

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΟΥΣΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΚΑΙ ΟΠΤΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ
Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής

Πτυχιακή εργασία

**Υλοποίηση και Υποκειμενική Αξιολόγηση Τεχνικών για την
Επαύξηση Κρουστικών Ήχων**

Στυλιανός Σπανάκος

Επιβλέπων: Νικόλαος Στεφανάκης

Ρέθυμνο 2020



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΟΥΣΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΚΑΙ ΟΠΤΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

Πτυχιακή Εργασία

**Υλοποίηση και Υποκειμενική Αξιολόγηση Τεχνικών για την
Επαύξηση Κρουστικών Ήχων**

του

Στυλιανού Σπανάκου

Επιβλέπων: [Νικόλαος Στεφανάκης]

Καθηγητής

.....
XXXX XXXX

Καθηγητής

.....
XXXX xxxXXX

Επίκουρος Καθηγητής,

.....
XXXX XXXX

Καθηγητής

Ρέθυμνο, Ιανουάριος 2020

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Σπανάκος Στυλιανός, [2020]

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Κρήτης δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή Νικόλαο Στεφανάκη για την ουσιαστική και έμπρακτη βοήθεια που μου προσέφερε, καθώς και τη σχολαστική επίβλεψή του, η οποία αποδείχθηκε κρίσιμη, σε μία εποχή που δυστυχώς η παρουσία του επιβλέποντος καθηγητή σε μία διπλωματική εργασία συχνά εμφανίζεται να είναι εντελώς τυπική. Επίσης, ευγνωμονώ το φίλο και συνεργάτη Ευάγγελο Περίδη, για τις υπηρεσίες σχεδίασης ιστοσελίδας τις οποίες η εργασία είχε ανάγκη. Τέλος, θα πρέπει να καταθέσω το σεβασμό μου στην ακαδημαϊκή κοινότητα του τμήματος Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου για το έργο της και την ανάδειξη του χώρου στην Ελλάδα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πεδίο της σύνθεσης και του σχεδιασμού ήχου γίνεται όλο και ευρύτερα γνωστό και αφορά περισσότερους ανθρώπους, κυρίως λόγω της συνεχούς ανάπτυξης της ηλεκτρονικής μουσικής και της δυνατότητας ακρόασης της μουσικής και του ήχου ταινιών από αξιοπρεπείς πηγές, ακόμα και σε οικιακούς χώρους. Παράλληλα αναπτύσσονται τεχνικές επαύξησης στην εικόνα, τόσο στον κινηματογράφο, όσο και στο χώρο του gaming. Έτσι έχουμε πια την ύπαρξη της επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality). Οι παράγοντες αυτοί προοικονομούν μια αλλαγή στην αισθητική των δυτικών λαϊκών κουλτουρών. Μια αισθητική στην οποία για χρόνια και ως τώρα εκθειάζεται το ρεαλιστικό, αρχίζει όμως πλέον να αποδέχεται την εκτεταμένη φαντασία και την «παραβίαση» των κανόνων.

Στην παρούσα εργασία, η επαυξημένη πραγματικότητα εξετάζεται υπό το πρίσμα του ηχητικού περιεχομένου και πιο συγκεκριμένα, για την περίπτωση των κρουστικών ήχων. Ως ηχητική επαύξηση ορίζουμε το αποτέλεσμα που προκύπτει από μίξη ενός του φυσικού κρουστικού ήχου με ένα συνθετικό ήχο η με μια επεξεργασμένη εκδοχή του ίδιου του φυσικού ήχου. Αποτέλεσμα αυτής της διεργασίας είναι ένας νέος ήχος με εμπλουτισμένα φασματικά χαρακτηριστικά, ο οποίος όμως διατηρεί πολλά από τα ηχητικά χαρακτηριστικά του φυσικού αντικειμένου.

Για τις ανάγκες της ανάλυσης, φυσικοί ήχοι παρήχθησαν από την κρουστική διέγερση καθημερινών φυσικών αντικειμένων διαφορετικού μεγέθους και υλικών. Προσθετικοί ήχοι παρήχθησαν με τη χρήση τεχνικών προσθετικής ή αφαιρετικής σύνθεσης, ενώ εξετάστηκε επίσης και η προσέγγιση της υπέρθεσης μιας επαναδειγματοληπτούμενης εκδοχής του ίδιου του φυσικού ήχου. Οι προσθετικοί ήχοι συγχρονίστηκαν με το φυσικό ήχο κάνοντας χρήση της τεχνικής γνωστής ως Gate Triggering. Οι επαυξημένοι ήχοι που προέκυψαν αξιοποιήθηκαν για την κατασκευή ενός διαδικτυακού τεστ ακρόασης. Αποτελέσματα που προέκυψαν από περισσότερους από 50 ακροατές αναλύονται με σκοπό την αξιολόγηση των τεχνικών και την εκτίμηση της αποδοχής τους από το κοινό.

ABSTRACT

Sound synthesis and sound design is becoming more and more popular involving more people, mainly due to the continued development of electronic music and the ability to listen to music and sound from films from dignified sources, even at home. At the same time, Augmented Reality is penetrating the fields of gaming and human-computer interaction in general. These factors trail a change in the aesthetics of western folk cultures. An aesthetics which has for years been praising realism, it is now beginning to accept the widespread imagination and the "violation" of the rules.

In this Thesis, Augmented Reality is studied from the perspective of audio content and more specifically, for the case of impact sounds. We define as sound augmentation the process of mixing the physical sound with a synthetic sound, or with a processed version of the physical sound. As a result, a sound with richer spectral characteristics is produced that stills preserves several of the sonic attributes of the physical object.

For the needs of analysis, physical sounds were produced by striking various solid object that can be found in ordinary life. Prosthetic components were produced by using additive or subtractive sound synthesis techniques but also an approach that involves a resampled version of the original physical sound. The prosthetic sounds were synchronized with the physical sound using a technique known as Gate Triggering. The augmented sounds were then used to construct an online listening test. Results taken from more than 50 listeners are analyzed for the needs of evaluating the different augmentation approaches and for assessing the acceptance from the users.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	6
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ.....	8
1. Εισαγωγή.....	9
1.1 Η Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality) και η σκοπιά από την επιστήμη της Ακουστικής.....	9
1.1.1 Χειρονοματικός έλεγχος – Διαθέσιμα λογισμικά στο εμπόριο.....	10
1.1.2 “Inception”	12
1.1.3 Ανέπαφος έλεγχος μέσω ανίχνευσης της κίνησης.....	12
1.2 Η συνύπαρξη φυσικού και συνθετικού ήχου στη Μουσική Παραγωγή.....	12
1.3 Σκοπός της εργασίας	15
2. Πείραμα	16
2.1 Μεθοδολογία.....	16
2.2 Ηχογράφηση αντικειμένων	16
2.3 Παραγωγή συνθετικών ήχων	17
2.4 Χρήση δευτερευόντων κρουστικών ήχων	19
2.7 Τεχνικές επανα-δειγματοληψίας (resampling)	19
2.6 Μίξη και εξαγωγή των τελικών ήχων.....	20
2.7 Αντιμετώπιση δυσκολιών	20
3. Συζήτηση πάνω στην αντίληψη των κρουστικών ήχων και σχετικές έρευνες.....	23
4. Ερωτηματολόγιο και αποτελέσματα	24
4.1 Ερωτηματολόγιο	24

4.1.1 Αναγνώριση της φύσης των ήχων.....	24
4.1.2 Αξιολόγηση των παραδειγμάτων	27
4.2 Ανάλυση δεδομένων – Συμπεράσματα.....	28
4.2.1 Ανάλυση δεδομένων και συμπεράσματα από το πρώτο μέρος.....	28
4.2.1 Ανάλυση δεδομένων και συμπεράσματα από το δεύτερο μέρος.....	29
Βιβλιογραφία.....	33
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	36
A Οι ηχογραφήσεις και τα παραδείγματα επαύξησης που παρουσιάστηκαν στο ερωτηματολόγιο και οι απαντήσεις σε αυτό	36
Πρώτο Μέρος	36
Δεύτερο Μέρος.....	40
B Τα ηλεκτρονικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν	43

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Στην περίπτωση χρήσης ορολογίας από ξενόγλωσση βιβλιογραφία, η οποία δεν έχει αποδοθεί επισήμως στην ελληνική γλώσσα, μπορεί να αναφερθεί σε αυτήν την ενότητα η απόδοση στην ελληνική που θεωρείται περισσότερο δόκιμη. π.χ.:

dB	Deci Bell
LUFS	Loudness Units Relative to Full Scale
Gate Triggering	Ενεργοποίηση μέσω «Πύλης»
Layering	Επένδυση Στρωμάτων
DAW	Ψηφιακό Περιβάλλον Επεξεργασίας Ήχου
Q	Παράγοντας Εύρους
Synth, Synthesizer	Συνθετητής
Threshold	Κατώφλι/Όριο Στάθμης
Mapping	Αντιστοιχία
Normalising	Κανονικοποίηση

1. Εισαγωγή

1.1 Η Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality) και η σκοπιά από την επιστήμη της Ακουστικής

Η Επαυξημένη Πραγματικότητα ή Augmented Reality είναι μια τεχνολογία που ενισχύει τον φυσικό κόσμο με ψηφιακό υλικό. Χρησιμοποιείται περισσότερο στις κινητές συσκευές και στοχεύει στην προβολή του φυσικού κόσμου του οποίου όμως η απεικόνιση είναι επαυξημένη με ψηφιακές πληροφορίες (κείμενα, ήχους και video). Ο συνδυασμός της κάμερας με μία εικόνα δείκτη ή ακόμη και με το σύστημα GPS της κινητής συσκευής, επιτρέπουν την προβολή επιπλέον πληροφοριών για την εικόνα ή το γεωγραφικό σημείο αντίστοιχα, διαμορφώνοντας ένα επαυξημένο πληροφοριακά τελικό αποτέλεσμα. Οι προβολές δεδομένων είναι δυνατές είτε από τις οθόνες κινητών συσκευών είτε από ειδικά γυαλιά προβολής Augmented Reality. Αν και η τεχνολογία, ως έννοια, υπάρχει εδώ και αρκετές δεκαετίες, η εμφάνιση της άρχισε να γίνεται αισθητή τα τελευταία χρόνια κι αυτό χάρη στη ραγδαία αύξηση της υπολογιστικής ισχύος των κινητών συσκευών και του εξοπλισμού τους με όλο και περισσότερους τύπους αισθητήρες όπως κάμερες, γυροσκόπια, GPS [1].

