



Συστήματα Πολυμέσων

Ενότητα 2: Εισαγωγικά θέματα Ψηφιοποίησης

Θρασύβουλος Γ. Τσιάτσος
Τμήμα Πληροφορικής

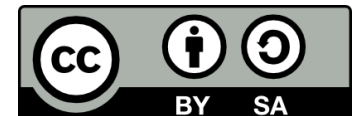


Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



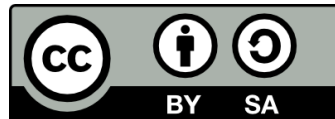
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

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 Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» 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.



Περιεχόμενα ενότητας

1. Δειγματοληψία (sampling) & Θεώρημα Nyquist
2. Κβαντοποίηση (quantization)
3. Κωδικοποίηση (coding)



Σκοποί ενότητας

- Περιγραφή της βασικής θεωρίας που σχετίζεται με την μετατροπή της πληροφορίας και την καταγραφή της σε ένα ψηφιακό μέσο





**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

Εισαγωγή στην Ψηφιοποίηση

Αναλογικός Κόσμος

- **Αναλογική πληροφορία**
 - Το σήμα που περιγράφει το φυσικό μέγεθος μεταβάλλεται **ανάλογα** με τον τρόπο που μεταβάλλεται και το φυσικό μέγεθος,
 - Ένα σήμα είναι αναλογικό, αν μπορεί να αναπαρασταθεί από μια συνεχή συνάρτηση
 - Στη γλώσσα των μαθηματικών λέμε ότι η συνάρτηση που περιγράφει το καταγραφόμενο μέγεθος είναι **συνεχής συνάρτηση** του χρόνου (και ή του χώρου)

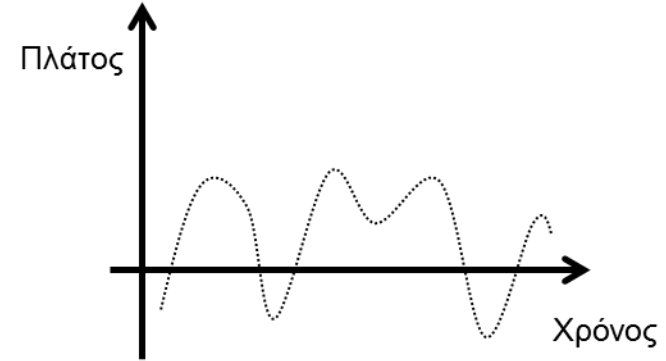


Η πληροφορία ως αναλογικό σήμα

Κυματομορφή



Αισθητήρας



Από τον Αναλογικό στον Ψηφιακό κόσμο

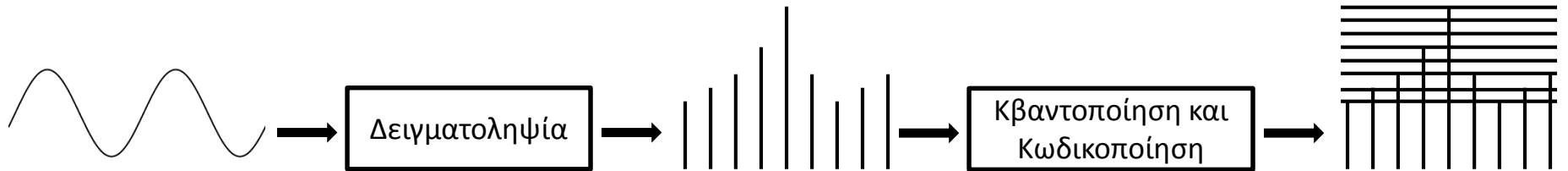
- Ένα σήμα είναι ψηφιακό αν μπορεί να αναπαρασταθεί μέσω ενός **διακριτού συνόλου τιμών**, που ορίζονται σε διακριτές θέσεις του πεδίου εισόδου.
- Το πέρασμα από τον αναλογικό στον ψηφιακό κόσμο αποτελεί την διαδικασία της **ψηφιοποίησης (digitization)**.
 - Κατά την ψηφιοποίηση ένα σήμα αναλογικής μορφής μετατρέπεται σε **ψηφιακό σήμα (συνήθως κωδικοποιημένο στο δυαδικό σύστημα)**,
- Από συνεχή συνάρτηση του χρόνου μετατρέπεται σε μια **σειρά διακριτών τιμών** με δύο τιμές: το λογικό «0» και το λογικό «1».
- Φάσεις Ψηφιοποίησης:
 - i. **Δειγματοληψία (sampling)**,
 - ii. **Κβαντοποίηση (quantization)** και
 - iii. **Κωδικοποίηση (coding)**.



