



# Δίκτυα Επικοινωνιών II: PDH, SDH, WDM

Δρ. Απόστολος Γιάμας

Διδάσκων 407/80

gkamas@uop.gr

# Optical Networking



- «Τεχνική με την οποία συνδυάζεται η τεχνολογία οπτικών ινών με αρχιτεκτονικές δικτύου υψηλότερων επιπέδων ώστε να καταστεί δυνατή η χρήση των μεγάλων ρυθμών μετάδοσης»
- Η «συνεργασία» των οπτικών ινών με τις αρχιτεκτονικές υψηλότερων επιπέδων δημιουργεί προβλήματα λόγω της μεγάλης πολυπλοκότητας που χαρακτηρίζει τα οπτικά δίκτυα
  - μεγάλο κόστος υλοποίησης και στην δυσκολία επέκτασης ενός οπτικού δικτύου.
- Η χρήση της οπτικής μετάδοσης σε backbone δίκτυα:
  - συνδέονται πελάτες με διαφορετικές ανάγκες σε ταχύτητες πρόσβασης
  - διαφορετικού τύπου εξοπλισμό
- οδήγησαν στην δημιουργία προτύπων περιγραφής του τρόπου μεταφοράς δεδομένων & διασύνδεσης πάνω από ένα οπτικό δίκτυο



# Optical Networking

- Δημιουργία επιπέδου περιγραφής τρόπου μεταφοράς δεδομένων
  - SONET/ SDH
  - Εξαιτίας ανόμοιων ταχυτήτων και τρόπων μετάδοσης των συνδεδεμένων πελατών
- Αποτελούν ένα επίπεδο που βρίσκεται πάνω από το επίπεδο των οπτικών ινών και του ακριβούς τρόπου μετάδοσης του οπτικού σήματος μέσα από αυτές.
- Η σύγχρονη τάση είναι το επίπεδο αυτό να αφαιρεθεί και να έχουν IP over WDM

# Συστήματα μετάδοσης σε οπτικές επικοινωνίες

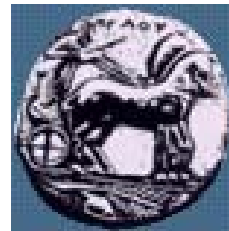


- Τα πρώτα συστήματα ήταν αναλογικά και εφάρμοζαν την πολυπλεξία με καταμερισμό χρόνου TDM
- Στη συνέχεια ήταν αναλογικά σήματα που χρησιμοποιούσαν παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM – Pulse Code Modulation)
  - Το σήμα δέχεται επεξεργασία (δειγματοληψία, κβάντιση, ψηφιοποίηση και κωδικοποίηση) ώστε να μετατρέπεται σε μια ακολουθία δυαδικών ψηφίων, τα οποία ύστερα πολυπλέκονται σε σήματα με υψηλότερο ρυθμό.
  - Έτσι δημιουργήθηκε το «ψηφικό σήμα 1ου επιπέδου» (DS1 – Digital Stream 1)
  - Στις ΗΠΑ αναπτύχθηκε το πρώτο επίπεδο πολυπλεξίας που είχε συνολικό ρυθμό 1,544 Mbps και είναι γνωστό ως T1. Περιελάμβανε 24 PCM ψηφιακά κανάλια φωνής των 64 Kbps και 8Kbps σηματοδοσίας
  - Στην Ευρώπη αναπτύχθηκε το λεγόμενο E1 σήμα που έχει ρυθμό 2,048 Mbps και στο οποίο πολυπλέκονται 30 κανάλια φωνής (καθώς και 2 ακόμη κανάλια συγχρονισμού και σηματοδοσίας)

# Συστήματα μετάδοσης σε οπτικές επικοινωνίες



- Πολυπλέκοντας στη συνέχεια πολλά σήματα T1 (ή E1) παίρνουμε αιόμα πιο υψηλούς ρυθμούς δεδομένων
  - DS2 ή T2 (6,312 Mbps), DS3 ή T3 (44,376 Mbps), DS4 ή T4 (274, 176 Mbps).
  - Αντίστοιχα στην Ευρώπη τα σήματα E2, E3, E4, E5
- Στην εξέλιξη της τεχνολογίας εμφανίστηκαν πρότυπα για την μετάδοση και πολυπλεξία τέτοιων σημάτων
  - Συστήματα σύγχρονης, ασύγχρονης και πλαισιόχρονης πολυπλεξίας.
  - Η διαφοροποίηση της σύγχρονης και ασύγχρονη πολυπλεξίας έγκειται στην ύπαρξη ρολογιού που συγχρονίζει τις πηγές
  - Η σύγχρονη πολυπλεξία επικρατεί καθώς παρουσιάζει μεγάλη απόδοση και υψηλή χωρητικότητα.
  - Αντίθετα στην πλαισιόχρονη μετάδοση, τα πολυπλεγμένα σήματα έχουν ίδια ονομαστική τιμή αλλά διαφορετική πραγματική που κυμαίνεται μέσα σε ένα εύρος τιμών.
    - δυαδικά ψηφία παρεμβολής (stuff bits).



