



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

# Τηλεπικοινωνίες

Ενότητα 1 :Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες

Δημοσθένης Βουγιούκας (dnougiou@aegean.gr)

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# 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 Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» 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 & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# Εισαγωγή στις Επικοινωνίες

4

- Περιεχόμενα:
  - ▣ Ιστορική Αναδρομή
  - ▣ Ταξινόμηση των Σημάτων
  - ▣ Ανάλυση των Σημάτων κατά Fourier
  - ▣ Μοντέλο Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων

# Εισαγωγή στις Επικοινωνίες

5

- Τι είναι **επικοινωνία (communication)**;
- Η επικοινωνία είναι η μετάδοση **πληροφορίας** (information) από ένα σημείο σε ένα άλλο μέσω μιας ακολουθίας διαδικασιών.
- Τι είναι **τηλεπικοινωνία (telecommunication)**;
- Υποβοηθούμενη με τεχνικά μέσα μετάδοση σημάτων σε κάποια απόσταση (από το αρχαίο ελληνικό *τηλε*).

# Εισαγωγή στις Επικοινωνίες

6

- Για να θεωρηθεί επιτυχής η μετάδοση (επικοινωνία), θα πρέπει ο δέκτης να μπορεί να ανακτήσει σωστά (ή επαρκώς αξιόπιστα) την πληροφορία.
- Τι είναι **πληροφορία (information)**;
- Η πληροφορία σχετίζεται με την αβεβαιότητα (uncertainty) μιας τυχαίας μεταβλητής ή γενικότερα μίας τυχαίας στοχαστικής διαδικασίας.
- Το μέτρο της πληροφορίας είναι η **εντροπία (entropy)**.

# Εισαγωγή στις Επικοινωνίες

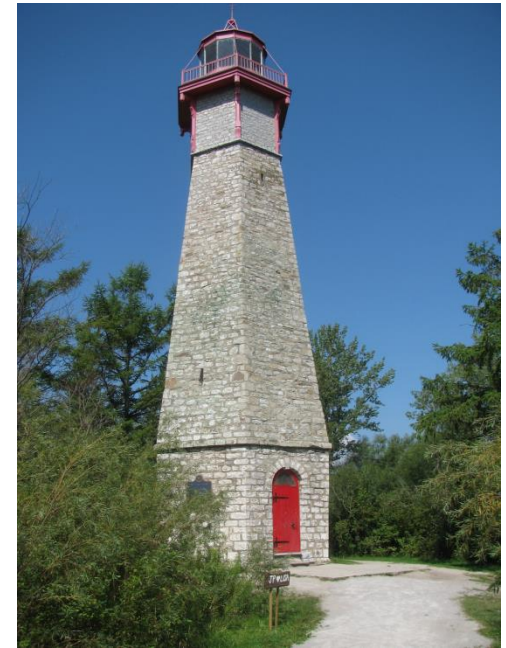
7

- Διαδικασίες για τη μετάδοση πληροφορίας από ένα σημείο σε ένα άλλο:
  - ▣ Τη δημιουργία ενός προτύπου ή εικόνας στο μυαλό κάποιου.
  - ▣ Την περιγραφή αυτής της εικόνας με κάποια ακρίβεια, χρησιμοποιώντας ένα σύνολο ακουστικών ή οπτικών συμβόλων.
  - ▣ Την κωδικοποίηση αυτών των συμβόλων σε μια μορφή κατάλληλη προς μετάδοση, από το μέσο που μας ενδιαφέρει.
  - ▣ Τη μετάδοση των κωδικοποιημένων συμβόλων στον επιθυμητό προορισμό.
  - ▣ Την αποκωδικοποίηση και αναπαραγωγή των αρχικών συμβόλων.
  - ▣ Την αναδημιουργία της αρχικής εικόνας, με μια καθορισμένη ποιοτική υποβάθμιση. (Η υποβάθμιση αυτή προκαλείται από ατέλειες του συστήματος.)

# Εισαγωγή στις Επικοινωνίες

8

- Παραδείγματα Επικοινωνίας:
  - ▣ Μετάδοση αποτελεσμάτων αγώνων μέσω ραδιοφώνου
  - ▣ Αποστολή αρχείων μέσω Διαδικτύου
  - ▣ Μετάδοση μηνύματος πείνας από το στομάχι στον εγκέφαλο μέσω του νευρικού συστήματος
  - ▣ Απενεργοποίηση συναγερμού αυτοκινήτου μέσω του αέρα (ασύρματο κανάλι)
  - ▣ Αποστολή επιστολής μέσω ταχυδρομείου
  - ▣ ....





# Ιστορική Αναδρομή

- Οι επικοινωνίες και οι τηλεπικοινωνίες ήταν πάντα βασικές για κάθε πόλη.
- Το προνόμιο των γρήγορων επικοινωνιών το είχαν οι κυβερνήτες και οι ανώτεροι στρατιωτικοί κάθε περιοχής
- Ταχυδρόμοι
  - ▣ Ο πρώτος τύπος επικοινωνίας ήταν με πεζούς ή έφιππους δρομείς.
- Σφυρίγματα
  - ▣ Οι Γκουάντσε, οι κάτοικοι των Καναρίων Νησιών, χρησιμοποιούσαν μια ειδική γλώσσα σφυριγμάτων για να επικοινωνούν σε μεγάλες αποστάσεις.

# Ιστορική Αναδρομή

10

## □ Σήματα καπνού

- ▣ Χρησιμοποιούνταν από τους Κινέζους στρατιώτες στο Σινικό Τείχος για προειδοποίηση για επικείμενη επίθεση. Τα νέα μεταδίδονταν σε μία απόσταση 480km σε μερικές ώρες.

## □ Ακουστικά Σήματα

- ▣ Ορισμένες φυλές ιθαγενών στην Αφρική και στην Αμερική χρησιμοποιούσαν ήχους *τυμπάνων* για να μεταφέρουν πληροφορία.

## □ Ταχυδρομικά Περιστερία

- ▣ Οι αρχαίο Έλληνες και οι Ρωμαίοι τα χρησιμοποιούσαν για να μεταφέρουν πληροφορίες σε μεγάλες αποστάσεις.

# Ιστορική Αναδρομή



11

## □ Φρυκτωρίες

- Σύστημα μηνυμάτων με φωτιά. Δημιουργείται ο πρώτος κώδικας με οπτικά σήματα.

## □ Ανακλαστήρες ενίσχυσης

- Τα σήματα από τις φωτιές λέγεται ότι βοηθούταν με ειδικούς ανακλαστήρες να φανούν αρκετά μακριά (γυαλισμένες ασπίδες). Αργότερα η χρήση κανονικών κατόπτρων μπορούσε να χρησιμοποιήσει και την αντανάκλαση του ηλιακού φωτός για επικοινωνία (φάρος της Αλεξανδρείας).

## □ Ο τηλέγραφος του Πολύβιου

- Ο Έλληνας ιστορικός Πολύβιος σχεδίασε

μία μέθοδο σηματοδότησης, όπου τα γράμματα του αλφαβήτου ήταν χωρισμένα σε πέντε ομάδες πέντε στήλες από πέντε γράμματα στην κάθε μία.

	1	2	3	4	5
1	A	B	Γ	Δ	E
2	Z	H	Θ	I	K
3	Λ	M	N	Ξ	O
4	Π	P	Σ	T	Υ
5	Φ	Χ	Ψ	Ω	

# Ιστορική Αναδρομή

12



## □ Ακουστικός τηλέγραφος

- Η ανάρτηση του κυκλικού ηχητικού κέρατος, επέτρεπε εύκολα την περιστροφική κίνησή του προς όλες τις κατευθύνσεις.

## □ Υδραυλικός τηλέγραφος

- Ο υδραυλικός τηλέγραφος ήταν εφεύρεση του Αινεία του Τακτικού. Χρησιμοποιήθηκε για τη μετάδοση μηνυμάτων σε μεγάλες αποστάσεις.



## □ Σωληνώσεις τηλεπικοινωνιών

- Αναφορά ακουστικών τηλεπικοινωνιών έχουμε και απ' την Κίνα. Μέσα στο περιβόητο Σινικό τείχος (περίπου 9 μέτρα ψηλό με πύργους των 12 μέτρων και με συνολικό μήκος 6.400 χιλιόμετρα!!) υπάρχουν μεταλλικές σωλήνες.

# Ιστορική Αναδρομή

13

- Ο πρώτος τηλέγραφος – 1792
  - Ο Γάλλος εφευρέτης Claude Chappe παρέδωσε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα το οποίο βασιζόταν σε πύργους με κινητά μέρη στην κορυφή τους. Κατάφερε να καλύψει ολόκληρη τη Γαλλία και να μεταφέρει μηνύματα με ένα αλφάβητο 32 και πλέον συμβόλων
- Ο πρώτος ηλεκτρικός τηλέγραφος – 1837
  - Οι Wheatstone και Cooke στην Αγγλία και ο Morse στις ΗΠΑ επινόησαν τον πρώτο τηλέγραφο. Το 1866 πραγματοποιήθηκε η πρώτη διατλαντική ζεύξη.