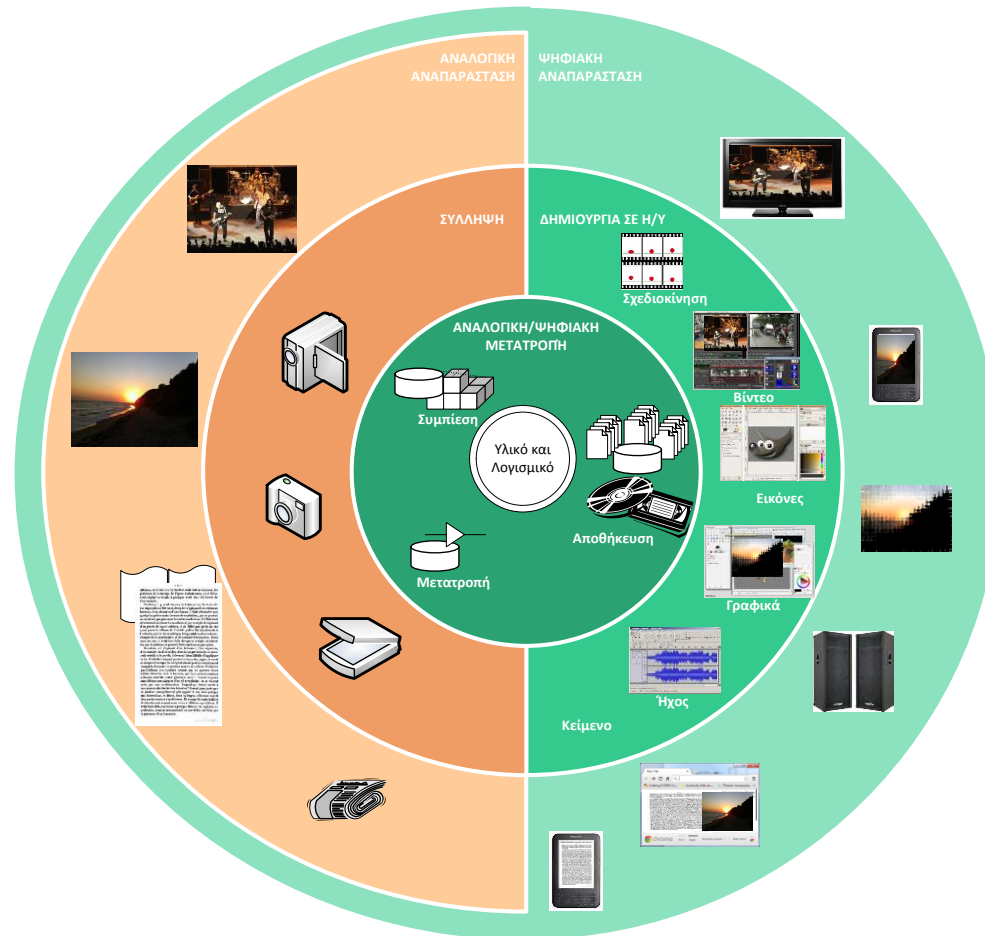
Ψηφιοποίηση αναλογικού σήματος

Αναλογικό Σήμα

Ψηφιοποιημένο Σήμα



Αναλογική/Ψηφιακή μετατροπή πολυμέσων



Μετατροπή πολυμέσων



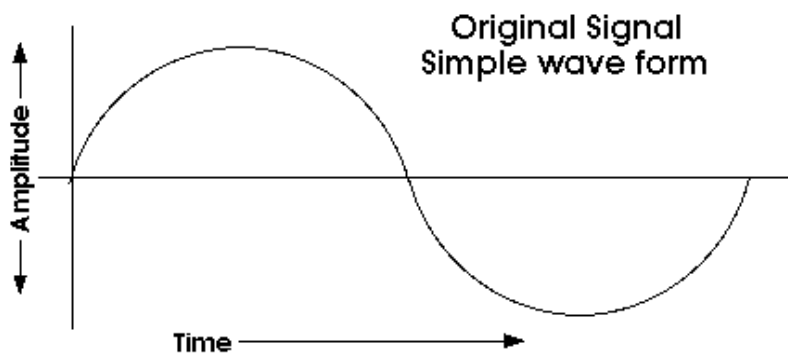


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

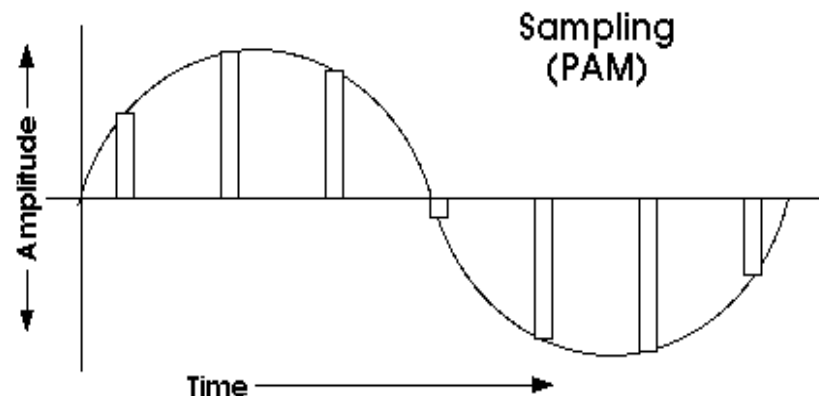
