



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

α

— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

**ΦΙΛΟΣΟΦΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ανάπτυξη μοντέλου διαδραστικού χορού και  
μουσικής με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης**

**Κωνσταντίνος Η. Μπακογιάννης**

**Επιβλέπουσα:            Αναστασία Γεωργάκη, Καθηγήτρια**

**ΑΘΗΝΑ**

**ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Ανάπτυξη μοντέλου διαδραστικού χορού και μουσικής με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης

**Κωνσταντίνος Η. Μπακογιάννης**

**A.M.: 1569201100055**

**Τριμελής Επιτροπή:**

**Αναστασία Γεωργάκη, Καθηγήτρια**  
**Αρετή Ανδρεοπούλου, Επικ. Καθηγήτρια**  
**Χριστίνα Αναγνωστοπούλου, Αναπλ. 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 Φεβρουάριο του 2021. 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*

Ο χορός και η μουσική είναι δύο συγγενικές τέχνες, η συνεργασία των οποίων διαμορφώνει ένα ενιαίο οπτικοακουστικό καλλιτεχνικό έργο. Η χρήση της τεχνολογίας έχει διαμορφώσει νέες συνθήκες στο διάλογό τους, ανοίγοντας νέους δημιουργικούς ορίζοντες. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζουμε τη σχεδίαση, ανάπτυξη και υλοποίηση ενός διαδραστικού μοντέλου το οποίο θα συνθέτει σε πραγματικό χρόνο αυτοματοποιημένη μουσική η οποία βρίσκεται σε δομική σχέση με την ανθρώπινη κίνηση. Ένας κατάλληλος αισθητήρας τροφοδοτεί το μοντέλο με δεδομένα της ανθρώπινης κίνησης, τα οποία αξιοποιούνται για την περιγραφή παραμέτρων της κίνησης (π.χ., σχετικές αποστάσεις, ταχύτητα, κατεύθυνση κ.λπ.). Η αναγνώριση αυτών των παραμέτρων γίνεται με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης, μέσω εκπαίδευσης από ένα σύνολο δεδομένων το οποίο έχει παραχθεί από πραγματικές κινήσεις χορευτή. Έπειτα, οι παράμετροι της κίνησης αντιστοιχίζονται σε παραμέτρους του ήχου (π.χ., τονικό ύψος, διάρκεια, επιλογή ήχων, επιλογή εφέ κ.λπ.). Τέλος, το μοντέλο αυτό αξιοποιείται για τη δημιουργία συγκεκριμένης performance. Για την υλοποίησή του έγινε χρήση κατάλληλου υλικού (αισθητήρας Kinect, pc, ηχεία) και λογισμικού (προγράμματα TouchDesigner, Wekinator, Max Msp, Max for Live / Ableton Live).

## *Λέξεις Κλειδιά*

Αλγοριθμική σύνθεση, αυτοματοποιημένη μουσική σύνθεση, διαδραστική μηχανική μάθηση, διαδραστική τεχνολογία, διαδραστικός χορός, μουσική σύνθεση για χορό, χορευομουσικολογία

## *Abstract*

Technology can retransform the dialogue between dance and music, providing new creative perspectives. In this work, we present the design and development of an interactive model which composes in real-time automated, structurally related to dance, music. A sensor provides the model with data of human motion (input), which are used to gather information regarding motion parameters (e.g., relative distance, speed, direction etc.). The model, trained with a real dataset of human motions and by machine learning techniques, becomes capable of recognizing these parameters. Then, the motion parameters are mapped to sonic parameters (e.g., pitch, duration, audio samples, filters etc.), aiming to create an interactive dance performance. For the implementation, we used appropriate hardware (camera-based Kinect sensor, pc and speakers) and software (TouchDesigner, Wekinator, Max Msp, Max for Live / Ableton Live).

## *Keywords*

Algorithmic music, automated music generation, choreomusicology, interactive dance, interactive machine learning, interactive technology, music composition for dance

## *Ευχαριστίες*

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια της πτυχιακής αυτής εργασίας, κ. Αναστασία Γεωργάκη, για την εποπτεία και καθοδήγησή της σε όλη τη διάρκεια της εργασίας αυτής, αλλά και για τα ακαδημαϊκά και καλλιτεχνικά ερεθίσματα που μου προσέφερε τα χρόνια της φοίτησής μου στο Τμήμα Μουσικών Σπουδών.

Επίσης, ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής της εργασίας αυτής, τις καθηγήτριες κ. Χριστίνα Αναγνωστοπούλου και κ. Αρετή Ανδρεοπούλου, οι οποίες συνέβαλαν καταλυτικά στο να μνηθώ στο αντικείμενο της μουσικής πληροφορικής.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη χορεύτρια και φίλη Παγώνα Μπουλμπασάκου, απόφοιτη της Κρατικής Σχολής Ορχηστρικής Τέχνης (2018) για τις χορογραφικές της κατευθύνσεις καθώς και για το βίντεο και τις φωτογραφίες (Εικόνα 3-37 έως Εικόνα 3-40) τα οποία πλαισίωσαν το κείμενο και την παρουσίαση της πτυχιακής αυτής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μουσικής μου, οι οποίοι με τροφοδότησαν με γνώσεις, μου εμφύσησαν την αγάπη για τη μουσική και με ενθάρρυναν να ασχοληθώ συστηματικά με αυτήν.

*Αφιερώνεται στην καθηγήτρια μου της μουσικής στο σχολείο,  
κ. Μαργαρίτα Μαϊτού,  
που με την επιρροή της η ενασχόληση με τη μουσική έγινε για μένα ανάγκη.*

## Περιεχόμενα

---

1	Εισαγωγή.....	7
2	Διαδραστικός χορός και μουσική.....	9
2.1	Ιστορική αναδρομή στη σχέση μουσικής και χορού .....	9
2.2	Παραδείγματα διαδραστικού χορού .....	13
2.3	Προηγούμενες μελέτες στο αντικείμενο του διαδραστικού χορού και μουσικής με χρήση τεχνικών μηχανικής εκμάθησης.....	19
3	Υλοποίηση.....	21
3.1	Μεθοδολογία / Ανάπτυξη μοντέλου .....	21
3.2	Υλοποίηση των βασικών συστατικών του μοντέλου (αντιστοίχιση παραμέτρων κίνησης με ηχητικά γεγονότα) .....	32
3.2.1	Θέση άρθρωσης στο διακριτό χώρο .....	33
3.2.2	Σχετική διακριτή θέση δύο αρθρώσεων .....	38
3.2.3	Θέση άρθρωσης στο συνεχή χώρο .....	44
3.2.4	Ταχύτητα άρθρωσης .....	47
3.3	Επιλογές για τη δημιουργία συγκεκριμένης performance .....	50
3.3.1	Ανάπτυξη μοντέλου.....	50
3.3.2	Συνεργασία με τη χορεύτρια, εκπαίδευση και αξιολόγηση μοντέλου .....	59
4	Συμπεράσματα .....	62
	Αναφορές.....	64



# 1 Εισαγωγή

---

Ο χορός και η μουσική είναι δύο συγγενικές τέχνες, η συνεργασία των οποίων διαμορφώνει ένα ενιαίο οπτικοακουστικό καλλιτεχνικό έργο. Ιστορικά, στη συσχέτιση των δύο αυτών τεχνών, έχουν υιοθετηθεί διάφορες μεθοδολογίες χορογραφικής και μουσικής σύνθεσης. Άλλοτε η μουσική προηγείται και η χορογραφία χιτίζεται πάνω σε αυτήν ή το αντίστροφο και άλλοτε, στον έναν ή στον άλλο βαθμό, τα δύο είδη συνυπάρχουν ως ανεξάρτητα ή συμπληρωματικά.

Η χρήση της τεχνολογίας έχει διαμορφώσει νέες συνθήκες στο διάλογό τους, ανοίγοντας νέους δημιουργικούς ορίζοντες. Οι νέες τεχνολογίες έχουν αλλάξει δραματικά τις δυνατότητες συνεργασίας μεταξύ χορογράφων και μουσικών, αναδιαμορφώνοντας τον τρόπο με τον οποίο αυτοί, παραδοσιακά, συνεργάζονταν. Οι τεχνολογικές δυνατότητες αναδιαμορφώνουν και τον ρόλο του performer. Ο χορευτής μπορεί να ελέγχει ο ίδιος μέσω controllers και αισθητήρων παραμέτρους της μουσικής ενόσω χορεύει, προσδίδοντάς του τον επιπλέον ρόλο του μουσικού. Η συνεργασία μουσικής, χορού και τεχνολογίας ορίζει ένα νέο διαδραστικό σύστημα, στο οποίο, για πρώτη φορά, η χορογραφία και μουσική σύνθεση διαπλέκονται, αλληλοεπηρεάζονται και συνδιαμορφώνονται σε πραγματικό χρόνο, τη στιγμή της επιτέλεσης.

Στόχος της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η σχεδίαση, ανάπτυξη και υλοποίηση ενός διαδραστικού μοντέλου το οποίο θα συνθέτει σε πραγματικό χρόνο αυτοματοποιημένη μουσική η οποία βρίσκεται σε δομική σχέση με την ανθρώπινη κίνηση. Για την υλοποίηση του στόχου αυτού θα επεξεργαστούμε τα παρακάτω ερευνητικά ερωτήματα:

- 1) Ποιες παραμέτρους της κίνησης θα χρησιμοποιήσουμε και πώς αυτές θα εξαχθούν από τα δεδομένα τα οποία θα παρέχει ο αισθητήρας;
- 2) Με ποιο τρόπο το μοντέλο θα αναγνωρίζει τις παραμέτρους της κίνησης και πώς αυτό προσεγγίζεται με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης;
- 3) Πώς θα αντιστοιχιστούν οι παράμετροι της κίνησης με παραμέτρους του ήχου;
- 4) Ποιες από τις παραπάνω αντιστοιχίσεις είναι δημιουργικά ωφέλιμες και πώς θα αξιοποιηθούν για τη δημιουργία συγκεκριμένης performance;

Η μεθοδολογία που ακολουθήσαμε είναι η εξής: Ένας κατάλληλος αισθητήρας τροφοδοτεί το μοντέλο με δεδομένα της ανθρώπινης κίνησης, τα οποία αξιοποιούνται για την περιγραφή παραμέτρων της κίνησης (π.χ., σχετικές αποστάσεις, ταχύτητα, κατεύθυνση κ.λπ.). Η αναγνώριση αυτών των παραμέτρων γίνεται με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης, μέσω εκπαίδευσης από ένα σύνολο δεδομένων το οποίο έχει παραχθεί από πραγματικές κινήσεις χορευτή. Έπειτα, οι παράμετροι της κίνησης αντιστοιχίζονται σε παραμέτρους του ήχου (π.χ., τονικό ύψος, διάρκεια, επιλογή ήχων, επιλογή εφέ κ.λπ.). Τέλος, το μοντέλο αυτό αξιοποιείται για τη δημιουργία συγκεκριμένης performance. Για την υλοποίησή του έγινε χρήση κατάλληλου υλικού (αισθητήρας Kinect, pc, ηχεία) και λογισμικού (προγράμματα TouchDesigner, Wekinator, Max Msp, Max for Live / Ableton Live).

Το κείμενο οργανώνεται ως εξής: στην ενότητα 2 επιχειρείται μια περιγραφή της σχέσης του διαδραστικού χορού με τη μουσική. Η σχέση αυτή εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο της ιστορικής αναδρομής στη σχέση μεταξύ μουσικής και χορού, οι βασικοί κόμβοι της οποίας παρουσιάζονται στην ενότητα 2.1. Στην ενότητα 2.2 επικεντρωνόμαστε στην παράθεση παραδειγμάτων τα οποία φωτίζουν τη σχέση του διαδραστικού χορού και της μουσικής και τέλος, στην ενότητα 2.3, εξειδικεύουμε στην παρουσίαση παραδειγμάτων τα οποία αξιοποιούν τεχνικές μηχανικής μάθησης. Ο σχεδιασμός, ανάπτυξη και υλοποίηση του μοντέλου μας παρουσιάζονται στην ενότητα 3. Η μεθοδολογία, τα εργαλεία καθώς και εισαγωγικά στοιχεία των τεχνικών που χρησιμοποιήσαμε παρουσιάζονται στην ενότητα 3.1. Συγκεκριμένα παραδείγματα αντιστοίχισης παραμέτρων της κίνησης με του ήχου παρουσιάζονται στην ενότητα 3.2, αναδεικνύοντας τις λεπτομέρειες των τεχνικών ζητημάτων. Κάποιες από τις αντιστοιχίσεις αυτές επιλέχθηκαν για τη δημιουργία συγκεκριμένης performance. Οι επιλογές αυτές καθώς και ζητήματα αισθητικής, μουσικής σύνθεσης και χορογραφίας αναπτύσσονται στην ενότητα 3.3. Τα παραπάνω συμπυκνώνονται στην ενότητα 4, στην οποία παρουσιάζουμε τα συμπεράσματα τα οποία εξάγονται από την εργασία αυτή καθώς και τις μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις τις οποίες προτείνουμε ως συνέχεια της εργασίας αυτής.

## 2 Διαδραστικός χορός και μουσική

---

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε τις βασικές αρχές και παραδείγματα της διαδραστικής σχέσης χορού και μουσικής. Αρχικά, τη σχέση αυτή την εντάσσουμε στην ιστορική εξέλιξη των δύο αυτών συζευγμένων τεχνών μέσω μίας σύντομης ιστορικής αναδρομής (υποενότητα 2.1). Έπειτα, θα αναφερθούμε γενικά σε παραδείγματα αυτοματοποιημένης ηχητικής σύνθεσης ελεγχόμενης από την ανθρώπινη χορευτική κίνηση (υποενότητα 2.2). Τέλος, θα επικεντρωθούμε στην παρουσίαση παραδειγμάτων μοντέλων τα οποία έχουν αναπτυχθεί με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης (υποενότητα 2.3).

### 2.1 Ιστορική αναδρομή στη σχέση μουσικής και χορού

Ο χορός και η μουσική είναι αναντίρρητα δύο συγγενικές τέχνες. Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε τους βασικούς σταθμούς του τρόπου συσχέτισής τους. Ακροθιγώς, η συσχέτιση αυτή είναι μία πορεία από την απόλυτη εξάρτηση της μιας από την άλλη,

στη μερική και ενίοτε ολική αποδέσμευσή τους.

Στην αφετηρία τους, η μουσική και ο χορός ήταν αλληλεξαρτούμενες τέχνες, με κοινωνικό και τελετουργικό χαρακτήρα και με κοινή συνθετική μήτρα, τον σωματικό ρυθμό. Αυτή η σχέση αλληλεξάρτησης (δηλαδή, η από κοινού συγκρότησή τους, η κοινή πολιτισμική, φιλοσοφική, αισθητική, δομική νοηματοδότησή τους, με άλλα λόγια, η σχέση κατά την οποία η μια δε νοείται χωρίς την άλλη) απαντάται από τις αρχαίες κοινωνίες μέχρι τη σύγχρονη εποχή σε όλες τις εκφάνσεις του λαϊκού πολιτισμού (π.χ., στα πανηγύρια του ελληνικού παραδοσιακού πολιτισμού και στη χορευτική μουσική των κοινωνικών δεξιώσεων).

Η πρώτη άρση της σχέσης αλληλεξάρτησής τους παρατηρείται στη δύση με την άνοδο του χριστιανισμού, κατά την οποία ο χορός, συνδεδεμένος με τον παγανισμό, εγκαταλείφθηκε ως τρόπος λατρείας. [1] Ως παράγωγα όμως του λαϊκού πολιτισμού παρέμειναν τέχνες αλληλεξαρτώμενες. Ως παράγωγα του πολιτισμού της άρχουσας τάξης άνησαν μέσω του μπαλέτου, το οποίο γεννήθηκε την αναγέννηση στις Ιταλία και

Γαλλία και επεκτάθηκε σε όλες τις ευρωπαϊκές αυλές μέχρι και την εποχή του πρώιμου ρομαντισμού. [2] Στο μπαλέτο, κατά κανόνα, η χορογραφία γινόταν πάνω σε ήδη υπάρχουσα μουσική και η οργάνωση του χορού γίνονταν με τρόπο ώστε να συγχρονιστεί με τη μουσική αυτή. [3]

Ενώ μέχρι και τον 19<sup>ο</sup> αιώνα ο χορός και η μουσική ήταν συμπληρωματικές τέχνες (η μουσική υποστήριζε το χορό και ο χορός πλαισίωνε τη μουσική), τον 20<sup>ο</sup> αιώνα άρχισε να κυφορείται η ιδέα της σύζευξης των δύο τεχνών ώστε να προσδώσουν την εντύπωση ενός συνολικού / καθολικού έργου τέχνης. Η σύζευξη αυτή καλλιεργήθηκε ιδιαίτερα από τον Pavlovich Diaghilev (1872-1929), διευθυντή των ρωσικών μπαλέτων, επηρεασμένο σαφώς από την ιδέα του καθολικού έργου τέχνης (Gesamtkunstwerk) του Richard Wagner. [4] Οπαδός της ιδέας του σύζευξης μουσικής και χορού σε ένα καθολικό έργο ήταν και ο Ρώσος χορογράφος Lopukhov. Πίστευε ότι η ιστορία της σχέσης της μουσικής και του χορού είναι γραμμική με αφετηρία την απουσία συσχέτισης και κατάληξη τη δομική ενσωμάτωσή τους. Τη γραμμική αυτή τη χώρισε σε τέσσερα στάδια: στο 1<sup>ο</sup> στάδιο η μουσική και ο χορός είναι τελείως διακριτές τέχνες, στο 2<sup>ο</sup> στάδιο ο χορός και η μουσική συνδέονται ενώ κυριαρχεί ο χορός, στο 3<sup>ο</sup> στάδιο κυριαρχεί η μουσική έναντι του χορού και στο 4<sup>ο</sup> στάδιο οι δύο τέχνες ενσωματώνονται αρμονικά σε μία. [5] Πίστευε ότι μία σειρά από κανόνες οδηγούσαν στην επίτευξη της απόλυτης ένωσης χορού και μουσικής. Για να επιτευχθεί η ενότητα αυτή έπρεπε να υπάρξει αντιστοιχία στη μετρική και στη ρυθμικότητα του θέματος, οι χορευτικές καμπύλες να ταιριάζουν με τις μουσικές, ο χρωματισμός της κίνησης να ταιριάζει με τον χρωματισμό της ενορχήστρωσης, οι καθαρές και φωτεινές μείζονες τονικότητες να συνδέονται με τη ανοιχτή φόρμα του *en dehors*, ενώ οι μελαγχολικές ελάσσονες τονικότητες με τη δυναμική κλειστή κίνηση του *en dedans*, οι τονικές μετατροπίες να αναπαράγονται χορογραφικά κ.λπ. [5]

Η παραδοσιακή χορογραφική πρακτική του συγχρονισμού της κίνησης με μία προϋπάρχουσα μουσική ανατράπηκε τον 20<sup>ο</sup> αι. μ.Χ. ικανοποιώντας τη χορογραφική απαίτηση της μη εξάρτησης του χορού από τη μορφή και το περιεχόμενο της μουσικής. Έτσι, δημιουργήθηκαν χορογραφίες χωρίς μουσική ή με χρήση αποκλειστικά κρουστών,

ενώ για πρώτη φορά δημιουργείται πρώτα η χορογραφία και η μουσική προκύπτει μεταγενέστερα βασισμένη στη χορογραφία αυτή. [1]

Μία από τις σημαντικότερες συμπράξεις συνθέτη και χορογράφου, η οποία προσεγγίζει την έννοια του καθολικού έργου του Diaghilev ήταν αυτή των Stravinsky και Balanchine. [6] Η μουσική και ο χορός ήταν αυτόνομα και ισοδύναμα καλλιτεχνικά στοιχεία σε αρμονική σύμπραξη μεταξύ τους, δημιουργώντας την εντύπωση ότι παρήχθησαν από ένα και μόνον δημιουργό. Ο Stravinsky ήταν ο αρχιτέκτονας του χρόνου και ο Balanchine ο καλύτερος δυνατός συνεργάτης ο οποίος διεύρυνε τη μουσική αρχιτεκτονική στις τρεις διαστάσεις του χώρου. [6] Μερικά από τα σημαντικότερα έργα τους, τα οποία ανήκουν στο ρεύμα του νεοκλασικισμού, είναι τα Apollo (1928), Orpheus (1948) και Agon (1957).

Ο Nijinsky χορογράφησε το μπαλέτο του L'Après-midi d'un faune (1912) χρησιμοποιώντας την ομώνυμη μουσική του Claude Debussy αμιγώς σαν συνοδεία. Η χορογραφία και η σκηνογραφία του μπαλέτου αυτού έγινε με τρόπο ο οποίος αναδεικνύει ότι τόσο η μουσική όσο και τα όσα διαδραματίζονται στη σκηνή είναι εξίσου σημαντικά στο να διαμορφώσουν μία διάθεση και εξίσου ασύνδετα με τις κινήσεις που εκτελούν οι χορευτές, εκτός από τη συνολική χρονική διάρκεια της κάθε πράξης η οποία καθορίζεται από αυτή της μουσικής. [7]

Κομβική ήταν και η συνεργασία του Stravinsky με τον Nijinsky, στη δημιουργία του έργου «Ιεροτελεστία της Άνοιξης» (1913). Το έργο αυτό προσεγγίζει τα χαρακτηριστικά του καθολικού έργου, αφού το θέμα του αντανakλάται τόσο στο κείμενο, όσο και στη συνθετική / χορογραφική πρακτική, αλλά και σε όλη την παραγωγή (σκηνικά, κουστούμια κ.λπ.). Η χορογραφία έγινε διακριτά από τη μουσική, με τον Nijinsky όμως να έχει πολύ καθαρή εικόνα για το πλάνο της μουσικής σύνθεσης και την αίσθηση που θέλει να προσδώσει σε κάθε τμήμα της ο Stravinsky. Μάλιστα, ο Stravinsky έφτιαχνε στο μυαλό του εικόνες από ενδεχόμενες χορογραφικές επιλογές σε συγκεκριμένα μέρη του μουσικού έργου του τις οποίες τις μοιράστηκε, ως προτάσεις, με τον Nijinsky. Το έργο σπάει τα δεσμά του κλασικού μπαλέτου και χρησιμοποιεί εκτός των άλλων φολκλωρικά στοιχεία και έντονα ρυθμικά μοτίβα. [8]

Χαρακτηριστική της εποχής ήταν και η συνεργασία της Martha Graham με συνθέτες της εποχής, με σημαντικότερη αυτή με τον Copland. Επιδίωξή τους ήταν η μείξη χαρακτηριστικών της αμερικανικής folk (τόσο στο χορό όσο και στη μουσική) με μοντέρνα στοιχεία τα οποία προσδίδουν μία νέα ατμόσφαιρα στο αμερικάνικο μοντέρνο μπαλέτο. Όπως με όλους τους συνθέτες, έτσι και με τον Copland, η μουσική σχεδιάστηκε πάνω στον χορό. Η βασική πλοκή και οι δραματουργικοί στόχοι σχεδιάζονταν από κοινού με την χορογράφο και τον συνθέτη, με την πρώτη να προσδιορίζει μία εκτίμηση της διάρκειας κάθε σκηνής. Συνθέτης και χορογράφος δημιουργούσαν τα τμήματα του έργου με βάση την προκαθορισμένη διάρκεια, αρχικά ανεξάρτητα, και αφότου είχε συγκροτηθεί ένα πρωτογενές υλικό, αυτό αναδιαμορφώνονταν για να επιτρέψει το πάντρεμα των δύο επιμέρους δημιουργιών. [8]

Ο Laban, όπως και ο Nijinsky, πίστευε ότι η χορογραφία δεν πρέπει να οργανώνεται ως μία πιστή μετάφραση της μουσικής. Στα έργα του *Die Geblendeten* (1921) και *der Schwingende Tempel* (1922) ο Laban χορογραφεί πάνω σε μινιμαλιστικά μοτίβα κρουστών μουσικών οργάνων καθώς και σε σιωπή για να αναδείξει τον χορό ως ανεξάρτητη μορφή τέχνης σε σχέση με τη μουσική. [9]

Ως ανεξάρτητες οντότητες αντιμετώπιζαν τη μουσική και το χορό, από τα τέλη της δεκαετίας του 1940 οι Cunningham και Cage. [10] Χορογράφος και συνθέτης εργάζονταν ανεξάρτητα, μία μέθοδος η οποία χαρακτηρίστηκε ως «συνεργασία από απόσταση». [11] Με τη μέθοδό τους προκύπταν έργα στα οποία ο χορευτής δεν εξαρτιόνταν καθόλου από τη μουσική. Μία από τις καινοτομίες τις οποίες εισήγαγαν ήταν η χρήση της τυχαιότητας ως συνθετική πρακτική (αλεατορισμός), με (σχεδόν) όλα τα συνθετικά συστατικά να επιλέγονται τυχαία, εκτός από τη διάρκεια.

