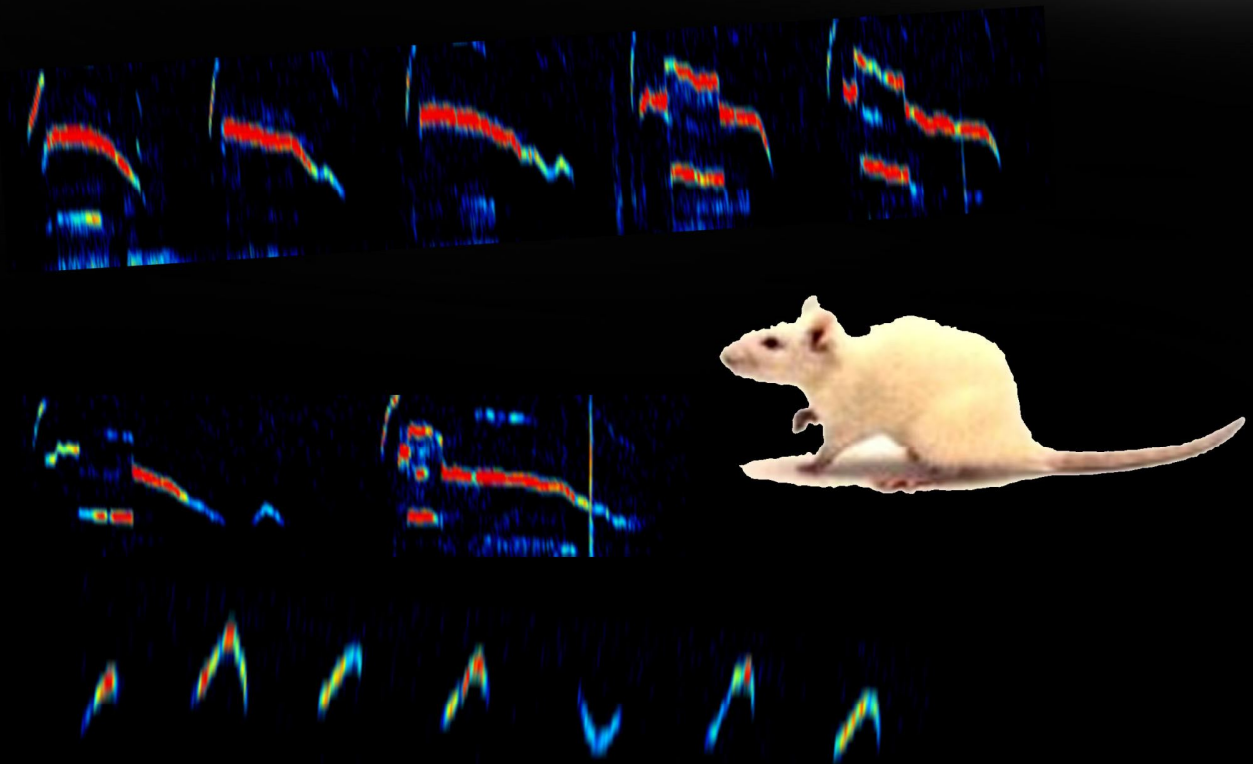


ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία με θέμα:

“Μελέτη της επικοινωνίας και των υπερήχων που εκπέμπουν τα πειραματικά ποντίκια σε διάφορες καταστάσεις”

Υπο την επίβλεψη του καθηγητή
Κουζούπη Σπύρου



Νεοκλέους Αντρέας Α.Μ. 498

Ρέθυμνο
2009

Ευχαριστίες

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο «Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής» και στο εργαστήριο ανοσολογίας του «Τμήματος Βιολογίας» του Πανεπιστημίου Κρήτης, υπό την επίβλεψη του Δρ. Κουζούπη Σπύρου.

Ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στους:

Δρ.Κουζούπη Σπύρο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και τη βοήθεια κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής αυτής.

Καθηγήτρια κ.Αθανασάκη Ειρήνη, για την συνεργασία και την φιλοξενία της στο Εργαστήριο Ανοσολογίας.

Πάρη Καλαθά, συμφοιτητή μου στο τμήμα «Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής», για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράσταση.

Τέλος σε όλους εκείνους που με εμπιστεύτηκαν και με στήριξαν άμεσα ή έμμεσα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	4
----------------	---

1. Εισαγωγή

1.1 Η εκπομπή υπερήχων και ακουογράμματα από αντιπροσωπευτικά είδη ποντικίων	5
1.2 Μεθοδολογία	13
1.3 Εξοπλισμός	14
1.4 Αποτελέσματα	17

2. Επεξεργασία ηχογραφήσεων

2.1 Το σύστημα ηχογράφησης υπερήχων (Το SASLab pro).....	20
2.2 Ανάλυση των φωνημάτων από τις ηχογραφήσεις της συνεύρεσης αρσενικού ποντικίου και θηλυκού και η κατηγοριοποίηση τους.....	22
2.3 Οι καμπύλες τονικού ύψους σαν ξεχωριστά δεδομένα	42
2.4 Το σύστημα αναπαραγωγής υπερήχων	53
2.5 Επεξεργασία αρχείων ήχου για συγχρονισμό με την εικόνα και ο συγχρονισμός της με την εικόνα	55

Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα.....	58
Περιεχόμενα των DVD 1 και 2.....	60
Βιβλιογραφία.....	61
Παράρτημα.....	63

Περίληψη

Στην εργασία αυτή, στήθηκε ένα σύστημα για την ηχογράφηση και αναπαραγωγή ήχων στο υπερηχητικό φάσμα όπου περιλαμβάνει μικρόφωνο, ηχείο και σύστημα ψηφιακής ηχογράφησης. Έγιναν πειράματα με ηχογραφήσεις των ηχητικών μηνυμάτων στο ακουστικό και στο υπερηχητικό φάσμα που παράγουν τα ποντίκια τύπου BALB/C κάτω από διάφορες καταστάσεις, όπως είναι οι περιπτώσεις φόβου/πόνου, πλησίασμα αρσενικού θηλυκού, αποχωρισμός νεαρού ατόμου από την μητέρα του. Μετά από μία βασική επεξεργασία έγινε κατηγοριοποίηση των σημάτων αυτών με βάση τα κύρια χαρακτηριστικά τους. Όλοι οι ήχοι κατηγοριοποιήθηκαν σε τέσσερις κατηγορίες όπου η κάθε κατηγορία αποτελείται από κάποιες ομάδες φωνημάτων που έχουν κοινά χαρακτηριστικά. Έγινε επίσης ηχοβολία στο υπερηχητικό φάσμα σε άλλα ποντίκια, δηλαδή εκπομπή επιλεγμένων αποσπασμάτων από το προ-ηχογραφημένο υλικό και ταυτόχρονα έγινε μελέτη ορισμένων ορμονικών δεικτών μέσω μιας αναίμακτης διαδικασίας (ανάλυσης ούρων των ποντικιών). Όλες οι διαδικασίες ηχογράφησης και ηχοβολίας βιντεοσκοπήθηκαν και κατόπιν συγχρονίστηκε ο ήχος που ηχογραφήθηκε με τη ροή της εικόνας. Με αυτό το τρόπο έγιναν παρατηρήσεις της συμπεριφοράς των ποντικιών μετά από την ηχοβολία αλλά και από την μεταξύ τους επικοινωνία σε όλο το φάσμα.

1. Εισαγωγή

1.1 Η εκπομπή υπερήχων και ακουογράμματα από αντιπροσωπευτικά είδη ποντικών

Πολλά ζώα χρησιμοποιούν τους ήχους για την επικοινωνία τους για διάφορους λόγους. Κάποιες φορές για να δείξουν την παρουσία τους σε άλλα ζώα, άλλες για ερωτοτροπία, ή πολλές φορές για προειδοποίηση λόγω κινδύνου. Μερικά είδη παράγουν μεγάλες ακολουθίες από φωνήματα όπου πολλές φορές χαρακτηρίζονται σαν τραγούδια. Συχνά αυτές οι ακολουθίες εμφανίζονται σαν μέρος της ερωτοτροπίας. Τα ποντίκια, έχουν την ικανότητα να ακούν και να παράγουν ήχους που βρίσκονται στο υπερηχητικό φάσμα και που κατά συνέπεια εμείς δεν μπορούμε να τους ακούσουμε. Μπορούν να ακούσουν και να παράξουν συχνότητες υψηλότερες από αυτές που ο άνθρωπος μπορεί να αντιληφθεί. Το εύρος συχνοτήτων που οι άνθρωποι ακούν είναι περίπου από 16 μέχρι 20000 Hz. Οποιαδήποτε συχνότητα πάνω από τα 20 kHz είναι αδύνατον να γίνει αντιληπτή από τον άνθρωπο. Το ίδιο ισχύει και για τις συχνότητες κάτω από 16 Hz. Οι ήχοι που περιέχουν τις συχνότητες αυτές λέγονται υπόηχοι. Πχ οι ελέφαντες μπορούν να επικοινωνούν από χιλιόμετρα παράγοντας φωνήματα με αυτό το συχνοτικό περιεχόμενο.

Τα θηλαστικά αντιλαμβάνονται την πηγή ήχου χρησιμοποιώντας διάφορους τρόπους. Οι δύο πρώτοι τρόποι εντοπισμού της πηγής ενός ήχου, χρησιμοποιούν το γεγονός ότι έχουμε δύο αυτιά ξεχωριστά σε απόσταση ίση με αυτή του κεφαλιού μας. Όταν ένας ήχος έρχεται από αριστερά, θα φτάσει στο αριστερό αυτί ελαφρώς πιο γρήγορα από το δεξί και ο ήχος θα είναι πιο δυνατός σε ένταση από το δεξί. Ο εγκέφαλος χρησιμοποιεί τη χρονική καθυστέρηση και την ένταση για να προσδιορίσει την πηγή του ήχου στο διάστημα του οριζόντιου πεδίου. Ο τρίτος τρόπος περιλαμβάνει το εξωτερικό μέρος του αυτιού. Όταν ένας ήχος έρχεται από το μπροστινό μέρος του αυτιού είναι πιο δυνατός από αυτόν που έρχεται από πίσω.

Επίσης ο ήχος τροποποιείται επειδή σκεδάζεται από τα πτερύγια του αυτιού και επειδή περνάει από το ακουστικό κανάλι για να φτάσει στο τύμπανο. Έτσι ο εγκέφαλος τον αντιλαμβάνεται διαφορετικά όταν αυτός προέρχεται από πάνω ή από κάτω. Επομένως το εξωτερικό μέρος του αυτιού βοηθάει στην αντίληψη του ήχου που προέρχεται από μια πηγή που βρίσκεται στο μπροστινό ή στο πίσω και στο πάνω ή στο κάτω μέρος του πεδίου [9].

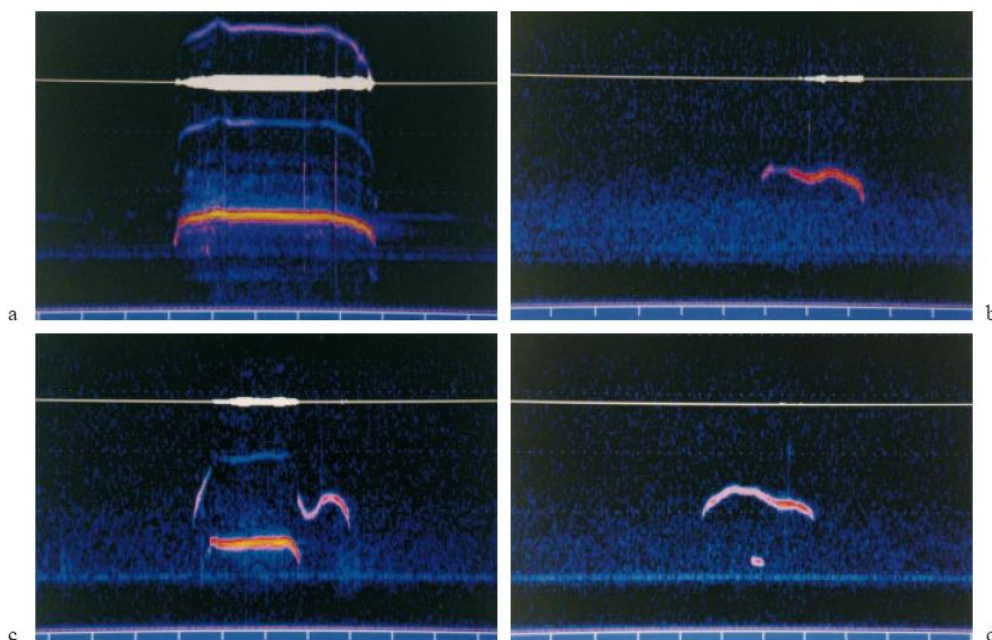
Στα μικρά ζώα που η απόσταση είναι μικρή μεταξύ των αυτιών τους, η χρονική καθυστέρηση είναι μικρότερη από τα μεγάλα ζώα. Επομένως τα μικρά ζώα όπως τα ποντίκια δεν μπορούν τόσο εύκολα να αντιληφθούν την θέση της πηγής σε αντίθεση με τα μεγάλα (low sound localization acuity) [12]. Τα ποντίκια μπορούν να διακρίνουν την θέση μιας πηγής ήχου περίπου μέσα σε 12 μοίρες για τους κρότους ή 9.7 μοίρες για μια έκρηξη λευκού θορύβου [5]. Οι άνθρωποι, αντίθετα, έχουν τη μεγαλύτερη οξύτητα εντοπισμού. Μπορούμε να αντιληφθούμε τους ήχους μπροστά μας μεταξύ 2 και 3.5 μοιρών [16], [12].

Προηγούμενες μελέτες έδειξαν ότι τα ποντίκια και τα τρωκτικά γενικότερα παράγουν μια ποικιλία από φωνήματα που περιλαμβάνει ήχους ακουστούς στον άνθρωπο, όπως είναι τα σήματα που παράγουν για την προειδοποίηση του κινδύνου και υπερηχητικές κλήσεις. Τα ποντίκια παράγουν υπερηχητικές κλήσεις τουλάχιστον σε δύο περιπτώσεις. Τα νεογέννητα ποντίκια παράγουν «κλήσεις απομόνωσης» όταν κρυώνουν ή όταν απομακρυνθούν (από κάποιον άλλο) από την φωλιά, ενώ τα

αρσενικά ενήλικα παράγουν υπερηχητικές κλήσεις όταν εντοπίζουν τις ουρικές φερομόνες των θηλυκών [15].

Στην μελέτη των Branchi et al. [2], έγιναν αναλύσεις των υπερηχητικών κραυγών που παράγουν τα πολύ νεαρά ποντίκια, τύπου “Mus musculus”, όταν απομονώνονταν από τις μητέρες τους. Μετά υποβάλλονταν με τυχαία σειρά σε μείωση της θερμοκρασίας, μυρωδιά από ενήλικο αρσενικό, κοινωνική απομόνωση και ενόχληση με την αφή. Από την φασματική ανάλυση των ηχογραφήσεων βρέθηκε ότι οι καμπύλες τονικού ύψους των φωνημάτων αυτών είχαν διάφορα σχήματα. Σύμφωνα με τη μορφή των καμπυλών του τονικού ύψους και τη διάρκεια του ακουστικού σήματος οι υπερηχητικές φωνήσεις κατηγοριοποιήθηκαν από αυτούς σε πέντε κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές ήταν: (Εικόνα 1.1.1)

1. *Constant frequency*: Καμία αλλαγή στην τιμή της συχνότητας
2. *Modulated frequency*: Αλλαγή στην τιμή της συχνότητας είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω
3. *Frequency steps*: Στιγμαϊκές συχνοτικές αλλαγές που εμφανίζουν κάθετες ασυνέχειες στο φασματογράφημα χωρίς διακοπή στο χρόνο.
4. *Composite*: Φωνήματα αποτελούμενα από περισσότερες της μίας φασματικές συνιστώσες.
5. *Short*: Φωνήματα με διάρκεια μικρότερη των 10 ms.

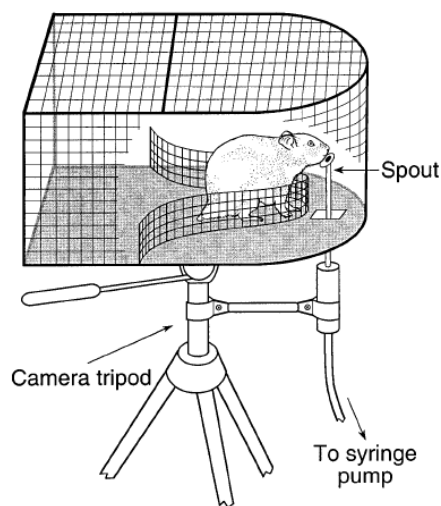


Εικόνα 1.1.1: Οι τέσσερις κατηγορίες των φωνημάτων σύμφωνα με την μελέτη των Branchi et al (a) *Constant frequency*, (b) *Modulated frequency*, (c) *Frequency steps*, (d) *Composite*

Το συχνοτικό εύρος της ακοής των ποντικών είναι περίπου 90 kHz (από 200 Hz έως 90 kHz). Στη μελέτη των Heffner and Koay [6], έγιναν πειράματα σε πέντε είδη ποντικών groundhog (*Marmota monax*), chipmunk (*Tamias striatus*), Darwin's leaf-eared mouse (*Phyllotis darwini*), golden hamster (*Mesocricetus auratus*), and Egyptian spiny mouse (*Acomys cahirinus*) όπου εξήχθησαν τα ακουογράμματα του κάθε είδους από πέντε δείγματα για κάθε είδος (A-E) και για το golden hamster (A-G).

Όλα τα ζώα εξετάστηκαν κάτω από μια ελεγχόμενη διαδικασία όπου τα ζώα που ήταν διψασμένα, εκπαιδεύτηκαν να πίνουν νερό από ένα σωλήνα που ήταν τοποθετημένος στο πειραματικό κλουβί. Με ένα ηχείο που ήταν τοποθετημένο στο ύψος του σωλήνα, εκπέμπονταν τέσσερις συχνότητες ανά τυχαία διαστήματα όπου μετά από κάθε συχνότητα που ηχούσε, ακολουθούσε ένα μικρό ρεύμα μεταξύ του σωλήνα και της πλατφόρμας. Το ηλεκτρικό σοκ διαρκούσε περίπου 300 ms και ρυθμίστηκε έτσι ώστε το κάθε ζώο να το αντιλαμβάνεται και να φεύγει, παρ' όλα αυτά, να έχει το λιγότερο επίπεδο έντασης που χρειαζόταν. Το όριο αυτό καθορίστηκε από την επιθυμία του κάθε ζώου να ξαναπάει στον σωλήνα, μετά από μιας έντασης ηλεκτροσόκ. Με αυτό τον τρόπο, τα ζώα έμαθαν να αποφεύγουν να πίνουν νερό από τον σωλήνα όταν παρουσιαζόταν ένας τόνος με αποτέλεσμα να μπορούν να μετρηθούν τα όρια του ακουστικού φάσματος της ακοής του κάθε ζώου.

Στην εικόνα 1.1.2 φαίνεται ένα σκίτσο που περιγράφει πως ήταν τοποθετημένο το ποντίκι στο κλουβί, καθώς επίσης και ο σωλήνας που έπινε νερό το ποντίκι. Πιο κάτω παρουσιάζονται τα πέντε ποντίκια και τα ακουογράμματα τους αντίστοιχα:

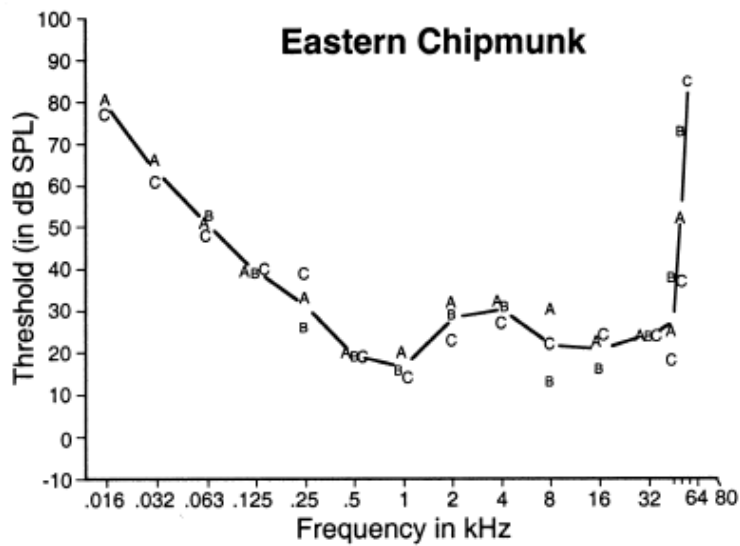


Εικόνα 1.1.2: Η διάταξη του πειράματος (βλέπε κείμενο)

Eastern chipmunk



Εικόνα 1.1.3: Το ποντίκι Eastern chipmunk



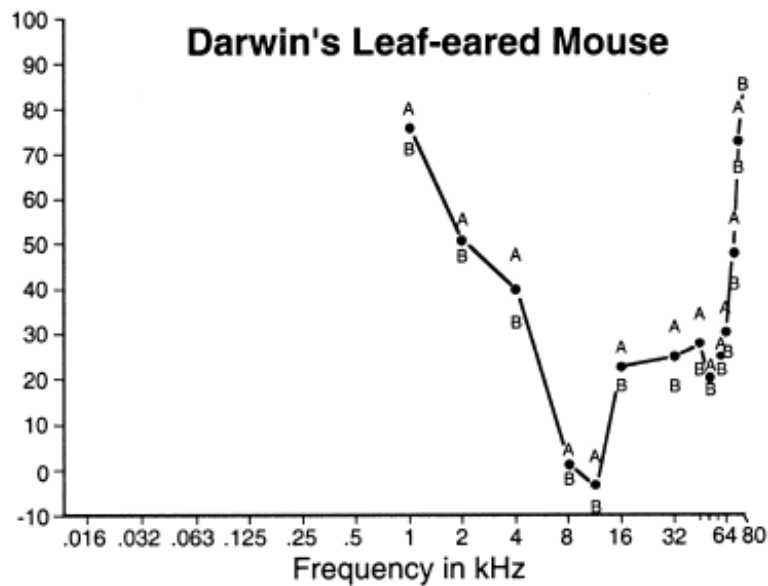
Σχήμα 1.1.1: Το ακουόγραμμα του ποντικιού Eastern chipmunk

Ξεκινώντας από τα 16 Hz, τα ακουογράμματα των τριών chipmunks έδειξαν μια βαθμιαία αύξηση της ευαισθησίας καθώς η συχνότητα αυξανόταν μέχρι περίπου τα 250 Hz με μια μικρή αλλαγή στην ευαισθησία μεταξύ των συχνοτήτων 250 Hz και 45 kHz. Η ευαισθησία μειώνεται γρήγορα για συχνότητες μεγαλύτερες των 45 kHz, με τα 56 kHz να είναι η μεγαλύτερη συχνότητα που τα ζώα ανταποκρίθηκαν. Σε σύγκριση με άλλα θηλαστικά, τα chipmunks έχουν καλή ακοή στις χαμηλές συχνότητες, αλλά έχουν σχετικά χαμηλή συνολική ευαισθησία αφού μόνο τα 500 Hz και το 1 kHz είναι ακουστό σε επίπεδα χαμηλότερα των 20 dB (re 20 μ Pa).

