

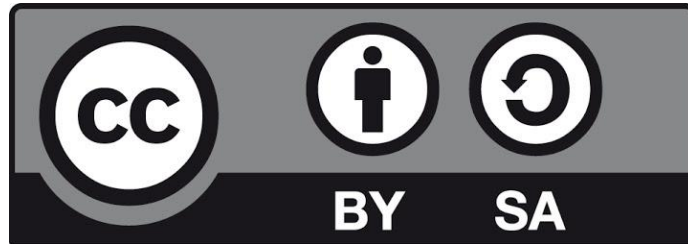
Σήματα και κατηγοριοποίηση

Εισηγητής: Χρήστος Δαλαμάγκας

cdalamagkas@gmail.com

Άδεια χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται στη διεθνή άδεια χρήσης Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).



Σήματα

- Το σήμα είναι ένας φορέας πληροφορίας.
- Παραδείγματα σημάτων:
 - Μια συμβολοσειρά από 0 και 1 (πχ 1010110) μεταφέρει το γράμμα V
 - Ένα μηχανικό κύμα (ήχος) μπορεί να μεταφέρει μηνύματα ή προφορικό λόγο μέσω του αέρα
 - Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα μπορεί να μεταφέρει ψηφία 0 και 1 μέσω του ελεύθερου χώρου ή μέσω καλωδίου
- Το σήμα μελετάται συνήθως ως μονοσήμαντη συνάρτηση χρόνου, πχ $m(t)$
 - Στον χρόνο 5, το σήμα έχει την τιμή 1, δηλαδή $m(5) = 1$.

Στοιχεία κυμάτων

- **Πλάτος** (Amplitude): Η μέγιστη θετική ή αρνητική μεταβολή της ισχύος
- **Περίοδος** (T): Ο χρόνος που περνάει για να φτάσει το σήμα στο ίδιο σημείο
- **Συχνότητα** (f): Πόσες φορές μεταβάλλεται το σήμα στη μονάδα του χρόνου

$$f = 1 / T$$

- **Μήκος κύματος** (λ): Η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών σημείων με το ίδιο πλάτος, σε υπομονάδες των μέτρων.

$$c_0 = \lambda * f \Leftrightarrow 2.998 \cdot 10^8 = \lambda * f$$

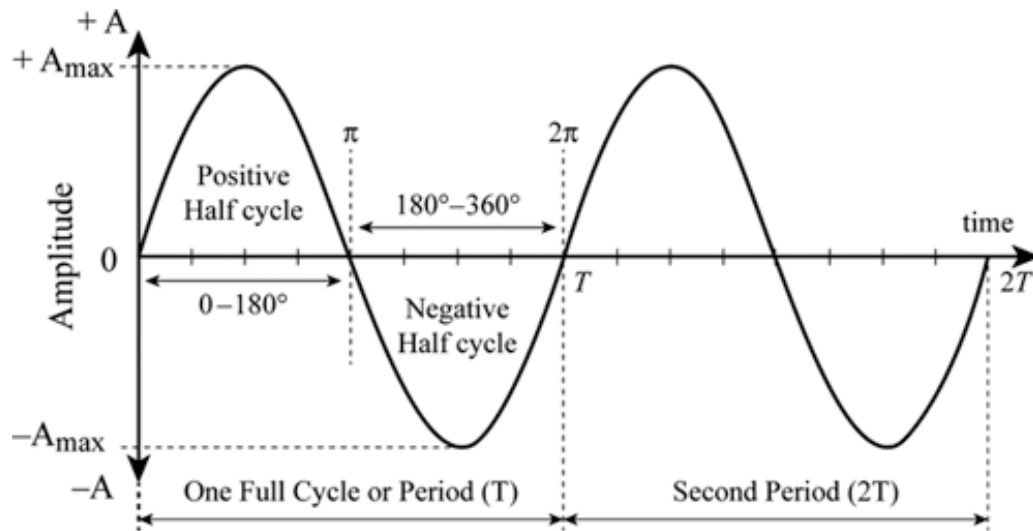


Figure 1

Ενέργεια και ισχύς

- Λεπτή η διαφορά ενέργειας και ισχύος:

- Η ενέργεια (Joule) μετρά το ποσό του έργου που καταναλώνεται επί τον χρόνο που διαρκεί η κατανάλωση (Δt)

$$E = V * I * \Delta t$$

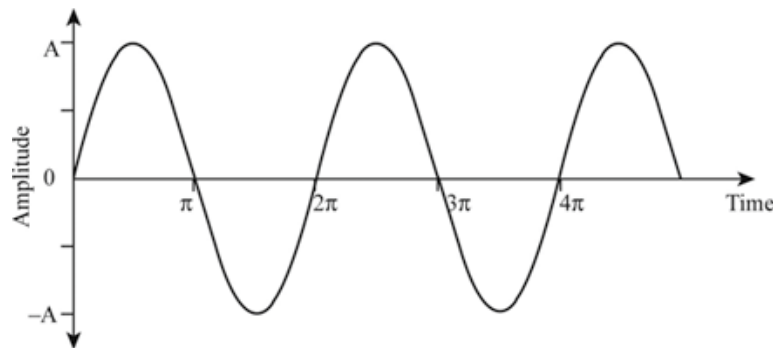
- Η ισχύς (watt) μετρά το ποσό του έργου που καταναλώνεται στη μονάδα του χρόνου (για μια ώρα ή για ένα δευτερόλεπτο)

