



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



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

ΝΕΑΣ ΓΕΝΙΑΣ

(β' μέρος)

Διδάσκων: Τσορμπατζόγλου Ανδρέας

Ένωση οπτικής ίνας με οπτική ίνα

Τέλεια ένωση δεν υπάρχει.

Είναι προφανές ότι χρειαζόμαστε ενώσεις ίνας σε οπτική ίνα με μικρές απώλειες και ελάχιστες παραμορφώσεις του σήματος. Υπάρχουν 2 βασικές κατηγορίες ενώσεων:

1. Συναρμολόγηση ινών. Πρόκειται για ημιμόνιμους ή **μόνιμους** συνδέσμους που βρίσκουν μεγάλη χρήση στα περισσότερα τηλεπικοινωνιακά συστήματα οπτικών ινών.
2. Αποσυναρμολογούμενοι σύνδεσμοι ινών ή απλοί σύνδεσμοι. Πρόκειται για **αφαιρούμενους** συνδέσμους που επιτρέπουν την εύκολη, γρήγορη, χειροκίνητη σύζευξη και αποσύνδεση των ινών.

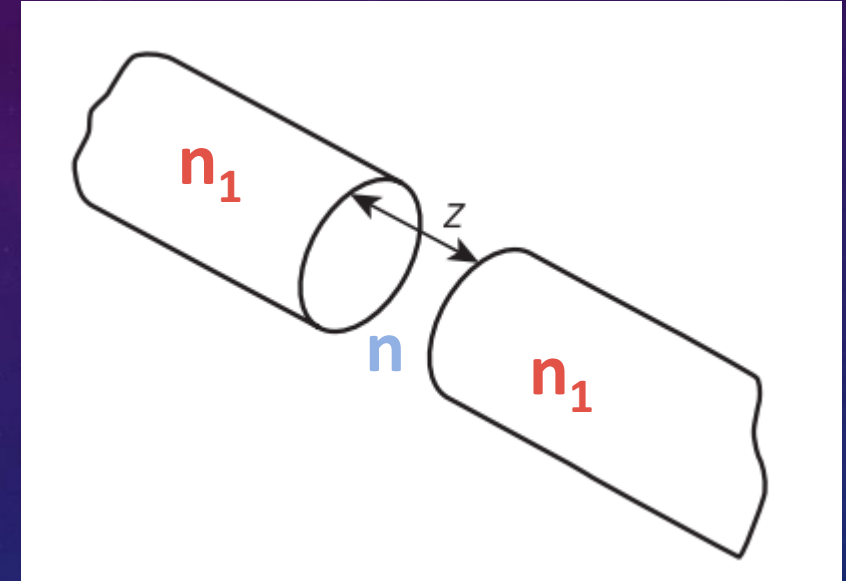


Ευθυγράμμιση ινών και απώλειες ενώσεων

Έστω οπτική ίνα με δείκτη διάθλασης n_1 και υλικό που μεσολαβεί κατά την ένωση με δείκτη διάθλασης n . Μέρος του φωτός που εισέρχεται στη δεύτερη οπτική ίνα ανακλάται (ανάκλαση Fresnel) σε ποσοστό που δίνεται από τη σχέση:

$$r = \left(\frac{n_1 - n}{n_1 + n} \right)^2$$

Η ένωση των 2 ινών γίνεται με υλικό που έχει δείκτη διάθλασης κοντά στο n_1 . $n_1 \approx n$.

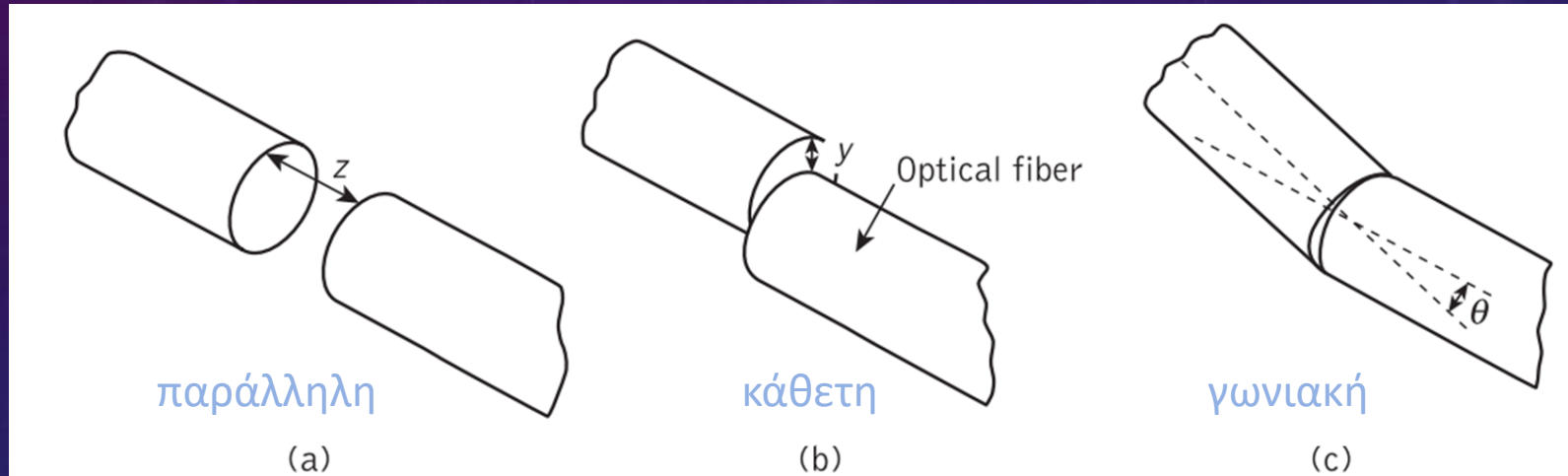


Η μείωση της ισχύος σε dB
δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Loss}_{\text{Fres}} = -10 \log_{10}(1 - r)$$

Ευθυγράμμιση ινών και απώλειες ενώσεων

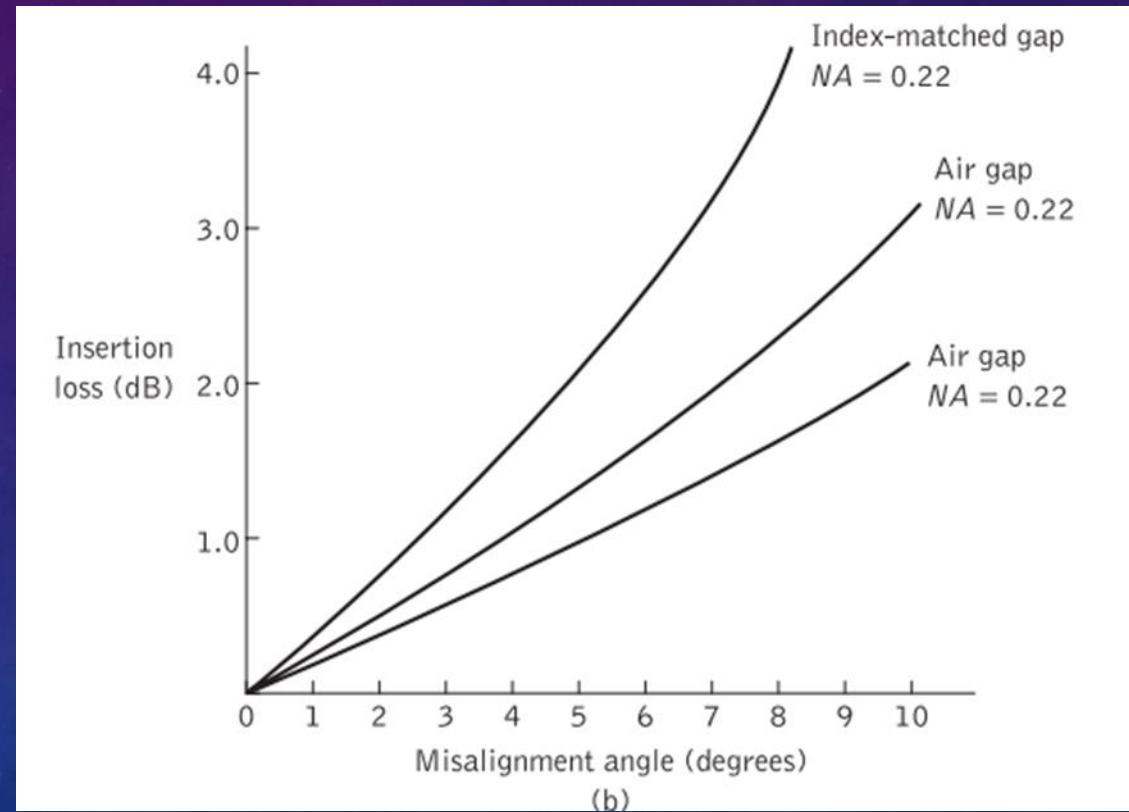
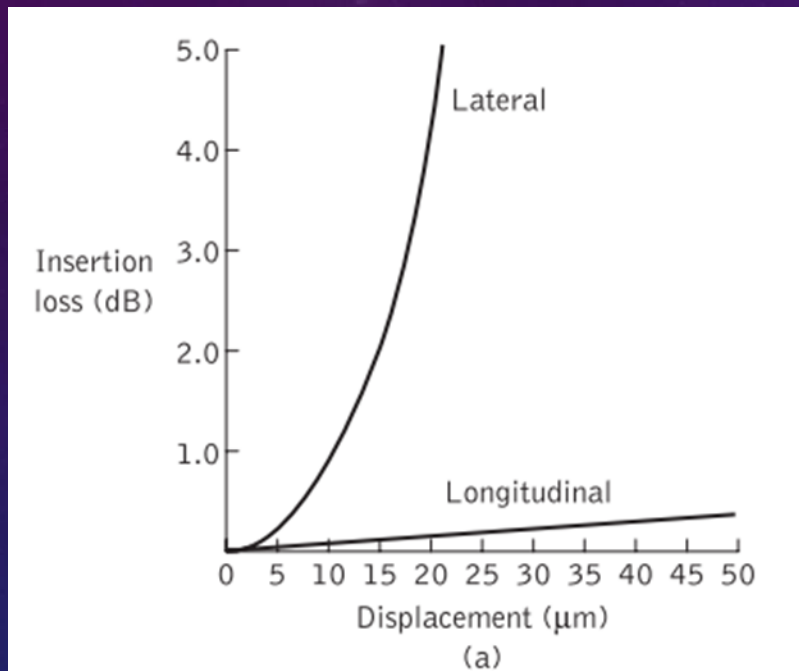
Το μεγαλύτερο πρόβλημα δεν δημιουργείται από την ανάκλαση Fresnel αλλά από την κακή ευθυγράμμιση των οπτικών ινών μεταξύ τους:



Συνήθη προβλήματα: διαφορετικές διαμέτροι, διαφορετικοί δείκτες διάθλασης, διαφορετικά προφίλ δείκτη διάθλασης, διαφορετικά γεωμετρικά προφίλ στις επιφάνειες (μη επίπεδα).

