

SOUND AND HI FI 1991

ΕΞΕΡΕΥΝΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΜΟΥΣΙΚΗ

Η ανάλυση των ήχων που προέρχονται από μουσικά όργανα και την ανθρώπινη φωνή, δεν είναι δυνατόν να γίνεται με τις απλές, σχετικά, μεθόδους που χρησιμοποιούνται στους απλούς τόνους, αν θέλουμε τα συμπεράσματά μας να έχουν εφαρμογή στην πράξη. Η ανάλυση, η μέτρηση και η συνολική εκτίμηση ενός σύνθετου ήχου που παράγεται από ανθρώπους και απευθύνεται σε ανθρώπους, όπως είναι η μουσική, περνάει οπωσδήποτε μέσα από τα μονοπάτια της ψυχοακουστικής και είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τον τρόπο που ο ανθρώπινος εγκέφαλος αντιλαμβάνεται τους ήχους. Κάνουν έτσι την εμφάνισή τους ορισμένες νέες παράμετροι όπως είναι το pitch, η χροιά και η επίδραση αυτών καθ' αυτών των ακουστικών οργάνων. Σ' αυτό το πρώτο μέρος εξετάζεται γενικά η προσέγγισή μας στην ανάλυση των μουσικών ήχων και το pitch, ενώ στο δεύτερο μέρος, θα αναλυθεί η χροιά του τόνου καθώς και ο ρόλος που παίζει ο μηχανισμός αντίληψης και η ακουστική μνήμη.

Του Λίβιου Ζαινέα.

Σε προηγούμενο τεύχος παρουσιάσαμε μια σειρά ακουστικών φαινομένων, τα περισσότερα από τα οποία αφορούσαν βασικά θέματα της ακουστικής, με τα οποία από τις αρχές του αιώνα ασχολήθηκε μεγάλος αριθμός ερευνητών.

Οι σχετικές γνώσεις για το ακουστικό σύστημα του ανθρώπου είναι το πρώτο στάδιο μιας προσπάθειας για την κατανόηση της αντίληψης της μουσικής.

Ο μουσικός ήχος αποτελεί μια ειδική κατηγορία που διαφέρει στην κατασκευή, σε σύγκριση με τους καθαρούς τόνους και το θόρυβο, οπότε, οι μέθοδοι ανάλυσης των τελευταίων δεν είναι κατάλληλες για τους πρώτους, στους οποίους οι παράμετροι της σύνθεσής τους ποικίλλουν σε χρόνο και συχνότητα. Ο μουσικός ήχος μπορεί να είναι αντικείμενο ανάλυσης για τα ακόλουθα:

α) Συγκέντρωση των δεδομένων που αφορά στο σχεδιασμό και την κατασκευή των μουσικών οργάνων.

β) Κατάταξη του ήχου σε κατηγορίες για τα ψυχοακουστικά test.

γ) Εκτίμηση της απάντησης του ακροατή στον ήχο.

δ) Προμήθεια των δεδομένων για μεταγενέστερη σύνθεση των μουσικών ήχων.

Οι σταθεροί μουσικοί ήχοι (steady state) περιγράφονται συχνά με τέσσερις ψυχοακουστικούς όρους: Pitch, ακουστότητα, χροιά τόνου και διάρκεια. Αυτή η ταξινόμηση δεν αρκεί όμως για τη διάκριση από άλλους τύπους ήχου, που χρησιμοποιούνται σε μουσικές συνθέσεις (γραφομηχανές, κανόνια κ.λπ.). Η χρονική ποικιλία στο pitch, στην ακουστότητα και στη χροιά της κάθε νότας (μικροκατασκευή), η φύση των αρχικών παραδικών και η εμφάνιση των προσωρινών, συστατικών του φάσματος και η παρουσία του θορύβου των μουσικών οργάνων, όλα έχουν ίδια προτεραιότητα, επειδή γίνονται αντιληπτά ταυτόχρονα από τον εγκέφαλο.

Ένας μουσικός ήχος μπορεί να χαρακτηρίζεται σαν σύνθετος όταν έχει ένα προσδιορισμένο pitch και μία σειρά από χρονοεξαρτημένους μερικούς τόνους (όχι απαραίτητα αρμονικούς).

Οι μερικοί τόνοι είναι μεταβλητοί στην ένταση και στη συχνότητα. Ο πλήρης ήχος συνίσταται από αρχικά μεταβατικά (starting transients) συνοδευόμενα από ήχο στη σταθερή κατάσταση (steady) ή decay ή και τα δύο. Συνήθως το decay είναι επικαλυμμένο από τις αντανάκλασεις του δωματίου (Pollard 1988[2]).

Από παλιά εκφράστηκε, ότι δεν έχουμε συνείδηση των ξεχωριστών τονικών στοιχείων ή των ηχητικών κυμάτων, αλλά του μουσικού σχεδιασμού ή της εντύπωσης σαν σύνολο (Seashore 1938). Οι Roederes 1975 και Moller/1983 εκτιμούν, ότι ο εγκέφαλος παράγει μία ολική εικόνα του ήχου χρησιμοποιώντας μία διασταυρωμένη

[NEXT](#)

αναφορά μεταξύ ομάδων ειδικευμένων κυττάρων. Στην παρούσα κατάσταση της γνώσης οι κρίσεις για τις ολικές μουσικές εκτιμήσεις πρέπει να βασίζονται στις υποκειμενικές εντυπώσεις των εμπειρογνομόνων και των εκπαιδευμένων ακροατών, που πολλές φορές ξεπερνούν τη φινέτσα της ανάλυσης, από γρήγορα ψηφιακά μηχανήματα. Οι αριθμοί δεν αντικατέστησαν ακόμα την ακρίβεια των αισθήσεων.

Η ΑΝΑΛΥΣΗ

Η ανάλυση του μουσικού ήχου χωρίζεται σε φυσικές αναλύσεις, ψυχοφυσικές αναλύσεις και χαρακτηριστικά ή ερμηνεία των αναλύσεων, που συνεπάγεται κάποιες έξυπνες ή λογικές σκέψεις. Η φυσική ανάλυση χρειάζεται γρήγορη φασματοσκοπική ανάλυση για τον καθορισμό του μεγέθους και της συχνότητας των συντονισμών, που παρατηρούνται στις διάφορες μορφές των μουσικών οργάνων. Δονήσεις των αντηχείων σε ξύλινους ή μεταλλικούς σωλήνες, δονήσεις των στερεωμένων σε ξύλινα σώματα χορδών (κιθάρες, οικογένεια βιολιών κ.λπ.), δονήσεις των μεμβρανών (διάφορα είδη κρουστών).

Κάθε μουσικό όργανο και ανθρώπινη φωνή έχει μία ηχητική _υπογραφή_. Κάθε μουσική νότα, που προέρχεται από αυτά έχει ένα χρόνο/φασματικό συνδυασμό με μία χαρακτηριστική εκκίνηση ακολουθούμενη από την εμφάνιση των ξεχωριστών μερικών τόνων, που επιβάλλονται στον παρασιτικό θόρυβο του μουσικού οργάνου. Πληροφορίες λαμβανόμενες από καθαρές φυσικές αναλύσεις (διαγράμματα **1** και **2**). Μέσο επίπεδο της ηχητικής πίεσης (SPL) του ολικού ήχου. - Τιμή της αύξησης των επιπέδων του φάσματος για κάθε συστατικό στην αρχή των παροδικών.

- Μέτρο των διακυμάνσεων που εμφανίζονται στο steady state των επιπέδων του φάσματος.

- Χαρακτηριστικά των αρχικών μεταβατικών που είναι:

1) Ο σχετικός χρόνος εκκίνησης των μερικών τόνων (partial tones).

2) Οι τιμές αύξησης των μερικών τόνων, που ύστερα εκτιμώνται σε όρους συγχρονισμού (βλέπε εξήγηση στη συνέχεια).

3) Η επιλογή των partial που έχουν τη μεγαλύτερη τιμή αύξησης και εκτιμώνται σαν επικρατούντες τόνοι.

4) Η διάρκεια των αρχικών μεταβατικών.

Στα σχήματα (*do click >*) **1**, **2**, **4α**, **4β**, εμφανίζονται οι καμπύλες των SPL με την αύξηση των μερικών τόνων (**1, 2 και 4α**) και ο καθορισμός του επικρατούντος τόνου (**4β**). Τα διαγράμματα δείχνουν τη μέτρηση με διάφορες μεθόδους της νότας σολ 4 στα πρώτα 60 msec της εκπομπής της από ένα εκκλησιαστικό όργανο. Οι μερικοί τόνοι μετριοούνται από 1 έως 13. Η μετατροπή των φασματικών επιπέδων σε μονάδες ακουστότητας είναι το πρώτο λογικό βήμα προς την εκτίμηση των μετρήσεων από έναν ακροατή (εννοούμε την ταυτόχρονη ακρόαση των ηχητικών πειραμάτων ή την ακρόαση της εγγραφής τους).

Μερικές μέθοδοι για την ανάλυση των μεταβατικών (transients)

α) Μετασχηματισμοί Fourier:-DFT (Discret Fourier Transformation)-FFT (Fast Fourier Transformation).

β) Φίλτρο ετερόδυνα.

γ) Άλλες μέθοδοι.

Ψυχοφυσική ανάλυση

Η εκτίμηση των ακουστικών μετρήσεων με τη διαδικασία του ακούσματος χρειάζεται:

1) Ανάλυση των συχνοτήτων με όρους των κριτικών περιοχών.

