

Τμήμα
Μηχανικών
Πληροφορικής τ.ε.
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Δυτικής Ελλάδας

Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα Ι

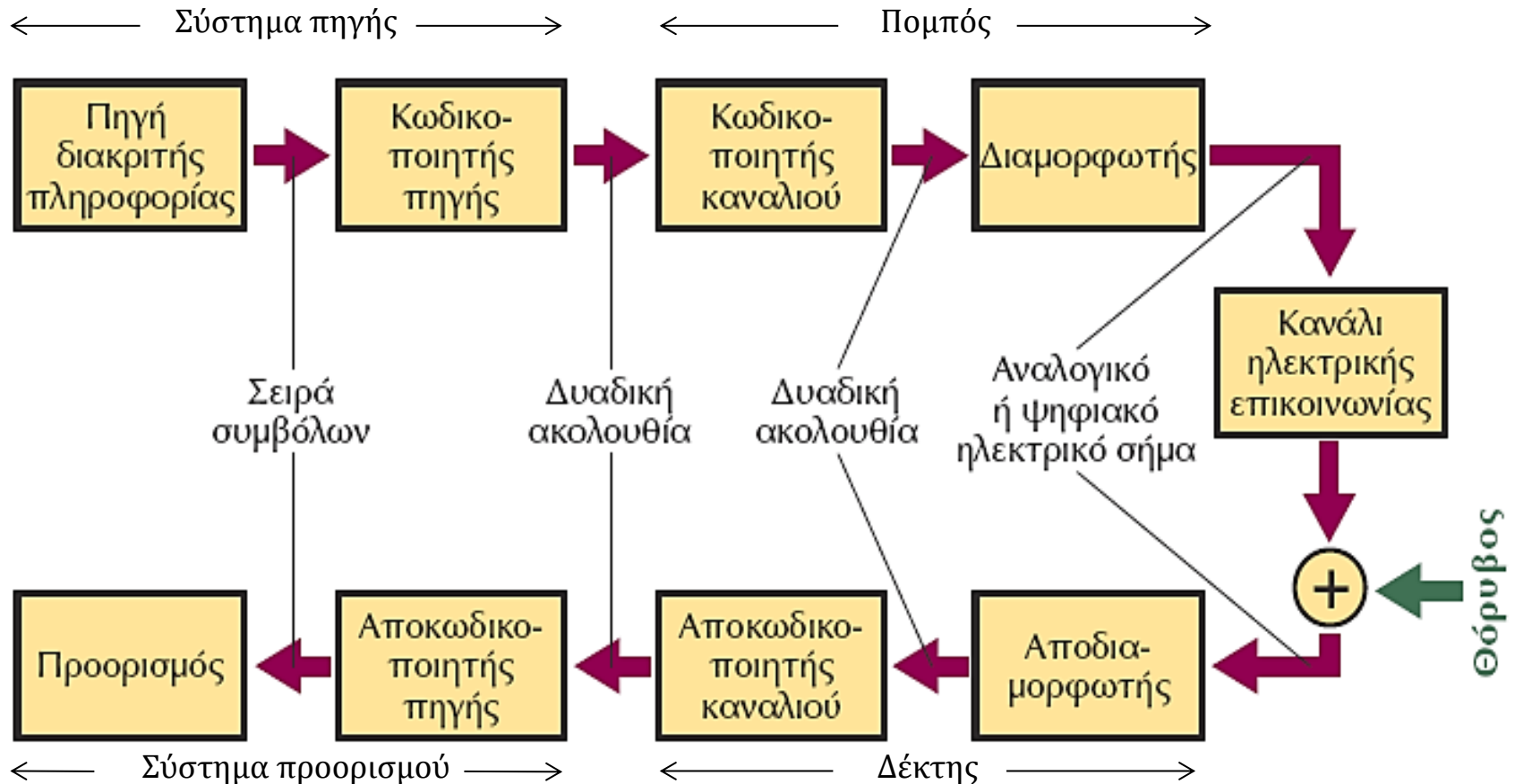
Διάλεξη 11: Επισκόπηση Ψηφιακού Συστήματος Επικοινωνίας

Δρ. Μιχάλης Παρασκευάς
Επικ. Καθηγητής

Ατζέντα

1. Πηγή πληροφορίας
2. Κωδικοποιητής και αποκωδικοποιητής πηγής
3. Κανάλι επικοινωνίας
4. Διαμορφωτής και Αποδιαμορφωτής
5. Κωδικοποιητής και αποκωδικοποιητής καναλιού
6. Δίκτυα επικοινωνιών
7. Πρότυπα μετάδοσης
8. Μοντέλο OSI

Ψηφιακό Σύστημα Επικοινωνίας



Σκοπός: η διαβίβαση συμβόλων να γίνεται με όσο υψηλότερο ρυθμό διαβίβασης και πιστότητα

1. Πηγή Διακριτής Πληροφορίας

Πηγή Διακριτής Πληροφορίας (1/3)

Είδη πηγών πληροφορίας:

- Αναλογική παράγει σήματα συνεχούς χρόνου, π.χ. μικρόφωνο
- Διακριτή παράγει σειρά διακριτών συμβόλων ή γραμμάτων, π.χ. τηλέτυπο, αριθμητική έξοδος Η/Υ, κλπ.

Παράμετροι λειτουργίας διακριτής πηγής:

- Αλφάβητο πηγής (σύμβολα ή γράμματα)
- Ρυθμός παροχής συμβόλων
- Πιθανότητες αλφαβήτου πηγής
- Πιθανοεξαρτήσεις μεταξύ συμβόλων σε μία ακολουθία

Πηγή Διακριτής Πληροφορίας (2/3)

Υπόδειγμα Πιθανοπεριγραφής της πηγής πληροφορίας:

- Εντροπία πηγής ([entropy](#)) (H , bits/symbol)
- Ρυθμός παροχής πληροφορίας (R , bits/sec)

Εντροπία πηγής (H , bits/symbol): Το κατά μέσο όρο πληροφοριακό περιεχόμενο ανά σύμβολο σε ένα μήνυμα μεγάλου μήκους.

Παράδειγμα: Πηγή έχει αλφάβητο 32 συμβόλων, τα οποία εμφανίζονται με ίσες πιθανότητες σε στατιστικά ανεξάρτητες σειρές.

Η εντροπία της πηγής είναι 5 bits/symbol ($2^5 = 32$).

Οι πιθανοεξαρτήσεις μεταξύ των συμβόλων και η άνισες πιθανότητες εμφάνισης των συμβόλων μειώνουν την εντροπία.

