



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ

«ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ»

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ

ΣΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδίαση και Ανάπτυξη

ενός Ηχητικού Παιχνιδιού (Audio Game)

σε Υπολογιστική Πλατφόρμα

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΧΡ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΝΔΡΕΑΣ ΦΛΩΡΟΣ

ΠΑΤΡΑ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ, 2012

© ΕΑΠ, 2012

Η παρούσα διατριβή, η οποία εκπονήθηκε στα πλαίσια της Θεματικής Ενότητας «Διπλωματική Εργασία» του προγράμματος «Μεταπτυχιακή Εξειδίκευση στα Πληροφοριακά Συστήματα», και τα λοιπά αποτελέσματά της αποτελούν συνιδιοκτησία του ΕΑΠ και του φοιτητή, ο καθένας από τους οποίους έχει το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης και αναπαραγωγής τους (στο σύνολο ή τμηματικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, σε κάθε περίπτωση αναφέροντας τον τίτλο, το συγγραφέα και το ΕΑΠ, όπου εκπονήθηκε η Διπλωματική Εργασία, καθώς και τον επιβλέποντα και την επιτροπή κρίσης.

Πίνακας περιεχομένων

I. Σχήματα – Εικόνες - Διαγράμματα	6
II. Πίνακες.....	8
III. Περίληψη	9
III. Abstract.....	10
IV. Ευχαριστίες.....	11
1. Εισαγωγή.....	12
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο Ηχητικών Παιχνιδιών	14
2.1 Ηχητικά Παιχνίδια	14
2.1.1 Ηχητικά παιχνίδια «απόγονοι» των οπτικών	17
2.1.2 Πρωτότυπα ηχητικά παιχνίδια	17
2.1.3 «Επαυξημένα» ηχητικά παιχνίδια.....	17
2.2 Βασικές Αρχές Ακουστικής και Ψυχοακουστικής	18
2.2.1 Ήχος.....	18
2.2.2 Διάκριση των ήχων	19
2.2.3 Αντικειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου	19
2.2.4 Υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου.....	21
2.2.5 Ψυχοακουστική.....	23
2.2.6 Ανατομία του ανθρώπινου αυτιού	24
2.2.7 Η αντίληψη του ήχου και ο μηχανισμός της ακοής στον άνθρωπο	26
2.2.7.I Διάκριση διαφορετικών τιμών τονικού ύψους	27
2.2.7.II Διακριτική ικανότητα ως προς τις στάθμες ηχητικής πίεσης.....	28
2.2.7.III Αντίληψη της σχετικής θέσης κινούμενων ηχητικών πηγών.....	28
2.2.7.IV Αμφιωτική (Binaural) ακρόαση.....	30
2.2.7.V Cocktail party effect.....	32

2.3 Ηχητική Αναπαράσταση Δεδομένων (Sonification).....	34
2.3.1 Ιστορική διαδρομή	34
2.3.2 Τεχνικές ηχητικής αναπαράστασης δεδομένων.....	35
2.3.2.I Audification	35
2.3.2.II Ηχητικά εικονίδια (<i>Auditory icons</i>).....	36
2.3.2.III Earcons.....	37
2.3.2.IV Spearcons	38
2.3.2.V Parameter mapping sonification.....	39
2.3.2.VI Model – based sonification	39
2.3.2.VII Interactive sonification	40
2.4 Πλοήγηση σε χώρο δεδομένων.....	40
3. Το Ηχητικό Παιχνίδι «Ναυμαχία»	42
3.1 Το σενάριο του ηχητικού παιχνιδιού	42
3.2 Ηχητικός Σχεδιασμός.....	43
3.3 Η υλοποίηση του ηχητικού μέρους.....	44
3.4 Η αρχιτεκτονική του παιχνιδιού	49
4. Υλοποίηση του Ηχητικού Παιχνιδιού σε Λογισμικό	52
4.1 Αναπαράσταση πεδίου εφαρμογής	52
4.2 Σχεδιασμός περιπτώσεων χρήσης.....	53
4.3 Διάγραμμα συνεργασίας	60
4.4 Το διάγραμμα ακολουθίας	63
5. Η Δοκιμή – Αξιολόγηση	65
6. Συμπεράσματα – Επεκτάσεις	68
V. Παραρτήματα Α	69
VI. Παραρτήματα Β	71

VII. Ευρετήριο	87
VIII. Βιβλιογραφία.....	92

I. Σχήματα – Εικόνες - Διαγράμματα

Εικόνα 1. Στιγμιότυπο ηχητικού κύματος	19
Εικόνα 2. Επίπεδα ακουστικής πίεσης.....	21
Εικόνα 3. Κατώφλι ακουστότητας.....	22
Εικόνα 4. Ανίχνευση ακουστικών κυμάτων (Σπυρίδης, 1988).....	23
Εικόνα 5. Διατομή ανθρώπινου αυτιού	24
Εικόνα 6. Το όργανο του Corti	25
Εικόνα 7. Προσομοίωση του βασικού υμένος με πιάνο	27
Εικόνα 8. Η ευαισθησία του βασικού υμένος.....	27
Εικόνα 9. Φαινόμενο Doppler	28
Εικόνα 10. Κρουστικό κύμα	29
Εικόνα 11. Πλευρικός ήχος	30
Εικόνα 12. Μοντέλο αμφιωτικής επεξεργασίας	30
Εικόνα 13. Κώνος σύγχυσης.....	31
Εικόνα 14. Μετασχηματισμός ηχητικού σήματος.....	31
Εικόνα 15. Φίλτρο συνέλιξης	32
Εικόνα 16. Βρόχος ελέγχου πλοήγησης.....	40
Εικόνα 17. Το πλέγμα εμπλοκής.....	43
Εικόνα 18. Interface νοερού πλέγματος.....	49
Εικόνα 20. Μέρος πλέγματος	50
Εικόνα 19. Η αρχιτεκτονική της εφαρμογής	50
Εικόνα 21. Διάγραμμα κλάσεων.....	53
Εικόνα 22. Διάγραμμα περίπτωσης χρήσης "Είσοδος"	58
Εικόνα 23. Διάγραμμα περίπτωσης χρήσης "Μετακίνηση"	58
Εικόνα 25. Διάγραμμα περίπτωσης χρήσης "Εκβαση"	59
Εικόνα 24. Διάγραμμα περίπτωσης χρήσης "Ρίψη βόμβας".....	59
Εικόνα 26. Διάγραμμα συνεργασίας (1) για την περίπτωση χρήσης "Είσοδος"	60
Εικόνα 27. Διάγραμμα συνεργασίας (2) για την περίπτωση χρήσης "Είσοδος"	60
Εικόνα 28. Διάγραμμα συνεργασίας (1) για την περίπτωση χρήσης "Μετακίνηση"	61
Εικόνα 29. Διάγραμμα συνεργασίας (2) για την περίπτωση χρήσης "Μετακίνηση"	61
Εικόνα 30. Διάγραμμα συνεργασίας για την περίπτωση χρήσης "Ρίψη Βόμβας".....	62

Εικόνα 31. Διάγραμμα συνεργασίας για την περίπτωση χρήσης "Έκβαση"	62
Εικόνα 32. Διάγραμμα ακολουθίας για την "Είσοδο"	63
Εικόνα 33. Διάγραμμα ακολουθίας για την "Μετακίνηση"	63
Εικόνα 34. Διάγραμμα ακολουθίας για την "Ρίψη Βόμβας"	64
Εικόνα 35. Διάγραμμα ακολουθίας για την "Έκβαση"	64

II. Πίνακες

Πίνακας 1. Κατάλογος ηχητικών παιχνιδιών.....	15
Πίνακας 2. Auditory icons – earcons για την απόδοση γεγονότων του παιχνιδιού.....	46
Πίνακας 3. Απόλυτη Θέση.....	47
Πίνακας 4. Υποβρύχιο (Σχετική Θέση)	47
Πίνακας 5. Αντιτορπιλικό (Σχετική Θέση).....	47
Πίνακας 6. Θωρηκτό (Σχετική Θέση).....	47
Πίνακας 7. Θάλασσα (Σχετική Θέση).....	48
Πίνακας 8. Σπάσιμο ορίων (Σχετική Θέση).....	48

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας
Σχεδίαση και Ανάπτυξη
ενός Ηχητικού Παιχνιδιού(Audio Game)
σε Υπολογιστική Πλατφόρμα

Γεώργιος Χρ. Παπαδόπουλος

Όνοματεπώνυμο	Όνοματεπώνυμο	Όνοματεπώνυμο
Επιβλέπωντος	1 ^ο Μέλους	2 ^ο Μέλους
Ανδρέας Φλώρος	Οδυσσέας Κουφοπαύλου	Μαρία Ρήγκου

III. Περίληψη

Η εργασία αυτή έχει στόχο τη σχεδίαση και ανάπτυξη ενός ηχητικού παιχνιδιού (audio game), το οποίο θα υλοποιείται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με Λειτουργικό Σύστημα Windows. Το σενάριο του παιχνιδιού βασίζεται στη λογική των παιχνιδιών πλέγματος (grid games). Υποστηρίζεται από βελτιστοποιημένες τεχνικές ηχητικής αναπαράστασης δεδομένων, δίχως ομιλία. Η αναπαράσταση των αντικειμένων και των γεγονότων γίνεται με τεχνικές ηχητικής αναπαράστασης δεδομένων (*Sonification*) και με αμφιωτική επεξεργασία του ήχου. Η σχεδίαση του λογισμικού έγινε με την τεχνική ICONIX σε UML, η δε υλοποίηση της εφαρμογής έγινε με την γλώσσα προγραμματισμού Java, στο περιβάλλον NetBeans IDE 7.1.1.

Designing and Developing an Audio Game

George Ch. Papadopoulos

Supervisor	Member	Member
Andreas Floros	Odysseus Koufopavlou	Maria Rigou

III. Abstract

This work aims to design and develop an audio game, which will be implemented in a computer with operating system Windows. The scenario of the game based on the logic of grid games. The application is supported by acoustic techniques, optimized data representation, without speaking. The objects and events represented by sonification techniques and binaural sound processing. The design of software is in UML with technical ICONIX, and the implementation of the application built up with the programming language Java, the environment NetBeans IDE 7.1.1.

IV. Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Ανδρέα Φλώρο, για την πολύτιμη καθοδήγηση που μου προσέφερε, κατά την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου Μαρία και τη κόρη μου Δήμητρα, για τον χρόνο που μου επέτρεψαν να τους κλέψω τα τρία χρόνια της απασχόλησής μου με το μεταπτυχιακό αυτό. Τέλος να ευχαριστήσω και πάλι τη Μαρία, για τις διορθώσεις στα συντακτικά και ορθογραφικά λάθη που είχα στο κείμενο.

1. Εισαγωγή

Ο άνθρωπος ζει την αναπαράσταση της πραγματικότητας, η οποία αναδημιουργείται από τις «πέντε ανυφάντρες» (Καζαντζάκης, 1971) που δουλεύουν ακατάπαυστα μέσα του, υπό την αλληλεπίδραση των λογικών συλλογισμών του. Υπάρχουν αντικείμενα, διαδραματίζονται γεγονότα κι όλα αυτά τα προσλαμβάνει με τις πέντε αισθήσεις του, κωδικοποιούνται, επεξεργάζονται και αναπλάθεται στο μυαλό του μια πραγματικότητα στην οποία συνήθισε να ζει. Είναι προφανές πως, έχοντας ατελείς αισθήσεις μπορεί να συλλάβει μόνο ένα μικρό μέρος της πραγματικότητας. Για παράδειγμα, μόνο ένα μικρό μέρος των συχνοτήτων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ή των ηχητικών κυμάτων που πλανώνται στο περιβάλλον του είναι σε θέση να αντιληφθεί. Έτσι καθώς κυκλοφορεί στους δρόμους ή κάθεται αναπαυτικά στον καναπέ του δωματίου του, δεν ακούει τα ερτζιανά και δεν βλέπει τις εικόνες που κυκλοφορούν τριγύρω του, παρά μόνο αν αυτά συλληφθούν με ειδικές κεραίες και μετατραπούν, μετά από επεξεργασία, σε ηχητικά ή οπτικά σήματα στο αντιληπτό εύρος του ανθρώπου. Μέσα σ' αυτή την υπέροχη ατέλειά του, ο άνθρωπος έχει εξοικειωθεί κατά το μεγαλύτερο μέρος με τον οπτικό χώρο, ενώ υπάρχουν όντα των οποίων η πραγματικότητα του κόσμου τους ζωντανεύει κατά κύριο λόγο με τον ήχο, η δε όραση παίζει δευτερεύοντα ρόλο. Στα δελφίνια, αυτό που κάνει πραγματικό τον κόσμο τους, είναι κατά κύριο λόγο ο ήχος και όχι η όραση. Σε ένα τέτοιο κόσμο, σε ένα ηχοχώρο, θα μπορούσε να διατυπωθεί το 5^ο αίτημα του Ευκλείδη με ηχητικούς όρους, ως εξής: *Αν ϵ είναι ένα σύνολο από νότες που βρίσκονται σε αρμονία με μια νότα A και δεν βρίσκονται σε αρμονία με μια νότα B , τότε υπάρχει ακριβώς ένα σύνολο ϵ' από νότες, που βρίσκονται σε αρμονία με την B και οι νότες του είναι κλάσματα που ισοδυναμούν με μια οκτάβα από νότες του ϵ* (Clawson, 2005).

Είναι λοιπόν καθοριστικός ο ρόλος της κυρίαρχης αίσθησης, για την μορφοποίηση της πραγματικότητας την οποία προσλαμβάνει και εν τέλει ζει το κάθε όν. Καθορίζεται, κάθε φορά, κυρίαρχο σύστημα αναφοράς, διατηρώντας αναλλοίωτες και κανόνες με τους οποίους ίσως μπορεί κάποιος να μετοικεί από σύστημα σε σύστημα. Όταν, επομένως, απαιτείται μετάβαση από έναν οπτικό χώρο σε έναν ηχητικό χώρο, θα πρέπει να οριστούν οι κατάλληλοι μετασχηματισμοί οι οποίοι θα καταστήσουν εφικτή την εν λόγω μετάβαση.

Αντίστοιχο σκεπτικό θα πρέπει να αναπτύσσεται και για την δημιουργία πλασματικών κόσμων, όπως είναι τα ηλεκτρονικά παιχνίδια. Η σημασιολογία, η αισθητική και η λειτουργικότητα επικεντρώνονται σε διαφορετικές περιοχές, ανάλογα με το είδος του παιχνιδιού που αναπτύσσεται. Σε ένα ηχητικό παιχνίδι (audio game) η αναπαράσταση του χώρου και των γεγονότων γίνεται ηχητικά. Ο ήχος αντανακλά αντικειμενικές ιδιότητες ή σχέσεις δεδομένων. Γίνεται συστηματικός μετασχηματισμός, δηλαδή ακριβής ορισμός με τον οποίο προβλέπεται το πώς τα δεδομένα και οι αλληλεπιδράσεις τους προκαλούν συγκεκριμένους ήχους και πώς διαφορετικά δεδομένα προκαλούν διαφορετικούς ήχους, όπως και ίδια δεδομένα, ίδιους ήχους. Τα ηχητικά παιχνίδια λοιπόν είναι εφαρμογές ηχητικής αναπαράστασης δεδομένων (Thomas Hermann, Neuroinformatics Group, 2008). Η ηχητική αναπαράσταση δεδομένων είναι από τη φύση της ένα διεπιστημονικό πεδίο, που ενσωματώνει έννοιες από την ανθρώπινη αντίληψη, την ακουστική, τη σχεδίαση, τις τέχνες και την μηχανική (G. Cramer, B. Walker. Psychology, Department of Faculty Publications, Department of Psychology, 2010).

Η προσπάθεια αναπαράστασης αντικειμένων και γεγονότων με ήχο είναι αρκετά παλιά υπόθεση. Θα μπορούσε κανείς να παραθέσει σαν παράδειγμα την χρήση ηχητικών τρικ για την δημιουργία ηχητικών σκηνικών κατά την αναμετάδοση ραδιοφωνικών θεατρικών παραγωγών από την δεκαετία του 60. Με την εξάπλωση βέβαια των ηλεκτρονικών υπολογιστών και την ολοένα αύξηση της δυναμικότητάς τους, ο τομέας αυτός της ηχητικής αναπαράστασης δεδομένων χωρίς ομίλια, επεκτάθηκε και ως προς το εύρος της χρήσης και ως προς το βάθος της έρευνας.

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο Ηχητικών Παιχνιδιών

2.1 Ηχητικά Παιχνίδια

Τα ηλεκτρονικά παιχνίδια καταλαμβάνουν πλέον ένα ευρύ φάσμα της βιομηχανίας παιχνιδιών και απασχολούν εκθέτες, σχεδιαστές ήχου, προγραμματιστές, μηχανικούς, εκδότες παιχνιδιών. Είναι ένας τομέας με ευρύ πεδίο έρευνας στην επιστήμη των υπολογιστών, την ψυχολογία και την διδακτική στην εκπαίδευση.

Θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί πως τα ηλεκτρονικά παιχνίδια κατάγονται από τα μηχανικά παιχνίδια του Las Vegas, όπου εκτός από τα φανταχτερά λαμπάκια, ο ήχος έπαιξε σημαντικό ρόλο, σαν ελκυστήρας νέων παικτών, για την απόδοση της αίσθησης της επιτυχίας και γενικά τη διατήρηση του ενδιαφέροντος των παικτών για την παραμονή τους στο παιχνίδι. Βέβαια το πρώτο ηλεκτρονικό παιχνίδι, «Tennis for Two, and Spacewar», που δημιουργήθηκε στο MIT το 1962, δεν περιείχε ήχο. Έκτοτε όμως και από το επόμενο ευρέως διαδεδομένο arcade παιχνίδι (1971) και μια σειρά άλλων παιχνιδιών στα επόμενα χρόνια, ο ήχος ήταν ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα αυτών των παιχνιδιών (Collins, 2008). Με την εξέλιξη των υπολογιστών, η συνεισφορά του ήχου στην ενσωμάτωση του παίκτη στον πλασματικό κόσμο του ηλεκτρονικού παιχνιδιού γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη, καθώς μάλιστα ο ήχος γίνεται όλο και πιο περιεκτικός μεταφέροντας πολυδιάστατες πληροφορίες, παρόλο που την τελευταία τριακονταετία το hardware των γραφικών είχε πολύ μεγαλύτερη εξέλιξη από όση είχε το hardware του ήχου. Παρ' όλα αυτά, σήμερα ενσωματωμένες κάρτες ήχου μπορούν να αναπαραστήσουν 3D ήχο και να προσομοιώσουν πλασματικούς ηχητικούς χώρους. Πάντα όμως, στα παιχνίδια αυτά (τα visual games), ο ήχος ήταν ένα συνοδευτικό μέσο επίτασης της αίσθησης του ενδιαφέροντος του παιχνιδιού.

Στα ηχητικά παιχνίδια το επίκεντρο του παιχνιδιού είναι πλέον ο ήχος. Απουσιάζει πλήρως το οπτικό σκηνικό και όλα αναπλάθονται με την βοήθεια του ήχου. Αρχικά τέτοια παιχνίδια δημιουργήθηκαν για άτομα με προβλήματα στην όραση. Το 1999 παρουσιάστηκε το πρώτο τέτοιο παιχνίδι, με τίτλο «Real Sound - Kaze no Regret», ένα παιχνίδι περιπέτειας για κονσόλες Sega's Saturn και Dreamcast (Th. Hermann, 2011). Σήμερα, η αγορά των ηχητικών παιχνιδιών φαίνεται ολοένα αυξανόμενη. Βέβαια, τα περισσότερα από τα παιχνίδια αυτά είναι ακόμη απλά, σε σχέση με τα οπτικά ηλεκτρονικά παιχνίδια,

το δε σενάριο τους συνήθως είναι μεταφορά του σεναρίου των οπτικών ηλεκτρονικών παιχνιδιών. Στην ηλεκτρονική διεύθυνση audiogames.net, μπορεί κανείς να βρει μια λίστα τέτοιων παιχνιδιών, μέρος της οποίας παρατίθεται παρακάτω:

<u>Title</u>	<u>Page</u>	<u>Download</u>	<u>License</u>	<u>Genre</u>
<u>1000 AD [fav]</u>	Homepage	Download	freeware	Strategy Games
<u>15 numbers [fav]</u>	Homepage	Download	shareware	Puzzle Games
<u>23 Bricks [fav]</u>	Homepage	Download	open source	Puzzle Games
<u>3D Snake [fav]</u>	Homepage	Download	abandonware	Arcade Games
<u>7-128 Gamebook - perceptions edition [fav]</u>	Homepage	Download	trial	Compilations
<u>A pinch in Saint Petersburg [fav]</u>	Homepage	none	retail	Interactive fiction
<u>Access invaders [fav]</u>	Homepage	Download	freeware	Space invaders Games

Πίνακας 1. Κατάλογος ηχητικών παιχνιδιών

Ένας παράγοντας στη σχεδίαση ενός ηχητικού παιχνιδιού είναι η ύπαρξη ή μη δραστηριότητας. Όταν το παιχνίδι έχει μια γραμμική εξέλιξη, τότε είναι ευκολότερο για τον παίκτη να παρακολουθήσει τη ροή του, αφού μετά την επανάληψη του παιχνιδιού, αυτό γίνεται προβλέψιμο. Αυτό όμως είναι και ένα μειονέκτημα, αφού η προβλεψιμότητα αυτή το καθιστά μετά από έναν αριθμό επαναλήψεων ανιαρό. Αντίθετα, η μη γραμμικότητα της εξέλιξης του παιχνιδιού και η διαφοροποίησή της, εξ αιτίας επιλογών του χρήστη, καθιστά το παιχνίδι κάθε φορά καινούριο και επομένως με αυξημένο ενδιαφέρον.

Σε ένα ηχητικό παιχνίδι, στόχος είναι να προκαλεί το ενδιαφέρον ώστε να απορροφάται ο παίκτης από τον ηχητικό πλασματικό κόσμο, να μπορεί να διαχειριστεί τις εκδοχές που προβλέπονται από το σενάριο, και τελικά να είναι το παιχνίδι αποτελεσματικό και να προσφέρει το αίσθημα της ικανοποίησης.

Οι βασικοί άξονες στους οποίους οικοδομείται ένα τέτοιο παιχνίδι είναι:

Η δημιουργία ηχητικής σκηνης.

Η ύπαρξη προϋποθέσεων ηχητικού προσανατολισμού.

Η ηχητική «αφήγηση» της εξέλιξης του σεναρίου.

Ένα εύκολο περιβάλλον διεπαφής.

Η αποφυγή υπερφόρτωσης ηχητικών πληροφοριών.

Για την επίτευξη των παραπάνω είναι απαραίτητος ο καλός ηχητικός σχεδιασμός που θα εξυπηρετεί το σενάριο, με χρήση τεχνικών ηχητικής αναπαράστασης δεδομένων και αμφιωτική επεξεργασία του ήχου. Η χρήση τεχνικών ηχητικής αναπαράστασης δεδομένων, μπορεί να προσδιοριστεί αφενός με τις τεχνικές που έχουν να κάνουν με την ενεργό ανίχνευση του ηχητικού σκηνικού από τον παίκτη και γενικά τις ηθελημένες ενέργειές του κατά την διαδραστική διεκπεραίωση του σεναρίου, αφετέρου με την πρόσληψη πρόσθετων βοηθητικών πληροφοριών από το ηχητικό περιβάλλον του παιχνιδιού, από πηγές που ενεργοποιούνται είτε χρονοπρογραμματισμένα είτε από ακούσιες ενέργειες του παίκτη. Και στις δυο περιπτώσεις είναι σημαντική η χρήση ευκρινών και αναγνωρίσιμων ήχων αλλά και χωρικά προσδιορίσιμων. Στο τελευταίο, σημαντικό ρόλο παίζει η αμφιωτική επεξεργασία των ήχων.

Γενικά σε ένα ηχητικό παιχνίδι, θα μπορούσε κανείς να παρατηρήσει την ύπαρξη δυσκολίας στην εκτίμηση αποστάσεων και στην χαρτογράφηση ήχων σε συγκεκριμένα γεγονότα. Δυσκολίες οι οποίες είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν με προκαταρκτική εκπαίδευση του παίκτη.