Παρ' όλο που στο χώρο της εικόνας παρατηρείται μία τόσο ραγδαία αύξηση του εμπορικού κύρους της τεχνολογίας αυτής, δε βλέπουμε την ίδια κίνηση στον επιστημονικό χώρο του ήχου. Βέβαια, υπάρχουν έρευνες και εφαρμογές. Κάποιες από αυτές, όπως το **Table Drum** και το **Inception** (στα οποία και θα αναφερθούμε εκτενέστερα) αναφέρονται στον ιστότοπο augmentedaudio.com [2], ο οποίος αποτελεί ένα επίδοξο portal όλων των σχετικών projects. Μπορούμε σίγουρα να δεχτούμε το γεγονός ότι είναι ιδιαίτερα συχνό φαινόμενο η παράλληλη χρήση φυσικού και ηλεκτρονικού ήχου στο χώρο της μουσικής, τόσο σε μπάντες της popular μουσικής σκηνής με μουσικούς να συνδυάζουν synthesizers με ακουστικά όργανα, όσο και στη μουσική παραγωγή ως τεχνολογία.

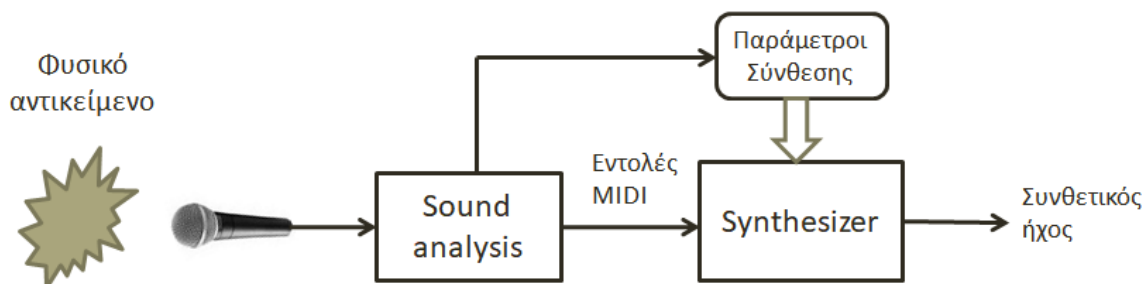
1.1.1 Χειρονομακός έλεγχος – Διαθέσιμα λογισμικά στο εμπόριο

Ολοένα γίνεται αισθητή η ανάγκη για βελτίωση της ποιότητας της διεπαφής που μεσολαβεί για την επικοινωνία μουσικού – υπολογιστή, αξιοποιώντας την ολοένα και αυξανόμενη ικανότητα των ηλεκτρονικών υπολογιστών να αναγνωρίζουν την ανθρώπινη δραστηριότητα (πχ. φωνητικές εντολές, κινήσεις του σώματος) και να παίρνουν αποφάσεις αυτόματα και σε πραγματικό χρόνο σε σχέση με αυτήν, βελτιώνοντας σημαντικά την ποιότητα των υπηρεσιών και την εμπειρία που προσφέρουν στο χρήστη. Σε σχέση με την τεχνολογία μουσικής θεσπίζονται αυτή τη στιγμή νέες προκλήσεις για τη διεπαφή μουσικού – υπολογιστή: αντί ο χρήστης να πρέπει να αγοράσει, να εγκαταστήσει και να μάθει να χειρίζεται μια εξειδικευμένη ψηφιακή συσκευή για τον έλεγχο κάποιας εφαρμογής μουσικής τεχνολογίας, ο υπολογιστής είναι αυτός που πρέπει να μάθει να αναγνωρίζει τη δραστηριότητα και την τεχνοτροπία του χρήστη, τη στιγμή που αυτός αλληλεπιδρά με οποιοδήποτε φυσικό υλικό μέσο της επιλογής του, που μπορεί να είναι ένα μουσικό όργανο, ένα απλό αντικείμενο, η ίδια η ηλεκτρονική συσκευή που έχει στην κατοχή του. Εφαρμόζοντας τεχνολογίες αιχμής, τα προϊόντα αυτά δύναται να αξιοποιούν το σήμα από τους ήδη ενσωματωμένους αισθητήρες των φορητών (και μη) συσκευών, όπως μικρόφωνα, επιταχυνσιόμετρα και οθόνη αφής, για την σε πραγματικό χρόνο ψηφιοποίηση, ανάλυση και αναγνώριση των ήχων και των χειρονομιών που παράγει ο χρήστης κατά την επαφή του με το φυσικό μέσο.

Περισσότερο από κάθε άλλο ήχο, ο χειρονομακός έλεγχος έχει μελετηθεί από τη σκοπιά των κρουστικών ήχων. Σε μεγάλο βαθμό αυτό οφείλεται στο ότι οι κρουστικοί ήχοι έχουν ιδιαίτερα διακριτή δομή στο χρόνο και είναι εύκολο να κατασκευάσει κανείς έναν αλγόριθμο για την ανίχνευσή τους σε μία ηχογράφιση, κάνοντας για παράδειγμα χρήση τεχνικών ανίχνευσης αρχής [3]. Επιπλέον, υπάρχουν διάφορες επιστημονικές εργασίες που καταδεικνύουν τη δυνατότητα αντιστοίχισης διαφορετικών χειρονομιών που παράγονται με κρουστικούς ήχους σε διαφορετικές MIDI εντολές. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί για παράδειγμα μέσα από ένα σύστημα μηχανικής μάθησης που έχει εκπαιδευτεί να αναγνωρίζει τη διαφορετικότητα στη χροιά μεταξύ κρουστικών ήχων που παράγονται από το χρήστη χτυπώντας διαφορετικά αντικείμενα ή το ίδιο αντικείμενο σε διαφορετικά σημεία [4]. Σε μια παραλλαγή αυτής της προσέγγισης, έχει επίσης αναδειχθεί η δυνατότητα αξιοποίησης χωρικής πληροφορίας, για την αναγνώριση διαφορετικών χειρονομιών με βάση τη θέση χτυπήματος. Σε σχετική εργασία [5], αυτό γίνεται δυνατόν αξιοποιώντας τις συσχετίσεις στο

ηχητικό σήμα που καταγράφεται από δύο μικρόφωνα που είναι τοποθετημένα το ένα κοντά στο άλλο σε μικρή απόσταση από το αντικείμενο διέγερσης.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η λογική η οποία ακολουθείται στις περιπτώσεις χειρονομιακού ελέγχου των συνθετικών ήχων.



Εικόνα 1 Η δρομολόγηση της πληροφορίας κατά το χειρονομιακός έλεγχο ηλεκτρονικά παραγόμενων ήχων

Το **Table Drum** είναι μία εφαρμογή για περιβάλλον iOS, η οποία αντιλαμβάνεται τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των κρουστικών ήχων που αρχικά δίνει ο χρήστης και στη συνέχεια γίνεται δρομολόγηση (mapping) ώστε να αποτελέσουν trigger για drum samples που υπάρχουν στη βάση δεδομένων της εφαρμογής. Ουσιαστικά, το φυσικό αντικείμενο (μπορεί πχ. να είναι ένα τραπέζι) αποτελεί ένα δυναμικό controller για να παίζει κανείς ηλεκτρονικά drums με μέσο παραγωγής το smart phone/tablet του [6]. Σίγουρα, αποτελεί μια ολοκληρωμένη εργασία στον τομέα της AR, το παραγόμενο αποτέλεσμα όμως στοχεύει να είναι μόνο τα drum samples που δέχονται το trigger.

Σημαντική περίπτωση είναι και τα εργαλεία της σειράς **Mogees** [7] (επίσης iOS), τα οποία ανιχνεύουν την κίνηση ή τις δονήσεις από καθημερινά αντικείμενα και ανθρώπινα άκρα μεταφράζουν τις διαφορετικές μεταξύ τους κινήσεις σε μουσική. Είναι αντίστοιχο με το TableDrum με τη διαφορά όμως ότι επιτρέπει και τη διάδραση με τυρβώδεις ήχους εκτός από κρουστικούς ήχους.

Επίσης ενδιαφέρον παρουσιάζει το λογισμικό **Drumsanywhere**, το οποίο ζητά από το/τη χρήστη να ορίσει μία επιφάνεια και να αντιστοιχίσει τη θέση στην οποία θα χτυπάει την επιφάνεια αυτή με το επιθυμητό κρουστό από ένα drum kit. Το αποτέλεσμα είναι ουσιαστικά ίδιο με την περίπτωση του Table Drum, το triggering όμως, ενδεχομένως να γίνεται μέσω των μηχανικών δονήσεων του κινητού-tablet αντί των ήχων που ανιχνεύει το

μικρόφωνο [8]. Σημαντικό στοιχείο εδώ είναι ότι γίνεται έμφαση στη δυναμική των ήχων, στην ικανότητα δηλαδή του λογισμικού να ανταποκρίνεται στις δυναμικές με τις οποίες ο χρήστης χτυπάει το φυσικό αντικείμενο.

Το **Pulse Controller** της Tet Music είναι επίσης ένα σύστημα που λειτουργεί με λογική του Drumsanywhere, έχοντας όμως αναπτύξει και τη δυνατότητα αντιστοίχισης των δεδομένων εισαγωγής και με midi μηνύματα που εν τέλει οδηγούνται σε νότες του ίδιου οργάνου εφ' όσον το συνδυάσει κανείς με κάποιο synthesizer ή sampler [9]. Ως εκ τούτου, το συγκεκριμένο προϊόν λειτουργεί και ως VST plugin (εκτός από stand-alone).

