



**ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ

**«ΕΚΤΕΛΕΣΗ/ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΗΣ JAZZ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΝΕΕΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ»**

**“Σχεδιασμός και κατασκευή δύο διαδραστικών συστημάτων
παραμετροποίησης ήχου της ηλεκτρικής κιθάρας”**

Όνοματεπώνυμο: Πιλαφτσής Αγαμέμνων

Αριθμός Μητρώου: 170404

Υπεύθυνη Καθηγήτρια: Ανδρεοπούλου Αρετή

Αθήνα

Οκτώβριος 2019

Τριμελής Επιτροπή

Κα. Γεωργάκη Αναστασία

Αναπληρώτρια καθηγήτρια, Αναπληρώτρια Πρόεδρος Τ.Μ.Σ., Διευθύντρια του Εργαστηρίου Μουσικής Ακουστικής και Τεχνολογίας

Κα. Αναγνωστοπούλου Χριστίνα

Αναπληρώτρια καθηγήτρια Τ.Μ.Σ., Διευθύντρια Εργαστηρίου Μουσικής, Γνωσιακών Επιστημών και Κοινότητας

Κα. Ανδρεοπούλου Αρετή

Επίκουρη καθηγήτρια του Τ.Μ.Σ., Τεχνολογίας Ήχου, Μουσικοπαιδαγωγικής και Βυζαντινής Μουσικολογίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα κυρίως να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα, επίκουρη καθηγήτρια του Τμήματος Μουσικών Σπουδών του Ε.Κ.Π.Α κα. Ανδρεοπούλου Αρετή, για τη συνεργασία και την πολύτιμη βοήθειά της στην ολοκλήρωση της. Θερμές ευχαριστίες και σε όλους τους καθηγητές του μεταπτυχιακού προγράμματος με κατεύθυνση «Εκτέλεση/Ερμηνεία της Τζαζ Μουσικής και Νέες Τεχνολογίες», την κα. Αναγνωστοπούλου Χ., τον κ. Λαδόπουλο Α., τον κ. Ντάνη Γ., τον κ. Βασιλάκη Δ. και τον κ. Μαλαφή Γ. για τις γνώσεις που μου προσέφεραν και ιδιαίτερα την κα. Γεωργάκη Αναστασία που έδωσε πνοή σε αυτό το νέο μεταπτυχιακό πρόγραμμα.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που με στήριξε και σε αυτήν την προσπάθεια μου.

Περιεχόμενα:

Σκοπός της παρούσας μελέτης – Στόχοι / Abstract	5
1. Εισαγωγή	7
1.1 State of the art.....	8
1.1.1 Διαδραστικοί ελεγκτές (interactive controllers)	8
1.1.2 Κατηγοριοποίηση των διαδραστικών ελεγκτών.....	9
1.1.3 Σύγχρονοι διαδραστικοί ελεγκτές.....	12
1.2 Μουσική διάδραση.....	17
1.3 OSC Protocol.....	18
1.3.1 Διαδραστικοί ελεγκτές που αλληλεπιδρούν με τη χρήση OSC.....	18
2. Σχεδιασμός διαδραστικού OSC ελεγκτή	23
2.1 Αξελερόμετρο / Επιταχυνσιόμετρο – ADXL330.....	23
2.2 Λειτουργικές κατηγορίες του διαδραστικού ελεγκτή.....	26
2.3 Λειτουργικά χαρακτηριστικά των τριών κατηγοριών.....	27
3. Δημιουργική εφαρμογή και κριτική αξιολόγηση του συστήματος	36
3.1 Εφαρμογή σε πιάνο με τη χρήση IR	36
3.2 Εφαρμογή σε ηλ. κιθάρα με τη χρήση MIDI Mapping – Αξελερόμετρου – IR.....	37
3.3 Κριτική αξιολόγηση.....	40
4. Σχεδιασμός Arduino Pedal	42
4.1 Τρόπος λειτουργίας Arduino.....	43
4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά Arduino Pedal.....	44
4.3 Θεωρητική ανάλυση του κυκλώματος.....	48
4.4 Προγραμματισμός Arduino IDE.....	50
5. Δημιουργική εφαρμογή και κριτική αξιολόγηση του PedalSHIELD Mega	51
5.1 Εφαρμογή των προγραμματιζόμενων ηχητικών εφέ.....	51
5.2 Εφαρμογή και αξιολόγηση του PedalSHIELD Mega.....	51
6. Συμπεράσματα	53
6.1 Διαδραστικός OSC ελεγκτής.....	53
6.2 PedalSHIELD MEGA.....	54
7. Επίλογος και Μελλοντικές κατευθύνσεις	55
7.1 Επίλογος.....	55
7.2 Μελλοντικές κατευθύνσεις.....	56
8. Βιβλιογραφία	57
9. Παράρτημα	60

Σκοπός της παρούσας μελέτης – Στόχοι

Στην παρούσα διπλωματική έρευνα, αρχικά θα παρουσιαστεί ο σχεδιασμός ενός διαδραστικού ελεγκτή παραμετροποίησης ήχου (interactive controller) με τη χρήση ενός αξελερόμετρου και των υπέρυθρων καμερών IR, καθώς και η αλληλεπίδραση και ο ηχητικός προγραμματισμός μεταξύ του ελεγκτή, ηλεκτρικών και ακουστικών οργάνων και ενός υπολογιστή. Στο δεύτερο σκέλος της παρούσας έρευνας, θα επιχειρηθεί η κατασκευή ενός προγραμματιζόμενου αναλογικού πολυεφέ ηλεκτρικής κιθάρας πολλαπλών επιλογών σε μορφή ‘pedal’, με τη χρήση μίας ηλεκτρονικής πλακέτας Arduino.

Τέλος, θα γίνει η καταγραφή των τεχνικών χαρακτηριστικών κατασκευής των δύο διαφορετικών συστημάτων παραμετροποίησης ήχου, ο τρόπος συνδεσμολογίας τους καθώς και η αλληλεπίδρασή τους με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Απώτερος σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η ανάδειξη της εξελισσόμενης τεχνολογίας καθώς και η επιρροή των νέων τεχνολογιών στον μουσικό του σήμερα.

Abstract

This thesis will introduce the design of an interactive sound controller using an accelerometer and infrared cameras, methods of programming and sound design, and the interaction between such a controller, electric and acoustic instruments, and the Digital Audio Workstation. It will then propose a design for a programmable analog multi-effect pedal for use with an electric guitar, using an electronic Arduino board. Technical construction characteristics will be provided for two sound configuration systems, their assembly method, and their interactions with a Digital Audio Workstation.

This thesis will illustrate how technological advances might influence and inspire the musicians of today.

1.Εισαγωγή

Προηγούμενες μελέτες από ερευνητικές ομάδες στον τομέα της μουσικής τεχνολογίας έχουν οδηγήσει σε μια μεγάλη γκάμα ηλεκτρονικών συστημάτων και τεχνολογιών που επιτρέπουν την αλληλεπίδραση και τον έλεγχο του ηχητικού σήματος (Alexander R.J et al., 2017, Wanderley M.M. et al., 2009). Η πλειονότητα των προσεγγίσεων που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα επικεντρώνονται στον έλεγχο των παραμέτρων σύνθεσης μέσω ενσύρματων ελεγκτών. Πλέον, οι ερμηνευτές/συνθέτες μπορούν να αλληλεπιδράσουν παραμετροποιώντας στοιχεία μιας σύνθεσης σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας την κίνηση του σώματος τους.

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η ύπαρξη της μουσικής μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή (computer music) είναι αδιαμφισβήτητη. Παρόλα αυτά, λίγοι είναι εκείνοι που θεωρούν ή αισθάνονται ότι “παίζοντας τον υπολογιστή” γεννιούνται συναισθήματα ταυτόσημα με αυτά που γεννιούνται παίζοντας κάποιο μουσικό όργανο (Wessel & Wright 2004). Προσωπικά θεωρώ, ότι οι γενιές οι οποίες πειραματίστηκαν και δημιούργησαν με κύριο γνώμονα τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και τα συνεχώς εξελισσόμενα τεχνολογικά μέσα, σημείωσαν βραδεία ανάπτυξη στην εξέλιξη της μουσικής σε σχέση πάντα με τις παλαιότερες γενιές. Μήπως η υπέρμετρη χρήση της τεχνολογίας σκοτώνει την μουσική δημιουργικότητα; Μήπως όμως στην αντίπερα όχθη, η έλλειψη πειραματισμού και έρευνας και ο συμβιβασμός με το κατεστημένο σκοτώνει την ίδια την εξέλιξη της μουσικής; Η αλήθεια βρίσκεται κάπου στη μέση και τα ερωτήματα θα επιχειρηθούν αν απαντηθούν στη συνέχεια.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονο ενδιαφέρον από την κοινότητα των μουσικών που ασχολείται με τις νέες τεχνολογίες, να διερευνήσει διαδραστικά συστήματα υψηλότερου επιπέδου που ελέγχονται από κινήσεις των χεριών, διαφόρων αντικειμένων ή και του σώματος (Wanderley & Depelle, 2004). Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν και αρκετές ερευνητικές ομάδες στον χώρο του αυτοσχεδιαστικού χορού, που έχουν υλοποιήσει την ιδέα έτσι ώστε ο οργανοπαίχτης/συνθέτης να είναι και ο φυσικός ερμηνευτής, συνήθως χορευτής. Αυτό υποστηρίζει την έννοια της συμβίωσης του δημιουργικού χορού και της μουσικής σύνθεσης μέσα σε ένα άτομο ή μια ομάδα ερμηνευτών και ενώνει την δημιουργική έκφραση (Camurri & Trocca, 2000). Παίζοντας ένα μουσικό όργανο, για παράδειγμα μια κιθάρα, μια κοινή προσδοκία είναι η αντιστοιχία μίας συγκεκριμένης χειρονομίας με ένα μόνο συγκεκριμένο ηχητικό γεγονός, όπως η αναπαραγωγή μιας νότας ή μιας συγχορδίας, η εφαρμογή μιας συγκεκριμένης τεχνικής όπως το βιμπράτο κ.ο.κ. Αντιθέτως, με την κατασκευή ενός διαδραστικού συστήματος παραμετροποίησης ήχου μπορούμε να αναπαράγουμε και να τροποποιούμε ταυτόχρονα σε πραγματικό χρόνο περισσότερες από μια λειτουργίες. Οι κινήσεις αυτές δεν είναι κάτι άλλο από ένα απλό κωδικοποιημένο μήνυμα το οποίο ενεργοποιεί με τη σειρά του μια αλληλουχία λειτουργιών που έχει καθορίσει ο χρήστης.

1.1 State of the art

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας οδήγησε σε μια πληθώρα μεθόδων σύνθεσης ηλεκτρονικού ήχου με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών. Το κόστος αγοράς, με το πέρασμα των χρόνων, φθίνει, με αποτέλεσμα ολοένα και περισσότερος κόσμος να έχει άμεση και εύκολη πρόσβαση στη σύνθεση ήχων με ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Στις μέρες μας, σχεδόν όλοι είναι κάτοχοι ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή και με ένα χαμηλό σχετικά κόστος, μπορούν να αποκτήσουν ένα φθηνό ελεγκτή ο οποίος τους δίνει την ευκαιρία να πειραματιστούν με έτοιμα πρότυπα (templates) και ηχητικά δείγματα (samples).

1.1.1 Διαδραστικοί ελεγκτές (interactive controllers)

Οποιαδήποτε ψηφιακή συσκευή χρησιμοποιείται για τον χειρισμό ενός υπολογιστή ή μιας σειράς λειτουργιών εξ αποστάσεως μπορεί να ονομαστεί ελεγκτής (controller) - (Wanderley, Depalle 2004). Σύμφωνα με τους Wanderley & Depalle, μόλις τοποθετηθούν σε μια συσκευή (π.χ. MIDI Controller) ένας ή περισσότεροι αισθητήρες (π.χ. αισθητήρας κίνησης) αυτομάτως η συσκευή αυτή μετονομάζεται σε διαδραστικό ελεγκτή. Επίσης, τα τελευταία χρόνια εμφανίστηκαν διαδραστικοί ελεγκτές οι οποίοι σχεδιάστηκαν ώστε να αλληλεπιδρούν με την ταχύτητα (κίνηση), το φως κτλ. Οι ελεγκτές αυτοί ανήκουν στην κατηγορία ψηφιακών μουσικών οργάνων και αναφέρονται ως DMI (Digital Musical Instruments). Ένα ευρέως γνωστό DMI είναι η Digital Trumpet EZ-TP της Yamaha (εικ.1). Η ηλεκτρονική τρομπέτα, μεταξύ άλλων, διαθέτει αισθητήρα αναγνώρισης ηχητικών κυμάτων δίνοντας τη δυνατότητα στον χειριστή να ψιθυρίσει τη μελωδία που επιθυμεί να παίξει μέσα στο στόμιο. Στη συνέχεια, το όργανο έπειτα από επεξεργασία, αναγνωρίζει και αναλύει τη μελωδία και αυτομάτως καθοδηγεί με τα σωστά πατήματα τον χειριστή ανάβοντας μικρούς λαμπτήρες στη βάση των βαλβίδων της ηλεκτρονικής τρομπέτας.



(εικ. 1, Yamaha Digital Trumpet EZ-TP)

1.1.2 Κατηγοριοποίηση των διαδραστικών ελεγκτών

Η κατηγοριοποίηση των διαδραστικών ελεγκτών σύμφωνα με τον Marcelo Mortensen Wanderley το 2001 έχει ως εξής:

Instrument-like controllers: Το συγκεκριμένο είδος ελεγκτή είναι το πιο διαδεδομένο. Οπτικά, μπορεί να έχει τη μορφή κάποιου οργάνου, όπως για παράδειγμα ενός MIDI keyboard (εικ.2) ή τη μορφή μιας τετράγωνης λεπτής επιφάνειας, όπως για παράδειγμα ενός MIDI ελεγκτή (εικ.3), και χρησιμοποιείται ουσιαστικά για να μιμείται τις λειτουργίες και να αναπαράγει ήχους ακουστικών και ηλεκτρικών οργάνων. Ως επί το πλείστον, τα instrument-like controllers δεν έχουν ενσωματωμένη προενίσχυση ούτε εσωτερική μνήμη αποθήκευσης. Αυτό καθιστά αναπόφευκτη διαδικασία τη σύνδεση τους με μια πηγή σήματος και μια βιβλιοθήκη ήχων.

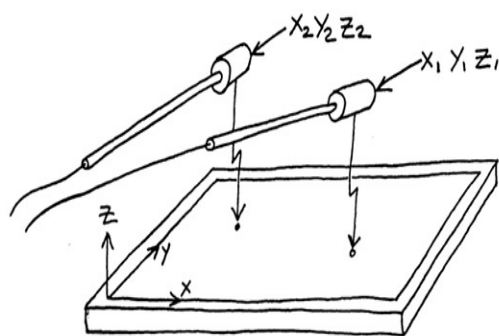
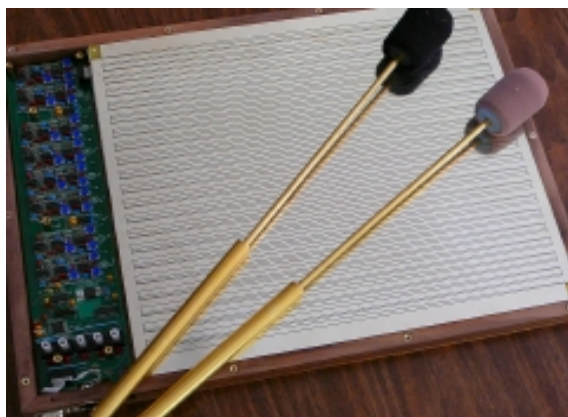


(εικ.2, Alesis Midi Keyboard)



(εικ.3, AKAI Midi Controller)

Instrument-inspired controllers: Το συγκεκριμένο είδος ελεγκτών μπορεί να είναι οπτικά εμπνευσμένο και επηρεασμένο από το σχεδιασμό των ακουστικών οργάνων, γεγονός όμως που δεν περιορίζει τους συγκεκριμένους ελεγκτές στην ηχητική απομίμηση των οργάνων αυτών (Wanderley & Depalle, 2004). Χαρακτηριστικό παράδειγμα και παράλληλα η πρώτη απόπειρα κατασκευής ενός instrument-inspired controller αποτέλεσε το *Radio Baton* του Max Mathews (εικ.4). Τη δεκαετία του 1980, έπειτα από 25 έτη μελέτης και έρευνας στο αντικείμενο, ο επιστημονικός ερευνητής του IRCAM, Max Mathews, σε συνεργασία με το M.I.T. κατασκεύασε τον πρώτο instrument-inspired controller ο οποίος είχε τη δυνατότητα να αναγνωρίζει τις τρεις διαστάσεις του χώρου X,Y, Z, να κωδικοποιεί μηνύματα σε γλώσσα τύπου C και να αντιστοιχεί κινήσεις σε μουσικές λειτουργίες.



(εικ.4, Max Mathews' Radio Baton)

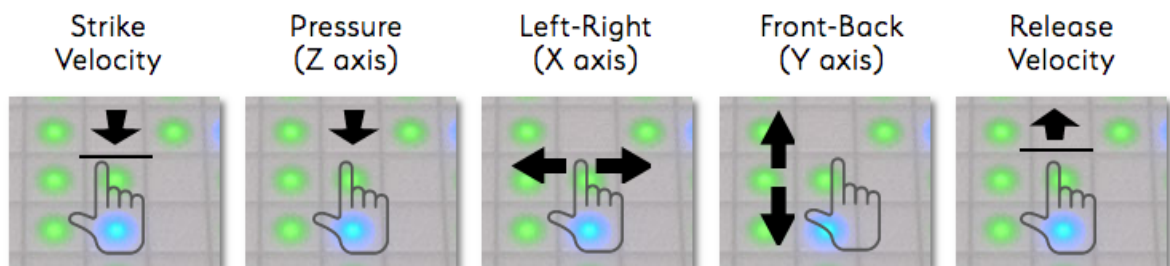
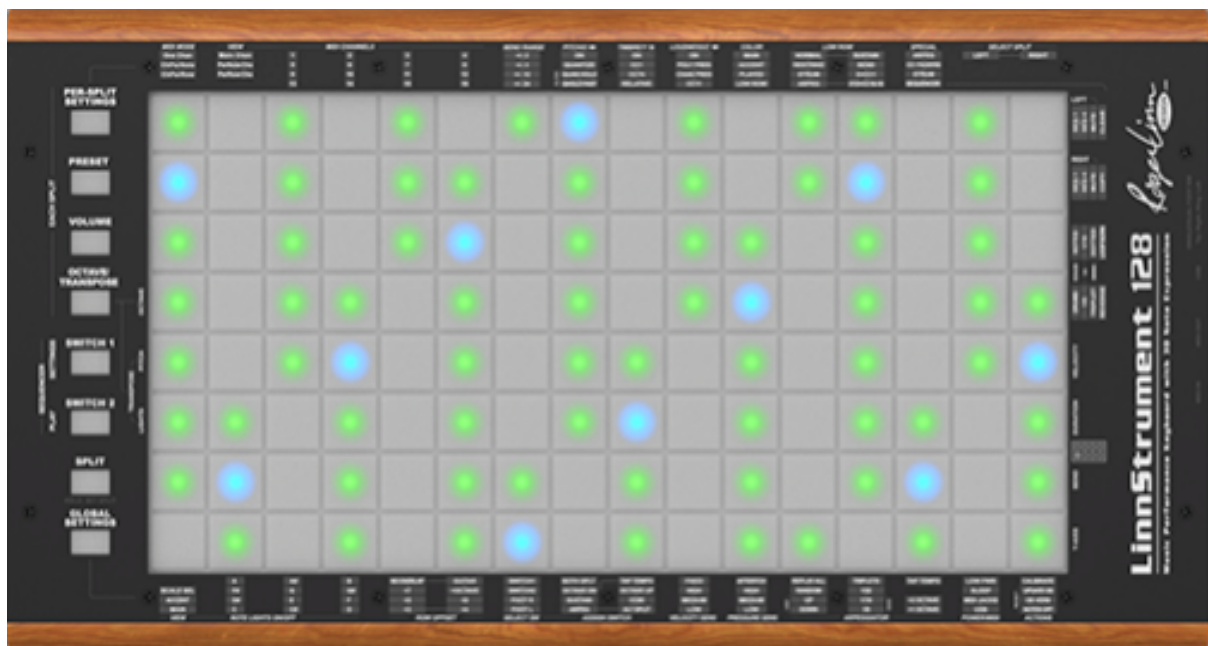
Augmented Instruments: το συγκεκριμένο εντάσσεται στην κατηγορία των 'gestural controllers' ταυτόχρονα όμως αποτελεί ξεχωριστό μεγάλο πεδίο έρευνας. Η συγκεκριμένη κατηγορία διαδραστικών ελεγκτών, κάνει εκτεταμένη χρήση αισθητήρων με σκοπό την αύξηση των δυνατοτήτων παραμετροποίησης και αλλοίωσης του ήχου δίνοντας τη δυνατότητα στους μουσικούς για περαιτέρω ελεύθερο και πειραματικό αυτοσχεδιασμό. Στην παρακάτω φωτογραφία παρατηρούμε μια αυτοσχέδια κατασκευή ενός 'Augmented Instrument' σχεδιασμένο από το Nicolas Lewis (εικ.5). Για την κατασκευή του συγκεκριμένου διαδραστικού ελεγκτή, χρησιμοποιήθηκε μια πλακέτα τύπου 'touch board' και ειδικό χρώμα 'electric paint'.



(εικ.5, Nicolas Lewis' Augmented Guitar)

Τα 'Augmented Instruments' αποτελούν πιλοτική προσπάθεια μιας νέας ερευνητικής τάσης που θέλει να ενώσει τα ακουστικά όργανα με τα ηλεκτρονικά μέσα και τον προγραμματισμό, με σκοπό τη δημιουργία νέων τύπων υβριδικών μουσικών οργάνων (IRCAM: Instrumental Acoustics).

Alternate Controllers: Η συγκεκριμένη κατηγορία ελεγκτών δεν ακολουθεί απαραίτητα την κατασκευαστική μορφολογία των ακουστικών οργάνων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός ‘alternate controller’ είναι το LinnStrument (εικ.6). Σχεδιάστηκε από τον παγκοσμίως φήμη Αμερικανό ηλεκτρονικό Roger Linn, που έχει στο ενεργητικό του ευρεσιτεχνίες για πολλούς άλλους διαδραστικούς ελεγκτές όπως τον LM1 – το πρώτο ηλεκτρονικό “drum machine” με δυνατότητα μεταφόρτωσης εξωτερικών ηχητικών δειγμάτων (samples). Το LinnStrument είναι ένας διαδραστικός ελεγκτής ο οποίος χρησιμοποιεί γλώσσα MIDI. Σε αντίθεση με τα απλά MIDI controllers, το LinnStrument, έχοντας αισθητήρες αφής και κίνησης, μπορεί να αναγνωρίσει κινήσεις στους άξονες X,Y,Z καθώς και συγκεκριμένες πιέσεις, δίνοντας με αυτόν το τρόπο τη δυνατότητα στον χρήστη να έχει καλύτερη αίσθηση της μουσικής του απόδοσης.



