

Δίκτυα Υπολογιστών

Καθηγητής: Χρήστος Δουληγέρης

Γραφείο: 302

E-mail : cdoulig@unipi.gr



**Τμήμα Πληροφορικής
Πανεπιστήμιο Πειραιώς**

Κεφάλαιο 2: Φυσικό Επίπεδο

κεφαλαιο 2: φυσικό επίπεδο



Εισαγωγή

Εισαγωγή

- Ασχολείται με την μετατροπή των ψηφιακών δεδομένων (εικόνα, βίντεο, ήχος) σε κατάλληλα ηλεκτρομαγνητικά σήματα (ή κύματα) καθώς και με την μετάδοση τους.
- Τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα υπόκεινται σε παραμορφώσεις και αλλοιώσεις με αποτέλεσμα ο παραλήπτης να τα μεταφράζει με λανθασμένο τρόπο. Οι αλλοιώσεις αυτές οφείλονται:
 - Στο μέσο μετάδοσης.
 - Στην ταχύτητα μετάδοσης.
 - Στην απόσταση μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη.
- Τα σχετικά πρότυπα τυποποίησης αφορούν τις ηλεκτρικές διεπαφές και τα μέσα μετάδοσης ανάμεσα στις διάφορες συσκευές και τα διαμορφώνουν φορείς τυποποίησης όπως:
 - International Telegraph and Telephone Consultative Committee (CCITT).
 - EIA (Electrical Industries Association)

Σήματα

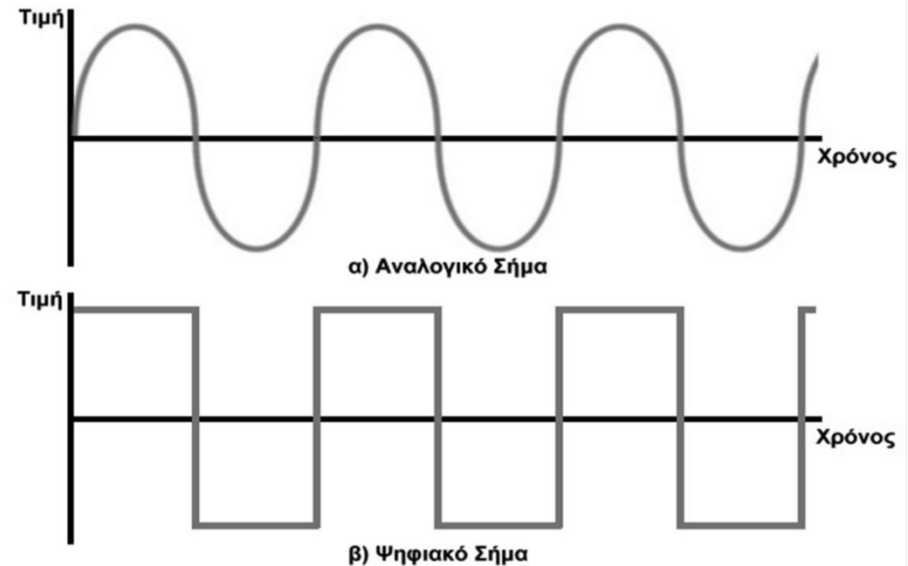
σήματα

Κατηγοριοποίηση σημάτων

Αναλογικά - Ψηφιακά

Αναλογικά Σήματα (Analog Signals): Οι τιμές που παίρνουν είναι συνεχείς, ανήκουν δηλαδή σε όλο το σύνολο των πραγματικών αριθμών.

Ψηφιακά Σήματα (Digital Signals): Παίρνουν διακριτές τιμές που στην απλούστερη περίπτωση είναι οι τιμές του συνόλου 0, 1.



Κατηγοριοποίηση σημάτων (συνέχεια)

Αναλογικά - Ψηφιακά

Αναλογικά Σήματα – Περιγραφή:

- Τα αναλογικά σήματα μπορεί να είναι:
 - **Απλά:** δηλαδή ημιτονικά σήματα,
 - **Σύνθετα:** τα οποία μπορούν να αποσυντεθούν, με βάση το μετασχηματισμό Fourier, σε ένα σύνολο ημιτονικών σημάτων, με ένα φάσμα συχνοτήτων (spectrum) συγκεκριμένου εύρους (bandwidth).
- Τα απλά αναλογικά σήματα χαρακτηρίζονται από τρεις μεταβλητές:
 - **Πλάτος:** Περιγράφει την τιμή του σήματος την κάθε χρονική στιγμή.
 - **Συχνότητα/Περίοδος:** Εκφράζοντας τον αριθμό των περιόδων ή των ολοκληρωμένων κύκλων του σήματος σε χρόνο 1 sec.
 - **Φάση:** Εκφράζει τη μετατόπιση του σήματος ως προς τον χρόνο.

$$A \cdot \cos(2\pi f_c t + \theta)$$

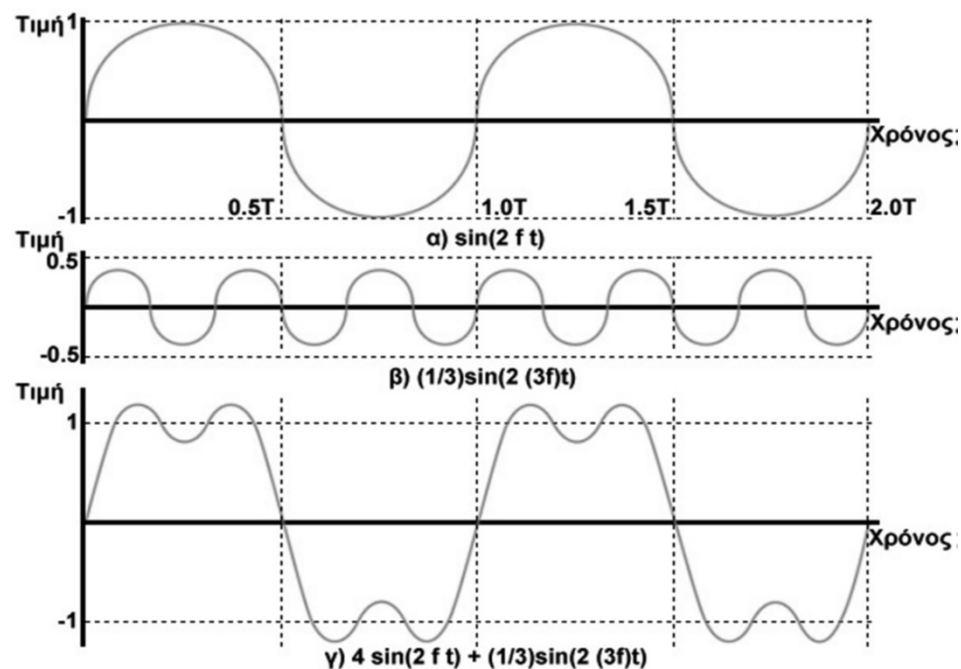
Κατηγοριοποίηση σημάτων (συνέχεια)

Αναλογικά - Ψηφιακά

Αναλογικά Σήματα – Σειρά/Μετασχηματισμός Fourier:

Στην πιο απλή περίπτωση ένα σήμα $f(t)$ μπορεί να αναλυθεί σε ένα άθροισμα ημιτόνων /συνημιτόνων, με συντελεστές οι οποίοι υπολογίζονται μοναδικά από το $f(t)$ και συχνότητες πολλαπλάσιες μιας βασικής συχνότητας f_0 :

$$f(t) = \alpha_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n \sin(2\pi n f_0 t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi n f_0 t)$$



Παράδειγμα ανάλυσης Fourier

Κατηγοριοποίηση σημάτων (συνέχεια)

Αναλογικά - Ψηφιακά

Ψηφιακά Σήματα – Περιγραφή:

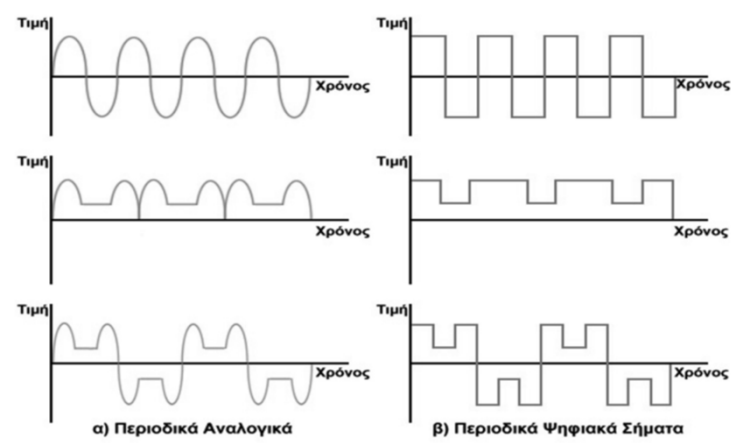
- Τα ψηφιακά σήματα χαρακτηρίζονται από δύο μεταβλητές:
 - **Διάστημα των bit (bit Interval):** Το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την αποστολή του ενός bit.
 - **Ρυθμός των bits (bit Rate):** Ο αριθμός των bit που στέλνονται σε χρόνο 1 sec.
- Τα ψηφιακά σήματα μπορούν να μετατραπούν σε ένα σύνολο αναλογικών σημάτων, με πεπερασμένο φάσμα συχνοτήτων συγκεκριμένου εύρους (που ονομάζεται **σημαντικό φάσμα συχνοτήτων**).

Κατηγοριοποίηση σημάτων (συνέχεια)

Περιοδικά - Απεριοδικά

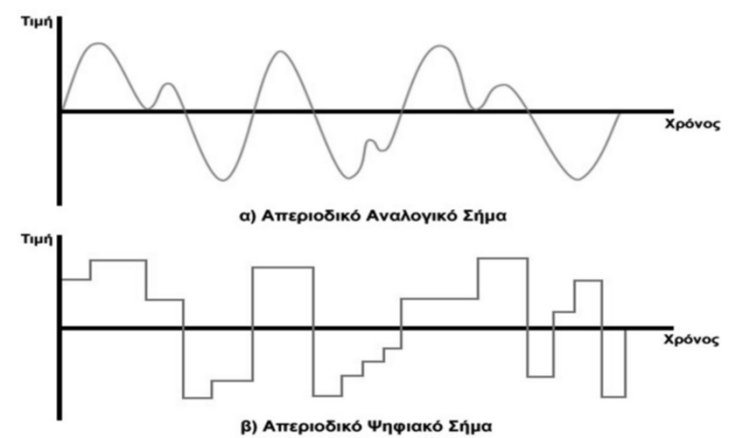
Περιοδικά Σήματα (Periodic Signals):

Επαναλαμβάνουν τη μορφή ανά ένα σταθερό χρονικό διάστημα μιας περιόδου T .



Απεριοδικά ή Μη-περιοδικά Σήματα (Aperiodic ή Non-Periodic Signals):

Δεν επαναλαμβάνουν τη μορφή τους, αλλά μπορούν να αποσυντεθούν σε έναν απεριόριστο αριθμό περιοδικών σημάτων (Μετασχηματισμός Fourier).



Κωδικοποίηση - Τροποποίηση Σημάτων

Εισαγωγή

- Η μετάδοση πληροφορίας μπορεί να γίνει είτε με μετατροπή του σήματος σε ψηφιακό με μεταφορά σε:
 - υψηλές συχνότητες - **διαμόρφωση ευρείας ζώνης** - είτε με
 - μετατροπή χωρίς να χρησιμοποιείται κάποια υψηλή συχνότητα - **διαμόρφωση βασικής ζώνης**.

Κωδικοποίηση - Τροποποίηση Σημάτων (συνέχεια)

Διαμόρφωση βασικής ζώνης

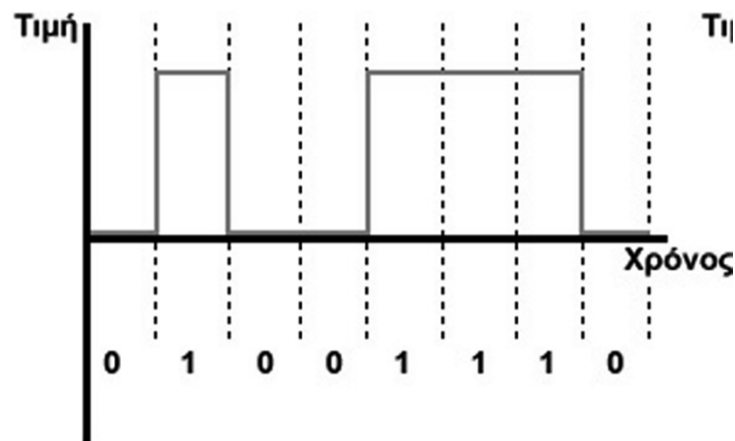
- Χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των δεδομένων στο εσωτερικό του υπολογιστή, αλλά και για την μεταφορά διαμέσου κάποιου δικτύου.
- Υπάρχουν τρεις κύριες τεχνικές:
 - η μονοπολική (unipolar) κωδικοποίηση,
 - η πολική (polar) κωδικοποίηση και
 - η διπολική (bipolar) κωδικοποίηση

Κωδικοποίηση - Τροποποίηση Σημάτων (συνέχεια)

Διαμόρφωση βασικής ζώνης

Μονοπολική Κωδικοποίηση (Unipolar Encoding)

- Η μια εκ των δύο ψηφιακών καταστάσεων (συνήθως η '1') παριστάνεται από κάποια τάση (πολικότητα), ενώ στην άλλη αντιστοιχεί τάση 0 volts.
- Υπάρχουν δύο σημαντικά προβλήματα:
 - Η μη ύπαρξη τάσης σηματοδοτεί το ψηφίο '0'.
 - Έλλειψη συγχρονισμού



Κωδικοποίηση της ακολουθίας των bits "01001110" με χρήση μονοπολικής Κωδικοποίησης.