Π.χ. στη σειρά συμβόλων Q-U-E το γράμμα U φέρει λίγη ή καθόλου πληροφορία, επειδή η εμφάνιση του Q συνεπάγεται ότι το επόμενο γράμμα θα είναι το U.

Πηγή Διακριτής Πληροφορίας (3/3)

Ρυθμός παροχής πληροφορίας (R, bits/sec): Το γινόμενο της εντροπίας επί τον ρυθμό παραγωγής συμβόλων.

- Εκφράζει τον ελάχιστο αριθμό ψηφίων (bits) ανά δευτερόλεπτο που θα χρειαζόταν, κατά μέσο όρο, για να αναπαρασταθεί η πληροφορία που παράγεται από την διακριτή πηγή.
- Εναλλακτικά, παριστάνει τον ελάχιστο μέσο ρυθμό δυαδικών ψηφιακών δεδομένων (data rate), που χρειάζεται για να στείλουμε την πληροφορία από την πηγή στο σημείο προορισμού.

$$R \text{ (bits/sec)} = H \text{ (bits/symbol)} \times \text{ρυθμός παραγωγής συμβόλων (symbols/sec)}$$

2. Κωδικοποιητής και Αποκωδικοποιητής Πηγής

Κωδικοποιητής / Αποκωδικοποιητής Πηγής (1/3)

Είσοδος: Μια αλυσίδα από **σύμβολα**, που φθάνουν με ρυθμό r_s (*symbols/sec*)

Έξοδος: **Δυαδική ακολουθία** από 1 και 0, που δημιουργούν καθορισμένες λέξεις ανά λαμβανόμενο σύμβολο ή πακέτο (block) συμβόλων.

Μήκος λέξης: (L , bits/symbol) Σταθερό ή μεταβλητό

Ρυθμός εξόδου: $R_C(\text{bits/sec}) = r_s (\text{symbols/sec}) \times L (\text{bits/symbol})$.

Παράδειγμα: Σε πηγή με αλφάβητο 32 συμβόλων, τα σύμβολα μετατρέπονται σε κωδικές λέξεις με μήκος $L = 5$ ψηφίων, της μορφής **00000** έως **11111**.

Για ρυθμό συμβόλων $r_s = 10 \text{ symbols/sec}$ ο ρυθμός παραγωγής ψηφιακών δεδομένων R_C στην έξοδο του κωδικοποιητή είναι:

$$R_C(\text{bits/sec}) = 10 (\text{symbols/sec}) \times 5 (\text{bits/symbol}) = 50 \text{ bits/sec}$$

Επειδή συνήθως τα σύμβολα είναι στατιστικά εξαρτημένα και εμφανίζονται με άνισες πιθανότητες, επιλέγουμε ο κωδικοποιητής να παίρνει 2 ή 3 σύμβολα μαζί σαν ένα πακέτο και να τους αντιστοιχεί μία κωδική λέξη με **μεταβαλλόμενο μήκος** για τα διάφορα πακέτα.

Κωδικοποιητής / Αποκωδικοποιητής Πηγής (2/3)

Άριστος Κωδικοποιητής : Όταν ο ρυθμός δεδομένων εξόδου είναι ίσος με τον ρυθμό παροχής της πηγής ($R_C = R$). Όμως, λόγω πρακτικών περιορισμών ισχύει $R_C \leq R$.

Παράμετροι κωδικοποιητή:

- Μήκος πακέτου (block size)
- Μήκη κωδικών λέξεων
- Μέσος ρυθμός ψηφιακών δεδομένων (data rate)
- Απόδοση κωδικοποιητή, δηλ. το πηλίκο R_C/R
(Ο άριστος αποκωδικοποιητής έχει απόδοση 1).

Αποκωδικοποιητής : Μετατρέπει μία δυαδική ακολουθία σε ακολουθία συμβόλων:

- **Απλός** όταν οι κωδικές λέξεις είναι **σταθερού μήκους**
- **Πολύπλοκος** όταν οι κωδικές λέξεις είναι **μεταβλητού μήκους**, επειδή πρέπει να αντιμετωπίζει προβλήματα, όπως η αύξηση της απαιτούμενης μνήμης και η απώλεια συγχρονισμού από λανθασμένο bit.

Κωδικοποιητής / Αποκωδικοποιητής Πηγής (3/3)

Η κωδικοποίηση πηγής υλοποιείται μέσω της **συμπίεσης** (compression).

Είδη Συμπίεσης

- **Συμπίεση χωρίς απώλειες ([lossless](#))** - Επιτρέπει την ακριβή ανακατασκευή του αρχικού σήματος από τα συμπιεσμένα δεδομένα. Χρησιμοποιείται όταν είναι σημαντικό το αρχικό σήμα και τα αποσυμπιεσμένα δεδομένα να είναι πανομοιότυπα (π.χ. σε εκτελέσιμα προγράμματα) ZIP, GIF, PNG, κλπ.
- **Συμπίεση με απώλειες (Απωλεστική συμπίεση) ([lossy](#))** Συμπίεση δεδομένων και οριστική απόρριψη μέρους αυτών με σκοπό την ελαχιστοποίηση της ποσότητας δεδομένων που πρέπει να μεταδοθούν ή να αποθηκευθούν.
 - JPEG πρότυπο κωδικοποίησης εικόνων
 - MPEG-1 πρότυπο κωδικοποίησης video (1.5 Mbits/sec)
 - MPEG-1 πρότυπο κωδικοποίησης audio (μέχρι 16 Kbits/sec)
 - MP3 = MPEG-1 Layer 3 (128 Kbits/sec)
 - MPEG-2 (DVD, SVCD)
 - MPEG-4 (Divx, Xdiv, quick time)
 - MPEG-7

3. Κανάλι Επικοινωνίας

Κανάλι Επικοινωνίας (1/2)

Κανάλι Επικοινωνίας: το μέσο που πραγματοποιεί την ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ πηγής και προορισμού.

