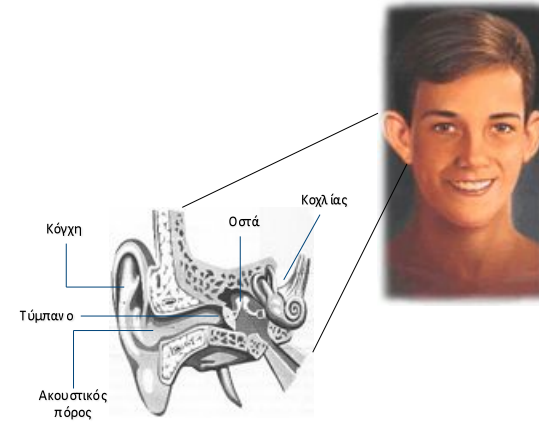


# Ακουστική και Ψυχοακουστική

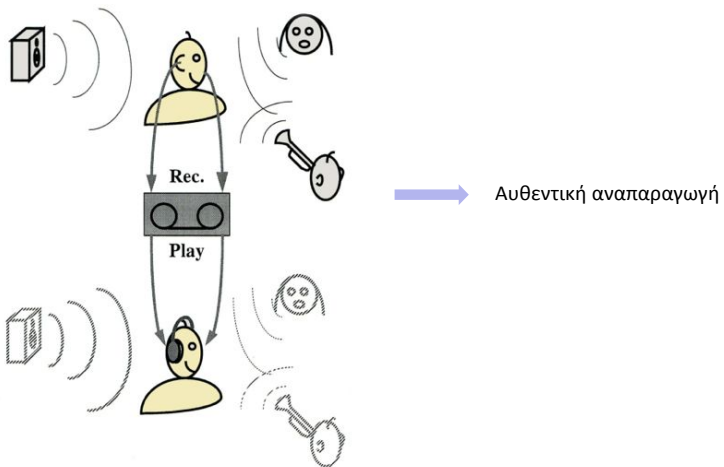
Διάλεξη 8: “Αμφιωτική Ακουστική – Μέρος Β”

Φλώρος Ανδρέας  
Επίκουρος Καθηγητής

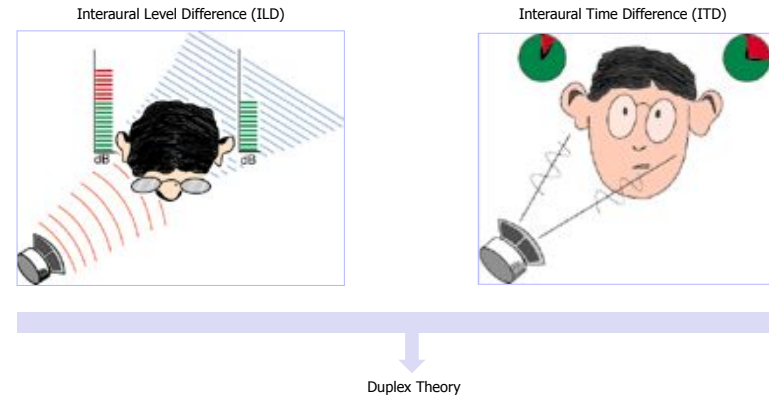
Από το προηγούμενο μάθημα...



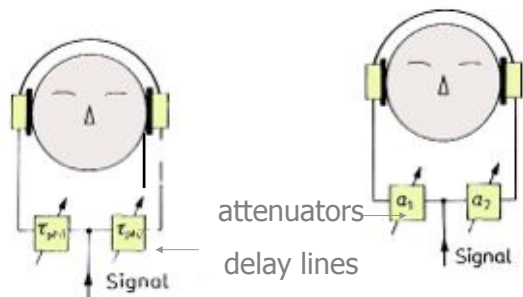
Από το προηγούμενο μάθημα...



Από το προηγούμενο μάθημα...



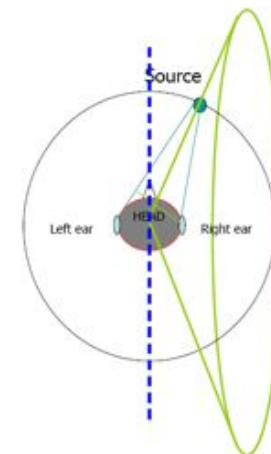
## Duplex theory - Υλοποίηση



## Duplex Theory – Ο Κώνος της Αβεβαιότητας

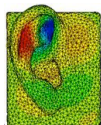
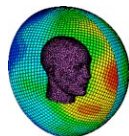
- Cone of Confusion
  - Διαφορετικές περιοχές σταθερής ITD
- Για τις επιφάνειες αυτές ισχύει:

