



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Οπτικά Δίκτυα Επικοινωνιών

Ενότητα 1: Εισαγωγικά θέματα

Βλάχος Κυριάκος

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής

Σκοποί ενότητας

Ο σκοπός της ενότητας είναι να εισάγει το σπουδαστή στα οπτικά δίκτυα με κάποιες βασικές έννοιες, όπως τη δομή των δικτύων και την τεχνολογία που χρησιμοποιούν αυτά.



Περιεχόμενα ενότητας

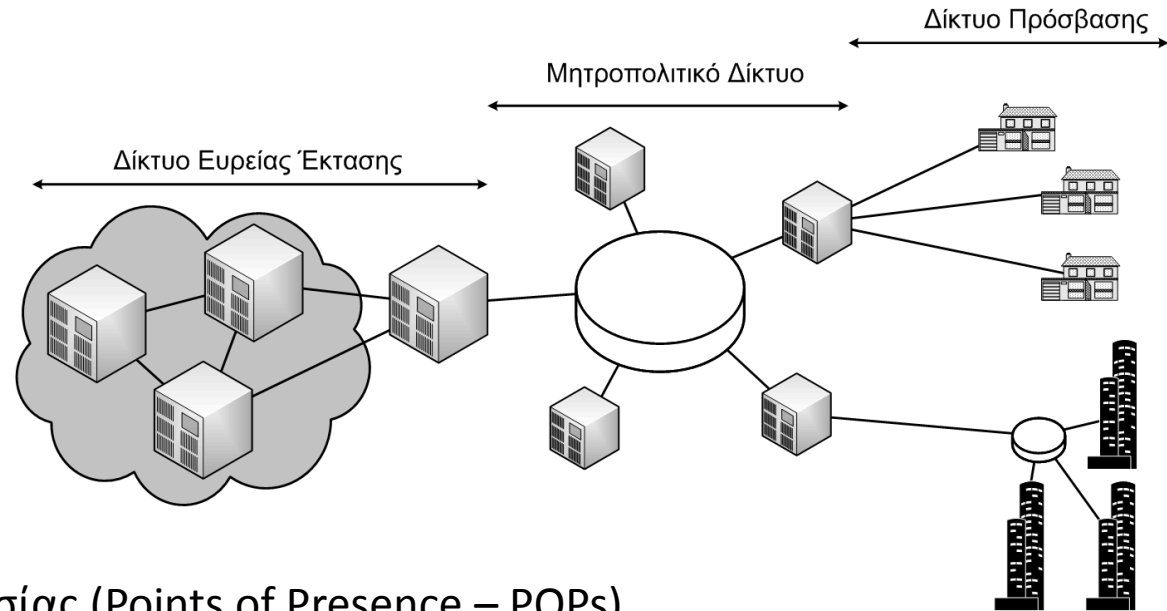
- Δομή των Τηλεπικοινωνιακών Δικτύων
- Οπτική Τεχνολογία
- Οπτικά Δίκτυα Δρομολόγησης Μήκους Κύματος
- Μελλοντικά Οπτικά Δίκτυα



Εισαγωγικά Θέματα

Δομή των Τηλεπικοινωνιακών Δικτύων

Τυπική αρχιτεκτονική δημοσίου δικτύου



- ❑ Κόμβοι: σημεία παρουσίας (Points of Presence – POPs)
- ❑ Ζεύξεις: (πολλαπλά) ζεύγη ινών
- ❑ Μητροπολιτικά δίκτυα: δίκτυα εντός μεγαλουπόλεων (μέγεθος μερικές δεκάδες χιλιόμετρα). Αποτελούνται από δίκτυο διανομής και δίκτυο πρόσβασης.
- ❑ Δίκτυα ευρείας έκτασης: δίκτυα που διασυνδέουν πόλεις ή γεωγραφικά απομακρυσμένες περιοχές (μέγεθος μερικές δεκάδες χιλιόμετρα)

Δημόσια και ιδιωτικά δίκτυα

□ Δημόσια Δίκτυα

- ⇒ Παρέχουν εκτεταμένη γεωγραφική κάλυψη, και η διαχείρισή τους γίνεται από δικτυακούς παρόχους ή φορείς
- ⇒ Παρέχουν υπηρεσίες όπως τηλεφωνικές γραμμές, μισθωμένες γραμμές, αλλά και υποδομές σε δίκτυα εναλλακτικών παρόχων όπως πάροχοι Διαδικτύου και κινητής τηλεφωνίας