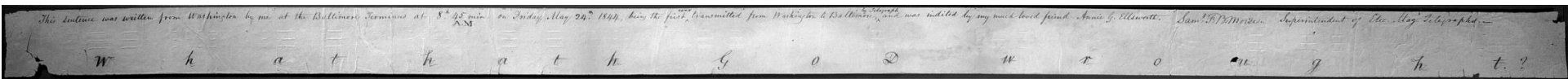
International Morse Code

1. A dash is equal to three dots.
2. The space between parts of the same letter is equal to one dot.
3. The space between two letters is equal to three dots.
4. The space between two words is equal to seven dots.

A	· · · —	U	· · · — · · ·
B	· · · — · · ·	V	· · · — · · · —
C	· · · — · · · —	W	· · · — —
D	· · · — · · · — · · ·	X	· · · — · · · — · · ·
E	· · ·	Y	· · · — · · · — · · ·
F	· · · — · · · — · · ·	Z	· · · — · · · — · · · —
G	· · · — · · · — · · · —		
H	· · · — · · · — · · · —		
I	· · · — · · · —		
J	· · · — · · · — · · · —		
K	· · · — · · · — · · · —		
L	· · · — · · · — · · · —		
M	· · · — · · · — · · · —		
N	· · · — · · · — · · · —		
O	· · · — · · · — · · · —		
P	· · · — · · · — · · · —		
Q	· · · — · · · — · · · —		
R	· · · — · · · — · · · —		
S	· · · — · · · — · · · —		
T	· · · — · · · — · · · —		

1	· · · — — —
2	· · · — — —
3	· · · — — —
4	· · · — — —
5	· · · — — —
6	· · · — — —
7	· · · — — —
8	· · · — — —
9	· · · — — —
0	· · · — — —



Το διάσημο τηλεγράφημα που έστειλε το 1844 ο Samuel Morse στον Alfred Vail από την Capitol της Ουάσιγκτον στη Βαλτιμόρη: "What hath God wrought"

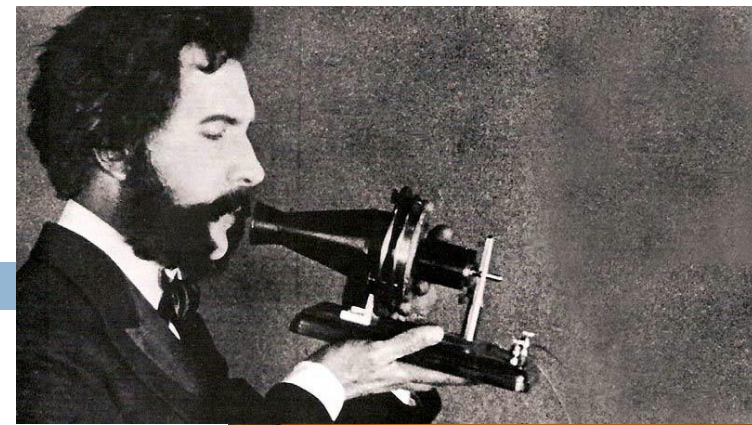
Τηλεπικοινωνίες

# Ιστορική Αναδρομή

14

## □ Το πρώτο τηλέφωνο – 1876

- Οι Bell και Grey ανακάλυψαν το τηλέφωνο
- Το 1878 και 1879 άρχισαν να εγκαθίστανται οι πρώτες τηλεφωνικές συσκευές στο Λονδίνο και Haven



## □ Πρώτος αυτόματος μεταγωγέας – 1897

- Ο Arnold Strowger ανακάλυψε έναν τρόπο να διευκολύνει τη ζωή των τηλεφωνητών που εξυπηρετούσαν τα τηλεφωνικά κέντρα της εποχής.

## □ Τρίοδος Λυχνία – 1906

- Η εφεύρεση της τριόδου ενισχύτριας λυχνίας κενού κατέστησε δυνατή την υλοποίηση ενισχυτών σήματος και τη μετάδοση τηλεφωνικών σημάτων σε μεγάλες αποστάσεις.



# Ιστορική Αναδρομή

15

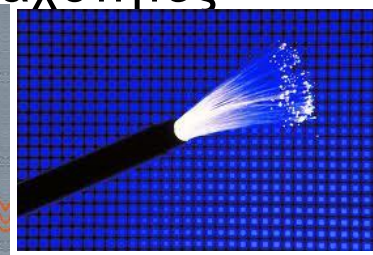
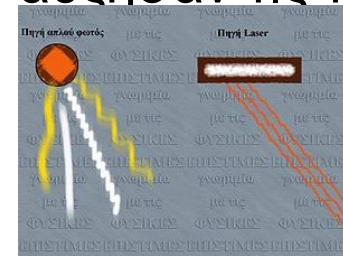
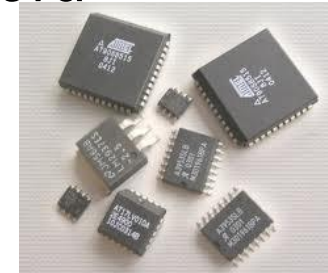
- **Ραδιοφωνία Διαμόρφωσης Πλάτους AM – 1920**
  - ▣ Εγκαινιάστηκε στις ΗΠΑ στο Pittsburg από τον ραδιοφωνικό σταθμό KDKA.
  - ▣ Το 1918 ο Edwin Armstrong ανακάλυψε τον πρώτο υπερετερόδυνο δέκτη AM που έδωσε σημαντική ώθηση στη ραδιοφωνία. Ο ίδιος το 1933 κατασκεύασε το σύστημα επικοινωνίας FM.
- **Το πρώτο σύστημα τηλεόρασης – 1929**
  - ▣ Ο V. K. Zworykin κατασκεύασε το πρώτο σύστημα τηλεόρασης στις ΗΠΑ. Οι πρώτες τηλεοπτικές εκπομπές ξεκίνησαν το 1936 από τον σταθμό BBC στην Αγγλία. Ακολούθησε η Αμερική πέντε χρόνια αργότερα.

# Ιστορική Αναδρομή



16

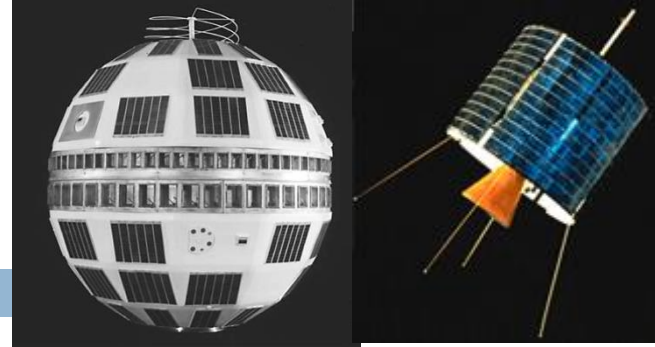
- Το ημιαγωγό τρανζίστορ – 1947
  - ▣ Οι Brattain, Bardeen και Shockley εφεύρανε το ημιαγωγό τρανζίστορ, ανοίγοντας το δρόμο για τα ολοκληρωμένα κυκλώματα.
- Ολοκληρωμένα Κυκλώματα – 1958
  - ▣ Οι Jack Kilby και Robert Noyce έφτιαξαν το πρώτο ολοκληρωμένο κύκλωμα, ανοίγοντας το δρόμο για μικρότερες και φθηνότερες τηλεπικοινωνιακές συσκευές.
- Πηγή ημιαγωγού LASER – 1962
  - ▣ Ο Robert Hall παρουσίασε την πρώτη ημιαγωγό δίοδο LASER, όπου μαζί με τις οπτικές ίνες αύξησαν τις ταχύτητες των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.





