



Ιόνιο Πανεπιστήμιο  
Τμήμα Τεχνών Ήχου κ Εικόνας

*ambiStar: Διαδραστική εγκατάσταση με εφαρμογή της τεχνολογίας Ambisonics*  
Πτυχιακή Εργασία

Φοιτητής: Νικόλας Γρηγορίου  
I' Εξάμηνο Σπουδών

Επιβλέπων Καθηγητής: Ανδρέας Φλώρος



Κέρκυρα, Οκτώβριος 2009

αφιερωμένο με πολλή αγάπη, για όλη την υποστήριξη ως τώρα,  
στην γιαγιά Αθηνά.

### **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους αυτούς που με βοήθησαν από το αρχικό στάδιο της σύλληψης της ιδέας έως και το τελικό στάδιο παρουσίασης της εγκατάστασης.

*Βοήθεια στο στήσιμο της εγκατάστασης:* Ίριδα, Μελίσα, Όλγα, Κατερίνα, Κατερίνα, Νίκος, Φαίδρα, Χάρης, Μανόλης, Χρήστος, Δανάη, Μαρία. *Φωτογραφίες - Βίντεο:* Μαρία, Δανάη, Μαίρη, Όλγα. *3D: Γιάννης.*  
Καθώς και τους: Ανδρέα, Μαριάννα, Έλενα, Νταλίλα, Ρένα, Ιάσονα, Τάνια, Γιάννη, Γιάννη, Γιώργο, Αθηνά, Γρηγόρη, Νίκη, Γιώργο, Μιχάλη.

## Περιεχόμενα

<b>Συνοπτική Περίληψη</b>	<b>6</b>
<b>1. Εισαγωγή</b>	<b>7</b>
1.1 Πεδίο Έρευνας	9
1.2 Στόχος της Εργασίας	12
<b>2. Θεωρία</b>	<b>14</b>
2.1 Αντίληψη	14
2.1.1. Τρισδιάστατος ήχος και αντίληψη.	14
2.1.2. Η ανατομία του αυτιού	14
2.1.3. Προσδιορισμός κατεύθυνσης πηγής	16
2.1.4. Head Related Transfer Functions (HRTF's)	18
2.2 Τεχνολογία	20
2.2.1 Συστήματα Ηχητικής Αναπαραγωγής	20
2.2.2. Συστήματα αναπαραγωγής Surround Ήχου	28
2.3 Επεξήγηση κεντρικών Όρων	45
<b>3. Σχεδιασμός Εγκατάστασης - Υλοποίηση</b>	<b>47</b>
3.1 Ανάλυση Λειτουργίας	48
3.1.1. Οπτικό μέρος	49
3.1.2. Ηχητικό μέρος	51
3.1.3. Σύστημα Διάδρασης	53
3.2 Κατασκευαστικό μέρος εγκατάστασης	61
3.2.1. Κατασκευή Εγκατάστασης	61
3.2.2. Εξοπλισμός Εγκατάστασης	63
3.2.3. Περιβάλλον Εγκατάστασης	64
3.4 Επίδειξη Εγκατάστασης	65
α) Προβλήματα κατά την προετοιμασία της εγκατάστασης	65
β) Προβλήματα κατά την επίδειξη	66
<b>Αποτελέσματα</b>	<b>70</b>

<b>4.1 Παρουσίαση στο κοινό</b>	<b>70</b>
<b>4.2 Αντιδράσεις κοινού</b>	<b>70</b>
<b>5. Συμπεράσματα</b>	<b>71</b>
<b>5.1 Βελτιώσεις - Μελλοντικοί στόχοι</b>	<b>71</b>
<b>Βιβλιογραφία - Ιστογραφία</b>	<b>72</b>
<b>Παραρτήματα</b>	<b>76</b>
<b>Παράρτημα Κώδικα Processing</b>	<b>76</b>
<b>Παράρτημα Εξοπλισμού</b>	<b>81</b>

## Συνοπτική Περίληψη

Αστερισμοί, πλανήτες, σύμπαν, έτη φωτός. Είναι μερικές από τις λέξεις, έννοιες που κάνουν την ανθρώπινη φαντασία να καλπάζει, που διεγείρουν τον ανθρώπινο νου και τον προκαλούν στο γοητευτικό ταξίδι της εξερεύνησης του αχανούς σύμπαντος. Παρακινούν το ανθρώπινο βλέμμα στην ενατένιση του έναστρου ουρανού. Αυτή η ενατένιση, γεννά την επιθυμία της κατανόησης του τρόπου της δημιουργίας των άστρων, των φυσικών νόμων που τα κινούν, και το πως θα ήταν εφικτό να πλησιάσει ο άνθρωπος κοντά τους.

Η επιθυμία του ανθρώπου να πλησιάσει τα αστέρια, ήταν η βασική ιδέα που οδήγησε στη σύλληψη της ιδέας της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Μέσα από την χρήση της διάδρασης, γίνεται προσπάθεια να εισαχθεί ο χρήστης στην παρατήρηση του έναστρου ουρανού και να μπορέσει να οδηγηθεί στην «ψηλάφηση» και «αναδιάταξη» των άστρων.

Αναλυτικότερα, στην εγκατάσταση που δημιουργήθηκε, ο χρήστης με τις κινήσεις του χεριού του, καλείται να μεταβάλλει το οπτικό αλλά και το ηχητικό περιεχόμενο της. Σε πραγματικό χρόνο οι κινήσεις του δαχτύλου του αντιστοιχούν στις αλλαγές της θέσης ενός αστεριού στον έναστρο ψηφιακό ουρανό αλλά και στις αλλαγές του ήχου το οποίο παράγει, στο τρισδιάστατο ηχητικό πεδίο μέσα στο χώρο. Κύριος άξονας της εργασίας ήταν ο συνδυασμός τεχνικών τρισδιάστατης προβολής ήχου στο χώρο για την απεικόνιση ενός ακριβούς «ηχοτοπίου» και χωρικής διάδρασης, με στόχο την χρήση υψηλής πιστότητας τεχνικών ήχου και εικόνας. Παράλληλα, για την αξιοποίηση του τρισδιάστατου χώρου, που αφορά το ηχητικό μέρος, έχει χρησιμοποιηθεί υλοποίηση σε λογισμικό ενός ambisonics κωδικοποιητή/ αποκωδικοποιητή, κάτι που δίνει την δυνατότητα δημιουργίας μιας αλθοφανούς εικόνας της κίνησης του ήχου στο τρισδιάστατο ηχητικό τοπίο.

## Abstract

Signs, planets, universe, light years. Those are a few words, that make the human imagination to spur, excite the human brain and challenge for the discovery of the endless universe and impel the human sight for the envisagement of the starry sky. This envisagement births the wish for understanding the way the stars were created, the way they move and how it could be possible for man to reach them.

The desire of human to be as close to the stars, was the main idea that led us in the conception of the scenario described in this thesis. Through the use of interaction, an effort is made for the user to observe the starry night and to lead him to feel and move the stars.

To be more specific, in the installation built, the user uses his gestures with aim to alter the visual as well as the audio output of the system. In real time the position of his finger correspond to the change of the position of a star in the starry sky and also in the sound it produces, within the 3d space. Basic aim of this thesis was the combination of 3d sound in space technology, for a real soundscape reproduction and interactivity in order to use high quality image and sound techniques. For the 3d space, developed for the sound part, we have used ambisonics surround sound technology, which is controlled with an open software for ambisonics encoder/decoder and gives the ability of a realistic 3d sound reproduction in space.

## 1. Εισαγωγή

Ο άνθρωπος κάνει αισθητό τον ερχομό του σ' αυτό τον κόσμο παράγοντας ήχο. Ήχοι κατακλύζουν το αισθητήριο της ακοής και είναι «συνοδοιπόροι» μας στην εγκόσμια παρουσία μας. Έχουμε διερωτηθεί ποτέ όμως για την «ουσία» του ήχου, την «υφή» του; Έχει διαστάσεις ο ήχος όπως και τα αντικείμενα στον χώρο; Και αν έχει, πόσες; Υπάρχει τρισδιάστατος ήχος και πώς μπορούμε να τον ορίσουμε; Τρισδιάστατος ήχος μπορεί να χαρακτηριστεί ο ήχος που μπορεί να φτάσει στο αισθητήριο όργανο της ακοής και από τις τρεις διαστάσεις του χώρου.

Ο ήχος ως ερέθισμα κατακλύζει το περιβάλλον αλλά κάθε ορισμένο περιβάλλον χαρακτηρίζεται από τους δικούς του χαρακτηριστικούς ήχους. Οι ήχοι ή ο συνδυασμός των ήχων που χαρακτηρίζουν ένα περιβάλλον και είναι υπεύθυνοι για την άμεση αναγνώριση του από τον άνθρωπο ορίζουν ένα ηχοτοπίο.

Η διακαής επιθυμία του ανθρώπου να ταξιδέψει στον σύμπαν, να το εξερευνήσει και να αποκρυπτογραφήσει τα μυστικά του, να πατήσει πάνω στους πλανήτες και τα αστέρια αλλά και η συνακόλουθη διαπίστωσή του για το δύσκολο έως και αδύνατον του εγχειρήματος τον οδηγεί σε ενέργειες με την ελπίδα ότι θα καταικήσει την αδυναμία του και θα κατακτήσει, έστω και νοητικά, το σύμπαν.

Αυτές οι ενέργειες πήραν διαχρονικά πολλές μορφές. Είτε ως δημιουργία μύθων για την εξήγηση της καταγωγής των πλανητών και γενικότερα του σύμπαντος. Τέτοιες μυθολογικές προσεγγίσεις ή καλύτερα προσπάθειες ερμηνείας συναντάμε όχι μόνο στην ελληνική μυθολογία (π.χ. μάχη των Τιτάνων, του Ουρανού και της Γής κ.λ.π.), αλλά και στην λογοτεχνική μυθολογία άλλων λαών (π.χ. Αιγύπτου, Ινδίας, Κίνας, Ιαπωνίας κ.λ.π.). Είτε ως μύθοι για τις προσπάθειες του ανθρώπου να καταικήσει την γήινη βαρύτητα, η οποία τον «κρατά» δέσμιό της (π.χ. μύθος του Δαίδαλου). Είτε ως δημιουργία μηχανών για να κατευθυνθεί στο ουράνιο στερέωμα είτε ως πηγή έμπνευσης στο χώρο των τεχνών (ζωγραφική, γλυπτική, μουσική κ.λ.π.). Μάλιστα αρχαίοι Έλληνες μαθηματικοί, αλλά και μεταγενέστεροί τους, πίστευαν ότι τα ουράνια σώματα παράγουν, σύμφωνα με τις κινήσεις τους, τους δικούς τους ήχους δηλαδή δημιουργούν ένα «συμπαντικό» ηχοτοπίο, μια «πλανητική μελωδία». Αυτό το διαστημικό ηχοτοπίο υπήρξε και πηγή έμπνευσης για αρκετούς μουσουργούς ή συνθέτες, τόσο από τη χορεία των μεγάλων κλασικών όσο και σύγχρονων. [1] [12]

Αυτό το εξωγήινο, διαπλανητικό, υπερκόσμιο ηχοτοπίο, το οποίο κεντρίζει την ανθρώπινη φαντασία και την προκαλεί να το συλλάβει νοητικά και να το αποδώσει με ενδοκοσμικούς ήχους υπήρξε παράγοντας επηρεασμού και για την δική μας εργασία.

Έγινε προσπάθεια στο να συνδεθεί η «ψηλάφηση» του ουράνιου στερεώματος με το διαστημικό ηχοτοπίο του πιστεύοντας ότι το ηχοτοπίο, ανακαλεί συνειρμικά παραστάσεις και βοηθά στην καλύτερη διαισθητική κατανόηση του έναστρου ουρανού.

Η δημιουργία ηχοτοπίων έχει σκοπό να δημιουργήσει εικονικά ακουστικά περιβάλλοντα και να αποδώσει αποκλειστικά και μόνο με ήχους ένα ορισμένο μέρος/τόπο.

Φυσικά στις μέρες μας δίνεται η δυνατότητα για την δημιουργία και την περιγραφή ενός χώρου με ήχο καθώς και την βέλτιστη ηχητική αναπαραγωγή του ήχου στις τρεις διαστάσεις. Παραδοσιακά η δημιουργία και αναπαραγωγή τρισδιάστατου ηχητικού πεδίου προσεγγίζεται με την κωδικοποίηση της ηχητικής πληροφορίας σε πολλαπλά κανάλια, με συστήματα κωδικοποίησης 5.1 ή περισσότερων καναλιών. Τα τελευταία χρόνια η έρευνα στον παραπάνω τομέα έχει εστιάσει στην ανάπτυξη μεθόδων ακριβούς απεικόνισης του ηχητικού πεδίου στις τρεις χωρικές διαστάσεις, όπως είναι η κωδικοποίηση τύπου ambisonics και η αμφυωτική τεχνολογία, οι οποίες καταργούν την ανάγκη κωδικοποίησης πολλών ηχητικών καναλιών. Πέραν των τυπικών συστημάτων οικιακής και επαγγελματικής τρισδιάστατης ηχητικής αναπαραγωγής (π.χ. εγκαταστάσεων οικιακού κινηματογράφου), η χρήση των τεχνικών αυτών μπορεί να πραγματοποιηθεί και σε οπτικοακουστικές εγκαταστάσεις καθώς και σε νέες μορφές διαδραστικών διεπαφών.

Στις διαδραστικές επαφές και διαδραστικές εγκαταστάσεις, ο χρήστης παίρνει έναν νέο ρόλο. Αντί να είναι παθητικός παρατηρητής, δρά και επηρεάζει το αποτέλεσμα. Αυτή η αλληλεπίδραση επιφέρει μια ριζική αλλαγή στο ρόλο του θεατή. Ο θεατής γίνεται και χρήστης και μόνο με την δική του παρουσία και ενέργεια ολοκληρώνεται και λειτουργεί το δημιουργηθέν οπτικοακουστικό σύστημα. [66]

Η αρχική ιδέα που μας ώθησε στην δημιουργία της καλλιτεχνικής αυτής εγκατάστασης ήταν πως όλοι μας, όταν παρατηρούμε τον έναστρο ουρανό, σχεδόν πάντα παρατηρούμε και επικεντρώνουμε την προσοχή μας σε ένα αστέρι το οποίο μας τραβάει περισσότερο την προσοχή από τα υπόλοιπα. Βασικός στόχος της εγκατάστασής μας ήταν ο χρήστης να μπορεί να «μετακινεί το αστέρι του στο σύμπαν».

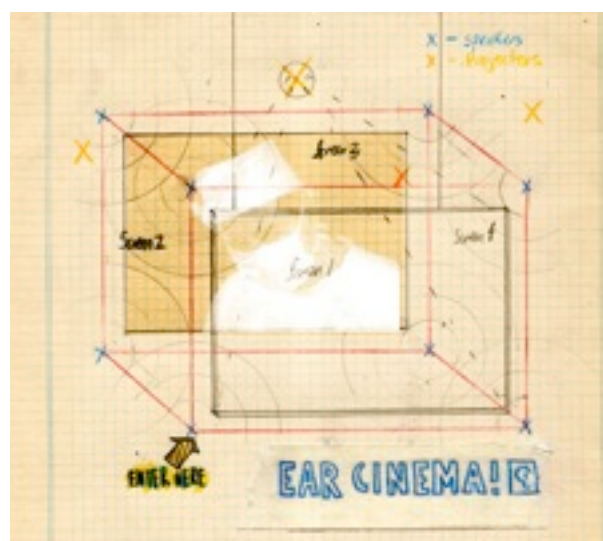
Βασιζόμενοι στην αρχική ιδέα, οι κινήσεις του δαχτύλου του χρήστη αντιστοιχούν σε πραγματικό χρόνο στις αλλαγές της θέσης ενός αστεριού στον έναστρο ψηφιακό ουρανό αλλά και στις αλλαγές του ήχου το οποίο παράγει, στο τρισδιάστατο ηχητικό πεδίο. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εγκατάσταση η οποία δημιουργήθηκε ήταν διαδραστική, επιτρέποντας στον χρήστη να είναι αυτός που μεταβάλλει το ηχητικό και οπτικό περιεχόμενο της κατά βούληση. Κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, και για την καλύτερη δυνατή προσέγγιση του σεναρίου, συνδυάστηκαν τεχνικές προβολής ήχου στο χώρο, υψηλής τεχνολογίας τεχνικές εικόνας και φυσικά χωρική διάδραση. Η διάδραση αποτέλεσε το κύριο μέσο για την σύνδεση του χρήστη με τον δημιουργό και κατ' επέκταση με το νόημα το οποίο θέλει να περάσει ο δημιουργός στο κοινό και επέτρεψε στον χρήστη να ενεργεί και να μην παραμένει απλά παθητικός θεατής. Κύριο μέλημα ήταν η δημιουργία ενός αληθοφανούς διαστημικού ηχοτοπίου και για την καλύτερη αντίληψη της κίνησης του ήχου στο τρισδιάστατο ηχητικό πεδίο χρησιμοποιήθηκε τεχνολογία προβολής τρισδιάστατου ήχου κατά ambisonics.



### 1.1 Πεδίο Έρευνας

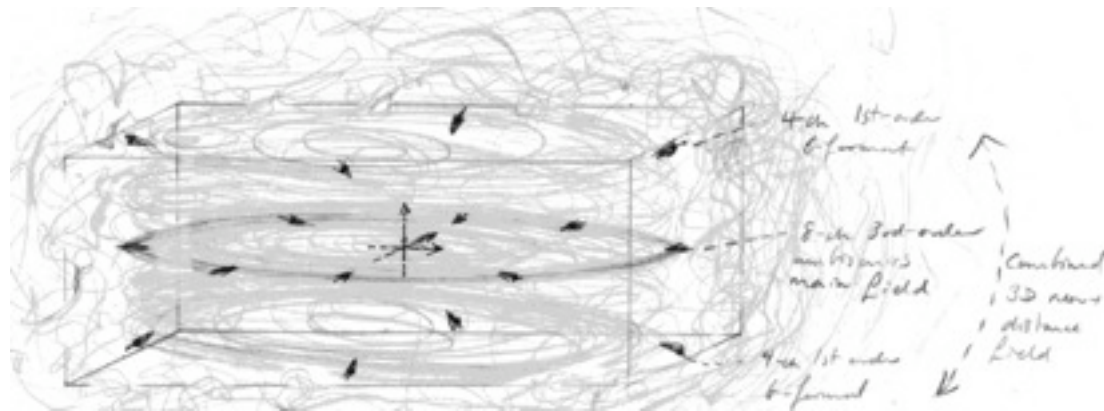
Η εργασία αυτή έχει δημιουργηθεί με σκοπό να χρησιμοποιήσει ως κύριο συστατικό την κίνηση του ήχου στο χώρο ή καλύτερα την εντύπωση(ψευδαίσθηση) που δημιουργείται στον άνθρωπο για την μεταβολή του ήχου μέσα στον τρισδιάστατο χώρο. Στο παρελθόν, καλλιτέχνες όπως οι Marcus Wendt, Vera-Maria Glahn [70], Natasha Barrett [67] και άλλοι [54],[19],[30], έχουν αξιοποιήσει τις δυνατότητες που τους δίνει η τεχνολογία τρισδιάστατης αναπαραγωγής του ήχου στο χώρο και έχουν δημιουργήσει εγκαταστάσεις με πρωτότυπα σενάρια. Εγκαταστάσεις, όπως η «orbiter» που περιγράφεται παρακάτω, αξιοποιούν και την ανταπόκριση του χρήστη (feedback) για να δημιουργήσουν το επιθυμητό εικαστικό αποτέλεσμα. Τυπικά παραδείγματα τέτοιων εγκαταστάσεων αποτελούν οι εγκαταστάσεις που περιγράφονται παρακάτω. Εντούτοις πηγή έμπνευσης συνιστά η τελευταία από τις τρεις εγκαταστάσεις και αυτό διότι έχει αντίστοιχο σενάριο με την εγκατάσταση που περιγράφεται σε αυτή την εργασία. Επιπρόσθετα θα πρέπει να αναφερθεί πως ενώ χρησιμοποιεί πολυκάναλο ήχο για την καλύτερη αντίληψη του περιβάλλοντος που θέλουν να επιτύχουν οι καλλιτέχνες, δεν χρησιμοποιείται τεχνολογία ambisonics.

Η πολύπλευρη εγκατάσταση «Ear Cinema», αναπτύχθηκε στο Institute of contemporary arts το 2007 [54], χρησιμοποιεί την τεχνική ambisonics και συνδυάζει animation, βίντεο, ήχο και ζωντανή εκτέλεση μέσα σε έναν κύβο από τέσσερις οθόνες. Η αφήγηση συνοδεύεται από τρομακτικούς στιγμιαίους ήχους, μουσική και ηχητικά εφέ καθώς σκοπεύει στο να εκθέσει την ιστορία ενός μικρού κοριτσιού η οποία εμφανίζεται με περίεργο τρόπο μέσα σε ένα νοσοκομείο. Με την χρήση της τεχνολογίας ambisonic, το τρισδιάστατο ηχητικό περιβάλλον επιτρέπει την προβολή του ήχου σε κάθε τμήμα του κύβου, δημιουργώντας έτσι μια πλήρη ακουστική εικόνα και μια πραγματική ακουστική εμπειρία για το κοινό.



Εικόνα 1: Σχεδιασμός λειτουργίας από την εγκατάσταση Ear Cinema.

Άλλη μια ενδιαφέρουσα εγκατάσταση, η οποία αναπτύχθηκε σε δυο εκδόσεις, μια ως ηχητική εγκατάσταση και μια ως συναυλία, ονομάζεται «Microclimates III-VI» [67] και δημιουργός της είναι η Natasha Barrett. Κάθε μια από τις δυο παραλλαγές, ζωντανεύει στο μυαλό την εμπειρία του να βρίσκεται κανείς σε τέσσερις δυτικές τοποθεσίες της Νορβηγίας, κατά την περίοδο 20-27 Απριλίου 2007. Το περιβάλλον της εγκατάστασης χαρακτηρίζεται από σχεδόν απόλυτο σκοτάδι και αυτό για να μπορεί ο επισκέπτης να επικεντρωθεί στις μικρές λεπτομέρειες που στοιχειοθετούν τον ήχο. Μέσα στην εγκατάσταση δημιουργείται ένα τρισδιάστατο ηχητικό πεδίο χρησιμοποιώντας τρίτης διάταξης ambisonics, η οποία λειτουργεί με 16 ηχεία, εκ των οποίων 8 ηχεία σε ένα κεντρικό δαχτυλίδι, 4 σε χαμηλότερο επίπεδο και 4 σε υψηλότερο.



Εικόνα 2: Σχεδιασμός λειτουργίας από την εγκατάσταση Microclimates III-VI.

Η διαδραστική εγκατάσταση «orbiter» [70] αναπτύχθηκε από τον Marcus Wendt και από την Vera-Maria Glahn. Μάλιστα επιτρέπει στον επισκέπτη να ξαπλώσει κάτω και να χαλαρώσει, βλέποντας τον ουράνιο θόλο από πάνω του. Με μια μικρή κίνηση του χεριού, απλά δείχνοντας με το δάχτυλο ψηλά, ο επισκέπτης μπορεί να εισάγει καινούργια αστέρια σε τροχιά η οποία είναι μοναδική για το καθένα καθώς περιέχει οπτικά και ηχητικά χαρακτηριστικά. Ο ήχος δημιουργείται κάθε φορά που ένα καινούργιο αστέρι τοποθετηθεί σε τροχιά, συγκεκριμένα σε ομόκεντρους κύκλους, παίζοντας μεγαλύτερους τόνους στις εξωτερικές τροχιές, και χαμηλότερους μπάσους τόνους όσο πλησιάζει στο κέντρο. Σημειώνεται ότι όσο περισσότερο αφήνει να μεγαλώσει ένα αστέρι πριν βγάλει το χέρι του, για να το εισάγει σε μια νέα τροχιά, τόσο αυξάνεται η ένταση του. Όπως οι τροχιές των αστεριών που δημιουργούνται οπτικά πάνω από τον χρήστη, έτσι και ο ήχος περιτριγυρίζει τον χρήστη μέσα στο δωμάτιο χρησιμοποιώντας τέσσερα ηχεία, τα οποία συνοδεύονται από ένα subwoofer κάτω από το κάθισμα του χρήστη, με στόχο να δημιουργήσουν μια πιο φυσική αίσθηση. Υπάρχουν βέβαια διαφορετικές εκδόσεις του «orbiter» οι οποίες συντελούνται από διαφορετικές σκηνές με διαφορετικά γραφικά, ήχους και συμπεριφορά. Έτσι προέκυψε η ανάγκη

χρήσης τρισδιάστατου ήχου, στον χώρο της εγκατάστασης, για να μπορέσει να αποδοθεί ορθά η ιδέα του καλλιτέχνη και να νιώσει ο θεατής πως εντάσσεται μέσα στον χώρο που ο ίδιος δημιουργεί.



Εικόνα 3: Περιβάλλον εγκατάστασης orbiter.

## 1.2 Στόχος της Εργασίας

Η ανθρώπινη επιθυμία για να φτάσει κάποιος στο διάστημα ή να βρεθεί στα αστέρια υπάρχει από τους πρώτους πολιτισμούς. Πρώτα παραδείγματα στα οποία ο άνθρωπος προσπαθεί να φτάσει ψηλά και να φύγει από τα όρια της γης μπορούν να θεωρηθούν, στην αρχαία Ελληνική μυθολογία η ιστορία του Ίκαρου [40] που προσπαθεί να φτάσει όσο πιο ψηλά μπορεί με τα κέρινα φτερά του, τα οποία όμως λιώνουν και πέφτει. Στην Ινδική μυθολογία κάποιο αντίστοιχο παράδειγμα ημίθεου, «ο Jatayu» [51], καθώς και στην Ιαπωνική παράδοση ένα παραμύθι, το «The tale of the Bamboo Cutter»[41], Αυτό αναφέρεται σε μια πριγκίπισσα που προέρχεται από το φεγγάρι, ζει σ'ένα μπαμπού και επισκέπτεται τη γη. Κατά τη παραμονή της στη γη την ερωτεύεται ο αυτοκράτορας της Ιαπωνίας, ενώ όταν εκείνη επιστρέφει, εκείνος προσπαθεί από την πιο ψηλή κορυφή να ανάψει καπνό για να επικοινωνήσει μαζί της στο φεγγάρι.

Η φύση, η περιέργεια για το άγνωστο, η τελειότητα των πλανητών, οι πλανητικές τροχιές, τα μαθηματικά, η γεωμετρία, το φως έχουν ενθουσιάσει και θα συνεχίσουν να απασχολούν επιστήμονες και καλλιτέχνες, διεγείροντας την φαντασία και θέτοντας συχνά τις προϋποθέσεις για τη δημιουργία καλλιτεχνικού έργου με ισχυρό φιλοσοφικό αλλά και συναισθηματικό υπόβαθρο.

Τυπικά παραδείγματα καλλιτεχνικών δημιουργιών κατά καιρούς μπορεί κανείς να συναντήσει στα κόμικ, όπως ενδεικτικά είναι ο ήρωας Flash Gordon [42], ο οποίος δημιουργεί ένα διαστημικό όχημα για να εξερευνησει στο διάστημα την προέλευση των μετεωριτών που βομβάρδιζαν τη γη. Επίσης κινηματογραφικές ταινίες όπως το «Ταξίδι στο Φεγγάρι» [43] του George Mellies (βασισμένο στην νουβέλα του Ιούλιου Βερν «From the earth to the Moon» και του H.G.Wells «The first men in the moon»), το «Destination Moon» [44] του George Pal, το «2001: A Space Odyssey» [45] του Stanley Kubrick, το «Solaris» [46] από τον Andrei Tarkovsky καθώς και το «Sunshine»[47] του Danny Boyle [48], έχουν βασιστεί στην προσπάθεια του ανθρώπου να ταξιδέψει στο διάστημα, και να προσεγγίσει το άγνωστο. Επιπλέον, ενδιαφέρον έχουν οι μουσικές συνθέσεις/κομμάτια που έχουν γραφτεί και αναφέρονται στους πλανήτες και στο διάστημα. Κομμάτια κλασικής μουσικής όπως του Μότσαρτ η 41η Συμφωνία σε Ντο Μείζονα (K.551) με τίτλο «Δίας» [59], του Berners το Triumph of Neptune, του Honhaness, Saturn Op. 243 [69] και άλλα [68]. Μουσικά κομμάτια ατμοσφαιρικής/διαστημικής μουσικής του Steve Roach [73], αλλά και το πρόσφατο άλμπουμ με τίτλο «Music of the Spheres» [72] από τον Patrick Nunn και την Thalia Myers.

