



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

# Τεχνολογίες Πολυμέσων

## Ενότητα # 3: Ψηφιοποίηση

Γιώργος Καρυδάκης

Τμήμα Πολιτισμικής Τεχνολογίας και Επικοινωνίας



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# 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 Αθηνών**» 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



# Σύνοψη προηγούμενης ενότητας

- Αριθμητικά συστήματα
- Μετατροπή
- Πράξεις δυαδικών αριθμών
- Αρνητικοί και δεκαδικοί
- Άλγεβρα boole
- Ψηφιακή σχεδίαση

# Περιεχόμενα ενότητας

- Ψηφιακό σήμα
- Ψηφιοποίηση
- Δειγματοληψία
- Κβαντισμός

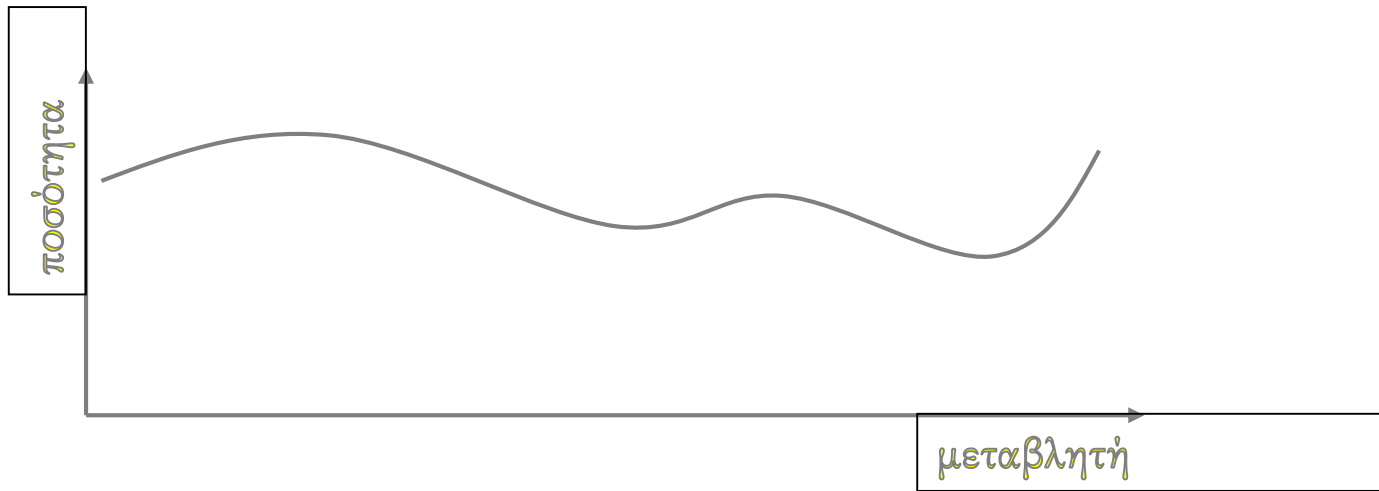
# **Ενότητα # 3**

Ψηφιοποίηση

# Ορισμός σήματος

- Πληροφορίες που αντιλαμβανόμαστε μέσω των αισθήσεων μας και μπορούν να περιγραφούν ως μια ή περισσότερες φυσικές μεταβλητές η τιμή των οποίων είναι μια συνάρτηση του χρόνου (και / ή του χώρου)
- Παράδειγμα
  - Ηχητικό Σήμα
    - Ο ήχος παράγεται από ταλάντωση στοιχείων που συμπιέζουν τον περιβάλλον αέρα
    - Ο αέρας μεταφέρει τις διαταραχές ως κύμα
- Παραδείγματα Σημάτων
  - Ανθρώπινος λόγος
  - Μουσική
  - Εικόνες
  - Βίντεο

# Σήμα





# Μορφές Σημάτων

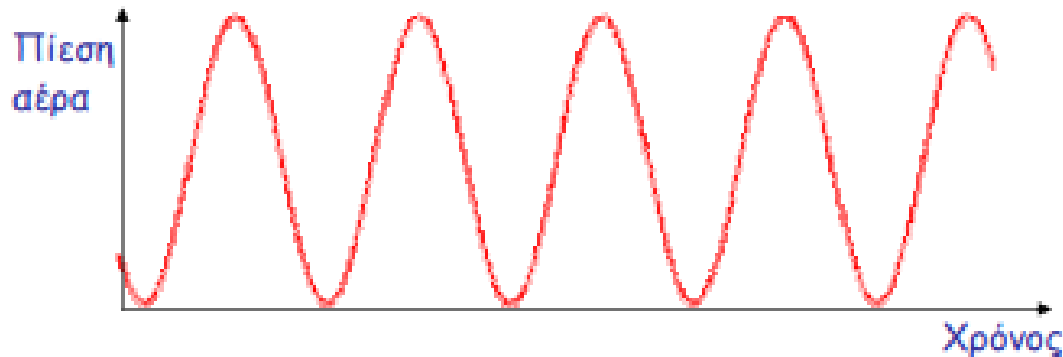
- Ηλεκτρικά σήματα
- Οπτικά σήματα
- Ακουστικά σήματα
- Μαγνητικά σήματα

# Διάσταση σημάτων

- Μονοδιάστατα
  - είναι τα σήματα που μπορούν να περιγραφούν μαθηματικά ως μια συνάρτηση μίας ανεξάρτητης μεταβλητής
  - πχ. ένα ηχητικό σήμα είναι μια μεταβολή της πίεσης του αέρα ως συνάρτηση του χρόνου
- Δισδιάστατα
  - Εικόνα
    - μεταβολή της φωτεινότητας ή του χρώματος ως συνάρτηση της θέσης  $(x,y)$
- Τρισδιάστατα
  - Βίντεο
    - μεταβολή της φωτεινότητας ή του χρώματος ως συνάρτηση της θέσης και του χρόνου  $(x,y,t)$

# Συνεχές

- Σήμα για το οποίο για κάθε τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής μπορεί να υπολογιστεί μια τιμή του σήματος



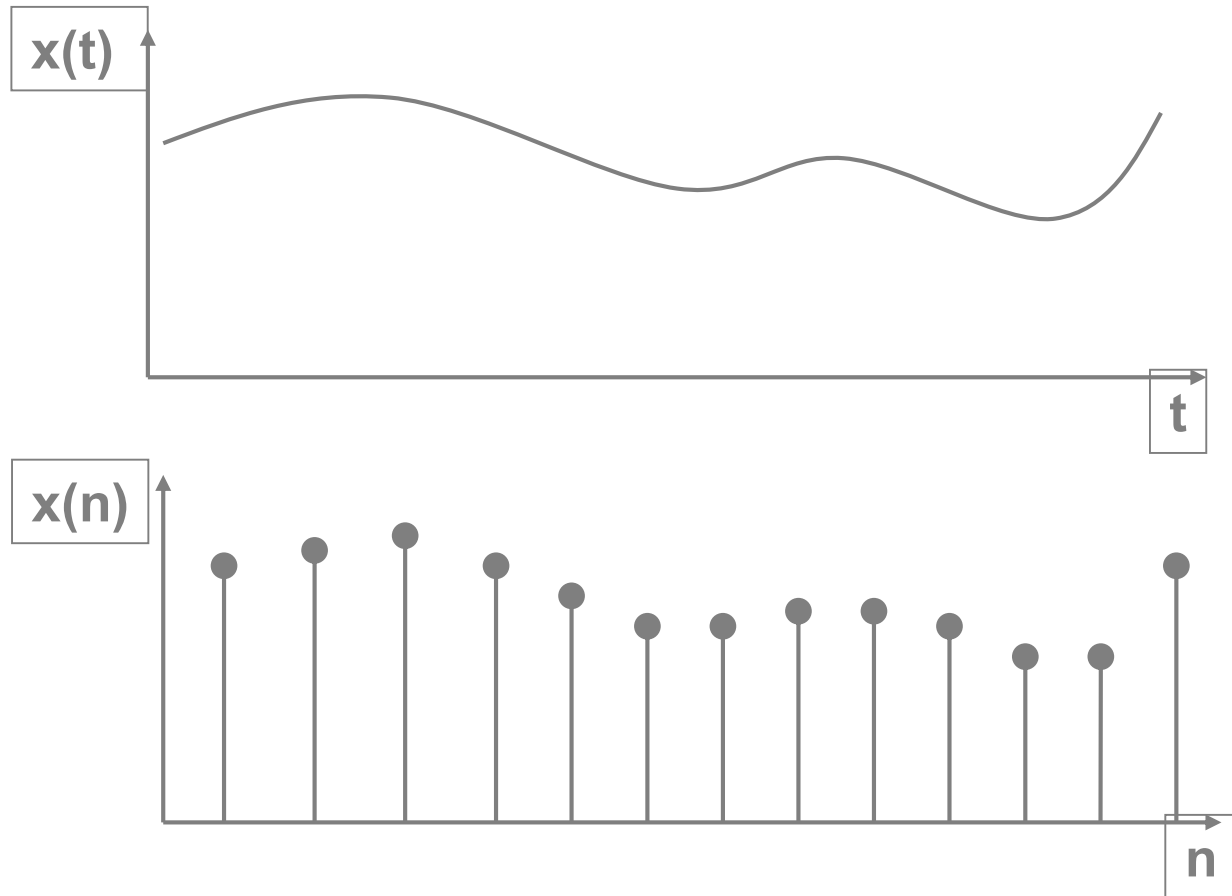
# Ψηφιακό (διακριτό)

- Στους Η/Υ η αναπαράσταση της πληροφορίας γίνεται σε δυαδική μορφή
- Η δυαδική κωδικοποίηση χρησιμοποιεί δύο τιμές 1 και 0 οι οποίες αντιστοιχούν στις καταστάσεις θετικό και μη θετικό (όχι αρνητικό)
- Έτσι κάθε πληροφορία αποθηκεύεται σαν μια ακολουθία από 0 και 1
- Για να μπορέσουμε να αποθηκεύσουμε και να επεξεργαστούμε συνεχή σήματα στον Η/Υ θα πρέπει με κάποιο τρόπο να τα μετατρέψουμε σε ακολουθίες αριθμών (διακριτά σήματα)

