

**Τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας**

**Ιόνιο Πανεπιστήμιο**



“iSEE” Διαδραστική Εγκατάσταση για την Εκτέλεση Ψυχοακουστικών Πειραμάτων

Χρήστος Μουσάς

Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής Ανδρέας Φλώρος

Πτυχιακή Εργασία  
Κέρκυρα, Ιούνιος 2009

“iSEE” Διαδραστική εγκατάσταση για την εκτέλεση ψυχοακουστικών πειραμάτων

**Τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας**

**Ιόνιο Πανεπιστήμιο**



“iSEE” Διαδραστική Εγκατάσταση για την Εκτέλεση Ψυχοακουστικών Πειραμάτων

Χρήστος Μουσάς

Τριμελής επιτροπή:

Επίκουρος Καθηγητής

Ανδρέας Φλώρος

Αναπληρωτής Καθηγητής

Νικόλαος Κανελλόπουλος

Αναπληρωτής Καθηγητής

Γιάννης Ζάννος

Πτυχιακή Εργασία  
Κέρκυρα, Ιούνιος 2009

«Καλλιτέχνες! Προσπαθήστε να ξεχάσετε την ίδια τη λέξη και την έννοια “τέχνη”. Ξεχάστε αυτά τα ηλίθια φετίχ που σας έχουν επιβληθεί από τα καταπιεστικά συστήματα στα οποία είστε υποχρεωμένοι να αναφέρετε τη δημιουργική σας δραστηριότητα. Θεωρητικοί! Σταματήστε να υποκρίνεστε ότι δεν είστε καλλιτέχνες. Η θέλησή σας να αποκτήσετε ισχύ επάνω στους ανθρώπους αποπλανώντας τους με διανοουμενίστικες εικασίες είναι πολύ φανερό (παρότι κατανοητό). Αλλά ένα πεδίο καθαρής και γνήσιας επικοινωνίας είναι πολύ πιο ελκυστικό, και γίνεται δυνατό αυτές τις μέρες. Καλλιτέχνες των νέων μέσων! Σταματήστε να χειρίζεστε τους ανθρώπους με τις δήθεν “διαδραστικές εγκαταστάσεις σας” και “έξυπνα interfaces”! Είστε πολύ κοντά στην ιδέα της επικοινωνίας, εγγύτερα απ’ ό,τι καλλιτέχνες και θεωρητικοί. Σήμερα μπορείτε να βρείτε εκείνους που μπορούν να συνδεθούν μαζί σας επί ίσοις όροις. Αν θέλετε, φυσικά»

**Alexei Shulgin** “Κριτική στο συντηρητισμό της κουλτούρας και αγοράς της τέχνης – Μανιφέστο 1996”

### **Ευχαριστίες**

Η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας δε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς τη συμπαράσταση και καθοδήγηση μίας σειράς ανθρώπων, στους οποίους θα ήθελα να απευθύνω ολόψυχα τις ευχαριστίες μου.

Ειδικότερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Τον κύριο Ανδρέα Φλώρο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την υπομονή του, καθώς και για την καθοδήγηση του στο σύνολο της ανάπτυξης αυτής της εργασίας.

Τα υπόλοιπα μέλη της επιτροπής για την εξέταση της εργασίας μου, και συγκεκριμένα τον κύριο Νικόλαο Κανελλόπουλο και τον κύριο Γιάννη Ζάννο, καθώς και την κυρία Μαριάννα Στραπατσάκη για τις πολύτιμες συμβουλές που μου έδωσε στην οπτική προσέγγιση της πτυχιακής εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας DAPAG, τους Νικόλα Γρηγορίου, Νίκο Μουστάκα και Βασίλη Ψαρρά, για την συνεργασία που είχαμε.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Άρη, τον Ορέστη, τον Χρήστο, τον Κώστα, τη Διονυσία και τον Γιάννη για τη βοήθειά τους στο στήσιμο της εγκατάστασης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Στρατή και Ευθυμία αλλά και την αδερφή μου Μαρία, που τόσα χρόνια με στηρίζουν σε αυτό που έχω επιλέξει να κάνω.

## Συνοπτική Περιγραφή

Το "iSEE" είναι μια διαδραστική ηχητική εγκατάσταση που έχει ως στόχο την επίδειξη κάποιων γνωστών ψυχοακουστικών φαινομένων τα οποία εξελίσσονται σε πραγματικό χρόνο. Το διαδραστικό περιβάλλον και οι κανόνες του βασίζονται στις χωρικές πληροφορίες που προέρχονται από τη στιγμιαία θέση του χρήστη σε σχέση με ένα εικονικό δίκτυο πλοήγησης που καλύπτει το χώρο της εγκατάστασης. Αυτό επιτρέπει την εύκολη πλοήγηση και επιλογή των πειραμάτων, καθώς και τον απλοποιημένο έλεγχο των παραμέτρων των πειραμάτων. Η εγκατάσταση αποτελείται από ένα λογισμικό που χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνικές επεξεργασίας ήχου και βίντεο για την υλοποίηση του διαδραστικού περιβάλλοντος των πειραμάτων. Μία πρόσθετη συνιστώσα λογισμικού είναι υπεύθυνη για την αναπαραγωγή και την σχεδίαση κατάλληλων οπτικών εφέ (όπως κινούμενα γραφικά και κυματομορφές), τα οποία στοχεύουν στη βέλτιστη κατανόηση του χρήστη και δημιουργούν μια οπτική αίσθηση των αποτελεσμάτων του κάθε πειράματος. Σε αυτήν την εργασία, η ηχητική εγκατάσταση iSEE παρουσιάζεται με τη χρήση τριών γνωστών ψυχοακουστικών πειραμάτων ως δοκιμή, επιτρέποντας τη συνολική αξιολόγηση των επιδόσεων της προτεινόμενης πλατφόρμας ως εργαλείο τόσο για πειραματικούς όσο και εκπαιδευτικούς σκοπούς.

## Abstract

“iSEE” is an interactive sound installation that aims to demonstrate common, well-known psychoacoustics phenomena in real-time. The interaction environment and rules are based on spatial information derived by the instantaneous user position relative to a virtual navigation grid pattern that covers the installation space. This allows easy navigation and experiment selection, as well as simplified experiments’ control parameters definition. The installation core is a software module which employs advanced audio and video processing techniques for realizing the interactive experimental environment. An additional visual software component is responsible for reproducing appropriately designed visual effects (such as animated graphs and waveforms), which aim to enhance the participants’ comprehension and create a visual impression of the experiments’ results. In this work, the iSEE sound installation was demonstrated using three well-known psychoacoustics effects as test-cases, allowing the overall performance assessment of the proposed platform as an advanced tool for both experimental and educational purposes.

## Περίληψη

### **Κεφάλαιο 1:** Εισαγωγή

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή προκειμένου να κατατοπιστεί ο αναγνώστης στα κύρια σημεία της εργασίας. Συγκεκριμένα, γίνεται μια εισαγωγή για τις διαδραστικές εγκαταστάσεις ως μέσο καλλιτεχνικής έκφρασης και τις εγκαταστάσεις ως μέσο κατανόησης των ψυχοακουστικών πειραμάτων, παρουσιάζεται το ερευνητικό πεδίο στο οποίο εντάσσεται αυτή η εργασία καθώς και οι στόχοι της. Τέλος, αναλύεται η μεθοδολογία ανάπτυξης που χρησιμοποιήθηκε.

### **Κεφάλαιο 2:** Θεωρητικό Πλαίσιο

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής αναφορά στο θεωρητικό πλαίσιο πάνω στο οποίο στηρίχθηκε αυτή η εργασία. Αναπτύσσεται το θεωρητικό υπόβαθρο το οποίο καλύπτει τα ερευνητικά πεδία της Διάδρασης Ανθρώπου - Υπολογιστή (HCI), των ψυχοακουστικών πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν και αναλύεται το θεωρητικό πλαίσιο της τέχνης των νέων μέσων (New Media Art).

### **Κεφάλαιο 3:** Ανάπτυξη

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρόπος ανάπτυξης της πτυχιακής εργασίας. Σε κάθε μια από τις ενότητες του κεφαλαίου παρουσιάζεται η ανάπτυξη του λογισμικού, τα προβλήματα και οι λύσεις που δόθηκαν. Γίνεται αναφορά σε τομείς που αφορούν την αρχιτεκτονική του συστήματος, την εξομοίωση των ψυχοακουστικών πειραμάτων, το διαδραστικό περιβάλλον της εγκατάστασης και τέλος γίνονται αναφορές στις τεχνολογίες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζεται το στήσιμο της εγκατάστασης που έγινε κατά τη διάρκεια του 3<sup>ου</sup> φεστιβάλ του Τμήματος Τεχνών Ήχου και Εικόνας.

### **Κεφάλαιο 4:** Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής αξιολόγηση των μεθόδων και των διαδικασιών οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας. Επιπλέον, αξιολογείται το σύνολο της πτυχιακής εργασίας βάσει των παρατηρήσεων που έγιναν από το κοινό κατά τη διάρκεια της έκθεσής της στο φεστιβάλ του τμήματος. Τέλος, γίνεται μια προσπάθεια αξιολόγησης με κριτήρια τους τομείς: α) της κατανόησης των ψυχοακουστικών πειραμάτων από το κοινό β) της διεπαφής χρήσης κατά την παρουσίαση της εγκατάστασης στο κοινό και γ) γίνονται παρατηρήσεις για την οπτική προσέγγιση της εγκατάστασης.

## **Κεφάλαιο 5:** Προτάσεις για επιπλέον ανάπτυξη

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται συγκεκριμένες προτάσεις που αφορούν την περαιτέρω ανάπτυξη αυτής της πτυχιακής εργασίας. Οι προτάσεις αυτές βασίζονται τόσο σε θέματα τεχνολογίας, προτείνοντας κάποιες βελτιώσεις που μπορούν να υπάρξουν στο μέλλον, όσο και σε θέματα εικαστικού ενδιαφέροντος. Οι βελτιώσεις που προτείνονται προέκυψαν από μια σειρά ερωτήσεων και προτάσεων οι οποίες έγιναν από το κοινό κατά τη διάρκεια της έκθεσής της.

## Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	11
1.1	Σκοπός της εργασίας.....	12
1.2	Οι διαδραστικές εγκαταστάσεις ως μέσο καλλιτεχνικής έκφρασης .....	12
1.3	Πεδίο Έρευνας.....	13
1.4	Μεθοδολογία.....	13
2	Θεωρητικό πλαίσιο.....	16
2.1	Διάδραση ανθρώπου - υπολογιστή (HCI).....	16
2.1.1	Σχεδίαση της επικοινωνίας ανθρώπου και υπολογιστή .....	17
2.1.2	Διαδραστικά περιβάλλοντα και εγκαταστάσεις.....	17
2.1.3	Βασικές Αρχές .....	18
2.1.4	Τρόποι αλληλεπίδρασης με τον υπολογιστή.....	18
2.1.5	Επιλογή του μέσου.....	19
2.1.6	Άμεσος χειρισμός.....	20
2.1.7	Διάδραση Ανθρώπου – Υπολογιστή στη Τέχνη .....	20
2.2	Θεωρία πειραμάτων .....	21
2.3	Ακουστική.....	22
2.4	Ψυχοακουστική.....	22
2.4.1	Εφαρμοσμένη ψυχοακουστική.....	22
2.5	Ψυχοακουστικά πειράματα .....	23
2.5.1	Το φαινόμενο της προπορείας (Precedence effect).....	24
2.5.2	Διακρότημα.....	25
2.5.3	Σφάλμα του mp3 .....	26
2.6	Μέθοδοι εκτέλεσης ψυχοακουστικών πειραμάτων .....	32
2.7	Συστήματα που χρησιμοποιούνται για επίδειξη και εκτέλεση ψυχοακουστικών πειραμάτων.....	33
2.8	Μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για την αποτύπωση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων .....	34
2.9	Υπολογιστική όραση (computer vision) .....	35
2.9.1	Ανίχνευση χρωμάτων (Color Detection) .....	37
2.9.2	Ανίχνευση των blob (Blob Detection) .....	37
2.9.3	Κατάτμηση Εικόνας (Image segmentation).....	37
2.9.4	Ανίχνευση χαρακτηριστικών (Feature extraction).....	37
2.9.5	Ανίχνευση άκρων (Edge detection) .....	38
2.9.6	Το μεγαλύτερο blob (Biggest Blob).....	38



2.9.7	Η υπολογιστική όραση στην διαδραστική τέχνη .....	38
2.9.8	Στοιχειώδεις τεχνικές υπολογιστής όρασης .....	40
2.10	Τέχνη των νέων μέσων (New media art) .....	41
3	Ανάπτυξη .....	42
3.1	Σύνθεση - Σχεδιασμός .....	42
3.2	Αρχιτεκτονική του συστήματος .....	43
3.3	Διεπαφή χρήσης .....	44
3.3.1	Ανάπτυξη διεπαφής .....	45
3.3.2	Προβλήματα που δημιουργήθηκαν .....	49
3.3.3	Επίλυση προβλήματος της διεπαφής χρήσης .....	49
3.3.4	Απεικόνιση του χρήστη .....	50
3.4	Εξομοίωση της εγκατάστασης .....	51
3.4.1	Εξομοίωση πειραμάτων .....	52
3.5	Ανάπτυξη των ψυχοακουστικών πειραμάτων .....	52
3.5.1	Αλγοριθμική δόμηση ψυχοακουστικών πειραμάτων .....	52
3.5.2	Ανάπτυξη του φαινομένου της προπορείας .....	52
3.5.3	Ανάπτυξη του διακροτήματος .....	55
3.5.4	Ανάπτυξη του σφάλματος του mp3 .....	57
3.6	Οπτική προβολή των πειραμάτων .....	61
3.7	Περιγραφή της εγκατάστασης .....	65
3.7.1	Το διαδραστικό περιβάλλον της εγκατάστασης .....	68
3.8	Στήσιμο της εγκατάστασης .....	70
3.8.1	Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε .....	73
3.9	Επίδειξη της εγκατάστασης .....	74
3.10	Προβλήματα επίδειξης των πειραμάτων .....	77
3.11	Εργαλεία ανάπτυξης .....	77
3.11.1	Processing .....	78
3.11.2	Matlab .....	81
4	Συμπεράσματα .....	82
4.1	Αξιολόγηση της κατανόησης των ψυχοακουστικών πειραμάτων από το κοινό .....	83
4.2	Αξιολόγηση της εγκατάστασης ως μια πλατφόρμα εκτέλεσης ψυχοακουστικών πειραμάτων .....	84
4.3	Αξιολόγηση της διεπαφής χρήσης κατά την παρουσίαση της εγκατάστασης στο κοινό .....	85
4.4	Παρατηρήσεις για την οπτική προσέγγιση της εγκατάστασης .....	86
4.5	Συμπεράσματα για την υπολογιστική όραση .....	87

5	Προτάσεις για περαιτέρω ανάπτυξη .....	88
5.1	Βελτιώσεις .....	89
6	Βιβλιογραφία .....	92
	Παράρτημα Α.....	97

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

Οι ψηφιακές τεχνικές και η πληροφορική τεχνολογία μεταβάλλουν τον τρόπο που η σύγχρονη κοινωνία προσεγγίζει τον υλικό χώρο, τον τρόπο που επικοινωνεί και αναπαριστά τα βιώματά της. Η σχέση “τέχνης και τεχνολογίας” είναι ένα θέμα που συζητιέται όλο και περισσότερο. Υπάρχει, κυρίως, ένας προβληματισμός για το αν μπορεί να σταθεί ένα αυτόνομο είδος τέχνης που να χαρακτηρίζεται από τη χρήση των εργαλείων και μέσων που προσφέρει η νέα τεχνολογία [21].

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται τη σχεδίαση και υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαδραστικής εγκατάστασης που έχει ως σκοπό την εκτέλεση τριών γνωστών ψυχοακουστικών πειραμάτων – το διακρότημα, το φαινόμενο της προπορείας και το σφάλμα του mp3. Επιπλέον, ερευνά την αξιοποίηση συστημάτων αλληλεπίδρασης ανθρώπου - υπολογιστή στο χώρο των διαδραστικών εγκαταστάσεων. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύχθηκε ένα παράδειγμα - εφαρμογή οπτικοακουστικής διαδραστικής εγκατάστασης με σκοπό να εξεταστούν οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στη διάδραση ανθρώπου υπολογιστή και ειδικότερα η υπολογιστική όραση (Computer Vision) ως μέσο διάδρασης. Πιο αναλυτικά, με τη χρήση συγκεκριμένου λογισμικού (Processing [1]) για την υλοποίηση αλγορίθμων στο πρακτικό μέρος της εργασίας και σε συνδυασμό με τα στοιχεία του ήχου και της κινούμενης εικόνας, δημιουργείται ένα διαδραστικό περιβάλλον για την επίδειξη και την εκτέλεση των ψυχοακουστικών πειραμάτων που προαναφέρθηκαν, επιδιώκοντας έτσι να αναβαθμίσουν το ρόλο του θεατή - χρήστη από απλό αποδέκτη του εκάστοτε νοήματος σε αναπόσπαστο κομμάτι του ίδιου του έργου. Επεκτείνοντας τις δυνατότητες του λογισμικού καθίσταται εφικτή η επεξεργασία ήχου και βίντεο, μέσα σε ένα ενοποιημένο πλαίσιο εργασίας και προγραμματισμού. Η παραμετροποίηση του ήχου έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε εννοιολογικά να συμβαδίζει με τα οπτικά αποτελέσματα τα οποία εμφανίζονται στο χρήστη. Με αυτόν τον τρόπο οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να δουν και να ακούσουν το αποτέλεσμα της κίνησης τους.

## 1.1 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η υλοποίηση μίας διαδραστικής εγκατάστασης. Η εγκατάσταση αυτή έχει ως σκοπό α) τη διεξαγωγή συγκεκριμένων ψυχοακουστικών πειραμάτων ([2], [3]) - το διακρότημα, το φαινόμενο της προπορείας και το σφάλμα της κωδικοποίησης του mp3 - τα οποία μοντελοποιήθηκαν αλγοριθμικά, β) την σύνθεση των σχετικών ηχητικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο [4] και γ) την αλληλεπίδραση του ανθρώπου, δίνοντας του την δυνατότητα να επηρεάσει την ροή εκτέλεσης και να μεταβάλλει με διαδραστικό τρόπο τις επιμέρους παραμέτρους των πειραμάτων.

Πιο συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της εργασίας έγινε διερεύνηση στους τομείς που σχετίζονται α) με τα ψυχοακουστικά πειράματα τα οποία υλοποιήθηκαν, έτσι ώστε να επιτευχθεί βέλτιστο αποτέλεσμα, β) με την δημιουργία της κατάλληλης διεπαφής διά μέσου της οποίας δίνεται στον χρήστη η βέλτιστη δυνατότητα πλοήγησης του στο χώρο και ελέγχου της εκτέλεσης των πειραμάτων και γ) με την δυνατότητα της χρήσης αυτής της εγκατάστασης για την κατανόηση των ψυχοακουστικών πειραμάτων για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

## 1.2 Οι διαδραστικές εγκαταστάσεις ως μέσο καλλιτεχνικής έκφρασης

Η διάδραση είναι μία κατάσταση ανταπόκρισης στην οποία η δράση και η αντίδραση είναι ενωμένες σε μία διμερή κατάσταση επηρεασμού. Το νόημα της λέξης είναι ότι η δράση ενός αντικειμένου προκαλεί μια παράλληλη δράση σε ένα άλλο αντικείμενο και δεν υπακούει στη λογική της δράσης - αντίδρασης. Ένα παράδειγμα διαδραστικού συστήματος μπορεί να είναι δύο άνθρωποι που κάνουν μια συζήτηση [50].

Η εμπειρία της τέχνης είναι πάντοτε ενεργητική και κατά μία έννοια διαδραστική αποτελούμενη από το περιβάλλον, την αντίληψη και τη δημιουργία νοήματος στο μυαλό του θεατή. Παρόλα αυτά, με την εξέλιξη των μεθόδων διάδρασης με υπολογιστή, ένα νέο είδος καλλιτεχνικής εμπειρίας έχει δημιουργηθεί [50]. Σε έργα βασισμένα σε αυτή την τεχνολογία η εμπειρία δεν είναι μόνο ψυχολογική αλλά δημιουργείται μέσω υλικών ανταλλαγών που συμβαίνουν μεταξύ του θεατή και του υπολογιστή. Ο άνθρωπος και το μηχάνημα δουλεύουν μαζί σε διάλογο για να δημιουργήσουν ένα μοναδικό έργο που διαφέρει ανάλογα με τον εκάστοτε θεατή. Στις αρχές του 1970 ο Ernest Edmonds [49] και ο Stroud Cornock [50] εξέφρασαν μια νέα έννοια σχέσης μεταξύ του καλλιτέχνη, του θεατή και του αντικειμένου

(του υπολογιστή). Περιέγραψαν μία δυναμική καλλιτεχνική κατάσταση στην οποία αναφέρονται ως η μήτρα (the matrix). Όλα τα στοιχεία της μήτρας (ο θεατής, το αντικείμενο και ο καλλιτέχνης), στα οποία αναφέρονται ως το σύστημα τέχνης (art system), συμμετέχουν ενεργά στην κατασκευή του καλλιτεχνικού νοήματος. Το νόημα προκύπτει μέσω της διαδικασίας της ανταλλαγής και η διάδραση η ίδια είναι το καλλιτεχνικό μέσο [5].

### 1.3 Πεδίο Έρευνας

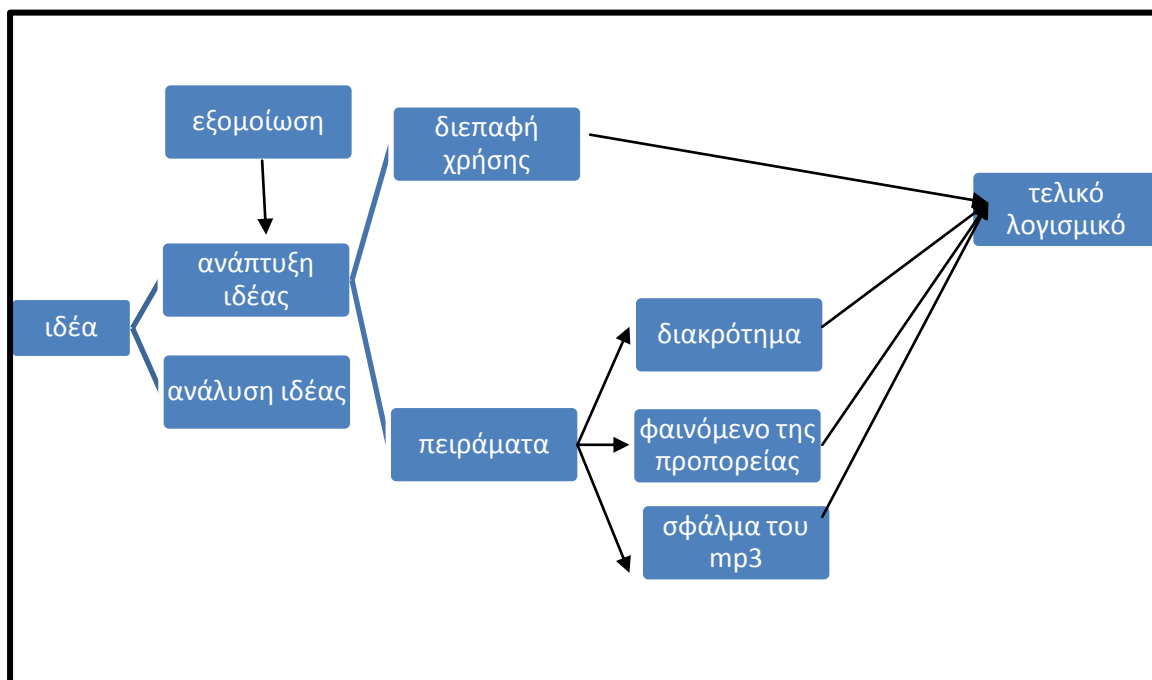
Με σημείο εκκίνησης τη θεωρία για σχεδίαση της επικοινωνίας με τον χρήστη παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την ανθρωποκεντρική ανάπτυξη, στο χώρο των αμφίδρομων εφαρμογών. Επιπλέον, η βιβλιογραφική έρευνα προσπαθεί να κατατοπίσει το κοινό εστιάζοντας στην επιστήμη της ψυχοακουστικής και ειδικότερα στα ψυχοακουστικά πειράματα, τα οποία αναλύονται και παρουσιάζονται τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο.

Το πεδίο της διάδρασης ανθρώπου – υπολογιστή σίγουρα δεν είναι κάτι καινούριο. Απασχολεί τους ερευνητές εδώ και πολλά χρόνια, έχοντας ως αποτέλεσμα την καλύτερη και γρηγορότερη προσαρμογή των χρηστών στα διάφορα πληροφοριακά συστήματα. Το γεγονός, όμως, ότι οι διαδραστικές εγκαταστάσεις είναι κάτι αρκετά πρωτόγνωρο για ένα μεγάλο αριθμό ανθρώπων, οι οποίοι δεν βρίσκονται σε θέση να έχουν πρόσβαση σε τέτοιου είδους διαδραστικά περιβάλλοντα, έχει ως αποτέλεσμα να χρειάζεται να γίνει πιο εξειδικευμένη έρευνα σε θέματα που αφορούν τις διαδραστικές εγκαταστάσεις, τόσο από την σκοπιά των καλλιτεχνών όσο και από την σκοπιά των τεχνολόγων [28]. Το ερευνητικό πεδίο που ασχολείται με την ψυχοακουστική έχει επιδείξει και αυτό μέχρι τώρα αρκετές καινοτομίες έχοντας παράγει πρότυπα (π.χ. MPEG 1 - Layer III) [47] καθώς και πειράματα - το φαινόμενο της προπορείας, το κατώφλι ακουστότητας, το διακρότημα κ.α.- [48] που έχουν ως αποτέλεσμα τόσο την ποιοτική όσο και την ποσοτική προσέγγιση του πώς αντιλαμβάνεται τον ήχο το ανθρώπινο αυτί.

### 1.4 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία ανάπτυξης αποτελείται από ένα σύνολο από εργαλεία και μια σειρά από παράλληλα βήματα που παίρνουν τα δεδομένα και οδηγούν στο στάδιο της σχεδίασης τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Η μεθοδολογία η οποία χρησιμοποιήθηκε για

την ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας βασίστηκε στα στάδια ανάπτυξης της διαδραστικής πλατφόρμας λογισμικού “iSEE” όπου μια σειρά από διαφορετικές διεργασίες έπρεπε να αναπτυχθούν.



Εικόνα 1.1 Μεθοδολογία ανάπτυξης

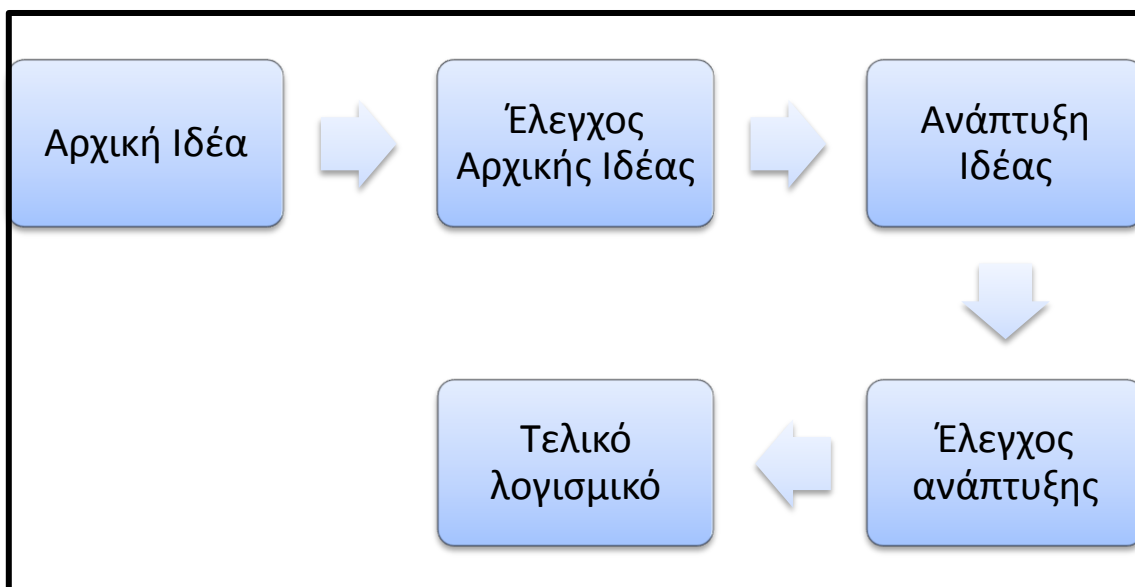
Στην εικόνα 1.1 παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την ολοκλήρωση της πλατφόρμας λογισμικού της εγκατάστασης. Όπως μπορούμε να δούμε γίνεται μια περιγραφή της μεθοδολογίας εξέλιξης της διαδραστικής πλατφόρμας που αναπτύχθηκε. Η πτυχιακή εργασία χωρίζεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο γίνεται η θεωρητική προσέγγιση της εργασίας όπου μελετούνται οι τρόποι και οι κανόνες αλληλεπίδρασης με τον χρήστη, ο σχεδιασμός της επικοινωνίας καθώς και η επιλογή του μέσου. Στη συνέχεια μελετούνται τα ψυχοακουστικά πειράματα καθώς και οι παράμετροι διάδρασης τους με σκοπό την βέλτιστη ανάπτυξη τους.

Το δεύτερο στάδιο γίνεται η ανάπτυξη αυτής της πτυχιακής εργασίας. Έχοντας μια σφαιρική γνώση της θεωρίας είναι θέμα χρόνου η ολοκλήρωση του τελικού προγράμματος, η ανάπτυξη του οποίου χωρίστηκε και αυτή σε στάδια. Τα στάδια του, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1 αφορούν την ανάπτυξη των επιμέρους συντελεστών της εργασίας. Πρώτα αναπτύσσεται η διεπαφή χρήσης, και στη συνέχεια τα ψυχοακουστικά πειράματα τα οποία

πρώτα εξομοιώνονται το καθένα ξεχωριστά. Στη συνέχεια αφού τα επιμέρους κομμάτια του λογισμικού είναι έτοιμα, ενσωματώνονται στην τελική πλατφόρμα λογισμικού.

Κατά την ανάπτυξη των επιμέρους στοιχείων αλλά και του τελικού λογισμικού εμφανίστηκαν προβλήματα τα οποία έπρεπε να επιλυθούν. Αυτά τα προβλήματα κατηγοριοποιήθηκαν και στη συνέχεια επιλύθηκαν ανάλογα με την βαρύτητα που τα διέκρινε. Κάποια προβλήματα όμως εμφανίστηκαν και κατά το στήσιμο της εγκατάστασης που έγινε στο φεστιβάλ του τμήματος Τεχνών Ήχου και Εικόνας. Αντίστοιχα και αυτά τα προβλήματα κατηγοριοποιήθηκαν και επιλύθηκαν με αντίστοιχο τρόπο.

Η ανάπτυξη και ο έλεγχος (Εικόνα 1.2) μιας ιδέας είναι ένα κρίσιμο στάδιο στην ολοκλήρωση ενός λογισμικού γιατί πρέπει να γίνει σε περιορισμένο χρονικό διάστημα. Επίσης η ανάπτυξη μιας αρχικής ιδέας περιλαμβάνει κάποια στάδια συμβιβασμών. Αυτό πολλές φορές οφείλεται στο περιορισμένο χρόνο που έχουν στην διάθεσή τους τα άτομα που αναπτύσσουν την ιδέα. Ένας ακόμα παράγοντας ο οποίος δημιουργεί προβλήματα και οδηγεί σε συμβιβασμό είναι ο εξοπλισμός και γενικότερα τα υλικά τα οποία πολλές φορές δεν υπάρχουν [28]. Στο κεφάλαιο που ασχολείται με την ανάπτυξη της πτυχιακής εργασίας γίνεται μια παρουσίαση των συμβιβασμών που έγιναν τόσο κατά την ανάπτυξη όσο και κατά το στήσιμο της πτυχιακής εργασίας.



**Εικόνα 1.2** Στάδια ανάπτυξης εργασίας

# Κεφάλαιο 2

## Θεωρητικό πλαίσιο

Η καλή γνώση της θεωρίας στους τομείς τους οποίους καλύπτει αυτή η εργασία είναι αναγκαία. Η εις βάθος γνώση των θεωρητικών ζητημάτων όμως δεν είναι απαραίτητη μόνο για αυτήν την εργασία. Η εμπάθυνση σε κάποιους θεωρητικούς κανόνες είναι αυτή που βοηθάει πολλές φορές στην ανάπτυξη πολύπλοκων εφαρμογών. Επιπλέον, η θεωρία βοηθάει στην αναζήτηση περισσότερων αιτίων, μας δίνει την δυνατότητα για ορθότερες ή λεπτομερέστερες ερμηνείες στα προβλήματα που εμφανίζονται και καλύτερη κατανόηση των αιτίων - αποτελεσμάτων.

Σε αυτή την ενότητα εξετάζεται και αναλύεται το θεωρητικό πλαίσιο μέσα στο οποίο κινήθηκε η ανάπτυξη της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Στο θεωρητικό αυτό πλαίσιο μελετούνται οι βασικές αρχές της θεωρίας της Διάδρασης Ανθρώπου - Υπολογιστή (Human – Computer Interaction HCI), των ψυχοακουστικών πειραμάτων τα οποία πραγματοποιήθηκαν για την εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας καθώς και οι αρχές της τέχνης των νέων μέσων (New Media Art).

### 2.1 Διάδραση ανθρώπου - υπολογιστή (HCI)

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική ανασκόπηση της θεωρίας για την σχεδίαση της επικοινωνίας με το χρήστη. Ο χώρος που ορίζεται από την τομή των ψηφιακών μορφών τέχνης και της επιστήμης για την επικοινωνία ανθρώπου και υπολογιστή (Human Computer Interaction - HCI), είναι σχετικά ανεξερεύνητος. Οι συσχετίσεις όμως είναι πολλές και φαίνονται μέσα από άρθρα [6], επιστημονικά περιοδικά [7] αλλά και εκθέσεις ψηφιακών τεχνών (π.χ. Ars Electronica [8], Biennale of Electronic Arts [9]). Επίσης, ο χώρος αυτός δεν φαίνεται να έχει απασχολήσει ιδιαίτερα τους ακαδημαϊκούς, πέρα από ελάχιστες εξαιρέσεις, όπως είναι ο Golan Levin, Ben Fry και Casey Reas.



### **2.1.1 Σχεδίαση της επικοινωνίας ανθρώπου και υπολογιστή**

Η σχεδίαση της επικοινωνίας ανθρώπου και υπολογιστή είναι ο επιστημονικός κλάδος ο οποίος ασχολείται με την ευχρηστία (usability) των υπολογιστικών συστημάτων. Η επιστήμη αυτή ασχολείται βασικά με τη μελέτη των ανθρώπων, της τεχνολογίας των υπολογιστών και των τρόπων που επηρεάζει το ένα το άλλο. Η ευχρηστία ενός υπολογιστικού συστήματος είναι ένα κριτήριο της ευκολίας χρήσης και εκμάθησης, της ασφάλειας, της αποτελεσματικότητας, της απόδοσης και της στάσης των χρηστών απέναντι σε αυτό.

Η ευχρηστία ([10], [11], [12]) μετράται επιλέγοντας ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα των χρηστών του συστήματος και αναθέτοντας ένα σύνολο από προκαθορισμένες διαδικασίες προς ολοκλήρωση. Το ίδιο σύστημα μπορεί να έχει διαφορετικές απαιτήσεις ευχρηστίας για διαφορετικούς χρήστες και εφαρμογές. Για παράδειγμα ένας επεξεργαστής κειμένου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συγγραφή ενός απλού γράμματος και ταυτόχρονα για την ανάπτυξη και συντήρηση πολυσέλιδων τεχνικών εγχειριδίων. Είναι προφανές ότι οι απαιτήσεις είναι διαφορετικές για κάθε χρήστη και για κάθε διεργασία. Δυστυχώς, η προσπάθεια για ικανοποίηση όλων με τη μέση λύση οδηγεί σε εφαρμογές που δεν εξυπηρετούν ουσιαστικά καμία ανάγκη.

### **2.1.2 Διαδραστικά περιβάλλοντα και εγκαταστάσεις**

Ως διαδραστικά περιβάλλοντα θεωρούνται τα περιβάλλοντα εκείνα όπου ο χρήστης έχει την δυνατότητα να πλοηγηθεί μέσα σε αυτά επηρεάζοντας τις παραμέτρους τις οποίες έχει αναπτύξει και οριοθετήσει ο κάθε δημιουργός. Τα διαδραστικά περιβάλλοντα τα συναντάμε σε εικονικούς κόσμους βιντεοπαιχνιδιών, σε πολυμεσικές εφαρμογές άλλα και σε διαδραστικές εγκαταστάσεις. Σε όλες τις περιπτώσεις το εικονικό δίκτυο πλοήγησης των χρηστών σχεδιάζεται και αναπτύσσεται με την ίδια λογική [53].

Τα εικονικά περιβάλλοντα των διαδραστικών εγκαταστάσεων σε σχέση με τα εικονικά περιβάλλοντα που αναπτύσσονται για βιντεοπαιχνίδια συνήθως περιέχουν μικρότερο αριθμό πληροφορίας, επιδιώκοντας την ευκολία στην πλοήγηση. Για την απεικόνιση τέτοιου είδους διαδραστικών περιβαλλόντων είναι αναγκαίο να υπάρχουν κάποιου είδους μηχανές απεικόνισης. Στην περίπτωση των βιντεοπαιχνιδιών η απεικόνιση αυτή γίνεται από τις οθόνες του υπολογιστή. Στις διαδραστικές εγκαταστάσεις τα περιβάλλοντα αυτά για την

“iSEE” Διαδραστική εγκατάσταση για την εκτέλεση ψυχοακουστικών πειραμάτων

απεικόνιση τους χρησιμοποιούν διάφορους τύπους βιντεοπροβολέων ή ακόμα και διάφορες ειδικές συσκευές π.χ. γυαλιά εικονικής αναπαράστασης [53].