Κωδικοποίηση - Τροποποίηση Σημάτων (συνέχεια)

Διαμόρφωση βασικής ζώνης (συνέχεια)

Πολική Κωδικοποίηση (Polar Encoding) :

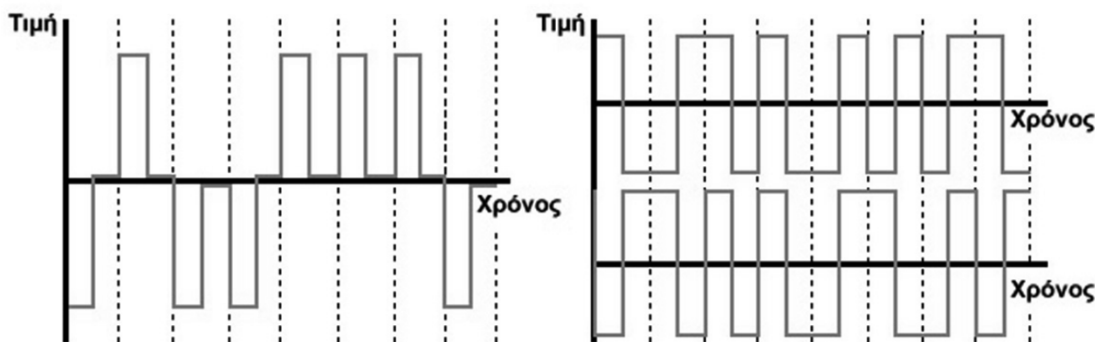
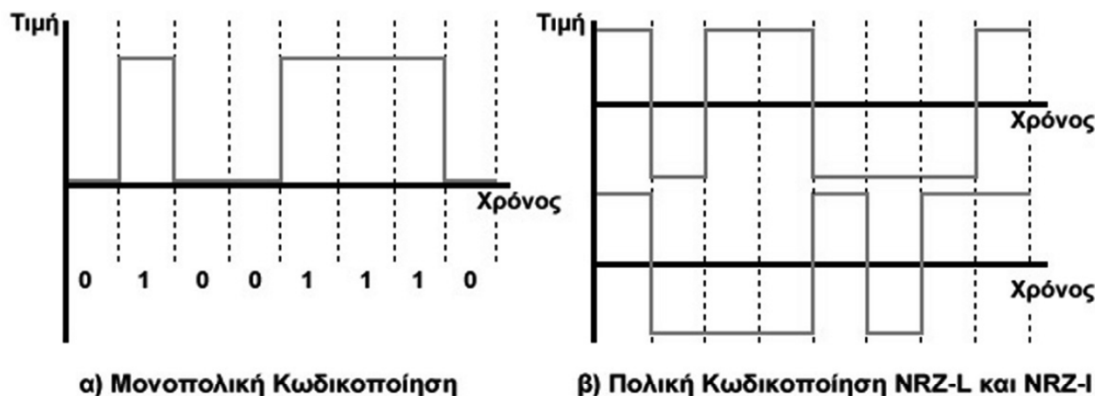
Χρησιμοποιεί δύο επίπεδα τάσης (θετικό και αρνητικό) για την αναπαράσταση του '1' και του '0', με αποτέλεσμα να εξαλείφεται μερικώς ή εντελώς το 1ο πρόβλημα της μονοπολικής κωδικοποίησης. Η κωδικοποίηση αυτή εμφανίζεται σε διάφορες παραλλαγές:

- **NRZ (NonReturn to Zero):** Η πολικότητα του σήματος είναι πάντοτε είτε θετική είτε αρνητική.
- **RZ (Return to Zero):** Χρησιμοποιούνται τρεις τάσεις σήματος: μια αρνητική, μια θετική και η μηδενική. Το bit '1' κωδικοποιείται σε μια μετάβαση από θετική τάση σε μηδενική, ενώ το '0' αντιπροσωπεύεται από μια μετάβαση από αρνητική σε μηδενική τάση. Υπάρχουν δύο επιμέρους τύποι της μετάδοσης NRZ: NRZ-L, NRZ-I.
- **Διφασική Κωδικοποίηση (Biphase):** Αποτελεί την καλύτερη λύση ενάντια στην έλλειψη συγχρονισμού.
- Υπάρχουν 2 παραλλαγές: Η κωδικοποίηση Manchester και η διαφορική κωδικοποίηση Manchester.

Κωδικοποίηση - Τροποποίηση Σημάτων (συνέχεια)

Διαμόρφωση βασικής ζώνης (συνέχεια)

Πολική Κωδικοποίηση (Polar Encoding) - Παράδειγμα:



Πολική Κωδικοποίηση RZ

Διφασική Κωδικοποίηση Manchester και διαφορική Manchester

Κωδικοποίηση της ακολουθίας των bits "01001110" με χρήση μονοπολικής και πολικής κωδικοποίησης (τεχνικές: NRZ L, NRZ I, RZ, Manchester και διαφορική Manchester).



Κωδικοποίηση - Τροποποίηση Σημάτων (συνέχεια)

Διαμόρφωση βασικής ζώνης (συνέχεια)

Διπολική Κωδικοποίηση (Bipolar Encoding) - Περιγραφή:

Το bit '0' παριστάνεται από μηδενική τάση, ενώ το '1' από θετική ή αρνητική τάση, εναλλάξ. Υπάρχουν τρεις τύποι διπολικής κωδικοποίησης:

- **AMI (Alternate Mark Inversion)**: Πρόκειται για την απλούστερη μορφή διπολικής κωδικοποίησης, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Παρουσιάζει αδυναμίες συγχρονισμού για μεγάλες ακολουθίες από '0'.
- **B8ZS (Bipolar 8-Zero Substitution)**: Αποτελεί την Αμερικανική λύση στο πρόβλημα έλλειψης συγχρονισμού για μεγάλες ακολουθίες από '0'.
- **HDB3 (High-Density Bipolar 3)**: Αποτελεί την Ευρωπαϊκή και Ιαπωνική λύση στο πρόβλημα έλλειψης συγχρονισμού για μεγάλες ακολουθίες από '0'.

Κωδικοποίηση - Τροποποίηση Σημάτων (συνέχεια)

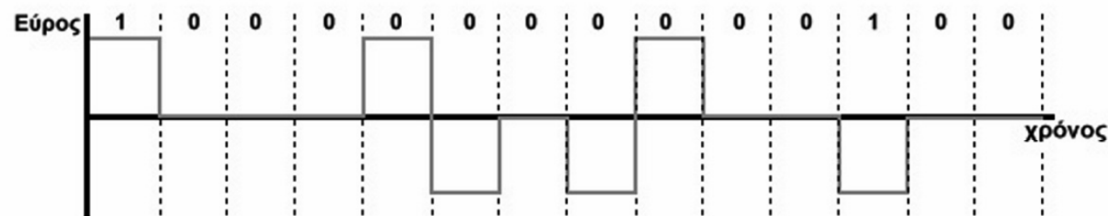
Διαμόρφωση βασικής ζώνης (συνέχεια)

Διπολική Κωδικοποίηση (Bipolar Encoding) - Παραδείγματα:



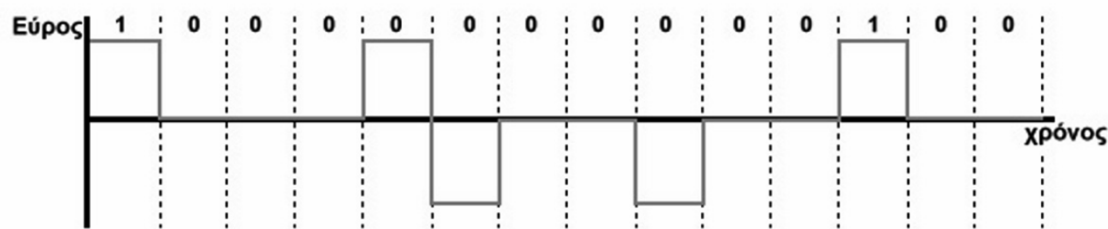
α) Διπολική Κωδικοποίηση AMI

Διπολική κωδικοποίηση AMI της ακολουθίας των bits "01001110".



β) Διπολική Κωδικοποίηση B8ZS

Διπολικές κωδικοποιήσεις B8ZS και HDB3 της ακολουθίας "1000000000100".



γ) Διπολική Κωδικοποίηση HDB3



Κωδικοποίηση - Τροποποίηση Σημάτων (συνέχεια)

Διαμόρφωση ψηφιακού σήματος στην ευρεία ζώνη

- Πρόκειται για τη διαδικασία που πραγματοποιείται από ένα modem, κατά τη μετάδοση πληροφοριών μεταξύ δύο υπολογιστών διαμέσου συνήθως ενός τηλεφωνικού δικτύου (PSTN).
- Υπάρχουν 3 βασικοί μηχανισμοί που πραγματοποιούν τη μετατροπή ψηφιακού σήματος σε αναλογικό:

- ASK (Amplitude Shift Keying)
- FSK (Frequency Shift Keying)
- PSK (Phase Shift Keying)

καθώς και σύνθετοι μηχανισμοί όπως :

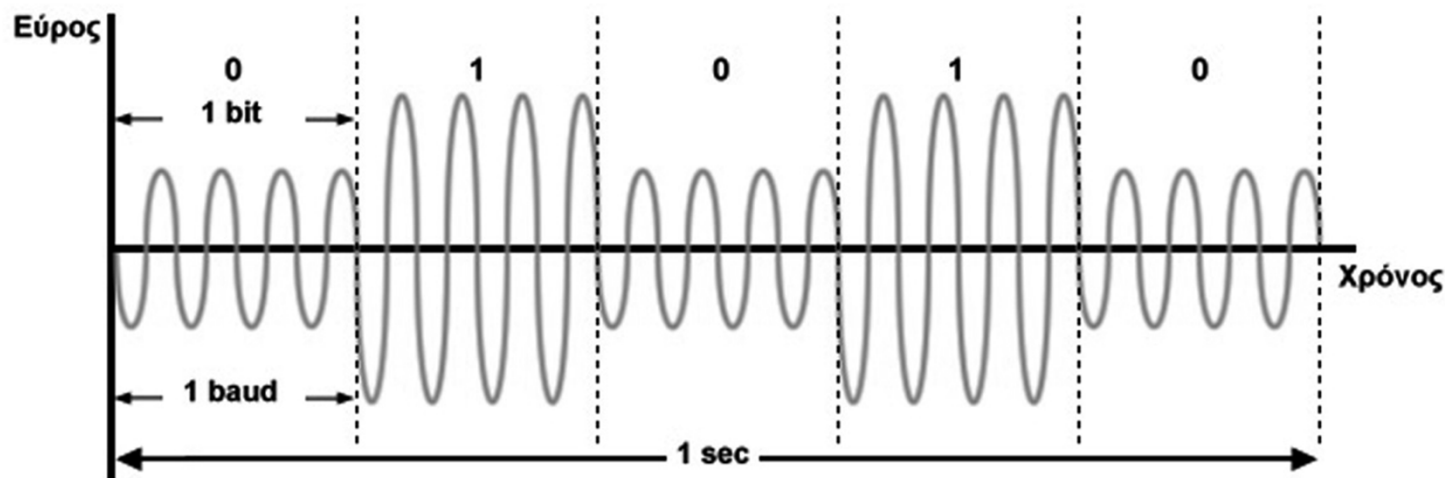
- QAM (Quadrature Amplitude Modulation)
- QPSK (Quadrature PSK)

Κωδικοποίηση - Τροποποίηση Σημάτων (συνέχεια)

Διαμόρφωση ψηφιακού σήματος στην ευρεία ζώνη (συνέχεια)

ASK (Amplitude Shift Keying):

- Οι μεταβολές ανάμεσα στα bit '0' και '1' αναπαριστώνται από αντίστοιχες μεταβολές στο πλάτος του φέροντος σήματος, ενώ η φάση και η συχνότητα παραμένουν σταθερές.
- Τόσο στο '0' όσο και στο '1' αντιστοιχεί συγκεκριμένο, σταθερό πλάτος.
- Αυτού του είδους η μετάδοση είναι ευάλωτη σε φαινόμενα θορύβου.

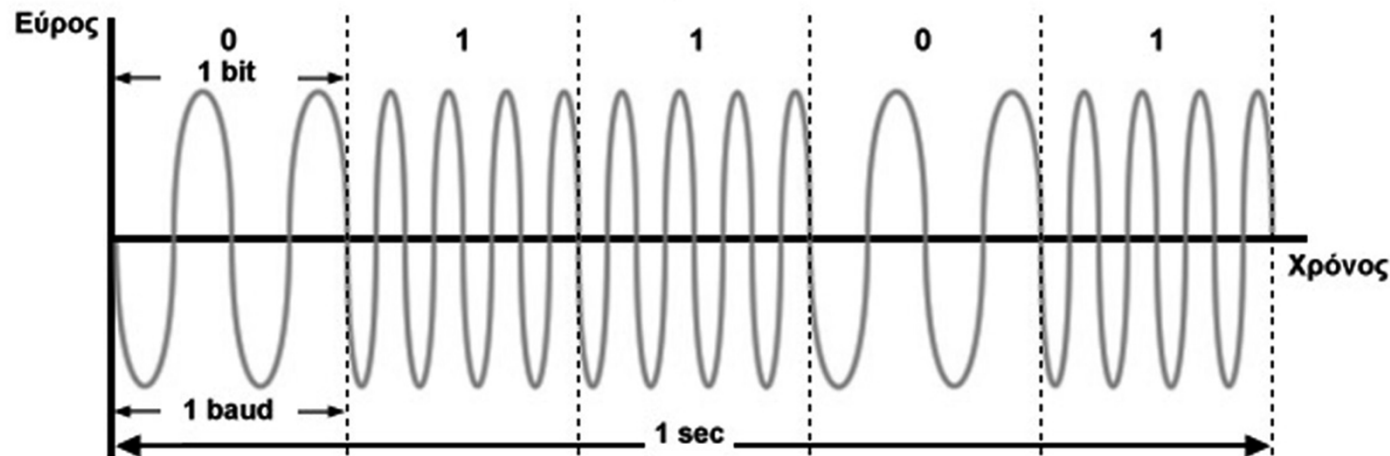


Κωδικοποίηση - Τροποποίηση Σημάτων (συνέχεια)

Διαμόρφωση ψηφιακού σήματος στην ευρεία ζώνη (συνέχεια)

FSK (Frequency Shift Keying):

- Το '0' και το '1' αναπαριστώνται από δύο διαφορετικές συχνότητες του φέροντος σήματος.
- Η φάση και το πλάτος διατηρούνται σταθερά.