1.1.2 Ζωντανή επαύξηση ήχων - “Inception the App”

Η εφαρμογή **Inception**, επίσης για iOS συσκευές, παράγει ηχοτοπία με δυναμικό τρόπο, βασιζόμενη σε ήχους που συλλέγει κάθε φορά και στη συνέχεια τους επαυξάνει, ώστε να δημιουργήσει ένα «όνειρο» που να θυμίζει την ομώνυμη ταινία. Το ενδιαφέρον είναι ότι ο χρήστης δε γνωρίζει ποιους ήχους και με ποιον τρόπο και σκοπό αυτές επεξεργάζονται· αποτελεί έτσι ένα παιχνίδι για το χρήστη. Το project αυτό είναι ξεκίνησε από τους ίδιους τους δημιουργούς της δημοφιλούς ταινίας.

1.1.3 Ανέπαφος έλεγχος μέσω ανίχνευσης της κίνησης.

Η ομάδα Bose AR ασχολείται με την επαυξημένη πραγματικότητα στον ήχο. Σε ζωντανές αλλά και μαγνητοσκοπημένες επιδείξεις της, έχουν παρουσιαστεί παραδείγματα διάδρασης της κίνησης ή της στάσης του/της χειριστή με συστήματα αναπαραγωγής ήχου και μουσικής, με σκοπό την εφαρμογή των τεχνικών της στην επιστήμη και την ψυχαγωγία [10].

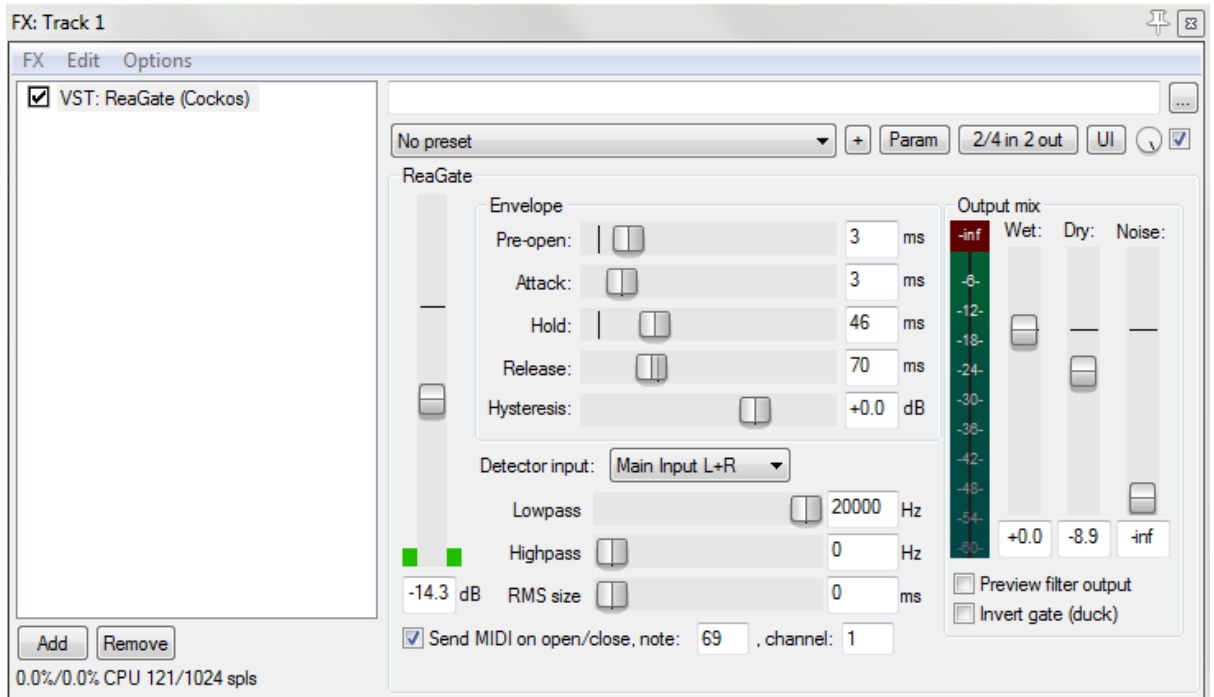
1.2 Η συνύπαρξη φυσικού και συνθετικού ήχου στη Μουσική Παραγωγή

Άμεσα σχετική με την παρούσα εργασία είναι η αυτοματοποιημένη επαύξηση μουσικών φθόγγων και φράσεων· κάτι που οι μουσικοί παραγωγοί επιζητούν όλο και περισσότερο. Από τις πλέον διαδεδομένες τεχνικές μουσικής παραγωγής είναι η **Gate Triggering**, κατά την οποία ένας ήχος (συνήθως η ακολουθία ενός ταμπούρου ή μπότας) λειτουργεί ως οδηγός ώστε ο δυναμικός επεξεργαστής να επιτρέπει ή όχι το άκουσμα ενός

θορύβου ή τόνου. Ακόμα, η τεχνική αυτή έχει αποτελέσει τον πρόγονο του **MIDI Gate** της Steinberg, που φέρεται να είναι η πρώτη [11] αναφορά σε VST plugin που επέτρεψε στον Gate επεξεργαστή να αποστέλλει MIDI μηνύματα, έτσι ώστε να συνδυάζει τον ηχογραφημένο ήχο με επιπλέον ήχους από γεννήτριες ή samplers και έτσι να έχουμε αυτόματη επιστρωμάτωση των ήχων, με δυναμικό μάλιστα έλεγχο. Τη λογική ακολούθησαν και εξέλιξαν πολλά plugins, με αξιοσημείωτα το **DrumXchanger** της SPL το **Drumagog** της Wave Machine Labs, το **Slate Trigger** και φυσικά το **ReaGate** της Cockos, το οποίο και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Αξίζει να αναφερθεί επίσης το virtual όργανο «**Subsonic**» της Roland, το οποίο υπάρχει σε samplers όπως το SP-404. Το Subsonic, όπως προδίδει το όνομά του, δημιουργεί ημιτονοειδή σήματα με συχνότητες χαμηλότερες από αυτές που υπάρχουν στο σήμα εισόδου, όταν το level αυτού ξεπερνά ορισμένο threshold. Ο/Η χρήστης/μουσικός ορίζει το threshold, όπως και την τονικότητα / συχνότητα του ημιτονοειδούς σήματος.



Εικόνα 2: Steinberg MIDI Gate, ο πρώτος ολοκληρωμένος συνδυασμός του πρωτοκόλλου MIDI με το Gate Triggering



Εικόνα 3: Cockos Reagate, το stock plug-in του Reaper, με ενεργοποιημένη την αποστολή MIDI messages

Άλλες εφαρμογές απαντώνται σε plug-ins μουσικής παραγωγής, όπως το **MaxxBass** της Waves, το οποίο, όπως και άλλα freeware plug-ins, χρησιμοποιεί μεθόδους ψυχοακουστικής για να δημιουργήσει συσχετισμένες με τον ήχο του μπάσου συχνότητες, με σκοπό την ακρόαση ενός τέτοιου οργάνου από ηχεία που αδυνατούν να αναπαράγουν χαμηλές συχνότητες. Συγκεκριμένα, το σήμα εισόδου χωρίζεται σε δύο μέρη με συγκεκριμένη crossover συχνότητα. Οι υψηλές συχνότητες απλώς μεταφέρονται στην έξοδο (που προστίθεται πίσω στα μπάσα). Το χαμηλών συχνοτήτων σήμα αναλύεται από τον επεξεργαστή MaxxBass, ο οποίος δημιουργεί μια συγκεκριμένη σειρά αρμονικών αυτών των χαμηλών συχνοτήτων. Δεδομένου ότι η δυναμική και η ένταση του αυθεντικού μπάσου είναι παράλληλες με τις επιπρόσθετες αρμονικές, το αποτέλεσμα είναι η πιο φυσιολογικής αντίληψης και ομαλή ενίσχυση του αρχικού μπάσου ήχου [12]. Σκοπός του εργαλείου αυτού είναι να επιτρέψει την ακρόαση των μπάσων οργάνων από ηχεία που δεν μπορούν να αναπαράγουν χαμηλές συχνότητες.

Τέλος, όσον αφορά τις εφαρμογές στη μουσική παραγωγή, αξίζει να σημειωθεί η περίπτωση των λεγομένων **Hyper-Instruments**. Το πρώτο project σχετικό με τα hyper-instruments ξεκίνησε το 1986 με επικεφαλής τον Tod Machover, με σκοπό να επαυξήσει τα ακουστικά μουσικά όργανα βιρτουόζων μουσικών. Λίγα χρόνια μετά, το project

επικεντρώθηκε στην κατασκευή εκλεπτυσμένων μουσικών οργάνων και μουσικών συστημάτων διάδρασης για ερασιτέχνες μουσικούς [13].

Παρ' όλα αυτά, η επαύξηση των ήχων δεν είναι κάτι καθιερωμένο στο χώρο της σύνθεσης, τουλάχιστον τυπικά. Συγγράμματα που ασχολούνται με τη σύνθεση ήχου δε συμπεριλαμβάνουν κατηγορίες layering, ίσως για το λόγο ότι τέτοιου είδους μέθοδοι σχετίζονται ιστορικά περισσότερο με την **Tape Music** και του ηχητικού σχεδιασμού σε μια πιο αφηρημένη εκδοχή, για παράδειγμα η τεχνική Sound on Sound, κατά την οποία ο δείκτης διαγραφής από τη μαγνητοταινία σταματά να λειτουργεί πριν το δείκτη της ηχογράφησης, ώστε να προκύψει το πρώτο layering [14]. Ωστόσο, υπάρχουν και εξαιρέσεις, όπως για παράδειγμα τεχνικές οι οποίες επιτρέπουν το ηχητικό σήμα να εισέλθει ως είσοδος στην τεχνική σύνθεσης, και ένα τέτοιο παράδειγμα φαίνεται μέσα από τη χρήση Συνήθων Διαφορικών Εξισώσεων στην εργασία [15]. Κοντινές προσεγγίσεις πάνω σε αυτό θα μπορούσε να πει κανείς ότι είναι η τεχνική **Physical Modelling**, που χρησιμοποιούν μαθηματικές εξισώσεις για να προσομοιώσουν ένα φυσικό “μοντέλο παραγωγής ήχου” και στη συνέχεια αξιοποιούν το μοντέλο αυτό για την παραγωγή ενός συνθετικού ήχου. Οι τεχνικές αυτές σήμερα έχουν φτάσει ακόμα και στα χαμηλού κόστους synthesizers [16]. Ωστόσο, ως σκοπό έχουν περισσότερο να αναπαράγουν την πραγματικότητα, παρά να την επαυξήσουν.