Αναπτύσσοντας τέτοιου είδους εικονικά περιβάλλοντα για διαδραστικές εγκαταστάσεις, η σχεδίαση μιας διεπαφής χρήσης, η οποία δεν αφορά την επιφάνεια εργασίας του υπολογιστή ή κάποιου προγράμματος που απεικονίζεται στην οθόνη του υπολογιστή, αρκετές φορές χρειάζεται περισσότερη μελέτη έτσι ώστε να υπάρξει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Ειδικότερα, όταν πρόκειται για την ανάπτυξη μιας διεπαφής για ένα εικονικό περιβάλλον τότε τα πράγματα γίνονται ακόμα δυσκολότερα. Τέλος, αν αναλογιστούμε ότι η πλοήγηση – εξερεύνηση του εικονικού αυτού κόσμου δεν γίνεται με το γνωστό ποντίκι, ή το πληκτρολόγιο, ή κάποιο χειριστήριο αλλά με την χρήση άλλων μέσων αλληλεπίδρασης, τότε απαιτείται συνεχής και εκτεταμένος έλεγχος σε θέματα ευχρηστίας [54].

### **2.1.3 Βασικές Αρχές**

Για να επιτύχουμε τους στόχους της χρησιμότητας υπάρχουν πολλές αρχές και κατευθύνσεις, που μπορούμε να ακολουθήσουμε. Οι αρχές παρέχουν γενικούς κανόνες που μπορούν να εφαρμοστούν ανεξάρτητα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε σχεδίασης. Οι κατευθύνσεις είναι περισσότερο γενικές και βασίζονται στη θεωρία της ψυχολογίας και στην μέχρι τώρα εμπειρία. Επιπλέον, οι κατευθύνσεις συχνά είναι αντιφατικές μεταξύ τους, ώστε να απαιτείται κριτική και δοκιμές για την επιτυχή εφαρμογή τους [13].

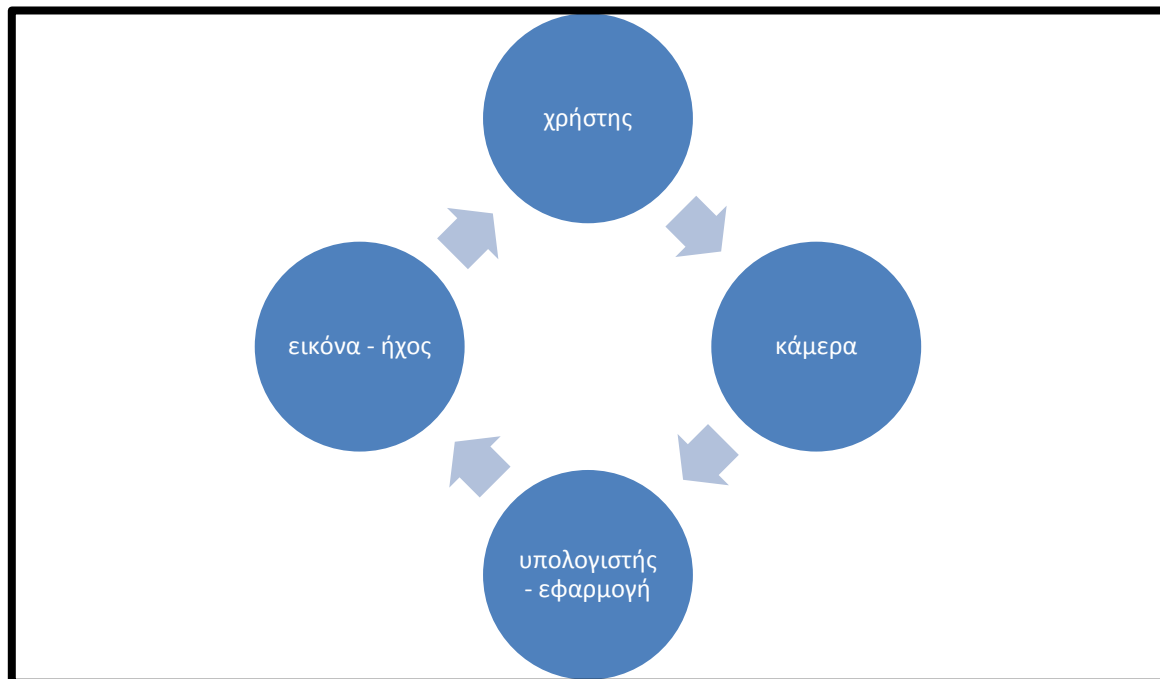
### **2.1.4 Τρόποι αλληλεπίδρασης με τον υπολογιστή**

Για τον σχεδιασμό της επικοινωνίας με το χρήστη πρέπει να επιλέξουμε ανάμεσα στα βασικά είδη αλληλεπίδρασης. Στην ανάπτυξη των εφαρμογών τα βασικά μέσα αλληλεπίδρασης του χρήστη με τον υπολογιστή που χρησιμοποιούνται είναι το ποντίκι, το πληκτρολόγιο και η οθόνη του υπολογιστή.

Στην ανάπτυξη καλλιτεχνικών διαδραστικών εφαρμογών και εγκαταστάσεων το μέσο της αλληλεπίδρασης πολλές φορές διαφέρει. Η χρήση του πληκτρολογίου και του ποντικιού πολλές φορές στις διαδραστικές εγκαταστάσεις δεν βοηθάει. Γι' αυτό το λόγο κάποια νέα μέσα αλληλεπίδρασης έρχονται να ολοκληρώσουν και να βοηθήσουν τον καλλιτέχνη – προγραμματιστή βοηθώντας τον να αναπτύξει πολυπλοκότερες και πιο ενδιαφέρουσες

εφαρμογές. Κάποια από αυτά τα μέσα μπορεί να είναι η βιντεοκάμερα (από τα πιο γνωστά μέσα αλληλεπίδρασης στις διαδραστικές εγκαταστάσεις), μικρόφωνα, διάφοροι τύποι αισθητήρων καθώς και συσκευές εξόδου όπως κινητά με διασύνδεση Bluetooth και χειριστήρια παιχνιδιομηχανών (π.χ. χειριστήριο του Wii της Nintendo)

Στην εικόνα 2.1 παρουσιάζεται η κυκλική διαδρομή της διάδρασης των μέσων και του χρήστη που αναπτύχθηκε σε αυτή την εργασία. Όπως μπορούμε να δούμε το μέσο με το οποίο ο χρήστης αλληλεπιδρά είναι η κάμερα. Στη συνέχεια η εφαρμογή του υπολογιστή επεξεργάζεται τα δεδομένα και παράγει τα κατάλληλα ηχητικά και οπτικά αποτελέσματα, τα οποία ο χρήστης αντίστοιχα ακούει και βλέπει. Έτσι παρατηρούμε ότι η αλληλεπίδραση ξεκινάει και τελειώνει με τον χρήστη δημιουργώντας μια κυκλική ροή των δεδομένων.



**Εικόνα 2.1** Κυκλική διαδρομή της διάδρασης των μέσων και του χρήστη

### 2.1.5 Επιλογή του μέσου

Η επιλογή του κατάλληλου μέσου διάδρασης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο κατά την ανάπτυξη μιας διαδραστικής εγκατάστασης. Οι χρήστες είναι εξοικειωμένοι να χρησιμοποιούν ως μέσο διάδρασης με τις καθημερινές συσκευές τα κατάλληλα εργαλεία (τηλεκοντρόλ για την τηλεόραση, ποντίκι ή πληκτρολόγιο για τον υπολογιστή κ.α.). Αν η

ορολογία και το νόημα των αντικειμένων αυτών είναι κατανοητά και ευδιάκριτα, τότε οι χρήστες μπορούν να πραγματοποιήσουν τους στόχους τους με σχετικά λίγο χρόνο εκμάθησης, μικρή επιβάρυνση μνήμης και λίγες ενέργειες. Επιπλέον, στις λίστες και τα εικονίδια του υπολογιστή γίνεται απεικόνιση των αντικειμένων. Η απεικόνιση αυτή έχει ως σκοπό να βοηθήσει τον χρήστη στην κατανόηση του εσωτερικού του αντικειμένου. Στις διαδραστικές εγκαταστάσεις τις περισσότερες φορές αυτή η απεικόνιση είναι αρκετά αφαιρετική, έχοντας ως σκοπό να δώσει το ερέθισμα της εξερεύνησης στον χρήστη, χωρίς να λαμβάνει υπόψη ότι πολλές φορές λόγω των διαφορετικών εμπειριών που έχουν οι χρήστες μπορεί να απομακρυνθούν αντί να έρθουν πιο κοντά σε ένα τέτοιο σύστημα [54].

### **2.1.6 Άμεσος χειρισμός**

Στις διαδραστικές εγκαταστάσεις ο χρήστης έχει την δυνατότητα να διακρίνει το περιβάλλον παρόλ’ αυτά δεν έχει την δυνατότητα να το αλλάξει όπως κάνει με την επιφάνεια εργασίας του. Το περιβάλλον όπου ο χρήστης πρέπει να αλληλεπιδράσει είναι κάτι στατικό με μονόδρομες πολλές φορές διεξόδους. Το μόνο που μένει πλέον για τον χρήστη είναι η ικανότητα που έχει να πλοηγηθεί σε αυτό το περιβάλλον παίρνοντας όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες [53].

### **2.1.7 Διάδραση Ανθρώπου – Υπολογιστή στη Τέχνη**

Η διάδραση ανθρώπου υπολογιστή στη τέχνη δεν είναι κάτι καινούριο, παρόλ’ αυτά δεν είναι αρκετά διαδεδομένη. Η διάδραση στη τέχνη βλέπουμε ότι εφαρμόζεται κυρίως σε διαδραστικές εγκαταστάσεις οι οποίες έχουν ως στόχο να χρησιμοποιήσουν τον χρήστη ως τον εκτελεστή των αποτελεσμάτων τα οποία οι ίδιοι οι καλλιτέχνες – τεχνολόγοι έχουν προγραμματίσει και αναπτύξει. Ουσιαστικά ο χρήστης δεν είναι αυτός που παράγει κάτι καινούριο, αντιθέτως αλληλεπιδρά με την εφαρμογή την οποία ο εκάστοτε καλλιτέχνης έχει δημιουργήσει. Επομένως ο καλλιτέχνης έχει δημιουργήσει κάποια μονοπάτια στα οποία ο χρήστης πρέπει να εξελίξει αυτό που ο καλλιτέχνης έχει φτιάξει κατανοώντας ταυτόχρονα το βαθύτερο νόημα τους [54].

## 2.2 Θεωρία πειραμάτων

Ως πείραμα χαρακτηρίζεται η οποιαδήποτε έμπρακτη δοκιμή ή εφαρμογή θεωρίας προς άσκηση ή μελέτη και γενικά ο κάθε έλεγχος της θεωρητικής γνώσης. Ειδικότερα όμως πείραμα λέγεται η υπό του ανθρώπου μεθοδική αναπαραγωγή ενός φαινομένου με στόχο την εξακρίβωση της φύσης του, των αιτιών που το προκαλούν και των νόμων από τους οποίους διέπεται αυτό το φαινόμενο [64].

Το πείραμα συμπληρώνει την παρατήρηση και παρέχει γνωστικό υλικό με το οποίο ο επιστήμονας έχει τουλάχιστον την ευκαιρία να παρακολουθήσει πλευρές του φαινομένου που ίσως στη φύση, του είναι αδύνατον. Το πείραμα εκτός της έκδηλης αναγκαιότητάς του εμφανίζει και τα ακόλουθα σημαντικά πλεονεκτήματα:

1. Τα προκαλούμενα από πειράματα φαινόμενα είναι υποκείμενα στον επιθυμητό χρόνο και όχι εκείνο της φύσεως.
2. Παρέχεται το δικαίωμα της επανάληψης κατά βούληση και κάθε φορά που κρίνεται αναγκαίο.
3. Παρέχουν χρόνο εξαγωγής συμπερασμάτων.
4. Παρέχουν δυνατότητα διαχωρισμού των φαινομένων που δεν παρέχεται στη Φύση
5. Παρέχεται συχνά η δυνατότητα αυξομείωσης της ταχύτητας ενός φαινομένου που απαντάται στη φύση.
6. Παρέχεται η δυνατότητα ακριβέστερων μετρήσεων και
7. Παρέχεται η δυνατότητα της γραφικής πλέον παράστασης αυτού τούτου του φαινομένου.

Γενικά τα πειράματα πραγματοποιούνται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες, όπως ακριβώς εκείνες των Εργαστηρίων. Κατά τη διάρκεια δε αυτών πραγματοποιούνται διάφορες μετρήσεις, δηλαδή αντιστοιχίες φυσικών ποσοτήτων σε συγκεκριμένους αριθμούς (αριθμητικές τιμές) μετά από σύγκριση αυτών με πρότυπες ποσότητες, ίδιων μεγεθών, που έχουν γίνει αποδεκτές ως μονάδες. Σε όλες όμως τις μετρήσεις συνυπάρχουν σφάλματα που αποτελούν και τις σχετικές ανακρίβειες των μετρήσεων. Τα σφάλματα αυτά προέρχονται από τρεις παράγοντες που μπορεί και να συνυπάρξουν, το σφάλμα των οργάνων, το σφάλμα του παρατηρητή και οι συνθήκες του περιβάλλοντος [64].

Τα πειραματικά αποτελέσματα ερμηνεύονται με τη βοήθεια "υποθέσεων" οι οποίες και αποτελούν τις επιστημονικές "προτάσεις" ερμηνείας. Αυτές οι υποθέσεις εφόσον

“iSEE” Διαδραστική εγκατάσταση για την εκτέλεση ψυχοακουστικών πειραμάτων

επαληθευτούν και αποδειχθούν, αποκτούν στη συνέχεια την ισχύ του επιστημονικού Νόμου ή Θεωρίας [64].

## **2.3 Ακουστική**

Ακουστική είναι ο κλάδος της φυσικής που μελετά τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά του ήχου, καθώς επίσης και τις εφαρμογές του. Μεταξύ άλλων μελετά την παραγωγή, τη μετάδοση και τη λήψη του ήχου στα διάφορα υλικά μέσα, καθώς επίσης και τις τεχνικές ελέγχου και επεξεργασίας για την εκμετάλλευση του ήχου σε εξειδικευμένες εφαρμογές [14].

## **2.4 Ψυχοακουστική**

Η ψυχοακουστική αποτελεί τον κλάδο της ακουστικής, ο οποίος μελετά τον υποκειμενικό τρόπο με τον οποίο το ανθρώπινο σύστημα της ακοής αντιλαμβάνεται τους διάφορους ήχους, συμπεριλαμβανόμενης και της μουσικής.

### **2.4.1 Εφαρμοσμένη ψυχοακουστική**

Η ψυχοακουστική αυτή τη στιγμή εφαρμόζεται σε πολλά πεδία της ανάπτυξης λογισμικού, όπου οι προγραμματιστές αποτυπώνουν πειράματα μαθηματικών μοντέλων που έχουν αποδειχθεί στην ψηφιακή επεξεργασία σήματος, όπου πολλοί κωδικοποιητές συμπίεσης ήχου -όπως το mp3- χρησιμοποιούν ένα ψυχοακουστικό πρότυπο για την αύξηση του λόγου συμπίεσης. Επίσης, εφαρμόζεται κατά το σχεδιασμό των υψηλής ποιότητας συστημάτων ήχου για ακριβή αναπαραγωγή της μουσικής σε θέατρα και σπίτια, καθώς και για αμυντικά συστήματα, όπου οι επιστήμονες έχουν πειραματιστεί με περιορισμένη επιτυχία στη δημιουργία νέων ακουστικών όπλων, τα οποία εκπέμπουν συχνότητες που μπορούν να περιορίσουν τις βλάβες ή το θάνατο. Επιπλέον, στις μέρες μας η ψυχοακουστική έχει εφαρμογές στη μουσική, όπου οι μουσικοί και οι καλλιτέχνες συνεχίζουν να δημιουργούν νέες ακουστικές εμπειρίες συγκαλύπτοντας τις συχνότητες των ανεπιθύμητων μέσων. Τέλος, μια άλλη εφαρμογή είναι στο σχεδιασμό των μικρών ή κατώτερης ποιότητας ηχείων, τα οποία χρησιμοποιούν το φαινόμενο της χαμένης χαμηλής συχνότητας (missing fundamentals) για να δώσει το εφέ των χαμηλών συχνοτήτων του μπάσου όταν το σύστημα, εξαιτίας του συγκεκριμένου ορίου συχνοτήτων τις οποίες καλύπτει, δεν μπορεί να τις αναπαραγάγει [15].

## 2.5 Ψυχοακουστικά πειράματα

Τα ψυχοακουστικά πειράματα, όπως έχει αναφερθεί, αναπτύσσονται με σκοπό να κατανοήσουν οι επιστήμονες το πώς αντιλαμβάνεται τον ήχο το ανθρώπινο αυτί. Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί αρκετά ψυχοακουστικά πειράματα τα οποία μελετούν τις διαφορετικές ιδιότητες της αντίληψης κάποιων ηχητικών φαινομένων. Οι μέθοδοι που ακολουθούνται για την εκτέλεση των ψυχοακουστικών πειραμάτων ποικίλουν ανάλογα με το είδος του πειράματος. Επιπλέον, για την όσο το δυνατόν καλύτερη κατανόηση των συμπερασμάτων και των αποτελεσμάτων χρειάζεται ένα μεγάλο δείγμα από αυτά τα πειράματα. Τα πειράματα αυτά για την καλύτερη και ακριβέστερη δυνατή διεξαγωγή τους γίνονται μέσα σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο εξοπλισμό τόσο σε υλικό όσο και σε λογισμικό ή ακόμα και στο διαδίκτυο. Επίσης, όπως αναφέρθηκε, τα πειράματα αυτά έχουν ως σκοπό να χαρτογραφήσουν την ικανότητα της ακουστικής των ανθρώπων, να εξελίξουν κάποιους αλγόριθμους συμπίεσης ή ακόμα να μελετήσουν την ακουστική ικανότητα ενός χώρου. Ένα παράδειγμα για το πώς συνδέονται τα πειράματα αυτά μεταξύ τους είναι η συμπίεση των ηχητικών δεδομένων με τον κωδικοποιητή mp3. Ουσιαστικά οι ερευνητές μελετούν τις δυνατότητες του ανθρώπινου αυτιού και καταγράφουν τις συχνότητες εκείνες που δεν αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί. Με αυτόν τον τρόπο κατάφεραν να δημιουργήσουν έναν κωδικοποιητή συμπίεσης, το γνωστό σε όλους mp3, ο οποίος έχει ως σκοπό να σβήσει από το ηχητικό αρχείο αυτές τις συχνότητες χωρίς να αντιλαμβάνεται ο μέσος χρήστης την αλλοίωση που υπέστη ο ήχος.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στην παρούσα εργασία η προτεινόμενη πλατφόρμα ψυχοακουστικών πειραμάτων αναπτύχθηκε με τη χρήση τριών γνωστών ψυχοακουστικών φαινομένων. Τα ψυχοακουστικά αυτά πειράματα δεν εξελίσσονται σε κάποιον ειδικά διαμορφωμένο χώρο αλλά ούτε χρησιμοποιούν κάποιο εξειδικευμένο λογισμικό όπως συμβαίνει στα διάφορα εργαστήρια όπου γίνονται οι μελέτες. Ουσιαστικά πρόκειται για μια αυτοσχέδια πλατφόρμα εκτέλεσης των τριών αυτών πειραμάτων η οποία αναπτύχθηκε στο πλαίσιο αυτής της εργασίας. Σε αυτό το σημείο, γίνεται μια σύντομη επισκόπηση αυτών των πειραμάτων σε θεωρητικό πλαίσιο.

Αν και υπάρχουν αρκετά ψυχοακουστικά πειράματα τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν σε αυτήν την εγκατάσταση, ένα σημαντικό κριτήριο για την επιλογή των πειραμάτων είναι η δυνατότητα ελέγχου λίγων παραμέτρων με μικρή σχετικά δυναμική περιοχή. Αυτό το κριτήριο το λαμβάνουμε υπ' όψιν λόγω των περιορισμένων διαστάσεων του χώρου της εγκατάστασης και κατ' επέκταση της περιορισμένης απόστασης μεταξύ του συμμετέχοντος

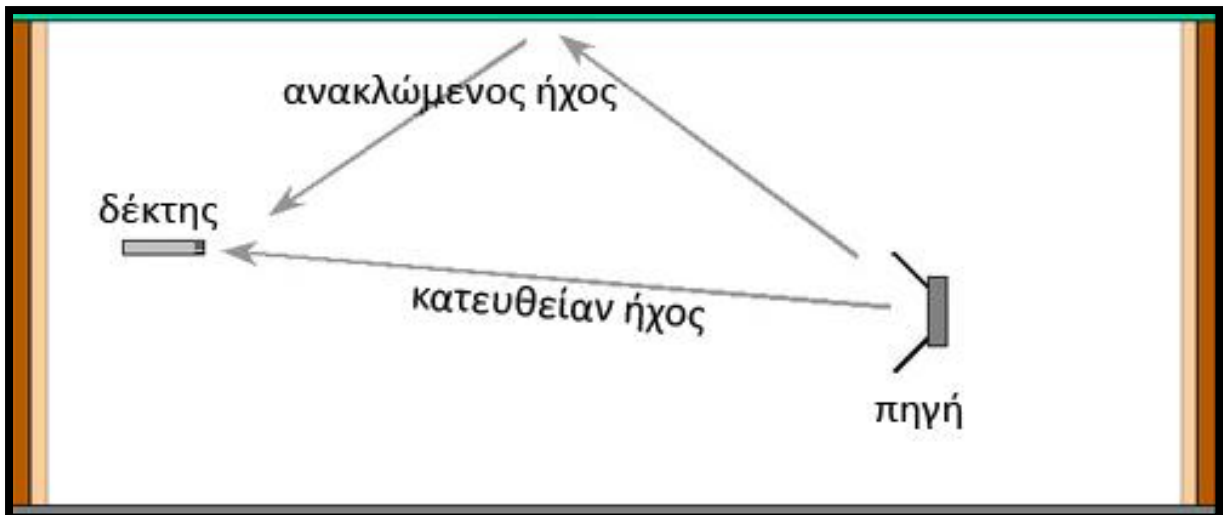
και της περιοχής προσέγγισης. Ενδεικτικά αναφέρονται κάποια ψυχοακουστικά πειράματα όπως το φαινόμενο Doppler, το κατώφλι ακουστότητας, το διακρότημα, το φαινόμενο της προπορείας κ.α. Η τελική επιλογή των πειραμάτων έγινε με βάση την ικανοποίηση των παραπάνω κριτηρίων και σε συνεννόηση με τον καθηγητή και επιβλέποντα της προτεινόμενης πτυχιακής εργασίας.

### **2.5.1 Το φαινόμενο της προπορείας (Precedence effect)**

Το φαινόμενο της προπορείας [16] (γνωστό επίσης και ως Hass effect), περιγράφει τον ορθό προσδιορισμό της κατεύθυνσης της ηχητικής πηγής που ακούει ο άνθρωπος και στα δύο αυτιά, που φθάνουν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Λόγω της γεωμετρίας του κεφαλιού (η απόσταση των δυο αυτιών, που χωρίζονται από ένα φράγμα) ο άμεσος ήχος από κάποια ηχητική πηγή εισέρχεται για πρώτη φορά στο αυτί που βρίσκεται πλησιέστερα προς την πηγή. Το φαινόμενο της προπορείας εξετάζει την δυνατότητα που έχει ο άνθρωπος να εντοπίζει μια καλή πηγή με βάση τον πρώτο ήχο που φθάνει, αν η μεταγενέστερη άφιξη βρίσκεται εντός 25-35 χιλιοστά του δευτερολέπτου (η ακριβής τιμή εξαρτάται από τα ηχητικά σήματα π.χ. για έντονα μεταβατικούς (transient) ήχους είναι περίπου 5msec). Αν η καθυστέρηση της άφιξης του ήχου είναι μεγαλύτερη, τότε δύο διαφορετικοί ήχοι ακούγονται. Αυτή η σχετική καθυστέρηση της άφιξης αντιπροσωπεύει την παράμετρο αλληλεπίδρασης που επιλέχθηκε για την πραγματοποίηση της πλατφόρμας iSEE, που επιτρέπει τον πειραματικό ορισμό της μέσης τιμής για μια τυπική σειρά δοκιμών από ηχητικά σήματα.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι το φαινόμενο της προπορείας είναι αισθητό ακόμη και όταν η δεύτερη άφιξη του ήχου είναι δυνατότερα από την πρώτη (μέχρι και 10 dB). Στην ουσία, δεν ακούγεται η καθυστέρηση του ήχου. Πιο αναλυτικά, πρόκειται για ένα ακουστικό παράδειγμα αναστολής των ανθρώπινων αισθητηρίων που ισχύει για όλες τις αισθήσεις μας. Η οργανοληπτική αναστολή περιγράφει τα φαινόμενα της απόκρισης ενός πρώτου ερεθίσματος το οποίο προκαλεί την απόκριση σε ένα δεύτερο κίνητρο για να είναι αδρανές, δηλαδή, ο πρώτος ήχος που εισέρχεται σε ένα αυτί προκαλεί το "μη άκουσμα" της καθυστέρησης του ήχου που εισέρχεται στο άλλο αυτί (κατά τα 35 χιλιοστά του χρόνου). Οι ήχοι που φθάνουν στα δύο αυτιά ταυτόχρονα ακούγονται σαν να προέρχονται από ευθεία, ή πίσω, ή εντός του κεφαλιού. Ως εκ τούτου, σε γενικές γραμμές, το φαινόμενο της προπορείας είναι δυνατόν να περιγράψει τον τρόπο της πλήρους στερεοφωνικής αναπαραγωγής από δύο μόνο ηχεία.





Εικόνα 2.2 Φαινόμενο της προπορείας

### 2.5.2 Διακρότημα

Όταν ένα σώμα εκτελεί δύο απλές αρμονικές ταλαντώσεις ίδιας διεύθυνσης, ίδιου πλάτους, γύρω από το ίδιο σημείο ισορροπίας με συχνότητες που να διαφέρουν λίγο, τότε η τελική κίνηση του σώματος είναι μια ιδιόμορφη ταλάντωση, που ονομάζεται διακρότημα, με συχνότητα ίση με τον μέσο όρο των δύο αρχικών συχνοτήτων και μεταβαλλόμενο πλάτος ([17], [18]).

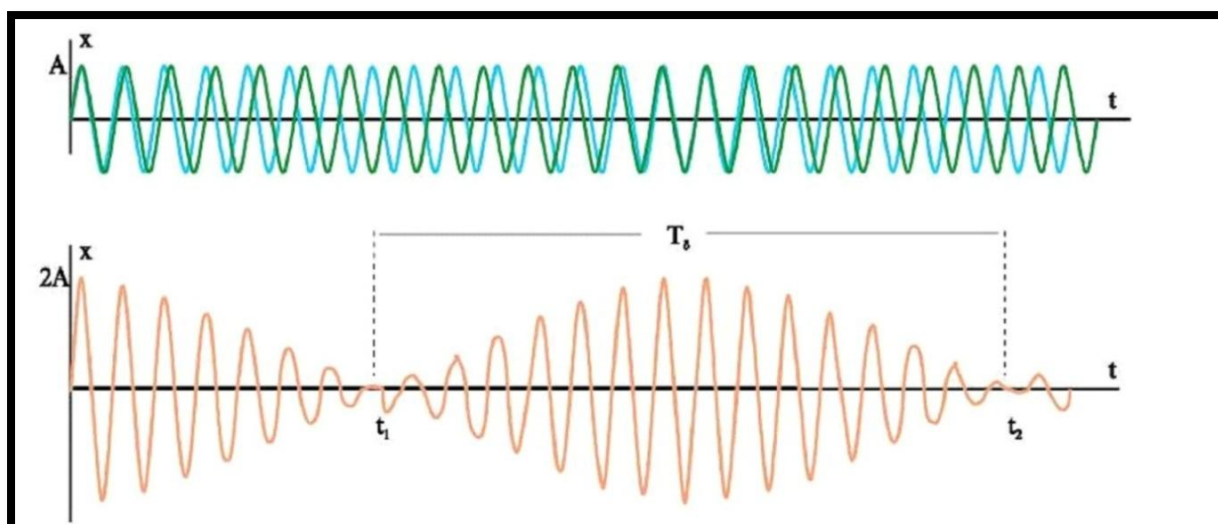
**Εξίσωση 1<sup>ης</sup> Ταλάντωσης:**  $x_1 = A\eta\mu\omega_1 t$

**Εξίσωση 2<sup>ης</sup> Ταλάντωσης:**  $x_2 = A\eta\mu\omega_2 t$

Όταν προστεθούν αυτές οι δύο ταλαντώσεις ( $x = x_1 + x_2$ ) προκύπτει η αρχή της επαλληλίας. Έτσι με λίγες πράξεις παίρνουμε τελικά την εξίσωση (2.1) του διακροτήματος.

$$x = 2A\sigma\upsilon\nu\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t\right)\eta\mu\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t\right) \quad (2.1)$$

Η παραπάνω εξίσωση περιγράφει ένα διακρότημα του οποίου το πλάτος αυξομειώνεται με περίοδο:  $T\delta = 1/f_1 - f_2$



**Εικόνα 2.3** Από τη σύνθεση δύο ταλαντώσεων που οι συχνότητες τους διαφέρουν πολύ λίγο (πράσινη και μπλε γραμμή) προκύπτει ιδιόμορφη περιοδική κίνηση (κόκκινη γραμμή) που παρουσιάζει διακρότημα.

Σε αυτή την εργασία, η παράμετρος αλληλεπίδρασης του διακροτήματος είναι η απόσταση  $\Delta f$  από την τονική κυματομορφή, όπου επιτρέπει τον πειραματικό προσδιορισμό της κατώτατης τιμής της απόστασης της συχνότητας για την επιτυχία του διακροτήματος όπου σε όλες τις περιπτώσεις θεωρείται σήμα δοκιμής [18]. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι το ανθρώπινο σύστημα ακοής έχει την δυνατότητα να ακούει συχνότητες μεταξύ 30 Hz και 20 KHz.

### 2.5.3 Σφάλμα του mp3

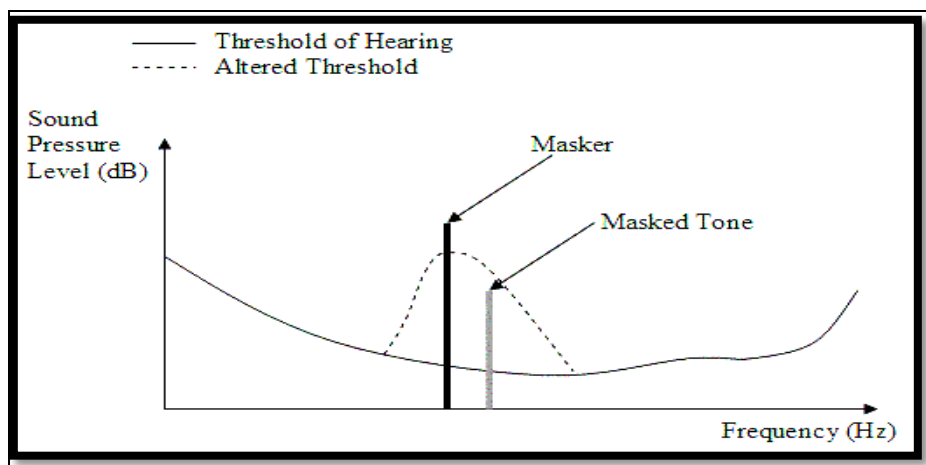
Αυτή η ενότητα επικεντρώνεται στην έννοια του "σφάλματος" της τεχνικής συμπίεσης του mp3 ως αποτέλεσμα την απόρριψη (δηλαδή μη κωδικοποίησης), μίας ποσότητας ηχητικών δεδομένων από ένα ψυχοακουστικό μοντέλο, που βασίζεται στο στιγμιαίο ακουστικό όριο του υποσυστήματος που προκύπτει κατά την διέγερση της ανθρώπινης ακοής. Αυτό το σφάλμα μετράται με την αφαίρεση από τα αρχικά δεδομένα ήχου (τα οποία είναι ασυμπίεστα και κωδικοποιημένα κατά PCM - Pulse Code Modulation) τα δεδομένα που προκύπτουν από το καθεστώς συμπίεσης και αποσυμπίεσης σύμφωνα με το πρότυπο MPEG1 Layer-III, που είναι:

$$E(p) = \text{OriginalAudio} - \text{CodedAudio}(p)$$

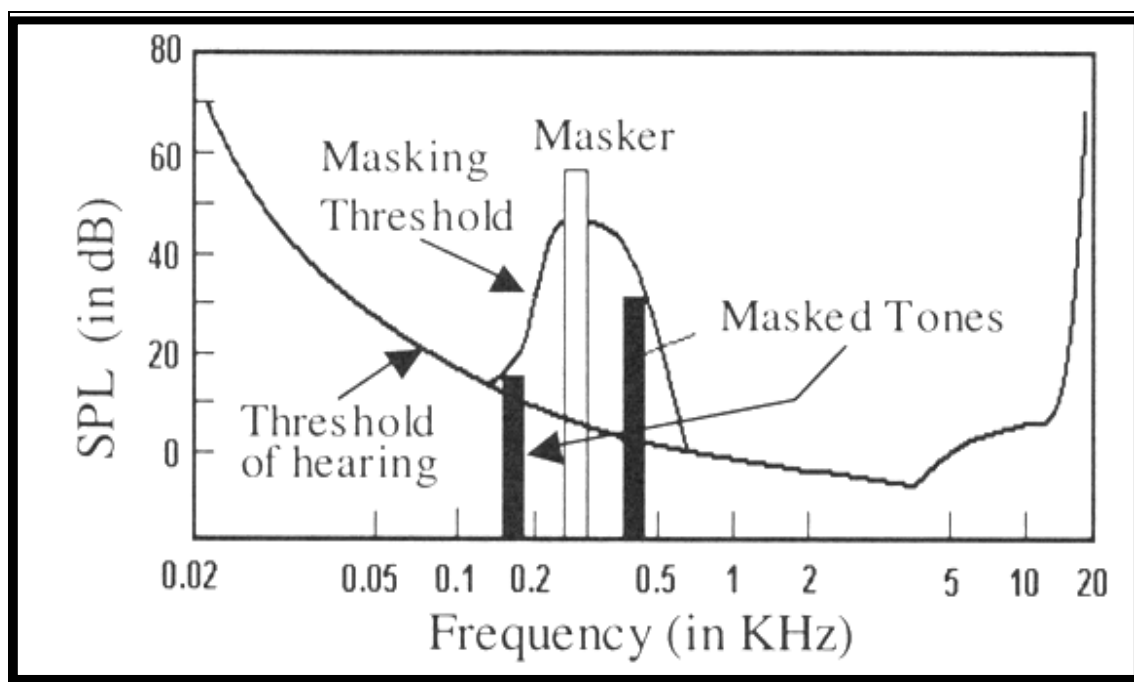
όπου CodedAudio (p) υποδηλώνει το PCM ηχητικό σήμα που λαμβάνεται μετά από τη συμπίεση και αποσυμπίεση του αρχικού δεδομένου. Η παράμετρος αλληλεπίδρασης που εξετάζεται εδώ είναι το επιλεγμένο bitrate κωδικοποίησης (p), το οποίο επιτρέπει την άμεση σύγκριση των διαφορετικών ρυθμών συμπίεσης κατά mp3.

### 2.5.3.1 Ακουστική επικάλυψη

Οι αλγόριθμοι συμπίεσης ηχητικών δεδομένων κατά mp3 επωφελούνται από την περιορισμένη αντίληψη της ανθρώπινης ακοής που ονομάζεται ακουστική συγκάλυψη [19] για τη μείωση του όγκου των δεδομένων που απαιτούνται προκειμένου να παρουσιάσουν το ηχητικό συμπιεσμένο περιεχόμενο σαν πιστή αναπαραγωγή του αρχικού ασυμπίεστου ήχου, για τους περισσότερους ακροατές. Η ακουστική επικάλυψη ονομάζεται η περίπτωση κατά την οποία η ύπαρξη ενός ήχου μεταβάλλει το κατώφλι ακουστότητας. Το φαινόμενο αυτό γίνεται περισσότερο κατανοητό μέσω των παρακάτω εικόνων. Στις παρακάτω εικόνες (2.4, 2.5), βλέπουμε την ακουστική επικάλυψη η οποία συμβαίνει σε ένα ημιτονοειδές σήμα. Στον οριζόντιο άξονα παριστάνεται η συχνότητα (Frequency) και στον κάθετο άξονα, η ηχητική πίεση (Sound Pressure). Με την συνεχή γραμμή συμβολίζουμε το κατώφλι ακουστότητας (Threshold of Hearing) και με την διακεκομμένη γραμμή συμβολίζουμε το κατώφλι επικάλυψης (Altered Threshold). Το ανθρώπινο αυτί είναι ευαίσθητο σε ένα μεγάλο φάσμα συχνοτήτων. Όταν, όμως, σε μία συχνότητα υπάρχει μεγάλη ενέργεια σήματος, το αυτί δεν μπορεί να ακούσει τα σήματα των διπλανών χαμηλών συχνοτήτων. Έτσι, η μεγαλύτερη συχνότητα (Masker) επικαλύπτει τις χαμηλότερες συχνότητες (Masked Tones).



