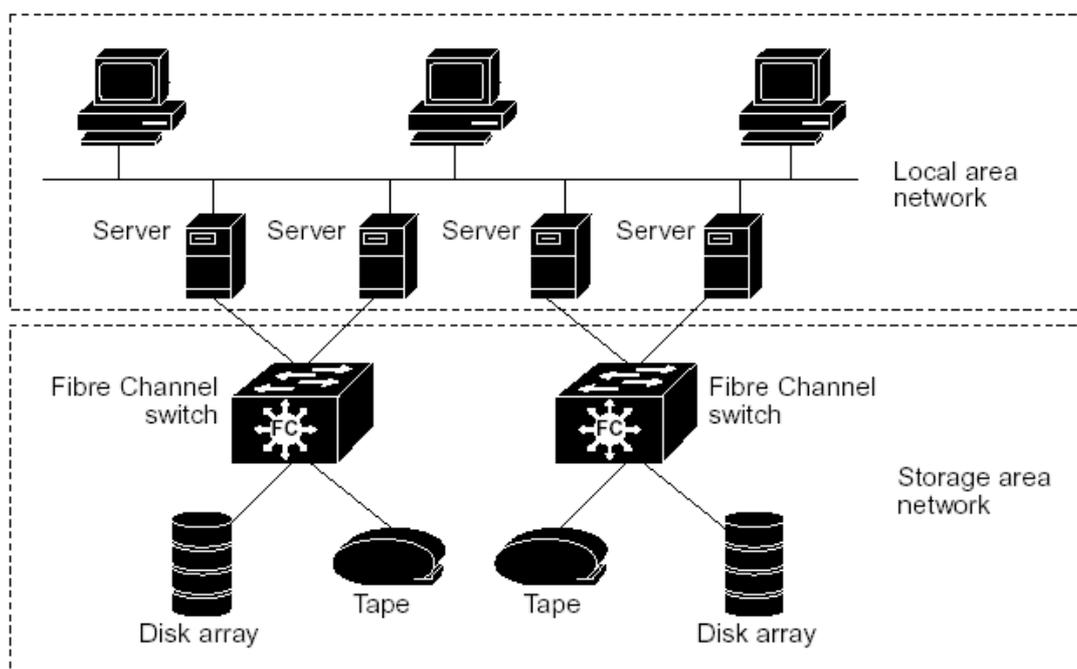
Παρά την ονομασία, που σημαίνει ψηφιακή γραμμή συνδρομητή, το DSL δεν αναφέρεται στην φυσική έννοια της τηλεφωνικής γραμμής, αλλά σε μία τεχνολογία modem, που παρέχει την δυνατότητα παροχής υπηρεσιών φωνής, δεδομένων και βίντεο σε ταχύτητες πολλών Mb/s, μέσω των χάλκινων ζευγών του δικτύου πρόσβασης. Ένα DSL Modem εκπέμπει ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις (Full Duplex) σε ένα ζεύγος, χρησιμοποιώντας δύο τρόπους διαχωρισμού, την πολυπλεξία συχνότητας FDM και την τεχνική καταστολής ηχούς (ECT – Echo Cancellation Technique).

4.2.2 Περιοχή αποθήκευσης δεδομένων – SAN

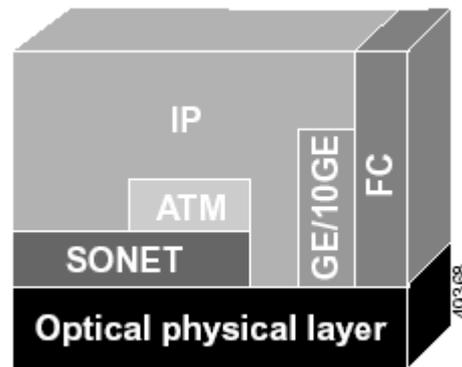
Στις μέρες μας με την χρήση των αντικειμενοστραφών βάσεων δεδομένων του ηλεκτρονικού εμπορίου αλλά και με την χρήση των εφαρμογών Client/Server, πληροφορίες που ήταν πριν συγκεντρωμένες σε έναν υπολογιστή άρχισαν να διανέμονται στο δίκτυο με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται μεγάλη αύξηση στον όγκο δεδομένων και να κρίνεται απαραίτητη η δημιουργία χώρων αποθήκευσης.. Ένας τέτοιος χώρος αποθήκευσης είναι και η περιοχή αποθήκευσης δεδομένων-SAN (Storage Area Network). Τα SANs αντιπροσωπεύουν το τελευταίο στάδιο στην εξέλιξη της μαζικής αποθήκευσης δεδομένων για επιχειρήσεις και άλλα μεγάλα ιδρύματα.

Στην πραγματικότητα τα SAN είναι δίκτυα ξεχωριστά από τα τοπικά δίκτυα LAN (Local Area Networks) αποτελούμενα από τους κεντρικούς υπολογιστές, τις συσκευές αποθήκευσης (ταινίες, σειρές δίσκων) και συσκευές δικτύων (δρομολογητές, Switch και τα λοιπά).

Σαν ξεχωριστό δίκτυο, το SAN μπορεί να ανακουφίσει τις δυσχέρειες του τοπικού δικτύου LAN με την παροχή πόρων για τις εφαρμογές όπως την αντανάκλαση στοιχείων (data mirroring), την επεξεργασία της δοσοληψίας (transaction processing), καθώς επίσης και την δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας και την επανάκτηση των δεδομένων (backup and restoration).



Για την διασύνδεση των στοιχείων που αποτελούν τα SAN χρησιμοποιούνται δύο τεχνολογίες, το Fibre Channel και η τεχνολογία ESCON (Enterprise System CONnection). Το Fibre Channel αποτελεί την πιο οικονομικά αποδεκτή αντικατάσταση του πρωτοκόλλου SCSI (Small Computer System Interface) ως ένα υψηλής ταχύτητας μέσο διασύνδεσης για εφαρμογές όπως δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας, επανάκτηση δεδομένων και mirroring. Οι διασυνδέσεις του Fibre Channel είναι σήμερα διαθέσιμες στα 100 MBps. Στο εγγύς μέλλον περιμένουμε διασυνδέσεις των 200 MBps, ενώ βρίσκονται σε δοκιμαστικό στάδιο διασυνδέσεις των 400 MBps. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του Fibre Channel είναι ότι δεν περιορίζεται στις μικρές αποστάσεις, όπως το SCSI. Το Fibre Channel μπορεί να εφαρμοστεί σε ‘σημείο με σημείο’ τοπολογίες (point-to-point), δακτυλίου (ring) και πλέγματος (mesh) χρησιμοποιώντας έναν δρομολογητή. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, το Fibre Channel όπως και άλλα πρωτόκολλα, μπορεί να μεταφερθεί άμεσα στο οπτικό στρώμα χρησιμοποιώντας την τεχνολογία DWDM



Από τις δύο αυτές τεχνολογίες η επικρατέστερη είναι το επιχειρηματικό σύστημα ESCON της IBM, το οποίο είναι ένα ημιαμφίδρομο πρωτόκολλο 17-MBps μέσω ίνας. Παρόλα αυτά και οι δύο τεχνολογίες παρουσιάζουν σημαντικούς περιορισμούς ως προς την απόσταση. Παραδείγματος χάριν, η τυποποιημένη μέγιστη απόσταση χωρίς αναγεννητές είναι περίπου 3 km για το ESCON και περίπου 10 km για το Fibre Channel στα 100 MBps. Όσο αυξάνεται η απόσταση τόσο μειώνεται η απόδοση των παραπάνω τεχνολογιών. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία DWDM το μειονέκτημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί επιτυγχάνοντας να μεταδώσουμε δεδομένα μεταξύ ενός ή περισσότερων επιχειρησιακών σταθμών εργασίας και ενός ή περισσότερων SAN πάνω από το οπτικό στρώμα σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις. Επίσης η χρήση του DWDM στα SANs θα επιφέρει και μεγάλη μείωση στα ζεύγη ινών που χρησιμοποιούνται καθώς η ESCON τεχνολογία για παράδειγμα χρησιμοποιεί ένα ζευγάρι ινών για κάθε κανάλι. Με την πολυπλεξία DWDM όλα αυτά τα κανάλια μπορούν να περάσουν μέσα από ένα ζευγάρι, μειώνοντας έτσι το πλήθος των οπτικών ινών.

4.2.3. ‘IP over SDH over DWDM’

Ο όρος ‘*IP over SDH*’, ή αλλιώς ‘*Packet over SDH*’, αναφέρεται ουσιαστικά στην επίτευξη διασυνδέσεων SDH με κάποιον δρομολογητή, που αποτελεί τερματικό στοιχείο για τη διακίνηση δεδομένων μέσω του πρωτοκόλλου PPP (Point-to-Point Protocol - PPP). Το πρωτόκολλο PPP αποτελεί το ευρύτερα αποδεκτό πρωτόκολλο μορφοποίησης για την μετάδοση δεδομένων στο διαδίκτυο (Internet Protocol - IP traffic).



Στην πραγματικότητα, η κυκλοφορία IP μέσω ενός SDH δρομολογητή προσομοιάζεται ως μια σειριακή ροή δεδομένων (data stream) που μετακινείται κατά μήκος του δικτύου, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο PPP για τις λειτουργίες μορφοποίησης και συμπύκνωσής της. Αυτές οι ροές δεδομένων διακινούνται σε καθορισμένα STM πλαίσια. Τα πλαίσια μπορούν να έχουν τυπικό ρυθμό μετάδοσης OC-3/STM-1, OC-12/STM-4 και OC-48/STM-16. Σε κάθε κόμβο του δικτύου το IP πακέτο δεδομένων απομονώνεται από το PPP πλαίσιο του, εξετάζεται η διεύθυνση προορισμού του και τελικά αυτό εντάσσεται σε ένα νέο PPP πλαίσιο για να συνεχιστεί η μεταφορά του.

Τα βασικά πλεονεκτήματα που προσέφερε η τεχνολογία ‘*IP over /SDH*’, συνοψίζονται στα εξής :

- Η αποτελεσματική/χαμηλού ‘*overhead*’ από σημείο-σε-σημείο μεταφορά της IP κυκλοφορίας.
- Η πρόβλεψη σχετικά υψηλών εύρων ζώνης για την παροχή μη διαφοροποιημένων υπηρεσιών (nondifferentiated services).

Ωστόσο, κατά τα τελευταία χρόνια, η αύξηση της κυκλοφορίας δεδομένων στο διαδίκτυο είναι μεγάλη. Κάθε χρόνο ο όγκος της διακινούμενης πληροφορίας υπερδιπλασιάζεται και αυτό αναμένεται να διατηρηθεί και κατά τα επόμενα έτη.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, κρίθηκε αναγκαία η ενσωμάτωση της τεχνολογίας DWDM, στην υπάρχουσα ‘*IP over SDH*’ τεχνολογία. Έτσι, προέκυψε μια νέα βελτιωμένη τεχνική μετάδοσης IP δεδομένων η οποία αναφέρεται ως ‘*IP over SDH over DWDM*’.

Σε ένα τέτοιο σύστημα, καθοριστικό ρόλο έχει ο αναμεταδότης (transponder), ο οποίος αναλαμβάνει τη μετατροπή του συμβατού με το πρότυπο SDH οπτικού σήματος, που περιέχει τις πληροφορίες του IP πακέτου, σε οπτικό σήμα ανάλογο του DWDM και η διαδικασία της μεταφοράς του σήματος θα συνεχίσει όπως ήδη έχουμε προαναφέρει στην παράγραφο 2.4 και γενικότερα στο κεφάλαιο 3 . Όταν το σήμα τελικά μεταφερθεί από την άλλη μεριά (στον άλλο κόμβο της PPP σύνδεσης) τότε αυτό μετατρέπεται σε ηλεκτρικό και μέσο μίας προτυποποιημένης SDH διαδικασίας τα IP πακέτα αποπολυπλέκονται.



4.2.4. ‘IP over DWDM’

Η τεχνολογία μεταφοράς IP πακέτων απευθείας μέσω του DWDM οπτικού επιπέδου ‘*IP over DWDM*’, δίχως τη μεσολάβηση κάποιου ενδιάμεσου επιπέδου, αποτελεί τη μελλοντική δικτυακή υλοποίηση που θα εξασφαλίσει την ύπαρξη ενός ουσιαστικά απεριόριστου εύρους ζώνης.

Η τεχνολογία αυτή, προχωρώντας ένα βήμα παραπέρα σε σχέση με την ‘*IP over SDH over DWDM*’ υλοποίηση, προβλέπει την εξολοκλήρου απαλοιφή του παραδοσιακού SDH στρώματος. Έτσι, τα IP πακέτα δεδομένων μετατρέπονται απευθείας σε οπτικό σήμα και ακολουθεί η διαδικασία της πολύπλεξης στο πεδίο του μήκους κύματος. Όπως γίνεται αντιληπτό, η απουσία της ενδιάμεσης μετατροπής των πακέτων σε προτυποποιημένα SDH πλαίσια απλοποιεί σημαντικά τη διαδικασία. Σημαντικό ρόλο για την επίτευξη μιας τέτοιας υλοποίησης, με τον απλούστερο δυνατό τρόπο, αποτελεί η ύπαρξη ενός καινοτόμου δρομολογητή που θα ενσωματώνει ορισμένες βασικές DWDM λειτουργίες. Το σημείο-κλειδί που θα επιτρέψει την αποτελεσματική λειτουργία και την πλήρη εκμετάλλευση των σημαντικών δυνατοτήτων ενός ‘*IP over DWDM*’ δικτύου, δεδομένου ότι για πρώτη φορά αμφισβητείται σοβαρά η αναγκαιότητα ύπαρξης της παραδοσιακής και καθιερωμένης τεχνολογίας SDH, είναι ο ξεκάθαρος ορισμός των υπηρεσιών και της λειτουργικότητας που καθένα από τα IP και DWDM στρώματα θα προσφέρουν.

