

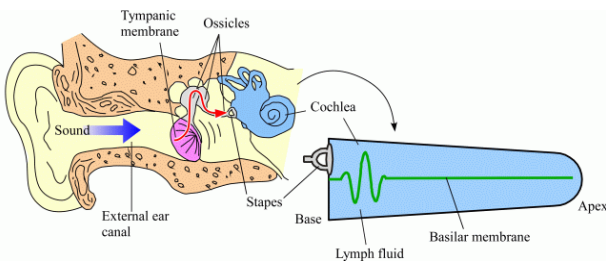
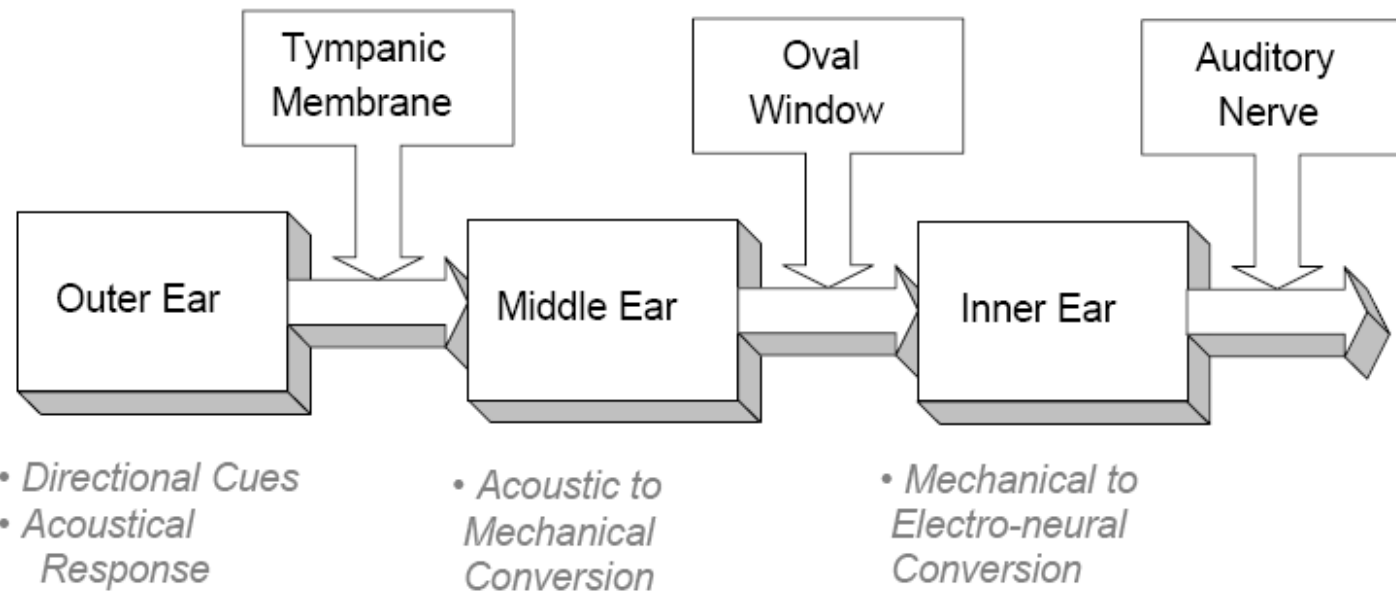
ΙΕΜΑ

Κύκλος διαλέξεων μουσικής ακουστικής

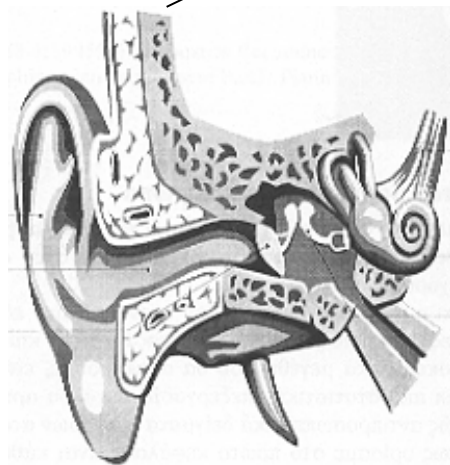
“Αντίληψη του ήχου στον χώρο-Αμφιωτική ακουστική”

Φλώρος Ανδρέας
Επίκουρος Καθηγητής

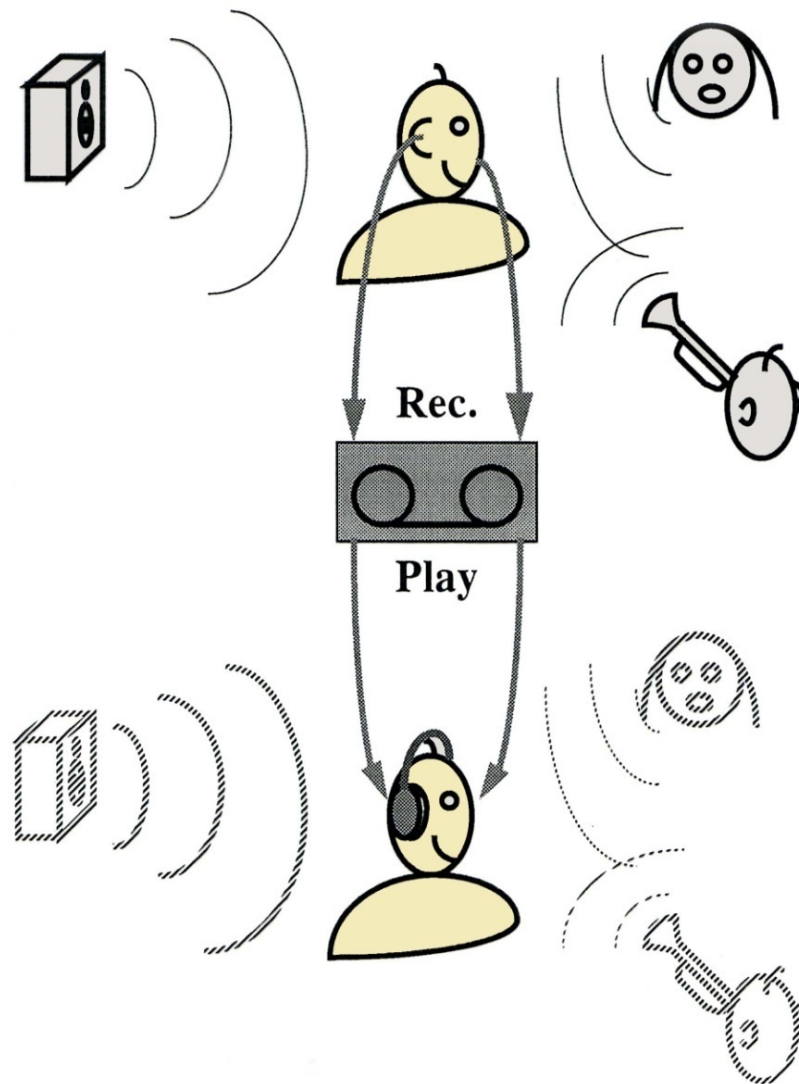
Πώς αντιλαμβανόμαστε τον ήχο ως δέκτες;



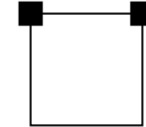
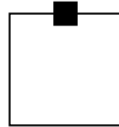
Πώς αντιλαμβανόμαστε τον ήχο στο χώρο;



Στόχος η «αυθεντική» αναπαραγωγή



Συστήματα προβολής ήχου στο χώρο



Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό



Μονοφωνικό

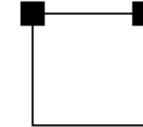
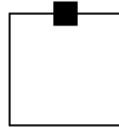
Στερεοφωνικό



Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό

Συστήματα προβολής ήχου στο χώρο



Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό



Μονοφωνικό

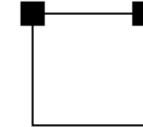
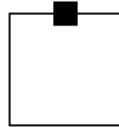
Στερεοφωνικό



Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό

Συστήματα προβολής ήχου στο χώρο



Μonoφωνικό

Στερεοφωνικό



Μonoφωνικό

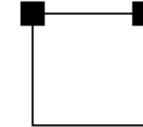
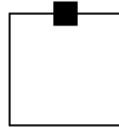
Στερεοφωνικό



Μonoφωνικό

Στερεοφωνικό

Συστήματα προβολής ήχου στο χώρο



Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό



Μονοφωνικό

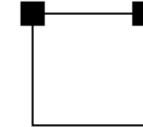
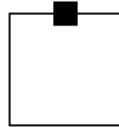
Στερεοφωνικό



Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό

Συστήματα προβολής ήχου στο χώρο



Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό



Μονοφωνικό

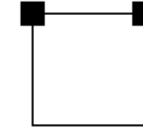
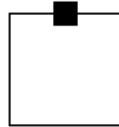
Στερεοφωνικό



Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό

Συστήματα προβολής ήχου στο χώρο



Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό



Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό

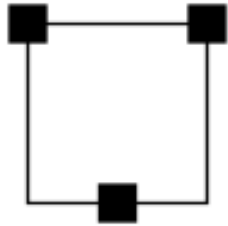


Μονοφωνικό

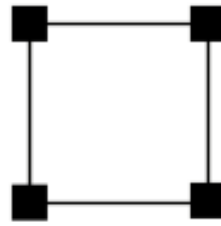
Στερεοφωνικό

Συστήματα προβολής ήχου στο χώρο (2)