Εικόνα 2.4 Φαινόμενο ακουστικής επικάλυψης



Εικόνα 2.5 Φαινόμενο ακουστικής επικάλυψης

Ωστόσο, η απολεστική συμπίεση του ήχου δεν θεωρείται υψηλής πιστότητας. Για παράδειγμα, ένα mp3 αρχείο που δημιουργείται με τη μέση τιμή συμπίεσης 128kbit/s, είναι συνήθως περίπου 1 / 10 του μεγέθους ενός αρχείου ποιότητας CD. Ένα αρχείο mp3 μπορεί επίσης να κατασκευαστεί σε υψηλότερα ή λίγο χαμηλότερα ποσοστά, με μεγαλύτερη ή μικρότερη ποιότητα αντίστοιχα. Η συμπίεση με τη μείωση της ακρίβειας ορισμένων τμημάτων του ήχου, θεωρείται υπεράνω της ικανότητας του ακουστικής ευκρίνειας που έχουν οι περισσότεροι άνθρωποι. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή ως αντιληπτική κωδικοποίηση [20]. Αυτό εσωτερικά προσφέρει μια αναπαράσταση του ήχου μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα ανάλυσης του χρόνου / συχνότητας, χρησιμοποιώντας μια σειρά από ψυχοακουστικά μοντέλα έτσι ώστε να απορρίψει ή να μειώσει την ακρίβεια των λιγότερο αντιληπτών για την ανθρώπινη ακοή ηχητικών δεδομένων κωδικοποιώντας τα υπόλοιπα πληροφοριακά στοιχεία με αποτελεσματικό τρόπο.

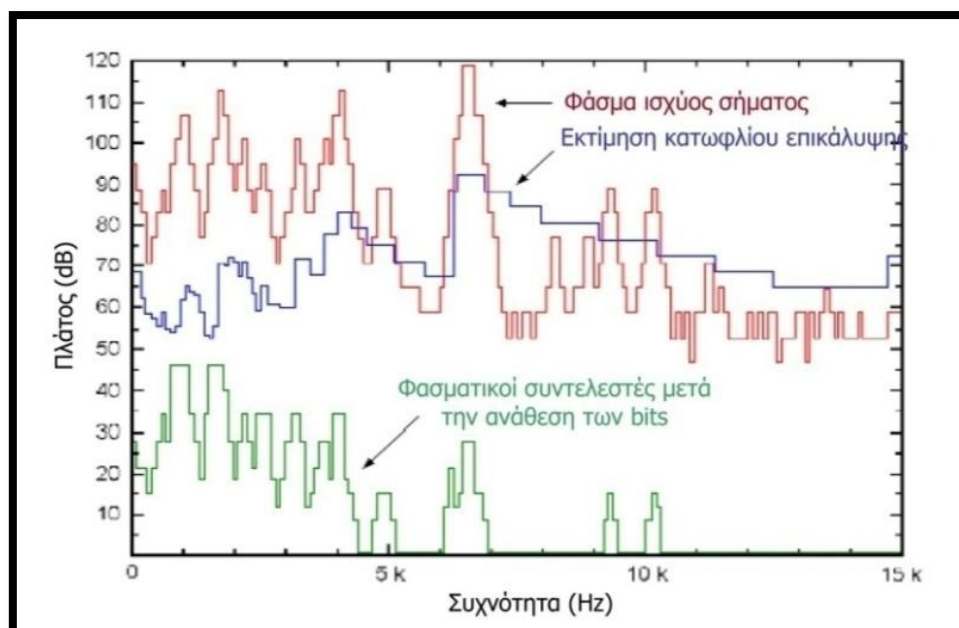
### 2.5.3.2 Συμπίεση ηχητικών δεδομένων

Η συμπίεση με απλά λόγια είναι η επεξεργασία του συνόλου των ψηφιακών δεδομένων ενός αρχείου με σκοπό την δημιουργία ενός μικρότερου αρχείου. Ένας από τους πλέον

διαδεδομένους αλγόριθμους συμπίεσης είναι ο MPEG1 – Layer III ή εν συντομία mp3. Πρόκειται για απωλεσθικό αλγόριθμο συμπίεσης πράγμα που σημαίνει ότι μέρος της ηχητικής πληροφορίας κατά τη διάρκεια της συμπίεσης χάνεται για πάντα. Για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων χωρίς ουσιαστική επίπτωση στην ποιότητα του ψηφιοποιημένου ήχου ο αλγόριθμος στηρίζεται στο "ψυχοακουστικό" μοντέλο της συμπεριφοράς του ανθρώπινου αυτιού. Πιο συγκεκριμένα λαμβάνεται σοβαρά υπ' όψιν το φαινόμενο της ακουστικής σκίασης (masking effect). Το φαινόμενο αυτό έχει να κάνει με την ακουστότητα συχνοτήτων ήχου οι οποίες βρίσκονται φασματικά κοντά σε άλλες "κυρίαρχες" συχνότητες. Οι κυρίαρχες συχνότητες σκιάζουν τις υπόλοιπες με αποτέλεσμα το ανθρώπινο αυτί να συλλαμβάνει ορισμένες συχνότητες σε ένα συγκεκριμένο φάσμα. Ανάλογα δηλαδή με τους κυρίαρχους ήχους που υπάρχουν ανά πάσα στιγμή σε κάποιο μουσικό κομμάτι είναι δυνατόν κάποιοι άλλοι ήχοι, οι οποίοι επίσης υπάρχουν στο κομμάτι και πλησιάζουν οι συχνότητες τους αυτές των κυρίαρχων, να μην γίνονται αντιληπτοί από το ανθρώπινο αυτί. Βάσει αυτού του φαινομένου έχει δημιουργηθεί από τους επιστήμονες το ψυχοακουστικό μοντέλο, στο οποίο στηρίζεται ο αλγόριθμος mp3 για την συμπίεση των ψηφιακών δεδομένων ήχου. Το ηχητικό, λοιπόν, σήμα χωρίζεται σε ζώνες συχνοτήτων προκειμένου να διαπιστωθεί ποιες από τις συχνότητες που υπάρχουν σε αυτές τις ζώνες δεν είναι ακουστές και έτσι μπορούν να απορριφθούν. Στο τελικό συμπιεσμένο σήμα υπάρχουν μόνο οι κυρίαρχες συχνότητες που έτσι και αλλιώς ακούγονται.

Οι παράμετροι που καθορίζουν την ποιότητα του ψηφιοποιημένου ήχου (mp3) είναι:

1. Συχνότητα δειγματοληψίας (σε Hz)
2. Ανάλυση δείγματος σε bits
3. Αριθμός καναλιών στέρεο (1 ή 2)

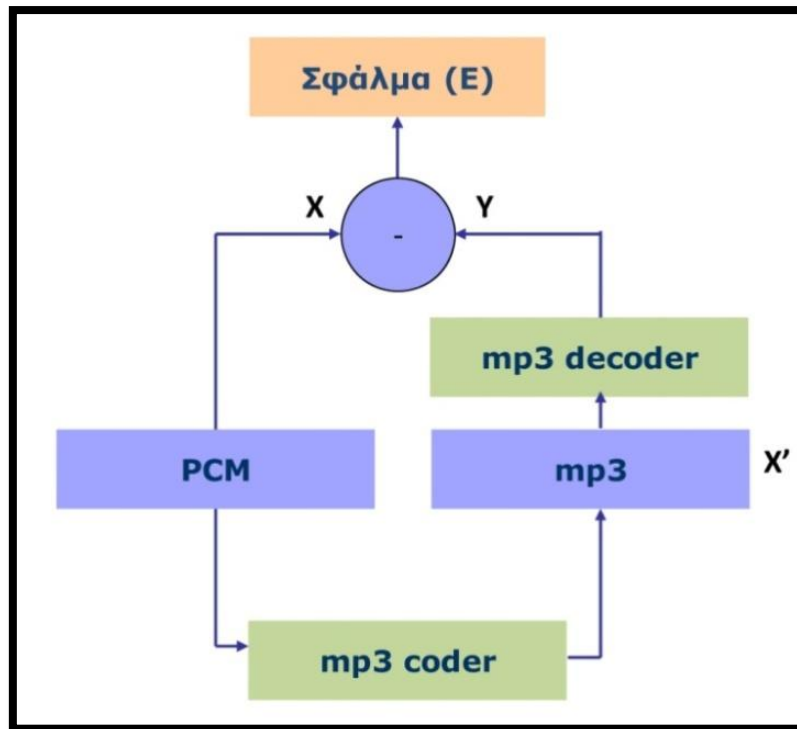


**Εικόνα 2.6** Ψυχοακουστικό μοντέλο συμπίεσης

Στην παραπάνω εικόνα 2.6 παρουσιάζεται το ψυχοακουστικό μοντέλο που βοηθάει στην συμπίεση του mp3. Όπως μπορούμε να δούμε παρουσιάζεται το φάσμα της ισχύος του σήματος και το εκτιμώμενο κατώφλι επικάλυψης. Μετά την ανάθεση των bits προκύπτουν οι φασματικοί συντελεστές. Ουσιαστικά η εικόνα 2.6 μας δείχνει την ποσοτική απώλεια που προκύπτει από την κωδικοποίηση ενός αρχείου ήχου σε mp3. Πιο συγκεκριμένα όταν το ηχητικό σήμα επισκιαστεί με το εκτιμώμενο κατώφλι κατά την κωδικοποίηση προκύπτουν οι φασματικοί συντελεστές μετά την ανάθεση των bits.

### 2.5.3.3 Η έννοια του σφάλματος απωλεστικής συμπίεσης

Το σφάλμα της απωλεστικής συμπίεσης ηχητικών δεδομένων παράγεται λόγω της απόρριψης (μη κωδικοποίησης) δεδομένων από το ψυχοακουστικό μοντέλο, το οποίο στηρίζεται στο στιγμιαίο κατώφλι ακουστικής επικάλυψης που δημιουργείται στο υποσύστημα της ανθρώπινης ακοής παρουσία του ήχου που το διεγείρει. Το σφάλμα αυτό μπορεί να υπολογισθεί ποσοτικά, αφαιρώντας από τα αρχικά ηχητικά δεδομένα (τα οποία είναι ασυμπίεστα και κωδικοποιημένα κατά PCM – Pulse Code Modulation) τα αντίστοιχα δεδομένα που προκύπτουν από τη διαδικασία συμπίεσης / αποσυμπίεσης σύμφωνα με το πρότυπο MPEG1 Layer III. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται αναλυτικά από την παρακάτω εικόνα (Εικόνα 2.7).



**Εικόνα 2.7** Η ακολουθούμενη διαδικασία ποσοτικής εκτίμησης του σφάλματος απωλεστικής συμπίεσης.

Στη παραπάνω εικόνα, τα αρχικά ηχητικά δεδομένα ( $X$ ) υπόκεινται σε συμπίεση (μέσω του mp3 coder), παράγοντας τα συμπιεσμένα ηχητικά δεδομένα  $X'$ , τα οποία στη συνέχεια αποσυμπιέζονται (μέσω του mp3 decoder) λαμβάνοντας τελικά το αποσυμπιεσμένο – κωδικοποιημένο ηχητικό δείγμα  $Y$ . Στην περίπτωση αυτή, το σφάλμα απωλεστικής συμπίεσης ορίζεται ως  $E = X - Y$ .

Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση, το σφάλμα απωλεστικής συμπίεσης ορίζεται ως η «ποσότητα» των ηχητικών δεδομένων που εάν προστεθούν στο αποσυμπιεσμένο ηχητικό δείγμα  $Y$ , μας δίνουν το αρχικό ασυμπιεστο υλικό, δηλαδή  $X = E + Y$ .

Είναι προφανές ότι η τιμή του σφάλματος απωλεστικής συμπίεσης εξαρτάται σημαντικά τόσο από το χρησιμοποιούμενο ψυχοακουστικό μοντέλο, όσο και από τον επιλεγόμενο από τον χρήστη ρυθμό κωδικοποίησης. Ειδικά για το πρότυπο MPEG1 Layer III, οι δυνατοί ρυθμοί κωδικοποίησης κυμαίνονται από 48 – 320kbps.

### 2.5.3.4 Υπολογισμός της ενέργειας του σφάλματος mp3

Για την ποσοτική εκτίμηση του σφάλματος E, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ενέργειά του, η οποία υπολογίζεται ως το άθροισμα των τετραγώνων των τιμών του όπως μπορούμε να δούμε και στην εξίσωση παρακάτω (εξίσωση 2.2), δηλαδή:

$$\text{Energy} = \sum E^2 \quad (2.2)$$

Παρακάτω στον πίνακα δίνονται οι τιμές της ενέργειας για κάθε μία κωδικοποίηση του σφάλματος από το ηχητικό αρχείο που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη αυτής της πτυχιακής εργασίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι υπήρξε απεικόνιση αυτών των αποτελεσμάτων της ενέργειας στην προβολή που γινόταν. Έτσι ο χρήστης είχε την δυνατότητα να παρακολουθεί την μεταβολή των τιμών της ενέργειας ανάλογα με την θέση που βρισκόταν στην περιοχή του πειράματος.

<b>Πίνακας 2.1: Ο λόγος της ενέργειας του σφάλματος προς το αρχικό αρχείο επί τοις εκατό</b>	
<b>ΣΤΟΙΧΕΙΟ</b>	<b>ΛΟΓΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΠΙ ΤΟΙΣ %</b>
<b>Αρχικό (wav αρχείο)</b>	<b>100%</b>
Συμπίεση στα 320 kbps	0,0036%
Συμπίεση στα 256 kbps	0,0105%
Συμπίεση στα 224 kbps	0,0616%
Συμπίεση στα 192 kbps	0,1379%
Συμπίεση στα 160 kbps	0.3592%
Συμπίεση στα 128 kbps	0.4982%
Συμπίεση στα 112 kbps	0.6705%
Συμπίεση στα 96 kbps	0.9045%

## 2.6 Μέθοδοι εκτέλεσης ψυχοακουστικών πειραμάτων

Τα ψυχοακουστικά πειράματα όπως ειπώθηκε και προηγουμένως γίνονται με σκοπό την καταγραφή της ευκρίνειας και του τρόπου αντίληψης του ήχου από τους ανθρώπους. Για την διεξαγωγή αυτών των πειραμάτων απαιτούνται να υπάρχουν κάποιες κατάλληλες



προϋποθέσεις για την διεξαγωγή τους (π.χ. ιδανικές συνθήκες ακρόασης, μονωμένοι χώροι όπου δεν θα υπάρχουν παρεμβολές από τρίτους, χρήση ακουστικών κ.α.). Πέρα όμως από τα υλικά τα οποία πολλές φορές είναι αναγκαία, έχουν αναπτυχθεί και κατάλληλα συστήματα λογισμικού από ειδικούς τα οποία εξομοιώνουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο αυτά τα πειράματα προκειμένου να μπορέσουν να χαρτογραφήσουν και να εξηγήσουν στη συνέχεια τα αποτελέσματα που παράγονται.

## **2.7 Συστήματα που χρησιμοποιούνται για επίδειξη και εκτέλεση ψυχοακουστικών πειραμάτων**

Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα για την επίδειξη και την εκτέλεση ψυχοακουστικών πειραμάτων. Αυτά τα συστήματα αναπτύσσονται κυρίως από ερευνητές και έχουν ως σκοπό την ποιοτική μέτρηση των αποτελεσμάτων που δίνουν. Παρακάτω περιγράφονται κάποια από αυτά τα συστήματα.

Οι ερευνητές David Sullivan, Stephan Moore, και Ichiro Fujinaga, χρησιμοποίησαν το Max / MSP, το Pd και το Super Collider προκειμένου να αναπτύξουν ένα πειραματικό λογισμικό παραγωγής ήχου, ποιότητας CD (χρησιμοποιώντας κάποια ψυχοακουστικά πειράματα), σε πραγματικό χρόνο όπου οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να επηρεάζουν τις παραμέτρους [4].

Οι Laura Ottaviani, ο Eoin Brazil και ο Mikael Fernstrom, χρησιμοποιώντας το Sonic Browser ανέπτυξαν ένα πείραμα το οποίο έχει ως στόχο την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο κλιμακώνεται η σύνθεση των ήχων που παράγονται από τα μοντέλα που δημιούργησαν στον υπολογιστή σε σύγκριση με τις φυσικές τους διαστάσεις [62].

Οι Yu Song, Andreas Spanias, Venkatraman Atti, και Visar Berisha ανέπτυξαν μια συλλογή από διαδραστικές ενότητες για Java με σκοπό την εισαγωγή των σπουδαστών στο προπτυχιακό μάθημα της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος με σκοπό την αντίληψη στις αρχές της κωδικοποίησης του ήχου. Η προσπάθεια αυτή στοχεύει προς την κατεύθυνση της έκθεσης των προπτυχιακών φοιτητών σε προηγμένες έννοιες και την έρευνα στην επεξεργασία σήματος [63].

Η Elvira Perez και ο Raul Rodriguez -Esteban ανέπτυξαν το Oreja. Μία πλατφόρμα λογισμικού που έχει ως σκοπό τη μελέτη της αντίληψης της ομιλίας χρησιμοποιώντας κάποια

ψυχοακουστικά πειράματα. Το λογισμικό αυτό επιτρέπει τη χειραγώγηση του σήματος της ομιλίας για τη διευκόλυνση της μελέτης της αντίληψης της ανθρώπινης ομιλίας. Ένα χαρακτηριστικό του λογισμικού αυτού είναι ότι χρησιμοποιεί το περιβάλλον MATLAB, επιτρέποντας στο χρήστη να φορτώσει, να αναλύσει, και να επιλέξει τα μέρη του σήματος των τόκων που επιθυμεί [60].

Τέλος, ο Αμερικανικός ιατρικός σύλλογος ανέπτυξε ένα βιντεοπαιχνίδι με σκοπό την μέτρηση της ακουστικής ικανότητας σε μικρά παιδιά. Τα παιδιά εκτίθενται σε κάποιες συχνότητες τις οποίες όταν τις αναγνωρίσουν πρέπει να πατήσουν το κατάλληλο πλήκτρο του πληκτρολογίου. Το παιχνίδι αυτό μετράει την ακουστική ικανότητα των παιδιών και στη συνέχεια δείχνει στους επιστήμονες τα αποτελέσματα. Αυτό το παιχνίδι αναπτύχθηκε για παιδιά του δημοτικού που έχουν δυσκολία στη μάθηση, λόγω του ότι τις περισσότερες φορές άτομα με περιορισμένη ακουστική ικανότητα παρουσιάζουν τέτοιου είδους προβλήματα [61].

Όλα τα παραδείγματα εφαρμογών που αναφέρονται παραπάνω έχουν αναπτυχθεί από ερευνητές και έχουν εκτεθεί στο κοινό με σκοπό την ποσοτική μέτρηση και τη συλλογή αποτελεσμάτων. Από τα παραδείγματα που αναφέρθηκαν παραπάνω φαίνεται ότι τα ψυχοακουστικά πειράματα που αναπτύσσονται χρησιμοποιούνται τόσο για την ποιοτική μέτρηση κάποιων ψυχοακουστικών φαινομένων όσο και για τη χρήση ως εκπαιδευτικό λογισμικό.

## **2.8 Μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για την αποτύπωση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων**

Για την όσο το δυνατόν πιο σωστή αποτύπωση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων δεν είναι αναγκαίο μόνο να υπάρχουν οι κατάλληλες προϋποθέσεις για την διεξαγωγή αυτών των πειραμάτων. Οι ερευνητές λαμβάνουν μέτρα για να διασφαλίσουν ότι οι ακροατές τους δεν “σκέφτονται” για τις απαντήσεις που δίνουν κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των ψυχοακουστικών πειραμάτων. Γι’ αυτό το λόγο χρησιμοποιούν κάποιες στατιστικές μεθόδους όπως η θεωρία της ανίχνευσης του σήματος (signal detection theory) [55] παράγοντας κριτήρια και άλλες συνέπειες της γνωστικής λειτουργίας. Η θεωρία της ανίχνευσης του σήματος, είναι ένα μέσο για να προσδιοριστεί ποσοτικά η ικανότητα της διάκρισης μεταξύ του σήματος και του θορύβου. Σύμφωνα με τη θεωρία, υπάρχει μια σειρά

από παραμέτρους οι οποίες ευθύνονται για τη σωστή αναγνώριση των ηχητικών σημάτων και των ορίων τους (π.χ. τα όρια αυτά επηρεάζονται από διάφορες παραμέτρους όπως είναι η κόπωση).

Μια άλλη μέθοδος για την αποτύπωση των αποτελεσμάτων είναι η μέθοδος των αποτελεσμάτων της μέσης γνώμης (Mean Opinion Score - MOS). Η MOS παρέχει μια αριθμητική ένδειξη της αντιληπτικής ποιότητας των μέσων που ελήφθη μετά τη συμπίεση ή και τη μετάδοση. Η MOS εκφράζεται αριθμητικά από το 1 έως το 5, όπου το 1 είναι η χαμηλότερη αντιληπτή ποιότητα ήχου, και το 5 είναι η υψηλότερη ποιότητα μέτρησης του αντιληπτού ήχου. Η MOS είναι ο μέσος όρος που προκύπτει από τα αποτελέσματα μιας σειράς προτύπων από υποκειμενικές δοκιμές [56].

Κάποιες άλλες μέθοδοι αποτύπωσης αποτελεσμάτων είναι η MUSHRA (MUltiple Stimuli with Hidden Reference and Anchor) [57] η οποία είναι μια μέθοδος για την υποκειμενική αξιολόγηση της ποιότητας του ήχου που έχει παραχθεί μετά από συμπίεση. Η PSQM (Perceptual Speech Quality Measure) [58] η οποία αξιολογεί ποσοτικά και ποιοτικά τη ποιότητα της ομιλίας και ο PEAQ (Perceptual Evaluation of Audio Quality) [59] ο οποίος είναι ένας τυποποιημένος αλγόριθμος για την αντικειμενική μέτρηση της αντιληπτικής ποιότητας του ήχου.

## 2.9 Υπολογιστική όραση (computer vision)

Η υπολογιστική όραση [40] είναι η επιστήμη και η τεχνολογία που επιτρέπει σε μηχανές να "βλέπουν". Ως επιστημονικός κλάδος, η υπολογιστική όραση σχετίζεται με τη θεωρία και την τεχνολογία οι οποίες εμπλέκονται στη δημιουργία τεχνητών συστημάτων που λαμβάνουν δεδομένα από εικόνες. Οι εικόνες μπορούν να πάρουν πολλές μορφές δεδομένων, όπως π.χ. βίντεο, όψεις από πολλαπλές κάμερες, πολυδιάστατες εικόνες από ιατρικό σαρωτή κλπ.

Ως τεχνολογικός κλάδος, η υπολογιστική όραση επιδιώκει να εφαρμόσει θεωρίες και μοντέλα στην κατασκευή μηχανικών συστημάτων με δυνατότητα όρασης. Παραδείγματα εφαρμογών τέτοιων συστημάτων είναι τα εξής:

1. Έλεγχος διαδικασιών (π.χ. ένα βιομηχανικό ρομπότ ή ένα αυτόνομο όχημα)
2. Ανίχνευση συμβάντων (π.χ. οπτική επιτήρηση)

3. Οργάνωση πληροφοριών (π.χ. ευρετηριοποίηση βάσεων δεδομένων και ακολουθιών εικόνων)
4. Εξομοίωση αντικειμένων και περιβαλλόντων (π.χ. βιομηχανική επιθεώρηση, ιατρική ανάλυση εικόνας ή τοπογραφική εξομοίωση)
5. Αλληλεπίδραση (π.χ. ως είσοδος σε μια συσκευή αλληλεπίδρασης ανθρώπου - μηχανής).

Η υπολογιστική όραση μπορεί επίσης να περιγραφεί ως συμπλήρωμα (αλλά όχι απαραίτητος αντίθετο) της βιολογικής όρασης. Στην τελευταία μελετώνται η οπτική αντίληψη στους ανθρώπους και τα ζώα με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μοντέλα για το πώς αυτά τα συστήματα λειτουργούν υπό το πρίσμα των φυσιολογικών διαδικασιών. Η υπολογιστική όραση από την άλλη μελετά και περιγράφει το τεχνητά συστήματα όρασης που εφαρμόζονται σε λογισμικό ή/και σε υλικό υπολογιστών. Η διεπιστημονική ανταλλαγή μεταξύ της βιολογικής και υπολογιστικής όρασης αποδεικνύεται όλο και περισσότερο καρποφόρα και για τους δύο τομείς.

Οι υποκατηγορίες της μηχανικής όρασης περιλαμβάνουν την αναδημιουργία σκηνής, την ανίχνευση συμβάντων, την ανίχνευση κίνησης, την αναγνώριση αντικειμένων, τη μάθηση, την ευρετηριοποίηση και την αποκατάσταση εικόνας. Οι υποκατηγορίες της υπολογιστικής όρασης περιλαμβάνουν την οπτική αναδημιουργία (visual reconstruction), την ανίχνευση γεγονότων (trace of events), την ανίχνευση στόχων, την αναγνώριση αντικειμένων (object recognition), την αυτοεκμάθηση υπολογιστικών συστημάτων, την κατηγοριοποίηση ακολουθιών εικόνας, την αυτόνομη κίνηση (ρομποτική) και την αποκατάσταση εικόνας (image restoration).

Ο τομέας της όρασης υπολογιστών μπορεί να χαρακτηριστεί ως πρώιμος. Αν και οι τεχνικές που έχουν ενσωματωθεί σήμερα σε αυτή την τεχνολογία υπάρχουν αρκετό καιρό, χρειάστηκε να περιμένουν την ανάλογη τεχνολογική ανάπτυξη στον τομέα της επεξεργασίας δεδομένων (επεξεργαστική ισχύ), λόγω του μεγάλου όγκου πληροφοριών που πρέπει να διαχειριστεί ένα σύστημα για να εξάγει τα χρήσιμα δεδομένα. Η μελέτη του τομέα άνηψε στη δεκαετία του 1970 όταν μπόρεσαν οι υπολογιστές να διαχειριστούν την επεξεργασία των μεγάλων συνόλων στοιχείων όπως οι εικόνες.

### **2.9.1 Ανίχνευση χρωμάτων (Color Detection)**

Ένας συνηθισμένος τρόπος για να ανιχνεύσουμε την κίνηση ή τη θέση ενός αντικειμένου στο χώρο είναι η ανίχνευση χρώματος (color detection). Σε αυτή τη μέθοδο εισάγεται στο σύστημα ένα χρώμα (και ένα πιθανό εύρος απόκλισης από αυτό) γίνεται εντοπισμός αυτού του χρώματος από τον υπολογιστή και έτσι παρακολουθείται η θέση του χρώματος στο δισδιάστατο επίπεδο.

### **2.9.2 Ανίχνευση των blob (Blob Detection)**

Η τεχνολογία της ανίχνευσης των blob (binary large object, μεγάλο διάδικο αντικείμενο) [41] σχετίζεται άμεσα με αυτή της τεχνολογίας που αφορά την ανίχνευση χρωμάτων. Σε αυτή όμως την περίπτωση η κάμερα δεν προσπαθεί να αναγνωρίσει κάποιο χρώμα αλλά κάποιες σκοτεινές ή φωτεινές επιφάνειες. Το μεγαλύτερο μέρος όμως των μεθόδων της υπολογιστικής όρασης δεν χρησιμοποιεί χρώμα αλλά μετατρέπει την εικόνα που εισάγουμε στο σύστημα από την κάμερα σε boolean πληροφορία (on - off) για περαιτέρω ανάλυση. Η δυαδική αυτή εικόνα (binary image) απεικονίζεται σε πληροφορία δύο τιμών μόνο (άσπρου και μαύρου), και δεν έχει να κάνει με την ασπρόμαυρη εικόνα όπως την ξέρουμε, όπου παρουσιάζονται διαφορετικές διαβαθμίσεις φωτεινότητας. Στη δυαδική εικόνα επιλέγουμε ένα κατώτατο όριο φωτεινότητας πάνω από το οποίο μας εμφανίζονται άσπρα τα pixels.

### **2.9.3 Κατάτμηση Εικόνας (Image segmentation)**

Στη μέθοδο κατάτμησης της εικόνας (image segmentation) [42] αναγνωρίζεται και απομονώνεται ένα μέρος της εικόνας που αποτελείται από τα ίδια χαρακτηριστικά. Αυτή η περιοχή ονομάζεται blob που μεταφράζεται στα ελληνικά ως σταγόνα. Το blob είναι μία περιοχή από συνεχόμενα on pixels, δηλαδή πιο περιγραφικά, ένα νησί μέσα σε μια θάλασσα από off pixels [43].

### **2.9.4 Ανίχνευση χαρακτηριστικών (Feature extraction)**

Ο όρος feature [44] στην υπολογιστική όραση χρησιμοποιείται για να δηλώσει σημεία στην εικόνα που διαφέρουν από τον περίγυρο τους. Το αντίθετο του feature είναι ένα pixel που το περικυκλώνουν όμοια pixel.

### **2.9.5 Ανίχνευση άκρων (Edge detection)**

Πολύ δημοφιλής τακτική αποτελεί η μέθοδος της ανίχνευσης ακμών [45]. Σκοπός της είναι να αναγνωρίσει τα σημεία σε μία ψηφιακή εικόνα, στα οποία η ένταση της φωτεινότητας αλλάζει απότομα. Αυτές οι ξαφνικές αλλαγές αντανακλούν πολλά δρώμενα στο ζωντανό κόσμο. Μερικά από αυτά είναι:

1. Ασυνέχειες στο βάθος της εικόνας στο τρισδιάστατο επίπεδο.
2. Ασυνέχειες στη κατευθυντικότητα μίας επιφάνειας.
3. Εναλλαγές στο φωτισμό μίας σκηνής.

Αυτή η τεχνική ανήκει στο γενικότερη μέθοδο της feature extraction. Είναι πολύ διαδεδομένη και χρησιμοποιείται σε μια πληθώρα διαδραστικών εγκαταστάσεων.

### **2.9.6 Το μεγαλύτερο blob (Biggest Blob)**

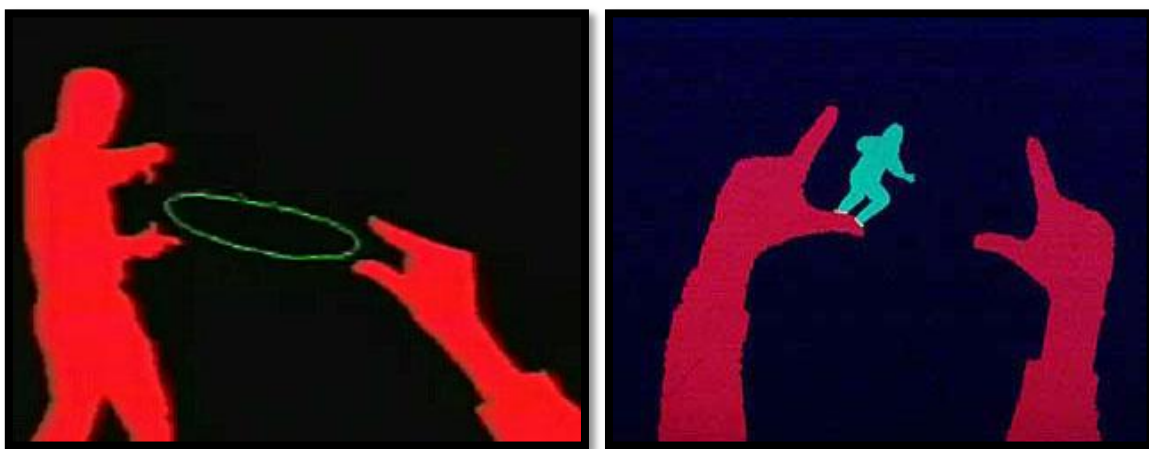
Έχοντας εξηγήσει τη λειτουργία της υπολογιστικής όρασης και τις διαφορετικές τεχνικές που υπάρχουν θα αναφερθούμε τώρα σε μία ακόμα λειτουργία που μας δίνει η υπολογιστική όραση. Αυτή της αναγνώρισης των blob με βάση το μέγεθος τους. Ο υπολογιστής έχει την δυνατότητα να κατηγοριοποιεί τα blobs με βάση το μέγεθος τους. Αυτό το επιτυγχάνει υπολογίζοντας τα συνολικά pixels που υπάρχουν μέσα σε κάθε blob. Στη συνέχεια αφού τα ταξινομήσει με βάση το μέγεθος τους μας επιστρέφει το μεγαλύτερο από αυτά.

Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται στην πτυχιακή εργασία προκειμένου να μπορεί ο υπολογιστής να αναγνωρίζει μόνο ένα χρήστη μέσα στην εγκατάσταση. Αυτό γίνεται λόγω της φύσης της εγκατάστασης έτσι ώστε ο χρήστης να μένει συγκεντρωμένος για να μπορέσει να κατανοήσει όσο το δυνατόν καλύτερα τα ψυχοακουστικά πειράματα χωρίς να επηρεάζεται από τις παρεμβολές άλλων χρηστών.

### **2.9.7 Η υπολογιστική όραση στην διαδραστική τέχνη**

Η υπολογιστική όραση είναι ένα πολύ σημαντικό τεχνολογικό επίτευγμα που χρησιμοποιείται από πληθώρα καλλιτεχνών για την ανάπτυξη διαδραστικών εγκαταστάσεων. Το πρώτο διαδραστικό έργο τέχνης το οποίο ενσωμάτωσε την υπολογιστική όραση ήταν του Myron Krueger, το θρυλικό Videoplace, που αναπτύχθηκε μεταξύ του 1969 και του 1975. Αυτό υποκινήθηκε από τη πεποίθηση ότι το σύνολο του ανθρώπινου σώματος έπρεπε να έχει

ένα ρόλο αλληλεπίδρασης με τους υπολογιστές. Στο Videoplace ο συμμετέχων βρίσκεται εμπρός από μια οθόνη προβολής βίντεο και βλέπει τη σιλουέτα του ψηφιοποιημένη καθώς γίνεται ανάλυση της στάσης και της θέσης του σώματος. Το Videoplace επίσης συνθέτει γραφικά και δημιουργεί μικρά "πλάσματα" που αναπηδούν πάνω από τις σιλουέτες των συμμετεχόντων που προβάλλονται. Ο Kueger, επίσης, επέτρεψε στους συμμετέχοντες να χρωματίζουν γραμμές με τα δάκτυλα τους ή ακόμη να δημιουργούν ολόκληρα σχήματα με το σώμα τους. Τελικά το Videoplace προσφέρει πάνω από 50 διαφορετικές συνθέσεις και αλληλεπιδράσεις [46].



**Εικόνα 2.8 – 2.9** Το Videoplace του Myron Kueger: Διαφορετικές διαδραστικές ενότητες, 1969-1975.

Το Videoplace ήταν υπεύθυνο για πολλές "πρωτιές" στην ιστορία της διάδρασης ανθρώπου-υπολογιστή. Μερικές από τις ενότητες της αλληλεπίδρασης, για παράδειγμα αυτές που εμφανίζονται παραπάνω, επιτρέπουν σε δύο συμμετέχοντες την αμοιβαία αλληλεπίδραση, δηλαδή να συμμετάσχουν στο ίδιο κοινόχρηστο χώρο βίντεο από δύο απομακρυσμένες περιοχές. Μια ακόμη πρωτιά ήταν η εφαρμογή της πρώτης εικονικής πραγματικότητας πολλών χαρακτήρων (multi-person) ή όπως την αποκάλεσε ο Kueger "τεχνητή πραγματικότητα". Πρέπει να σημειωθεί ότι το Videoplace αναπτύχθηκε πριν το ποντίκι του Douglas Englebart γίνει μια εξολοκλήρου συσκευή χρήσης της επιφάνειας εργασίας όπως έχουμε συνηθίσει σήμερα και εν μέρει δημιουργήθηκε για να επιδείξει κάποιες εναλλακτικές λύσεις διεπαφών όπως το πληκτρολόγιο που κυριαρχούσε τόσο απόλυτα στις αρχές της

“iSEE” Διαδραστική εγκατάσταση για την εκτέλεση ψυχοακουστικών πειραμάτων

δεκαετίας του 1970. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι το πρωτότυπο Videoplace σύστημα εξακολουθεί να λειτουργεί [46].

Άλλα αξιοσημείωτα έργα που περιλαμβάνουν τη χρήση της υπολογιστικής όρασης είναι της Marie Sester το Access, του Joachim Sauter και Dirk Lüsebrink τα Zerseher και Bodymover, του Scott Snibbe το Boundary Functions and Screen Series, της Camille Utterback και του Romy Achituv το TextRain, του Jim Campbell Solstice, της Christa Sommerer και του Laurent Mignonneau το A-Volve, του Danny Rozin το Wooden Mirror, του Chico MacMurtrie το Skeletal Reflection, καθώς και διάφορα έργα των Simon Penny, Toshio Iwai, και πολλών άλλων. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι στο μέλλον πολύ περισσότερα έργα τέχνης θα δημιουργηθούν εφόσον ενσωματώνονται σε τομείς όπως η φυσική ανάπτυξη των υπολογιστών και η ρομποτική [46].

### **2.9.8 Στοιχειώδεις τεχνικές υπολογιστής όρασης**

Για να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο οι νέες μορφές διαδραστικών μέσων μπορούν να επωφεληθούν από τις τεχνικές υπολογιστικής όρασης, είναι χρήσιμο να ξεκινήσουμε με την κατανόηση των διαφορετικών ειδών προβλημάτων όπου οι αλγόριθμοι όρασης έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση τους και τους βασικούς μηχανισμούς λειτουργίας τους. Η βασική πρόκληση που παρουσιάστηκε από το ψηφιακό βίντεο είναι ότι είναι ένας "ασαφής" υπολογισμός. Σε αντίθεση με το κείμενο, τα δεδομένα του ψηφιακού βίντεο, τα οποία στη βασική τους μορφή αποθηκεύονται αποκλειστικά ως ένα ρεύμα ορθογώνιων pixel, δεν περιέχουν καμία εγγενή σημασιολογική ή συμβολική πληροφορία. Δεν είναι ένα ευρέως συμφωνημένο πρότυπο που αντιπροσωπεύει το περιεχόμενο των βίντεο, κατά τρόπο ανάλογο με HTML, XML ή ASCII για κείμενο (αν και ορισμένες νέες πρωτοβουλίες, κυρίως από την MPEG-7 περιγραφή γλώσσας, μπορεί να εξελιχθεί σε αυτό στο μέλλον). Ως αποτέλεσμα, ένας υπολογιστής, χωρίς να συνεπάγεται πρόσθετο προγραμματισμό, είναι σε θέση να απαντήσει ακόμα και στα πιο στοιχειώδη ερωτήματα για το αν ένα βίντεο περιέχει ένα πρόσωπο ή ένα αντικείμενο. Η υπολογιστική όραση έχει αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση αυτής της ανάγκης [46].