Το όραμα ενός εξολοκλήρου οπτικού και από άκρο-σε-άκρο DWDM δικτύου έχει προσελκύσει σημαντικότερες ερευνητικές προσπάθειες από τις μεγάλες εταιρίες σχεδιασμού οπτικών δικτύων, που πλέον έχουν αντιληφθεί τα σημαντικά πλεονεκτήματα της ολοκλήρωσης μιας τέτοιας υλοποίησης. Η ανάπτυξη του διαδικτύου και των δεδομένων που διακινούνται μέσα από αυτό, καθιστά αναγκαίο τόσο το οπτικό επίπεδο να είναι ικανό να προσφέρει απευθείας υπηρεσίες υποστήριξης στο IP στρώμα, όσο και το στρώμα αυτό να μπορεί να εκμεταλλευθεί πλήρως αυτές τις υπηρεσίες. Επιπλέον, η υλοποίηση μιας σειράς απαιτητικών εφαρμογών μέσω του διαδικτύου, όπως η διαδικτυακή τηλεφωνία και η τηλεδιάσκεψη, πέρα από το αναγκαίο εύρος ζώνης απαιτούν και μια σειρά εγγυήσεων σε ότι αφορά στην ποιότητα των υπηρεσιών (QoS), στην ασφάλεια και στη μέγιστη ανοχή σφαλμάτων.



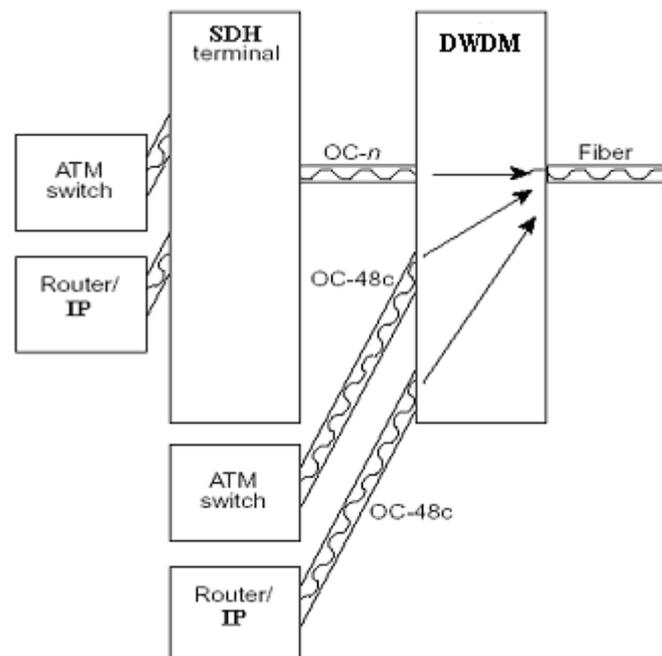
4.2.5. ‘ATM και DWDM’

Η ενοποίηση των DWDM 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 διαδίκτυο 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 DWDM με την τεχνολογία ATM μπορεί να λύσει τα ζητήματα εύρους ζώνης και ποιότητας υπηρεσιών με έναν, τόσο αποδοτικό, όσο και οικονομικό τρόπο.

Τα πλεονεκτήματα της ενοποίησης της τεχνολογίας ATM λειτουργώντας πάνω από την τεχνολογία DWDM είναι πολύ σημαντικά. Ο καθορισμός του μεγέθους των καναλιών είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στα συστήματα ATM/DWDM. Πολλά και διαφορετικά σχήματα 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 υπάρχοντα κανάλια μήκους κύματος. Η ελαχιστοποίηση, συνεπώς, του μήκους των καναλιών είναι απολύτως ζωτικής σημασίας στην τεχνολογία ATM/DWDM 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/DWDM. 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 DWDM 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.



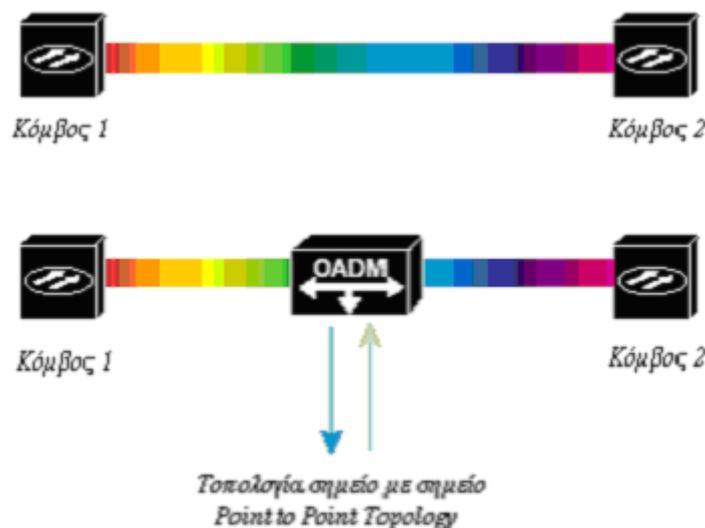


5. Δικτυακές τοπολογίες σε μητροπολιτικά δίκτυα DWDM

Οι δικτυακές αρχιτεκτονικές γενικά είναι βασισμένες σε πολλούς παράγοντες, όπως ο τύπος των εφαρμογών και πρωτοκόλλων, οι αποστάσεις, τα σχέδια χρήσης και πρόσβασης κ.α. Στη μητροπολιτική αγορά τώρα το DWDM κάνει χρήση τριών τοπολογιών την *Σημείο με Σημείο (Point to Point Topology)*, *δακτυλίου (Ring Topology)* και *πλέγματος (Mesh Topology)*. Η *Point to Point* τοπολογία χρησιμοποιείται περισσότερο για την σύνδεση επιχειρησιακών θέσεων, η τοπολογία *δακτυλίου* για την σύνδεση επιχειρησιακών εγκαταστάσεων και η τοπολογία *πλέγματος* για σύνδεση με τα δίκτυα ευρείας περιοχής ή με τα δίκτυα πρόσβασης.

5.1. Τοπολογία ‘Σημείο με Σημείο’ (Point to Point Topology)

Οι τοπολογίες ‘Σημείο με Σημείο’ μπορούν να εφαρμοστούν με ή χωρίς τη χρήση *οπτικών πολυπλεκτών προσθαφαίρεσης OADM's (Optical Add/Drop Multiplexers)*. Είναι τοπολογία αρκετά εύκολη στην κατασκευή της καθώς επίσης και στην επίλυση διαφόρων προβλημάτων που τυχόν εμφανιστούν. Κάνει εφικτή την διαύγεια των πρωτοκόλλων, την ακραία ανάπτυξη και την μεγιστοποίηση της χωρητικότητας, οποιαδήποτε στιγμή αυτό κριθεί αναγκαίο, καθώς ταυτόχρονα μειώνει το αρχικό κόστος.

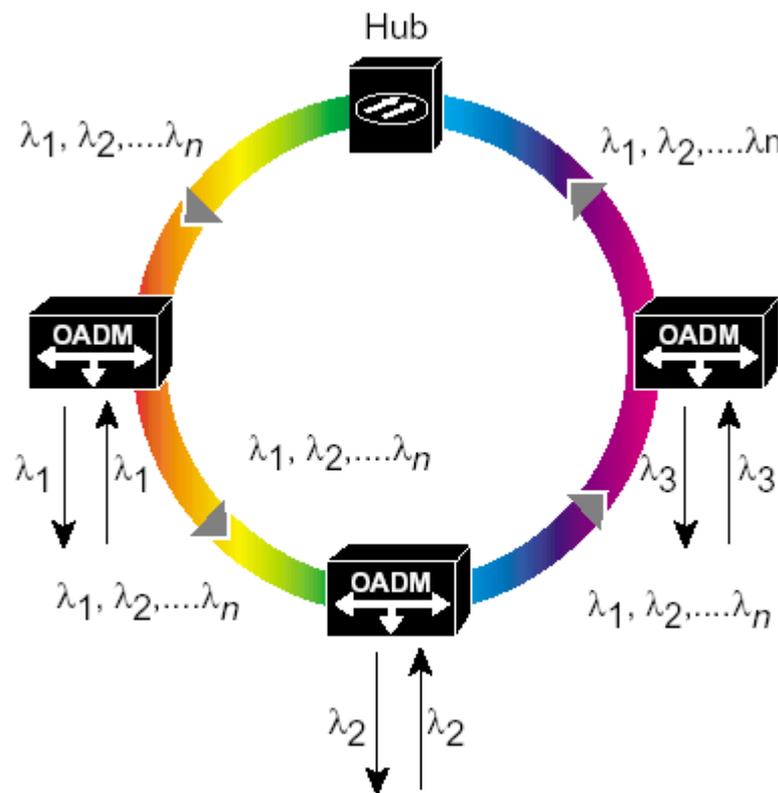




Η εφαρμογή της ‘Σημείο με Σημείο’ τοπολογίας κρίνεται επίσης αρκετά αποτελεσματική. Χαρακτηρίζεται από τις υπερβολικά υψηλές ταχύτητες καναλιών (10 έως 40 Gbps), την υψηλή ακεραιότητα και την αξιοπιστία των σημάτων και τη γρήγορη αποκατάσταση πορειών. Ένα τυπικό σύστημα μπορεί να μεταφέρει σήματα σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 100 Km χωρίς να κρίνεται απαραίτητη η χρήση αναγεννητή, αποστάσεις που ανήκουν στα πλαίσια ενός μητροπολιτικού δικτύου. Χωρίς την χρήση αναγεννητών ή επιπρόσθετου εξοπλισμού η τοπολογία ‘Σημείο με Σημείο’ αντιπροσωπεύει την πιο απλή, φθηνή και αποτελεσματική λύση.

5.2. Τοπολογία Δακτυλίου (Ring Topology)

Η τοπολογίες δακτυλίου είναι από τις πιο κοινές αρχιτεκτονικές που εφαρμόζονται στις μητροπολιτικές περιοχές και εκτείνονται μερικές δεκάδες χιλιόμετρα. Κάθε ίνα στην τοπολογία δακτυλίου μπορεί να περιέχει το λιγότερο τέσσερα κανάλια μήκους κύματος και χαρακτηριστικά λιγότερους κόμβους από τα κανάλια. Ο ρυθμός μετάδοσης σε μία τέτοια τοπολογία είναι μεταξύ 622 Mbps και 10 Gbps ανά κανάλι.



Τοπολογία Δακτυλίου
Ring Topology



Οι τοπολογίες δακτυλίου μπορούν να επεκταθούν με ένα ή περισσότερα συστήματα DWDM, που υποστηρίζουν κίνηση ‘*any-to-any*’ (ο οποιοσδήποτε στον οποιοδήποτε) ή μπορούν να έχουν έναν κεντρικό σταθμό (HUB) και έναν ή περισσότερους κόμβους OADM.

Στον κεντρικό σταθμό (κόμβο) η κυκλοφορία δημιουργείται, ολοκληρώνεται και ρυθμίζεται, καθώς επίσης καθιερώνεται και η συνδετικότητα της με τα άλλα δίκτυα. Στους κόμβους των οπτικών πολυπλεκτών προσθαφαίρεσης OADM μπορούμε να εξάγουμε η ακόμα και να εισάγουμε ένα η περισσότερα οπτικά κανάλια καθώς τα υπόλοιπα κανάλια περνούν ανεπηρέαστα για τον επόμενο κόμβο. Με αυτόν τον τρόπο η αρχιτεκτονική δακτυλίου επιτρέπει στους κόμβους του δακτυλίου να παρέχουν πρόσβαση στα διάφορα στοιχεία που αποτελούν το δίκτυο όπως για παράδειγμα τους δρομολογητές (Routers), τα switch και τους κεντρικούς υπολογιστές τα οποία μπορούν να προσθέσουν η ακόμα και να εξάγουν ένα κανάλι σήματος από το οπτικό φάσμα. Με την αύξηση των οπτικών πολυπλεκτών προσθαφαίρεσης έχουμε απώλεια ισχύος γεγονός που επιβάλλει την ενίσχυση του σήματος.

Τα υποψηφία δίκτυα για την εγκατάσταση του DWDM στις μητροπολιτικές περιοχές είναι συχνά ήδη βασισμένα σε SDH δομές δαχτυλιδιών με 1 + 1 ζευγάρι οπτικών ινών εκ των οποίων το ένα χρησιμοποιείτε για προστασία.

