

Δίκτυα Υπολογιστών I

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 συμμόρφωση
- 3 Πολυπλεξία
- 4 Διαχείριση ουρών αναμονής



Διάρθρωση

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



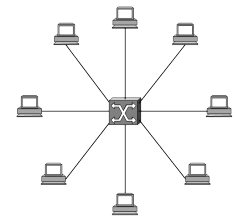
Δίκτυα Μεταγωγής: Βασική αρχή λειτουργίας (1/2)

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:

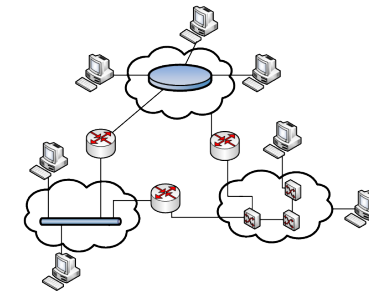
- ▶ δεν υπάρχει όριο στο πόσοι μεταγωγείς μπορούν να διασυνδεθούν
- ▶ η επέκταση του δικτύου δεν συνεπάγεται **κατ'ανάγκη** τη μείωση της απόδοσής του
- ▶ η **γεωγραφική έκταση** ενός δικτύου μπορεί να είναι **μεγάλη** επειδή οι μεταγωγείς είναι σημεία όπου το σήμα πληροφορίας αναγεννάται.



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)**

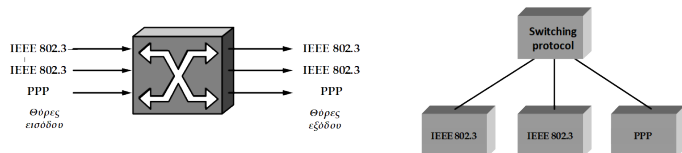
- ▶ κάθε αμφίδρομος σύνδεσμος μπορεί να αποτελεί είσοδο και έξοδο

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)**



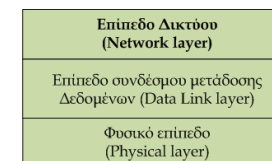
Δίκτυα Μεταγωγής και Μοντέλο OSI

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 συμμόρφωση
- 3 Πολυπλεξία
- 4 Διαχείριση ουρών αναμονής

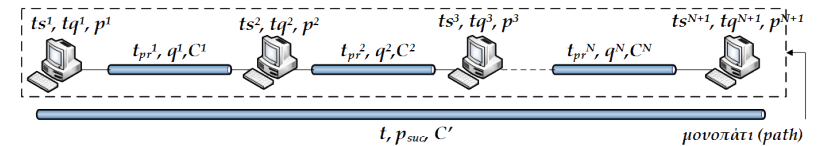


Μοντέλο υπηρεσίας δικτύου (1/2)

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)

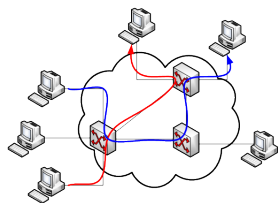
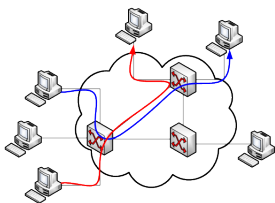
Οι πόροι του δικτύου είναι **περιορισμένοι** με συνέπεια το ενδεχόμενο να εμφανιστεί **συμφόρηση**

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

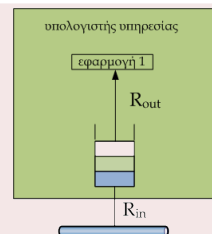
Συμφόρηση λόγω περιορισμένης επεξεργαστικής ισχύος

- ▶ εμφανίζεται με **μικρή συχνότητα** σε υπολογιστές υπηρεσίας (π.χ. εξυπηρετητές-servers) και σπανιότερα σε δρομολογητές που δέχονται μεγάλο φόρτο

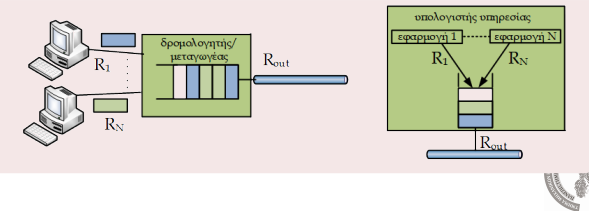
Συμφόρηση λόγω περιορισμένου εύρους ζώνης

- ▶ 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

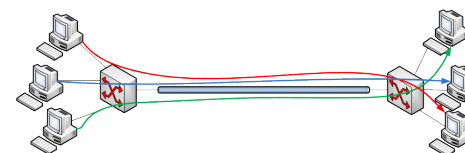


Ορισμός και σκοπός της Πολυπλεξίας (1/2)

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 συνθηθέστερα 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)**

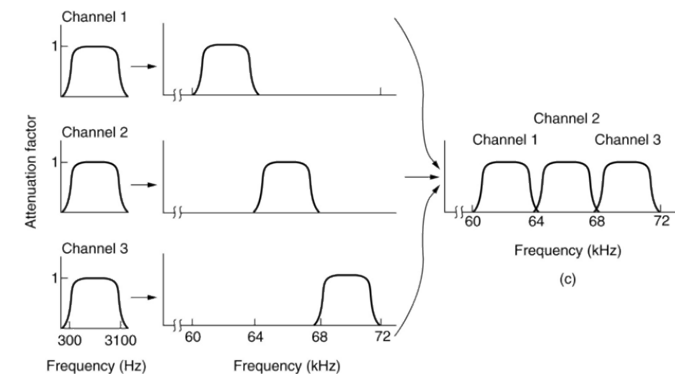
Κάθε **ροή δεδομένων** μεταδίδεται μέσα από ένα κανάλι

