



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



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Οπτικές επικοινωνίες – κυματοδηγοί

Διδάσκων: Τσορμπατζόγλου Ανδρέας

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.

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

Δίκτυα μεταγωγής πακέτων

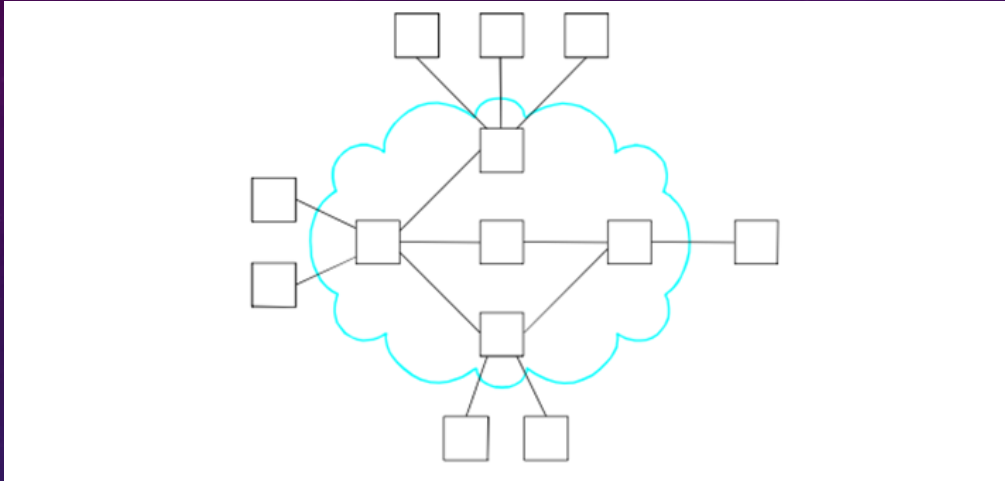
Η πληροφορία κατατμείται σε πακέτα (fragmentation) που περιλαμβάνουν τη βασική πληροφορία και μια ετικέτα που φέρει επιπλέον πληροφορίες για τον προορισμό τους και τη σύστασή τους.

Στόχος: γρήγορη και ενεργειακά αποδοτική μετακίνηση πακέτων από την πηγή στον προορισμό μέσω δρομολογητών. Ανάλογα με το είδος του πακέτου και το είδος της σύνδεσης ακολουθούνται διαφορετικοί τρόποι δρομολόγησης.

- 1^{ος} τρόπος:** Αλγόριθμοι δρομολόγησης (routing algorithms): αλγόριθμοι επιλογής διαδρομής μεταξύ πηγής – προορισμού. Οι αλγόριθμοι προσδιορίζουν τον επόμενο κόμβο.
- 2^{ος} τρόπος:** Δίκτυο αυτοδύναμων πακέτων (datagrams): Η διεύθυνση προορισμού που περιέχεται στο πακέτο προσδιορίζει τον επόμενο κόμβο. τα δίκτυα αυτά βασίζονται σε κυκλώματα **Οι διαδρομές ενδέχεται να μεταβληθούν κατά τη διάρκεια μιας συνεδρίας.**
- 3^{ος} τρόπος:** Δίκτυο εικονικών κυκλωμάτων (virtual circuits): Κάθε πακέτο φέρει «ετικέτα» (ID εικονικού κυκλώματος) και η ετικέτα προσδιορίζει τον επόμενο κόμβο. **Η διαδρομή προσδιορίζεται κατά την εγκαθίδρυση κλήσης, παραμένει αμετάβλητη κατά τη διάρκεια της κλήσης.**

Δίκτυα μεταγωγής πακέτων

Μεταγωγή (switching)