Ευθυγράμμιση ινών και απώλειες ενώσεων

Για οπτική ίνα διαμέτρου 50 μm

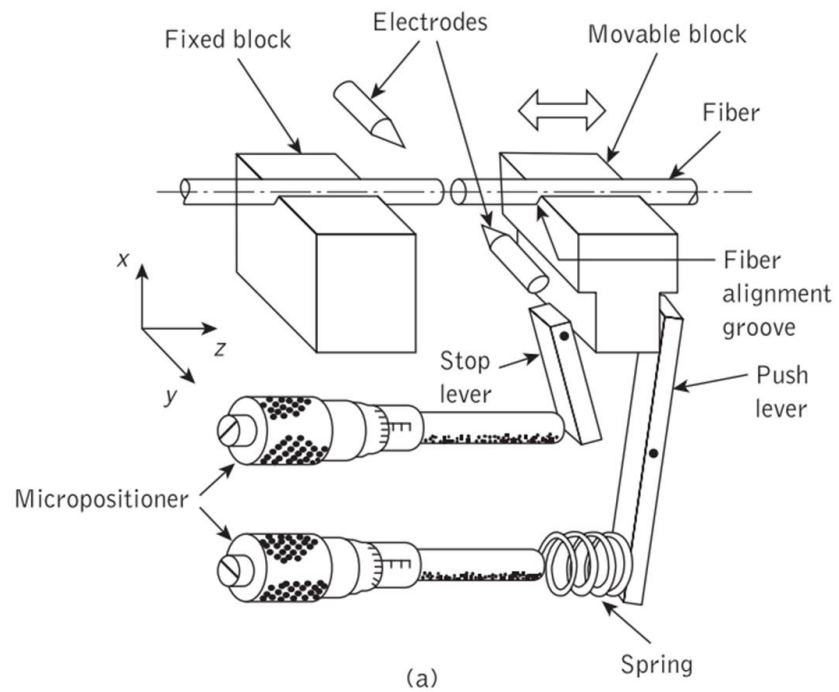


Ευθυγράμμιση ινών και απώλειες ενώσεων

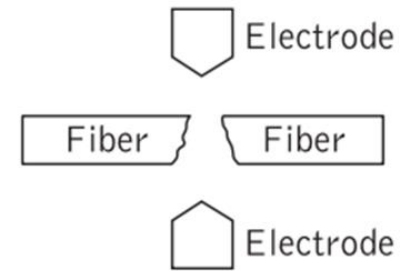
Μια μόνιμη ένωση που σχηματίζεται μεταξύ δύο μεμονωμένων οπτικών ινών στο πεδίο ή στο εργοστάσιο είναι γνωστή ως **fiber splice**. Το fiber splice χρησιμοποιείται συχνά για τη δημιουργία συνδέσμων οπτικών ινών μεγάλων αποστάσεων όπου χρειάζεται να ενωθούν μικρότερα μήκη ινών και δεν απαιτείται επαναλαμβανόμενη σύνδεση και αποσύνδεση. Τα fiber splices μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την τεχνική ένωσης που χρησιμοποιείται. Αυτά είναι η σύντηξη ή η συγκόλληση και η μηχανική συναρμογή.



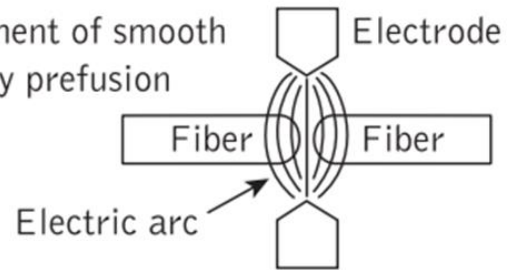
Ευθυγράμμιση ινών και απώλειες ενώσεων



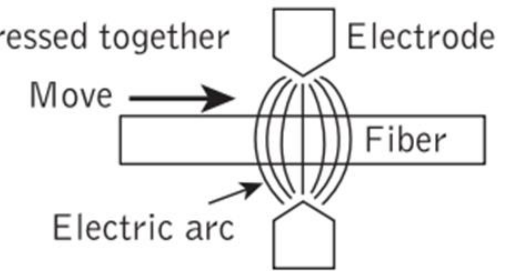
(1) Initial setting



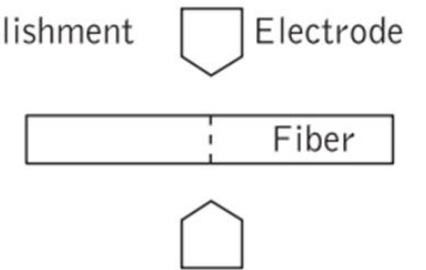
(2) Arrangement of smooth surface by prefusion



(3) Pressed together

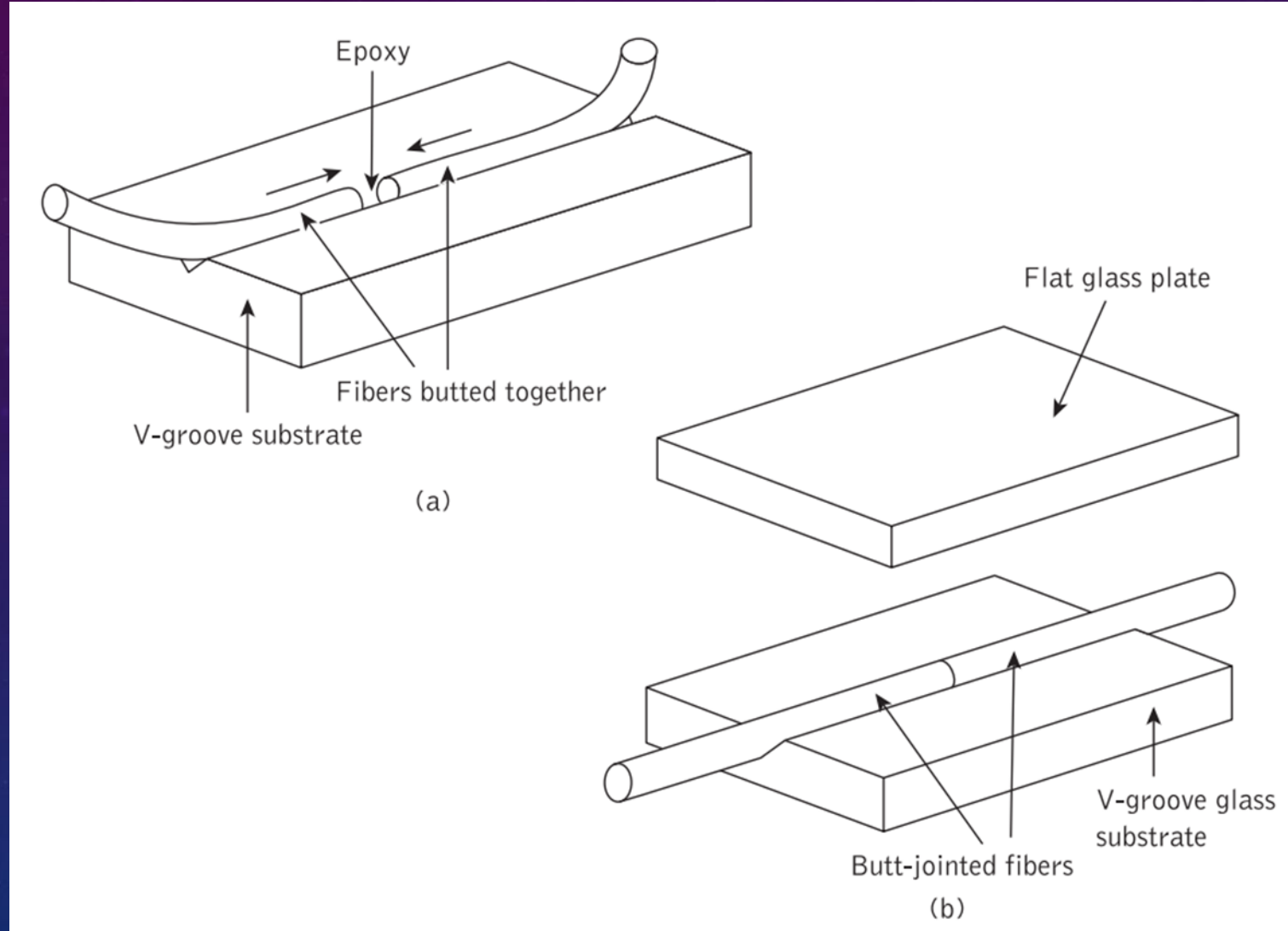


(4) Accomplishment of splice



(b)

Ευθυγράμμιση ινών και απώλειες ενώσεων



Σύνδεσμοι (connectors) οπτικών ινών

- Οι αποσυναρμολογούμενοι σύνδεσμοι ινών είναι πιο δύσκολο να επιτευχθούν από τις ενώσεις οπτικών ινών καθώς πρέπει να διατηρούν παρόμοιες απαιτήσεις ανοχής με τις ενώσεις προκειμένου να συνδέουν το φως μεταξύ των ινών αποτελεσματικά, αλλά πρέπει να το επιτύχουν με αποσυναρμολογούμενο τρόπο.
- Ο σχεδιασμός του συνδέσμου πρέπει να επιτρέπει επαναλαμβανόμενη σύνδεση και αποσύνδεση χωρίς προβλήματα ευθυγράμμισης των ινών, τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε υποβάθμιση της απόδοσης της γραμμής μεταφοράς στον σύνδεσμο. Ως εκ τούτου, για να λειτουργεί ικανοποιητικά ο αποσυναρμολογούμενος σύνδεσμος πρέπει να παρέχει αναπαραγώγιμη ακριβή ευθυγράμμιση των οπτικών ινών.