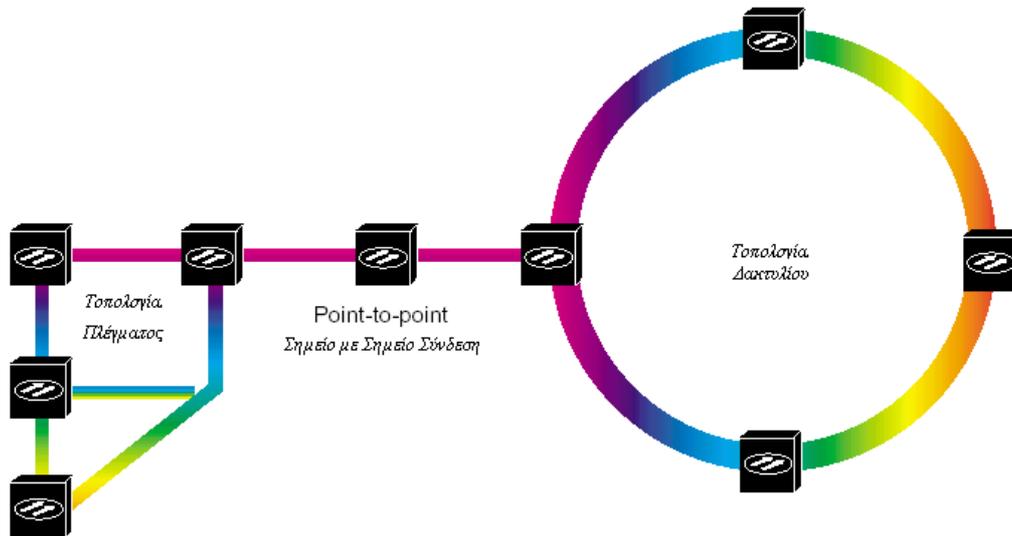
5.3. Τοπολογία Πλέγματος (Mesh Topology)

Η τοπολογία πλέγματος είναι το μέλλον των οπτικών δικτύων. Δεδομένου ότι τα δίκτυα εξελίσσονται, η τοπολογία Δακτυλίου και η από ‘Σημείο σε Σημείο’ θα έχουν ακόμα μια θέση στην αγορά των δικτύων, αλλά η εφαρμογή της τοπολογίας πλέγματος θα είναι αρκετά πιο αποτελεσματική. Η ανάπτυξη της οφείλετε στην κατασκευή ειδικών διαμορφούμενων οπτικών διασταυρωτήρων OXC (optical cross-connects) που σε μερικές περιπτώσεις αντικαθιστούν άλλες σταθερές συμπληρωματικές συσκευές DWDM.

Από την σχεδιαστική σκοπιά, υπάρχει μια εξελικτική πορεία από τις τοπολογίες ‘Σημείο με Σημείο’ στις τοπολογίες ‘πλέγματος’. Έτσι αρχίζοντας από τις ‘Σημείο με Σημείο’ συνδέσεις, που εξοπλίζονται με τους κόμβους OADM για μεγαλύτερη ευελιξία, και στη συνέχεια με την μεταξύ τους διασύνδεση, το δίκτυο μπορεί να εξελιχθεί σε ένα δίκτυο πλέγματος χωρίς τον πλήρη επανασχεδιασμό του. Επιπλέον,



αυτές οι τοπολογίες πλέγματος που θα δημιουργηθούν μπορούν και αυτές με την σειρά του να συνδεθούν με τις τοπολογίες δακτυλίων με συνδέσεις ‘Σημείο με Σημείο’ (*Point to Point Links*).



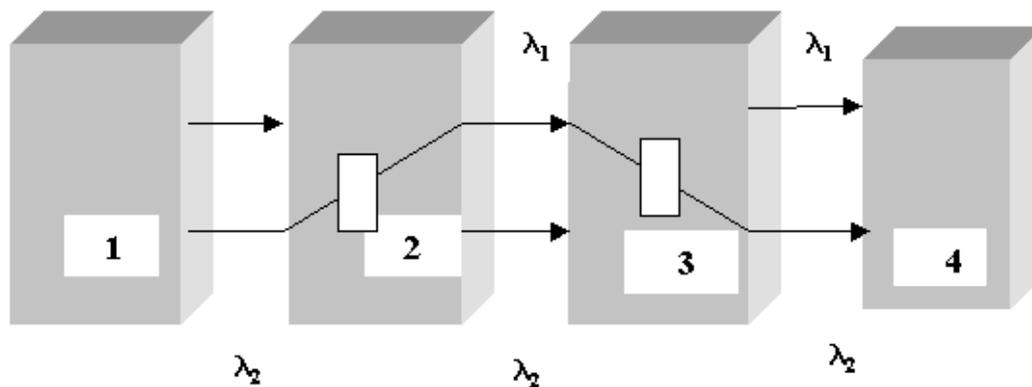
Τα δίκτυα πλέγματος επομένως αποτελούν δίκτυα υψηλού βαθμού νοημοσύνης μια και μπορούν να εκτελέσουν λειτουργίες προστασίας και διαχείριση εύρους ζώνης, συμπεριλαμβανομένης της εναλλαγής του σήματος μεταξύ των ινών και της δρομολόγησης μήκους κύματος την οποία θα αναλύσουμε στην επόμενη παράγραφο. Τα οφέλη που τελικά αποκομίζονται από την τοπολογία πλέγματος ως προς την ευελιξία και την αποδοτικότητα είναι αρκετά μεγάλα.

5.4. Δρομολόγηση και μετατροπή μήκους κύματος

Ένα οπτικό δίκτυο περιλαμβάνει δρομολογητές μήκους κύματος (*wavelength switches*) και τελικούς κόμβους που συνδέονται ανά ζεύγη. Οι δρομολογητές μήκους κύματος (*wavelength-routing switches*) διασυνδέονται μέσω οπτικής ίνας. Παρόλο που κάθε σύνδεση μπορεί να υποστηρίξει πολλά σήματα, απαιτείται κάθε ένα από αυτά να έχει ξεχωριστό μήκος κύματος. Οι δρομολογητές (routers) μεταδίδουν το σήμα στο ίδιο μήκος κύματος με το οποίο το λαμβάνουν. Ένα πλήρως οπτικό δίκτυο δρομολόγησης μήκους κύματος είναι αυτό το οποίο μεταφέρει δεδομένα από τον ένα σταθμό πρόσβασης στον άλλο χωρίς να γίνεται καμία οπτική ή ηλεκτρική μετατροπή.



Έστω ότι το δίκτυο παρουσιάζει την εικόνα του παρακάτω σχήματος. Τα μήκη κύματος λ_1 και λ_2 που φαίνονται είναι ελεύθερα μεταξύ των κόμβων 1, 2 και 3 αντίστοιχα. Υπάρχουν δύο μετατροπείς μήκους κύματος, ένας στον κόμβο 2 και ο άλλος στον κόμβο 3. Στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν είναι δυνατή η δημιουργία διαδρομής από τον κόμβο 1 στον κόμβο 4 χωρίς μετατροπή, επειδή τα διαθέσιμα μήκη κύματος είναι διαφορετικά για κάθε σύνδεση.



Μετατροπή Μήκους Κύματος

Θα μπορούσαμε λοιπόν να επιλύσουμε αυτό το πρόβλημα μετατρέποντας το μήκος κύματος, που χρησιμοποιούν τα δεδομένα που φτάνουν από τον κόμβο 1 στον 2, από λ_2 σε λ_1 , στη σύνδεση των κόμβων 2 και 3. Αυτή η τεχνική καλείται μετατροπή μήκους κύματος. Λειτουργικά, ένα τέτοιο δίκτυο μοιάζει με δίκτυο μεταγωγής κυκλωμάτων. Για οποιοδήποτε μοντέλο οπτικής δρομολόγησης, πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν αποδοτικότερη χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Οι μετατροπείς μήκους κύματος προτάθηκαν ως λύση γι’ αυτό το πρόβλημα, και παρέχουν βελτίωση της τάξης 10%-40% στην αξιοποίηση μέσω επαναχρησιμοποίησης, όταν υπάρχουν λίγα διαθέσιμα μήκη κύματος.



6. ΕΔΕΤ2 : Η πρώτη εφαρμογή του DWDM στην Ελλάδα

Σε εφαρμογή τέθηκε το πρώτο ευρυζωνικό δίκτυο DWDM στην χώρα μας το οποίο αποτελεί επέκταση η ακόμα καλύτερα αναβάθμιση του γνωστού σε όλους εμάς τους φοιτητές GRNET/ΕΔΕΤ (Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας) με την ονομασία ΕΔΕΤ2. Με το ΕΔΕΤ2 υλοποιείται η ενιαία ευρυζωνική πρόσβαση των τελικών χρηστών των ΑΕΙ, ΑΤΕΙ & Ερευνητικών Κέντρων της χώρας μέσα από τα τοπικά δίκτυα των ιδρυμάτων τους, με ευρυζωνική πρόσβαση 1 - 2.5 Gbps, με εθνικό δίκτυο κορμού 2.5 - 5 Gbps καθώς επίσης και σύνδεση με το διεθνές ερευνητικό δίκτυο νέας γενιάς GTRN -Global Terabit Research Networking- (1.2 Gbps) μέσω του Πανευρωπαϊκού δικτύου GEANT.

6.1. ΕΔΕΤ Α.Ε (Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας Α.Ε.)

Το ΕΔΕΤ συνδέει στο Ιντερνετ, και μεταξύ τους, περισσότερα από 70 Ακαδημαϊκά και Ερευνητικά Ιδρύματα (τα Ερευνητικά Κέντρα και όλα τα ΑΕΙ και τα ΤΕΙ της χώρας) με περισσότερους από 200.000 χρήστες. Με λίγα λόγια, το ΕΔΕΤ υποστηρίζει από το 1995, ως δίκτυο κορμού, τις ανάγκες ηλεκτρονικής επικοινωνίας και συνεργασίας της Ελληνικής Ακαδημαϊκής & Ερευνητικής Κοινότητας καθώς επίσης των εκπαιδευτικών και μαθητών της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (στην αρχή ως έργο της Γενικής Γραμματείας Έρευνας & Τεχνολογίας του Υπουργείου Ανάπτυξης - ΓΓΕΤ). Πιο συγκεκριμένα το ΕΔΕΤ εξυπηρετεί συνολικά πάνω από 190.000 χρήστες οι οποίοι είναι ερευνητές, φοιτητές και ερευνητικό προσωπικό ΑΕΙ / ΑΤΕΙ, χρήστες ακαδημαϊκών και ερευνητικών ηλεκτρονικών βιβλιοθηκών. Όσον αφορά στο Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο, στο ΕΔΕΤ είναι συνδεδεμένα 1059 δημοτικά, 3660 Γυμνάσια και Λύκεια και 141 ΙΕΚ (Απρίλιος 2002). Επίσης, το ΕΔΕΤ συμβάλλει καθοριστικά στην ανάπτυξη του Internet στην Ελλάδα, προσφέροντας τοπική διασύνδεση μεταξύ των μεγαλύτερων εταιρειών παροχής υπηρεσιών Internet στον κόμβο Athens Internet Exchange

Η ανάπτυξη και λειτουργία του ΕΔΕΤ συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και το Ελληνικό Δημόσιο μέσω της ΓΓΕΤ και μέσω του Υπουργείου



Παιδείας. Το δίκτυο κορμού του ΕΔΕΤ περιλαμβάνει σήμερα επτά κύριους κόμβους στις πόλεις Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Ιωάννινα, Ξάνθη, Ηράκλειο και Λάρισα. Η σύνδεση Αθήνα - Θεσσαλονίκη έχει ταχύτητα 155 Mbps. Οι συνδέσεις μεταξύ Αθήνας, Πάτρας και Ηρακλείου Κρήτης έχουν ταχύτητα 34 Mbps.

Εκτός από την παροχή υπηρεσιών στην Ακαδημαϊκή και Ερευνητική Κοινότητα, η Εταιρεία ΕΔΕΤ συμμετέχει σε μια σειρά αναπτυξιακών έργων, τα οποία έχουν σκοπό να προωθήσουν τη δικτυακή τεχνολογία και τις εφαρμογές της στις ελληνικές επιχειρήσεις (ηλεκτρονικό επιχειρείν), με κύριο βάρος στις Μικρομεσαίες Επιχειρήσεις (ΜΜΕ). Με δεδομένη τη σπουδαιότητα του ρόλου των ΜΜΕ στη διαδικασία της οικονομικής ανάπτυξης, τη δημιουργία θέσεων εργασίας και την ανάδειξη τεχνολογικών καινοτομιών, η ΕΔΕΤ με τα έργα αυτά συνεισφέρει στην αύξηση της ανταγωνιστικότητας των ελληνικών επιχειρήσεων στη νέα ψηφιακή οικονομία.

Η ΕΔΕΤ επίσης, συμμετέχει δυναμικά και πρωτοστατεί στη δημιουργία και ανάπτυξη διεθνών συνεργασιών που αφορούν στην ανάπτυξη προηγμένων τηλεπικοινωνιακών δικτύων και υπηρεσιών σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο. Αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του Πανευρωπαϊκού Ερευνητικού Δικτύου GEANT (αναβάθμιση του TEN-155) και είναι Διεθνής Εταίρος του Internet2 (ΗΠΑ), του πιο εκτεταμένου δικτύου κορμού νέας γενιάς Internet του κόσμου. Αναλαμβάνει πρωτοβουλίες και συντονίζει περιφερειακά προγράμματα όπως η ένταξη στο GEANT των Εθνικών Ερευνητικών Δικτύων των Βαλκανικών Χωρών, καθώς και των Μεσογειακών Χωρών εκτός Ε.Ε συμπεριλαμβανομένης και της Τουρκίας. Υποστηρίζει προηγμένα ερευνητικά έργα και συνεργασίες της Ακαδημαϊκής και Ερευνητικής Κοινότητας της χώρας με την Ευρωπαϊκή βιομηχανία και μετέχει στο forum διάχυσης τεχνογνωσίας της πρότασης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής DataGrid.

