



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ**  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ




ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

# Οπτικές επικοινωνίες – κυματοδηγοί


**Διδάσκων: Τσορπατζόγλου Ανδρέας**

# Συνεκτική και μη συνεκτική επικοινωνία - 1

## Μη Συνεκτικά Συστήματα (Direct Detection)

- Ο δέκτης μετρά μόνο ισχύ φωτός
  - Δεν ανιχνεύει φάση ή πόλωση
  - Χρησιμοποιούν απλή διαμόρφωση έντασης (OOK, NRZ, PAM-4)
  - Πολύ απλά και οικονομικά
- 
- Οικιακές συνδέσεις FTTH (GPON, XGSPON)
  - Data Centers (ενδοκτιριακές συνδέσεις)
  - Απλά και χαμηλού κόστους συστήματα Metro

## Συνεκτικά Συστήματα (Coherent Systems)

- Ο δέκτης χρησιμοποιεί τοπικό ταλαντωτή (LO)
  - Ανιχνεύει πλάτος + φάση + πόλωση
  - Χρησιμοποιούν QPSK, 16QAM, 64QAM
  - Μεγάλο DSP και υψηλή πολυπλοκότητα
- 
- Υποθαλάσσια καλώδια (transatlantic)
  - Δίκτυα κορμού (DWDM)
  - Υψηλών ταχυτήτων Metro/Long-Haul
  - 100G–800G ανά κανάλι

# Είδη διαμόρφωσης

Η διαμόρφωση στις οπτικές επικοινωνίες περιλαμβάνει την μεταβολή των ιδιοτήτων ενός οπτικού σήματος (φορέας) για την κωδικοποίηση πληροφοριών (πώς θα φτιάξω τις καταστάσεις “0” και “1” για να μεταδώσω την ψηφιακή πληροφορία). Η διαδικασία διαμόρφωσης επιτρέπει τη μετάδοση δεδομένων μέσω αλλαγών στα βασικά χαρακτηριστικά του οπτικού σήματος και μπορούν να διακριθούν ως προς 2 βασικές κατηγορίες:

- 1. Ισχύς (ένταση) του σήματος**
- 2. Βασικά χαρακτηριστικά του φέροντος κύματος**
  - α. Φάση
  - β. Συχνότητα
  - γ. Πλάτος
  - δ. Πόλωση

# Διαμορφώσεις έντασης

- **OOK (On-Off Keying)**: Απλή διαμόρφωση όπου το '1' εκπέμπεται με φως και το '0' χωρίς φως.
- **NRZ (Non-Return-to-Zero)**: Μορφή OOK όπου το σήμα δεν επιστρέφει στο μηδέν μεταξύ των bits.
- **PAM-4**: Διαμόρφωση με 4 διακριτά επίπεδα έντασης, μεταφέροντας 2 bits ανά σύμβολο.

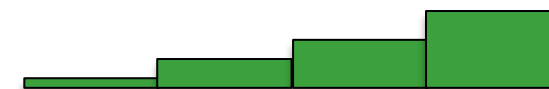
OOK



NRZ



PAM-4



# Διαμορφώσεις χαρακτηριστικών του φέροντος

**Διαμόρφωση Φάσης (PM):** Η πληροφορία κωδικοποιείται με οπτικούς διαμορφωτές στη φάση του οπτικού πεδίου.

- Χρησιμοποιείται σε συνεκτικά συστήματα (π.χ. BPSK, QPSK).

**Διαμόρφωση Συχνότητας (FM):** Η πληροφορία αλλάζει ελαφρά τη συχνότητα/μήκος κύματος.

- Λιγότερο συχνή στην πράξη σε οπτικές ίνες.

**Διαμόρφωση Πόλωσης (Polarization Modulation / PDM):** Δύο ανεξάρτητα κανάλια σε ορθογώνιες πολώσεις.

- Διπλασιάζει τη χωρητικότητα ανά μήκος κύματος.