Δειγματοληψία (sampling) & Θεώρημα Nyquist

Δειγματοληψία (sampling) & συχνότητα δειγματοληψίας (sampling frequency)

Αρχικό Αναλογικό Σήμα

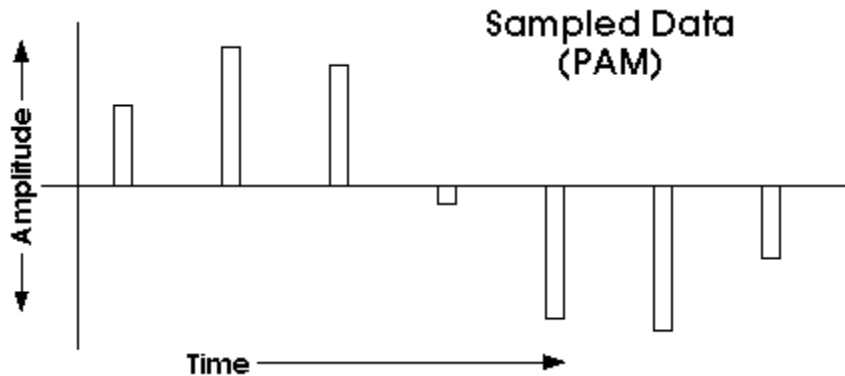


Καταγραφή δειγμάτων, δηλ. στιγμιότυπων της τιμής του αναλογικού σήματος σε διακριτές χρονικές στιγμές

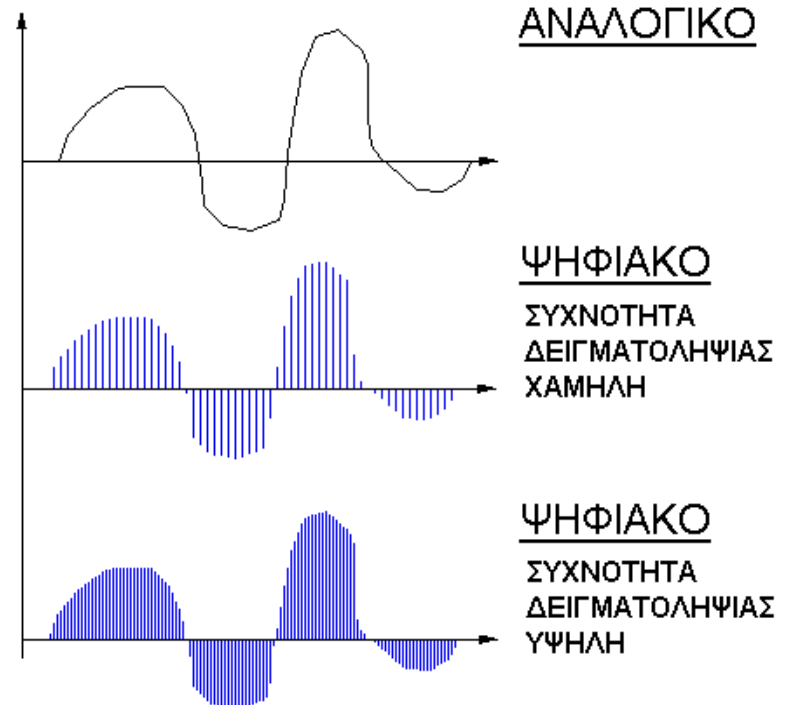


Δειγματοληψία

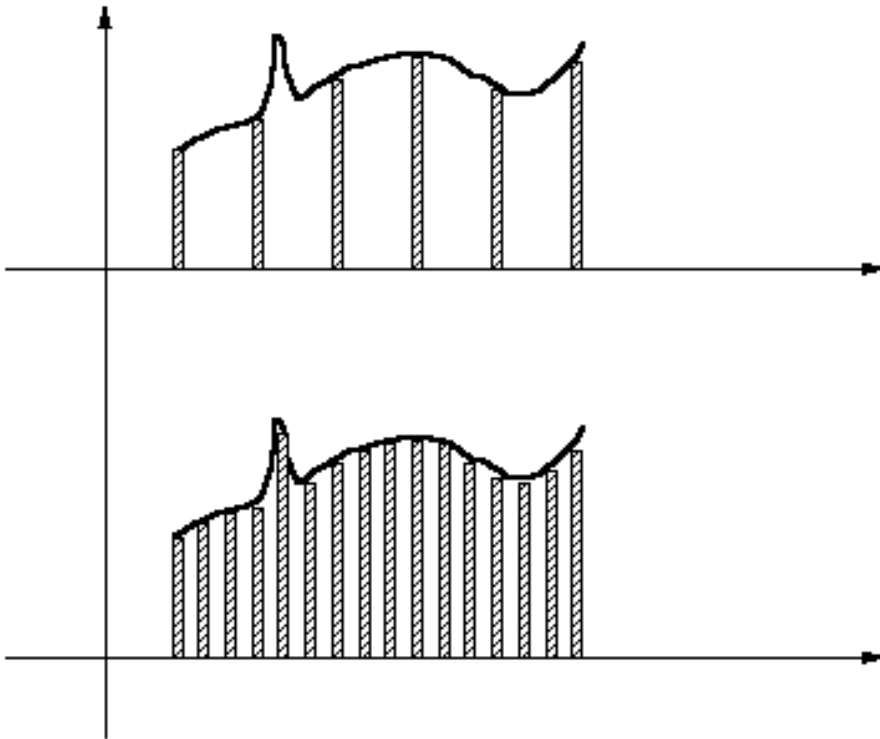
Το σήμα μετασχηματίζεται σε μια σειρά δειγμάτων (samples)



Συχνότητα δειγματοληψίας: Ρυθμός καταγραφής δειγμάτων (μετρείται σε Hz & πολλαπλάσια - kHz, MHz)



Πιστότητα καταγραφής αναλογικού σήματος



- Πόσο καλή μπορεί να είναι η **προσέγγιση** του αρχικού αναλογικού σήματος;
- Στην περίπτωση **χαμηλής** συχνότητας δειγματοληψίας ο υψίσυχνος παλμός δεν ψηφιοποιείται) και η πληροφορία που μεταφέρει «χάνεται» αφού η διάρκειά του είναι μικρότερη από την περίοδο λήψης δειγμάτων.
- Το πρόβλημα διορθώνεται αν **αυξήσουμε** τη συχνότητα δειγματοληψίας.



