



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα Ευρείας Ζώνης

Ενότητα 10: Οπτικές Τηλεπικοινωνίες
Διατάξεις και Τεχνολογίες Δικτύου

Μιχαήλ Λογοθέτης

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Σκοποί ενότητας

- Σύντομη ιστορική αναδρομή των οπτικών συστημάτων επικοινωνιών
- Περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών των οπτικών ινών και οπτικών συστημάτων
- Περιγραφή των διατάξεων οπτικής πολυπλεξίας
- Παρουσίαση οπτικών διατάξεων δικτύων



Περιεχόμενα ενότητας

- ❑ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
- ❑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ
- ❑ ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
- ❑ ΟΠΤΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ
- ❑ ΟΠΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΔΙΚΤΥΩΝ



Περιεχόμενα ενότητας

ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΟΠΤΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ

ΟΠΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΔΙΚΤΥΩΝ



Ιστορικά Στοιχεία (1/2)

- **1880** – Εφεύρεση του φωτοφώνου (A.G. Bell)
- **1930** – Πρώτος οπτικός κυματοδηγός (H. Lamm)
- **1956** – Ανακάλυψη οπτικής ίνας (N.S. Karany)
- **1958** – Ανακάλυψη του laser (A.L. Schalow - C.H. Townes)
- **1966** – Χρήση της οπτικής ίνας στις οπτικές τηλεπικοινωνίες (C. K. Kao)
- **1977** – Πρώτο δίκτυο οπτικών ινών (Chicago - USA)



Ιστορικά Στοιχεία (2/2)

- **1988** – Εγκατάσταση πρώτου υπερατλαντικού καλωδίου οπτικών ινών
- **1992**: Εφαρμογή της τεχνολογίας WDM (Wavelength Division Multiplexing)
- **2001** – Οπτικά συστήματα λειτουργούν με ταχύτητα 10 Tb/s
- **Σήμερα** – Οπτικά δίκτυα πρόσβασης – Παθητικά Οπτικά Δίκτυα
- **Κοντινό μέλλον** - Υπηρεσία FTTH. Προσφορά 100 Mb/s σε κάθε χρήστη



Περιεχόμενα ενότητας

ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΟΠΤΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ

ΟΠΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΔΙΚΤΥΩΝ

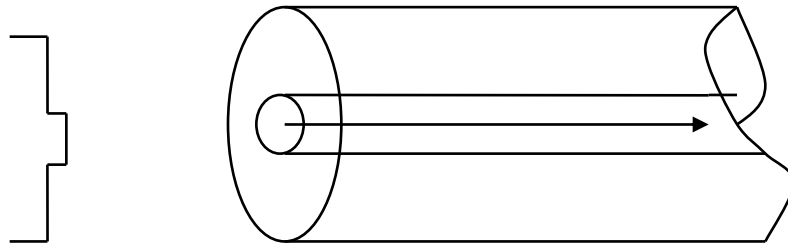


Πλεονεκτήματα Οπτικών Ινών

- Μεγάλο εύρος ζώνης
- Πολύ μικρό μέγεθος
- Χαμηλό κόστος
- Χαμηλή εξασθένηση
- Αναισθησία σε παρεμβολές
- Πολύ μικρός ρυθμός λαθών: 10^{-15} (χαλκός $10^{-4} - 10^{-8}$)
- Δεν υπάρχει διαφωνία και παρεμβολές μεταξύ οπτικών ινών στο ίδιο καλώδιο

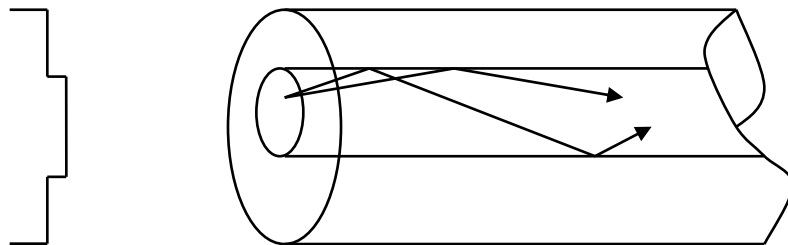


Οπτικός Κυματοδηγός (1/3)

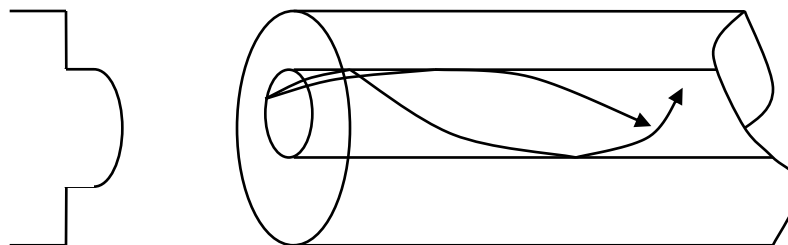


α) Μονοτροπική ίνα βηματικού δείκτη

8 μm πυρήνας,
125 μm μανδύας



β) Πολυτροπική ίνα βηματικού δείκτη



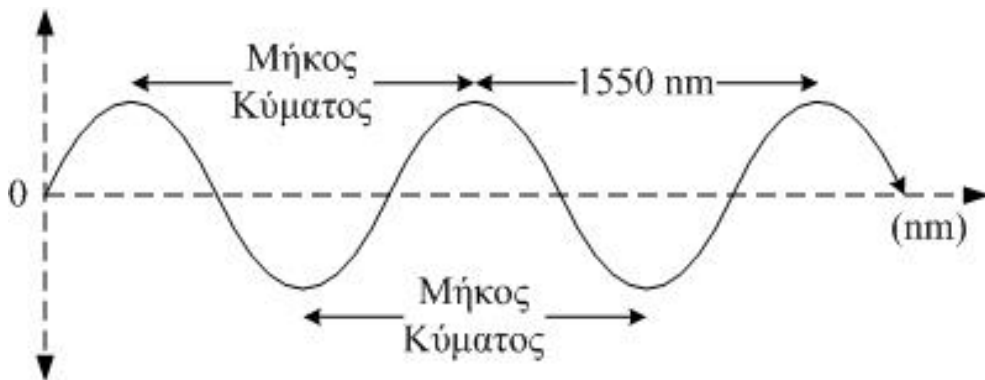
γ) Πολυτροπική ίνα διαβαθμισμένου δείκτη

