

Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες

Ενότητα 2: Εισαγωγή στα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα

Αν. καθηγήτρια Μαλαματή Λούτα

e-mail: louta@uowm.gr

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ψηφιακά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Περιεχόμενα ενότητας (1/3)

- Κεφάλαιο 2: Σήματα
 - Ταξινόμηση Σημάτων
 - Αναπαράσταση Σημάτων
 - Πεδίο του Χρόνου
 - Πεδίο της Συχνότητας
 - Ανάλυση Σημάτων κατά FOURIER
 - Αναλογικά και Ψηφιακά Σήματα
 - Ψηφιοποίηση Σημάτων
 - Μετάδοση Σημάτων
 - Αναλογική και Ψηφιακή Μετάδοση Σημάτων
 - Βασικά Στοιχεία Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων



Περιεχόμενα ενότητας (2/3)

- Κεφάλαιο 2: Σήματα
 - Μετάδοση Σημάτων
 - Βασικά Στοιχεία Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων
 - Κωδικοποίηση
 - Σειριακή και Παράλληλη Μετάδοση
 - Ασύγχρονη και Σύγχρονη Μετάδοση
 - Μονόδρομη, Ημιαμφίδρομη και Αμφίδρομη Επικοινωνία
 - Πολυπλεξία
 - » Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου
 - » Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας
 - » Πολυπλεξία Διαίρεσης Μήκους Κύματος



Περιεχόμενα ενότητας (3/3)

- Κεφάλαιο 2 : Σήματα
 - Σχεδιασμός Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων
 - Παράμετροι
 - Εύρος Ζώνης Επικοινωνιακού Διαύλου
 - Ρυθμός Μετάδοσης
 - Θόρυβος και άλλες βλάβες μετάδοσης
 - Ρυθμός Σφαλμάτων
 - Ισχύς Σημάτων
 - Βλάβες κατά τη μετάδοση
 - Εξασθένηση
 - Παραμόρφωση Καθυστέρησης
 - Θόρυβος
 - Ρυθμός Μετάδοσης & Χωρητικότητα Διαύλου Επικοινωνίας

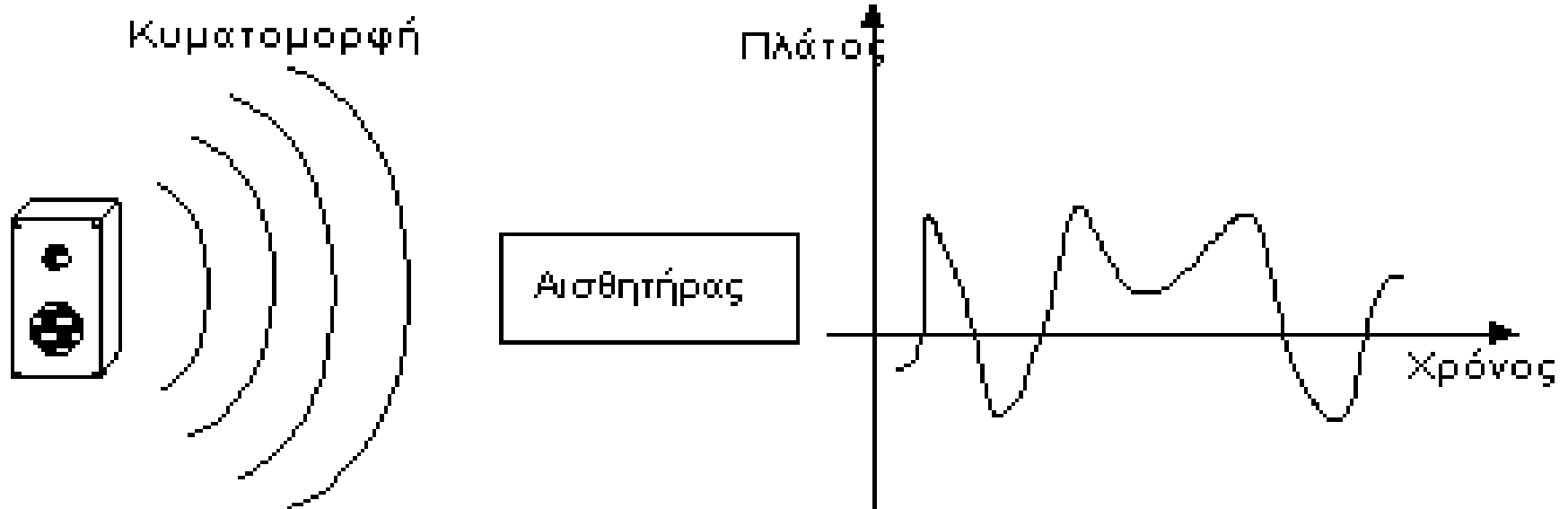


Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (1/10)

- Μορφές Πληροφορίας (Ήχος, Κείμενο, Εικόνα, Βίντεο)
 - Μπορούν να παρασταθούν με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων
- Σήμα – μονοσήμαντη συνάρτηση του χρόνου που μεταφέρει πληροφορίες



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (2/10)



Η πληροφορία ως σήμα

Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (3/10)

- Κατηγορίες Σημάτων

- Περιοδικά – Απεριοδικά Σήματα (*Periodic, Aperiodic Signals*)

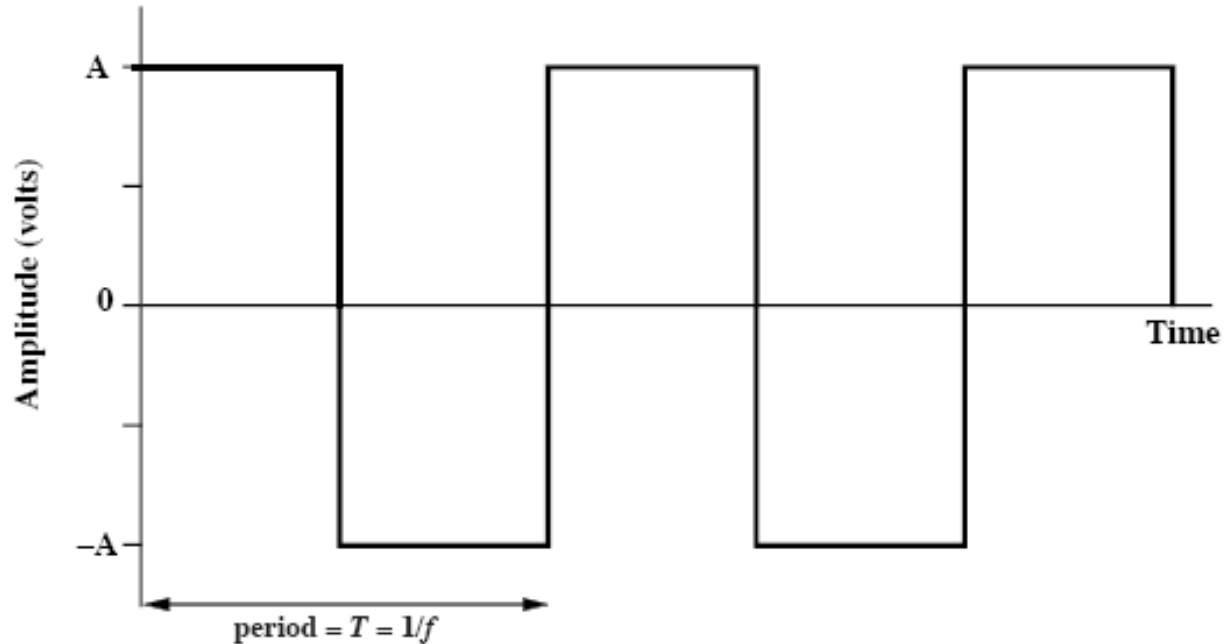
$$g(t) = g(t + T)$$

- Ντετερμινιστικά – Τυχαία Σήματα (*Deterministic, Random Signals*)

- Ντετερμινιστικό - δεν υπάρχει καμία αβεβαιότητα όσον αφορά την τιμή του σε κάθε χρονική στιγμή
 - Μπορούν να αναπαρασταθούν ως πλήρως καθορισμένες συναρτήσεις του χρόνου
- Τυχαίο - υπάρχει κάποιος βαθμός αβεβαιότητας προτού καν εμφανισθεί
 - Θεώρηση: Ανήκει σε ένα σύνολο σημάτων, όπου κάθε σήμα του συνόλου είναι διαφορετικό
 - Δεν μπορεί να προβλεφθεί η ακριβής τιμή του προκαταβολικά
 - Παράδειγμα – Σήματα σε ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (4/10)



(b) Square wave

Παράδειγμα Περιοδικού Σήματος



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (5/10)

- Κατηγορίες Σημάτων

- Σήματα Ισχύος – Σήματα Ενέργειας (*Power, Energy Signals*)

- Ισχύς Σήματος : $p = |g(t)|^2$

- Ενέργεια Σήματος : $E = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T |g(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |g(t)|^2 dt$

- Μέση Ισχύς Σήματος : $P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |g(t)|^2 dt$



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (6/10)

- Κατηγορίες Σημάτων
 - Σήματα Ισχύος – Σήματα Ενέργειας (*Power, Energy Signals*)
 - Ενεργειακό Σήμα : $0 < E < \infty$
 - Σήμα Ισχύος : $0 < P < \infty$
 - Ενεργειακό Σήμα – έχει μηδενική μέση ισχύ
 - Σήμα Ισχύος – έχει άπειρη ενέργεια
 - Συνήθως περιοδικά και τυχαία σήματα είναι σήματα ισχύος, ενώ σήματα που είναι και ντετερμινιστικά και απεριοδικά είναι σήματα ενέργειας



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (7/10)

- Κατηγορίες Σημάτων
 - Σήματα Συνεχούς Χρόνου – Συνεχούς Πλάτους (Αναλογικά Σήματα)
 - Συνεχής συνάρτηση του χρόνου με συνεχές πλάτος
 - Ορίζονται για κάθε τιμή του χρόνου (ανεξάρτητη μεταβλητή) και η εξαρτημένη μεταβλητή μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή μέσα από ένα συνεχές διάστημα τιμών
 - Παράδειγμα Σημάτων – Φυσικά Σήματα (π.χ., ακουστικά ή οπτικά σήματα) που μετατρέπονται με τη βοήθεια αισθητήρων σε ηλεκτρικά
 - Σήματα Συνεχούς Χρόνου Διακριτού Πλάτους
 - Ορίζονται για κάθε χρονική στιγμή, αλλά η συνάρτηση μπορεί να πάρει μόνο συγκεκριμένες τιμές.
 - Τιμή της συνάρτησης – κβαντισμένο μέγεθος
 - Παράδειγμα Σημάτων – Ηλεκτρονικές κατασκευές

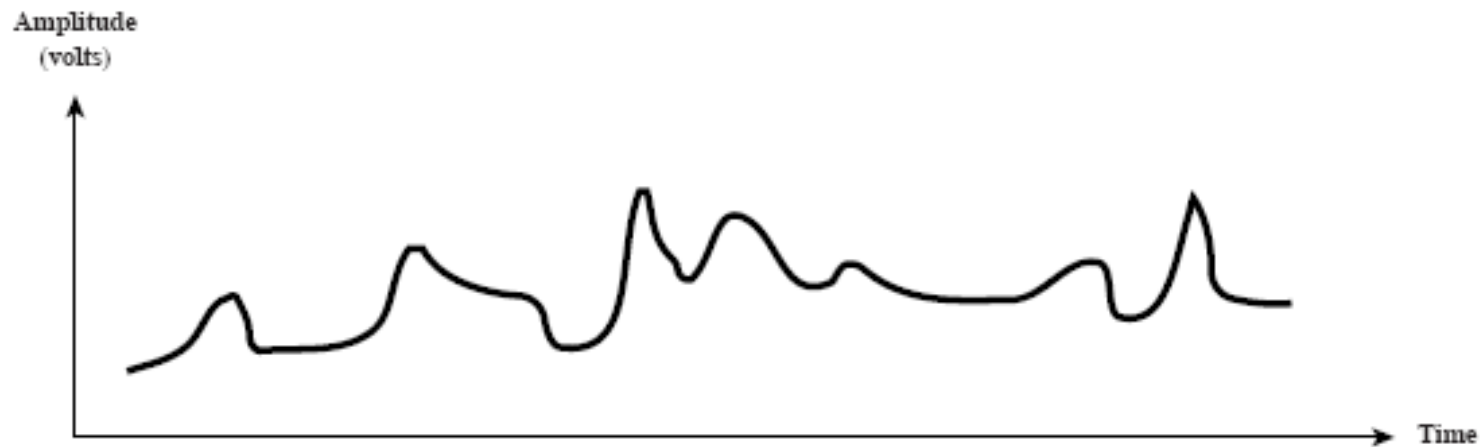


Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (8/10)

- Κατηγορίες Σημάτων
 - Σήματα Διακριτού Χρόνου
 - Ορίζονται μόνο σε διακριτές χρονικές στιγμές
 - Ο χρόνος λαμβάνει μόνο διακριτές τιμές που συνήθως είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες
 - Η τιμή του σήματος μπορεί να λάβει συνεχείς τιμές
 - Σειρές δειγμάτων τα πλάτη των οποίων μπορούν να λάβουν συνεχείς τιμές
 - Ψηφιακά Σήματα
 - Σήματα Διακριτού Χρόνου Διακριτού Πλάτους
 - Σήματα Διακριτού Χρόνου που μπορούν να πάρουν τιμή μόνο από ένα πεπερασμένο σύνολο διακριτών τιμών ονομάζονται κβαντισμένα (*quantised*)
 - Ψηφιακά σήματα - κβαντισμένα σήματα τα οποία είναι και κωδικοποιημένα (*coded*)



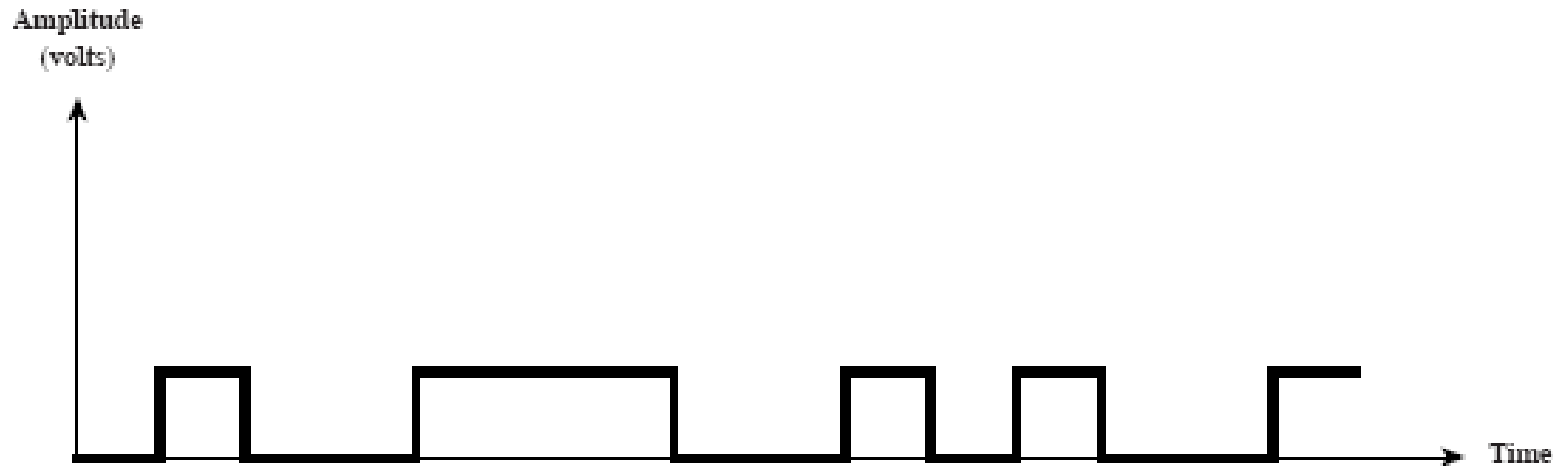
Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (9/10)



Σχηματική Αναπαράσταση Αναλογικού Σήματος



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (10/10)



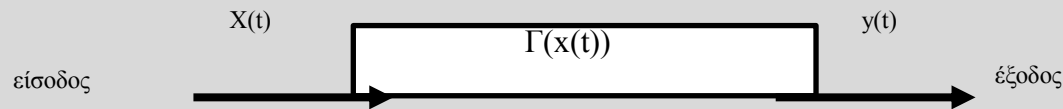
Σχηματική Αναπαράσταση Σήματος Συνεχούς Χρόνου – Διακριτού Πλάτους



Ανάλυση Συστημάτων και Σημάτων (1/4)

- Σύστημα

- Σύνολο στοιχείων / λειτουργικών τμημάτων που είναι διασυνδεδεμένα με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ένας αντικειμενικός σκοπός.
- Στο Σύστημα Επικοινωνίας σκοπός είναι η μεταβίβαση πληροφορίας.
- Το Σύστημα αποκρίνεται σε ένα σήμα που εμφανίζεται στην είσοδό του.
- Μαθηματικά, ένα σύστημα εκφράζεται ως μία συναρτησιακή σχέση μεταξύ της εισόδου $x(t)$ και της εξόδου $y(t)$.