Απαιτήσεις για τη συχνότητα δειγματοληψίας

- Η τιμή της συχνότητας δειγματοληψίας πρέπει να ικανοποιεί δύο **αντικρουόμενες απαιτήσεις**:
 - i. **ποιότητα** ψηφιοποίησης (**υψηλή** συχνότητα),
 - ii. **μικρό μέγεθος** ψηφιακού αρχείου (**χαμηλή** συχνότητα).
- Πού βρίσκεται η χρυσή τομή;



Θεώρημα Nyquist

- Υπάρχει μια μέγιστη συχνότητα f_n πάνω από την οποία η ενέργεια του αναλογικού σήματος είναι πρακτικά μηδέν.
- Η f_n αναφέρεται συνήθως και ως **συχνότητα αποκοπής** (cutoff frequency).
- Το θεώρημα Nyquist καθορίζει πως η **ενδεικνυόμενη συχνότητα δειγματοληψίας f_s** ενός αναλογικού σήματος θα πρέπει να είναι **διπλάσια από την συχνότητα αποκοπής f_n** του σήματος
 - $f_s = 2f_n$
 - Η f_s ονομάζεται **συχνότητα Nyquist**.



Δειγματοληψία & f_s

- Τι συμβαίνει αν η συχνότητα δειγματοληψίας είναι **μικρότερη** από τη συχνότητα Nyquist;
 - Το φασματικό περιεχόμενο δεν συλλαμβάνεται ορθά κατά τη διαδικασία της ψηφιοποίησης
 - Χάνονται υψηλές συχνότητες που τυχόν δεν καλύπτονται από την επιλεγμένη f_s
 - Το ψηφιακό σήμα παραμορφώνεται/αλλοιώνεται και το φαινόμενο ονομάζεται “aliasing”.
- Συχνότητα **υψηλότερη** από τη συχνότητα Nyquist αποτελεί **σπατάλη** αποθηκευτικού χώρου
 - Δημιουργεί πρόσθετα δείγματα χωρίς αυτά να είναι απαραίτητα.
 - Στην πράξη επιλέγεται πάντα συχνότητα λίγο υψηλότερη από τη συχνότητα Nyquist.

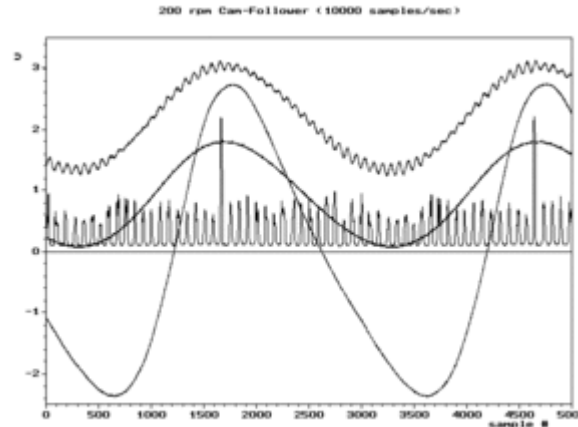


Παράδειγμα: ήχος CD

- Εφόσον το ακουστικό φάσμα που γίνεται αντιληπτό από το ανθρώπινο αυτί έχει συχνότητα αποκοπής $f_n = 22.05$ kHz ...
- Επομένως η συχνότητα Nyquist υπολογίζεται στα:
 $2 \times 22.05 = 44.1$ kHz
που αποτελεί και τη συχνότητα δειγματοληψίας του ήχου στα μουσικά CD.