50, 62.5, 100 μm πυρήνας,
125 μm μανδύας



Οπτικός Κυματοδηγός (2/3)

Σχέση μήκους κύματος, συχνότητας και ταχύτητας του φωτός



$$\lambda = c / f \quad \text{ή} \quad f * \lambda = c \quad \text{όπου:}$$

λ = μήκος κύματος σε μέτρα (m)

f = συχνότητα σε Hertz ($\text{Hz} = 1/\text{sec}$)

c = ταχύτητα του φωτός

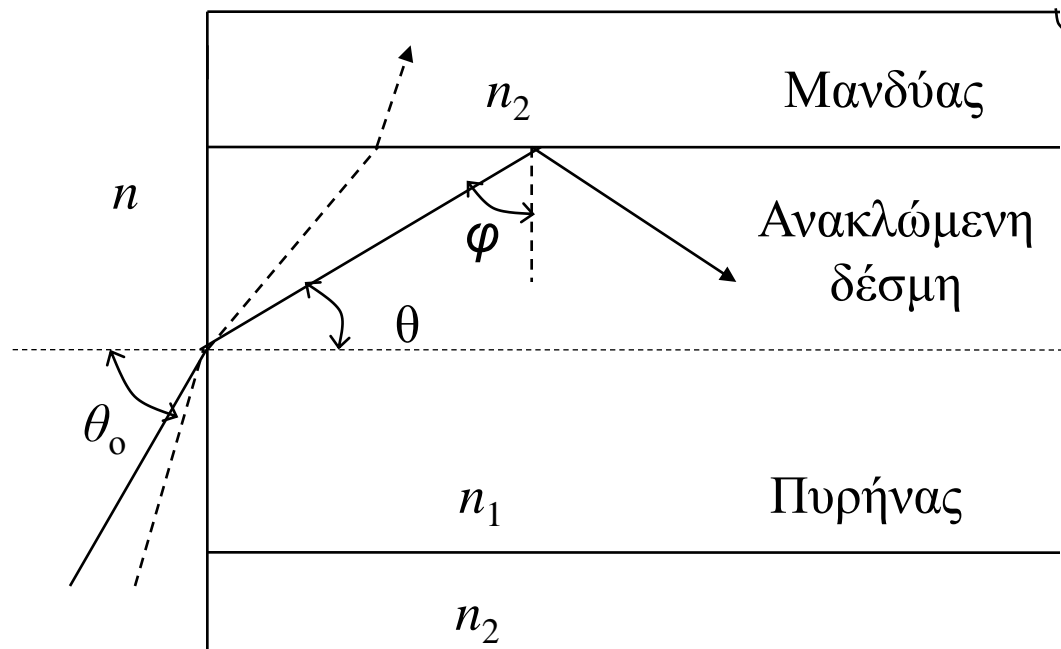
Στο κενό $c = 299792458 \text{ m/s}$ ή $\sim 300000 \text{ km/s}$



Οπτικός Κυματοδηγός (3/3)

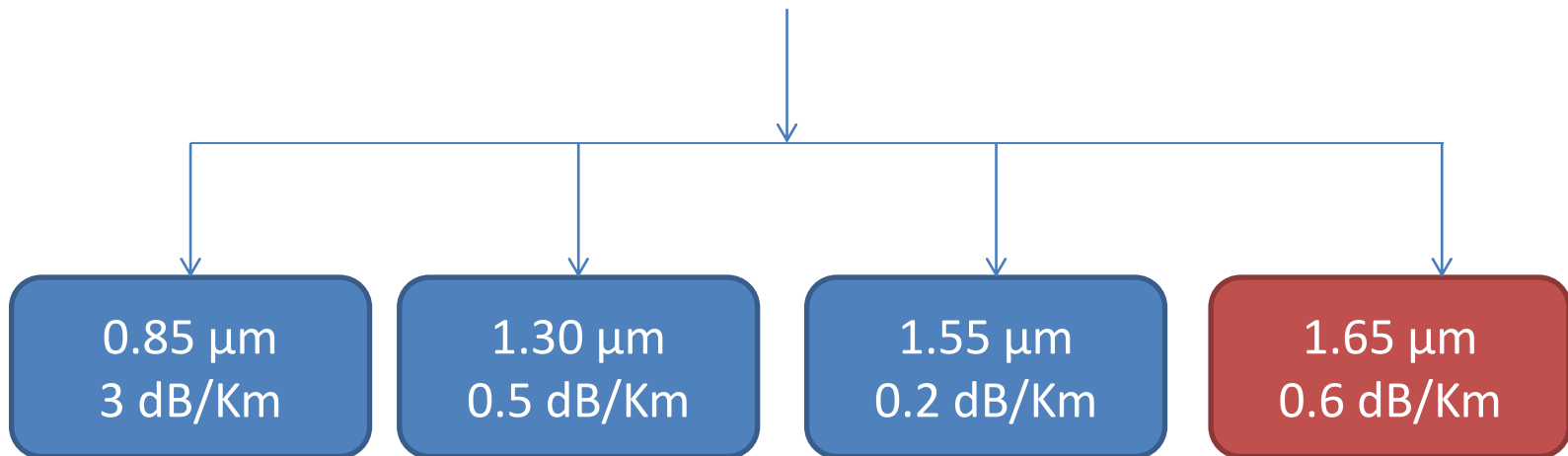
Η ελάχιστη γωνία φ που υποστηρίζει ολική εσωτερική ανάκλαση μέσα στην ίνα δίνεται από τη σχέση:

$$\sin \phi_{\min} = \frac{n_2}{n_1}$$



Εξασθένηση

- Απορρόφηση υλικού
- Σκέδαση Rayleigh
- Ατέλειες του κυματοδηγού
- **Εξαρτάται από το μήκος κύματος**