Επιστήμονες, όπως ο Leonardo Da Vinci που ασχολήθηκε με την δημιουργία μηχανής για να πετάξει ο άνθρωπος, οι αδερφοί Wright [49], που κατάφεραν να δημιουργήσουν το πρώτο μηχανοκίνητο αεροπλάνο, μέχρι και τους σύγχρονους στις μέρες μας αεροναυπηγούς [50] που κατασκευάζουν αεροσκάφη και διαστημικά λεωφορεία, αλλά και οι αστροφυσικοί [36] οι οποίοι μελετούν τους πλανήτες,

τις τροχιές τους, τους γαλαξίες κλπ, προσπαθούν να δημιουργήσουν ένα σύνδεσμο ανάμεσα στον άνθρωπο και στην επιθυμία του να βρεθεί στο διάστημα.

Ορμώμενοι από την ιδέα πως όλοι μας, όταν ξαπλώνουμε και παρατηρούμε τον έναστρο ουρανό, σχεδόν πάντα επικεντρωνόμαστε σε ένα αστέρι το οποίο μας κάνει εντύπωση και το παρατηρούμε εντονότερα από τα υπόλοιπα, προέκυψε το σενάριο της εγκατάστασης που μπορεί να συνοψισθεί με την φράση «*μετακίνησε το αστέρι σου στο σύμπαν*». Η συνολική ιδέα εμπλουτίστηκε και από στοιχεία που αφορούν τον τρόπο που οι αρχαίοι Έλληνες (μαθητές του Πυθαγόρα) [1], αλλά και αργότερα ο αστρονόμος Kepler [12], αντιστοιχούσαν ήχους, μελωδίες στις κινήσεις/τροχιές των πλανητών του σύμπαντος. Πιο συγκεκριμένα, πίστευαν ότι καθώς τα ουράνια σώματα περιστρέφονται με μεγάλες ταχύτητες παράγεται ένας θόρυβος από τις κινήσεις τους. Κάθε ουράνιο σώμα παράγει βόμβο σε διαφορετικό τόνο, ανάλογα με την απόσταση του από το κέντρο (το κέντρο του Σύμπαντος ήταν μια διάπυρη ύλη, γύρω από την οποία περιστρέφεται η Γη, ο Ήλιος, το φεγγάρι και οι πλανήτες σε ομόκεντρους κύκλους). Οι αποστάσεις μεταξύ των ουρανίων σωμάτων ρυθμίζονται από τις ίδιες αναλογίες που υπάρχουν μεταξύ των μουσικών διαστημάτων και έτσι όλα τα ουράνια σώματα μαζί παράγουν μια ουράνια μελωδία.

Στηριζόμενοι στο παραπάνω σενάριο, η εγκατάσταση παρέχει στον επισκέπτη την δυνατότητα να νιώσει ελεύθερος, να χαλαρώσει και να έχει τον πλήρη έλεγχο για την μεταβολή του οπτικού μέρους αλλά και του ηχητικού πεδίου γύρω του. Έτσι ο χρήστης μπορεί να δείξει το αστέρι του, δημιουργώντας έναν εικονικό σύνδεσμο μεταξύ αυτού και του αστεριού και να το μετακινήσει στον χώρο με τον δείκτη του χεριού του, υποδεικνύοντας την κίνηση που θα κάνει στον εικονικό ουρανό. Για την καλύτερη αίσθηση/ αντίληψη της κίνησης του αστεριού και του ήχου που αυτό παράγει στο τρισδιάστατο ηχητικό πεδίο, απαιτείται η χρήση τεχνικής προβολής ήχου στο χώρο. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, στα πλαίσια της εργασίας, αυτό έχει πραγματοποιηθεί με χρήση τεχνικής κωδικοποίησης κατά ambisonics, η οποία έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στην τέχνη και επιλέχτηκε να εφαρμοστεί και στην εγκατάσταση που υλοποιήθηκε, και αυτό διότι σε σύγκριση με οποιοδήποτε άλλο σύστημα ή διάταξη προβολής ήχου στο χώρο, είναι ικανή να επιτύχει ένα ρεαλιστικό τρισδιάστατο ηχητικό πεδίο σε ένα σχετικά μεγάλο πεδίο χώρου.

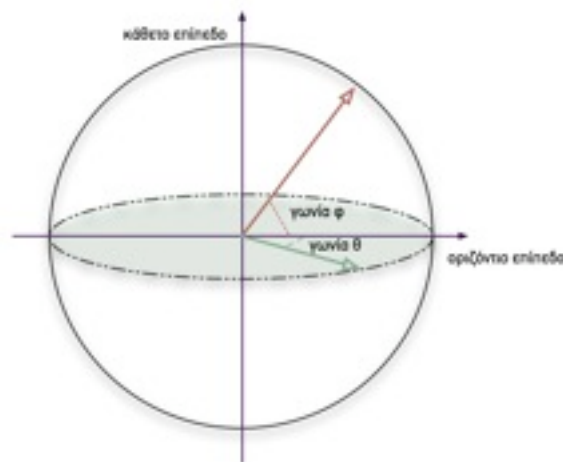
## 2. Θεωρία

### 2.1 Αντίληψη

#### 2.1.1. Τρισδιάστατος ήχος και αντίληψη.

Ο άνθρωπος από την φύση του έχει την δυνατότητα να εντοπίζει τις ηχητικές πηγές μέσα σε έναν χώρο, και να μπορεί να προσδιορίσει την θέση τους σε σχέση με την δική του. Η δυνατότητα αυτή σχετίζεται με τον προσανατολισμό του.

Τρισδιάστατος ήχος χαρακτηρίζεται ο ήχος που μπορεί να προέλθει από οποιαδήποτε αζιμούθια και κατακόρυφη γωνία (Εικόνα 4) ή με άλλα λόγια ο ήχος που μπορεί να φτάσει στον ακροατή και από τις τρεις διαστάσεις. Το σύστημα ακοής του ανθρώπου έχει την δυνατότητα αξιολογώντας ανεξάρτητα τα σήματα το ήχου που προσπίπτουν σε κάθε αυτί, αλλά και υπολογίζοντας είτε τις χρονικές είτε σε ένταση διαφορές να αντιλαμβάνεται από που προέρχεται ο ήχος καθώς και την απόσταση μεταξύ πηγής και δέκτη. [2]



Εικόνα 4: Αζιμούθιο και κατακόρυφο επίπεδο με αναφορά στις γωνίες  $\theta$  και  $\varphi$  αντίστοιχα.

#### 2.1.2. Η ανατομία του αυτιού

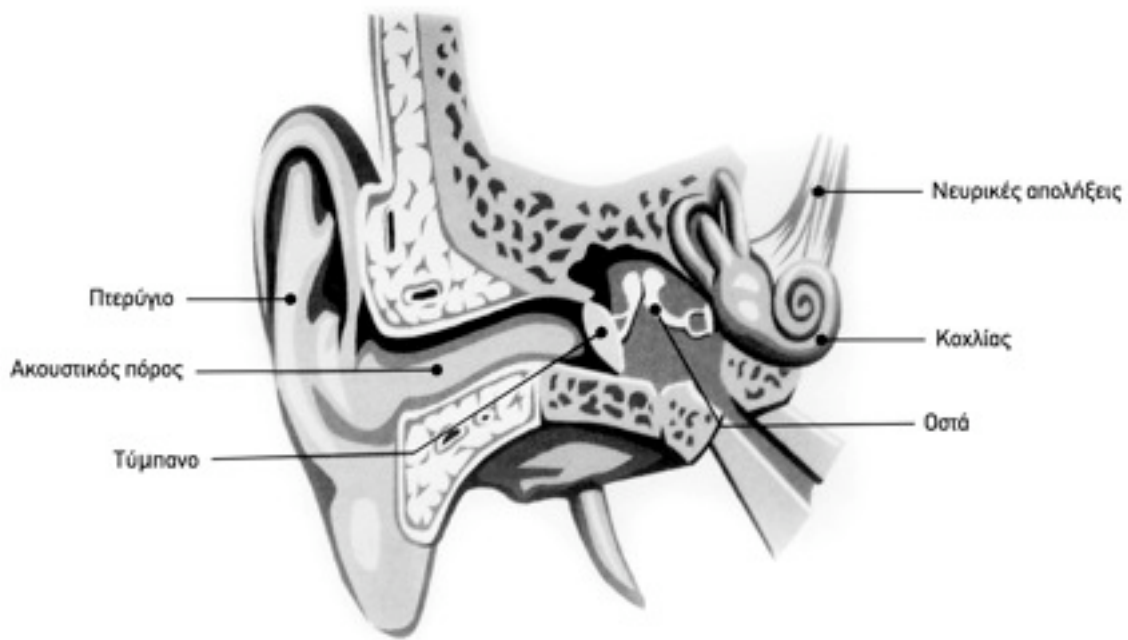
Το αισθητήριο όργανο της ακοής για τον άνθρωπο είναι το αυτί. Το αυτί είναι πιο ευαίσθητο σε συχνότητες κοντά στις συχνότητες της ανθρώπινης ομιλίας και όχι σε όλες, όπως θα ήταν ένα καλό μικρόφωνο μεμβράνης.

Τα τρία τμήματα που απαρτίζουν το ανθρώπινο ακουστικό σύστημα είναι το έξω αυτί, το μέσο αυτί και το έσω αυτί. Το έξω αυτί αποτελείται από το πτερύγιο(κόγχη) και από το ακουστικό κανάλι (ακουστικός πόρος). Το ακουστικό κανάλι τελειώνει στην ακουστική μεμβράνη ή τύμπανο. Έχει μήκος περίπου 6.5

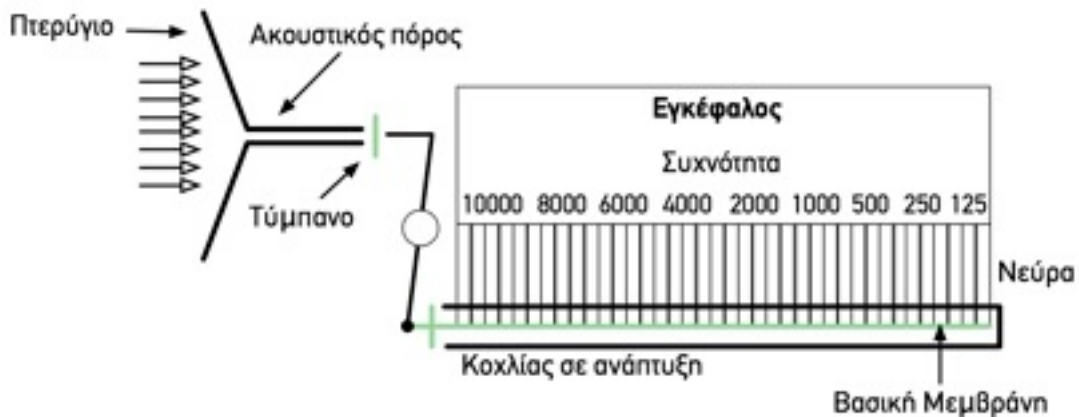
cm και συμπεριφέρεται σαν ένας ηχητικός σωλήνας με συχνότητα συντονισμού 3000Hz. Η καμπύλη συντονισμού είναι αρκετά ευρεία και σε ορισμένες συχνότητες υπάρχει μια αύξηση της ηχητικής πίεσης κατά 10dB στο τύμπανο.

Το πτερύγιο είναι υπεύθυνο για την συγκέντρωση και την μεταφορά του ηχητικού κύματος στον ακουστικό πόρο. Ο μηχανισμός του εξωτερικού αυτιού προσαρμόζει την μηχανική σύνθετη αντίσταση του τυμπάνου στην ειδική σύνθετη αντίσταση του αέρα. Η προσαρμογή αυτή είναι πολύ καλή στη συχνότητα των 800Hz, καθώς και σε μεγαλύτερες συχνότητες αλλά είναι μικρή σε συχνότητες κάτω των 400Hz.

Το μέσο αυτί, το οποίο ξεκινάει με το τύμπανο, είναι ένας χώρος γεμάτος αέρα που διασχίζεται από τα τρία μικρά οστά που ονομάζονται σφύρα, άκμονας και αναβολέας, που είναι υπεύθυνα για την μηχανική μεταφορά του ερεθίσματος στο εσωτερικό του αυτιού. Η σφύρα είναι κολλημένη στο τύμπανο και ο αναβολέας κολλημένος στο ελλειψοειδές παράθυρο του έσω αυτιού. Όλα μαζί αυτά τα τρία οστά σχηματίζουν μια μηχανική σύνδεση μοχλού μεταξύ του τυμπάνου το οποίο ενεργοποιείται από τον αέρα και του κοχλία του έσω αυτιού ο οποίος είναι γεμάτος υγρό. Συνδέονται μεταξύ τους με μυϊκούς ιστούς, οι οποίοι σε ισχυρά ερεθίσματα περιορίζουν το πλάτος της κίνησης προστατεύοντας έτσι το αυτί. Στον κοχλία γίνεται η ανάλυση του ήχου. Κατά μήκος του κοχλία υπάρχει μια μεμβράνη, η βασική μεμβράνη που φέρει 23000-24000 νευρικές απολήξεις με την μορφή τριχιδίων (όργανο του Corti). Το κάθε τριχίδιο της μεμβράνης του κοχλία συντονίζεται σε μια συγκεκριμένη συχνότητα ενώ όλη η μεμβράνη ταλαντώνεται και το ερέθισμα, που είναι μια πιεζοηλεκτρική τάση, μεταφέρεται μέσω νεύρων στον εγκέφαλο, όπου προκαλείται το ανάλογο αίσθημα. Αλλοίωση του ερεθίσματος που φτάνει στον εγκέφαλο προκαλείται αν κάποιο όργανο που μεταφέρει το ηχητικό ερέθισμα πάθει κάποια βλάβη. Το έσω αυτί τελειώνει στο ακουστικό νεύρο, το οποίο στέλνει ερεθίσματα στον εγκέφαλο. Γενικότερα η αναγνώριση της συχνότητας γίνεται από το συντονισμό των τριχιδίων, ενώ η αναγνώριση της έντασης από το πλάτος ταλάντωσης της μεμβράνης. [5] [9]



Εικόνα 5: Ανατομία ανθρώπινου αυτιού.



Εικόνα 6: Λειτουργία ανθρώπινου αυτιού.

### 2.1.3. Προσδιορισμός κατεύθυνσης πηγής

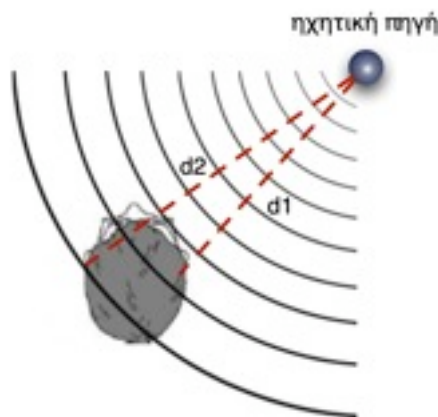
Σπουδαία ιδιότητα του αυτιού είναι η ικανότητα του να ξεχωρίζει την κατεύθυνση από την οποία προέρχεται ο ήχος και συνεπώς να προσδιορίζει τη θέση των ηχητικών πηγών στον χώρο. Τον καθοριστικό ρόλο για να επιτευχθεί αυτό, παίζει το πτερύγιο του αυτιού. Παλαιότερα θεωρούσαν πως είναι ένα υποτυπώδες όργανο ή μια απλή συσκευή συλλογής ήχων. Ωστόσο το πτερύγιο εκτελεί μια πολύ σημαντική λειτουργία, διαφοροποιεί τους ήχους που προέρχονται από μπροστά σε σχέση με τους ήχους που προέρχονται από πίσω και γενικότερα δίνει κατευθυντικές πληροφορίες σε όλους τους ήχους



που συλλαμβάνονται από το αυτί. Πρακτικά στο περιεχόμενο του ήχου προστίθενται πληροφορίες σχετικές με την πηγή, ώστε η τελική ακουστική πίεση στο τύμπανο να δίνει την δυνατότητα μέσω των ακουστικών νεύρων στον εγκέφαλο, να ερμηνεύσει την κατεύθυνση του ήχου αλλά και το περιεχόμενο του.

Επειδή η απόσταση του κάθε αυτιού από την πηγή είναι διαφορετική, υπάρχει α) διαφορά στάθμης του ήχου που προσπίπτει στο αυτί, λόγω του ότι το κύμα φθάνει σε αυτό με μειωμένη στάθμη, και β) διαφορά στον χρόνο άφιξης(διαφορά φάσης) του. Τρίτος και κύριος λόγος, για τον προσδιορισμό της θέσης της πηγής, σχετίζεται με την διαφορετική γωνία που φθάνουν τα ηχητικά κύματα στους ακουστικούς πόρους.

Αναλυτικότερα εξαιτίας της διαφοράς στην απόσταση από την πηγή, το αυτί που βρίσκεται πιο κοντά στην πηγή δέχεται μεγαλύτερη στάθμη ηχητικής πίεσης (Εικόνα 7). Αυτό συμβαίνει διότι οι αποστάσεις  $d1$  και  $d2$ , όπως φαίνεται και στην εικόνα είναι διαφορετικές και συγκεκριμένα το αυτί που απέχει την μεγαλύτερη απόσταση από την πηγή (απόσταση  $d2$ ) θα λάβει μειωμένη στάθμη του ήχου, λόγω της εξασθένησης των ηχητικών κυμάτων, αλλά και λόγω της ηχητικής επισκίασης που προκαλεί το κεφάλι. Στον εντοπισμό του ήχου στον χώρο υπάρχει ένα τυφλό σημείο στο οποίο ο ακροατής δεν μπορεί να πεί αν οι ήχοι έρχονται κατ' ευθείαν από εμπρός ή κατ' ευθείαν από πίσω και αυτό διότι η ένταση του ήχου που φτάνει σε κάθε αυτί είναι η ίδια και με την ίδια φάση.



Εικόνα 7: Απεικόνιση διαφορών στις αποστάσεις των αυτιών, κατά την σύλληψη του ήχου από την ηχητική πηγή.

Έτσι δύο είναι οι παράγοντες που καθορίζουν την αντίληψη της κατευθυντικότητας του ήχου στον χώρο. Ο πρώτος παράγοντας λειτουργεί για συχνότητες μέχρι και 1000Hz, όπου κυριαρχεί το χρονικό φαινόμενο της φάσης και είναι γνωστός ως Interaural Time Difference (ITD). Αυτό συμβαίνει όταν οι ήχοι φτάνουν στα αυτιά σε διαφορετικούς χρόνους (διαφορά φάσης). Γι αυτό τον λόγο, πέρα από Interaural Time Difference (ITD) ονομάζεται και Interaural Phase Difference (IPD). Ο δεύτερος παράγοντας είναι για

ήχους με συχνοτικό περιεχόμενο κυρίως άνω των 1000Hz, όπου κυριαρχεί το φαινόμενο της έντασης και ονομάζεται Interaural Level Difference (ILD). Αυτό είναι αποτέλεσμα της διαφορετικής άφιξης του ήχου στα δύο αυτιά. Η επιπλέον απόσταση που απαιτείται για να φτάσει ο ήχος στο μακρύτερο αυτί προκαλεί πτώση της ηχητικής στάθμης. Τα κριτήρια ITD και ILD είναι χρήσιμα για τον εντοπισμό ηχητικών πηγών μόνο στο οριζόντιο επίπεδο. Για τον προσδιορισμό της προέλευσης του ήχου στο κάθετο επίπεδο, χρησιμοποιείται ο παράγοντας των Head Related Transfer Function (HRTF), ο οποίος θα εξηγηθεί στην επόμενη παράγραφο.

#### 2.1.4. Head Related Transfer Functions (HRTF's)

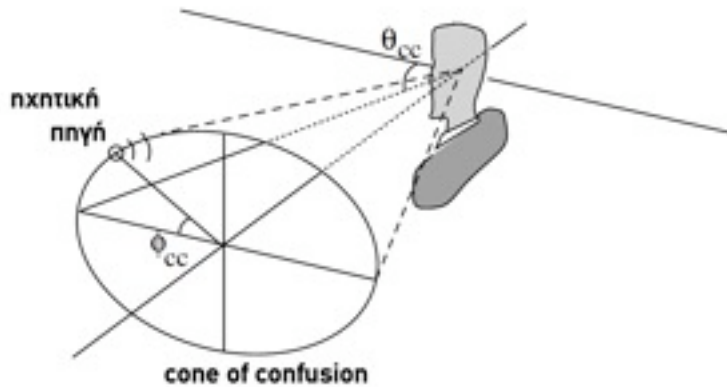
Οι HRTF είναι συναρτήσεις οι οποίες μοντελοποιούν παραμετρικά τον τρόπο με τον οποίο καταγράφεται ένα ηχητικό σήμα από τα αυτιά μας, ως συνάρτηση της θέσης μεταξύ ηχητικής πηγής και δέκτη (Εικόνα 10). Ο όρος αμφωωτικές HRTF (Binaural HRTF) αναφέρεται σε HRTF και των δύο αυτιών, και μπορεί να οριστεί ως η ένταση του ήχου η οποία εξαρτάται από την συχνότητα και τις χρονικές καθυστερήσεις που οφείλονται στο πολύπλοκο σχήμα του πτερυγίου, αλλά και στις ανακλάσεις από τους ώμους. Οι πτυχές του πτερυγίου επιφέρουν στον ήχο μικρές χρονικές καθυστερήσεις της τάξης των 0-300 μsec, οι οποίες τροποποιούν σημαντικά το φασματικό περιεχόμενο του ήχου που φτάνει στο εσωτερικό αφτί, σε σχέση με αυτόν που θα λάμβανε ένα παντοκατευθυντικό μικρόφωνο στην ίδια απόσταση. Η ασυμμετρία του πτερυγίου επιφέρει στον ήχο μικρές χρονικές καθυστερήσεις, συντονισμούς και διαθλάσεις του ήχου, που έχουν σαν αποτέλεσμα την αλλαγή του συχνοτικού του περιεχομένου σαν συνάρτηση της θέσης της πηγής του ήχου και το κεφάλι.

Η χρήση των φασματικών τροποποιήσεων που επιφέρουν οι HRTF έχουν χαρακτηριστεί ως το βασικό συστατικό για ένα σύστημα τρισδιάστατου ήχου, είτε για απευθείας μετρήσεις, είτε για μοντελοποίηση. Για την δημιουργία ενός ηχητικού χωρικού στοιχείου με μεγάλη ακρίβεια, πρέπει να τροποποιηθεί το φάσμα του ήχου με τέτοιο τρόπο ώστε όταν αυτό φτάσει στο τύμπανο να πλησιάζει όσο το δυνατό περισσότερο τον ήχο που θα έφτανε στο τύμπανο, κάτω από πραγματικές συνθήκες ακρόασης. Επίσης ο όρος HRTF μπορεί να βρεθεί και ως Anatomical Transfer Function (ATF). [38]

Μετά από πειράματα σε ανθρώπους έχει βρεθεί ότι οι HRTF ποικίλουν και είναι ξεχωριστές σε κάθε άτομο και κάθε αυτί καθώς επηρεάζεται κυρίως από το σχήμα και το μέγεθος του εξωτερικού αυτιού (πτερύγιο), ενώ λιγότερο από το σχήμα του κεφαλιού, και του επάνω μέρους του σώματος. Κάθε ανθρώπινο αυτί έχει μια μοναδική συχνοτική απόκριση. Ανάλογα βέβαια με τα κριτήρια που τίθενται για μια εφαρμογή, μπορεί να είναι χρήσιμος ο επιπρόσθετος προσδιορισμός κάποιων χαρακτηριστικών του σώματος πέρα από το πτερύγιο, τα οποία θα συνυπολογιστούν για την εκτίμηση των HRTF.

Οι HRTF χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της προέλευσης του ήχου στο κατακόρυφο και στο οριζόντιο επίπεδο. Από ψυχοακουστικής άποψης, ο κύριος ρόλος των HRTF είναι να αποσαφηνιστεί κατά

πόσο ο ήχος προέρχεται από μπροστά ή πίσω και πάνω ή κάτω. Ένα παράδειγμα είναι όταν δυο ηχητικές πηγές που βρίσκονται στο ίδιο ύψος, και σε αντίθετο αζιμουθιακό έχουν τις ίδιες ITD και ILD, φαινόμενο Cone of Confusion (Εικόνα 8). Επομένως, οι HRTF χρησιμοποιούνται για να διευκρινίσουν την θέση της πηγής του ήχου. [17]

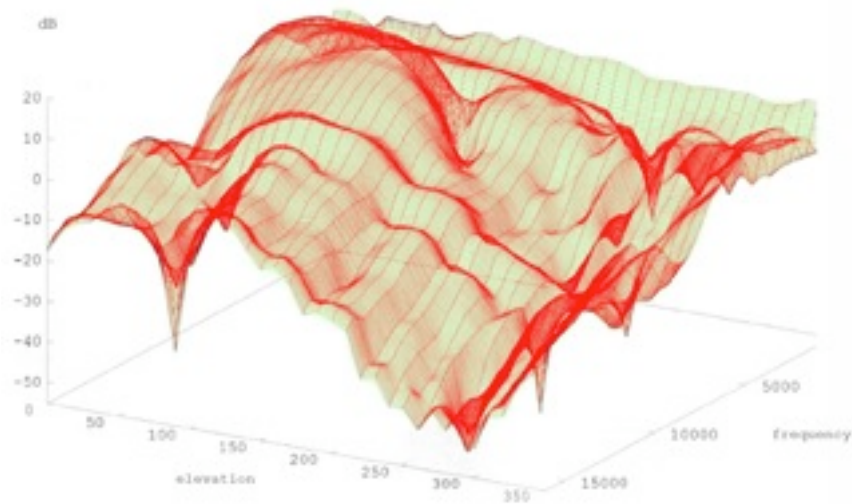


Εικόνα 8: Κώνος σύγχυσης κατεύθυνσης ηχητικής πηγής

Στην υλοποίηση 3D συστημάτων το ιδανικό θα ήταν ανάλογα με τον χρήστη, να γινόταν χρήση της δικής του εξατομικευμένης βιβλιοθήκης HRTF. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως χρησιμοποιούνται γενικές HRTF (Nonindividualized HRTF) που μπορεί να προέρχονται από μέσες τιμές προσωπικών HRTF ή χρησιμοποιείται μια ψευδοκεφαλή/dummy head (Εικόνα 9) για τις μετρήσεις, πράγμα που μπορεί να μειώσει τα μέγιστα και ελάχιστα του φάσματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως χρησιμοποιούνται θεωρητικές HRTF – που έχουν υπολογιστεί είτε φυσικά είτε ψυχοακουστικά- οι οποίες γενικεύονται σε ένα μεγάλο αριθμό πληθυσμού.



Εικόνα 9: Ψευδοκεφαλή - Dummy Head.



Εικόνα 10: Τυπική μορφή HRTF's.

## 2.2 Τεχνολογία

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση των τεχνολογιών και των συστημάτων που χρησιμοποιούνται για την αναπαραγωγή ήχου, από το απλό μονοφωνικό σύστημα έως και τα μεγάλα πολυκάναλα συστήματα, καθώς και των τεχνολογιών κωδικοποίησης που χρησιμοποιούνται για την σωστή αναπαραγωγή του ήχου από τα συστήματα αυτά.

### 2.2.1 Συστήματα Ηχητικής Αναπαραγωγής

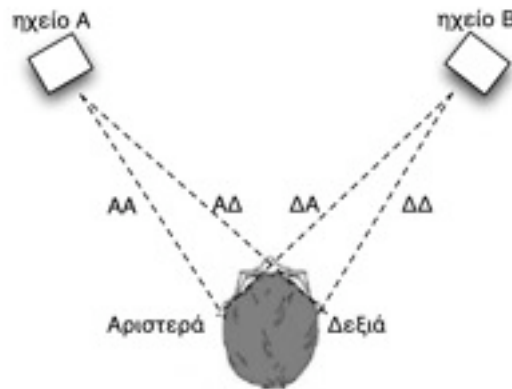
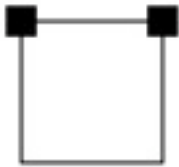
#### Σύστημα αναπαραγωγής 1.0 - Μονοφωνία

Η αναπαραγωγή του ήχου από ένα μόνο κανάλι λέγεται Μονοφωνική ή Monaural. Τυπικά για την ηχογράφηση και αναπαραγωγή του ήχου χρησιμοποιείται ένα μικρόφωνο και στη συνέχεια ένα ηχείο. Σε περίπτωση αναπαραγωγής μονοφωνικού ήχου από δύο ηχεία (ή ακουστικά) και τα δυο τροφοδοτούνται με το ίδιο σήμα. Ο μονοφωνικός ήχος, αν και έχει ξεπεραστεί, εφαρμόζεται στις μέρες μας στις ραδιοτηλεπικοινωνίες και στις τηλεπικοινωνίες.