Στο αμέσως προσεχές μέλλον, η ΕΔΕΤ σκοπεύει να δραστηριοποιηθεί σε όλους τους σημαντικούς εκείνους χώρους που συνδέονται με την ανάπτυξη του Internet νέας γενιάς οπτικής τεχνολογίας υπερυψηλών ταχυτήτων (1-5 Gbps). Μεταξύ άλλων, θα προσφέρει τη δυνατότητα παροχής σε Ερευνητικές Κοινοπραξίες, Εικονικών Δικτύων (VPN), υπηρεσιών Multicast και υπηρεσιών δικτύωσης IPv6. Συγκεκριμένα, το ΕΔΕΤ στοχεύει να υποστηρίξει την ανάπτυξη και διάχυση στους Ακαδημαϊκούς και Ερευνητικούς φορείς:



- Προηγμένων Υπηρεσιών Internet νέας γενιάς
- Προηγμένων Εφαρμογών Ηλεκτρονικής Μάθησης από απόσταση
- Διασύνδεση υπερ-υπολογιστικών συστημάτων και GRID

Στο συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον της σύγχρονης Κοινωνίας της Πληροφορίας, στόχος της ΕΔΕΤ είναι να παίζει πρωτοποριακό ρόλο στη διαμόρφωση των τάσεων και εξελίξεων στο χώρο των προηγμένων τηλεπικοινωνιακών δικτύων και υπηρεσιών σε Εθνικό και Παγκόσμιο επίπεδο. Εξίσου σημαντικός σκοπός του ΕΔΕΤ είναι να εξακολουθήσει να λειτουργεί ως προπομπός και μοχλός ανάπτυξης της Ελληνικής Κοινωνίας της Πληροφορίας ενθαρρύνοντας παράλληλα τις συνεργασίες ανάμεσα στην Ακαδημαϊκή - Ερευνητική Κοινότητα και τη Βιομηχανία καθώς και να προωθεί τη διάθεση των ευρυζωνικών δικτύων σε ολοένα μεγαλύτερη κοινότητα χρηστών στη χώρα μας, στο πλαίσιο των Ευρωπαϊκών πρωτοβουλιών e-Europe2002 & e-Europe2005.

6.2. ΕΔΕΤ 2

Η πρόσφατη αναβάθμιση του Εθνικού Δικτύου Έρευνας και Τεχνολογίας σε ταχύτητες 1-5 Gbps εγκαινιάζει μια νέα ψηφιακή εποχή στην Ελλάδα. Η αναβάθμισή του ΕΔΕΤ σε οπτικό δίκτυο νέας γενιάς τεχνολογίας Εκτενής Πολυπλεξίας Μήκους Κύματος (Dense Wavelength Division Multiplexing - DWDM) - αυτό είναι το ΕΔΕΤ2 - πραγματοποιείται παράλληλα με την αναβάθμιση του Πανευρωπαϊκού Ερευνητικού Δικτύου GEANT και των αντίστοιχων δικτύων της Γερμανίας, Γαλλίας, Ιταλίας. Το GEANT είναι η απάντηση της Ευρώπης στα αντίστοιχα προηγμένα δίκτυα νέας γενιάς Ιντερνετ των ΗΠΑ, του Καναδά και της Ιαπωνίας.

Το ΕΔΕΤ2 παρέχει γρήγορη και ασφαλή πρόσβαση στο Ιντερνετ καθώς και προηγμένες τηλεματικές υπηρεσίες στην Ερευνητική και Εκπαιδευτική Κοινότητα της Ελλάδας. Το ΕΔΕΤ2 υλοποιείται με συγχρηματοδότηση του επιχειρησιακού προγράμματος "Κοινωνία της Πληροφορίας" και Κοινοτικών ανταγωνιστικών προγραμμάτων στα πλαίσια της κοινής Ευρωπαϊκής πολιτικής του e-Europe2000 και e-Europe2005 για τα Ερευνητικά - Εκπαιδευτικά Δίκτυα

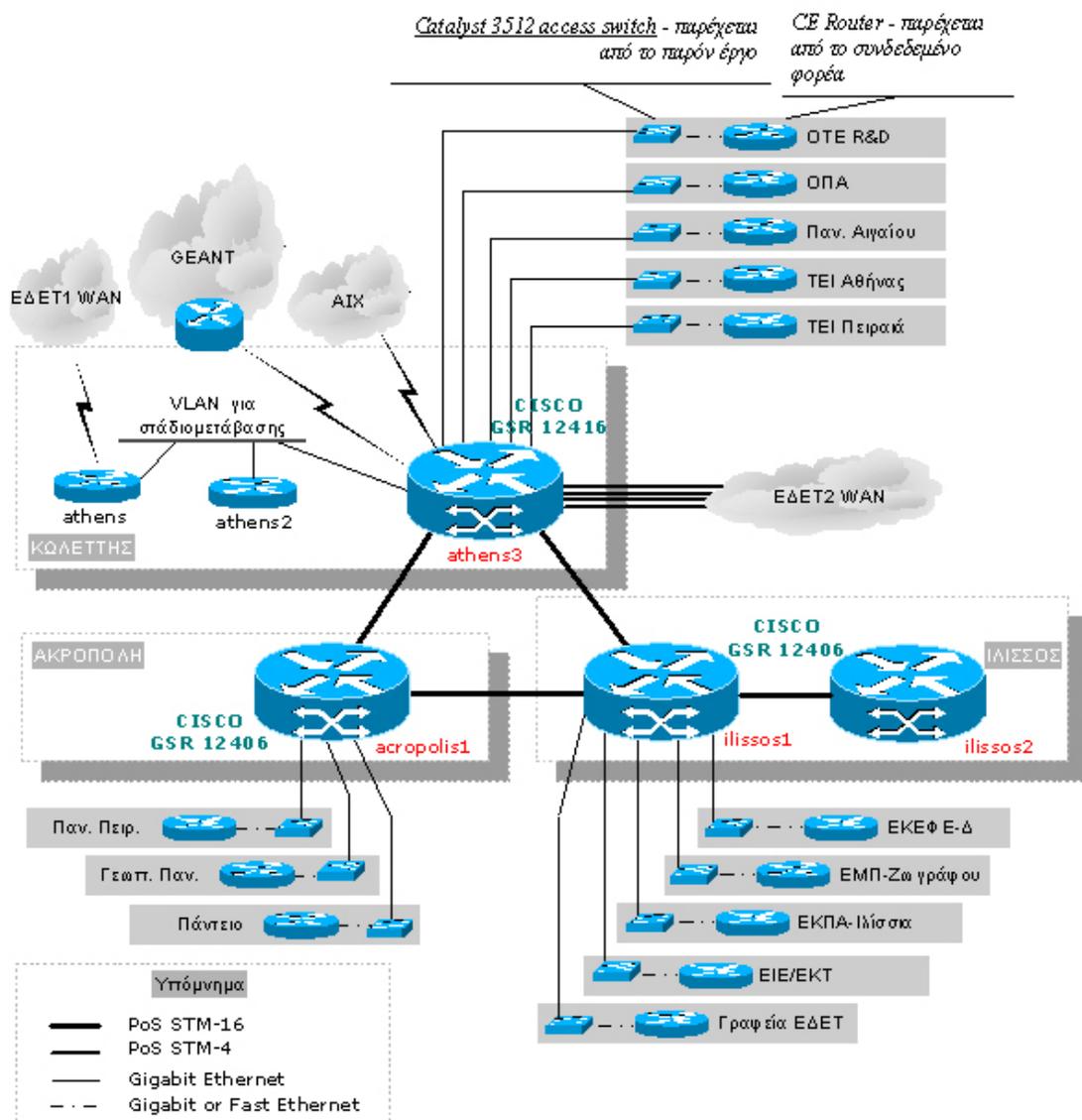
Με το ΕΔΕΤ2 υλοποιείται η ενιαία ευρυζωνική πρόσβαση των τελικών χρηστών των ΑΕΙ, ΑΤΕΙ & Ερευνητικών Κέντρων της χώρας μέσα από τα τοπικά δίκτυα των ιδρυμάτων τους (ταχύτητας 10 - 100 Mbps), με ευρυζωνική πρόσβαση (1 - 2.5 Gbps)



‘Πυκνή Πολυπλεξία Μήκους Κύματος’
DWDM

στο εθνικό δίκτυο κορμού (2.5 - 5 Gbps) καθώς και στο διεθνές ερευνητικό δίκτυο νέας γενιάς GTRN -Global Terabit Research Networking- (1.2 Gbps) μέσω του Πανευρωπαϊκού δικτύου GEANT.

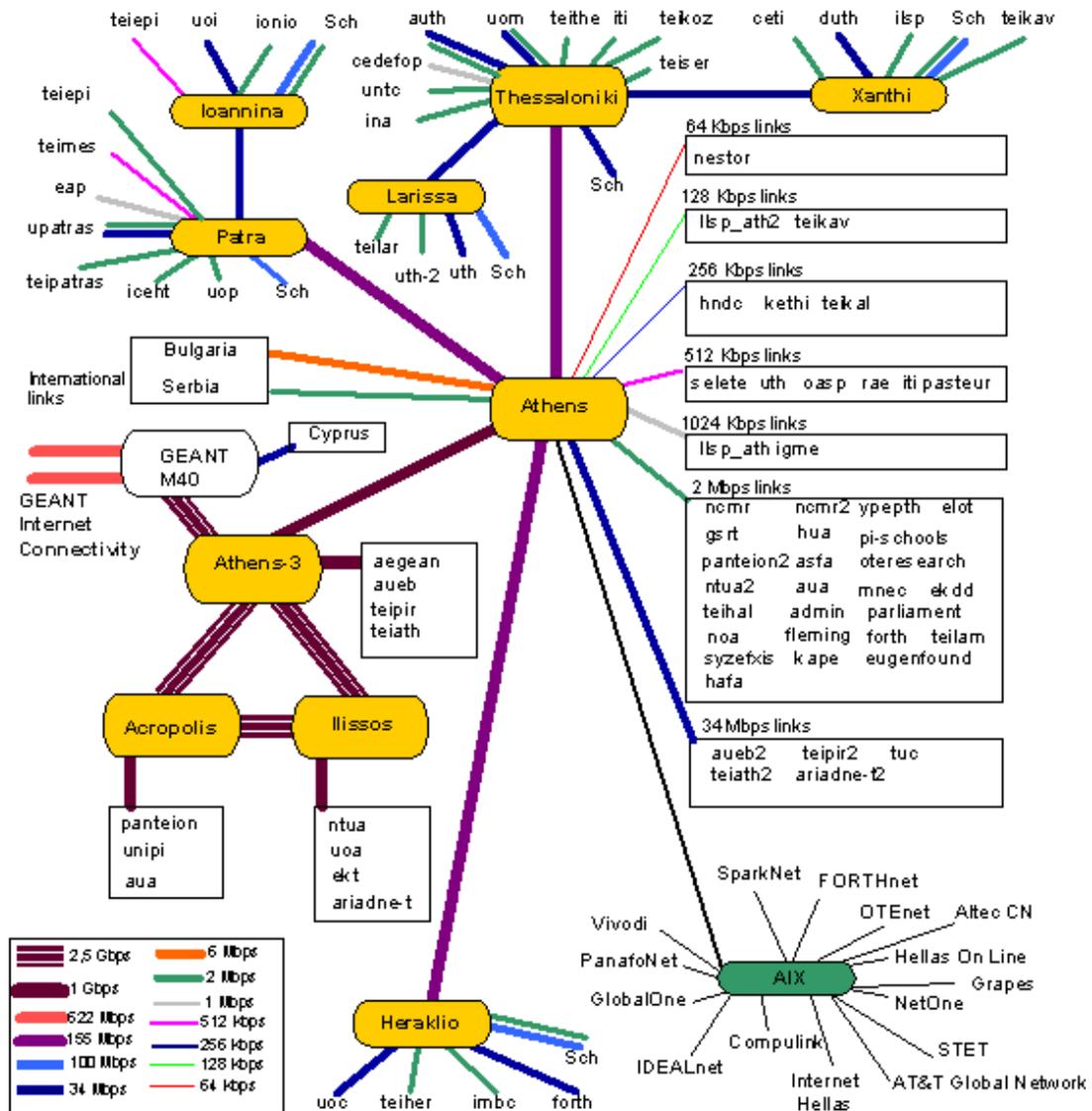
Το δίκτυο νέας γενιάς του ΕΔΕΤ έγινε πράξη με την υλοποίηση του Μητροπολιτικού Δικτύου DWDM της Αθήνας που περιλαμβάνει σύνδεση των 3 κεντρικών κόμβων σε ταχύτητα 2.5 Gbps, πάνω στους οποίους συνδέθηκαν ήδη 10 από τους 14 φορείς του Εθνικού Δικτύου Έρευνας Τεχνολογίας (ΕΔΕΤ) στην Αττική. Οι υπολείποντες 4 φορείς πρόκειται να συνδεθούν στο αμέσως προσεχές μέλλον. Συγκεκριμένα, συνδέθηκαν το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, το Πανεπιστήμιο Αθηνών, το ΟΠΑ, το Πανεπιστήμιο Αιγαίου, το Πανεπιστήμιο Πειραιά, το ΑΤΕΙ Αθηνών, το Πάντειο Πανεπιστήμιο, το ΑΤΕΙ Πειραιά, το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο και το Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης στο Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών.