Οπτικό Σύστημα Επικοινωνιών



Οπτικός Πομπός: μία παλμοσειρά εισόδου

διαμορφώνει ένα οπτικό σήμα που παράγεται από laser

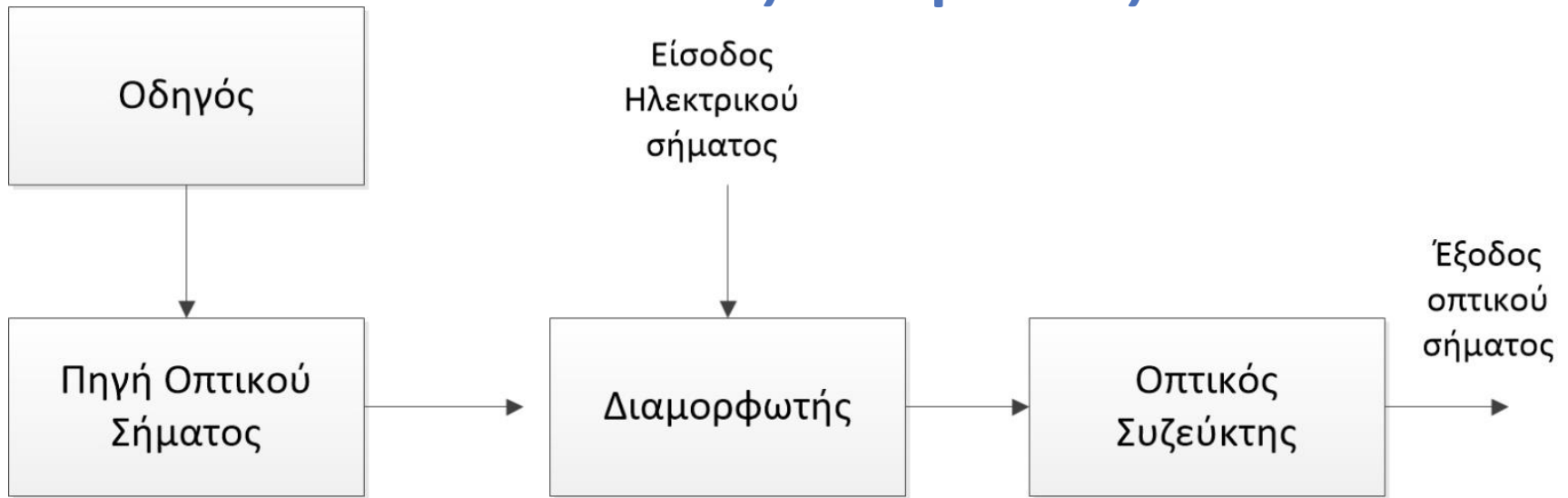
Τηλεπικοινωνιακό κανάλι: Οπτική ίνα

Οπτικός δέκτης: φωτοανιχνετής που μετατρέπει

το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό



Οπτικός Πομπός



Πηγή οπτικού σήματος: laser ή LED

Διαμορφωτής: Διαμορφώνει το οπτικό φέρον

Οπτικός συζεύκτης: Συνδέει τον οπτικό πομπό με την ίνα



Οπτικοί δέκτες



- **Οπτικός συζεύκτης:** συνδέει την οπτική ίνα με το δέκτη
- **Φωτοανιχνευτής:** χρήση φωτοδιόδων ημιαγωγού
- **Αποδιαμορφωτής:**
 - FSK – PSK: ομόδυνες ή ετερόδυνες τεχνικές
 - IM-DD: κύκλωμα απόφασης ανιχνεύει 1 ή 0



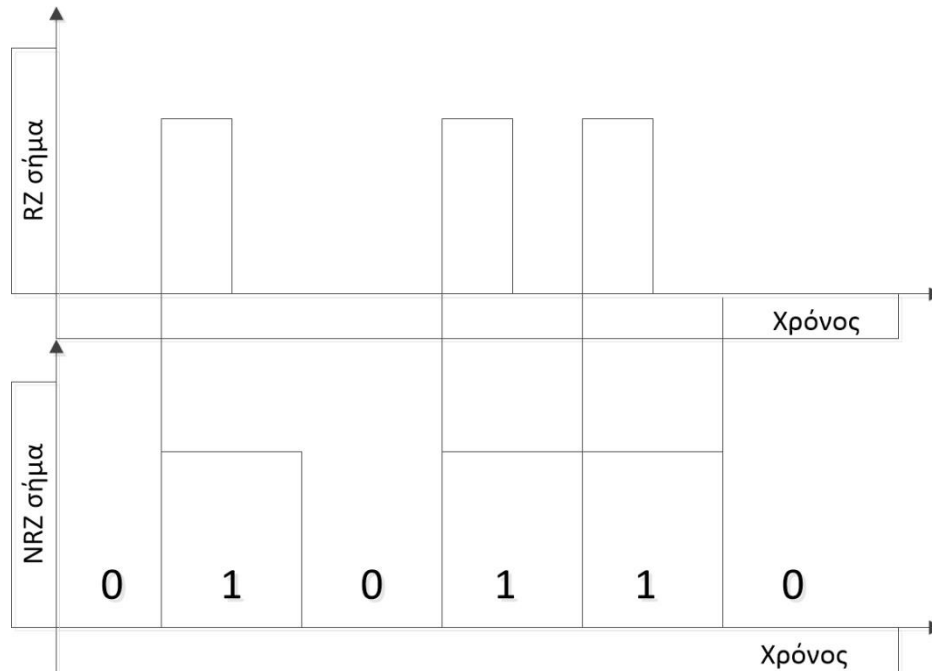
Μορφές Διαμόρφωσης

Δύο μορφές διαμόρφωσης της οπτικής παλμορροής



Return to Zero (RZ)