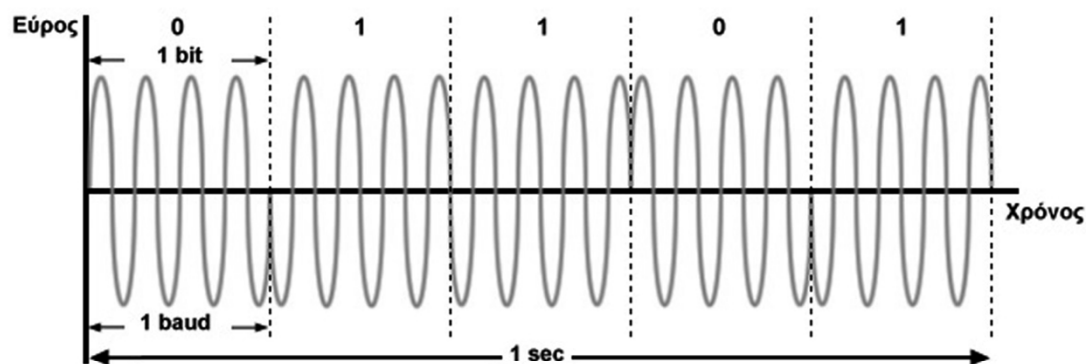


Κωδικοποίηση - Τροποποίηση Σημάτων (συνέχεια)

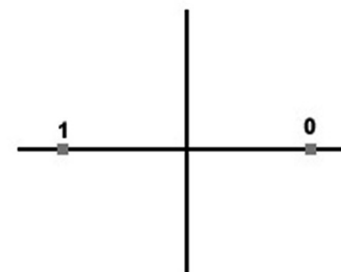
Διαμόρφωση ψηφιακού σήματος στην ευρεία ζώνη (συνέχεια)

PSK (Phase Shift Keying):

- Διακυμάνσεις στη φάση του φέροντος σήματος αναπαριστούν τις μεταβολές ανάμεσα στο '0' και στο '1', ενώ η συχνότητα και το πλάτος παραμένουν σταθερά.
- Δίδεται η δυνατότητα στο κάθε baud να μεταφέρει περισσότερα του ενός bit.



Bit	Φάση
0	0
1	180

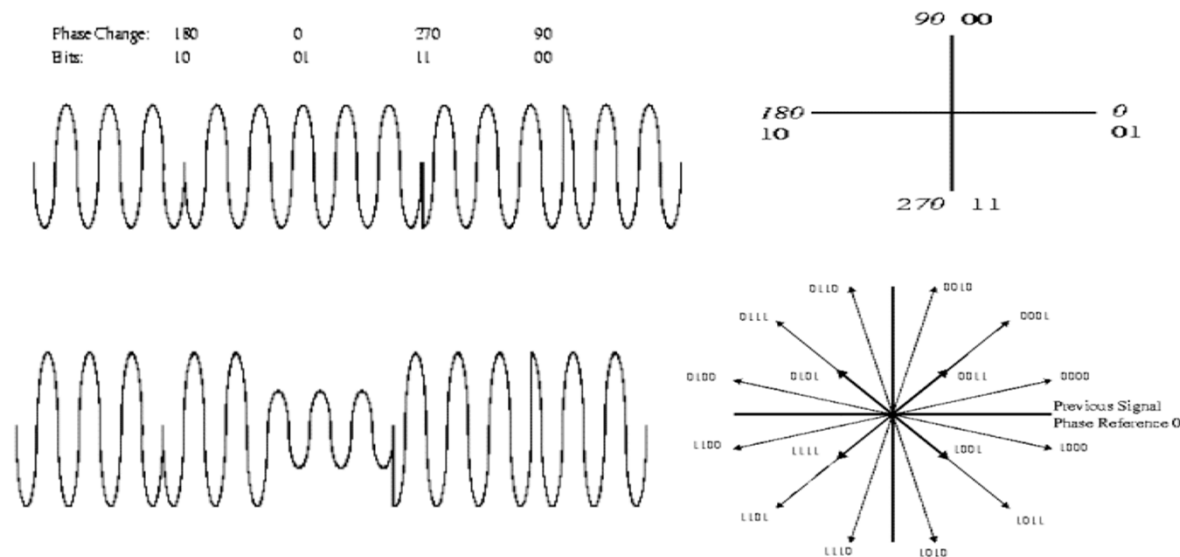


Κωδικοποίηση - Τροποποίηση Σημάτων (συνέχεια)

Διαμόρφωση ψηφιακού σήματος στην ευρεία ζώνη (συνέχεια)

QAM (Quadrature Amplitude Modulation):

- Είναι συνδυασμός των ASK και PSK.
- Παρέχει ακόμη μεγαλύτερη αναλογία bit/ baud συγκριτικά με την διαδικασία PSK.
- Η διαδικασία QAM παρέχει τα ίδια πλεονεκτήματα με τις ASK και PSK, και χρησιμοποιεί το ίδιο εύρος ζώνης.



Κωδικοποίηση - Τροποποίηση Σημάτων (συνέχεια)

Αναλογική Διαμόρφωση

Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή στα ραδιοφωνικά δίκτυα. Υπάρχουν τρεις τύποι μετατροπής:

- AM (Amplitude Modulation).
- FM (Frequency Modulation)
- PM (Phase Modulation).

Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Σημάτων (συνέχεια)

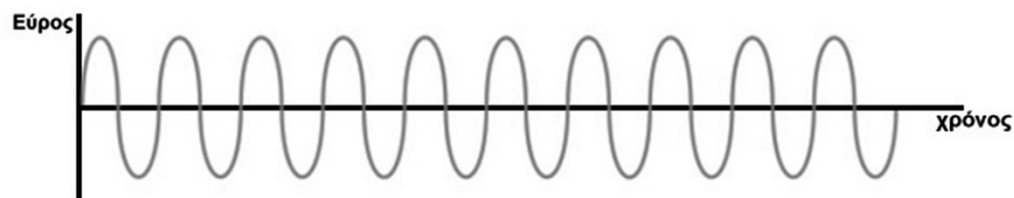
Αναλογική Διαμόρφωση

AM (Amplitude Modulation):

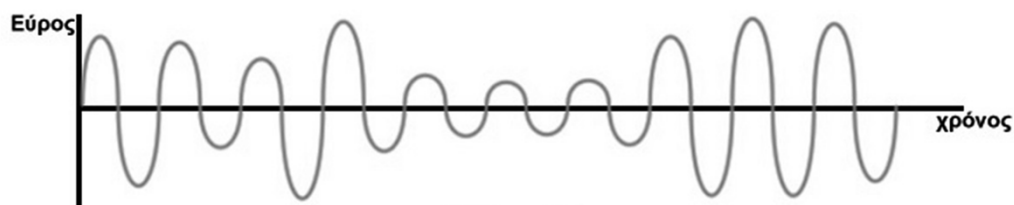
Το φέρον σήμα μεταβάλλει το πλάτος του σύμφωνα με τις μεταβολές του πλάτους του αρχικού σήματος, ενώ διατηρεί τη φάση και τη συχνότητά του σταθερές.



α) Σήμα Προς Διαμόρφωση



β) Φέρων Σήμα



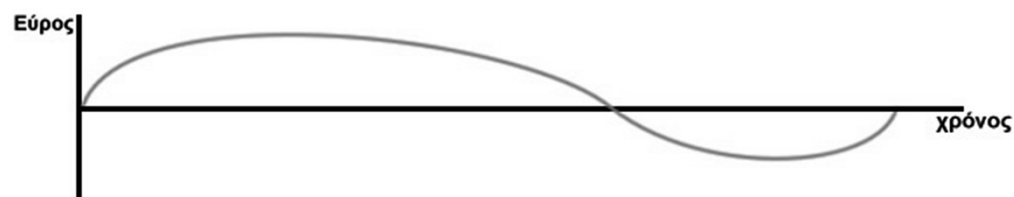
γ) Σήμα AM

Κωδικοποίηση - Τροποποίηση Σημάτων (συνέχεια)

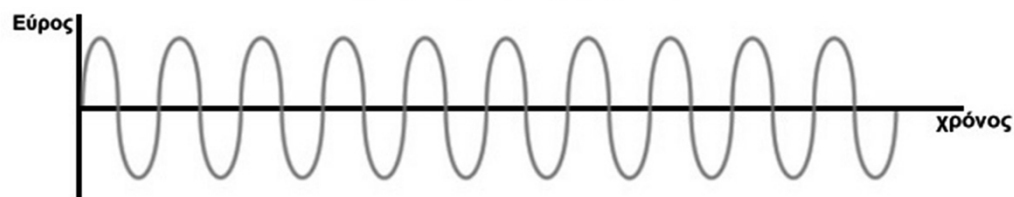
Αναλογική Διαμόρφωση

FM (Frequency Modulation):

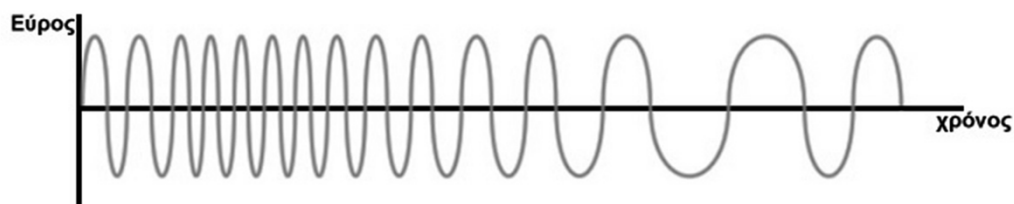
Το φέρον σήμα μεταβάλλει τη συχνότητά του σύμφωνα με τις μεταβολές του πλάτους του αρχικού σήματος, ενώ διατηρεί τη φάση και το πλάτος του σταθερά.



α) Σήμα Προς Διαμόρφωση



β) Φέρων Σήμα



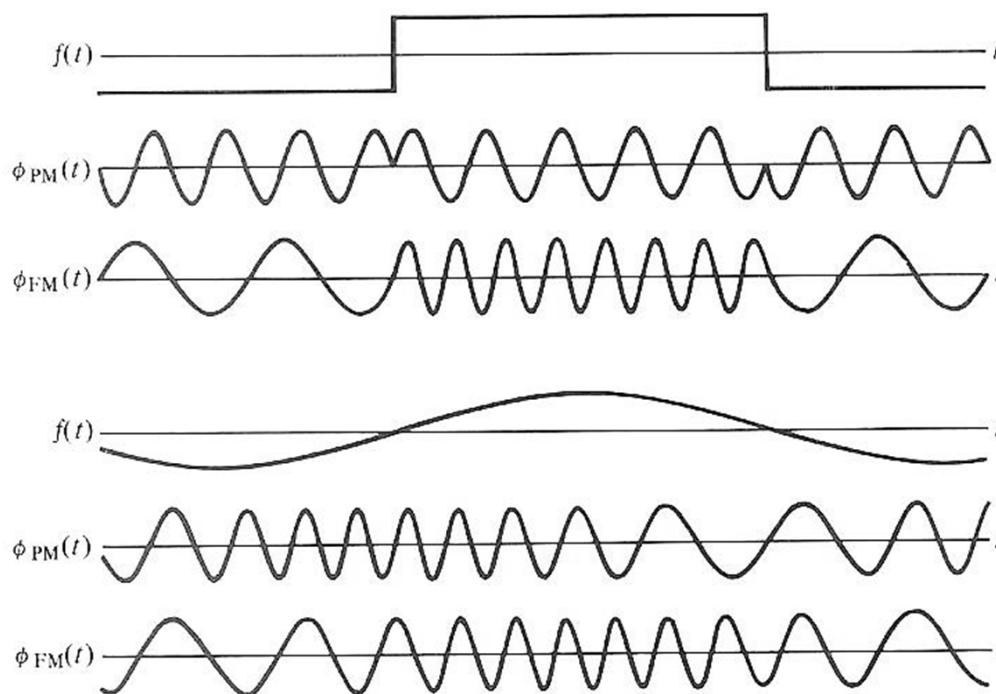
γ) Σήμα FM

Κωδικοποίηση - Τροποποίηση Σημάτων (συνέχεια)

Αναλογική Διαμόρφωση

PM (Phase Modulation):

Το φέρον σήμα μεταβάλλει την φάση του σύμφωνα με τις μεταβολές του πλάτους του αρχικού σήματος, ενώ διατηρεί το πλάτος και τη συχνότητά του σταθερά.