□ Ιδιωτικά Δίκτυα

- ⇒ Είναι συνήθως ιδιοκτησία διάφορων οργανισμών (π.χ. πανεπιστήμια ή εταιρίες), και υλοποιούνται για να καλύψουν τις εσωτερικές τηλεπικοινωνιακές ανάγκες τους
- ⇒ Διαχωρίζονται με βάση τη γεωγραφική περιοχή που καλύπτουν σε
 1. Local Area Networks (έκταση μερικών χιλιομέτρων),
 2. Metropolitan Area Networks (έκταση δεκάδων-εκατοντάδων χιλιομέτρων)
 3. Wide Area Networks (με έκταση εκατοντάδων-χιλιάδων χιλιομέτρων)

Οπτική Τεχνολογία

Οπτική τεχνολογία

- ❑ Η οπτική τεχνολογία αποτελεί προτιμητέα τεχνολογική λύση από πλευράς παρεχόμενου εύρους και κόστους για ενσύρματα δίκτυα με
 - ✓ Ρυθμούς μετάδοσης μεγαλύτερους από μερικά Mbit και
 - ✓ Αποστάσεις που υπερβαίνουν το ένα χιλιόμετρο
- ❑ Βασικά χαρακτηριστικά
 - ✓ Υψηλό εύρος ζώνης (πολυπλεγμένα κατά μήκος κύματος κανάλια των 10 Gbps)
 - ✓ Μεγάλες αποστάσεις μετάδοσης (μικρή εξασθένηση και παραμόρφωση)
 - ✓ Αναισθησία σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές
- ❑ Βασικά Δομικά στοιχεία
 - ⇒ Οπτικές ίνες
 - ⇒ Οπτικοί πομποί
 - ⇒ Οπτικοί ενισχυτές



Οπτικές ίνες (I)

□ Πολυρρυθμικές ίνες

⇒ Διατομή πυρήνα 50-85 μm

- ✗ Οι διαδιδόμενες οπτικές ακτίνες έχουν τη δυνατότητα να ακολουθήσουν πέραν της μίας διαδρομής, ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης (διασπορά τρόπων διάδοσης)
- ✗ Η μετάδοση πάνω από πολυρρυθμικές ίνες περιορίζεται σε λίγα χιλιόμετρα και ρυθμούς μετάδοσης που δεν υπερβαίνουν τις εκατοντάδες Mbps



Οπτικές ίνες (II)

□ Μονορρυθμικές ίνες

- ⇒ Διατομή πυρήνα 8-10 μm
- ✓ Οι οπτικές ακτίνες έχουν τη δυνατότητα να ακολουθήσουν μία μόνο οπτική διαδρομή (δεν υπάρχει διασπορά τρόπων πόλωσης)
- ✓ Η μετάδοση πάνω από μονορρυθμικές ίνες είναι δυνατή σε ρυθμούς μερικών Gbps και για εκατοντάδες χιλιόμετρα
- ⇒ Η μετάδοση περιορίζεται από φαινόμενα όπως η εξασθένηση και η χρωματική διασπορά



Οπτικοί πομποί

- ❑ Light Emitting Diodes (LEDs)
 - ⇒ Μετατροπή ρεύματος σε φως σε ετεροεπαφές ημιαγωγού
 - ✗ Χαμηλή παραγόμενη οπτική ισχύς
- ❑ Διοδικά laser
 - ✓ Υψηλή παραγόμενη οπτική ισχύς
 - ✗ Μεγάλο φασματικό εύρος (εντείνει την επίδραση της χρωματικής διασποράς)
- ❑ Διοδικά lasers κατανεμημένης ανάδρασης (Distributed Feedback Lasers - DFBs)
 - ✓ Μικρό φασματικό εύρος
 - ✗ Περιορισμένο εύρος ζώνης άμεσης διαμόρφωσης (10 Gbps)
- ❑ Εξωτερικοί διαμορφωτές Νιοβικού Λιθίου και Ηλεκτρο-απορρόφησης
 - ⇒ Αυξημένο εύρος ζώνης διαμόρφωσης (40 Gbps)



