

Τεχνολογία Ήχου

Διάλεξη 11: «Θεμελιώσεις Ψηφιακού Ήχου»

Φλώρος Ανδρέας
Αναπληρωτής Καθηγητής

Αναλογική/Ψηφιακή Μετατροπή

- Τα ψηφιακά ηχητικά συστήματα πρέπει να επικοινωνήσουν με τον «αναλογικό» κόσμο
 - Μετατροπή αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά δεδομένα (π.χ. κατά την ηχογράφηση)
 - Μετατροπή ψηφιακών δεδομένων σε αναλογικό σήμα (π.χ. κατά την αναπαραγωγή)



Αναλογική/Ψηφιακή Μετατροπή (συν.)

- Δειγματοληψία
 - Μετατροπή ενός χρονικά συνεχούς (αναλογικού) σήματος σε πεπερασμένο αριθμό διαδοχικών τιμών
- Κβαντισμός
 - Μετατροπή των διαδοχικών τιμών πλάτους σε διάκριτες τιμές

Στοιχεία δειγματοληψίας ηχητικών σημάτων

Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.

Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Ιόνιο Πανεπιστήμιο**» 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

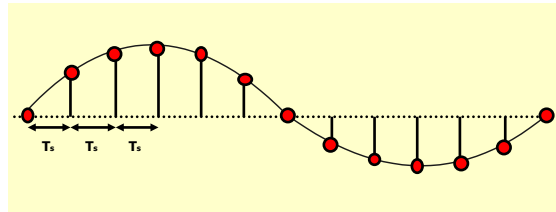


Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons



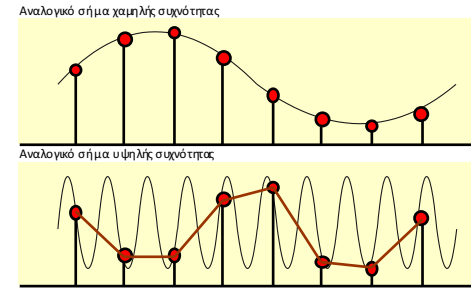
Δειγματοληψία ηχητικών σημάτων



- Αρχικό αναλογικό σήμα $s_c(t)$
- Δείγματα διάκριτου χρόνου $s_s(nT_s)$
- T_s Περίοδος δειγματοληψίας



Ποιά η τιμή της περιόδου δειγματοληψίας;



Θεώρημα του Nyquist

- Συχνότητα δειγματοληψίας $f_s = 1/T_s$
- Θεμελιώδης σχέση δειγματοληψίας

$$f_s > 2f_{max}$$

όπου f_{max} η μέγιστη συχνότητα του σήματος υπό μετατροπή

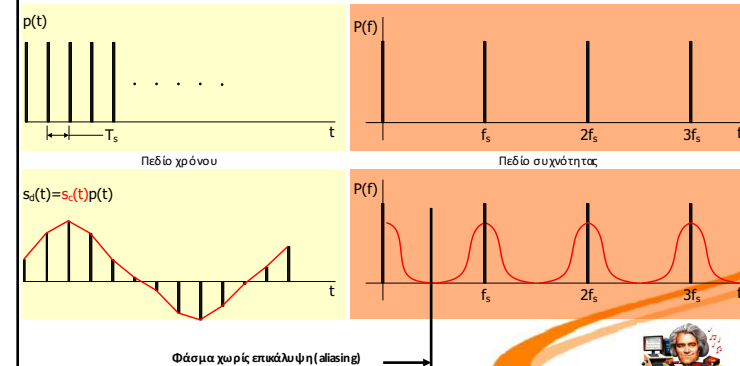
- Παράδειγμα: στο πρότυπο CD-DA
 - $f_{max} = 22.05\text{kHz}$
 - $f_s = 44.1\text{kHz}$

Demonstration

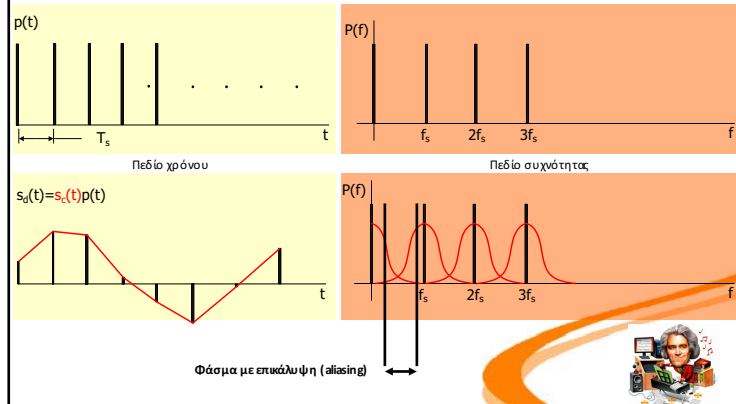
44.1kHz	22.05kHz	11.025kHz	6kHz
---------	----------	-----------	------



Δειγματοληψία: τι συμβαίνει στη συχνότητα;



Δειγματοληψία: τι συμβαίνει στη συχνότητα; (συν.)