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

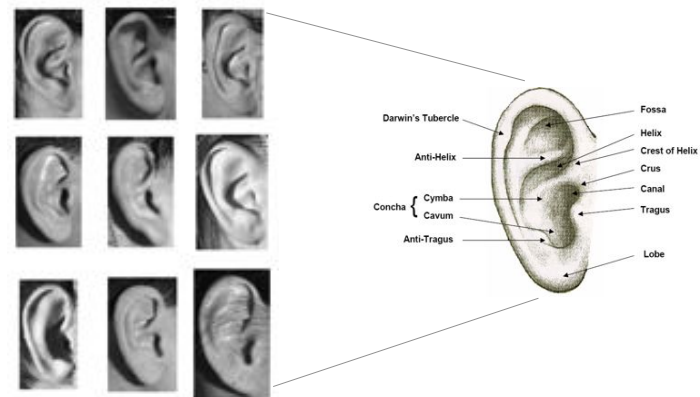


## Λύση: η μοντελοποίηση εξωτερικού αυτιού

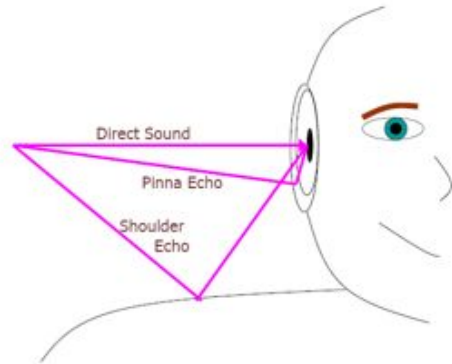
- Το ανθρώπινο «έξω» αυτί
  - Λειτουργεί ως «φίλτρο»
- Head Related Transfer Functions (HRTFs)
  - ή Anatomical Transfer Functions (ATFs)
- Μέτρηση φίλτρου
  - Εξάρτηση από γωνίες άφιξης
  - Εξάρτηση από μορφολογία αυτιού
  - Επίδραση στήθους, ώμων κ.λ.π.
- Μοναδικές για κάθε άνθρωπο



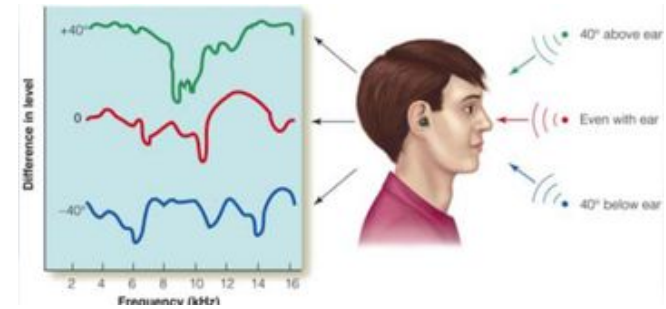
## Μοντελοποίηση εξωτερικού αυτιού



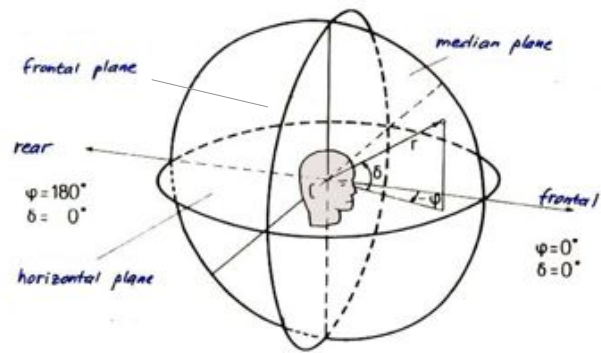
## Μοντελοποίηση εξωτερικού αυτιού (2)



## Μοντελοποίηση εξωτερικού αυτιού (3)



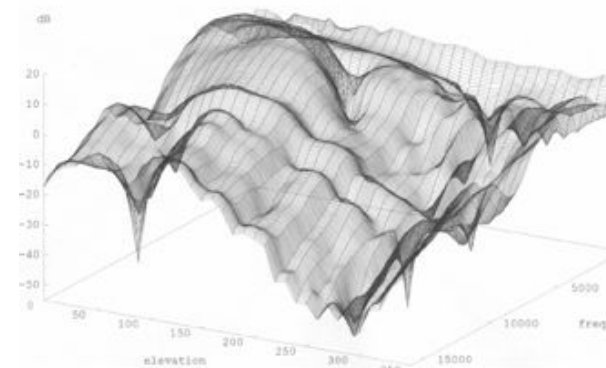
## Μοντελοποίηση εξωτερικού αυτιού (4)



Head-Related Coordinate System

## Μοντελοποίηση εξωτερικού αυτιού (5)

Τυπική μορφή HRTFs

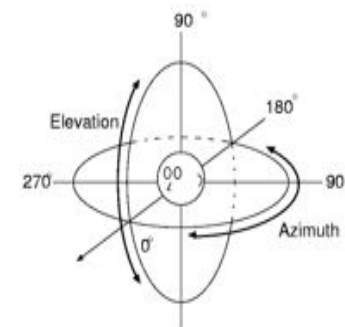
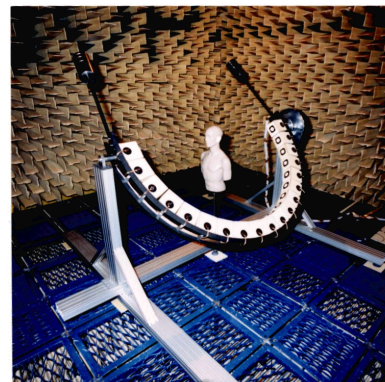