# Ιστορική Αναδρομή

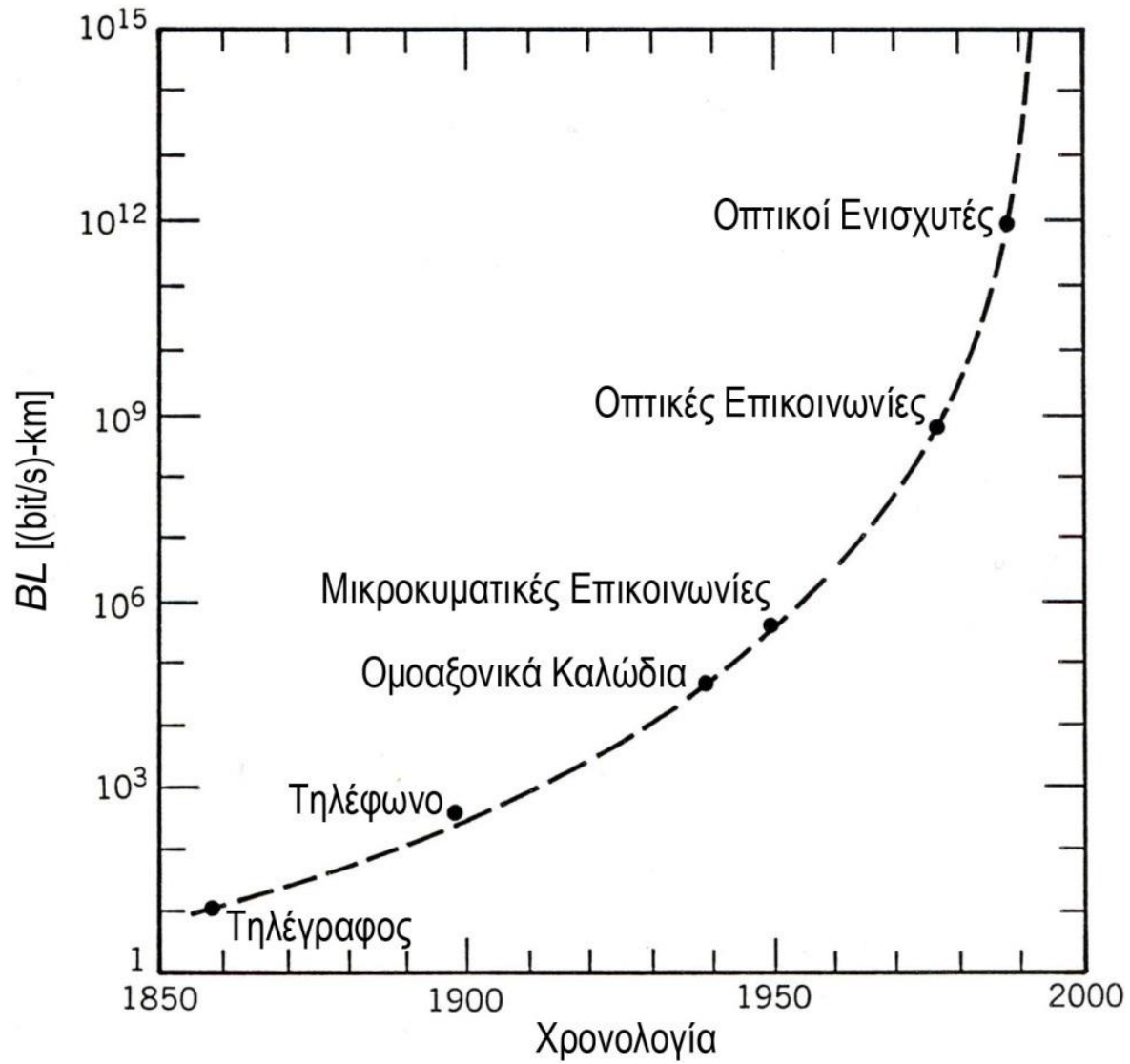
17



- Ο πρώτος τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος – 1962
  - Ο δορυφόρος Telstar I τέθηκε σε τροχιά και χρησιμοποιήθηκε για αναμετάδοση σήματος TV μεταξύ ΗΠΑ και Ευρώπης.
  - Το 1965 εκτοξεύθηκε ο Early Bird, ο πρώτος εμπορικός τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος.
- Internet – 1969
  - Το Internet Protocol (IP) προέκυψε από χρηματοδότηση της DARPA τη δεκαετία του 1970. Το 1969 υλοποιήθηκε το ARPANET το πρώτο δίκτυο μεταγωγής πακέτων.
- DSL – 1988
  - Αναπτύχθηκε από την Bellcore (γνωστή τώρα ως Telecordia Technologies). Χρησιμοποιεί τα ήδη υπάρχοντα καλώδια του τηλεφώνου για να μεταδώσει δεδομένα με ταχύτητες μέχρι και 24Mbps.

# Ιστορική Αναδρομή

18



Τηλεπικοινωνίες

# Σήμα

19

- Σήμα (signal) είναι μία μονοσήμαντη συνάρτηση χρόνου που μεταφέρει πληροφορίες.
  - ▣ Πραγματικά σήματα (real-valued signals)
  - ▣ Μιγαδικά σήματα (complex-valued signals)
- Σε όλες τις περιπτώσεις η ανεξάρτητη μεταβλητή (δηλαδή ο χρόνος) είναι πραγματικός αριθμός.

# Πραγματικά & Μιγαδικά Σήματα

20

- **Πραγματικό Σήμα** : όταν παίρνει τιμές από το σύνολο των πραγματικών αριθμών.
- **Μιγαδικό Σήμα** : όταν παίρνει τιμές από το σύνολο των μιγαδικών αριθμών.
- Τα μιγαδικά σήματα χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες για τη μοντελοποίηση σημάτων που μεταφέρουν πληροφορία πλάτους και φάσης.
- Αναπαρίστανται από δύο πραγματικούς : πλάτος (απόλυτη τιμή) και φάση, ή πραγματικό και φανταστικό μέρος (Παράδειγμα).

# Σήματα Συνεχούς & Διακριτού Χρόνου

21

- **Σήμα Συνεχούς Χρόνου** (Αναλογικό Σήμα)  $x(t)$ : μια πραγματική ή μιγαδική συνάρτηση του χρόνου στην οποία η ανεξάρτητη μεταβλητή  $t$ , παίρνει τιμές στο σύνολο των πραγματικών αριθμών.
- **Σήμα Διακριτού Χρόνου**  $x[n]$ : ένα σήμα για το οποίο η ανεξάρτητη μεταβλητή,  $n$ , παίρνει τιμές στο σύνολο των ακεραίων.
- Οι διακριτές τιμές του χρόνου δεν ισαπέχουν κατ' ανάγκη, αλλά μόνο για μαθηματική και υπολογιστική ευκολία.

# Ημιτονοειδή Σήματα Συνεχούς Χρόνου

22

- Ημιτονοειδές Σήμα:

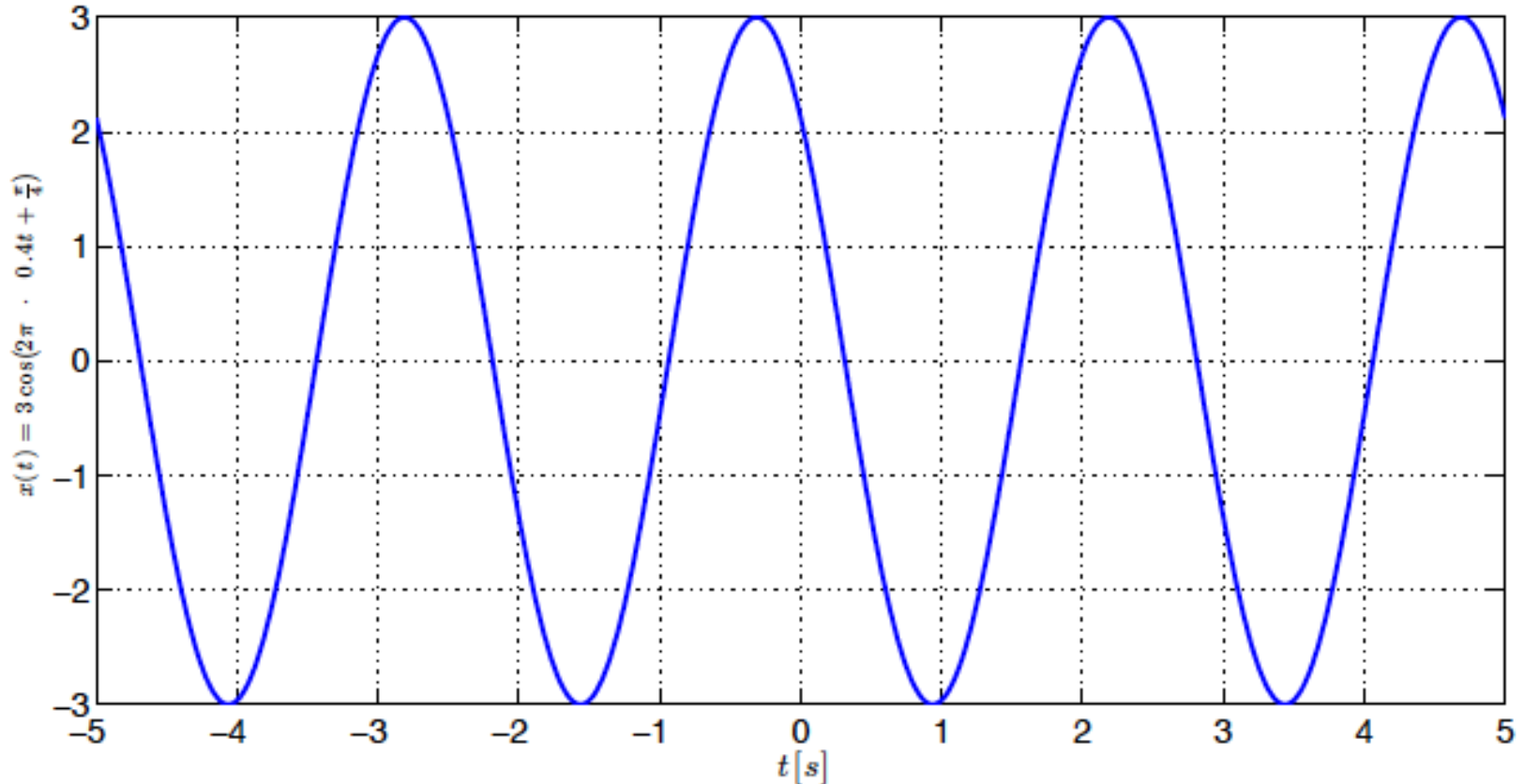
$$u(t) = U_{\max} \cos(2\pi f_o t + \varphi_u) \quad -\infty < t < \infty$$

- όπου  $U_{\max}$  το πλάτος,  $f_o$  η συχνότητα,  $\varphi_u$  η αρχική φάση ή σταθερά φάσης,  $\omega t$  η χρονική μεταβολή της φάσης και  $(\omega t + \varphi_u)$  η στιγμιαία φάση.
- Ένα ημιτονοειδές σήμα είναι περιοδικό με περίοδο  $T_o = 1/f_o$ , δηλαδή  $u(t + T_o) = u(t)$ .
- Πολλές φορές αντί της συχνότητας  $f_o$  χρησιμοποιείται η κυκλική συχνότητα  $\omega_o$  (rad/sec), οπότε:

$$u(t) = U_{\max} \cos(\omega_o t + \varphi_u)$$

# Ημιτονοειδή Σήματα Συνεχούς Χρόνου

23



- Ημίτονο συχνότητας 0.4Hz, πλάτους 3 και αρχικής φάσης  $\pi/4$  στο χρονικό διάστημα  $-5 < t < 5$  sec.