(εικ.6, Roger Linn’s LinnStrument)

1.1.3 Σύγχρονοι διαδραστικοί ελεγκτές

Ολοένα και περισσότεροι διαδραστικοί ελεγκτές παραμετροποίησης ήχου κάνουν την εμφάνισή τους στον κλάδο των νέων τεχνολογιών. Ιδιαίτερα τις τελευταίες δύο δεκαετίες, παράλληλα με την άνθιση της ηλεκτρονικής μουσικής μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή πολλοί από αυτούς τους ελεγκτές βρίσκουν τη θέση τους στη παγκόσμια αγορά. Σύμφωνα με τη μελέτη των Wanderley, Marshall, Hartshorn & Levitin το 2009, ο αριθμός των διαδραστικών ελεγκτών παραμετροποίησης ήχου αυξάνεται κατακόρυφα. Υπάρχουν 266 καταγεγραμμένες αναφορές νέων ελεγκτών για τα 8 πρώτα χρόνια διεξαγωγής του συνεδρίου NIME¹ Νεοσύστατες εταιρίες από όλον τον κόσμο, αξιοποιούν την ασύρματη τεχνολογία Bluetooth, την έξυπνη φορητή τεχνολογία γνωστή και ως ‘wearable technology’², τη διάδραση μέσω της κίνησης, τους διάφορους αισθητήρες, τη ρομποτική κ.α. με σκοπό τη δημιουργική εξέλιξη και την εξερεύνηση νέων τρόπων παραμετροποίησης του ήχου. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα από πρόσφατες κατασκευές διαδραστικών ελεγκτών.

¹ **New Interfaces for Musical Expression**: Είναι ένα παγκοσμίου φήμης συνέδριο το οποίο φιλοξενεί ερευνητές και μουσικούς από όλο τον κόσμο με σκοπό την ανταλλαγή γνώσεων και ιδεών αλλά και την παρουσίαση νέων τεχνολογιών που αφορούν τη μουσική διάδραση και έκφραση. Το NIME ξεκίνησε ως εργαστήριο το 2001 και έκτοτε διεξάγεται ετησίως.

² **Wearable technology**: Με τον συγκεκριμένο τεχνολογικό όρο αναφερόμαστε στα ‘έξυπνα’ φορητά τεχνολογικά προΐόντα τα οποία φοριούνται από τον άνθρωπο, όπως για παράδειγμα τα ‘έξυπνα’ ρολόγια, τα ‘έξυπνα’ βραχιόλια, τα ‘έξυπνα’ δαχτυλίδια κ.α. Γενικότερα τις μικρότερες συσκευές που συνήθως αλληλεπιδρούν με κάποιο έξυπνο κινητό ή μια εφαρμογή ανταλλαγής δεδομένων.

Neova Ring MIDI Controller: Ο συγκεκριμένος ελεγκτής είναι από τους πιο πρόσφατους της αγοράς καθώς έκανε την εμφάνισή του στις 19 Μαρτίου του 2019. Το συγκεκριμένο ‘έξυπνο’ δαχτυλίδι είναι ικανό με τη χρήση αισθητήρων εξαιρετικής ποιότητας, να αναγνωρίζει χειρονομίες με εξαιρετική ακρίβεια και να ερμηνεύει πιστά την κάθε λεπτομέρεια σε μουσική έκφραση. Το Neova Ring (εικ.7), μπορεί να συνεργαστεί με οποιοδήποτε σύστημα παραμετροποίησης ήχου τύπου DAW, καθώς και με φυσικά synthesizers με μόνη προϋπόθεση να είναι συμβατά με το πρωτόκολλο επικοινωνίας MIDI (www.enhancia.co).



(εικ.7, Enhancia - Neova Ring)

OWOW : Η συγκεκριμένη διαδραστική κατασκευή αποτελείται από 4 μικρές MIDI συσκευές η καθεμία από τις οποίες εξυπηρετεί διαφορετικές λειτουργίες. Τα Wob, Wiggle, Drum & Scan (εικ.8) με τη χρήση αισθητήρων κίνησης και καταγραφής τρισδιάστατου χώρου αποστέλλουν MIDI μηνύματα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή και στα συστήματα παραμετροποίησης ήχου DAW μέσω του ασύρματου πρωτοκόλλου Bluetooth (www.owow.io).



(εικ.8, OWOW Midi Controllers)

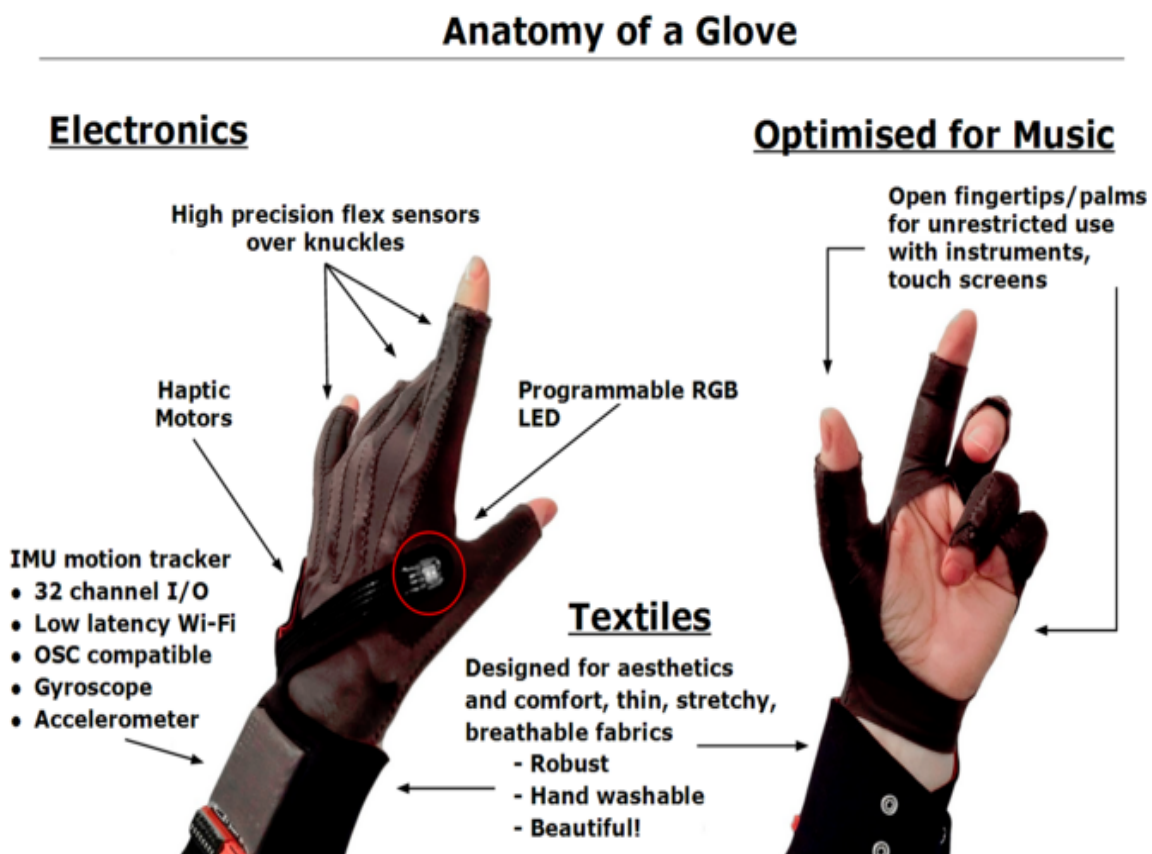
Wob: Το wob διαθέτει μια υπέρυθη κάμερα IR μικρής εμβέλειας (από 2cm μέχρι 65 cm) και είναι ικανό να παραμετροποιήσει χαρακτηριστικά του ήχου όπως το τονικό ύψος (pitch), το συχνοτικό εύρος (amplitude) κ.α. με την οριζόντια ή κάθετη κίνηση των χεριών του χρήστη.

Wiggle: Το wiggle δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να αντιστοιχίσει συγκεκριμένες παραμέτρους ηχητικής διάδρασης σύμφωνα με την κίνηση.

Drum: Ο συγκεκριμένος ελεγκτής προσφέρει τη δυνατότητα στον χρήστη να χειρίζεται ένα σετ εικονικών τυμπάνων μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή μιμούμενος τις αντίστοιχες κινήσεις ενός κρουστού κατά την εκτέλεση του οργάνου. Το σύστημα, έχει τη δυνατότητα να αναγνωρίσει κινήσεις προς όλες τις κατευθύνσεις.

Scan: Ο τελευταίος διαδραστικός ελεγκτής παραμετροποίησης ήχου της OWOW προσφέρει τη δυνατότητα στον χρήστη να αναγνωρίζει σχήματα, σχέδια, σκίτσα, ακόμη και πιο πολύπλοκα γραφήματα και να τα μεταφράζει σε ήχο.

Mi.Mu Gloves: Ο συγκεκριμένος διαδραστικός ελεγκτής ανήκει στην κατηγορία των Wearable controllers και έχει υιοθετήσει τη μορφή γαντιών. Η πρωτότυπη κατασκευή παρουσιάστηκε σε πειραματικό στάδιο από την καλλιτέχνη Imogen Hear το 2012 και έκτοτε ανανεώνεται και εξελίσσεται συνεχώς. Μέσω του λογισμικού προγράμματος του Mi.Mu., παρέχεται η δυνατότητα στον χρήστη να παραμετροποιεί χαρακτηριστικά του ήχου με την κίνηση των χεριών του. Τα Mi.Mu gloves (εικ.9), μπορούν να ερμηνεύσουν τις κινήσεις των χεριών με διάφορους τρόπους. Ο συγκεκριμένος διαδραστικός ελεγκτής διαθέτει αισθητήρες δόνησης στη μια μεριά του γαντιού, για να ενημερώνει τον χρήστη για την εξέλιξη των παραμετροποιήσεων στο λογισμικό, χωρίς να είναι απαραίτητη η οπτική επαφή με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Επίσης, διαθέτει ενσωματωμένους αισθητήρες κίνησης και χωρικής θέσης, αξελερόμετρο και γυροσκόπιο για την ανίχνευση των κινήσεων στο χώρο. Επιπλέον, διαθέτει αισθητήρες κάμψης (flex sensors) προσφέροντας στο χρήστη τη δυνατότητα να παραμετροποιεί χαρακτηριστικά του ήχου λυγίζοντας τα δάχτυλά του ή ανοιγοκλείνοντας την παλάμη του. Η συνδεσμολογία του συγκεκριμένου ελεγκτή γίνεται με ασύρματη επικοινωνία Wi-Fi γεγονός που το καθιστά εύκολα αναγνωρίσιμο από τις περισσότερες ηλεκτρονικές συσκευές



(εικ.9, Imogen's Hear Mi.Mu gloves)

Παρατηρώντας τη μέχρι τώρα πορεία των διαδραστικών ελεγκτών παραμετροποίησης ήχου, διακρίνουμε ότι η κατασκευή τους, από την σύλληψη της ιδέας μέχρι και την υλοποίησή τους, απευθύνεται σε βιρτουόζους μουσικούς, αυτοσχεδιαστές και γενικότερα εκτελεστές (performers) οι οποίοι με τη βοήθεια της τεχνολογίας αναζητούν τη μικρή εκείνη λεπτομέρεια η οποία θα εξελίξει την τέχνη τους. Τα “alternate controllers” αντιθέτως, μπορούν να πάρουν τη μορφή διαφόρων εργαλείων διεπαφής και διαδραστικής επικοινωνίας, το οποίο δικαιολογεί την ύπαρξη και τη χρήση τους σε διάφορους άλλους κλάδους, εκτός αυτών των τεχνών. Ορισμένοι διαδραστικοί ελεγκτές, κατασκευάζονται με πολύ δαπανηρές τεχνολογίες και χρησιμοποιούνται σε περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας και σε συστήματα καταγραφής και ανίχνευσης κίνησης. Επιπλέον, παρατηρούμε ότι στον τομέα των τεχνών και ιδιαίτερα στο κλάδο της μουσικής, οι διαδραστικοί ελεγκτές δεν είναι ευρέως γνωστοί και εύκολα προσβάσιμοι στους χρήστες, καθώς το κόστος τους είναι σχετικά υψηλό και η κατανόηση και χρήση τους απαιτεί και άλλες γνώσεις πέραν από αυτές της μουσικής (Marcelo M. Wanderley, 2001).

1.2 Μουσική διάδραση

Μελετώντας την έρευνα των Miranda, Kirk & Wanderley (2006) πάνω στις νέες τεχνολογίες στον τομέα των D.M.I καταλαβαίνουμε ότι η ηχητική διάδραση ενός ηλεκτρονικού συστήματος αφορά διάφορους κλάδους πέραν από αυτόν της μουσικής.

Σε ένα διαδραστικό σύστημα παραμετροποίησης ήχου, η κίνηση είναι η κύρια πηγή εισόδου των πληροφοριών. Θέτουμε λοιπόν ως βάση ότι οι αισθητήρες κίνησης ενεργοποιούνται και αλληλεπιδρούν σύμφωνα με την κίνηση ενός σώματος ή ενός αντικειμένου. Επίσης, ο τρόπος που θα εκτελεστεί η συγκεκριμένη κίνηση είναι αυτό που θα καθορίσει το πώς το σύστημα πρόκειται να αντιδράσει. Όταν αναφερόμαστε στη λέξη κίνηση μπορεί να εννοούμε από μια απλή κίνηση των χεριών μέχρι κάποιο είδος χορού, μια χορογραφία, ένα περπάτημα, ακόμα και ένα απότομο χοροπηδητό. Κάποιες από αυτές τις κινήσεις διάδρασης, μπορούν εύκολα να συσχετισθούν με τις αυθόρμητες κινήσεις που χρησιμοποιεί ο οργανοπαίχτης κατά την διάρκεια μιας μουσικής παράστασης, οι οποίες είναι άρρηκτα συνδεδεμένες οπτικά στον κοινό ακροατή – όπως για παράδειγμα οι κινήσεις ενός βιολιστή. Για την καταγραφή των κινήσεων, υπάρχουν διάφοροι αισθητήρες οι οποίοι μπορούν να ανιχνεύσουν την κίνηση στον χώρο, την αλλαγή θέσης κάποιου αντικειμένου, τον προσανατολισμό και την κατεύθυνση ενός αντικειμένου ή ενός σώματος. Οι αισθητήρες, είναι τα όργανα που θα μετατρέψουν τη φυσική ενέργεια (στην προκείμενη έρευνα την κινητική ενέργεια) σε κωδικοποιημένο μήνυμα.

Το μήνυμα αυτό, διαβάζεται από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και καταγράφεται αναλόγως ως ένα δυναμικό μήνυμα που μεταφέρει δεδομένα όπως αυτά της θέσης, της ταχύτητας, της δύναμης κ.α. Στη συνέχεια, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής ερμηνεύει τις εισερχόμενες πληροφορίες, τις αναλύει και τις κωδικοποιεί αναλόγως, προτού πράξει οποιοδήποτε ηχητικό ή οπτικό αποτέλεσμα. Οι διαδραστικοί ελεγκτές με αισθητήρες κίνησης είναι οι πιο διαδεδομένοι ελεγκτές στις μέρες μας καθώς και το κύριο θέμα της παρούσας μελέτης.

1.3 OSC Protocol

Το Open Sound Control αναπτύχθηκε στο UC Berkeley Center for New Music and Audio Technology (CNMAT) όπου και συνεχίζει να αποτελεί αντικείμενο συνεχιζόμενης έρευνας. Είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ υπολογιστών και άλλων βελτιστοποιημένων πολυμέσων, που είναι τεχνολογικά εξελιγμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να αλληλεπιδρούν με τα σύγχρονα μέσα δικτύωσης. Το πρωτόκολλο OSC, προσφέρει τα πλεονεκτήματα της σύγχρονης τεχνολογίας δικτύωσης στον κόσμο των ηλεκτρονικών μουσικών οργάνων, όπως η διαλειτουργικότητα, η ακρίβεια, η ευελιξία, η ενισχυμένη οργάνωση και η τεκμηρίωση. Αυτό το απλό αλλά ισχυρό πρωτόκολλο, παρέχει τα απαραίτητα για τον έλεγχο του ήχου, ενώ παραμένει ευέλικτο και φιλικό για στους απλούς χρήστες (opensoundcontrol.org).

1.3.1 Διαδραστικοί ελεγκτές που αλληλεπιδρούν με τη χρήση OSC

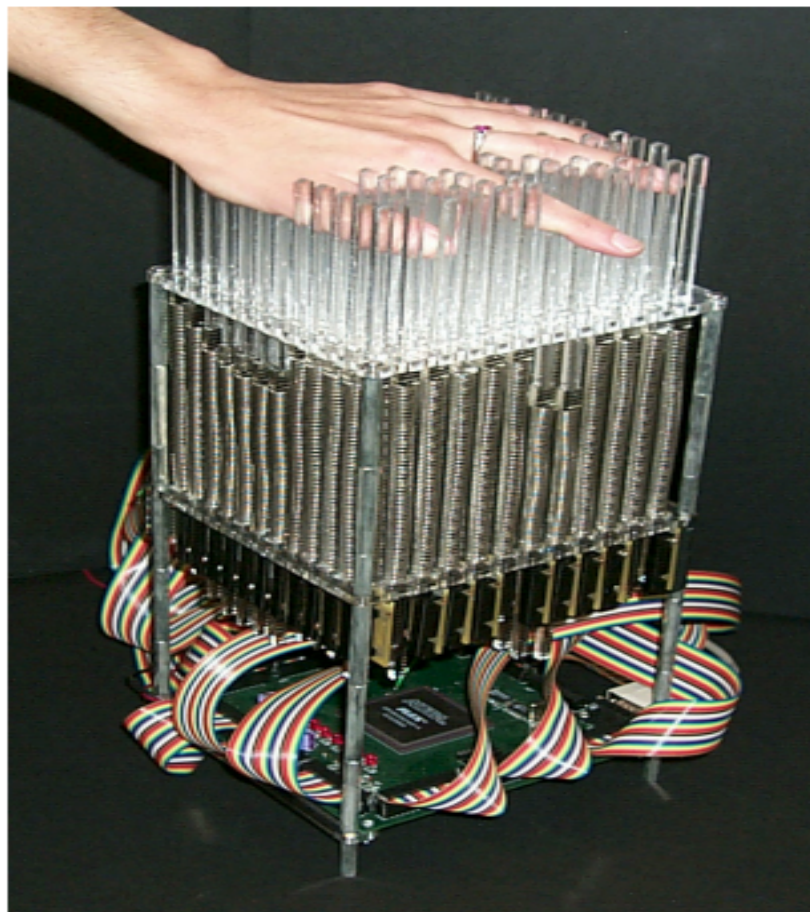
Στις μέρες μας, παρατηρούμε ολοένα και περισσότερους διαδραστικούς ελεγκτές που έχουν ως βάση τη χρήση αισθητήρων κίνησης για την ανίχνευση της κίνησης, την επιτάχυνση, την πίεση, την μετατόπιση, την κάμψη κλπ. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες μπορούν να υποστούν επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο από τη λογισμική πλατφόρμα OSCulator, και να αντιστοιχηθούν ηλεκτρονικά για τη σύνθεση και την επεξεργασία του ήχου. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα από interactive/gestural controllers που χρησιμοποίησαν το συγκεκριμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας.

- **Wacom Tablet:** Χρησιμοποιείται κυρίως στη βιομηχανία των γραφιστικών τεχνών επιτρέποντας στον χρήστη να ζωγραφίσει πάνω σε μια ηλεκτρονική ταμπλέτα (εικ.10) χρησιμοποιώντας μια ειδική ηλεκτρονική πένα. Στη συνέχεια η πληροφορία μεταφέρεται και εμφανίζεται στην οθόνη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή και είναι έτοιμη προς περαιτέρω ψηφιακή επεξεργασία (Wessel et al. 1997).



(εικ.10, Wacom Tablet)

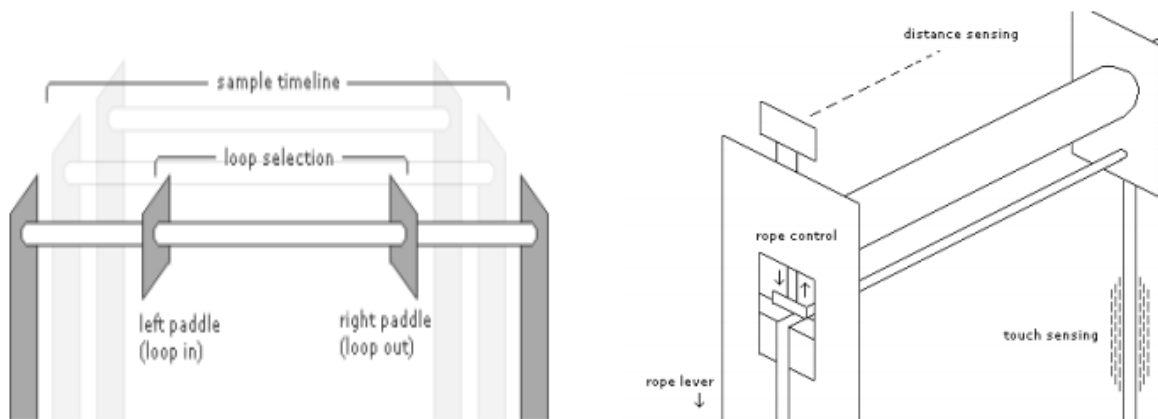
- **MATRIX:** Το “Multipurpose Array of Tactile Rods for Interactive Expression” (εικ.11), αποτελείται από μια σειρά 12x12 ράβδων προσαρμοσμένων σε ελατήρια, η καθεμία από τις οποίες μπορεί να κινείται κατακόρυφα με την πίεση του χεριού. Αισθητήρες κίνησης και πίεσης βρίσκονται στη βάση του ελεγκτή και δειγματίζουν τις 144 θέσεις των ράβδων. Έπειτα, τις μεταδίδουν σειριακά σε έναν Η / Υ ο οποίος μετατρέπει τα δεδομένα σε μηνύματα OSC που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της σύνθεσης και της επεξεργασίας του ήχου (Overholt 2000).



(εικ.11, Matrix)

- **The Slidepipe:** Ανήκει στην κατηγορία των performance controllers προσφέροντας τη δυνατότητα στον χρήστη να έχει οπτική επαφή με το αντικείμενο που δουλεύει. Όταν χρησιμοποιείται ως μέσο διαχείρισης έτοιμων ηχητικών δειγμάτων (samples), ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να χειρίζεται τη χρονική διάρκειά τους, να δημιουργεί βρόχους επανάληψης (loops) και να χειρίζεται διάφορες παραμέτρους της δειγματοληψίας και των ηχητικών εφέ. Το slidepipe (εικ.12) αποτελείται από έναν οριζόντιο σωλήνα, δύο ξύλινα κουπιά, δύο σχοινιά και 3 ποδομοχλούς. Όλες οι πλευρές έχουν αισθητήρες κίνησης και συνδέονται σε μια κεντρική συσκευή αναμετάδοσης πληροφορίας. Ο σωλήνας προσομοιώνει το αντίστοιχο χρονοδιάγραμμα

(timeline) που συναντάμε σε οποιοδήποτε πρόγραμμα παραμετροποίησης ήχου τύπου DAW. Πάνω στον σωλήνα, τοποθετούνται τα δύο κινούμενα κουπιά τα οποία κατά την κίνησή τους θέτουν τα όρια της επανάληψης του ηχητικού δείγματος (loop in – loop out). Όταν τα όρια της επανάληψης του ηχητικού δείγματος έχουν οριστικοποιηθεί, ο χρήστης έχει πλέον τη δυνατότητα με την κίνηση των σχοινιών να διαμορφώσει αναλόγως τις ηχητικές παραμέτρους που επιθυμεί. Παράλληλα, οι 3 ποδομοχλοί στη βάση του Slideripe, δίνουν επιπλέον δυνατότητες παραμετροποίησης των ηχητικών δειγμάτων. Συνοψίζοντας, κάθε πλευρά του Slideripe συλλέγει πληροφορίες από τους αντίστοιχους αισθητήρες και στη συνέχεια τις αποστέλλει στον κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ο κεντρικός υπολογιστής χρησιμοποιεί το Max / MSP για να παράγει ήχο, αλλά δεδομένου ότι το OSC έχει εκτεταμένη εφαρμογή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σχεδόν οποιοδήποτε λογισμικό απόδοσης (Mark Argo 2004).