## Μοντελοποίηση εξωτερικού αυτιού (6)

- Γενικά, οι HRTFs
  - Ενισχύουν την περιοχή του 1kHz για ήχους που προέρχονται από πίσω
  - Ενισχύουν την περιοχή των 3kHz για ήχους που προέρχονται από εμπρός
- Για συχνότητες άνω των 4kHz,
  - Μήκος κύματος  $\sim 10\text{cm}$  και μικρότερο
  - Το περύγιο του αυτιού είναι «ισχυρός» διαχυτής και επηρεάζει την μορφή τους
  - Μεγάλη «εξατομίκευση» που εξαρτάται από τη φυσιολογία
  - ... αν και υπάρχει τάση εμφάνισης «κορυφών» και «ελαχίστων» σε συγκεκριμένες γωνίες και συχνότητες



## Μέτρηση HRTFs



## Χρήση HRTFs

### Μέτρηση HRTFs



### Αναπαραγωγή με HRTFs



## Υπάρχουσες βιβλιοθήκες HRTFs

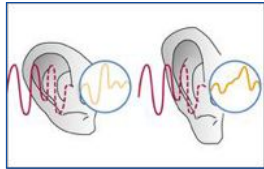
- KEMAR Dummy Head Microphone
  - <http://sound.media.mit.edu/KEMAR.html>
    - Knowles Electronics Manikin for Acoustic Research
- Nagoya University
  - <http://www.itakura.nuee.nagoyau.ac.jp/HRTF/>
- ...





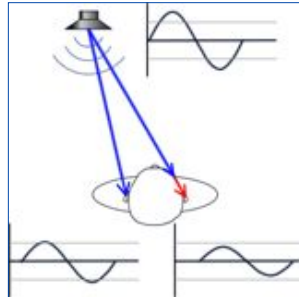
## Αμφιωτική ακουστική: Συνοψίζοντας...

Επίδραση φυσιολογίας  
αυτιού (HRTF)

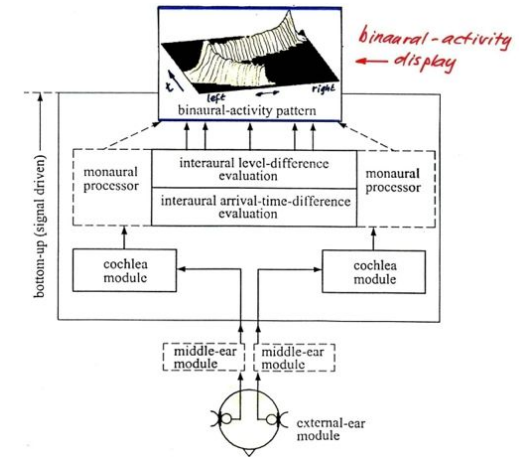


+

Επίδραση σχετικής θέσης  
πηγής/δέκτη (ILD, ITD)

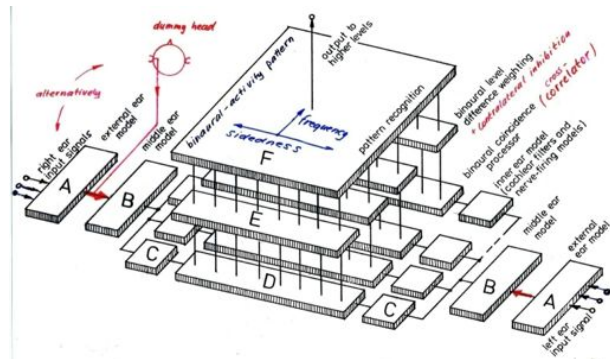


## Μοντελοποίηση αμφιωτικής ακοής



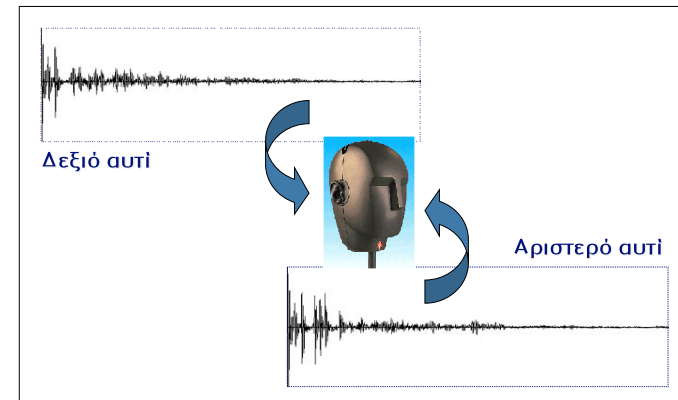
Πηγή: Jens Blauert, Binaural hearing models