$$P = V * I$$

Κατηγορίες σημάτων / Περιοδικότητα

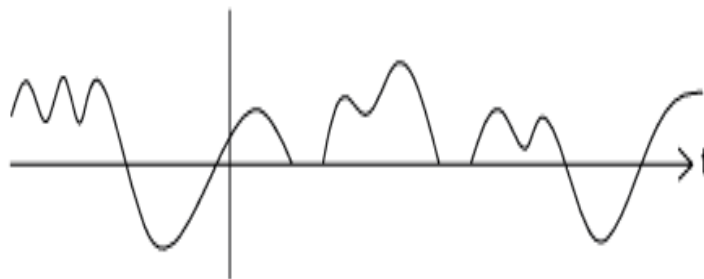
- Περιοδικά σήματα

- Οι τιμές τους επαναλαμβάνονται ανά συγκεκριμένο χρονικό διάστημα T
 $g(x) = g(x + T)$
- Ημίτονα/συνημίτονα τα γνωστά περιοδικά σήματα



- Μη περιοδικά σήματα

- Η τιμή τους δεν παρουσιάζει περιοδικότητα στο πεδίο του χρόνου



Κατηγορίες σημάτων / Τυχαιότητα

- Ντετερμινιστικό:

- Υπάρχει απόλυτη βεβαιότητα για την τιμή του σήματος σε κάθε χρονική στιγμή
- Μπορεί να αναπαρασταθεί με μαθηματική συνάρτηση

- Τυχαίο:

- Υπάρχει κάποιος βαθμός αβεβαιότητας της τιμής του σήματος για μια ή περισσότερες χρονικές στιγμές
- Δεν μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια η μαθηματική συνάρτηση που το αναπαριστά
- Παράδειγμα: Σήματα σε ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας

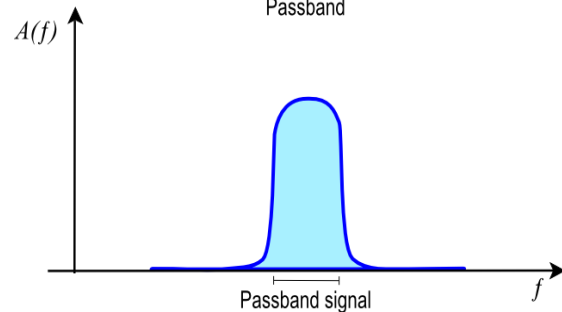
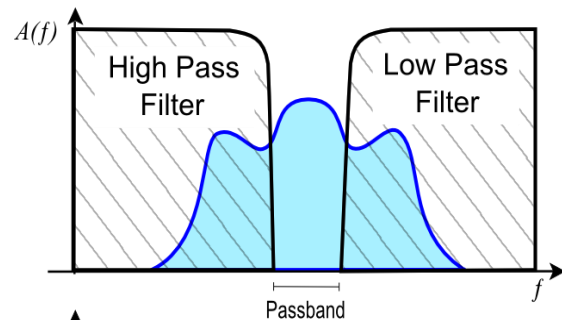
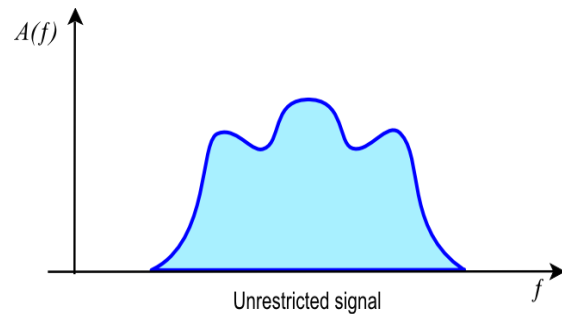
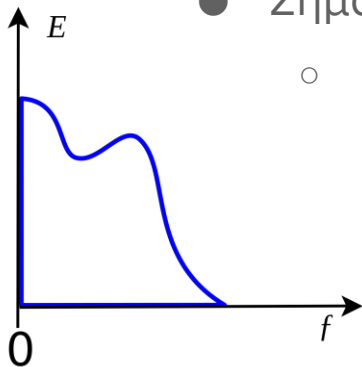
Κατηγορίες σημάτων / Φάσμα

- Σήμα βασικής ζώνης (baseband)

- Το φάσμα είναι μη μηδενικό γύρω από τη συχνότητα $f=0$ και μηδενικό αλλού
- Συνώνυμα: χαμηλοπερατά (lowpass), non-modulated
- Παράδειγμα: Κυματομορφή ήχου από μικρόφωνο