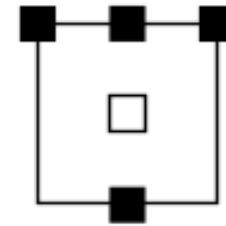
3.0 Channel Surround
(Dolby Surround prePrologic)



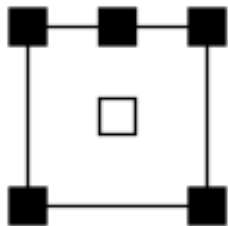
Quadraphonic



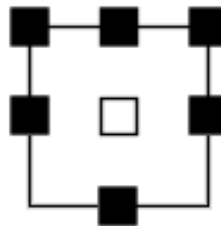
4.1 Channel Surround
(Dolby Prologic)



5.1 Channel Surround
(Dolby Prologic II)



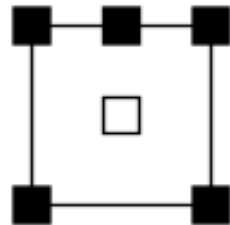
6.1 Channel Surround
(Dolby Prologic IIx)



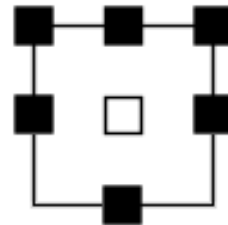
Αναλογικά
συστήματα

Συστήματα προβολής ήχου στο χώρο (3)

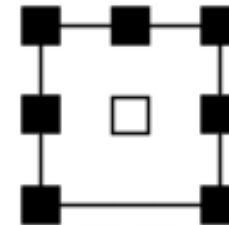
5.1 Channel Surround
(Dolby Digital / DTS)



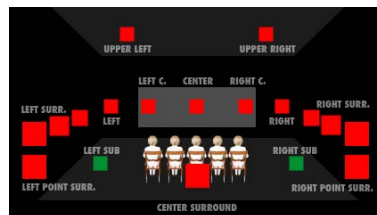
6.1 Channel Surround
(Dolby Digital EX / DTS ES)



7.1 Channel Surround
(Dolby Digital PLUS / DTS HD)



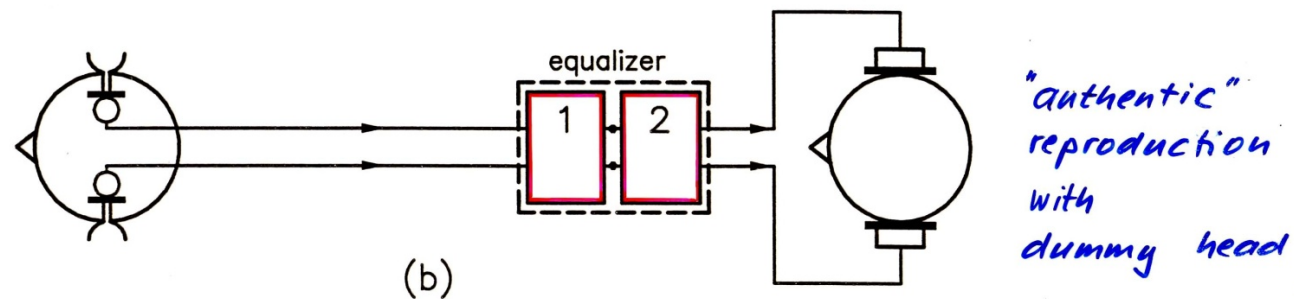
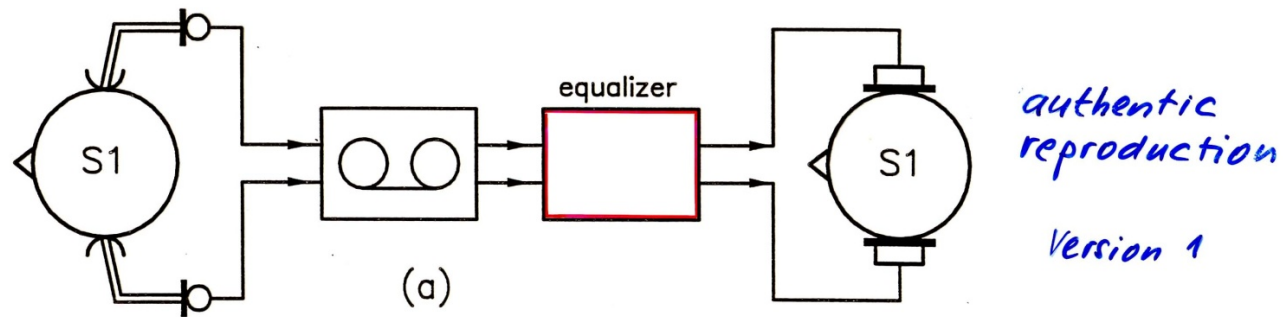
10.2 Channel Surround



22.2 Channel Surround
(Ultra High Definition Video)

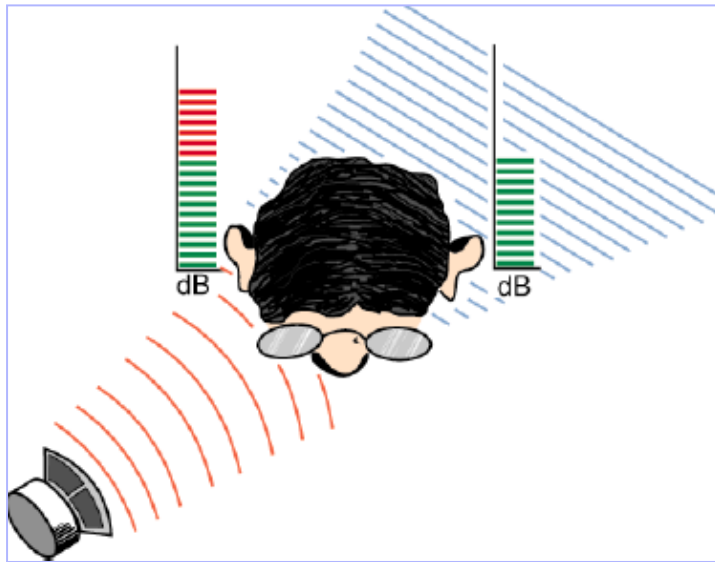
Ψηφιακά
συστήματα

Αμφιωτική τεχνολογία

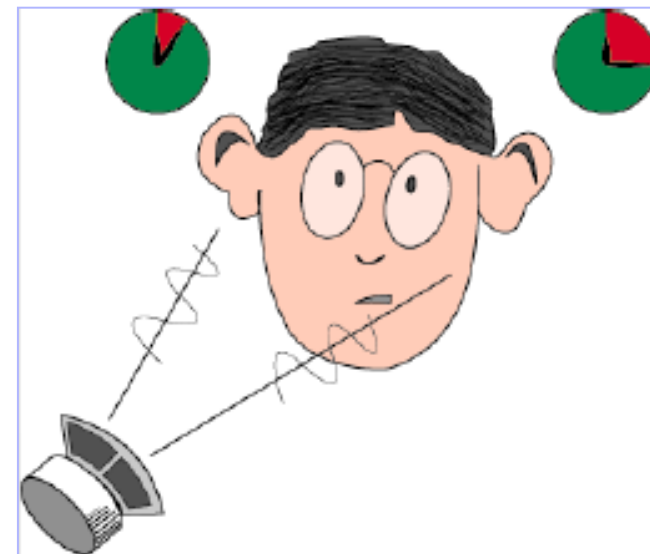


Γενική προσέγγιση αμφιωτικής ακουστικής

Interaural Level Difference (ILD)

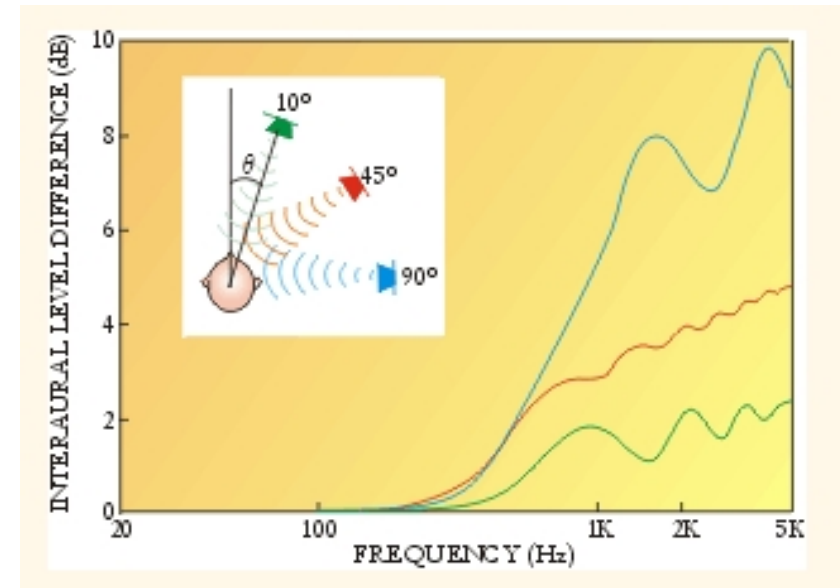


Interaural Time Difference (ITD)



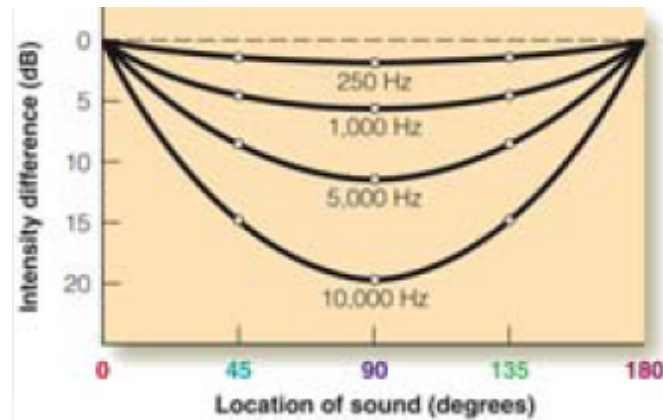
Γενική προσέγγιση αμφιωτικής ακουστικής (2)