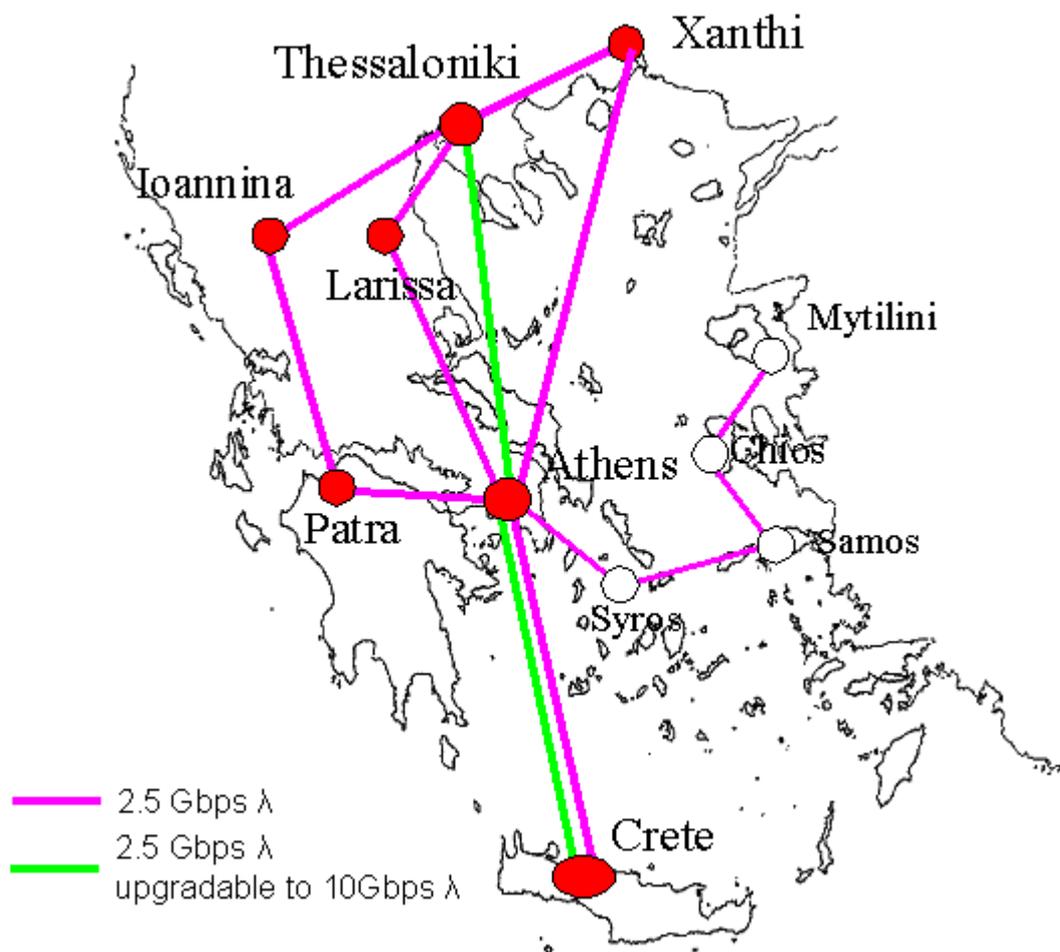


‘Πυκνή Πολυπλεξία Μήκους Κύματος’ DWDM

Η σημερινή μορφή του ΕΔΕΤ2 Πανελλαδικά παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί :



Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί επέκταση του έργου σε όλη την Ελλάδα ώστε όλο το ΕΔΕΤ να λειτουργεί σε υπερ-υψηλές ταχύτητες, για να καλυφθούν τελικά όλοι οι 68 φορείς του ΕΔΕΤ στην Ελλάδα μέσω της δημιουργίας Πανελληνίου Δικτύου Ευρείας Περιοχής DWDM Υψηλών Ταχυτήτων. Το ΕΔΕΤ2 φιλοδοξεί να αποτελέσει την υπερταχεία ελληνική λεωφόρο της πληροφορίας για την έρευνα και την εκπαίδευση.



Για την υλοποίηση του Μητροπολιτικού Δικτύου Αθήνας, το ΕΔΕΤ είχε την αμέριστη υποστήριξη της Ακαδημαϊκής - Ερευνητικής Κοινότητας και της Πολιτικής Ηγεσίας. Η εξέλιξη αυτή δεν θα μπορούσε να γίνει πράξη χωρίς τη συλλογική προσπάθεια, σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, των Εθνικών Ερευνητικών - Ακαδημαϊκών Δικτύων, και τη στήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (DG INFSO) στο 5ο και 6ο Πρόγραμμα Πλαίσιο για Έρευνα & Τεχνολογική Ανάπτυξη. Το ΕΔΕΤ οφείλει επίσης την επιτυχία αυτή στη συλλογική, εντατική προσπάθεια και εμπειρία των επιστημονικών - τεχνικών στελεχών του ΕΔΕΤ και των ΑΕΙ, ΑΤΕΙ και Ερευνητικών Κέντρων της χώρας ιδίως του Κέντρου Διαχείρισης Δικτύων του ΕΜΠ, του Πανεπιστημίου Αθηνών, του ΤΕΙ Αθηνών, του ΟΤΕ και των εταιρειών από τις οποίες προμηθεύθηκε εξοπλισμό.



Βιβλιογραφία – Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις

1. Χ. Βασιλόπουλος, Γ. Παγιατάκης – Προηγμένες Τηλεπικοινωνιακές Υποδομές & Υπηρεσίες
2. Α. Αλεξόπουλος, Γ. Λαγογιάννης - Τηλεπικοινωνίες & Δίκτυα Υπολογιστών
3. CIENA Corporation – “Dense Wavelength Division Multiplexing” (ATG’s Communications & networking technology Guide series)
4. Χ. Γιανακόπουλος, Π. Κανελλόπουλος, Χ. Ντόκος - Πολυπλεξία Μήκους Κύματος (Εργασία για το μεταπτυχιακό μάθημα Αλγοριθμικά Θέματα Δικτύων & Τηλεματικής, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πατρών) .
5. Καραγιαννάκης Γεώργιος - IP over SONET/SDH over WDM vs. IP over WDM (Εργασία για το μεταπτυχιακό μάθημα Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων, Τμήμα Μεταπτυχιακών σπουδών στα Πληροφοριακά Συστήματα, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας).
6. *Optical Networks Magazine* May-June 2001 in pdf (<http://www.optical-networks.com/>)
7. Cisco Systems Inc. - Introduction to DWDM for Metropolitan Networks (<http://www.cisco.com/>)
8. Optical Cable Corporation – “The Glass Story” (http://www.occfiber.com/2000catalog/technical-articles/glass_storynt.html)
9. Optical Networking and Dense Wavelength Division Multiplexing – DWDM (<ftp://ftp.netlab.ohio-state.edu/pub/jain/courses/cis788-99/dwdm.pdf>)
10. Business Communications Review (<http://www.bcr.com/bcrrmag/>)
11. International Engineering Consortium (<http://www.iec.org/online/tutorials/>)
12. Technical Information web site (<http://www.techfest.com/networking/index.htm>)
13. Εθνικό Δίκτυο Έρευνας & Τεχνολογίας (<http://www.grnet.gr>)



Τ.Ε.Ι. ΗΠΕΙΡΟΥ

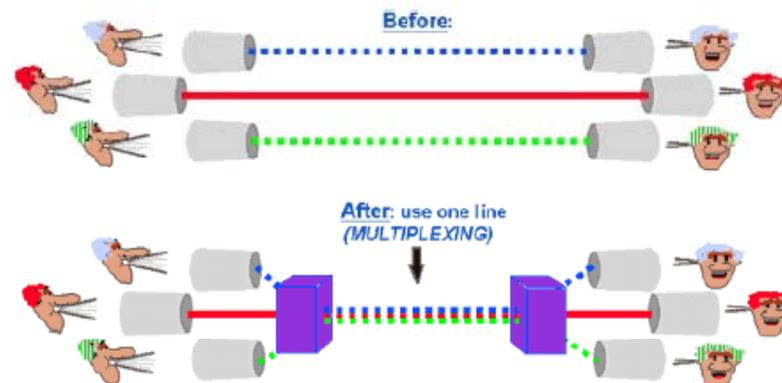
ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

‘Πυκνή Πολυπλεξία Μήκους Κύματος’

DWDM

(Dense Wavelength Division Multiplexing)

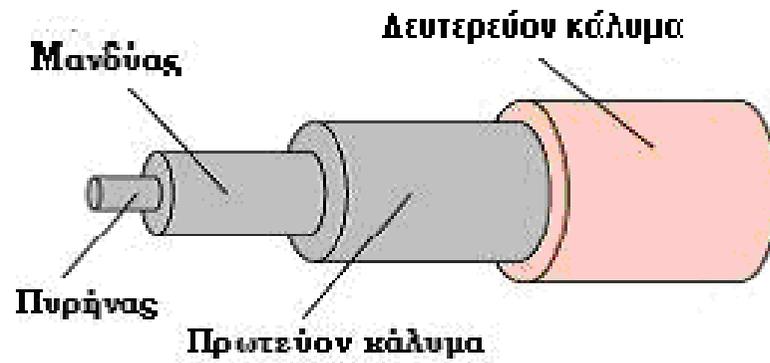


Σπουδαστής : *Μαμάς Γεώργιος*

Υπεύθυνος Καθηγητής : *Λάμπας Κων/νος*

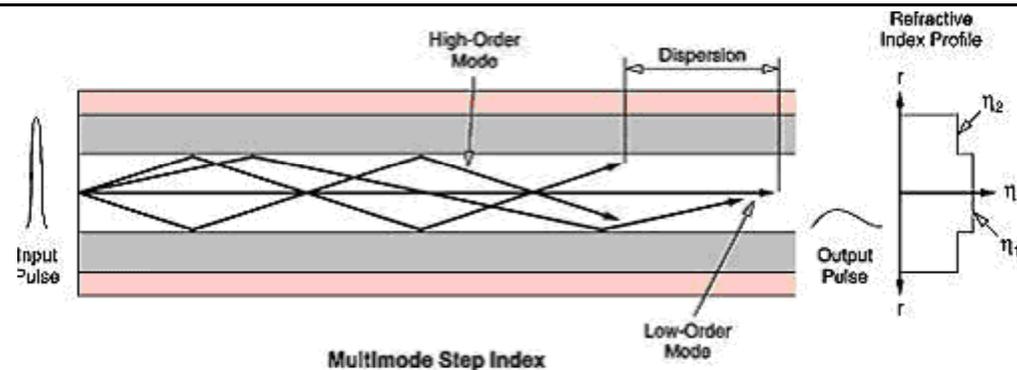
Άρτα 2003

ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

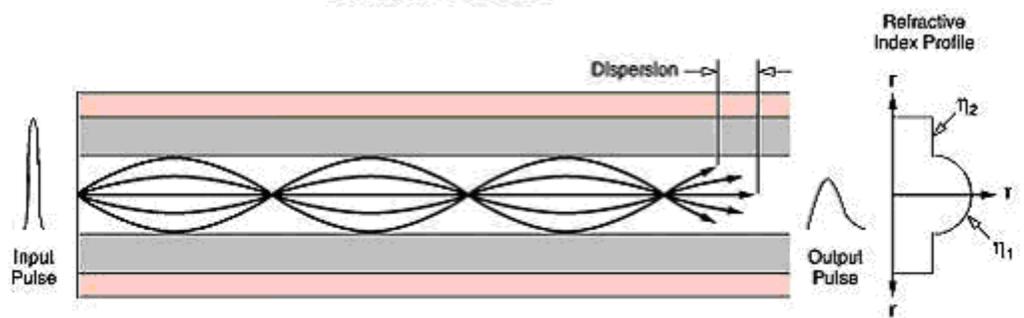


Δομή Οπτικών Ινών

Είδη οπτικών ινών



Multimode Step Index



Multimode Graded Index



Single-Mode Step Index

Πλεονεκτήματα οπτικών ινών

- ✓ Πρακτικά απεριόριστο εύρος ζώνης
 - ✓ Πολύ μικρή εξασθένιση
- ✓ Μικρές διαστάσεις και μικρό βάρος
- ✓ Αναισθησία σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές
- ✓ Προστασία δεδομένων από υποκλοπή
 - ✓ Μόνωση
- ✓ Χαμηλότερο κόστος πρώτης ύλης

Σύγχρονη ψηφιακή ιεραρχία - SDH / Σύγχρονο οπτικό δίκτυο - SONET
Synchronous Digital Hierarchy / Synchronous Optical Network

Optical Level	Electrical Level	Line Rate (Mbps)	Payload Rate (Mbps)	Overhead Rate (Mbps)	SDH Equivalent
OC-1	STS-1	51.840	50.112	1.728	-
OC-3	STS-3	155.520	150.336	5.184	STM-1
OC-12	STS-12	622.080	601.344	20.736	STM-4
OC-48	STS-48	2488.320	2405.376	82.944	STM-16
OC-192	STS-192	9953.280	9621.504	331.776	STM-64
OC-768	STS-768	39813.120	38486.016	1327.104	STM-256