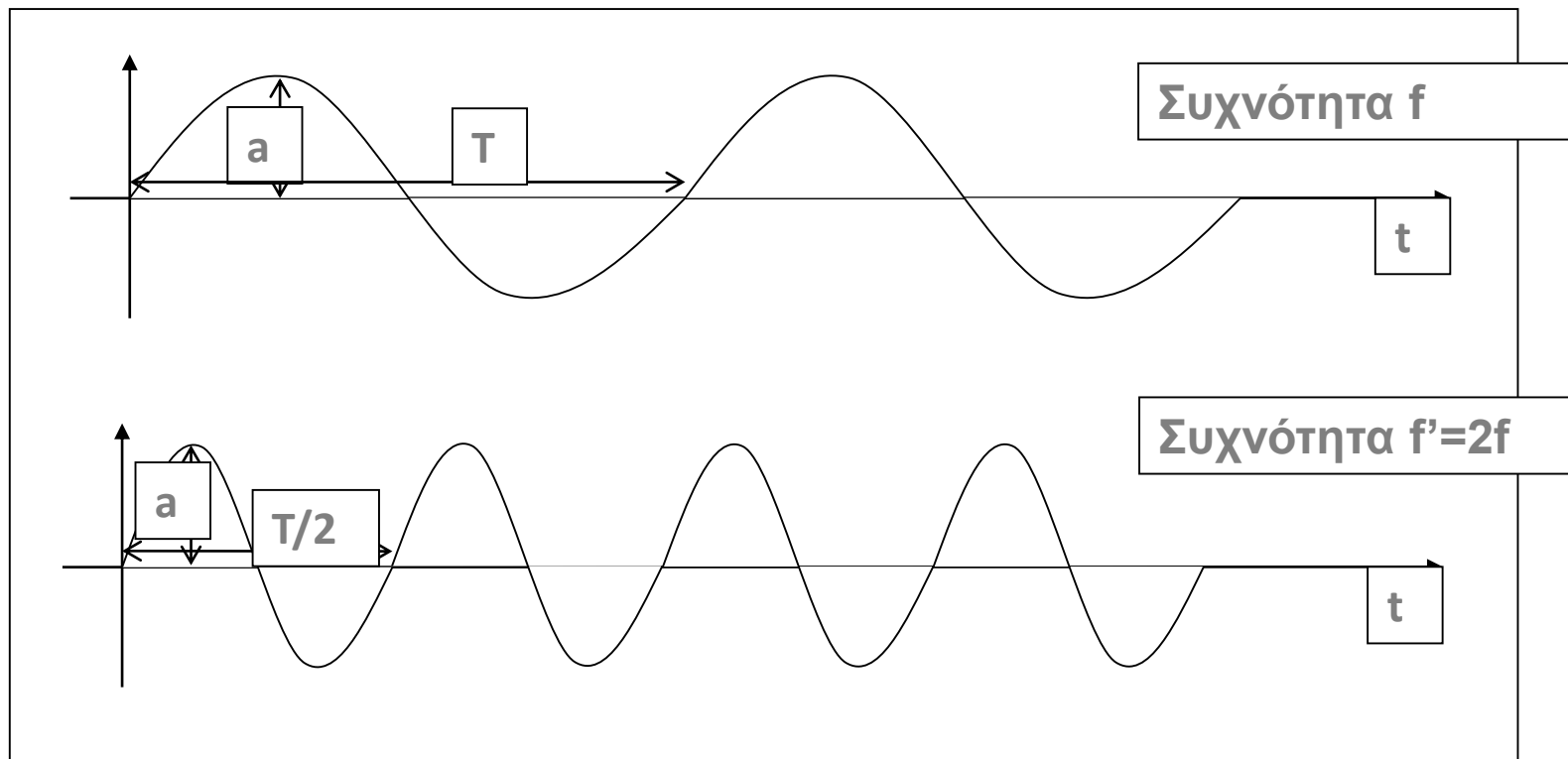
# Περιοδικά σήματα

- Περιοδικά
  - Ένα σήμα συνεχούς χρόνου  $x(t)$  είναι περιοδικό με περίοδο  $T$  αν υπάρχει μια θετική (μη μηδενική) τιμή του  $T$  ώστε να ισχύει  $x(t+T)=x(t)$ , για όλα τα  $t$
  - Η μικρότερη τιμή του  $T$  για την οποία είναι ένα σήμα περιοδικό, ονομάζεται θεμελιώδης περίοδος και συμβολίζεται με  $T_0$
- Μη περιοδικά
  - σήμα που δεν είναι περιοδικό

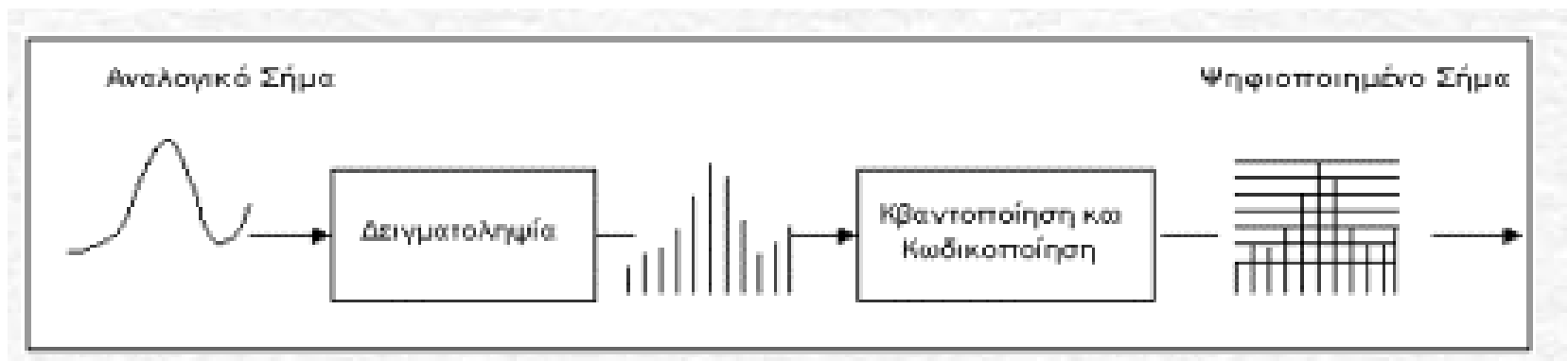
# Συνεχές διακριτό



# Συχνότητα



# Ψηφιοποίηση

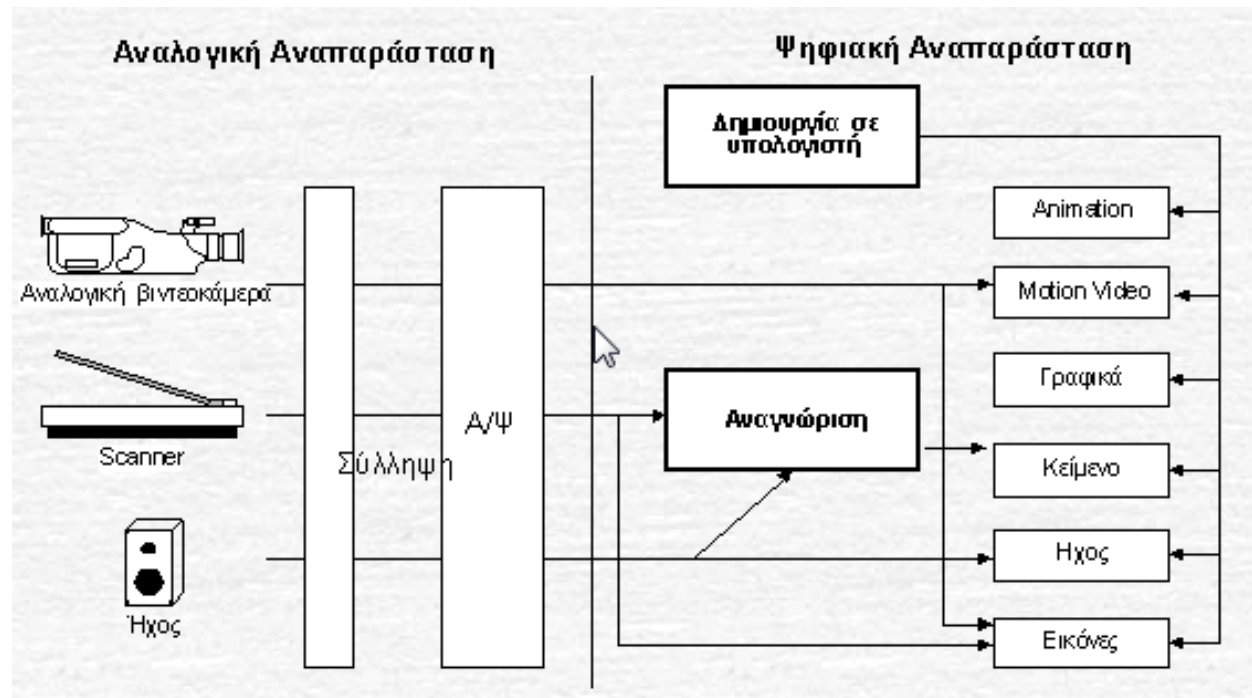




# Συστήματα

- Υπολογιστικά περιβάλλοντα με τα οποία μπορούμε να ... σήματα
  - χειριστούμε
  - μεταβάλλουμε
  - καταγράψουμε
  - μεταδώσουμε

# Ψηφιοποίηση



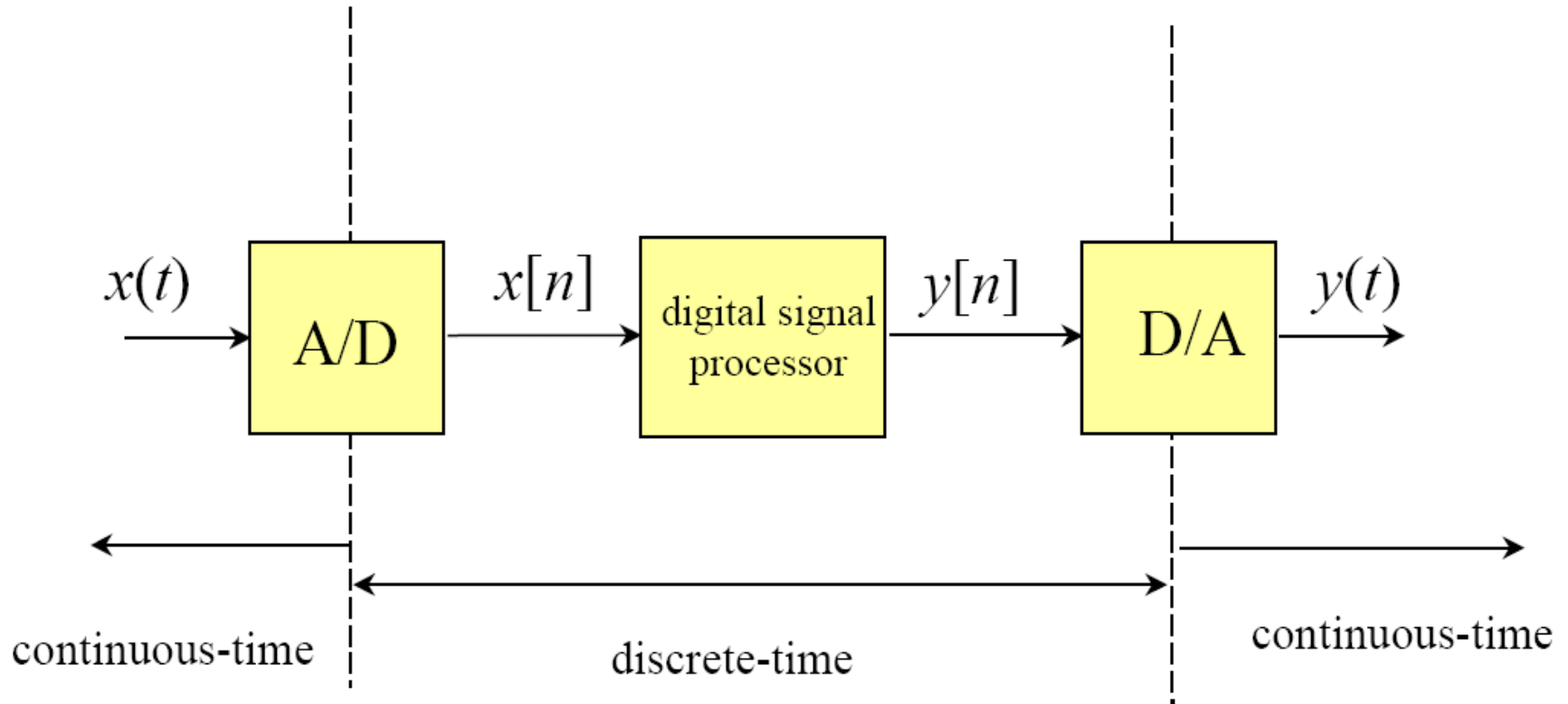
# Παραδείγματα συστημάτων

- Μικρόφωνο
  - είναι ένας αισθητήρας που μετατρέπει τα ηχητικά σήματα σε ηλεκτρικά
- Κάμερα
  - φως σε ηλεκτρικό σήμα (CCD)

