


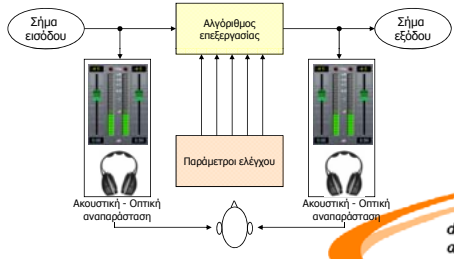

**Μάθημα: «Ψηφιακή Επεξεργασία Ήχου»**  
**Διάλεξη 4<sup>η</sup>: «Επεξεργαστές Δυναμικής Περιοχής (Μέρος ΙΙ)»**

Φλώρος Ανδρέας  
Επικ. Καθηγητής




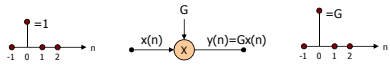

**Από το προηγούμενο μάθημα...**

- Η επεξεργασία του ψηφιακού σήματος υλοποιείται μέσω κατάλληλου αλγορίθμου



**Από το προηγούμενο μάθημα...**

- Επεξεργασία δυναμικής περιοχής
- Αναπαράσταση μεταβολής πλάτους ενός δείγματος
  - G: το κέρδος πλάτους

**Από το προηγούμενο μάθημα...**

- Φίλτρο απλού κέρδους
- Κανονικοποίηση / normalization (peak)
- Συμπίεση / compression
- Διόγκωση / expansion
- Noise gating
- Εμφέ παραμόρφωσης κιθάρας
- Ring modulator
- Stereo tremolo effect

## RMS-κανονικοποίηση

- Η κανονικοποίηση με βάση την μέγιστη τιμή επιτρέπει την μεγιστοποίηση των τιμών πλάτους του σήματος
  - Χωρίς ψαλιδισμό (0dB-FS)
- Δεν λαμβάνει όμως υπόψιν την ισοδύναμη «ακουστότητα» π.χ. μεταξύ δύο διαδοχικών ηχητικών κομματιών
- Λύση η κανονικοποίηση ως προς την RMS τιμή
  - RMS: Root Mean Square



## RMS-κανονικοποίηση (συν.)

- Υπολόγισε την RMS τιμή του σήματος

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}}$$

- Υπολόγισε την τιμή του κέρδους κανονικοποίησης λαμβάνοντας υπόψιν την RMS τιμή στόχο
  - $G = \text{TargetRMSValue} / \text{MeasuredRMSValue}$
  - Προσοχή στην τιμή αυτή για αποφυγή ψαλιδισμού
- Εφάρμοσε το κέρδος κανονικοποίησης σε ολόκληρο το σήμα

Κώδικας – παράδειγμα: Fx\_RMSNormalize.m, Example\_RMSNormalize.m

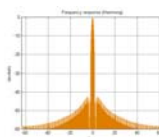
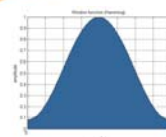


## Εμφάνιση τύπου Fade-in

- Σε πολλές περιπτώσεις, «ασυνέχειες» του ηχητικού σήματος δημιουργούν παραμορφώσεις
  - Π.χ. Clicks
- Αναγκαία η χρήση σημάτων «παραθύρων»  $w(n)$  για την υλοποίηση εμφάνιση τύπου Fade-in κατά την έναρξη της αναπαραγωγής
  - Ή γενικά στην αρχή ενός ηχητικού δείγματος
- $y(n) = w(n) * x(n)$

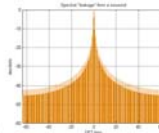
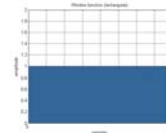


## Τυπικές κυματομορφές συναρτήσεων παραθύρων



Hamming

$$w(n) = 0.53836 - 0.46164 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)$$



Τετραγωνικό παράθυρο

$$w(n) = 1$$



### Τυπικές κυματομορφές συναρτήσεων παραθύρων (συν.)

**Hanning**  
 $w(n) = 0.5 \left( 1 - \cos \left( \frac{2\pi n}{N-1} \right) \right)$

**Τριγωνικό**  
 $w(n) = \frac{2}{N} \cdot \left( \frac{N}{2} - \left| n - \frac{N-1}{2} \right| \right)$

digital audio processing

### Εμφάνιση τύπου Fade-in (συν.)

- Ορισμός πλήθους σημείων παραθύρων
  - Εξαρτάται από το επιθυμητό χρονικό μήκος του Fade-in
- Χρήση του πρώτου μισού ενός παραθύρου
- Πολλαπλασιασμός του παραθύρου με το σήμα στην είσοδο

