

Ακουστική και Ψυχοακουστική

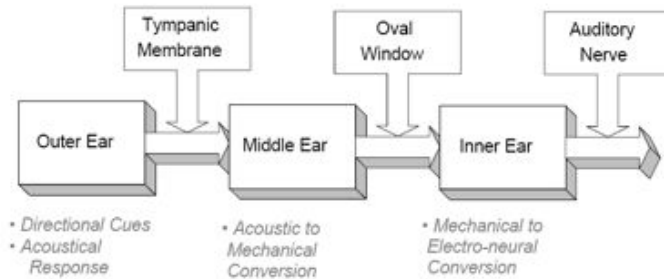
Διάλεξη 7: “Αμφιωτική ακουστική - Μέρος Α”

Φλώρος Ανδρέας
Επίκουρος Καθηγητής

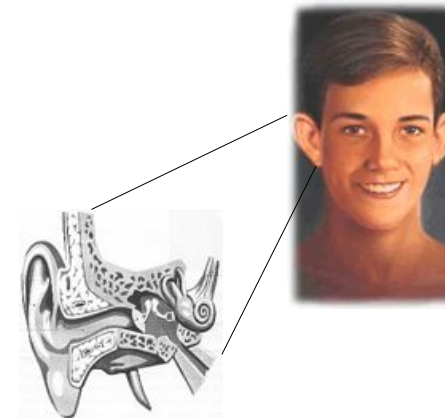
Η ακουστική στον πραγματικό/εικονικό κόσμο



Πώς αντιλαμβανόμαστε τον ήχο ως δέκτες;



Πώς αντιλαμβανόμαστε τον ήχο στο χώρο;



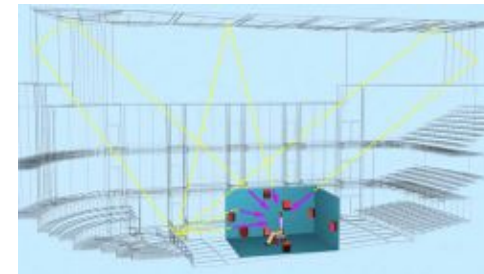
Μερικές λέξεις - κλειδιά

- **Monaural**
 - Ο ήχος καταγράφεται από το ένα αυτί
- **Binaural**
 - Ο ήχος καταγράφεται και από τα δύο αυτιά
 - Αμφιωτική ακουστική
- **Diotic**
 - Ήχοι ακριβώς ίδιοι και στα δύο αυτιά
- **Dichotic**
 - Ήχοι διαφορετικοί στα δύο αυτιά



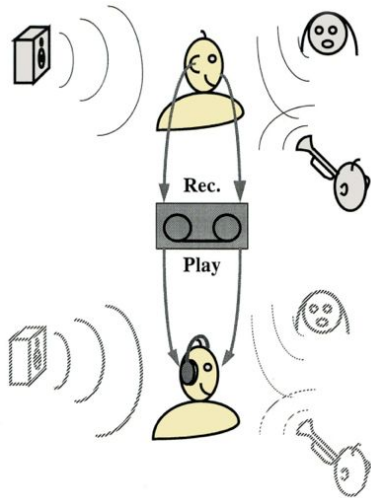
Γενικά: Στόχος τρισδιάστατης απεικόνισης του ήχου

- Η πιστή αναπαραγωγή των ηχητικών δρώμενων σε ένα χώρο, χωρίς την ανάγκη τοποθέτησης του ακουστικού δέκτη σε αυτόν