1.3 Σκοπός της εργασίας

Όπως παρατηρήθηκε στην έρευνά μας όσον αφορά την τρέχουσα πραγματικότητα στον εν λόγω χώρο, τα δημοφιλή projects που να στοχεύουν στη συνύπαρξη του φυσικού και του συνθετικού ήχου ως προϊόν εκτός του ελεύθερου και αφηρημένου χώρου της μουσικής είναι λίγα. Θεωρούμε λοιπόν ότι είναι σκόπιμο να υπάρξει κάποιο παράδειγμα επέμβασης στη μορφολογία του ήχου. Η εργασία θα εξετάσει την αποδοχή του κοινού κατά την ακρόαση κρουστικών ήχων, επαυξημένων με απλούς ήχους που παράχθηκαν με απλές τεχνικές, όπως ένας καθαρός τόνος (ημίτονο) ή ένας ροζ θόρυβος με ζωνοδιαβατό (bandpass) φίλτρο κλπ. Τα κριτήρια αξιολόγησης κεντρίζουν στην αισθητική των υποκειμένων και του συγγραφέα, ενώ η τεχνική παραμένει απλή για να μπορέσει να υπάρξει ένα συμπέρασμα, συγκριτικό με τα εργαλεία μουσικής παραγωγής που προαναφέρθηκαν. Αυτό σημαίνει πως παράλληλα εξετάζεται αν ένα καλαίσθητο και καλλιτεχνικά ή εμπορικά «χρήσιμο» αποτέλεσμα απαιτεί

γνώσεις εκτενέστερες από αυτές που τυπικά διαθέτει ένας μουσικός ή ένας ηχολήπτης στη μουσική παραγωγή.

2 Πείραμα

2.1 Μεθοδολογία

Το πείραμα ξεκινά με την **ηχογράφηση** κρουστικών ήχων από καθημερινά αντικείμενα. Στη συνέχεια γίνεται επένδυση (layering) με ήχους παραγμένους από προσθετική και αφαιρετική σύνθεση, καθώς και με τις ίδιες τις ηχογραφήσεις σε επεξεργασμένη μορφή. Επόμενο βήμα είναι η κανονικοποίηση (normalization) των ηχητικών προϊόντων ως προς την Ακουστότητά τους και η διαλογή τους, ώστε να εισαχθούν σε ερωτηματολόγια, τα οποία θα διανεμηθούν στο κοινό. Τα αποτελέσματα από τα ερωτηματολόγια, εν τέλει, αναλύονται, ώστε να μας οδηγήσουν σε ορισμένα συμπεράσματα όσον αφορά την αισθητική αποδοχή των δοκιμών που επιχειρήθηκαν.

2.2 Ηχογράφηση αντικειμένων

Η έρευνα θα ασχοληθεί με **κρουστικούς ήχους** (impact sounds), ήχους δηλαδή σύντομης συνολικής διάρκειας με εμφανώς μικρότερο attack από release time, υψηλό ρυθμό απόσβεσης (decay rate) και μηδενικό ή αμελητέο sustain time. Για την πειραματική διαδικασία θα ηχογραφηθούν φυσικοί ήχοι που θα καλύπτουν τις παρακάτω αναγκαίες διαφοροποιήσεις:

Ως προς το υλικό, αντικείμενα από:

- Ξύλο
- Πλαστικό
- Μέταλλο (ή μεταλλικά κράματα)
- Γυαλί

Ως προς τον όγκο, αντικείμενα:

- Μεγάλου όγκου
- Μικρού όγκου

Ο λόγος της διαφοροποίησης είναι ότι ο και ο ρυθμός απόσβεσης και οι τρόποι ταλάντωσης (ιδιοσυχνότητες) καθορίζονται μεταξύ άλλων από τον όγκο και το υλικό του αντικειμένου. Οι ίδιοι παράγοντες, με σημαντικότερο τον πρώτο είναι καθοριστικοί και για την ακουστική αναγνώριση των υλικών από τον άνθρωπο [17].

Εν τέλει, επιλέχθηκαν τα παρακάτω παραδείγματα:

- Μεταλλική Πόρτα (μέταλλο/μεγάλο)
- Μεταλλικός Δίσκος (μέταλλο/μικρό)
- Πλαστικό Βαρέλι (πλαστικό/μεγάλο)
- Πλαστικό Μπουκάλι Νερού (πλαστικό/μικρό)
- Γυάλινο Ποτήρι Νερού (γυαλί/μικρό)
- Ξύλινη Πόρτα (ξύλο/μεγάλο)
- Ξύλινο Κουτί (ξύλο/μικρό)

2.3 Παραγωγή συνθετικών ήχων

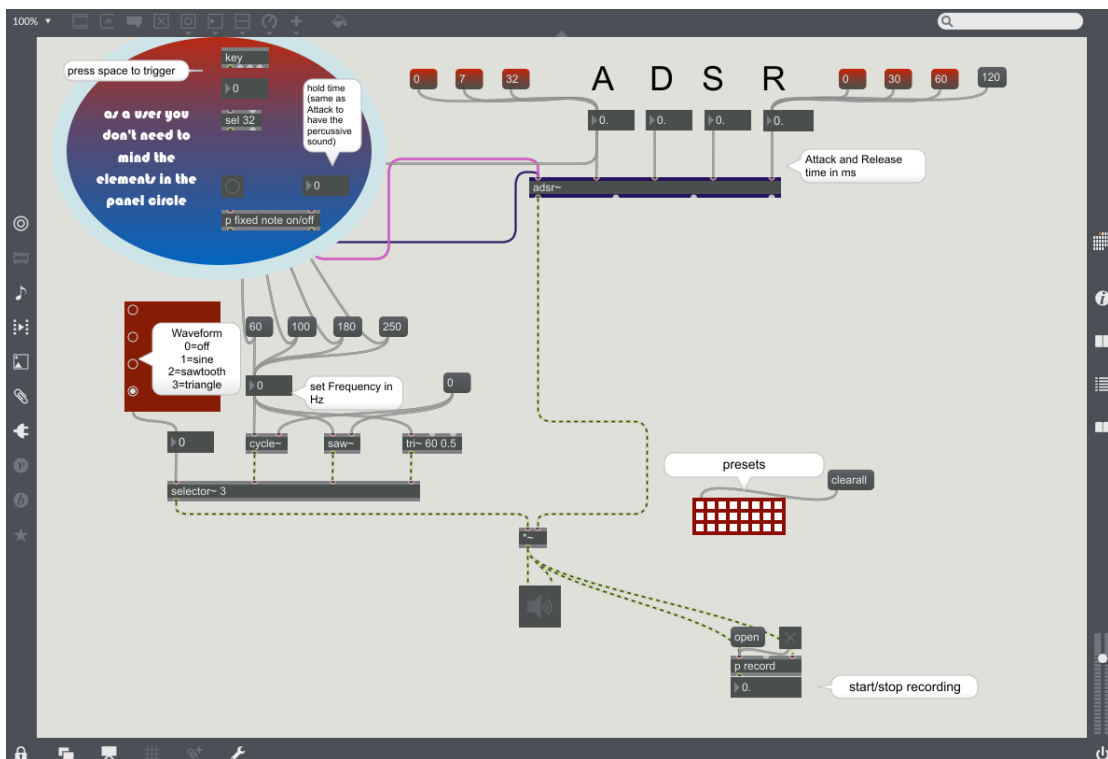
Στην ίδια λογική, θα δημιουργηθούν 4 ομάδες συνθετικών ήχων.

- Εκθετικά αποσβενόμενοι καθαροί τόνοι με διαφοροποίηση στη συχνότητα και το release time
- Ήχοι από αφαιρετική σύνθεση με διαφοροποίηση στην κεντρική συχνότητα και το release time
- Ήχοι παραγόμενοι από μεταβολή της συχνότητας δειγματοληψίας των ηχογραφήσεων.

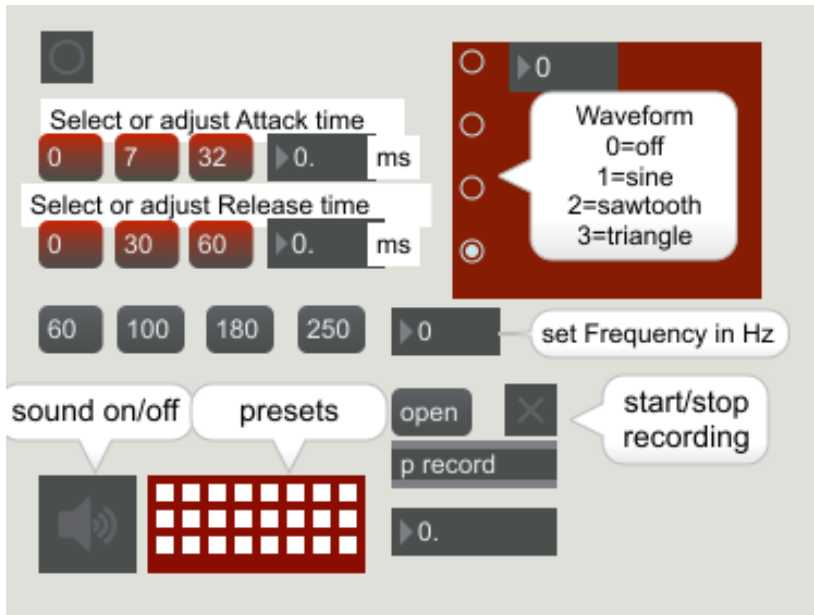
Για την κατασκευή των συνθετικών ημιτονοειδών ήχων χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον Max/Msp 7 της Cycle74. Συνοπτικά, στο patch για την κατασκευή των

προσθετικών ήχων δημιουργήθηκε ένα envelope engine τύπου ADSR με σταθερό στα 0ms Decay και στο 1/1 Sustain level. Ουσιαστικά, διαχειριζόμενοι μόνο τα Attack και Release, επιτυγχάνουμε μια απλή περιβάλλουσα, η οποία θα μεταβάλλει τη στάθμη των ήχων. Για να κρατήσουμε το sustain time στο 0, και έτσι να διατηρήσουμε την αντίληψη κρουστικού ήχου, δημιουργήθηκε ένας μηχανισμός που στέλνει «on» και «off» μηνύματα. Η εντολή «on» εκτελείται με τη χρήση του space button και η «off» εκτελείται αυτοματοποιημένα με χρονική διαφορά ίση με το Attack time (σταθερά στα 15ms).