Darwin's leaf-eared mouse



Εικόνα 1.1.4: Το ποντίκι Darwin's leaf-eared mouse



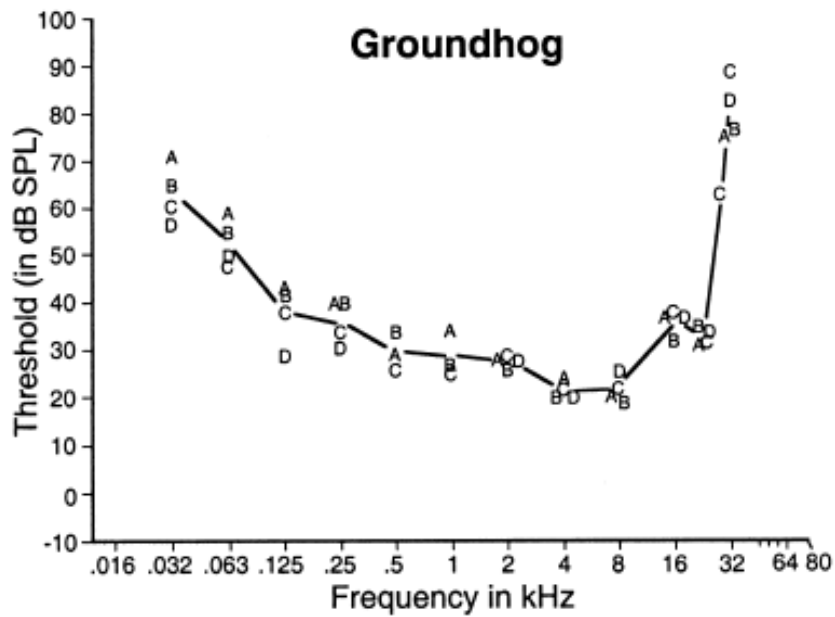
Σχήμα 1.1.2: Το ακουόγραμμα του ποντικιού Darwin's leaf-eared mouse

Ξεκινώντας από το 1 kHz, τα ακουογράμματα των δύο Darwin's leaf-eared αυξάνονται σε ευαισθησία καθώς αυξάνεται η συχνότητα μέχρι το ξεκάθαρο σημείο των 11 kHz περίπου όπου είναι και το σημείο της καλύτερης ακουστικής ικανότητας του ζώου. Η ευαισθησία πέφτει μέχρι τα 16 kHz και κατά την περιοχή των 45 kHz υπάρχει μια βελτίωση. Για συχνότητες άνω των 64 kHz, η ευαισθησία πέφτει πολύ γρήγορα μέχρι τα 80 kHz, όπου είναι η μεγαλύτερη συχνότητα που ανταποκρίθηκαν τα ζώα. Συγκρίνοντας αυτά με τα άλλα ζώα που εξετάστηκαν, τα Darwin's leaf-eared mice έχουν καλύτερη ακουστική ευαισθησία στις υψηλές συχνότητες ενώ στις χαμηλές συχνότητες η ευαισθησία είναι χαμηλή. Επιπλέον, έχουν την καλύτερη ευαισθησία αν και η δυνατότητά τους να ακούσουν χαμηλότερα από 20 dB (re 20 μ Pa) είναι περιορισμένη σε ένα στενό φάσμα μεταξύ 8-11 kHz.

Groundhog



Εικόνα 1.1.5: Το ποντίκι Groundhog



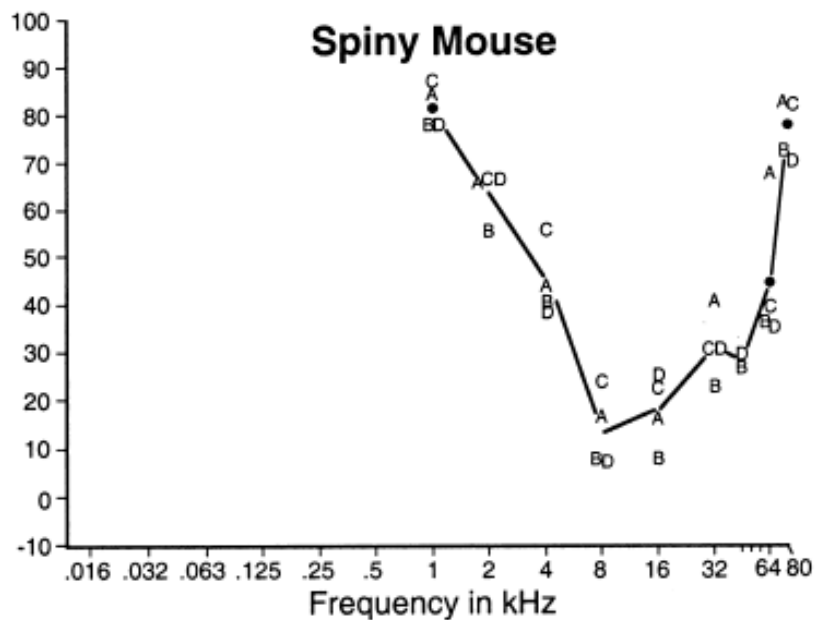
Σχήμα 1.1.3: Το ακουόγραμμα του ποντικιού Groundhog

Ξεκινώντας από τα 32 Hz, τα ακουογράμματα των τεσσάρων groundhogs αυξάνονται σε ευαισθησία καθώς αυξάνεται η συχνότητα με την μεγαλύτερη να εμφανίζεται στα 4 και 8 kHz. Στις υψηλότερες συχνότητες, η ευαισθησία μειώνεται ελαφρώς στα 16 kHz όπου ακολουθεί μια μικρή πτώση μέχρι τα 22.4 kHz. Για συχνότητες άνω των 22.4 kHz, η ευαισθησία πέφτει πολύ γρήγορα μέχρι τα 32 kHz, όπου είναι η μεγαλύτερη συχνότητα που ανταποκρίθηκαν τα ζώα. Τα groundhogs έχουν καλή ευαισθησία ακοής στις χαμηλές συχνότητες όπως τα chipmunks.

Spiny mouse



Εικόνα 1.1.6: Το ποντίκι Spiny mouse



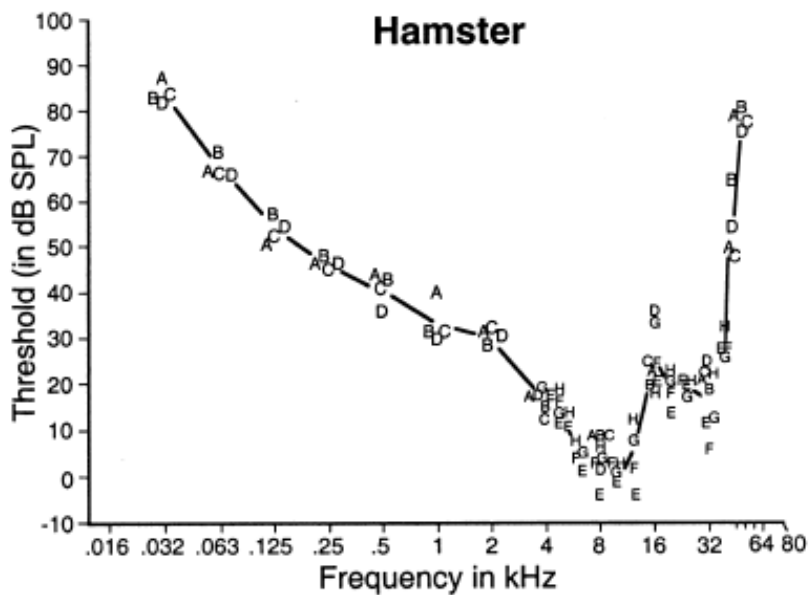
Σχήμα 1.1.4: Το ακουόγραμμα του ποντικιού Spiny mouse

Αρχίζοντας από το 1 kHz, τα ακουογράμματα των τεσσάρων spiny mice, όπως εκείνα των Darwin's leaf-eared, παρουσιάζουν μια απότομη αύξηση στην ευαισθησία καθώς η συχνότητα αυξάνεται μέχρι τα 8 kHz, όπου είναι η συχνότητα της καλύτερης ευαισθησίας. Η ευαισθησία έπειτα μειώνεται βαθμιαία στα 32 kHz με μια μικρή βελτίωση στα 45 kHz. Για συχνότητες άνω των 45 kHz, η ευαισθησία πέφτει πολύ γρήγορα μέχρι τα 80 kHz, όπου είναι η μεγαλύτερη συχνότητα που ανταποκρίθηκαν τα ζώα. Τα Spiny mice είναι ικανά να ακούσουν στάθμες μικρότερες των 20 dB (re 20 μ Pa) στις συχνότητες 8 και 16 kHz.

Hamster



Εικόνα 1.1.7: Το ποντίκι Hamster



Σχήμα 1.1.4: Το ακουόγραμμα του ποντικιού Hamster

Αρχίζοντας από τα 32 Hz, τα ακουογράμματα παρουσιάζουν βαθμιαία αύξηση στην ευαισθησία καθώς η συχνότητα αυξάνεται μέχρι το σημείο της καλύτερης ακρόασης στα 10 kHz. Η ευαισθησία μειώνεται στα 16 kHz που ακολουθείται βελτίωση από τις συχνότητες 20 έως το 32 kHz. Για συχνότητες άνω των 32 kHz, η ευαισθησία πέφτει πολύ γρήγορα μέχρι τα 50 kHz, όπου είναι η μεγαλύτερη συχνότητα που ανταποκρίθηκαν τα ζώα. Η ευαισθησία των Hamsters στην χαμηλή περιοχή των συχνοτήτων δεν είναι τόσο καλή όσο των chipmunks και των groundhogs και έχουν καλύτερη ευαισθησία στην περιοχή μεταξύ 4 και 12.5 kHz.

1.2 Μεθοδολογία

Σε αυτή την εργασία έγιναν ηχογραφήσεις των πειραματικών ποντικών τύπου BALB/c. Τα ποντίκια τύπου BALB/C προέρχονται από το είδος «House Mouse (*Mus musculus*)». Χρησιμοποιούνται στην βιολογία από το 1920 όπου ανακαλύφθηκαν από τον Halsey J. Bagg στην Νέα Υόρκη. Τα ποντίκια BALB/C είναι χρήσιμα στις έρευνες που γίνονται στον καρκίνο και στην ανοσολογία. [19]

Τα πειράματα έγιναν σε συνεργασία με το Βιολογικό τμήμα του Πανεπιστημίου Κρήτης. Έγιναν τέσσερα πειράματα. Το πρώτο ήταν συνεύρεση αρσενικού ποντικιού με θηλυκό, το δεύτερο ήταν η πρόκληση φόβου ποντικιού με απαλό τσίμπημα με το χέρι και η ενόχληση νεαρών ποντικών με ένα αντικείμενο από τους πειραματιστές. Έγινε επίσης ηχοβόλιση σε όλο το φάσμα σε άλλα ποντίκια, δηλαδή εκπομπή επιλεγμένων αποσπασμάτων από το προ-ηχογραφημένο υλικό και ταυτόχρονα έγινε μελέτη ορισμένων ορμονικών δεικτών μέσω μιας αναίμακτης διαδικασίας (ανάλυσης ούρων των ποντικών). Η ηλικία των ποντικών που χρησιμοποιήθηκαν για το συγκεκριμένο πείραμα ήταν τριών μηνών και τριών ημερών (*Παράρτημα εικόνα ΠΙ.1*) τα οποία γεννήθηκαν στο τμήμα Βιολογίας του Πανεπιστημίου Κρήτης.

Στην πρώτη περίπτωση έγιναν ηχογραφήσεις από πέντε ομάδες ποντικών όπου ηχογραφήθηκαν οι υπερηχητικές κλήσεις της ερωτοτροπίας. Σε κάθε ηχογράφιση χρησιμοποιούνταν τρία ποντίκια, ένα θηλυκό και δύο αρσενικά. Τοποθετούνταν αρχικά σε ένα κλουβί το θηλυκό μαζί με το ένα αρσενικό και μετά από λίγη ώρα έμπαινε και το δεύτερο αρσενικό (*Παράρτημα εικόνα ΠΙ.2*). Συνολικά πάρθηκαν 28 λεπτά ηχογραφημένου υλικού. Από αυτό απομονώθηκαν 2996 φωνήματα και κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα σε τέσσερις κατηγορίες που αποτελούνται από κάποιες ομάδες φωνημάτων που έχουν κοινά χαρακτηριστικά.

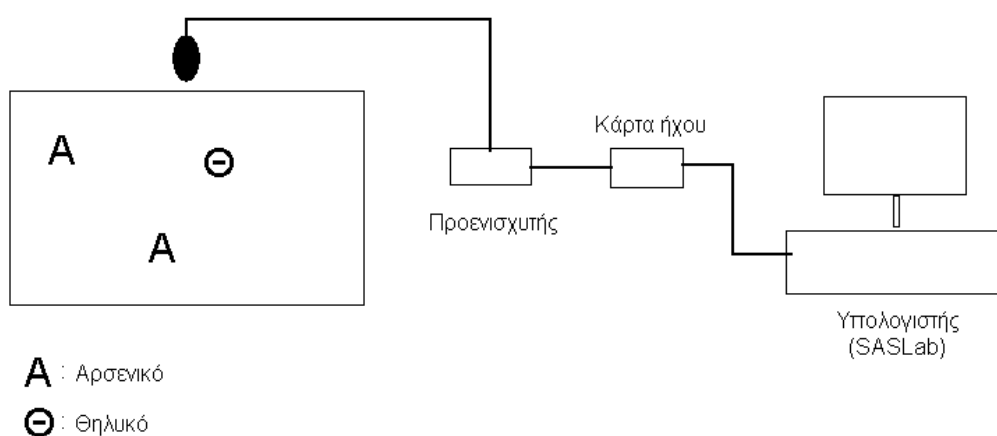
Στη δεύτερη περίπτωση, έγιναν δύο ηχογραφήσεις από ποντίκια ηλικίας δεκατεσσάρων ημερών στην πρώτη ηχογράφιση και είκοσι ημερών στην δεύτερη. Σε κάθε ηχογράφιση ήταν όλα τα ποντίκια μαζί σε ένα κλουβί μαζί με την μητέρα τους. Η ηχογράφιση έγινε όταν ο πειραματιστής ενοχλούσε τα νεαρά ποντίκια με ένα αντικείμενο (*Εικόνα ΠΙ.3 στο παράρτημα*). Παρόλο που σε παλαιότερες έρευνες [15], [2], [7], οι περιπτώσεις που αναφέρονται ότι τα νήπια ποντίκια παράγουν υπερηχητικές κλήσεις είναι όταν βρίσκονται σε κατάσταση κοινωνικής απομόνωσης ή όταν πέφτει η θερμοκρασία, εμείς δεν κάναμε αυτό το πείραμα. Αυτό έγινε διότι στην περίπτωση της κοινωνικής απομόνωσης όταν τα νήπια επιστρέψουν πίσω στο κλουβί με την μητέρα τους, αυτή τα σκοτώνει. Αυτό είναι ένστικτο των ποντικών και δεν μπορεί να αποφευχθεί στα σίγουρα με κάποιο τρόπο. Έτσι σε αυτή την περίπτωση μη θέλοντας να σκοτώσουμε τα ποντίκια, κάναμε μια πιο απλή διαδικασία (παρενόχληση με ένα αντικείμενο) με σκοπό την λήψη των υπερηχητικών φωνήσεων. Αναλύοντας τα σήματα που πήραμε από τις ηχογραφήσεις, είδαμε ότι δεν περιέχουν καθόλου φωνήματα και έτσι δεν είχαμε κάποια αποτελέσματα από αυτό το πείραμα.

Στην τρίτη περίπτωση έγιναν τέσσερις ηχογραφήσεις σε ενήλικα ποντίκια όταν ο πειραματιστής τα τρομοκρατούσε τσιμπώντας τα σε διάφορα μέρη του σώματος (*Παράρτημα εικόνα ΠΙ.4*). Από τις αναλύσεις που κάναμε στα σήματα των ηχογραφήσεων, είδαμε ότι σε αυτές τις περιπτώσεις τα ποντίκια παράγουν φωνήσεις μόνο στο ακουστό φάσμα (μέχρι 20 KHz) και ο τύπος των φωνήσεων είναι εντελώς διαφορετικός από αυτόν των υπερηχητικών. Τα φωνήματα που παράγουν σε αυτές τις περιπτώσεις αποτελούνται από περισσότερες της μίας φασματικές συνιστώσες από τις οποίες η χαμηλότερη είναι η θεμέλιος και οι υπόλοιπες είναι οι αρμονικές. Παράδειγμα από αυτά τα φωνήματα μπορούμε να δούμε στο παράρτημα στην εικόνα

Π1.5. Σε αυτή την μελέτη δεν θα ασχοληθούμε καθόλου με τα φωνήματα αυτά και θα επικεντρωθούμε στην ανάλυση των υπερηχητικών φωνήσεων.

1.3 Εξοπλισμός

Τα πειράματα της συνεύρεσης αρσενικού και θηλυκού ποντικιού και τα πειράματα της παρενόχλησης των νεαρών ποντικών πραγματοποιήθηκαν πάνω σε ένα πάγκο όπου ήταν τοποθετημένο το πειραματικό κλουβί. Πάνω από το πειραματικό κλουβί, τοποθετήθηκε ένα ειδικό μικρόφωνο ειδικό για λήψη υπερηχητικών σημάτων το οποίο ήταν συνδεδεμένο με ένα προ-ενισχυτή ο οποίος κατέληγε στην κάρτα ήχου. Η κάρτα ήχου ψηφιοποιούσε το σήμα και στην συνέχεια καταγραφόταν στον υπολογιστή.



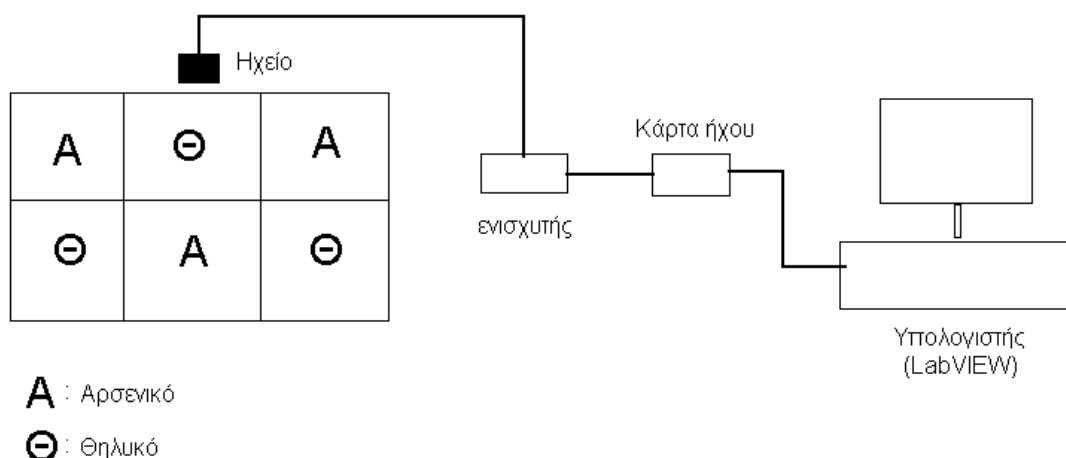
Εικόνα 1.2.1: Διάταξη για τα πειράματα της ηχογράφησης. Από το μικρόφωνο λαμβάνονται τα ηχητικά σήματα και μέσω μιας προ-ενίσχυσης καταλήγουν στην κάρτα ήχου όπου ψηφιοποιούνται και καταγράφονται στον υπολογιστή από το πρόγραμμα SASLab της εταιρίας Avisoft.

Έγινε επίσης ηχοβολήση σε τρεις ομάδες από έξι ποντίκια (Παράρτημα εικόνα 1.6) διαφορετικά κάθε φορά (τρία αρσενικά και τρία θηλυκά). Πριν από κάθε ηχοβολήση παίρνονταν δείγματα ούρων όπου τα ποντίκια βρίσκονταν σε κατάσταση ηρεμίας και μετά την ηχοβολήση με σκοπό να μελετηθούν κάποιοι ορμονικοί δείκτες και να βγουν συμπεράσματα αν κατά πόσο τα ποντίκια λαμβάνουν τις κλήσεις αυτές και αν τελικώς τις χρησιμοποιούν για την επικοινωνία τους. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την συλλογή των ούρων ήταν μία πιπέτα Gilson, ρίγχη, τρυβλία και σωληνάκια. Για κάθε ποντίκι χρησιμοποιήθηκε καινούριο και αποστειρωμένο σετ εξοπλισμού, προκειμένου να μην αναμειχθούν τα ούρα από ποντίκι σε ποντίκι. Στο παράρτημα στην εικόνα Π1.7 φαίνεται στιγμιότυπο από την συλλογή των ούρων με την πιπέτα Gilson. Ωστόσο τα δείγματα των ούρων που πήραμε δεν ήταν αρκετά και έτσι δεν μπορέσαμε να βγάλουμε κάποιο ουσιαστικό αποτέλεσμα.

Για την ηχοβολήση των συγκεκριμένων αρχείων φτιάχτηκε μια συγκεκριμένη ρουτίνα στο λογισμικό LabVIEW όπου αναλάμβανε να αναπαράγει τα συγκεκριμένα αρχεία. Η συγκεκριμένη ρουτίνα έγινε στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας του φοιτητή του τμήματος Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής Πάρη Καλαθά και έχει τίτλο «Σύστημα εγγραφής – επεξεργασίας - αναπαραγωγής υπερήχων μέσω της

κάρτας λήψης δεδομένων DAQCard-6062E». Το πρόγραμμα αυτό έχει την δυνατότητα να κάνει επίσης και κάποιες άλλες λειτουργίες όπως να αναλύει τα αρχεία αυτά με fft και να εξάγει γραφήματα με το συχνοτικό τους περιεχόμενο (φασματογραφήματα). Ο λόγος που φτιάχτηκε το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι ότι οι ηχογραφήσεις έγιναν με συχνότητα δειγματοληψίας 250 KHz, όπου οι συμβατικές κάρτες ήχου δεν μπορούν να αναπαράγουν αρχεία με τόσο μεγάλη συχνότητα δειγματοληψίας. Η συγκεκριμένη κάρτα που χρησιμοποιήθηκε, έχει συμβατότητα με το λογισμικό LabVIEW. Σύμφωνα με τον Nyquist, για να αναπαραχθεί πλήρως μια συχνότητα στα ψηφιακά σήματα, πρέπει η συχνότητα δειγματοληψίας να είναι τουλάχιστον η διπλάσια από την συχνότητα αυτή. Έτσι με την συχνότητα δειγματοληψίας που διαλέξαμε να κάνουμε τις ηχογραφήσεις (250 kHz) μπορούμε να ηχογραφήσουμε και να καταγράψουμε σε ψηφιακή μορφή συχνότητες μέχρι 125 kHz.

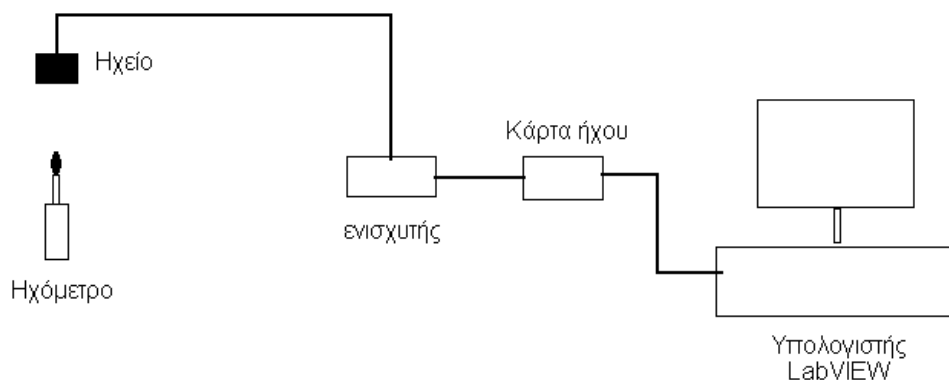
Όλες οι διαδικασίες καταγράφηκαν από μια ψηφιακή κάμερα όπου κατά την επεξεργασία του οπτικοακουστικού υλικού ο ήχος συγχρονίστηκε με την εικόνα, έτσι υπήρχε η δυνατότητα να παρατηρηθούν οι αντιδράσεις των ποντικών ξέροντας ακριβώς τι συνέβαινε στην πειραματική διαδικασία σε κάθε στιγμή. Υπήρχε δηλαδή η άμεση αντιστοίχιση του ήχου με την εικόνα που είχε ως αποτέλεσμα τον καλύτερο έλεγχο στην επεξεργασία.



Εικόνα 1.2.2: Διάταξη για τα πειράματα της ηχοβόλισης. Από τον υπολογιστή εξάγονται τα ψηφιοποιημένα σήματα που είχαν προ-ηχογραφηθεί όπου η κάρτα ήχου αναλαμβάνει να τα μετατρέψει σε αναλογική μορφή για να τα στείλει στον ενισχυτή και μετά στο ηχείο. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν μια ρουτίνα η οποία τρέχει στο περιβάλλον LabVIEW.

Για την ηχοβόλιση, έγινε βαθμονόμηση για να ρυθμιστεί η στάθμη εκπομπής του ηχείου με την στάθμη του σήματος που έδειχνε το πρόγραμμα που αναπαρήγαγε τα υπερηχητικά σήματα. Η διαδικασία που ακολουθήσαμε ήταν η εξής. Δημιουργήσαμε μέσα από το πρόγραμμα μια ημιτονοειδής συνάρτηση συχνότητας 5000 Hz έτσι ώστε να βρίσκεται στο ακουστικό φάσμα, διάρκειας ενός λεπτού και σταθερής στάθμης ηχητικής πίεσης 90 dB (re 20i Pa). Σε συγκεκριμένη απόσταση από το ηχείο μετρήσαμε την στάθμη της ηχητικής πίεσης με ένα ηχόμετρο κλάσης 1 και ρυθμίσαμε την ένταση από τον ενισχυτή έτσι ώστε να είναι ακριβώς στα 90 dB (re 20i Pa). Η απόσταση που μετρήθηκε η ηχητική πίεση στην βαθμονόμηση ήταν η απόσταση μεταξύ του ηχείου και ποντικών κατά την διάρκεια των πειραμάτων. Με αυτό τον τρόπο ξέραμε ότι η στάθμη της ηχητικής πίεσης που έφθανε τελικά στα αυτιά των ποντικών ήταν ίση ή λιγότερη από αυτήν που τα ίδια παράγουν. Ο λόγος που κάναμε

την βαθμονόμηση με συχνότητες που βρίσκονται στο ακουστικό φάσμα ήταν επειδή το ηχώμετρο δεν μπορεί να λάβει συχνότητες μεγαλύτερες από 22000 Hz γιατί η συχνότητα δειγματοληψίας που ψηφιοποιεί το σήμα είναι 44100 Hz.



