Δίκτυα Υπολογιστών Ι

Δίκτυα Μεταγωγής & Διαδίκτυα: Μέρος Α'

Ευάγγελος Παπαπέτρου

Τμ. Μηχ. Η/Υ & Πληροφορικής, Παν. Ιωαννίνων

Διάρθρωση

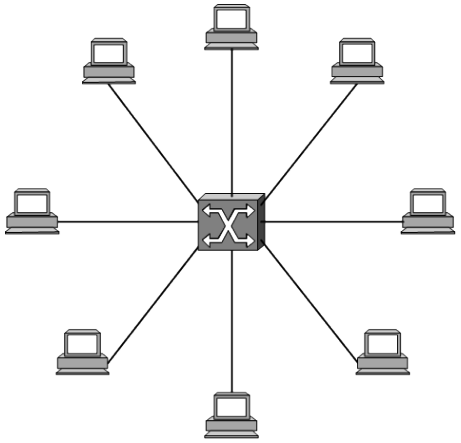
1. Εισαγωγή-Βασικές έννοιες
2. Μοντέλο υπηρεσίας, κατανομή πόρων και συμφόρηση
3. Πολυπλεξία
4. Διαχείριση ουρών αναμονής

Διάρθρωση

1. Εισαγωγή-Βασικές έννοιες
2. Μοντέλο υπηρεσίας, κατανομή πόρων και συμφόρηση
3. Πολυπλεξία
4. Διαχείριση ουρών αναμονής

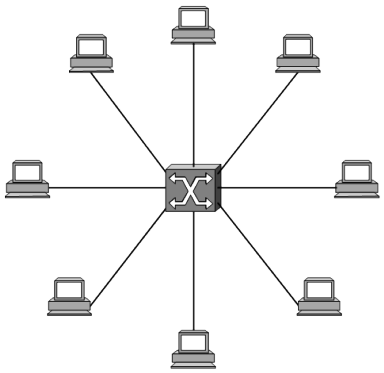
Δίκτυα Μεταγωγής: Βασική αρχή λειτουργίας (1/2)

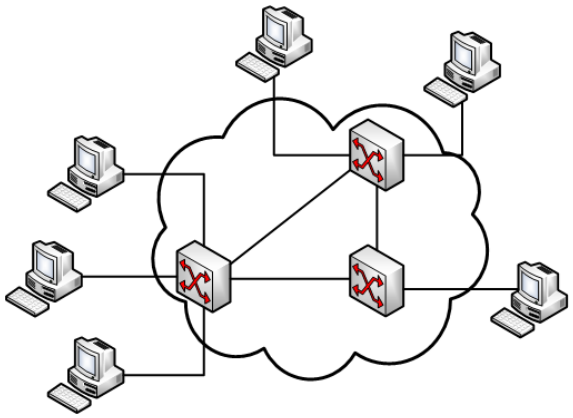
- Κεντρική ιδέα: διασύνδεση πολλών υπολογιστών μέσω ενός υπολογιστή ειδικού σκοπού που ονομάζεται μεταγωγέας (switch)
  - αυτό το παράδειγμα δικτύωσης εισάγει την τοπολογία αστέρα
- Ένας μεταγωγέας προωθεί ή μετάγει δεδομένα από μία είσοδο (σύνδεσμο) σε μία έξοδο (σύνδεσμο)
  - η διαδικασία ονομάζεται μεταγωγή (switching) και πολλές φορές αναφέρεται και με τον όρο προώθηση (forwarding)



Δίκτυα Μεταγωγής: Βασική αρχή λειτουργίας (2/2)

- Πολλοί μεταγωγείς μπορούν να διασυνδεθούν για να παράξουν ένα δίκτυο με τοπολογία mesh
  - το δίκτυο που δημιουργείται ονομάζεται δίκτυο μεταγωγής

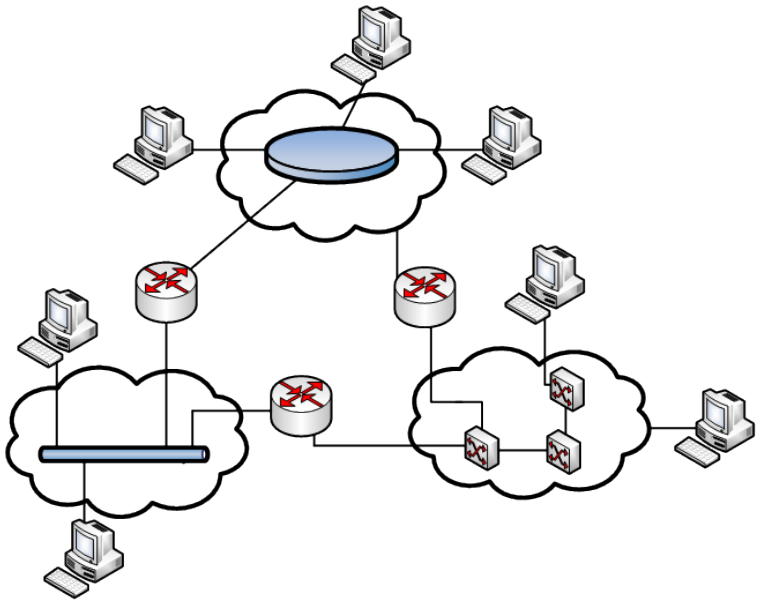




- Πλεονεκτήματα:
  - δεν υπάρχει όριο στο πόσοι μεταγωγείς μπορούν να διασυνδεθούν
  - η επέκταση του δικτύου δεν συνεπάγεται κατ'ανάγκη τη μείωση της απόδοσής του
  - η γεωγραφική έκταση ενός δικτύου μπορεί να είναι μεγάλη επειδή οι μεταγωγείς είναι σημεία όπου το σήμα πληροφορίας αναγεννάται.