Non-Return to Zero (NRZ)



Ταχύτητες μετάδοσης

Ορολογία	Ταχύτητα
OC-3 /STM-1	155.52 Mbps
OC-12 /STM-4	622.08 Mbps
OC-24	1.244 Gbps
OC-48 /STM-16	2.488 Gbps
OC-192 /STM-64	9.952 Gbps
OC-768 /STM-256	40 Gbps
	1.6 Tbps



Περιεχόμενα ενότητας

- ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
- ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ
- ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
- ΟΠΤΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ**
- ΟΠΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΔΙΚΤΥΩΝ



Μορφές οπτικής πολυπλεξίας

Η αποτελεσματική αξιοποίηση του εύρους ζώνης των οπτικών καναλιών απαιτεί την ύπαρξη πολυπλεξίας των σημάτων που μεταδίδονται

↓ ↓ ↓
ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ

Πολύπλεξη με διαίρεση
χρόνου

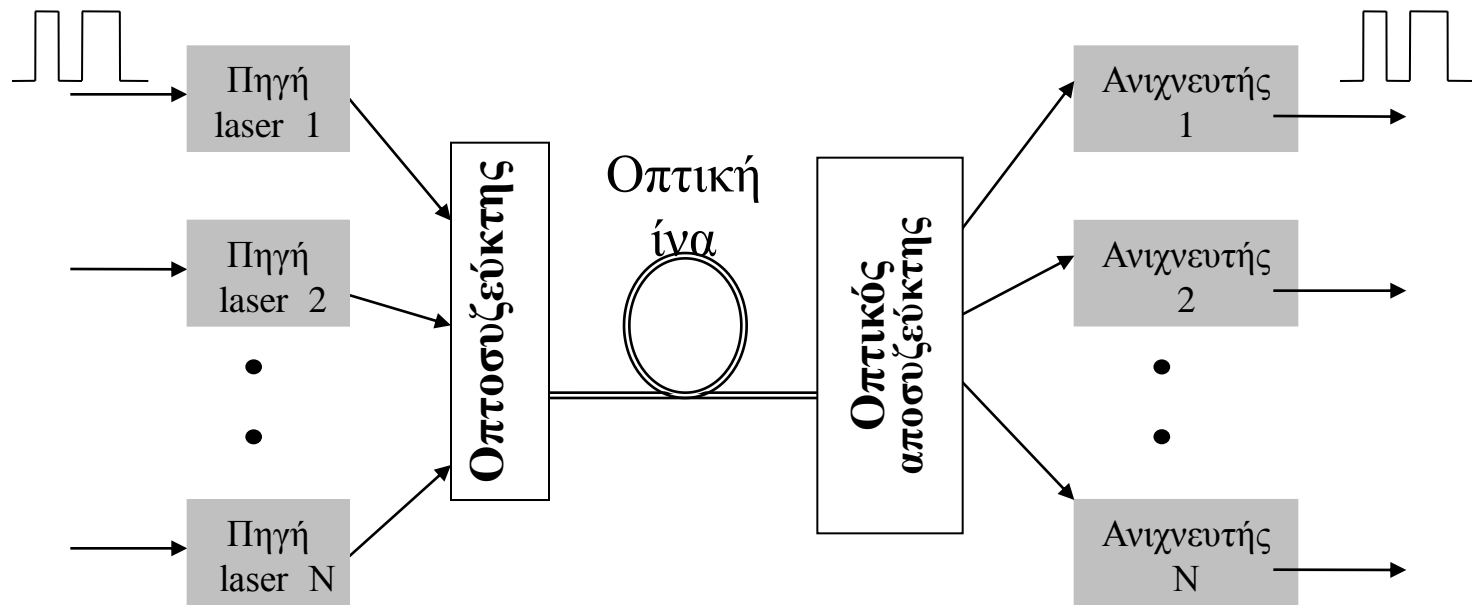
**Time Division Multiplexing
(TDM)**

Πολύπλεξη με διαίρεση
μήκους κύματος

**Wavelength Division
Multiplexing (WDM)**



Wavelength Division Multiplexing (1/2)



- Δεν υπάρχει παρεμβολή μεταξύ οπτικών σημάτων διαφορετικού μήκους κύματος
- Συνδυάζονται ροές δεδομένων στον ίδιο φυσικό φορέα
- Αποτελεσματική χρήση του εύρους ζώνης