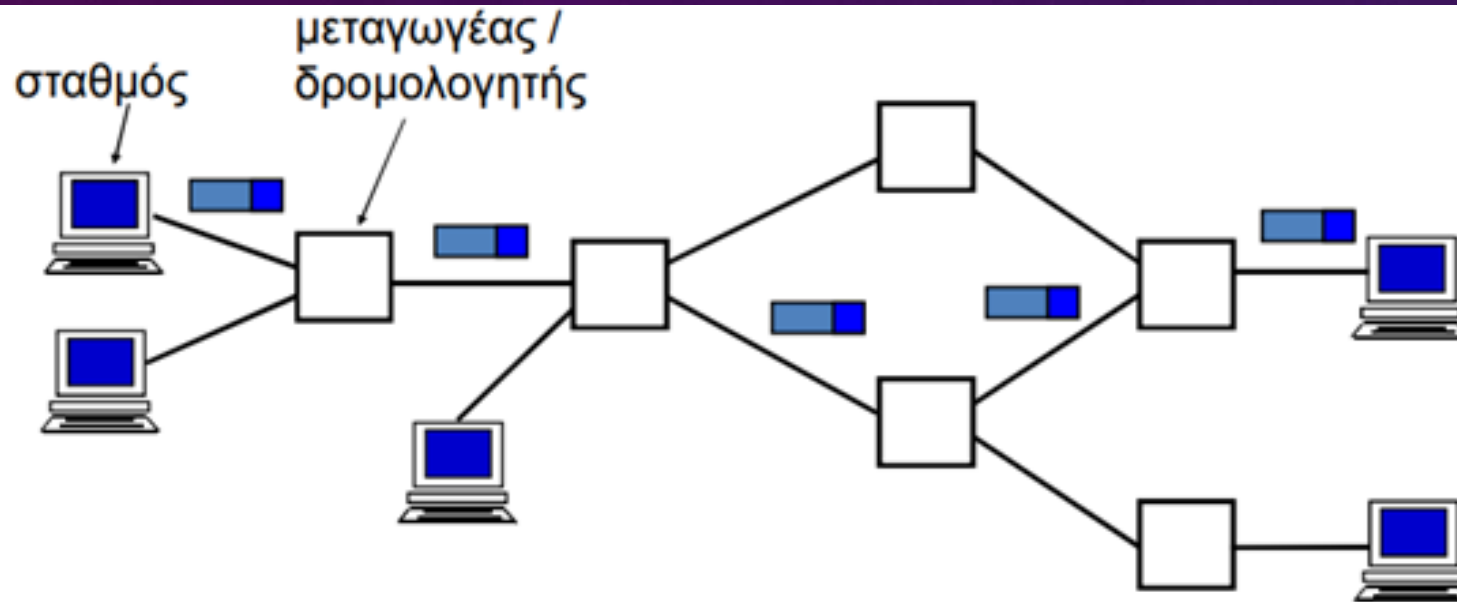


- **Δίκτυο επικοινωνίας:** διασύνδεση κόμβων.
- **Μεταγωγή:** προώθηση δεδομένων από τον σύνδεσμο εισόδου στον σύνδεσμο εξόδου ενός κόμβου.
- **Δρομολόγηση:** Το σύνολο των μεταγωγών πακέτων στους διάφορους κόμβους ώστε να φτάσει από τον αποστολέα στον λήπτη.

Κόμβοι

- Optical Line Terminal (OLT)
- Optical Network Unit (ONU) / Optical Network Terminal (ONT)
- Optical Add-Drop Multiplexer (OADM)
- Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer (ROADM)
- Optical Cross-Connect (OXC)
- Amplification Node (Optical Amplifiers)
- Core Nodes (Backbone Nodes)
- Distribution Nodes
- Passive Splitters
- Monitoring Nodes

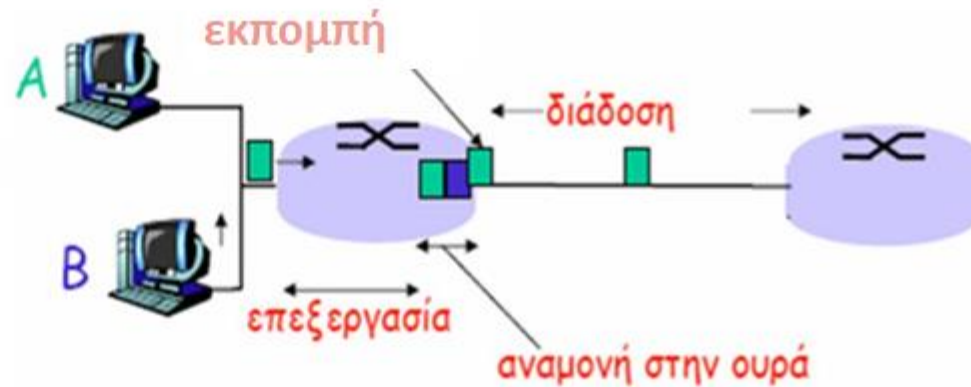
Δίκτυα μεταγωγής πακέτων



- Τα μηνύματα διαιρούνται σε πακέτα (τεμαχισμός - fragmentation)
- Κάθε πακέτα περιέχει τα δεδομένα του χρήστη και πληροφορία ελέγχου (π.χ. διευθύνσεις)
- Ένας κόμβος λαμβάνει τα πακέτα, τα αποθηκεύει προσωρινά, και τα προωθεί στον επόμενο κόμβο (store-and-forward)