Αλλοιώσεις σημάτων

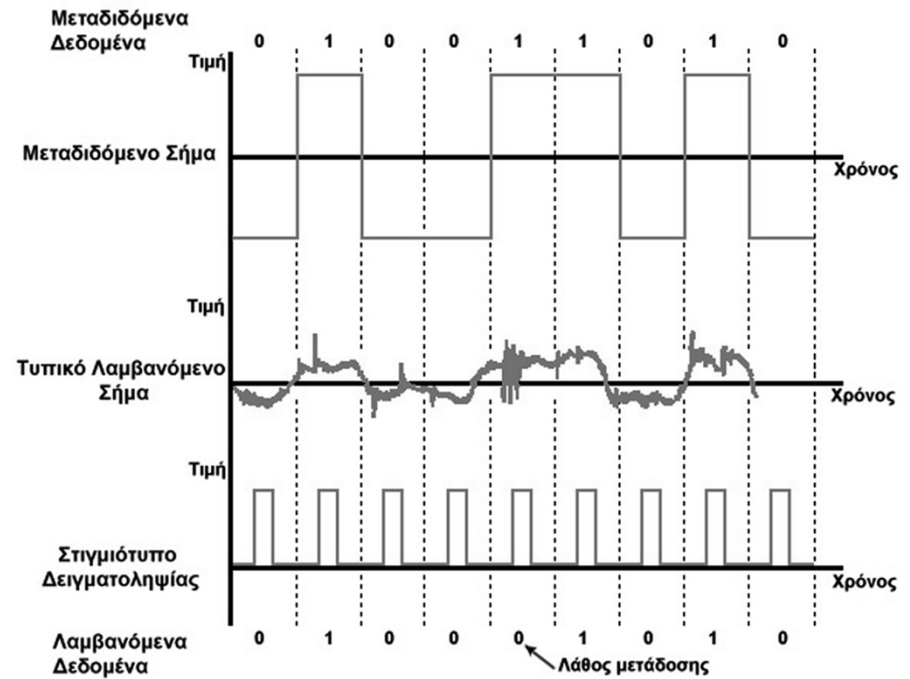
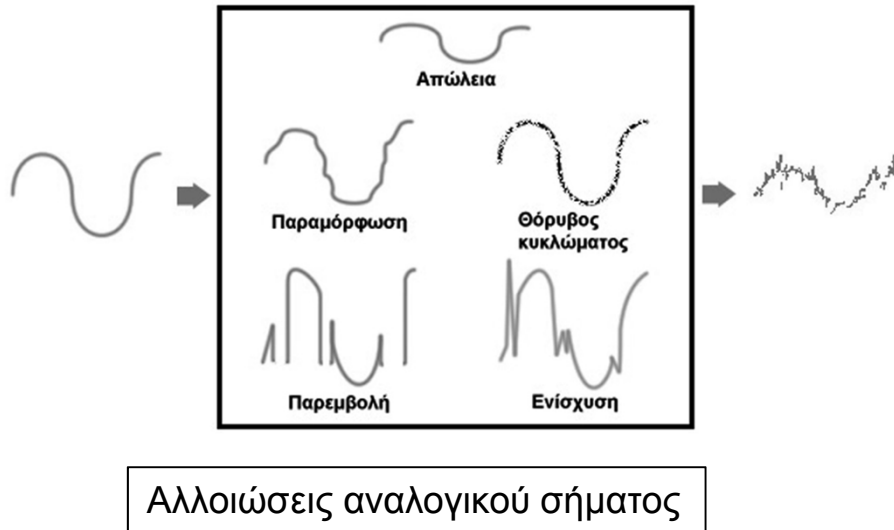
Γενικά - Εισαγωγή

- Τρία βασικά είδη αλλοιώσεων τόσο σε ψηφιακά όσο και αναλογικά σήματα:
 - **Εξασθένηση**
 - **Παραμόρφωση**
 - **Θόρυβος**

- Για την επίλυση του προβλήματος αυτού, χρησιμοποιούνται:
 - **Ενισχυτές (amplifiers)** για την περίπτωση των αναλογικών σημάτων και
 - **Επαναλήπτες (repeaters)** για τα ψηφιακά σήματα

Αλλοιώσεις σημάτων (συνέχεια)

Γενικά - Παραδείγματα:



Παράδειγμα αλλοίωσης ψηφιακού σήματος

Αλλοιώσεις σημάτων (συνέχεια)

Εξασθένηση (Attenuation)

- **Εξασθένηση** είναι η μείωση του πλάτους του σήματος κατά μήκος του μέσου μετάδοσης.
- Στα οριακά σημεία του μέσου μετάδοσης, στα οποία ο παραλήπτης του σήματος δεν μπορεί να ανιχνεύσει και να ερμηνεύσει αξιόπιστα το λαμβανόμενο σήμα τοποθετούνται οι **ενισχυτές** ή οι **επαναλήπτες**.
- Η διαδικασία αντιμετώπισης της εξασθένησης λέγεται **ενίσχυση** (amplification ή gain)
- Μονάδα μέτρησης της **εξασθένησης** και της **ενίσχυσης** είναι το decibel (dB):

$$\text{Attenuation} = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2} \text{dB}$$

$$\text{Amplification} = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} \text{dB}$$

όπου: **P_1** είναι η ισχύς (σε watts) του μεταδιδόμενου σήματος
 P_2 είναι η ισχύς (σε watts) του λαμβανόμενου σήματος.

Αλλοιώσεις σημάτων (συνέχεια)

Παραμόρφωση (Distortion)

- Εμφανίζεται στα σύνθετα σήματα και οφείλεται στις διαφορετικές ταχύτητες διάδοσης των επιμέρους ημιτονικών σημάτων που τα αποτελούν.
- Η ταχύτητα διάδοσης εξαρτάται από τη συχνότητα.
- Επομένως τα σήματα με διαφορετικές συχνότητες φθάνουν στον προορισμό με διαφορετικές καθυστερήσεις. Αυτό οδηγεί στην παραμόρφωση του αρχικού σύνθετου σήματος.

Αλλοιώσεις σημάτων (συνέχεια)

Θόρυβος (Noise)

- Κυρίως οφείλεται στα χαρακτηριστικά του μέσου μετάδοσης.
- Για κάθε μέσο μετάδοσης δίνεται από τον κατασκευαστή ο σηματοθορυβικός λόγος **S/N** ή **SNR** (Signal-to-Noise Ratio), σε dB, ο οποίος δίνεται από την σχέση:

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{S}{N} \right) \quad \text{όπου: } S \text{ είναι η ισχύς του σήματος}$$

N είναι η ισχύς του θορύβου

- Οι κυριότερες αιτίες θορύβου είναι οι ακόλουθες.
 - Οι τυχαίες κινήσεις των ηλεκτρονίων στα ενσύρματα μέσα μετάδοσης (Thermal Noise).
 - Οι επιδράσεις πάνω στο μέσο μετάδοσης από διάφορες εφαρμογές, όπως είναι οι γεννήτριες (Induced Noise).
 - Οι ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στις διάφορες ενσύρματες γραμμές (Crosstalk).
 - Οι στιγμιαίες επιδράσεις διαφόρων εξωτερικών παραγόντων, όπως αστραπές ή άλλες πηγές υψηλής ενέργειας (Impulse Noise).

Αλλοιώσεις σημάτων (συνέχεια)

Θεώρημα Nyquist

“Όταν οποιοδήποτε σήμα περάσει μέσα από ένα φίλτρο χαμηλής διέλευσης εύρους ζώνης H , το φιλτραρισμένο σήμα μπορεί να ανακατασκευαστεί πλήρως παίρνοντας (ακριβώς) μόνο $2H$ δείγματα ανά δευτερόλεπτο.”

Η δειγματοληψία της γραμμής πιο γρήγορα από $2H$ είναι μάταιη επειδή οι συνιστώσες υψηλής συχνότητας που θα επανακτούσαμε σε μια τέτοια δειγματοληψία έχουν ήδη αποκοπεί από το φίλτρο.

Μέγιστος Ρυθμός Μετάδοσης Δεδομένων = $2H \log_2 V$ (bit/sec).

όπου V : ο αριθμός των διακριτών επιπέδων

Αλλοιώσεις σημάτων (συνέχεια)

Θεώρημα Shannon – Hartley

Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ενός καναλιού με θόρυβο, του οποίου το εύρος ζώνης είναι B Hz και ο σηματοθορυβικός λόγος είναι S / N , δίνεται από τη σχέση:

$$R \leq C = B \log_2 \left(\frac{S}{N} + 1 \right).$$

όπου:

R : αυτό που μπορούμε να στείλουμε στο κανάλι,

C : χωρητικότητα καναλιού (bps),

B : Εύρος Ζώνης (Hz),

S : σήμα (Signal),

N : Θόρυβος (Noise).

Κωδικοποίηση – Διαμόρφωση Σημάτων

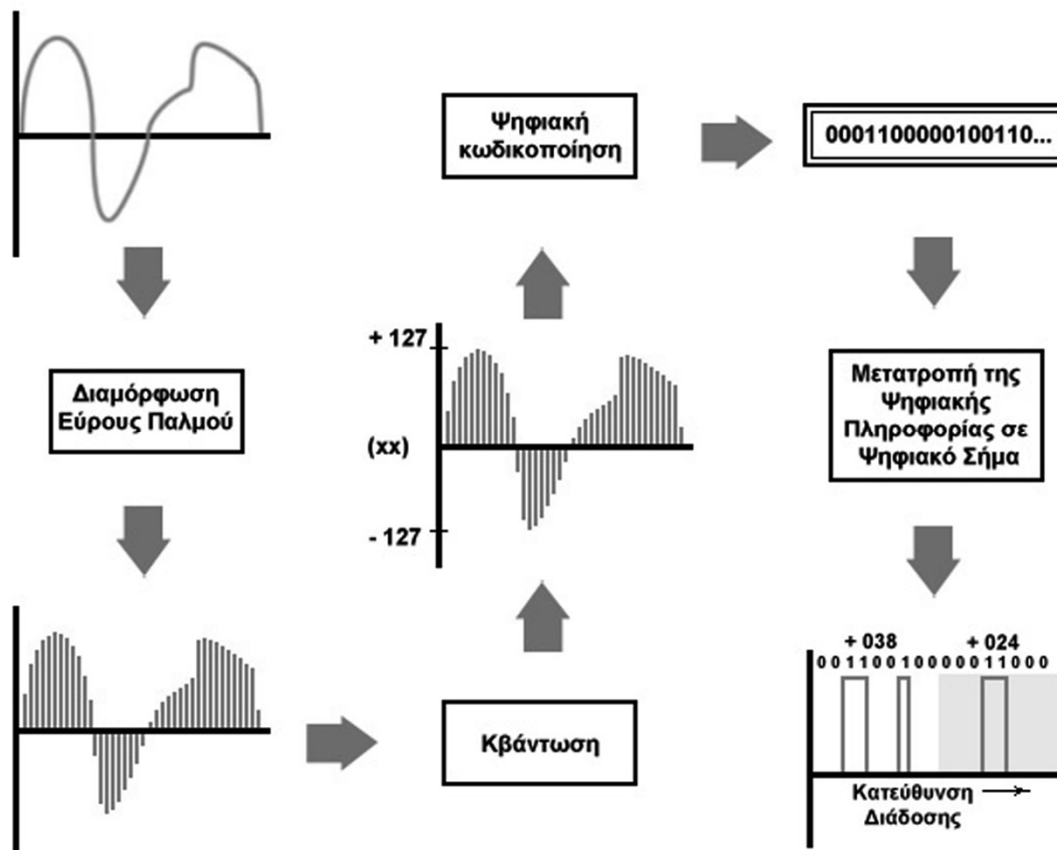
Ψηφιοποίηση Σήματος

Η διαδικασία μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό είναι γνωστή με τον όρο **παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM – Pulse Code Modulation)**, και περιλαμβάνει 4 στάδια:

- Διαμόρφωση εύρους παλμού (PAM – Pulse Amplitude Modulation): Πρόκειται για το στάδιο της δειγματοληψίας του αναλογικού σήματος.
- Κβάντωση (Quantization): Σε αυτό το στάδιο γίνεται η απόδοση διακριτών τιμών στα δείγματα που προήλθαν από το στάδιο PAM.
- Ψηφιακή Κωδικοποίηση (Digital Encoding): Εδώ οι διακριτές τιμές κωδικοποιούνται στο δυαδικό σύστημα. Ο αριθμός των bit για το κάθε δείγμα εξαρτάται από το επίπεδο ακρίβειας που απαιτήθηκε στο δεύτερο στάδιο.
- Μετατροπή της Ψηφιακής Πληροφορίας σε Ψηφιακό Σήμα (Digital-to-digital Encoding): Πρόκειται για τη διαδικασία που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

Κωδικοποίηση – Τροποποίηση Σημάτων

Ψηφιοποίηση Σήματος (συνέχεια)



Στάδια παλμοκωδικής διαμόρφωσης (PCM)

Μετάδοση Δεδομένων

Μεταφορά Δεδομένων

Μέσα Μετάδοσης

Μαγνητικά Μέσα

- Εγγραφή δεδομένων σε μαγνητικές ταινίες ή δισκέτες και φυσική μεταφορά αυτών στην μηχανή λήψης των δεδομένων, η οποία τα διαβάζει στη συνέχεια.
- Είναι περισσότερο αποδοτική για περιπτώσεις μεταφοράς όπου απαιτείται υψηλό εύρος ζώνης ή υπάρχει υψηλό κόστος ανά μεταδιδόμενο bit.