### Σύστημα αναπαραγωγής 2.0 - Στερεοφωνία

Ο στερεοφωνικός ήχος ή αλλιώς Stereo, αναφέρεται στην αναπαραγωγή ήχου από δύο ή περισσότερα ανεξάρτητα ηχητικά κανάλια (Αριστερό-Left και Δεξί-Right) μέσω συμμετρικής συστοιχίας ηχείων, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργείται η εντύπωση πως ο ήχος ακούγεται από διάφορες κατευθύνσεις, όπως ακριβώς συμβαίνει και στη φυσική ακοή. Ο ακροατής λαμβάνει ήχο, μέσω τεσσάρων διαφορετικών διαδρόμων (Εικόνα 11). Τα σήματα αυτά διαφέρουν μεταξύ τους σε ένταση και φάση, δίνοντας με αυτόν τον τρόπο μια στερεοφωνική αντίληψη - ψευδαίσθηση, σχετικά με την τοποθέτηση των ηχητικών πηγών στο χώρο (τρισδιάστατη αναπαράσταση της ηχητικής εικόνας). Βασική προϋπόθεση για τη δημιουργία της ψευδαίσθησης του τρισδιάστατου ήχου, είναι ότι η αρχική ηχογράφιση έγινε τουλάχιστον από δύο διαφορετικά μικρόφωνα, κατάλληλα τοποθετημένα στον χώρο [4]. Ωστόσο συχνά επικρατεί σύγχυση με τον μονοφωνικό ήχο, αφού ο ήχος αναπαράγεται από ένα μόνο κανάλι.

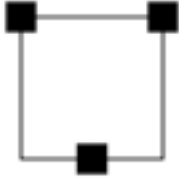


Εικόνα 11: Στερεοφωνική αναπαραγωγή ήχου.

### Σύστημα αναπαραγωγής 3.0 - Channel Surround (analog matrixed: Dolby Surround)

Σε αυτή την διάταξη, ο ήχος παράγεται για τρία ηχεία από μια πηγή που έχει κωδικοποιηθεί για δύο κανάλια. Έτσι υπάρχουν δύο κανάλια ηχείων στο εμπρόσθιο μέρος, αριστερά (Left - L) και δεξιά (Right - R) και ένα ή περισσότερα ηχεία για surround (S) στο πίσω μέρος. Συνολικά χρησιμοποιούνται τρία πανομοιότυπα ηχεία, τα οποία τοποθετούνται όπως αναφέρθηκε, γύρω από μια κεντρική θέση

ακρόασης. Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν δύο ηχεία πίσω από τον ακροατή, θα πρέπει να βρίσκονται πάνω από το ύψος των αυτιών, και ελάχιστα πίσω από την περιοχή ακρόασης ενώ χρειάζεται να βρίσκεται σε αντιδιαμετρική θέση.



Σύστημα αναπαραγωγής 4.0 - Channel Surround (analog matrixed/discrete: Quadraphonic)

Το 4.0 surround, αναπαράγει σήμα για τέσσερα ηχεία από κωδικοποιημένη πηγή δύο ή τεσσάρων καναλιών. Συγκεκριμένα η διάταξη των ηχείων είναι: δυο ηχεία μπροστά, αριστερά (Left - L) και δεξιά (Right - R) και δύο ηχεία για surround στο πίσω μέρος, αριστερό surround (Left Surround - LS) και δεξιό surround (Right Surround - RS). Αναβαθμισμένες εκδόσεις υποστηρίζουν και ένα επιπρόσθετο κανάλι χαμηλών συχνοτήτων (Low Frequency Effects - LFE).

Το LFE είναι ένα κανάλι που χρησιμοποιείται για να μεταφέρει πληροφορία μόνο χαμηλών συχνοτήτων, το ανώτερο μέχρι 120Hz και στόχος του είναι να ενιχύσει την δυναμική περιοχή των μπάσων των υπόλοιπων καναλιών ώστε να αναπαράγει ειδικά εφέ [31].



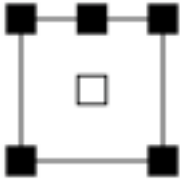
Σύστημα αναπαραγωγής 4.0 - Channel Surround (analog matrixed: Dolby Pro Logic)

Σε αυτή τη διάταξη εξάγεται ειδικά κωδικοποιημένος ήχος δύο πηγών για τέσσερα κανάλια. Έτσι παράγονται δύο κανάλια για τα δυο ηχεία μπροστά, αριστερά (Left - L) και δεξιά (Right - R), ένα κανάλι ήχου για το κεντρικό ηχείο (Center - C) και ένα κανάλι για και για τα δύο πίσω ηχεία (Mono Surround Channel - S). Χρησιμοποιείται στο σύστημα Dolby Pro Logic matrixed.



### Σύστημα αναπαραγωγής 5.1 - Channel Surround, 3-2 Stereo (analog matrixed: Dolby Pro Logic II)

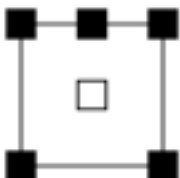
Ο ήχος που αναπαράγεται είναι κωδικοποιημένος για στέρεο ή για δύο κανάλια και αντιστοιχεί σε πέντε ηχητικά κανάλια. Συγκεκριμένα τοποθετούνται δύο κανάλια στο εμπρόσθιο μέρος, αριστερά (Left - L) και δεξιά (Right - R), ένα κανάλι ήχου για το κεντρικό ηχείο (Center - C), δύο κανάλια για τα πίσω surround ηχεία, αριστερό surround (Left Surround - LS) και δεξιό surround (Right Surround - RS) και ένα κανάλι χαμηλών συχνοτήτων (Low Frequency Effects - LFE). Χρησιμοποιείται στο σύστημα Dolby Pro Logic II matrixed.



### Σύστημα αναπαραγωγής 5.1 - Channel Surround, 3-2 Stereo (digital discrete: Dolby Digital, DTS, SDDS, Pentec)

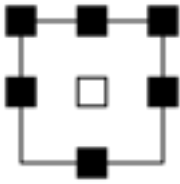
Προσφέρει πέντε χωριστά ηχητικά κανάλια και ένα κανάλι χαμηλών συχνοτήτων (LFE) από μια 6-κάναλη πηγή.

Δύο κανάλια για το μπροστινό μέρος, αριστερά (Left - L) και δεξιά (Right - R), ένα κανάλι ήχου για το κεντρικό ηχείο (Center - C), δύο κανάλια για τα πίσω surround ηχεία, αριστερό surround (Left Surround - LS) και δεξιό surround (Right Surround - RS) και ένα κανάλι χαμηλών συχνοτήτων (Low Frequency Effects - LFE). Χρησιμοποιείται στα συστήματα Dolby Digital, Digital Theater System (DTS) και Sony Dynamic Digital Sound (SDDS).



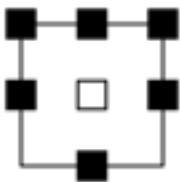
### Σύστημα αναπαραγωγής 6.1 - Channel Surround (analog matrixed: Dolby Pro Logic IIx)

Παράγει έξι ηχητικά κανάλια και ένα κανάλι χαμηλών συχνοτήτων από μια κωδικοποιημένη πηγή στέρεο ή δύο καναλιών. Επεκτείνει το οπίσθιο surround κανάλι από μια πηγή 5.1 καναλιών. Έτσι τοποθετούνται δύο κανάλια για το μπροστινό μέρος, αριστερά (Left - L) και δεξιά (Right - R), ένα κανάλι ήχου για το κεντρικό ηχείο (Center - C), δύο πλευρικά ηχεία για surround (Side Left - LS και Side Right - RS), ένα κανάλι για surround ηχεία στο πίσω μέρος (Back Surround - BS) και ένα κανάλι χαμηλών συχνοτήτων το οποίο οδηγείται σε ένα sub-woofer. Χρησιμοποιείται στο σύστημα Dolby Pro Logic IIx matrixed.



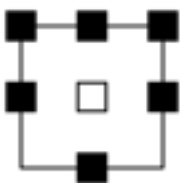
#### Σύστημα αναπαραγωγής 6.1 - 7.1 - Channel Surround (digital partially discrete: Dolby Digital EX)

Προσφέρει πέντε ηχητικά κανάλια, ένα extracted ηχητικό κανάλι και ένα κανάλι χαμηλών συχνοτήτων (LFE) από μία εξακάναλη πηγή. Τοποθετούνται δύο κανάλια για το μπροστινό μέρος, αριστερά (Left - L) και δεξιά (Right - R) τα οποία οδηγούνται από διαφορετικά σήμα, ένα χωριστό κανάλι για το κεντρικό ηχείο (Center - C), δύο κανάλια για τα πλευρικά ηχεία surround (Side Left - LS και Side Right - RS), όπου τα χωριστά κανάλια LS και RS are dematrixed σε LS, RS και Back Surround - BS. Ένα κανάλι για surround ηχεία στο πίσω μέρος (Back Surround - BS) το οποίο μπορεί να χωριστεί σε δύο κανάλια by the receiver και ένα κανάλι χαμηλών συχνοτήτων (LFE).



#### Σύστημα αναπαραγωγής 6.1 - Channel Surround (digital discrete: DTS-ES)

Προσφέρει έξι χωριστά κανάλια ήχου και ένα κανάλι χαμηλών συχνοτήτων (LFE) από μία 7κάναλη πηγή. Ο διαχωρισμός των καναλιών έχει ως εξής: δύο κανάλια για τα εμπρόσθια ηχεία αριστερά (Left - L) και δεξιά (Right - R), ένα κανάλι για το κεντρικό ηχείο (Center - C), δυο κανάλια για τα πλευρικά ηχεία surround (Side Left - LS και Side Right - RS), ένα κανάλι για τα surround ηχεία στο πίσω μέρος (Back Surround - BS), και ένα κανάλι χαμηλών συχνοτήτων (LFE). Χρησιμοποιείται στο DTS ES discrete Surround σύστημα.

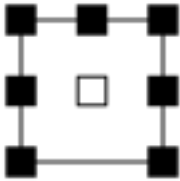


#### Σύστημα αναπαραγωγής 7.1 - Channel Surround (digital discrete: Dolby Digital Plus, DTS-HD, Dolby TrueHD)

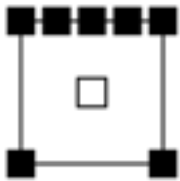
Παρέχει επτά ηχητικά κανάλια και ένα κανάλι χαμηλών συχνοτήτων (LFE) από μια οκτακάναλη πηγή. Δύο κανάλια για τα εμπρόσθια ηχεία αριστερά (Left - L) και δεξιά (Right - R), ένα κανάλι για το κεντρικό ηχείο (Center - C), δυο κανάλια για τα πλευρικά ηχεία surround (Side Left - LS και Side Right - RS), δυο



κανάλια για τα πίσω ηχεία surround (Left Back LB και Right Back RB), και ένα κανάλι χαμηλών συχνοτήτων (LFE). Χρησιμοποιείται στο Dolby Digital Plus Surround σύστημα.



Επίσης μπορεί να υπάρξει διαφοροποίηση της διάταξης των ηχείων (7.1 WideScreen Cinema Format): τέσσερα κανάλια για ηχεία στο εμπρόσθιο μέρος (Left - L, Center Left - CL, Right - R, Center Right - CR), ένα κανάλι για το κεντρικό ηχείο (Center - C), δύο κανάλια για τα surround ηχεία στο πίσω μέρος (LS - RS), και ένα κανάλι χαμηλών συχνοτήτων (LFE).



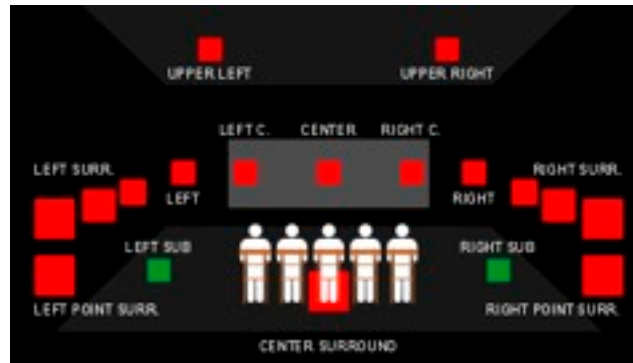
#### Σύστημα αναπαραγωγής 10.2 - Channel Surround

Το περιφερειακό σύστημα 10.2 αναπτύχθηκε από τον δημιουργό της THX, Tomlinson Holman στο Πανεπιστήμιο της Southern California. Αναπτύχθηκε μαζί με τον Χρήστο Κυριακάκη από το USC Viterbi School of Engineering. Στο σύστημα 10.2 προστίθενται δυο επιπλέον χωριστά πλαϊνά περιφερειακά κανάλια, τα οποία μπορούν με ακρίβεια να αναπαράγουν τον ήχο, επιτρέποντας τον να μετακινηθεί σε ένα κύκλο 360 μοιρών γύρω από τον θεατή.

Τα δεκατέσσερα χωριστά κανάλια είναι: πέντε ηχεία στο εμπρόσθιο μέρος (Left Wide, Left, Center, Right, Right Wide), πέντε κανάλια surround (Left Surround Difuse, Left Surround Direct, Back Surround, Right Surround Difuse και Right Surround Direct), δύο κανάλια χαμηλών συχνοτήτων (LFE Left και LFE Right) και δύο κανάλια σε ύψος (Left Height και Right Height).

#### Σύστημα αναπαραγωγής 22.2 - Channel Surround

Το 22.2 είναι το ηχητικό τμήμα του Ultra High Definition Video (Super Hi-vision TV, 4320 γραμμές σάρωσης) και αναπτύχθηκε από την NHK Science & Technical Research Laboratories. Όπως είναι λογικό χρησιμοποιεί 24 ηχεία, τα οποία είναι κατανεμμημένα σε τρία επίπεδα. Ένα μεσαίο επίπεδο στο οποίο υπάρχουν δέκα ηχεία, ένα ανώτερο επίπεδο με εννέα ηχεία και ένα κατώτερο με τρία ηχεία και δυο sub-woofer.



### MP3 Surround

Το MP3 Surround [ ] είναι ένας τύπος MP3 που υποστηρίζει 5.1 ηχητικά κανάλια. Αναπτύχθηκε από το ίδρυμα Fraunhofer IIS [56] σε συνεργασία με την Agere Systems και για πρώτη φορά υπήρξε τον Δεκέμβριο του 2004. Σαν αρχείο το MP3 Surround είναι συμβατό με τα τυπικά MP3. Το μέγεθος του αρχείου είναι 10% μεγαλύτερο από ένα κανονικά αρχείο MP3 και μπορεί να δημιουργηθεί από 5 ή 6 κανάλια WAV ήχου.

### Panor-Ambiophonic (PanAmbio) 4.0/4.1

Η τεχνολογία PanAmbio συνδυάζει ένα στερεοφωνικό δίπολο (stereo dipole) με μια τεχνική ακύρωσης διαφωνίας, εφαρμόζοντάς την τόσο στο εμπρόσθιο όσο και στο οπίσθιο επίπεδο του ακροατή (σύνολο τέσσερα ηχεία), με στόχο την δημιουργία μιας 360 μοιρών δυσδιάστατης ηχητικής αναπαραγωγής. Οι τετρακάναλες ηχογραφήσεις, ιδιαίτερα αυτές που χρησιμοποιούν αμφωωτική τεχνική, δημιουργούν αμφωωτικό περιφερειακό ήχο για αναπαραγωγή από ηχεία. Συμβατές με την τεχνολογία PanAmbio είναι και οι ηχογραφήσεις 5.1, στις οποίες το ηχητικό περιεχόμενο του κεντρικού καναλιού συνδυάζεται με αυτό του εμπρόσθιου ζεύγους ηχείων. Αντίστοιχα ήχος κατά 6.1 μπορεί να αναπαραχθεί μετά από μίξη του ηχητικού περιεχομένου του κεντρικού καναλιού με το πίσω ζεύγος.

### Αποθηκευτικά Μέσα

Σύγχρονα αποθηκευτικά μέσα μπορούν να αποθηκεύσουν και να φέρουν πάνω τους πολυκάναλο ήχο υψηλής πιστότητας. Τέτοια αποθηκευτικά μέσα είναι τα SACD, DVD-Video, DVD-Audio, το Blu-ray Disc και το HD-DVD.

Με το SACD μπορεί να γίνει αναπαραγωγή ήχου υψηλής πιστότητας σε στερεοφωνικά αλλά και σε περιφερειακά (surround) συστήματα. Ο ήχος στο SACD μεταφέρεται με βάση το формат Direct Stream Digital και μπορεί να έχει συχνότητα δειγματοληψίας 2822.4kHz, ευκρίνεια 1bit και η ροή δεδομένων να είναι 5.6Mbps. [32]

Στο DVD-Video καθώς και στο DVD-Audio, μπορεί να αποθηκευτεί ήχος κατά Dolby Digital (AC-3) ή DTS, με δειγματοληψία από 16-bits/48kHz μέχρι 24-bits/96kHz και να περιέχει από μονοφωνικό έως 7.1 κανάλια surround ήχου, καθώς επίσης και MPEG-1 Layer 2.

Το Blu-ray υποστηρίζει τα εξής formát ήχου: Linear PCM (LPCM) με πάνω από 8 κανάλια ασυμπίεστου ήχου, Dolby Digital (DD) το οποίο χρησιμοποιείται στα DVD και προσφέρει 5.1 πολυκάναλο ήχο, Dolby Digital Plus (DD+) με 7.1 κανάλια ήχου, Dolby TrueHD που δίνει την δυνατότητα lossless κωδικοποίησης για πάνω από 8 ηχητικά κανάλια, DTS Digital Surround με 5.1 πολυκαναλικό ήχο, DTS-HD High Resolution Audio με 7.1 κανάλια ήχου και DTS-HD Master Audio με lossless κωδικοποίηση για πάνω από 8 κανάλια ήχου.

Το HD-DVD υποστηρίζει δειγματοληψία πάνω από 24-bit/192kHz για δύο κανάλια και κωδικοποίηση κατά 24bit/96kHz για πάνω από 8 κανάλια ήχου. Μπορεί να υποστηρίξει τα εξής formát ήχου: LPCM, Dolby Digital (AC-3), Doldy Digital EX, DTS, Dolby Digital Plus, Dolby TrueHD, DTS-HD High Resolution Audio και DTS-HD Master Audio.

Οπτικά Μέσα					
Φορμάτ΄Ηχου	SACD	DVD-Audio	DVD-Video	Blu-ray	HD-DVD
Linear PCM		✓	✓	✓	✓
DSD	✓				
Dolby Digital (AC-3)		✓	✓	✓	✓
Dolby Digital Plus				✓	✓
Doldy Digital EX				✓	✓
Dolby TrueHD				✓	✓
DTS		✓	✓	✓	✓
DTS Digital Surround				✓	✓
DTS-HD High Resolution Audio				✓	✓
DTS-HD Master Audio				✓	✓

Πίνακας: Συγκριτικός πίνακας σύγχρονων οπτικών μέσων και των υποστηριζόμενων formát ήχου.

### 2.2.2. Συστήματα αναπαραγωγής Surround Ήχου

Με τον όρο Surround (περιφερειακά) ονομάζονται τα συστήματα τα οποία μπορούν να δημιουργούν κατάλληλες ψευδαισθήσεις στον άνθρωπο, επειδή ο ήχος προέρχεται από διάφορες κατευθύνσεις της περιφέρειας του, χρησιμοποιώντας χωριστά ηχητικά κανάλια μέσω χωριστών μεταξύ τους ηχείων. Αυτά τα συστήματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες με βάση την ιδιότητά τους να είναι ιεραρχικά (hierarchical). Με τον όρο ιεραρχικό ονομάζεται ένα σύστημα που αφού έχει κωδικοποιήσει ένα ηχητικό πεδίο μπορεί να το ανασυνθέσει ανεξαρτήτως του αριθμού των ηχείων που περιλαμβάνει το σύστημα αναπαραγωγής του ήχου.

Έτσι έχουμε:

#### Συστήματα μη-Ιεραρχικά

- Dolby Digital - AC3 (Dolby Labs, 2004)
- DTS (Kramer, N.D.)
- Meridian Lossless Packaging (De Lancie, 1998)
- Binaural
- Transaural

#### Συστήματα Ιεραρχικά

- Ambiophonics
- WaveField Synthesis
- Ambisonics

Τα τρία πρώτα συστήματα της πρώτης κατηγορίας δεν είναι δυνατό να δημιουργήσουν ηχητικά είδωλα και στις 360 μοίρες στο οριζόντιο επίπεδο, ενώ ταυτόχρονα δεν έχουν την δυνατότητα δημιουργίας ηχητικών ειδώλων τα οποία βρίσκονται στο κατακόρυφο επίπεδο. Ωστόσο είναι δυνατόν να δημιουργήσουν ηχητικά είδωλα υψηλής ακρίβειας, κυρίως στο μπροστινό πεδίο (με έναν περιορισμό στις γωνίες) ενώ μπορούν να δώσουν την αίσθηση ότι κάποιος ήχος προέρχεται γενικά από το πίσω αριστερό ή δεξιό πεδίο. Αντίθετα τα συστήματα Αμφυωτικής ακουστικής και Transaural της πρώτης κατηγορίας έχουν την δυνατότητα να δημιουργήσουν ακριβή ηχητικά είδωλα και στο οριζόντιο και το κατακόρυφο επίπεδο. Κάποια από τα συστήματα της δεύτερης κατηγορίας εν δυνάμει δημιουργούν ηχητικές εικόνες και στις τρεις διαστάσεις. Αυτό φυσικά προϋποθέτει την χρήση κατάλληλου συστήματος αναπαραγωγής και διάταξης των ηχείων. Έτσι το σύστημα ανάλογα ονομάζεται παντοφωνικό (pantophonic system) όταν η αναπαραγωγή του ηχητικού πεδίου γίνεται μόνο στο οριζόντιο επίπεδο ενώ αν γίνεται και στις τρεις διαστάσεις, το σύστημα ονομάζεται περιφωνικό (periphonic system). Τα συστήματα που μπορούν να είναι περιφωνικά ανήκουν στην κατηγορία των συστημάτων τρισδιάστατου ήχου (3D Sound Systems).

## Dolby Digital

Το Dolby Surround Digital ή DDS αποτελεί το νέο σύστημα ψηφιακής κωδικοποίησης ήχου για επαγγελματικές ή οικιακές εφαρμογές (διακριτό σύστημα -discrete system), αντίστοιχο με το Dolby SR-D. Αντικατέστησε ψηφιακά το κλασικό Dolby Stereo που ήταν αναλογικό. Χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο/σύστημα ψηφιακής συμπίεσης δεδομένων πολυκάναλου ήχου Dolby AC-3. Το AC-3 είναι ένα από τα ψηφιακά μοντέλα συμπίεσης, τα οποία προέκυψαν μετά από διάφορα ψυχοακουστικά πειράματα. Το AC-3 είναι το πρώτο που σχεδιάστηκε για πολυκάναλο συμπιεσμένο ψηφιακό ήχο και αξιοποιεί το φαινόμενο της ακουστικής επικάλυψης των ήχων. Πρακτικά, γίνεται τμηματοποίηση στο ακουστικό φάσμα σε περιοχές εύρους ανάλογου των κρίσιμων ζωνών του ανθρώπινου αυτιού και στη συνέχεια απορρίπτονται εντελώς οι μη-ακουστοί ήχοι. Το Dolby Digital είναι ένα σύστημα 5.1, και περιλαμβάνει έξι ανεξάρτητα μεταξύ τους ηχητικά κανάλια. Ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα του ψηφιακού ήχου αποτελεί ο πολύ υψηλός διαχωρισμός καναλιών, ο οποίος επιτυγχάνεται λόγω της πλήρους ανεξαρτησίας και των έξι καναλιών μεταξύ τους. Επιπλέον χρησιμοποιεί ήχο θεωρητικά 20-bits, γεγονός το οποίο σημαίνει πολύ υψηλή δυναμική περιοχή. Η χρησιμοποιούμενη συχνότητα δειγματοληψίας για κάθε κανάλι είναι 48kHz. Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων του αλγορίθμου συμπίεσης AC-3, είναι μόλις 64 Kbits/sec για κάθε κανάλι ή συνολικά 384 Kbits/sec και για τα έξι κανάλια. Η χρησιμοποιούμενη συμπίεση δεδομένων είναι σχετικά υψηλή, της τάξης του 12:1. [3] [13]

## DTS

Το DTS (Digital Theater Systems) σύστημα είναι ένα ψηφιακό πρωτόκολλο κωδικοποίησης, το οποίο μπορεί να μεταφέρει περιφερειακό ήχο σε καταναλωτικές ή επαγγελματικές εφαρμογές, χρησιμοποιώντας μία χαμηλού ρυθμού δεδομένων τεχνική κωδικοποίησης για την μείωση του όγκου της ηχητικής πληροφορίας. Το σύστημα DTS μπορεί να υποστηρίξει ένα μεγάλο αριθμό bit rate από 32 kbits/ μέχρι και 4.096 Mbit/s και υποστηρίζει μέχρι οκτώ κύρια κανάλια, συχνότητες δειγματοληψίας μέχρι τα 192kHz και επιπρόσθετα μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές μεταβλητού ρυθμού κωδικοποίησης και συμπίεσης χωρίς απώλειες. Εφαρμόζεται στις κινηματογραφικές ταινίες ενώ στις οικιακές εφαρμογές είναι προαιρετικό (DVD), διότι απαιτείται ειδικός αποκωδικοποιητής για να αναπαράγει τα σήματα πληροφορίας.

## SDDS

Το πρότυπο SDDS (Sony Dynamic Digital Sound) είναι και αυτό πρωτόκολλο για κωδικοποίηση ψηφιακού ήχου. Κωδικοποιεί τα δεδομένα με σημαντική μείωση του bit rate σε σύγκριση με την PCM (για 5:1), χρησιμοποιώντας το ATRAC σύστημα μείωσης δεδομένων της Sony. Το σύστημα SDDS

υποστηρίζει 7.1 κανάλια αντί για 5.1, εξασφαλίζοντας υψηλή απόκριση στην ηχητική εικόνα του εμπρόσθιου μέρους. Συνήθως χρησιμοποιείται μόνο για μεταφορά ήχου στον κινηματογράφο.

#### Meridian Lossless Packing (MLP)

Η Meridian Lossless Packing (MLP) είναι μία τεχνική μείωσης των δεδομένων χωρίς απώλειες, για πολυκάναλο ήχο. Χρησιμοποιείται στο πρωτόκολλο του DVD-Audio ως ένας τρόπος μείωσης του ρυθμού ανάγνωσης δεδομένων που χρειάζεται για υψηλής ποιότητας εγγραφές, χωρίς καμία επιρροή στην ποιότητα. Χρησιμοποιώντας την τεχνική αυτή, μπορεί να γίνει δυνατός ένας μεγάλος χρόνος αναπαραγωγής στον δίσκο, ενώ παράλληλα εξασφαλίζεται υψηλή ποιότητα μουσικής κάτι που οφείλεται στις συχνότητες δειγματοληψίας που φτάνουν μέχρι και 192 kHz και ανάλυση ανάμεσα στα 16 και 24 bits. Επίσης η MLP υποστηρίζει μέχρι έξι κανάλια surround ήχου.