- 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

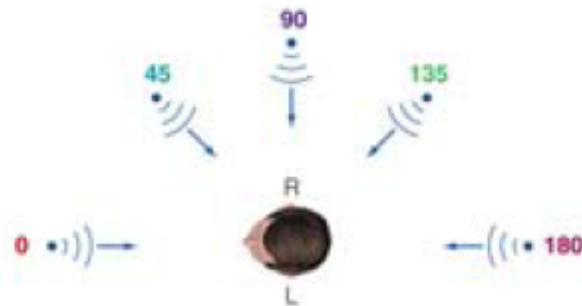


Γενική προσέγγιση αμφιωτικής ακουστικής (3)

- Τυπικές τιμές ILDs



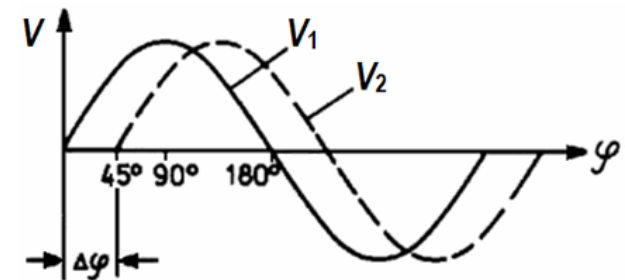
(a)



(b)

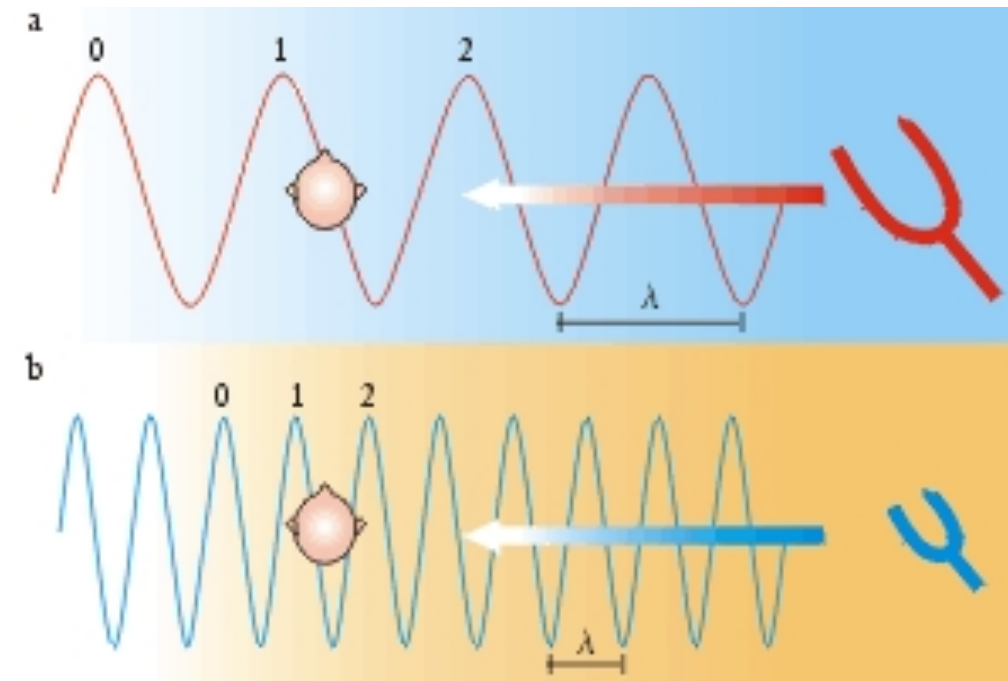
Γενική προσέγγιση αμφιωτικής ακουστικής (4)

- 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



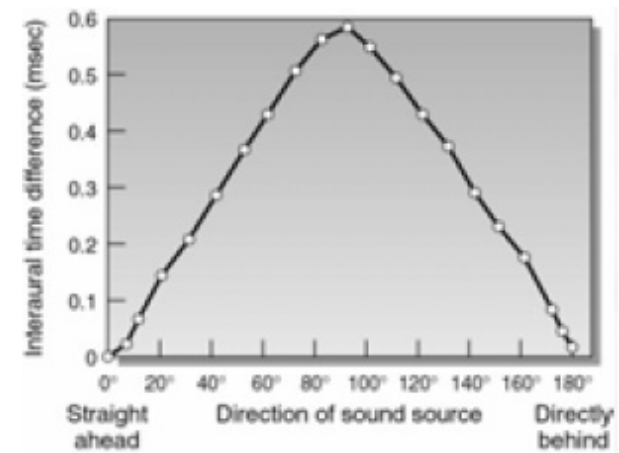
Γενική προσέγγιση αμφιωτικής ακουστικής (5)

- ITDs και συχνότητα

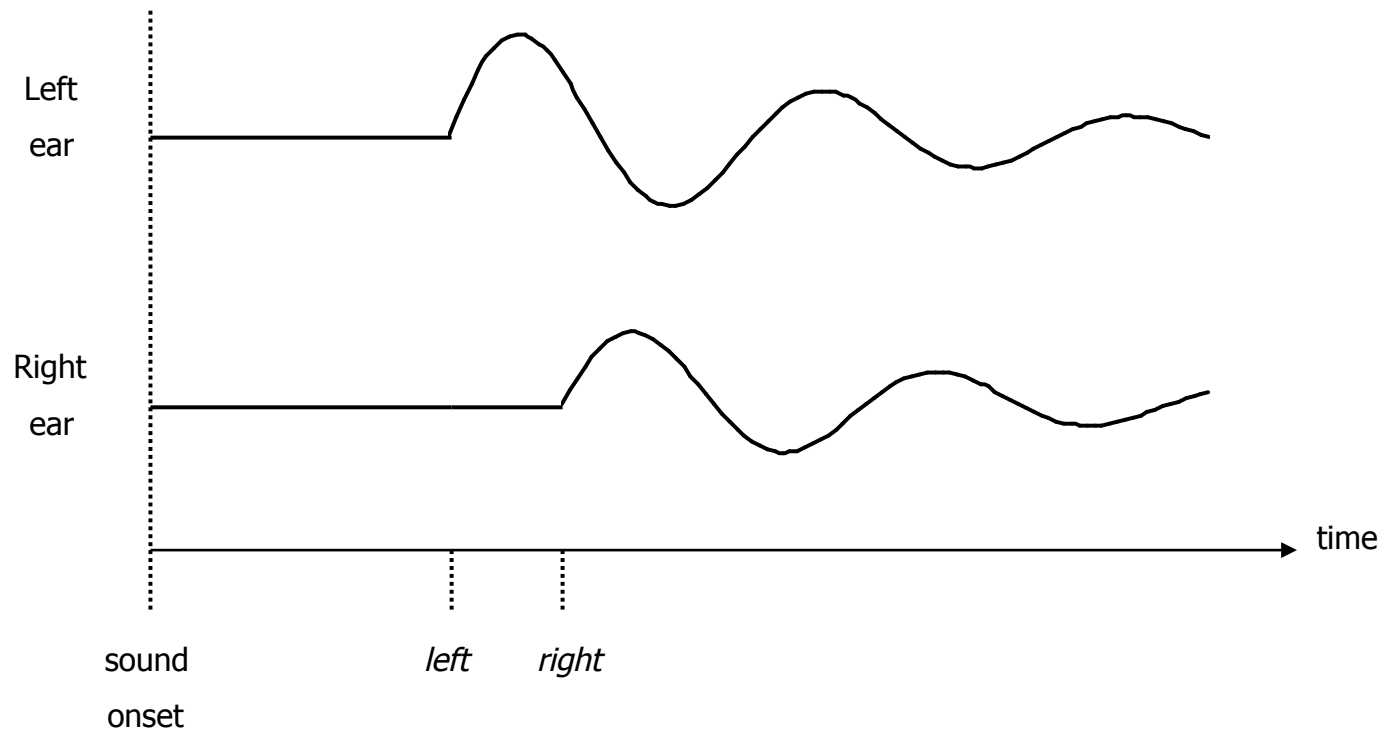


Γενική προσέγγιση αμφιωτικής ακουστικής (6)

- Τυπικές τιμές ITD

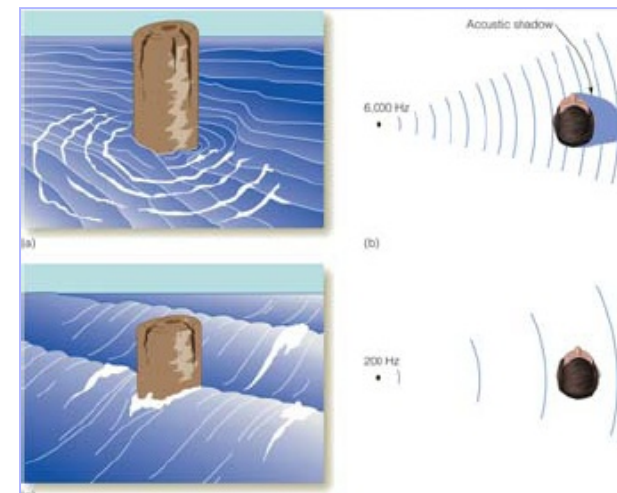


Γενική προσέγγιση αμφιωτικής ακουστικής (7)