Οπτικοί ενισχυτές

$$\gamma = \frac{P_r}{P_t}$$

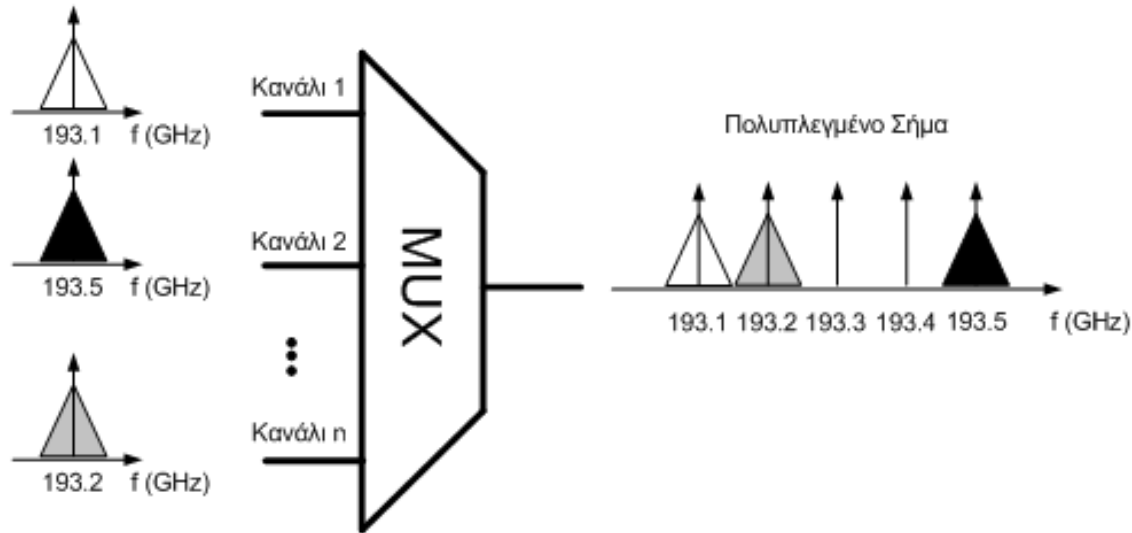
$$\gamma_{dB} = 10 \cdot \log_{10}(\gamma) = 10 \cdot \log_{10}(P_r) - 10 \cdot \log_{10}(P_t)$$

- Ελάχιστη εξασθένηση περί τα 0.18 dB/Km
- Οπτικοί ενισχυτές ίνας με προσμίξεις σπανίων γαιών
 - ⇒ Προσμίξεις ερβίου (C-Band)
 - ✗ Προσμίξεις θουλίου (S-Band)
 - ✓ Προσμίξεις υππερβίου (L-Band)
- Οπτικοί ενισχυτές Raman
- Οπτικοί ενισχυτές ημιαγωγού



Πολυπλεξία μήκους κύματος (I)

Σήματα Εισόδου



- Η πολυπλεξία μήκους κύματος (wavelength division multiplexing-WDM) αντιστοιχεί στην κλασική πολυπλεξία συχνότητας (frequency division multiplexing-FDM), όμως αντί για μια συγκεκριμένη συχνότητα ανατίθεται ένα μήκος κύματος σε κάθε οπτικό κανάλι
- Συνήθως για WDM πολυπλεξία χρησιμοποιείται η περιοχή των 1550 nm, καθώς
 - ✓ Η εξασθένιση των οπτικών ινών είναι η ελάχιστη
 - ✓ Υπάρχουν εμπορικά διαθέσιμες τεχνολογίες ενισχυτών



Πολυπλεξία μήκους κύματος (II)

Μήκος κύματος - συχνότητα

$$c = f\lambda$$

- c : ταχύτητα του φωτός (3×10^8 m/s στο κενό, 2×10^8 m/s σε οπτικές ίνες)
- f : συχνότητα (GHz ή THz)
- λ : μήκος κύματος (nm ή μm)