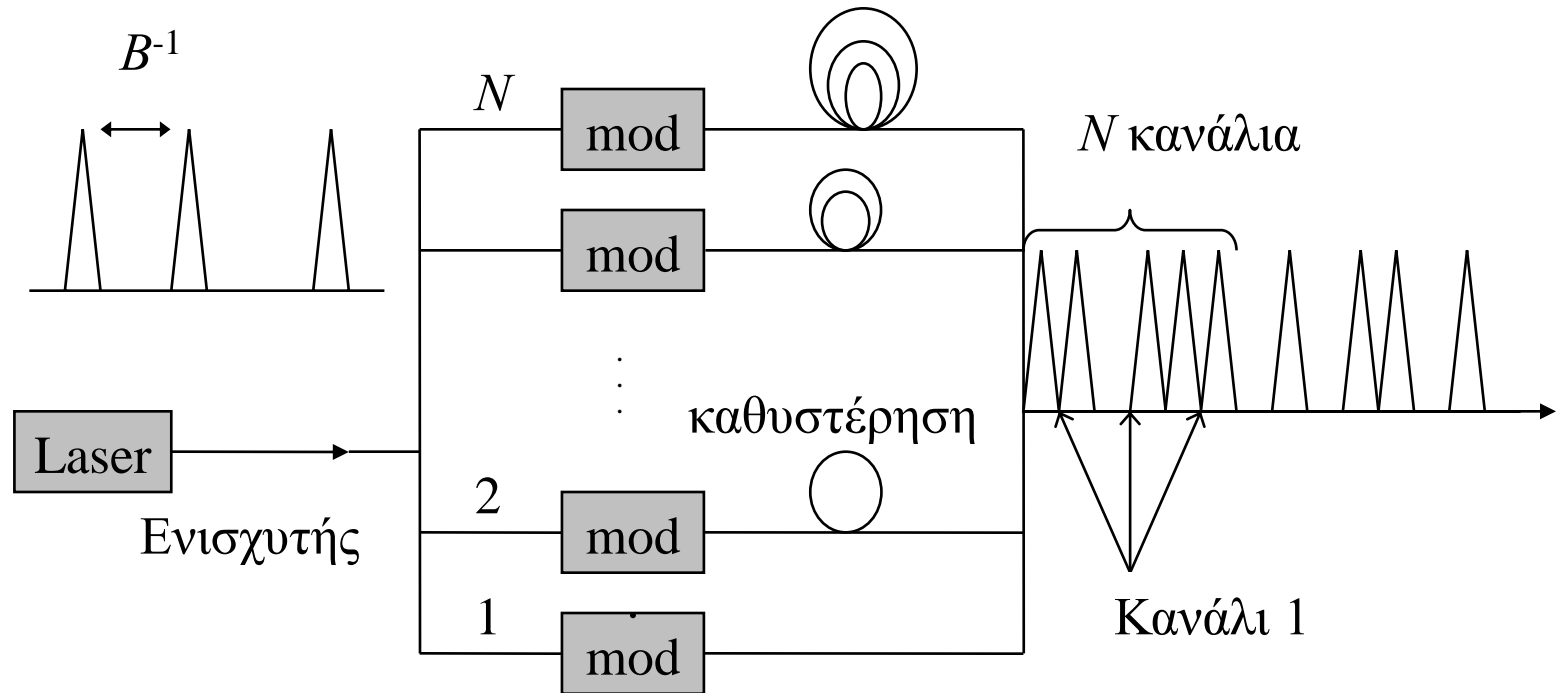
Wavelength Division Multiplexing (2/2)

- Coarse WDM: 8 – 16 κανάλια με απόσταση 20 nm
- Dense WDM: >32 κανάλια με απόσταση 0.4 – 2 nm
- 10, 20 ή 40 Gbps ανά κανάλι
- Μη γραμμικά φαινόμενα περιορίζουν την αύξηση του αριθμού των καναλιών
- Η απόσταση πομπού – δέκτη εξαρτάται από τον αριθμό των καναλιών και τον ρυθμό μετάδοσης
- Σε μεγάλες αποστάσεις χρησιμοποιούνται αναγεννητές ή οπτικοί ενισχυτές

Κανάλια N	Ρυθμός Δυφίου B (Gbps)	Χωρητικότητα NB (Tbps)	Απόσταση L (km)
120	20	2.40	6200
132	20	2.64	120
160	20	3.20	1500
82	40	3.28	300
256	40	10.24	100
273	40	10.92	117



Optical Time Division Multiplexing



- N οπτικά σήματα με B ρυθμό μετάδοσης χρησιμοποιούν την ίδια φέρουσα συχνότητα για να σχηματίσουν σήμα με ρυθμό μετάδοσης NB
- Μειώνονται τα προβλήματα λόγω μη γραμμικότητας