Aliasing σε ηχητικά σήματα

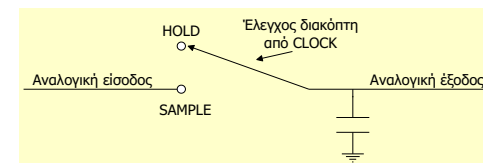
- Το αναλογικό σήμα πρέπει να είναι περιορισμένου συχνοτικού περιεχομένου (μέχρι $f_{max}=f_s/2$)
- Εάν δεν ισχύει η προηγούμενη συνθήκη, δημιουργείται φασματική επικάλυψη
- Στην πράξη, τα ηχητικά σήματα περιλαμβάνουν υψίσυχη πληροφορία σε συχνότητες $> f_{max}$
- Απαραίτητη η χρήση χαμηλοδιαβατού (low-pass) φίλτρου
 - Anti-aliasing filter
 - Περιορίζει το υψίσυχο περιεχόμενο των ακουστικών σημάτων, με δεδομένη τη συχνότητα δειγματοληψίας ενός ψηφιακού συστήματος

Anti-aliasing φίλτρα (συν.)

- Anti-aliasing φίλτρα υψηλής τάξης
 - Μικρή απαιτούμενη τιμή συχνότητας δειγματοληψίας
 - Μικρές απαιτήσεις μνήμης και ταχύτητας επεξεργασίας
 - Παραμορφώσεις φάσεις και μεταβατικών ακουστικών σημάτων
 - Π.χ. Ηχητική τραχύτητα
- Anti-aliasing φίλτρα χαμηλής τάξης
 - Απαιτείται χαμηλή συχνότητα αποκοπής f_c
 - Χαμηλή ποιότητα υψηλών συχνοτήτων
- Πιθανή λύση: υπερδειγματοληψία...


Υλοποίηση δειγματοληψίας

- Βαθμίδα sample and hold



- Βασικές απαιτήσεις:
 - Ρολόι CLOCK χωρίς jitter ($<1ns$)
 - Αποφόρτιση πυκνωτή σε χρόνο μεγαλύτερο του T_s

Στοιχεία κβαντισμού ηχητικών σημάτων




Κβαντισμός - Ορισμός

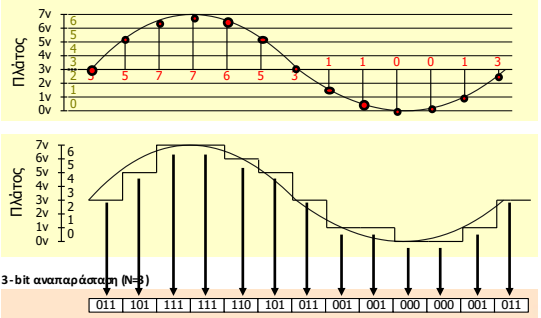
- Μετά τη δειγματοληψία, οι δυνατές τιμές πλάτους του σήματος $s_d(nT_s)$ είναι άπειρες
- Κβαντισμός: αντιστοίχιση των άπειρων τιμών σε πεπερασμένο αριθμό σταθμών
 - Μη γραμμική διαδικασία

$$s(nT_s) = Q[s_d(nT_s)]$$

- Το πλήθος των σταθμών εξαρτάται από την τάξη του κβαντιστή
 - Ευκρίνεια κβαντισμού N (bit)




Γραφική αναπαράσταση κβαντισμού



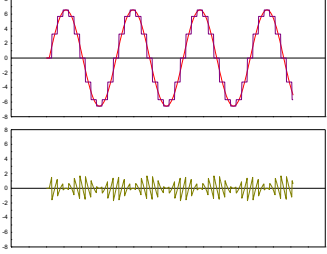

3-bit αναπαράσταση (N=8)

011	101	111	111	110	101	011	001	001	000	000	001	011
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

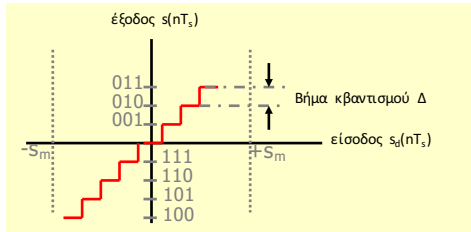


Ο κβαντισμός ως προσθετικός θόρυβος

- Ο κβαντισμός είναι μια μορφή *προσθετικού θορύβου* $e(t)$ στο αναπαριστώμενο σήμα:

$$s(t) = s_q(t) + e(t)$$



Χαρακτηριστικά κβαντιστών



$$\Delta = \frac{S_m}{2^{N-1} - 1}$$

όπου S_m η μέγιστη δυνατή τιμή πλάτους του σήματος



Κβαντισμός και δυναμική περιοχή

- Για ημιτονοειδή σήματα, η θεωρητική δυναμική περιοχή του κβαντισμένου ηχητικού σήματος είναι:

Τάξη N (bits)	SNR (dB)
8	49.8
12	73.8
16	97.8
18	109.8
24	145.76

$$SNR = 6N + 1.76 \text{ (dB)}$$



Κβαντισμός και δυναμική περιοχή (συν.)