Υπάρχουν τεχνοτροπίες του MLP οι οποίες δεν έχουν παρουσιαστεί ακόμα. Για παράδειγμα, το σύστημα είναι επεκτάσιμο στην υποστήριξη αξιοσημείωτου αριθμού καναλιών, και έχει μια επιλογή να ενσωματώνει ιεραρχικά διαδικασίες κωδικοποίησης όπως το Ambisonics, όπου το συνθέτουν στοιχεία του ηχητικού πεδίου και όχι τα σήματα τροφοδοσίας για τα ηχεία. Αυτό είναι δυνατόν να εφαρμοστεί μελλοντικά με σκοπό να ξεπεραστούν οι περιορισμοί στο όριο των ηχείων που μπορούν να τροφοδοτηθούν σε κάποια πρωτόκολλα, για την μεταφορά surround ήχου σε καταναλωτικές εφαρμογές

#### Αμφιωτική (binaural) ακουστική

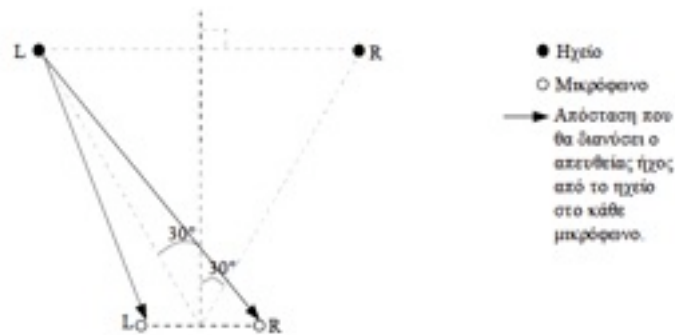
Η μέθοδος αμφιωτικής ακουστικής αποτελεί μια από τις πιο ακριβείς μεθόδους ηχοληψίας και αναπαραγωγής τρισδιάστατων ηχητικών πεδίων. Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στην ηχογράφηση του ήχου που θα έφτανε μέσα στα αυτιά του ακροατή ώστε κατά την αναπαραγωγή (μέσω ακουστικών) ο ακροατής να λάμβανε ακριβώς τα ίδια ηχητικά σήματα με αυτά που θα λάμβανε αν βρισκόταν στη θέση της ηχογράφησης του αρχικού ηχητικού πεδίου. Για την ηχογράφηση του ηχητικού πεδίου χρειάζονται μόλις δύο κανάλια εγγραφής, ενώ η αναπαραγωγή γίνεται από ακουστικά ή στον χώρο με τεχνική ακύρωσης διαφωνίας (crosstalk cancellation). Κατά την ηχογράφηση γίνεται χρήση dummy head (Εικόνα 9) στα αυτιά του οποίου έχουν τοποθετηθεί τα μικρόφωνα. Αυτές οι κατασκευές (προσομοίωση κεφαλιού) είναι κατάλληλα φτιαγμένα ώστε στις υποδοχές των μικροφώνων που βρίσκονται στα αυτιά αυτών, να δημιουργούνται όμοιες επιρροές στα ηχητικά σήματα που φτάνουν στο εσωτερικό του αυτιού με αυτές που θα δημιουργούνταν αν ο ακροατής βρισκόταν στη θέση της ηχογράφησης. Στην ηχογράφηση γίνεται η καταγραφή των ITD, IID και το φιλτράρισμα του κεφαλιού καθώς και των πτερυγίων. Ένα από τα προβλήματα που υφίστανται κατά την ηχογράφηση των ηχητικών πεδίων είναι η ηχογράφηση της επιρροής που έχει το εσωτερικό κανάλι του αυτιού. Όταν λοιπόν τοποθετηθούν τα μικρόφωνα στο εσωτερικό του αυτιού καταγράφεται και η συχνότητα συντονισμού του εσωτερικού καναλιού αυτού, που είναι γύρω στα 3 kHz. Όταν γίνει λοιπόν η αναπαραγωγή μέσω των ακουστικών σε

κάποιον άνθρωπο, ο ίδιος ήχος θα ξαναπεράσει από το εσωτερικό κανάλι του αυτιού του με αποτέλεσμα να λαμβάνει τον ήχο με διπλό συντονισμό γύρω από τα 3 kHz. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να γίνει κάποια ισοστάθμιση στο ήδη ηχογραφημένο υλικό για να εξαλειφθεί αυτός ο παράγοντας. Ένα άλλο πρόβλημα που παρουσιάζεται κατά την ηχογράφηση των ηχητικών πεδίων είναι η διαφορετικότητα την οποία παρουσιάζουν οι κόγχες στους διάφορους ανθρώπους. Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε άνθρωπο ο ήχος που προσπίπτει θα υποβάλλεται σε τελείως διαφορετικό φιλτράρισμα. Έτσι κατά την αναπαραγωγή του ήδη ηχογραφημένου υλικού θα είναι σαν να ακούει ένας άνθρωπος με διαφορετικές κόγχες. Έκτος όμως από την ηχογράφηση του ηχητικού πεδίου μπορεί να γίνει και σύνθεση αυτού. Ο τρόπος σύνθεσης γίνεται με την χρήση των HTRF δεδομένων. Γνωρίζοντας τις γωνίες πρόσπτωσης του ήχου (την αζιμούθια και κατακόρυφη γωνία) και κάνοντας συνέλιξη (convolution) στο χρόνο μπορεί να συντεθεί ο ήχος που θα έφτανε στα αυτιά του ανθρώπου.

Αμφιωτική ακουστική με χρήση μεγαφώνων (Transaural).

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η αναπαραγωγή της μεθόδου Binaural γίνεται αποκλειστικά από ακουστικά. Η μέθοδος Transaural είναι η μέθοδος αναπαραγωγής των ηχητικών πεδίων που έχουν καταγραφή ή συντεθεί βάση της μεθόδου Binaural από δύο ηχεία. Αυτή η μέθοδος πρωτοπαρουσιάστηκε την δεκαετία του 1960 από τους Atal, Hill και Schroeder (Atal, 1966). Κατά την Binaural αναπαραγωγή έχουμε δύο ηχητικά σήματα (L, R) που προορίζονται να διοχετευθούν αντίστοιχα στα αυτιά του ακροατή μέσω των ακουστικών. Κατά την Transaural αναπαραγωγή είναι επιθυμητό αυτά τα σήματα να διοχετευθούν αντίστοιχα στα αυτιά του ακροατή μέσω των ηχείων. Υπάρχει όμως μια βασική διαφορά σε αυτούς τους δύο τρόπους μετάδοσης των σημάτων. Στην περίπτωση της αναπαραγωγής μέσω ακουστικών το κάθε αυτί θα λάβει μόνο το σήμα που τους αντιστοιχεί. Αντίθετα, στην αναπαραγωγή μέσω ηχείων το κάθε αυτί θα λάβει και τα δύο σήματα, εκ των οποίων το σήμα που λανθασμένα λαμβάνεται από το εκάστοτε αυτί να παρουσιάζει μια χρονική καθυστέρηση. Ας υποθέσουμε λοιπόν πως δεν υπάρχουν επιρροές στα δύο σήματα από το κεφάλι του ακροατή και ότι η αναπαραγωγή γίνεται σε ελεύθερο πεδίο (Free Field). Τα αυτιά του ανθρώπου προσομοιώνονται με δύο μικρόφωνα τοποθετημένα σε αντίστοιχη απόσταση μεταξύ τους (περίπου 17 cm). Τα ηχεία ισαπέχουν από την μεσοκάθετο και το μέσω του διανύσματος που σχηματίζουν τα δύο μικρόφωνα και σχηματίζουν γωνία  $60^\circ$  μεταξύ τους(εικ). Όπως φαίνεται στην Εικόνα 12, όταν παίζει μόνο το ένα ηχείο ο ήχος θα φτάσει και στα δύο μικρόφωνα, μόνο που η απόσταση που θα διανύσει ο ήχος που εκπέμπεται από το αριστερό (L) ηχείο στο δεξί (R) μικρόφωνο είναι μικρότερη από αυτή που θα διανύσει από το αριστερό ηχείο στο αριστερό μικρόφωνο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την χρονική καθυστέρηση και την μείωση της έντασης του ήχου που θα φτάσει στο δεξί ηχείο σε σχέση με αυτή που θα φτάσει στο αριστερό. Επιθυμητό όμως θα ήταν ό,τι παίζει το αριστερό ηχείο να φτάνει μόνο στο αριστερό μικρόφωνο, και όταν

παίζει το δεξί να φτάνει μόνο στο δεξί. Για να είναι εφικτό αυτό θα πρέπει να γίνει εκπομπή ενός ήχου με διαφορά φάσης  $180^\circ$  και μειωμένος σε ένταση από το δεξί ηχείο ώστε όταν αυτός φτάσει στο αριστερό μικρόφωνο να δημιουργηθεί καταστροφική συμβολή. Έτσι παρόμοια η εκπομπή του ήχου από το αριστερό ηχείο θα φτάσει και στο δεξί μικρόφωνο, άρα πρέπει πάλι να ακολουθηθεί η προηγούμενη διαδικασία, και αυτό θα συνεχιστεί επ' άπειρο.



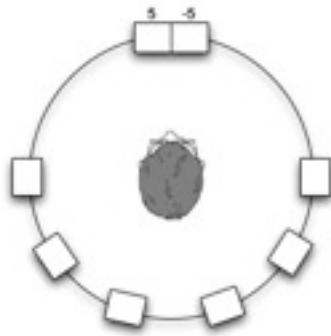
Εικόνα 12: Αναπαράσταση ενός συστήματος διάταξης Transaural. Σημειώνεται η διαδρομή που θα διανύσει ο ήχος που παίζει από ένα ηχείο μέχρι τα μικρόφωνα (προσομοίωση των αυτιών του ακροατή).

### Ambiophonics

Αυτή η μέθοδος δημιουργήθηκε από το Glasgal [22]. Δεν ανήκει στις γενικευμένες μεθόδους αναπαραγωγής τρισδιάστατων ηχητικών πεδίων, αλλά προορίζεται μόνο για την αναπαραγωγή ηχητικών πεδίων ηχογραφημένων από συναυλιακούς χώρους. Αποτελεί ένα υβρίδιο μεταξύ της Binaural/Transaural αναπαραγωγής, συνδυασμένης με έναν σωστότερο ψυχοακουστικά αλγόριθμο δημιουργίας αντηχήσεων, έτσι ώστε να δημιουργείται η ψευδαίσθηση ότι ο ακροατής βρίσκεται σε μια πραγματική αίθουσα. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην καλή αναπαραγωγή του ηχητικού πεδίου που βρίσκεται στην μπροστινή διεύθυνση του ακροατή, ενώ οι αντηχήσεις πρόκειται να συντεθούν στην συνέχεια με την χρήση του αλγόριθμου των αντηχήσεων. Έτσι κατά την ηχογράφηση του μπροστινού ηχητικού πεδίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μικρόφωνο dummy head χωρίς κόγχες ή οποιαδήποτε άλλη τεχνική στερεοφωνικής ηχογράφησης. Πρέπει όμως να περιοριστούν όσο το δυνατό όλες οι ανακλάσεις που φτάνουν στο μικρόφωνο από άλλες διευθύνσεις εκτός από την μπροστινή. Η διάταξη των ηχείων κατά την αναπαραγωγή είναι δύο στην μπροστινή διεύθυνση στις  $\pm 5^\circ$ , ενώ δεν υπάρχει συγκεκριμένη διάταξη για τα πίσω ηχεία (Εικόνα 13). Η αναπαραγωγή από τα μπροστινά ηχεία γίνεται με χρήση των καταστροφικών συμβολών, όμοια με αυτή της transaural αναπαραγωγής. Αυτό σημαίνει ότι αν κάθονται οι ακροατές σε μία ευθεία θα απολαμβάνουν υψηλής ακρίβειας αναπαραγωγή. Το κάθε ένα από τα πίσω ηχεία θα προσομοιώσει μία από τις πρώτες αντηχήσεις μαζί με μία ουρά αντηχήσεων, οι οποίες προσομοιώνουν το διάχυτο πεδίο. Το σήμα που θα τις τροφοδοτήσει θα είναι μια μίξη των



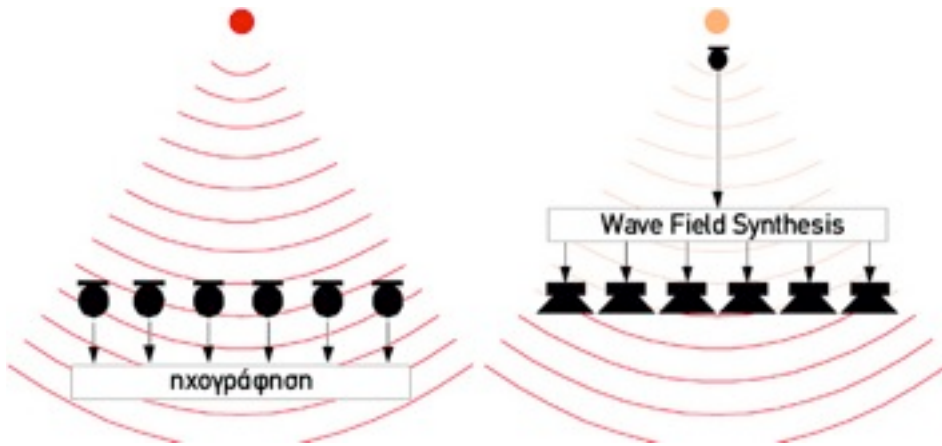
σημάτων της μπροστινής διεύθυνσης και της κρουστικής απόκρουσης που θα είχαν οι αντηχήσεις από αυτή την διεύθυνση. Έτσι για να βρεθεί η κατάλληλη θέση των πίσω ηχείων στην οποία η αναπαραγωγή είναι βέλτιστη θα πρέπει να γίνουν δοκιμαστικές αναπαραγωγές. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι έχουμε μια καλή εικόνα του ηχητικού τοπίου από την μπροστινή διεύθυνση, ενώ για τις αντηχήσεις, καθώς χρησιμοποιούνται πραγματικές πηγές τοποθετημένες στον χώρο, το σύστημα ακοής του ανθρώπου λαμβάνει όλα τα απαραίτητα κριτήρια για την χωροτοποθέτηση αυτών (κυρίως κριτήρια διεύθυνσης).



Εικόνα 13: Τυπική διάταξη ηχείων κατά Ambisonics.

Wave Field Synthesis (WFS), Wave Field Analysis (WFA) .

Η Wavefield Synthesis αποτελεί μια από τις πιο ακριβείς μεθόδους σύνθεσης και αναπαραγωγής ήχου στο οριζόντιο επίπεδο σε ευρύτερο πεδίο ακρόασης. Πρωτοδοκιμάστηκε από τα Bell Labs (Rumsey and McCormick), το 1994. Με αυτή την μέθοδο μπορούν να προσομοιωθούν διάφορες ηχητικές πηγές στον χώρο εντός και εκτός της επιφάνειας που καταλαμβάνει η διάταξη των ηχείων. Τα ηχεία είναι τοποθετημένα στις τρεις πλευρές ενός ορθογώνιου παραλληλογράμμου σε γραμμική διάταξη (line-array) (Εικόνα 15). Για την ηχογράφηση χρησιμοποιείται επίσης μια γραμμική διάταξη μικροφώνων και έπειτα με την επεξεργασία σήματος υπολογίζεται η θέση των ηχητικών πηγών στο χώρο. Η σειρά των μικροφώνων λειτουργεί συλλέγοντας σχετικές πληροφορίες των ακουστικών συνθηκών που επικρατούν στο χώρο ηχογράφησης (Εικόνα 14). [11] Παρουσιάζει ίδια ακουστική ποιότητα σε ένα ευρύτερο πεδίο ακρόασης, που είναι και ένα από τα χαρακτηριστικά που δεν διαθέτουν τα περισσότερα από τα συστήματα πολυκάναλης αναπαραγωγής, καθώς έχουν ένα συγκεκριμένο σημείο στο οποίο επιτυγχάνεται βέλτιστη αναπαραγωγή (sweet spot) [57]. Το βασικότερο χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου αναπαραγωγής είναι ότι η εικονική πηγή φαίνεται να καταλαμβάνει συγκεκριμένη θέση στο χώρο. Ο κάθε ακροατής λοιπόν, ανάλογα με την θέση του στο ακροατήριο, αντιλαμβάνεται την γωνία προέλευσης και την απόσταση της πηγής, σαν αυτή να βρισκόταν πραγματικά στη θέση αυτή.



Εικόνα 14: Συστοιχία μικροφώνων κατά την ηχογράφηση του ηχητικού πεδίου(αριστερά) για αναπαραγωγή με Wave Field Synthesis με γραμμική διάταξη ηχείων-line array (δεξιά).



Εικόνα 15: Συστοιχία ηχείων σε γραμμική διάταξη (line array) και στις τρεις πλευρές ενός τετραγώνου. Φαίνονται τα μέτωπα των εικόνων που θα δημιουργήσουν οι ηχητικές πηγές. Αριστερά είναι μια συντεθειμένη ηχητική πηγή εκτός των ορίων της διάταξης των ηχείων ενώ δεξιά η ηχητική πηγή είναι εντός.

### *Ambisonics*

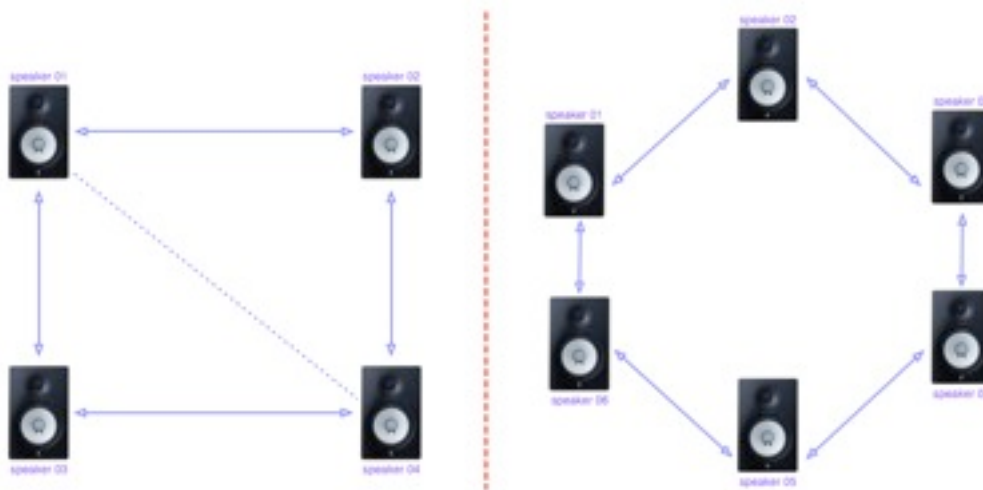
Το ambisonics αποτελεί σχετικά παλαιό πολυκάναλο ηχητικό σύστημα μεγάλων χώρων, πλήρους φάσματος, το οποίο αναπτύχθηκε κατά τη δεκαετία του 1970, από μια ομάδα Βρετανών ερευνητών στην οποία αναμεσά τους ήταν ο μηχανικός Michael Gerzon [33] από το Μαθηματικό Ινστιτούτο της Οξφόρδης και ο Peter Fellgett από το Reading University. Η ακριβή ιδέα ήταν η καινούργια τεχνολογία αυτή να μπορεί να καταγράψει μια μουσική εκτέλεση σε ταινία ή σε κάποιο άλλο μέσο, και έπειτα να είναι εφικτή η μετάδοση στον καταναλωτή, μέσω των τότε διαθέσιμων μέσων, και η αναπαραγωγή σε ένα συμβατικό σπίτι, στο οποίο ο πρωτότυπος ήχος και το ακουστικό περιβάλλον θα έχει την δυνατότητα να ακουστεί όπως κανονικά ήταν. Ακόμα ο τρισδιάστατος ήχος που θα δημιουργούσε θα ήταν δυνατό να καλύψει τα λάθη και τις ελλείψεις των άλλων αντίστοιχων συστημάτων που υπήρχαν.

Συμβατικά ηχητικά συστήματα όπως η στερεοφωνία (Stereo) ή τετραφωνία (Quadraphonics) προσπαθούν να παράγουν το ηχητικό πεδίο με το να χρησιμοποιούν τις διαφορές στο πλάτος του ήχου για να εντοπίσουν τις ηχητικές πηγές. Μάλιστα για να επιτευχθεί μια ικανοποιητική χωρική εικόνα χρησιμοποιώντας μια στερεοφωνία, τα δυο ηχεία πρέπει να βρίσκονται σε γωνία 60 μοιρών. Διαφορετικά αν τα ηχεία είναι τοποθετημένα σε μεγαλύτερη γωνία, αρχίζει να δημιουργείται κενό στην μέση της ηχητικής εικόνας, κάτι που δημιουργείται κατά την χρησιμοποίηση μόνο διαφορών στο πλάτος. Στην τετραφωνία κατά την οποία τέσσερα ηχεία τοποθετούνται σε γωνία 90 μοιρών και χρησιμοποιείται η ίδια τεχνική όπως προηγουμένως η ηχητική εικόνα μπορούσε να ακουστεί στο μπροστά μέρος, και ειδικότερα στο πίσω πολύ φτωχή, ενώ ο εντοπισμός του ήχου από τα πλάγια σχεδόν δεν γινόταν αντιληπτός. Όταν η κίνηση του ήχου απλωνόταν γύρω από τον ακροατή σε ένα συνεχές κύκλο, έκανε την αίσθηση του ήχου να κινείται προς τα ηχεία, δημιουργώντας ένα ασυνήθιστο «πινκ-πονγκ» εφέ. Πέρα από αυτό ο ήχος μπορούσε να βρίσκεται μόνο περιμετρικά στην συστοιχία των ηχείων και δεν επέτρεπε να βρίσκεται έξω ή μέσα από την συστοιχία. Το καλύτερο ηχητικό αποτέλεσμα μπορούσε να επιτευχθεί όταν ο ακροατής καθόταν στο κέντρο της συστοιχίας, ένα σημείο που ονομάζεται «γλυκό σημείο», και στην τετραφωνία ήταν πολύ μικρό. Η τεχνολογία κατά ambisonics χρησιμοποιεί διάφορες τεχνικές με τις οποίες το ανθρώπινο αυτί και ο εγκέφαλος μπορούν να εντοπίσουν την προέλευση του ήχου. Αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας την ψυχοακουστική και φυσικές αρχές για να μπορέσει να αναπτύξει της δυνατότητες πολύ περισσότερο από τις υπάρχουσες τεχνικές που χρησιμοποιούσαν μόνο την ηχηρότητα για τον εντοπισμό του ήχου. Τα ambisonics πρόσφεραν ένα γεμάτο τρισδιάστατο ηχητικό πεδίο σε σχέση με άλλες τεχνικές τρισδιάστατου ήχου στο χώρο εκείνων των χρόνων.

Έτσι η τεχνολογία κατά ambisonics καταφέρνει να αναπαράγει το οριζόντιο περιφερειακό (360 μοίρες) ή για ακόμα μεγαλύτερη πιστότητα το πλήρες ολοσφαιρικό/περιφωνικό ηχητικό πεδίο. Αυτό όμως όχι μέσω ψευδαισθήσεων, όπως η κλασική στερεοφωνία, η τετραφωνία που αναφέρθηκε ή ακόμα και τα διάφορα συστήματα κινηματογράφου της Dolby (αναλογικά ή ψηφιακά), αλλά κυριολεκτικά μέσω ικανού

αριθμού ήχειων/καναλιών (θεωρητικά άπειρων), που αναπαράγουν με ακρίβεια όλες της ηχητικές συνιστώσες του πεδίου. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή τρισδιάστατη αίσθηση του χώρου, σε σημαντικά μεγαλύτερη περιοχή ακρόασης (διεύρυνση «γλυκού σημείου»). [2] [8] [13]

Ευρύτερα αναφερόμενοι, η τεχνική κωδικοποίησης κατά ambisonics είναι μια μέθοδος ανάλυσης και στη συνέχεια σύνθεσης και αναπαραγωγής ενός τρισδιάστατου ηχητικού πεδίου. Ένα σύστημα ambisonics αναλαμβάνει να αποσυνθέσει ένα δεδομένο ηχητικό πεδίο σε σφαιρικές αρμονικές (Encoder B-Format Ambisonics) σε ένα σημείο που θεωρείται και το κέντρο του ηχητικού πεδίου και στην συνέχεια να το ανασυνθέσει μέσω ενός συστήματος αναπαραγωγής του ήχου, υπολογίζοντας τους συντελεστές των σφαιρικών αρμονικών οι οποίοι θα πρέπει να ληφθούν υπ όψιν κατά την αναπαραγωγή από το κάθε ηχείο του συστήματος (Decoder B-Format Ambisonics). Η τεχνική ambisonics ανήκει στα ιεραρχικά συστήματα ηχητικής αναπαραγωγής, καθώς μπορεί να ανασυνθέσει ήδη κωδικοποιημένο ηχητικό πεδίο (B-Format) ανεξαρτήτως του πλήθους των ηχείων του συστήματος αναπαραγωγής. Αρκεί, η χρήση κατάλληλου αποκωδικοποιητή, ώστε να γίνει σωστή ανασύνθεση του ηχητικού πεδίου, καθώς επίσης και η τοποθέτηση N ηχείων σε διάταξη κανονικού N-γωνου (Εικόνα 16).



Εικόνα 16: Διαφορετικές διατάξεις ηχείων για αναπαραγωγή ήχου κατά ambisonics.

Ανάλογα με τον αποκωδικοποιητή και το σύστημα αναπαραγωγής (διάταξη ηχείων) μπορεί να ανασυσταθεί ολόκληρο το ηχητικό πεδίο, δηλαδή και στις τρεις διαστάσεις, ή ένα μέρος αυτού, δηλαδή μόνο στο οριζόντιο επίπεδο. Γι αυτό το λόγο, όπως αναφέρθηκε, το σύστημα μπορεί να είναι είτε παντοφωνικό (panorhonic system), στην περίπτωση που η αναπαραγωγή του ηχητικού πεδίου γίνεται μόνο στο οριζόντιο επίπεδο, είτε περιφωνικό (periorhonic system) στην περίπτωση που η διάταξη των ηχείων είναι κατάλληλη για την αναπαραγωγή ηχητικών πεδίων και στις τρεις διαστάσεις.

Το σύστημα από την φύση του απαιτεί για την υλοποίηση του αρκετό εξοπλισμό υψηλού κόστους (ισάριθμους ενισχυτές και ηχεία πλήρους φάσματος). Το χρησιμοποιούμενο μικρόφωνο λήψης είναι πολυσύνθετη κατασκευή (soundfield) [Εικόνα 17]. Περιλαμβάνει ένα παντοκατευθυντικό μικρόφωνο πίεσης για τη λήψη του σήματος  $W$  (απόλυτη ηχητική πίεση), καθώς και τρία δίλοβα μικρόφωνα ταχύτητας κάθετα μεταξύ τους, (τα τρία δίλοβα μικρόφωνα  $X, Y, Z$  βρίσκονται πάνω σε ένα τρισσορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων, με κέντρο τη θέση του ακροατή, έτσι ώστε το καθένα από αυτά να λαμβάνει και διαφορετική ηχητική συνιστώσα του πεδίου (βάθους, πλάτους και ήψους, αντίστοιχα). Στο παντοφωνικό σύστημα, δεν χρησιμοποιείται η συνιστώσα  $Z$  τα οποία λαμβάνουν τα κατευθυντικά σήματα  $X$  (εμπρός - πίσω),  $Y$  (αριστερά - δεξιά) και  $Z$  (πάνω - κάτω). Όλα αυτά τα μικρόφωνα είναι θεωρητικά συμπτωτά μεταξύ τους.

Ο απαιτούμενος αριθμός  $N$  καναλιών/ηχείων του ambisonics, καθορίζεται από την τάξη  $m$  του συστήματος:

$$N=2m+1 \text{ για παντοφωνικό/περιφερειακό σύστημα (pantophonic)}$$

$$N=(m+1)^2 \text{ για ολοσφαιρικό/περιφωνικό σύστημα (periphonic)}$$

Για παράδειγμα, ένα περιφωνικό σύστημα πρώτης τάξης ( $m=1, N=4$ ) χρησιμοποιεί τέσσερα ηχεία τοποθετημένα στις κορυφές ενός ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου σχήματος, με τις μεγαλύτερες πλευρές του κατά μήκος του άξονα  $X$ . Επίσης, ένα παντοφωνικό σύστημα δεύτερης τάξης ( $m=2, N=5$ ) χρησιμοποιεί πέντε ηχεία τοποθετημένα στις κορυφές ενός κανονικού πενταγώνου.

Τα σήματα που τροφοδοτούν τα ηχεία σε συστήματα πρώτης τάξης, παράγονται με γραμμικούς συνδυασμούς μεταξύ των σημάτων  $W, X, Y$  και  $Z$ , ενώ σε συστήματα δεύτερης τάξης με γραμμικούς συνδυασμούς των σημάτων  $W, X, Y, Z, U$  και  $V$  (τα επι πλέον σήματα  $U$  και  $V$  παράγονται σε συστήματα δεύτερης τάξης).

Αναλυτικότερα οι τάξεις των συστημάτων έχουν ως εξής:



Εικόνα 17: Μικρόφωνο Soundfield MK V. Απεικονίζονται οι ονομασίες των σημάτων και οι αντιστοιχία τους με τις κάψες του μικροφώνου.

## 1) Πρώτης τάξης (First Order)

Ο πυρήνας των ambisonics βρίσκεται στο B-Format. Πρώτης τάξης B-Format δημιουργείται από τέσσερα κανάλια τα οποία ονομάζονται W, X, Y και Z. Αυτά τα τέσσερα κανάλια περιέχουν όλη την απαραίτητη πληροφορία για να αναπαράγουν πλήρη τρισδιάστατο ήχο. Το κανάλι W περιέχει ένα παντοκατευθυντικό σήμα. Τα υπόλοιπα τρία κανάλια περιέχουν χωρική πληροφορία με την μέθοδο της προσθαφαίρεσης (αναπαραγωγή απλού στέρεο από 4 ηχεία, τα πίσω κανάλια παράγονται από την άθροιση και τη διαφορά αντίστοιχα των στερεοφωνικών), αντίστοιχη με την τεχνική του στέρεο που αναπτύχθηκε από τον Alan Dower Blumlein το 1930. Το κανάλι X περιέχει πληροφορία παρόμοια με την εικόνα οκτώ μικροφώνων που βλέπουν την μπροστά μεριά (μπροστά μείον πίσω). Με τον ίδιο τρόπο, το κανάλι Y βλέπει την αριστερή μεριά(αριστερή μείον δεξιά) και το κανάλι Z βλέπει τον κατακόρυφο άξονα (πάνω μείον κάτω). Αυτές οι πολικές συντεταγμένες αντιπροσωπεύουν το ζευγάρι σφαιρικών αρμονικών που ακολουθούν:

$$W = 0.707 \quad [1]$$

$$X = \cos(\text{angle}^1) \cos(\text{elevation}^2) \quad [2]$$

$$Y = \sin(\text{angle}) \cos(\text{elevation}) \quad [3]$$

$$Z = \sin(\text{elevation}) \quad [4]$$

Ο Michael Garzon πρότεινε αρχικά την χρήση σφαιρικών αρμονικών για τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης του ήχου. Τα τέσσερα κανάλια στο B-Format καθορίζουν της πρώτης τάξης ambisonics. Πιο συγκεκριμένα, το κανάλι W θεωρείται ως μηδενικής τάξης, και επιπρόσθετα τα κανάλια X, Y, και Z δημιουργούν το ηχητικό πεδίο ως πρώτης τάξης. Προσπάθησε, αργότερα το 1973, να φτάσει σε σημείο ώστε να ορίσει τις σφαιρικές αρμονικές στο να ενταχθούν στο B-Format με στόχο να φτάσουν δεύτερης ή τρίτης τάξης ambisonics. Ωστόσο, οι τάξεις προσδιορίστηκαν με βάση το καρτεσιανό σύστημα και μέχρι τα ambisonics συστήματα του 1975 μπορούσαν να εξηγηθούν με βάση τις πολικές συντεταγμένες. Στην μετέπειτα δουλειά του, αναφέρει μόνο πρώτης τάξης συστήματα και επίσης χρήση πολικών συντεταγμένων. Ως αποτέλεσμα, υψηλότερης τάξης συστήματα χρειάζονταν να συμβαδίζουν και να είναι συμβατά με την τεχνική των πολικών συντεταγμένων η οποία είχε γίνει πρότυπο. Ενώ οι σφαιρικές αρμονικές χρησιμοποιούνταν από άλλους επαγγελματίες όπως μαθηματικούς, χημικούς, φυσικούς, και καμία από τις μεθόδους τους δεν ταίριαζει με τις σφαιρικές αρμονικές των ambisonics.

## 2) 1.5 τάξης (1.5 Order)

Το 1995 κατά τη διάρκεια της πτυχιακής του, ο Jeffery Bamford πρότεινε την προσθήκη δυο επιπλέον καναλιών στο B-Format. Η επιπλέον πληροφορία που θα ήταν διαθέσιμη από αυτά τα δυο νέα κανάλια

---

<sup>1</sup> angle = γωνία θ

<sup>2</sup> elevation = κατακόρυφη γωνία φ

θα είχε να κάνει μόνο με το οριζόντιο επίπεδο και και γι' αυτό δεν κρίθηκε να ονομαστεί δεύτερης τάξης τρισδιάστατο(περιφωνικό) σύστημα ambisonics αλλά κατέληξε στο 1.5 τάξης σύστημα. Οι συναρτήσεις για τα δυο νέα κανάλια είναι:

$$U = \cos(2*angle) \cos(elevation) \quad [5]$$

$$V = \sin(2*angle) \cos(elevation) \quad [6]$$

### 3) Δεύτερης τάξης (Second Order)

Ο Dave Malham προσδιόρισε δεύτερης τάξης ambisonics συναρτήσεις ως εξής:

$$R = \sin(2*elevation) \quad [7]$$

$$S = \cos(angle) \cos(2*elevation) \quad [8]$$

$$T = \sin(angle) \cos(2*elevation) \quad [9]$$

$$U = \cos(2*angle) - \cos(2*angle) \sin(2*elevation) \quad [10]$$

$$V = \sin(2*angle) - \sin(2*angle) \sin(2*elevation) \quad [11]$$

Η πρόσθεση των παραπάνω συνιστωσών μεγαλώνει την περιοχή ακρόασης στην οποία η χωροθέτηση του ήχου επιτυγχάνεται με χρήση ενεργών ψυχοακουστικών κριτηρίων. Πέρα από την αύξηση στα απαιτούμενα ηχητικά κανάλια για δεύτερης τάξης ambisonics, χρειάζονται επιπλέον ηχεία. Για αναπαραγωγή πρώτης τάξης σε οριζόντιο επίπεδο απαιτούνται το λιγότερο τέσσερα ηχεία, και την αναπαραγωγή τρισδιάστατου ηχητικού πεδίου απαιτούνται το λιγότερο οκτώ ηχεία. Για αναπαραγωγή δεύτερης τάξης σε οριζόντιο επίπεδο το λιγότερο είναι έξι ηχεία και δώδεκα για αναπαραγωγή σε περιφωνικό σύστημα.

Κατά την μίξη υλικού πρώτης και δεύτερης τάξης, παρουσιάστηκε πρόβλημα. Η αποκωδικοποίηση διαφέρει σημαντικά όταν χρησιμοποιείται υλικό μόνο πρώτης τάξης από το να συνδυάζεται υλικό πρώτης και δεύτερης τάξης μαζί. Ωστόσο ρυθμίζοντας την κωδικοποίηση και την αποκωδικοποίηση, μπορεί να διορθωθεί αυτό το πρόβλημα. Παρόλα αυτά αυτό είναι ένα από τα πλεονεκτήματα κατά ambisonics, που έχει να κάνει με το ότι ο συνθέτης ή ο τεχνικός του ήχου, μπορούν να δημιουργήσουν ένα κομμάτι μουσικής χωρίς να έχουν να σκεφτούν και να υπολογίσουν τι σύστημα και ποια ηχεία θα είναι αυτά στα οποία θα γίνει η τελική αναπαραγωγή. Η λύση ήταν να εφοδιάσουν δυο εκδοχές του καναλιού W. Το πρώτο ήταν W για πρώτης τάξης συστήματα, και το δεύτερο ήταν σήμα W για πρώτης και δεύτερης τάξης συνδυασμένα συστήματα. Η δεύτερη τάξη θεωρείται ικανοποιητική όσον αφορά τον ορθό εντοπισμό των ήχων, και δεν εμφανίζει προβλήματα στην ηχητική εικόνα, κάτι το οποίο πολλές φορές παρατηρείται από τη χρήση υπερβολικού αριθμού ηχείων. [ ]

### 4) Furse-Malham Set

Ο Dave Malham μαζί με τον Richard Furse αργότερα βελτίωσαν το σετ δεύτερης τάξης, και το ονόμασαν «Furse-Malham Set». Η πρόθεση των υπολογισμών Furse-Malham είναι πως οι συντελεστές που

παράγονται πρέπει να εξομαλύνονται ώστε να έχουν μέγιστες τιμές που θα είναι ή «+» ή «-» 1.0. Αυτό εξασφαλίζει ότι τα σήματα στα κανάλια θα έχουν βέλτιστη δυναμική περιοχή.

#### 5) Τρίτης τάξης (Third Order)

Ο Jerome Daniel δημιούργησε το τρίτης τάξης κομμάτι αλλά το W σήμα δεν είχε κάποιο συντελεστή εξομάλυνσης όπως στο προηγούμενο σετ. Το W σήμα είχε ένα ποσοστό της τάξης του 0.707 (-3dB) όπως είχε αρχικά τυποποιηθεί από τον Gerzon και τους υπολοιπους. Αν γινόταν μετατροπή σε 1(0dB) θα ήταν αντιφατικό με τα υπάρχοντα συστήματα και γι αυτό παρέμεινε ως είχε. Παρακάτω βρίσκονται οι συναρτήσεις για της τρίτης τάξης ambisonics:

$$K = \sin(elevation) (5\sin(elevation) - 3) / 2 \quad [12]$$

$$L = 8\sin(angle) \cos(elevation) (5\sin(elevation) - 1) / 11 \quad [13]$$

$$M = 8\cos(angle) \cos(elevation) (5\sin(elevation) - 1) / 11 \quad [14]$$

$$N = \sin(2angle) \sin(elevation) \cos(elevation) \quad [15]$$

$$O = \cos(2angle) \sin(elevation) \cos(elevation) \quad [16]$$

$$P = \sin(3angle) \cos(elevation) \quad [17]$$

$$Q = \cos(3angle) \cos(elevation) \quad [18]$$

#### 6) Πέρα από την Τρίτη τάξη

Σαφώς deriving σφαιρικές αρμονικές πέρα από την τρίτη τάξη περιέχει πολύπλοκες και κουραστικές μαθηματικές πράξεις. Παρόλα αυτά υπάρχει μια μέθοδος για την παραγωγή υψηλότερων τάξεων από ένα υπάρχον τρίτης τάξης σετ, χρησιμοποιώντας μια αναδρομική συνάρτηση. Ο Jerome Daniel χρησιμοποίησε την τεχνική αυτή για να προσομοιώσει με έναν υπολογιστή την συμπεριφορά οριζόντιων ambisonics συστημάτων μέχρι και 15ης τάξης.

Είναι σημαντικό να προσδιοριστεί το σημείο στο οποίο η προσθήκη των τάξεων σφαιρικών αρμονικών δεν θα επιτυγχάνει κάποια ουσιαστική διαφορά στην αντιληπτικότητα του ήχου στον ακροατή. Επιπλέον, καθώς υπάρχει μια εκθετική αύξηση στην αποθήκευση, στην μεταφορά και στην επεξεργασία του ήχου όπου επιτρέπει την ανάπτυξη στα μεγαλύτερης τάξης συστήματα ambisonics, θα υπάρχει και μια ανάλογα κατάλληλη συγκεκριμένη τάξη η οποία θα είναι διαθέσιμη σε κατασκευαστές και κοινό. Πάνω απ' όλα, όσο μεγαλύτερης τάξης είναι το σύστημα που παράγεται, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο αριθμός ηχείων που απαιτείται από τον χρήστη να χρησιμοποιήσει. Ακόμη και όταν είναι προσιτή μια τέτοια εγκατάσταση, απαιτεί από τους χρήστες να δημιουργήσουν εγκαταστάσεις αφιερωμένες μόνο σε ambisonics.



Υπάρχουν πέντε διαφορετικές τυποποιήσεις για τα συστήματα ambisonics και η κάθε μια από αυτές αναφέρεται σε ένα από τα στάδια της μεθόδου κατά ambisonics. Αυτές είναι:

- A-Format
- B-Format
- D-Format
- UHJ-Format ή C-Format
- G-Format

Έτσι έχουμε την τυποποίηση A-Format να αντιστοιχεί στο στάδιο της ηχοληψίας, το B-Format στο στάδιο της αποσύνθεσης του ηχητικού πεδίου και τα D,UHJ,G-Format στο στάδιο ανασύνθεσης του ηχητικού πεδίου.

#### *A-Format*

Το A-Format αναφέρεται στο μέρος κατά το οποίο γίνεται η ηχοληψία του τρισδιάστατου ηχητικού πεδίου. Αποτελείται από τέσσερα σήματα τα οποία εξάγονται από ένα μικρόφωνο Soundfield [Εικόνα 17] και είναι :

FUL: Front Up Left

BUR: Front Up Right

BDL: Back Down Left

FDR: Front Down Right

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως τα σήματα αυτά τα λαμβάνουν οι κάψες ενός μικροφώνου Soundfield. Οι τέσσερις αυτές κάψες βρίσκονται στις πλευρές ενός τετραέδρου. Μετά την ηχογράφηση τα σήματα που παράγονται θα εξισορροπηθούν, για να αντισταθμιστεί η απόσταση που έχουν από το κέντρο του ηχητικού πεδίου. Έπειτα θα περάσουν και θα τροφοδοτήσουν έναν κωδικοποιητή B-Format, έτσι ώστε να δημιουργηθούν τα σήματα των σφαιρικών αρμονικών μηδενικής και 1ης τάξης. Επίσης για την λήψη των σημάτων των σφαιρικών αρμονικών θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένα παντοκατευθυντικό (οmni) μικρόφωνο, ώστε να δημιουργηθεί το σήμα W, ενώ για τα σήματα X, Y, Z θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τρία διπολικά μικρόφωνα προσανατολισμένα προς τα θετικά των αξόνων (σύστημα συντεταγμένων) του κάθε σήματος αντίστοιχα. Αν χρησιμοποιηθεί αυτή η τεχνική κατά την ηχογράφηση, δημιουργείται το B-Format, χωρίς να χρειαστεί κωδικοποίηση. Παρόλ' αυτά τα μικρόφωνα μπορεί να είναι συμπτωτικά, γι αυτό και έχουν δημιουργηθεί μικρόφωνα για την λήψη του ηχητικού πεδίου, όπως το Soundfield. Όταν κατά την λήψη, λαμβάνονται σφαιρικές αρμονικές μεγαλύτερης τάξης, υπάρχει καλύτερη ηχοληψία του ηχητικού πεδίου.

#### *B-Format*

Το B-Format αφορά το τμήμα της αποσύνθεσης του τρισδιάστατου ηχητικού πεδίου σε σφαιρικές αρμονικές. Αποτελείται από τέσσερα σήματα τα οποία είναι W, X, Y, Z. Το W συμβολίζει την σφαιρική

αρμονική μηδενικής τάξης του ηχητικού πεδίου και είναι το ίδιο με αυτό που θα λάμβανε ένα παντοκατευθυντικό (omni) μικρόφωνο, εάν βρισκόταν στο κέντρο του ηχητικού πεδίου. Τα X, Y, Z συμβολίζουν τις σφαιρικές αρμονικές πρώτης τάξης και αντίστοιχα είναι ίδια με τα σήματα που θα λάμβαναν τρία δικατευθυντικά μικρόφωνα προσανατολισμένα στις 0° αζιμούθια γωνία και 0° γωνία ανύψωσης, 90° αζιμούθια γωνία και 0° γωνία ανύψωσης και 0° αζιμούθια γωνία και 90° γωνία ανύψωσης, αντίστοιχα, αν βρίσκονταν στο κέντρο του ηχητικού πεδίου (Εικόνα 18). Το B-Format μπορεί να προκύψει με δύο τρόπους, είτε από την κωδικοποίηση ενός σήματος A-Format, είτε υπολογίζοντας συνθετικά τις σφαιρικές αρμονικές ενός εικονικού ηχητικού πεδίου. Συνθετικά υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας εικονικών ηχητικών πεδίων μεγαλύτερης τάξης. Σε αυτή την περίπτωση θα υπήρχαν και τα σήματα μεγαλύτερης τάξης σφαιρικών αρμονικών όπως (S), (T), (U), (V) κτλ.



Εικόνα 18: Απεικόνιση των πολικών διαγραμμάτων των σφαιρικών αρμονικών 0ης και 1ης τάξης. Από αριστερά προς τα δεξιά έχουμε τα σήματα: W, X, Y και Z αντίστοιχα.

### *D-Format*

Το D-Format αφορά το κομμάτι της τροφοδότησης των ηχείων του συστήματος για την αναπαραγωγή και την ανασύνθεση του ηχητικού πεδίου. Στην τυποποίηση αυτή δεν μπορούμε να συγκεκριμενοποιήσουμε τον αριθμό των σημάτων που χρειάζονται, γιατί αναφέρεται στα σήματα που θα τροφοδοτήσουν τα ηχεία, των οποίων ο αριθμός κυμαίνεται ανάλογα με το σύστημα αναπαραγωγής που θα χρησιμοποιηθεί. Έτσι για συγκεκριμένες διατάξεις και αριθμό ηχείων έχουν δημιουργηθεί άλλες τυποποιήσεις όπως είναι το UHJ-Format και το G-Format. Χρησιμοποιείται για ιστορικούς λόγους.

### *G-format*

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το G-Format αναφέρεται και αυτό στην τροφοδότηση των ηχείων και στην ανασύνθεση έπειτα του ηχητικού πεδίου. Προορίζεται για την τροφοδότηση των ηχείων ενός συστήματος αναπαραγωγής που συμφωνεί με το πρότυπο του ITU «5.1 Surround sound». Δεν έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως διότι οι προδιαγραφές της τυποποίησης αυτής δεν έχουν οριστεί. Σε μέσα όπως το DVD και το SACD υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς δύο επιπλέον καναλιών ήχου. Έτσι κατά την αποκωδικοποίηση του B-Format για την δημιουργία του G-Format, υπάρχει η δυνατότητα της ταυτόχρονης κωδικοποίησης και του UHJ-Format. Με αυτό τον τρόπο είναι εφικτή η μεταφορά του G και

του UHJ- Format, ώστε να μπορούν οι ακροατές να ακούσουν Surround, Stereo ή Mono. Αυτή η τυποποίηση ονομάστηκε G+2-Format. [26]

#### *UHJ-Format ή C-Format*

Το UHJ-Format (Universal HJ) ή C-Format χρησιμοποιείται και αυτό για την τροφοδότηση των ηχείων. Το εφάρμοσε το BBC σε ραδιοφωνικές εκπομπές στα τέλη της δεκαετίας του 1970, και βασίστηκε στο περιφωνικό ambisonics σύστημα πρώτης τάξης (B-Format). Συγκεκριμένα αναφέρεται σε συστήματα αναπαραγωγής με δύο ή τρία ηχεία. Επιπρόσθετα δημιουργήθηκε για να μπορούν οι ακροατές που δεν έχουν την δυνατότητα να ακούσουν surround, να πάρουν την πληροφορία κατά ambisonics από δύο ή τρία κανάλια, και τελικά να δεχτούν την πληροφορία του ηχητικού πεδίου από mono ή stereo (η ανασύνθεση του ηχητικού πεδίου μπορεί να γίνει μόνο από stereo). Η πλήρης μορφή αυτής της τυποποίησης αποτελείται από τέσσερα κανάλια με ονομασίες Q, T, R και L. Στην πλήρη της μορφή μπορεί να δημιουργήσει ακριβής ηχητικές εικόνες και στις τρεις διαστάσεις, όταν βέβαια η αναπαραγωγή γίνεται από ένα Stereo. Το σήμα Q περιέχει την πληροφορία του ηχητικού πεδίου που αφορά το ύψος. Η παράλειψή του αφαιρεί από το σύστημα αναπαραγωγής την δυνατότητα δημιουργίας ηχητικών πεδίων και στις τρεις διαστάσεις ενώ περιορίζεται στη δημιουργία ηχητικών πεδίων στο οριζόντιο επίπεδο. Το L αντιστοιχεί στο αριστερό κανάλι ενός συμβατού Stereo, ενώ το R στο δεξί. Το T επιτρέπει την πιο ακριβή οριζόντια αποκωδικοποίηση. Η αναλογία στα σήματα του B-format τα οποία είναι συνδυασμένα έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα C-Format σήμα, έχει προσεκτικά βελτιστοποιηθεί για την καλύτερη συμβατότητα με συμβατικά πρωτόκολλα Stereo και Mono.

#### *Ambisonics for DVD Audio*

Η τεχνολογία ambisonics στο παρελθόν περιοριζόταν με το να απαιτεί από τον χρήστη να έχει ένα ειδικό αποκωδικοποιητή (συνήθως με όλα τα 2 καναλιών περιφερειακά συστήματα) έτσι ώστε να ακουστεί η ηχητική πληροφορία. Τώρα με την χρήση 5.1 surround αυτό δεν είναι πλέον απαραίτητο. Μια ηχογράφηση κατά ambisonics μπορεί να αποκωδικοποιηθεί σε 5.1 ηχητικές θέσεις στον χώρο, και το αποτέλεσμα να εγγραφεί στο DVD. Οι σύγχρονοι αποκωδικοποιητές κατά ambisonics, χρησιμοποιούν τις ψηφιακά αποθηκευμένες συνιστώσες του ηχητικού πεδίου στους δίσκους DVD (πρώτης ή δεύτερης τάξης), και με κατάλληλους γραμμικούς συνδυασμούς παράγουν τα σήματα τροφοδότησης των ηχητικών καναλιών. Αυτό είναι το λεγόμενο G-Format. Η συγκεκριμένη αποκωδικοποίηση έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι πλήρως αναστρέψιμη, και να επιτρέπει στον χρήστη στο σπίτι, με έναν τυπικό κωδικοποιητή, να μετατρέψει το G-format σε B-format και έπειτα να χρησιμοποιήσει έναν συμβατικό αποκωδικοποιητή για την τελική αναπαραγωγή, καθώς, όπως είναι λογικό, η διάταξη των ηχείων θα μπορεί να διαφέρει πλέον από 5.1.[27]

Τέλος όσο αφορά την τεχνολογία κατά ambisonics θα μπορούσαμε να συνοψίσουμε τα πλεονεκτήματα, καθώς και τα μειονεκτήματα που έχει.

#### *Πλεονεκτήματα*

- Δυνατότητα ηχογράφησης - αποτύπωσης τρισδιάστατων ηχητικών πεδίων
- Υπάρχει διατήρηση του ηχητικού πεδίου κατά την περιστροφή του κεφαλιού
- Είναι ιεραρχική μέθοδος, δηλαδή αφού έχει γίνει κωδικοποίηση του ηχητικού πεδίου είναι δυνατή η αναπαραγωγή του ασχέτως με τον αριθμό των ηχείων που θα χρησιμοποιηθεί (διαφορετικές διατάξεις ηχείων)
- Τα κωδικοποιημένα σήματα με κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να αναπαραχθούν και από άλλα συστήματα όπως 5.1 surround, Binaural, Transaural και έχει συμβατότητα με μονοφωνική και στερεοφωνική αναπαραγωγή.
- Στα συστήματα πρώτης τάξης χρειάζονται μόλις 4 κανάλια για την ηχογράφηση και καταγραφή των ηχητικών πεδίων, ενώ για την ηχογράφηση στο οριζόντιο επίπεδο χρειάζονται μόλις 3 κανάλια

#### *Μειονεκτήματα*

- Υπάρχει συγκεκριμένο σημείο στο οποίο γίνεται η καλύτερη αντίληψη του ήχου
- Για καλύτερη αναπαραγωγή του ηχητικού πεδίου πρέπει να γίνει ηχογράφηση και μεγαλύτερης τάξης σφαιρικών αρμονικών του ηχητικού πεδίου, πράγμα που δεν είναι εφικτό μέχρι στιγμής
- Δεν υπάρχουν όλα τα δεδομένα για την αίσθηση της απόστασης, όπως διαφορά στις γωνίες πρόσπτωσης στα αυτιά.
- Κατά την ηχογράφηση στα σήματα του A-Format πρέπει να γίνει ισοστάθμιση στις χαμηλές συχνότητες λόγω της δημιουργίας του proximity effect, όταν το ηχητικό πεδίο βρίσκεται κοντά στα μικρόφωνα (Για τα σήματα X, Y, Z).

## **2.3 Επεξήγηση κεντρικών Όρων**

### *Διάδραση και Διαδραστικότητα*

Αρχικά διάδραση μπορεί να οριστεί η αμοιβαία δράση μεταξύ δυο παραγόντων και η αλληλεπίδραση που υπάρχει ώστε να επιτευχθεί ένας στόχος. Τα νέα μέσα είναι διαδραστικά. Σε αντίθεση με τα παλιά μέσα, στα οποία η παρουσίαση είναι προκαθορισμένη, ο χρήστης πλέον μπορεί να δράσει με ένα αντικείμενο του μέσου. Στην διαδικασία της διάδρασης ο χρήστης είναι σε θέση να επιλέξει ποια στοιχεία θα εμφανιστούν ή ποιο μονοπάτι να ακολουθήσει, κάτι που είναι πρωτότυπο. Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης συμπράτει στην δημιουργία του νοήματος [14]. Διαδραστική εγκατάσταση μπορεί να χαρακτηριστεί μια καλλιτεχνική εγκατάσταση, στην οποία κύριο ρόλο έχει η δράση από το κοινό-χρήστη του συστήματος. Η διάδραση μπορεί να μην ήταν γνώστη με τον όρο «διάδραση» πριν την ψηφιακή τεχνολογία, αλλά η ιδέα της άμεσης συμμετοχής του κοινού στο έργο, χρονολογείται από τη δεκαετία του 1970. Από το 1990 και μετά που χρησιμοποιείται η ψηφιακή τεχνολογία και οι καλλιτέχνες ξεκίνησαν να ενδιαφέρονται περισσότερο για την συμμετοχή του κοινού στις καλλιτεχνικές τους δημιουργίες, έχουν δημιουργηθεί διάφορα είδη διαδραστικών εγκαταστάσεων. Αυτές έχουν να κάνουν με το μέσο και τον χώρο όπου παρουσιάζονται. Για παράδειγμα υπάρχουν διαδραστικές εγκαταστάσεις που λειτουργούν online (ιστοσελίδες στις οποίες ο χρήστης ανάλογα με τις κινήσεις του τροποποιεί και εμφανίζει το περιεχόμενο), ψηφιακές εγκαταστάσεις (εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν σύγχρονα ψηφιακά μέσα), εγκαταστάσεις που υπάρχουν σε εκθεσιακούς χώρους κλπ. Ο χρήστης από απλά παθητικός θεατής γίνεται ενεργητικός. Σταματάει δηλαδή απλά να δέχεται πληροφορίες, και επεμβαίνει ενεργά στην λειτουργία της εγκατάστασης και τροποποιεί το περιεχόμενο. [37]

### *Ηχητική εγκατάσταση*

Η ηχητική εγκατάσταση ή Sound Installation, αναπτύχθηκε στο τέλος της δεκαετίας του 1960 από τον Max Neuhaus, την Maryanne Amacher και άλλους. Στοχεύει μεταξύ άλλων και σε δυο βασικά θέματα, τονίζει ο Satie [65]. Πρώτον, όχι απλά να προσαρμόσει την μουσική που συλλαμβάνεται σε μια εκτέλεση με συνήθη μορφή αντίληψης, αλλά βασικά να συλλάβει τον τονικό σχεδιασμό του χώρου ως μια ένταση στο σύνολο. Έτσι η μουσική δεν διαμορφώνεται μόνο για να ακουστεί σε μια συγκεκριμένη κατάσταση, αλλά πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο χώρος στον οποίο θα παιχτεί. Ο χώρος δεν μπορεί να προσαρμοστεί στη μουσική, αλλά η μουσική πρέπει να έχει την δυνατότητα να προσαρμόζεται στον χώρο. Δεύτερον δεν πρέπει απλά να προκληθεί η προσοχή των ακροατών, αλλά να δοθεί η πιθανότητα στους ακροατές να καθορίσουν ποιό είδος προσοχής αυτοί επιλέγουν για να αντιληφθούν τον συγκεκριμένο τονικό συνδυασμό. Βασίζεται στο να δοθεί το ηχητικό περιβάλλον με διάφορες βαθμίδες της αίσθησης της ακοής, ώστε ο ακρατής να αντιληφθεί την κατάσταση, όπως αυτός μπορεί.

*Οι όροι που μπορούν να περιγράψουν και να προσεγγίσουν καλύτερα το είδος της ηχητικής επένδυσης της εγκατάστασης περιγράφονται παρακάτω:*

#### *Όρος Ambient Music*

Ambient μπορεί να χαρακτηριστεί η ατμοσφαιρική, περιβαλλοντική μουσική. Είναι χαρακτηριστικά μη περιγράψιμο είδος, διότι περιλαμβάνει πολλά διαφορετικά στυλ, ήχους και ατμόσφαιρες. Είναι ηλεκτρονική, κυρίως ορχηστρική και σαν μουσικό είδος, δεν περιέχει κάποιο ρυθμό. Αναπτύχθηκε αρχικά από τον Brian Eno την δεκαετία του 1970. Σκοπό έχει να υπάρχει στον χώρο, να περιβάλλει τον ακροατή και να δημιουργήσει ή να ενισχύσει μια διάθεση ή ατμόσφαιρα. [35]

#### *Όρος Space Music*

Ο όρος Space Music ή Μουσική Διαστήματος δεν έχει κάποιο χαρακτηριστικό ορισμό αφού σαν όρος έχει ξεκινήσει να υπάρχει εδώ και μόλις λίγα χρόνια. Με τον όρο Space Music χαρακτηρίζεται η μουσική που δημιουργεί μια αίσθηση για διαλογισμό. Ο όρος είναι παρεμφερής και μπορεί να βρεθεί ενσωματωμένος μέσα σε άλλα μουσικά είδη, όπως αυτό της ατμοσφαιρικής μουσικής (ambient), new age και ηλεκτρονικής μουσικής. [53]

#### *Όρος Soundscape*

Ένα ηχοτοπίο μπορεί να αποτελείται από έναν ήχο ή από ένα συνδυασμό ήχων, οι οποίοι προέρχονται και χαρακτηρίζουν ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Η μελέτη των ηχοτοπίων είναι θέμα της ακουστικής οικολογίας. Συνήθως η δημιουργία ηχοτοπίων έχει σκοπό να δημιουργήσει εικονικά ακουστικά περιβάλλοντα και να αποδώσει/χαρακτήρισει αποκλειστικά και μόνο με ήχους ένα συγκεκριμένο μέρος, περιβάλλον, τόπο. [34]

### 3. Σχεδιασμός Εγκατάστασης - Υλοποίηση

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση της λειτουργίας του συστήματος της εγκατάστασης καθώς και όλων των τμημάτων που την απαρτίζουν και το όπως υλοποιήθηκαν.

Αρχικά, πρέπει να αναφέρουμε την δημιουργία του λογοτύπου της εργασίας. Το λογότυπο (Εικόνα 19) επιλέχτηκε να είναι αυτό από τα πρώτα τέσσερα γράμματα της λέξης ambisonics, που χρησιμοποιήθηκε το ambi και τη λέξη αστέρι στα αγγλικά, star, που αντιπροσωπεύουν άμεσα τα δύο κύρια στοιχεία της εγκατάστασης. Το πρώτο στοιχείο αντιστοιχεί στην τεχνολογία ήχου που χρησιμοποιήθηκε και το δεύτερο στο κύριο στοιχείο που αποτελεί το οπτικό μέρος της εγκατάστασης. Γι αυτό το λόγο στο λογότυπο χρησιμοποιήθηκε διαφορετικό χρώμα στα δυο συνθετικά μέρη του ονόματος ambiStar. Οι δύο κύκλοι που παρουσιάζονται πίσω από τη λέξη star συμβολίζουν δυο ουράνια σώματα και βοηθούν ώστε να προϊδεάσουν τον χρήστη για το τι πρόκειται να δει στην εγκατάσταση.

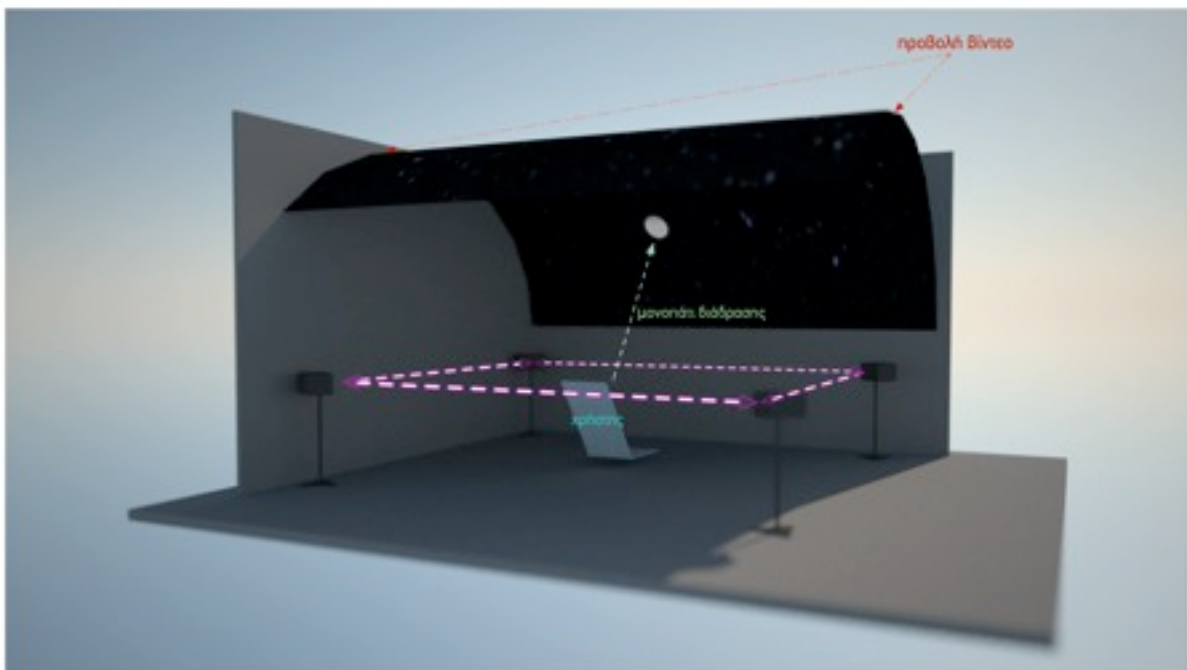


Εικόνα 19: Λογότυπο εγκατάστασης ambiStar.

### 3.1 Ανάλυση Λειτουργίας

Ο επισκέπτης εισέρχεται μέσα σε ένα σκοτεινό δωμάτιο στο οποίο μπορεί να επιλέξει αν θέλει να βρίσκεται όρθιος ή καθιστός. Συγκεκριμένα, η διάκριση αυτή επιλέχτηκε μετά από τις πρώτες δοκιμές της εγκατάστασης και από την αντίδραση των θεατών. Βέβαια η μεταβολή στο ηχητικό πεδίο και η σωστή αντίληψη της κατά την τεχνολογία ambisonics, απαιτεί ο χρήστης να βρίσκεται σε ένα ορισμένο σημείο στον χώρο. Συγκεκριμένα μέσα στο δωμάτιο ο χρήστης μπορεί να παρατηρήσει τον έναστρο ουρανό που βρίσκεται από πάνω του και να χρησιμοποιήσει τις κινήσεις του χεριού του για να μετακινήσει το αστέρι στον ουρανό. και κατ' επέκταση να μεταβάλλει τον ήχο που παράγει το αστέρι στον χώρο γύρω του. Για να επιτευχθεί η αναγνώριση του χεριού του χρήστη, ήταν απαραίτητο ο επισκέπτης να φοράει ένα λευκό γάντι. Δυο λάμπες blacklight επέτρεπαν στο λευκό γάντι να φωσφορίζει μέσα στο χώρο και βοηθούσαν το σύστημα να εντοπίσει τη θέση του.

Πρέπει να τονιστεί πως όλο το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την σύνθεση και παραγωγή του οπτικού και ηχητικού μέρους της εγκατάστασης είναι πρωτότυπο, και δεν έχει χρησιμοποιηθεί τίποτα έτοιμο.



Εικόνα 20: Τρισδιάστατη απεικόνιση χώρου και τρόπου λειτουργίας της διαδραστικής εγκατάστασης ambiStar.



### 3.1.1. Οπτικό μέρος

Τα δύο βασικά χαρακτηριστικά που απαρτίζουν το οπτικό μέρος της εγκατάστασης είναι το βίντεο του έναστρου ουρανού και το αστέρι (Εικόνα 21) που εμφανιζόταν όταν κάποιος χρήστης λειτουργούσε το σύστημα. Όλο το οπτικό μέρος εμφανιζόταν πάνω στον θόλο που είχε κατασκευαστεί και η εικόνα προερχόταν από ένα προβολικό σύστημα, το οποίο έκανε οπίσθια προβολή στο πανί, με στόχο την δημιουργία του έναστρου ουρανού. Η προβολή επιλέχτηκε να γίνει οπίσθια, διότι διαφορετικά θα υπήρχε υπερβολικό φως στο εσωτερικό του δωματίου, κάτι που θα εμπόδιζε την δημιουργία νυχτερινού τοπίου (λιγοστό έως και ελάχιστο φως) όπως αυτό είχε περιγραφεί στο σενάριο.



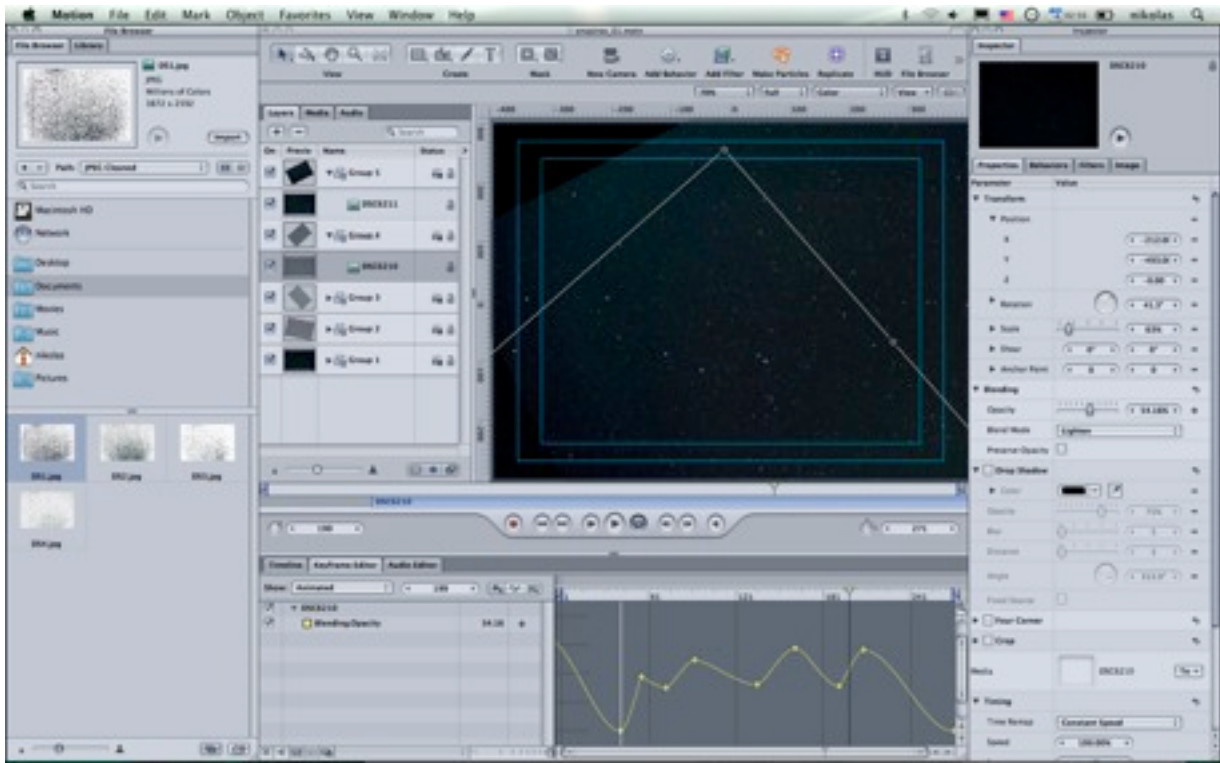
Εικόνα 21: Αστέρι εγκατάστασης ambiStar.

Για την δημιουργία του έναστρου ψηφιακού ουρανού χρησιμοποιήθηκαν διαδοχικές φωτογραφίες, στις οποίες είχε γίνει λήψη νυχτερινού ουρανού κατά τον μήνα Ιανουάριο και Μάιο, από διαφορετικές τοποθεσίες (Εικόνα 22). Αυτό έγινε για να υπάρχει διαφορετικό υλικό από νυχτερινούς έναστρους ουραμούς, το οποίο φάνηκε χρήσιμο στην μετέπειτα επεξεργασία και δημιουργία του βίντεο. Η φωτογράφιση (του νυχτερινού ουρανού) με διαδοχικές λήψεις επέτρεπε την καλύτερη δυνατή απεικόνιση αυτού, και μείωνε τον θόρυβο στην τελική εικόνα, σε αντίθεση με το να γινόταν βιντεοσκόπηση αυτού. Η εγγραφή βίντεο θα μείωνε τον χρόνο λήψης, καθώς και τον χρόνο επεξεργασίας, αλλά δεν θα έδινε τόσο καθαρά (ύπαρξη θορύβου) αποτελέσματα στην τελική εικόνα.

Έτσι το βίντεο δημιουργήθηκε από τις διαφορετικές λήψεις του ουρανού που είχαν πραγματοποιηθεί. Η επεξεργασία των φωτογραφιών έγινε στο πρόγραμμα επεξεργασίας και σύνθεσης εικόνας Adobe Photoshop [20] και έπειτα το μοντάζ των φωτογραφιών και η σύνθεση για την παραγωγή του τελικού αρχείου βίντεο έγινε στο Apple Motion (Εικόνα 23) [21]. Το τελικό βίντεο ήταν εννέα δευτερόλεπτα και έπαιζε σε επανάληψη μέσα από το προγραμματιστικό κομμάτι που είχε συντεθεί στο Processing.



Εικόνα 22: Φωτογραφίες νυχτερινού ουρανού για την δημιουργία του τελικού βίντεο.



Εικόνα 23: Περιβάλλον προγράμματος Apple Motion, κατά τη σύνθεση και δημιουργία του τελικού βίντεο.

### 3.1.2. Ηχητικό μέρος

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν όλες οι διαδικασίες που έγιναν για να κατασκευαστεί το τελικό ηχητικό αποτέλεσμα της εγκατάστασης. Ξεκινώντας από το αρχικό στάδιο της ιδέας και της απόδοσης συγκεκριμένης ηχητικής εικόνας μέσα στον χώρο της εγκατάστασης ως την ηχογράφηση και την τελική μίξη που πραγματοποιήθηκε.

Για να αποδοθεί σωστά το σενάριο της εγκατάστασης και να δημιουργηθεί μέσα στον δωμάτιο παρουσίασης μια ατμόσφαιρα που να θυμίζει νύχτα, αλλά και να προκαλεί στον θεατή δέος για το άγνωστο που μπορεί να βρίσκεται μακριά από τον πλανήτη μας, επιλέχτηκαν ήχοι από την φύση, οι οποίοι ακούγονται κατά την διάρκεια της νύχτας σε μέρη μακριά από οποιαδήποτε κατοικημένη περιοχή. Τέτοιοι ήχοι όπως, φύσημα αέρα, τριζόνια, κουκουβάγιες και άλλοι ήχοι που δεν μπορούμε άμεσα να συνειδητοποιήσουμε όταν βρισκόμαστε σε τέτοιο σημείο, και όμως υπάρχουν και μάλιστα δημιουργούν το δικό τους μοναδικό ηχοτοπίο. Οι περισσότεροι από αυτούς τους ήχους συντέλεσαν την δημιουργία του ατμοσφαιρικού ηχητικού χαλιού το οποίο ακουγόταν καθ' όλη την διάρκεια της εγκατάστασης. Η κίνηση του ήχου στο χώρο γινόταν συνεχόμενα, με μικρές μεταβολές στην κατευθυντικότητα του, στοχεύοντας στην όσο το δυνατό ρεαλιστική αποτύπωση του νυχτερινού τοπίου (νυχτερινό ηχοτοπίο).

Στη συνέχεια για την δημιουργία και απόδοση του ήχου που θα παρήγαγε το αστέρι κατά την μετακίνηση του, δημιουργήθηκε ένας ήχος με βάση άλλους μικροθορύβους που μπορεί να παράγονται κατά την μετακίνηση αντικειμένων αλλά δεν μας γίνονται αντιληπτοί. Θα μπορούσαμε να πούμε πως η ηχητική επένδυση για το αστέρι σε συνδυασμό με τον ατμοσφαιρικό ήχο που υπήρχε δημιουργούσε ένα φανταστικό διαστημικό ηχοτοπίο.

Αρχικά όλες οι ηχογραφήσεις για τους ήχους που χρησιμοποιήθηκαν, έγιναν με έναν ψηφιακό εγγραφέα ήχου tascam [75]. Οι ήχοι που χρησιμοποιήθηκαν στο κατασκευαστικό υλικό για την δημιουργία του ήχου του αστεριού, δημιουργήθηκαν με την βοήθεια ενός ψηφιακού synthesizer της Yamaha και μετά από κατάλληλη επεξεργασία αυτών στον υπολογιστή.

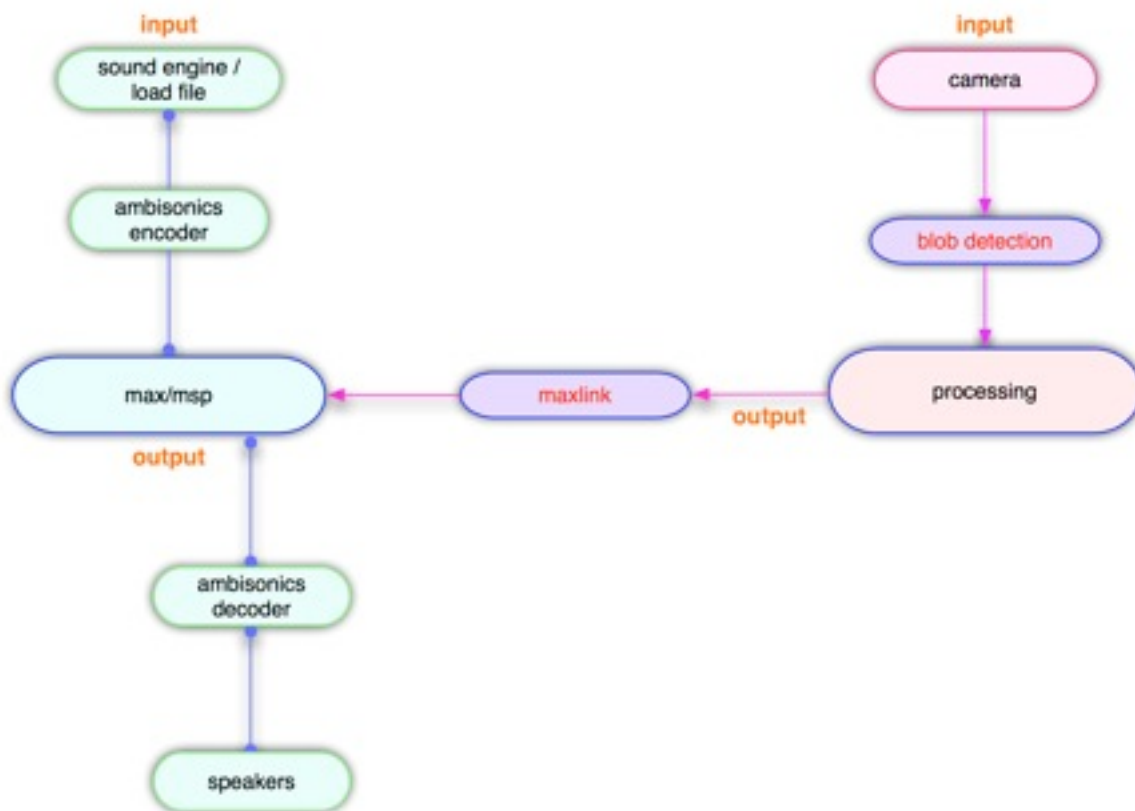
Τα προγράμματα επεξεργασίας και μίξης ήχου που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το Sound Studio και το Apple Soundtrack Pro (Εικόνα 24).



Εικόνα 24: Περιβάλλον προγράμματος Apple Soundtrack Pro, κατά τη δημιουργία και μίξη του τελικού ηχητικού υλικού της εγκατάστασης.

### 3.1.3. Σύστημα Διάδρασης

Το σύστημα διάδρασης της εγκατάστασης αφορά το κομμάτι εκείνο που ξεκινά με την διεπαφή του χρήστη με το σύστημα, την αναγνώριση της θέσης του χεριού και των μεταβολών αυτής μέσω της κάμερας, το προγραμματιστικό κομμάτι που αναπτύχθηκε στο περιβάλλον του Processing και αφορά το οπτικό μέρος, το κομμάτι του Max που είναι υπεύθυνο για την ηχητική αναπαραγωγή, καθώς και την διασύνδεση όλων των τεχνολογιών και των επιμέρους συστημάτων της εγκατάστασης. Το σύστημα διάδρασης ήταν αυτό που επέτρεπε στο σενάριο να αποδοθεί σωστά ώστε ο χρήστης να έχει την δυνατότητα να αντιληφθεί το νόημα της εγκατάστασης. Απεικόνιση του συστήματος διάδρασης και των διασυνδέσεων αυτού φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 25).



Εικόνα 25: Απεικόνιση του συστήματος διάδρασης της εγκατάστασης και των διασυνδέσεων αυτού.

#### *Προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν*

Το Processing [69] είναι ένα ανοικτού κώδικα εργαλείο προγραμματισμού, βασισμένο στις γλώσσες προγραμματισμού C και Java, το οποίο επιτρέπει την δημιουργία, τη σύνθεση, τη μίξη εικόνων, animation τη δημιουργία διάδρασης μεταξύ του χρήστη και του συστήματος. Γενικότερα χρησιμοποιείται ως βασικό εργαλείο για την δημιουργία βιντεο-εγκαταστάσεων, και διαδραστικών εγκαταστάσεων.

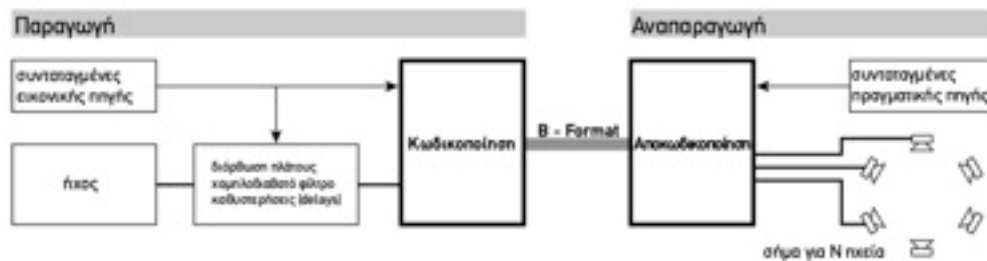
Το Max [29] είναι ένα πακέτο τριών προγραμμάτων τα οποία είναι το Max, Msp και το Jitter. Με τη σειρά που αναφέρθηκαν το Max προσφέρει ένα γραφικό περιβάλλον με το οποίο μπορεί ο χρήστης να προγραμματίσει σε πραγματικό χρόνο, να δημιουργήσει διασυνδέσεις και να υποστηρίξει μέσω πρωτόκολλου MIDI. Το Msp χρησιμοποιείται για σύνθεση ήχου σε πραγματικό χρόνο και ψηφιακή επεξεργασία σήματος (digital signal processing) και τέλος το Jitter είναι υπεύθυνο για εικόνα, βίντεο και επεξεργασία δεδομένων σε επίπεδο πινάκων.

Το maxlink [58] είναι μια βιβλιοθήκη γραμμένη σε java η οποία επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ των προγραμμάτων Processing και Max. Χρησιμοποιεί τις κλάσεις MultiSender και MultiReceiver από το Max και τα μηνύματα are multicast over UDP to the local subnet εφαρμόζοντας ένα σύστημα ονοματολογίας παρόμοιο με αυτό που λειτουργεί στο πρωτόκολλο OSC. Εν τέλει τα αντικείμενα που λαμβάνουν τα μηνύματα τα αποκοδικωποιούν.

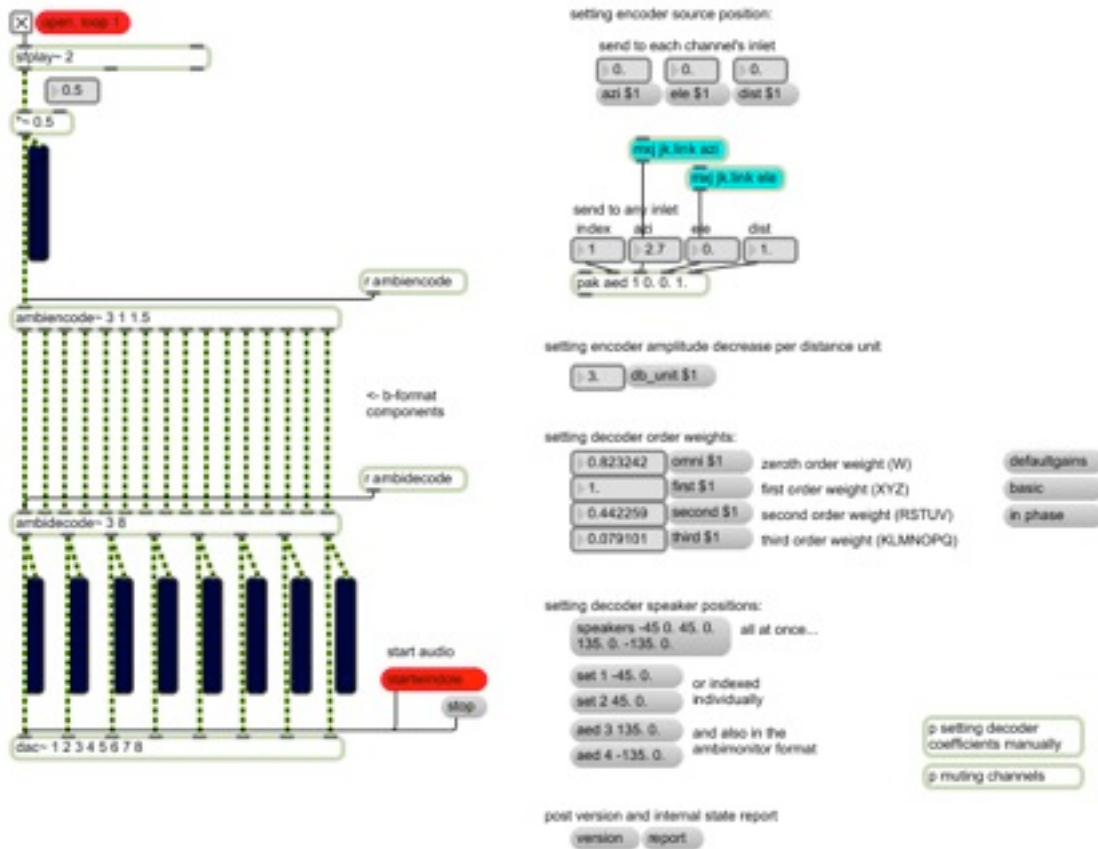
Η βιβλιοθήκη blob detection [77] επιτρέπει ανάλυση της εικόνας σε πραγματικό χρόνο (computer vision), και εντοπίζει μέσα σε ένα καρέ, τις περιοχές εκείνες στις οποίες η φωτεινότητα είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη, ανάλογα με την ελάχιστη ή μέγιστη τιμή που έχει οριστεί από τον χρήστη, για τον εντοπισμό της πιο φωτεινής ή σκοτεινής περιοχής. Επιτρέπει τον υπολογισμό των περιοχών φωτεινότητας (blobs) και των περιγραμμάτων (edges) των περιοχών αυτών, καθώς επίσης και την δημιουργία ενός τετραγώνου (blobs bounding box) που περιγράφει στο εσωτερικό του την φωτεινή περιοχή. Ωστόσο η βιβλιοθήκη δεν κάνει παρακολούθηση των περιοχών στο χρόνο (blob tracking), αλλά εντοπίζει και απεικονίζει, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, την εκάστοτε περιοχή σε κάθε καρέ με το οποίο θα τροφοδοτηθεί.

Το πακέτο Ambisonics που χρησιμοποιήθηκε έχει κατασκευαστεί από το Institute of Computer Music and Sound Technology και λειτουργεί μέσα στο περιβάλλον του Max. Ο ambisonics κωδικοποιητής «ambiencode~» και αποκωδικοποιητής «ambidecode~» έχουν δημιουργηθεί ως ένα υποσύστημα λογισμικού (plugin) για το Max (Εικόνα 26). Ο κωδικοποιητής δέχεται N κανάλια εισόδων ήχου και παράγει ένα πλήρες πολυκάναλο B-format ambisonics ηχητικό πεδίο. Ο αποκωδικοποιητής χρησιμοποιεί το πολυκάναλο B-format ambisonics ήχο ανταποκρινόμενο στην επιθυμητή συστοιχία ηχείων και παράγει M ηχητικά πεδία. Ο διαχωρισμός σε δύο κομμάτια/μονάδες καθορίζεται κυρίως για πρακτικούς λόγους. Δίνει στον χρήστη την επιλογή να συνδυάσει και να ταιριάξει διαφορετικά κανάλια ήχου με κάποια B-format ροή δεδομένων και να αφήσει ανοιχτή την πρόσβαση στο B-format για περαιτέρω επεξεργασία. Τα αρχεία B-format στα οποία λείπουν ή δεν είναι σε σωστή σειρά τα τμήματα που τα απαρτίζουν μπορούν εύκολα να δρομολογηθούν και να τροφοδοτηθούν στον αποκωδικοποιητή.

Η μίξη B-format και συμβατικών ηχητικών πηγών γίνεται απλά συνδυάζοντας δυο κωδικοποιημένες ροές πριν τις στείλει στον αποκωδικοποιητή. Γενικοί μετασχηματισμοί στο ηχητικό πεδίο όπως περιστροφές γύρω από τους τρεις άξονες (pitch, yaw, roll), μπορούν να εισαχθούν στη ροή ήχου του B-format. Κάνοντας εγγραφή το B-format σε ένα πολυκάναλο ηχητικό αρχείο είναι δυνατόν εύκολα να εισαχθεί μετά τον κωδικοποιητή. Για να ελεγχθεί ο κωδικοποιητής, η χωρική πληροφορία που αφορά θέση στο αζιμουθιακό, κατακόρυφο επίπεδο και την απόσταση, εισάγεται για κάθε πηγή ξεχωριστά ανά κανάλι ή με βάση κάποια ταξινομημένη λίστα. Το κανάλι εισόδου τοποθετείται σε προκαθορισμένη θέση στο ηχητικό πεδίο σαν να ήταν ένα υποθετικό φανταστικό μικρόφωνο. Μια επιπρόσθετη μεταβλητή στον κωδικοποιητή είναι η κλιμάκωση της κλίσης (σε μονάδες dB ανά μονάδα) για την διόρθωση της απόστασης. Ο αποκωδικοποιητής λαμβάνει τις πληροφορίες του οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα πολικών συντεταγμένων για κάθε ηχείο σαν ένα σύνθετο μήνυμα ή ως μια ταξινομημένη λίστα και ανανεώνει το σήμα που ανταποκρίνεται στην ακριβή θέση του ηχείου μέσα στο ηχητικό πεδίο. Ένας παράγοντας που έχει να κάνει με το κέρδος (σε dB) για κάθε διάταξη είναι διαθέσιμος για να πραγματοποιήσει το ζύγισμα ανάμεσα στα εξαρτήματα. Τυπικά το ένα θα εισάγει απορρόφηση του αέρα και επίδραση φαινομένου doppler πριν τον κωδικοποιητή και διόρθωση της απόστασης και delay line μετά το αποκωδικοποιητή, ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερος έλεγχος της ηχητικής εικόνας στον χώρο [16] [55].



Εικόνα 26: Λειτουργία του πακέτου κωδικοποιητή - αποκωδικοποιητή κατά ambisonics που χρησιμοποιήθηκε.



Εικόνα 27: Περιβάλλον προγράμματος Max με το πακέτο ambisonics να λειτουργεί.

Στο Processing γινόταν η ανίχνευση του χεριού του χρήστη, και αυτό χάρη στο λευκό γάντι το οποίο φόραγε ο επισκέπτης. Πιο συγκεκριμένα η βιβλιοθήκη blob detection ήταν υπεύθυνη για την αναγνώριση του, και αυτό χάρη στην ιδιότητα της να αναγνωρίζει το πιο φωτεινό σημείο μέσα στον χώρο σημείο. Έπειτα στην εικόνα με την οποία τροφοδοτούσε η κάμερα το σύστημα, γινόταν η εύρεση της αρχής των αξόνων (0,0) και χωριζόταν σε τεταρτημόρια. Έτσι ανάλογα με το που βρισκόταν μέσα στο αζιμουθιακό επίπεδο το γάντι, και συγκεκριμένα το πάνω αριστερό σημείο του περιγράμματος του λευκού γαντιού, γινόταν η εύρεση και η αποστολή της τιμής της γωνίας (από 0° έως 360°) στο Max.

```

/Ypologismos gonion
float xx=(b.xMin-0.5)*(width);
float yy=(b.yMin-0.5)*(height);
float goniath = atan(yy/xx);
float moiresth = ((goniath/TWO_PI)*360.0);
float goniaf=0;

if (xx>0 && yy>0)
{ goniaf=moiresth;
  println (goniaf);
}

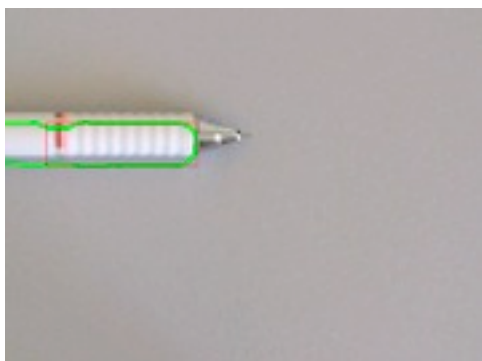
else if (xx<0 && yy>0)
{ goniaf=180+moiresth;

```



```
println (goniaf);  
}  
  
else if (xx<0 && yy<0)  
{ goniaf=180+moiresth;  
  println (goniaf);  
}  
  
else if (xx>0 && yy<0)  
{ goniaf=360+moiresth;  
  println (goniaf);  
}
```

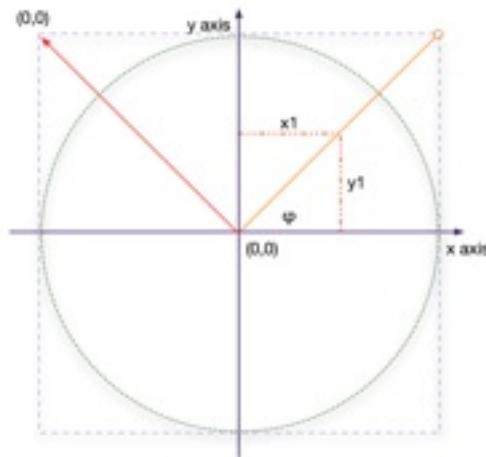
Αναλυτικότερα η κάμερα είχε συνδεθεί μέσω πρωτοκόλλου firewire με τον υπολογιστή και η διαχείριση της εικόνας που λαμβάναμε γινόταν μέσα στο Processing. Οι διαστάσεις της εικόνας που είχαμε επιλέξει να μας δίνει η κάμερα ήταν 800 pixels πλάτος και 600 pixels ύψος. Η διάσταση αυτή μας επέτρεπε να έχουμε μια κανονική, αν και όχι υψηλή, ανάλυση στην εικόνα του δωματίου. Μπορούμε να αναφέρουμε εδώ, πως επειδή του ότι το δωμάτιο ήταν σκοτεινό και μας ενδιέφερε μόνο ένα σημείο μέσα στον χώρο, αυτό του λευκού γαντιού, γι αυτό δεν μας απασχόλησε ιδιαίτερα να έχουμε υψηλής ανάλυσης εικόνα. Έπειτα με την χρήση της βιβλιοθήκης blob detection γινόταν η αναγνώριση του περιγράμματος του λευκού γαντιού, που φόραγε ο επισκέπτης μέσα στο δωμάτιο. Αναφορικά και με προηγουμένως στην βιβλιοθήκη blob detection γίνεται αναγνώριση του ποιο έντονου σε φωτεινότητα σημείου μέσα στον χώρο (η φωτεινότητα τροποποιείται ανάλογα με τις φωτιστικές συνθήκες του εκάστοτε χώρου, και το τι θέλουμε να πετύχουμε), το οποίο σημειώνεται με ένα περίγραμμα που αυτό το περίγραμμα περιγράφεται μέσα σε ένα τετράγωνο (Εικόνα 28). Αυτό που κρίθηκε βέβαια απαραίτητο ήταν να χρησιμοποιήσουμε την πάνω αριστερή γωνία αυτού του τετραγώνου ως βασικό μας στοιχείο για τον εντοπισμό του χεριού του χρήστη.



Εικόνα 28: Παράδειγμα αναγνώρισης του ποιο έντονου σε φωτεινότητα σημείου και δημιουργία περιγράμματος με την χρήση της βιβλιοθήκης blob detection.

Για τον υπολογισμό της ακριβούς θέσης του σημείου ενδιαφέροντος στο Processing η διαδικασία είχε ως εξής:

1. Αρχικά χρειάστηκε να εντοπιστεί η αρχή των αξόνων (σημείο 0,0). Το σημείο (0,0) βρισκόταν στο πάνω αριστερό σημείο της εικόνας (Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Αρχή των αξόνων στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, όπως αναγνωρίζεται από το περιβάλλον του Processing.

2. Έπειτα έγινε μεταφορά αυτού του σημείο στο κέντρο της εικόνας, πράγμα που διευκόλυσε στην δημιουργία των αξόνων x,y και του τριγωνομετρικού κύκλου.

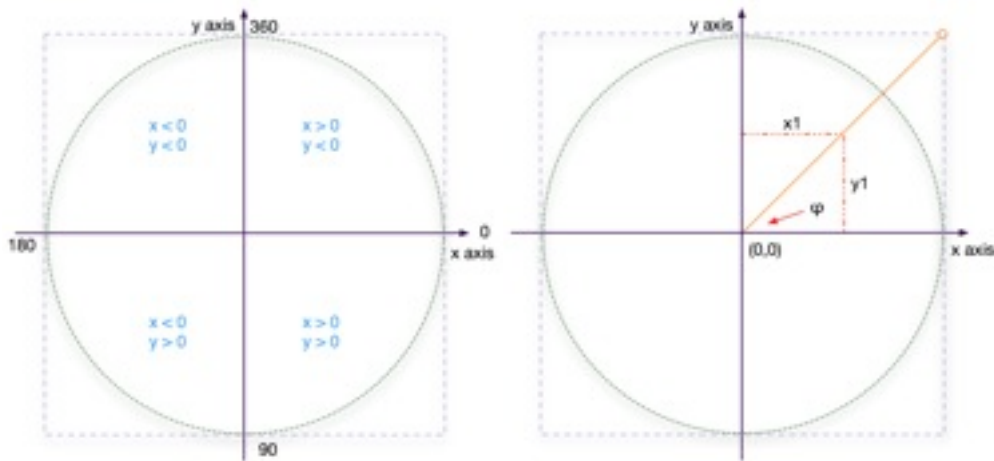
3. Το τρίτο βήμα έχει να κάνει με τον υπολογισμό της θέσης του σημείου και συγκεκριμένα της γωνίας του (Εικόνα 29). Η εύρεση του γίνεται με την βοήθεια της τριγωνομετρίας, ειδικότερα της εφαπτόμενης του σημείου. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2, για τον υπολογισμό της γωνίας φ, γνωστά είναι τα x1, y1 που είναι οι αποστάσεις του σημείου σε σχέση με τους άξονες x,y, και με βάση αυτών των δεδομένων, και την χρήση του τύπου της εφαπτόμενης της γωνίας, υπολογίζεται εύκολα η γωνία (σε μοίρες). Ο τύπος της εφαπτόμενης είναι:

$$\tan\varphi = y1/x1 \quad [19]$$

και λύνοντας ως προς την γωνία έχουμε:

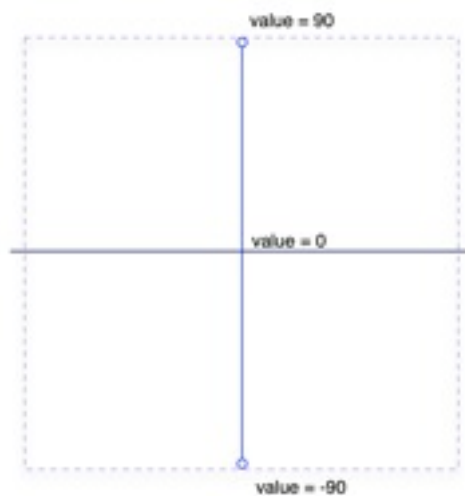
$$\varphi = \tan^{-1}(y1/x1) \quad [20]$$

Για τον εντοπισμό του προσήμου στους άξονες, δηλαδή που βρίσκονται τα θετικά και αρνητικά τμήματα χρειάστηκε να γίνει δήλωση μέσα στον κώδικα των θετικών και αρνητικών τιμών αντίστοιχα για τα x και y (Σχήμα 2). Έτσι γινόταν η εύρεση της γωνίας. Η γωνία αυτή αναφερόταν στο οριζόντιο επίπεδο (αζιμούθιο) της μεταβολής του ήχου στο σύστημα των ambisonics.



Σχήμα 2: Εντοπισμός προσήμου (αριστερά) και εύρεση της γωνίας  $\varphi$  (δεξιά).

4. Για τον εντοπισμό του χεριού στο κατακόρυφο επίπεδο (elevation) και για να γίνεται η μεταβολή του ήχου και στο κατακόρυφο σύστημα των ambisonics, εκτελούνταν άλλη μια συνθήκη, στην οποία οι διαστάσεις που πέραμε από την κάμερα (800x600) χωριζόταν στην μέση του άξονα των  $y$ , και είχε οριστεί μεταβολή των τιμών από  $-90$  έως  $90$  (Σχήμα 3).



Σχήμα 3: Τμηματοποίηση άξονα  $y$  και ορισμός τιμών από  $-90$  έως  $90$ .

5. Στη συνέχεια με την χρήση του maxlink (πρόσθετο πακέτου εξωτερικού λογισμικού) η τιμή της γωνίας (σε μοίρες), η οποία αντιστοιχεί στην γωνία στο αζιμουθιακό επίπεδο, καθώς και η τιμή από  $-90$  έως  $90$  που αντιστοιχεί στο κατακόρυφο επίπεδο, αποστέλλεται στο Max για να γίνει χρησιμοποιηθεί από το σύστημα ambisonics.

Στο Max έτρεχε το πακέτο ambisonics το οποίο ήταν υπεύθυνο για την κωδικοποίηση του ήχου σε ambisonics B-Format και στη συνέχεια για την αποσύνθεση αυτού στο ηχητικό πεδίο μέσω των ηχείων στο χώρο. Στο περιβάλλον του Max γινόταν η εισαγωγή του επιθυμητού ήχου του οποίου θα γινόταν η αναπαραγωγή. Έπειτα οι μεταβολές του ήχου στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο επίπεδο, ήταν εφικτές με την χρήση του maxlink, που τροφοδοτούσε το ambisonics B-Format κωδικοποιητή με τις διαφορετικές τιμές που λάμβανε μέσω του Processing.



Εικόνα 29: Απεικόνιση του αστεριού σε διαφορετικές θέσεις για την εύρεση της γωνίας σε σχέση με την αρχή των αξόνων.

### 3.2 Κατασκευαστικό μέρος εγκατάστασης

#### 3.2.1. Κατασκευή Εγκατάστασης

Η εγκατάσταση στήθηκε μέσα σε ένα δωμάτιο διαστάσεων 4 x 3,80 x 4,20m (πλάτος, μήκος, ύψος). Αρχικά εξετάστηκαν οι θέσεις στις οποίες θα μπορούσε να τοποθετηθεί ο εξοπλισμός καθώς και το που θα ήταν οι σωστές θέσεις στο χώρο για τα μηχανήματα και τον χρήστη. Επιλέχθηκαν οι θέσεις για την εγκατάσταση του απαραίτητου εξοπλισμού και στη συνέχεια ξεκίνησε η διαμόρφωση του δωματίου.

Το πρώτο βήμα στη κατάλληλη διαμόρφωση του δωματίου ήταν να χρωματιστούν οι τοίχοι και το δάπεδο, με μαύρη πλαστική μπογιά. Έπειτα αφαιρέθηκαν τα περισσότερα στοιχεία που απάρτιζαν την ψευδοροφή, που ήταν τετράγωνες πλάκες χαρτόμαζας, ώστε να τοποθετηθεί το προβολικό σύστημα στο εσωτερικό της οροφής για να γίνεται σωστά η οπίσθια προβολή. Έπειτα τοποθετήθηκε η κάμερα σε σημείο στο κέντρο του δωματίου, από όπου θα «έβλεπε» ένα ικανοποιητικό τμήμα του δαπέδου, που στη συνέχεια θα στεκόταν/καθόταν ο χρήστης. Κάποια από τα στοιχεία της ψευδοροφής τα οποία δεν αφαιρέθηκαν χρωματίστηκαν και αυτά με μαύρο χρώμα. Στη συνέχεια αφαιρέθηκαν μερικά τμήματα του κύριου πλέγματος της ψευδοροφής στο σημείο που θα προέβαλε την εικόνα το σύστημα προβολής προκειμένου να μην υπάρχουν ορατά εμπόδια. Δυστυχώς δεν μπόρεσε να αφαιρεθεί ένα σίδερο, το οποίο ήταν βασικό στοιχείο της καθώς στη συνέχεια κατά την λειτουργία της εγκατάστασης δημιουργούσε πρόβλημα στην προβολή με την σκιά του. Σημειώνεται ότι η αίθουσα στο παρελθόν είχε δημιουργηθεί για να παρέχει στέγη, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η πλήρης ανακατασκευή αυτής με βάση τα δεδομένα που ήταν απαραίτητα.



Εικόνα 30 : Βάψιμο δωματίου (αριστερά) - Μορφοποίηση οροφής δωματίου (δεξιά).

Μετά την ολοκλήρωση του σκελετού της οροφής, συνέχεια είχε η τοποθέτηση του συστήματος προβολής στο σωστό σημείο, το οποίο έχει να κάνει με το σωστό ύψος και την σωστή κλίση, ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη και μεγαλύτερη δυνατή περιοχή κάλυψης. Το προβολικό σύστημα τοποθετήθηκε τρία μέτρα

πάνω από την ψευδοροφή και στερεώθηκε με ελαστικά λάστιχα πάνω σε δύο σίδερα που ήταν και αυτά στοιχεία της υπόλοιπης οροφής.

Το παράθυρο που υπήρχε στο δωμάτιο κλείστηκε και τοποθετήθηκαν μαύρα χαρτόνια με ταινία διπλής όψεως για να εμποδίσουν την είσοδο του φωτός από το εξωτερικό.

Η κάμερα που χρησιμοποιήθηκε εγκαταστάθηκε στην μέση ακριβώς της ψευδοροφής, σε σημείο που κρίθηκε κατάλληλο μετά από δοκιμές, ώστε να υπάρχει η καλύτερη δυνατή κάλυψη της εικόνας του χώρου και ιδιαίτερα του σημείου στο οποίο θα ήταν και θα ενεργούσε ο χρήστης.

Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν τρεις λωρίδες μαύρου πανιού διαστάσεων με τρόπο τέτοιο ώστε να δημιουργηθεί ένας ψεύτικος θόλος μέσα στο δωμάτιο. Αναλυτικότερα, τα πανιά κρεμάστηκαν αρχικά έχοντας την μέση του μήκους τους στην μέση της οροφής και η απόληξη τους όπως έπεφτε φυσικά με το βάρος του πανιού, στερεώθηκε στους πλαϊνούς τοίχους.



Εικόνα 31 : Τοποθέτηση προβολικού συστήματος (αριστερά) - Τοποθέτηση πανιών για τον θόλο (δεξιά).

Η πόρτα του δωματίου αφαιρέθηκε και στερεώθηκε ένα μαύρο πανί στη θέση της, το οποίο επέτρεπε την καλύτερη και πιο άμεση πρόσβαση του κοινού στο εσωτερικό της εγκατάστασης.

Τέλος τα ηχεία σε διάταξη ν-γώνου, για την αναπαραγωγή του κωδικοποιημένου κατά ambisonics ηχητικού υλικού τοποθετήθηκαν στην μέση ακριβώς του δωματίου, στους δυο τοίχους αριστερά και δεξιά από το κάθισμα του επισκέπτη. Τα δυο ηχεία μπήκαν στο δάπεδο, και τα άλλα δυο σε κατάλληλο ύψος ώστε το κεφάλι του επισκέπτη να βρίσκεται ακριβώς στο κέντρο της διάταξης των ηχείων. Ο αριθμός των ηχείων που χρησιμοποιήθηκε επιλέχθηκε με βάση τις διαστάσεις του χώρου στον οποίο στήθηκε η εγκατάσταση.



Εικόνα 32: Εξωτερική άποψη του δωματίου της εγκατάστασης.

### 3.2.2. Εξοπλισμός Εγκατάστασης

Εδώ περιγράφεται ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για το στήσιμο της εγκατάστασης.

Ο υπολογιστής που χρειάστηκε ήταν ένας Macintosh PowerMac G5, με επεξεργαστή στα 2.3GHz και 2Gb Ram. Η κάρτα γραφικών ήταν μια Ati με διπλή έξοδο εικόνας DVI, πράγμα που κρίθηκε απαραίτητο για την χρήση οθόνης ελέγχου του συστήματος και του συστήματος προβολής, και 512mb Ram.

Η κάμερα ήταν μια FireWire κάμερα της Unibrain [76] η οποία αποτελείτο από μόνο μια πλακέτα με τον αισθητήρα που πάνω της προσαρμόστηκε ο κατάλληλος φακός για τις διαστάσεις του δωματίου, ο οποίος στη συγκεκριμένη περίπτωση ήταν ένας 4.3mm ευρυγώνιος φακός και επέτρεπε να έχουμε την μέγιστη δυνατή καταγραφή των διαστάσεων του πατώματος του δωματίου.



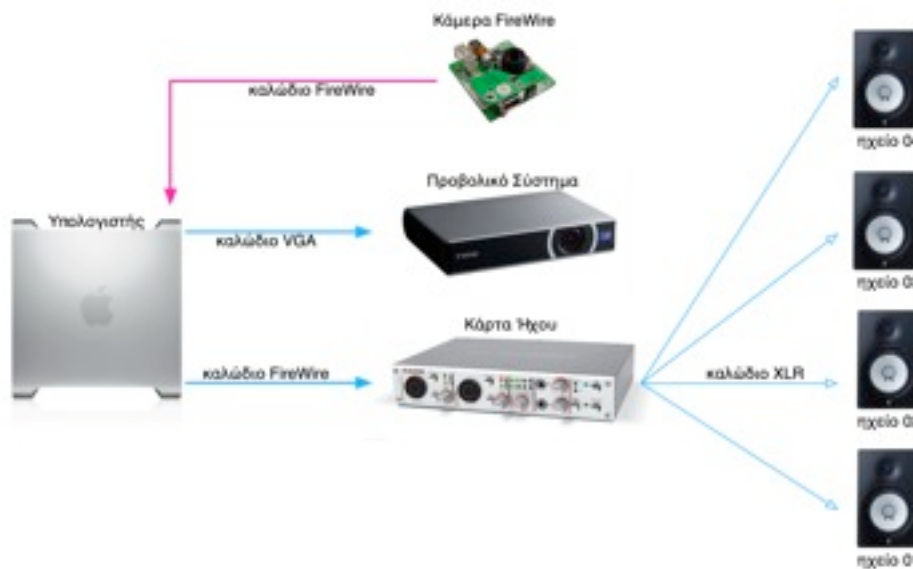
Εικόνα 33 : κάμερα FireWire - Unibrain.

### Κάρτα ήχου - Ηχεία

Η κάρτα ήχου ήταν μια αυτοενισχυόμενη πολυκάναλη κάρτα ήχου της M-Audio [60], που επιλέχτηκε λόγω των δυνατοτήτων που παρέχει και ειδικότερα για την χρήση πολλαπλών εξόδων ηχείων. Μάλιστα παρέχει οκτώ αναλογικά κανάλια (output) για διασύνδεση με ηχεία, από τα οποία χρησιμοποιήθηκαν μόνο τέσσερα. Τα ηχεία ήταν τέσσερα αυτοενισχυόμενα της EMES [52], ικανά να αποδώσουν την κατάλληλη ηχητική πληροφορία για τις δοσμένες διαστάσεις του χώρου.

### Προβολικό σύστημα

Το προβολικό σύστημα ήταν ViewSonic και είχε μέγιστη ανάλυση 1024x768 pixels. Η ανάλυση του κρίθηκε ικανοποιητική όσο αφορά την απόσταση που είχε τοποθετηθεί και την διάσταση στην οποία προέβαλε. Το προβολικό σύστημα έχει μεγάλη ένταση φωτός, με αποτέλεσμα σε κάποια σημεία να κόβεται λιγότερο φως από το απαιτούμενο, πράγμα που δυσκόλευε καμιά φορά την διαδικασία ανίχνευσης του λευκού γαντιού από την blob detection, αφού υπήρχαν περισσότερα από ένα φωτεινά σημεία στο χώρο.



Εικόνα 34: Διάγραμμα διασύνδεσης εξοπλισμού εγκατάστασης.

### 3.2.3. Περιβάλλον Εγκατάστασης

Μέσα στην εγκατάσταση ambiStar υπήρχε απόλυτο σκοτάδι (λιγοστό φως από τις λάμπες blacklight), και ακουγόταν μόνο το ατμοσφαιρικό μουσικό χαλί το οποίο είχε δημιουργηθεί. Θα πρέπει να αναφερθεί πως για την ορθή λειτουργία του συστήματος και για την καλύτερη αντίληψη της εγκατάστασης, επιτρεπόταν μόνο ένας επισκέπτης την φορά. Σημειώθηκε ότι υπήρχε και σχετική επεξήγηση έξω από το δωμάτιο της εγκατάστασης.



### **3.4 Επίδειξη Εγκατάστασης**

Κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας, του σπησίματος αλλά κυρίως κατά την ολοκλήρωση και παρουσίαση της εγκατάστασής, υπήρξαν προβλήματα που έπρεπε να αντιμετωπιστούν, αλλά και παρατηρήσεις, που σημειώθηκαν και θα αποτελέσουν κύρια σημεία για την βελτίωση του έργου μελλοντικά.

#### **α) Προβλήματα κατά την προετοιμασία της εγκατάστασης**

Ένα από τα κυριότερα προβλήματα με το οποίο έπρεπε να συμβιβαστούμε ήταν οι διαστάσεις του χώρου παρουσίασης. Πιο συγκεκριμένα οι απαιτούμενες διαστάσεις για την ορθή προβολή, αλλά και την κατανόηση της μεταβολής του ήχου στο χώρο θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερες από τις δοσμένες.

Αρχικά είχαν γίνει δοκιμές για την παρουσίαση του αστεριού με ρομποτική φωτιστική κεφαλή η οποία θα κατευθυνόταν μέσω του περιβάλλοντος του Max, και πάντα από το χέρι του θεατή. Δυστυχώς, δεν ήταν εφικτή η ύπαρξη μιας τέτοιας φωτιστικής κεφαλής, διότι πρώτον καταλάμβανε μεγάλο χώρο, και δεν μπορούσε να τοποθετηθεί σε ένα δωμάτιο αντίστοιχων διαστάσεων με το δοσμένο. Δεύτερον κυρίως διότι το φως που εξέπεμπε ήταν υπερβολικά δυνατό (575watt). Μάλιστα ακόμη και όταν με τη δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινότητας το φως μειωνόταν, το αποτέλεσμα ήταν να χάνεται τελείως η αίσθηση της νύχτας που έπρεπε να αποδοθεί εντός του δωματίου.

Αναφερόμενοι στο αστέρι και στον τρόπο με το οποίο παράχθηκε, παρατηρήθηκε πως για την καλύτερη αίσθηση και οπτική αντίληψη του χρήστη, προκειμένου να γίνει αντιληπτό πως αυτό το οποίο μετακινεί με το χέρι του, κρίθηκε απαραίτητη η μεταβολή της προβολής της εικόνας του αστεριού σε μέγεθος με λιγότερα εικονοστοιχεία (pixels). Έτσι το μέγεθος της αρχικής εικόνας ήταν 100x100 (pixels) και έπειτα 25x25. Επίσης το αρχείο εικόνας που παρουσιαζόταν αλγοριθμικά, θα μπορούσε από στατικό αρχείο εικόνας (.png) να μετατραπεί σε αρχείο animation(κίνησης), για παράδειγμα .gif ή αρχείο βίντεο (.mov) το οποίο θα εμφάνιζε το αστέρι να παρουσιάζει μεταβολές στην φωτεινότητα και στη θέση του, όπως ακριβώς γίνεται όταν παρακολουθείται ένα αστέρι στον ουρανό.

Το βίντεο του έναστρου ουρανού, κατά την επεξεργασία των φωτογραφιών που το απάρτιζαν και έπειτα από αρκετές δοκιμές στον χώρο της εγκατάστασης, απέκτησε έντονη διαβάθμιση μεταξύ φωτεινών και σκούρων περιοχών, μεταφραζόμενο πρακτικά σε μεγάλη αντίθεση(contrast) για να έχει καλύτερη αίσθηση πάνω στο πανί που γινόταν η προβολή. Για καλύτερη κατανόηση του έναστρου ουρανού σε μετέπειτα εφαρμογή της εγκατάστασης θα μπορούσαν να τοποθετηθούν και αστερισμοί στο βίντεο το οποίο θα προβαλλόταν.

Ο θόλος από πανί, όπως σημειώθηκε, είχε κατασκευαστεί από σκούρο μαύρο πανί. Επειδή αντιπροσώπευε τον ουράνιο θόλο, για καλύτερη προσομοίωση θα μπορούσε να είχε χρησιμοποιηθεί βαθύ μπλε πανί, και αυτό διότι ο ουρανός ακόμη και κατά τη διάρκεια των βραδινών ωρών δεν είναι

ποτέ απόλυτα μαύρος. Επίσης με τον τρόπο τον οποίο είχαν στηριχτεί τα πανιά τα οποία αποτελούσαν τον θόλο, ήταν δύσκολη η κατασκευή ακριβώς ενός ημικυκλίου. Υπό άλλες συνθήκες, και ειδικότερα αν υπήρχε κάποια χρηματική υποστήριξη θα μπορούσε να είχε δημιουργηθεί κάποια μεταλλική κατασκευή, ιδιαίτερα στα πλάγια των τοίχων, σε σχήμα ημικυκλίου, όπου θα επέτρεπε την δημιουργία κάποιου καλύτερου θόλου. Έτσι θα μειωνόντουσαν σημαντικά και οι ζάρες που υπήρχαν πάνω στο πανί, διότι θα είχε από την αρχή τεντωθεί και δεν θα υπήρχαν «κοιλίες» (για να μπορούν να δημιουργηθούν εύκολα ζάρες).

Τα λευκά γάντια που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και η απόσταση που υπήρχε από το σημείο στο οποίο καθόταν ο χρήστης και σημάδευε με το δάχτυλο, δεν επιδέχτηκαν αλλαγές, όπως φάνηκε μετά τις δοκιμές που είχαν πραγματοποιηθεί.



Εικόνα 35: Χρήση της εγκατάστασης από επισκέπτη.

## **β) Προβλήματα κατά την επίδειξη**

Πρέπει να τονιστεί πως το φως που έβγαζαν οι blacklight λάμπες χρησιμοποιήθηκε για να κάνει το λευκό γάντι να φαίνεται έντονα στο σκοτάδι, αλλά επηρέαζε και οτιδήποτε άλλο λευκό αντικείμενο και κυρίως ρούχο βρισκόταν μέσα στο χώρο παρουσίασης. Έτσι χρειάστηκε να υπάρχει και ένα μαύρο σεντόνι το οποίο φορούσε ο χρήστης σε περίπτωση που φόραγε λευκά ρούχα και το σύστημα

αναγνώριζε παραπάνω από ένα σημεία. Όπως είναι λογικό η αντίληψη στην μεταβολή του ήχου άλλαζε, αν υπήρχαν παραπάνω από ένα σημεία.

Όσο αφορά το προβολικό σύστημα που προέβαλλε τον έναστρο ουρανό, υπήρξαν μερικά καίρια σημεία που χρειάστηκαν προσοχή. Καταρχήν είχε τοποθετηθεί σε μεγάλο ύψος στο εσωτερικό της σκεπής, όπως αναφέρθηκε, και η χρήση μόνο ενός προβολικού συστήματος που είχε ως αποτέλεσμα η προβολή να είναι περιορισμένη σε ένα μόνο συγκεκριμένο σημείο και να καλύπτει μια μικρή έκταση πάνω στο θόλο από πανί. Ωστόσο θα ήταν εφικτό να είχαν τοποθετηθεί πάνω από ένα προβολικό σύστημα και με κατάλληλο ευρυγώνιο φακό, έτσι ώστε να υπήρχε πλήρης κάλυψη του θόλου. Επίσης στην θέση και στο ύψος που είχε τοποθετηθεί και λόγω του ότι δεν μπορούσαμε να επέμβουμε περισσότερο στο να αφαιρεθούν και άλλα στοιχεία της οροφής, το φως του προβολικού συστήματος έπεφτε πάνω σε ένα σίδερο του οποίου η σκιά φαινόταν σαν μια μαύρη έντονη γραμμή, η οποία έτεμνε την προβολή στα δυο και δημιουργούσε μια οπτική σύγχυση στον θεατή. Ακόμη υπήρχε άλλο ένα πρόβλημα που επηρέαζε αρνητικά κάποιους στο να καταλάβουν ακριβώς την ιδέα του έναστρου ουρανού που βρίσκεται ψηλά. Επρόκειτο για το φως που διέσχιζε το πανί με αποτέλεσμα η ίδια προβολή που γινόταν οπίσθια πάνω στο πανί, κατά ένα μέρος να αποτυπώνεται και στο πάτωμα. Μετά τις πρώτες δοκιμές αλλά και τις πρώτες επισκέψεις κοινού, παρατηρήθηκε επίσης πως σε ένα συγκεκριμένο σημείο στον χώρο, όταν ο χρήστης κοιτούσε ψηλά και έδειχνε με το χέρι του, η δέσμη φωτός του προβολικού συστήματος έπεφτε πάνω στο πρόσωπο του με αποτέλεσμα να κουράζει τα μάτια.



Εικόνα 36: Χρήση της εγκατάστασης από επισκέπτη.

Επιπρόσθετα αμελητέο δεν ήταν το πρόβλημα που προκαλούσε ο ήχος από τα διπλανά δωμάτια εγκαταστάσεων. Δυστυχώς ο ήχος από τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις που υπήρχαν στον χώρο, καθώς και από το κοινό που ερχόταν για να τις επισκεφτεί, επηρέαζε σημαντικά την αντίληψη της κίνησης του ήχου. Υπό άλλες συνθήκες όπου οι εξωτερικοί περιβαλλοντικοί ήχοι δεν θα ακουγόταν θα μπορούσαμε να μιλάμε για βέλτιστη ηχητική αντίληψη.

Όσο αφορά τα ηχεία της συστοιχίας ambisonics, είχαν τοποθετηθεί στο χώρο έτσι ώστε να υπάρχει η καλύτερη δυνατή αντίληψη του ήχου από τον επισκέπτη. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο σημείο, τα ηχεία είχαν εγκατασταθεί, ως εξής, δυο στην μέση των δυο απέναντι τοίχων, αριστερά και δεξιά από τον επισκέπτη, και δύο ηχεία στο πάτωμα. Θα ήταν βέβαια προτιμότερο να υπήρχε η δυνατότητα να γίνει διαφορετικό στήσιμο της συστοιχίας των ηχείων, προκειμένου να υπάρχει καλύτερη αντίληψη του ηχητικού πεδίου και των μεταβολών του. Συγκεκριμένα, θα βοηθούσε σημαντικά αν ο χρήστης με την ίδια ακριβώς διάταξη ηχείων καθόταν πάνω σε ένα υπερυψωμένο κομμάτι, ή διαφορετικά αν ο χρήστης βρισκόταν όρθιος μέσα στο δωμάτιο τα ηχεία θα έπρεπε να έχουν τοποθετηθεί σε διάταξη ν-γώνου γύρω του (στην περίπτωση μας λόγω των τεσσάρων ηχείων, σε απλό τετράγωνο στον χώρο), κάτι που οι διαστάσεις του χώρου δεν το επέτρεψαν. Αν ο χρήστης ήταν όρθιος θα μπορούσε αντί να σημαδεύει με το χέρι του στον ουράνιο θόλο να σημάδευε κάτω στο πάτωμα κάτι που θα επέτρεπε μεταβολή του

σεναρίου, και θα ήταν σαν να έχει ο χρήστης τον ουρανό «στα πόδια του». Επίσης, αρχικά υπήρξαν προβλήματα με την αντιστοιχία της θέσης του χεριού του χρήστη και την ακριβή απεικόνιση της θέσης του αστεριού στον έναστρο ουρανό. Μετά από δοκιμές βρέθηκε η πιο σωστή θέση στην οποία θα βρισκόταν ο χρήστης στο χώρο, και οι αντιστοιχία των κινήσεων του θα προσέγγιζε το 100% στον εικονικό ουρανό.

Μάλιστα κάτι που παρατηρήθηκε αργότερα και αφορά το ηχητικό κομμάτι μέσα στην εγκατάσταση, έχει να κάνει με την ατμοσφαιρική υπόκρουση η οποία έπαιζε μέσα στην εγκατάσταση. Θα ήταν φρόνιμο στην περίπτωση που θα υπήρχε επιπλέον εξοπλισμός, να υπήρχε μια δευτερεύουσα συστοιχία ηχείων, η οποία θα ήταν υπεύθυνη καθαρά και μόνο για την αναπαραγωγή του μουσικού χαλιού. Έτσι θα υπήρχε μεγαλύτερος έλεγχος για τις δυο διαφορετικές συστοιχίες ηχείων και την αναπαραγωγή της καθεμιάς, αλλά και καλύτερη αντίληψη της μεταβολής του ήχου, αφού θα γινόταν από άλλη συστοιχία ηχείων.



Εικόνα 37: Χρήση της εγκατάστασης από επισκέπτη.

## **4. Αποτελέσματα**

### **4.1 Παρουσίαση στο κοινό**

Η εγκατάσταση που στήθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας, παρουσιάστηκε στο κοινό κατά τη διάρκεια του τρίτου φεστιβάλ οπτικοακουστικών τεχνών του Τμήματος Τεχνών Ήχου & Εικόνας στο παλαιό ψυχιατρείο Κέρκυρας όπου η εγκατάσταση παρέμεινε ανοιχτή για τρεις συνεχόμενες μέρες από τις 29 έως και τις 31 Μαΐου.

### **4.2 Αντιδράσεις κοινού**

Οι αντιδράσεις του κοινού και η ανατροφοδότηση από τους συμμετέχοντες βοήθησαν σημαντικά στο να παρατηρηθούν προβλήματα που μπορεί να υπήρξαν, καθώς και στις μελλοντικές βελτιώσεις - αλλαγές που θα μπορούσαν να γίνουν για την καλύτερη κατανόηση, αλλά και ευκολότερη διεπαφή του χρήστη με το σύστημα.

Το κοινό γενικότερα ήταν πολύ πρόθυμο στο να εισέλθει στο δωμάτιο και να προσπαθήσει να χειριστεί την εγκατάσταση. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ατόμων που επισκέφτηκαν την εγκατάσταση κατάλαβε τι ακριβώς γινόταν και πως γινόταν η χρήση του συστήματος. Μερικοί από τους επισκέπτες αναρωτήθηκαν αρχικά για το τι θα έπρεπε να κάνουν ή τι ακριβώς ήταν, αλλά μετά από μικρή καθοδήγηση, δεν άργησαν να μπουν στο νόημα και να αφεθούν ελεύθεροι.

Όσο αφορά το ηχητικό μέρος της εγκατάστασης, θα πρέπει να αναφερθεί, πως κάτω από τις συνθήκες που επικρατούσαν στον χώρο παρουσίασης, και συγκεκριμένα τους διάφορους εξωτερικούς ήχους, το κοινό, δεν συνειδητοποιούσε, ενώ δεν γινόταν εύκολα αντιληπτή η μεταβολή στο ηχητικό πεδίο. Πολλές φορές ζητήθηκε η χρήση, όχι πολύπλοκων, αλλά απλών και σύντομων σε διάρκεια ήχων για να γίνει κατανοητή η μετακίνηση αυτών στο χώρο.

Επίσης όσοι επισκέπτες φορούσαν λευκά ρούχα, πράγμα που δυσκόλευε την ανταπόκριση του συστήματος, και αναγκαζόντουσαν να φορέσουν το μαύρο σεντόνι που υπήρχε, και έχοντας φορέσει και τα γάντια, άφηναν τον εαυτό τους ελεύθερο, ένιωθαν σαν να ήταν μάγοι μέσα στην υποβλητική ατμόσφαιρα που υπήρχε και εκεί ξεκινούσαν οι πειραματισμοί.

## 5. Συμπεράσματα

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε πως η διαδραστική εγκατάσταση ambiStar που δημιουργήθηκε κατά την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της πτυχιακής εργασίας, είναι μια σύνθετη εγκατάσταση η οποία συνδυάζει υψηλής τεχνολογίας ήχο και προβολή αυτού στον χώρο, εικόνα, βίντεο και διάδραση.

Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει την φαντασία του και με την κίνηση του χεριού του να δημιουργήσει τις δικές του τροχιές για το αστέρι το οποίο μετακινεί στο σύμπαν. Συγχρονώς με την μεταβολή του οπτικού τμήματος, επιτυγχάνεται και μεταβολή του ηχητικού μέρους της εγκατάστασης. Συγκεκριμένα χρησιμοποιώντας την κωδικοποίηση ήχου κατά ambisonics, ο ήχος μετακινείται στον χώρο και στις τρεις διαστάσεις.

Πρέπει να σημειωθεί, πως το μεγαλύτερο μέρος της εγκατάστασης στήθηκε με επιτυχία και ο αρχικός στόχος προσεγγίστηκε κατά το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό και αυτό, γιατί κατά την διάρκεια δημιουργίας της εγκατάστασης υπήρξαν προβλήματα, όπως αναφέρθηκαν, τα οποία εντοπίστηκαν και θα αποτελέσουν αντικείμενο έρευνας για να βελτιωθούν σημαντικά επόμενες εκδόσεις της εγκατάστασης. Πρέπει να αναφερθεί επίσης πως το ενδεικτικό χρονοδιάγραμμα το οποίο είχε δημιουργηθεί, από τα πρώτα στάδια της εργασίας, μέχρι και την ολοκλήρωση της, τηρήθηκε με επιτυχία.

Τέλος, ως εγκατάσταση το ambiStar είχε απήχηση και το κοινό ενθουσιάστηκε από την πρωτότυπη εμπειρία την οποία προσέφερε ως καλλιτεχνικό έργο αλλά και ως μια σύγχρονη διαδραστική εγκατάσταση.

### 5.1 Βελτιώσεις - Μελλοντικοί στόχοι

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω υπάρχουν σημεία της εγκατάστασης τα οποία είναι δυνατόν να βελτιωθούν και τα οποία έγιναν αντιληπτά κατά την διάρκεια της συγκρότησης αλλά και της παρουσίασης του ambiStar. Με αυτές τις διορθωτικές παρεμβάσεις ευελπιστούμε ότι θα γίνει πιο εύχρηστη και πιο ενδιαφέρουσα για το κοινό.

Συγκεκριμένα, σε επόμενη έκδοση της εγκατάστασης θα υπάρχει μέσα στο περιβάλλον του Max δεύτερο patch, το οποίο θα είναι υπεύθυνο για την μεταβολή του ambient surround ήχου που θα αναπαράγεται. Για καλύτερη αντίληψη του ήχου που παράγει το αστέρι και για να γίνεται κατανοητό το πότε ξεκινάει και διακόπτεται ο ήχος, θα γίνει βελτίωση του κώδικα στο processing, με στόχο όταν οι τιμές δεν αλλάζουν και παραμένουν στάσιμες (δηλαδή το σύστημα δεν χρησιμοποιείται) να γίνεται fade out στον ήχο και να σταματάει, ενώ όταν εισέρχεται ένας χρήστης να ξεκινάει ο ήχος με fade in.

Ιδιαίτερα ενδιαφέρον θα ήταν να εισαχθούν περισσότερες μεταβλητές αστεριών με στόχο να μπορεί ο επισκέπτης να μετακινεί περισσότερα από ένα αστέρια την κάθε φορά και να ακούει την μεταβολή περισσότερων ήχων στο τρισδιάστατο ηχητικό πεδίο. Επίσης ένα διαφορετικό σενάριο, το οποίο θα ήταν εξίσου ενδιαφέρον, θα προέβλεπε την απεικόνιση πλανητών στον έναστρο νυχτερινό ουρανό και ο χρήστης να μπορεί να επιλέξει έναν από αυτούς και να μεταβάλει δυναμικά τον ήχο του. Ο ήχος του κάθε πλανήτη θα μπορεί να είναι προκαθορισμένος ή να συντίθεται σε πραγματικό χρόνο, βάσει δεδομένων που θα έχουν εισαχθεί για τον καθένα χωριστά.

## Βιβλιογραφία - Ιστογραφία

- [1] Γραμματικάκης Γιώργος, *Η αυτοβιογραφία του φωτός*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 8η έκδοση, Ηράκλειο 2008.
- [2] Μαραγκουδάκης Γεώργιος, *Ανάπτυξη αλγορίθμων επεξεργασίας σήματος πραγματικού χρόνου για αναπαραγωγή και ηχογράφηση τρισδιάστατων ηχητικών πεδίων*, Μεταπτυχιακή εργασία, Ιόνιο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Μουσικών Σπουδών, 2007.
- [3] Σάγος Γεώργιος, *Εφαρμογές Ηλεκτροακουστικής στο Hi-Fi*, τόμος Β, Εκδόσεις Ίων, 1998.
- [4] Σάγος Γεώργιος, *Εφαρμογές Ηλεκτροακουστικής στο Hi-Fi*, τόμος Α, Εκδόσεις Ίων, 1998.
- [5] Σκαρλάτος Δημήτρης, *Εφαρμοσμένη Ακουστική (2η έκδοση)*, Εκδόσεις Φιλομάθεια, Πάτρα, Οκτώβριως 2003.
- [6] Benjamin Eric M., Richard Lee, Aaron J. Heller, *Localization in Horizontal-Only Ambisonic Systems*, October 8, 2006.
- [7] Digenis Aristotel, *The Implementation of Ambisonics for Restoring Quadraphonic Recordings*, SAE Technology College Sydney & Middlesex University London, BA (Hons) Recording Arts 2001-2002.
- [8] Digenis Aristotel, *Towards An Ambisonic Audio Unit Plug-in Suite*, MSc Music Technology, University of York, August 2004.
- [9] Everest F. Alton, *Εγχειρίδιο Ακουστικής (3η έκδοση)*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2003.
- [10] Greenberg Ira, *Processing - Creative Coding and Computational Art*, Friends of, 2007.
- [11] Gunther Theile, *Wave Field Synthesis - A promising Spatial Audio Rendering Concept*, International Conference on Digital Audio Effects (DAFx'04, Naples - Italy, October 5-8, 2004.
- [12] Hawking Stephen, *Harmonies of the world - Book five*, Johannes Kepler, Perseus Books U.S., 2004.
- [13] Leese Martin J., *Ambisonic Surround Sound FAQ*, 21 January 1998.
- [14] Manovich Lev, *The language of New Media*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts London, England, 2001.
- [15] Reas Casey, Fry Ben, *Processing: a programming handbook for visual designers and artists*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 2007.
- [16] Schacher Jan C., Kocher Philippe, *Ambisonics Spatialization Tools for Max/MSP*, ICST Institute for Computer Music and Sound Technology.
- [17] Ville Pulkki, *Spatial sound generation and perception by amplitude panning techniques*, Helsinki University of Technology, Laboratory of acoustics and Audio Signal Processing, 2001.



- [18] Wiggins Bruce, *An investigation into the real-time manipulation and control of three-dimensional sound fields*, University of Derby, 2004.
- [19] Wakefield Graham, Kuchera-Morin JoAnn, Novak Marcos, Overholt Dan, Putnam Lance, Thompson John, Wesley Smith, *The AlloBrain: an Interactive Stereographic, 3D Audio Immersive Environment*, Media Arts and Technology Program University of California, Santa Barbara, California, USA.
- [20] <http://www.adobe.com/livepage.apple.com>, Adobe, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [21] <http://www.apple.com/finalcutstudio>, Apple Final Cut Studio, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [22] <http://www.ambiophonics.org>, Ambiophonics, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [24] [ambisonia.com](http://ambisonia.com), (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [25] [http://www.ambisonia.com/wiki/index.php/Main\\_Page](http://www.ambisonia.com/wiki/index.php/Main_Page), ambisonia, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [26] <http://www.ambisonic.net/gformat.html>, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [27] <http://www.ambisonic.net/dvda.html>, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [28] <http://cicm.mshparisnord.org/index.html> C I C M Centre de recherche Informatique et Création Musicale, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [29] <http://cycling74.com>, Max, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [30] <http://www.dxarts.washington.edu/~eskang/metamorphosis/>, Kang Eunsu, Metamorphosis, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [31] <http://www.dolby.com>, Dolby, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [32] [http://en.wikipedia.org/wiki/Super\\_Audio\\_CD](http://en.wikipedia.org/wiki/Super_Audio_CD), SuperAudio CD, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [33] [http://en.wikipedia.org/wiki/Michael\\_Gerzon](http://en.wikipedia.org/wiki/Michael_Gerzon), Michael, Gerzon, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [34] <http://en.wikipedia.org/wiki/Soundscape>, Soundscape, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [35] [http://en.wikipedia.org/wiki/Ambient\\_music](http://en.wikipedia.org/wiki/Ambient_music), Ambient Music, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [36] <http://en.wikipedia.org/wiki/Astrophysics>, Astrophysics, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [37] [http://en.wikipedia.org/wiki/Installation\\_art#Interactive\\_installations](http://en.wikipedia.org/wiki/Installation_art#Interactive_installations), Interactive Installations, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [38] [http://en.wikipedia.org/wiki/Head-related\\_transfer\\_function](http://en.wikipedia.org/wiki/Head-related_transfer_function), Head Related Transfer Function, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [39] [http://en.wikipedia.org/wiki/Surround\\_sound](http://en.wikipedia.org/wiki/Surround_sound), Surround Sound, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [40] <http://en.wikipedia.org/wiki/Icarus>, Icarus, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

- [41] [http://en.wikipedia.org/wiki/Jatayu\\_\(Ramayana\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Jatayu_(Ramayana)), Jatayu, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [42] [http://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Tale\\_of\\_the\\_Bamboo\\_Cutter](http://en.wikipedia.org/wiki/The_Tale_of_the_Bamboo_Cutter), The tale of the Bamboo Cutter, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [43] [http://en.wikipedia.org/wiki/Flash\\_Gordon](http://en.wikipedia.org/wiki/Flash_Gordon), Flash Gordon, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [44] [http://en.wikipedia.org/wiki/Le\\_Voyage\\_dans\\_la\\_Lune](http://en.wikipedia.org/wiki/Le_Voyage_dans_la_Lune), A Trip to the Moon, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [45] [http://en.wikipedia.org/wiki/Destination\\_Moon\\_%28film%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Destination_Moon_%28film%29), Destination Moon, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [46] [http://en.wikipedia.org/wiki/2001:\\_A\\_Space\\_Odyssey\\_%28film%29](http://en.wikipedia.org/wiki/2001:_A_Space_Odyssey_%28film%29), A Space Odyssey, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [47] [http://en.wikipedia.org/wiki/Solaris\\_%281972\\_film%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Solaris_%281972_film%29), Solaris, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [48] [http://en.wikipedia.org/wiki/Sunshine\\_%282007\\_film%29#Scientific\\_accuracy](http://en.wikipedia.org/wiki/Sunshine_%282007_film%29#Scientific_accuracy), Sunshine, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [49] [http://en.wikipedia.org/wiki/Wright\\_brothers](http://en.wikipedia.org/wiki/Wright_brothers), Wright Brothers, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [50] [http://en.wikipedia.org/wiki/Aerospace\\_engineering](http://en.wikipedia.org/wiki/Aerospace_engineering), Aerospace Enginpering, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [51] <http://etext.lib.virginia.edu/latin/ovid/trans/Metamorph8.htm#482327661>, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [52] <http://www.emes.de>, Emes, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [53] <http://www.hos.com/aboutmusic.html>, What is Spacemusic, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [54] <http://www.ica.org.uk/Ear%20Cinema+15044.twl>, Ear Cinema, Intitute of Contemporary arts, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [55] <http://www.icst.net>, ICST, Ambisonics Tools for MaxMSP, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [56] <http://www.iis.fraunhofer.de/En/bf/amm/products/mp3surround/mp3surround.jsp>, Fraunhofer IIS, MP3 Surround, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [57] [http://www.integracoustics.com/MUG/MUG/bbs/stereophile\\_audio-glossary.html](http://www.integracoustics.com/MUG/MUG/bbs/stereophile_audio-glossary.html), (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [58] <http://jklabs.net/maxlink/>, maxlink, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [59] <http://www.jstor.org/pss/1555210>, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).
- [60] <http://www/m-audio.com>, M-Audio, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

[61] <http://www.grahamwakefield.net/soft/ambi~/index.htm>, Ambisonic externals for Max/MSP, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

[62] [http://www.york.ac.uk/inst/mustech/3d\\_audio/vst/welcome.html](http://www.york.ac.uk/inst/mustech/3d_audio/vst/welcome.html), York University Music Technology Group, VST Ambisonics Tools, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

[63] [http://www.york.ac.uk/inst/mustech/3d\\_audio/welcome.html](http://www.york.ac.uk/inst/mustech/3d_audio/welcome.html), Music Technology Group, Sound in Space, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

[64] <http://music.york.ac.uk/mrc/download.php>, music research centre, university of York, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

[65] [http://www.mediaartnet.org/themes/overview\\_of\\_media\\_art/audio/](http://www.mediaartnet.org/themes/overview_of_media_art/audio/), Föllmer Golo, *Audio Art*, Föllmer Golo, *Audio Art*,

[66] <http://mediaartnet.org/source-text/65/>, Daniels Dieter, *Strategies of Interactivity*, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

[67] <http://www.natashabarrett.org/mc3-7cp.html>, Microclimates, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

[68] <http://nineplanets.org/musiclist.html>, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

[69] <http://processing.org>, Processing, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

[70] <http://www.processingblogs.org/category/ambisonics/>, Orbiter, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

[71] <http://www.radio.uqam.ca/ambisonic/>, Courville Daniel, ambisonic studio, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

[72] <http://www.redsockrecords.com/Products.html>, RedSock Records, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

[73] <http://www.steveroach.com>, Steve Roach, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

[74] <http://www.soundonsound.com/sos/Oct01/articles/surroundsound3.asp>, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

[75] <http://www.tascam.com>, Tascam, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

[76] <http://www.unibrain.com>, Unibrain, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

[77] <http://v3ga.net/processing/BlobDetection>, Blob Detection Library, (τελευταίος έλεγχος 6/10/09).

## Παραρτήματα

### Παράρτημα Κώδικα Processing

```
// =====  
  
//import libraries  
import processing.video.*;  
import blobDetection.*;  
import maxlink.*;  
  
Capture cam;  
BlobDetection theBlobDetection;  
  
//Dilosi Eikonon  
PImage img;  
PImage star;  
  
//Dilosi Video  
Movie myMovie;  
  
boolean newFrame=false;  
  
//connects Processing with Max  
MaxLink link = new MaxLink(this, "azi");  
  
// =====  
// setup()  
// =====  
void setup()  
{  
  background(0);  
  frameRate(25);  
  // Size of applet  
  size(800, 600);  
  // Capture  
  cam = new Capture(this, 800, 600, 10); //<<arxiki timi "15">>  
  // BlobDetection  
  // img which will be sent to detection (a smaller copy of the cam frame);  
  img = new PImage(80,60);  
  theBlobDetection = new BlobDetection(img.width, img.height);  
  theBlobDetection.setPosDiscrimination(true);  
  theBlobDetection.setThreshold(0.3f); // will detect bright areas whose luminosity > 0.2f;  
  
  //image declaration  
  star = loadImage("star_01.png");  
  
  //video declaration  
  myMovie = new Movie(this, "enastros_01.mov");  
  myMovie.loop();  
}  
  
// =====  
// captureEvent()  
// =====  
void captureEvent(Capture cam)  
{
```

```

        cam.read();
        newFrame = true;
    }

// =====
// movieEvent()
// =====
void movieEvent (Movie m)
{
    m.read();
}

// =====
// draw()
// =====
void draw()
{

//Metafora kentrou x,y
translate(width/2,height/2);

    if (newFrame)
    {
        newFrame=false;

        image(cam,-width/2,-height/2,width,height);
        img.copy(cam, 0,0, cam.width, cam.height, 0,0, img.width, img.height);

        fastblur(img, 2);
        theBlobDetection.computeBlobs(img.pixels);
        drawBlobsAndEdges(true,false);
    }
}

// =====
// drawBlobsAndEdges()
// =====

void drawBlobsAndEdges(boolean drawBlobs, boolean drawEdges)
{

//Black above camera image
background(0);

translate(-width/2,-height/2);

//video playback
image(myMovie,0,0);

translate(width/2,height/2);

    noFill();
    Blob b;
    EdgeVertex eA,eB;
    for (int n=0 ; n<theBlobDetection.getBlobNb() ; n++)
    {

```

```

b=theBlobDetection.getBlob(n);
if (b!=null)
{
// Edges
  if (drawEdges)
  {
    strokeWeight(2);
    stroke(255,35,230);
    for (int m=0;m<b.getEdgeNb();m++)
    {
      eA = b.getEdgeVertexA(m);
      eB = b.getEdgeVertexB(m);
      if (eA !=null && eB !=null)
        line(
          (eA.x-0.5)*(width), (eA.y-0.5)*(height),
          (eB.x-0.5)*(width), (eB.y-0.5)*(height)
        );
    }
  }

// Blobs
  if (drawBlobs)
  {
    strokeWeight(1);
    stroke(255,0,0);
    /*rect(
      (b.xMin-0.5)*(width), (b.yMin-0.5)*(height),
      b.w*width, b.h*height
    ); */

//Ypologismos gonion
float xx=(b.xMin-0.5)*(width);
float yy=(b.yMin-0.5)*(height);
float goniath = atan(yy/xx);
float moiresth = ((goniath/TWO_PI)*360.0);
float goniaf=0;

  if (xx>0 && yy>0)
  { goniaf=moiresth;
    println (goniaf);
  }

  else if (xx<0 && yy>0)
  { goniaf=180+moiresth;
    println (goniaf);
  }

  else if (xx<0 && yy<0)
  { goniaf=180+moiresth;
    println (goniaf);
  }

  else if (xx>0 && yy<0)
  { goniaf=360+moiresth;
    println (goniaf);
  }

//Apostoli timi gonias sto Max

```

```

        link.output(goniaf);

    }

    //emfanisi eikonas asteriou
    image (star, ((b.xMin-0.5)*width), ((b.yMin-0.5)*height), 100, 100);
}

}

}

// =====
// 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;
    }
}

// =====

```



**Παράρτημα Εξοπλισμού**

Ποσότητα	Εξοπλισμός	Ελάχιστες προδιαγραφές
<b>Hardware</b>		
1	Υπολογιστής Mac	2gb Ram+, 512mb κάρτα γραφικών
1	Πολυκάναλη κάρτα ήχου	M-Audio FireWire 410 (4-8 output)
1	Βιντεοπροβολέας	1024x768 ανάλυση
4	Ηχεία μόνιτορ	
<b>Καλώδια</b>		
3	Καλώδια FireWire (διασύνδεση Υπολογιστή-Κάμερας + διασύνδεση κάρτας ήχου-υπολογιστή)	10m+1m
4 - 6	Καλώδια ήχου, Jack - Xlr (διασύνδεση ηχείων με κάρτα ήχου)	10m
10	Καλώδια ρεύματος (mac, ηχεία, projector, κάμερες)	
1	Καλώδιο VGA (διασύνδεση βιντεοπροβολέα-υπολογιστή)	10m
<b>Λογισμικό</b>		
1	Max/Msp/Jitter	
1	Processing	
1	Ambisonics ICST Max Patch	
1	maxlink	
1	blobdetection	
<b>Διάφορα</b>		
2 - 3	Λάμπες Black Light (36Watt, 120cm)	
2	Λευκό γάντι (ζευγάρι)	
3	πανί προβολής (κατασκευή)	
	μπογιες -spray	