(εικ.12, Slideripe)

Στη συνέχεια ακολουθούν τρία ερευνητικά έργα στο UIUC (University of Illinois at Urbana–Champaign) που βασίζονται σε συστήματα τρισδιάστατης χωρικής παρακολούθησης ενός φυσικού αντικειμένου σε πραγματικό χρόνο, που επεξεργάζονται και κωδικοποιούνται σε γλώσσα OSC.

- **Interactive Virtual Ensemble** (Garnett et al., 2001): Στο συγκεκριμένο έργο ο μαέστρος της ορχήστρας φορά ασύρματους μαγνητικούς αισθητήρες που στέλνουν τρισδιάστατη θέση και δεδομένα κατεύθυνσης στον ασύρματο δέκτη που είναι συνδεδεμένος με ένα SGI Onyx. Η συγκεκριμένη συσκευή επεξεργάζεται τα δεδομένα του αισθητήρα για να καθορίσει το ρυθμό, την ένταση και άλλες ηχητικές παραμέτρους. Στη συνέχεια, τα μηνύματα αποστέλλονται μέσω OSC στο λογισμικό συνθέσεως ήχου Max / MSP.

- **Eviolin** (Goudeseune et al., 2001): Στο έργο αυτό, ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής παρακολουθεί και χαρτογραφεί τη χωρική θέση ενός ηλεκτρικού βιολιού και στη συνέχεια, ελέγχει, παραμετροποιεί και επεξεργάζεται σε πραγματικό χρόνο την ηχητική έξοδο της αντήχησης του οργάνου.
- **VirtualScore** (Garnett et al., 2002): Το VirtualScore είναι ένα οπτικοακουστικό ηλεκτρονικό περιβάλλον για τη δημιουργία τρισδιάστατων γραφικών αναπαραστάσεων σε συνάρτηση με τον χρόνο. Χρησιμοποιεί μια 'σπηλιά' (CAVE) για την προβολή των τρισδιάστατων γραφικών και λαμβάνει πληροφορίες προσανατολισμού και θέσης από ένα ραβδί και έναν αισθητήρα. Οι χειρονομίες από το ραβδί καταγράφονται και αποθηκεύονται σε πραγματικό χρόνο και σε συνδυασμό με την μουσική πληροφορία το σύστημα δημιουργεί τα ανάλογα γραφικά. Όλες οι πληροφορίες μεταδίδονται μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας OSC στον διακομιστή σύνθεσης.

Στη συνέχεια, θα δούμε κάποια παραδείγματα τα οποία κατέγραψαν μη μουσικά δεδομένα και με τη χρήση του OSC τα απέδωσαν σε μουσικό ήχο. Στα επόμενα παραδείγματα ο χρήστης αλληλεπιδρά άμεσα με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και λιγότερο με κάποιου είδους διαδραστικό ελεγκτή. Η μουσική εκπαίδευση δεν είναι απαραίτητη, αν και το τελικό αποτέλεσμα κάποιες φορές μπορεί να είναι μουσικό. Επομένως, η διαδικασία τείνει περισσότερο προς τη διασκέδαση και τον πειραματισμό του χρήστη, παρά προς τη μουσική έκφραση.

- **Picker** : Λογισμικό το οποίο έχει τη δυνατότητα να μετατρέπει εικόνες και φωτογραφίες σε μηνύματα OSC και στη συνέχεια να τα αποστέλλει σε οποιοδήποτε λογισμικό σύνθεσης, ελέγχου ή παραμετροποίησης ήχου. (ixi-audio.net)
- **SpinOSC**: Λογισμικό για την κατασκευή μοντέλων περιστρεφόμενων αντικειμένων. Ιδιότητες όπως το μέγεθος, η ταχύτητα περιστροφής κ.λπ. μπορούν να σταλούν ως μηνύματα OSC.(ixi-software.net)
- **SodaConstructor**: Λογισμικό για την κατασκευή, την προσομοίωση και το χειρισμό μοντέλων μάζας / ελατηρίου (spring-mass models). Το συγκεκριμένο λογισμικό

χρησιμοποιείται συχνά για την μοντελοποίηση διαφόρων αντικειμένων και χρησιμοποιείται στις εφαρμογές γραφικών των ηλεκτρονικών υπολογιστών λόγω της απλότητας και της υπολογιστικής αποτελεσματικότητάς του. Οι παράμετροι της πραγματικής κατάστασης του μοντέλου (π.χ. θέσεις συγκεκριμένων μαζών και σημείων) μπορούν να αντιστοιχηθούν με μηνύματα OSC και να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο και την παραμετροποίηση μιας ηχητικής σύνθεσης (Joseph Yang and Gongzhu Hu, 2009).

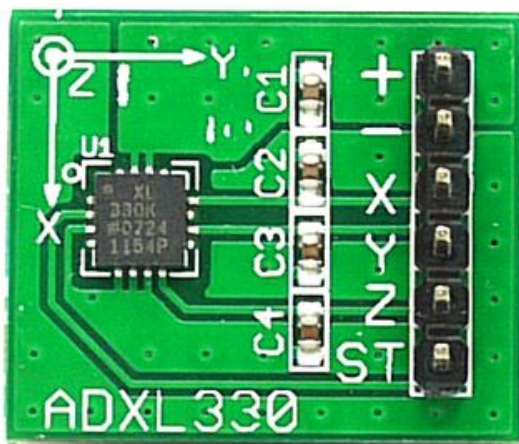
- **Circular Optical Object Locator:** Το Circular Optical Object Locator (CCRMA) ή αλλιώς κυκλικός οπτικός εντοπιστής αντικειμένων κατασκευάστηκε στο πανεπιστήμιο του Stanford. (Hankins et al., 2002) Βασίζεται σε μια περιστρεφόμενη πιατέλα στην οποία οι χρήστες τοποθετούν αδιαφανή αντικείμενα. Μια ψηφιακή βιντεοκάμερα παρατηρεί την πλατφόρμα και το προσαρμοσμένο λογισμικό επεξεργασίας εικόνας εξάγει δεδομένα με βάση την ταχύτητα περιστροφής, τις θέσεις των αντικειμένων κλπ. Στη συνέχεια ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής με τη βοήθεια του Max / MSP λαμβάνει αυτές τις πληροφορίες μέσω μηνυμάτων OSC και συνθέτει ήχο.

2. Σχεδιασμός διαδραστικού OSC ελεγκτή

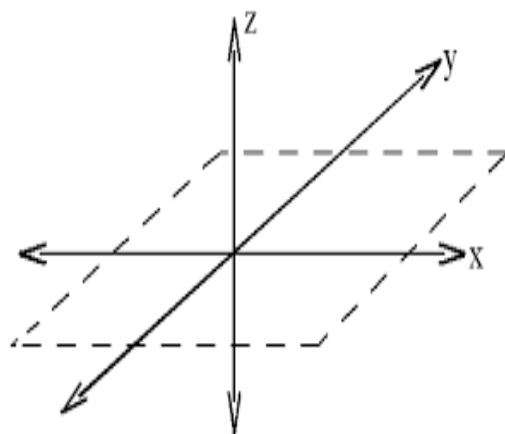
Για την κατασκευή του συγκεκριμένου μουσικού διαδραστικού συστήματος χρησιμοποιήθηκε ένα αξελερόμετρο τύπου ADXL330 (μέσω του χειριστηρίου της Nintendo Wii) το οποίο είναι απαραίτητο για την αναγνώριση και την καταγραφή των διαφόρων κινήσεων του χρήστη ή του ελεγκτή (controller) και την αποστολή τους σε κωδικοποιημένο μήνυμα στο πρόγραμμα OSC. Το αξελερόμετρο είναι συνδεδεμένο με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω της ασύρματης τεχνολογίας 'Bluetooth'³. Στην παρούσα έρευνα, τα μηνύματα θα αποστέλλονται στην εφαρμογή OSCulator (Open Sound Control), ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας ηλεκτρονικών υπολογιστών. Το OSCulator μεταφράζει και κωδικοποιεί τα εκάστοτε μηνύματα σε γλώσσα MIDI, έτσι ώστε να είναι συμβατά και αναγνωρίσιμα από οποιοδήποτε πρόγραμμα τύπου DAW (Digital Audio Workstation).

2.1 Το αξελερόμετρο / επιταχυνσιόμετρο – ADXL330

Το ADXL330 (εικ. 13) είναι ένα μικρό, λεπτό, χαμηλής ισχύος πλήρες επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων (εικ. 14) που μετράει την επιτάχυνση με ελάχιστη κλίμακα $\pm 3g$. Μπορεί να μετρήσει τη στατική επιτάχυνση της βαρύτητας, καθώς και τη δυναμική επιτάχυνση που προκύπτει από μια κίνηση, ένα απότομο τίναγμα ή μια δόνηση. Ο χρήστης επιλέγει το εύρος ζώνης χρησιμοποιώντας το CX, CY και CZ πυκνωτών στις ακίδες XOUT, YOUT και ZOUT (εικ. 15). Οι τιμές που ταιριάζουν στην εφαρμογή, εκτείνονται από 0,5 Hz έως 6 kHz για τους άξονες X και Y και από 0,5 Hz έως 1 kHz για τον άξονα Z (Analog.com., 2019).



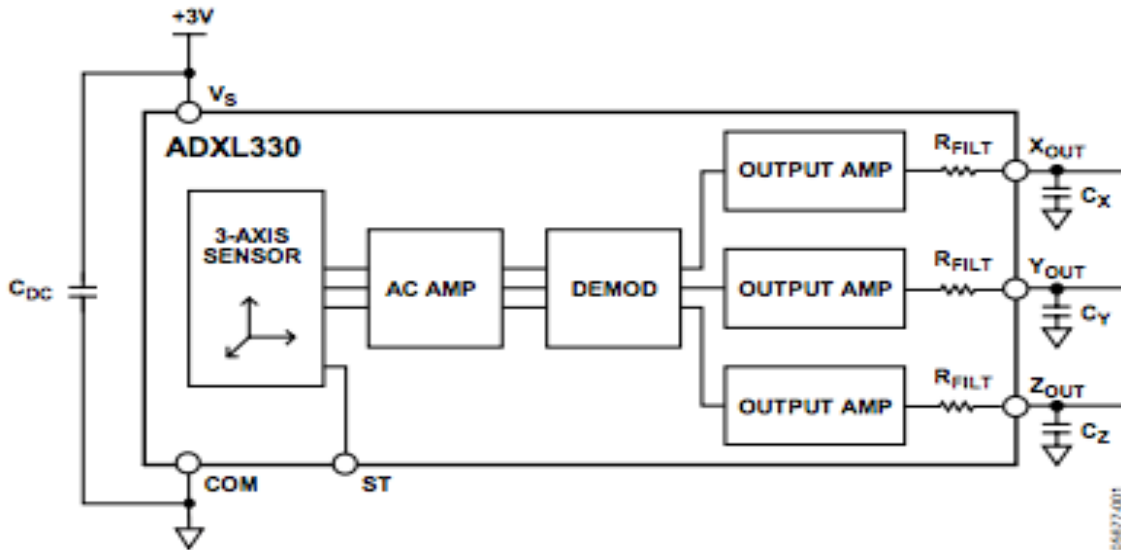
(εικ.13, επιταχυνσιόμετρο ADXL330)



(εικ.14, άξονες x,y,z)

³ **Bluetooth:** Το Bluetooth είναι ένα πρότυπο ασύρματης τεχνολογίας για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ σταθερών και κινητών συσκευών σε μικρές αποστάσεις χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα μικρού μήκους κύματος UHF στις βιομηχανικές, επιστημονικές και ιατρικές ραδιοφωνικές ζώνες από 2.400 έως 2.485 GHz.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



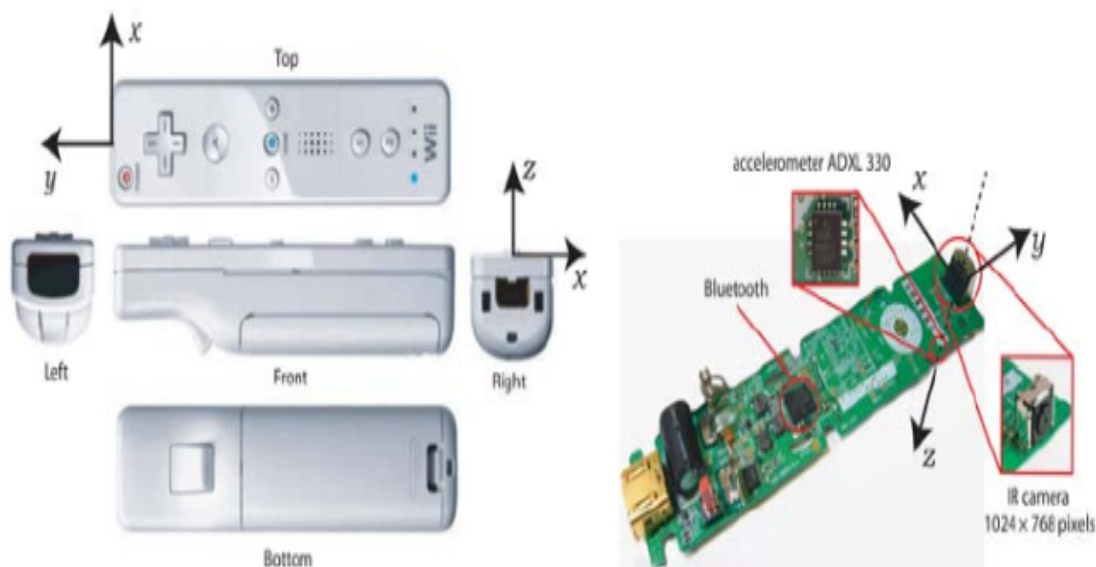
(εικ.15, λειτουργικό διάγραμμα κυκλώματος επιταχυνσιόμετρου)

Το ADXL330 διαθέτει έναν αισθητήρα με επιφάνεια πολυκρυσταλλικού πυριτίου (polysilicon sensor) και ένα κύκλωμα ρύθμισης σήματος ανοιχτού βρόχου⁴ για τη μέτρηση της επιτάχυνσης. Τα σήματα εξόδου είναι αναλογικές τάσεις (analog voltages) ανάλογες με την επιτάχυνση, γεγονός που καθιστά εύκολη διαδικασία τη μεταφόρτωσή τους σε διάφορα πρωτόκολλα παραμετροποίησης ήχου. Το ADXL330 χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα ενιαίας κατασκευής για την ανίχνευση των τριών αξόνων X, Y και Z. Ως αποτέλεσμα, οι κατευθύνσεις των τριών αξόνων είναι αυστηρά ορθογώνιες με μικρότερη ευαισθησία στα εγκάρσια σημεία. Ο αισθητήρας αυτός είναι παρόμοιος κατασκευής με εκείνον που χρησιμοποιούν τα περισσότερα έξυπνα κινητά (smartphones) για να υπολογίσουν τη θέση και την περιστροφή τους (Analog, 2019).

⁴ Σύστημα ανοιχτού βρόχου ονομάζεται το σύστημα στο οποίο η είσοδος δεν είναι συνάρτηση της εξόδου. Επίσης, στο ανοιχτό σύστημα δεν υπάρχει ανατροφοδότηση, αλλά αντίθετα χρησιμοποιεί μία ενεργό συσκευή (που παράγει το σήμα εισόδου) για να ελέγξει απευθείας τη διεργασία.

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, η παρούσα έρευνα έχει ως στόχο την κατασκευή ενός διαδραστικού ελεγκτή χαμηλού κόστους ο οποίος θα είναι εύχρηστος για άτομα με λιγιστή έως και καθόλου μουσική εκπαίδευση. Δοκιμάστηκαν διάφορες συσκευές όπως έξυπνα κινητά τηλέφωνα και ελεγκτές τύπου “slaves”, και τελικά επιλέχθηκε το χειριστήριο της παιχνιδομηχανής Nintendo Wii (εικ.16) ως το καταλληλότερο και το πιο οικονομικό για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης. Οι λόγοι που επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος ελεγκτής είναι οι εξής:

1. Η ασύρματη σύνδεσή του με συσκευές που υποστηρίζουν το πρωτόκολλο επικοινωνίας Bluetooth.
2. Το ενσωματωμένο αξελερόμετρο τύπου ADXL330.
3. Η ενσωματωμένη υπέρυθρη κάμερα IR (1024 x768) για ασύρματες επικοινωνίες.
4. Υπάρχουν 11 κουμπιά στο χειριστήριο με ελεύθερη δυνατότητα επαναπρογραμματισμού.
5. Λειτουργεί με δύο μπαταρίες τύπου AA.
6. Οι διαστάσεις του WiiRemote είναι 16cm μήκος, 3.6 cm πλάτος, 3cm ύψος και το βάρος του λιγότερο από 1 κιλό. Το κόστος του υπολογίζεται περίπου στα 20 με 25 ευρώ.



(εικ.16, χειριστήριο Nintendo WiiRemote)

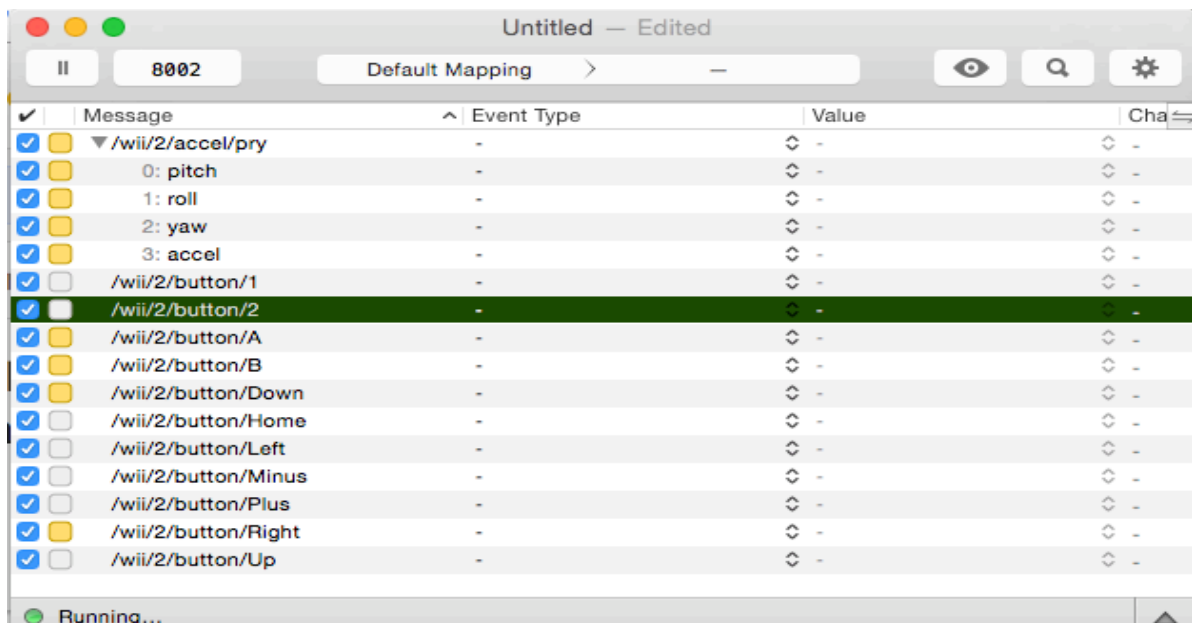
2.2 Λειτουργικές κατηγορίες του διαδραστικού ελεγκτή

Στην παρούσα μελέτη, το διαδραστικό σύστημα χωρίζεται σε τρία μέρη. Σε όλες τις περιπτώσεις, ο διαδραστικός ελεγκτής συνδέεται ασύρματα μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας Bluetooth με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή και στην συνέχεια αναγνωρίζεται από την εφαρμογή OSCulator όπου κωδικοποιείται σε μήνυμα MIDI. Επομένως, οι περιπτώσεις που μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν είναι οι εξής τρεις:

- Η πρώτη κατηγορία αφορά τις βασικές λειτουργίες ενός MIDI controller. Δηλαδή στον διαδραστικό έλεγχο και την παραμετροποίηση του ήχου και άλλων λειτουργιών με τη χρήση διαφόρων κουμπιών ή ποτενσιόμετρων τα οποία βρίσκονται πάνω στον διαδραστικό ελεγκτή.
- Η δεύτερη κατηγορία βασίζεται στη χρήση του αξελερόμετρου η οποία μας επιτρέπει τον διαδραστικό έλεγχο και την παραμετροποίηση ήχου και άλλων λειτουργιών με τη βοήθεια της κίνησης του ελεγκτή. Η κατηγορία αυτή, μπορεί να συνδεθεί και να αλληλεπιδράσει ταυτόχρονα και με την πρώτη κατηγορία.
- Η τρίτη κατηγορία βασίζεται στη χρήση του αξελερόμετρου και της υπέρυθρης κάμερας IR, που μας επιτρέπουν τον διαδραστικό έλεγχο και την παραμετροποίηση του ήχου και άλλων λειτουργιών με την κίνηση διαφόρων αντικειμένων (π.χ. IR Led ή ενός κεριού) έχοντας πάντα σε σταθερή θέση τον ελεγκτή.