Σύνδεσμοι (connectors) οπτικών ινών

Ο σύνδεσμος πρέπει να:

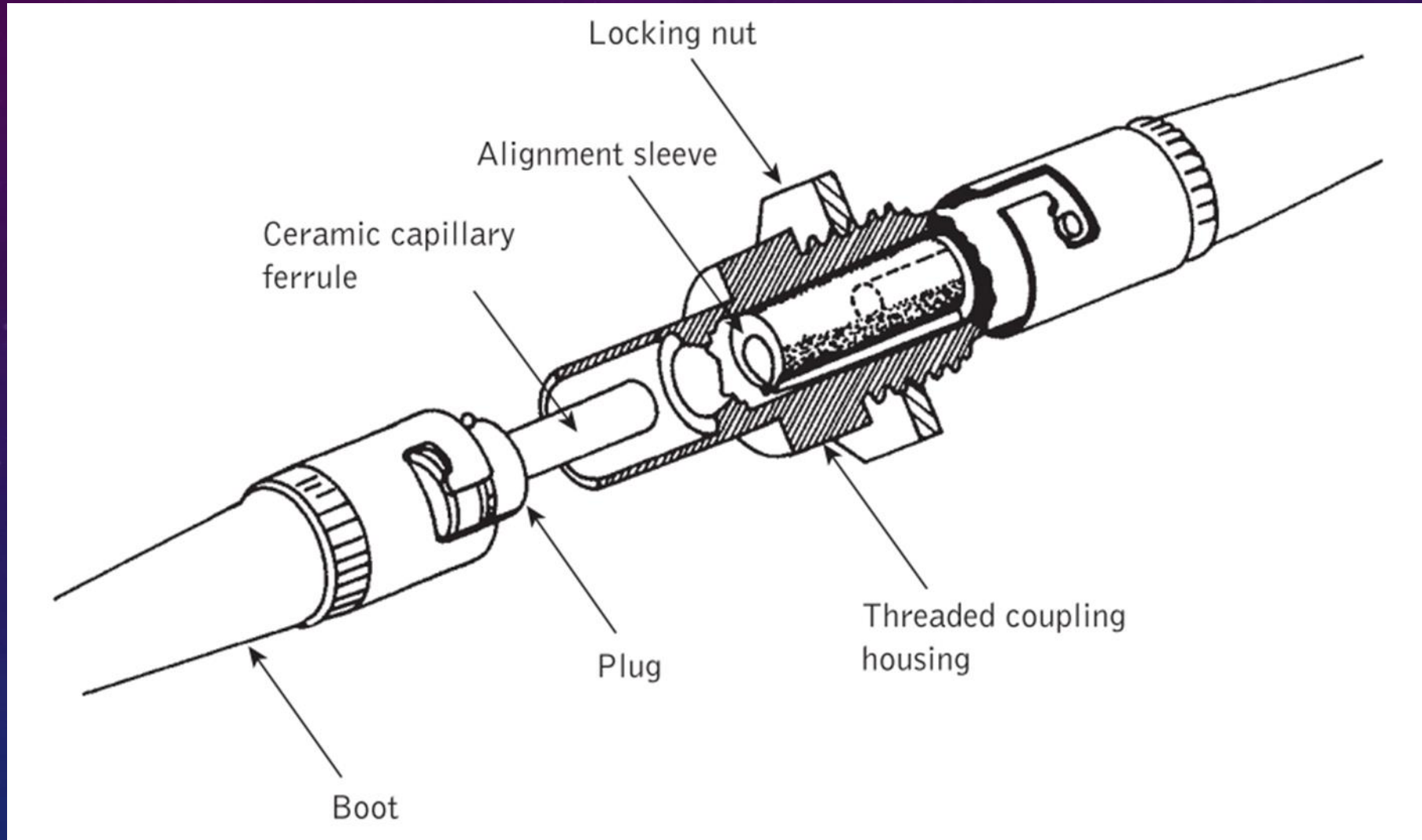
- προστατεύει τα άκρα των ινών από ζημιές που μπορεί να προκληθούν λόγω χειρισμού (σύνδεση και αποσύνδεση),
- μην είναι ευαίσθητος σε περιβαλλοντικούς παράγοντες (π.χ. υγρασία και σκόνη)
- να αντιμετωπίζει το εφελκυστικό φορτίο στο
- μπορεί να τοποθετηθεί με σχετική ευκολία.

Σύνδεσμοι (connectors) οπτικών ινών

Ως εκ τούτου, οι σύνδεσμοι οπτικών ινών μπορούν να εξεταστούν σε τρεις κύριους τομείς:

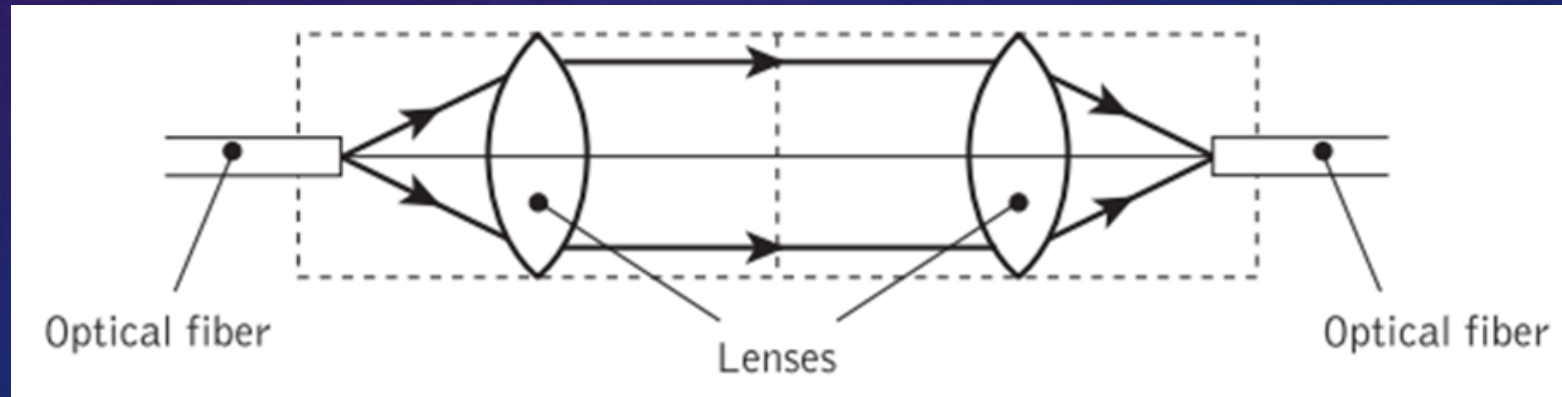
- (α) τερματισμού της ίνας, το οποίο προστατεύει και προσδιορίζει τα άκρα των ινών
- (β) την ευθυγράμμιση των άκρων των ινών για την παροχή βέλτιστης οπτικής σύζευξης
- (γ) το εξωτερικό κέλυφος, το οποίο διατηρεί τη σύνδεση και την ευθυγράμμιση των ινών, προστατεύει τα άκρα των ινών από το περιβάλλον και παρέχει επαρκή μηχανική αντοχή στον σύνδεσμο.

Σύνδεσμοι (connectors) οπτικών ινών

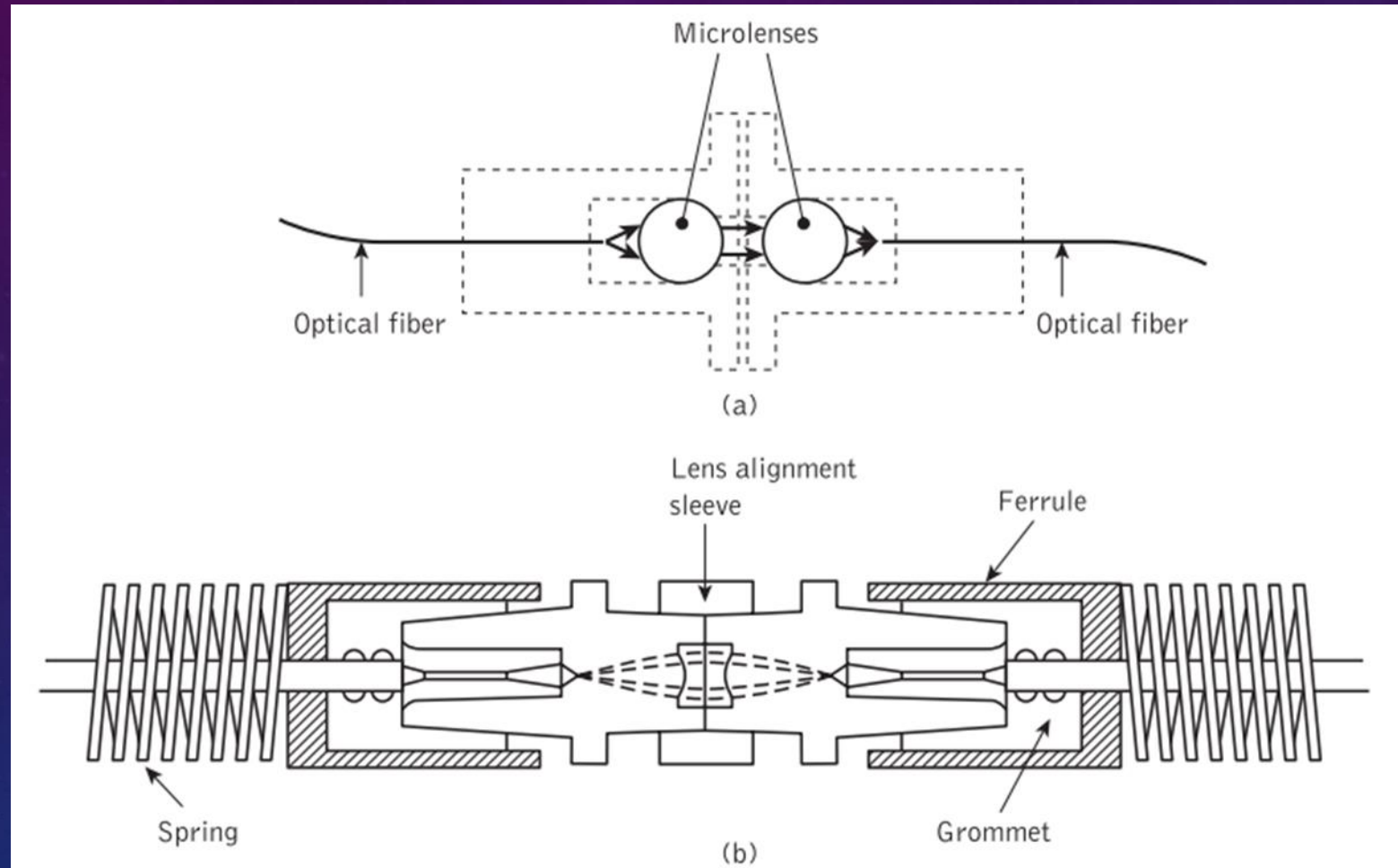


Σύνδεσμοι (connectors) οπτικών ινών

Μια εναλλακτική λύση στους συνδέσμους προσφέρεται από την αρχή της συγκλίνουσας και αποκλίνουσας δέσμης. Ο σύνδεσμος αποτελείται από δύο φακούς για την απόκλιση και την σύγκλιση του φωτός από τη μια ίνα στην άλλη. Η χρήση αυτών των παρεμβαλλόμενων οπτικών καθιστά την επίτευξη της κάθετης ευθυγράμμισης πολύ λιγότερο κρίσιμη από ό,τι με έναν σύνδεσμο ινών.