Δίκτυα Μεταγωγής και Διαδίκτυα

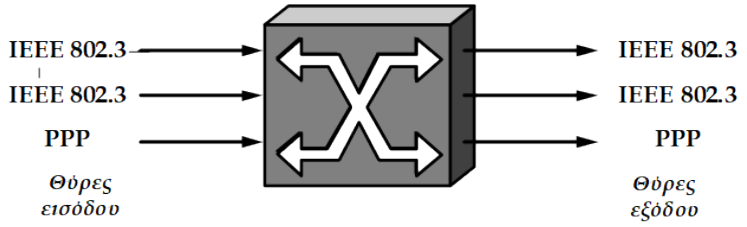
- Οι μεταγωγείς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διασυνδέσουν:
  - *δίκτυα άμεσου συνδέσμου* όπως π.χ. δίκτυα Ethernet, Token ring, κλπ
  - *δίκτυα μεταγωγής* διαφορετικών τεχνολογιών

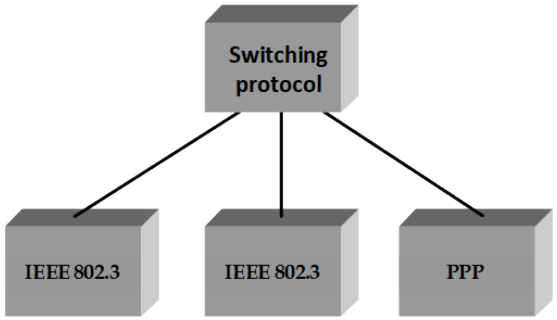


- Στην περίπτωση αυτή το δίκτυο ονομάζεται διαδίκτυο (internetwork)

Λειτουργία Μεταγωγέα

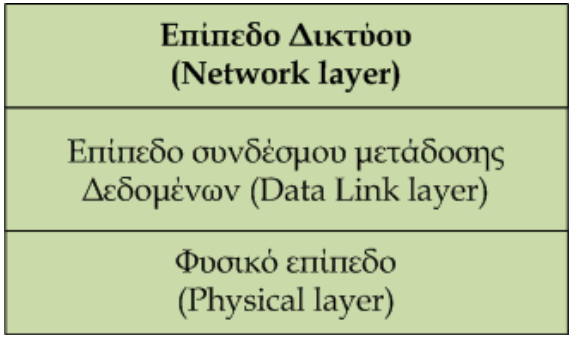
- Ένας μεταγωγέας διαθέτει πολλές εισόδους και εξόδους που ονομάζονται θύρες (ports)
  - κάθε αμφίδρομος σύνδεσμος μπορεί να αποτελεί είσοδο και έξοδο
- Η μετάδοση/λήψη πληροφορίας σε κάθε σύνδεσμο μπορεί να γίνεται χρησιμοποιώντας διαφορετικό πρωτόκολλο
  - ο μεταγωγέας εκτελεί το κατάλληλο πρωτόκολλο για να μεταδώσει (λάβει) τα δεδομένα στον (από τον) σύνδεσμο
- Η λειτουργία του μεταγωγέα περιγράφεται από ένα πρωτόκολλο μεταγωγής (switching protocol)
  - το πρωτόκολλο μεταγωγής ανήκει στο επίπεδο δικτύου (network layer)





Δίκτυα Μεταγωγής και Μοντέλο OSI

- Η περιγραφή των μηχανισμών των δικτύων μεταγωγής γίνεται στο επίπεδο δικτύου (network layer)
  - το επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων δεν είναι αρκετό καθώς οι υπολογιστές δεν είναι άμεσα συνδεδεμένοι
- Το επίπεδο δικτύου περιγράφει την επικοινωνία υπολογιστών που δεν είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο φυσικό μέσο
  - δηλαδή οι υπολογιστές δεν μπορούν να επικοινωνήσουν με ένα άλμα (one hop) αλλά η επικοινωνία τους απαιτεί πολλαπλά άλματα (multihop communication)

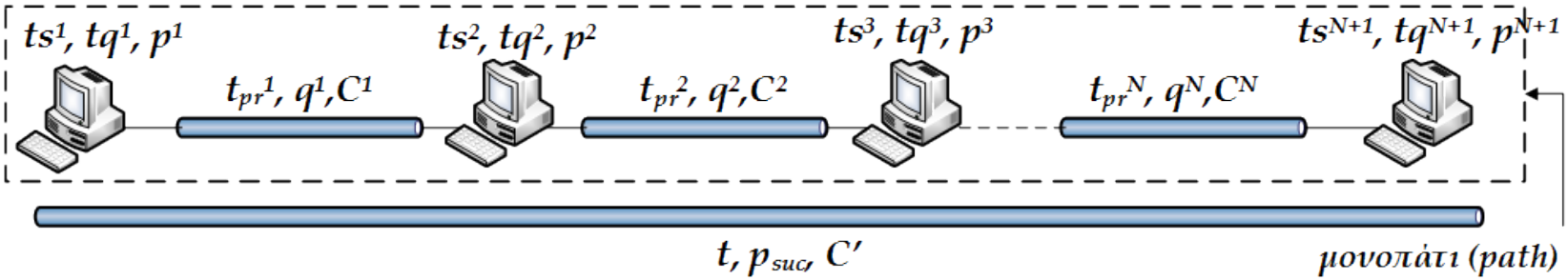


Διάρθρωση

1. Εισαγωγή-Βασικές έννοιες
2. Μοντέλο υπηρεσίας, κατανομή πόρων και συμφόρηση
3. Πολυπλεξία
4. Διαχείριση ουρών αναμονής

Μοντέλο υπηρεσίας δικτύου (1/2)

- Κάθε δίκτυο προσφέρει ένα μοντέλο υπηρεσίας (network service model) που ορίζει τα χαρακτηριστικά μεταφοράς δεδομένων από άκρο σε άκρο
- Παραδείγματα χαρακτηριστικών μεταφοράς:
  - Εγγυημένη παράδοση
  - Εγγυημένη παράδοση με οριοθετημένη καθυστέρηση
  - Παράδοση πακέτων με σειρά
  - Εγγυημένη ελάχιστη ρυθμαπόδοση
  - Εγγυημένη μέγιστη διακύμανση καθυστέρηση (delay jitter)
  - Υπηρεσίες ασφάλειας



$$t = \sum_{i=1}^{N} (t_{tr}^i + t_{pr}^i) + \sum_{i=1}^{N+1} (t_q^i + t_s^i)$$

$$p_{suc} = \prod_{i=1}^{N+1} (1 - p^i) \prod_{j=1}^{N} (1 - q^j)$$

$$R \leq \min_i \{C^i\}$$

Μοντέλο υπηρεσίας δικτύου (2/2)

