

# ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

---

**Παναγιώτης Μαθιόπουλος *Ph.D.***

*Καθηγητής Ψηφιακών Επικοινωνιών*  
Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών  
ΕΚΠΑ

*Professor (1989 – 2003)*  
Department of Electrical and Computer Engineering  
The University of British Columbia  
Καναδάς

*Guest Professor (2009 – 2013)*  
Southwest Jiao Tong University  
Chengdu, Sichuan Province  
Κίνα

# Πληροφορίες Μαθήματος - I

---

• **Διδάσκων.** Καθ. Παναγιώτης Μαθιόπουλος (Prof. P. Takis Mathiopoulos)

e-mail: [mathio@di.uoa.gr](mailto:mathio@di.uoa.gr) URL: <http://cgi.di.uoa.gr/~mathio/>

Ώρες γραφείου: Παρασκευή 15:00 -17:00

• Πληροφορίες για το μάθημα θα δίνονται στο e-class (<http://eclass.uoa.gr/>)

• **Συνεργάτες.** ?

• **Βιβλιογραφία.** Βιβλίο μαθήματος: ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ –

2<sup>η</sup> Έκδοση (2012) Γ. Κ. Καραγιαννίδης

• **Διδασκαλία.** 2 ώρες θεωρία + 1 ώρα Συμπλήρωμα της Θεωρίας-Ασκήσεις (Παρασκευή 10:00-13:00 – Αίθουσα ΣΤ)

• **Βαθμολογία:** Μια τελική γραπτή εξέταση

# Πληροφορίες Μαθήματος - II

---

- *Κεφάλαιο 0*: Εισαγωγή
- *Κεφάλαιο 6*: Ψηφιακή Εκπομπή και Λήψη (Θα διδαχτεί ως γνωστή ύλη)
- *Κεφάλαιο 7*: Ψηφιακή Διαμόρφωση
- *Κεφάλαιο 8*: Ψηφιακές Διαμορφώσεις Υψηλής Φασματικής Αποδοτικότητας
- *Κεφάλαιο 9*: Ψηφιακές Επικοινωνίες σε Κανάλια με Διασυμβολική Παρεμβολή
- *Κεφάλαιο 6*: Ο Συγχρονισμός στις Ψηφιακές Επικοινωνίες

# Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα

---

- Τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα έχουν στόχο την **μετάδοση πληροφορίας** από ένα σημείο σε ένα άλλο.
- Για την αποθήκευση και μετάδοση της πληροφορίας χρησιμοποιούν **μεταβαλλόμενα ρεύματα και τάσεις (μεταβαλλόμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία)**.
- Χρησιμοποιούνται διάφορα μέσα για τη μετάδοση των σημάτων, όπως
  - ✓ χάλκινα καλώδια (συστρεφόμενου ζεύγους, ομοαξονικά καλώδια...)
  - ✓ κυματοδηγοί
  - ✓ οπτικές ίνες
  - ✓ ασύρματα
- Τα σήματα προσαρμόζονται στο μέσο μετάδοσης μέσω της διαμόρφωσης (modulation) και της κωδικοποίησης (coding).
- Οι τεχνικές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης επιλέγονται με βάση
  - ✓ το μέσο μετάδοσης
  - ✓ Την πηγή πληροφορίας (στατιστική, τον ρυθμό μετάδοσης (rate) – ποιότητα επικοινωνίας (Quality of Service-QoS))

# Παράμετροι στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα

---

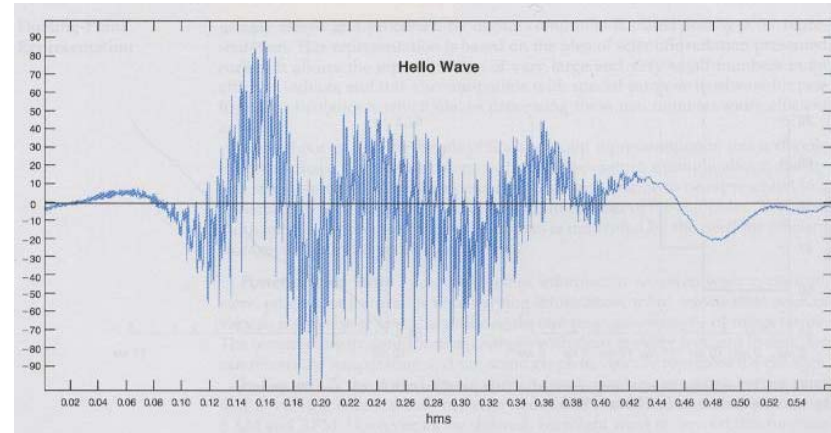
- ✓ Χρόνος μετάδοσης του μηνύματος (1 msec, 1 sec). Π.χ. η φωνή μέσω κινητής τηλεφωνίας μεταδίδεται σε msec. Μέσω δορυφόρου ο χρόνος μετάδοσης αυξάνεται σημαντικά
- ✓ Ποσότητα μεταδιδόμενης πληροφορίας (1 λέξη, ένα κείμενο, μια φωτογραφία κλπ.)
- ✓ Ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας (ποσότητα πληροφορίας στη μονάδα του χρόνου). π.χ. Με τα σήματα Morse μεταδίδουμε 10 λέξεις ανά sec. Με Ethernet μερικές εκατοντάδες Mb/sec
- ✓ Ποιότητα επικοινωνίας (Quality-of-Service, QoS)
- ✓ Δυνατότητα διόρθωσης λαθών
- ✓ Κατανάλωση ενέργειας