Έναντι αυτών των δυσκολιών, αντιπαρατίθεται ένα πιο ευφάνταστο και ενδιαφέρον σκηνικό, το οποίο δημιουργεί ο χρήστης, με αφορμή τα ηχητικά γεγονότα. Ο παίκτης βυθίζεται στον ηχητικό χώρο που του προσφέρεται και αναπλάθει τον πλασματικό χώρο του παιχνιδιού, δίχως τα όρια στα οποία τον περιορίζει ένα οπτικό παιχνίδι. Θα μπορούσε κανείς να παραλληλίσσει τη δυνατότητα αυτή, με την δυνατότητα ενός ακροατή ραδιοφώνου, έναντι ενός τηλεθεατή, όπου ενώ αρχικά θα μπορούσε να ισχυριστεί κάποιος πως η τηλεόραση υπερτερεί έναντι του ραδιοφώνου, λαμβάνοντας υπόψη ότι «μια εικόνα είναι χίλιες λέξεις», εντούτοις το ραδιόφωνο τελικά είναι τόσο ενδιαφέρον, αφού «μια λέξη που πέφτει τυχαία στο μυαλό μας δημιουργεί κύματα στην επιφάνεια και στο βάθος, προκαλεί μια ατελεύτητη σειρά αλυσιδωτών αντιδράσεων, παρασύροντας στην πτώση

της ήχους και εικόνες, αναλογίες και αναμνήσεις, σημασίες και όνειρα, σε μια κίνηση που ξυπνά την εμπειρία και τη μνήμη, τη φαντασία και το ασυνείδητο, και η οποία γίνεται πιο περίπλοκη επειδή το ίδιο το μυαλό δεν παρίσταται παθητικά στην εμφάνιση όλων αυτών, αλλά επεμβαίνει σ' αυτήν συνεχώς για να δεχτεί και να απορρίψει, να συνδέσει και να λογοκρίνει, να οικοδομήσει και να καταστρέψει» (Ροντάρι, 1985). Όπως ένα άνθος ή ένα κοχύλι, έτσι και ένας ήχος καθαρός ή ένα μελωδικό σύστημα καθαρών ήχων, μπορούν να γίνουν αφετηρία νέων αισθητών εντυπώσεων και να δημιουργήσουν καινούριες εικόνες οι οποίες θα συνθέσουν ένα μέρος του απαραίτητου σκηνικού.

Τα ηχητικά παιχνίδια θα μπορούσε κανείς να τα διακρίνει στις παρακάτω κατηγορίες:

2.1.1 Ηχητικά παιχνίδια «απόγονοι» των οπτικών

Στην περίπτωση αυτών των ηχητικών παιχνιδιών, υπάρχει ένα πλεονέκτημα, σε σχέση με το σενάριο. Ήδη κατά ένα μεγάλο μέρος, είναι γνωστά στον παίκτη, ο στόχος του παιχνιδιού, η διαδικασία εξέλιξης και σε γενικές γραμμές οι δυνατότητες δράσης στα πλαίσια του σεναρίου. Αυτό καθιστά εύκολη την προσαρμογή του παίκτη και μικρότερη την ανάγκη εκπαίδευσής του. Τέτοια είναι πολλά ηχητικά παιχνίδια.

2.1.2 Πρωτότυπα ηχητικά παιχνίδια

Σ' αυτήν την περίπτωση, το πλεονέκτημά τους είναι ακριβώς η πρωτοτυπία. Πάντα σε ένα παίκτη κεντρίζει ένα καινούριο σενάριο, του προκαλεί ενδιαφέρον και επιδιώκει να παίξει ένα τέτοιο παιχνίδι. Εδώ όμως υπάρχουν σαν αντίβαρο τα μειονεκτήματα, αντίστοιχα των πλεονεκτημάτων της προηγούμενης κατηγορίας.

2.1.3 «Επαυξημένα» ηχητικά παιχνίδια

Στις περιπτώσεις αυτές, το σύστημα είναι φορητό και επεκτάσιμο με τεχνικές που επιτρέπουν την κίνηση του χρήστη και τον προσδιορισμό της θέσης του. Έτσι στο παιχνίδι συνδυάζεται ο πραγματικός κόσμος και ο πλασματικός ηχητικός κόσμος, κάτι που κάνει το παιχνίδι ιδιαίτερα ενδιαφέρον.

2.2 Βασικές Αρχές Ακουστικής και Ψυχοακουστικής

2.2.1 Ήχος

Η διάδοση ενέργειας σε συνεχή υλικά μέσα (στερεά, υγρά και αέρια), χωρίς τη μεταφορά ύλης, είναι κυματικό φαινόμενο, το οποίο, όταν η συχνότητα της κύμανσης περιορίζεται στα όρια της ευαισθησίας του ανθρώπινου αυτιού (20Hz – 20.000Hz) ονομάζεται ήχος (Οικονόμου, 1972).

Η διάδοση του ήχου στα αέρια και στα υγρά γίνεται με διαμήκη κύματα, ενώ στα στερεά είτε με διαμήκη είτε με εγκάρσια.

Η ικανότητα του ανθρώπου, αλλά και των περισσοτέρων ζώων, να αντιλαμβάνεται ήχους είναι σημαντική για την επιβίωσή του. Ο ήχος είναι ένας από τους κύριους τρόπους επικοινωνίας, εντόπισης τροφής και αντίληψης κινδύνων. Μέσω του ήχου, ο άνθρωπος μπορεί να αισθανθεί τέρψη, με τη μορφή μουσικής, αλλά και δυσφορία, όταν έχει τη μορφή ηχορύπανσης ή θορύβου.

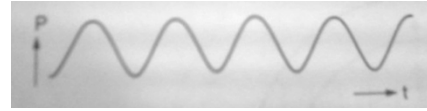
Όταν η συχνότητα της κύμανσης είναι μικρότερη των 20Hz, τότε αυτή ονομάζεται *υπόηχος*. Οι υπόηχοι παράγονται από φυσικά φαινόμενα (σεισμοί, μεταβολές ατμοσφαιρικής πίεσης), αλλά και από ανθρώπινη δραστηριότητα (συστήματα εξαερισμού) και ενώ δεν είναι ακουστοί από τον άνθρωπο μπορεί να του προκαλέσουν βιολογικές διαταραχές.

Όταν η συχνότητα της κύμανσης είναι μεγαλύτερη των 20.000Hz, τότε ονομάζεται *υπέρηχος* (ultrasound). Οι υπέρηχοι χρησιμοποιούνται στην ιατρική πρακτική, σε διαγνωστικές συσκευές (Cameron, Skofronick, & Grant, 2001).

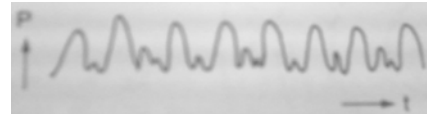
2.2.2 Διάκριση των ήχων

Ο ήχος μπορεί να διακριθεί σε:

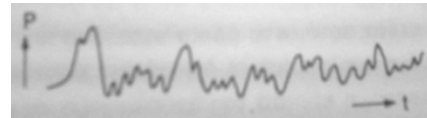
Απλό ήχο ή **τόνο**, ο οποίος οφείλεται σε αρμονική ταλάντωση ορισμένης συχνότητας.



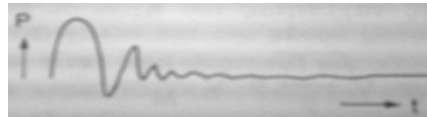
Φθόγγο, σύνθετο ήχο που μπορεί να αναλυθεί σε πολλούς απλούς ήχους, των οποίων οι συχνότητες είναι ακέραια πολλαπλάσια μιας θεμελιώδους συχνότητας.



Θόρυβο, που αντιστοιχεί σε ακανόνιστα ηχητικά κύματα, χωρίς καμιά περιοδικότητα.



Κρότο, που αντιστοιχεί σε μια αιφνίδια, ισχυρή δόνηση του αέρα.

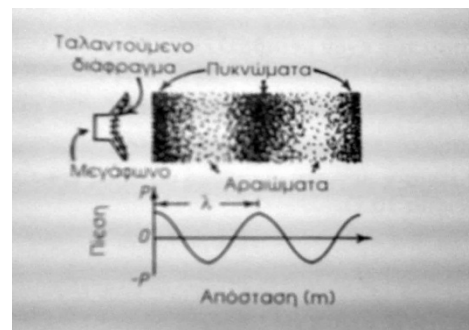


2.2.3 Αντικειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου

Ως αντικειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου αναφέρονται εκείνα τα οποία είναι επισημονικώς ανιχνεύσιμα και μετρήσιμα.

Τέτοια χαρακτηριστικά, είναι **η συχνότητα, το πλάτος και η ένταση**.

Κατά τη διάρκεια της ηχητικής ταλάντωσης στον αέρα προκαλούνται τοπικές αυξήσεις και μειώσεις της πίεσης, ως προς την υφιστάμενη ατμοσφαιρική πίεση, που ονομάζονται **πυκνώματα** και **αραιώματα** αντίστοιχα, προκαλώντας διαμήκη κύματα (κύματα κατά τα οποία τα μόρια του αέρα ταλαντεύονται κατά την διεύθυνση της διάδοσης του κύματος). Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών μεγίστων (ή ελαχίστων) της πίεσης ονομάζεται **μήκος του ηχητικού κύματος** (λ), το δε πλήθος των ταλαντώσεων (πλήρων



Εικόνα 1. Στιγμιότυπο ηχητικού κύματος

κύκλων πίεσης) στη μονάδα του χρόνου (1sec) ονομάζεται **συχνότητα** (f) και μετράται σε Hertz (Hz) και είναι αντιστρόφως ανάλογη της **περιόδου** της ταλάντωσης: $T = \frac{1}{f}$ (1), δηλαδή του χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση μιας ταλάντωσης.

Η περιοδική μεταβολή της πίεσης, εκφράζεται από την ημιτονοειδή συνάρτηση:

$$P = P_0 \sin(2\pi ft + \varphi) \quad (2),$$

όπου P_0 είναι το πλάτος της ταλάντωσης (μέγιστη πίεση) και φ η **διαφορά φάσης**. Η αρχική φάση είναι το χρονικό σημείο που αρχίζει η ταλάντωση του κύματος. Συμφασικά δυο κύματα λέγονται όταν η διαφορά φάσης τους είναι 0^0 ή 360^0 , ενώ όταν είναι 180^0 λέγεται πως βρίσκονται σε αντίθετη φάση.

Η **ταχύτητα διάδοσης** του κύματος, διέπεται από τη βασική εξίσωση της κυματικής: $u = \lambda f$ (3) και επηρεάζεται από το μέσο στο οποίο διαδίδεται. Έτσι στα αέρια η ταχύτητα

δίνεται από την εξίσωση του Laplace: $u = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}$ (4), όπου γ είναι ο λόγος των δύο

ειδικών θερμοτήτων (c_p/c_u), P η πίεση (ηρεμίας) του αερίου, και ρ η πυκνότητά του (Μάζης, 1976). Όταν ένα ηχητικό κύμα περνά από ένα μέσο σε ένα άλλο παραμένει σταθερή η συχνότητά του, ενώ αλλάζουν η ταχύτητα και το μήκος κύματος του ηχητικού κύματος, ώστε να παραμένει πάντα σε ισχύ η βασική εξίσωση της κυματικής (3) (Σπυρίδης, 1988).

Ένταση του ήχου (I) ορίζεται η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου (1sec), δηλαδή η ισχύς, που διαπερνά κάθετα μια επιφάνεια μοναδιαίου εμβαδού ($1m^2$). Μετράται σε $watts/m^2$, η δε εξίσωση για τον υπολογισμό της είναι:

$$I = \frac{1}{2} \rho u A^2 (2\pi f)^2 = \frac{1}{2} Z (A\omega)^2 \quad (5)$$

όπου ρ η πυκνότητα του μέσου διάδοσης, u η ταχύτητα του ήχου, f η συχνότητα, $\omega = 2\pi f$ η κυκλική συχνότητα σε rad/s , A το πλάτος της ταλάντωσης και $Z = \rho u$ η ακουστική εμπέδηση ή σύνθετη ακουστική αντίσταση, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στους υπολογισμούς κατά την πρόσπτωση του ήχου σε κάποιο άλλο μέσο όπου αλλάζει η ταχύτητά του. Ακόμη η ένταση υπολογίζεται και από τον τύπο: $I = \frac{P^2}{2Z}$ (6), όπου P η μέγιστη μεταβολή ως προς την ατμοσφαιρική πίεση (Cameron, Skofronick, & Grant, 2001).

Πολλές φορές είναι χρήσιμη η σύγκριση των εντάσεων δύο ήχων αντί του απολύτου μεγέθους του καθενός. Γι' αυτόν τον λόγο χρησιμοποιείται μια ειδική μονάδα το **bel**

(προς τιμήν του Alexander Graham Bell), που συγκρίνει τις εντάσεις δύο ήχων, με βάση την εξίσωση: $1\text{bel} = \log_{10}(I_1/I_0)$, δηλαδή δύο ήχοι διαφέρουν κατά 1bel , αν ο ένας έχει δεκαπλάσια ένταση από τον άλλο. Επειδή η μονάδα bel είναι μεγάλη χρησιμοποιείται το δέκατό της, δηλαδή το decibel (dB) . Έτσι το επίπεδο έντασης του ήχου (L_1) ορίζεται από την εξίσωση:

$$L_1(\text{dB}) = 10 \log_{10}(I_1/I_0) \quad (7)$$

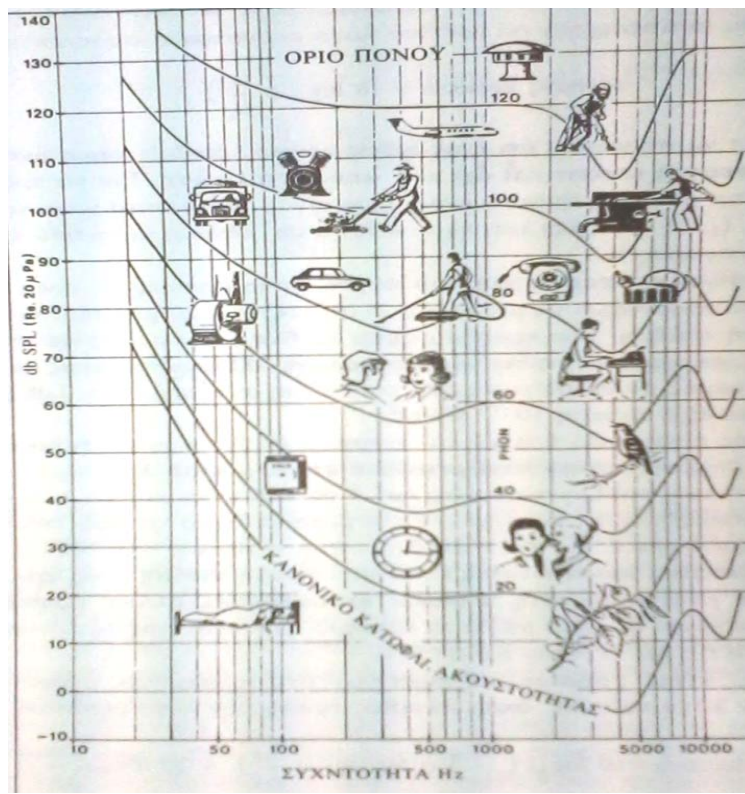
Είναι φανερό, ότι ένας αριθμός σε decibels παριστάνει έναν λόγο εντάσεων και όχι μια απόλυτη ένταση. Για να υπάρχει απόλυτη αναφορά, πρέπει να καθοριστεί το I_0 σαν στάθμη αναφοράς. Η συνήθης στάθμη αναφοράς που χρησιμοποιείται, είναι $I_0 = 10^{-16} \text{ w/cm}^2$. Η ηχητική στάθμη που προσδιορίζεται σύμφωνα με τα παραπάνω, αναφέρεται ως $\text{Sound Pressure Level (SPL)}$.

2.2.4 Υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου

Τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου, δηλαδή ο τρόπος με τον οποίο γίνεται αντιληπτός από το ανθρώπινο αυτί, σχετίζονται με αντικειμενικά χαρακτηριστικά του.

Αυτά είναι **η ακουστότητα, η χροιά και το ύψος**.

Ακουστότητα είναι το χαρακτηριστικό εκείνο, βάσει του οποίου αντιλαμβανόμαστε αν ο ήχος είναι ισχυρός ή ασθενής. Είναι το μέγεθος του προκαλούμενου ακουστικού αισθήματος. Εξαρτάται από το πλάτος, τη συχνότητα και το είδος του ήχου. Για μια συχνότη-



Εικόνα 2. Επίπεδα ακουστικής πίεσης

τα, η αύξηση του πλάτους της ταλάντωσης προκαλεί αύξηση της έντασης. Όμως, ήχοι ίσης έντασης παράγουν πολύ διαφορετικά αποτελέσματα σε διαφορετικές περιοχές συχνότητας, λόγω της διαφορετικής ευαισθησίας του αυτιού, στις διαφορετικές αυτές περιοχές (Σπυρίδης, 1988).

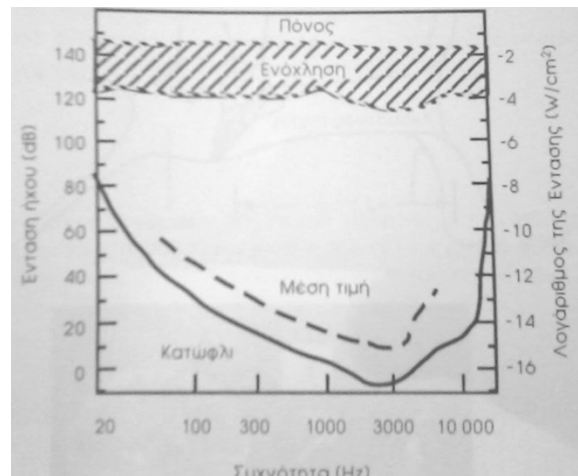
Το ακουστικό αίσθημα αυξάνεται βραδύτερα από ότι η ένταση. Αν ένας ήχος φαίνεται να έχει διπλάσια ακουστότητα από έναν άλλο, στην πραγματικότητα έχει δεκαπλάσια ένταση. Γενικά η ακουστότητα και η ένταση σχετίζονται με τον ψυχοφυσικό νόμο των Weber – Fechner, που ορίζει ότι: Η ακουστότητα είναι ανάλογη προς τον λογάριθμο της ηχητικής έντασης. Ο νόμος αυτός εκφράζεται με την εξίσωση:

$$A = C \log I \quad (8)$$

όπου C σταθερά εξαρτώμενη από τον παρατηρητή και τη συχνότητα (Καρακώστας & Κυριάκος, 1998).

Ένα πρακτικό αποτέλεσμα των παραπάνω είναι το εντυπωσιακό γεγονός πως, 10 βιολιά προκαλούν διπλάσια δυνατό ήχο από ό,τι ένα μόνο βιολί.

Η ηχητική στάθμη αναφοράς των $A = 0\text{dB SPL}$ είναι μια χαμηλή στάθμη, που επιλέχθηκε να είναι κοντά στο μέσο απόλυτο **κατώφλι ακουστότητας** του ανθρώπου για έναν απλό ήχο (ημιτονοειδή) των 1000 Hz. Το απόλυτο κατώφλι ακουστότητας είναι η ελάχιστη στάθμη ενός ήχου, που μπορεί να γίνει αντιληπτή, απουσία εξωτερικών ήχων. Το μέσο απόλυτο κατώφλι ακουστότητας του ανθρώπου στα 1000 Hz είναι περίπου 6,5 dB SPL. Σε άλλη συχνότητα (διαφορετική των 1000 Hz) στο κατώφλι ακοής αντιστοιχεί διαφορετική ένταση του ήχου και επομένως η ακουστότητα σε dB δεν θα είναι μηδενική, ενώ το ακουστικό αίσθημα αντιστοιχεί



Εικόνα 3. Κατώφλι ακουστότητας

στο μηδέν. Γι' αυτό χρησιμοποιείται η σχετική ακουστότητα που μετρείται σε *phons*. Το *phon* είναι η μονάδα μέτρησης της φυσιολογικής έντασης του ήχου και εκφράζει τα dB που θα έπρεπε να έχει ο ήχος συχνότητας 1000 Hz ώστε να δίνει το ίδιο ακουστικό συ-

ναίσθημα με τον δοθέντα ήχο. Έτσι για παράδειγμα τόνος 1000 Hz με στάθμη πίεσης 70dB έχει στάθμη ακουστότητας 70 phon.

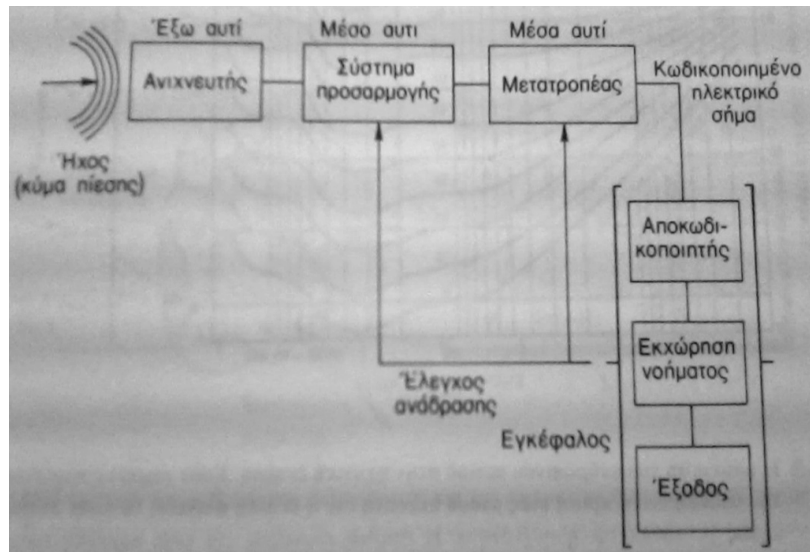
Ως *ύψος* του ήχου (Pitch), μπορεί να θεωρηθεί εκείνο το χαρακτηριστικό της ακουστικής εντύπωσης με βάση το οποίο οι ήχοι μπορούν να διαταχθούν πάνω σε μια μουσική κλίμακα. Για ένα ημιτονοειδές κύμα το ύψος είναι ανάλογο με τη συχνότητά του. Για ένα σύνθετο ήχο, το ύψος προσδιορίζεται ζητώντας από το υποκείμενο να ρυθμίσει ένα ημιτονοειδές κύμα έτσι, ώστε να προκαλεί το ίδιο ύψος με τον σύνθετο (Σπυρίδης, 1988).

Χροιά του ήχου, είναι εκείνο το χαρακτηριστικό της ακουστικής εντύπωσης που επιτρέπει τη δυνατότητα διάκρισης δύο ήχων του ίδιου ύψους και της ίδιας ακουστότητας, που παράγονται από διαφορετικές πηγές. Με βάση την ανάλυση Fourier, ένας σύνθετος ήχος προέρχεται από την πρόσθεση ορισμένων απλών ήχων, οι οποίοι είναι αρμονικοί ενός θεμελιώδους. Η χροιά, λοιπόν, ενός σύνθετου ήχου εξαρτάται από τον αριθμό και τη σχετική ένταση των αρμονικών, οι οποίοι προστίθενται στον θεμελιώδη ήχο (Μάζης, 1976).

2.2.5 Ψυχοακουστική

Ψυχοακουστική (*Psychoacoustics*) είναι η επιστημονική της αντίληψης του ήχου, η οποία μελετά τις ψυχολογικές και φυσιολογικές αντιδράσεις, που σχετίζονται με αυτόν.

Η ακρόαση δεν είναι ένα καθαρά μηχανικό φαινόμενο της διάδοσης κυμάτων, αλλά είναι μια εκδήλωση αισθητικής και αντίληψης. Με άλλα λόγια, όταν ένας άνθρωπος ακούει κάτι, αυτό σημαίνει ότι δέχεται στο αυτί του κάποια



δυναμική και

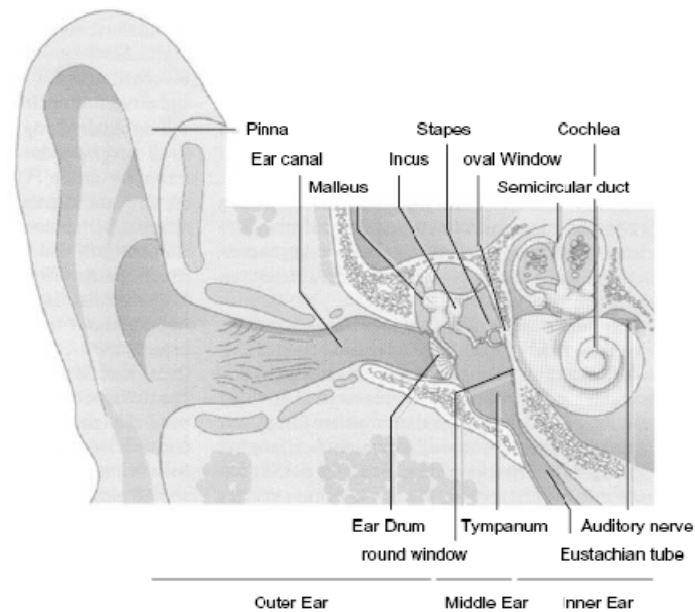
Εικόνα 4. Ανίχνευση ακουστικών κυμάτων (Σπυρίδης, 1988)

κινητική ενέργεια που έχει μεταφέρει το ηχητικό κύμα. Αυτή η ενέργεια στο εσωτερικό του αυτιού μετατρέπεται σε νευρική δυναμική ενέργεια. Αυτοί οι παλμοί μέσω του ακουστικού νεύρου ταξιδεύουν στον εγκέφαλο, όπου γίνονται αντιληπτοί. Ως εκ τούτου, σε πολλά προβλήματα στην ακουστική, όπως για την επεξεργασία του ήχου, είναι επωφελές να ληφθούν υπόψη όχι μόνο η μηχανική του περιβάλλοντος, αλλά και το γεγονός ότι τόσο το αυτί όσο και ο εγκέφαλος ασχολούνται με την εμπειρία της ακρόασης. (Wikipedia).