# Ημιτονοειδή Σήματα Συνεχούς Χρόνου


24

- Ενεργός τιμή ή ενδεικνυόμενη τιμή ή rms τιμή:

$$U_{eff} = U_{rms} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = 0.707U_{max}$$

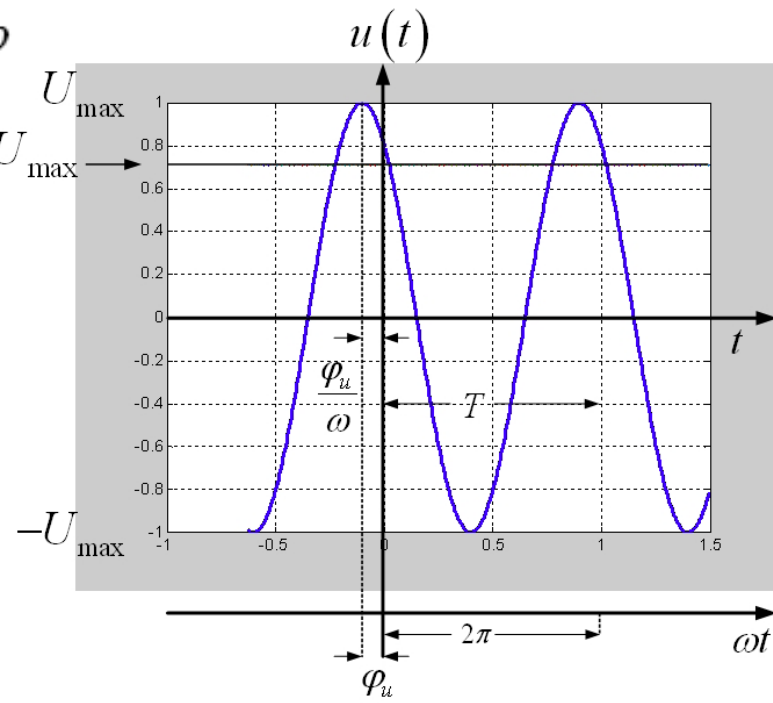
- Τύπος του Euler:

$$e^{\pm j\varphi} = \cos \varphi \pm j \sin \varphi$$


$$\cos \varphi = \frac{e^{j\varphi} + e^{-j\varphi}}{2}$$

$$\sin \varphi = \frac{e^{j\varphi} - e^{-j\varphi}}{2j}$$

$$U_{eff} = 0.707U_{max}$$





# Ημιτονοειδή Σήματα Συνεχούς Χρόνου

25

- Μιγαδικός αριθμός  $C$ :

$$C = a + jb = R \cdot e^{j\vartheta}$$

$$R = |C| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\vartheta = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$

- όπου  $a = \text{Re}[C]$  το πραγματικό μέρος του  $C$  και  $b = \text{Im}[C]$  το φανταστικό μέρος του  $C$ .
- Παραστατικός μιγάς ή φασιθέτης (phasor):

$$\tilde{U} = U_{\max} e^{j\varphi_u}$$

# Ημιτονοειδή Σήματα Συνεχούς Χρόνου

26

- Ο φασιθέτης μαζί με την κυκλική συχνότητα  $\omega_0$  καθορίζουν πλήρως το ημιτονοειδές μέγεθος

$$\begin{aligned}u(t) &= U_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi_u) = U_{\max} \operatorname{Re} \left[ e^{j(\omega_0 t + \varphi_u)} \right] \\ &= U_{\max} \operatorname{Re} \left[ e^{j\omega_0 t} e^{j\varphi_u} \right] = \operatorname{Re} \left[ U_{\max} e^{j\varphi_u} e^{j\omega_0 t} \right] \\ &= \operatorname{Re} \left[ \tilde{U} e^{j\omega_0 t} \right]\end{aligned}$$

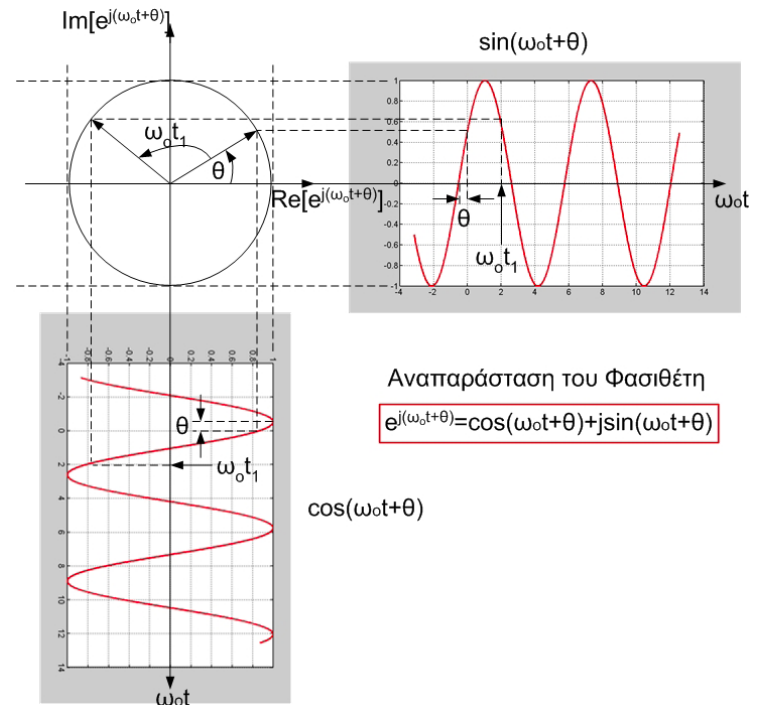
$$A e^{j(\omega_0 t + \theta)} = A \cos(\omega_0 t + \theta) + jA \sin(\omega_0 t + \theta)$$

# Ημιτονοειδή Σήματα Συνεχούς Χρόνου

27

- Το γινόμενο του φασιθέτη με την εκθετική συνάρτηση  $e^{j\omega_o t}$ , αναπαρίσταται γραφικά από ένα περιστρεφόμενο διάνυσμα με μέτρο ίσο με το μέτρο του μιγαδικού.
- Η περιστροφή γίνεται με γωνιακή ταχύτητα ίση με την κυκλική συχνότητα του ημιτονοειδούς, αντίθετα με τη φορά του ρολογιού.

$$Ae^{j(\omega_o t + \theta)} = A\cos(\omega_o t + \theta) + jA\sin(\omega_o t + \theta)$$

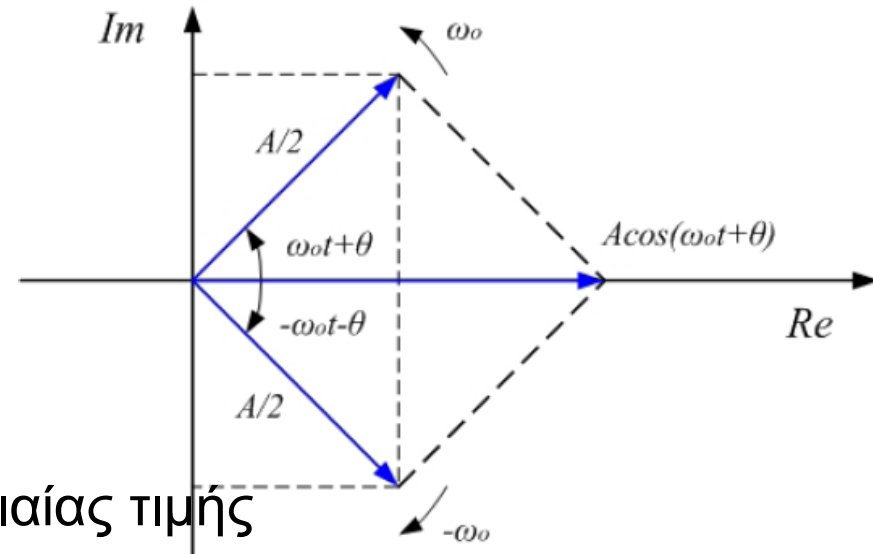


# Ημιτονοειδή Σήματα Συνεχούς Χρόνου

28

- Θετική και Αρνητική Συχνότητα

$$A \cos(\omega_0 t + \theta) = \frac{A}{2} \left\{ e^{j(\omega_0 t + \theta)} + e^{j(-\omega_0 t - \theta)} \right\}$$



- Η χρονική παραγωγή της στιγμιαίας τιμής μιας ημιτονοειδούς συνάρτησης ισοδυναμεί με πολλαπλασιασμό του φασιθέτη της συνάρτησης με τον παράγοντα ( $j\omega$ )

$$\frac{du(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \left\{ \text{Re} \left[ \tilde{U} e^{j\omega t} \right] \right\} = \text{Re} \left[ (j\omega \tilde{U}) e^{j\omega t} \right]$$

# Ταξινόμηση των Σημάτων

29

- Ανάλογα με το χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει, μπορούμε να ξεχωρίσουμε πέντε διαφορετικές κατηγορίες σημάτων:

## 1. Περιοδικά Σήματα - Απεριοδικά Σήματα

- **Περιοδικό σήμα**  $x(t)$  είναι μια συνάρτηση που ικανοποιεί τη συνθήκη:

$$x(t) = x(t+T_0)$$

όπου  $T_0$  είναι μία σταθερά. Η μικρότερη τιμή της  $T_0$  που ικανοποιεί αυτή τη συνθήκη ονομάζεται περίοδος του  $x(t)$ .