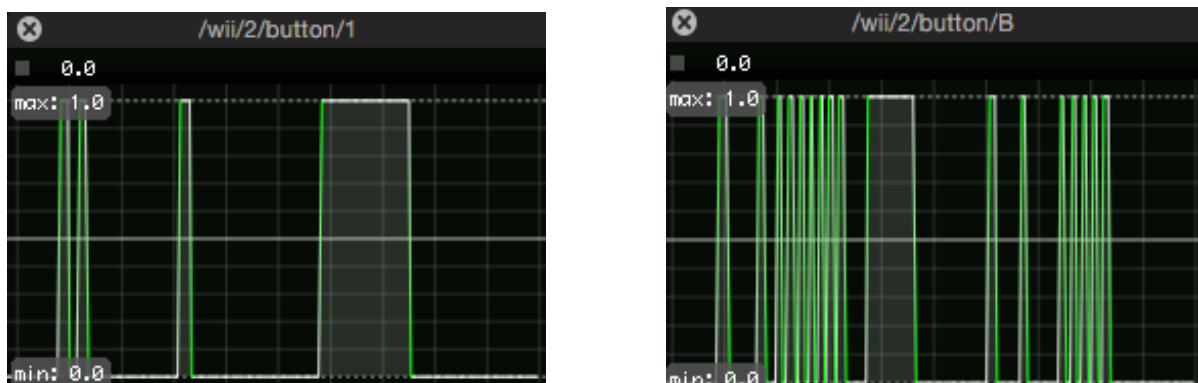
2.3 Λειτουργικά χαρακτηριστικά των τριών κατηγοριών

Στην πρώτη περίπτωση, χρησιμοποιούμε τον ελεγκτή ως έναν κοινό MIDI controller, με τη μόνη διαφορά ότι η συγκεκριμένη κατασκευή είναι ασύρματη. Αρχικά συνδέουμε τον ελεγκτή στο ασύρματο δίκτυο Bluetooth του υπολογιστή. Στη συνέχεια αντιστοιχούμε σε κάθε ένα από τα 11 κουμπιά του μία λειτουργία χρησιμοποιώντας την εφαρμογή του OSCulator. Αρκεί ένα απλό πάτημα των κουμπιών ώστε η εφαρμογή να αναγνωρίσει το κάθε ένα από αυτά και να το τοποθετήσει στη λίστα των ‘messages’ όπου εμφανίζονται όλα τα ενεργά καταχωρημένα μηνύματα OSC με πορτοκαλί χρώμα, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. (εικ.17)



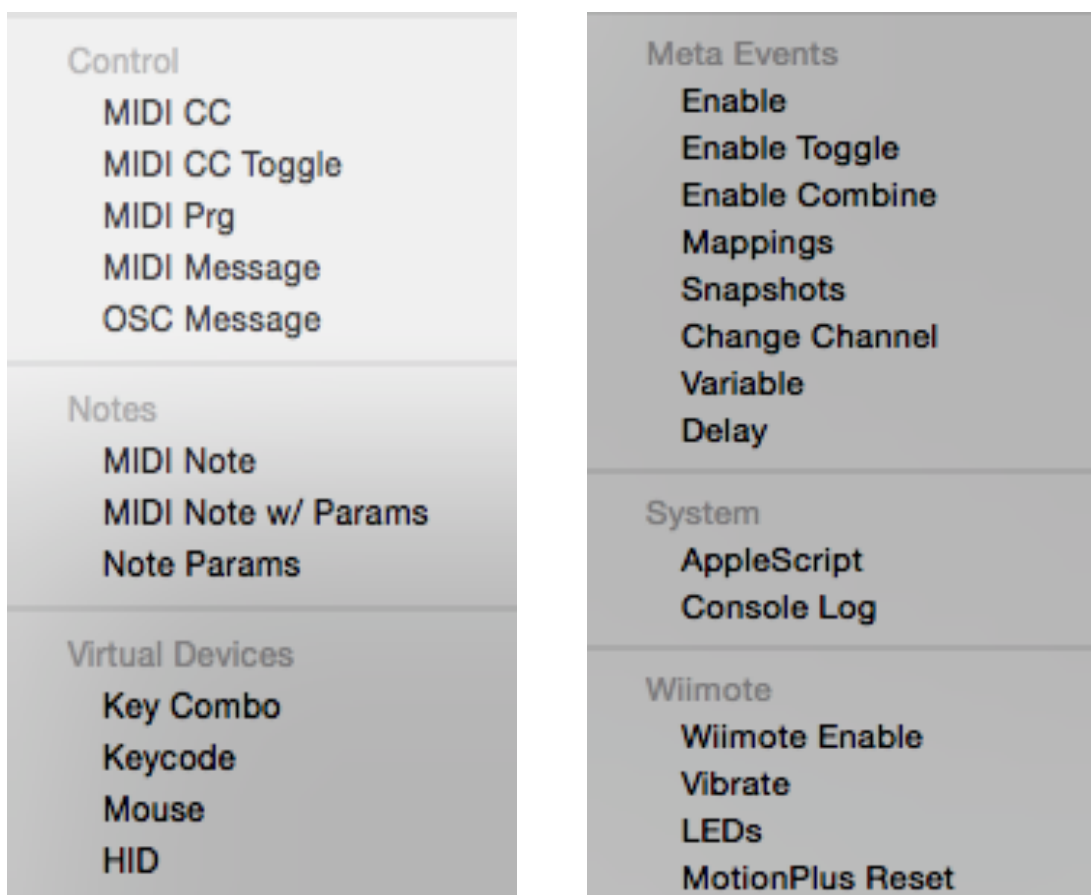
(εικ.17, ενεργά καταχωρημένα μηνύματα OSC)

Στην πάνω δεξιά πλευρά της εφαρμογής, το εικονίδιο με το χαρακτηριστικό σχήμα “ματιού”, μας δίνει τη δυνατότητα της γραφικής αναπαράστασης του ψηφιακού σήματος του εκάστοτε κουμπιού με την απεικόνιση ενός γραφήματος σε συνάρτηση με τον χρόνο όπως φαίνεται στις επόμενες εικόνες. (εικ.18)



(εικ.18, γραφικής αναπαράστασης του ψηφιακού σήματος)

Στη στήλη ‘event type’ (εικ.19) υπάρχουν όλες οι πιθανές επιλογές που μας παρέχει η εφαρμογή OSCulator και είναι συμβατές προς αντιστοίχιση με κάποιο από τα κουμπιά του ελεγκτή μας.



(εικ.19, στήλη ‘event type’)

Στη συνέχεια, στη στήλη ‘value’, βρίσκουμε όλες τις πιθανές τιμές που αντιστοιχούν στον επιλεγμένο τύπο συμβάντος (event type). Για παράδειγμα, εάν η επιλογή μας στο event type είναι η παράμετρος MIDI Note, οι επιλογές μας στη στήλη value θα είναι όλες οι MIDI νότες – από το C-2 μέχρι το F#8. Έπειτα, στη στήλη ‘chan.’ πρέπει να ορίσουμε σε ποιο κανάλι θα προωθηθεί το συγκεκριμένο μήνυμα. Οι επιλογές που μας δίνονται κυμαίνονται από τα κανάλια 1 έως και 16. Στη συνέχεια, θα χρειαστεί να ορίσουμε το ίδιο κανάλι εισόδου (input channel) στο αντίστοιχο DAW που θα χρησιμοποιήσουμε έτσι ώστε σύμφωνα με τις ρυθμίσεις να μπορούμε να ελέγξουμε το εισερχόμενο σήμα που εκτελείται.

*Ακολουθεί μια σύντομη επεξήγηση των πιθανών λειτουργιών που έχουμε στην διάθεσή μας προς επιλογή από τη στήλη του ‘event type’ για τη δημιουργική διάδραση του ελεγκτή μας.

Control

MIDI CC	Μετατρέπει το εισερχόμενο μήνυμα σε MIDI Continuous Control. Το μήνυμα προσαρμόζεται αυτόματα στην κατάλληλη μονάδα MIDI. Μια τιμή OSC 1.0 αντιστοιχεί σε τιμή MIDI 127.
MIDI CC Toggle	Παρόμοια με το MIDI CC, εκτός από το ότι η είσοδος χρησιμοποιείται ως εναλλακτική και η έξοδος μπορεί να είναι μόνο μία από τις δύο ακραίες τιμές που δίδονται από την περιοχή εξόδου.
MIDI Prg	Η συγκεκριμένη είσοδος χρησιμοποιείται για την μετατροπή μιας υψηλής τιμής σε μια χαμηλής, ή και το αντίθετο (για παράδειγμα, όταν απελευθερώνεται ένα κουμπί που πιέστηκε).
OSC Routing	Μια από τις πιο ευέλικτες λειτουργίες, που χρησιμοποιείται για την προώθηση, την κατασκευή και την αποστολή μηνυμάτων OSC.

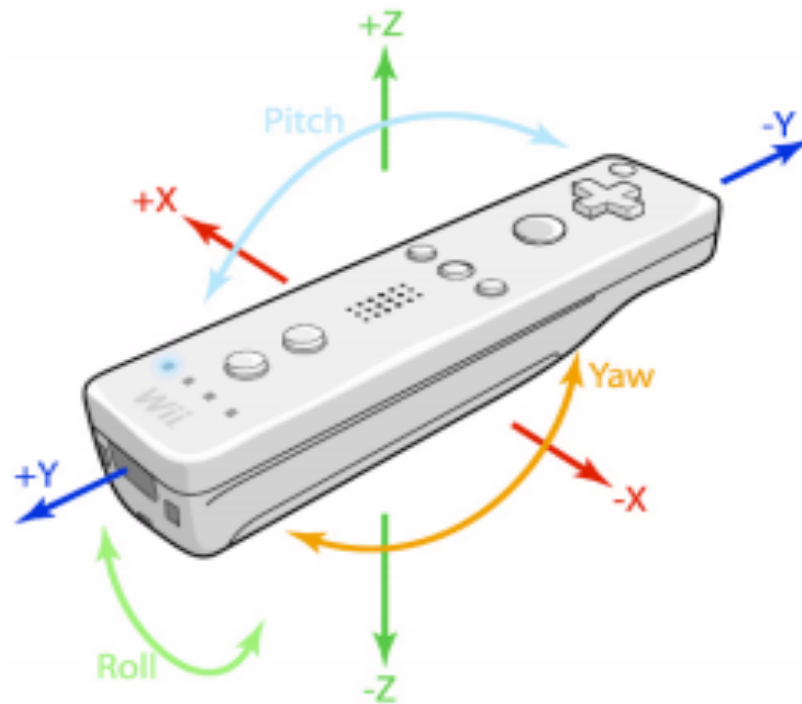
Notes

MIDI Note	Η συγκεκριμένη επιλογή στέλνει ένα MIDI μήνυμα με σταθερό βήμα.
MIDI Note w/ Params	Η συγκεκριμένη επιλογή έχει σχεδιαστεί για τα πιο περίπλοκα MIDI μηνύματα και την προηγμένη γενιά MIDI.
Note Params	Η συγκεκριμένη επιλογή συνδέεται με την προηγούμενη καθώς είναι σχεδιασμένη για την αποθήκευση των <i>MIDI Note w/ Params</i> παραμέτρων.

Virtual Devices

Keycode	Εξομοιώνει ένα πάτημα σε ένα συγκεκριμένο πλήκτρο του πληκτρολογίου Mac. Να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τον βοηθό πληκτρολογίου (⌘K).
Key Combo	Προσομοιώνει μια προκαθορισμένη συντόμευση πληκτρολογίου.
Mouse	Η συγκεκριμένη επιλογή μπορεί να μετακινήσει το δείκτη του ποντικιού πλοήγησης και προσομοιώνει το πάτημα ενός κουμπιού ή του τροχού κύλισης.
HID	Η συγκεκριμένη επιλογή μπορεί να ελέγχει τα εικονικά joysticks που εκτίθενται σε εφαρμογές συμβατές με το HID (για παράδειγμα τα περισσότερα παιχνίδια).

Η δεύτερη κατηγορία, βασίζεται στην χρήση του αξιερόμετρου το οποίο επιτρέπει τον διαδραστικό έλεγχο και την παραμετροποίηση του ήχου και άλλων λειτουργιών με τη βοήθεια της κίνησης του ελεγκτή. Σε αντίθεση με την προηγούμενη κατηγορία, οι μετρήσεις και η αποστολή μηνυμάτων γίνονται μόνο με την κίνηση. Επομένως, υπάρχουν τρεις επιλογές κινήσεων, οι οποίες βασίζονται στο ενσωματωμένο αξιερόμετρο τριών αξόνων X, Y, Z, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. (εικ.20)



(εικ.20, επιλογές κινήσεων στους άξονες)

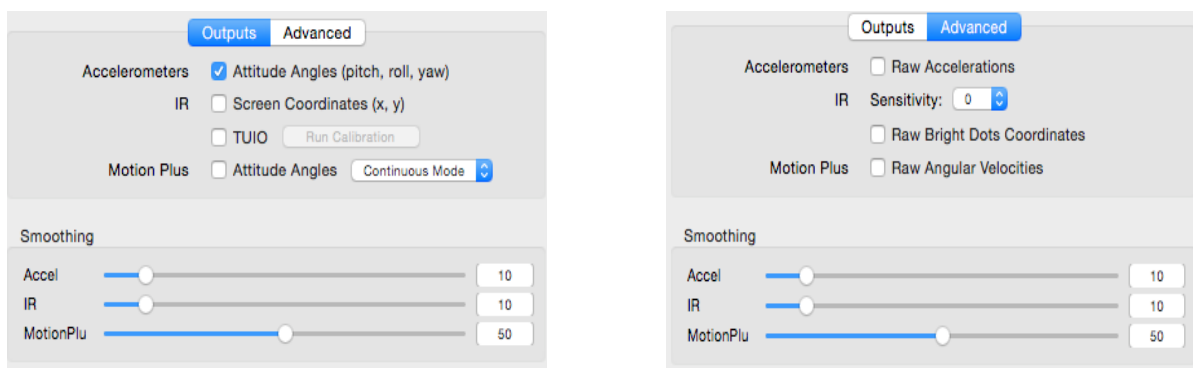
Στην εικόνα 20 φαίνονται επίσης οι λειτουργίες Pitch, Roll και Yaw, όπως αναφέρονται και στο OSCulator. Ουσιαστικά, τα Pitch, Roll και Yaw υπολογίζονται ως εξής:

- Pitch: η περιστροφή γύρω από τον άξονα Y (μεταξύ -90° και 90°)
- Roll: η περιστροφή γύρω από τον άξονα X (μεταξύ -180° και 180°)
- Yaw: η περιστροφή γύρω από τον άξονα Z (μεταξύ -180° και 180°)

Accelerometer Based

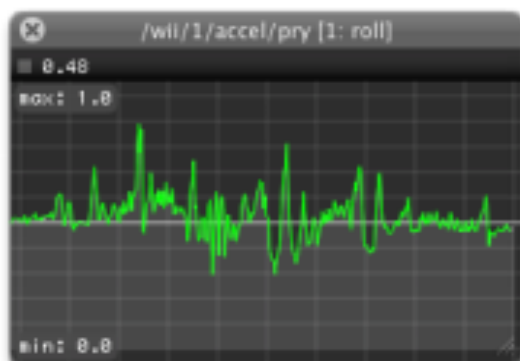
Pitch, Roll, Yaw	Οι τιμές αυτές αναφέρονται στον κλάδο της γεωμετρίας και ως "attitude angles". Στην προκειμένη περίπτωση, οι τιμές τους δίνουν μια εκτίμηση του προσανατολισμού του ελεγκτή. Η επιπλέον τιμή "accel" δίνει τη συνολική επιτάχυνση προς όλες τις κατευθύνσεις.
Raw Accels (X, Y, Z)	Ονομάζονται οι αρχικές τιμές όπως αναφέρονται από τα αξιλερόμετρα. Για τις συγκεκριμένες τιμές υπάρχει η δυνατότητα εξομάλυνσης και ελέγχου των τιμών μέσω της ρύθμισης 'smoothing'.

Παράλληλα, στις ρυθμίσεις του OSCulator (εικ.21) υπάρχει η ενότητα 'Output' η οποία επιτρέπει τον έλεγχο του τρόπου με τον οποίο ο ελεγκτής εξάγει τα δεδομένα. Οι ρυθμίσεις στην στήλη 'output' σχετίζονται με τα δεδομένα που θέλουμε να υποστούν επεξεργασία άμεσα. Οι ρυθμίσεις στη στήλη 'advanced', σχετίζονται κυρίως με τα ακατέργαστα (raw) δεδομένα.

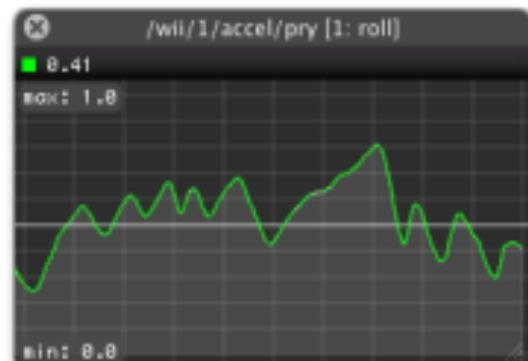


(εικ.21, ρυθμίσεις του OSCulator)

Πολλές φορές οι αισθητήρες του ελεγκτή παράγουν ένα ασταθές σήμα το οποίο μπορεί να προκαλέσει άτακτες αλλαγές των παραγόμενων τιμών. Προκειμένου να εξομαλυνθούν οι τιμές αυτές και να ρυθμιστεί η ανταπόκριση των αισθητήρων, παρέχεται μια ρύθμιση εξομάλυνσης (smoothing). Στα παρακάτω γραφήματα φαίνεται η επίδραση του 'smoothing'. (εικ.22)



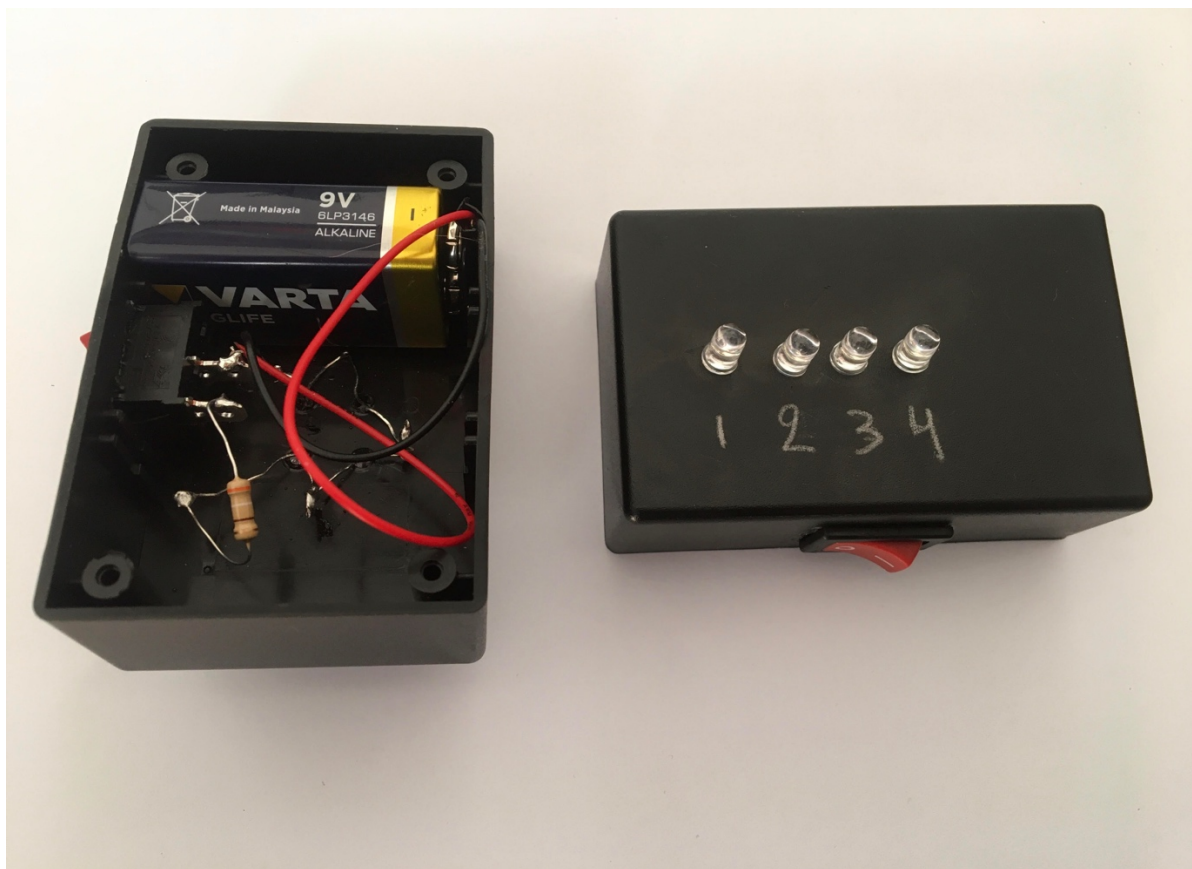
(γράφημα πριν την ρύθμιση εξομάλυνσης)



(γράφημα μετά την ρύθμιση εξομάλυνσης)

εικ.22

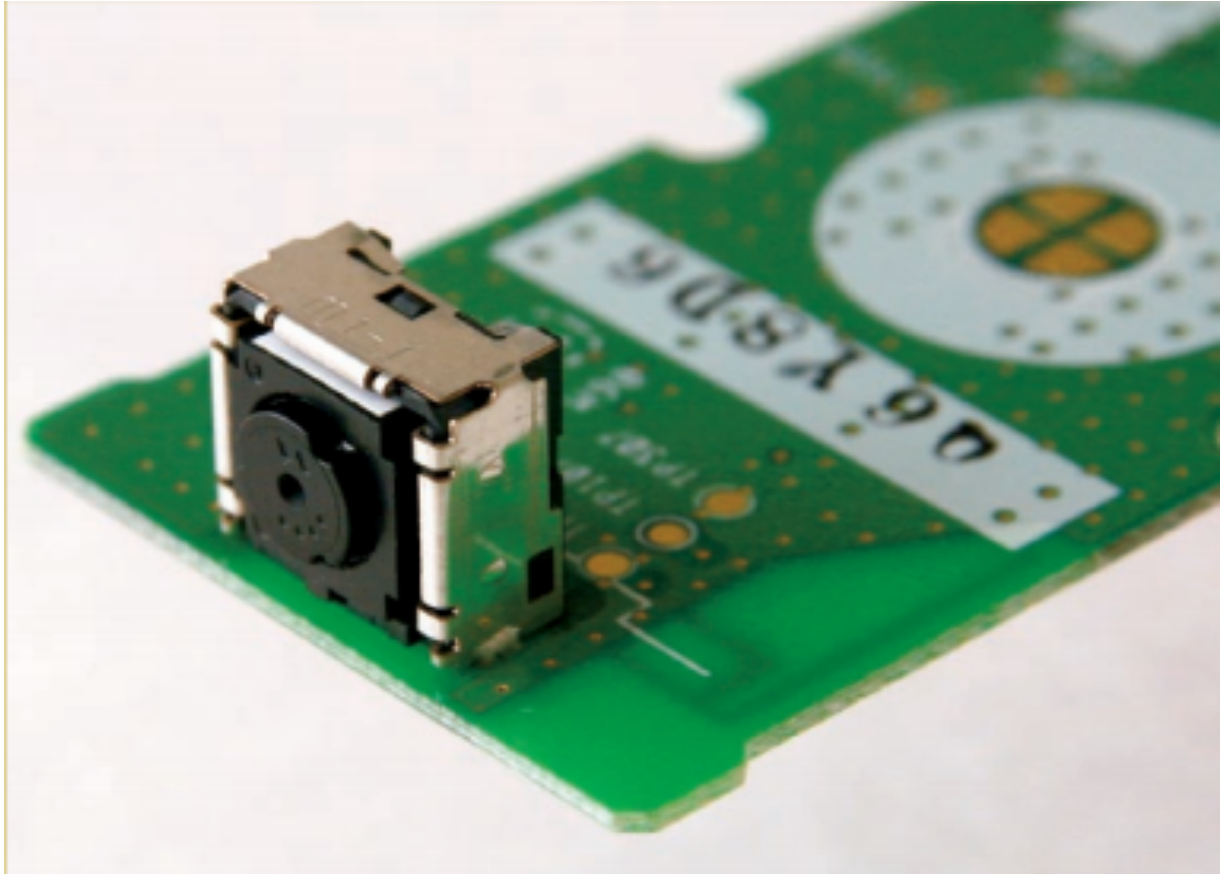
Στην τρίτη κατηγορία, η χρήση του αξελερόμετρου καθώς και της υπέρυθρης κάμερας IR, επιτρέπουν τον διαδραστικό έλεγχο και την παραμετροποίηση του ήχου και άλλων λειτουργιών με την κίνηση διαφόρων αντικειμένων (π.χ. IR Led ή ενός κεριού) έχοντας πάντα σε σταθερή θέση τον διαδραστικό ελεγκτή. Για τη συγκεκριμένη κατηγορία χρειάστηκε να κατασκευαστούν δυο αυτοσχέδιες συσκευές εκπομπής υπέρυθρου φωτός όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες (εικ.23). Στη συγκεκριμένη κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 8 υπέρυθρες λάμπες IR Led (4 Led στην κάθε συσκευή για ενισχυμένο σήμα), δύο αντιστάσεις των 390 Ωm και δύο διακόπτες on/off, ενώ η τροφοδοσία τους γίνεται μέσω μιας μπαταρίας 9V.