- Ένα σύστημα συνεχούς χρόνου μετασχηματίζει το σήμα εισόδου $x(t)$ στο σήμα εξόδου $y(t)$ ως εξής: $y(t)=\Gamma(x(t))$.
- Ένα σύστημα διακριτού χρόνου μετασχηματίζει το σήμα εισόδου διακριτού χρόνου $x(n)$ στο σήμα εξόδου διακριτού χρόνου $y(n)$ ως εξής: $y(n)=\Gamma(x(n))$.



Ανάλυση Συστημάτων και Σημάτων (2/4)

- Ταξινόμηση Συστημάτων
 - Γραμμικά και Μη-Γραμμικά Συστήματα
 - Ένα σύστημα ονομάζεται γραμμικό, εάν εφαρμόζεται η αρχή της υπέρθεσης.
 - Αν $y_1(t)$ και $y_2(t)$ είναι αποκρίσεις του συστήματος στις εισόδους $x_1(t)$ και $x_2(t)$, η απόκριση του συστήματος στην είσοδο $ax_1(t) + bx_2(t)$ είναι η $ay_1(t) + by_2(t)$.
 - Χρονικά Αμετάβλητα και Χρονικά Μεταβαλλόμενα Συστήματα
 - Ένα σύστημα ονομάζεται χρονικά αμετάβλητο αν για κάθε χρονική στιγμή t , οποιαδήποτε ολίσθηση t_0 στο σήμα εισόδου προκαλεί την ίδια χρονική ολίσθηση στο σήμα εξόδου
 - $y(t-t_0)=\Gamma(x(t-t_0))$ – για συστήματα συνεχούς χρόνου
 - $y(n-n_0)=\Gamma(x(n-n_0))$ – για συστήματα διακριτού χρόνου



Ανάλυση Συστημάτων και Σημάτων (3/4)

- Ταξινόμηση Συστημάτων
 - Συστήματα με ή χωρίς μνήμη
 - Ένα σύστημα είναι χωρίς μνήμη όταν η έξοδος του σε κάθε χρονική στιγμή t εξαρτάται από την τιμή της εισόδου την ίδια χρονική στιγμή.
 - Ένα σύστημα του οποίου η έξοδος εξαρτάται από τις προηγούμενες τιμές της εισόδου ονομάζεται σύστημα με μνήμη ή δυναμικό σύστημα.
 - Αιτιοκρατικά Συστήματα
 - Ένα σύστημα ονομάζεται αιτιοκρατικό εάν η έξοδος του σε κάθε χρονική στιγμή t εξαρτάται μόνο από παρούσες ή προηγούμενες τιμές της εισόδου του.
 - Ευσταθή Συστήματα
 - Ένα σύστημα είναι ευσταθές όταν για κάθε απολύτως φραγμένη είσοδό του παρουσιάζει απολύτως φραγμένη έξοδο. Δηλαδή όταν $|x(t)| < k_x$ ισχύει και $|y(t)| < k_y$.



Ανάλυση Συστημάτων και Σημάτων (4/4)

- Ταξινόμηση Συστημάτων
 - Γραμμικά, Χρονικά Αμετάβλητα Συστήματα
 - Η γραμμικότητα και η χρονική σταθερότητα των συστημάτων παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάλυση των Συστημάτων Επικοινωνιών.
 - Το γεγονός αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πολλές φυσικές διαδικασίες είναι δυνατόν να προτυποποιηθούν χρησιμοποιώντας γραμμικά – χρονικά αμετάβλητα συστήματα.



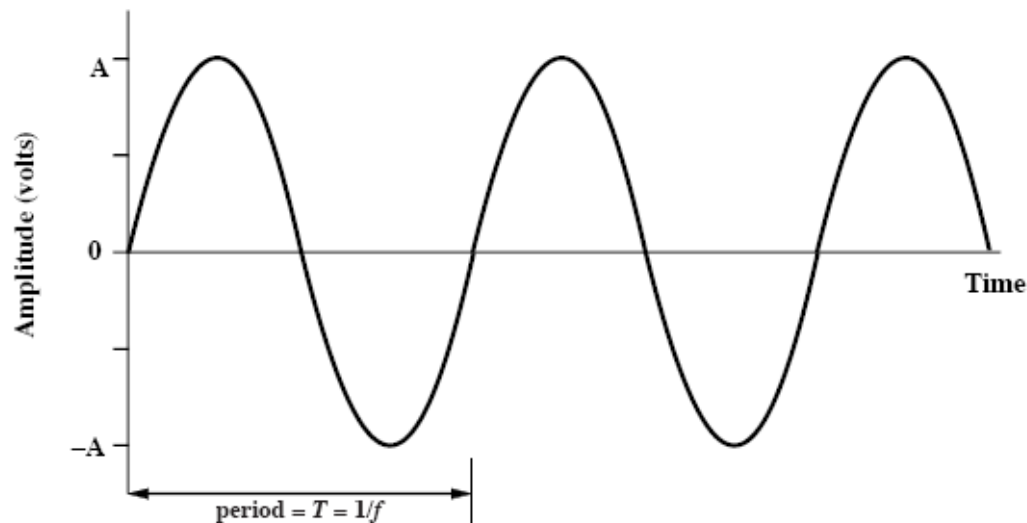
Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (1/4)

- Αναπαράσταση Σημάτων
 - Πεδίο του Χρόνου
 - Πεδίο της Συχνότητας
 - Σήμα αποτελείται από συνιστώσες διαφορετικών συχνοτήτων
 - Πιο σημαντική για την κατανόηση της μετάδοσης δεδομένων
 - Πεδίο του Χρόνου
 - Ημιτονοειδές Σήμα είναι ένα βασικό περιοδικό σήμα. Μπορεί να παρασταθεί από τις ακόλουθες παραμέτρους:
 - Μέγιστο Πλάτος A
 - Τη συχνότητα f
 - Τη φάση φ
 - » *Μέτρηση της σχετικής θέσης του σήματος στο χρόνο σε μία περίοδο σήματος*



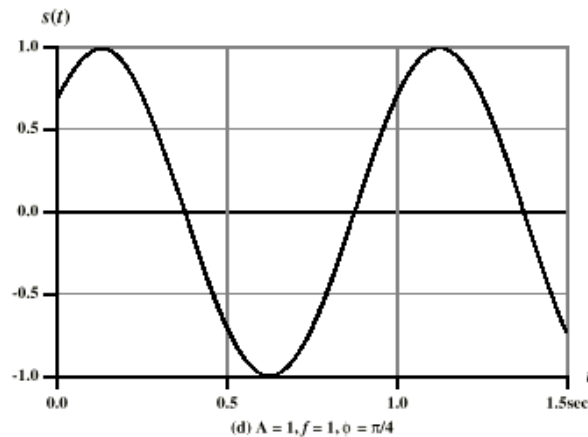
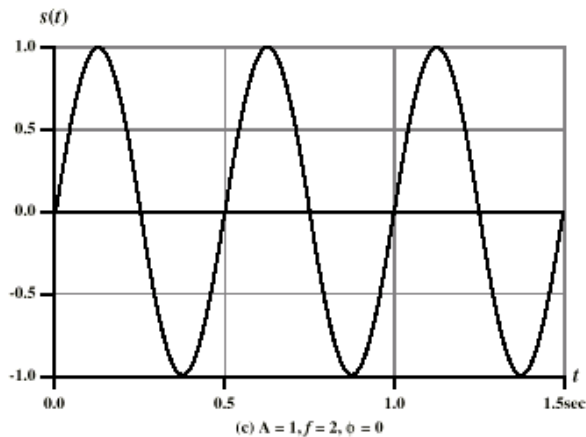
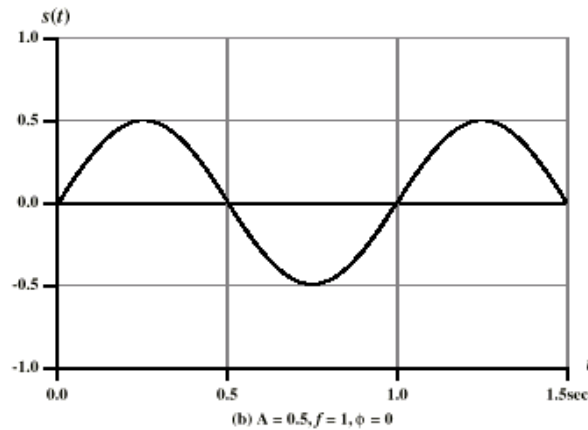
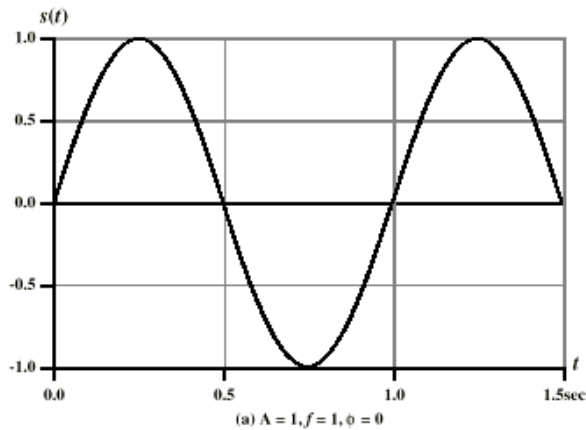
Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (2/4)

- Αναπαράσταση Σημάτων - Πεδίο του Χρόνου
 - Ημιτονοειδές Σήμα $s(t) = A \sin(2\pi ft + \varphi)$



(a) Sine wave

Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (3/4)



$$s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (4/4)

- Αναπαράσταση Σημάτων

- Πεδίο της Συχνότητας

- Ανάλυση του σήματος σε ημιτονικές συνιστώσες διαφορετικών συχνοτήτων
 - Πιο σημαντική για την κατανόηση της μετάδοσης δεδομένων & υπερσκιάζει σε χρησιμότητα όλες τις άλλες μεθόδους.
 - Η απόκριση ενός συστήματος σε ημιτονική είσοδο είναι μία άλλη ημιτονική κυματομορφή της ίδιας συχνότητας, αλλά διαφορετικής φάσης και πλάτους κάτω από δύο προϋποθέσεις:
 - » Το σύστημα είναι γραμμικό (*linear*), οπότε υπακούει στην αρχή της υπέρθεσης (*principle of superposition*).
 - » Το σύστημα είναι χρονικά αμετάβλητο (*time invariant*)
 - Μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των σημάτων στο πεδίο της συχνότητας είναι η Ανάλυση *Fourier*
 - Σειρές *Fourier* – περιοδικά σήματα
 - Μετασχηματισμός *Fourier* – αperiοδικά σήματα
 - Περιγραφή στο πεδίο της συχνότητας (*frequency-domain description*) ή το φάσμα (*spectrum*) του σήματος



Ανάλυση Συστημάτων και Σημάτων (1/11)

- Σειρά Fourier
 - Κάθε περιοδικό σήμα $g_p(t)$ με περίοδο T_0 μπορεί να αναλυθεί σε ένα άπειρο άθροισμα ημιτονικών και συνημιτονικών όρων χρησιμοποιώντας την ανάπτυξη σε Σειρά Fourier:

$$g_p(t) = a_0 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T_0}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{T_0}\right) \right], \quad n = 1, 2, \dots$$

$$a_n = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} g_p(t) \cos\left(\frac{2\pi n t}{T_0}\right) dt, \quad n = 1, 2, \dots$$

$$b_n = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} g_p(t) \sin\left(\frac{2\pi n t}{T_0}\right) dt, \quad n = 1, 2, \dots$$



Ανάλυση Συστημάτων και Σημάτων (2/11)

- Οι συντελεστές a_n και b_n παριστάνουν τα άγνωστα πλάτη των συνημιτονικών και ημιτονικών όρων, αντίστοιχα.

$1/T_0$ – θεμελιώδης συχνότητα

n/T_0 – n -οστή αρμονική της θεμελιώδους συχνότητας

$\cos(2\pi nt/T_0)$ και $\sin(2\pi nt/T_0)$ – συναρτήσεις βάσης



Ανάλυση Συστημάτων και Σημάτων (3/11)

$$\int_{-T_0/2}^{T_0/2} \cos\left(\frac{2\pi mt}{T_0}\right) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T_0}\right) dt = \begin{cases} T_0/2 & (m = n) \\ 0 & (m \neq n) \end{cases}$$

$$\int_{-T_0/2}^{T_0/2} \sin\left(\frac{2\pi mt}{T_0}\right) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T_0}\right) dt = 0$$

$$\int_{-T_0/2}^{T_0/2} \sin\left(\frac{2\pi mt}{T_0}\right) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T_0}\right) dt = \begin{cases} T_0/2 & (m = n) \\ 0 & (m \neq n) \end{cases}$$

Σχέσεις ορθογωνιότητας συναρτήσεων βάσης



Ανάλυση Συστημάτων και Σημάτων (4/11)

- Για να εφαρμόσουμε την αναπαράσταση σε σειρά Fourier, αρκεί η συνάρτηση $g_p(t)$ να ικανοποιεί τις παρακάτω συνθήκες (συνθήκες *Dirichlet*)
 - Η συνάρτηση $g_p(t)$ είναι μονοσήμαντη στο διάστημα T_0
 - Η συνάρτηση $g_p(t)$ εμφανίζει το πολύ ένα πεπερασμένο αριθμό ασυνεχειών στο διάστημα T_0
 - Η συνάρτηση $g_p(t)$ έχει ένα πεπερασμένο αριθμό μεγίστων και ελαχίστων στο διάστημα T_0
 - Η συνάρτηση $g_p(t)$ είναι απόλυτα ολοκληρώσιμη, δηλ.

$$\int_{-T_0/2}^{T_0/2} |g_p(t)| dt < \infty$$



Ανάλυση Συστημάτων και Σημάτων (5/11)

- Μιγαδική Εκθετική Σειρά Fourier

- Με χρήση μιγαδικών εκθετικών συναρτήσεων, αντικαθιστώντας τα συνημίτονα και τα ημίτονα με την εκθετική τους μορφή, η σειρά Fourier μπορεί να πάρει την ακόλουθη μορφή:

$$\cos\left(\frac{2\pi nt}{T_0}\right) = \frac{1}{2} \left(\exp\left(\frac{j2\pi nt}{T_0}\right) + \exp\left(-\frac{j2\pi nt}{T_0}\right) \right)$$

$$\sin\left(\frac{2\pi nt}{T_0}\right) = \frac{1}{2j} \left(\exp\left(\frac{j2\pi nt}{T_0}\right) - \exp\left(-\frac{j2\pi nt}{T_0}\right) \right)$$

$$g_p(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n - jb_n) \exp\left(\frac{j2\pi nt}{T_0}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n + jb_n) \exp\left(-\frac{j2\pi nt}{T_0}\right)$$



Ανάλυση Συστημάτων και Σημάτων (6/11)

- Μιγαδική Εκθετική Σειρά Fourier

- Έστω ότι το c_n παριστάνει ένα μιγαδικό τελεστή που σχετίζεται με τα a_n και b_n ως εξής:

$$c_n = \begin{cases} a_n - jb_n, & n > 0 \\ a_0 & n = 0 \\ a_n + jb_n, & n < 0 \end{cases}$$

- Τότε η $g_p(t)$ μπορεί να απλοποιηθεί ως ακολούθως:

$$g_p(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n \exp\left(\frac{j2\pi nt}{T_0}\right)$$

$$c_n = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} g_p(t) \exp\left(-\frac{j2\pi nt}{T_0}\right) dt$$



Ανάλυση Συστημάτων και Σημάτων (7/11)

- Μιγαδική Εκθετική Σειρά Fourier
 - Η αναπαράσταση ενός περιοδικού σήματος με μια σειρά *Fourier* είναι ισοδύναμη με την ανάλυση του σήματος σε διάφορες αρμονικές συνιστώσες.
 - Έτσι, χρησιμοποιώντας τη μιγαδική εκθετική σειρά *Fourier* βρίσκουμε ότι ένα περιοδικό σήμα $x(t)$, με περίοδο T_0 έχει συνιστώσες, με συχνότητες όπου $\omega_0 = 2\pi/T_0$ είναι η θεμελιώδης συχνότητα.
 - Δηλαδή, ενώ το σήμα $x(t)$ υπάρχει στο πεδίο του χρόνου μπορούμε να πούμε ότι η περιγραφή του στο πεδίο της συχνότητας περιλαμβάνει τις συνιστώσες με συχνότητες $\omega_n = n\omega_0$ που ονομάζεται φάσμα (*spectrum*).



Ανάλυση Συστημάτων και Σημάτων (8/11)

- Μιγαδική Εκθετική Σειρά Fourier

- Έτσι ένα περιοδικό σήμα $g_p(t)$ μπορεί να καθοριστεί με δυο ισοδύναμους τρόπους:

1. Με την αναπαράσταση στο πεδίο του χρόνου, όπου το $g_p(t)$ ορίζεται σαν συνάρτηση του χρόνου.

2. Την αναπαράσταση στο πεδίο της συχνότητας, όπου το σήμα ορίζεται με το φάσμα του.

- Οι δυο περιγραφές δεν είναι ανεξάρτητες, αλλά δύο διαφορετικές απόψεις του ίδιου φαινομένου.