Πηγές καθυστέρησης δρομολογητή - 1

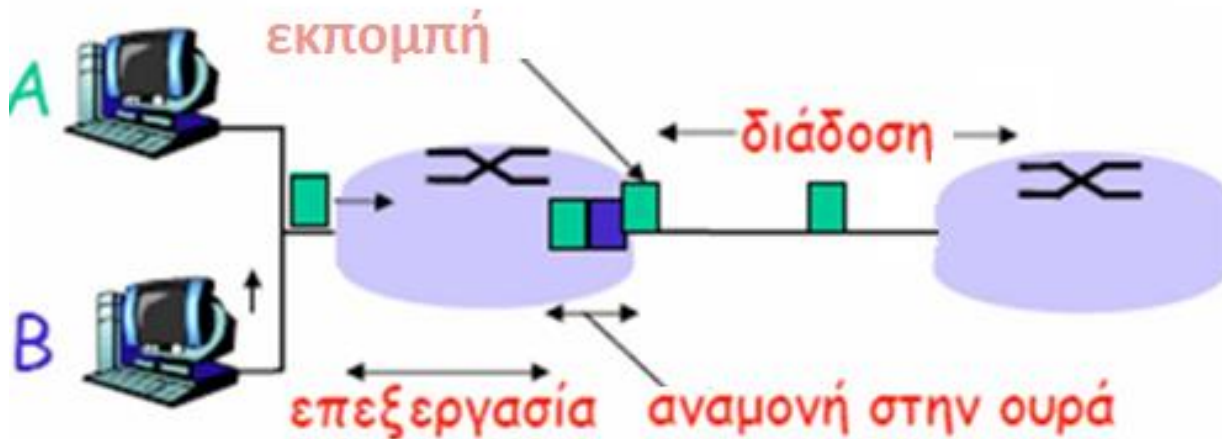
- 1. Επεξεργασία στον κόμβο:
 - Εξέταση του header
 - Προσδιορισμός ζεύξης εξόδου
 - Έλεγχος σφαλμάτων bits
 - Τάξεως microseconds
- 2. Αναμονή στην ουρά:
 - Χρόνος αναμονής στη ζεύξη εξόδου
 - Εξαρτάται από το βαθμό συμφόρησης του δρομολογητή
 - Τάξεως microseconds ~milliseconds



Πηγές καθυστέρησης δρομολογητή - 2

- 3. Καθυστέρηση εκπομπής

- R: **bandwidth** ζεύξης (bps)
- L: **μήκος πακέτου** (bits)
- Χρόνος μετάδοσης πακέτου: L/R
- Τάξεως microseconds με milliseconds
- ☞ Αντιστοιχεί στην προώθηση **όλων των bits του πακέτου** στη ζεύξη



- 4. Καθυστέρηση διάδοσης

- D: **μήκος φυσικής ζεύξης**
- S: **ταχύτητα διάδοσης μέσου** ($\sim 2-3 \times 10^8$ m/sec)
- Χρόνος διάδοσης πακέτου D/S
- Τάξεως microseconds με milliseconds
- ☞ Ένα bit, αφού προωθηθεί προς τη ζεύξη, **πρέπει να διαδοθεί ως το δρομολογητή**

Καθυστέρηση στον κόμβο

$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

Καθυστερηση κομβου ειναι η καθυστερηση σε εναν δρομολογητή

- ➡ d_{proc} = καθυστέρηση επεξεργασίας (processing delay)
 - Συνήθως μερικά microseconds ή λιγότερο
- ➡ d_{queue} = καθυστέρηση αναμονής ουράς (queuing delay)
 - Εξαρτάται από τη συμφόρηση

Καθυστέρηση στον κόμβο

- ➡ d_{trans} = Καθυστέρηση εκπομπής. Ο χρόνος που απαιτείται ώστε ο δρομολογητής να προωθήσει το πακέτο
 - Συνάρτηση του μήκους πακέτου & του ρυθμού μετάδοσης της ζεύξης
 - ☞ ΔΕΝ έχει να κάνει με την απόσταση μεταξύ των δύο δρομολογητών
- ➡ d_{prop} = Καθυστέρηση διάδοσης. Ο χρόνος που χρειάζεται ένα bit για να διαδοθεί από τον ένα δρομολογητή στον επόμενο
 - Σχετίζεται με την απόσταση μεταξύ των δύο δρομολογητών
 - ☞ ΔΕΝ έχει να κάνει με το μήκος πακέτου ή το ρυθμό μετάδοσης της ζεύξης

