

Μάθημα: «Ψηφιακή Επεξεργασία Ήχου»

Διάλεξη 2^η: «Βασικές αρχές ψηφιακού ήχου»

Φλώρος Ανδρέας
Επικ. Καθηγητής



Από το προηγούμενο μάθημα...

- Τα ψηφιακά ηχητικά συστήματα πρέπει να επικοινωνήσουν με τον «αναλογικό» ανθρώπινο κόσμο
 - Μετατροπή αναλογικού σε ψηφιακού (π.χ. κατά την ηχογράφιση)
 - A/Ψ μετατροπή ή Analog to Digital (A/D) Conversion
 - Μετατροπή ψηφιακού σε αναλογικού (π.χ. κατά την αναπαραγωγή)
 - Ψ/A μετατροπή ή Digital to Analog (D/A) Conversion



Από το προηγούμενο μάθημα...

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



Παράδειγμα #1

«Συχνότητα δειγματοληψίας και αναδίπλωση (aliasing)»



Συχνότητα δειγματοληψίας και αναδίπλωση

- Το φαινόμενο της αναδίπλωσης παράγει ακουστές «παραμορφώσεις»;
- Έστω ημιτονικές κυματομορφές συχνότητας f_{in}
 - $f_{in} = 5, 10, 15, 20, 25\text{kHz}$
- Έστω ότι αυτές δειγματοληφτούνται με $f_s=44.1\text{kHz}$
- Ποιά είναι η μορφή του φάσματος στις παραπάνω περιπτώσεις;

Κώδικας – παράδειγμα: Example01_Aliasing

digital
audio
processing

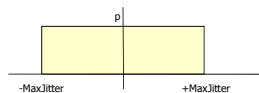
Παράδειγμα #2

«Συχνότητα δειγματοληψίας και sampling jitter»

digital
audio
processing

Συχνότητα δειγματοληψίας και sampling jitter

- Είναι η «παραμόρφωση» τύπου sampling jitter ακουστή;
- Ποιά η τιμή πλάτους jitter κανονικής κατανομής η οποία είναι μόλις ακουστή;
- Jitter κανονικής κατανομής



Κώδικας – παράδειγμα: Example02_Jitter

digital
audio
processing

Συχνότητα δειγματοληψίας και sampling jitter

- Ερωτήσεις για απάντηση
 - Ποιά η τιμή πλάτους jitter κανονικής κατανομής η οποία είναι μόλις ακουστή;
 - Ποιά η μεταβολή της ενέργειας του jitter κανονικής κατανομής συναρτήσει του πλάτους του jitter
 - Θεωρείστε πλάτος από $T_s/10000$ έως $T_s/10$

GOOD
LUCK!

digital
audio
processing

Παράδειγμα #3

«Θόρυβος κβαντισμού»

digital
audio
processing

Ο θόρυβος κβαντισμού

- Είναι ο ακουστός ο θόρυβος κβαντισμού;
- Ποιά η μορφή του;
- Ποιά η τιμή της ενέργειάς του;
 - Σαν συνάρτηση της ευκρίνειας κβαντισμού N (bit)

Κώδικας – παράδειγμα: Example03_QuantisationError

digital
audio
processing

Λοιπές μορφές παραμόρφωσης λόγω κβαντισμού

digital
audio
processing

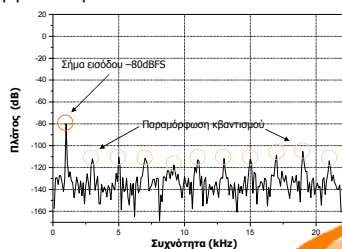
Παραμορφώσεις λόγω κβαντισμού

- 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 χαρακτηριστικά «λευκού θορύβου»
 - Γίνεται συσχετισμένος με το σήμα εισόδου
 - Ακουστική τραχύτητα στην χροιά των αναπαραγόμενων ήχων
- Αναγκαία η χρήση dither...

digital
audio
processing

Παραμορφώσεις λόγω κβαντισμού (συν.)

- Ειδικά για πολύ μικρές τιμές πλάτους σήματος (~Δ), το πρόβλημα των παραμορφώσεων γίνεται πολύ έντονο

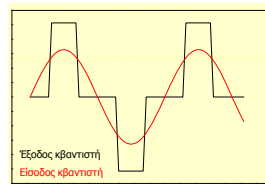


Demonstration
Sine 1kHz, -80dBFS



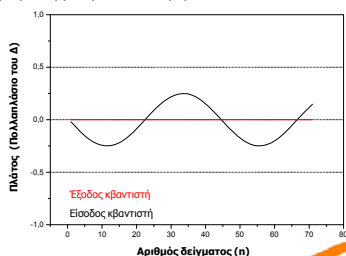
Παραμορφώσεις λόγω κβαντισμού (συν.)