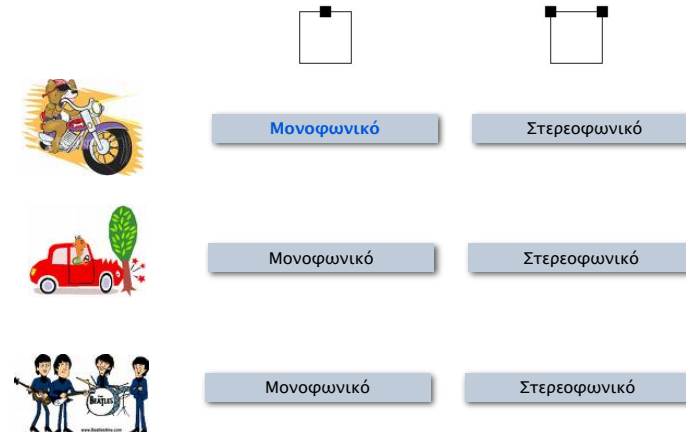


Προηγμένο σύστημα τρισδιάστατης ηχητικής απεικόνισης
παικτοροί

Στόχος η «αυθεντική» αναπαραγωγή



Συστήματα προβολής ήχου στο χώρο



Συστήματα προβολής ήχου στο χώρο



Μονοφωνικό



Στερεοφωνικό



Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό



Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό

Συστήματα προβολής ήχου στο χώρο



Μονοφωνικό



Στερεοφωνικό



Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό



Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό

Συστήματα προβολής ήχου στο χώρο



Μονοφωνικό



Στερεοφωνικό



Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό



Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό

Συστήματα προβολής ήχου στο χώρο



Μονοφωνικό



Στερεοφωνικό



Μονοφωνικό

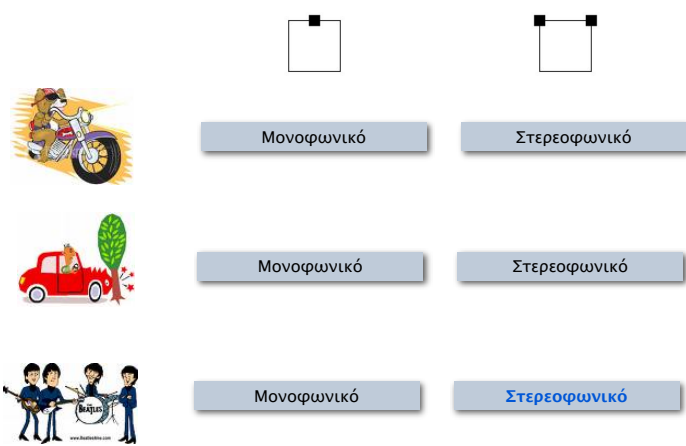
Στερεοφωνικό



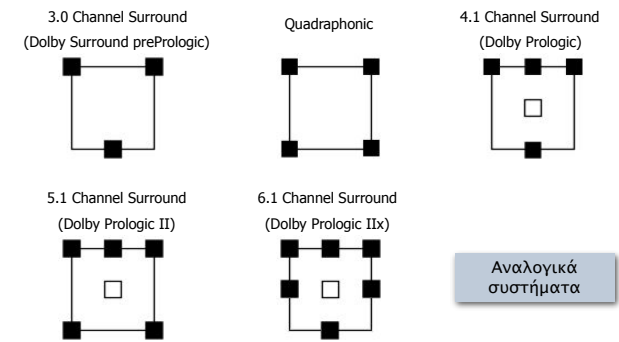
Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό

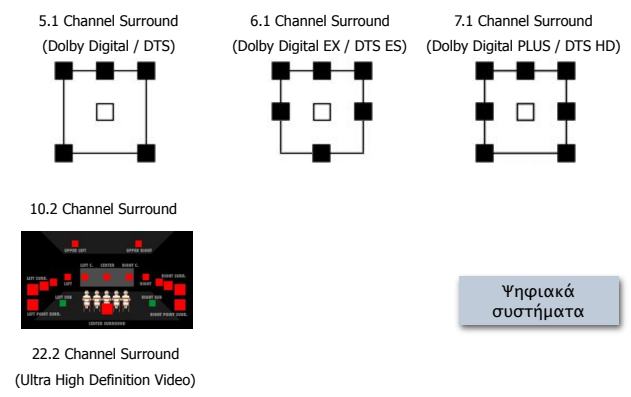
Συστήματα προβολής ήχου στο χώρο



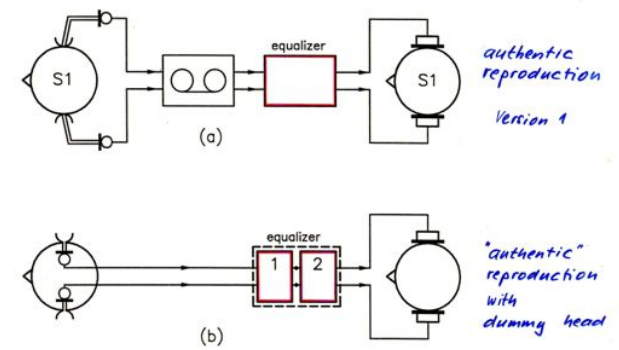
Συστήματα προβολής ήχου στο χώρο (2)