- Σήμα ζώνης διέλευσης (passband)

- Το φάσμα περιλαμβάνει συχνότητες γύρω από μια κεντρική συχνότητα φορά f_c μακριά από τη μηδενική



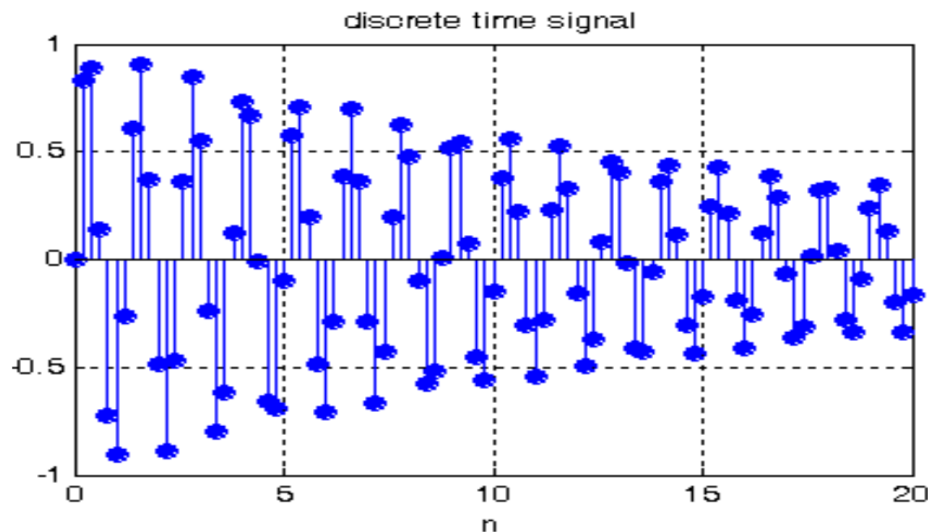
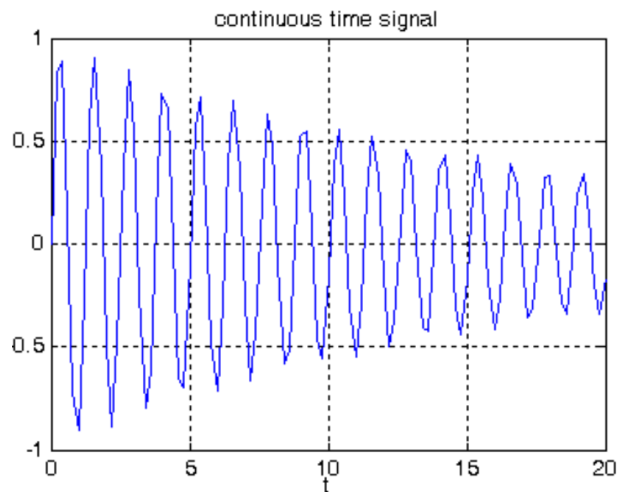
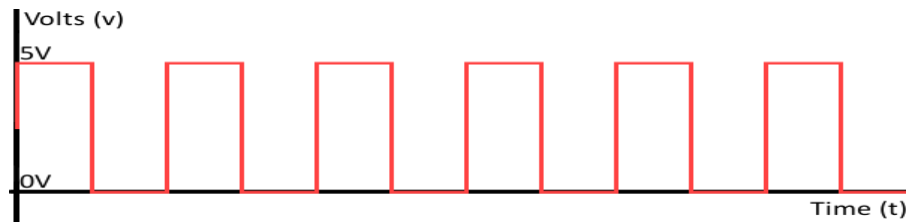
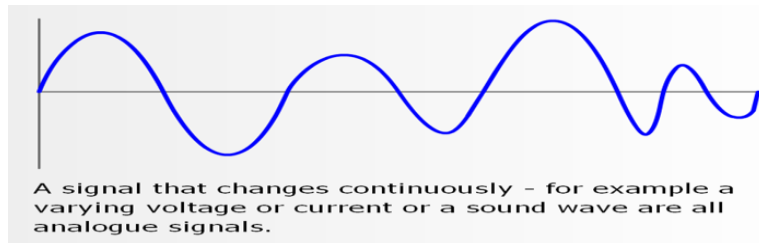
Κατηγορίες σημάτων / Συνέχεια και διακριτότητα

- Σήματα συνεχούς χρόνου – Συνεχούς Πλάτους (Αναλογικά)
 - 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 – Μετάδοση ψηφιακών σημάτων στο μέσο μετάδοσης