(εικ.23, συσκευές εκπομπής υπέρυθρου φωτός)

Στην άκρη του τηλεχειριστηρίου Wii, βρίσκεται ένας αισθητήρας IR κάμερας, όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω φωτογραφία (εικ.24). Ο αισθητήρας IR διαθέτει ενσωματωμένο σύστημα παρακολούθησης πολλαπλών αντικειμένων και παρέχει υψηλής ανάλυσης και ταχύτητας παρακολούθηση έως και 4 ταυτόχρονων υπέρυθρων πηγών φωτός IR. Οι ακριβείς προδιαγραφές του αισθητήρα κάμερας IR δεν έχουν δημοσιευθεί, αλλά φαίνεται ότι παρέχουν δεδομένα θέσης με ανάλυση 1.024×768 pixels, ρυθμό ανανέωσης 100 Hz και οριζόντιο οπτικό πεδίο 45° .

Σε αντίθεση με τις περισσότερες κάμερες οι οποίες συνήθως υποστηρίζουν ανάλυση 640×480 pixels στα 30 Hz και απαιτούν σημαντική ισχύ CPU, οι προδιαγραφές της υπέρυθρης κάμερας IR ξεπερνά κατά πολύ τις συγκεκριμένες τιμές. Το ενσωματωμένο σύστημα παρακολούθησης πολλαπλών αντικειμένων ελαχιστοποιεί τα δεδομένα που μεταδίδονται μέσω της ασύρματης σύνδεσης και απλοποιεί σε μεγάλο βαθμό την όλη διαδικασία.



(εικ.24, αισθητήρας IR κάμερας)

Για την ενεργοποίηση της αισθητήρων κάμερας IR πρέπει να γίνουν κάποιες επιπλέον ρυθμίσεις στο OSCulator. Αφού επιλεγεί ο ελεγκτής στην ενότητα 'Output', θα χρειαστεί να επιλεγεί η λειτουργία IR: Screen Coordinates (x, y) ώστε να ενεργοποιηθούν οι αισθητήρες κάμερας IR. Έπειτα, στην ενότητα ρυθμίσεων 'Advanced' πρέπει να επιλεγεί η λειτουργία 'Raw Accelerations' ώστε να λαμβάνονται όσο τον δυνατόν λιγότερο επεξεργασμένα δεδομένα καθώς και η λειτουργία 'Raw Bright Dots Coordinates' ώστε να ενεργοποιείται η υπέρυθρη λειτουργία αναγνώρισης φωτεινών ενδείξεων IR. Παρέχεται επίσης η δυνατότητα ελέγχου της ευαισθησίας των λειτουργιών επιλέγοντας τις κατάλληλες τιμές στο πεδίο 'IR Sensitivity'. Στα παρακάτω γραφήματα παρατηρούμε την ανταπόκριση των τιμών στους άξονες x, y, z κατά την κίνηση της αυτοσχέδιας συσκευής IR Led. (εικ.25)



(εικ.25, ανταπόκριση των τιμών στους άξονες x, y, z)

Στη συνέχεια, αναθέτοντας μια ενέργεια στην στήλη 'event type' όπως για παράδειγμα 'MIDI CC' και δίνοντας μια διαφορετική πηγή (0,1,2,3 κτλ.) σε κάθε άξονα στη στήλη 'ALUM', είμαστε σε θέση πλέον με την κίνηση της αυτοσχέδιας συσκευής IR στους τρεις άξονες να ελέγχουμε και να παραμετροποιούμε τον ήχο σε οποιοδήποτε πρόγραμμα τύπου DAW μέσω της επιλογής MIDI Mapping/Learning. Ουσιαστικά, η συγκεκριμένη επιλογή MIDI Mapping συλλέγει τα MIDI μηνύματα από οποιαδήποτε συσκευή προέρχονται, εκτελεί MIDI Learning και τα αντιστοιχεί σε οποιαδήποτε παράμετρο όπως για παράδειγμα τα volume, pitch, pan, attack, reverb, delay κτλ.

Το OSCulator, στη δωρεάν του έκδοση προσφέρει τη δυνατότητα ταυτόχρονης σύνδεσης και ελέγχου μέχρι 4 συσκευών Bluetooth. Επιπλέον, η συγκεκριμένη υπέρυθρη κάμερα IR μπορεί να αναγνωρίσει μέχρι 4 διαφορετικές ομάδες IR Leds που η καθεμία χωρίζεται σε τρεις άξονες. Επομένως, συμπεραίνουμε ότι μπορούμε να έχουμε ταυτοχρόνως 48 πηγές μηνυμάτων. Σε αντίθετη περίπτωση, λόγω της ιδιαιτερότητας των συγκεκριμένων κινήσεων, θα χρειαζόνταν τουλάχιστον 24 διαφορετικά άτομα για να χειρίζονται όλες αυτές τις επιλογές ταυτοχρόνως (χειροκίνητος χειρισμός αξόνων X, Y) και 16 άτομα ακόμη μόνο για τον χειρισμό του άξονα Z (size).

Πέραν του χειροκίνητου χειρισμού των IR Leds, η συσκευή θα μπορούσε να τοποθετηθεί στα άκρα ή και σε συγκεκριμένα σημεία του σώματος ενός χορευτή, ο οποίος θα μπορούσε να παραμετροποιήσει στοιχεία του ήχου ή ακόμη και να συνθέσει ήχο εκ του μηδενός. Βέβαια, η συγκεκριμένη εφαρμογή περιορίζεται από κάποιες τεχνικές δυσκολίες. Όπως συμβαίνει με τα περισσότερα συστήματα οπτικής παρακολούθησης, έτσι και αυτό το σύστημα δεν μπορεί να λειτουργήσει σε περίπτωση παρεμπόδισης του σήματος. Με άλλα λόγια, η οπτική γωνία μεταξύ IR Led και υπέρυθρης κάμερας IR πρέπει να είναι ανεμπόδιστη και εντός εμβέλειας σήματος. Επίσης, όσον αφορά τον αισθητήρα υπέρυθρων του Wii Remote, αν οι πηγές φωτός είναι τοποθετημένες πολύ κοντά μεταξύ τους, θα αναγνωριστούν ως ένα μόνο σημείο. Παρόλα αυτά, εάν χαθεί η καθαρή γραμμή ορατότητας μεταξύ της υπέρυθρης κάμερας IR και της συσκευής φωτός IR Led, οι εκτιμήσεις για τα 'pitch' και 'roll' θα συνεχίσουν να ανταποκρίνονται χάρη στην λειτουργία του αξελερόμετρου.

3. Δημιουργική εφαρμογή και κριτική αξιολόγηση του συστήματος

Έπειτα από πειράματα εφαρμογής του συστήματος σε διάφορους μουσικούς και διαφορετικά μουσικά όργανα καταλήξαμε στην καταγραφή των εξής δυο περιπτώσεων για την καλύτερη ανάδειξη του διαδραστικού συστήματος. Η πρώτη περίπτωση εφαρμόζεται σε πιάνο και χρησιμοποιεί μόνο την τρίτη κατηγορία εφαρμογής του διαδραστικού ελεγκτή, λόγω τεχνικών δυσκολιών που προκύπτουν από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του οργάνου καθώς και τον τρόπο παιξίματός του. Στη συνέχεια, περιγράφεται μια ακόμη δημιουργική εφαρμογή του συστήματος για την οποία χρησιμοποιήθηκε η ηλεκτρική κιθάρα, καθώς και οι τρεις κατηγορίες εφαρμογής του διαδραστικού ελεγκτή. Ιδιαίτερα οι ηλεκτρικοί κιθαρίστες είναι αρκετά εξοικειωμένοι με την χρήση εξωτερικών συσκευών παραμετροποίησης ήχου (guitar pedals/effects), επομένως οι επιδόσεις τους θεωρητικά θα πρέπει να είναι αποτελεσματικότερες σε σχέση με άλλους μουσικούς.

3.1 Εφαρμογή σε πιάνο με τη χρήση IR

Ξεκινώντας τη δημιουργική εφαρμογή, σταθεροποιήσαμε με δύο βάσεις μικροφώνων δύο διαδραστικούς ελεγκτές στα αριστερά και δεξιά του πιανίστα και σε ύψος περίπου 50 cm επάνω από το κεφάλι του. Με τη χρήση αυτοκόλλητου βέλκρο, προσκολλήθηκαν στα χέρια του οι δύο αυτοσχέδιες συσκευές IR Led. Το πιάνο συνδέθηκε με την χρήση μικροφώνων στο λογισμικό παραμετροποίησης ήχου Ableton Live. Στην συνέχεια, με τη χρήση του λογισμικού OSCulator αντιστοιχήθηκαν στη στήλη ‘messages’ τα Wii/1/IR/xys/1 και Wii/2/IR/xys/2 με τη λειτουργία MIDI CC και δόθηκαν στο άξονα του ‘y’, διαφορετικές τιμές (values) για τον κάθε ελεγκτή. Έπειτα, με τη χρήση του MIDI Learning στο Ableton Live, αντιστοιχήθηκαν οι ίδιες τιμές (values) με δύο λειτουργίες παραμετροποίησης ήχου. Για τον πρώτο ελεγκτή (y1) στα αριστερά, δόθηκε η δυνατότητα παραμετροποίησης του βάθους (reverb) του καναλιού, ενώ για τον δεύτερο ελεγκτή στα δεξιά δόθηκε η δυνατότητα παραμετροποίησης της αντήχησης (delay). Επομένως, όταν ο πιανίστας αυτοσχεδίαζε με πυκνότερες μουσικές φράσεις με το δεξί του χέρι, οι κινήσεις του χεριού του ήταν περισσότερες με αποτέλεσμα να αυξομοιώνονται συνεχώς οι τιμές του εφέ της αντήχησης. Αντιστοίχως, παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάστηκαν και στο αριστερό χέρι. Καθόλη τη διάρκεια του μουσικού αυτοσχεδιασμού, στα σημεία που υπήρχε έντονη κινητικότητα στο αριστερό χέρι παρατηρήθηκε αυξομοίωση του ηχητικού εφέ του βάθους. Η επιλογή των συγκεκριμένων ηχητικών εφέ έγινε με βάση το κριτήριο ότι ανήκουν στην κατηγορία των εφέ που η τιμή τους μπορεί να αυξομειώνεται. Είναι γνωστό, ότι κατά την εκτέλεση του συγκεκριμένου οργάνου τα πόδια του μουσικού είναι καθηλωμένα στα πεντάλ του πιάνου με αποτέλεσμα να μην

υπάρχει η συνεχής δυνατότητα για τον έλεγχο των τιμών της παραμετροποίησης του ήχου μέσω κάποιου εξωτερικού πεντάλ (π.χ. expression pedal). Η τοποθέτηση έγινε τέτοιον τρόπο ώστε ο πιανίστας να έχει τη δυνατότητα της ελεγχόμενης αυξομείωσης των τιμών των ηχητικών εφέ όπως ο ίδιος επιθυμεί.

3.2 Εφαρμογή σε ηλ. κιθάρα με τη χρήση MIDI Mapping – Αξελερόμετρου - IR

Για τη συγκεκριμένη δημιουργική εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν δύο πανομοιότυποι διαδραστικοί ελεγκτές οι οποίοι προγραμματίστηκαν και τοποθετήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να χρησιμοποιούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των τριών κατηγοριών εφαρμογής του διαδραστικού ελεγκτή ταυτοχρόνως. Αρχικά, τοποθετήθηκε με τη χρήση αυτοκόλλητου βέλκρο ο πρώτος ελεγκτής στο σώμα της ηλεκτρικής κιθάρας (εικ.26). Με τη χρήση του λογισμικού OSCulator, στη στήλη ‘messages’, αντιστοιχίστηκαν για τα κουμπιά πίεσεως ‘button 1’, ‘button 2’, ‘minus-’, ‘plus+’, ‘button A’, ‘button down’ και ‘button up’, με λειτουργίες MIDI CC και ανατέθηκαν διαφορετικές τιμές (values) στο καθένα, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικ.27). Έπειτα, με τη χρήση της επιλογής MIDI Mapping στο λογισμικό παραμετροποίησης ήχου Ableton Live, οι τιμές (values) αντιστοιχίστηκαν με συγκεκριμένες λειτουργίες. Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε τις διαφορετικές εντολές που δόθηκαν σε κάθε κουμπί.

<u>Κουμπί</u>	<u>Εντολή</u>	<u>Λειτουργία</u>	<u>Τιμή</u>	<u>Κανάλι</u>	<u>Αποτέλεσμα</u>
Button 1	‘Play’	MIDI CC	3	1	Drums
Button 2	‘Stop’	MIDI CC	4	1	Drums
Minus-	‘Play’	MIDI CC	5	1	Bass
Plus+	‘Stop’	MIDI CC	6	1	Bass
Button A	‘Play all’	MIDI CC	7	1	Play all
Button Down	‘Stop all’	MIDI CC	8	1	Stop all
Button Up	‘Play’	MIDI CC	9	1	Piano



(εικ.26, τοποθέτηση ελεγκτή στην ηλ. κιθάρα)

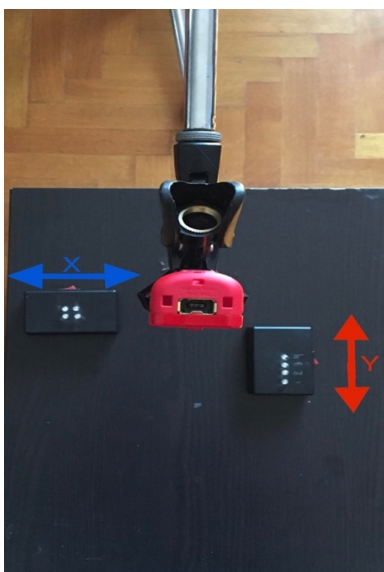
MIDI Mappings					
C...	Note/Control	Path	Name	Min	Max
1	CC 1	1-Audio Mixer	A-Filter Delay Re...	-inf dB	0.0 dB
1	CC 3	DRUMS	Track Launch		
1	CC 4	DRUMS	Clip Stop		
1	CC 5	Bass	Track Launch		
1	CC 6	Bass	Clip Stop		
1	CC 7	Transport	Start		
1	CC 8	Transport	Stop		
1	CC 9	5-Audio	Slot 1		
1	CC 13	5-Audio Mixer	Track Volume	-inf dB	6.0 dB
1	CC 14	5-Audio Mixer	A-Filter Delay Re...	-inf dB	0.0 dB

(εικ.27, αντιστοίχιση των Midi Messages)

Στην συνέχεια, στην περιοχή *Wii/1/accel/pry* της στήλης ‘messages’, για την παράμετρο ‘roll’ του ελεγκτή, δόθηκε εντολή λειτουργίας MIDI CC και η τιμή (value) 1. Στο Ableton Live, με τη χρήση του MIDI Mapping αντιστοιχίστηκε η τιμή 1 στο κανάλι εισόδου που ήταν συνδεδεμένη η ηλεκτρική κιθάρα και δόθηκε εντολή για παραμετροποίηση της παραμέτρου ‘Bus A - Send’. Στο ‘Bus A - Send’ ήταν συνδεδεμένα δύο εφέ παραμετροποίησης ήχου, ένα εφέ αντήχησης (delay) και ένα εφέ βάθους (reverb).

Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε και ένας δεύτερος διαδραστικός ελεγκτής για τη δημιουργική εφαρμογή του συστήματος. Από τον δεύτερο ελεγκτή χρησιμοποιήθηκαν το αξελερόμετρο και η υπέρυθρη κάμερα IR καθώς και οι αυτοσχέδιες συσκευές IR Led.

Σε μια επίπεδη επιφάνεια τοποθετήθηκαν οι δύο αυτοσχέδιες συσκευές IR Led. Σε απόσταση μικρότερη των 50cm από πάνω τους τοποθετήθηκε εγκάρσια με μια βάση μικροφώνου και σταθεροποιήθηκε κατά το δυνατόν σε ευθεία κατάσταση ο δεύτερος διαδραστικός ελεγκτής, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. (εικ.28)



(εικ.28, εγκάρσια τοποθέτηση ελεγκτή)

Με τη χρήση του λογισμικού OSCulator, ενεργοποιήθηκαν από τις ρυθμίσεις οι επιλογές 'IR: Screen Coordinates (x, y)', 'Accelerometers: Raw Accelerations' και 'IR Sensitivity: +2'. Στη στήλη 'messages', στην περιοχή *Wii/2/IR/xys/2*, δόθηκαν οι εντολές MIDI CC για τους άξονες x, y, και οι τιμές (values) 14 και 13 αντιστοίχως. Στο λογισμικό του Ableton Live, με την επιλογή MIDI Learning οι συγκεκριμένες τιμές (values) αντιστοιχήθηκαν σε εφέ βάθους για την τιμή 14 (x) και στον χειρισμό της έντασης εισόδου του καναλιού η τιμή 13 (y). Στο συγκεκριμένο κανάλι εισόδου είχε προ-ηχογραφηθεί μια ακολουθία συγχορδιών εκτελεσμένη από ηλεκτρικό πιάνο.

Η τοποθέτηση του πρώτου ελεγκτή πάνω στην κιθάρα έγινε με τέτοιον τρόπο ώστε να εξυπηρετεί τον μουσικό και να μην δημιουργεί προβλήματα κατά την εκτέλεση του οργάνου. Έπειτα από δοκιμές τοποθέτησης του ελεγκτή σε διάφορα άλλα σημεία του οργάνου, παρατηρήθηκε ότι το συγκεκριμένο σημείο τοποθέτησης ανταποκρίνοταν καλύτερα στις κινήσεις του κιθαρίστα. Η τοποθέτηση του δεύτερου ελεγκτή έγινε με τέτοιον τρόπο για την αποφυγή προβλημάτων λειτουργικής εμβέλειας και παρεμπόδισης του υπέρυθρου σήματος. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε προ-ηχογραφημένο ηχητικό δείγμα ήταν για την ανάδειξη των δυνατοτήτων της τρίτης κατηγορίας του ελεγκτή, χωρίς να είναι αναγκαία η διακοπή της δημιουργικής εφαρμογής του συστήματος που εκτελούνταν σε πραγματικό χρόνο.

Και στις δύο περιπτώσεις, η επιλογή των συγκεκριμένων ηχητικών εφέ έγινε με βάση το κριτήριο ότι ανήκουν στην κατηγορία των εφέ που η τιμή τους μπορεί να αυξομειώνεται.

3.3. Κριτική αξιολόγηση

Κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού και της κατασκευής του συγκεκριμένου διαδραστικού ελεγκτή υπήρξε επικοινωνία με διάφορους συναδέλφους μουσικούς, ώστε να καταγραφούν τυχόν προβλήματα και δυσλειτουργίες που προκύπτουν από τις διάφορες κινήσεις του εκάστοτε μουσικού. Συνολικά, 7 μουσικοί χρησιμοποίησαν τον συγκεκριμένο ελεγκτή με σκοπό να δημιουργήσουν πρωτότυπη μουσική, να αυτοσχεδιάσουν και να πειραματιστούν. Από τους 7 μουσικούς, οι 3 ήταν κιθαρίστες, ένας σαξοφωνίστας, ένας πιανίστας, ένας κρουστός και μια γυναικεία φωνή. Παρατηρήσαμε λοιπόν ότι οι γωνίες που τοποθετήθηκε ο ελεγκτής, αναλόγως με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κάθε οργάνου, πολλές φορές δημιουργούσαν δυσκολίες στην επικοινωνία του συστήματος με τον ελεγκτή. Επίσης, μερικές φορές εμφανίστηκε αστοχία επικοινωνίας μεταξύ πομπού και δέκτη η οποία ήταν επακόλουθο κάποιων μεμονωμένων απότομων κινήσεων.

Για παράδειγμα, η εφαρμογή του διαδραστικού ελεγκτή στα τύμπανα, ένα όργανο το οποίο καθλώνει τα τέσσερα άκρα του εκτελεστή με αυστηρά συγκεκριμένες και απότομες κινήσεις, έχει ως αποτέλεσμα η διάδραση με τον συγκεκριμένο ελεγκτή να είναι σχεδόν ανύπαρκτη. Παρόμοιες δυσκολίες συναντήσαμε και με το πιάνο. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, λόγω της τεχνοτροπίας που εφαρμόζει ο εκτελεστής κατά την εκτέλεση του οργάνου, ήταν τεχνικά αδύνατο να συνδέσουμε τον ελεγκτή στα χέρια του. Για το λόγο αυτό, εφαρμόστηκε η τρίτη κατηγορία του ελεγκτή και η διάδραση έγινε με τη χρήση του αξελερόμετρου καθώς και με τη χρήση της συσκευής IR Led. Συνοψίζοντας, ζητήθηκε από τον πιανίστα να αυτοσχεδιάσει έχοντας υπόψιν του, ότι με την κίνηση των χεριών του κατά τον άξονα του 'y' θα μπορούσε να παραμετροποιήσει τα αντιστοιχισμένα ηχητικά εφέ, και πιο συγκεκριμένα αυτά της αντήχησης και του βάθους. Παρατηρήθηκε, ότι κατά τη διάρκεια του αυτοσχεδιασμού ο εκτελεστής κατέβαλε προσπάθεια να προσαρμόσει το παίξιμό του έχοντας ως βάση τα όρια διάδρασης του ελεγκτή. Επομένως, υπήρξαν αρκετά περιοριστικά στοιχεία τα οποία και ακολουθήθηκαν από τους εκτελεστές για την ομαλή διεξαγωγή της δημιουργικής εφαρμογής του συστήματος. Γενικά, τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν, ήταν δυσκολίες επικοινωνίας του πομπού με τον δέκτη λόγω λειτουργικής εμβέλειας του συστήματος, καθώς και τεχνικά ζητήματα επικοινωνίας λόγω παρεμπόδισης του σήματος από τον οργανοπαίχτη.