Εικόνα 1.2.3: Συνδεσμολογία για την βαθμονόμηση

Όλα τα ποντίκια που χρησιμοποιήθηκαν για τα πειράματα ζούσαν κάτω από ημιφυσικές συνθήκες διαβίωσης σε χώρους που στεγάζονται στο τμήμα με ελεγχόμενο κύκλο φωτός 12 ωρών. Κατά την διάρκεια των πειραμάτων συγκεκριμένος αριθμός ποντικιών μεταφερόταν σε έναν άλλο χώρο που ήταν διαμορφωμένος ειδικά για τις ανάγκες των πειραμάτων. Όταν τελείωνε το πείραμα, τα ποντίκια μεταφέρονταν ξανά πίσω στους χώρους της διαβίωσης. Ο χώρος που γίνονταν τα πειράματα ήταν εξοπλισμένος με έναν πάγκο όπου τοποθετούνταν πάνω τα μικρότερα κλουβιά με τα ποντίκια, έναν υπολογιστή, ένα μικρόφωνο, ένα μεγάφωνο, μια κάμερα και κάποια άλλα εργαλεία και αντικείμενα που ήταν χρήσιμα για την διεξαγωγή των πειραμάτων.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε ένα κλουβί από Plexiglas με διαστάσεις 30 cm μήκος, 15 cm πλάτος και 15 cm ύψος. Στο πάνω μέρος του κλουβιού, τοποθετήθηκε ένα μικρόφωνο ειδικά κατασκευασμένο για λήψη υπερηχητικών σημάτων (CM16/CMPA) και είναι πυκνωτικό με τροφοδοσία 200 Volt η οποία παρέχεται από την κάρτα του ίδιου συστήματος (Παράρτημα εικόνα III.8). Η προ-ενίσχυση έγινε με έναν προ-ενισχυτή (Ultra sound gate) της εταιρίας Avisoft και στη συνέχεια ηχογραφήθηκε ψηφιακά στον υπολογιστή (Παράρτημα εικόνα III.9). Ο προ-ενισχυτής του συστήματος είναι τεσσάρων καναλιών και διαθέτει ενσωματωμένο μετατροπέα σήματος. Μπορεί να ενισχύσει το σήμα μέχρι και 40 dB με συνεχές ποτενσιόμετρα ενώ έχει τη δυνατότητα να ηχογραφεί με δειγματοληψίες μέχρι και 750 KHz στα 8 Bit ανάλυση ενώ στα 16 bit μπορεί να φτάσει τα 500 kHz. Διαθέτει επίσης τέσσερις ψηφιακές εισόδους καθώς και είσοδο για εξωτερικό διεγέρτη έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να αρχίσει την ηχογράφιση χειροκίνητα ή μέσω κάποιας άλλης συσκευής. Οι μετατροπές από αναλογικό σε ψηφιακό που διαθέτει είναι Delta-Sigma αρχιτεκτονικής και διαθέτουν ενσωματωμένο «anti-aliasing» φίλτρο. Ο προ-ενισχυτής συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω θύρας USB 1.1 και παίρνει τροφοδοσία από αυτήν.

Η μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό έγινε με την κάρτα ήχου DAQcard-6062E της εταιρίας National Instruments (NI) (Παράρτημα εικόνα III.10) και η ηχογράφιση έγινε στο λογισμικό SASLab της εταιρίας Avisoft. Η συχνότητα δειγματοληψίας της ηχογράφησης ήταν 250 KHz και η ανάλυση 16 bit.

Για την ηχοβόλιση χρησιμοποιήθηκε ο ενισχυτής (Παράρτημα εικόνα ΠΙ.11) και το ηχείο (Παράρτημα εικόνα ΠΙ.12) της ίδιας εταιρίας. Ο ενισχυτής που διατίθεται είναι ένας ενισχυτής ενός καναλιού με συχνοτική απόκριση 1-125 KHz (+-1dB). Αποδίδει μέγιστη ισχύ 10 Watt ανάλογα με τη τροφοδοσία που του παρέχεται. Με τροφοδοσία από θύρα USB 5 Volt αποδίδει μέγιστη ισχύ 2 Watt ενώ με εξωτερικό τροφοδοτικό 12 Volt αποδίδει 1,5 Watt και στα 36 Volt 10 Watt. Η αντίσταση του ηχείου που δέχεται είναι 4 Ohm και οι ακροδέκτες για το ηχείο και για την είσοδο είναι τύπου «Speakon» και «RCA» αντίστοιχα.

Το ηχείο του συστήματος έχει συχνοτική απόκριση 1-125 KHz (+-12dB) ενώ η ευαισθησία του είναι 93dB μετρημένη με είσοδο 50 KHz έντασης 2,83 Volt σε ένα μέτρο απόσταση. Σύμφωνα με την εταιρία σε συνδυασμό με τον ενισχυτή μπορεί να αποδώσει περισσότερο από 100 dB με τον ενισχυτή να αποδίδει 10 Watt. Το κουτί του ηχείου είναι κατασκευασμένο από αλουμίνιο και ο ακροδέκτης του είναι τύπου «Speakon».

1.4 Αποτελέσματα

Από τις ηχογραφήσεις των πειραμάτων της πρώτης περίπτωσης που εξηγήθηκε πιο πάνω (συνέυρεση θηλυκού με αρσενικά ποντίκια), έγιναν αναλύσεις στο φάσμα και κατηγοριοποιήθηκαν τα φωνήματα σε κάποιες κατηγορίες ανάλογα με το πώς συμπεριφέρεται η θεμέλιος συχνότητα στον χρόνο. Τα κύρια χαρακτηριστικά των υπερηχητικών κλήσεων των ποντικιών τύπου BALB/c χωρίστηκαν σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες αποτελούμενες από είδη φωνημάτων τα οποία εμφανίστηκαν επανειλημμένως στο σύνολο των ηχογραφήσεων. Σαν χαρακτηριστικά των φωνημάτων αυτών που αποτέλεσαν παράγοντες για κάθε κατηγορία θεωρήθηκαν η διάρκεια, η ένταση, οι αρχικές και τελικές συχνότητες καθώς και το σχήμα που παίρνουν οι καμπύλες τονικού ύψους στον χρόνο, αν έχει αύξουσα μορφή ή αν μεταβάλλεται η τιμή της με συγκεκριμένο τρόπο για μεγάλο αριθμό φωνημάτων. Οι κατηγορίες καθορίστηκαν βάση των προηγούμενων περιγραφών από τους Sales and Smith [18], Holman and Seale [10], και Branchi et. al., [2].

Οι κατηγορίες είναι: (Εικόνα 1.2)

- A) Κατηγορία διαμορφωμένης συχνότητας (Modulated frequency sound category)**
- B) Κατηγορία απότομης μετάβασης συχνότητας (πάνω ή κάτω) (Jump frequency sound category)**
- Γ) Κατηγορία σύνθετου συχνοτικού περιεχομένου (Composite frequency sound category)**
- Δ) Σύντομοι ήχοι (Short sound category)**

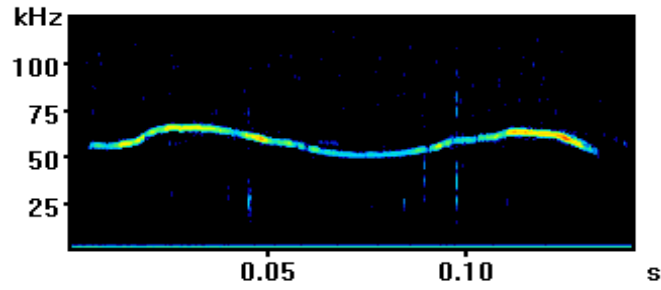
Στην πρώτη κατηγορία βρίσκονται τα απλά φωνήματα όπου αποτελούνται συνήθως από μία μόνο συχνότητα όπου είναι η θεμέλιος. Σε αυτή την κατηγορία βρίσκονται τα περισσότερα από όλα τα φωνήματα που υπάρχουν στο ρεπερτόριο των ποντικιών αυτών. Το τονικό ύψος της συχνότητας συμπεριφέρεται στον χρόνο με διάφορους τρόπους, έχει συνήθως τιμές στο φάσμα μεταξύ 40000 Hz και 80000 Hz και διάρκεια

μέσο όρο 70 ms. Συχνότητες τις οποίες τα συγκεκριμένα ποντίκια μπορούν να τις ακούσουν [6]. Σε αυτή την μελέτη, την κατηγορία αυτή θα την ονομάσουμε «κατηγορία διαμορφωμένης συχνότητας». Στην δεύτερη κατηγορία φωνημάτων είναι τα φωνήματα τα οποία επίσης αποτελούνται από μία συχνότητα όπου είναι η θεμέλιος και χωρίς να έχουν αρμονικές, με την διαφορά ότι σε αυτή την περίπτωση καθώς η συχνότητα προχωρά στον χρόνο, σε κάποια στιγμή διακόπτεται και συνεχίζεται το φώνημα από άλλη συχνότητα χωρίς όμως να υπάρχει καθυστέρηση σε χρόνο. Αυτή η κατηγορία θα ονομάζεται «κατηγορία απότομης μετάβασης συχνότητας».

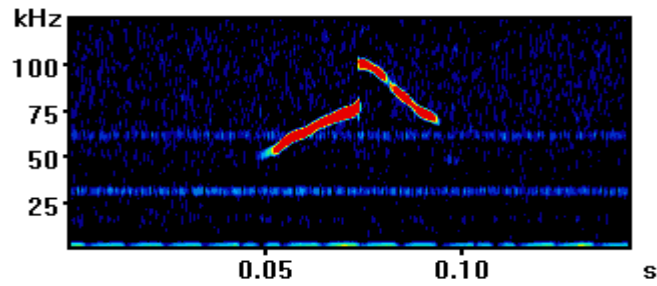
Η συχνότητα διαμορφώνεται στον χρόνο με διάφορους τρόπους με τις περισσότερες φορές να διαμορφώνεται σαν ένα γράμμα Μ του αλφαβήτου. Άλλες φορές σαν μια ευθεία με κλίση είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω. Οι τιμές της συχνότητας των φωνημάτων αυτών κυμαίνονται μεταξύ των 40000 Hz και 120000 Hz και έχουν διάρκειες περίπου 80 με 120 ms. Τα ποντίκια τύπου BALB/c θεωρούμε ότι τις συχνότητες που βρίσκονται πάνω από τα 90000 Hz δεν έχουν την ικανότητα να τις ακούσουν. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί από την έρευνα των *Heffner et al* [6], όπου εξήγαγαν ακουογράμματα από πέντε είδη ποντικών και κανένα από αυτά δεν έχει την ικανότητα να ακούσει πιο ψηλές συχνότητες από τα 90 KHz. Συγκεκριμένα το spiny mouse και το hamster ακούν συχνότητες μέχρι 80 KHz και 50 KHz αντίστοιχα.

Μια τρίτη κατηγορία που μπορεί να θεωρηθεί χαρακτηριστική είναι τα φωνήματα αυτά που έχουν περισσότερες της μίας φασματικές συνιστώσες. Σε αυτή την περίπτωση ο τρόπος που συμπεριφέρονται οι συχνότητες στο χρόνο είναι πολύ παρόμοιος και με τις δυο πιο πάνω κατηγορίες με το φάσμα να κυμαίνεται μεταξύ 40 KHz και 120 KHz και διάρκεια 80 με 150 ms. Την κατηγορία αυτή την ονομάζουμε «κατηγορία σύνθετου συχνοτικού περιεχομένου».

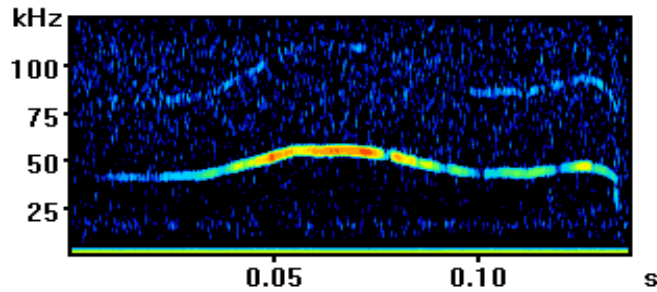
Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν τα φωνήματα που έχουν πολύ μικρές διάρκειες. Την κατηγορία αυτή θα την ονομάσουμε «σύντομοι ήχοι».



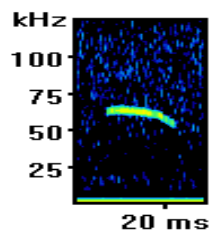
A) Κατηγορία διαμορφωμένης συχνότητας



B) Κατηγορία απότομης μετάβασης συχνότητας (πάνω ή κάτω)



Γ) Κατηγορία σύνθετου συχνοτικού περιεχομένου



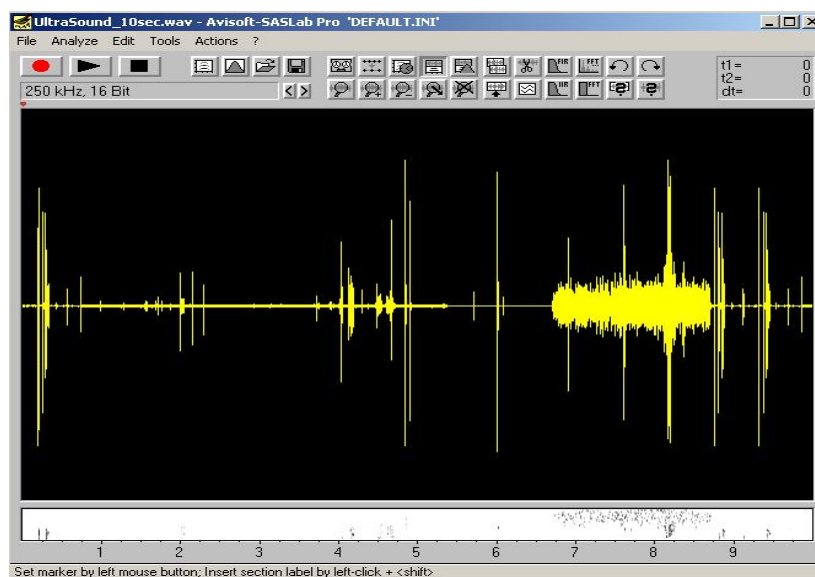
Δ) Σύντομοι ήχοι

Εικόνα 1.2: Οι τέσσερις κύριες κατηγορίες των υπερηχητικών φωνήσεων που παράγουν τα ποντίκια BALB/C κατά την διάρκεια της ερωτοτροπίας. A) Κατηγορία διαμορφωμένης συχνότητας, B) Κατηγορία απότομης μετάβασης συχνότητας (πάνω ή κάτω), Γ) Κατηγορία σύνθετου συχνοτικού περιεχομένου, Δ) Σύντομοι ήχοι.

2. Επεξεργασία ηχογραφήσεων

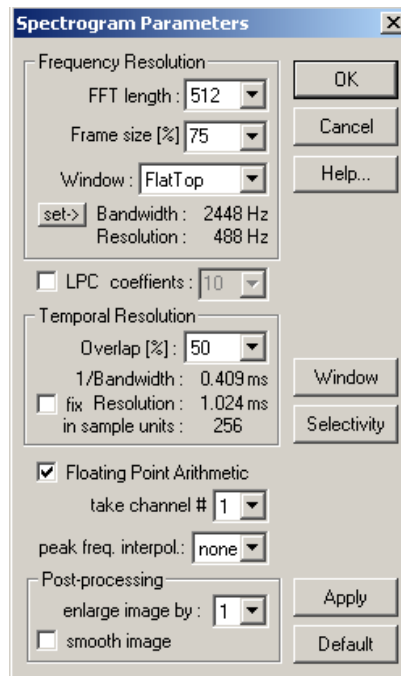
2.1) Το σύστημα ηχογράφησης υπερήχων (Το SASLab Pro)

Με το πρόγραμμα αυτό κάναμε κάποιες βασικές επεξεργασίες στα αρχεία που ηχογραφήθηκαν όπως η φασματική ανάλυση και η εξαγωγή μικρότερων αρχείων που περιλαμβάνουν δείγματα από τις κατηγορίες που φτιάξαμε.



Σχήμα 2.1.1. Το πρόγραμμα SASLab Pro.

Εισάγοντας το αρχείο ήχου που ενδιαφέρει στο πρόγραμμα παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση του και κάτω από αυτήν μία υποτυπώδες φασματική ανάλυση (σχήμα 2.5.1). Για να επεξεργαστεί ο ήχος μας θα πρέπει πρώτα να υπάρχει μία καλύτερη φασματική ανάλυση που θα έχει μεγαλύτερη ακρίβεια έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να εντοπιστούν και να απομονωθούν οι υπέρηχοι από το αρχείο. Αυτό γίνεται πατώντας το τέταρτο κουμπί στα αριστερά ή από την επιλογή analyze επιλέγεται «Create spectrogram». Πρέπει πρώτα όμως να οριστούν κάποιες παράμετροι έτσι ώστε να οριστεί η ποιότητα του γραφήματος. Πατώντας λοιπόν το πέμπτο κουμπί ή πηγαίνοντας analyze/spectrogram parameters εμφανίζεται το παράθυρο του Σχήματος 2.5.2.



Σχήμα 2.1.2: Spectrogram Parameters.

Η πρώτη επιλογή στις ρυθμίσεις έχει να κάνει με το μέγεθος του παραθύρου στο οποίο θα γίνει η ανάλυση. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή σε αυτή την επιλογή τόσο πιο καλή συχνοτική ανάλυση έχουμε αλλά εις βάρος της χρονικής ανάλυσης. Μία τιμή των 512 δειγμάτων είναι η ιδανική για τη συγκεκριμένη περίπτωση .

Η δεύτερη επιλογή έχει να κάνει με το πόσο τοις εκατό του παραθύρου που ορίζεται ως «FFT length» θα καταλαμβάνεται από δείγματα. Σε αυτή την επιλογή τοποθετείται πάντα 100%. Ακολουθεί ο τύπος του παραθύρου που θα χρησιμοποιηθεί για το μετασχηματισμό όπου στη περίπτωση αυτή είναι ο τύπος «Hamming» γιατί είναι πιστό παράθυρο. Στην επιλογή «Bandwidth» και «Resolution» δύναται να δοθεί ένας ορισμός το εύρους των συχνοτήτων του φίλτρου της ανάλυσης που θα χρησιμοποιηθεί καθώς και την ανάλυση που θα έχει η εικόνα .

Στην επιλογή «LPC» και «Coefficients» ορίζεται εάν στο αρχείο πρόκειται να εφαρμοστεί η συγκεκριμένη κωδικοποίηση έτσι ώστε να εξομαλύνει την ανάλυση και να είναι πιο εμφανής η εικόνα. Όσο μεγαλύτερος αριθμός επιλεγθεί, τόσο πιο αναλυτική θα είναι η κωδικοποίηση.

Μετά κρίνεται απαραίτητο να οριστεί το «Overlap» ή αλλιώς την επικάλυψη που θα γίνεται στα παράθυρα που έχουν ήδη οριστεί και αυτό για να επιτευχθεί μια καλύτερη χρονική ανάλυση όσο πιο μεγάλη είναι η επικάλυψη. Έτσι ορίζοντας μέγεθος παραθύρου 512 δείγματα και επικάλυψη 75% προκύπτει ένα αρκετά αξιόπιστο αποτέλεσμα.

Η επιλογή «Floating point arithmetic» πάλι έχει να κάνει με την ακρίβεια του μετασχηματισμού σε συνδυασμό με την επεξεργαστική ισχύ που χρειάζεται κάτι που στα καινούργια υπολογιστικά συστήματα δεν δημιουργεί κάποιο πρόβλημα. Οι υπόλοιπες επιλογές αφορούν το κανάλι που πρόκειται να αναλυθεί , αν θα γίνει κάποια μεγέθυνση στην εικόνα καθώς και κάποια εξομάλυνση της.

2.2 Ανάλυση των φωνημάτων από τις ηχογραφήσεις της συνεύρεσης αρσενικού ποντικίου και θηλυκού και η κατηγοριοποίηση τους

Από τις ηχογραφήσεις της συνεύρεσης αρσενικού και θηλυκού ποντικίου, μαζεύτηκε συνολικά 28 λεπτά ηχογραφημένου υλικού και από τις πέντε ηχογραφήσεις. Από αυτό το υλικό, έγινε καταγραφή όλων των φωνημάτων που ήταν στο υπερηχητικό φάσμα και στην συνέχεια κατηγοριοποιήθηκαν τα φωνήματα αυτά σε τέσσερις κατηγορίες.

Τα φωνήματα που αναλύθηκαν στην πρώτη κατηγορία ομαδοποιήθηκαν σε επτά ομάδες ανάλογα με το πώς συμπεριφέρεται η θεμέλιος συχνότητα στο χρόνο στην δεύτερη πέντε ομάδες και στην τρίτη τρεις. Στην τέταρτη κατηγορία είναι τα φωνήματα που έχουν πολύ μικρές διάρκειες και δεν ομαδοποιήθηκαν συγκεκριμένοι τρόποι.

Οι ομάδες φωνημάτων της πρώτης κατηγορίας:

1. «Τύπου Λάμδα» (“Lamda” type)
2. «Ασύμμετρο λάμδα δεξιά» (Asymmetric “lamda” right)
3. «Ασύμμετρο λάμδα αριστερά» (Asymmetric “lamda” left)
4. «Τύπου Μ» (“M” type)
5. «Τύπου Μ αριστερά» (“M” left)
6. «Γραμμικό με θετική κλίση» (Linear positive)
7. «Γραμμικό με αρνητική κλίση» (Linear negative)

Οι ομάδες φωνημάτων της δεύτερης κατηγορίας:

1. «Απότομης μετάβασης συχνότητας Τύπου Μ αριστερά» (Jump “M” left)
2. «Απότομης μετάβασης συχνότητας Ασύμμετρο λάμδα δεξιά» (Jump asymmetric “lamda” right)
3. «Απότομης μετάβασης συχνότητας 1» (Jump 1)
4. «Απότομης μετάβασης συχνότητας 2» (Jump 2)
5. «Απότομης μετάβασης συχνότητας 3» (Jump 3)

Οι ομάδες φωνημάτων της τρίτης κατηγορίας:

1. «Διαμορφωμένης συχνότητας» (Modulated)
2. «Απλά» (Simple)
3. «Γραμμικό με θετική κλίση» (Linear positive)

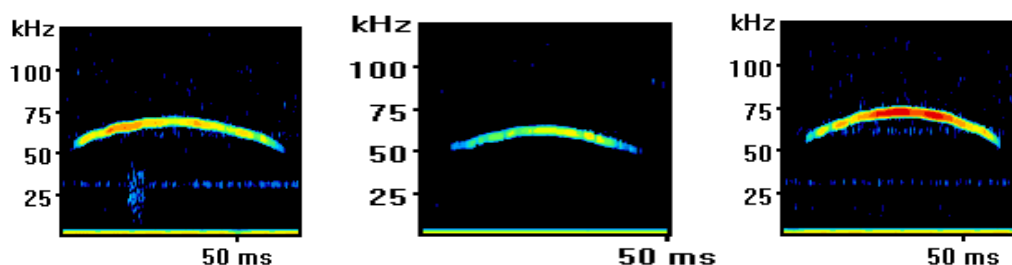
Σε αυτή την ενότητα θα δούμε τις κατηγορίες αυτές αναλυτικά, τι χαρακτηριστικά έχουν όσον αφορά το συχνοτικό τους περιεχόμενο και την διάρκεια τους. Σε κάθε ομάδα φωνημάτων θα υπάρχει ένας πίνακας όπου θα έχει πληροφορίες για το πού ακριβώς βρίσκονται στα αρχικά αρχεία άλλα φωνήματα της ίδιας κατηγορίας. Επίσης στα αρχικά αρχεία (DVD 1), όλα τα φωνήματα που φαίνονται στους πίνακες είναι σημαδεμένα με το πρόγραμμα SASLab. Τα αρχεία είναι σε μορφή «.wav» αλλά την ίδια στιγμή είναι και projects του συγκεκριμένου προγράμματος με όλα τα φωνήματα που παρουσιάζονται στους πίνακες σημαδεμένα όπου βρίσκονται στον φάκελο «SASLab projects» του dvd 1.

Ο τρόπος που αποθηκεύτηκαν τα αρχεία όταν εξάγονταν από το πρόγραμμα είναι τέτοιος ώστε να μπορούν εύκολα με την ονομασία να κατανοηθεί σε ποια από τις πέντε ηχογραφήσεις βρίσκονται, που ακριβώς βρίσκονται στο αρχικό αρχείο και ποια είναι η διάρκεια τους. Η μορφή που έχουν αποθηκευτεί τα αρχεία έχει ως εξής: Στην αρχή υπάρχει ο φάκελος όπου σαν ονομασία έχει το όνομα της εκάστοτε κατηγορίας με ένα νούμερο μπροστά από το όνομα όπου δηλώνει το πλήθος των φωνημάτων που περιέχονται μέσα σε αυτόν. Για παράδειγμα «(23)_tíπου_lamda». Μέσα στον κάθε φάκελο, υπάρχουν κάποιοι υποφάκελοι οι οποίοι έχουν ονομασία «rec1», «rec2», «rec3», «rec4» και «rec5» όπου μέσα σε κάθε υποφάκελο υπάρχουν τα αρχεία των φωνημάτων σε μορφή .wav και κάποια άλλα αρχεία εικόνας και mat files τα οποία είναι κάποια δεδομένα από την επεξεργασία των ηχογραφήσεων. Περισσότερα για την συγκεκριμένη επεξεργασία που έγινε θα υπάρξει αναλυτική αναφορά στην επόμενη ενότητα.

A) Κατηγορία διαμορφωμένης συχνότητας

1. «Τύπου λάμδα»

Το φώνημα «Τύπου λάμδα» εμφανίστηκε τις περισσότερες φορές από όλες τις άλλες κατηγορίες. Συγκεκριμένα εμφανίστηκε περίπου 1360 φορές. Τα χαρακτηριστικά της κατηγορίας αυτής είναι ότι έχει μια μόνο στενή συχνοτική περιοχή (όπως σχεδόν όλες οι κατηγορίες) η οποία σε διάρκεια κατά μέσο όρο 50ms ακολουθεί μια πορεία ανόδου, μια κορυφή και μια κάθοδο με τελική συχνότητα περίπου ίση με την αρχική. Το συχνοτικό εύρος είναι 40 KHz με 80KHz και μέση τιμή της διάρκειας 50 με 100 ms.



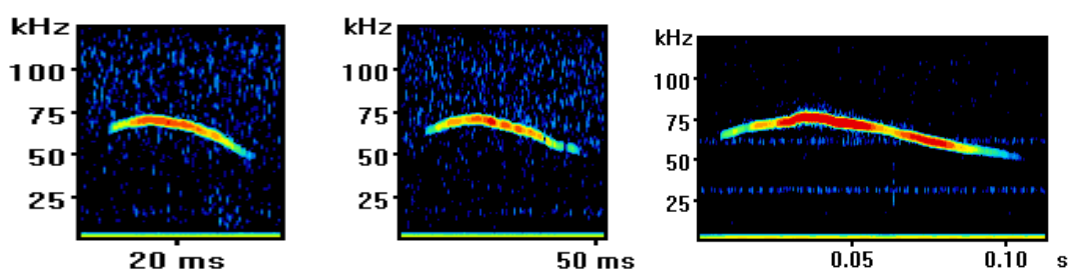
Εικόνα 2.2.1: Φασματογραφήματα των φωνημάτων της ομάδας «Τύπου λάμδα»

	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 1	8.56	60
2	Rec 1	51.4	60
3	Rec 1	65.31	55
4	Rec 2	29	51
5	Rec 2	75.67	70
6	Rec 2	77.65	59
7	Rec 2	81.9	75
8	Rec 2	89.16	63
9	Rec 2	110.12	85
10	Rec 2	110.71	66
11	Rec 2	118.99	68
12	Rec 2	143.52	67

13	Rec 2	145.78	64
14	Rec 2	156.95	71
15	Rec 2	179.06	53
16	Rec 2	300.42	61
17	Rec 3	114.65	45
18	Rec 3	131.92	61
19	Rec 3	152.1	55
20	Rec 4	123.15	58
21	Rec 5	19.78	68
22	Rec 5	22.9	50
23	Rec 5	143.36	68
24	Rec 5	279.83	60

2. «Ασύμμετρο λάμδα αριστερά»

Το φώνημα «Ασύμμετρο λάμδα αριστερά» εμφανίστηκε 249 φορές. Τα χαρακτηριστικά της κατηγορίας αυτής είναι σχεδόν τα ίδια με το φώνημα «Τύπου λάμδα» με την διαφορά ότι σε αυτή την κατηγορία τα φωνήματα τελειώνουν σε χαμηλότερη συχνότητα.



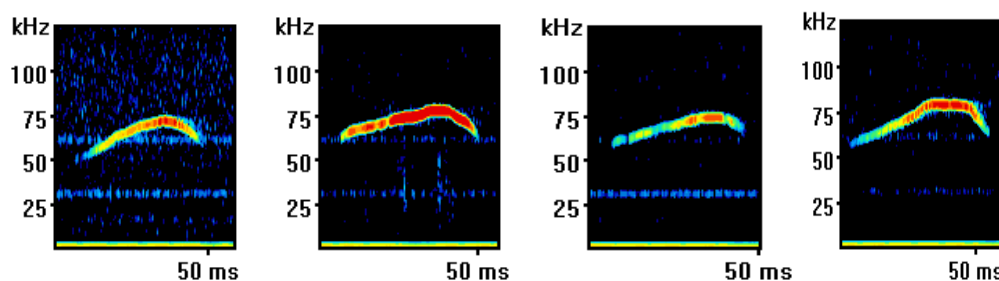
Εικόνα 2.2.2: Φασματογραφήματα των φωνημάτων της ομάδας «Ασύμμετρο λάμδα αριστερά».

	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 1	1.2	145
2	Rec 1	9	71
3	Rec 1	18.29	63
4	Rec 1	24.62	66
5	Rec 1	81.1	71
6	Rec 1	115.27	76
7	Rec 1	141.98	60
8	Rec 2	99.21	79
9	Rec 2	99.64	114
10	Rec 2	126.42	99
11	Rec 3	143.27	57
12	Rec 3	146.21	58
13	Rec 4	45.42	82
14	Rec 4	48.3	55
15	Rec 4	63.37	56

16	Rec 4	65.21	52
17	Rec 4	84.08	43
18	Rec 5	22	68
19	Rec 5	33.99	45
20	Rec 5	38.23	53
21	Rec 5	38.52	63
22	Rec 5	47.86	56
23	Rec 5	60.45	49
24	Rec 5	65.96	76
25	Rec 5	71.03	57
26	Rec 5	128.41	57

3. «Ασύμμετρο λάμδα δεξιά»

Το φώνημα «Ασύμμετρο λάμδα δεξιά» εμφανίστηκε 226 φορές. Τα χαρακτηριστικά του είναι ένα ύψωμα της συχνότητας στο πρώτο μισό και μετά ένα φώνημα «τύπου λάμδα» στο δεύτερο μισό της διάρκειας του. Η διάρκεια του φωνήματος είναι κατά μέσο όρο 40ms.



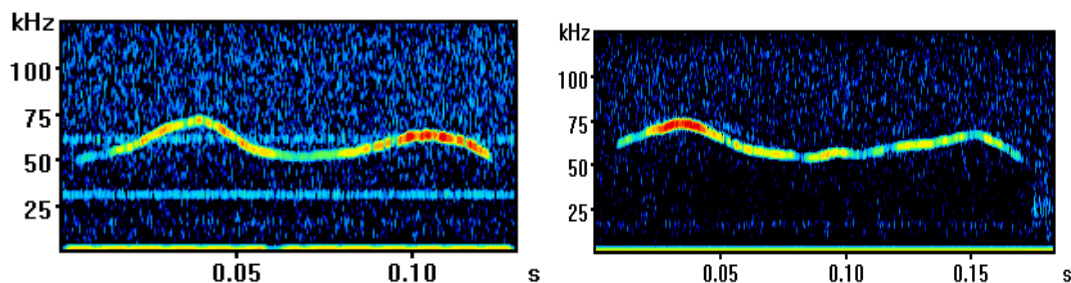
Εικόνα 2.2.3: Φασματογραφήματα των φωνημάτων της ομάδας «Ασύμμετρο λάμδα δεξιά».

	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 1	66.25	59
2	Rec 1	71.8	55
3	Rec 1	146.16	47
4	Rec 1	164.37	42
5	Rec 2	68.58	63
6	Rec 2	69.58	68
7	Rec 2	78.35	61
8	Rec 2	100.2	57
9	Rec 2	101.19	48
10	Rec 2	105.29	62
11	Rec 2	109.69	59
12	Rec 2	127.28	58
13	Rec 2	139.5	58
14	Rec 2	146.65	43
15	Rec 2	148.38	61
16	Rec 2	150.01	62
17	Rec 2	150.19	62
18	Rec 2	151.7	57

19	Rec 2	154.53	62
20	Rec 3	83.67	41
21	Rec 3	97.79	59
22	Rec 3	131.46	43
23	Rec 4	33.73	54
24	Rec 4	34.05	45
25	Rec 4	58.7	38
26	Rec 4	63.69	45
27	Rec 4	148.57	56
28	Rec 5	26.66	53
29	Rec 5	71.78	42

4. «Τύπου Μ»

Το φώνημα αυτό καταμετρήθηκε 136 φορές. Είναι φωνήματα όπου το σχήμα του τονικού ύψους που σχηματίζεται στο χρόνο που μοιάζει με το γράμμα Μ και συνήθως έχει μεγαλύτερη διάρκεια από τα προηγούμενα, μέχρι 180ms.



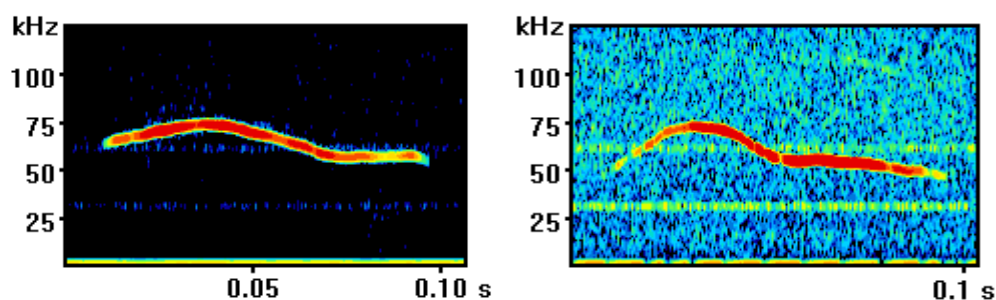
Εικόνα 2.2.4: Φασματογραφήματα των φωνημάτων της ομάδας «Τύπου Μ».

	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 1	111.13	115
2	Rec 1	115.62	139
3	Rec 2	74.81	136
4	Rec 2	108.65	149
5	Rec 2	149.08	171
6	Rec 2	238.71	130
7	Rec 3	85.61	119
8	Rec 3	104.1	115
9	Rec 3	113.35	111
10	Rec 3	151.93	126
11	Rec 3	157.77	111
12	Rec 4	30.03	118
13	Rec 4	37.16	143
14	Rec 4	39.81	113
15	Rec 4	53.48	113
16	Rec 4	90.33	183
17	Rec 4	279.15	148
18	Rec 4	339.26	150
19	Rec 5	25.29	103
20	Rec 5	43.7	113

21	Rec 5	63.98	98
22	Rec 5	92.71	110

5. «Τύπου Μ αριστερά»

Το φώνημα αυτό εμφανίστηκε 191 φορές και έχει τα χαρακτηριστικά του φωνήματος «τύπου λάμδα» με την διαφορά ότι στο δεύτερο μισό της διάρκειας του, το τονικό ύψος μένει σταθερό όπου διαρκεί για ακόμα μερικά ms.

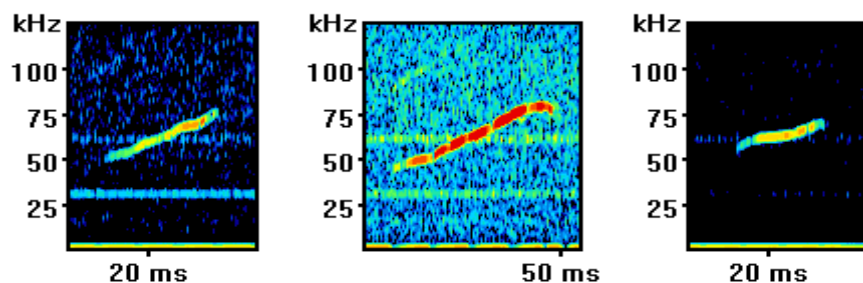


Εικόνα 2.2.5: Φασματογραφήματα των φωνημάτων της ομάδας «Τύπου Μ (αριστερά)».

	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 2	72.8	140
2	Rec 2	73.6	102
3	Rec 2	98.18	132
4	Rec 2	98.62	118
5	Rec 2	100.67	107
6	Rec 2	112.68	92
7	Rec 2	123.84	132
8	Rec 2	125.8	61
9	Rec 3	76.17	104
10	Rec 3	85.97	98
11	Rec 3	91.67	102
12	Rec 4	28.62	158
13	Rec 4	30.19	78
14	Rec 4	36.37	110
15	Rec 4	36.69	124
16	Rec 4	49.22	114
17	Rec 5	67.19	97
18	Rec 5	95.54	95
19	Rec 5	101.64	107
20	Rec 5	207	111
21	Rec 5	256	108

6. «Γραμμικό με θετική κλίση»

Η κατηγορία αυτή είχε στο σύνολο των ηχογραφήσεων 194 φωνήματα. Το τονικό ύψος των φωνημάτων αυτών μοιάζει σαν ευθείες με κλίση προς τα πάνω, συνήθως μικρής διάρκειας μέχρι 60 ms.

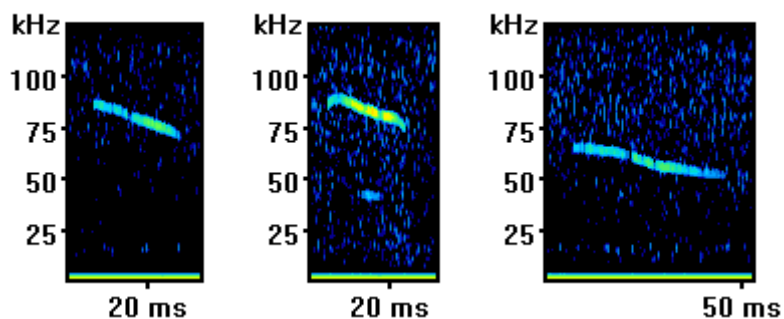


Εικόνα 2.2.6: Φασματογραφήματα των φωνημάτων της ομάδας «Γραμμικό με θετική κλίση».

	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 1	68.8	48
2	Rec 2	68.3	25
3	Rec 2	109.3	47
4	Rec 2	151.81	42
5	Rec 2	177.88	48
6	Rec 3	82.97	37
7	Rec 3	83.16	55
8	Rec 3	88.76	51
9	Rec 3	104	40
10	Rec 3	116.22	45
11	Rec 3	165.16	48
12	Rec 4	46.74	31
13	Rec 4	47.24	30
14	Rec 5	52.01	34
15	Rec 5	68.03	46
16	Rec 5	94.68	38
17	Rec 5	109.57	49

7. «Γραμμικό με αρνητική κλίση»

Το φώνημα αυτό εμφανίστηκε 76 φορές και έχει διάρκεια, μέχρι 240ms. Το τονικό ύψος των φωνημάτων αυτών μοιάζει σαν ευθείες με αρνητική κλίση.



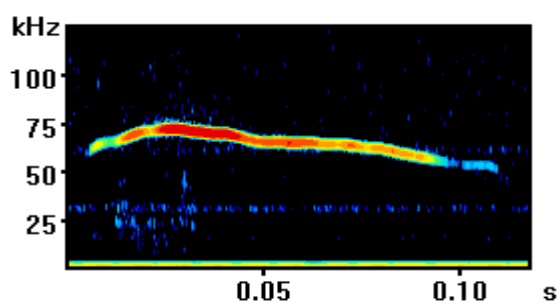
Εικόνα 2.2.7: Φασματογραφήματα των φωνημάτων της ομάδας «Γραμμικό με αρνητική κλίση».

	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 2	82.56	50
2	Rec 2	83.61	43
3	Rec 4	35.82	80
4	Rec 4	45.18	205
5	Rec 4	54.3	53
6	Rec 4	57.03	52
7	Rec 4	88.95	61
8	Rec 4	168.41	78
9	Rec 4	284.22	140
10	Rec 4	317.33	122
11	Rec 4	410.49	110
12	Rec 4	425.53	73
13	Rec 4	497.12	32
14	Rec 5	245.27	52
15	Rec 5	280.25	67
16	Rec 5	338.2	34

7 άλλες υποκατηγορίες:

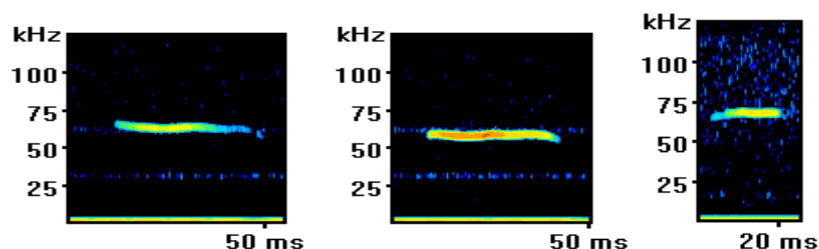
Αναγνωρίστηκαν επίσης 7 άλλες κατηγορίες επειδή σε αρκετές περιπτώσεις οι καμπύλες τονικού ύψους δεν μπορούσαν να υπαχθούν με σαφήνεια σε μία από τις προηγούμενες κατηγορίες.

Υποκατηγορία A: Η υποκατηγορία αυτή διακρίνεται από το γεγονός ότι ενώ μοιάζει με τη "Ασύμμετρο Λάμδα αριστερά», δεν τάχθηκε σαν μια κατηγορία για το γεγονός ότι στην αρχή το φώνημα ανεβαίνει με γραμμικά θετική κλίση, ενώ στην "Ασύμμετρο Λάμδα αριστερά» ανεβαίνει σαν μια ημιτονοειδές συνάρτηση.



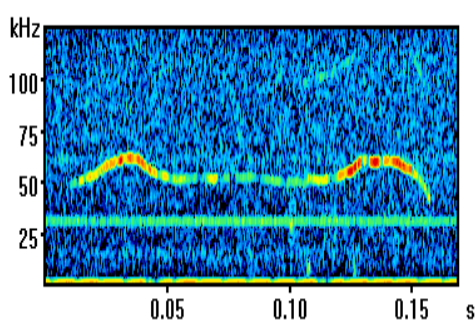
	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 1	56.88	66
2	Rec 1	84.87	119
3	Rec 2	119.83	118
4	Rec 2	138.67	100
5	Rec 3	104.27	89
6	Rec 3	108.74	98
7	Rec 3	153.64	105
8	Rec 4	34.48	91
9	Rec 4	35.21	150
10	Rec 4	35.57	147
11	Rec 4	40.16	135
12	Rec 4	44.66	116
13	Rec 4	54.42	118
14	Rec 4	395.33	84
15	Rec 5	76.47	113
16	Rec 5	88.97	99
17	Rec 5	108.16	116

Υποκατηγορία Β: Το φασματογράφημα της κατηγορίας αυτής μοιάζει σαν μια ευθεία, παρόλα αυτά οι καμπύλες του τονικού ύψους (Βλέπε ενότητα 2.3) δεν μοιάζουν καθόλου μεταξύ τους καθώς η συχνότητα δεν διαμορφώνεται στο χρόνο με κάποια συγκεκριμένη μορφή.



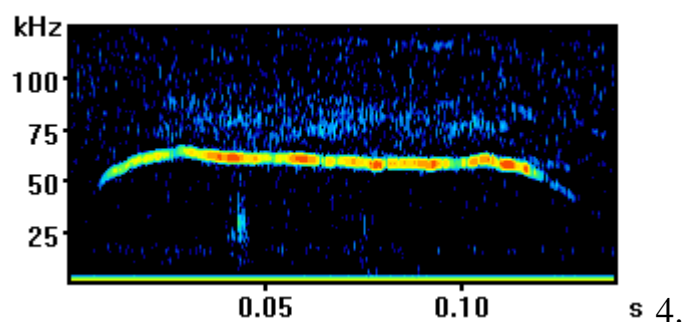
	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 1	6.5	142
2	Rec 1	6.7	162
3	Rec 1	94.62	109
4	Rec 1	148.97	67
5	Rec 2	96.73	28
6	Rec 2	99.33	51
7	Rec 3	69.09	88
8	Rec 3	142.11	85
9	Rec 4	38.99	40
10	Rec 4	48.73	26
11	Rec 4	105.66	63
12	Rec 4	311.36	60
13	Rec 4	329.8	57

Υποκατηγορία Γ: Τα φωνήματα αυτά μοιάζουν με τα φωνήματα της κατηγορίας «Τύπου Μ» με την διαφορά ότι στο μέσο του φωνήματος παρουσιάζεται σταθερότητα στην συχνότητα για κάποιο χρονικό διάστημα.



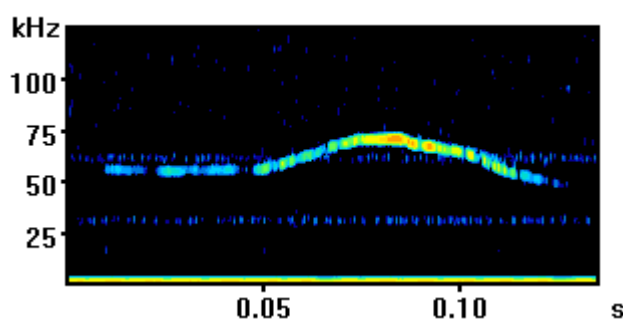
	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 1	7.6	169
2	Rec 3	15.34	139
3	Rec 3	143.85	155
4	Rec 4	184.59	181
5	Rec 4	311.88	223

Υποκατηγορία Δ: Τα φωνήματα αυτά παρουσιάζουν μια άνοδο της συχνότητας με γραμμικά θετική κλίση όπου στη συνέχεια εξελίσσεται σαν μια ευθεία και στο τέλος κατεβαίνει η συχνότητα με γραμμικά αρνητική κλίση.



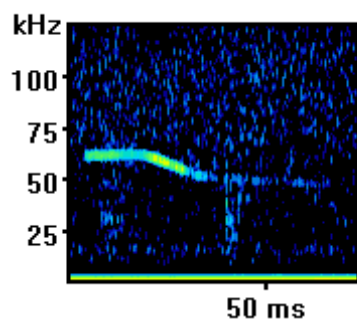
	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 1	53.24	99
2	Rec 4	34.88	152
3	Rec 4	51.31	117
4	Rec 5	308.65	139

Υποκατηγορία Ε: Η υποκατηγορία αυτή μοιάζει με την «Τύπου λάμδα», μόνο που στην αρχή του φωνήματος μέχρι το μέσο περίπου παρουσιάζεται μια σταθερότητα στην συχνότητα. Στην συνέχεια το φώνημα εξελίσσεται σαν ένα φώνημα «Τύπου λάμδα».



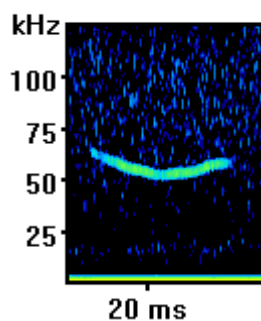
	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 2	74.01	129
2	Rec 2	95.63	86
3	Rec 4	39.54	67
4	Rec 4	445.1	72
5	Rec 5	74	122
6	Rec 5	409.27	106

Υποκατηγορία ΣΤ: Τα φωνήματα αυτά παρουσιάστηκαν πολύ λίγες φορές στο σύνολο των ηχογραφήσεων και στο πρώτο μισό παρουσιάζεται μια σταθερότητα της συχνότητας και στο δεύτερο μισό εξελίσσεται σαν ένα φώνημα «Γραμμικό με αρνητική κλίση».



	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 1	85.57	36
2	Rec 2	92.5	73
3	Rec 3	114.49	87
4	Rec 4	26.1	64
5	Rec 4	120.29	74
6	Rec 4	159.81	74
7	Rec 4	184.84	38
8	Rec 5	92.5	63

Υποκατηγορία Ζ: Τα φωνήματα αυτά ξεκινούν με μια κάθοδο της συχνότητας όπου στην μέση περίπου το φώνημα ξεκινά μια άνοδο με την τελική συχνότητα να είναι περίπου ίση με την αρχική.