Συστήματα προβολής ήχου στο χώρο (3)

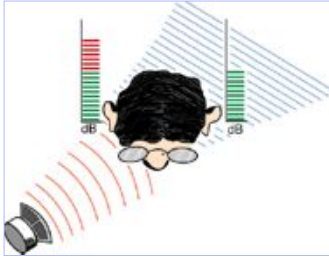


Αμφιωτική τεχνολογία

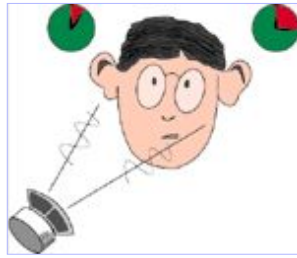


Γενική προσέγγιση αμφιωτικής ακουστικής

Interaural Level Difference (ILD)

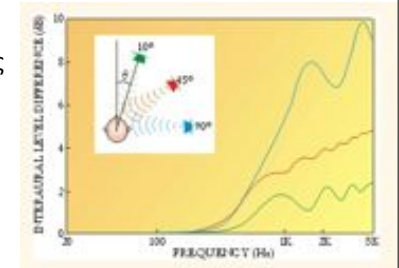


Interaural Time Difference (ITD)



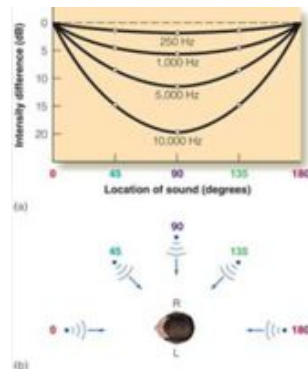
Γενική προσέγγιση αμφιωτικής ακουστικής (2)

- 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



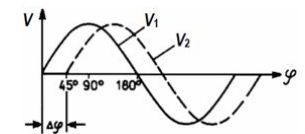
Γενική προσέγγιση αμφιωτικής ακουστικής (3)

- Τυπικές τιμές ILDs



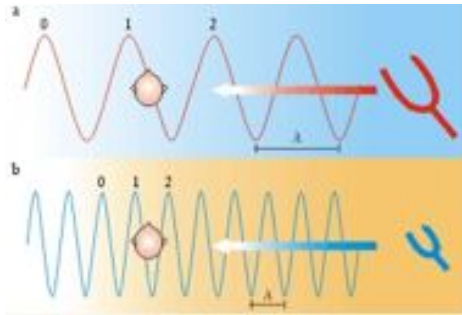
Γενική προσέγγιση αμφιωτικής ακουστικής (4)

- Interaural Time Difference (ITD)
- Μέγιστη ITD $\sim 680\mu\text{sec}$ (στις 90°)
 - Για τυπική απόσταση μεταξύ αυτιών $\sim 0.23\text{m}$
 - $c=343\text{m/sec}$
- Φασικές διαφορές λόγω διαφορετικής απόστασης
 - για περιοδικούς τόνους
 - Για $f < 1.5\text{kHz}$ το μήκος κύματος είναι μεγαλύτερο από την απόσταση των δύο αυτιών
 - ... και η διαφορά φάσης αισθητή



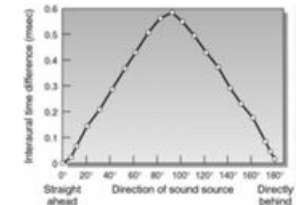
Γενική προσέγγιση αμφιωτικής ακουστικής (5)

- ITDs και συχνότητα

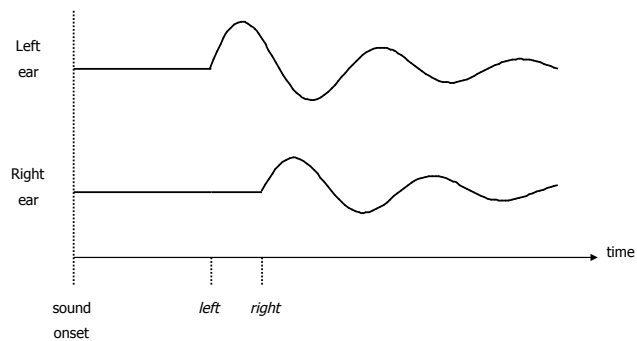


Γενική προσέγγιση αμφιωτικής ακουστικής (6)