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

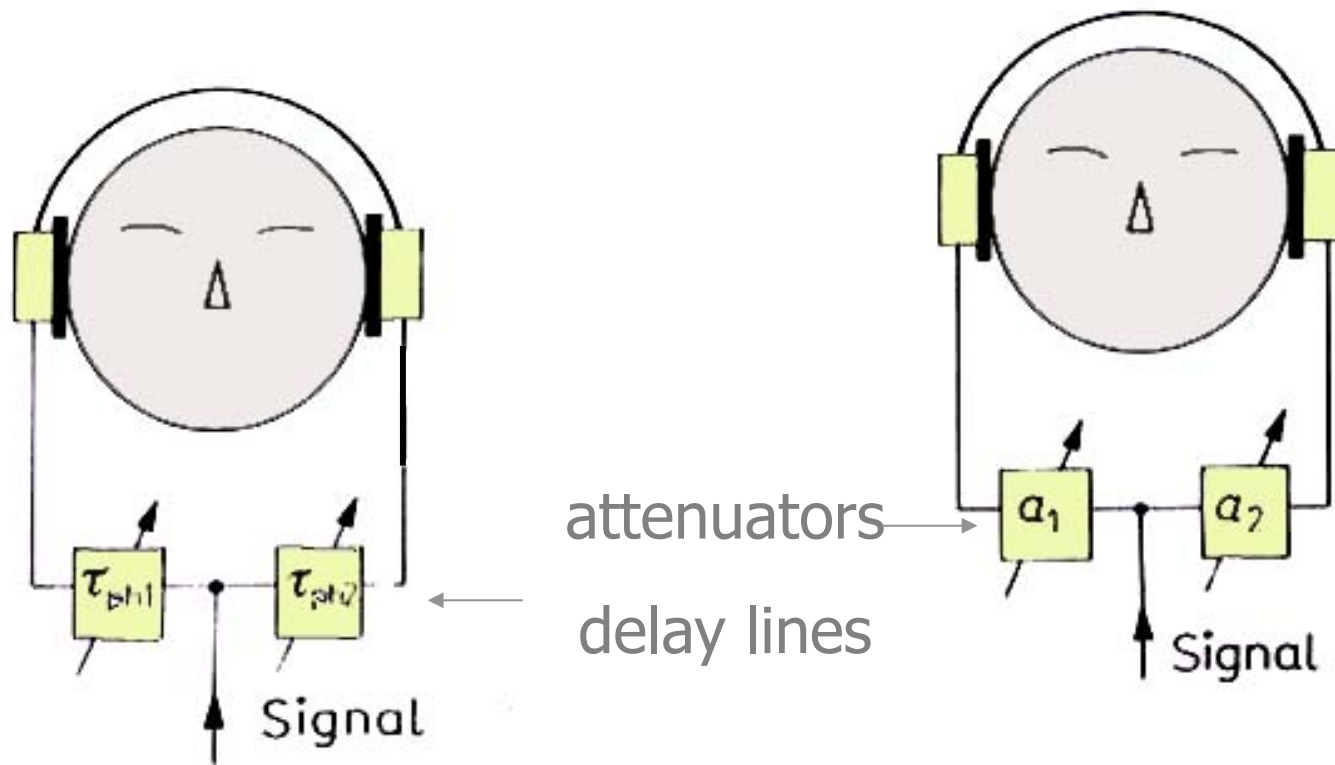
- 0.5 – 1 dB
- Εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ευαισθησία του κεντρικού νευρικού συστήματος
- Είναι σταθερή και ίση με 0.5 – 1 dB σε όλες τις ακουστές συχνότητες

- ITD

- 10μsec
- Ενδεικτικά, μεταβολή $1 - 2^0$ στο αζιμούθιο αντιστοιχεί σε ITD $\sim 13\mu\text{sec}$



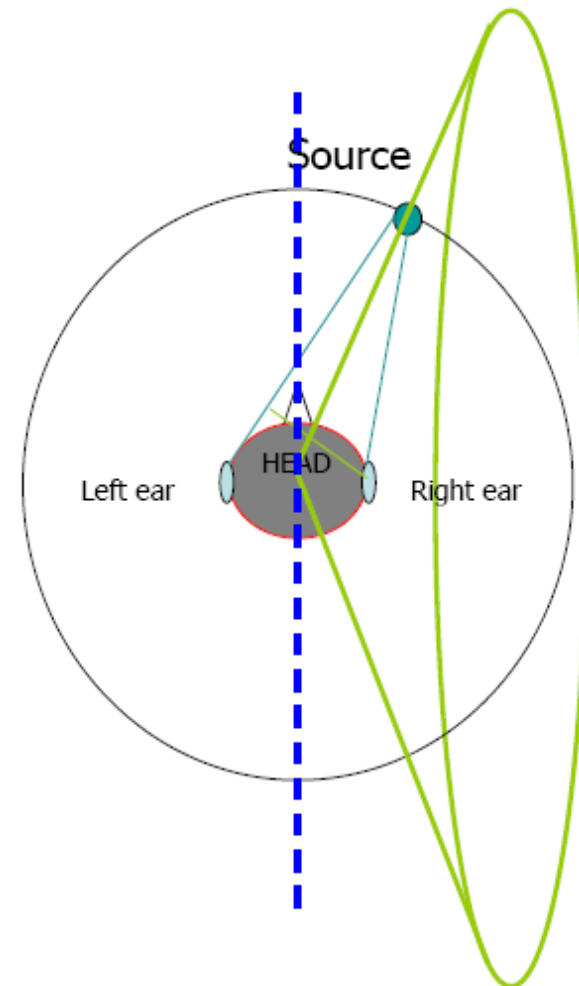
Duplex theory - Υλοποίηση



Duplex Theory – Ο Κώνος της Αβεβαιότητας

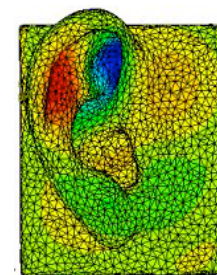
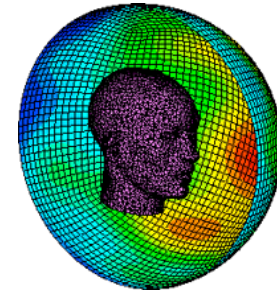
- Cone of Confusion
 - Διαφορετικές περιοχές σταθερής ITD
- Για τις επιφάνειες αυτές ισχύει:

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

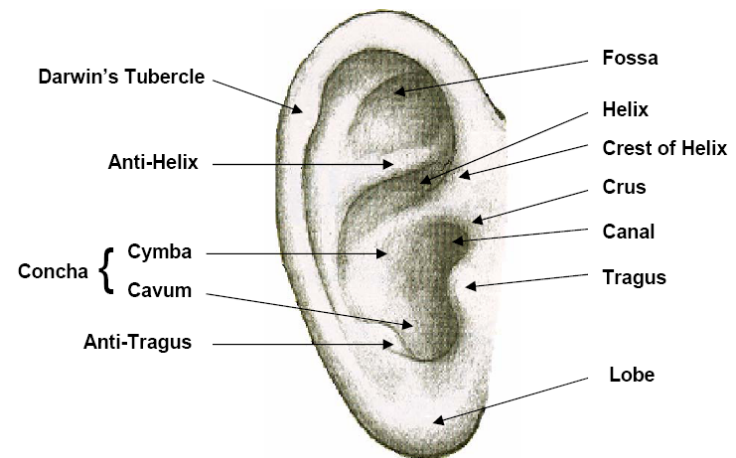


Λύση: η μοντελοποίηση του εξωτερικού αυτιού

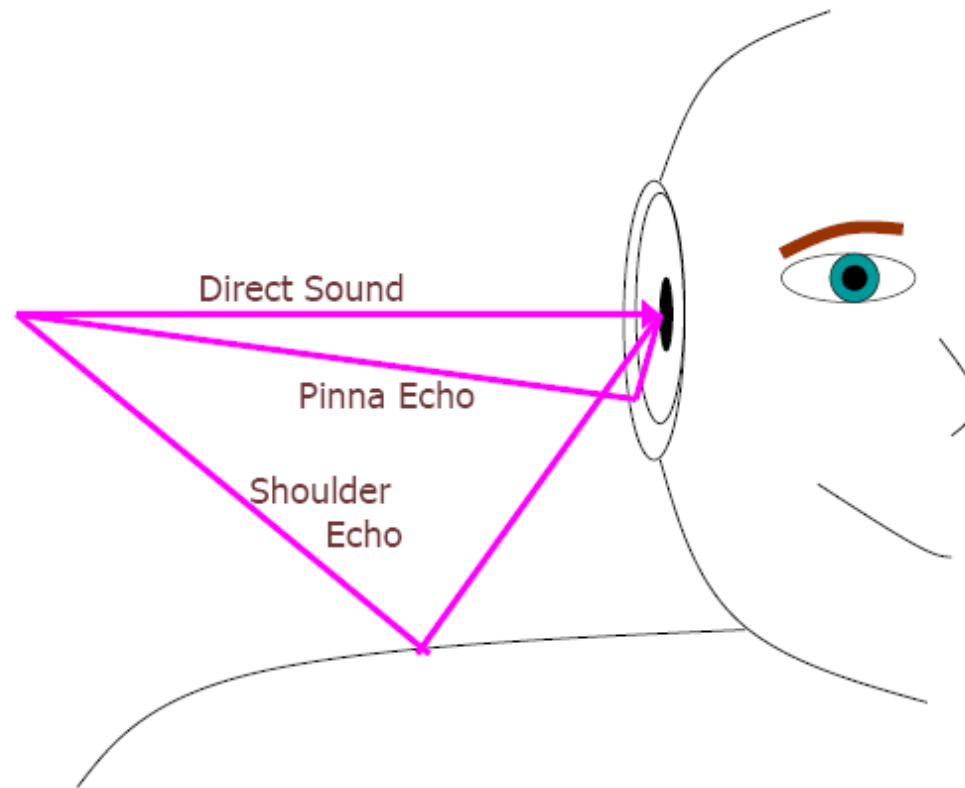
- Το ανθρώπινο «έξω» αυτί
 - Λειτουργεί ως «φίλτρο»
- Head Related Transfer Functions (HRTFs)
 - ή Anatomical Transfer Functions (ATFs)
- Μέτρηση φίλτρου
 - Εξάρτηση από γωνίες άφιξης
 - Εξάρτηση από μορφολογία αυτιού
 - Επίδραση στήθους, ώμων κ.λ.π.
- Μοναδικές για κάθε άνθρωπο