- ▶ 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:

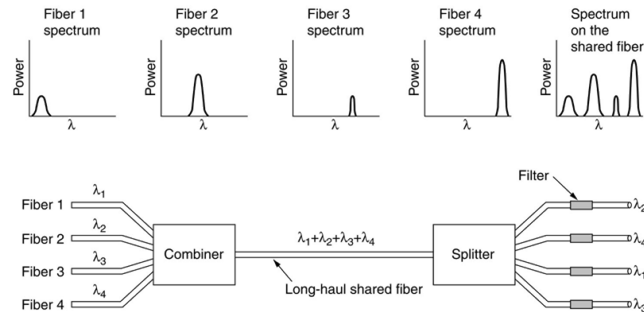
- ▶ είναι προκαθορισμένο και δεν μπορεί να αλλάξει δυναμικά
- ▶ προσδιορίζει το ρυθμό με τον οποίο μεταδίδονται τα δεδομένα μιας ροής



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

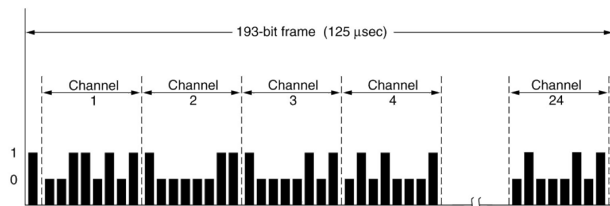


Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (1/2)

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

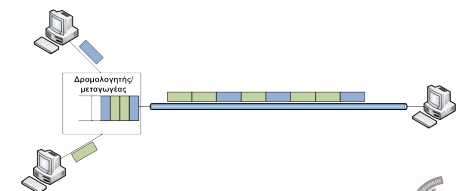
Στατιστική πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου

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)

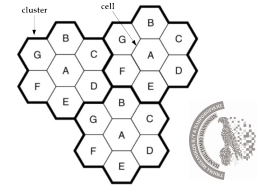
Τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν την ιδέα της **επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων (frequency reuse)**

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)**

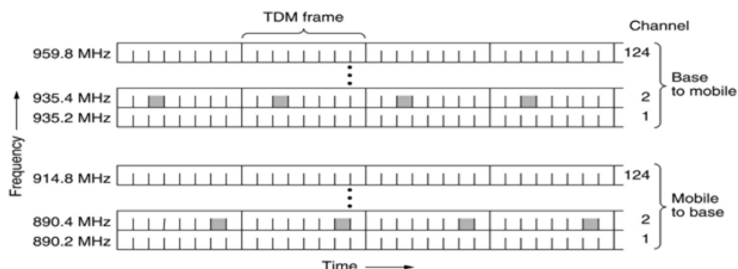
- ▶ σε κάθε κυψέλη υπάρχει ένας **σταθμός βάσης** μέσω του οποίου επικοινωνούν τα τερματικά
- ▶ σε κάθε κυψέλη χρησιμοποιείται ένα τμήμα του διαθέσιμου εύρους ζώνης συχνοτήτων
- ▶ σκοπός των κυψελών είναι να μειώσουν τις παρεμβολές μεταξύ χρηστών



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**



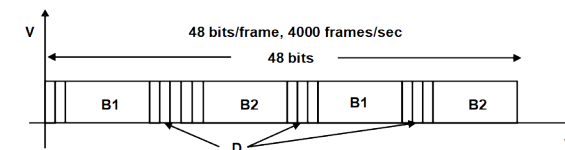
Παραδείγματα: ISDN

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 συνήθετα για τη μετάδοση δεδομένων σηματοδότησης (υποστήριξη υπηρ. προστιθέμενης αξίας)



Παραδείγματα: DSL (1/3)

Η Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή (Digital Subscriber 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

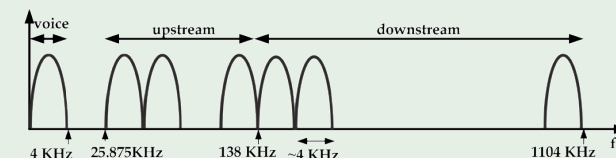
- ▶ στα κανάλια uplink και downlink χρησιμοποιείται διαμόρφωση DMT

☛ 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)

Κατανόηση συχνοτήτων στο ADSL



Το εύρος συχνοτήτων για upstream και downstream είναι ασύμμετρα κατανομημένο

- ▶ κανάλι φωνής: 0-4KHz
- ▶ upstream: ~26KHz-138KHz
- ▶ downstream: 138KHz-1104KHz

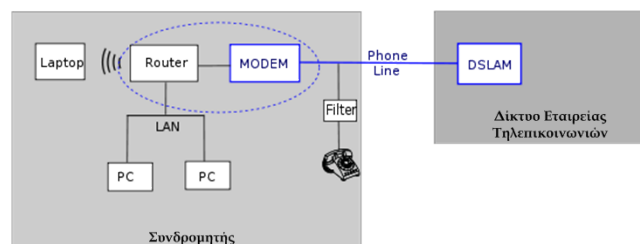


Παραδείγματα: DSL (3/3)

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 συμμόρφωση

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 Queueing (PQ)
- ▶ Fair Queueing (FQ) και Weighted Fair Queueing (WFQ)