Όπως είναι φανερό η ανατομία και η λειτουργία του αυτιού είναι ένα ενδιαφέρον σημείο και θα εκτεθεί εν συντομία παρακάτω.

2.2.6 Ανατομία του ανθρώπινου αυτιού

Το αυτί, είναι ένας, έξυπνα κατασκευασμένος, μετατροπέας των πολύ ασθενών μηχανικών ηχητικών κυμάτων του αέρα σε ηλεκτρικές ώσεις προς το ακουστικό νεύρο. Η ενέργεια που μπορεί να συλλάβει είναι τόσο μικρή, ώστε είναι δυνατό να αντιληφθεί τη μικρή ενέργεια των λέξεων μιας ομιλίας. Να σημειωθεί ότι, αν κάποιος μιλούσε συνεχώς για 100 χρόνια, η ηχητική ενέργεια που θα παρήγαγε θα ήταν μικρότερη από το ισοδύναμο σε θερμική ενέργεια που χρειάζεται για να βράσει ένα ποτήρι νερό($8 \cdot 10^4 \text{J}$).



Εικόνα 5. Διατομή ανθρώπινου αυτιού

Το αυτί αποτελείται από τρία μέρη: το έξω, το μέσον και το έσω αυτί.

Το έξω αυτί, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5. Διατομή του ανθρώπινου αυτιού (Cameron, Skofronick, & Grant, 2001), αποτελείται από το πτερύγιο και τον έξω ακουστικό πόρο, ο οποίος καταλήγει στο τύμπανο.

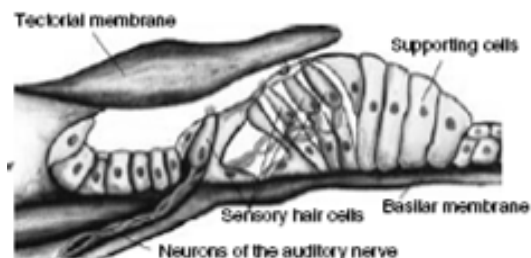
Το *πτερύγιο* συνεισφέρει στην ακοή ως χοάνη, στην αγωγή των ηχητικών κυμάτων στον ακουστικό πόρο. Είναι ένας χόνδρος που καλύπτεται από δέρμα, ενώ στο κάτω άκρο του, που λέγεται λοβίο, υπάρχει μόνο λίπος. Ο άνθρωπος διαθέτει 9 ατροφικούς μύες για την κίνηση του κάθε πτερυγίου. Άλλα ζώα διαθέτουν περισσότερους, αφού σ' αυτά το πτερύγιο παίζει σημαντικό ρόλο στη συλλογή ηχητικής ενέργειας και στη συγκέντρωσή της στο τύμπανο. Στο άλογο για παράδειγμα υπάρχουν 17 τέτοιοι μύες.

Ο *έξω ακουστικός* πόρος έχει μήκος 2,5cm και εξυπηρετεί στην αύξηση της ευαισθησίας του αυτιού στις συχνότητες από 3000 ως 4000Hz. Μπορεί κανείς να παραλληλίσει τον έξω ακουστικό πόρο με σωλήνα πνευστού μουσικού οργάνου, κλειστού από το ένα άκρο του, με συχνότητα συντονισμού 3300Hz, εκεί όπου η ευαισθησία του αυτιού είναι η μέγιστη.

Το *τύμπανο* είναι λεπτός υμένας πάχους 0,1mm και εμβαδού 65mm². Η κίνησή του είναι εξαιρετικά μικρή. Η μετατόπισή του, στο κατώφλι της ακοής στα 3300 Hz, είναι 10⁻¹¹cm. Το τύμπανο μπορεί να διαρραγεί, σε ηχητικές πιέσεις πάνω από 160dB.

Το *μέσο αυτί*, περιλαμβάνει σε μια αεροφόρο κοιλότητα, *τρία οστάρια* (την σφύρα, τον άκμονα και τον αναβολέα), τα οποία μεταφέρουν τους παλμούς του τυμπάνου στο έσω αυτί, και την *ευσταχιανή σάλπιγγα*, με την οποία συνδέεται το αυτί με το πίσω μέρος της στοματικής κοιλότητας και ευθύνεται για την εξισορρόπηση της πίεσης του μέσου αυτιού και του ατμοσφαιρικού αέρα.

Το *έσω αυτί*, βρίσκεται στο λιθοειδές οστό του κρανίου. Περιλαμβάνει όργανα που ενημερώνουν τον εγκέφαλο για τη θέση του κεφαλιού και όργανα για την ισορροπία του σώματος. Επίσης περιλαμβάνει τον *κοχλία*, που είναι ο μόνος από τα όργανα του έσω αυτιού που έχουν σχέση με την ακοή.



Εικόνα 6. Το όργανο του Corti

Αυτός μοιάζει με σαλιγκάρι και έχει δύομιση περιελίξεις. Είναι χωρισμένος σε τρία μέ-

ρη: την αιθουσαία κλίμακα, τον κοχλιακό πόρο και την τυμπανική κλίμακα. Η αιθουσαία και η τυμπανική κλίμακα περιέχουν την έξω λέμφο που προέρχεται από το εγκεφαλονωτιαίο υγρό, ενώ ο κοχλιακός πόρος από την έσω λέμφο. Αυτά τα δυο υγρά είναι διαφορετικά από ανατομική και ηλεκτρική άποψη. Πάνω στο *βασικό υμένα*, που χωρίζει τον κοχλιακό πόρο από την τυμπανική κλίμακα, βρίσκεται το βασικό όργανο που μετασχηματίζει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρικές ώσεις και λέγεται όργανο του *Corti*. Από δω ξεκινά το ακουστικό νεύρο, το οποίο καταλήγει στο αντίστοιχο ακουστικό κέντρο του εγκεφάλου, για το αριστερό αυτί στο δεξί ημισφαίριο και αντίστροφα.

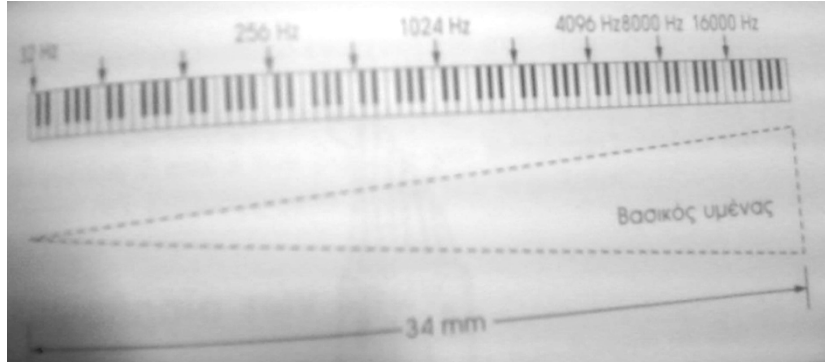
2.2.7 Η αντίληψη του ήχου και ο μηχανισμός της ακοής στον άνθρωπο

Εστιάζοντας αποκλειστικά στην ανθρώπινη ακοή, η διαδικασία της μετατροπής και αναπαράστασης ψηφιακών δεδομένων / πληροφοριών μέσω ελεγχόμενου ηχητικού πεδίου, μπορεί να στηριχθεί σε ένα σύνολο ιδιοτήτων της ανθρώπινης ακοής, όπως:

- I. την διάκριση διαφορετικών τιμών τονικού ύψους
- II. την υψηλή διακριτική ικανότητα ως προς τις αντιληπτές στάθμες ηχητικής πίεσης
- III. στην αντίληψη της σχετικής θέσης κινούμενων ηχητικών πηγών μέσω του φαινομένου Doppler
- IV. τη δυνατότητα ακριβούς προσδιορισμού της θέσης των ηχητικών πηγών, μέσω του μηχανισμού αμφιωτικής ακρόασης
- V. τη δυνατότητα πλήρως ελεγχόμενης ακουστικής εστίασης σε μεμονωμένα ηχητικά συμβάντα, εντός σύνθετων ακουστικών περιβαλλόντων που δημιουργούνται από την ταυτόχρονη ύπαρξη πολλαπλών ακουστικών πηγών

2.2.7.1 Διάκριση διαφορετικών τιμών τονικού ύψους

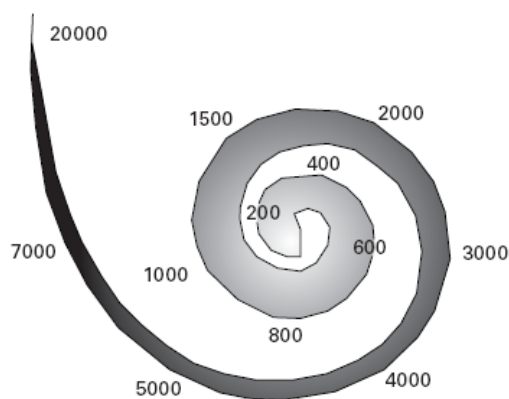
Τα ηχητικά κύματα, που διαδίδονται συνηθέστερα μέσω του αέρα, συλλέγονται από τα περύγια του ανθρώπινου αυτιού και οδηγούνται μέσω του έξω ακουστικού πόρου στο τύμπανο, το οποίο ταλαντώνεται. Οι ταλαντώσεις αυτές, μέσω των οσταρίων, μεταδίδονται στον υμένα της



Εικόνα 7. Προσομοίωση του βασικού υμένας με πιάνο

ωοειδούς θυρίδας και από αυτήν οδηγούνται στον κοχλία. Η προκαλούμενη ταλάντωση στον κοχλία έχει σαν αποτέλεσμα την διέγερση των τριχωτών κυττάρων που βρίσκονται στο όργανο του Corti, τα οποία κινούνται ως προς το υγρό του οργάνου. Η τριβή με το υγρό προκαλεί μικροσκοπικές δυνάμεις στις τρίχες των κυττάρων, που τείνουν να καμφθούν. Αν η κάμψη αυτή γίνει προς την κατάλληλη διεύθυνση, παράγεται ένα ηλεκτρικό δυναμικό, το οποίο προκαλεί ηλεκτρικά νευρικά σήματα, τα οποία διαδίδονται σαν ηχητική πληροφορία στον εγκέφαλο.

Όταν ένας απλός ήχος συγκεκριμένης συχνότητας διεγείρει το ανθρώπινο αυτί, η κυματοειδής διαταραχή μεταδίδεται στον βασικό υμένα, του οποίου η κίνηση γίνεται μέγιστη σε ένα συγκεκριμένο σημείο του. Το σημείο αυτό προσδιορίζει την αντίληψη της συχνότητας του ήχου. Ο βασικός υμένας είναι περισσότερο άκαμπτος στη βάση του, αλλά παρουσιάζει εκεί τη μεγαλύτερη κίνηση για μεγάλες συχνότητες, ενώ αντίστροφα συμβαίνει στην κορυφή του. Το φάσμα των συχνοτήτων κατανέμεται λογαριθμικά κατά μήκος του βασικού υμένα. Μια απόσταση 3,5 έως 4 mm αντιστοιχεί σε μια οκτάβα. Για κάθε συχνότητα υπάρχει ένα τμήμα



Εικόνα 8. Η ευαισθησία του βασικού υμένας

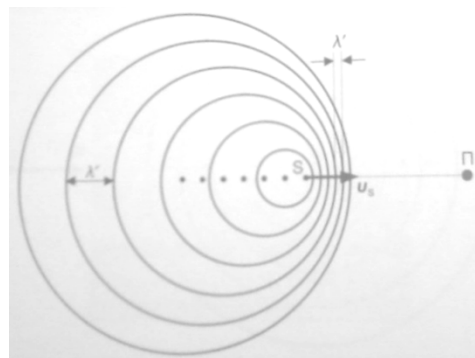
μέγιστης ευαισθησίας πάνω στον βασικό υμένα. Επιπλέον κάθε νευρώνας του ακουστικού νεύρου συνδέεται με τον βασικό υμένα σε ένα μόνο σημείο, ώστε η πληροφορία για διαφορετικές συχνότητες να μεταφέρονται από διαφορετικούς νευρώνες. Όταν ακούγεται κάποιος ήχος, για παράδειγμα 10.000Hz, οι νευρικές ίνες, από την κατάλληλη περιοχή του οργάνου Corti, στέλνουν μια σειρά ώσεων που προσδιορίζουν ποια περιοχή του ακουστικού φάσματος γίνεται αντιληπτή. Όταν ο ήχος είναι σύνθετος, τότε αναλύεται στον βασικό υμένα και σε περίπτωση που δεν μπορούν να αναγνωριστούν οι αρμονικές του, αυτός αναγνωρίζεται σαν θόρυβος. Έτσι, μέσω της παραπάνω διαδικασίας φασματικής ανάλυσης που λαμβάνει χώρα στο έσω αυτί, επιτρέπεται η διάκριση διαφορετικών τιμών τονικού ύψους.

2.2.7.II Διακριτική ικανότητα ως προς τις στάθμες ηχητικής πίεσης

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του ακουστικού συστήματος του ανθρώπου είναι η μεγάλη διακριτική ικανότητά του ως προς τις αντιληπτές στάθμες ηχητικής πίεσης. Το εύρος των εντάσεων ήχου, που μπορεί ο άνθρωπος να ακούσει, είναι 100 φορές μεγαλύτερο από το εύρος των εντάσεων του φωτός που μπορεί να δει. Να σημειωθεί ότι η μετατόπιση του τυμπάνου είναι εντυπωσιακά μικρή: 10^{-11} m, στο κατώφλι της ακοής στα 3000Hz, μικρότερη από τη διάμετρο ενός ατόμου υδρογόνου και 10^{-17} m, στο κατώφλι της ακοής περίπου στα 25Hz, μικρότερη από το μήκος κύματος του ορατού φωτός (Cameron, Skofronick, & Grant, 2001).

2.2.7.III Αντίληψη της σχετικής θέσης κινούμενων ηχητικών πηγών

Όταν η απόσταση της πηγής του ηχητικού κύματος και του παρατηρητή παραμένει σταθερή, η συχνότητα του ήχου που δέχεται ο παρατηρητής είναι ίδια με την εκπεμπόμενη και επομένως το πλήθος των ταλαντώσεων της τυμπανικής μεμβράνης ανά δευτερόλεπτο είναι ίσο με αυτό των ταλαντώσεων ανά δευτερόλεπτο της

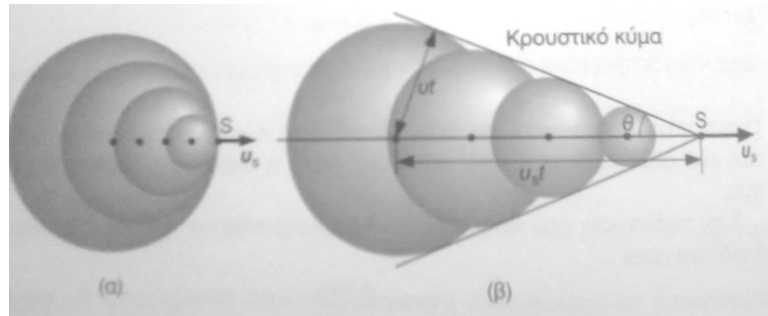


Εικόνα 9. Φαινόμενο Doppler

πηγής. Όταν όμως η απόσταση αυτή μεταβάλλεται, τότε μεταβάλλεται και η συχνότητα του ήχου που συλλαμβάνει το αυτί του παρατηρητή. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φαινόμενο Doppler.

Αν θεωρήσουμε ακίνητο τον παρατηρητή και κινούμενη, με ομαλή ευθύγραμμη κίνηση, την ηχητική πηγή, επί της ευθείας που ορίζεται από τον παρατηρητή και την αρχική θέση της πηγής, τότε μπροστά από την ηχητική πηγή τα κύματα πυκνώνουν, δηλαδή το μήκος κύματος μικραίνει και είναι $\lambda = (u-u_{\pi})/f_{\pi}$, ενώ πίσω της τα κύματα αραιώνουν $\lambda = (u+u_{\pi})/f_{\pi}$. Έτσι αντίστοιχα η συχνότητα του ήχου που προσλαμβάνει ο παρατηρητής, καθώς η ηχητική πηγή πλησιάζει, είναι: $f = f_{\pi} \cdot u/(u-u_{\pi})$, όπου f η συχνότητα που προσλαμβάνει ο παρατηρητής, f_{π} η συχνότητα του εκπεμπόμενου ήχου, u_{π} η ταχύτητα της πηγής ως προς τον παρατηρητή και u η ταχύτητα του ήχου στον αέρα.

Στη περίπτωση που η πηγή κινείται με ταχύτητα μεγαλύτερη αυτής του ήχου, δεν έχει νόημα ο τύπος Doppler, το μέτωπο κύματος παίρνει τη μορφή κώνου, με κορυφή την πηγή και γωνία ανοίγματος



Εικόνα 10. Κρουστικό κύμα

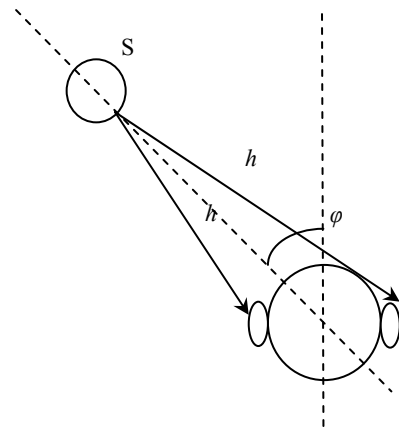
θ , με $\sin\theta = u/u_{\pi}$. Το κύμα αυτό λέγεται κύμα Mach, ή κρουστικό κύμα και σ' αυτό οφείλεται ο κρότος που ακούγεται τη στιγμή που ένα αεροπλάνο μεταβαίνει σε υπερηχητική ταχύτητα.

Συμπερασματικά, ο παρατηρητής αντιλαμβάνεται ήχους υψηλότερης συχνότητας της εκπεμπόμενης, όταν πλησιάζει η ηχητική πηγή, ενώ χαμηλότερης συχνότητας όταν αυτή απομακρύνεται.

Η διακριτική ικανότητα αντίληψης της κίνησης της πηγής από το ηχητικό σύστημα είναι μικρότερη εκείνης του οπτικού συστήματος. Η ελάχιστη γωνία ηχητικής απόκλισης (Minimum Audible Movement Angle – MAMA) είναι αυτή που πρέπει να διανύσει η ηχητική πηγή πριν γίνει αντιληπτή η κίνηση. Η MAMA αυξάνεται συναρτήσει της ταχύτητας της ηχητικής πηγής. Για ταχύτητες ηχητικής πηγής 15° , 30° , 60° ανά sec, τα κατώφλια αντίληψης κυμαίνονται στις 5.5° , 9.1° , 14.8° αντίστοιχα (Th. Hermann, 2011).

2.2.7.IV Αμφιωτική (Binaural) ακρόαση

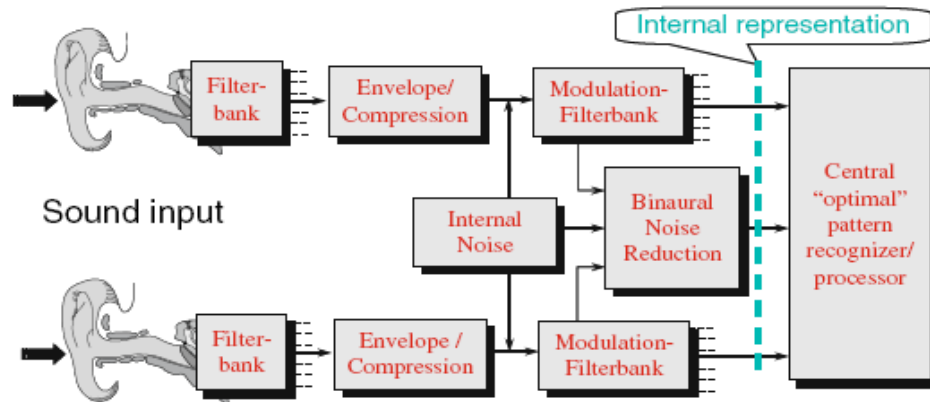
Ο εντοπισμός της θέσης της πηγής του ήχου από τον άνθρωπο, σχετίζεται με την πλευρική θέση των αυτιών του και τη μεταξύ τους απόσταση. Ο ρόλος των πτερυγίων δεν περιορίζεται μόνο στη συλλογή των ηχητικών κυμάτων, αλλά βοηθούν (όπως εξηγείται παρακάτω) και στον εντοπισμό της θέσης της ηχητικής πηγής και στην αποσαφήνιση, του εμπρός / πίσω (Kollmeier, 2008).



Η απόσταση των δυο αυτιών στο κεφάλι του ανθρώπου, έχει αποτέλεσμα την διαφορετική χρονική στιγμή άφιξης του ήχου στο κάθε αυτί του ακροατή (Εικόνα 11. Πλευρικός ήχος). Αυτό ονομάζεται *Interaural Time Difference (ITD)*. Η απόσταση αυτή έχει ακόμη σαν αποτέλεσμα και μια διαφορά στην ένταση του ηχητικού κύματος το οποίο συλλαμβάνει ο ακροατής.

Εικόνα 11. Πλευρικός ήχος

Επιπρόσθετα λόγω της ηχητικής επισκίασης η οποία προκαλείται από τμήμα του κεφαλιού του ακροατή, δημιουργείται διαφοροποίηση της έντασης του ήχου, κάτι που είναι



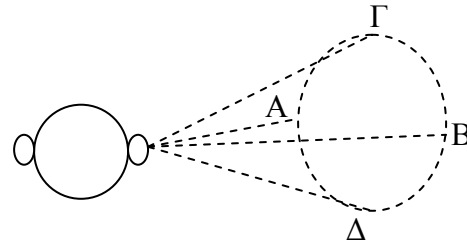
Εικόνα 12. Μοντέλο αμφιωτικής επεξεργασίας

ένα φυσικό κριτήριο καθορισμού της θέσης της πηγής του ήχου. Αυτό ονομάζεται *Interaural Level Difference (ILD)*.

Γενικά η *ITD*, βοηθά στον εντοπισμό της θέσης της ηχητικής πηγής, σε περιπτώσεις χαμηλών συχνοτήτων, ενώ στις περιπτώσεις υψηλών συχνοτήτων είναι καθοριστική η

ILD. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι η ηχητική επισκίαση του κεφαλιού του ακροατή είναι αποτελεσματικότερη στις υψηλές συχνότητες, αφού αυτές έχουν μικρό μήκος κύματος (μικρότερο του μήκους του εμποδίου - κεφαλιού) οπότε και θα φιλτραριστούν και η ηχητική μείωση θα είναι ανάλογη της συχνότητας (Duplex theory, Lord Rayleigh, 1907).

Οι παράμετροι που προκύπτουν από τις ITD και ILD, είναι δυνατόν να προκαλέσουν σύγχυση, σε περίπτωση που γίνεται προσπάθεια εντοπισμού της θέσης της ηχητικής πηγής σε σχέση με το κατακόρυφο επίπεδο και με το εμπρός /

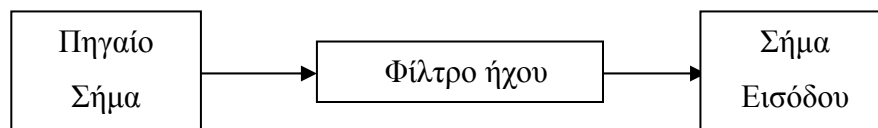


Εικόνα 13. Κώνος σύγχυσης

πίσω. Υπάρχει ένας νοητός κώνος, στην επιφάνεια του οποίου θα μπορούσε κανείς να τοποθετήσει τις θέσεις των ηχητικών πηγών οι οποίες δίνουν τις ίδιες παραμέτρους ITD και ILD και επομένως να προκαλέσουν σύγχυση. Στην Εικόνα 13. Κώνος σύγχυσης, φαίνεται πώς θα μπορούσε κανείς ακόμη και οπτικά να αντιληφθεί αμφίθυμα τα σημεία A και B σαν εμπρός ή πίσω.

Το πρόβλημα αυτό, ξεπερνιέται με την συμβολή των πτερυγίων του έξω αυτιού, τα οποία με τις ασύμμετρες πτυχώσεις τους επιφέρουν χρονοκαθυστερήσεις της τάξης msec, με αποτέλεσμα την φασματική τροποποίηση του ήχου που φτάνει τελικά στο τύμπανο.

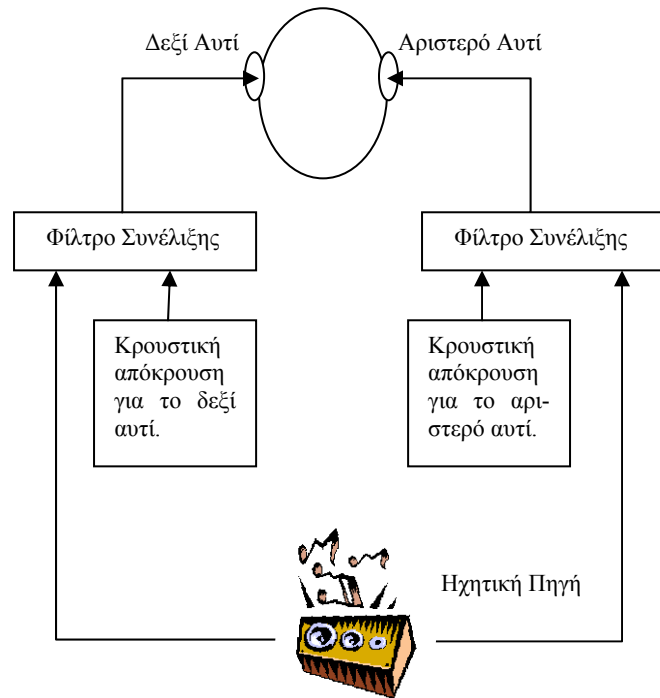
Γενικότερα μπορεί να θεωρηθεί πως τα σήματα εισόδου στο αυτί είναι φιλτραρισμένες εκδόσεις των πηγαίων σημάτων.



Εικόνα 14. Μετασχηματισμός ηχητικού σήματος

Τα φίλτρα που μοντελοποιούν τον τρόπο μεταφοράς του ήχου από την πηγή στην είσοδο του αριστερού και δεξιού αυτιού αναφέρονται ως *Head – Related Transfer Functions (HRTFs)* (Jeroen Breebaart, 2007).

Για κάθε αυτί και για κάθε γωνία πρέπει να υπάρχουν διαφορετικά φίλτρα. Τα φίλτρα αυτά, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 15. Φίλτρο συνέλιξης*, δέχονται για σήματα εισόδου αφενός μεν τον προς επεξεργασία ήχο, αφετέρου δε μια κρουστική απόκρουση η οποία απευθύνεται στο συγκεκριμένο αυτί (αριστερό ή δεξί) και έχει τα χαρακτηριστικά κατεύθυνσης (πολικών συντεταγμένων) που είναι επιθυμητό να αποδοθούν στον τελικό ήχο, αυτόν που θα προσλάβει το συγκεκριμένο αυτί του αποδέκτη. Υπάρχει (Gardner & Martin, 1994) μια βιβλιοθήκη με πλήθος κρουστικών αποκρίσεων, KEMAR



Εικόνα 15. Φίλτρο συνέλιξης

(Knowles Electronics Manikin for Auditory Research), ανά 15° γωνία, απ' όπου μπορεί κανείς να δανειστεί και να χρησιμοποιήσει την κατάλληλη κρουστική απόκριση.

2.2.7.V Cocktail party effect

Έτσι χαρακτηρίζεται η δυνατότητα πλήρως ελεγχόμενης ακουστικής εστίασης σε μεμονωμένα ηχητικά συμβάντα, εντός σύνθετων ακουστικών περιβαλλόντων που δημιουργούνται από την ταυτόχρονη ύπαρξη πολλαπλών ακουστικών πηγών.

Είναι προφανές ότι στον πραγματικό κόσμο δεν θα μπορούσε να πει κανείς πού αρχίζει και πού τελειώνει κάποιος ήχος και ότι το σύνθημα είναι πως στο αυτί του ανθρώπου φθάνουν ηχητικά σήματα από πολλές πηγές ταυτόχρονα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός, υψηλής πολυπλοκότητας, μηχανικού σήματος. Παρόλα αυτά ο άνθρωπος παρουσιάζει μικρή δυσκολία στο να εστιάσει σε ξεχωριστές πηγές ήχου και να αντλήσει πληροφορίες από αυτές. Η διαδικασία της διάκρισης των ακουστικών πηγών από μια ταυτόχρονη πολλαπλή εκπομπή ήχων ονομάζεται ανάλυση ακουστικής σκηνής (audi-

tory scene analysis). Είναι εντυπωσιακή η ακουστική αυτή ικανότητα του ανθρώπου, αν σκεφτεί κανείς τις δυσκολίες που παρουσιάζουν σήμερα, παρόλη την τεχνολογική πρόοδο, οι μηχανές αναγνώρισης φωνής ή φωνητικών εντολών, στην διάκριση της επιθυμητής εντολής από ένα σύνολο άλλων ακουσμάτων, σε ένα cocktail party (Colin Cherry, 1953). Όπως συμβαίνει με τις ιδέες, κατά τον Locke J., ότι αυτές ενώνονται σε δέσμες σύμφωνα με τις αρχές της ομοιότητας, του αιτίου και αποτελέσματος, και κυρίως της συνάφειας, καθώς οι ιδέες και οι εντυπώσεις που συμβαίνουν ταυτόχρονα και στον ίδιο χώρο αποκτούν την ικανότητα να συνεπάγεται η μια την άλλη (Wiener, 1961), έτσι και τα ηχητικά ερεθίσματα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους και άλλοι παράγοντες επικέντρωσης της προσοχής, μπορούν να ομαδοποιηθούν και να επηρεάσουν το ακουστικό σύστημα στην ανάλυση της ακουστικής σκηνής.

Σε ακουστικό επίπεδο, μεμονωμένες πηγές ήχου έχουν ξεχωριστές κανονικότητες, ως προς την χροιά και τον τόνο. Σε μια ηχητική πηγή είναι δυνατό να αποδοθούν παρόμοια χαρακτηριστικά ήχου και τόνου. Έτσι, σε μια πολυδιάστατη ακουστική κατάσταση, θα μπορούσαν να προσδιοριστούν οι ηχητικές πηγές από την ομαδοποίηση τέτοιων χαρακτηριστικών. Ο συνδυασμός των παραπάνω χαρακτηριστικών, στην ομαδοποίησή τους για τον προσδιορισμό της ηχητικής πηγής, δίνει καλύτερα αποτελέσματα από ότι μια ομαδοποίηση που θα βασίζεται μόνο σε κάποιο από αυτά.

Άλλα χαρακτηριστικά που είναι δυνατό να συνεισφέρουν στην διάκριση των ηχητικών πηγών είναι η ένταση, ο ρυθμός και ο χωρικός προσδιορισμός.

Η ένταση του ήχου είναι ένα χαρακτηριστικό το οποίο μπορεί να συνεισφέρει στην ομαδοποίηση και προσδιορισμό της ηχητικής πηγής, χωρίς όμως να είναι ισχυρή ένδειξη γι' αυτή. Ο ρυθμός συνεισφέρει όχι τόσο σε ταυτόχρονα αλλά σε διαδοχικά ηχητικά ερεθίσματα. Τέλος ο χωροταξικός διαχωρισμός των πηγών, με χρήση της αμφιωτικής διαδικασίας για τον εντοπισμό είναι ένα ιδιαίτερα αποτελεσματικό μέσο, στον διαχωρισμό των πηγών στον πραγματικό κόσμο (πολλαπλοί ομιλητές). (Th. Hermann, 2011).

Όλοι οι παραπάνω γνωστοί μηχανισμοί της ανθρώπινης ακοής έχουν κατά καιρούς αξιοποιηθεί για την ανάπτυξη τεχνικών ηχητικής αναπαράστασης δεδομένων (data sonification).

2.3 Ηχητική Αναπαράσταση Δεδομένων (Sonification)

Με τον όρο: ηχητική αναπαράσταση δεδομένων, γίνεται αναφορά αφενός, στην πρόθεση για κατανόηση του κόσμου και αφετέρου στην τεχνική της χαρτογράφησης αριθμητικών δεδομένων και την υλοποίηση συσχετίσεων, με ήχο του πραγματικού κόσμου ή ενός μοντέλου πλασματικού κόσμου.

Ένα παράδειγμα χρησιμότητας της τεχνικής αναπαράστασης δεδομένων είναι η χρήση της στην ανίχνευση μετεωριτών στο ταξίδι του Voyager II, καθώς διέρχεται από τα δαχτυλίδια του Κρόνου. Η ηχητική αναπαράσταση δεδομένων, είναι ένα ισχυρό εργαλείο μετάδοσης πληροφορίας, το οποίο διευρύνει το φάσμα διεπαφής ανθρώπου - μηχανής και το πεδίο εφαρμογών στην τεχνολογία της πληροφορίας. Μπορεί να βρει εφαρμογές σε διάφορα πεδία, όπως:

Συναγερμοί, ειδοποίηση, προειδοποίηση.

Κατάσταση, διεργασία και παρακολούθηση μηνυμάτων.

Εξερεύνηση δεδομένων.

Τέχνη, ψυχαγωγία, αθλητισμό και άσκηση.

2.3.1 Ιστορική διαδρομή

Μπορεί να φαίνεται ότι ο τομέας αυτός είναι πρόσφατος, παρόλα αυτά οι ρίζες του είναι βαθιά στην ιστορία.

Αρχικά ο Πυθαγόρας συσχέτισε οργανωμένες αριθμητικές δομές με σύστημα παραγωγής ήχου (μουσικής). Εξέφρασε τα μουσικά διαστήματα με αριθμητικές αναλογίες, αναλύοντας τη δομή των αρμονικών και εφαρμόζοντας τες στις μουσικές κλίμακες. Επεκτάσεις αυτών έγιναν από τον Ιάπωνα Shakuhachi, τον αστρονόμο Πτολεμαίο, ο οποίος έγραψε ένα βιβλίο για αρμονικές, όπως επίσης ο Kepler και ο Newton. Το 1914 κατασκευάστηκε από τον Fournier D'Albe μια μηχανή με ακουστική έξοδο για χρήση τυφλών. Αυτό ήταν ένα μεγάλο βήμα για την ηχητική αναπαράσταση δεδομένων. Το «Ortophone» είχε έναν κώδικα με έξι τόνους και βελτιώθηκε σημαντικά το 1922. Είναι πολύ σημαντική η συνεισφορά των sonar, που χρησιμοποιήθηκαν στα υποβρύχια στην ηχητική αναπαράσταση δεδομένων. Πρωτοποριακά βήματα ώθησης όμως έδωσε η εργασία των Pollack και Ficks το 1954, με την οποία αρχίζει να παίρνει την σημερινή μορφή

της η ηχητική αναπαράσταση δεδομένων. Γύρω στο 1961, ο Speeth, κατάφερε να ταξινομήσει και να διακρίνει σεισμικές δονήσεις από άλλες εκρήξεις κωδικοποιώντας τις σε ήχο. Το 1982 ο χημικός Edward Yeung, επιλέγοντας δύο περιοχές ύψους, έντασης, χρόνου αποσύνθεσης, διάρκεια και σιωπές μεταξύ των γεγονότων και τρισδιάστατη ανίχνευση θέσης, κωδικοποίησε και κατάφερε να ταξινομήσει με την ηχητική αναπαράσταση δεδομένων κατά 98% σωστά, ανιχνεύσεις μετάλλων σε δεδομένο δείγμα. Μια ακόμη εφαρμογή της ηχητικής αναπαράστασης δεδομένων είναι και ο μετρητής ραδιενέργειας Geiger, όπου η ένταση του ραδιενεργού πεδίου διαφοροποιεί το πλήθος των ηχητικών ειδοποιήσεων καθώς και τη συχνότητα του ήχου τους.

2.3.2 Τεχνικές ηχητικής αναπαράστασης δεδομένων

Για την υλοποίηση της ηχητικής αναπαράστασης δεδομένων, ακολουθούνται διάφορες τεχνικές, οι οποίες είναι πιο πρόσφορες κατά περίπτωση, όπως:

- I. audification,
- II. auditory icons,
- III. earcons,
- IV. spearcons,
- V. parameter mapping sonification,
- VI. model – based sonification,
- VII. interactive sonification.

2.3.2.I Audification

Έτσι ονομάζεται η άμεση μετάφραση μιας κυματομορφής δεδομένων σε ήχο. Διακρίνονται τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες δεδομένων, που η κάθε μια οδηγεί σε διαφορετικούς τύπους ήχου: ηχογραφημένα δεδομένα, γενικά ακουστικά δεδομένα, φυσικά δεδομένα, αφηρημένα δεδομένα.

Στην πρώτη ομάδα συγκαταλέγονται αριθμητικές χρονοσειρές, οι οποίες μετατρέπονται σε ήχους, όπως σε κάθε CD – player υπάρχει ένας μετατροπέας ψηφιακού σήματος σε συνεχή ήχο. Η μετατροπή γίνεται περισσότερο ενδιαφέρουσα όταν πρόκειται για συμπιεσμένα ηχογραφημένα δεδομένα ή μη ακουστά (υπερηχητικά σήματα νυχτερίδας).

Στη δεύτερη κατηγορία συγκαταλέγονται όλα εκείνα τα δεδομένα, που ακολουθούν τους ίδιους φυσικούς νόμους με εκείνους του ήχου. Για παράδειγμα τα δεδομένα δόνησης μηχανικών κυμάτων, που έχουν εφαρμογή στα στηθοσκόπια, στα sonar και σειсмоγράφων.

Στη Τρίτη κατηγορία, βρίσκονται οι μετρήσεις που σχετίζονται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα, που δεν υπάρχει εξοικείωση με την καθημερινή ακοή του ανθρώπου.

Στην τελευταία περίπτωση, είναι τα δεδομένα τα οποία δεν προέρχονται από φυσικό χώρο, αλλά είναι δημιουργήματα νοητικά του ανθρώπου. Τέτοια είναι η πορεία των μετοχών στο χρηματιστήριο.

2.3.2.Π Ηχητικά εικονίδια (*Auditory icons*)

Πρόκειται για σύντομους ήχους που παρουσιάζουν αντικείμενα, λειτουργίες και δράσεις. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί ο ήχος τσαλακώματος χαρτιού και απόρριψής του σε κάδο, κατά την διάρκεια διαγραφής κάποιου αρχείου από έναν υπολογιστή. Είναι ήχοι (εκτός ομιλίας), με τους οποίους είμαστε εξοικειωμένοι από την καθημερινή μας εμπειρία με τον πραγματικό κόσμο. Ως εκ τούτου είναι ήχοι για τους οποίους δεν απαιτείται η εκπαίδευση για την ερμηνεία τους, αφού μεταφορικά είναι δυνατή η αξιοποίηση της προηγούμενης εμπειρίας. Παρέχουν μια διαισθητική διασύνδεση, του μοντελοποιημένου κόσμου εφαρμογών του ηλεκτρονικού υπολογιστή με ηχητική αναπαράσταση αντικειμένων και γεγονότων της εφαρμογής. Επί παραδείγματι, η διαγραφή ενός αρχείου στον υπολογιστή, θα μπορούσε να αντιστοιχιστεί με τον ήχο του τσαλακώματος ενός κομματιού χαρτιού ή η υπέρβαση ορίων με ρήξη υαλοπίνακα.

Ένα ακουστικό εικονίδιο μπορεί να είναι πολυδιάστατο και να μεταφέρει πολλαπλές πληροφορίες. Για παράδειγμα, ο ήχος των βημάτων δεν μεταφέρει μόνον την πληροφορία ότι κάποιος περπατά. Άλλα ίσως και πληροφορίες για το φύλο, το βάρος και την κατάσταση αυτού που περπατά, το είδος του δαπέδου, ακόμη και για τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες.

Κατά την σχεδίαση των ακουστικών εικονιδίων είναι σημαντικοί οι εξής παράγοντες (Th. Hermann, 2011), που επηρεάζουν τη χρηστικότητά τους:

Η αναγνωρισιμότητα του ήχου.

Η εννοιολογική χαρτογράφηση.

Οι φυσικές παράμετροι και

Οι προτιμήσεις των χρηστών.

Ακόμη κατά την σχεδίαση πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν το μη μονοσήμαντο της αντιστοιχίας του ήχου με το γεγονός που επιδιώκεται να αναπαρασταθεί. Επί παραδείγματι ο ήχος της βροχής και του τηγάνισματος μπορεί να μην είναι τόσο διακριτός, οπότε για να γίνει αντιληπτό ότι πρόκειται για βροχή και όχι για τηγάνισμα μπορεί να προστεθούν και ήχοι του περιβάλλοντος χώρου (ήχοι από μηχανές αυτοκινήτων, κλάζον, φωνές ανθρώπων που βρίσκονται στο δρόμο κλπ).

2.3.2.III Earcons

Τεχνική ηχητικής αναπαράστασης μηνυμάτων με χρήση αφηρημένων συνθετικών ήχων. Η πληροφορία που αναπαριστούν δεν έχει καμία σχέση με το εννοιολογικό περιεχόμενο του αναπαραγομένου ήχου. Είναι μη λεκτικά ηχητικά μηνύματα σε περιβάλλοντα διεπαφής χρήστη - υπολογιστή, τα οποία παρέχουν πληροφορίες στον χρήστη, για κάποιο αντικείμενο του υπολογιστή, λειτουργία ή αλληλεπίδραση. Πιο συγκεκριμένα, θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μικρό, δομημένο μουσικό μήνυμα, που οι διαφορετικές μουσικές ιδιότητες του ήχου συνδέονται με διαφορετικές παραμέτρους των δεδομένων που κοινοποιούνται. Είναι αυθαίρετες συμβολικές παραστάσεις, που απαιτείται η αρχική εκμάθησή τους.

Αρχικά είχαν χρησιμοποιηθεί στις ηχητικές προειδοποιήσεις κρίσιμων καταστάσεων, όπως στην εντατική μονάδα νοσοκομείου. Κατόπιν προτάθηκε η χρήση μοτίβου (ρυθμικό και τονικό πρότυπο, επαρκώς διαφοροποιημένο, ώστε να λειτουργεί σαν μεμονωμένη αναγνωρίσιμη οντότητα) για την αναπαράσταση αντικειμένων, χαρακτήρων ή καταστάσεων. Τέτοιο παράδειγμα μπορεί κανείς να διαπιστώσει στις σηματοδοτημένες διαβάσεις πεζών, όπου αντιστοιχίζονται earcons στο πράσινο ή κόκκινο φανάρι, για την ενημέρωση των ανθρώπων με προβλήματα όρασης, όσον αφορά στην απαγόρευση ή μη της διέλευσής τους. Στη μουσική έχουμε παραδείγματα περιγραφικών μουσικών συνθέσεων όπως του Προκόφιεφ ή του Βιβάλντι, όπου με τέτοια μοτίβα επιδιωκόταν η αίσθηση διαφορετικών χαρακτήρων, καιρικών καταστάσεων ή ενεργειών.

Προτάθηκαν τέσσερις διαφορετικοί τρόποι (Th. Hermann, 2011) με τους οποίους τα μοτίβα θα μπορούσαν να συνεισφέρουν στη δημιουργία αντίστοιχων οικογενειών earcons:

Ενός στοιχείου earcons (One-element Earcons), όπου διαφορετικοί ήχοι προσδιορίζουν διαφορετικούς τύπους μηνυμάτων. Είναι δομημένα από απλούς ήχους και η συσχέτισή τους με το μεταδιδόμενο μήνυμα πρέπει να μαθευτεί.

Σύνθετα earcons (Compound Earcons). Αυτά δομούνται όπως δομείται μια φράση από απλές λέξεις. Κατά την χρήση τους πρέπει να προσεχθεί η διάρκειά τους ώστε να μην γίνουν δύσχρηστα.

Earcons Μετασχηματισμού (Transformational earcons). Είναι δομημένα με βάση κάποιο σύνολο κανόνων, που οργανώνουν έναν χάρτη συμβολικών συσχετίσεων μεταξύ ξεχωριστών παραμέτρων των δεδομένων και εκείνων του ήχου.

Ιεραρχικά earcons (Hierarchical Earcons). Είναι παρόμοια με τα transformational earcons, μόνο που αυτά είναι δομημένα σε μορφή «δένδρου». Κάθε ήχος είναι ένας κόμβος του δένδρου και κληρονομεί τις ιδιότητες των υπερκείμενων κόμβων.

Πάντως, σε μια ηχητική αναπαράσταση, τα auditory icons και τα earcons είναι συμπληρωματικά. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τα δύο για την ίδια περίπτωση με διαφορετικά όμως πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

2.3.2.IV Spearcons

Ο Walker και η ομάδα του εισήγαγαν αυτή τη νέα τεχνική sonification το 2006, για να ξεπεραστούν οι δυσκολίες που παρουσίαζε η δημιουργία ακουστικών εικόνων και earcons. Τα spearcons δημιουργούνται από επιτάχυνση ανάγνωσης φράσεων, ώστε να μην γίνονται αναγνωρίσιμες, ωστόσο διατηρούν κάποια ομοιότητα με την αρχική ομιλία. Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής έγινε σε μενού υπολογιστή, με στόχο την επίτευξη ταχύτερης πλοήγησης. Οι Walker, Nance, και Lindsay (2006) έδειξαν ότι η πολύ γρήγορη ομιλία μπορεί να βελτιώσει την πλοήγηση στα ακουστικά μενού σε εφαρμογή κινητού τηλεφώνου. Σε αντίθεση με τα earcons ή τις ακουστικές εικόνες η γρήγορη ομιλία ή spearcons απέδωσε ταχύτερα και ακριβέστερα. Ο δε χρόνος που απαιτείται για την εκμά-

θηση ενός ακουστικού μενού φαίνεται επίσης να μειώνεται όταν το μενού παρουσιάζεται με spearcons παρά όταν χρησιμοποιούνται earcons (Palladino & Walker, 2007)

2.3.2.V Parameter mapping sonification

Η τεχνική αυτή αναπαριστά μεταβολές κάποιας διάστασης δεδομένων, με μεταβολές σε μια ακουστική διάσταση για την παραγωγή ηχητικής αναπαράστασης δεδομένων. Βέβαια ο ήχος διαθέτει πολλές διαστάσεις, οι οποίες επιδέχονται μεταβολές, οπότε έτσι διατίθεται ένα αρκετά ευρύ πεδίο καθώς εφαρμόζεται αυτή η τεχνική. Κατά την εφαρμογή της όμως, οι διαστάσεις των δεδομένων πρέπει να περιορίζονται ώστε να είναι εφικτή η εφαρμογή. Οι μεταβολές των δεδομένων πρέπει να είναι περισσότερο ποιοτικές ή διακριτές όπως ένα κατώφλι που μπορεί να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει κάποιο συναγερμό ή μπορεί να είναι μια σειρά από διακριτά σημεία που θα παράγουν μια απεικόνιση που θα φαίνεται συνεχής. Είναι χρήσιμη σε εφαρμογές εξερεύνησης δεδομένων με ακουστικά διαγράμματα. Ακόμη στην ηχητική απόδοση χρωματικών διαφορών που υπάρχουν σε κάποια χρωματική παλέτα.

2.3.2.VI Model – based sonification

Μ' αυτόν τον όρο, ορίζονται όλες οι τεχνικές αναπαράστασης ηχητικών δεδομένων που χρησιμοποιούν δυναμικά μοντέλα τα οποία περιγράφουν με μαθηματικό τρόπο την λειτουργία του συστήματος σε συνάρτηση του χρόνου. Η παραμετροποίηση και διαμόρφωση του μοντέλου γίνεται κατά την στιγμή της αρχικοποίησης, εισάγοντας σε αυτό τα κατάλληλα δεδομένα. Επιπροσθέτως, προσφέρονται στον χρήστη τρόποι διάδρασης και διέγερσης του συστήματος, εξαρτώμενοι από το συγκεκριμένο μοντέλο που έχει οριστεί. Το πλαίσιο της παραπάνω τεχνικής, αποτελείται γενικά από επτά μέρη: την εγκατάσταση, τις δυναμικές, την διέγερση, την αρχική κατάσταση, τις μεταβλητές σύνδεσης και τα χαρακτηριστικά του ακροατή. Στην εγκατάσταση του μοντέλου, γίνεται η ρύθμιση του δυναμικού συστήματος. Επίσης, ενώνονται τα στοιχεία του άυλου κόσμου με τον υλικό και στατικό και καθορίζονται οι σχέσεις τους. Το στοιχείο των δυναμικών, ορίζει τα μονοπάτια διάδρασης που μπορεί να σημειωθούν μεταξύ των στοιχείων του μοντέλου και

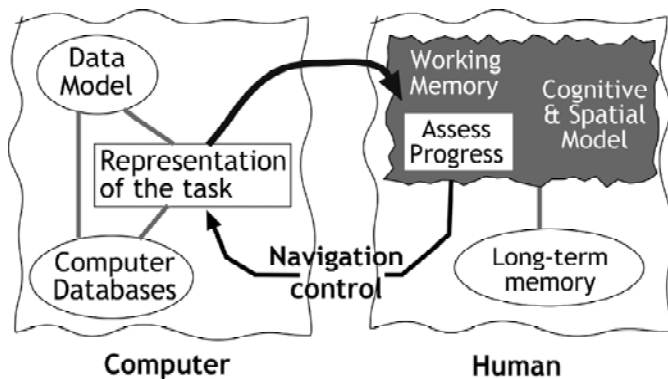
της αρχικής κατάστασης του συστήματος. Η διέγερση, ορίζει τους τρόπους διάδρασης του χρήστη με το μοντέλο. Η αρχική κατάσταση, περιγράφει την διαμόρφωση του μοντέλου μετά από την εγκατάσταση του. Οι μεταβλητές σύνδεσης, είναι αυτές που ενώνουν την δυναμική επεξεργασία του μοντέλου με το ηχητικό σήμα που θα παραχθεί. Τα χαρακτηριστικά του ακροατή, περιλαμβάνουν όλα εκείνα τα θέματα που σχετίζονται με την θέση, την κατεύθυνση και την απόσταση μεταξύ των ηχητικών πηγών και του ακροατή.

2.3.2.VII Interactive sonification

Η ηχητική αναπαράσταση δεδομένων είναι διαδραστική, όταν ο χρήστης μέσα από την εμπλοκή του σ' αυτή, μεταβάλλει παραμέτρους, ή αλληλεπιδρά μ' αυτήν. Επίσης, είναι μια τεχνική, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνδυαστικά με όλες τις παραπάνω.

2.4 Πλοήγηση σε χώρο δεδομένων

Κατά την ηχητική σχεδίαση ενός ηχητικού παιχνιδιού (audio game) ένα πρόβλημα



Εικόνα 16. Βρόχος ελέγχου πλοήγησης

που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι η σχεδίαση των κατάλληλων auditory icons και earcons τα οποία να αποδίδουν με πειστικότητα γεγονότα. Ένα δεύτερο, είναι αυτό της χωρικής αντίληψης που πρέπει να έχει ο παίκτης κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού. Αυτό έχει να κάνει γενικότερα με την θεωρία χωρικής γνώσης και με το

θέμα της ανάδρασης και διάδρασης με τα δεδομένα. Στην Εικόνα 16. Βρόχος ελέγχου πλοήγησης (Th. Hermann, 2011), φαίνονται οι διεργασίες για την γνωστική χωροταξική αντίληψη του χώρου δεδομένων από τον άνθρωπο και η αναπαράσταση από τον υπολο-

γιστή αυτού του χώρου δεδομένων, που μπορεί να ενημερώνεται και να ανακατευθύνεται προσφέροντας εναλλακτικές προοπτικές στα δεδομένα.

Σε ένα ηχητικό παιχνίδι, η «working memory» ενημερώνεται και ανανεώνεται συχνά κατά την εξέλιξη του παιχνιδιού. Είναι όμως δυσκολότερο να παραμένει ανανεωμένη η «long term memory», κάτι το οποίο είναι απαραίτητο να γίνεται. Για το λόγο αυτό, το παιχνίδι πρέπει να διαθέτει μεθόδους τέτοιες, ώστε ο παίκτης να ανανεώνει και την «long term memory» σχετικά με τη θέση του, τις γειτονικές θέσεις και τα συμβάντα σ' αυτές. Στο παιχνίδι αυτής της εργασίας, οι αμφιωτικές πληροφορίες που παίρνει με το σύρσιμο του ποντικιού βοηθούν προς αυτήν την κατεύθυνση, στον εμπλουτισμό της «long term memory».

3. Το Ηχητικό Παιχνίδι «Ναυμαχία»

3.1 Το σενάριο του ηχητικού παιχνιδιού

Η εργασία αυτή είχε σαν στόχο τη σχεδίαση και ανάπτυξη ενός audio game, του οποίου το σενάριο ήταν μια παραλλαγή του γνωστού παιχνιδιού «Ναυμαχία».

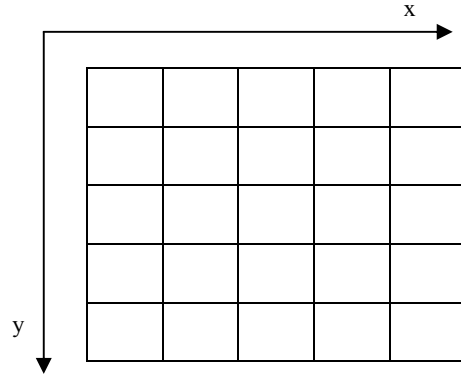
Γενικά, ο παίκτης ενός audio game, για να είναι σε θέση να διαχειριστεί επιτυχώς την εξέλιξη ενός τέτοιου παιχνιδιού, θα πρέπει να εκπαιδευτεί αρχικά ως προς το σενάριο και κατόπιν να προσαρμοστεί στο ιδιαίτερο ηχητικό περιβάλλον του παιχνιδιού. Έτσι η επιλογή του σεναρίου σαν μια παραλλαγή ενός γνωστού παιχνιδιού διευκολύνει το πρώτο επίπεδο προσαρμογής του παίκτη, αφού το σενάριο είναι γνωστό. Μάλιστα η τροποποίησή του βοηθά στο να ελαττωθεί η πολυπλοκότητά του και έτσι να έχουμε ευκολότερη προσαρμογή και στο δεύτερο στάδιο. Ακόμη στην επιλογή αυτή συνηγόρησε και το γεγονός ότι είναι ένα grid – based παιχνίδι. Δηλαδή ένα παιχνίδι του οποίου ο χώρος είναι χαρτογραφημένος σε ένα πλαίσιο συγκεκριμένων διαστάσεων, διηρημένος σε ένα γνωστό πλήθος κελιών. Η στατική χαρτογράφηση σε κελιά αναγκάζει τον παίκτη σε μετακίνηση περισσότερο ξεκάθαρη, μάλιστα όταν αυτός δεν έχει οπτικές πληροφορίες.

Το παιχνίδι, προσομοιώνει τον βομβαρδισμό σκαφών που είναι «δεμένα» σε κάποιο λιμάνι, από ένα βομβαρδιστικό αεροσκάφος.

Παίζεται από έναν παίκτη. Με την έναρξη του παιχνιδιού, το σύστημα τοποθετεί με τυχαίο τρόπο τα αντικείμενα – σκάφη σε ένα πλέγμα 5x5 κελιών, που καταλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος της οθόνης και ενημερώνει τον παίκτη για το πλήθος των σκαφών που καλείται να βυθίσει (3 υποβρύχια - 1 κελί/σκάφος, 2 αντιτορπιλικά - 2 κελιά/σκάφος, 1 θωρηκτό - 3 κελιά/σκάφος. Συνολική κάλυψη του πλέγματος κατά 40%). Με την έναρξη της εμπλοκής, υποτίθεται πως ο παίκτης επιβιβάζεται σε ένα βομβαρδιστικό αεροσκάφος με 22 βόμβες και ξεκινά μια πτήση πάνω από το υποτιθέμενο λιμάνι, όπου είναι «δεμένα» τα εχθρικά σκάφη και επιχειρεί, με διαδοχικές ρίψεις των βομβών που διαθέτει, να βυθίσει τα σκάφη.

3.2 Ηχητικός Σχεδιασμός

Ο καθορισμός των σκαφών γίνεται με ακουστικές εικόνες (auditory icons): κάθε σκάφος παρουσιάζεται με αντίστοιχο ήχο, χαρακτηριστικό για το είδος του. Το μέγεθος του υποδηλώνεται από τη διάρκεια της παράτασης του ήχου αυτού, το δε πλήθος από την επανάληψη του ήχου μετά παρέλευση ικανού χρόνου. Η μοναδική «εικόνα» που έχει ο παίκτης, καθώς υπερίπταται του λιμανιού, είναι ηχητική, δημιουργώντας έτσι την απαραίτητη ακουστική διεπαφή (auditory interface) για την εξέλιξη του ηχητικού παιχνιδιού. Αυτή είναι ο κυματισμός της θάλασσας, ο οποίος διαφοροποιείται σύμφωνα με την κίνηση του παίκτη κατά τον άξονα των x και y ως εξής: όσο ο παίκτης κινείται παράλληλα προς τον άξονα των y , απομακρυνόμενος από τον άξονα των x , τόσο αυξάνεται το πλήθος των κυματισμών, ενώ όσο κινείται παράλληλα προς τον άξονα των x , αυξάνεται το πλήθος των γλάρων που ακούγονται. Η διαφοροποίηση αυτή είναι διακριτή, ώστε να γίνεται αντιληπτός ο χωρικός προσδιορισμός της θέσης του παίκτη πάνω σε κάθε κελί (Εικόνα 17. Το πλέγμα εμπλοκής).



Εικόνα 17. Το πλέγμα εμπλοκής

Η μετακίνηση και η τοποθέτηση του παίκτη στη θέση που επιθυμεί, υλοποιείται με τη βοήθεια του ποντικιού.

Με αριστερό κλικ του ποντικιού σε κάποιο σημείο της οθόνης, αν αυτό βρίσκεται στα αποδεκτά όρια του πλέγματος του παιχνιδιού, τοποθετείται ο παίκτης στο αντίστοιχο κελί, ανιχνεύοντας τις συντεταγμένες του κελιού όπου βρέθηκε και την κατάστασή του.

Ο προσδιορισμός των συντεταγμένων καθορίζεται ηχητικά με το πλήθος των κυματισμών, για τον άξονα των y , και το πλήθος γλάρων που ακούγονται, για τον άξονα των x .

Ένα κελί μπορεί να βρίσκεται σε κάποια από τις εξής καταστάσεις:

- A. Δεν έχει ριφθεί βόμβα.
- B. Έχει ριφθεί βόμβα και δεν βλήθηκε κάποιο σκάφος.
- Γ. Έχει ριφθεί βόμβα και βλήθηκε κάποιο σκάφος.

Στον παίκτη γίνεται αντιληπτή η κατάσταση του κελιού και πάλι ηχητικά. Εκτός από τους ήχους προσδιορισμού των συντεταγμένων της θέσης που αντιστοιχεί στη περίπτωση Α, στην περίπτωση Β ακούγεται και ένας υπαινιγμός ρίψης βόμβας, ενώ στη Γ περίπτωση ακούγεται ο χαρακτηριστικός ήχος που προσδιορίζει το σκάφος, που έχει βληθεί στη θέση αυτή, πλαισιωμένος από παράλληλο ήχο φωτιάς, ώστε να υποδηλώνει ότι είναι χτυπημένο.

Αν το σημείο της οθόνης που δηλώθηκε με το αριστερό κλικ του ποντικιού είναι εκτός των ορίων του πλέγματος, αυτό γίνεται αντιληπτό με αμφιωτικά επεξεργασμένο ήχο ρήξης υαλοπίνακα.

Ο παίκτης έχει τη δυνατότητα να «σύρει» το ποντίκι προς κάποια κατεύθυνση, οπότε δέχεται αμφιωτικά επεξεργασμένες ηχητικές πληροφορίες για το κελί στο οποίο «σταμάτησε» το ποντίκι.

Τέλος, με δεξί κλικ του ποντικιού, γίνεται η ρίψη βόμβας. Στην περίπτωση που, στο κελί που προσδιορίστηκε από την ενέργεια του ποντικιού, βρίσκεται σκάφος, αυτό προσβάλλεται τμηματικά, αν πρόκειται για αντιτορπιλικό ή θωρηκτό ή καταστρέφεται αν είναι υποβρύχιο ή είναι το τελευταίο μέρος του σκάφους της προηγούμενης περίπτωσης. Στον παίκτη η ενέργειά του και το αποτέλεσμα αυτής, γίνονται αντιληπτά και πάλι με κατάλληλες ηχητικές εικόνες.

Η λήξη του παιχνιδιού σηματοδοτείται με την προσβολή όλων των σκαφών ή με την εξάντληση του αποθέματος των βομβών σε σχέση με το πλήθος των στόχων που έχουν απομείνει. Και το γεγονός αυτό σηματοδοτείται με κατάλληλες ηχητικές εικόνες.

3.3 Η υλοποίηση του ηχητικού μέρους

Ελλείπει οπτικής αναπαράστασης, η δημιουργία του περιβάλλοντος χώρου όπου δραματίζεται η όλη δραστηριότητα του παίκτη, υλοποιείται με ηχητική αναπαράσταση δεδομένων, κάνοντας χρήση ηχητικών εικόνων (*auditory icons*) και *earcons* επεξεργασμένων με *αμφιωτική (binaural) τεχνική*.

Η αμφιωτική επεξεργασία των ήχων, έγινε με την βοήθεια του λογισμικού Octave. Στο περιβάλλον αυτού του λογισμικού δημιουργήθηκαν scripts (Παράρτημα Α), με τα οποία υλοποιήθηκαν τα απαραίτητα φίλτρα και παρήχθησαν επεξεργασμένοι ήχοι για κάθε αναγκαία περίπτωση (Weeks, 2007), (Timothy J. Barth, 2006).

Με τον ηχητικό σχεδιασμό καθορίζονται με ακρίβεια οι ηχητικές παράμετροι της εφαρμογής. Αυτές προσδιορίζονται με auditory icons και earcons δημιουργώντας μian αντιστοιχία ήχων και γεγονότων με την οποία γίνεται η αναπαράσταση του περιβάλλοντος του παιχνιδιού και των δράσεων μέσα στα πλαίσιά του.






Οι ηχητικές παράμετροι κατά την χαρτογράφησή τους διακρίνονται σε:






















- Ηχητικά γεγονότα που προκαλούνται αυτόματα από το σύστημα και προσδιορίζουν:
 - a. Την είσοδο στην εφαρμογή.
 - b. Την παρουσίαση των σκαφών.
- Ηχητικά γεγονότα που προκύπτουν σαν αντίδραση σε ενέργειες του χρήστη:
 - a. Έναρξη της εμπλοκής.
 - b. Χωρικός προσδιορισμός της επίκαιρης θέσης του παίκτη στο χώρο κατά την μετακίνησή του σε νέο κελί.
 - c. Διάρρηξη του πλαισίου.
 - d. Ρίψη βόμβας και προσβολή/καταστροφή σκάφους.
 - e. Ρίψη βόμβας και αποτυχία προσβολής σκάφους.
 - f. Προειδοποίηση για το όριο των διαθεσίμων βομβών.
 - g. Πέρασ της εμπλοκής (νίκη / ήττα).

Τα παραπάνω ηχητικά γεγονότα υλοποιούνται όπως φαίνεται παρακάτω (Πίνακας 2. Auditory icons – earcons για την απόδοση γεγονότων του παιχνιδιού).

Ο χωρικός προσδιορισμός, κατά την μετακίνηση του χρήστη σε νέο κελί αποδίδεται με την αύξηση των επαναλήψεων μιας ηχογραφημένης φωνής γλάρου, καθώς ο χρήστης μετακινείται κατά τον άξονα των x, από αριστερά προς τα δεξιά και της αύξησης των κυματισμών της θάλασσας καθώς μετακινείται κατά τον άξονα των y, από πάνω προς τα κάτω.






Η πληροφόρηση του χρήστη ότι οδηγήθηκε εκτός των ορίων του πλέγματος, όπου διαδραματίζεται το παιχνίδι, υλοποιείται με ήχο θραύσης υαλοπίνακα, ο οποίος έχει υποστεί αμφιωτική επεξεργασία, ώστε να ενισχύεται η χωροταξική αντίληψη του παίκτη και να διευκολύνεται στην επαναφορά του εντός των ορίων.

Γεγονός	Τύπος	Όνομα Αρχείου ήχου (wav)	
Είσοδος στην εφαρμογή	Compound Earcon	Start_0.wav	
Έναρξη διαδικασίας παρουσίας των σκαφών	One-Element Earcon	Start_1.wav	
Παρουσίαση υποβρυχίου	One-Element Earcon	Start_2.wav	
Παρουσίαση Αντιτορπιλικού	OneElementEarcon	Start_3.wav	
Παρουσίαση Θωρηκτού	OneElement Earcon	Start_4.wav	







Έναρξη Εμπλοκής	One-Element Earcon	Start_5.wav	
Προσδιορισμός κελιού (1,1)	Compound Earcon	Sea_11.wav	
Προσδιορισμός κελιού (1,2)	Compound Earcon	Sea_12.wav	
Προσδιορισμός κελιού (2,1)	Compound Earcon	Sea_21.wav	
...	
Αποτροπή διάρρηξης πλαισίου	Auditory Icon	BG_0.wav	
Ρήψη βόμβας και προσβολή σκάφους	Auditory Icon	Bomb_2.wav	
Ρήψη βόμβας και καταστροφή σκάφους	Auditory Icon	Bomb_3.wav	
Ρήψη βόμβας και καταστροφή υποβρυχίου	Auditory Icon	Bomb_1.wav	
Ρήψη βόμβας στη θάλασσα	Auditory Icon	Bomb_0.wav	
Καιόμενο Υποβρύχιο στο κελί που κατέχει ο παίκτης	Compound Earcon	Burning_10.wav	
Καιόμενο Υποβρύχιο στο κελί αριστερά του παίκτη	Compound Earcon	Burning_10_180.wav	
Καιόμενο Υποβρύχιο στο κελί δεξιά του παίκτη	Compound Earcon	Burning_10_90.wav	
Καιόμενο Αντιτορπλικό στο κελί που κατέχει ο παίκτης	Compound Earcon	Burning_20.wav	
Καιόμενο Αντιτορπλικό στο κελί αριστερά του παίκτη	Compound Earcon	Burning_20_180.wav	
Καιόμενο Αντιτορπλικό στο κελί δεξιά του παίκτη	Compound Earcon	Burning_20_90.wav	
Καιόμενο Θωρηκτό στο κελί που κατέχει ο παίκτης	Compound Earcon	Burning_30.wav	
Καιόμενο Θωρηκτό στο κελί αριστερά του παίκτη	Compound Earcon	Burning_30_180.wav	
Καιόμενο Θωρηκτό στο κελί δεξιά του παίκτη	Compound Earcon	Burning_30_90.wav	
Προειδοποίηση των διαθεσίμων βομβών	One-Element Earcon	kampanaki_1.wav	
Πέρασ της εμπλοκής (νίκη)	Compound Earcon	End_1.wav	
Πέρασ της εμπλοκής (ήττα)	Compound Earcon	End_2.wav	

Πίνακας 2. Auditory icons – earcons για την απόδοση γεγονότων του παιχνιδιού.







Για τον έλεγχο της ορθότητας του ηχητικού σχεδιασμού, έγινε δοκιμή και αξιολόγηση. Πέντε «παίκτες», ηλικίας από 20 μέχρι και 55 χρονών, δοκίμασαν ενδεικτικά ήχους και συμπλήρωσαν ένα φύλο αποτύπωσης της εντύπωσής τους από την ενεργοποίηση των προς δοκιμή ήχων. Οι πίνακες που ακολουθούν είναι αυτοί που χρησιμοποιήθηκαν για την προαναφερθείσα δοκιμή, με τη διαφορά πως στα φύλα που χρησιμοποιήσαν οι παίκτες δεν αναγράφονταν τα ονόματα των ηχητικών αρχείων.

					Sea_25.wav	
					Sea_54.wav	
					Sea_11.wav	
					Sea_33.wav	
					Sea_42.wav	







Πίνακας 3. Απόλυτη Θέση

			Burning_10_45.wav		Burning_10_90.wav	
			Burning_10_315.wav		Burning_10_270.wav	
			Burning_10_135.wav		Burning_10_0.wav	







Πίνακας 4. Υποβρύχιο (Σχετική Θέση)

			Burning_20_180.wav		Burning_20_90.wav	
			Burning_20_0.wav		Burning_20_225.wav	
			Burning_20_315.wav		Burning_20_45.wav	







Πίνακας 5. Αντιτορπικό (Σχετική Θέση)

			Burning_30_225.wav		Burning_30_135.wav	
			Burning_30_45.wav		Burning_30_270.wav	
			Burning_30_90.wav		Burning_30_180.wav	

Πίνακας 6. Θωρηκτό (Σχετική Θέση)

		Sea_23_135.wav		Sea_23_225	
		Sea_14_45.wav		Sea_31_0	
		Sea_44_315.wav		Sea_51_270	

Πίνακας 7. Θάλασσα (Σχετική Θέση)

		BG_0.wav		BG_135.wav	
		BG_225.wav		BG_270.wav	
		BG_180.wav		BG_90.wav	

Πίνακας 8. Σπάσιμο ορίων (Σχετική Θέση)

Παράλληλα, στη δοκιμαστική φάση της ανάπτυξης, προβλέφθηκε μια υποτυπώδης οπτική απεικόνιση της εξέλιξης του παιχνιδιού, ώστε να ελέγχεται η αντιστοιχία της δράσης μέσω ηχητικής αναπαράστασης δεδομένων με την επιδιωκόμενη.

3.4 Η αρχιτεκτονική του παιχνιδιού

Η αρχιτεκτονική της εφαρμογής συμπεριλαμβάνει δυο κύρια μέρη:

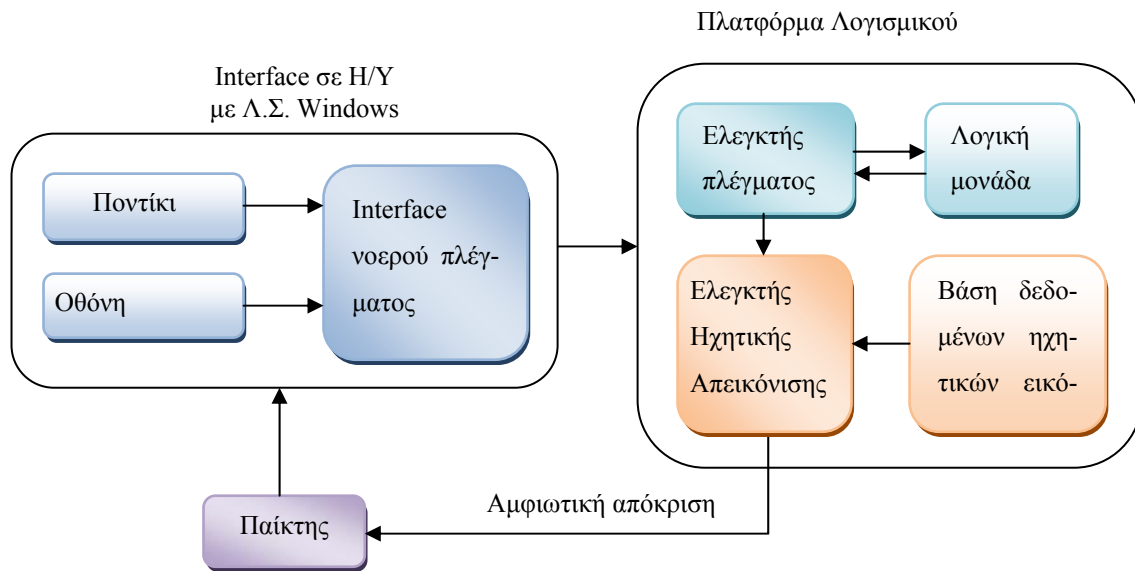
- Το interface και
- Την πλατφόρμα λογισμικού

Το *interface* υλοποιείται σε Η/Υ με λειτουργικό σύστημα Windows και καθορίζεται από νοερό πλέγμα κελιών, το οποίο υπονοείται σε ένα πλαίσιο που καλύπτει την οθόνη του Η/Υ. Όλες οι ενέργειες του παίκτη γίνονται με την βοήθεια του «ποντικιού».



Εικόνα 18. Interface νοερού πλέγματος

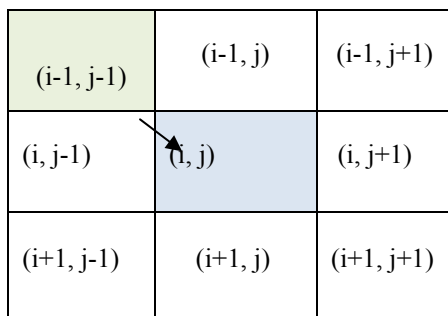
Η πρόσληψη πληροφοριών από κάποιο κελί με αριστερό κλικ, η αμφιωτική πρόσληψη πληροφοριών με σύρσιμο του ποντικιού και ρίψη βόμβας με δεξί κλικ.



Εικόνα 19. Η αρχιτεκτονική της εφαρμογής

Οι ενέργειες αυτές ελέγχονται και καθοδηγούνται από τη πλατφόρμα του λογισμικού. Αυτή περιλαμβάνει έναν ελεγκτή πλέγματος, ο οποίος ανιχνεύει την ενέργεια του παίκτη με τη βοήθεια μιας λογικής μονάδας και αποδίδει στον ελεγκτή ηχητικής απεικόνισης τα δεδομένα. Αυτός με τη σειρά του, αντλώντας ηχητικές εικόνες από τη βάση δεδομένων ηχητικών εικόνων του συστήματος, ενημερώνει τον χρήστη με αμφιωτική απόκριση.

Η αμφιωτική επεξεργασία των ηχητικών εικόνων, συνεισφέρει στην ανατροφοδότηση με δεδομένα προσανατολισμένα στο χώρο, εμπλουτίζοντας την χωρική αίσθηση του παίκτη κατά την πλοήγησή του στο νοερό πλέγμα κελιών του περιβάλλοντος του παιχνιδιού.



Εικόνα 20. Μέρος πλέγματος

Όταν ο παίκτης βρίσκεται στη θέση (i, j) και σύρει το ποντίκι στη θέση $(i-1, j-1)$, θα ανατροφοδοτηθεί με τα δεδομένα της θέσης αυτής με τέτοιο τρόπο, ώστε ο ήχος που προσλαμβάνει να προέρχεται από αυτήν την συγκεκριμένη κατεύθυνση.

Δημιουργείται λοιπόν μια κυκλική ροή ενεργειών – ηχητικών γεγονότων, όπου ο χρήστης ενεργά, με τις επιλογές του, μεταβάλλει τις παραμέτρους της εφαρμογής – παιχνιδιού. Έτσι θα μπορούσε κανείς να χαρακτηρίσει

την εφαρμογή σαν μια εφαρμογή ηχητικής αναπαράστασης δεδομένων σε «λειτουργία συνομιλίας» (“conversation mode”) (Th. Hermann, 2011).

Η δομή της εφαρμογής θα μπορούσε να αναπαρασταθεί γραφικά με τη βοήθεια της:
Εικόνα 19. Η αρχιτεκτονική της εφαρμογής.

4. Υλοποίηση του Ηχητικού Παιχνιδιού σε Λογισμικό

Για τη σχεδίαση του λογισμικού ακολουθείται η μεθοδολογία ICONIX, η οποία υλοποιείται με την Ενοποιημένη Γλώσσα Μοντελοποίησης (UML – Unified Modeling Language) (Βεσκούκης, 2008), (Β. Γερογιάννης, 2006), (Stephens, 2007).

Στα πλαίσια αυτά, η σχεδίαση οργανώνεται με τέσσερα είδη διαγραμμάτων UML:

- *Διάγραμμα περιπτώσεων χρήσης* για την αναπαράσταση των σεναρίων χρήσης και των χειριστών του συστήματος.
- *Διάγραμμα κλάσεων* για την αναπαράσταση του πεδίου εφαρμογής του συστήματος και της λεπτομερούς στατικής δομής του συστήματος.
- *Διάγραμμα συνεργασίας* για την αναπαράσταση του τρόπου με τον οποίο η στατική δομή υλοποιεί τα σενάρια χρήσης του συστήματος.
- *Διάγραμμα ακολουθίας* για την λεπτομερή συσχέτιση της δυναμικής συμπεριφοράς με τη στατική δομή του συστήματος.

Για τον σκοπό αυτό γίνεται αρχικά η ανάλυση των απαιτήσεων και κατόπιν ο αρχικός και ο τελικός σχεδιασμός.

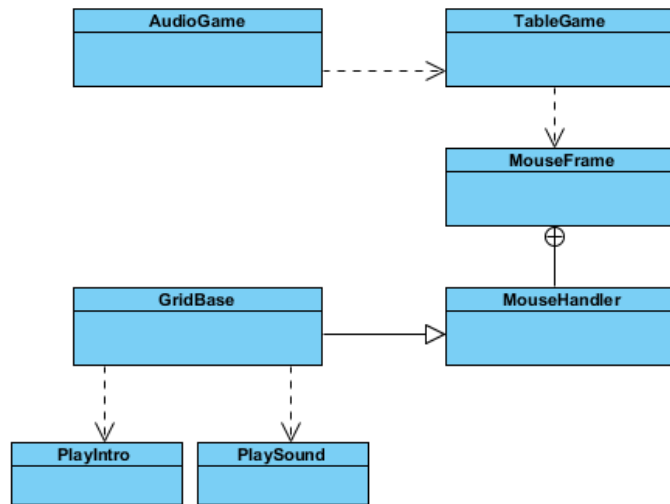
4.1 Αναπαράσταση πεδίου εφαρμογής

Το πρώτο βήμα αυτής της φάσης της ανάλυσης των απαιτήσεων είναι η ανεξάρτητη από τον χρόνο αναπαράσταση του *πεδίου εφαρμογής*, στο οποίο βασίστηκε το στατικό μοντέλο του συστήματος που αναπτύχθηκε. Στο βήμα αυτό εντοπίζονται οι εννοιολογικές οντότητες που συγκροτούν το σύστημα που αναπτύχθηκε και περιγράφονται οι μεταξύ τους σχέσεις. Έτσι δημιουργείται ένα λεξικό όρων που συνοδεύει το αρχικό διάγραμμα κλάσεων.

Από την περιγραφή του συστήματος, με βάση το σενάριο, εντοπίζουμε τα ουσιαστικά: *είσοδος, περιγραφή, τοποθέτηση σκαφών, έναρξη εμπλοκής, μετακίνηση, διάρρηξη ορίων, ρίψη βόμβας, προσβολή σκάφους, καταστροφή σκάφους, κατάσταση θέσης, καταμέτρηση στόχων που προσβλήθηκαν, καταμέτρηση βομβών που απέμειναν, έκβαση της εμπλοκής.*

Από αυτά μπορούν να προκύψουν αρχικά οι ακόλουθες κλάσεις: «Είσοδος», «Παρουσίαση», «Τοποθέτηση», «Εμπλοκή», «Μετακίνηση», «Διάρρηξη», «Εστίαση», «Κατάσταση», «Ρίψη Βόμβας», «Πτώση στη Θάλασσα», «Προσβολή Σκάφους», «Καταστροφή Σκάφους», «Έκβαση», «Νίκη», «Ήττα» και τέλος να προκύψει το ακόλουθο αρ-

χικό διάγραμμα κλάσεων (Εικόνα 21. Διάγραμμα κλάσεων), ως μοντέλο του πεδίου εφαρμογής:



Εικόνα 21. Διάγραμμα κλάσεων

4.2 Σχεδιασμός περιπτώσεων χρήσης

Το δεύτερο βήμα της φάσης της ανάλυσης των απαιτήσεων είναι ο σχεδιασμός των περιπτώσεων χρήσης. Εδώ καταγράφονται οι δυνατές ενέργειες του χρήστη και η ανάδραση του συστήματος. Από το μοντέλο περιπτώσεων χρήσης καθορίζεται η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος. Η καταγραφή γίνεται λεκτικά και διαγραμματικά.

Λεκτική καταγραφή περιπτώσεων χρήσης:

<p>Τίτλος περίπτωσης χρήσης: «Είσοδος»</p>
<p>Βασική ροή:</p> <p>Το σύστημα δημιουργεί το πλαίσιο διεκπεραίωσης του παιχνιδιού.</p> <p>Ο χρήστης κάνει δεξί κλικ με το ποντίκι.</p> <p>Το σύστημα ανατρέπει τη βάση ηχητικών εικόνων και ενεργοποιεί το εισαγωγικό ηχητικό κομμάτι.</p> <p>Το σύστημα ανατρέπει στη βάση ηχητικών εικόνων και ενεργοποιεί διαδοχικά τα ηχητικά κομμάτια που αντιστοιχούν στα σκάφη που θα χρησιμοποιηθούν.</p> <p>Το σύστημα ενεργοποιεί τον ήχο για την έναρξη της εμπλοκής.</p>

<p>Το σύστημα τοποθετεί τα σκάφη τμηματικά σε τυχαίες θέσεις του νοερού πλέγματος.</p> <p>Το σύστημα αρχικοποιεί το πλήθος των στόχων.</p> <p>Το σύστημα αρχικοποιεί το πλήθος των βομβών του παίκτη.</p>
<p>Εναλλακτική ροή α:</p> <p>α.1.1 Ο χρήστης επιλέγει το κουμπί κλεισίματος του πλαισίου.</p> <p>α.1.2 Το σύστημα κλείνει την εφαρμογή.</p>
<p>Εναλλακτική ροή β:</p> <p>β.1.1 Ο χρήστης κάνει αριστερό κλικ.</p> <p>β.1.2 Η περίπτωση χρήσης συνεχίζεται από το βήμα 4.</p>

<p>Τίτλος περίπτωσης χρήσης: «Μετακίνηση»</p>
<p>Βασική ροή:</p> <p>Ο χρήστης κάνει αριστερό κλικ εντός του νοερού πλέγματος.</p> <p>Το σύστημα ανατρέχει στη βάση ηχητικών εικόνων και ενεργοποιεί το ηχητικό κομμάτι που τροφοδοτεί τον χρήστη με πληροφορίες για τη θέση όπου βρέθηκε και επιπλέον για το σκάφος που τυχόν προσεβλήθη σ' αυτή τη θέση ή για το γεγονός ότι εδώ έριξε βόμβα χωρίς επιτυχία.</p>
<p>Εναλλακτική ροή α:</p> <p>α.1.1 Ο χρήστης κάνει αριστερό κλικ εκτός του νοερού πλέγματος.</p> <p>α.1.2 Το σύστημα ανατρέχει στην ηχητική βάση δεδομένων και ενεργοποιεί το κατάλληλο ηχητικό κομμάτι με το οποίο πληροφορεί τον χρήστη ότι βρέθηκε εκτός νοερού πλέγματος και σε ποια πλευρά του.</p>
<p>Εναλλακτική ροή β:</p> <p>β.1.1. Ο χρήστης «σέρνει» το ποντίκι προς κάποια κατεύθυνση.</p> <p>β.1.2. Το σύστημα ανατρέχει στην ηχητική βάση δεδομένων και ενεργοποιεί το κατάλληλο ηχητικό κομμάτι με το οποίο πληροφορεί τον χρήστη με πληροφορίες αμφιωτικά επεξεργασμένες για τη θέση όπου βρέθηκε και επιπλέον για το σκάφος που τυχόν προσεβλήθη σ' αυτή τη θέση ή για το γεγονός ότι εδώ έριξε βόμβα χωρίς επιτυχία.</p>

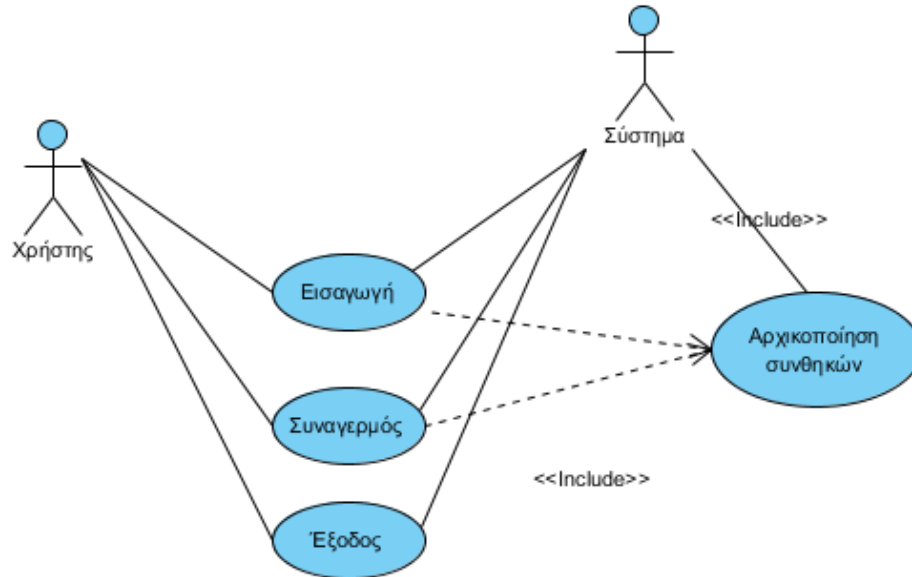
<p>Τίτλος περίπτωσης χρήσης: «<i>Ρίψη Βόμβας</i>»</p>
<p>Βασική ροή:</p> <p>Ο χρήστης κάνει δεξί κλικ εντός του πλέγματος.</p> <p>Το σύστημα ανατρέχει στη βάση ηχητικών εικόνων και ενεργοποιεί το ηχητικό κομμάτι που προσδιορίζει την πτώση βόμβας.</p> <p>Το σύστημα ελαττώνει το πλήθος των διαθέσιμων βομβών του παίκτη.</p> <p>Το σύστημα καταμετρά το πλήθος των στόχων που δεν χτυπήθηκαν.</p>
<p>Εναλλακτική ροή α:</p> <p>α.2.1 Το σύστημα ανατρέχει στη βάση ηχητικών εικόνων και ενεργοποιεί το ηχητικό κομμάτι που προσδιορίζει την πτώση βόμβας στη θάλασσα.</p> <p>α.2.2 Η περίπτωση χρήσης συνεχίζεται από το βήμα 3.</p>
<p>Εναλλακτική ροή β:</p> <p>β.2.1 Το σύστημα ανατρέχει στη βάση ηχητικών εικόνων και ενεργοποιεί το ηχητικό κομμάτι που προσδιορίζει την πτώση βόμβας και προσβολής σκάφους.</p> <p>β. 2.2 Το σύστημα ελέγχει το είδος του σκάφους που προσεβλήθη και ελαττώνει το πλήθος των ενεργών τμημάτων του σκάφους και το γενικό πλήθος των στόχων.</p> <p>β. 2.3 Η περίπτωση χρήσης συνεχίζεται από το βήμα 3.</p>
<p>Εναλλακτική ροή γ:</p> <p>γ.2.1 Το σύστημα ανατρέχει στη βάση ηχητικών εικόνων και ενεργοποιεί το ηχητικό κομμάτι που προσδιορίζει την πτώση βόμβας και καταστροφής σκάφους.</p> <p>γ. 2.2 Το σύστημα ελέγχει το είδος του σκάφους που προσεβλήθη και ελαττώνει το γενικό πλήθος των στόχων.</p> <p>γ. 2.3 Η περίπτωση χρήσης συνεχίζεται από το βήμα 3.</p>

<p>Τίτλος περίπτωσης χρήσης: «Έκβαση»</p>
<p>Βασική ροή:</p> <p>Το σύστημα συγκρίνει το πλήθος των διαθέσιμων βομβών του παίκτη με το πλήθος των στόχων που δεν χτυπήθηκαν.</p>
<p>Εναλλακτική ροή α:</p> <p>α. 1.1 Το πλήθος των διαθέσιμων βομβών είναι ίσο με το πλήθος των στόχων που δεν χτυπήθηκαν + 2.</p> <p>α. 1.2 Το σύστημα ενεργοποιεί το ηχητικό κομμάτι προειδοποίησης διαθέσιμων βομβών.</p> <p>α. 1.3 Η περίπτωση χρήσης συνεχίζεται από το βήμα 1 της περίπτωσης χρήσης «Ρίψη Βόμβας».</p>
<p>Εναλλακτική ροή β:</p> <p>β. 1.1 Το πλήθος των στόχων που δεν χτυπήθηκαν είναι μηδέν.</p> <p>β. 1.2 Το σύστημα ενεργοποιεί το ηχητικό κομμάτι που υποδηλώνει νίκη.</p> <p>β. 1.3 Ο χρήστης επιλέγει έξοδο κλείνοντας το πλαίσιο.</p>
<p>Εναλλακτική ροή γ:</p> <p>γ. 1.1 Το πλήθος των διαθέσιμων βομβών είναι μικρότερο από το πλήθος των στόχων που δεν χτυπήθηκαν.</p> <p>γ. 1.2 Το σύστημα ενεργοποιεί το ηχητικό κομμάτι που υποδηλώνει ήττα.</p> <p>γ. 1.3 Ο χρήστης επιλέγει έξοδο κλείνοντας το πλαίσιο.</p>

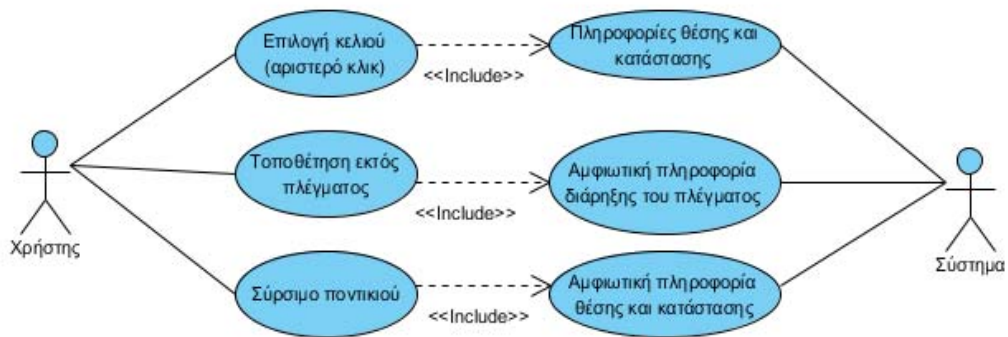
Επισκόπηση απαιτήσεων

Απαίτηση	Περίπτωση χρήσης
Η διαχείριση της εφαρμογής γίνεται από έναν παίκτη (χρήστη) και τον ΗΥ (σύστημα)	Οι χειριστές είναι ο παίκτης (χρήστης) και το σύστημα.
Αντίληψη της εισόδου στο περιβάλλον της εφαρμογής	Περίπτωση χρήσης «Είσοδος»
Είναι δυνατή η ακύρωση της εφαρμογής	Περίπτωση χρήσης «Είσοδος»
Αντίληψη των συμμετεχόντων σκαφών	Περίπτωση χρήσης «Είσοδος»
Αντίληψη της θέσης του παίκτη	Περίπτωση χρήσης «Μετακίνηση»
Ρίψη βόμβας από τον παίκτη	Περίπτωση χρήσης «Ρίψη Βόμβας»
Αντίληψη προσβληθέντος στόχου	Περίπτωση χρήσης «Ρίψη Βόμβας» και περίπτωση χρήσης «Μετακίνηση»
Αντίληψη εξόδου από το νοερό πλέγμα της εφαρμογής	Περίπτωση χρήσης «Μετακίνηση»
Αντίληψη νίκης ή ήττας	Περίπτωση χρήσης «Έκβαση».

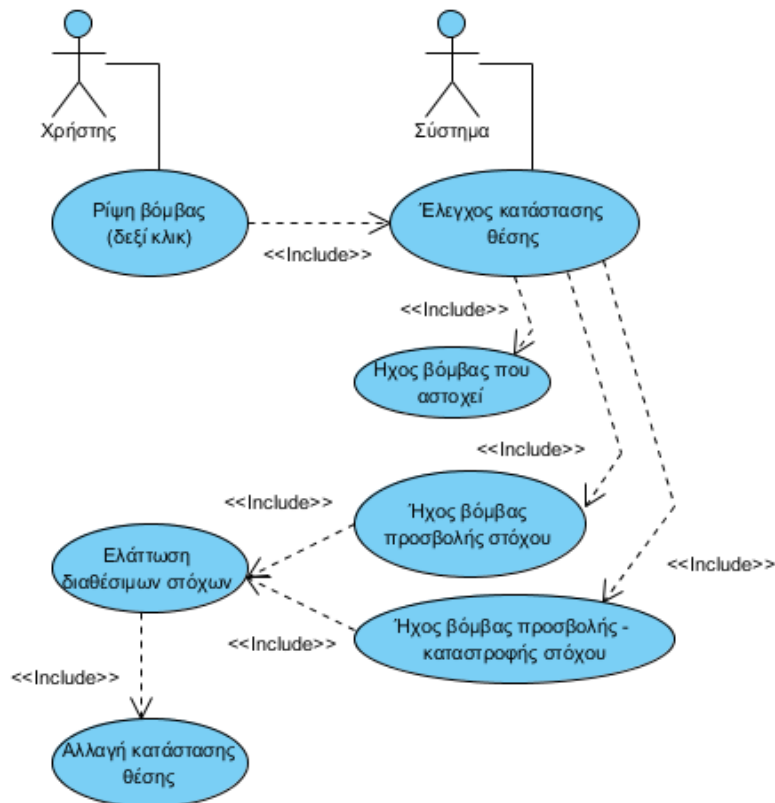
Οι παραπάνω περιπτώσεις χρήσης παρουσιάζονται με τα ακόλουθα διαγράμματα περιπτώσεων χρήσης.



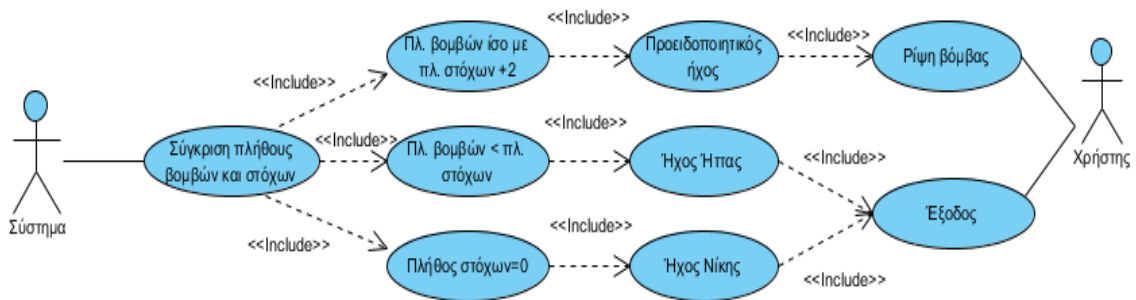
Εικόνα 22. Διάγραμμα περίπτωσης χρήσης "Είσοδος"



Εικόνα 23. Διάγραμμα περίπτωσης χρήσης "Μετακίνηση"



Εικόνα 24. Διάγραμμα περίπτωσης χρήσης "Ρίψη βόμβας"

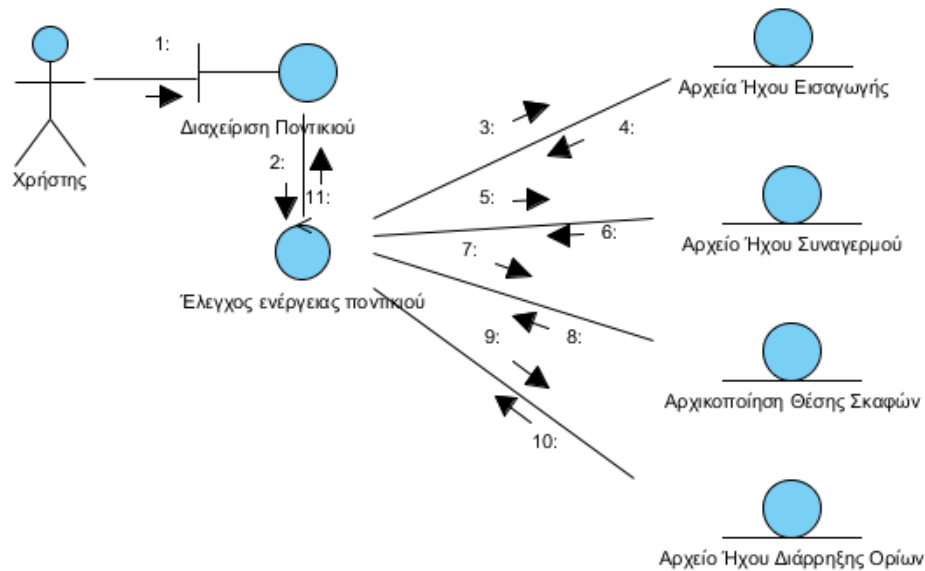


Εικόνα 25. Διάγραμμα περίπτωσης χρήσης "Έκβαση"

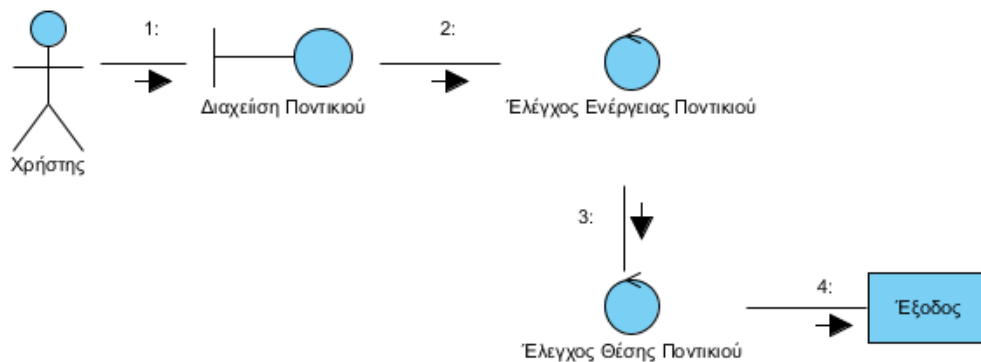
4.3 Διάγραμμα συνεργασίας

Το επόμενο βήμα είναι η ανάλυση ευρωστίας κατά την οποία μεταβαίνουμε από το τι κάνει το σύστημα στο πώς θα το κάνει. Αναλύοντας τα σενάρια χρήσης δημιουργούνται για κάθε σενάριο χρήσης ένα διάγραμμα συνεργασίας.

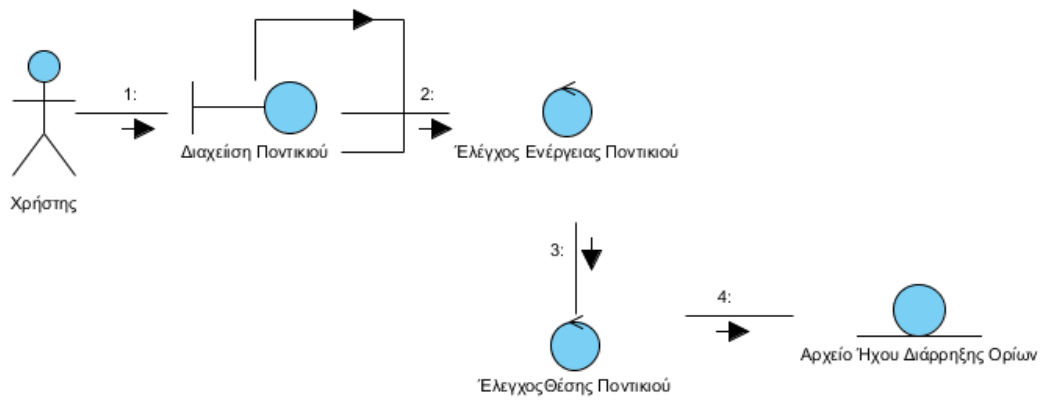
Παρακάτω εκτίθενται τα διαγράμματα συνεργασίας:



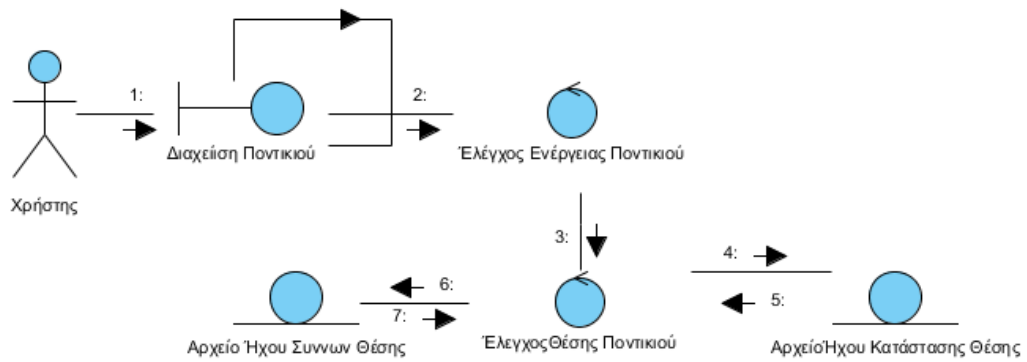
Εικόνα 26. Διάγραμμα συνεργασίας (1) για την περίπτωση χρήσης "Είσοδος"



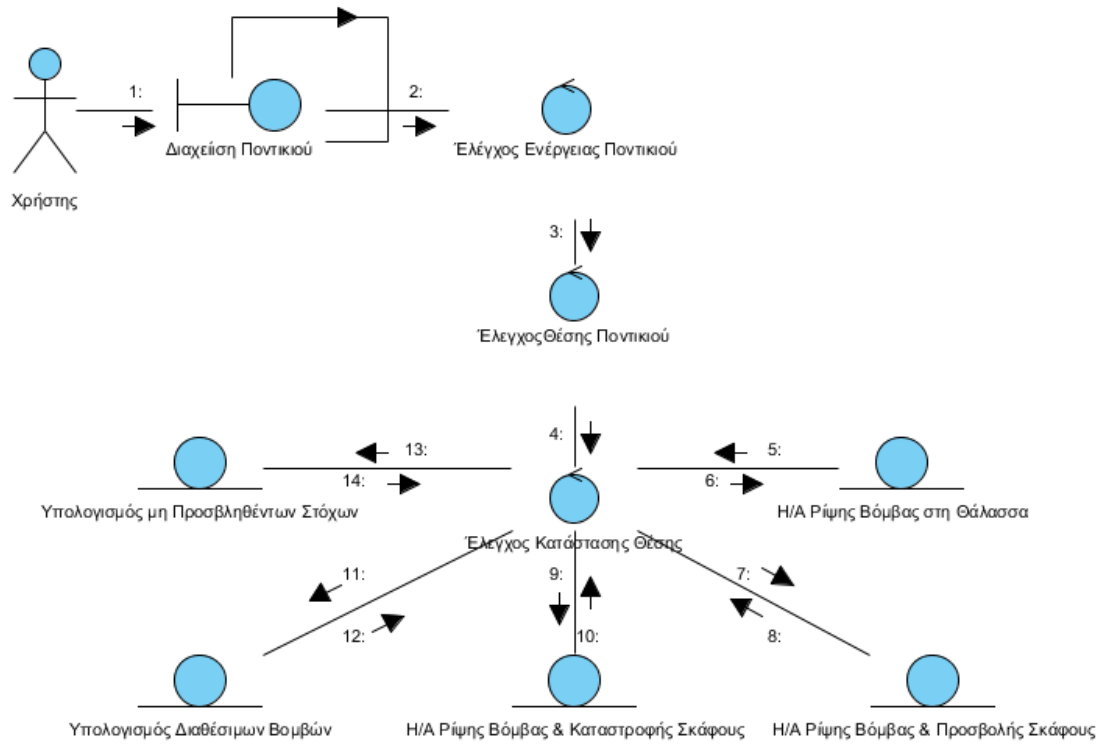
Εικόνα 27. Διάγραμμα συνεργασίας (2) για την περίπτωση χρήσης "Είσοδος"



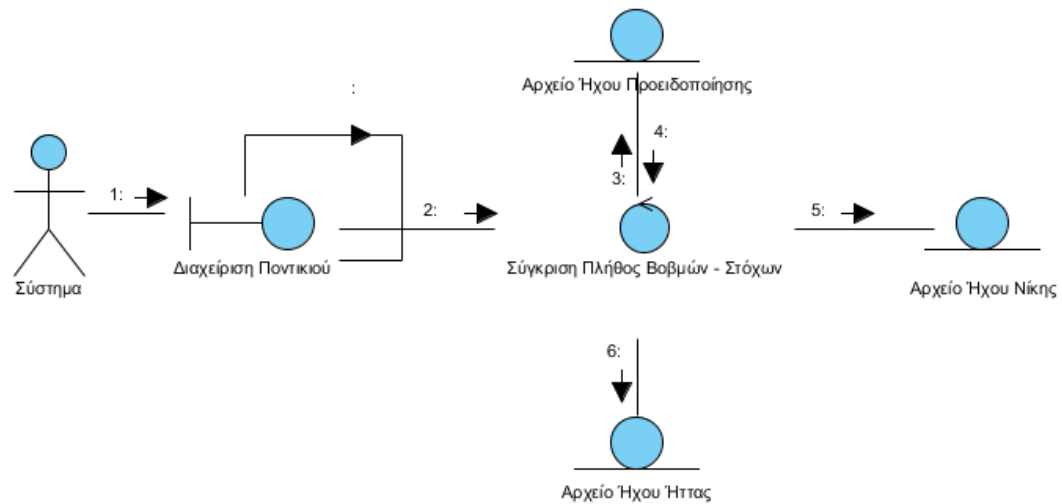
Εικόνα 28. Διάγραμμα συνεργασίας (1) για την περίπτωση χρήσης "Μετακίνηση"



Εικόνα 29. Διάγραμμα συνεργασίας (2) για την περίπτωση χρήσης "Μετακίνηση"



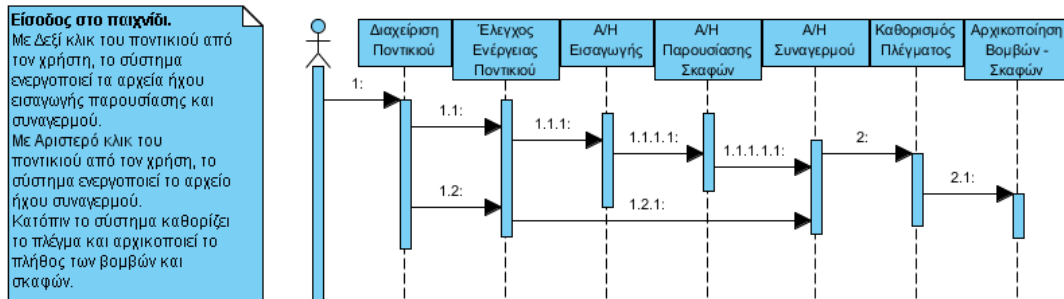
Εικόνα 30. Διάγραμμα συνεργασίας για την περίπτωση χρήσης "Ρίψη Βόμβας"



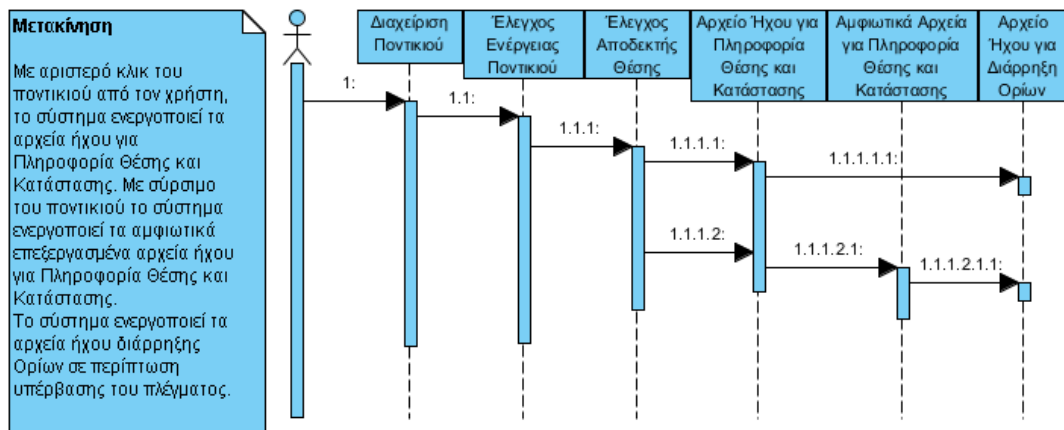
Εικόνα 31. Διάγραμμα συνεργασίας για την περίπτωση χρήσης "Έκβαση"

4.4 Το διάγραμμα ακολουθίας

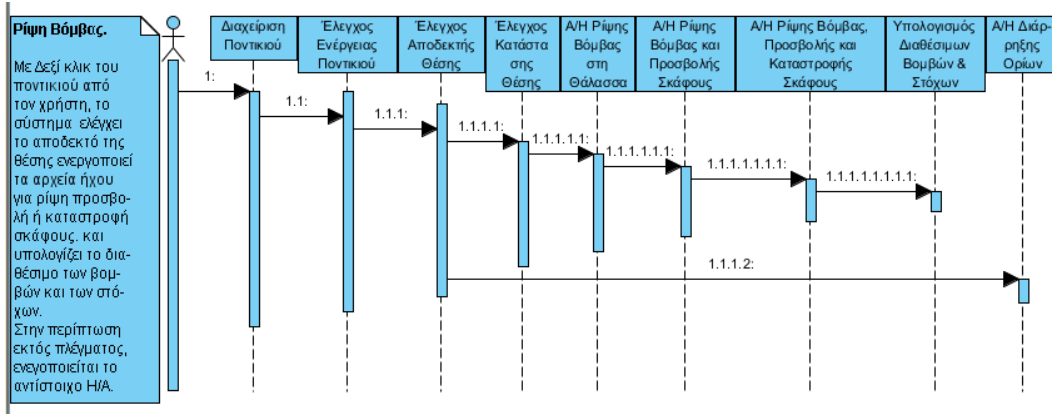
Το τελευταίο βήμα της ανάλυσης περιλαμβάνει τη δημιουργία του διαγράμματος ακολουθίας.



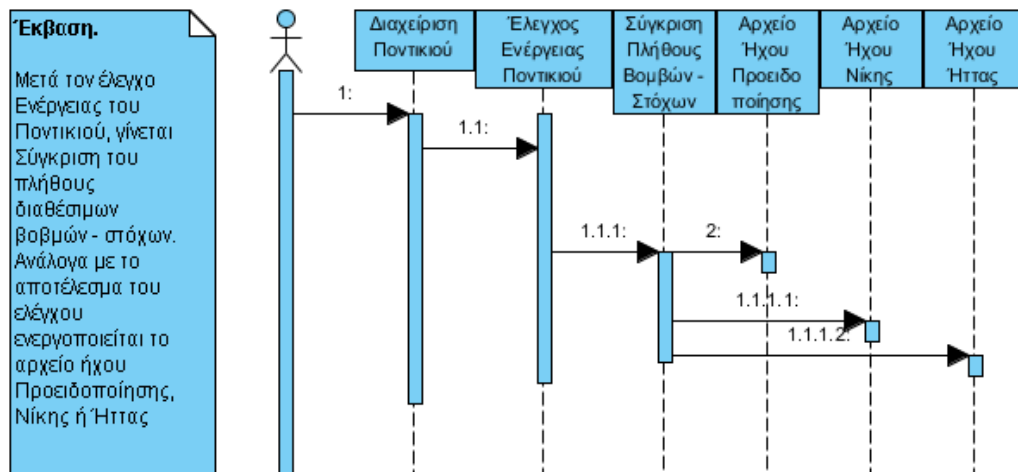
Εικόνα 32. Διάγραμμα ακολουθίας για την "Είσοδο"



Εικόνα 33. Διάγραμμα ακολουθίας για την "Μετακίνηση"



Εικόνα 34. Διάγραμμα ακολουθίας για την "Ρίψη Βόμβας"



Εικόνα 35. Διάγραμμα ακολουθίας για την "Έκβαση"

5. Η Δοκιμή – Αξιολόγηση

Για την αξιολόγησή της, η εφαρμογή δόθηκε για δοκιμαστική εκτέλεση, σε πέντε παίκτες, ηλικίας από 20 μέχρι και 55 χρονών. Πριν την έναρξη της δοκιμής από τους παίκτες δόθηκαν οι ακόλουθες οδηγίες:

Οδηγίες χρήσης του παιχνιδιού.

Στο παιχνίδι υπάρχουν 3 υποβρύχια (x1 θέση), 2 αντιτορπικά (x2 θέσεις) και ένα θωρηκτό (x3 θέσεις). Συνολικά 10 επιμέρους θέσεις για προσβολή. Ο παίκτης διαθέτει 22 βόμβες. Κερδίζει κανείς όταν καταστρέψει όλα τα σκάφη. Αν οι βόμβες που διαθέτει γίνουν λιγότερες από το πλήθος των προς προσβολή θέσεων, ο παίκτης χάνει.

Με την είσοδο στο περιβάλλον του παιχνιδιού ο παίκτης έχει δυο δυνατότητες:

Δεξί κλικ του ποντικιού, οπότε λαμβάνει χώρα

- ο εισαγωγικός ήχος
- η ηχητική παρουσίαση των σκαφών, όπου

Η διαφορετική χροιά προσδιορίζει διαφορετικό σκάφος.

Το πλήθος των επαναλήψεων του ήχου, προσδιορίζει το πλήθος των θέσεων που καταλαμβάνει το σκάφος.

ο ήχος για προειδοποίηση της έναρξης των «εχθροπραξιών»

Αριστερό κλικ του ποντικιού, οπότε λαμβάνει χώρα ο ήχος για προειδοποίηση της έναρξης των «εχθροπραξιών», παρακάμπτοντας τον εισαγωγικό ήχο και τους ήχους παρουσίασης.

Μετά τον ήχο προειδοποίησης της έναρξης των εχθροπραξιών ο παίκτης έχει τις εξής δυνατότητες:

Αριστερό κλικ του ποντικιού, για την πρόσληψη πληροφοριών από τη ενεργή θέση.

Οι πληροφορίες προσλαμβάνονται ηχητικά με το άκουσμα:

Διαδοχικών κυματισμών της θάλασσας, που καθορίζει την γραμμή.

Διαδοχικών ήχων των γλάρων, που καθορίζει τη στήλη.

Την έναρξη της πτώσης βόμβας για να δηλώσει αν η θέση αυτή έχει βληθεί ανεπιτυχώς.

Τον αντίστοιχο ήχο σκάφους, το οποίο «καίγεται» επειδή αυτό έχει προσβληθεί.

Δεξί κλικ του ποντικιού, για την ρίψη βόμβας, οπότε

Ακούγεται η πτώση της βόμβας στη θάλασσα. Αποτυχία.

Ακούγεται η πτώση της βόμβας στη θάλασσα και έκρηξη, οπότε προσβάλλεται υποβρύχιο.

Ακούγεται η πτώση της βόμβας και έκρηξη οπότε προσβάλλεται μέρος σκάφους.

Ακούγεται η πτώση της βόμβας και διπλή διαδοχική έκρηξη οπότε καταστρέφεται σκάφος.

Σύρσιμο του ποντικιού προς μια κατεύθυνση, οπότε ακούγονται από την κατεύθυνση αυτή οι πληροφορίες της θέσης όπου καταλήγει το σύρσιμο: ποια είναι η θέση και το πιθανό προσβληθέν σκάφος.

Όταν το πλήθος των βομβών είναι κατά δυο μεγαλύτερο του πλήθους των στόχων προς προσβολή, που έχουν απομείνει, ακούγεται προειδοποιητικό καμπανάκι.

Τέλος ανάλογα με την έκβαση, ακούγεται ήχος νίκης ή ήττας.

Γενικά οι κινήσεις πρέπει να μην είναι βιαστικές. Πρέπει να αναμένετε την ολοκλήρωση κάθε ενέργειας.

Μετά το πέρας της εφαρμογής τέθηκαν στους παίκτες τα ερωτήματα που φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Ενέργειες	Βαθμός ευκολίας				
Είσοδος - περιγραφή προδιαγραφών					
Έναρξη παιχνιδιού					
Εντοπισμός πλαισίου «εχθροπραξιών»					
Επιλογή θέσης					
Ρίψη βόμβας					
Προειδοποιητικό μήνυμα εξάντλησης βομβών					
Προσβολή στόχου					
Καταστροφή στόχου					
Έκβαση του παιχνιδιού					
Πληροφορίες για τις συντεταγμένες της θέσης του παίκτη					
Πληροφορίες για άστοχη βολή στη θέση					
Πληροφορίες για το είδος του στόχου που προσεβλήθη στη θέση					

Χαρακτηρισμός των οδηγιών ως επαρκών					
Χαρακτηρισμός του παιχνιδιού ως λειτουργικού					
Χαρακτηρισμός του παιχνιδιού ως ενδιαφέροντος					
Θα ξαναπαίξω					

Πίνακας 9. Ερωτήσεις αξιολόγησης του παιχνιδιού

Μετά την δοκιμή, εξήχθησαν τα ακόλουθα γενικά συμπεράσματα:

Το παιχνίδι χαρακτηρίστηκε ως ενδιαφέρον και εξ αιτίας της ιδιαιτερότητάς του, ως εφαρμογή ηχητικής αναπαράστασης δεδομένων.

Η αναπαράσταση των γεγονότων κατά την εκτέλεση του παιχνιδιού, με τη βοήθεια των συγκεκριμένων ηχητικών εικονιδίων και earcons, κρίθηκε αποτελεσματική.

Η απόδοση της αμφιωτικής αναπαράστασης κρίθηκε ικανοποιητική, επηρεάζεται όμως από την ποιότητα των ακουστικών που χρησιμοποιούνται.

Προβλήματα εντοπίστηκαν στην πρώτη επαφή με το παιχνίδι, όσον αφορά στον αρχικό εντοπισμό του πλέγματος και της αντίληψης του μεγέθους των κελιών αφενός και ως προς την βραδύτητα η οποία προκύπτει από την διαδοχική παράθεση των ήχων, μάλιστα όταν τα κελιά που διαχειρίζονταν, είχαν μεγάλα «x» και «y». Ακόμη ένα σημείο που προκαλεί δυσκολία είναι η διατήρηση – ενίσχυση της «μακράς διάρκειας μνήμης» του παίκτη.

6. Συμπεράσματα – Επεκτάσεις

Το ηχητικό αυτό παιχνίδι υλοποιήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Java, μια γλώσσα ευέλικτη, που εφοδιάζει την εφαρμογή με δυνατότητα εύκολης εγκατάστασης σε ιστοχώρους αλλά και σε πλατφόρμες κινητών τηλεφώνων.

Η εξοικείωση του παίκτη με το interface του παιχνιδιού γίνεται σχετικά εύκολα, με ελάχιστη εκπαίδευση.

Μειονέκτημά του είναι το μεγάλο πλήθος των ηχητικών αρχείων (ηχητικών εικόνων και earcons) και ως εκ τούτου ο συνολικός μεγάλος όγκος. Ακόμη το γεγονός ότι κάποια από τα ηχητικά αρχεία έχουν διάρκεια σχετικά μεγάλη και αυτό καθιστά το παιχνίδι κάπως αργό.

Για τη σωστή ηχητική βύθιση του παίκτη στο ηχητικό σκηνικό, είναι απαραίτητα στερεοφωνικά ακουστικά, αν και μπορεί να παίζει κανείς το παιχνίδι και με τα ηχεία του υπολογιστή του, με μειωμένη όμως την αμφιωτική αίσθηση.

Ένα επόμενο βήμα στην κατεύθυνση επέκτασης της εφαρμογής, θα μπορούσε να είναι η εγκατάσταση του παιχνιδιού σε ιστοτόπους που φιλοξενούν ηχητικά παιχνίδια και ένα ακόμη η κατάλληλη παραμετροποίησή του ώστε να «τρέχει» σε πλατφόρμες κινητών τηλεφώνων.

V. Παραρτήματα A

Ο κώδικας για την αμφιωτική επεξεργασία των ήχων με το Octave.

```
# Binaural Επεξεργασία δοθέντος αρχείου ήχου
#
# Εισαγωγή και ανάγνωση αρχείου ήχου
X = input("Enter the name of sound file: ", "X")
[A, fs, n] = wavread(X)
for i=0:45:315
    # μετατροπή του αζιμούθιου σε χαρακτήρα
    Az = num2str(i)
    # ανάγνωση κρουστικής απόκρουσης για το αριστερό αυτί
    Left = "L"
    Left = [Left Az]
    Left = [Left ".wav"]
    [L, fs, n] = wavread(Left)
    # ανάγνωση κρουστικής απόκρουσης για το δεξί αυτί
    Right = "R"
    Right = [Right Az]
    Right = [Right ".wav"]
    [R, fs, n] = wavread(Right)
    # προσαρμογή του εισηγμένου αρχείου στο αριστερό και δεξί αυτί
    XL = filter(L, 1, A)
    XR = filter(R, 1, A)
    YX = [XL, XR]
    name = [X(1:2) "_" Az ".wav"]
    # αποθήκευση του παραγόμενου αρχείου για το i αζιμούθιο
    wavwrite(YX, fs, 16, name)
end
```

```

# Binaural Επεξεργασία αρχείων προσδιορισμού θέσης στο πλέγμα
#
for d=11:10:51
    for j=d:1:d+4
        X = "Sea_"
        k = num2str(j)
        X = [X k ".wav"]
        [A, fs, n] = wavread(X)
        for i=0:45:315
            # μετατροπή του αζιμούθιου σε χαρακτήρα
            Az = num2str(i)
            # ανάγνωση κρουστικής απόκρουσης για το αριστερό αυτί
            Left = "L"
            Left = [Left Az]
            Left = [Left ".wav"]
            [L, fs, n] = wavread(Left)
            # ανάγνωση κρουστικής απόκρουσης για το δεξί αυτί
            Right = "R"
            Right = [Right Az]
            Right = [Right ".wav"]
            [R, fs, n] = wavread(Right)
            # προσαρμογή του εισηγμένου αρχείου στο αριστερό και δεξί αυτί
            XL = filter(L, 1, A)
            XR = filter(R, 1, A)
            YX = [XL, XR]
            name = [X(1:6) "_" Az ".wav"]
            # αποθήκευση του παραγόμενου αρχείου για το i αζιμούθιο
            wavwrite(YX, fs, 16, name)
        end
    end
end
end

```

VI. Παραρτήματα Β

```
/*
 * Audio Game
 */
package audiogame;

public class AudioGame {

    public static void main(String[] args) {

        // Δημιουργία πλαισίου διεπαφής
        TableGame table = new TableGame();
        table.drawTableGame();

    }
}

/*
 * Δημιουργία πλαισίου διεπαφής
 */
package audiogame;

import java.io.*;
import javax.swing.*;
import java.awt.*;

public class TableGame extends JFrame implements Runnable{
    public void run(){

        // Δημιουργία πλαισίου διεπαφής
        MouseFrame mouseFrame = new MouseFrame();
        mouseFrame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
        mouseFrame.setSize(1030, 730);
        mouseFrame.setVisible(true);
    }

    public void drawTableGame(){
        (new Thread(new TableGame())).start();
    }
}
```

```

/*
 *
 * ορισμός πίνακα με τα σκάφη και βοηθητικού πίνακα
 * διαχείριση συμπλοκής
 * έλεγχος της ροής
 *
 */
package audiogame;

import java.util.*;
import java.io.*;
import java.applet.*;
import javax.sound.sampled.AudioInputStream;
import javax.sound.sampled.AudioSystem;
import javax.sound.sampled.Clip;

public class GridBase {
    public int[][] gridBase;
    public int[][] orxos;
    public int i=-1;
    public int boats=6;
    public int bombes=22;
    int battleships=0;
    int ships=10;
    int skafos;

    PlaySound play = new PlaySound();
    PlayIntro playIntro = new PlayIntro();

    public GridBase () {
        gridBase = new int[5][5];
        orxos = new int[10][3];
    }

    //Αρχικοποίηση των θέσεων όλων των κελιών
    public int[][] resetGridBase() {

        //μηδενισμός των κελιών
        for(int i=0; i<5; i++) {
            for(int j=0; j<5; j++){
                gridBase[i][j] = 0;
            }
        }
    }
}

```



```
//τυχαία τοποθέτηση των σκαφών
```

```
Random rnd = new Random();  
int x, y, z, k = 0, m = 0;  
int destroyer = 0 ;  
int submarine = 0 ;  
boolean done = false;
```

```
//τοποθέτηση των θωρηκτών
```

```
while(done == false){  
x = rnd.nextInt(5);  
y = rnd.nextInt(5);  
if (x<3) {  
gridBase[x][y]= 30;  
gridBase[x+1][y]= 30;  
gridBase[x+2][y]= 30;  
orxos[0][0] = x;  
orxos[0][1] = y;  
orxos[0][2] = 0;  
orxos[1][0] = x+1;  
orxos[1][1] = y;  
orxos[1][2] = 0;  
orxos[2][0] = x+2;  
orxos[2][1] = y;  
orxos[2][2] = 0;  
done = true;  
}  
else if (y<3) {  
gridBase[x][y]= 30;  
gridBase[x][y+1]= 30;  
gridBase[x][y+2]= 30;  
orxos[0][0] = x;  
orxos[0][1] = y;  
orxos[0][2] = 0;  
orxos[1][0] = x;  
orxos[1][1] = y+1;  
orxos[1][2] = 0;  
orxos[2][0] = x;  
orxos[2][1] = y+1;  
orxos[2][2] = 0;  
done = true;  
}  
else  
done = false;  
}
```

```

//τοποθέτηση των αντιτορπιλικών
for (int i=1; i<=2; i++){
  x = rnd.nextInt(5);
  y = rnd.nextInt(5);
  if(gridBase[x][y]==0){
    gridBase[x][y] = 20;
    if(x<4 && gridBase[x+1][y]== 0){
      k = x+1;
      m = y;
      gridBase[k][m] = 20;
      done = true;
    }
    else if(y<4 && gridBase[x][y+1]==0){
      k = x;
      m = y+1;
      gridBase[k][m] = 20;
      done = true;
    }
    else if(x>0 && gridBase[x-1][y]==0){
      k = x-1;
      m = y;
      gridBase[k][m] = 20;
      done = true;
    }
    else if(y>0 && gridBase[x][y-1]==0){
      k = x;
      m = y-1;
      gridBase[k][m] = 20;
      done = true;
    }
    else {
      gridBase[x][y] = 0;
      done = false;
    }
  }
  if(done == true){
    destroyer++;
    z = 2*destroyer+1;
    orxos[z][0] = x;
    orxos[z][1] = y;
    orxos[z][2] = 0;
    orxos[z+1][0] = k;
    orxos[z+1][1] = m;
    orxos[z+1][2] = 0;
  }
}

```

```

else
    i--;
}

//τοποθέτηση των υποβρυχίων
for (int i=1; i<=3; i++){
    x = rnd.nextInt(5);
    y = rnd.nextInt(5);
    if(gridBase[x][y]==0){
        gridBase[x][y] = 10;
        submarine++;
        orxos[submarine + 6][0] = x;
        orxos[submarine + 6][1] = y;
        orxos[submarine + 6][2] = 0;
    }
    else
        i--;
}

return gridBase;
}

// διαχείριση της συμπλοκής
public int [][] progressGridBase(int xpos, int ypos) {
    int pointx, pointy, k=0;

    pointy = Math.abs(ypos)-1; // γραμμή
    pointx = Math.abs(xpos)-1; // στήλη
    skafos=gridBase[pointy][pointx];

    try {
        if(xpos>0) // αριστερό κλικ
        {
            if(skafos%10==0)
                // σημείο που δεν χτυπήθηκε
                play.playSound("Sea_",ypos*10+xpos,9);
            if(skafos==1)
                { // σημείο που χτυπήθηκε ανεπιτυχώς
                    play.playSound("Bomb_",4,1);
                    play.playSound("Sea_",ypos*10+xpos,9);
                }
            if(skafos%10==1)
                {
                    // σημείο που χτυπήθηκε επιτυχώς
                    play.playSound("Burning_",skafos/10*10,2);
                    play.playSound("Sea_",ypos*10+xpos,9);
                }
        }
    }
}

```

```

    }
}
if(xpos<0)// δεξί κλικ
{
    bombes--;
    if(skafos/10==0 && skafos!=-1)
    {
        //ρίψη βόμβας που δεν βρήκε στόχο
        play.playSound("Bomb_",0,6);
        gridBase[pointy][pointx]=-1;
    }
    // αν το σκάφος είναι υποβρύχιο και έχει χτυπηθεί
    else if(skafos/10==1 && gridBase[pointy][pointx]%10==0){

        play.playSound("Bomb_",1,9);
        // σημείωση ότι χτυπήθηκε - καταστράφηκε το υποβρύχιο
        gridBase[pointy][pointx]=11;
        // επισήμανση στον πίνακα με τις συννεες
        // ότι χτυπήθηκε το αντίστοιχο σκάφος
        if(orkos[7][0]==pointy & orkos[7][1]==pointx) orkos[7][2]=1;
        if(orkos[8][0]==pointy & orkos[8][1]==pointx) orkos[8][2]=1;
        if(orkos[9][0]==pointy & orkos[9][1]==pointx) orkos[9][2]=1;
        ships--; // ελάττωση του πλήθους των τμημάτων
        boats--; // ελάττωση του πλήθους των σκαφών
    }
    else if(skafos/10==2 && gridBase[pointy][pointx]%10==0){
        // σημείωση ότι χτυπήθηκε μέρος του αντιτορπιλικού
        gridBase[pointy][pointx]=21;
        // επισήμανση στον πίνακα με τις συννεες
        // ότι χτυπήθηκε το αντίστοιχο σκάφος
        if(orkos[3][0]==pointy && orkos[3][1]==pointx)
        {
            orkos[3][2]=1;
            k=3;
        }
        if(orkos[4][0]==pointy && orkos[4][1]==pointx)
        {
            orkos[4][2]=1;
            k=3;
        }
        if(orkos[5][0]==pointy && orkos[5][1]==pointx)
        {
            orkos[5][2]=1;
            k=5;
        }
    }
}

```

```

if(orkos[6][0]==pointy && orkos[6][1]==pointx)
{
    orkos[6][2]=1;
    k=5;
}
if(orkos[k][2]==1 && orkos[k+1][2]==0)
{
    //χτυπήθηκε μέρος του σκάφους
    play.playSound("Bomb_",2,5);
    ships--; // ελάττωση του πλήθους των τμημάτων
}
if(orkos[k][2]==1 && orkos[k+1][2]==1)
{
    // καταστράφηκε το σκάφος
    play.playSound("Bomb_",3,9);
    ships--; // ελάττωση του πλήθους των τμημάτων
    boats--; // ελάττωση του πλήθους των σκαφών
}
}
else if(skafos/10==3 && gridBase[pointy][pointx]%10==0)
{
    // σημείωση ότι χτυπήθηκε μέρος του θωρηκτού
    gridBase[pointy][pointx]=31;
    // επισήμανση στον πίνακα με τις συννεες
    // ότι χτυπήθηκε το αντίστοιχο σκάφος
    if(orkos[0][0]==pointy && orkos[0][1]==pointx)
    {
        orkos[0][2]=1;
        battleships++; // χτυπήθηκε ένα ακόμη μέρος του θωρηκτού
    }
    if(orkos[1][0]==pointy && orkos[1][1]==pointx)
    {
        orkos[1][2]=1;
        battleships++; // χτυπήθηκε ένα ακόμη μέρος του θωρηκτού
    }
    if(orkos[2][0]==pointy && orkos[2][1]==pointx)
    {
        orkos[2][2]=1;
        battleships++; // χτυπήθηκε ένα ακόμη μέρος του θωρηκτού
    }
    if (battleships<3)
    { // χτυπήθηκε μέρος του θωρηκτού
        play.playSound("Bomb_",2,5);
        ships--; // ελάττωση του πλήθους των τμημάτων
    }
}

```

```

        else
        {
            // καταστράφηκε το θωρηκτό
            play.playSound("Bomb_",3,9);
            ships--; // ελάττωση του πλήθους των τμημάτων
            boats--; // ελάττωση του πλήθους των σκαφών
        }
    }

}

} catch (Exception e) {
    System.err.println(e.getMessage());
}
return gridBase;
}

// έλεγχος της συμπλοκής
public int [][] battle(int xpos, int ypos) {
    int x,y;
    x=xpos;
    y=ypos;

    if(i==1){
        //ήχος της εισαγωγής - παρουσίασης των σκαφών - έναρξης εχθροπραξιών
        playIntro.playIntro();
        //αρχικοποίηση του πίνακα
        resetGridBase();
        i=1;
    }
    else if(i==0) {
        //ήχος έναρξης των "εχθροπραξιών"
        play.playSound("Start_",5,8);
        //αρχικοποίηση του πίνακα
        resetGridBase();
    }
    else
        if(boats>0 && bombes>0 && bombes>=ships)
        {
            if(bombes==ships+2)
                play.playSound("kampanaki_",1,1); // προειδοποίηση
            progressGridBase(x,y); // συνέχιση
        }
        else if(bombes<ships)
            play.playSound("End_",2,16); // ήττα
        else

```

```

        play.playSound("End_",1,16);    // νίκη
return gridBase;
}

// διαχείριση της αμφιωτικής παραγωγής ήχου
public void soniGridBase(int xpos, int ypos, int direction){
    int a;

    a=(ypos*10+xpos)*1000+direction;
    try {
        if(skafos%10==0)
            // σημείο που δεν χτυπήθηκε
            play.playSound("Sea_", a, -9);
        if(skafos==1)
            { // σημείο που χτυπήθηκε ανεπιτυχώς
                play.playSound("Bomb_",4,1);
                play.playSound("Sea_", a, -9);
            }
        if(skafos%10==1)
            {
                // σημείο που χτυπήθηκε επιτυχώς
                play.playSound("Burning_",skafos/10*10,-2);
                play.playSound("Sea_", a, -9);
            }
    } catch (Exception e) {
        System.err.println(e.getMessage());
    }
}
}
}

```

```

/*
 *
 * έλεγχος κινήσεων του ποντικιού
 *
 */
package audiogame;

import java.awt.Color;
import java.awt.BorderLayout;
import java.awt.event.MouseListener;
import java.awt.event.MouseMotionListener;
import java.awt.event.MouseEvent;
import java.io.File;
import javax.swing.JFrame;
import javax.swing.JLabel;
import javax.swing.JPanel;
import javax.sound.sampled.*;
/**
 *
 *
 */
public class MouseFrame extends JFrame {
    private JPanel mousePanel; // πλαίσιο για την διαχείριση του ποντικιού
    private JLabel statusBar; // ετικέτα για την εμφάνιση πληροφοριών

    public int xpos, ypos, x, y, xd, yd, xt, yt, skafos;

    // MouseFrame constructor
    // mouse event handlers
    public MouseFrame()
    {
        super( "The Naval Battle" );

        mousePanel = new JPanel(); // δημιουργία του πλαισίου
        mousePanel.setBackground( Color.BLACK ); // χρώμα του πλαισίου
        add( mousePanel, BorderLayout.CENTER ); // το πλαίσιο στο JFrame

        statusBar = new JLabel( "Mouse outside JPanel" );
        add( statusBar, BorderLayout.SOUTH ); // ετικέτα στο JFrame
    }
}

```



```

// δημιουργία listener για τον έλεγχο του ποντικιού
MouseListener handler = new MouseHandler();
mousePanel.addMouseListener( handler );
mousePanel.addMouseMotionListener( handler );
}

private class MouseHandler extends GridBase implements MouseListener,
    MouseMotionListener
{
    int pos; String soundf;

    // MouseListener event handlers
    // handle event when mouse released immediately after press
    public void mouseClicked( MouseEvent event )
    {
        PlaySound play = new PlaySound();
        if(event.isMetaDown() && i== -1) { //Δεξί κλικ, play intro
            x=0; y=0;
            battle(x, y);
        }
        else {
            i++;
            xpos = event.getX();
            ypos = event.getY();
            pos = -1;
            // προσδιορισμός κατευθύνσεων εκτός ορίων για υπέρβαση του πλαισίου
            if(xpos>265 && xpos<765 && ypos<115) pos = 0;
            if(xpos>765 && ypos<115) pos = 45;
            if(xpos>765 && ypos>115 && ypos<615) pos = 90;
            if(xpos>765 && ypos>615) pos = 135;
            if(xpos>265 && xpos<765 && ypos>615) pos = 180;
            if(xpos<265 && ypos>615) pos = 225;
            if(xpos<265 && ypos>115 && ypos<615) pos = 270;
            if(xpos<265 && ypos<115 ) pos = 315;

            try{
                if(pos<0){ // εντός
                    x = (xpos-265)/100+1;// στήλη
                    y = (ypos-115)/100+1;// γραμμή
                    if(event.isMetaDown()){x=-x; y=-y;} //Δεξί κλικ
                    battle(x, y);
                    statusBar.setText( String.format( "Clicked at [%d, %d]",Math.abs(y),
Math.abs(x)) );
                }
            }

```

```

else          // εκτός
{
    statusBar.setText( "Mouse outside GridBase" );
    play.playSound("BG_",pos,2);
}
} catch (Exception e) {
System.err.println(e.getMessage());
}
}
} // end method mouseClicked

// handle event when mouse pressed
public void mousePressed( MouseEvent event )
{
    xpos = event.getX();
    ypos = event.getY();
    statusBar.setText( String.format( "Pressed at [%d, %d]",ypos, xpos));
} // end method mousePressed

// handle event when mouse released after dragging
public void mouseReleased( MouseEvent event )
{
    xpos = event.getX();
    ypos = event.getY();
} // end method mouseReleased

// handle event when mouse enters area
public void mouseEntered( MouseEvent event )
{
    xpos = event.getX();
    ypos = event.getY();
    mousePanel.setBackground( Color.BLUE );
} // end method mouseEntered

// handle event when mouse exits area
public void mouseExited( MouseEvent event )
{
    xpos = event.getX();
    ypos = event.getY();
    mousePanel.setBackground( Color.WHITE );
    try {
        play.playSound("BG_",0,1);
    } catch (Exception e) {
        System.err.println(e.getMessage());
    }
} // end method mouseExited

```

```

// MotionEventListener event handlers
// handle event when user drags mouse with button pressed
public void mouseDragged( MouseEvent event )
{
    xpos = event.getX();
    ypos = event.getY();

    yd = (ypos-115)/100+1;// γραμμή
    xd = (xpos-265)/100+1;// στήλη
    statusBar.setText( String.format( "Dragged at [%d, %d]",yd,xd));
    yt = yd - y;
    xt = xd - x;

    pos = -1;
    // προσδιορισμός κατευθύνσεων εκτός ορίων για υπέρβαση του πλαισίου
    if(xpos>265 && xpos<765 && ypos<115) pos = 0;
    if(xpos>765 && ypos<115)      pos = 45;
    if(xpos>765 && ypos>115 && ypos<615) pos = 90;
    if(xpos>765 && ypos>615)      pos = 135;
    if(xpos>265 && xpos<765 && ypos>615) pos = 180;
    if(xpos<265 && ypos>615)      pos = 225;
    if(xpos<265 && ypos>115 && ypos<615) pos = 270;
    if(xpos<265 && ypos<115 )      pos = 315;
    try {
    if(pos<0){          // εντός
        if(yt>0 && xt==0) pos = 0;
        if(yt>0 && xt>0) pos = 45;
        if(yt==0 && xt>0) pos = 90;
        if(yt<0 && xt>0) pos = 135;
        if(yt<0 && xt==0) pos = 180;
        if(yt<0 && xt<0) pos = 225;
        if(yt==0 && xt<0) pos = 270;
        if(yt>0 && xt<0) pos = 315;
        System.out.println("pos=" + pos);
        soniGridBase(Math.abs(xd), Math.abs(yd), pos);
    }
    else
    {
        statusBar.setText( "Mouse outside GridBase" );
        play.playSound("BG_",pos,2);
    }
    } catch (Exception e) {
    System.err.println(e.getMessage());
    }
} // end method mouseDragged

```

```

// handle event when user moves mouse
public void mouseMoved( MouseEvent event )
{
    xpos = event.getX();
    ypos = event.getY();
} // end method mouseMoved

} // end inner class MouseHandler

} //end class MouseFrame

/*
 * Ήχος εισαγωγής
 * παρουσίασης των σκαφών
 * έναρξης των εχθροπραξιών
 */

package audiogame;

import java.io.*;
import java.applet.*;
import javax.sound.sampled.*;

public class PlayIntro implements Runnable{
    private String[] soundF;
    private int[] soundFt;

    public void run(){
        soundF = new String[6];
        soundFt= new int[6];
        for(int i=0; i<6; i++)
            soundF[i]= "C:/audioSounds/Start_" + String.valueOf(i)+".wav";
        soundFt[0]=21000;
        soundFt[1]=10000;
        soundFt[2]=1000;
        soundFt[3]=4000;
        soundFt[4]=5000;
        soundFt[5]=8000;

        for(int i=0; i<6; i++){
            try {
                File soundFile = new File(soundF[i]);
                AudioInputStream audioIn = AudioSystem.getAudioInputStream(soundFile);
                Clip clip = AudioSystem.getClip();

```

```

clip.open(audioIn);
clip.start(); // play introduction - presentation
Thread.sleep(soundFt[i]);
clip.close();
} catch (Exception e) {
    System.err.println(e.getMessage());
}
}

}

public void playIntro() {
    (new Thread(new PlayIntro())).start();
}
}

```

```

/*
 * αναπαραγωγή ήχων
 */

```

```

package audiogame;

```

```

import java.io.*;
import java.applet.*;
import javax.sound.sampled.*;

```

```

public class PlaySound {
    public String soundF;
    private int[] u;
    String x;
    int y;

    public void playSound(String x, int y, int z){
        u = new int[5];
        int i,part1, part2;

        if(z>0)
            soundF = x + String.valueOf(y)+".wav";
        else
        {
            for(i=0; i<=4; i++){
                u[i]=y%10;
                y=y/10;
            }
        }
    }
}

```

```

part1=u[4]*10+u[3];
part2=u[2]*100+u[1]*10+u[0];
soundF= x + String.valueOf(part1) + "_" + String.valueOf(part2) + ".wav";
}
z=Math.abs(z);
try{
    System.out.println(soundF);
    File soundFile = new File("C:/audioSounds/" + soundF);
    // File soundFile = new File("C:/Documents and Settings/user/Τα έγγραφά
μου/NetBeansProjects/audioGame/src/audiogame/" + soundF);
    AudioInputStream audioIn = AudioSystem.getAudioInputStream(soundFile);
    Clip clip = AudioSystem.getClip();
    clip.open(audioIn);
    clip.start(); // play introduction - presentation
    Thread.sleep(1000*z);
    clip.close();
} catch (Exception e) {
    System.err.println(e.getMessage());
}
}
}
}

```

VII. Ευρετήριο

A

audio game · 9, 10, 13, 15, 16, 42

auditory icons · 38, 40, 43, 44, 45

C

Corti · 26

D

Doppler · 26, 29

E

earcons · 38, 40, 44, 45, 67

F

Fourier · 23

G

grid – based · 42

I

ICONIX · 9, 10, 52

Interaural · 30

interface

 διεπαφή · 43, 49

J

Java · 9, 10

K

KEMAR · 32

L

Laplace · 20

Las Vegas · 14

long term memory · 41

M

Mach · 29

O

Octave · 44, 69

P

phon · 22

Pitch · 23

S

sonification · 9, 10, 13, 16, 48, 51, 67

U

UML · 9, 10, 52

A

αιθουσαία κλίμακα · 26

άκμων · 25

ακουστικής σκηνής · 32

ακουστικό πόρο · 25

ακουστικός πόρος · 25

Ακουστότητα · 21

αμφιωτική

binaural · 9, 16, 44, 45, 49, 50, 69

αναβολέας · 25

ανάλυση ευρωστίας · 60

Απλό ήχο · 19

αυτί · 21, 23, 24, 25, 30, 31, 32, 69, 70

B

βασικό υμένα · 26

Δ

διάγραμμα ακολουθίας · 63

διάγραμμα κλάσεων · 52, 53

διαγράμματα συνεργασίας · 60

διαμήκη κύματα · 18, 19

E

ένταση · 19, 20, 21, 22, 23, 30, 33, 35

εξίσωση της κυματικής · 20

έσω αυτί · 25

H

ηχητικής επισκίασης · 30

ηχητικής σκηνής · 16

ηχοχώρο · 12

Θ

Θόρυβο · 19

Κ

κατώφλι ακουστότητας · 22

κοχλία · 25

κοχλιακό πόρο · 26

Κρότο · 19

Λ

λέμφο · 26

λοβίο · 25

Μ

μέσο αυτί · 25

μήκος του ηχητικού κύματος · 19

Π

πεδίου εφαρμογής · 52, 53

περιπτώσεων χρήσης · 52, 53, 58

περίπτωση χρήσης · 54, 55, 56, 57, 60, 61, 62

πλασματικό κόσμο · 14, 15

πλάτος · 19, 20, 21

πλάτος της ταλάντωσης · 20

πτερύγιο · 25

Σ

Συμφασικά · 20

συχνότητα · 18, 19

σφύρα · 25

Τ

ταχύτητα διάδοσης · 20

τυμπανική κλίμακα · 26

τύμπανο · 25

Υ

υπέρηχος · 18

υπόηχος · 18

ύψος · 21, 23

Φ

φάση · 20, 48

Φθόγγο · 19

Χ

Χροιά · 23

VIII. Βιβλιογραφία

- Cameron, J., Skofronick, J., & Grant, R. (2001). *Φυσική του ανθρώπινου σώματος*. Αθήνα: Παριστιανού Α.Ε.
- Clawson, C. C. (2005). *Ο Ταξιδευτής των Μαθηματικών*. Αθήνα: Κέδρος.
- Collins, K. (2008). *Game Sound, An Introduction to the History, Theory, and Practice of Video Game Music and Sound Design*. Massachusetts: The MIT Press.
- G. Cramer, B. Walker. Psychology, Department of Faculty Publications, Department of Psychology. (2010). *Sonification Report: Status of the Field and Research Agenda*. University of Nebraska - Lincoln. Nebraska - Lincoln: DigitalCommons@University of Nebraska - Lincoln, <http://digitalcommons.unl.edu/psychfacpub/444>.
- Gardner, B., & Martin, K. (1994, 5 18). *HRTF Measurements of a KEMAR Dummy-Head Microphone*. Ανάκτηση 7 18, 2000, από <http://sound.media.mit.edu/resources/KEMAR.html>
- Jeroen Breebaart, C. F. (2007). *Spatial Audio Processing (MPEG Surround and Other Applications)*. England: John Willey & Sons Ltd.
- Kollmeier, B. (2008). Anatomy, Physiology and Function of the Auditory System. *Handbook of Signal Processing in Acoustics , Volium 1*.
- Stephens, D. R. (2007). *Use Case Driven Object Modeling with UML Theory and Practice*. New York: Apress.
- Th. Hermann, A. H. (2011). *The Sonification Handbook*. Berlin: Logos Verlag Gerlin GmbH.
- Thomas Hermann, Neuroinformatics Group. (2008). Taxonomy and Definitions for Sonification and Auditory Display. *Proceedings of the 14th International Conference on Auditory Display*. Paris.
- Timothy J. Barth, M. G. (2006). *Scientific Computing with MATLAB and Octave*. Milano: Sprinder, Second Edition.
- Weeks, M. (2007). *Digital Signal Processing Using MATLABr and Wave-lets*. Massachusetts: Infinity Science Press LLC.
- Wiener, N. (1961). *ΚΥΒΕΡΝΗΤΙΚΗ ή έλεγχος και επικοινωνία στα ζώα και στις μηχανές*. Αθήνα: Καστανιώτης.

Wikipedia. (n.d.). Retrieved 07 07, 2012, from <http://en.wikipedia.org/wiki/Psychoacoustics>

Β. Γερογιάννης, Γ. Κ. (2006). *Αντικειμενοστραφής Ανάπτυξη Λογισμικού με την UML*. Αθήνα: Κλειδάριθμος.

Βεσκούκης, Β. (2008). *Τεχνολογία Λογισμικού II, Τόμος Β*. Πάτρα: Ε.Α.Π., 2η έκδοση.

Δημητρίου, Ν. (2008). *Ψηφιακές Επικοινωνίες II, Σήματα - Διαμόρφωση - Θόρυβος*. Πάτρα: ΕΑΠ.

Καζαντζάκης, Ν. (1971). *Ασκητική*. Αθήνα: Ε. Καζαντζάκη.

Καρακώστας, Θ., & Κυριάκος, Δ. (1998). *Φυσική - Εισαγωγή στη Μηχανική*. Θεσσαλονίκη: Ζήτη.

Μάζης, Α. (1976). *Φυσική, τόμος Πρώτος, Μηχανική - Ακουστική*. Αθήνα: Εστία.

Οικονόμου, Ν. (1972). *Εισαγωγή εις την Φυσικήν*. Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ.

Ροντάρι, Τ. (1985). *Γραμματική της Φαντασίας*. Αθήνα: Τεκμήριο.

Σπυρίδης, Χ. (1988). *Μια εισαγωγή στη Φυσική της Μουσικής*. Θεσσαλονίκη: Ζήτη.

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1988 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον.