ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

Ενότητα # 6: Οπτικά συστήματα μετάδοσης Μέρος 1

Καθηγητής Χρήστος Ι. Μπούρας

Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πατρών

email: bouras@cti.gr, site: http://ru6.cti.gr/ru6/bouras

Σκοποί ενότητας

- Εξοικείωση με συστήματα μετάδοσης οπτικών ινών
- Παρουσίαση της λειτουργίας και των χαρακτηριστικών της οπτικής ίνας
- Κατανόηση των τεχνολογιών WDM, DWDM και CWDM

Περιεχόμενα ενότητας

- Οπτική ίνα / οπτικό δίκτυο
  - Περιγραφή
  - Μετάδοση δεδομένων
- WDM τεχνολογία
  - Αρχιτεκτονική & βασική ιδέα
- DWDM τεχνολογία
- CWDM τεχνολογία

Οπτικά συστήματα μετάδοσης
Μέρος 1

Μετάδοση Σήματος (1/2)

- Ένα οπτικό σύστημα μετάδοσης έχει τρία στοιχεία
  - την πηγή φωτός
  - το μέσο μετάδοσης
  - τον ανιχνευτή
- Συμβατικά ένας παλμός φωτός αντιστοιχεί στο bit 1, ενώ η απουσία φωτός στο bit 0

Μετάδοση Σήματος (2/2)

- Το μέσο μετάδοσης είναι μία εξαιρετικά λεπτή ίνα γυαλιού. Ο ανιχνευτής δημιουργεί έναν ηλεκτρικό παλμό όταν πέφτει πάνω του φως
- Συνδέοντας μια πηγή φωτός στο ένα άκρο οπτικής ίνας και έναν ανιχνευτή στο άλλο, δημιουργείται ένα μονοκατευθυντικό σύστημα μετάδοσης
  - Το σύστημα δέχεται ένα ηλεκτρικό σήμα, το μετατρέπει σε παλμούς φωτός και το μεταδίδει, ενώ στο τέλος το μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα στη λήψη

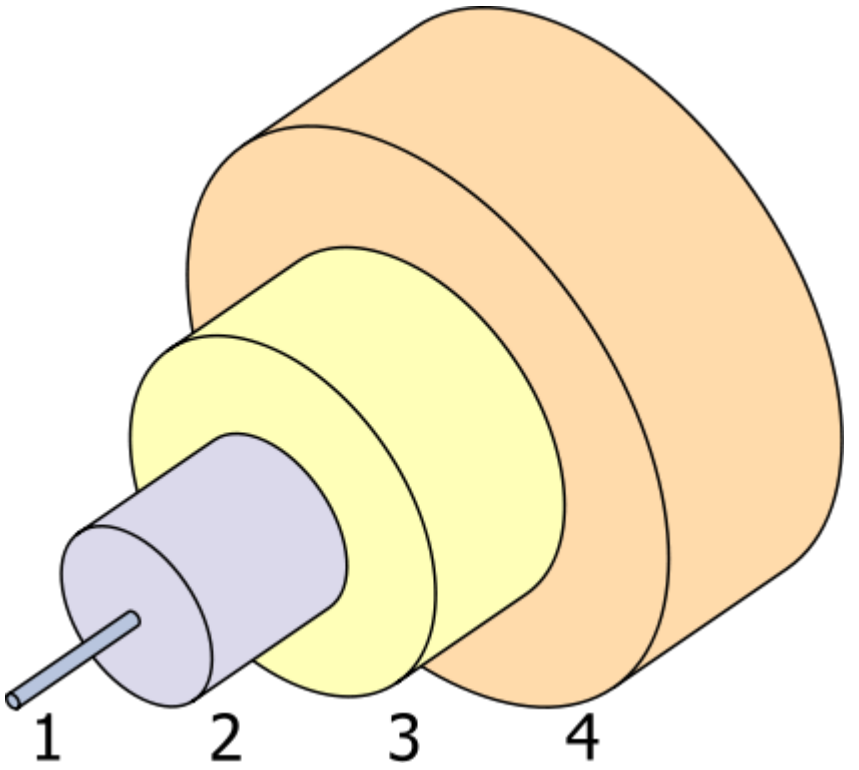
Οπτική ίνα (1/2)

- Μια οπτική ίνα αποτελείται από μία δέσμη γυάλινων νημάτων (fibers), κάθε μία από τις οποίες είναι ικανή να μεταδίδει μηνύματα διαμορφωμένα σε κύματα φωτός
- Οι οπτικές ίνες έχουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά μέσα:
  - μεγαλύτερο εύρος ζώνης (bandwidth)
  - επηρεάζονται λιγότερο από παρεμβολές
  - είναι πιο λεπτές και πιο ελαφρές
  - μπορούν να μεταδώσουν δεδομένα σε ψηφιακή αντί για αναλογική μορφή

Οπτική ίνα (2/2)

- Από τι αποτελείται μια οπτική ίνα
  - Πυρήνας - εγκλωβίζει τις ακτίνες φωτός και τις οδηγεί στο τέρμα
  - Επικάλυψη - περιβάλλει την οπτική ίνα και κρατάει το φως στον πυρήνα, εμποδίζοντας το σήμα να διασκορπιστεί και να χάσει την ισχύ του
  - Περίβλημα - εξωτερικό προστατευτικό υλικό, το οποίο προστατεύει την ίνα από τους περιβαλλοντικούς κινδύνους

Η δομή μίας οπτικής ίνας



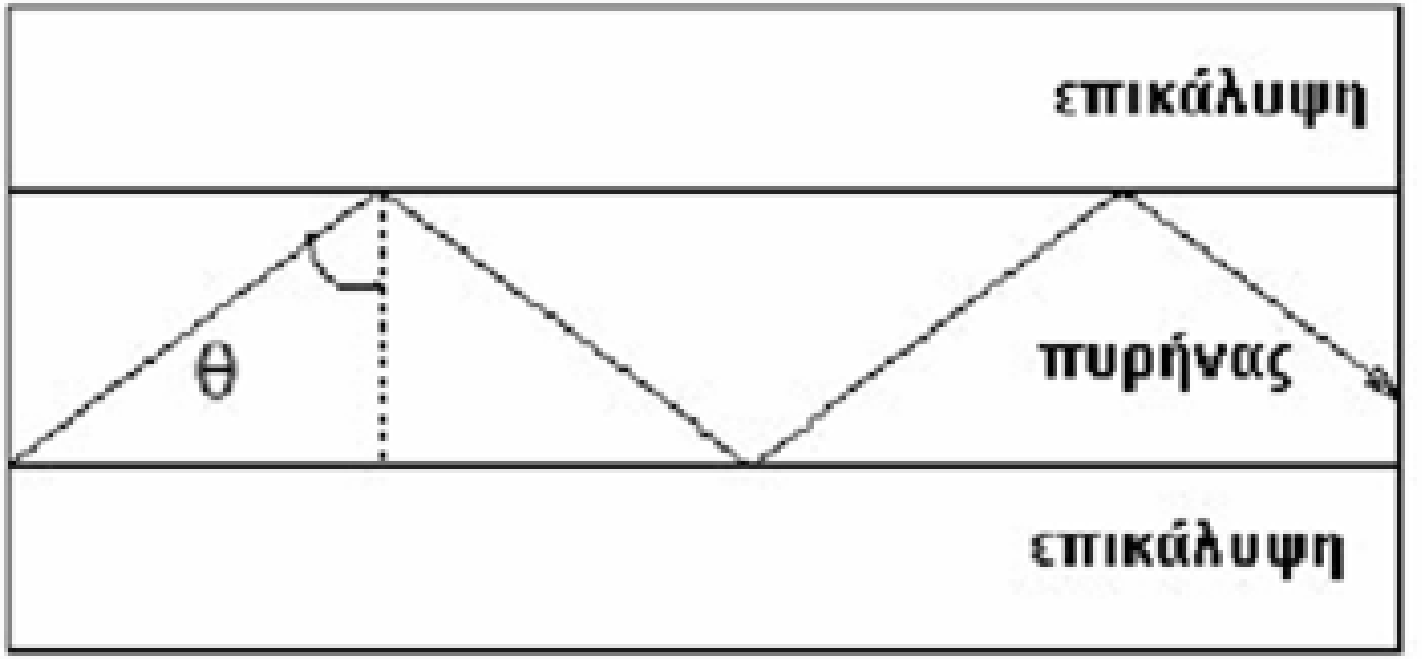
Η δομή μίας οπτικής ίνας

(πηγή: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Singlemode_fibre_structure.svg)

Μετάδοση στην οπτική ίνα

- Οφείλεται στην ανάκλαση του σήματος
  - Δείκτης διάθλασης εξωτερικού υλικού < Δείκτη διάθλασης εσωτερικού
  - Γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας > της οριακής τιμής -> (οπτικές ίνες μικρού διαμετρήματος)
- Συνεπώς, μια ακτίνα φωτός προσπίπτουσα με γωνία ίση ή μεγαλύτερη της οριακής τιμής παγιδεύεται εντός της ίνας
- Με αυτό τον τρόπο η ακτίνα μπορεί να διαδοθεί για πολλά χιλιόμετρα, με σχεδόν μηδενική απώλεια

Εκπομπή δέσμης φωτός διαμέσου οπτικής ίνας



Εκπομπή δέσμης φωτός διαμέσου οπτικής ίνας

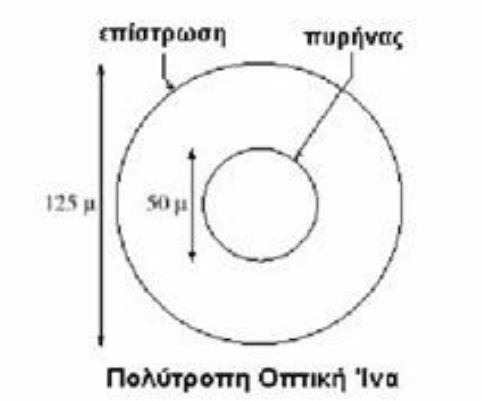
Πηγές φωτεινής δέσμης

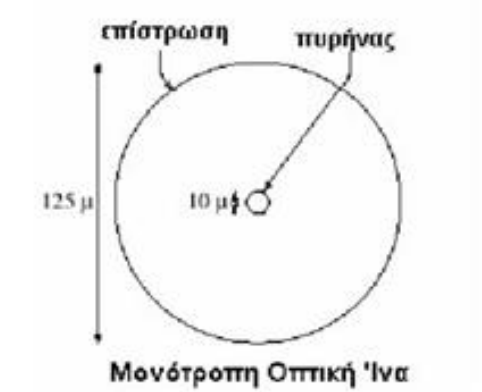
- Μέθοδος Laser
  - Μεγάλη ισχύς εκπομπής
  - Υψηλό Bit rate
  - Στενή δέσμη φωτός
  - Χρήση και σε μονότροπη και σε πολύτροπη οπτική ίνα
- LED (Light Emitting Diode)
  - Χαμηλότερο κόστος
  - Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής
  - Μικρή ευαισθησία στην θερμοκρασία

Τύποι οπτικών ινών

- Πολύτροπη οπτική ίνα
  - Διάμετρος: 50, 62.5, 100 μm
  - Ανάκλαση ακτινών οπτικού σήματος με διαφορετικές γωνίες
  - Μείωση της διαμέτρου -> μείωση «δρόμων διάδοσης»
- Μονότροπη οπτική ίνα
  - Διάμετρος = μήκος κύματος εκπεμπόμενου σήματος
- Step index, graded index
  - Ανάλογα με μείωση δείκτη διάθλασης

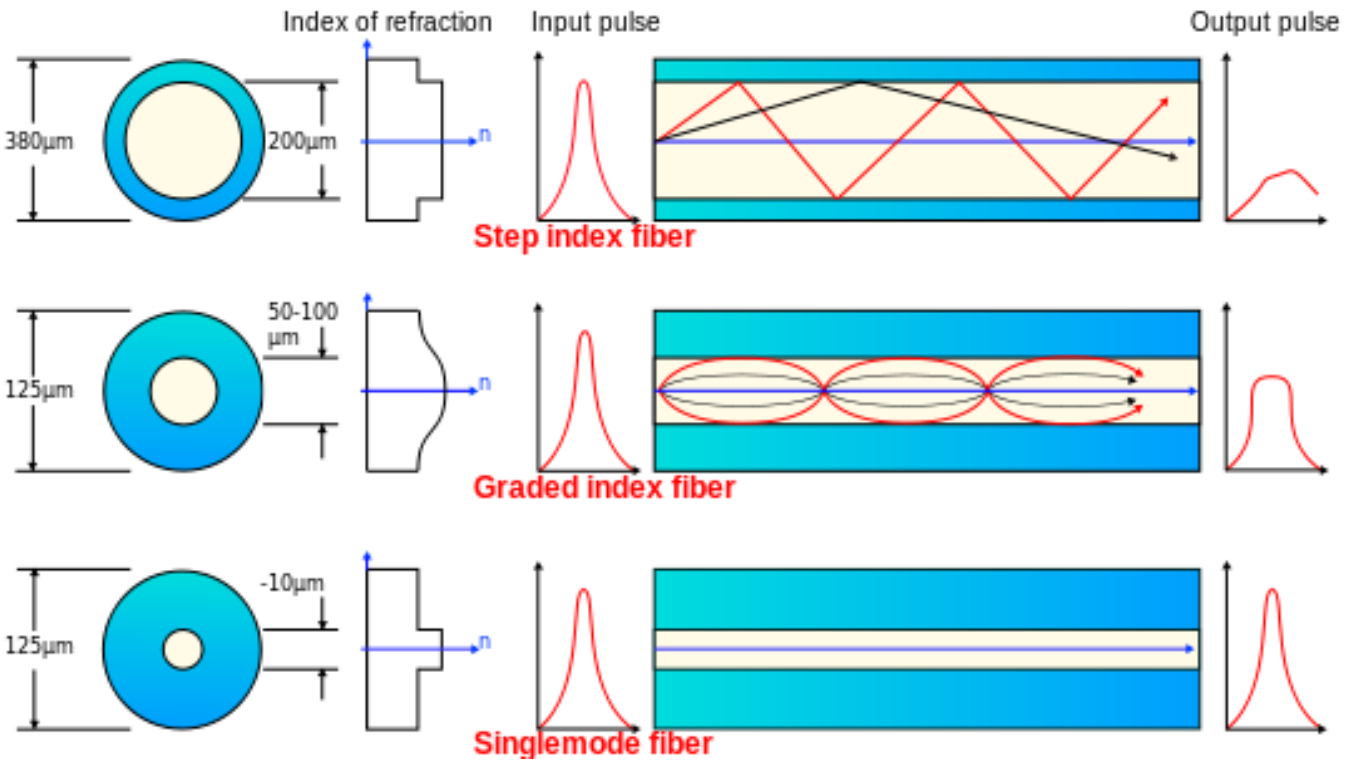
Πολύτροπη και Μονότροπη οπτική ίνα





- Για τις πολύτροπες ίνες υπάρχει κι ο διαχωρισμός ανάλογα με το αν η μεταβολή του δείκτη διαθλάσεως μεταξύ του πυρήνα και της επικάλυψης είναι απότομη (step index) ή βαθμιαία (graded index)