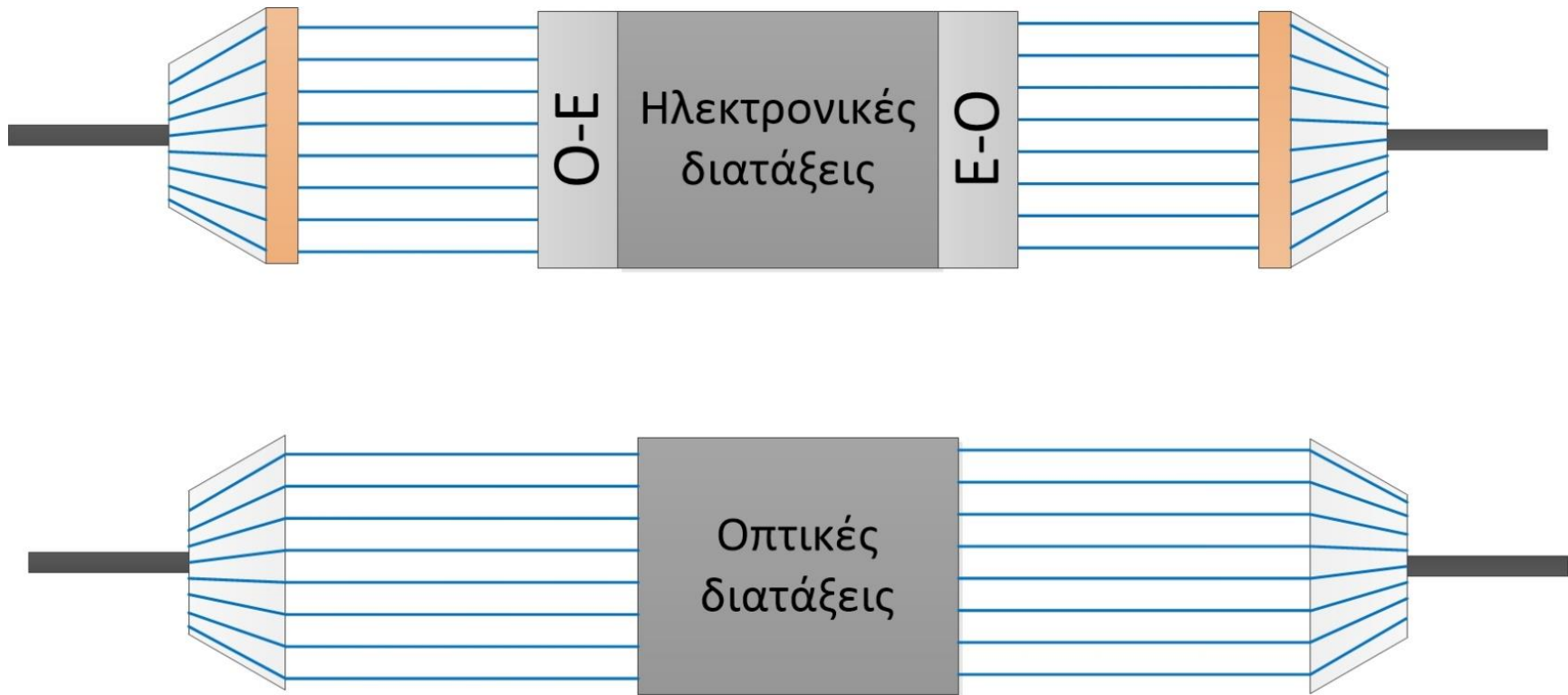
Περιεχόμενα ενότητας

- ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
- ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ
- ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
- ΟΠΤΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ
- ΟΠΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΔΙΚΤΥΩΝ**



Μεταγωγή (1/2)

- Optical-Electrical- Optical διακόπτης
- All-optical διακόπτης



Μεταγωγή (2/2)

Οι O-E-O διακόπτες προσφέρουν:

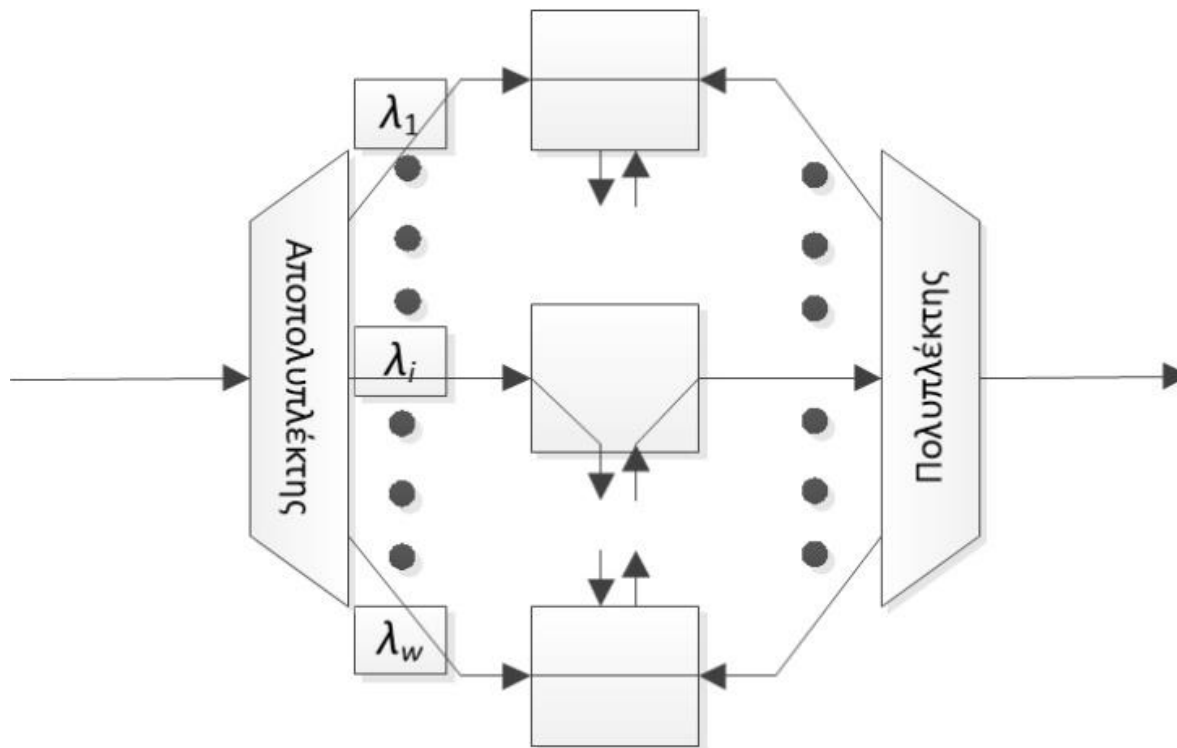
- Μετατροπή μήκους κύματος
- Εύκολη προσθαφαίρεση δεδομένων σε ένα μήκος κύματος
→ Add-Drop Multiplexers
- Οικονομικοί
- Προσωρινή αποθήκευση δεδομένων
- Μελετάται ο συνδυασμός τους με τους αμιγώς οπτικούς διακόπτες, για βέλτιστη λειτουργία μεταγωγής στους κόμβους