## Μοντελοποίηση αμφιωτικής ακοής (2)

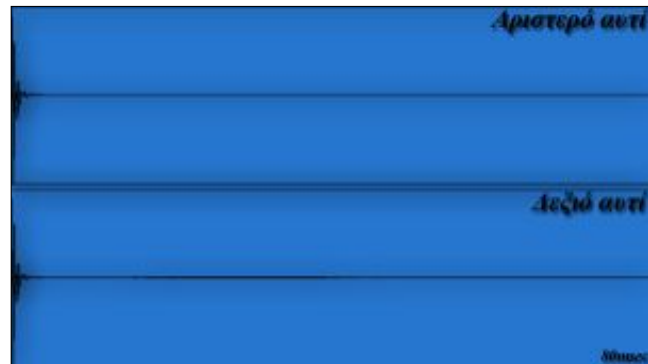


Πηγή: Jens Blauert, Binaural hearing models

## Αμφιωτική κρουστική απόκριση



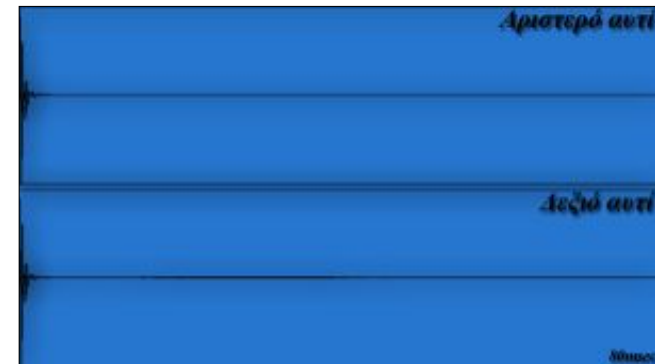
## Αμφωτική κρουστική απόκριση (2)



Ομιλία

Μουσική

## Αμφωτική κρουστική απόκριση (2)

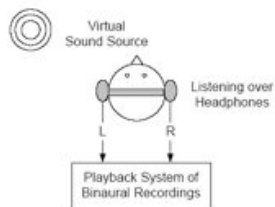


Ομιλία

Μουσική

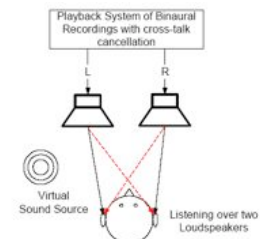
## Ακρόαση αμφωτικού σήματος

- Με χρήση ακουστικών
  - Κάθε κανάλι αναπαράγεται κατευθείαν



## Ακρόαση αμφωτικού σήματος (2)

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



# Παράδειγμα Αμφιωτικής Ακουστικής (1)



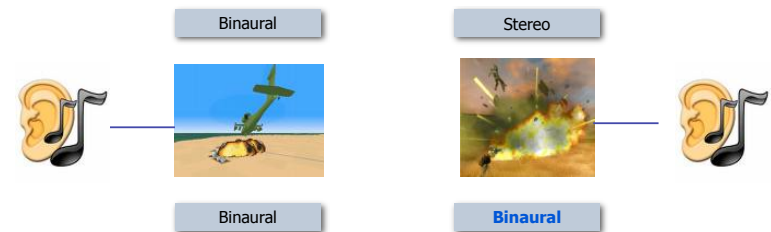
# Παράδειγμα Αμφιωτικής Ακουστικής (1)



# Παράδειγμα Αμφιωτικής Ακουστικής (1)



# Παράδειγμα Αμφιωτικής Ακουστικής (1)



Παράδειγμα Αμφιωτικής Ακουστικής (2)

Original  
Stereo



Binaural  
Enhanced

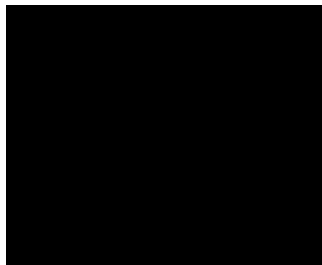
Παράδειγμα Αμφιωτικής Ακουστικής (2)

Original  
Stereo



Binaural  
Enhanced

Παράδειγμα Αμφιωτικής Ακουστικής (3)



Watching the drummer

Παράδειγμα Αμφιωτικής Ακουστικής (4)

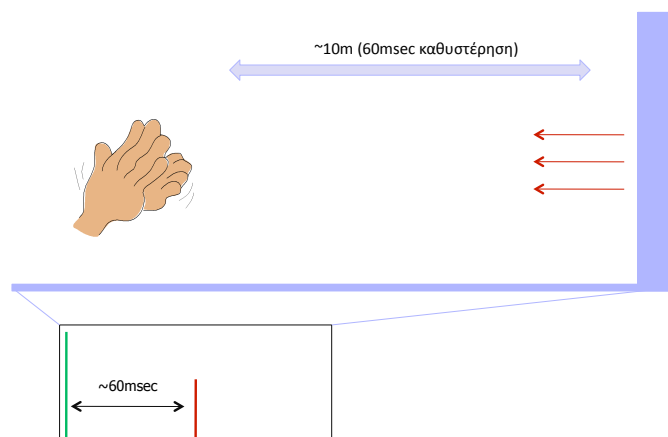
Μακριά απ'την  
πόλη...