# Παραδείγματα Περιοδικών και Μη Σημάτων

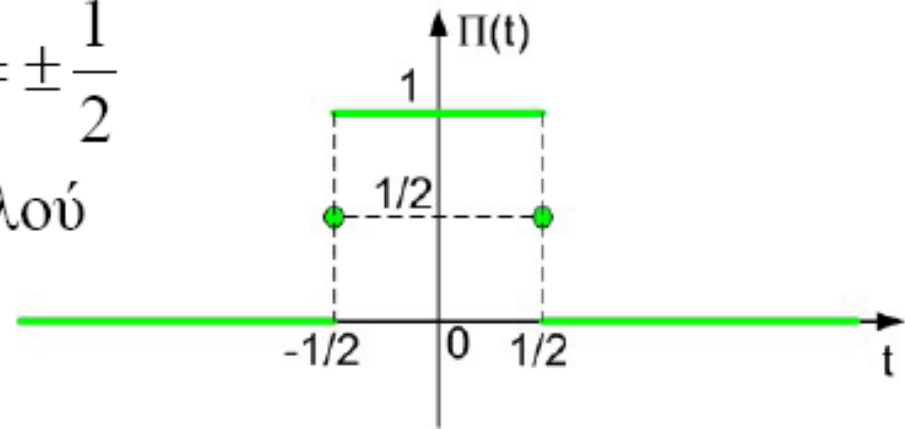
30

$$x(t) = A \cos(2\pi f_o t + \vartheta)$$

$$x(t) = A e^{j(2\pi f_o t + \vartheta)}$$

$$\Pi_a(t) = \Pi\left(\frac{t}{2a}\right) = \begin{cases} 1 & |t| < a \\ 1/2 & t = \pm a \\ 0 & |t| > a \end{cases}$$
$$= u(t + a) - u(t - a)$$

$$\Pi(t) = \begin{cases} 1 & -1/2 < t < 1/2 \\ 1/2 & t = \pm 1/2 \\ 0 & \text{αλλού} \end{cases}$$



# Ταξινόμηση των Σημάτων

31

## 2. Ντετερμινιστικά Σήματα - Τυχαία Σήματα

- Ανάλογα με τη βεβαιότητα όσο αφορά την τιμή τους κάθε χρονική στιγμή.
- Τα ντετερμινιστικά σήματα μπορούν να αναπαρασταθούν σαν πλήρως καθορισμένες συναρτήσεις του χρόνου.
- Ένα τυχαίο σήμα μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκει σε μια συλλογή ή σύνολο σημάτων, όπου κάθε σήμα του συνόλου είναι διαφορετικό.
- Ένα σήμα είναι στοχαστικό ή τυχαίο όταν αποτελεί μία τυχαία διαδικασία ή στοχαστική ανέλιξη

# Ταξινόμηση των Σημάτων

32

## 3. Αιτιοκρατικά Σήματα – Μη-Αιτιοκρατικά Σήματα

- Αιτιοκρατικό Σήμα : αν για  $t < 0$  είναι  $x(t) = 0$ , ή για σήμα διακριτού χρόνου, για  $n < 0$  είναι  $x[n] = 0$ .
- Μη-Αιτιοκρατικό Σήμα : αν δεν ισχύουν οι παραπάνω συνθήκες.



# Ταξινόμηση των Σημάτων

33

## 4. Ενεργειακά Σήματα - Σήματα Ισχύος

- Ολική ενέργεια σήματος:

$$E = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T/2}^{+T/2} |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt$$

- Μέση Ισχύ του σήματος:

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} |x(t)|^2 dt$$

- Ενεργειακό Σήμα (energy signal):  $0 < E < \infty$
- Σήμα Ισχύος (power signal):  $0 < P < \infty$

# Ταξινόμηση των Σημάτων

34

## 4. Ενεργειακά Σήματα - Σήματα Ισχύος

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt \quad P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} |x(t)|^2 dt \quad \text{Μονάδες?}$$

- Η ταξινόμηση των σημάτων σε ενεργειακά και ισχύος είναι **αμοιβαία αποκλειστική**. Ένα ενεργειακό σήμα έχει μηδενική μέση ισχύ, ενώ ένα σήμα ισχύος έχει άπειρη ενέργεια.
- Συνήθως περιοδικά και τυχαία σήματα είναι σήματα ισχύος, ενώ σήματα που είναι και ντεντερμινιστικά και απεριοδικά είναι ενεργειακά σήματα.

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{E}{T}$$

# Παραδείγματα Σημάτων Ισχύος και Ενέργειας

35

$$x(t) = 5$$
$$E_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T/2}^{T/2} 5^2 dt = \lim_{T \rightarrow \infty} (25T) = \infty$$
$$P_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} 5^2 dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \left( \frac{25T}{T} \right) = 25$$

Σήμα Ισχύος

$$x(t) = \begin{cases} 3 + j4 & 0 \leq t \leq 2 \\ 0 & \text{αλλού} \end{cases}$$

$$E_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 dt = \int_0^2 |3 + j4|^2 dt = 50$$

$$P_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{E_x}{T} = 0$$

Ενεργειακό Σήμα

# Παραδείγματα Σημάτων Ισχύος και Ενέργειας

36

$$x(t) = t$$

$$E_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T/2}^{T/2} t^2 dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[ \frac{t^3}{3} \right]_{-T/2}^{T/2} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{T^3}{12} = \infty$$

$$P_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{E_x}{T} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\frac{T^3}{12}}{T} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{T^2}{12} = \infty$$

Άρα δεν είναι ούτε σήμα ενέργειας, ούτε σήμα ισχύος

# Παράδειγμα Περιοδικού

37

$$x(t) = A \cos(2\pi f_o t + \vartheta) \quad E_x = \infty \quad \text{Γιατί??}$$

$$\begin{aligned} P_x &= \frac{1}{T_o} \int_{-T_o/2}^{T_o/2} A^2 \cos^2(2\pi f_o t + \vartheta) dt \quad (2\cos^2(x)=1+\cos(2x)) \\ &= \frac{1}{T_o} \int_{-T_o/2}^{T_o/2} \frac{A^2}{2} [1 + \cos(4\pi f_o t + 2\vartheta)] dt \\ &= \frac{1}{T_o} \int_{-T_o/2}^{T_o/2} \frac{A^2}{2} dt + \underbrace{\frac{1}{T_o} \int_{-T_o/2}^{T_o/2} \frac{A^2}{2} \cos(4\pi f_o t + 2\vartheta) dt}_0 \\ &= \frac{1}{T_o} \frac{A^2}{2} T_o = \frac{A^2}{2} < \infty \end{aligned}$$