Το ίδιο περιβάλλον φιλοξένησε και το synth της αφαιρετικής σύνθεσης. Η διαφορά εδώ είναι ότι αντί για γεννήτρια ημιτονοειδούς ταλάντωσης, χρησιμοποιήθηκε γεννήτρια ροζ θορύβου και bandpass φίλτρου, με οριζόμενη από το χρήστη κεντρική συχνότητα και σταθερό παράγοντα εύρους (Q=5). Η παραγωγή του ADSR envelope είναι η ίδια, όπως και η αυτοματοποίηση του on/off μηνύματος.



Εικόνα 4: Το patch προσθετικής σύνθεσης σε edit mode



Εικόνα 5: Το patch προσθετικής σύνθεσης σε presentation mode

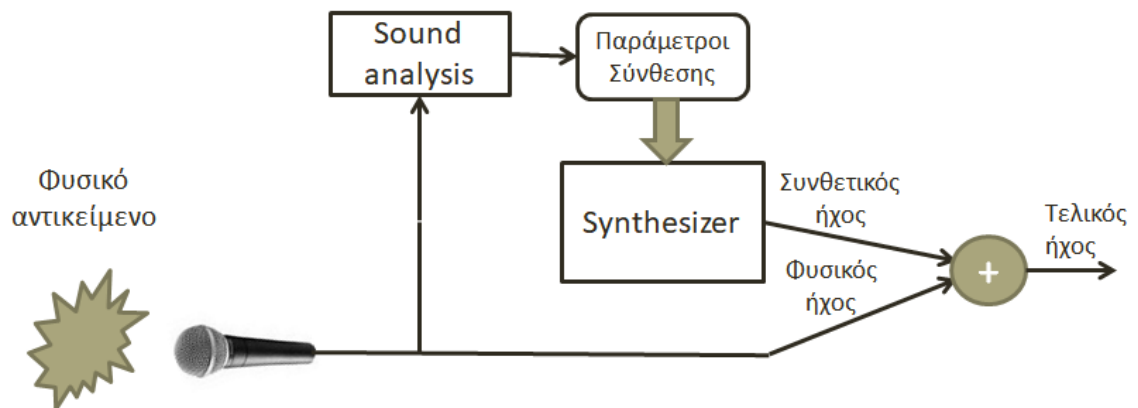
2.4 Χρήση δευτερευόντων κρουστικών ήχων

Στα πλαίσια της έρευνας θα δοκιμασθεί και η περίπτωση layering των φυσικών ήχων που ηχογραφήθηκαν με ήχους ηχογραφημένους από φυσικό drum kit. Συγκεκριμένα, μία μπότα και ένα ταμπούρο.

2.5 Τεχνικές επανα-δειγματοληψίας (resampling)

Τεχνικές επαναδειγματοληψίας σήματος αξιοποιήθηκαν ως μέσο για τη δημιουργία εκδοχών του φυσικού ήχου που είναι τονικά μετατοπισμένες και χρονικά διευρυμένες. Εν αντιθέσει με τις τεχνικές pitch-shift, οι οποίες μπορούν να μετατοπίσουν τον αρχικό ήχο τονικά χωρίς να επηρεάσουν τα χρονικά του χαρακτηριστικά (πχ διάρκεια), η τεχνική της επαναδειγματοληψίας αλλάζει τόσο τα τονικά όσο και τα χρονικά χαρακτηριστικά του ήχου. Η επαναδειγματοληψία έγινε με χρήση της **Matlab** εντολής resampling χρησιμοποιώντας γραμμική παρεμβολή. Η περίπτωση που εξετάστηκε ήταν επαναδειγματοληψία του σήματος σε συχνότητα δειγματοληψίας διπλάσια ή τριπλάσια ή τετραπλάσια από την αρχική και μετέπειτα αναπαραγωγή του αποτελέσματος στην αρχική συχνότητα δειγματοληψίας. Η τεχνική επομένως οδήγησε σε διπλασιασμό ή τετραπλασιασμό της διάρκειας του πρωταρχικού ήχου, με ταυτόχρονη μετακίνηση της φάσματος μία ή δύο οκτάβες προς τα

κάτω. Ο λόγος που δεν επιχειρήθηκε το ανάποδο, δηλαδή η αναπαραγωγή της ηχογραφημένης πληροφορίας σε πολλαπλάσια συχνότητα δειγματοληψίας, είναι ότι η προσέγγιση αυτή δεν θα ήταν εφικτή σε μια εφαρμογή πραγματικού χρόνου. Ο συγχρονισμός του φυσικού ήχου με τον επεξεργασμένο έγινε με χρήση τεχνικών ανίχνευσης αρχής [3].



Εικόνα 6: Η μέθοδος για την επαύξηση με επαναδειγματοληπτούμενους ήχους

2.6 Μίξη και εξαγωγή των τελικών ήχων

Η μίξη έγινε στο DAW **Reaper** της Cockos. Χρησιμοποιήθηκαν τα stock plug-ins **ReaFir** (FFT filter με τη δυνατότητα noise capturing), **ReaGate** (δυναμικός επεξεργαστής noise gate με τη δυνατότητα αποστολής midi μηνυμάτων κατά το «άνοιγμα» της πύλης) και το Loudness Meter της Youlean, με το οποίο έγινε η κανονικοποίηση (normalizing) της ακουστότητας σε συγκεκριμένα **LUFs**. Ο όρος εξηγείται παρακάτω.

2.7 Αντιμετώπιση δυσκολιών

Παρατηρήθηκαν οι εξής δυσκολίες:

Κατά την ηχογράφηση,

- Οι ήχοι δεν ηχογραφήθηκαν σε studio, οπότε ο θόρυβος περιβάλλοντος ήταν διαφορετικός κάθε φορά. Υπήρξε η προσπάθεια αφαίρεσής του με de-noiser plugins, αλλά με ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να μη αλλοιωθούν τα χρήσιμα μέρη της ηχογράφησης.

Δε βρέθηκε ικανοποιητικά μεγάλο μεγέθους γυάλινο αντικείμενο. Μια αισιόδοξη απόπειρα που έγινε ήταν η ηχογράφηση πολλών διαφορετικών ενυδρείων σε σχετικό εμπορικό κατάστημα, όμως κατά την ανάλυση, αποδείχθηκε ότι το υλικό plexi-glass έχει σημαντικά ταχύτερη απόσβεση από το γυαλί, οπότε οι ήχοι απορρίφθηκαν.

Κατά τη σύνθεση,

- Η επεξεργαστική ισχύς που απαιτούνταν για την παραγωγή ήχων με μηδενικό Attack time ήταν μεγαλύτερη από τα διαθέσιμα υπολογιστικά συστήματα. Επομένως χρησιμοποιήθηκε η ασφαλής τιμή των 15ms.

Κατά την επαύξηση/μείξη,

- Υπήρξαν περιπτώσεις που το φαινόμενο της επικάλυψης (masking) ήταν αναπόφευκτο. Ξέρουμε πως όσο πιο κοντινές είναι οι κεντρικές συχνότητες δύο ήχων, τόσο πιο δύσκολος είναι ο διαχωρισμός τους, καθώς η κεντρική μεμβράνη του αυτιού του δέκτη διεγείρεται στο ίδιο σημείο. Αυτό είναι κάτι που ίσως θέλουμε, από τη στιγμή που αναζητούμε ήχους που θα δίνουν την αίσθηση του ενιαίου. Από την άλλη, υπήρξαν περιπτώσεις που ο φυσικός ήχος ήταν κρίσιμα όμοιος με το επαυξημένο αποτέλεσμα, ακόμα και σε διαφορές στάθμης μεταξύ συνθετικού/επιπρόσθετου και φυσικού ήχου μεγαλύτερες των 6 dB. Ουσιαστικά, το κατώφλι ακουστότητας του επιπρόσθετου ήχου έφτανε σε επίπεδο τέτοιο, που η διαδικασία έπαυε να είναι σκόπιμη. Είναι προφανές, γνωρίζοντας και τη θεωρία του Kryter [18] ότι αυτό συνέβη κυρίως στις περιπτώσεις των ημιτονοειδών κυματομορφών, παρά σε αυτές του φιλτραρισμένου θορύβου, όπου η επικάλυψη είναι χαμηλότερη. Σε γενικές γραμμές, ακολουθήθηκε ο κανόνας του ISO 7779, κατά τον οποίο ένας τόνος είναι μόλις ακουστός και δεν «πνίγεται» από το θόρυβο όταν η στάθμη του είναι +4 dB, δεν κυριαρχεί όμως στο συνδυασμό όταν είναι κάτω από +6 dB και τα παραδείγματα που εκλέχθηκαν κατά τη διαλογή ήταν απαλλαγμένα από την περίπτωση του masking.
- Οι ηχογραφήσεις, καθώς και παραγωγή των συνθετικών ήχων, διέφεραν στην ακουστότητα μεταξύ τους. Γι' αυτό το λόγο, επήλθε κανονικοποίηση τους στα -22 με -24 LUFS. Η μονάδα **LUFS** (Loudness Units Full Scale) είναι ταυτόσημη με τα **LKFS** (Loudness K-weighted Full Scale). 1 LUFS ισούται με 1 dBFS σε φίλτρο K.