Σύνδεσμοι (connectors) οπτικών ινών



Συζευκτές ινών

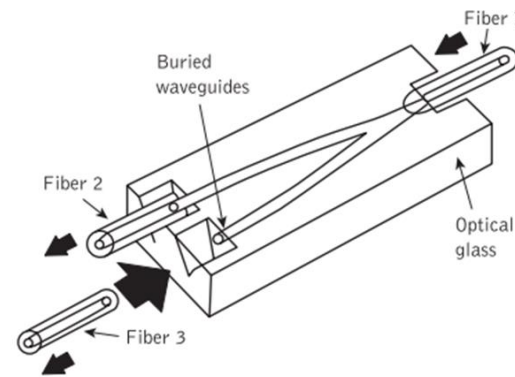
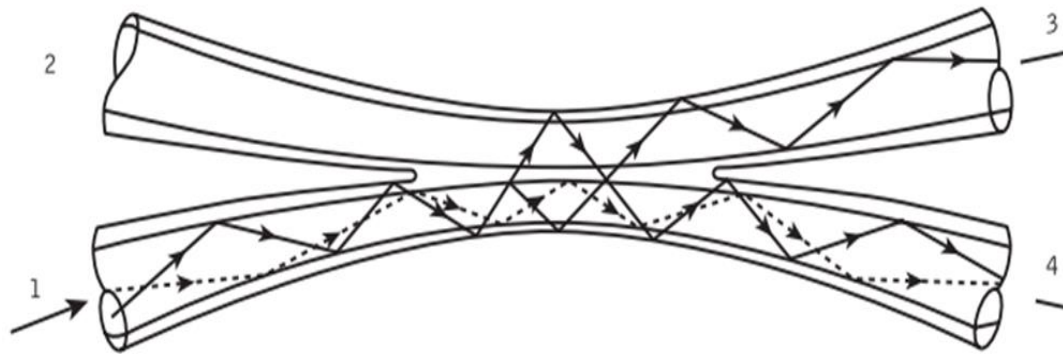
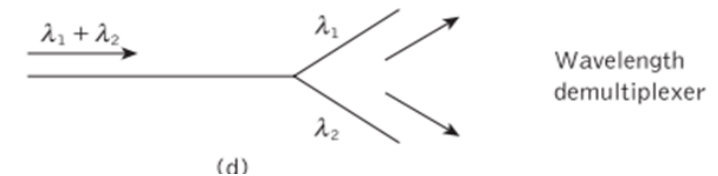
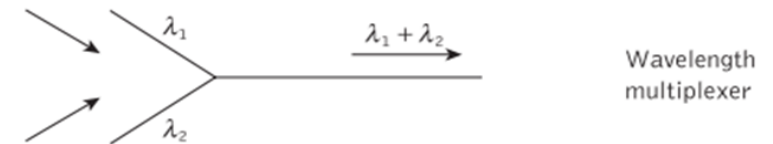
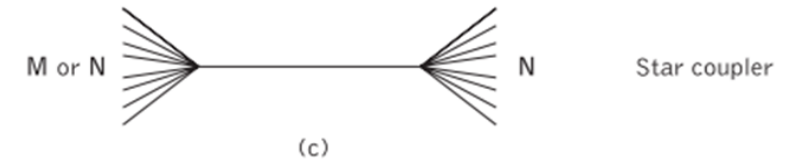
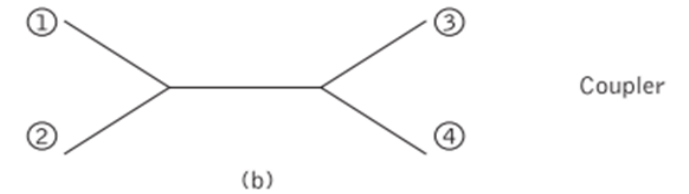
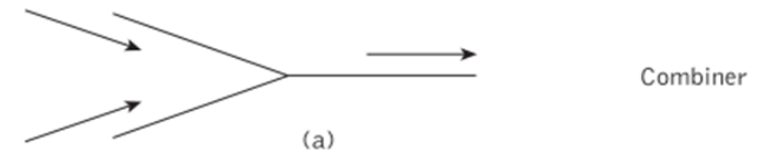
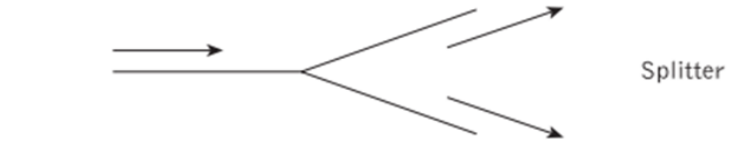
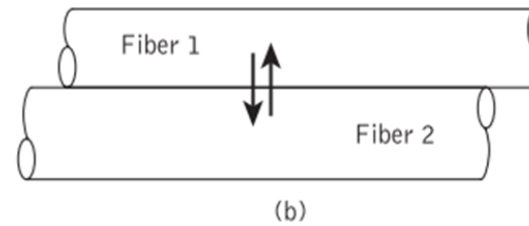
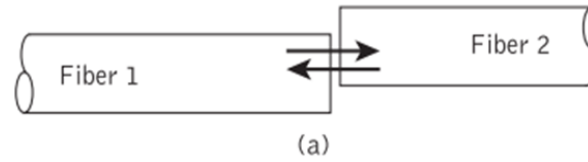
Ένας συζεύκτης οπτικών ινών είναι μια συσκευή που διανέμει το φως από μια κύρια ίνα σε μία ή περισσότερες ίνες διακλάδωσης. Η τελευταία περίπτωση είναι πιο συνήθης και τέτοιες συσκευές είναι γνωστές ως συζεύκτες ινών πολλαπλών θυρών.

- Συνεχώς αυξάνονται οι απαιτήσεις για τη χρήση αυτών των συσκευών για τη διαίρεση ή το συνδυασμό οπτικών σημάτων για εφαρμογή σε συστήματα διανομής πληροφοριών οπτικών ινών, συμπεριλαμβανομένων των διανομέων δεδομένων, των δικτύων LAN, των δικτύων υπολογιστών και των δικτύων πρόσβασης τηλεπικοινωνιών.

Οι ζεύκτες οπτικών ινών είναι συχνά παθητικές συσκευές στις οποίες η μεταφορά ισχύος λαμβάνει χώρα είτε:

- μέσω της διατομής του πυρήνα της ίνας με σύνδεση των ινών ή με χρήση κάποιας μορφής οπτικής σύνδεσης
- μέσω της επιφάνειας της ίνας και κάθετα προς τον άξονά της μετατρέποντας τις λειτουργίες καθοδηγούμενου πυρήνα της ίνας σε λειτουργίες επένδυσης και διάθλασης που στη συνέχεια ενεργοποιούν τον μηχανισμό διαμοιρασμού ισχύος (τύπος αλληλεπίδρασης επιφάνειας).