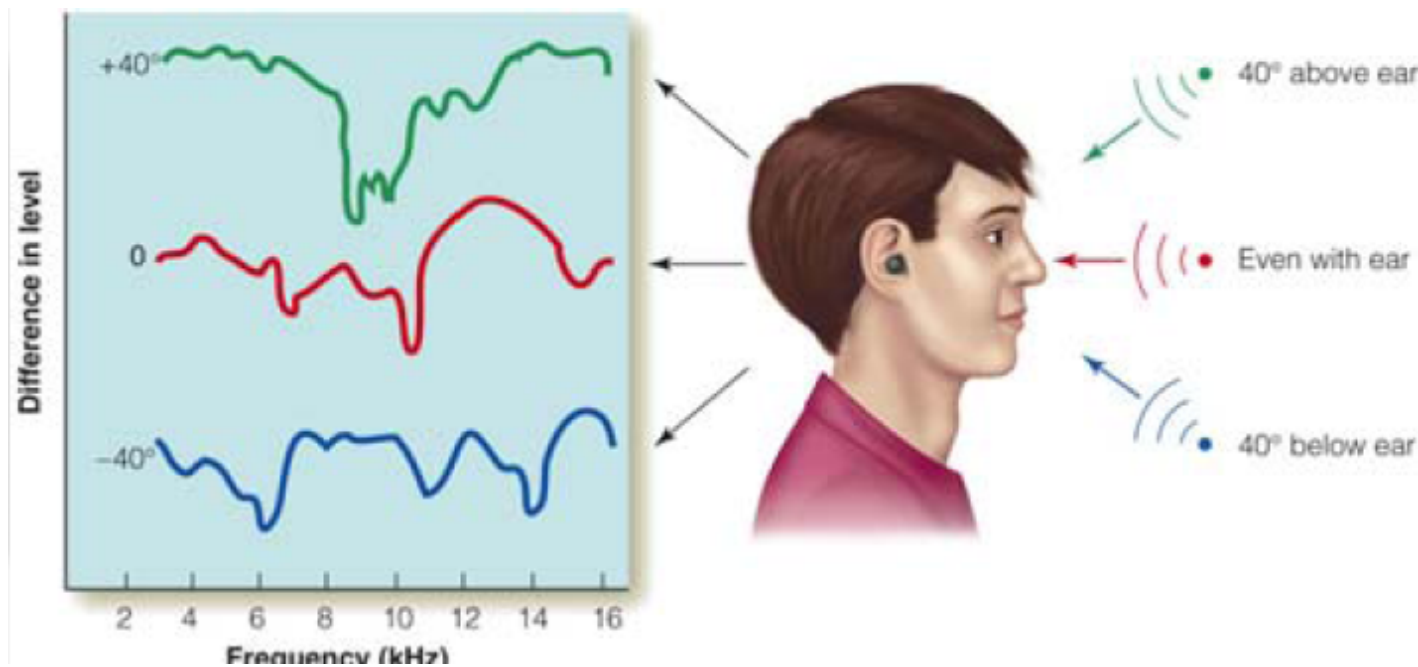
Η μοναδικότητα των HRTFs



Μοντελοποίηση εξωτερικού αυτιού

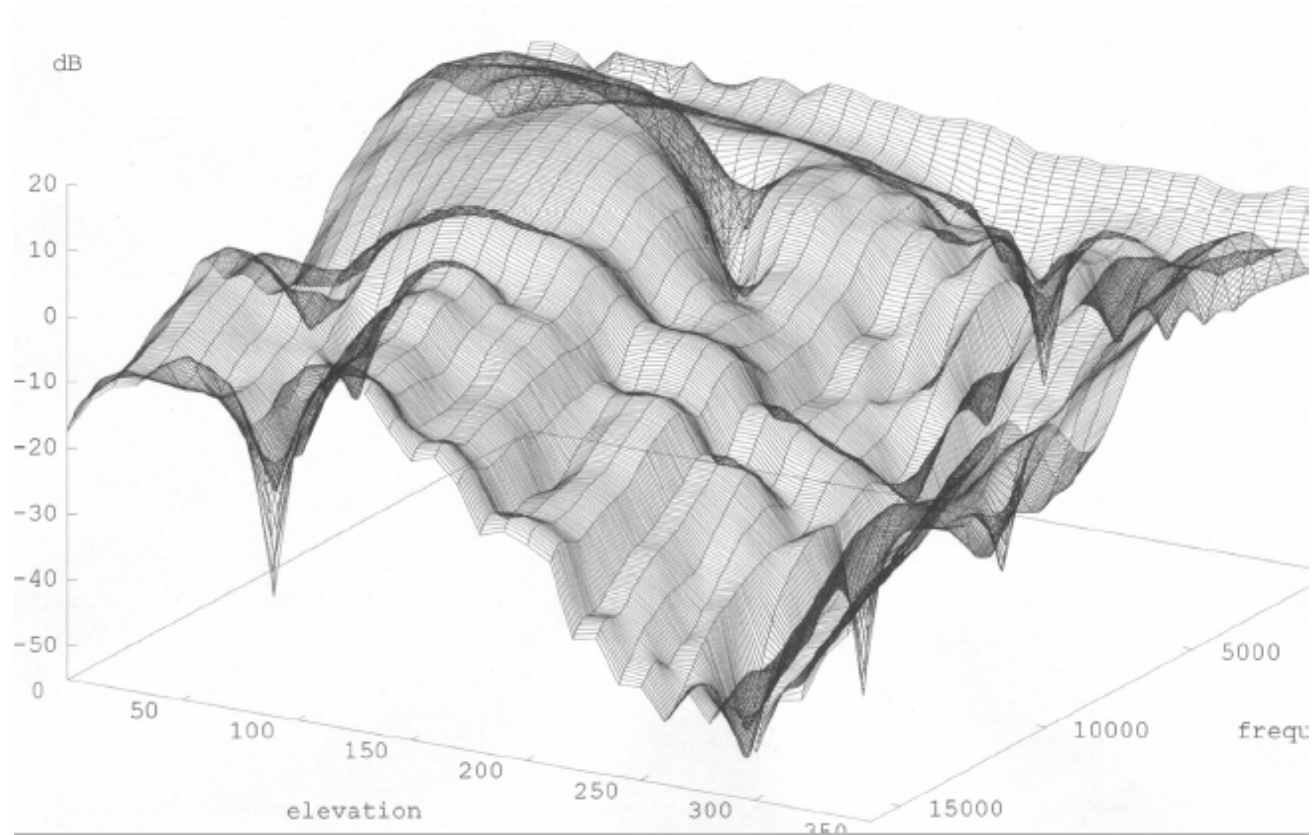


Μοντελοποίηση εξωτερικού αυτιού (2)