Η ανεξαρτησία της μουσικής και του χορού, ενώ έχει αναδειχθεί ως μία υπαρκτή τάση στον 20<sup>ο</sup> αι. μ.Χ. δεν αποτελεί τον κανόνα. Ενδεικτικά, στην όπερα *Einstein on the Beach* (1976) του Philip Glass, οι τα γρήγορα και τα επαναλαμβανόμενα μοτίβα της μουσικής αντιστοιχίζονται από αργές και σχεδόν στατικές κινήσεις. [12] Αντίστοιχα, στο έργο *Fase, Four Movements to The Music of Steve Reich* (1982), η μουσική του Steve Reich επηρεάζει δομικά τη χορογραφία της Anne Teresa de Keersmaecker χωρίς όμως να πρόκειται για αντιγραφή της δομής της μουσικής στη δομή του χορού. [13]

Ο σύγχρονος χορογράφος Forsythe αξιοποιεί τη μουσική ως “film music”, δηλαδή, ως μουσική η οποία μπορεί να χρωματίσει την πρόσληψη του δρώμενου από τον θεατή, χωρίς όμως αυτό να συνεπάγεται απαραίτητα ότι ο χορός οργανώνεται από τα δομικά στοιχεία της μουσικής. [14]

Σαν γενική ιστορική κατεύθυνση, οι νέα πραγματικότητα η οποία έχει διαμορφωθεί τον τελευταίο μισό αιώνα έχει διαμορφώσει και νέες μορφές συνεργασίας μουσικής και χορού, οι οποίες σχηματικά είναι ο διαχωρισμός της μουσικής από το χορό, η επίδραση πολλαπλών πολιτισμικών αναφορών, η χρήση εναλλακτικών χώρων επιτέλεσης (π.χ., μουσεία) και η χρήση της τεχνολογίας. [8], [11] Στο επόμενο κεφάλαιο θα περιγράψουμε την αξιοποίηση της τεχνολογίας στη διάδραση μουσικής και χορού.

## 2.2 Παραδείγματα διαδραστικού χορού

Ως διαδραστικός χορός εννοείται το διαδραστικό σύστημα στο οποίο η κίνηση του χορευτή επηρεάζει ένα άλλο πεδίο, ηχητικό ή οπτικό. Η σύγχρονη τεχνολογία επιτρέπει τη χρήση ηλεκτρονικών αισθητήρων οι οποίοι καταγράφουν δεδομένα της ανθρώπινης κίνησης και τα δεδομένα αυτά αξιοποιούνται ως είσοδοι σε έναν αλγόριθμο μετασχηματισμού των δεδομένων της κίνησης σε οπτικά ή ηχητικά δεδομένα.

Στην ενότητα αυτή δεν έχουμε ως στόχο να παρουσιάσουμε ένα αναλυτικό ιστορικό χρονογράφημα του διαδραστικού χορού, αλλά να παρουσιάσουμε κάποια μεμονωμένα παραδείγματα τα οποία αντανακλούν τις διαφορετικές προσεγγίσεις όπως αυτές έχουν αναπτυχθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Το υλικό αντλήθηκε από τα αντίστοιχα κεφάλαια διδακτορικών διατριβών σχετικά με το αντίστοιχο αντικείμενο της διπλωματικής αυτής εργασίας. Πρόκειται για το Choreographic Sound Composition της Jung (2019) [15] και το Interactive sonification strategies for the motion and emotion of dance performances του Landry (2019) [16].

Το πρώτο ιστορικό παράδειγμα διαδραστικού χορού και μουσικής είναι το έργο Variations V (1965) των Cage και Cunningham, ωστόσο η χρήση ηλεκτρονικών αισθητήρων με σκοπό το μετασχηματισμό του χορού σε μουσική έγινε διαδεδομένη από τη δεκαετία του 1990 και έπειτα. [15] Ένα από τα πρώτα συστήματα ηχοποίησης της

κίνησης (movement sonification) η οποία ελέγχεται από ολόκληρο το σώμα του χορευτή ήταν το Very Nervous System (1995) του David Rokeby. [17] Η ανάπτυξη του μοντέλου στηρίζονταν στις διαφοροποιήσεις μεταξύ διαδοχικών frames του βίντεο του χορού, οι οποίες εντοπίζονταν μέσω πρώιμων τεχνικών υπολογιστικής όρασης.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η δουλειά του Todor Todoroff ο οποίος από τη δεκαετία του 1990 αναπτύσσει μηχανισμούς ελέγχου της μουσικής σύνθεσης από αισθητήρες καταγραφής των χειρονομιών. Τα τελευταία χρόνια έχει προσανατολιστεί στους ασύρματους αισθητήρες και στη χρήση στερεοσκοπικών καμερών για να χρησιμοποιηθούν επί σκηνής από τους χορευτές. [18] Σε συνεργασία με πυροτεχνουργούς ανέπτυξε το project FireTraSe<sup>1</sup> στο οποίο 25 ηλεκτρονικά φλόγιστρα έχουν τοποθετηθεί σε σειρά και ενεργοποιούνται όταν ο χορευτής περάσει πίσω από αυτά. [19]

Ο Carlos Guedes δημιούργησε μεθόδους εξαγωγής πληροφοριών για το ρυθμό της χορευτικής κίνησης καταγεγραμμένης από μία κάμερα. [20] Για να το πετύχει αυτό συνεργάστηκε με τον χορογράφο Doris Humphrey ο οποίος ταξινόμησε τους χορευτικούς ρυθμούς. Η ανάλυση μοτίβων της κίνησης με στόχο τη καλλιτεχνική δημιουργία είναι ένα από τα πολλά ερευνητικά πεδία της διάδρασης ανθρώπου – υπολογιστή (Human Computer Interaction). [21] Αρκετοί ερευνητές χρησιμοποιούν δεδομένα από τη φυσιολογία του χορευτή μέσω βιοσημάτων, όπως αναπνευστικά μοτίβα [22] ή καρδιογραφήματα και ηλεκτρομυογραφήματα [23].

Ένα από τα πιο ολοκληρωμένα ερευνητικά έργα είναι το MEGA (Multisensory Expressive Gesture Applications). [24] Στο έργο αυτό διερευνώνται οι μηχανισμοί μη λεκτικής επικοινωνίας οι οποίοι έχουν ως στόχο τη μετάδοση πληροφορίας υψηλού επιπέδου με χρήση εκφραστικών χειρονομιών. Αυτοί οι μηχανισμοί αξιοποιούνται για τη σχεδίαση καλλιτεχνικών πολυτροπικών διαδραστικών εφαρμογών μουσικής / χορού / βίντεο. Μέσω του MEGA έργου αναπτύχθηκαν μοντέλα εξαγωγής, αναπαράστασης και επεξεργασίας των εκφραστικών χειρονομιών σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, εξετάστηκε η σχέση μεταξύ αντικειμενικών χαρακτηριστικών του μέσου και υποκειμενικών αξιολογήσεων του συναισθήματος.

---

<sup>1</sup> <https://vimeo.com/198146154>



Ενδιαφέρουσα ήταν η προσέγγιση της Anna Källblad (2008) η οποία δημιούργησε μία διαδραστική εγκατάσταση στην οποία η ανθρώπινη κίνηση ελέγχει τον ήχο και τον φωτισμό του χώρου. [25] Η έρευνα βασίστηκε στη μελέτη της κίνησης των παιδιών στο παιχνίδι, η οποία τροφοδότησε με υλικό μια χορογραφία. Πρωτότυπη μουσική συντέθηκε για τη χορογραφία αυτή, η οποία με τη σειρά της αποκωδικοποιήθηκε και χορογραφήθηκε σε κενό χώρο δημιουργώντας τη διαδραστική χορευτική εγκατάσταση.

Μια διαφορετική προσέγγιση στο διαδραστικό χορό είναι η δημιουργία «φορετών» προσθετικών μουσικών οργάνων (wearable prosthetic musical instruments). Παράδειγμα είναι η εργασία των Hattwick και Malloch [26], οι οποίοι, κατά τη διαδικασία σχεδιασμού των προσθετικών οργάνων, συνεργάστηκαν στενά με τη χορογράφο Isabelle Van Grimde και την ομάδα της Van Grimde Corps Secrets. Σκοπός της συνεργασίας αυτής ήταν να διευρύνουν την προσέγγισή τους από αμιγώς τεχνική σε καλλιτεχνική / δημιουργική. Με τη μέθοδο αυτή δημιούργησαν το Spine<sup>2</sup> (Εικόνα 2-1), το οποίο είναι μια εξωτερική προέκταση της σπονδυλικής στήλης, για την παράσταση Les Gestes (2011–2013). Ενώ οι τυπικές προσεγγίσεις του διαδραστικού χορού επιδιώκουν την ελεύθερη κίνηση των χορευτών, και ως εκ τούτου, οι αισθητήρες σχεδιάζονται για να την επιτρέπουν, το συγκεκριμένο όργανο, το οποίο λειτουργεί ως έμμεσος αισθητήρας, λόγω της γεωμετρίας του και της σύνδεσής του με το ανθρώπινο σώμα, επιβάλλει περιορισμούς στην κίνηση οι οποίοι λειτουργούν ως μια χορογραφική πρόκληση. [27]

---

<sup>2</sup> <https://josephmalloch.wordpress.com/portfolio/spine/>



Εικόνα 2-1 Το προσθετικό μουσικό όργανο Spine των Hattwick και Malloch για την παράσταση *Les Gestes*<sup>3</sup>

Μια άλλη εκδοχή του διαδραστικού χορού είναι η προβολή εικόνων τόσο στα σώματα των χορευτών όσο και στα σκηνικά, οι οποίες προκύπτουν από δεδομένα της κίνησης. Ένα παράδειγμα είναι το έργο *Apparition* (2004) του Klaus Obermaier και της ομάδας *Ars Electronica Futurelab*. Στο συγκεκριμένο έργο, ένα σύστημα καταγραφής της κίνησης μέσω μίας ειδικής κάμερας παρείχε δεδομένα από την κίνηση δύο χορευτών τα οποία πυροδοτούσαν ευμεγέθους προβολές στο χώρο. Ο μουσικός Manabe, σε συνεργασία με την ερευνητική ομάδα *Rhizomatiks* [28], έκαναν χρήση προβολών, στα έργα *Cube*<sup>4</sup> (2013) και *Border*<sup>5</sup> (2015) (Εικόνα 2-2). Το δεύτερο πρόκειται για ένα έργο με χρήση μεθόδων επαυξημένης πραγματικότητας, στο οποίο οι χορευτές χορεύουν μαζί με εικονικούς τρισδιάστατους χορευτές οι οποίοι προέκυψαν από έναν μεγάλο όγκο δεδομένων της ανθρώπινης χορευτικής κίνησης<sup>6</sup>.

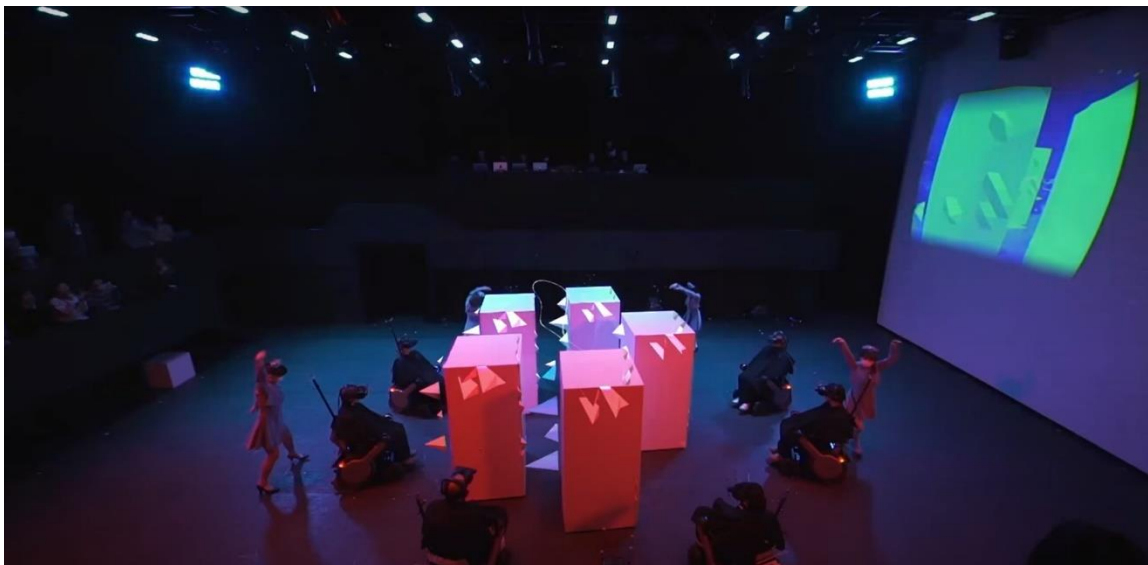
---

<sup>3</sup> <https://www.dezeen.com/2013/08/12/instrumented-bodies-by-joseph-malloch-and-ian-hattwick/>

<sup>4</sup> [https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=zBm3mJiJzh8&ab\\_channel=daitomanabe](https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=zBm3mJiJzh8&ab_channel=daitomanabe)

<sup>5</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=gpE20khn8R0&ab\\_channel=daitomanabe](https://www.youtube.com/watch?v=gpE20khn8R0&ab_channel=daitomanabe)

<sup>6</sup> <https://features.japantimes.co.jp/media-art-pt1/>



*Εικόνα 2-2 Στιγμιότυπο από την παράσταση Border (Rhizomatiks). Διακρίνονται οι θεατές οι οποίοι κάθονται σε ειδικές κινούμενες καρέκλες και φορούν γυαλιά εικονικής πραγματικότητας, οι performers και ψηφιακά σκηνογραφικά στοιχεία επαυξημένης πραγματικότητας (τα λευκά ορθογώνια παραλληλεπίπεδα).*

Οι σύγχρονες προσεγγίσεις επιδιώκουν την ηχοποίηση όχι μόνο της κίνησης αλλά και των συναισθημάτων που απορρέουν από αυτή. Παράδειγμα είναι η πλατφόρμα iISoP (immersive interactive sonification platform) [16], [29], η οποία βασίστηκε στην ανάπτυξη στρατηγικών μετάδοσης συναισθήματος μέσω του ήχου και στην αντικειμενική και υποκειμενική αξιολόγηση παραμέτρων της κίνησης. Σημαντική συνιστώσα της σχεδίασης του μοντέλου ηχοποίησης ήταν το τελικό ηχητικό αποτέλεσμα να έχει αισθητική αξία και να συνδράμει στην ανάπτυξη μίας μουσικο-χορευτικής παράστασης.

Η Jung επισημαίνει ότι πρέπει να διευρυνθούν οι επεξεργασίες γύρω από τον διαδραστικό χορό ώστε να συμπεριλάβουν, πέρα από τις τεχνικές και τις αισθητικές διαστάσεις. [15], [30] Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιεί την τεχνολογία ως εργαλείο μίας συνθετικής πράξης, αλλά παράλληλα, μέσω της συνεργασίας με χορευτές, επιδιώκει μία περισσότερο χορογραφική κατεύθυνση. Η μεθοδολογία της στηρίζεται στη χορευτική θεωρία του Laban και στις χορογραφικές μεθόδους των William Forsythe και Wayne McGregor. Χρησιμοποιεί ενσύρματους αισθητήρες οι οποίοι επιβάλλουν περιορισμούς

στην κίνηση δημιουργώντας μία χορογραφική πρόκληση η οποία προσεγγίζεται μέσω του αυτοσχεδιασμού από κοινού με τον χορευτή (Εικόνα 2-3).



*Εικόνα 2-3 Απόσπασμα από την παράσταση POETIC CORNER[S] στο Vivarium Festival της Πορτογαλίας (2019) της Jung In Jung με performer την Κατερίνα Φώτη.<sup>7</sup> Στο στιγμιότυπο αυτό απεικονίζονται οι ενσύρματοι αισθητήρες καταγραφής της κίνησης.*

---

<sup>7</sup> <https://www.junginjung.com/poeticcorners>

### 2.3 Προηγούμενες μελέτες στο αντικείμενο του διαδραστικού χορού και μουσικής με χρήση τεχνικών μηχανικής εκμάθησης

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε παραδείγματα διαδραστικού χορού και μουσικής τα οποία προέκυψαν με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης.

Ο Katan, σε συνεργασία με την χορογράφο Iris Karayan, πρότειναν ένα μοντέλο ηχοποίησης της κίνησης ανθρώπων με προβλήματα όρασης (μερική ή ολική τυφλότητα). [31] Έπειτα από δοκιμές με ποικίλους αισθητήρες κατέληξαν ότι οι κάμερες δε λειτουργούν στην περίπτωση ανθρώπων με πρόβλημα όρασης γιατί τους προσθέτει μία επιπλέον προϋπόθεση, τον προσανατολισμό προς την κάμερα, απαίτηση δύσκολη χωρίς δυνατότητα όρασης. Κατέληξαν ότι οι πιο αποδοτικοί αισθητήρες είναι οι φορετοί (wearable) οι οποίοι διευκολύνουν την επικοινωνία της πληροφορίας η οποία περιγράφει την κίνηση στη διάσταση του χρόνου (π.χ., το μήκος και η περιοδικότητα μιας φράσης) καθώς και πιο αφηρημένων πληροφοριών, όπως το πλάτος και η επιτάχυνση της κίνησης. Στην εργασία αυτή, η τεχνικές μηχανικής μάθησης λειτουργούν ως μέσο δημιουργίας πλούσιων συνεχών σημάτων ελέγχου στα οποία αποτυπώνεται ο ήχος ως σήμα αναφοράς της κίνησης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήσαν νευρωνικά δίκτυα μέσω των οποίων έγινε αντιστοίχιση πολλών παραμέτρων της κίνησης σε μία ηχητική παράμετρο τη φορά (many to one mapping). Μία από τις δυσκολίες της χρήσης της συγκεκριμένης τεχνικής μηχανικής μάθησης, ήταν οι μη γραμμικότητες των παραγόμενων μοντέλων.

Το Kontrol είναι ένα σύστημα το οποίο επιτρέπει τον διαισθητικό έλεγχο παραμέτρων της ηλεκτρονικής μουσικής από οργανοπαίκτες μουσικών οργάνων και χορευτές, μέσω μίας ηλεκτρονικής διεπαφής η οποία καταγράφει και αναγνωρίζει τις εκφραστικές χειρονομίες του ανθρώπινου χεριού. [32] Στόχος του Kontrol είναι να αυξήσει τις εκφραστικές δυνατότητες του performer, είτε πρόκειται για έναν οργανοπαίκτη παραδοσιακού (μη ηλεκτρονικού) μουσικού οργάνου είτε πρόκειται για χορευτή. Ο αισθητήρας στηρίζεται στη χρήση επιταχυνσιομέτρων (accelerometers) και στους τρεις χωρικούς άξονες, οι οποίοι τοποθετούνται σε κάθε δάχτυλο. Έτσι, παρέχεται δεδομένα υψηλής ανάλυσης των λεπτών εκφραστικών κινήσεων του χεριού. Αυτά τα δεδομένα μεταφράζονται σε χρήσιμη και αξιοποιήσιμη πληροφορία με τεχνικές μηχανικής μάθησης οι οποίες ταξινομούν τις χειρονομίες. Η ταξινόμηση αυτή είναι είτε

στατική (ένα μοναδικό χωρικό διάνυσμα) ή δυναμική (ακολουθία χωρικών διανυσμάτων).

Μία άλλη εφαρμογή μετατροπής των χειρονομιών (gestures) σε μουσική είναι το Wekinating 000000Swan, το οποίο χρησιμοποιεί τεχνικές διαδραστικής μηχανικής μάθησης, για να δημιουργήσει τόσο διακριτά όσο και συνεχή μοντέλα ελέγχου ηχητικών και οπτικών παραμέτρων, αξιοποιώντας τα δεδομένα από δύο αισθητήρες, ένα εμπορικό αισθητήρα-δοξάρι και μία κάμερα Microsoft Kinect. [33]

Το GANs and Poses είναι μία διαδραστική πολυμεσική εγκατάσταση η οποία χρησιμοποιεί πόζες του ανθρώπινου σώματος για τον έλεγχο τεχνητών νευρωνικών δικτύων τα οποία δημιουργούν αποσπάσματα μιας μουσικής οργάνωσης. [34] Για να δίνει κίνητρο στο χρήστη, η εγκατάσταση αυτή έχει φτιαχτεί μέσω μιας διεπαφής χρήστη που θυμίζει βιντεοπαιχνίδι (game-style UI) η οποία ανταμείβει το κοινό με ηχητική και οπτική ανάδραση, η οποία με τη σειρά της οδηγεί τη διαδικασία μέσω της οποίας δομείται η μουσική. Η εργασία αυτή χρησιμοποιεί έναν αριθμό από τεχνητά νευρωνικά δίκτυα για να ανιχνεύσει πρόσωπα και τις πόζες τους, για να ταξινομήσει χορευτικές κινήσεις και να δημιουργήσει ρυθμικά και μελωδικά μοτίβα.

Για την αυτοματοποιημένη δημιουργία μουσικής χρησιμοποιούνται και δευτερογενή δεδομένα της κίνησης, όπως αυτά από τα ηλεκτρομυογραφήματα τα οποία παρέχουν δεδομένα για τη μυϊκή δραστηριότητα κατά την κίνηση. [35]

Αρκετές εργασίες υλοποιούν το αντίστροφο, δηλαδή η αυτοματοποιημένη δημιουργία κίνησης από τον ήχο με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης. [36]–[39]

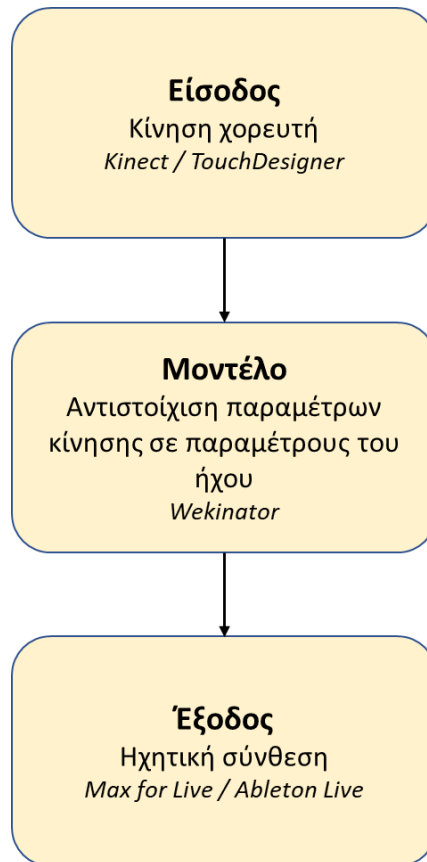
## 3 Υλοποίηση

---

Στην ενότητα αυτή θα περιγράψουμε αναλυτικά τη μεθοδολογία που υιοθετήσαμε για τον αυτοματοποιημένο μετασχηματισμό παραμέτρων της κίνησης σε παραμέτρους του ήχου. Στην υποενότητα 3.1 θα παρουσιάσουμε, εν είδη εγχειριδίου χρήσης, το τεχνικό σκέλος του μοντέλου μας. Τα επιμέρους εργαλεία τα οποία θα παρουσιαστούν στην υποενότητα αυτά θα αξιοποιηθούν για τη δημιουργία μιας performance, της οποίας ο σχεδιασμός και η υλοποίηση θα παρουσιαστούν στην υποενότητα 3.2.