Προκειμένου να γενικευτεί η αξιολόγηση της χρηστικότητας του συστήματος, υιοθετήθηκε δεύτερη μέθοδος αξιολόγησης για να παρατηρηθεί το πώς άνθρωποι με και χωρίς μουσική εκπαίδευση χρησιμοποιούν με τον ίδιο διαδραστικό ελεγκτή. Για την αξιολόγηση προσκλήθηκαν διάφοροι χρήστες οι οποίοι χωρίστηκαν σε 2 ομάδες με βασικό κριτήριο οι μουσικές τους γνώσεις. Η πρώτη ομάδα απαρτιζόταν από δύο γυναίκες και δύο άνδρες με ηλικιακό εύρος από 25 έως 43 ετών χωρίς έμπρακτη μουσική εκπαίδευση αλλά με έντονη μουσική εμπειρία, μουσική αντίληψη και αγάπη για τον σκοπό. Η δεύτερη ομάδα αποτελούνταν ομοίως από δύο γυναίκες και δύο άνδρες με ηλικιακό εύρος από 25 έως 43 ετών με μουσικό εκπαιδευτικό υπόβαθρο και θεωρητικές γνώσεις διαφόρων επιπέδων.

Από τη σύγκριση των 2 ομάδων προκύπτουν τα ακόλουθα ενδιαφέροντα συμπεράσματα.

Η ομάδα με τη μουσική εκπαίδευση, τείνει να δίνει σημαντικά μεγαλύτερη προσοχή στην ανάλυση της μουσικής και στη δημιουργική κριτική της. Είναι περισσότερο προσεκτικοί με τον ρυθμό και τον παλμό της μουσικής παρά με τον συγχρονισμό των κινήσεων που πρέπει να εκτελέσουν για να παράξουν ήχο. Αντιθέτως, η ομάδα των ανθρώπων χωρίς μουσική εκπαίδευση φαίνεται να αναζητά περισσότερο την αίσθηση του ελέγχου των κινήσεων. Ανησυχούν λιγότερο για τον παλμό και τα ρυθμικά στοιχεία της μουσικής και φαίνεται να είναι αρκετά ικανοποιημένοι με το αποτέλεσμα, ασχέτως των σημαντικών ελλείψεων συγχρονισμού και λοιπών μουσικών χαρακτηριστικών. Η ομάδα των μουσικών τείνει να χρησιμοποιεί την ακοή για να κρίνει την διάδραση του ήχου στις κινήσεις τους, ενώ η ομάδα των μη μουσικών φαίνεται να επικεντρώνεται περισσότερο στην οπτική παρουσίαση και στις διάφορες κινήσεις. Οι μουσικοί, ιδιαίτερα εκείνοι που είχαν κάποια σχετική εμπειρία με την διεύθυνση μιας ορχήστρας ή έστω ενός μικρού συνόλου, φάνηκε να μην παρουσιάζουν ιδιαίτερο πρόβλημα στον έλεγχο των διαφόρων λειτουργιών της συσκευής. Πιθανότατα, αυτό οφείλεται στη πολυετή εμπειρία τους με τη μουσική αλλά και στην υποσυνείδητη συσχέτιση των κινήσεων του ανθρώπινου σώματος κατά την εκτέλεση ενός μουσικού οργάνου. Στη μουσική εκπαίδευση, η χρήση της φυσικής δύναμης κατά την εκτέλεση ενός οργάνου είναι πολύ σημαντική στη απόδοση της μουσικής έκφρασης, των συναισθημάτων, των δυναμικών κλπ. Για την ομάδα χωρίς μουσική εκπαίδευση, η χρήση της φυσικής δύναμης κατά την χρήση του controller ήταν μικρή. Ενδιαφέρον προκαλεί το γεγονός ότι οι έμπειροι μουσικοί είχαν την τάση να αυτοσχεδιάζουν ο καθένας με την ιδιαίτερη τεχνική του, παρόλο που ήταν εμφανές ότι το σύστημα, σε αυτή του τη μορφή, δεν θα μπορούσε να ανταπεξέλθει σε πιο περίπλοκες χειρονομίες και συνθήκες. Ωστόσο, η ομάδα των ανθρώπων χωρίς μουσική εκπαίδευση και επομένως χωρίς εμπειρία στη διεύθυνση, φαίνεται να επέλεγε τις κινήσεις τους σύμφωνα με την προσωπική τους αντίληψη για το πώς θα έπρεπε να εκτελείται η διεύθυνση μιας ορχήστρας.

4. Σχεδιασμός Arduino Pedal

Η Arduino, είναι μια εταιρία που σχεδιάζει και κατασκευάζει πλακέτες και μικρο-ελεγκτές (micro-controllers) ανοιχτού λογισμικού κώδικα για την κατασκευή ψηφιακών συσκευών. Η πρωτότυπη ιδέα κατασκευάστηκε στο Inrea Interaction Design Institute της Ιταλίας το 2005 και στόχευε στη δημιουργία ενός εργαλείου για τη γρήγορη κατασκευή πρωτοτύπων. Απευθύνονταν κυρίως σε φοιτητές, χωρίς εξειδικευμένες γνώσεις στα ηλεκτρονικά και τον προγραμματισμό. Με τον καιρό διαδόθηκε στην ευρύτερη κοινότητα και έτσι το Arduino ξεκίνησε να αλλάζει και να προσαρμόζεται στις νέες ανάγκες και προκλήσεις της εποχής, εξελίσσοντας την τεχνολογία του, διαμορφώνοντας τις πλακέτες του από απλές των 8-bit, σε πιο σύνθετες που εξυπηρετούσαν ανάγκες και κάλυπταν υπηρεσίες σε διάφορα εξελιγμένα τεχνολογικά προϊόντα και διαδικτυακές εφαρμογές (π.χ. σε τρισδιάστατους εκτυπωτές) (D.Kushner, 2011). Παρά τη ραγδαία και ταχύτατη εξέλιξή του, όλες οι πλακέτες Arduino παραμένουν πλακέτες ανοιχτού κώδικα⁵ (Open Source) και ανοιχτού υλικού⁶ (Open Hardware), επιτρέποντας στους χρήστες να τις κατασκευάζουν και να τις παραμετροποιούν ανεξάρτητα, προσαρμόζοντάς τις στις ιδιαίτερες ανάγκες τους.

Με το πέρασμα των χρόνων, το Arduino, έχει υπάρξει σημαντικό εργαλείο πολλών ευρεσιτεχνιών, από απλά καθημερινά αντικείμενα μέχρι σύνθετα επιστημονικά όργανα. Μια παγκόσμια κοινότητα δημιουργών που απαρτίζεται από φοιτητές και καλλιτέχνες, προγραμματιστές και επαγγελματίες ερευνητές χρησιμοποιούν την πλατφόρμα Arduino. Η ανιδιοτελής συνεισφορά των χρηστών παγκοσμίως έχει συμβάλει σημαντικά στην εξέλιξη της πλατφόρμας και έχει βοηθήσει ειδικούς και ερασιτέχνες του είδους (David Kushner, 2011).

Στο δεύτερο μέρος της παρούσας διπλωματικής, θα επιχειρηθεί η κατασκευή ενός αναλογικού πολυεφέ ηλεκτρικής κιθάρας με τη χρήση μιας ηλεκτρονικής πλακέτας Arduino. Σκοπός της συγκεκριμένης κατασκευής είναι η ανάδειξη ενός ακόμα ελεγκτή παραμετροποίησης ήχου με την χρήση νέων τεχνολογιών. Η ιδέα πίσω από την συγκεκριμένη κατασκευή είναι βασισμένη στον Open Source & Open Hardware χαρακτήρα που προσφέρει η πλατφόρμα του Arduino, δύο βασικές αρχές που έχουν συμβάλει αμέριστα στην εξέλιξη του ηλεκτρονικού κόσμου. Η συγκεκριμένη κατασκευή, απευθύνεται κυρίως σε μουσικούς και προγραμματιστές που

⁵ **Open Source Software:** Το OSS είναι ένας τύπος ανοιχτού λογισμικού για ηλεκτρονικό υπολογιστή στο οποίο ο κώδικας αδειοδοτείται και ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων παρέχει στους χρήστες δωρεάν τα δικαιώματα να μελετούν, να αλλάζουν και να διανέμουν το λογισμικό σε οποιονδήποτε και για οποιονδήποτε σκοπό.

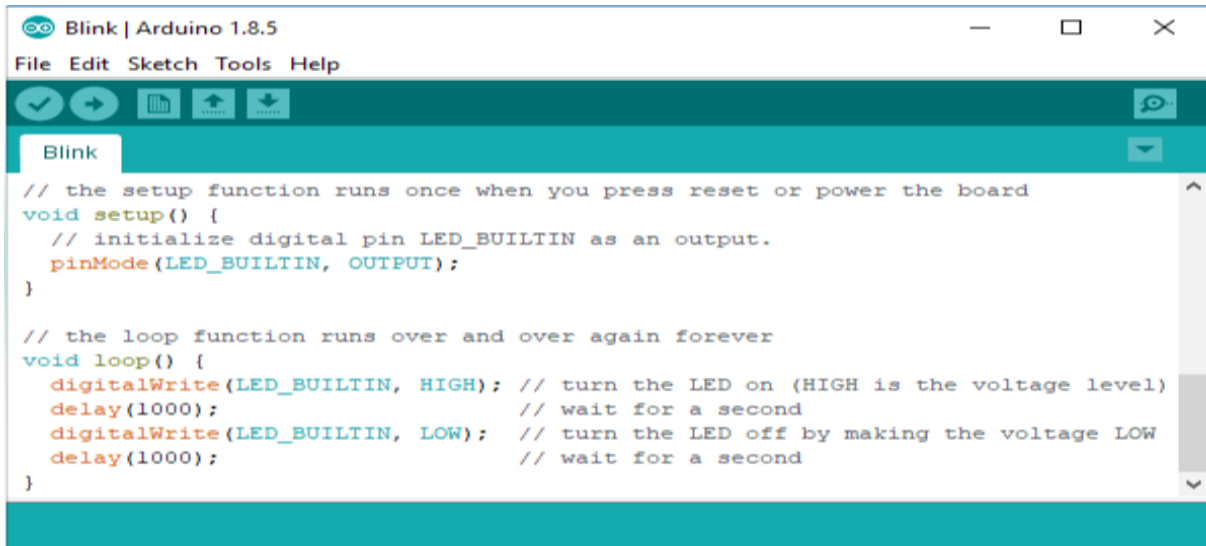
⁶ **Open Hardware:** Ο όρος Open Hardware σημαίνει ότι οι προδιαγραφές σχεδιασμού ενός φυσικού αντικειμένου (συνήθως ηλεκτρονικής φύσεως) είναι εύκολα προσβάσιμες και διακριτές έτσι ώστε να μπορεί να κατασκευαστεί χωρίς απαραίτητη βοήθεια από ειδήμονες του είδους.

θέλουν να επεκτείνουν τις γνώσεις τους για την ψηφιακή επεξεργασία σήματος (DSP), τα διάφορα εφέ της ηλεκτρικής κιθάρας και να πειραματιστούν χωρίς βαθιά γνώση ηλεκτρονικών ή σκληρού προγραμματισμού. Ο λόγος ο οποίος κάνει αυτό το πολυεφέ κιθάρας να ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα είναι ότι μπορεί να προγραμματίζεται για να προσομοιώνει διαφορετικά ηχητικά εφέ. Ως εκ τούτου, η δυναμική του, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις προγραμματιστικές ικανότητες και τη φαντασία του χρήστη. Η συγκεκριμένη κατασκευή, αποτελεί προσωπική αφετηρία και αποσκοπεί στον δημιουργικό αυτοσχεδιασμό, τον πειραματισμό και την έρευνα.

4.1 Τρόπος λειτουργίας Arduino (πλακέτα - λογισμικό)

Οι πλακέτες Arduino μπορούν να ανταποκριθούν και να “διαβάσουν” εισερχόμενα αναλογικά σήματα (inputs) όπως για παράδειγμα ένα ηχητικό σήμα, αισθητήρες όλων των ειδών, το πάτημα ενός κουμπιού κ.α. και να το μετατρέψουν σε μια λειτουργία - έξοδο (output) η οποία μπορεί να καθοριστεί από τον χρήστη. Θεωρητικά, θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε το Arduino και ως ηλεκτρονική πλατφόρμα – σκλάβο, καθώς με τον σωστό προγραμματισμό μπορεί να πραγματοποιήσει οποιαδήποτε ηλεκτρονική λειτουργία θελήσει ο χρήστης. Η πλακέτα Arduino είναι κατασκευασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να συνδέεται εύκολα και γρήγορα με θύρα USB σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και να επικοινωνεί με το περιβάλλον ανάπτυξης Arduino IDE. Για τον προγραμματισμό του χρησιμοποιείται η γλώσσα προγραμματισμού του Arduino καθώς και η εφαρμογή ανάγνωσης του κώδικα Arduino IDE. Ο χρήστης γράφει τον κώδικα Arduino στο λογισμικό περιβάλλον ανάπτυξης IDE, το οποίο με τη σειρά του τον μεταφορτώνει στην πλακέτα – μικρο-ελεγκτή που τον εκτελεί. Από δω και στο εξής η πλακέτα Arduino μετονομάζεται σε μικρο-ελεγκτή μιας και πλέον διαχειρίζεται και εκτελεί συγκεκριμένες εντολές.

Το περιβάλλον ανάπτυξης Arduino IDE, είναι το κύριο πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου που χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό του Arduino και ο κώδικας Arduino ονομάζεται “sketches”. Τα ‘sketches’ γράφονται σε γλώσσα C και C ++ και το Arduino IDE τα μετατρέπει σε γλώσσα μηχανής. Στην παρακάτω εικόνα (εικ.29), παρατηρούμε ότι η πλατφόρμα ανάπτυξης Arduino IDE έχει μινιμαλιστική σχεδίαση σε σχέση με άλλα παρόμοια λογισμικά γραφής και επεξεργασίας κώδικα. Υπάρχουν 5 επικεφαλίδες στη γραμμή του μενού, και μια σειρά από 5 επιλογές οι οποίες χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση και την μεταφόρτωση των “sketches”.

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is "Blink | Arduino 1.8.5". The menu bar includes "File", "Edit", "Sketch", "Tools", and "Help". Below the menu bar is a toolbar with icons for checkmark, play, upload, and download. The main editor area shows the following code:

```
// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000); // wait for a second
}
```

(εικ.29, πλατφόρμα ανάπτυξης Arduino IDE)

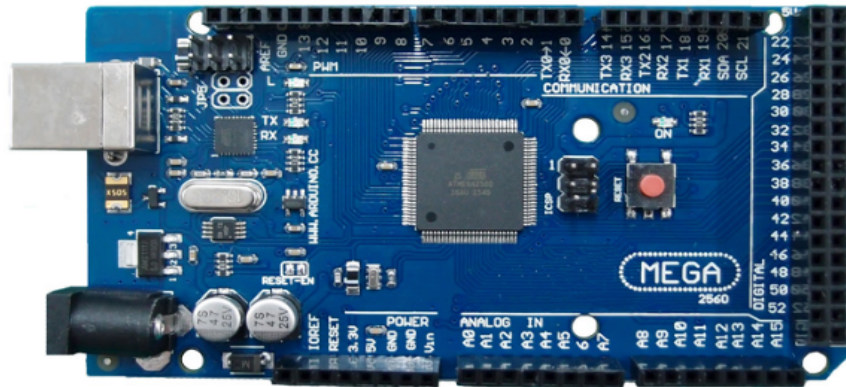
Εάν υπάρχουν σφάλματα στον κώδικα Arduino, ένα προειδοποιητικό μήνυμα θα εμφανισθεί στην οθόνη καλώντας τον χρήστη να κάνει τις απαιτούμενες αλλαγές. Επιπλέον, υπάρχει η επιλογή της παρακολούθησης του κώδικα σε πραγματικό χρόνο, ένα εξαιρετικό εργαλείο για την και τον εντοπισμό σφαλμάτων. Στη παρούσα εργασία, θα χρησιμοποιηθεί η πλατφόρμα ανάγνωσης ανοιχτού κώδικα Arduino IDE για την μεταφόρτωση στοιχείων στο αυτοσχέδιο αναλογικό πολυεφέ με σκοπό την παραμετροποίηση του ηχητικού σήματος. Παράλληλα θα εξεταστεί η μεταξύ τους επικοινωνία και αλληλεπίδραση.

4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά Arduino Pedal

Το MegaSHIELD πολυεφέ αποτελείται από δυο μέρη. Το πρώτο μέρος είναι η κεντρική πλακέτα του Arduino, το Arduino Mega 2560 (εικ.30). Η συγκεκριμένη πλακέτα είναι βασισμένη στο 8-bit χαμηλής ισχύος microchip, ATmega2560. Το Arduino Mega 2560 είναι ένα micro-controller που αποτελείται από 54 ψηφιακές ακίδες εισόδου/εξόδου (από τις οποίες οι 15 μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως έξοδοι PWM⁷), 16 αναλογικές εισόδους, 4 UART σειριακές θύρες, έναν ταλαντωτή κρυστάλλων 16 MHz, μια θύρα USB, μια υποδοχή τροφοδοσίας και ένα κουμπί επαναφοράς. Το ATmega2560 microchip είναι εκ των προτέρων προγραμματισμένο να επιτρέπει στον χρήστη να μεταφορτώσει νέο κώδικα στο λογισμικό Arduino IDE, χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση κάποιου ενδιάμεσου παράγοντα. Για τον λόγο αυτό διαθέτει αυτόνομη μνήμη 256KB για την αποθήκευση κώδικα. Το Arduino Mega 2560 μπορεί να τροφοδοτηθεί μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή με την κατάλληλη σύνδεση USB ή με ένα κοινό εξωτερικό τροφοδοτικό. Η πλακέτα μπορεί να λειτουργεί με

⁷ **PWM outputs:** Pulse Width Modulation ή αλλιώς διαμόρφωση εύρους παλμού είναι μια μέθοδος μείωσης της μέσης ισχύος που παράγεται από ένα ηλεκτρικό σήμα, με την αποτελεσματική κοπή του σε διακριτά μέρη.

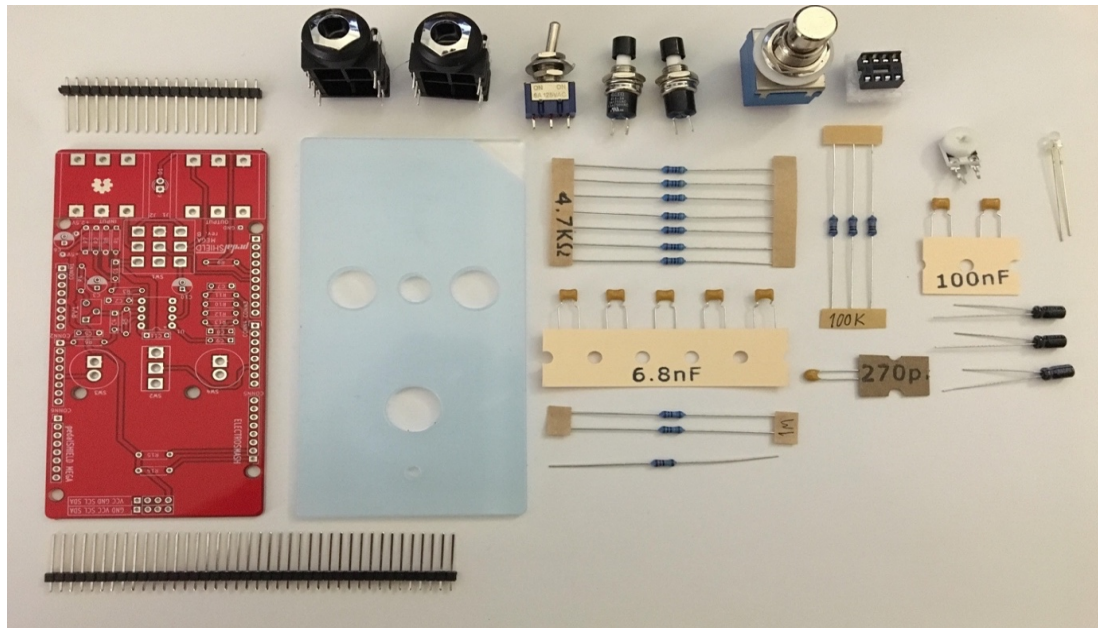
εξωτερική τροφοδοσία από 6 έως 20 Volt. Ωστόσο, εάν η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας είναι λιγότερη από 6V ενδέχεται ο πίνακας να γίνει ασταθής. Επιπλέον, εάν η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη των 12V, ο ρυθμιστής τάσης μπορεί να υπερθερμανθεί και να προκαλέσει βλάβη στην πλακέτα (arduino.cc/mega2560).



(εικ.30, Arduino Mega 2560)

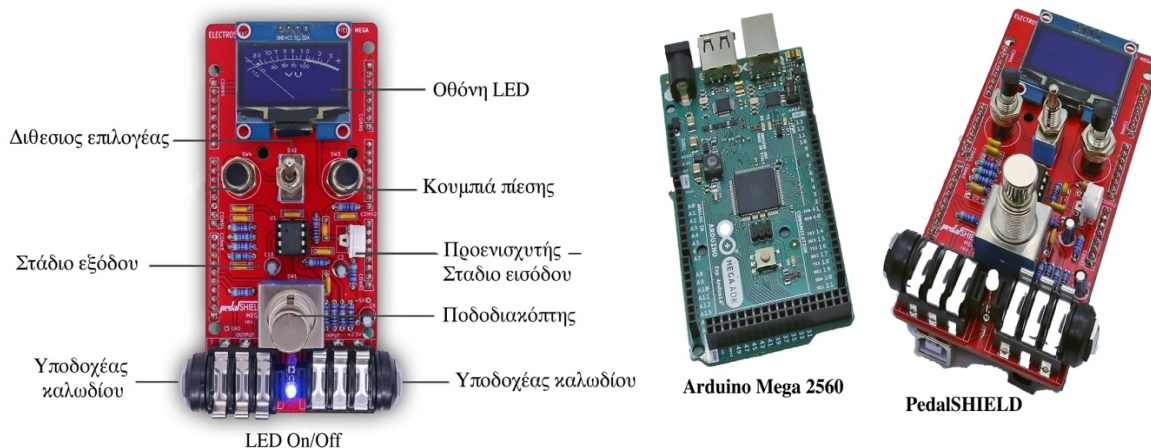
Το δεύτερο μέρος της κατασκευής, είναι η αυτοσχέδια πλακέτα pedalSHIELD. Η συγκεκριμένη πλακέτα δεν είναι αυτόνομη (δεν διαθέτει τροφοδοσία και σύνδεση USB) και είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεργάζεται άριστα με το Arduino Mega 2560. Το κύκλωμα, κατασκευάστηκε σύμφωνα με τις σχηματικές αναπαραστάσεις του κατασκευαστή (open hardware schematics) και υπέστη κάποιες τροποποιήσεις σε τεχνικά χαρακτηριστικά έτσι ώστε να πληροί τις προδιαγραφές της αρχικής ιδέας. Οι πιο αξιοσημείωτες τροποποιήσεις είναι ο ενσωματωμένος προενισχυτής και το ενεργό στάδιο του μίκτη που επιτρέπει τον συνδυασμό του καθαρού ακατέργαστου σήματος της ηλεκτρικής κιθάρας με το ενισχυμένο και αλλοιωμένο σήμα των ψηφιακών εφέ. Ακολουθεί φωτογραφικό υλικό (εικ.31,32) και αναλυτικός πίνακας από τη συλλογή των υλικών κατασκευής της πλακέτας. Επιπλέον, παρατίθενται τα ανοιχτά σχηματικά διαγράμματα (Open Hardware Schematics) - (εικ.33) που ακολουθήθηκαν καθώς και ένας διαδικτυακός σύνδεσμος⁸ που οδηγεί σε ένα βίντεο της κατασκευής του PedalSHIELD MEGA.

⁸ **Βίντεο κατασκευής:** Ο παρακάτω διαδικτυακός σύνδεσμος, οδηγεί σε ένα βίντεο (unlisted) που παρουσιάζει σε γρήγορη ταχύτητα την όλη διαδικασία της κατασκευής του συγκεκριμένου πολυεφέ. https://youtu.be/jl_iVROFHOc



(εικ.31, συλλογή των υλικών κατασκευής)

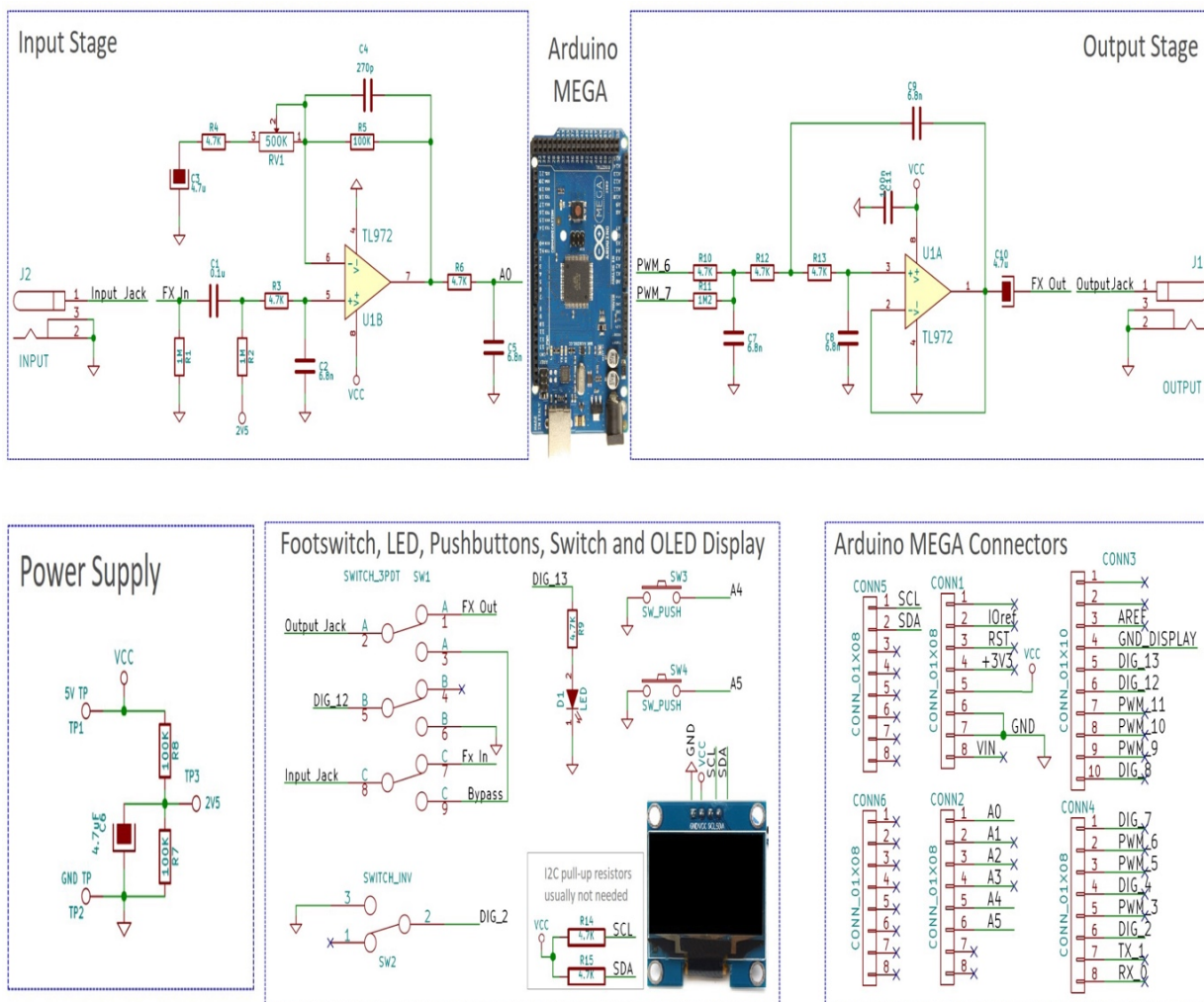
Υλικά	Ποσότητα	Τιμές	Περιγραφή
C5,C2, C7, C8, C9	5	6.8n	Πυκνωτής με κεραμικό καπάκι
C3, C6, C10	3	4.7u	Πυκνωτής με ηλεκτρολυτικό καπάκι
C1, C11	2	100n	Πυκνωτής με κεραμικό καπάκι
C4	1	270p	Πυκνωτής με κεραμικό καπάκι
R12, R13, R10, R9, R6, R4,R3	7	4.7K	Αντίσταση, 1%, 1/4 W
R5, R7, R8	3	100K	Αντίσταση, 1%, 1/4 W
R1, R2	2	1M	Αντίσταση, 1%, 1/4 W
R11	1	1.2M	Αντίσταση, 1%, 1/4 W
RV1	1	500K	Αντίσταση
D1	1	Led3m	Λαμπάκι LED μπλε
U1	1	Pdip-8	Προ ενισχυτής
Socket	1	Dip-8	Υποδοχέας
SW1	1	3DPT	Ποδοδιακόπτης
SW2	1		Επιλογέας 2 θέσεων
SW3, SW4	2		Κουμπιά πίεσης
Conn 1,2,3,4,5,6,7	2	40 pins	Καρφίδες
J1, J2	2	1/4	Υποδοχέας καλωδίων jack
OLED Display	1	1.3inch	LED οθόνη



Arduino Mega 2560

PedalSHIELD

(εικ.32, Arduino Mega 2560 & PedalSHIELD)



(εικ.33, ανοιχτά σχηματικά διαγράμματα (Open Hardware Schematics))

4.3 Θεωρητική ανάλυση του κυκλώματος

Ακολουθεί θεωρητική ανάλυση του κυκλώματος και κάποιων τεχνικών χαρακτηριστικών του PedalSHIELD.

Στάδιο εισόδου: Το θεωρητικά αδύναμο αναλογικό σήμα κιθάρας καθώς εισέρχεται, ενισχύεται από τον προενισχυτή U1 pdip-8 (Op-Amp) καθιστώντας το έτοιμο για την μετατροπή του από αναλογικό σε ψηφιακό μέσω του Arduino ADC (analog to digital converter). Το trimmer VR1 ρυθμίζει τις τιμές προενίσχυσης που θέλουμε να δώσουμε με αριθμητική κλίμακα από το 1 έως το 21. Στη συνέχεια, το εισερχόμενο σήμα δέχεται επεξεργασία από τρία φίλτρα τύπου Low pass (R3+R2, R5+C4, R6+C5) τα οποία ευθύνονται για την απομάκρυνση των περιττών υψηλών αρμονικών που πιθανότατα θα εμφανιστούν κατά τη μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Επιπλέον, δύο φίλτρα τύπου high pass (R2+C1, R4+C3) χρησιμοποιούνται φιλτράροντας το εισερχόμενο σήμα για την αποφυγή πιθανού βόμβου από την τροφοδοσία.

Arduino Mega: Το Arduino Mega δέχεται την ψηφιοποιημένη κυματομορφή από το ADC και προχωρά στην ψηφιακή επεξεργασία σήματος (Digital Signal Processing) με τα προγραμματισμένα εφέ.

Στάδιο εξόδου: Στη φάση εξόδου του σήματος, χρησιμοποιείται ένα φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων Alien & Key 3¹⁵ γενιάς (low pass), το οποίο αφαιρεί τις αρμονικές πάνω από τα 5kHz που ενδεχομένως να προκαλέσουν θόρυβο. Έχοντας ολοκληρώσει τη συνθήση του τελικού ενισχυμένου ηχητικού σήματος στην πλακέτα Arduino Mega, με την χρήση δύο 8bit - PWM εξόδων συνδυαστικά, το τελικό αναλογικό σήμα εξέρχεται μέσω κάποιου ενισχυόμενου ηχείου.

Αντιστάσεις: **R1** - Αντιστάτης 1 Mega Ohm που χρησιμοποιείται για τη αποφυγή περιττών θορύβων κατά την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του πολυεφέ.

R2 - Αντιστάτης πόλωσης που ευθύνεται για την εικονική γείωση στην προενίσχυση.

Πυκνωτές:

C4 - Πυκνωτής με κεραμικό καπάκι που ευθύνεται για την εξάλειψη όλων των ανεπιθύμητων συχνοτήτων και θορύβων.

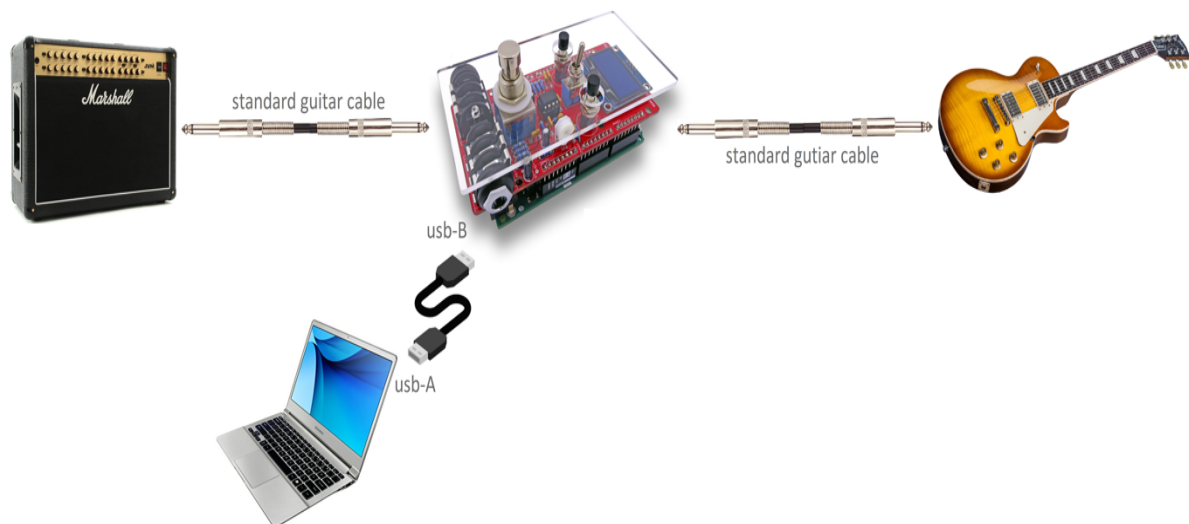
C10 - Πυκνωτής με ηλεκτρολυτικό καπάκι για την σταθεροποίηση μιας πιθανής αυξομείωσης του ηλεκτρικού ρεύματος.

Αλλαγή τιμών: Με τη βοήθεια του ποδοδιακόπτη και των 2 κουμπιών πίεσεως, ο χρήστης μπορεί να παραμετροποιήσει την ένταση και τη συχνότητα των ήδη προγραμματισμένων εφέ φέρνοντάς τα στις επιθυμητές τιμές.

Οθόνη LED: Μια οθόνη 1,3 ιντσών τεχνολογίας oLED χρησιμοποιείται για την εμφάνιση τιμών, εικόνων και λεπτομερειών του εκάστοτε εφέ που χρησιμοποιείται.

Τροφοδοσία: Η τροφοδοσία γίνεται μέσω της πλακέτας Arduino Mega, είτε μέσω καλωδίου USB, είτε μέσω εξωτερικού τροφοδοτικού. Οι προτεινόμενες τιμές ηλεκτρικού ρεύματος του κατασκευαστή κυμαίνονται από 6V έως 20V. Η κατασκευή φαίνεται να λειτουργεί ομαλά με μέγιστη ταλάντευση σήματος χωρίς αποκοπές με εξωτερική τροφοδοσία των 9V.

Στην παρακάτω εικόνα (εικ.34) παρουσιάζεται ο τρόπος συνδεσμολογίας μεταξύ του οργάνου, του ελεγκτή, του H/Y και του τελικού ενισχυόμενου ηχείου. Το αναλογικό σήμα της ηλεκτρικής κιθάρας, αποστέλλεται μέσω κοινού καλωδίου τύπου 'jack' στο PedalSHIELD, ακολουθεί τη διαδικασία παραμετροποίησης σύμφωνα με τον προγραμματισμό στο λογισμικό Arduino IDE και στη συνέχεια εξέρχεται μέσω καλωδίου τύπου 'jack' σε αυτοενισχυόμενο ηχείο ή ενισχυτή κιθάρας.



(εικ.34, συνδεσμολογία)

4.4 Προγραμματισμός Arduino IDE:

Για τον προγραμματισμό, χρησιμοποιείται το πρότυπο IDE Arduino. Όλα τα εφέ προγραμματίζονται σε προγραμματιστική γλώσσα C / C ++ (κυρίως C), χρησιμοποιώντας τις τυπικές λειτουργίες Arduino. Τα εργαλεία και τα προγράμματα διατίθενται δωρεάν από την διαδικτυακή πλατφόρμα του Arduino.cc. Για την κατανόηση και την παραμετροποίηση του κώδικα απαιτούνται βασικές προγραμματιστικές γνώσεις στη γλώσσα C. Η λογική πίσω από τον προγραμματισμό του Arduino είναι θεωρητικά απλή. Ουσιαστικά, υπάρχουν δύο βασικές συναρτήσεις, οι 'setup()' και η 'loop()' οι οποίες δουλεύουν ως εξής:

setup(): Στη συνάρτηση 'setup' εισέρχονται όλες οι εντολές που πρέπει να διαβάσουν όταν ενεργοποιείται η μονάδα μας. Πρέπει να χρησιμοποιούνται αρχικοποιήσεις των τιμών των μεταβλητών και οπωσδήποτε ο χαρακτηρισμός των εισόδων/εξόδων που θα χρησιμοποιηθεί (αν δηλαδή ένα συγκεκριμένο 'Pin' θα είναι είσοδος ή έξοδος).

loop() – Στη συνάρτηση 'loop' γράφεται ο αλγόριθμος. Οι εντολές που εισέρχονται σε αυτή τη συνάρτηση επαναλαμβάνονται συνεχώς είτε όσο η πλακέτα Arduino έχει ρεύμα είτε μέχρι να πατηθεί το πλήκτρο 'reset'.

Ένα τυπικό πρόγραμμα έχει την παρακάτω δομή:

```
void setup() { /*εντολές εδώ θα διαβαστούν μόνο κατά την ενεργοποίηση ή μετά από Reset */ }  
  
void loop() { /*εντολές εδώ θα διαβάζονται επαναλαμβανόμενα, μέχρι να απενεργοποιηθεί ή να πατηθεί το Reset */ }
```

Στην περίπτωση του 'reset', διαβάζεται ξανά η συνάρτηση 'setup()' για μία φορά και ακολούθως η συνάρτηση 'loop()' ξανά και ξανά, όπως ακριβώς και όταν ενεργοποιείται αρχικά ο μικροελεγκτής. Εάν πραγματοποιηθεί αλλαγή στο πρόγραμμα και μεταφορτωθεί στον μικρο-ελεγκτή, αρκεί να πατηθεί το πλήκτρο 'reset' ώστε να διαβαστούν οι αλλαγές από την αρχή με τον τρόπο που περιγράφηκε.

Στο παράρτημα 1. (σελ.58) της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρατίθεται ένα παράδειγμα ενός κώδικα Arduino που μας επιτρέπει να έχουμε το εφέ του 'Chorus' στην ηλεκτρική κιθάρα. (Openmusiclabs.com)

5. Δημιουργική εφαρμογή και κριτική αξιολόγηση του PedalSHIELD Mega

Για την κριτική αξιολόγηση του αυτοσχέδιου πολυεφέ PedalSHIELD Mega χρησιμοποιήθηκε μια κιθάρα Fender Telecaster V52' με δύο μονοπίνιους μαγνήτες ανοιχτού τύπου. Παράλληλα, το πολυεφέ δοκιμάστηκε σε διάφορους ενισχυτές ηλεκτρικής κιθάρας, αλλά εν τέλει χρησιμοποιήθηκε ένας Mesa Boogie Lonestar Special 2x12 που φάνηκε να ανταποκρίνεται καλύτερα στο συχνοτικό φάσμα του πολυεφέ, πιθανότατα λόγω της προενίσχυσης της λυχνίας.

5.1 Εφαρμογή των προγραμματιζόμενων ηχητικών εφέ

Ξεκινώντας τη δημιουργική εφαρμογή, δοκιμάστηκαν όλα τα προγραμματισμένα ηχητικά δείγματα από την ανοιχτή βιβλιοθήκη ήχων του Arduino. Μια πληθώρα προγραμματιζόμενων ηχητικών εφέ που καλύπτουν όλες τις διαφορετικές ηχητικές κατηγορίες, όπως τα 'overdrive', 'fuzz', 'distortion' που ανήκουν στην κατηγορία των 'Gain effects', ή τα 'chorus' και 'vibrato' της κατηγορίας 'Modulation effects', τα 'delay' και 'reverb' της κατηγορίας των 'Time effects' κτλ. Από τις δοκιμές, φάνηκε να ξεχωρίζουν 3 από τα εφέ, τα οποία ήταν τα 'Fuzz', το 'Chorus' και το 'Long Reverb'. Τα συγκεκριμένα προγραμματιζόμενα εφέ ανταποκρίθηκαν ομαλά με επιτυχία στις αυξομειώσεις των τιμών (π.χ. ένταση, συχνότητα) και ήταν ποιοτικά ανώτερα από τα υπόλοιπα εφέ. Επίσης, εφέ όπως τα 'bit crusher' και 'octaver' ανταποκρίθηκαν με μέτρια επιτυχία, καθώς προσέγγισαν σε σημεία την ιδιότητά τους, αλλά συνολικά δεν εκπλήρωσαν ολοκληρωμένα τον σκοπό έχοντας αρκετές ηχητικές απώλειες ανά τακτά χρονικά διαστήματα καθώς και αυξομειώσεις της έντασης.

5.2 Εφαρμογή και αξιολόγηση του PedalSHIELD Mega

Όλα τα παραπάνω προγραμματιζόμενα εφέ δοκιμάστικαν σε πραγματικό χρόνο και σε συνθήκες ζωντανής μουσικής πρόβας με υψηλές στάθμες προενίσχυσης και ενισχυτές μεγάλου εύρους συχνοτήτων. Κατά τη συνδεσμολογία του PedalSHIELD Mega, παρατηρήθηκε ότι σε στοίχιση σειράς με άλλα πολυεφέ παραμετροποίησης ήχου, ενώ το πολυεφέ ήταν απενεργοποιημένο, δεν επηρέαζε την ομαλή ροή του ηχητικού σήματος. Επομένως, συμπεραίνουμε ότι το συγκεκριμένο πολυεφέ δεν διατρέχει πρόβλημα διαρροής ηλεκτρικού ρεύματος και μπορεί να χαρακτηριστεί ως true bypass⁹. Παρατηρήθηκε επίσης, ότι το ηχητικό αποτέλεσμα των προγραμματιζόμενων εφέ άλλαζε σημαντικά κατά την αλλαγή της θέσης του PedalSHIELD Mega. Είναι γνωστό ότι, κατά την αλλαγή θέσης των εφέ παραμετροποίησης ήχου, ενδεχομένως να δημιουργηθούν κάποιες αλλαγές στο ηχητικό αποτέλεσμα. Πιο

⁹ **True bypass:** Ονομάζουμε τα πολυεφέ που κατά την απενεργοποίησή τους αφήνουν το ηχητικό σήμα να εισέρχεται μέσα από τη συσκευή χωρίς να δημιουργείται κάποια παρεμβολή ή επεξεργασία.

συγκεκριμένα, όταν το PedalSHIELD Mega με μεταφορτωμένο προγραμματιζόμενο ήχο 'long reverb' τοποθετήθηκε προ ενός αναλογικού εφέ 'distortion', ήταν φανερό ότι το δεύτερο εφέ στη σειρά (distortion) επισκιάστηκε η δυναμική του. Αυτό συμβαίνει, διότι τα εφέ που ανοίκουν στην κατηγορία των 'gain effects' όπως τα 'distortion', 'fuzz', 'overdrive' κ.α., επιδρούν και αλλοιώνουν σε πραγματικό χρόνο το υπάρχον ηχητικό σήμα, δημιουργώντας ένα καινούργιο ηχητικό σήμα το οποίο και εξέρχεται μέσω αυτοενισχυόμενου ηχείου. Στην περίπτωση αυτή, εάν το αναλογικό εφέ του 'distortion' δεχθεί ένα επεξεργασμένο σήμα που προηγήθηκε από άλλο εφέ και ιδιαίτερα της κατηγορίας 'modulation', το συχνοτικό εύρος του ηχητικού σήματος θα είναι τόσο μειωμένο, σε βαθμό που να περιορίσει τις δυνατότητες του 'distortion' εφέ. Αντιθέτως, όταν τα δύο πολυεφέ άλλαξαν θέσεις στην στοίχιση σειράς, με το αναλογικό εφέ 'distortion' να τοποθετήτε πρώτα του 'long reverb' τα ηχητικά αποτελέσματα και των δύο εφέ ανταποκρίθηκαν καλύτερα. Το σήμα της ηλ.κιθάρας επεξεργάστηκε αρχικά από το αναλογικό εφέ 'distortion', και στην συνέχεια κατευθύνθηκε προς το εφέ του 'long reverb' το οποίο με τη σειρά του πρόσθεσε το ηχητικό εφέ της αντίχησης στο ήδη υπάρχον σήμα με αποτέλεσμα οι ιδιότητες των δύο ηχητικών εφέ να είναι εμφανώς ευδιάκριτες.

Η δημιουργική εφαρμογή επαληθεύτηκε συνδέοντας το PedalSHIELD Mega στην παρακαμπτήρια είσοδο/έξοδο 'loop in/loop out' του ενισχυτή. Η ιδιότητα της συγκεκριμένης εισόδου/εξόδου είναι να παρακάμπτει οποιαδήποτε άλλη συσκευή παραμετροποίησης ήχου και να στέλνει το επεξεργασμένο ηχητικό σήμα κατευθείαν στο τελικό στάδιο του ενισχυτή με σκοπό την προστασία του ηχητικού σήματος από τυχόν ανεπιθύμητες παρεμβολές που θα μείωναν την ποιότητά του. Με αυτόν τον τρόπο συνδεσμολογίας του εφέ, η χρήση του PedalSHIELD Mega έγινε σημαντικά ευκολότερη και πιο διαχερίσιμη και τα ηχητικά αποτελέσματα ήταν σαφώς ποιοτικά ανώτερο.