Είδη καναλιών:

- Κανάλια καθοδηγούμενης μετάδοσης [συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων, (τηλεφωνία, xDSL), ομοαξονικά καλώδια (CATV), οπτικές ίνες (2×10^{13} Hz)]
- Κανάλια ελεύθερης μετάδοσης [ραδιομετάδοση (radio, TV, WLAN), κινητές επικοινωνίες (GSM, UMTS), δορυφορικά]

Χαρακτηριστικά μεγέθη καναλιού:

- Χωρητικότητα C : αντιπροσωπεύει τον θεωρητικά μέγιστο δυνατό ρυθμό διαβίβασης ψηφιακών δεδομένων χωρίς σχεδόν κανένα λάθος [πρέπει $C > R$]
- Εύρος ζώνης συχνοτήτων B (φάσμα, Hz)
- Απόσβεση (απώλειες, εξασθένιση) (Signal to Noise Ratio – S/N)
- Απόκριση πλάτους και φάσης
- Στατιστικές ιδιότητες θορύβου

Κανάλι Επικοινωνίας (2/2)

Παραμορφώσεις στο σήμα λόγω του καναλιού:

1. Εξασθένιση ([attenuation distortion](#)): μείωση της ισχύος του σήματος. Μπορεί να αντιμετωπιστεί με αύξηση της ισχύος εκπομπής
2. Παραμόρφωση πλάτους και φάσης
3. Εισαγωγή [θορύβου](#). Δεν αφαιρείται σε όλες τις περιπτώσεις.
 - Θερμικός προσθετικός λευκός θόρυβος
 - Κρουστικός θόρυβος
 - Παρεμβολές, κλπ

Βασικός στόχος του σχεδιαστή ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος είναι η περιστολή του θορύβου

4. Πολυδιάδρομη όδευση ([multipath propagation](#)) (για ασύρματα κανάλια)
5. Χρονικές μεταβολές των χαρακτηριστικών του καναλιού

4. Διαμορφωτής και Αποδιαμορφωτής

Διαμορφωτής (1/3)

Είσοδος: Μια ακολουθία δυαδικών συμβόλων

Έξοδος: Μια κυματομορφή κατάλληλη για μετάδοση μέσω του καναλιού

Διαμόρφωση: Ισχυρότατο εργαλείο που χρησιμοποιείται στις τηλεπικοινωνίες για:

- Τη μείωση των επιπτώσεων του **θορύβου** του καναλιού.
- Την **προσαρμογή** του φάσματος συχνοτήτων του σήματος, με τα χαρακτηριστικά του καναλιού.
- Να δώσει δυνατότητα **πολυπλεξίας** πολλών σημάτων μαζί.
- Να υπερνικηθούν **περιορισμοί** των συσκευών.

Είδη διαμόρφωσης:

- Ανάλογα με τον τύπο του φέροντος
 - Συνεχούς φέροντος κύματος (συνεχής κυματομορφή, συνήθως ημιτονική)
 - Παλμών (σειρά ορθογώνιων παλμών)
- Ανάλογα με την μεταβολή του χαρακτηριστικού του φέροντος
 - Με συνεχή τρόπο (analog modulation)
 - Με διακριτό τρόπο (digital modulation)

Διαμορφωτής (2/3)

Σημαντικές παράμετροι διαμορφωτή:

1. Τύπος κυματομορφής που χρησιμοποιεί
2. Διάρκεια κυματομορφών
3. Στάθμη ισχύος
4. Εύρος ζώνης συχνοτήτων που χρησιμοποιεί

Αύξηση των 2, 3, 4, οδηγεί σε μείωση του θορύβου.

Η αύξηση της στάθμης ισχύος (2) και του εύρους ζώνης (3), δεν είναι εφικτή επ' άπειρο, εξαιτίας των περιοριστικών συνθηκών του καναλιού και των συσκευών. Επομένως, βασικό εργαλείο αποτελεί η αύξηση της διάρκειας των κυματομορφών.

Διαμορφωτής (3/3)

Παράδειγμα: Έστω ότι στην είσοδο ενός διαμορφωτή εμφανίζονται τα ψηφία 0 και 1 με ρυθμό 1 bit/sec. Ο διαμορφωτής μπορεί να παρέχει μία κυματομορφή ανά sec για να αναπαριστά τα ψηφία 0 και 1, π.χ.

$$0 \rightarrow A\cos\omega_1 t \quad (0 \leq t < 1 \text{ sec} \quad) \quad \text{και} \quad 1 \rightarrow A\cos\omega_2 t \quad (0 \leq t < 1 \text{ sec} \quad)$$

Παρατηρούμε ότι η πληροφορία του ψηφίου (0 ή 1) πήγε στη συχνότητα ω_1 και ω_2 .

Αν αυξήσουμε τη διάρκεια από 1 σε 4 sec, απαιτούνται 16 κυματομορφές $A\cos\omega_1 t$, $A\cos\omega_2 t$, ..., $A\cos\omega_{16} t$ που η κάθε μία διαρκεί 4 sec. Αυτές οι 16 κυματομορφές αντιπροσωπεύουν 16 συνδυασμούς 4 bits 0000, 0001, ..., 1111.

Ο αριθμός των κυματομορφών που πρέπει να παράγει ο διαμορφωτής αυξάνει εκθετικά καθώς αυξάνει η διάρκεια των κυματομορφών. Αυτό προκαλεί αύξηση της πολυπλοκότητας. Στην πράξη χρησιμοποιούμε **2 έως 16 κυματομορφές**.

Αποδιαμορφωτής

Αποδιαμόρφωση: Διαδικασία ανάκτησης του μηνύματος που φέρει η κυματομορφή η οποία παράγεται από τον διαμορφωτή.

Για δοσμένο τύπο διαμορφωτή, το σπουδαιότερο χαρακτηριστικό είναι η **μέθοδος αποδιαμόρφωσης**.

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία διαθέσιμων τεχνικών αποδιαμόρφωσης για την αποδιαμόρφωση συγκεκριμένης διαμορφωμένης κυματομορφής.

Αν γνωρίζουμε:

- Τον τύπο και τη διάρκεια της κυματομορφής που παράγει ο διαμορφωτής
- Τη στάθμη ισχύος στον διαμορφωτή
- Τα φυσικά χαρακτηριστικά του καναλιού και του θορύβου του
- Τον τύπο της αποδιαμόρφωσης

τότε μπορούμε να συνάγουμε σχέσεις μεταξύ του ρυθμού ψηφιακών δεδομένων, απαιτήσεων σε ισχύ και εύρος ζώνης και πιθανότητα εσφαλμένης αποκωδικοποίησης ενός bit ου μηνύματος.

Τα χαρακτηριστικά διαμορφωτή, αποδιαμορφωτή και καναλιού επικοινωνίας, ορίζουν τον μέσο ρυθμό σφαλμάτων.

