



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

**ΦΙΛΟΣΟΦΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Διερεύνηση και αξιολόγηση της δυνατότητας χρήσης χειρονομιακών  
ελεγκτών ως μουσικών οργάνων. Μελέτη περίπτωσης του ελεγκτή  
ShaPhos**

**Άγγελος Θωμάς - Γ - Καρελιάς**

**Επιβλέπουσα:      Αρετή Ανδρεοπούλου, Επίκουρη Καθηγήτρια**

**ΑΘΗΝΑ**

**ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2022**



## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διερεύνηση και αξιολόγηση της δυνατότητας χρήσης χειρονομιακών ελεγκτών ως μουσικών οργάνων. Μελέτη περίπτωσης του ελεγκτή ShaPhos

Using gestural controllers as musical instruments. Case study of the ShaPhos controller.

**Άγγελος Θωμάς Γ. Καρελιάς**

**A.M.: 1569201600020**

**Τριμελής Επιτροπή:**

**Αναστασία Γεωργάκη, Καθηγήτρια**  
**Χριστίνα Αναγνωστοπούλου, Αναπληρώτρια**  
**Καθηγήτρια**  
**Αρετή Ανδρεοπούλου, Επίκουρη Καθηγήτρια**

Σημείωμα του συγγραφέα

Το δοκίμιο αυτό αποτελεί πτυχιακή εργασία η οποία συντάχθηκε για το Τμήμα Μουσικών Σπουδών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και υποβλήθηκε προς εξέταση τον Μάρτιο του 2023. Ο συγγραφέας βεβαιώνει ότι το περιεχόμενο του παρόντος έργου είναι αποτέλεσμα προσωπικής εργασίας και ότι έχει γίνει η κατάλληλη αναφορά στην εργασία τρίτων, όπου κάτι τέτοιο ήταν απαραίτητο, σύμφωνα με τους κανόνες της ακαδημαϊκής δεοντολογίας.

Οι απόψεις που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία εκφράζουν αποκλειστικά τον συγγραφέα και όχι την επιβλέπουσα Καθηγήτρια.



## Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζει τον ShaPhos, έναν εναλλακτικό χειρονομιακό ελεγκτή αποτελούμενο από τέσσερις αισθητήρες φωτός. Το σύστημα αυτό λαμβάνει τιμές ρεύματος από τους αισθητήρες φωτός, τις αποκωδικοποιεί σε ψηφία και μεταδίδει συνεχώς την αντίστοιχη συλλογή αριθμητικών τιμών. Αυτές οι τιμές λαμβάνονται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή και μπορούν να αντιστοιχηθούν σε ηχητικές παραμέτρους. Η έρευνα των ήδη υπαρχόντων χειρονομιακών ελεγκτών αναλύει τον τρόπο που έχουν σχεδιαστεί για να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των μουσικών εκτελεστών και το πώς οι σχεδιαστές επιλέγουν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά των αισθητήρων, για τον χειρονομιακό ελεγκτή τους. Η πληθώρα εμπορικά διαθέσιμων αισθητήρων αντικατοπτρίζει την ανάγκη για στρατηγικές χαρτογράφησης. Όσο καλύτερη είναι η χαρτογράφηση, τόσο αποτελεσματικότερος είναι και ο χειρονομιακός έλεγχος του ήχου. Η έννοια της εκφραστικότητας διερευνάται μέσα από τη μουσική χρήση του χειρονομιακού ελεγκτή και την σμίλευση της ηχητικής σύνθεσης από τον εκτελεστή.

## Λέξεις κλειδιά

Χειρονομιακός ελεγκτής, Κοκκώδης σύνθεση, Super Collider

## **Abstract**

This thesis presents ShaPhos, an alternate light-sensitive controller consisting of 4 photocells. The system tracks photocells voltages, digitises them and continuously transmits a corresponding collection of numerical values. These values are received by a computer and they are mapped onto sound parameters. A study of existing gestural controllers analysed how they are designed to meet the needs of the performers and how the designers choose the optimums sensors' characteristics for their controller. The plethora of commercial sensors reflects the importance of mapping strategies. The more accurate is the mapping, the more effective is the gestural control of sound. The concept of expressiveness is researched through the performance of the gestural controller and the chiseling of sound synthesis from the performer.

## **Key-words**

Gestural Controllers, Granular synthesis, Super Collider

Περίληψη	I
Abstract	II
Εισαγωγή	VI
Ενότητα 1 : Χειρονομακοί ελεγκτές	1
1.1 Η εξέλιξη των χειρονομακών ελεγκτών στην πάροδο του χρόνου	2
1.2 Τύποι χειρονομακών ελεγκτών	8
Ενότητα 2 : Έλεγχος μουσικών παραμέτρων μέσω χειρονομιών	11
2.1 Η χρήση των αισθητήρων	11
2.2 Στρατηγικές χαρτογράφησης χειρονομακού ελέγχου	13
2.2.1 Στρατηγικές χαρτογράφησης	14
2.2.2 Επιλογή στρατηγικής χαρτογράφησης	15
2.2.3 Εφαρμογή της χαρτογράφησης	15
2.2.4 Επιρροή της σύνθεσης στην χαρτογράφηση	16
2.3 Μέθοδοι ηχητικής σύνθεσης και επεξεργασίας	17
Ενότητα 3 : Μελέτη και συγκριτική προσέγγιση χειρονομακών ελεγκτών.	20
3.1 Μοντέλα χειρονομακών ελεγκτών	20
3.1.1 Καταγραφή κίνησης	20
3.1.2 Gestate	21
3.1.3 Wii Controller	23
3.1.4 Sonic-Swarm Controller	24
3.2 Συγκριτική μελέτη χειρονομακών ελεγκτών	26
Κεφάλαιο 4 : Περιγραφή της διαδικασίας κατασκευής ενός χειρονομακού ελεγκτή	28
4.1 Δοκιμές αισθητήρων	28
4.2 Κατασκευή ελεγκτή	30
4.3 Στρατηγικές χαρτογράφησης	31
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5, κάθε ένας από τους αισθητήρες φωτός, χαρτογραφούνται σε μια δική τους μεταβλητή στο Super Collider.	32
4.3.2 Χαρτογράφηση στις ηχητικές διεργασίες	32
4.3.3 Σύστημα ανατροφοδότησης	34
4.4 Χρήση του ελεγκτή σε συνθήκες συναυλίας	34
4.4.1 Βασική συνθετική μέθοδος	35
4.4.2 Επιπρόσθετες ηχητικές υφές	36

4.4.3 Οργάνωση του υλικού	37
4.4.4 Εκφραστικότητα	38
4.5 Συναυλία	39
4.5.1 Σχεδιάγραμμα συστήματος	39
4.5.2 Στήσιμο εξοπλισμού στον συναυλιακό χώρο	40
4.5.3 Συναυλία	41
Επίλογος	42
Βιβλιογραφία	45





## Εισαγωγή

Η εξέλιξη των υπολογιστών, η οποία τους έκανε εμπορικά διαθέσιμους και προσιτούς στον μέσο χρήστη, έφερε νέες πτυχές στον καλλιτεχνικό κόσμο. Όλες οι μορφές τέχνης εξερεύνησαν νέους ορίζοντες. Το ίδιο και η μουσική. Πολλοί μουσικοί άρχισαν να χρησιμοποιούν απευθείας γλώσσες προγραμματισμού για τη δημιουργία μουσικής, παράγοντας πολύ ιδιαίτερα ηχοχρώματα, που ήταν αδύνατον να επιτευχθούν από τα παραδοσιακά μουσικά όργανα. Όμως, η ανάγκη του μουσικού να ελέγχει ο ίδιος τον ήχο που παράγεται με τις χειρονομίες του δεν ήταν κάτι που άλλαξε. Συνδυάζοντας την εξέλιξη της τεχνολογίας των υπολογιστών με την εξέλιξη άλλων τεχνολογικών προϊόντων, πολλοί μουσικοί προσπάθησαν να δημιουργήσουν νέους τρόπους για να ελέγχουν την μουσική σε πραγματικό χρόνο με εξωτερικές συσκευές, μέσω των χειρονομιών τους. Αυτές οι συσκευές ονομάστηκαν χειρονομιακοί ελεγκτές (gestural controllers). Φυσικά η ιδέα ελέγχου του ηλεκτρονικού ήχου δεν ήταν καινούργια. Το Theremin είναι ένα πρώιμο παράδειγμα αυτής της ιδέας. Όμως, είναι πλέον εύκολο για όλους τους μουσικούς να δημιουργήσουν τους δικούς τους χειρονομιακούς ελεγκτές και μάλιστα με χαμηλό κόστος. Οι τρόποι διεπαφής του χρήστη με τον υπολογιστή ποικίλλουν ανάλογα με τις ανάγκες του. Ξεκινώντας από τους πιο απλούς τρόπους διεπαφής του χρήστη, όπως το ποντίκι του υπολογιστή, τα χειριστήρια ηλεκτρονικών παιχνιδιών όπως το Wii Controller των Wong, Yuen και Choy (2008), μέχρι και τα ηλεκτρονικά κυκλώματα με διάφορους αισθητήρες, οι μουσικοί πειραματίζονται με ποικίλους τρόπους πάνω στη μουσική σύνθεση και δημιουργία. Με δεδομένα αυτά, η παρούσα πτυχιακή εργασία στοχεύει στην περιγραφή της διαδικασίας κατά την οποία δημιουργήθηκε ένας εναλλακτικός χειρονομιακός ελεγκτής. Αποτυπώνει τους προβληματισμούς, που δημιουργήθηκαν κατά τη διαδικασία αυτή και καταγράφει τις δυσκολίες που προέκυψαν καθόλη τη διάρκεια της εργασίας. Η αντιμετώπιση ζητημάτων όπως η επιλογή του τύπου του ελεγκτή ή η επικοινωνία του χειρονομιακού ελεγκτή με τον υπολογιστή και η παραγωγή μουσικής είναι ενδιαφέροντα ζητήματα προς διερεύνηση. Ο τρόπος που χαρτογραφούνται οι χειρονομίες, σε σχέση με την ηχητική σύνθεση, είναι μια μέθοδος που προσφέρει κάποια επίπεδα εκφραστικότητας στον εκτελεστή και αποτελεί ένα εξίσου σημαντικό ζήτημα προς διερεύνηση. Παρότι η εργασία πραγματεύεται τους χειρονομιακούς ελεγκτές ως μουσικά όργανα, δεν γίνεται εμβάθυνση σε ζητήματα αισθητικής της μουσικής. Μια απόπειρα για αισθητική προσέγγιση της μουσικής θα διεύρυνε σημαντικά το ερευνητικό πεδίο της εργασίας.

Τα ερευνητικά ερωτήματα που εξετάζονται σε αυτή την εργασία είναι τα ακόλουθα:

- 1) πώς θα πρέπει να σχεδιαστεί ένας χειρονομιακός ελεγκτής, ώστε οι αισθητήρες να είναι αποτελεσματικοί και ταυτόχρονα το κόστος κατασκευής να παραμένει χαμηλό.
- 2) πώς επηρεάζει η επιλογή του αισθητήρα τον τρόπο εκτέλεσης του χειρονομιακού ελεγκτή τόσο σε συνθήκες συναυλίας όσο και σε ελεγχόμενες συνθήκες.

Για την συγγραφή της εργασίας και τη διερεύνηση των ερευνητικών ερωτημάτων αρχικά επιχειρείται μια θεωρητική προσέγγιση του αντικειμένου μέσα από βιβλιογραφικές αναφορές, σχετικά με όλα τα εξεταζόμενα ζητήματα. Για να μπορέσουν όμως να απαντηθούν και από ερευνητική οπτική, χρησιμοποιήθηκε η αυτοεθνογραφική μέθοδος, κατά την οποία ο γράφων κατέγραψε τις εμπειρίες του από όλη τη διαδικασία κατασκευής, λειτουργίας και εν τέλει συναυλιακής παρουσίας του χειρονομιακού ελεγκτή.

Η αυτοεθνογραφική μέθοδος, σύμφωνα με την Heewon Chang (2016), είναι συνέχεια της ανθρωπιστικής και κοινωνικής έρευνας, που εμπεριέχει στοιχεία αφήγησης των αυτοεθνογράφων. Μέσω των αφηγήσεων όμως αναλύονται τα δεδομένα για την εκάστοτε έρευνα. Σύμφωνα με τους Ellis και Bochner (2000), η Αυτοεθνογραφία είναι μια αρκετά περίπλοκη ερευνητική μεθοδολογία. Για να καταδείξουν αυτή την πολυπλοκότητα, δημιούργησαν ένα τριαδικό μοντέλο, για να την χωρίσουν σε τρία τμήματα. Μέσω αυτού του μοντέλου υποστηρίζουν ότι η Αυτοεθνογραφία διαφέρει, ανάλογα σε ποιον από τους τρεις τομείς της εμβαθύνει ο ερευνητής. Βασισμένοι στην ετυμολογία της λέξης, οι Ellis και Bochner, περιγράφουν ότι η λέξη «αυτό», αναφέρεται στο υποκείμενο της έρευνας, η λέξη «έθνος», αναφέρεται στον τομέα της έρευνας και η λέξη «γράφω» αναφέρεται στην διαδικασία της έρευνας. Χωρίζοντας λοιπόν την λέξη «Αυτό-εθνό-γραφία» στα τρία συνθετικά της, δημιουργούνται οι τρεις βασικοί τομείς που αποτελούν την μεθοδολογία αυτή. Ο Chang (2016), ορμώμενος από το μοντέλο των Ellis και Bochner, υποστηρίζει ότι η Αυτοεθνογραφία θα πρέπει να είναι εθνογραφική ως προς τη μεθοδολογία της, πολιτισμική ως προς την ερμηνεία της και αυτοβιογραφική ως προς το περιεχόμενό της. Η τελευταία μάλιστα παράμετρος αποτελεί και την ειδοποιό διαφορά της Αυτοεθνογραφίας από τις άλλες εθνογραφικές μεθοδολογίες. Η αυτοεθνογραφική μέθοδος βασίζεται στα δεδομένα των προσωπικών εμπειριών του ερευνητή. Οι αυτοβιογραφικές αναφορές, που ενσωματώνονται στην ερευνητική διαδικασία, είναι κάτι που δεν συμβαίνει στη συμβατική εθνογραφία.

Η εργασία χωρίζεται σε τέσσερις κύριες ενότητες. Η πρώτη πραγματεύεται τις γενικές πληροφορίες σχετικά με τους χειρονομιακούς ελεγκτές. Γίνεται μια ιστορική αναδρομή στην εξελικτική πορεία των χειρονομιακών ελεγκτών και καταγράφονται οι τύποι των χειρονομιακών ελεγκτών, όπως συναντώνται στην βιβλιογραφία. Στη δεύτερη ενότητα αναλύονται τα επιμέρους στοιχεία ενός χειρονομιακού ελεγκτή, τα μέρη τα οποία οδηγούν στον έλεγχο της μουσικής μέσω

των χειρονομιών. Αρχικά αναλύεται η χρήση των αισθητήρων στους χειρονομιακούς ελεγκτές, οι ιδιαιτερότητές τους και οι εφαρμογές τους. Στη συνέχεια καταγράφονται οι στρατηγικές χαρτογράφησης που συνδέουν την πληροφορία από τους αισθητήρες με την ηχητική σύνθεση. Μέθοδοι ηχητικής σύνθεσης και επεξεργασίας από τον χειρονομιακό ελεγκτή αναφέρονται στο τέλος της δεύτερης ενότητας. Στην τρίτη ενότητα γίνεται μελέτη πάνω σε ήδη υπάρχοντες χειρονομιακούς ελεγκτές και ακολουθείται συγκριτική προσέγγιση σχετικά με τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους. Αρχικά παρουσιάζονται μεμονωμένα πέντε μοντέλα χειρονομιακών ελεγκτών και στη συνέχεια συγκρίνονται τα χαρακτηριστικά τους. Στη τέταρτη και τελευταία ενότητα γίνεται η αυτοεθνογραφική καταγραφή της δημιουργίας του ShaPhos, του χειρονομιακού ελεγκτή που κατασκευάστηκε στο πλαίσιο της εν λόγω πτυχιακής. Αρχικά, περιγράφεται όλη η διαδικασία επιλογής του τύπου χειρονομιακού ελεγκτή και οι αποφάσεις που πάρθηκαν για τη δημιουργία του. Έπειτα παρουσιάζεται η στρατηγική χαρτογράφησης των παραμέτρων και ο τρόπος προγραμματισμού τους στα περιβάλλοντα που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και η συνθετική μέθοδος που επιλέχθηκε για τον χειρονομιακό ελεγκτή, το πώς δημιουργήθηκε και πώς προσεγγίσθηκαν τα ζητήματα εκφραστικότητας της μουσικής. Τέλος, γίνεται η περιγραφή της δημιουργικής χρήσης του ShaPhos στη συναυλία του Τμήματος Μουσικών Σπουδών, “Μουσικός Ιούλιος 2022”.



## Ενότητα 1 : Χειρονομιακοί ελεγκτές

Όπως παρατηρεί ο Bongers (2000), ο άνθρωπος ανέκαθεν χρησιμοποιούσε την τεχνολογία για την παραγωγή μουσικών οργάνων. Η εξέλιξη μάλιστα της μηχανικής και κατά συνέπεια και η τεχνολογική πρόοδος είχαν πάντα αντίκτυπο στα μουσικά όργανα (η πορεία δηλαδή που καταγράφηκε από τη μηχανική στην ηλεκτρομηχανική, μέχρι τα ηλεκτρικά και στις μέρες μας τα ψηφιακά όργανα). Η εξέλιξη της υπολογιστικής μουσικής, όμως, κατάφερε να φέρει στο προσκήνιο νέους τρόπους σύνθεσης, οι οποίοι ενισχύθηκαν με τη διάδοση των υπολογιστών. Οι υπολογιστές έγιναν σε μικρό χρονικό διάστημα διαθέσιμοι στο ευρύ κοινό (Wanderley 2001).

Οι χειρονομιακοί ελεγκτές παρουσιάζουν μια ταχύτατη εξελικτική πορεία, από τότε που μουσικοί και μηχανικοί υπολογιστών κατάλαβαν ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτή η νέα τεχνολογία για τη μουσική έκφραση. Σύμφωνα με τον Wanderley (2001), σημαντικό ρόλο στη σημερινή μορφή των χειρονομιακών ελεγκτών έπαιξε η εξέλιξη της τεχνολογίας αναγνώρισης των ανθρωπίνων κινήσεων. Για να φτάσουν σε αυτό το τεχνολογικό επίπεδο, υπήρχαν αρκετά στάδια στη διαδικασία εξέλιξης των ελεγκτών. Πριν γίνει αναφορά στην εξελικτική αυτή πρόοδο, καθώς και στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των ελεγκτών, θα πρέπει να οριστεί ο όρος, χειρονομιακός ελεγκτής (gestural controller).

Σύμφωνα με τους Miranda και Wanderley (2006), ο χειρονομιακός ελεγκτής λειτουργεί ως διάυλος επικοινωνίας μεταξύ ενός εκτελεστή και του μουσικού οργάνου. Μέσω του χειρονομιακού ελεγκτή, λαμβάνονται οι φυσικές αλληλεπιδράσεις και μεταφέρονται ως σήμα εισόδου σε ένα Ψηφιακό Μουσικό Όργανο (DMI). Ο όρος Ψηφιακό Μουσικό Όργανο δεν ανήκει στους Miranda και Wanderley, αλλά έχει υιοθετηθεί για να οριστεί το μουσικό όργανο, το οποίο αποτελείται από μια ψηφιακή γεννήτρια ήχου και μια επιφάνεια ελέγχου. Οι δύο αυτές επιμέρους μονάδες ενός Ψηφιακού Μουσικού Οργάνου είναι καταρχήν ανεξάρτητες, αλλά συνδέονται μέσω της χαρτογράφησης (Miranda & Wanderley 2006). Αυτός ακριβώς ο διαχωρισμός, σύμφωνα με τον Wanderley (2001), είναι ανέφικτος στα φυσικά μουσικά όργανα, διότι σε ένα παραδοσιακό μουσικό όργανο η επιφάνεια, στην οποία γίνεται η αλληλεπίδραση του εκτελεστή με το όργανο, είναι αναπόσπαστο μέρος της ηχητικής πηγής. Μάλιστα, αυτό είναι και το χαρακτηριστικό που καθιστά ένα Ψηφιακό Μουσικό Όργανο δυνητικά ικανό για ένα μεγαλύτερο φάσμα δυνατοτήτων απ' ό,τι τα παραδοσιακά μουσικά όργανα, τα οποία εκ κατασκευής έχουν φυσικούς περιορισμούς. Παράλληλα, υπάρχουν και σημαντικά χαρακτηριστικά των φυσικών μουσικών οργάνων, τα οποία δεν μπορούν να προσομοιωθούν σε ένα Ψηφιακό Όργανο. Για παράδειγμα, η μουσική έκφραση μέσω της αφής. (Wanderley 2001)

## 1.1 Η εξέλιξη των χειρονομιακών ελεγκτών στην πάροδο του χρόνου

Ο Curtis Roads (1996) θεωρεί πρόδρομους των σύγχρονων χειρονομιακών «μουσικών» ελεγκτών τα παραδοσιακά μουσικά όργανα, καθώς μεσολαβούν μεταξύ των χειρονομιών και του παραγόμενου ήχου. Ένα επιμέρους κοινό στοιχείο των μουσικών οργάνων με τους χειρονομιακούς ελεγκτές είναι η παραγωγή του ήχου, η οποία γίνεται σε πραγματικό χρόνο.