Το φαινόμενο της αλλοίωσης (aliasing)



Η εικόνα παρουσιάζει 4 κυματομορφές που ανακατασκευάστηκαν από δείγματα τα οποία λήφθηκαν με 6 διαφορετικούς ρυθμούς. Δύο από τις κυματομορφές δειγματολήφθηκαν αποτελεσματικά και αποφεύχθηκε το φαινόμενο της αλλοίωσης και στους 6 ρυθμούς. Οι άλλες δύο παρουσιάζουν αυξανόμενη αλλοίωση, στις χαμηλότερες τιμές.



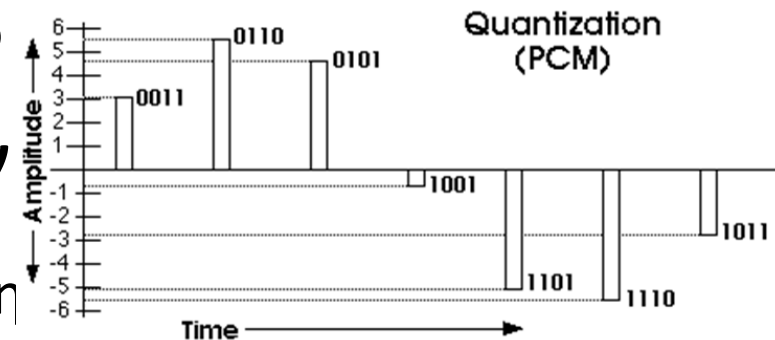


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Κβαντοποίηση (quantization)

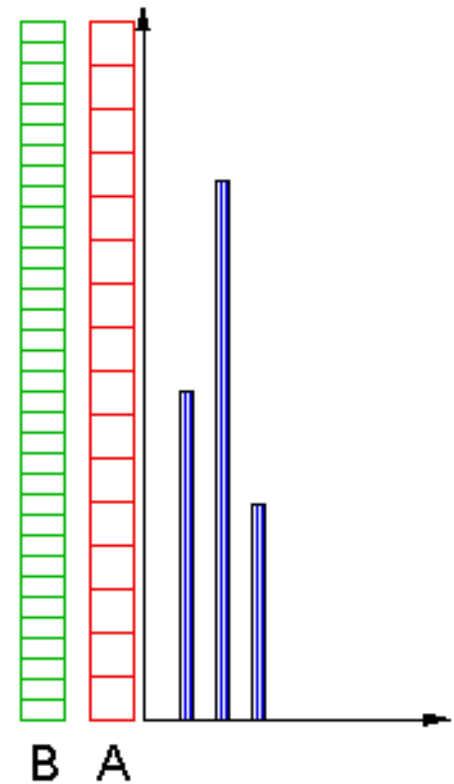
Κβαντοποίηση (quantization)

- **Κβαντοποίηση** (ή κβαντισμός) ενός σήματος στο οποίο έχει γίνει δειγματοληψία είναι η διαδικασία που μετατρέπει τα δείγματα από το χώρο των συνεχών τιμών (απ' όπου προήλθαν) στο χώρο των **διακριτών τιμών**.
- Με άλλα λόγια: γίνεται υποδιαίρεση του εύρους τιμών του δειγματοληπτημένου συνεχούς σήματος σε συγκεκριμένα επίπεδα και σε κάθε τέτοιο επίπεδο **εκχωρείται ένας ψηφιακός κωδικός από τους διαθέσιμους της κλίμακας**.



Σφάλμα κβαντισμού & Μέγεθος δείγματος

- Κάθε δείγμα λοιπόν παίρνει εκείνη την ψηφιακή τιμή πλησιέστερα στην οποία βρίσκεται η αρχική του τιμή, δηλ. **στρογγυλοποιείται** στον κοντινότερο διαθέσιμο κωδικό.
- «**Σφάλμα κβαντισμού**» (quantization error): **παραμόρφωση λόγω προσέγγισης** και είναι τόσο πιο μικρή όσο περισσότερες στάθμες κβαντισμού υπάρχουν.
- Μέγεθος δείγματος:
 - 1 bit \rightarrow 2 επίπεδα κβάντωσης
 - 2 bit \rightarrow 4 επ.
 - 4 bit \rightarrow 16 επ. , κοκ.
 - n bit $\rightarrow 2^n$
- Χαρακτηριστικές τιμές
 - **8 bit \rightarrow 256** στάθμες κβάντωσης
 - **16 bit \rightarrow 65536** στάθμες