5. Κωδικοποιητής και Αποκωδικοποιητής Καναλιού

Κωδικοποιητής / Αποκωδικοποιητής Καναλιού

Κωδικοποίηση Καναλιού: Χρησιμοποιείται για τη μετάδοση υψηλής απόδοσης και αξιοπιστίας. Συνήθως επιλέγονται λίγα, π.χ. δύο, αναλογικά σήματα για την μετάδοση μέσα από το κανάλι. Πρόσθετα bits ελέγχου χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και διόρθωση λαθών.

Μέθοδοι κωδικοποίησης καναλιού :

- Κατά μπλοκ (**Block coding**) : k bits πληροφορίας + r bits ελέγχου
- Συγκεραστική (**Convolutional Coding**) : bits πληροφορίας + bits ελέγχου αναμιγνύονται

Σημαντικά χαρακτηριστικά κωδικοποιητή καναλιού :

- Μέθοδος κωδικοποίησης
- Απόδοση κώδικα (= ρυθμός δεδομένων εισόδου / ρυθμός δεδομένων εξόδου)
- Ικανότητα για έλεγχο του σφάλματος
- Πολυπλοκότητα

Αποκωδικοποιητής καναλιού: ξαναβρίσκει τα bits που μεταφέρουν την πληροφορία από την κωδικοποιημένη δυαδική ακολουθία. Ανιχνεύει και διορθώνει τα σφάλματα.

Σημαντικά χαρακτηριστικά αποκωδικοποιητή καναλιού :

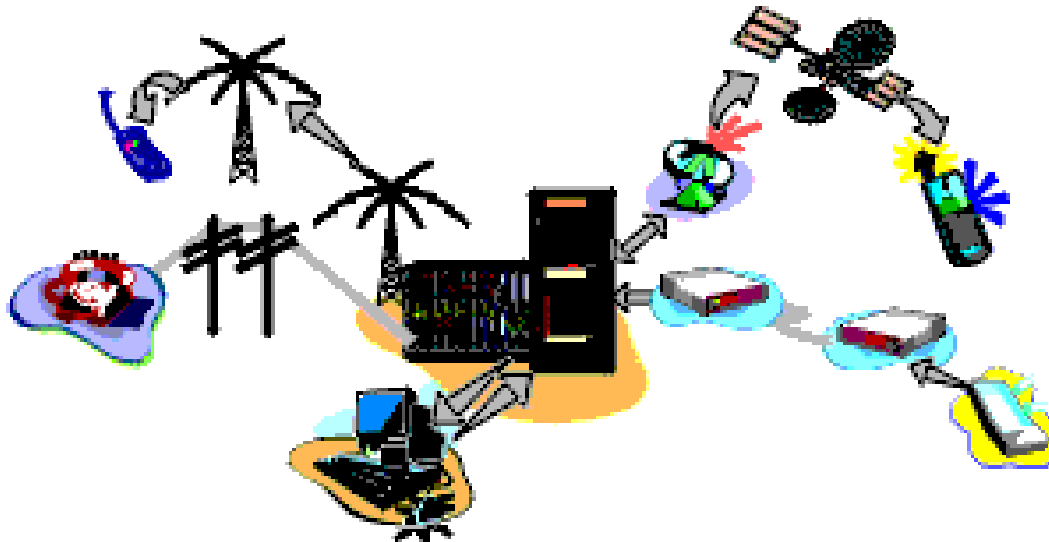
- Πολυπλοκότητα
- Χρόνος καθυστέρησης

6. Δίκτυα Επικοινωνιών

Δίκτυα Επικοινωνιών

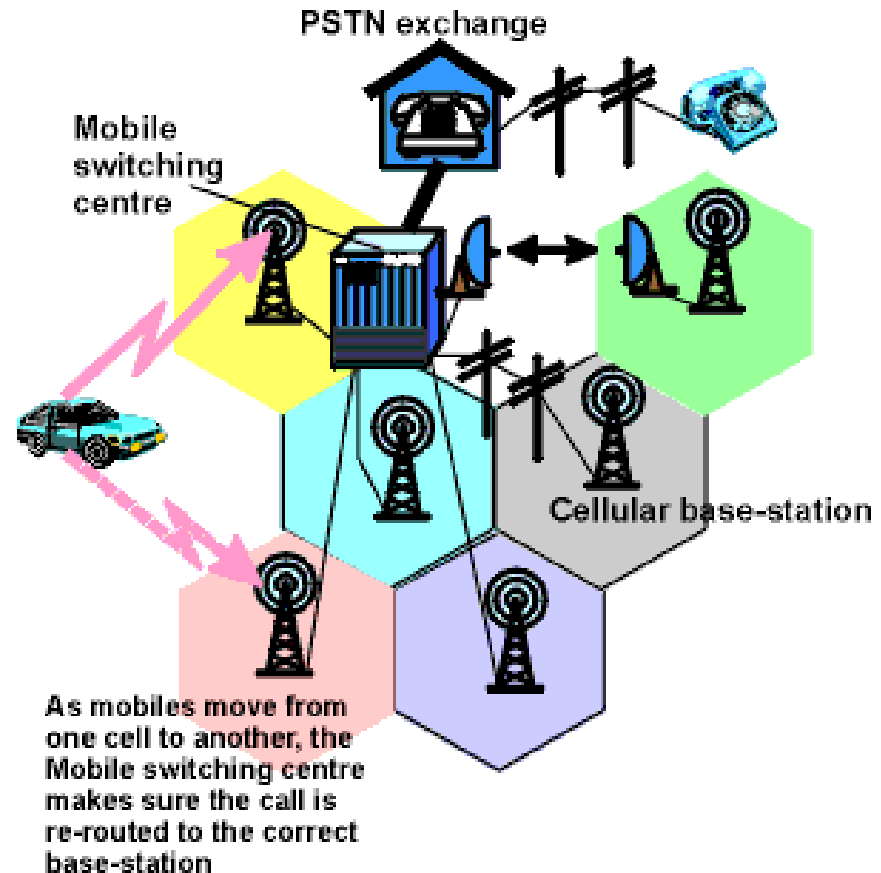
Ο όρος [Δίκτυο Επικοινωνιών](#) περιγράφει το σύνολο των δομικών στοιχείων που απαρτίζουν ένα σύγχρονο, πολυσύνθετο σύστημα επικοινωνιών. Περιλαμβάνει:

- **Φυσικές διασυνδέσεις** (καλώδια, οπτικές ίνες, ραδιοκύματα, συσκευές modem), οι οποίες επεξεργάζονται την πληροφορία εξασφαλίζοντας αξιόπιστη μεταφορά μέσα από το κανάλι δεδομένων.
- **Μεταγωγούς** (συσκευές δρομολόγησης και ανταλλαγής), οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη δρομολόγηση της πληροφορίας από την πηγή, στον προορισμό.