# Ταξινόμηση των Σημάτων

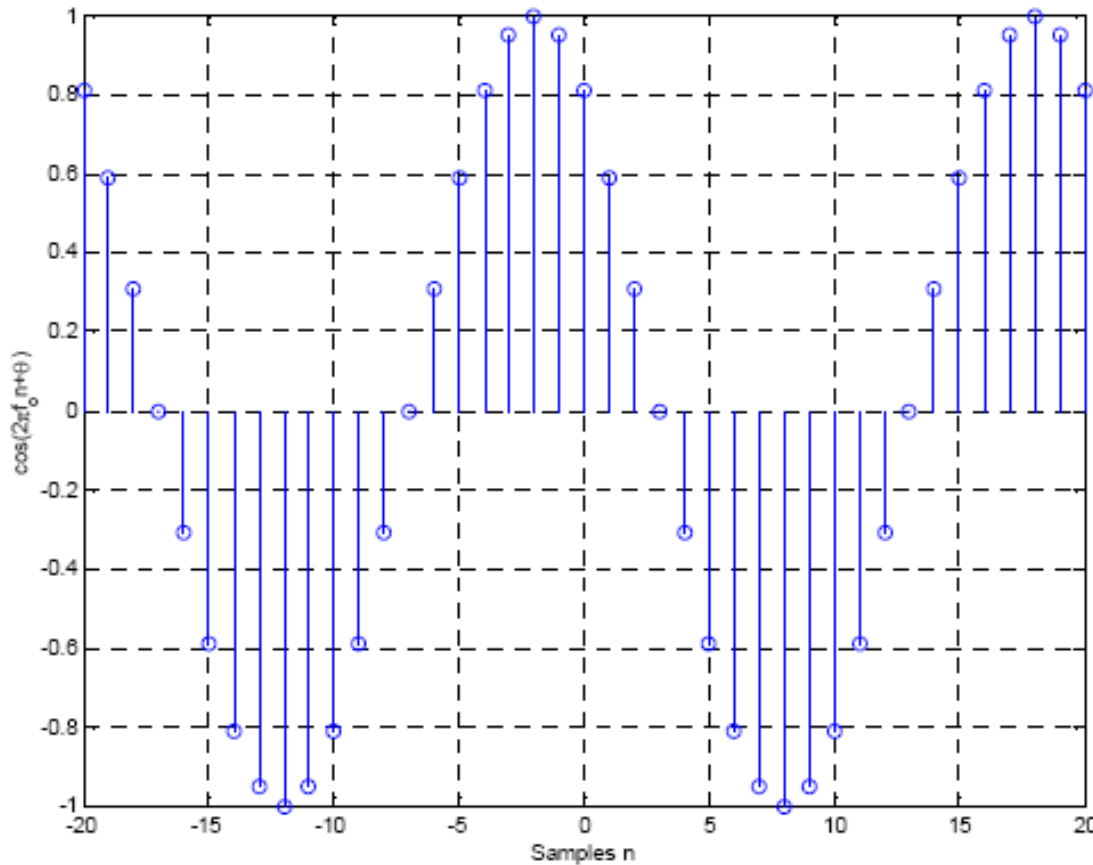
## 5. Αναλογικά Σήματα - Ψηφιακά Σήματα

- Ένα αναλογικό σήμα (analog signal) είναι συνεχής συνάρτηση του χρόνου, με συνεχές πλάτος επίσης (μετατροπέας - transducer).
- Ένα σήμα διακριτού χρόνου (discrete-time signal) ορίζεται μόνο σε διακριτές χρονικές τιμές. (Συνήθως περιγράφονται σαν σειρές δειγμάτων, των οποίων τα πλάτη μπορούν να λάβουν συνεχείς τιμές)
  - Δειγματοληψία - sampling
- Όταν κάθε δείγμα ενός σήματος διακριτού χρόνου είναι κβαντισμένο (quantized) και στη συνέχεια κωδικοποιημένο (coded) αναφέρεται σαν ψηφιακό σήμα (digital signal).