# Επιλογή διαμόρφωσης

## Παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή τύπου διαμόρφωσης

- Ρυθμός Δεδομένων: Ο επιθυμητός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων επηρεάζει την επιλογή της τεχνικής διαμόρφωσης, καθώς ορισμένες τεχνικές μπορεί να υποστηρίζουν υψηλότερους ρυθμούς από άλλες (QAM).
- Ευαισθησία στο Θόρυβο: Η ανθεκτικότητα του σήματος στο θόρυβο είναι σημαντική, και ορισμένες τεχνικές διαμόρφωσης είναι πιο ανθεκτικές σε θόρυβο από άλλες (QAM).
- Ευαισθησία στη διασπορά: Κάποιες τεχνικές είναι πιο ανθεκτικές στη διασπορά (DPSK).
- Εύρος Ζώνης: Το διαθέσιμο εύρος ζώνης επηρεάζει την επιλογή της τεχνικής διαμόρφωσης, καθώς ορισμένες τεχνικές απαιτούν μεγαλύτερο εύρος ζώνης (OOK).
- Τύπος Φορέα: Εξαρτάται από το εάν χρησιμοποιείται μονότονος φορέας ή Wavelength Division Multiplexing (WDM) (IM σε συνδυασμό OOK).

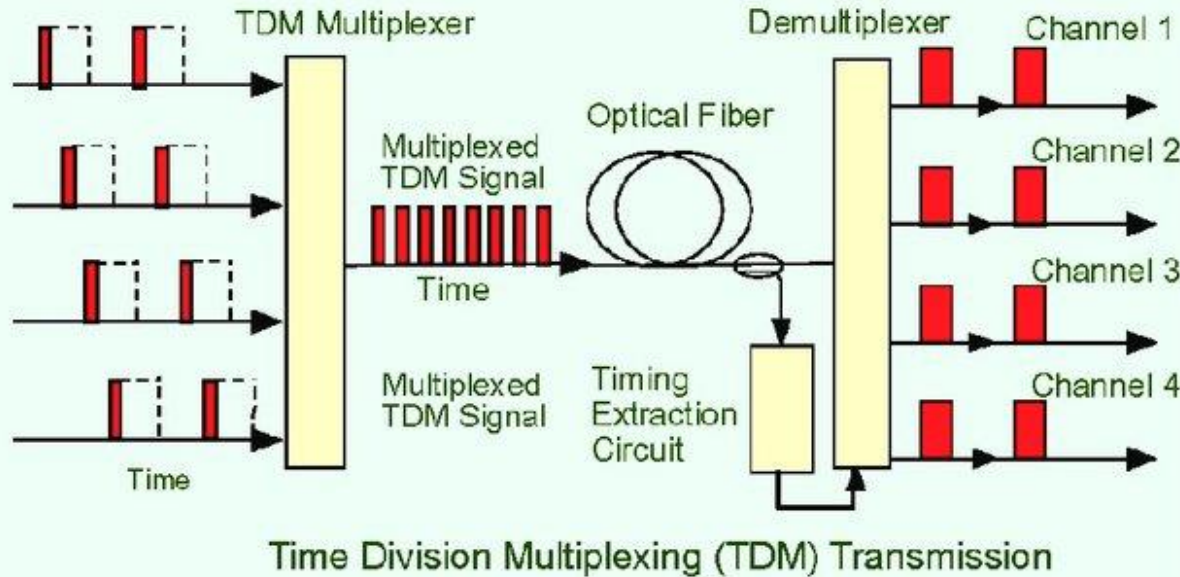
# Πολυπλεξία - 1

- Ένα ψηφιακό κανάλι που μεταφέρει πληροφορία (π.χ. φωνή) λειτουργεί στα 64kb/s.
- Κάθε κανάλι όμως μπορεί να μεταδώσει έως 10 Gb/s.
- Για να αξιοποιηθεί η χωρητικότητα του συστήματος και να μεταδοθούν πολλά κανάλια ταυτόχρονα απαιτείται πολυπλεξία. Δύο είναι τα βασικά είδη πολυπλεξίας και χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα.

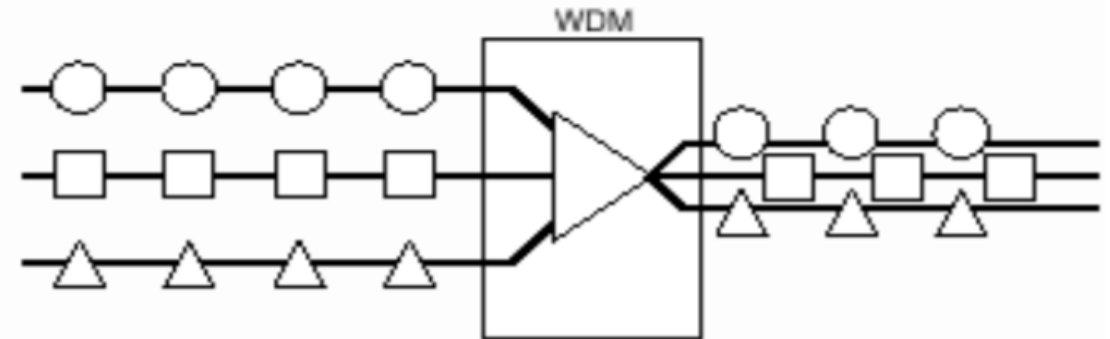
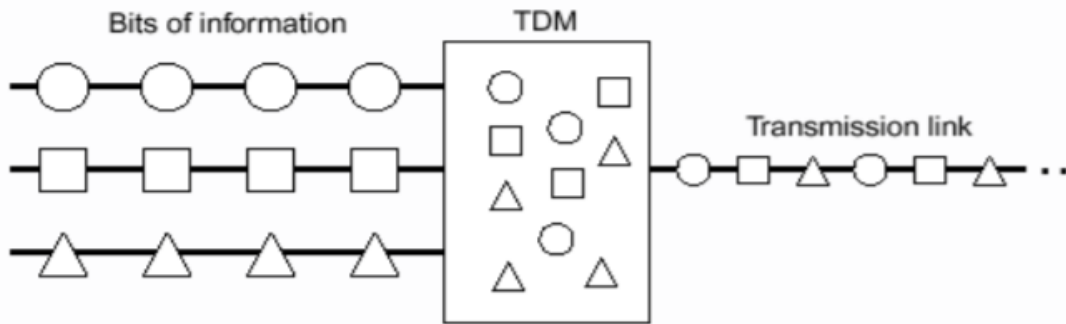
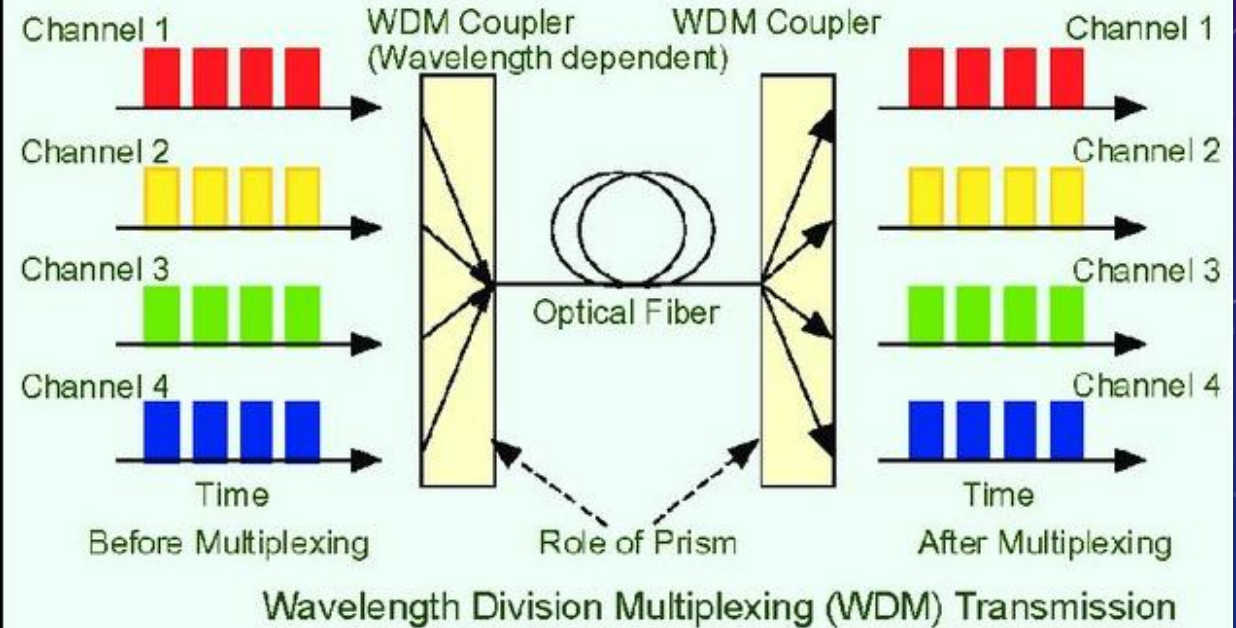