# Πηγές πληροφορίας

---

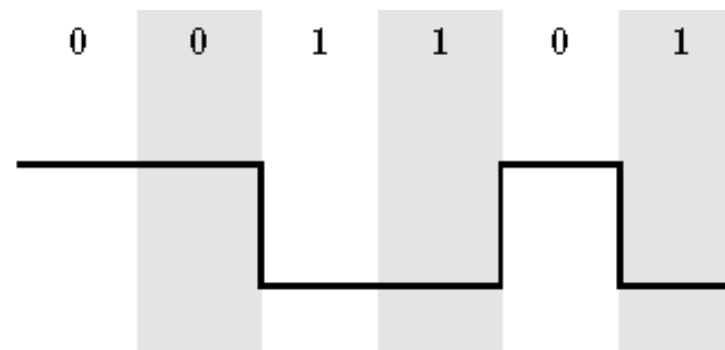
## ● Αναλογικές πηγές πληροφορίας:

- ✓ Το σήμα ενός μικροφώνου
- ✓ Το σήμα μιας αναλογικής τηλεοπτικής κάμερας.



## ● Ψηφιακές πηγές πληροφορίας:

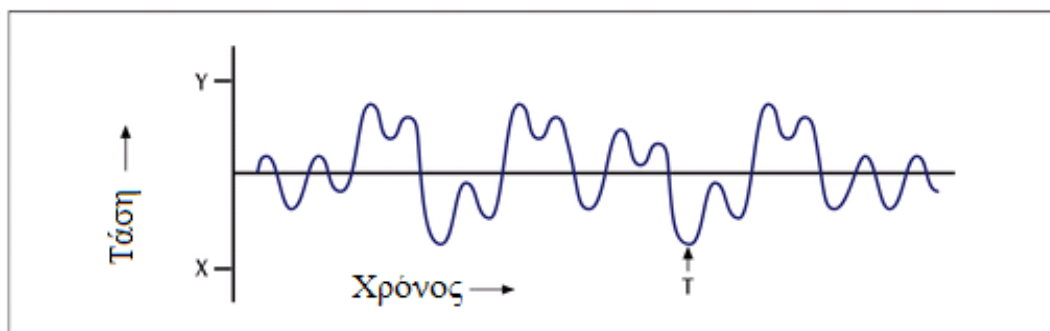
- ✓ Υπολογιστές
- ✓ Ψηφιακή λήψη