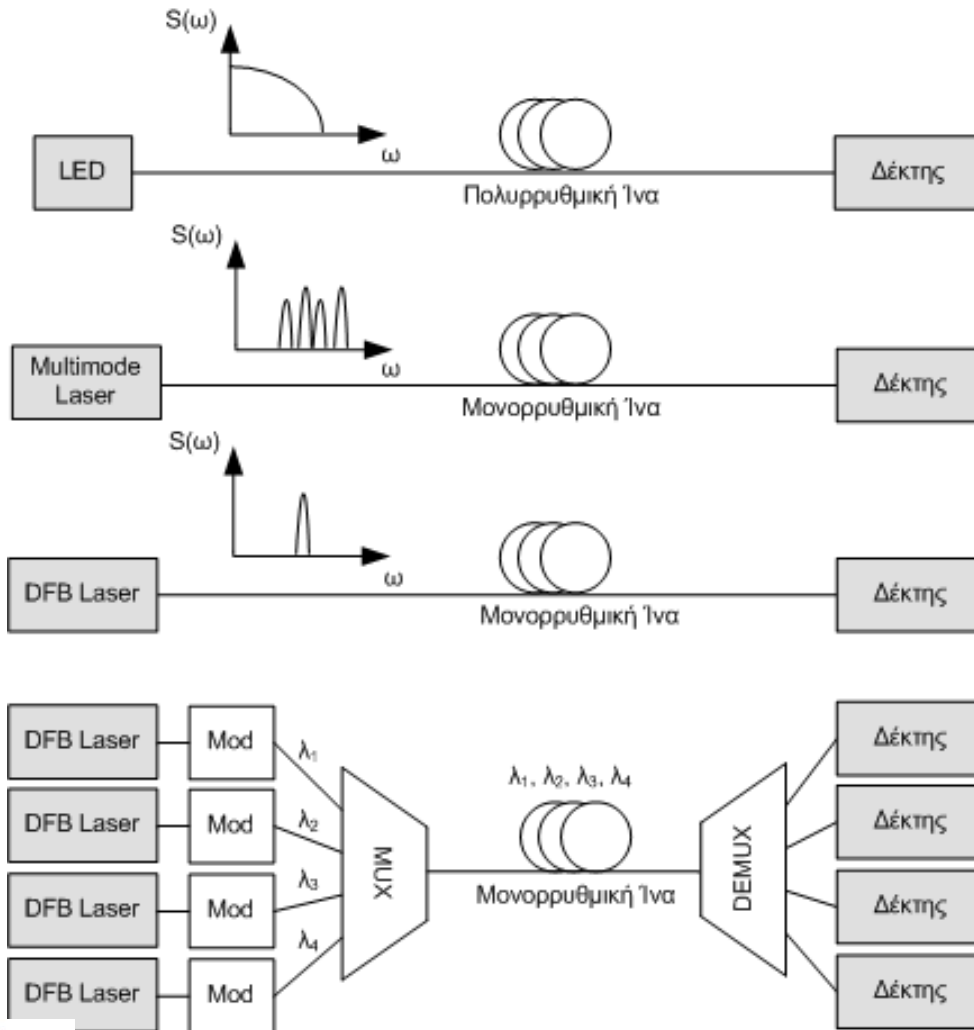
Φασματική Απόσταση

$$\Delta f = -\frac{c}{\lambda_0^2} \Delta \lambda$$

- λ_0 : κεντρικό μήκος κύματος
- Η σχέση είναι ακριβής όταν $\Delta \lambda \ll \lambda_0$
- Για παράδειγμα, στην περιοχή των $1.55 \mu\text{m}$ προκύπτει ότι η φασματική απόσταση των 100 GHz ισοδυναμεί με απόσταση μηκών κύματος ίση με 0.8 nm



Εξέλιξη της οπτικής τεχνολογίας



- ❑ Πρώιμα συστήματα με LED και πολυρρυθμικές ίνες
- ❑ Σύστημα με laser ημιαγωγού και μονορρυθμική ίνα για την αντιμετώπιση της διασποράς τρόπων διάδοσης
- ❑ Σύστημα με DFB laser και μονορρυθμική ίνα για την αντιμετώπιση της χρωματικής διασποράς
- ❑ Σύστημα πολυπλεξίας μήκους κύματος



Οπτικά Δίκτυα Δρομολόγησης Μήκους Κύματος

Οπτικά δίκτυα πρώτης και δεύτερης γενιάς

□ Οπτικά δίκτυα πρώτης γενιάς

- ⇒ Η οπτική τεχνολογία χρησιμοποιούνταν μόνο στη μετάδοση, ως μέσο για την παροχή μεγάλου εύρους ζώνης με μικρούς ρυθμούς εμφάνισης σφαλμάτων
- ⇒ Οι υπόλοιπες λειτουργίες του δικτύου (π.χ. μεταγωγή, δρομολόγηση, έλεγχος, διαχείριση δικτύου) γίνονταν ηλεκτρονικά
- ✘ Βασικό πρόβλημα: Οι ταχύτητες μετάδοσης του δικτύου μειώνουν αισθητά τους χρόνους στους οποίους τα ηλεκτρονικά καλούνται να περατώσουν τις λειτουργίες (δεκάδες-εκατοντάδες ns)

□ Οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς(δίκτυα δρομολόγησης μήκους κύματος)

- ✓ Τμήμα των διαδικασιών δρομολόγησης, μεταγωγής, ελέγχου και διαχείρισης λαμβάνουν χώρα στο οπτικό επίπεδο



Δομή οπτικών δικτύων δεύτερης γενιάς

- ❑ Τα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς παρέχουν ζεύξεις που καλούνται οπτικά μονοπάτια (light paths) στους χρήστες τους
- ❑ Περισσότερα του ενός οπτικά μονοπάτια πολυπλέκονται πάνω από μία οπτική ίνα με την τεχνολογία πολυπλεξίας WDM



Βασικά δομικά στοιχεία

- Τερματισμοί οπτικής γραμμής (optical line terminals-OLTs)
 - ⇒ Χρησιμοποιούνται στα άκρα μιας WDM σύνδεσης για να πολυπλέκουν πολλά μήκη κύματος σε μία οπτική ίνα στο άκρο-αφετηρία
 - ⇒ Αντιστρόφως αποπολυπλέκουν τα μήκη κύματος σε πολλές ίνες στο άκρο-προορισμό
- Οπτικοί πολυπλέκτες προσθήκης/απομάστευσης (optical add/drop multiplexers-OADMs)
 - ⇒ Χρησιμοποιούνται από ενδιάμεσους κόμβους για να απομαστεύσουν κάποια από τα μήκη κύματος μιας ενδιάμεσης ζεύξης και να προσθέσουν νέα μήκη κύματος που προέρχονται από τον ενδιάμεσο κόμβο
 - ⇒ Συνήθως έχουν δύο θύρες που συνδέονται στο οπτικό δίκτυο και αριθμό τοπικών θυρών στις οποίες προστίθενται ή απομαστεύονται μήκη κύματος
- Οπτικές διασυνδέσεις (optical cross connects-OXCs)
 - ✓ Επιτελούν παρόμοια λειτουργία με τους OADMs, αλλά συνήθως έχουν κατά πολύ μεγαλύτερο αριθμό θυρών που συνδέονται στο οπτικό δίκτυο



Κλασσική διαστρωμάτωση (I)

- Διαστρωμάτωση κατά OSI, με τα ακόλουθα επίπεδα (layers)
 - ⇒ Φυσικό (physical)
 - ⇒ Ζεύξης δεδομένων (data link)
 - ⇒ Δικτύου (network)
 - ⇒ Μεταφοράς (transport)
 - ⇒ Συνόδου (session)
 - ⇒ Παρουσίασης (presentation)
 - ⇒ Εφαρμογών (application)



Κλασσική διαστρωμάτωση (II)

- ❑ Φυσικό Επίπεδο: Παρέχει τη φυσική σύνδεση με συγκεκριμένο εύρος ζώνης μεταξύ δύο δικτυακών συσκευών.
- ❑ Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων: Παρέχει την αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων πάνω από το φυσικό επίπεδο. Επιτελεί λειτουργίες όπως η πολυπλεξία και η αποπολυπλεξία συνδέσεων, η διαίρεση της εισερχόμενης πληροφορίας σε πλαίσια (frames) και η διόρθωση σφαλμάτων. Στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων συμπεριλαμβάνεται είναι το υπο-επίπεδο προσπέλασης μέσου (media access control - MAC), για δίκτυα διαμοιρασμένου μέσου, όπως τοπικά δίκτυα Ethernet.
- ❑ Επίπεδο Δικτύου: Το επίπεδο δικτύου δημιουργεί συνδέσεις μεταξύ τερματικών δικτυακών συσκευών. Βασική λειτουργία του επιπέδου αποτελεί η δρομολόγηση πακέτων, η οποία γίνεται είτε με υλοποίηση ιδεατών κυκλωμάτων (virtual circuits-VCs), είτε με δρομολόγηση ανεξάρτητων πακέτων (datagrams).
- ❑ Επίπεδο Μεταφοράς: Το επίπεδο μεταφοράς υλοποιεί την άνευ λαθών, και σε σωστή σειρά μεταφορά πακέτων από άκρο σε άκρο.