Τύποι οπτικών ινών



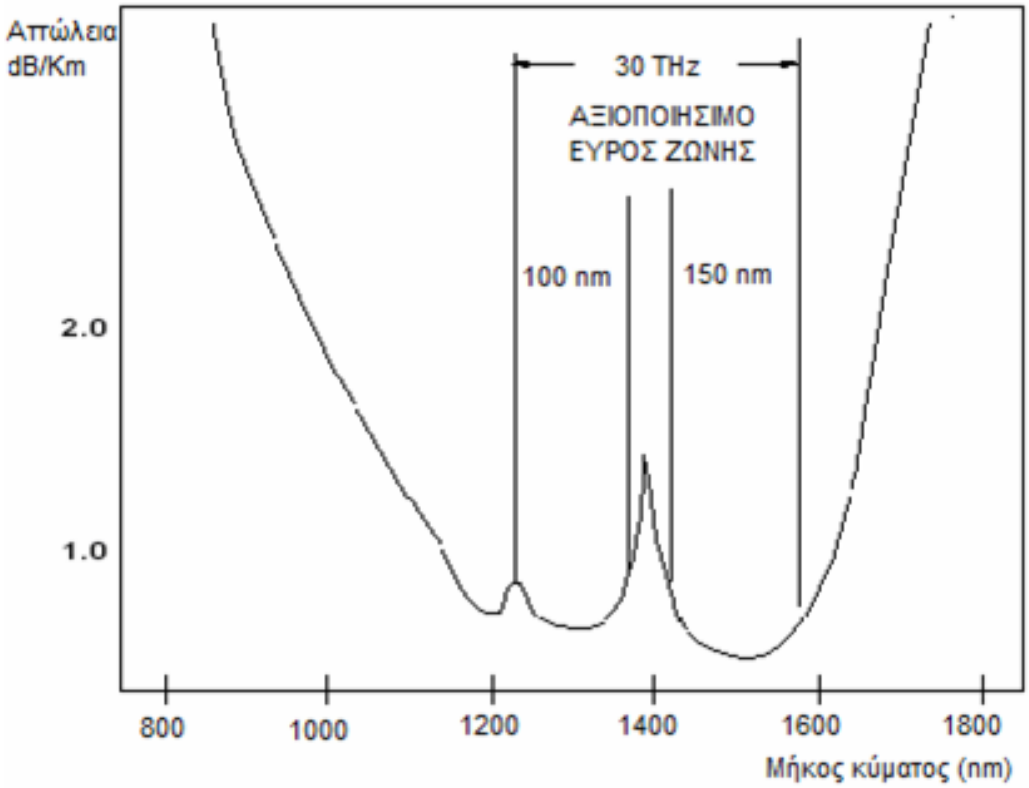
Τύποι οπτικών ινών

(πηγή: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Optical_fiber_types.svg)

Μετάδοση φωτός μέσω οπτικών ινών

- N = (BTxLT)/BxL
  - N αριθμός ενισχυτών
  - B bits pes second χωρίς ενίσχυση σε απόσταση L χιλιομέτρων
- Εξασθένηση του φωτός
  - Αν η δύναμη του σήματος είναι PT, η ισχύς P(l) σε απόσταση l θα πρέπει να αποδίδεται P(l)=a(l)xPT
  - Εξασθένηση (dB) = 10log10 (ισχύς μετάδοσης/ισχύς λήψης)
  - 2 περιοχές μήκους κύματος (1.3μm και 1.55μm) με εύρος παραθύρου 100nm και 150nm αντίστοιχα

Συχνοτικά παράθυρα



Συχνοτικά παράθυρα

Water Peak

- Ο όρος «water peak» (ακμή του νερού), αναφέρεται στο διάστημα στο φάσμα συχνοτήτων κοντά στο μήκος κύματος 1383nm ± 50nm, στο οποίο η εξασθένηση του σήματος γίνεται ιδιαίτερα ισχυρή και απρόβλεπτη
- Αιτία είναι η υγρασία η οποία παραμένει στην οπτική ίνα κατά τη διαδικασία κατασκευής της
- Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι παραγωγής που εξουδετερώνουν σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό το φαινόμενο αυτό, παράγοντας οπτικές ίνες τύπου “low water peak” και “zero water peak”

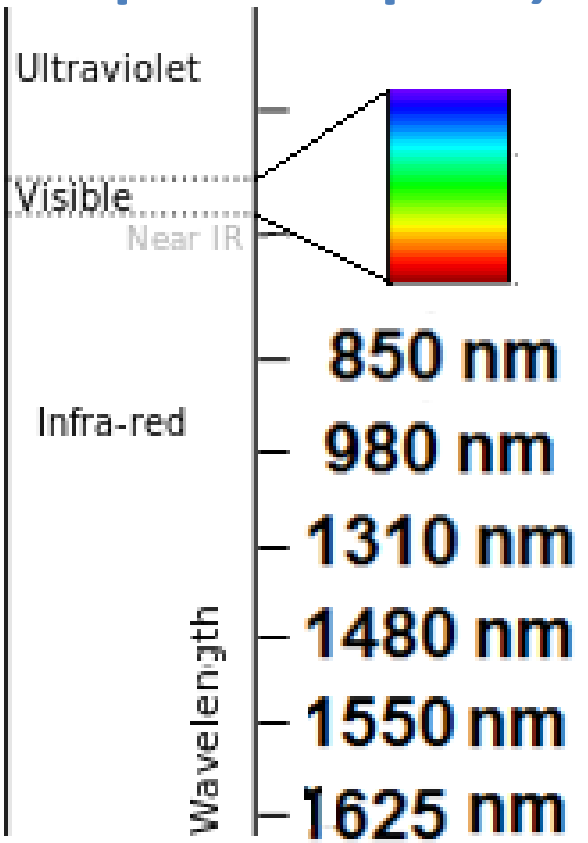
Διάχυση σήματος

- Η διάχυση του φωτεινού σήματος μας αναγκάζει να υποτετραπλασιάσουμε την χωρητικότητα
- Το φως μπορεί να ταξιδεύει μέσα σε οποιοδήποτε διαφανές υλικό, αλλά η ταχύτητά του θα είναι μικρότερη από ότι στο κενό
- Ο λόγος της ταχύτητας στο κενό προς την ταχύτητα μέσα στο υλικό ονομάζεται δείκτης διάθλασης