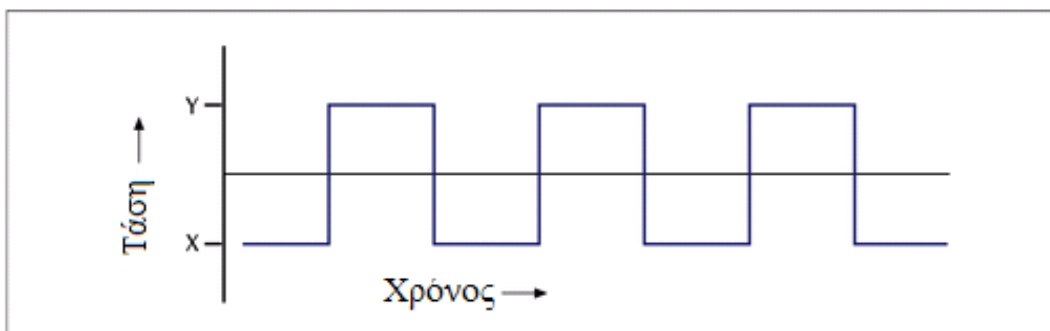
# Αναλογικά σήματα-Ψηφιακά σήματα

---

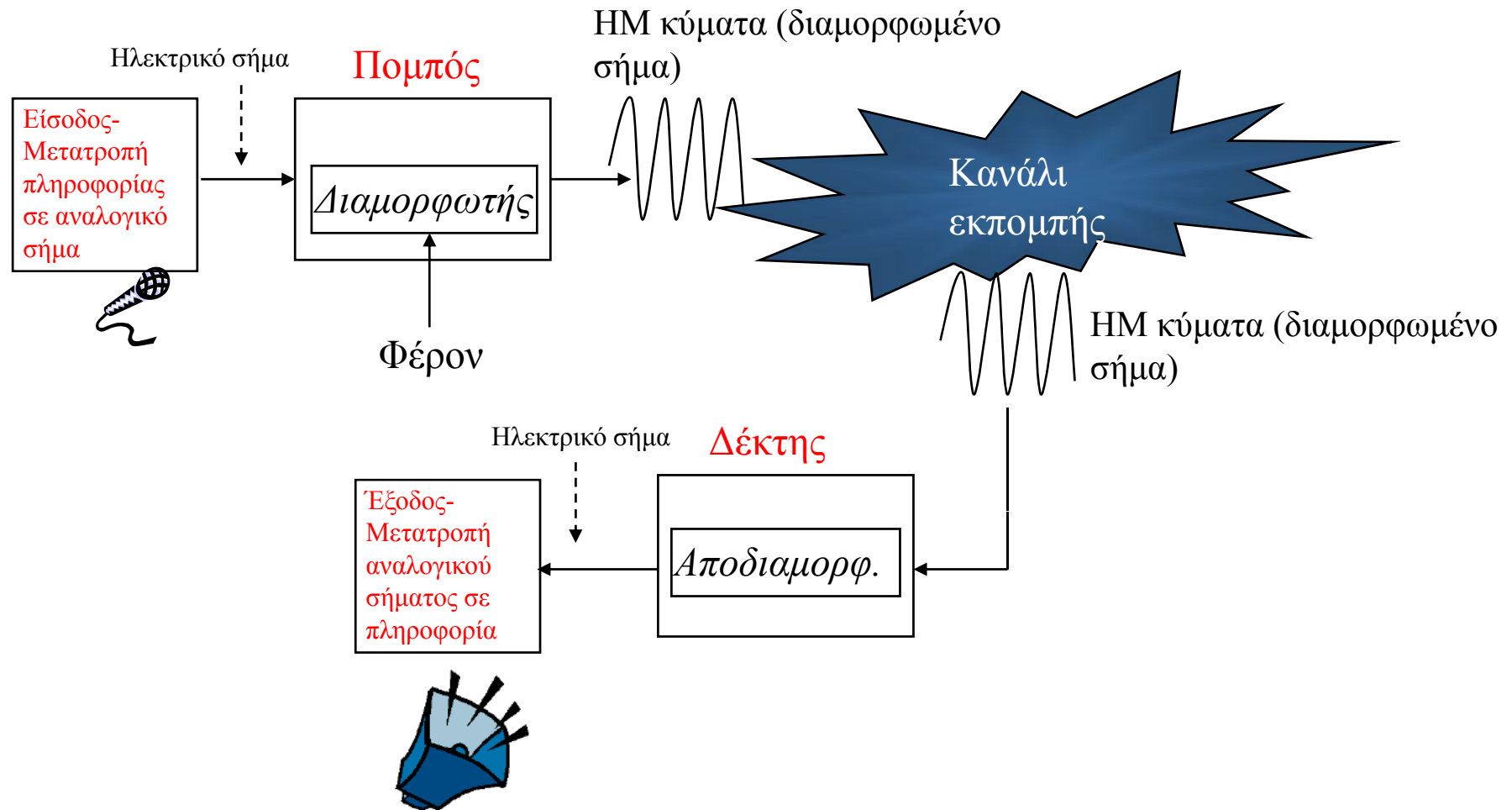
Το αναλογικό σήμα είναι μια συνεχής κυματομορφή, όπως π.χ. η μουσική και το video.



Το ψηφιακό σήμα αντιπροσωπεύει μια διακριτή κυματομορφή, όπως π.χ. Τα 0 και 1 των Η/Υ.