# Ψηφιοποίηση

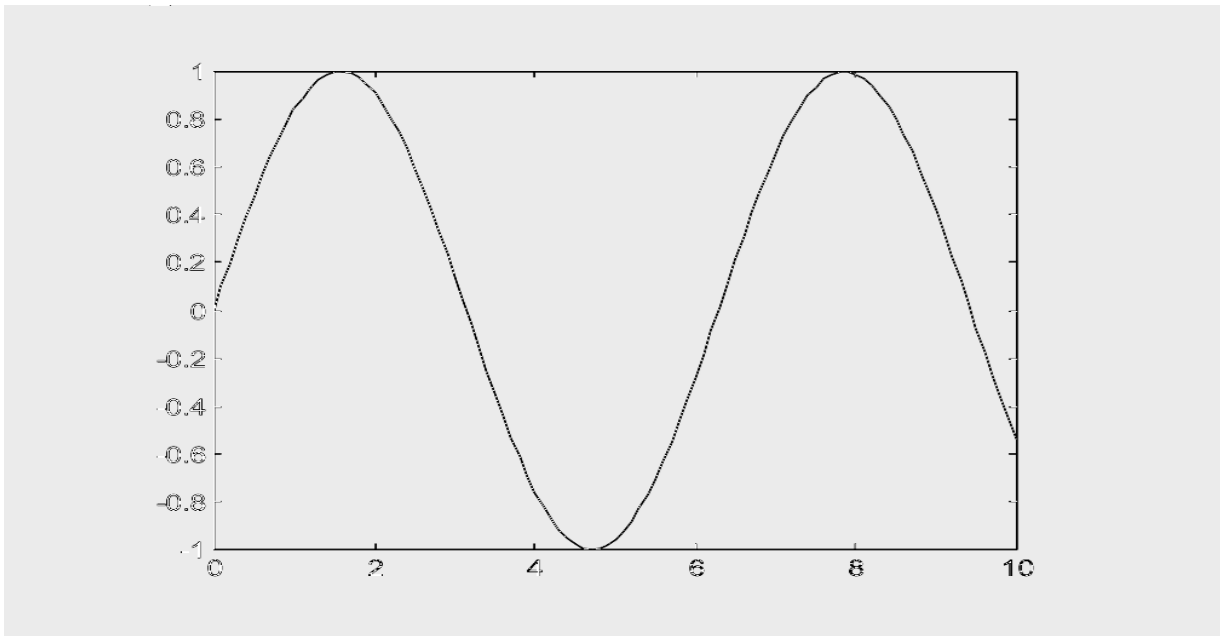
- Τα βασικά βήματα:
  - Δειγματοληψία
  - Κβαντοποίηση
  - Κωδικοποίηση (αντιστοίχιση δεδομένων σε ακολουθίες ψηφίων)

# Ψηφιακη επεξεργασια αναλογικων σηματον



# Ψηφιακή παράσταση Αναλογικών σημάτων

- Τα αναλογικά σήματα (π.χ. η φωνή) είναι σήματα συνεχή στον χρόνο και στις τιμές (amplitude) τους

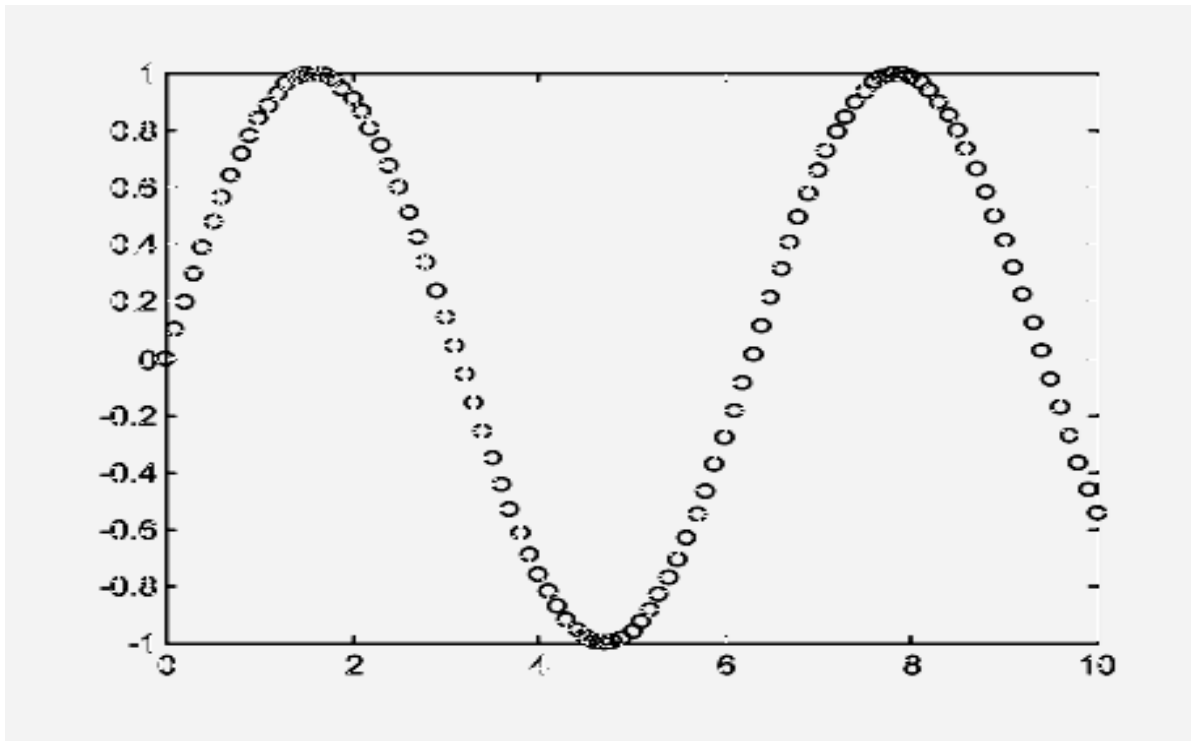


# Δειγματοληψία

- Η διαδικασία με την οποία παράγουμε ένα διακριτό από ένα συνεχές σήμα ονομάζεται δειγματοληψία (sampling)
- Προκύπτει από την καταγραφή των τιμών του συνεχούς σήματος σε μια σειρά από διακριτά και ισαπέχοντα σημεία
  - στο χρόνο (περίπτωση ήχου)
  - στο χώρο (περίπτωση εικόνας)
  - στο χωροχρόνο (περίπτωση βίντεο)

# Ψηφιακή παράσταση Αναλογικών σημάτων

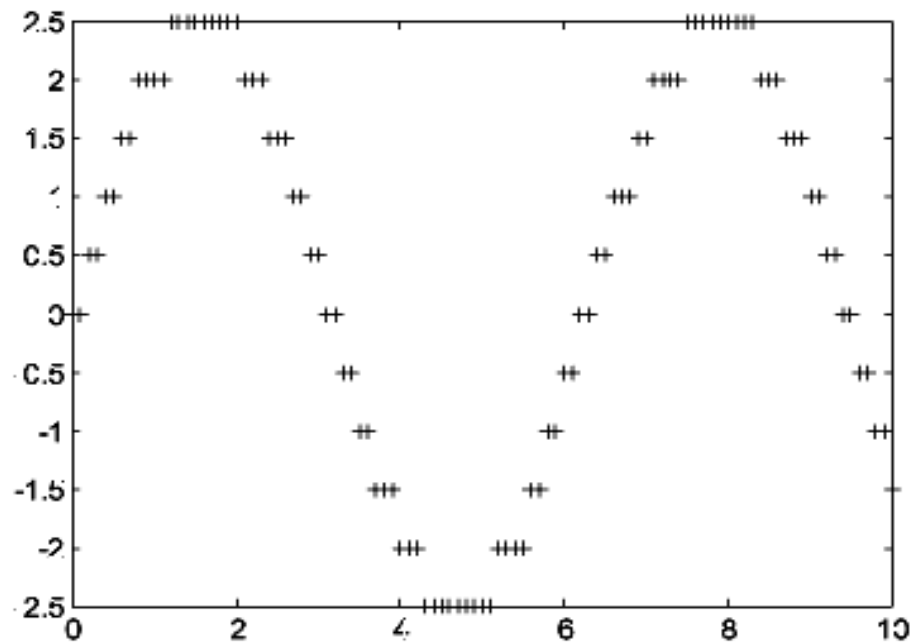
- Με την δειγματοληψία τα αναλογικά σήματα μετατρέπονται σε σήματα διακριτού χρόνου