Τεχνολογία ΑΤΜ

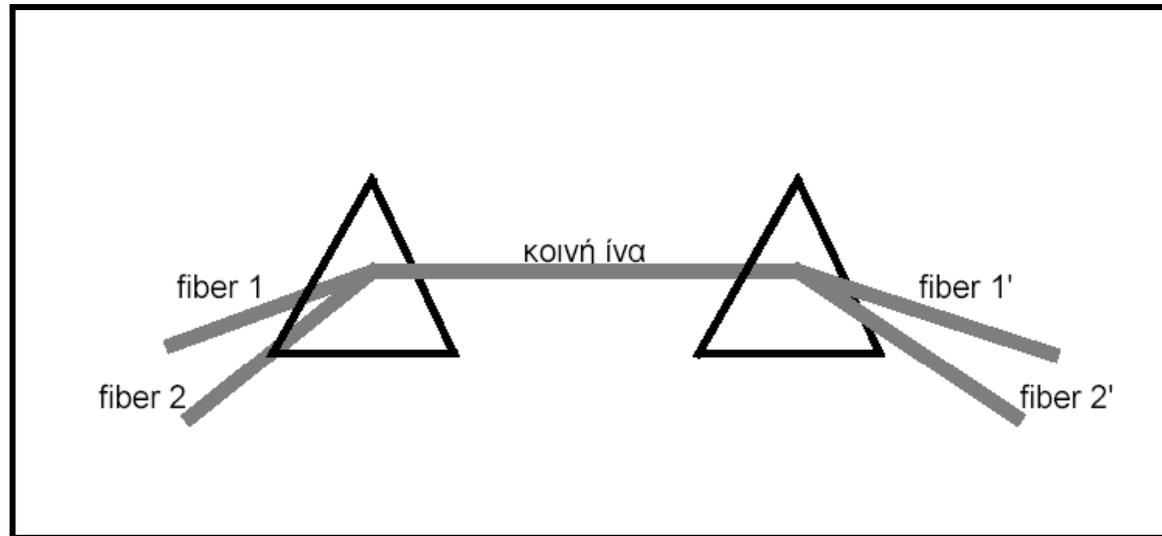
Asynchronous Transfer Mode

- ✓ *Τεχνολογία μεταγωγής κυψελίδας*
- ✓ *Επιτρέπει σε πακέτα καθορισμένου μεγέθους να μεταφέρουν διάφορους τύπους φορτίων*
- ✓ *Παρέχει υψηλές ταχύτητες μεταφοράς φωνής και βίντεο*
- ✓ *Υποστήριξη των μελλοντικών απαιτητικών πολυμεσικών εφαρμογών*

WDM / DWDM

Βασική Ιδέα → FDM (Frequency Division Multiplexing)

Η *πολυπλεξία μήκους κύματος* – **WDM** (Wavelength Division Multiplexing) είναι μία τεχνική πολυπλεξίας η οποία επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση πολλών ψηφιακών σημάτων μέσω της εκχώρησης σε κάθε ένα από αυτά, μίας ιδιαίτερης περιοχής μήκους κύματος καναλιού



WDM

Wavelength Division Multiplexing

(Μέχρι 8 καναλια)



DWDM

Dense WDM

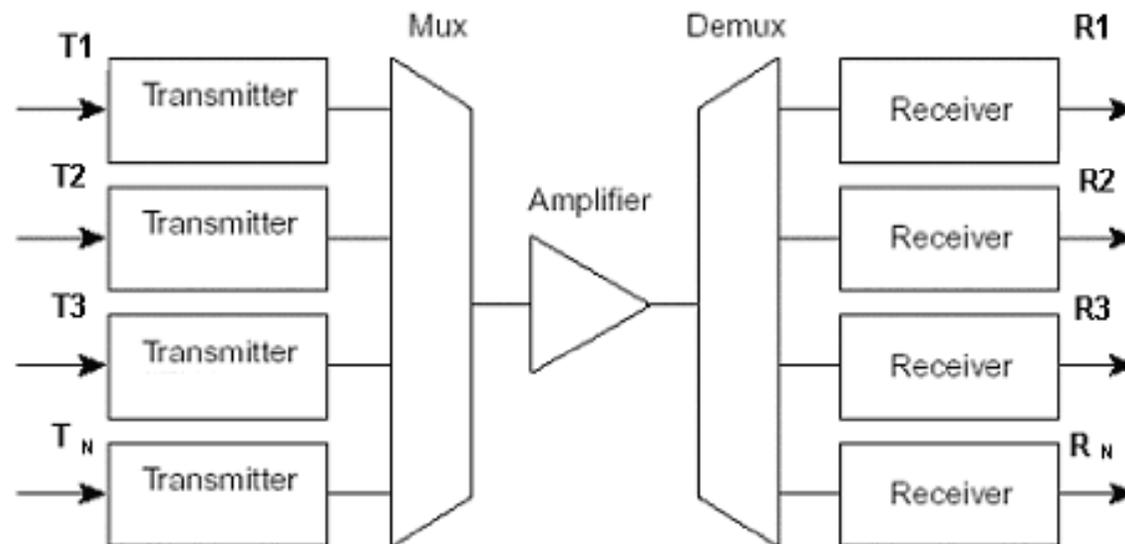
(Μεγάλος αριθμός καναλιών)

Η βασική διάρθρωση μιας ζεύξης DWDM

Αποτελείται απο :

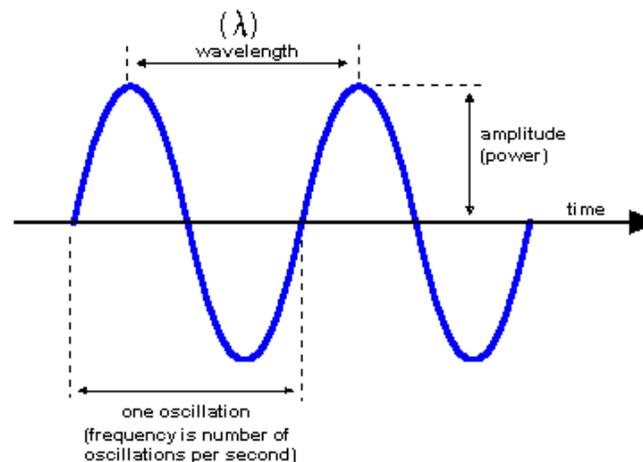
- ✓ Αναμεταδότες- *transponders*
- ✓ Πολυπλέκτες μήκους κύματος -*MUX*
- ✓ Οπτικοί ενισχυτές
- ✓ Αποπολυπλέκτες μήκους κύματος-*DEMUX*
- ✓ Επιμέρους δέκτες-*Receivers*
- ✓ Οπτικοί πολυπλέκτες προσθαφαίρεσης-*OADM*s
- ✓ Οπτικοί διασταυρωτές-*OXC*
- ✓ Οπτικές ίνες

Βασική Διάρθρωση DWDM

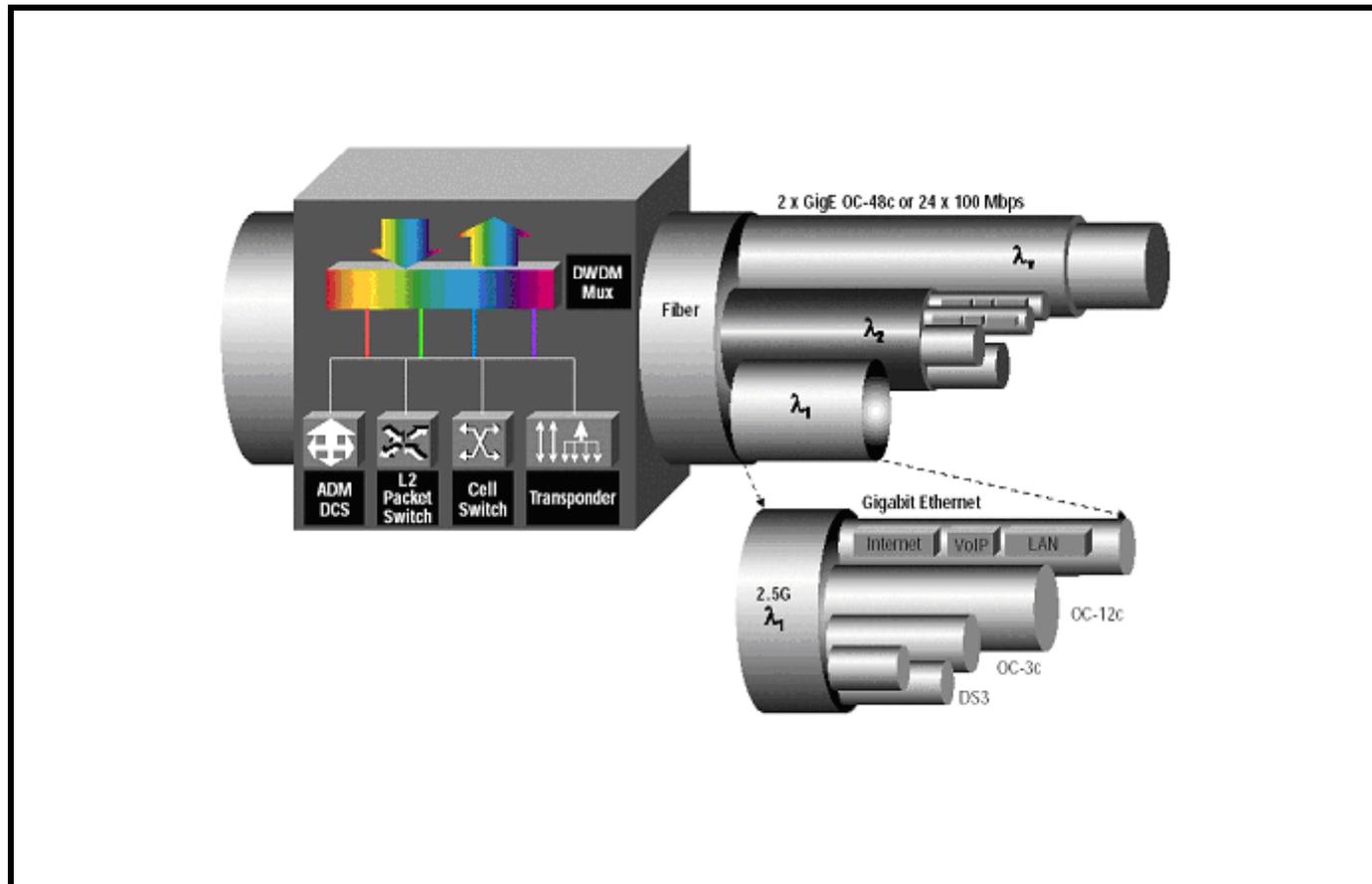


Αναμεταδότες- Transponders

- Ο ρόλος των *αναμεταδοτών* (transponders T1, T2, ...,TN) είναι η προσαρμογή των προς πολυπλεξία οπτικών σημάτων (που προέρχονται από άλλα τμήματα του ινοοπτικού τηλεπικοινωνιακού δικτύου) στις απαιτήσεις της τεχνικής DWDM.
- Ανάλογα με τους διαθέσιμους αναμεταδότες δημιουργούνται ισάριθμα οπτικά κανάλια (με κεντρικά μήκη κύματος τα $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$) καθένα από τα οποία χρησιμοποιείται για τη μετάδοση ενός ψηφιακού σήματος πληροφορίας.
- Το μέρος του φάσματος που χρησιμοποιείται στην τεχνολογία DWDM είναι δύο παράθυρα το ένα γύρω από τα 1300nm, στο οποίο έχουμε την ελάχιστη διασπορά σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο μέρος του φάσματος και το άλλο στην περιοχή των 1550 nm στο οποίο έχουμε την ελάχιστη εξασθένιση. Σαν παράθυρο μίας ίνας ορίζουμε το μήκος κύματος της λ και μετριέται σε nanometers.



Πολυπλέκτες μήκους κύματος –MUX
wavelength division multiplexer

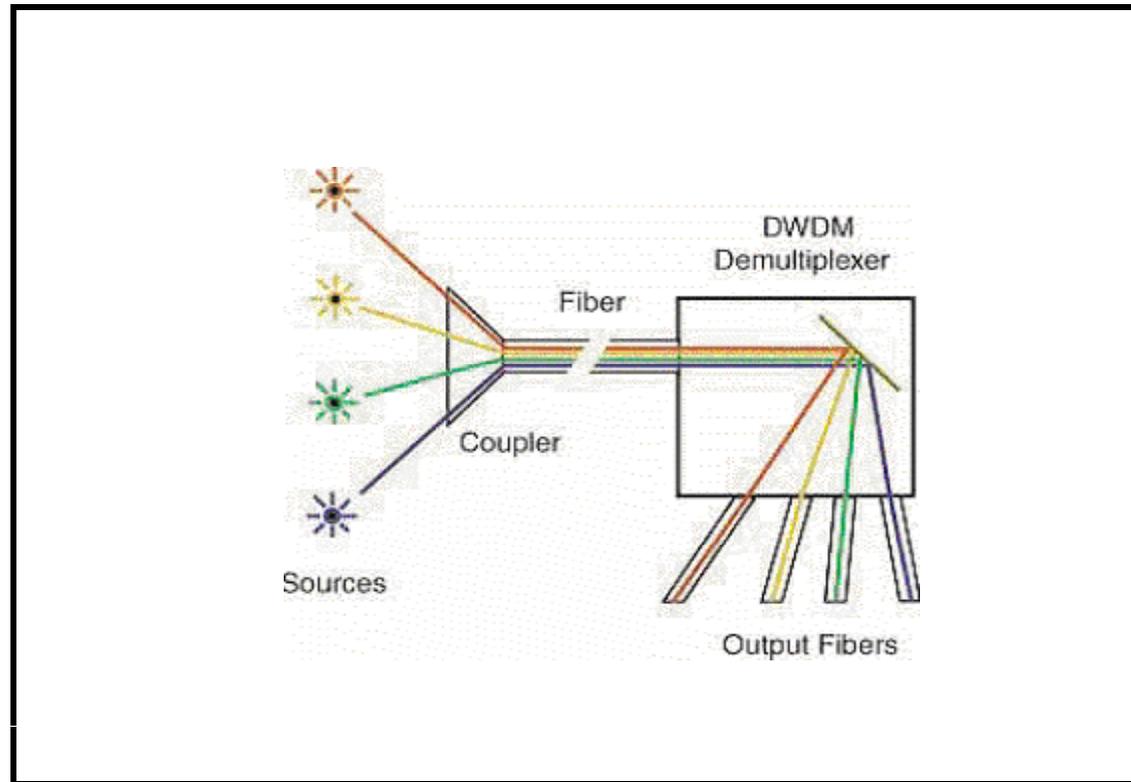


Οπτικοί Ενισχυτές

- Ένας οπτικός ενισχυτής μπορεί να ενισχύσει ταυτόχρονα και αμιγώς οπτικά, όλα τα πολυπλεγμένα κανάλια χωρίς την χρήση ηλεκτροπτικών αναγεννητών
- Οι οπτικοί ενισχυτές που χρησιμοποιούνται σήμερα στα ινοοπτικά δίκτυα είναι ενισχυτές ίνας Ερβίου – *EDFAs (Erbium-Doped Fibre Amplifiers)*. Το βασικό στοιχείο των ενισχυτών αυτών είναι μια οπτική ίνα, μήκους μερικών δεκάδων μέτρων, της οποίας ο πυρήνας είναι νοθευμένος με ιόντα Ερβίου. Όταν η ίνα αυτή τροφοδοτηθεί με τη δέσμη ενός laser άντλησης (pump laser), με τη “μεσολάβηση” των ιόντων Ερβίου, ξεκινάει μια διεργασία “αναστροφής πληθυσμών”, η οποία οδηγεί σε (αμιγώς οπτική) ενίσχυση των πολυπλεγμένων οπτικών σημάτων.
- Στους συνήθεις EDFAs, η οπτική ενίσχυση επιτελείται στην περιοχή 1525 – 1565 nm, και επομένως επιδιόκουμαι τα DWDM να λειτουργούν στο οπτικό παράθυρο των 1550 nm.