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑ: Περιορισμός της ταχύτητας μετάδοσης, η οποία καθορίζεται από την ταχύτητα επεξεργασίας των ηλεκτρονικών διατάξεων



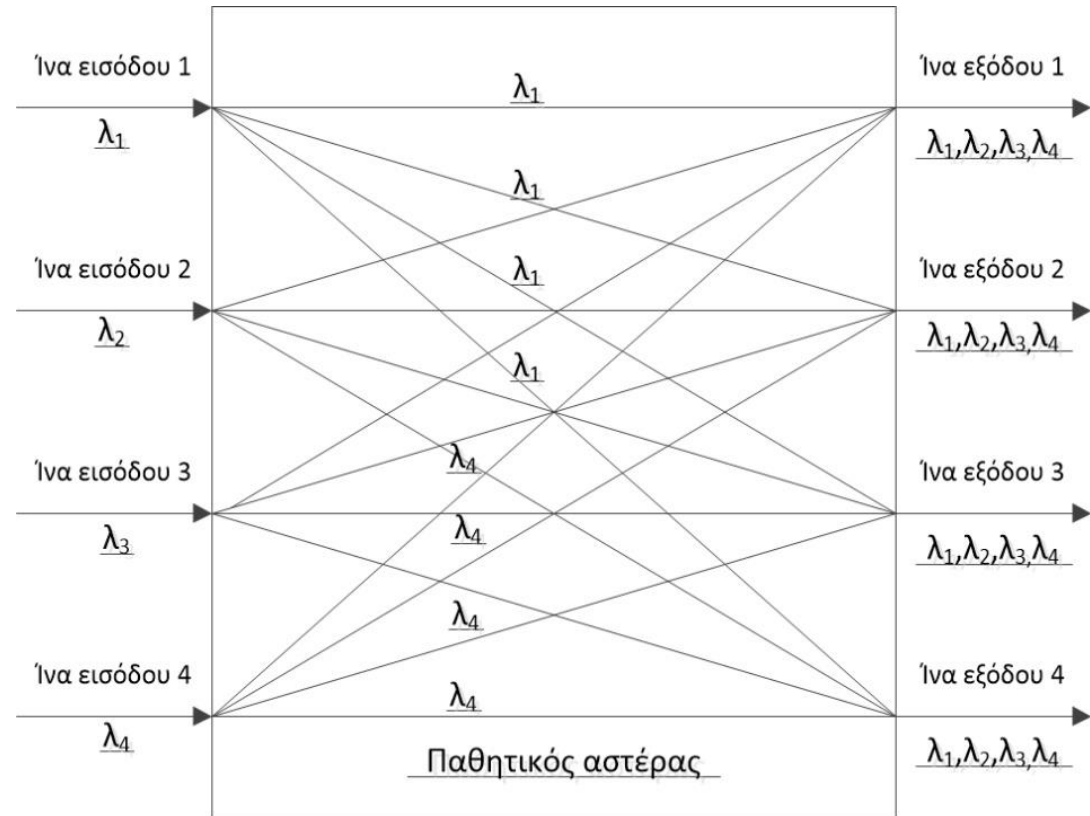
Πολυπλέκτες προσθαφαίρεσης μήκους κύματος

Wavelength Add-Drop Multiplexers-WADM ή
Optical Add-Drop Multiplexers-OADM



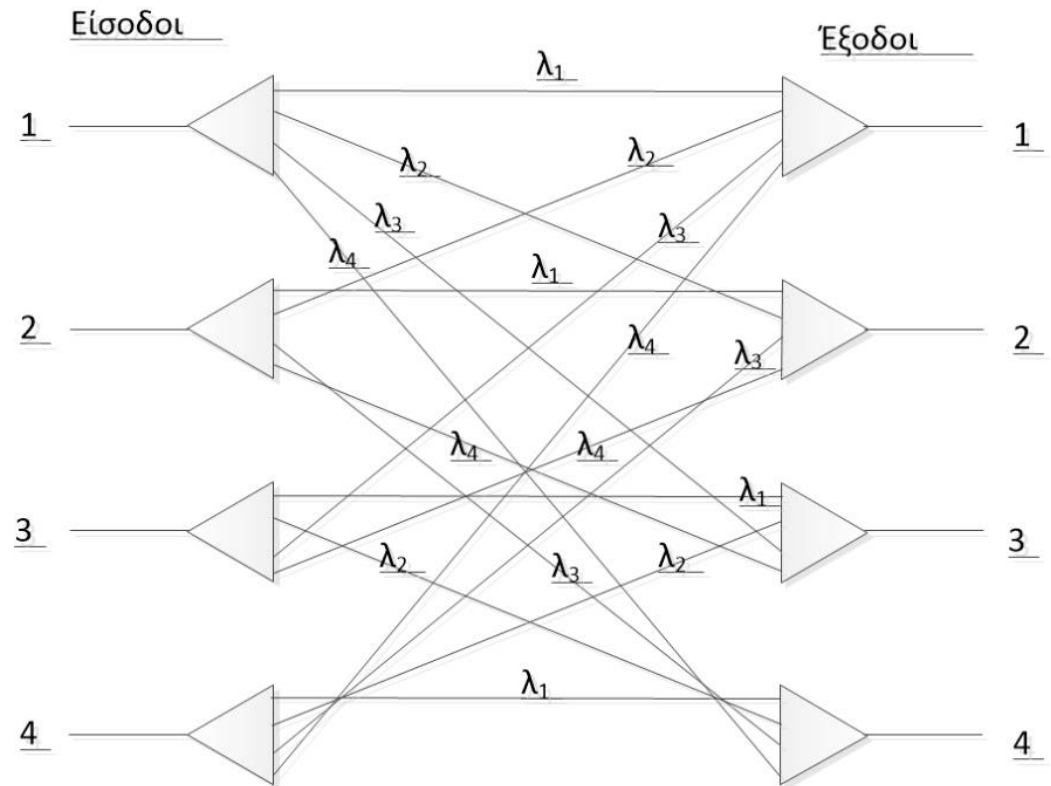
Παθητικός αστέρας

- Ο παθητικός αστέρας είναι μία διάταξη ευρύ-εκπομπής (broadcast)
- Ένα σήμα που εισάγεται στη διάταξη υφίσταται διαίρεση ισχύος και εμφανίζεται σε όλες τις εξόδους
- Χρησιμοποιείται στα παθητικά οπτικά δίκτυα