Χρόνος μεταγωγής (Switching time)

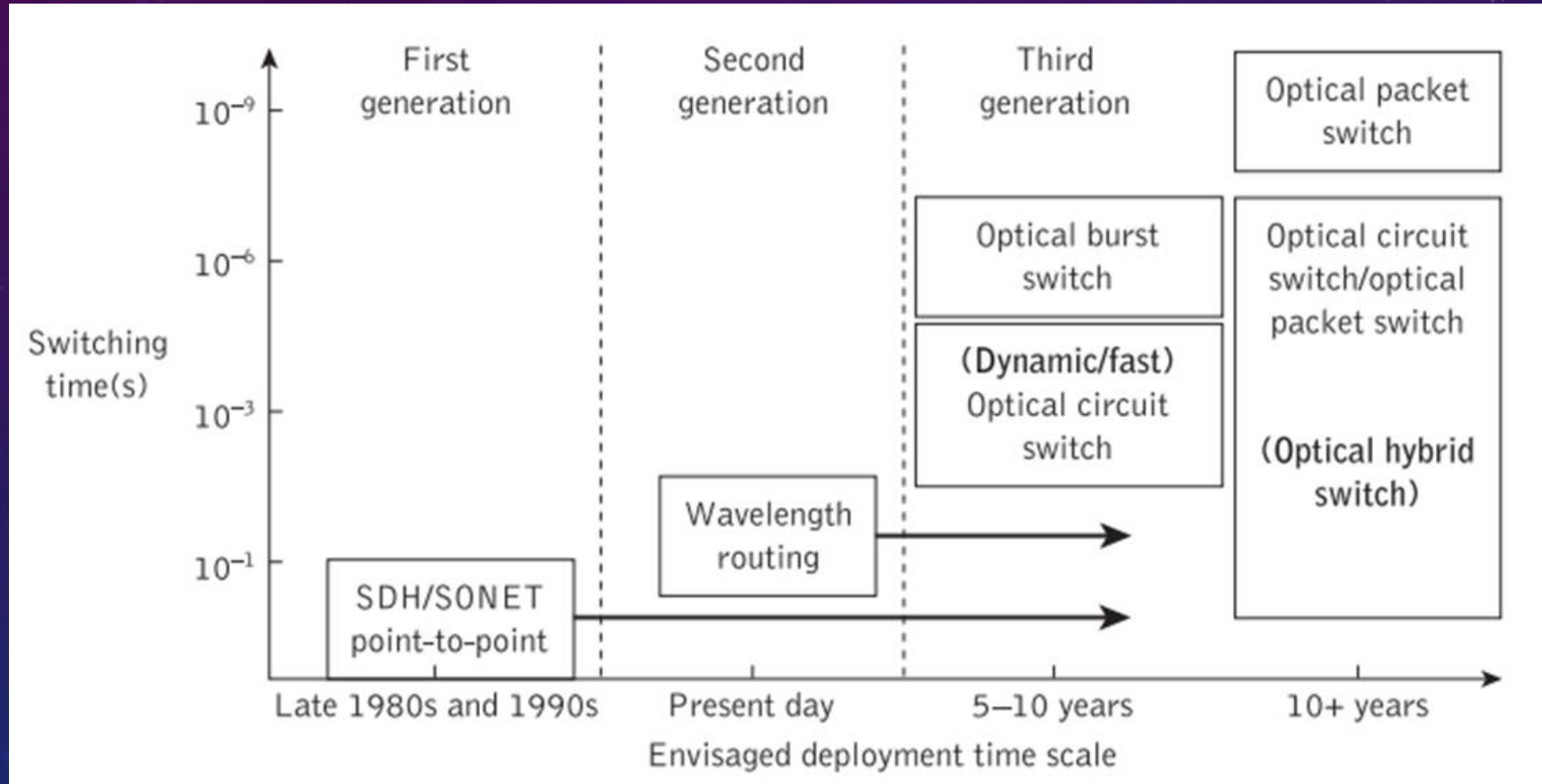
Εκρηκτική αύξηση κίνησης στα κέντρα δεδομένων (data centers):

- Machine learning
- Διαχωρισμός πόρων
- Data analytics
- Τεχνητή νοημοσύνη
- Έξυπνες συσκευές

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.

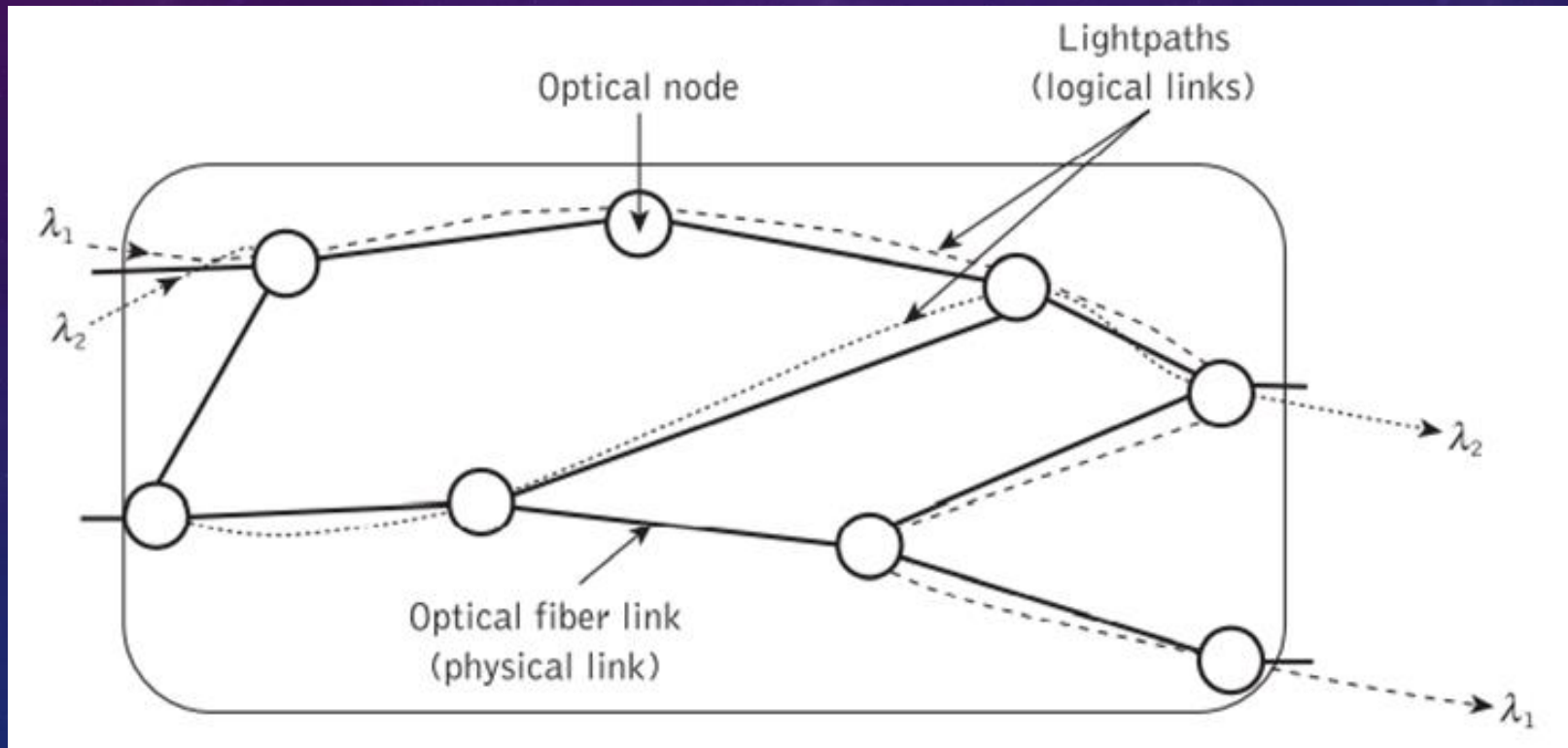
Switching time

Εξέλιξη των οπτικών δικτύων



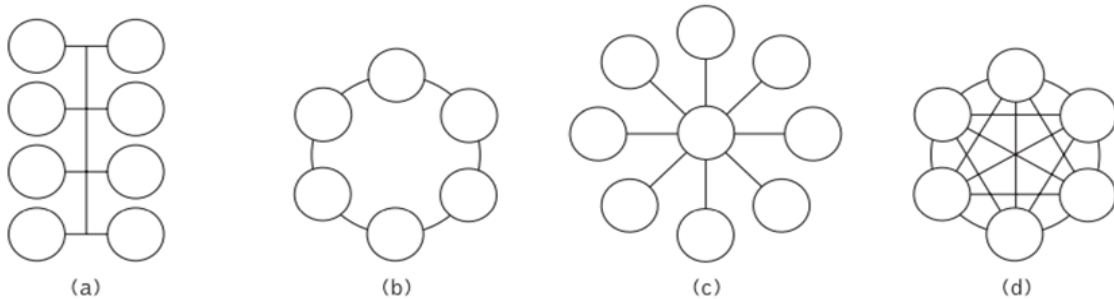
Δομή οπτικού δικτύου

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)
3. Υβριδικά Οπτικά Δίκτυα

Οπτικοί κόμβοι

Ένας οπτικός κόμβος

- στέλνει
- λαμβάνει και
- στέλνει εκ νέου ή ανακατευθύνει

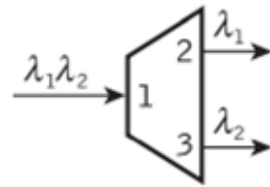
οπτικά σήματα στους γειτονικούς συνδεδεμένους κόμβους του.

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.

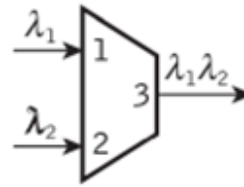
Καθώς τα οπτικά σήματα ταξιδεύουν σε πολυπλεξική μορφή ο δρομολογητής αναφέρεται ως δρομολογητής μήκους κύματος όταν διατηρεί το μήκος κύματος του σήματος και μετατροπέας μήκους κύματος.

Οπτικοί κόμβοι

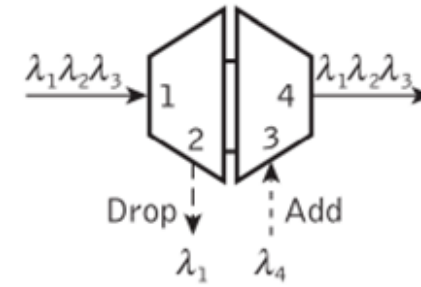
- a) Αποπολυπλέκτης μήκους κύματος,
- b) πολυπλέκτης μ.κ.,
- c) Πολυπλέκτης μ.κ. προσθήκης/αφαίρεσης,
- d) οπτικός μεταγωγέας μ.κ. 2x2,
- e) προσαρμοζόμενος πολυπλέκτης προσθήκης αφαίρεσης



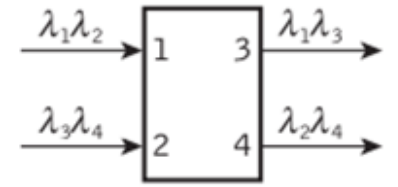
(a)



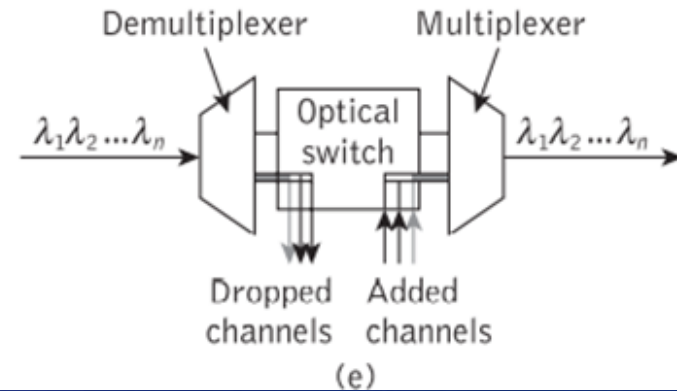
(b)



(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

Ερωτήσεις

- Σε ποια διαδικασία αναφέρεται η δρομολόγηση;
- Σε ποιον από τους τρόπους δρομολόγησης η διεύθυνση προορισμού που περιέχεται στο πακέτο προσδιορίζει τον επόμενο κόμβο;
- Σε ποιον από τους τρόπους δρομολόγησης η ετικέτα του πακέτου προσδιορίζει τον επόμενο κόμβο;
- Σε ποιον από τους τρόπους δρομολόγησης οι αλγόριθμοι επιλογής διαδρομής προσδιορίζουν τον επόμενο κόμβο;
- Ποιες είναι βασικές πηγές καθυστέρησης σε έναν δρομολογητή;
- Από τι εξαρτάται η κάθε πηγή (επεξεργασίας, ουράς, εκπομπής, διάδοσης) καθυστέρησης;
- Τι είναι η μεταγωγή ενός πακέτου πληροφορίας;
- Τι ρόλο επιτελούν τα πρωτόκολλα επικοινωνίας;