- Παραδείγματα μοντέλων υπηρεσίας
  - Βέλτιστης προσπάθειας (best effort)
    - χρησιμοποιείται στο Internet
    - η απλούστερη υπηρεσία που δεν παρέχει εγγυήσεις (πακέτα μπορεί να χαθούν ή να παραδοθούν εκτός σειράς, δεν υπάρχει εγγύηση για τη ρυθμαπόδοση, μεταβολή της καθυστέρησης)
  - υπηρεσία ATM σταθερού ρυθμού bit (Constant Bit Rate - CBR)
    - υπηρεσία που προσφέρει εγγυημένη σταθερή ρυθμαπόδοση, εν σειρά παράδοση δεδομένων, εγγύηση μη απώλειας πακέτων, σταθερή καθυστέρηση παράδοσης
  - υπηρεσία ATM διαθέσιμου ρυθμού bit (Available Bit Rate - ABR)
    - υπηρεσία που προσφέρει μια ελάχιστη ρυθμαπόδοση, εν σειρά παράδοση δεδομένων αλλά δεν εγγυάται τη μη απώλεια πακέτων και σταθερή καθυστέρηση παράδοσης

Ανταγωνισμός και κατανομή πόρων (1/2)

- Η σχεδίαση ενός μοντέλου υπηρεσίας εμπεριέχει ένα πρόβλημα ανταγωνισμού και κατανομής πόρων
  - Το δίκτυο κορμού αποτελεί ένα σύνολο πόρων
    - το εύρος ζώνης των συνδέσμων, η επεξεργαστική ισχύς και ο αποθηκευτικός χώρος των κόμβων
  - Οι υπολογιστές υπηρεσίας ανταγωνίζονται (contend) για τους πόρους του δικτύου κορμού ώστε να μεταδώσουν δεδομένα
- Το δίκτυο πρέπει να αποφασίσει ποιοι πόροι θα χρησιμοποιηθούν για την μετάδοση δεδομένων από κάθε υπολογιστή υπηρεσίας
  - σχετικοί μηχανισμοί: μέθοδος μεταγωγής (switching method), δρομολόγηση (routing) και διαχείριση ουρών αναμονής (queueing discipline)

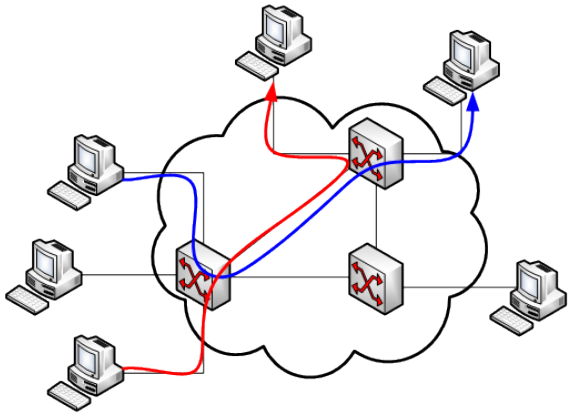
Ανταγωνισμός και κατανομή πόρων (2/2)

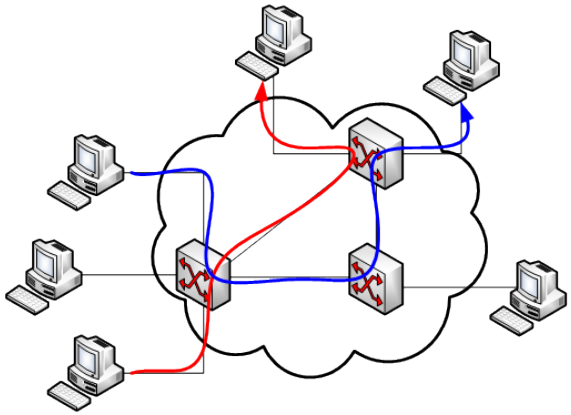
- Οι πόροι του δικτύου είναι περιορισμένοι με συνέπεια το ενδεχόμενο να εμφανιστεί συμφόρηση

Συμφόρηση (Congestion)

Η κατάσταση κατά την οποία ένας κόμβος (ή το δίκτυο), λόγω έλλειψης πόρων, δεν μπορεί να εξυπηρετήσει το εισερχόμενο τηλεπικοινωνιακό φορτίο

- Ανάλογα με το μοντέλο υπηρεσίας η συμφόρηση μπορεί να οδηγήσει:
  - σε απώλεια πακέτων ή/και υπερβολικά μεγάλη καθυστέρηση
  - σε αδυναμία εξυπηρέτησης νέων αιτημάτων επικοινωνίας

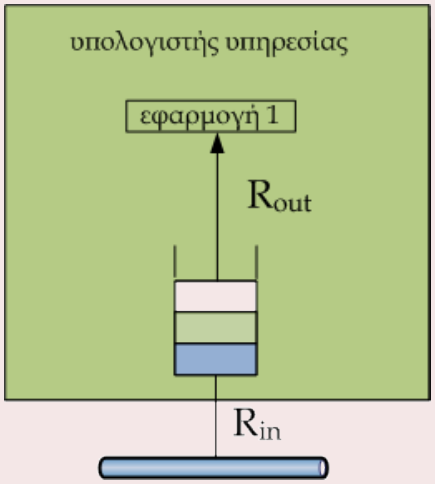




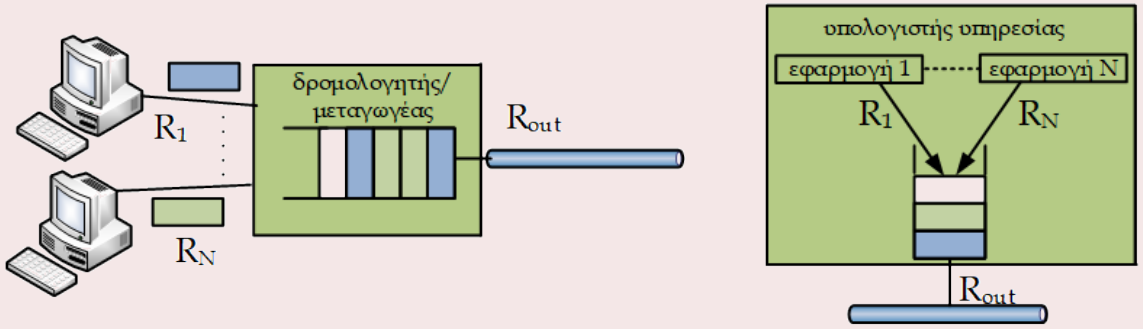
Συμφόρηση και πεπερασμένοι πόροι

- Συμφόρηση λόγω περιορισμένης επεξεργαστικής ισχύος
  - εμφανίζεται με μικρή συχνότητα σε υπολογιστές υπηρεσίας (π.χ. εξυπηρετητές-servers) και σπανιότερα σε δρομολογητές που δέχονται μεγάλο φόρτο
- Συμφόρηση λόγω περιορισμένου εύρους ζώνης
  - εμφανίζεται συνηθέστερα σε ένα δρομολογητή αλλά μπορεί να εμφανιστεί και σε ένα υπολογιστή υπηρεσίας

Συμφόρηση και επεξεργαστική ισχύς



Συμφόρηση και εύρος ζώνης



Διάρθρωση

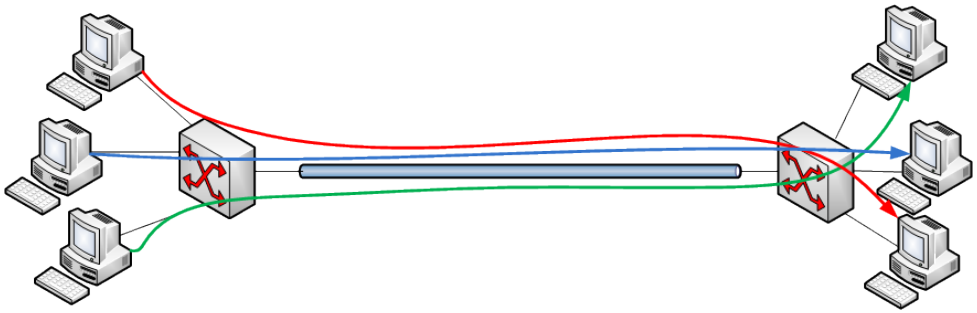
1. Εισαγωγή-Βασικές έννοιες
2. Μοντέλο υπηρεσίας, κατανομή πόρων και συμφόρηση
3. Πολυπλεξία
4. Διαχείριση ουρών αναμονής

Ορισμός και σκοπός της Πολυπλεξίας (1/2)

- Βασικός μηχανισμός για την από κοινού χρήση ενός συνδέσμου: πολυπλεξία (multiplexing)

Πολυπλεξία

Ο μηχανισμός με τον οποίο ροές δεδομένων από διαφορετικές *διεργασίες (εφαρμογές)* ή *υπολογιστές υπηρεσίας* μεταδίδονται μέσα από έναν κοινόχρηστο σύνδεσμο



Ορισμός και σκοπός της Πολυπλεξίας (2/2)

Πολυπλεξία (εναλλακτικός ορισμός)

Ο μηχανισμός με τον οποίο ροές δεδομένων χρησιμοποιούν από κοινού κάποιο πόρο ενός συνδέσμου

- Ως πόροι ενός συνδέσμου συνηθέστερα θεωρούνται ο χρόνος χρήσης του καναλιού ή/και το εύρος ζώνης συχνοτήτων
- Η πολυπλεξία υλοποιείται στους δρομολογητές-μεταγωγείς
  - τα δεδομένα πολυπλέκονται (multiplexed) σε ένα κόμβο και αποπολυπλέκονται (demultiplexed) σε έναν άλλο