Κατά τη δημιουργία του ερωτηματολογίου,

- Η εύρεση μίας ηλεκτρονικής πλατφόρμας που και εύχρηστη θα ήταν, αλλά και θα μπορούσε να φιλοξενήσει/αναπαράγει ασυμπίεστα .wav αρχεία δεν ήταν ιδιαίτερα εύκολη. Για αυτό το λόγο, ανατέθηκε σε web designer η δημιουργία νέας πλατφόρμας μέσω **Wordpress**, με δυναμικό κώδικα.

3 Συζήτηση πάνω στην αντίληψη των κρουστικών ήχων και σχετικές έρευνες

Σε προηγούμενες έρευνες [19] έχει παρατηρηθεί πως οι ακροατές πολύ εύκολα αντιλαμβάνονται τις διαφοροποιήσεις στο υλικό των αντικειμένων, αλλά πολύ δύσκολα θα προσδιορίσουν τις γεωμετρικές διαφορές τους από την ακρόαση. Αυτό που στην περίπτωση μας ισχύει είναι πως σε ορισμένο υλικό και μέγεθος, προσθέτουμε στοιχεία αντί να αντικαθιστούμε, κάτι που ίσως αλλάζει την πληροφορία τόσο και για το υλικό, όσο και για το σχήμα-μέγεθος ταυτόχρονα. Ενδεχομένως, οι απαντήσεις που εκδηλώνουν μέτρια διαφορά των ήχων να μας οδηγήσει σε συμπεράσματα για την τροποποίηση της πληροφορίας του μεγέθους, ενώ οι πιο «θαρραλέες» απαντήσεις σε συμπεράσματα για τον τρόπο της δημιουργίας αίσθησης διαφορετικών υλικών. Κάτι ακόμα σχετικό με τον προσδιορισμό υλικού και σχήματος-μεγέθους είναι η σχετική έρευνα του MIT [20] η οποία μας δείχνει ότι η αντίληψη του υλικού εξαρτάται μεταξύ άλλων και από το ρυθμό απόσβεσης των συνιστωσών του ηχητικού αντικειμένου, ενώ το μέγεθος συνδέεται άμεσα με το τονικό ύψος. Κάτι προφανές, ακόμα και στον κόσμο της popular μουσικής, να προστεθεί όμως η πληροφορία που μας δίνεται από τον Kuttruff [20], ότι σε πολύπλοκες δομές, η πυκνότητα των ιδιοσυχνοτήτων αυξάνεται στις ψηλές συχνότητες, με αποτέλεσμα κάποιοι τρόποι ταλάντωσης να επικαλύπτονται από κάποιους άλλους (καθώς είναι κοντά συχνοτικά).

Σημαντική αναφορά επίσης, ενδεχομένως είναι το πείραμα του Repp [21] κατά το οποίο τα υποκείμενα μπόρεσαν να προσδιορίσουν το φύλο των ανθρώπων από τα «παλαμάκια» τους μόνο κατά 13% σωστά, ενώ μπόρεσαν να εντοπίσουν τα δικά τους χέρια κατά 46%. Κάτι το οποίο δείχνει τη σημαντικότητα της επανάληψης και της ακουστικής μνήμης σε πειράματα σαν το τρέχον.

Επίσης, όσον αφορά την αναγνώριση ενός κρουστικού ήχου, σημαντικό ρόλο ενδέχεται να παίζει και η θέση του εκπομπού σώματος σε σχέση με το δέκτη. Σε πείραμα των Στεφανάκη, Μαστοράκη και Μουχτάρη [5] βλέπουμε πως οι φασματικές διαφορές του ίδιου ήχου εκπεμπόμενου από διαφορετική θέση επαρκούν για να γίνει σωστή διαλογή από ένα υπολογιστικό σύστημα με ένα ζεύγος μικροφώνων και θεωρούμε προφανές ότι η ανθρώπινη ακοή έχει μεγαλύτερη ικανότητα αναγνώρισης και ταυτοποίησης από αυτό.

4 Ερωτηματολόγιο και αποτελέσματα

Κατασκευάστηκε δομημένο ερωτηματολόγιο για τις ανάγκες της έρευνας. Το ερωτηματολόγιο διανεμήθηκε διαδικτυακά και συγγράφηκε στην Αγγλική γλώσσα, ώστε να συλλεχθεί ταχύτερα επαρκής αριθμός απαντήσεων. Ζητήθηκε από τα υποκείμενα να εξετάσουν τα ηχητικά παραδείγματα μόνο με τη χρήση ακουστικών. Το κυρίως ερωτηματολόγιο αποτελείτο από 2 μέρη:

4.1 Ερωτηματολόγιο

4.1.1 Αναγνώριση της φύσης των ήχων

Σε πρώτη φάση επιθυμούμε να εξετάσουμε την ικανότητα του κοινού να αναγνωρίσει τη μορφολογική προέλευση κάθε ηχητικού παραδείγματος. Σε αυτό το μέρος έγινε ακρόαση 50 παραδειγμάτων. Κάποιοι ήχοι ήταν οι αρχικές ηχογραφήσεις, κάποιοι ήταν προϊόντα σύνθεσης ήχου (π.χ. ένα ημίτονο ή μια από τις ηχογραφήσεις με το μισό ή το 1/3 του αρχικού sampling rate) και κάποιοι ήταν οι ηχογραφήσεις επαυξημένες με τους συνθετικούς ήχους. Τα παραδείγματα παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα.

Θεωρήθηκε ότι είναι πιθανό κάποια υποκείμενα να μην είναι εξοικειωμένα με τον όρο “Augmentation”, οπότε οι ερωτήσεις ήταν αν ο/η ακροατής/τρια πιστεύει ότι αυτό που ακούει είναι «Φυσική Ηχογράφιση», «Συνθετικός Ήχος» ή «Μίξη φυσικού ήχου με συνθετικό».

SOUND SURVEY

Stelios Spanakos

SOUND AUGMENTATION LISTENING TEST

STEP 1

This is a Psychoacoustics listening test featured to a survey on Augmented Reality possibilities in the field of sound. Thanks for taking part in this. It's kindly requested that you use headphones to complete it.

This is the first step. You will listen to 50 audio clips of impact sounds. Some of them are real objects recorded, some are electronically produced and some of them are real recordings augmented with synthesized sounds or with some percussive musical instrument, such as a kick or a snare. You are asked to select the category in which you believe each sound belongs. Please, do not change your selection after listening the next sounds and do not listen to each sound more than twice.

[Continue to vote](#)

STEP 2

In this step, you are going to listen to 7 recordings of impacting different objects. Below each recording, there are different examples of them augmented with electronic sounds or drum parts. You are called to answer the questions, based on aesthetic criteria. Please use headphones.

[Continue to vote](#)

Proudly powered by WordPress

Εικόνα 7: Εισαγωγή Ερωτηματολογίου

SOUND AUGMENTATION LISTENING TEST

STEP 1

1.

▶ 0:00 / 0:02 🔊 ⋮

Natural Recording Synthesized Sound Mixed Sounds

2.

▶ 0:00 / 0:02 🔊 ⋮

Natural Recording Synthesized Sound Mixed Sounds

3.

▶ 0:00 / 0:02 🔊 ⋮

Natural Recording Synthesized Sound Mixed Sounds

4.

▶ 0:00 / 0:02 🔊 ⋮

Natural Recording Synthesized Sound Mixed Sounds

5.

▶ 0:00 / 0:02 🔊 ⋮

Natural Recording Synthesized Sound Mixed Sounds

6.

▶ 0:00 / 0:05 🔊 ⋮

Natural Recording Synthesized Sound Mixed Sounds

7.

▶ 0:00 / 0:02 🔊 ⋮

Natural Recording Synthesized Sound Mixed Sounds

8.

Εικόνα 8: Ερωτηματολόγιο: Πρώτο Μέρος

4.1.2 Αξιολόγηση των παραδειγμάτων

Στο δεύτερο μέρος οι ακροατές καλούνται να κρίνουν το πόσο διαφορετικό ακούγεται το έκαστο ηχητικό παράδειγμα και κατά πόσο το αισθητικό αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό, αφού πρώτα ακροαστούν την αυθεντική ηχογράφιση (που δεν έχει υποστεί επαύξηση) για κάθε παράδειγμα. Οι ακροατές εξακολουθούν να μη γνωρίζουν το συνθετικό μέρος των ηχητικών δειγμάτων που ακούν.

The screenshot displays a mobile application interface for audio evaluation, titled "STEP 2". It shows a sequence of steps for comparing an original audio sample with three examples. Each step includes a play button, a progress bar, and a question about how different the example is from the original (scale 1-5) and whether it is aesthetically better (Yes/Neutral/No).

- Step 1:** "Metal Door (dry)". Includes a play button and a progress bar (0:00 / 0:04). Below it is an "OK" button.
- Step 2:** "Metal Door - ex.1". Includes a play button and a progress bar (0:00 / 0:04). Below it is the question: "How different from the original do you find this example? (1=exactly the same, 5=really different)". Below the question are five radio buttons labeled 1, 2, 3, 4, and 5.
- Step 3:** "Do you find it aesthetically better than the original?". Below the question are three radio buttons labeled Yes, Neutral, and No.
- Step 4:** "Metal Door - ex.2". Includes a play button and a progress bar (0:00 / 0:04). Below it is the question: "How different from the original do you find this example? (1=exactly the same, 5=really different)". Below the question are five radio buttons labeled 1, 2, 3, 4, and 5.
- Step 5:** "Do you find it aesthetically better than the original?". Below the question are three radio buttons labeled Yes, Neutral, and No.
- Step 6:** "Metal Door - ex.3". Includes a play button and a progress bar (0:00 / 0:05). Below it is the question: "How different from the original do you find this example? (1=exactly the same, 5=really different)". Below the question are five radio buttons labeled 1, 2, 3, 4, and 5.
- Step 7:** "Do you find it aesthetically better than the original?". Below the question are three radio buttons labeled Yes, Neutral, and No.
- Step 8:** "Metal Shiled (dry)". Includes a play button and a progress bar (0:00 / 0:03). Below it is an "OK" button.
- Step 9:** "Metal Shield - ex.1".