Κατηγορίες σημάτων / Συνέχεια και διακριτότητα

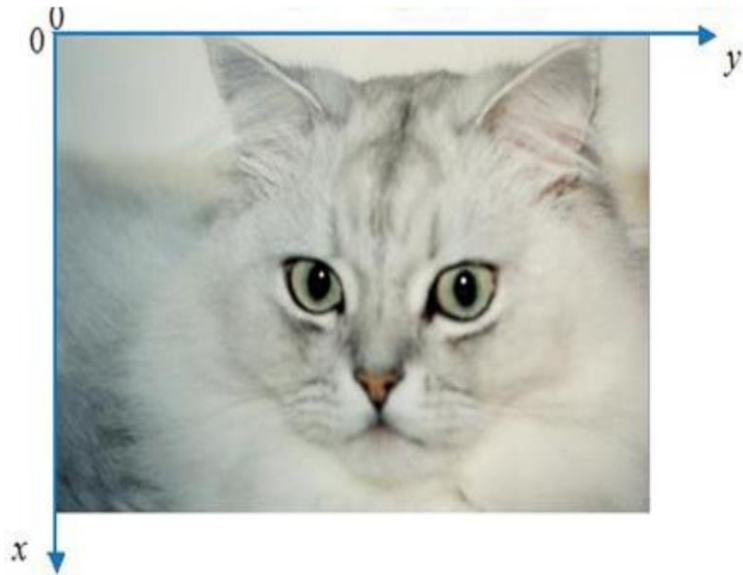
- Σήματα Διακριτού Χρόνου – Συνεχούς Πλάτους
 - Ορίζονται μόνο σε διακριτές χρονικές στιγμές
 - Ο χρόνος λαμβάνει μόνο διακριτές τιμές που συνήθως είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες
 - Η τιμή του σήματος μπορεί να λάβει συνεχείς τιμές
- Σήματα Διακριτού Χρόνου – Διακριτού Πλάτους (Ψηφιακά)
 - Σήματα Διακριτού Χρόνου που μπορούν να πάρουν τιμή μόνο από ένα πεπερασμένο σύνολο διακριτών τιμών
 - Σήματα με διακριτό πλάτος ονομάζονται κβαντισμένα (quantised)

Κατηγορίες σημάτων / Συνέχεια και διακριτότητα



Μια εικόνα ως σήμα

(Συνεχής περίπτωση)



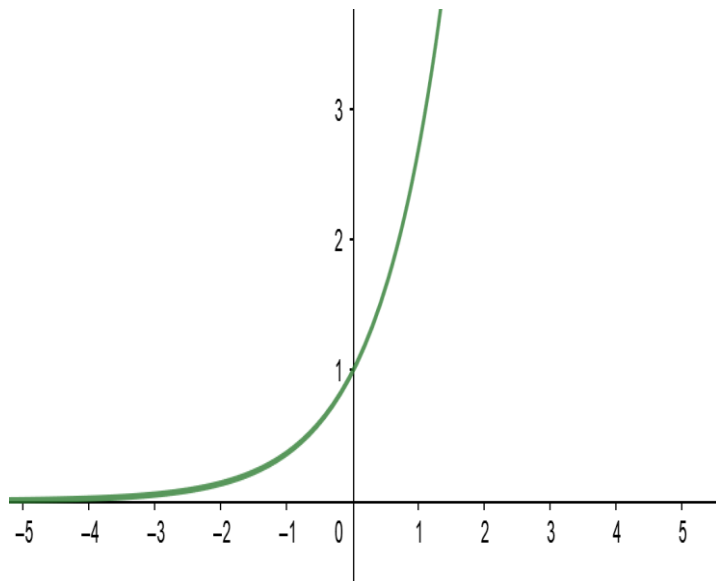
$I(x,y)$

(Διακριτή περίπτωση)