# Παράδειγμα Σήματος Διακριτού Χρόνου

39

$$x[n] = A \cos(2\pi f_o n + \vartheta), \quad n \in \mathbb{Z}$$



$$\vartheta = \pi / 5$$

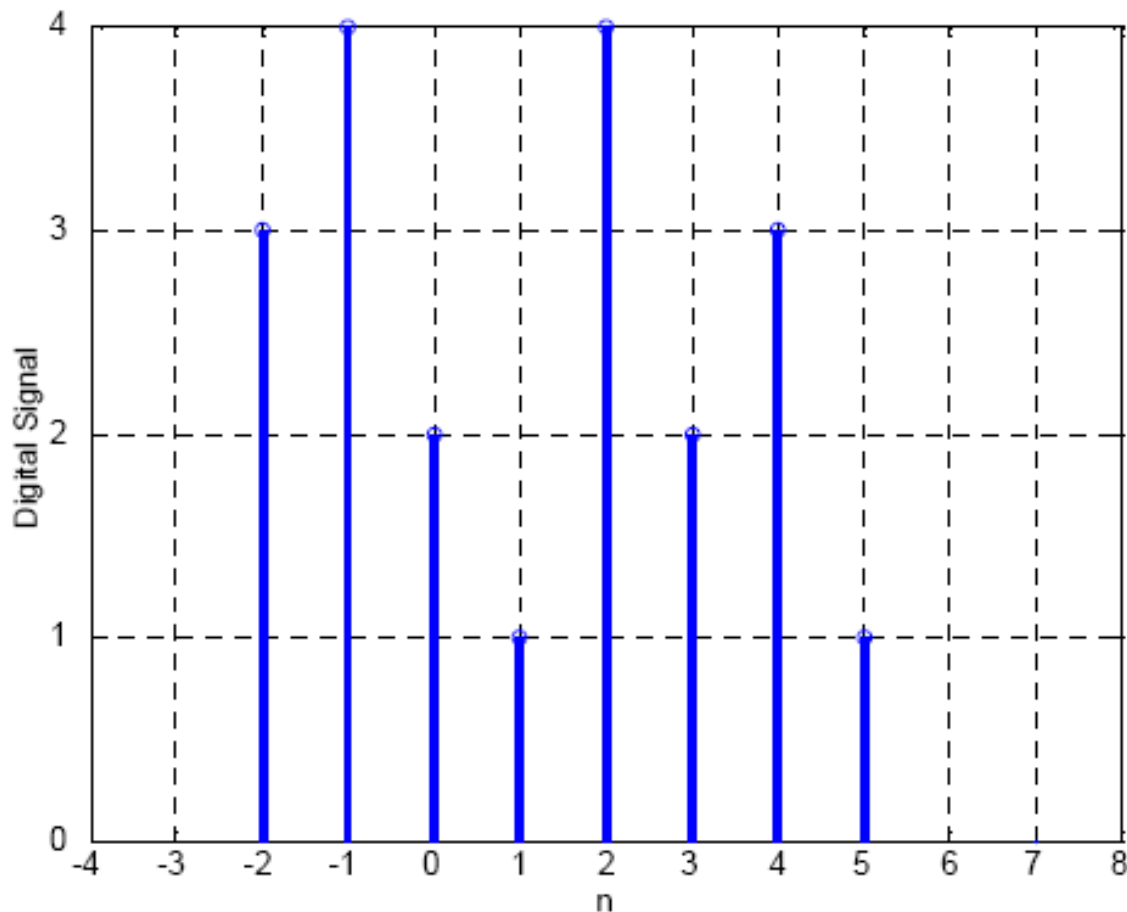
$$f_o = 0.05$$

# Παράδειγμα Ψηφιακού Σήματος

40

$$x[n], n \in \mathbb{Z}$$

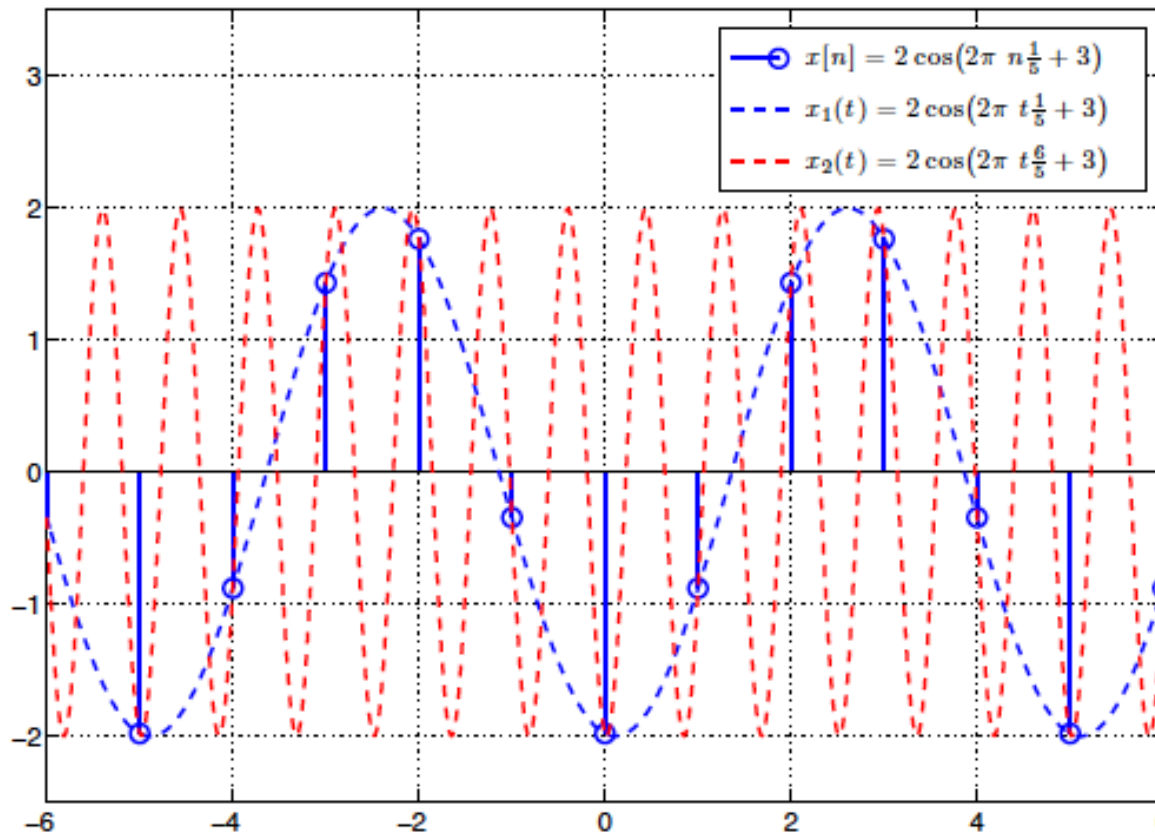
Ψηφιακό σήμα  
τεσσάρων πιθανών  
τιμών





# Παράδειγμα Ψηφιακού Σήματος

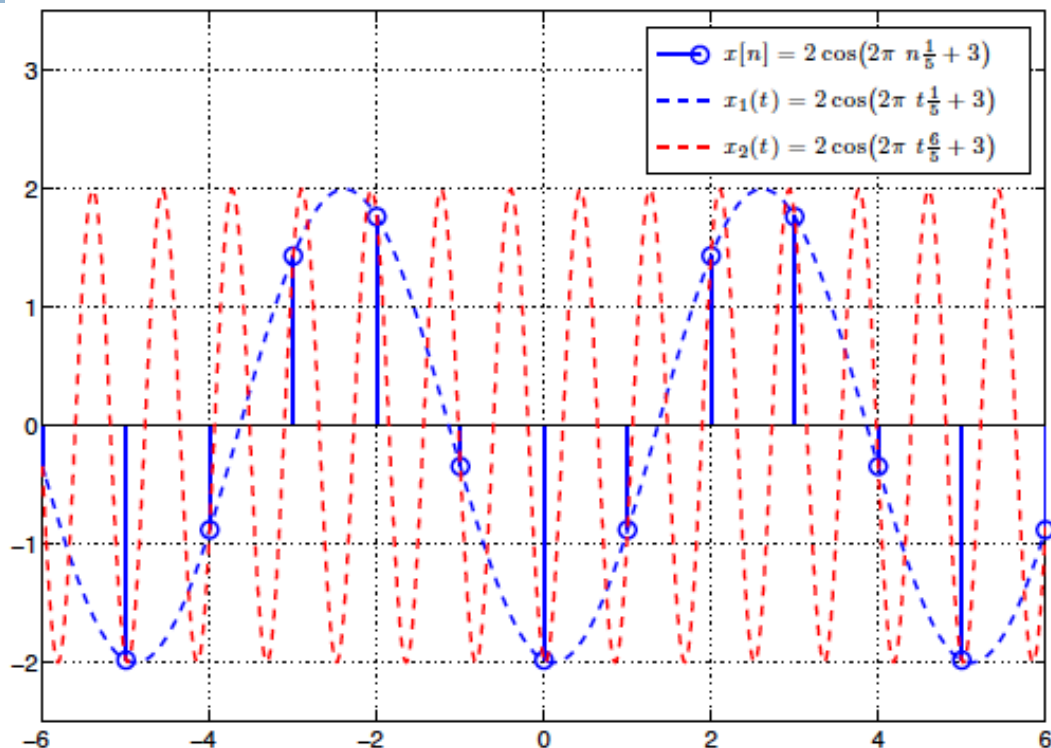
41



- Διακριτό ημιτονοειδές σήμα συχνότητας 0.2Hz, πλάτους 2 και αρχικής φάσης 3 στο χρονικό διάστημα  $-6 < t < 5$  sec.

# Παράδειγμα Ψηφιακού Σήματος

42



- Παρατηρείστε ότι τα σήματα με περίοδο  $1/5$  και  $6/5$  είναι ίδια.
- Ωστόσο, τα σήματα συνεχούς χρόνου με περίοδο  $1/5$  και  $6/5$  διαφέρουν.
- Το φαινόμενο θα μελετηθεί στο Θεώρημα Δειγματοληψίας.

# Ανάλυση των Σημάτων κατά Fourier

43

- Η ανάλυση Fourier περιλαμβάνει την ανάλυση των σημάτων σε ημιτονικές συνιστώσες.
- Η απόκριση ενός συστήματος σε ημιτονική είσοδο είναι μια άλλη ημιτονική κυματομορφή της ίδιας συχνότητας (αλλά με διαφορετική φάση και πλάτος) κάτω από δύο συνθήκες:
  - Το σύστημα είναι γραμμικό (linear), οπότε υπακούει στην αρχή της υπέρθεσης (principle of superposition).
  - Το σύστημα είναι χρονικά αμετάβλητο (time-invariant).

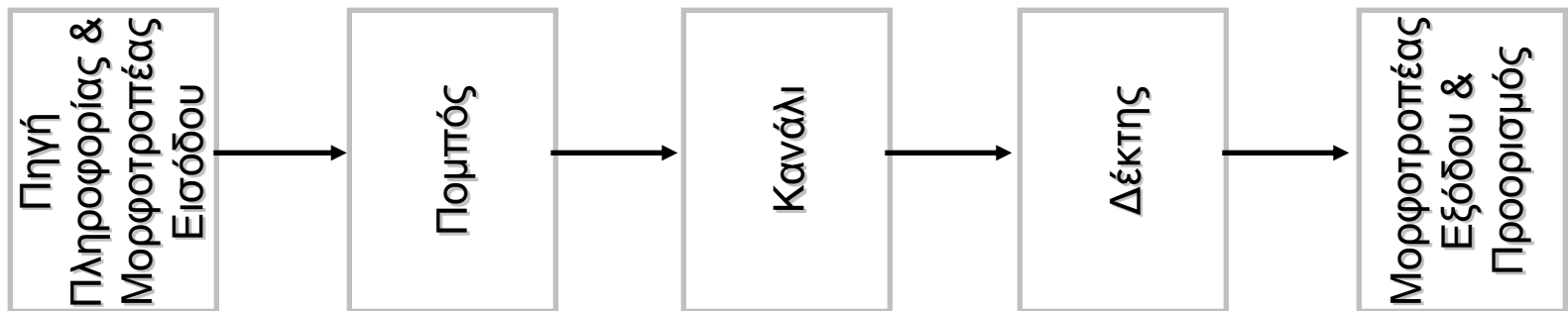
# Ανάλυση των Σημάτων κατά Fourier

44

- Με την ανάλυση Fourier λαμβάνουμε την περιγραφή στο πεδίο της συχνότητας (frequency-domain description) ή το φάσμα (spectrum) του σήματος.
  - ▣ Περιοδικό σήμα → σειρά Fourier (Fourier series)
  - ▣ Ενεργειακό σήμα → Μ/Σ Fourier (Fourier transform)

# Βασικό Τηλεπικοινωνιακό Σύστημα

- Τα ηλεκτρικά τηλεπικοινωνιακά συστήματα σχεδιάζονται για να αποστέλλουν μηνύματα από μία πηγή σε έναν ή περισσότερους παραλήπτες
- Η έξοδος της πηγής δεν είναι ντετερμινιστική.
  - ▣ αν ήταν δεν θα υπήρχε λόγος αποστολής του μηνύματος...



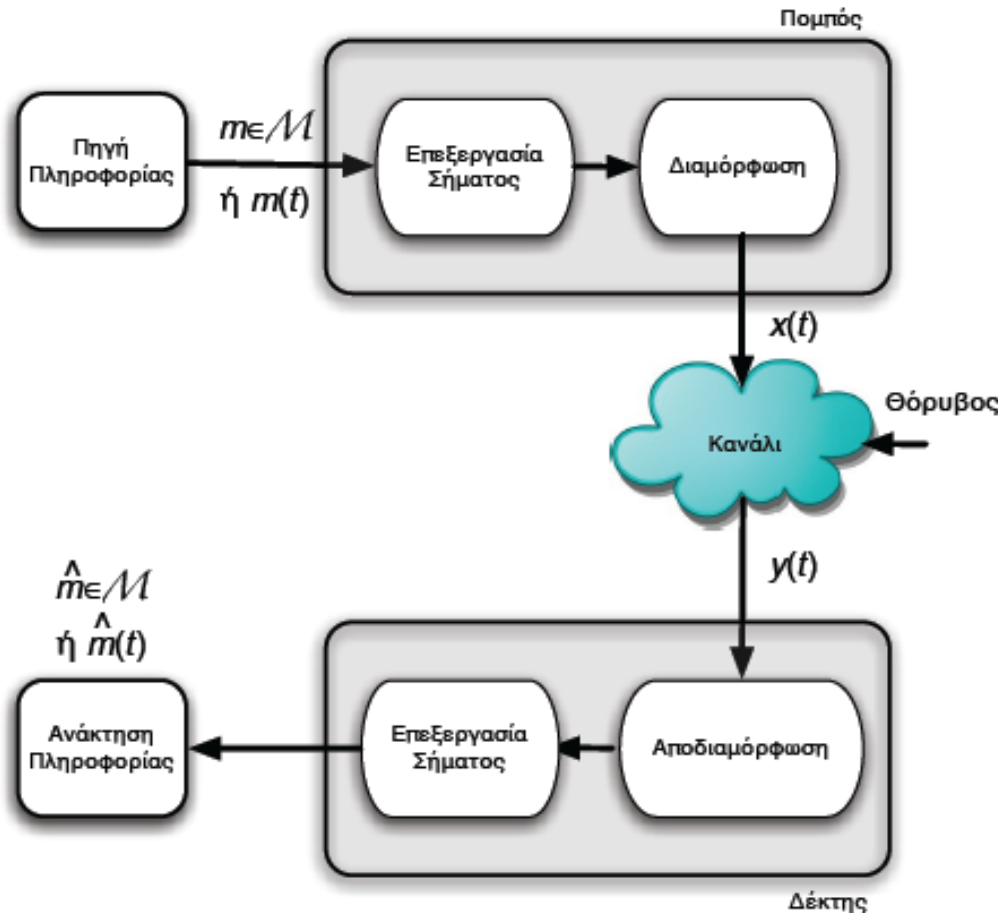
# Βασικό Τηλεπικοινωνιακό Σύστημα

- Πηγή πληροφορίας: φωνή, κείμενο, εικόνες, video, data.
- Μορφοτροπέας (Transducer): μικρόφωνο, κάμερα, ηχείο, οθόνη
  - ▣ μετατροπέας πληροφορίας σε ηλεκτρικό σήμα & αντίθετα
- Πομπός: μετατρέπει το ηλεκτρικό σήμα σε κάποια μορφή κατάλληλη για επικοινωνία.
  - ▣ Τοποθετεί τις συχνότητες του σήματος στην κατάλληλη ζώνη
  - ▣ Διαμορφώνει: εκμεταλλεύεται την πληροφορία του σήματος για να τροποποιήσει τις ιδιότητες ενός φέροντος
    - *Η διαμόρφωση επιτρέπει την χρήση του καναλιού από πολλούς χρήστες*
  - ▣ Φιλτράρει και ενισχύει
  - ▣ Παρέχει την ακτινοβολία για ασύρματες μεταδόσεις