Δισύρματες ανοιχτές γραμμές (two-wire open lines)

- Είναι τα πιο απλά μέσα μετάδοσης.
- Δύσκολα μπορεί να συνδέσει συσκευές που απέχουν άνω των 50 m, ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης των δεδομένων δεν ξεπερνούν το φράγμα των 19,2 Kbps.
- Μπορούν να συνδέουν απευθείας δύο τερματικά ή ένα τερματικό με ένα modem

Μέσα Μετάδοσης (συνέχεια)

Συνεστραμμένα ζεύγη

- Βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στα τηλεφωνικά συστήματα και δίκτυα.
- Για αποστάσεις μικρότερες των 100 m, οι ταχύτητες αποστολής δεδομένων μπορούν να φθάσουν το μέγεθος του 1 Mbps, ενώ οι ταχύτητες πέφτουν όσο οι αποστάσεις μεγαλώνουν πέρα από το όριο αυτό.
- Τα UTP Cat-5 (Unshielded Twisted Pair - Καλώδιαχωρίς Περίβλημα), επιτυγχάνουν ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες.
- Τα STP (Shielded Twisted Pairs), μειώνουν ακόμη περισσότερο τις επιδράσεις των σημάτων παρεμβολής.



Συνεστραμμένο Ζεύγος
χωρίς περίβλημα



Συνεστραμμένο Ζεύγος
με περίβλημα

Μέσα Μετάδοσης (συνέχεια)

Ομοαξονικά καλώδια

- Μπορούν να πετύχουν ταχύτητες μετάδοσης της τάξης των 10 Mbps και άνω για εκατοντάδες μέτρα.
- Λειτουργούν σε ένα μεγάλο εύρος ζώνης της τάξεως των 350 MHz και άνω.
- Παρουσιάζουν μεγάλη ασφάλεια έναντι του θορύβου λόγω κατασκευής τους (4 στρώματα: Χάλκινος πυρήνας, μονωτικό υλικό, εξωτερικός αγωγός - πλέγμα, πλαστικό κάλυμμα προστασίας).
- Υπάρχουν 2 τύποι ομοαξονικών καλωδίων:
 - **Βασικής ζώνης (Baseband)** - για ρυθμούς μετάδοσης 10 Mbps
 - **Ευρείας ζώνης (Broadband)** - για ρυθμούς 100 Mbps - 150 Mbps, ενώ προσφέρουν κανάλια με μικρότερο εύρος ζώνης των οποίων ο ρυθμός μετάδοσης είναι της τάξεως των 2 Mbps - 3 Mbps.



Ομοαξονικό Καλώδιο

Μέσα Μετάδοσης (συνέχεια)

Οπτικές ίνες (Fiber Optics)

- Μεταδίδουν τις πληροφορίες με τη μορφή ακτίνων φωτός και όχι ως ηλεκτρικά σήματα όπως γίνεται με τα χάλκινα καλώδια.
- Το μεγαλύτερο εύρος ζώνης των οπτικών κυμάτων συμβάλλει στην επίτευξη ακόμα μεγαλύτερων ρυθμών.
- Υπερτερούν και σε θέματα ασφάλειας, αφού καθιστούν αδύνατη κάθε προσπάθεια υποκλοπής πληροφοριών.
- Συμβάλλουν στην επίλυση προβλημάτων αλλοίωσης του σήματος, όπως είναι ο θόρυβος
- Ένα σύστημα οπτικών ινών αποτελείται από 3 τμήματα:
 - **Τον πομπό:** Ο πομπός χρησιμοποιεί μία δίοδος φωτοεκπομπής (Light Emitting Diode - LED) ή μία δίοδος λέιζερ (Injection Laser Diode) για την μετατροπή ηλεκτρικών σημάτων σε ακτίνες φωτός.
 - **Τον δέκτη:** πραγματοποιεί την αντίστροφη μετατροπή, χρησιμοποιώντας μία φωτοδίοδο ή φωτο – τρανζίστορ.
 - **Το μέσο μετάδοσης**

Μέσα Μετάδοσης (συνέχεια)

Οπτικές ίνες (Fiber Optics) (συνέχεια)

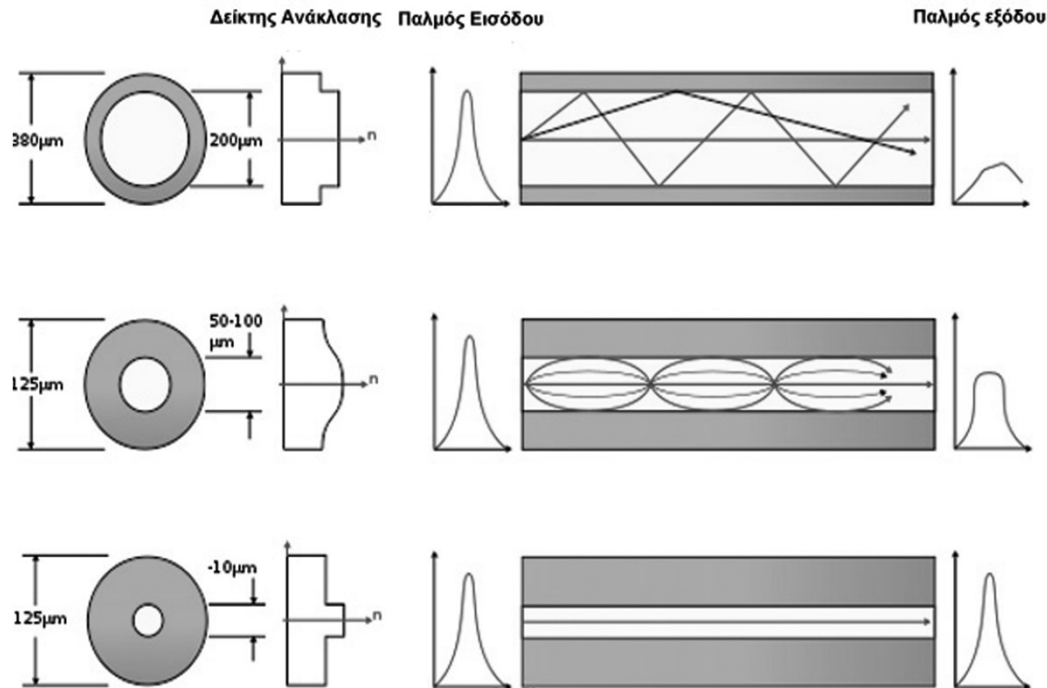
- Ανάλογα με τη διάμετρο της ίνας στον πυρήνα, οι οπτικές ίνες διακρίνονται σε:
 - **πολύτροπες** (Multimode Fiber) με διάμετρο $> 10 \mu\text{m}$
 - **μονότροπες** (Single Mode Fiber) με διάμετρο $3 - 10 \mu\text{m}$



Οπτική ίνα απλού πυρήνα



Οπτική ίνα πολλαπλού πυρήνα



Παράδειγμα λειτουργίας πολύτροπης και μονότροπης οπτικής ίνας

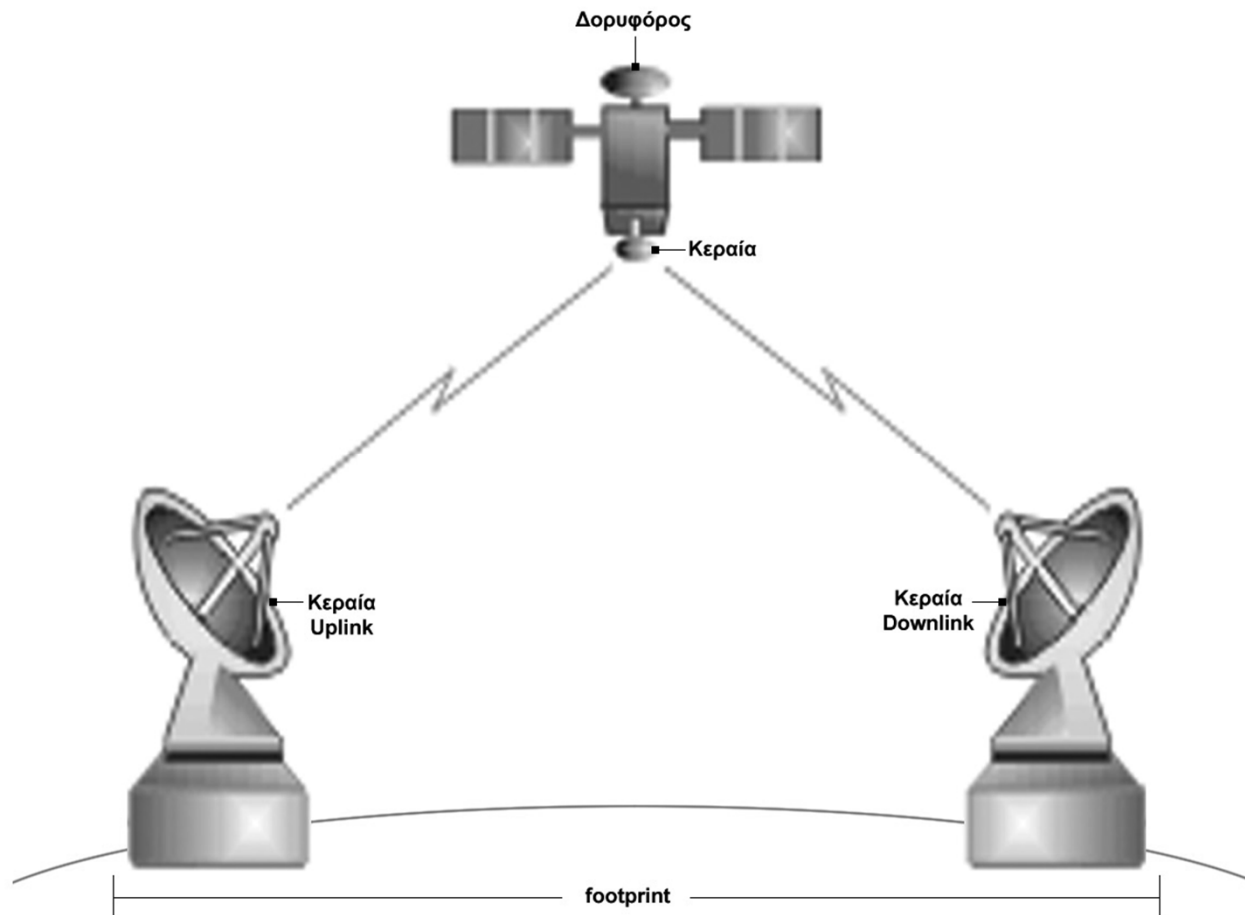
Μέσα Μετάδοσης (συνέχεια)

Δορυφορική σύνδεση

- Τα δεδομένα αποστέλλονται με μορφή (ραδιο)κυμάτων σε κάποιον τηλεπικοινωνιακό δορυφόρο, χωρίς να παρεμβάλλεται κάποιο φυσικό μέσο μετάδοσης.
- Τα σήματα μπορεί να είναι:
 - **κοινά** (coarse) - καλύπτουν ευρείες γεωγραφικές περιοχές,
 - **εστιασμένα** (focused) οπότε καλύπτουν περιορισμένες εκτάσεις κάποιων εκατοντάδων χιλιομέτρων, με αποτέλεσμα να απαιτούνται δέκτες μικρής διαμέτρου.
- Ο αναμεταδότης λαμβάνει το εισερχόμενο σήμα και το αποστέλλει στον δέκτη με διαφορετική συχνότητα (για να μην υπάρχουν παρεμβολές μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου σήματος).
- Οι δορυφόροι πλεονεκτούν από τα άλλα μέσα μετάδοσης στο ότι οι καθυστερήσεις μετάδοσης είναι κατά πολύ μικρότερες για μεγάλα μηνύματα (> 2.6 Kbits), ο ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων είναι μικρός και το συνολικό κόστος μετάδοσης είναι μικρό.
- Όμως, μειονεκτούν στο ότι τα φαινόμενα υποκλοπής είναι αναπόφευκτα.

Μέσα Μετάδοσης (συνέχεια)

Δορυφορική σύνδεση (συνέχεια)



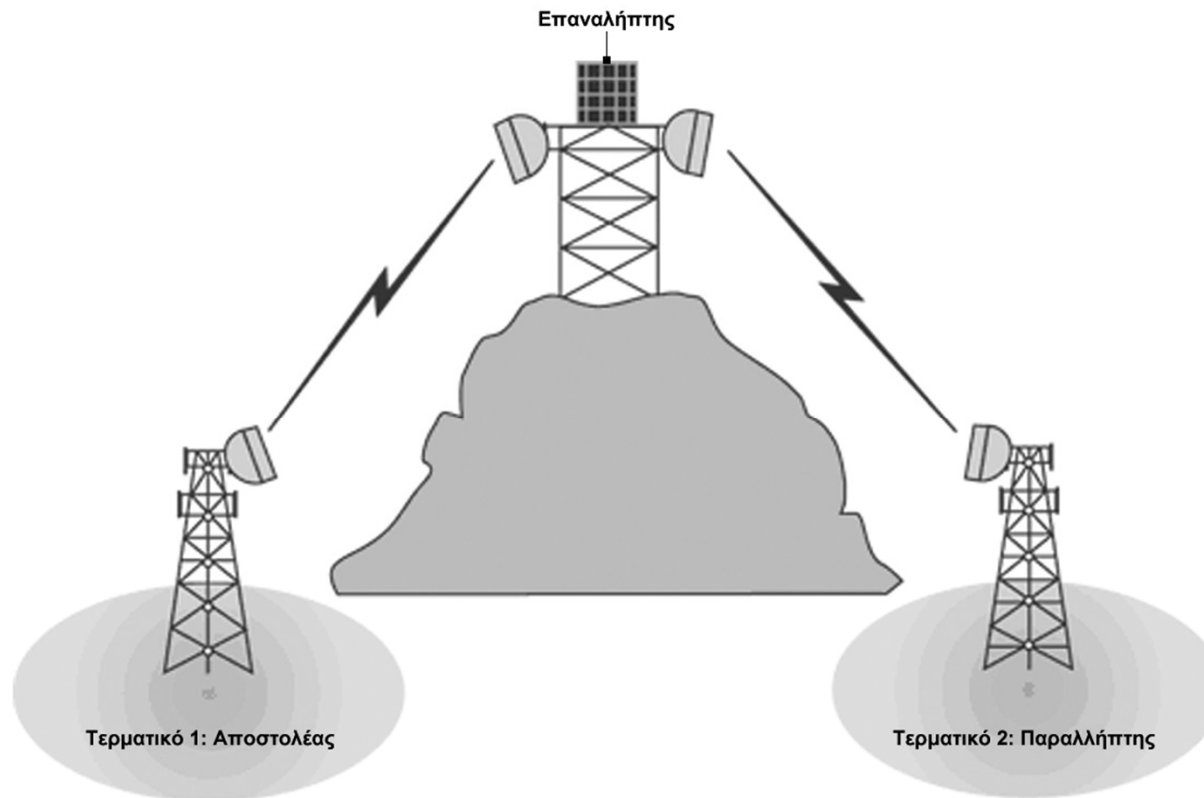
Μέσα Μετάδοσης (συνέχεια)