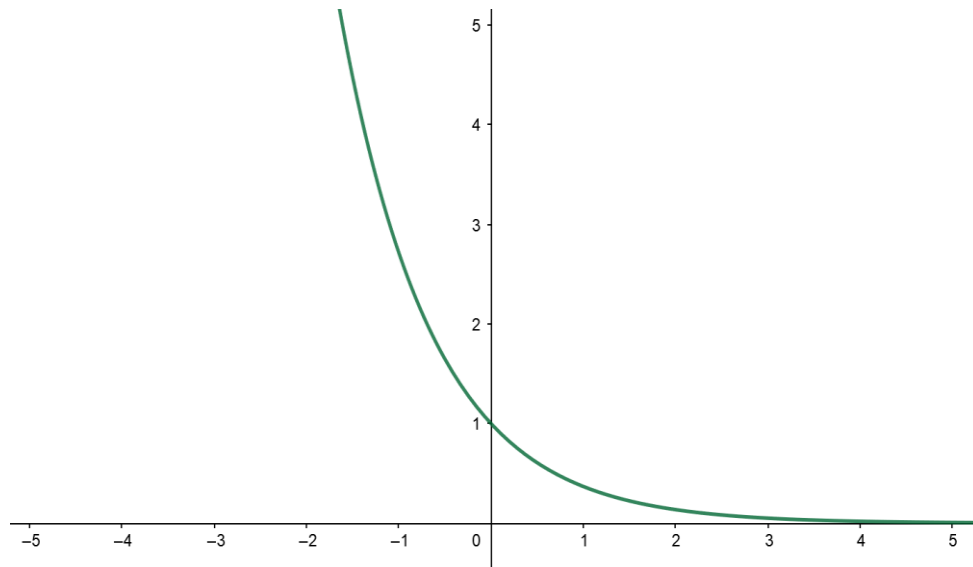


Εκθετικό σήμα

● $y(x) = e^x$

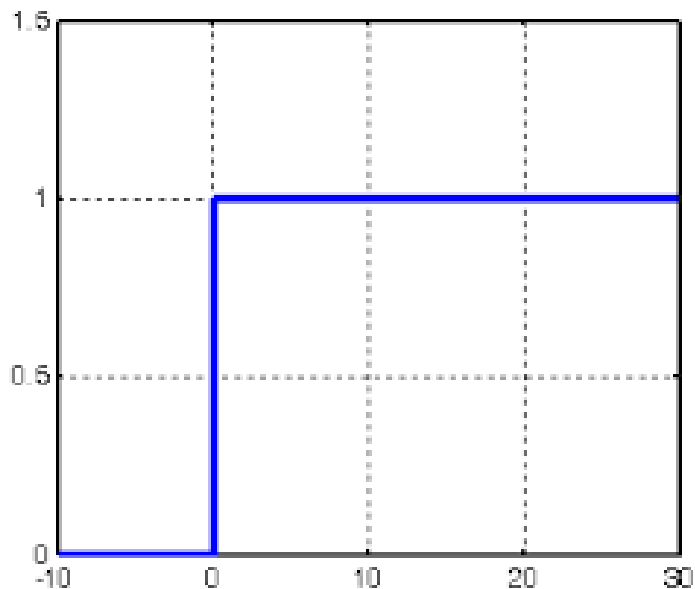


● $y(x) = e^{-x}$



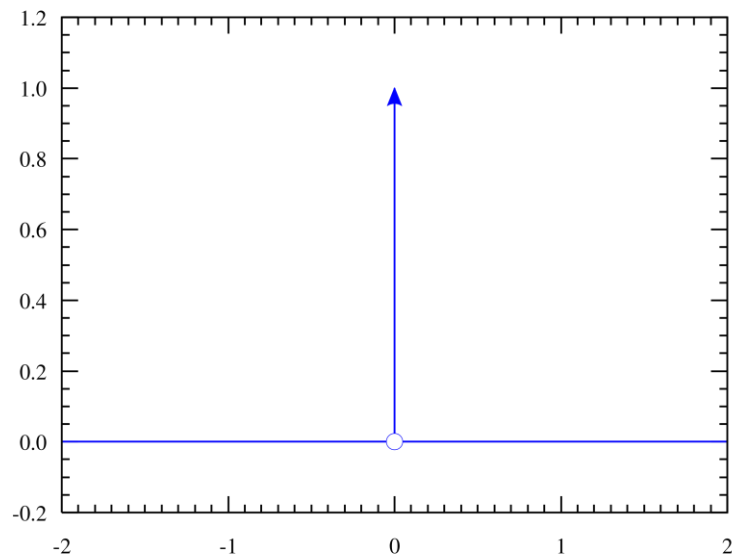
Βηματική συνάρτηση

- Παίρνει την τιμή 1 από κάποιο σημείο και μετά
- Χρησιμοποιείται για να «κόψουμε» το κομμάτι ενός σήματος



Κρουστική συνάρτηση

- Έχει θεωρητικά άπειρο πλάτος σε ένα συγκεκριμένο σημείο
- Χρησιμοποιείται για τη μελέτη απόκρισης συστημάτων



Αναπαράσταση Σημάτων / Συχνότητα

- Ένα σήμα μπορεί να καταλαμβάνει ένα πλήθος συχνοτήτων, αυτό ονομάζεται φάσμα του σήματος
- Εύρος του φάσματος = Εύρος ζώνης του σήματος
- 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.

Αναπαράσταση Σημάτων / Μετατροπές

- Αναλογικά Δεδομένα → Αναλογικά Σήματα

- Αναλογικά Δεδομένα: Συνεχής Συνάρτηση του Χρόνου Συνεχούς Πλάτους (πχ φωνή)
- Μπορούν να αναπαρασταθούν από ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που καταλαμβάνει το ίδιο φάσμα
- Το ακουστικό κύμα μετατρέπεται σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα, χρησιμοποιώντας το ίδιο φάσμα (0.3 KHz – 3.4 KHz)
- Ωστόσο, τα αναλογικά σήματα μπορούν να αναπαρασταθούν από άλλα αναλογικά σήματα τα οποία καταλαμβάνουν διαφορετικό τμήμα του φάσματος.