- Τυπικές τιμές ITD

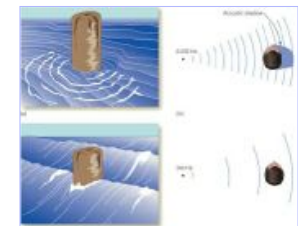


Γενική προσέγγιση αμφιωτικής ακουστικής (7)



Duplex theory (Lord Rayleigh, 1907)

- Στον προσδιορισμό της κατεύθυνσης παίζουν ρόλο μόνο οι ILDs και ITDs
 - Primary sound localization cues
- Για $f < 1500\text{Hz}$
 - Σημαντικές μόνο οι ITDs
- Για $f > 1500\text{Hz}$
 - Σημαντικές μόνο οι ILDs

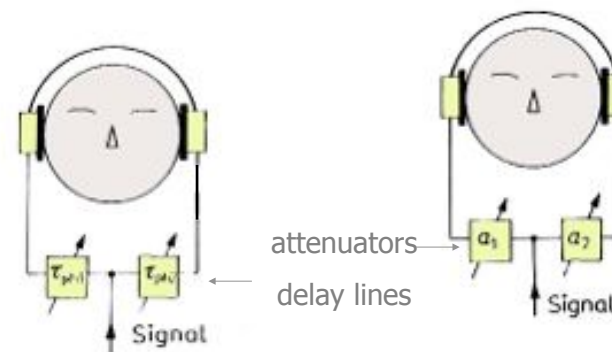


Duplex Theory: Just Noticeable Differences

- ILD
 - 0.5 – 1 dB
 - Εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ευαισθησία του κεντρικού νευρικού συστήματος
 - Είναι σταθερή και ίση με 0.5 – 1 dB σε όλες τις ακουστές συχνότητες
- ITD
 - 10μsec
 - Ενδεικτικά, μεταβολή 1 – 2° στο αζιμούθιο αντιστοιχεί σε ITD ~13μsec



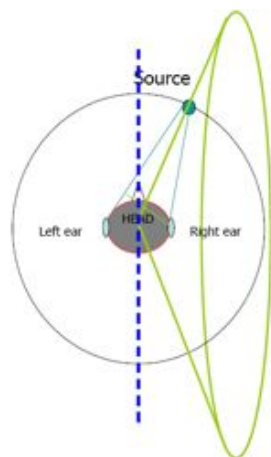
Duplex theory - Υλοποίηση



Duplex Theory – Ο Κώνος της Αβειβαιότητας

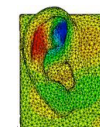
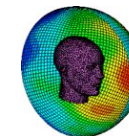
- Cone of Confusion
 - Διαφορετικές περιοχές σταθερής ITD
- Για τις επιφάνειες αυτές ισχύει:

$$|x - x_L| - |x - x_R| = c \delta t$$



Λύση: η μοντελοποίηση εξωτερικού αυτιού

- Το ανθρώπινο «έξω» αυτί
 - Λειτουργεί ως «φίλτρο»
- Head Related Transfer Functions (HRTFs)
 - ή Anatomical Transfer Functions (ATFs)
- Μέτρηση φίλτρου
 - Εξάρτηση από γωνίες άφιξης
 - Εξάρτηση από μορφολογία αυτιού
 - Επίδραση στήθους, ώμων κ.λ.π.
- Μοναδικές για κάθε άνθρωπο
- Στο επόμενο μάθημα...