## PDH τεχνολογία

- Η PDH τεχνολογία προήλθε από τα Bell Labs και στόχο είχε την μεταφορά φωνής
- Βασική ροή δεδομένων παραμένει το «βασικό ψηφιακό ρεύμα» (DS0-Digital Stream 0), με ρυθμό 64Kbps.
  - Δομείται σε μια ιεραρχία όπου εφαρμόζεται πολυπλεξία σε διαδοχικά επίπεδο, αυξάνοντας έτσι και την ταχύτητα μετάδοσης.
- Η τεχνολογία αυτή, ακολουθεί την πλαισιόχρονη πολυπλεξία
  - χρησιμοποιεί την τεχνική bit stuffing για να αντιμετωπίσει τις απαιτήσεις συγχρονισμού



# PDH τεχνολογία

- Τα μειονεκτήματα της PDH τεχνολογίας
  - Μειωμένη απόδοση εξαιτίας του γεγονότος πως σε κάθε οπτικό σήμα μετάδοσης εισάγονται δυαδικά ψηφία συμπλήρωσης, σπαταλώντας έτσι χωρητικότητα
  - πρόσβαση σε ένα σήμα χαμηλότερα στην ιεραρχία απαιτεί αποπολυπλεξία όλων των επιπέδων
  - Τα πρότυπα και οι μηχανισμοί μεταφοράς πληροφοριών ελέγχου και διαχείρισης είναι περιορισμένα
- Αποτέλεσμα αυτών: μεταστροφή σε μια νέα ομάδα προτύπων-τεχνολογιών, την SONET/SDH που βασίζεται στην σύγχρονη πολυπλεξία



# SONET/SDH

- SONET -> ΗΠΑ, Ιαπωνία (Bellcore)
  - Πρότυπο οπτικής διόδευσης
  - Πλαίσιο 810 bytes διάρκειας 125μsec
  - 774 Bytes πληροφορίας (SPE) και επιβάρυνση μετάδοσης (POH)
    - POH διαιρείται σε επιβάρυνση τμήματος (SOH) και γραμμής (LOH)
- SDH -> Ευρώπη (ETSI)
- Τελικά η ITU-T το διεθνές πρότυπο SONET/SDH



# SONET/SDH



- Το πλαίσιο του SONET μεταδίδεται σχηματίζοντας ένα σήμα 51,840 Mbps (STS-1)
- Η λειτουργικότητα του SONET επιτυγχάνεται:
  - ορίζεται το βασικό STS-1 σήμα
  - Δημιουργείται μια πολλαπλάσια δομή η οποία προκύπτει από την πολυπλεξία σημάτων STS-1 με τη μέθοδο της παρεμβολής οκτάδων.
- Ανάλογα με το βαθμό πολυπλεξίας δημιουργούνται σήματα με ρυθμούς  $N$  φορές μεγαλύτερους από το βασικό ρυθμό του STS-1
- Οι τιμές του  $N$  είναι 1,3,9,12,18,24,36,48.

# SONET/SDH



- Οπτικό αντίστοιχο του STS-1 -> OC-1 (optical Carrier -1)
- Είναι το σήμα που λαμβάνεται στην έξοδο ενός ηλεκτρονικό-οπτικού μετατροπέα, όταν στην είσοδό του εισάγεται το σήμα STS-1.
- Αποτελεί το βασικό δομικό στοιχείο μετάδοσης στο SONET και από αυτόν μπορούν να παραχθούν σήματα υψηλότερης ιεραρχίας.
  - το OC-3 μεταφέρει πληροφορία με ρυθμό  $3 \times 51,84$  δηλαδή 155,42 Mbps
  - Ο αριθμός που συνοδεύει το πρόθεμα OC δείχνει το πλήθος των σημάτων ψηφιακού ρεύματος (DS3), που το τοπικό σήμα μπορεί να μεταφέρει.

# SONET/SDH



SONET (ANSI)	Οπτικός Φορέας (OC)	Ρυθμός (Mbps)
STS-1	OC-1	51,840
STS-3	OC-3	155,520
STS-9	OC-9	466,560
STS-12	OC-12	622,080
STS-18	OC-18	933,120
STS-24	OC-24	1244,160
STS-36	OC-36	1866,240
STS-48	OC-48	2488,320
STS-96	OC-96	4976,640
STS-192	OC-192	9953,280

- Το SDH βασίζεται στο SONET και το επεκτείνει
- Διαφορές:
  - Ο βασικός ρυθμός είναι 150 Mbps αντί 50 Mbps
  - Άρα το STM-1 του SDH είναι η συνένωση 3 βασικών σημάτων STS-1





## SONET vs SDH

- Διαφέρουν στο πλήθος και την πυκνότητα των ρυθμών μετάδοσης που υποστηρίζουν
  - Επειδή η τιμή του βασικού πλαισίου του SDH είναι 155,520 Mbps, με την πολυπλεξία π.χ. τεσσάρων καναλιών θα προκύψει ροή πληροφορίας με ρυθμό 622,080Mbps (STM-4) και αν πολυπλεχθούν 16, ο ρυθμός που θα προκύψει ισούται με 2.488,320Mbps (STM-16).
  - Επίσης, όσον αφορά το πλαίσιο μετάδοσης, το πλαίσιο του SONET μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι το ένα τρίτο του SDH. Το πλαίσιο του SDH αποτελείται από 9 γραμμές των 270 bytes, ενώ του SONET από 9 γραμμές των 90 bytes.
- Το SDH έχει δυσκολία για τη μεταφορά των σημάτων μικρότερου ρυθμού αφού έχει μεγάλο βασικό ρυθμό



# Συσκειυές δικτύων SONET

## — Παρέχουν interfaces

- για την σύνδεση ηλεκτρικών σημάτων τύπων DS<sub>n</sub> και STS-<sub>n</sub> -> STS-N
- μετατροπή σε οπτικό σήμα OC-N ή εκτελούν την αντίστροφη διαδικασία (δηλ. απόπλεξης).

## — Συστήματα μετατροπής ηλεκτρικού σε οπτικό σήμα (FOTS), Τερματικοί Πολυπλέκτες (TM) και Πολυπλέκτες εισαγωγής-απομάστευσης (ADM – Add-Drop Multiplexers).

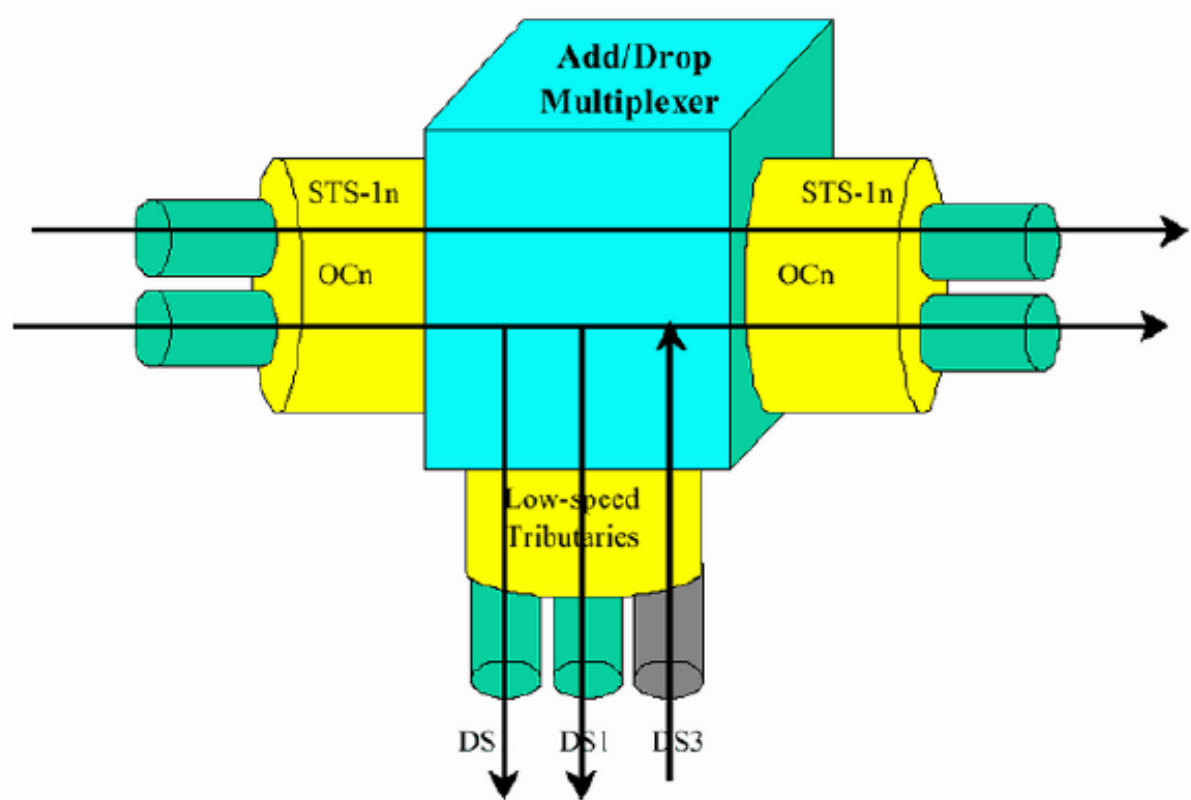
## — Switching της κυκλοφορίας σε ένα δίκτυο SONET

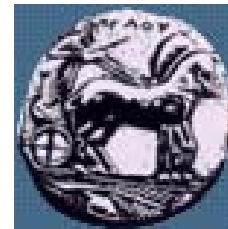
- Wideband συστήματα ψηφιακής διασύνδεσης (WDCS) και Broadband συστήματα ψηφιακής διασύνδεσης (BDCS)