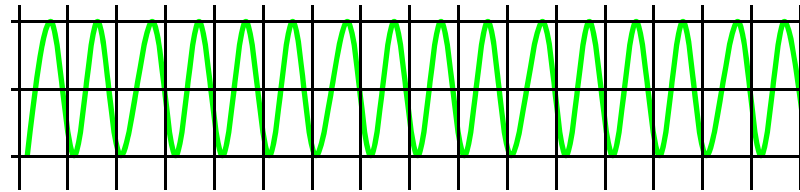


# Βασικό αναλογικό σύστημα επικοινωνίας

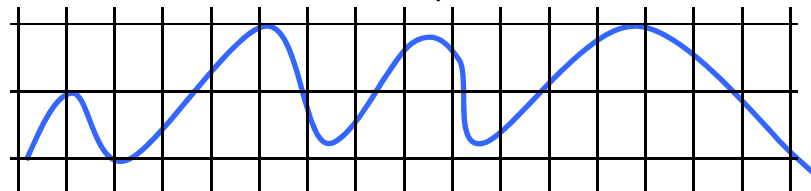




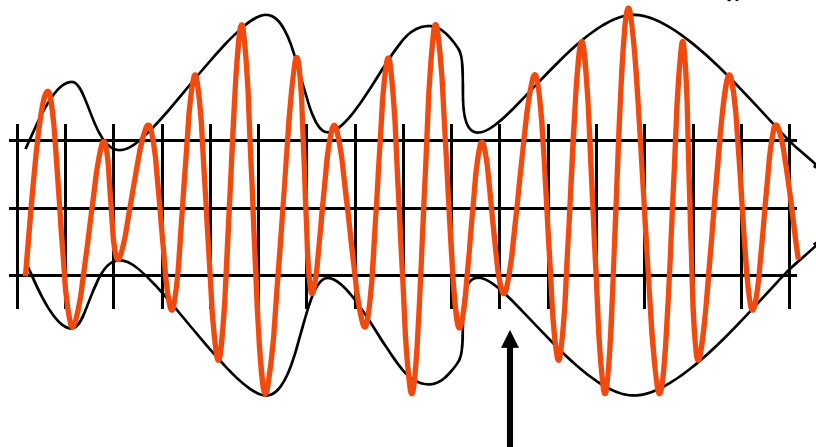
# Αναλογικές Διαμορφώσεις AM- FM



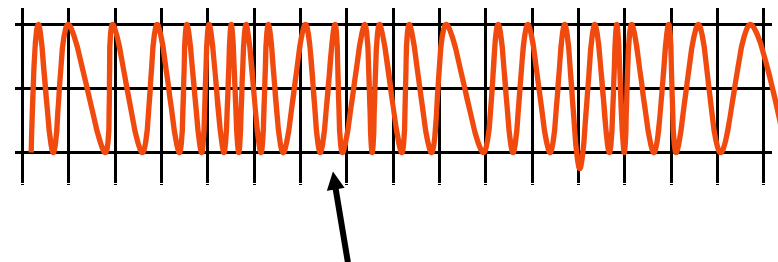
Φέρον



Σήμα Βασικής ζώνης



Σταθερή Συχν. Μεταβαλλ. Πλάτος, AM



Σταθερό πλάτος. Μεταβαλλ. Συχνότητα, FM

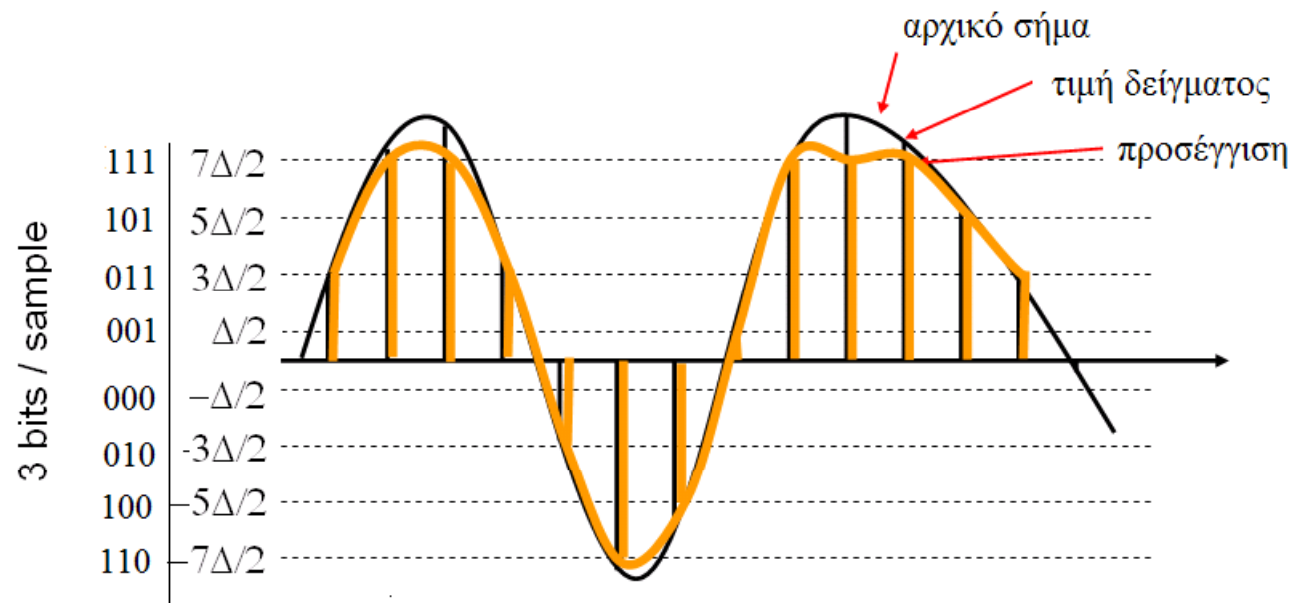
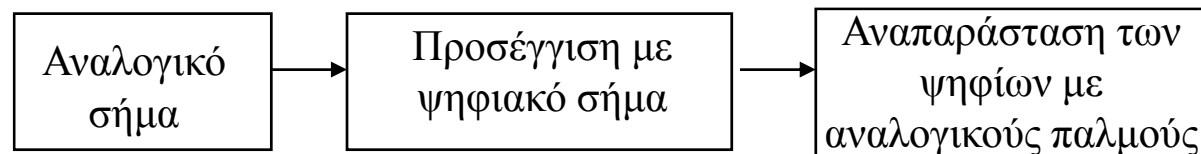
# Διαμόρφωση

---

- **Γιατί είναι απαραίτητη η διαμόρφωση;** Για να γίνει εφικτή η μετάδοση του σήματος στο μέσο διάδοσης.
  - ✓ Ενσύρματη μετάδοση
    - ❖ Προσαρμογή στο μέσο διάδοσης.
  - ✓ Ασύρματη μετάδοση
    - ❖ Γίνεται εφικτή η μετάδοση ΗΜ κυμάτων με κεραίες μικρών διαστάσεων. Ένα ΗΜ κύμα απαιτεί κεραία με μήκος συγκρίσιμου του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου/λαμβανόμενου σήματος.
    - ❖ Επομένως η μετάδοση ΗΜ κυμάτων με χαμηλή συχνότητα θα απαιτούσε τεράστιες κεραίες.

# Ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας

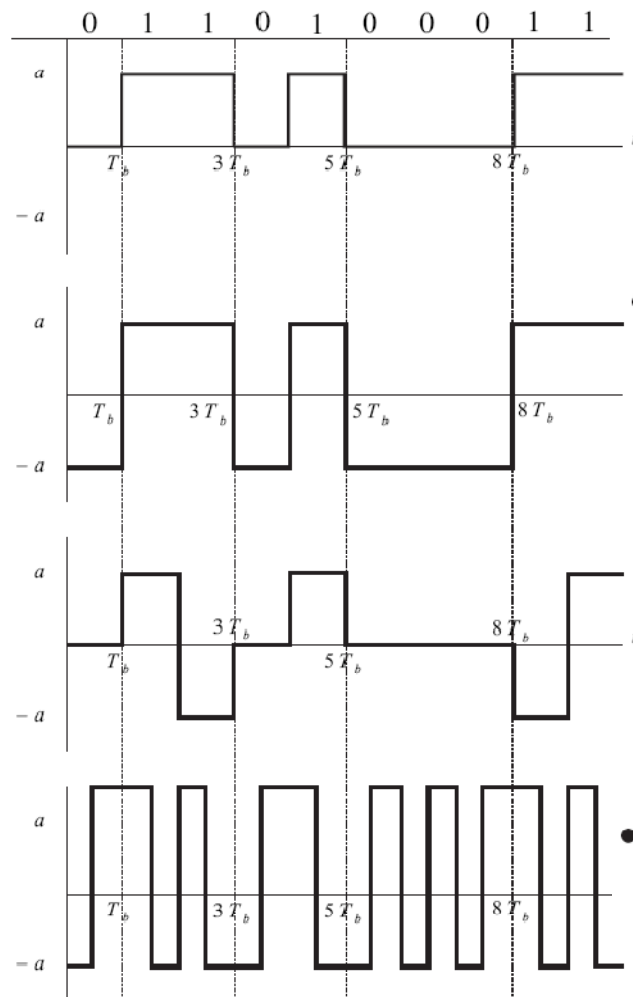
- Η βασική διαφορά με τα αναλογικά συστήματα:



# Μετατροπή επιπέδων σε bits

Επίπεδο	Natural Binary Code				Folded Binary Code				Inverted Folded Binary Code				Gray Code			
	$b_4$	$b_3$	$b_2$	$b_1$									$g_4$	$g_3$	$g_2$	$g_1$
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
14	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
13	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1
12	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0
11	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
10	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1
8	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
7	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0
6	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1
5	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1
4	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0
3	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

# Αντιστοιχία bits σε κυματομορφές



- **Unipolar** ή **On-Off**. Το 1 αντιστοιχεί σε ένα παλμό ενώ το 0 σε παύση της εκπομπής. Η τεχνική αυτή δημιουργεί DC συνιστώσα η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ανεπιθύμητη.

- **Polar**, όπου χρησιμοποιείται ένας θετικός παλμός για το 1 και ένας αρνητικός για το 0. Εδώ δεν υπάρχει DC συνιστώσα με την προϋπόθεση ότι τα 0 και 1 στην ακολουθία εισόδου φτάνουν με την ίδια πιθανότητα.

- **Bipolar** ή **Alternate Mark Inversion, AMI**. Στην περίπτωση του κώδικα AMI χρησιμοποιούνται εναλλάξ θετικοί και αρνητικοί παλμοί για το 1 (με την αλλαγή να πραγματοποιείται σε κάθε εμφάνιση του bit 1) ενώ δεν υπάρχει παλμός για το 0. Με τον τρόπο αυτό υπάρχουν τρία επίπεδα:  $+1$ ,  $0$ ,  $-1$ .

- **Manchester**. Το 1 κωδικοποιείται με τη μετάδοση ενός θετικού παλμού για το μισό της περιόδου του συμβόλου και με ένα αρνητικό παλμό για το υπόλοιπο μισό. Για το ψηφίο 0 οι δύο παλμοί μεταδίδονται σε αντίστροφη σειρά.

---

# Ψηφιακές Επικοινωνίες

## Πλεονεκτήματα των ψηφιακών συστημάτων

---

- ✓ Αντοχή στο θόρυβο
- ✓ Καλύτεροι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης
- ✓ Αξιόπιστη επεξεργασία σήματος.
- ✓ Εύκολος σχεδιασμός (προγραμματιζόμενοι μικροεπεξεργαστές).
- ✓ Ευελιξία (modular architecture)
- ✓ Παρόμοια αντιμετώπιση, ανεξάρτητα του είδους της πληροφορίας
- ✓ Ευκολότερη πολυπλεξία σημάτων.
- ✓ Συμπίεση
- ✓ Αποθήκευση και ανάκτηση