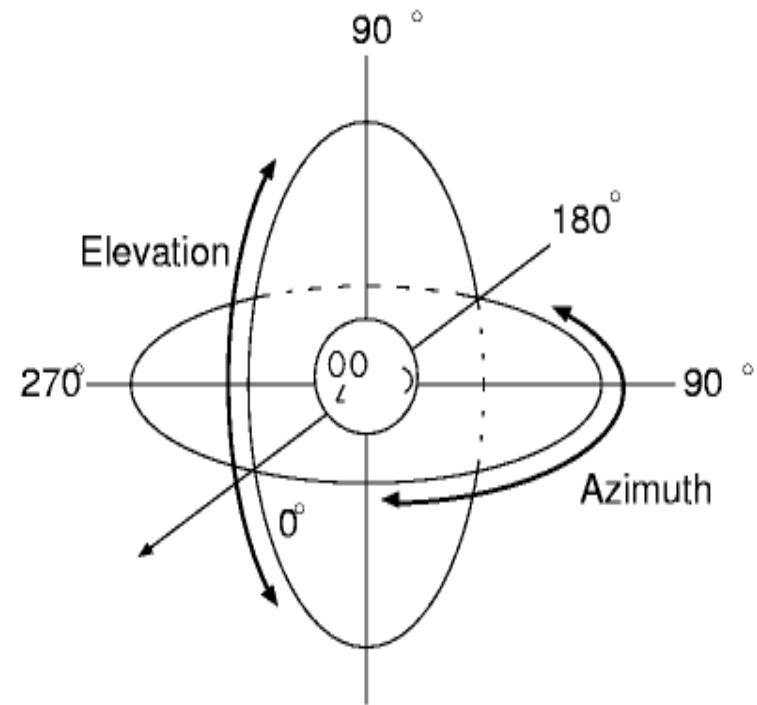
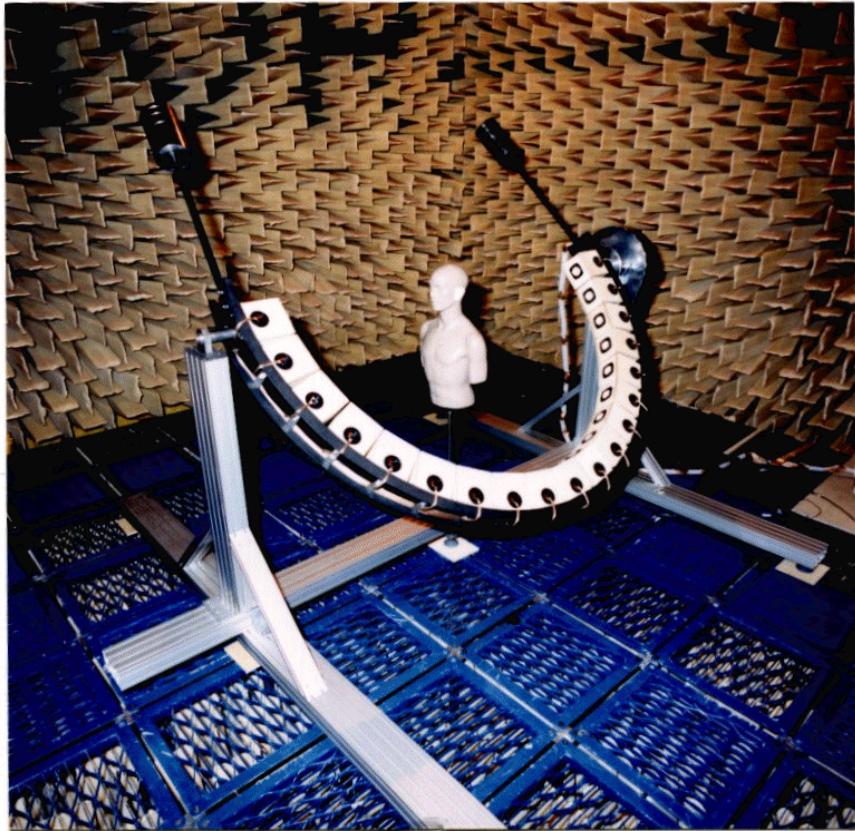


Μοντελοποίηση εξωτερικού αυτιού (3)