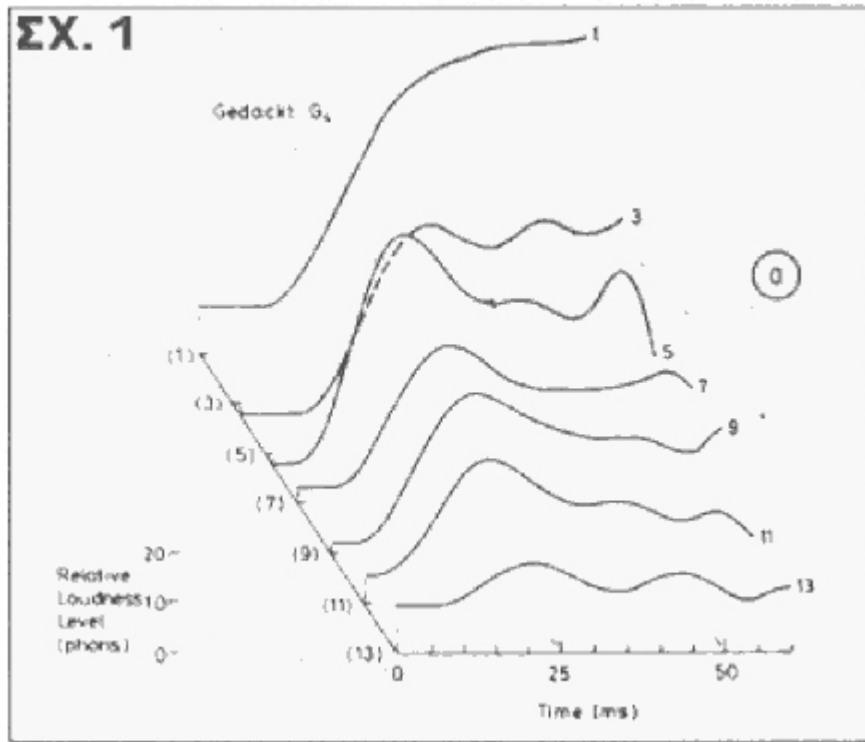
2) Χρήση των κατάλληλων χρόνων ολοκλήρωσης για την εκτίμηση της ακουστότητας, pitch και χροιάς τόνου.

3) Συνεκτίμηση των αποτελεσμάτων της επικάλυψης.

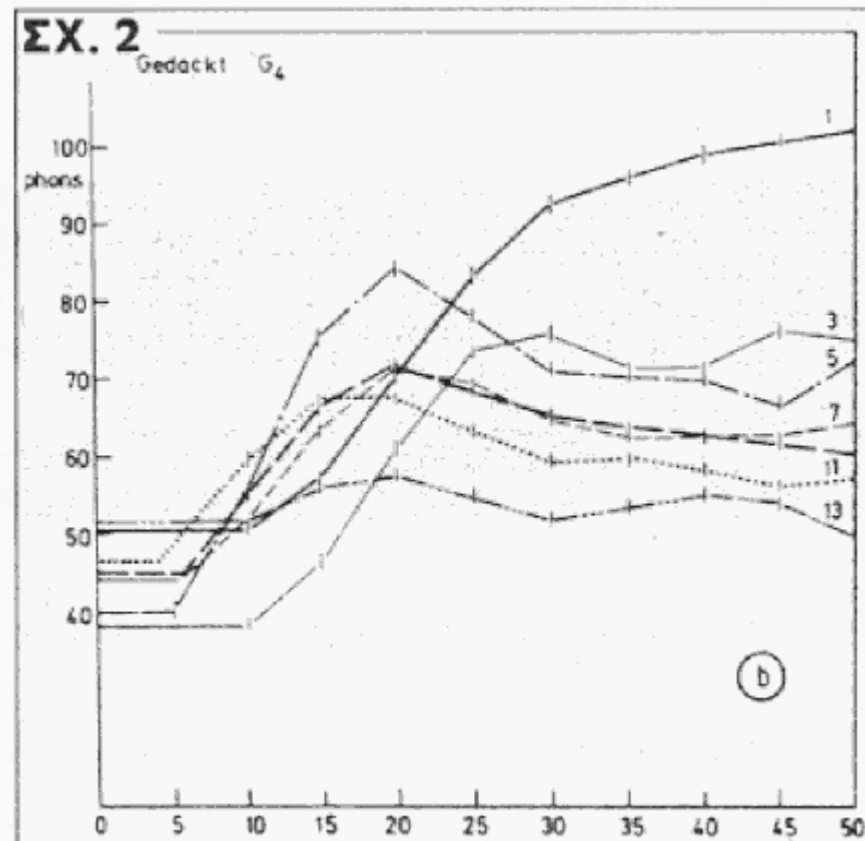
Στο [διάγραμμα 4](#) των Pollard, Jansson [1], φαίνονται οι κριτικοί χρόνοι, που συνεπάγονται από τη φασματική ανάλυση των παροδικών ήχων, αποτέλεσμα της μεθόδου δειγματοληψίας.

[NEXT](#)

