



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Τηλεπικοινωνιακά Ψηφιακά Δίκτυα

Ενότητα 10: Απελευθέρωση Τηλεπικοινωνιακής  
Αγοράς και Τηλεπικοινωνιακές Πολιτικές

Βαρουτάς Δημήτρης

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών



## Συστήματα Μεταγωγής

Επιδόσεις - Μεταγωγή - Πολυπλεξία



### Επιδόσεις

---

- ▶ Τα δίκτυα πρέπει να είναι αποδοτικά
- ▶ Πρώτα φτιάξτε κάτι σωστά και μετά κάντε το γρήγορο
- ▶ Σχεδιασμός με βάση τις επιδόσεις





## Μέτρα Επίδοσης – Εύρος Ζώνης

- Εύρος μιας ζώνης συχνοτήτων  
Π.χ. μια τηλεφωνική γραμμή υποστηρίζει εύρος συχνοτήτων από 300 ως 3300 Hz δηλαδή έχει εύρος ζώνης (BW):  $3300 \text{ Hz} - 300 \text{ Hz} = 3000 \text{ Hz}$ .
- Αριθμός bits που μπορούν να μεταδοθούν στο δίκτυο σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα
- **Ρυθμαπόδοση (Throughput):** Ο αριθμός των bits ανά sec που μπορούν πραγματικά να μεταδοθούν σε μια ζεύξη (μετρούμενη επίδοση ενός συστήματος)
- Απαιτήσεις των εφαρμογών σε BW: Ο αριθμός των bits ανά sec που απαιτείται να μεταδοθεί έτσι ώστε η εφαρμογή να εκτελείται με αποδεκτό τρόπο



## Μέτρα Επίδοσης – Εύρος Ζώνης

- Μέγιστος ρυθμός αποστολής δεδομένων σε μια ζεύξη
- Πόσος χρόνος χρειάζεται για τη μετάδοση ενός bit δεδομένων. Σε ένα δίκτυο των 10Mbps, για παράδειγμα, απαιτείται 0.1 microsecond ( $\mu\text{s}$ ) για τη μετάδοση ενός bit
- Πόσα bits χωράνε σε μια απόσταση ενός “second” -> Κάθε bit μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας παλμός κάποιου εύρους. Για παράδειγμα, κάθε bit σε μια ζεύξη των 1-Mbps έχει εύρος 1  $\mu\text{s}$ , ενώ σε μια ζεύξη των 2-Mbps έχει εύρος 0.5  $\mu\text{s}$





## Μέτρα Επίδοσης - Καθυστέρηση

- ▶ Πόσο χρόνο χρειάζεται ένα μήνυμα για να ταξιδέψει από το ένα άκρο του δικτύου στο άλλο
- ▶ **Round-Trip time:** Χρόνος που χρειάζεται για την αποστολή ενός μηνύματος από το ένα άκρο του δικτύου στο άλλο και πίσω



## Συνιστώσες της Καθυστέρησης

- **Καθυστέρηση διάδοσης (Propagation delay):** Ο χρόνος που χρειάζεται το σήμα για να ταξιδέψει από την πηγή στον προορισμό

$$\text{Propagation} = \text{Distance} / C \text{ (light speed)}$$

- **Χρόνος μετάδοσης (Packet transmission time):** Χρόνος που χρειάζεται ο αποστολέας για την αποστολή μιας μονάδας δεδομένων (π.χ. όλα τα bits ενός πακέτου)

$$\text{Transmit} = \text{Size} / \text{Bandwidth}$$

- **Queuing delay:** Χρόνος αναμονής του πακέτου πριν μεταδοθεί καθώς η ουρά δεν ήταν άδεια όταν αυτό έφτασε

- **Χρόνος επεξεργασίας (Processing Time):** Χρόνος που απαιτείται για την επεξεργασία της επικεφαλίδας ενός πακέτου στο router/switch

$$\text{Latency} = \text{propagation} + \text{transmit} + \text{queuing} + \text{processing}$$

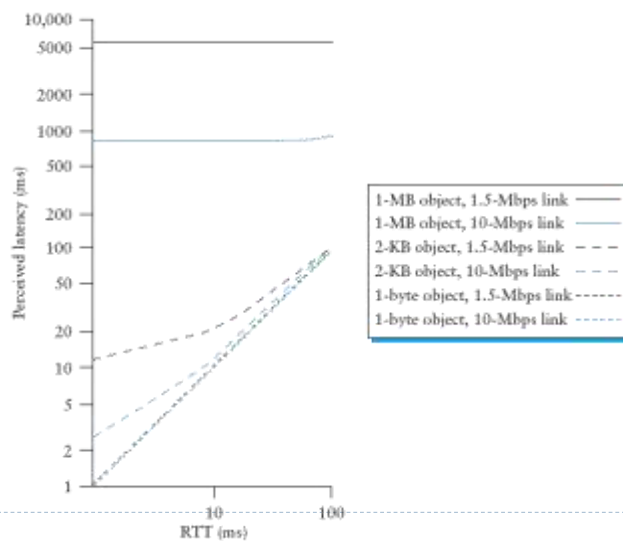


## BW εναντίον Καθυστερήσης

- ▶ Το εύρος ζώνης και η καθυστέρηση συνδυάζονται για τον καθορισμό των χαρακτηριστικών επίδοσης μιας ζεύξης
- ▶ Η σχετική τους σημασία εξαρτάται από την εκάστοτε εφαρμογή
- ▶ Σχετική σημασία
  - ▶ **Latency Bounded**- Αποστολή 1-byte σε έναν client
    - ▶ 1ms vs 100ms κυριαρχεί από το αν η ζεύξη είναι του 1Mbps ή των 100Mbps
  - ▶ **Bandwidth Bounded**- Αποστολή εικόνας 25MB: 1Mbps vs 100Mbps κυριαρχεί του 1ms vs 100ms