- Τα ακουστικά σήματα καλύπτουν μια δυναμική περιοχή της τάξης των 100dB
- Τα αναλογικά συστήματα έχουν δυναμική περιοχή της τάξης των 80-90dB.
- Θεωρητικά, για N=16bit έχουμε ικανοποιητική τιμή SNR
- Στην πράξη όμως, για μη ημιτονικά σήματα ισχύει:

$$SNR = 6.02N - 24.77 \text{ (dB)}$$

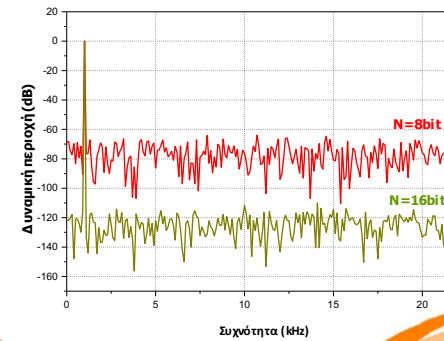
- Άρα, η απόδοση των 16-bit μετατροπέων είναι οριακά αποδεκτή
- Λύση τα 24bit

Demonstration

16bit	8bit	4bit
-------	------	------



Παράδειγμα θορύβου κβαντισμού



Demonstration

16bit	8bit
-------	------



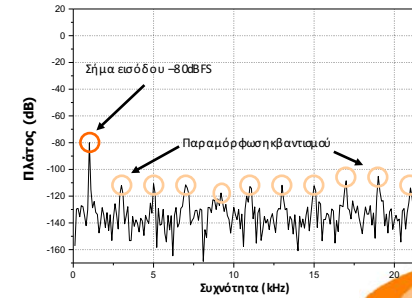
Παραμορφώσεις λόγω κβαντισμού

- Προβλήματα κβαντισμού εμφανίζονται για μικρές τιμές σήματος εισόδου
 - Ήσυχα περάσματα μουσικής
 - Στο τέλος της διάρκειας μιας μουσικής νότας
- Όσο μικραίνει το πλάτος του σήματος
 - Ο θόρυβος κβαντισμού παύει να έχει χαρακτηρισικά «λευκού θορύβου»
 - Γίνεται συσχετισμένος με το σήμα εισόδου
 - Ακουστική τραχύτητα στην χροιά των αναπαραγόμενων ήχων
- Αναγκαία η χρήση dither...



Παραμορφώσεις λόγω κβαντισμού (συν.)

- Ειδικά για πολύ μικρές τιμές πλάτους σήματος ($\sim \Delta$), το πρόβλημα των παραμορφώσεων γίνεται πολύ έντονο



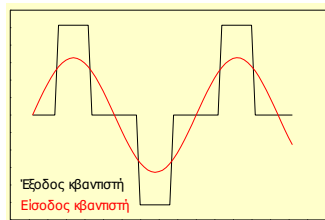
Demonstration

Sine 1kHz, -80dBFS



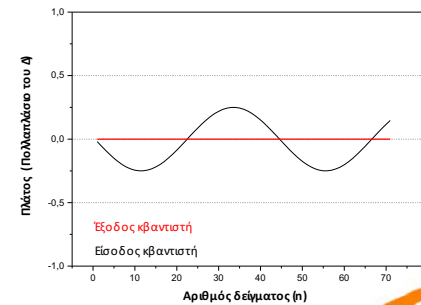
Παραμορφώσεις λόγω κβαντισμού (συν.)

- ... και στο πεδίο του χρόνου:



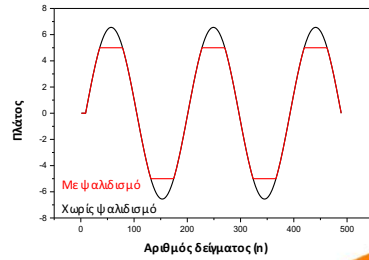
Παραμορφώσεις λόγω κβαντισμού (συν.)

- ... ενώ η έξοδος μπορεί και να μηδενιστεί:



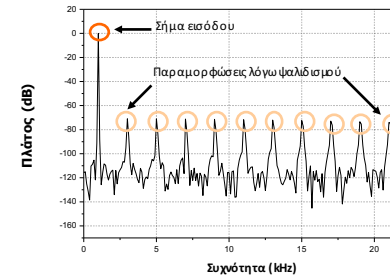
Παραμορφώσεις λόγω κβαντισμού - ψαλιδισμός

- Όταν η τιμή του σήματος εισόδου ξεπερνά την μέγιστη τιμή (στάθμη) κβαντισμού, το ψηφιακό σήμα «ψαλιδίζεται»



Παραμορφώσεις λόγω κβαντισμού – ψαλιδισμός (συν.)

- Ψαλιδισμός στο πεδίο της συχνότητας



Demonstration

0dBFS

+3dBFS





Ανδρέας Φλώρος
 floros@ionio.gr
<http://www.ionio.gr/~floros>