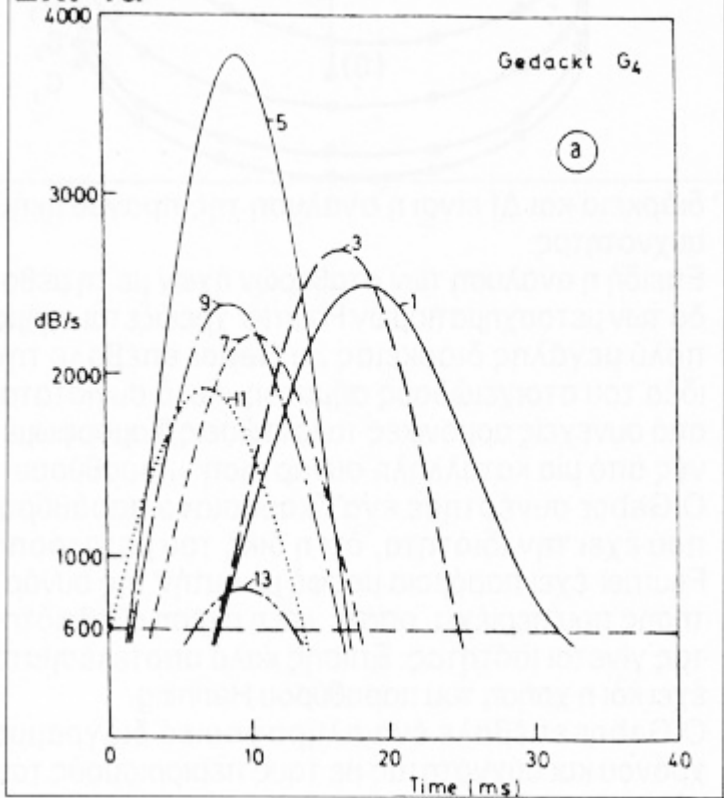
EX. 1



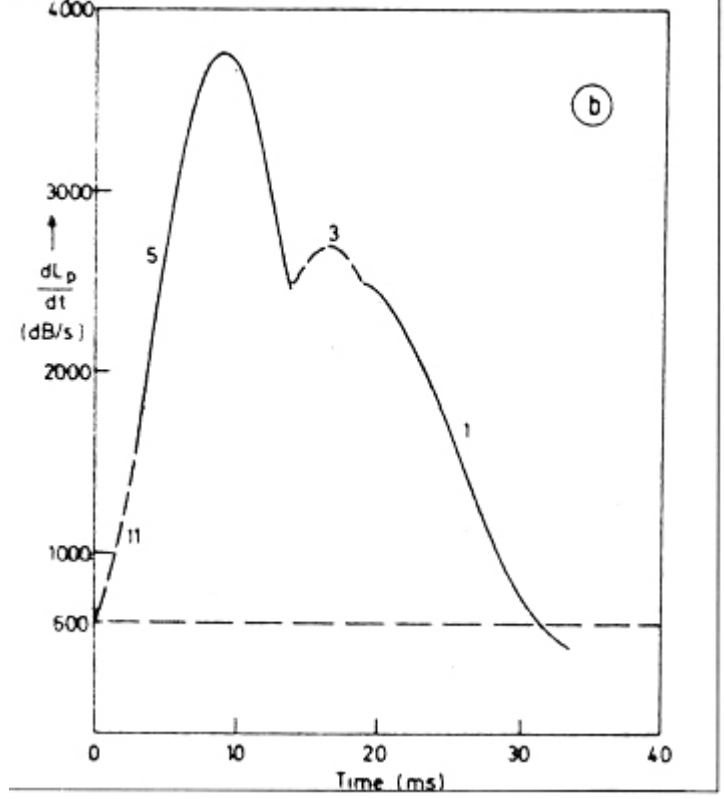
EX. 2



2.8. 40

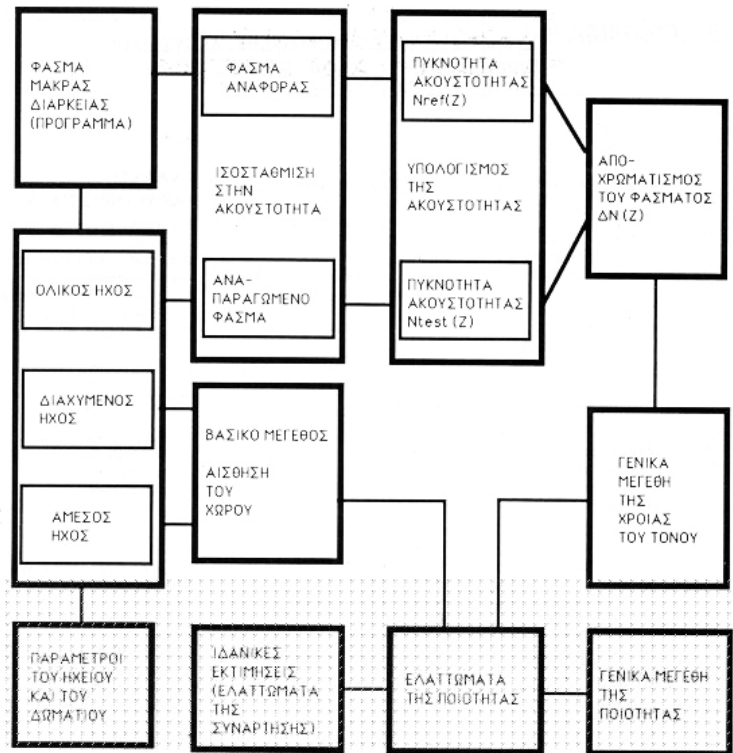
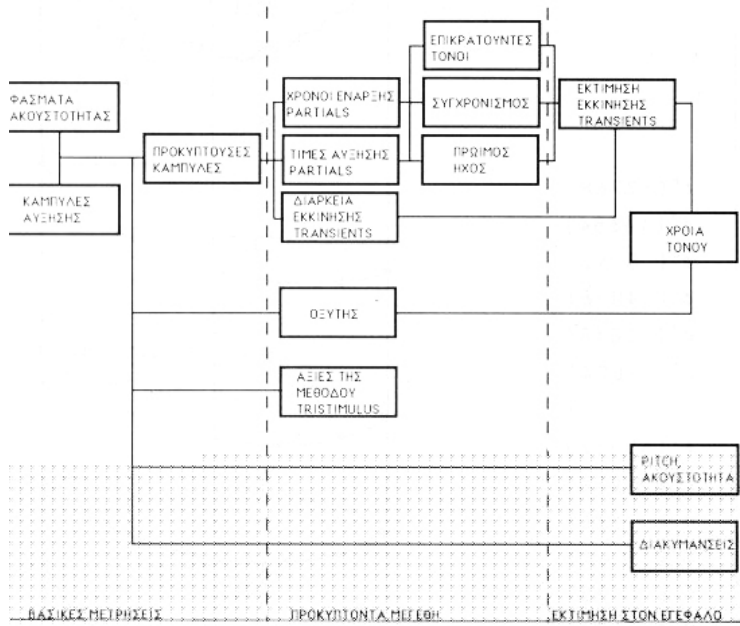


2.8. 46



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2

ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΠΟΥ ΥΠΕΙΣΧΕΡΧΟΝΤΑΙ
ΣΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ
ΤΩΝ ΜΟΥΣΙΚΩΝ ΗΧΩΝ (Polard 1988)



Λαμβανόμενες πληροφορίες από τις ψυχοφυσικές διαδικασίες:

- Μέση ακουστότητα του ολικού ήχου

- Επίπεδα ακουστότητας των περιοχών των φίλτρων (κριτικές ή 1/3 οκτάβας).

Εμφανίζονται σαν σύνολο αυξανόμενων καμπυλών (landscape plot) ή διαγράμματα

Zwicker, που δείχνουν το αποτέλεσμα της επικάλυψης των κριτικών περιοχών.

- Διακυμάνσεις και προκύπτουσες καμπύλες της ακουστότητας (εκφρασμένης σε phons) κατά την έναρξη και τη διάρκεια της σταθερής κατάστασης (steady state) του μουσικού ήχου.

Στο [σχήμα 4α](#) παρατηρούμε ότι όλοι οι μερικοί τόνοι ξεκινούν σε μία αρχική περιοχή των 10msec και φτάνουν στη σταθερή κατάσταση από 20-50 msec. Οι μικρές πρόσθετες κορυφές παριστάνουν τις διακυμάνσεις στη σταθερή κατάσταση. Ο πραγματικός χρόνος έναρξης είναι η τομή των άνω των καμπυλών με τη γραμμή, που αντιπροσωπεύει μια κλίση των 600 dB/sec (αντιστοιχεί μία αύξηση των 3dB σε 5 msec).

Το [σχήμα 3](#) δείχνει τα διαγράμματα τύπου Zwicker (φάσματα ακουστότητας) σε διαστήματα των 10 msec στη διάρκεια της αύξησης της νότας Sol4 του εκκλησιαστικού οργάνου. Κάθε καμπύλη της εκφράζει το στιγμιαίο φάσμα της ακουστότητας σε δεδομένους χρόνους και την αντίστοιχη περιοχή της ακουστότητας.

Η ανάλυση των χαρακτηριστικών

Σε σχέση με το ερχόμενο ακουστικό κύμα, το εσωτερικό αυτί συμπεριφέρεται σαν ένας επεξεργαστής με διάφορες ιδιότητες: Φιλτράρισμα, προσαρμογή διαφορήσεις, επικάλυψη κ.λπ. Ολόκληρο το ακουστικό σύστημα λειτουργεί με αποτελεσματικότητα στη συλλογή των πληροφοριών και την υποκειμενικότητα στη διατήρηση του ενδιαφέροντος ή την προσοχή προς το μουσικό φαινόμενο. Για το μουσικό ήχο τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά, τα απαιτούμενα από τον εγκέφαλο είναι το pitch και η χροιά.

Τα [διαγράμματα 1](#) και [διαγράμματα 2](#) προσαρμοσμένα από τους Pollard και Jansson δείχνουν τους μηχανισμούς και τις ιδιότητες, που υπεισέρχονται στην εκτίμηση του μουσικού ήχου.

Το [διαγράμματα 3](#) (right, από τον Klippel [5]) δείχνει το μοντέλο της υποκειμενικής εκτίμησης των ηχείων, όπου: α) η διαφορά μεταξύ της πυκνότητας της ακουστότητας ενός ήχου N' test (Z) και του σήματος αναφοράς N' ref (Z) αποκαλύπτει την επίδραση του ηχείου και ονομάστηκε αποχρωματισμός του φάσματος ΔN (Z) = N' test (Z) - N' ref (Z).

β) Τα ελαττώματα είναι η διαφορά (σε απόλυτες αξίες) μεταξύ της μέτρησης και της ιδανικής αξίας.

Από τα τρία διαγράμματα είναι φανερή η παρουσία και η επέκταση της ακουστότητας σαν έμμεσης αιτίας της αίσθησης του pitch, καθώς και της χροιάς του τόνου.

Η θεωρία της επικοινωνίας του Gabor και η εφαρμογή της

Σε δύο εργασίες του Gabor D. 1946 και 1947 (βλέπε παραπομπές 4 και 5 της [2]) διατυπώθηκε μία θεωρία της συνεννόησης και της εφαρμογής της στα προβλήματα του ακούσματος, που προέβλεπε τα αποτελέσματα των πειραμάτων των τελευταίων 10 χρόνων. Ο Gabor διατύπωσε ότι για ξεχωριστές νότες ή ομάδες από νότες, που σχηματίζουν μία μουσική σύνθεση, πρέπει να αναλύσουμε ταυτόχρονα τις σχέσεις των χρόνων και των συχνοτήτων. Η βασική σχέση που τους συνδέει είναι ο νόμος της αβεβαιότητας: $\Delta t \Delta f > 1$, όπου Δt είναι η πραγματική διάρκεια και Δf είναι η ανάλυση της πραγματικής συχνότητας.

Επειδή η ανάλυση των σταθερών ήχων με τη μέθοδο των μετασχηματισμών Fourier χρειάζεται σχήμα πολύ μεγάλης διάρκειας, ο Gabor επέβαλε την ιδέα του στοιχειώδους σήματος. Αυτό συνίσταται από συνεχείς αρμονικές ταλαντώσεις διαμορφωμένες από μία κατάλληλη συνάρτηση _παραθύρου_. Ο Gabor συνέστησε ένα Γκαουσιανό παράθυρο, που έχει την ιδιότητα, ότι η δική του μετατροπή Fourier έχει παρόμοια μορφή με αυτήν της συνάρτησης που περιέχει, οπότε και η σχέση αβεβαιότητας γίνεται ισότητα.

[NEXT](#)

Επίσης καλά αποτελέσματα έχει και η χρήση του παραθύρου Hanning.

Ο Gabor επέβαλε ένα πληροφορικό διάγραμμα χρόνου και συχνότητας με τους περιορισμούς του νόμου της αβεβαιότητας, όπου ένα στοιχειώδες σήμα εμφανίζεται από ένα χαρακτηριστικό ορθογώνιο με το εμβαδόν $\Delta t \Delta f$. [Στο σχήμα 8](#) εμφανίζονται δύο Logon (έτσι ή αλλιώς information cell ονόμασε ο Gabor αυτές τις περιοχές), όπου αν το Δt μικραίνει, τότε Δf αυξάνει και αντιστρόφως. Η εφαρμογή του νόμου της αβεβαιότητας στην αντίληψη του μουσικού ήχου παρατηρείται ειδικά στα αρχικά μεταβατικά, όπου εμφανίζονται πολύ γρήγορες αλλαγές σε όλες τις ακουστικές παραμέτρους. Χρειάζεται τότε μέγιστος χρόνος ανάλυσης με αντίστοιχα μικρότερη ανάλυση της συχνότητας.

Σε επιβεβαίωση της [2] (σελ. 239 πίνακας III) ο μικρότερος χρόνος απόκρισης για τις κριτικές περιοχές είναι 10 msec με αντίστοιχη συχνότητα 100 HZ. Όταν ο ήχος πλησιάζει τη σταθερή κατάσταση, χρειάζεται μεγαλύτερη ανάλυση (απόκριση ή διευκρίνιση) του φάσματος για την εκτίμηση του pitch, επιχείρηση που παίρνει περισσότερο χρόνο.

Παράδειγμα: Για την αντίληψη του Δf (10Hz) ο μικρότερος χρόνος απόκρισης (resolution) είναι 100 msec (Δt). Ο Roederer (1975) αναφέρει ότι 3 Hz είναι η μικρότερη συχνότητα ήχου, για την οποία διευκρίνιση χρειάζονται τουλάχιστον 330 msec ($0,330 \times 3 = 1$). Αυτό σημαίνει, ότι για μικρότερο χρόνο από τους αναφερόμενους εμφανίζεται η σύγχυση, ή απλώς ότι οι γρήγορες αλλαγές περνάνε απαρατήρητες (βλέπε και άποψη Bekesy). Ο Pollard [2] προτείνει και μία επέκταση του πληροφορικού διαγράμματος του Gabor, όπου το σήμα αναλύεται σε τρεις διαστάσεις με μορφή μπλοκ. Οι βάσεις είναι ίσες με ένα Logon- $\Delta f \Delta t > 1$ και το ύψος είναι ανάλογο με την ακουστότητα (σε phons). Ο συγκεκριμένος συνδυασμός των αποκρίσεων χρόνου/εύρους περιοχής, (που έχει σχέση με την κεντρική συχνότητα των κριτικών περιοχών ή των φίλτρων 1/3 της οκτάβας καθορίζει την επέκταση (μορφή) των Logon σε άξονες συχνότητας-χρόνου. Υπάρχει μια διαφορά των Δt με τη χρήση των φίλτρων 1/3 της οκτάβας (κάτω από την κεντρική συχνότητα των 400 HZ) το Δt είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο Δt των κριτικών περιοχών), που εξαλείφεται με την ομαδοποίηση των δεδομένων σε αντίστοιχες κριτικές περιοχές και χρήση της μεθόδου FFT (Fast Fourier Transformation).

ΤΟ PITCH ΤΟΥ ΚΑΘΑΡΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΤΟΝΟΥ

Το pitch εξετάζεται σαν μοναδικό χαρακτηριστικό του τόνου. Στο πέρασμα των χρόνων μεταδόθηκε η ιδέα της ύπαρξης των δύο συστατικών, που καθορίζουν την αίσθηση του pitch. Ο Revesz (1913) τα ονόμασε h_{he} (ύψος) και $qualit_t$ (ποιότητα). Ο B_chem (1950) τα όρισε σαν ύψος του τόνου και χρώμα του τόνου (chroma). Ο Shepard (1964) εισήγαγε την ιδέα ενός γραμμικού στοιχείου (tone height)- το ύψος του τόνου και ενός κυκλικού στοιχείου (tone chroma), που βασίζονται στην ομοιότητα των τόνων, που χωρίζονται από διαστήματα-οκτάβες. Ο Ohgushi (1978, 1981, 1983, 1987) συνέχισε σ_ αυτήν τη γραμμή δείχνοντας την υποκειμενική προσαχή των ακροατών στις διαφορές των εκτιμήσεων των δύο συστατικών. Οι Ward-Burns (1982) πρότειναν την παράσταση του pitch με τη μορφή μιας έλικας ([βλέπε σχήμα 8](#)). Η προβολή ενός σημείου αυτής της έλικας σε κάθετο άξονα, καθορίζει το ύψος του τόνου σε mels.

Η γωνία, που σχηματίζεται σε προβολή με τον οριζόντιο άξονα δείχνει το χρώμα, που είναι δύσκολο να καθοριστεί για συχνότητες > 5000 HZ, περίπου 2500 mels.

Το ANSI (American National Standards Institute New York), (1973) και το JIS (1979)- αντίστοιχο Ιαπωνικό, ορίζει το pitch σαν μία καθορισμένη, ευθυγραμμισμένη ιδιότητα του τόνου, που βασίζεται στη σχετική σύγκριση της υποτιθέμενης γραμμικότητας και της κυκλικότητας των κλίσεων του τόνου (pitch), για καθαρούς τόνους. Βρέθηκε ότι το ύψος του τόνου σχετίζεται με τη φωτεινότητα ή λαμπρότητα ή αξύτητα, που είναι όροι της χροιάς του τόνου.

Το πρόβλημα της αντίληψης του pitch ανάγεται στη διαφορά μεταξύ της αντίληψης του καθαρού τόνου ή θορύβου και των σύνθετων τόνων και στην αντίληψη των μουσικών διαστημάτων και την απόκλισή τους. Τα πειράματα των Bilsen (1967, 1977) και Ohgushi (1978) για τη διαφορά στην αντίληψη ενός τόνου και ενός σύνθετου τόνου έγιναν με την προσπάθεια των ακροατών να ταυτίζουν το pitch ενός καθαρού

[NEXT](#)

τόνου με το pitch ενός σύνθετου τόνου, που ακούγεται ταυτόχρονα, ρυθμίζοντας τη συχνότητα του καθαρού τόνου και έδειξαν:

1) Για τις θεμελιώδεις συχνότητες των 100 Hz ο καθαρός τόνος έγινε αντιληπτός πιο εντατικά από το σύνθετο τόνο με την κεντρική θεμελιώδη στα 100 Hz. 2) Για θεμελιώδεις συχνότητες μεταξύ 200 και 2000 Hz η συχνότητα του καθαρού τόνου είχε επιλεγεί πιο χαμηλή από τις θεμελιώδεις του σύνθετου τόνου, ενώ ο σύνθετος τόνος είχε περισσότερες αρμονικές σε αυτήν την περιοχή. Αυτό εξηγείται και από τη χρονική διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών peaks των δύο μορφών κυμάτων.

Μόνο οι συχνότητες σε αυτήν την περιοχή μπορούν να παράγουν αμφιωτικό pitch (diplacousis) και φαινόμενα συνοδά της αμφιωτικής ακοής-beating (κιτυπήματα) και τη μορφή του επαναληπτικού pitch (repetition pitch/Bilsen 1967), που προκαλεί την αντίληψη του χρωματισμού του τόνου μέσα στο δωμάτιο (η συνέχιση του άμεσου τόνου από μία ισχυρή πρώτη αντανάκλαση).

Το επαναληπτικό pitch ελαττώνεται, όταν ο γνήσιος ήχος περνάει φίλτρα διέλευσης υψηλών συχνοτήτων. Προσθέτοντας περισσότερες από μία επανάληψη στο γνήσιο ήχο, έτσι ώστε η καθυστέρηση μεταξύ των διαδοχικών επαναλήψεων να είναι ίση με μία σταθερά τ , το pitch του τόνου, που προκύπτει, δεν αλλάζει, αλλά η χροιά του τόνου υφίσταται τροποποίηση.

Ο τρόπος της κωδικοποίησης του pitch των καθαρών τόνων από το ακουστικό σύστημα του ανθρώπου επιχειρείται να εξηγηθεί από δύο τύπους θεωριών.

Η μία βασίζεται στην ιδέα, ότι το ακουστικό σύστημα ακολουθεί τη χρονική περιοδικότητα στην κυματομορφή του ερεθίσματος και χρησιμοποιεί αυτήν την πληροφορία για την εκτίμηση του pitch. Η δεύτερη θεωρία βασίζεται στην ιδέα, ότι το αυτί σχεδόν σαν ένας αναλυτής Fourier εκτιμώντας το ατομικό pitch που κατανέμεται στις νευρικές ίνες τις ειδικευμένες σε συχνότητες ή ομάδες συχνοτήτων.

Υπάρχουν διάφορες ανωμαλίες στην αντίληψη των καθαρών τόνων:

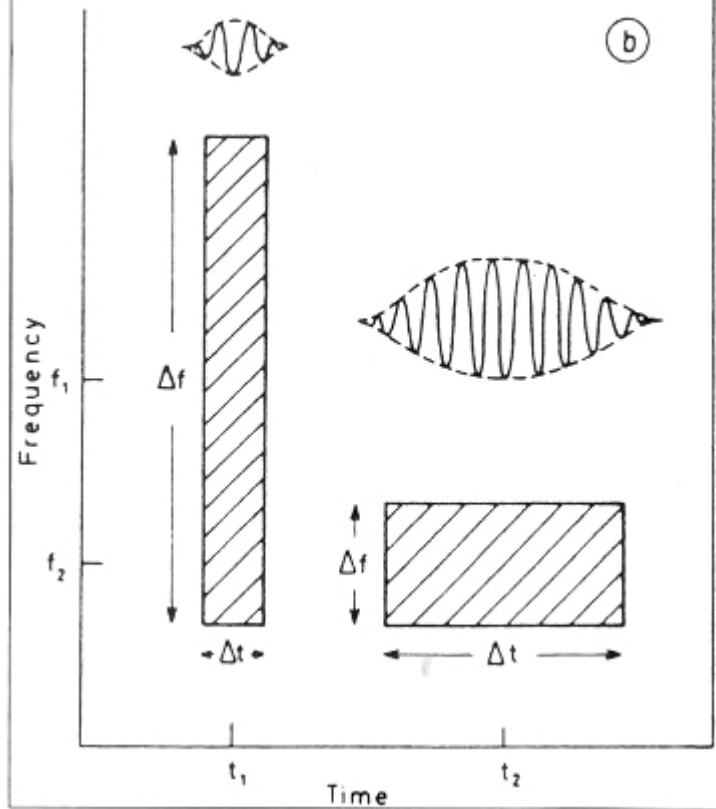
Αμφιωτική diplacousis, μετακινούμενο pitch με αλλαγές στην ένταση ή στην παρουσία άλλων επικαλυπτόντων ερεθισμάτων. Βασικά η αμφιωτική diplacousis παριστάνει την αντίληψη της έντασης του pitch διαφορετικά στο κάθε αυτί, που μπορεί να σημαίνει και αρχήν, ότι η προέλευσή της είναι περιφερειακή, δηλαδή κοχλιακή και έχει σχέση με τις προκλητικές ωτοακουστικές εκπομπές.