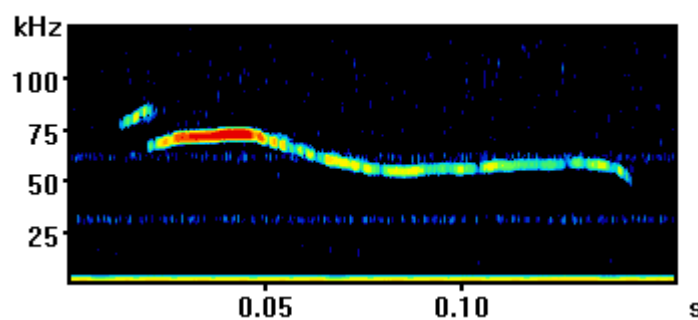


	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 4	33.84	50

B) Κατηγορία απότομης μετάβασης συχνότητας (πάνω ή κάτω)

1. «Απότομης μετάβασης συχνότητας τύπου M, αριστερά»

Σε αυτή την ομάδα ξεκινά συνήθως το φώνημα με ένα πολύ σύντομο φώνημα διάρκειας 5 - 15 ms και στην συνέχεια διακόπτεται η συχνότητα. Την ίδια χρονική στιγμή ξεκινά από άλλο σημείο όπου συνεχίζει με την μορφή που έχουν τα φωνήματα «Τύπου M, αριστερά» της πρώτης κατηγορίας. Η διάρκεια αυτών των φωνημάτων είναι κατά μέσο όρο 150 ms.

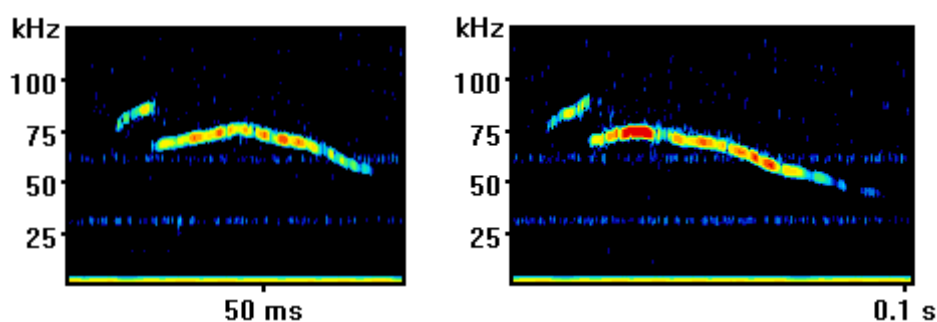


Εικόνα 2.2.8: Φασματογράφημα των φωνημάτων της ομάδας «Απότομης μετάβασης συχνότητας Τύπου M αριστερά».

	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 1	0.7	197
2	Rec 1	110.63	139
3	Rec 1	167.41	157
4	Rec 2	96.09	155
5	Rec 4	278.46	157
6	Rec 4	428.06	122
7	Rec 5	35.41	118

2. «Απότομης μετάβασης συχνότητας ασύμμετρο λάμδα, αριστερά»

Στην ομάδα «Απότομης μετάβασης συχνότητας, Ασύμμετρο λάμδα αριστερά» ξεκινά και πάλι το φώνημα με ένα πολύ σύντομο φώνημα διάρκειας 5 - 15 ms διάρκειας μερικών ms και στην συνέχεια διακόπτεται η συχνότητα. Την ίδια χρονική στιγμή ξεκινά από άλλο σημείο όπου συνεχίζει με την μορφή που έχουν τα φωνήματα «Ασύμμετρο λάμδα αριστερά» της πρώτης κατηγορίας. Η διάρκεια αυτών των φωνημάτων είναι κατά μέσο όρο 90 με 100 ms.

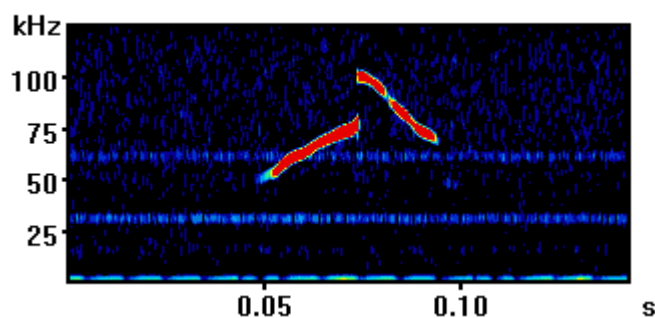


Εικόνα 2.2.9: Φασματογραφήματα των φωνημάτων της ομάδας «Απότομης μετάβασης συχνότητας ασύμμετρο λάμδα αριστερά»

	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 2	78.7	76
2	Rec 2	78.82	79
3	Rec 2	95.63	86
4	Rec 2	96.29	122
5	Rec 2	124.01	102
6	Rec 4	328.36	65

3. «Απότομης μετάβασης συχνότητας 1»

Στην ομάδα «Απότομης μετάβασης συχνότητας 1» το τονικό ύψος του φωνήματος εξελίσσεται στον χρόνο σαν ευθεία με θετική κλίση όπως είναι το φώνημα «Γραμμικό με θετική κλίση» της πρώτης κατηγορίας όπου στην μισή περίπου διάρκεια διακόπτεται η συχνότητα και συνεχίζει από μια πιο ψηλή που εξελίσσεται στον χρόνο σαν ένα φώνημα τύπου «Γραμμικό με αρνητική κλίση» της πρώτης κατηγορίας. Η διάρκεια αυτών των φωνημάτων είναι κατά μέσο όρο 60 με 80 ms και το συχνοτικό εύρος 40 KHz με 120 KHz.

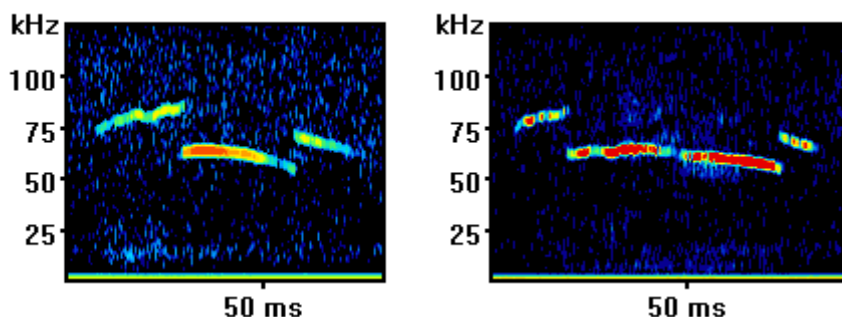


Εικόνα 2.2.10: Φασματογράφημα των φωνημάτων της ομάδας «Απότομης μετάβασης συχνότητας 1».

	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 3	66.86	78
2	Rec 3	83.76	69
3	Rec 3	97.43	72
4	Rec 3	118.54	65
5	Rec 3	118.66	62
6	Rec 4	240.76	78

4. «Απότομης μετάβασης συχνότητας 2»

Στην ομάδα «Απότομης μετάβασης συχνότητας 2» το τονικό ύψος διακόπτεται δύο φορές και τα φωνήματα έχουν διάρκειες 50 με 100 ms. Το φάσμα κυμαίνεται μεταξύ των συχνοτήτων 50 kHz και 100 kHz.

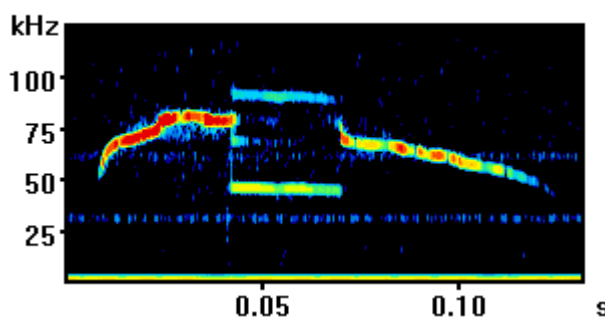


Εικόνα 2.2.11: Φασματογραφήματα των φωνημάτων της ομάδας «Απότομης μετάβασης συχνότητας 2».

	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 4	328.8	57
2	Rec 4	329.1	85
3	Rec 4	331.79	92
4	Rec 4	331.94	80
5	Rec 4	335	68

5. «Απότομης μετάβασης συχνότητας 3»

Στην ομάδα «Απότομης μετάβασης συχνότητας 3» το τονικό ύψος διακόπτεται δύο φορές όπως και στο φώνημα «Απότομης μετάβασης συχνότητας 2» μόνο που μετά την πρώτη διακοπή, το φώνημα συνεχίζει από πιο χαμηλή συχνότητα η οποία έχει περισσότερες της μίας φασματικές συνιστώσες. Τα φωνήματα έχουν διάρκειες 80 με 140 ms και το φάσμα κυμαίνεται μεταξύ των συχνοτήτων 30 kHz με 100 kHz.



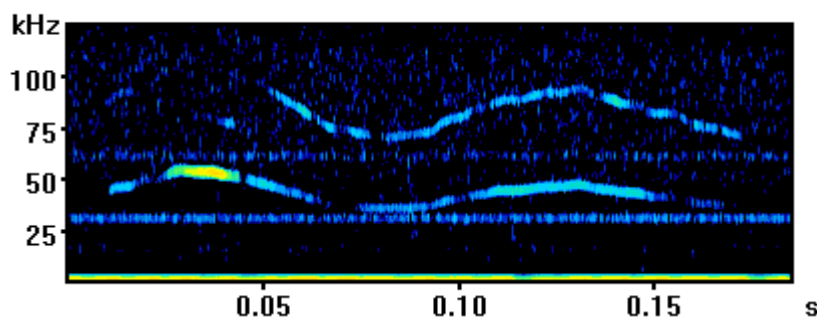
Εικόνα 2.2.12: Φασματογράφημα των φωνημάτων της ομάδας «Απότομης μετάβασης συχνότητας 3».

	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 1	54.33	87
2	Rec 1	54.56	101
3	Rec 1	85.97	131
4	Rec 1	142.74	132
5	Rec 2	79.54	132
6	Rec 4	375.9	94

Γ) Κατηγορία σύνθετου συχνοτικού περιεχομένου

1. Ομάδα «Διαμορφωμένης συχνότητας»

Στην ομάδα «διαμορφωμένης συχνότητας» είναι τα φωνήματα που έχουν περισσότερες της μίας φασματικές συνιστώσες, και το σχήμα του τονικού ύψους στον χρόνο μοιάζει με της ομάδας «Τύπου M» της πρώτης κατηγορίας. Έχουν διάρκεια 100 με 300 ms και το φάσμα κυμαίνεται μεταξύ των συχνοτήτων 30 kHz με 100 kHz.



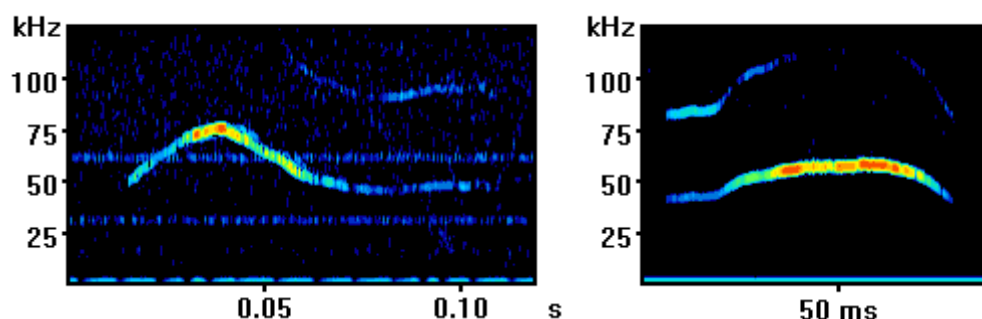
Εικόνα 2.2.13: Φασματογράφημα των φωνημάτων της ομάδας «Διαμορφωμένης συχνότητας».

	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 1	22.97	113
2	Rec 1	23.12	177
3	Rec 1	97.91	158
4	Rec 3	119.72	133
5	Rec 3	120.04	170
6	Rec 3	138.91	174
7	Rec 4	27.55	111
8	Rec 4	27.67	147
9	Rec 4	241.06	211
10	Rec 4	243.25	207
11	Rec 4	253.49	203
12	Rec 4	265.82	134
13	Rec 4	273.79	148
14	Rec 4	321.06	150
15	Rec 4	330.82	149
16	Rec 4	395.09	124
17	Rec 5	15.62	144

18	Rec 5	20.21	270
19	Rec 5	62.89	91
20	Rec 5	70.49	195
21	Rec 5	228.47	113
22	Rec 5	228.62	136
23	Rec 5	228.91	126
24	Rec 5	229.07	146
25	Rec 5	230.85	121
26	Rec 5	234.045	115

2. Ομάδα «Απλά»

Στην ομάδα «Απλά» είναι τα φωνήματα που έχουν περισσότερες της μίας φασματικές συνιστώσες, και το σχήμα του τονικού ύψους στον χρόνο μοιάζει με τις ομάδες «Τύπου Μ αριστερά» και «Ασύμμετρο λάμδα δεξιά» της πρώτης κατηγορίας. Έχουν διάρκεια 60 με 200 ms και το φάσμα κυμαίνεται μεταξύ των συχνοτήτων 25 και 120 KHz.



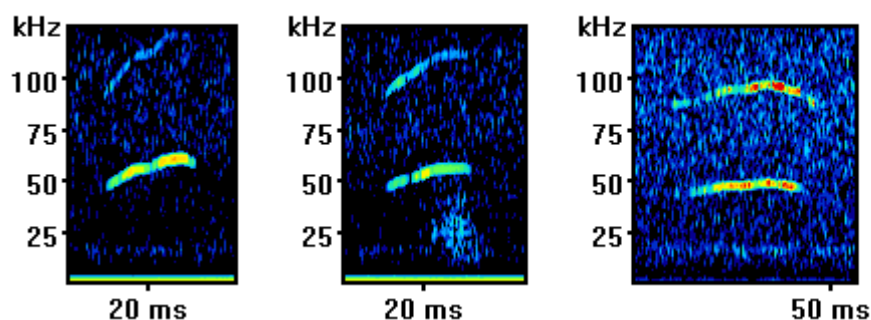
Εικόνα 2.2.14: Φασματογραφήματα των φωνημάτων της ομάδας «Απλά».

	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 1	22.29	120
2	Rec 1	23.85	103
3	Rec 1	32.13	113
4	Rec 1	32.45	92
5	Rec 1	32.67	69
6	Rec 1	32.88	113
7	Rec 2	141.07	136
8	Rec 3	67.08	81
9	Rec 3	81.45	71
10	Rec 3	86.99	119
11	Rec 3	87.14	92
12	Rec 3	132	95
13	Rec 4	217.35	116
14	Rec 4	394.95	90
15	Rec 5	63.02	91
16	Rec 5	228.79	76
17	Rec 5	229.39	111
18	Rec 5	229.54	89
19	Rec 5	229.68	98

20	Rec 5	233.89	102
21	Rec 5	297.39	70

3. «Γραμμικό με θετική κλίση»

Στην ομάδα «Γραμμικό με θετική κλίση» είναι τα φωνήματα που έχουν περισσότερες της μίας φασματικές συνιστώσες, και το σχήμα του τονικού ύψους στον χρόνο μοιάζει με την ομάδα «Γραμμικό με θετική κλίση» της πρώτης κατηγορίας. Έχουν διάρκεια 60 με 90 ms και το φάσμα κυμαίνεται μεταξύ των συχνοτήτων 30 και 120 KHz.

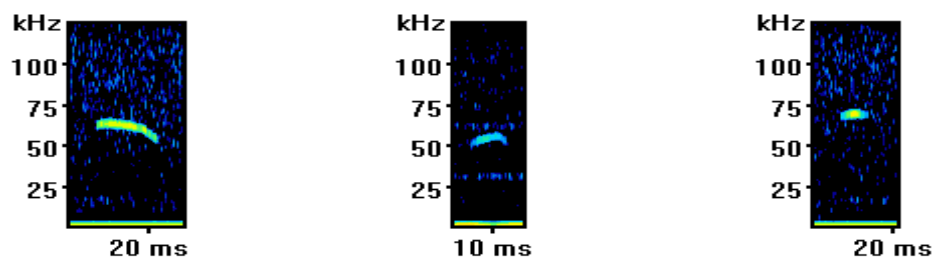


Εικόνα 2.2.15: Φασματογραφήματα των φωνημάτων της ομάδας «Γραμμικό με θετική κλίση».

	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 3	67.19	57
2	Rec 3	67.30	64
3	Rec 3	81.7	56
4	Rec 3	83.07	44
5	Rec 4	246.23	43
6	Rec 4	246.32	47
7	Rec 5	234.54	56

Δ) Σύντομοι ήχοι

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα φωνήματα πολύ μικρής διάρκειας της τάξης των 5 με 15ms. Καταμετρήθηκαν 139 τέτοια φωνήματα παρόλα αυτά, στο υλικό υπήρχαν παραπάνω.



Εικόνα 2.2.16: Φασματογραφήματα των φωνημάτων της κατηγορίας «Σύντομοι ήχοι»

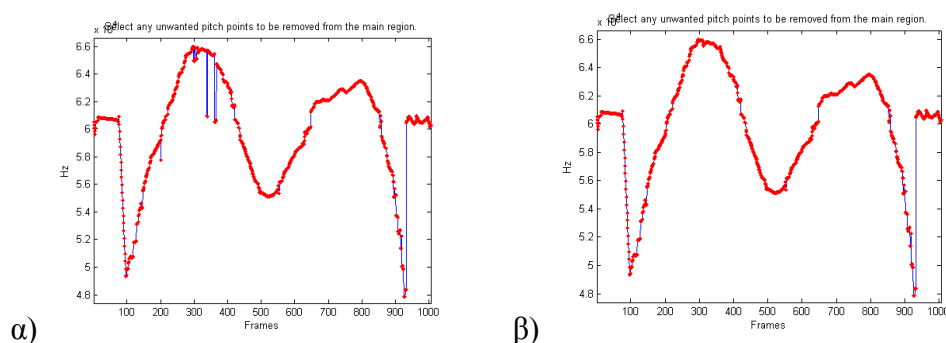
	Αριθμός ηχογράφησης	Χρόνος στο αρχείο (sec)	Διάρκεια (ms)
1	Rec 1	150.45	18
2	Rec 1	164.88	24
3	Rec 2	147.5	27
4	Rec 4	36.63	30
5	Rec 4	45.85	22
6	Rec 4	179.7	25
7	Rec 4	509.47	17
8	Rec 5	147.51	21

2.3 Οι καμπύλες τονικού ύψους σαν ξεχωριστά δεδομένα

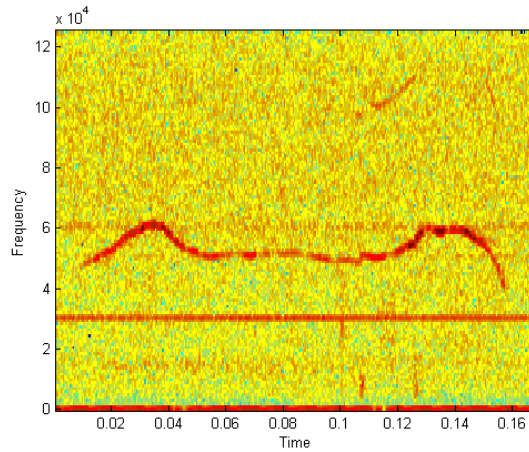
Σε αυτή την ενότητα θα εξηγήσουμε πως από το ηχητικό σήμα εξήχθησαν οι καμπύλες τονικού ύψους των φωνήσεων της κάθε κατηγορίας. Οι καμπύλες τονικού ύψους ενός σήματος είναι ένα άλλο ψηφιακό σήμα που αποτελείται από δύο πίνακες. Στον ένα πίνακα βρίσκονται ο αριθμός των δειγμάτων και στον άλλο πίνακα η τιμή της συχνότητας αντίστοιχα. Όταν το σήμα μετασχηματιστεί σε αυτή την μορφή τότε είναι πολύ εύκολο να συγκριθούν μεταξύ τους τα σήματα. Στα σήματα αυτά μπορούν να γίνουν διάφορες επεξεργασίες όπως η μετατροπή του καθενός σε συναρτησιακά δεδομένα και μετά εύρεση για κάθε κατηγορία μιας αντιπροσωπευτικής συνάρτησης έτσι ώστε τελικά να υπάρχει μία μορφή που να αντιπροσωπεύει την εκάστοτε κατηγορία. Σε αυτή την πτυχιακή εργασία δεν προχωρήσαμε μέχρι τέλος αυτή τη διαδικασία, αλλά περιοριστήκαμε μόνο στην εξαγωγή των καμπυλών του τονικού ύψους από τις ηχογραφήσεις. Η μελέτη μπορεί να συνεχιστεί για να εφαρμοστούν αυτοί οι αλγόριθμοι που θα εκτελούν την παραπάνω διαδικασία ώστε να προσδιοριστούν καλύτερα οι κατηγορίες.

Η εξαγωγή των καμπυλών του τονικού ύψους βασίστηκε στον FFT και σε μία ολίσθηση του για μεγαλύτερη ακρίβεια. Ο αλγόριθμος υλοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab και κατασκευάστηκε από τον κ. Σπύρο Κουζούπη. Σε κάθε παράθυρο που κάνει FFT, δεσμεύει την τιμή της συχνότητας αυτής που έχει την μεγαλύτερη ένταση. Συνήθως αυτή η συχνότητα είναι η θεμέλιος και έτσι με αυτό τον τρόπο σχηματίζεται η μορφή της θεμέλιου συχνότητας στο χρόνο. Στην περίπτωση των υπερηχητικών φωνημάτων των ποντικιών που μελετήσαμε, στις κατηγορίες Α, Β και Δ τα φωνήματα δεν έχουν αρμονικούς. Υπάρχει επίσης η επιλογή να αφαιρούνται κάποια σημεία από τις καμπύλες εάν έγινε κάποιο λάθος από το πρόγραμμα (με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ασυνέχειες εκεί που πραγματικά δεν υπάρχουν). Αυτό βέβαια δεν έγινε συχνά. Κάτι τέτοιο φαίνεται στην Εικόνα 2.2.1α, ενώ στην Εικόνα 2.2.1β φαίνεται το σήμα μετά τη διόρθωση.

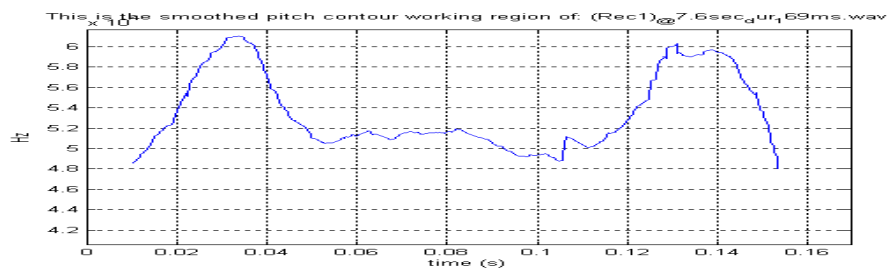
Στο πρόγραμμα πρέπει να δώσει ο χρήστης κάποια δεδομένα έτσι ώστε να υπάρχει έλεγχος ως προς την ανάλυση που θα έχει το FFT. Τα δεδομένα αυτά είναι ο αριθμός των δειγμάτων που θα δεσμεύσει για να κάνει τον μετασχηματισμό και τον αριθμό των δειγμάτων που θα χρησιμοποιήσει ως βήμα. Πρέπει επίσης ο χρήστης να δηλώσει ένα εύρος τιμών της συχνότητας που θα επεξεργαστεί το πρόγραμμα για να διευκολύνει το πρόγραμμα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας.



Εικόνα 2.3.1: Αριστερά φαίνεται η καμπύλη τονικού ύψους στο αρχικό στάδιο με κάποιες ασυνέχειες στην καμπύλη και δεξιά το διορθωμένο σήμα.

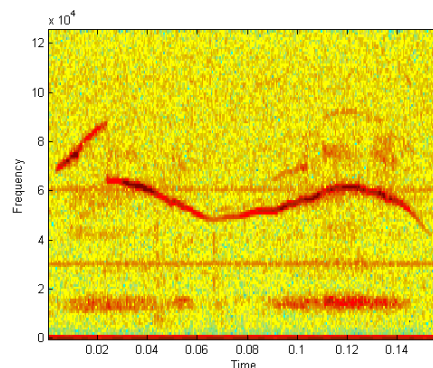


α)

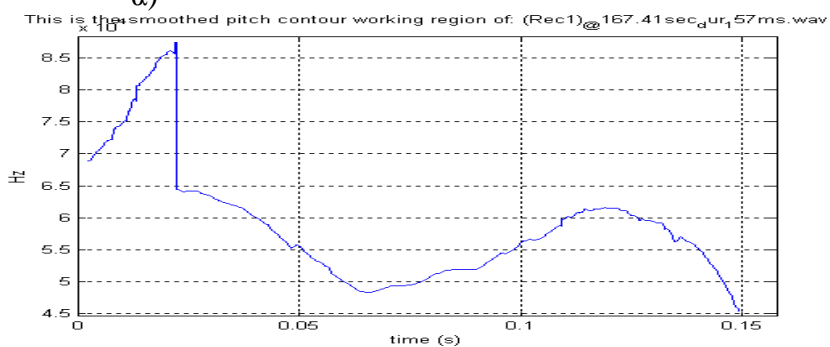


β)

A) Κατηγορία διαμορφωμένης συχνότητας



α)



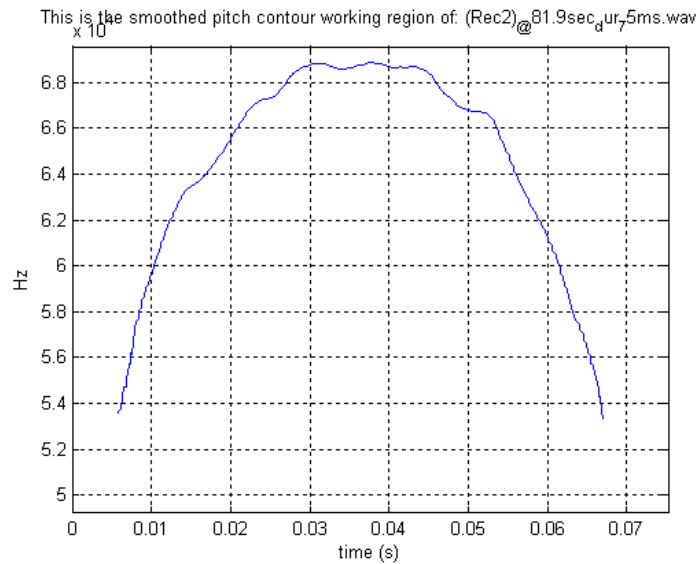
β)

B) Κατηγορία απότομης μετάβασης συχνότητας (πάνω ή κάτω)

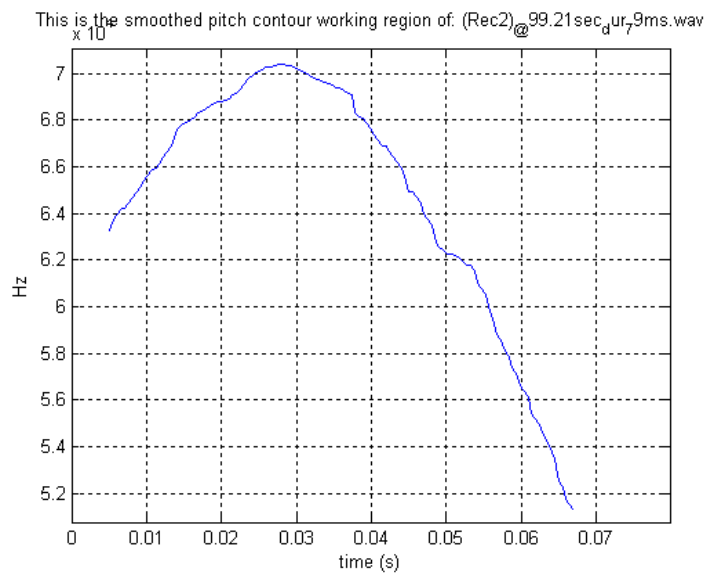
Εικόνα 2.3.2: Φαίνονται σε δύο παραδείγματα από τις κατηγορίες A και B α) το φασματογράφημα του σήματος και β) η καμπύλη του τονικού ύψους.

Πιο κάτω φαίνονται οι καμπύλες του τονικού ύψους όλων των κατηγοριών:

A) Κατηγορία διαμορφωμένης συχνότητας

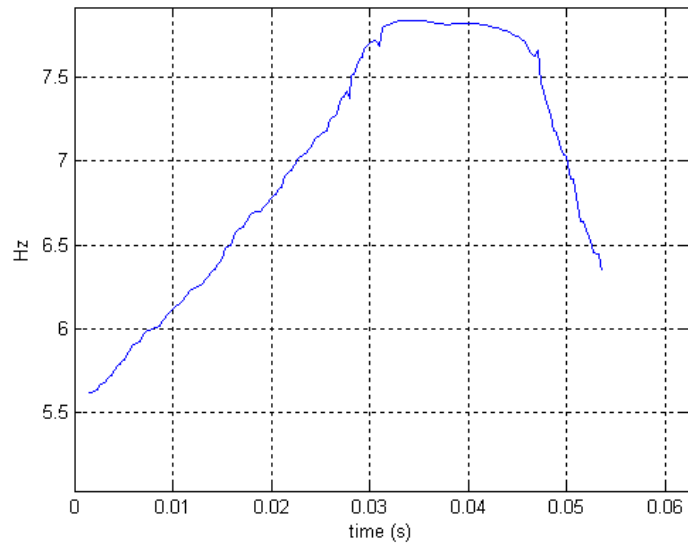


1. «Τύπου Λάμδα»



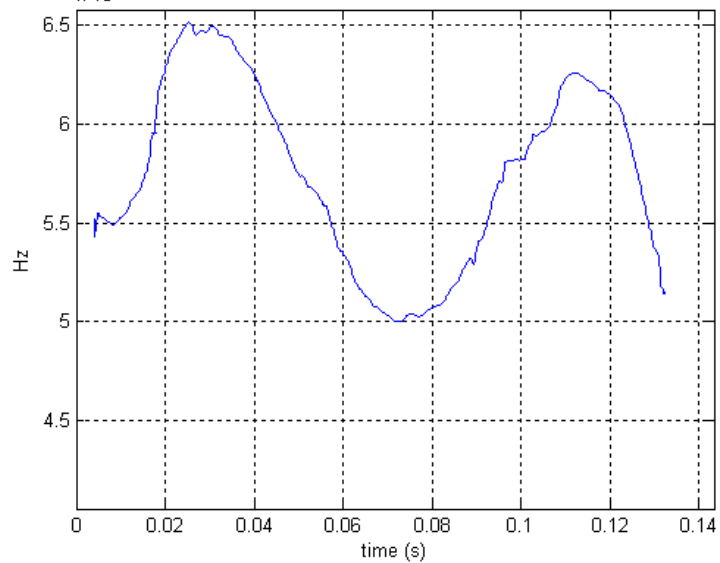
2. «Ασύμμετρο Λάμδα αριστερά»

This is the smoothed pitch contour working region of: (Rec2)_105.29sec_u_r_6.ms.wav
x 10

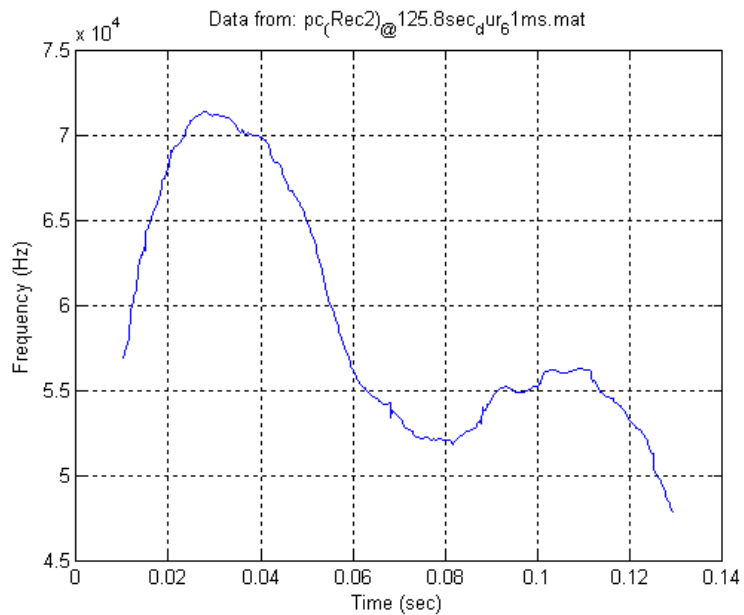


3. «Ασύμμετρο Λάμδα δεξιά»

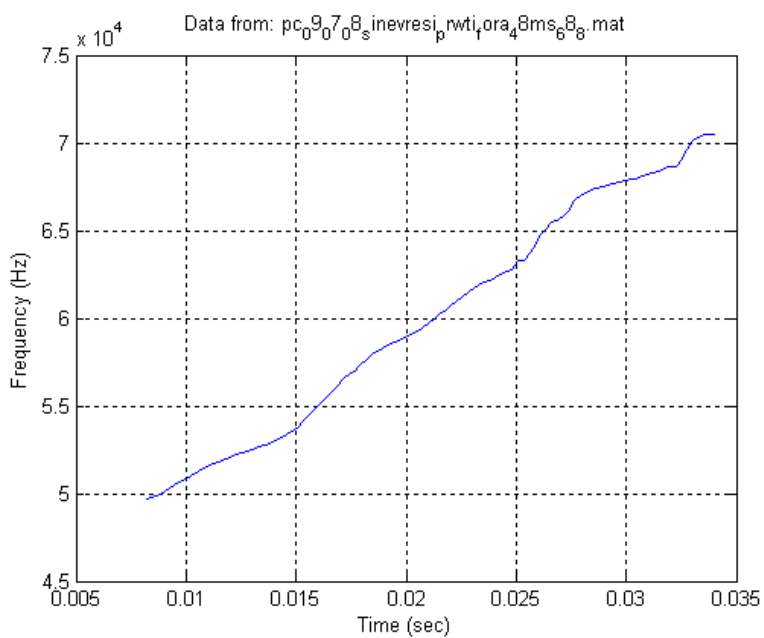
This is the smoothed pitch contour working region of: (Rec4)_37.16sec_u_r_1.43ms.wav
x 10



4. «Τύπου Μ»

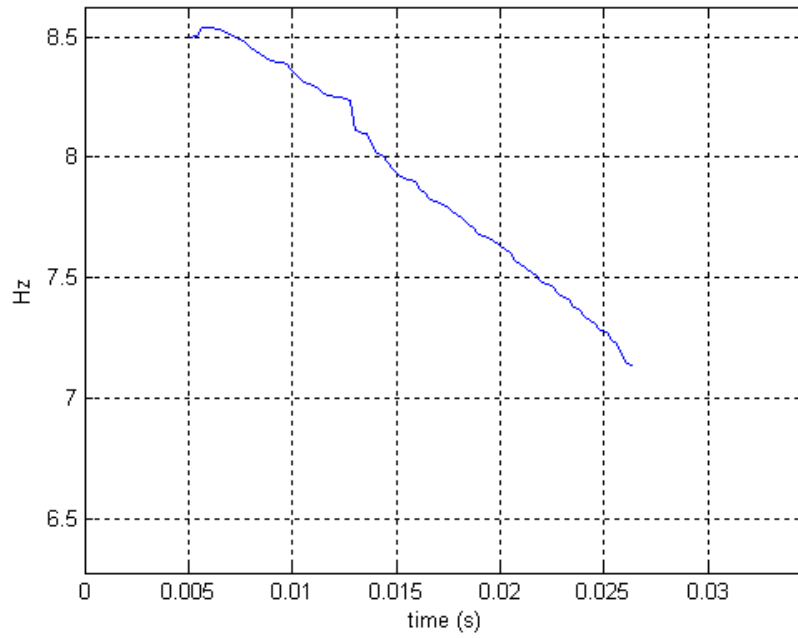


5. «Τύπου Μ αριστερά»



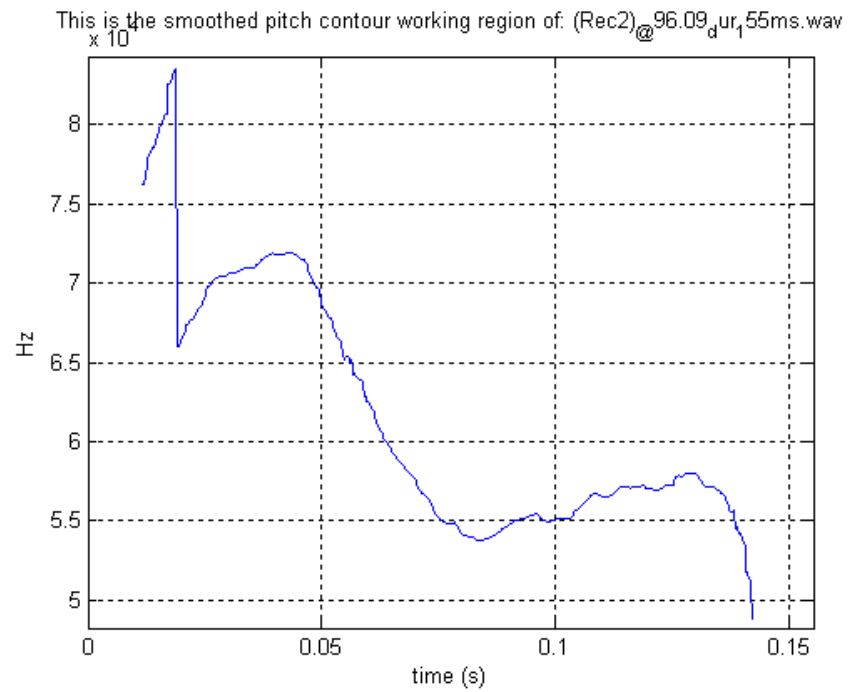
6. «Γραμμικό με θετική κλίση»

This is the smoothed pitch contour working region of: (Rec5)_338.2sec_d_34ms.wav

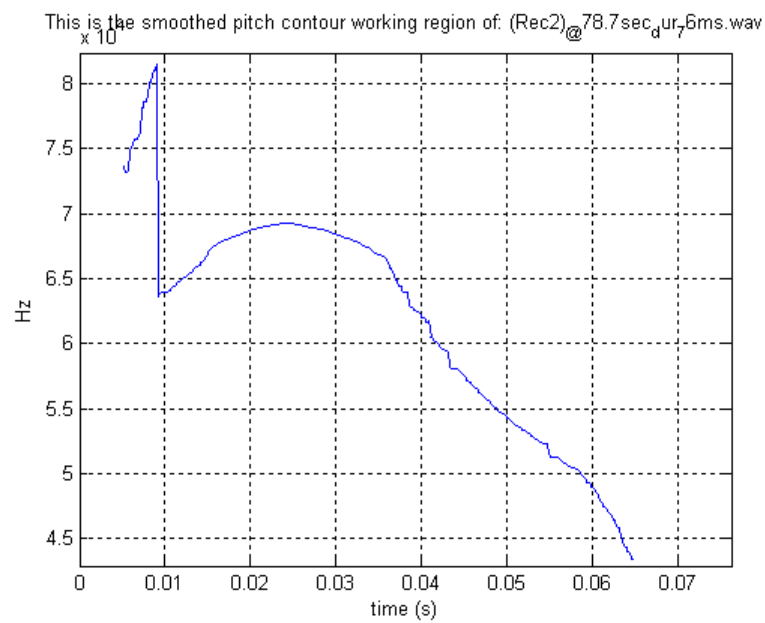


7. «Γραμμικό με αρνητική κλίση»

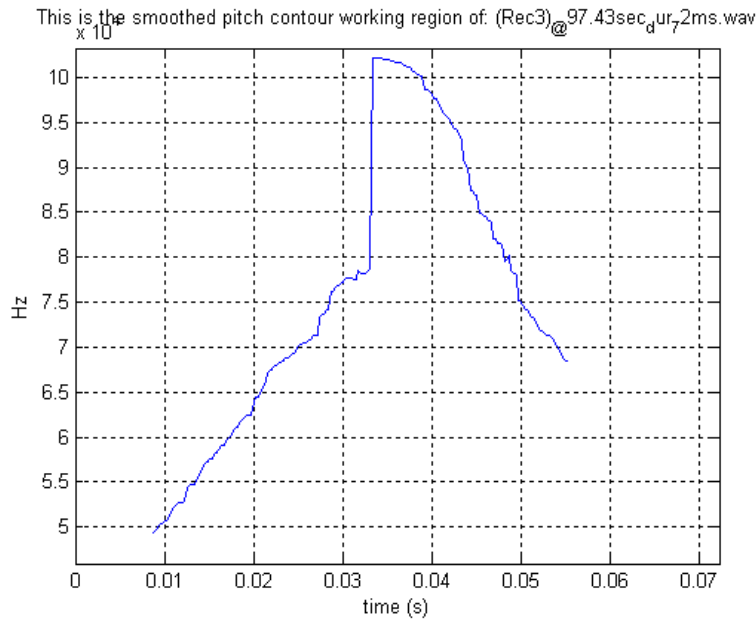
Β) Κατηγορία απότομης μετάβασης συχνότητας (πάνω ή κάτω)



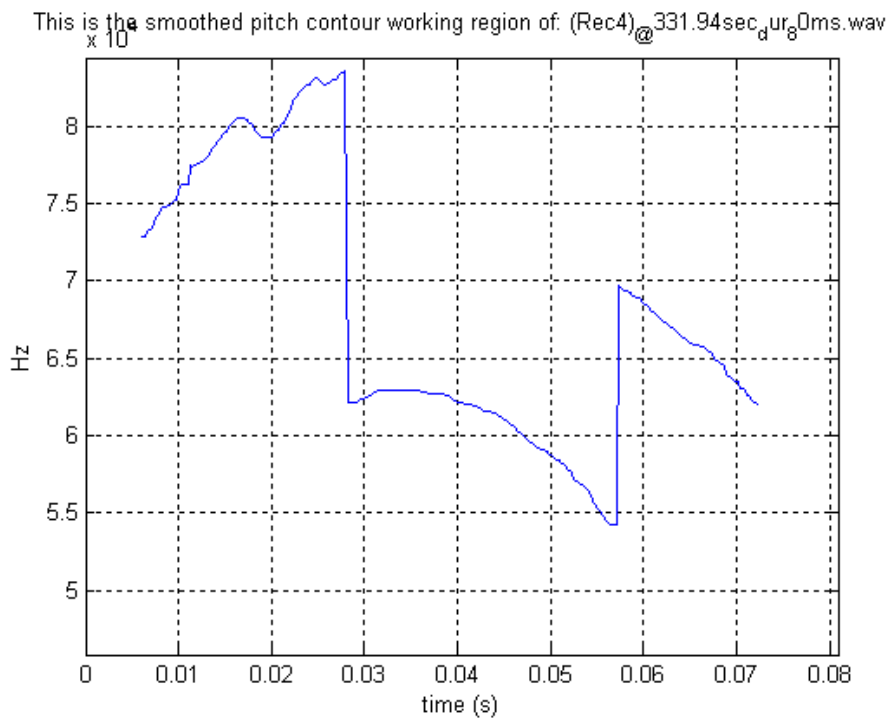
1. «Τύπου Μ αριστερά»



2. «Ασύμμετρο λάμδα αριστερά»



3. Απότομης μετάβασης συχνότητας 1

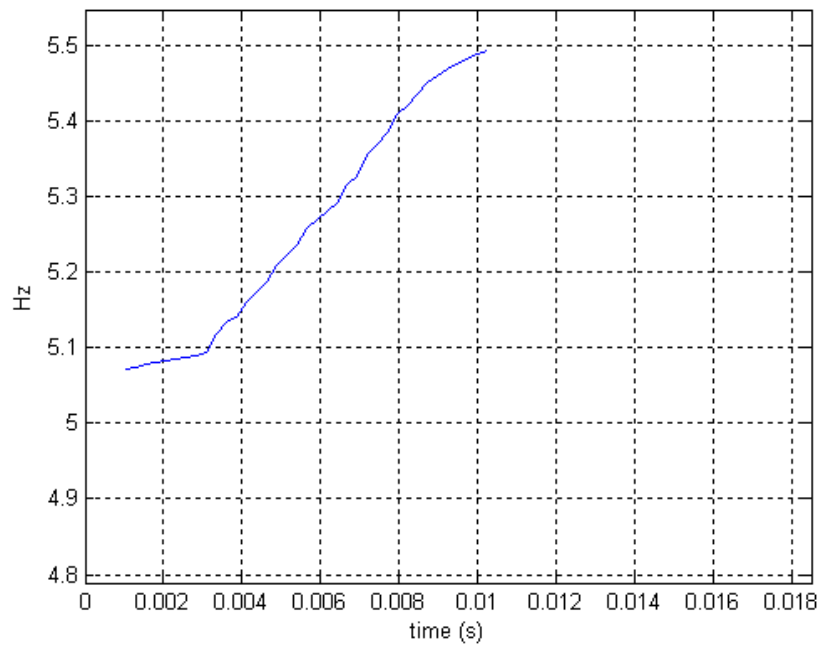


4. Απότομης μετάβασης συχνότητας 2

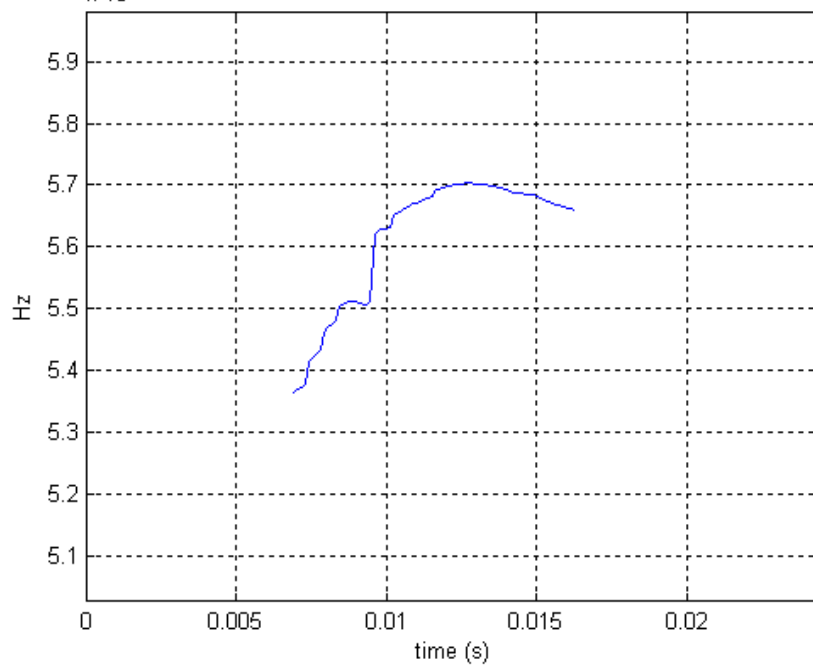
Στην ομάδα «5. Απότομης μετάβασης συχνότητας 3» δεν βγάλαμε τις καμπύλες τονικού ύψους γιατί την μέση περίπου του φωνήματος υπάρχουν δύο συχνότητες και κατ' επέκταση δεν μπορούσαν να απεικονιστούν οι καμπύλες τονικού ύψους.