Αποπολυπλέκτες μήκους κύματος-DEMUX

Demultiplexer



Επιμέρους Δέκτες

- Ο ρόλος των επιμέρους δεκτών (Receivers R1, R2, ... RN) είναι η λήψη των αποπολυπλεγμένων οπτικών σημάτων και η εξαγωγή των ψηφιακών σημάτων πληροφορίας

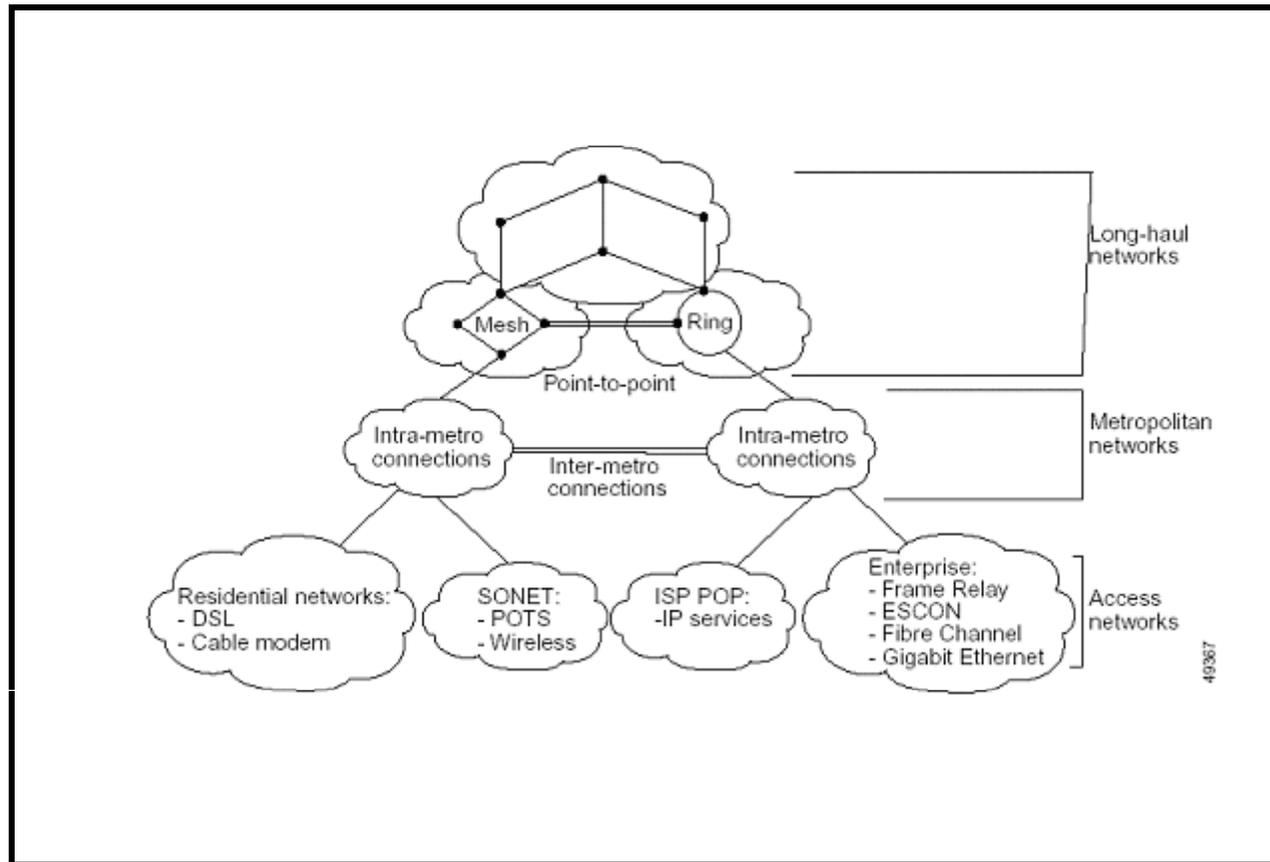
Οπτικοί πολυπλέκτες προσθαφαίρεσης

- Ο ρόλος των οπτικών πολυπλεκτών προσθαφαίρεσης – *OADM*s (*Optical Add-Drop Multiplexers*) είναι η εξαγωγή (dropping) από το σύνθετο οπτικό σήμα ή και η εισαγωγή (adding) σε αυτό, ενός ή περισσοτέρων οπτικών καναλιών.
- Λειτουργεί απευθείας στο οπτικό στρώμα
- Όπως και οι αποπολυπλέκτες, έτσι και οι OADMs χρησιμοποιούν για την εξαγωγή και την εισαγωγή των οπτικών καναλιών, διατάξεις επιλογής μήκους κύματος.

Οπτικοί διασταυρωτήρες

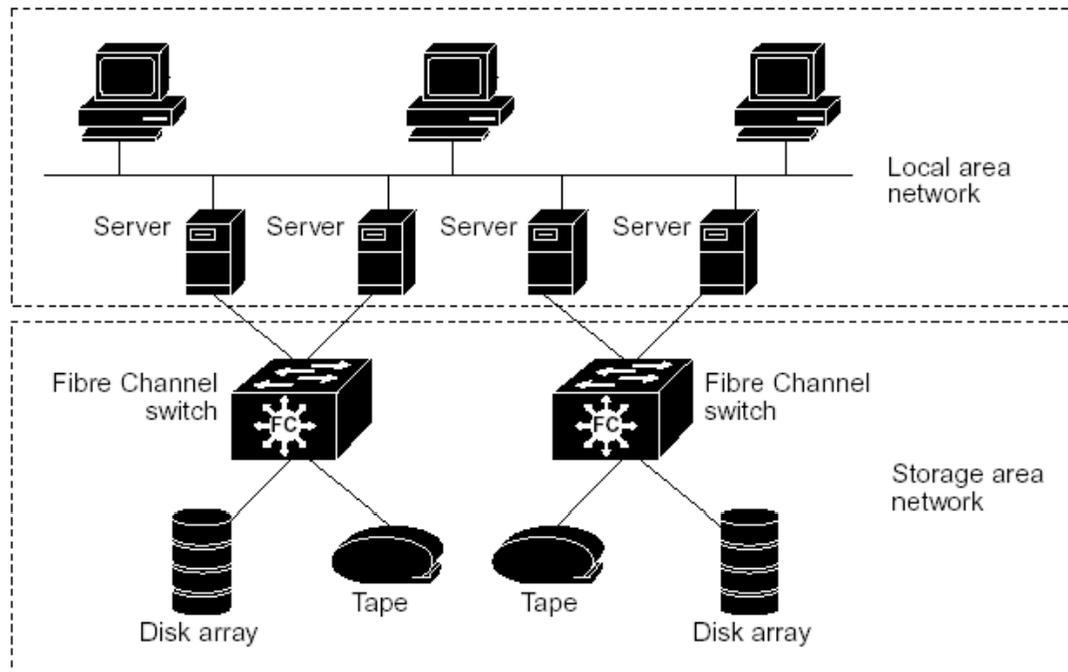
- Ένας οπτικός διασταυρωτήρας – *OXC* (*Optical Cross Connect*) είναι μια διάταξη N οπτικών εισόδων και N οπτικών εξόδων, η οποία στην πιο εξελιγμένη της μορφή, έχει τη δυνατότητα δρομολόγησης οπτικών καναλιών, στο οπτικό στρώμα χωρίς την εξαγωγή των ψηφιακών σημάτων από τα οπτικά κανάλια, από οποιαδήποτε είσοδο σε οποιαδήποτε έξοδο και μάλιστα δυναμικά.

Το παγκόσμιο δίκτυο



Περιοχή αποθήκευσης δεδομένων – SAN

Storage Area Network



- **Fibre Channel (SCSI)**
- **ESCON (Enterprise System CONnection)**

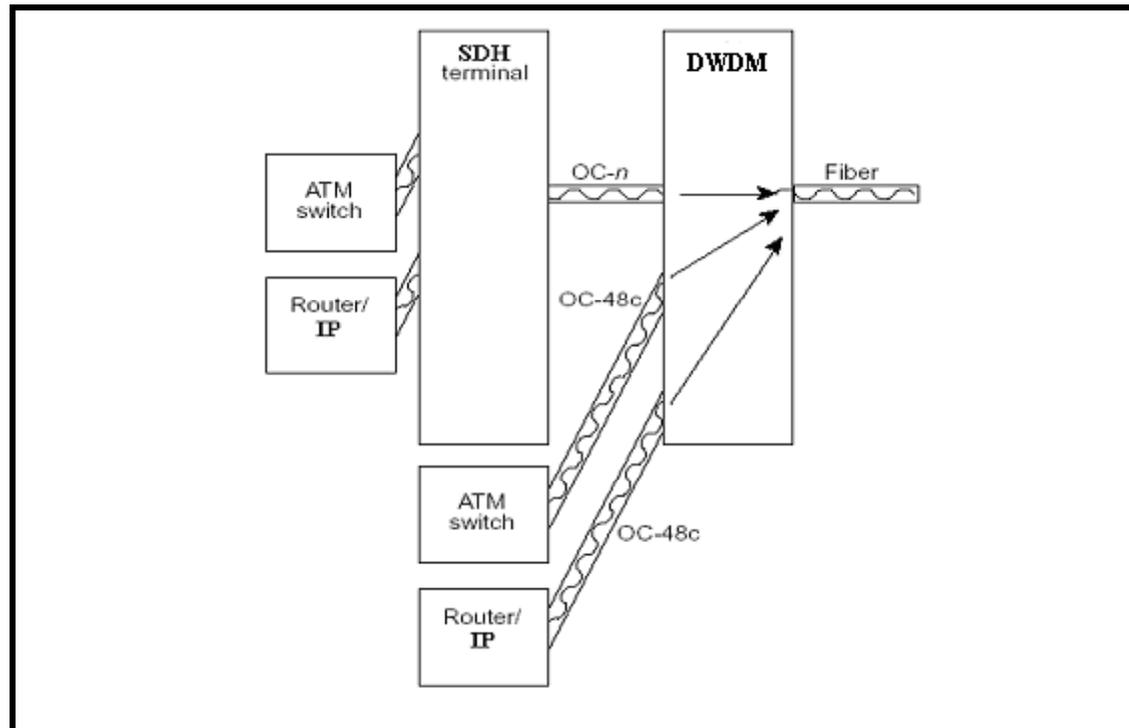


DWDM

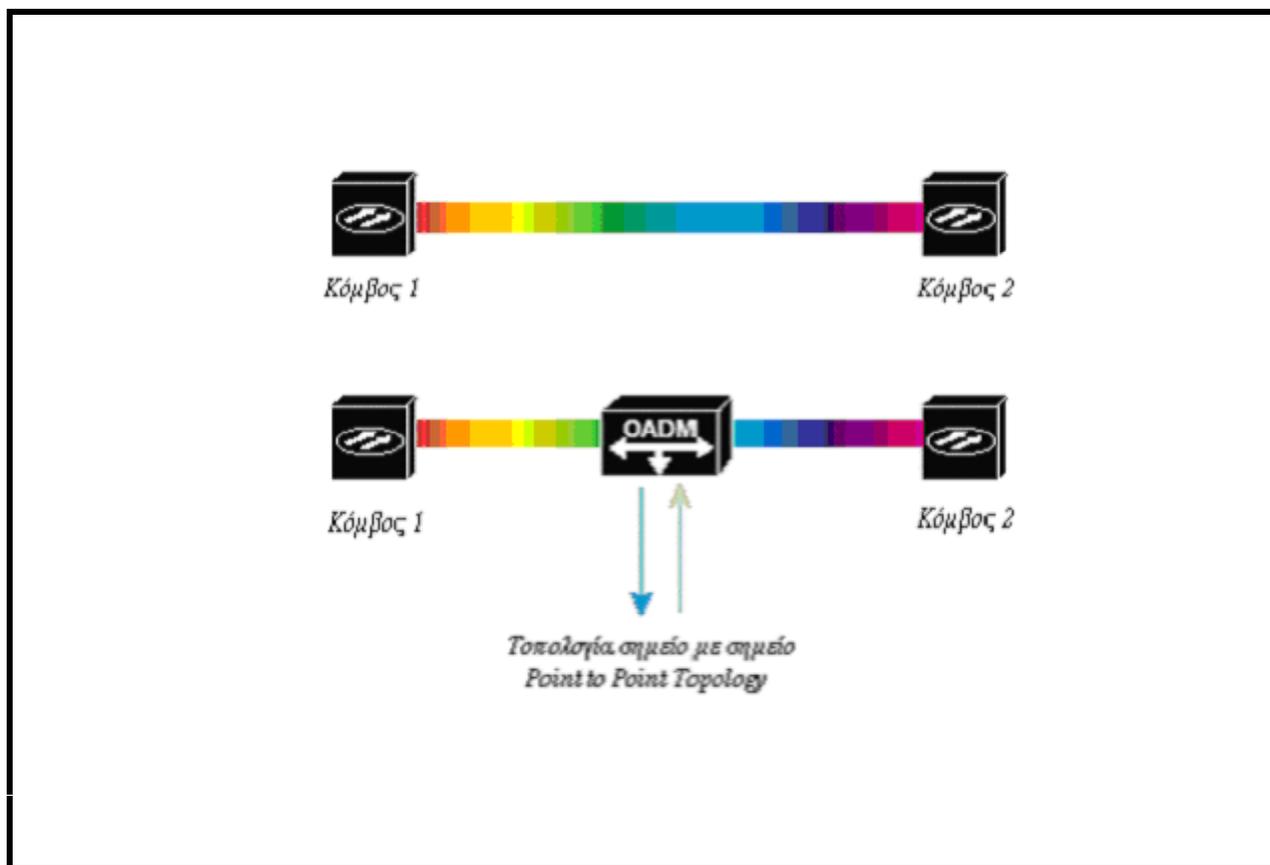
‘IP over SDH over DWDM’