✏ Η πολυπλεξία δεν είναι ο μόνος τρόπος για την από κοινού χρήση ενός συνδέσμου

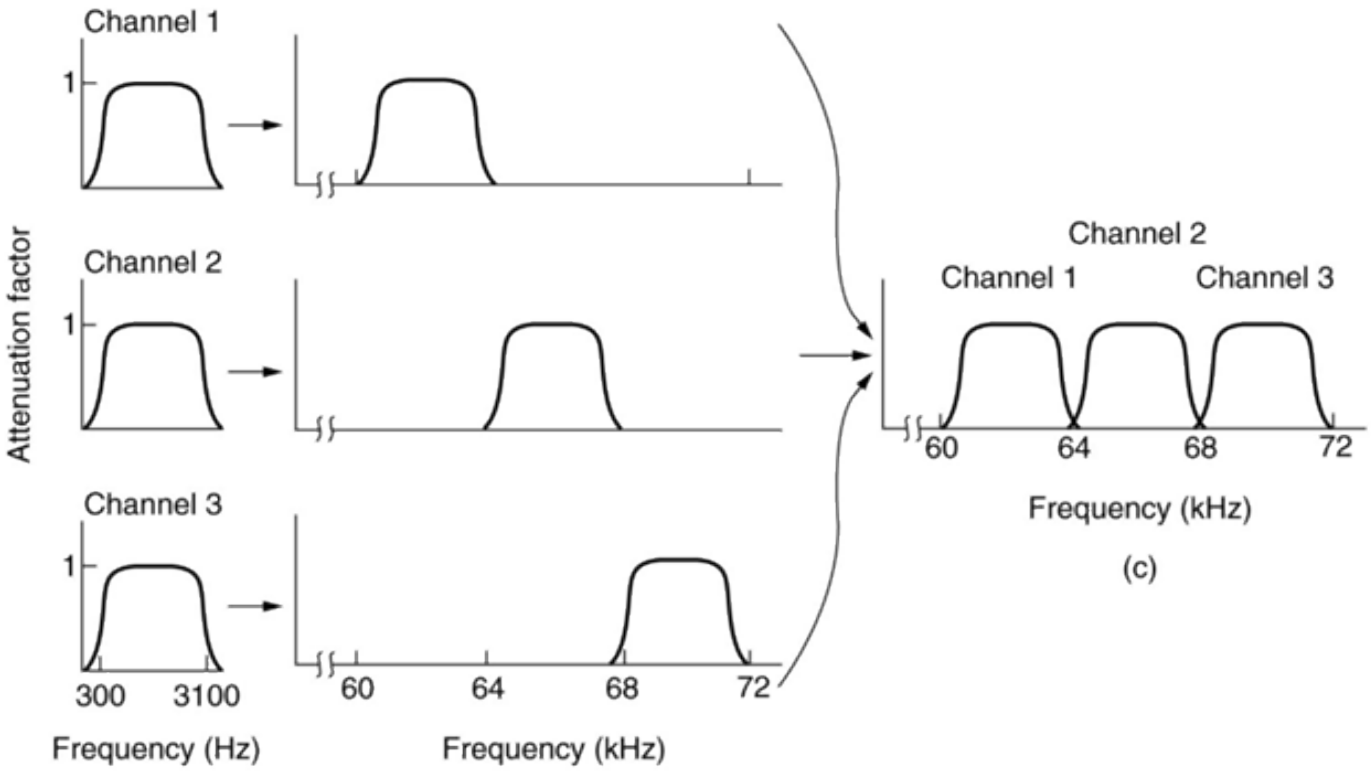
Είδη Πολυπλεξίας

- Σημαντικότερες τεχνικές πολυπλεξίας
  - πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Multiplexing, FDM)
  - πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing, WDM)
  - πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (Time Division Multiplexing, TDM)
  - στατιστική πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (Statistical Time Division Multiplexing, STDM)

Πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (1/2)

- Η πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Multiplexing, FDM) στηρίζεται στον *επιμερισμό του εύρους ζώνης συχνοτήτων* ενός συνδέσμου
  - το εύρος ζώνης συχνοτήτων χωρίζεται σε ένα σύνολο από συνεχείς περιοχές συχνοτήτων που ονομάζονται κανάλια (channels)
- Κάθε ροή δεδομένων μεταδίδεται μέσα από ένα κανάλι
  - το σήμα που προκύπτει από τη ροή δεδομένων διαμορφώνεται με ένα φέρον ώστε να μεταδοθεί από το κανάλι
- Ο λόγος του εύρους ζώνης συχνοτήτων του συνδέσμου προς το εύρος συχνοτήτων του καναλιού προσδιορίζει το μέγιστο πλήθος των εξυπηρετούμενων ροών

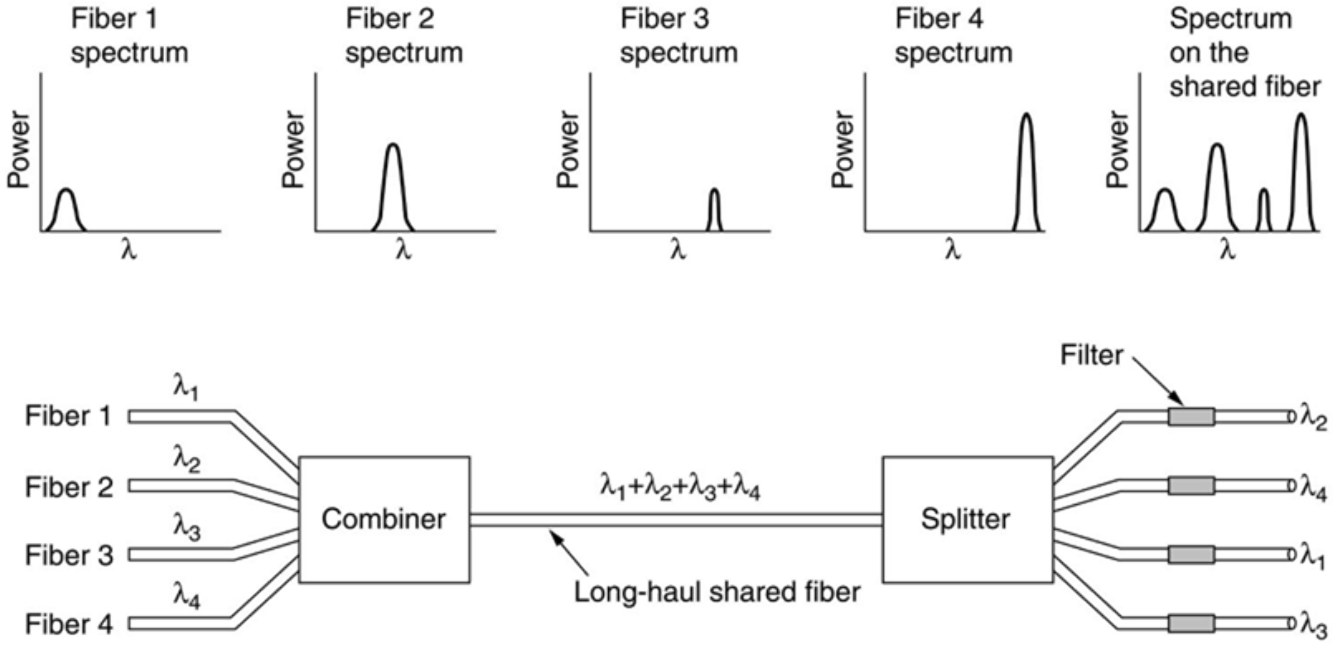
Πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (2/2)



- Το εύρος του καναλιού:
  - είναι προκαθορισμένο και δεν μπορεί να αλλάξει δυναμικά
  - προσδιορίζει το ρυθμό με τον οποίο μεταδίδονται τα δεδομένα μιας ροής

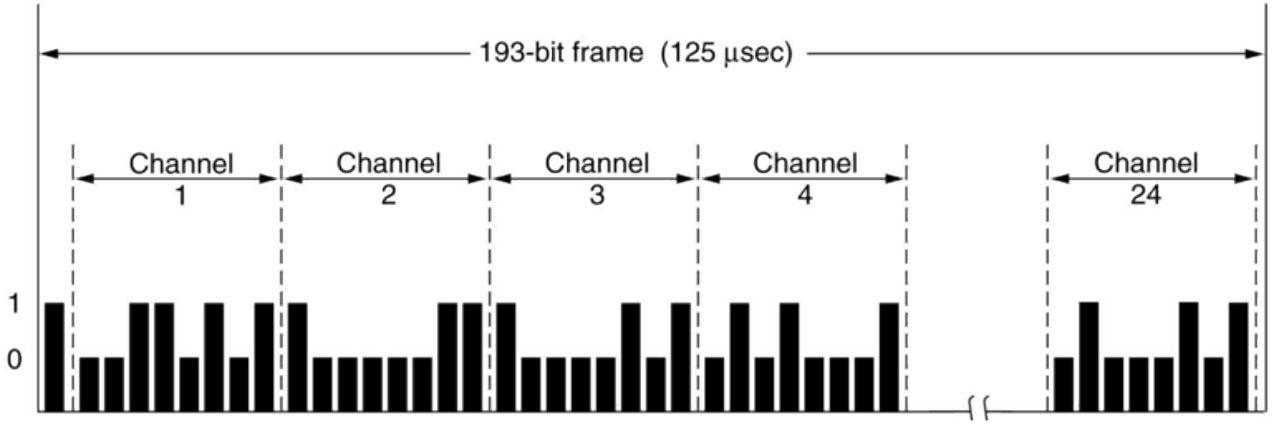
Πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος

- Η πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing, WDM) χρησιμοποιείται σε δίκτυα οπτικών ινών
  - αποτελεί μια παραλλαγή της πολυπλεξίας με διαίρεση συχνότητας



Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (1/2)

- Η πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (Time Division Multiplexing, TDM) στηρίζεται στον *επιμερισμό του χρόνου*
  - ο χρόνος επιμερίζεται σε ισομεγέθη τμήματα που ονομάζονται χρονοπλαίσια (time frames)
  - επιπλέον ένα χρονοπλαίσιο διαιρείται σε μικρότερα ισομεγέθη τμήματα που ονομάζονται χρονοθυρίδες (time slots)
- Δεδομένα από την ίδια ροή μπορούν να μεταδοθούν κατά τη διάρκεια μιας χρονοθυρίδας σε κάθε χρονοπλαίσιο



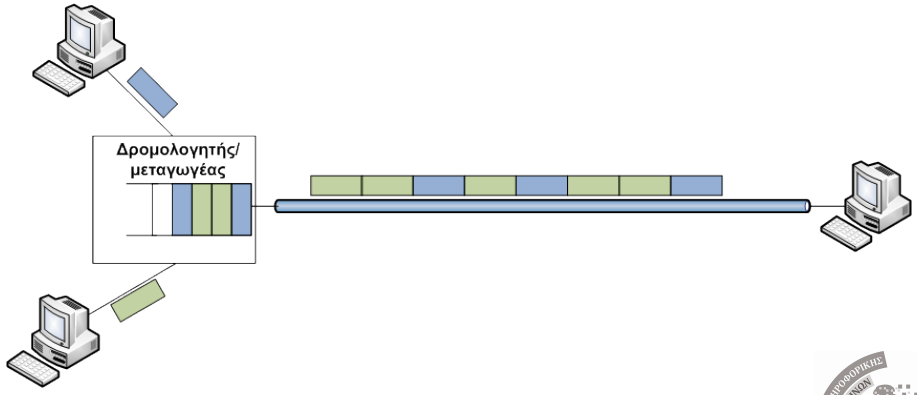
Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (2/2)

✏ Η τεχνική TDM απαιτεί τη μετάδοση δεδομένων για περιορισμένο χρόνο επομένως δεν είναι συμβατή με την αναλογική μετάδοση

- Το πλήθος των χρονοθυρίδων σε ένα χρονοπλαίσιο καθορίζει το μέγιστο πλήθος των εξυπηρετούμενων ροών
- Η διάρκεια ενός χρονοπλαισίου καθορίζει το πόσο συχνά μια ροή μπορεί να μεταδίδει δεδομένα
- Η διάρκεια μιας χρονοθυρίδας σε συνδυασμό με τη διάρκεια ενός χρονοπλαισίου καθορίζει το ρυθμό με τον οποίο μεταδίδονται δεδομένα μιας ροής
  - τόσο η διάρκεια μιας χρονοθυρίδας όσο και αυτή ενός χρονοπλαισίου είναι προκαθορισμένες και δεν μπορούν να αλλάξουν δυναμικά

Στατιστική πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου

- Η τεχνική TDM δεν είναι ευέλικτη ως προς την αξιοποίηση ενός συνδέσμου
  - ανατίθεται χρόνος σε μια ροή δεδομένων ανεξάρτητα από το αν υπάρχουν δεδομένα για μετάδοση
- Η στατιστική πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (Statistical Time Division Multiplexing, STDM) επιλύει το ζήτημα της ευελιξίας
  - χρονοθυρίδες που δεν χρησιμοποιούνται μπορούν να ανατεθούν σε άλλες ροές δεδομένων
  - η ανάθεση γίνεται δυναμικά



Πολυπλεξία αμφίδρομης επικοινωνίας

- Σε πολλές περιπτώσεις η πολυπλεξία χρησιμοποιείται για να υποστηρίξει την πλήρως αμφίδρομη επικοινωνία (full duplex)

Είδη επικοινωνίας ανάλογα με την κατεύθυνση

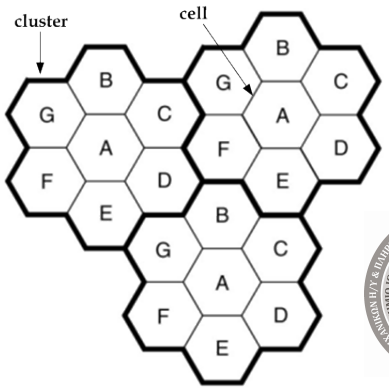
Μια επικοινωνία μπορεί να είναι:

- μίας κατεύθυνσης (simplex)
- κατά περιόδους αμφίδρομη (half duplex)
- πλήρως αμφίδρομη (full duplex)

- Η πολυπλεξία των δύο κατευθύνσεων σε μια πλήρως αμφίδρομη επικοινωνία μπορεί να γίνει:
  - στο πεδίο της συχνότητας (Frequency Division Duplexing, FDD)
  - στο πεδίο του χρόνου (Time Division Duplexing, TDD)