Μικροκύματα

- Καλύπτουν την περιοχή από 2 GHz έως 40 GHz του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος,.
- Χρησιμοποιούνται για την επίτευξη τηλεπικοινωνιών σε περιοχές όπου το κόστος εγκατάστασης των φυσικών μέσων μετάδοσης είναι ασύμφορο ή ακόμα η εγκατάστασή τους είναι πρακτικά αδύνατη.
- Ο αναμεταδότης λαμβάνει το εισερχόμενο σήμα και το αποστέλλει στον δέκτη με διαφορετική συχνότητα (για να μην υπάρχουν παρεμβολές μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου σήματος).
- Τα μικροκύματα παράγονται από μεγάλες κεραίες (antennas), το ύψος των οποίων επηρεάζει την απόσταση μετάδοσης.
- Το μειονέκτημα αυτού του τρόπου μετάδοσης είναι ότι είναι ευάλωτος στα κακά καιρικά φαινόμενα.
- Αυτή η μέθοδος επικοινωνίας είναι αποδοτική για αποστάσεις άνω των 50 km.

Μέσα Μετάδοσης (συνέχεια)

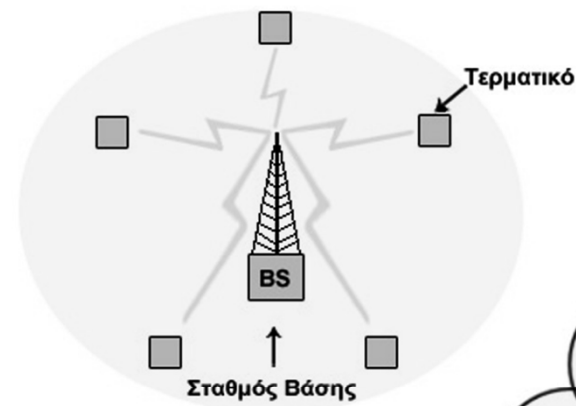
Μικροκύματα (συνέχεια)



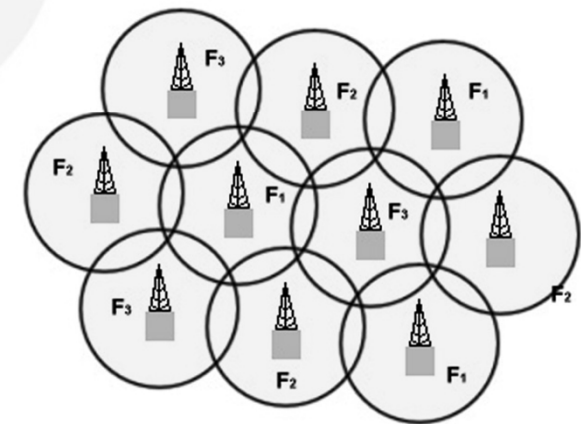
Μέσα Μετάδοσης (συνέχεια)

Ράδιοκύματα

- Χαμηλής συχνότητας ραδιοκύματα χρησιμοποιούνται σε κινητά τηλέφωνα, σε τοπικά ασύρματα δίκτυα εντός των ορίων μιας πόλης ή πανεπιστημιούπολης.



α) Μετάδοση ραδιοσημάτων



β) Κυψελωτό σύστημα με χρησιμοποίηση τριών συχνοτήτων

Μετάδοση ραδιοσημάτων εδάφους:

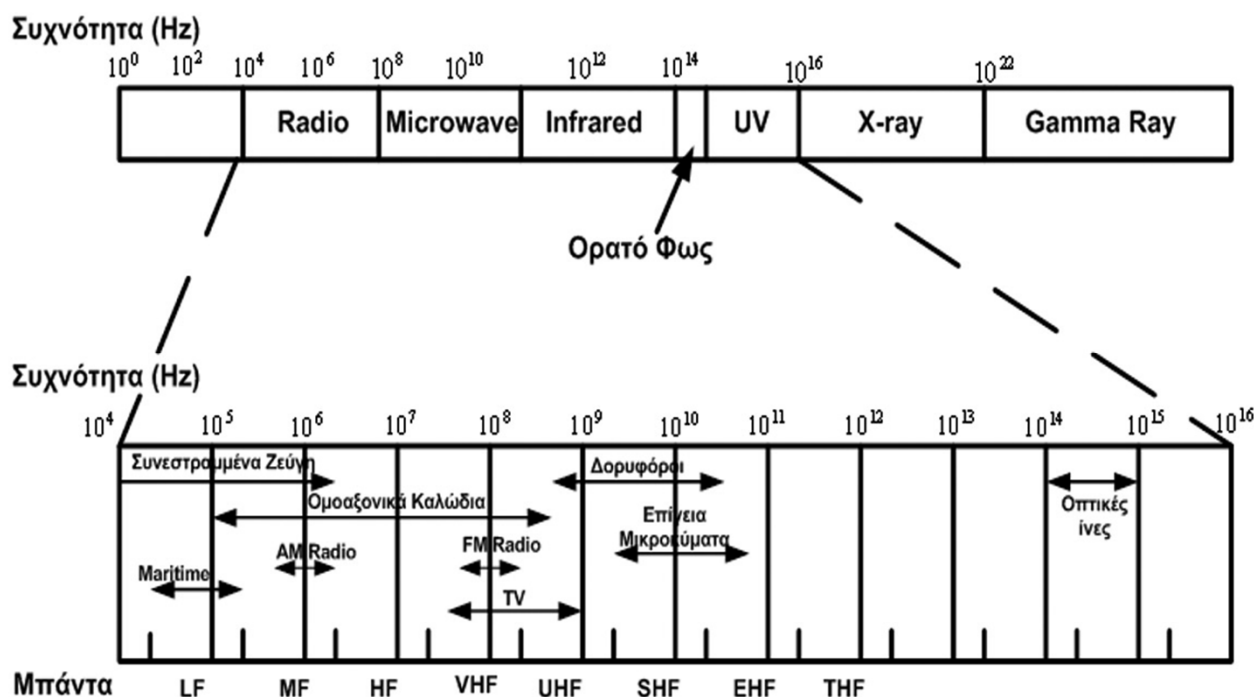
α) Λειτουργία απλού κελιού.

β) Οργάνωση σε πολλά κελιά.

Μέσα Μετάδοσης (συνέχεια)

Ραδιοκύματα (συνέχεια)

- Τα ραδιοκύματα καλύπτουν την ευρύτερη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από 3 KHz έως 300 GHz. Επομένως, τα μικροκύματα αποτελούν ένα είδος ραδιοκυμάτων.
- Ανάλογα με το μέγεθος της συχνότητάς τους, τα ραδιοκύματα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες (VLF, LF, MF, HF, VHF, UHF, SHF, EHF).



Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



Παράλληλη και Σειριακή Μετάδοση

Παράλληλη Μετάδοση: Επιτρέπει την ταυτόχρονη αποστολή πολλών bit. Το πλεονέκτημα της είναι ο αυξημένος ρυθμός αποστολής των δεδομένων.

Σειριακή Μετάδοση: Υπάρχει ένα μόνο καλώδιο ανάμεσα στις δύο συσκευές, διαμέσου του οποίου γίνεται η μεταφορά των δεδομένων. Υπάρχουν 2 κατηγορίες σειριακής μετάδοσης:

- **Ασύγχρονη Μετάδοση:** Τα δεδομένα οργανώνονται σε byte των 8 bit. Το κάθε byte αποστέλλεται χωριστά στον δέκτη. Δεν υπάρχει κάποιο σταθερό χρονικό διάστημα ανάμεσα στις αποστολές των byte.
- **Σύγχρονη Μετάδοση:** Υπάρχει συγχρονισμός σε επίπεδο πλαισίων (frames). Το κάθε πλαίσιο αποτελείται από πολλαπλά byte, τα οποία αποστέλλονται με τη σειρά και χωρίς να μεσολαβεί κάποιο κενό ανάμεσά τους.

Παράλληλη και Σειριακή Μετάδοση (συνέχεια)



Μέσο Μετάδοσης Δεδομένων - 1 Καλώδιο



Σειριακή Επικοινωνία

Αποστολή της ακολουθίας των bits "01001010" με παράλληλη και σειριακή επικοινωνία

Παράλληλη και Σειριακή Μετάδοση (συνέχεια)

Τρόπος επικοινωνίας ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη:

Υπάρχουν τρεις δυνατές περιπτώσεις:

- **Μονόδρομη Επικοινωνία (Simplex):** Υπάρχει ένα κανάλι επικοινωνίας, ο πομπός και ο δέκτης είναι διαφορετικές συσκευές και τα δεδομένα μεταφέρονται μόνο προς την μια κατεύθυνση.
- **Αμφίδρομη, μη ταυτόχρονη (Half duplex):** Υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας και προς τις δυο κατευθύνσεις του καναλιού. Ο πομπός και ο δέκτης εναλλάσσουν συνεχώς ρόλους, χωρίς να μπορούν να έχουν τον ίδιο ρόλο συγχρόνως.
- **Αμφίδρομη, ταυτόχρονη (Full duplex):** Λαμβάνει χώρα σύγχρονη μετάδοση δεδομένων και προς τις δύο κατευθύνσεις του καναλιού, οπότε πομπός και δέκτης στέλνουν και λαμβάνουν μηνύματα συγχρόνως.

Πολύπλεξη

Γενικά:

Πολύπλεξη (Multiplexing) είναι ένα σύνολο από τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση πολλαπλών σημάτων διαμέσου μιας απλής γραμμής μεταφοράς δεδομένων. Υπάρχουν 3 κατηγορίες πολύπλεξης:

- Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας (Frequency Division Multiplexing - FDM)
- Πολύπλεξη Διαίρεσης Χρόνου (Time Division Multiplexing - TDM)
- Πολύπλεξη Διαίρεσης Κώδικα (Code Division Multiple Access - CDMA)

Πολύπλεξη (συνέχεια)

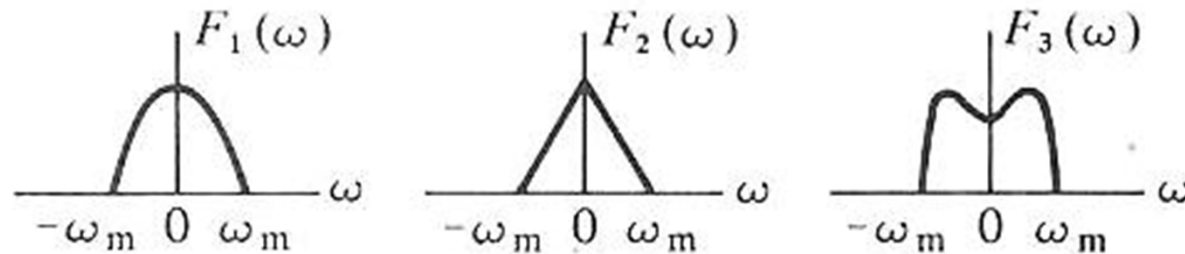
Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας (FDM)

- Η γραμμή που ενώνει πολλαπλές συσκευές χωρίζεται σε διάφορα κανάλια/διαύλους (channels) συχνοτήτων.
- Ανάμεσα σε αυτά, υπάρχει κάποιο εύρος ζώνης που δε χρησιμοποιείται ώστε να υπάρχει ασφάλεια και να μην υπάρχουν παρεμβολές ανάμεσα στα σήματα.
- **Ο πολυπλέκτης (multiplexer)** δέχεται τα αναλογικά σήματα προς αποστολή και πραγματοποιεί τα παρακάτω βήματα:
 1. Μετασχηματίζει τα σήματα χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως η AM και η FM.
 2. Ενώνει τα τελικά σήματα και παράγει στην έξοδό του ένα σύνθετο αναλογικό σήμα, το οποίο αποστέλλει στην γραμμή (link).
- **Ο αποπλέκτης (demultiplexer)** δέχεται το σύνθετο σήμα και ακολουθεί τα εξής βήματα:
 1. Διασπά το σύνθετο σήμα στα συστατικά του με βάση τα κανάλια συχνοτήτων.
 2. Παράγει τα αρχικά αναλογικά σήματα, ακολουθώντας μια διαδικασία αντίθετη της τεχνικής διαμόρφωσης.
 3. Παραδίδει τα σήματα στους δέκτες.

Πολύπλεξη (συνέχεια)

Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας (FDM) (συνέχεια)

Στον τομέα των οπτικών ινών, η FDM είναι γνωστή ως πολύπλεξη διαίρεσης κύματος (Wave Division Multiplexing - WDM). Σε αυτήν την περίπτωση, τόσο ο πολυπλέκτης όσο και ο αποπλέκτης είναι πρίσματα.



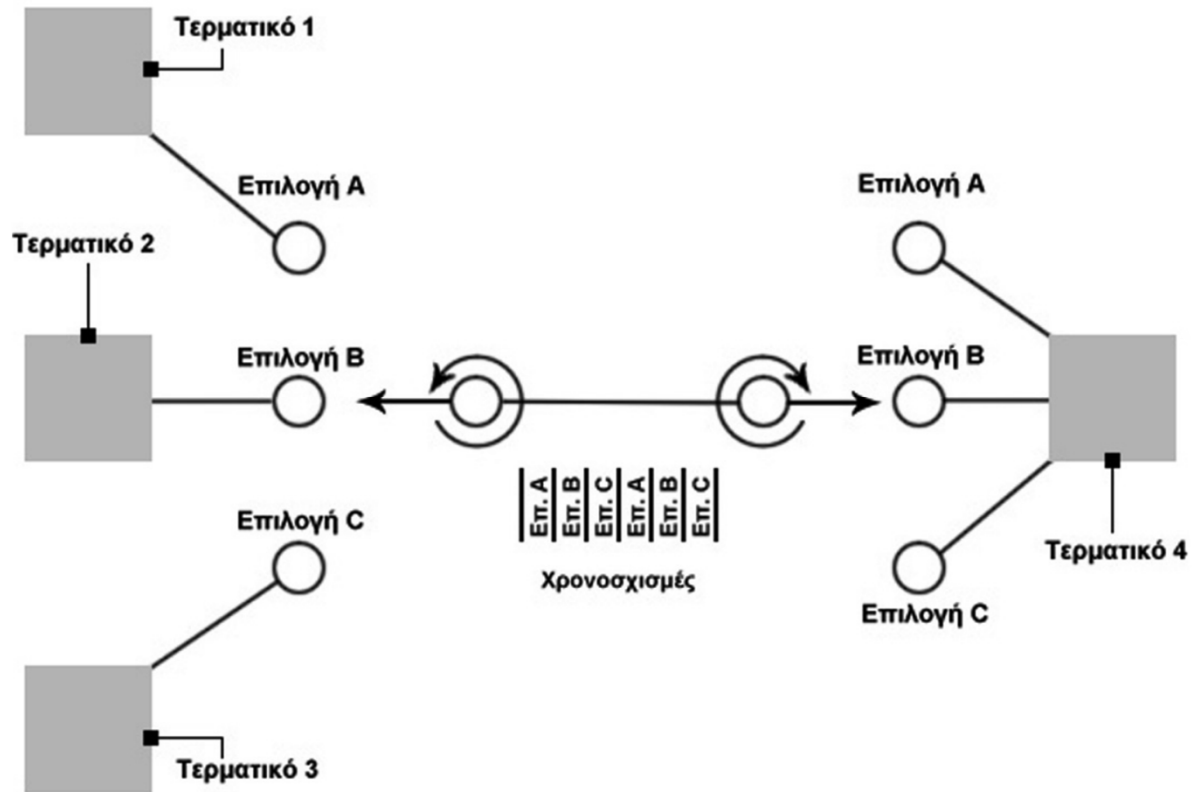
Πολύπλεξη (συνέχεια)

Πολύπλεξη Διαίρεσης Χρόνου (TDM)

- Στην TDM, η γραμμή επικοινωνίας διαιρείται σε συνάρτηση με το χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι, ολόκληρο το εύρος ζώνης βρίσκεται στη διάθεση του κάθε πομπού για κάποιο χρονικό διάστημα (Slot Time).
- Η επιλογή των πομπών από τον πολυπλέκτη γίνεται εκ περιτροπής (round robin). Υπάρχουν 2 τύποι TDM:
 - **Σύγχρονη TDM:** Ο κάθε χρήστης έχει πρόσβαση στη γραμμή επικοινωνίας σε ακριβώς προσδιορισμένα (συγχρονισμένα) χρονικά διαστήματα. Έτσι, ο πολυπλέκτης αφιερώνει ένα διάστημα (Slot Time) σε κάθε συσκευή που είναι συνδεδεμένη με αυτόν.
 - **Ασύγχρονη TDM:** Σχεδιάστηκε για να αποφεύγει την άσκοπη χρήση του εύρους ζώνης. Ο κάθε χρήστης που θέλει να μεταδώσει ανιχνεύεται από τον πολυπλέκτη και έχει τυχαία πρόσβαση στη γραμμή. Στην διάρκεια ενός Slot Time είναι ο μοναδικός χρήστης που χρησιμοποιεί τη γραμμή.

Πολύπλεξη (συνέχεια)

Πολύπλεξη Διαίρεσης Χρόνου (TDM) (συνέχεια)



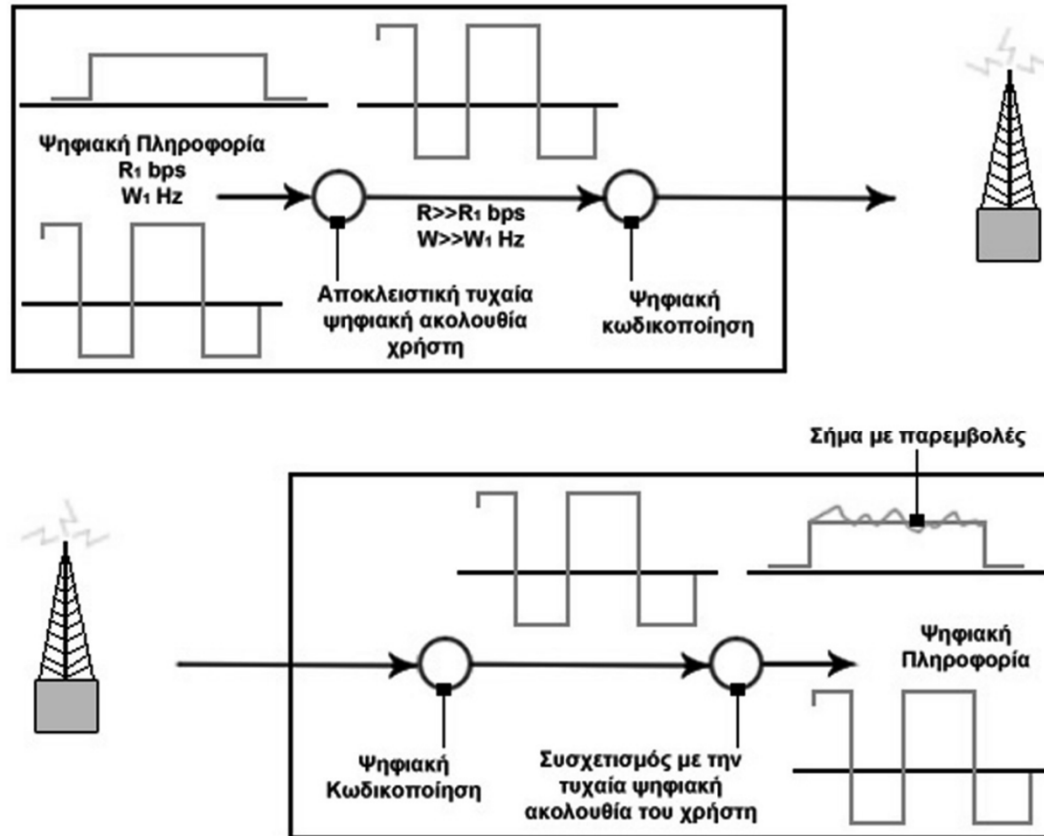
Πολύπλεξη (συνέχεια)

Πολύπλεξη Διαίρεσης Κώδικα (CDMA)

- Η πολύπλεξη διαίρεσης κώδικα παρέχει έναν ακόμη τρόπο χωρισμού της γραμμής επικοινωνίας σε κανάλια.
- Στην περίπτωση της πολύπλεξης διαίρεσης κώδικα οι μεταδόσεις από διαφορετικούς σταθμούς καταλαμβάνουν όλο το εύρος ζώνης την ίδια χρονική στιγμή.
- Οι μεταδόσεις χωρίζονται μεταξύ τους με βάση τους διαφορετικούς κώδικες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των σημάτων που μεταδίδονται από τους διαφορετικούς σταθμούς.
- Οι δέκτες χρησιμοποιούν αυτούς τους κώδικες για να ανακτήσουν το σήμα από τον επιθυμητό κάθε φορά σταθμό.

Πολύπλεξη (συνέχεια)

Πολύπλεξη Διαίρεσης Κώδικα (CDMA) (συνέχεια)



Πρότυπα

Γενικά

- Οι συσκευές που παράγουν ψηφιακά δεδομένα προς αποστολή ή παίζουν το ρόλο δέκτη είναι γνωστές με τον γενικό όρο DTE (Data Terminal Equipment).
- Τα DTE (π.χ. τερματικά, υπολογιστές, fax, εκτυπωτές) δεν μπορούν να επικοινωνούν άμεσα μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό, υπάρχουν συσκευές που τα φέρνουν σε επαφή με το δίκτυο που τις συνδέει. Οι συσκευές αυτές είναι γνωστές με τον όρο DCE (Data Circuit-Terminating Equipment). Τα modems ανήκουν στην κατηγορία των DCE.
- Τα γνωστότερα πρότυπα διασύνδεσης των DTE με τα DCE έχουν αναπτυχθεί από την EIA (Electronic Industries Association) και την ITU-T (International Telecommunication Union– Telecommunication Standards Committee).
- Τα σχετικά πρωτόκολλα πρέπει να καθορίζουν με ακρίβεια τη μηχανική, ηλεκτρική, λειτουργική σύνδεση.
- Τα πιο γνωστά πρότυπα που είναι: EIA-232 (RS-232)/V.24, EIA-422 (RS-422)/V.11 και το X.21.

Πρότυπα (συνέχεια)

Το πρότυπο διασύνδεσης RS - 232/V.24

- Ορίζει τα μηχανικά, ηλεκτρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά ανάμεσα σε ένα DTE και ένα DCE.
- Στο μηχανικό μέρος, το πρότυπο προσδιορίζει ότι το DTE και το DCE συνδέονται μεταξύ τους με χρήση ενός καλωδίου μήκους μέχρι 15 μέτρα. Τα σημεία σύνδεσης αποτελούνται από 25 ακίδες σύνδεσης.
- Αυτό σημαίνει ότι το πρότυπο μπορεί να διαχειριστεί μέχρι και 25 διαφορετικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στις 2 συσκευές.

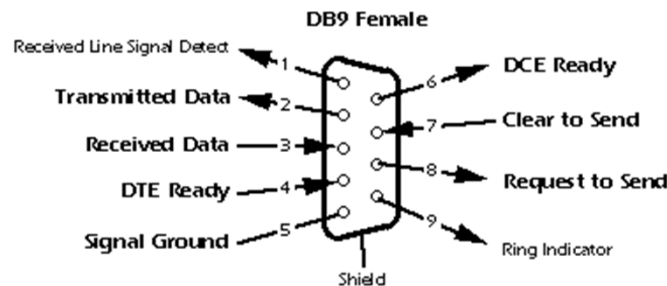
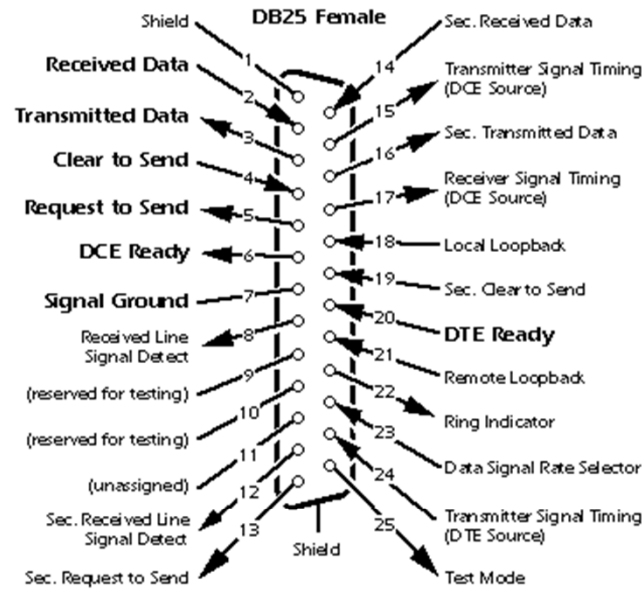
Πρότυπα (συνέχεια)

Το πρότυπο διασύνδεσης RS - 232/V.24 (συνέχεια)

- Όσον αφορά τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που προσδιορίζει το πρότυπο, αυτά αφορούν τα εξής θέματα:
 - **Αποστολή Δεδομένων:** Σύμφωνα με το πρότυπο τας δεδομένα αποστέλλονται κωδικοποιημένα σε μορφή NRZ-L. Για να αναγνωριστούν τα σήματα που αποστέλλονται ως δεδομένα, θα πρέπει η τάση τους να ανήκει σε περιοχές από 3 – 15 Volt ή από -3 – -15 Volt.
 - **Σήματα Ελέγχου και Συγχρονισμού:** Οι 21 από τις 25 ακίδες χρησιμοποιούνται για τις διαδικασίες ελέγχου και συγχρονισμού. Όλες οι διαδικασίες θεωρούνται σε κατάσταση 'ON', αν η τάση του αντίστοιχου σήματος είναι άνω των 3 Volt, ενώ αν είναι κάτω των - 3 Volt, η αντίστοιχη διαδικασία θεωρείται σε κατάσταση 'OFF'. Απουσία τάσης δηλώνει ότι κάτι δε λειτουργεί σωστά.
 - **Ρυθμός bit:** Το πρότυπο καθορίζει ότι ο ρυθμός των bit που αποστέλλονται φτάνει την μέγιστη τιμή των 20 kbps. Στην πραγματικότητα αυτός ο ρυθμός ξεπερνιέται.

Πρότυπα (συνέχεια)

Το πρότυπο διασύνδεσης RS - 232/V.24 (συνέχεια)

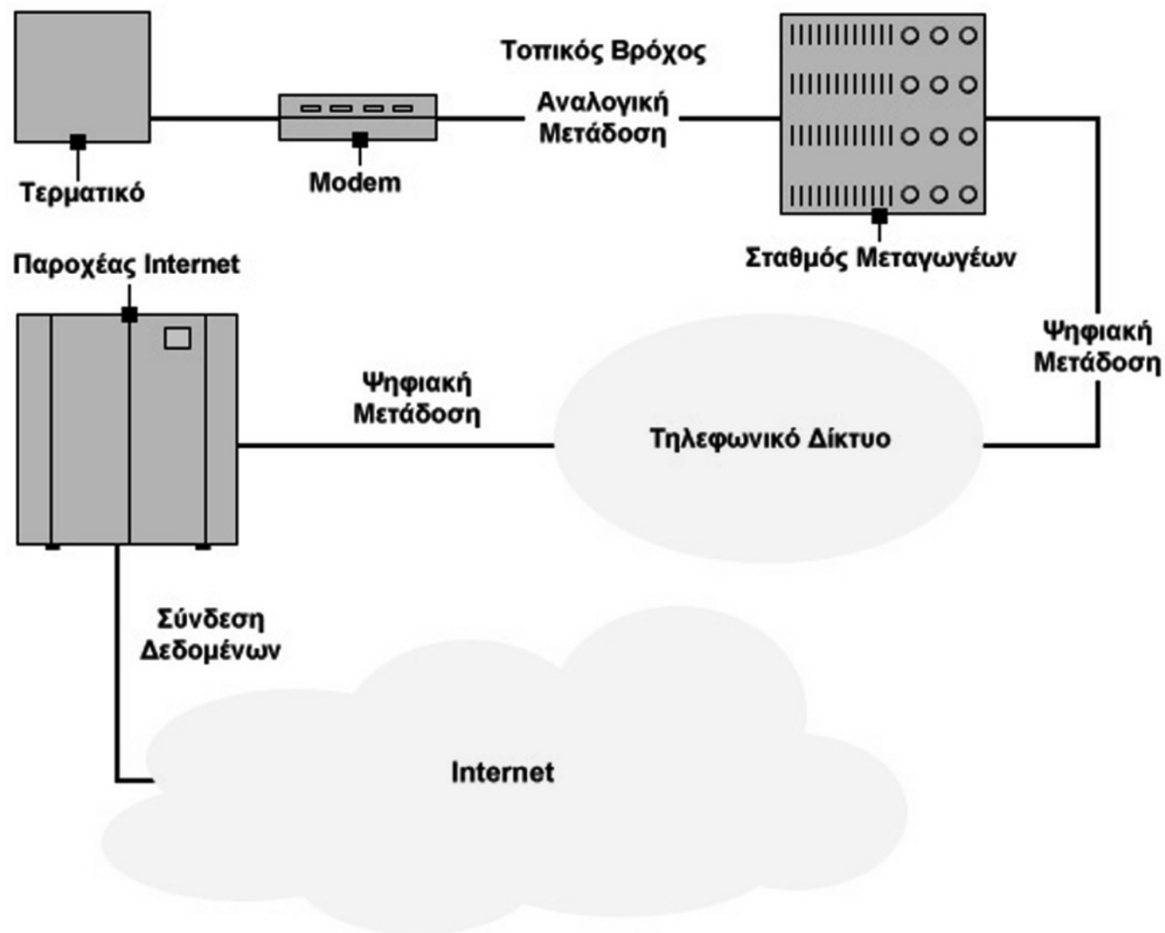


● ← Received by DCE Device
 ● → Transmitted from DCE Device

Μετάδοση σε Τηλεφωνικά Δίκτυα (PSTN)

- Όλες οι εταιρείες τηλεφωνίας έχουν μετατρέψει τον κορμό του δικτύου τους ώστε να παρέχει αποκλειστικά ψηφιακές υπηρεσίες.
- Η κάθε συσκευή DTE (π.χ. PC) χρειάζεται ένα modem για την αποστολή δεδομένων, διαμέσου του τηλεφωνικού δικτύου (PSTN).
- Η ανάγκη για παροχή ψηφιακών υπηρεσιών οδήγησε τις εταιρείες τηλεφωνίας στη δημιουργία ειδικών ψηφιακών γραμμών.
- Σε επίπεδο τοπικού βρόχου, ο ρυθμός είναι της τάξης των 64 Kbps. Οι πιο γνωστές γραμμές είναι οι T-1 (1,544 Mbps), στις οποίες μπορούν να πολυπλεχθούν 24 κανάλια φωνής (ή χρήστες) των 64 Kbps
- Εκτός των T-1, υπάρχουν οι T-2 (6,132 Mbps ή 96 κανάλια φωνής), οι T-3 (44,736 Mbps ή 672 κανάλια φωνής) και οι T-4 (274,176 Mbps ή 4032 κανάλια φωνής).
- Στην Ευρώπη, υπάρχουν οι ψηφιακές γραμμές τύπου E (E-1 (30 κανάλια φωνής), E-2, E-3 και E-4).

Μετάδοση σε Τηλεφωνικά Δίκτυα (PSTN) (συνέχεια)



Σύνδεση τερματικού σε δίκτυο PSTN για υπηρεσίες Internet



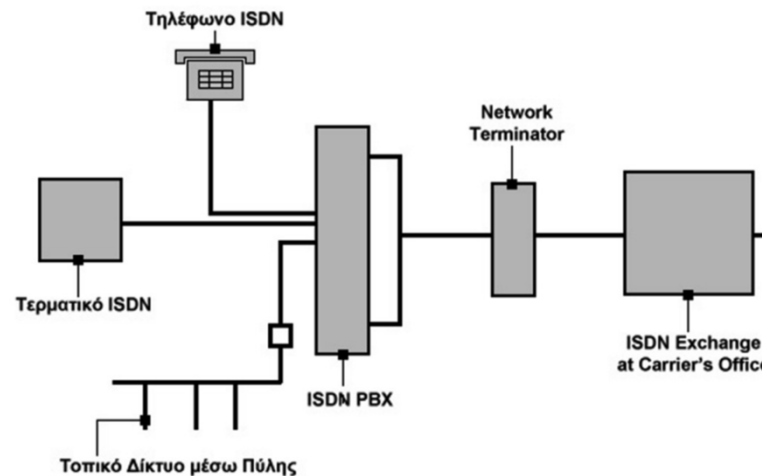
Μετάδοση σε δίκτυα ISDN

- Παρέχει μια πλήρη ψηφιακή εξυπηρέτηση στους συνδρομητές των υπηρεσιών τηλεφωνίας.
- Τα δίκτυα ISDN τα ISDN είναι συμβατά με τις γνωστές γραμμές T-1, T- 2 (ή E-1, E-2 στην Ευρώπη).
- Οι ψηφιακές συνδέσεις ανάμεσα στο συνδρομητή και το κεντρικό γραφείο αποτελούνται από 3 ειδών κανάλια με μια ποικιλία ρυθμών μετάδοσης:
 - **B – Channels (Bearer Channels):** Έχουν ρυθμό 64 Kbps και μεταδίδουν δεδομένα σε full-duplex μορφή.
 - **D – Channels (Data Channels):** Μεταδίδουν με ρυθμό 16 Kbps ή 64 Kbps. Επιφορτίζονται με τη μεταφορά των σημάτων ελέγχου και όχι με τη μεταφορά δεδομένων.
 - **H – Channels (Hybrid Channels):** Μεταδίδουν με ρυθμούς: H0: 384 Kbps, H11: 1536 Kbps, H12: 1920 Kbps.
- Τα κανάλια αυτά είναι οργανωμένα σε 2 τύπους διασύνδεσης:
 - **Basic Rate Interface – BRI (Διεπαφή Βασικού Ρυθμού)**
 - **Primary Rate Interface – PRI (Διεπαφή Πρωτεύοντος Ρυθμού)**

Μετάδοση σε δίκτυα ISDN (συνέχεια)

Το σύνολο του υλικού για την παροχή υπηρεσιών ISDN στον χρήστη χωρίζεται σε 4 λειτουργικές ομάδες:

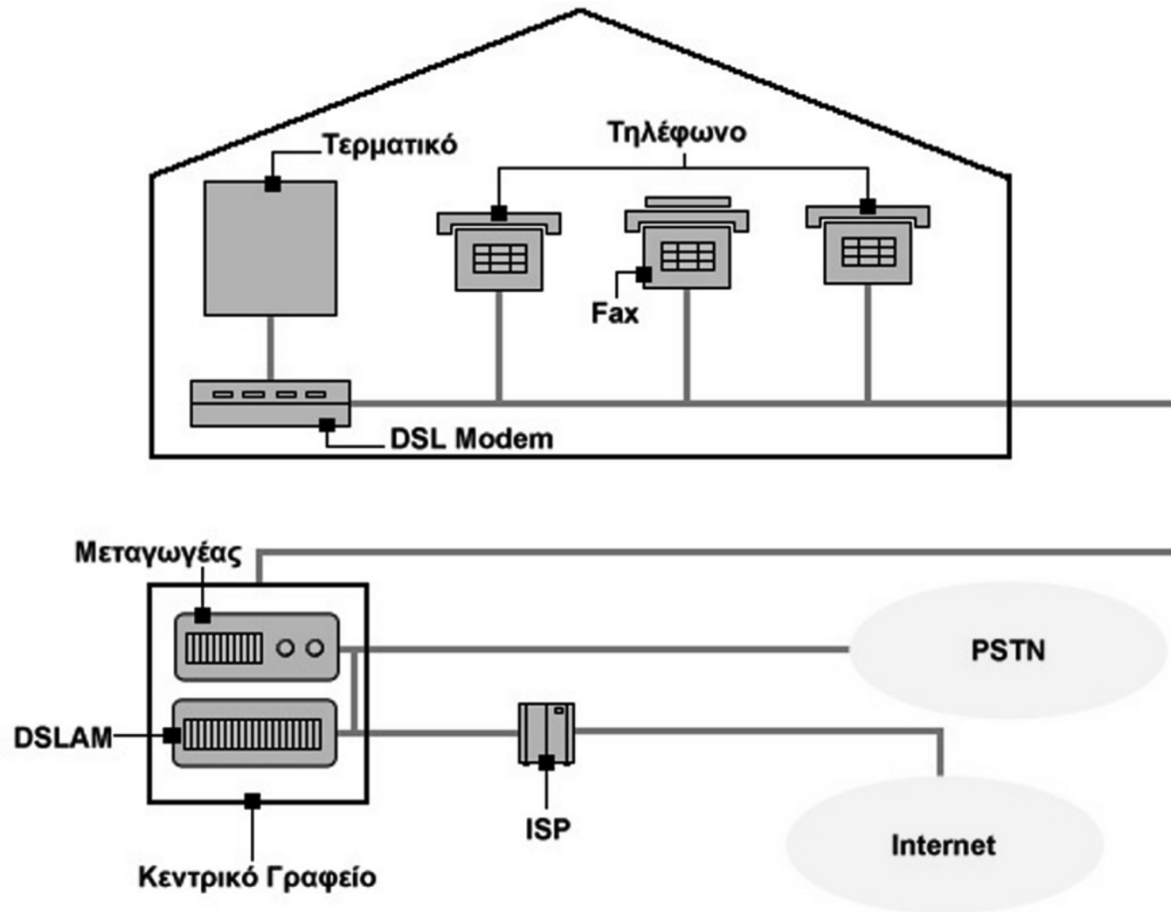
- **Network Termination 1 (NT1):** Πρόκειται για τις συσκευές που συνδέουν το εσωτερικό σύστημα του χρήστη με τον κεντρικό σταθμό ISDN,
- **Network termination 2 (NT2):** Πρόκειται για συσκευές που εκτελούν λειτουργίες όχι μόνο φυσικού, αλλά και επιπέδου σύνδεσης δεδομένων και δικτύου.
- **Terminal Equipment 1 (TE1):** Πρόκειται για τον ψηφιακό εξοπλισμό του συνδρομητή, ο οποίος είναι συμβατός με τα πρότυπα του ISDN (π.χ. ψηφιακά τηλέφωνα).
- **Terminal Equipment 2 (TE2):** Κάθε συσκευή που δεν είναι συμβατή με τα πρότυπα του ISDN.



Ψηφιακή Γραμμή Συνδρομητή DSL

- Παρέχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο, υψηλών ταχυτήτων, διαμέσου υπαρχόντων τηλεφωνικών γραμμών κατασκευασμένων από χαλκό.
- Δεν απαιτούνται ειδικά καλώδια, μόνο οι απλές παλιές τηλεφωνικές γραμμές.
- Τα κυριότερα και πιο διαδεδομένα είδη του DSL (Digital Subscriber Line) είναι το Απλό DSL, το ADSL (Full Rate Asymmetrical DSL) και το HDSL (High Data Rate DSL) και το VDSL (Very-high-bit-rate digital subscriber line)
- Το DSL κάνει χρήση ενός πομποδέκτη (transceiver) στη πλευρά του πελάτη, το οποίο συνδέεται σε έναν πολυπλέκτη DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) που βρίσκεται στο κεντρικό γραφείο CO (Central Office) της τηλεφωνικής εταιρίας.

Ψηφιακή Γραμμή Συνδρομητή DSL (συνέχεια)



Παράδειγμα δικτύου με DSL.



Τέλος Παρουσίασης