Δ) Σύντομοι ήχοι

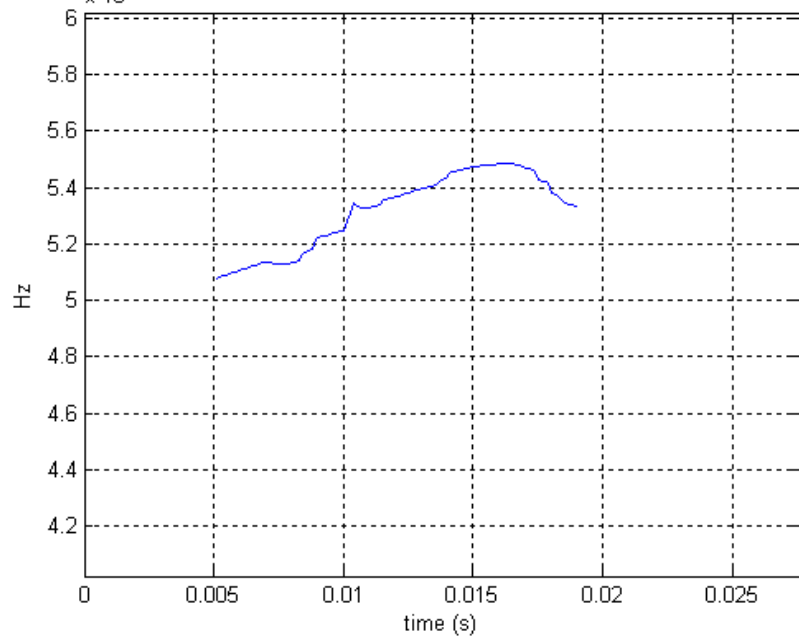
This is the smoothed pitch contour working region of: (Rec1)_{150.45sec_d1} 8ms.wav



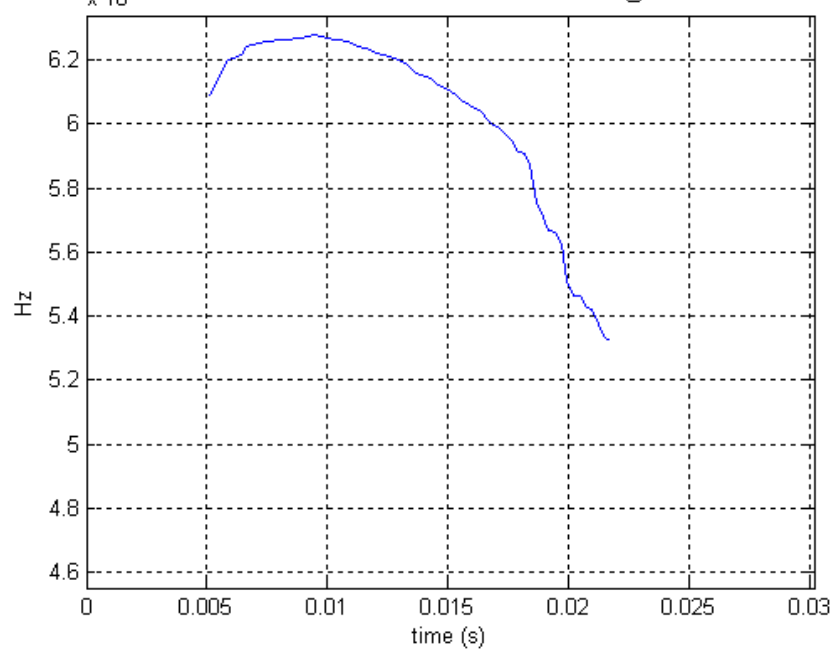
This is the smoothed pitch contour working region of: (Rec1)_{164.88sec_d2} 4ms.wav



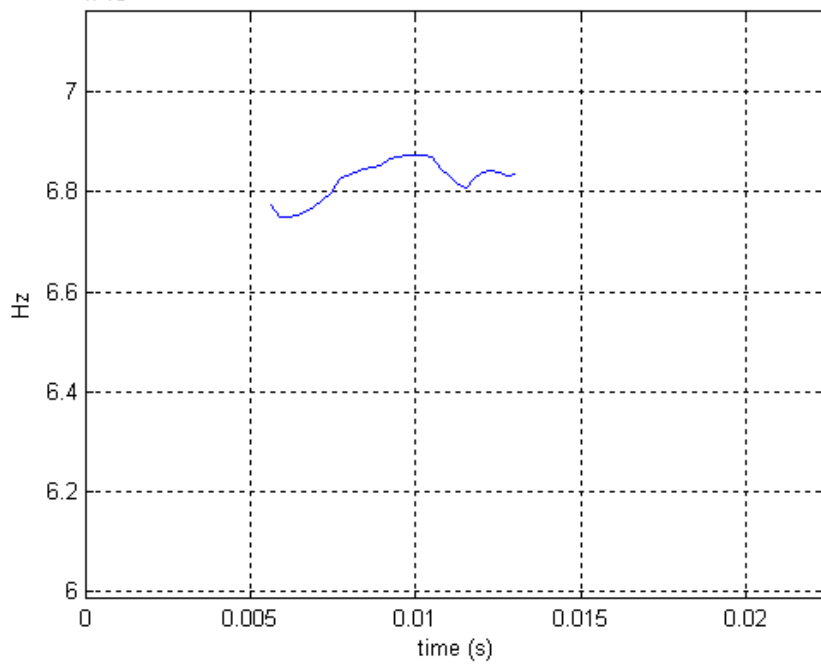
This is the smoothed pitch contour working region of: (Rec2)_147.5sec_dur_27ms.wav



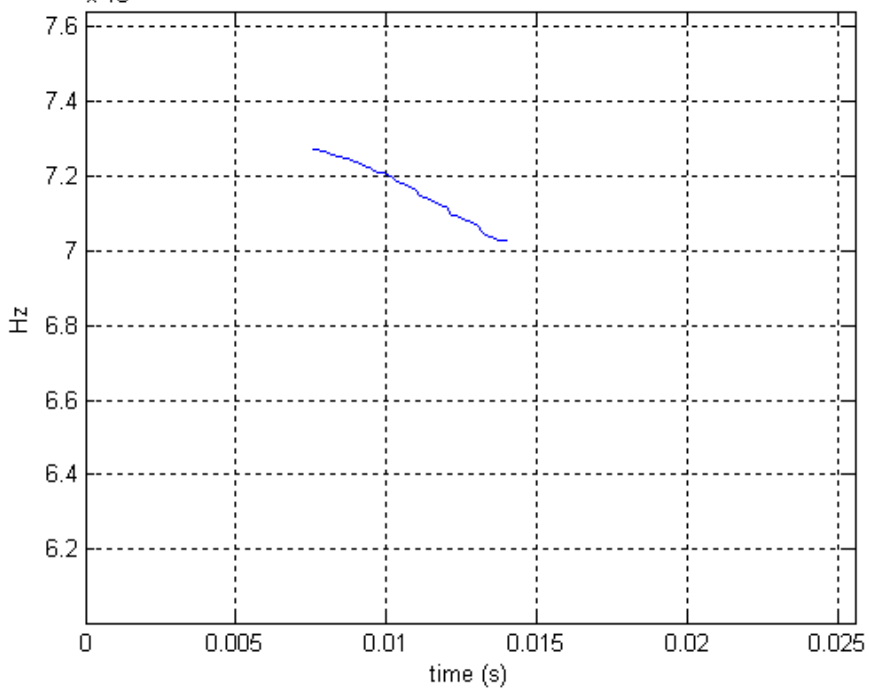
This is the smoothed pitch contour working region of: (Rec4)_36.63sec_dur_30ms.wav



This is the smoothed pitch contour working region of: (Rec4)_45.85sec_ur_2ms.wav

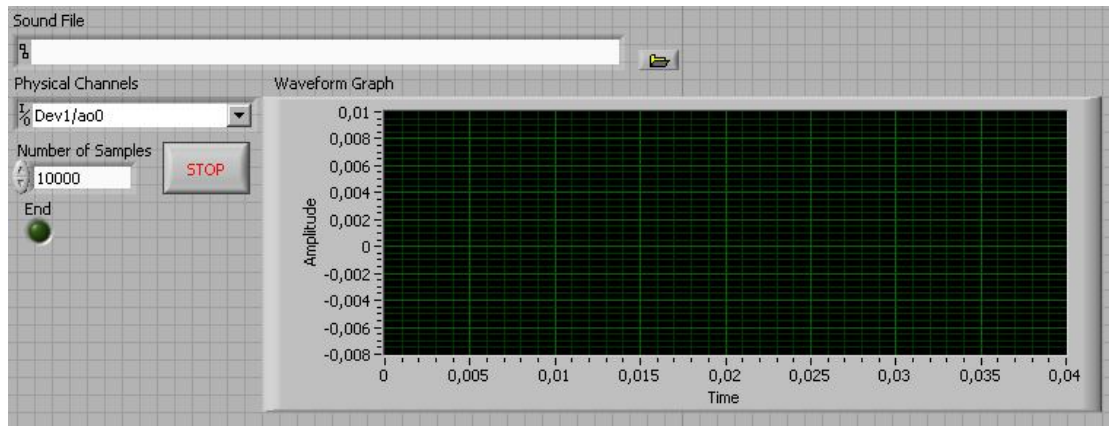


This is the smoothed pitch contour working region of: (Rec4)_179.7sec_ur_5ms.wav

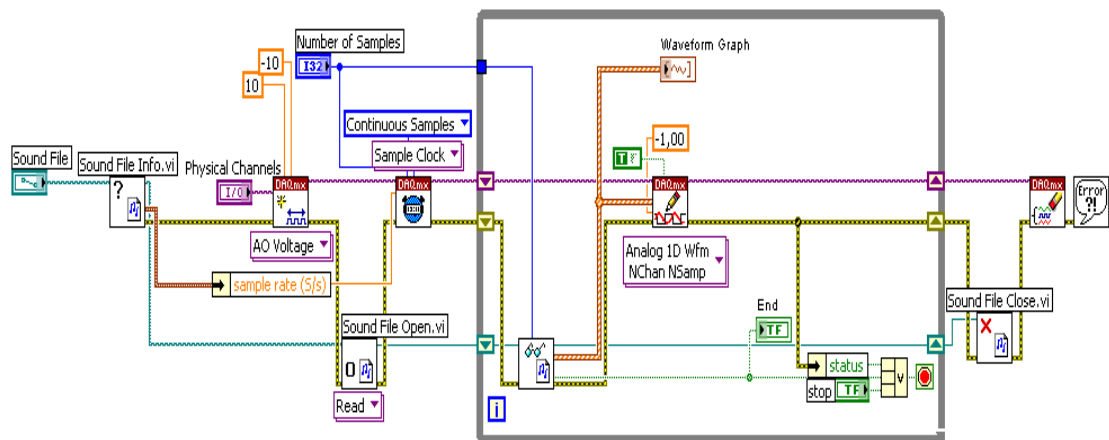


2.4 Πρόγραμμα αναπαραγωγής υπερήχων

Το πρόγραμμα αυτό υλοποιήθηκε σε περιβάλλον LabVIEW και είναι υπεύθυνο για την μετατροπή του ψηφιακού σήματος σε αναλογικό έτσι ώστε να είναι δυνατή η αναπαραγωγή του από συμβατικά ηχεία.



Εικόνα 2.4.1: Πρόγραμμα αναπαραγωγής υπερήχων. Επιφάνεια ελέγχου.



Εικόνα 2.4.2: Πρόγραμμα αναπαραγωγής υπερήχων. Επιφάνεια εργασίας.

Στο Σχήμα 11 υπάρχει η επιφάνεια ελέγχου του προγράμματος στην οποία επιλέγουμε το αρχείο ήχου που το οποίο επιθυμείται να αναπαραχθεί στο πεδίο «Sound File». Στο πεδίο «Physical Channels» γίνεται επιλογή των εξόδων της κάρτας από όπου θα βγει το σήμα το οποίο εάν είναι μονοφωνικό η επιλογή πρέπει να είναι η «Dev1/ao0» ή «Dev1/ao1» και στην περίπτωση που το σήμα είναι στερεοφωνικό θα πρέπει να είναι «Dev1/ao0:1».

Στο πεδίο «Number of Samples» ορίζονται τα δείγματα από τα οποία το πρόγραμμα θα δεσμεύσει και την ανάλογη μνήμη και η πράσινη ένδειξη ανάβει όταν η αναπαραγωγή τελειώσει.

Η επιφάνεια ελέγχου του προγράμματος όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.4.1 περιέχει τα αντικείμενα τα οποία ανοίγουν το αρχείο και παίρνουν δεδομένα για την δειγματοληψία τα οποία εισάγονται στο αντικείμενο «DAQmx timing» το οποίο είναι ορισμένο να λειτουργεί σαν «Sample clock» και ορίζει τον ρυθμό με τον οποίο θα εξάγονται τα δεδομένα συνεχόμενα από την κάρτα έτσι ώστε να μην ακούγεται παραμόρφωση στον ήχο.

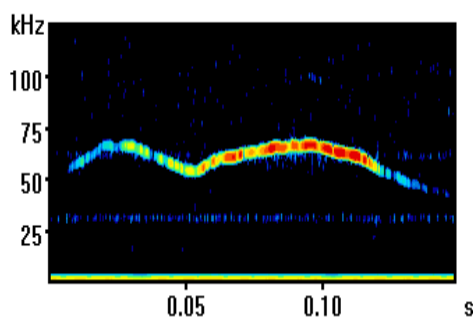
Στη συνέχεια δίνεται το αντικείμενο «DAQmx create virtual channel» το οποίο είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία του καναλιού εξόδου και δέχεται ορίσματα μέγιστης και ελάχιστης τιμής των Volt που θα εξέρχονται από το κανάλι καθώς και το όνομα του καναλιού της κάρτας όπως φαίνεται στο σύστημα και όπως ορίστηκε στην επιφάνεια ελέγχου «Dev1/ao0» ή «Dev1/ao0:1».

Όλα τα στοιχεία που έχουν οριστεί εισάγονται στο βρόγχο επανάληψης όπου υπάρχει το αντικείμενο «Sound file read» που είναι υπεύθυνο να εξάγει τα δεδομένα από το αρχείο και σε συνεργασία με το αντικείμενο «DAQmx write» τα δεδομένα γράφονται στη μνήμη και από εκεί αναπαράγονται. Βγαίνοντας από τον βρόγχο υπάρχει το αντικείμενο «Sound file close» και «DAQmx clear task» που είναι υπεύθυνα να κλείσουν το αρχείο και να καθαριστεί η μνήμη που χρησιμοποίησε το πρόγραμμα.

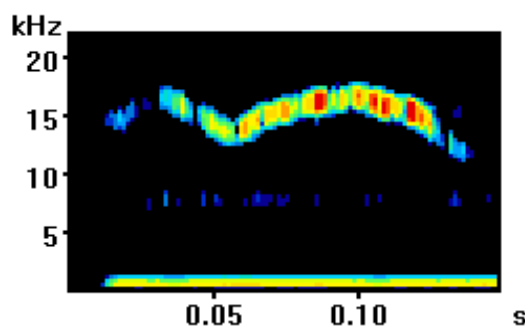
2.5 Επεξεργασία αρχείων ήχου για συγχρονισμό με την εικόνα και ο συγχρονισμός της με την εικόνα

Τα αρχεία του ήχου που χρησιμοποιήθηκαν για το βίντεο, πέρασαν από μία επεξεργασία μέσα από την οποία το φασματικό τους περιεχόμενο κατέβηκε τρεις οκτάβες κρατώντας ίδια την διάρκεια των αρχείων. Αυτό έγινε για να ακούσουμε πως περίπου θα ήταν αν μπορούσαμε να ακούσουμε τις συχνότητες αυτές. Επειδή οι κραυγές είναι πολύ σύντομες με τις μεγαλύτερες να είναι της τάξης των 250 με 300 ms, το ανθρώπινο αυτί δεν μπορεί να ακολουθήσει ακριβώς την διακύμανση της συχνότητας και έτσι ο άνθρωπος δεν μπορεί να διακρίνει διαφορές στο άκουσμα και να ξεχωρίσει τις κατηγορίες με το αυτί.

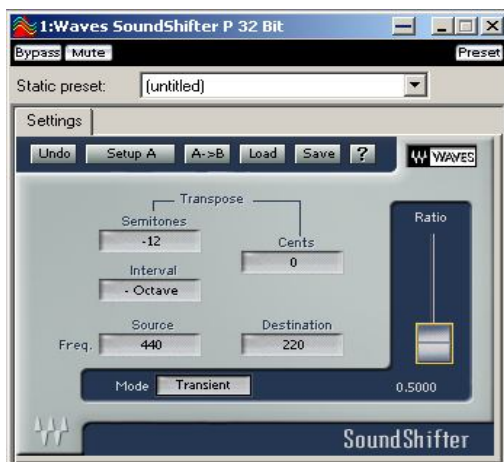
Η διαδικασία που ακολουθήσαμε για την επεξεργασία του ήχου ήταν ως εξής. Αρχικά έγινε η κανονικοποίηση των σημάτων στα μηδέν dB. Στην συνέχεια έγινε μια συμπίεση έτσι ώστε κάποιες κορυφές να έρθουν σε πιο χαμηλά επίπεδα έντασης και στη συνέχεια να ξανακανονικοποιηθεί ολόκληρο το σήμα. Μετά, με το plug in “sound shifter” (Εικόνα 2.5.2) κατέβηκαν οι συχνότητες των αρχείων κατά 2 οκτάβες τουλάχιστον. Στις εικόνες 2.5.1α και 2.5.1β, βλέπουμε ένα παράδειγμα πως ένα φώνημα που οι συχνότητες του βρίσκονταν στο υπερηχητικό φάσμα όπου μετά την επεξεργασία βρίσκονται στο ακουστό φάσμα. Μερικά από τα αρχεία είχαν θόρυβο από την προ-ενίσχυση ή από τα ηλεκτρονικά των μηχανημάτων, και έτσι αποθρομβοποιήθηκαν με το plug in «Z-noise» (Εικόνα 2.5.3). Μερικές φορές τα αρχεία είχαν κάποιες συχνότητες στο υπερηχητικό φάσμα οι οποίες προέρχονταν από το θόρυβο των μηχανημάτων. Οι συχνότητες αυτές στο ακουστό φάσμα ήταν ενοχλητικές και γι αυτό τον λόγο αποκόπηκαν με φίλτρα. Στις εικόνες 2.5.4 μπορούμε να δούμε ακριβώς πως έγινε αυτό. Τέλος αφού τελείωσαν οι βασικές επεξεργασίες, έγινε μετατροπή της συχνότητας δειγματοληψίας από τα 250000 Hz στα 44100 Hz (εικόνα 3.1.6).



Εικόνα 2.5.1 α



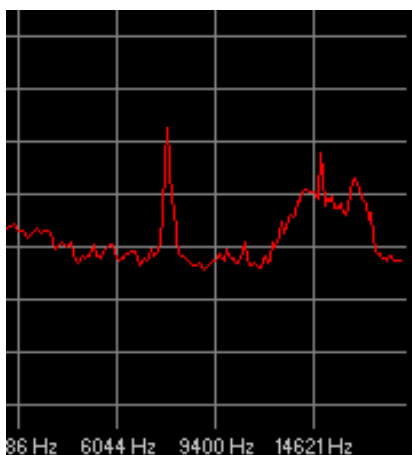
Εικόνα 2.5.1 β



Εικόνα 2.5.2: Plug in “sound shifter”



Εικόνα 2.5.3: plug in “Z-noise”



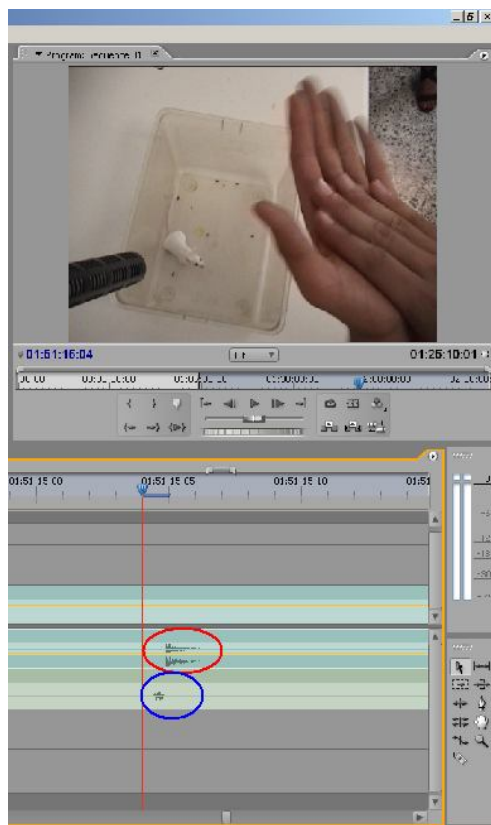
Εικόνα 2.5.4: Φασματογράφημα για εντοπισμό των ενοχλητικών συχνοτήτων και αφαίρεση με equalizer.

Συγχρονισμός της εικόνας με τον ήχο

Όλα τα πειράματα που έγιναν, κινηματογραφήθηκαν με κάμερα Mini DV και στην συνέχεια συγχρονίστηκαν τα αρχεία που επεξεργάστηκαν για κάθε πείραμα αντίστοιχα. Αυτό μας βοήθησε να βγάλουμε κάποια συμπεράσματα από τα φωνήματα γιατί βλέποντας τα φασματογραφήματα, σε οποιοδήποτε σημείο της ηχογράφησης ξέραμε ακριβώς τι έκαναν τα ποντίκια.

Ο καλύτερος τρόπος για να συγχρονιστούν τα δύο αρχεία ήταν η μέθοδος που χρησιμοποιούν στον κινηματογράφο για να συγχρονίσουν την εικόνα με τον ήχο, γιατί ακριβώς οι συσκευές που καταγράφουν τα δεδομένα της εικόνας και τα δεδομένα του ήχου είναι διαφορετικές. Ο τρόπος που χρησιμοποιήσαμε για τον συγχρονισμό ήταν ένα «παλαμάκι» μπροστά από τον φακό της κάμερας και κοντά στο μικρόφωνο που τοποθετήθηκε για να γίνει η ηχογράφηση και το πείραμα. Με αυτό τον τρόπο, καταγράφεται ο ήχος σαν ένας μοναδιαίος παλμός στο κανάλι του ήχου που γράφεται μαζί με την εικόνα στην ίδια κασέτα και επομένως είναι συγχρονισμένα μεταξύ τους. Επίσης γράφεται ο ίδιος παλμός στην ηχογράφηση. Με ένα πρόγραμμα το οποίο μπορεί να επεξεργαστεί σήματα εικόνας και ήχου,

συγχρονίστηκαν τα αρχεία της εικόνας με το επεξεργασμένο σήμα του ήχου της ηχογράφησης το οποίο έχει μια τονική διολίσθηση προς τα κάτω τουλάχιστον δύο οκτάβες και με συχνότητα δειγματοληψίας 44100. Στην εικόνα 2.4.1 φαίνονται τα τρία αυτά σήματα όπου στο πρώτο κανάλι βρίσκεται η εικόνα, στο δεύτερο κανάλι βρίσκεται ο ήχος που ηχογραφήθηκε από την ίδια την κάμερα και στο τελευταίο κανάλι είναι το επεξεργασμένο σήμα από τις ηχογραφήσεις. Με κόκκινο κύκλο φαίνεται ο παλμός στο κανάλι της κάμερας και με μπλε κύκλο φαίνεται ο παλμός στο κανάλι των ηχογραφήσεων.



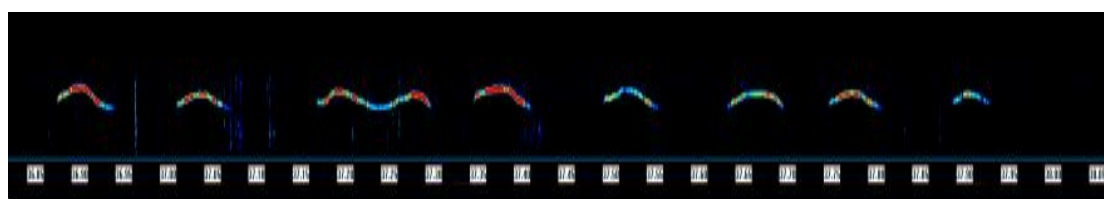
Εικόνα 2.4.1: Συγχρονισμός της εικόνας με το επεξεργασμένο σήμα των ηχογραφήσεων.

Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

Όπως ήταν αναμενόμενο, παρατηρήσαμε ότι οι υπερηχητικές κλήσεις των ποντικών έχουν τα χαρακτηριστικά όπως ένα τραγούδι με φράσεις και ακολουθίες φράσεων. Παρουσιάσαμε επίσης τις διακριτικές κατηγορίες φράσεων που δείχνουν ότι δεν είναι τυχαία φωνήματα αλλά επαναλαμβανόμενες ακολουθίες. Τέτοιες ακολουθίες παρουσιάστηκαν αμέσως μετά την τοποθέτηση του πρώτου αρσενικού στο κλουβί με το θηλυκό. Οι ακολουθίες αυτές αποτελούνται από φωνήματα όλων των κατηγοριών και επαναλαμβάνονται με περιοδικότητα. Στην εικόνα 3.1.1 φαίνονται κάποιες ακολουθίες από φωνήματα που πάρθηκαν από την τέταρτη και πέμπτη ηχογράφιση. Στην εικόνα 3.1.1α φαίνεται μια ακολουθία από φωνήματα που ανήκουν στην κατηγορία «Διαμορφωμένης συχνότητας» όπου εμφανίζονται φωνήματα των ομάδων Τύπου «Λάμδα», «ασύμμετρο λάμδα αριστερά» και «Τύπου Μ». Στην εικόνα 3.1.1β φαίνονται ομοίως φωνήματα από την ίδια κατηγορία και από την «Ασύμμετρο λάμδα αριστερά» και στις δύο τελευταίες εικόνες φαίνονται φωνήματα από τις κατηγορίες απότομης μετάβασης συχνότητας (πάνω ή κάτω) και σύνθετου συχνοτικού περιεχομένου.

Μέσα από την ανάλυση των ηχογραφήσεων, βρέθηκαν επίσης κάποιες κραυγές που την ίδια χρονική στιγμή υπήρχαν δύο ή τρεις συχνότητες οι οποίες ακολουθούσαν διαφορετικές πορείες και έτσι δεν θεωρούνται αρμονικοί της θεμέλιου. Σε αυτή την εργασία θεωρούμε ότι αυτές οι κραυγές προέρχονται από τα δύο αρσενικά ποντίκια τα οποία παράγουν τις κραυγές αυτές ταυτόχρονα. Αυτό στηρίζεται στο ότι όλες αυτές οι κραυγές εμφανίζονται μόνο όταν είναι και τα τρία ποντίκια μέσα στο κλουβί, και από το γεγονός το οποίο στηρίζεται σε προηγούμενες αναφορές [6], [2], ότι υπερηχητικές κλήσεις κατά την διάρκεια της ερωτοτροπίας παράγουν μόνο τα αρσενικά ποντίκια. Στην εικόνα 3.1.2 φαίνονται κάποια από τα φωνήματα αυτά.