Συζευκτές ινών

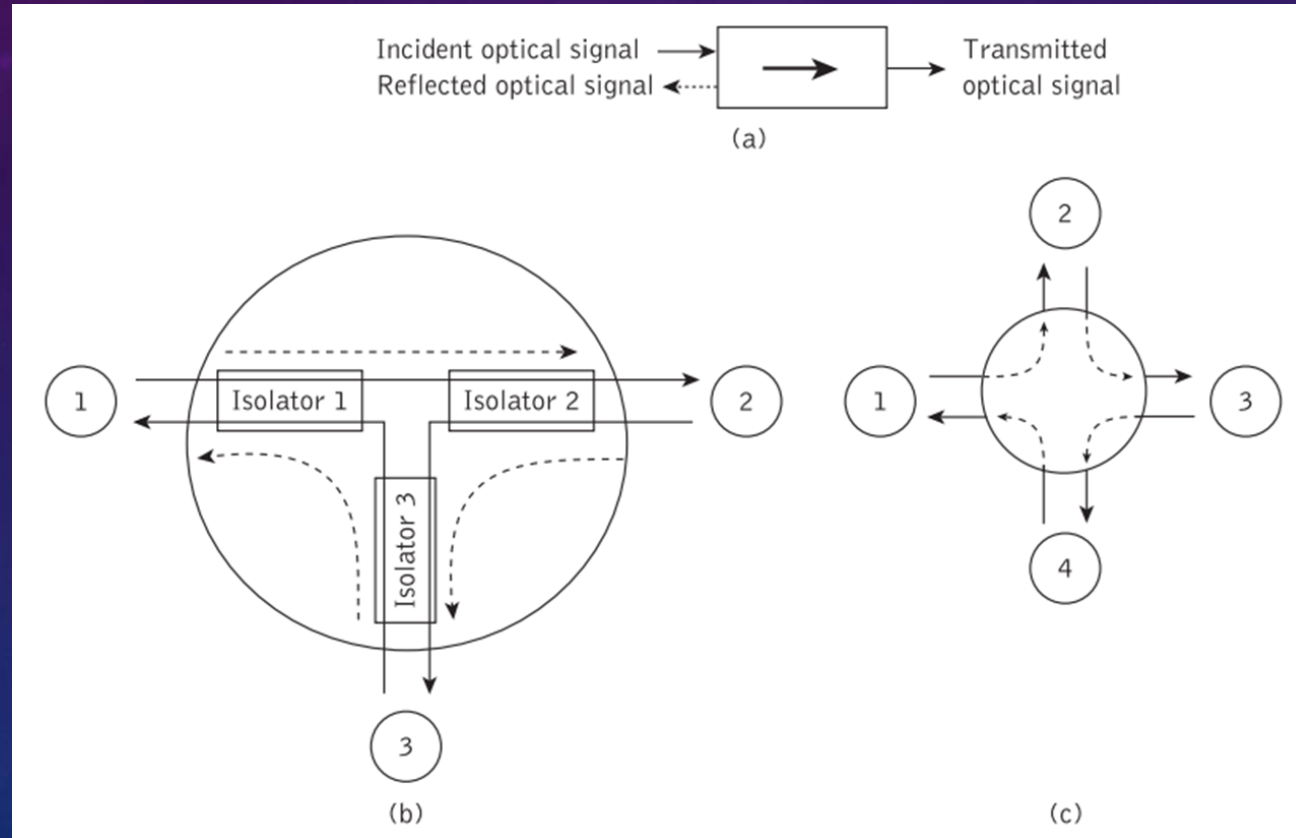


Οπτικοί απομονωτές

Ένας οπτικός απομονωτής είναι ουσιαστικά μια παθητική συσκευή που επιτρέπει τη ροή της ισχύος οπτικού σήματος (για ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος ή μια ζώνη μήκους κύματος) σε μία μόνο κατεύθυνση αποτρέποντας αντανakλάσεις προς τα πίσω. Στην ιδανική περίπτωση, ένας οπτικός απομονωτής θα πρέπει να μεταδίδει όλη την ισχύ του σήματος στην επιθυμητή προς τα εμπρός κατεύθυνση. Ωστόσο, οι ατέλειες του υλικού στο μέσο απομόνωσης δημιουργούν ανακλάσεις προς τα πίσω. Επιπλέον, τόσο η απώλεια εισαγωγής όσο και η απομόνωση καθορίζουν τους περιορισμούς για τη συσκευή στη μετάδοση οπτικής ισχύος από το ένα τερματικό στο άλλο.

Οπτικοί κυκλοφορητές

Οι οπτικοί απομονωτές συνδυασμένοι μεταξύ τους με διάφορους τρόπους συνιστούν έναν οπτικό κυκλοφορητή



Δίκτυα οπτικών ινών

Δίκτυο οπτικών ινών ή οπτικό δίκτυο είναι ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο με την οπτική ίνα ως κύριο μέσο μετάδοσης, το οποίο είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να κάνει πλήρη χρήση των μοναδικών χαρακτηριστικών των οπτικών ινών.

Από όλα τα διαθέσιμα είδη δικτύων μόνο αυτά των οπτικών ινών θα μπορούσαν να αντεπεξέλθουν στη ραγδαία ανάπτυξη του διαδικτύου λόγω των μοναδικών τους ιδιοτήτων.

Χρόνος μεταγωγής (Switching time)

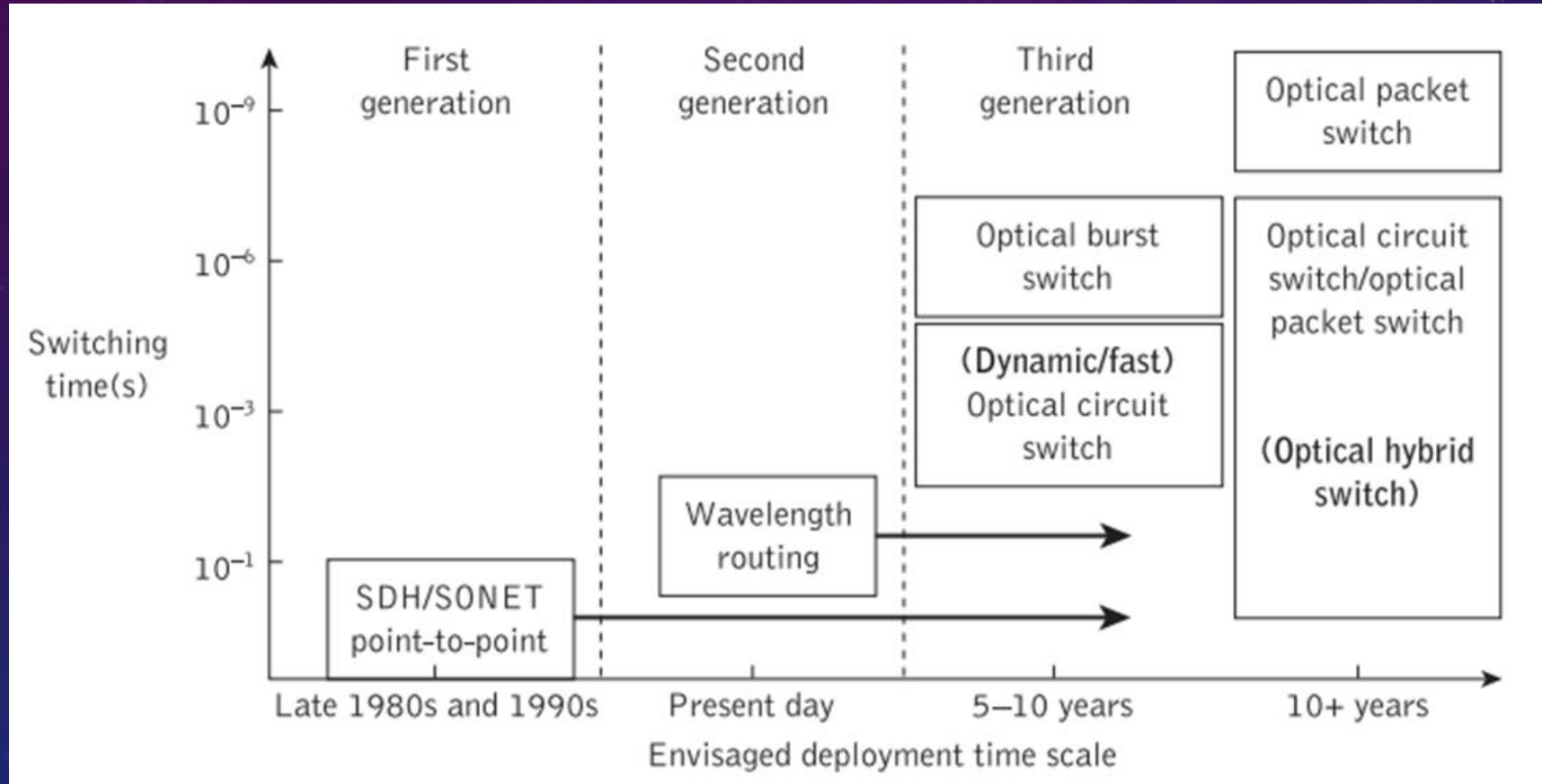
Εκρηκτική αύξηση κίνησης στα κέντρα δεδομένων (data centers):

- Machine learning
- Διαχωρισμός πόρων
- Data analytics

Τα τρέχοντα δίκτυα κέντρων δεδομένων περιλαμβάνουν ένα πολυεπίπεδο πλέγμα ηλεκτρικών διακοπών και οπτικών πομποδεκτών που καταναλώνουν σημαντική ποσότητα ενέργειας και αυτό αναμένεται να επιδεινωθεί λόγω της επιβράδυνσης του νόμου του Moore.