# Μειονεκτήματα των ψηφιακών συστημάτων

---

- ✓ Συγχρονισμός



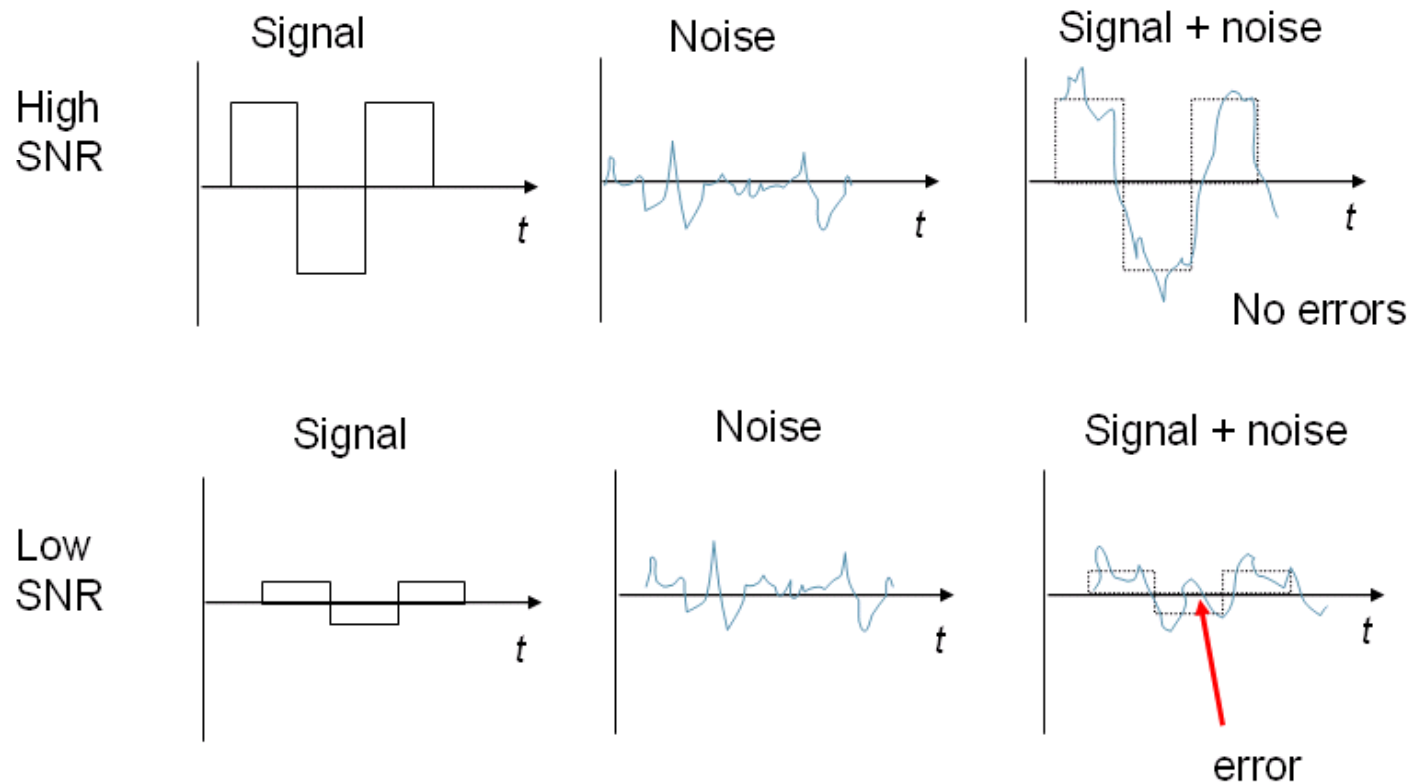
# Κριτήρια αξιολόγησης

---

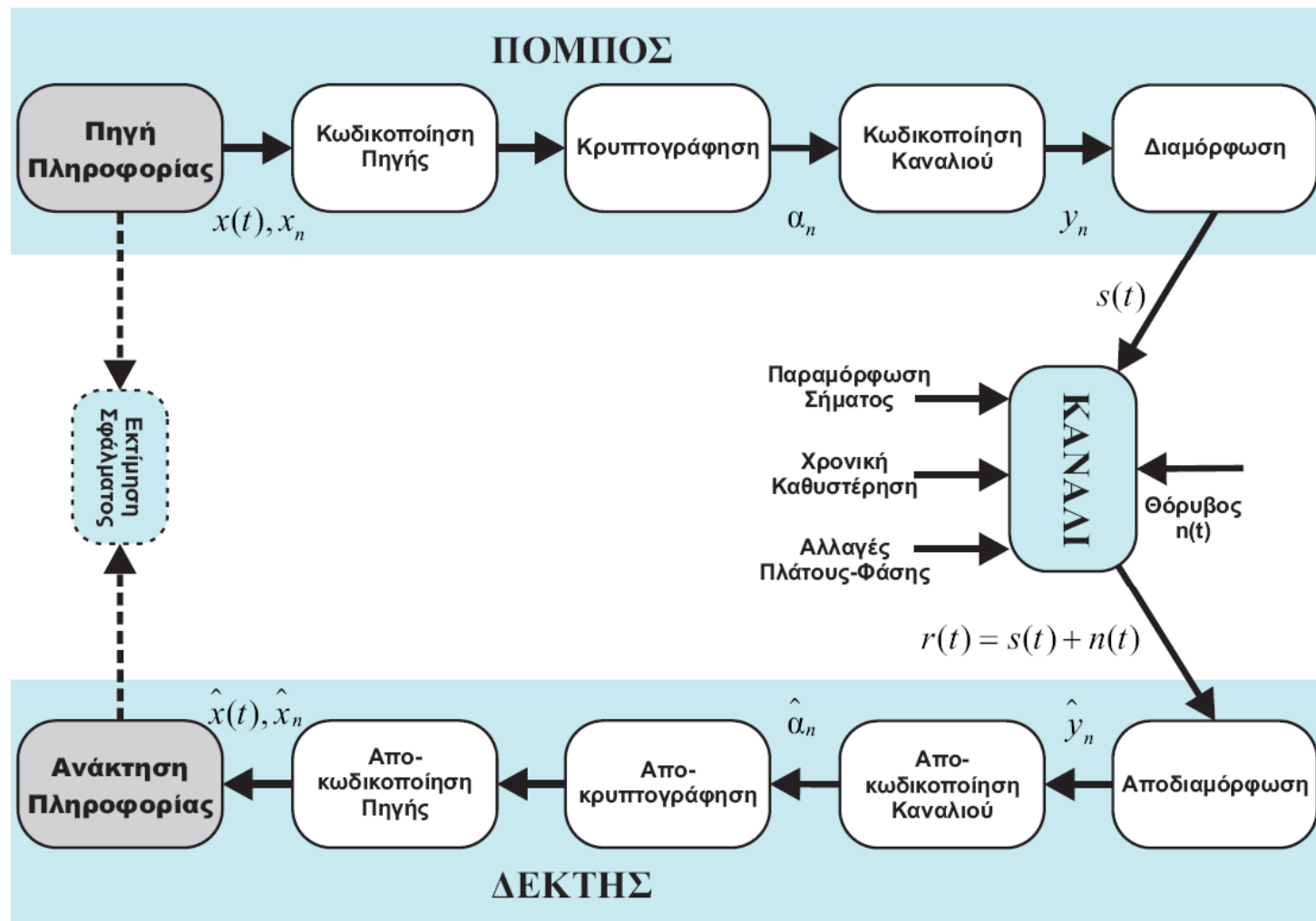
- ✓ Λόγος σήματος προς θόρυβο  $SNR = \frac{P_r}{P_N}$ 
  - Ασύρματες επικοινωνίες  $ASNR = \mathbb{E}[SNR]$
- ✓ Λόγος σήματος προς παρεμβολή συν θόρυβο  $SINR = \frac{P_r}{P_N + P_I}$   $ASINR = \mathbb{E}[SINR]$
- ✓ Ρυθμός σφάλματος bit ή συμβόλου (BER ή SER)
- ✓ Αποδοτικότητα ισχύος (Power efficiency)
- ✓ Φασματική Αποδοτικότητα (Bandwidth efficiency)  $N_{BW} = \frac{R}{W}$ , bps/Hz.
- ✓ Ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας (bit rate) ή χωρητικότητα καναλιού (capacity)  
 $C = W \log_2(1 + SNR)$ , bps
- ✓ Πιθανότητα διακοπής επικοινωνίας (outage probability)