Αναπαράσταση Σημάτων / Μετατροπές

- Αναλογικά Δεδομένα → Ψηφιακά Σήματα

- Η εν λόγω μετατροπή ονομάζεται **ψηφιοποίηση**
- Συσκευή : Analog to Digital Converter – ADC

- Ψηφιακά Δεδομένα → Ψηφιακά Σήματα

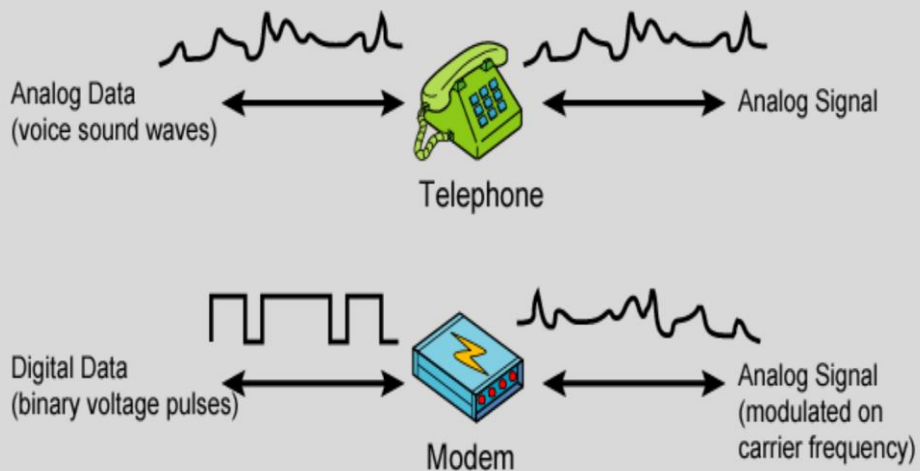
- Με μεθόδους κωδικοποίησης γραμμής (line coding) μετατρέπονται ακολουθίες 0-1 σε ψηφιακά σήματα

- Ψηφιακά Δεδομένα → Αναλογικά Σήματα

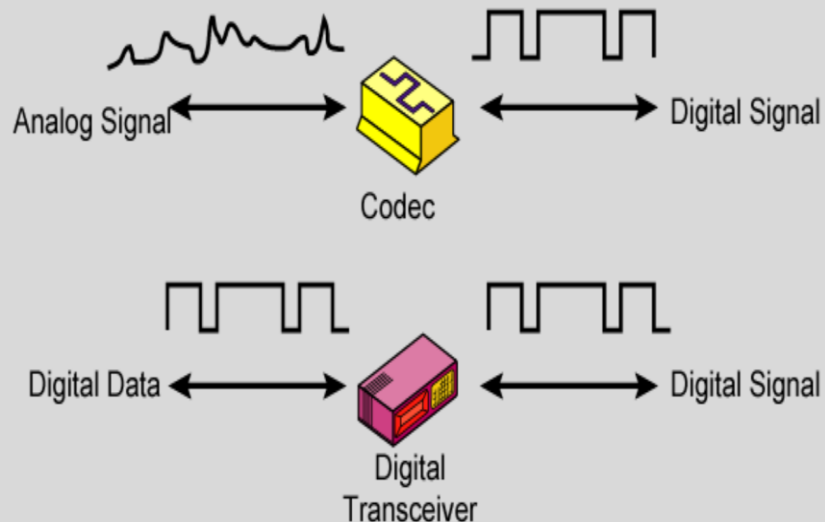
- Συσκευή modem
- Το modem μετατρέπει μία σειρά δυαδικών παλμών τάσης σε ένα αναλογικό σήμα χρησιμοποιώντας ένα φέρον σήμα.
- Το σήμα που δημιουργείται καταλαμβάνει ένα ορισμένο φάσμα κεντραρισμένο στη συχνότητα του φέροντος σήματος

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ

Analog Signals: Represent data with continuously varying electromagnetic wave



Digital Signals: Represent data with sequence of voltage pulses



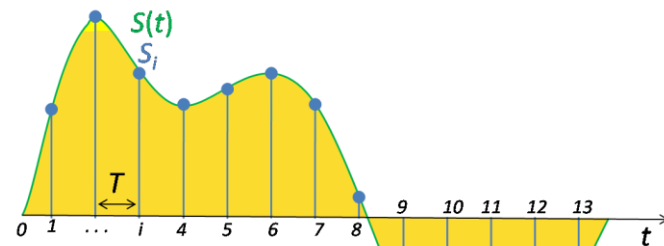
Σύγκριση των μετατροπών

	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>

Διαδικασία ψηφιοποίησης

● Βήμα 1: Δειγματοληψία στο Χρόνο (Sampling)

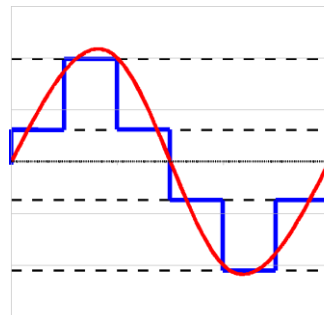
- Από τις άπειρες τιμές του σήματος κρατάμε μόνο ένα σύνολο διακριτών τιμών που διαφέρουν κατά κάποιο σταθερό διάστημα
- Πχ: Δειγματοληψία ανα $T = 1 \text{ ms}$