Μέγεθος δείγματος: Απαιτήσεις

- Η τιμή του μεγέθους δείγματος πρέπει να ικανοποιεί δύο **αντικρουόμενες απαιτήσεις**:
 - **ποιότητα** ψηφιακής πληροφορίας με μικρό σφάλμα κβαντισμού (**μεγάλο μέγεθος**)
 - **μικρό μέγεθος** ψηφιακού αρχείου (**μικρό μέγεθος δείγματος**).
- Πόσα bits πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση κάθε δείγματος;
 - Στην πράξη, αυτό εξαρτάται από τον τύπο του σήματος και τη χρήση για την οποία προορίζεται. Ενδεικτικά:

Σήμα	Ρυθμός δειγματοληψίας	Μέγεθος δείγματος
Ομιλία	8 KHz	8 bit ανά δείγμα
CD ήχου	44.1 KHz	16 bit ανά δείγμα
Τηλεδιάσκεψη	16 KHz	16 bit ανά δείγμα



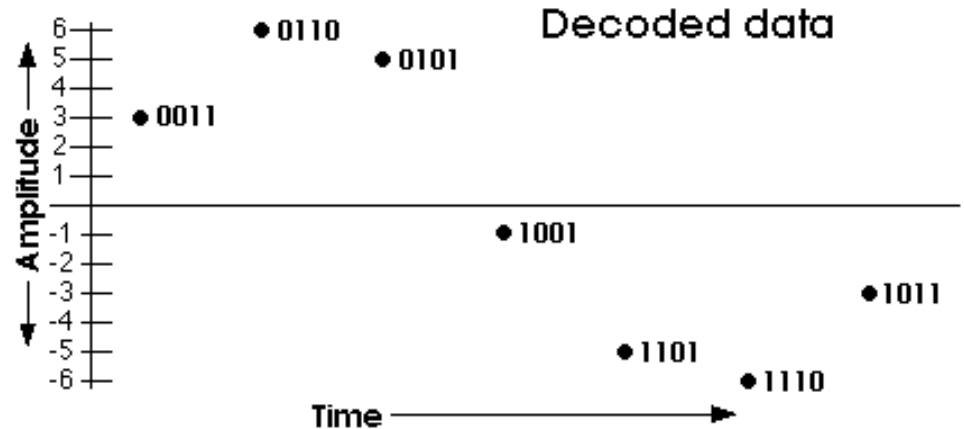


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Κωδικοποίηση (coding)

Κωδικοποίηση (coding)

- **Κωδικοποίηση:** οι κωδικοί των επιπέδων κβάντωσης της ψηφιακής αναπαράστασης **αντιστοιχούνται** στα δείγματα και δημιουργείται έτσι το **τελικό ψηφιακό σήμα** σαν μια σειρά bit



Storage & Transmission
(digital)