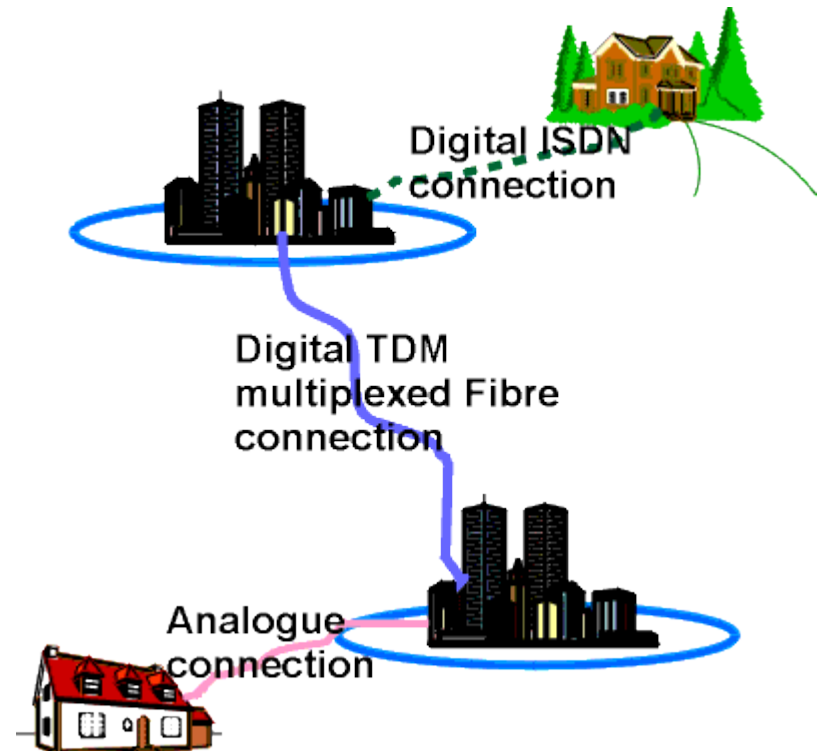
Τυπική Διαμόρφωση Δικτύου Κινητής Τηλεφωνίας

- **Κέντρο Μεταγωγής:** δρομολογεί κλήσεις μεταξύ κινητών χρηστών ή μεταξύ κινητών χρηστών και σταθμού μεταγωγής
- **Μικροκυματική ραδιοσύνδεση:** διασυνδέει τους σταθμούς βάσης με τα κέντρα μεταγωγής και τα κέντρα μεταγωγής μεταξύ τους
- **Δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής ([Public Switched Telephone Network](#) PSTN):** εξασφαλίζει τη διασύνδεση των κλήσεων μεταξύ κινητών και σταθερών χρηστών.



Ιεραρχία Δικτύου

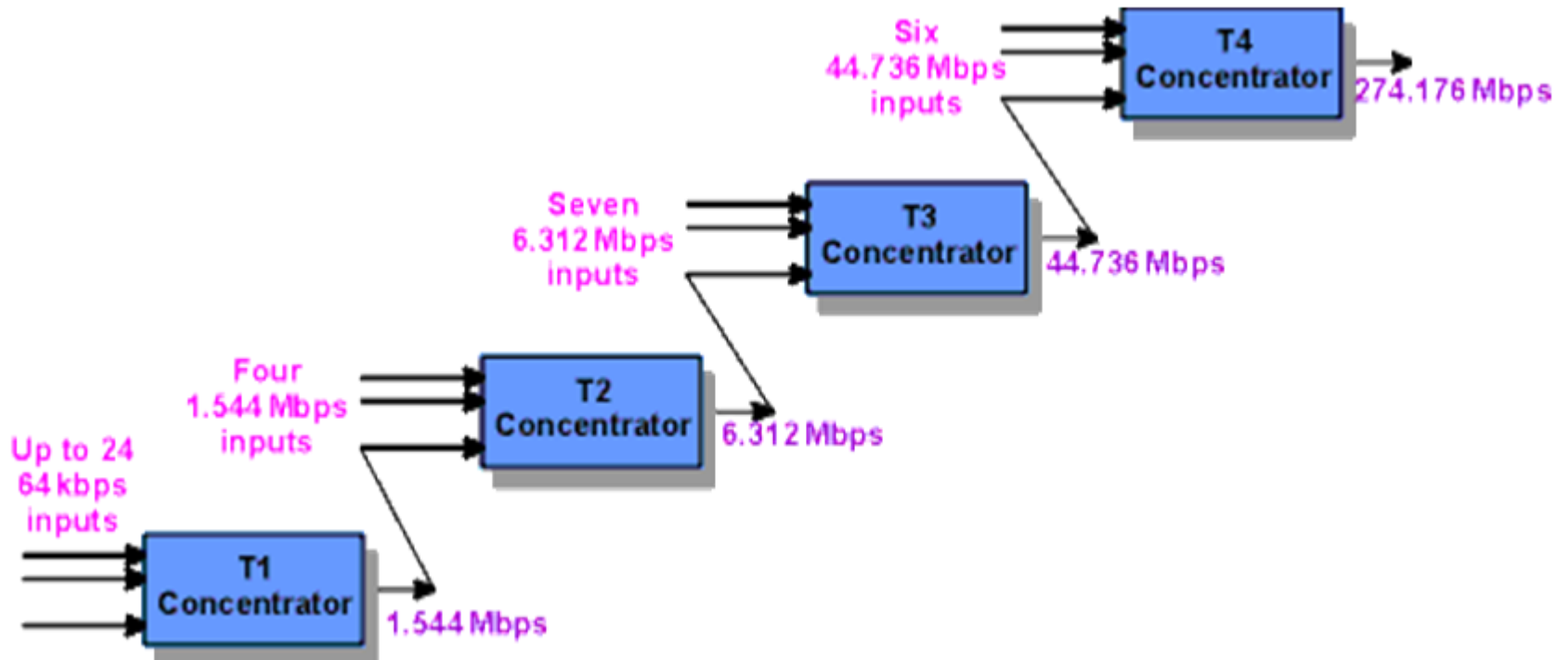
- Συνδέσεις μικρού φόρτου, π.χ. οικιακών χρηστών, εξυπηρετούνται από **συνδέσεις χαμηλής χωρητικότητας**, όπως το **συνεστραμμένο ζεύγος χαλκού**.
- Το **συνεστραμμένο ζεύγος χαλκού** υποστηρίζει ταχύτητες μέχρι 56 kbps για PSTN συνδέσεις και 2x64 kbps για ISDN συνδέσεις
- Οι συνδέσεις μεταξύ πόλεων εξυπηρετούνται από **κυκλώματα υψηλής ταχύτητας**, όπως **ραδιοζεύξεις ή οπτικές ίνες**.