## 2.10 Τέχνη των νέων μέσων (New media art)

Τι είναι τα νέα μέσα; Ένας τρόπος να απαντήσει κανείς στο ερώτημα αυτό είναι να παραθέσει μία λίστα με τις κατηγορίες των μέσων διάδοσης της πληροφορίας που περικλείει η ορολογία. Διαδίκτυο, ιστοσελίδες, παιχνίδια υπολογιστών, cd-roms, dvd και εικονική πραγματικότητα [51]. Αποτελούν όμως αυτά το σύνολο του ορισμού νέα μέσα; Συμπεριλαμβάνεται για παράδειγμα μια τηλεοπτική εκπομπή που έχει μαγνητοσκοπηθεί από ψηφιακή κάμερα; Σε μια άλλη περίπτωση συμπεριλαμβάνονται οι εκτυπωμένες εικόνες που έχουν δημιουργηθεί ή επεξεργαστεί από υπολογιστή; Ο όρος γενικότερα χαρακτηρίζεται από τη χρήση του υπολογιστή. Είναι δόκιμος όμως όταν ο υπολογιστής αποτελεί το μέσο διάδοσης της πληροφορίας ή όταν ο υπολογιστής χρησιμοποιείται στο στάδιο παραγωγής των νέων μέσων; Ο προβληματισμός ξεφεύγει του νοήματος αυτής της εργασίας. Αξίζει να σταθούμε όμως στο γεγονός ότι η πολιτισμική τεχνολογία και πληροφορική οδηγεί τόσο στην δημιουργία νέων μορφών διάδοσης του πολιτισμού, όσο και στον επαναπροσδιορισμό παλαιότερων μορφών όπως ο κινηματογράφος και η φωτογραφία ([21], [22]).

Στο χώρο της τέχνης η τεχνολογική ανάπτυξη πάντα εναγκαλιζόνταν από τους καλλιτέχνες στα πλαίσια της αναζήτησης νέων τρόπων έκφρασης. Από τις εκτυπώσεις του Albrecht Durer το 16ο αιώνα, μέχρι τις ιστορικές πρωτοπορίες των κινημάτων του 1960 (fluxus, happenings, performance art, conceptual art), οι καλλιτέχνες ενσωμάτωναν όλο και περισσότερο τις έρευνες των νέων τεχνολογιών, προάγοντας την ιδέα για “μια τέχνη που δεν θα είναι διαφορετική από τη ζωή, αλλά θα είναι μια δράση μέσα στη ζωή, θα υπόκειται στο τυχαίο και στους συνδυασμούς του, στον αυτοσχεδιασμό και στη μη προμελετημένη δράση.” [23]

Το 1994 η εξέλιξη του διαδικτύου σε δημοφιλές μέσο δημιούργησε τον καταλύτη της έξαρσης ενός παγκόσμιου κινήματος τέχνης που ξεκίνησε να εξερευνεί τις κοινωνικές, πολιτιστικές και αισθητικές δυνατότητες των νέων αυτών τεχνολογιών της επικοινωνίας όπως το διαδίκτυο, οι κάμερες παρακολούθησης, τα ασύρματα τηλέφωνα, οι φορητοί υπολογιστές κ.α. Η τέχνη των νέων μέσων (new media art) περιέχει συχνά τη συνεργασία και την ελεύθερη διακίνηση ιδεών και τεχνοτροπιών και πολύ συχνά σχολιάζει τις επιπτώσεις της αύξησης της τεχνολογίας σε κοινωνικά ζητήματα όπως η ταυτότητα, ο εκφυλισμός του ιδιωτικού βίου, η παγκοσμιοποίηση κ.α.

# Κεφάλαιο 3

## Ανάπτυξη

Η μεθοδολογία ανάπτυξης αποτελείται από ένα σύνολο εργαλείων και από μια σειρά από παράλληλα βήματα που οδηγούν στο στάδιο της ολοκλήρωσης της τελικής εργασίας. Η ολοκλήρωση όμως της τελικής εργασίας δεν μπορεί να γίνει αν δεν υπήρχε ένα θεωρητικό υπόβαθρο το οποίο μας βοηθάει τόσο σε ζητήματα στοιχειώδους ανάπτυξης αυτής της εργασίας όσο και σε ζητήματα που αφορούν τα προβλήματα και την επίλυση τους. Μπορούμε να πούμε ότι η βαθιά κατανόηση της θεωρίας είναι αυτή που ευθύνεται πολλές φορές όχι μόνο για την ανάπτυξη αλλά και για την σωστή λειτουργία ενός συστήματος.

Σε αυτή την ενότητα περιγράφονται τα στάδια ανάπτυξης της εργασίας. Πιο συγκεκριμένα γίνεται παρουσίαση της ανάπτυξης της διεπαφής χρήσης, των τριών ψυχοακουστικών πειραμάτων, επιπλέον γίνεται ανάλυση των προβλημάτων που υπήρξαν καθώς και ο τρόπος με τον οποίο επιλύθηκαν αυτά. Κάποια ακόμα από τα ζητήματα που μας απασχολούν σε αυτή την ενότητα έχουν να κάνουν με την αρχιτεκτονική του συστήματος, το διαδραστικό περιβάλλον και τους διαδραστικούς αλγόριθμους της εγκατάστασης, την οπτική προβολή της εγκατάστασης, το στήσιμό της, τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται καθώς και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση λαθών.

### 3.1 Σύνθεση - Σχεδιασμός

Η σχεδίαση μιας εφαρμογής που σκοπό έχει την επικοινωνία με το χρήστη απαιτεί συμβιβασμούς και παραχωρήσεις. Χρειάζεται μεγάλη λειτουργικότητα, αλλά ταυτόχρονα απαιτείται απλός χειρισμός. Απαιτείται ευκολία στη χρήση και ταυτόχρονα ευκολία στην εκμάθηση. Απαιτείται συνέπεια στην εμφάνιση και στη λειτουργία και ταυτόχρονα είναι επιθυμητή η βελτιστοποίηση ορισμένων χαρακτηριστικών.

Έχοντας αυτούς ως βασικούς κανόνες η ανάπτυξη της εγκατάστασης έπρεπε να περάσει από κάποια στάδια μελέτης και αξιολόγησης προκειμένου να φτάσει σε μια τελική μορφή όπου θα παρουσιαζόταν στο κοινό.

### 3.2 Αρχιτεκτονική του συστήματος

Η αρχιτεκτονική του συστήματος επηρεάζει τη λειτουργικότητα, απόδοση, αποτελεσματικότητα, συντήρηση και επέκταση του καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του και για αυτό χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στο αρχικό στάδιο σχεδίασης ώστε το σύστημα να είναι σωστά δομημένο. Η αρχιτεκτονική του συστήματος αποτελείται από ένα σύνολο επιμέρους αρχιτεκτονικών, όπως τη λογική αρχιτεκτονική και τη φυσική αρχιτεκτονική, οι οποίες περιγράφουν τους στόχους, τη διάταξη και τη λειτουργία του. Η αρχιτεκτονική του συστήματος δεν περιγράφει με λεπτομέρεια τον τρόπο λειτουργίας ή αλληλεπίδρασης των υποσυστημάτων, αλλά προσδιορίζει τη διάρθρωση και τα χαρακτηριστικά της συνολικής λειτουργίας του, τις απαιτήσεις του και τον τρόπο αντίδρασής του υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας [52].

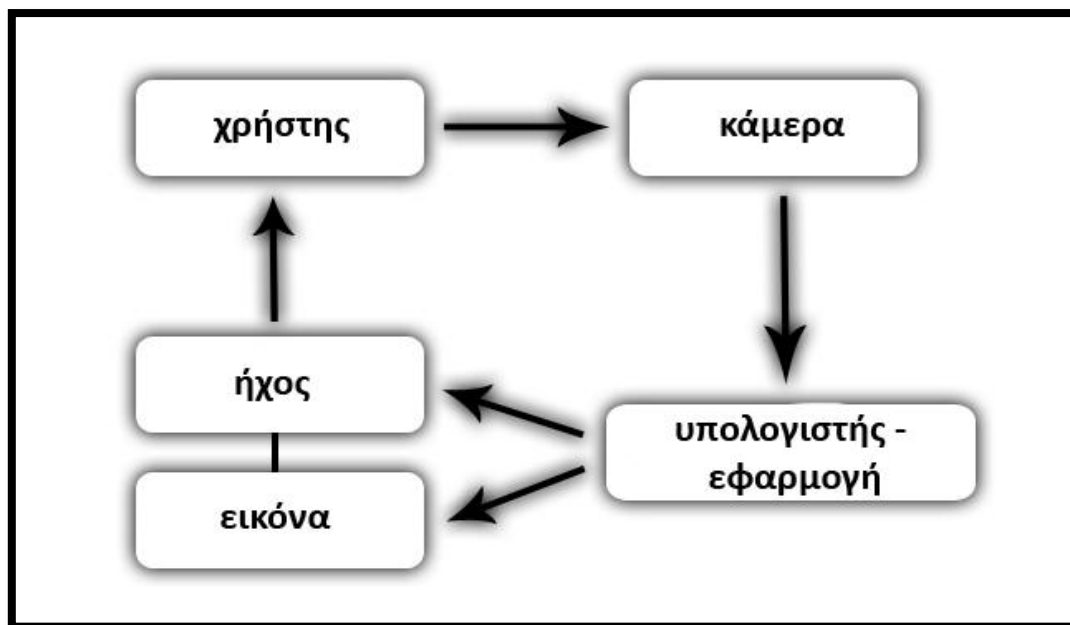
Η βασική αρχή σχεδιασμού της αρχιτεκτονικής είναι η εξασφάλιση της συμβατότητας και της ομαλής ολοκλήρωσης του συστήματος. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα πληροφόρησης μπορεί να αποτελείται από διάφορα επιμέρους υποσυστήματα. Τα υποσυστήματα αυτά πρέπει να λειτουργούν ως κάποιο βαθμό αυτόνομα αλλά να διασυνδέονται λογικά μεταξύ τους, μέσω της αμοιβαίας επικοινωνίας τους (sharing communication) σε όλα τα επίπεδα που καλύπτουν τη χρήση τους. Ο σχεδιασμός ενός ολοκληρωμένου συστήματος οφείλει να διασφαλίζει την μετάδοση πληροφοριών, μέσω του κέντρου διαχείρισης και των επιμέρους κόμβων [52].

Στην εικόνα 3.1 απεικονίζεται η γενική αρχιτεκτονική των συστημάτων που χρησιμοποιούνται και οι μεταξύ τους διασυνδέσεις. Επιπροσθέτως, απεικονίζονται και τα μονοπάτια διάδρασης μεταξύ του συμμετέχοντος και των συστημάτων της εγκατάστασης, με βάση τα οποία γίνεται επιλογή τόσο για την εκτέλεση ενός συγκεκριμένου πειράματος, όσο και για τον έλεγχο των τιμών των παραμέτρων του πειράματος αυτού.

Οι βασικές ενότητες είναι η επεξεργασία / αναπαραγωγή του ήχου και της εικόνας, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία και αναπαραγωγή σε πραγματικό χρόνο της κατάλληλης κυματομορφής ήχου, καθώς και τα αντίστοιχα οπτικά αποτελέσματα. Το τελευταίο οπτικό κανάλι βρέθηκε να είναι αναγκαίο για την πραγματοποίηση ενός επιπλέον τρόπου

“iSEE” Διαδραστική εγκατάσταση για την εκτέλεση ψυχοακουστικών πειραμάτων

αλληλεπίδρασης με την εγκατάσταση, καθώς δίνει στον χρήστη μια γραφική αναπαράσταση των μετρούμενων αποτελεσμάτων.



Εικόνα 3.1 Σχεδιάγραμμα αρχιτεκτονικής του συστήματος

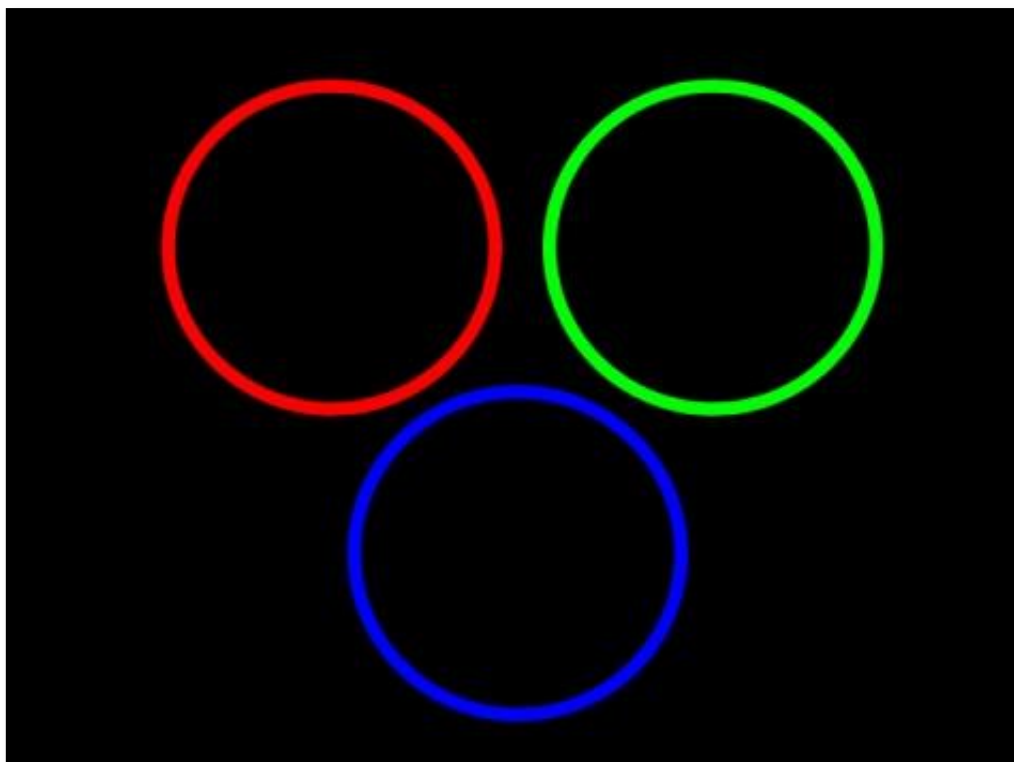
### 3.3 Διεπαφή χρήσης

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο στο οποίο ασχοληθήκαμε με το θεωρητικό μέρος της Διάδρασης Ανθρώπου – Υπολογιστή, η διεπαφή χρήσης είναι το βασικό κομμάτι αλληλεπίδρασης με τον χρήστη. Ο σχεδιασμός της πρέπει να βασίζεται σε δεδομένα που αφορούν την γρηγορότερη εξοικείωση του χρήστη με το σύστημα. Όταν όμως το σύστημα με το οποίο πρέπει να αλληλεπιδράσει ο χρήστης δεν βασίζεται σε μια εφαρμογή η οποία εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή αλλά και όταν δεν χρησιμοποιεί ως μέσο αλληλεπίδρασης το ποντίκι τότε δημιουργούνται προβλήματα. Επιπλέον, όταν αυτή η διεπαφή δημιουργείται από τον χρήστη στον υπολογιστή και εξομοιώνεται στην οθόνη του τότε πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κάποιοι παράμετροι οι οποίοι έχουν να κάνουν με το τελικό στήσιμο της εγκατάστασης σε κανονικές συνθήκες. Παρακάτω αναφέρονται οι διαφορετικές διεπαφές χρήσης που δημιουργήθηκαν καθώς και η επιλογή της κατάλληλης βάσης κάποιων κριτηρίων που τέθηκαν. Τέλος, γίνεται αναφορά της τελικής διεπαφής χρήσης

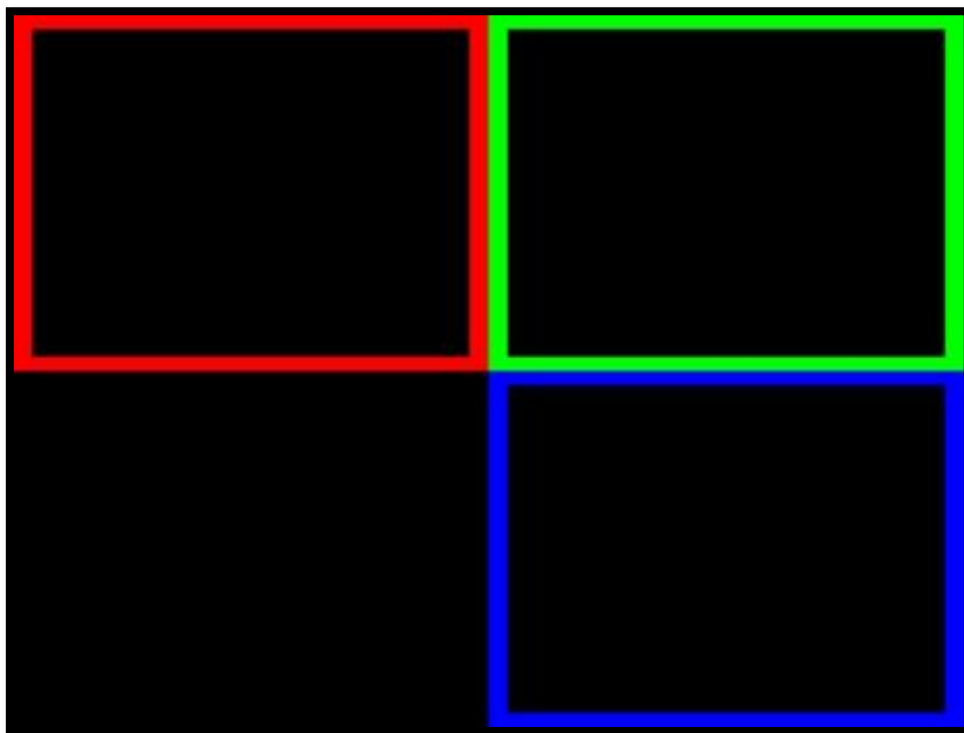
που χρησιμοποιήθηκε κατά το στήσιμο της εγκατάστασης και οι λόγοι για τους οποίους αναγκαστήκαμε να κάνουμε αλλαγές πάνω σε αυτό το κομμάτι της εργασίας.

### 3.3.1 Ανάπτυξη διεπαφής

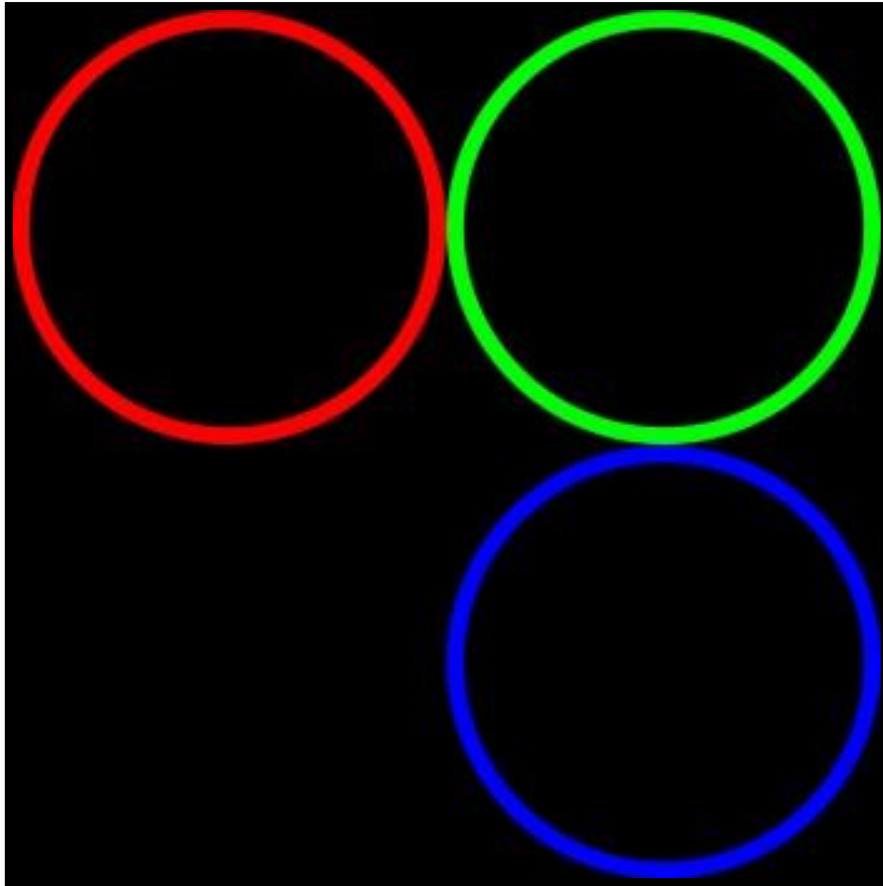
Αρχίζοντας την ανάπτυξη της εργασίας το πρώτο πράγμα που έπρεπε να αντιμετωπισθεί ήταν η δημιουργία της καταλληλότερης διεπαφής έτσι ώστε να δίνεται η δυνατότητα στον εκάστοτε χρήστη να μπορεί να πλοηγείται με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ευκολία στο χώρο των πειραμάτων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η διάδραση μεταξύ του χρήστη και του υπολογιστή γίνεται με την χρήση μιας κάμερας. Έτσι, έχοντας ως δεδομένο αυτό κατά την σχεδίαση της διεπαφής οι παράμετροι που έπρεπε να ληφθούν υπ' όψιν αφορούσαν κυρίως την δυνατότητα που είχε ο εκάστοτε χρήστης να πλοηγείται μέσα αλλά και έξω από τις συγκεκριμένες περιοχές όπου υλοποιούνταν τα ψυχοακουστικά πειράματα. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν μερικές διαφορετικές διεπαφές της εγκατάστασης προσπαθώντας να βρεθεί ποια μας εξυπηρετεί περισσότερο. Απαραίτητο είναι να σημειωθεί ότι στα πλαίσια της ευχρηστίας έπρεπε να υπάρχουν κάποιες κατάλληλες προϋποθέσεις, δεδομένου ότι ο χώρος στον οποίο εκτέθηκε η παρούσα εγκατάσταση δεν ήταν μεγαλύτερος από (4m\*4m\*3,5m). Επίσης όπως φαίνεται παρακάτω οι περιοχές προσέγγισης που ουσιαστικά αποτελούν τη διεπαφή της εγκατάστασης είναι τρεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ψυχοακουστικά πειράματα τα οποία εξετάζονται στην παρούσα πτυχιακή εργασία είναι τρία. Ο αριθμός των πειραμάτων που αναπτύχθηκαν αποφασίστηκε λόγω του περιορισμένου χώρου που ήταν διαθέσιμος. Στις εικόνες 3.2 – 3.4 απεικονίζονται διάφορες προτάσεις για τη διεπαφή της εγκατάστασης.



**Εικόνα 3.2** Δοκιμαστική διεπαφή χρήσης που αναπτύχθηκε



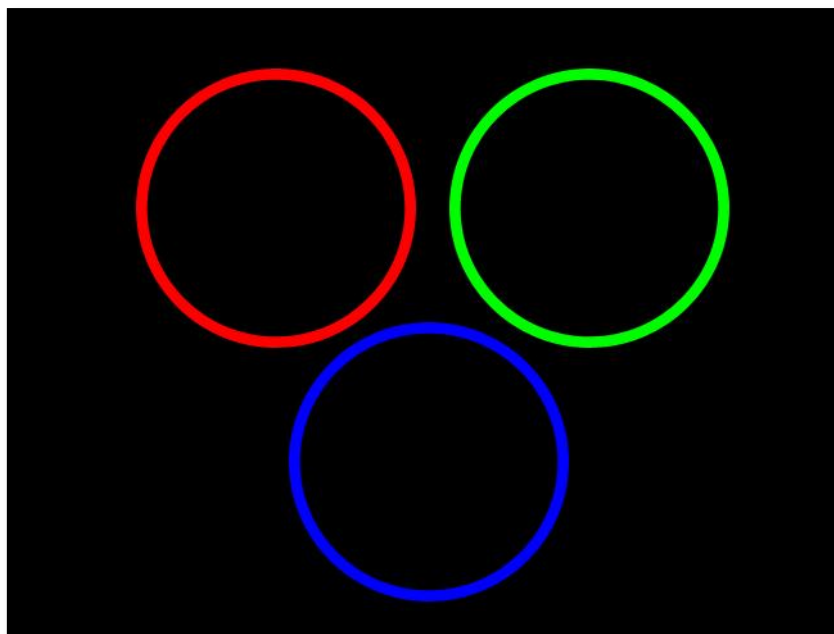
**Εικόνα 3.3** Δοκιμαστική διεπαφή χρήσης που αναπτύχθηκε



**Εικόνα 3.4** Δοκιμαστική διεπαφή χρήσης που αναπτύχθηκε

Καθώς παρατηρούμε αυτές τις ενδεικτικές διεπαφές χρήσης, βλέπουμε ότι είναι οριοθετημένες κάποιες περιοχές με χρώματα. Κάθε κύκλος ή ορθογώνιο στις παραπάνω εικόνες αποτελεί μία διαφορετική περιοχή «προσέγγισης». Μέσα σε αυτές τις περιοχές προσέγγισης εξελίσσεται ένα διαφορετικό ψυχοακουστικό πείραμα.

Κατά τη σύγκριση των παραπάνω διεπαφών για να δούμε ποια μπορεί να μας εξυπηρετήσει καλύτερα, έχοντας πάντα ως δεδομένο την όσο το δυνατόν καλύτερη πλοήγηση του χρήστη στο χώρο, καταλήγουμε στα συμπεράσματα ότι στην δεύτερη και τρίτη διεπαφή ο χρήστης μπορούσε μονόπλευρα να πλοηγηθεί στην εγκατάσταση (μόνο μέσα στις δυναμικές περιοχές δίνοντας του την δυνατότητα να είναι σε ένα μόνο σημείο εκτός αυτών).



**Εικόνα 3.5** Η προτεινόμενη διεπαφή της εγκατάστασης

Χρησιμοποιώντας αυτή την διεπαφή (Εικόνα 3.5) πετυχαίνουμε τη μέγιστη δυνατή ευχρηστία της εγκατάστασης. Τα κριτήρια τα οποία μας οδηγούν στην επιλογή της κατάλληλης διεπαφής είναι η αποτελεσματικότητα της εκτέλεσης των επιμέρους πειραμάτων και οι δυνατότητες οι οποίες δίνονται στον χρήστη με σκοπό τις λιγότερες περιττές λειτουργίες. Αυτό γίνεται διότι ο χρήστης έχει την δυνατότητα να κινηθεί γύρω από τις περιοχές προσέγγισης άλλα και μέσα σε αυτές. Σε κάθε μια από αυτές τις τρεις περιοχές προσέγγισης υλοποιείται ένα διαφορετικό ψυχοακουστικό πείραμα. Έτσι, όταν ο εκάστοτε χρήστης μπαίνει μέσα στην περιοχή προσέγγισης την ενεργοποιεί και αυτόματα ξεκινάει το πείραμα.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το κάθε πείραμα εξελίσσεται εφόσον ο χρήστης βρίσκεται μέσα σε αυτές τις περιοχές. Οι παράμετροι του κάθε πειράματος ελέγχονται μέσω της καταγραφής της ακριβούς θέσης του συμμετέχοντος σε σχέση με τα κέντρα των περιοχών προσέγγισης. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν αλγόριθμοι αντιστοίχισης και μετατροπής των δεδομένων απόστασης σε τιμές παραμέτρων των ψυχοακουστικών πειραμάτων.



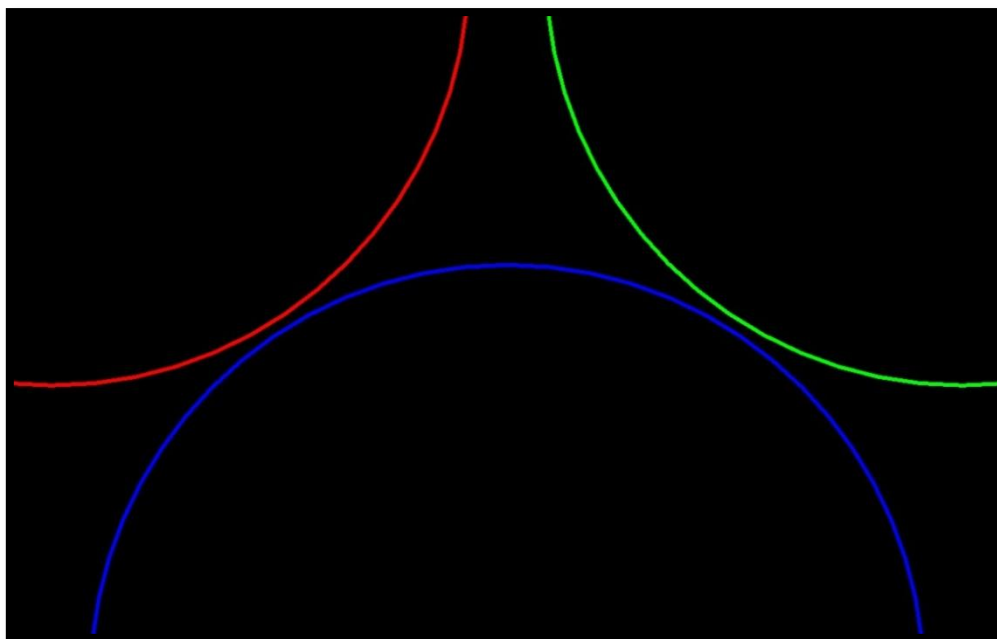
### **3.3.2 Προβλήματα που δημιουργήθηκαν**

Έχοντας μελετήσει σε θεωρητικό επίπεδο την ανάπτυξη της κατάλληλης διεπαφής του συστήματος περίμενε κανείς ότι η υλοποίηση της σε πραγματικές συνθήκες είναι κάτι αρκετά εφικτό. Παρόλ' αυτά εμφανίστηκαν προβλήματα κατά τη διάρκεια του στησίματος της εγκατάστασης. Τα προβλήματα αυτά αφορούσαν κυρίως τον περιορισμένο χώρο της εγκατάστασης που είχαν ως συνέπεια τον περιορισμό των τιμών των παραμέτρων διάδρασης των δυναμικών περιοχών όπου γίνεται η εκτέλεση των ψυχοακουστικών πειραμάτων.

Ο περιορισμός αυτός αφορούσε κυρίως τις δυνατότητες του χρήστη στο να πλοηγείται όσο το δυνατόν ευκολότερα μέσα σε αυτές τις περιοχές. Εφαρμόζοντας λοιπόν την διεπαφή που είχαμε επιλέξει αρχικά ο χρήστης έπρεπε να κάνει πολύ μικρές κινήσεις μέσα σε αυτές τις περιοχές προκειμένου να υπάρξει όσο το δυνατόν πιο ομαλή εξέλιξη των πειραμάτων, κάτι που φάνηκε να είναι ανέφικτο στη παρούσα φάση με τη χρήση της συγκεκριμένης διεπαφής. Πρέπει να αναφέρουμε ότι κατά τη διάρκεια της μελέτης για την ανάπτυξη της διεπαφής δεν υπολογίστηκαν αλλά ούτε μελετήθηκαν εναλλακτικοί τρόποι για τον σχεδιασμό της διεπαφής σε περίπτωση που εμφανιζόντουσαν προβλήματα στο στήσιμο της εγκατάστασης.

### **3.3.3 Επίλυση προβλήματος της διεπαφής χρήσης**

Για το λόγο που αναφέρθηκε παραπάνω υπήρξε μια ριζική αλλαγή στη σκέψη της ανάπτυξης της διεπαφής χρήσης. Στην εικόνα 3.6 παρουσιάζεται η νέα διεπαφή χρήσης που χρησιμοποιήσαμε προκειμένου να υπάρξει όσο το δυνατόν καλύτερη πλοήγηση του χρήστη στον χώρο. Συμπερασματικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι η διεπαφή αυτή αύξησε τις παραμέτρους αλληλεπίδρασης στο διπλάσιο απ' ότι η προηγούμενη και έδωσε στον εκάστοτε χρήστη την δυνατότητα να πλοηγηθεί ευκολότερα μέσα σε αυτές τις περιοχές.



Εικόνα 3.6 Η διεπαφή που χρησιμοποιήθηκε στην τελική εγκατάσταση

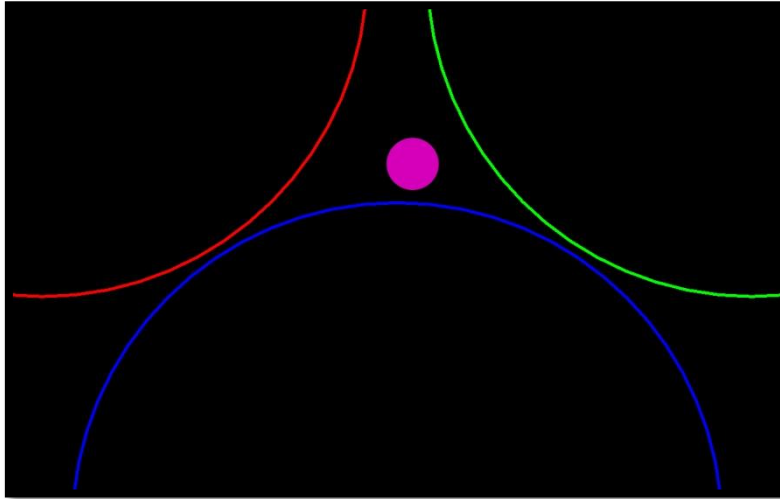
### 3.3.4 Απεικόνιση του χρήστη

Όπως και στην επιφάνεια εργασίας του υπολογιστή υπάρχει το ποντίκι με σκοπό να δείχνει ανά πάσα στιγμή στον χρήστη την γεωγραφική του τοποθεσία στο εικονικό περιβάλλον του υπολογιστή έτσι και στις διαδραστικές εγκαταστάσεις πολλές φορές χρειάζονται κάποιοι τρόποι για την γεωγραφική απεικόνιση των χρηστών στα εικονικά περιβάλλοντα των εγκαταστάσεων. Πρέπει να σημειωθεί ότι η απεικόνιση του χρήστη στην προβολή της εγκατάστασης γίνεται με την απεικόνιση μία κουκίδας η οποία έχει ως συντεταγμένες τις συντεταγμένες του κέντρου του μεγάλου δυαδικού αντικειμένου (blob - binary large object) που παρακολουθεί τον χρήστη. Έτσι ο χρήστης ανά πάσα στιγμή μπορεί να γνωρίζει σε ποιο σημείο / περιοχή προσέγγισης βρίσκεται. Αυτό κρίνεται ότι είναι αναγκαίο για την όσο το δυνατόν καλύτερη αντίληψη του χρήστη στον χώρο δίνοντας του την δυνατότητα να αναγνωρίζει σε ποια περιοχή προσέγγισης βρίσκεται και στο πού πρέπει να κινείται έτσι ώστε να υπάρξει όσο το δυνατόν καλύτερη εξέλιξη του πειράματος. Στην εικόνα 3.7 παρακάτω μπορούμε να δούμε τις τρεις περιοχές προσέγγισης καθώς και τη κουκίδα η οποία απεικονίζει την γεωγραφική θέση του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον.

```
ellipse (b.xMin*width + b.w*width/2.0, b.yMin*height+ b.h*height/2.0 , 40, 40); (3.1)
```

**Κώδικας 3.1** Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του χρήστη

Το  $b.xMin*width + b.w*width/2.0$  και το  $b.yMin*height + b.h*height/2.0$  είναι το  $(x, y)$  του κέντρου του blob που ακολουθεί τον χρήστη και όπου  $b.xMin*width$  και  $b.yMin*height$  είναι το  $(x, y)$  του blob.



**Εικόνα 3.7** Η γεωγραφική απεικόνιση του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον της εγκατάστασης

### 3.4 Εξομοίωση της εγκατάστασης

Η εξομοίωση μιας εγκατάστασης αρκετές φορές είναι χρήσιμη, αποτελεσματική και απαραίτητη λόγω της ευκολίας που δίνεται στους προγραμματιστές – καλλιτέχνες να δοκιμάζουν ανά πάσα στιγμή την πρόοδο της χωρίς να χρειάζεται να στηθεί σε κάποιο χώρο για δοκιμή. Παρόλ' αυτά αρκετές φορές δημιουργούνται προβλήματα που αφορούν τις παραμέτρους που έχουν ορισθεί. Έτσι λοιπόν αναφέρουμε ότι η εξομοίωση μιας εγκατάστασης και η λειτουργία της στις ιδανικές συνθήκες του υπολογιστή αν και είναι χρήσιμη για τη συνεχή αξιολόγηση της λειτουργίας της πολλές φορές έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση προβλημάτων κατά τη διάρκεια του στησίματος της [6].

Κατά την ανάπτυξη της εξομοίωσης αυτής της εγκατάστασης στον υπολογιστή όλα τα μεγέθη δημιουργούνται με βάση τα pixel της οθόνης. Στο στήσιμο αυτής της εγκατάστασης μετρήθηκαν σε πραγματικά μεγέθη οι αποστάσεις. Ο λόγος των pixel προς τα εκατοστά είναι 4 pixel / εκατοστό.

### **3.4.1 Εξομοίωση πειραμάτων**

Η εξομοίωση των πειραμάτων κρίθηκε αναγκαία. Ουσιαστικά η εξομοίωση βοήθησε στην ταχύτερη και ακριβέστερη ανάπτυξη των πειραμάτων. Η υλοποίηση των επιμέρους πειραμάτων έγινε ξεχωριστά. Στη συνέχεια έγινε τοποθέτηση των επιμέρους πειραμάτων σε ένα πρόγραμμα όπου ο χρήστης με τη χρήση του ποντικιού μπορεί να αλληλεπιδράσει με αυτή την πλατφόρμα παράγοντας τα ηχητικά αποτελέσματα.