# Κριτήρια αξιολόγησης

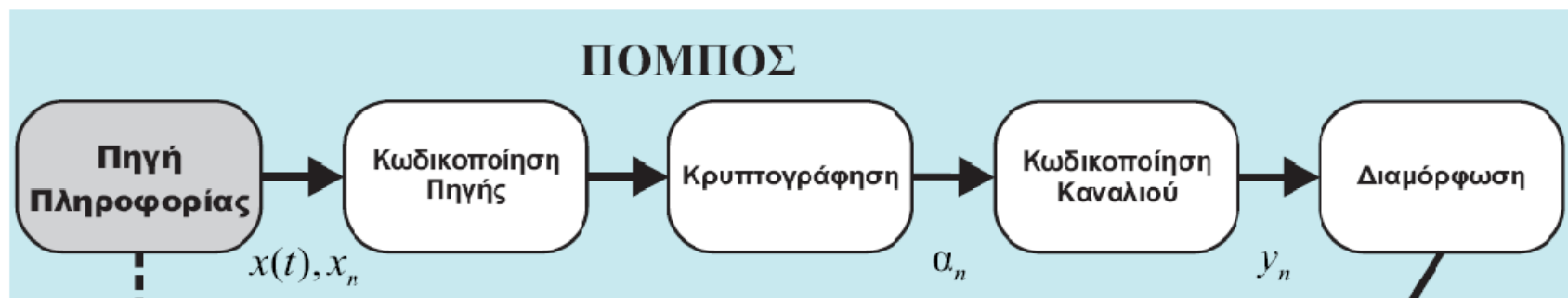
---



# Ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας



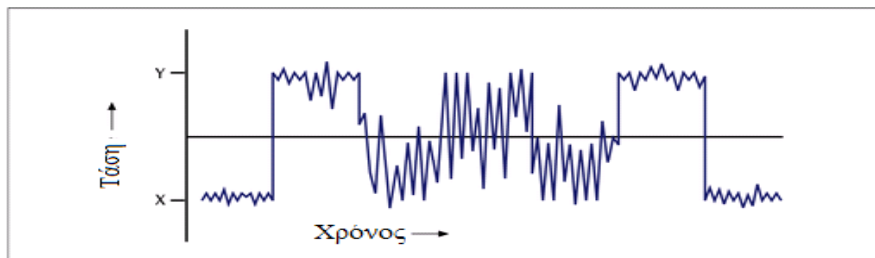
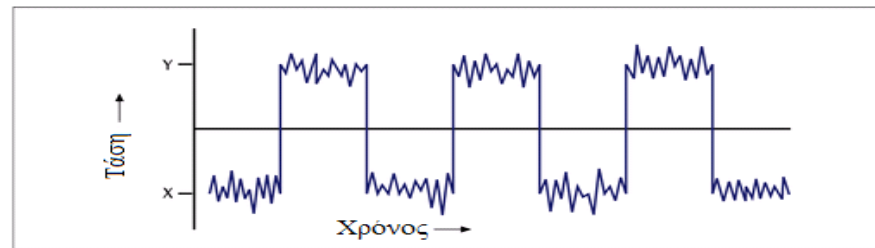
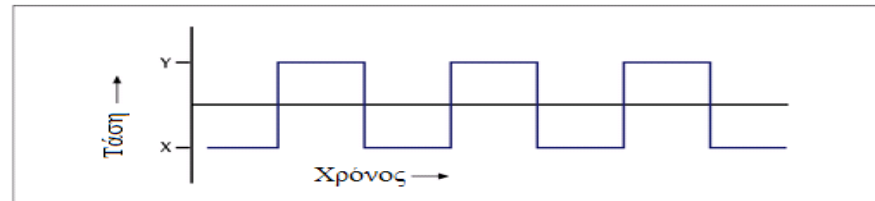
# Ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας-Πομπός



- Πηγή πληροφορίας
- Κωδικοποίηση πηγής
- Κρυπτογράφηση
- Κωδικοποίηση καναλιού
- Διαμόρφωση

# Κανάλι

- ✓ Πρόσθεση θορύβου
- ✓ Παραμόρφωση
- ✓ Χρονική καθυστέρηση



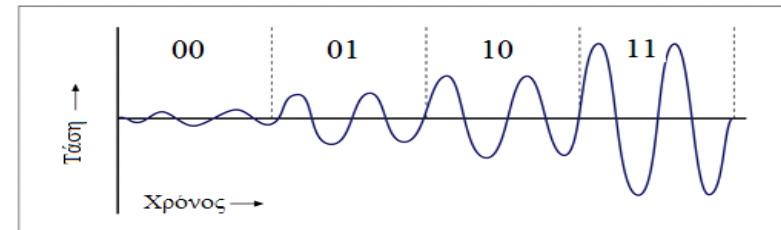
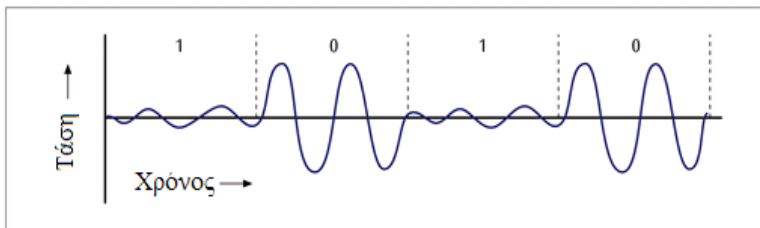
# Ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας-Δέκτης



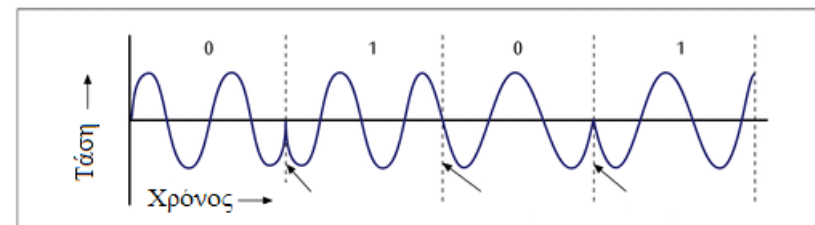
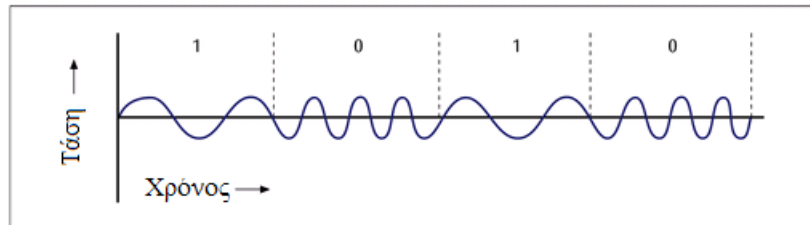
- Αποδιαμόρφωση
- Αποκωδικοποίηση καναλιού
- Αποκρυπτογράφηση
- Αποκωδικοποίηση πηγής

# Ψηφιακές Διαμορφώσεις-Πρώτη γεύση

Στα ψηφιακά συστήματα, η πηγή πληροφορίας (αν δεν είναι ήδη ψηφιακή, δηλαδή 0 και 1) μετατρέπεται σε ψηφιακό σήμα. Έπειτα κάθε bit ή μπλοκ από bits αναπαρίσταται από αναλογικούς παλμούς.



Κάθε bit αναπαρίσταται από έναν ημιτονοειδή παλμό διαφορετικού πλάτους και ίδιας συχνότητας.



Κάθε bit αναπαρίσταται από έναν παλμό διαφορετικής συχνότητας ή φάσης.