7. Πρότυπα Μετάδοσης

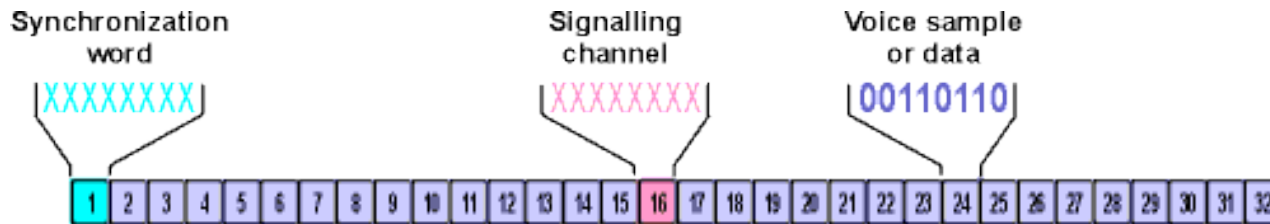
Πρότυπα Μετάδοσης

- [Ιεραρχία Πολύπλεξης Βορείου Αμερικής](#)

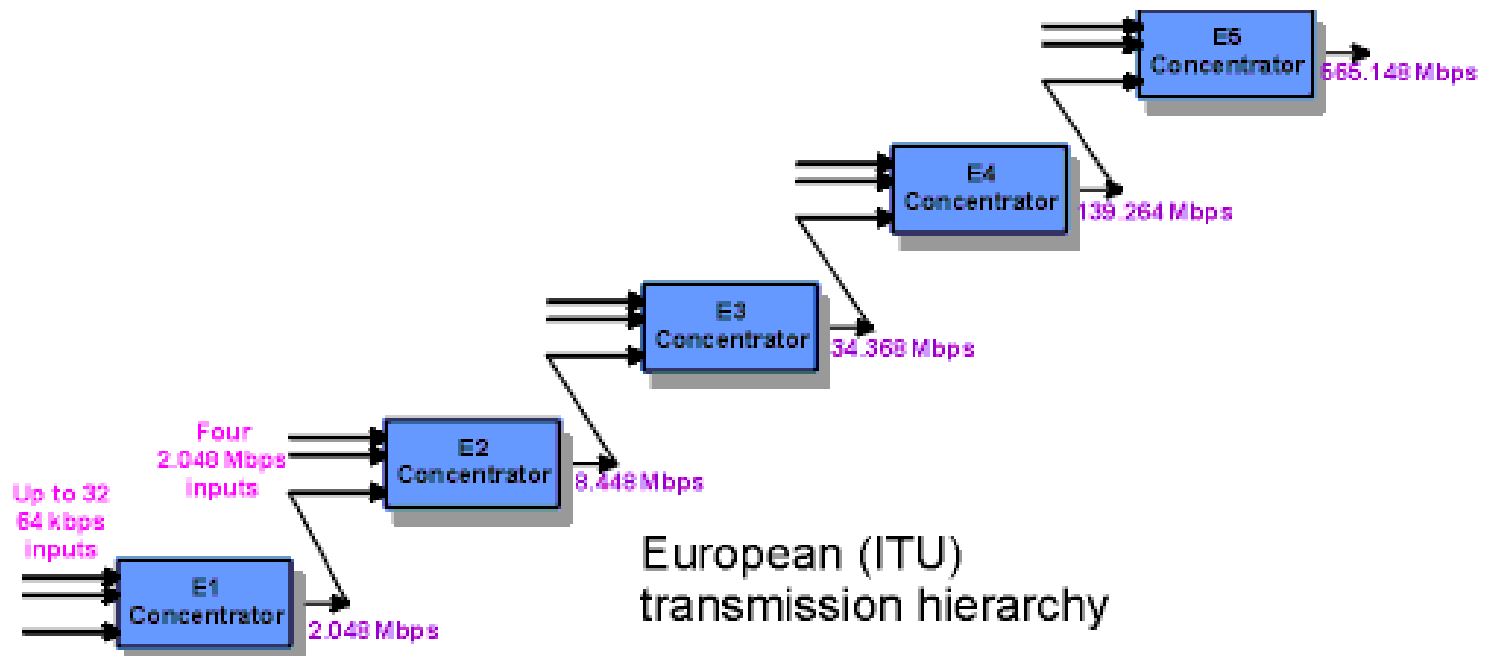


Πρότυπα Μετάδοσης

- Μορφή πλαισίου σύμφωνα με την πολυπλεξία ITU (CCITT)



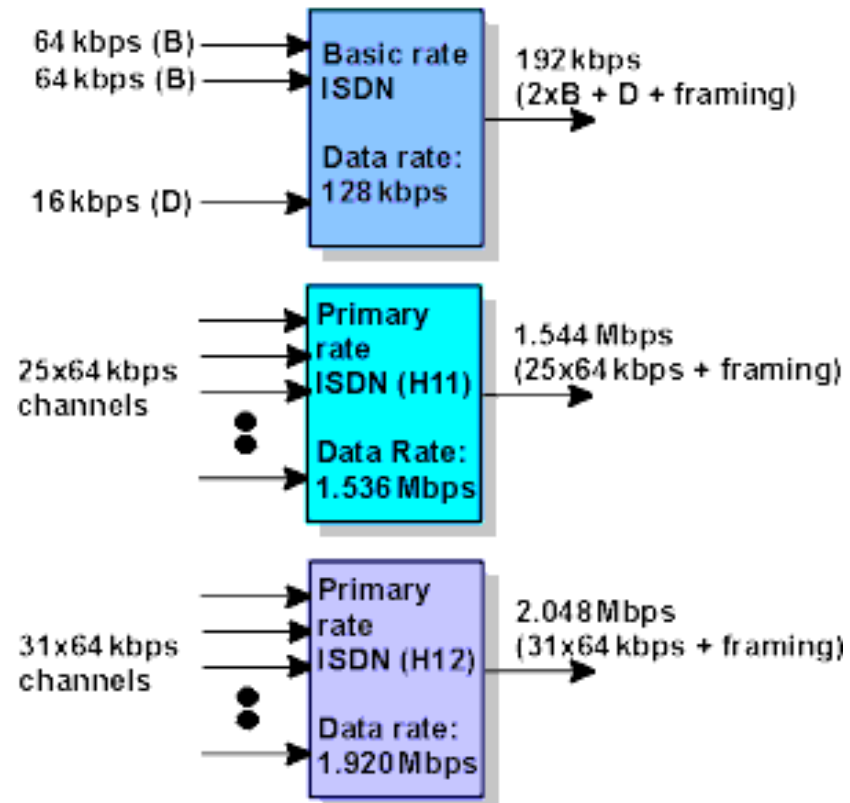
- Ευρωπαϊκή Ιεραρχία Πολύπλεξης (κατά ITU)