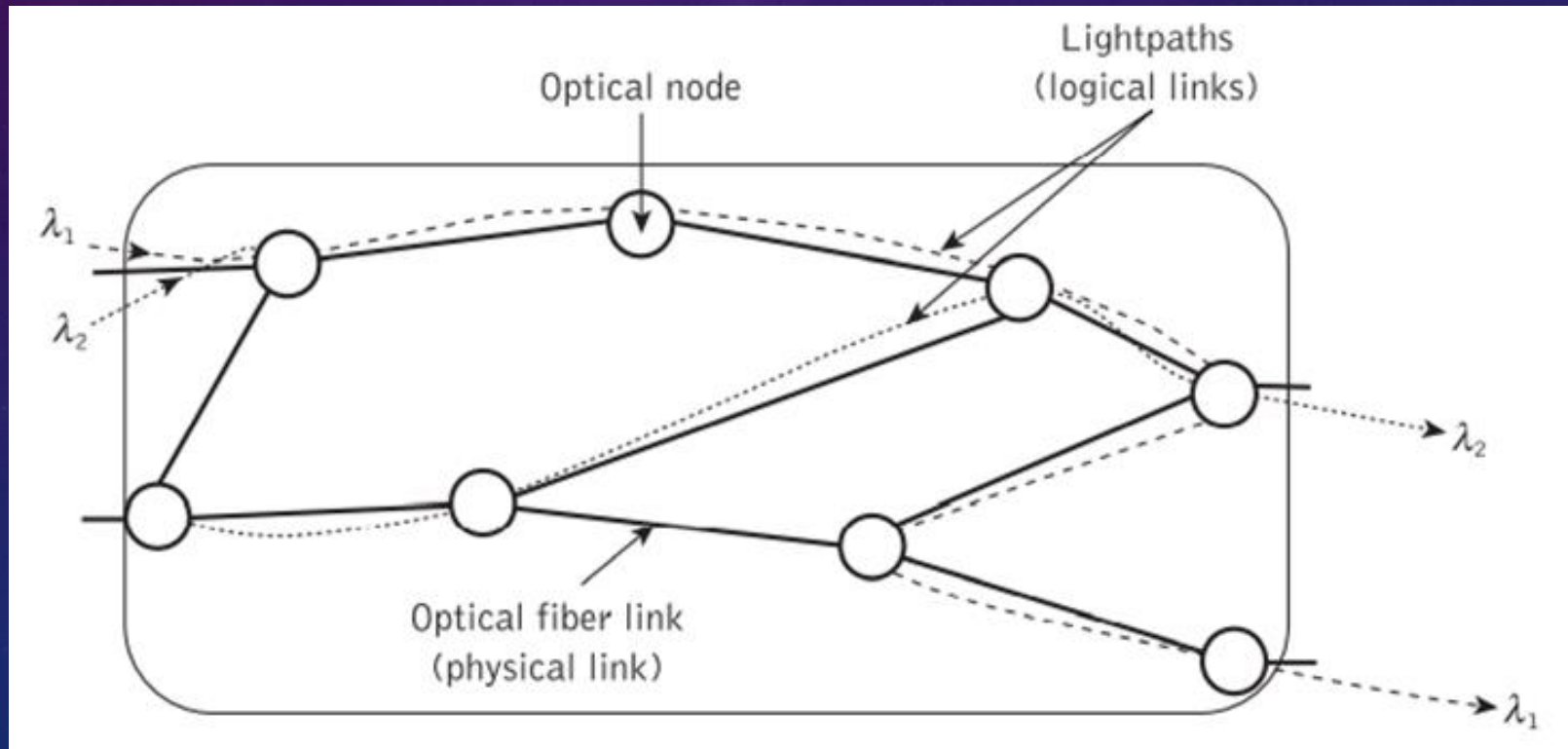
Switching time

Εξέλιξη των οπτικών δικτύων



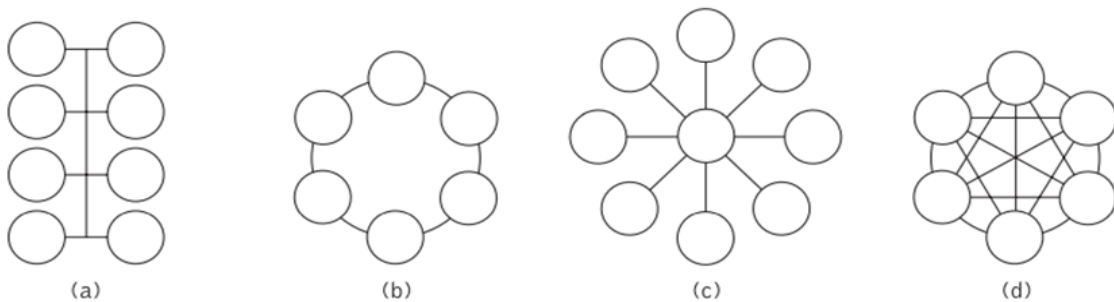
Δομή οπτικού δικτύου

Ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί οπτική ίνα ως μέσο μετάδοσης παρέχει μια σύνδεση μεταξύ πολλών χρηστών για να τους επιτρέψει να επικοινωνούν μεταξύ τους μεταφέροντας πληροφορίες από μια πηγή σε έναν προορισμό.



Τοπολογίες δικτύων-Δικτύωση-Μεταγωγή

Ίδιες τοπολογίες δικτύων όπως στα υπόλοιπα δίκτυα όπου κάθε κύκλος είναι ένας κόμβος του συστήματος



Network topologies: (a) bus; (b) ring; (c) star; (d) mesh

Υπάρχουν 2 τρόποι δικτύωσης:

1. Προεγκατεστημένης σύνδεσης (end-to-end). Δημιουργείται ένα αμφίδρομο περιβάλλον επικοινωνίας
2. Χωρίς σύνδεση. Μονόδρομη αποστολή αριθμημένων πακέτων που συναρμολογούνται στον προορισμό.

Αντιστοίχως υπάρχουν 2 τρόποι μεταγωγής (switching):

1. Μεταγωγή κυκλώματος (συνεχούς αποστολής και λήψης δεδομένων)
2. Μεταγωγή πακέτου (αποθήκευσης και αποστολής πακέτων)

Δρομολόγηση (routing)

Η **δρομολόγηση** αναφέρεται στη διαδικασία κατά την οποία ένας κόμβος βρίσκει μία ή περισσότερες διαδρομές προς πιθανούς προορισμούς σε ένα δίκτυο με βάση κάποιο συγκεκριμένο πρωτόκολλο. Σε αυτή τη διαδικασία εκτελούνται λειτουργίες:

- ελέγχου των δεδομένων
- επεξεργασίας των δεδομένων για την αναγνώριση της διαδρομής και τον χειρισμό των δεδομένων

Μια απλή διαδικασία δρομολόγησης γνωστή ως επίπεδο ελέγχου (control plane) περιλαμβάνει τρία στάδια:

- ανακάλυψη γειτόνων
- ανακάλυψη τοπολογίας
- επιλογή διαδρομής

Οπτικοί κόμβοι

Ένας οπτικός κόμβος

- στέλνει
- λαμβάνει και
- στέλνει εκ νέου ή ανακατευθύνει

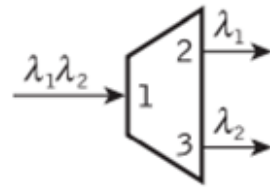
οπτικά σήματα στους γειτονικούς συνδεδεμένους κόμβους του.

Η εκ νέου αποστολή ή ανακατεύθυνση ενός οπτικού σήματος στους επιθυμητούς κόμβους δικτύου απαιτεί από τον κόμβο να εκτελεί είτε μια λειτουργία δρομολόγησης είτε μια λειτουργία μεταγωγής.

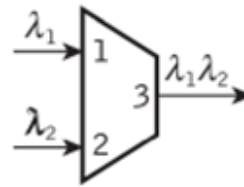
Καθώς τα οπτικά σήματα ταξιδεύουν σε πολυπλεξική μορφή ο δρομολογητής αναφέρεται ως δρομολογητής μήκους κύματος όταν διατηρεί το μήκος κύματος του σήματος και μετατροπέας μήκους κύματος.

Οπτικοί κόμβοι

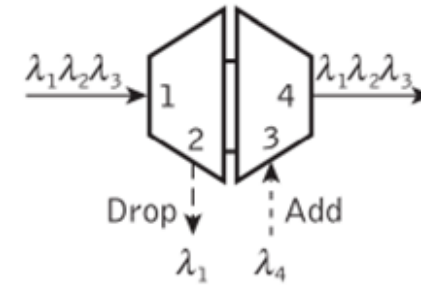
- a) Αποπολυπλέκτης μήκους κύματος,
- b) πολυπλέκτης μ.κ.,
- c) Πολυπλέκτης μ.κ. προσθήκης/αφαίρεσης,
- d) οπτικός μεταγωγέας μ.κ. 2x2,
- e) προσαρμοζόμενος πολυπλέκτης προσθήκης αφαίρεσης



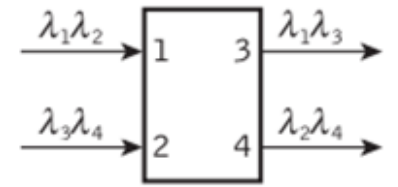
(a)



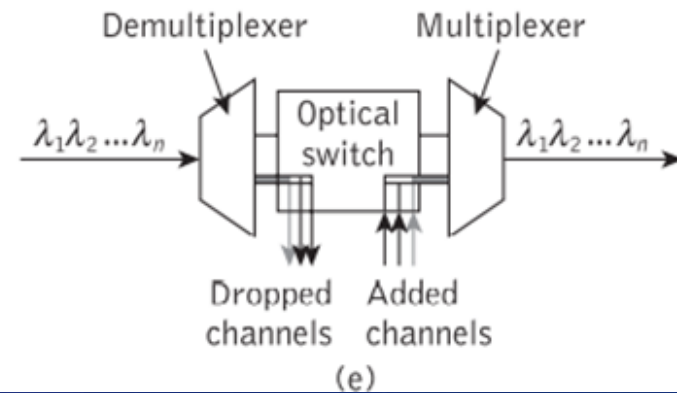
(b)



(c)



(d)



(e)

Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Ένα οπτικό δίκτυο περιλαμβάνει ένα συνδυασμό οπτικών και ηλεκτρονικών τομέων όπου διαφορετικές συσκευές απαιτείται να επικοινωνούν μεταξύ τους.

Τα τελικά σημεία του οπτικού δικτύου συνήθως περιλαμβάνουν:

- κόμβους δικτύου που ελέγχουν τα οπτικά σήματα και συνδέουν τις οπτικές ίνες
- σταθμούς δικτύου που συνδέουν το οπτικό δίκτυο με ηλεκτρονικά συστήματα

Οι σταθμοί και οι κόμβοι επομένως περιλαμβάνουν τόσο οπτοηλεκτρονικά όσο και φωτονικά στοιχεία (π.χ. λέιζερ, φωτοανιχνευτές, ζεύκτες/διαχωριστές, διακόπτες, ενισχυτές, αναγεννητές, μετατροπείς μήκους κύματος, κ.λπ.)

Για να επικοινωνήσουν επιτυχώς όλα τα παραπάνω χρειάζονται συγκεκριμένες φυσικές δομές δικτύων και τα αντίστοιχα πρωτόκολλα επικοινωνίας

Είδη διαμόρφωσης - 1

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

Είδη διαμόρφωσης - 2

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες συνήθεις τεχνικές διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται στην οπτική επικοινωνία:

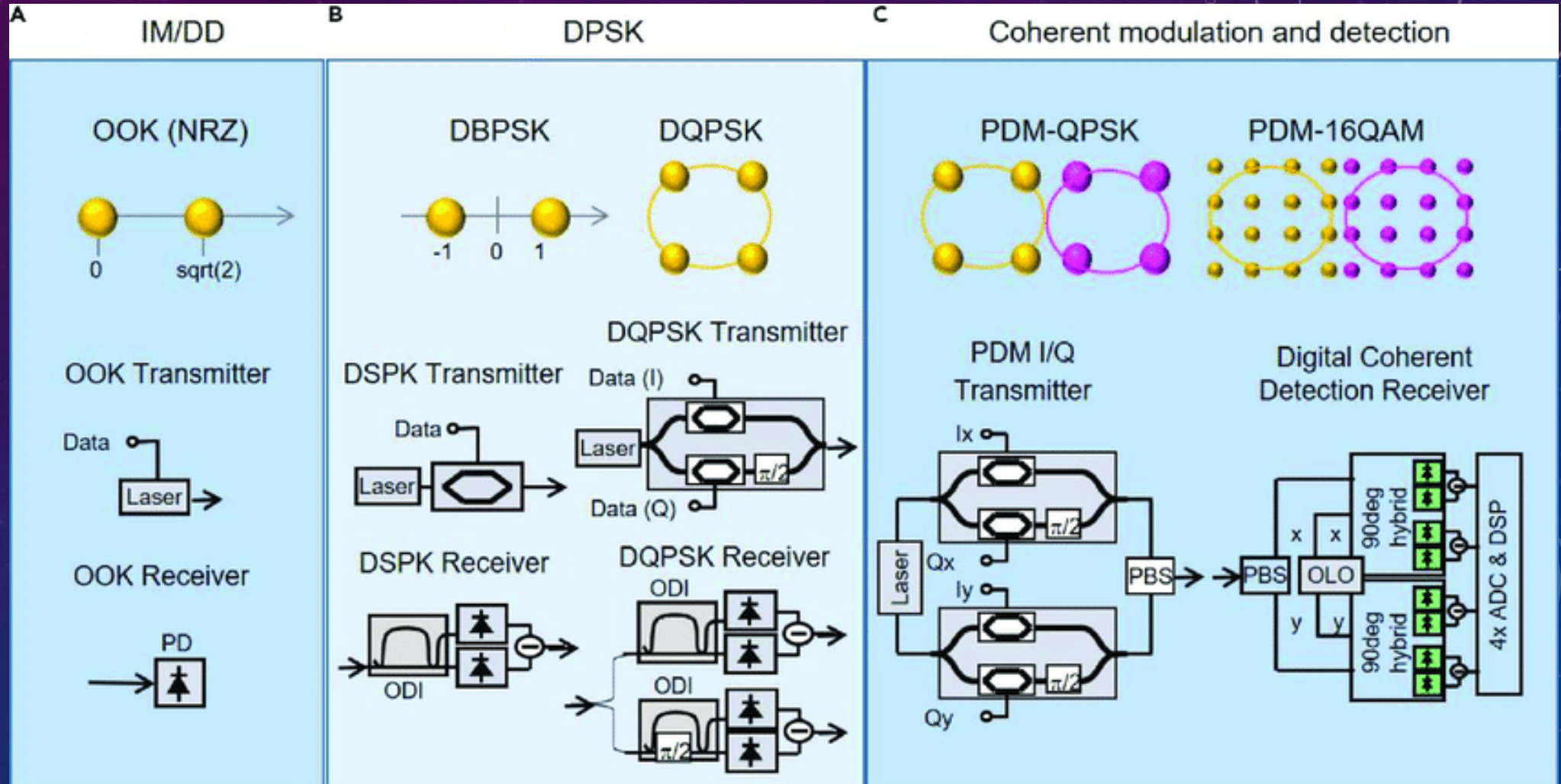
- Διαμόρφωση Έντασης (IM): Η ένταση (ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας) του σήματος διαμορφώνεται για την αναπαράσταση ψηφιακών δεδομένων. Η υψηλή ένταση μπορεί να αντιπροσωπεύει την κατάσταση '1', ενώ η χαμηλή ένταση αντιπροσωπεύει την άλλη κατάσταση '0'. Είναι μια απλή και ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική διαμόρφωσης. Πιο κοινός τύπος η On-Off Keying (OOK).
- Διαμόρφωση Φάσης (PM): Περιλαμβάνει τη μεταβολή της φάσης του οπτικού φορέα για την αναπαράσταση δεδομένων. Οι αλλαγές στη φάση αντιστοιχούν σε αλλαγές στα δυαδικά δεδομένα ('1', '0'). Η διαμόρφωση φάσης είναι λιγότερο ευάλωτη στο θόρυβο σε σχέση με τη διαμόρφωση έντασης.

Είδη διαμόρφωσης - 3

- **Διαμόρφωση Συχνότητας (FM):** Η διαμόρφωση συχνότητας περιλαμβάνει τη μεταβολή της συχνότητας του οπτικού φορέα ανάλογα με το εισερχόμενο σήμα. Οι αλλαγές στη συχνότητα αναπαριστούν τα ψηφιακά δεδομένα. Η διαμόρφωση συχνότητας χρησιμοποιείται λιγότερο συχνά στην οπτική επικοινωνία σε σχέση με τη διακύμανση έντασης και φάσης.
- **Διαμόρφωση Πλάτους Κλειδώματος (ASK):** Η ASK είναι ένας τύπος διαμόρφωση έντασης όπου το πλάτος του οπτικού φορέα διακυμαίνεται για την αναπαράσταση διαφορετικών καταστάσεων δυαδικών δεδομένων. Είναι μια απλή και ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική στην οπτική επικοινωνία.
- **Διαμόρφωση Συχνότητας Κλειδώματος (FSK):** Η FSK είναι ένας τύπος διαμόρφωσης συχνότητας όπου η συχνότητα του οπτικού φορέα μεταβάλλεται για την αναπαράσταση διαφορετικών καταστάσεων δυαδικών δεδομένων.
- **Διαμόρφωση Φάσης Κλειδώματος (PSK):** Η PSK είναι ένας τύπος διαμόρφωσης φάσης όπου η φάση του οπτικού φορέα μεταβάλλεται για την αναπαράσταση διαφορετικών καταστάσεων δυαδικών δεδομένων.

Είδη διαμόρφωσης - 4

- Differential Binary Phase Shift Keying (DBPSK)
- Differential Quadrature Phase Shift Keying (DQPSK)
- On-Off Keying (OOK)



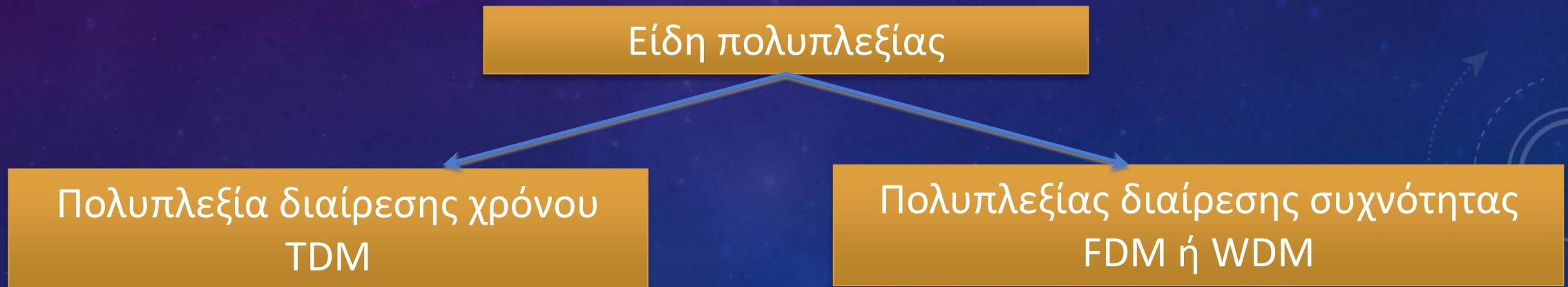
Επιλογή διαμόρφωσης

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).

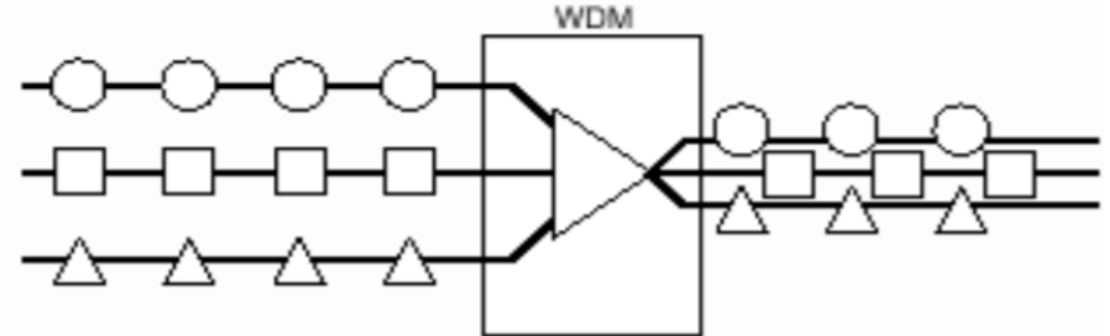
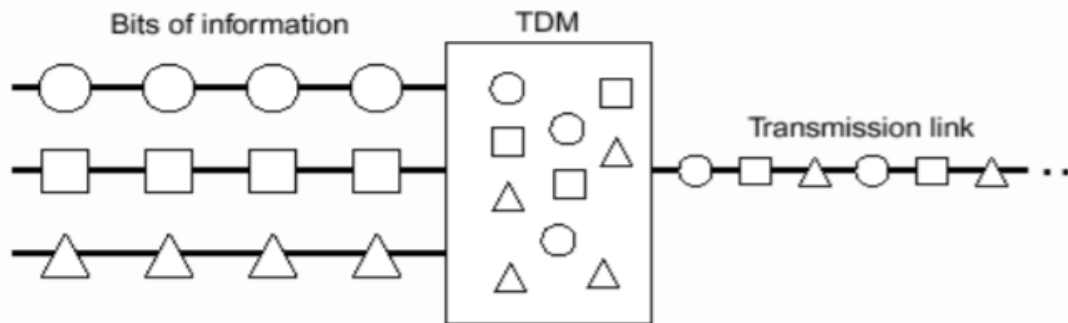
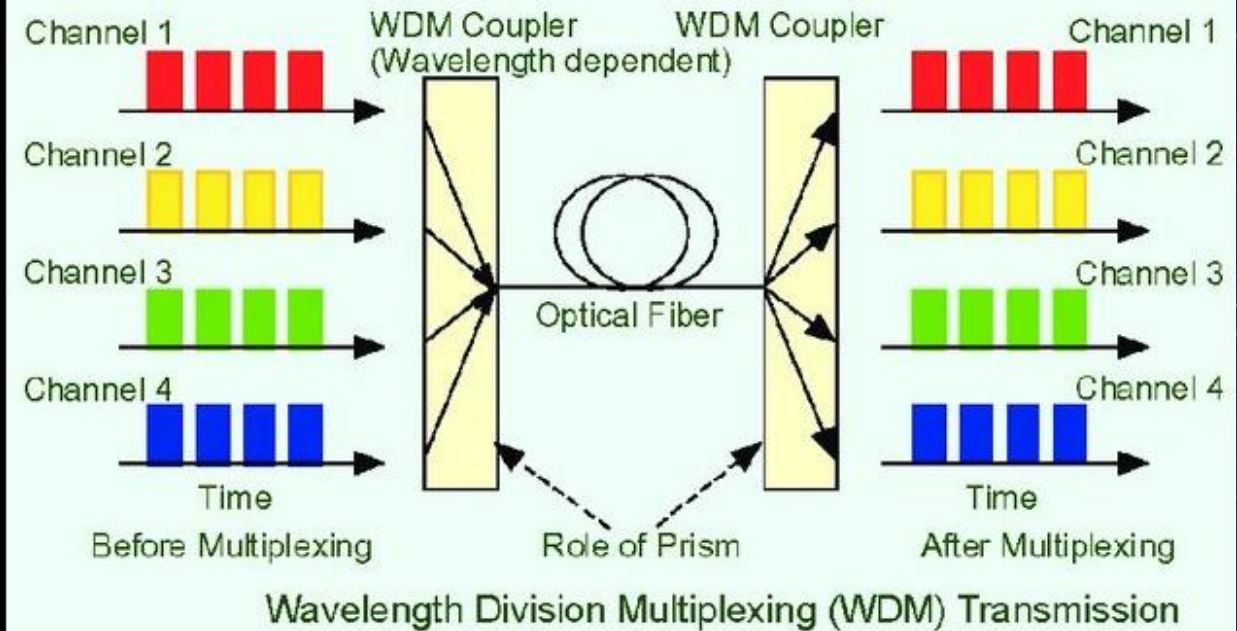
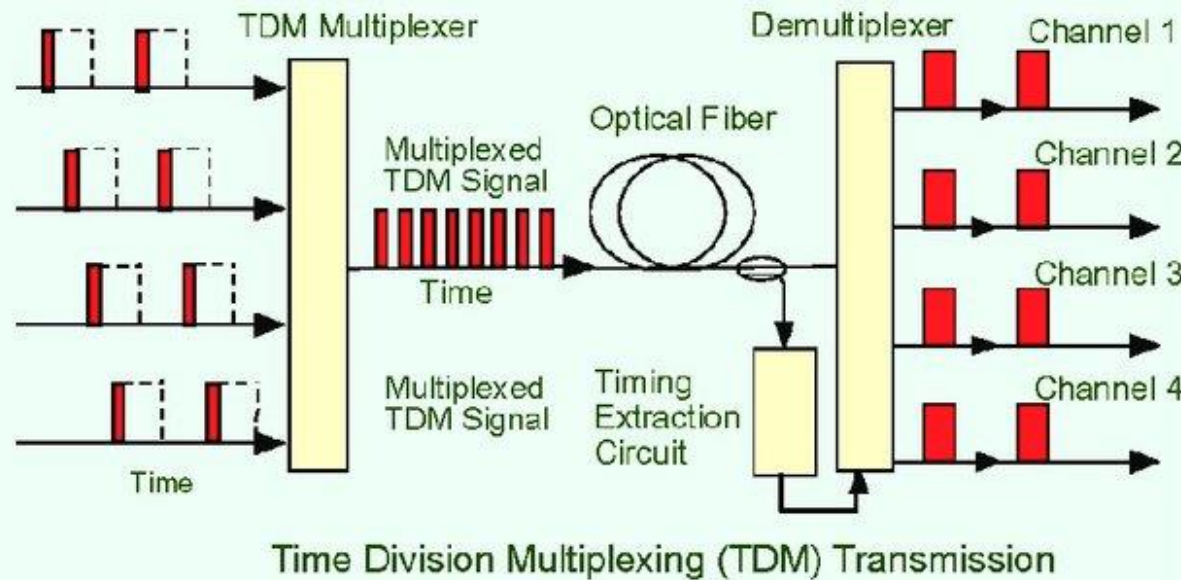
Πολυπλεξία - 1

- 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.



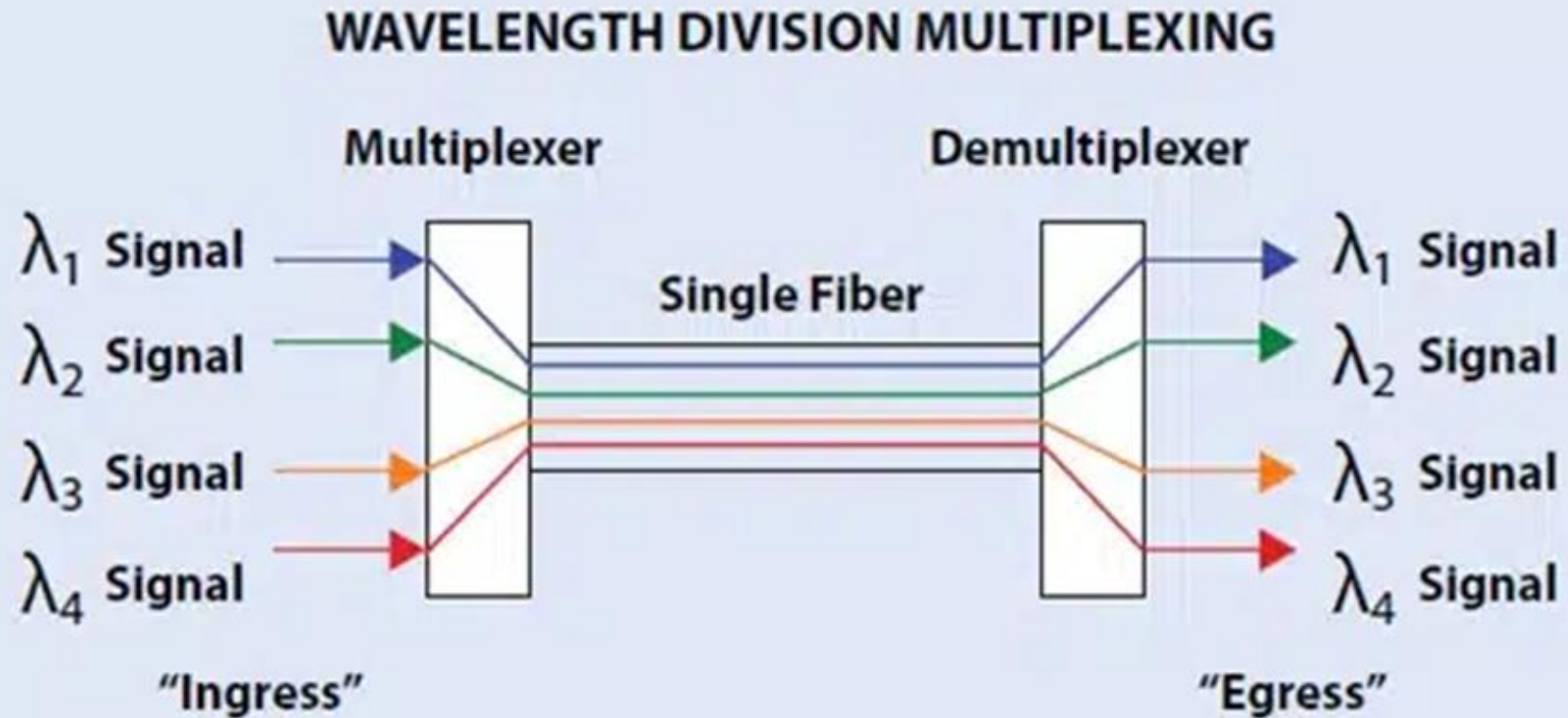
Πολυπλεξία - 2

TDM



Πολυπλεξία - 3

Έξοδοι
πολλαπλών
πομπών
διαφορετικών
συχνοτήτων



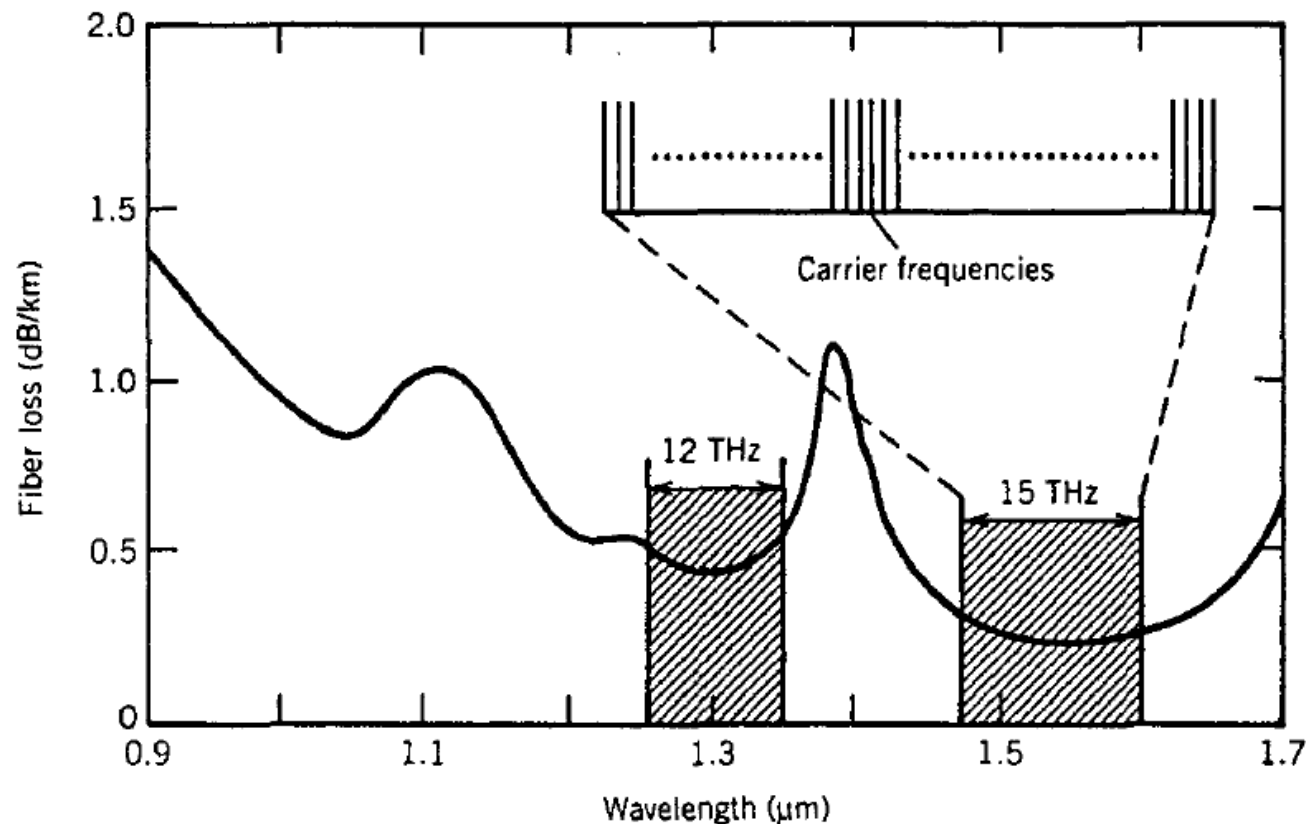
Πολυπλεξία – Χαρακτηριστικά του TDM

- 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.