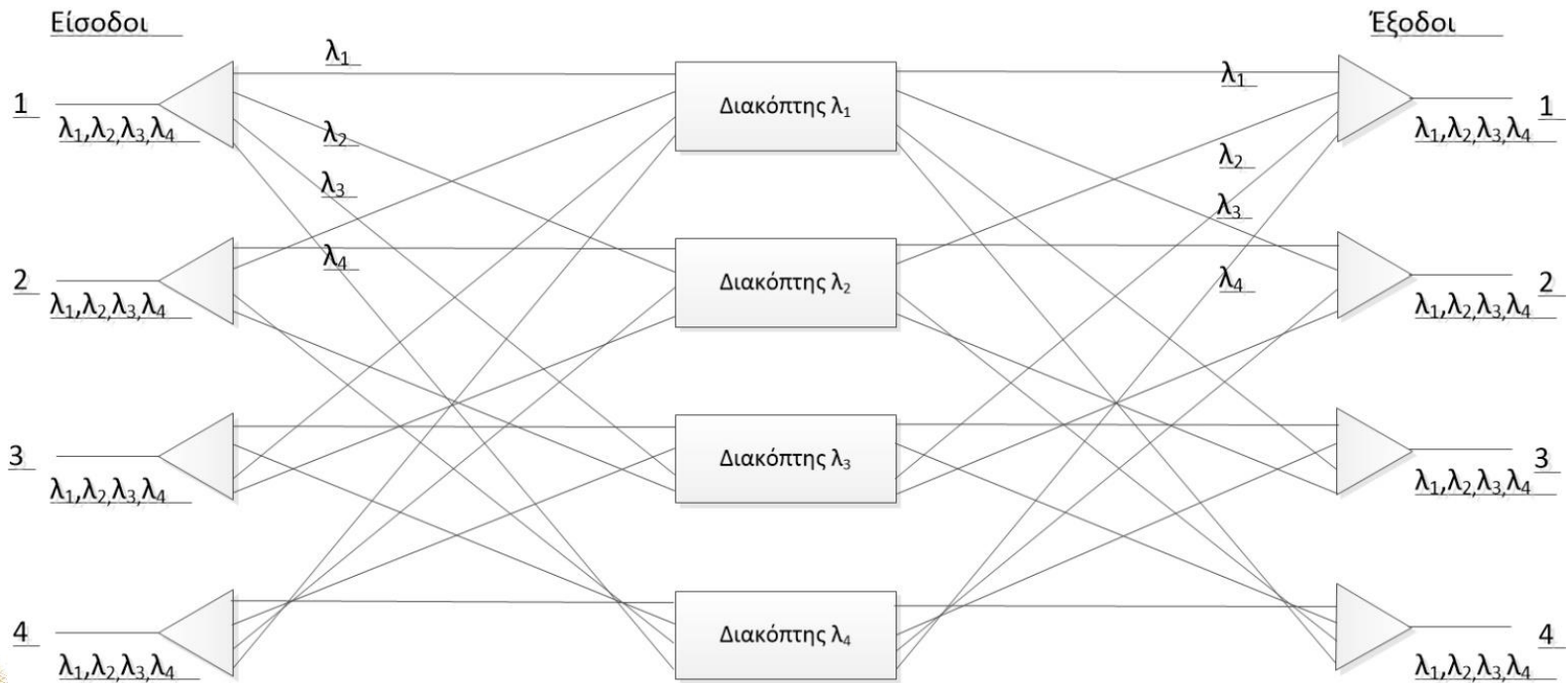
Παθητικός δρομολογητής

- Passive Router: πραγματοποιεί τη μεταγωγή όλων των μηκών κύματος μίας οπτικής ίνας στην είσοδο, στα ίδια μήκη κύματος σε μία οπτική ίνα εξόδου
- Μπορεί να επιτρέψει την επαναχρησιμοποίηση μήκους κύματος (wavelength reuse)
- Η διαδικασία επιλογής των μηκών κύματος εξόδου πραγματοποιείται με βάση ένα πίνακα δρομολόγησης (routing matrix)



Ενεργός διακόπτης

- Ένας $N \times N$ ενεργός διακόπτης επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση μηκών κύματος μέσω N^2 ταυτόχρονων συνδέσεων
- Ο πίνακας δρομολόγησης μπορεί να επαναπροσδιοριστεί κατ' αίτηση (on demand)
- Απαιτεί την παροχή ισχύος και δεν είναι ανεκτικός έναντι βλαβών σε σχέση με τον παθητικό αστέρα και τον παθητικό δρομολογητή



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 Πανεπιστήμιον Πατρών, **Μιχαήλ Λογοθέτης 2015**.
«**Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα Ευρείας Ζώνης, Ενότητα 10: Οπτικές
Τηλεπικοινωνίες– Διατάξεις και Τεχνολογίες Δικτύου**». Έκδοση: **1.0**. Πάτρα
2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<https://eclass.upatras.gr/courses/EE756/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.