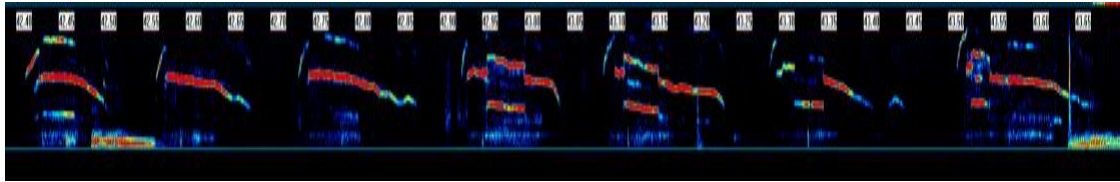
Επίσης παρατηρήθηκε ότι την στιγμή που έμπαινε το δεύτερο αρσενικό στο κλουβί, υπήρχε ησυχία μερικών δευτερολέπτων της τάξης των δέκα με είκοσι δευτερολέπτων. Στο DVD 2 υπάρχει απόσπασμα σε οπτικοακουστικό υλικό που δείχνουν τις παρατηρήσεις αυτές.



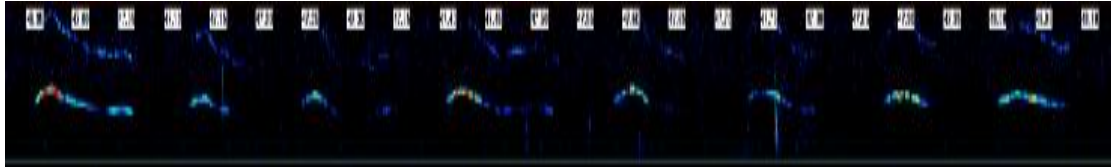
α)



β)

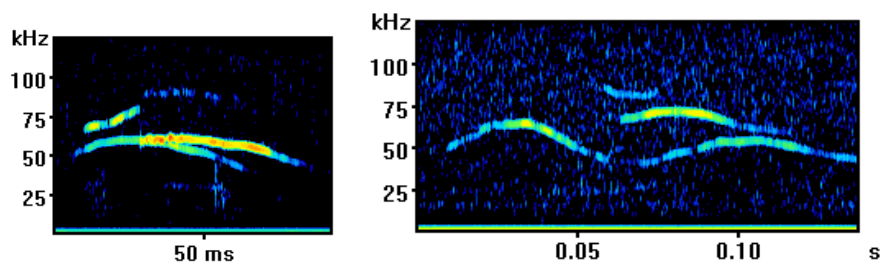


γ)



δ)

Εικόνα 3.1.1: Ακολουθίες από φωνήματα.



Εικόνα 3.1.2: Παραδείγματα από φωνήματα δύο ποντικών.

Περιεχόμενα των DVD 1 και 2

Το πρώτο DVD που συνοδεύεται με την εργασία, περιέχει τέσσερις φακέλους.

Ο πρώτος φάκελος ονομάζεται «Ηχογραφήσεις» και περιέχει τα αρχεία των ηχογραφήσεων των τριών πειραμάτων που διεξήχθησαν για τους σκοπούς της πτυχιακής.

Ο δεύτερος φάκελος ονομάζεται «Κατηγορίες φωνημάτων» και μέσα σε αυτόν υπάρχουν τα αρχεία ήχου που αντιστοιχούν σε κάθε κατηγορία ξεχωριστά. Στον κάθε φάκελο υπάρχει το φασματογράφημα του αρχείου σε αρχείο εικόνας και οι καμπύλες τονικού ύψους σε μορφή πίνακα.

Ο τρίτος φάκελος ονομάζεται «SASLab projects» και περιέχει τα αρχεία των ηχογραφήσεων όπου μέσα από το πρόγραμμα SASLab της εταιρίας Avisoft, σημαδεύτηκαν τα φωνήματα που εξήχθησαν για να χρησιμοποιηθούν ως δείγματα για την κάθε κατηγορία.

Ο τρίτος φάκελος ονομάζεται «Φασματογραφήματα» και περιέχει τα Φασματογραφήματα των ηχογραφήσεων.

Στο δεύτερο DVD, υπάρχει ένας φάκελος και εννέα αρχεία εικόνας. Μέσα στον φάκελο υπάρχουν αποσπάσματα από το αρχικό υλικό του βίντεο όπου φαίνονται κάποιες από τις παρατηρήσεις. Ο φάκελος αυτός ονομάζεται «Παρατηρήσεις με βίντεο».

Υπάρχουν επίσης οι πέντε ηχογραφήσεις της συνεύρεσης αρσενικού με θηλυκού ποντικίου, όπως και οι δύο ηχοβολίσεις. Τέλος υπάρχουν τα αμοντάριστα πλάνα από όλα τα πειράματα που έγιναν.

Αναφορές - Βιβλιογραφία

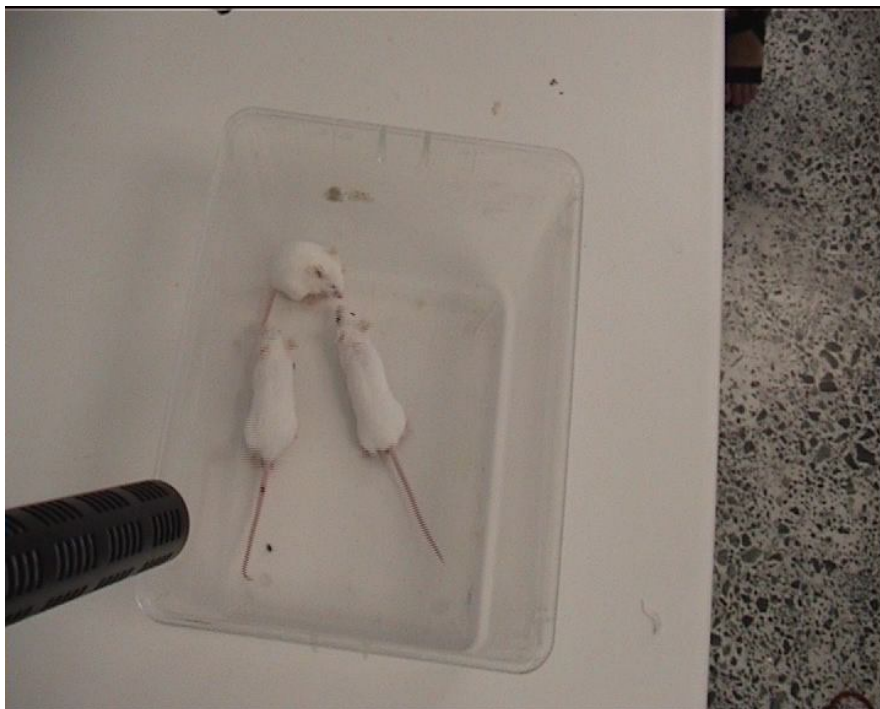
- [1] Blumberg M. S., Alberts J. R., “Ultrasonic Vocalizations by Rat Pups in the Cold: An Acoustic By-Product of Laryngeal Braking”, *Behavioral Neuroscience* 1990, Vol. 104, No. 5, 808-817.
- [2] Branchi I., Santucci D., Vitale A., Alleva E., “Ultrasonic Vocalizations by Infant Laboratory Mice: A Preliminary Spectrographic Characterization under Different Conditions”, *John Wiley & Sons, Inc. Dev Psychobiol* 33: 249–256, 1998.
- [3] Elwood R. W., F. Keeling “Temporal Organization of Ultrasonic Vocalizations in Infant Mice”, *Developmental Psychobiology*, 15(4): 221-227 (1982).
- [4] Heffner H. E., Heffner R. S., Contos C., Ott T, “Audiogram of the hooded Norway rat” *Hearing Research* 73 (1994) 244-247.
- [5] Heffner HE, Heffner RS. 1985. Sound localization in wild Norway rats (*Rattus norvegicus*). *Hear Res.* 19(2):151-155.
- [6] Heffner R.S., Koay G., Heffner H.E., “Audiograms of five species of rodents: implications for the evolution of hearing and the perception of pitch” *Hearing Research* 157 (2001) 138-152.
- [7] Hofer M. A., “Multiple regulators of ultrasonic vocalization in the infant rat” *Psychoneuroendocrinology*, Vol. 21, No. 2, pp. 203-217, 1996.
- [8] Hofer M. A., SHAIR H., “Ultrasonic Vocalization During Social Interaction and Isolation in 2-Week-Old Rats” *Developmental Psychobiology*, 11(5):495-504 (1978).
- [9] Hofman, P. M., J. G.A. Van Riswick, A. J. Van Opstal. 1998. “Relearning sound localization with new ears.” *Nature*. 1 (5): 417-421.
- [10] Holman, S. D., & Seale, W. T. (1991). “Ontogeny of sexually dimorphic ultrasonic vocalization in Mongolian gerbils.” *Developmental Psychobiology*, 24, 103–115.
- [11] Kaltwasser M. T. “Acoustic Signaling in the Black Rat (*Rattus rattus*)”, *Journal of Comparative Psychology* 1990, Vol. 104, No. 3, 227-232.
- [12] Kelly JB, Phillips DP. 1991. “Coding of interaural time differences of transients in auditory cortex of *Rattus norvegicus*: implications for the evolution of mammalian sound localization.” *Hear Res.* 55(1):39-44.
- [13] Koay G., Heffner R.S., Heffner H.E., “Behavioral audiograms of homozygous med J mutant mice with sodium channel deficiency and unaffected controls”. *Hearing Research* 171 (2002) pp. 111-118.

- [14] Liu C. R., Miller K. D., Merzenich M. M. and Christoph E. Schreiner C. E. "Acoustic variability and distinguishability among mouse ultrasound vocalizations", *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 114, No. 6, Pt. 1, Dec. 2003.
- [15] Maggio J.C. and Whitney G., "Ultrasonic Vocalizing by Adult Female Mice (*Mus musculus*)", *Journal of Comparative Psychology* 1985, Vol. 99, No. 4, 420-436.
- [16] Makous JC, Middlebrooks JC. 1990. "Two-dimensional sound localization by human listeners." *J. Acoust. Soc. Am.*, 87(5):2188-200.
- [17] Roberts L. H., "The rodent ultrasound production Mechanism" *Ultrasonics*, March 1975.
- [18] Sales, G. D., & Smith, J. C. (1978). "Comparative studies of the ultrasonic calls of infant murid rodents." *Developmental Psychobiology*, 11, 596-619.
- [19] <http://en.wikipedia.org/wiki/BALB/c>
- [20] <http://www.ratbehavior.org/rathearing.htm>

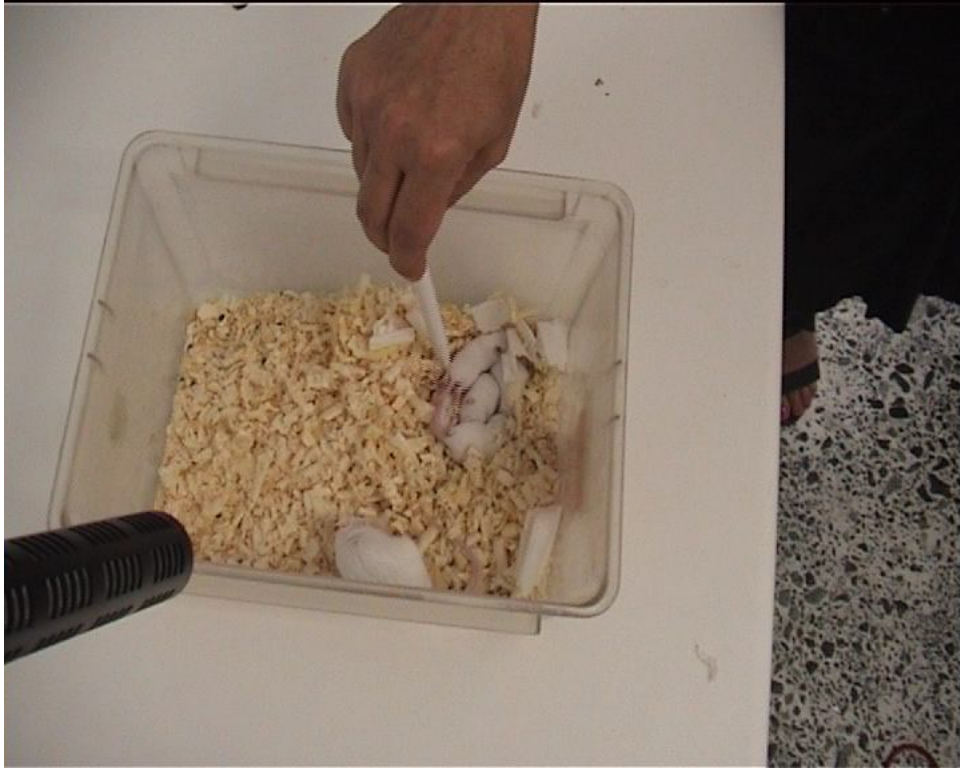
Παράρτημα



Εικόνα ΠΙ.1 Τα ποντίκια που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα της συνεύρεσης αρσενικού και θηλυκού ποντικιού (BALB/C).



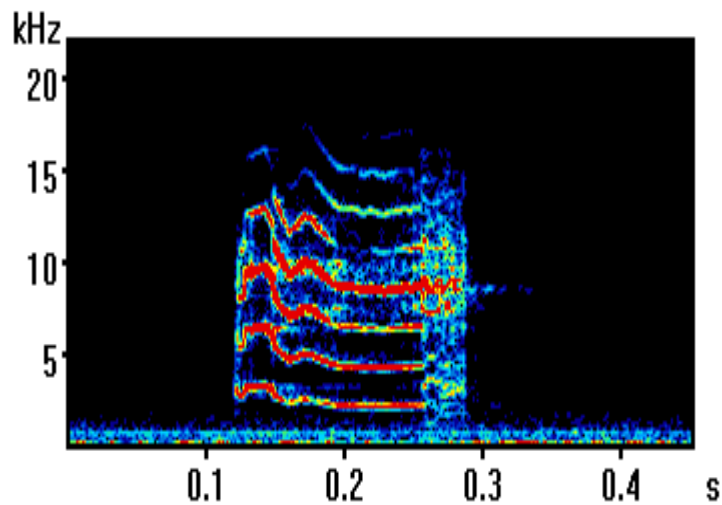
Εικόνα ΠΙ.2 Στιγμιότυπο από το πείραμα της συνεύρεσης αρσενικού και θηλυκού ποντικιού



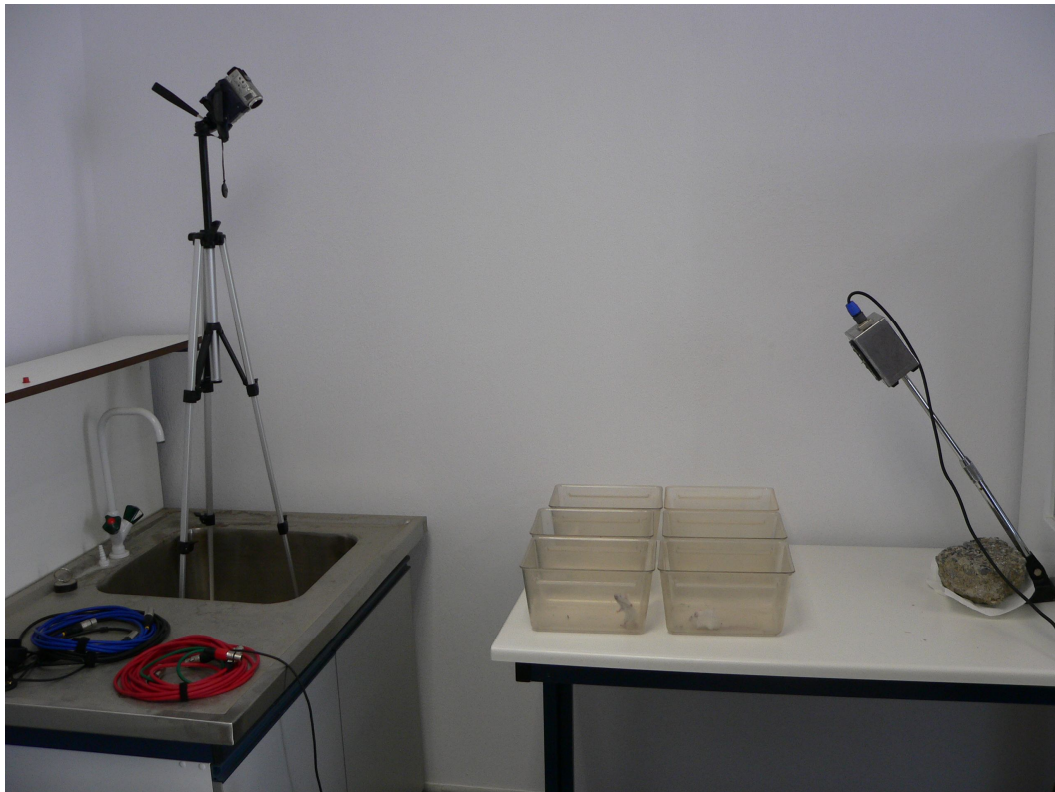
Εικόνα ΠΙ.3: Στιγμιότυπο από την ηχογράφιση που έγινε όταν ο πειραματιστής ενοχλούσε τα νεαρά ποντίκια με ένα αντικείμενο.



Εικόνα ΠΙ.4: Στιγμιότυπο από την ηχογράφιση που έγινε όταν ο πειραματιστής τρομοκρατούσε τα νεαρά ποντίκια με ένα αντικείμενο.



Εικόνα ΠΙ.5: Φώνημα από την ηχογράφηση όταν ο πειραματιστής τρομοκρατούσε τα ποντίκια. Φαίνεται ξεκάθαρα ότι το συχνοτικό περιεχόμενο του φωνήματος βρίσκεται στο ακουστικό φάσμα και έχει διαφορετική μορφή από την μορφή που έχουν τα φωνήματα στο υπερηχητικό φάσμα. Ο συγκεκριμένος τύπος φωνημάτων περιέχει μεγάλο αριθμό συχνοτήτων όπου η πρώτη είναι η θεμέλιος και οι άλλες είναι οι αρμονικές.



Εικόνα ΠΙ.6: Ηχοβόλιση των ποντικιών.



Εικόνα ΠΙ.7: Στιγμιότυπο από την συλλογή των ούρων με την πιπέτα ακριβείας Gilson.

Το σύστημα ηχογράφησης της Avisoft Bioacoustics

Τα μηχανήματα για την ηχογράφηση καθώς και για επεξεργασία προμηθεύτηκαν από την εταιρία Avisoft Bioacoustics η οποία εδρεύει στη Γερμανία και μια περιγραφική ανάλυση τους γίνεται στις ακόλουθες σελίδες.

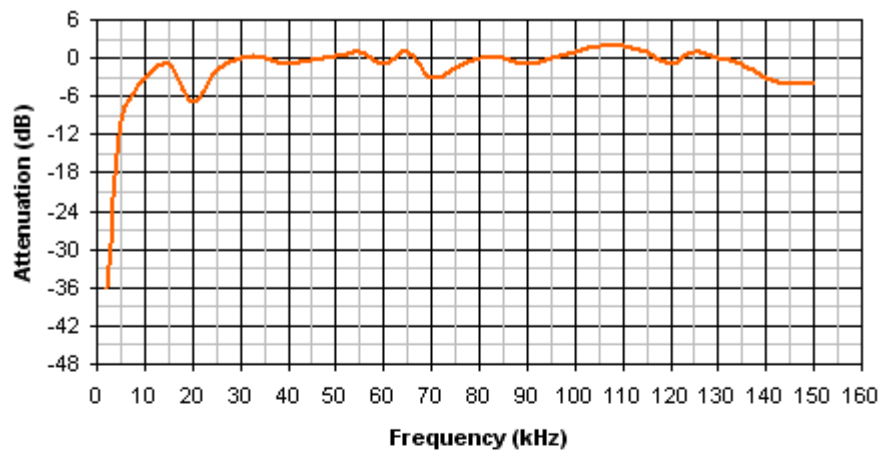


Εικόνα ΠΙ.8.α: Το μικρόφωνο που χρησιμοποιήθηκε για τις ηχογραφήσεις..

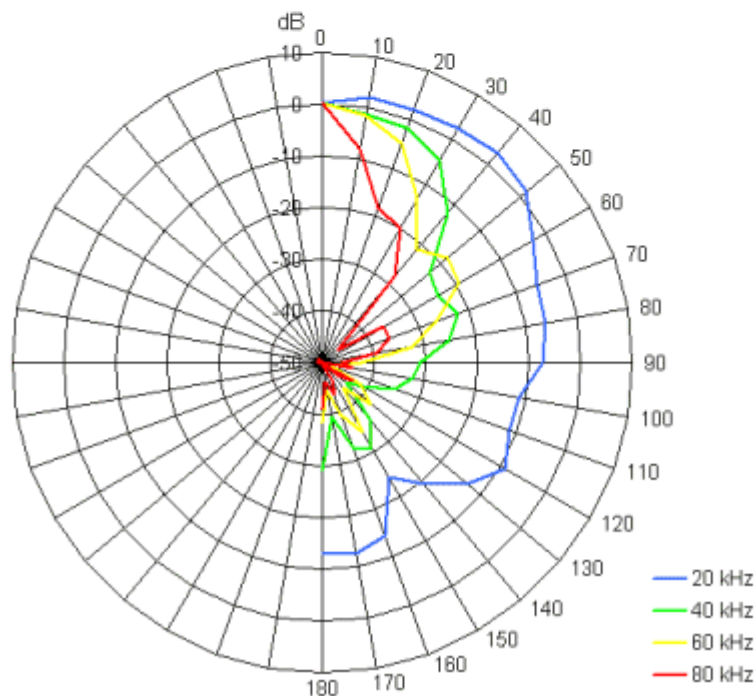
Το μικρόφωνο του συστήματος είναι το μοντέλο «CM16/CMPA» και είναι πυκνωτικό με τροφοδοσία 200 Volt η οποία παρέχεται από την κάρτα του ίδιου συστήματος.

Το καλώδιο σύνδεσης είναι πενταπολικό και οι ακροδέκτες είναι οι εξής:

- 1) Γείωση
- 2) Σήμα
- 3) Σήμα (Ανάστροφη φάση)
- 4) Τροφοδοσία 5 Volt για τα ηλεκτρονικά μέρη
- 5) Τροφοδοσία 200 Volt για την κάβα



frequency response



Εικόνα ΠΙ.8.β: Συχνολογική απόκριση και πολικό διάγραμμα του μικροφώνου.



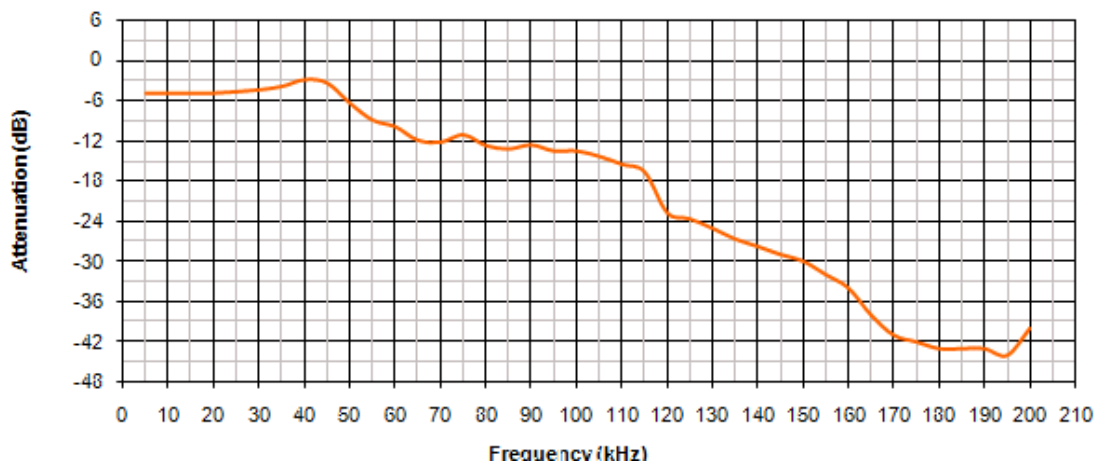
Εικόνα ΠΙ.9: Ο προενισχυτής του συστήματος.



Εικόνα ΠΙ.10: Η κάρτα DAQcard-6062E της National instruments.



Εικόνα ΠΙ.11: Ο ενισχυτής του συστήματος.



Εικόνα ΠΙ.12: Το ηχείο του συστήματος και η συχνοτική του απόκριση.