‘IP over DWDM’

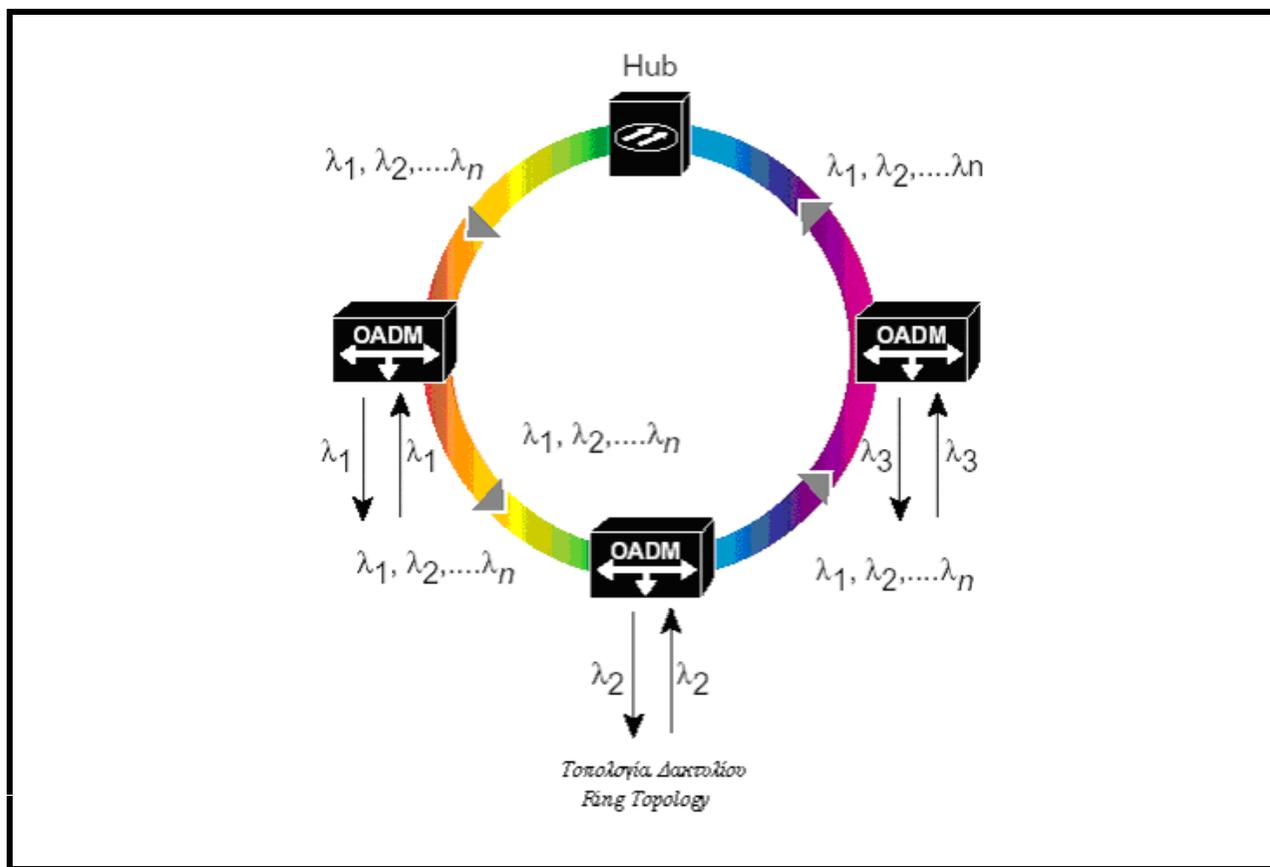
‘ATM και DWDM’



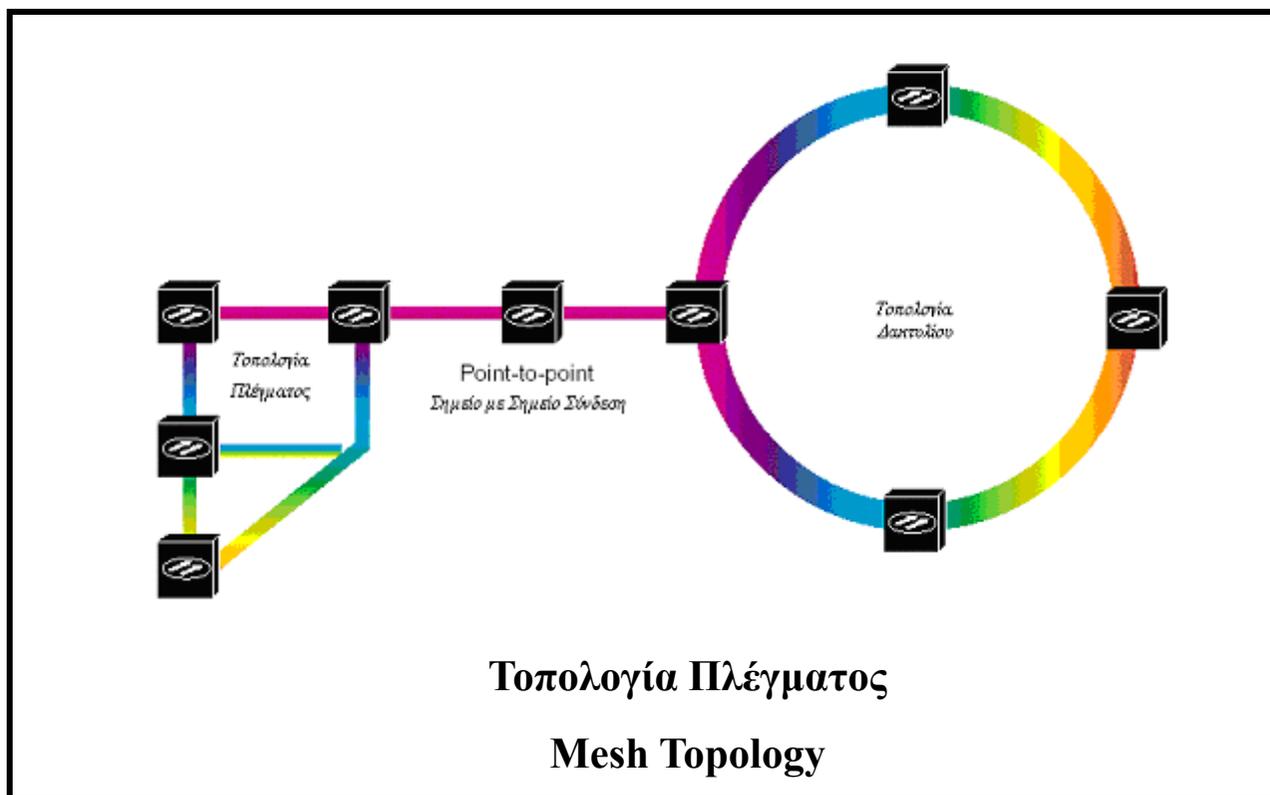
Δικτυακές τοπολογίες σε μητροπολιτικά δίκτυα DWDM



Δικτυακές τοπολογίες σε μητροπολιτικά δίκτυα DWDM



Δικτυακές τοπολογίες σε μητροπολιτικά δίκτυα DWDM



ΕΔΕΤ

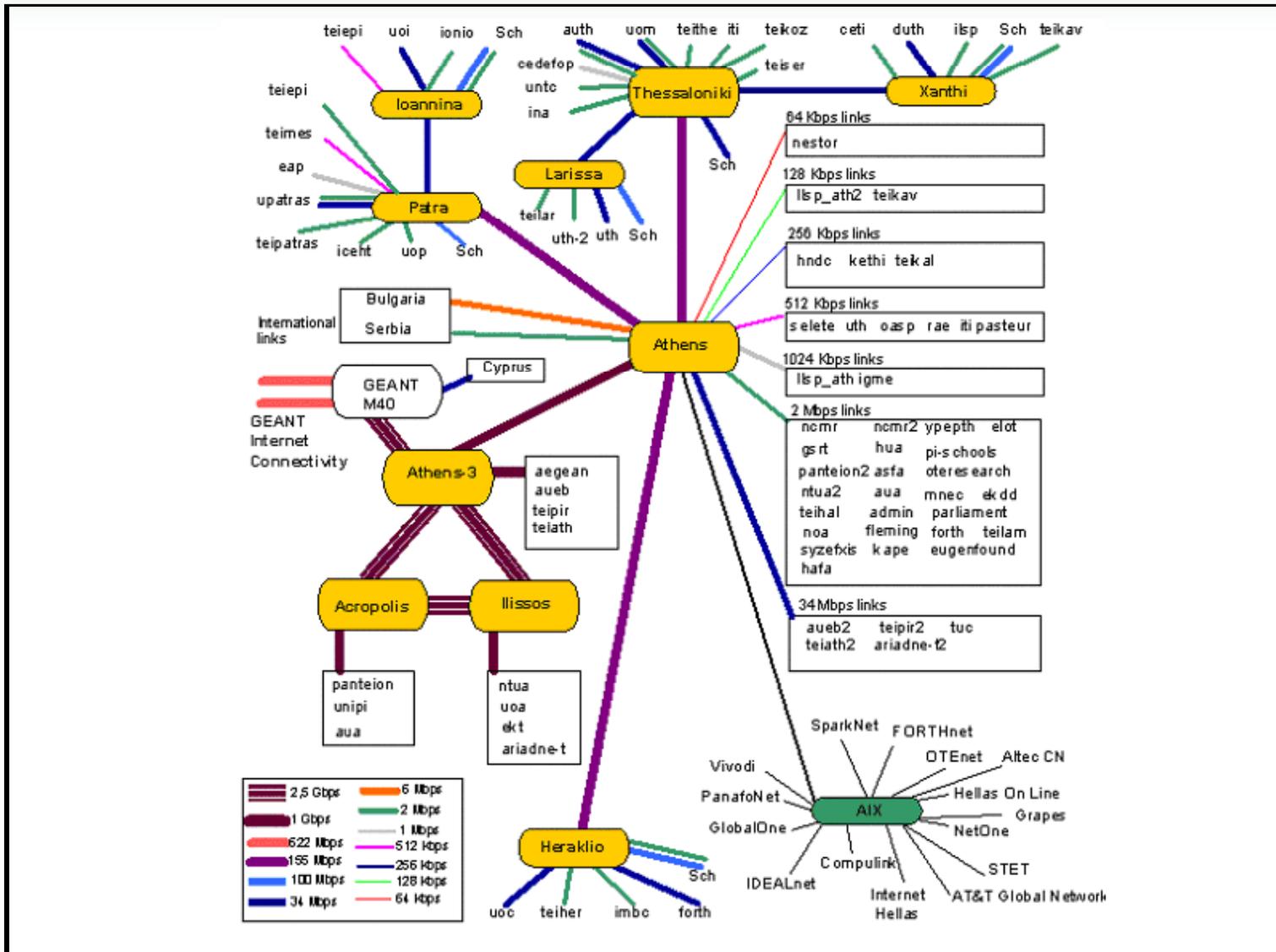
Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας

✓ Το ΕΔΕΤ συνδέει στο Ιντερνετ, και μεταξύ τους, περισσότερα από 70 Ακαδημαϊκά και Ερευνητικά Ιδρύματα (τα Ερευνητικά Κέντρα και όλα τα ΑΕΙ και τα ΤΕΙ της χώρας) με περισσότερους από 200.000 χρήστες.

✓ Το δίκτυο κορμού του ΕΔΕΤ περιλαμβάνει σήμερα επτά κύριους κόμβους στις πόλεις *Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Ιωάννινα, Ξάνθη, Ηράκλειο και Λάρισα.*

ΕΔΕΤ2

Η πρώτη εφαρμογή του DWDM στην Ελλάδα



ΕΔΕΤ2

Η πρώτη εφαρμογή του DWDM στην Ελλάδα