- ... και στο πεδίο του χρόνου:



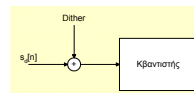
Παραμορφώσεις λόγω κβαντισμού (συν.)

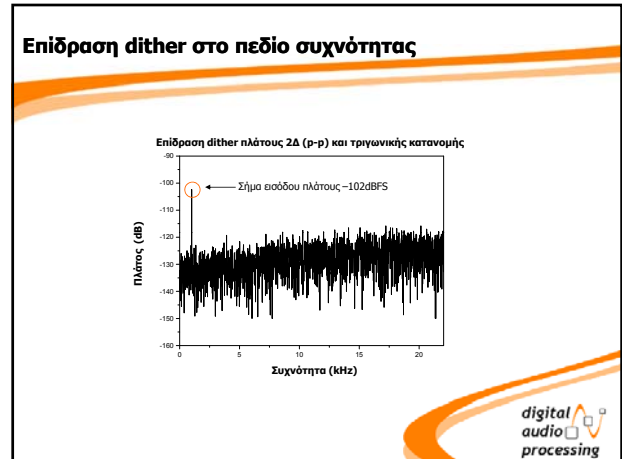
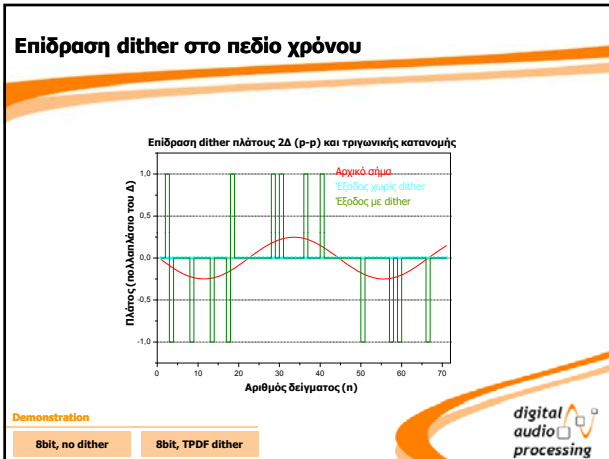
- ... ενώ η έξοδος μπορεί και να μηδενιστεί:



Κβαντισμός και dither

- Dither: θόρυβος μικρού πλάτους με συγκεκριμένα στατιστικά χαρακτηριστικά
 - Εφαρμόζεται προσθετικά πριν τον κβαντισμό
 - Αλλάζει τη μορφή του σφάλματος κβαντισμού, καθιστώντας το ανεξάρτητο από το σήμα εισόδου
 - Δίνει στο θόρυβο κβαντισμού χαρακτηριστικά λευκού θορύβου, ακόμα και για μικρές τιμές πλάτους του σήματος εισόδου
 - Υποκειμενική αύξηση της δυναμικής περιοχής του κβαντιστή
 - Αύξηση του επιπέδου του θορύβου κβαντισμού





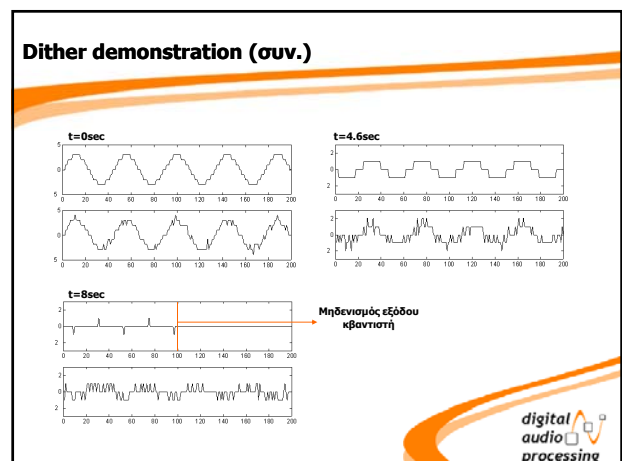
Dither demonstration

- Σήμα συχνότητας 500Hz μεταβλητού πλάτους
 - +20dB έως -20dB σε 20 δευτερόλεπτα (-2dB/sec)
 - 0dB το επίπεδο του θορύβου κβαντισμού χωρίς dither
 - @10sec, το πλάτος του σήματος ίσο με το θόρυβο κβαντισμού
 - 8bit (μόνο τα 3 χρησιμοποιούνται λόγω μικρού πλάτους), 22.05kHz

Χωρίς dither Μετά τα 10sec, η έξοδος του κβαντιστή ίση με μηδέν

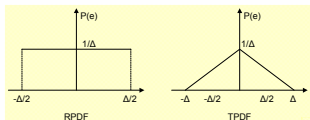
Με TPDF dither Αύξηση θορύβου κβαντισμού κατά 4.2dB

digital audio processing




Είδη/χαρακτηριστικά dither

- Κριτήριο η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF)
 - Ομοιόμορφη (rectangular) κατανομή (RPDF)
 - Τριγωνική (triangular) κατανομή (TPDF)
- Βέλτιστη λύση το TPDF dither με πλάτος 2Δ p-p
 - Αύξηση του θορύβου κβαντισμού κατά 6dB

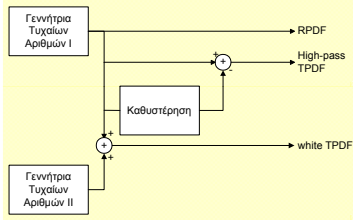



Demonstration

RPDF dither
TPDF dither

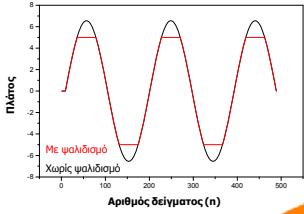



Υλοποίηση dither

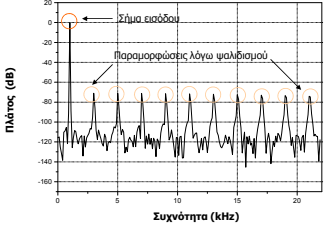
Παραμορφώσεις λόγω κβαντισμού - ψαλιδισμός

- 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

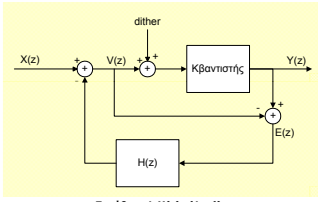


Μορφοποίηση θορύβου κβαντισμού


- Η «ακουστότητα» του θορύβου κβαντισμού αυξάνει με τη συχνότητα
 - Μεταβλητή ευαισθησία ανθρώπινου ακουστικού οργάνου
 - Κάτω από τα 4kHz, ο θόρυβος κβαντισμού είναι ιδιαίτερα ακουστός
- Μορφοποίηση θορύβου κβαντισμού (noise-shaping)
 - Χρήση ψηφιακών φίλτρων ως κλάδοι ανατροφοδότησης του κβαντιστή
 - Συντελεστές φίλτρου συνήθως ακέρατοι
 - Μικρό υπολογιστικό φορτίο
 - Φίλτρα με δεκαδικούς συντελεστές
 - Μεγάλο υπολογιστικό φορτίο
 - Μορφοποίηση σύμφωνα με το ελάχιστο κατώφλι ακοής



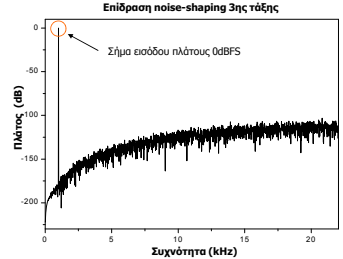
Τοπολογία μορφοποίησης θορύβου



Συνήθως, $1-H(z)=(1-z^{-1})^n$



Noise-shaping demonstration



Επίδραση noise-shaping 3ης τάξης


Σήμα εισόδου πλάτους 0dBFS

Πλάτος (dB)

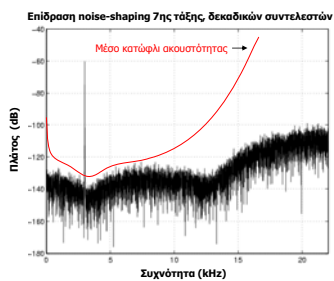
Συχνότητα (kHz)

Demonstration (8bit, 22.05kHz, TPDF dither)

Dithered NS + Dither



Noise-shaping demonstration (συν.)



Επίδραση noise-shaping 7ης τάξης, δεκαδικών συντελεστών

Μέσο κατώφλι ακουστότητας

Πλάτος (dB)

Συχνότητα (kHz)