# Συσκευές δικτύων SONET

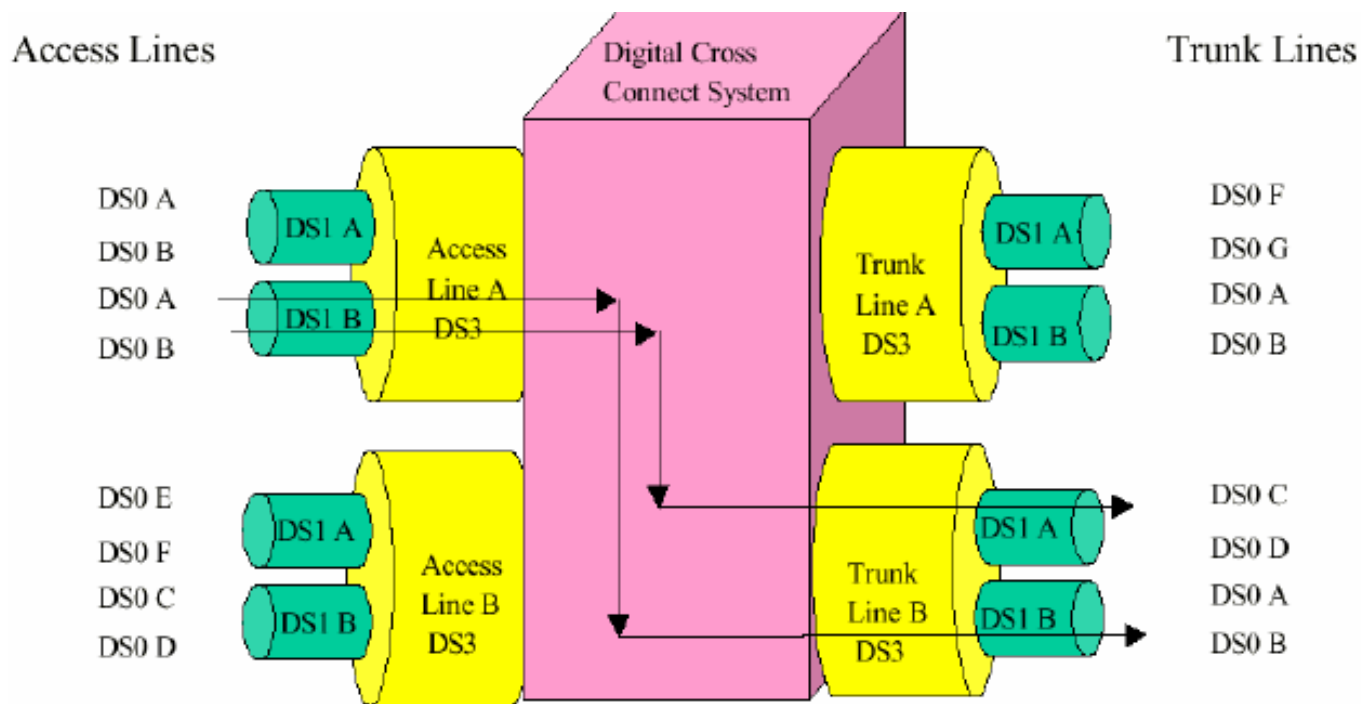
- Πολυπλέκτης εισαγωγής – απομάστευσης





# Συσκευές δικτύων SONET

- Wideband συστήματα ψηφιακής διασύνδεσης
  - switching σε σήματα με ρυθμούς από 1,5 Mbps έως και 50Mbps
- Broadband συστήματα ψηφιακής διασύνδεσης
  - switching σε σήματα με ρυθμούς από 50Mbps έως 600Mbps



# SONET/SDH



## — Διάφορες τοπολογίες

- σύνδεση σημείο σε σημείο (Point-to-point) όπου έχουμε τερματιστές στα άκρα κάθε οπτικής ίνας, οι οποίοι μπορεί να είναι είτε TM είτε ADM
- δίκτυα εισαγωγής-απομάστευσης δενδρικής τοπολογίας
- δίκτυα βασισμένα σε hub έχουμε ένα κεντρικό σημείο στο οποίο συγκεντρώνεται η κυκλοφορία από πολλά περιφερειακά σημεία
- δακτυλίου αυτόματης επιδιόρθωσης
  - Χρησιμοποιούν την τεχνική «αυτόματη προστασία δακτυλίου» (APS)





# SONET/SDH

- Οι πιο συνηθισμένες βλάβες που μπορούν να συμβούν σε ένα οπτικό δακτύλιο είναι οι εξής:
  - Βλάβη στην οπτική ίνα (π.χ. κόψιμο)
  - Προβλήματα με την ακτίνα laser (βλάβη στον πομπό, ή μειωμένη ισχύς ακτίνας)
  - Βλάβη σε κόμβο του δακτυλίου
- διάφορα είδη δακτυλίων τα οποία χρησιμοποιούνται
  - δακτύλιοι μονής κατεύθυνσης με μεταγωγή μονοπατιού
  - δακτύλιοι διπλής κατεύθυνσης με μεταγωγή γραμμής
  - διασύνδεση δύο δακτυλίων
  - Folded rings



## Αρχή Λειτουργίας WDM

- Σε κάθε οπτική ίνα το οπτικό σήμα που διαδίδεται έχει μια συγκεκριμένη συχνότητα. Είναι δυνατόν από την ίδια ίνα να περάσουν περισσότερα του ενός διαφορετικά σήματα διαφορετικής συχνότητας ( $\lambda$ ) (διαφορετικού χρώματος) όπου το καθένα να αντιπροσωπεύει και μία ροή δεδομένων
- Η πολυπλεξία μήκους κύματος είναι η τεχνική μετάδοσης πληροφορίας μέσα από οπτική ίνα η οποία επιτρέπει την παράλληλη μετάδοση bits

# WDM (Wavelength-Division Multiplexing )



- Ανάγκη για πολυπλεξία
  - FDM
  - TDM
- WDM
  - Πολυπλεξία φωτεινών ακτινών με διαφορετικά μήκη κύματος μέσα από 1 οπτική ίνα
  - Πολλαπλάσιο εύρος ζώνης
  - Πολλαπλές ιδεατές οπτικές ίνες
- Εκχώρηση σε κάθε οπτικό σήμα ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος  $\lambda$

# WDM



- Στα δύο άκρα της οπτικής ίνας απαιτούνται κάποιες διατάξεις οι οποίες θα διαχωρίζουν τα οπτικά σήματα διαφορετικών μηκών κύματος.
- Διαφορικά φίλτρα ή δικτυώματα περίθλασης
  - Τα πρώτα όμως παρουσιάζουν ατέλειες όταν τα πολυπλεγμένα μήκη κύματος είναι πολλά και τα διαφορετικά μήκη κύματος κοντά.
  - αντίστοιχα τα δικτυώματα περίθλασης μπορούν να διαχωρίσουν παράλληλα πολλά μήκη κύματος με σχετικά απλές διατάξεις και εξοπλισμό.
- Η λειτουργία τους στηρίζεται στην εξής ιδιότητα: Όταν τα οπτικά σήματα προσπίπτουν πάνω στο δικτύωμα περιθλώνται κατά μία γωνία η οποία εξαρτάται από το μήκος κύματος τους.



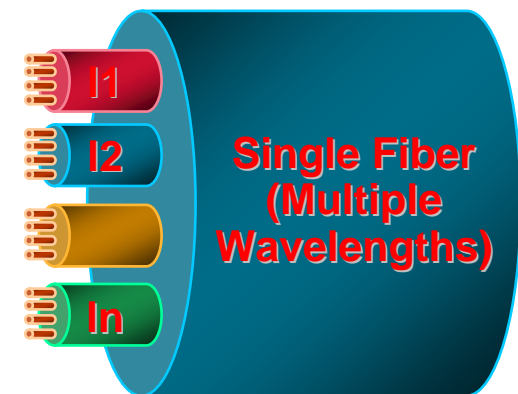
# WDM τεχνολογία

- Η ποιότητα και ο τρόπος κατασκευής του δικτύωματος αποτελούν βασικά στοιχεία της τεχνολογίας πολύπλεξης.
  - ο αριθμός των αυλακιών πάνω στο δίκτυωμα καθορίζει σημαντικά και τον αριθμό των διαφορετικών καναλιών που μπορούν να πολυπλεχτούν.
  - ένα καλά κατασκευασμένο δίκτυωμα παρουσιάζει μικρότερες απώλειες και μειώνει το φαινόμενο της πόλωσης
- Το μέρος του φάσματος που χρησιμοποιείται στην τεχνολογία WDM είναι δυο παράθυρα στις περιοχές γύρω από τα 1300nm και στα 1550nm
  - στο πρώτο υπάρχει η ελάχιστη διασπορά
  - στο δεύτερο αντίστοιχα έχουμε την ελάχιστη εξασθένιση.
  - Σε καθένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα εύρος ζώνης γύρω στα 15.000 GHz (100nm που μπορούν να οριστούν γύρω στα 3000 διαφορετικά κανάλια με διαφορά μεταξύ τους 0.03 nm)

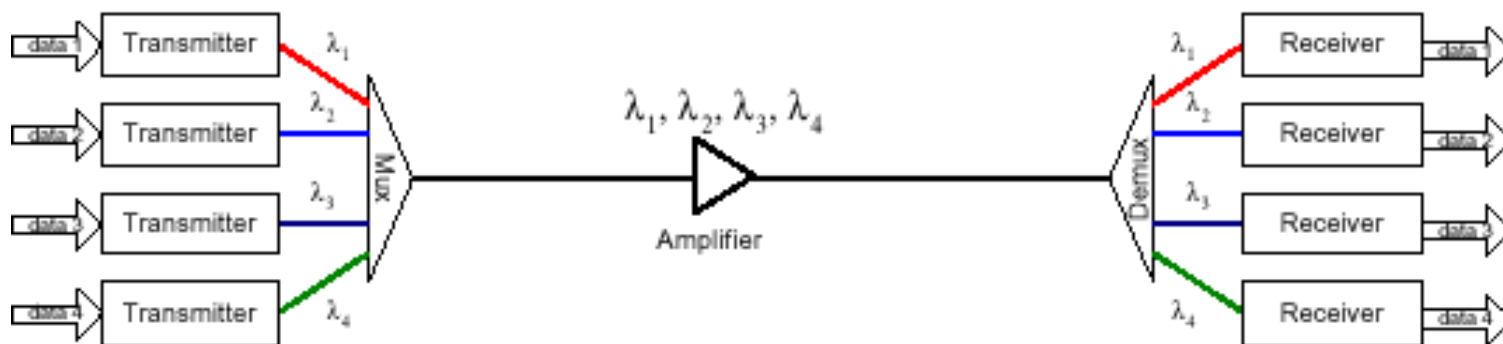
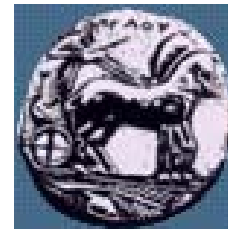
# WDM



- Δίκτυα WDM
  - Ασφάλεια
  - Αξιοπιστία
  - Υψηλή χωρητικότητα
  - Μικρή απώλεια ισχύος
  - Διαφάνεια πρωτοκόλλων



# WDM



# DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)



- Πυκνή πολύπλεξη στο πεδίο του μήκους κύματος
- Επέκταση της WDM τεχνολογίας
  - Περισσότερα κανάλια
  - Μεγαλύτερη χωρητικότητα σε εύρος ζώνης
  - συστήματα WDM μπορούν να μεταδώσουν μέχρι 24 κανάλια αλλά στο μέλλον 128
- Ταχύτητες από 2,5 έως 10Gbps ανά σήμα
- Μήκη κύματος φωτός πολύ κοντά μεταξύ τους
  - 100GHz
- Χρήση DFB laser επικεντρωμένα σε συγκεκριμένα μήκη κύματος



# DWDM



- Μεταφορά δεδομένων μέσα από οπτικές ίνες για την υλοποίηση σχεδίων όπως το Gigabit Internet.
- 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.
- Με τα σημερινά δεδομένα είναι δυνατή η πολυπλεξία 40 τέτοιων σημάτων σε μια και μόνο οπτική ίνα, κάθε ένα από τα οποία μπορεί να μεταφέρει δεδομένα με ρυθμό 10 Gb/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.



# DWDM - Ιστορία

- Αρχικά WDM (late 80s)
  - 2 διακριτά μήκη κύματος (1310, 1550nm)
- “Second generation” WDM (early 90s)
  - 2-8 κανάλια σε 1550nm
  - 400+ GHz spacing
- DWDM systems (mid 90s)
  - 16 - 40 κανάλια σε 1550nm
  - 100 to 200 GHz spacing
- Επόμενης γενιάς DWDM systems
  - 64 - 160 κανάλια σε 1550nm
  - 50 and 25 GHz spacing

# DWDM



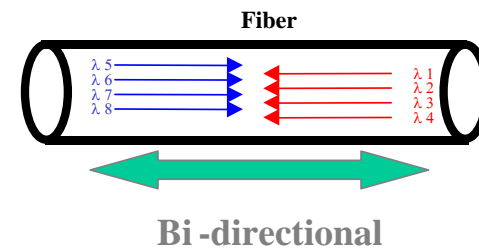
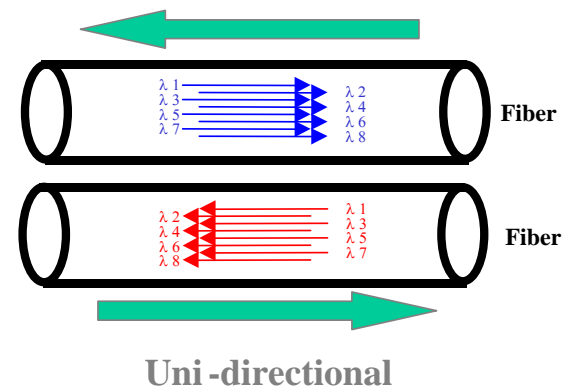
## Υλοποίηση DWDM συστημάτων

### Μονής κατεύθυνσης

- 2 οπτικές ίνες για διπλής κατεύθυνσης μετάδοση

### Διπλής κατεύθυνσης

- Διαμοίραση συχνοτήτων για μετάδοση ανά κατεύθυνση





# DWDM – Αρχιτεκτονική

## — Αρχιτεκτονική συστημάτων

- Εξοπλισμός υλοποίησης της τεχνολογίας ανεξάρτητος από τον υπόλοιπο δικτυακό εξοπλισμό
  - Έξοδος = τυποποιημένες οπτικές διεπαφές
  - Ανεξαρτησία από εξοπλισμό και κατασκευαστή
- Ολοκλήρωση της τεχνολογίας DWDM σε ενεργές δικτυακές συσκευές (ATM, SDH, IP routers)
  - Ο εξοπλισμός παρέχεται σαν modules των συσκευών



# DWDM- κόστος υλοποίησης

- Επιτυχία νέας τεχνολογίας
  - συντελεστής απόδοση / κόστος και πιο γρήγορη.
- Η τεχνολογία DWDM αναπτύχθηκε πριν αρκετά χρόνια
  - έδινε τη δυνατότητα για τη μεταφορά περισσότερων δεδομένων γρηγορότερα και φθηνότερα.
- Σήμερα, η υλοποίηση της είναι γεγονός και προσφέρει:
  - τη δυνατότητα να αναβαθμιστούν οι οπτικές συνδέσεις με κόστος μόλις το 1/3 σε σχέση με την κλασική μέθοδο πρόσθεσης νέων οπτικών ινών.
- Το κόστος αναμένεται να μειωθεί και άλλο:
  - η τεχνολογία των lasers και των οπτικών ενισχυτών είναι ακόμα νέα και συνεχώς θα βελτιώνεται με αποτέλεσμα να υποχωρούν οι τιμές στα συστήματα προτελευταίας γενιάς.



## Πλεονεκτήματα DWDM

- Η δυνατότητα για πολλαπλασιασμό του εύρους ζώνης που παρέχεται από μια οπτική ίνα
- Για την ενίσχυση του οπτικού σήματος (να διανύσει αποστάσεις μεγαλύτερες από 65 –70 km), δεν απαιτούνται πλέον οι κλασιές οπτικοηλεκτρονικές διατάξεις αλλά γίνεται χρήση οπτικού ενισχυτή
  - λειτουργεί το ίδιο ανεξάρτητα από τον αριθμό των διαφορετικών μηκών κύματος και το bit rate που έχουν τα σήματα
  - DWDM τεχνολογία ιδιαίτερα ελκυστική για τους μεγάλους παρόχους
- Η χρήση της τεχνολογίας WDM προσφέρει την δυνατότητα για εύκολη αναβάθμιση της υποδομής (δημιουργία μιας νέας εικονικής ίνας)

# CDWM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)



- Ακολουθεί την WDM αρχιτεκτονική με μεγαλύτερα διαστήματα μεταξύ των μηκών κύματος
  - Μπορούν να σταλούν μέχρι 18 μήκη κύματος
  - Υλοποιείται πάνω από μονότροπες και πολύτροπες οπτικές ίνες
  - Πιο χαμηλό κόστος
  - απλότητα στον σχεδιασμό της
  - τεχνολογία μεταφοράς πολυπρωτοκόλλων
- Μια τέλεια οικονομική τεχνολογία τόσο σε πρόσβαση όσο και στην αγορά δικτύων κορμού και ειδικά σε σχετικά μικρές αποστάσεις (έως 31 μίλια).

# CWDM



- Ένας ακριβέστερος ορισμός 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).



# CWDM



- Οι τεχνολογίες CWDM ήταν σε χρήση από την αρχή της δεκαετίας του '80
- Οι αρχικές επεκτάσεις περιελάμβαναν μήκη κύματος με διαστήματα 25 nm με παράθυρο 850 nm πάνω από την πολύτροπες ίνες σε τοπικά δίκτυα.
  - Οι εφαρμογές περιελάμβαναν την πολυδιαυλική τηλεοπτική διανομή & αμφίδρομες ευαίσθητες πληροφορίες τηλεμετρίας
- Στα αρχικά στάδια, η CWDM τεχνολογία δεν είχε συγκεκριμένα πρότυπα
- την δεκαετία του '90, έτυχε ενδιαφέροντος από διάφορες ομάδες εργασίες
  - ασχολούνταν κυρίως με την επίλυση των προβλημάτων διασποράς και απώλειας για 10 Gigabit Ethernet LANs και μερικές 10Gbe WAN εφαρμογές.

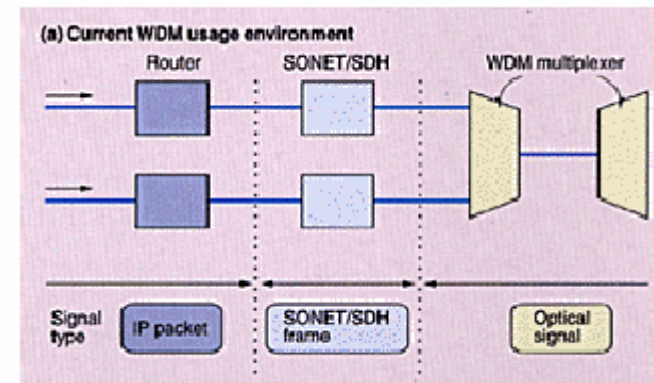
# CWDM



- Οι τεχνολογίες metro CWDM περιλαμβάνουν τώρα τα οπτικά φίλτρα και τα μη ψυχόμενα λέιζερ με διαστήματα 20 nm.
- Υπάρχουν 18 μήκη κύματος από 1270 nm μέχρι 1610 nm.



- Τεχνολογία IP over SONET (packet over SONET)
  - Χρήση PPP πρωτοκόλλου
  - Αποτελεσματική/χαμηλού ‘overhead’ από-σημείο-σε-σημείο μεταφορά της IP κυκλοφορίας.
- IP over SONET over WDM
  - εξειδικευμένη διάταξη εκπομπής (transponder)
    - αναλαμβάνει τη μετατροπή του συμβατού με το πρότυπο SONET/SDH οπτικού σήματος, που περιέχει τις πληροφορίες του IP πακέτου, σε ηλεκτρικό σήμα.





# IP over SONET over WDM

- Πλεονεκτήματα
  - Η αύξηση της χωρητικότητας της υπάρχουσας οπτικής ίνας,
  - Η αντικατάσταση των ηλεκτρικών αναγεννητών (electrical regenerators) με οπτικούς ενισχυτές (optical amplifiers)
  - Πιο αραιή τοποθέτηση οπτικών ενισχυτών (κάθε περίπου 1000 km) σε αντίθεση με τους ηλεκτρικούς αναγεννητές του 'IP over SONET' συστήματος που τοποθετούνται κάθε 60-100km.
- Εύκολη προσθήκη νέων καναλιών στο δίκτυο
  - Μοναδική απαίτηση είναι η εγκατάσταση του κατάλληλου αριθμού 'transponders' στο σύστημα, στα δύο άκρα του WDM υποσυστήματος



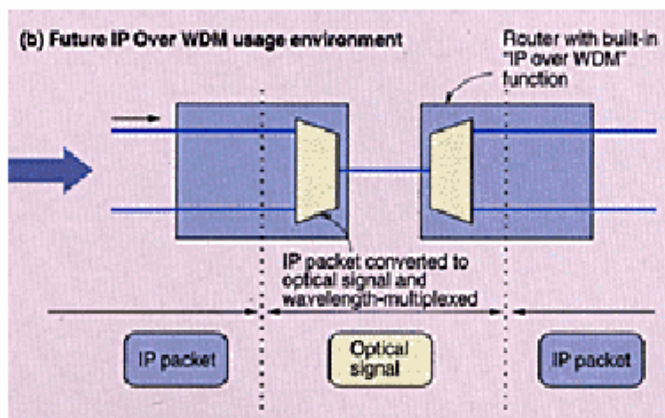
## IP over WDM

- απεριόριστο εύρος ζώνης
- απαλοιφή του παραδοσιακού SONET/SDH στρώματος
- τα IP πακέτα δεδομένων μετατρέπονται απευθείας σε οπτικό σήμα και ακολουθεί η διαδικασία της πολύπλεξης στο πεδίο του μήκους κύματος
- Απαιτείται η ύπαρξη ενός καινοτόμου δρομολογητή που θα ενσωματώνει ορισμένες βασικές WDM λειτουργίες
  - Cisco ONS (series 15000)



# IP over WDM

- Κλειδί: ο ξεκάθαρος ορισμός των υπηρεσιών και της λειτουργικότητας που καθένα από τα IP και WDM στρώματα θα προσφέρουν
- Απαιτείται συμπληρωματικότητα IP και WDM





# IP over WDM μέσω MPLS

- Απαιτείται ένα ισχυρό πρωτόκολλο που θα επιτυγχάνει:
  - Διευθυνσιοδότηση
  - Σηματοδοσία
  - Δρομολόγηση
  
- MPLS
  - Διευθυνσιοδότηση μέσω WDM οπτικών μονοπατιών
    - OXCs συσκευές δέχονται IP διεύθυνση
  - Σηματοδοσία
    - Μοντέλα: Client- server, peer to peer, augmented
  - Δρομολόγηση: κατανεμημένη ή κεντρικοποιημένη



# IP over WDM

- Πλεονεκτήματα από απαλοιφή SONET
  - ταχύτερη κλιμάκωση μεγέθους
  - μεγάλη μείωση του κόστους υλοποίησης και λειτουργίας
  - μετριασμός, σε υψηλό βαθμό, του πλεονασμού που εισάγει η ύπαρξη του επιπλέον, SONET/SDH, στρώματος
  - χαμηλός βαθμός πολυπλοκότητας της 'IP over WDM' υλοποίησης
  - υψηλός βαθμός ευελιξίας που προσφέρει η απλή υλοποίηση δύο στρωμάτων
- Όμως
  - η τεχνολογία SONET διαθέτει υψηλό επίπεδο ωριμότητας
  - Στη λύση IP over WDM δεν υπάρχουν ακόμη εκείνα τα πρότυπα που θα την κάνουν vendor-independent .....