Εικόνα 9: Ερωτηματολόγιο: Δεύτερο Μέρος

Η διαδικτυακή διακίνηση του ερωτηματολογίου τερματίστηκε όταν και στα 2 βήματα ξεπεράστηκε το πλήθος των 50 υποκειμένων. Συγκεκριμένα, πήραμε απαντήσεις από 54 υποκείμενα στο πρώτο μέρος και 52 στο δεύτερο. Για την ευκολία της ανάλυσης, τα αποτελέσματα καταγράφηκαν σε μορφή ποσοστού επί τοις εκατό.

4.2 Ανάλυση δεδομένων – Συμπεράσματα

4.2.1 Ανάλυση δεδομένων και συμπεράσματα από το πρώτο μέρος

- Ως προς το είδος της πηγής, οι ακροατές έδειξαν να μπορούν να αναγνωρίσουν τους συνθετικούς ήχους ως συνθετικούς.
- Βλέπουμε το πλαστικό βαρέλι σε συνδυασμό με «τον εαυτό του» στη μισή συχνότητα δειγματοληψίας να συλλέγει κατά 22% «Natural», 39% «Synth» και 39% «Mixed» απαντήσεις. Όμως, το γυάλινο ποτήρι νερού στην ίδια συνθήκη επαύξησης να απαντάται με 70%, 9% και 21% αντίστοιχα και η μεταλλική πόρτα 44%, 7%, 49% αντίστοιχα-ποσοστά που δείχνουν μεγαλύτερη τάση προς το “Natural” από ότι οι υπόλοιπες augmented περιπτώσεις. Συμπέρασμα είναι ότι είναι πιο εύκολο να πάρουμε απαντήσεις “Natural” όταν πραγματοποιούμε επαύξηση ενός κρουστικού ήχου με **μεγάλο release time** με τον εαυτό του επαναδειγματολειπούμενο σε **μικρότερο sampling rate**.
- Ως προς το υλικό και τη διάρκεια, φαίνεται η σχετικά μεγάλη τάση του κοινού να θεωρεί πιο "αφύσικες" τις μίξεις φυσικών ήχων με συνθετικούς, όσο ο χρόνος απόσβεσης του φυσικού μέρους είναι μικρότερος. Συγκεκριμένα, όλες σχεδόν οι επαυξήσεις στα ξύλινα υλικά απαντήθηκαν κατά σχετική πλειοψηφία "Synthetic", ενώ στα υπόλοιπα υλικά οι απαντήσεις τείνουν προς το "Mixed", με εξαίρεση το πλαστικό μπουκάλι, το οποίο επίσης είναι ήχος πολύ μικρότερης διάρκειας σε σχέση με την πλειοψηφία των πηγών και είχε κάποια παραδείγματα που απαντήθηκαν “Synthetic” και “Natural” (πχ μαζί με τόνο 1200 Hz που είναι και ο πρώτος συντονισμός τού απαντήθηκε κατά 59% Natural και με 40 Hz απαντήθηκε κατά 50% Synthetic).

- Τα μεγαλύτερα σε μέγεθος αντικείμενα επαυξημένα με ήχους ίδιου χρόνου απόσβεσης αναγνωρίζονται περισσότερο ως επαυξημένοι ήχοι, ενώ τα μικρότερα ως φυσικοί, χωρίς όμως να σημειώνεται στατιστικά σημαντική διαφορά.

4.2.2 Ανάλυση δεδομένων και συμπεράσματα από το δεύτερο μέρος

Για την ερώτηση σχετικά με την ομοιότητα, εφ' όσον είχαμε 52 υποκείμενα που μας έδωσαν απαντήσεις, είναι προφανές ότι το μικρότερο score που μπορεί να σημειωθεί είναι 52 και το μεγαλύτερο είναι 260. Θέλοντας να παρουσιάσουμε μια πιο σαφή μορφή των απαντήσεων, τα scores μεταφράστηκαν σε από την κλίμακα 100 (καμία διαφορά από τον αυθεντικό ήχο) έως 500 (απόλυτη διαφορά) σε 0-100% με στρογγυλοποίηση στο ακέραιο μέρος. Αυτό έγινε αυτοματοποιημένα με χρήση της εντολής "scale" του περιβάλλοντος Max 7.

Όσον αφορά την ομοιότητα με το πρωτότυπο,

- Η πρώτη παρατήρηση είναι ότι από τα 28 προς ακρόαση παραδείγματα, τα 19 αξιολογήθηκαν ως πάνω από 50% διαφορετικά από την αυθεντική ηχογράφιση
- Παρατηρούμε επίσης ότι η αντίληψη της διαφορετικότητας του επαυξημένου προϊόντος από το αυθεντικό εξαρτάται τελικά περισσότερο από τι ιδιότητες του φυσικού μέρους, παρά από την τεχνική σύνθεσης που εφαρμόζεται.
- Τα επίπεδα σε περιπτώσεις επαύξησης με ήχους που έχουν τυχαία τονικότητα και διάρκεια είναι από φυσιολογικά έως υπερβολικά υψηλά, ενώ οι περιπτώσεις με συνθετικούς ήχους πολύ μικρής διάρκειας είναι από φυσιολογικά έως μηδαμινά.
- Ο συνθετικοί ήχοι που δημιουργούσαν διακρότημα με τους πρώτους συντονισμούς των φυσικών αντικειμένων, αποτέλεσαν σε μεγαλύτερο βαθμό διαφοροποίησης όταν προήλθαν από αφαιρετική σύνθεση, παρά από όταν καθαροί τόνοι.

Όσον αφορά την αξιολόγηση με αισθητικά κριτήρια, τα αποτελέσματα ήταν αρνητικά. Η ερώτηση ήταν εάν το έκαστο ηχητικό παράδειγμα ήταν πιο όμορφο από την αυθεντική ηχογράφιση και υπήρχαν οι απαντήσεις *Yes*, *Neutral*, και *No*. Αυτό που αρχικά θα θέλαμε είναι να πάρουμε αρκετές απαντήσεις με το λόγο $(Yes-No)/(Yes+Neutral+No)$ να είναι θετικός αριθμός. Το κοινό έδειξε να μην αποδέχεται την τεχνική του layering με απλούς συνθετικούς ήχους πάνω στις υπάρχουσες ηχογραφήσεις, ειδικά όταν δεν υπάρχει κάποια αρμονική σύνδεση. Στις περιπτώσεις που εμφανίζεται συμφωνία της τονικότητας του

συνθετικού μέρους με τον πρώτο συντονισμό του φυσικού ή ακέραιας υποδιαίρεσής του υπάρχουν κάποιες θετικές απαντήσεις και αρκετές με αρνητικό πρόσημο μεν, αλλά με απόλυτη τιμή μικρότερη από ότι στα διάφωνα παραδείγματα. Αν λάβουμε υπόψιν πως τα παραδείγματα εκλέχθηκαν ανάμεσα σε ένα μεγαλύτερο πλήθος με βάση τα **αισθητικά** κριτήρια του συγγραφέα, συμπεραίνουμε ότι τα αποτελέσματα θα ήταν μάλλον χειρότερα με την παρουσίαση όλου του πλήθους των παραδειγμάτων. Εν τέλει λοιπόν, η επαύξηση των φυσικών ήχων για αισθητικούς σκοπούς ίσως επιδέχεται τεχνικές αυτοματισμού ή πολυπλοκότερα συνθετικά μέρη και αυτό είναι ενδεχομένως μια πρόταση για περαιτέρω έρευνα.

4.2.3 Γενικά συμπεράσματα

-Θα έπρεπε να έχουμε περισσότερα παραδείγματα για κάθε περίπτωση επαύξησης (δηλαδή το ίδιο αντικείμενο σε συνδυασμό με περισσότερες περιπτώσεις συνθετικού ήχου). Ωστόσο αυτό θα μεγάλωνε πολύ τη διάρκεια του τεστ και θα το έκανε ιδιαίτερα κουραστικό για το κοινό. Μια λύση θα ήταν να δημιουργηθούν περισσότερα του ενός εκδοχές του τεστ ακρόασης, και αυτές να αντιστοιχούνται εναλλάξ σε κάθε ακροατή.

-Από τις απαντήσεις, δε φαίνεται να μπορεί να πει κανείς ότι υπάρχει κάποια καθολικά αποτελεσματική τεχνική σύνθεσης και παράμετροι σύνθεσης για την επαύξηση. Αναδύεται λοιπόν το συμπέρασμα ότι οι παράμετροι που δημιουργούν το συνθετικό ήχο θα πρέπει να εξαρτώνται από τα ηχητικά χαρακτηριστικά του φυσικού ήχου, τόσο χρονικά όσο και φασματικά.