Ψηφιακό Δίκτυο Ολοκληρωμένων Υπηρεσιών (ISDN)

- [Integrated Services Digital Network - ISDN](#): πρότυπο πλήρους ψηφιακής επικοινωνιακής ζεύξης μεταξύ τελικού χρήστη και τοπικού κέντρου.
- Παρέχει **εγγυημένο ρυθμό** αποστολής δεδομένων με 64 kbps.
- Επειδή η ψηφιοποίηση της φωνής πραγματοποιείται στην πηγή, δεν χρειάζεται κάρτες modem.
- **Βασικός ρυθμός (basic rate)**:
 $2B+D$ ($2 \times 64 + 16$ kbps)
- **Πρωτεύων ρυθμός (primary rate)**:
 $31 \times 64 = 2.048$ Mbps

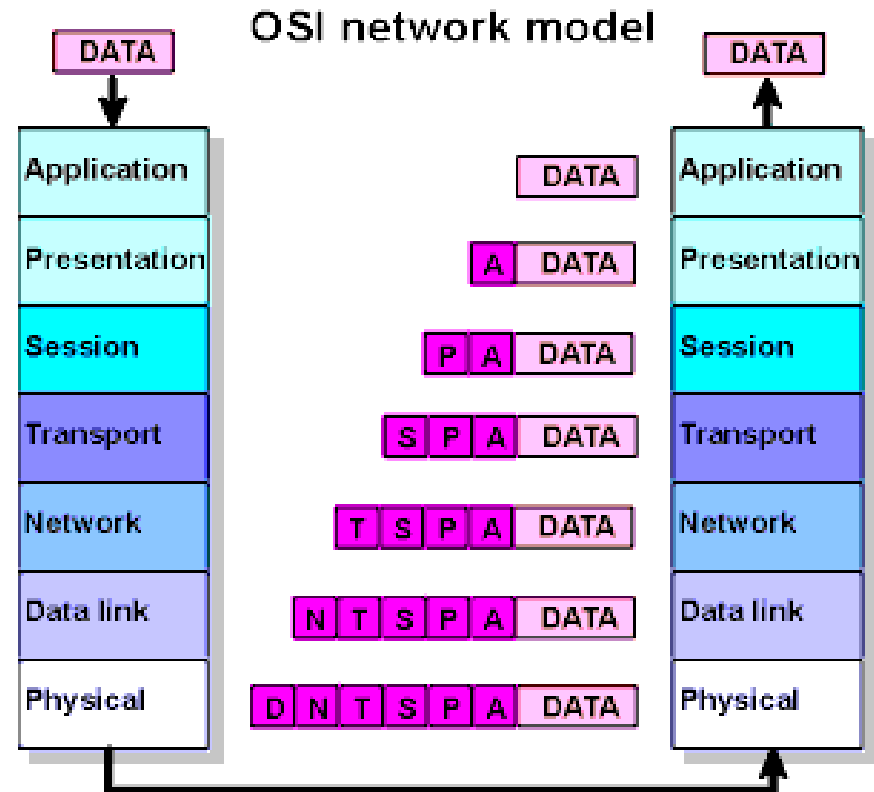
Standard ISDN services



8. Μοντέλο OSI

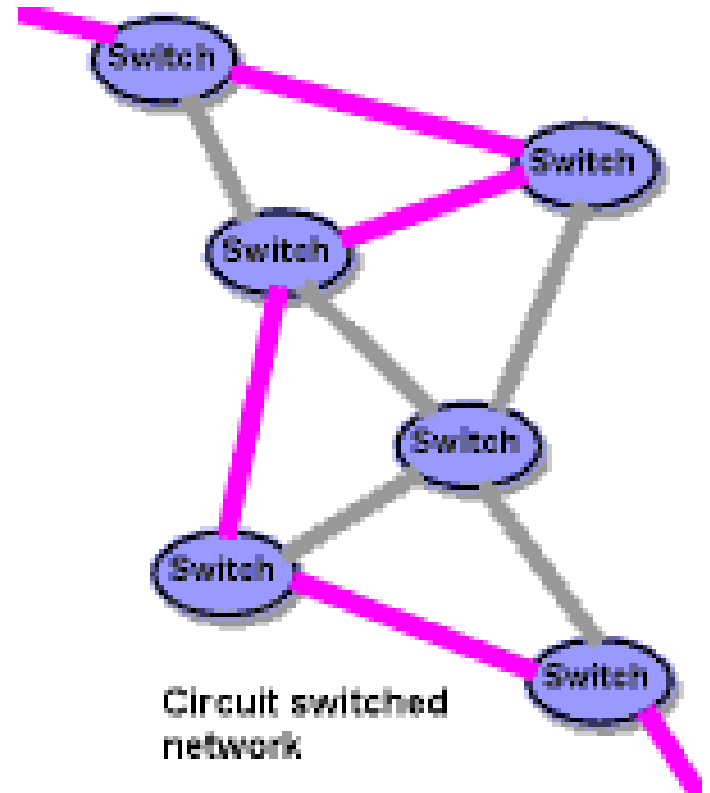
Μοντέλο OSI

- Πρωτόκολλο επικοινωνίας: ένα σύνολο αναλυτικών κανόνων που πρέπει να τηρούνται για να εξασφαλίζεται ο πλήρης έλεγχος σε μία συγκεκριμένη λειτουργία ενός επικοινωνιακού συστήματος.
- Μοντέλο OSI: προτυποποιημένο μοντέλο επτά (7) επιπέδων. Κάθε επίπεδο συγκροτείται από ένα σύνολο πρωτοκόλλων.



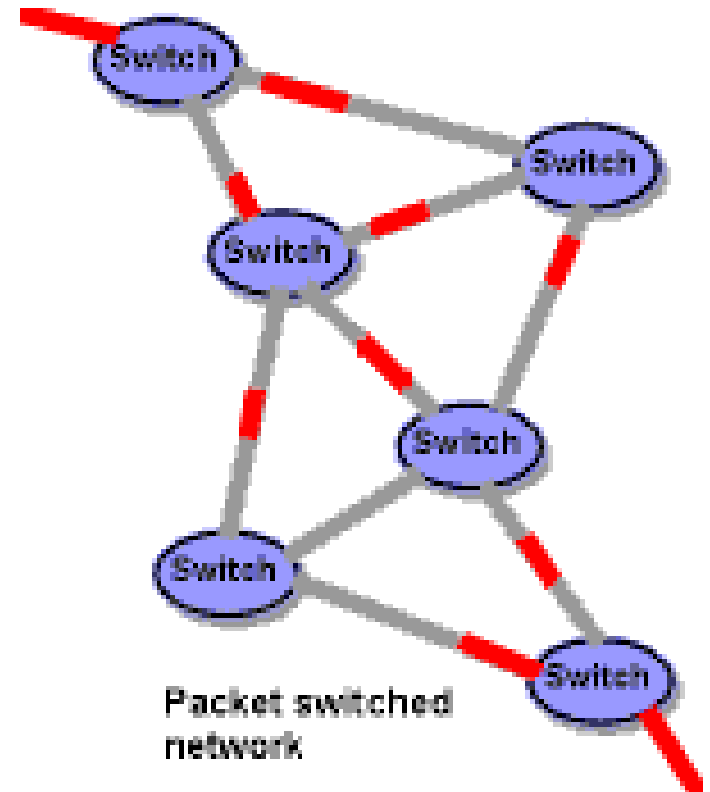
Δίκτυα Μεταγωγής Κυκλώματος

- Ένα δίκτυο ονομάζεται μεταγωγής κυκλώματος ([circuit switched network](#)) όταν στην αρχή κάθε πλήρους διαδικασίας ανταλλαγής μηνυμάτων, η διαδρομή μέσα στο δίκτυο καθορίζεται από την αρχή, οι σωστές συνδέσεις ενεργοποιούνται εξ' αρχής και η διάρθρωση αυτή διατηρείται καθ' όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας.



Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Ένα δίκτυο ονομάζεται **δίκτυο μεταγωγής πακέτων** ([packet switched network](#)) όταν δρομολογεί επιμέρους τμήματα (πακέτα) του μηνύματος στη **βέλτιστη δυνατή διαδρομή** (λιγότερο βεβαρυμμένη, θορυβώδης, κλπ), που είναι διαθέσιμη εκείνη τη χρονική στιγμή. Για **κάθε πακέτο** υπολογίζεται δυναμικά η βέλτιστη δρομολόγηση.
- Εξασφαλίζουν **βέλτιστη διαχείριση χωρητικότητας** του δικτύου, ειδικά όταν οι πυκνότητα της κίνησης και οι συμφορήσεις είναι απρόβλεπτες, όπως στο Internet.
- Απαιτούν **πρόσθετη σηματοδότηση** για τη δρομολόγηση κάθε πακέτου ξεχωριστά και την σωστή αναδιάταξη των πακέτων στον δέκτη, ώστε να ανασυντίθεται σωστά το εκπεμπόμενο μήνυμα.



Σύγχρονη και Ασύγχρονη Μετάδοση

- **Σύγχρονο ([synchronous](#))** σύστημα, είναι αυτό στο οποίο ο πομπός και ο δέκτης λειτουργούν συνεχώς με τον ίδιο ρυθμό συμβόλων ανά δευτερόλεπτο και διατηρούνται σε μία επιθυμητή διαφορά φάσης με τη βοήθεια κατάλληλων λειτουργιών διόρθωσης.
- Το **σήμα χρονισμού** στον δέκτη μπορεί να παράγεται:
 - Από ένα **ειδικό σήμα αναφοράς** που αποστέλλει ο πομπός (απαιτείται πρόσθετη ισχύς και εύρος ζώνης).
 - Από τις **μεταβάσεις συμβόλων** μέσα στο σήμα δεδομένων (απαιτείται συχνή εναλλαγή συμβόλων και μακριές αλυσίδες 0 ή 1 δεν είναι αποδεκτές).
- **Ασύγχρονο ([asynchronous](#))** σύστημα, είναι αυτό στο οποίο ο ρυθμός αποστολής συμβόλων μπορεί να μεταβάλλεται με το χρόνο μέσα σε κάποια όρια και έτσι δεν υπάρχει αυστηρή απαίτηση χρονισμού.
- Η ασύγχρονη λειτουργία χαρακτηρίζεται από τη χρήση bit «έναρξης» και «λήξης», τα οποία δηλώνουν την **αρχή** και το **τέλος** της ακολουθίας χαρακτήρων που πρόκειται να αποσταλεί.



Σύγχρονη και Ασύγχρονη Μετάδοση

Πλεονεκτήματα Σύγχρονης Επικοινωνίας Δεδομένων

- Εξέχουσα ανοχή στο θόρυβο.
- Δυνατότητα διαχείρισης μεγαλύτερων ρυθμών αποστολής δεδομένων από ότι η ασύγχρονη.

Μειονεκτήματα Σύγχρονης Επικοινωνίας Δεδομένων

- Ο συγχρονισμός του συστήματος πρέπει να γίνει σε πεπερασμένο χρόνο.
- Είναι πιο περίπλοκη και ακριβή από την ασύγχρονη λειτουργία.
- Δεν μπορεί να διαχειριστεί εύκολα μεταβαλλόμενους ρυθμούς εκπομπής συμβόλων.

Πρωτόκολλα Εκπομπής

- Μονόδρομη (**Simplex**) όταν η ροή πληροφορίας είναι μόνο προς μία κατεύθυνση, π.χ. ραδιόφωνο, τηλεόραση.
- Ημι-αμφίδρομη (**Half Duplex**), όταν επιτρέπεται η επικοινωνία και προς τις δύο κατευθύνσεις, όχι όμως ταυτόχρονα, π.χ. επικοινωνίες Αστυνομίας, CB.
- Πλήρως αμφίδρομη (**Full Duplex**), όταν επιτρέπεται η ταυτόχρονη επικοινωνία και προς τις δύο κατευθύνσεις, π.χ. τηλέφωνο