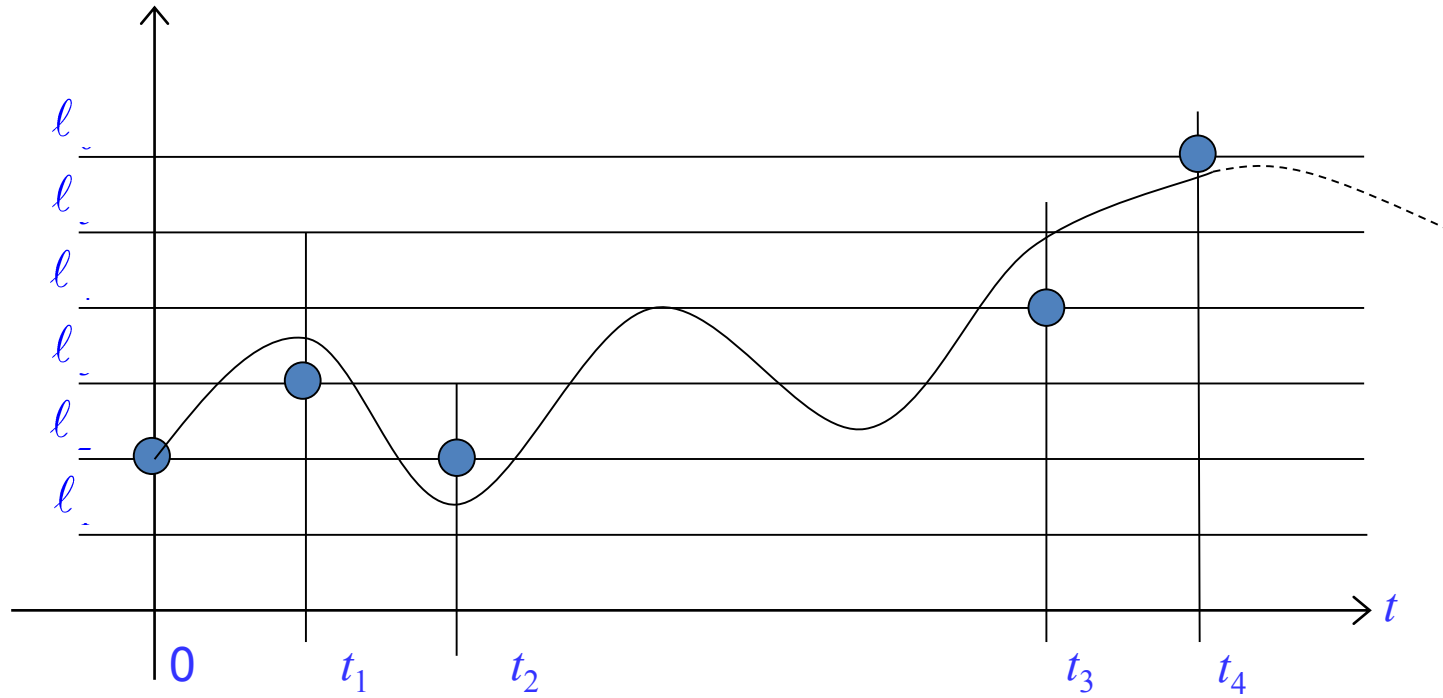


# Ψηφιακή παράσταση Αναλογικών σημάτων

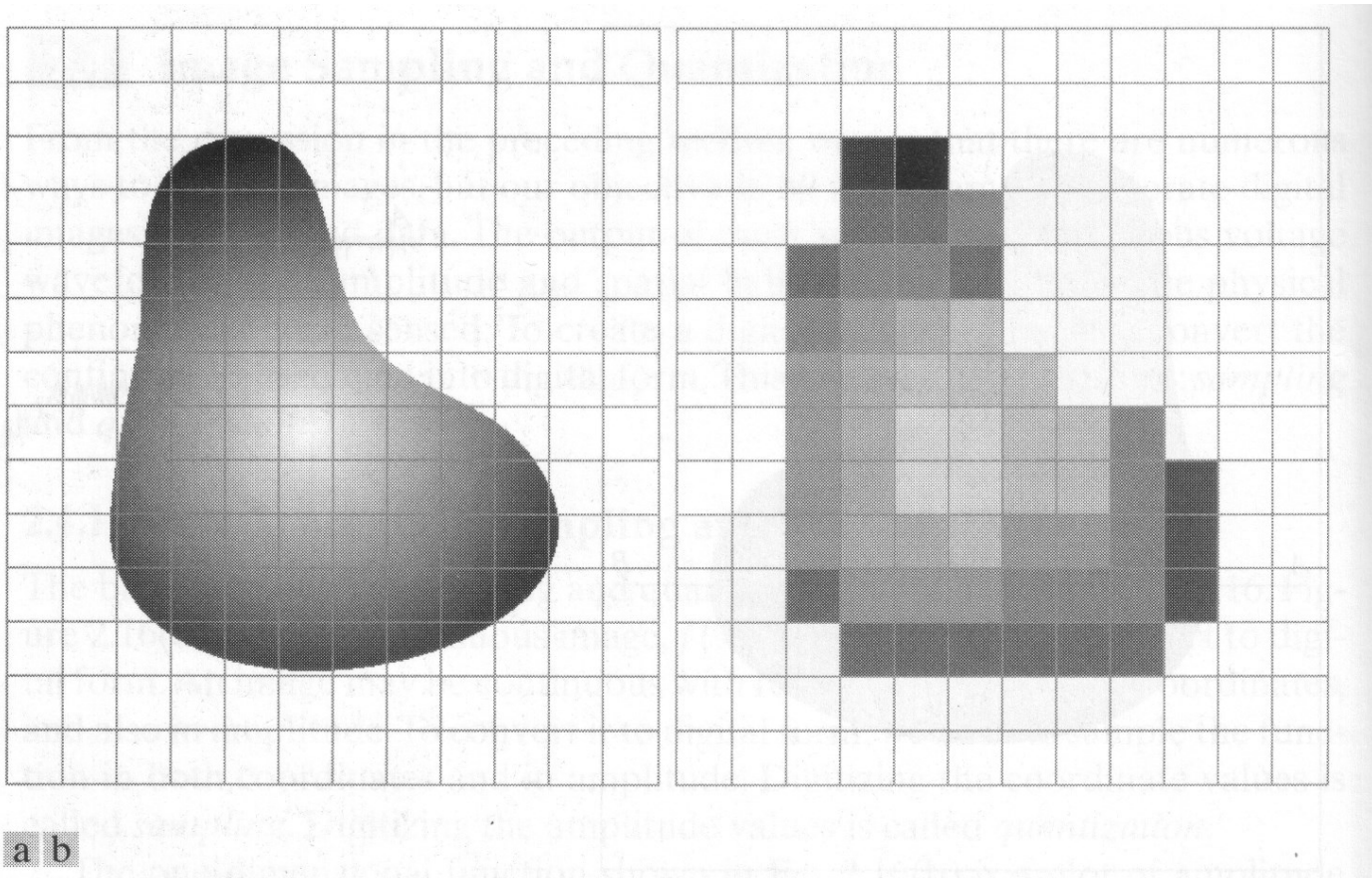
- Με τον κβαντισμο (Quantization) τα δείγματα ενός σήματος γίνονται διακριτά και ως προς την τιμή τους



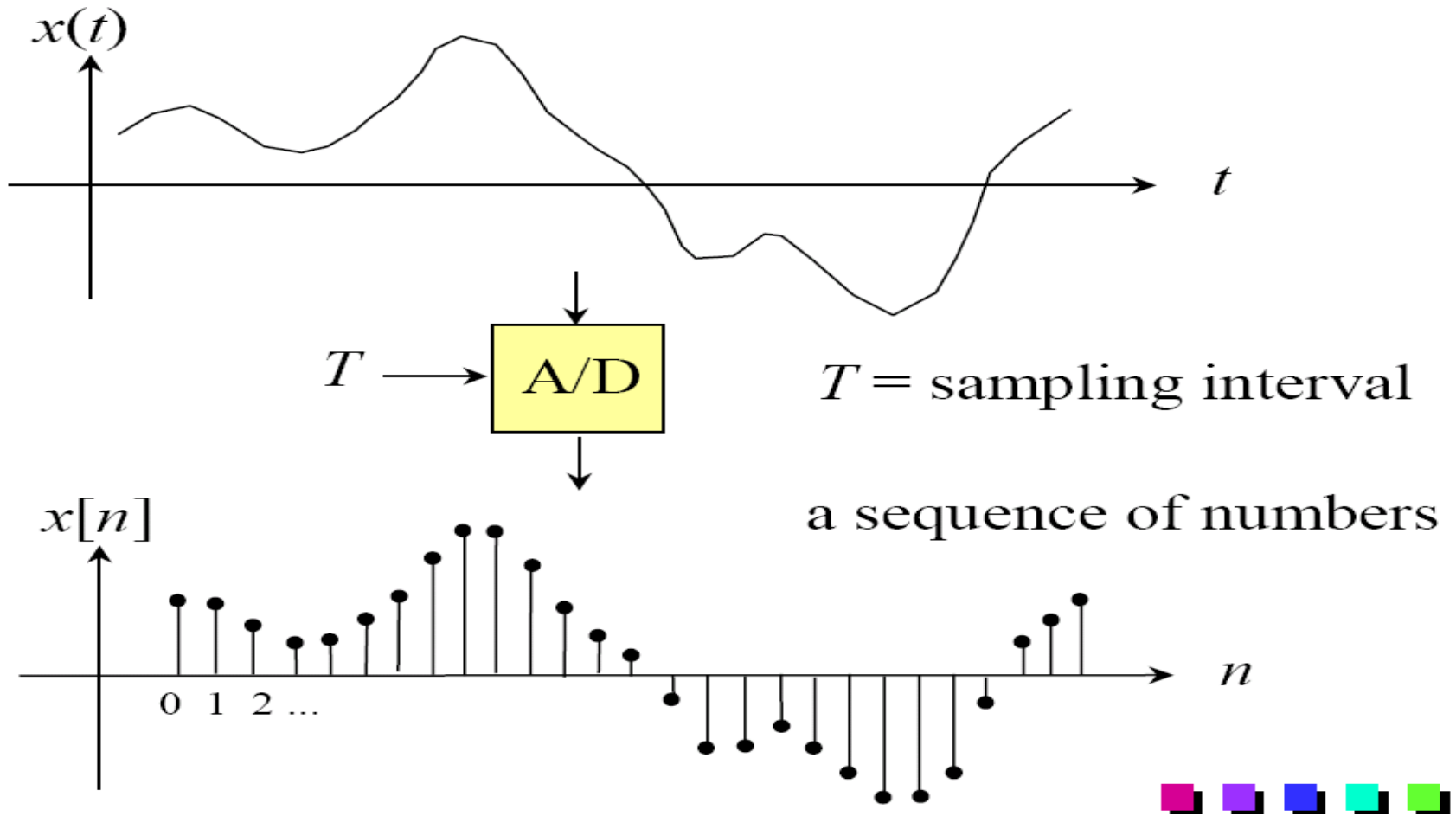
# Δειγματοληψία και κβαντισμός



# Δειγματοληψία και κβαντισμός



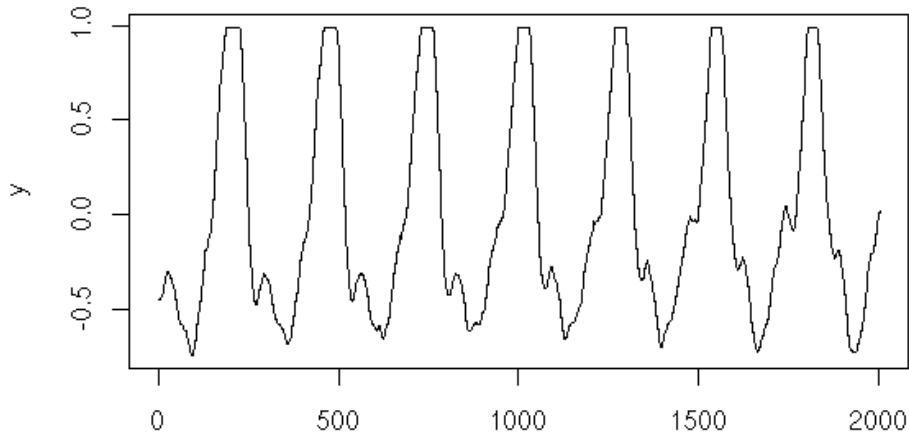
# A/D



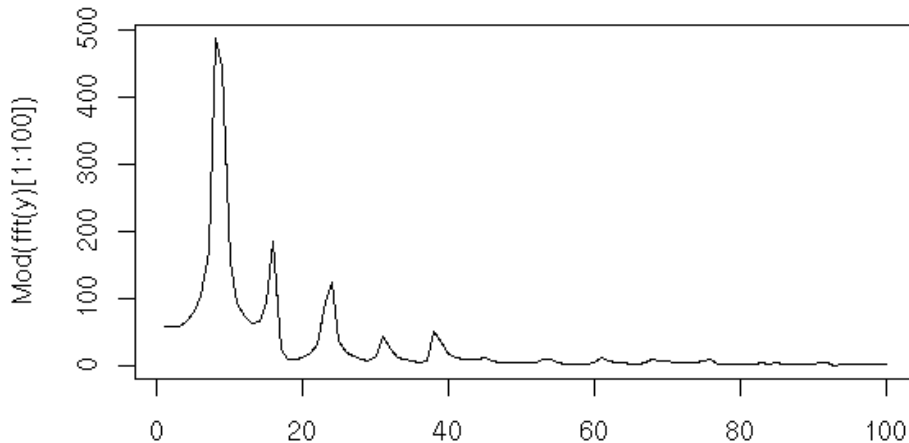
# Ποιότητα ψηφιοποίησης

- Πόσο συχνά θα πρέπει να παίρνουμε δείγματα
- Πόσο κοντά κβαντίζουμε τις δειγματοληπτιμένες τιμές
- Όσο αυξάνει η συχνότητα δειγματοληψίας και αυξάνει το βήμα ψηφιοποίησης τόσο περισσότερο το ψηφιοποιημένο σήμα προσεγγίζει το αρχικό

# Ανάλυση Fourier



Οι χαμηλές συχνότητες στο φάσμα του μετασχηματισμού περιέχουν την μεγαλύτερη ενέργεια στο σήμα (την ένταση του σήματος)

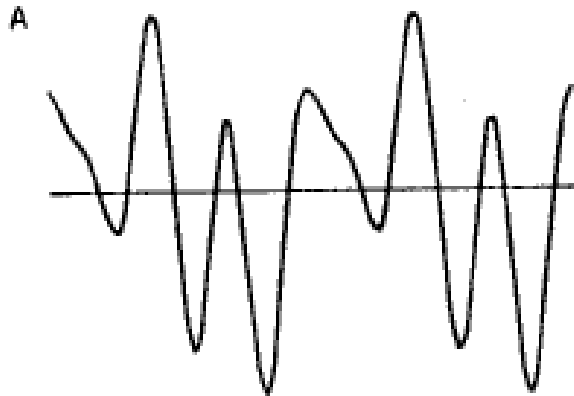


Οι υψηλές συχνότητες στο φάσμα περιέχουν την «λεπτομέρεια» στο σήμα. Επίσης φέρουν και τον θόρυβο που ίσως να υπάρχει στο σήμα

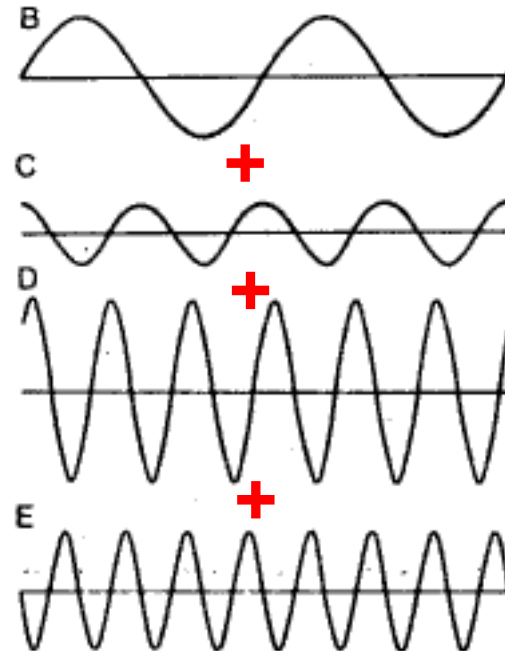
# Φάσμα συχνοτήτων

- Χρησιμοποιώντας την ανάλυση κάθε σήματος σε άθροισμα ημιτονικών συναρτήσεων μπορούμε να περιγράψουμε κάθε σήμα με ένα διάγραμμα που απεικονίζει το πλάτος των συχνοτήτων από τις οποίες αποτελείται
- Η αναπαράσταση αυτή αποτελεί το φάσμα συχνοτήτων (frequency spectrum) για το συγκεκριμένο σήμα

# Ανάλυση Fourier



=

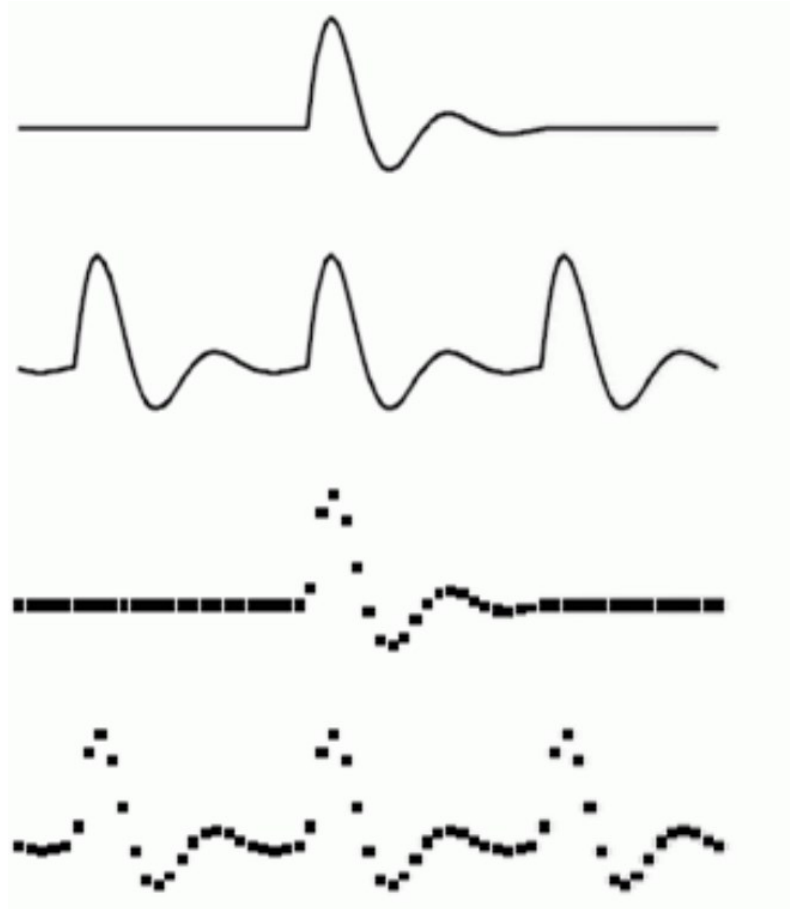




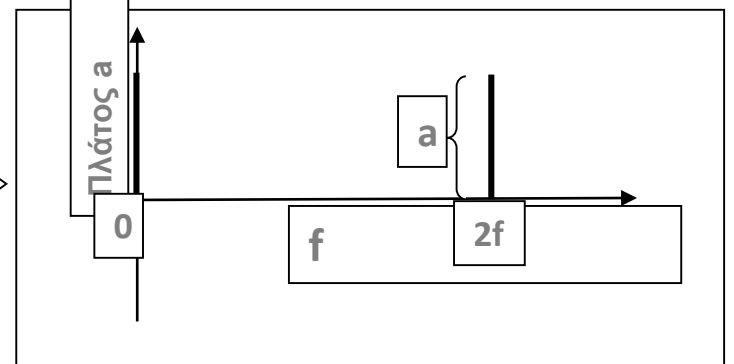
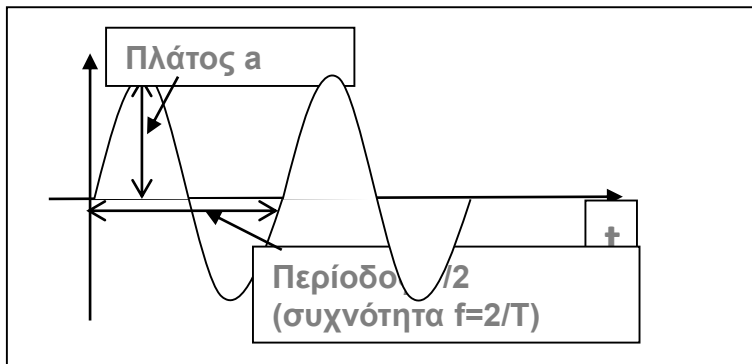
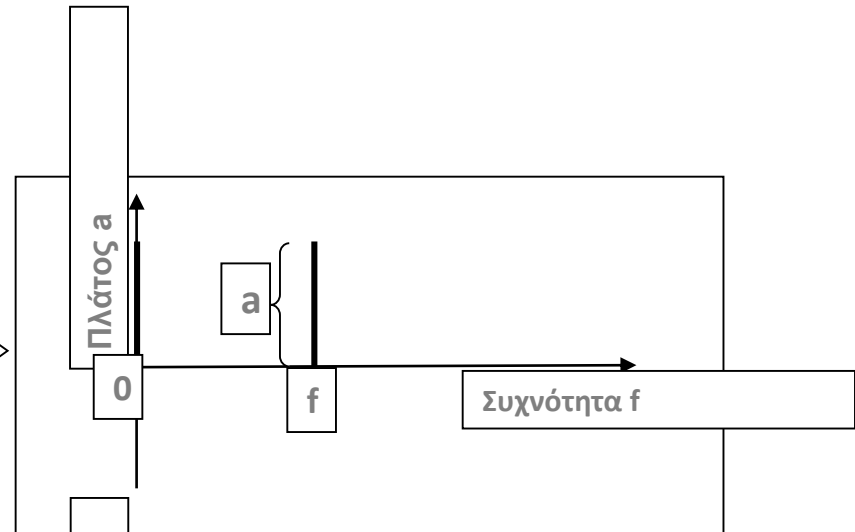
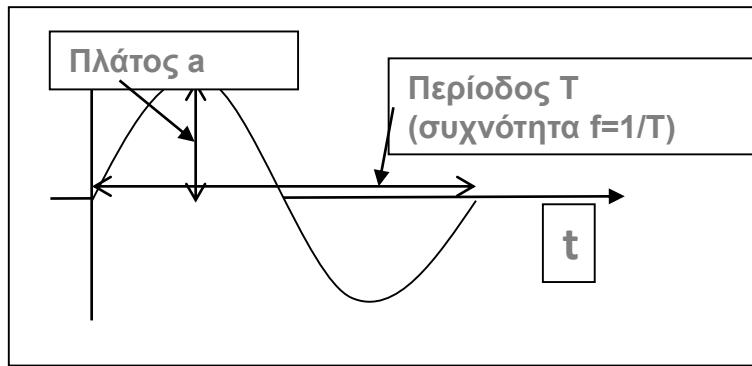
# Ημιτονικές συναρτήσεις