Γιώργος Νικόπουλος  
Μάιος 2007

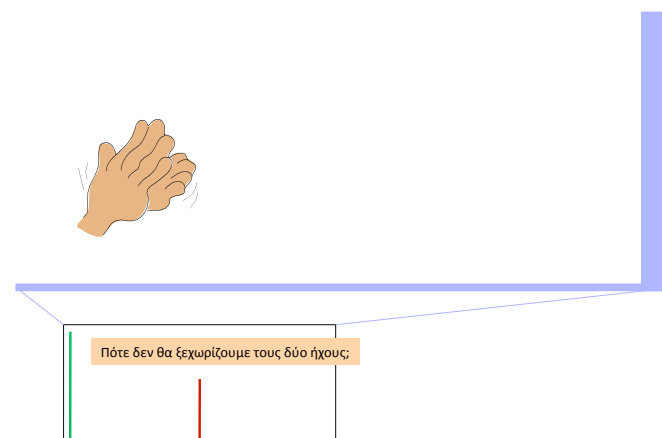
Away from the city



## Το φαινόμενο της προπορείας



## Το φαινόμενο της προπορείας (2)



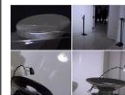
## Το φαινόμενο της προπορείας (3)

- Απάντηση: όταν η χρονική διαφορά τους γίνει περίπου 30msec
  - Απόσταση ~5 μέτρα
  - Το άνω όριο του «Precedence effect» ή «Haas effect»
- Στην πράξη, το όριο αυτό εξαρτάται από τον τύπο του σήματος διέγερσης
  - Για έντονα μεταβατικούς (transient) ήχους είναι ~5msec
- Γενικά το όριο είναι από 5 έως 40msec



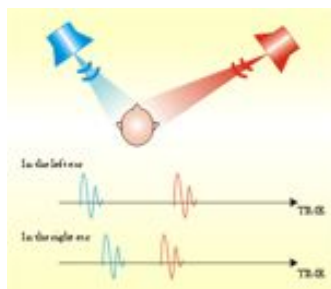
## Το φαινόμενο της προπορείας (4)

- Όταν βρισκόμαστε εντός του ορίου του Haas effect
  - Ακούμε τους διάκριτους ήχους (κατευθείαν και ανακλώμενο) σαν έναν
  - Τοποθετούμε την θέση της ηχητικής πηγής στην θέση του πρώτου ήχου που λαμβάνουμε
    - ▶ «The preceding sound is perceived as the important one»
- Precedence effect (φαινόμενο της προπορείας)

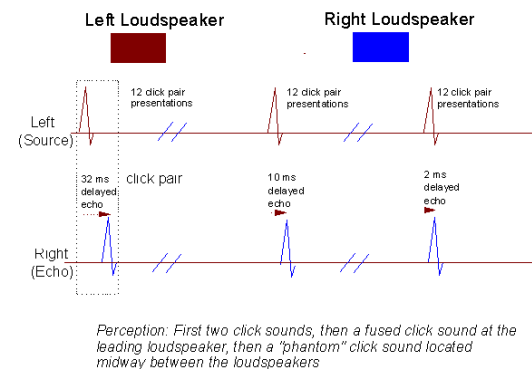


## Το φαινόμενο της προπορείας (5)

- Ο ήχος «φαίνεται» να φθάνει μόνο από το μπλέ ηχείο



## Το φαινόμενο της προπορείας (6)



Precedence effect

## Το φαινόμενο της προπορείας (7)

- Βασική προϋπόθεση:
  - Ο «ανακλώμενος» ήχος να έχει μικρότερη στάθμη
  - Εάν η στάθμη του γίνει 10 – 15dB μεγαλύτερη από τον κατευθείαν, τότε τοποθετούμε την ηχητική πηγή στην πηγή της ανάκλασης
- Εάν η καθυστέρηση γίνει <1msec
  - Φαινόμενο «summing localization»
    - ▶ Σύγχυση στην τοποθέτηση των ήχων στο χώρο
    - ▶ Τοποθέτηση κάπου στην «μέση»
  - Η ανάκλαση επηρεάζει τη χροιά
  - Δημιουργία comb filter (φίλτρου τύπου χτένας)

## Το φαινόμενο της προπορείας (8)

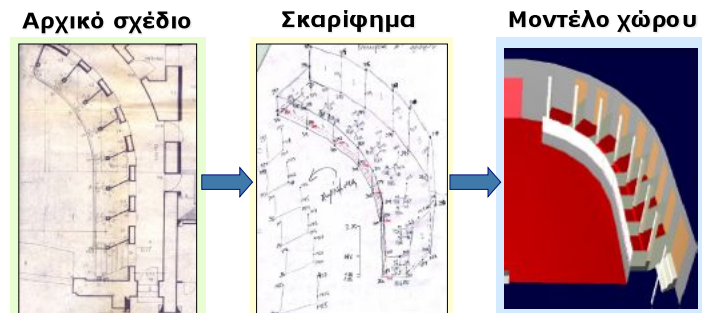
- Εξαιρετικά σημαντική λειτουργία της ακοής
  - Αναγκάζει το σύστημα της ακοής να «λάβει» τα απαραίτητα δεδομένα προαδιορισμού της θέσης της ηχητικής πηγής μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό παράθυρο
    - ▶ ~1msec
- Εξαιρετικό πλεονέκτημα στην καθημερινή ζωή
  - Ειδικά μέσα σε κλειστούς χώρους



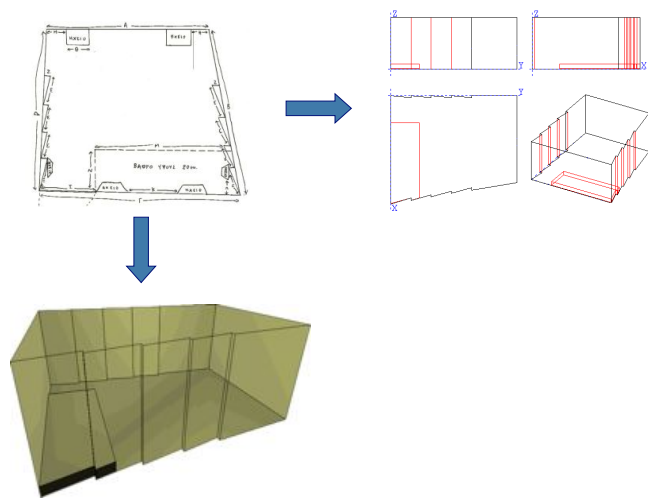
## Λοιπές τεχνικές αμφιωτικής ακουστικής

- 3D μοντελοποίηση του χώρου
- Μοντελοποίηση ηχητικών πηγών
  - Τοποθέτηση στο χώρο
  - Χαρακτηριστικά εκπομπής/κατευθυντικότητας
- Υπολογισμός κρουστικής απόκρισης
  - Ανά ζεύγος πηγής/ακροατή
- Μοντελοποίηση ακουστικού δέκτη/ακροατή
  - Head Related Transfer Functions (HRTFs)
- Σύνθεση αμφιωτικής κρουστικής απόκρισης
- Αναπαραγωγή του «εικονικού» ηχητικού σήματος
  - Από ηχεία ή ακουστικά

## 3D μοντελοποίηση του χώρου



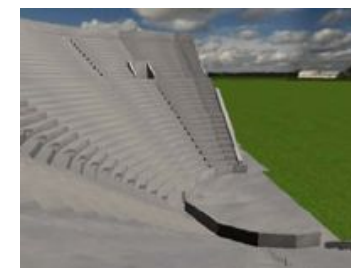
## 3D μοντελοποίηση του χώρου (2)



## 3D μοντελοποίηση του χώρου (3)



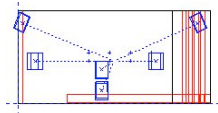
Ο ναός του Δία – Αρχαία Ολυμπία



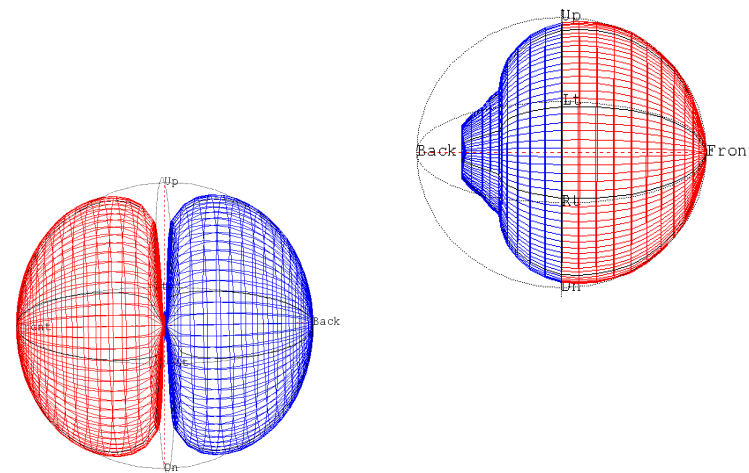
Το αρχαίο θέατρο της Επιδαύρου

## Μοντελοποίηση ηχητικών πηγών

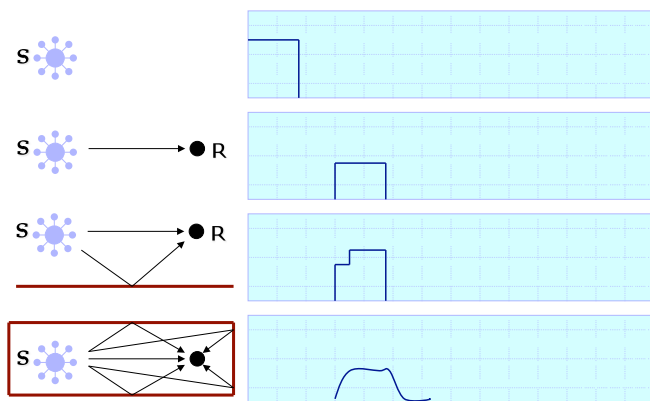
- Τύπος ηχητικής πηγής
  - Ομιλητής
  - Ηχείο
  - Μουσικό όργανο
- Χαρακτηριστικά εκπομπής
  - Ισχύς
  - Ευαισθησία
  - Παραγόμενη ηχοστάθμη
- Ακριβής θέση στο χώρο
  - Προσανατολισμός / κατεύθυνση άξονα
- Χαρακτηριστικά κατευθυντικότητας



## Κατευθυντικότητα ηχητικών πηγών

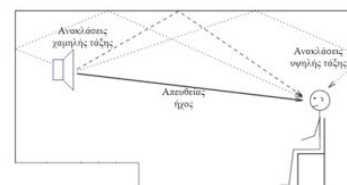
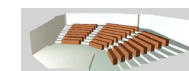


## Ακουστική «ιδιαιτερότητα» κλειστών χώρων

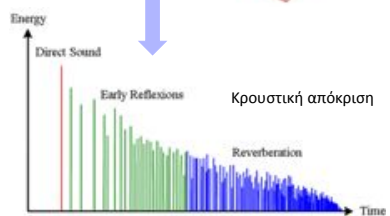
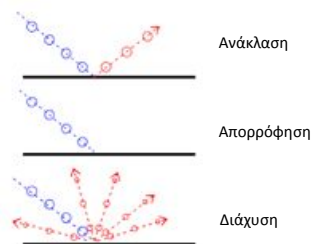
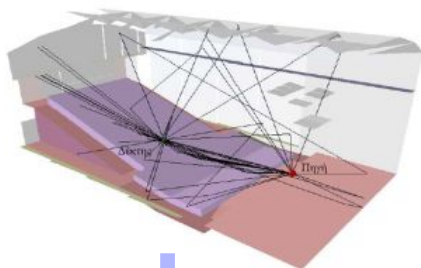


## Ακουστική «ιδιαιτερότητα» κλειστών χώρων

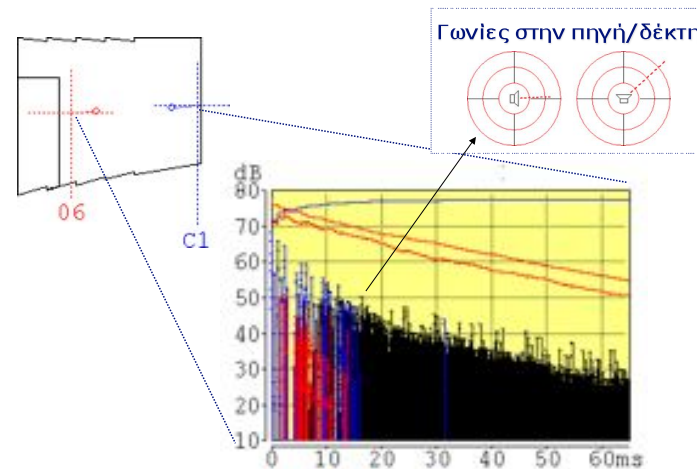
- Η ακουστική πίεση σε κάποιο σημείο εξαρτάται
  - Από το απευθείας σήμα
  - Από το ανακλώμενο σήμα
    - ▶ Ανακλάσεις χαμηλής και υψηλής τάξης
  - Από την απορρόφηση που έχει ο χώρος



## Υπολογισμός κρουστικής απόκρισης



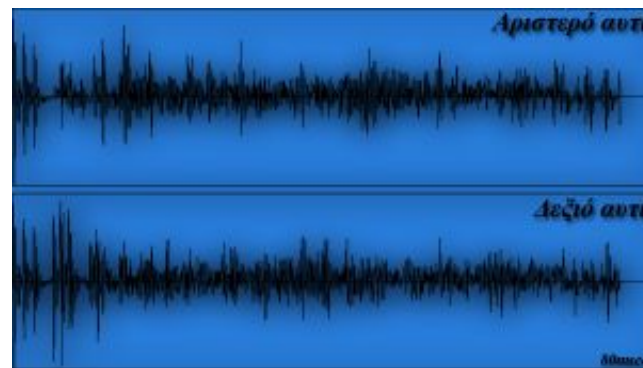
## Παράδειγμα κρουστικής απόκρισης χώρου



## Παραδείγματα αμφιωτικής ακρόασης εντός χώρων



## Χώρος πολύ ανακλαστικός

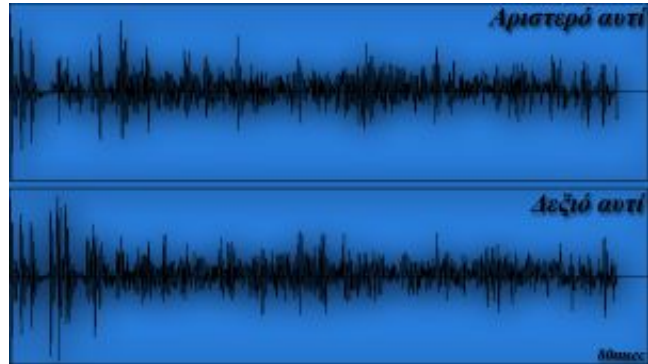


Ομιλία

Μουσική



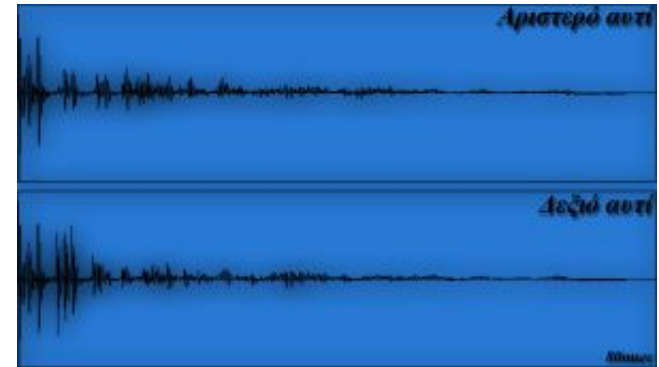
Χώρος πολύ ανακλαστικός



Ομιλία

Μουσική

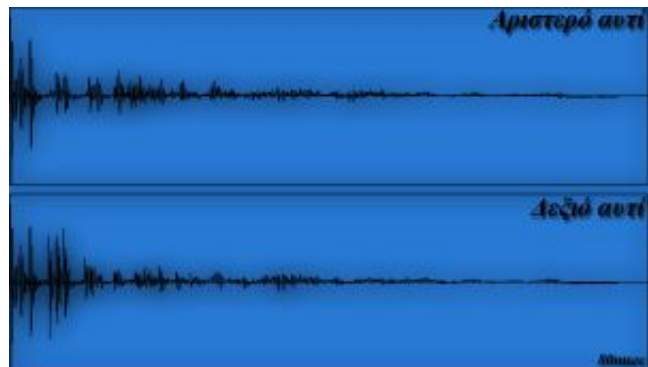
“Κανονικός” χώρος



Ομιλία

Μουσική

“Κανονικός” χώρος



Ομιλία

Μουσική

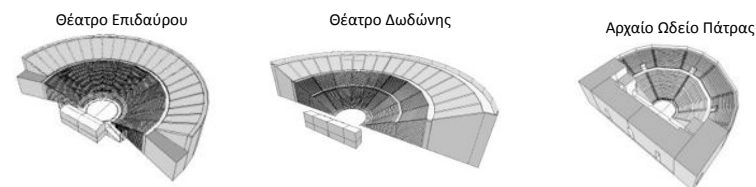
Εφαρμογές αμφιωτικής ακουστικής



## Εφαρμογές αμφιωτικής ακουστικής

- Βελτίωση ακουστικής συμπεριφοράς χώρων
  - «Υποκειμενική» τεκμηρίωση της ακουστικής μελέτης
  - Μη εξάρτηση από τα στενά, αντικειμενικά «μαθηματικά όρια»
- Ολοκληρωμένα συστήματα εικονικής πραγματικότητας
  - Αρχαία θέατρα
  - Παρακολούθηση συναυλιών από απόσταση
- Δικτυακές εφαρμογές (π.χ. VRML)
- ...

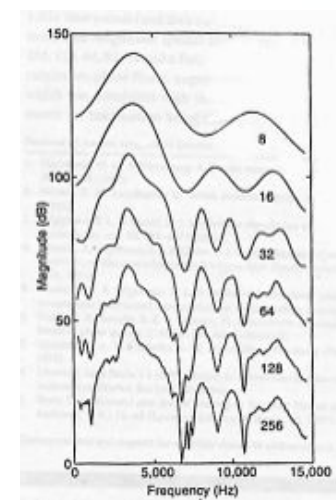
## Εφαρμογές αμφιωτικής ακουστικής (2)



## Εφαρμογές αμφιωτικής ακουστικής (3)

- Σε διαδραστικά συστήματα εικονικής πραγματικότητας η θέση του ακουστικού δέκτη μεταβάλλεται
  - Διαγραφή τροχιάς στο χώρο
- Απαραίτητη η ακριβής μοντελοποίηση της αμφιωτικής κρουστικής
  - Τεμαχισμός του χώρου σε εικονικούς κύβους
  - Υπολογισμός μιας κρουστικής ανά εικονικό κύβο
  - Εξομάλυνση της μετάβασης με χρήση τεχνικών επεξεργασίας σήματος
  - Π.χ. Τεχνικές «Smoothing»

## Τεχνικές «smoothing» των HRTF





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

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



Τέλος (για σήμερα)....



**Ανδρέας Φλώρος**

[floros@ionio.gr](mailto:floros@ionio.gr)

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