# Πολυπλεξία - 2

## TDM

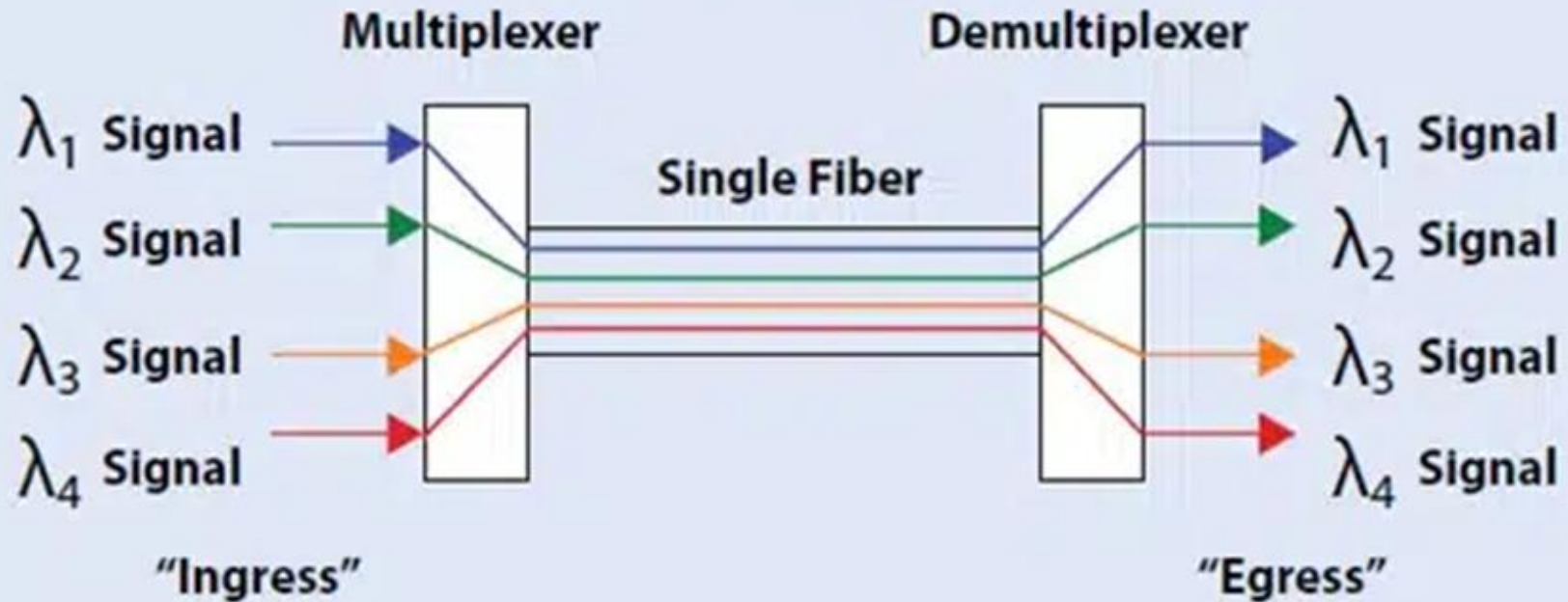


## WDM



# Πολυπλεξία - 3

## WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING



Έξοδοι  
πολλαπλών  
πομπών  
διαφορετικών  
συχνοτήτων

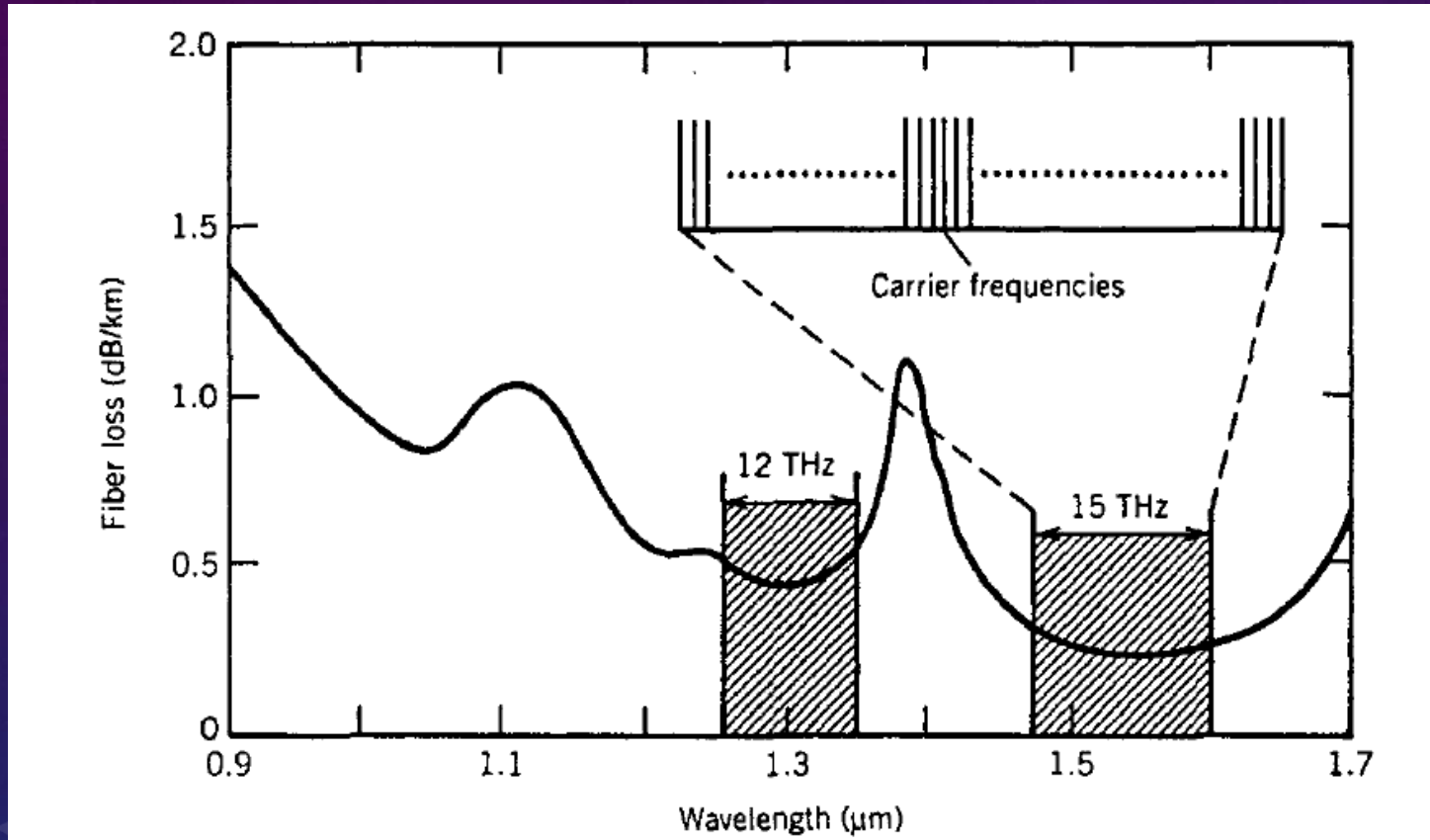
# Πολυπλεξία – Χαρακτηριστικά του TDM

- Η οπτική ίνα έχει τεράστιο εύρος ζώνης που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε όσο το δυνατόν καλύτερα
- Ό ένας τρόπος είναι να αυξήσουμε το ρυθμό μετάδοσης πολυπλέκοντας πολλά μικρά «κανάλια». π.χ.  $64 \text{ κανάλια} \times 155 \text{ Mb/s} = 10 \text{ Gb/s}$
- Εμπορικά διαθέσιμοι ρυθμοί TDM είναι της τάξης των 40Gb/s.
- Τα ηλεκτρονικά θέτουν ένα όριο στο μέγιστο ρυθμό.
- Οι οπτικές τεχνολογίες για απευθείας TDM στο οπτικό επίπεδο (χωρίς ηλεκτρονικά) είναι ακόμα μακριά.