### **3.5 Ανάπτυξη των ψυχοακουστικών πειραμάτων**

Σε αυτό το σημείο γίνεται μια εκτενής παρουσίαση της ανάπτυξης των τριών ψυχοακουστικών πειραμάτων δηλαδή του διακροτήματος, του φαινομένου της προπορείας και του σφάλματος του mp3 τα οποία χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εγκατάσταση. Έχοντας εξηγήσει και κατανοήσει ταυτόχρονα το θεωρητικό πλαίσιο της βασικής λειτουργίας αυτών των πειραμάτων στο δεύτερο κεφάλαιο, αναφερόμαστε στην αλγοριθμική δόμηση αυτών, που έγινε στην πλατφόρμα λογισμικού που χρησιμοποιήσαμε.

#### **3.5.1 Αλγοριθμική δόμηση ψυχοακουστικών πειραμάτων**

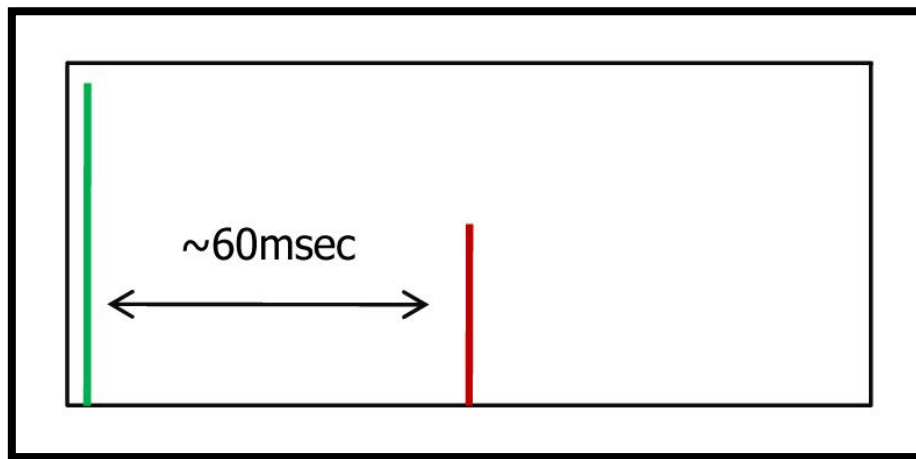
Η αλγοριθμική δόμηση των ψυχοακουστικών πειραμάτων είναι κάτι αρκετά σύνθετο. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι υπάρχει μια πληθώρα από ψυχοακουστικά πειράματα – το καθένα ανεξάρτητο από τα άλλα – τα οποία εκτελούνται με διαφορετικό τρόπο προκειμένου να καταφέρουν να μας δώσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Επιπλέον, τα ψυχοακουστικά πειράματα πολλές φορές έχουν μια αλληλεξάρτηση (όπως η κωδικοποίηση του mp3 που αναφέρθηκε προηγουμένως) και για την ανάπτυξη τους χρειάζεται πολύ μεγάλη εμπάθυνση σε θέματα που αφορούν τόσο τους μηχανικούς αλλά και τους επιστήμονες που ασχολούνται με την ακουστική.

#### **3.5.2 Ανάπτυξη του φαινομένου της προπορείας**

Όπως αναφέρθηκε και στο δεύτερο κεφάλαιο, το φαινόμενο της προπορείας [16] περιγράφει τον ορθό προσδιορισμό της κατεύθυνσης της ηχητικής πηγής που ακούει ο άνθρωπος και στα δύο αυτιά, που φθάνουν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Το φαινόμενο της προπορείας εξετάζει την δυνατότητα που έχει ο άνθρωπος να εντοπίζει μια καλή πηγή με βάση τον

πρώτο ήχο που φθάνει, αν η μεταγενέστερη άφιξη βρίσκεται εντός 25-35 χιλιοστών του δευτερολέπτου. Αν η καθυστέρηση της άφιξης του ήχου είναι μεγαλύτερη, τότε δύο διαφορετικοί ήχοι ακούγονται.

Κατά την ανάπτυξη του φαινομένου της προπορείας δημιουργήσαμε δύο ήχους οι οποίοι είχαν ως σκοπό την εξομοίωση αυτού του φαινομένου. Έτσι δημιουργήσαμε δυο κρουστικούς ήχους οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την διεξαγωγή του πειράματος. Στη συνέχεια δώσαμε κάποιες τιμές παραμέτρων, στην πλατφόρμα λογισμικού την οποία χρησιμοποιούμε για την ανάπτυξη της πτυχιακής εργασίας, οι οποίες ελέγχουν την χρονική καθυστέρηση (Εικόνα 3.8) με την οποία ακούγονται οι δύο αυτοί ήχοι.



**Εικόνα 3.8** Χρονική καθυστέρηση των δύο ήχων

Στην αρχή η χρονική αυτή καθυστέρηση προσπάθησε να δοθεί με την εντολή `delay` του προγράμματος. Αυτό όμως δεν λειτούργησε και είχε ως αποτέλεσμα το πρόγραμμα να εμφανίζει κάποια σφάλματα. Σε ένα επόμενο στάδιο δημιουργήσαμε μια χρονική καθυστέρηση χειροκίνητα. Ο κώδικας αυτής της καθυστέρησης παρουσιάζεται παρακάτω.

```
myChannel_1.play();  
k = millis();  
while(millis() - k < r){ }
```

```
myChannel_2.play();  
k = millis();  
while(millis() - k < 2000){ }
```

### Κώδικας 3.2 Κώδικας χρονικής καθυστέρησης

Αυτό το κομμάτι κώδικα, που αναπτύχθηκε με σκοπό να δημιουργεί την χρονική καθυστέρηση των δύο ήχων, έχει ως συνέπεια το “πάγωμα” του υπολογιστή για μία μικρή χρονική στιγμή. Η λειτουργία του κώδικα βασίζεται στην εξής δομή:

α) αναπαραγωγή του πρώτου ήχου,

β) η μεταβλητή  $k$  παίρνει την τιμή των χιλιοστών του δευτερολέπτου τη στιγμή που παίζει τον πρώτο ήχο,

γ) γίνεται έλεγχος της διαφοράς των χιλιοστών του δευτερολέπτου με την τιμή της μεταβλητής  $k$  η οποία διαφορά πρέπει να είναι μικρότερη της απόστασης  $r$  (δηλαδή της απόστασης του χρήστη από το κέντρο της περιοχής προσέγγισης), όσο η διαφορά ( $\text{millis}() - k$ ) είναι μικρότερη της απόστασης  $r$  δεν θα παιχτεί ο δεύτερος ήχος, ενώ με το που η διαφορά ( $\text{millis}() - k$ ) γίνει ελάχιστα μεγαλύτερη τότε θα παιχτεί ο επόμενης ήχος,

δ) γίνεται αναπαραγωγή του δεύτερου ήχου,

ε) η μεταβλητή  $k$  παίρνει την νέα τιμή των χιλιοστών του δευτερολέπτου και

στ) δημιουργείται άλλη μια καθυστέρηση 2 δευτερολέπτων για να ακουστούν ξανά οι ήχοι από την αρχή.

Όπως αναφέρεται παραπάνω η μεταβλητή  $r$  είναι η απόσταση του χρήστη (στην εξομοίωση είναι η απόσταση του ποντικιού) από το κέντρο της περιοχής προσέγγισης όπου εξελίσσεται αυτό το πείραμα. Η απόσταση αυτή μεταβάλλεται ανάλογα την μεταβολή της θέσης του χρήστη μέσα στην περιοχή προσέγγισης. Η τιμή της μεταβλητής  $r$  υπολογίζεται σε pixel. Η μέγιστη τιμή της μεταβλητής αυτής είναι 550 pixels όσο δηλαδή και η ακτίνα της περιοχής προσέγγισης. Αυτό είχε ως συνέπεια όταν ο χρήστης βρίσκεται στα όρια της περιοχής προσέγγισης η μέγιστη τιμή της χρονικής καθυστέρησης αυτών των ήχων να είναι 550 χιλιοστά του δευτερολέπτου.

### 3.5.3 Ανάπτυξη του διακροτήματος

Το διακρότημα όπως εξηγήσαμε αποτελείται από δύο αρμονικές ταλαντώσεις ίδιας διεύθυνσης, ίδιου πλάτους, γύρω από το ίδιο σημείο ισορροπίας με συχνότητες που να διαφέρουν λίγο. Στο προγραμματιστικό περιβάλλον του Processing ([35], [36]) και χρησιμοποιώντας την βιβλιοθήκη Ess [14] (υπεύθυνη για προγραμματισμό και αναπαραγωγή ηχητικών δεδομένων) οι δύο συχνότητες εμφανίζονται ως εξής:

**Σταθερή συχνότητα:** `myWave_1 = new SineWave(440, 0.5);`

Όπου 440 είναι η σταθερή τιμή της συχνότητας και 0,5 είναι το πλάτος της συχνότητας.

**Μεταβλητή συχνότητα:** `myWave_2 = new SineWave(440 + r, 0.5);`

Όπου  $(440 + r)$  είναι η μεταβλητή τιμή της συχνότητας και 0,5 είναι το πλάτος της συχνότητας. Το  $r$  ισούται με την απόσταση του χρήστη (ή του ποντικιού όταν μιλάμε για την εξομοίωση της εγκατάστασης στον υπολογιστή) από το κέντρο της περιοχής προσέγγισης που παράγει αυτό το πείραμα. Όπως αναφέρεται και στο φαινόμενο της προπορείας η μέγιστη τιμή της μεταβλητής  $r$  είναι 550 pixels συνεπώς η μέγιστη τιμή της διαφοράς της συχνότητας ήταν 550 Hz. Αυτό όμως δεν βοηθάει πάρα πολύ στην κατανόηση αυτού του πειράματος γιατί η τιμή της συχνότητας φτάνει στα 990 Hz (440 Hz η τιμή εκκίνησης της συχνότητα και 550 η μέγιστη απόσταση της). Για το λόγο αυτό η τιμή της απόστασης διαιρείται με το 10 προκειμένου να εξομαλυνθεί η διαφορά της μέγιστης από την ελάχιστη τιμή των συχνοτήτων. Έτσι η νέα τους διαφορά είναι τα 55 Hz. Επομένως η μεταβλητή συχνότητα παίρνει τιμές από 440 Hz έως 495 Hz. Το διακρότημα όμως δεν εμφανίζεται σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων. Σύμφωνα με τη θεωρία το διακρότημα εμφανίζεται σε συχνότητες με μέγιστη απόσταση 440 Hz. Ο λόγος για τον οποίο η μέγιστη απόσταση των δύο συχνοτήτων είναι μεγαλύτερη από 15 Hz, είναι διότι θέλουμε να δείξουμε στους χρήστες τη διαφορά μεταξύ του να εξελίσσεται και του να μη εξελίσσεται διακρότημα. Έχοντας λοιπόν δημιουργήσει αυτές τις δύο συχνότητες ο χρήστης όταν μπαίνει στην περιοχή προσέγγισης τις ενεργοποιεί και αυτόματα αρχίζει να εξελίσσεται το πείραμα.

#### 3.5.3.1 Προβλήματα ανάπτυξης διακροτήματος

Κατά την ανάπτυξη του διακροτήματος στο προγραμματιστικό περιβάλλον που αναφέρθηκε προηγουμένως εμφανίστηκε ένα σημαντικό πρόβλημα το οποίο έπρεπε να λυθεί. Αυτό

αφορούσε τις αλλαγές των θέσεων του χρήστη και την ενεργοποίηση του ήχου. Όταν χρήστης ο οποίος βρισκόταν μέσα στην περιοχή προσέγγισης άλλαζε θέση, ενεργοποιούσε έναν νέο ήχο και αυτό είχε ως αποτέλεσμα τον απότομο τερματισμό του προηγούμενου ήχου. Ο απότομος τερματισμός του ήχου είχε σαν αποτέλεσμα να ακούγεται ένας ενοχλητικός θόρυβος κάθε φορά που άλλαζε τη θέση του ο χρήστης.

### 3.5.3.2 Επίλυση προβλημάτων διακροτήματος

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα δημιουργήθηκαν κάποια flags τα οποία αναγνωρίζοντας την αλλαγή της θέσης του χρήστη ενεργοποιούν και παράγουν γρήγορα fade in και fade out. Αυτό όμως στο προγραμματιστικό περιβάλλον που χρησιμοποιούμε δεν βοήθησε στην επίλυση του προβλήματος λόγω του ότι ο παραγόμενος ήχος ακουγόταν με καθυστέρηση λόγω της καθυστέρησης που προκαλούσαν τα fades. Ένας δεύτερος και πιο αποτελεσματικός τρόπος επίλυσης αυτού του προβλήματος ήταν η δυνατότητα της δημιουργία ενός Stream ήχου με fades τα οποία επαναλαμβάνονται σε όλη την διάρκεια της λούπας. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα κομμάτι του κώδικα.

```
If ( r != r_previous && !myStream.fading)
{
    myWave = new SineWave(440 + r/10, 0.5);

    myWave.generate(myStream); // Generate first sine,    replace Stream

    myFadeOut.filter(myStream); // Fade down the audio

    myFadeIn.filter(myStream); // Fade up the audio
}
```

**Κώδικας 3.3** Κώδικας δημιουργίας stream ήχου



Παρόλ' αυτά αν και ο νέος αυτός ήχος ήταν καλύτερος από τον προηγούμενο δημιούργησε άλλο ένα πρόβλημα το οποίο δεν επιλύθηκε. Το νέο αυτό πρόβλημα έχει να κάνει με την υπερφόρτωση της μνήμης του υπολογιστή. Αυτό γινόταν διότι κάθε φορά που άλλαζε θέση ο χρήστης και άλλαζε η συχνότητα η οποία ακουγόταν το πρόγραμμα δημιουργούσε μια νέα συχνότητα χωρίς να σβήνει την προηγούμενη από τη μνήμη του. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να αργεί όλο το λογισμικό της εγκατάστασης. Σε επόμενο κεφάλαιο όπου μελετούνται οι περαιτέρω επεκτάσεις της εγκατάστασης αλλά και οι βελτιστοποιήσεις που μπορούν να γίνουν αναφέρεται το πρόβλημα και δίνονται κάποιες λύσεις που μπορούν ίσως να βοηθήσουν στην οριστική επίλυση αυτού του προβλήματος.

### **3.5.4 Ανάπτυξη του σφάλματος του mp3**

Το σφάλμα του mp3 [19] είναι το τρίτο ψυχοακουστικό πείραμα που αναπτύχθηκε για αυτή την πτυχιακή εργασία. Όπως και για τα δύο προηγούμενα ψυχοακουστικά πειράματα έτσι και αυτό μελετήθηκε θεωρητικά στο δεύτερο κεφάλαιο. Στην εγκατάσταση που στήθηκε προσπαθήσαμε να δείξουμε την απωλεστική συμπίεση του σφάλματος, δηλαδή τις συχνότητες εκείνες που σβήνονται κατά την κωδικοποίηση ενός αρχείου ήχου από wav σε mp3.

Το ψυχοακουστικό αυτό πείραμα σε σύγκριση με τα δύο προηγούμενα δεν παράγει κάποιο ηχητικό αποτέλεσμα σε πραγματικό χρόνο. Οι ήχοι που ακούγονται έχουν δημιουργηθεί και έχουν τοποθετηθεί στην περιοχή προσέγγισης. Έτσι ο χρήστης δεν ελέγχει κάποια τιμή παραμέτρων όπως έκανε με τα προηγούμενα πειράματα. Το μόνο που κάνει ο χρήστης αλλάζοντας θέση είναι να ενεργοποιεί κάθε ήχο ξεχωριστά. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξη αυτού του πειράματος περιγράφεται στα παρακάτω στάδια ανάπτυξής της.

#### **3.5.4.1 Υπολογισμός ποιοτικής εκτίμησης του σφάλματος του mp3**

Για τον υπολογισμό του σφάλματος του mp3 ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- α) κωδικοποίηση αρχείου wav σε mp3 σε διαφορετικούς ρυθμούς κωδικοποίησης (96, 112, 128, 160, 192, 256 και 320 kbps),
- β) μετατροπή κωδικοποιημένων αρχείων σε wav αρχεία ήχου και
- γ) αφαίρεση από το αρχικό wav αρχείο το τελικό wav αρχείου.

“iSEE” Διαδραστική εγκατάσταση για την εκτέλεση ψυχοακουστικών πειραμάτων

Πιο συγκεκριμένα η διαδικασία της αφαίρεσης των αρχείων έγινε με το λογισμικό Matlab. Η διαδικασία στο λογισμικό Matlab είναι η εξής:

α) Διαβάζει τα ηχητικά δεδομένα (τόσο τα αρχικά όσο και τα αποσυμπιεσμένα) από τα αντίστοιχα αρχεία, χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες εντολές σε Matlab:

```
>> [X,fs,N]=wavread('audio.wav');  
>> [Y,fs,N]=wavread('audio@XXX.wav');
```

#### Κώδικας 3.4 Ανάγνωση ηχητικών αρχείων στη Matlab

Όπου audio.wav ο αρχικός ήχος και audio@XXX.wav ο αποσυμπιεσμένος ήχος και XXX ο ρυθμός κωδικοποίησης.

Β) Μετά την κωδικοποίηση με mp3 παρατηρούμε ότι τα δύο αρχεία δεν έχουν το ίδιο μήκος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο mp3 κωδικοποιητής εισάγει πρόσθετα δεδομένα στην αρχή του ηχητικού υλικού, ενώ συγχρόνως δεν κωδικοποιεί και το τελευταίο πλαίσιο (frame) των αρχικών δεδομένων. Για την μετατροπή των ηχητικών δεδομένων σε δύο μεταβλητές - διανύσματα της Matlab ίδιου μεγέθους δώσαμε τις παρακάτω εντολές:

```
>> Y=Y(1106 :length(Y)) ;  
>> X=X(1 :length(Y)) ;
```

#### Κώδικας 3.5 Μετατροπή ηχητικών δεδομένων σε διανύσματα ίδιου μεγέθους

γ) στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός της ποιοτικής τιμής του σφάλματος (δηλαδή η παραγωγή ενός αρχείου ήχου που περιέχει το σφάλμα του mp3). Αυτό επιτυγχάνεται όταν αφαιρεθεί από το αρχικό αρχείο το τελικό αρχείο ήχου.

```
>> E = X - Y;
```

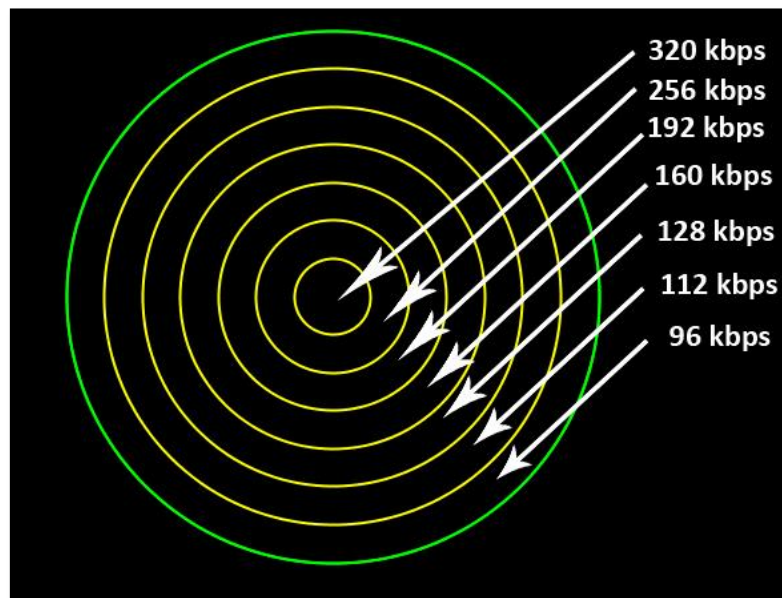
#### Κώδικας 3.6 Αφαίρεση ηχητικών δεδομένων

Το εργαλείο λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε πέρα από τη Matlab στο πλαίσιο του συγκεκριμένου ψυχοακουστικού πειράματος είναι η εφαρμογή λογισμικού Audacity

(ελεύθερα διακινούμενη εφαρμογή, την οποία μπορούμε να την μεταφορτώσουμε από τη διεύθυνση <http://audacity.sourceforge.net/>), ο MPEG1-Layer III κωδικοποιητής LAME (ελεύθερα διακινούμενη βιβλιοθήκη, μπορούμε και αυτή να τη βρούμε στη διεύθυνση <http://lame.buanzo.com.ar/>).

### 3.5.4.2 Τοποθέτηση ηχητικών δεδομένων στην περιοχή προσέγγισης

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως τα ηχητικά δεδομένα του σφάλματος της mp3 κωδικοποίησης τοποθετήθηκαν στην περιοχή προσέγγισης. Ουσιαστικά όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.9 παρακάτω δημιουργήσαμε κάποιες υποπεριοχές προσέγγισης. Σε κάθε μια από αυτές τις υποπεριοχές τοποθετήθηκαν τα αρχεία ήχου που πήραμε από το προηγούμενο στάδιο. Ο υπολογισμός της απόστασης του χρήστη από το κέντρο του κύκλου υπολογίζεται αλλά όπως ειπώθηκε προηγουμένως δεν επηρεάζει κάποια παράμετρο της εξέλιξης του πειράματος. Παρόλ' αυτά δεν μπορούμε να πούμε ότι δεν χρησιμεύει κάπου ο υπολογισμός της απόστασης. Ουσιαστικά όταν ο χρήστης μπει μέσα στον πρώτο κύκλο (τον πράσινο) γίνεται ένας συνεχής έλεγχος ο οποίος έχει σκοπό να μπορεί να αναγνωρίζει η εφαρμογή σε ποια υποπεριοχή βρίσκεται ο χρήστης για να αναπαράγει το συγκεκριμένο ηχητικό αρχείο.



**Εικόνα 3.9** Υποπεριοχές προσέγγισης του σφάλματος του mp3

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 3.9 παραπάνω οι ήχοι του σφάλματος τοποθετήθηκαν κατά τέτοιο τρόπο ώστε όσο ο χρήστης προχωράει προς το κέντρο του κύκλου ο ρυθμός συμπίεσης αυξάνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι ο χρήστης να ακούει λιγότερη πληροφορία (λόγω του ότι διαγράφηκε λιγότερη πληροφορία κατά τη συμπίεση) από ότι όταν βρίσκεται στους εξωτερικούς κύκλους (διαγράφηκε περισσότερη πληροφορία κατά τη συμπίεση).

Κατά την ανάπτυξη αυτού του πειράματος δεν δημιουργήθηκαν ιδιαίτερα προβλήματα. Ωστόσο, και δεδομένου του γεγονότος ότι προσπαθούσαμε να εξομοιώσουμε κάποια ψυχοακουστικά φαινόμενα, πρέπει να έχουμε στο νου μας ότι ο κάθε χρήστης μπορεί να κατανοήσει την διαφορά μεταξύ των ήχων που ακούει. Η ενεργοποίησή των ήχων γινόταν μόλις ο χρήστης έμπαινε μέσα στην περιοχή προσέγγισης. Αυτό δημιουργούσε προβλήματα στην κατανόηση των διαφορετικών ήχων που ακούγονταν γιατί οι ήχοι αυτοί ξεκινούσαν κάθε φορά από την αρχή και για να μπορέσει ο εκάστοτε χρήστης να καταλάβει την διαφορά έπρεπε να μένει συγκεντρωμένος και να ακούει προσεκτικά αυτούς τους ήχους.

Για τον λόγο αυτό αποφασίστηκε να δοθεί στην εφαρμογή η δυνατότητα να αναπαράγονται οι ήχοι αυτοί με μία γραμμικότητα χωρίς να εμφανίζεται η διαδικασία του ξεκινάω – σταματάω – ξεκινάω. Αυτό το πετύχαμε με τον εξής τρόπο:

α) όλοι οι ήχοι ξεκινούσαν να παίζουν ταυτόχρονα,

β) μηδενίζονταν οι τιμές τις έντασης των ήχων

γ) γινόταν ένα (1) η τιμή της έντασης του ήχου στην περιοχή που βρισκόταν ο χρήστης.

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε μια γραμμικότητα στο άκουσμα των ήχων και ο χρήστης μπορούσε να κατανοήσει τις διαφορές μεταξύ των ηχητικών δεδομένων που άκουγε. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα κομμάτι του κώδικα που γράφτηκε για αυτόν τον λόγο.

```
If(r <= c1)
{
    myChannel_1.volume(1);
    myChannel_2.volume(0) ;
    myChannel_3.volume(0) ;
```

```

myChannel_4.volume(0) ;
myChannel_5.volume(0) ;
myChannel_6.volume(0) ;
myChannel_7.volume(0) ;
myChannel_8.volume(0);
}

```

**Κώδικας 3.7** Γραμμικότητα στο άκουσμα των ηχητικών δεδομένων

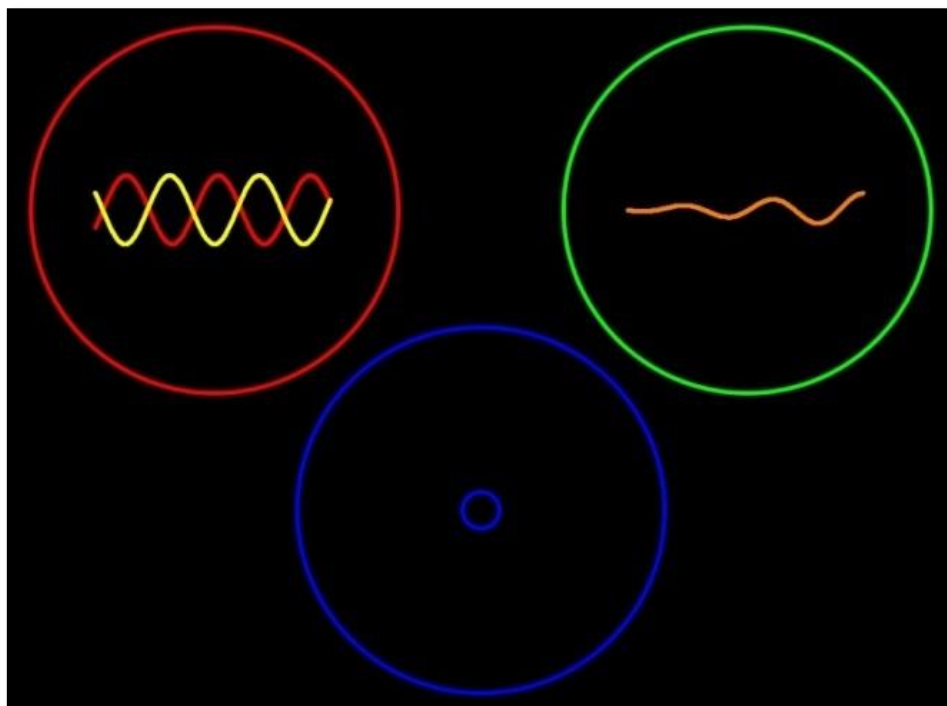
Όπως βλέπουμε στον κώδικα παραπάνω η μόνη τιμή έντασης που έχει ένα (1) είναι αυτή που ακούγεται. Όλες οι υπόλοιπες τιμές εντάσεων είναι μηδέν. Το  $r$  όπως και στα προηγούμενα πειράματα που περιγράψαμε είναι η απόσταση του χρήστη από τον κύκλο. Το  $c1$  είναι ο πρώτος κύκλος (αντίστοιχα οι υπόλοιποι κύκλοι παίρνουν τις μεταβλητές  $c2$ ,  $c3$  κτλ.). Έτσι ανάλογα με την τιμή του  $r$  γίνεται ο έλεγχος για το κύκλο τον οποίο βρίσκεται ο χρήστης και η αναπαραγωγή του εκάστοτε ήχου.

### 3.6 Οπτική προβολή των πειραμάτων

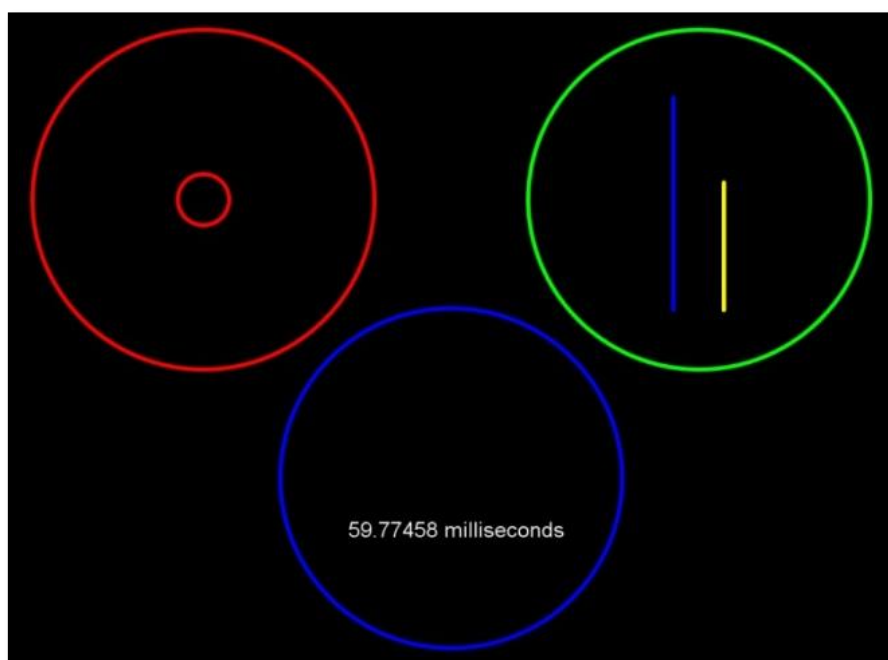
Οι εικόνες 13 – 15 παρουσιάζουν τις οπτικές εξόδους για τα τρία ψυχοακουστικά πειράματα που εξετάζονται στην παρούσα εργασία. Όπως ειπώθηκε, όταν ο χρήστης εισέλθει σε μια περιοχή προσέγγισης αυτόματα την ενεργοποιεί και ξεκινάει η εξέλιξη του κάθε πειράματος. Ταυτόχρονα όμως με αυτό οι άλλες δυο περιοχές προσέγγισης χρησιμοποιούνται ως monitor για την απεικόνιση την οπτικής πληροφορίας που πρέπει να λάβει ο χρήστης. Αυτή η δυνατότητα της απεικόνισης της πληροφορίας φάνηκε να είναι πολύ σημαντική. Ο χρήστης πέρα από την ηχητική πληροφορία που άκουγε είχε την δυνατότητα να δει στον τοίχο της προβολής κάποιες τιμές αλλά και γραφήματα τα οποία είχαν ως σκοπό να τον κατατοπίσουν στην διαδικασία εξέλιξης του πειράματος. Παρακάτω γίνεται περιγραφή των οπτικών αποτελεσμάτων που δίνονται στον χρήστη ανάλογα με την περιοχή προσέγγισης και το πείραμα που εξελίσσεται.

Η παρακάτω απεικόνιση των οπτικών αποτελεσμάτων ήταν η αρχική που είχαμε δημιουργήσει. Λόγω του ότι έπρεπε να αλλάξουμε την διεπαφή χρήσης μετατρέποντας του κύκλους σε ημικύκλιο κατά το στήσιμο της εγκατάστασης υπήρξαν κάποιες μικρές αλλαγές και στα οπτικά αποτελέσματα, κρατώντας όμως την λογική που παρουσιάζεται παρακάτω.

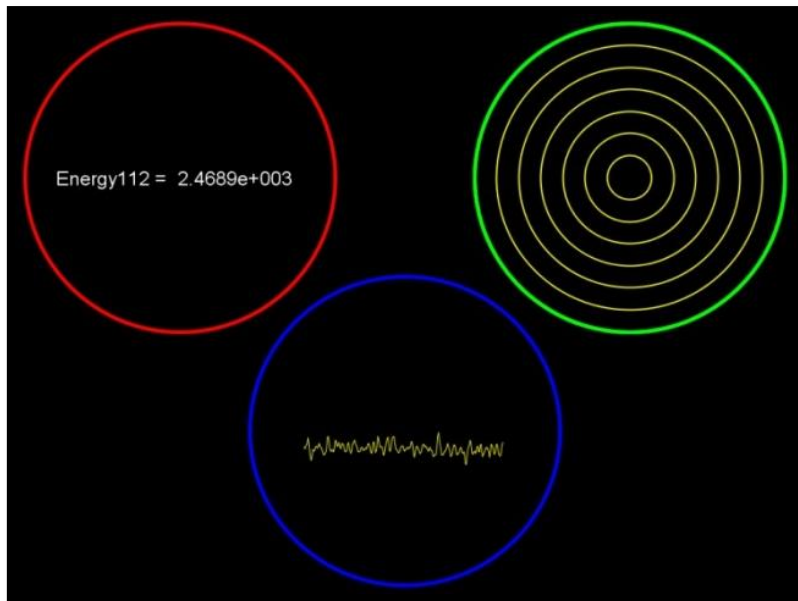
Στις εικόνες 3.10 – 3.12 παρουσιάζεται το οπτικό αποτέλεσμα που είχε αρχικά δημιουργηθεί. Στις εικόνες 3.13 – 3.15 παρουσιάζεται το οπτικό αποτέλεσμα που έβλεπε ο κάθε χρήστης όταν παρουσιάσθηκε η εγκατάσταση.



**Εικόνα 3.10** Αρχικό οπτικό παράδειγμα του διακριτήματος

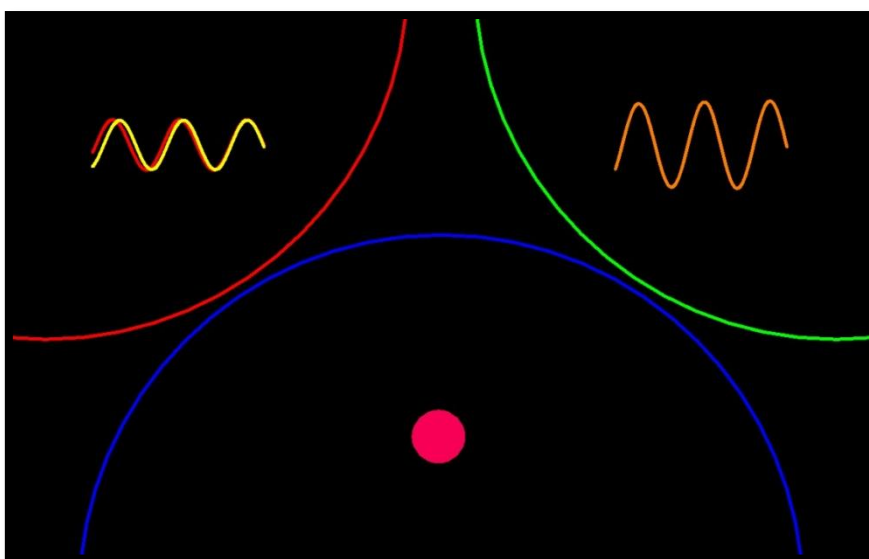


**Εικόνα 3.11** Αρχικό οπτικό παράδειγμα του φαινομένου της προπορείας



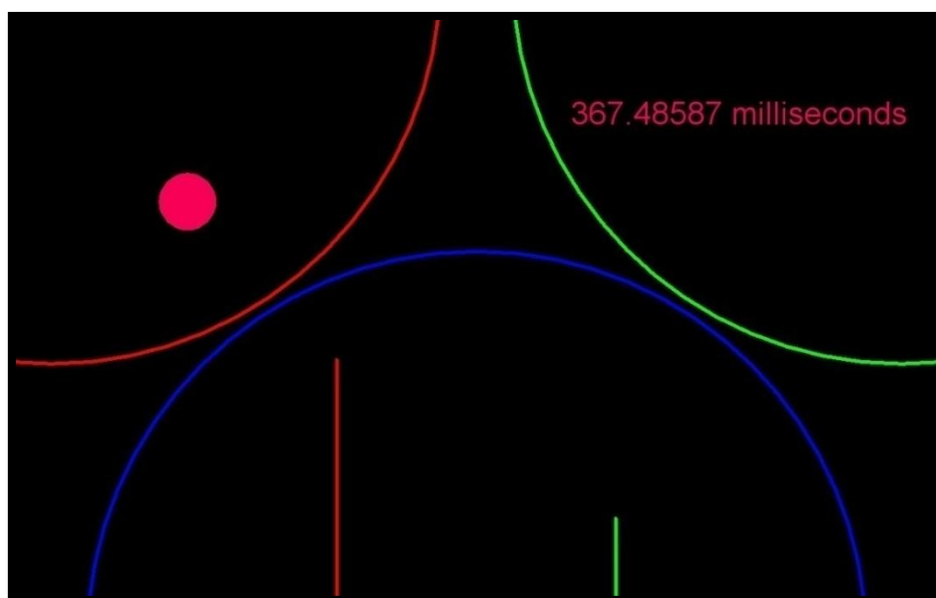
**Εικόνα 3.12** Αρχικό οπτικό παράδειγμα από το σφάλμα του mpr3

Στην εικόνα 3.13 παρακάτω παρουσιάζεται το οπτικό αποτέλεσμα που έβλεπε ο κάθε χρήστης όταν έμπαινε στην περιοχή προσέγγισης του διακροτήματος. Στο αριστερό ημικύκλιο (κόκκινο) εμφανίζονται οι κυματομορφές από τις δυο συχνότητες που ακούει. Η κόκκινη κυματομορφή είναι της σταθερής συχνότητας ενώ η κίτρινη είναι της μεταβαλλόμενης. Στο δεξί ημικύκλιο (πράσινο) ο χρήστης έχει την δυνατότητα να δει το άθροισμα αυτών των δύο συχνοτήτων.