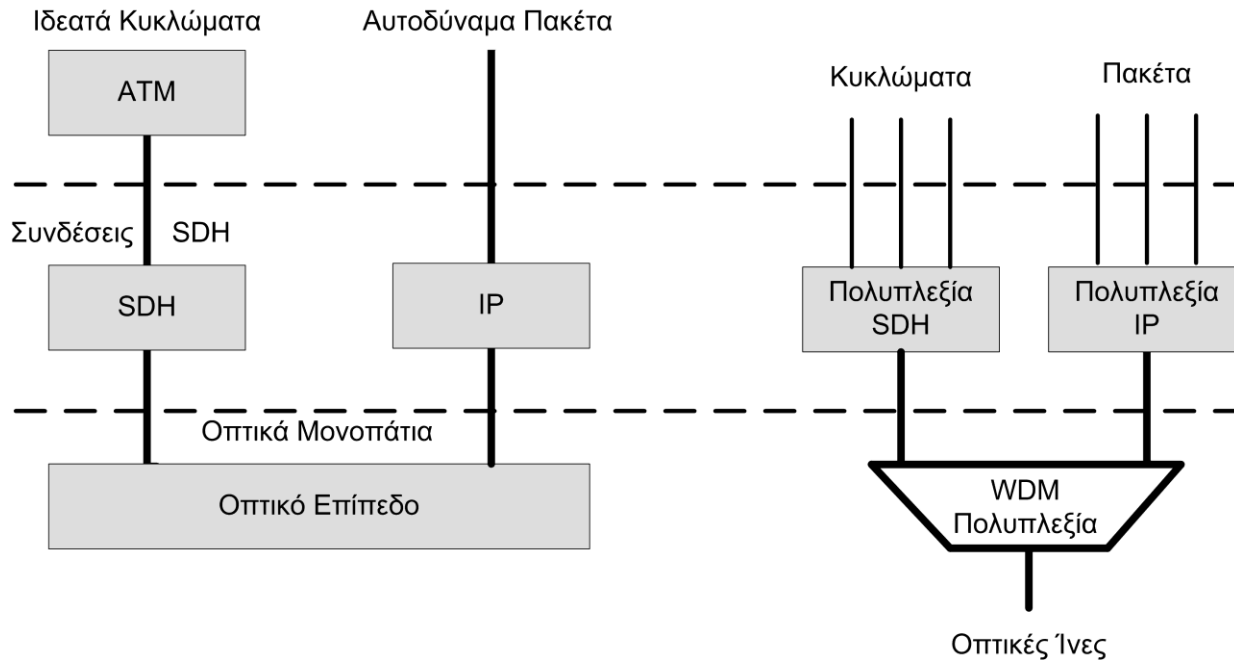


Οπτικό επίπεδο (I)

- ✘ Η κλασική διαστρωμάτωση του OSI δε λαμβάνει υπ' όψιν τις δυνατότητες πολυπλεξίας και δρομολόγησης που παρέχονται από τα οπτικά δίκτυα δρομολόγησης μήκους κύματος
- ✓ Το οπτικό επίπεδο παρέχει υπηρεσίες σε ανώτερα επίπεδα (π.χ. SDH, IP και ATM)
- ⇒ Λειτουργίες του οπτικού επιπέδου
 - ⇒ Παρέχει οπτικά μονοπάτια μόνιμα ή κατ' απαίτηση
 - ⇒ Πολυπλέκει πολλά οπτικά μονοπάτια σε μία ίνα και επιτρέπει την απομάστευση οπτικών μονοπατιών στους κόμβους του δικτύου
 - ⇒ Μελλοντικά αναμένεται ότι θα παρέχει ιδεατά κυκλώματα για μεταγωγή πακέτου ή υπηρεσίες αυτοδύναμων πακέτων



Οπτικό επίπεδο (II)



- ⇒ Πολυ-επίπεδες αρχιτεκτονικές πάνω από το οπτικό επίπεδο (π.χ. ATM over SDH over optical ή IP over optical)
- ⇒ Αιτία: Οι δυνατότητες διαχείρισης και πολυπλεξίας που παρέχει κάθε επίπεδο



Μελλοντικά Οπτικά Δίκτυα

Οπτικά δίκτυα μεταγωγής πακέτου (I)

Μεταγωγή κυκλώματος

- ✓ Εγγυημένο και σταθερό εύρος ζώνης σε κάθε σύνδεση
- ✗ Το άθροισμα από τα εύρη ζώνης που παρέχονται σε κάθε σύνδεση πρέπει να είναι μικρότερο από το συνολικό διαθέσιμο
- ✗ Δεν υπάρχει η δυνατότητα διαχείρισης εκρηκτικής (bursty) κίνησης

Μεταγωγή πακέτου

- ⇒ Η κίνηση κάθε σύνδεσης μεταφέρεται από πακέτα
- ⇒ Τα πακέτα μιας σύνδεσης πολυπλέκονται μαζί με πακέτα από τις υπόλοιπες συνδέσεις (στατιστική πολυπλεξία)
- ✓ Αποδοτική αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης



Οπτικά δίκτυα μεταγωγής πακέτου (II)

- ⇒ Τα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς παρέχουν οπτικά μονοπάτια, συνεπώς είναι κατά βάση δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος
 - ✗ Αδυνατούν να μεταδώσουν αποδοτικά εκρηκτική κίνηση
 - ✗ Υφίσταται απώλεια πληροφορίας, όταν για παράδειγμα παράγεται περισσότερη κίνηση από όση είναι δυνατόν να ικανοποιήσει το οπτικό μονοπάτι
 - ✗ Δεν αξιοποιούν πλήρως το παρεχόμενο εύρος ζώνης σε περιόδους που η μεταφερόμενη κίνηση κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα
- ⇒ Σε ερευνητικό επίπεδο μελετώνται οπτικά δίκτυα μεταγωγής πακέτου για την παροχή ιδεατών κυκλωμάτων ή υπηρεσιών αυτοδύναμων πακέτων, όπως τα IP και ATM δίκτυα
 - ✗ Τα οπτικά στοιχεία δίνουν πολύ περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας, συνεπώς λειτουργίες όπως επεξεργασία επικεφαλίδας και έλεγχος μεταγωγής εξακολουθούν να γίνονται σε ηλεκτρονικό επίπεδο
 - ✗ Δεν υπάρχουν διαθέσιμες οπτικές μνήμες τυχαίας προσπέλασης



Διαφανή δίκτυα (I)

- ⇒ Η διαφάνεια (ως προς π.χ. πρωτόκολλα και ρυθμούς μετάδοσης) αποτελεί ιδιαίτερος επιθυμητό χαρακτηριστικό του τηλεπικοινωνιακού δικτύου καθώς
 - ⇒ Οι υπηρεσίες παρέχονται πάνω από κοινή τηλεπικοινωνιακή υποδομή
 - ⇒ Παρέχει τη δυνατότητα της μελλοντικής λειτουργίας του δικτύου ακόμα και αν αλλάξουν τα πρωτόκολλα ή οι ρυθμοί μετάδοσης, χωρίς να είναι αναγκαία η ριζική αναβάθμιση του
- ⇒ Τα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς είναι διαφανή ως προς τα μεταφερόμενα δεδομένα (σε κάθε οπτικό μονοπάτι καθορίζεται ο μέγιστος και ελάχιστος ρυθμός μετάδοσης, και η μεταφορά δεδομένων γίνεται ανεξάρτητα από τα επιλεγόμενα πρωτόκολλα)
- ⇒ Ισοδύναμη ορολογία: αμιγώς οπτικά δίκτυα (τα δεδομένα μεταφέρονται χωρίς να υπόκεινται σε ηλεκτρο-οπτικές μετατροπές)
 - ✗ Η ηλεκτρο-οπτική μετατροπή απαιτείται για την αναγέννηση του οπτικού σήματος



Τέλος Ενότητας

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.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Βλάχος Κυριάκος. «Οπτικά Δίκτυα Επικοινωνιών. Εισαγωγικά θέματα». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Όλα τα σχήματα έχουν δημιουργηθεί από τον κ. Βλάχο Κυριάκο, εκτός αν αναγράφεται διαφορετικά. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/CEID1114/index.php>



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.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