# Βασικό Τηλεπικοινωνιακό Σύστημα

- Κανάλι: Το φυσικό μέσο μετάδοσης προκαλεί διάφορες παραμορφώσεις στο σήμα.
  - Προσθετικός θόρυβος / θερμικός θόρυβος
  - Απώλειες λόγω πολλαπλής διαδρομής (multipath) εξασθενούν και παραμορφώνουν το σήμα
  
- Δέκτης : Πραγματοποιεί την ανάκτηση του μηνύματος, συγκεκριμένα:
  - Αποδιαμορφώνει το φέρον
  - Φιλτράρει το σήμα
  - Καταστέλλει το θόρυβο
  - Ανίχνευση των σύμβολων του εκπεμφθέντος μηνύματος

# Βασικό Τηλεπικοινωνιακό Σύστημα



- Η πηγή παράγει είτε ένα από  $|\mathcal{M}|$  πιθανά μηνύματα (ψηφιακό σύστημα) είτε ένα αναλογικό σήμα  $m(t)$
- Στόχος του δέκτη είναι να ανακτήσει το μήνυμα που έστειλε ο πομπός  $\hat{m} = m$  (ψηφιακό σύστημα) ή να ανακατασκευάσει το σήμα  $m(t)$  με τη λιγότερη δυνατή παραμόρφωση
- Το σήμα  $x(t)$  που εκπέμπεται είναι πάντοτε **αναλογικό**, τόσο στα αναλογικά όσο και στα ψηφιακά συστήματα.



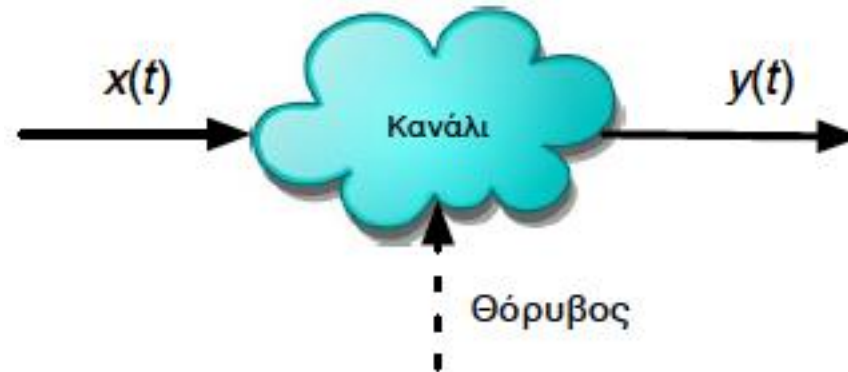
# Αναλογική και Ψηφιακή Μετάδοση

49

- Στην αναλογική μετάδοση, το σήμα πληροφορίας  $m(t)$  είναι αναλογικό. Σκοπός του δέκτη είναι να ανακατασκευάσει το σήμα  $m(t)$  με τη λιγότερη δυνατή παραμόρφωση
  - Π.χ αναλογική έξοδος ενός ραδιοφώνου
- Στην ψηφιακή μετάδοση, η πληροφορία είναι ένα από  $|M|$  πιθανά μηνύματα που ανήκουν στο σύνολο  $M$ . Ο δέκτης γνωρίζει το  $M$ , αλλά όχι το συγκεκριμένο μήνυμα  $m$  που μεταδόθηκε. Σκοπός του είναι να βρει σωστά την τιμή του  $m$ .
  - Π.χ. Το  $m$  μπορεί να είναι ένα από τα γράμματα της αλφαβήτου ή μία από 6 τιμές ενός ζαριού ή το αποτέλεσμα 1,2,Χ ενός αγώνα.
- Στην πράξη
  - Δεν μπορούμε να μεταδώσουμε αναλογικά σήματα χωρίς παραμόρφωση.
  - Δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι για την τιμή του  $m \rightarrow$  ελαχιστοποίηση πιθανότητας σφάλματος στη λήψη.

# Βασικό Τηλεπικοινωνιακό Σύστημα

50



- Το κανάλι είναι ένα στοχαστικό σύστημα με είσοδο το εκπεμπόμενο σήμα  $x(t)$  και έξοδο το σήμα  $y(t)$  που λαμβάνεται στο δέκτη.
- Δηλαδή, δεδομένη είσοδος  $x(t)$  δεν οδηγεί πάντα στην ίδια έξοδο  $y(t)$ , όπως θα συνέβαινε σε ένα ντετερμινιστικό σύστημα.
- Συνεπώς, αναφερόμαστε στην τυχαιότητα που εισάγει το κανάλι με το γενικό όρο **θόρυβος**.
- Παρόλο που στο σχήμα το κανάλι μοντελοποιεί την επίδραση του φυσικού μέσου, γενικά το κανάλι μπορεί να περιλαμβάνει και την επίδραση μερών του πομπού / δέκτη (κβάντιση, μη γραμμικότητα,..)

# Παραδείγματα

51

- Αναλογικό Ραδιόφωνο
- Το ηχητικό σήμα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό και φιλτράρεται κατάλληλα, ώστε να απομακρυνθούν οι υψηλές συχνότητες.
- Διαμορφώνεται κατά πλάτος (AM) γύρω από μία φέρουσα συχνότητα (carrier) στην περιοχή των 530-1610 kHz (MW) ή κατά συχνότητα (FM) γύρω από μία φέρουσα στην περιοχή των 87.5-108 MHz.
- Το διαμορφωμένο σήμα εκπέμπεται με τη βοήθεια Η/Μ κυμάτων.

# Παραδείγματα

52

- Αναλογικό Ραδιόφωνο
- Το ασύρματο κανάλι εισάγει απόσβεση, διαλείψεις (fading) λόγω κίνησης, θόρυβο λόγω κεραιών και κυκλωμάτων, παρεμβολές από άλλες μεταδόσεις, παραμόρφωση λόγω κυκλωμάτων και μη γραμμικοτήτων κ.ά.
- Με χρήση τοπικού ταλαντωτή, ο αποδιαμορφωτής μετασχηματίζει το ληφθέν Η/Μ κύμα σε ηλεκτρικό σήμα βασικής ζώνης.
- Με χρήση φίλτρων, ο δέκτης αποπειράται την όσο δυνατόν πιο πιστή ανακατασκευή του αρχικού σήματος.

# Παραδείγματα

53

- Σκληρός Δίσκος
- Ο κωδικοποιητής πηγής συμπιέζει τα δεδομένα και τα κωδικοποιεί με χρήση κώδικα διόρθωσης σφαλμάτων (error correction code, ecc)
- Ο διαμορφωτής μετασχηματίζει τα δεδομένα σε H/M παλμούς που εκπέμπονται από την κεφαλή του δίσκου.
- Το κανάλι μοντελοποιεί τη διαδρομή του σήματος από τη στιγμή που εκπέμπεται από την κεφαλή για να εγγραφεί στο δίσκο έως τη στιγμή που λαμβάνεται από την κεφαλή κατά την ανάγνωση.

# Παραδείγματα

54

- Σκληρός Δίσκος
- Προβλήματα: παραμόρφωση λόγω ανομοιομορφίας μαγνητικού μέσου λόγω κίνησης δίσκου/κεφαλής, θόρυβος λόγω κυκλωμάτων, απομαγνήτιση, παρεμβολή από γειτονικά μαγνητικά δίπολα, κ.ά.
- Ο αποδιαμορφωτής μετατρέπει τα H/M σήματα που διαβάζει η κεφαλή σε δείγματα.
- Ο αποκωδικοποιητής εκτιμά τα δεδομένα που γράφτηκαν στο δίσκο με τη βοήθεια του κώδικα διόρθωσης σφαλμάτων.

# Διαθέσιμοι Πόροι για Επικοινωνία

55

- Σημαντικοί πόροι είναι:
  - ▣ Ο χρόνος που χρησιμοποιούμε για τη μετάδοση
  - ▣ Το εύρος ζώνης συχνοτήτων
  - ▣ Η ενέργεια που απαιτείται για τη μετάδοση
- Υπάρχουν και άλλοι πόροι, όπως ο χώρος, η πολυπλοκότητα των αλγορίθμων, η επιφάνεια του κυκλώματος, η τεχνολογία των ημιαγωγών, η μνήμη πομπού/δέκτη κ.ά.
- Πόρος μπορεί να θεωρηθεί και το φυσικό μέσο μετάδοσης: καλώδιο, οπτική ίνα, μαγνητικός δίσκος, αέρας.

# Μοντέλο Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων

56

- Μετατροπέας (transducer)
- Σήμα πληροφορίας (message signal)
- Πομπός (transmitter)
- Δέκτης (receiver)
- Δίαυλος επικοινωνίας (communication channel)
- Διαμόρφωση (modulation)
- Φέρουσα κυματομορφή (carrier wave)
- Θόρυβος (noise)
- Παρεμβολές (interference)
- Αποδιαμόρφωση (demodulation)
- Ισχύς εκπομπή (transmitted power)
- Εύρος ζώνης του διαύλου (channel bandwidth)
- Εύρος ζώνης του σήματος (signal bandwidth)



# Ερωτήσεις;

57



Βολιβία 2003

Τηλεπικοινωνίες