# Πολυπλεξία – Χαρακτηριστικά του WDM

- Στην ουσία πρόκειται για πολυπλεξία στο πεδίο των συχνοτήτων.
- Μεταδίδουμε πολλά μήκη κύματος στην ίδια ίνα και κάθε μήκος κύματος είναι μία ιδεατή ίνα (virtual fiber)
- Σε μία πρώτη θεώρηση τα μήκη κύματος (χρώματα) δεν παρεμβάλλονται
- Το WDM χρησιμοποιείται πολύ σε δίκτυα longhaul, metro αλλά και υποβρύχιες ζεύξεις.
- Με χρήση TDM + WDM μπορούμε να μεταδώσουμε πληροφορία με ρυθμούς της τάξης του Tb/s (!) = 1.000Gb/s=1.000.000Mb/s

# Πολυπλεξία - 4



Τα μήκη κύματος που μπορώ να χρησιμοποιήσω σε ένα οπτικό παράθυρο είναι περιορισμένα λόγω:

- της διακριτικής ικανότητας των οπτικών και ηλεκτρονικών στοιχείων του δικτύου
- του θορύβου
- της διασποράς

**Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των καναλιών μπορεί να είναι 0.6nm ή 80GHz για κανάλια 20Gb/s.**

# Ερωτήσεις

- Που χρησιμοποιώ συνεκτικές και μη συνεκτικές οπτικές επικοινωνίες;
- Τι είδους διαμορφώσεις χρησιμοποιώ στις συνεκτικές οπτικές επικοινωνίες
- Τι είδους διαμορφώσεις χρησιμοποιώ στις μη-συνεκτικές οπτικές επικοινωνίες
- Τι είναι η διαμόρφωση στις οπτικές επικοινωνίες;
- Ποια βασικά χαρακτηριστικά του οπτικού σήματος χρησιμοποιώ για τη διαμόρφωσή του;
- Γιατί απαιτείται πολυπλεξία σε ένα σύστημα οπτικών επικοινωνιών;
- Ποια είναι τα βασικά είδη πολυπλεξίας;
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα οι τεχνικές πολυπλεξίας χρόνου και μήκους κύματος;
- Πόσα μήκη κύματος μπορώ να χρησιμοποιήσω σε ένα οπτικό παράθυρο χαμηλής εξασθένισης;
- Γιατί δεν μπορώ να χρησιμοποιήσω άπειρα μήκη κύματος σε ένα οπτικό παράθυρο χαμηλής εξασθένισης;