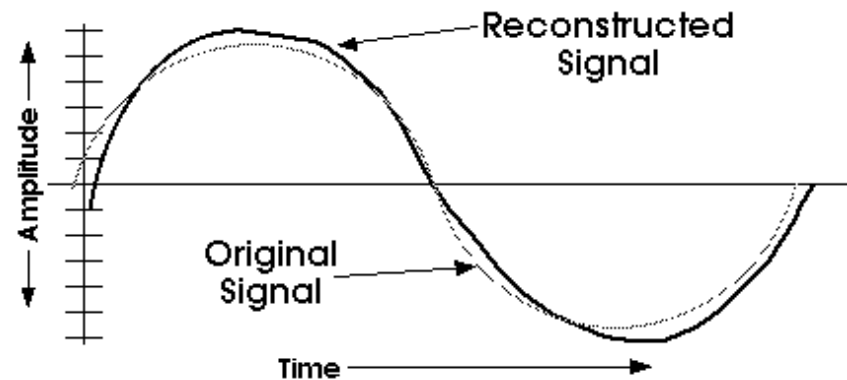
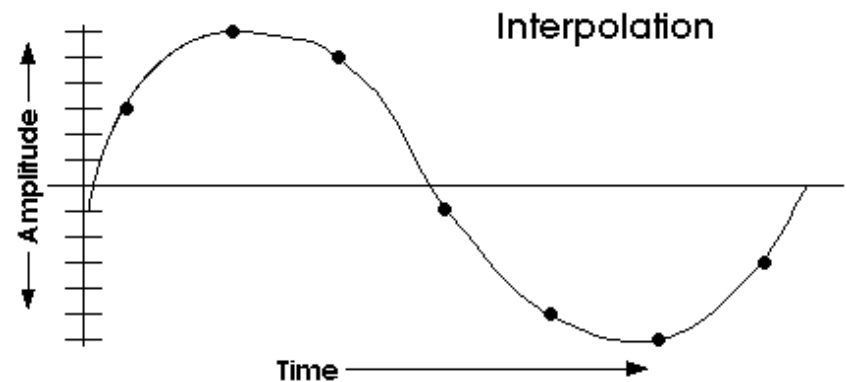
0011011001011001110111101011

Time →



Αναδημιουργία (reconstruction)

1. Με τεχνικές παρεμβολής (interpolation) είναι δυνατόν να δημιουργηθούν περισσότερες ενδιάμεσες τιμές και να αναγεννηθεί το αρχικό αναλογικό σήμα κατά μεγάλη προσέγγιση
2. Η ποιότητα του αναπαραγόμενου σήματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος δείγματος και τη συχνότητα δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε κατά τη ψηφιοποίηση.



«Ρυθμός μετάδοσης ψηφιακών δεδομένων» (Bit rate)

- Ως «**ρυθμός μετάδοσης ψηφιακών δεδομένων**» (bit rate) ορίζεται το **γινόμενο $F \times L$**
 - F η συχνότητα δειγματοληψίας ενός τέτοιου σήματος (πλήθος δειγμάτων το δευτερόλεπτο).
 - L το μέγεθος δείγματος (πλήθος bit ανά δείγμα).
 - Μετριέται σε bps (bits per second ή bits ανά δευτερόλεπτο).
- Παραδείγματα:

Σήμα	Ρυθμός δειγματοληψίας	Μέγεθος δείγματος	Bit rate
Ομιλία	8 KHz	8 bit ανά δείγμα	64 Kbps
CD ήχου	44.1 KHz	16 bit ανά δείγμα	706 Kbps (μονοφωνικό) 1.4 Mbps (στερεοφωνικό)
Τηλεδιάσκεψη	16 KHz	16 bit ανά δείγμα	256 Kbps



Επεξήγηση παραδείγματος στην ομιλία

- Δειγματοληψία (αφορά ομιλία): 8000 δείγματα /sec (8 kHz)
- Κβαντοποίηση: 256 επίπεδα
- Μέγεθος δείγματος: 8 bits/δείγμα
- ... το bit rate που προκύπτει είναι: $8000 \times 8 = 64000$ bits/sec = **64 kbps**
- Η τιμή των **64 kbps**
 - ονομάζεται **DS0** (Digital Signal level zero)
 - αποτελεί το βασικό bit rate στα περισσότερα συστήματα ψηφιακής μετάδοσης και συνήθως χρησιμοποιούνται bit rates που αποτελούν πολλαπλάσια του DS0, δηλ. πολλαπλάσια των 64 kbps.



Αναφορές

- [1] Havaldar, P., & Medioni, G. G. (2009). Multimedia Systems: Algorithms, Standards, and Industry Practices. CengageBrain. com.
- [2] Δημητριάδης, Σ., Τριανταφύλλου, Ε., & Πομπόρτσης, Α. (2003). Τεχνολογία Πολυμέσων: Θεωρία και Πράξη. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Aliasing>





Τέλος Ενότητας

Ψηφιοποίηση – Εισαγωγικά θέματα



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