## BW εναντίον Καθυστερήσης





## Δίκτυα Υψηλών Ταχυτήτων

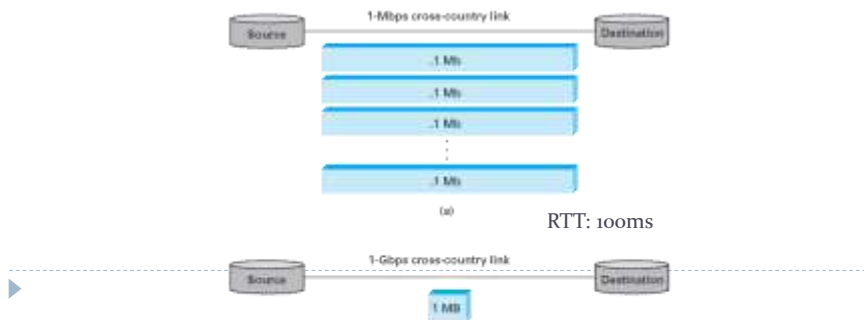
- Άπειρο BW

- Η ταχύτητα του φωτός είναι σταθερή -> Οι νόμοι της φυσικής δεν αλλάζουν
- Η καθυστέρηση δεν βελτιώνεται με τον ίδιο ρυθμό όπως το BW
- Όταν το RTT κυριαρχεί

$$\text{Throughput} = \text{TransferSize} / \text{TransferTime}$$

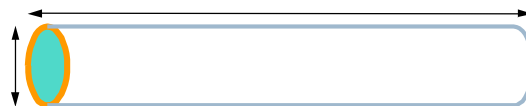
$$\text{TransferTime} = \text{RTT} + 1/\text{Bandwidth} \times \text{TransferSize}$$

- Ένα αρχείο 1-MB σε μια ζεύξη του 1-Gbps είναι το ίδιο με ένα πακέτο του 1-KB σε μια ζεύξη του 1-Mbps



## Γινόμενο Καθυστέρησης x BW

- ▶ Χωρητικότητα “αποθήκευσης” του δικτύου



- ▶ Όγκος του αγωγού κάποια στιγμή
- ▶ Πόσα bits διατηρούνται στον αγωγό πριν το πρώτο bit φτάσει στο δέκτη



## Γινόμενο Καθυστερήσης x BW

- ▶ Ναι όταν κατασκευάζουμε δίκτυα υψηλών επιδόσεων
- ▶ Ποσότητα δεδομένων πριν ακούσουμε από το δέκτη ότι όλα πάνε καλά (signaling)
- ▶ Ποσότητα δεδομένων “στον αέρα” ή “στον αγωγό”
- ▶ Συνήθως ενδιαφερόμαστε για το διπλάσιο αυτής της τιμής καθώς απαιτείται ένα RTT για να ακούσουμε το δέκτη
  
- ▶ Παράδειγμα:  $100\text{ms} \times 45\text{Mbps} = 560\text{KB}$



## Ανάγκες των Εφαρμογών – Εύρος Ζώνης

- Θέλουν όσο περισσότερο BW μπορεί να παράσχει το δίκτυο  
Π.χ. Κατέβασμα εικόνας: όσο περισσότερο BW είναι διαθέσιμο τόσο πιο γρήγορα θα φτάσει η εικόνα στο χρήστη
- Κάποιες εφαρμογές δηλώνουν ένα άνω όριο στο εύρος ζώνης που επιθυμούν
  - Εφαρμογές video
    - Σταθερού ρυθμού πλαισίων
    - Μεταβλητού ρυθμού (συμπιεσμένο video): Χρήση ενδιάμεσων μνημών (buffers) όταν το μέγεθος των ριπών είναι γνωστό και ο ρυθμός κορυφής είναι μεγαλύτερος από τη διαθέσιμη χωρητικότητα του καναλιού

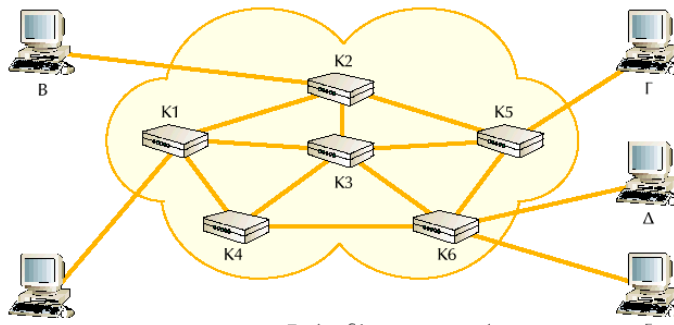


## Ανάγκες των Εφαρμογών – Καθυστέρηση

- ▶ Όσο λιγότερη καθυστέρηση γίνεται
- ▶ **Jitter:** Μεταβολή της καθυστέρησης
  - ▶ Δημιουργεί προβλήματα π.χ. στις ροές video – Κακή ποιότητα, έλλειψη πλαισίου την κατάλληλη στιγμή
  - ▶ Λύση: Καθυστέρηση έναρξης του video όταν το άνω όριο της καθυστέρησης είναι γνωστό



## Μεταγωγή

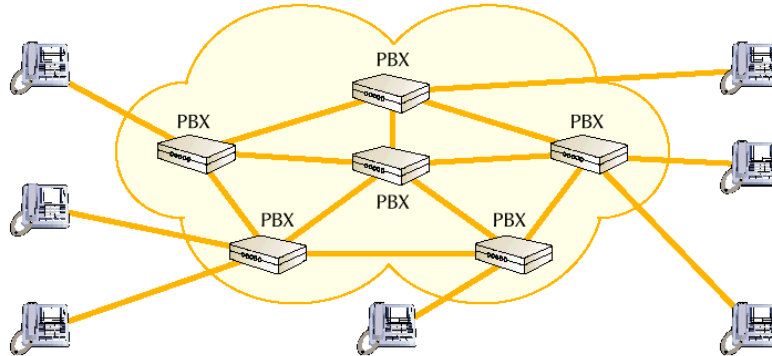


Σε ένα δίκτυο μεταγωγής, η πληροφορία που στέλνει ένας σταθμός, περνά από διαδοχικούς κόμβους του δικτύου, για να φθάσει τελικά στο σταθμό προορισμού.





## Μεταγωγή



*Το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο είναι δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος.*

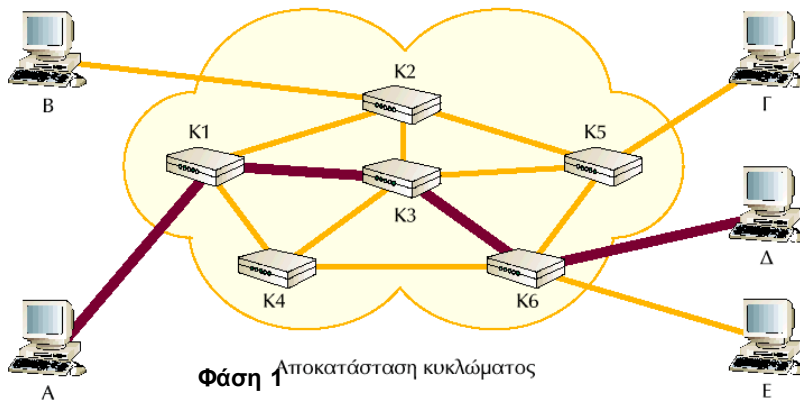


## Τεχνικές Μεταγωγής

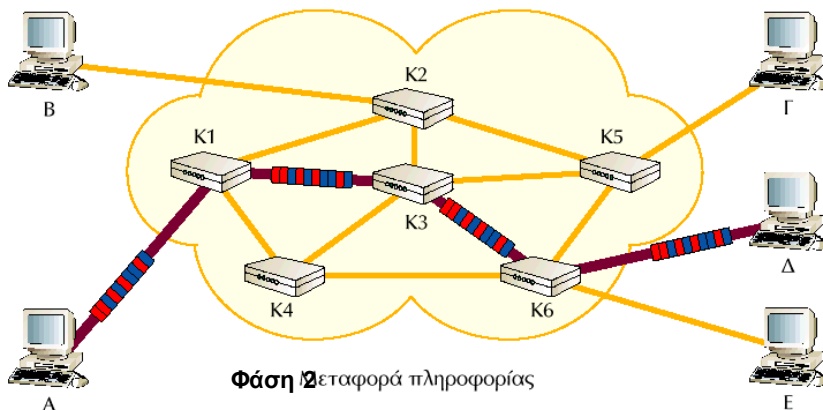
- ▶ Στα δίκτυα επικοινωνίας χρησιμοποιούνται δύο αρκετά διαφορετικές τεχνικές μεταγωγής
  - ▶ μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching)
  - ▶ μεταγωγή πακέτου (packet switching).
  
- ▶ Η διαφορά τους βρίσκεται στο τρόπο, με τον οποίο οι κόμβοι του δικτύου προωθούν (μετάγουν) την πληροφορία από τη μια γραμμή στην επόμενη, για να φθάσει στον προορισμό της.



## Οι τρεις φάσεις της τεχνικής μεταγωγής κυκλώματος

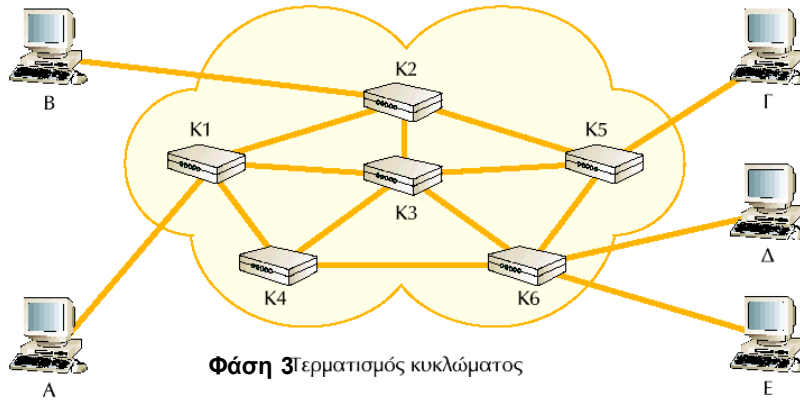


## Οι τρεις φάσεις της τεχνικής μεταγωγής κυκλώματος

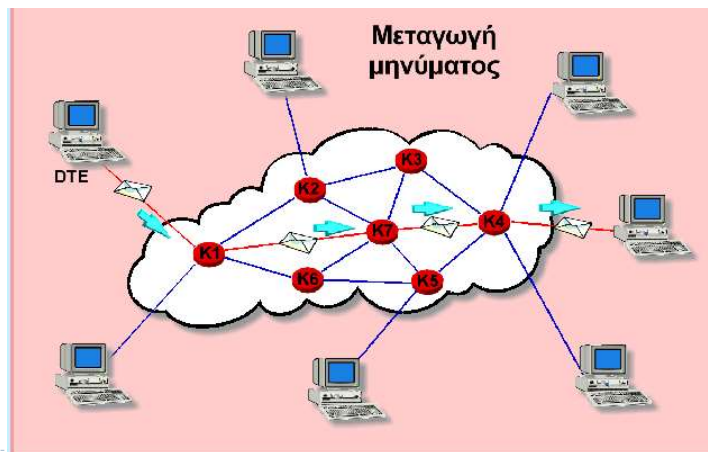




## Οι τρεις φάσεις της τεχνικής μεταγωγής κυκλώματος

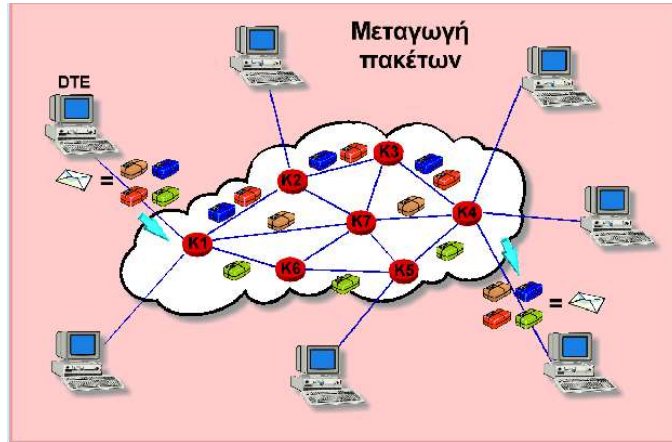


## Δίκτυα Μεταγωγής Μηνύματος

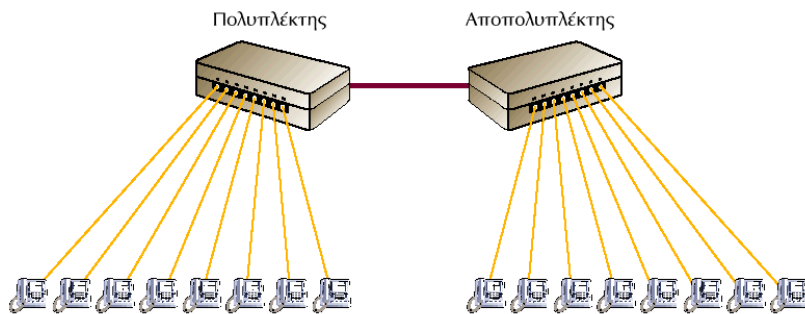




## Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



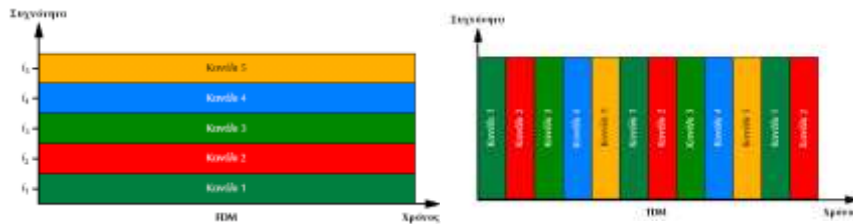
## Πολυπλεξία



Με την πολυπλεξία δεδομένα από πολλές πηγές μεταδίδονται μέσα από την ίδια γραμμή επικοινωνίας.



## Τεχνικές Πολυπλεξίας



## Οπτική Μεταγωγή

- ▶ Ρυθμοί δικτύων ενοποιημένων υπηρεσιών ευρείας ζώνης
  - ▶ Kbps → Mbps (HDTV) → Gbps (διασύνδεση τοπικών δικτύων υψηλής ταχύτητας)
- ▶ Μεταγωγή πακέτου κατάλληλη μέθοδος μεταγωγής εξαιτίας:
  - ▶ Της πολλαπλότητας των ρυθμών μετάδοσης
  - ▶ Εκρηκτικότητα των πηγών
- ▶ Αποθήκευση και επεξεργασία των επικεφαλίδων των πακέτων → Ηλεκτρονική επεξεργασία στους κόμβους μεταγωγής
- ▶ Η οπτική ίνα προσφέρει BW της τάξης των THz → Δεν αξιοποιείται σε συστήματα με ηλεκτρονικούς κόμβους
- ▶ Ενσωμάτωση μέρους των λειτουργιών και δρομολόγησης στο οπτικό κομμάτι του δικτύου



## Μεταγωγή με Διαίρεση Μήκους Κύματος

- ▶ Πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing)
- ▶ Επιτρέπει την επίτευξη ρυθμών Tbps στα δίκτυα
- ▶ Διαίρεση του οπτικού φάσματος σε πολλά διαφορετικά κανάλια
- ▶ Κάθε κανάλι αντιστοιχεί σε ένα διαφορετικό μήκος κύματος (συχνότητα)
- ▶ Η διαδρομή μεταξύ των κόμβων είναι αμιγώς οπτική
- ▶ Απαιτήσεις: Πηγές laser στενού εύρους ζώνης και οπτικά φίλτρα για τον διαχωρισμό των διαφορετικών μηκών κύματος



## Μεταγωγή με Διαίρεση Μήκους Κύματος

- ▶ Σε κάθε μήκος κύματος μπορεί να υπάρξει ακόμη ένα στάδιο πολύπλεξης σε ηλεκτρονικό επίπεδο
  - ▶ Πολυπλεξία φέροντος (subcarrier multiplexing)
    - ▶ Πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας
    - ▶ Το BW του καναλιού διαχωρίζεται σε πολλά μικροκυματικά κανάλια
  - ▶ Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (TDM)
    - ▶ Το δεύτερο στάδιο πολύπλεξης γίνεται στο χρόνο



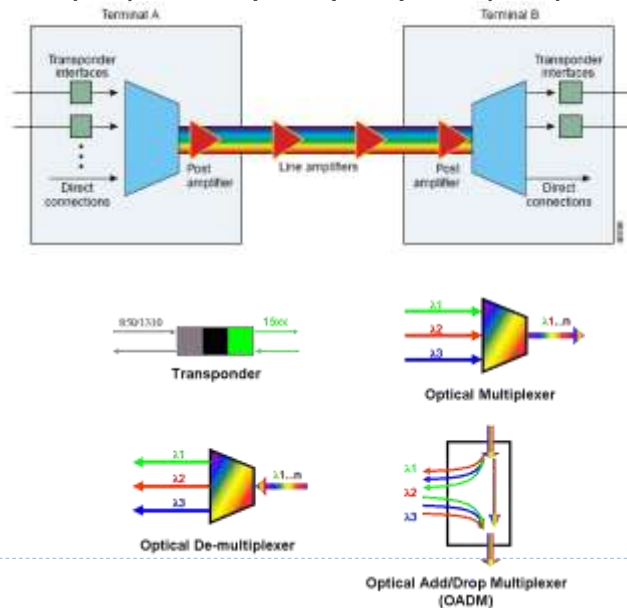


## Μεταγωγή με Διαίρεση Μήκους Κύματος

- ▶ Πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος
  - ▶ Συστήματα ευρυεκπομπής και επιλογής (broadcast and select)
  - ▶ Συστήματα δρομολόγησης μήκους κύματος (wavelength routing)
- ▶ Τα συστήματα αυτά μπορούν να χωριστούν περαιτέρω σε:
  - ▶ Συστήματα μονού άλματος (single-hop)
  - ▶ Συστήματα πολλαπλών αλμάτων (multihop)

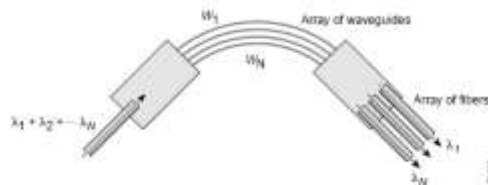
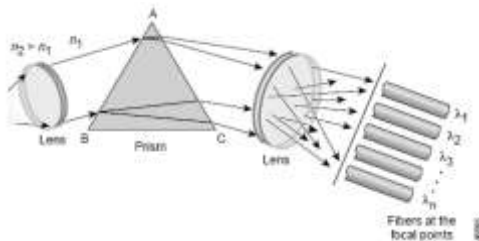


## Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος





## Πολυπλέκτες – Αποπολυπλέκτες



## Συστήματα Ευρυεκπομπής και Επιλογής

- ▶ Οι εκπομπές κάθε σταθμού κοινοποιούνται σε όλους τους υπόλοιπους σταθμούς του δικτύου
- ▶ Στο δέκτη τα επιθυμητά σήματα επιλέγονται και εξάγονται
  - ▶ Κάθε σταθμός θα μπορούσε να εκπέμπει σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος
    - ▶ Το μήκος κύματος κάθε σταθμού θα είναι διαφορετικό από αυτό των υπόλοιπων σταθμών
    - ▶ Ένα οπτικό συντονιζόμενο φίλτρο θα διαχώριζε το επιθυμητό σήμα από τα υπόλοιπα σήματα στο δέκτη
    - ▶ Απαιτήση για σηματοδοσία ώστε οι δέκτες να πληροφορούνται για το μήκος κύματος συντονισμού





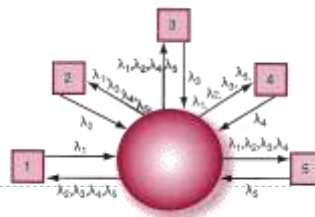
## Συστήματα Ευρυεκπομπής και Επιλογής

- ▶ Χρήση συντονιζόμενων πομπών και δεκτών σε σταθερό μήκος κύματος
  - ▶ Συνδέσεις από σημείο σε σημείο
- ▶ Συντονιζόμενοι πομποί και δέκτες
  - ▶ Μείωση μηκών κύματος
  - ▶ Κίνδυνος μπλοκαρίσματος
- ▶ Η διάρθρωση του δικτύου είναι καθαρά παθητική
  - ▶ Οπτικοί συζεύκτες, διακλαδωτές



## Συστήματα Ευρυεκπομπής και Επιλογής Μονού Άλματος

- ▶ Η πληροφορία φτάνει στον προορισμό της χωρίς να μετατραπεί σε ηλεκτρικό σήμα ενδιάμεσα
- ▶ Αμιγώς οπτικά δίκτυα (all optical networks)
- ▶ Κάθε σταθμός εκπέμπει σε ένα μήκος κύματος διαφορετικό από τους υπόλοιπους σταθμούς
- ▶ Όλες οι εκπομπές κοινοποιούνται σε όλους τους σταθμούς
- ▶ Σε κάθε σταθμό ένα οπτικό φίλτρο διαχωρίζει το επιθυμητό οπτικό σήμα από τα υπόλοιπα





## Συστήματα Ευρυεκπομπής και Επιλογής Μονού Άλματος

- ▶ Απώλεια πακέτων: Ανταγωνισμός για την ίδια είσοδο στο δέκτη
  - ▶ Στην περίπτωση παθητικού αστέρα χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικοί ενταμιευτές στον πομπό ή στο δέκτη
- ▶ Γρήγορος συντονισμός και μεταγωγή πακέτων: Εκπομπή και λήψη διαδοχικών πακέτων προς και από διαφορετικούς σταθμούς
  - ▶ Τα διαδοχικά πακέτα είναι δυνατόν να εκπέμπονται σε διαφορετικά μήκη κύματος
  - ▶ Χρήση πομπών laser και οπτικών φίλτρων με υψηλή επιλεκτικότητα, γρήγορου συντονισμού σε μια ευρεία περιοχή οπτικών μηκών κύματος
- ▶ Έλεγχος πρόσβασης: Μηχανισμός ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC) είναι ουσιαστική για το συντονισμό των εκπομπών από τους διάφορους σταθμούς
- ▶ Αποτροπή ή / και επίλυση προβλημάτων συγκρούσεων/ανταγωνισμού
  - ▶ Ανταγωνισμός:
    - ▶ Εκπομπή δύο σταθμών στο ίδιο μήκος κύματος
    - ▶ Συντονισμός δέκτη σε ένα μήκος κύματος (ο δέκτης πρέπει να ξέρει πότε να συντονιστεί στο κατάλληλο μήκος κύματος)



## Συστήματα Ευρυεκπομπής και Επιλογής Μονού Άλματος

- ▶ Έλεγχος πρόσβασης
  - ▶ Πολλοί από τους μηχανισμούς βασίζονται σε ένα ξεχωριστό κανάλι ελέγχου
    - ▶ Το κανάλι διαμοιράζεται μεταξύ όλων των σταθμών και χρησιμοποιείται για το συντονισμό των εκπομπών
    - ▶ Πρόβλημα: Μείωση επιδόσεων εξαιτίας της ηλεκτρονικής επεξεργασίας σε κάθε σταθμό της πληροφορίας που αφορά όλους τους υπόλοιπους σταθμούς
    - ▶ Λύση: Χρήση περισσότερων καναλιών ελέγχου → Σπατάλη εύρους ζώνης





## Συστήματα Ευρυεκπομπής και Επιλογής Μονού Άλματος

- ▶ Έλεγχος πρόσβασης
  - ▶ Άλλοι μηχανισμοί βασίζονται σε κρατήσεις
    - ▶ Ένας σταθμός πριν εκπέμψει πρέπει να στείλει αίτηση προς τον κεντρικό έλεγχο
    - ▶ Ο σταθμός εκπέμπει αφού ο κεντρικός έλεγχος αποστείλει άδεια μετά από χρόνο τουλάχιστον ίσο με το χρόνο διπλής διαδρομής (round trip time)
    - ▶ (+) Αποδοτικός προγραμματισμός
    - ▶ (-) Αύξηση της καθυστέρησης



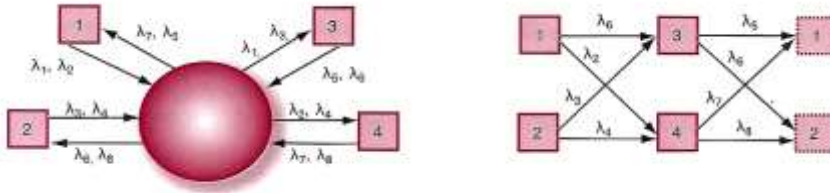
## Συστήματα Ευρυεκπομπής και Επιλογής Πολλαπλών Αλμάτων

- ▶ Δεν απαιτεί συντονιζόμενα στοιχεία
  - ▶ Αποφεύγει το σκόπελο των πομπών και των φίλτρων γρήγορου συντονισμού
- ▶ Κάθε σταθμός έχει στη διάθεσή του ένα μικρό αριθμό (π.χ. 2) οπτικών πομπών και ένα μικρό αριθμό οπτικών δεκτών σταθερού μήκους κύματος
- ▶ Οι σταθμοί μπορούν να εκπέμψουν άμεσα μόνο προς εκείνους τους σταθμούς με δέκτη που είναι συντονίζονται στο μήκος κύματος εκπομπής
- ▶ Πακέτα που προορίζονται για άλλους σταθμούς δρομολογούνται μέσω ενδιάμεσων σταθμών
- ▶ Σε κάθε ενδιάμεσο σταθμό
  - ▶ τα οπτικά σήματα μετατρέπονται σε ηλεκτρικά
  - ▶ Αποκωδικοποιούνται οι επικεφαλίδες τους
  - ▶ Γίνεται ηλεκτρονική μεταγωγή
  - ▶ Τα πακέτα επανεκπέμπονται στο κατάλληλο μήκος κύματος προς τον τελικό προορισμό



## Συστήματα Ευρυεκπομπής και Επιλογής Πολλαπλών Αλμάτων

- ▶ Φυσική και λογική τοπολογία



- ▶ Δεν υπάρχει ανταγωνισμός και συγκρούσεις



## Προβλήματα στα Δίκτυα Ευρυεκπομπής και Επιλογής

- ▶ Έλλειψη επαναχρησιμοποίησης μήκους κύματος
  - ▶ Τα δίκτυα αυτά απαιτούν ένα μεγάλο αριθμό μηκών κύματος (τουλάχιστον ίσο με τον αριθμό των σταθμών)
  - ▶ Όσο ο αριθμός των απαιτούμενων καναλιών αυξάνει τόσο πιο αυστηρές γίνονται οι απαιτήσεις σταθερότητας των πομπών και των οπτικών φίλτρων
  - ▶ Η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών καναλιών καθορίζεται από την επιλεκτικότητα των οπτικών φίλτρων που χρησιμοποιούνται
  - ▶ Περιορισμό αποτελεί η διαφωνία (crosstalk) μεταξύ των γειτονικών καναλιών
    - ▶ Το πρόβλημα ενισχύεται στους υψηλούς ρυθμούς → Chirp → Αύξηση του φασματικού εύρους των καναλιών
    - ▶ Λύση: Χρήση κατάλληλης διαμόρφωσης (FSK) ή εξωτερικών διαμορφωτών



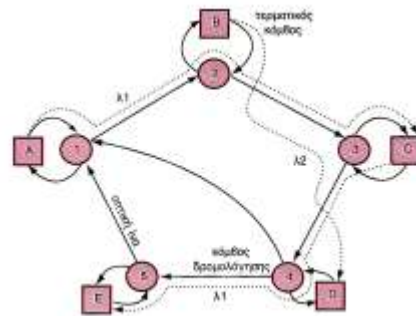
## Προβλήματα στα Δίκτυα Ευρυεκπομπής και Επιλογής

- ▶ **Απώλειες Διακλάδωσης:**
  - ▶ Κάθε σταθμός λαμβάνει ένα μικρό τμήμα της αρχικά εκπεμπόμενης ισχύος λόγω των σταδίων διακλάδωσης
  - ▶ Η χρήση οπτικών ενισχυτών είναι αναπόφευκτη
  - ▶ Εναλλακτικά χρησιμοποιούνται σύμφωνη δέκτες που έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία
- ▶ **Αδυναμία επέκτασης:**
  - ▶ Τα δίκτυα αυτά είναι κατάλληλα για LAN και MAN
  - ▶ Αδυναμία επέκτασης σε WAN λόγω του τεράστιου αριθμού των χρηστών που θα πρέπει να υποστηριχθούν



## Δίκτυα Δρομολόγησης Μήκους Κύματος Επαναχρησιμοποίηση Μήκους Κύματος

- ▶ Ένας κόμβος μπορεί να έχει συνδέσεις με αρκετούς αλλά όχι με όλους τους υπόλοιπους κόμβους
- ▶ Κάθε σύνδεση μεταξύ δύο κόμβων μεταφέρεται πάνω από ένα καθορισμένο μήκος κύματος
- ▶ Το ίδιο μήκος κύματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιεσδήποτε δύο συνδέσεις
  - ▶ Αν οι διαδρομές (τα μονοπάτια) των συνδέσεων αυτών να μην επικαλύπτονται
- ▶ Μείωση αριθμού μηκών κύματος που απαιτούνται



Για μηδενική πιθανότητα μπλοκαρίσματος χρειάζονται  $N^{1/2}$  διαφορετικά μήκη κύματος για δίκτυο με  $N$  κόμβους



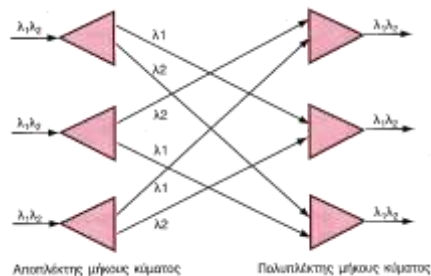
## Δίκτυα Δρομολόγησης Μήκους Κύματος Αρχιτεκτονική των Κόμβων Δρομολόγησης

- ▶ Κάθε κόμβος δρομολόγησης έχει αρκετές θύρες εισόδου και εξόδου
- ▶ Μερικές από τις θύρες συνδέονται με άλλους κόμβους δρομολόγησης ενώ άλλες συνδέονται με τερματικούς κόμβους
- ▶ Κάθε θύρα εισόδου λαμβάνει οπτικά σήματα σε διαφορετικά μήκη κύματος
- ▶ Η δρομολόγηση ενός μήκους κύματος πρέπει να γίνεται ανεξάρτητα από τα σήματα σε διαφορετικά μήκη κύματος
- ▶ Η δρομολόγηση μπορεί να είναι είτε προκαθορισμένη (στατική) είτε δυναμική



## Δίκτυα Δρομολόγησης Μήκους Κύματος Προκαθορισμένη Δρομολόγηση

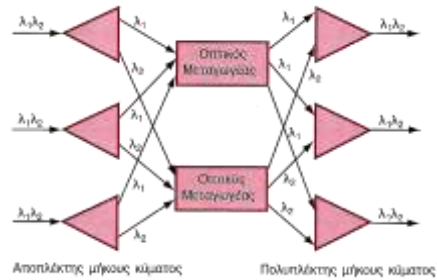
- ▶ Σε κάθε θύρα εισόδου φτάνουν σήματα σε δύο μήκη κύματος  $\lambda_1$  και  $\lambda_2$
- ▶ Τα μήκη κύματος διαχωρίζονται από έναν αποπολυπλέκτη
- ▶ Η εσωτερική διάταξη του κόμβου είναι τέτοια ώστε κάθε θύρα εξόδου να δέχεται ένα σήμα στο μήκος  $\lambda_1$  και ένα στο  $\lambda_2$
- ▶ Τα σήματα αυτά πολυπλέκονται με κατάλληλο φράγμα πολύπλεξης





## Δίκτυα Δρομολόγησης Μήκους Κύματος Δυναμική Δρομολόγηση Μήκους Κύματος

- ▶ Επιτρέπει τη δυναμική αλλαγή της διάταξης μεταγωγής ανάλογα με την κίνηση στο δίκτυο
- ▶ Επιτυγχάνεται με την εισαγωγή χωρικών οπτικών μεταγωγέων εσωτερικά στον κόμβο δρομολόγησης
- ▶ Τα σήματα με  $\lambda_1$  πάνε στον πρώτο  $3 \times 3$  οπτικό μεταγωγό και αυτά με  $\lambda_2$  στο δεύτερο
- ▶ Κάθε έξοδος των οπτικών μεταγωγών πάει σε διαφορετική θύρα εξόδου του κόμβου
- ▶ Επιτρέπει τη μεταγωγή οποιασδήποτε θύρας εισόδου σε οποιαδήποτε θύρα εξόδου χωρίς αλλαγή μήκους κύματος



## Υποστήριξη Μεταγωγής Πακέτου

- ▶ Μονό άλμα: Οι μεταγωγείς στους ενδιάμεσους κόμβους δρομολόγησης πρέπει να αλλάζουν διάταξη με βάση τα εισερχόμενα πακέτα
  - ▶ Ασύμφορη προσέγγιση
  - ▶ Έλλειψη οπτικών ενταμιευτών
  - ▶ Προβλήματα ελέγχου που σχετίζονται με την επεξεργασία των επικεφαλίδων των πακέτων και τη διασυνεργασία με τους υπόλοιπους μεταγωγείς του κόμβου



## Υποστήριξη Μεταγωγής Πακέτου

- ▶ Πολλαπλά Άλματα: Επιβάλλεται πάνω από τη φυσική τοπολογία μια λογική τοπολογία η οποία καθορίζεται από τους οπτικούς μεταγωγείς στους κόμβους δρομολόγησης
  - ▶ Η λογική τοπολογία μπορεί να αλλάξει με μεταβολή της διάταξης των οπτικών μεταγωγών
  - ▶ Ένα πακέτο μπορεί να φτάσει στον τερματικό κόμβο προορισμού μετά από δρομολόγηση διαμέσου άλλων τερματικών κόμβων
  - ▶ Σε καθέναν από τους τερματικούς κόμβους το πακέτο μετατρέπεται σε ηλεκτρονικό σήμα και επανεκπέμπεται σε άλλο μήκος κύματος



## Υποστήριξη Μεταγωγής Πακέτου

- ▶ (+) Ελάττωση κόστους σε επίπεδο υλικού καθώς και της πολυπλοκότητας του ελέγχου του δικτύου
- ▶ Ένας κόμβος δρομολόγησης με  $\Delta$  θύρες εισόδου και εξόδου και  $M$  διαφορετικά μήκη κύματος απαιτεί
  - ▶  $2\Delta$  ( $1 \times M$ ) πολυπλέκτες / αποπολυπλέκτες
  - ▶  $M$  ( $\Delta \times \Delta$ ) οπτικούς μεταγωγείς
- ▶ Τα δίκτυα ευρυεκπομπής και επιλογής είναι κατάλληλα για LAN και MAN ενώ τα δίκτυα δρομολόγησης για WAN
- ▶ Το συνολικό δίκτυο μπορεί να είναι ένας συνδυασμός από υποδίκτυα τύπου ευρυεκπομπής και επιλογής τα οποία διασυνδέονται σε ένα δίκτυο δρομολόγησης μήκους κύματος





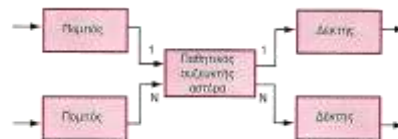
## Συστήματα Μεταγωγής με Διαίρεση Χρόνου ή Κώδικα

- ▶ Περιορισμένα πειράματα με φωτονικούς μεταγωγείς διαίρεσης χρόνου
  - ▶ Έλλειψη οπτικών μνημών
- ▶ Η βασική αρχή της πολυπλεξίας με διαίρεση χρόνου μπορεί να συνδυαστεί με άλλες μεθόδους πολύπλεξης
  - ▶ Διαίρεση μήκους κύματος (π.χ. σε τοπολογία αστέρα)
- ▶ Πολυπλεξία με διαίρεση κώδικα (Code Division Multiple Access, CDMA)
  - ▶ Το κοινό κανάλι μοιράζεται στο χρόνο και τη συχνότητα
  - ▶ Ένας μοναδικός κώδικας εκχωρείται σε κάθε χρήστη
  - ▶ Ο πομπός και ο δέκτης επικοινωνούν εφόσον είναι συντονισμένοι και κλειδωμένοι στον ίδιο κώδικα σε όλες τις συχνότητες και χρόνους του καναλιού



## Συστήματα Μεταγωγής με Διαίρεση Χρόνου ή Κώδικα

- ▶ Η πολυπλεξία με διαίρεση κώδικα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σκοπό τη μεταγωγή
- ▶ Ανάθεση ορθογώνιων κωδικών στη διεύθυνση κάθε χρήστη
- ▶ Κάθε δυαδικό ψηφίο κωδικοποιείται με τη διεύθυνση προορισμού του
- ▶ Οι κωδικοποιημένες ακολουθίες δυαδικών ψηφίων από όλους τους κωδικοποιητές
  - ▶ Συνδυάζονται σε έναν συζεύκτη αστέρα
  - ▶ Κοινοποιούνται σε όλους τους αποκωδικοποιητές





## Συστήματα Μεταγωγής με Διαίρεση Χρόνου ή Κώδικα

- ▶ Οι αποκωδικοποιητές εξάγουν μέσω αυτοσυσχέτισης και ετεροσυσχέτισης μόνο τα δυαδικά ψηφία που προορίζονται για αυτούς
- ▶ Επιλογή κωδικών με κατάλληλες ιδιότητες
  - ▶ Αυτοσυσχέτιση: Κάθε ακολουθία μπορεί να διακρίνεται από μετατοπισμένες εκδόσεις της → Συμβάλλει στο συγχρονισμό
  - ▶ Ετεροσυσχέτιση: Κάθε ακολουθία μπορεί να διακρίνεται από κάθε άλλη → Συμβάλλει στη μείωση παρεμβολών

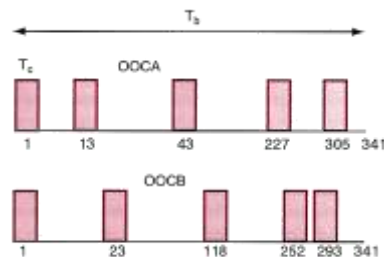


## Συστήματα Μεταγωγής με Διαίρεση Χρόνου ή Κώδικα

- ▶ Οπτικοί Ορθογώνιοι Κώδικες (Optical Orthogonal Codes, OOCs)
  - ▶ Μήκος  $F$ : Δηλώνει τον αριθμό των ίσων χρονικών μονάδων ( $T_c$ ) στις οποίες διαιρείται ο χρόνος ενός δυαδικού ψηφίου  $T_b$  →  $F = T_b / T_c$
  - ▶ Βάρος  $k$ : Δηλώνει τον αριθμό των παλμών σε χρόνο  $T_b$
  - ▶ Μέγιστος αριθμός OOCs:

$$M \leq [(F-1)/k(k-1)]$$

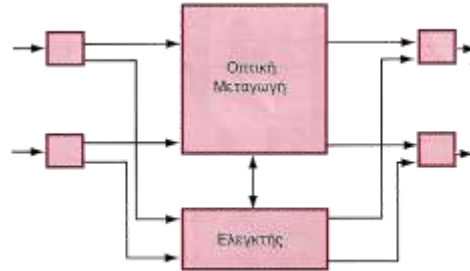
με  $k(k-1) \leq F-1$





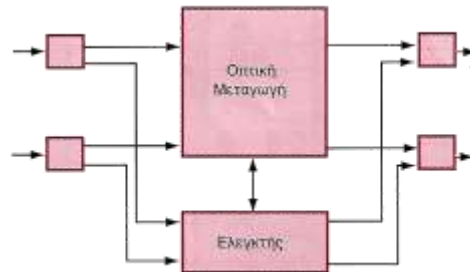
## Συστήματα Χωρικής Μεταγωγής

- ▶ Οι είσοδοι και οι έξοδοι διασυνδέονται με φυσικές διαδρομές
- ▶ Διαφορετικές συνδέσεις χρησιμοποιούν διαφορετικές διαδρομές
- ▶ Κάθε σύνδεση απαιτεί επιπρόσθετο φυσικό χώρο στο μεταγωγού
- ▶ Η οπτική ενέργεια του εισερχόμενου σήματος διαχωρίζεται στην είσοδο
- ▶ Ένα μικρό τμήμα της ενέργειας μετατρέπεται σε ηλεκτρική μορφή και αποστέλλεται στον ηλεκτρονικό ελεγκτή



## Συστήματα Χωρικής Μεταγωγής

- ▶ Τα σημεία προσαρμογής εξόδου τροφοδοτούν τις γραμμές εξόδου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για:
  - ▶ Τη μετάφραση της επικεφαλίδας των πακέτων
  - ▶ Για την προσωρινή αποθήκευση των πακέτων που εξέρχονται





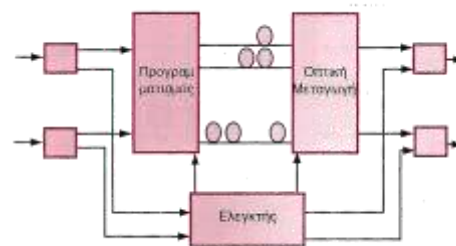
## Συστήματα Χωρικής Μεταγωγής

- ▶ Ανταγωνισμός στις εξόδους
- ▶ Πρόβλημα: Απουσία οπτικών ενταμιευτών
- ▶ Λύση: Μετατροπή του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό
  - ▶ (+) Χρήση ηλεκτρονικών ενταμιευτών
  - ▶ (+) Ηλεκτρονική επεξεργασία δεδομένων
  - ▶ (-) Ανάγκη μετατροπών
  - ▶ (-) Περιορισμός εύρους ζώνης από τα ηλεκτρονικά



## Συστήματα Χωρικής Μεταγωγής

- ▶ Αναγκαία διατήρηση σε οπτική μορφή → οπτική αποθήκευση → γραμμές καθυστέρησης με οπτική ίνα
- ▶ Μονάδα προγραμματισμού: Κατανέμει έτσι τα πακέτα ώστε σε καμία χρονική στιγμή να μη φτάνουν ταυτόχρονα στη μονάδα οπτικής μεταγωγής πακέτα που προορίζονται για την ίδια έξοδο
- ▶ Η μέθοδος αποτρέπει τον ανταγωνισμό για τις θύρες εξόδου





## Συστήματα Χωρικής Μεταγωγής

---

- ▶ Μεταγωγείς αυτό-δρομολόγησης (self-routing): Δεν βασίζονται σε έναν κεντρικό ελεγκτή που να παίρνει όλες τις αποφάσεις δρομολόγησης
  - ▶ Αποτελούνται από τη φωτονική δομή μεταφοράς και την ηλεκτρονική δομή ελέγχου
  - ▶ Η φωτονική χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των οπτικών σημάτων
  - ▶ Η ηλεκτρονική χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των επικεφαλίδων των πακέτων
  - ▶ Οι αποφάσεις δρομολόγησης που παίρνονται στο ηλεκτρονικό τμήμα χρησιμοποιούνται για τον άμεσο έλεγχο του φωτονικού τμήματος
  - ▶ Ο χρόνος επεξεργασίας των μικρών επικεφαλίδων πρέπει να ισούται με το χρόνο μεταφοράς των πολύ μεγαλύτερων πεδίων πληροφορίας των πακέτων στο φωτονικό δίκτυο
- 



Τέλος

Απελευθέρωση Τηλεπικοινωνιακής Αγοράς  
και Τηλεπικοινωνιακές Πολιτικές

# 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 Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Βαρουτάς Δημήτρης, Σφηκόπουλος Θωμάς. «Τηλεπικοινωνιακά Ψηφιακά Δίκτυα. Απελευθέρωση Τηλεπικοινωνιακής Αγοράς και Τηλεπικοινωνιακές Πολιτικές». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/DI122/>.



# 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.