Με τον τρόπο που γίνεται αντιληπτή σήμερα η έννοια του χειρονομιακού ελεγκτή (gestural controller), είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός υπολογιστικού περιβάλλοντος. Τέτοια συστήματα, σύμφωνα με τον Roads (1996), ξεκινούν να γίνονται αντικείμενα της φαντασίας των μουσικών από την αρχή της ύπαρξης των υπολογιστών. Για να γίνουν πραγματικότητα, έπρεπε να περάσουν μερικές δεκαετίες. Ένας λόγος ήταν ότι στις δεκαετίες του 1950 και του 1960 ελάχιστοι μουσικοί είχαν απευθείας πρόσβαση σε υπολογιστές. Σε όσα πειράματα γίνονταν έπρεπε να μεσολαβεί ο υπεύθυνος για τους υπολογιστές, ο οποίος λάμβανε από τους μουσικούς κάποιες κάρτες. Οι κάρτες αυτές δεν συνδέονταν απευθείας με τον υπολογιστή, αλλά μέσω μιας συσκευής που «διάβαζε» τις κάρτες, που με την σειρά της συνδεόταν με τον υπολογιστή. Η συνθήκη αυτή δεν άλλαξε δραστικά μέχρι και τα μέσα της δεκαετίας του 1970, όπου πλέον υπήρχε η δυνατότητα να έχουν οι συνθέτες πρόσβαση σε χαμηλότερου κόστους υπολογιστές. Πλέον οι μουσικοί είχαν τη δυνατότητα να δίνουν εντολές απευθείας στον υπολογιστή. Παρόλο που αυτό ήταν μια εμφανής πρόοδος σε σχέση με τις προηγούμενες δεκαετίες, αυτός ο τρόπος διάδρασης με έναν υπολογιστή δεν ήταν ο πιο αποτελεσματικός για τη μουσική έκφραση.

Αντίθετα, χειρονομιακός έλεγχος της μουσικής υπήρχε τις δεκαετίες μεταξύ 1920 και 1970, μέσα από αναλογικά ηλεκτρονικά όργανα. Τα ηλεκτρονικά μουσικά όργανα άρχισαν να αναπτύσσονται ραγδαία μετά τη δεκαετία του 1980, γεγονός που σχετίζεται άμεσα με τη δημιουργία του πρωτοκόλλου MIDI (Manning 2004). Σύμφωνα με τον Roads (1996), πολλά χρόνια πριν από την ανάπτυξη του MIDI δημιουργήθηκαν αρκετά ηλεκτρονικά όργανα. Κάποια γνωστά παραδείγματα, μεταξύ άλλων, είναι τα Theremin (1928), Onden Martenot (1928), Croix Sonore (1934), Ondionole (1941).

Πολλά από τα αναλογικά synthesizers υιοθέτησαν διαφορετικό τρόπο για την παραγωγή και τον έλεγχο του ήχου μέσω της τεχνικής ελέγχου της τάσης του ρεύματος (voltage control). Το τονικό ύψος, το πλάτος της ταλάντωσης, το φίλτρο κεντρικής συχνότητας και άλλες ηχητικές παράμετροι, ξεκίνησαν να εξαρτώνται από την τάση του ρεύματος, που εισερχόταν μέσω ενός

καλωδίου σε μια μονάδα σύνθεσης ήχου του synthesizer. Με αυτό τον τρόπο, ο εκτελεστής είχε την δυνατότητα, αλλάζοντας την συνδεσμολογία του synthesizer, να διαμορφώσει τον τρόπο παραγωγής του ήχου. Όλες αυτές οι δυνατότητες πολλαπλασιάστηκαν τη δεκαετία του 1970, όταν τα αναλογικά synthesizers απέκτησαν και συχνότητες διαμόρφωσης (Roads 1996).

Σύμφωνα με τον Bongers (2000), η ελευθερία που παρείχε το ηλεκτρικό ρεύμα στην σχεδίαση μουσικών οργάνων έγινε αντιληπτή από τους σχεδιαστές τους πολύ νωρίς. Χάρη σε αυτό το νέο μέσο, οι απαιτήσεις για τον σχεδιασμό των οργάνων ήταν λιγότερες σε σχέση με τα παραδοσιακά όργανα. Ο σχεδιασμός των οργάνων μπορούσε πλέον να γίνει με βάση τις δυνατότητες του ανθρώπινου σώματος. Ένα πρώιμο παράδειγμα χειρονομιακού ελεγκτή αποτελεί το ηλεκτρονικό sackbut από τον Hugh Le Caine, του οποίου η πρώτη εκδοχή κατασκευάστηκε το 1948. Ανήκε στην ευρύτερη κατηγορία των επαυξημένων οργάνων. Μπορεί λοιπόν να θεωρηθεί ως πρώιμο παράδειγμα ενός “βελτιωμένου” πληκτροφόρου οργάνου. Στην ουσία είχαν σμιλευτεί τα πλήκτρα του, ώστε ο εκτελεστής να μπορούσε να τα περιστρέψει, αλλάζοντας με αυτόν τον τρόπο το τονικό ύψος. Τα πλήκτρα μπορούσαν να μετακινηθούν είτε δεξιά είτε αριστερά. Το ηλεκτρονικό sackbut υπέστη διάφορες τροποποιήσεις και βελτιώσεις, κυρίως κατά τα έτη 1953-1957 (Mirando & Wanderley 2006).



Εικόνα 1: Sackbut - <https://ingeniumcanada.org/scitech/artifact/hugh-le-caine-electronic-sackbut-synthesizer>

Τα αναλογικά synthesizers είχαν τη δυνατότητα να αποτυπώσουν τις χειρονομίες του εκτελεστή, πριν ακόμα αναπτυχθούν τα συστήματα ψηφιακού ελέγχου. Η ανταπόκριση των



αναλογικών συστημάτων γινόταν μέσω των triggers και της ακολουθίας της περιβάλλουσας. Η ανάπτυξη της ψηφιακής τεχνολογίας, έδωσε τη δυνατότητα για μια πιο εξελιγμένη και ακριβή αναγνώριση των χειρονομιών του εκτελεστή. Οι υπολογιστές είχαν τη δυνατότητα να αντιδρούν με μεγαλύτερη πολυπλοκότητα και με μεγαλύτερη ευαισθησία στις χειρονομίες που δέχονται. Ο Roads (1996), αναφέρει δύο καινοτόμους χειρονομιακούς ελεγκτές ως απαρχή των ψηφιακών synthesizers. Ο πρώτος αναπτύχθηκε στα Bell Telephone Laboratories από τους Mathews και Rosler το 1969. Με αυτό τον ελεγκτή οι χρήστες μπορούσαν με μια φωτινή γραφίδα να σχεδιάσουν πάνω σε μια οθόνη γραφικές παρτιτούρες. Γεγονός που αποτελεί ακόμα και σήμερα πρωτοποριακή πρακτική για την είσοδο χειρονομιών σε υπολογιστή. Το δεύτερο ήταν το The Dartmouth, ένα αναλογικό synthesizer που δημιουργήθηκε από τους Alonso, Appleton και Jones το 1977. Ήταν το πρώτο που χρησιμοποιούσε τρόπους ελέγχου των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Τέτοια συστήματα ήταν τα πλήκτρα και τα πολλά κουμπιά και οι διακόπτες που επηρέαζαν τον ήχο. Αυτή η πρακτική υιοθετήθηκε μετέπειτα από τα περισσότερα synthesizers.

Ένα παράδειγμα, που αντικατοπτρίζει την εξέλιξη των χειρονομιακών ελεγκτών κατά τη δεκαετία του 1980, είναι το drum sequencer, που δημιουργήθηκε από τους Mathews και Abbott το 1980. Αυτός ο χειρονομιακός ελεγκτής αποτελείται από μια ορθογώνια επιφάνεια, η οποία στο εσωτερικό της περιείχε μικρόφωνα επαφής και καλώδια. Τα μικρόφωνα επαφής μετρούσαν τη δύναμη του χτυπήματος, ενώ τα καλώδια μέσω των αντιστάσεων τους την τοποθεσία του χτυπήματος πάνω στους άξονες X και Y (Mirando & Wanderley 2006). Μέσα από αυτό το παράδειγμα φαίνεται μια πρώτη απόπειρα να δημιουργηθεί ένας χειρονομιακός ελεγκτής επηρεασμένος από τον τρόπο εκτέλεσης ενός παραδοσιακού μουσικού οργάνου.

Σύμφωνα με τους Mirano και Wanderley (2006), ο Robert Moog το 1982 κατασκεύασε ένα πληκτροφόρο όργανο, το οποίο ήταν πολλαπλά ευαίσθητο στην αφή. Αυτός ο χειρονομιακός ελεγκτής έφερε μερικές νέες τεχνικές μεθόδους για τον εντοπισμό της ταχύτητας του πλήκτρου. Μπορούσε να υπολογίσει την κάθετη θέση ενός πλήκτρου, γεγονός που με την σειρά του έδινε τη δυνατότητα να λαμβάνει συνεχείς μεταβλητές, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως μια άλλη μεταβλητή ελέγχου. Το έτος 1985 δημιουργήθηκαν δύο εναλλακτικοί χειρονομιακοί ελεγκτές, οι οποίοι δεν είχαν κάποια κοινή αφετηρία με τα παραδοσιακά μουσικά όργανα. Ο πρώτος ονομάστηκε Rolky Asproyrd και σχεδιάστηκε από τον Eric Johnstone και ο δεύτερος ονομάστηκε Hands και σχεδιάστηκε από τον Michel Waisvisz. Το Rolky Asproyrd αποτελεί έναν χειρονομιακό ελεγκτή, με τον οποίο ο χρήστης αλληλεπιδρά με την αφή. Μπορεί να αναγνωρίσει παραπάνω από ένα δάχτυλα, τα οποία τοποθετεί ο χρήστης πάνω σε μια διάφανη επιφάνεια. Η λειτουργία του συγκεκριμένου ελεγκτή βασίζεται στην καταγραφή των γωνιών αντανάκλασης του φωτός. Η

διάφανη επιφάνεια φωτίζεται από τα πλάγια μέρη της. Μια κάμερα καταγράφει τις γωνίες αντανάκλασης του φωτός. Κάθε φορά που κάποιο δάχτυλο ακουμπάει την επιφάνεια, δημιουργούνται αντανάκλασεις προς όλες τις κατευθύνσεις, έτσι ώστε η κάμερα να λάβει νέα δεδομένα. Κάθε δάχτυλο που τοποθετείται δημιουργεί νέες γωνίες αντανάκλασης. Το Hands, από την άλλη, είχε ως σκοπό τη βελτίωση της χρήσης των χεριών για τον χειρονομιακό έλεγχο της μουσικής. Ο χειρονομιακός αυτός ελεγκτής αποτελείτο από δύο εργονομικά σχηματισμένα πιάτα αλουμινίου, τα οποία τοποθετούσε ο εκτελεστής στα χέρια του. Με τη χρήση υπέρυθρων αισθητήρων γινόταν ο υπολογισμός της απόστασης μεταξύ των δύο χεριών και με τη χρήση αισθητήρων υδραργύρου ο υπολογισμός της κλίσης τους. Τέλος, ο ελεγκτής περιείχε και άλλους πολυλειτουργικούς διακόπτες και ποτενσιόμετρα. Οι δύο αυτοί χειρονομιακοί ελεγκτές θεωρήθηκαν πρωτοπόροι, αφού δεν είχαν κάποια σχέση με τα παραδοσιακά μουσικά όργανα. Παράλληλα, χρησιμοποίησαν αρκετά εξελιγμένες τεχνικές για την εποχή τους και επηρέασαν πολλούς μεταγενέστερους κατασκευαστές εναλλακτικών ελεγκτών.

Παρόλη την εξέλιξη των εναλλακτικών χειρονομιακών ελεγκτών, δεν σταμάτησε και η κατασκευή χειρονομιακών ελεγκτών, που αποτελούσαν επαυξημένα μουσικά όργανα. Το 1989 οι Perry Cook και Peter Morril κατασκεύασαν δύο νέα επαυξημένα όργανα, βασισμένα στην τρομπέτα και στο τρομπόνι, τοποθετώντας διακόπτες και ποτενσιόμετρα κοντά στην βαλβίδα των οργάνων, τους οποίους ο εκτελεστής χειριζόταν με τα δάχτυλα και τους αντίχειρές του κατά την εκτέλεση. Οι Moog και Rhea έκαναν βελτιώσεις πάνω στο πληκτροφόρο όργανο, που είδαμε παραπάνω, με αποτέλεσμα να φτάσουν το 1990 στην κατασκευή ενός επαυξημένου πιάνου του Bösendorfer 290 SE. Το 1992 ο Tod Machover με τους συνεργάτες του στο MIT δημιούργησε την οικογένεια των “Hyper” οργάνων. Κατασκεύασε τα επαυξημένα όργανα όπως το hyper-cello, hyper-violin και hyper-violin τα οποία σχεδιάστηκαν για να δώσουν μεγαλύτερη ισχύ και φινέτσα σε δεξιότητες εκτελεστές. (Mirando & Wanderley 2006).

Μια ενδιαφέρουσα εξέλιξη στους χειρονομιακούς ελεγκτές, οι οποίοι βασίζονταν σε άλλα μουσικά όργανα, ήταν το Continuum. Κατασκευασμένο από τους Haken, Tellman και Wolfe το 1998, αποτελείτο από μια επιφάνεια στις διαστάσεις περίπου των πλήκτρων του πιάνου, η οποία επέτρεπε τον συνεχή έλεγχο των κινήσεων σε τρεις διαστάσεις (X, Y, Z). Ένα ακόμα παράδειγμα που δίνουν οι Mirano και Wanderley (2006) και αποτύπωνει την ευρύτερη ανάπτυξη και χρήση των χειρονομιακών ελεγκτών και ιδιαίτερα των επαυξημένων οργάνων είναι το επαυξημένο Sho από τους Nagashima και Tonu Ito το 1999. Αποτελεί αποτύπωση της χρήσης των τεχνολογιών χειρονομιακού ελέγχου σε ένα παραδοσιακό πνευστό ιαπωνικό μουσικό όργανο. Το παραδοσιακό όργανο περιείχε δύο σωλήνες από μπαμπού και οπές. Στην επαυξημένη εκδοχή του ο ένας σωλήνας

έχει αντικατασταθεί με έναν άλλον, ο οποίος περιέχει αισθητήρα εντοπισμού της πίεσης του αέρα. Επιπλέον έχουν τοποθετηθεί αισθητήρες αφής για τη συνεχή ανίχνευση της θέσης των δαχτύλων του εκτελεστή στο όργανο.

Με τον ερχομό της δεκαετίας του 2000 παρατηρείται μια ευρύτερη διάδοση διαφορετικών χειρονομιακών ελεγκτών. Το 2000 βλέπουμε μια από τις πρώτες απόπειρες για την κατασκευή ενός εμβυθιστικού ελεγκτή. Μετά την κατασκευή του Yamaha Miburi το 1998, ο Suguru Goto προχωράει στην κατασκευή μιας στολής σώματος, η είναι μια από τις πρώτες απόπειρες για τη δημιουργία ενός πλήρως εμβυθιστικού χειρονομιακού ελεγκτή. Το ίδιο έτος κατασκευάστηκε από τους Mathews και Boie το RadioBaton. Το RadioBaton αποτελούνταν από δύο λεπτά ξύλα, μια κεραία και μια μονάδα ελέγχου. Η κεραία λάμβανε τα σήματα από τα δύο ξύλα, τα οποία μετέφερε στη μονάδα ελέγχου που ανιχνεύει τις κινήσεις σε τρεις διαστάσεις. Το κάθε ξύλο εντοπίζεται ξεχωριστά και οδηγεί στην παραγωγή μιας συγκεκριμένης συχνότητας. Για περισσότερο έλεγχο του εκτελεστή πάνω στις επιδράσεις του ήχου μπορούν να τοποθετηθούν επιπλέον δύο πετάλια ποδιού και τέσσερα ποτενσιόμετρα.

Το RadioBaton, αν και κατασκευάστηκε το 2000, παραμένει ένα αναλογικό όργανο. Οι Schloss και Driessen το 2001 προσπάθησαν να το μετατρέψουν σε ψηφιακό, αφαιρώντας την αρχική μονάδα ελέγχου και αντικαθιστώντας την με μια υπολογιστική μονάδα. Με αυτόν τον τρόπο κατάφεραν να πετύχουν καλύτερη ανίχνευση των χειρονομιακών δεδομένων λόγω της ταχύτερης απόκρισης του χειρονομιακού ελεγκτή. Μια κατηγορία χειρονομιακών ελεγκτών, που αναπτύχθηκε με την πρόοδο της τεχνολογίας τη δεκαετία του 2000, ήταν οι ελεγκτές βασισμένοι σε οπτικά συστήματα. Ένας από τους πρώτους κατασκευάστηκε από τους Dobrian και Bevilacqua το 2003. Πρόκειται για ένα οπτικό σύστημα, το οποίο με τη χρήση του Vicon System 8 και με συνδυασμό τριών γλωσσών προγραμματισμού (Java, C++ & Max/Msp), δημιούργησε ένα μέσο Motion Capture Music. Το σύστημά τους λάμβανε δεδομένα από τις θέσεις σημείων ενδιαφέροντος στον χώρο και στην συνέχεια τα χαρτογραφούσε σε πραγματικό χρόνο πάνω σε μουσικές παραμέτρους. Τα δεδομένα αυτά αφορούσαν την ταχύτητα με την οποία κινείται κάποιο σημείο, την απόσταση του ή ακόμα και την επιτάχυνση του (Mirando & Wanderley 2006).

Οι μουσικές γλώσσες προγραμματισμού συνέχισαν να παίζουν καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία χειρονομιακών ελεγκτών. Το 2007 οι Davis και Karamanlis κατασκεύασαν το Sonic Swarm Controller. Βασισμένοι πάνω στα μοντέλα Artificial Life που άρχισαν σιγά σιγά να διαδίδονται μεταξύ των καλλιτεχνών, δημιούργησαν έναν χειρονομιακό ελεγκτή. Αυτός ελέγχει και διαχέει ένα σμήνος από ήχους στον τρισδιάστατο χώρο, μέσω ενός λογισμικού που δημιουργήθηκε στο προγραμματιστικό περιβάλλον Max/MSP. Το δεξί χέρι του εκτελεστή έχει τοποθετημένο στον

καρπό ένα επιταχυνσιόμετρο και έναν αισθητήρα υπερύθρων. Με αυτόν τον τρόπο το δεξί χέρι επιτυγχάνει μετασχηματισμό του ηχητικού υλικού μέσω των φυσικών του χειρονομιών. Ταυτόχρονα το αριστερό χέρι είναι ελεύθερο να χειρίζεται το πληκτρολόγιο του υπολογιστή και 3 ποτενσιόμετρα. (Davis & Karamanlis 2007)

Με την τεχνολογική πρόοδο υπάρχει πλέον και η δυνατότητα ασύρματης χρήσης χειρονομιακών ελεγκτών. Οι Schnell, Bevilacqua, Rasamimanana, Blois, Guedy, και Flety το 2011 κατασκεύασαν το MO, μια φορητή συσκευή εντοπισμού κίνησης. Με το MO προσπάθησαν να πετύχουν τη δημιουργία ενός χειρονομιακού ελεγκτή, ο οποίος δεν θα είναι πολύπλοκος για τους χρήστες - όπως ένα κύκλωμα Arduino - και ταυτόχρονα δεν θα βασίζεται πάνω σε προκατασκευασμένα hardware από κονσόλες παιχνιδιών, όπως το Wiimote. Το MO μπορούσε να εντοπίσει τις κινήσεις του σώματος του εκτελεστή / χρήστη και να τις μεταφέρει σε πραγματικό χρόνο στο υπολογιστικό περιβάλλον Max/MSP, όπου οι κινήσεις αυτές χαρτογραφούνται και δημιουργούν μονάδες ανασύνθεσης και ανάλυσης του ήχου. Το γεγονός ότι το MO δεν χρειάζεται ιδιαίτερες γνώσεις μουσικής μηχανικής για να κατασκευαστεί και να χρησιμοποιηθεί, αφήνει το περιθώριο, σύμφωνα με τους δημιουργούς του, να χρησιμοποιηθεί και για παιδαγωγική, εκτός από καλλιτεχνική χρήση. (Schnell, Bevilacqua, Rasamimanana, Blois, Guedy & Flety 2011)

Οι Wu, Weitzner, Yeh, Abel, Michon, και Wright (2015) κατασκεύασαν το Tibetan Singing Prayer Wheel, ένα υβρίδιο μεταξύ δύο παραδοσιακών μουσικών οργάνων, το Prayer Wheel και το Tibetan Singing Bowl. Για να επιτευχθεί αυτό, ο ελεγκτής έχει τρεις εισόδους προς τον υπολογιστή. Μέσω μικροφώνου ο εκτελεστής εισάγει την φωνή του στο πρόγραμμα. Εκεί δημιουργείται ένα εικονικό Tibetan Singing Bowl για την επεξεργασία της φωνής. Ο εκτελεστής παράλληλα στέλνει σήματα μέσω των χειρονομιών που κάνει με το ηλεκτρονικά επαυξημένο Prayer wheel, και δημιουργεί ηχητικές διεργασίες σε πραγματικό χρόνο. Τέλος ο εκτελεστής έχει και μια τρίτη είσοδο, στην οποία έχει την δυνατότητα, μέσω τεσσάρων κουμπιών, να εναλλάσσει την ηχητική υφή μεταξύ των ηχητικών επιπέδων. Σε επίπεδο λογισμικού χρησιμοποιούν τρεις διαφορετικούς αλγόριθμους και την ηχητική και φωνητική επεξεργασία. Οι δύο αλγόριθμοι υπάρχουν στο υπολογιστικό περιβάλλον της Faust, και στη συνέχεια εισέρχονται στο περιβάλλον PureData, ενώ ο τρίτος βρίσκεται απευθείας στο περιβάλλον PureData.

Παρατηρώντας κανείς την εξέλιξη των χειρονομιακών ελεγκτών μέσα στον χρόνο, αντιλαμβάνεται ότι πολλές ιδέες και πρακτικές έμειναν ίδιες και παράλληλα βελτιώθηκαν σημαντικά, λόγω της ραγδαίας εξέλιξης του τεχνολογικού εξοπλισμού. Η εύκολη χρήση υπολογιστών και οι νέοι τρόποι αλληλεπίδρασης με αυτούς έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη της τεχνολογίας των χειρονομιακών ελεγκτών. Στην επόμενη υποενότητα εξετάζονται οι

κατηγορίες στις οποίες μπορούν να ταξινομηθεί η πληθώρα χειρονομιακών ελεγκτών, που είναι σήμερα διαθέσιμοι στον χρήστη.