Κώδικας - παράδειγμα: Fx\_FadeIn.m, Example\_FadeIn.m

digital audio processing

### Εμφάνιση τύπου Fade-out

- Διαδικασία παρόμοια με το Fade-in
- Λαμβάνεται το δεύτερο μισό ενός σήματος παραθύρου w(n)
- Πολλαπλασιασμός με τα πλέον "τελευταία" δείγματα του σήματος εισόδου

Κώδικας - παράδειγμα: Fx\_FadeOut.m, Example\_FadeOut.m

digital audio processing

### Crossfading

- Τεχνική ευρύτατα χρησιμοποιούμενη στην μέθοδο Wavetable synthesis

digital audio processing

### Crossfading (συν.)

- Wavetable synthesis

Κώδικας – παράδειγμα: `Example_LinearCrossfade.m`

### Περιβάλλουσες τύπου ADSR

- **Attack**
  - Πόσο γρήγορα ο ήχος φθάνει τη μέγιστή του τιμή
- **Decay**
  - Πόσο γρήγορα ο ήχος πέφτει από την μέγιστη τιμή στην τιμή Sustain
- **Sustain**
  - Ο ήχος διατηρείται σταθερός
- **Release**
  - Ο χρόνος που απαιτείται μέχρις ότου ο ήχος σβήσει (σε σχέση με την παύση διέγερσής του)

### Περιβάλλουσες τύπου ADSR (συν.)

### Περιβάλλουσες τύπου ADSR (συν.)

- Δείγμα περιβάλλουσας πιάνου

Κώδικας – παράδειγμα: `Fx_GuitarADSR.m, Example_SynthesisWithADSR.m`

### Τεχνικές στερεοφωνικής τοποθέτησης του ήχου

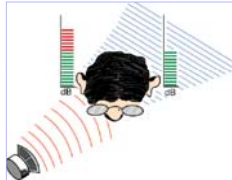
- Χωρική «ισορροπία»
  - Απλό stereo balance
- Στερεοφωνική τοποθέτηση πλάτους
  - Stereo amplitude panning





**digital audio processing**

### Αρχές αμφιωτικής ακουστικής

Interaural Level Difference (ILD)



Interaural Time Difference (ITD)

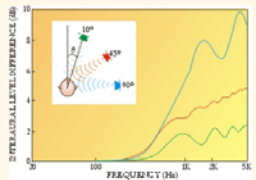


Διαφορές φασμαλίων

**digital audio processing**

### Ο μηχανισμός των ILD

- Interaural Level Difference (ILD)
  - Μικρότερη διαδρομή ηχητικού κύματος
  - Φαινόμενο σκίασης ηχητικού κύματος από το ανθρώπινο κεφάλι
    - Για συχνότητες πάνω από 500Hz
    - Φαινόμενο ιδιαίτερα έντονο για συχνότητες άνω των 2kHz
  - Διαφορετική τιμή ηχητικής έντασης σε κάθε αυτί
    - Μέχρι 20dB για υψηλές συχνότητες



**digital audio processing**

### Βασικές αρχές στερεοφωνικής αναπαραγωγής

- Τυπική διαμόρφωση στερεοφωνικής ακρόασης
  - Standard listening stereo configuration
 
  - Δημιουργία του ειδώλου της ακουστικής πηγής
    - Με σχετική μεταβολή του κέρδους της ηχητικής αναπαραγωγής
    - Με σχετική μεταβολή της χρονικής στιγμής αναπαραγωγής



**digital audio processing**

### Χωρική ισορροπία (Balance)

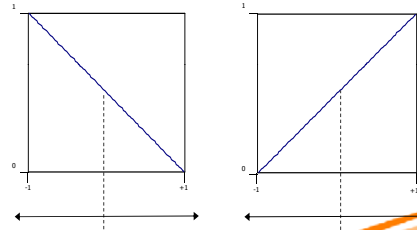
- Εφαρμογή κέρδους G σε κάθε κανάλι ως εξής:
  - $G_{right} = (1 + Balance) / 2$
  - $G_{left} = 1 - G_{right}$
- Ενδεικτικές τιμές Balance
  - 1: Ακουστικό είδωλο στο αριστερό ηχείο
  - +1: Ακουστικό είδωλο στο δεξί ηχείο
  - 0: Ακουστικό είδωλο στο κέντρο

Κώδικας – παράδειγμα: `Fx_StereoBalance.m`, `Example_StereoBalance.m`



### Χωρική ισορροπία (συν.)

- Κέρδος αριστερού και δεξιού καναλιού ως συνάρτηση του Balance



### Χωρική ισορροπία (συν.)

- Βασικό μειονέκτημα: η χωρική αναπαράσταση του ειδώλου γίνεται με μεταβολή της έντασης και όχι του πλάτους
  - Η ένταση είναι ανάλογη του τετραγώνου του πλάτους
- Τιμή του πλάτους στη μέση
  - $0.5^2 + 0.5^2 = 0.5$
- Τιμή του πλάτους στα άκρα
  - $1^2 + 0^2 = 1$
- Άρα υπάρχει μία «βύθιση» του πλάτους στο κέντρο της τάξης των 3dB