Οπτικοί Δέκτες και Ενισχυτές

- Παθητικοί οπτικοί δέκτες
  - Πλεονέκτημα: Επιτυγχάνουν υψηλή ανάλυση
  - Μειονεκτήματα: Σημαντικές απώλειες, μεγάλος χρόνος συντονισμού (αποτελούνται από μηχανικά στοιχεία)
- Ενεργοί δέκτες και διόδου laser
  - Συντονίζονται με μεγαλύτερες ταχύτητες
  - Μικρότερη ανάλυση
- Οπτικοί ενισχυτές (optical amplifiers)
  - Αναγέννηση οπτικών σημάτων χωρίς ανάγκη οπτικο – ηλεκτρονικών μεταλλακτών

Ωφέλιμο εύρος ζώνης



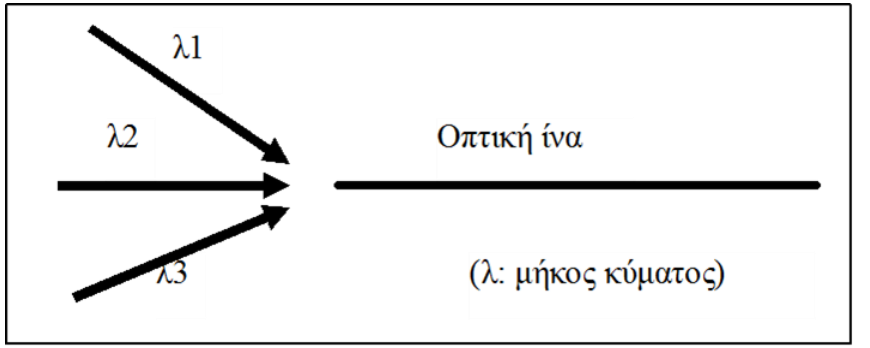
Ωφέλιμο οπτικό εύρος ζώνης = 30THz, σε μήκη κύματος από 1,2 έως 1,6 μm

Αρχή Λειτουργίας WDM

- WDM: Wavelength-division multiplexing
- Σε κάθε οπτική ίνα το οπτικό σήμα που διαδίδεται έχει μια συγκεκριμένη συχνότητα
- Είναι δυνατόν από την ίδια ίνα να περάσουν περισσότερα του ενός σήματα, διαφορετικού μήκους κύματος (λ) όπου το καθένα αντιπροσωπεύει και μία ροή δεδομένων
- Επιτρέπει την παράλληλη μετάδοση bits

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 λ



WDM ενίσχυση σήματος

- Η επίτευξη οπτικής επικοινωνίας σε μεγάλες αποστάσεις απαιτεί την ενίσχυση του σήματος
- Τα οπτικό σήμα με χρήση ενός οπτικού ανιχνευτή μετατρέπεται σε ηλεκτρικό, ενισχύεται και έπειτα ξαναμετατρέπεται σε οπτικό μέσω ενός laser
- Οι παλαιότεροι οπτικοί ανιχνευτές αδυνατούσαν να διακρίνουν σήματα διαφορετικών μηκών κύματος
- Λύση έδωσε η τεχνική «Οπτική ενίσχυση ερβίου» (erbium-doped optical amplifier) που καθιστά δυνατή την ενίσχυση του σήματος χωρίς τη μετατροπή του σε ηλεκτρικό

Οπτική ενίσχυση ερβίου

- Το εξασθενημένο οπτικό σήμα εισόδου διεγείρει τα ιονισμένα άτομα ερβίου στην έξοδο της οπτικής ίνας που με την σειρά τους εκπέμπουν οπτικό σήμα στο ίδιο μήκος κύματος με την ακτινοβολία που τα διέγειρε
- Η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση σημάτων διαφορετικών μηκών κύματος που ταξιδεύουν παράλληλα στην ίδια οπτική ίνα
- Αλυσίδες τέτοιων οπτικών ενισχυτών μπορούν να συνδυαστούν για την διάδοση του οπτικού σήματος διαμέσου ίνας για χιλιάδες χιλιόμετρα

WDM δικτυώματα περίθλασης

- Στα άκρα της οπτικής ίνας απαιτούνται διατάξεις οι οποίες διαχωρίζουν τα οπτικά σήματα διαφορετικών μηκών κύματος: διαφορικά φίλτρα ή δικτυώματα περίθλασης
- Τα πρώτα παρουσιάζουν ατέλειες για πολλά μήκη κύματος
- Τα δικτυώματα περίθλασης αντίθετα μπορούν να διαχωρίσουν πολλά μήκη κύματος με σχετικά απλές διατάξεις και εξοπλισμό
- Βασίζονται στο ότι όταν τα οπτικά σήματα προσπίπτουν πάνω στο δικτύωμα, περιθλώνται κατά μία γωνία που εξαρτάται από το μήκος κύματός τους

Κατασκευή δικτυώματος

- Η ποιότητα και ο τρόπος κατασκευής του δικτυώματος αποτελούν βασικά στοιχεία της τεχνολογίας πολύπλεξης
  - ο αριθμός των αυλακιών πάνω στο δικτύωμα καθορίζει σημαντικά και τον αριθμό των διαφορετικών καναλιών που μπορούν να πολυπλεχτούν
  - ένα καλά κατασκευασμένο δικτύωμα παρουσιάζει μικρότερες απώλειες και μειώνει το φαινόμενο της πόλωσης

WDM συχνοτικά παράθυρα

- Το μέρος του φάσματος που χρησιμοποιείται στην τεχνολογία WDM είναι δυο παράθυρα στις περιοχές γύρω από τα 1300nm και στα 1550 nm
  - στο πρώτο υπάρχει η ελάχιστη διασπορά
  - στο δεύτερο αντίστοιχα έχουμε την ελάχιστη εξασθένιση
  - σε καθένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα εύρος περίπου 100nm όπου μπορούν να οριστούν γύρω στα 3000 διαφορετικά κανάλια

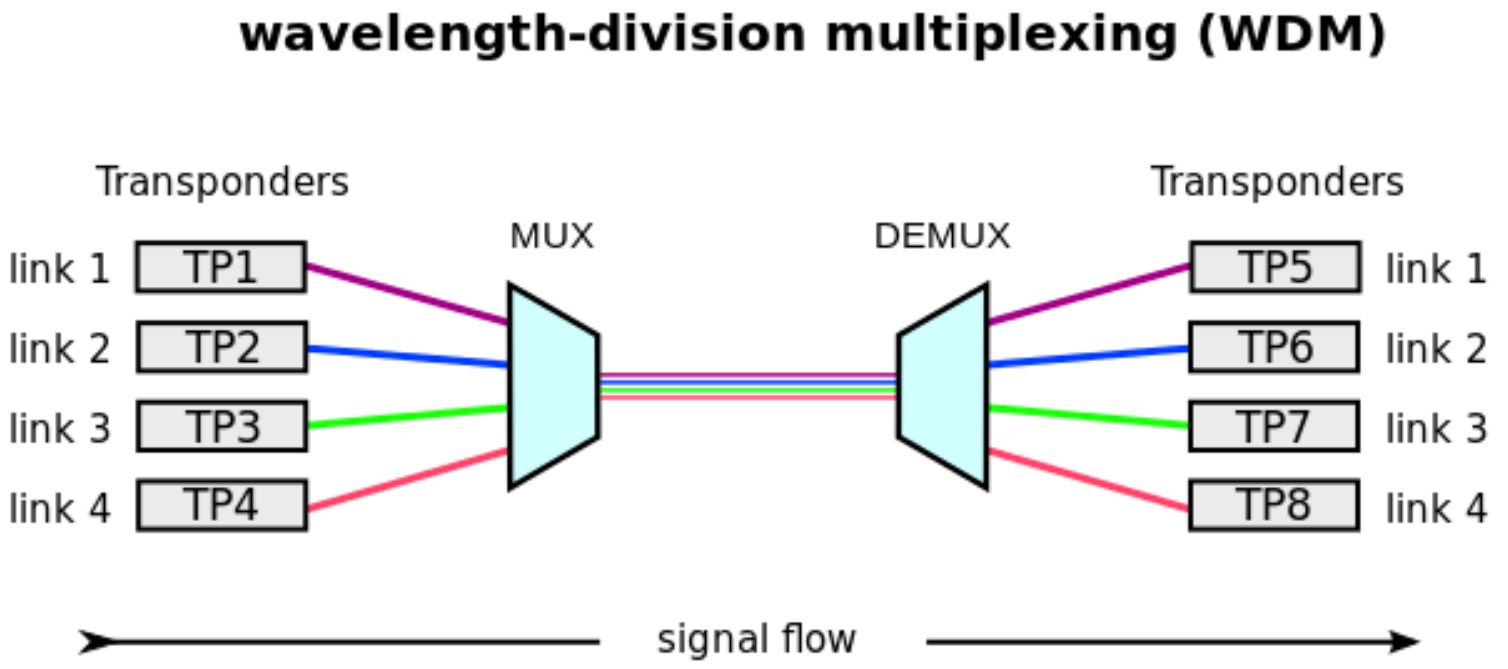
Χαρακτηριστικά δικτύων WDM

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

Δομικά στοιχεία WDM

- Οπτικές ίνες
- Συσκευές ακτίνων laser
- Οπτικοί ενισχυτές (optical amplifiers)
- Συσκευές φωτοανίχνευσης (photodetectors)
- Οπτικοί πολυπλέκτες ελεγχόμενης πολύπλεξης (add/drop optical multiplexers)
- Οπτικοί αποπολυπλέκτες (optical demultiplexers)
- Οπτικά στοιχεία διασύνδεσης (optical cross-connect components)

Αρχή λειτουργίας WDM



Αρχή λειτουργίας WDM

(πηγή: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:WDM_operating_principle.svg)

WDM εξοπλισμός

- Για τη μεταφορά του σήματος απαιτούνται
  - Οπτικοί ενισχυτές
    - Ιδανικά ενισχυτές ερβίου
  - Συσκευές φωτοανίχνευσης
    - Θετικές- εσωτερικές φωτοδίοδοι
    - Φωτοδίοδοι χιονοστιβάδας
  - Πολυπλέκτες / αποπολυπλέκτες

WDM - Διασύνδεση οπτικών ινών

- Τερματισμός σε ακροδέκτες και βισμάτωση σε πρίζες ινών
  - 10-20% απώλεια φωτός
- Μηχανική ένωση των 2 μερών (σε ειδική θήκη)
  - 10% απώλεια φωτός
  - Διόδευση φωτός και διορθώσεις μέσω «ευθυγράμμισης»
- Σύντηξη των 2 μερών
  - Καλύτερο αποτέλεσμα, μικρή απώλεια φωτός

WDM - Τοπολογίες δικτύων

- Δύο κοινές τοπολογίες δικτύων μπορούν να χρησιμοποιήσουν WDM: του αστέρα (star) και του δαχτυλιδιού (ring)
- Τοπολογία αστέρα: κάθε κόμβος έχει ένα μεταδότη και έναν δέκτη, με τον μεταδότη να συνδέεται με μια από τις κεντρικές παθητικές εισαγωγές του αστέρα, και το δέκτη να συνδέεται με μία από τις εξόδους του
- Τοπολογία δαχτυλιδιού: προσαρμόζονται σε οποιαδήποτε δικτυακή τοπολογία, με τη βοήθεια ενός δέκτη που έχει τη δυνατότητα να επιλέξει ένα ορισμένο μήκος κύματος

WDM - Διαχείριση εύρους ζώνης σε τοπικά δίκτυα

- Single hop
  - Μειονέκτημα: ότι το δίκτυο και τα συστατικά του πρέπει να προσαρμόσουν τα μήκη κύματος n, κάτι που είναι δύσκολο (ή και αδύνατο) σε μεγάλα δίκτυα
- Multi hop
  - Στηρίζονται στην χρήση ενδιάμεσων συντονισμένων ή αργά συντονιζόμενων συστατικών του δικτύου
  - Πλεονέκτημα: ο κάθε κόμβος χρειάζεται να έχει πρόσβαση σε ένα μικρό αριθμό καναλιών
  - Ωστόσο τα πακέτα πρέπει να ταξιδέψουν από ένα ή περισσότερους σταθμούς εισάγοντας καθυστέρηση και την απαίτηση μηχανισμού δρομολόγησης

Μειονεκτήματα WDM τεχνολογιών

- Πολυπλοκότητα. Για κάθε bit of resolution απαιτείται ένα Led ενός άλλου μήκους κυμάτος
- Ευαισθησία στις παραλλαγές και τις αντανακλάσεις εύρους
- Οι σχετικά μεγάλες σπείρες καθυστέρησης, μαζί με πολλούς ακριβούς και ογκώδεις οπτικούς splitter
- Λύσεις: Ανάπτυξη wideband LED's, ώστε να απαιτούνται λιγότερα LEDs και χωριστή ίνα για το φως επιστροφής για να μειωθούν οι εσωτερικές αντανακλάσεις συνδετήρων

DWDM (1/3)

- Dense WDM (DWDM)
- Πυκνή πολύπλεξη στο πεδίο του μήκους κύματος
- Επέκταση της WDM τεχνολογίας
  - Περισσότερα κανάλια
  - Μεγαλύτερη χωρητικότητα σε εύρος ζώνης
  - Τα συστήματα WDM μπορούν να μεταδώσουν μέχρι 24 κανάλια αλλά στο μέλλον 128

DWDM (2/3)

- Ταχύτητες από 2,5 έως 10Gbps ανά σήμα
- Μήκη κύματος φωτός πολύ κοντά μεταξύ τους
  - 100GHz
- Χρήση DFB laser επικεντρωμένα σε συγκεκριμένα μήκη κύματος
- Μεταφορά δεδομένων μέσα από οπτικές ίνες για την υλοποίηση σχεδίων όπως το Gigabit Internet

DWDM (3/3)

- Αύξηση του συνολικού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων ανά οπτική ίνα, που προκύπτει από την άθροιση των ρυθμών μεταφοράς κάθε σήματος διαφορετικού μήκους κύματος
- Σήμερα είναι δυνατή η πολυπλεξία 40 τέτοιων σημάτων σε μία ίνα
- Κάθε ένα μπορεί να μεταφέρει δεδομένα με ρυθμό 10 Gb/s, με αποτέλεσμα συνολικό ρυθμό μεταφοράς 400 Gb/s
- Σε πειραματικό επίπεδο έχουν επιτευχθεί ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων της τάξης των Tb/s

Υλοποίηση DWDM συστημάτων

- Μονής κατεύθυνσης
  - 2 οπτικές ίνες για διπλής κατεύθυνσης μετάδοση
- Διπλής κατεύθυνσης
  - Διαμοίραση συχνοτήτων για μετάδοση ανά κατεύθυνση

DWDM – Αρχιτεκτονική

- Αρχιτεκτονική συστημάτων
  - Ο εξοπλισμός υλοποίησης της τεχνολογίας ανεξάρτητος από τον υπόλοιπο δικτυακό εξοπλισμό
  - Ολοκλήρωση της τεχνολογίας DWDM σε ενεργές δικτυακές συσκευές (ATM, SDH, IP routers)

DWDM – Κόστος υλοποίησης

- Η τεχνολογία DWDM είναι γρηγορότερη και φθηνότερη
- Σήμερα, η υλοποίηση της είναι γεγονός και προσφέρει αναβάθμιση των οπτικών συνδέσεων με κόστος μόλις το 1/3 σε σχέση με την κλασική μέθοδο πρόσθεσης νέων οπτικών ινών
- Το κόστος αναμένεται να μειωθεί και άλλο καθώς η τεχνολογία των lasers και των οπτικών ενισχυτών συνεχώς βελτιώνεται