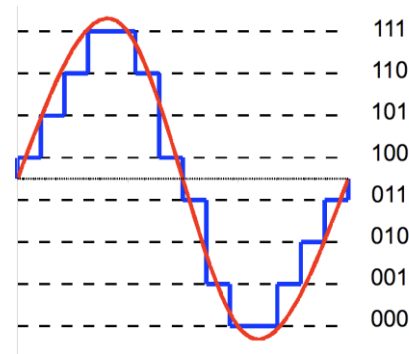
● Βήμα 2: Κβαντισμός (Quantization)

- Επιλέγεται η πλησιέστερη στάθμη σήματος για κάθε τιμή που προέκυψε από τη δειγματοληψία
- Η κβάντιση μπορεί να γίνει με διάφορα επίπεδα ακρίβειας

Τα παραδείγματα δείχνουν κβάντιση με 4 και 8 επίπεδα με 2 και 3 bit αντίστοιχα



11
10
01
00



111
110
101
100
011
010
001
000

Διαδικασία ψηφιοποίησης

● Βήμα 3: Κωδικοποίηση

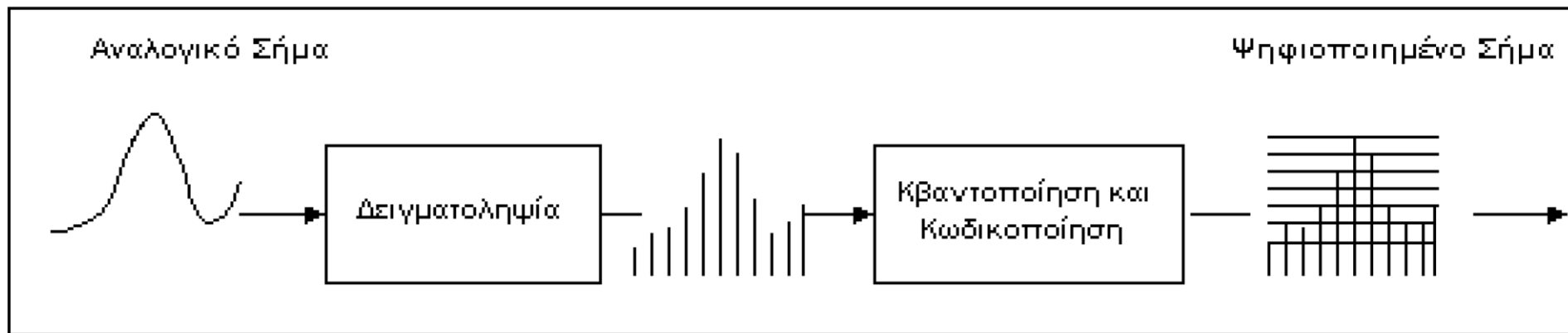
- Σε κάθε μία από τις στάθμες αντιστοιχίζεται μία λέξη υπολογιστή
- Μετατροπή χαρακτήρων, αριθμών και λοιπών συμβόλων σε μορφή δυαδικής ακολουθίας (bit).
- Χρησιμοποιούνται πίνακες αμφιμονοσήμαντης αντιστοιχίας που ονομάζονται **κώδικες**
- Αποδοτικότητα κώδικα: Πλήθος των bit που χρησιμοποιούνται για την αντιστοίχιση ενός συμβόλου.
- Παράδειγμα: Κώδικας Morse
- Αποδοτικότητα κώδικα: $P = \frac{1}{M} \log_2(N)$

M: Πλήθος bit

N: Πλήθος χαρακτήρων

Διαδικασία ψηφιοποίησης

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ:



Αναπαράσταση Σημάτων / Μεταδόσεις

- Αναλογικό Σήμα – Αναλογική Μετάδοση

- Μπορεί να αναπαριστά αναλογικά ή ψηφιακά δεδομένα
- Υφίσταται εξασθένηση κατά τη μετάδοσή του – αύξουσα συνάρτηση της απόστασης
- **Ενισχυτές**: Συσκευές που τοποθετούνται ενδιάμεσα για την επίτευξη μεγαλύτερης κάλυψης.
Προσοχή! Οι ενισχυτές ενισχύουν την ισχύ όλου του σήματος, δλδ και τον θόρυβο που έχουν!
- Στα αναλογικά σήματα, η παραμόρφωση είναι αναμενόμενη και αποδεκτή σε κάποιο βαθμό

Αναπαράσταση Σημάτων / Μεταδόσεις

- Ψηφιακό σήμα -- Ψηφιακή μετάδοση
 - Μεταδίδεται σε περιορισμένη απόσταση για να μην τεθεί σε κίνδυνο η ακεραιότητα της μεταδιδόμενης πληροφορίας λόγω θορύβου, εξασθένησης και άλλων βλαβών κατά τη μετάδοση.
 - Δεν χρησιμοποιούνται ενισχυτές, αλλά επαναλήπτες.
 - Λαμβάνουν το ψηφιακό σήμα
 - Ανακτούν τα ψηφιακά δεδομένα
 - Επαναμεταδίδουν το σήμα
 - Οι επιδράσεις της παραμόρφωσης και της εξασθένησης μηδενίζονται
 - Γενικά, τα ψηφιακά σήματα δεν είναι καθόλου ανεκτά σε θόρυβο ή παραμορφώσεις!