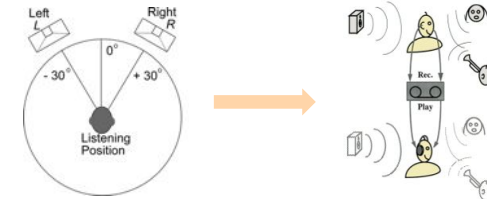


Εφαρμογή: Τυπική στερεοφωνία



Βασικές αρχές στερεοφωνικής αναπαραγωγής

- Τυπική διαμόρφωση στερεοφωνικής ακρόασης
 - Standard listening stereo configuration



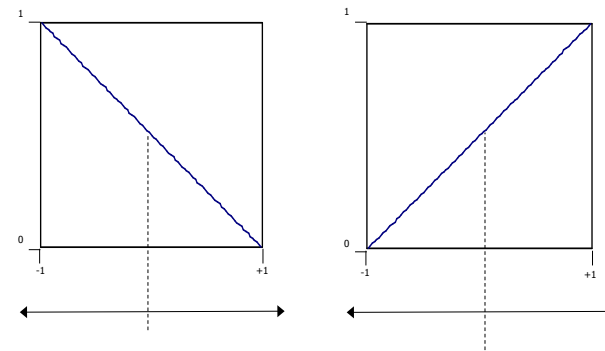
- Δημιουργία του ειδώλου της ακουστικής πηγής
 - Με σχετική μεταβολή του κέρδους της ηχητικής αναπαραγωγής
 - Με σχετική μεταβολή της χρονικής στιγμής αναπαραγωγής

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

Χωρική ισορροπία (2)

- Κέρδος αριστερού και δεξιού καναλιού ως συνάρτηση του Balance



Χωρική ισορροπία (3)

- 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



Example_VariableBalance.m



Amplitude panning

- Βασική ιδέα: σταθερό πλάτος σε όλα τα σημεία

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

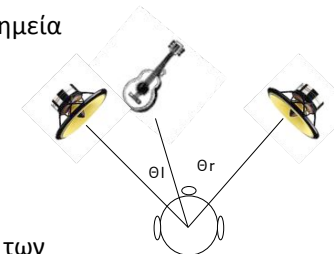
- Ικανοποίηση από την ταυτότητα

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

- Έστω ότι το άθροισμα των γωνιών μεταξύ των ηχείων και του ειδώλου είναι 90°

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

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



Amplitude panning (2)

- Τότε:

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

- Επειδή $\sin(\theta) = \cos(\theta + 90^\circ)$

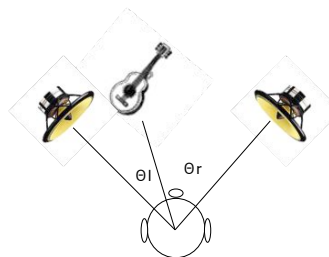
$$\cos^2(90^\circ - \theta_r + 90^\circ) + \cos^2(\theta_r) = 1$$

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

$$\cos^2(\theta_r) + \cos^2(\theta_r) = 1$$

- Άρα

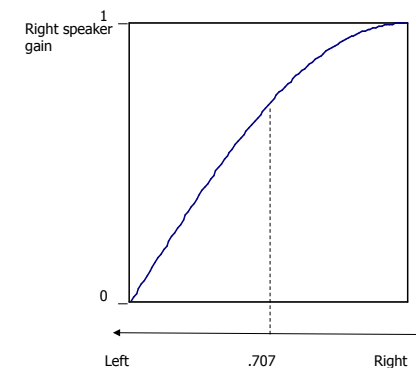
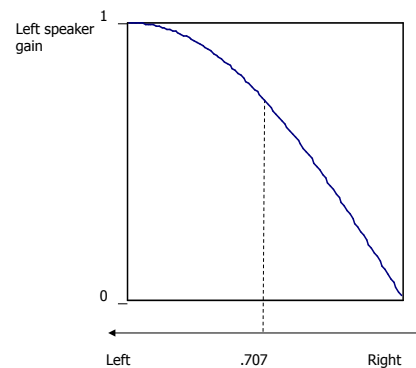
$$G_l = \cos(|\theta_l|) \quad 0 \geq \theta_l \leq 90$$



Fx_AmplitudePanning.m
Example_AmplitudePanning.m



Amplitude panning (3)