**Εικόνα 3.13** Οπτικό παράδειγμα του διακροτήματος κατά την εγκατάσταση

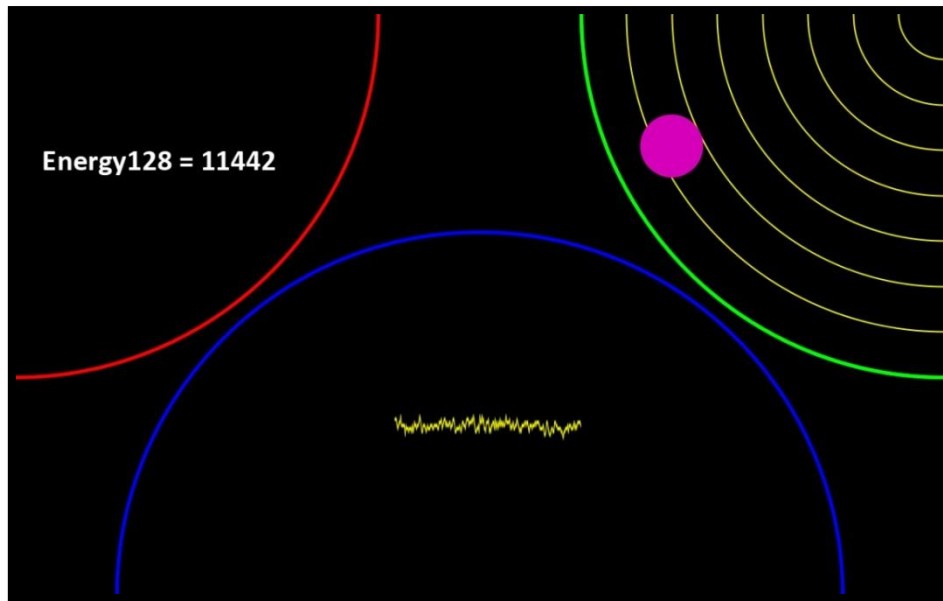
Στην εικόνα 3.14 όπου εξελίσσεται το φαινόμενο της προπορείας, το γράφημα χρησιμοποιείται για την εκτύπωση της αριθμητικής τιμής της καθυστέρησης στο δεξιό ημικύκλιο (πράσινο), ενώ στο κάτω ημικύκλιο (μπλε) απεικονίζεται αυτή η καθυστέρηση με την απόσταση ανάμεσα στις κάθετες γραμμές υποδεικνύοντας τον χρόνο θέσης των δύο σημάτων δοκιμής. Η απόσταση αυτών των δύο κάθετων γραμμών αυξομειώνεται ανάλογα με τη θέση του χρήστη μέσα στο ημικύκλιο. Όσο πιο κοντά βρίσκεται στα όρια της περιοχής προσέγγισης τόσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση των κάθετων γραμμών. Οι δυο αυτές γραμμές δημιουργήθηκαν με σκοπό να δείξουν στους χρήστες την χρονική απόσταση (καθυστέρηση) των δυο ήχων που ακούει.



**Εικόνα 3.14** Οπτικό παράδειγμα του φαινομένου της προπορείας κατά την εγκατάσταση

Τέλος, όταν ο χρήστης μπει στην περιοχή προσέγγισης όπου εκτελείται το πείραμα του σφάλματος της mp3 κωδικοποίησης, το οπτικό αποτέλεσμα (εικόνα 3.15) που βλέπει αποτελείται από τη μετρηθείσα ενέργεια που έχει χαθεί κατά τη συμπίεση στο αριστερό ημικύκλιο (κόκκινο), καθώς και τη στιγμιαία κυματομορφή του σφάλματος όπου υπολογίζεται σε πραγματικό χρόνο στο ημικύκλιο που βρίσκεται στο κάτω μέρος της εικόνας (μπλε κύκλο). Επιπλέον, σε αυτό το πείραμα στην περιοχή προσέγγισης, δηλαδή στον πράσινο κύκλο, εμφανίζονται οι υποπεριοχές προσέγγισης.





**Εικόνα 3.15** Οπτικό παράδειγμα από το σφάλμα του mp3 κατά την εγκατάσταση

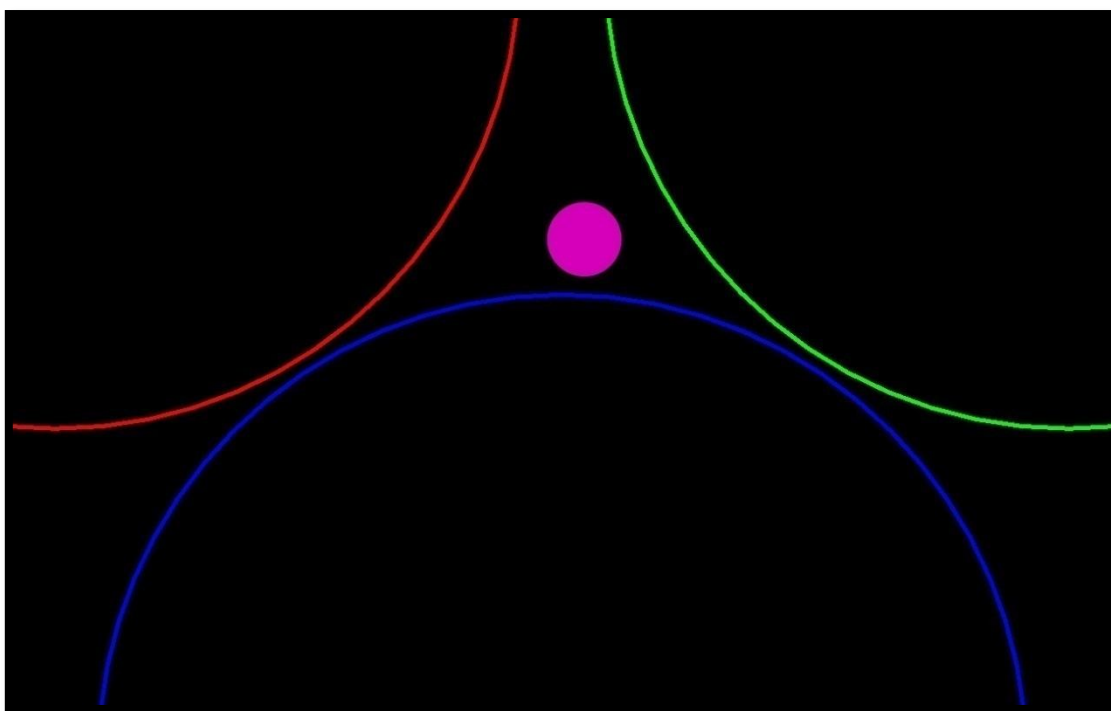
Σε όλες τις περιπτώσεις των πειραμάτων, ο παραπάνω σχεδιασμός των οπτικών εξόδων ολοκληρώθηκε μετά από μια μεγάλη σειρά δοκιμών και παρατηρήσεων που πραγματοποιήθηκαν υπό πραγματικές συνθήκες χρήσης της αλληλεπίδρασης με ένα μεγάλο αριθμό συμμετεχόντων. Οι περισσότεροι από τους συμμετέχοντες ήταν φοιτητές που έχουν παρακολουθήσει το μάθημα ψυχοακουστικής που διδάσκεται στο Τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, ο αριθμός των παρατηρήσεων και η συλλογή των απαντήσεων στο ερωτηματολόγιο, έχουν δείξει ότι η iSEE πλατφόρμα μπορεί να είναι χρήσιμη ως εναλλακτικό μέσο για την απόδειξη πολύπλοκων θεμάτων στον τομέα των ψυχοακουστικών πειραμάτων.

### 3.7 Περιγραφή της εγκατάστασης

Η υλοποίηση της εγκατάστασης πραγματοποιήθηκε με τη συνδυασμένη χρήση οπτικοακουστικών συστημάτων. Τόσο τα ηχητικά δεδομένα όσο και τα οπτικά που αναπαράγονται / απεικονίζονται βασίζονται στην άμεση πληροφόρηση του χρήστη ώστε να του δίνεται η δυνατότητα να έχει όσο πιο άμεση σχέση με το παραγόμενο αποτέλεσμα. Παρακάτω περιγράφεται το ενδεικτικό αλλά και το πραγματικό στήσιμο της εγκατάστασης που έγινε κατά τη διάρκεια του 3<sup>ου</sup> Φεστιβάλ του Τμήματος Τεχνών Ήχου και Εικόνας.

Ακολουθώντας την αρχιτεκτονική που παρουσιάστηκε σε προηγούμενη ενότητα, η εγκατάσταση “iSEE” πραγματοποιήθηκε, και όπως αποδείχθηκε, για τους σκοπούς της

παρούσας εργασίας σε ένα κλειστό δωμάτιο με διαστάσεις 3,5 x 3,5 x 4 μέτρα, το οποίο παρείχε τις αναγκαίες για τη δημιουργία του εικονικού δικτύου πλοήγησης όπως φαίνεται στην εικόνα 3.9 με  $R = 1,5m$ . Το χρώμα του δαπέδου επελέγη να είναι αρκετά φωτεινό για να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή οπτική αντίθεση. Η προϋπόθεση αυτή είναι πολύ σημαντική για τον εντοπισμό της ακριβούς θέσης του χρήστη μέσω της διαδικασίας εντοπισμού blob που αναφέρθηκε προηγουμένως δεδομένου ότι επηρεάζει σημαντικά τη συνολική απόδοση της ανίχνευσης. Επιπλέον, ο φωτισμός στο δωμάτιο πρέπει να είναι κατανομημένος κανονικά, για να μεγιστοποιήσει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας εντοπισμού των blob. Λόγω των παραπάνω παραμέτρων φωτισμού και χρωματισμού, οι χρήστες δεν χρειάζεται να φορούν κανένα ειδικό τύπο υφάσματος για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας εντοπισμού της θέσης τους.

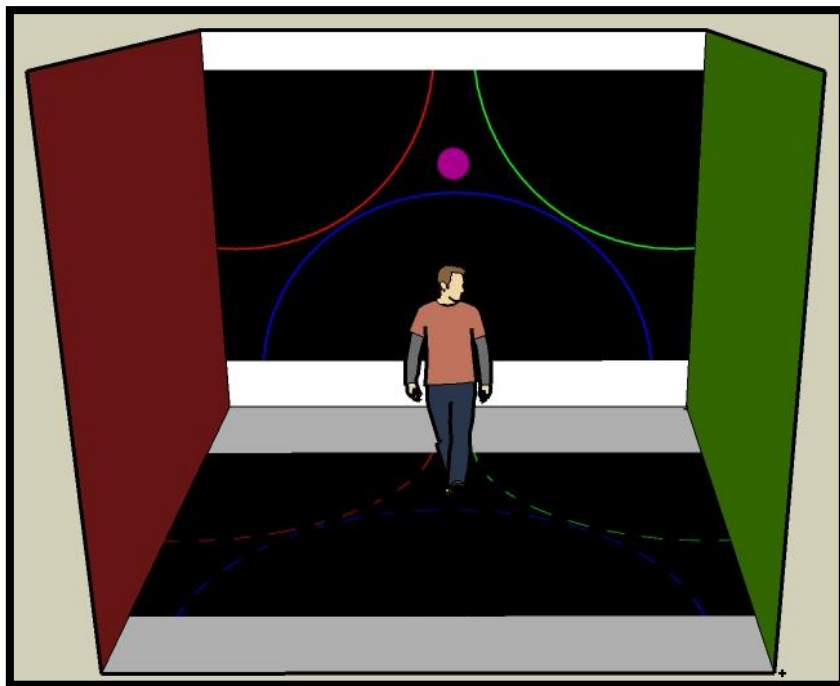


**Εικόνα 3.16** Εικονικό δίκτυο πλοήγησης

Από τα παραπάνω συστήματα, το σύστημα προβολής βίντεο είναι υπεύθυνο για την αναπαραγωγή του οπτικού καναλιού ανάδρασης. Πιο συγκεκριμένα, όταν ο χρήστης βρίσκεται εκτός από όλες τις περιοχές προσέγγισης, οι εν λόγω περιοχές απλά εμφανίζονται με χρώμα και ο χρήστης εμφανίζεται ως μια μικρή, καταλλήλως τοποθετημένη τελεία στην

οθόνη (βλ. Εικόνα 3.16). Όταν ο χρήστης μπαίνει σε μια περιοχή προσέγγισης, η περιοχή αυτή ενεργοποιείται και οι κύκλοι που αντιστοιχούν στις άλλες περιοχές προσέγγισης χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση της κατάστασης των πειραμάτων (π.χ. για την σχεδίαση σε πραγματικό χρόνο των δεδομένων του ήχου όπως κυματομορφές ή για την εμφάνιση των τιμών μέτρησης των παραμέτρων).

Ένας προβολέας βίντεο προβάλλει τις τρεις περιοχές προσέγγισης σε ένα τοίχο, όταν λοιπόν ο χρήστης μπει μέσα στην περιοχή τότε αυτή η περιοχή ενεργοποιείται (Εικόνα 3.17). Ταυτόχρονα ο χρήστης προβάλλεται με μια μικρή κουκίδα πάνω στην προβολή έτσι ώστε να παρέχεται ένα μονοπάτι οπτικής ανάδρασης. Πέρα από αυτό όμως ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ξέρει σε ποιο στάδιο βρίσκεται η εξέλιξη του εκάστοτε πειράματος, βλέποντας τυπωμένες τις τιμές – αποτελέσματα που παράγει το πείραμα. Παραδείγματος χάριν για το πείραμα του φαινομένου της προπορείας, στον αντίστοιχο κύκλο προσέγγισης τυπώνονται οι τιμές διαφοράς χρόνου μεταξύ των δύο αναπαραγόμενων ήχων.



**Εικόνα 3.17** Μία απεικόνιση της εγκατάστασης

### **3.7.1 Το διαδραστικό περιβάλλον της εγκατάστασης**

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, αυτή η πτυχιακή εργασία πραγματεύεται την ανάπτυξη ενός διαδραστικού περιβάλλοντος για την εκτέλεση τριών ψυχοακουστικών πειραμάτων τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω. Για την ανάπτυξη του διαδραστικού αυτού περιβάλλοντος υπήρχαν κάποιοι παράμετροι διαδραστικών αλγορίθμων οι οποίοι έπρεπε να αναπτυχθούν. Για την ανάπτυξη αυτού του διαδραστικού περιβάλλοντος δεν ευθύνονται μόνο οι διαδραστικοί αλγόριθμοι αλλά και κάποιες τεχνικές / τεχνολογικά επιτεύγματα τα οποία έρχονται να βοηθήσουν στην ανάπτυξη του. Πιο εκτενής παρουσίαση αυτών των τεχνολογιών αλλά και της λειτουργίας τους γίνεται σε επόμενο κεφάλαιο όπου μελετάται η τεχνολογία που βοήθησε στην ανάπτυξη αυτού του περιβάλλοντος.

#### **3.7.1.1 Διαδραστικοί αλγόριθμοι**

Διαδραστικοί αλγόριθμοι είναι εκείνοι οι αλγόριθμοι οι οποίοι μεταβάλουν κάποια παράμετρό τους ανάλογα με τις τιμές εισόδου που τους έχει δώσει ο χρήστης. Στην συγκεκριμένη περίπτωση γίνεται μια συγκεντροποίηση αυτών των τιμών των παραμέτρων που αναφέρθηκαν σε καθένα από τα πειράματα που περιγράφηκαν σε προηγούμενη ενότητα.

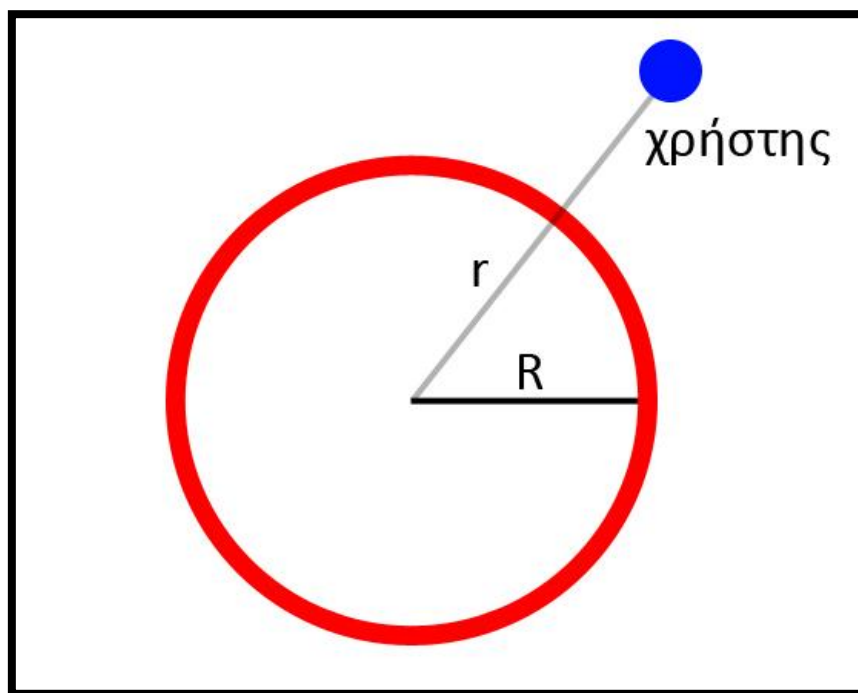
Για να εφαρμοστεί αποτελεσματικά η αλληλεπίδραση με το χρήστη, για κάθε ψυχοακουστικό πείραμα έπρεπε να αναπτυχθεί ο βασικός αλγόριθμος αλληλεπίδρασης ο οποίος απεικονίζει τις τιμές των προαναφερθέντων παραμέτρων του κάθε ψυχοακουστικού πειράματος σε σχέση με τις τιμές που προκύπτουν από την διαδικασία αλληλεπίδρασης του χρήστη.

Για λόγους απλότητας της αλληλεπίδρασης, υπό την προϋπόθεση ότι μία μόνο τιμή της παραμέτρου πρέπει να ελέγχεται από τον χρήστη, όλοι οι αλγόριθμοι αλληλεπίδρασης βασίζονται στην γεωγραφική τοποθεσία του χρήστη μέσα στο δωμάτιο της εγκατάστασης. Αυτό επιτρέπει την χωρίς περιορισμούς, φυσική κίνηση του χρήστη, ο οποίος πρέπει να επικεντρωθεί μόνο στο ίδιο το πείραμα και όχι στα μέσα που έχει να χρησιμοποιήσει για να εκτελεσθεί το πείραμα.

Πιο συγκεκριμένα, για κάθε ψυχοακουστικό πείραμα μια κυκλική περιοχή με ακτίνα ίση με το R οριοθετείται εικονικά στον χώρο της εγκατάστασης (όπως ονομάζονται εδώ περιοχή «προσέγγισης»). Όταν ένας χρήστης μπει μέσα σε αυτή την περιοχή, το ψυχοακουστικό πείραμα αρχίζει, ενώ οι παραμετρικές τιμές του πειράματος άμεσα και γραμμικά

αντιστοιχίζονται με την απόσταση ανάμεσα στην τρέχουσα θέση του χρήστη και το κέντρο της κυκλικής επιφάνειας. Ο πίνακας 2 παρουσιάζει την αντιστοίχιση των ορίων των αλγορίθμων για καθένα από τα πειράματα που εξετάζονται στην παρούσα εργασία. Η εικόνα 3.18 παρουσιάζει την θέση του χρήστη βάσει της απόστασης  $r$  από το κέντρο της δυναμικής περιοχής. Η συνθήκη για την ενεργοποίηση της δυναμικής περιοχής από τον χρήστη είναι μόνο εφόσον  $r \leq R$  όπου  $r = \sqrt{x_1^2 - x^2} + \sqrt{y_1^2 - y^2}$  και όπου  $(x_1, y_1)$  το κέντρο του κύκλου και  $(x, y)$  οι συντεταγμένες του χρήστη στον χώρο.

Αντιστοίχιση των ορίων των αλγορίθμων για κάθε ψυχοακουστικό πείραμα		
Πείραμα	Μέγιστη Απόσταση (d)	Τιμή Παραμέτρου του Πειράματος
Φαινόμενο της προπορείας	550 pixels	0 – 550 msec
Διακρότημα	550 pixels	0 – 55 Hz
Σφάλμα του mp3	R/8	320, 256, 224, 192, 160, 128, 112, 96 (kbps)



**Εικόνα 3.18** Η περιοχή προσέγγισης και η απόσταση του χρήστη

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η απόσταση μεταξύ του χρήστη και του κέντρου της περιοχής εκφράζονται σε μονάδες pixel, επιτρέποντας την απλή προσαρμογή των αλγόριθμων αλληλεπίδρασης μέσα σε κάθε δωμάτιο. Λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά από φυσικές διαστάσεις, η παραπάνω απόσταση μπορεί να μετατραπεί σε μονάδες φυσικής απόστασης (δηλαδή μέτρα) με κατάλληλο υπολογισμό και έτσι προκύπτει ο λόγος που εξαρτάται από την ανάλυση των pixel και το φάσμα της φυσικής απόστασης.

Προφανώς, ο συνολικός αριθμός των περιοχών προσέγγισης εξαρτάται από τον αριθμό των πειραμάτων που πρέπει να διεξάγονται εντός της εγκατάστασης. Επιπλέον, αυτός ο αριθμός είναι περιορισμένος λόγω των περιορισμένων διαστάσεων του δωματίου της εγκατάστασης (δηλαδή η ελάχιστη τιμή της διαφοράς απόστασης που απαιτείται για να αλλάξουμε την αντίστοιχη τιμή παραμέτρου του πειράματος).

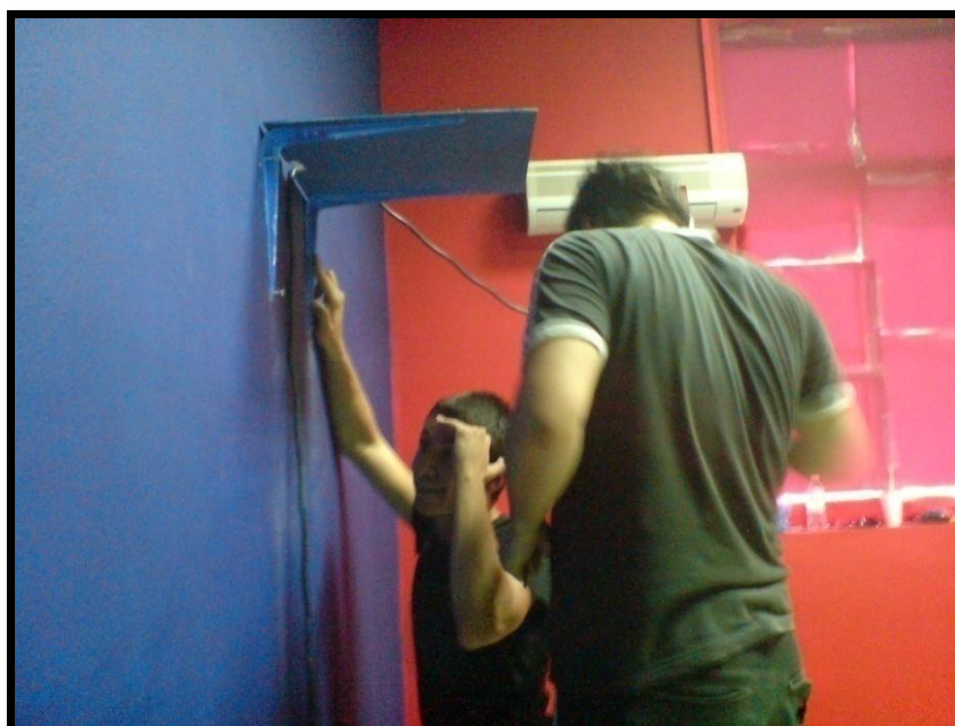
### **3.8 Στήσιμο της εγκατάστασης**

Στις εγκαταστάσεις γενικότερα η διαμόρφωση του χώρου παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην όλη οπτική που δίνεται στον χρήστη. Τις περισσότερες φορές οι χώροι που φιλοξενούν εγκαταστάσεις έχουν διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να προϊδεάζουν τον εκάστοτε χρήστη – θεατή όσον αφορά το τι πρόκειται να δει. Βέβαια, αυτές οι περιπτώσεις δεν αποτελούν τον κανόνα. Ο εκάστοτε καλλιτέχνης είναι αυτός που αποφασίζει για το πώς πρέπει να είναι διαμορφωμένος ο χώρος και ο μόνος παράγοντας που μπορεί να το επηρεάσει αυτό είναι η οικονομική δυσκολία σε περίπτωση που χρειάζονται εξειδικευμένα υλικά.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια η εγκατάσταση “iSEE” στήθηκε και παρουσιάστηκε κατά τη διάρκεια του 3<sup>ου</sup> φεστιβάλ που διοργάνωσε το τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας. Στα πλαίσια του φεστιβάλ έπρεπε να στηθεί η εγκατάσταση στον χώρο τον οποίο είχαμε διαθέσιμο. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα στοιχειώδες φωτογραφικό υλικό το οποίο δείχνει κάποια από τα στάδια του στησίματος (εικόνες 3.19 – 3.22) της πτυχιακής αυτής εργασίας (περισσότερο φωτογραφικό υλικό αλλά και βίντεο βρίσκεται στο DVD το οποίο παραδόθηκε μαζί με την πτυχιακή εργασία) και επίσης γίνεται μια αναφορά στον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε.



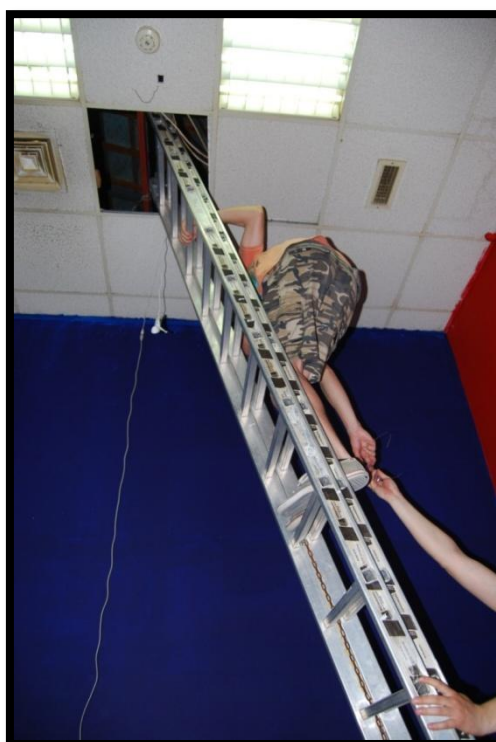
**Εικόνα 3.19:** Στήσιμο της εγκατάστασης



**Εικόνα 3.20:** Στήσιμο της εγκατάστασης



**Εικόνα 3.21:** Στήσιμο της εγκατάστασης



**Εικόνα 3.22:** Στήσιμο της εγκατάστασης

Αφού μας παραδόθηκε ο χώρος για την έκθεση της εγκατάστασης, έπρεπε να διαμορφωθεί κατάλληλα έτσι ώστε να πληροί τις προϋποθέσεις, από αισθητικής απόψεως. Ουσιαστικά προσπαθήσαμε να “ντύσουμε” το χώρο με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Τα χρώματα που



επιλέχθηκαν ήταν το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την ανάπτυξη του προγράμματος της πτυχιακής εργασίας είχαμε δημιουργήσει τις περιοχές προσέγγισης με αυτά τα τρία χρώματα (κάθε περιοχή προσέγγισης και διαφορετικό) και για αυτό το λόγο αποφασίστηκε να βαφούν και οι τοίχοι σε αυτούς τους τόνους. Ανάλογα με την κάθε πλευρά στην οποία βρισκόταν ο χρήστης βρισκόταν και στο ανάλογο πείραμα. Αν δηλαδή ο χρήστης ήθελε να ακούσει και να εξελίξει το φαινόμενο της προπορείας το οποίο βρισκόταν μέσα στο κόκκινο ημικύκλιο τότε έπρεπε να πάει στην πλευρά του κόκκινου τοίχου. Αντίστοιχα και για τις υπόλοιπες περιοχές προσέγγισης. Στην πράσινη πλευρά βρισκόταν το σφάλμα του mp3 και στην μπλε το διακρότημα.

Ο λόγος που οι τοίχοι βάφτηκαν έτσι δεν ήταν μόνο θέμα αισθητικής. Ουσιαστικά προσπαθήσαμε να δώσουμε μια οπτική προσέγγιση για το που βρίσκεται η κάθε περιοχή προσέγγισης που εκτελεί το κάθε πείραμα. Αυτό σε συνδυασμό με την κουκίδα που προβαλλόταν στον τοίχο της προβολής και έδινε την ακριβή θέση του χρήστη στον χώρο είχε ως αποτέλεσμα την καλύτερη πλοήγηση και κατανόηση του χώρου από το κοινό.

Η γενικότερη οπτική προσέγγιση που προσπαθήσαμε να δώσουμε στο συγκεκριμένο χώρο αυτής της εγκατάστασης ίσως δεν είναι η καλύτερη δυνατή που μπορούσαμε. Σε επόμενο κεφάλαιο όπου γίνεται μια συνολική αξιολόγηση αυτής της εγκατάστασης παρουσιάζονται κάποιοι τρόποι που μπορούν να ενισχύσουν την συνολική εικόνα όλης της εγκατάστασης.

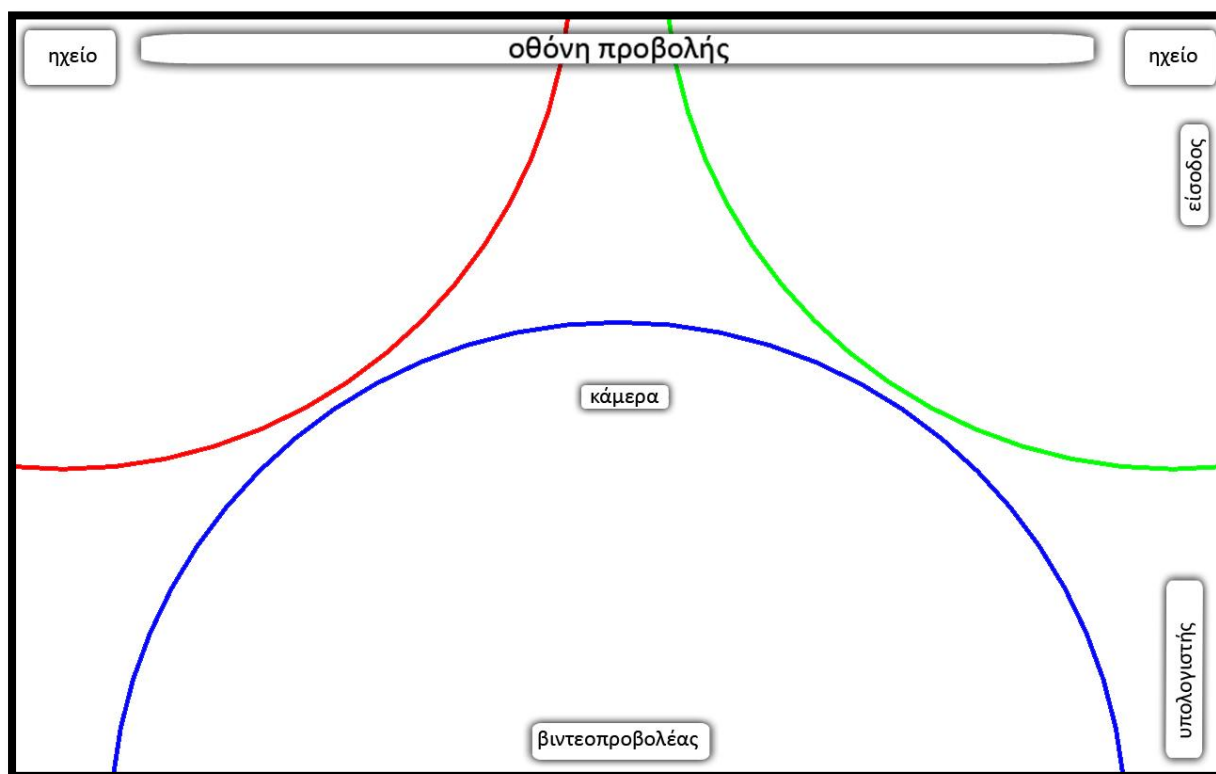
### **3.8.1 Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε**

Για το στήσιμο αυτής της εγκατάστασης ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε συνοψίζεται στην παρακάτω λίστα:

1. Υπολογιστής: Τα χαρακτηριστικά του είναι: CoreDuo 1,66 GHz, 2 GB μνήμη RAM, κάρτα ήχου και κάρτα γραφικών.
2. Κάμερα: απλή webcam
3. Βιντεοπροβολέας: ανάλυση 1280 \* 1024
4. Ηχεία: Δυο monitor ηχεία.

### 3.8.1.1 Τοποθέτηση εξοπλισμού

Η τοποθέτηση του εξοπλισμού έγινε βάσει του σχεδιαγράμματος που παρουσιάζεται στην εικόνα 3.23 παρακάτω. Η κάμερα τοποθετήθηκε και κρύφτηκε στην οροφή του δωματίου έτσι ώστε να μην είναι σε εμφανές σημείο όπου ο χρήστης μπορεί να τη δει. Ο βιντεοπροβολέας στηρίχθηκε στον τοίχο, τα ηχεία τοποθετήθηκαν κάτω στο πάτωμα στην πλευρά που γινόταν η προβολή και ο υπολογιστής έμεινε σε μια γωνία του δωματίου χωρίς να επηρεάζει το αποτέλεσμα που παραγόταν. Η τοποθέτηση του εξοπλισμού στον χώρο ήταν από τα ευκολότερα πράγματα που έπρεπε να γίνουν. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είχαμε μελετήσει από πριν την διάταξη του εξοπλισμού και ξέραμε το σε ποιο σημείο και τι πρέπει να στήσουμε.

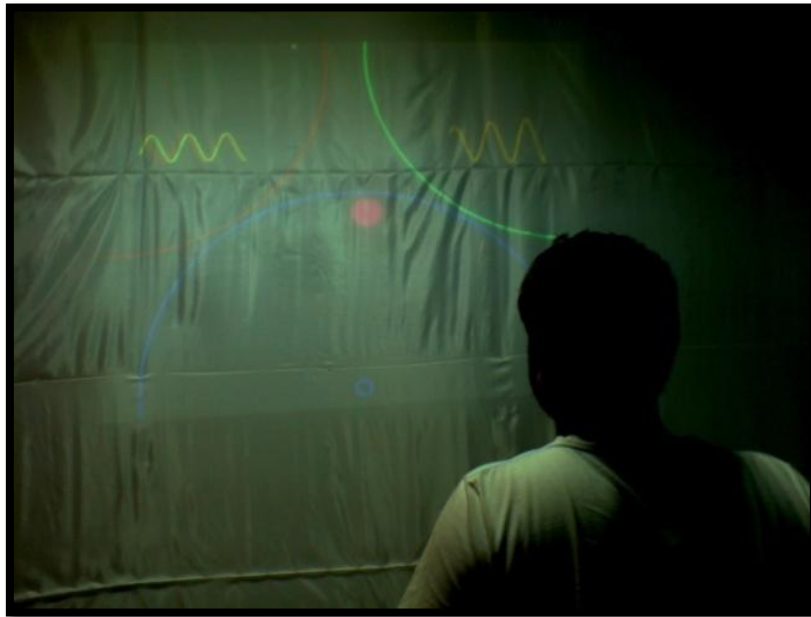


Εικόνα 3.23: Κάτοψη της εγκατάστασης

### 3.9 Επίδειξη της εγκατάστασης

Η καλλιτεχνική προσέγγιση μιας εγκατάστασης δεν ορίζεται ούτε εξαρτάται μόνο από τα οπτικά αποτελέσματα τα οποία παράγονται και απεικονίζονται στον κάθε χρήστη. Στις

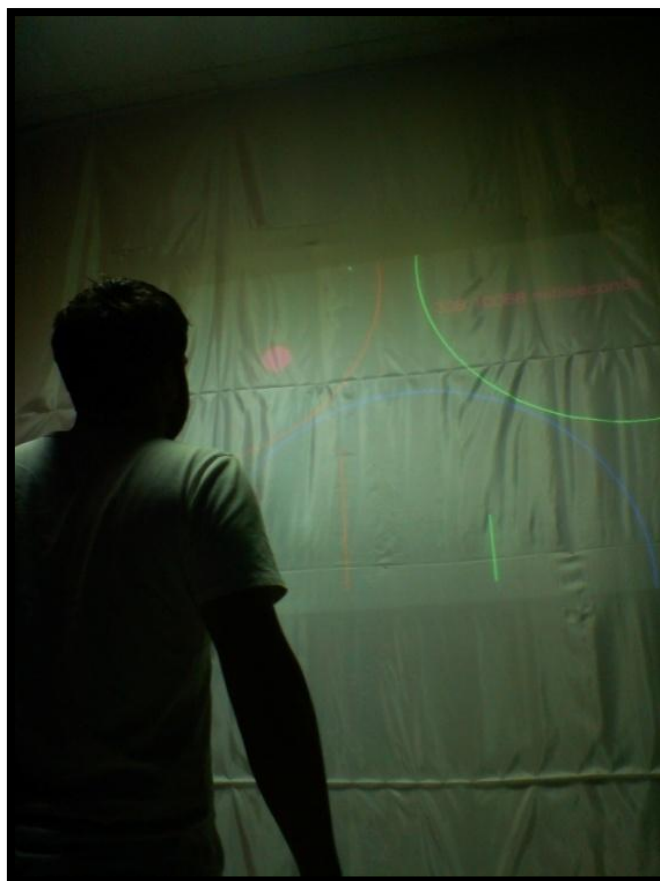
εγκαταστάσεις σημαντικό ρόλο παίζει και το στήσιμο του χώρου όπου παρουσιάζεται και εκτίθεται. Στην παρακάτω σειρά φωτογραφιών (εικόνες 3.24 – 3.28) παρουσιάζεται ο χώρος της εγκατάστασης (επιπλέον υλικό βρίσκεται στο DVD που δόθηκε μαζί με την πτυχιακή εργασία).



**Εικόνα 3.24** Ο χώρος της εγκατάστασης



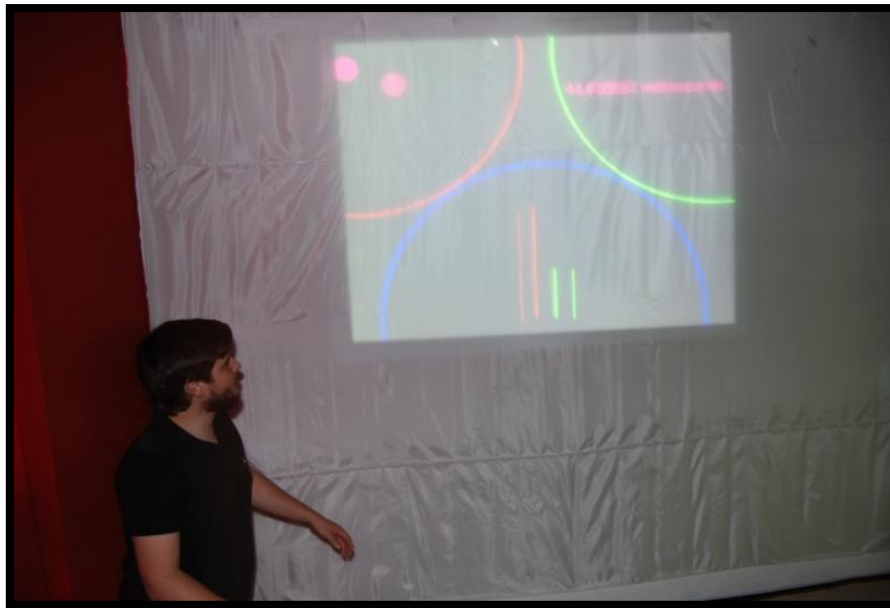
**Εικόνα 3.25** Ο χώρος της εγκατάστασης



**Εικόνα 3.26** Ο χώρος της εγκατάστασης



**Εικόνα 3.27** Ο χώρος της εγκατάστασης



**Εικόνα 3.28** Ο χώρος της εγκατάστασης

### 3.10 Προβλήματα επίδειξης των πειραμάτων

Κατά τη διάρκεια επίδειξης της διαδραστικής πλατφόρμας “iSEE” στο καινό εμφανίστηκαν κάποια προβλήματα τα οποία ίσως μπορούσαν να αποφευχθεί αν υπήρχαν οι κατάλληλες προϋποθέσεις. Τα προβλήματα αυτά αφορούσαν τον χώρο τον οποίο είχαμε διαθέσιμο για την επίδειξη της εγκατάστασης. Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι ο χώρος της εγκατάστασης ήταν μικρός και αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αλλαγή της διεπαφής χρήσης με σκοπό να δοθεί στους χρήστες η μέγιστη δυνατότητα αλληλεπίδρασης με τις παραμέτρους των ψυχοακουστικών φαινομένων. Πέρα όμως από αυτό προβλήματα δημιούργησαν και οι ήχοι οι οποίοι ακουγόntonταν από τις εγκαταστάσεις που είχανε στηθεί από άλλους φοιτητές του τμήματος. Η ηχομόνωση ήταν σχεδόν μηδενική και αυτό είχε ως αποτέλεσμα να ακούγονται ήχοι όπου επηρέαζαν τους εκάστοτε χρήστες στο να μείνουν προσηλωμένοι στο ψυχοακουστικό φαινόμενο το οποίο προσπαθούσαν να κατανοήσουν.

### 3.11 Εργαλεία ανάπτυξης

Σε αυτή την ενότητα γίνεται μια εκτενής παρουσίαση των τεχνολογιών οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Οι τεχνολογίες αυτές έχουν να κάνουν τόσο με τα προγράμματα και τις γλώσσες προγραμματισμού που χρησιμοποιούν αυτά όσο και με τα τεχνολογικά επιτεύγματα που έχουν αναπτυχθεί όπως η

υπολογιστική όραση που μας βοηθάει για την ανάπτυξη διαδραστικών εγκαταστάσεων με τη χρήση της κάμερας ως εναλλακτική μορφή αισθητήρα. Τέλος, γίνεται μια ιστορική προσέγγιση κάποιων τεχνολογιών και δίνονται κάποια από τα πρώτα δείγματα εφαρμογής τους.

### 3.11.1 Processing

Η πλατφόρμα λογισμικού που χρησιμοποιήσαμε για την ανάπτυξη αυτής της εγκατάστασης είναι το Processing ([1], [35]), το οποίο είναι μια γλώσσα προγραμματισμού ανοιχτού κώδικα για αυτούς που θέλουν να προγραμματίσουν εικόνες, animation και διαδραστικά συστήματα. Έχει χρησιμοποιηθεί από φοιτητές, καλλιτέχνες, σχεδιαστές, ερευνητές, και χομπίστες για μάθηση, πρωτοτυποποίηση και παραγωγή. Έχει δημιουργηθεί για να διδαχθούν τα βασικά του προγραμματισμού μέσα σε ένα οπτικό πλαίσιο. Το Processing χρησιμοποιείται από καλλιτέχνες και σχεδιαστές, ως εναλλακτική λύση στα υπόλοιπα λογισμικά που ασχολούνται με αυτό τον τομέα. Το μεγάλο του πλεονέκτημα είναι οι προεγκατεστημένες βιβλιοθήκες που διαθέτει. Χάρη σε αυτές μπορούμε να εξερευνήσουμε τις βασικές του δυνατότητες. Εκτός όμως από τις προεγκατεστημένες βιβλιοθήκες που αναφέρθηκαν παραπάνω, στην ιστοσελίδα του Processing μπορούμε να βρούμε και έναν μεγάλο αριθμό από βιβλιοθήκες και έτοιμα παραδείγματα τα οποία μπορούμε να τα κατεβάσουμε, να τα εγκαταστήσουμε στον υπολογιστή μας αλλά και να τα μετατρέψουμε, αφού μας δίνεται το δικαίωμα να έχουμε τον κώδικα τους.

Το πρόγραμμα αυτό μας δίνει επίσης την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε βιβλιοθήκες για την ανάπτυξη αλγοριθμικά δομημένων ήχων (ενδεικτικά βιβλιοθήκες Minim [37] και Ess [38]) και την χρήση της κάμερας για την καταγραφή του χρήστη στον χώρο. Η καταγραφή του χρήστη στο χώρο γίνεται με τη χρήση της βιβλιοθήκης Blob Detection [39] η οποία μπορεί να μας δώσει την ακριβή θέση ενός κινούμενου αντικειμένου πάνω σε μια ανοιχτόχρωμη επιφάνεια.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το Processing είναι ένα από τα πιο ευρέως διαδεδομένα προγράμματα στα οποία υλοποιούνται διαδραστικές οπτικοακουστικές εγκαταστάσεις και εφαρμογές. Έχει χρησιμοποιηθεί από πληθώρα καλλιτεχνών λόγω της πολύ απλής γλώσσας προγραμματισμού που χρησιμοποιεί (είναι αρκετά όμοια με την C).

### 3.11.1.1 Το περιβάλλον του Processing

Το περιβάλλον του Processing έχει γραφτεί σε Java. Τα προγράμματα που γράφονται στο Processing μπορούν να μεταφραστούν σε Java και να τρέξουν ως Java προγράμματα. Τα προγράμματα που γράφονται σε Java και στο Processing συνήθως τρέχουν γρηγορότερα από τα προγράμματα που βασίζονται σε γλώσσα scripting όπως ActionScript και Lingo, οι οποίες ευθύνονται για πολλές γραφικές εφαρμογές.

Μεγάλες διακρίσεις μεταξύ του Processing και της Java είναι ότι το Processing διαθέτει μια μεγάλη βιβλιοθήκη από γραφικά και ακόμα ότι ο κώδικας που χρησιμοποιεί είναι πιο απλουστευμένος. Έτσι οι χρήστες δεν χρειάζεται να κατανοήσουν πιο προηγμένες έννοιες όπως classes, objects, animation, double-buffering. Αυτές οι τεχνικές λεπτομέρειες έχουν ειδικά προγραμματισθεί σε Java, αλλά έχουν ενταχθεί στο Processing, καθιστώντας τα προγράμματα συντομότερα και πιο εύκολα στη ανάγνωσή τους.

### 3.11.1.2 Η ανίχνευση των blob στο Processing

Η πλατφόρμα λογισμικού που χρησιμοποιήσαμε για την ανάπτυξη αυτής της εγκατάστασης ενδείκνυται για την ανάπτυξη διαδραστικών πολυμεσικών εφαρμογών οι οποίες χρησιμοποιούν ως μονάδα εισόδου την κάμερα του υπολογιστή. Η ανίχνευση των blob στο Processing [1] γίνεται με την χρήση της βιβλιοθήκης “blob detection” [32]. Ουσιαστικά η βιβλιοθήκη αυτή έχει ως σκοπό να αναγνωρίζει κάποια σκουρόχρωμα ή κάποια ανοιχτόχρωμα αντικείμενα τα οποία βρίσκονται τοποθετημένα αντίστοιχα σε ανοιχτόχρωμες ή σκουρόχρωμες επιφάνειες.

Για την αναγνώριση των blob το κομμάτι κώδικα που ασχολείται με αυτό κάνει τα εξής βήματα: α) μετατρέπει την κινούμενη εικόνα που έρχεται από την κάμερα σε μια απλή δισδιάστατη εικόνα β) την αντιγράφει σε μια προσωρινή μνήμη, γ) μετατρέπει την εικόνα σε Boolean πληροφορία, δ) αναγνωρίζει της περιοχές του έχουμε θέσει ότι θέλουμε να βρει (είτε φωτεινές είτε σκοτεινές) και ε) μας επιστρέφει στην οθόνη του υπολογιστή την αρχική εικόνα και τα blob που έχει εντοπίσει περικυκλώνοντας τα καθώς και τις τιμές των συντεταγμένων του κάθε blob.

### 3.11.1.3 Το μεγαλύτερο blob στο Processing

Όπως αναφέρθηκε και πιο πριν το Processing μας δίνει την δυνατότητα να αναγνωρίζονται τα blobs που υπάρχουν σε έναν χώρο. Τα blobs όμως αυτά πολλές φορές είναι πάρα πολλά.

Ειδικότερα αυτό το φαινόμενο της αναγνώρισης αρκετών blob στις διαδραστικές εγκαταστάσεις είναι ενοχλητικό. Στη συγκεκριμένη εγκατάσταση όπου γινόταν η διεξαγωγή των ψυχοακουστικών πειραμάτων και θέλαμε να επιτύχουμε την όσο το δυνατόν καλύτερη συγκέντρωση του χρήστη που ήταν στον χώρο της εγκατάστασης και εξέλιξε κάποια από τα πειράματα ήταν επιθυμητό το λογισμικό να μπορεί να αναγνωρίζει μόνο ένα blob κάθε φορά. Αυτό επιτεύχθηκε με την αναγνώριση του μεγαλύτερου blob. Παρακάτω παρουσιάζεται ο κώδικας ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την αναγνώριση του μεγαλύτερου blob στο Processing.

```
Blob findBiggestBlob()
{
  Blob biggestBlob = null;
  float surface = 0.0f;
  float surfaceMax = 0.0f;
  Blob b = null;
  for (int i=0;i<theBlobDetection.getBlobNb();i++)
  {
    b = theBlobDetection.getBlob(i);
    surface = b.w * b.h;
    if (surface > surfaceMax)
    {
      surfaceMax = surface;
      biggestBlob = b;
    }
  }
  return biggestBlob;
}
```

**Κώδικας 3.8** Αναγνώριση του μεγαλύτερου blob

Όπως μπορούμε να δούμε στον παραπάνω κώδικα για την αναγνώριση του μεγαλύτερου blob υπάρχει μια διαδικασία που α) υπολογίζει το εμβαδόν της επιφάνειας αυτών των blob ( $surface = b.w * b.h$ ), β) γίνεται έλεγχος συγκρίνοντας τις επιφάνειες των blob ( $if (surface > surfaceMax)$ ) και γ) επιστρέφει το μεγαλύτερο blob από αυτά που εμφανίστηκαν ( $return$



biggestBlob;). Έτσι το πρόγραμμα μπαίνει σε μία διαδικασία να υπολογίζει συνέχεια τα μεγέθη των blob επιστρέφοντας μας το μεγαλύτερο από αυτά.

Θα μπορούσε κάποιος να πει ότι η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα και ότι καθυστερεί την εφαρμογή που έχουμε αναπτύξει ή ακόμα ότι ο συνεχής υπολογισμός του μεγέθους και ο έλεγχος του μεγαλύτερου blob είναι μια βαριά διαδικασία. Η αλήθεια είναι ότι καμιά από αυτές τις υποθέσεις δεν ισχύει. Ουσιαστικά πρόκειται για μια διαδικασία η οποία, τουλάχιστον στη συγκεκριμένη εγκατάσταση, δεν δημιούργησε ιδιαίτερα προβλήματα σε θέματα που έχουν να κάνουν με την ταχύτητα που τρέχει η εφαρμογή.

### 3.11.2 Matlab

Η Matlab σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του σφάλματος απωλεστικής συμπίεσης του mp3. Ουσιαστικά εφαρμόστηκε η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο για την δημιουργία των ηχητικών δεδομένων του σφάλματος κατά την αποσυμπίεση των αρχείων mp3.

# Κεφάλαιο 4

## Συμπεράσματα

Σε αυτή την εργασία, το "iSEE" (interactive pSychoacoustics Experimental Environment) υλοποιείται χρησιμοποιώντας τεχνολογικά εργαλεία και μεθόδους. Η iSEE πλατφόρμα αντιπροσωπεύει μια διαδραστική ηχητική εγκατάσταση που έχει ως στόχο να αποδείξει στο κοινό κάποια γνωστά ψυχοακουστικά φαινόμενα σε πραγματικό χρόνο. Η καινοτομία του είναι ότι το περιβάλλον του iSEE χρησιμοποιεί απλά μέσα διάδρασης με τους χρήστες για τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο των μεταβαλλόμενων παραμέτρων των ψυχοακουστικών πειραμάτων που εκτελούνται. Για την απλοποίηση των κανόνων αλληλεπίδρασης και την ελαχιστοποίηση του χρόνου που απαιτείται έτσι ώστε οι χρήστες να συνηθίσουν στην πλοήγηση μέσα στην εγκατάσταση, επελέγη μόνο η θέση του συμμετέχοντα / χρήστη σε σχέση με συγκεκριμένα σημεία να είναι η παράμετρος αλληλεπίδρασης που έχει άμεση αντιστοίχιση με τις παραμέτρους των ψυχοακουστικών πειραμάτων.

Κατά τη διάρκεια των ψυχοακουστικών πειραμάτων, η πρόσθετη οπτική διαδρομή παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση και τις συνθήκες του πειράματος, βάσει της προόδου τους. Η ύπαρξη των πληροφοριών αυτών διαπιστώθηκε ότι ήταν αναγκαία για την επιτυχή επίδειξη των πειραμάτων, που αντιπροσωπεύει τις βασικές πληροφορίες για την πορεία του χρήστη, επιτρέποντας την καλύτερη κατανόηση του πειράματος / επίδειξης ως στόχο και σκοπό.

Εκτός από την αναλυτική τεχνική περιγραφή της προτεινόμενης διαδραστικής πλατφόρμας και τη συζήτηση από μια σειρά σχεδιαστικών ζητημάτων και εννοιών, κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας, η "iSEE" εγκατάσταση παρουσιάστηκε στο πλαίσιο του φεστιβάλ οπτικοακουστικών τεχνών που διοργανώνεται από το Τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας του Ιονίου Πανεπιστημίου. Μια σειρά δοκιμών και παρατηρήσεων από το ακροατήριο κατά τη διάρκεια της επίδειξης της εγκατάστασης σε πραγματικές συνθήκες έχουν δείξει ότι η προτεινόμενη διαδραστική πλατφόρμα μπορεί πράγματι να χρησιμοποιηθεί για την επίδειξη

ψυχοακουστικών πειραμάτων, δηλαδή μπορεί να είναι ένα πρακτικό μέρος ενός κύκλου πανεπιστημιακών σπουδών για την ψυχοακουστική. Επιπλέον, από την ακολουθία των ανωτέρω παρατηρήσεων, διαπιστώθηκε επίσης ότι ο αρχικός στόχος της απλοποιημένης πλοήγησης είναι κάτι περισσότερο από επαρκής για την έκθεση των ψυχοακουστικών πειραμάτων που επελέγησαν ως περιπτωσιολογικές μελέτες κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας.

Εκτός από τον σκοπό της απλής επίδειξης, το προτεινόμενο πειραματικό περιβάλλον του iSEE μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διεξαγωγή πιο περίπλοκων ψυχοακουστικών πειραμάτων από εκείνα που εξετάζονται στην παρούσα εργασία, κυρίως με την προσθήκη επιπλέον διαδρομών αλληλεπίδρασης για τον έλεγχο των πιο πειραματικών παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο και με την ανάπτυξη ενός μηχανισμού για την σε πραγματικό χρόνο απόκτηση των δεδομένων - αποτελεσμάτων.

#### **4.1 Αξιολόγηση της κατανόησης των ψυχοακουστικών πειραμάτων από το κοινό**

Η ψυχοακουστική όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο μελετά τον υποκειμενικό τρόπο με τον οποίο το ανθρώπινο σύστημα της ακοής αντιλαμβάνεται τους διάφορους ήχους, συμπεριλαμβανόμενης και της μουσικής. Η πλειοψηφία των ανθρώπων όμως δεν ξέρει τι είναι και με τι ασχολείται. Επομένως ήταν αναμενόμενο μερικές φορές να υπάρξουν ερωτήσεις και προβλήματα για την κατανόηση των ψυχοακουστικών πειραμάτων.

Όταν λοιπόν ένας χρήστης έμπαινε στον χώρο της εγκατάστασης, χωρίς να υπάρξει κάποια εξήγηση, αν και μπορούσε να καταλάβει το που βρισκόταν αλλά και τους ήχους που παρήγαγε η κάθε περιοχή προσέγγισης δεν μπορούσε να αντιληφθεί το βαθύτερο νόημα της εξέλιξης των ψυχοακουστικών πειραμάτων. Αυτό δεν παρατηρήθηκε μόνο στους ανθρώπους που δεν έχουν κάποια σχέση με το Τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας. Ήταν ένα γενικότερο πρόβλημα κατανόησης και των ίδιων των φοιτητών του τμήματος αν και έχουν παρακολουθήσει το μάθημα της ψυχοακουστικής.

Πιο συγκεκριμένα φοιτητής του τμήματος, όταν ρωτήθηκε για το τι κατάλαβε, έδωσε την απάντηση ότι άκουσε δύο ημίτονα, ένα κρουστό και ένα αλλοιωμένο τραγούδι τα οποία αντιστοιχούσαν στα φαινόμενα του διακροτήματος, της προπορείας και του σφάλματος του mp3. Μετά από τις διευκρινιστικές οδηγίες που δόθηκαν (όχι μόνο σε αυτόν τον φοιτητή

αλλά και σε όλους τους υπόλοιπους ανθρώπους που ήρθαν να δουν την εγκατάσταση), τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο, υπήρξε κατανόηση της λειτουργίας της εγκατάστασης. Αρκετοί από αυτούς μάλιστα μπήκαν στην διαδικασία να εξελίξουν τα πειράματα προκειμένου να δούνε αν αντιλαμβάνονται σωστά κάποια από αυτά τα ηχητικά φαινόμενα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η επεξήγηση τόσο των ηχητικών φαινομένων όσο και της γενικότερης λειτουργίας της εγκατάστασης φάνηκε να είναι απαραίτητη σχεδόν για την πλειοψηφία των ανθρώπων που επισκέφτηκαν τον χώρο της εγκατάστασης.

#### **4.2 Αξιολόγηση της εγκατάστασης ως μια πλατφόρμα εκτέλεσης ψυχοακουστικών πειραμάτων**

Όπως αναφέρθηκε και στο δεύτερο κεφάλαιο, όπου μελετάμε τα ψυχοακουστικά πειράματα σε θεωρητικό επίπεδο, πρέπει να υπάρξει μια αξιολόγηση της εγκατάστασης που δημιουργήθηκε για το αν μπορεί να σταθεί ως μια αυτόνομη πλατφόρμα με σκοπό την εκτέλεση ψυχοακουστικών πειραμάτων. Για να σταθεί ως αυτόνομη πλατφόρμα πρέπει ως πρώτο βασικό βήμα να λυθούν τα διάφορα τεχνικά προβλήματα τα οποία εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια του φεστιβάλ. Επιπλέον, πρέπει να δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες οι οποίες βοηθούν στην μεγαλύτερη προσήλωση του χρήστη σε αυτό που ακούει. Τέλος πρέπει να γίνεται και μια συνεχής καταγραφή των διαφορετικών αποτελεσμάτων που παράγονται από τον κάθε χρήστη που την χρησιμοποιεί.

Αν θέλουμε να αξιολογήσουμε το κατά πόσο λειτούργησε η συγκεκριμένη πλατφόρμα εκτέλεσης των ψυχοακουστικών πειραμάτων στο πλαίσιο του φεστιβάλ τότε δεν χρειάζεται να λάβουμε υπόψη τα τεχνικά προβλήματα τα οποία υπήρξαν αλλά ούτε και τις συνθήκες που επικρατούσαν. Η αξιολόγηση της πλατφόρμας γίνεται μόνο από την υπάρχουσα πλατφόρμα που έχει δημιουργηθεί και στις συνθήκες που υπήρχαν.

Σε γενικές γραμμές η κατανόηση της ιδέας της εγκατάστασης ήταν αρκετά εύκολη από τους παρευρισκομένους στον χώρο. Επιπλέον οι τεχνικές διάδρασης ήταν σαφείς. Ο χρήστης βλέποντας την κουκίδα που τυπωνόταν στον τοίχο της προβολής μπορούσε να καταλάβει το πού βρισκόταν στο εικονικό περιβάλλον της εξομοίωσης. Με μερικές διευκρινιστικές οδηγίες ο εκάστοτε χρήστης μπορούσε να καταλάβει ποιος ακριβώς ήταν ο σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας. Στη συνέχεια, η διεξαγωγή της εκτέλεσης των πειραμάτων καθώς

και η προσήλωση του εκάστοτε χρήστη σε κάποιο πείραμα ήταν αποκλειστικά δική του ευθύνη. Αρκετοί από τους χρήστες που μπήκαν στον χώρο της εγκατάστασης, έμειναν αρκετή ώρα προσπαθώντας να καταλάβουν αν όντως αντιλαμβάνονται αυτά τα τρία ψυχοακουστικά φαινόμενα όπως τους εξηγήθηκαν. Οι περισσότεροι από αυτούς έμειναν ευχαριστημένοι από το αποτέλεσμα και μάλιστα κράτησαν ως ενδεικτικό της κατανόησης τους το φαινόμενο της προπορείας όπου προσπαθούσαν να καταλάβουν τον ακριβή χρόνο που αντιλαμβάνονται τους δύο ήχους σαν ένα. Τέλος κάποιοι άλλοι αναγνώρισαν το γεγονός ότι στο πείραμα στο οποίο εξετάζεται το σφάλμα της κωδικοποίησης με mp3 υπάρχει μια μεγάλη πληροφορία του μουσικού κομματιού που έχει σβηστεί.

Σίγουρα το γεγονός ότι αρκετοί από αυτούς που επισκέφθηκαν την συγκεκριμένη εγκατάσταση μπήκαν στην διαδικασία να εξελίξουν και να καταλάβουν κάποια από τα πειράματα που λάμβαναν χώρα είναι αρκετά ενθαρρυντικό για την περαιτέρω επέκταση τέτοιου είδους διαδραστικών εγκαταστάσεων. Οι μόνοι αξιολογητές των οποίων η γνώμη επιφέρει αποτελέσματα είναι οι ίδιοι οι θεατές. Το γεγονός της ενσωμάτωσης τους σε μια πλατφόρμα όπου εξελίσσονται ψυχοακουστικά πειράματα μας βοηθάει στην καλύτερη ανάπτυξη της στο μέλλον.

Τέλος, αν και ήταν αρκετές οι τεχνικές δυσκολίες που υπήρχαν πρέπει να σημειωθεί ότι δεν εμπόδισαν σχεδόν κανένα χρήστη στο να κατανοήσει το που ακριβώς αποσκοπούσε η συγκεκριμένη εγκατάσταση. Αν φανταστούμε λοιπόν ότι σε μια επόμενη παρουσίαση μπορεί να υπάρξει μια πιο εξελιγμένη πλατφόρμα και οι συνθήκες οι οποίες υφίστανται θα ευνοούν την εκτέλεση των ψυχοακουστικών πειραμάτων, τότε το παραγόμενο αποτέλεσμα θα είναι πολύ καλύτερο και οι χρήστες θα έχουν την δυνατότητα να κατανοήσουν καλύτερα αυτού του είδους τα ψυχοακουστικά πειράματα.

#### **4.3 Αξιολόγηση της διεπαφής χρήσης κατά την παρουσίαση της εγκατάστασης στο κοινό**

Σε συζήτηση που έγινε με ένα μεγάλο αριθμό ανθρώπων που χρησιμοποίησαν την εγκατάσταση τους τέθηκαν ερωτήματα που είχαν να κάνουν με το πόσο εφικτή ήταν η πλοήγησή τους στον χώρο της εγκατάστασης. Οι περισσότεροι από τους θεατές ανέφεραν ότι μέσα σε διάστημα μερικών δευτερολέπτων κατάφεραν να αλληλεπιδράσουν με το σύστημα της εγκατάστασης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην προβολή που γινόταν ο χρήστης

έβλεπε μια κουκίδα που άλλαζε η θέση της όταν άλλαζε η θέση του ίδιου. Τις περισσότερες φορές δεν δινόταν στους χρήστες κάποια εξήγηση για το πώς λειτουργεί η εγκατάσταση. Αντιθέτως οι χρήστες αφήνονταν ένα μικρό χρονικό διάστημα προκειμένου να υπάρξει μια καταγραφή των αντιδράσεων τους. Έτσι οι χρήστες έμπαιναν στην διαδικασία να προσπαθήσουν να αντιληφθούν μόνοι τους τι γίνεται μέσα στον χώρο της εγκατάστασης. Με αυτό τον τρόπο και χάρη στο οπτικό μονοπάτι αλληλεπίδρασης ήταν αρκετά εύκολο να κατανοήσουν τις μεθόδους και το μέσο διάδρασης στον χώρο. Οι χρήστες μπορούσαν να καταλάβουν τις τρεις περιοχές προσέγγισης και τη σχετική τους θέση βάσει αυτών. Επίσης μπορούσαν να καταλάβουν πότε βρίσκονται εντός ή εκτός της εγκατάστασης και πότε κινούνταν στα όρια της.

Σε αυτό το σημείο αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι λόγω της μη εξοικείωσης των χρηστών με τις διαδραστικές εγκαταστάσεις λογικό ήταν να υπήρχε κάποια δυσκολία κατανόησης. Επίσης η δυσκολία αυτή έπρεπε να αυξανόταν όσο αυξανόταν και η ηλικία των χρηστών. Οι απαντήσεις στα ερωτήματα που τέθηκαν έδειξαν ότι σχεδόν όλοι οι χρήστες ανεξαρτήτου ηλικίας κατάφεραν να αλληλεπιδράσουν και να κατανοήσουν την δομή της διεπαφής του συστήματος της εγκατάστασης.

#### **4.4 Παρατηρήσεις για την οπτική προσέγγιση της εγκατάστασης**

Όπως έχει αναφερθεί η εγκατάσταση αυτή εκτός από τον τεχνολογικό της χαρακτήρα πρέπει να έχει και μια καλλιτεχνική προσέγγιση. Από το φωτογραφικό υλικό που παρουσιάστηκε παραπάνω μπορούμε να δούμε ένα μέρος της οπτικής προσέγγισης που προσπαθήσαμε να ακολουθήσουμε. Παρόλ’ αυτά υπήρξαν κάποιες παρατηρήσεις τόσο από το κοινό που επισκέφτηκε τον χώρο της εγκατάστασης όσο και από καθηγητές του τμήματος Τεχνών Ήχου και Εικόνας.

Οι παρατηρήσεις που έγιναν αφορούσαν κυρίως την οπτική προσέγγιση των πειραμάτων που προβαλλόταν στον τοίχο. Ουσιαστικά αν και η οπτική ανάδραση που δινόταν στους χρήστες ήταν αρκετά σαφής για την εξέλιξη των πειραμάτων υπήρχε έλλειψη καλλιτεχνικής παρέμβασης. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τον διαχωρισμό της εγκατάστασης σε μια τεχνολογικού περιεχομένου διαδραστική και όχι τόσο καλλιτεχνική εγκατάσταση.

Με συζήτηση που έγινε με καθηγητές του τμήματος προτάθηκαν κάποιοι τρόποι έτσι ώστε να υπάρξει μια εξέλιξη της εγκατάστασης στο καλλιτεχνικό της μέρος. Κάποιες από αυτές τις

προτάσεις παρουσιάζονται σε επόμενο κεφάλαιο όπου μελετάται η εξέλιξη και η βελτίωση της εγκατάστασης.

#### 4.5 Συμπεράσματα για την υπολογιστική όραση

Οι αλγόριθμοι υπολογιστικής όρασης χρησιμοποιούνται σε διαδραστικά αλλά και άλλα έργα τέχνης που βασίζονται σε υπολογιστή για την παρακολούθηση των δραστηριοτήτων των ανθρώπων. Υπάρχουν τεχνικές λύσεις που μπορούν να δημιουργήσουν σε πραγματικό χρόνο εκθέσεις σχετικά με την ταυτότητα των ανθρώπων, την τοποθεσία, τις κινήσεις χειρονομίας, την έκφραση, το βάδισμα, τη κατεύθυνση του βλέμματος και άλλα χαρακτηριστικά. Παρόλο που η εφαρμογή ορισμένων αλγορίθμων υπολογιστικής όρασης απαιτούν προηγμένες γνώσεις για την επεξεργασία της εικόνας, μια σειρά ευρέως διαδεδομένων και άκρως αποτελεσματικών τεχνικών μπορούν να εφαρμοστούν από αρχάριους προγραμματιστές σε μόλις ένα απόγευμα. Οι καλλιτέχνες και οι σχεδιαστές που είναι εξοικειωμένοι με δημοφιλή συστήματα πολυμέσων, όπως το Macromedia Director [34], το Max / MSP / Jitter [33] και το Processing [1], μπορούν να αναπτύξουν αρκετά αξιόλογες εφαρμογές χάρη στη δυνατότητα της χρήσης βιβλιοθηκών υπολογιστικής όρασης.

Η αξιοπιστία των αλγορίθμων της υπολογιστικής όρασης περιορίζεται ανάλογα με την ποιότητα του εισερχόμενου βίντεο. Η ευκρίνεια της σκηνής καθορίζεται από τους ειδικούς αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση αυτής. Σε πολλές περιπτώσεις, ένα έξυπνα σχεδιασμένο περιβάλλον μπορεί να επιτρέψει την παρακολούθηση των φαινομένων πολύ ευκολότερα από ό,τι απαιτούσαν πολύ πιο εξελιγμένα λογισμικά. Καθώς οι υπολογιστές και το βίντεο καθίστανται περισσότερο διαθέσιμα και καθώς το λογισμικό και τα εργαλεία συγγραφής συνέχεια βελτιώνονται, μπορούμε να περιμένουμε ότι θα δούμε τη χρήση της τεχνικής της υπολογιστικής όρασης ολοένα και περισσότερο να ενσωματώνεται στην εκπαίδευση του media-art, στην δημιουργία παιχνιδιών, ταινιών αλλά και σε πολλές άλλες εφαρμογές.

# Κεφάλαιο 5

## Προτάσεις για περαιτέρω ανάπτυξη

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται μια σειρά από ιδέες και προτάσεις οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν στην περαιτέρω ανάπτυξη, εξέλιξη και έρευνα αυτής της πτυχιακής εργασίας στο μέλλον. Οι προτάσεις αφορούν τόσο την αισθητική όσο και την λειτουργική βελτίωση της εγκατάστασης. Είναι πολύ σημαντικό να υπάρχουν προτάσεις για τη βελτίωση άλλα και την εξέλιξη τέτοιου είδους συστημάτων. Αυτό βοηθάει στη συνέχιση της έρευνας αλλά και στην καλύτερη δυνατή κατανόηση των αποτελεσμάτων. Τέλος, τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι σίγουρα πιο σωστά τεκμηριωμένα.

Έχοντας εξηγήσει και περιγράψει στα προηγούμενα κεφάλαια τα προβλήματα και τις δυσκολίες που εμφανίστηκαν τόσο κατά την ανάπτυξη όσο και κατά τη διαδικασία του στησίματος με σκοπό την έκθεση αυτής της πτυχιακής εργασίας στο κοινό, δημιουργήθηκαν προβληματισμοί σχετικά με τις μετατροπές και τις επεκτάσεις που μπορούσε να έχει ένα διαδραστικό περιβάλλον μέσα στο οποίο εκτελούνται ψυχοακουστικά πειράματα.

Μια από τις πιο εύκολες θεωρητικά επεκτάσεις της εγκατάστασης είναι η προσθήκη και άλλων ψυχοακουστικών πειραμάτων. Αν και είναι αρκετά εφικτό να δημιουργηθούν και να προστεθούν κάποια ακόμη ψυχοακουστικά πειράματα δεν είναι η καλύτερη δυνατή επέκταση που μπορούσε να υπάρξει τη συγκεκριμένη στιγμή. Αν πούμε ότι οι επεκτάσεις που θέλουμε να γίνουν αφορούν μόνο το κομμάτι των ψυχοακουστικών πειραμάτων που έχουν δημιουργηθεί μπορούμε να προσθέσουμε την δυνατότητα να υπάρχει κάποιο είδος πιο σωστής μέτρησης της ακουστικής αλλά και της αντίληψης των χρηστών. Αυτό βέβαια προϋποθέτει ότι υπάρχουν κάποιες ιδανικές συνθήκες για την ομαλότερη διεξαγωγή των πειραμάτων, έτσι ώστε οι μετρήσεις που προκύπτουν να είναι όσο αντικειμενικότερες γίνεται.



Από εκεί και πέρα κάποιες επιπλέον βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν και σίγουρα είναι αρκετά αναγκαίες αφορούν τα οπτικά αποτελέσματα τα οποία παραγόntonταν και προβάλλονταν στον τοίχο της εγκατάστασης. Σε συζήτηση που έγινε με καθηγητές του τμήματος προτάθηκαν κάποιες βελτιώσεις που έχουν να κάνουν με την οπτική προσέγγιση της εγκατάστασης. Αυτές οι προτάσεις είναι α) να υπάρχει μεγαλύτερη προβολή στον τοίχο, β) οι περιοχές προσέγγισης να μην εμφανίζονται μόνο με τα όρια τους, αλλά να εμφανίζονται γεμισμένες με το χρώμα που έχει είδη επιλεγεί πράγμα που είχε ως σκοπό να δώσει μια ένταση και στο οπτικό κομμάτι αλλά και στο κομμάτι του ήχου που ακούμε καθώς το ένα επηρεάζει το άλλο και τέλος γ) να γίνεται η προβολή στο πάτωμα της εγκατάστασης. Η τελευταία βέβαια παρατήρηση έχει ως προϋπόθεση έναν διαφορετικό χώρο, πολύ μεγαλύτερο από ότι αυτόν που ήταν διαθέσιμος κατά το στήσιμο της στο φεστιβάλ. Επιπλέον, φάνηκε ότι η ισχύς των ηχείων που υπήρχαν στον χώρο της εγκατάστασης δεν ήταν αυτή που χρειαζόμασταν. Επιπλέον σε ιδανικές συνθήκες θέλουμε ο ήχος που ακούγεται να γεμίζει τον χώρο της εγκατάστασης.

Τελειώνοντας, πρέπει να σημειωθεί ότι οι βελτιώσεις που προτείνονται δεν είναι ούτε ανέφικτες αλλά ούτε δύσκολες στο να υλοποιηθούν στο άμεσο μέλλον. Η εγκατάσταση αυτή δεν τελειώνει εδώ. Η περαιτέρω ανάπτυξη και εξέλιξη της εξαρτάται από την θέληση και τα κίνητρα που δίνονται για την καλύτερη και πιο σωστή ολοκλήρωση της.

## 5.1 Βελτιώσεις

Κατά το στήσιμο και τη λειτουργία της εγκατάστασης σε πραγματικές συνθήκες παρουσιάστηκαν προβλήματα όπως αναφέρθηκαν και προηγουμένως που έχουν να κάνουν με την λειτουργία του προγράμματος που αναπτύχθηκε. Το βασικότερο από αυτά τα προβλήματα που εντοπίστηκε ήταν η ταχύτητα με την οποία έτρεχε το πρόγραμμα. Ήταν φανερό το γεγονός ότι η αναγνώριση του blob το οποίο ακολουθούσε τον χρήστη αργούσε αρκετά. Για αυτό όμως το πρόβλημα δεν έφταιγε η διαδικασία που ακολουθούσε το πρόγραμμα για τον εντοπισμό του μεγαλύτερου blob σε πραγματικό χρόνο. Αυτό βέβαια είχε ως συνέπεια να μη γίνεται σωστή αναγνώριση της θέσης του χρήστη όταν ο χρήστης άλλαζε πολύ γρήγορα τη θέση του στον χώρο. Το πρόβλημα αυτό το δημιουργούσε ο ημιτονοειδής μεταβαλλόμενος ήχος ο οποίος παραγόταν για το διακρότημα. Αν και το πρόβλημα αυτό αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο που ασχολείται με την ανάπτυξη του διακροτήματος στην πλατφόρμα λογισμικού που χρησιμοποιήσαμε δεν καταφέραμε να το λύσουμε πλήρως. Σε

ένα πρώτο στάδιο η αναπαραγωγή της μεταβαλλόμενης συχνότητας γινόταν με την συνάρτηση:

```
myWave = new SineWave (440 + r, 0.5);
```

### **Κώδικας 5.1** Η μεταβαλλόμενη συχνότητα του διακροτήματος

Η αναπαραγωγή του ημιτόνου αυτού δημιούργησε προβλήματα που είχαν να κάνουν με την συνεχή μεταβολή της θέσης του χρήστη (στην εξομοίωση η μεταβολή αυτή γινόταν κατά τη μεταβολή της σχετικής θέσης του ποντικιού). Το βασικό πρόβλημα που δημιουργήθηκε ήταν ότι κάθε φορά που άλλαζε η σχετική θέση του χρήστη δημιουργούταν ένας νέος ήχος (new SineWave) ο οποίος είχε ως αποτέλεσμα να ακούγεται ένας ενοχλητικός ήχος τη στιγμή που ξεκίναγε η νέα συχνότητα. Αυτό το πρόβλημα λύθηκε όταν ο παραγόμενος ήχος έγινε Stream και ταυτόχρονα δημιουργήθηκαν κάποια fades όπως περιγράφηκε παραπάνω. Παρόλ' αυτά ο νέος ήχος που έπαιζε έκανε το πρόγραμμα να πηγαίνει σχετικά αργά. Αυτό το πρόβλημα δεν ήταν δυνατό να επιλυθεί. Αυτό οφειλόταν στο γεγονός ότι κάθε φορά που άλλαζε θέση ο χρήστης δημιουργούνταν ένας νέος ήχος χωρίς να τερματίζεται ο προηγούμενος. Έτσι δημιουργήθηκε πρόβλημα με την υπερφόρτωση της μνήμης του συστήματος. Η επίλυση αυτού του προβλήματος είναι εφικτή στο μέλλον. Ουσιαστικά πρέπει να δώσουμε κάποια εντολή στο λογισμικό έτσι ώστε να τερματίζει τον προηγούμενο ήχο μετά το fade out που του έχει κάνει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον καθαρισμό της μνήμης του υπολογιστή κάνοντας την ταχύτητα με την οποία τρέχει το πρόγραμμα πολύ γρηγορότερη.

Σίγουρα η διαδικασία εντοπισμού και επίλυσης των προβλημάτων δεν είναι δυνατόν να γίνει στην πλατφόρμα εξομοίωσης της πτυχιακής εργασίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην πλατφόρμα της εξομοίωσης όλοι οι παράμετροι που επηρεάζουν το παραγόμενο αποτέλεσμα λειτουργούν σε ιδανικές συνθήκες. Επίσης, στην τελική εγκατάσταση όπου έπρεπε να υπάρχει η δυνατότητα της υπολογιστικής όρασης και όχι η χρήση του ποντικιού δημιουργήθηκαν προβλήματα τα οποία δεν είναι δυνατόν να τα εντοπίσουμε στις δοκιμές που γίνονται στο σπίτι ή και αν εντοπισθούν πολλές φορές χρειάζεται να γίνουν πειραματισμοί και να κρατηθούν αρκετές σημειώσεις προκειμένου να υπάρχει ένας κατάλογος από λύσεις στις διαφορετικές περιπτώσεις που προκύπτουν.

Ουσιαστικά χρειάζεται ένας συνεχής έλεγχος της ανάπτυξης της διαδραστικής εγκατάστασης σε πραγματικές συνθήκες. Αυτό λύνει πολλά προβλήματα που δημιουργούνται κατά το στήσιμο της εγκατάστασης. Τα προβλήματα αυτά θα μπορούσαν να επιλυθούν σταδιακά και σίγουρα η επίλυση τους θα γινόταν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Αυτό γίνεται γιατί το η δοκιμή μιας εγκατάστασης σε πραγματικές συνθήκες έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη δυνατή οπτική θέαση σε θέματα που αφορούν τα προβλήματα που προκύπτουν.

Τέλος, η δυνατότητα του να υπάρχει αξιολόγηση από έναν μικρό αριθμό ανθρώπων οι οποίοι δεν είναι απαραίτητο να έχουν ασχοληθεί με την ανάπτυξη της εγκατάστασης βοηθάει αρκετά στη επίλυση τέτοιου είδους προβλημάτων. Πολλές φορές οι άνθρωποι αυτοί έρχονται και προτείνουν λύσεις και ιδέες που δεν αφορούν μόνο το κομμάτι της ευχρηστίας αλλά γενικότερα και το σχεδιαστικό κομμάτι. Επιπλέον, πολλές φορές είναι ικανοί να δώσουν λύσεις όπου ο σχεδιαστής αλλά και η ομάδα που αναπτύσσει τέτοιου είδους συστήματα μπορεί να μην τις είχαν σκεφτεί.

# Κεφάλαιο 6

## Βιβλιογραφία

- [1] [www.processing.org](http://www.processing.org), τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [2] <http://www.parmly.luc.edu/parmly/clifton.html>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [3] [http://www.sfu.ca/sonic-studio/handbook/Equal\\_Loudness\\_Contours.html](http://www.sfu.ca/sonic-studio/handbook/Equal_Loudness_Contours.html), τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [4] David S. Sullivan Jr., Stephan Moore, and Ichiro Fujinaga “Realtime Software Synthesis for Psychoacoustic Experiments”
- [5] Edmond, E., Explorations in Art and Technology. London:Springer, 2002
- [6] Software engineering issues in interactive installation art, Anna Trifonova, Letizia Jaccheri, Kristin Bergaust, International Journal of Arts and Technology 2008 - Vol. 1, No.1 pp. 43 - 65
- [7] <http://www.acm.org>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [8] <http://www.aec.at/>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [9] <http://www.beap.org/>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [10] D. Norman, The Design of Everyday Things (1990). MIT Press.
- [11] [www.useit.com](http://www.useit.com), τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [12] <http://en.wikipedia.org/wiki/Usability>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [13] Dix, A., J. Finlay, G. Abowd, R. Beale (1998). Human Computer Interaction – 2nd Edition, Prentice Hall Europe
- [14] <http://en.wikipedia.org/wiki/Acoustics>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.

- [15] <http://en.wikipedia.org/wiki/Psychoacoustics>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [16] [http://en.wikipedia.org/wiki/Haas\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Haas_effect), τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [17] <http://www.karavolas.gr/armonikos/diakrothma.html>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [18] [http://en.wikipedia.org/wiki/Beat\\_\(acoustics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Beat_(acoustics)), τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [19] Brandenburg, K., "MP3 and AAC explained", AES 17th International Conference on High Quality Audio Coding, 1999.
- [20] Painter T. and Spanias, A., "Perceptual Coding of Digital Audio", Proceedings of the IEEE, 88 (4), pp. 451-513, April 2000.
- [21] L. Manovich, The Language of New Media, Cambridge Mass, 2001
- [22] M. Rush, New Media in Late 20th-Century Art. London, Thames & Hudson, 1999
- [23] M. Ferrer και M.-H. Colas-Adler Ομάδες, Κινήματα, Τάσεις της Σύγχρονης Τέχνης μετά το 1945, Αθήνα, Εξάντας, 1999
- [24] Oates, B. J., "New frontiers for information systems research: computer art as an information system", European Journal of Information Systems, vol. 15 (6), pp. 617-626, Dec 2006.
- [25] Machin, C. H. C., "Digital artworks: bridging the technology gap", in Proceedings of The 20th Eurographics UK Conference, 2002 2002, pp. 16-23.
- [26] Marchese, F. T., "The Making of Trigger and the Agile Engineering of Artist-Scientist Collaboration", in Proceedings of the conference on Information Visualization (IV), 2006.
- [27] Boyd, J. E., G. Hushlak, and C. J. Jacob, "SwarmArt: interactive art from swarm intelligence", in Proceedings of the 12th annual ACM international conference on Multimedia New York, NY, USA: ACM Press, 2004.
- [28] Biswas, A. and J. Singh, "Software Engineering Challenges in New Media Applications", in Software Engineering Applications (~SEA 2006~), Dallas, TX, USA, 2006.

[29] Stromberg, H., A. Vaatanen, and V.-P. Raty, "A group game played in interactive virtual space: design and evaluation", in Proceedings of the conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques. London, England: ACM Press, 2002.

[30] Steinkamp, J., "My Only Sunshine: Installation Art Experiments with Light, Space, Sound and Motion", Leonardo, vol. 34 (2), pp. 109-112, 2001.

[31] Hannington, A. and K. Reed, "Towards a taxonomy for guiding multimedia application development", in Ninth Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC'02), Gold Coast, Queensland, AUSTRALIA, 2002, pp. 97-106.

[32] <http://vwww.org/tiki-index.php>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.

[33] <http://www.cycling74.com/>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.

[34] <http://www.adobe.com/products/director/>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.

[35] Casey Reas, Ben Fry, (2007), Processing: ‘a programming handbook for visual designers and artists’, the MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England.

[36] Ira Greenberg, (2007), Processing: Creative Coding and Computational Art, Friends of Press

[37] <http://code.compartmental.net/tools/minim/>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.

[38] <http://www.tree-axis.com/Ess/>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.

[39] <http://www.v3ga.net>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.

[40] [http://en.wikipedia.org/wiki/Computer\\_vision](http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_vision), τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.

[41] [http://en.wikipedia.org/wiki/Blob\\_detection](http://en.wikipedia.org/wiki/Blob_detection), τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.

[42] [http://en.wikipedia.org/wiki/Segmentation\\_\(image\\_processing\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Segmentation_(image_processing)) , τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.

[43] Canny, J., A Computational Approach To Edge Detection, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8:679-714.

[44] [http://en.wikipedia.org/wiki/Feature\\_extraction](http://en.wikipedia.org/wiki/Feature_extraction), τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.

[45] [http://en.wikipedia.org/wiki/Edge\\_detection](http://en.wikipedia.org/wiki/Edge_detection), τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.

- [46] Levin, G. "Computer Vision for Artists and Designers: Pedagogic Tools and Techniques for Novice Programmers". Journal of Artificial Intelligence and Society, Vol. 20.4. Springer Verlag, 2006.
- [47] <http://en.wikipedia.org/wiki/MP3>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [48] <http://www.ece.uvic.ca/~aupward/p/demos.htm>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [49] <http://www.ernestedmonds.com/>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [50] Cornock, S., Edmonds, E. A. The creative process where the artist is amplified or superseded by the computer. Leonardo, 1973, Vol. 6
- [51] L. Manovich, The Language of New Media, Cambridge Mass, 2001
- [52] [http://www.odomel.gr/docs/conferences/2007/pdf/05\\_04.pdf](http://www.odomel.gr/docs/conferences/2007/pdf/05_04.pdf), τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [53] Neill Spiller, "Cyber Reader: Critical writings for the digital era", London: Phaidon, 2002
- [54] Linda Candy, Ernest Edmonds , "Explorations in Art and Technology", Springer, 2002
- [55] [http://en.wikipedia.org/wiki/Detection\\_theory](http://en.wikipedia.org/wiki/Detection_theory), τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [56] [http://en.wikipedia.org/wiki/Mean\\_opinion\\_score](http://en.wikipedia.org/wiki/Mean_opinion_score), τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [57] <http://en.wikipedia.org/wiki/MUSHRA>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [58] <http://en.wikipedia.org/wiki/PSQM>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [59] <http://en.wikipedia.org/wiki/PEAQ>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [60] Elvira Perez, Raul Rodriguez – Esteban, "Oreja: A MATLAB environment for the design of psychoacoustic stimuli", Behavior Research Methods, 2006, 38 (4), 574-578
- [61] <http://www.ama-assn.org/>, τελευταίος έλεγχος έγινε στις 17/06/09.
- [62] Laura Ottaviani, Eoin Brazil and Mikael Fernstrom, "Psychoacoustic experiments for validating sound objects in a 2-d space using the sonic browser", in Proceedings of the XIV Colloquium on Musical Informatics (XIV CIM 2003), Firenze, Italy, May 8-9-10, 2003
- [63] Yu Song, Andreas Spanias, Venkatraman Atti, and Visar Berisha, "INTERACTIVE JAVA MODULES FOR THE MPEG-1 PSYCHOACOUSTIC MODEL", in Acoustics,

“iSEE” Διαδραστική εγκατάσταση για την εκτέλεση ψυχοακουστικών πειραμάτων

Speech, and Signal Processing, 2005. Proceedings. (ICASSP '05). IEEE International Conference

[64] <http://el.wikipedia.org/wiki/Πείραμα>



# Παράρτημα Α

**Ο συνολικός κώδικας της πλατφόρμας  
“iSEE”**

**isee.pde**

```
//Inport Ess library
import krister.Ess.*;
AudioChannel myChannel_pre1, myChannel_pre2; //Precedence Effect Channels
AudioChannel myChannel_diak1; //Diakrotima Channel
SineWave myWave_1, myWave_2; //Diakrotima SineWave
AudioChannel myChannel_1, myChannel_2, myChannel_3, myChannel_4, myChannel_5,
myChannel_6, myChannel_7, myChannel_8; // mp3_error Channels
FFT myFFT;
int bufferSize;
int bufferDuration;
AudioStream myStream; // Audio stream to write into
FadeOut myFadeOut; // Amplitude ramp function
FadeIn myFadeIn; // Amplitude ramp function
//Inport blobDetection library
import blobDetection.*;
import processing.video.*;
// BlobDetection
BlobDetection theBlobDetection;
Capture cam;
// Images
PImage img, logo;
// Movie
boolean newFrame=false;
//Function
boolean bover = false;
boolean locked = false;
//Position
float bx=50;
float by=50;
int R = 540;
float dt; // metavlites gia thn apostash apo to kentro toy kyklou
// eswterikoi kykloi gia to sfalma toy mp3
float c1 = R/8.0;
float c2 = c1 + R/8.0;
float c3 = c2 + R/8.0;
float c4 = c3 + R/8.0;
float c5 = c4 + R/8.0;
float c6 = c5 + R/8.0;
float c7 = c6 + R/8.0;
float c8 = c7 + R/8.0;
//arxikopoihsh apostashs diakrotimatos
float d3 = 0;
float d_previous = 0;

// Applet Mode
static final int VIDEO_BLOB = 1;
static final int CUT_BLOB = 2;
int mode;
```

```

// -----
// setup()
// -----
void setup()
{
  // Size of applet
  size(1280, 1024);
  ellipseMode(CENTER_RADIUS);
  frameRate(15);
  textFont(createFont("Arial", 50));
  logo = loadImage("mp3_logo.png");

  // Mode
  mode = CUT_BLOB;
  // Capture
  cam = new Capture(this, 80*4, 60*4, 30);

  // BlobDetection
  BlobDetection.setConstants(1000,1000,750); // Be sure to have enough room for polygon
  (750 triangles max here for a blob)
  img = new PImage(40,30); // image which will be sent to detection (a smaller copy of the
  video frame);
  theBlobDetection = new BlobDetection(img.width, img.height);
  theBlobDetection.setPosDiscrimination(false);
  theBlobDetection.setThreshold(0.15); // will detect bright areas whose luminosity > 0.37;
  Ess.start(this);
  //-----Precedence Effect-----
  myChannel_pre1=new AudioChannel("hxos_1.wav");
  myChannel_pre2=new AudioChannel("hxos_2.wav");
  //-----DIAKROTIMA-----
  diakrotima();
  //-----Sfalma_mp3 arxeia-----
  myChannel_1=new AudioChannel("error_320.wav");
  myChannel_2=new AudioChannel("error_256.wav");
  myChannel_3=new AudioChannel("error_224.wav");
  myChannel_4=new AudioChannel("error_192.wav");
  myChannel_5=new AudioChannel("error_160.wav");
  myChannel_6=new AudioChannel("error_128.wav");
  myChannel_7=new AudioChannel("error_112.wav");
  myChannel_8=new AudioChannel("error_96.wav");

  bufferSize=myChannel_1.buffer.length;
  bufferDuration=myChannel_1.ms(bufferSize);
  bufferSize=myChannel_2.buffer.length;
  bufferDuration=myChannel_2.ms(bufferSize);
  bufferSize=myChannel_3.buffer.length;
  bufferDuration=myChannel_3.ms(bufferSize);
  bufferSize=myChannel_4.buffer.length;
  bufferDuration=myChannel_4.ms(bufferSize);
  bufferSize=myChannel_5.buffer.length;

```

```
bufferDuration=myChannel_5.ms(bufferSize);
bufferSize=myChannel_6.buffer.length;
bufferDuration=myChannel_6.ms(bufferSize);
bufferSize=myChannel_7.buffer.length;
bufferDuration=myChannel_7.ms(bufferSize);
bufferSize=myChannel_8.buffer.length;
bufferDuration=myChannel_8.ms(bufferSize);
myFFT=new FFT(512);

//=====
myChannel_1.volume(0);
myChannel_2.volume(0);
myChannel_3.volume(0);
myChannel_4.volume(0);
myChannel_5.volume(0);
myChannel_6.volume(0);
myChannel_7.volume(0);
myChannel_8.volume(0);
myChannel_1.play(Ess.FOREVER);
myChannel_2.play(Ess.FOREVER);
myChannel_3.play(Ess.FOREVER);
myChannel_4.play(Ess.FOREVER);
myChannel_5.play(Ess.FOREVER);
myChannel_6.play(Ess.FOREVER);
myChannel_7.play(Ess.FOREVER);
myChannel_8.play(Ess.FOREVER);

}
//=====
// captureEvent()
//=====
void captureEvent(Capture cam)
{
  cam.read();
  newFrame = true;
}
//-----
// draw()
//-----
void draw()
{

  background(0);

  if (newFrame)
  {
    newFrame=false;
    image(cam,0,0,width,height);
    img.copy(cam, 0, 0, cam.width, cam.height, 0, 0, img.width, img.height);
    //fastblur(img, 2);
```

```

    theBlobDetection.computeBlobs(img.pixels);
    drawBlob(findBiggestBlob(), false,false,false);
}
}
// -----
// findBiggestBlob()
// -----
Blob findBiggestBlob()
{
    Blob biggestBlob2 = null;
    float surface = 0.0f;
    float surfaceMax = 0.0f;
    Blob b2=null;
    int i;
    //for (i=0;i<theBlobDetection.getBlobNb();i++)
    for (i=0;i<min(theBlobDetection.getBlobNb(), 1);i++)
    {
        b2 = theBlobDetection.getBlob(i);
        surface = b2.w * b2.h;
        if (surface > surfaceMax)
        {
            surfaceMax=surface;
            biggestBlob2 = b2;
        }
    }
    //biggestBlob = theBlobDetection.getBlob(0);
    return biggestBlob2;
}
// -----
// keyPressed()
// -----
void keyPressed()
{
    if (key=='1')
        mode = VIDEO_BLOB;
    if (key=='2')
        mode = CUT_BLOB;
}

```

**drawBlobs.pde**

```
// -----  
// drawBlobs()  
// -----  
void drawBlob(Blob b, boolean drawBlobs, boolean drawEdges, boolean drawTriangles)  
{  
  if (mode == VIDEO_BLOB)  
  {  
    background(0);  
  }  
  else  
  if (mode == CUT_BLOB)  
  {  
    noFill();  
    rect(0, 0, width, height);  
  }  
  
  noFill();  
  stroke (255,0,0);  
  strokeWeight(5.0);  
  strokeCap(ROUND);  
  ellipse(bx, by, R, R);  
  
  stroke(0,255,0);  
  strokeWeight(5.0);  
  strokeCap(ROUND);  
  ellipse(width-bx, by, R, R);  
  
  //smooth();  
  stroke(0,0,255);  
  strokeWeight(5.0);  
  strokeCap(ROUND);  
  ellipse(width/2.0, height-by, R, R);  
  
  if (b==null)  
    return;  
  
  // Edges  
  
  EdgeVertex eA,eB,eC;  
  
  //=====  
  //Computing The Distance  
  //=====  
  String s = " " ;  
  d_previous = d3;  
  float blobx = b.xMin*width;  
  float bloby = b.yMin*height;
```

```

float d1 = sqrt(pow(((blobx + b.w*width/2.0) - bx), 2) + pow((bloby + b.h*height/2.0) - by,
2));
float d2 = sqrt(pow(((blobx + b.w*width/2.0) - (width-bx)), 2) + pow((bloby +
b.h*height/2.0) - by, 2));
d3 = sqrt(pow(((blobx + b.w*width/2.0) - width/2.0), 2) + pow((bloby + b.h*height/2.0) -
(height-by), 2));
s = "d1="+d1 + " d2="+d2 + " d3="+d3 + " ";
//println(s);
//ellipse(b.xMin*width + b.w*width/2.0, b.yMin*height+ b.h*height/2.0 , 20, 20);
//-----DIAKROTIMA-----
myWave_1=new SineWave(440,0.5);
myWave_1.generate(myChannel_diak1);
//-----DIAKROTIMA-----
//=====
//=====

// > Edges
if (drawEdges)
{
strokeWeight(2);
stroke(0,255,0);
for (int m=0;m<b.getEdgeNb();m++)
{
eA = b.getEdgeVertexA(m);
eB = b.getEdgeVertexB(m);
if (eA !=null && eB !=null)
noFill();
line(eA.x*width, eA.y*height, eB.x*width, eB.y*height);
}
}
// Boundings
if (drawBlobs)
{
strokeWeight(1);
stroke(255,0,0);
rect(b.xMin*width,b.yMin*height,b.w*width,b.h*height);
}
//=====
// Draw the ellipse --> Function Areas
//=====

//This is the 1st function area
//background(0);
if (d1<=R) {
bover = true;
if(!locked) {
stroke(255,0,0);
noFill();
precedence(d1);
text(d1 + " milliseconds", width - 550, 200);
}
}

```

```
    }  
  }  
  else {  
    stroke(153);  
    noFill();  
    bover = false;  
    myChannel_pre1.stop();  
    myChannel_pre2.stop();  
  }  
  
  //=====   
  //This is the Second function area   
  //=====   
  
  if (d2<=R) {  
    sfalma_mp3(d2);  
    bover = true;  
    if(!locked)  
    {  
      noFill();  
      strokeWeight(2.0);  
      stroke(255,255,0);  
      ellipse(width-bx, by, c1, c1);  
      stroke(255,255,0);  
      ellipse(width-bx, by, c2, c2);  
      stroke(255,255,0);  
      ellipse(width-bx, by, c3, c3);  
      stroke(255,255,0);  
      ellipse(width-bx, by, c4, c4);  
      stroke(255,255,0);  
      ellipse(width-bx, by, c5, c5);  
      stroke(255,255,0);  
      ellipse(width-bx, by, c6, c6);  
      stroke(255,255,0);  
      ellipse(width-bx, by, c7, c7);  
      stroke(0,255,0);  
      strokeWeight(5.0);  
      ellipse(width-bx, by, c8, c8);  
      image (logo, width/2 - 120, height - 240, 240, 120);  
    }  
  } else {  
    myChannel_1.volume(0);  
    myChannel_2.volume(0);  
    myChannel_3.volume(0);  
    myChannel_4.volume(0);  
    myChannel_5.volume(0);  
    myChannel_6.volume(0);  
    myChannel_7.volume(0);  
    myChannel_8.volume(0);
```



```

stroke(153);
noFill();
bover = false;

}

//=====
//This is the Third function area
//=====

if (d3<=R)
{
  if (myChannel_diak1.state==Ess.STOPPED)
  {
    myChannel_diak1.play();
    myStream.start();
  }
  //Draw the waveforms
  drawSamples(d3);
  bover = true;
  if(!locked) {
    stroke(0,0,255);
    ellipse(width/2.0, height-by, 20, 20);
    noFill();
  }
  if ( d3 != d_previous && !myStream.fading)
  {
    myWave_2=new SineWave(440 + d3/10, 1.5);
    myWave_2.generate(myStream); // Generate first sine, replace Stream
    myFadeOut.filter(myStream); // Fade down the audio
    myFadeIn.filter(myStream); // Fade up the audio
  }
}
else {
  stroke(0,0,255);
  noFill();
  bover = false;
  myChannel_diak1.stop();
  myStream.stop();
}

//Draw the dot that detect the user
fill(248,2,86);
noStroke();
ellipse(b.xMin*width + b.w*width/2.0, b.yMin*height+ b.h*height/2.0 , 40, 40);
//=====
//=====

```

```
// Polygon
BlobTriangle bTri;
if (drawTriangles)
{
  fill(0,0,0);
  noStroke();
  beginShape(TRIANGLES);
  for (int t=0;t<b.getTriangleNb();t++)
  {
    bTri = b.getTriangle(t);
    eA = b.getTriangleVertexA(bTri);
    eB = b.getTriangleVertexB(bTri);
    eC = b.getTriangleVertexC(bTri);

    vertex(eA.x*width, eA.y*height);
    vertex(eB.x*width, eB.y*height);
    vertex(eC.x*width, eC.y*height);
  }
  endShape();
}
}
```

fastblur.pde

```
// =====
// Super Fast Blur v1.1
// by Mario Klingemann
// <http://incubator.quasimondo.com>
// =====
void fastblur(PImage img,int radius)
{
  if (radius<1){
    return;
  }
  int w=img.width;
  int h=img.height;
  int wm=w-1;
  int hm=h-1;
  int wh=w*h;
  int div=radius+radius+1;
  int r[]=new int[wh];
  int g[]=new int[wh];
  int b[]=new int[wh];
  int rsum,gsum,bsum,x,y,i,p,p1,p2,yp,yi,yw;
  int vmin[] = new int[max(w,h)];
  int vmax[] = new int[max(w,h)];
  int[] pix=img.pixels;
  int dv[]=new int[256*div];
  for (i=0;i<256*div;i++){
    dv[i]=(i/div);
  }

  yw=yi=0;

  for (y=0;y<h;y++){
    rsum=gsum=bsum=0;
    for(i=-radius;i<=radius;i++){
      p=pix[yi+min(wm,max(i,0))];
      rsum+=(p & 0xff0000)>>16;
      gsum+=(p & 0x00ff00)>>8;
      bsum+= p & 0x0000ff;
    }
    for (x=0;x<w;x++){

      r[yi]=dv[rsum];
      g[yi]=dv[gsum];
      b[yi]=dv[bsum];

      if(y==0){
        vmin[x]=min(x+radius+1,wm);
        vmax[x]=max(x-radius,0);
      }
    }
  }
}
```

```
p1=pix[yw+vmin[x]];
p2=pix[yw+vmax[x]];

rsum+=((p1 & 0xff0000)-(p2 & 0xff0000))>>16;
gsum+=((p1 & 0x00ff00)-(p2 & 0x00ff00))>>8;
bsum+= (p1 & 0x0000ff)-(p2 & 0x0000ff);
yi++;
}
yw+=w;
}

for (x=0;x<w;x++){
  rsum=gsum=bsum=0;
  yp=-radius*w;
  for(i=-radius;i<=radius;i++){
    yi=max(0,yp)+x;
    rsum+=r[yi];
    gsum+=g[yi];
    bsum+=b[yi];
    yp+=w;
  }
  yi=x;
  for (y=0;y<h;y++){
    pix[yi]=0xff000000 | (dv[rsum]<<16) | (dv[gsum]<<8) | dv[bsum];
    if(x==0){
      vmin[y]=min(y+radius+1,hm)*w;
      vmax[y]=max(y-radius,0)*w;
    }
    p1=x+vmin[y];
    p2=x+vmax[y];

    rsum+=r[p1]-r[p2];
    gsum+=g[p1]-g[p2];
    bsum+=b[p1]-b[p2];

    yi+=w;
  }
}
}
```

diakarotima.pde

```

void diakrotima()
{
  Ess.start(this);
  myStream = new AudioStream(); // Create a new AudioStream
  myStream.smoothPan = true;

  myChannel_diak1=new AudioChannel();
  myChannel_diak1.initChannel(myChannel_diak1.frames(45000));
  bufferSize=myChannel_diak1.buffer.length;
  bufferDuration=myChannel_diak1.ms(bufferSize);
  myChannel_diak1.volume(.5);
  myFFT=new FFT(512);
  myChannel_diak1.play(Ess.FOREVER);

  myFadeOut = new FadeOut(); // Create amplitude ramp
  myFadeIn = new FadeIn(); // Create amplitude ramp
  myStream.start(); // Start audio
}
//-----
//draw the signal waveform-----
//-----
void drawSamples(float diak)
{
  strokeWeight(5.0);
  strokeCap(ROUND);
  stroke(255);
  // interpolate between 0 and writeSamplesSize over writeUpdateTime
  int interp=(int)max(0,(((millis()-
myChannel_diak1.bufferStartTime)/(float)bufferDuration)*bufferSize));

  for (int i=0;i<256;i++)
  {
    float left=100;
    float right=100;

    if (i+interp+1<myChannel_diak1.buffer2.length) {
      left-=myChannel_diak1.buffer2[i+interp]*75.0;
      right-=myChannel_diak1.buffer2[i+1+interp]*75.0;
    }
    stroke(255,0,0);
    line(i+120,left+by+150,i+121,right+by+150);
  }
  // stroke(255);
  for (int i=0;i<256;i++)
  {
    float left=100;
    float right=100;

```

```
if (i+interp+1<myStream.buffer2.length) {
  left-=myStream.buffer2[i+interp]*100.0;
  right-=myStream.buffer2[i+1+interp]*100.0;
}
stroke(255,255,0);
line(i+120,left+by+150,i+121,right+by+150);
}
//myChannel_diak1 + myChannel_diak2
for (int i=0;i<256;i++)
{
  float left=100;
  float right=100;

  if (i+interp+1<myStream.buffer2.length) {
    left-=myStream.buffer2[i+interp]*75.0 + myChannel_diak1.buffer2[i+interp]*75.0;
    right-=myStream.buffer2[i+1+interp]*75.0 +
myChannel_diak1.buffer2[i+1+interp]*75.0;
  }
  stroke(255,127,0);
  line(i+900,left+by+150,i+901,right+by+150);
}
}
```

**precedence.pde**

```
void precedence(float prec)
{
  myChannel_pre1.play();
  dt=millis();
  while(millis() - dt < prec){ }
  println(millis() - dt + " milliseconds");
  drawSamples_precedence(prec);
  myChannel_pre2.play();
  dt=millis();
  while(millis() - dt < 1000){ }
}

void drawSamples_precedence(float pre_wave)
{
  strokeWeight(5.0);
  strokeCap(ROUND);
  stroke(255,0,0);
  line (width/2 - 10 - pre_wave/2 ,height - 440, width/2 - 10 - pre_wave/2, height - 50);
  stroke(0,255,0);
  line (width/2 + 10 + pre_wave/2 ,height - 220, width/2 + 10 + pre_wave/2, height - 50);
}
```

**sfalma\_mp3.pde**

```
// SFALMA mp3 --> γρο-perioxes prosegisis
```

```
void sfalma_mp3(float sfa)
{
  if(sfa <= c1)
  {
    myChannel_1.volume(1);
    myChannel_2.volume(0);
    myChannel_3.volume(0);
    myChannel_4.volume(0);
    myChannel_5.volume(0);
    myChannel_6.volume(0);
    myChannel_7.volume(0);
    myChannel_8.volume(0);
    println("320");
    drawSamples_1(sfa);
    text("Energy320 = 0.0061", 40, 240);
  }
  else if(sfa < c2)
  {
    myChannel_1.volume(0);
    myChannel_2.volume(1);
    myChannel_3.volume(0);
    myChannel_4.volume(0);
    myChannel_5.volume(0);
    myChannel_6.volume(0);
    myChannel_7.volume(0);
    myChannel_8.volume(0);
    println("256");
    drawSamples_2(sfa);
    text("Energy256 = 0.0180", 40, 240);
  }
  else if(sfa < c3)
  {
    myChannel_1.volume(0);
    myChannel_2.volume(0);
    myChannel_3.volume(1);
    myChannel_4.volume(0);
    myChannel_5.volume(0);
    myChannel_6.volume(0);
    myChannel_7.volume(0);
    myChannel_8.volume(0);
    println("224");
    drawSamples_3(sfa);
    text("Energy224 = 0.1051", 40, 240);
  }
  else if(sfa < c4)
```



```
{
  myChannel_1.volume(0);
  myChannel_2.volume(0);
  myChannel_3.volume(0);
  myChannel_4.volume(1);
  myChannel_5.volume(0);
  myChannel_6.volume(0);
  myChannel_7.volume(0);
  myChannel_8.volume(0);
  println("192");
  drawSamples_4(sfa);
  text("Energy192 = 0.2354", 40, 240);
}
else if(sfa < c5)
{
  myChannel_1.volume(0);
  myChannel_2.volume(0);
  myChannel_3.volume(0);
  myChannel_4.volume(0);
  myChannel_5.volume(1);
  myChannel_6.volume(0);
  myChannel_7.volume(0);
  myChannel_8.volume(0);
  println("160");
  drawSamples_5(sfa);
  text("Energy160 = 0.6130", 40, 240);
}
else if(sfa < c6)
{
  myChannel_1.volume(0);
  myChannel_2.volume(0);
  myChannel_3.volume(0);
  myChannel_4.volume(0);
  myChannel_5.volume(0);
  myChannel_6.volume(1);
  myChannel_7.volume(0);
  myChannel_8.volume(0);
  println("128");
  drawSamples_6(sfa);
  text("Energy128 = 0.8502", 40, 240);
}
else if(sfa < c7)
{
  myChannel_1.volume(0);
  myChannel_2.volume(0);
  myChannel_3.volume(0);
  myChannel_4.volume(0);
  myChannel_5.volume(0);
  myChannel_6.volume(0);
  myChannel_7.volume(1);
```

```
myChannel_8.volume(0);
println("112");
drawSamples_7(sfa);
text("Energy112 = 1.1442", 40, 240);
}
else if(sfa < c8)
{

myChannel_1.volume(0);
myChannel_2.volume(0);
myChannel_3.volume(0);
myChannel_4.volume(0);
myChannel_5.volume(0);
myChannel_6.volume(0);
myChannel_7.volume(0);
myChannel_8.volume(1);
println("96");
drawSamples_8(sfa);
text("Energy96 = 1.5436", 40, 240);
}
else
{
myChannel_1.volume(0);
myChannel_2.volume(0);
myChannel_3.volume(0);
myChannel_4.volume(0);
myChannel_5.volume(0);
myChannel_6.volume(0);
myChannel_7.volume(0);
myChannel_8.volume(0);
}
}

// sxediasmos tvn waveform gia kaue ena apo ta arxeia

void drawSamples_1(float sfa_Wave)
{
stroke(255);
int interp=(int)max(0,(((millis()-
myChannel_1.bufferStartTime)/(float)bufferDuration)*bufferSize));
for (int i=0;i<256;i++)
{
float left=100;
float right=100;
if (i+interp+1<myChannel_1.buffer2.length)
{
left-=myChannel_1.buffer2[i+interp]*200.0;
right-=myChannel_1.buffer2[i+1+interp]*200.0;
}
stroke(255,255,0);
}
```

```

    strokeWeight(1.0);
    line(i+510,left+670,i+511,right+670);
  }
}

void drawSamples_2(float sfa_Wave)
{
  stroke(255);
  int interp=(int)max(0,(((millis()-
myChannel_2.bufferStartTime)/(float)bufferDuration)*bufferSize));
  for (int i=0;i<256;i++)
  {
    float left=100;
    float right=100;
    if (i+interp+1<myChannel_2.buffer2.length)
    {
      left-=myChannel_2.buffer2[i+interp]*200.0;
      right-=myChannel_2.buffer2[i+1+interp]*200.0;
    }
    stroke(255,255,0);
    strokeWeight(1.0);
    line(i+510,left+670,i+511,right+670);
  }
}

void drawSamples_3(float sfa_Wave)
{
  stroke(255);
  int interp=(int)max(0,(((millis()-
myChannel_3.bufferStartTime)/(float)bufferDuration)*bufferSize));
  for (int i=0;i<256;i++)
  {
    float left=100;
    float right=100;
    if (i+interp+1<myChannel_3.buffer2.length)
    {
      left-=myChannel_3.buffer2[i+interp]*200.0;
      right-=myChannel_3.buffer2[i+1+interp]*200.0;
    }
    stroke(255,255,0);
    strokeWeight(1.0);
    line(i+510,left+670,i+511,right+670);
  }
}

void drawSamples_4(float sfa_Wave)
{
  stroke(255);
  int interp=(int)max(0,(((millis()-
myChannel_4.bufferStartTime)/(float)bufferDuration)*bufferSize));

```

```
for (int i=0;i<256;i++)
{
  float left=100;
  float right=100;
  if (i+interp+1<myChannel_4.buffer2.length)
  {
    left-=myChannel_4.buffer2[i+interp]*200.0;
    right-=myChannel_4.buffer2[i+1+interp]*200.0;
  }
  stroke(255,255,0);
  strokeWeight(1.0);
  line(i+510,left+670,i+511,right+670);
}
}

void drawSamples_5(float sfa_Wave)
{
  stroke(255);
  int interp=(int)max(0,(((millis()-
myChannel_5.bufferStartTime)/(float)bufferDuration)*bufferSize));
  for (int i=0;i<256;i++)
  {
    float left=100;
    float right=100;
    if (i+interp+1<myChannel_5.buffer2.length)
    {
      left-=myChannel_5.buffer2[i+interp]*200.0;
      right-=myChannel_5.buffer2[i+1+interp]*200.0;
    }
    stroke(255,255,0);
    strokeWeight(1.0);
    line(i+510,left+670,i+511,right+670);
  }
}

void drawSamples_6(float sfa_Wave)
{
  stroke(255);
  int interp=(int)max(0,(((millis()-
myChannel_6.bufferStartTime)/(float)bufferDuration)*bufferSize));
  for (int i=0;i<256;i++)
  {
    float left=100;
    float right=100;
    if (i+interp+1<myChannel_6.buffer2.length)
    {
      left-=myChannel_6.buffer2[i+interp]*200.0;
      right-=myChannel_6.buffer2[i+1+interp]*200.0;
    }
    stroke(255,255,0);
```

```

    strokeWeight(1.0);
    line(i+510,left+670,i+511,right+670);
  }
}

void drawSamples_7(float sfa_Wave)
{
  stroke(255);
  int interp=(int)max(0,(((millis()-
myChannel_7.bufferStartTime)/(float)bufferDuration)*bufferSize));
  for (int i=0;i<256;i++)
  {
    float left=100;
    float right=100;
    if (i+interp+1<myChannel_7.buffer2.length)
    {
      left-=myChannel_7.buffer2[i+interp]*200.0;
      right-=myChannel_7.buffer2[i+1+interp]*200.0;
    }
    stroke(255,255,0);
    strokeWeight(1.0);
    line(i+510,left+670,i+511,right+670);
  }
}

void drawSamples_8(float sfa_Wave)
{
  stroke(255);
  int interp=(int)max(0,(((millis()-
myChannel_8.bufferStartTime)/(float)bufferDuration)*bufferSize));
  for (int i=0;i<256;i++)
  {
    float left=100;
    float right=100;
    if (i+interp+1<myChannel_8.buffer2.length)
    {
      left-=myChannel_8.buffer2[i+interp]*200.0;
      right-=myChannel_8.buffer2[i+1+interp]*200.0;
    }
    stroke(255,255,0);
    strokeWeight(1.0);
    line(i+510,left+670,i+511,right+670);
    //line(i+510,left+670,i+511,right+670);
  }
}

```