6. Συμπεράσματα

6.1 Διαδραστικός ελεγκτής

Ο συγκεκριμένος διαδραστικός ελεγκτής χαμηλού κόστους κατασκευάστηκε με σκοπό την παραμετροποίηση του ήχου και την αλληλεπίδρασή του με τον H/Y σύμφωνα με την κίνηση του σώματος ή την κίνηση ενός αντικειμένου. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της εργασίας διαπιστώθηκε, ότι ενώ το σύστημα και όλες οι παράμετροί του λειτούργησαν ορθά, η διαδικασία ένταξής του σε κάποιο μουσικό πλαίσιο με συγκεκριμένα στοιχεία και αυστηρούς κανόνες (π.χ. μουσικό ύφος, ρυθμός, παλμός, ένταση κτλ.) ήταν αρκετά απαιτητική. Κατά τη διάρκεια της μουσικής διάδρασης και του πειραματισμού κατέστη φανερό ότι η ομάδα των χρηστών με μουσική εκπαίδευση, όταν επικεντρώνονταν στην ορθή εκτέλεση της μουσικής, παραμελούσε σημαντικά τις χαρακτηριστικές κινήσεις που αντιστοιχούσαν στη διάδραση του συστήματος. Αντιθέτως, η ομάδα των ανθρώπων χωρίς μουσική εκπαίδευση φάνηκε να αναζητούσε περισσότερο την αίσθηση του ελέγχου των κινήσεων και να επικεντρώνονταν περισσότερο στην οπτική παρουσίαση. Ωστόσο, έγιναν διάφοροι πειραματισμοί και μουσικές καταγραφές χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο σύστημα διάδρασης και η παρούσα έρευνα βρίσκεται ακόμη σε πειραματικό στάδιο ως προς την ηχητική και την καλλιτεχνική ολοκλήρωσή της. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι ενώ σε αυτή του τη μορφή το σύστημα δεν είναι απολύτως λειτουργικό σε μουσικά πλαίσια που ακολουθούν αυστηρούς κανόνες, μπορεί σίγουρα να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές στις οποίες δεν απαιτείται αυστηρή μουσική ακρίβεια. Οι ανακρίβειες σε τέτοια συστήματα είναι συνήθως αποδεκτές και δεν επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ικανοποίηση των χρηστών. Πιθανότατα, με τον σωστό προγραμματισμό και τη στρατηγική τοποθέτηση ενός τρίτου ή και τέταρτου διαδραστικού ελεγκτή οι επιδόσεις ως προς την ταχύτητα απόκρισης και του προσανατολισμού θέσης να αυξηθούν αναλόγως. Με τη σωστή τοποθέτηση των υπέρυθρων καμερών IR και τη σωστή βαθμονόμηση των υπολοίπων λειτουργιών, οι πραγματικές θέσεις των χαρακτηριστικών σημείων θα μπορούσαν ενδεχομένως να ληφθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια μέσω τριγωνισμού και περαιτέρω προγραμματισμού. Επιπλέον, η χρήση περισσότερων αισθητήρων σε στρατηγικές θέσεις θα μπορούσε να αυξήσει επίσης το χώρο αλληλεπίδρασης του χρήστη, συνεπώς και την εμβέλεια διάδρασης του συγκεκριμένου συστήματος. Αυτό θα αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικών εργασιών.

Τα περισσότερα συστήματα διάδρασης προέρχονται κυρίως από προσωπικές ανησυχίες των εφευρετών τους με απώτερο σκοπό την κάλυψη των προσωπικών καλλιτεχνικών αναγκών τους. Συνεπάγεται, ότι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε πρωτότυπου συστήματος εξαρτώνται κυρίως από τους στόχους και τις τεχνολογικές γνώσεις του εκάστοτε κατασκευαστή (Wanderley M.M, 2001).

6.2 PedalSHIELD Mega

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η συγκεκριμένη κατασκευή απευθύνεται κυρίως σε μουσικούς και προγραμματιστές. Από τις δοκιμές του PedalSHIELD Mega συμπεραίνουμε ότι η κατασκευή αποτελεί ένα ερευνητικό εργαλείο, το οποίο με την πάροδο του χρόνου θα μπορούσε να βοηθήσει στην εξέλιξη των ηχητικών εργαλείων παραμετροποίησης. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, αντιμετωπίστηκαν αρκετές δυσκολίες σε όλα τα στάδια της κατασκευής. Στο κατασκευαστικό κομμάτι, υπήρξαν αστοχίες όσον αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τον σχεδιασμό της κατασκευής. Επίσης αντιμετωπίστηκε μερική δυσκολία η οποία οφείλεται σε αστοχία υλικών.

Σημαντική δυσκολία παραμένει ο εξερχόμενος θόρυβος της αυτοσχέδιας κατασκευής ο οποίος πιθανότατα να οφείλεται στη μέτρια ποιότητα κάποιων πρώτων υλικών καθώς και πιθανών αστοχιών κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Ωστόσο, σημαντική διαφορά στο ηχητικό αποτέλεσμα καθώς και δραστική μείωση του θορύβου αποτέλεσε η χρήση του πολυεφέ με εξωτερική τροφοδοσία των 9 και 12 Volt. Σε αντίθεση, η τροφοδοσία της κατασκευής από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω της θύρας USB δημιούργησε σοβαρά προβλήματα στο ηχητικό αποτέλεσμα καθώς και αστοχίες στο λογισμικό και προγραμματιστικό κομμάτι της κατασκευής. Παρόλα αυτά, πιστεύω ότι πολλά από αυτά τα προβλήματα θα μπορούσαν ενδεχομένως να διορθωθούν με τη χρήση ποιοτικά καλύτερων υλικών και με την συνεχή έρευνα όσον αφορά το κατασκευαστικό μέρος. Ως εκ τούτου, στο τελικό αποτέλεσμα παρατηρούμε ότι η ποιότητα του ηχητικού αποτελέσματος σε ένα μεγάλο βαθμό δεν ανταγωνίζεται ποιοτικά τις υψηλές απαιτήσεις της αγοράς ηχητικών εφέ ηλεκτρικής κιθάρας. Ωστόσο, η ηχητική του απόδοση σε αυτό το στάδιο έρευνας φαίνεται να μην επηρεάζει κατά πολύ την ικανοποίηση των χρηστών.

Σύμφωνα με τους Wessel και Wright (2002), η σκέψη πίσω από τη δημιουργία νέων ελεγκτών παραμετροποίησης ήχου που χρησιμοποιούν τις νέες τεχνολογίες, θα πρέπει να βασίζεται στο «χαμηλό κόστος» και στην «φιλική τους χρήση». Οι νέες και καινοτόμες ιδέες που βρίσκονται σε αρχικά ερευνητικά στάδια θα πρέπει να είναι προσιτές στο ευρύ κοινό για περαιτέρω εξερεύνηση και πειραματισμό.

7. Επίλογος και μελλοντικές κατευθύνσεις

7.1 Επίλογος

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και η ανάγκη των νέων μουσικών-ερευνητών για εξερεύνηση και πειραματισμό λειτούργησαν συνεργατικά και έχουν θέσει γερά θεμέλια στην αναζήτηση νέων διαδρομών στον κλάδο μουσικής τεχνολογίας και της μουσικής διάδρασης. Η πολυπλοκότητα της έρευνας στον τομέα της μουσικής τεχνολογίας εντοπίζεται στο γεγονός ότι πρόκειται για ένα διεπιστημονικό πεδίο, στο οποίο συνυπάρχουν πολλές επιστήμες όπως η Μουσικολογία, η Ακουστική, η Επεξεργασία Σήματος, η Ψυχοακουστική, η Τεχνητή Νοημοσύνη, η Μουσική Γνωσιολογία και η αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή (Human-Computer Interaction). Με αποτέλεσμα, η εκάστοτε μεθοδολογία που χρησιμοποιείται μπορεί να επηρεάζεται από την ταυτόχρονη πορεία των εξελισσόμενων μεθοδολογιών που προέρχονται από έρευνες των κλάδων των θετικών επιστημών, των κοινωνικών επιστημών και της τεχνολογίας (Serra, 2005). Τα τελευταία χρόνια, έχει καταγραφεί ένας σημαντικός αριθμός από έρευνες πάνω στην μουσική διάδραση με νέες τεχνολογίες και πιο συγκεκριμένα στους διαδραστικούς ελεγκτές παραμετροποίησης ήχου. Επίσης, έχει καταγραφεί ένας μεγάλος αριθμός διαδραστικών ελεγκτών σε πραγματικό χρόνο, Augmented Instruments και γενικότερα διαφόρων συστημάτων παραμετροποίησης ήχου.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε ο τρόπος με τον οποίο ένα χειριστήριο μιας παιχνιδομηχανής μπορεί να μετατραπεί σε ελεγκτή διάδρασης και παραμετροποίησης ήχου αλλά και άλλων λειτουργιών σε πραγματικό χρόνο. Παρουσιάστηκαν μελέτες και κατασκευές παρόμοιου χαρακτήρα και αναλύθηκαν τα τεχνικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του διαδραστικού ελεγκτή καθώς και ο τρόπος συνδεσμολογίας και επικοινωνίας του με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οι πλούσιες δυνατότητες του Wii remote υποστηρίζουν σαφώς ένα ευρύ φάσμα πιθανών εφαρμογών πέραν της αρχικής χρήσης για την οποία προορίζεται. Το χαμηλό κόστος και η εύκολη συνδεσιμότητα μέσω του πρωτοκόλλου

Bluetooth έχουν καταστήσει τον συγκεκριμένο ελεγκτή διάδρασης ιδανικό για την κοινότητα των προγραμματιστών.

Παράλληλα, στο δεύτερο σκέλος της παρούσας διπλωματικής έρευνας παρουσιάστηκε ένας ‘Open Source’ και ‘Open Hardware’ αυτοσχέδιος ελεγκτής διαφόρων προγραμματιζόμενων εφέ σε μορφή pedal με σκοπό την έρευνα και τον πειραματισμό. Παρουσιάστηκαν τα τεχνικά του χαρακτηριστικά, ο τρόπος κατασκευής του, η συνδεσμολογία και ο προγραμματισμός του με τη χρήση του λογισμικού Arduino IDE. Η ιδέα για την κατασκευή του PedalSHIELD Mega και γενικότερα η όλη φιλοσοφία πίσω από τους όρους ‘Open Source’ και ‘Open Hardware’ είναι η παρακίνηση μη εξειδικευμένων ομάδων ανθρώπων να ερευνήσουν και να πειραματιστούν με συγκεκριμένα τεχνολογικά μέσα για την ικανοποίηση των αναγκών τους. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η ιδέα της κατασκευής γεννήθηκε με σκοπό την παρακίνηση των μουσικών/ερευνητών να γίνουν οι ίδιοι προγραμματιστές των δικών τους ελεγκτών παραμετροποίησης ήχου. Πιστεύω, ότι οι ίδιοι οι μουσικοί γνωρίζουν καλύτερα από οποιονδήποτε άλλον τον “προσωπικό τους ήχο” και το ηχόχρωμα που θέλουν στη μουσική τους. Συνεπώς, σκεπτόμενος με αυτόν τον τρόπο θα ήταν φυσικό επόμενο οι μουσικοί, να αναζητούμε τα νέα τεχνολογικά μέσα που θα μας βοηθήσουν στην εξέλιξη και στην δημιουργία νέων μουσικών πόρων.

7.2 Μελλοντικές κατευθύνσεις

Κλείνοντας, τα συμπεράσματα που προηγήθηκαν υποδεικνύουν ότι υπάρχουν περιθώρια για περαιτέρω μελέτη και βελτίωση της προσέγγισης που επιχειρήθηκε. Μελλοντικό αντικείμενο μελέτης και έρευνας θα αποτελέσει η πιθανή συνεργασία μεταξύ του διαδραστικού ελεγκτή και της προγραμματιζόμενης πλακέτας Arduino με σκοπό την παραμετροποίηση του ήχου της προγραμματιζόμενης πλακέτας Arduino με βάση την κίνηση του διαδραστικού ελεγκτή ή κάποιου αντικειμένου. Πρώτιστα, θα επιχειρηθεί η επίλυση των προβλημάτων σχετικά με την εμβέλεια και το χώρο αλληλεπίδρασης του διαδραστικού ελεγκτή, καθώς και τα ζητήματα του προγραμματισμού και της ηχητικής ποιότητας της πλακέτας Arduino.

8. Βιβλιογραφία

- Alexander R. J., Michael J. Lyons.,2017, ‘Fifteen Years of New Interfaces for Musical Expression’ , NIME
- Bresin R., Kjetil F., Hansen, Dahl S., ‘*The Radio Baton as a configurable musical instrument and controller*’ Department of Speech Music and Hearing (TMH) – KTH Royal Institute of Technology, Stockholm
- Camurri A., Trocca R., 2000, ‘*Movement and gesture in intelligent interactive music systems*’ Laboratorio di informatica musicale, University of Genoa
- David Kushner, 2011.10.26, ‘*The Making of Arduino*, IEEE Spectrum (<https://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/the-making-of-arduino>)
- Dr. A. Schloss, ‘*Gesture-Sensing for Musical Performance: A Percussive Interface*’ - <https://www.ece.uvic.ca/~peterd/radiodrum.html> - School of Music, UVic,
- Elaine Wong, Wilson Yuen, Clifford Choy, January 2008 – ‘*Designing Wii Controller As A Powerful Musical Instrument In An Interactive Music Performance System*’ - School of Design Hong Kong Polytechnic University
- Garnett, G. E., M. Jonnalagadda, I. Elezovic, T. Johnson, and K. Small (2001). ‘*Technological advances for conducting a virtual ensemble*’, In Proceedings of the ICMC,
- Goudeseune C., Garnett G., Johnson T., 2001, ‘Resonant Processing of Instrumental Sound Controlled by Spatial Position’, NIME '01 Proceedings of the 2001 conference on New interfaces for musical expression, Seattle, Washington
- Garnet G., Choi K, Johnson T.,Subramanian V. (2002) ‘*VirtualScope: Exploring music in an immersive virtual environment*’, In Symposium of sensing and input for media Centric Systems (SIMS) (pp.19-23) CA, Santa Barbara
- Hankins T., Merrill D., Robert J, 2002, ‘*Circular Optical Object Locator*’ - Proceedings of the 2002 Conference on NIME, Dublin, Ireland, pp 24-26
- Joseph Yang and Gongzhu Hu, (2009)‘*A Physics Simulation Engine for Modeling Autonomous Motionthrough Reverse Engineering of SodaConstructor*’, Department of Computer Science Central Michigan University, International Conference on Computer and Applications
- M. Wright, D. Wessel, and A. Freed (1997), ‘*New Musical Control Structures from Standard Gestural Controllers*’, Proceedings of the ICMC, Thessaloniki, Hellas.

- M. Mathews, 1989, “The Radio Drum as a synthesizer controller”, In Proc. Int. Computer Music Conference, 42-45
- Miranda, E.R., Kirk, R., Wanderley, M.M. 2006. *‘New Digital Musical Instruments: Control and Interaction Beyond the Keyboard’*, pp. 5-13, A-R Editions, Inc.
- Mark Argo, 2004, *‘The Slidepipe: A Timeline-Based Controller for Real-Time Sample Manipulation’*, NIME - Proceedings of the 2004 conference on New interfaces for musical expression, New York University
- Overholt, D., 2000, ‘The emonator: a novel musical instrument’, MIT Media Laboratory master’s thesis
- Serra, Xavier. (2005), *‘Towards a roadmap for the research in music technology’* Proceedings of the ICMC, Audiovisual Institute Universitat Pompeu Fabra Barcelona, Spain
- Wessel, D. and Wright, M. 2004. *‘Problems and Prospects for Intimate Musical Control of Computers.’* Computer Music Journal: Vol. 26, no. 3. Cambridge, MA: MIT Press
- Wanderley M.M., Depalle P., May 2004, *‘Gestural Control of Sound Synthesis’*, McGill University
- Wanderley M.M., Marshall M.T., Hartshorn M. and Levitin D. J., (2009) *‘Sensor choice for parameter modulations in digital musical instruments: Empirical evidence from pitch modulation’* Journal of New Music Research, 38(3):241–253,
- Wanderley M.M, 2001 - *Gestural Control of Music* IRCAM - Centre Pompidou, Paris, France
- Γεώργιος Στεφανίδης, 2015, *‘Προηγμένα Συστήματα Μεταφορών. Ενότητα 3: Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου’*, Πανεπιστήμιο Πατρών, πολυτεχνική σχολή -τμήμα πολιτικών μηχανικών, Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/CIV1699>

Διαδικτυακές Πηγές

- Analog.com. (2019). [online] Available at: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL330.pdf> [Accessed 18 Oct. 2019].
- Arduino.cc. (2019). *Arduino - ArduinoMega2560*. [online] Available at: <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoMega2560> [Accessed 18 Oct. 2019].
- Arduino.cc. (2019). *Arduino - Education*. [online] Available at: <https://www.arduino.cc/en/Main/Education> [Accessed 18 Oct. 2019].
- Opensoundcontrol.org. (2019). *opensoundcontrol.org | an Enabling Encoding for Media Applications*. [online] Available at: <http://opensoundcontrol.org/> [Accessed 20 Oct. 2019].
- Openmusiclabs.com. (2019). *Open Music Labs*. [online] Available at: <http://www.openmusiclabs.com/> [Accessed 18 Oct. 2019].
- Enhancia | Neova MIDI Ring Controller. (2019). *About — Enhancia | Neova MIDI Ring Controller*. [online] Available at: <https://www.enhancia.co/about> [Accessed 18 Oct. 2019].
- Kickstarter. (2019). *Neova | A Unique Connected Ring For Musicians*. [online] Available at: <https://www.kickstarter.com/projects/1618180096/neova-a-unique-connected-ring-for-musicians/description> [Accessed 18 Oct. 2019].
- OWOW. (2019). *The Omnipresent World of Wizkids | OWOW*. [online] Available at: <https://owow.io/> [Accessed 18 Oct. 2019].
- Ixi-software.net. (2019). *Slicer - Software -- ixi-software.net : experimental music software*. [online] Available at: http://www.ixi-software.net/content/body_software_spinosc.html [Accessed 18 Oct. 2019].
- Ixi-audio.net. (2019). *Picker - Software -- ixi-software.net : experimental music software*. [online] Available at: http://www.ixi-audio.net/content/body_software_picker.html [Accessed 18 Oct. 2019].
- Bare Conductive. (2019). *MIDI-Augmented Guitar - Bare Conductive*. [online] Available at: <https://www.bareconductive.com/news/midi-augmented-guitar/> [Accessed 18 Oct. 2019].
- Rogerlinndesign.com. (2019). *Roger Linn Design - LinnStrument*. [online] Available at: <http://www.rogerlinndesign.com/linnstrument.html> [Accessed 18 Oct. 2019].

- The Augmented Instruments, *Ircam: Instrumental Acoustics*. [online] Available at: [http://web4.ircam.fr/instr.html?&L=1&tx_ircam_pi4\[showUid\]=31&ext=4](http://web4.ircam.fr/instr.html?&L=1&tx_ircam_pi4[showUid]=31&ext=4) [Accessed 18 Oct. 2019].

9. Παράρτημα

Παράδειγμα κώδικα για ‘Chorus’ εφέ.

```
// Based on OpenMusicLabs previous works.
// pedalshield_mega_chorus.ino the ADC read signal is delayed with a triangular LFO and
// mixed with the clean guitar signal.
// pressing the pushbutton_1 or 2 makes the delay longer or shorter
#include "U8glib.h"
U8GLIB_SH1106_128X64 u8g(U8G_I2C_OPT_NO_ACK);
// Display which does not send ACK

//defining hardware resources.
#define LED 13
#define FOOTSWITCH 12
#define TOGGLE 2
#define PUSHBUTTON_1 A5
#define PUSHBUTTON_2 A4
//defining the output PWM parameters
#define PWM_FREQ 0x00FF // pwm frequency - 31.3KHz
#define PWM_MODE 0 // Fast (1) or Phase Correct (0)
#define PWM_QTY 2 // 2 PWMs in parallel
//other variables
int input, output, p, vol_variable=512;
int counter=0;
int count_up=0;
unsigned int ADC_low, ADC_high;
unsigned int max_delay=100;
unsigned int MIN_DELAY=10;
unsigned int DelayBuffer[1000];
```

```

unsigned int DelayCounter = 0;
unsigned int Delay_Depth = 100;
unsigned int flanger_speed = 5;
void setup() {
  //setup IO
  pinMode(FOOTSWITCH, INPUT_PULLUP);
  pinMode(TOGGLE, INPUT_PULLUP);
  pinMode(PUSHBUTTON_1, INPUT_PULLUP);
  pinMode(PUSHBUTTON_2, INPUT_PULLUP);
  pinMode(LED, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT); //PWM0 as output
  pinMode(7, OUTPUT); //PWM1 as output
  // setup ADC
  ADMUX = 0x60; // left adjust, adc0, internal vcc
  ADCSRA = 0xe5; // turn on adc, ck/32, auto trigger
  ADCSRB = 0x00; // free running mode
  DIDR0 = 0x01; // turn off digital inputs for adc0
void loop()
  //Turn on the LED and write the OLED if the effect is ON.
  if (digitalRead(FOOTSWITCH))
  {
    digitalWrite(LED, HIGH); //light the LED
    u8g.firstPage();
do {
  u8g.setFont(u8g_font_helvR14r);
  u8g.drawStr( 0, 20, " CHORUS ");
  u8g.setFont(u8g_font_helvR24r);
  u8g.setPrintPos(10, 60);
  u8g.print(max_delay);
  u8g.setFont(u8g_font_helvR14r);
  u8g.setPrintPos(100, 60);
  u8g.print(count_up);
} while( u8g.nextPage() );
}
  else

```

```

{
digitalWrite(LED, LOW); // switch-off the LED
u8g.firstPage();
do {
    u8g.setFont(u8g_font_helvR24r);
    u8g.drawStr( 0, 32, "EFFECT ");
    u8g.drawStr( 0, 64, " OFF ");
    } while( u8g.nextPage() );
}
ISR(TIMER4_CAPT_vect)
{
// get ADC data
ADC_low = ADCL; // ADC_low always 0 to save space
ADC_high = ADCH;
//store the current reading
DelayBuffer[DelayCounter] = (((ADC_high << 8) | ADC_low) + 0x8000);
counter++; //to save resources, the pushbuttons are checked every 100 times.
if(counter==1000)
{
    counter=0;
    if (!digitalRead(PUSHBUTTON_2)) if (max_delay<1000)max_delay++; //increase the vol
    if (!digitalRead(PUSHBUTTON_1)) if (max_delay>20)max_delay--; //decrease delay
}
DelayCounter++;
if(DelayCounter >= Delay_Depth)
{
    DelayCounter = 0;
    if(count_up)
    {
        digitalWrite(LED, HIGH);
        for(p=0;p<10;p++)DelayBuffer[Delay_Depth+p]=DelayBuffer[Delay_Depth-1];
        Delay_Depth=Delay_Depth+1;
        if (Delay_Depth>=max_delay)count_up=0;
    }
}
else

```

```

{
    digitalWrite(LED, LOW);
    Delay_Depth=Delay_Depth-1;
    if (Delay_Depth<=MIN_DELAY)count_up=1;
}
}
// output = DelayBuffer[DelayCounter];
output = (DelayBuffer[DelayCounter] + (((ADC_high << 8) | ADC_low) + 0x8000))>>1 ;
//chorus
//write the PWM signal
OCR4AL = ((output + 0x8000) >> 8); // convert to unsigned, send out high byte
OCR4BL = output; // send out low byte
}

```