- Γενικά ο συντελεστής Fourier c_n είναι ένας μιγαδικός αριθμός που μπορούμε να τον εκφράσουμε στη μορφή:

$$c_n = |c_n| \exp[j\theta_n] , \quad \theta_n = \tan^{-1}\left(\frac{b_n}{a_n}\right)$$



Ανάλυση Συστημάτων και Σημάτων (9/11)

- Μιγαδική Εκθετική Σειρά Fourier
 - Το $|c_n|$ δηλώνει το πλάτος της n -οστής αρμονικής συνιστώσας του περιοδικού σήματος $g_p(t)$, έτσι ώστε το διάγραμμα του $|c_n|$ συναρτήσει της συχνότητας δηλώνει το πλάτος του διακριτού φάσματος του σήματος.
 - Το διάγραμμα της θ_n συναρτήσει της συχνότητας δίνει τη φάση του διακριτού φάσματος του σήματος.
 - Αναφερόμαστε στο φάσμα σαν διακριτό φάσμα, γιατί τόσο το πλάτος όσο και η φάση του θ_n έχουν μη μηδενικές τιμές μόνο για διακριτές συχνότητες που είναι ακέραια (τόσο θετικά όσο και αρνητικά) πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας.



Ανάλυση Συστημάτων και Σημάτων (10/11)

- Μιγαδική Εκθετική Σειρά Fourier

- Για μια περιοδική συνάρτηση $g_p(t)$ ισχύει:

$$C_{-n} = C_n^* , \text{ όπου } C_n^* \text{ ο μιγαδικός συζυγής του } C_n$$

- Επομένως, έχουμε: $|C_{-n}| = |C_n|$

$$\theta_{-n} = -\theta_n$$

- Δηλαδή, το πλάτος του φάσματος ενός πραγματικού περιοδικού σήματος είναι συμμετρικό (άρτια συνάρτηση του n) και η φάση συχνότητας είναι αντισυμμετρική (περιττή συνάρτηση του n) περί τον κάθετο άξονα που διέρχεται την αρχή.



Ανάλυση Συστημάτων και Σημάτων (11/11)

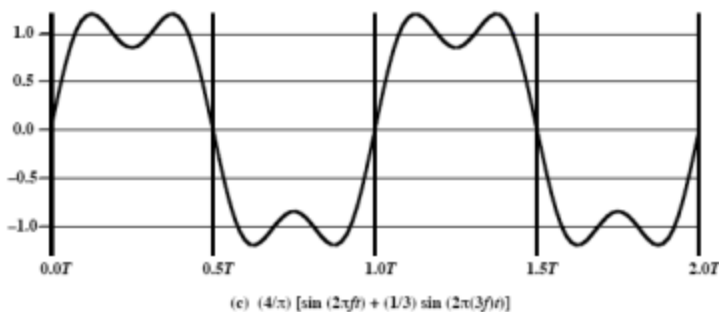
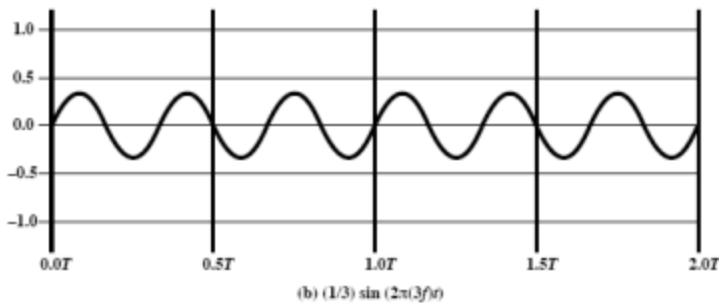
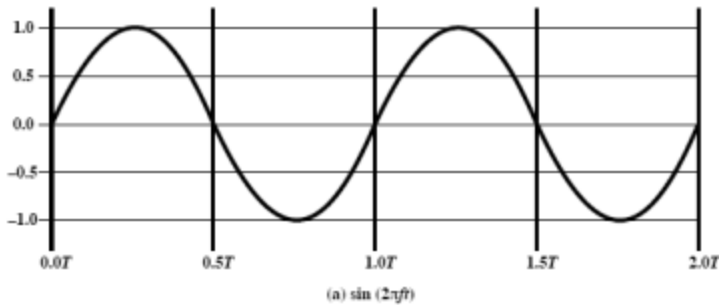
- Μετασχηματισμός Fourier
 - Χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσουμε στο πεδίο των συχνοτήτων ένα μη περιοδικό σήμα.
 - Η συνάρτηση $g(t)$ συνδέεται με τη μετασχηματισμένη μορφή της $G(f)$ σύμφωνα με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} G(f) \exp(j2\pi ft) df$$

$$G(f) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \exp(-j2\pi ft) dt$$



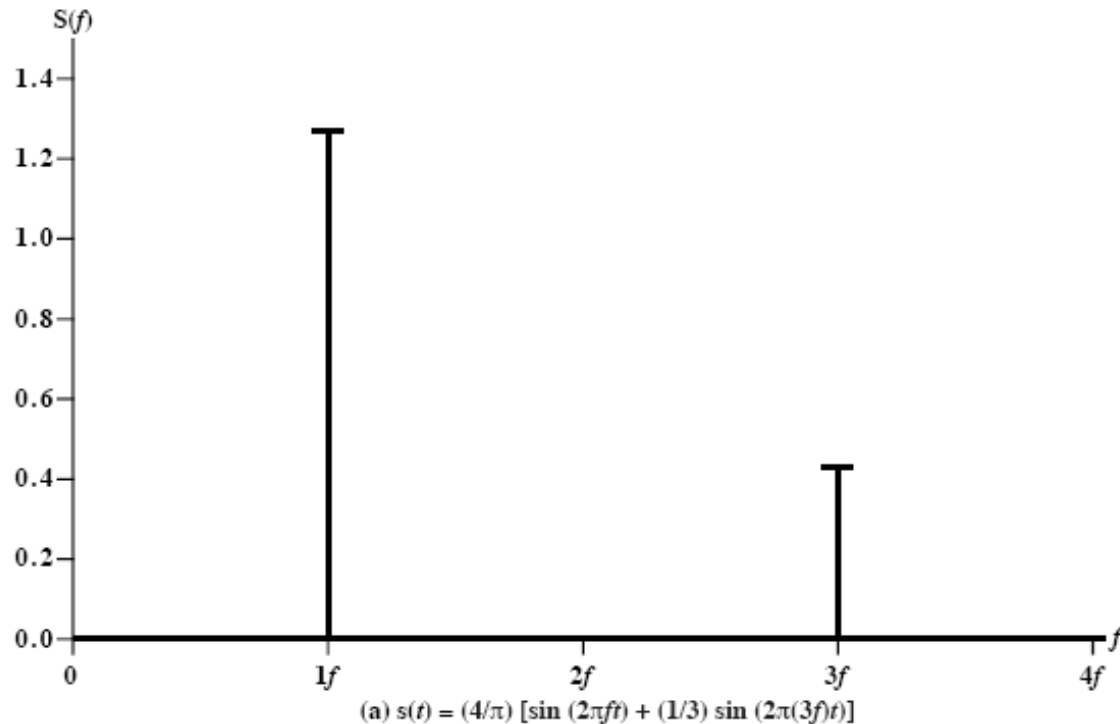
Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (1/66)



Σήμα που δημιουργείται από την υπέρθεση δύο σημάτων διαφορετικής συχνότητας



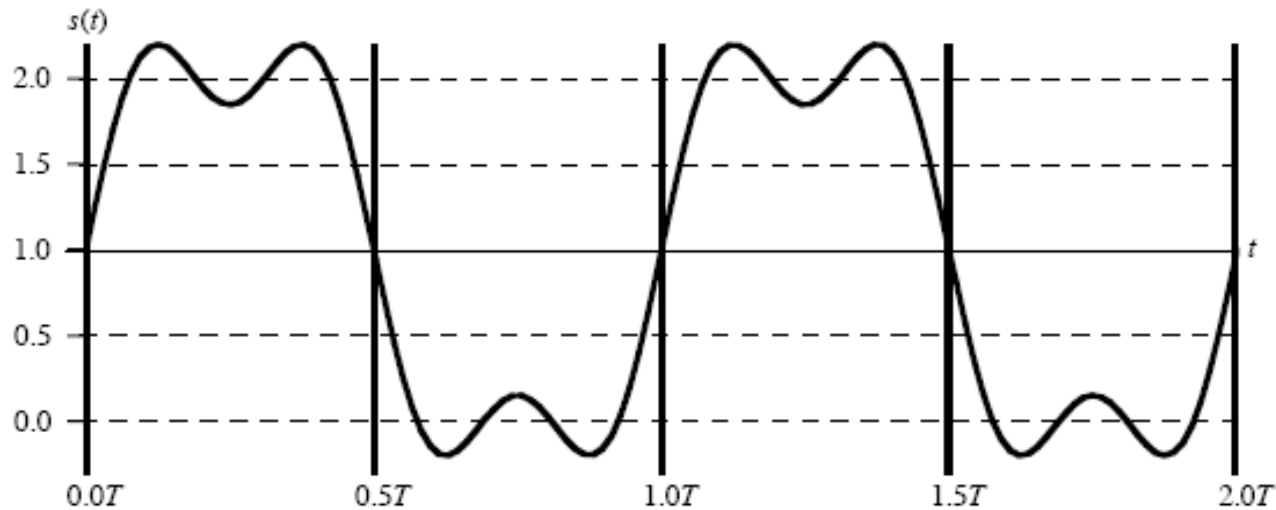
Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (2/66)



Περιγραφή Σήματος στο Πεδίο της Συχνότητας
Φάσμα του Σήματος $f-3f$



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (3/66)

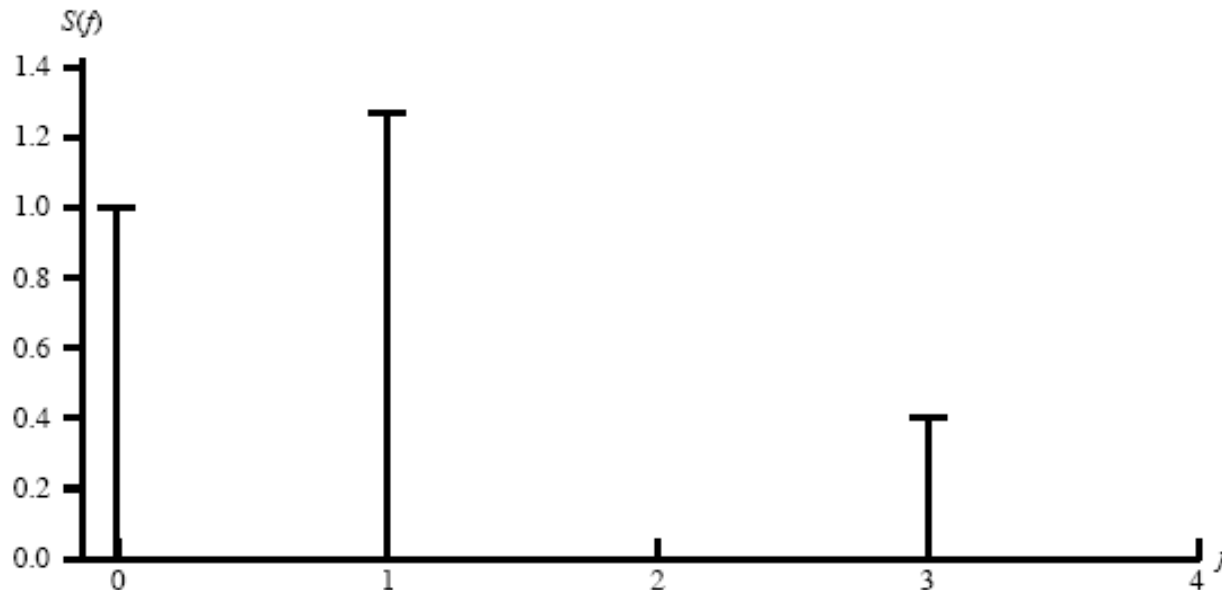


(a) $s(t) = 1 + (4/\pi) [\sin(2\pi ft) + (1/3) \sin(2\pi(3f)t)]$

Περιγραφή Σήματος με συνεχή συνιστώσα στο
Πεδίο του Χρόνου



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (4/66)

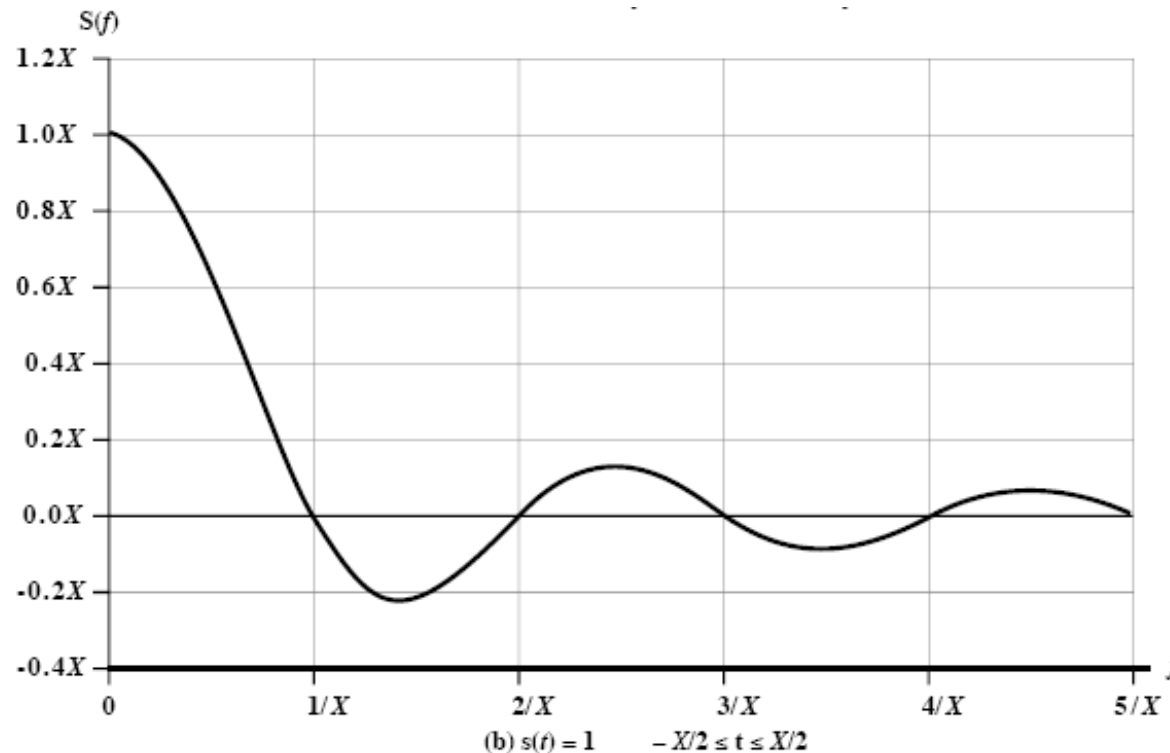


(b) $S(f)$

Περιγραφή Σήματος με συνεχή συνιστώσα στο
Πεδίο της Συχνότητας



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (5/66)



Περιγραφή στο Πεδίο της Συχνότητας Τετραγωνικού Παλμού με τιμή 1 στο διάστημα $[-X/2, X/2]$ και 0 αλλού



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (6/66)

- Αναπαράσταση Σημάτων
 - Πεδίο της Συχνότητας
 - Φάσμα του Σήματος – Περιγραφή του Σήματος στο πεδίο της Συχνότητας
 - Εύρος Ζώνης Σήματος
 - Εύρος του φάσματος
 - Η ενέργεια του σήματος περικλείεται σε ένα σχετικά στενό εύρος συχνοτήτων. Το φασματικό περιεχόμενο του σήματος πάνω από μία συχνότητα είναι αμελητέο και δεν απαιτείται για τη μετάδοση της πληροφορίας
 - Ενεργό Εύρος Ζώνης
 - Φάσμα φωνής – εκτείνεται πάνω από τα 10 KHz αν και η περισσότερη ενέργεια είναι συγκεντρωμένη στην περιοχή 100 – 600 Hz. Η ζώνη 300 - 3400 Hz δίνει καλά αποτελέσματα.



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (7/66)

- Αναλογικά και Ψηφιακά Δεδομένα & Αναπαράστασή τους με Αναλογικά ή Ψηφιακά Σήματα
 - Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
 - Αναλογικά Δεδομένα : Συνεχής Συνάρτηση του Χρόνου Συνεχούς Πλάτους
 - Μπορούν να αναπαρασταθούν από ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που καταλαμβάνει το ίδιο φάσμα
 - Ακουστικά Δεδομένα – Ηλεκτρομαγνητικό κύμα που καταλαμβάνει το ίδιο φάσμα
 - Ανάγκη Συμβιβασμού μεταξύ Κόστους και Ποιότητας μεταδιδόμενου ήχου
 - Κόστος αυξάνεται με αυξανόμενο εύρος ζώνης
 - Τυποποιημένο Φάσμα ομιλίας για ένα κανάλι φωνής : 300 -3400 Hz
 - Τα αναλογικά σήματα μπορούν να αναπαρασταθούν από άλλα αναλογικά σήματα τα οποία καταλαμβάνουν διαφορετικό τμήμα του φάσματος.