### 3.1 Μεθοδολογία / Ανάπτυξη μοντέλου

Πρόκειται για ένα σύστημα το οποίο έχει ως είσοδο την ανθρώπινη κίνηση και έξοδο μία ηχητική σύνθεση (Εικόνα 3-1). Η δομική συσχέτιση της κίνησης με τους ήχους υλοποιείται αλγοριθμικά στο μοντέλο μας. Πιο συγκεκριμένα, μέσω ενός Kinect αισθητήρα και του προγράμματος Touchdesigner συλλέγουμε τα δεδομένα για την ανθρώπινη κίνηση. Έπειτα, τα δεδομένα αυτά αξιοποιούνται για τον προσδιορισμό παραμέτρων της ανθρώπινης κίνησης, με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης μέσω του προγράμματος Wekinator. Η αντιστοίχιση αυτών των παραμέτρων κίνησης σε παραμέτρους του ήχου, δηλαδή η τελική ηχητική σύνθεση, υλοποιείται μέσω των Max for Live / Ableton live. Η αποστολή των πακέτων με τα δεδομένα από το ένα στάδιο στο άλλο (δηλαδή από το Kinect/Touchdesigner στο Wekinator, και από το Wekinator στο Max for Live / Ableton Live) γίνεται μέσω του προγράμματος MAX MSP.



Εικόνα 3-1 Το μπλοκ διάγραμμα της μεθοδολογίας

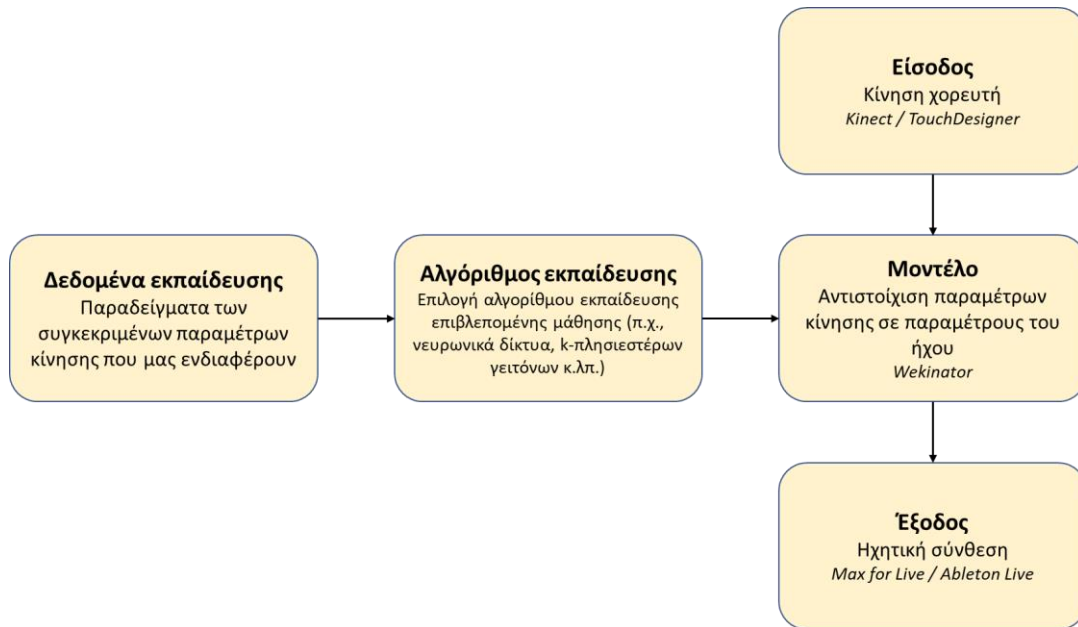
Το μοντέλο μας είναι βασισμένο σε τεχνικές μηχανικής μάθησης. Ο λόγος είναι ότι διευκολύνουν στην υλοποίηση των συνθετικών ιδεών σε σύγκριση με τον κλασικό προγραμματισμό. Η μηχανική μάθηση αναπτύχθηκε μέσω της αξιοποίησης της αναγνώρισης προτύπων και της υπολογιστικής θεωρίας μάθησης της τεχνητής νοημοσύνης και διαφοροποιείται από τον κλασικό προγραμματισμό. Ο κλασικός προγραμματισμός είναι η ρητή διατύπωση ενός αλγορίθμου αναφορικά με την επίλυση ενός προβλήματος. Ο αλγόριθμος αυτός, λοιπόν, είναι παράγωγο μιας προγραμματιστικής σκέψης η οποία πρέπει να είναι με σαφήνεια μεταφρασμένη στη μαθηματική γλώσσα των υπολογιστών. Αντίθετα, η μηχανική μάθηση, όπως το όνομά της προδίδει, είναι μια εναλλακτική διαδικασία για τον προσδιορισμό του αλγορίθμου προς την υπολογιστική επίλυση ενός προβλήματος. Ο αλγόριθμος στη μηχανική μάθηση προκύπτει από τη δυνατότητα του μοντέλου να μαθαίνει μόνο του, εντοπίζοντας τα



μοτίβα που ενυπάρχουν στα δεδομένα τα οποία εξετάζει. Η μηχανική μάθηση χωρίζεται σε δύο μεγάλα πεδία, την επιβλεπόμενη (supervised) και τη μη επιβλεπόμενη (unsupervised). Στην πρώτη, τα δεδομένα χαρακτηρίζονται με βάση κάποια εκ των προτέρων κατηγοριοποίηση. Το μοντέλο εκπαιδεύεται με δεδομένα τα οποία έχουν χαρακτηριστεί με βάση κάποια κατηγορία. Για παράδειγμα, ένα σετ με φωτογραφίες ζώων τα οποία το μοντέλο, παράλληλα με την κάθε φωτογραφία πληροφορείται και για το ζώο το οποίο απεικονίζεται. Το μοντέλο, κατά την εκπαίδευση, ψάχνει να βρει έναν γενικό κανόνα ο οποίος δικαιολογεί την κατηγοριοποίηση των δεδομένων εκπαίδευσης. Έτσι, αφότου εκπαιδευτεί, όταν το μοντέλο δέχεται νέα δεδομένα / φωτογραφίες, αποφαινεται για το ποιο ζώο απεικονίζεται. Στη μη επιβλεπόμενη μάθηση, δεν υπάρχει μία εκ των προτέρων κατηγοριοποίηση. Το μοντέλο αναζητά πιθανές δομές οι οποίες μπορεί να ενυπάρχουν στα μη κατηγοριοποιημένα δεδομένα. Στην εργασία αυτή μας ενδιαφέρει να συσχετίσουμε δεδομένες παραμέτρους της κίνησης με παραμέτρους του ήχου. Θέλουμε, επομένως, να αναπτύξουμε ένα μοντέλο το οποίο θα μπορεί να εντοπίζει την κατηγορία της κίνησης την οποία επιτελεί ο χορευτής (π.χ., το δεξί χέρι ανεβαίνει, η λεκάνη κινείται κυκλικά δεξιόστροφα, το πόδι είναι τεντωμένο ή λυγισμένο κ.λπ.). Λόγω της φύσης του προβλήματός μας, χρησιμοποιήσαμε τεχνικές επιβλεπόμενης μάθησης (Εικόνα 3-2).

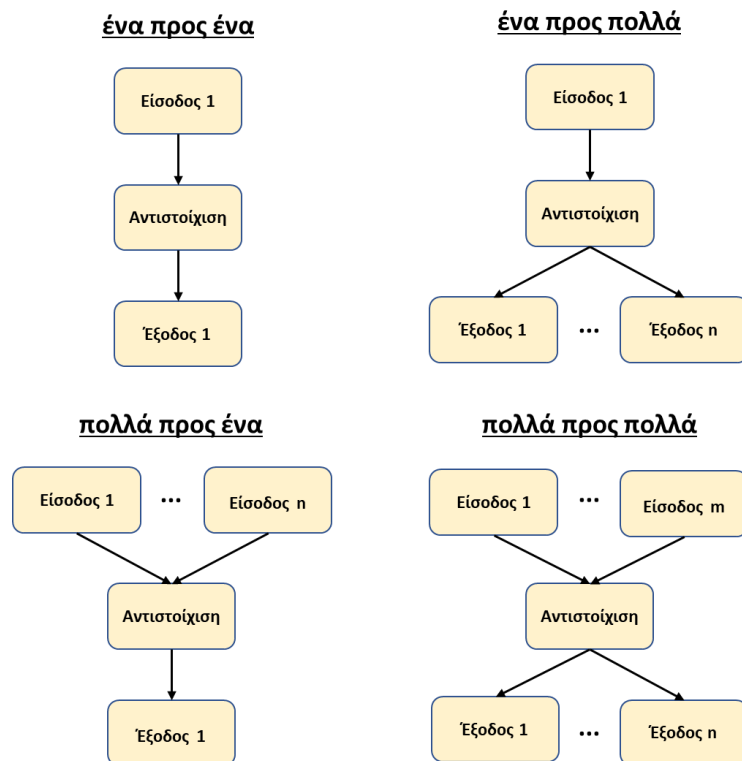
Με ένα παράδειγμα θα προσπαθήσουμε να περιγράψουμε το λόγω της υπεροχής των τεχνικών μηχανικής μάθησης σε σύγκριση με τον κλασικό προγραμματισμό στη φύση του προβλήματός μας. Έστω ότι ένας υπολογιστής καλείται να αποφασίσει για το αν το χέρι ενός χορευτή κάνει μία κυκλική κίνηση. Στον κλασικό προγραμματισμό, ο προγραμματιστής πρέπει να είναι σε θέση να διαβάσει τις συντεταγμένες κάθε στιγμιότυπου της κίνησης και να αποφαινεται εφαρμόζοντας αρχές της γεωμετρίας στο κατά πόσον αυτές οι συντεταγμένες ισαπέχουν από ένα θεωρητικό κέντρο. Πρόκειται για ένα αρκετά πολύπλοκο προγραμματιστικά πρόβλημα. Με εφαρμογές μηχανικής μάθησης το πρόβλημα αυτό απλουστεύεται σημαντικά. Ο προγραμματιστής πρέπει να εκπαιδεύσει το μοντέλο του, δηλαδή να του παρέχει παραδείγματα κυκλικών και μη κυκλικών κινήσεων. Το μοντέλο, μέσω κάποιων τεχνικών, θα μάθει μόνο του να αναγνωρίζει ποιες είναι κυκλικές κινήσεις και ποιες όχι. Έτσι, λοιπόν, σε καλλιτεχνικές εφαρμογές, όπως αυτή της πτυχιακής αυτής εργασίας, το ενδιαφέρον μετατοπίζεται από τη λύση ενός

πολύπλοκου προγραμματιστικού προβλήματος, στην εύρεση ενός ικανοποιητικού σετ εκπαίδευσης του μοντέλου. Ο δημιουργός δε χρειάζεται να αντιμετωπίσει μεγάλες προγραμματιστικές προκλήσεις, αλλά να δημιουργήσει εύχρηστα εργαλεία τα οποία θα ανταποκρίνονται στους στόχους τους οποίους θέτει.



Εικόνα 3-2 Το πλήρες μπλοκ διάγραμμα της μεθοδολογίας μας, το οποίο περιλαμβάνει τα απαραίτητα μπλοκ για την υλοποίηση της επιβλεπόμενης μηχανικής μάθησης

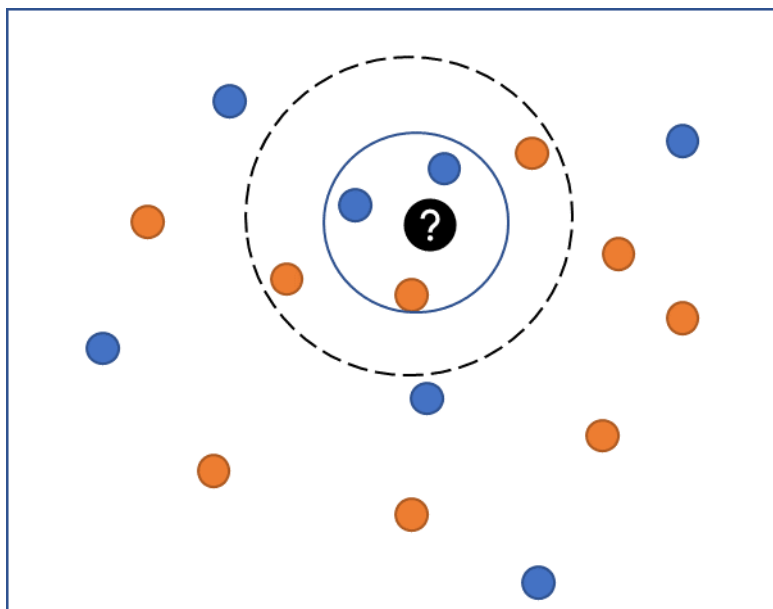
Το μοντέλο μας μπορεί να υλοποιήσει διαφόρων ειδών σχέσεις οι οποίες εξαρτώνται από τον αριθμό των παραμέτρων κίνησης και ήχου που συμμετέχουν (Εικόνα 3-3). Οι κατηγορίες των συσχετίσεων είναι τέσσερις: 1) Σχέση ένα προς ένα (one to one): μία παράμετρος κίνησης αντιστοιχίζεται με μία μόνο παράμετρο του ήχου, 2) σχέση ένα προς πολλά (one to many): μία παράμετρος κίνησης αντιστοιχίζεται με πολλές (όπου πολλές θεωρούνται οι περισσότερες της μίας) παραμέτρους του ήχου, 3) σχέση πολλά προς ένα (many to one): πολλές παράμετροι της κίνησης αντιστοιχίζονται με μία μόνο παράμετρο του ήχου και 4) σχέση πολλά προς πολλά (many to many): πολλές παράμετροι της κίνησης αντιστοιχίζονται σε πολλές παραμέτρους του ήχου.



Εικόνα 3-3 Κατηγορίες αντιστοιχίσεων ανάλογα με τον αριθμό των παραμέτρων της κίνησης και του ήχου που συμμετέχουν

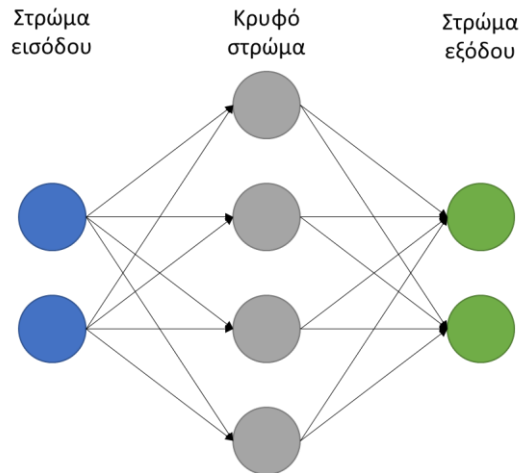
Οι αλγόριθμοι εκπαίδευσης τους οποίους δοκιμάσαμε στην ανάπτυξη του μοντέλου ήταν οι. **K- πλησιέστερος γείτονας**, νευρωνικά δίκτυα, γραμμική / πολυωνυμική παρεμβολή.

**K- πλησιέστερος γείτονας ταξινομητής:** Σε έναν χώρο είναι τοποθετημένα τα δεδομένα από την εκπαίδευση του μοντέλου με το κάθε ένα να ανήκει σε μία κατηγορία. Για να αποφασίσει το μοντέλο σε ποια κατηγορία ανήκει ένα νέο δεδομένο άγνωστης κατηγορίας εξετάζονται οι  $k$  πλησιέστεροι γείτονές του. Η κατηγορία του άγνωστου δεδομένου είναι η κατηγορία των περισσότερων από τους  $k$  πλησιέστερους γείτονές του. Για παράδειγμα, στην Εικόνα 3-4, αν  $k=3$  τότε το άγνωστο δεδομένο κατηγοριοποιείται ως μπλε, αφού δύο από τους τρεις πλησιέστερους γείτονες είναι μπλε, ενώ αν  $k=5$  τότε το ως πορτοκαλί, αφού τρεις από τους πέντε πλησιέστερους γείτονες είναι πορτοκαλί.



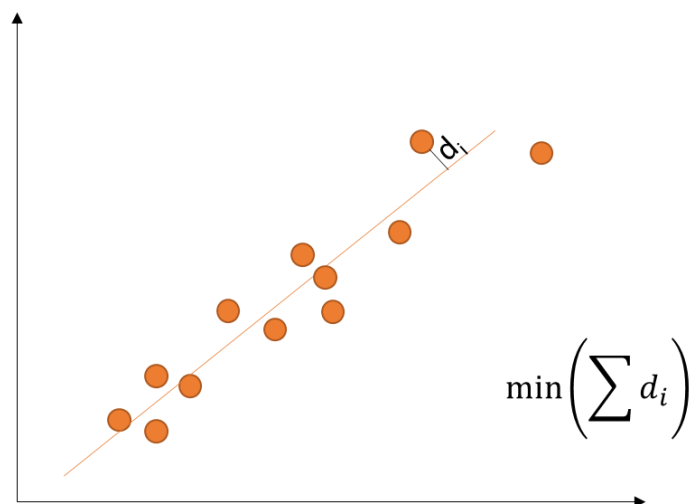
Εικόνα 3-4 Ταξινόμητης  $k$ -πλησιέστεροι γείτονες. Αν  $k=3$  τότε το άγνωστο δεδομένο κατηγοριοποιείται ως μπλε, αφού δύο από τους 3 πλησιέστερους γείτονες είναι μπλε, ενώ αν  $k=5$  τότε το ως πορτοκαλί, αφού τρεις από τους 5 πλησιέστερους γείτονες είναι πορτοκαλί.

Νευρωνικά δίκτυα: Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα είναι εμπνευσμένα από τον τρόπο δικτύωσης των νευρώνων του ανθρώπινου εγκεφάλου. Τα νευρωνικά δίκτυα συγκροτούνται από επιμέρους μονάδες αποθήκευσης και επεξεργασίας πληροφορίας οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους. Δομούνται σε στρώματα. Το στρώμα εισόδου περιλαμβάνει τις τιμές του προς κατηγοριοποίηση στοιχείου (π.χ., οι rgb τιμές για κάθε pixel μιας φωτογραφίας). Το στρώμα εξόδου περιλαμβάνει τις πιθανές κατηγορίες (π.χ., αν η φωτογραφία απεικονίζει βουνό ή θάλασσα). Ενδιάμεσα υπάρχουν κρυφά στρώματα. Η είσοδος κάθε στρώματος εξαρτάται από την έξοδο του προηγούμενού του στρώματος και τα βάρη με τα οποία πολλαπλασιάζεται κάθε μία από αυτές τις εξόδους (Εικόνα 3-5). Το νευρωνικό δίκτυο έχει τη δυνατότητα να τροποποιεί τις συνδέσεις που συμβαίνουν καθώς και τις τιμές των βαρών. Κατά τη διαδικασία εκπαίδευσης το μοντέλο πληροφορείται για το αν μάντεψε σωστά την κατηγορία στην οποία ανήκει η είσοδος και αναλόγως αναπροσαρμόζει τη δομή του (ενισχυμένη μηχανική μάθηση). Αφότου εκπαιδευτεί με ένα κατάλληλο αριθμό δεδομένων εκπαίδευσης παγιώνει τη δομή του.



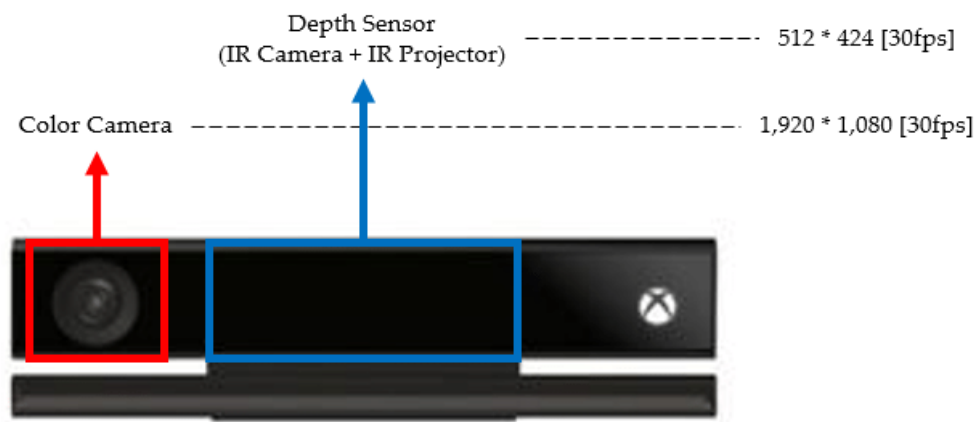
Εικόνα 3-5 Λειτουργία νευρωνικού δικτύου.

Γραμμική / πολυωνυμική παρεμβολή: Η παρεμβολή είναι μία μαθηματική διαδικασία μέσω της οποίας προσδιορίζεται εκείνη η γραμμή η οποία ανταποκρίνεται καλύτερα στην περιγραφή ενός σετ δεδομένων. Η γραμμή αυτή είναι εκείνη για την οποία το άθροισμα των αποστάσεων κάθε δεδομένου από αυτήν είναι ελάχιστη (Εικόνα 3-6). Όταν η γραμμή αυτή προκύπτει από την εξίσωση της ευθείας έχουμε την περίπτωση της γραμμικής παρεμβολής, ενώ όταν προκύπτει από την γραφική παράσταση ενός πολυωνύμου έχουμε την περίπτωση της πολυωνυμικής παρεμβολής.



Εικόνα 3-6 Γραμμική παρεμβολή

Στις επόμενες παραγράφους θα αναφερθούμε στο λογισμικό (software) και στο υλικό (hardware) που χρησιμοποιήσαμε.

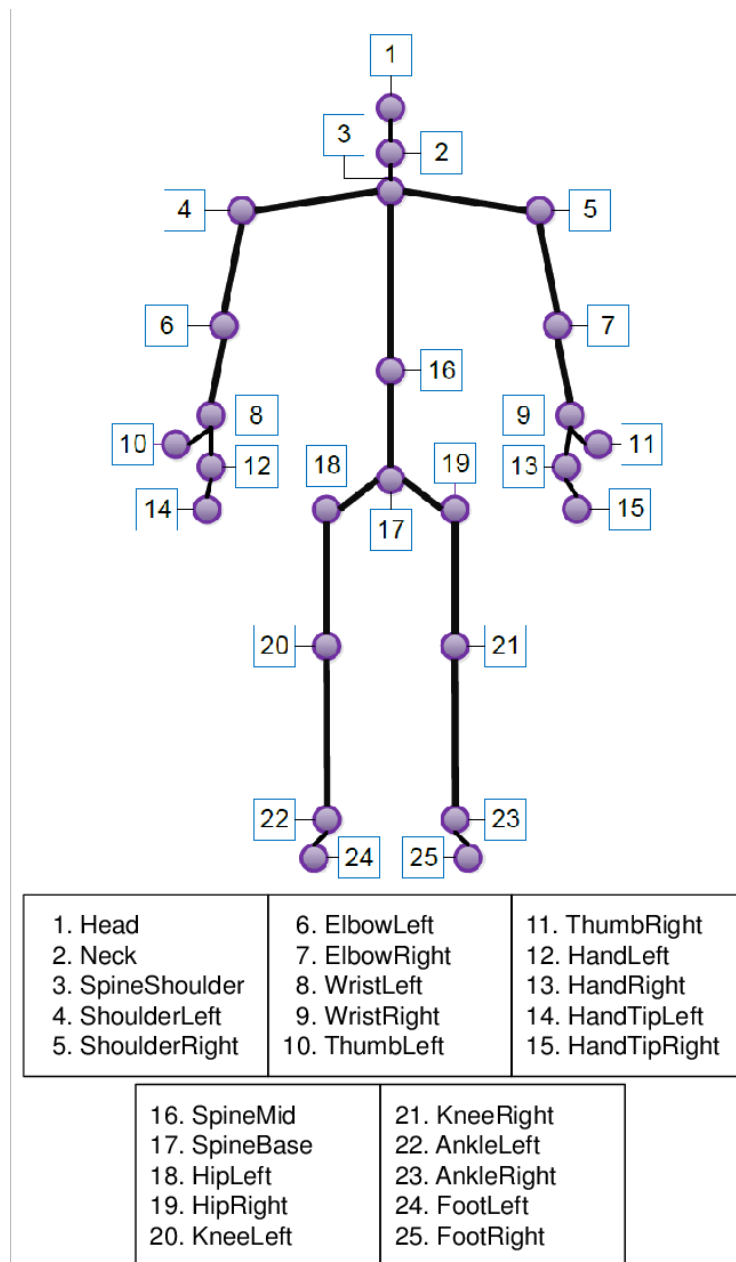


*Εικόνα 3-7 Η κάμερα / αισθητήρας Kinect. Στην εικόνα απεικονίζεται η τυπική έγχρωμη κάμερα (με κόκκινο πλαίσιο) και ο αισθητήρας βάθους μέσω εκπομπής και λήψης υπέρυθρης ακτινοβολίας (με μπλε πλαίσιο). Η εικόνα προέρχεται από την εργασία [40]*

Η καταγραφή δεδομένων της ανθρώπινης κίνησης προϋποθέτει κάποιον σχετικό αισθητήρα (π.χ., game-controllers, αισθητήρες μέτρησης αδράνειας / συντεταγμένων / επιτάχυνσης, γυροσκόπια, κ.α.). Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήσαμε τον αισθητήρα Kinect<sup>8</sup>. Πρόκειται για μία κάμερα στην οποία είναι ενσωματωμένες τεχνολογίες καταγραφής της κίνησης, η οποία αναπτύχθηκε από τη Microsoft (πρώτη έκδοση το 2010). Μια σειρά από εργαλεία συνεργούν στο να λειτουργεί ως αισθητήρας. Πρωτίστως, πρόκειται για μία τυπική κάμερα η οποία απεικονίζει τις RGB συνιστώσες ανά pixel. Παράλληλα, έχει τη δυνατότητα να εκπέμπει και να ανιχνεύει υπέρυθρες ακτινοβολίες, καθώς και να μετρά τον χρόνο τον οποίο χρειάζεται η ακτινοβολία για να επιστρέψει ξανά στην κάμερα μετά την εκπομπή της. Με τον τρόπο αυτό παρέχει πληροφορίες για το βάθος των αντικείμενων στο χώρο (Εικόνα 3-7). Τα δεδομένα αυτά επεξεργάζονται από κατάλληλο λογισμικό το οποίο έχει αναπτυχθεί επίσης από την

<sup>8</sup> <https://developer.microsoft.com/el-gr/windows/kinect/>

Microsoft μέσω του οποίου γίνεται σε πραγματικό χρόνο αναγνώριση της κίνησης, των φωνητικών εντολών αλλά και η ανίχνευση του σκελετού (Εικόνα 3-8) ορισμένου αριθμού σωμάτων στο χώρο. Η Kinect, λοιπόν, λειτουργεί τόσο ως περιφερειακή συσκευή αντί μίας τυπικής web κάμερας, όσο και ως μία διεπαφή αλληλεπίδρασης του χρήστη με τον υπολογιστή. [41]



Εικόνα 3-8 Οι 25 σύνδεσμοι και αρθρώσεις του ανθρώπινου σώματος για τα οποία παρέχει δεδομένα αναφορικά με τη θέση τους στο χώρο η Kinect v2 μέσω του λογισμικού Skeleton. Η εικόνα προέρχεται από την εργασία [42]

Το πρόγραμμα TouchDesigner (αναπτύχθηκε από την εταιρία Derivative<sup>9</sup>) στηρίζεται στο γραφικό προγραμματισμό για την ανάπτυξη διαδραστικού πολυμεσικού περιεχομένου σε πραγματικό χρόνο. Χρησιμοποιείται από καλλιτέχνες, προγραμματιστές, performer για τη δημιουργία ψηφιακών οπτικών (visuals) σε παραστάσεις και εγκαταστάσεις (installations).

<sup>9</sup> <https://derivative.ca/>



Το Wekinator<sup>10</sup> είναι ένα δωρεάν πρόγραμμα ανοιχτού λογισμικού το οποίο επιτρέπει την εύκολη και γρήγορη χρήση, χωρίς την προϋπόθεση ανεπτυγμένων γνώσεων προγραμματισμού, τεχνικών μηχανικής μάθησης για ανάπτυξη καλλιτεχνικών εφαρμογών. Αναπτύχθηκε το 2009 από τη Rebecca Fiebrink.

Το Max Msp είναι μία οπτική γλώσσα προγραμματισμού για την ανάπτυξη μουσικής και πολυμεσικών εφαρμογών, της εταιρίας Cycling '74<sup>11</sup>. Η πρώτη ανάπτυξή του έγινε πριν από τρεις δεκαετίες περίπου και έκτοτε έχει αναδειχθεί σε ένα από τα δημοφιλέστερα περιβάλλοντα για τη δημιουργία ηχογραφήσεων, συνθέσεων, ψηφιακών εφέ και ψηφιακών οπτικοακουστικών παραστάσεων, τόσο από συνθέτες, performer και καλλιτέχνες, όσο και από προγραμματιστές και ερευνητές.

Το Ableton Live<sup>12</sup> είναι ένα ψηφιακό περιβάλλον εργασίας με ήχους (digital audio workstation). Χρησιμοποιείται από μουσικούς, συνθέτες, ηχολήπτες, dj κ.α. για την ηχογράφηση, επεξεργασία, μείξη, mastering ήχων και είναι εφοδιασμένο με ποικίλα εφέ και βιβλιοθήκες ήχου. Το Max for live<sup>13</sup> στηρίζεται στο πρόγραμμα Max Msp (το οποίο περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο) και είναι ενσωματωμένο στο Ableton Live. Δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να τροποποιήσει τις υπάρχουσες δυνατότητες του Ableton Live καθώς και να υλοποιήσει νέες, δημιουργώντας περισσότερο εξειδικευμένες επιλογές.

Μία σημαντική παράμετρος της εύρυθμης λειτουργίας του μοντέλου μας είναι η διατήρηση μιας συγκεκριμένης διάταξης. Ο λόγος είναι η διατήρηση των συνθηκών τόσο κατά την εκπαίδευση όσο και κατά την εκτέλεση του μοντέλου. Εφόσον ο αισθητήρας που έχουμε επιλέξει παρέχει δεδομένα για τις θέσεις σημείων του ανθρώπινου σώματος στο χώρο λειτουργεί ως σημείο αναφοράς. Επομένως, αν αλλάξει η χωρική σχέση του χορευτή με τον αισθητήρα, τότε αλλάζει και το σημεία αναφοράς, άρα τα αρχικά δεδομένα στα οποία εκπαιδεύτηκε το μοντέλο παύουν να περιγράφουν τη θέση του χορευτή στο χώρο. Η διάταξη πάνω στην οποία στήθηκε το μοντέλο μας περιλαμβάνει την περιοχή στην οποία οριοθετείται η κίνηση του χορευτή και έχει διαστάσεις πλάτος

---

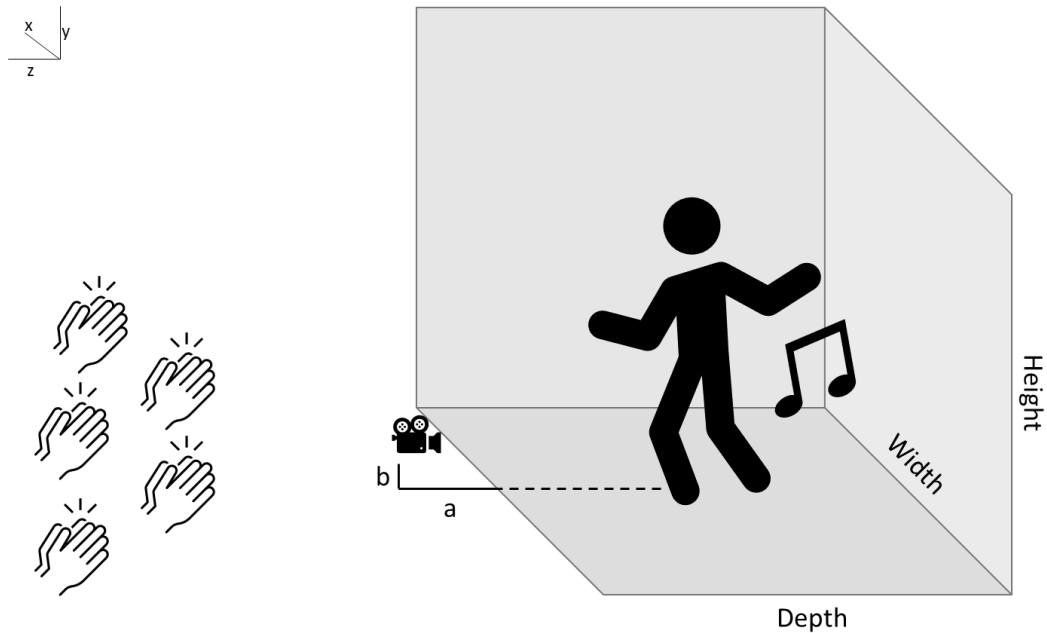
<sup>10</sup> <http://www.wekinator.org/>

<sup>11</sup> <https://cycling74.com/products/max>

<sup>12</sup> <https://www.ableton.com/en/live/>

<sup>13</sup> <https://www.ableton.com/en/live/max-for-live/>

2.5m, βάθος 2m και ύψος 2.2m. Η κάμερα Kinect ήταν στημένη στη μέση της διάστασης του πλάτους, σε απόσταση 0.5m από τη σκηνή του χορευτή, σε ύψος 0.05m και προσανατολισμό προς τη σκηνή (Εικόνα 3-9).



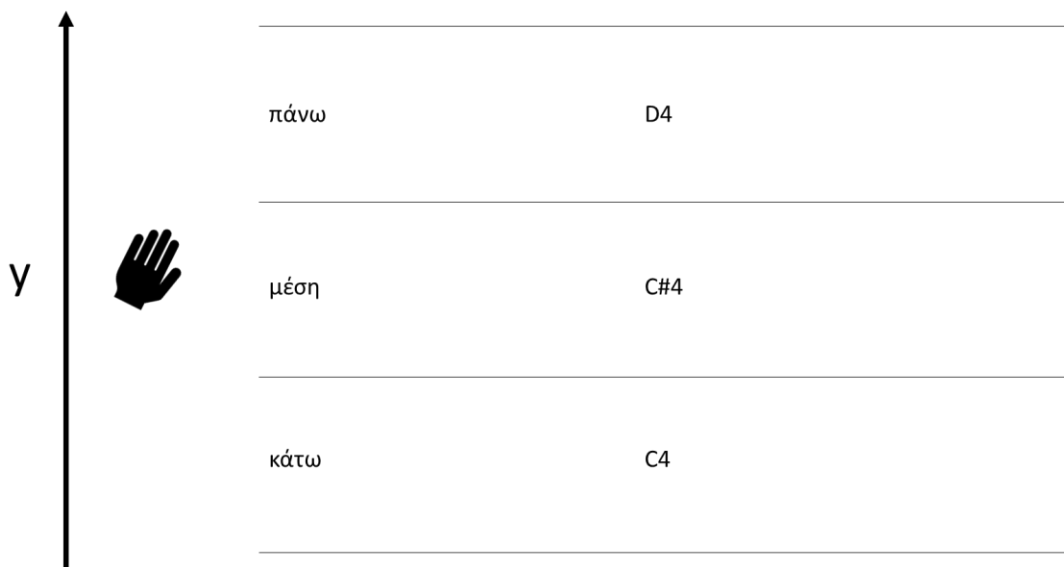
Εικόνα 3-9 Διάταξη. Ο χορευτής επιτρέπεται να κινείται σε μία σκηνή συγκεκριμένου πλάτους (width), βάθους (depth) και ύψους (height). Η κάμερα Kinect είναι τοποθετημένη σε απόσταση  $a$  από τη σκηνή του χορευτή, σε ύψος  $b$  και ακριβώς στη μέση της διάστασης του πλάτους. Με εικόνες από παλαμάκια απεικονίζεται το θεωρητικό κοινό σε σχέση με τη σκηνή.

### 3.2 Υλοποίηση των βασικών συστατικών του μοντέλου (αντιστοίχιση παραμέτρων κίνησης με ηχητικά γεγονότα)

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε το πώς εξειδικεύεται η μεθοδολογία μας ανάλογα με το ποιες παραμέτρους της κίνησης επιλέγουμε να αντιστοιχίσουμε σε παραμέτρους του ήχου. Στόχος της ενότητας αυτής είναι η επίλυση των οποίων τεχνικών ζητημάτων, ώστε να γίνει εφικτή η αντιστοίχιση παραμέτρων της κίνησης με του ήχου. Η παρουσίαση έχει αμιγώς τεχνικό χαρακτήρα, ενώ το αισθητικό και δημιουργικό στοιχείο θα μας απασχολήσει στην ενότητα 3.3.

### 3.2.1 Θέση άρθρωσης στο διακριτό χώρο

Στόχος είναι να χωριστεί ο χώρος στη διάσταση  $y$  σε τρία τμήματα (πάνω, μέση και κάτω) και ο ήχος να εξαρτάται από το τμήμα στο οποίο βρίσκεται κάθε στιγμή ο αριστερός καρπός (Εικόνα 3-10). Στην Εικόνα 3-11 φαίνεται ο τρόπος επιλογής της άρθρωσης του αριστερού καρπού, όπως αυτός κινείται στη διάσταση  $y$ . Τα δεδομένα της κίνησης στέλνονται μέσω του πρωτοκόλλου UDP<sup>14</sup> στην θύρα<sup>15</sup> 1000 του εσωτερικού δικτύου του ίδιου του υπολογιστή (localhost) με μηνύματα Open Sound Control (OSC)<sup>16</sup> (Εικόνα 3-12).

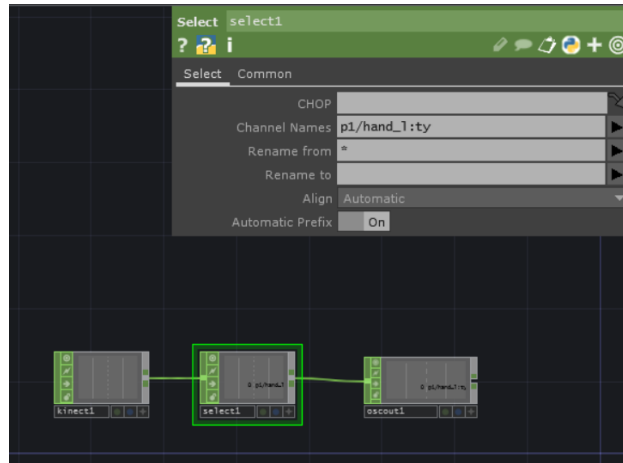


Εικόνα 3-10 Αντιστοίχιση παραμέτρου κίνησης σε παράμετρο του ήχου.

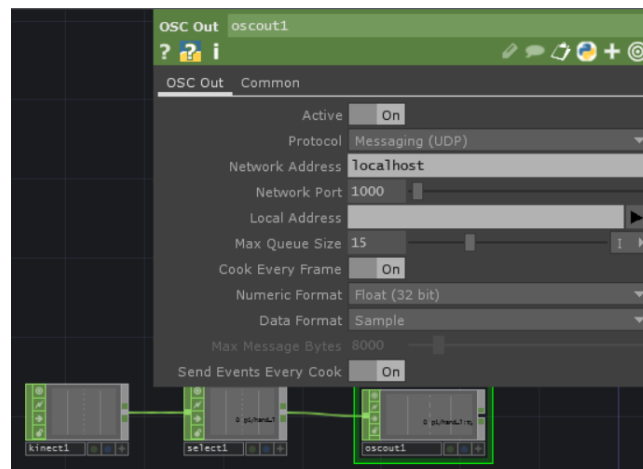
<sup>14</sup> Το Universal Datagram Protocol (UDP) είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας στο διαδίκτυο για τη μετάδοση μηνυμάτων. Το πρωτόκολλο αυτό εξασφαλίζει ταχύτητα στην επικοινωνία αλλά όχι αξιοπιστία. Χρησιμοποιείται, ως επί το πλείστον, σε εφαρμογές audio και video streaming, όπως και η δική μας.

<sup>15</sup> Στα δίκτυα υπολογιστών οι επικοινωνιακοί κόμβοι από τους οποίους ξεκινά και καταλήγει η αποστολή μηνυμάτων ονομάζονται θύρες (ports) και η διεύθυνσή τους είναι ένας αριθμός.

<sup>16</sup> Το Open Sound Control (OSC) είναι ένα πρωτόκολλο μεταφοράς πληροφορίας μεταξύ ηλεκτρονικών υπολογιστών και έξυπνων συσκευών.



Εικόνα 3-11 Επιλογή παραμέτρου κίνησης. Εν προκειμένω, της κίνησης στον άξονα y της άρθρωσης του αριστερού καρπού στο πρόγραμμα TouchDesigner με είσοδο τον αισθητήρα Kinect v2. Το όνομα της μεταβλητής η οποία φέρει τα δεδομένα της κίνησης είναι p1/hand\_1:ty, όπου hand αντιστοιχεί στον καρπό, l στον αριστερό (από το αγγλικό left) και y η διάσταση y.

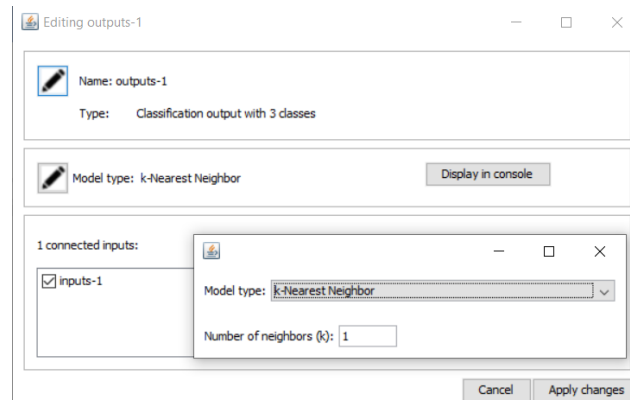


Εικόνα 3-12 Δρομολόγηση πακέτων από το TouchDesigner. Η δρομολόγηση μέσω του πρωτοκόλλου UDP στην θύρα (Network Port) 1000, με διεύθυνση δικτύου τον ίδιο τον υπολογιστή (Network Address: localhost), με μηνύματα OSC.

Το Max Msp λαμβάνει τα UDP μηνύματα τα οποία έστειλε το TouchDesigner μέσω της θύρας 1000 (udpreceive 1000), κρατάει μόνο τα αριθμητικά δεδομένα και τα πακετάρει εκ νέου (pak 1.) με πρόθεμα το οποίο θα γίνεται κατανοητό από το Wekinator (prepend /wek/inputs) και στέλνει, με τη σειρά του, OSC μηνύματα μέσω του πρωτοκόλλου UDP στη θύρα 6448 του ίδιου του υπολογιστή (udp send localhost 6448) (Εικόνα 3-13).

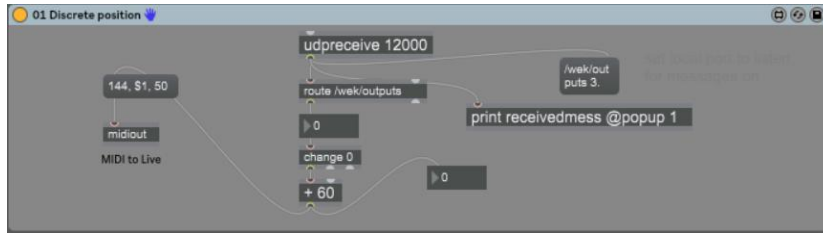


Ο αλγόριθμος εκπαίδευσης που επιλέχθηκε ήταν ο  $k$ -πλησιέστερος γείτονας (βλ. ενότητα 0), για  $k$  ίσο με ένα (Εικόνα 3-15).



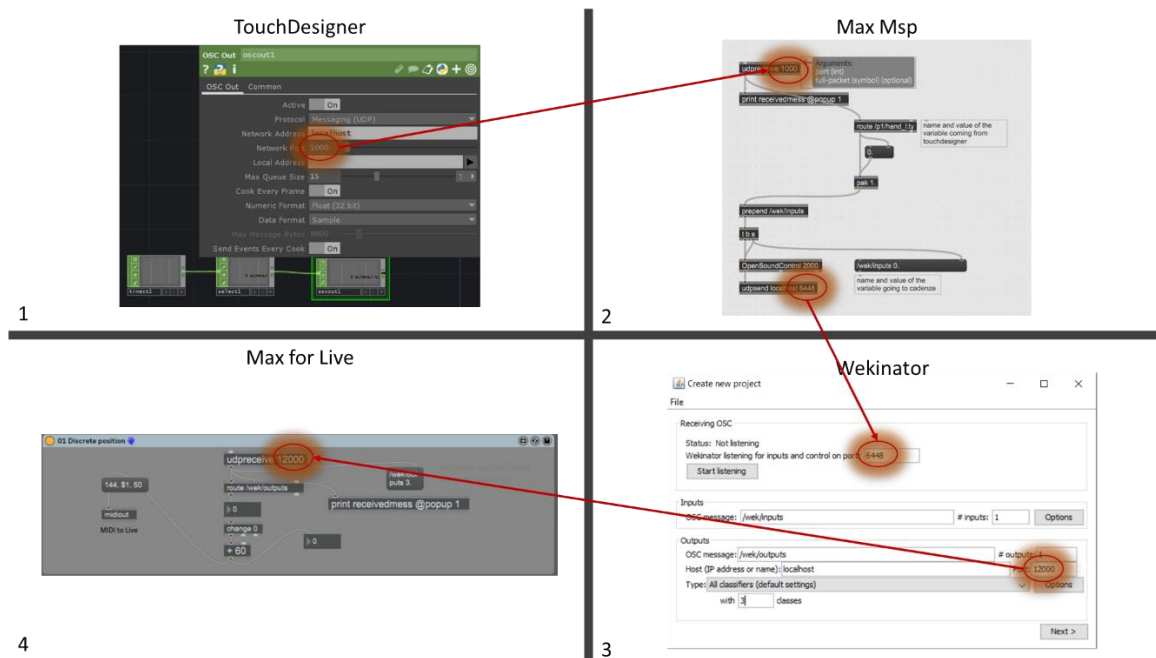
Εικόνα 3-15 Αλγόριθμος εκπαίδευσης. Το πρόβλημα είναι κατηγοριοποίηση σε τρεις κατηγορίες (classification output with 3 classes) και ο αλγόριθμος εκπαίδευσης είναι ο  $k$ -πλησιέστερος γείτονας ( $k$ -Nearest Neighbor) με  $k = 1$ .

Αφότου το μοντέλο εκπαιδεύτηκε και είναι σε θέση να αναγνωρίζει με πιστότητα το αν ο αριστερός καρπός βρίσκεται κάτω, στη μέση ή πάνω στο χώρο (παράμετρος της κίνησης) εκκρεμεί η αντιστοίχιση με τις νότες C4, C#4 και D4. Η δημιουργία ήχου γίνεται μέσω ψηφιακών βιβλιοθηκών ενσωματωμένων στο Ableton live οι οποίες ενεργοποιούνται από MIDI εντολές. Έτσι, υλοποιήσαμε MIDI Objects στο Max for Live, το οποίο παρέχει τις πληροφορίες για την αναπαραγωγή ήχου, δηλαδή τη διάρκεια, τη νότα και την ένταση. Επιλέγουμε η διάρκεια και η ένταση να είναι σταθερές για κάθε νότα, με τιμές 144 και 50 αντίστοιχα (Εικόνα 3-16), ενώ μεταβλητή είναι η Midi νότα. Οι νότες C4, C#4 και D4 αντιστοιχούν στις Midi νότες 61, 62 και 63 αντίστοιχα. Το Wekinator εξάγει για την κατηγορία κάτω την τιμή 1, για τη μέση 2 και για την πάνω 3. Επομένως, όταν το Max for Live λαμβάνει μέσω της θύρας 12000 τις πληροφορίες αυτές, τις προσθέτει με το 60, ώστε να παραχθούν οι νότες 61, 62 και 63 (Εικόνα 3-16).



Εικόνα 3-16 Αντιστοίχιση σε παράμετρο του ήχου. Το Max for Live λαμβάνει τα udp μηνύματα που έστειλε το Wekinator στη θύρα 12000 (udpreceive 12000). Οι εισερχόμενες τιμές είναι 1 (κάτω), 2 (μέση) και 3 (πάνω) οι οποίες προστίθενται στο 60 για να δώσουν το τονικό ύψος της MIDI νότας (61 κάτω, 62 μέση και 63 πάνω).

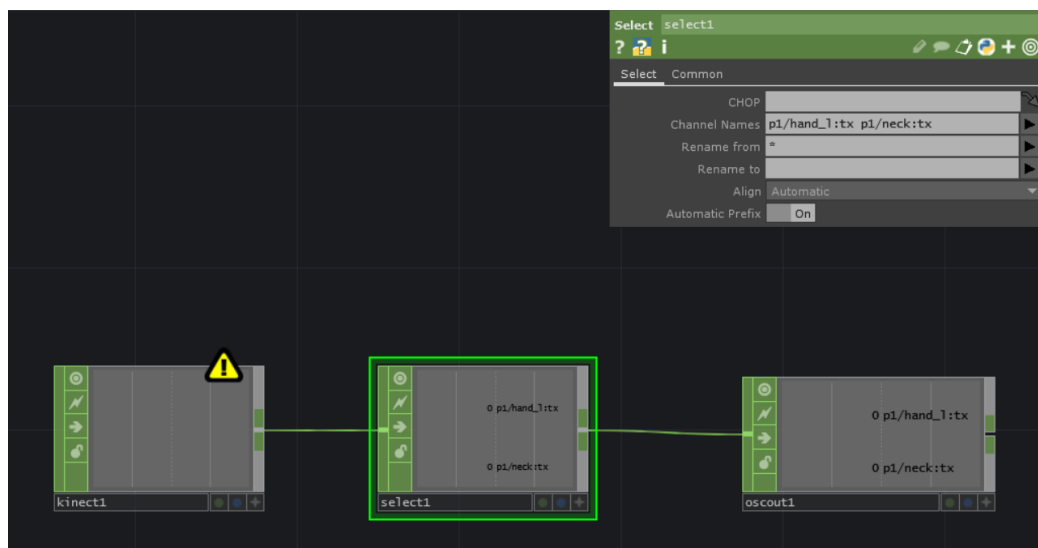
Έχοντας παρουσιάσει όλη τη διαδικασία αντιστοίχισης της θέσης του αριστερού καρπού στο διακριτό χώρο σε MIDI νότες, θα παρουσιάσουμε συγκεντρωτικά τη δρομολόγηση της πληροφορίας ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή συνδεσιμότητα στην Εικόνα 3-17.



Εικόνα 3-17 Η ροή πληροφορίας στο μοντέλο.

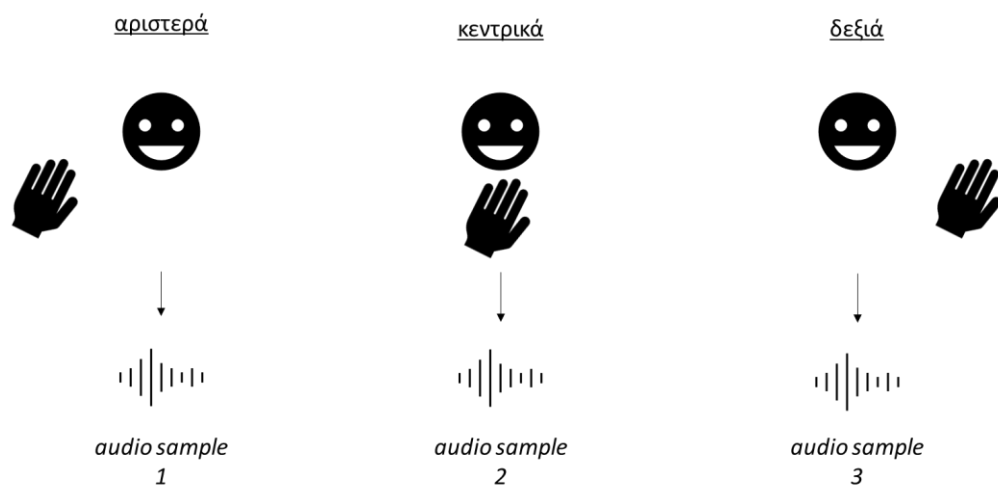
### 3.2.2 Σχετική διακριτή θέση δύο αρθρώσεων

Ενώ στην προηγούμενη περίπτωση (υποενότητα 3.2.1) ασχοληθήκαμε με τη θέση μίας άρθρωσης στο διακριτό χώρο, στην παρούσα θα ασχοληθούμε με τη διακριτή σχετική θέση δύο αρθρώσεων. Αυτό σημαίνει ότι δε μας ενδιαφέρει που βρίσκονται στον χώρο αυτές οι δύο αρθρώσεις, αλλά ποια είναι η μεταξύ τους σχέση. Πιο συγκεκριμένα, θα περιγράψουμε την περίπτωση του αριστερού χεριού σε σχέση με τον κορμό (η θέση του κορμού προσδιορίζεται από τη θέση του λαιμού, Εικόνα 3-18). Επιλέξαμε και πάλι τρεις κατηγορίες: το χέρι μπορεί να βρίσκεται αριστερά, κεντρικά και δεξιά σε σχέση με τον κορμό. Κάθε μία κατηγορία ενεργοποιεί ένα διαφορετικό ηχητικό δείγμα (Εικόνα 3-19).

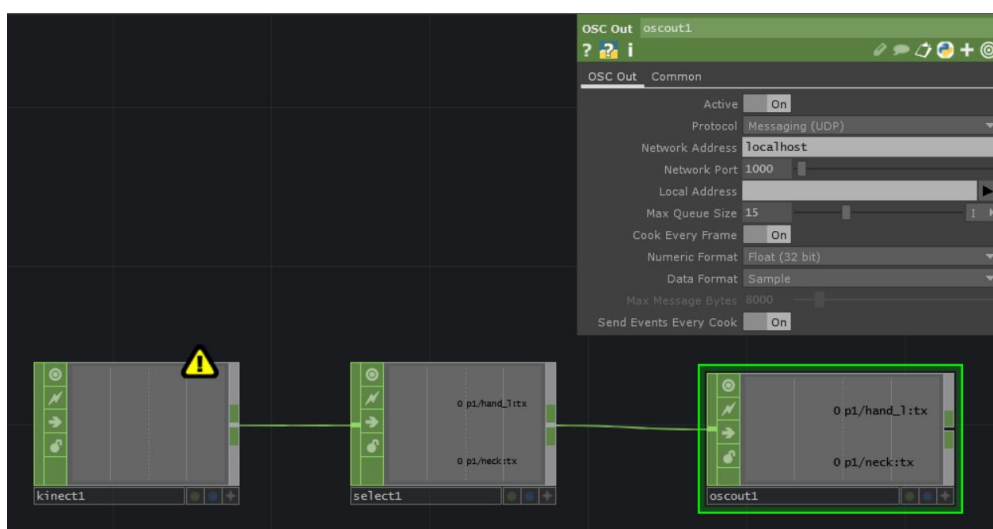


Εικόνα 3-18 Επιλογή των αρθρώσεων που παρέχει η Kinect στο πρόγραμμα Touchdesigner.



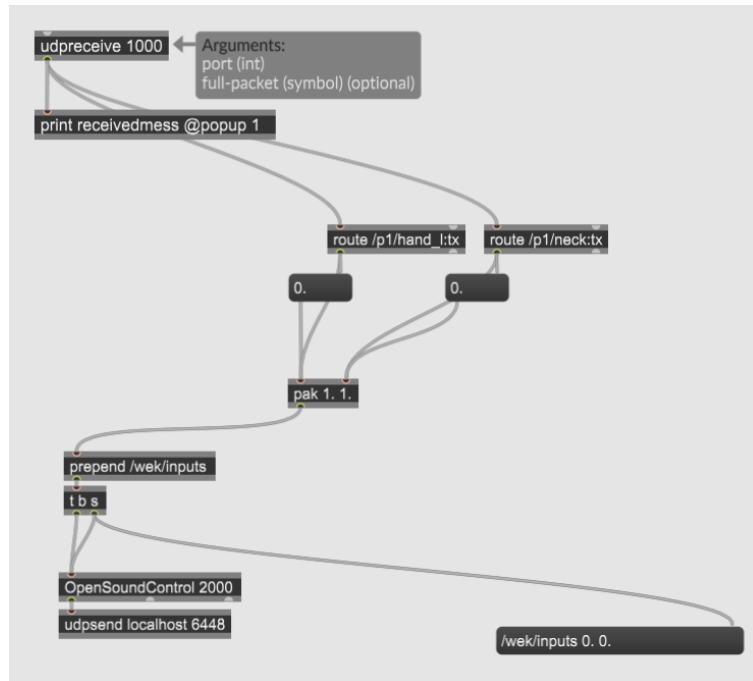


Εικόνα 3-19 Αντιστοίχιση παραμέτρου κίνησης σε παράμετρο του ήχου.



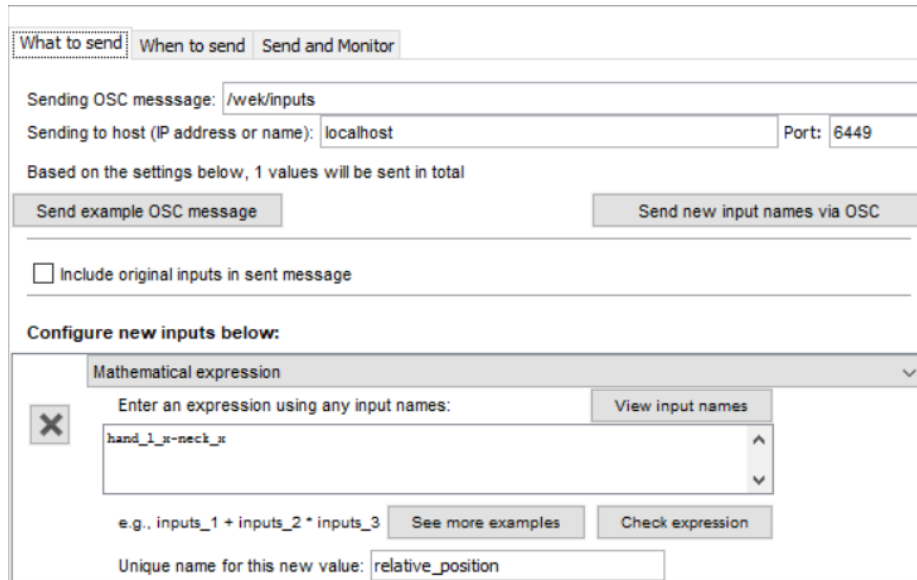
Εικόνα 3-20 Δρομολόγηση πακέτων από το TouchDesigner.

Με παρεμφερή τρόπο με την προηγούμενη υποενότητα, το Max Msp λαμβάνει τα UDP μηνύματα τα οποία έστειλε το TouchDesigner μέσω της θύρας 1000 (Εικόνα 3-20 και Εικόνα 3-21), και στέλνει, με τη σειρά του, OSC μηνύματα μέσω του πρωτοκόλλου UDP στη θύρα 6448 του ίδιου του υπολογιστή (Εικόνα 3-21).

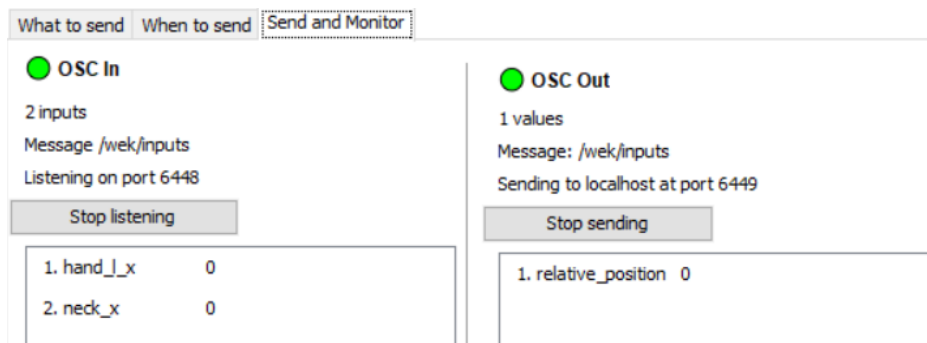


Εικόνα 3-21 Δρομολόγηση δεδομένων από το TouchDesigner στο Wekinator, μέσω του Max Msp.

Το Wekinator όμως, σε αντίθεση με την προηγούμενη ενότητα, δε θέλει να λάβει τα πρωτογενή δεδομένα της θέσης των αρθρώσεων όπως αυτά εξήχθησαν από το Kinect/TouchDesigner. Αντίθετα, χρειάζεται να πάρει τη σχετική τους θέση, η οποία μαθηματικά εκφράζεται μέσω της διαφοράς. Η ομάδα υλοποίησης του Wekinator έχει δημιουργήσει επίσης ένα βοηθητικό πρόγραμμα, το Wekinator Helper, το οποίο έχει τη δυνατότητα να τροποποιεί μέσω μαθηματικών διαδικασιών τα δεδομένα. Το Wekinator Helper, λοιπόν, λαμβάνει μέσω της θύρας 6448 τα δεδομένα της θέσης του αριστερού χεριού και του αυχένα, υπολογίζει τη διαφοράς τους ορίζοντας μία νέα μεταβλητή (*relative\_position*) την οποία τη στέλνει εκ νέου μέσω της θύρας 6449 (Εικόνα 3-22 και Εικόνα 3-23).

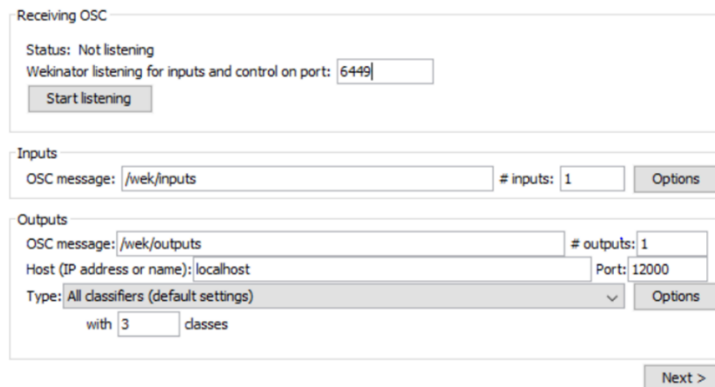


Εικόνα 3-22 Υπολογισμός της σχετικής θέσης των αρθρώσεων του χεριού και του λαιμού μέσω της μαθηματικής σχέσης της αφαίρεσης στο πρόγραμμα Wekinator Helper.



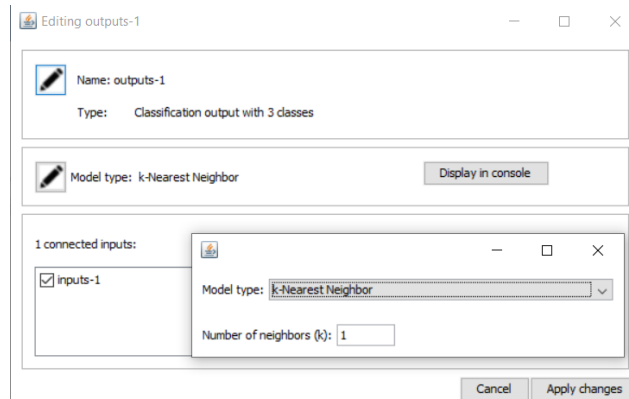
Εικόνα 3-23 Το Wekinator Helper λαμβάνει, μέσω της θύρας 6448, τα δεδομένα της κίνησης του αριστερού χεριού και του λαιμού και αφότου υπολογίσει την σχετική τους θέση, την αποστέλλει μέσω της θύρας 6449.

Το Wekinator, με τη σειρά του, αρχίζει να λαμβάνει τα δεδομένα της μίας εισόδου (relative\_position) με OSC μηνύματα από το Wekinator Helper μέσω της θύρας 6449, και προετοιμάζεται να στείλει μία έξοδο με τρεις κατηγορίες (αριστερά, κεντρικά και δεξιά) στο Max for Live μέσω της θύρας 12000 (Εικόνα 3-24).



Εικόνα 3-24 Ρύθμιση των παραμέτρων εισόδου και εξόδου του Wekinator.

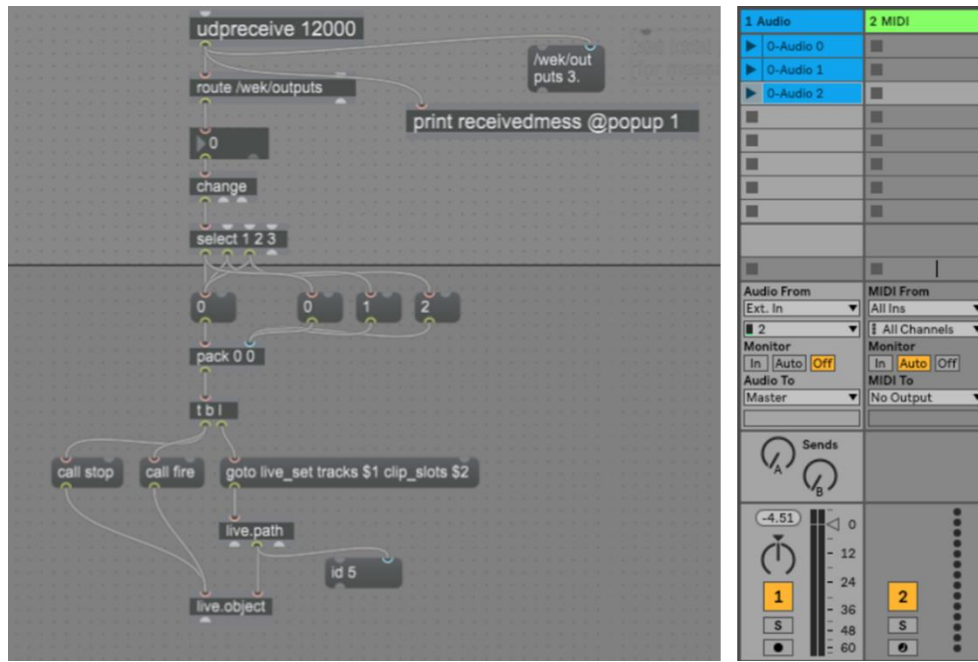
Ο αλγόριθμος εκπαίδευσης που επιλέχθηκε ήταν ο  $k$ -πλησιέστερος γείτονας (βλ. ενότητα 0), για  $k$  ίσο με ένα (Εικόνα 3-25).



Εικόνα 3-25 Αλγόριθμος εκπαίδευσης. Το πρόβλημα είναι κατηγοριοποίηση σε τρεις κατηγορίες (classification output with 3 classes) και ο αλγόριθμος εκπαίδευσης είναι ο  $k$ -πλησιέστερος γείτονας ( $k$ -Nearest Neighbor) με  $k = 1$ .

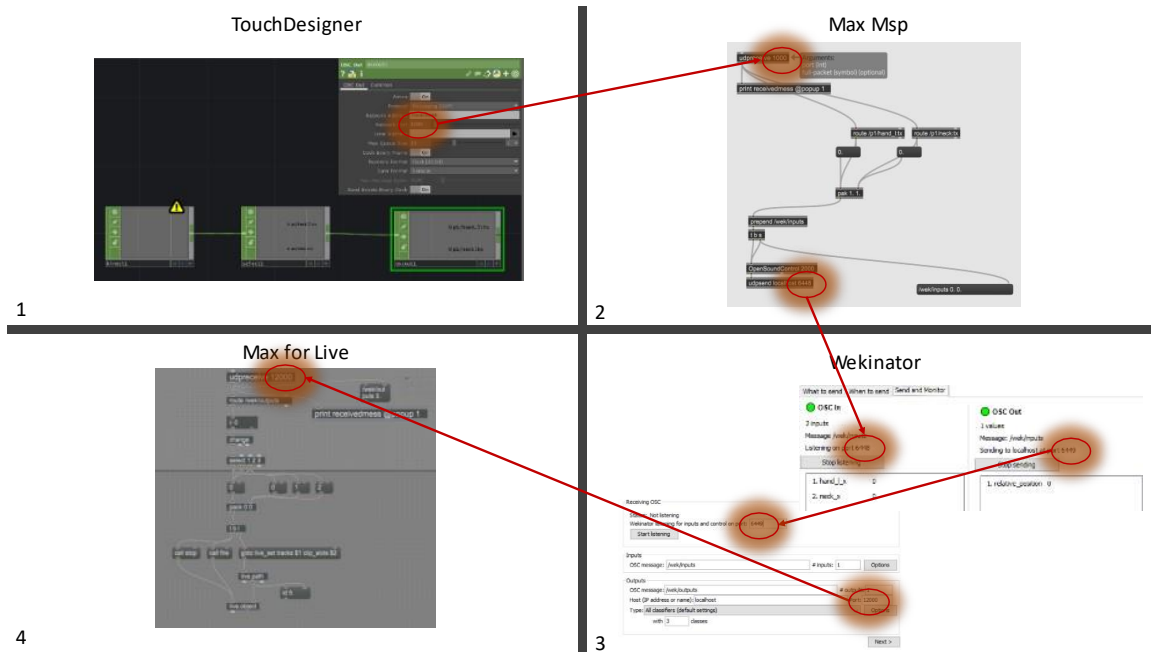
Αφότου το μοντέλο εκπαιδεύτηκε και είναι σε θέση να αναγνωρίζει με πιστότητα τη σχετική θέση του καρπού με τον κορμό, αντιστοιχίζει τις τρεις κατηγορίες (αριστερά, κεντρικά, δεξιά) με τρία ηχητικά δείγματα. Η αντιστοίχιση αυτή γίνεται μέσω κατάλληλης διαδικασίας η οποία προγραμματίστηκε στο Max for Live, μέσω του οποίου

πυροδοτούνται τα ηχητικά δείγματα τα οποία υπάρχουν αποθηκευμένα σε τρία διαφορετικά clips σε ένα Audio track του Ableton Live (Εικόνα 3-26).



Εικόνα 3-26 Αντιστοίχιση σε παράμετρο του ήχου. Το Max for Live λαμβάνει τα udr μηνύματα που έστειλε το Wekinator στη θύρα 12000 (udpreceive 12000). Οι εισερχόμενες τιμές είναι 1 (αριστερά), 2 (κεντρικά) και 3 (δεξιά) οι οποίες αντιστοιχίζονται στα audio samples 0, 1 και 2 αντίστοιχα του Audio track 1 (μπλε).

Έχοντας παρουσιάσει όλη τη διαδικασία αντιστοίχισης της θέσης του αριστερού καρπού στο διακριτό χώρο σε MIDI νότες, θα παρουσιάσουμε συγκεντρωτικά τη δρομολόγηση της πληροφορίας ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή συνδεσιμότητα στην Εικόνα 3-27.



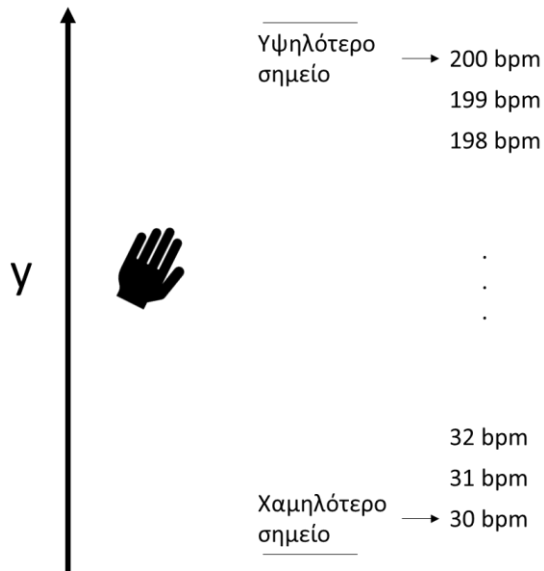
Εικόνα 3-27 Η ροή πληροφορίας στο μοντέλο.

### 3.2.3 Θέση άρθρωσης στο συνεχή χώρο

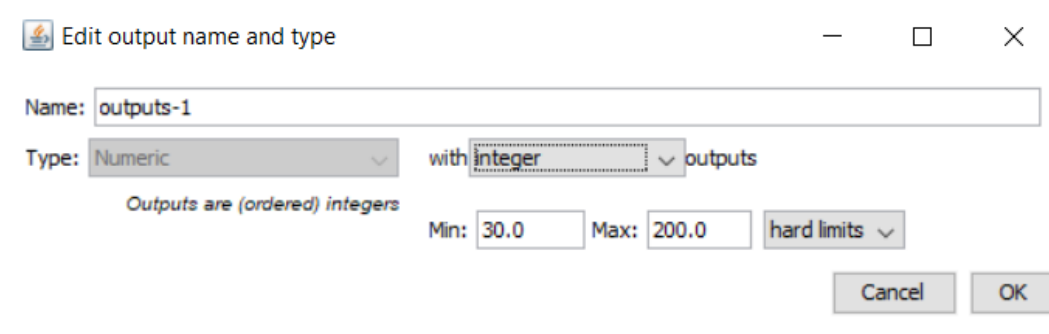
Στην υποενότητα αυτή η παράμετρος κίνησης η οποία επιλέγουμε είναι η θέση της άρθρωσης στο συνεχή χώρο. Η διαδικασία για τη δρομολόγηση των πακέτων από το TouchDesigner στο Wekinator (μέσω του Max Msp) και από το Wekinator στο Max for Live, έχει περιγραφεί αναλυτικά στις δύο προηγούμενες ενότητες και, για το λόγο αυτό, δε θα επαναληφθεί.

Το πρόβλημα το οποίο θα επιλύσουμε είναι η συσχέτιση της θέσης του χεριού στον κατακόρυφο άξονα με τον ρυθμό αναπαραγωγής ενός κομματιού. Όσο το χέρι ανεβαίνει, τόσο αυξάνεται ο ρυθμός, με βήμα 1 κτύπο το δευτερόλεπτο (beats per minute – BPM) (Εικόνα 3-28). Οι ακραίες τιμές είναι 30 και 200 BPM. Γι' αυτό, η έξοδος από το Wekinator ορίζεται να είναι ακέραιος (integer) με ελάχιστη τιμή τα 30 και μέγιστη τα 200, και με σκληρά όρια<sup>17</sup> (hard limits) (Εικόνα 3-29).

<sup>17</sup> Υπάρχουν δύο ειδών όρια, τα σκληρά και τα μαλακά. Στα σκληρά η μεταβλητή μπορεί να πάρει τις ακρότατες τιμές, ενώ στα μαλακά όχι. Στο παράδειγμά μας, αν είχαμε επιλέξει μαλακά όρια με ακρότατα



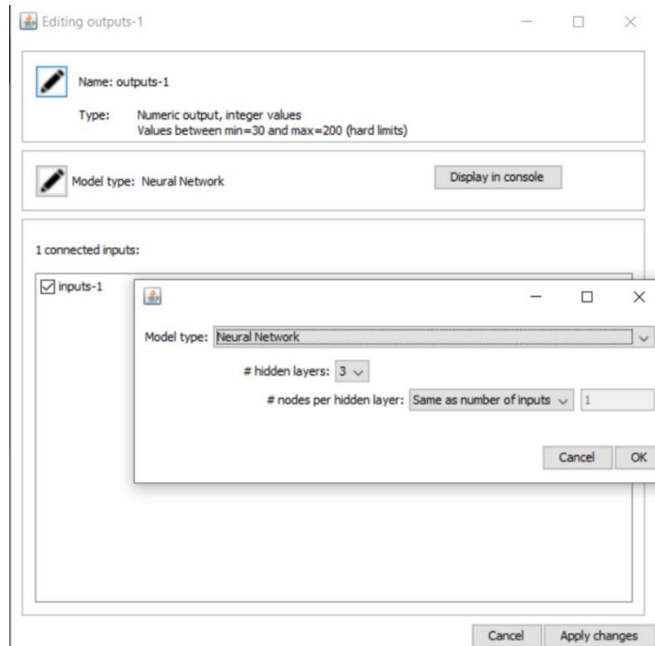
Εικόνα 3-28 Αντιστοίχιση παραμέτρου κίνησης σε παράμετρο του ήχου.



Εικόνα 3-29 Ορισμός χαρακτηριστικών εξόδου (ακέραιος αριθμός, με ελάχιστη τιμή 30 και μέγιστη 200, με κλειστά όρια – hard limits).

Ο αλγόριθμος εκπαίδευσης ο οποίος επιλέχθηκε είναι τα νευρωνικά δίκτυα, με τρία κρυφά στρώματα και έναν κόμβο ανά στρώμα (Εικόνα 3-30).

30 και 200 και ακέραια μεταβλητή, η ελάχιστη και μέγιστη τιμή που θα έπαιρνε η μεταβλητή θα ήταν 31 και 199 αντίστοιχα. Αντίθετα, με τα σκληρά όρια τα οποία θέσαμε, οι ακραίες τιμές της μεταβλητής είναι οι 30 και 200.



Εικόνα 3-30 Αλγόριθμος εκπαίδευσης. Χρησιμοποιήθηκε νευρωνικό δίκτυο τριών κρυφών στρωμάτων με έναν κόμβο ανά στρώμα.

Στην Εικόνα 3-31 απεικονίζεται ο τρόπος συσχέτισης των τιμών της μεταβλητής η οποία εισέρχεται στο Max for Live (μέσω της θύρας 12000) στο Ableton Live. Οι τιμές αυτές στέλνονται μέσω του ψηφιακού μονοπατιού που οδηγεί στο χειρισμό του tempo από το Ableton (path live\_set master\_track mixer\_device song\_tempo).



Εικόνα 3-31 Αντιστοίχιση σε παράμετρο του ήχου. Το Max for Live λαμβάνει τα udp μηνύματα που έσπειλε το Wekinator στη θύρα 12000 (udpreceive 12000). Οι εισερχόμενες τιμές είναι ακέραιοι αριθμοί από το 30 έως το 200 οι οποίοι αντιστοιχίζονται στα bpm του κομματιού (μέσω του path live\_set master\_track mixer\_device song\_tempo).



### 3.2.4 Ταχύτητα άρθρωσης

Στην ενότητα αυτή η παράμετρος κίνησης είναι η ταχύτητα της άρθρωσης. Η ταχύτητα της άρθρωσης επηρεάζει την ταχύτητα του κομματιού. Όσο πιο γρήγορα κινείται η άρθρωση του χεριού, τόσο αυξάνει τα τέμπο (bpm) της αναπαραγωγής ενός κομματιού.

Ενώ, θεωρητικά, η ταχύτητα είναι μία τετριμμένη παράμετρος, η υλοποίησή της παρουσίασε ιδιαίτερες προκλήσεις, τις οποίες και παρουσιάζουμε αναλυτικά.

Στη φυσική, η ταχύτητα ( $v$ ) υπολογίζεται από το λόγο της απόστασης (*distance*) που διανύθηκε προς το χρόνο ο οποίος χρειάστηκε (*time*). Η απόσταση υπολογίζεται από τη διαφορά του σημείου του προορισμού πλην της αφετηρίας ( $x_{final} - x_{initial}$ ).

$$v = \frac{\text{distance}}{\text{time}} = \frac{x_{final} - x_{initial}}{\text{time}}$$

Στα διακριτά μαθηματικά, τα οποία αξιοποιεί η ψηφιακή επεξεργασία σημάτων, η απόσταση είναι η διαφορά των τιμών μεταξύ δύο θέσεων προς τον χρόνο που χρειάστηκε να τα ταξιδέψει το σήμα από τη μία θέση στην άλλη. Αν  $f_s$  είναι η συχνότητα δειγματοληψίας, δηλαδή ο αριθμός των δειγμάτων ανά δευτερόλεπτο, τα  $m$  δεδομένα χρειάζονται  $(m - 1) \cdot f_s$  χρόνο. Το  $-1$  οφείλεται στο γεγονός ότι θεωρούμε ότι ο χρόνος αρχίζει να μετράει αφότου έχει φύγει το πρώτο δεδομένο. Επομένως, για δύο διαδοχικά δεδομένα ( $m = 2$ ) η ψηφιακή ταχύτητα είναι:

$$\begin{aligned} v_{discrete} &= \frac{data[n] - data[n - (m - 1)]}{(m - 1) \cdot f_s} \xrightarrow{m=2} v_{discrete} = \frac{data[n] - data[n - 1]}{f_s} \\ &= \frac{1}{f_s} \cdot (data[n] - data[n - 1]) \end{aligned}$$

Επειδή ο παράγοντας  $\frac{1}{f_s}$  είναι σταθερός, για τον υπολογισμό της διακριτής ταχύτητας χρησιμοποιείται μόνο η διαφορά  $data[n] - data[n - 1]$ . Με τον τρόπο αυτό υπολογίσαμε την ταχύτητα για κάθε έναν από τους τρεις άξονες κίνησης (Εικόνα 3-32).

ID	Time	Recor...	position_x	position_y	position_z	velocity_x	velocity_y	velocity_z
1	2021/01/29 09:0...	1	-26.109	8.843	57.379	-0.131	0	0
2	2021/01/29 09:0...	1	-26.109	11.895	57.379	0	3.053	0
3	2021/01/29 09:0...	1	-26.109	11.895	56.785	0	0	-0.594
4	2021/01/29 09:0...	1	-26.109	11.895	56.785	0	0	0
5	2021/01/29 09:0...	1	-26.109	11.895	56.785	0	0	0
6	2021/01/29 09:0...	1	-26.109	11.895	56.785	0	0	0
7	2021/01/29 09:0...	1	-24.761	11.895	56.785	1.348	0	0
8	2021/01/29 09:0...	1	-24.761	14.985	56.785	0	3.09	0
9	2021/01/29 09:0...	1	-24.761	14.985	55.823	0	0	-0.962
10	2021/01/29 09:0...	1	-24.761	14.985	55.823	0	0	0
11	2021/01/29 09:0...	1	-24.761	14.985	55.823	0	0	0
12	2021/01/29 09:0...	1	-24.761	14.985	55.823	0	0	0
13	2021/01/29 09:0...	1	-22.421	14.985	55.823	2.34	0	0
14	2021/01/29 09:0...	1	-22.421	17.162	55.823	0	2.177	0
15	2021/01/29 09:0...	1	-22.421	17.162	54.921	0	0	-0.902
16	2021/01/29 09:0...	1	-22.421	17.162	54.921	0	0	0
17	2021/01/29 09:0...	1	-22.421	17.162	54.921	0	0	0
18	2021/01/29 09:0...	1	-22.421	17.162	54.921	0	0	0
19	2021/01/29 09:0...	1	-19.661	17.162	54.921	2.76	0	0
20	2021/01/29 09:0...	1	-19.661	17.915	54.921	0	0.753	0

Εικόνα 3-32 Υπολογισμός ταχύτητας σε κάθε έναν από τους τρεις άξονες κίνησης.

Η ταχύτητα είναι διανυσματικό μέγεθος και συμπεριλαμβάνει την πληροφορία της κατεύθυνσης της κίνησης. Στην περίπτωση μας, η κατεύθυνση δε μας απασχολεί, επομένως, το χρήσιμο μέγεθος είναι η απόλυτη ταχύτητα. Επίσης, δε μας ενδιαφέρει ο άξονας στον οποίο συντελείται η κίνηση. Επομένως, ορίζουμε ένα νέο μέγεθος, για να εκφράσει τη συνολική απόλυτη ταχύτητα (Εικόνα 3-33), ως εξής:

$$velocity_{\text{absolute,total}} = \text{abs}(position_x[n] - position_x[n - 1]) + \text{abs}(position_y[n] - position_y[n - 1]) + \text{abs}(position_z[n] - position_z[n - 1])$$

ID	Time	Recor...	position_x	position_y	position_z	velocity_x	velocity_y	velocity_z	velocity_total	abs_vel_total
1	2021/01/29 09:2...	2	-5.244	8.58	68.983	0	0	0	0	0
2	2021/01/29 09:2...	2	-5.244	8.58	68.983	0	0	0	0	0
3	2021/01/29 09:2...	2	-5.244	8.58	68.983	0	0	0	0	0
4	2021/01/29 09:2...	2	-5.107	8.58	68.983	0.137	0	0	0.137	0.137
5	2021/01/29 09:2...	2	-5.107	10.652	68.983	0	2.072	0	2.072	2.072
6	2021/01/29 09:2...	2	-5.107	10.652	72.645	0	0	3.662	3.662	3.662
7	2021/01/29 09:2...	2	-5.107	10.652	72.645	0	0	0	0	0
8	2021/01/29 09:2...	2	-5.107	10.652	72.645	0	0	0	0	0
9	2021/01/29 09:2...	2	-5.107	10.652	72.645	0	0	0	0	0
10	2021/01/29 09:2...	2	1.472	10.652	72.645	6.579	0	0	6.579	6.579
11	2021/01/29 09:2...	2	1.472	6.305	72.645	0	-4.347	0	-4.347	4.347
12	2021/01/29 09:2...	2	1.472	6.305	76.329	0	0	3.684	3.684	3.684
13	2021/01/29 09:2...	2	1.472	6.305	76.329	0	0	0	0	0
14	2021/01/29 09:2...	2	1.472	6.305	76.329	0	0	0	0	0
15	2021/01/29 09:2...	2	1.472	6.305	76.329	0	0	0	0	0
16	2021/01/29 09:2...	2	-0.335	6.305	76.329	-1.807	0	0	-1.807	1.807
17	2021/01/29 09:2...	2	-0.335	4.038	76.329	0	-2.266	0	-2.266	2.266
18	2021/01/29 09:2...	2	-0.335	4.038	76.67	0	0	0.341	0.341	0.341
19	2021/01/29 09:2...	2	-0.335	4.038	76.67	0	0	0	0	0
20	2021/01/29 09:2...	2	-0.335	4.038	76.67	0	0	0	0	0

Εικόνα 3-33 Δεδομένα κίνησης (position), ταχύτητας (velocity) ανά άξονα και συνολική απόλυτη ταχύτητα (abs\_vel\_total)

Από παρατήρηση των δεδομένων προκύπτουν πολλά μηδενικά στις ταχύτητες ανά άξονα κίνησης, τα οποία με τη σειρά τους επηρεάζουν τη συνολική απόλυτη ταχύτητα. Αυτά τα μηδενικά οφείλονται στην επανάληψη των δεδομένων της θέσης. Αφού η ψηφιακή ταχύτητα είναι η διαφορά δύο διαδοχικών δεδομένων, τα επαναλαμβανόμενα δεδομένα δίνουν μηδενική ταχύτητα. Στην Εικόνα 3-34 βλέπουμε ότι η επανάληψη αφορά έξι διαδοχικά δεδομένα. Αυτό σημαίνει ότι ανά μονάδα χρόνου το Wekinator περιμένει έξι δεδομένα, ενώ το Kinect/TouchDesigner του στέλνει μόλις ένα (ασυμφωνία ρυθμού δειγματοληψίας). Έτσι, τα υπόλοιπα πέντε κενά τα γεμίζει με επανάληψη του αριθμού. Επιλύσαμε το πρόβλημα αυτό προσθέτοντας μία ακόμα μεταβλητή, η οποία προκύπτει από το μέσο όρο των προηγούμενων έξι τιμών της συνολικής απόλυτης ταχύτητας (aver\_abs\_velocity, Εικόνα 3-34).

ID	Time	Recor...	position_x	position_y	position_z	velocity_x	velocity_y	velocity_z	velocity_total	abs_vel_total	aver_abs_v...
964	2021/01/29 10:2...	3	18.958	15.467	59.594	0	0	0	0	0	0.08
965	2021/01/29 10:2...	3	18.958	15.467	59.594	0	0	0	0	0	0.08
966	2021/01/29 10:2...	3	18.958	15.467	59.594	0	0	0	0	0	0.08
967	2021/01/29 10:2...	3	18.806	15.467	59.594	-0.152	0	0	-0.152	0.152	0.074
968	2021/01/29 10:2...	3	18.806	15.549	59.594	0	0.082	0	0.082	0.082	0.082
969	2021/01/29 10:2...	3	18.806	15.549	59.863	0	0	0.27	0.27	0.27	0.084
970	2021/01/29 10:2...	3	18.806	15.549	59.863	0	0	0	0	0	0.084
971	2021/01/29 10:2...	3	18.806	15.549	59.863	0	0	0	0	0	0.084
972	2021/01/29 10:2...	3	18.806	15.549	59.863	0	0	0	0	0	0.084
973	2021/01/29 10:2...	3	18.653	15.549	59.863	-0.153	0	0	-0.153	0.153	0.084
974	2021/01/29 10:2...	3	18.653	15.716	59.863	0	0.167	0	0.167	0.167	0.098
975	2021/01/29 10:2...	3	18.653	15.716	60.156	0	0	0.293	0.293	0.293	0.102
976	2021/01/29 10:2...	3	18.653	15.716	60.156	0	0	0	0	0	0.102
977	2021/01/29 10:2...	3	18.653	15.716	60.156	0	0	0	0	0	0.102
978	2021/01/29 10:2...	3	18.653	15.716	60.156	0	0	0	0	0	0.102
979	2021/01/29 10:2...	3	18.477	15.716	60.156	-0.175	0	0	-0.175	0.175	0.106
980	2021/01/29 10:2...	3	18.477	15.941	60.156	0	0.225	0	0.225	0.225	0.116
981	2021/01/29 10:2...	3	18.477	15.941	60.452	0	0	0.296	0.296	0.296	0.116
982	2021/01/29 10:2...	3	18.477	15.941	60.452	0	0	0	0	0	0.116
983	2021/01/29 10:2...	3	18.477	15.941	60.452	0	0	0	0	0	0.116

Εικόνα 3-34 Διόρθωση σφάλματος δειγματοληψίας με χρήση μέσου όρου.

Για την εκπαίδευση του μοντέλου μας χρησιμοποιούμε, επομένως, τον μέσο όρο των έξι τιμών της συνολικής απόλυτης ταχύτητας. Δοκιμάσαμε διαφορετικές εκδοχές του αλγόριθμου εκπαίδευσης. Τα νευρωνικά δίκτυα παρουσίασαν υψηλές αστάθειες. Με τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής καταφέραμε να δημιουργήσουμε μία σταθερή και ομαλή αντιστοίχιση του ρυθμού του κομματιού με την ταχύτητα κίνησης του δεξιού καρπού.

### 3.3 Επιλογές για τη δημιουργία συγκεκριμένης performance

#### 3.3.1 Ανάπτυξη μοντέλου

Έχοντας σχεδιάσει και υλοποιήσει τις επιμέρους διατάξεις οι οποίες χρειάζονται για να μεταφραστεί η κίνηση σε ήχο, το επόμενο βήμα είναι να επιλέξουμε εκείνες τις παραμέτρους κίνησης και ήχου οι οποίες μπορούν να συγκροτήσουν μία performance με αισθητική αξία. Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε όλη τη διαδικασία σχεδιασμού και υλοποίησης, τα προβλήματα τα οποία αντιμετωπίσαμε και τον τρόπο με τον οποίο επιλύθηκαν.

Το πρώτο στάδιο ήταν να σχεδιαστεί μία ηχητική σύνθεση η οποία να μπορεί να στέκει αυτόνομα ως έχει, χωρίς διαφοροποιήσεις. Αυτή η αυτόνομη συνθήκη συνδέεται με την ακινησία του χορευτή. Έπειτα, πειραματιστήκαμε με διάφορες

παραμετροποιήσεις της ηχητικής αυτής σύνθεσης. Παραδείγματα είναι η χρήση ψηφιακών φίλτρων, η παραμετροποίηση των ιδιοτήτων των οργάνων, η επιλογή νέων ήχων, η παραμετροποίηση του εξαγόμενου ήχου (rapping, δυναμική κ.λπ.). Κριτήριο της επιλογής των παραμέτρων αυτών ήταν να είναι ευδιάκριτες, ώστε να μπορεί εύκολα ο χορευτής να της συσχετίσει με την κίνησή του και ο θεατός να αντιληφθεί εύκολα τη συσχέτιση αυτή. Για να μπορεί εύκολα να αποτυπωθεί η συσχέτιση σε θεατή και χορευτή επιλέξαμε έναν μικρό αριθμό συσχετίσεων. Αυτή η αντιστοίχιση παραμέτρων της κίνησης σε παραμέτρους του ήχου διαμόρφωσε τη γραμματική του μοντέλου μας.

Επιλέξαμε τέσσερις παραμέτρους του ήχου. Ο αριθμός αυτός κρίθηκε ότι επιτρέπει τη δημιουργία μίας ηχητικής σύνθεσης με ποικιλία, δυνατότητες πολλαπλών διαμορφώσεων, η οποία δύναται να οδηγήσει σε ενδιαφέρουσες συνθήκες και αισθητικές διαφοροποιήσεις. Παράλληλα, αυτές οι διαφοροποιήσεις δε δημιουργούν ένα εξαιρετικά πολύπλοκο μοντέλο το οποίο θα καταστήσει δύσκολη την εκπαίδευση του χορευτή σε αυτό και θα δημιουργήσει αβεβαιότητες.

Έπειτα, έπρεπε να προσδιορίσουμε τις κινήσεις του χορευτή οι οποίες θα έλεγχαν τις τέσσερις αυτές παραμέτρους. Τα κριτήρια της επιλογής ήταν τεχνικά και χορογραφικά. Όσον αφορά το τεχνικό σκέλος, έπρεπε να προσδιοριστεί η φύση των παραμέτρων, κυρίως το αν είναι συνεχείς ή διακριτές. Πιο συγκεκριμένα, σε περίπτωση που είναι συνεχείς ποιο είναι το εύρος τιμών τους και σε περίπτωση που είναι διακριτές ποιος είναι ο αριθμός των κλάσεων των τιμών. Όσον αφορά τα χορογραφικά κριτήρια, αυτά αφορούν στην επιλογή των κινησιολογικών παραμέτρων οι οποίες πρέπει να:

- μπορούν να συσχετιστούν αποδοτικότερα με τις ηχητικές παραμέτρους (π.χ., η κίνηση της λεκάνης στον κατακόρυφο άξονα έχει μικρότερο εύρος από αυτή των χεριών),
- διευκολύνουν τον χορευτή τόσο στην εκπαίδευσή του όσο και στην αναπαραγωγή τους (π.χ., το να κάνει ο ένας καρπός δεξιόστροφο κύκλο στον κατακόρυφο επίπεδο και ο άλλος αριστερόστροφο είναι ένας δύσκολος συνδυασμός, καθιστώντας επίφοβο τον έλεγχο της συσχέτισης),
- διαμορφώνουν ένα κινητικό λεξιλόγιο χρήσιμο χορογραφικά.

Μια τεχνική πρόκληση την οποία έπρεπε να αντιμετωπίσουμε ήταν η αδυναμία του υλικού (hardware) να ανταποκριθεί σε πολύπλοκες και πολυπαραμετρικές επιλογές. Αποδείχθηκε ότι η συνεργασία πολλών προγραμμάτων επιβαρύνουν το υπολογιστικό κόστος, το οποίο, όταν οι είσοδοι και έξοδοι του μοντέλου ήταν πολλές και περίπλοκες, αποδείχθηκε απαγορευτικό. Ο υπολογιστής στον οποίον εγκαταστάθηκε η εφαρμογή ήταν ένας αρκετά ισχυρός φορητός υπολογιστής (laptop), μάρκας Dell, μοντέλο Inspiron 5570, 16.0GB RAM και με επεξεργαστή Intel(R) Core(TM) i7-8550U CPU @ 1.80GHz. Τα προβλήματα τα οποία κυρίως αντιμετωπίσαμε ήταν στην αδυναμία ανταπόκρισης της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (Central Processing Unit – CPU), η οποία έφτανε σε πολύ υψηλές τιμές (80% - 100%) προκαλώντας είτε το επιτακτικό κλείσιμο των εφαρμογών («ο υπολογιστής κράσαρε») είτε καθυστερήσεις (latency) οι οποίες είχαν το αποτέλεσμα ο ήχος να καθυστερεί της κίνησης, παύοντας την αναγκαία, τόσο για το θεατή όσο και για τον χορευτή, συσχέτιση σε πραγματικό χρόνο.

Με βάση τα παραπάνω, καταλήξαμε σε ένα μοντέλο το οποίο είχε τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ήταν υπολογιστικά εφικτό (το σύστημα δεν κράσαρε ούτε καθυστερούσε).
- Ήταν ευδιάκριτη η συσχέτιση των παραμέτρων της κίνησης με του ήχου.
- Ο αριθμός των συσχετίσεων ήταν τέτοιος ώστε να μη δημιουργεί ένα υπερβολικά πολύπλοκο μοντέλο, αλλά ούτε ένα αρκετά απλό – αναμενόμενο και ανιαρό.
- Ήταν χορογραφικά αξιοποιήσιμη η συσχέτιση των παραμέτρων της κίνησης με του ήχου.
- Ήταν εύκολο για το χορευτή να εκπαιδευτεί και να αποδώσει τις συσχετίσεις αυτές.

Πιο συγκεκριμένα, οι παράμετροι (Εικόνα 3-35) ήταν:

1. Επιλογή track. Μετάβαση από το ένα master track στο άλλο.
2. Ρύθμιση cross fade. Επιλογή του ποσοστού το οποίο θα καταλαμβάνει ο ήχος σε σχέση με το σύνολο. Επιλέξαμε μεταξύ δύο ήχων Α και Β (με πορτοκαλί και μπλε χρώμα αντίστοιχα στην Εικόνα 3-35). Με το crossfader στη μέση

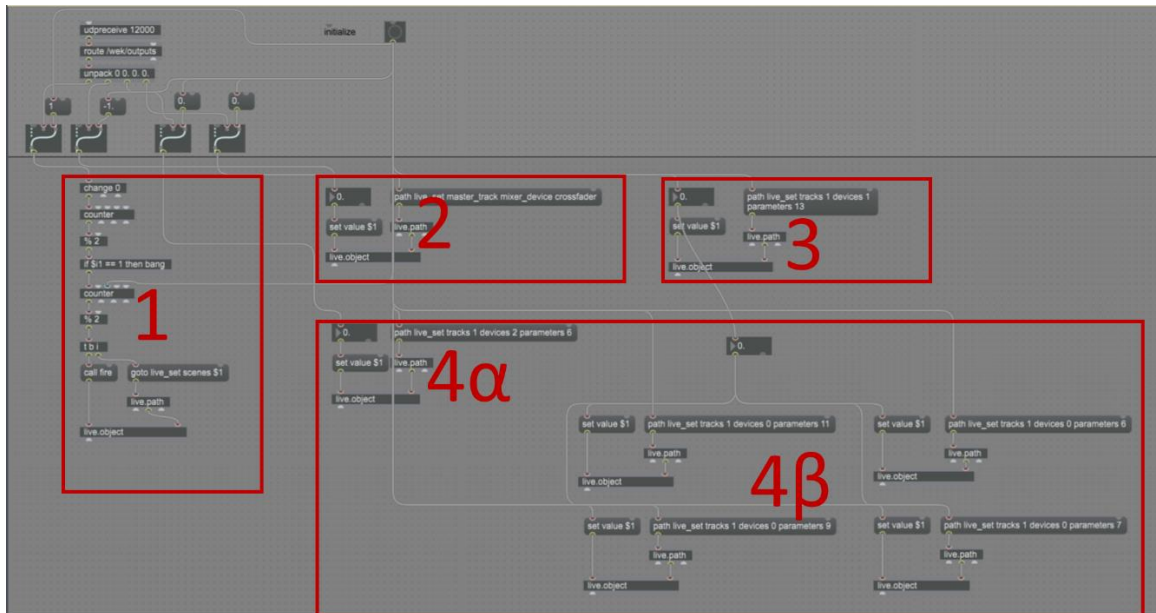
(ίσο με μηδέν) οι δύο αυτοί ήχοι συνυπάρχουν ισότιμα. Με crossfader ίσο με -1 ακούγεται αποκλειστικά ο A ενώ με +1 ο B.

3. Επιλογή ποσοστού φίλτρου 1. Ρύθμιση της κεντρικής συχνότητας ενός ζωνοπερατού EQ φίλτρου. Η συχνότητα αυτή διαμορφώνει ένα εύρος συχνοτήτων με κεντρική τιμή τη συχνότητα αυτή το οποίο διατηρείται αφότου ο αρχικός ήχος φιλτραριστεί με τις υπόλοιπες συχνότητες να αποκόπτονται.
4. Επιλογή ποσοστού φίλτρων 2 και 3. Επιλογή του ποσοστού κατά το οποίο θα φιλτραριστεί ο ήχος. Το συγκεκριμένο φίλτρο προσδίδει ένα βαθύ μπάσο χαρακτήρα (4α, Εικόνα 3-35). Επιλογή του ποσοστού ενός φίλτρου το οποίο δημιουργεί παραμόρφωση στον ήχο (4β, Εικόνα 3-35).



Εικόνα 3-35 Οι παράμετροι του ήχου οι οποίες διαμορφώνουν σε πραγματικό χρόνο την ηχητική σύνθεση

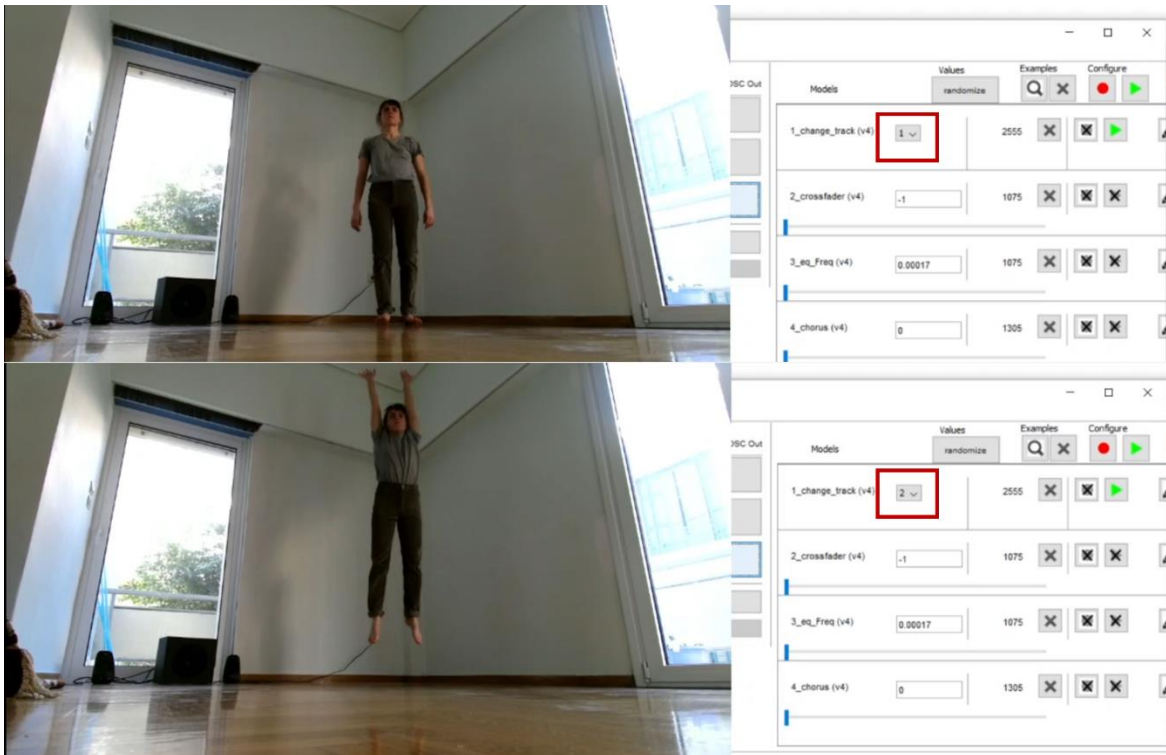
Το επόμενο βήμα ήταν η υλοποίηση στο Max for Live ενός patch το οποίο θα επιτρέπει τη ρύθμιση των παραπάνω τεσσάρων παραμέτρων μέσω εξωτερικών εισόδων (Εικόνα 3-36).



Εικόνα 3-36 Patch στο Max for Live μέσω του οποίου γίνεται εφικτή η ρύθμιση των πέντε παραμέτρων του Ableton live.

Επιλέξαμε η πρώτη παράμετρος να ελέγχεται από το κατά πόσον ο χορευτής επιτελεί πήδημα με τα χέρια ψηλά. Κάθε φορά που επιτελεί πήδημα μεταβαίνουμε από το master track 1 (performance) στο 2 (stop) και αντίστροφα. Επομένως, έπρεπε να εκπαιδεύσουμε ένα μοντέλο το οποίο αναγνωρίζει στο διακριτό χώρο, στον κατακόρυφο άξονα, δύο κλάσεις. Η πρώτη αφορά τα χέρια να βρίσκονται μέχρι το ύψος όπου δε συντελείται πήδημα και η δεύτερη σε ύψος μεγαλύτερο από το πρώτο. Εκπαιδεύσαμε λοιπόν ένα μοντέλο με είσοδο το άθροισμα των συντεταγμένων στον κατακόρυφο άξονα των καρπών και αλγόριθμο τον k-πλησιέστερο γείτονα (με  $k = 3$ ).

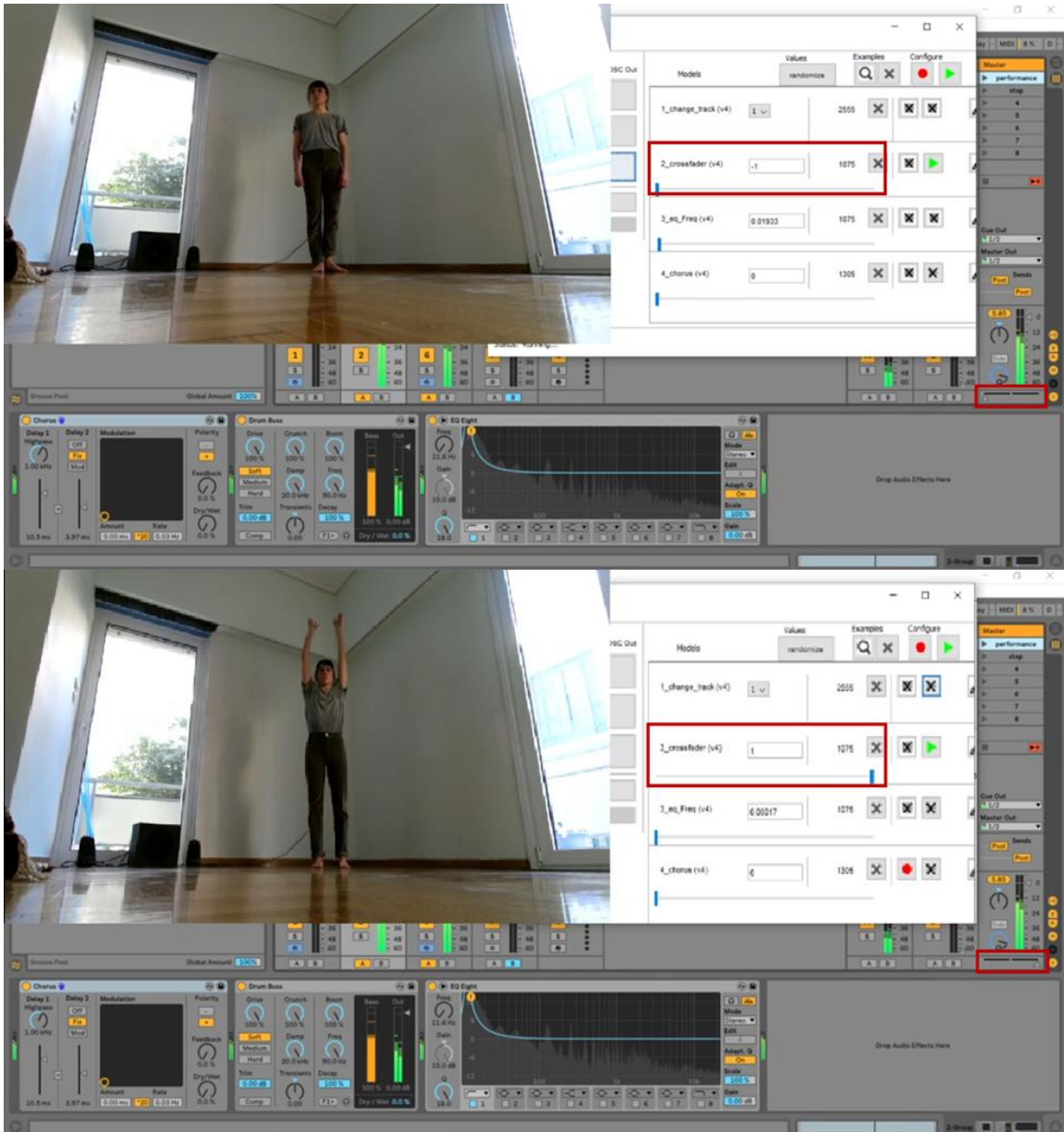




Εικόνα 3-37 Εκπαίδευση του μοντέλου να αναγνωρίζει το πήδημα με τα χέρια ψηλά. Η κλάση 1 αντιστοιχεί στο μη πήδημα (πάνω στιγμιότυπο) ενώ η 2 στο πήδημα (δεύτερο στιγμιότυπο).<sup>18</sup>

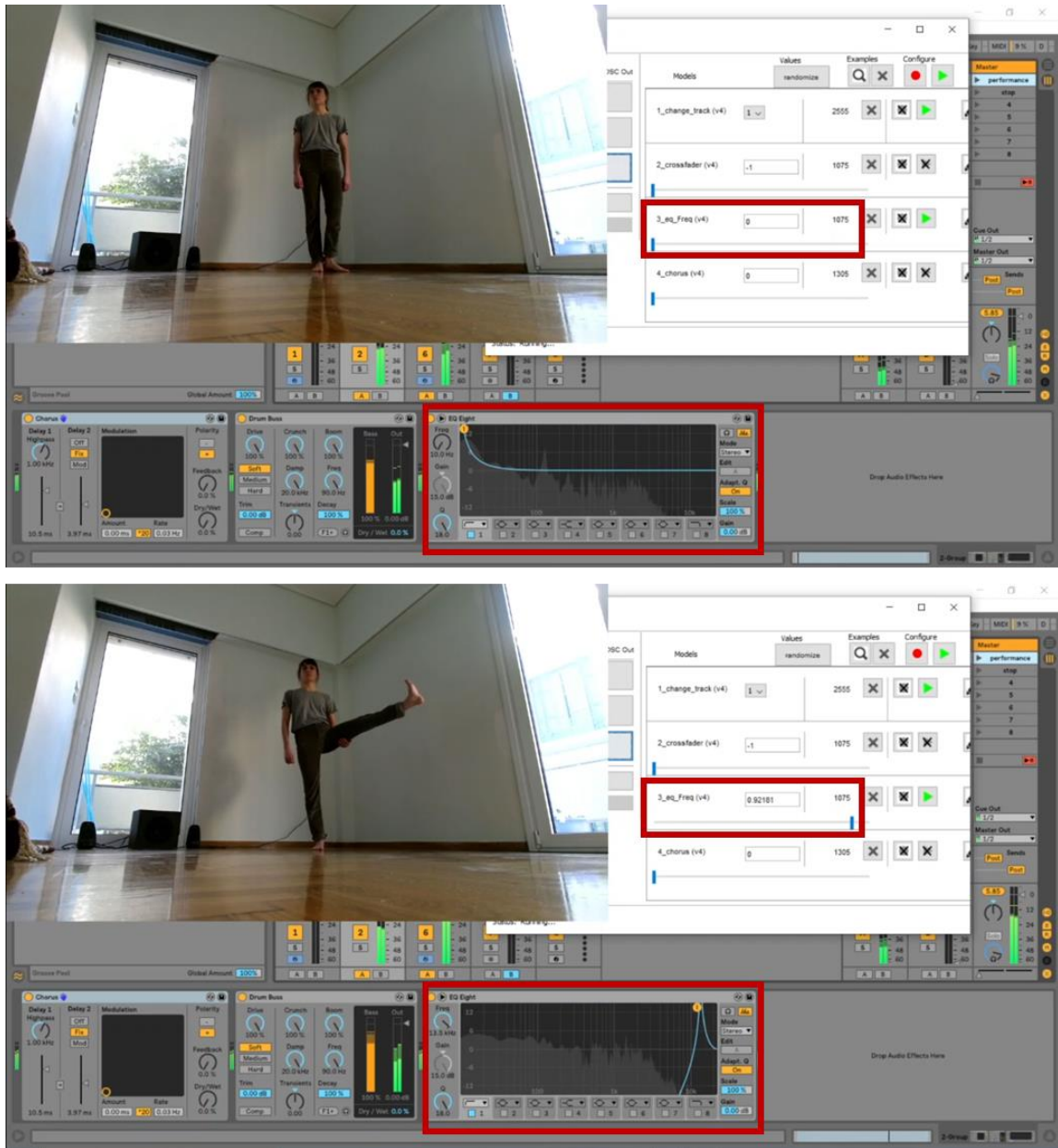
Η δεύτερη παράμετρος ρυθμίζεται από την αθροιστική θέση των δύο χεριών στον κατακόρυφο άξονα. Η ελάχιστη θέση (τα χέρια λίγο χαμηλότερα από τη λεκάνη) αντιστοιχεί στην τιμή -1 του crossfader, οπότε και ηχεί εξολοκλήρου ο ήχος Α ενώ η μέγιστη θέση (τα χέρια τεντωμένα ψηλά) αντιστοιχούν στην τιμή +1, οπότε και ηχεί ο ήχος Β (Εικόνα 3-38). Οι ενδιάμεσες θέσεις έχουν γραμμική συσχέτιση, γι' αυτό και το μοντέλο εκπαιδεύτηκε με τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής.

<sup>18</sup> Στη φωτογραφία αυτή, όπως και στις επόμενες, απεικονίζεται η χορεύτρια Παγώνα Μπουλμπασάκου, απόφοιτη της Κρατικής Σχολής Ορχηστρικής Τέχνης (2018).



Εικόνα 3-38 Εκπαίδευση του μοντέλου να αναγνωρίζει την αθροιστική θέση των δύο καρπών. Η ελάχιστη θέση αντιστοιχεί στην τιμή -1 του crossfader, ενώ η μέγιστη θέση αντιστοιχεί στην τιμή +1.

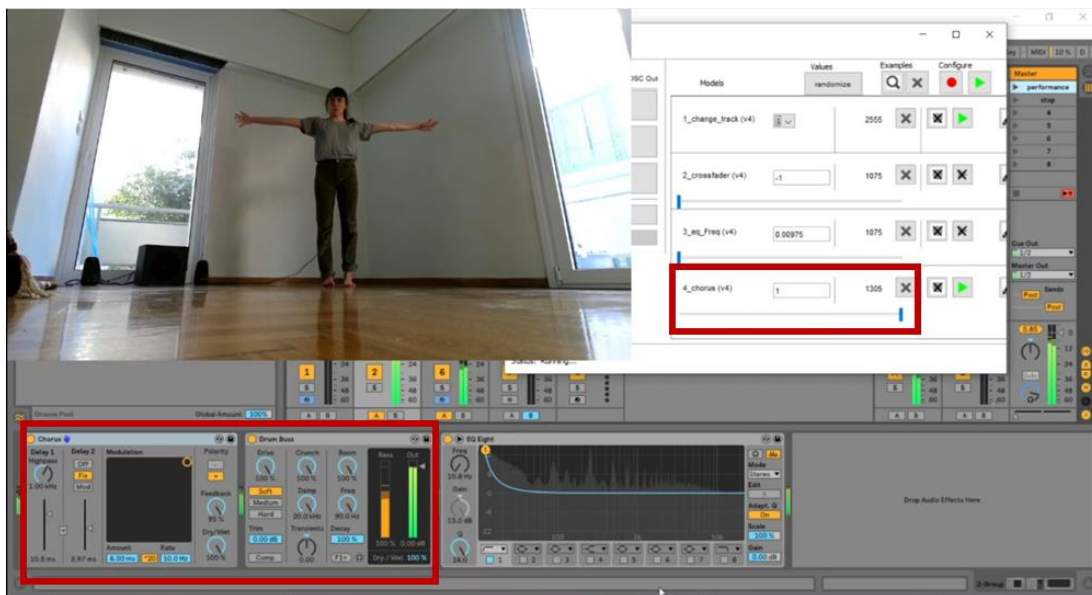
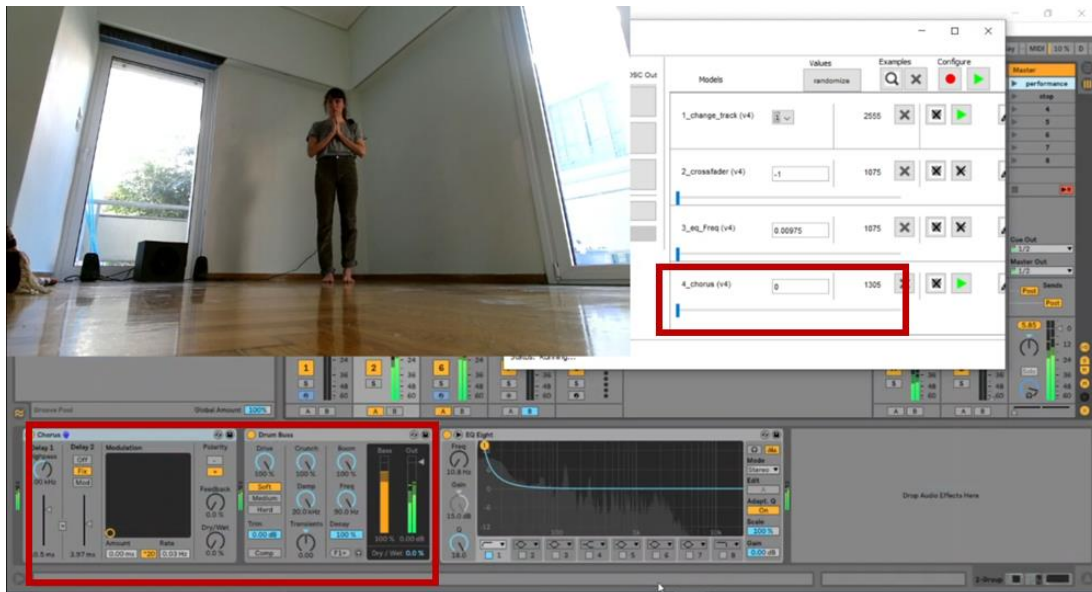
Η τρίτη παράμετρος ελέγχεται από τη θέση στον οριζόντιο άξονα του αστραγάλου. Η ελάχιστη θέση (το πόδι πατάει στο έδαφος) αντιστοιχεί στην ελάχιστη τιμή της συχνότητας του EQ φίλτρου ενώ η μέγιστη (περίπου στο ύψος της λεκάνης) αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή της συχνότητας (Εικόνα 3-39). Οι ενδιάμεσες τιμές έχουν γραμμική σχέση και γι' αυτό το μοντέλο εκπαιδεύτηκε με τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής.