Example_VariableAmplitudePanning.m



Εφαρμογή: Audio data sonification



Audio data sonification

- Χρησιμοποίηση ηχητικής πληροφορίας (μή λεκτικής) για την μετάδοση πληροφοριών
 - Π.χ.
 - ▶ Τιμές μετοχών σε περιβάλλον γραφείου
 - ▶ Ζωτικές ενδείξεις σε μία εγχείρηση
 - ▶ Τιμές πυρετού σε νοσοκομεία
- Σε τυφλούς
- Τεχνική ιδιαίτερα χρήσιμη σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου
 - Συντελεί στην μη απόσπαση της «οπτικής» προσοχής του ενδιαφερομένου
- Αντικαθιστά παραδοσιακές απεικονιστικές/οπτικές μεθόδους

Audio data sonification (2)

- Βασικά πλεονεκτήματα:
 - Δυνατότητα ταυτόχρονης παρακολούθησης μεγάλου πλήθους δεδομένων
 - Αναπαράσταση φαινομένων όπου απουσιάζουν τεχνικές απεικόνισης
 - Βελτίωση της απεικόνισης μέσω οπτικών τεχνικών
 - Αύξηση της δυναμικής περιοχής αντίληψης των πληροφοριών από τον άνθρωπο (human-computer interface)



Audio data sonification (3)

- Βασικές ηχητικές παράμετροι
 - Τονικό ύψος (συχνότητα)
 - Πλάτος (ένταση)
 - Τοποθέτηση στο χώρο
 - Tempo
- Τυπική εφαρμογή
 - Ρολόι εκκλησίας
 - Μετρητής Geiger
- Μέτρηση επιπέδων ραδιενέργειας



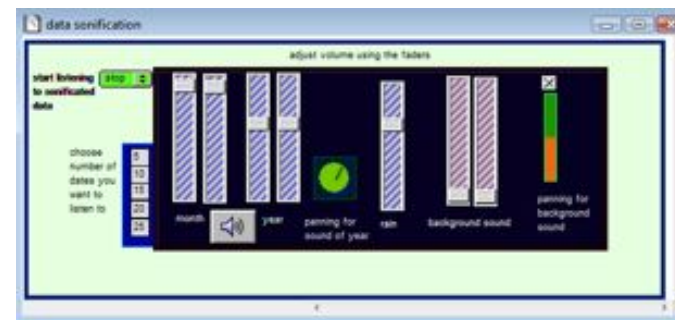
Audio data sonification (4)

- Βασικές κατηγορίες
 - Audification
 - ▶ Απευθείας μετατροπή των δεδομένων σε συχνότητες που είναι ακουστές από τον άνθρωπο
 - Iconic Sonification
 - ▶ Αντιστοίχιση των δεδομένων με ήχους
 - ▶ Π.χ. Ηχογράφηση βροντής για καιρικά φαινόμενα
 - Musical Sonification
- Αντιστοίχιση των δεδομένων σε μουσικές «παραμέτρους»
 - Π.χ. Tempo, pitch ενός μουσικού κομματικού κ.λ.π.



Audio data sonification (5)

- Ποσοστό βροχοπτώσεων σε μία περιοχή

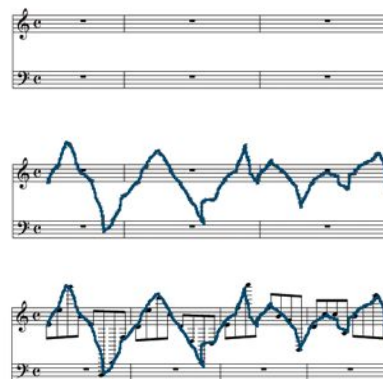


Demo data sonification/data sonification.pat

Audio data sonification (6)

- Ημέρα του μήνα
 - Απλή νότα (μικρή ημερομηνία -> χαμηλή νότα)
- Μήνας του έτους
 - Διαφορετικό απόσπασμα από τις «Τέσσερις εποχές» του Tchaikovsky
 - Όσο πιο «μικρός» μήνας, τόσο πιο αριστερά γίνεται η αναπαραγωγή
- Έτος
 - Αναπαραγωγή τόνων μέσω φίλτρων biquad
- Ποσοστό βροχόπτωσης
 - Μεταβλητό χαμηλοδιαβατό φίλτρο (Q και συχνότητα αποκοπής)

Audio data sonification (7)



Μετατροπή
σεισμικού σήματος
σε ήχο

Τέλος



(για σήμερα)....



Ανδρέας Φλώρος

floros@ionio.gr

<http://www.ionio.gr/~floros>