- Κάθε συνεχές σήμα αναλύεται σε ένα άθροισμα ημιτονικών συναρτήσεων με διάφορα
  - πλάτη
    - Η μέγιστη απομάκρυνση του σήματος από τη θέση ισορροπία
  - συχνότητες
    - Η αντίστροφη τιμή της περιόδου του ημιτονικού σήματος
  - φάσεις
    - Φάση ταλάντωσης σήματος στο σημείο μηδέν (αρχική φάση)

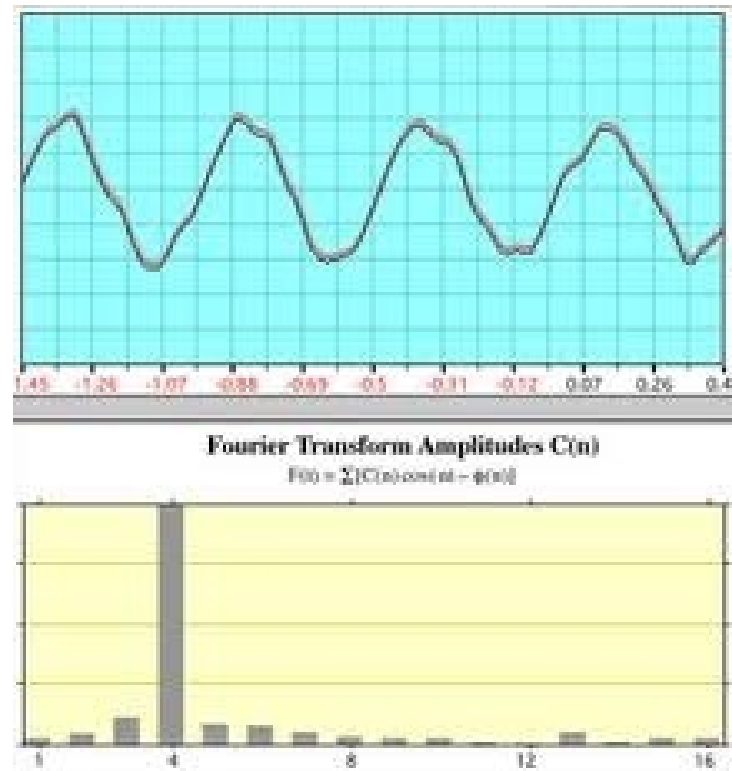
# FFT - DCT



# Fourier



# Φάσμα συχνοτήτων



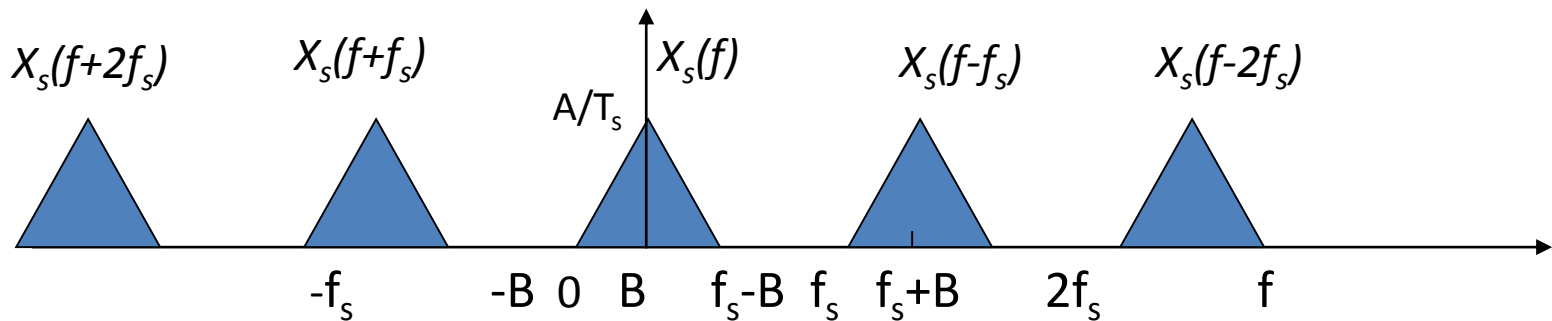
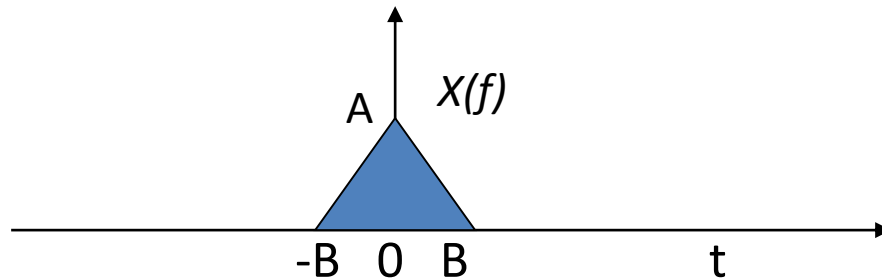
# Ρυθμός δειγματοληψίας

- Πόσα δείγματα πρέπει να παίρνουμε κατά τη διακριτοποίηση ενός σήματος;
- Θεώρημα δειγματοληψίας του Shannon
  - Ένα συνεχές στο χρόνο σήμα  $x(t)$  που περιέχει συχνότητες όχι μεγαλύτερες από  $f_{\max}$  μπορεί να ανακατασκευαστεί ακριβώς από τα δείγματα του  $x[n] = x[nT_s]$ , αν τα δείγματα αυτά έχουν ληφθεί με συχνότητα  $f_s = 1/T_s$  που είναι μεγαλύτερη από  $2f_{\max}$

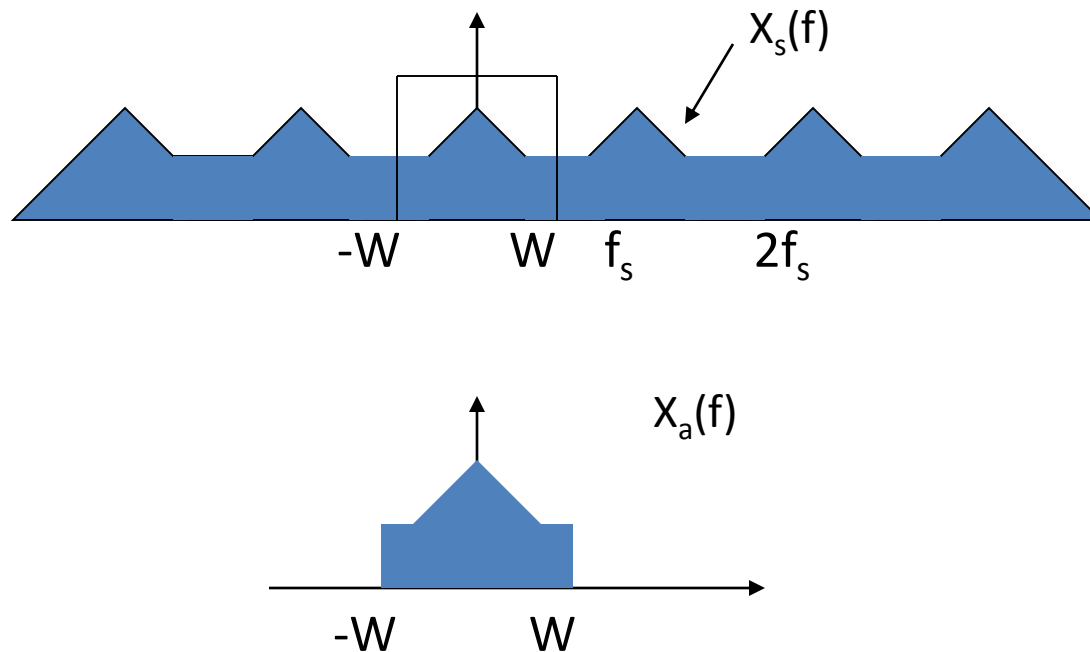
# Αριθμός δειγμάτων ανά μονάδα χρόνου

- Τουλάχιστον  $2 \cdot f_{\max}$  δείγματα άνα δευτερόλεπτο ( $f_{\max}$  σε Hz)
- Το θεώρημα καθορίζει μια ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας κάτω από την οποία η ανακατασκευή του σήματος μας δεν είναι δυνατή
- Η ελάχιστη αυτή συχνότητα είναι γνωστή ως συχνότητα Nyquist

# Μετασχηματισμοί fourier



# Μετασχηματισμοί fourier και αναδίπλωση





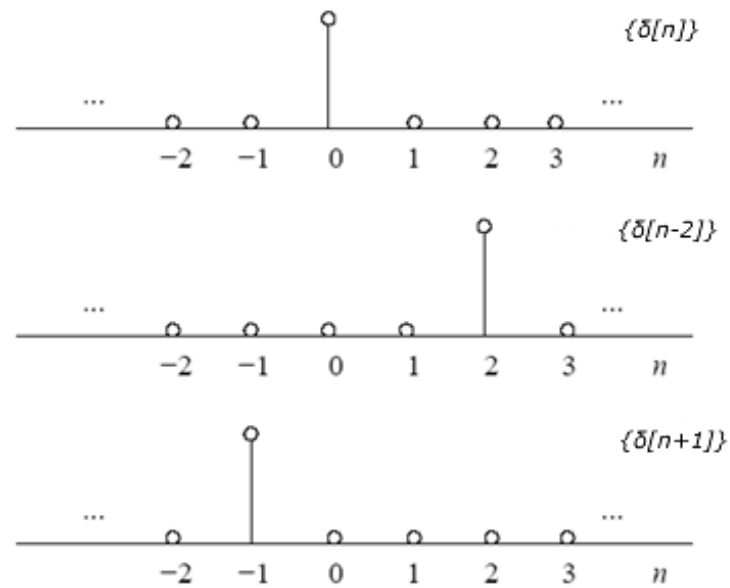
# Τυπικές συχνότητες δειγματοληψίας

- Σήματα φωνής:
  - Τηλεφωνικής ποιότητας φωνή έχει εύρος φάσματος 300 Hz έως 4000 Hz
  - Τα περισσότερα συστήματα ψηφιακής τηλεφωνίας κάνουν δειγματοληψία με 8000 samples/ sec.
- Ακουστικά σήματα:
  - Η υψηλότερη συχνότητα που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί είναι περίπου 15 kHz.
  - Στα CDs η συχνότητα δειγματοληψίας είναι 44.000 samples/sec.
- Σήματα Video:
  - Το μάτι χρειάζεται δείγματα με ρυθμό τουλάχιστο 20 πλαίσια/sec για να δημιουργηθεί η εντύπωση ομαλής κίνησης