Τυπική μορφή HRTFs

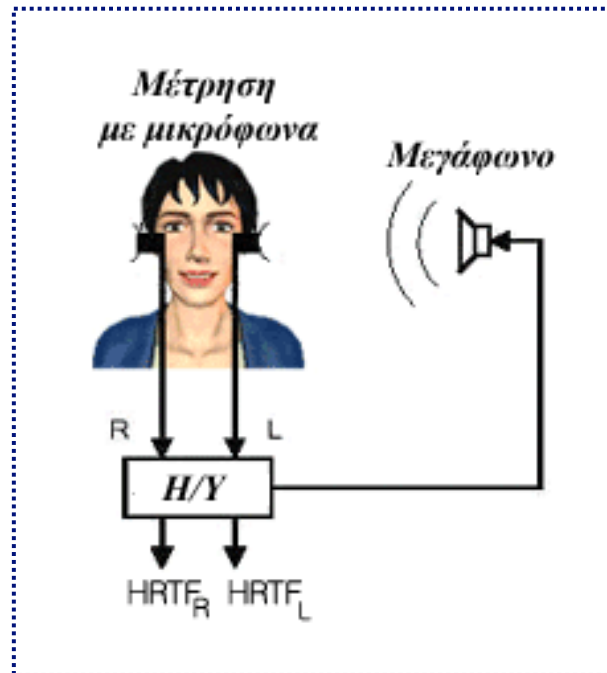


Μέτρηση HRTFs



Χρήση HRTFs

Μέτρηση HRTFs

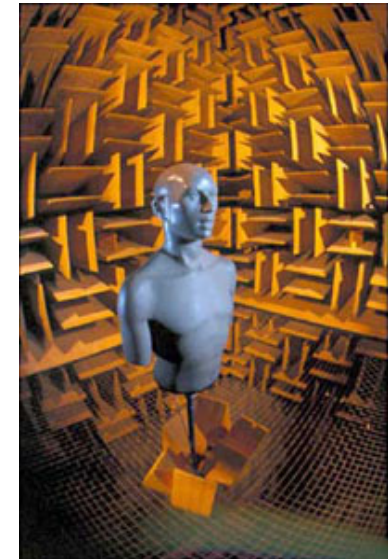


Αναπαραγωγή με HRTFs

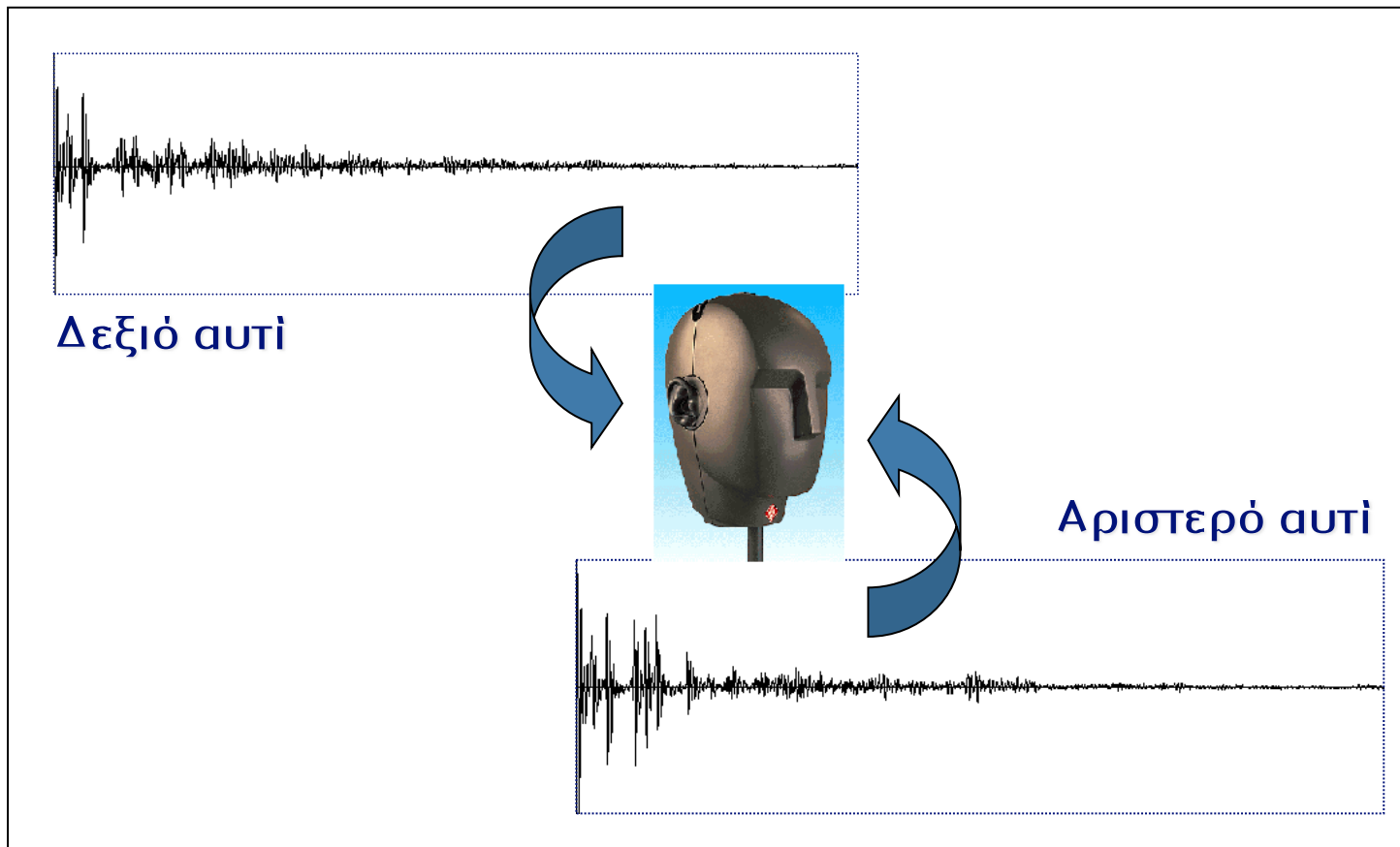


Υπάρχουσες βιβλιοθήκες HRTFs

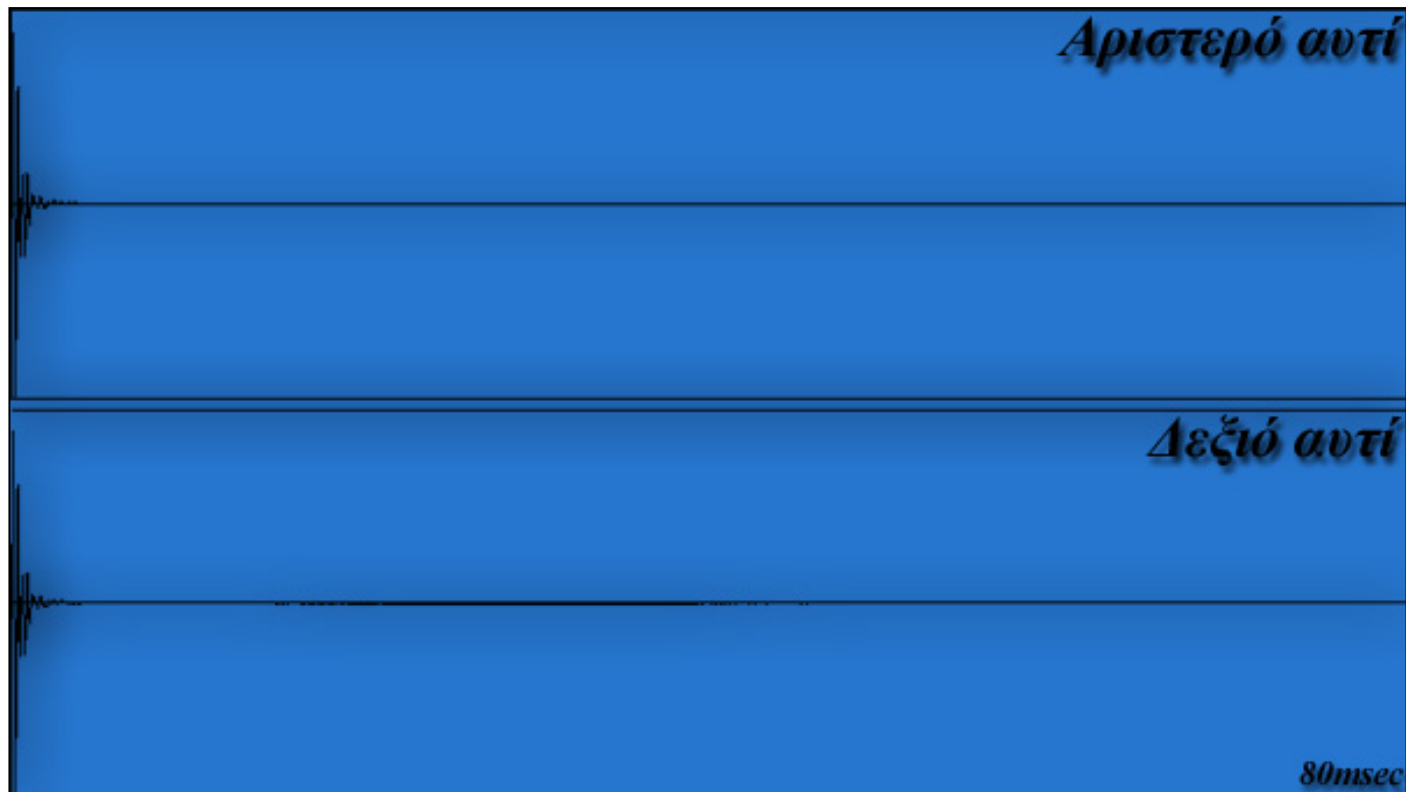
- KEMAR Dummy Head Microphone
 - <http://sound.media.mit.edu/KEMAR.html>
 - ▶ Knowles Electronics Manikin for Acoustic Research
- Nagoya University
 - <http://www.itakura.nuee.nagoyau.ac.jp/HRTF/>
-



Η αμφιωτική κρουστική απόκριση



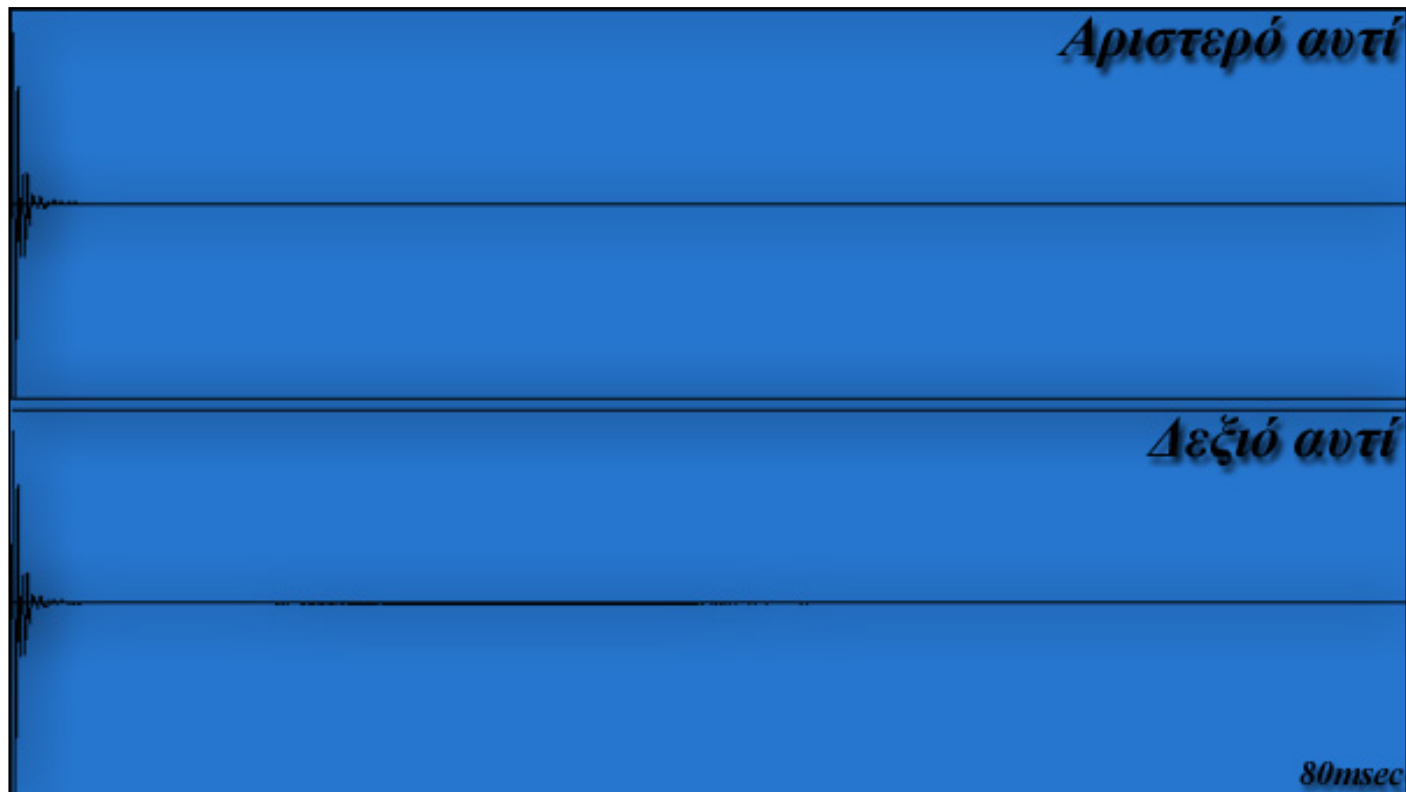
Η αμφιωτική κρουστική απόκριση (demo)



Ομιλία

Μουσική

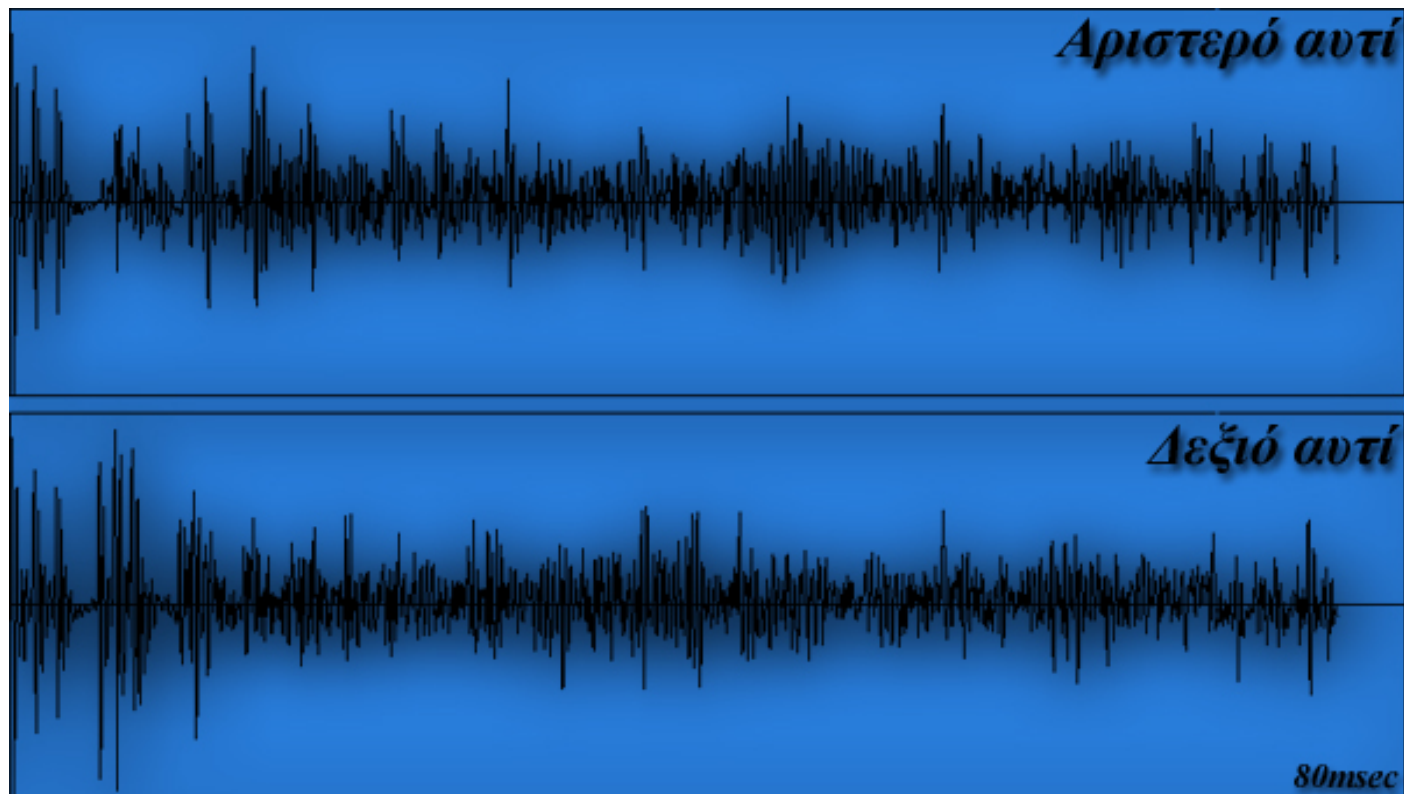
Η αμφιωτική κρουστική απόκριση (demo)



Ομιλία

Μουσική

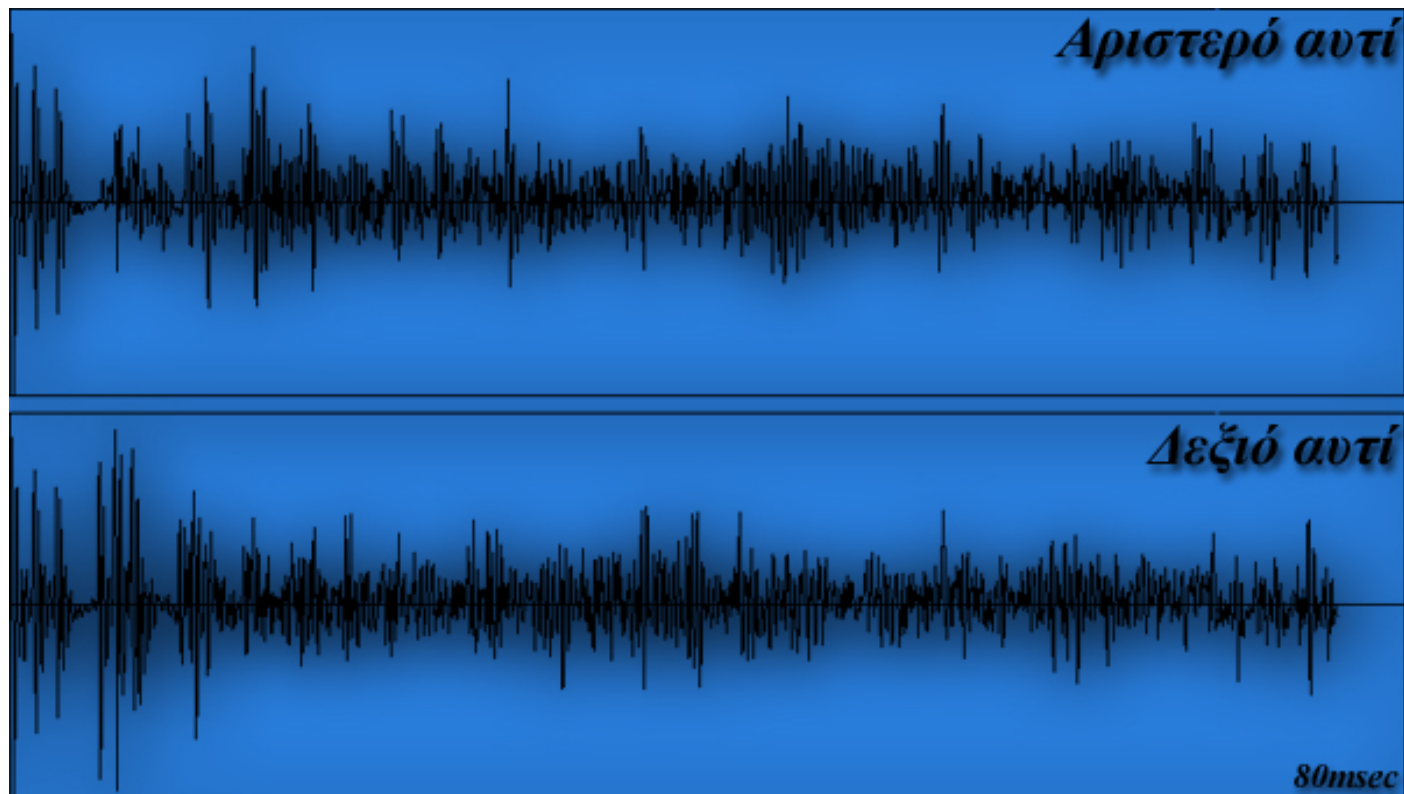
Η αμφιωτική κρουστική απόκριση (demo)



Ομιλία

Μουσική

Η αμφιωτική κρουστική απόκριση (demo)

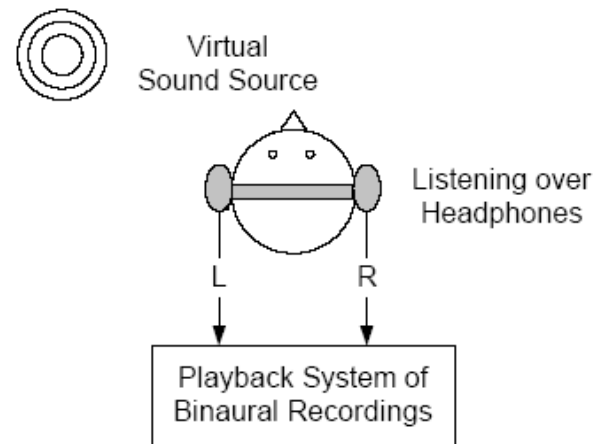


Ομιλία

Μουσική

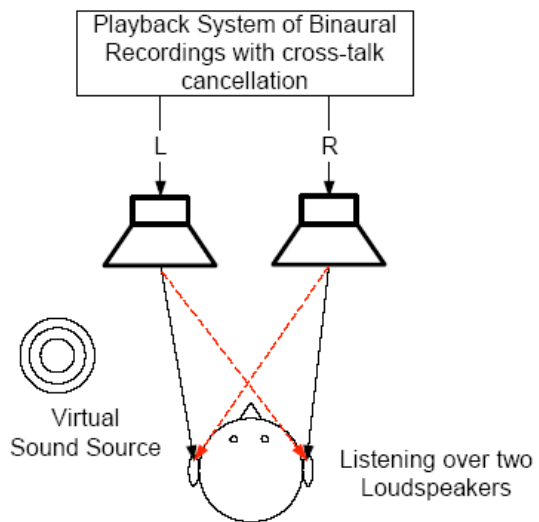
Ακρόαση αμφιωτικού σήματος

- Με χρήση ακουστικών
 - Κάθε κανάλι αναπαράγεται κατευθείαν



Ακρόαση αμφιωτικού σήματος (2)

- Με χρήση ηχείων
 - Απαιτείται ακύρωση ή μείωση των ανεπιθύμητων διαδρομών διάδοσης
 - Cross-talk cancellation



Τυπικά παραδείγματα

Παράδειγμα #1



Παράδειγμα #1



Παράδειγμα #1



Παράδειγμα #1



Παράδειγμα #2

**Original
Stereo**



**Binaural
Enhanced**

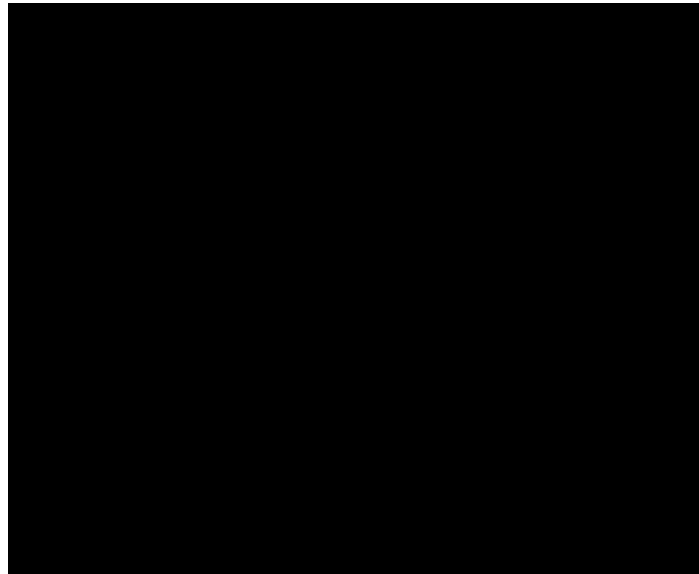
Παράδειγμα #2

Original
Stereo



**Binaural
Enhanced**

Παράδειγμα #3



Watching the drummer

Παράδειγμα #4

Μακριά απ'την
πόλη...

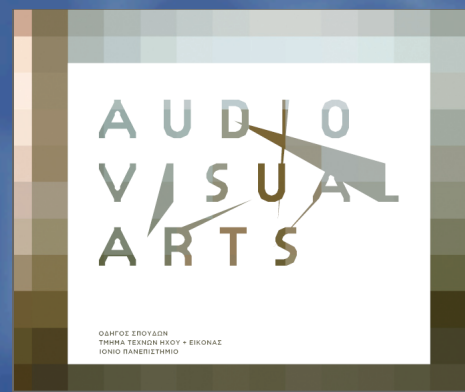
Γιώργος Νικόπουλος
Μάιος 2007

Away from the city



“Behind these unprepossessing flaps lie structures of such delicacy that they shame the most skillful craftsman”

-Stevens, S.S. [Professor of Psychophysics, Harvard University]



Ανδρέας Φλώρος

floros@ionio.gr

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