## 1.2 Τύποι χειρονομιακών ελεγκτών

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένας χειρονομιακός ελεγκτής αποτελεί στην ουσία μέρος ενός Ψηφιακού Μουσικού Οργάνου, εκεί όπου οι φυσικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του εκτελεστή και του ελεγκτή λαμβάνουν χώρα. Τι είναι όμως αυτές οι φυσικές αλληλεπιδράσεις; Σύμφωνα με τον Wanderley (2001), φυσικές αλληλεπιδράσεις σημαίνουν «οι ενέργειες του εκτελεστή, είτε πρόκειται για κινήσεις του σώματος, είτε για χειρονομίες με άδεια χέρια, είτε για χειρισμό αντικειμένων και η αντίληψη από τον εκτελεστή για την κατάσταση και την απόκριση του οργάνου μέσω των αισθήσεων της αφής, της όρασης και την ακοής». (*Gestural Control of Music*, σελ 6).

Είναι σημαντικό πριν εξεταστούν οι τύποι των χειρονομιακών ελεγκτών να καταγραφεί η φύση των χειρονομιών. Ο Wanderley (2001) αναφέρει ότι οι χειρονομίες μπορεί είτε να σχετίζονται άμεσα με τον ήχο, είτε όχι. Αναφέρει μάλιστα ότι ακόμα και οι μουσικοί/οργανοπαίχτες χρησιμοποιούν και τις δύο κατηγορίες χειρονομιών. Ο Wanderley προτείνει δύο τρόπους εξερεύνησης των χειρονομιών. Η πρώτη προσέγγιση αφορά την ενδεδεχθή παρατήρηση του τρόπου λειτουργίας των χειρονομιών κατά την διάρκεια μιας εκτέλεσης. Ο δεύτερος τρόπος προσέγγισης βασίζεται στην ανάλυση των ιδιοτήτων της κάθε χειρονομίας ξεχωριστά. Συνεχίζοντας, συνδέει και τις δύο αυτές προσεγγίσεις με την ανατροφοδότηση που δέχεται ο εκτελεστής, ανάλογα με τον τύπο της χειρονομίας. Την χειρονομία χωρίζει επίσης σε δύο κατηγορίες: η πρώτη χωρίζει την ανατροφοδότηση σε πρωτεύουσα και δευτερεύουσα, ανάλογα με το αν θα έρθει με φυσικό τρόπο ή θα γίνει αντιληπτή μόνο μέσω του ήχου που θα παραχθεί από το όργανο. Η δεύτερη χωρίζει την ανατροφοδότηση σε παθητική και ενεργητική. Η παθητική ανατροφοδότηση έρχεται μέσα από το ίδιο το σύστημα, ενώ η ενεργητική γίνεται όταν το ίδιο το σύστημα αντιδρά σε μια κίνηση του χρήστη.

Έχουν διατυπωθεί αρκετές προτάσεις για τον τρόπο κατηγοριοποίησης των χειρονομιακών ελεγκτών. Σύμφωνα με τον Tanaka (2000), ένας τρόπος είναι να ενταχθούν σε δύο κατηγορίες: α) σε φυσικούς και μη φυσικούς ελεγκτές, ανάλογα με τον τρόπο αλληλεπίδρασης μεταξύ του εκτελεστή και τον ελεγκτή, και β) σε μηχανικούς και μη μηχανικούς ελεγκτές. Ο Tanaka θεωρεί ότι όταν χειρονομούμε ώστε να επηρεάσουμε το φως, το οποίο ανιχνεύεται από έναν αισθητήρα φωτός, διαπράττουμε μια χειρονομία, η οποία είναι μεν μια φυσική κίνηση, αλλά αν το σκεφτούμε από την πλευρά του αισθητήρα, είναι μια μη φυσική ή μηχανική κίνηση. Αυτό συμβαίνει διότι ο

αισθητήρας δεν ανιχνεύει την ίδια σωματική κίνηση. Ο αισθητήρας φωτός ανιχνεύει την παραμόρφωση που υφίσταται το φως, άρα η χειρονομία που κάνει ο εκτελεστής δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως φυσική, αφού ο αισθητήρας την αντιλαμβάνεται έμμεσα και όχι άμεσα. Η κίνηση θα ήταν φυσική, αν στην θέση του αισθητήρα φωτός είχαμε έναν βιο-αισθητήρα που θα ανίχνευε κατευθείαν την κίνηση του χεριού.

Ο Manning (2004) προτείνει την κατανομή των ελεγκτών με βάση την ομοιότητά τους με τα παραδοσιακά, υπαρκτά μουσικά όργανα. Αυτή η προσέγγιση δίνει ένα μεγάλο εύρος, στο οποίο μπορεί να τοποθετήσει κανείς έναν χειρονομιακό ελεγκτή. Από τα επαυξημένα με αισθητήρες παραδοσιακά όργανα και τα όργανα που έχουν επηρεαστεί από ακουστικά όργανα, μέχρι τα εντελώς καινούργια και πρωτότυπα σχέδια.

Ο Wanderley ήδη από το 2001 κατατάσσει τους χειρονομιακούς ελεγκτές σε τρεις κατηγορίες. Τα επαυξημένα όργανα ή αλλιώς υβριδικά, τους ελεγκτές όμοιους με πραγματικά όργανα και τους εναλλακτικούς ελεγκτές. Τα μουσικά όργανα, τα οποία έχουν επηρεαστεί από υπαρκτά όργανα, ο Wanderley τα εντάσσει αρχικά ως υπο-κατηγορία των ελεγκτών που είναι όμοιοι με πραγματικά όργανα. Στην προσέγγιση όμως που κάνουν οι Miranda και Wanderley (2006), πλέον αντιλαμβάνονται τους ελεγκτές που έχουν επηρεαστεί από ακουστικά όργανα ως μια ξεχωριστή κατηγορία. Τα επαυξημένα όργανα είναι «μουσικά όργανα ενισχυμένα με την προσθήκη διαφόρων αισθητήρων, που παρέχουν στους εκτελεστές την ικανότητα να ελέγχουν επιπλέον ηχητικές ή μουσικές παραμέτρους» (*New digital musical instruments: control and interaction beyond the keyboard*, σελ. 21). Παρόλη την τροποποίησή τους η τελική τους μορφή έχει όλες τις δυνατότητες που έχει το ίδιο το παραδοσιακό όργανο, με το ίδιο ηχητικό αποτέλεσμα αλλά με τις νέες δυνατότητες που του δίνουν οι αισθητήρες.

Οι χειρονομιακοί ελεγκτές, οι οποίοι είναι όμοιοι με υπαρκτά όργανα, κατασκευάζονται με στόχο να πετύχουν την κατά το δυνατόν πιστότερη ομοιότητα με το παραδοσιακό όργανο. Τα πλεονεκτήματα που υπάρχουν με αυτήν την προσέγγιση είναι ότι, εφόσον μοιάζουν με πραγματικά μουσικά όργανα, υπάρχουν πολλοί εκτελεστές που μπορούν να παίξουν άμεσα στον νέο ελεγκτή, χωρίς να χρειαστούν εξάσκηση σε κάποια νέα τεχνική. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι ότι οι εκτελεστές, χρησιμοποιώντας εκτελεστικές τεχνικές που ήδη γνωρίζουν, μπορούν να παράξουν εντελώς καινούργιους ήχους, αφού οι δυνατότητες μέσα από έναν χειρονομιακό ελεγκτή είναι πολλές. Το μειονέκτημα με αυτή την μέθοδο έγκειται στο γεγονός ότι συχνά δεν ταιριάζουν όλοι οι ήχοι με μια τεχνική παίξιματος. Για παράδειγμα το ηχητικό αποτέλεσμα ενός πνευστού οργάνου, το οποίο παίζεται μέσω ενός πληκτροφόρου, δεν θα αποδώσει σωστά την ηχητική υφή, λόγω της μη συσχέτισης των τεχνικών παιξίματος. (Han & Gold 2014).

Οι Miranda και Wanderley (2006) θεωρούν τους ελεγκτές, που έχουν επηρεαστεί από πραγματικά μουσικά όργανα, μια κατηγορία παρεμφερή με την προηγούμενη, όμως διαφοροποιημένη αρκετά για να συζητηθεί αυτόνομα. Ο τελικός σχεδιασμός ενός τέτοιου τύπου ελεγκτή μπορεί να μην θυμίζει σε τίποτα το παραδοσιακό όργανο, από το οποίο αντλεί την έμπνευσή του ο κατασκευαστής. Λόγω αυτού, κάποιες φορές μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ένας εναλλακτικός ελεγκτής. Η ειδοποιός διαφορά, που κατατάσσει έναν χειρονομιακό ελεγκτή σε αυτή την κατηγορία, είναι ότι η εκτέλεση ενός τέτοιου οργάνου θα πρέπει να προϋποθέτει χειρονομίες, οι οποίες είναι κοινές με το μουσικό όργανο που αποτελεί σημείο αναφοράς. Έτσι λοιπόν η τεχνική από το παραδοσιακό όργανο να μπορεί να μεταφερθεί εύκολα στον χειρονομιακό ελεγκτή. Ταυτόχρονα όμως, η διαφορά με τα όργανα, τα οποία είναι όμοια με τα παραδοσιακά, είναι ότι δεν μεταφέρουν αυτούσιες όλες οι χειρονομίες που χρησιμοποιούνται στο παραδοσιακό όργανο. Και αυτό είναι ένα πλεονέκτημα των ελεγκτών που είναι επηρεασμένοι από μουσικά όργανα, αφού μπορούν να προσπεράσουν μερικούς περιορισμούς, που μπορεί να τους επιβάλει η τεχνική του παραδοσιακού οργάνου. Ένα παράδειγμα είναι η VideoHarp των Rubine και McAvinney. Η VideoHarp χρησιμοποιεί φώτα neon και φωτοευαίσθητα κύτταρα μνήμης για να εντοπίσει τις θέσεις των δαχτύλων του εκτελεστή.

Οι τελευταία κατηγορία χειρονομιακών ελεγκτών είναι οι εναλλακτικοί ελεγκτές. Οι ελεγκτές που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία μπορούν να έχουν πολυποικίλες μορφές. Πάντως δεν χρειάζεται να έχουν κάποια επιρροή ή να μοιάζουν με κάποιο μουσικό όργανο. Μπορεί για παράδειγμα να έχουν ως σημείο αναφοράς ένα αντικείμενο της καθημερινότητας. Ο Axel Mudler (2000) κατηγοριοποιεί τους εναλλακτικούς ελεγκτές σε τρεις υποκατηγορίες. Τους ελεγκτές αφής, τους εκτεταμένης εμβέλειας ελεγκτές και τους εμπυθιστικούς ελεγκτές. Οι ελεγκτές αφής απαιτούν από τον εκτελεστή να έχει φυσική επαφή μαζί τους. Οι εκτεταμένης εμβέλειας ελεγκτές είναι ελεγκτές που δεν προϋποθέτουν την φυσική επαφή του εκτελεστή. Αν υπάρχει φυσική επαφή, τότε είναι περιορισμένη. Όμως οι χειρονομίες έχουν περιορισμένο εύρος, γύρω από το οποίο ασκούν επιρροή στον ελεγκτή. Τέλος, οι ελεγκτές εμπύθισης δεν θέτουν κανέναν περιορισμό στις κινήσεις του εκτελεστή, αφού κάθε κίνηση ασκεί επιρροή στον ελεγκτή. Ως εκ τούτου ο εκτελεστής βρίσκεται μονίμως σε καθεστώς χειρισμού του ελεγκτή, χωρίς να μπορεί να το αποτρέψει.

Οι επιλογή του τρόπου κατασκευής ενός χειρονομιακού ελεγκτή μπορεί να ποικίλλει ανά περίπτωση. Στην επόμενη ενότητα θα καταγραφούν οι τρόποι με τους οποίους οι χειρονομίες του εκτελεστή επηρεάζουν το ηχητικό και μουσικό αποτέλεσμα.

## Ενότητα 2 : Έλεγχος μουσικών παραμέτρων μέσω χειρονομιών

Όπως επισημαίνουν οι Wanderley και Depalle (2004), η ανάπτυξη των χειρονομιακών ελεγκτών ήταν το επακόλουθο της ανάπτυξης τόσο της μουσικής μέσω υπολογιστή, όσο και των συσκευών εισόδου σε αυτούς. Οι μουσικοί έχουν τη δυνατότητα να εξερευνούν τη μουσική σύνθεση σε πραγματικό χρόνο μέσω του υπολογιστή. Η εξέλιξη των υπολογιστών δίνει την δυνατότητα η μουσική σύνθεση να γίνεται σε πραγματικό χρόνο, ακόμα και σε απαιτητικές συνθήκες ζωντανών εμφανίσεων και όχι μόνο μέσα σε ένα studio. Ταυτόχρονα η ανάπτυξη των αισθητήρων, αλλά κυρίως οι νέοι τρόποι αποκωδικοποίησης του σήματός τους και διοχέτευσής του εντός του υπολογιστή, είναι αυτό που έδωσε τη δυνατότητα για την καταγραφή πολλών επιπλέον κινήσεων του ανθρώπινου σώματος, συμπεριλαμβανομένων και κινήσεων που δεν περιλαμβάνουν την επαφή. Ο συνδυασμός των νέων συσκευών εισόδου με τις νέες τεχνικές μουσικής σύνθεσης δημιούργησε μια νέα κατηγορία μουσικών οργάνων, τα ψηφιακά μουσικά όργανα. Μέσω αυτών μπορεί αν παραχθεί σε ζωντανό χρόνο μια μουσική σύνθεση η οποία πλέον μπορεί να ελεγχθεί με χειρονομίες. Ένα κύκλωμα μπορεί πλέον να οριστεί ως μουσικό όργανο ακριβώς την στιγμή που αρχίζει και λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο (Bailey 1993).

### 2.1 Η χρήση των αισθητήρων

Οι Mirando και Wanderley (2006) επισημαίνουν την αναγκαιότητα της μέτρησης των κινήσεων του σώματος κατά τη διαδικασία σχεδιασμού και υλοποίησης ενός χειρονομιακού ελεγκτή. Το ανθρώπινο σώμα παράγει πληθώρα κινήσεων που μπορούν να καταγραφούν, όπως οι κινήσεις των δαχτύλων, των παλαμών, των χεριών, των ποδιών ή του κεφαλιού. Μάλιστα είναι δυνατή ακόμα και η καταγραφή κινήσεων των ματιών και χρήσης τους για χειρονομιακό έλεγχο. Για να μπορέσουν όμως αυτές οι κινήσεις να επηρεάσουν τη μουσική δημιουργία, πρέπει αρχικά να καταγραφούν και να μεταφραστούν σε ηλεκτρικά σήματα και εν συνεχεία να γίνει η μετατροπή του ρεύματος σε ψηφιακό σήμα, το οποίο να μπορεί να ερμηνευτεί από κάποιο μουσικό λογισμικό.

Στην βιβλιογραφία συναντάει κανείς δύο όρους, που συχνά χρησιμοποιούνται εναλλάξ. Τον όρο αισθητήρας (sensor) και τον όρο μορφομετατροπέας (transducer). Αυτοί οι όροι, αν και χρησιμοποιούνται σε παρόμοια πλαίσια, δεν είναι ταυτόσημοι. Με τεχνικούς όρους, ο μορφομετατροπέας μετατρέπει έναν τύπο ενέργειας σε κάποιον άλλο. Αντίστοιχα ο αισθητήρας μετατρέπει οποιονδήποτε τύπο ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Ένα παράδειγμα



μορφομετατροπέα είναι τα μεγάφωνα, τα οποία μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε ακουστικά κύματα. Ο Smith (1993) θεωρεί ότι οι περισσότεροι αισθητήρες ουσιαστικά αποτελούν και μορφομετατροπείς, αφού για να μετατρέψουν έναν τύπο ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιούν μορφομετατροπικούς μηχανισμούς.

Οι Mirnado και Wanderley (2006) κατηγοριοποιούν τους αισθητήρες ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους σε άμεσους ή σύνθετους, παθητικούς ή ενεργούς, επαφής ή ανέπαφους, ψηφιακούς ή αναλογικούς. Για παράδειγμα, ο άμεσος αισθητήρας κάνει απευθείας μετατροπή της ενέργειας που δέχεται σε ηλεκτρική. Ο σύνθετος, από την άλλη, χρησιμοποιεί μορφομετατροπείς για να δημιουργήσει μια αλυσίδα από μετατροπές, μέχρι να γίνει η τελευταία μετατροπή της ενέργειας σε ηλεκτρικό σήμα. Ένας ενεργός αισθητήρας χρειάζεται μια εξωτερική πηγή που να του παρέχει ενέργεια, ενώ ένας παθητικός αισθητήρας παράγει ο ίδιος την ενέργεια που χρειάζεται για να λειτουργήσει.

Οι αισθητήρες πρέπει να ανταποκρίνονται στις ανάγκες του εκάστοτε σχεδιαστή του οργάνου. Γι' αυτό, πριν γίνει η επιλογή του αισθητήρα, θα πρέπει να είναι ξεκάθαρη η μεταβλητή που θα πρέπει να αποτυπώνει. Φυσικά οι αισθητήρες, που είναι κατάλληλοι για μια μέτρηση, μπορεί να είναι περισσότεροι του ενός, οπότε η επιλογή του αισθητήρα δεν είναι τόσο καθοριστικής σημασίας. Πιο σημαντική παραμένει η μεταβλητή που θέλει ο σχεδιαστής του οργάνου να αποτυπώνεται από τον αισθητήρα. Παρόλα αυτά, οι παραπάνω κατηγορίες αισθητήρων μπορεί να βοηθήσουν τον σχεδιαστή να διαλέξει τον κατάλληλο αισθητήρα για τις ανάγκες του οργάνου. Αν για παράδειγμα ένα κριτήριο του σχεδιαστή είναι να μην υπάρχει επαφή του εκτελεστή με το όργανο, τότε θα χρησιμοποιήσει ανέπαφους αισθητήρες. Όμως ούτε αυτές οι κατηγορίες είναι αρκετές, θα χρειάζονται περισσότερα χαρακτηριστικά για την αποτύπωση της συμβατότητας του αισθητήρα ανάλογα με τις ανάγκες. (Mirando & Wanderley 2006). Μεταξύ ερευνητών συναντάται η άποψη ότι τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά ενός αισθητήρα είναι η ευαισθησία, η σταθερότητα και η επαναληψιμότητά του (Smith 1993). Οι Mirando και Wanderley προσθέτουν σε αυτά και την ευαισθησία του αισθητήρα στις συνθήκες του περιβάλλοντος.

Ο Patrick Garrett (1994) αναφέρει έξι παραμέτρους που θεωρεί πιο σημαντικές για την σωστή επιλογή του αισθητήρα. Την ορθότητα της μέτρησης του αισθητήρα, σε σχέση με την πραγματική τιμή, την απόκλιση μεταξύ της μέτρησης και της πραγματικής τιμής, την ακρίβεια των μετρήσεων, την ευκρίνεια, το κατά πόσο δηλαδή μια ελάχιστη μεταβολή στην τιμή εισόδου μπορεί να γίνει αντιληπτή στην έξοδο. Δύο ακόμα χαρακτηριστικά που θεωρεί σημαντικά ο Garrett είναι το διαθέσιμο εύρος της εισόδου, το όριο όπου ένα δυναμικό εύρος μπορεί να καταγραφεί από τον αισθητήρα και τέλος η συνολική έκταση των πιθανών τιμών μέτρησης. Ο Joseph Car (1993)

προτείνει και τα χαρακτηριστικά του Offset, της γραμμικότητας, της μονοτονίας και του σφάλματος υστέρησης.

Υπάρχει πληθώρα αισθητήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μουσική δημιουργία μέσω των χειρονομιακών ελεγκτών. Αυτοί οι αισθητήρες έχουν ως στόχο τη μέτρηση μεταβλητών, οι οποίες είναι αποτέλεσμα ανθρωπίνων ενεργειών, όπως η δύναμη, η θέση στο χώρο ή η ταχύτητα. Ενώ έχουν δημιουργηθεί αρχικά για άλλους εμπορικούς σκοπούς, όπως η χρήση τους στην βιομηχανία ή στην ιατρική, η χρήση τους για μουσικούς σκοπούς προσδίδει μεγαλύτερη ευελιξία χρήσης. Αυτό απορρέει από το γεγονός ότι στις βιομηχανικές και ιατρικές χρήσεις είναι αναγκαία η μεγάλη ακρίβεια. Αντίθετα η μουσική βοηθάει ώστε, η μικρότερη ακρίβεια ενός αισθητήρα σε κάποιους τομείς να μην αποτελέσει απαγορευτικό παράγοντα της χρήσης του. Αν για παράδειγμα ένας αισθητήρας δεν είναι απόλυτα ακριβής, μπορεί να είναι χρήσιμος για να χρησιμοποιηθεί σε μουσικές λειτουργίες που δεν χρειάζονται απόλυτη ακρίβεια. Μια τέτοια λειτουργία μπορεί να είναι το ηχώχρωμα. Βέβαια υπάρχουν και μουσικές μεταβλητές για την καταγραφή των οποίων είναι απαραίτητη η ακρίβεια του αισθητήρα, όπως στο τονικό ύψος. Είναι δεδομένο ότι ένας λιγότερο ακριβής αισθητήρας θα γίνει αντιληπτός, αν ανατεθεί στον έλεγχο μιας τέτοιας μουσικής λειτουργίας (Mirando & Wanderley 2006).

Σε έναν χειρονομιακό ελεγκτή - ή αλλιώς σε ένα Ψηφιακό Μουσικό Όργανο - υπάρχει το σύστημα με τους αισθητήρες που αποκωδικοποιεί τις χειρονομίες και ο μηχανισμός που δημιουργεί το ηχητικό σήμα. Οι δύο αυτές λειτουργίες χρειάζεται να συνδυαστούν. Ο συνδετικός κρίκος μεταξύ των δύο λειτουργιών ονομάζεται χαρτογράφηση (de las Pozas 2020). Στην επόμενη υποενότητα θα γίνει ανάλυση των στρατηγικών χαρτογράφησης σε έναν χειρονομιακό ελεγκτή.

## **2.2 Στρατηγικές χαρτογράφησης χειρονομιακού ελέγχου**

Η συνθετική μέθοδος και κατά συνέπεια η παραγωγή ήχου σε έναν χειρονομιακό ελεγκτή επηρεάζεται από τις κινήσεις του εκτελεστή. Το ίδιο ισχύει και στα παραδοσιακά μουσικά όργανα, με τη διαφορά ότι σε αυτά είναι ευδιάκριτη η σύνδεση των χειρονομιών με τον παραγόμενο ήχο. Στα ψηφιακά μουσικά όργανα όμως κάτι τέτοιο δεν είναι απαραίτητο να συμβεί. Γι' αυτό και η σύνδεση της κίνησης με τον ήχο επιτυγχάνεται με τη διαδικασία της χαρτογράφησης, από την αρχή της κατασκευής του ελεγκτή (Mirando & Wanderley 2006).

Τι είναι όμως η χαρτογράφηση; Ο Doornbusch (2002) ονομάζει χαρτογράφηση τη διαδικασία της εύρεσης τρόπων ώστε ο εκτελεστής να μπορεί να ελέγξει και να επηρεάσει πολλαπλές παραμέτρους της ηχητικής διεργασίας μέσω ενός χειρονομιακού ελεγκτή.

Η επιλογή της στρατηγικής χαρτογράφησης είναι καίριας σημασίας. Από αυτήν καθορίζεται η αποτελεσματικότητα του οργάνου και ο τρόπος λειτουργίας του. Γι' αυτό η στρατηγική αυτή πρέπει να δομηθεί εξαρχής. Θα πρέπει δηλαδή να αποφασίζεται εκ των προτέρων ποιές μεταβλητές του αλγορίθμου της ηχητικής επεξεργασίας θα επηρεάζονται από τις χειρονομίες. Στη συνέχεια να βρίσκεται ο τρόπος με τον οποίο θα επιτυγχάνεται ο έλεγχος των μεταβλητών αυτών. (Hunt, Wanderley και Paradis 2002).

### 2.2.1 Στρατηγικές χαρτογράφησης

Οι Hunt και Wanderley (2002) αναφέρουν τις τρεις πιο διαδεδομένες στρατηγικές χαρτογράφησης. Η πρώτη - και η πιο απλή σύμφωνα με τον Wanderley (2001) - είναι η στρατηγική *μια-σε-μια* (one-to-one). Μια παράμετρος της χειρονομίας δηλαδή επηρεάζει μια συνθετική παράμετρο. Μια λίγο πιο περίπλοκη στρατηγική είναι η *μία-σε-πολλές* (one-to-many), όταν δηλαδή μια χειρονομία επηρεάζει πολλές διαφορετικές συνθετικές παραμέτρους ταυτόχρονα. Επίσης υπάρχει και η δυνατότητα πολλές χειρονομίες να επηρεάζουν μια συνθετική μέθοδο, με την στρατηγική να ονομάζεται *πολλές-σε-μια* (many-to-one). Τέλος είναι εφικτός και ο συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων, σε μια στρατηγική γνωστή με τον όνομα *πολλές-σε-πολλές* (many-to-many).

Οι Hunt και Kirk (2000) υιοθετούν τους όρους *σύγκλισης* και *απόκλισης* των Rowan, Wanderley, Dubnov και Depalle (1997), οι οποίοι χώρισαν εξίσου τις στρατηγικές χαρτογράφησης σε τρεις κατηγορίες. Την κατηγορία *μία-σε-πολλές* την αναφέρουν ως αποκλίνουσα χαρτογράφηση, ενώ την στρατηγική *πολλές-σε-μια* την ονομάζουν συγκλίνουσα χαρτογράφηση. Για να εξηγήσουν τους δύο όρους, οι Hunt και Kirk, χρησιμοποιούν το παράδειγμα ενός βιολιού. Για την σύγκλιση αναφέρουν ότι η ένταση του ήχου του βιολιού δεν ελέγχεται από μια “είσοδο” / χειρονομία αλλά από ένα συνδυασμό πολλών κινήσεων/χειρονομιών. Η στρατηγική *σύγκλισης* λοιπόν, ταυτίζεται με την μέθοδο *πολλές-σε-μια*. Αντίστοιχα η *απόκλιση* ταυτίζεται με την στρατηγική *μία-σε-πολλές*. Αναφέροντας πάλι το παράδειγμα του βιολιού, το δοξάρι του βιολιού, αν και αποτελεί μια “είσοδο” χειρονομίας, επηρεάζει ποικίλλες παραμέτρους του ήχου.

Ο Chadabe (2002) θεωρεί ότι η τεχνική της χαρτογράφησης σταδιακά θέτει περιορισμούς στην καλλιτεχνική έκφραση του εκτελεστή και των μουσικών οργάνων. Όσο τα ψηφιακά μουσικά όργανα γίνονται πιο πολύπλοκα, τόσο οι απλές αντιστοιχίσεις των χειρονομιών στις μουσικές διεργασίες δεν θα ικανοποιούν την μουσική έκφραση. Οι απλές ιεραρχίες στη δομή ελέγχου των

χαρτογραφήσεων θα γίνονται όλο και λιγότερο χρήσιμες. Γι' αυτό προτείνει μια αλγοριθμική δομή αντιστοίχισης των χειρονομιών στις μουσικές διεργασίες που ονομάζει *fly-by-wire*. Μια διαδικασία κατά την οποία ο εκτελεστής επικοινωνεί στον υπολογιστή τι πρέπει να κάνει και στη συνέχεια ο υπολογιστής κάνει την αντιστοίχιση. Με αυτόν τον τρόπο οι απλές εντολές, που εισάγονται στον υπολογιστή, μπορούν να ανατεθούν με αλγοριθμικό τρόπο σε πολλές μεταβλητές δημιουργώντας μια μη-προβλέψιμη συσχέτιση μεταξύ χειρονομιών και ηχητικής σύνθεσης που αυξάνει το ενδιαφέρον.

### 2.2.2 Επιλογή στρατηγικής χαρτογράφησης

Οι Brown, Nash, και Mitchell (2020) επέλεξαν τον τρόπο χαρτογράφησης, με βάση δύο κριτήρια. Σύμφωνα με το πρώτο κριτήριο, η χαρτογράφηση θα βασίζεται σε ήδη υπάρχουσες χειρονομίες των εκτελεστών. Θα αξιοποιούνται, δηλαδή, χειρονομίες οι οποίες ήδη χρησιμοποιούνται από τους εκτελεστές και θα αντιστοιχίζονται πάνω στο σύστημα. Σύμφωνα με το δεύτερο κριτήριο, οι χαρτογραφήσεις που επιλέγονται δεν θα πρέπει να δημιουργούν πρωτογενή σφάλματα στο σύστημα. Αυτό θα είναι καθοριστικό όταν στις δοκιμές ο κατασκευαστής θα μπορεί να ξεχωρίσει τα πραγματικά σφάλματα του συστήματος από τα σφάλματα της προσομοίωσης.

Για την καταλληλότερη επιλογή στρατηγικής χαρτογράφησης ο Wanderley (2001) προτείνει την δοκιμή πολλών χειρονομιακών ελεγκτών. Δοκιμάζοντας κανείς διαφορετικούς χειρονομιακούς ελεγκτές, με διαφορετικές τεχνικές χαρτογράφησης πάνω σε διαφορετικούς αλγόριθμους σύνθεσης, μπορεί να αξιολογήσει την καταλληλότητα του καθενός, ανάλογα με τις ανάγκες της σύνθεσης. Μια πολύπλοκη χαρτογράφηση μπορεί να έχει άμεση επίδραση στην εκτέλεση του οργάνου και συνεπώς στο μουσικό περιεχόμενο. Οι εκτελεστές, πάντως, περιμένουν τις περίπλοκες χαρτογραφήσεις, παρόλο που η χρήση της πιο απλής μεθόδου *μια-σε-μια* χρησιμοποιείται πολύ από τους κατασκευαστές χειρονομιακών ελεγκτών (Hunt & Kirk 2000).

### 2.2.3 Εφαρμογή της χαρτογράφησης

Έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι για την επίτευξη της χαρτογράφησης. Ο πιο απλός τρόπος χαρτογράφησης είναι σε ένα επίπεδο. Όμως αυτό ενδέχεται να δημιουργήσει πρόβλημα, εάν υπάρξει οποιαδήποτε αλλαγή είτε στον χειρονομιακό ελεγκτή είτε στον αλγόριθμο σύνθεσης. Διότι, αν με οποιαδήποτε αλλαγή είτε στο hardware του ελεγκτή είτε στον αλγόριθμο, θα πρέπει να ξαναγίνει η χαρτογράφηση από την αρχή, διότι θα επηρεαστεί άμεσα από τις όποιες αλλαγές. Για να μην χρειαστεί να αλλάξει ολόκληρη η χαρτογράφηση με οποιαδήποτε αλλαγή, μια καλή επιλογή θα ήταν ο διαχωρισμός της χαρτογράφησης σε δύο επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο θα γίνεται η

χαρτογράφηση των δεδομένων που στέλνονται από τον χειρονομιακό ελεγκτή σε ορισμένες ενδιάμεσες μεταβλητές. Στο δεύτερο επίπεδο οι ενδιάμεσες αυτές μεταβλητές θα χαρτογραφηθούν πάνω στις παραμέτρους που επηρεάζουν την ηχητική σύνθεση. Με αυτόν τον τρόπο, αν γίνει οποιαδήποτε αλλαγή στον χειρονομιακό ελεγκτή, θα χρειαστεί αλλαγή η χαρτογράφηση μόνο στο πρώτο επίπεδο. Ενώ αντίστοιχα, αν γίνει κάποια αλγοριθμική αλλαγή, θα επηρεαστεί η χαρτογράφηση μόνο στο δεύτερο επίπεδο (Wanderley 2001).

Στο ίδιο μήκος κύματος, ο Todoroff (1995) παραθέτει δύο βήματα κατά τον σχεδιασμό ενός χειρονομιακού ελεγκτή. Σε ένα “χαμηλό” επίπεδο τοποθετεί τη δημιουργία των αλγορίθμων, οι οποίοι πρέπει να παρέχουν ανεξαρτησία ελέγχου πάνω στις ηχητικές παραμέτρους, ενώ σε ένα “υψηλό” επίπεδο γίνεται χρήση διαφόρων χειρονομιακών ελεγκτών. Αυτοί βασίζονται πάνω στους αλγορίθμους του χαμηλότερου επιπέδου ώστε να αποκαλυφθούν όλες οι πιθανές εκφάνσεις του ηχητικού αποτελέσματος. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί μια εσωτερική ηχητική συνοχή.

Οι Verfaillie, Wanderley και Depalle (2006) αναφέρουν ότι «η χαρτογράφηση στην ηχητική σύνθεση έχει καθοριστεί ως η εξαγωγή των φυσικών/μουσικών χειρονομιών και η σύνδεσή τους με ένα σύνολο παραμέτρων ελέγχου» (σελ.7). Θεωρούν μάλιστα ότι η στρατηγική χαρτογράφησης σε ένα γενικότερο πλαίσιο περιλαμβάνει μόνο ένα επίπεδο. Γίνεται δηλαδή η εξαγωγή των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων τόσο του ήχου όσο και της χειρονομίας και συνδυάζονται μεταξύ τους. Χάρη στον διαχωρισμό των γνωρισμάτων του ήχου και των χειρονομιών γίνεται εφικτό να αντιληφθεί ο εκτελεστής ποιές παραμέτρους ελέγχει. Η χαρτογράφηση των χειρονομιών θεωρείται χαρτογράφηση δεύτερου επιπέδου. Είναι δηλαδή χαρτογράφηση που έρχεται αφού χαρτογραφηθούν πρώτα οι ήχοι κατά τη διαδικασία της ηχητικής επεξεργασίας/σύνθεσης. Η χαρτογράφηση αυτή αντιστοιχίζει τα χαρακτηριστικά των χειρονομιών με τις παραμέτρους του ήχου που θα επεξεργαστούν. Μάλιστα θεωρούν ότι, εφόσον έχει γίνει σωστή τροποποίηση στην ηχητική επεξεργασία, ως προς ποιές παραμέτρους θα υποστούν επεξεργασία, τότε η χαρτογράφηση γίνεται μια απλή διαδικασία, καθώς ανάγεται στην αντιστοίχιση των χειρονομιών με όσα έχουν ήδη καθοριστεί στο πρώτο επίπεδο.

#### **2.2.4 Επιρροή της σύνθεσης στην χαρτογράφηση**

Μέσω των χειρονομιακών ελεγκτών είναι εφικτό να γίνει πιο απλή η επίδραση πάνω στην ηχητική επεξεργασία και σύνθεση. Οι συνθέτες χρειάζονται έναν φυσικό τρόπο με τον οποίο θα δημιουργούν πάνω στην ηχητική επεξεργασία. Μέσω των χειρονομιών μπορεί ο συνθέτης να παρέμβει άμεσα πάνω στον ήχο (Todoroff 1995).

Γι' αυτό και η συνθετική μέθοδος αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την επιλογή της στρατηγικής της χαρτογράφησης, αφού μπορεί αυτή η επιλογή να είναι καθοριστική για την εκφραστικότητα του οργάνου (Wanderley 2001).

Ένας χειρονομιακός ελεγκτής μπορεί να χαρακτηριστεί και χαμηλού ή υψηλού επιπέδου, ανάλογα με την συνθετική μέθοδο για την επεξεργασία του ηχητικού σήματος. Με έναν απλό έλεγχο μιας παραμέτρου ενός εφέ, είναι ένας ελεγκτής χαμηλού-επιπέδου. Ένας ελεγκτής υψηλού επιπέδου έχει πιο βαθιά επιρροή στις ηχητικές διεργασίες. Για παράδειγμα στο εφέ του vibrato, η απλή επεξεργασία του τονικού ύψους θα καταταχθεί στην κατηγορία χαμηλού επιπέδου, ενώ ο έλεγχος των παραμέτρων του vibrato στην κατηγορία του υψηλού επιπέδου (Verfaille, Wanderley & Depalle 2006).

Παρόλα αυτά είτε η διαδικασία παραγωγής ήχου γίνεται με κάποια συνθετική μέθοδο, είτε με επεξεργασία ήχων μέσω εφέ, ο έλεγχος της μουσικής σε πραγματικό χρόνο γίνεται μέσω χειρονομιών. Η χαρτογράφηση αυτών καθορίζεται είτε από τον κατασκευαστή του οργάνου, είτε από τον συνθέτη. Η de la Rozas (2020) αναφέρει ότι η χαρτογράφηση βασίζεται στις πρακτικές ανάγκες του χειρονομιακού ελεγκτή και στην αισθητική του εκάστοτε κατασκευαστή. Η συσχέτιση όμως μεταξύ χειρονομίας και ήχου συχνά θα πρέπει να μην είναι απaráλλακτη, καθώς η προσαρμοστικότητα της στρατηγικής της χαρτογράφησης είναι μια διαδικασία που συχνά ωφελεί το καλλιτεχνικό αποτέλεσμα. Αρκετοί παράγοντες μπορεί να διαφέρουν από μια μουσική εκτέλεση σε μια άλλη. Για παράδειγμα οι διαφοροποιήσεις που υπάρχουν από χώρο σε χώρο, μπορεί να φέρουν προβλήματα στην εκτέλεση. Προβλήματα όμως που λύνονται με μικρές διαφοροποιήσεις στον τρόπο χαρτογράφησης. Ο κατασκευαστής, δίνοντας τη δυνατότητα μιας τέτοιας προσαρμογής, μπορεί να δημιουργήσει ένα καλύτερο και πιο αποτελεσματικό ψηφιακό μουσικό όργανο.

## **2.3 Μέθοδοι ηχητικής σύνθεσης και επεξεργασίας**

Αφού η στρατηγική της χαρτογράφησης έχει επιτευχθεί και πλέον οι χειρονομίες έχουν καλή απόκριση με τους αισθητήρες, ο εκτελεστής μπορεί να επιλέξει τις πτυχές του ήχου που θέλει να επεξεργαστεί (Todoroff 1995). Οι Verfaille, Wanderley και Depalle (2006) θέτουν ως σύνορο μεταξύ της χαρτογράφησης ελέγχου των χειρονομιών και της ηχητικής επεξεργασίας, το επίπεδο της χαρτογράφησης που επηρεάζει άμεσα τον ήχο. Αυτό το επίπεδο χαρτογράφησης το αντιλαμβάνονται ως μέρος της ηχητικής επεξεργασίας. Ο Rowe (1999) πιστεύει ότι η συνθετική

διαδικασία έχει εξελιχθεί χάρη στα συστήματα διάδρασης μεταξύ εκτελεστή και υπολογιστή. Αυτά τα συστήματα αποτελούν το σημείο επαφής μεταξύ της ηλεκτρονικής μουσικής και του αυτοσχεδιασμού. Με αυτόν τον τρόπο ο συνθέτης δεν είναι υποχρεωμένος να δημιουργήσει με απόλυτο τρόπο τη μουσική σύνθεση, αλλά αφήνει μέρος της δημιουργικής διαδικασίας να καθορίζεται τόσο από τον ίδιο τον υπολογιστή, όσο και από τον εκτελεστή σε πραγματικό χρόνο, μέσω της αλληλεπίδρασής τους.

Οι προσεγγίσεις για την επεξεργασία του ψηφιακού ήχου τοποθετούνται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη αφορά τη δημιουργία νέων ηχητικών σημάτων, μέσω ηχητικής σύνθεσης ενώ η δεύτερη αφορά την επεξεργασία ήχων, μέσω των ηχητικών εφέ. (Verfaille, Wanderley & Depalle 2006). Συνήθως υπάρχουν διαφορές στον τρόπο αντίληψης της αποτελεσματικότητας μεταξύ ηχητικής σύνθεσης και ηχητικής επεξεργασίας. Ο Todoroff (1995) πιστεύει ότι και στις δύο αυτές τεχνικές οι ενδιαφέρουσες ηχητικές μορφολογίες δημιουργούνται μόνο μέσα από τον συνδυασμό πολλών ηχητικών παραμέτρων.

Η ηχητική σύνθεση, σύμφωνα με τον Wanderley (2001), μπορεί να χωριστεί σε δύο υποκατηγορίες: στη σύνθεση με φυσικά μοντέλα και στη σύνθεση ψηφιακών σημάτων. Η φυσική μοντελοποίηση αποτελεί την τεχνική, κατά της οποίας δημιουργούνται ρεαλιστικά μουσικά όργανα, προσομοιώσεις των ακουστικών οργάνων. Για την φυσική μοντελοποίηση χρειάζεται να αξιοποιηθεί ο τομέας της φυσικής ακουστικής. Για την κατασκευή της ηχητικής προσομοίωσης των ακουστικών οργάνων χρειάζονται περίπλοκες μαθηματικές εξισώσεις. Είναι πιο δύσκολη διαδικασία σε σχέση με άλλες τεχνικές σύνθεσης ήχου και απαιτεί αρκετό χρόνο, η οποία όμως αναπτύσσεται ταχύτατα λόγω της τεχνολογικής εξέλιξης των ηλεκτρονικών υπολογιστών (Karamanlis 2021). Ο Wanderley (2001) θεωρεί ότι η μέθοδος της φυσικής μοντελοποίησης έχει μειονεκτήματα, που έχουν να κάνουν κυρίως με τις δυσκολίες που υπάρχουν και στα πραγματικά ακουστικά όργανα. Αφενός δεν είναι εύκολη η συνεργασία διαφορετικών μοντέλων αυτής της τεχνικής και αφετέρου η τεχνική αυτή αυξάνει την πολυπλοκότητα της εκτελεστικής διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο.

Η σύνθεση ψηφιακών σημάτων είναι μια αρκετά ενδιαφέρουσα τεχνική. Έχει το πλεονέκτημα ότι υπάρχουν εργαλεία ανάλυσης, που δείχνουν με ακρίβεια τις παραμέτρους οι οποίες σχετίζονται με το ηχητικό αποτέλεσμα. Τεχνικές όπως η προσθετική σύνθεση δίνουν μεγάλες ευκολίες στον συνθέτη. Βέβαια οι αλλαγές στο ηχητικό σήμα μπορεί να επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στον ήχο του οργάνου (Wanderley 2001). Οι μετασχηματισμοί του ήχου από εφέ αποτελούν συνθετική διαδικασία. Για την επίτευξη όμως της ηχητικής σύνθεσης, πρέπει να αποφασιστεί ποιό χαρακτηριστικό του ήχου πρέπει να υποστεί επεξεργασία από τα εφέ. Τα

χαρακτηριστικά αυτά και ο τρόπος που επηρεάζονται συχνά σχετίζεται με την επιλογή της χαρτογράφησης (Verfaillie, Wanderley & Depalle 2006).



## **Ενότητα 3 : Μελέτη και συγκριτική προσέγγιση χειρονομιακών ελεγκτών.**

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την επιλογή του αισθητήρα, της χαρτογράφησης και της σύνθεσης, σχετίζεται με τον στόχο της κατασκευής του χειρονομιακού ελεγκτή. Αν ο ελεγκτής αποτελεί μέρος μιας ηχητικής εγκατάστασης, πρωταρχικός στόχος είναι η ευκολία με την οποία θα αντιλαμβάνονται οι χρήστες την λειτουργία του και, κατά συνέπεια, πόσο ευδιάκριτα θα επηρεάζει η χειρονομία την ηχητική υφή. Αν ο χειρονομιακός ελεγκτής αποσκοπεί στην δημιουργία ενός μουσικού οργάνου, τότε θα πρέπει να αποσαφηνιστεί σε τι αποσκοπεί κάθε χειρονομία του εκτελεστή. Φυσικά μπορεί ένας χειρονομιακός ελεγκτής με αισθητήρες να χρησιμοποιηθεί και για τον συνδυασμό κίνησης και ήχου, όπως για μια χορευτική παράσταση. Σε μια τέτοια περίπτωση, οι κινήσεις δεν θα πρέπει να είναι αυστηρά δοσμένες σε συγκεκριμένους ήχους, αλλά να αλληλεπιδρούν ελεύθερα με τις κινήσεις του χορού. (Kersten, S., Baalman, M., & Bovermann, T. 2011).

### **3.1 Μοντέλα χειρονομιακών ελεγκτών**

#### **3.1.1 Καταγραφή κίνησης**

Οι Aska και Ritter (2016) δημιούργησαν ένα μοντέλο χειρονομιακού ελέγχου, το οποίο λειτουργεί για την διάχυση του ήχου στον χώρο. Ένα είδος χειρονομιακού ελεγκτή, που δεν χρησιμοποιείται ως μουσικό όργανο, αλλά ως μέσο επικοινωνίας του εκτελεστή με τον ήχο στον χώρο. Στην μελέτη τους για την χωρικότητα του ήχου με χειρονομιακό έλεγχο, χρησιμοποίησαν το λογισμικό AAmpri, κατασκευασμένο από τους Schacher και Koche, το οποίο δίνει τη δυνατότητα στον εκτελεστή να τοποθετεί ήχους στον χώρο. Η χρήση συστημάτων εντοπισμού κίνησης για την διαχωρικότητα του ήχου από stereo μουσικά έργα είναι μια προσέγγιση που ανταποκρίνεται καλύτερα στην αισθητική της ηλεκτροακουστικής μουσικής, σε σχέση με τον κλασικό τρόπο της χρήσης αναλογικών ή ψηφιακών κονσολών. Ταυτόχρονα, είναι εύκολο κανείς να βρει κάμερες για τον εντοπισμό κινήσεων και σε χαμηλό κόστος, γεγονός που κάνει την επιλογή τους προσβάσιμη για όλους (Aska και Ritter 2016).

Οι Aska και Ritter (2016), έχοντας ως αφετηρία τα μοντέλα αισθητικής εκτέλεσης του Marko Ciciliani (2014), θεωρούν τα έργα ακουσματικής μουσικής εκ φύσεως φυγόκεντρα. Σύμφωνα με τον Ciciliani φυγόκεντρη είναι η εκτέλεση στην οποία δεν υπάρχει απόλυτη σύνδεση

μεταξύ των κινήσεων του εκτελεστή και του ήχου. Δεν είναι φανερό, δηλαδή, ότι η κίνηση του σώματος του εκτελεστή ενεργοποιεί κάποιον ήχο. Όμως η Alyssa Aska δοκίμασε πάνω στην σύνθεση της «City of Marbles»<sup>1</sup> να εφαρμόσει μια ιδιαίτερη εκτελεστική πρακτική. Ο εκτελεστής βρισκόταν ζωντανά στον χώρο της συναυλίας, ώστε να κάνει σε πραγματικό χρόνο την διάχυση του ήχου στον χώρο. Η ηχητική πηγή φυσικά παρέμεινε μη ορατή στο κοινό, ο εκτελεστής όμως ήταν φανερός. Με αυτόν τον τρόπο η εκτέλεση μπορούσε να πετύχει το παράδοξο, να αναδειξεί τη σχέση χειρονομίας και ήχου, χωρίς όμως η χειρονομία να σχετίζεται με την πηγή του ήχου.

Για τον χειρονομιακό έλεγχο δημιουργήθηκε στο περιβάλλον του Max ένα πρόγραμμα, το οποίο αντλεί τα δεδομένα από την κάμερα και τα μεταβιβάζει στο AAmpr. Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα στον εκτελεστή να βλέπει σε πραγματικό χρόνο την έξοδο της κάμερας μέσω του Max. Η έξοδος της κάμερας χωρίζεται σε δέκα πίνακες. Όμως γίνεται χρήση των οκτώ από αυτούς, οι οποίοι χαρτογραφούνται στα οκτώ κανάλια που στέλνουν τον ήχο στα αντίστοιχα οκτώ ηχεία. (Aska και Ritter 2016). Το σύστημα επιτυγχάνει τον διαμοιρασμό του ήχου στον χώρο με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος χρησιμοποιεί τα δεδομένα από τις χειρονομίες του εκτελεστή στον οριζόντιο άξονα, για να δώσει κίνηση στις πηγές εισόδου. Ο δεύτερος σχετίζεται με τον κάθετο άξονα, όπου οι κινήσεις του εκτελεστή επηρεάζουν την ένταση των ηχείων και συνεπώς την αντίληψη των ακροατών για την θέση των ήχων στον χώρο. Μέσα από αυτή την προσέγγισή τους, οι δημιουργοί έφτασαν στο συμπέρασμα ότι η ύπαρξη ενός εκτελεστή για την διάχυση του ήχου βοηθάει, ώστε το ακροατήριο να παρακολουθήσει την πορεία του ήχου στον χώρο, μειώνοντας όμως την προσήλωσή τους πάνω στον ήχο αυτόν καθ' αυτόν.

### 3.1.2 Gestate

Η καταγραφή των κινήσεων, όπως περιγράφονται στο 3.1.1, δεν έχει χρησιμοποιηθεί μόνο για τον έλεγχο της διάχυσης του ήχου. Οι Mainsbridge και Beilharz (2014) χρησιμοποιούν το ανθρώπινο σώμα σαν μουσικό όργανο. Με αυτήν την προσέγγιση δεν έχουν περιορισμούς από χειρονομιακούς ελεγκτές αφής, με αποτέλεσμα οι εκτελεστές να μπορούν να προσαρμόσουν την τεχνολογία πάνω στις εκτελεστικές τους πρακτικές.

Η πρακτική της καταγραφής των κινήσεων του σώματος, ως προτεραιότητα στο σύστημά τους, έχει ιδιαίτερη εφαρμογή στις φωνητικές εκτελέσεις. Σε μια φωνητική εκτέλεση η φωνή πηγάζει από το σώμα. Επομένως, το σώμα του εκτελεστή έχει ειδική επίδραση στην ερμηνεία, γεγονός που καθιστά ενδιαφέρον τον περαιτέρω έλεγχο των κινήσεων του σώματος στις μουσικές

---

<sup>1</sup> Παρουσίαση του City of Marbles: <https://www.youtube.com/watch?v=tEfDa5VZzV8&t=143s>

εκφάνσεις. Μέσω του χειρονομιακού ελέγχου καταγραφής των κινήσεων, ο εκτελεστής μπορεί να ελέγχει εξ' αποστάσεως τις λειτουργίες του λογισμικού σε πραγματικό χρόνο με τις χειρονομίες του. Παρέχει μάλιστα τη δυνατότητα στους εκτελεστές να έχουν απόλυτο έλεγχο στο συνολικό μουσικό αποτέλεσμα, αφού χειρίζονται οι ίδιοι τις ηχητικές διεργασίες που γίνονται πάνω στην φωνή τους (Mainsbridge & Beilharz 2014).

Σε μια ερμηνεία, οι εξωμουσικές κινήσεις του σώματος είναι πολύ σημαντικές, παρότι δεν έχουν καμία επίδραση στον ήχο. Το σύνολο της εκτέλεσης καθορίζεται και από τέτοιες κινήσεις, γεγονός που διαφοροποιεί τις εκτελέσεις μεταξύ τους, δίνοντας στον κάθε εκτελεστή μια μοναδικότητα. Αυτές οι κινήσεις έχουν αντίκτυπο στην έκφραση, τον συγχρονισμό αλλά και στον αντίκτυπο της ερμηνείας προς το κοινό. Με τους εναλλακτικούς ελεγκτές, όμως, πλέον είναι εφικτή αυτή η επίδραση των εκφραστικών κινήσεων στον ήχο. Για να καταστεί όμως αυτό λειτουργικό, οι εκτελεστές θα πρέπει να αποκτήσουν αυξημένο έλεγχο και κατανόηση των κινήσεων του σώματός τους. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί μέσα από τη συχνή αλληλεπίδραση του χρήστη με τον χειρονομιακό ελεγκτή και την ύπαρξη κάποιου συστήματος οπτικής ανατροφοδότησης (Mainsbridge & Beilharz 2014).

Οι Mainsbridge και Beilharz (2014) αναφέρουν ότι, για την εφαρμογή αυτών των πρακτικών, κατασκεύασαν το λογισμικό του Gestate, το οποίο δίνει τη δυνατότητα στους εκτελεστές να εξερευνήσουν τις χωροχρονικές πτυχές ελέγχου που έχουν στο ηχητικό αποτέλεσμα. Με το πρωτότυπο αυτό έργο, σκοπός είναι η επαύξηση της οργανικής εκτέλεσης με ψηφιακά όργανα και οπτική απεικόνιση. Ο χειρονομιακός έλεγχος όμως πρέπει να είναι αβίαστος, χωρίς να επηρεάζει την υπόλοιπη ερμηνεία του εκτελεστή, με τον τρόπο που παίζει το ακουστικό όργανο ή την φωνητική εκτέλεση.

Η επιλογή της στρατηγικής χαρτογράφησης είχε τρεις άξονες: ο πρώτος ήταν να υπάρχει αδιάκοπος έλεγχος των παραμέτρων, ο δεύτερος να υπάρχει φυσική και ανέπαφη αλληλεπίδραση με τον χειρονομιακό ελεγκτή και ο τρίτος λάμβανε υπόψη την εμπειρία του εκτελεστή, όταν αλληλεπιδρούμε με τον ελεγκτή. Μέσω αυτής της προσέγγισης, δεν χρειαζόταν ο εκτελεστής να κάνει αλλαγές στην εκτελεστική του πρακτική προς το ακουστικό όργανο ή στη διαδικασία της φωνητικής εκτέλεσης (Mainsbridge & Beilharz 2014).

Για την καταγραφή των κινήσεων οι Mainsbridge και Beilharz (2014), χρησιμοποίησαν την κάμερα Kinect, μια κάμερα που έγινε εμπορικά διαθέσιμη από την Microsoft για χρήση από κονσόλες παιχνιδιών, που όμως βρήκε χρήση και στις τέχνες ως συσκευή εισόδου δεδομένων κίνησης σε ένα σύστημα. Τα δεδομένα εισέρχονταν μέσα από το λογισμικό Synapse. Τα δεδομένα που δίνει η Kinect αφορούν την επιτάχυνση των κινήσεων του σώματος. Μέσω αυτής το

πρόγραμμα μπορεί να πάρει ποικίλλες πληροφορίες, όπως η θέση, η ταχύτητα και το εύρος της χειρονομίας. Για την ένταση του ήχου, ο εκτελεστής μπορεί να την ελέγξει με την απόσταση των άκρων του σώματός του από τον κορμό του. Όσο απομακρύνονται αυξάνεται η ένταση. Εφόσον το σύστημα είναι ανέπαφο, χρειαζόταν ένας τρόπος να αντικατασταθεί η ανατροφοδότηση αφής. Γι' αυτό σχεδίασαν ένα σύστημα οπτικής ανατροφοδότησης. Η οπτική ανατροφοδότηση δίνει την δυνατότητα στον εκτελεστή να καταλάβει όλες τις πτυχές της κίνησής του. Με αυτόν τον τρόπο ο εκτελεστής αλληλεπιδρά καλύτερα με τον χειρονομιακό ελεγκτή, έχοντας καλύτερη επικοινωνία με το σύστημα (Mainsbridge & Beilharz 2014).

Το σύστημα δοκιμάστηκε το 2013 στο Electrofringe Festival με το έργο Alignment. Ο τραγουδιστής είχε τον έλεγχο του συστήματος μέσω των χειρονομιών των δύο χεριών του. Στο δεξί χέρι, με ένα μπροστινό “χτύπημα”, ενεργοποιούσε ένα arpeggio από MIDI νότες σε μια προκαθορισμένη κλίμακα. Το αριστερό χέρι έλεγχε το εύρος των εφέ του ήχου. Για τη μουσική ποικιλομορφία του έργου, η αλλαγή τονικού ύψους στην κλίμακα δεν γινόταν με προβλέψιμο τρόπο, αλλά με generative algorithms. Αυτή η προσέγγιση προσέδωσε ισορροπία μεταξύ των προκαθορισμένων χειρονομιών και του τρόπου που αυτές ενεργοποιούν συγκεκριμένες νότες και της φυσικής κίνησης ελέγχου των ηχητικών εφέ.

### 3.1.3 Wii Controller

Χρήση περιφερειακών συσκευών από παιχνιδιομηχανές είναι μια προσέγγιση που συναντάται στη μουσική. Οι Wong, Yuen και Choy (2008), προσπάθησαν να αξιοποιήσουν το Wii Controller - ένα χειριστήριο παιχνιδιών της Nintendo - για να επεξεργαστούν ηχητικές παραμέτρους. Δεν είναι σπάνιο οι χειρονομιακοί ελεγκτές, που χρησιμοποιούνται σε μουσικές εκτελέσεις, να έχουν κατασκευαστεί για διαφορετικό σκοπό. Μάλιστα, ένα από τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι είναι εύκολο να τους βρει κανείς στο εμπόριο και συχνά με σχετικά χαμηλό κόστος. Γι' αυτό και το Wii controller (Wiimote) δεν άργησε να υιοθετηθεί από μουσικούς ως ένα νέο σύστημα διεπαφής (new media interface). Το Wii controller μπορεί να προσφέρει έξι επίπεδα ελευθερίας στον χειριστή του. Τα τρία πρώτα είναι οι γραμμικές κινήσεις στους άξονες X, Y και Z. Δηλαδή οι κινήσεις μπροστά-πίσω, δεξιά-αριστερά και πάνω-κάτω. Επιπλέον, προσφέρει τρεις κινήσεις περιστροφής. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να καταγραφεί κάθε κίνηση του χεριού του εκτελεστή, καθιστώντας ουσιαστικά το Wiimote ως μια επέκταση του χεριού (Wong, Yuen & Choy 2008).

Για να μελετηθεί καλύτερα η χρήση του επιταχυνσιόμετρου, οι Wong, Yuen και Choy (2008) χώρισαν την έρευνά τους σε τρεις ενότητες, την ενότητα της διεύθυνσης, των κρουστών και της ηχητικής επεξεργασίας. Στην πρώτη ενότητα εξετάστηκε ο τρόπος που γίνονται αντιληπτές οι κινήσεις, οι οποίες προσομοιάζουν στις κινήσεις της διεύθυνσης από τον μαέστρο. Έτσι ο χρήστης καλείτο να κάνει παρόμοιες κινήσεις με εκείνες ενός μαέστρου, προκειμένου να επιτύχει τις εναλλαγές στο tempo της μουσικής που ακουγόταν. Στην δεύτερη ενότητα οι κινήσεις του χρήστη με το Wiimote, ενεργοποιούσαν ήχους από drums. Ανάλογα με τη θέση στον χώρο (ύψος), στο οποίο κινούνταν τα χέρια του χρήστη, ενεργοποιούσαν και διαφορετικούς ήχους του drum set (Hi-hat, Snare & Tom), κατ'αναλογία με τη θέση τους σε ένα ακουστικό drum set. Στην τρίτη ενότητα η κίνηση του ελεγκτή Wiimote επηρεάζει MIDI δεδομένα, τα οποία συνεπάγονται επεξεργασία του ηχητικού σήματος. Τέλος θα μπορούσε να γίνει και κάποια προσωμοίωση στον τρόπο λειτουργίας του Theremin. Αυτό είναι εφικτό με την αντιστοίχιση των διαφορετικών γωνιών κλίσης του ελεγκτή με το τονικό ύψος του ήχου.

### 3.1.4 Sonic-Swarm Controller

Οι Davis και Karamanlis (2007) αναφέρουν ότι πολλοί καλλιτέχνες επηρεάστηκαν από τα μοντέλα Artificial Life και προσπάθησαν να προσομοιώσουν συστήματα που συναντά κανείς στην φύση, ώστε να χρησιμοποιηθούν στις τέχνες. Οι ίδιοι εξετάζουν την περίπτωση του σμήνους, μια συμπεριφορά που συναντάται στα πουλιά, τα ψάρια και τις μέλισσες. Περιγράφουν το σμήνος ως «ένα δυναμικό μοτίβο από μεμονωμένα άτομα στον χώρο που μπορεί να αυτοοργανωθεί μέσα σε χωροχρονικές δομές». Στην προσέγγισή τους με την χρήση ενός χειρονομιακού ελεγκτή προσπάθησαν να εξερευνήσουν την συσχέτιση της συμπεριφοράς ενός σμήνους στον χωροχρόνο και την ηχοχρωματική μετάλλαξη πάνω στα ηχητικά αντικείμενα σε ένα τρισδιάστατο χώρο.

Στο προγραμματιστικό περιβάλλον της Max/Msp, δημιουργήθηκε το Sonic-Swarm Controller. Για την αυτοοργάνωση του σμήνους ακολουθήθηκαν οι τρεις κανόνες του Reynolds (1987) :

1. Οι κοντινοί σμηνίτες να μην συγκρούονται μεταξύ τους
2. Οι κοντινοί σμηνίτες να έχουν παρόμοια επίπεδα έντασης
3. Να γίνεται η εστίαση του σμήνους με τους κοντινούς σμηνίτες.

Στον αλγόριθμο που δημιούργησαν μπορούσαν να επεξεργαστούν διάφορες παραμέτρους του σμήνους, όπως ο αριθμός των σμηνιτών και η πιθανότητα αποφυγής της σύγκρουσης. Για τον χειρονομιακό έλεγχο των ηχητικών σμηνών στόχος ήταν η φυσική και αβίαστη αλληλεπίδραση του εκτελεστή με το σμήνος. Ο εκτελεστής καλείται να αντιμετωπίζει τα αρχεία ήχου σαν μεγαλύτερες

ομάδες ήχων και όχι ως αυτόνομα ηχητικά αντικείμενα. Οι Davis και Karamanlis (2007) αντιμετωπίζουν το σμήνος σαν έναν ζωντανό οργανισμό. Η κίνηση στο εσωτερικό του είναι εντελώς αυτόνομη και ο εκτελεστής δεν μπορεί να ελέγξει τι γίνεται μέσα σε αυτό. Ο εκτελεστής μπορεί να αλληλεπιδράσει με ολόκληρο το σμήνος, κυρίως επηρεάζοντας τον αρχηγό του. Με το Sonic-Swarm Controller, ο εκτελεστής πρέπει να σκεφτεί τα σμήνη σαν ένα αποτέλεσμα από τις σχέσεις των ήχων μεταξύ τους. Οι ήχοι δεν δρουν ανεξάρτητοι αλλά έχουν ύπαρξη μέσα από το σμήνος. Γι' αυτό ο εκτελεστής καλείται να σκεφτεί σε πολυφωνικές δομές και πώς οι διάφοροι ήχοι/φωνές θα ταιριάζουν μεταξύ τους (Davis & Karamanlis 2007).



Εικόνα 2: Sonic-Swarm Controller - Davis & Karamanlis

Το Sonic-Swarm Controller είναι κατασκευασμένο με υλικά χαμηλού κόστους και χωρίς να έχει δημιουργηθεί με σκοπό την λειτουργία με βάση κάποιο συγκεκριμένο μουσικό έργο, ώστε να είναι εύκολο να ανακατασκευαστεί από άλλους χρήστες.

### 3.1.5 Concert Harp

Στόχος των Sullivan, Tibbitts, Gatinet, και Wanderley (2018) σε αυτό το project ήταν να δημιουργήσουν ένα πρωτόκολλο χειρονομιακού ελέγχου, ώστε να μπορούν να επαυξάνουν ακουστικά όργανα. Γι' αυτό και κατασκεύασαν ασύρματες συσκευές μικρού μεγέθους, ώστε να μπορεί ο εκτελεστής να τις προσαρμόζει εύκολα σε κάθε συνθήκη εκτέλεσης. Για να μελετηθεί η περίπτωση τους, χρησιμοποίησαν την εφαρμογή του συστήματος στην εκτέλεση με άρπα. Η άρπα, λόγω του μεγάλου μεγέθους της και της τεχνικής που απαιτεί στην εκτέλεση, υποχρεώνει τον εκτελεστή να χρησιμοποιεί ολόκληρο το σώμα του κατά τη μουσική εκτέλεση. Μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν όλες οι κινήσεις του εκτελεστή στον χειρονομιακό έλεγχο, τόσο οι μουσικές όσο και οι μη μουσικές.

Προκειμένου να μελετηθούν οι χειρονομίες, που γίνονται κατά της διάρκεια της εκτέλεσης, χρησιμοποίησαν σύστημα καταγραφής των κινήσεων. Μέσω αυτού διαχωρίστηκαν οι χειρονομίες που είχαν σχέση με την μουσική εκτέλεση της άρπας από τις επικουρικές εξωμουσικές κινήσεις.

Μάλιστα οι επικουρικές κινήσεις μπορούν να αξιοποιηθούν, ώστε ο εκτελεστής να έχει επιπλέον δυνατότητες στην επίδραση του ήχου.

Με την μελέτη της συμπεριφοράς αρκετών εκτελεστών κατά την διάρκεια της ερμηνείας τους, οι Sullivan, Tibbitts, Gatinet, και Wanderley (2018) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι θα πρέπει να χρησιμοποιήσουν μικρού μεγέθους ασύρματες συσκευές, οι οποίες να μπορούν να τοποθετηθούν είτε πάνω στο όργανο είτε πάνω στον εκτελεστή. Το κύκλωμα είχε προγραμματιστεί στο περιβάλλον Arduino, ώστε να στέλνει ασύρματα σήματα στο λογισμικό του υπολογιστή, μέσω του πρωτοκόλλου Open Sound Control (OSC). Το λογισμικό της συσκευής δημιουργήθηκε στο υπολογιστικό περιβάλλον Max/Msp, αλλά έχει την δυνατότητα να συνδεθεί και με το Ableton Live, ώστε να μπορούν να το χειριστούν και μουσικοί χωρίς να έχουν εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις προγραμματισμού (Sullivan, Tibbitts, Gatinet & Wanderley 2018).

Η δοκιμή της Consert Harp έγινε με ένα έργο που έγραψε ο συνθέτης Brince Gatinet και εκτελέστηκε από την Alexandra Tibbitts. Έγιναν δύο συναυλίες. Στην πρώτη δεν υπήρχε κανένα πρόβλημα στην εφαρμογή και στην εκτέλεση του. Στην δεύτερη εκτέλεση, αντιμετώπισαν διακοπές στην σύνδεση του ασύρματου δικτύου ίντερνετ, με αποτέλεσμα το σύστημα χειρονομιακού ελέγχου να χάνει την επικοινωνία του με τον υπολογιστή. Η εκτελέστρια συνέχισε το έργο παίζοντας την άρπα, χάνοντας όμως τον χειρονομιακό έλεγχο για όσο υπήρχε αυτή η διακοπή. Αυτό το γεγονός αντικατοπτρίζει και τα μειονεκτήματα ενός τέτοιου συστήματος. Μια σταθερή ασύρματη σύνδεση στο ίντερνετ δεν είναι πάντα δεδομένη σε συναυλιακούς χώρους, γεγονός που θέτει αρκετούς περιορισμούς στην παρουσίαση μουσικών έργων τέτοιων συστημάτων.



Εικόνα 3: Ζωντανή παρουσίαση της Consert Harp από την Alexandra Tibbitts

### 3.2 Συγκριτική μελέτη χειρονομιακών ελεγκτών

Έχουν προταθεί πολλές προσεγγίσεις για την σύγκριση των χειρονομιακών ελεγκτών. Οι Wanderley και Origo (2002) κάνουν συγκριτική προσέγγιση, εστιάζοντας στην αλληλεπίδραση μεταξύ του εκτελεστή και του υπολογιστή. Ο Piringer (2001) συνέκρινε κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των χειρονομιακών ελεγκτών, όπως η εκφραστικότητα, η ανατροφοδότηση και η εμπύθιση. Ο Jorda (2004) μελέτησε πόσο αποδοτικοί είναι οι χειρονομιακοί ελεγκτές. Οι

Wanderley και Depalle (2004) συνέκριναν τους ελεγκτές με βάση την τεχνολογία που χρησιμοποιούν.

Οι Miranda και Wanderley (2006) παρουσιάζουν κάποια χαρακτηριστικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση χειρονομιακών ελεγκτών, από την οπτική γωνία της αλληλεπίδρασης των εκτελεστών μαζί τους:

- Αν ο ελεγκτής χρειάζεται επαφή ή είναι ανέπαφος
- Ποιος είναι ο στόχος της διάδρασης : εκφραστικότητα, επικοινωνία, εξερεύνηση
- Ποιο είναι το σύνολο των εκτελεστών
- Ποιο το αναγκαίο επίπεδο εξοικείωσης του χρήστη με τον ελεγκτή
- Αν υπάρχει σύστημα ανατροφοδότησης

Στον πίνακα 3.1 επιχειρείται σύγκριση των τεσσάρων χειρονομιακών ελεγκτών που αναλύθηκαν στην υπο-ενότητα 3.1.

	<b>Gestate</b>	<b>Wii Controller</b>	<b>Sonic-Swarm Controleer</b>	<b>Concert Harp</b>
<b>Πηγή</b>	Mainsbridge & Beilharz 2014	Wong, Yuen & Choy 2008	Davis & Karamanlis 2007	Sullivan, Tibbitts, Gatinet & Wanderley 2018
<b>Επαφή</b>	Ανέπαφος	Με επαφή	Δεξί χέρι ανέπαφο Αριστερό με επαφή	Ανέπαφος
<b>Εκτελεστές</b>	Ένας ή περισσότεροι	Ένας εκτελεστής	Ένας εκτελεστής	Ένας εκτελεστής
<b>Στόχος διάδρασης</b>	Επικοινωνία	Επικοινωνία	Εξερεύνηση	Εκφραστικότητα και επικοινωνία
<b>Ανατροφοδότηση</b>	Σύστημα οπτικής ανατροφοδότησης	Ακουστική ανατροφοδότηση	Ακουστική	Και αφής και οπτική
<b>Επίπεδο αναγκαίας εξοικείωσης</b>	Μερικός χρόνος εξοικείωσης	Μερικός χρόνος εξοικείωσης	Αναγκαία προετοιμασία	Απαραίτητη γνώση άρπας - Όχι άλλη προεργασία

*Πίνακας 3.1 Συγκριτικός πίνακας χειρονομιακών ελεγκτών*



## Κεφάλαιο 4 : Περιγραφή της διαδικασίας κατασκευής ενός χειρονομιακού ελεγκτή

Στο πλαίσιο της πτυχιακής αυτής εργασίας κατασκευάστηκε το ShaPhos, ένας χειρονομιακός ελεγκτής χαμηλού κόστους με υλικά τα οποία είναι εύκολο να τα βρει κανείς, για να εφαρμοστούν στην πράξη οι πληροφορίες που αναλύθηκαν στις τρεις προηγούμενες ενότητες και να απαντηθούν τα ερωτήματα που ώθησαν στην συγγραφή της. Η μόνη αφετηρία που υπήρχε για την κατασκευή του ελεγκτή ήταν η πρόθεση να γίνει στο υπολογιστικό περιβάλλον του Super Collider η χαρτογράφηση και η συνθετική διαδικασία.

### 4.1 Δοκιμές αισθητήρων

Η απόφαση ήταν να δημιουργηθεί ένας εναλλακτικός ελεγκτής, ο οποίος να μην έχει τους περιορισμούς των ήδη υπαρκτών οργάνων, αλλά ούτε να αντλεί την έμπνευσή του από τα παραδοσιακά όργανα. Ένας χειρονομιακός ελεγκτής που να λειτουργεί σαν μουσικό όργανο και να έχει απλή χρήση και υλικά που βρίσκει κανείς εύκολα στο εμπόριο. Πρόθεση του δημιουργού ήταν να κατασκευαστεί ένας ανέπαφος χειρονομιακός ελεγκτής, ώστε ο χρήστης να μπορεί να αλληλεπιδρά χωρίς σωματική επαφή με το όργανο, για λόγους εκφραστικότητας των χειρονομιών και ευελιξίας του εκτελεστή.

Η πρώτη σκέψη ήταν να χρησιμοποιηθεί η κάμερα Kinect ως μέσο χειρονομιακού ελέγχου, όπως αναφέρθηκε ότι έχει γίνει στο παρελθόν στο 3.1.2 με το Gestate. Η Kinect θα παρείχε τη δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου του εκτελεστή στην μουσική διεργασία και παράλληλα μια καταγραφή της κίνησης στον χώρο, μαζί με τη δυνατότητα καταγραφής και εντοπισμού του βάθους του χώρου. Η προσπάθεια όμως να γίνει η χαρτογράφηση και να συνδεθεί η Kinect με τον υπολογιστή και το Super Collider δεν κατέστη εφικτή. Η Kinect 1414, στην οποία είχα πρόσβαση, για να συνδεθεί με τον υπολογιστή χρειαζόταν ένα πρόγραμμα το οποίο θα αποκωδικοποιεί τα δεδομένα που στέλνει, όπως το Synapse που χρησιμοποιούσε το Gestate ή κάποιο αντίστοιχο. Τα δωρεάν προγράμματα όμως, τα οποία προσπάθησα να χρησιμοποιήσω και που είναι συμβατά με το συγκεκριμένο μοντέλο της Kinect, δεν ήταν πλέον συμβατά με το λογισμικό του υπολογιστή μου.

Η επόμενη σκέψη ήταν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρονικά κυκλώματα, διότι ήταν χαμηλού κόστους και πολύ εύκολο να τα προμηθευτεί κανείς. Για τη μεταφορά δεδομένων στον υπολογιστή χρησιμοποιήθηκε ένα Arduino. Η πλακέτα του Arduino δίνει τη δυνατότητα μεταφοράς ηλεκτρικών σημάτων από ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα στον υπολογιστή. Εκεί, μέσα από ένα περιβάλλον

γλώσσας προγραμματισμού με το Arduino IDE, μπορεί κανείς να πάρει αυτά τα δεδομένα και να τα αποκωδικοποιήσει. Η πλακέτα του Arduino συνδέεται εύκολα μέσω usb με τον υπολογιστή.

Η πρώτη δοκιμή αφορούσε τη χρήση αισθητήρων φωτός. Οι αισθητήρες φωτός λαμβάνουν τα μοτίβα σκιάς και φωτός που αντανακλούν πάνω τους και τα μετατρέπουν σε δεδομένα. Η συνδεσμολογία τους είναι απλή, και το κόστος αρκετά χαμηλό. Ταυτόχρονα ο χρήστης δεν έχει απαραίτητα επαφή με τους αισθητήρες, αφού μπορεί να αποκόψει το φως χωρίς να τους αγγίξει, αλλάζοντας έτσι το σήμα εισόδου των αισθητήρων. Σαν μέθοδος δηλαδή πληροί τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί για τη δημιουργία του ελεγκτή, ενώ είναι και πολύ εύκολο να κατανοήσει ο εκτελεστής τον τρόπο διάδρασης με το μουσικό όργανο. Παράλληλα είναι εύκολα κατανοητή η σύνδεση των χειρονομιών με την ηχητική σύνθεση για τον θεατή. Το μειονέκτημα των αισθητήρων φωτός όμως είναι η ευμεταβλητότητα που έχουν τα δεδομένα τους ανάλογα τις συνθήκες περιβάλλοντος. Η αλλαγή στις συνθήκες φωτισμού στον χώρο έχει άμεσο αντίκτυπο στα δεδομένα που λαμβάνει ο αισθητήρας. Υπό αυτή την έννοια κάθε νέος χώρος χρειάζεται νέα μέθοδο χαρτογράφησης. Μια τέτοια διαδικασία δεν θα ήταν καθόλου πρακτική και θα ανάγκαζε κάθε εκτελεστή να έχει γνώσεις προγραμματισμού, για να αλλάζει τα δεδομένα ενώ θα απαιτούσε και συνεχείς αλλαγές στον κώδικα. Μια εναλλακτική θα ήταν οι εκτελέσεις να γίνονται αποκλειστικά σε σκοτεινούς συναυλιακούς χώρους, με ένα φως πάνω από τον χειρονομιακό ελεγκτή, ώστε να είναι σταθερά τα δεδομένα. Να υπάρχουν δηλαδή σε κάθε συναυλία οι ίδιες συνθήκες φωτισμού, γεγονός όμως που καθιστά πολύ περιορισμένους τους χώρους που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί.

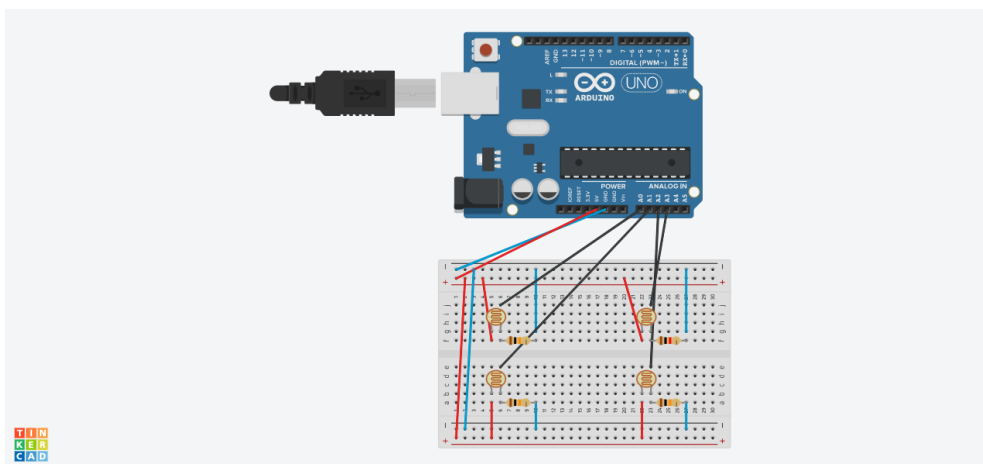
Επειδή οι χειρονομίες ελέγχου στους αισθητήρες φωτός είναι ξεκάθαρες τόσο στον εκτελεστή όσο και τους θεατές, αλλά και πολύ απλές στην πραγματοποίησή τους, έγινε απόπειρα για αντικατάστασή τους από αισθητήρες με αντίστοιχη χειρονομιακή πρακτική. Δοκιμάστηκαν λοιπόν οι αισθητήρες υπερύθρων, οι οποίοι δεν επηρεάζονται καθόλου από τις συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου στον οποίο βρίσκονται. Η χειρονομίες είναι παρόμοιες. Η κίνηση των χεριών πάνω από τους αισθητήρες και η απόσταση των χεριών του εκτελεστή από τους αισθητήρες αλλάζει τα δεδομένα εισόδου σε αυτούς. Χρησιμοποιήθηκαν οι αισθητήρες υπερύθρων : *Infrared Obstacle Avoidance Sensor for Arduino* της *Oem* . Το κόστος τους ήταν μεγαλύτερο από τους αισθητήρες φωτός, αλλά παρέμεινε σε χαμηλή τιμή. Η συνδεσμολογία τους ήταν επίσης παρόμοια με τους αισθητήρες φωτός. Κατά την διάρκεια των δοκιμών όμως εντοπίστηκε το πρόβλημα ότι οι αισθητήρες αυτοί δεν αποτύπωναν με την επιθυμητή ακρίβεια την απόσταση του χεριού από αυτούς. Αντιθέτως έδιναν μόνο δύο τιμές, τη μέγιστη και την ελάχιστη. Αυτό έκανε την χρήση τους ικανή μόνο για την αποστολή εντολών όπως on/off, γεγονός που περιορίζε δραστικά το εύρος των δεδομένων που εισάγονται στο σύστημα, με άμεσο αντίκτυπο στη συνθετική μέθοδο και στην

εκφραστικότητα του οργάνου. Για να είναι αποτελεσματικοί οι αισθητήρες υπερύθρων, θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες διαφορετικής κατηγορίας, κάτι που θα αύξανε σημαντικά το κόστος κατασκευής, σε επίπεδα που δεν θα ήταν αποδοτικά για έναν ερασιτεχνικό χειρονομιακό ελεγκτή.

Για την επίτευξη λοιπόν του στόχου αποφασίστηκε η επιστροφή στην χρήση των αισθητήρων φωτός, με μια διαφοροποίηση. Για να αποφευχθεί το πρόβλημα που σημειώθηκε παραπάνω, θα γινόταν μια βαθμονόμηση (calibration) κάθε φορά που ο ελεγκτής έμπαινε σε λειτουργία. Με τη βαθμονόμηση ο εκτελεστής καλείτο να δείξει το μέγιστο και το ελάχιστο επίπεδο φωτός που θα ληφθεί από τους αισθητήρες στον χώρο. Πρακτικά αυτό συμβαίνει κρύβοντας με τα χέρια του εντελώς τους αισθητήρες και αφήνοντάς τους στην συνέχεια εντελώς εκτεθειμένους στο φως. Με αυτή την τεχνική, η αλλαγή χώρου δεν θα απαιτεί αλλαγή στις μεθόδους χαρτογράφησης του ελεγκτή, παρά μόνο το “κούρδισμα” του οργάνου στις συνθήκες φωτός κατά τα πρώτα δευτερόλεπτα της λειτουργίας του. Για το ShaPhos ορίστηκαν τα πρώτα έξι δευτερόλεπτα, μέσα στα οποία ο εκτελεστής πρέπει να κάνει την βαθμονόμηση του οργάνου.

## 4.2 Κατασκευή ελεγκτή

Για την κατασκευή του ShaPhos χρησιμοποιήθηκε η πλακέτα *Arduino Uno* και τέσσερις αισθητήρες φωτός *Photoresistor LDR Light-Dependent Resistor 5mm*. Η επιλογή του αριθμού έγινε για να μπορεί ο εκτελεστής να χειρίζεται αρκετές παραμέτρους, αλλά και για να έχει εύκολη πρόσβαση σε όλους ταυτόχρονα εάν το επιθυμεί. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4, οι αισθητήρες φωτός χωρίστηκαν σε δύο δυάδες και τοποθετήθηκαν κάθετα στο breadboard. Η συνδεσμολογία τους είναι απλή. Μέσω δύο καλωδίων μεταφέρεται ρεύμα με τάση 5V και η αντίστοιχη γείωση σε ένα breadboard. Στο breadboard είναι τοποθετημένοι οι αισθητήρες, όπου λαμβάνουν τόσο το ρεύμα όσο και την γείωση. Για την επίτευξη της γείωσης χρησιμοποιούνται αντιστάσεις 10kΩ. Οι αισθητήρες φωτός συνδέονται μέσω καλωδίων με τις αναλογικές εισόδους του Arduino UNO: A0, A1, A2, A3, για να μεταφέρουν τα δεδομένα που παράγουν. Το Arduino συνδέεται μέσω usb με τον υπολογιστή, ώστε να μεταφέρει τα δεδομένα που λαμβάνει από τους αισθητήρες στο Arduino IDE.



Εικόνα 4: Συνδεσμολογία του ShaPhos

Στο Arduino IDE γίνεται η αποκωδικοποίηση των δεδομένων και η βαθμονόμηση των αισθητήρων στις συνθήκες φωτισμού. Με αυτόν τον τρόπο πλέον τα δεδομένα μεταφράζονται σε ελάχιστη τιμή το 0 και την μέγιστη το 500. Στην συνέχεια χρησιμοποιείται η εντολή `Serial.print` ώστε να στέλνονται τα δεδομένα στο serial monitor του Arduino και να καθίσταται εφικτή η χαρτογράφηση τους στο περιβάλλον του Super Collider.

Με αυτή τη μέθοδο, στο serial monitor του Arduino IDE, όταν δεν υπάρχει κάποιο εμπόδιο μεταξύ του φωτός και του αισθητήρα, καταγράφεται η τιμή 500, ενώ όταν ο αισθητήρας βρίσκεται στο πιο σκοτεινό σημείο καταγράφεται η τιμή 0. Σε όλα τα ενδιάμεσα επίπεδα φωτεινότητας καταγράφονται οι ενδιάμεσες τιμές. Το Serial Monitor του Arduino IDE είναι και το πρώτο επίπεδο ελέγχου ότι ο χειρονομιακός ελεγκτής λειτουργεί ομαλά και στέλνει κατάλληλες τιμές δεδομένων.

## 4.3 Στρατηγικές χαρτογράφησης

### 4.3.1 Μεταφορά δεδομένων στο Super Collider

Για να γίνει η χαρτογράφηση πρώτα θα πρέπει να αποκωδικοποιηθούν τα δεδομένα που στέλνει το Arduino στο Super Collider. Για να επικοινωνήσει το Super Collider με σειριακό τρόπο, χρησιμοποιεί την τάξη `SerialPort`. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται η χαρτογράφηση της εξόδου της συσκευής του Arduino στο περιβάλλον του Super Collider, ώστε να αντληθούν τα δεδομένα που παράγει ο χειρονομιακός ελεγκτής. Στην εικόνα 5 φαίνεται όλος ο κώδικας με τον οποίο έγινε η αποκωδικοποίηση των δεδομένων για το ShaPhos.

```

2
3 C
4 ~intArray = [];
5
6 Tdef (\readValues, {
7   loop {
8     ~ascii = ~port.read;
9     case
10    {-ascii == nil} {nil}
11
12    {-ascii.asAscii.isDecDigit}
13    {-intArray = ~intArray.add(~ascii.asAscii.digit)}
14    {-ascii.asAscii == $a}
15    {
16      ~photo1Val = ~intArray.convertDigits;
17      ~intArray = [];
18    }
19    {-ascii.asAscii == $b}
20    {
21      ~photo2Val = ~intArray.convertDigits;
22      ~intArray = [];
23    }
24    {-ascii.asAscii == $c}
25    {
26      ~photo3Val = ~intArray.convertDigits;
27      ~intArray = [];
28    }
29    {-ascii.asAscii == $d}
30    {
31      ~photo4Val = ~intArray.convertDigits;
32      ~intArray = [];
33    }
34    {true} {nil};
35  }
36 } ).play
37 )

```

Εικόνα 5: Κώδικας για την αποκωδικοποίηση των δεδομένων του Arduino

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5, κάθε ένας από τους αισθητήρες φωτός, χαρτογραφούνται σε μια δική τους μεταβλητή στο Super Collider.

Όπως αναφέρθηκε και στο 2.2, η χαρτογράφηση συχνά είναι χρήσιμο να γίνεται σε δύο επίπεδα. Αυτό εφαρμόζεται και σε αυτή την προσέγγιση, αφού η αποκωδικοποίηση των δεδομένων από το Arduino στο Super Collider είναι το πρώτο επίπεδο χαρτογράφησης. Τα δεδομένα θα εισέρχονται στις μεταβλητές που έχουν οριστεί. Επομένως όποιες αλλαγές και να γίνουν στην ηχητική σύνθεση, το πρώτο επίπεδο χαρτογράφησης δεν θα επηρεαστεί καθόλου. Τα δεδομένα θα συνεχίσουν να εισέρχονται απρόσκοπτα στο Super Collider. Αντίστοιχα, αν γίνει κάποια αλλαγή στον τρόπο που αποκωδικοποιούνται τα δεδομένα, εφόσον οι μεταβλητές κρατηθούν ως έχουν, δεν θα χρειαστεί να γίνουν αλλαγές στον κώδικά της ηχητικής σύνθεσης. Γι' αυτό επιλέχθηκε και η χαρτογράφηση σε δύο επίπεδα. Για να είναι δυνατή η αλλαγή στην ηχητική σύνθεση, χωρίς να χρειαστούν αλλαγές στην χαρτογράφηση της εισόδου των δεδομένων.

#### 4.3.2 Χαρτογράφηση στις ηχητικές διεργασίες

Κατά την ηχητική διεργασία πρέπει να αποφασιστεί ποια χαρακτηριστικά του ήχου πρέπει να ελέγχονται από τον εκτελεστή, δηλαδή το “σύνορο” κατά τους Verfaille, Wanderley και Depalle (2006) που αναφέρθηκε στο 2.3. Στην ηχητική σύνθεση του ShaPhos χρησιμοποιήθηκε ο Κόμβος

Μεσολάβησης (Node Proxy). Ο Karamanlis (2021) εξηγεί τον κόμβο μεσολάβησης ως εξής: «Ένα node proxy είναι σαν ένα άδειο κουτί που συναρμολογούμε και το οποίο τοποθετούμε σε ένα ράφι, μέσα στο οποίο μπορούν να μπουν διάφορα παιχνίδια. Τα αντικείμενα που βάζουμε μέσα σε αυτό το κουτί μπορούν ανά πάσα στιγμή να αντικατασταθούν με νέα ή να συνδυαστούν με άλλα, χωρίς να χρειάζεται να πετάξουμε όλο το κουτί στα σκουπίδια, όταν θέλουμε να αλλάξουμε το περιεχόμενό του. Αυτή η οντότητα ονομάζεται στα αγγλικά *placeholder* και αφορά τη δέσμευση ενός συμβόλου, που είναι έτοιμο να αντικατασταθεί από κάποια τιμή στο μέλλον. Στο Super Collider μπορεί κανείς να φτιάξει έναν κόμβο μεσολάβησης (node proxy) στον server και να αρχίσει να τον γεμίζει με αντικείμενα (συνθεσάιζερ, pattern, κ.λπ.) που αντικαθιστούν το ένα το άλλο ομαλά και συνδυάζονται χωρίς να χρειάζεται να σταματήσει η μηχανή ήχου».

Με τη χρήση του κόμβου μεσολάβησης, είναι δυνατόν στη συνέχεια κατά την κατασκευή των δομών ηχητικής διεργασίας, να τεθούν ορίσματα συναρτήσεων (arguments of Functions), οι οποίες θα αποτελούν τα χαρακτηριστικά του ήχου που θα υποβληθούν σε επεξεργασία. Στην συνέχεια αυτά τα ορίσματα συναρτήσεων θα αντιστοιχηθούν με τις μεταβλητές των αισθητήρων φωτός, ώστε τα χαρακτηριστικά του ήχου που θα ελέγχει ο εκτελεστής να αντιστοιχούν στις τιμές που θα στέλνει ο εκτελεστής μέσω του χειρονομιακού ελεγκτή. Για να γίνει αυτό σε πραγματικό χρόνο, θα πρέπει τα ορίσματα αυτά να τοποθετηθούν μέσα σε μια ρουτίνα, ώστε να είναι δυνατή η συνεχής ροή δεδομένων.

Μέσω λοιπόν των μεταβλητών που αντιστοιχούν στους αισθητήρες φωτός, γίνεται η χαρτογράφηση σε οποιοδήποτε χαρακτηριστικό του ήχου θελήσει ο εκτελεστής/συνθέτης να τεθεί προς επεξεργασία. Επειδή όμως η διαδικασία της χαρτογράφησης έγινε πριν την ολοκλήρωση της μουσικής σύνθεσης, ο έλεγχος του ήχου αρχικά γίνεται με πιο απλές μεθόδους. Το πρώτο Soundcheck του ShaPhos<sup>2</sup> έγινε με την χρήση της γεννήτριας DynKlank του Super Collider, η οποία είναι μια συστοιχία αντηχείων συχνότητας, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση των τρόπων συντονισμού ενός αντικειμένου. Φτιάχνοντας δομές μέσω του Κόμβου Μεσολάβησης, έγινε δοκιμή για να δούμε ότι ο χειρονομιακός ελεγκτής λειτουργεί σταθερά, οι αισθητήρες έχουν καλή απόκριση και η χαρτογράφηση είναι λειτουργική.

Όπως αναφέρθηκε και στο 2.2, υπάρχουν διάφορες τεχνικές χαρτογράφησης. Στην πρώτη δοκιμή του ελεγκτή χρησιμοποιήθηκε η πιο απλή τεχνική *μια-σε-μια*. Δηλαδή κάθε αισθητήρας φωτός αντιστοιχούσε σε μια ηχητική παράμετρο. Αυτό είναι πολύ πρακτικό κατά τη διάρκεια των δοκιμών, διότι μπορεί να ελεγχθεί η απόκριση όλων των αισθητήρων σε απλές ηχητικές δομές.

---

<sup>2</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=Y8ep9d-RjBk>

Στην τελική όμως σύνθεση για το ShaPhos επιλέχθηκε η τεχνική *μια-σε-πολλές*, επιλογή που θα αναλυθεί περαιτέρω στο 4.3.4.

### 4.3.3 Σύστημα ανατροφοδότησης

Το ShaPhos έχει κατά κύριο λόγο μόνο ακουστική ανατροφοδότηση. Δεν έχει δημιουργηθεί κάποιο οπτικό σύστημα ανατροφοδότησης, ούτε υπάρχει ανατροφοδότηση αφής, αφού το σύστημα δεν απαιτεί την εξ' επαφής αλληλεπίδραση του χρήστη. Ο εκτελεστής δηλαδή θα πρέπει να προσαρμόζεται με την ακουστική επίδραση των κινήσεων του. Υπάρχουν όμως δύο έμμεσοι τρόποι οπτικής ανατροφοδότησης. Ο πρώτος είναι τα μοτίβα σκιάς και φωτός που δημιουργούνται από τις κινήσεις του εκτελεστή. Ο εκτελεστής μπορεί, βλέποντας το πόσο φως φτάνει στους αισθητήρες, να καταλάβει την ακουστική επίδραση που θα έχει στην σύνθεση. Ο δεύτερος έμμεσος τρόπος είναι ό ο εκτελεστής να έχει την δυνατότητα, εάν το επιθυμεί, να βλέπει σε πραγματικό χρόνο τις τιμές εισόδου στο Super Collider από τους αισθητήρες. Με αυτόν τον τρόπο ο εκτελεστής θα μπορεί να καταλάβει ακριβώς τις τιμές που στέλνει στην σύνθεση. Η μέθοδος αυτή ανατροφοδότησης δεν ενδείκνυται σε συνθήκες συναυλίας. Η ηχητική ανατροφοδότηση και το φως που αντανακλάται από τους αισθητήρες είναι δύο αρκετά ικανοποιητικοί τρόποι ανατροφοδότησης, για να αντιληφθεί ο εκτελεστής την επίδρασή του στο μουσικό όργανο.

### 4.4 Χρήση του ελεγκτή σε συνθήκες συναυλίας

Για την μουσική σύνθεση έπρεπε να γίνει η επιλογή μεταξύ της σύνθεσης ήχων ή της επεξεργασίας προ-ηχογραφημένων ήχων. Και οι δύο τεχνικές έχουν τις δικές τους ιδιαιτερότητες. Ουσιαστικά η επιλογή γίνεται κυρίως με αισθητικά κριτήρια από τον σχεδιαστή/συνθέτη.

Για το ShaPhos, και με αφορμή την συναυλία του τμήματος Μουσικών Σπουδών του ΕΚΠΑ «Μουσικός Ιούλιος 2022», όπου και θα παρουσιαζόταν για πρώτη φορά σε συναυλιακές συνθήκες, επιλέχθηκε η χρήση ηχητικής επεξεργασίας πάνω σε προ-ηχογραφημένους ήχους. Η τεχνική αυτή ονομάζεται σύνθεση δειγματοληψίας (Sampling Synthesis) και είναι μια ιδιαίτερα διαδεδομένη τεχνική τόσο στην πειραματική όσο και στην δημοφιλή μουσική (Karamanlis 2021).

Για την ηχητική σύνθεση δημιουργήθηκαν τρεις ομάδες ήχων. Κάθε ομάδα ήχων αντιστοιχούσε σε έναν φάκελο στον υπολογιστή, στον οποίο βρίσκονταν τα αρχεία ήχου που ανήκαν στην ομάδα. Μέσα από αυτούς τους φακέλους θα εξάγονται τα ηχητικά δείγματα που θα είναι αντικείμενα επεξεργασίας στην διάρκεια της εκτέλεσης. Η επιλογή των αρχείων ήχου έγινε με αισθητικά κριτήρια και με γνώμονα την μουσική αφήγηση στη διάρκεια της εκτέλεσης. Οι ήχοι που

χρησιμοποιήθηκαν ήταν είτε ηχογραφημένοι από τον συνθέτη είτε ελεύθερα διακινούμενοι στο διαδίκτυο. Κάποιοι είχαν υποστεί επεξεργασία ενώ άλλοι όχι. Η πρώτη ομάδα ήχων αποτελείτο από επεξεργασμένους ήχους περιβάλλοντος (ambient) και ο μετασχηματισμός τους σε πραγματικό χρόνο θα αποτελούσε το εισαγωγικό μέρος της εκτέλεσης. Η δεύτερη ομάδα ήχων ήταν πιο έντονη ηχοχρωματικά. Αποτελείτο από δύο δείγματα βιολιού στην κλίμακα Ρε-ελάσσονα, έναν επεξεργασμένο ήχο περιβάλλοντος και ένα ηχητικό δείγμα από βήματα πάνω σε πλαστικά αντικείμενα. Η δεύτερη ομάδα ήχου θα αποτελούσε το δεύτερο μέρος της εκτέλεσης, ένα πιο πλούσιο φασματικά μέρος με έντονες ηχητικές υφές. Η τρίτη ομάδα ήχων αποτελείτο από δύο ηχογραφήσεις πετρών, ηχογράφηση από ένα καμπανάκι, ηχητικό δείγμα καλίμπας και ηχογράφηση από παγάκια μέσα σε ποτήρι. Αυτή η ομάδα ήχων θα αποτελούσε το τρίτο μέρος της εκτέλεσης, ένα μέρος πιο “απαλό” στην υφή του ηχοχρωματικά, που θα ερχόταν σε αντίθεση με το πιο έντονο ηχητικά δεύτερο μέρος.

#### 4.4.1 Βασική συνθετική μέθοδος

Η βασική συνθετική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η Κοκκώδης Σύνθεση (Granular Synthesis). Αυτή είναι μια συνθετική διαδικασία η οποία επιτρέπει τη δημιουργία πλούσιων ηχητικών μορφών. Ιδιαίτερα όταν η τεχνική αυτή υλοποιείται σε αρχεία ήχου, τα αποτελέσματα συχνά δίνουν πολύ ιδιαίτερα ηχοχρώματα. Η Κοκκώδης Σύνθεση, εφαρμόστηκε πάνω στα δείγματα που δημιουργούνται από τη Σύνθεση Δειγματοληψίας. Αρχικά, όπως αναφέρθηκε και στο 4.2, χρησιμοποιήθηκε ο Κόμβος Μεσολάβησης. Μέσα στον Κόμβο έγινε ο συνδυασμός των δύο τεχνικών. Πρώτα για την εξαγωγή των ηχητικών δειγμάτων, που χρησιμοποιήθηκαν πολλοί παράμετροι τυχαιότητας. Με το αντικείμενο TChoose, κάθε φορά που αυτό πυροδοτούνταν (triggered), εξαγόταν ένα τυχαίο δείγμα ήχου, από έναν τυχαίο ήχο που υπάρχει μέσα στον αντίστοιχο φάκελο. Η διάρκεια του δείγματος ήταν και αυτή τυχαία μεταξύ των τιμών 0.1 και 0.15. Η θέση του δείγματος στην στερεοφωνική εικόνα, επίσης εμπεριείχε κάποιο βαθμό τυχαιότητας. Αφού ορίστηκαν αυτοί οι παράγοντες, τα δεδομένα περνούσαν στη γεννήτρια της Κοκκώδους Σύνθεσης. Τα δείγματα των ήχων, λοιπόν, δημιουργούσαν ένα ηχητικό νέφος με πλούσιο φάσμα.

Πάνω σε αυτές τις παραμέτρους, ο εκτελεστής είχε επίδραση. Συγκεκριμένα τα τέσσερα ορίσματα που ήλεγχε ήταν η διάρκεια του ηχητικού δείγματος, η θέση του δείγματος στο αρχείο ήχου, η ταχύτητα αναπαραγωγής τους (rate) και τέλος η πυκνότητα (density) του κόκκου. Οι κινήσεις λοιπόν του εκτελεστή πάνω από τους αισθητήρες φωτός είχαν επίδραση σε βασικές



ηχητικές παραμέτρους της Κοκκώδους Σύνθεσης. Ένα δείγμα της σύνταξης της ηχητικής σύνθεσης δίνεται στην Εικόνα 6.

```
169 ~granule.source = {
170   arg density = 20, rate = 1, pan, dur, pos;
171   var trig, sndbuf, grains;
172   trig = Impulse.kr(density);
173   sndbuf = TChoose.kr(trig, ~buffers2);
174   dur = TRand.kr(0.1, 0.15, trig);
175   pan = TRand.kr(-1, 1, trig);
176   pos = TRand.kr(0, 1, trig);
177   grains = GrainBuf.ar(2, trig, dur, sndbuf, rate, pos, pan: pan, envbufnum: ~win1);
178   grains = FreeVerb.ar(grains);
179   grains * 0.6;
180 };
181 Tdef(\synthControl, {
182   {~granule.set(
183     \density, ~photoVal.linexp(0, 500, 20, 5),
184     \rate, ~photo2Val.linexp(0, 500, 0.5, 3),
185     \pos, ~photo3Val.linexp(0, 500, 0, 1),
186     \dur, ~photo4Val.linexp(0, 500, 0.1, 0.7),
187   );
188   0.01.wait;
189 }
190
```

Εικόνα 6: Μέρος ηχητικής σύνθεσης και χαρτογράφηση του ελέγχου του εκτελεστή

#### 4.4.2 Επιπρόσθετες ηχητικές υφές

Η Κοκκώδης Σύνθεση, ενώ παρέχει ηχητικά ενδιαφέροντες ήχους με μεγάλη ηχοχρωματική ποικιλία, δεν αποτελεί πλέον πρωτότυπη τεχνική. Η ευκολία με την οποία μπορεί να δημιουργηθεί πλέον μέσω των υπολογιστών την καθιστά μια πολύ διαδεδομένη τεχνική σύνθεσης. Γι' αυτό, αν δεν συνδυαστεί με επιπρόσθετες ηχητικές υφές, το ηχητικό αποτέλεσμα κινδυνεύει να γίνει προβλέψιμο (Karamanlis 2021). Για μεγαλύτερη ηχητική ποικιλία χρησιμοποιήθηκαν ηχητικά εφέ πάνω στην προηγούμενη συνθετική τεχνική, τα οποία εισέρχονταν και εξέρχονταν κατά τη διάρκεια της σύνθεσης και κάποια φίλτρα τα οποία επηρεάζουν το φάσμα της κοκκώδους σύνθεσης.

Το φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το MoogFF, ένα αντικείμενο του Super Collider σχεδιασμένο από τον Fontana (2007), το οποίο προσομοιάζει ψηφιακά στο γνωστό παλιό αναλογικό φίλτρο Moog VCF. Ταυτόχρονα λοιπόν με τον έλεγχο στο αρχικό σήμα, ο εκτελεστής μπορούσε να ελέγχει και τις παραμέτρους του φίλτρου, έχοντας πιο περίπλοκο τρόπο να επεμβαίνει το ηχητικό φάσμα. Η θέση του ηχητικού σήματος στην στερεοφωνική εικόνα γινόταν τυχαία μέσα από το αντικείμενο TRand.

Παρόλα αυτά, ο πιο επιδραστικός τρόπος για την ποικιλία των ηχητικών πηγών είναι η προσθήκη εφέ. Τα εφέ που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη συνθετική διαδικασία ήταν το Βάθος (Reverb), το Chorus και κάποιοι τύποι χρονικής καθυστέρησης (Delay). Αξίζει να αναφερθεί ότι οι

ίδιες χειρονομίες επιδρούσαν τόσο στην Κοκκώδη Σύνθεση όσο και στα εφέ και στα φίλτρα που εισάγονται. Η τεχνική της χαρτογράφησης γινόταν σταδιακά με αυτόν τον τρόπο η *μία-σε-πολλές*, αφού ένας αισθητήρας επηρέαζε περισσότερους του ενός ηχητικούς παράγοντες.

Μια πολύ δημοφιλής τεχνική, που χρησιμοποιήθηκε στη συνθετική διαδικασία, ήταν και η τεχνική του βρόχου ανατροφοδότησης (feedback-loop). Σε αυτή την τεχνική η βασική ιδέα είναι ότι ανατροφοδοτείται το σήμα εισόδου από το σήμα εξόδου. Με αυτό τον τρόπο η έξοδος του σήματος γίνεται ξανά η είσοδός του, γεγονός που δημιουργεί περίπλοκες φασματικές δομές. Για τη δημιουργία του στο περιβάλλον του Super Collider χρησιμοποιούνται τα αντικείμενα LocalIn και LocalOut, με μια γεννήτρια χρονοκαθυστέρησης ανάμεσά τους. Ο εκτελεστής σε αυτό το εφέ είχε τον έλεγχο πάνω στον χρόνο καθυστέρησης που δέχεται το σήμα εξόδου, μέσα από έναν από τους αισθητήρες φωτός.

Αντίθετα με την Κοκκώδη Σύνθεση, η οποία πραγματοποιείτο συνεχώς πάνω στα αρχεία ήχου, τα εφέ και τα φίλτρα δεν ήταν σταθερά. Τα εφέ αυτά εισέρχονταν και εξέρχονταν πάνω στην σύνθεση, ώστε να δημιουργηθούν ιδιαίτερες ηχοχρωματικές υφές και ταυτόχρονα να μην μείνει ένα σταθερό ηχητικό αποτέλεσμα. Δινόταν μια ηχητική ποικιλία και μια ευρύτερη εξερεύνηση του ηχοχρώματος. Λόγω αυτού, η βασική συνθετική μέθοδος θεωρείται η Κοκκώδη Σύνθεση, ενώ τα υπόλοιπα εφέ και φίλτρα είναι επικουρικά πάνω σε αυτή.

#### 4.4.3 Οργάνωση του υλικού

Αφού έχει ολοκληρωθεί όλη η διαδικασία κατασκευής του χειρονομιακού ελεγκτή, η στρατηγική χαρτογράφησης και η επιλογή της ηχητικής σύνθεσης, το επόμενο βήμα είναι ο τρόπος που θα οργανωθεί το ήδη υπάρχον υλικό. Εφόσον οι διαδικασίες της ηχητικής σύνθεσης θα είναι μεταβλητές στον χρόνο, πρέπει ο εκτελεστής να μπορεί να αλλάζει το ηχητικό μέρος στο οποίο επιδρά σε πραγματικό χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο, ο εκτελεστής θα μπορεί να ενεργοποιεί και να απενεργοποιεί τα ηχητικά εφέ, να οδηγείται σε αλλαγές σε παραμέτρους της ηχητικής σύνθεσης, αλλά και να μεταβαίνει από την μία ηχητική ομάδα στην επόμενη.

Ο τρόπος που επιλέχθηκε για την εξέλιξη της πορείας της σύνθεσης είναι με τη χρήση ενός εξωτερικού εργαλείου του Super Collider, το CuePlayer<sup>3</sup>. Το CuePlayer δίνει την δυνατότητα να ενταχθούν μέσα σε μια συνάρτηση πολλές γραμμές κώδικα, οι οποίες θα ενεργοποιούνται μόλις στέλνεται το αντίστοιχο σήμα (cue). Με την χρήση ενός ποδο-πεταλιού (foot pedal) μπορεί ο εκτελεστής να πυροδοτήσει το επόμενο σήμα. Επομένως, τα χέρια του εκτελεστή, τα οποία είναι ο

---

<sup>3</sup> <http://fasmatwist.com/opensource>

κύριος εκφραστής χειρονομιών πάνω στον ελεγκτή, δεν χρειάζεται να αποσυντονιστούν από το έργο τους, δηλαδή την μουσική εκτέλεση.

Το CuePlayer παρέχει και τη δυνατότητα ύπαρξης ενός γραφικού παραθύρου (GUI), όπου ο εκτελεστής βλέπει σε πραγματικό χρόνο τον αριθμό του σήματος στον οποίο βρίσκεται, αλλά και με ένα χρονόμετρο βλέπει πόση ώρα πραγματοποιεί την εκτέλεση.

#### 4.4.4 Εκφραστικότητα

Τα ζητήματα εκφραστικότητας είναι από τα πιο βασικά ερωτήματα που δημιουργούνται όσον αφορά τους χειρονομιακούς ελεγκτές. Ο τρόπος με τον οποίο η αλληλεπίδραση με τον ελεγκτή θα μπορέσει να προσομοιώσει την εκφραστικότητα που υπάρχει στα παραδοσιακά μουσικά όργανα, είναι ίσως και το δυσκολότερο εγχείρημα στην κατασκευή ενός εναλλακτικού ελεγκτή. Για την επίτευξη εκφραστικότητας με το ShaPhos, αξιοποιήθηκε η στρατηγική χαρτογράφησης. Η βασική ιδέα ήταν ότι η κίνηση των χεριών θα πρέπει να έχει τη μεγαλύτερη δυνατή επίδραση στον ήχο. Με αυτό το σκεπτικό δημιουργήθηκε αντίθετη σύνδεση μεταξύ δεδομένων που στέλνει ο αισθητήρας με τις τιμές που στέλνονται στην ηχητική διεργασία. Με απλά λόγια, όταν ο εκτελεστής αποκόπτει το φως από τους αισθητήρες με τις χειρονομίες του, η επίδραση που ασκεί στον ήχο είναι η μέγιστη. Με αυτόν τον τρόπο ο εκτελεστής αντιλαμβάνεται, ακούγοντας τον ήχο, την επιρροή που έχει στο ηχητικό αποτέλεσμα και μπορεί να δώσει μεγαλύτερη εκφραστικότητα με τις κινήσεις του. Όπως ένας κιθαρίστας με τις κινήσεις του μπορεί να κάνει vibrato στην χορδή και να κάνει πιο εκφραστική της εκτέλεσή του, έτσι και εδώ με τις χειρονομίες του ο εκτελεστής δίνει μια έντονη αλλαγή στο ηχόχρωμα της σύνθεσης.

Μια ακόμα ιδέα για την αύξηση της εκφραστικότητας του οργάνου προέρχεται από την στρατηγική χαρτογράφησης *μία-σε-πολλές*. Δηλαδή, όταν κάθε αισθητήρας φωτός ελέγχει παραπάνω από μία παραμέτρους του ήχου. Όταν μια χειρονομία επηρεάζει ταυτόχρονα πολλές ηχητικές διεργασίες, η δραματουργία έρχεται πιο φυσικά, με αποτέλεσμα ο θεατής/ακροατής να αντιλαμβάνεται την σύνδεση. Σε προέκταση αυτής της ιδέας, μπορούμε να αντιληφθούμε ότι υπάρχουν χαρακτηριστικά της σύνθεσης που είναι πιο επιδραστικά από άλλα. Για παράδειγμα, στην Κοκκώδη Σύνθεση, η πυκνότητα του κόκκου είναι πιο επιδραστική στην αντίληψη της μεταβολής από τον ακροατή, σε σχέση πχ με τη διάρκεια του κόκκου. Έτσι οι χειρονομίες πάνω από τον αισθητήρα που αντιστοιχεί στην πυκνότητα, θα φαίνονται πιο σημαντικές στον θεατή, ενώ αντίστοιχα ο αισθητήρας της διάρκειας του κόκκου θα δίνει την εντύπωση ότι δεν είναι τόσο επιδραστικός. Εάν όμως χαρτογραφήσουμε σε αυτόν τον αισθητήρα για παράδειγμα τις συχνότητες στο φίλτρο MoogFF που αναφέρθηκε στο 4.3.3, τότε και αυτός ο αισθητήρας γίνεται αρκετά

επιδραστικός στον ήχο. Χρησιμοποιώντας λοιπόν αυτή την στρατηγική της χαρτογράφησης, δημιουργούμε μια ισότητα στην σημασία των αισθητήρων, όπου ο εκτελεστής σκέφτεται την χρήση όλων, αφού ελέγχει πολλές παραμέτρους με τον καθένα. Έτσι η δραματουργία αποκτά μεγαλύτερη συνεκτικότητα και ο εκτελεστής αντιλαμβάνεται τη σημασία κάθε κίνησής του στην εκφραστικότητα του οργάνου.

Με την απόφαση αυτών των πρακτικών για τα ζητήματα της εκφραστικότητας, έχουν τακτοποιηθεί τα περισσότερα ζητήματα της δημιουργίας ενός χειρονομιακού ελεγκτή. Έχοντας ξεκαθαρίσει την φύση των χαρακτηριστικών του, το ShaPhos είναι έτοιμο για τις τελευταίες δοκιμές της σύνθεσης<sup>4</sup> πριν από την χρησιμοποίησή του σε ένα συναυλιακό περιβάλλον.

## 4.5 Συναυλία

Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας, ο χειρονομιακός ελεγκτής ShaPhos, παρουσιάστηκε στην συναυλία που διοργάνωσε το Τμήμα Μουσικών Σπουδών του ΕΚΠΑ, τον Μουσικό Ιούλιο 2022, στο Λόφο των Νυμφών στο Θησείο, στη βραδιά Ηλεκτροακουστικής Μουσικής. Ο χώρος στον οποίο έγινε η συναυλία είναι υπαίθριος, δίνοντας μια καλή ευκαιρία στη δοκιμή του συστήματος σε διαφορετικό χώρο από τον ελεγχόμενο home studio του κατασκευαστή/συνθέτη, όπου είχαν γίνει οι δοκιμές.

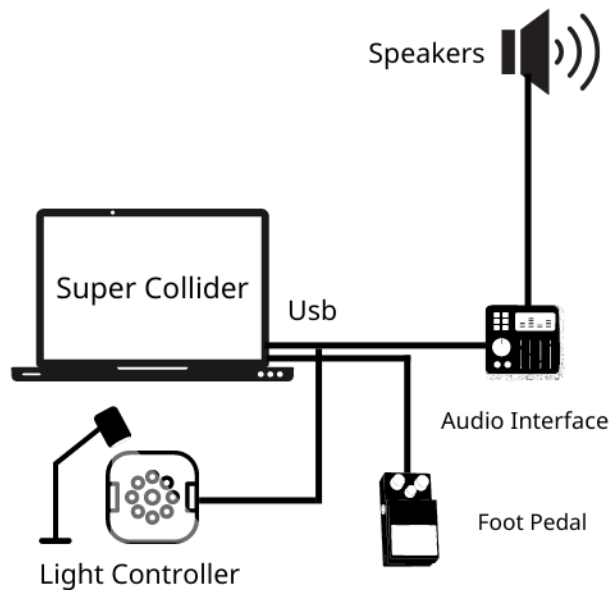
Το έργο που δημιουργήθηκε με τον συνδυασμό όλων όσα αναφέρθηκαν στην ενότητα 4, ονομάστηκε «Above the Grain Cloud» και αποτελείται από 14 σήματα στο Cue Player. Επρόκειτο για έναν αυτοσχεδιασμό του εκτελεστή πάνω σε μια δοσμένη σειρά των ηχητικών παραμέτρων, διάρκειας περίπου πέντε λεπτών.

### 4.5.1 Σχεδιάγραμμα συστήματος

Το σύστημα του χειρονομιακού ελεγκτή ShaPhos ήταν συνδεδεμένο με υπολογιστή που έτρεχε το Arduino IDE και το Super Collider. Στον υπολογιστή συνδέθηκαν επίσης κάρτα ήχου και το πετάλι ποδιού. Πάνω από το ShaPhos τοποθετήθηκε μια λάμπα που έστελνε φως στους αισθητήρες. Από την κάρτα ήχου έφευγε δικάναλο ηχητικό σήμα που πήγαινε στην κεντρική κονσόλα του συναυλιακού χώρου. Στην Εικόνα 7, φαίνεται η δομή του συστήματος για την συναυλία.

---

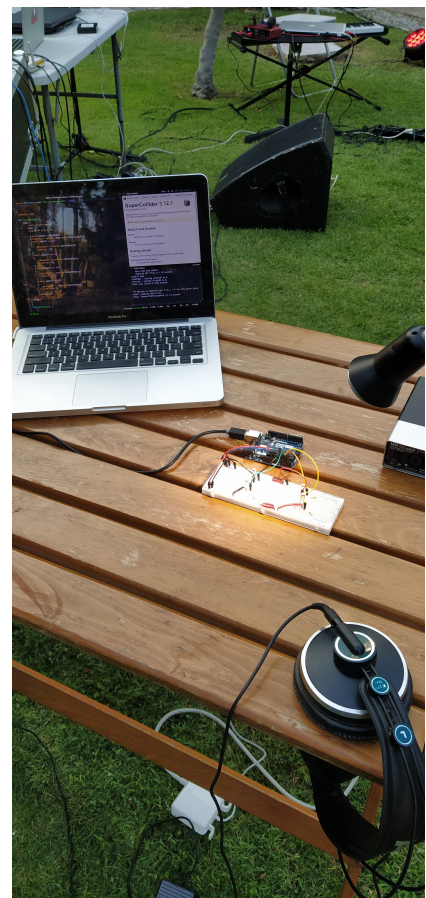
<sup>4</sup> Τελική δοκιμή του ShaPhos πριν την πρεμιέρα του σε συναυλία: <https://www.youtube.com/watch?v=FL9221YFGlg&feature=youtu.be>



Εικόνα 7: Σχεδιάγραμμα συνδεσμολογίας

#### 4.5.2 Στήσιμο εξοπλισμού στον συναυλιακό χώρο

Η δοκιμή ήχου (soundcheck) και το στήσιμο έγινε μεσημεριανή ώρα στον συναυλιακό χώρο. Ήταν μια καλή συνθήκη για την δοκιμή των αισθητήρων φωτός και της βαθμονόμησης τους σε ένα περιβάλλον με έντονο ήλιο. Για τη σταθερότητα των συνθηκών και για την προστασία των μηχανημάτων από τον ήλιο, τοποθετήθηκε μια ομπρέλα ήλιου από πάνω τους. Τα δεδομένα ακόμα και σε συνθήκες μέρας ήταν αρκετά σταθερά, αν και υπήρχε μια μικρή απόκλιση από τις συνθήκες σκοταδιού. Ήταν πιο δύσκολο κατά την εκτέλεση οι χειρονομίες να σκεπάσουν εντελώς το φως. Παρόλα αυτά μπορούσε να γίνει με την πλήρη κάλυψη των αισθητήρων από τις παλάμες. Οι χειρονομίες για την δοκιμή ήχου θα έπρεπε να ήταν πιο έντονες. Δεν υπήρξε κάποιο πρόβλημα κατά την εκτέλεση για την στάθμιση του ήχου. Στην Εικόνα 8, φαίνεται το στήσιμο του εξοπλισμού για το Soundcheck.



Εικόνα 8: Στήσιμο του εξοπλισμού για την συναυλία του Μουσικού Ιουλίου. Το ShaPhos στην μέση και η σύνδεση με το laptop, το audio interface και το foot pedal

### 4.5.3 Συναυλία

Η συναυλία πραγματοποιήθηκε στις 8 Ιουλίου του 2022 και ώρα 9:00 μμ. Το σύστημα ανταποκρίθηκε πολύ καλά σε συνθήκες νύχτας μετά τη βαθμονόμηση. Το φως περιβάλλοντος από τους προβολείς δεν δημιούργησε κάποιο πρόβλημα, αντίθετα λειτουργησε ευεργετικά για το σύστημα. Ο αυτοσχεδιασμός διήρκεσε περίπου πέντε λεπτά και κύλησε χωρίς απρόοπτα. Οι χειρονομίες, κόβοντας το φως, που σε συνθήκες νύχτας ήταν αρκετά έντονες, έγιναν ιδιαίτερα αξιοπρόσεκτες από το κοινό, δίνοντας ένα γενικότερο οπτικοακουστικό θέαμα.<sup>5</sup>



Εικόνα 9: Συναυλιακή εκτέλεση του ShaPhos

---

<sup>5</sup> Πρεμιέρα της σύθεσης Above the Grain cloud βασισμένη στο ShaPhos: <https://www.youtube.com/watch?v=Uu2KmqS-4sk>

## Επίλογος

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία ανέλυσα τη διαδικασία σχεδιασμού και κατασκευής ενός εναλλακτικού χειρονομιακού ελεγκτή, που λειτουργεί ως μουσικό όργανο. Η αναζήτηση στην βιβλιογραφία μου έδωσε ορισμένες σημαντικές απαντήσεις για το πώς επηρεάζει η επιλογή του αισθητήρα τον τρόπο εκτέλεσης του χειρονομιακού ελεγκτή. Ο τύπος του αισθητήρα παίζει καθοριστικό ρόλο στον τρόπο εκτέλεσης. Σε περιπτώσεις επαυξημένων μουσικών οργάνων που μελετήθηκαν παρατηρήθηκε ότι η καταλληλότητα του αισθητήρα είναι πολύ σημαντική, αφού οι εκτελεστές δεν μπορούν να αλλάξουν τον τρόπο εκτέλεσης ενός μουσικού οργάνου. Γι' αυτό η επιλογή θα πρέπει να είναι κατάλληλη για την ανίχνευση όλων των κινήσεων του εκτελεστή, όπως παρατηρήθηκε στην περίπτωση της Consert Harp. Σε περιπτώσεις εναλλακτικών χειρονομιακών ελεγκτών είναι επίσης πολύ σημαντική η επιλογή του αισθητήρα και κυρίως θα πρέπει να μπορεί να ανταποκριθεί σε συναυλιακές συνθήκες, όπως στην περίπτωση της καταγραφής κίνησης των Aska και Ritter (2016). Μέσα από τη βιβλιογραφική επισκόπηση καταγράφηκαν πολλές μέθοδοι, που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία χειρονομιακών ελεγκτών. Εξετάζοντας τις μεθόδους αυτές και συνδυάζοντας πολλά από τα συμπεράσματα και τις παρατηρήσεις των προηγούμενων ερευνών, δημιούργησα τον δικό μου χειρονομιακό ελεγκτή. Η διαδικασία κατασκευής, καθώς και η πρακτική εφαρμογή του ως μουσικού οργάνου, με οδήγησαν στην εξέταση και του ερωτήματος για το πώς θα πρέπει να σχεδιαστεί ο χειρονομιακός ελεγκτής, ώστε οι αισθητήρες να είναι αποτελεσματικοί και ταυτόχρονα το κόστος να παραμένει χαμηλό. Ο κατασκευαστής ενός χειρονομιακού ελεγκτή λοιπόν θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τις ανάγκες του ίδιου του ελεγκτή. Το πώς δηλαδή θα ανταποκριθεί στις αρμοδιότητες που θα του θέσει ο εκτελεστής. Σχεδιάζοντας τον ShaPhos κατέληξα στο συμπέρασμα ότι υπάρχει η δυνατότητα μέσω του προγραμματισμού να καλυφθούν ορισμένα μειονεκτήματα, όπως στην περίπτωση των αισθητήρων φωτός, που με την διαδικασία της διαβάθμισης μπορούν να προσαρμοστούν σε οποιοδήποτε περιβάλλον. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί ο ελεγκτής να σχεδιαστεί με τον ίδιο τρόπο που θα σχεδιαζόταν και με πολύ ακριβότερους αισθητήρες υπερύθρων. Επιπλέον τα προγράμματα που θα επιλέξει ο κατασκευαστής του ελεγκτή μπορεί να επιφέρουν επιπλέον έξοδα. Όμως, μέσω της κατασκευής του ShaPhos, καταδείχτηκε ότι μπορεί η δημιουργία ενός ελεγκτή να είναι απολύτως αποτελεσματική και με προγράμματα ανοικτού κώδικα.

Η εκπλήρωση του σκοπού της εργασίας, δηλαδή το να δημιουργήσω έναν λειτουργικό χειρονομιακό ελεγκτή χαμηλού κόστους, που να λειτουργεί σε συναυλιακές συνθήκες ως μουσικό

όργανο, επιτεύχθηκε σε μεγάλο βαθμό. Όμως, μέσα από την διερεύνηση των διαδικασιών, υπάρχουν αρκετά ερωτήματα που θα μπορούσαν να μελετηθούν περαιτέρω. Όπως η δημιουργία ενός πληρέστερου συστήματος ανατροφοδότησης για τον χειρονομιακό ελεγκτή. Σημαντικό, επίσης, θα ήταν να διερευνηθεί περισσότερο το ζήτημα της εκφραστικότητας του ελεγκτή ως μουσικό όργανο, με την δημιουργία νέων τρόπων επίτευξης εκφραστικότητας.

Μελλοντικά ο ShaPhos θα μπορούσε να συνδυαστεί με ακουστικά όργανα για την σύνθεση και την παρουσίαση Μεικτών Ηλεκτροακουστικών έργων. Μια τέτοια συνύπαρξη θα δημιουργούσε ιδιαίτερες ηχοχρωματικές υφές και νέους τρόπους ηχητικής σύνθεσης. Παράλληλα θα πρέπει να διερευνηθεί και η ηχητική σύνθεση του ελεγκτή και ως αυτόνομου μουσικού οργάνου, με επιπρόσθετες δομές στην ηχητική διεργασία, αλλά και με εμπλουτισμό των προηχογραφημένων αρχείων που χρησιμοποιούνται στην σύνθεση. Τέλος θα μπορούσε να γίνει και μια σε βάθος αναζήτηση για ζητήματα αισθητικής γύρω από την μουσική σύνθεση ενός χειρονομιακού ελεγκτή.





## Βιβλιογραφία

1. Aska, A., & Ritter, M. (2016). Approaches to Real Time Ambisonic Spatialization and Sound Diffusion using Motion Capture. In ICMC.
2. Bartleet, B. L. (2009). Behind the baton: Exploring autoethnographic writing in a musical context. *Journal of Contemporary Ethnography*, 38(6), 713-733.
3. Bhuiyan, M., & Picking, R. (2009, November). Gesture-controlled user interfaces, what have we done and what's next. In Proceedings of the fifth collaborative research symposium on security, E-Learning, Internet and Networking (SEIN 2009), Darmstadt, Germany (pp. 26-27).
4. Bongers, B. (2000). Physical interfaces in the electronic arts. *Trends in gestural control of music*, 41-70.
5. Brown, D., Nash, C., & Mitchell, T. J. (2020, September). Was that me? exploring the effects of error in gestural digital musical instruments. In Proceedings of the 15th International Conference on Audio Mostly (pp. 168-174).
6. Cadoz, C., & Wanderley, M. M. (2000). Gesture-music. *Trends in gestural control of music*.
7. Chadabe, J. (2002, May). The limitations of mapping as a structural descriptive in electronic instruments. In Proceedings of the 2002 conference on New interfaces for musical expression (pp. 1-5).
8. Chang, H. (2016). *Autoethnography as method*. Routledge.
9. Davis, T., & Karamanlis, O. (2007, July). Gestural control of sonic swarms: Composing with grouped sound objects. In 4th Sound and Music Computing Conference.
10. Dobrian, C., & Koppelman, D. (2006). The 'E' in NIME: musical expression with new computer interfaces.
11. Doornbusch, P. (2002). Composers' views on mapping in algorithmic composition. *Organised sound*, 7(2), 145-156
12. Ellis, C., & Bochner, A. (2000). Autoethnography, personal narrative, reflexivity: Researcher as subject.
13. Han, J., & Gold, N. E. (2014, June). Lessons learned in exploring the Leap Motion™ sensor for gesture-based instrument design. Goldsmiths University of London.
14. Hunt, A., Wanderley, M. M., & Paradis, M. (2017). 2002: The Importance of Parameter Mapping in Electronic Instrument Design. *A NIME Reader: Fifteen Years of New Interfaces for Musical Expression*, 29-44.

15. Hunt, A., & Wanderley, M. M. (2002). Mapping performer parameters to synthesis engines. *Organised sound*, 7(2), 97-108.
16. Hunt, A., & Kirk, R. (2000). Mapping strategies for musical performance. *Trends in gestural control of music*, 21(2000), 231-258.
17. Karamanlis, O. (2021). *Σύνθεση και Επεξεργασία Ήχου με το SuperCollider*. Fylatos Publishing
18. Manning, P. (2004). *Electronic and computer music*. Oxford University Press.
19. Mainsbridge, M. (2014, June). Non-tactile gestural control in musical performance. In *Proceedings of the 2014 International Workshop on Movement and Computing* (pp. 146-149).
20. Mainsbridge, M. M., & Beilharz, K. (2014). Body as instrument—Performing with gestural interfaces. In *Proceedings of the international conference on new interfaces for musical expression*.
21. Marshall, M. T., Malloch, J., & Wanderley, M. M. (2007, May). Gesture control of sound spatialization for live musical performance. In *International Gesture Workshop* (pp. 227-238). Springer, Berlin, Heidelberg.
22. Medeiros, C. B., & Wanderley, M. M. (2014). A comprehensive review of sensors and instrumentation methods in devices for musical expression. *Sensors*, 14(8), 13556-13591.
23. Miranda, E. R., & Wanderley, M. M. (2006). *New digital musical instruments: control and interaction beyond the keyboard* (Vol. 21). AR Editions, Inc..
24. Rován, J. B., Wanderley, M. M., Dubnov, S., & Depalle, P. (1997, October). Instrumental gestural mapping strategies as expressivity determinants in computer music performance. In *Kansei, The Technology of Emotion. Proceedings of the AIMI International Workshop* (pp. 68-73). Genoa: Associazione di Informatica Musicale Italiana, October.
25. Roads, C. (1996). *The computer music tutorial*. MIT press.
26. Schnell, N., Bevilacqua, F., Rasamimanana, N. H., Blois, J., Guedy, F., & Flety, E. (2011). Playing the "MO"-Gestural Control and Re-Embodiment of Recorded Sound and Music. In *NIME* (pp. 535-536).
27. Sullivan, J., Tibbitts, A., Gatinet, B., & Wanderley, M. M. (2018, June). Gestural control of augmented instrumental performance: A case study of the concert harp. In *Proceedings of the 5th International Conference on Movement and Computing* (pp. 1-8).
28. Todoroff, T. (1995). Real-Time Granular Morphing and Spatialisation of Sounds with Gestual Control within MAX/FTS. In *ICMC*.

29. Verfaille, V., Wanderley, M. M., & Depalle, P. (2006). Mapping strategies for gestural and adaptive control of digital audio effects. *Journal of New Music Research*, 35(1), 71-93.
30. Wanderley, M. M. (2001, September). Gestural control of music. In *International Workshop Human Supervision and Control in Engineering and Music* (pp. 632-644).
31. Wanderley, M. M., & Depalle, P. (2004). Gestural control of sound synthesis. *Proceedings of the IEEE*, 92(4), 632-644.
32. Wanderley, M. M., & Orio, N. (2002). Evaluation of input devices for musical expression: Borrowing tools from hci. *Computer Music Journal*, 26(3), 62-76.
33. Wilson, S., Cottle, D., & Collins, N. (2011). *The SuperCollider Book*. The MIT Press.
34. Wong, E. L., Yuen, W. Y., & Choy, C. S. (2008, November). Designing wii controller: a powerful musical instrument in an interactive music performance system. In *Proceedings of the 6th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia* (pp. 82-87).
35. Wu, J., Weitzner, N., Yeh, Y., Abel, J., Michon, R., & Wright, M. (2015, May). Tibetan singing prayer wheel: a hybrid musical-spiritual instrument using gestural control. In *International Conference on New Interfaces and Musical Expression (NIME-15)*.
36. de las Pozas, V. *Semi-Automated Mappings for Object-Manipulating Gestural Control of Electronic Music*.