Βιβλιογραφία

- [1] *Τι είναι η Επαυξημένη Πραγματικότητα;* (2016). Retrieved 2019, from <http://augmented.edtech.gr/η-ε-π-στην-εκπαίδευση-ορισμοί-και-προοπ/>.
- [2] Augmented Audio www.augmentedaudio.com
- [3] Bello, J. P., Daudet, L., Abdallah, S., Duxbury, C., Davies, M., & Sandler (2005), M. B., "A tutorial on onset detection in music signals." *IEEE Transactions on speech and audio processing* **13**(5), pp. 1035-1047.
- [4] Stefanakis N., Mastorakis Y. and Mouchtaris A.. "Instantaneous Detection and Classification of Impact Sound: Turning Simple Objects into Powerful Musical Control Interfaces." In proceedings of joint ICMC-SMC conference (2014).
- [5] Stefanakis N., and Mouchtaris A., "A multi-sensor approach for real-time detection and classification of impact sounds." in *proceeding of European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, (2015).
- [6] Lenny Nilsson (2019).- Dohi Entertainment "Tabledrum" <http://www.tabledrum.com/>
- [7] Mogeos Pro <https://www.mogeos.co.uk/>
- [8] "Turn Your Table Into a Drum Kit!" <https://www.drumsanywhere.com/>
- [9] Tet Music <http://tetmusic.com/>
- [10] Bose Ar <https://www.bose.com/>
- [11] Walden, J. (2007). "Creating Rhythmic Effects with MIDI Gate", in SOUND ON SOUND.
- [12] Waves MaxxBass, User Manual: Chapter 2 - *How MaxxBass Works*
- [13] Tod Machover, "Hyperinstruments" - Massachusetts Institute Of Technology <https://opera.media.mit.edu/projects/hyperinstruments.html>
- [14] Martin Russ (2002) - *Sound Synthesis and Sampling, second edition - 1.4.1 Tape techniques - The analogue tape recorder*
- [15] Stefanakis N., Abel M. and Bergner A., "Sound synthesis based on ordinary differential equations." *Computer Music Journal*, **39**(3), pp. 46-58 (2015)..
- [16] *Physical Modeling - Mark Pierre Interview.* (2019). Applied Acoustic Systems. <https://www.applied-acoustics.com/techtalk/physicalmodeling/>
- [17] Klatzky, R. L., Pai, D. K., & Krotkov, E. P. (2000). Perception of material from contact sounds. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, **9**(4), 399-410

- [18] Σκαρλάτος Δ. (2012). *Εφαρμοσμένη Ακουστική* ISBN 978-960-9427-22-7 Gotsis.
- [19] Giordano, Bruno. (2005). *Sound source perception in impact sounds*
- [20] Aramaki, M., Martinet, R. K., Voinier, T., & Ystad, S. (2013, March 12). A Percussive Sound Synthesizer Based on Physical and Perceptual Attributes Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/3682002?origin=JSTOR-pdf&seq=1>
- [21] Repp, B. H. (1987). The sound of two hands clapping: An exploratory study. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **81**(4), 1100-1109.

5 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A. Οι ηχογραφήσεις και τα παραδείγματα επαύξησης που παρουσιάστηκαν στο ερωτηματολόγιο και οι απαντήσεις σε αυτό

Πρώτο Μέρος

Ηχητικό Παράδειγμα	Απαντήσεις % «Natural»	Απαντήσεις % «Synthetic»	Απαντήσεις % «Mixed»
<i>Ξύλινη Πόρτα (καθαρή)</i>	84	9	7
<i>Ξύλινο Μικρό Κουτί + Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 400Hz Μεγάλης Διάρκειας</i>	45	36	19
<i>Ξύλινο Μικρό Κουτί + Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 128Hz Σχετικά Μεγάλης Διάρκειας</i>	37	46	17
<i>Ξύλινο Μικρό Κουτί + Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 226Hz Ίδιας Διάρκειας</i>	25	12	63
<i>Ξύλινο Μικρό Κουτί + Ταμπούρο</i>	28	53	19
<i>Ξύλινο Μικρό Κουτί + Μπότα Drums</i>	30	48	22
<i>Μεταλλική Πόρτα (καθαρή)</i>	37	7	56

<i>Μεταλλική Πόρτα + ½ του αρχικού ρυθμού δειγματοληψίας</i>	44	7	49
<i>Μεταλλική Πόρτα + Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 60Hz Ίδιας Διάρκειας</i>	7	43	50
<i>Μεταλλική Πόρτα + Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 80Hz Μικρής Διάρκειας</i>	30	21	49
<i>Μεταλλική Πόρτα + Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 226Hz Μικρής Διάρκειας</i>	41	34	25
<i>Μεταλλικός Μεσαίος Δίσκος (καθαρός)</i>	53	23	24
<i>Μεταλλικός Μεσαίος Δίσκος + Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 60Hz Ίδιας Διάρκειας</i>	48	12	40
<i>Μεταλλικός Μεσαίος Δίσκος + Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 95Hz Μικρής Διάρκειας</i>	27	23	50
<i>Μεταλλικός Μεσαίος Δίσκος + Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 95Hz Ίδιας Διάρκειας</i>	54	18	28
<i>Μεταλλικός Μεσαίος Δίσκος + Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 40Hz Μικρής Διάρκειας</i>	35	28	37
<i>Μεταλλικός Μεσαίος Δίσκος + Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 60Hz Ίδιας Διάρκειας</i>	52	12	36
<i>Πλαστικό Βαρέλι (καθαρό)</i>	43	7	50

<i>Πλαστικό Βαρέλι + ½ του αρχικού ρυθμού δειγματοληψίας</i>	22	39	39
<i>Πλαστικό Βαρέλι + Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 60 Hz ίδιας διάρκειας</i>	39	29	32
<i>Πλαστικό Βαρέλι + Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 60 Hz Μεγάλης διάρκειας</i>	17	43	39
<i>Πλαστικό Βαρέλι + Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 400 Hz Μεγάλης διάρκειας</i>	25	12	63
<i>Πλαστικό Βαρέλι + Ταμπούρο</i>	30	25	45
<i>Πλαστικό Μπουκαλάκι Νερού + Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 421Hz</i>	50	30	20
<i>Πλαστικό Μπουκαλάκι Νερού + Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 40Hz</i>	38	48	14
<i>Πλαστικό Μπουκαλάκι Νερού + Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 320Hz</i>	28	36	35
<i>Πλαστικό Μπουκαλάκι Νερού + Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 421Hz</i>	32	50	18
<i>Πλαστικό Μπουκαλάκι Νερού + Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 320Hz</i>	59	12	29
<i>Πλαστικό Μπουκαλάκι Νερού + Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 421 Hz ίδιας διάρκειας</i>	12	62	25

Πλαστικό Μπουκαλάκι Νερού + Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 421 Hz Μεγάλης διάρκειας	40	25	35
Πλαστικό Μπουκαλάκι Νερού + Drum Μπότα	37	39	28
Γυάλινο Ποτήρι Νερού (καθαρό)	60	12	27
Γυάλινο Ποτήρι Νερού +½ του αρχικού ρυθμού δειγματοληψίας	70	9	21
Γυάλινο Ποτήρι Νερού + Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 1000Hz Μικρής Διάρκειας	34	16	50
Γυάλινο Ποτήρι Νερού +Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 60Hz Ίδιας Διάρκειας	30	13	57
Γυάλινο Ποτήρι Νερού + Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 1200 Hz	34	34	32
Γυάλινο Ποτήρι Νερού +Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 600Hz Μεγάλης Διάρκειας	54	21	25
Γυάλινο Ποτήρι Νερού +Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 1000Hz Μικρής Διάρκειας	33	12	55
Γυάλινο Ποτήρι Νερού +Drum Μπότα	64	13	23

Δεύτερο Μέρος

<i>Ηχητικό Παράδειγμα</i>	<i>Βαθμός διαφοροποίησης (%)</i>	<i>Αισθητική Αξιολόγηση (%)</i>
Μεταλλική Πόρτα		
+ Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 80 Hz Μικρής Διάρκειας	31%	-14%
+ ½ του Ρυθμού Δειγματοληψίας	54%	+29%
+ Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 60Hz Ίδιας Διάρκειας	80%	-9%
Μεταλλικός Μεσαίος Δίσκος		
+ Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 95 Hz Μικρής Διάρκειας	29%	-23%
+ Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 95 Hz Μεγάλης Διάρκειας	18%	-2
+ 1/3 του Ρυθμού Δειγματοληψίας	77%	-25%
+ Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 40Hz Μικρής Διάρκειας	26%	-6%

+ Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 95Hz Ίδιας Διάρκειας	49%	-44%
Πλαστικό Βαρέλι		
+ Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 60 Hz Ίδιας Διάρκειας	38%	+25%
+ Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 400 Hz Μεγάλης Διάρκειας	78%	-2%
+ Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 1180Hz Μεγάλης Διάρκειας	94%	0%
+ Ταμπούρο	72%	0%
Πλαστικό Μπουκαλάκι Νερού		
+ Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 420Hz Μικρής Διάρκειας	62%	-35%
+ Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 320Hz Ίδιας Διάρκειας	56%	-11%
+ Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 320Hz Ίδιας Διάρκειας	52%	-30%
Γυάλινο Ποτήρι Νερού		
+ Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 60Hz Ίδιας	52%	-33%

<i>Διάρκειας</i>		
<i>+ Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 600Hz Μεγάλης Διάρκειας</i>	67%	+43%
<i>+ Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 1000Hz Ίδιας Διάρκειας</i>	67%	-33%
<i>+ Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 1000Hz Ίδιας Διάρκειας</i>	67%	+27%
<i>+ Drum Μπότα</i>	25%	+6%
Ξύλινη Πόρτα		
<i>+ Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 300Hz Μικρής Διάρκειας</i>	64%	-51%
<i>+ Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 60Hz Ίδιας Διάρκειας</i>	69%	-17%
<i>+ Ροζ Θόρυβος με Ζωνοδιαβατό Φίλτρο 60Hz Μικρής Διάρκειας</i>	66%	-21%
Μικρό Ξύλινο Κουτί		
<i>+ Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 128Hz Μεγάλης Διάρκειας</i>	9%	+24%

+ Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 226Hz Ίδιας Διάρκειας	28%	-6%
+ Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 226Hz Μικρής Διάρκειας	55%	-25%
+ Εκθετικά Αποσβενόμενο Ημίτονο 400Hz Μεγάλης Διάρκειας	78%	-2%

B. Τα ηλεκτρονικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν

Hardware

Ψηφιακός Εγγραφέας Tascam Digital Recorder-22WL

Laptop Hewlett Packard EliteBook

Studio Ακουστικά Beyerdynamic DT 770 Pro 80 Ohm

Consumer Ακουστικά JBL Tune 100

Software

Room EQ Wizard (roomeqwizard.com)

Max 7 (Cycling'74)

Reaper (Cockos)

ReaFIR (Cockos)

ReaGate (Cockos)

Matlab (Mathworks)

Wordpress (Automattic)

Opera Browser (Opera Software AS)