Το [σχήμα 9](#) του Den Brink (1979) δείχνει τις μετρήσεις της αμφιωτικής diplacousis για διάφορες εντάσεις του ήχου στο αριστερό αυτί και στο δεξί αυτί, ενώ το σήμα κρατιέται σταθερό στα 40dB SPL. Η σχετική διαφορά των δύο συχνοτήτων, που χρειάζεται για το ταίριασμα (ισότητα) της αντίληψης του pitch στα δύο αυτιά, παρουσιάζεται σε σχέση με τη συχνότητα την απαιτούμενη από το αριστερό αυτί ($f_{right}-f_{left}/f_{left}$).

Παρατηρούμε, ότι το pitch για κοντινές συχνότητες μπορεί να έχει εντάσεις με αντίθετο πρόσημο (-0,01/+0,01) με μεγάλες διαφορές μεταξύ των ακροατών. Οι εντάσεις του σήματος στα αυτιά επιλέχθηκαν σκόπιμα άνισες για να μπορεί να αποδειχθεί η επίδραση της διαφοράς των εντάσεων στην αμφιωτική diplacousis και στη συνέχεια στη σχέση της αντίληψης του pitch μεταξύ ακουστικής έντασης και συχνότητας. Έτσι η αμοιβαία επίδραση στο pitch είναι σχεδόν εξαφανισμένη. Η ιδέα του καθορισμού του pitch με άμεση σχέση μεταξύ pitch και συχνότητας (δυσκολίες στην ανάλυση/διευκρίνιση των συστατικών των συχνοτήτων ενός σύνθετου τόνου για μεγάλα δυναμικά πεδία-κωδικοποίηση χρονική) είχε αντικρουστεί από τα πειράματα του Ohgushi (1978), που χρησιμοποίησε μοντέλα βασισμένα σε μετρήσεις των [5] (ιστόγραμμα των διαστημάτων interspike). Το νευρικό ερέθισμα μετασχηματίζεται στο έσω ους σε νευρικές ώσεις, που οδηγούνται από τις νευρικές ακουστικές ίνες. Το [σχήμα 10 α, β, γ](#), δείχνει τη χρονική κατανομή αυτών των ώσεων (τόνοι 100 Hz, 1000 Hz και 1700 Hz/Rose et al 1967) σε μορφή ιστογράμματος και το [σχήμα 20](#) δείχνει τη σχέση μεταξύ του συντελεστή συγχρονισμού και της συχνότητας του ερεθίσματος. Ο συντελεστής του [συγχρονισμού](#) (Rose-1967) είναι το ποσοστό των ώσεων, που εμφανίζεται στην ενεργητικότερη μισή περίοδο (τ) του ερεθίσματος, που εξηγείται από τις περιοδικές φάσεις

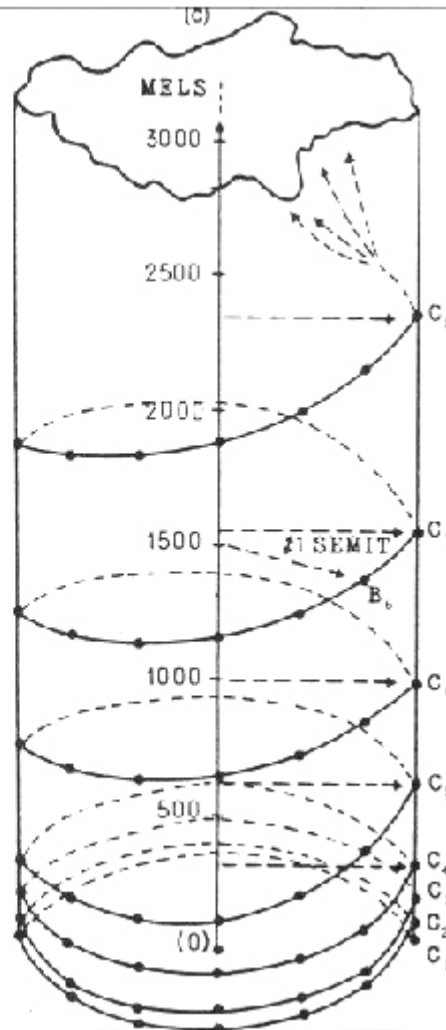
[NEXT](#)

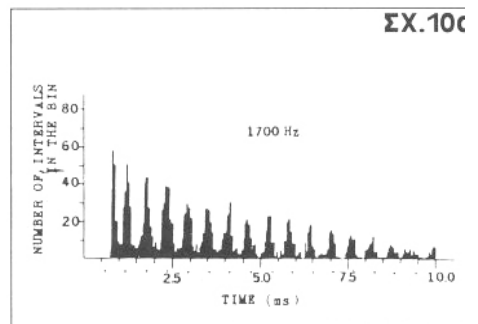
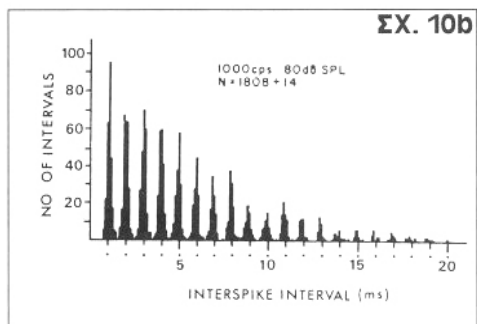
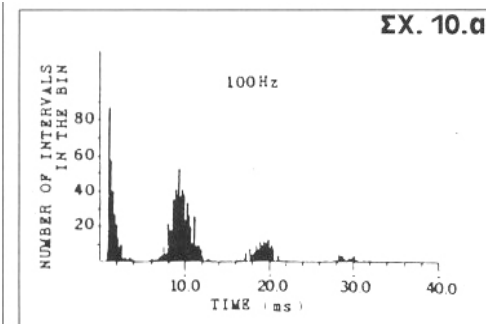
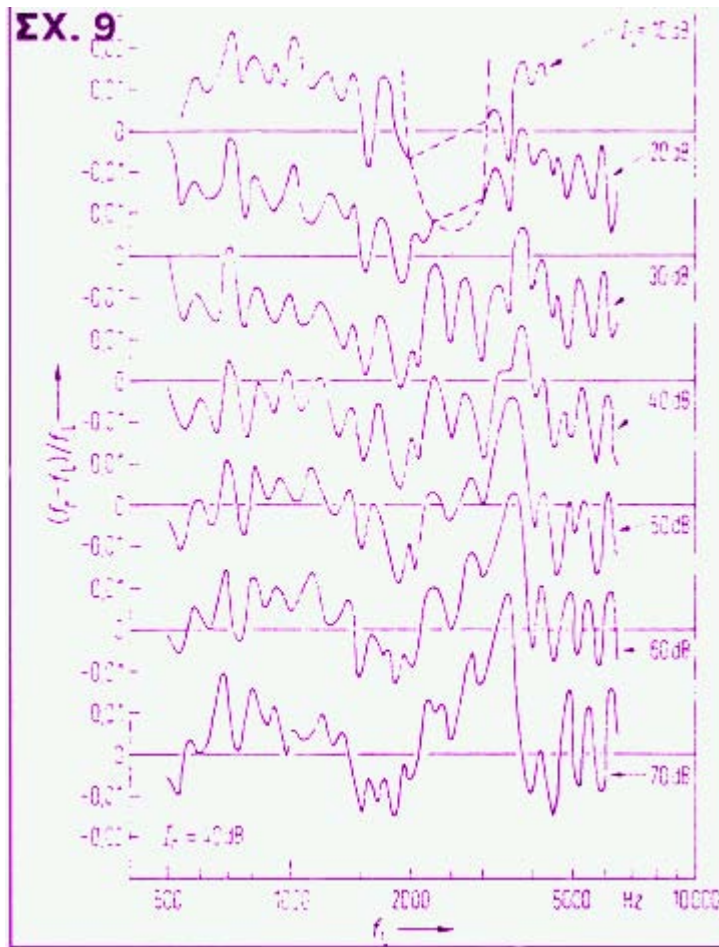
EX. 6



EX. 8

- $c^8 (32768)$
- $c^7 (16384)$
- $c^6 (8192)$
- $c^5 (4096)$
- $c^4 (2048)$
- $c^3 (1024)$
- $c^2 (512)$
- $a^1 (426.67)$
- $c^1 (256)$
- $c (128)$
- $C (64)$
- $C_1 (32)$
- $C_2 (16)$





διεγέρσεως (σχετικές και απόλυτες) των νευρώνων.

Η πληροφορία, που μεταφέρεται από τη νευρική ώση είναι: α) κατανομή στο χώρο των διεγερμένων νευρών και β) χρονική κατανομή των νευρικών ώσεων.

Πάνω από τα 5000 Hz οι νευρικές ακουστικές ίνες δεν μπορούν να μεταφέρουν χρονικές πληροφορίες και η αίσθηση του τόνου ελαττώνεται. Το πρώτο μέρος των ιστογραμμάτων [5] για τόνους ελάχιστα παραπάνω από 1 KHz έχει μία μικρή αύξηση της περιόδου σε σύγκριση με το φυσικό τόνο. (Είναι ένας χρόνος καθυστέρησης που αντιστοιχεί σε μία διαφορά συχνοτήτων Δf . Για τους τόνους των χαμηλών συχνοτήτων η κατάσταση είναι αντίστροφη).

Οι δύο παρατηρήσεις οδηγούν στο συμπέρασμα, ότι η μέθοδος των μετρήσεων (των σχετικών αριθμών των αιχμών-spikes σε έναν κύκλο) προβλέπει ένα λίγο πιο χαμηλό pitch για τις υψηλές συχνότητες και ένα λίγο πιο υψημένο pitch για ερέθισμα από χαμηλές συχνότητες. Αυτές οι μικρές αξίες της καθυστέρησης που αναφέρθηκαν, παριστάνουν ένα είδος πρώτου μέρους ενός νευρικού μηχανισμού, που προσλαμβάνει και επεξεργάζεται τις συχνότητες, που αναλύονται στον κοχλία και δεν είναι ευαίσθητος στο εύρος και τη φάση μεταξύ των αρμονικών. Είναι η πρώτη φάση αναγνώρισης του pitch των σύνθετων τόνων, που χωρίζονται από ένα ή παραπάνω ημιτόνια (Houtsma 1990). Επισημαίνουμε, ότι μία οκτάβα περιέχει 12 ημιτόνια.

Ένας δεύτερος μηχανισμός ή βαθμίδα θα μπορούσε να κάνει το νευρικό μετασχηματισμό των συσσωρευομένων αρμονικών, που δεν αναλύθηκαν από τον κοχλία, ένα είδος διπλού αναλυτή των ελλειπουσών θεμελιωδών, ιδέα που προτάθηκε από τον Schouten (1940) και ονομάστηκε υπολειμματικός μηχανισμός. Προτείνεται ότι ο διαχωρισμός αυτών των βαθμίδων μπορεί να είναι ενδιάμεσα των αρμονικών 10 και 13.

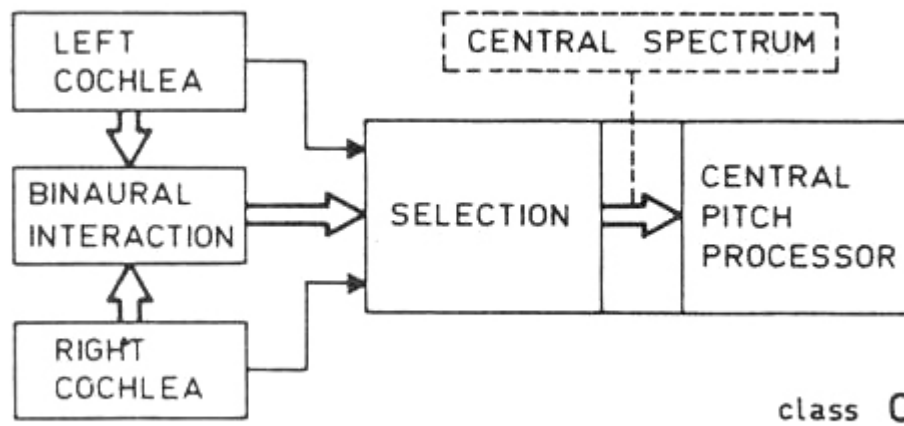
Το [σχήμα 15](#) (Bilsen 1977) δείχνει την ιδέα της ύπαρξης ενός επεξεργαστή κεντρικού φάσματος, όπου τα νευρικά σήματα από τον αριστερό και δεξιό κοχλία ακολουθούν μία διαδικασία αλληλεπίδρασης αμφιωτικής, όπου ένα κεντρικό τμήμα μετά το διαχωρισμό των συστατικών του φάσματος (επιλογή), υπολογίζει το φάσμα, από το οποίο εξάγεται η αίσθηση του pitch. Σε φυσιολογικές συνθήκες ένας σύνθετος μουσικός τόνος, που αποτελείται από πολλές αρμονικές, γίνεται αντιληπτός σαν ένας μοναδικός τόνος με καθορισμένο pitch. Το κεντρικό φάσμα είναι δηλαδή το άθροισμα της απόκρισης του ακουστικού συστήματος των ατομικών αρμονικών (μετά την εξέλιξη και ολοκλήρωση διαφόρων φαινομένων καταστολής).

Αν το ερέθισμα είναι ένας σύνθετος τόνος που, περιέχει μόνο υψηλής τάξης αρμονικές μη επεξεργάσιμες από τον κοχλία, (που εισάγει είτε έλλειψη της θεμελιώδους συχνότητας από το γνήσιο σήμα Φ, είτε νευρολογικά προβλήματα του έσω ωτός - οι θεμελιώδεις δε γίνονται αντιληπτές από τον κοχλία), οι νευρικές ίνες του ακουστικού νεύρου, που απαντούν στο σύνθετο ερέθισμα, παρουσιάζουν στο ιστόγραμμα [5] ένα υπερισχύον διάστημα $T=1/f_0$. Η συχνότητα f_0 είναι η θεμελιώδης που λείπει. Οι νευρικές ίνες, των οποίων τα φίλτρα κουρδίζονται σε παλλαπλάσιες του f_0 συχνότητες, θα παρουσιάσουν αυτό το διάστημα $1/f_0$ στα διαγράμματα [5] σαν περιοδικά peaks. Βάσει αυτού του διαστήματος $1/f_0$ ο εγκέφαλος υπολογίζει την αρμονική που λείπει, κάνοντας σύγκριση με τη γνήσια αρμονική, με την οποία ο άνθρωπος γεννιέται ή τη μαθαίνει στη διάρκεια της ζωής του. Οι μετρήσεις των ιστογραμμάτων δείχνουν, ότι το διάστημα $1/f_0$ υπερισχύει σε όλες τις ίνες, που αποκρίνονται στο ερέθισμα. (Είναι το μέτρο ενός εσωτερικού ρολογιού;) Οι Voss Clarke, Schroeder και άλλοι μελετώντας αυτό το διάστημα $T=1/f_k$ (όπου $0,5 < k < 1,5$), βρήκαν ότι τα περισσότερα φαινόμενα στη φύση μεταβάλλονται με αυτήν την ποσότητα. Οι παραπάνω ερευνητές αναφέρουν επίσης, ότι η ποσότητα $1/f$ ισχύει και για τη μουσική, όταν η ακουστική ισχύς και οι διακυμάνσεις των συχνοτήτων έχουν μία φασματική πυκνότητα, που μεταβάλλεται με την ποσότητα $1/f_k$. Σαν μία περίεργη παρένθεση αναφέρουμε, ότι η μουσική, στην οποία η περιβάλλουσα και η ποικιλία των συχνοτήτων μοιάζει βασικά με ροζ θόρυβο, θεωρείται καλή μουσική.

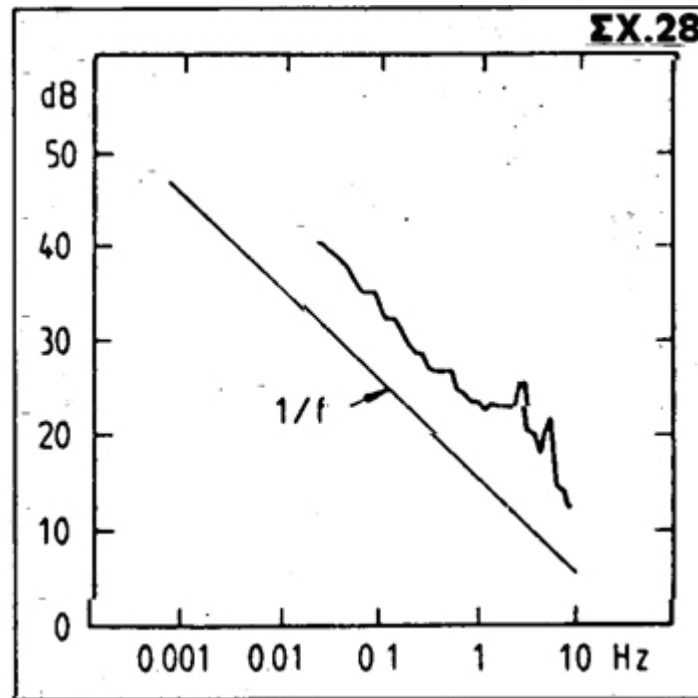
Το [σχήμα 28](#) δείχνει την πυκνότητα του φάσματος των διακυμάνσεων των

[NEXT](#)

EX. 15



EX.28



ηχητικών αλλαγών (10 οκτάβες) για όλη τη διάρκεια του πρώτου Βρανδεμβουργιανού κοντσέρτου του Bach, που δείχνει μία συμπεριφορά τύπου 1/f. Ο Birkhoff πρόβλεψε, ότι για να είναι αισθητικά ελκυστική η μουσική, δεν πρέπει να είναι εντελώς τυχαία, (όπως το White

noise), αλλά, το βρήκατε, σαν pink noise. Σημειώνουμε, ότι οι παραπομπές, που αναφέρονται στο [pitch](#) είναι [7]-[33].

Η ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΟΚΤΑΒΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΓΕΘΥΝΣΗΣ ΤΗΣ

Σε ορισμένες μουσικές εκτελέσεις παρατηρήθηκε απόκλιση από την καλώς συγκερασμένη κλίμακα, όπου η οκτάβα καθορίζεται σαν ο λόγος 2:1 των συχνοτήτων. Στο πιάνο οι υψηλοί τόνοι κουρδίζονται πιο ψηλά και οι χαμηλοί τόνοι πιο χαμηλά από την καλώς συγκερασμένη κλίμακα.

Ο Terhardt θεωρεί, ότι η ιδέα του διαστήματος της οκτάβας μαθαίνεται και αναγνωρίζεται από τις μικρές ηλικίες μαζί με την αντίληψη του ήχου και τον τονισμό της φωνής. Πολλοί ερευνητές θεωρούν, ότι η αντίληψη της οκτάβας βασίζεται σε χρονικές όψεις του ήχου (Terhardt) βάσει των ψυχοακουστικών φαινομένων, (σύγκριση της μορφής των καμπυλών) ακουστότητας και αντίληψης των JND-η μικρότερη αισθητή διαφορά μεταξύ δύο καθαρών τόνων. Η ανάλυση γίνεται στο επίπεδο δύο θεμελιωδών ή επικρατουσών αρμονικών, επειδή γενικά το υπόλοιπο των αρμονικών επικαλύπτεται και παραμένουν κάτω από το κατώφλιο της ακοής ή συνεισφέρουν με διακριτικό τρόπο στην εκτίμηση του τόνου. Το pitch των γειτονικών αρμονικών (partials) κινείται ήπια οριζόντια μεταξύ τους εξαιτίας του φαινομένου της αμοιβαίας επικάλυψης.

Όταν αφορά σ_ αυτές τις αποκλίσεις αναφέρουμε, ότι όταν οι μουσικοί εκτελούν μία μελωδία γραμμένη σε παρτιτούρα, διαλέγουν άλλες θεμελιώδεις συχνότητες, από όταν εκτελούν νότες ξεχωριστές σε σολφέζ. Στο πρώτο παράδειγμα οι μουσικοί κάνουν διορθώσεις βάσει της εμπειρίας του _μουσικού τους αυτιού_. Σε σολφέζ οι θεμελιώδεις συχνότητες είναι στενά δεμένες με τα ακουστικά χαρακτηριστικά του δωματίου.

Στο [σχήμα 12](#) (του Sundberg) δείχνονται με κύκλους οι μέσες αποκλίσεις της καλώς συγκερασμένης σκάλας, που παρατηρούνται από σόλο εκτελέσεις σε φλάουτο, όμποε και βιολί. (Η συνεχής γραμμή δείχνει τις διαφορές, που υπάρχουν μεταξύ φυσικής οκτάβας-λόγος των συχνοτήτων 2:1 και της υποκειμενικής μουσικής οκτάβας Cuddy).

Το [σχήμα 13](#) (του Cuddy) δείχνει τις διαφορές και τη σημασία της μάθησης και των προηγούμενων πειραμάτων στην ικανότητα της εκτίμησης του μουσικού pitch. Οι συντεταγμένες των διαγραμμάτων [I και II στο σχήμα 13](#) είναι: ο μέσος αριθμός των σωστών απαντήσεων/όνομα του τόνου, που είναι από αριστερά: φα, φα δίεση, σολ, σολ δίεση, λα 4=440 Hz, λα δίεση, σι, ντο, ντο δίεση και ρε. Οι ακροατές εκπαιδεύτηκαν στο να αναγνωρίζουν άλλες νότες με σύγκριση μόνο με μία νότα αναφοράς, την λα 4, μέθοδος που αποδείχθηκε πιο αποτελεσματική στην αναγνώριση των τόνων-νότες, (σχήμα 13 II, όπου οι μαύροι κύκλοι παριστάνουν την απάντηση πριν τη μάθηση και οι λευκοί κύκλοι μετά την εκπαίδευση), από τη μέθοδο της αναγνώρισης κάθε τόνου και άμεσης σωστής απάντησης-ύπαρξη ανατροφοδότησης (σχήμα 13 I).

Η μάθηση έχοντας σαν αναφορά τη νότα λα=440 Hz επιτρέπει στον ακροατή τη χρήση ενός μουρμουρίσματος (subvocalisation) στη σύγκριση με άλλες νότες.

Τα πειράματα Mathews-Pierce για την αναγνώριση της μελωδίας με τη μετατόπιση της αρμονικής από 2:1 σε 2,4:1 και την απομάκρυνση των μη αρμονικών partials (dissonant) έδειξαν ότι η αντίληψη της σειράς από νότες της μελωδίας δεν αλλοιώνεται, αλλά παρατηρείται η τροποποίηση της καντέντσα ή tempo. Η καντέντσα είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη διάρκεια του διαστήματος, η οποία διάρκεια είναι ο χρόνος μεταξύ δύο on-set δύο γειτονικών τόνων.

Το [σχήμα 25](#) του Mathews σε συντεταγμένες βαθμού της αίσθησης της ολοκλήρωσης/ καντέντσα ανίστροφη καντέντσα δείχνει, η διαφορά μεταξύ των φυσιολογικών διαστημάτων (όπου τα partials δεν είναι τροποποιημένα) και το διευρυμένο

[NEXT](#)

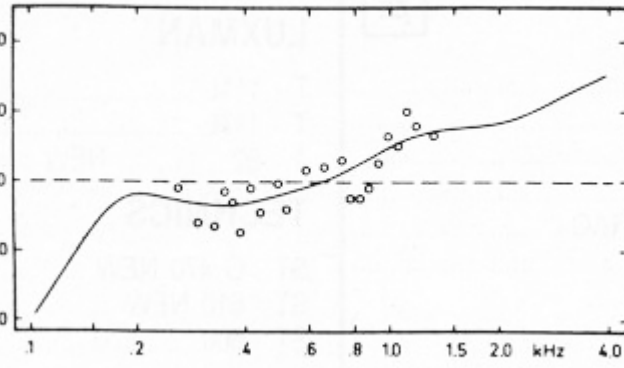
EX. 14

PITCH

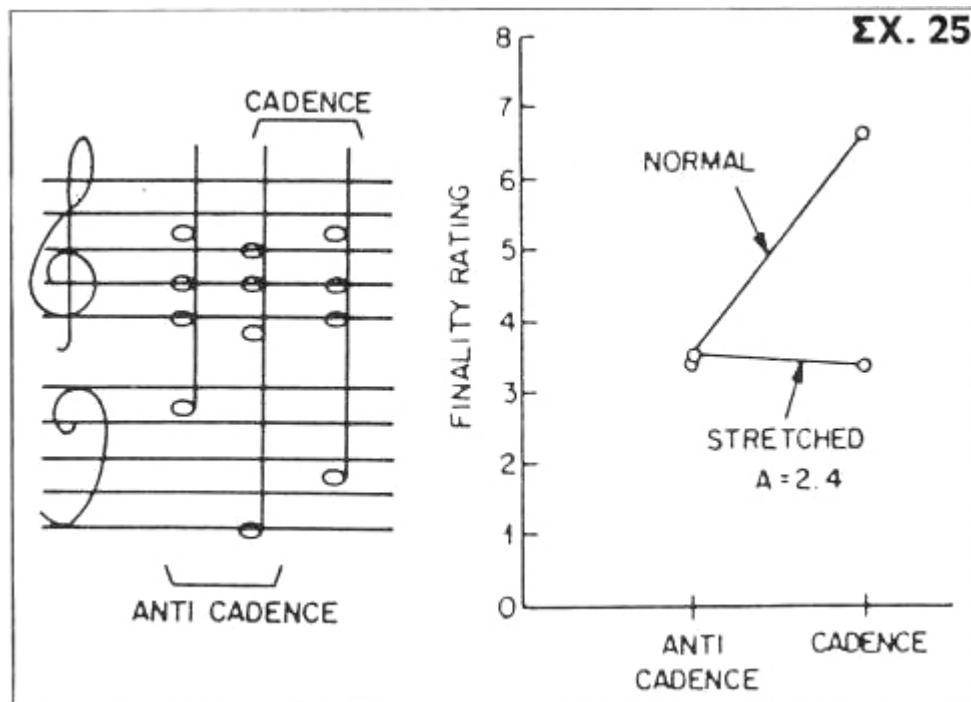
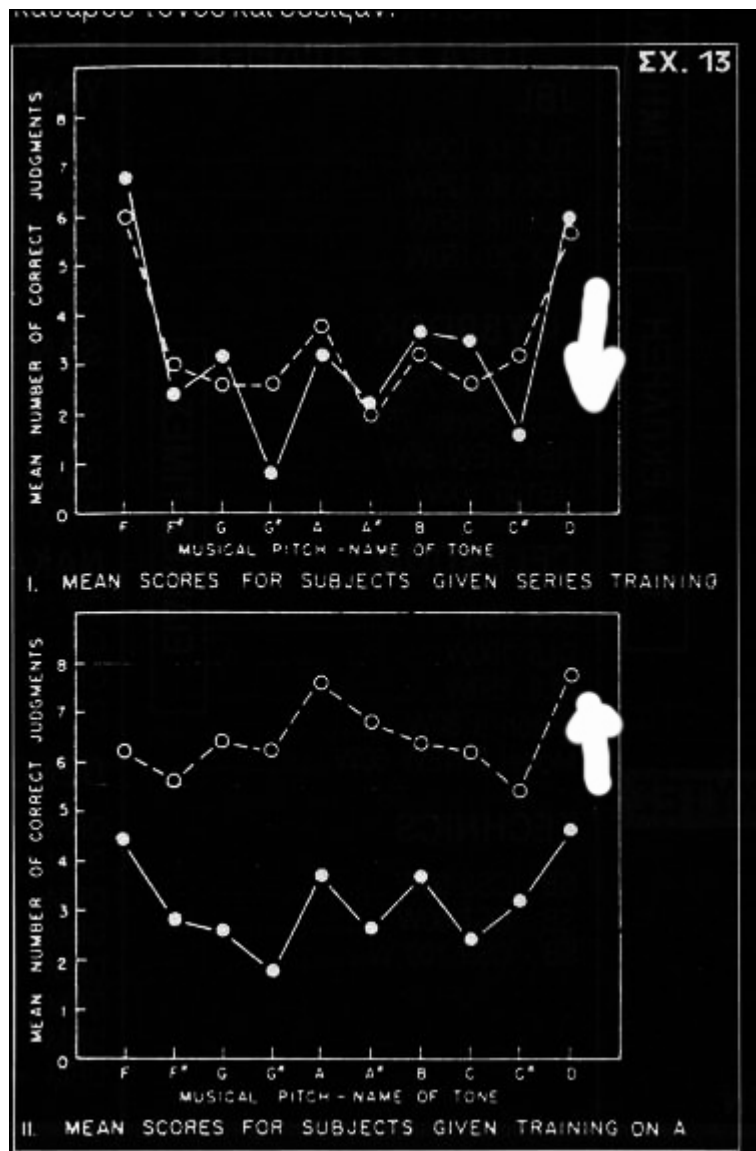


EX. 12

DEVIATION FROM EQUALLY TEMPERED SCALE
CENTS



FREQUENCY



διάστημα-λόγος 2,4:1, παράγει διαφορετικές αισθήσεις. Σε συνθήκες, στις οποίες το ακόρντο σέβεται την καλώς συγκερασμένη κλίμακα, εκτιμάται, ότι η καντέντσα (το επικρατούν ακόρντο-τονική) παράγει μία αίσθηση της ολοκλήρωσης και η αντίστροφη καντέντσα δίνει μία αίσθηση ανολακλήρωτου. Για τα διευρυμένα ακόρντα και στις δύο περιπτώσεις η αίσθηση της ολοκλήρωσης είναι η ίδια. Σε μία κινηματογραφική ταινία η Ίγκρινι Μπέργκμαν, καθόταν άνετα σε μία παλυθρόνα με τη συνοδεία απαλής μουσικής, έπρεπε να ανάβει ένα τσιγάρο και να φέρνει το χέρι αργά προς το στόμα, τόσο αργά αλλά σε αντίθετο ρυθμό με τη μελωδία, για να δημιουργήσει μία αίσθηση αβεβαιότητας, αναγκαίας αν και η ατμόσφαιρα (ντεκόρ, ντύσιμο, φώτα και κυρίως η απαλή μουσική) μπορούσε να μας δημιουργήσει την αντίθετη αίσθηση. Ήταν δημιούργημα ενός παράφωνου τόνου στην αρμονία. Μια παράμοια οπτική αναλογία με υπαινιγμό της αίσθησης του pitch είναι το [σχήμα 14](#). Το οπτικό μας σύστημα παρατηρεί περίγραμμα που στο σχέδιο δεν υπάρχει, αλλά από κάπου μέσα μας συμπληρώνεται βάσει μιας συνεχούς διαδικασίας μάθησης-αναγνώρισης.

Αναφορές

1. ACUSTICA-VOL. 51/1982-POLLARD-JANSSON-Σ. 249-262
2. ACUSTICA-VOL. 65/1988-POLLARD H.F.-Σ. 232-244
3. JASA - VOL. 86/3/1989-LUFTI R.A.-Σ. 934-943
4. JAES - VOL. 33/4/1985-BENADE A.H.-Σ. 218-233
5. ACUSTICA-VOL. 70/1990-KLIPPEL W.-Σ. 45-54
6. JAES - VOL. 37/7/1989-OLIVE S.E.-TOOLE Σ. 539-553
7. JASA - VOL. 82/5/1987-PERROT et al.-Σ.1637-1644
8. ACUSTICA-VOL. 32/1975-BARIAUX et al-Σ. 307-312
9. JASA - VOL. 63/1/1978-VOSS-CLARKE J.-Σ. 258-263
10. ACUSTICA-VOL. 30/1974-TERHARDT E.-Σ.201-213
11. ACUSTICA-VOL. 67/1988-HEINBACH W.-Σ. 113-120
12. ACUSTICA-VOL. 32/1975-VERSCHURE et al-Σ.-33-43
13. ACUSTICA-VOL. 41/1979-BRINK-VAN DEN-Σ. 271-273
14. JASA - VOL. 72/7/1982-BURNS E.M. -Σ. 1394-1402
15. JASA - VOL. 43/5/1968-CUDDY L.-Σ. 1069-1076
16. JASA - VOL. 71/3/1982-HALL D.-Σ. 754-755
17. JASA - VOL. 71/3/1982-LOCKHEAD G.-Σ.755-756
18. ACUSTICA-VOL. 72/1990-JAROSZEWSKI A-Σ. 269-274
19. ACUSTICA-VOL. 63/1987-HINE-CHIVERS-Σ. 137-142
20. JASA - VOL. 82/4/1987-UEDA-OHGUSHI-Σ. 119-1199
21. JASA - VOL. 61/1/1'977-BILSEN F.-Σ.150-160
22. JASA - VOL. 73/5/1983-OHGUSHI K.-Σ. 1694-1700
23. JASA - VOL. 64/3/1978-OHGUSHI K.-Σ. 764-770
24. JASA - VOL. 54/4/1973-SUNDERBERG-LINDQUIST-Σ. 922-928
25. ACUSTICA-VOL. 19/1968-BILSEN T.A-Σ. 27-32
26. JASA - VOL. 87/1/1990-HOUTSMA-SMYRZYNSKI-Σ. 304-309
27. JASA - VOL. 85/3/1989-JAFARI et al-Σ. 1322-1327
28. JASA - VOL. 68/5/1980-MATHEUS-PIERCE-Σ. 1252-57
29. JASA - VOL. 65/4/1979-GABRIELSSON-SJOGREN-Σ. 1019-1033
30. JASA - VOL. 49/2/2/1971-ELLIOTT L.-Σ. 450-456
31. JASA - VOL. 79/2/1971-DOWLING-FUJITANI-Σ. 524-531
32. JASA - VOL. 61/2/1977-DAVIES-JENNINGS-Σ. 534-540
33. JASA - VOL. 85/2/1989-PAPCUN et al.-Σ. 912-924
34. JASA - VOL. 63/5/1978-GREY J.M.-GORDON J.-Σ. 1493-1500
35. JASA - VOL. 61/5/1977-GREY J.M.-Σ. 1270-1274
36. ACUSTICA-VOL. 15/1984-PREIS A.-Σ. 1-13
37. JASA - VOL. 46/2/2/1969-PLOMP-STEENEKEN-Σ. 409-421

[NEXT](#)

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΜΟΡΦΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

ΦΥΣΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Εκφράζει την ιδιότητα του μουσικού οργάνου και την ακτινοβολία του. Δεν απαιτεί εκτίμηση από το αυτί

ΨΥΧΟΦΥΣΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Περιέχει φασματική στάθμιση, επικάλυψη χαρακτηριστικούς χρόνους αναφερόμενους στις ικανότητες του αυτιού.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Περιλαμβάνει υπολογισμό, σύγκριση συσχετισμό, ολοκλήρωσεις των μετρήσεων, μνήμη, κρίση κλπ. Οδηγός για τον σχηματισμό μιας ακουστικής εικόνας.

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ

ΜΟΥΣΙΚΟ ΟΡΓΑΝΟ

Ακουστική έξοδος σχετιζόμενη με τον σχεδιασμό η τον έλεγχο ενός μουσικού οργάνου

ΕΣΩ ΟΥΣ

Ψυχολογική διαδικασία εξαρτώμενη από τους μηχανισμούς στην περιοχή του κοχλίου

ΕΓΚΕΦΑΛΟΣ

Αντίληψη και εκτίμηση των ατομικών ήχων, σειρές από νότες, μουσική σύνθεση

ΜΟΡΦΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

- Μέση SPL του πλήρους ήχου
- Επίπεδα φάσματος των συντονισμών των μουσικών οργάνων σε συγκεκριμένους χρόνους κατά την διάρκεια των αρχικών μεταβατικών της σταθερής κατάστασης και της απόσβεσης
- Διακυμάνσεις στα επίπεδα του φάσματος και στις συχνότητες κατά την διάρκεια της σταθερής κατάστασης

- Μέση ακουστότητα του πλήρους ήχου
- Φάσματα των περιοχών ακουστότητας σε συγκεκριμένους χρόνους, είτε σαν σειρές από αυξανόμενες καμπύλες ανα 1/3 της οκτάβας είτε σαν σειρές από κριτικές περιοχές σε μορφή διαγραμμάτων Zwicker που δείχνουν τα αποτελέσματα της επικάλυψης
- Προκύπτουσα ακουστότητα σαν συνάρτηση του χρόνου (χρόνος έναρξης, τιμή αύξησης των partials, διάρκεια τόνων)

- Εκτίμηση των μεταβατικών
- Οξύτητα σαν συνάρτηση του χρόνου
- Χροιά του τόνου
- Pitch
- Ακουστότης
- Διακυμάνσης της ακουστότητας, του pitch και της χροιάς του τόνου.
- Τραχύτης (κτυπήματα μεταξύ partials στην ίδια κριτική περιοχή.
- Ελλείποντα partials