Αναπαράσταση Σημάτων / Μεταδόσεις

- 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

Πλεονεκτήματα ψηφιακών 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)
- Ασφάλεια & Προστασία Δεδομένων: Τεχνικές κρυπτογράφησης μπορούν να εφαρμοστούν με ευκολία σε ψηφιακά και αναλογικά δεδομένα που έχουν ψηφιοποιηθεί
- Τεχνικές Πολυπλεξίας εφαρμόζονται ευκολότερα και φθηνότερα με ψηφιακές παρά με αναλογικές τεχνικές

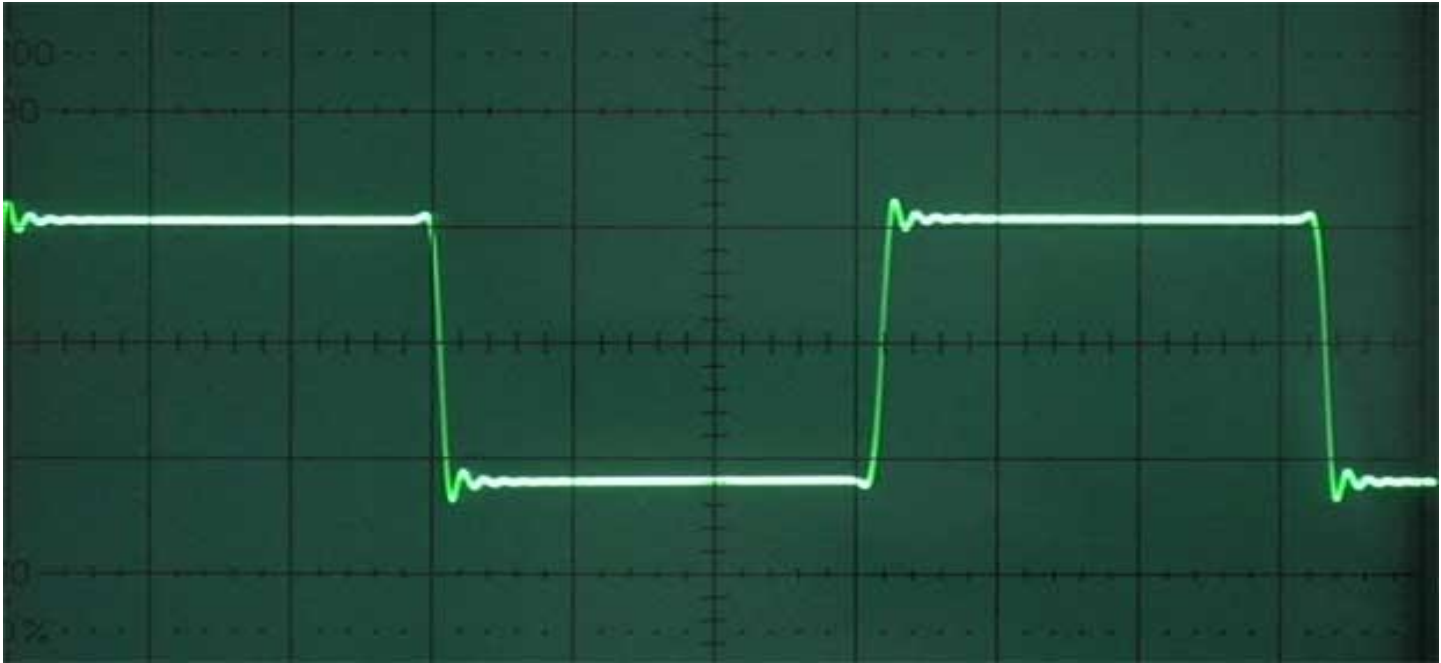
Πλεονεκτήματα ψηφιακών σημάτων

- 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)

Μειονεκτήματα ψηφιακών 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

Πόσο «ψηφιακό» είναι ένα ψηφιακό σήμα;



Πόσο «ψηφιακό» είναι ένα ψηφιακό σήμα;

- Ουσιαστικά, χρησιμοποιούμε πολλά συνημίτονα για να αναπαραστήσουμε ψηφιακούς παλμούς
- Οι σειρές Φουριέ είναι ο μαθηματικός τρόπος που μας βοηθά να κάνουμε την μετατροπή.
- Η σειρά Φουριέ επιτρέπει την αναπαράσταση οποιουδήποτε σήματος ως άθροισμα συνημιτόνων