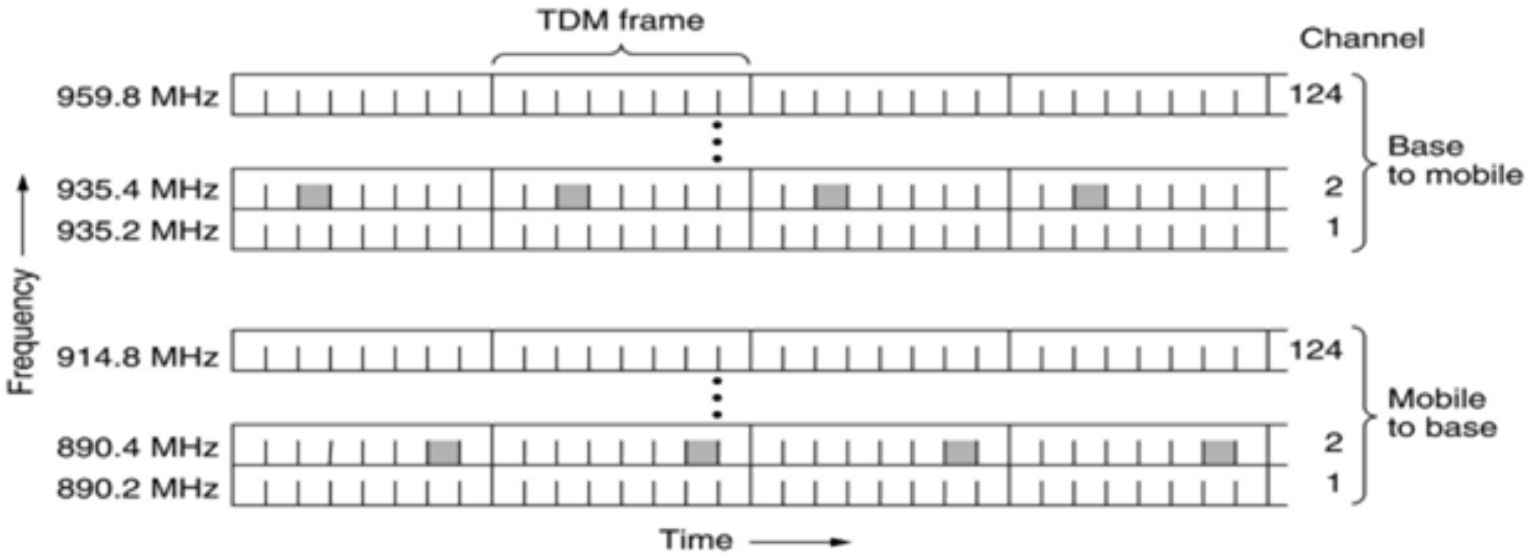
Παραδείγματα: Δίκτυα Κινητής Τηλεφωνίας 2G (1/2)

- Τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν την ιδέα της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων (frequency reuse)
- Το διαθέσιμο εύρος ζώνης συχνοτήτων μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές που ονομάζονται συστάδες κυψελών (clusters)
  - η ιδέα στηρίζεται στο γεγονός ότι το ηλεκτρομαγνητικό σήμα αποσβένεται γρήγορα
- Οι συστάδες χωρίζονται σε μικρότερες περιοχές που ονομάζονται κυψέλες (cells)
  - σε κάθε κυψέλη υπάρχει ένας σταθμός βάσης μέσω του οποίου επικοινωνούν τα τερματικά
  - σε κάθε κυψέλη χρησιμοποιείται ένα τμήμα του διαθέσιμου εύρους ζώνης συχνοτήτων
  - σκοπός των κυψελών είναι να μειώσουν τις παρεμβολές μεταξύ χρηστών



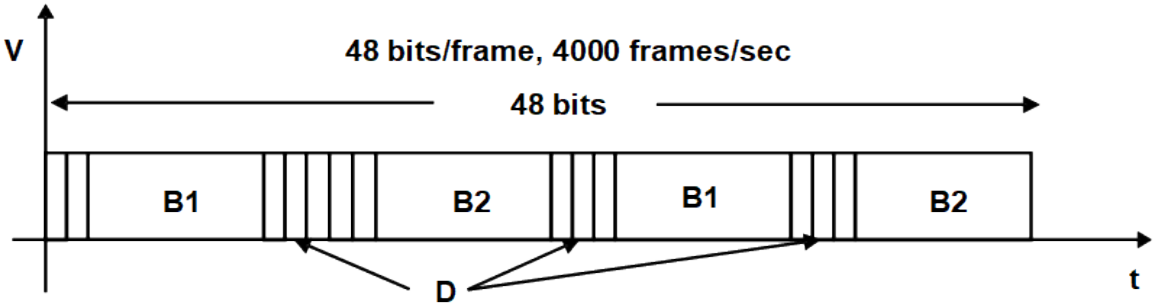
Παραδείγματα: Δίκτυα Κινητής Τηλεφωνίας 2G (2/2)

- Για την πολλαπλή πρόσβαση των τερματικών (κινητών τηλεφώνων) σε κάθε συστάδα χρησιμοποιείται μεικτή τεχνική FDMA/TDMA
- Για την επίτευξη αμφίδρομης επικοινωνία χρησιμοποιείται τεχνική FDD



Παραδείγματα: ISDN

- Το Ψηφιακό Δίκτυο Ενοποιημένων Υπηρεσιών (Integrated Services Digital Network-ISDN) δημιουργήθηκε με στόχο την ψηφιοποίηση του συνδρομητικού βρόχου
  - αναπτύχθηκε από τον οργανισμό CCITT και μεγάλες εταιρείες τηλεπικοινωνιών
- Χρησιμοποιεί πολυπλεξία στο χρόνο για τη δημιουργία τριών παράλληλων καναλιών (B1, B2 και D)
  - B1 και B2 (64 kbps έκαστο): χρησιμοποιούνται για μετάδοση φωνής (2 συνδέσεις) ή τη μετάδοση δεδομένων
  - D (16 kbps): χρησιμοποιείται συνηθέστερα για τη μετάδοση δεδομένων σηματοδοσίας (υποστήριξη υπηρ. προστιθέμενης αξίας)



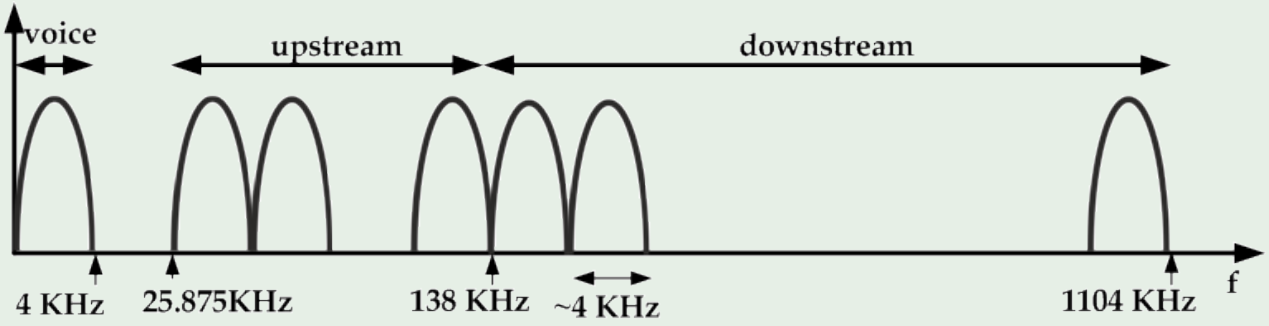
Παραδείγματα: DSL (1/3)

- Η Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή (Digital Subsrciber Line - DSL) στηρίζεται στη εκμετάλλευση μεγαλύτερου εύρους ζώνης συχνοτήτων του χάλκινου αγωγού
  - για το σκοπό αυτό χρησιμοποιεί τη Διακριτή Πολυτονική Διαμόρφωση (Discrete MultiTone modulation-DMT)
- Το διαθέσιμο εύρος συχνοτήτων χωρίζεται σε τρεις ζώνες: uplink, downlink και κανάλι για μετάδοση φωνής
  - στα κανάλια uplink και downlink χρησιμοποιείται διαμόρφωση DMT

☛ Σύμφωνα με τη σχέση του Shannon ($C = W \log_2(1 + S/N)$) η αύξηση του εύρους συχνοτήτων επιτρέπει αύξηση του ρυθμού μετάδοσης

Παραδείγματα: DSL (2/3)

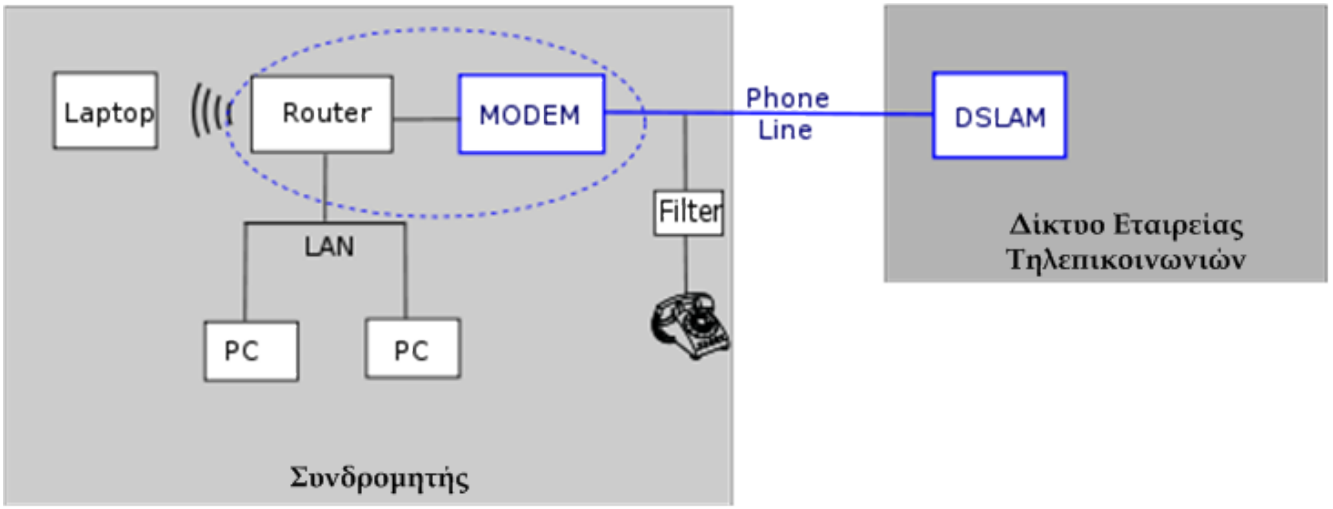
Κατανομή συχνοτήτων στο ADSL



- Το εύρος συχνοτήτων για upstream και downstream είναι ασύμμετρα κατανεμημένο
  - κανάλι φωνής: 0-4Khz
  - upstream: ∼26KHz-138KHz
  - downstream: 138KHz-1104KHz

Παραδείγματα: DSL (3/3)

- Για τη σύνδεση ενός συνδρομητή απαιτείται:
  - ένας διαμορφωτής (modem) που διαμορφώνει το σήμα με την τεχνική DMT
  - ένα φίλτρο (filter) που διαχωρίζει το κανάλι φωνής από τα upstream και downstream
- Στη μεριά του παρόχου η μονάδα DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) υλοποιεί την πολύπλεξη των χρηστών και τη μεταγωγή της πληροφορίας



Διάρθρωση

1. Εισαγωγή-Βασικές έννοιες
2. Μοντέλο υπηρεσίας, κατανομή πόρων και συμφόρηση
3. Πολυπλεξία
4. Διαχείριση ουρών αναμονής

Το πρόβλημα της διαχείρισης ουρών αναμονής

- Ο χώρος προσωρινής αποθήκευσης είναι σημαντικός πόρος και η χρήση του πρέπει να διέπεται από κανόνες που απαντούν στα ερωτήματα:
  - Πολιτική απόρριψης: Ποιό πακέτο πρέπει να αποθηκευτεί στην ουρά όταν ο χώρος δεν επαρκεί;
  - Πολιτική εξυπηρέτησης: Ποιό πακέτο πρέπει να εξέλθει από την ουρά για να εξυπηρετηθεί;
- Οι πολιτικές διαχείρισης μιας ουράς επηρεάζουν το μοντέλο υπηρεσίας
  - η πολιτική απόρριψης κατανέμει τον χώρο αποθήκευσης
  - η πολιτική εξυπηρέτησης κατανέμει το εύρος ζώνης

Γνωστοί μηχανισμοί διαχείρισης ουρών

- Υπάρχουν πολλές διαφορετικές πολιτικές απόρριψης και εξυπηρέτησης ουρών αναμονής
- Πολιτικές Απόρριψης
  - Tail Drop
  - Front Drop
  - Random Early Detection (RED) και Weighted Random Early Detection
- Πολιτικές Εξυπηρέτησης
  - First-In-First-Out (FIFO) ή First Come-First Served (FCFS)
  - Priority Queuening (PQ)
  - Fair Queueing (FQ) και Weighted Fair Queuening (WFQ)