Πλεονεκτήματα DWDM (1/2)

- Πολλαπλασιασμός του εύρους ζώνης
- Εύκολη αναβάθμιση της υποδομής
- Χαμηλότερο κόστος υλοποίησης
- Ευκολία δυνατότητας χρησιμοποίησης
  - Τα WDM συστήματα έχει μερικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα που το καθιστούν εύκολο στη χρήση

Πλεονεκτήματα DWDM (2/2)

- Χρήση οπτικού ενισχυτή και όχι κλασικών οπτικο-ηλεκτρονικών διατάξεων
- Λειτουργεί το ίδιο ανεξάρτητα από τον αριθμό των διαφορετικών μηκών κύματος και το bit rate που έχουν τα σήματα
- Ανεξαρτησία πρωτόκολλων
- Γρηγορότερη πρόσβαση στα νέα κανάλια

CWDM (Coarse WDM)

- Ακολουθεί την WDM αρχιτεκτονική με μεγαλύτερα διαστήματα μεταξύ των μηκών κύματος
  - Μπορούν να σταλούν μέχρι 18 μήκη κύματος
  - Χρησιμοποιεί πολύ ευρύτερο φωτονιακό φάσμα ζωνών
  - Υλοποιείται πάνω από μονότροπες και πολύτροπες οπτικές ίνες
  - Πιο χαμηλό κόστος και απλότητα στον σχεδιασμό
  - Τεχνολογία μεταφοράς πολυπρωτοκόλλων

Metro CWDM

- Οι τεχνολογίες Metro CWDM περιλαμβάνουν τα οπτικά φίλτρα και τα μη ψυχόμενα λέιζερ με διαστήματα 20 nm
- Πέντε από τα μήκη κύματος CWDM εμπίπτουν στην E-band
  - Αυτή η ζώνη κανονικά δεν χρησιμοποιείται στην τυποποιημένη ίνα τύπων G.652 λόγω της αιχμής ύδατος (water peak)

Συστήματα CWDM

- Οπτική Ίνα
  - βελτιώσεις δικτύων ινών metro: εγκατάσταση της πιο πρόσφατης τεχνολογίας ινών που αποβάλλει το φαινόμενο water peak
- Λέιζερ
  - Άμεσα διαμορφωμένα λέιζερ CWDM, ικανά για μετάδοση 2,5 Gbit/s πέρα από τις αποστάσεις 80 χλμ.
  - Χαμηλότερο κόστος, μικρή δύναμη και μειωμένες παρεμβολές συσκευών αποστολής σημάτων λέιζερ

Διαφορές DWDM και CWDM (1/2)

- Ο όγκος μιας συσκευής λέιζερ DWDM είναι περίπου οκτώ φορές της συσκευής CWDM και η ενέργεια που καταναλώνει είναι περίπου 20 φορές της αντίστοιχης CWDM
  - CWDM 16-καναλιών ~ 4Watt
  - DWDM μπορεί να καταναλώνει > 80 Watt.
- Τμήματα συσκευών DWDM έχουν τέσσερις έως πέντε φορές το κόστος των αντίστοιχων CWDM

Διαφορές DWDM και CWDM (2/2)

- Οι δέκτες στα πολυδιαυλικά συστήματα CWDM είναι ίδιοι με εκείνους σε συστήματα DWDM
- Τα φίλτρα CWDM χρησιμοποιούν τη λεπτή τεχνολογία φίλτρων (TFF) και είναι λιγότερο ακριβά από τα φίλτρα DWDM λόγω μικρότερου αριθμού στρωμάτων στο σχέδιο φίλτρων
- Πιο σύντομος χρόνος κατασκευής & λιγότερα υλικά για τα CWDM φίλτρα

Σύντομη ανασκόπηση

- Οπτική ίνα / οπτικό δίκτυο
  - Περιγραφή
  - Μετάδοση δεδομένων
- WDM τεχνολογία
  - Αρχιτεκτονική & βασική ιδέα
- DWDM τεχνολογία
- CWDM τεχνολογία

Βιβλιογραφία (1/2)

- Σημειώσεις μαθήματος (Κεφάλαιο 4)
- Βιβλία:
  - Data and Computer Communications, William Stallings
  - Optical WDM Networks, Mukherjee B.
  - DWDM and Optical Networks: An Introduction to Terabit Technology, Krauss O.
  - Tsunami Optics – riding the CWDM wave, James Campbell

Βιβλιογραφία (2/2)

- Links:
  - http://ru6.cti.gr/ru6/bouras/undergraduate-courses/euruzwnikes-texnologies?language=el (Δικτυακός τόπος μαθήματος)
  - http://www.itu.int/rec/T-REC-G.652/en (Recommendation G.652 : Χαρακτηριστικά μονοτροπικής οπτικής ίνας)
  - http://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.2/en (Recommendation G.694 : χαρακτηριστικά CWDM)

Ερωτήσεις

Τέλος Ενότητας

BY NC ND

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 2.0.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Χρήστος Μπούρας 2017. «Ευρυζωνικές Τεχνολογίες. Οπτικά συστήματα μετάδοσης Μέρος 1». Έκδοση: 2.0. Πάτρα 2017. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: https://eclass.upatras.gr/courses/CEID1063/

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.