Εικόνα 3-39 Η ελάχιστη θέση του αστράγαλου αντιστοιχεί στην ελάχιστη τιμή της συχνότητας του EQ φίλτρου ενώ η μέγιστη αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή της συχνότητας.

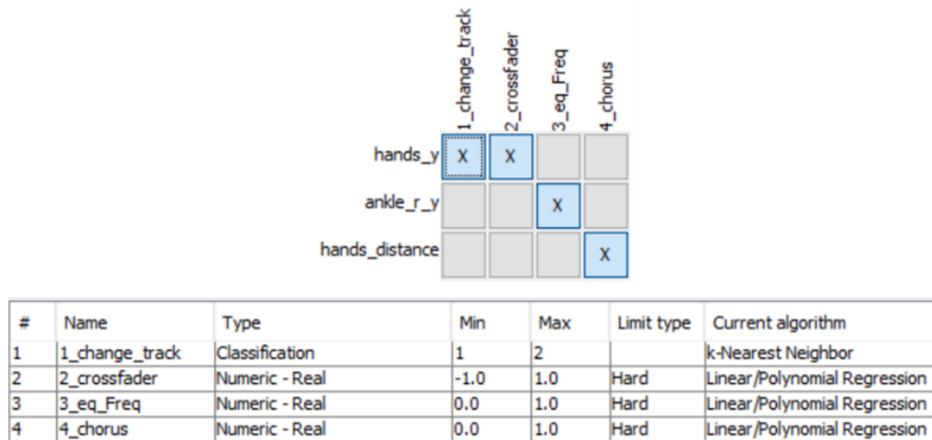
Η τέταρτη παράμετρος ελέγχεται από το άνοιγμα των χεριών, δηλαδή από την απόστασή τους. Όταν τα χέρια είναι στην ελάχιστη απόσταση (οι παλάμες αγγίζουν η μία την άλλη) τότε το ποσό Dry / Wet του φίλτρου Drum Buss είναι στο 0% (παράμετρος 4α) και οι τιμές Amount, Rate, feedback και Dry / Wet του φίλτρου Chorus είναι στην

ελάχιστη τιμή τους (παράμετρος 4β). Όταν η απόσταση γίνει μέγιστη, μεγιστοποιούνται αντίστοιχα και οι παράμετροι των φίλτρων.



Εικόνα 3-40 Η εκπαίδευση του μοντέλου στην αναγνώριση του ανοίγματος των χεριών. Η απόσταση των χεριών ελέγχει το ποσοστό του Dry / Wet του φίλτρου Drum Buss και (παράμετρος 4α) και οι τιμές Amount, Rate, feedback και Dry / Wet του φίλτρου Chorus (παράμετρος 4β).

Στην Εικόνα 3-41 απεικονίζεται το διάγραμμα συσχέτισης των παραμέτρων της κίνησης με τις παραμέτρους του ήχου. Παρατηρούμε ότι οι συσχετίσεις είναι «μία σε πολλές» (μία παράμετρος κίνησης, εν προκειμένω η θέση των χεριών στον κατακόρυφο άξονα, ελέγχει τις παραμέτρους 1 και 2 του ήχου) και «μία σε μία» (το ύψος του αστραγάλου ελέγχει την παράμετρο 3 και η απόσταση των χεριών την παράμετρο 4).



Εικόνα 3-41 Το διάγραμμα συσχέτισης των παραμέτρων της κίνησης με τις παραμέτρους του ήχου (πάνω) και ο τύπος των παραμέτρων της κίνησης, το όρισμα των τιμών τους και ο αλγόριθμος εκπαίδευσης.

### 3.3.2 Συνεργασία με τη χορεύτρια, εκπαίδευση και αξιολόγηση μοντέλου

Ζητούμενο της ανάπτυξης του μοντέλου ήταν να ανταποκρίνεται στις τεχνικές, μουσικές και χορογραφικές απαιτήσεις. Τα πρώτα δύο σκέλη (τεχνικές και μουσικές απαιτήσεις) επεξεργάστηκαν αυτόνομα από το συγγραφέα της πτυχιακής εργασίας. Το τελευταίο σκέλος (η χορογραφική απαίτηση) έγινε σε συνεργατικά με τη χορεύτρια Παγώνα Μπουλμπασάκου. Η συνεργασία μας έγινε με δύο άξονες: 1) σχολιασμός πάνω στη μουσική, 2) σχολιασμός πάνω στην κίνηση. Όσον αφορά τον πρώτο άξονα, δοκιμάστηκαν διάφορες μουσικές παράμετροι οι οποίες αξιολογήθηκαν από τη χορεύτρια στο κατά πόσον μπορούν να πλαισιώσουν μια χορογραφία. Πιο συγκεκριμένα, κατά πόσον η παραλλαγές στον ήχο που συντελούνται από τις αλλαγές στις τιμές των παραμέτρων της μουσικής μπορούν να έχουν αποτύπωση στο οπτικό πεδίο, το οποίο αναδιαμορφώνεται ανάλογα με την κίνηση του ανθρώπινου σώματος. Όσον αφορά τον δεύτερο, ο τρόπος με τον οποίο εργαστήκαμε είχε ως εξής: έχοντας εκ των προτέρων

συμφωνήσει στις παραμέτρους του ήχου, η χορεύτρια επεξεργάστηκε το πώς θα μπορούσαν αυτές να ελεγχθούν μέσω της κίνησης. Έπειτα, από τις προτάσεις της υιοθετήθηκε εκείνη η οποία θα ήταν υπολογιστικά εφικτή.

Έχοντας υλοποιήσει το μοντέλο το επόμενο βήμα ήταν να πειραματιστεί η χορεύτρια με αυτό ώστε να εκπαιδευτεί στη χρήση του. Αυτό αφορά στο να αρχίσει να γίνεται υποσυνείδητα ο έλεγχος των παραμέτρων του ήχου μέσω της κίνησης. Σε πρώτη φάση, η χορεύτρια εκπαιδεύτηκε σε κάθε μεμονωμένη αντιστοίχιση χωριστά. Απομονώθηκε κάθε φορά η αντιστοίχιση την οποία επέλεγε να μελετήσει. Η κάθε αποσπασματική μελέτη διήρκεσε τουλάχιστον ένα τέταρτο. Στη διάρκεια αυτή, η προσέγγιση ήταν αρχικά τεχνική. Αυτό, περιλαμβάνει την απόκτηση της δυνατότητας ελέγχου του ήχου μέσω της κίνησης όσο πιο αυθόρμητα και υποσυνείδητα γίνεται. Έχοντας κατακτήσει ευχέρεια στον έλεγχο, επεξεργάστηκε τις δημιουργικές διαστάσεις της αντιστοίχισης, τόσο αναφορικά με την κίνηση όσο και με τον ήχο. Έψαξε εκείνες τις αλλαγές στον ήχο οι οποίες ηχητικά παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Παράλληλα, εξερεύνησε τις κινητικές λεπτομέρειες του ελέγχου αυτού και τον τρόπο απόδοσης ο οποίος θα έχει μία χορευτική – δημιουργική αποτύπωση στο οπτικό πεδίο. Με τον τρόπο αυτό δεν είχαμε απλώς έλεγχο της μουσικής μέσω χειρονομιών αλλά μέσω χορευτικών κινήσεων. Αφότου η χορεύτρια μελέτησε αποσπασματικά τις αντιστοιχίσεις (Α, Β, Γ και Δ), προχώρησε με την ίδια ακριβώς μεθοδολογία τη μελέτη της με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς, πρώτα ανά δύο (ΑΒ, ΑΓ, ΑΔ, ΒΓ, ΒΔ, ΓΔ), έπειτα ανά τρεις (ΑΒΓ, ΑΒΔ, ΑΓΔ, ΒΓΔ) και τέλος όλες μαζί. Όλη η παραπάνω διαδικασία βιντεοσκοπούνταν. Η μελέτη συμπεριλάμβανε, πέρα από την επεξεργασία της κίνησης, και τη μελέτη του βίντεο.

Έχοντας ολοκληρώσει τη βιντεοσκόπηση έγινε συζήτηση σχετικά με την αξιολόγηση της διαδικασίας. Τα πιο σημαντικά στοιχεία της συζήτησης είναι τα παρακάτω. Ενώ η χορεύτρια γνώριζε τη διάδραση ως έννοια και είχε παρακολουθήσει η ίδια σχετικές παραστάσεις δεν είχε τύχει να ασχοληθεί με αυτή. Ως χορεύτρια, στην πρότερη εμπειρία της, η μουσική πλαισίωνε τον χορό με έναν εξωγενή τρόπο. Η χορογραφία είτε πατούσε πάνω στη μουσική, είτε η μουσική πάνω στη χορογραφία. Για τη χορεύτρια ήταν μία πρόκληση να ελέγχει παράλληλα με την κίνησή της τόσο το

ηχητικό όσο και το οπτικό αποτέλεσμα. Πριν το δοκιμάσει ήταν επιφυλακτική ως προς την αξία της σύνδεσης αυτής. Ενώ η λεκτική περιγραφή της ιδέας ήταν από μόνη της σημαντική, η πρακτική επίδειξη του τί σημαίνει και πώς επιτυγχάνεται η διάδραση μουσικής και χορού ξεκαθάρισε την ιδέα μέσα της. Μάλιστα, η αρχική επιφυλακτικότητα μεταστράφηκε σε ενδιαφέρον. Σε πρώτη φάση το ενδιαφέρον δεν αφορούσε το τελικό αποτέλεσμα αλλά τη διαδικασία αυτή καθ' αυτή. Το θεώρησε σαν ευκαιρία να επεξεργαστεί μία καινούργια γι αυτήν οδηγία αυτοσχεδιασμού και μελέτης της κίνησης. Ενώ μέχρι τώρα την κίνησή της είτε την αισθάνονταν βιωματικά, είτε την έβλεπε σε πραγματικό χρόνο σε καθρέφτη, τώρα ήταν σε θέση να την «ακούσει». Το επόμενο κεφάλαιο της συζήτησής μας αφορούσε στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για το χτίσιμο του μοντέλου. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην αξιοποίηση της μεθόδου της τεχνικής νοημοσύνης σε σχέση με τον κλασικό προγραμματισμό. Η χορεύτρια σχολίασε ως πολύ χρήσιμη τη διαδικασία εκπαίδευσης του μοντέλου, δηλαδή, το γεγονός ότι η ίδια κλήθηκε να παρέχει το σετ των κινήσεων. Με τον τρόπο αυτό μπόρεσε να είναι προϋδασμένη για τον έλεγχο του μοντέλου το οποίο μάλιστα το προσάρμοσε στο δικό της σώμα (διαστάσεις και δυνατότητες). Τέλος, αναρωτηθήκαμε του πώς θα έπρεπε να σχεδιάσουμε εξαρχής ένα μοντέλο στο οποίο ο χορευτής θα έχει ενεργό ρόλο στην επιλογή των παραμέτρων του ήχου. Αναφορικά με αυτό, η χορεύτρια εξέφρασε τον προβληματισμό της στο κατά πόσον τελικά ο χορευτής αποκτά όντως τον αναβαθμισμένο ρόλο του μουσικού, ή απλώς αναδιαμορφώνει τα στοιχεία της ηχητικής δομής χωρίς όμως αυτή η αναδιαμόρφωση να συνεπάγεται και επί της ουσίας διαφορετική ηχητική σύνθεση. Είναι άραγε ο χορευτής ο συνθέτης της μουσικής ή ο ερμηνευτής ενός προσχεδιασμένου μουσικού έργου; Τελικά, η συζήτηση αυτή στράφηκε στους βαθμούς ελευθερίας τους οποίους πρέπει να δώσει ο μουσικός στο χορευτή στον έλεγχο των ηχητικών παραμέτρων.

## 4 Συμπεράσματα

---

Στην εργασία αυτή παρουσιάσαμε τη σχεδίαση, ανάπτυξη και υλοποίηση ενός διαδραστικού μοντέλου το οποίο συνθέτει σε πραγματικό χρόνο αυτοματοποιημένη μουσική η οποία βρίσκεται σε δομική σχέση με την ανθρώπινη κίνηση.

Αρχικά, ασχοληθήκαμε με την αξιοποίηση των δεδομένων τα οποία παρέχει ο αισθητήρας καταγραφής της ανθρώπινης κίνησης (ερευνητικό ερώτημα 1, βλ. ενότητα 1). Ως αισθητήρα επιλέξαμε την κάμερα Kinect η οποία παρέχει τις συντεταγμένες στο χώρο αρθρώσεων του ανθρώπινου σώματος. Τα δεδομένα αυτά τα μετασχηματίσαμε μέσω μαθηματικών συναρτήσεων για να προκύψουν χρήσιμες πληροφορίες οι οποίες περιγράφουν ιδιότητες της κίνησης. Οι παράμετροι της κίνησης οι οποίες χρησιμοποιήσαμε ήταν η θέση στο διακριτό χώρο, η σχετική θέση δύο αρθρώσεων μεταξύ τους, η θέση στο συνεχή χώρο, η ταχύτητα, η επιτάχυνση κλπ.

Στη συνέχεια αναπτύξαμε ένα μοντέλο το οποίο αναγνωρίζει σε πραγματικό ποια από τις παραπάνω κατηγορίες κίνησης επιτελείται (ερευνητικό ερώτημα 2, βλ. ενότητα 1). Για την ανάπτυξη του μοντέλου αξιοποιήσαμε τεχνικές επιβλεπόμενης μηχανικής μάθησης. Η εκπαίδευση έγινε με ένα σετ δεδομένων από πραγματικές κινήσεις χορευτή και προέκυψε ένα αξιόπιστο μοντέλο το οποίο ανταποκρίνεται στις χορογραφικές απαιτήσεις.

Έπειτα, προτείναμε μία γραμματική της διάδρασης της κίνησης με τον ήχο (ερευνητικό ερώτημα 3, βλ. ενότητα 1). Παρουσιάσαμε έναν χάρτη αντιστοίχισης των παραμέτρων της κίνησης με τις παραμέτρους του ήχου. Οι αντιστοιχίσεις αυτές έγιναν με τρόπο ώστε να ταιριάζουν με τις συσχετίσεις τις οποίες αυθόρμητα κάνει ο performer, με αποτέλεσμα να εκπαιδευτεί εύκολα σε αυτές, ώστε να τις αξιοποιήσει δημιουργικά.

Τέλος, σε συνεργασία με επαγγελματία χορευτή / χορογράφο, συγκροτήσαμε το υλικό που έχει υλοποιηθεί ώστε να προκύψει μία συγκεκριμένη performance (ερευνητικό ερώτημα 4, βλ. ενότητα 1).

Έχοντας απαντήσει στα παραπάνω ερευνητικά ερωτήματα προέκυψε η ανάπτυξη ενός εύχρηστου εργαλείου δημιουργίας διαδραστικής performance μουσικής και χορού. Οι επόμενοι ερευνητικοί στόχοι περιλαμβάνουν τον εντοπισμό των αυθόρμητων και



υποσυνείδητων συσχετίσεων κίνησης και ήχου (π.χ., το γρήγορο μουσικό τέμπο σχετίζεται με τον γρήγορο χορευτικό ρυθμό και η καθοδική κίνηση του χεριού με την καθοδική συχνοτικά κίνηση του ήχου). Ένα επιπλέον ερευνητικό ερώτημα είναι το ποιος είναι ο αριθμός και τα χαρακτηριστικά των αντιστοιχίσεων που επιλέγονται σε ένα έργο, ώστε η πολυπλοκότητά του να μην είναι εμπόδιο στην προσπάθεια του performer να παράξει ένα άρτιο οπτικοακουστικό αποτέλεσμα. Τέλος, ενδιαφέρον θα παρουσιάσει η μελέτη της αξιοποίησης του μοντέλου μας σε παραπάνω από έναν performer.

## Αναφορές

- 
- [1] H. Cowell and D. Higgins, “Relating music and concert dance,” *Danc. Obs.*, vol. 4, no. 1, pp. 7–8, 1937.
  - [2] J. Cass, *Dancing through history*. Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ, 1993.
  - [3] S. Jordan, “The role of the ballet composer at the Paris opera: 1820–1850,” *Danc. Chron.*, vol. 4, no. 4, pp. 374–388, 1980.
  - [4] P. H. Mason, “Music, dance and the total art work: choreomusicology in theory and practice,” *Res. Danc. Educ.*, vol. 13, no. 1, pp. 5–24, 2012.
  - [5] S. Jordan and F. V. Lopukhov, “Writings on Ballet and Music.” The University of Wisconsin Press: London, UK, 2002.
  - [6] C. M. Joseph, *Stravinsky and Balanchine: A journey of invention*. Yale University Press, 2008.
  - [7] J. Percival, *Experimental dance*. Universe Books, 1971.
  - [8] C. J. Kim, “I. Composer and choreographer: A study of collaborative compositional process. II. ‘The Lotus Flower’, ballet music for chamber ensemble and two-channel audio,” University of Florida, 2006.
  - [9] R. Laban and L. Ullman, “Life for dance: The autobiography of Rudolf Laban,” *Trans. Annot. Lisa Ullmann. Hightst. Princet.*, 1975.
  - [10] S. Au and J. Rutter, *Ballet and modern dance*. Thames and Hudson London, 1988.
  - [11] S. Banes, “Dancing [with/to/before/on/in/over/after/against/away from/without] the Music: Vicissitudes of Collaboration in American Postmodern Choreography,” *Choreography Danc.*, vol. 1, no. Part 4, pp. 3–22, 1992.
  - [12] M. Obenhaus *et al.*, *Einstein on the Beach: The changing image of opera*. Direct Cinema, 1985.
  - [13] D. Keersmaeker, *A choreographer’s score. Fase, Rosas danst Rosas, Elena’s Aria, Bartók*. Mercatorfonds, 2012.
  - [14] W. Forsythe, “Dance Biennale 2012 – A meeting with William Forsythe [Interview].” 2012.
  - [15] J. I. Jung, “Choreographic sound composition: Towards a poetics of restriction.” University of Huddersfield, 2019.
  - [16] S. Landry, “Interactive sonification strategies for the motion and emotion of dance performances,” Michigan Technological University, 2019.
  - [17] D. Rokeby, “Transforming Mirrors: Navigable Structures,” *Crit. Issues Interact. Media*, 1995.
  - [18] T. Todoroff, “Wireless Digital/Analog Sensors for Music and Dance

- Performances.,” in *NIME*, 2011, pp. 515–518.
- [19] T. Todoroff, R. Ben Madhkour, D. Binon, R. Bose, and V. Paesmans, “FireTraSe: Stereoscopic camera tracking and wireless wearable sensors system for interactive dance performances-Application to ‘Fire Experiences and Projections,’” *QPSR numediart Res. Progr.*, vol. 3, pp. 9–24, 2010.
- [20] C. Guedes, “Translating dance movement into musical rhythm in real time: New possibilities for computer-mediated collaboration in interactive dance performance,” in *ICMC*, 2007.
- [21] P. Polotti, “Humanities, art and science in the context of interactive sonic systems - some considerations on a cumbersome relationship,” *Proc. Sound Music Comput.*, 2011.
- [22] J. Lee and W. S. Yeo, “Real-time Modification of Music with Dancer’s Respiration Pattern.,” in *NIME*, 2012.
- [23] J. Jaimovich, “Emovere: Designing Sound Interactions for Biosignals and Dancers.,” in *NIME*, 2016, pp. 316–320.
- [24] A. Camurri, G. De Poli, A. Friberg, M. Leman, and G. Volpe, “The MEGA project: Analysis and synthesis of multisensory expressive gesture in performing art applications,” *J. New Music Res.*, vol. 34, no. 1, pp. 5–21, 2005.
- [25] A. Källblad, A. Friberg, K. Svensson, and E. Sjöstedt Edelhölm, “Hoppsa Universum—An interactive dance installation for children,” in *New Interfaces for Musical Expression (NIME)*, Genova, 2008, 2008, pp. 128–133.
- [26] I. Hattwick, J. W. Malloch, and M. M. Wanderley, “Forming Shapes to Bodies: Design for Manufacturing in the Prosthetic Instruments.,” in *NIME*, 2014, pp. 443–448.
- [27] J. Malloch, I. Hattwick, and M. Wanderley, “Instrumented bodies: Prosthetic instruments for music and dance,” *J. Malloch. A Framew. Tools Mapp. Digit. Music. Instruments. Ph. D. Diss. McGill Univ. Montr. Canada*, 2013.
- [28] E. Pearlman, “AI Comes of Age,” *PAJ A J. Perform. Art*, vol. 42, no. 3, pp. 55–62, 2020.
- [29] S. Landry and M. Jeon, “Interactive sonification strategies for the motion and emotion of dance performances,” *J. Multimodal User Interfaces*, pp. 1–20, 2020.
- [30] J. I. Jung, “Bridging Abstract Sound and Dance Ideas with Technology: Interactive Dance Composition as Practice-Based Research,” in *International Conference on Live Interfaces*, 2018.
- [31] S. Katan, “Using Interactive Machine Learning to Sonify Visually Impaired Dancers’ Movement,” in *Proceedings of the 3rd International Symposium on Movement and Computing*, 2016, pp. 1–4.
- [32] K. R. Christopher, J. He, R. Kapur, and A. Kapur, “Kontrol: Hand Gesture

- Recognition for Music and Dance Interaction.,” in *NIME*, 2013, vol. 13, pp. 267–270.
- [33] M. Schedel, P. Perry, and R. Fiebrink, “Wekinating 000000Swan: Using Machine Learning to Create and Control Complex Artistic Systems.,” in *NIME*, 2011, pp. 453–456.
- [34] R. Vogl and H. Eghbal-Zadeh, “GANs and Poses: An Interactive Generative Music Installation Controlled by Dance Moves,” in *19th International Society for Music Information Retrieval Conference: Interactive Machine-Learning for Music {@ Exhibition}*, 2018.
- [35] B. Di Donato, J. Bullock, and A. Tanaka, “Myo Mapper: a Myo armband to OSC mapper,” 2018.
- [36] M. Brand and A. Hertzmann, “Style machines,” in *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 2000, pp. 183–192.
- [37] L. Crnkovic-Friis and L. Crnkovic-Friis, “Generative choreography using deep learning,” *arXiv Prepr. arXiv1605.06921*, 2016.
- [38] A.-A. Samadani, E. Kubica, R. Gorbet, and D. Kulić, “Perception and generation of affective hand movements,” *Int. J. Soc. Robot.*, vol. 5, no. 1, pp. 35–51, 2013.
- [39] O. Alemi, J. Françoise, and P. Pasquier, “GrooveNet: Real-time music-driven dance movement generation using artificial neural networks,” *networks*, vol. 8, no. 17, p. 26, 2017.
- [40] N.-J. Sung, J. Ma, Y.-J. Choi, and M. Hong, “Real-Time Augmented Reality Physics Simulator for Education,” *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 19, p. 4019, 2019.
- [41] Z. Zhang, “Microsoft kinect sensor and its effect,” *IEEE Multimed.*, vol. 19, no. 2, pp. 4–10, 2012.
- [42] F. Ahmed, P. Polash Paul, and M. L. Gavrilova, “Kinect-based gait recognition using sequences of the most relevant joint relative angles,” 2015.