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (8/66)

- Αναλογικά και Ψηφιακά Δεδομένα & Αναπαράστασή τους με Αναλογικά ή Ψηφιακά Σήματα
 - Αναλογικά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
 - Τα αναλογικά δεδομένα μπορούν να αναπαρασταθούν ως ψηφιακά σήματα
 - Διαδικασία της ψηφιοποίησης
 - Συσκευή : *Analog to Digital Converter- ADC*

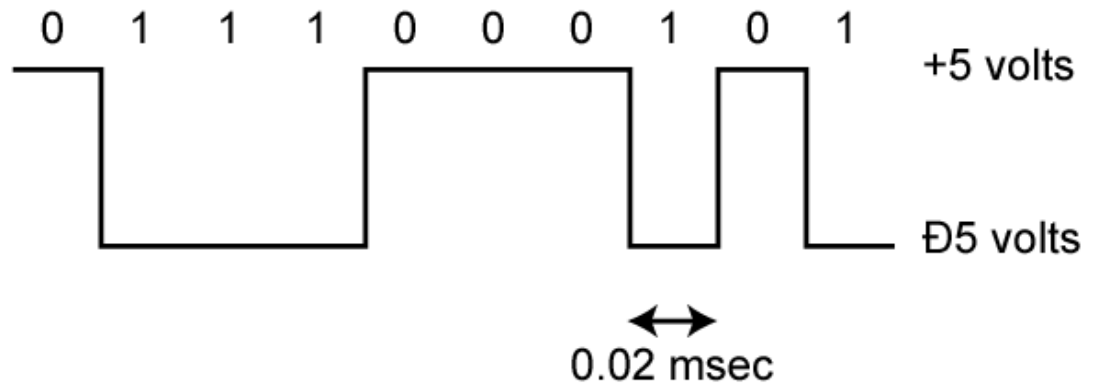


Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (9/66)

- Αναλογικά και Ψηφιακά Δεδομένα & Αναπαράστασή τους με Αναλογικά ή Ψηφιακά Σήματα
 - Ψηφιακά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
 - Ψηφιακό Σήμα: Ακολουθία Παλμών Τάσης – διαφορετικά επίπεδα τάσης για το κάθε ένα από τα δυαδικά ψηφία
 - Υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι αναπαράστασης ψηφιακών δεδομένων σε ψηφιακά σήματα (*NRZ, Manchester, Differential Manchester, κλπ*)
 - Ψηφιακά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
 - Συσκευή *modem*
 - Το *modem* μετατρέπει μία σειρά δυαδικών παλμών τάσης σε ένα αναλογικό σήμα χρησιμοποιώντας ένα φέρον σήμα.
 - Το σήμα που δημιουργείται καταλαμβάνει ένα ορισμένο φάσμα κεντραρισμένο στη συχνότητα του φέροντος σήματος

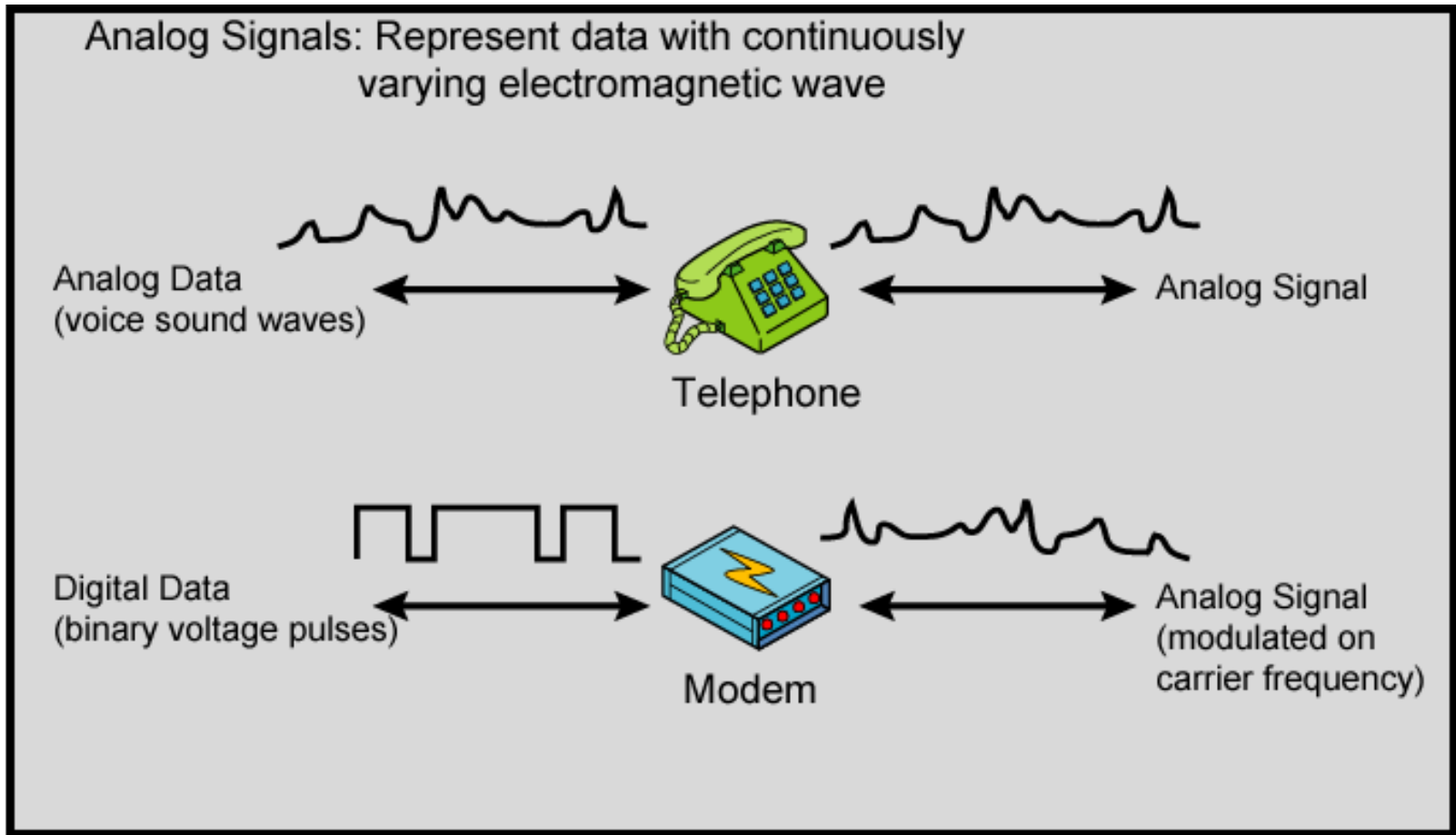


Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (10/66)

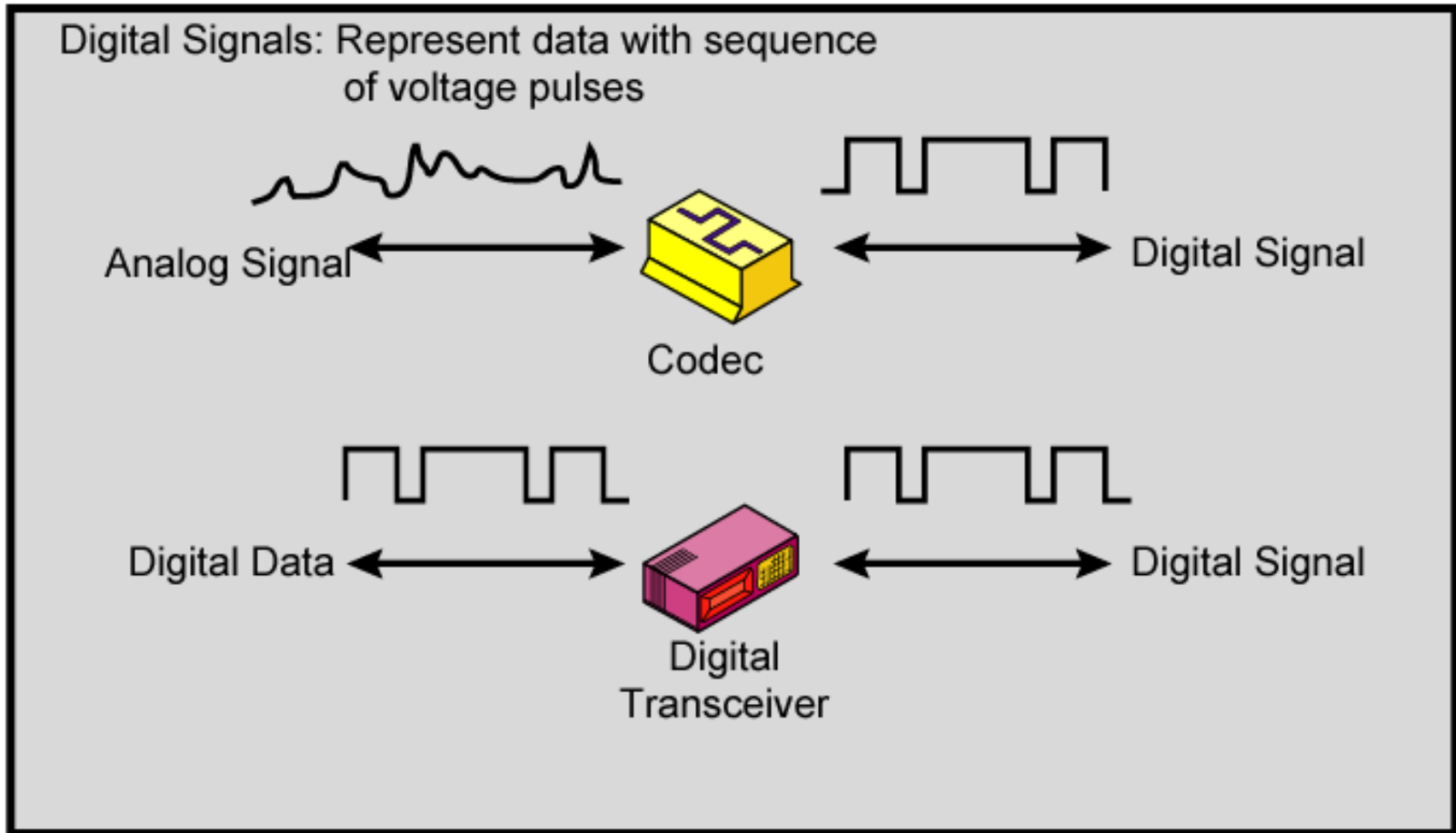


User input at a PC is converted into a stream of binary digits (1s and 0s). In this graph of a typical digital signal, binary one is represented by 0 volts and binary zero is represented by +5 volts. The signal for each bit has a duration of 0.02 msec, giving a data rate of 50,000 bits per second (50 kbps).

Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (11/66)



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (12/66)



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (13/66)

	Αναλογικά Σήματα	Ψηφιακά Σήματα
Αναλογικά Δεδομένα	<p>α) Το αναλογικό σήμα μπορεί να καταλαμβάνει το ίδιο φάσμα με τα αναλογικά δεδομένα</p> <p>β) Το αναλογικό σήμα μπορεί να προκύψει με διαμόρφωση των αναλογικών δεδομένων για να καταλάβουν ένα διαφορετικό τμήμα του φάσματος</p>	<p>Τα αναλογικά δεδομένα κωδικοποιούνται μέσω ενός <i>ADC</i> για να δημιουργηθεί μία ακολουθία από <i>bit</i>.</p>
Ψηφιακά Δεδομένα	<p>Τα ψηφιακά δεδομένα κωδικοποιούνται χρησιμοποιώντας ένα <i>modem</i> για να παραχθεί αναλογικό σήμα</p>	<p>Τα ψηφιακά δεδομένα κωδικοποιούνται για τη δημιουργία ενός ψηφιακού σήματος με τις επιθυμητές ιδιότητες</p>



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (14/66)

- Ψηφιοποίηση - Μετατροπή Αναλογικού Σήματος σε Ψηφιακό Σήμα
 - Δειγματοληψία στο Χρόνο (*Sampling*)
 - Από τις άπειρες τιμές του σήματος κρατάμε μόνο ένα σύνολο διακριτών τιμών που διαφέρουν κατά κάποιο σταθερό διάστημα
 - Κβαντισμό (*Quantization*)
 - Οι τιμές του συνόλου των διακριτών τιμών είναι εν γένει ένα συνεχές σύνολο – άπειρες τιμές
 - Μπορούμε να περιγράψουμε μόνο κάποιο πεπερασμένο υποσύνολο αυτών
 - Οι τιμές που θα περιγραφούν επιλέγονται ανάλογα με την ακρίβεια και το μήκος του διαστήματος τιμών που θέλουμε να καλύψουμε.
 - Κβαντισμός σήματος – επιλέγεται η πλησιέστερη στάθμη σήματος για κάθε τιμή που προέκυψε από τη δειγματοληψία



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (15/66)

- Ψηφιοποίηση - Μετατροπή Αναλογικού Σήματος σε Ψηφιακό Σήμα
 - Κωδικοποίηση
 - Σε κάθε μία από τις στάθμες αντιστοιχίζεται μία λέξη υπολογιστή
 - Μετατροπή χαρακτήρων, αριθμών και λοιπών συμβόλων σε μορφή δυαδικής ακολουθίας (*bit*).
 - Χρησιμοποιούνται πίνακες αμφιμονοσήμαντης αντιστοιχίας που ονομάζονται κώδικες
 - Χαρακτηριστικό: Πλήθος των bit που χρησιμοποιούνται για την αντιστοίχιση ενός συμβόλου
 - » Καθορίζει την αποδοτικότητα του κώδικα λαμβάνοντας υπόψη το πλήθος των χαρακτήρων που πρέπει να μετατραπούν



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (16/66)

- Ψηφιοποίηση - Μετατροπή Αναλογικού Σήματος σε Ψηφιακό Σήμα
 - Κωδικοποίηση
 - N πλήθος χαρακτήρων του κώδικα και M πλήθος *bit* που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή (αναπαράσταση ενός χαρακτήρα)
 - $2^{M-1} < N \leq 2^M$
 - 2^M - όχι πολύ μεγαλύτερο από N
 - $P = \frac{1}{M} \log_2 N$ η απόδοση του κώδικα
 - Πρώτοι κώδικες χρησιμοποιήθηκαν στην τηλεγραφία
 - Κώδικας *Morse*
 - Σήμερα οι περισσότεροι κώδικες χρησιμοποιούν 5-8 bit για την αναπαράσταση των χαρακτήρων



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (17/66)

- Ψηφιοποίηση - Μετατροπή Αναλογικού Σήματος σε Ψηφιακό Σήμα
 - Κωδικοποίηση
 - Κώδικας ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*)
 - Χρησιμοποιεί 7 Bit – Δυνατότητα αναπαράστασης 128 χαρακτήρων / συμβόλων
 - 95 σύμβολα γραφής
 - » 26 κεφαλαία λατινικά
 - » 26 μικρά
 - » 10 αριθμητικά ψηφία
 - » Σημεία στίξης, παρενθέσεις, κλπ
 - 33 σύμβολα ελέγχου
 - » Ενεργοποιούν, τροποποιούν ή σταματούν μία ενέργεια που σχετίζεται με τη μετάδοση δεδομένων
 - » Π.χ., έλεγχο εκτύπωσης των χαρακτήρων σε μία σελίδα
 - 8 bit – bit ισοτιμίας (*parity bit*) – άρτια ή περιττή ισοτιμία
 - 1110001 με περιττή ισοτιμία 11100011
 - Εάν ο δέκτης μετρήσει ένα περιττό αριθμό από 1 στο λαμβανόμενο χαρακτήρα τότε δεν έχει συμβεί σφάλμα

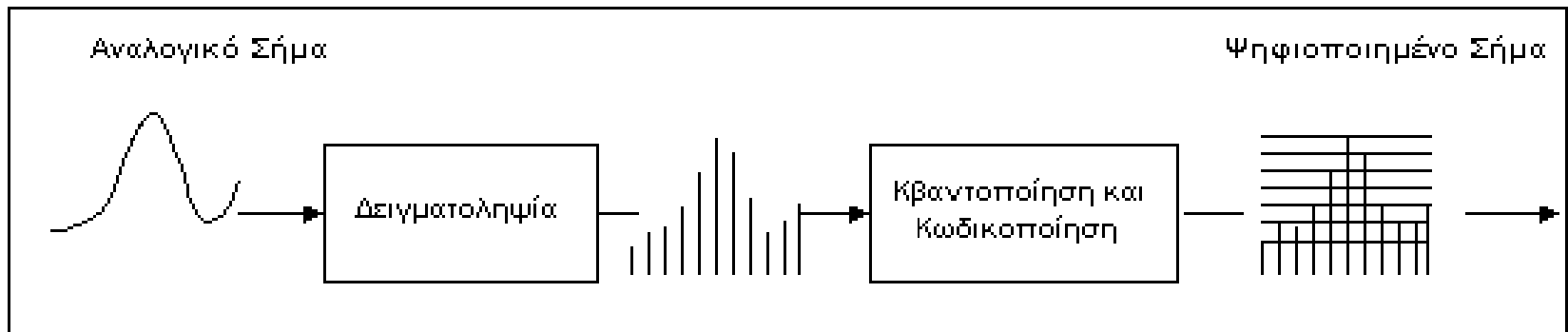


Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (18/66)

- Ψηφιοποίηση - Μετατροπή Αναλογικού Σήματος σε Ψηφιακό Σήμα
 - Κωδικοποίηση
 - Κώδικας *ASCII* (*American Standard Code for Information Interchange*)
 - Δεν υποστηρίζει πολυγλωσσία
 - Δημιουργία άλλων κωδίκων που χρησιμοποιούν 8 bit
 - Κωδικοποίηση επιπρόσθετα 128 συμβόλων –π.χ., ειδικών συμβόλων, χαρακτήρων άλλων αλφαβήτων
 - Πληθώρα ασυμβατοτήτων γιατί δεν έχει προτυποποιηθεί το περιεχόμενο της κάθε θέσης
 - *ISO* – *International Organisation for Standardisation*
 - » *'ISO Latin'* – Υπερσύνολο του *ASCII*
 - » Παρέχει κωδικοποίηση για τις περισσότερες Ευρωπαϊκές Χώρες.
 - » *ISO* – πρότυπα και για γλώσσες με μη λατινικό αλφάβητο
 - *UNICODE* – 16 bit για την αναπαράσταση των συμβόλων (δυνατότητα αναπαράστασης 65536 συμβόλων)

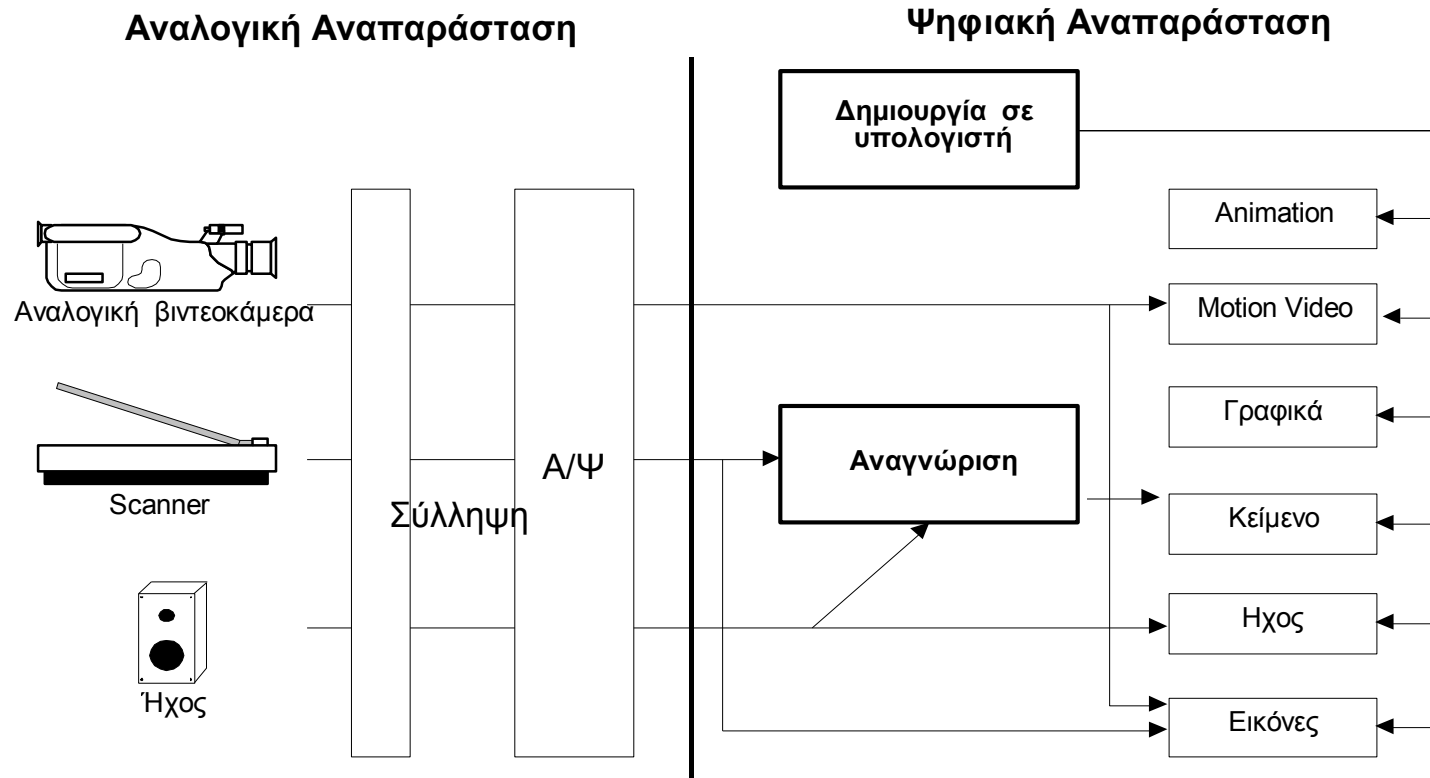


Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (19/66)



Σχηματική Αναπαράσταση της Ψηφιοποίησης
Σήματος

Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (20/66)



Δημιουργία και Μετατροπή διαφόρων τύπων Πληροφορίας



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (21/66)

- Αναλογική & Ψηφιακή Μετάδοση Σημάτων
 - Αναλογικά Σήματα ή Ψηφιακά Σήματα για τη μετάδοση πληροφορίας (Δεδομένων)
 - Αναλογικό Σήμα – Αναλογική Μετάδοση
 - Αναπαριστά Αναλογικά ή Ψηφιακά Δεδομένα
 - Υφίσταται εξασθένηση κατά τη μετάδοσή του – αύξουσα συνάρτηση της απόστασης
 - Τοποθέτηση ενισχυτών για την επίτευξη μεγαλύτερων αποστάσεων
 - Ενισχυτές
 - Ενισχύουν την ενέργεια του σήματος
 - Ενισχύουν συνιστώσες θορύβου
 - Για τα αναλογικά δεδομένα (π.χ., σήματα φωνής) κάποιος βαθμός παραμόρφωσης είναι ανεκτός
 - Για τα ψηφιακά δεδομένα αυτό δεν είναι ανεκτό



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (22/66)

- Αναλογική & Ψηφιακή Μετάδοση Σημάτων
 - Αναλογικά Σήματα ή Ψηφιακά Σήματα για τη μετάδοση πληροφορίας (Δεδομένων)
 - Ψηφιακό Σήμα – Ψηφιακή Μετάδοση
 - Μετάδοση σε περιορισμένη απόσταση για να μην τεθεί σε κίνδυνο η ακεραιότητα της μεταδιδόμενης πληροφορίας λόγω θορύβου, εξασθένησης και άλλων βλαβών κατά τη μετάδοση
 - Χρήση Επαναληπτών
 - Επαναλήπτες
 - Λαμβάνουν το ψηφιακό σήμα
 - Ανακτούν τα ψηφιακά δεδομένα
 - Επαναμεταδίδουν το ψηφιακό σήμα
 - Οι επιδράσεις της παραμόρφωσης και της εξασθένησης μηδενίζονται



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (23/66)

- Αναλογική & Ψηφιακή Μετάδοση Σημάτων
 - Αναλογικά Σήματα ή Ψηφιακά Σήματα για τη μετάδοση πληροφορίας (Δεδομένων)
 - Αναλογικό Σήμα – Ψηφιακή Μετάδοση
 - Μόνο σε περίπτωση που το αναλογικό σήμα αναπαριστά ψηφιακά δεδομένα
 - Χρήση αναμεταδοτών
 - Ίδια τεχνική με τους επαναλήπτες
 - Λαμβάνουν το αναλογικό σήμα, ανακτούν τα ψηφιακά δεδομένα και αναμεταδίδουν ένα αναλογικό σήμα
 - Επιδράσεις θορύβου και εξασθένησης δεν συσσωρεύονται



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (25/66)

- Πλεονεκτήματα Ψηφιακής Αναπαράστασης και Μετάδοσης Σημάτων
 - Ομοιομορφία και Ολοκλήρωση
 - Όλα τα είδη πληροφορίας μπορούν να έρθουν σε ψηφιακή μορφή και να αντιμετωπισθούν με τον ίδιο τρόπο και από το ίδιο υλικό (ίδια μέσα αποθήκευσης, ίδια δίκτυα, ίδια υπολογιστικά συστήματα)
 - Μικρότερη Ευαισθησία Θόρυβο και άλλες βλάβες
 - Ακεραιότητα Δεδομένων
 - Μετάδοση δεδομένων σε μεγαλύτερες αποστάσεις
 - Ασφάλεια & Προστασία Δεδομένων
 - Τεχνικές κρυπτογράφησης μπορούν να εφαρμοστούν με ευκολία σε ψηφιακά και αναλογικά δεδομένα που έχουν ψηφιοποιηθεί



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (26/66)

- Πλεονεκτήματα Ψηφιακής Αναπαράστασης και Μετάδοσης Σημάτων
 - Τεχνικές Πολυπλεξίας εφαρμόζονται ευκολότερα και φθηνότερα με ψηφιακές παρά με αναλογικές τεχνικές
 - Πτώση στο κόστος των ψηφιακών κυκλωμάτων
 - Αποθήκευση της ψηφιακής πληροφορίας στον υπολογιστή διευκολύνει την επεξεργασία της, το φιλτράρισμα, την ταξινόμησή της και την επαναχρησιμοποίησή της (π.χ., δημιουργία πολυμεσικών εφαρμογών)



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (27/66)

- Μειονεκτήματα Ψηφιακής Αναπαράστασης και Μετάδοσης Σημάτων
 - Παραμόρφωση του σήματος λόγω των διαδικασιών της δειγματοληψίας και της κβαντοποίησης
 - Κάποιες τιμές του σήματος αγνοούνται
 - Προσέγγιση των τιμών του σήματος με μία από τις διαθέσιμες στάθμες
 - Η παραμόρφωση μειώνεται με την αύξηση του ρυθμού δειγματοληψίας και με το μήκος της λέξης υπολογιστή που διατίθεται για την κβαντοποίηση του σήματος



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (28/66)

- Βασικά Στοιχεία Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων
 - Σειριακή και Παράλληλη Μετάδοση
 - Σειριακή Μετάδοση
 - Τα bit πληροφορίας που προκύπτουν από την κωδικοποίηση των χαρακτήρων αποστέλλονται το ένα μετά το άλλο στο μέσο μετάδοσης.
 - Συνήθως αποστέλλεται πρώτα το *Least Significant Bit*.
 - Χρησιμοποιείται στη μετάδοση μεγάλων αποστάσεων
 - Παράλληλη Μετάδοση
 - Όλα τα bit ενός χαρακτήρα αποστέλλονται ταυτόχρονα
 - Χρήση πολλαπλών καναλιών μετάδοσης
 - Επικοινωνία υπολογιστών – εκτυπωτών ή γενικά υπολογιστών με περιφερειακά συστήματα μέσω της παράλληλης θύρας
 - Επικοινωνία δεδομένων στους εσωτερικούς διαύλους υπολογιστών γίνεται με παράλληλο τρόπο
 - Ταχύτερη της σειριακής μετάδοσης, αφού 8 bit πληροφορίας μεταδίδονται ταυτόχρονα
 - Απαιτεί πολλά κανάλια μετάδοσης
 - Χρησιμοποιείται σε μικρές αποστάσεις
 - Απαιτούνται και πρόσθετα κανάλια για τη μετάδοση πληροφοριών ελέγχου



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (29/66)

- Βασικά Στοιχεία Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων

- Συγχρονισμός

- Τρόπος με τον οποίο ο δέκτης αντιλαμβάνεται την αρχή και το τέλος των δεδομένων που λαμβάνει
- Αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχή μετάδοση δεδομένων
- Ιδανικά ο ρυθμός μετάδοσης των *bit* από τον πομπό πρέπει να ισούται με το ρυθμό δειγματοληψίας του δέκτη για να μην έχουμε εισαγωγή σφαλμάτων λόγω κακού χρονισμού του πομπού και του δέκτη
- Πομπός – μεταδίδει μία ροή από *bit* με ταχύτητα *1 Mbps*. Το κάθε *bit* μεταδίδεται κάθε *1μsec*, όπως αυτό μετريέται από το κύκλωμα χρονισμού του πομπού
- Δέκτης – κάνει δειγματοληψία του λαμβανόμενου σήματος μία φορά ανά χρόνο μετάδοσης του κάθε *bit*, τυπικά στη μέση της διάρκειας του *bit*. Στην περίπτωσή μας δειγματοληψία κάθε *1μsec*.
- Πρόβλημα και εισαγωγή σφαλμάτων έχουμε εφόσον δεν υπάρχει συγχρονισμός ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη.
- Εάν υπάρχει διαφορά τάξης *1%*, η πρώτη δειγματοληψία θα είναι μετατοπισμένη κατά *0.01μsec* από το κέντρο του *bit*. Μετά από *50* ή περισσότερα δείγματα, ο δέκτης θα κάνει δειγματοληψία σε λανθασμένο χρόνο *bit*, με αποτέλεσμα την εισαγωγή σφαλμάτων.
- Για μικρότερες διαφορές χρονισμού, το σφάλμα εμφανίζεται αργότερα
- Για τη διατήρηση του συγχρονισμού των κυκλωμάτων του πομπού και του δέκτη χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές
 - Σύγχρονη Μετάδοση
 - Ασύγχρονη Μετάδοση



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (30/66)

- Βασικά Στοιχεία Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων

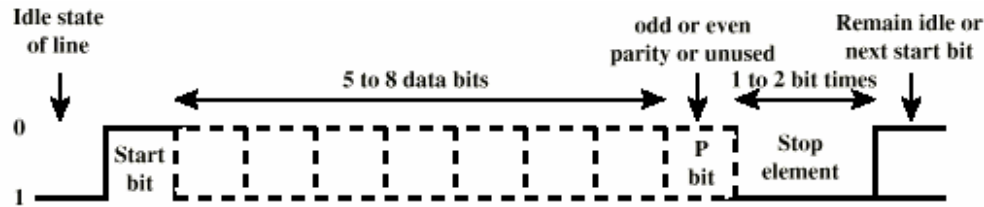
- Συγχρονισμός

- Ασύγχρονη Μετάδοση

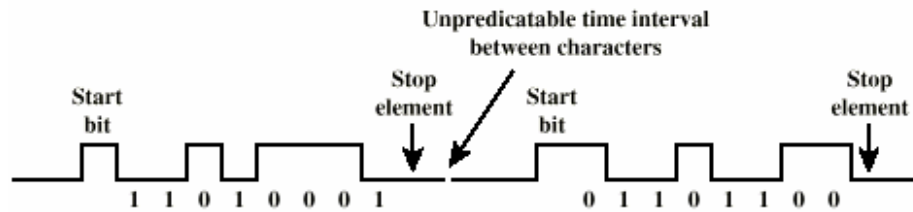
- Τα δεδομένα μεταδίδονται ανά ένα χαρακτήρα κάθε φορά μήκους 5-8 *bit*
- Ο συγχρονισμός πομπού και δέκτη πρέπει να διατηρηθεί μέσα σε κάθε χαρακτήρα.
- Σε περίπτωση που δεν υπάρχει μετάδοση, ο δίαυλος επικοινωνίας είναι σε κατάσταση αδράνειας (*idle*). Αυτή χαρακτηρίζεται με τη λογική τιμή 1.
- Η αρχή ενός χαρακτήρα εμφανίζεται με την αποστολή ενός *bit* έναρξης (*start bit*) που έχει τιμή 0 και χρησιμοποιείται για να ειδοποιηθεί ο δέκτης ότι ακολουθούν 5-8 *bit*. Το *start bit* χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση των κυκλωμάτων χρονισμού του δέκτη
- Συνήθως τα *bit* δεδομένων ακολουθούνται από ένα *bit* ισοτιμίας, το οποίο αποτελεί το *Most Significant Bit –MSB*
- Μετά το *bit* ισοτιμίας μεταδίδεται το *bit* λήξης (*stop bit*) το οποίο είναι 1. Η διάρκεια του *stop bit* είναι 1, 1.5 ή 2 φορές η διάρκεια ενός συνηθισμένου *bit*.
- Το *stop bit* είναι το ίδιο με την κατάσταση αδράνειας του διαύλου
- Ο δίαυλος μένει σε κατάσταση αδράνειας μέχρι να εμφανισθεί το *start bit* του επόμενου χαρακτήρα
- Εάν έχουμε αποστολή μίας σταθερής ροής χαρακτήρων, το διάστημα μεταξύ δύο χαρακτήρων είναι ομοιόμορφο και ίσο με το *stop bit*



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (31/66)

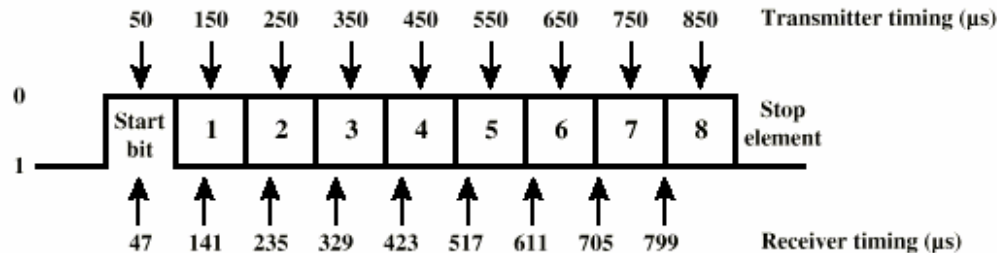


(a) Character format



(b) 8-bit asynchronous character stream

Ασύγχρονη Μετάδοση Δεδομένων



(c) Effect of timing error



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (32/66)

- Βασικά Στοιχεία Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων
 - Συγχρονισμός
 - Ασύγχρονη Μετάδοση
 - Επειδή ο αριθμός των bit του χαρακτήρα είναι μικρός, οι απαιτήσεις συγχρονισμού είναι μέτριες
 - Κακός Συγχρονισμός Πομπού και Δέκτη
 - » Ρυθμός Μετάδοσης Δεδομένων *10 Kbps*. Διάρκεια κάθε *bit*: *100 μsec*
Υποθέτουμε ότι ο δέκτης είναι 6% πιο γρήγορος από τον πομπό.
Επομένως, ο δέκτης κάνει δειγματοληψία κάθε *94 μsec*. Το όγδοο *bit* είναι λανθασμένο.
 - Απλή και οικονομική μέθοδος
 - Επιβαρύνει 2 έως 3 *bit* ανά μεταδιδόμενο χαρακτήρα
 - Για χαρακτήρα μήκους 8 *bit*, έχουμε 1 *start bit*, 1 *stop bit*. Τα 2 *bit* δεν μεταβιβάζουν πληροφορία. Επιβάρυνση 20%.
 - Μικρότερη επιβάρυνση σε περίπτωση που είχαμε μεγαλύτερο μήκος χαρακτήρα.
Μεγαλύτερη πιθανότητα σφάλματος λόγω κακού χρονισμού πομπού και δέκτη



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (33/66)

- Βασικά Στοιχεία Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων
 - Συγχρονισμός
 - Σύγχρονη Μετάδοση
 - Στη σύγχρονη μετάδοση μία ακολουθία bit μεταδίδεται χωρίς κώδικες έναρξης και λήξης. Η ακολουθία *bit* μπορεί να αποτελείται από πολλούς χαρακτήρες που έχουν ομαδοποιηθεί (*block* χαρακτήρων).
 - Σήμα χρονισμού δημιουργείται από κατάλληλα κυκλώματα στον πομπό και συνοδεύει το ψηφιακό σήμα
 - » Σήμα με παλμούς ίσης συχνότητας με το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, των οποίων η ανερχόμενη πλευρά συμπίπτει χρονικά με το μέσο κάθε μεταδιδόμενου *bit*.
 - » Λειτουργεί καλά για μικρές αποστάσεις. Σε μεγαλύτερες αποστάσεις οι παλμοί υπόκεινται στις ίδιες βλάβες που υπόκεινται και τα σήματα δεδομένων με αποτέλεσμα την εμφάνιση σφαλμάτων λόγω κακού χρονισμού
 - » Εναλλακτική λύση η ενσωμάτωση πληροφοριών χρονισμού στα ίδια τα δεδομένα

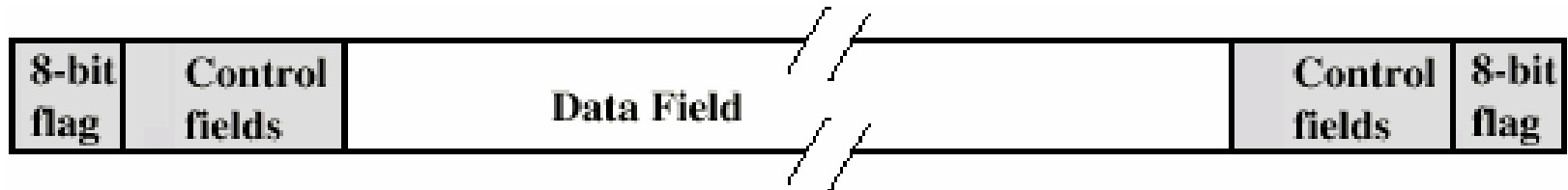


Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (34/66)

- Βασικά Στοιχεία Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων
 - Συγχρονισμός
 - Σύγχρονη Μετάδοση
 - Δεύτερο επίπεδο συγχρονισμού απαιτείται για την αναγνώριση της αρχής και του τέλους μίας ενότητας δεδομένων
 - » Κάθε ενότητα δεδομένων αρχίζει με την ακολουθία συγχρονισμού αρχής (*preamble*) και τελειώνει με την ακολουθία συγχρονισμού τέλους (*postamble*). Επιπρόσθετα, ενσωματώνονται και άλλα *bit* σε πεδία που μεταβιβάζουν πληροφορίες ελέγχου.
 - » Το πεδίο δεδομένων, οι ακολουθίες αρχής και τέλους και τα πεδία ελέγχου αποτελούν το πλαίσιο (*frame*)



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (35/66)



Μορφή Πλαισίου σε Σύγχρονη Μετάδοση Δεδομένων

Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (36/66)

- Βασικά Στοιχεία Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων
 - Συγχρονισμός
 - Σύγχρονη Μετάδοση
 - Διαφορετική Αντιμετώπιση ανάλογα με την Ενότητα Δεδομένων: Ομάδα Χαρακτήρων ή Ακολουθία *Bit*
 - Ομάδα Χαρακτήρων
 - » Αναγνώριση Αρχής: Χαρακτήρας Συγχρονισμού (SYN)-00010110 κατά ASCII.
 - » Ο δέκτης ψάχνει να βρει αυτόν τον χαρακτήρα, οπότε και σηματοδοτείται η αρχή της ομάδας χαρακτήρων.
 - » Υπάρχει περίπτωση ο δέκτης να συνδυάσει ψηφία από διαδοχικούς χαρακτήρες και να σχηματίσει το χαρακτήρα αυτό. Τότε, από το σημείο αυτό και μετά, όλοι οι χαρακτήρες αναγνωρίζονται λανθασμένα από το δέκτη
 - » Η έναρξη σηματοδοτείται από δύο διαδοχικούς χαρακτήρες συγχρονισμού
 - » Στο τέλος της ομάδας χαρακτήρων προστίθεται ένας χαρακτήρας τέλους (pad)
 - » Μόλις ο δέκτης αναγνωρίσει το pad αποσυγχρονίζεται περιμένοντας τους χαρακτήρες SYN της επόμενης ομάδας χαρακτήρων για να επανασυγχρονισθεί



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (37/66)

- Βασικά Στοιχεία Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων
 - Συγχρονισμός
 - Σύγχρονη Μετάδοση
 - Διαφορετική Αντιμετώπιση ανάλογα με την Ενότητα Δεδομένων: Ομάδα Χαρακτήρων ή Ακολουθία *Bit*
 - Ακολουθία *Bit*
 - » Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται με την προσθήκη ειδικού χαρακτήρα (*flag*) στην αρχή και στο τέλος της ακολουθίας
 - Αποδοτική Χρήση του Διαύλου Επικοινωνίας
 - » Πληροφορίες ελέγχου, αρχής και τέλους αποτελούνται από λίγα bit και προστίθενται για τη μετάδοση μίας ενότητας δεδομένων που αποτελείται από πολλά bit.
 - Διαθέτει αποτελεσματικούς μηχανισμούς ελέγχου σφαλμάτων



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (38/66)

- Βασικά Στοιχεία Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων
 - Συγχρονισμός
 - Σύγχρονη Μετάδοση
 - Κάνει αποδοτικότερη χρήση του διαύλου επικοινωνίας από ότι η ασύγχρονη μετάδοση
 - » Πληροφορίες ελέγχου, αρχής και τέλους αποτελούνται από λίγα *bit* και προστίθενται για τη μετάδοση μίας ενότητας δεδομένων που αποτελείται από πολλά *bit*.
 - Διαθέτει αποτελεσματικότερους μηχανισμούς ελέγχου σφαλμάτων σε σχέση με την ασύγχρονη μετάδοση που χρησιμοποιεί το *bit* ισοτιμίας
 - Ασύγχρονη Μετάδοση
 - Εύκολη υλοποίηση με χαμηλού κόστους εξοπλισμό
 - Οι προσωπικοί υπολογιστές έχουν υιοθετήσει την ασύγχρονη μετάδοση ως κύρια μέθοδο επικοινωνίας



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (39/66)

- Βασικά Στοιχεία Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων
 - Μονόδρομη, Ημιαμφίδρομη και Αμφίδρομη Επικοινωνία
 - Μονόδρομη Επικοινωνία (*Simplex*)
 - Το σήμα μεταφέρεται μόνιμα προς μία κατεύθυνση
 - Η μία πλευρά του διαύλου επικοινωνίας συνεχώς εκπέμπει και η άλλη συνεχώς λαμβάνει
 - Παραδείγματα: αποστολή δεδομένων από υπολογιστή σε εκτυπωτή, αποστολή ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σημάτων
 - Ημιαμφίδρομη Επικοινωνία (*Half Duplex*)
 - Η ροή δεδομένων μπορεί να διεξάγεται και προς τις δύο κατευθύνσεις, αλλά όχι ταυτόχρονα
 - Κάθε φορά μπορεί να μεταδώσει μόνο ο ένας από τους δύο σταθμούς
 - Αναφέρεται και ως Δύο Κατευθύνσεων με Εναλλαγή (*Two Way Alternate*)
 - Η κατεύθυνση ροής δεδομένων καθορίζεται κάθε φορά από το ποιος είναι ο πομπός και ποιος είναι ο δέκτης

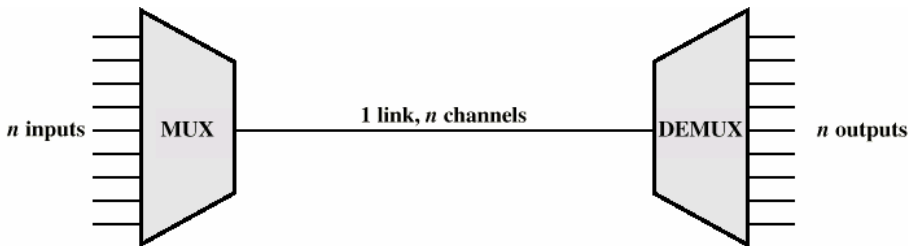


Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (40/66)

- Βασικά Στοιχεία Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων
 - Μονόδρομη, Ημιαμφίδρομη και Αμφίδρομη Επικοινωνία
 - Αμφίδρομη Επικοινωνία (*Duplex*)
 - Η ροή δεδομένων είναι δυνατή ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις
 - Δύο Κατευθύνσεων Ταυτόχρονη Μετάδοση (*Two Way Simultaneous*)



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (41/66)



- Βασικά Στοιχεία Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων
 - Πολυπλεξία (*Multiplexing*)
 - Τεχνικές πολυπλεξίας επιτρέπουν τον διαμοιρασμό της χωρητικότητας ενός διαύλου επικοινωνίας σε πολλαπλές πηγές
 - Αποδοτική χρήση περιορισμένων χωρητικοτήτων μετάδοσης
 - Τεχνικές Πολυπλεξίας
 - Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (*Frequency Division Multiple Access*)
 - Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου (*Time Division Multiple Access*)
 - Πολυπλεξία Διαίρεσης Μήκους Κύματος (*Wavelength Division Multiplexing*)

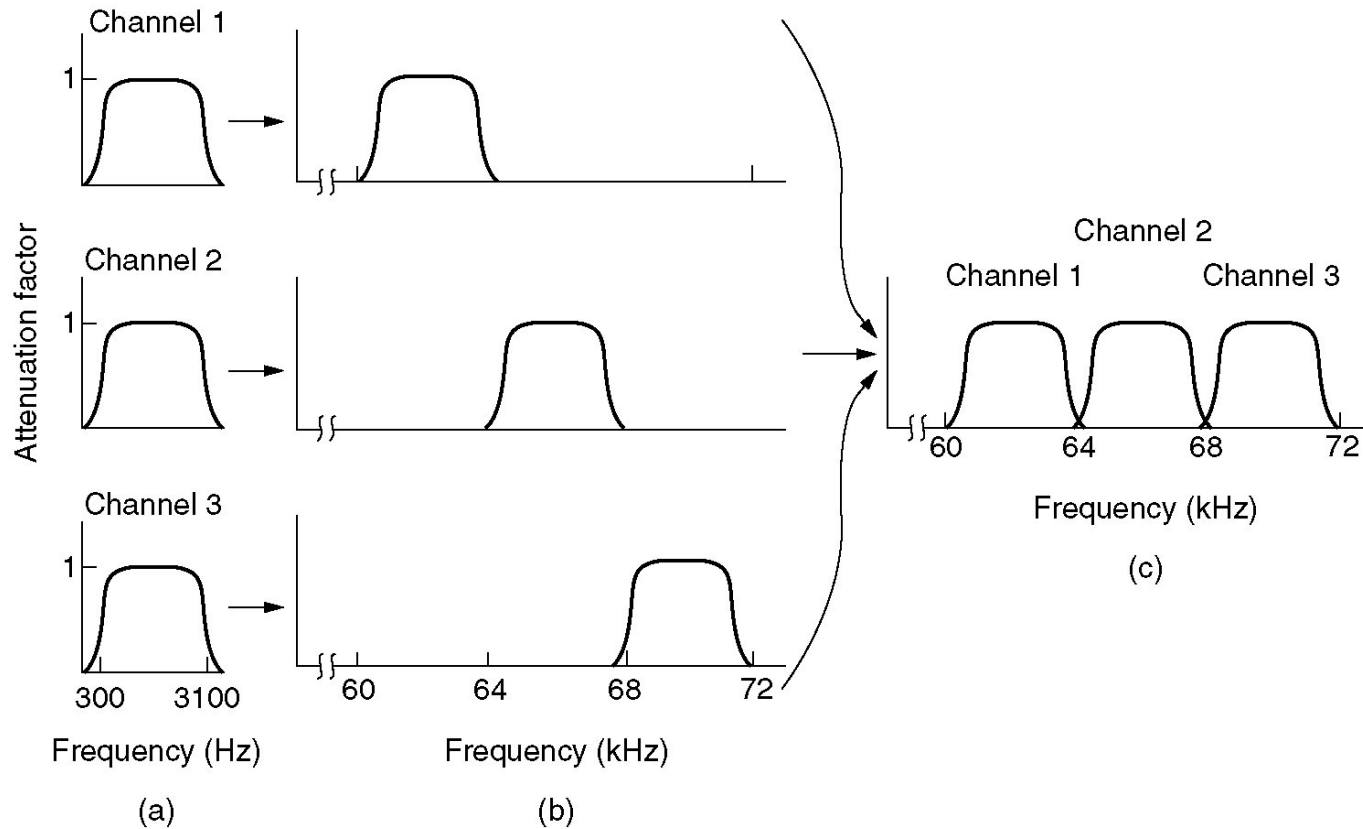


Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (42/66)

- Βασικά Στοιχεία Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων
 - Πολυπλεξία (*Multiplexing*)
 - Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (*Frequency Division Multiple Access*)
 - Χρησιμοποιείται για αναλογικά σήματα
 - Σήματα διαφορετικών ζωνών συχνοτήτων μοιράζονται τον ίδιο δίαυλο επικοινωνίας
 - Απαιτείται εξοπλισμός διαμόρφωσης για τη μετατόπιση του κάθε σήματος στην καθορισμένη ζώνη συχνοτήτων και εξοπλισμός πολυπλεξίας (πολυπλέκτες) για τη συνένωση των διαμορφωμένων σημάτων πάνω στον κοινό δίαυλο επικοινωνίας.



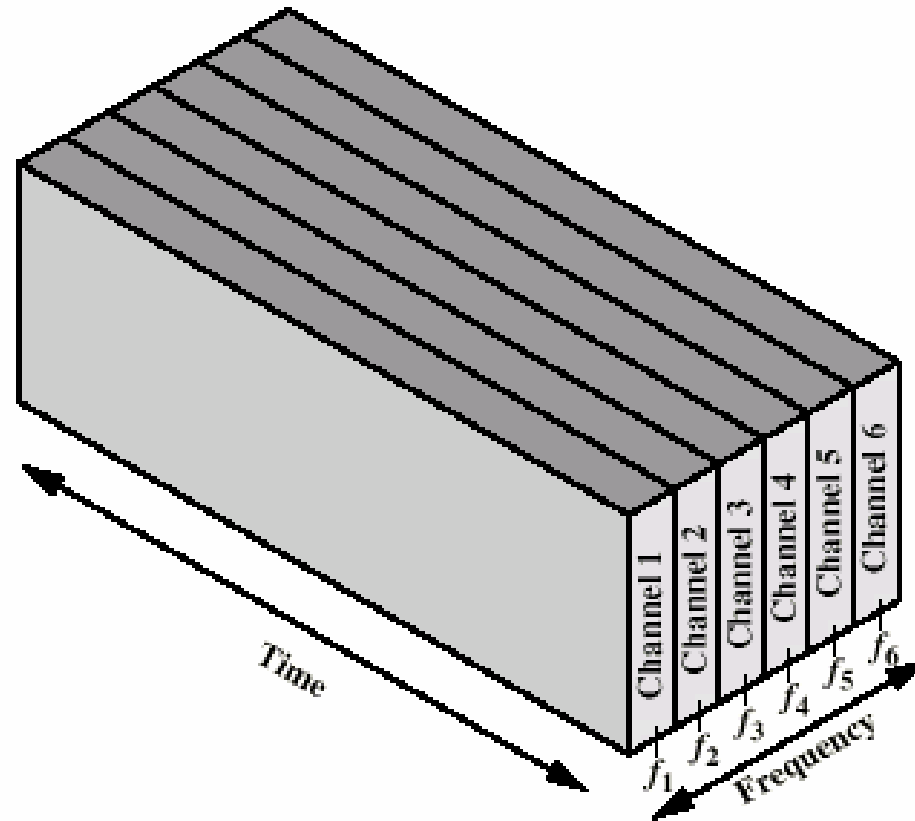
Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (43/66)



Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (44/66)



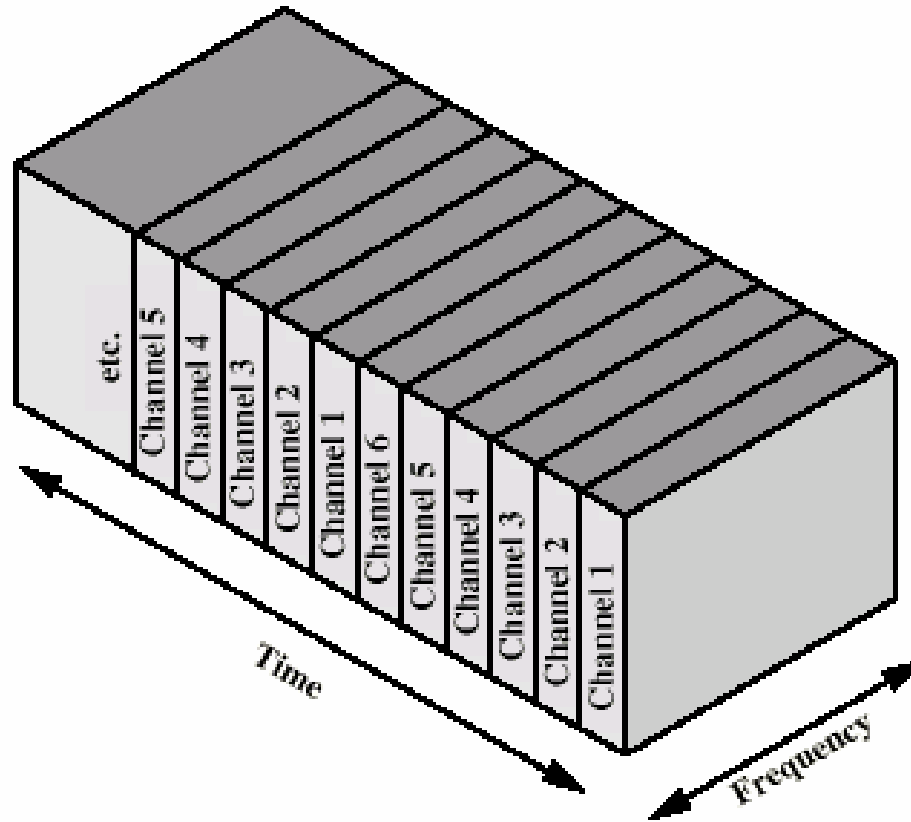
Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας

Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (45/66)

- Βασικά Στοιχεία Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων
 - Πολυπλεξία (*Multiplexing*)
 - Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου (*Time Division Multiple Access*)
 - Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ψηφιακά σήματα ή για αναλογικά σήματα που μεταφέρουν ψηφιακά δεδομένα
 - Η μετάδοση σημάτων επιτυγχάνεται με τη μετάδοση επαναλαμβανομένων πλαισίων που αποτελούνται από ένα αριθμό χρονοθυρίδων (*Time slots*)
 - Σε κάθε σήμα αντιστοιχεί μία ή περισσότερες χρονοθυρίδες ανά πλαίσιο

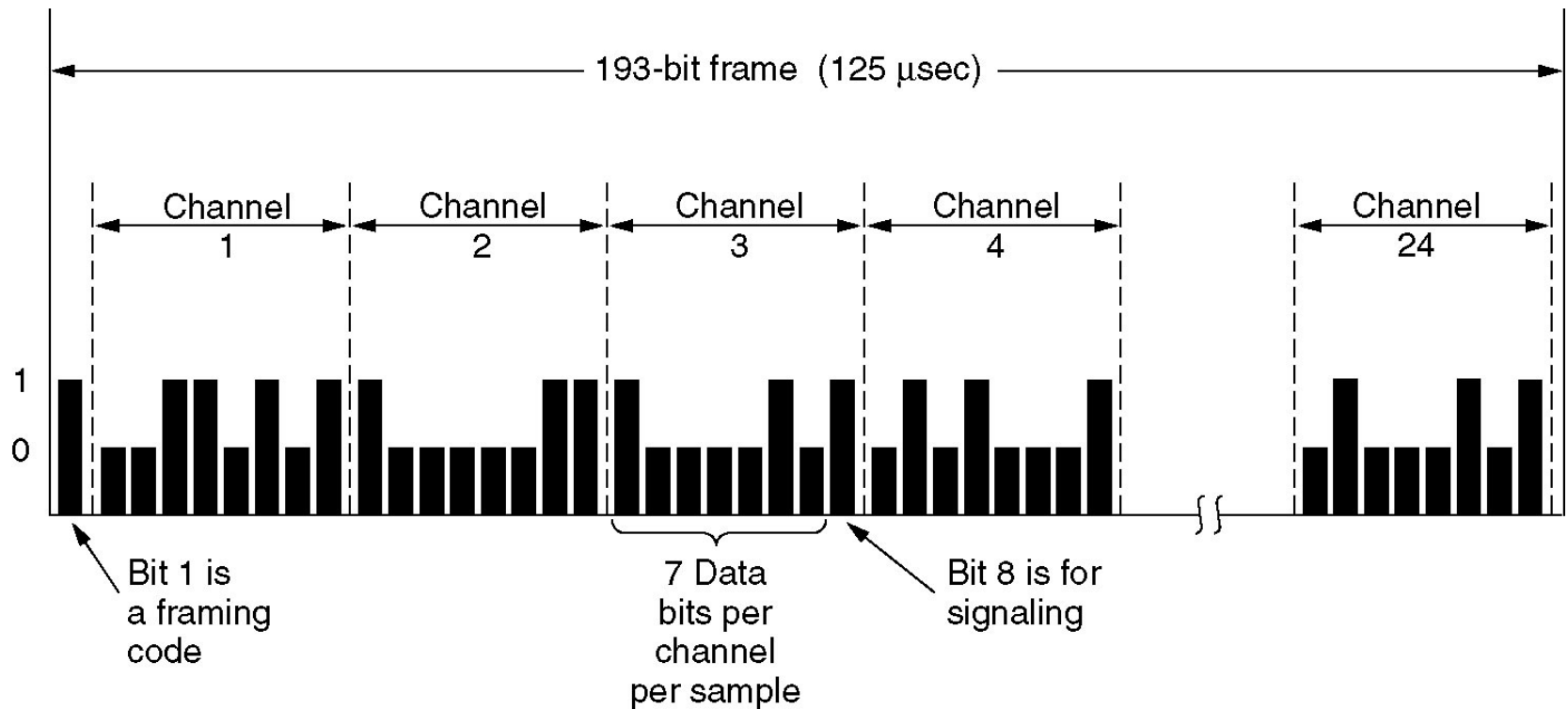


Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (46/66)



Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου

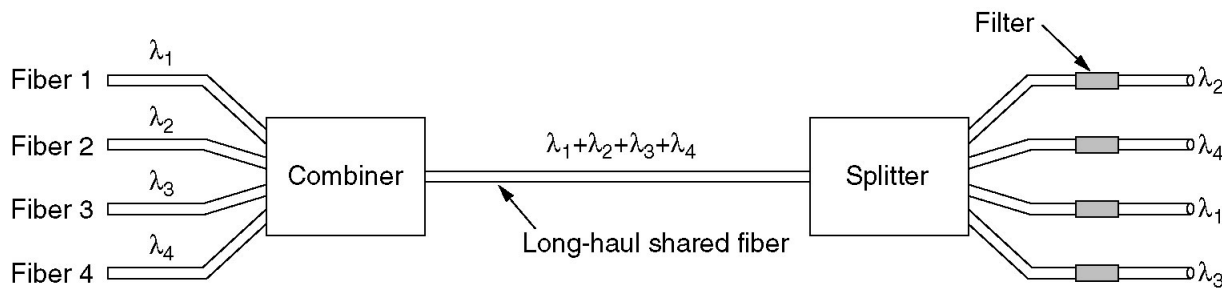
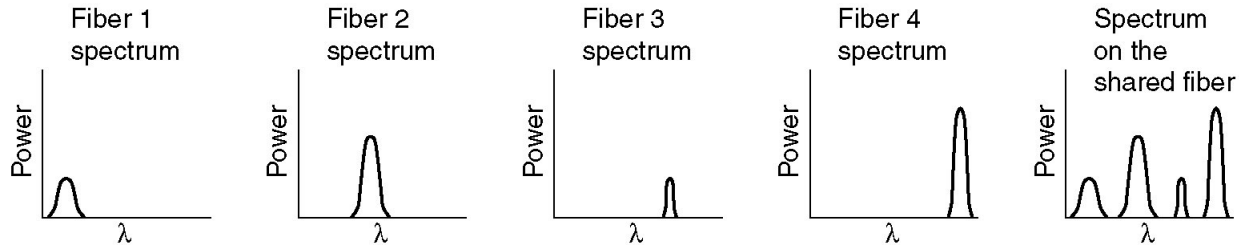
Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (47/66)



Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (48/66)



- Βασικά Στοιχεία Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων
 - Πολυπλεξία (*Multiplexing*)
 - Πολυπλεξία Διάρθρωσης Μήκους Κύματος (*Wavelength Division Multiplexing*)
 - Χρησιμοποιείται για μετάδοση σε οπτικές ίνες
 - Πολλές φωτεινές πηγές εκπέμπουν σήματα (οπτικά) διαφορετικού χρώματος στην ίδια οπτική ίνα

Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (49/66)

- Σχεδιασμός Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων
 - Βασικές Παράμετροι
 - Εύρος Ζώνης του Διαύλου Επικοινωνίας
 - Ρυθμός Μετάδοσης
 - Θόρυβος και άλλες βλάβες που αλλοιώνουν την ποιότητα λήψης της μεταδιδόμενης πληροφορίας
 - Ρυθμός Σφαλμάτων που θεωρείται αποδεκτός
 - Ισχύς Εκπεμπόμενου Σήματος
 - Δύο κύριοι πόροι
 - Ισχύς Εκπεμπόμενου Σήματος (*Transmitted Power*)
 - Εύρος Ζώνης Διαύλου (*Channel Bandwidth*)
 - Στόχος Σχεδίασης
 - Αποδοτική χρήση αυτών των πόρων
 - Σε κάθε τηλεπικοινωνιακό σύστημα ένας πόρος μπορεί να θεωρηθεί σημαντικότερος από έναν άλλο.
 - Τηλεφωνικό σύστημα – περιορισμός εύρου ζώνης
 - Δορυφορικό Σύστημα – περιορισμός εκπεμπόμενης ισχύος



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (50/66)

- Σχεδιασμός Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων
 - Εύρος Ζώνης Διαύλου
 - Το εύρος ζώνης σήματος περιορίζεται από το μέσο μετάδοσης και από τη χρήση τεχνικών πολυπλεξίας σε συνδυασμό με την επιθυμία μας για αποφυγή παρεμβολών με άλλα σήματα
 - Σε ένα σύστημα μετάδοσης το σήμα εξασθενεί. Ταυτόχρονα υφίσταται και παραμόρφωση, καθώς όλες οι συνιστώσες συχνότητες του σήματος δεν μειώνονται στον ίδιο βαθμό.
 - Συνήθως, μέχρι κάποια συχνότητα f_c , το σήμα δεν υφίσταται σημαντική εξασθένηση. Η περιοχή των συχνοτήτων του σήματος που μεταδίδονται χωρίς σημαντική εξασθένηση ονομάζεται **εύρος ζώνης διαύλου**
 - Ως ονομαστικό εύρος ζώνης δίδεται η τιμή από 0 έως τη συχνότητα για την οποία διέρχεται η μισή ισχύς του σήματος.
 - Το εύρος ζώνης διαύλου εξαρτάται από την κατασκευή, το πάχος και το μήκος του μέσου μετάδοσης



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (51/66)

- Σχεδιασμός Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων
 - Εύρος Ζώνης Διαύλου
 - Σε ένα τηλεφωνικό σύστημα, το τηλεφωνικό σύρμα μπορεί να έχει εύρος ζώνης 1 MHz. Τα ακουστικά σήματα περιορίζονται στα 3400 Hz, ώστε με χρήση τεχνικών πολυπλεξίας να έχουμε αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης διαύλου
 - Ρυθμός Δεδομένων
 - Προσπαθούμε να επιτύχουμε μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων για συγκεκριμένο εύρος ζώνης.
 - Περιορίζεται από το εύρος ζώνης, την παρουσία βλαβών κατά τη μετάδοση του σήματος και τον αποδεκτό ρυθμό σφαλμάτων
 - Ισχύς Εκπομπής
 - Καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη την ευαισθησία του δέκτη, τις πηγές θορύβου και τον αποδεκτό ρυθμό σφαλμάτων



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (52/66)

- Σχεδιασμός Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων
 - Βλάβες κατά τη Μετάδοση
 - Εξασθένηση
 - Παραμόρφωση Καθυστέρησης
 - Θόρυβος
 - Εξασθένηση
 - Η ισχύς ενός σήματος μειώνεται με την απόσταση πάνω από οποιοδήποτε μέσο μετάδοσης

$$N = 10 \log_{10} \frac{P_r}{P_t}$$

όπου

είναι η εξασθένηση του σήματος σε dB

είναι η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος στο δέκτη

είναι η ισχύς του εκπεμπόμενου σήματος από τον πομπό



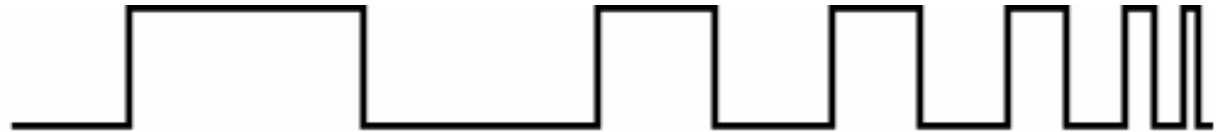
Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (53/66)

- Σχεδιασμός Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων
 - Βλάβες κατά τη μετάδοση
 - Εξασθένηση
 - Το σήμα που θα εκπέμπεται πρέπει να έχει αρκετή ισχύ, ώστε το σήμα που λαμβάνεται από το δέκτη να μπορεί να ανιχνευθεί από τα κυκλώματα του δέκτη
 - Το εκπεμπόμενο σήμα πρέπει να διατηρεί ένα υψηλότερο επίπεδο από το θόρυβο για να μπορεί να ληφθεί χωρίς λάθη
 - Επιλογή Κατάλληλης Ισχύος Εκπομπής
 - Χρήση Ενισχυτών ή Επαναληπτών / Αναμεταδοτών κατά τη μετάδοση του σήματος
 - Το σήμα πρέπει να έχει αρκετή ισχύ για να παραληφθεί σωστά στο δέκτη, αλλά δεν πρέπει να ξεπεράσει ένα επίπεδο στο οποίο τα κυκλώματα του πομπού και του δέκτη υπερφορτώνονται προκαλώντας παραμόρφωση
 - Εξασθένηση – Αύξουσα συνάρτηση της συχνότητας
 - Ισοστάθμιση της εξασθένησης σε μία ζώνη συχνοτήτων
 - » Τηλεφωνικές γραμμές: χρήση πηνίων επιμηκύνσεως που αλλάζουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της γραμμής με αποτέλεσμα την εξομάλυνση των επιδράσεων της εξασθένησης
 - » Ενίσχυση των υψηλότερων συχνοτήτων περισσότερο από τις χαμηλές συχνότητες



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (54/66)

Voltage at transmitting end



Voltage at receiving end



Εξασθένηση Σημάτων



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (55/66)

- Σχεδιασμός Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων
 - Βλάβες κατά τη μετάδοση
 - Παραμόρφωση Καθυστέρησης
 - Ταχύτητα διάδοσης ενός σήματος μέσω ενός μέσου ποικίλλει ανάλογα με τη συχνότητα
 - Διαφορετικές συνιστώσες συχνότητας του σήματος κινούνται με διαφορετική ταχύτητα.
 - Οι διάφορες συνιστώσες συχνότητας ενός σήματος θα φθάσουν στο δέκτη σε διαφορετικούς χρόνους αποφέροντας μετατοπίσεις φάσεως μεταξύ των διαφορετικών συχνοτήτων
 - Ιδιαίτερα κρίσιμη για τα ψηφιακά δεδομένα
 - Ας θεωρήσουμε μία ακολουθία *bit* που μεταδίδεται μέσω αναλογικών ή ψηφιακών σημάτων. Λόγω της παραμόρφωσης καθυστέρησης, κάποιες συνιστώσες του σήματος από τη θέση ενός *bit*, θα απλωθούν στις θέσεις άλλων *bit*, προκαλώντας το φαινόμενο της διασυμβολικής παρεμβολής (*intersymbol interference*), η οποία αποτελεί σημαντικό περιοριστικό παράγοντα για το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης σε ένα δίαυλο επικοινωνίας.



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (56/66)

- Σχεδιασμός Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων
 - Βλάβες κατά τη μετάδοση
 - Θόρυβος
 - Ανεπιθύμητα σήματα που υπεισέρχονται μεταξύ της μετάδοσης και της λήψης
 - Κατηγορίες Θορύβου
 - » Θερμικός Θόρυβος (*Thermal Noise*)
 - » Θόρυβος Ενδοδιαμόρφωσης (*Intermodulation Noise*)
 - » Συνακρόαση (*Crosstalk*)
 - » Κρουστικός Θόρυβος (*Impulse Noise*)



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (57/66)

- Σχεδιασμός Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων
 - Βλάβες κατά τη μετάδοση
 - Θόρυβος
 - Θερμικός Θόρυβος
 - » Οφείλεται στη θερμική αναταραχή των ηλεκτρονίων και είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας
 - » Απλώνεται ομοιόμορφα κατά μήκος του φάσματος συχνοτήτων και αναφέρεται και ως λευκός θόρυβος
 - » Δεν μπορεί να εξουδετερωθεί και επομένως θέτει ένα άνω όριο στην απόδοση των συστημάτων

$$N = K \cdot T \cdot B$$

Όπου

N είναι ο θόρυβος (*Watt*)

K είναι η σταθερά Boltzmann ($1,3803 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$)

T είναι η θερμοκρασία σε βαθμούς *Kelvin*

B είναι το εύρος ζώνης διαύλου



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (58/66)

- Σχεδιασμός Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων
 - Βλάβες κατά τη μετάδοση
 - Θόρυβος
 - Θόρυβος Ενδοδιαμόρφωσης
 - » Παρουσιάζεται όταν σήματα διαφορετικών συχνοτήτων μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης
 - » Παραγωγή σημάτων σε μία συχνότητα που είναι το άθροισμα ή η διαφορά των δύο αρχικών συχνοτήτων ή πολλαπλάσια αυτών των συχνοτήτων
 - » Ανάμιξη σημάτων στις συχνότητες f_1 και f_2 μπορεί να παράγει ενέργεια στη συχνότητα f_1+f_2 . Αυτό το παράγωγο σήμα θα μπορούσε να παρεμβληθεί στη μετάδοση ενός σήματος συχνότητας f_1+f_2 .
 - » Παράγεται όταν υπάρχει κάποια μη γραμμικότητα στον πομπό, στο δέκτη ή στο σύστημα μετάδοσης. Μπορεί να προκληθεί από δυσλειτουργία των μηχανημάτων ή με χρήση υπερβολικής ισχύος εκπομπής



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (59/66)

- Σχεδιασμός Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων
 - Βλάβες κατά τη μετάδοση
 - Θόρυβος
 - Συνακρόαση
 - » Επαγωγή μεταξύ σημάτων διαφορετικών καναλιών
 - » Ηλεκτρική επαγωγή μεταξύ κοντινών συνεστραμμένων ζευγών ή σε ομοαξονικά καλώδια που φέρουν πολλαπλά σήματα.
 - » Μικροκυματικές ζεύξεις
 - » Ίδιου ή μικρότερου μεγέθους από το θερμικό θόρυβο
 - Κρουστικός Θόρυβος
 - » Μη συνεχής, αποτελούμενος από ανώμαλους παλμούς ή θόρυβο πολύ μικρής διάρκειας και πολύ μεγάλου πλάτους
 - » Οφείλεται σε εξωτερικές ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές (π.χ., αστραπή), βλάβες και ελαττώματα στα συστήματα επικοινωνιών
 - » Μικρή ενόχληση για τα αναλογικά δεδομένα, εισαγωγή σφαλμάτων για τα ψηφιακά δεδομένα
 - » Για παράδειγμα, ένα αιχμηρό σήμα θορύβου διάρκειας 0.01 sec δεν θα κατάστρεφε δεδομένα φωνής, αλλά θα αλλοίωνε περίπου 560 bit δεδομένων, θεωρώντας ρυθμό μετάδοσης 56 kbps.

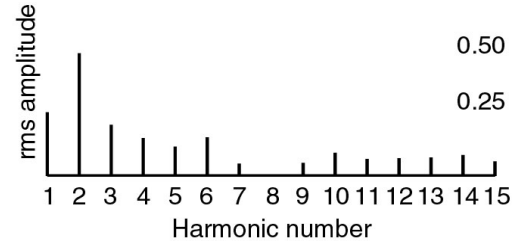
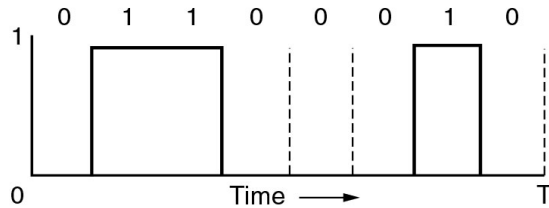


Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (60/66)

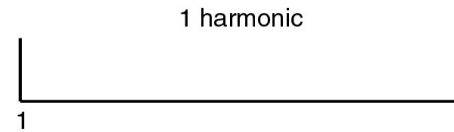
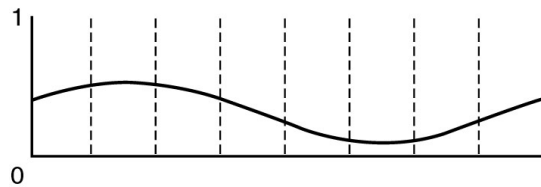
- Σχεδιασμός Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων
 - Ρυθμός Μετάδοσης & Χωρητικότητα Διαύλου Επικοινωνίας
 - Βλάβες κατά τη μετάδοση αλλοιώνουν και παραμορφώνουν ένα σήμα. Οι βλάβες αυτές περιορίζουν το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων που μπορεί να επιτευχθεί
 - Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων πάνω από ένα δίαυλο επικοινωνίας αναφέρεται ως χωρητικότητα διαύλου επικοινωνίας (*channel capacity*)
 - Θεωρώντας δίαυλο επικοινωνίας χωρίς θόρυβο, το εύρος ζώνης του σήματος καθορίζει το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Βέβαια, το σύστημα μετάδοσης μπορεί να αξιοποιήσει ένα μόνο περιορισμένο αριθμό συχνοτήτων, γεγονός που περιορίζει το ρυθμό μετάδοσης
 - Πρακτικοί, οικονομικοί και λόγοι αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας υπαγορεύουν περιορισμό του εύρους ζώνης των ψηφιακών σημάτων
 - Περιορισμός του εύρους ζώνης δημιουργεί παραμορφώσεις που κάνουν την ερμηνεία του σήματος δυσκολότερη.
 - Όσο μεγαλύτερος είναι ο περιορισμός του εύρους ζώνης, τόσο μεγαλύτερη είναι η παραμόρφωση και τόσο μεγαλύτερη η δυνατότητα για εισαγωγή λαθών στο δέκτη



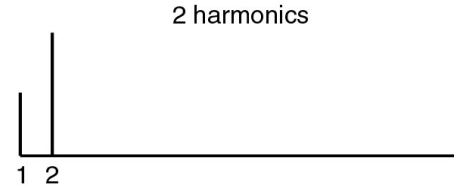
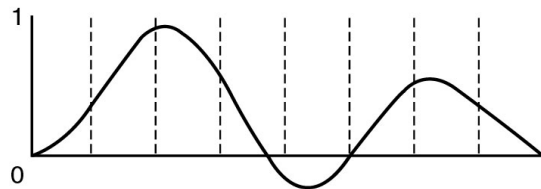
Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (61/66)



(a)



(b)

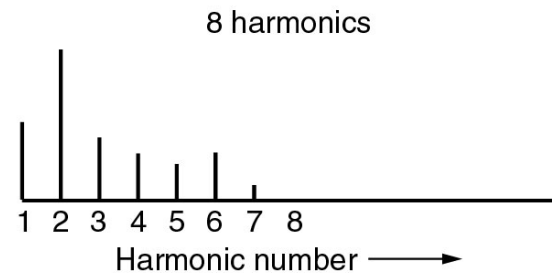
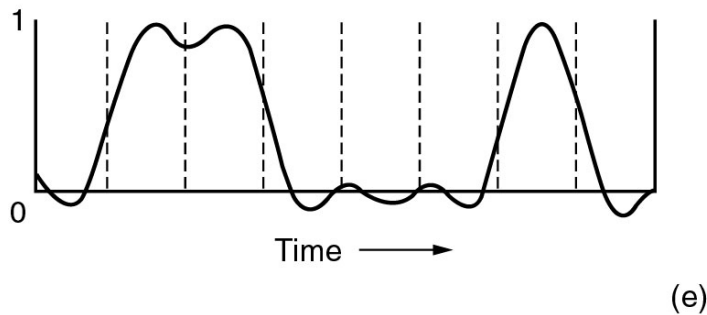
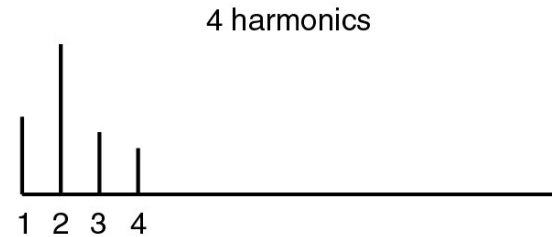
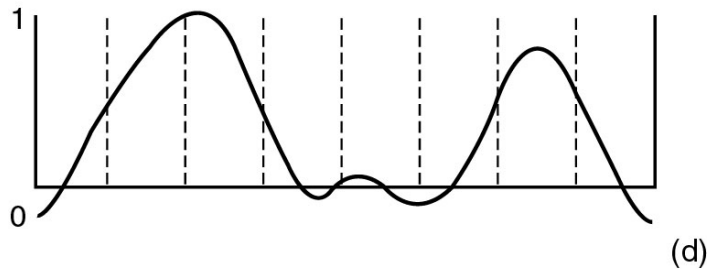


(c)

Διαδοχικές προσεγγίσεις του αρχικού ψηφιακού σήματος



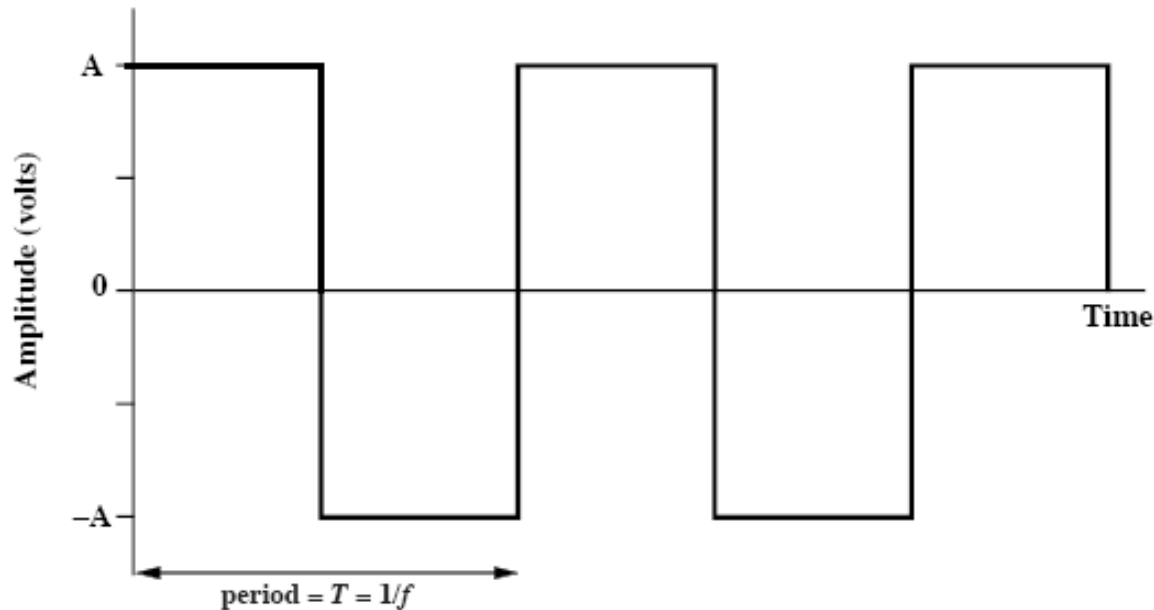
Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (62/66)



Διαδοχικές προσεγγίσεις του αρχικού ψηφιακού σήματος



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (63/66)



Ψηφιακό Σήμα συχνότητας f με εύρος $-A$ και A
Διάρκεια κάθε παλμού $\tau=1/2f$, ρυθμός μετάδοσης $2f$

Ανάλυση *Fourier*:
$$s(t) = A \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{k \text{ odd}, k=1}^{\infty} \frac{\sin(2\pi kft)}{k}$$



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (64/66)

- Σχεδιασμός Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων
 - Ρυθμός Μετάδοσης & Χωρητικότητα Διαύλου Επικοινωνίας
 - Άπειρο Εύρος Ζώνης. Στην πράξη το εύρος ζώνης περιορίζεται από τις αρχικές συνιστώσες συχνότητες, αφού το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας του σήματος είναι συγκεντρωμένο εκεί
 - Θεωρούμε τώρα ότι το σήμα προσεγγίζεται από τις τρεις πρώτες συνιστώσες συχνότητες. Επίσης υποθέτουμε ότι $f=1MHz$. Τότε το εύρος του είναι $5f-f=4f=4MHz$ και ο ρυθμός μετάδοσής του είναι $2f=2Mbps$.
 - Με την ίδια προσέγγιση σήματος, διπλασιασμός του εύρους ζώνης ($8MHz$) με συχνότητα σήματος $f=2MHz$, σημαίνει και διπλασιασμό του ρυθμού μετάδοσης του σήματος ($4Mbps$).
 - Θεωρώντας ότι το σήμα προσεγγίζεται από τις δύο πρώτες συνιστώσες συχνότητες, υποθέτοντας ότι με αυτή την προσέγγιση το σήμα είναι αρκετά ευδιάκριτο. Με συχνότητα σήματος $f=2MHz$, το εύρος ζώνης είναι $2f=4MHz$ και ο ρυθμός μετάδοσης επίσης $2f=4Mbps$.
 - Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ένα εύρος ζώνης μπορεί να υποστηρίξει διάφορους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων ανάλογα με την ικανότητα του δέκτη να διακρίνει τα δεδομένα υπό την παρουσία θορύβου και άλλων βλαβών.



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (65/66)

- Σχεδιασμός Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων
 - Ρυθμός Μετάδοσης & Χωρητικότητα Διαύλου Επικοινωνίας
 - *Henry Nyquist* 1924 καθόρισε το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων για ένα αθόρυβο κανάλι με πεπερασμένο εύρος ζώνης
 - Αν οποιοδήποτε σήμα διέλθει από ένα χαμηλοδιαβατό φίλτρο με εύρος ζώνης H , το φιλτραρισμένο σήμα μπορεί να ανακατασκευασθεί πλήρως αν λάβουμε μόνο $2H$ δείγματα ανά δευτερόλεπτο. Η δειγματοληψία της γραμμής περισσότερο από $2H$ δεν έχει νόημα, αφού οι τυχόν υψηλότερης συχνότητας συνιστώσες που θα μπορούσαν να ανακτηθούν από τη δειγματοληψία έχουν ήδη φιλτραρισθεί. Αν το σήμα αποτελείται από M διακριτά επίπεδα, τότε το θεώρημα δειγματοληψίας του *Nyquist* δηλώνει ότι

$$C = 2H \log_2 M$$



Σήματα & Μετάδοση Σημάτων (66/66)

- Σχεδιασμός Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων

- Ρυθμός Μετάδοσης & Χωρητικότητα Διαύλου Επικοινωνίας

- *Claude Shannon* 1948 επέκτεινε τη δουλειά του *Nyquist* στην περίπτωση ενός καναλιού με θόρυβο.
 - Η προηγούμενη σχέση παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$C = H \log_2(1 + S / N)$$

Όπου S/N είναι ο λόγος σήματος προς θόρυβο

- Για παράδειγμα ένα κανάλι με εύρος ζώνης 3000Hz και με λόγο σήματος προς θερμικό θόρυβο 30dB (τυπικές παράμετροι του αναλογικού τμήματος του τηλεφωνικού συστήματος) δεν μπορεί να μεταδώσει πολύ περισσότερα από 30000bps



Τέλος Ενότητας



Σημείωμα Αναφοράς

- Copyright Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Λούτα Μαλαματή. «Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες». Έκδοση: 1.0. Κοζάνη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.uowm.gr/courses/ICTE277/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

1. William Stallings, "Επικοινωνίες Υπολογιστών και Δεδομένων", 8η εκδοση
2. Andrew Tanenbaum, "Δίκτυα Υπολογιστών"
3. Α. Αλεξόπουλος και Γ. Λαγογιάννης, "Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών"
Στο μάθημα Δίκτυα Τηλεπικοινωνιών, επιπρόσθετα στη βιβλιογραφία έχουμε και το Ιάκωβος Βενιέρης, "Δίκτυα Ευρείας Ζώνης"
4. Τεχνολογίες αποκατάστασης εδαφών και υπογείων υδάτων από επικίνδυνους ρύπους, Ε. Γιδαράκος, Μ. Αιβαλιώτη, Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη, 2005.
5. Περιβάλλον και βιομηχανική ανάπτυξη, τόμος Β, Καλδέλης Ιωάννης Κ., Κονδύλη Αιμιλία Μ., εκδόσεις Σταμούλη ΑΕ, 2006.