Κώδικας – παράδειγμα: `Example_VariableBalance.m`



### Amplitude panning

- Βασική ιδέα: Σταθερό πλάτος σε όλα τα σημεία

$$G_l^2 + G_r^2 = 1$$

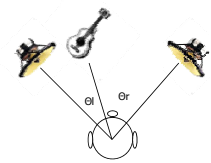
- Ικανοποίηση από την ταυτότητα

$$\sin^2(\theta) + \cos^2(\theta) = 1$$

- Έστω ότι το άθροισμα των γωνιών μεταξύ των ηχείων και του ειδώλου είναι  $90^\circ$

$$\theta + \theta_r = 90^\circ$$

$$\theta = 90^\circ - \theta_r$$



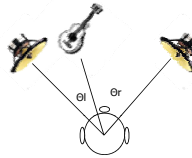
### Amplitude panning (συν.)

- Τότε:
 
$$\sin^2(90^\circ - \theta) + \cos^2(\theta) = 1$$
- Επειδή  $\sin(\theta) = \cos(\theta + 90^\circ)$ 

$$\cos^2(90^\circ - \theta + 90^\circ) + \cos^2(\theta) = 1$$

$$\cos^2(-\theta + 180^\circ) + \cos^2(\theta) = 1$$

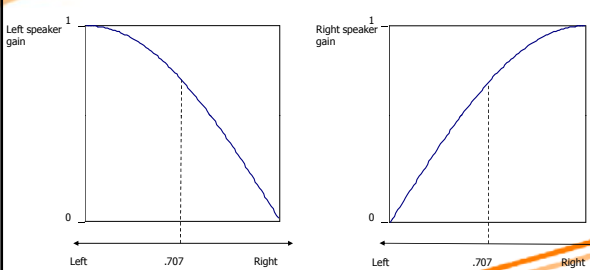
$$\cos^2(\theta) + \cos^2(\theta) = 1$$
- Άρα
 
$$G_i = \cos(\theta) \quad 0 \leq \theta \leq 90$$



Κώδικας – παράδειγμα: Px\_AmplitudePanning.m, Example\_AmplitudePann

digital audio processing

### Amplitude panning (συν.)



Κώδικας – παράδειγμα: Example\_VariableAmplitudePanning.m

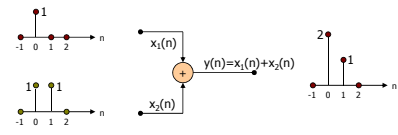
digital audio processing

### Πρόσθεση σταθμών πλάτους ηχητικών σημάτων

digital audio processing

### Περιγραφή αλγορίθμων επεξεργασίας σημάτων

- Αναπαράσταση πρόσθεσης σημάτων



- Απαιτείται προσοχή ώστε να μη δημιουργηθεί ψαλιδισμός

digital audio processing

### Παράδειγμα εφαρμογής

- Ελαχιστοποίηση του καναλιού φωνής σε μουσικό κομμάτι
  - Vocals minimization
- Στηρίζεται στο γεγονός ότι το κανάλι φωνής είναι τοποθετημένο στο «κέντρο» μίας στερεοφωνικής ηχογράφησης
  - Ίση ένταση αριστερού / δεξιού καναλιού
- Η αφαίρεση των δύο στερεοφωνικών καναλιών ελαχιστοποιεί την παρουσία του καναλιού φωνητικών
  - $y = \text{left} - \text{right}$

Κώδικας – παράδειγμα: Example\_VocalsRemoval.m



### Μίξη ψηφιακών ηχητικών σημάτων

- Ζυγισμένη μίξη M ψηφιακών καναλιών ήχου
  - $w_m$ : Το «βάρος» του καναλιού m

$$y(n) = \frac{1}{|W|} \sum_{m=1}^M \{w_m x_m(n)\}$$

- Ισχύει ότι

$$|W| = \sum_{m=1}^M w_m$$

Κώδικας – παράδειγμα: Px\_WeightedMix.m, Example\_WeightedMixing.m



### Εργασία για εξάσκηση...

- Ηχογράφηση μεμονωμένων ηχητικών πηγών (π.χ. 3)
- Χωρική στερεοφωνική τοποθέτησή τους
- Μίξη των στερεοφωνικών σημάτων
- Τα αποτελέσματα θα τα ακούσουμε στο επόμενο μάθημα



**ΤΕΛΟΣ (για σήμερα...)**

REACHED  
YOUR  
LIMIT?