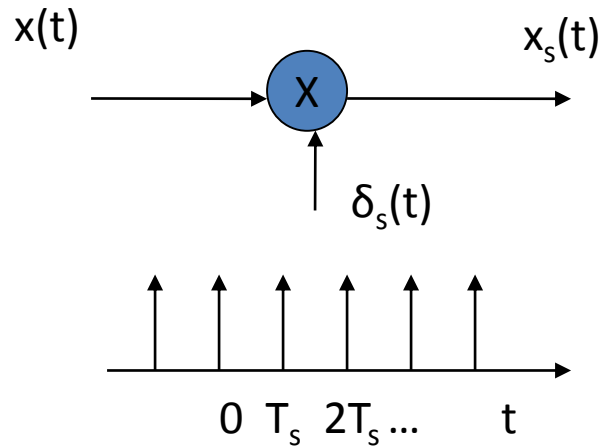
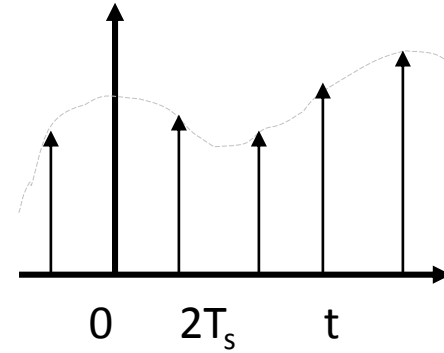
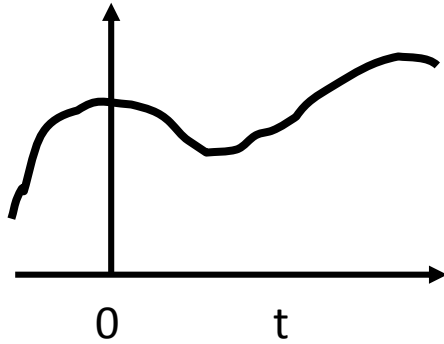
# Φαινόμενο Αναδίπλωσης

- Όταν η συχνότητα δειγματοληψίας είναι μικρότερη της συχνότητας Nyquist τότε εμφανίζεται το φαινόμενο της αναδίπλωσης (aliasing ή foldover) για τις συχνότητες που περιέχονται στο σήμα και είναι μεγαλύτερες από το μισό της συχνότητας Nyquist
- Πιο συγκεκριμένα, αν  $f_0$  είναι η συχνότητα ενός σήματος το οποίο θέλουμε να δειγματοληψίσουμε και για την οποία ισχύει ότι
  - $f_{\text{Nyquist}}/2 < f_0 < f_{\text{Nyquist}}$
- τότε το συγκεκριμένο σήμα θα εμφανιστεί μετά τη δειγματοληψία με συχνότητα
  - $f_1 = f_{\text{sample}} - f_0$
- Για παράδειγμα αν ψηφιοποιούμε ένα σήμα συχνότητας 26 KHz με συχνότητα δειγματοληψίας
  - $f_{\text{sample}} = 50 \text{ KHz}$
- τότε θα έχουμε αναδίπλωση και το σήμα εξόδου θα έχει συχνότητα
  - $50 - 26 = 24 \text{ KHz}$

# Κρουστικός παλμός

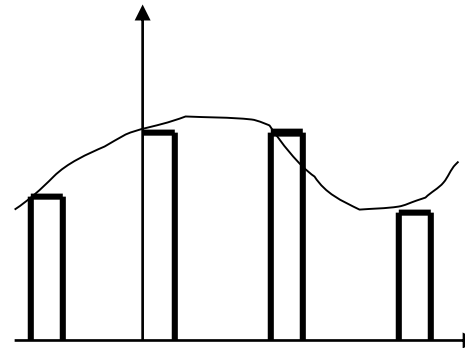
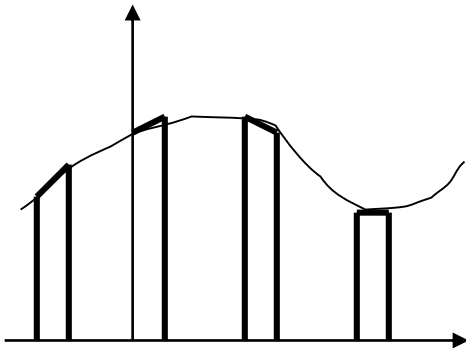


# Ιδανική Δειγματοληψία



# Πρακτική δειγματοληψία

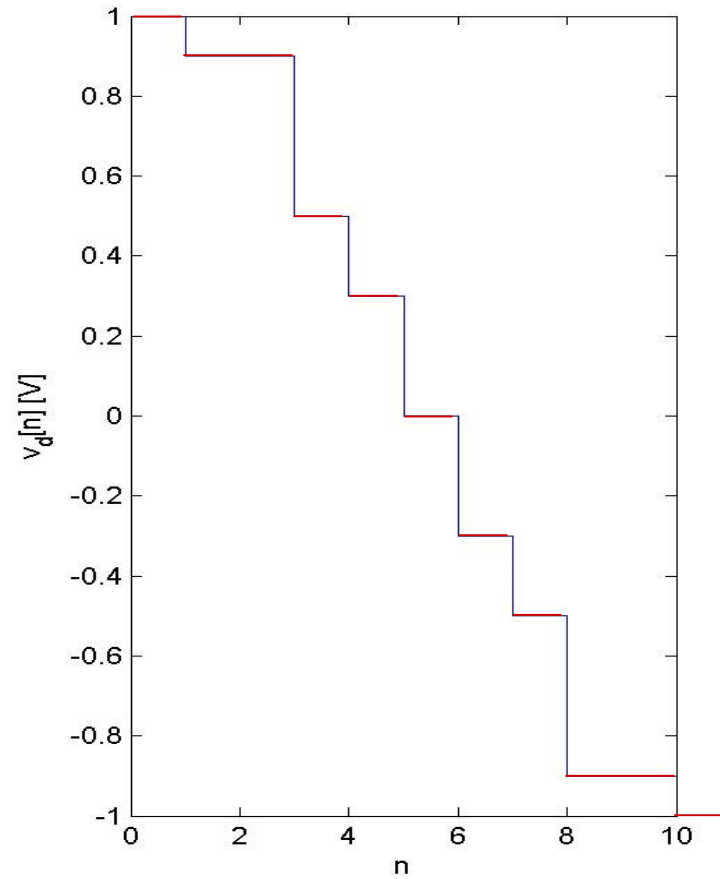
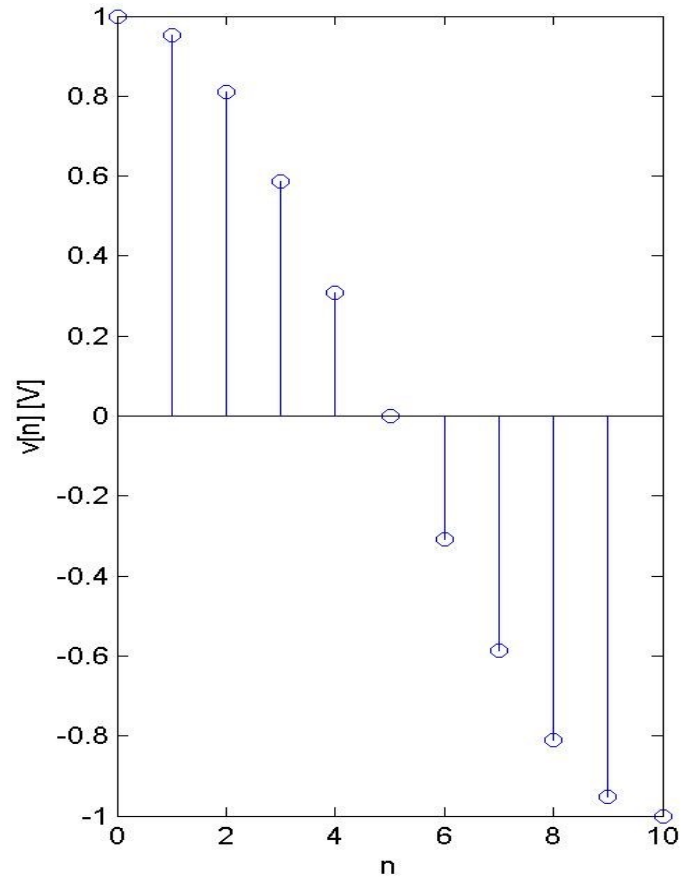
- Με δείγματα πεπερασμένης διάρκειας
  - αντί για ακολουθία συναρτήσεων delta χρησιμοποιούνται παλμοί πεπερασμένης διάρκειας
- Με δείγματα με επίπεδη κορυφή
  - και πάλι χρησιμοποιούνται παλμοί πεπερασμένης διάρκειας με ύψος όσο η τιμή του σήματος κατά την αρχή του παλμού (sample-and-hold)



# Παράδειγμα

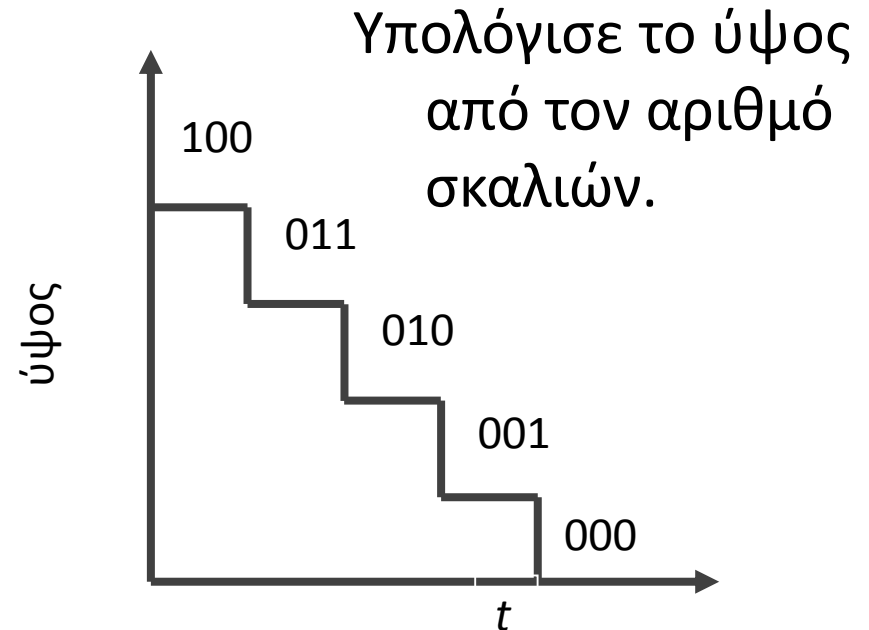
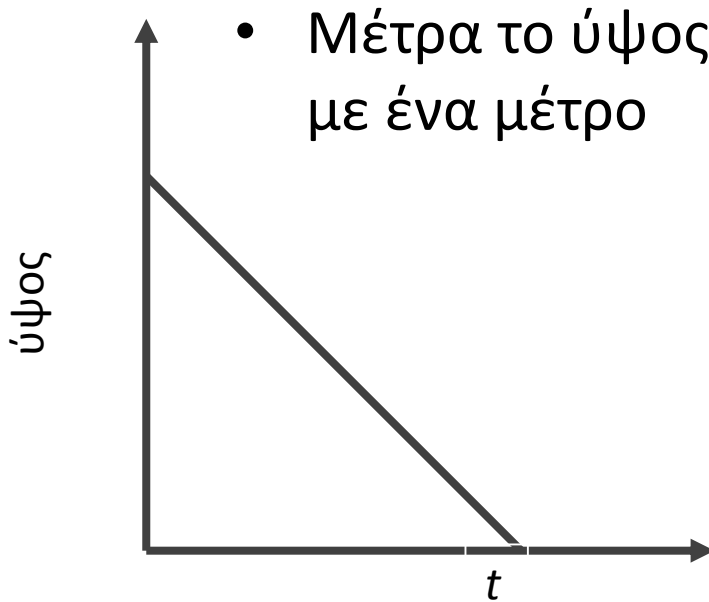
- Οι μουσικοί οπτικοί δίσκοι (Audio CD-ROM) χρησιμοποιούν συχνότητες δειγματοληψίας ίσες με 44.1KHz για την αποθήκευση του ηχητικού σήματος
- Η συγκεκριμένη συχνότητα είναι ελαφρά μεγαλύτερη από 2 φορές τη συχνότητα των 20 KHz που κατά γενική παραδοχή αποτελεί το άνω όριο για τις συχνότητες που γίνονται αντιληπτές από το ανθρώπινο αυτί
- Με ένα τέτοιο ρυθμό δειγματοληψίας εξασφαλίζεται ότι όλες οι συχνότητες που είναι μικρότερες ή ίσες των 20 kHz θα αποδοθούν σωστά στο διακριτό σήμα

# Κβαντισμός



# Παράδειγμα

Ας υποθέσουμε ότι θέση ενός ατόμου που κατεβαίνει μια σκάλα καθορίζεται από το ύψος που βρίσκεται





# Κβαντισμός

- Ένα συνεχές σήμα, όπως η φωνή, έχει συνεχές πεδίο τιμών πλάτους και συνεπώς τα δείγματά του έχουν συνεχές πεδίο τιμών πλάτους
- Με άλλα λόγια μέσα στο πεπερασμένο πεδίο τιμών του σήματος βρίσκουμε έναν άπειρο αριθμό σταθμών πλάτους
- Η δειγματοληψία δημιουργεί διακριτοποίηση του σήματος στο χρόνο (ή χώρο για την περίπτωση εικόνων ή χωροχρόνο για περίπτωση video)

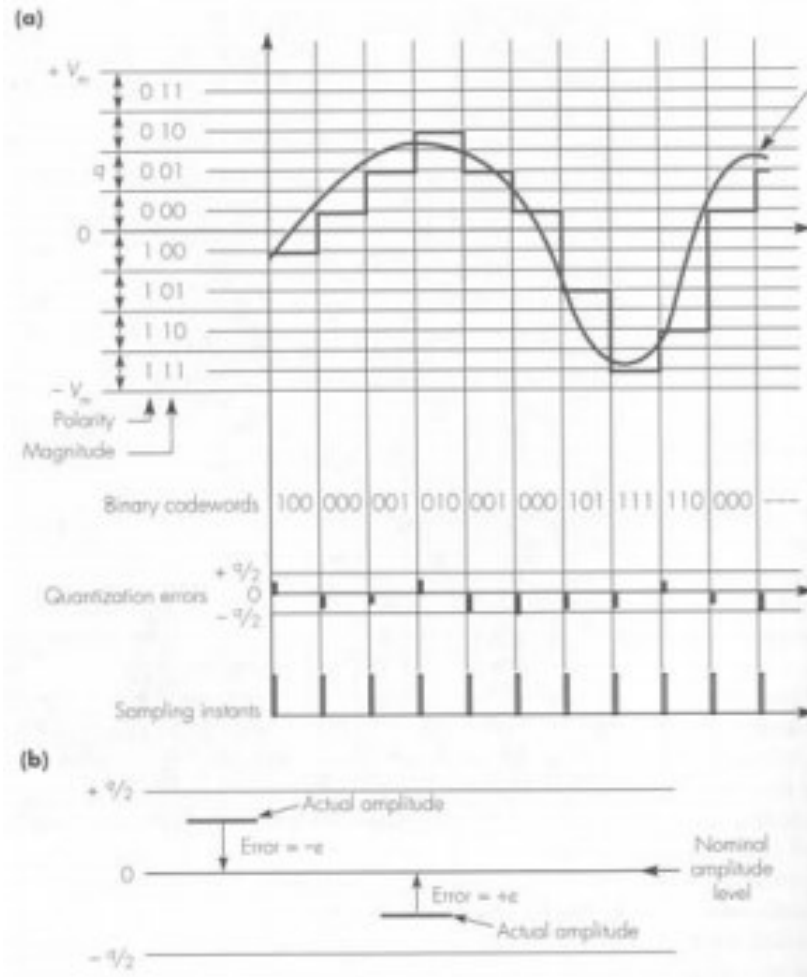
# Κβαντισμός

- Οι τιμές των δειγμάτων (πλάτος σήματος) όμως μπορούν να είναι οποιεσδήποτε
- Πως μπορούμε να αναπαραστήσουμε τις τιμές αυτές στον υπολογιστή;
- Χρειαζόμαστε και διακριτοποίηση των τιμών πλάτους
  - προσέγγιση των πραγματικών τιμών με κάποιες προκαθορισμένες
- Η διακριτοποίηση των τιμών πλάτους του σήματος (δειγμάτων) ονομάζεται κβαντισμός

# Κβαντισμός

- Έστω ότι έχουμε ένα σήμα για το οποίο γνωρίζουμε ότι η μέγιστη δυνατή τιμή που μπορεί να πάρει είναι  $V_{\max}$  και η ελάχιστη  $V_{\min}$
- Ποιες τιμές του σήματος θα πρέπει να κωδικοποιούμε (στάθμες) αν έχουμε διαθέσιμα  $n$  bits για την κωδικοποίηση κάθε δείγματος;
- Διάστημα Κβαντισμού
  - Διαχωρισμός του εύρους του σήματος σε διαστήματα
  - Κάθε διάστημα έχει εύρος  $q = (V_{\max} - V_{\min}) / 2^n$
- Ποιες τιμές θα αναπαρίστανται;
  - Οι τιμές στο μέσο των διαστημάτων κβαντοποίησης

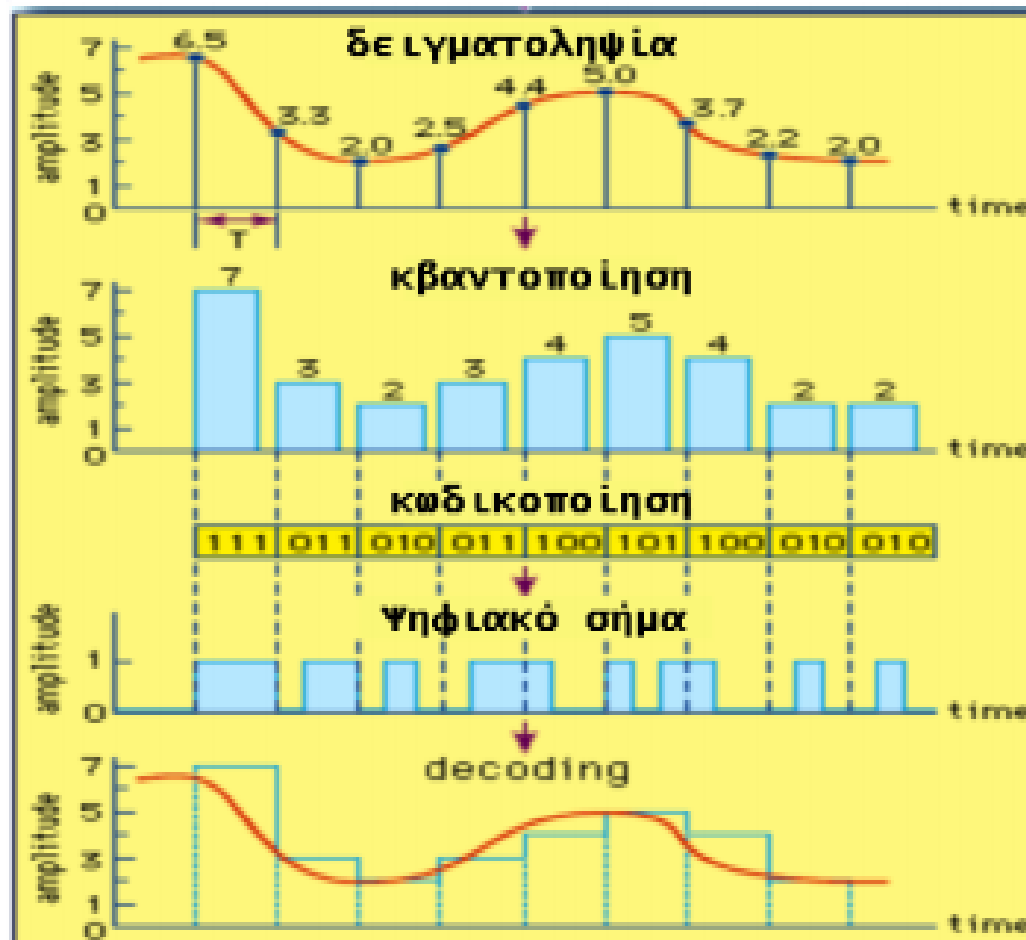
# Κβαντισμός



# Σφάλμα Κβαντισμού

- Είναι η διαφορά της πραγματικής τιμής του δείγματος από την τιμή που τελικά κωδικοποιείται
- Πόσο είναι το μέγιστο σφάλμα κβαντισμού στη προηγούμενη περίπτωση?
- Αν κωδικοποιήσουμε το μέσο των διαστημάτων κβαντισμού τότε το μέγιστο σφάλμα κβαντισμού είναι
  - $e = q/2 = (V_{\max} - V_{\min}) / 2n + 1$

# Παλμοκωδική διαμόρφωση PCM



# Περιεχόμενα ενότητας

- Ψηφιακό σήμα
- Ψηφιοποίηση
- Δειγματοληψία
- Κβαντισμός

# Τέλος Ενότητας



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης