



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΟΡΕΥΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΜΕ
ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΒΑΘΟΥΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ**

Απόστολος Ν. Λάγγης
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων: Νικόλαος Δουλάμης
Επικ. Καθ. ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2018

ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΟΡΕΥΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΜΕ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΒΑΘΟΥΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

Απόστολος Ν. Λάγγης
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων: Νικόλαος Δουλάμης
Επικ. Καθ. ΕΜΠ

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Νικόλαος Δουλάμης	Ανδρέας Γεωργόπουλος	Αναστάσιος Δουλάμης
Επίκουρος Καθ. ΕΜ	Καθηγητής ΕΜΠ	Επίκουρος Καθ. ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2018

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Νικόλαο Δουλάμη για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, τις συμβουλές και την πολύτιμη συνεργασία του.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Ανδρέα Γεωργόπουλο για τις πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω το τρίτο μέλος της τριμελούς επιτροπής καθ. κ. Αναστάσιο Δουλάμη για τη συνεργασία.

Τις γνώσεις και τις εμπειρίες που απεκόμισα από τη συνεργασία μαζί τους τόσο για την παρούσα διπλωματική εργασία όσο και κατά τα μαθήματα στη σχολή, τις θεωρώ πολύτιμα εφόδια για το μέλλον.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς την σύμβουλο καθηγήτριά μου κατά τη διάρκεια των σπουδών μου κ. Ευαγγελία Λάμπρου της οποίας η υποστήριξη και καθοδήγηση με οδήγησαν στο σημείο αυτό.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλους τους συμφοιτητές, συναδέλφους με τους οποίους συνεργάστηκα κατά τη φοίτησή μου στη σχολή και ιδιαιτέρως τον Αντώνη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, τη γιαγιά μου Σοφία και ιδιαίτερα τον πατέρα μου και τη μητέρα μου Νίκο και Γεωργία για την διαρκή υποστήριξή τους και τη συμπαράστασή τους. Η διπλωματική είναι αφιερωμένη σε αυτούς.

Περίληψη

Ο χορός είναι μια παραστατική τέχνη με μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο και τις κοινωνίες. Σε όλο τον κόσμο υπάρχει μια πλούσια παράδοση παραδοσιακών χορών που αποτελούν χαρακτηριστικό στοιχείο των πολιτισμών και σημαντικό στοιχείο της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Ωστόσο, εξαιτίας διάφορων παραγόντων, πολλοί παραδοσιακοί χοροί και άλλες παραστατικές τέχνες αλλοιώνονται στο χρόνο και σε ορισμένες περιπτώσεις απειλούνται με εξαφάνιση. Επομένως, κρίνεται σημαντική η καταγραφή και η διάδοσή τους που συντελούν τελικά στην προστασία τους.

Η σημειογραφία του χορού αποτελείται από ένα σύνολο συμβόλων και κανόνων για την καταγραφή του χορού (ή της κίνησης εν γένει) όπως η μουσική σημειογραφία για τη μουσική. Η χρήση της σημειογραφίας του χορού για την περιγραφή της ανθρώπινη κίνησης είναι αυστηρή, ενδεδειγμένη, πρακτική και εύκολη στην αποθήκευση. Υπάρχουν πολλά συστήματα σημειογραφίας του χορού. Η σημειογραφία Labanotation αναγνωρίζεται ως μία από τις ευρύτερα χρησιμοποιούμενες και ακριβείς σημειογραφίες για την καταγραφή του χορού. Το σύστημα Labanotation είναι εύκολο στην κατανόηση, λογικό και παραστατικό. Έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στη καταγραφή μπαλέτου και άλλων δυτικών χορών. Ωστόσο η καταγραφή του έχει δυσκολίες καθώς είναι μια χρονοβόρα και κοπιώδης εργασία. Για τη διευκόλυνση της καταγραφής έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι με τη χρήση υπολογιστή.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η συσκευή χαμηλού κόστους Kinect, η οποία περιλαμβάνει αισθητήρα βάθους και με την οποία μπορεί να γίνει εξαγωγή σκελετικών δεδομένων. Τα σκελετικά δεδομένα επεξεργάζονται και μετασχηματίζονται γεωμετρικά. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση με βάση το σύστημα Labanotation προκειμένου να εκτιμηθεί η στάση των άκρων του ανθρώπινου σώματος. Δημιουργήθηκαν δύο συστήματα. Το πρώτο είναι ένα σύστημα καταγραφής, ανάλυσης της στάσης των άνω και κάτω άκρων και οπτικοποίησης. Το δεύτερο είναι μια εφαρμογή στην οποία ο χρήστης καλείται να εκτελέσει με τα άνω άκρα του μια ακολουθία από στάσεις που δίνονται από το σύστημα με τη μορφή συμβόλων του συστήματος Labanotation.

Abstract

Dance is a performing art with great importance for the societies. Throughout the world there is a rich heritage of traditional dances that are characteristic elements of civilizations and important intangible cultural heritage assets. However, due to various factors, many traditional dances and other performing arts are altered over time and in some cases threatened with extinction. It is therefore important to record and disseminate them which ultimately contributes to their protection.

Dance notation consists of a set of symbols and rules for recording dance (or movement in general), in a similar way that music notation records music. The use of dance notation to describe human movement can be rigorous, thorough, practical and easy to store. There are many dance notation systems. Labanotation is recognized as one of the most widely used and accurate notation systems for recording dance. Labanotation is easy to understand, rigorous and logical. It has been widely used in the recording of dances. However, recording has difficulties as it is a time consuming and laborious task. Numerous computer-based methods have been developed to facilitate recording.

In this paper, the low-cost Kinect device, which includes a depth sensor and which can extract skeletal data, is used. Skeletal data are processed and transformed geometrically. Then, they are analyzed based on the Labanotation system, in order to characterize the posture of the limbs of the human body. Two systems were created. The first is a recording, analysis of the upper and lower limbs, and visualization system. The second is an application in which the user is required to perform with his upper limbs, a sequence of gestures given by the system in the form of Labanotation symbols.

Περιεχόμενα

1 Η Άυλη Πολιτιστική Κληρονομιά.....	16
1.1 Πολιτιστική Κληρονομιά.....	16
1.2 Η Υλική Πολιτιστική Κληρονομιά και η Σύμβαση του 1972.....	17
1.3 Η Άυλη Πολιτιστική Κληρονομιά και η Σύμβαση για τη Διαφύλαξη της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς της UNESCO.....	18
1.3.1 Αναγνώριση και εφαρμογή της Σύμβασης του 2003 της UNESCO.....	19
1.4 Ο παραστατικές τέχνες (χορός, μουσική, θέατρο).....	20
2 Σχετικές Εργασίες – Μεθοδολογικό πλαίσιο.....	22
2.1 Η καταγραφή του χορού.....	22
2.2 Σχετικές εργασίες.....	22
2.3 Μεθοδολογικό πλαίσιο.....	27
2.3.1 Προεπεξεργασία δεδομένων.....	27
2.3.2 Κατάτμηση κίνησης.....	27
2.3.3 Ανάλυση στοιχειωδών κινήσεων.....	31
2.3.4 Καθορισμός διάρκειας.....	36
2.3.5 Εξαγωγή παρτιτούρας.....	37
2.4 Άλλες εργασίες.....	37
3 Καταγραφή χορού – Συστήματα σημειογραφίας – Labanotation.....	40
3.1 Καταγραφή του χορού.....	40
3.2 Σημειογραφία.....	41
3.2.1 Ιστορία – συστήματα σημειογραφίας.....	41
3.2.2 Η χρησιμότητα της σημειογραφίας.....	45
3.3 Labanotation.....	45
3.3.1 Οι τέσσερις κανόνες του Labanotation.....	47
3.3.2 Το κινησιόγραμμα.....	47
3.3.3 Τα σημεία κατεύθυνσης.....	48
3.3.3.1 Οι οκτώ κύριες κατευθύνσεις.....	49
3.3.3.2 Τα τρία επίπεδα.....	49
3.3.4 Οι κινήσεις των άνω και των κάτω άκρων (arm and leg gestures).....	50
3.3.5 Η μετακίνηση του σώματος.....	54
3.3.6 Σημεία συστολής και έκτασης.....	56
3.3.7 Τα σημεία-σύμβολα του σώματος.....	57
3.3.8 Διαδρομές κίνησης.....	58
3.3.9 Άλλα σημεία.....	59
4 Συστήματα καταγραφής κίνησης και Kinect.....	60
4.1 Καταγραφή κίνησης.....	60
4.1.1 Τεχνολογίες καταγραφής.....	60
4.2 Ο αισθητήρας Kinect.....	71
4.2.1 Ο αισθητήρας Kinect V1.....	73
4.2.1.1 Το υλικό του Kinect V1.....	74
4.2.1.2 Ο αισθητήρας βάθους του Kinect V1.....	75
4.2.1.2.1 Μέτρηση του βάθους με τριγωνισμό.....	75
4.2.1.2.2 Μαθηματικό μοντέλο.....	77
4.2.1.2.3 Παραγωγή νέφους σημείων.....	80
4.2.2 Το περιβάλλον ανάπτυξης Kinect for Windows SDK.....	82

4.2.2.1 Η ροή καρέ έγχρωμων εικόνων και το σύστημα της έγχρωμης εικόνας.....	82
4.2.2.2 Η ροή εικόνων βάθους και το σύστημα της εικόνας βάθους.....	82
4.2.2.2.1 Εμβέλεια αισθητήρα βάθους.....	83
4.2.2.3 Η ροή σκελετικών δεδομένων.....	84
4.2.2.4 Το τρισδιάστατο σύστημα των σκελετικών δεδομένων.....	85
4.3 Το πρόβλημα της εκτίμησης στάσης σώματος και η προσέγγιση στο Kinect.....	86
4.3.1 Δυσκολίες στην εκτίμηση της στάσης του ανθρώπινου σώματος.....	87
4.3.2 Προσεγγίσεις στην Όραση Υπολογιστών στην εκτίμηση της στάσης του ανθρώπινου σώματος.....	87
4.3.2.1 Πλεονεκτήματα της χρήσης 3D πληροφορίας.....	88
4.3.2.2 Μειονεκτήματα της παρακολούθησης της στάσης ανάμεσα σε πολλαπλά καρέ.....	89
4.3.2.3 Αναζήτηση στάσης ολόκληρου του σώματος έναντι αναζήτησης μερών σώματος.....	89
4.3.3 Η προσέγγιση που ακολουθείται στο Kinect.....	90
4.3.3.1 Η διαδικασία εντοπισμού σκελετού του Kinect.....	95
4.3.3.2 Χρησιμοποιούμενα χαρακτηριστικά (features).....	97
4.3.3.3 Ταξινόμηση δένδρου απόφασης (decision tree classification).....	98
4.3.3.4 Δεδομένα εκπαίδευσης και εκπαίδευση ταξινομητή με διαδικασία μηχανικής μάθησης.....	101
4.3.3.4.1 Δεδομένα εκπαίδευσης.....	101
4.3.3.4.2 Εκπαίδευση ταξινομητή.....	102
5 Υλοποίηση συστημάτων.....	104
5.1 Υλικό - Λογισμικό.....	104
5.2 Τα συστήματα που δημιουργήθηκαν.....	105
5.3 Σύστημα καταγραφής και ανάλυσης στάσης σώματος.....	105
5.3.1 Μέρη συστήματος.....	106
5.3.2 Σύστημα καταγραφής.....	106
5.3.2.1 Διαδικασία καταγραφής σκελετού (skeleton tracking).....	106
5.3.2.2 Το struct μεταδεδομένων.....	107
5.3.2.3 Λήψη από τον αισθητήρα RGB.....	108
5.3.2.4 Ρύθμιση παραμέτρων.....	108
5.3.3 Σύστημα επεξεργασίας.....	108
5.3.4 Σύστημα οπτικοποιήσεων.....	108
5.3.4.1 Επιλογή οπτικοποιήσεων.....	109
5.3.5 Βάση συμβόλων.....	113
5.4 Παιχνίδι.....	114
5.5 Επεξεργασία σκελετικών δεδομένων.....	114
5.5.1 Υπολογισμός διανύσματος κατεύθυνσης.....	115
5.5.2 Στροφή συστήματος.....	115
5.5.2.1 Υπολογισμός γωνίας στροφής.....	116
5.5.2.2 Εύρεση πίνακα στροφής.....	116
5.5.2.3 Μετασχηματισμός συντεταγμένων αρθρώσεων στο στραμμένο σύστημα.....	117
5.6 Ανάλυση στάσης άνω και κάτω άκρων.....	117
5.6.1 Εύρεση οριζόντιας κατεύθυνσης.....	117
5.6.2 Εύρεση κατεύθυνσης στο κατακόρυφο επίπεδο.....	119
5.6.3 Εύρεση βαθμού συστολής άκρων.....	119
5.6.3.1 Υπολογισμός γωνίας.....	119

5.6.3.2 Διαχωρισμός εύρους συστολής.....	120
6 Επίλογος.....	122
7 Βιβλιογραφία.....	124
8 Παράρτημα.....	130

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1: Διάγραμμα ροής του συστήματος των Wang et al. [2017].....	29
Σχήμα 2: Διάγραμμα της ταχύτητας ενός μέλους. Η κατάτμηση της κίνησης γίνεται με εφαρμογή κατωφλίου στην ταχύτητα. Τα κόκκινα τετράγωνα δηλώνουν το καρέ στο οποίο ξεκινά μια κίνηση και τα γαλάζια το καρέ στο οποίο ολοκληρώνεται. (Πηγή: Wang et al. 2017).....	30
Σχήμα 3: Εξαγωγή στοιχειωδών κινήσεων (PMS) από τις φάσεις κίνησης (MD) και τις φάσεις υποστήριξης (SD). (Πηγή: Guo et al. 2014).....	32
Σχήμα 4: Ο διαχωρισμός του χώρου με βάση τις κατευθύνσεις στο Labanotation, όπως προτάθηκε από τους Hachimura and Nakamura [2001]. Αριστερά, η οριζόντια κατεύθυνση (αριστερά) που σχετίζεται με τη διεύθυνση αναφοράς και δεξιά, το επίπεδο κίνησης ή κατεύθυνση στο κατακόρυφο επίπεδο. (Πηγή: Choensawat et al. 2015).....	33
Σχήμα 5: Μια μετακίνηση του σώματος με βήματα δεν μπορεί να προκληθεί από τα δύο πόδια ταυτόχρονα. Καθώς το ένα κινείται, το άλλο φέρει το βάρος του σώματος. Όμως, τη μετακίνηση στο κέντρο βάρους την προξενεί το μέλος που κινείται. (Πηγή: Wang et al. 2017).....	35
Σχήμα 6: Επισκόπηση του συστήματος LabanDancer. (Πηγή: Ballas et al. 2017).....	38
Σχήμα 7: Το κινησιόγραμμα ή χορευτική παρτιτούρα. (Πηγή: Guest 2013).....	48
Σχήμα 8: Το σχήμα των σημείων κατεύθυνσης και οι αντίστοιχες κατευθύνσεις.....	49
Σχήμα 9: Το γέμισμα των συμβόλων που δηλώνει το επίπεδο κίνησης.....	49
Σχήμα 10: Τα σύμβολα του Labanotation για τις 27 κύριες κατευθύνσεις στο χώρο... ..	50
Σχήμα 11: Παραδείγματα χειρονομιών των άνω και των κάτω άκρων με τα σημεία κατεύθυνσης που αντιστοιχούν. (Πηγή: Griesbeck 1996).....	54
Σχήμα 12: Το μεσαίο επίπεδο (αριστερά), το χαμηλό επίπεδο (μέσο) και το ψηλό επίπεδο (δεξιά) στη στήλη μετακίνησης. (Πηγή: Guest 2013).....	54
Σχήμα 13: Η κλίμακα των σημείων συστολής (αριστερά) και των σημείων έκτασης (δεξιά). (Πηγή: epth.sfm.gr).....	57
Σχήμα 14: Σχέση μεταξύ του σχετικού βάθους (Z0- Zκ) και της μετρούμενης μετατόπισης στο εστιακό επίπεδο της εικόνας (disparity) της υπέρυθρης κάμερας (Πηγή: Khoshelham & Elberink 2012).....	79
Σχήμα 15: Απεικόνιση του οπτικού πεδίου του αισθητήρα και των τιμών βάθους. Οι τιμές βάθους είναι οι αποστάσεις σημείων των αντικείμενων από το επίπεδο που περνά από το προβολικό κέντρο της υπέρυθρης κάμερας του αισθητήρα βάθους και είναι παράλληλο με το εστιακό της επίπεδο (Πηγή: msdn.microsoft.com).....	83
Σχήμα 16: Το τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων των σκελετικών δεδομένων του Kinect.....	86
Σχήμα 17: Σχηματική αναπαράσταση της σύνδεσης του Kinect με τροφοδοσία ρεύματος και με τον υπολογιστή μέσω προσαρμογέα usb. (Πηγή: packtpub.com).....	104
Σχήμα 18: Διάγραμμα συστήματος καταγραφής και ανάλυσης στάσης σώματος.....	105
Σχήμα 19: Το διάνυσμα κατεύθυνσης. Το διάνυσμα αντιπροσωπεύει το μπροστινό μέρος του ανθρώπινου σώματος.....	115
Σχήμα 20: Στροφή συστήματος σκελετικών δεδομένων. Το σύστημα σκελετικών δεδομένων στρέφεται περί τον άξονα Y κατά γωνία φ, με βάση την οριζόντια συνιστώσα του διανύσματος κατεύθυνσης	116
Σχήμα 21: Διαχωρισμός του χώρου στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο επίπεδο στο σύστημα Labanotation. (α) Οκτώ + μία ('θέση') οριζόντιες κατευθύνσεις. (b) Τρία κατακόρυφα επίπεδα. Διακρίνονται οι άξονες τοπικού συστήματος (x, y, z). (Πηγή: Διασκευή από Wang et al. 2017).....	117
Σχήμα 22: Τοπικό σύστημα με αφετηρία την άρθρωση-γονέα.....	118

Σχήμα 23: Το τρίγωνο που σχηματίζεται για τον υπολογισμό της γωνίας που σχηματίζουν τα τμήματα του άκρου στην άρθρωση B.....120

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Το περιβάλλον του λογισμικού LabanEditor. Το αριστερό παράθυρο είναι το παράθυρο επεξεργασίας Labanotation και το δεξί είναι το παράθυρο για την απεικόνιση της αντίστοιχης κίνησης σε animation. (Πηγή: Choensawat et al. 2016).....	30
Εικόνα 2: Διάγραμμα του συστήματος GenLaban. (Πηγή: Choensawat et al. 2016)....	31
Εικόνα 3: Γραφικό περιβάλλον επιλογής βασικών καρτέ του συστήματος GenLaban. Ο χρήστης μπορεί να δει τα καρτέ και να επιλέξει χειροκίνητα τα βασικά καρτέ. (Πηγή: Choensawat et al. 2015).....	36
Εικόνα 4: Το διάγραμμα που δηλώνει την εμπρός κατεύθυνση (a) και το σύστημα αναφοράς της κίνησης που αυτό ορίζει (b). (Πηγή: Choensawat et al. 2015).....	37
Εικόνα 5: Στο χαμηλό επίπεδο (αριστερά) ο άνθρωπος μετακινείται με λυγισμένα τα γόνατα, στο μέσο επίπεδο (κέντρο) με φυσική στάση και στο ψηλό επίπεδο στις μύτες των ποδιών του. Το επίπεδο της μετακίνησης στην εργασία των Wang et al. [2017] βρίσκεται με βάση το ύψος του κέντρου βάρους. (Πηγή: Wang et al. 2017).....	40
Εικόνα 6: Παράδειγμα βαθμών συστολής χεριού και του αντίστοιχου συμβόλου. Ο τρίτος βαθμός συστολής αντιστοιχεί σε ορθή γωνία και ο έκτος σε πλήρως λυγισμένο άκρο. (Πηγή: Choensawat et al. 2015).....	42
Εικόνα 7: Παράδειγμα αρχείου LND. Περιέχει τις βασικές παραμέτρους (ρυθμό, τέμπο) και κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε μια στοιχειώδη κίνηση. Οι στήλες αντιστοιχούν στον τύπο του συμβόλου, στο μέλος σώματος, στην κατεύθυνση και στο επίπεδο κίνησης, στην αρχή και τέλος της κίνησης, στο βαθμό συστολής κ.α. (Πηγή: Choensawat et al. 2015).....	44
Εικόνα 8: Το περιβάλλον του παιχνιδιού LabanDancer. (Πηγή: Ballas et al. 2017).....	45
Εικόνα 9: Σημειογραφία Beauchamp-Feuillet της περιόδου Μπαρόκ. (Πηγή: britannica.com).....	49
Εικόνα 10: Σημειογραφία Labanotation. Μια σελίδα από το έργο Schrifftanz του Ρούντολφ Λάμπαν (1928), που αποτέλεσε την πηγή του Labanotation. (Πηγή: britannica.com).....	51
Εικόνα 11: Σημειογραφία Eshkol-Wachman. (Πηγή: britannica.com).....	52
Εικόνα 12: Σημειογραφία Benesh. (Πηγή: britannica.com).....	52
Εικόνα 13: Ο Ρούντολφ Λάμπαν σε διάλεξη για το σύστημα σημειογραφίας του, το 1928. (Πηγή: Suzanne Perrottet, cabinetmagazine.org).....	54
Εικόνα 14: Παραδείγματα πηδημάτων. (Πηγή: Griesbeck 1996).....	62
Εικόνα 15: Σύμβολα στροφών. (Πηγή: Griesbeck 1996).....	62
Εικόνα 16: Παράδειγμα συστολής άκρου. Απεικονίζονται οι βαθμοί συστολής. (Πηγή: Guest 2013).....	64
Εικόνα 17: Τα σημεία-σύμβολα των μερών του σώματος. (Πηγή: epth.sfm.gr).....	64
Εικόνα 18: Βασικά σημεία διαδρομών (αριστερά) και παράδειγμα κάτοψης (δεξιά). (Πηγή: Griesbeck 1996).....	65
Εικόνα 19: Σύστημα καταγραφής κίνησης της Vicon. Στην εικόνα αριστερά διακρίνεται η στολή με τους στόχους και μέρος της διάταξης των καμερών του συστήματος. Στην εικόνα δεξιά διακρίνεται μια εναλλακτική λύση με στόχους που κολλώνται στο σώμα. (Πηγή: vicon.com).....	69
Εικόνα 20: Το εμπορικό αδρανειακό σύστημα MVN της εταιρίας Xsens σε δύο εκδοχές. Στην πρώτη οι αισθητήρες είναι ασύρματοι και δένονται με ιμάντες στο σώμα, ενώ στη δεύτερη οι αισθητήρες συνδέονται με καλώδια και είναι ενσωματωμένοι σε στολή lycra. Και στις δύο εκδοχές υπάρχει μονάδα ασύρματης ζεύξης δεδομένων σε σακίδιο και βαλίτσα αντίστοιχα. (Πηγή: xsens.com).....	72

Εικόνα 21: Φορητό υβριδικό σύστημα καταγραφής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή ανθρώπινης δραστηριότητας τόσο σε εσωτερικό όσο και σε εξωτερικό περιβάλλον. Αποτελεί συνδυασμό αδρανειακού και ηχητικού συστήματος (Πηγή: Vlasic et al. 2007).....	73
Εικόνα 22: Μηχανικό σύστημα καταγραφής κίνησης (Πηγή: lukebeech.wordpress.com).....	75
Εικόνα 23: Το πρωτότυπο του υβριδικού συστήματος των Vlasic et al. 2007. Το σύστημα αυτό αποτελείται από από μια σειρά από μικρούς, χαμηλού κόστους και μικρής ισχύος πομπούς υπερήχων και ανιχνευτές (μικρόφωνα) τοποθετημένα στο σώμα (αριστερά). Οι πομποί (μέση-πάνω) εκπέμπουν διαδοχικά παλμούς υπερήχων, οι οποίοι λαμβάνονται από τα μικρόφωνα (μέση-κάτω) και επεξεργάζονται για να προκύψουν μετρήσεις απόστασης για όλα τα ζεύγη πομπού-μικροφώνου. Για την αύξηση της ακρίβειας και του ρυθμού δειγματοληψίας, καθώς και για την αντιμετώπιση των προβλημάτων ορατότητας, κάθε αισθητήρας είναι επίσης εξοπλισμένος με γυροσκόπιο 3 αξόνων και επιταχυνσιόμετρο 3 αξόνων που μετρούν περιστροφές και γραμμικές επιταχύνσεις αντίστοιχα (μέση-κάτω). (Πηγή: Vlasic et al. 2007).....	75
Εικόνα 24: Συγκεντρωτικός πίνακας των μεθόδων καταγραφής κίνησης, των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων τους από τους Field et al. [2009].....	76
Εικόνα 25: Οι δύο γενιές αισθητήρων. Ένας αισθητήρας Kinect πρώτης (αριστερά) και δεύτερης γενιάς (δεξιά). (Πηγή: msdn.microsoft.com , windowscentral.com).....	77
Εικόνα 26: Βασικά μέρη του αισθητήρα πρώτης γενιάς Kinect V1 (Πηγή: msdn.microsoft.com).....	78
Εικόνα 27: Φωτογραφία του φωτεινού σχηματισμού του Kinect V1 όπως αυτός προβάλλεται σε μία σκηνή. Πρόκειται για ένα μοτίβο που δημιουργείται από τα ίχνη των υπέρυθρων ακτίνων laser που εκπέμπει το Kinect στις επιφάνειες των αντικειμένων μιας σκηνής. (Πηγή: livingplace.informatik.haw-hamburg.de).....	82
Εικόνα 28: Εικόνα (a) Υπέρυθρη εικόνα του μοτίβου από κουκκίδες όπως προβάλλεται σε αυτή τη σκηνή, (b) Η εικόνα βάθους που προκύπτει (Σημειώνεται η ζώνη κατά μήκος του αντικειμένου στα αριστερά όπου λόγω της θέσης του πομπού των υπέρυθρων ακτίνων δεν υπάρχει προβολή κουκκίδων λόγω απόκρυψης. Εκεί δεν καταγράφεται βάθος και κατά συνέπεια στην εικόνα βάθους η ζώνη αυτή έχει την τιμή μηδέν.) (Πηγή: Khoshelham & Elberink 2012).....	84
Εικόνα 29: Νέφη σημείων από το Kinect	87
Εικόνα 30: Εμβέλεια του αισθητήρα στις δύο καταστάσεις λειτουργίας (Πηγή: msdn.microsoft.com).....	90
Εικόνα 31: Οι ανιχνευόμενες αρθρώσεις από Kinect V1.....	91
Εικόνα 32: Κύριοι άξονες προσεγγίσεων του pose estimation στην Όραση Υπολογιστών (Πηγή: “Body Part Recognition and the Development of Kinect”, youtube.com).....	94
Εικόνα 33: Παραδείγματα της προσέγγισης κατά μέλη (Πηγή: “Body Part Recognition and the Development of Kinect”, youtube.com).....	96
Εικόνα 34: Επισκόπηση διαδικασίας εκτίμησης. Σε μία εικόνα βάθους γίνεται ταξινόμηση κάθε εικονοστοιχείου στα μέλη σώματος (Το χρώμα υποδεικνύει το πιο πιθανό μέλος σώματος στο οποίο ανήκει το εικονοστοιχείο). Με βάση την ταξινόμηση εκτιμώνται οι τρισδιάστατες θέσεις των αρθρώσεων του σώματος. (Πηγή: Shotton et al. 2011).....	97
Εικόνα 35: Η διαδικασία της εκτίμησης της στάσης του σώματος στο Kinect (Πηγή: “Body Part Recognition and the Development of Kinect”, youtube.com).....	98
Εικόνα 36: Χαρακτηριστικά εικόνας βάθους. Οι κίτρινοι σταυροί υποδεικνύουν το εικονοστοιχείο x που ταξινομείται και οι κόκκινοι κύκλοι τις μετατοπίσεις στην εικόνα.	

Στο (a), τα παραδείγματα χαρακτηριστικών δίνουν μια μεγάλη διαφορά βάθους ως αποτέλεσμα. Στο (b), τα δύο ίδια χαρακτηριστικά σε νέες θέσεις στην εικόνα δίνουν αρκετά μικρότερη τιμή. (Πηγή: Shotton et al. 2011).....	99
Εικόνα 37: Δάσος απόφασης (Πηγή: Shotton et al. 2011).....	100
Εικόνα 38: Παράδειγμα ταξινόμησης με δένδρο απόφασης. Ξεκινώντας από τη ρίζα του δένδρου εξετάζονται διαδοχικά διάφορα χαρακτηριστικά για το εικονοστοιχείο x. Ανάλογα με την τιμή του χαρακτηριστικού γίνεται η διακλάδωση στο δένδρο μέχρι η διαδρομή να καταλήξει σε ένα κόμβο-φύλλο. Σε κάθε φύλλο υπάρχει μια κατανομή. (Πηγή: “Body Part Recognition and the Development of Kinect”, youtube.com).....	101
Εικόνα 39: Πραγματικά και συνθετικά δεδομένα εκπαίδευσης. Ζευγάρια εικόνων βάθους και εικόνων με τα αληθή μέλη σώματος. Σημειώνεται η ποικιλία στη στάση του σώματος, στο σχήμα, στο σωματότυπο, στο ρουχισμό και στο ποσοστό του σώματος που καλύπτει η εικόνα. (Πηγή: Shotton et al. 2011).....	106
Εικόνα 40: Διαγραμματική απεικόνιση διαδικασίας εκπαίδευσης. (Πηγή: “Body Part Recognition and the Development of Kinect”, youtube.com).....	106
Εικόνα 41: Τμήμα του stuct μεταδεδομένων μιας λήψης. Φαίνονται τα πρώτα 10 από τα 15 πεδία. Σε αυτή τη λήψη έχουν καταγραφεί συνολικά 300 καρτέ και έχει γίνει καταγραφή ενός σκελετού.....	114
Εικόνα 42: Εικόνα από τη γραφική διεπαφή χρήστη.....	116
Εικόνα 43: Οπτικοποίηση με έγχρωμη εικόνα και επίθεση του καταγραφόμενου σκελετού.....	116
Εικόνα 44: Τρισδιάστατη απεικόνιση του σκελετού. Διακρίνονται ο αρθρώσεις και το διάνυσμα κατεύθυνσης.....	117
Εικόνα 45: Οπτικοποίηση που συνδυάζει εμπρός όψη, πλάγια όψη και όψη από πάνω του καταγραφόμενου σκελετού.....	117
Εικόνα 46: Οπτικοποίηση με τα σύμβολα κατεύθυνσης του συστήματος Labanotation που αντιστοιχούν σε μια στάση σώματος.....	118
Εικόνα 47: Οπτικοποίηση με τα σύμβολα του βαθμού συστολής των άκρων.....	119
Εικόνα 48: Τα σύμβολα που σχεδιάστηκαν και περιέχονται στη βάση συμβόλων.....	120
Εικόνα 49: Γραφική διεπαφή παιχνιδιού. Με πράσινο χρώμα υποδεικνύεται η επιτυχής εκτέλεση μιας στάσης.....	121
Εικόνα 50: Διαχωρισμός εύρους συστολής. Σχέση γωνίας άκρου με τα σύμβολα συστολής. (Πηγή εικόνας παρασκηνίου: OpenStax College [CC BY-SA 3.0], Wikimedia Commons).....	128

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Τεχνικές προδιαγραφές αισθητήρα V1 (Πηγή: msdn.microsoft.com).....	72
Πίνακας 2: Οι ανιχνευόμενες αρθρώσεις από Kinect V1.....	81
Πίνακας 3: Σύγκριση χρήσης εικόνας RGB έναντι πληροφορίας βάθους στην εκτίμηση στάσης σώματος (Πηγή: “Body Part Recognition and the Development of Kinect”, youtube.com).....	85

Εισαγωγή

Η καταγραφή της κίνησης αντικειμένων απασχολεί τους επιστήμονες εδώ και δεκαετίες. Παρουσιάζει μεγάλη εξέλιξη και έχει πολλές εφαρμογές. Η καταγραφή κινούμενων αντικειμένων, σε σχέση με τα στατικά, έχει επιπρόσθετες δυσκολίες και προκλήσεις. Μια ιδιαίτερη κατηγορία αντικειμένων είναι το ανθρώπινο σώμα σε κίνηση. Η καταγραφή του παρουσιάζει δυσκολίες λόγω της πολυμορφίας του και του μεγάλου εύρους των κινήσεών του. Έχουν, ήδη, αναπτυχθεί ακριβή συστήματα για την καταγραφή της κίνησης ανθρώπινων σωμάτων αλλά τίθενται εμπόδια για την ευρεία χρήση τους λόγω του υψηλού τους κόστους. Η εξέλιξη της έρευνας τόσο σε επίπεδο μεθόδων όσο και στο επίπεδο του υλικού, οδηγεί σήμερα στην εμφάνιση εναλλακτικών τρόπων καταγραφής με χαμηλό κόστος. Τα τελευταία χρόνια μεγάλη εξέλιξη υπάρχει στους αισθητήρες βάθους χαμηλού που επιτρέπουν την τρισδιάστατη καταγραφή με χαμηλό κόστος. Παράδειγμα τέτοιου αισθητήρα αποτελεί το KINECT που αποτέλεσε την πρώτη συσκευή ευρείας χρήσης.

Η καταγραφή της κίνησης του ανθρώπινου σώματος μπορεί να βρει εφαρμογή σε πολλά πεδία που σχετίζονται με την κίνηση όπως αυτά του αθλητισμού, του χορού κ.α. Μια εφαρμογή με μεγάλο αντίκτυπο είναι η καταγραφή παραδοσιακών χορών. Οι παραδοσιακοί χοροί αποτελούν σημαντικό στοιχείο της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς το οποίο πρέπει να προφυλαχθεί και να μεταβιβασθεί στις επόμενες γενιές. Συνεπώς προκύπτει η ανάγκη της καταγραφής και της διάδοσής τους. Σε αυτό μπορεί να συμβάλει η σύγχρονη τεχνολογία με τις σύγχρονες μεθόδους καταγραφής που βοηθούν στην τεκμηρίωση αλλά και με νέους τρόπους προβολής, διάδοσης και μάθησης.

Πέραν της καταγραφής, σημασία έχει η ανάλυση της κίνησης που αποτελεί ένα πολύπλοκο πρόβλημα. Θεωρητικοί του χορού και της κίνησης έχουν μελετήσει την κίνηση και έχουν αναπτύξει μεθόδους ανάλυσης και καταγραφής της σε σημειογραφία. Ένα τέτοιο γνωστό σύστημα καταγραφής είναι το Labanotation. Το σύστημα αυτά εφαρμόζονται σε πολλούς άλλους τομείς πέραν του χορού που υπάρχει η ανάγκη να περιγραφούν και να καταγραφούν κινήσεις, όπως η εμβιομηχανική, η ρομποτική, ο αθλητισμός κ.α.

Η εργασία δομείται σε έξι κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή της Πολιτιστικής Κληρονομιάς και ιδιαίτερα των άυλων στοιχείων της καθώς και των πρωτοβουλιών που έχουν ληφθεί για την προστασία της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε διάφορες εργασίες που σχετίζονται με την καταγραφή του χορού και το σύστημα σημειογραφίας Labanotation.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις μεθόδους καταγραφής του χορού και της κίνησης και ιδιαίτερα στη σημειογραφία με μια εκτενή αναφορά στο Labanotation.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αρχικά γίνεται περιγραφή των συστημάτων καταγραφής της κίνησης, και στη συνέχεια περιγραφή του αισθητήρα βάθους χαμηλού κόστους KINECT και στην τεχνολογία του.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφονται τα συστήματα που υλοποιήθηκαν και οι μέθοδοι επεξεργασίας και ανάλυσης που εφαρμόστηκαν.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο αναφέρονται κάποια συμπεράσματα.

1 Η Άυλη Πολιτιστική Κληρονομιά

1.1 Πολιτιστική Κληρονομιά

Η Πολιτιστική Κληρονομιά (Cultural Heritage) είναι σύμφωνα με την UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), τον Οργανισμό των Ηνωμένων Εθνών για την Εκπαίδευση, την Επιστήμη και τον Πολιτισμό, «το κληροδότημα από φυσικά αντικείμενα και από άυλα χαρακτηριστικά μιας ομάδας ή κοινωνίας, τα οποία κληροδοτούνται από τις παλαιότερες γενιές, διατηρούνται στο παρόν και παραδίδεται στο μέλλον για να επωφεληθούν οι επόμενες γενιές». Η πολιτιστική κληρονομιά διαιρείται στην Υλική και στην Άυλη Κληρονομιά.

Η Υλική Πολιτιστική Κληρονομιά ή Πολιτιστική Ιδιοκτησία (cultural property) είναι ο απτός πολιτισμός και περιλαμβάνει φυσικά αντικείμενα και τεχνουργήματα που ανήκουν σε κάποιο πολιτισμό, όπως: κτήρια, ιστορικές τοποθεσίες, μνημεία, έργα τέχνης και τεκμήρια. Η Άυλη Κληρονομιά (Intangible Cultural Heritage) είναι η μη απτή πνευματική κληρονομιά, η οποία περιλαμβάνει τα άυλα στοιχεία του πολιτισμού όπως λαογραφία, ήθη, έθιμα, παραδόσεις, γνώση, γλώσσα κ.α..

Η υλική και άυλη πολιτιστική κληρονομιά αποτελούν ένα μέρος της κληρονομιάς των κοινωνιών και της ανθρωπότητας εν γένει. Την κληρονομιά συμπληρώνει η λεγόμενη Φυσική Κληρονομιά (Natural Heritage). Ο όρος αυτός αναφέρεται σε μνημεία της φύσης αποτελούμενα από φυσικούς ή βιολογικούς σχηματισμούς, γεωλογικούς και φυσιογραφικούς σχηματισμούς και φυσικά τοπία [UNESCO 1972]. Υπάρχουν, επίσης, στοιχεία που ανήκουν τόσο στην Πολιτιστική Κληρονομιά όσο και στη Φυσική. Για τέτοια στοιχεία χρησιμοποιείται ο όρος “Μεικτή Πολιτιστική και Φυσική Κληρονομιά”. τα οποία συνδυάζουν χαρακτηριστικά και έτσι αποτελούν τόσο μέρος της

Σύμφωνα με την UNESCO, η Πολιτιστική κληρονομιά μαζί με τη Φυσική κληρονομιά είναι από τα ανεκτίμητα και αναντικατάστατα “περιουσιακά στοιχεία” όχι μόνο κάθε έθνους, αλλά και ολόκληρης της ανθρωπότητας. Η απώλεια, μέσω της χειροτέρευσης της κατάστασης ή της εξαφάνισης, οποιουδήποτε από αυτά τα πολυτιμότερα στοιχεία πτωχαίνει την κληρονομιά όλων των λαών του κόσμου. Τμήματα αυτής της κληρονομιάς, εξαιτίας των εξαιρετικών τους ποιοτήτων, μπορούν να θεωρηθούν ως έχοντα “Εξέχουσα Οικουμενική Αξία” (“Outstanding Universal Value”) και ως τέτοια άξια ή χρήζουν ειδικής προστασίας έναντι των κινδύνων που τα απειλούν ολοένα και περισσότερο [UNESCO 2013]. Με τον όρο Εξέχουσα Οικουμενική Αξία (Outstanding Universal Value) εννοείται πολιτιστική ή/και φυσική αξία που είναι

τόσο εξέχουσα ώστε να ξεπερνά τα εθνικά σύνορα και να έχει κοινή σημασία για τις παρούσες και τις μελλοντικές γενιές της ανθρωπότητας. Ως εκ τούτου, η μόνιμη προστασία αυτής της κληρονομιάς είναι υψίστης σημασίας για την διεθνή κοινότητα στο σύνολό της. Ο όρος χρησιμοποιείται για την εγγραφή μνημείων στον Κατάλογο Πολιτιστικής Κληρονομιάς που γίνεται με κριτήρια που καθορίζει η Επιτροπή Παγκόσμιας Κληρονομιάς της UNESCO.

1.2 Η Υλική Πολιτιστική Κληρονομιά και η Σύμβαση του 1972

Στο άρθρο 1 της Σύμβασης για την Προστασία της Παγκόσμιας Πολιτιστικής και Φυσικής Κληρονομιάς [UNESCO 1972], δίνεται μια αναλυτική περιγραφή του απτού πολιτισμού. Σύμφωνα με αυτή ο απτός πολιτισμός αποτελείται από:

« μνημεία: αρχιτεκτονικά έργα, έργα μνημειακής γλυπτικής και ζωγραφικής, στοιχεία ή κατασκευές αρχαιολογικού χαρακτήρα, επιγραφές, σπηλαιώδεις κατοικίες και σύνολα έργων, τα οποία είναι εξέχουσας οικουμενικής αξίας, από ιστορική, καλλιτεχνική ή επιστημονική άποψη,

σύνολα οικοδομημάτων: ομάδες κτηρίων μεμονωμένων ή συνδεδεμένων, τα οποία λόγω της αρχιτεκτονικής τους, της ομοιογένειάς τους ή της θέσης τους, έχουν εξέχουσα οικουμενική αξία από ιστορική, καλλιτεχνική ή επιστημονική άποψη,

τοποθεσίες: έργα του ανθρώπου ή συνδυασμός έργων του ανθρώπου και της φύσης, καθώς και περιοχές, στις οποίες περιλαμβάνονται και οι αρχαιολογικοί χώροι, που έχουν εξέχουσα οικουμενική αξία, από ιστορική, αισθητική, εθνολογική και ανθρωπολογική άποψη. »

Η Σύμβαση για την Προστασία της Παγκόσμιας Πολιτιστικής και Φυσικής Κληρονομιάς της UNESCO, η οποία τέθηκε σε ισχύ το 1972 από την Γενική Συνδιάσκεψη της UNESCO, έχει επικυρωθεί μέχρι στιγμής από 191 Κράτη Μέλη, γεγονός που την καθιστά την πιο ευρέως αναγνωρισμένη διεθνή συνθήκη για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η Σύμβαση προωθεί την καταγραφή, προστασία και συντήρηση της πολιτιστικής και φυσικής κληρονομιάς που θεωρείται εξαιρετικά σημαντικής αξίας για ολόκληρη την ανθρωπότητα. Βασική αποστολή της αποτελεί ο καθορισμός της παγκόσμιας αυτής κληρονομιάς, με τη δημιουργία ενός καταλόγου από χώρους των οποίων η «εξέχουσα οικουμενική αξία» πρέπει να προφυλαχτεί για ολόκληρη την ανθρωπότητα και η διασφάλιση της προστασίας των χώρων αυτών με την ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ των διαφόρων εθνών.

1.3 Η Άυλη Πολιτιστική Κληρονομιά και η Σύμβαση για τη Διαφύλαξη της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς της UNESCO

Ο όρος πολιτιστική κληρονομιά έχει εμπλουτισθεί σημαντικά σε περιεχόμενο τις τελευταίες δεκαετίες ως απόρροια του διεθνούς προβληματισμού σχετικά με την έννοια της πολιτιστικής κληρονομιάς και ιδιαίτερα των πολιτισμικών εκφάνσεών της που δεν έχουν απτή, υλική διάσταση και κατά κύριο λόγο οφείλεται στις πρωτοβουλίες της UNESCO. Η πολιτιστική κληρονομιά δεν περιορίζεται στα μνημεία και τις συλλογές αντικειμένων και κειμηλίων, αλλά περιλαμβάνει τις παραδόσεις και τις ζωντανές εκδηλώσεις του πολιτισμού που έχουν κληρονομηθεί από τις παλαιότερες γενιές και θα παραδοθούν στις νέες γενιές.

Η σύμβαση που αναγνώρισε την αξία της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς και τη “βαθιά αλληλεξάρτησή” της με την υλική πολιτιστική και φυσική κληρονομιά, που τη διακήρυξε ως φορέα της ανθρώπινης δημιουργικότητας και πηγή πολιτιστικής πολυμορφίας, που έθεσε έναν ορισμό, που αναγνώρισε τις αιτίες που την απειλούν με υποβάθμιση, εξαφάνιση και καταστροφή, που προέταξε τη διεθνή συνεργασία για τη διασφάλισή της και συγκεκριμένα μέτρα για τη διασφάλισή της είναι η Σύμβαση για τη Διαφύλαξη της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς [UNESCO 2003].

Στο άρθρο 2 της σύμβασης αναφέρεται ο ορισμός της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς:

«Με τον όρο “άυλη πολιτιστική κληρονομιά” εννοούνται οι πρακτικές, οι αναπαραστάσεις, οι εκφράσεις, οι γνώσεις και οι τεχνικές - καθώς και τα εργαλεία, αντικείμενα, χειροτεχνήματα και τους πολιτιστικούς χώρους που συνδέονται με αυτές - και τις οποίες οι κοινότητες, οι ομάδες και, περιπτώσεως δοθείσης, τα άτομα αναγνωρίζουν ότι αποτελούν μέρος της πολιτιστικής κληρονομιάς τους. Αυτή η άυλη πολιτιστική κληρονομιά, που μεταβιβάζεται από γενιά σε γενιά, αναδημιουργείται συνεχώς από τις κοινότητες και τις ομάδες σε συνάρτηση με το περιβάλλον τους, την αλληλεπίδραση τους με τη φύση και την ιστορία τους, και τους παρέχει μία αίσθηση ταυτότητας και συνέχειας, συμβάλλοντας έτσι στην προώθηση του σεβασμού της πολιτιστικής πολυμορφίας και της ανθρώπινης δημιουργικότητας.

Για τους σκοπούς της παρούσας Σύμβασης, θα λαμβάνεται υπόψη μόνο η άυλη πολιτιστική κληρονομιά που ανταποκρίνεται στα ήδη υφιστάμενα διεθνή κείμενα για τα ανθρώπινα δικαιώματα, ως και στην απαίτηση για αμοιβαίο σεβασμό μεταξύ κοινοτήτων, ομάδων και ατόμων, και για βιώσιμη ανάπτυξη. »

Η Άυλη Πολιτιστική Κληρονομιά, όπως ορίζεται στην παραπάνω παράγραφο, εκδηλώνεται ειδικότερα στα ακόλουθους τομείς:

- (α) στις προφορικές παραδόσεις και εκφράσεις, συμπεριλαμβανομένης της γλώσσας ως φορέα της άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς
- (β) στις τέχνες του θεάματος (μουσική, χορός, θέατρο)
- (γ) στις κοινωνικές πρακτικές, στις τελετουργίες και στις εορταστικές εκδηλώσεις
- (δ) στις γνώσεις και πρακτικές που αφορούν τη φύση και το σύμπαν
- (ε) στην τεχνογνωσία που συνδέεται με την παραδοσιακή χειροτεχνία.

Σύμφωνα με τη Σύμβαση του 2003, η Άυλη Πολιτιστική Κληρονομιά βρίσκεται σε απειλή. Η παγκοσμιοποίηση, οι κοινωνική μετασχηματισμοί και οι συνθήκες τις οποίες προκαλούν, οι περιβαλλοντικές και κλιματικές αλλαγές, αλλά και επείγουσες καταστάσεις (π.χ. πολεμικές συρράξεις, μετανάστευση) εγείρουν σοβαρές απειλές υποβάθμισης, καταστροφής ή και εξαφάνισης της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Η ροή αυτή δεν μπορεί να ανατραπεί, έτσι υπάρχει η ανάγκη για κινήσεις προς την κατεύθυνση της διαφύλαξης της [Καραβία 2013]. Η Σύμβαση αναγνωρίζει αυτή την ανάγκη και τη θέτει ως πρωταρχικό στόχο της. Σύμφωνα με τη Σύμβαση, *«ως “διαφύλαξη” εννοούνται τα μέτρα που αποβλέπουν στη διασφάλιση της βιωσιμότητας της άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς. συμπεριλαμβανομένων του προσδιορισμού, της τεκμηρίωσης, της έρευνας, της συντήρησης, της προστασίας, της προώθησης, της αξιοποίησης, της μεταβίβασης, κυρίως μέσω της τυπικής και της μη τυπικής εκπαίδευσης, καθώς και της αναζωογόνησης των διαφόρων πλευρών της κληρονομιάς αυτής.»*

Η Σύμβαση ορίζει συγκεκριμένες κατευθύνσεις και μέτρα για τη διαφύλαξη σε εθνικό επίπεδο και σε διεθνές επίπεδο έχει θεσπίσει δύο καταλόγους για τη γνωστοποίηση (Αντιπροσωπευτικός Κατάλογος της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς της Ανθρωπότητας) και για την λήψη μέτρων για την κληρονομιά που χρήζει άμεσης προστασίας (Κατάλογος της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς που Απαιτεί Επείγουσα Προστασία) [UNESCO 2003].

1.3.1 Αναγνώριση και εφαρμογή της Σύμβασης του 2003 της UNESCO

Η Ελλάδα, η οποία κύρωσε τη Σύμβαση για την Άυλη Πολιτιστική Κληρονομιά το 2006, μέχρι σήμερα έχει εγγράψει στον Αντιπροσωπευτικό Κατάλογο της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς της Ανθρωπότητας πέντε στοιχεία άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς. Συγκεκριμένα, το 2013 η Ελλάδα, από κοινού με τις Ισπανία, Ιταλία, Κροατία, Κύπρο, Μαρόκο, Πορτογαλία, ενέγραψε τη Μεσογειακή Διατροφή, ως έκφανση άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς που χαρακτηρίζει τους μεσογειακούς λαούς. Το 2014 μετά από πρόταση της Ελλάδας εγγράφηκε η Τεχνογνωσία της Παραδοσιακής Μαστιχοκαλλιέργειας στη Χίο και το 2015 η Τηνιακή Μαρμαροτεχνία. Το έτος 2016 εγγράφηκαν τα Μωμοέρια, ένα έθιμο του

Δωδεκαήμερου, όπως τελείται σε οκτώ χωριά της Κοζάνης. Το 2017 εγκρίθηκε η εγγραφή του Ρεμπέτικου στον Αντιπροσωπευτικό Κατάλογο Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς της Ανθρωπότητας, ενώ το φθινόπωρο του 2018 πρόκειται να κριθεί η κοινή υποψηφιότητα της Ελλάδας και άλλων επτά χωρών (Γαλλία, Ελβετία, Ισπανία, Ιταλία, Κροατία, Κύπρος, Σλοβενία) για την Τέχνη της Ξερολιθιάς.

Σύμφωνα με το άρθρο 12 της Σύμβασης του 2003 κάθε κράτος-μέλος της Σύμβασης οφείλει να δημιουργήσει ένα ή περισσότερα ευρετήρια άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς. Το Εθνικό Ευρετήριο της Ελλάδας από το 2008 μέχρι σήμερα στο Εθνικό Ευρετήριο εμπλουτίζεται συνεχώς και μέχρι σήμερα έχουν εγγραφεί 22 στοιχεία. Μεταξύ αυτών είναι ο Τσακώνικος Χορός, το Θέατρο Σκιών - Καραγκιόζης, το Ηπειρώτικο Πολυφωνικό Τραγούδι, η Ψαλτική Τέχνη, η Μετακινούμενη Κτηνοτροφία, η Παραδοσιακή Τέχνη της Πέτρας στα Λαγκάδια Αρκαδίας, τα άγρια βρώσιμα χόρτα της Κρήτης- Εθνοβοτανικές Πρακτικές κ.α.

Από την Ελλάδα, επίσης, τρεις Μη Κυβερνητικές Οργανώσεις έχουν πιστοποιηθεί από την UNESCO ως σύμβουλοι της Επιτροπής για τη Διαφύλαξη της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Αυτές είναι το Λύκειον των Ελληνίδων, το Πολιτιστικό Ίδρυμα Ομίλου Πειραιώς και το Πελοποννησιακό Λαογραφικό Ίδρυμα «Β. Παπαντωνίου».

1.4 Ο παραστατικές τέχνες (χορός, μουσική, θέατρο)

Οι τέχνες του θεάματος ή παραστατικές τέχνες (performing arts) εκτίνονται από τη φωνητική και ορχηστρική μουσική το χορό, το θέατρο έως και την παντομίμα. Περιλαμβάνουν πολυάριθμες εκφράσεις πολιτισμού που αντανακλούν την ανθρώπινη δημιουργικότητα και εμφανίζονται σε πολλά άλλα πεδία της άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς [UNESCO, "Performing arts (such as traditional music, dance and theatre)"].

Η **μουσική** είναι πιθανόν η πιο διαδεδομένη από τις παραστατικές τέχνες και συναντάται σε κάθε κοινωνία, συχνά ως αναπόσπαστο κομμάτι άλλων τεχνών του θεάματος και άλλων πεδίων της άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς, όπως τελετουργίες, εορταστικές εκδηλώσεις ή και προφορικές παραδόσεις.

Ο **χορός**, είναι και αυτός μια πολύ διαδεδομένη παραστατική τέχνη. Συνδέεται με τη μουσική και απαντάται σε όλες σχεδόν τις κοινωνίες, ενώ και αυτός σχετίζεται με άλλα πεδία της άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς. Αν και είναι πολυδιάστατος, μπορεί απλώς να περιγραφεί ως οργανωμένες σωματικές κινήσεις που συνήθως εκτελούνται με τη συνοδεία μουσικής. Εκτός από τη σωματική του πλευρά, τις ρυθμικές κινήσεις, τα βήματα και τις χειρονομίες ενός χορού, συχνά εκφράζει ένα συναίσθημα ή μια διάθεση ή εικονογραφεί ένα συγκεκριμένο γεγονός ή σκηνής από την καθημερινή ζωή, όπως οι θρησκευτικοί χοροί και οι χοροί που συνοδεύουν το κυνήγι ή άλλες δραστηριότητες κοινοτήτων.

Το **παραδοσιακό θέατρο** συνήθως συνδυάζει ερμηνεία, τραγούδι, χορό και μουσική, διαλόγους αφήγηση αλλά μπορεί να περιλαμβάνει και κουκλοθέατρο ή παντομίμα.

Οι παραδοσιακές παραστατικές τέχνες είναι κάτι παραπάνω από απλές “παραστάσεις” για κάποιο κοινό. Συχνά παίζουν σπουδαίο ρόλο στο πολιτισμό και στην κοινωνία καθώς αποτελούν μέρος των δραστηριοτήτων ή τελετουργιών μιας κοινωνίας.

Σύμφωνα με την UNESCO τα μέτρα διαφύλαξης για τις παραδοσιακές τέχνες του θεάματος θα πρέπει να επικεντρωθούν κυρίως στη μετάδοση γνώσεων και τεχνικών και στην ενίσχυση του δεσμού μεταξύ αριστοτέχνη και μαθητευόμενου. Το βάθος ενός τραγουδιού, οι κινήσεις ενός χορού και θεατρικών ερμηνειών πρέπει όλες να ενισχυθούν.

Οι εκτελέσεις μπορούν επίσης να διερευνηθούν, να καταγραφούν, να τεκμηριωθούν, να απογραφούν και να αρχειοθετηθούν. Υπάρχουν, επίσης, πολλές ηχογραφήσεις σε αρχεία σε όλο τον κόσμο με πολλές που χρονολογούνται πάνω από έναν αιώνα. Αυτές οι παλαιότερες ηχογραφήσεις απειλούνται από φθορά και μπορεί να χαθούν μόνιμα εκτός εάν έχουν ψηφιοποιηθεί. Παρομοίως στο χορό, υπάρχουν σημειογραφημένες καταγραφές χορών που πρέπει να ψηφιοποιηθούν και να γίνουν διαθέσιμες στο κοινό σε αυτή ή και σε άλλη μορφή.

Τα πολιτιστικά μέσα, οι οργανισμοί, τα ιδρύματα και οι βιομηχανίες μπορούν επίσης να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη διασφάλιση της βιωσιμότητας των παραδοσιακών μορφών των τεχνών του θεάματος, αναπτύσσοντας κοινό και ευαισθητοποιώντας το ευρύ κοινό. Το κοινό μπορεί να ενημερωθεί για τις διάφορες πτυχές μιας μορφής έκφρασης, επιτρέποντάς του να αποκτήσει μια νέα και ευρύτερη δημοτικότητα, προωθώντας παράλληλα και γνώση που με τη σειρά του ενθαρρύνει το ενδιαφέρον για τις τοπικές παραλλαγές μιας μορφής τέχνης και μπορεί να οδηγήσει σε ενεργό συμμετοχή στην ίδια την εκτέλεση.

Οι σύγχρονες τεχνολογίες ψηφιοποίησης, αρχειοθέτησης και διάθεσης στο κοινό πολιτιστικών προϊόντων (π.χ. ψηφιακές βιβλιοθήκες) αλλά και οι νέες τεχνολογίες που επιτρέπουν την αλληλεπίδραση και επαφή με τα δεδομένα (π.χ. ψηφιακές αναπαραστάσεις, επαυξημένη και εικονική πραγματικότητα) δημιουργούν σημαντικές ευκαιρίες και δυνατότητες για την καταγραφή, τη μελέτη, τη διάδοση στοιχείων της άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς στους ανθρώπους από μια κοινωνία αλλά και από όλο τον κόσμο, συντελώντας στην διαφύλαξή τους.

2 Σχετικές Εργασίες – Μεθοδολογικό πλαίσιο

Στο Κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά σε εργασίες που έχουν ως θέμα της καταγραφή χορού με τη χρήση υπολογιστή και ιδιαίτερα στην αυτόματη δημιουργία σημειογραφίας Labanotation και στο μεθοδολογικό τους πλαίσιο. Γίνεται επίσης αναφορά σε άλλες χρήσεις του Labanotation και της καταγραφής κίνησης.

2.1 Η καταγραφή του χορού

Ο χορός είναι μια παραστατική τέχνη με μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο και τις κοινωνίες. Σε όλο τον κόσμο υπάρχει μια πλούσια παράδοση παραδοσιακών χορών που αποτελούν χαρακτηριστικό στοιχείο των πολιτισμών και σημαντικό στοιχείο της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Ωστόσο, εξαιτίας διάφορων παραγόντων, πολλοί παραδοσιακοί χοροί και άλλες παραστατικές τέχνες αλλοιώνονται στο χρόνο και σε ορισμένες περιπτώσεις απειλούνται με εξαφάνιση. Επομένως, κρίνεται σημαντική η καταγραφή και η διάδοσή τους που συντελούν τελικά στην προστασία τους.

Η σημειογραφία του χορού αποτελείται από ένα σύνολο συμβόλων και κανόνων για την καταγραφή του χορού (ή της κίνησης εν γένει) όπως η μουσική σημειογραφία για τη μουσική. Η χρήση της σημειογραφίας του χορού για την περιγραφή της ανθρώπινη κίνησης είναι αυστηρή, ενδεδειγμένη, πρακτική και εύκολη στην αποθήκευση. Υπάρχουν πολλά συστήματα σημειογραφίας του χορού. Μια αναφορά στα συστήματα σημειογραφίας γίνεται στο Κεφάλαιο 3. Η σημειογραφία Labanotation αναγνωρίζεται ως μία από τις ευρύτετα χρησιμοποιούμενες και ακριβείς σημειογραφίες για την καταγραφή του χορού. Το σύστημα Labanotation είναι εύκολο στην κατανόηση, λογικό και παραστατικό. Έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στη καταγραφή μπαλέτου και άλλων δυτικών χορών. Ωστόσο η καταγραφή του έχει δυσκολίες καθώς είναι μια χρονοβόρα και κοπιώδης εργασία. Για τη διευκόλυνση της καταγραφής έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι με τη χρήση υπολογιστή.

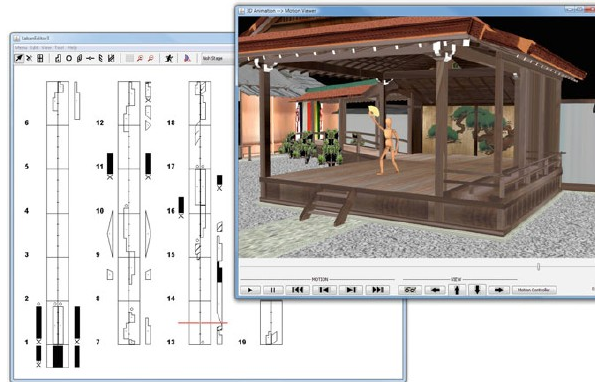
2.2 Σχετικές εργασίες

Οι Wang et al. [2017] αναφέρουν τρεις κύριες ερευνητικές κατευθύνσεις στο συνδυασμό σημειογραφίας Labanotation και τεχνολογίας υπολογιστών:

Η πρώτη αποτελεί την ανάπτυξη λογισμικού ως εργαλείων για τη σχεδίαση Labanotation με χειροκίνητο τρόπο. Το λογισμικό παρέχει μια σειρά από σύμβολα και ο χρήστης του τοποθετεί τα σύμβολα σε μια παρτιτούρα. Αυτό απλοποιεί κατά

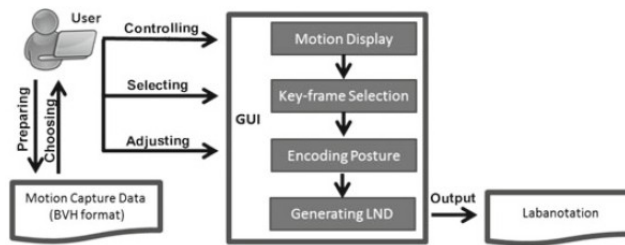
πολύ τη διαδικασία της σχεδίασης παρτιτούρων χορού. Τέτοια λογισμικά είναι το Laban Writer, το LabanEditor, το Labanatory, το LabaNotator, το Calaban, το LED κ.α. Το Laban Writer, που αναπτύχθηκε από το Ohio State University και βασίζεται στην πλατφόρμα Macintosh, αποτελεί το πιο διαδεδομένο λογισμικό αυτού του είδους. Παρέχει ένα γραφικό εργαλείο για τη δημιουργία παρτιτούρων σε ψηφιακή μορφή και περιλαμβάνει περισσότερα από 700 σύμβολα [LabanWriter].

Η δεύτερη κατεύθυνση είναι η κίνηση μοντέλων χαρακτήρων με χρήση Labanotation. Οι Kojima et al. [2002] ανέπτυξαν και εξελίσσουν το εργαλείο LabanEditor το οποίο οποία πέρα από την δημιουργία, επεξεργασία παρτιτούρων και εξαγωγή στη μορφή LabanXML (XML αναπαράσταση μιας παρτιτούρας Labanotation [Nakamura & Hachimura 2006]), μπορεί να δημιουργήσει τρισδιάστατα animation χαρακτήρα, δίνοντας τη δυνατότητα σε αρχαίους να μάθουν και να μελετήσουν τις κινήσεις και πως αυτές μεταφράζονται στο Labanotation (βλ. Εικόνα 1). Το εργαλείο χρησιμοποιήθηκε για την περιγραφή και απεικόνιση παραδοσιακών παραστάσεων του Ιαπωνικού θεάτρου No [Choensawat et al. 2016]. Τα λογισμικά Life Forms από τους Maranan et al. [2002] και Laban Dancer από τους Wilke et al. [2005] μπορούν, επίσης, να μετατρέψουν παρτιτούρα Labanotation σε κίνηση ενός τρισδιάστατου χαρακτήρα. Οι Zhang et al. [2006] παρουσίασαν το σύστημα χορογραφίας κίνησης LabanChoreographer που βασίζεται σε σημειογραφία. Το λογισμικό δέχεται από το χρήστη συγκεκριμένα σύμβολα, κάνει ανάκτηση κίνησης με βάση το Labanotation για να βρει παρόμοιες κινήσεις από μια βάση δεδομένων καταγραφής κίνησης που έχει σημειογραφηθεί, και ενώνει τα ανακτημένα αποσπάσματα σε μία συνεχή ακολουθία που ταιριάζει με την ακολουθία των κινήσεων που δόθηκαν. Η χρήση του Labanotation ως ένα είδος χαρακτηριστικού για την ανάκτηση δεδομένων κίνησης και εργαλείου ευρετηρίου γίνεται και από τους Shen et al. [2005] για την τροποποίηση δεδομένων κίνησης.



Εικόνα 1: Το περιβάλλον του λογισμικού LabanEditor. Το αριστερό παράθυρο είναι το παράθυρο επεξεργασίας Labanotation και το δεξί είναι το παράθυρο για την απεικόνιση της αντίστοιχης κίνησης σε animation. (Πηγή: Choensawat et al. 2016)

Η τρίτη κατεύθυνση είναι η παραγωγή Labanotation με αυτόματο τρόπο. Σήμερα η καταγραφή χορών με σημειογραφία γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με χειροκίνητη σχεδίαση. Αυτό απαιτεί πολύ χρόνο, γεγονός που δυσκολεύει την καταγραφή χορών σε μεγάλη κλίμακα. Καθώς πρόκειται για ένα διεπιστημονικό πρόβλημα που αφορά το χορό και την επιστήμη των υπολογιστών, η αυτόματη δημιουργία σημειογραφίας βρίσκεται ακόμα σε αρχικό στάδιο. Η πρώτη προσπάθεια για δημιουργία σημειογραφίας με αυτόματο τρόπο από δεδομένα καταγραφής κίνησης (motion capture), έγινε από τους Hachimura και Nakamura [2001]. Πρότειναν μια μέθοδο για τη δημιουργία σημειογραφίας για κινήσεις των άνω άκρων βασισμένη σε χωρική ανάλυση. Εξέλιξη αυτής της προσπάθειας αποτελεί η ανάπτυξη του λογισμικού GenLaban για την αυτόματη δημιουργία Labanotation [Choensawat et al. 2015]. Οι Chen et al. [2005], επίσης, παρουσίασαν ένα σύστημα δημιουργία σημειογραφίας σε μορφή Labanotation κάνοντας χρήση δεδομένων καταγραφής κίνησης. Άλλα παρόμοια συστήματα για αυτόματη δημιουργία Labanotation είναι αυτά των Chen et al. [2013], Guo et al. [2014] και Wang et al. [2017]. Οι Zhou et al. [2016] παρουσίασαν ένα σύστημα αυτόματης δημιουργίας Labanotation, βασισμένο σε δεδομένα καταγραφής κίνησης, που βρίσκει τα κατάλληλα σύμβολα κάνοντας σύγκριση με μια βιβλιοθήκη βασικών κινήσεων.

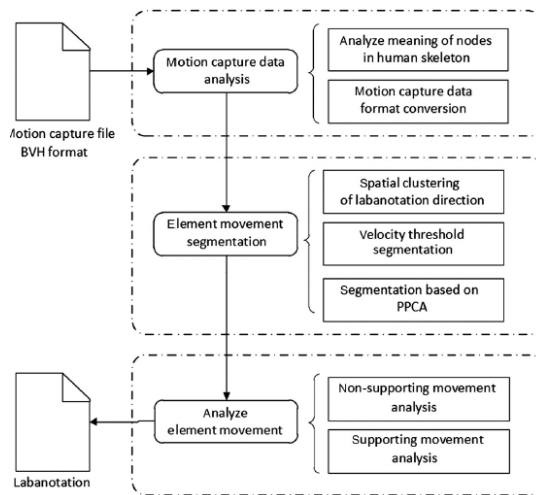


Εικόνα 2: Διάγραμμα του συστήματος GenLaban.
(Πηγή: Choensawat et al. 2016)

Ακολουθεί μια περιγραφή των δύο πιο ολοκληρωμένων συστημάτων της τρίτης κατεύθυνσης που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Οι Choensawat et al. [2015], στο πλαίσιο της ψηφιοποίησης και αρχειοθέτησης χορών, ανέπτυξαν το εργαλείο για την αυτόματη δημιουργία παρτιτούρας Labanotation από δεδομένα καταγραφής κίνησης με την ονομασία GenLaban. Το σύστημα έχει μια διαδραστική γραφική διεπαφή (GUI) η οποία δίνει, επιπλέον, στους χρήστες τη δυνατότητα να τροποποιήσουν την παρτιτούρα που δημιουργείται αυτόματα, καθιστώντας το ένα εργαλείο που μπορεί να υποβοηθήσει στη σημειογράφηση χορών. Το σύστημα παρουσιάζεται στην Εικόνα 2. Το σύστημα πραγματοποιεί προεπεξεργασία των δεδομένων κίνησης που έχουν καταγραφεί, εύρεση των βασικών καρέ με κατάτμηση με βάση την ταχύτητα, ανάλυση των κινήσεων (κατάταξη σε κατευθύνσεις, εύρεση υποστήριξης βάρους και αλμάτων, λύγισμα μελών) και δημιουργεί δεδομένα LND που είναι μια αναπαράσταση παρτιτούρας Labanotation χρησιμοποιούμενη από το σύστημα LabanEditor [Kojima et al. 2002]. Το σύστημα εξετάζεται με δεδομένα από ακριβές οπτικό σύστημα καταγραφής κίνησης και με δεδομένα από τον χαμηλού κόστους αισθητήρα Kinect.

Οι Wang et al. [2017] παρουσιάζουν μια μέθοδο για την αυτόματη παραγωγή Labanotation στο πλαίσιο της διαφύλαξης παραδοσιακών χορών. Κάνουν χρήση δεδομένων καταγραφής κίνησης από ένα εμπορικό σύστημα με στόχους και από ένα σύστημα χωρίς στόχους που κατασκεύασαν. Η εργασία τους χωρίζεται σε τρία στάδια που παρουσιάζονται στο Σχ. 1 και αφορούν τη λήψη και προεπεξεργασία των δεδομένων, την κατάτμηση της κίνησης σε στοιχειώδεις κινήσεις, όπου εφαρμόζουν τρεις τεχνικές για τη κατάτμηση της κίνησης του κέντρου βάρους του σώματος, των άνω και κάτω άκρων, και την ανάλυση των στοιχειωδών κινήσεων, όπου κάνουν χρήση δύο μεθόδων, ανάλογα με το αν οι κινήσεις χαρακτηρίζονται ως υποστηρικτικές ή όχι, για τον καθορισμό των συμβόλων που αντιστοιχούν στις κινήσεις. Τέλος, αναπτύσσουν ένα λογισμικό το οποίο υλοποιεί τη διαδικασία της αυτόματης παραγωγής Labanotation, με χρήση δεδομένων κίνησης.



Σχήμα 1: Διάγραμμα ροής του συστήματος των Wang et al. [2017]

2.3 Μεθοδολογικό πλαίσιο

Παρακάτω αναπτύσσεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στα συστήματα αυτόματης δημιουργίας Labanotation όπως προέκυψε από τη μεταξύ τους σύγκριση.

2.3.1 Προεπεξεργασία δεδομένων

Δεδομένα εισόδου των συστημάτων αυτών είναι τα δεδομένα καταγραφής κίνησης τα οποία είναι αποθηκευμένα σε διάφορα είδη αρχείων. Τα είδη μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: στην πρώτη τα δεδομένα των αρθρώσεων αποθηκεύονται με μια ιεραρχική δομή και με βάση τις σχετικές θέσεις, στη δεύτερη αποθηκεύονται οι συντεταγμένες των αρθρώσεων στον τρισδιάστατο χώρο. Στα συστήματα που περιγράφονται, τα δεδομένα εισάγονται συνήθως με τη μορφή αρχείων BVH (BioVision Hierarchical data). Τα αρχεία BVH ανήκουν στην πρώτη κατηγορία και τα δεδομένα θέσης των αρθρώσεων είναι αποθηκευμένα με ιεραρχικό τρόπο με τη μορφή γωνιών Euler. Τα δεδομένα μετασχηματίζονται για να προκύψουν οι συντεταγμένες των αρθρώσεων σε τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων.

2.3.2 Κατάτμηση κίνησης

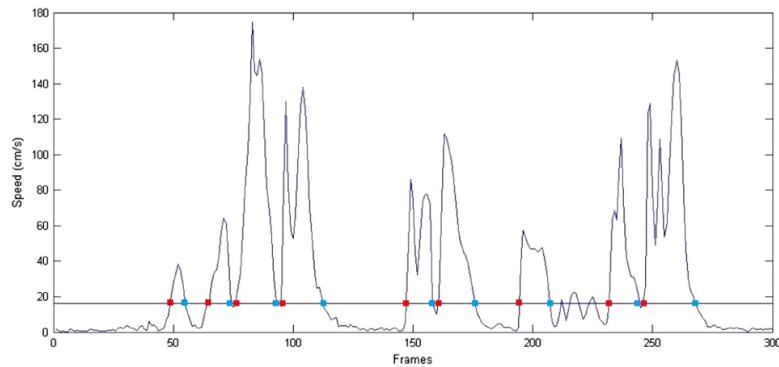
Η ανθρώπινη κίνηση συντίθεται από μια σειρά στοιχειωδών κινήσεων. Στο Labanotation ένα σύμβολο αναπαριστά μια στοιχειώδη κίνηση ενός μέλους του σώματος. Για την αυτόματη δημιουργία σημειογραφίας, τα δεδομένα από καταγραφή κίνησης πρέπει να κατατμηθούν σε στοιχειώδεις κινήσεις. Συγκεκριμένα θα πρέπει να βρεθούν οι στοιχειώδεις κινήσεις για το κέντρο βάρους του σώματος, για τα άνω και κάτω άκρα. Η κίνηση του κέντρου βάρους

αντιπροσωπεύει την μετακίνηση ολόκληρου του σώματος και σε μια παρτιτούρα Labanotation καταγράφεται στη στήλη μετακίνησης (ή αλλιώς στήλη υποστήριξης). Οι κινήσεις (ή χειρονομίες) των άνω και των κάτω άκρων (όταν δεν φέρουν σωματικό βάρος) καταγράφονται σε αντίστοιχες στήλες. Μια περιγραφή του συστήματος Labanotation γίνεται στο Κεφάλαιο 3.

Το σύστημα των Wang et al. χρησιμοποιεί τρεις μεθόδους για την κατάτμηση της κίνησης σε στοιχειώδεις κινήσεις.

Για την κατάτμηση της μετατόπισης του κέντρου βάρους γίνεται χωρική ομαδοποίηση με βάση την κατεύθυνσή της. Χρησιμοποιείται η κεντρική άρθρωση (ή άρθρωση ρίζα σε μια ιεραρχική θεώρηση της δομής των αρθρώσεων) καθώς θεωρείται ότι οι κινήσεις της προσεγγίζουν αυτές του κέντρου βάρους. Υπολογίζονται τα διανύσματα ανάμεσα σε διαδοχικές θέσεις στην τροχιά της και βρίσκεται η κατεύθυνση της κίνησης για κάθε διάστημα. Αν η κίνηση είναι κατακόρυφη τότε βρίσκεται αν είναι προς τα πάνω ή προς τα κάτω. Αν η κίνηση είναι οριζόντια, υπολογίζεται η κατεύθυνση κίνησης στο οριζόντιο επίπεδο με βάση το διαχωρισμό στο σύστημα Labanotation που αναφέρεται παρακάτω. Τέλος, γίνεται ομαδοποίηση διαδοχικών κινήσεων που έχουν την ίδια κατεύθυνση.

Επειδή τα δεδομένα από καταγραφή κίνησης είναι πολύ πυκνά, λόγω του μεγάλου αριθμού καρτέ που καταγράφουν τα συστήματα καταγραφής, τα διανύσματα υπολογίζονται ανάμεσα στα καρτέ με βάση κάποιο βήμα.



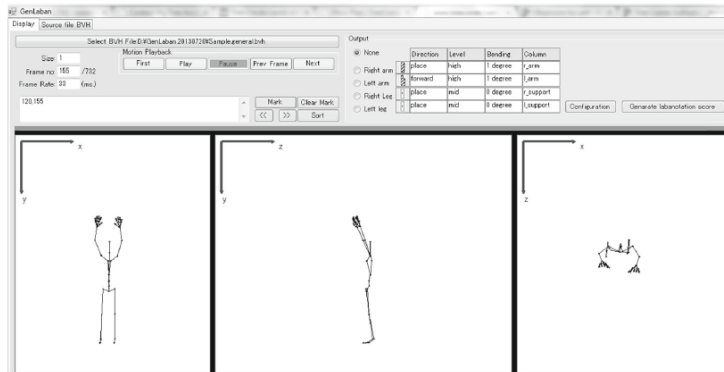
Σχήμα 2: Διάγραμμα της ταχύτητας ενός μέλους. Η κατάτμηση της κίνησης γίνεται με εφαρμογή κατωφλίου στην ταχύτητα. Τα κόκκινα τετράγωνα δηλώνουν το καρέ στο οποίο ξεκινά μια κίνηση και τα γαλάζια το καρέ στο οποίο ολοκληρώνεται. (Πηγή: Wang et al. 2017)

Για την κίνηση των άνω άκρων γίνεται κατάτμηση με τη μέθοδο του κατωφλίου ταχύτητας. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην κινηματική και εκμεταλλεύεται τις ασυνέχειες στην κίνηση του μέλους όπως αυτές εκφράζονται στην ταχύτητά του. Όταν η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από ένα κατώφλι τότε το άκρο είναι σε κίνηση. Με βάση τη μεταβολή της ταχύτητάς μπορούν να ξεχωρίσουν δύο διαδοχικές κινήσεις ως εξής: Όταν η τιμή της ταχύτητας είναι κάτω από το κατώφλι και το ξεπερνά, τότε θεωρείται ότι μια κίνηση αρχίζει, ενώ όταν η τιμή της ταχύτητας πέφτει κάτω από το κατώφλι, εκείνη τη στιγμή η κίνηση ολοκληρώνεται. Τα σημεία αυτά παρουσιάζονται σε ένα παράδειγμα στο Σχήμα 2.

Η κατάτμηση με αυτή τη μέθοδο είναι κατάλληλη, σύμφωνα με τους ερευνητές, για κατάτμηση απλών κινήσεων. Είναι αποτελεσματική σε κινήσεις με ξεκάθαρες παύσεις και δεν δίνει καλά αποτελέσματα σε ομαλές κινήσεις.

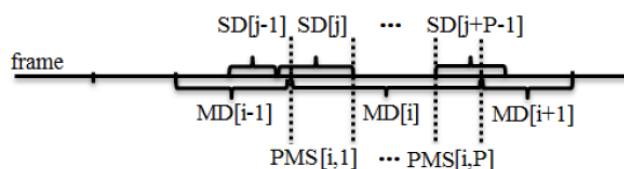
Για την κίνηση των κάτω άκρων, η κατάτμηση βασίζεται στη πιθανοτική ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PPCA).

Στο σύστημα GenLaban χρησιμοποιείται η μέθοδος του κατωφλίου ταχύτητα για όλα τα άκρα. Τα καρέ που προκύπτουν ονομάζονται βασικά καρέ (key-frames). Το σύστημα παρέχει συμπληρωματικά ένα διαδραστικό γραφικό περιβάλλον για χειροκίνητη επιλογή βασικών καρέ που φαίνεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Γραφικό περιβάλλον επιλογής βασικών καρτέ του συστήματος GenLaban. Ο χρήστης μπορεί να δει τα καρτέ και να επιλέξει χειροκίνητα τα βασικά καρτέ. (Πηγή: Choensawat et al. 2015)

Το σύστημα των Guo et al. [2014] ονομάζει τις στοιχειώδεις κινήσεις “primary motion segments” (PMS) και κάνει κατάτμηση με διαφορετικό τρόπο. Για τα τέσσερα άκρα και για το κεφάλι γίνεται κατάτμηση των κινήσεών τους με τη μέθοδο ανάλυσης κυρίων συνιστωσών (PCA). Για την ανάλυση των μετακινήσεων του κέντρου βάρους βρίσκει για κάθε καρτέ αν το ανθρώπινο σώμα υποστηρίζεται από ένα μέλος (ή δυο μέλη) και από ποιο (ή ποια). Αυτό στο σύστημα ονομάζεται κατάσταση υποστήριξης (supporting state ή SS) και βρίσκεται υπολογίζοντας το ύψος του κάθε ποδιού από το έδαφος. Αν το ύψος είναι κάτω από ένα όριο τότε το μέλος αυτός στηρίζει το σώμα. Οι ίδιες διαδοχικές καταστάσεις στήριξης ομαδοποιούνται σε φάσεις υποστήριξης (support durations ή SD). Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι διάφορες κατευθύνσεις κίνησης με παρόμοιο τρόπο με το πρώτο σύστημα. Υπολογίζεται ένα διάνυσμα διαφοράς ανάμεσα σε διαδοχικά καρτέ, γίνεται χωρική ομαδοποίηση της κατεύθυνσης και προκύπτουν οι φάσεις κίνησης (motion durations ή MD). Οι στοιχειώδεις κινήσεις (PMS) προκύπτουν από την σύγκριση των φάσεων SD και MD όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.

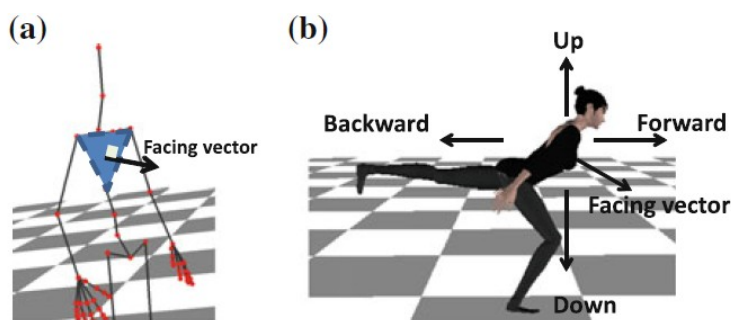


Σχήμα 3: Εξαγωγή στοιχειωδών κινήσεων (PMS) από τις φάσεις κίνησης (MD) και τις φάσεις υποστήριξης (SD). (Πηγή: Guo et al. 2014)

2.3.3 Ανάλυση στοιχειωδών κινήσεων

Στο σύστημα Labanotation υπάρχουν 27 βασικά σύμβολα. Τα 27 αυτά σύμβολα δηλώνουν 27 διαφορετικές κατευθύνσεις που αντιστοιχούν σε 27 υποχωρία του τρισδιάστατου χώρου. Προκειμένου να καθορισθεί η κατεύθυνση μιας στοιχειώδους κίνησης, απαιτείται μια διεύθυνση αναφοράς με βάση το ίδιο το ανθρώπινο σώμα.

Υπολογίζεται ένα διάνυσμα κάθετο στο επίπεδο του κορμού με κατεύθυνση προς τα εκεί που ο άνθρωπος κοιτάζει, το οποίο ορίζει ένα σύστημα αναφοράς της κίνησης με βάση το σώμα. Στο σύστημα αυτό, ο άξονας της κίνησης πάνω-κάτω ταυτίζεται με την κατακόρυφο και ο άξονας της κίνησης εμπρός-πίσω είναι παράλληλος με την οριζόντια συνιστώσα του διανύσματος (βλ. Εικόνα 4).

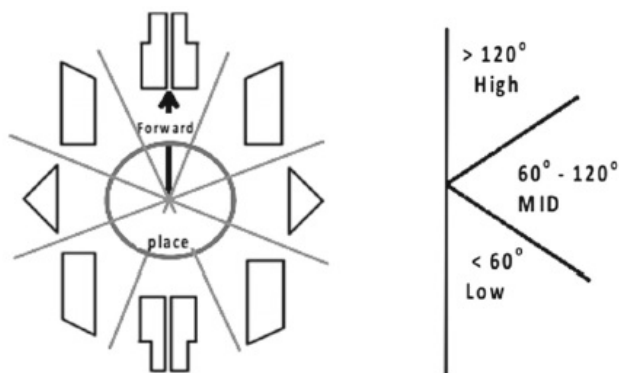


Εικόνα 4: Το διάνυσμα που δηλώνει την εμπρός κατεύθυνση (a) και το σύστημα αναφοράς της κίνησης που αυτό ορίζει (b). (Πηγή: Choensawat et al. 2015)

Η διαδικασία της ανάλυσης διαφέρει για τις κινήσεις ανάλογα με το εάν αυτές φέρουν ή όχι σωματικό βάρος. Οι κινήσεις που **δεν φέρουν σωματικό βάρος** περιλαμβάνουν: τις κινήσεις των άνω άκρων και τις κινήσεις των κάτω άκρων που δεν προκαλούν μετατόπιση στο κέντρο βάρους του σώματος.

Οι Wang et al. αναφέρουν ότι η ανάλυση αυτών των κινήσεων χρειάζεται μόνο να λάβει υπόψιν την στάση του μέλους όταν οι κινήσεις αυτές έχουν ολοκληρωθεί.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στο Labanotion υπάρχουν 27 βασικές κατευθύνσεις στο χώρο που αντιστοιχούν σε 27 βασικά σύμβολα. Ο χώρος χωρίζεται σε εννέα κατευθύνσεις (οκτώ κατευθύνσεις και "θέση") στο οριζόντιο επίπεδο και σε τρεις στο κατακόρυφο επίπεδο (τρία επίπεδα κίνησης). Οι Hachimura and Nakamura [2001] πρότειναν το χωρισμό του οριζοντίου επιπέδου σε τομείς των 45° και το κατακόρυφο επίπεδο σε τομείς των 60° όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Ο διαχωρισμός του χώρου με βάση τις κατευθύνσεις στο Labanotation, όπως προτάθηκε από τους Hachimura and Nakamura [2001]. Αριστερά, η οριζόντια κατεύθυνση (αριστερά) που σχετίζεται με τη διεύθυνση αναφοράς και δεξιά, το επίπεδο κίνησης ή κατεύθυνση στο κατακόρυφο επίπεδο. (Πηγή: Choensawat et al. 2015)

Στο σύστημα GenLaban, βασιζόμενοι στους Hachimura και Nakamura, για κάθε βασικό καρτέ για καθένα από τα τέσσερα άκρα, υπολογίζουν την κατεύθυνση του διάνυσματος που σχηματίζει η άρθρωση-γονέας (άρθρωση ώμου/ισχίου) με την άρθρωση-παιδί (άρθρωση καρπού/αστραγάλου). Αν η οριζόντια απόσταση των δύο αρθρώσεων είναι μικρότερη από ένα όριο, η κατεύθυνση χαρακτηρίζεται ως "θέση", αλλιώς με βάση τη γωνία που σχηματίζει το διάνυσμα με τη διεύθυνση αναφοράς βρίσκεται η αντίστοιχη κατεύθυνση στο οριζόντιο επίπεδο με βάση το Σχήμα 4. Παρομοίως, με βάση τη γωνία που σχηματίζει το διάνυσμα με τον κατακόρυφο άξονα βρίσκεται το επίπεδο κίνησης.

Το σύστημα των Guo et al. αναλύει τη στάση πέρα από τα τέσσερα άκρα και για το κεφάλι με τον τρόπο που ακολουθείται στο GenLaban.

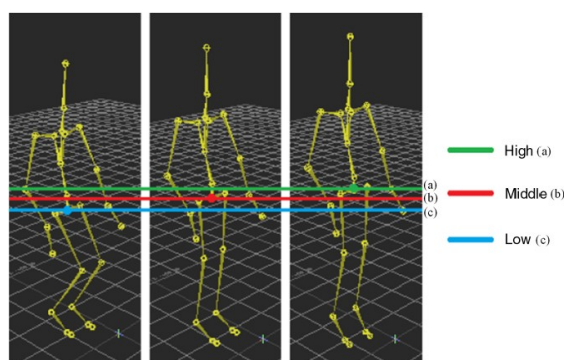
Για τον υπολογισμό της κατεύθυνσης μιας στοιχειώδους κίνησης ενός μέλους οι Wang et al. υπολογίζουν το διάνυσμα από την αρχική θέση έως την τελική θέση. Με βάση την οριζόντια απόσταση και τη γωνία που σχηματίζει με τη διεύθυνση αναφοράς βρίσκεται η κατεύθυνση στο οριζόντιο επίπεδο και με βάση τη γωνία που σχηματίζει το διάνυσμα με τον κατακόρυφο άξονα βρίσκεται το επίπεδο κίνησης όπως το Σχήμα 4, με τη διαφορά ότι ο χωρισμός των διαστημάτων είναι 30° - 120° - 30° αντί του σχήματος που είναι 60° - 60° - 60° .

Η ανάλυση των μετακινήσεων του σώματος που προκαλούνται από τα σκέλη **που φέρουν σωματικό βάρος** σύμφωνα με τους Wang et al. [2017] πρέπει να εξετάσει και να καθορίσει τρία στοιχεία: τον τύπο της μετακίνησης, την κατεύθυνση και το μέλος του σώματος που την προξενεί.

Πρώτα, καθορίζεται ο τύπος της μετακίνησης: βήμα ή πήδημα. Σε ένα πήδημα όλα τα μέλη του σώματος αφήνουν το έδαφος και το κέντρο βάρους είναι ψηλότερα απ' ότι στις συνήθεις κινήσεις. Τα βήματα περιγράφουν τις αλλαγές στη θέση του κέντρου βάρους του σώματος στο οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο.

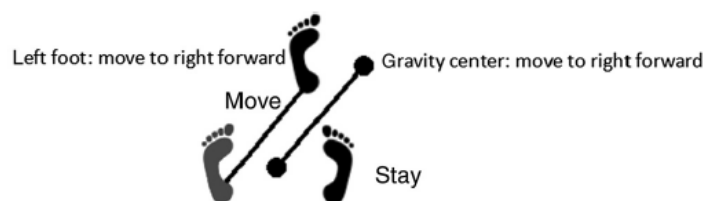
Οι Wang et al. για τον προσδιορισμό του τύπου της μετακίνησης εφαρμόζουν το εξής: Αν το ύψος της κεντρικής άρθρωσης είναι πάνω από ένα όριο, τότε κανένα μέλος του σώματος δεν ακουμπά το έδαφος και έχουμε πήδημα. Αλλιώς, αν δεν έχουμε πήδημα και αλλάζει η θέση της κεντρικής άρθρωσης, έχουμε βήματα.

Στη συνέχεια, καθορίζεται η κατεύθυνση της μετακίνησης. Η οριζόντια κατεύθυνση της μετακίνησης είναι η ίδια με την κατεύθυνση κίνησης του κέντρου βάρους, και καθορίζεται από το μέλος του σώματος που προκαλεί την μετακίνηση. Στο προηγούμενο στάδιο γίνεται κατάτμηση της κίνησης του κέντρου βάρους με χωρική ομαδοποίηση της κατεύθυνσης και προκύπτουν οι οριζόντιες κατευθύνσεις των στοιχειωδών κινήσεων. Το επίπεδο κίνησης της μετακίνησης στο Labanotation χαρακτηρίζεται ως “χαμηλό” όταν ο άνθρωπος μετακινείται με λυγισμένα τα γόνατα, “μεσαίο” όταν μετακινείται σε φυσική στάση και “ψηλό” όταν μετακινείται στις μύτες των ποδιών του. Επομένως, το επίπεδο κίνησης μπορεί να βρεθεί από το ύψος του κέντρου βάρους. Για το σκοπό αυτό εξετάζεται το ύψος της κεντρικής άρθρωσης όταν ο άνθρωπος έχει φυσική στάση. Όταν το ύψος είναι μεγαλύτερο τότε ο άνθρωπος θα είναι στις μύτες των ποδιών του και όταν το ύψος είναι χαμηλότερο ο άνθρωπος θα έχει λυγισμένα πόδια (βλ. Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Στο χαμηλό επίπεδο (αριστερά) ο άνθρωπος μετακινείται με λυγισμένα τα γόνατα, στο μέσο επίπεδο (κέντρο) με φυσική στάση και στο ψηλό επίπεδο στις μύτες των ποδιών του. Το επίπεδο της μετακίνησης στην εργασία των Wang et al. [2017] βρίσκεται με βάση το ύψος του κέντρου βάρους. (Πηγή: Wang et al. 2017)

Τέλος, προσδιορίζεται το μέλος που προκαλεί τη μετακίνηση. Για μια μετακίνηση πηδήματος, πρέπει να βρεθεί το μέλος του σώματος που στηρίζει το ανθρώπινο σώμα πριν το πήδημα, ενώ για μια μετακίνηση βημάτων, πρέπει να βρεθεί το μέλος του οποίου η κατεύθυνση κίνησης είναι ίδια με με αυτή του κέντρο βάρους.



Σχήμα 5: Μια μετακίνηση του σώματος με βήματα δεν μπορεί να προκληθεί από τα δύο πόδια ταυτόχρονα. Καθώς το ένα κινείται, το άλλο φέρει το βάρος του σώματος. Όμως, τη μετακίνηση στο κέντρο βάρους την προξενεί το μέλος που κινείται. (Πηγή: Wang et al. 2017)

Το σύστημα των Guo et al. ξεχωρίζει τις υποστηρικτικές κινήσεις σε τρεις τύπους: κατακόρυφη κίνηση πάνω-κάτω, βήματα, πήδημα. Για τις κατακόρυφες κινήσεις, με βάση κάποια όρια στη διαφορά ανάμεσα στο ύψος του σώματος κατά τη στοιχειώδη κίνηση και στο αρχικό ύψος, καθορίζεται το επίπεδο κίνησης. Το μέλος σώματος που φέρει το βάρος έχει καθοριστεί στις φάσεις υποστήριξης (SD) κατά την κατάτμηση. Για τα βήματα το επίπεδο της στοιχειώδους κίνησης καθορίζεται με βάση τη γωνία που σχηματίζεται με το κατακόρυφο επίπεδο. Το μέλος που προξενεί τη μετακίνηση του σώματος είναι αυτό που έχει την ίδια οριζόντια κατεύθυνση με τη μετακίνηση όπως στο Σχήμα 5. Για τα πηδήματα, το επίπεδο κίνησης καθορίζεται όπως τα βήματα και το μέλος που προξενεί τη μετακίνηση με άλμα βρίσκεται με βάση το μέλος που στηρίζει στην προηγούμενη στοιχειώδη κίνηση.

Η ανάλυση της υποστήριξης του βάρους και του μέλους που την προκαλεί διαφέρει στο GenLaban. Σύμφωνα με αυτή, το μέλος που φέρει το σωματικό βάρος πρέπει να πληροί δύο συνθήκες: σε μια στάση του σώματος θα πρέπει να είναι το χαμηλότερο μέλος και να είναι στο έδαφος, και σε μια κίνηση το χαμηλότερο μέλος θα πρέπει να είναι στατικό. Για τον καθορισμό του αν είναι ή όχι στατικό ένα μέλος, λαμβάνεται υπόψη η μετατόπιση του μέλους ανάμεσα σε δύο βασικά καρέ. Όταν κανένα από τα μέλη του σώματος δεν πληροί και τις δύο προϋποθέσεις τότε η στάση θα χαρακτηριστεί ως πήδημα.



Εικόνα 6: Παράδειγμα βαθμών συστολής χεριού και του αντίστοιχου συμβόλου. Ο τρίτος βαθμός συστολής αντιστοιχεί σε ορθή γωνία και ο έκτος σε πλήρως λυγισμένο άκρο. (Πηγή: Choensawat et al. 2015)

Στο GenLaban, επιπρόσθετα στην ανάλυση της κατεύθυνσης, γίνεται και ανάλυση του βαθμού συστολής των άκρων, δηλαδή του πόσο λυγισμένα είναι τα άκρα, και βρίσκονται τα αντίστοιχα σύμβολα. Ο βαθμός βρίσκεται με τον υπολογισμό της γωνίας στο χώρο που σχηματίζουν τα άκρα.

2.3.4 Καθορισμός διάρκειας

Η διάρκεια της κίνησης καθορίζει το μήκος του συμβόλου σε μια παρτιτούρα. Η διάρκεια προκύπτει έμμεσα από την κατάτμηση. Στο σύστημα GenLaban η διάρκεια σε beats υπολογίζεται ως εξής:


$$\text{μήκος συμβόλου} = \left(\frac{\text{καρέ}_\tau - \text{καρέ}_\pi}{\text{ρυθμόςκαρέ}} \right) \cdot \left(\frac{\text{τέμπο}}{60} \right),$$

όπου καρέ_τ και καρέ_π είναι ο αριθμός του τρέχοντος βασικού καρέ και του προηγούμενου αντίστοιχα, ρυθμόςκαρέ ο ρυθμός καταγραφής του συστήματος καταγραφής εκφρασμένος σε καρέ ανά δευτερόλεπτο (fps), και το τέμπο είναι ένας αριθμός που αναγράφεται στην αρχή της παρτιτούρας και δηλώνει πόσο γρήγορα πρέπει να εκτελεστεί ένας χορός και είναι εκφρασμένος σε beat ανά δευτερόλεπτο (bpm).

2.3.5 Εξαγωγή παρτιτούρας

Αφού βρεθούν τα σύμβολα και η διάρκειά τους μπορεί να γίνει εξαγωγή της παρτιτούρας σε μια μορφή αρχείου. Το GenLaban και οι Guo et al. δημιουργούν δεδομένα LND. Το LND αρχείο είναι μια απλή αναπαράσταση παρτιτούρας όπου τα βασικά σύμβολα αναπαριστώνται από αλφαριθμητικούς χαρακτήρες. Ένα παράδειγμα αρχείου φαίνεται στην Εικόνα 7.

#beat	4/4						
#tempo	120						
direction	r_arm	right	mid	0.0	0.0		
direction	l_arm	left	mid	0.0	0.0		
direction	r_support	place	mid	0.0	0.0		
direction	l_support	place	mid	0.0	0.0		
direction	r_arm	place	mid	0.0	2.7	SPACE	-5
direction	l_arm	place	mid	0.0	2.7	SPACE	-6
direction	r_support	place	mid	0.0	2.7		
direction	l_support	place	mid	0.0	2.7		
hold	r_support			2.7			
hold	l_support			2.7			
direction	r_arm	forward	low	2.7	5.3	SPACE	-1
direction	l_arm	forward	low	2.7	5.3	SPACE	-1
direction	r_arm	right	mid	5.3	7.9	SPACE	-1
direction	l_arm	left	mid	5.3	7.9	SPACE	-1
direction	r_arm	forward	high	7.9	10.3	SPACE	-1



Εικόνα 7: Παράδειγμα αρχείου LND. Περιέχει τις βασικές παραμέτρους (ρυθμό, τέμπο) και κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε μια στοιχειώδη κίνηση. Οι στήλες αντιστοιχούν στον τύπο του συμβόλου, στο μέλος σώματος, στην κατεύθυνση και στο επίπεδο κίνησης, στην αρχή και τέλος της κίνησης, στο βαθμό συστολής κ.α. (Πηγή: Choensawat et al. 2015)

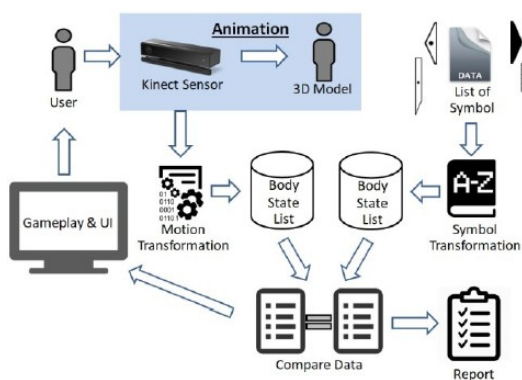
Στο δεύτερο σύστημα γίνεται έλεγχος για ύπαρξη περιττών στοιχείων που μπορεί να προκύπτουν λόγω σφαλμάτων στην επεξεργασία από αποκλίσεις στην κατάτμηση ή λόγω του θορύβου των δεδομένων καταγραφής, και γίνονται συγχωνεύσεις συμβόλων.

2.4 Άλλες εργασίες

Το Labanotation και τα άλλα συστήματα και μέθοδοι ανάλυσης της κίνησης αποδεικνύονται ισχυρά εργαλεία. Οι κανόνες που τα διέπουν, η αφαίρεση και άλλες ιδιότητές τους τα κάνουν χρήσιμα πέρα από την καταγραφή χορού και άλλους τομείς. Ήδη στην προηγούμενη ενότητα αναφέρθηκε μια χρήση του Labanotation για ανάσυρση δεδομένων κίνησης. Το συλλογικό βιβλίο *“Dance Notations and Robot Motion”* αναφέρεται στην ανάλυση της κίνησης μέσα σε ένα διεπιστημονικό πλαίσιο που περιλαμβάνει την ρομποτική, την πληροφορική, τη νευροεπιστήμη, τα συστήματα σημειογραφίας χορού και τη χορογραφία [Laumond & Abe 2016]. Εκεί μπορεί κανείς να βρει χρήσεις για ανάλυση της ανθρώπινης κίνησης, την καταγραφή και την αναπαράστασή της, την ερμηνεία της.

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία της παρακολούθησης κίνησης, τόσο στο κομμάτι του υλικού (εξέλιξη αισθητήρων βάθους κ.α.) όσο στο κομμάτι των μεθόδων, στον τομέα των παιχνιδιών και στα εικονικά περιβάλλοντα έχουν την προοπτική να δημιουργήσουν νέα περιβάλλοντα εκπαίδευσης και ενδιαφέρουσες

εμπειρίες ψυχαγωγίας [Charsky 2010] [Graafland et al. 2012] . Πρόσφατα, οι Ballas et al. [2017] παρουσίασαν ένα παιχνίδι σοβαρού σκοπού (serious game) για την εκμάθηση Labanotation με την ονομασία LabanDance. Το παιχνίδι λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα Kinect. Ο χρήστης καλείται να εκτελέσει μια ακολουθία από κινήσεις σε συγκεκριμένο χρόνο όπως αυτές καταγράφονται σε μια παρτιτούρα που εμφανίζεται στην οθόνη. Το παιχνίδι έχει δύο καταστάσεις λειτουργίας. Η πρώτη απευθύνεται σε χρήστες με μικρή εξοικείωση με το Labanotation και συνοδεύεται από έναν εικονικό εκπαιδευτή (τρισιδιάστατο χαρακτήρα - avatar) που εκτελεί τις κινήσεις στην παρτιτούρα. Στη δεύτερη ο χρήστης καλείται να εκτελέσει τις κινήσεις μόνο με βάση την παρτιτούρα. Το παιχνίδι περιλαμβάνει τέσσερα επίπεδα με κινήσεις των χεριών, των ποδιών, πηδήματα και τέλος ένα επίπεδο με συνδυασμό όλων των κινήσεων. Ο παίκτης λαμβάνει μια βαθμολογία με βάση το πόσο σωστά εκτέλεσε τις κινήσεις. Για τη σύγκριση της εκτελούμενης κίνησης με αυτήν που πρέπει να εκτελεστεί κατά την παρτιτούρα, τόσο η κίνηση που εκτελείται όσο και η παρτιτούρα μετατρέπονται, με βάση μια κωδικοποίηση, σε δύο λίστες οι οποίες συγκρίνονται. Μια επισκόπηση του συστήματος καθώς και μια εικόνα του γραφικού περιβάλλοντος που υλοποιήθηκε στο Unity 3D, παρουσιάζονται στην Εικόνα 8 και στο Σχήμα 6.



Σχήμα 6: Επισκόπηση του συστήματος LabanDancer. (Πηγή: Ballas et al. 2017)



Εικόνα 8: Το περιβάλλον του παιχνιδιού LabanDancer. (Πηγή: Ballas et al. 2017)

Το Kinect, ως μια συσκευή χαμηλού κόστους και ικανοποιητικής ακρίβειας χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές. Μια περιγραφή του αισθητήρα Kinect γίνεται στο Κεφάλαιο 4. Στη συνέχεια αναφέρονται κάποιες πρόσφατες χρήσεις του Kinect.

Στη εργασία των Pirovano et al. [2012] το Kinect χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη ενός παιχνιδιού για αποκατάσταση της ικανότητας της ισορροπίας. Ο ασθενής καλείται να παίξει το παιχνίδι "Fruit Catcher", στο οποίο πρέπει να καθοδηγήσει έναν χαρακτήρα για να συλλέξει διάφορα φρούτα που πέφτουν. Παίζοντας ακολουθεί κινήσεις που τον βοηθούν να αποκαταστήσει την ισορροπία

του. Το σύστημα εφαρμόζει μεθόδους υπολογιστικές νοημοσύνης για την παρακολούθηση της ορθότητας εκτέλεσης των ασκήσεων και για την προσαρμογή του παιχνιδιού στην κατάσταση του ασθενή. Οι Burelli et al. [2014] , χρησιμοποίησαν το Kinect για τη καταγραφή των θέσεων του κεφαλιού και του κορμού ενός παίκτη για να προβλέψουν την εμπειρία του παίκτη σε ένα παιχνίδι. Οι Paliyawan et al. [2015] δημιούργησαν μία διεπαφή για έλεγχο παιχνιδιών μαχητικών τεχνών με ολόκληρο το σώμα βασισμένη στο Kinect, που περιέχει ένα αλγόριθμο για ανίχνευση ενός συνόλου από στάσεις σώματος βάσει κανόνων και ορίων.

Αναφέρονται στη συνέχεια κάποιες εργασίες στην ανάλυση χορευτικών κινήσεων σε δεδομένα καταγραφής κίνησης. Οι Laggis et al. [2017] χρησιμοποίησαν το Kinect για την ανάλυση της τροχιάς χορευτικών κινήσεων. Οι Protoparadakis et al. [2017] ανέλυσαν τις ομοιότητες σε παραδοσιακούς χορούς μέσω χωρικής και χρονικής ενσωμάτωσης και ανάλυσης σημάτων. Οι Rallis et al. [2017] έκαναν εξαγωγή βασικών χορευτικών στάσεων από τρισδιάστατα δεδομένα καταγραφής κίνησης για δημιουργία περίληψης (summarization) χορογραφίας. Οι Protoparadakis et al. [2018] μελέτησαν την αναγνώριση χορευτικών στάσεων δεδομένα καταγραφής κίνησης συγκρίνοντας διάφορους ταξινομητές.

3 Καταγραφή χορού – Συστήματα σημειογραφίας – Labanotation

Όσα ακολουθούν στο παρόν κεφάλαιο στηρίζονται κατά κύριο λόγο στο βιβλίο της Ann Hutchinson Guest *Labanotation: The System of Analyzing and Recording Movement* [Guest 2013], στα λήμματα της *Encyclopædia Britannica Dance notation* [Guest 2016] και *Labanotation* [Guest 2013], γραμμένα από την Ann Hutchinson Guest, και στο κείμενο της Ρένας Λουτζάκη *Η Κινησιογραφία του Λάμπαν (ή Labanotation)* [Λουτζάκη 2004].

3.1 Καταγραφή του χορού

Η καταγραφή του χορού μπορεί να γίνει με τρεις μεθόδους. Οι μέθοδοι από την παλαιότερη στη νεότερη μέθοδο είναι: η σημειογραφία, το φιλμ-βίντεο και τα σύγχρονα συστήματα καταγραφής της κίνησης (motion capture). Κάθε τρόπος καταγραφής χαρακτηρίζεται από πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και είναι κατάλληλο για την καταγραφή και προβολή διαφορετικών πλευρών του χορού [Καραβία 2013].

Η σημειογραφία του χορού αποτελεί αντίστοιχο της μουσικής σημειογραφίας. Κάνει χρήση συμβόλων για την καταγραφή στο χαρτί της κίνησης που γίνεται στον τρισδιάστατο χώρο. Με αυτήν μπορούν να περιγραφούν λεπτομερώς τα βήματα ενός χορού. Η επινόησή της ανάγεται στην Αναγέννηση και σήμερα έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα σημειογραφίας.

Το φιλμ και έπειτα το βίντεο αποτελούν, χρονικά, τα επόμενα μέσα καταγραφής του χορού. Αποτελεί τον πλέον ρεαλιστικό τρόπο καταγραφής και απεικόνισης που δίνει σημαντικές πληροφορίες για τις συνθήκες ερμηνείας, τις λεπτομέρειες του χώρου, την ενδυμασία, το συναίσθημα και τον αυθορμητισμό των εκτελεστών και μπορεί να δημιουργήσει ρεαλιστικά παράγωγα. Ωστόσο έχει σημαντικούς περιορισμούς. Αποτελεί μια δισδιάστατη καταγραφή που δεν μπορεί να αποδώσει το βάθος. Η εικόνα συχνά μπορεί να μην είναι ξεκάθαρη και κοστούμια ή άλλοι χορευτές να δημιουργούν αποκρύψεις. Επίσης ένας θεατής δεν μπορεί να διακρίνει τη διαφορά μεταξύ του χορευτικής παράστασης και του ίδιου του χορού που εκτελείται. Ακόμα η εκμάθηση από το βίντεο οδηγεί πολύ συχνά στο εξής: κάποιες προσωπικές ιδιοτυπίες ή λάθη στην εκτέλεση ενός χορευτή να αντιγράφονται και γίνονται πιο υπερβολικά στην επόμενη εκτέλεση, γεγονός που παραμορφώνει τη χορογραφία.

Τα συστήματα καταγραφής της κίνησης (motion capture) αποτελούν το πιο σύγχρονο τρόπο καταγραφής. Με τα συστήματα αυτά μπορεί να καταγραφεί λεπτομερώς η γεωμετρία της κίνησης στο χώρο και στο χρόνο. Ένα σύστημα

καταγραφής καταγράφει διάφορα χαρακτηριστικά σημεία του ανθρώπινου σώματος και υπολογίζει τις συντεταγμένες τους στον τρισδιάστατο χώρο. Τα σημεία αυτά συνθέτουν ένα σκελετό με τον οποίο μπορούν να δημιουργηθούν εικονικές αναπαραστάσεις. Τα δεδομένα αυτά μπορούν, επίσης, να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση της κίνησης. Μια περιγραφή των συστημάτων καταγραφής κίνησης γίνεται στο Κεφάλαιο 4.

Όπως γίνεται αντιληπτό, οι τρεις μέθοδοι είναι χρήσιμες για την καταγραφή, την ανάλυση και προβολή διαφόρων πλευρών του χορού. Έτσι η χρήση των μεθόδων αυτών συνδυαστικά, μπορεί να εμπλουτίσει την καταγραφή και να βοηθήσει σημαντικά στην τεκμηρίωση του χορού. Επίσης, η εξέλιξη της τεχνολογίας μπορεί να βοηθήσει σε αυτή την κατεύθυνση. Στο Κεφάλαιο 2 έγινε περιγραφή συστημάτων που συνδυάζουν την καταγραφή κίνησης και τη σημειογραφία. Χρησιμοποιούν δεδομένα καταγραφής για την αυτόματη παραγωγή σημειογραφίας. Τα συστήματα αυτά μπορούν να αποτελέσουν βοηθητικά εργαλεία για την καταγραφή χορών, την τεκμηρίωσή τους και τη διάδοσή τους.

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικότερα η καταγραφή του χορού με σημειογραφία.

3.2 Σημειογραφία

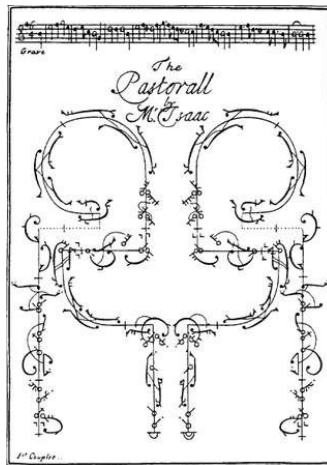
Η σημειογραφία του χορού είναι η καταγραφή της χορευτικής κίνησης μέσω της χρήσης γραπτών συμβόλων [Guest 2016]. Η σημειογραφία είναι ένα είδος παραστατικής γραφής (απλής/σύνθετης) με μια ποικιλία σημείων και συμβόλων διαφορετικών ποιοτήτων που διέπεται από κανόνες. Η σημειογραφία του χορού είναι για το χορό ό,τι είναι η μουσική σημειογραφία για τη μουσική και ο γραπτός λόγος για τα δραματικά έργα. Με τη σημειογραφία του χορού καταγράφεται η τετραδιάστατη κίνηση (ο χρόνος αποτελεί την τέταρτη διάσταση) με σύμβολα στο δισδιάστατο χώρο του χαρτιού. Μια πέμπτη “διάσταση”, η δυναμική της κίνησης ή ποιότητα ή έκφραση της κίνησης, θα πρέπει σύμφωνα με την Ann Hutchinson Guest να θεωρείται αναπόσπαστο κομμάτι της σημειογραφίας, ωστόσο στα περισσότερα συστήματα σημειογραφίας δεν είναι.

3.2.1 Ιστορία – συστήματα σημειογραφίας

Στάσεις χορού έχουν καταγραφεί σε αρχαία ελληνικά αγγεία και σε τοιχογραφίες της Αιγυπτιακής Αρχαϊκής περιόδου. Λεκτικές περιγραφές χορών έχουν βρεθεί στην Ινδία σε βιβλίο που χρονολογείται γύρω στο 2ο αιώνα π.Χ.. Στην Ευρώπη πραγματείες για το χορό που έχουν γραφεί από το 15ο έως το 17ο αιώνα, περιέχουν περιγραφές που συχνά συνοδεύονται από εικονογραφήσεις. Ωστόσο, καμία από αυτές τις περιγραφές του χορού δεν μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύστημα μέσω του οποίου πλήρεις χορευτικές κινήσεις (σε αντίθεση με

χορευτικές θέσεις και στάσεις) θα μπορούσαν να καταγραφούν και στη συνέχεια να αναπαρασταθούν πιστά.

Οι πρώτες μέθοδοι που μπορούν να θεωρηθούν ένα σύστημα σημειογραφίας (notation system) ανάγονται στην Αναγέννηση και συγκεκριμένα στο 15ο αιώνα. Χρησιμοποιούσαν σύμβολα για την καταγραφή της αλληλουχιών βημάτων των δημοφιλών χορών της εποχής basse. Το πρώτο σημαντικό και ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα σημειογραφίας χορού εμφανίζεται την περίοδο Μπαρόκ. Προερχόμενο από το δάσκαλο μπαλέτου Pierre Beauchamp, εκδόθηκε για πρώτη φορά από τον μαθητή του Raoul-Auger Feuillet το 1700 ως *Chorégraphie; ou, l'art de décrire la danse* ("Χορογραφία· ή Η Τέχνη Περιγραφής του Χορού").

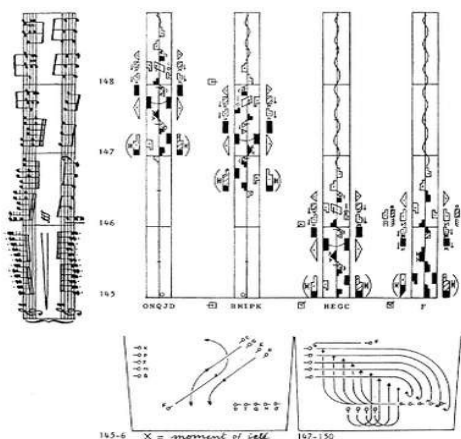


Εικόνα 9: Σημειογραφία Beauchamp-Feuillet της περιόδου Μπαρόκ. (Πηγή: britannica.com)

Στα μέσα του 19ου αιώνα εμφανίστηκαν συστήματα που βασίζονταν στην ιδέα της αναπαράστασης του ανθρώπινου σώματος με μια απλή γραμμική φιγούρα (stick figure) -συστήματα του Γάλλου χορευτή και χορογράφου Arthur Saint-Léon και του Γερμανού δασκάλου Friedrich Albert Zorn- και συστήματα που χρησιμοποιούσαν μουσικές νότες για την καταγραφή της κίνησης όπως η μέθοδος Vladimir Ivanovich Stepanov η οποία βασίστηκε σε μια ανατομική ανάλυση της κίνησης. Η μέθοδος του Stepanov υιοθετήθηκε από το Αυτοκρατορικό Μπαλέτο Μαρίνσκι της Αγίας Πετρούπολης, όπου χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή του ρεπερτορίου. Τον 20ο αιώνα ο Ρώσος χορευτής Βασλάβ Νιζίνσκι εξέλιξε το σύστημα του Stepanov και το χρησιμοποίησε στην καταγραφή των έργων του.

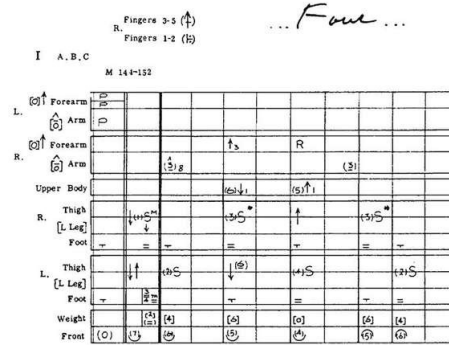
Ο 20ος αιώνας σηματοδοτήθηκε από την έλευση των συστημάτων με αφηρημένα σύμβολα, κυρίως εκείνου της Margaret Morris και του Ρούντολφ Λάμπαν. Το έργο *Schriftanz* (1928, "Γραπτός Χορός"), από τον θεωρητικό του χορού Ρούντολφ Λάμπαν, παρείχε τη βάση για το σύστημα σημειογραφίας που φέρει το όνομά του: Labanotation ή Κινησιογραφία Λάμπαν. Το σύστημά του απεικόνισε αρχικά την

κίνηση από μια χωρική οπτική. Μια ανατομική περιγραφή προστέθηκε αργότερα από άλλους. Για δεκαετίες, το Labanotation εξελίχθηκε από ερευνητές σε ποικίλους κλάδους που ασχολούνται με την κίνηση πέρα από το μπαλέτο και το σύγχρονο χορό, και σήμερα θεωρείται το πιο ευρέως διαδεδομένο και αξιόπιστο σύστημα σημειογραφίας για κάθε είδος χορού και κίνησης εν γένει [Κουτσούμπα 2005]. Σε επόμενη ενότητα γίνεται εκτένεστερη περιγραφή του συστήματος Labanotation.



Εικόνα 10: Σημειογραφία Labanotation. Μια σελίδα από το έργο Schrifttanz του Ρούντολφ Λάμπαν (1928), που αποτέλεσε την πηγή του Labanotation. (Πηγή: britannica.com)

Τον 20ο αιώνα εφευρέθηκαν αρκετά άλλα συστήματα σημειογραφίας όπως αυτά των Pierre Conté, Alwin Nikolais, Eugene Loring και D.J. Canna. Το 1958 δημοσιεύτηκε για πρώτη φορά στα αγγλικά το σύστημα που αναπτύχθηκε από την Ισραηλινή θεωρητικό του χορού Noa Eshkol και τον αρχιτέκτονα Abraham Wachmann. Το σύστημα προσεγγίζει την κίνηση από μια ανατομική και μαθηματική σκοπιά και αρχικά είχε ως στόχο να εξερευνήσει τα αφηρημένα σχήματα και σχέδια της κίνησης, παρά να καταγράψει υπάρχοντα μοτίβα χορού. Αριθμοί και μια μικρή επιλογή συμβόλων χρησιμοποιούνται για να αντιπροσωπεύσουν κάθε πιθανή σωματική κίνηση. Το σύστημα έχει εφαρμοστεί πάνω στον παραδοσιακό χορό, το μπαλέτο και άλλες μορφές τέχνης ενώ υπάρχουν και χρήσεις στη διάγνωση διαταραχών του αυτισμού πάνω στην έρευνα της κίνησης των ζώων.



Εικόνα 11: Σημειογραφία Eshkol-Wachman. (Πηγή: britannica.com)

Παρά την εισαγωγή συστημάτων αφηρημένων συμβόλων, μέθοδοι σημειογραφίας που αναπαριστούν το ανθρώπινο σώμα με μια απλή γραμμική φιγούρα συνέχισαν να εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα. Το πιο επιτυχημένο από αυτά ήταν ένα σύστημα οπτικής αναπαράστασης που επινοήθηκε τη δεκαετία του 1950 από τον Άγγλο καλλιτέχνη Rudolf Benesh και τη χορεύτρια Joan Benesh. Χρησιμοποιεί ένα πίνακα πάνω σε ένα οριζόντιο πεντάγραμμο που αντιπροσωπεύει τον χορευτή από το κεφάλι έως τα πόδια, στον οποίο σχεδιάζονται θέσεις και γραμμές κίνησης. Οι ενδείξεις του χρόνου τοποθετούνται πάνω από το πεντάγραμμο. Πιο πολύπλοκες κινήσεις που δεν μπορούν να επισημανθούν οπτικά στο πεντάγραμμο γράφονται με πρόσθετα σύμβολα και αριθμούς πάνω από το πεντάγραμμο. Το σύστημα, αρχικά αναπτύχθηκε ως ένα στενογραφικό σύστημα καταγραφής μπαλέτου και χρησιμοποιείται για την καταγραφή των ρεπερτορίων διαφόρων εταιριών μπαλέτου.



Εικόνα 12: Σημειογραφία Benesh. (Πηγή: britannica.com)

Ανά τον κόσμο έχουν αναπτυχθεί διάφορα ιδιαίτερα σημειογραφικά συστήματα τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή τοπικών παραδοσιακών-λαϊκών χορών. Τέτοια συστήματα έχουν αναπτυχθεί στη Ρωσία, τη Ρουμανία (για καταγραφή λαϊκών χορών), στην Κορέα (για την τεκμηρίωση κινήσεων του κορεατικού χορού), στην Ινδία (για την καταγραφή των θέσεων του χεριού στο χορόδραμα Kathakali) και στην Κίνα.

3.2.2 Η χρησιμότητα της σημειογραφίας

Η σημειογραφία είναι χρήσιμο εργαλείο με σημαντικά πλεονεκτήματα, τόσο για την καταγραφή του χορού όσο και για τη διδασκαλία. Καταγράφει την κίνηση με πλήρη, εναργή και παραστατικό τρόπο. Αποτελεί μια δισδιάστατη καταγραφή που είναι ευκολόχρηστη καθώς μπορεί να διαβαστεί από ένα χαρτί ή από μία συσκευή ανάγνωσης και προσφέρει στον αναγνώστη μια επισκόπηση του χορού που έχει καταγραφεί.

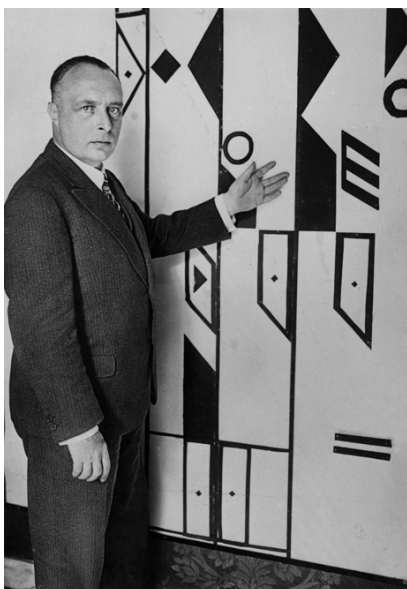
Η παρτιτούρα του χορού που προκύπτει από τη σημειογράφιση αποτελεί μια καταγραφή του έργου αυτού καθεαυτού με τον ίδιο τρόπο που μια μουσική παρτιτούρα αναπαριστά το έργο, και όχι την εκτέλεση του έργου από κάποιον η οποία αποτυπώνεται σε ένα βίντεο. Η σημειογράφιση γίνεται από ειδικούς και έτσι επιτυγχάνεται η ακριβής καταγραφή ενός έργου.

Με την εξέλιξη των συστημάτων σημειογραφίας και των μεθόδων διδασκαλίας του χορού, η σημειογραφία άρχισε να χρησιμοποιείται ως ένα πρόσθετο εργαλείο για τη διδασκαλία που πριν γινόταν μόνο με τη μίμηση. Η μελέτη της σημειογραφίας από έναν χορευτή ή μαθητή εμπλουτίζει την κατανόηση της κίνησης και του δίνει πρόσβαση σε πολλά σημαντικά έργα του παρελθόντος.

3.3 Labanotation

Η Κινησιογραφία του Λάμπαν (Kinetography Laban) ή Labanotation είναι ένα σύστημα για την ανάλυση και καταγραφή της κίνησης που δημιουργήθηκε από τον Αυστρο-Ούγγρου χορογράφο και θεωρητικό του χορού Ρούντολφ Λάμπαν (Rudolf von Laban, 1879 – 1958). Το σύστημα δημοσιεύτηκε από τον Λάμπαν για πρώτη φορά στο έργο του *Schriftanz* ("Γραπτός Χορός") το 1928. Από τη δεκαετία του '30 έως της δεκαετία του '90 το σύστημα εξελίχθηκε και απέκτησε μια πιο καθολική βάση. Στην ανάπτυξη του συνέβαλλε η Ann Hutchinson Guest και άλλοι ερευνητές στην Ευρώπη και την Αμερική [Wikipedia, "Labanotation"].

Πρόκειται για ένα λεπτομερές και ευρύτερα εφαρμόσιμο σύστημα σημειογραφίας. Το σύστημα Λάμπαν είναι ένα σύστημα "αλφάβητου" με την έννοια ότι τα σύμβολα αντιπροσωπεύουν συστατικά κίνησης μέσω των οποίων κάθε μοτίβο "συλλαβίζεται", σε αντίθεση με κάποια άλλα σημειογραφικά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν ξεχωριστά σύμβολα για να αντιπροσωπεύουν καθιερωμένες μορφές κινήσεων. Χρησιμοποιείται πέρα από την καταγραφή χορού, στην μέθοδο ανάλυσης της κίνησης Laban movement analysis (LMA) και σε πολλά άλλα πεδία που υπάρχει η ανάγκη να περιγραφούν και να καταγραφούν κινήσεις, όπως η ανθρωπολογία, η εμβιομηχανική, η ρομποτική και η προσομοίωση της ανθρώπινης κίνησης, ο αθλητισμός, η φυσικοθεραπεία, η ζωολογία κ.α.



Εικόνα 13: Ο Ρούντολφ Λάμπαν σε διάλεξη για το σύστημα σημειογραφίας του, το 1928. (Πηγή: Suzanne Perrottet, cabinetmagazine.org)

Η σημειογραφία του Λάμπαν χρησιμοποιεί σύμβολα και σημεία που καταγράφονται σε ένα ιδιόμορφο είδος παρτιτούρας, το **κινησιόγραμμα**. Η καταγραφή σε ένα κινησιόγραμμα γίνεται από εξειδικευμένους σημειογράφους, οι οποίοι πέρα από τη γνώση της σημειογραφίας και των κανόνων της, θα πρέπει να εξασκηθούν στην παρατήρηση και αναγνώριση του είδους κίνησης που καταγράφουν, να γνωρίζουν τις προθέσεις των ερμηνευτών, να έχουν συνείδηση του χώρου μέσα στον οποίο κινείται κάθε χορευτής ώστε να είναι σε θέση να περιγράψουν τα συμβάντα με σαφήνεια και καθαρότητα. Με τον τρόπο περιγραφής του Labanotation οι κινήσεις εκφράζονται από την άποψη:

του σώματος – τα συγκεκριμένα μέλη του σώματος που κινούνται,

του χώρου – η συγκεκριμένη κατεύθυνση, επίπεδο, απόσταση ή βαθμός της κίνησης,

του χρόνου – το μέτρο και η διάρκεια καθώς και η χρονική σχέση μεταξύ των κινήσεων,

της δυναμικής – η ποιότητα ή έκφραση της κίνησης.

Η διάσταση της δυναμικής της κίνησης μπορεί να θεωρηθεί ως αναπόσπαστο μέρος της κίνησης, αν και συχνά αποτελεί ξεχωριστό τομέα γνωστό ως ανάλυση Effort-Shape που αποτελεί μέρος του Laban Movement Analysis.

Η Laban movement analysis (LMA) ή ανάλυση κίνησης Λάμπαν ή Laban/Bartenieff movement analysis, είναι μια μέθοδος και γλώσσα για την περιγραφή, την οπτικοποίηση, την ερμηνεία της ανθρώπινης κίνησης. Βασίζεται στο πρωτότυπο

έργο του Ρούντολφ Λάμπαν, το οποίο αναπτύχθηκε και επεκτάθηκε από τους Lisa Ullmann, Irmgard Bartenieff, Warren Lamb και άλλους [Wikipedia, “Laban movement analysis”]. Η LMA αντλεί στοιχεία από διάφορα πεδία όπως της ανατομίας, της κινησιολογίας και της ψυχολογίας και προσπαθεί να αναλύσει το χορό πέρα από το βηματολόγιο (που αποτελεί κύριο στόχο του Labanotation) με βάση στοιχεία που οδηγούν σε ένα βαθύτερο επίπεδο ανάλυσης [Καραβία 2013]. Η LMA περιλαμβάνει τέσσερις κατηγορίες ανάλυσης: Σώμα (Body), Χώρο (Space), Σχήμα (Shape) και Πηγαία Προσπάθεια-Εσωτερική Πρόθεση (Effort). Χρησιμοποιείται σε πολλά πεδία και εφαρμογές.

3.3.1 Οι τέσσερις κανόνες του Labanotation

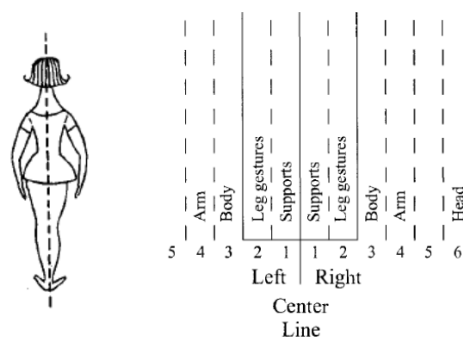
Η κινησιογραφία του Λάμπαν βασίζεται σε τέσσερις κανόνες [Λουτζάκη 2004] :

- 1) Η μορφή των σημείων κίνησης απεικονίζει τι συνέβη. Υπάρχουν δύο βασικές δυνατότητες: η μετακίνηση και η στροφή. Η μετακίνηση εκφράζεται με τα σημεία κατεύθυνσης. Με παρόμοιο τρόπο στις στροφές η μορφή του σημείου δηλώνει το είδος της στροφής.
- 2) Το κινησιόγραμμα γράφεται και διαβάζεται από κάτω προς τα πάνω. Όλες οι κινήσεις που βρίσκονται η μια πάνω στην άλλη, γίνονται η μια πίσω από την άλλη. Οι κινήσεις που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο γίνονται συγχρόνως.
- 3) Το μήκος των σημείων απεικονίζει την διάρκεια της κίνησης. Αν π.χ. διαλέξει κανείς ως μήκος για την χρονική μονάδα (το μουσικό τέταρτο) έναν πόντο, τότε το ολόκληρο θα έχει 4 πόντους, το μισό 2 πόντους, το τέταρτο 1 πόντο, το όγδοο $\frac{1}{2}$ εκατοστό κ.ο.κ. (7). Σ’ ένα κινησιόγραμμα μπορεί κανείς να δει ζωντανούς τους ρυθμούς και να τους καταλάβει, ακόμα κι αν δεν γνωρίζει τις μουσικές αξίες, αφού ήχος και κίνηση εξελίσσονται παράλληλα.
- 4) Η θέση του σημείου στις στήλες του κινησιογράμματος δηλώνει το μέλος του σώματος το οποίο εκτελεί την κίνηση.

3.3.2 Το κινησιόγραμμα

Στην τυπική του μορφή το κινησιόγραμμα ή αλλιώς η παρτιτούρα του χορού είναι ένα κατακόρυφο τρίγραμμα που αντιπροσωπεύει το ανθρώπινο σώμα. Η κεντρική γραμμή αντιπροσωπεύει τον κατακόρυφο άξονα του σώματος. Δεξιά της κεντρικής γραμμής σημειώνονται οι κινήσεις του δεξιού μισού του σώματος και αριστερά του αριστερού μισού. Νοητές γραμμές (διακεκομμένες γραμμές στο σχήμα) εκατέρωθεν της κεντρικής γραμμής, διαχωρίζουν την παρτιτούρα σε στήλες οποίες αντιπροσωπεύουν τα κύρια μέρη του σώματος. Η πρώτη στήλη δεξιά και αριστερά της κεντρικής γραμμής ονομάζεται στήλη μετακίνησης (support column). Σ’ αυτή σημειώνονται οι μετακινήσεις ολόκληρου του σώματος, με βήματα, πηδήματα και στροφές, οι οποίες προξενούνται από τα μέλη που

φέρουν σωματικό βάρος (Supports). Στις υπόλοιπες στήλες γράφονται οι κινήσεις κάθε σκέλους που δεν φέρει το σωματικό βάρος. Η δεύτερη στήλη ονομάζεται στήλη των κινήσεων των κάτω άκρων (Leg gestures). Η τρίτη στήλη (δεξιά και αριστερά έξω του κινησιογράμματος) χρησιμεύει στη σημείωση των κινήσεων του δεξιού και αριστερού μισού του άνω σώματος (Body). Στις επόμενες δύο στήλες γράφονται οι κινήσεις των άνω άκρων (Arm), ενώ στην έκτη στήλη στη δεξιά πλευρά του κινησιογράμματος, γράφονται οι κινήσεις της κεφαλής (Head) .

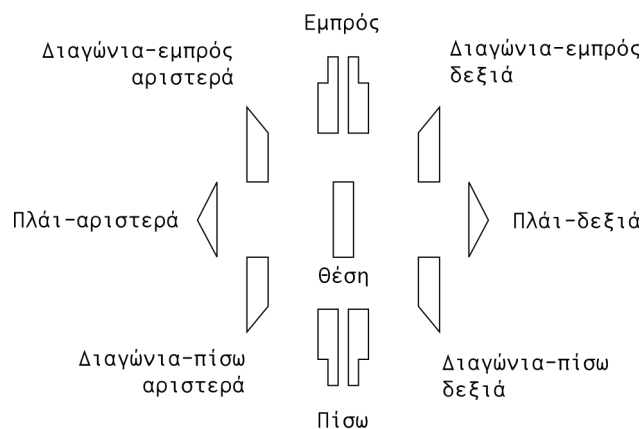


Σχήμα 7: Το κινησιόγραμμα ή χορευτική παρτιτούρα. (Πηγή: Guest 2013)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το κινησιόγραμμα διαβάζεται από κάτω προς τα πάνω. Το τυπικό τρίγραμμα συχνά επεκτείνεται με την προσθήκη ενδιάμεσων επιπλέον στηλών προκειμένου να υπάρχει επαρκής χώρος για τα σύμβολα που τροποποιούν τις κύριες κινήσεις.

3.3.3 Τα σημεία κατεύθυνσης

Τα κυριότερα στοιχεία του κινησιογράμματος είναι τα σημεία κατεύθυνσης. Το σχήμα τους και το γέμισμά τους δηλώνουν την κατεύθυνση της κίνησης. Το μήκος τους δηλώνει τη διάρκεια της κίνησης. Η θέση τους στην παρτιτούρα δηλώνει τη χρονική στιγμή που θα εκτελεστεί μια κίνηση. Τέλος, η τοποθέτησή τους σε μια από τις στήλες του κινησιογράμματος δηλώνει το μέλος του σώματος που εκτελεί την κίνηση.



Σχήμα 8: Το σχήμα των σημείων κατεύθυνσης και οι αντίστοιχες κατευθύνσεις.

3.3.3.1 Οι οκτώ κύριες κατευθύνσεις

Το σχήμα του σημείου δηλώνει την κατεύθυνσή στο οριζόντιο επίπεδο. Το Labanotation χρησιμοποιεί οκτώ κύριες κατευθύνσεις: 'εμπρός', 'πίσω', 'πλάι-δεξιά', 'πλάι-αριστερά', και τις τέσσερις διαγώνιες κατευθύνσεις 'διαγώνια-εμπρός-αριστερά', 'διαγώνια-εμπρός-δεξιά', 'διαγώνια-πίσω-αριστερά', 'διαγώνια-πίσω-δεξιά' και τι οκτώ κύριες κατευθύνσεις συμπληρώνει η 'θέση'. Οι οκτώ κατευθύνσεις και η 'θέση' απεικονίζονται με σύμβολα που έχουν το σχήμα που απεικονίζεται στο Σχ. 8, δημιουργώντας μια ροζέτα με με οκτώ κατευθύνσεις, με το σημείο θέσης ως ένατο σημείο στο κέντρο. Για εποπτικούς λόγους, για τις κατευθύνσεις 'εμπρός' και 'πίσω' υπάρχουν διαφορετικά σύμβολα ανάλογα με το αν την κίνηση την εκτελεί το δεξί ή το αριστερό πόδι.

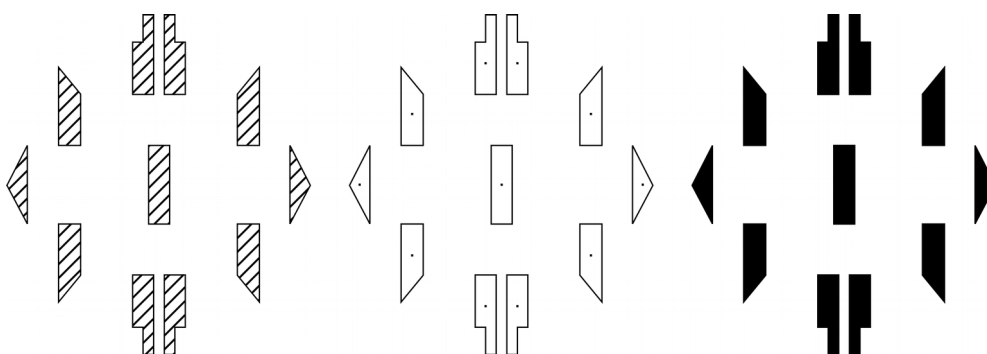
3.3.3.2 Τα τρία επίπεδα

Οι οκτώ και μία κατευθύνσεις αφορούν την κατεύθυνση της κίνησης στο οριζόντιο επίπεδο. Για την περιγραφή της τρίτης διάστασης, του ύψους της κίνησης ή του επιπέδου της κίνησης όπως ονομάζεται στο Labanotation, χρησιμοποιείται το γέμισμα (ή σκιαγράφηση) του συμβόλου κατεύθυνσης. Μια κίνηση σε οποιαδήποτε κατεύθυνση μπορεί να είναι σε οριζόντιο (μέσο επίπεδο), χαμηλό ή ψηλό επίπεδο. Έτσι, στο χώρο προκύπτουν $3 \times 9 = 27$ **κύριες κατευθύνσεις**.



Σχήμα 9: Το γέμισμα των συμβόλων που δηλώνει το επίπεδο κίνησης.

Το γέμισμα του σημείου είναι: παράλληλες κεκλιμένες γραμμές για το ψηλό επίπεδο, μια κουκκίδα για το μέσο επίπεδο, και γέμισμα με μαύρο χρώμα για το χαμηλό επίπεδο. Οι 27 κύριες κατευθύνσεις και τα αντίστοιχα σύμβολα απεικονίζονται στο Σχήμα 10.



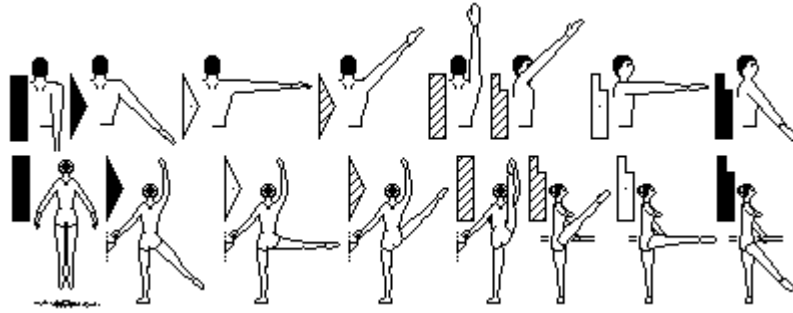
Σχήμα 10: Τα σύμβολα του Labanotation για τις 27 κύριες κατευθύνσεις στο χώρο.

3.3.4 Οι κινήσεις των άνω και των κάτω άκρων (arm and leg gestures)

Στο Labanotation οι κινήσεις μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες. Στις κινήσεις των μελών του σώματος που δεν φέρουν σωματικό βάρος και στις κινήσεις μελών που φέρουν σωματικό βάρος και προκαλούν μετατόπιση ολόκληρου του σώματος.

Οι κινήσεις των άνω και κάτω άκρων όταν δεν φέρουν σωματικό βάρος ονομάζονται “χειρονομίες” (gestures). Οι κινήσεις αυτές αναπαρίστανται με σημεία τοποθετημένα στις αντίστοιχες στήλες στο κινησιόγραμμα που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Κάθε μέρος του σώματος που μπορεί να κινηθεί, έχει ένα σημείο σύνδεσης με το σώμα και ένα ελεύθερο άκρο. Το ελεύθερο άκρο μπορεί να μετακινείται σε σχέση με το σημείο σύνδεσης. Η θέση του ως προς το σημείο σύνδεσης καθορίζει την κατεύθυνσή που και αντιστοιχεί σε ένα σύμβολο κατεύθυνσης. Στην περίπτωση των χεριών, το σημείο σύνδεσης είναι η κλείδωση του ώμου. Το μεσαίο επίπεδο είναι το επίπεδο του ώμου, το ψηλό επίπεδο υλοποιείται όταν το χέρι έχει κλίση 45° ή μεγαλύτερη πάνω από το επίπεδο του ώμου και χαμηλό όταν έχει κλίση 45° ή μεγαλύτερη κάτω από το επίπεδο του ώμου. Αντίστοιχα βρίσκεται το επίπεδο των ποδιών σε σχέση με το επίπεδο του ισχίου. Στην Εικόνα 11 φαίνονται διάφορα παραδείγματα χειρονομιών και των σημείων που τις περιγράφουν.

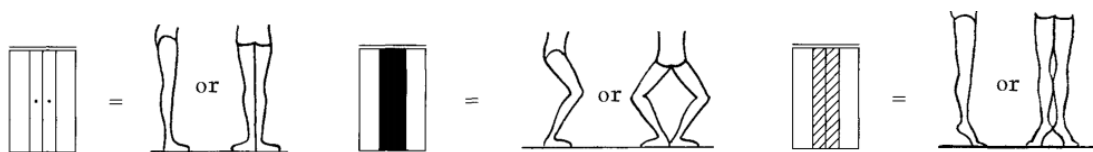


Σχήμα 11: Παραδείγματα χειρονομιών των άνω και των κάτω άκρων με τα σημεία κατεύθυνσης που αντιστοιχούν. (Πηγή: Griesbeck 1996)

Για την λεπτομερή αναπαράσταση μιας κατεύθυνσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα άλλο είδος σημείων, οι ακίδες, που τροποποιούν τα σημεία των κυρίων κατευθύνσεων αναπαριστώντας ενδιάμεσες κατευθύνσεις.

3.3.5 Η μετακίνηση του σώματος

Στις δύο πρώτες εκατέρωθεν της κεντρικής γραμμής του κινησιογράμματος στήλες, γίνεται καταγραφή της μετακίνησης ολόκληρου του σώματος στον χώρο με βήματα, πηδήματα και στροφές, και απεικονίζεται ποιο μέλος του σώματος φέρει το βάρος του σώματος (συνήθως τα δύο πόδια). Οι στήλες αυτές ονομάζονται στήλες μετακίνησης ή στήλες υποστήριξης επειδή απεικονίζουν τα μέλη που φέρουν το σωματικό βάρος. Η προώθηση του σώματος συνδέεται με μια μετάθεση του σωματικού βάρους από το ένα μέρος του σώματος στο άλλο. Στο βηματισμό, το βάρος μετατοπίζεται από το ένα πόδι στο άλλο. Γι αυτό οι δύο στήλες ονομάζονται και στήλες μετατόπισης.



Σχήμα 12: Το μεσαίο επίπεδο (αριστερά), το χαμηλό επίπεδο (μέσο) και το ψηλό επίπεδο (δεξιά) στη στήλη μετακίνησης. (Πηγή: Guest 2013)

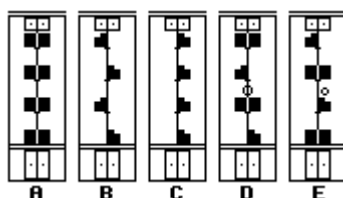
Ένα σημείο κατεύθυνσης σε μια από τις στήλες μετακίνησης απεικονίζει ένα βήμα. Με το σχήμα του απεικονίζει την κατεύθυνση που πρέπει να μεταφερθεί το σώμα από τη μέχρι τότε στάση, ενώ με το γέμισμά του δηλώνεται το επίπεδο της μετακίνησης. Το επίπεδο στη στήλη μετακίνησης ορίζεται διαφορετικά από το επίπεδο κίνησης των άκρων που δεν φέρουν σωματικό βάρος. Συγκεκριμένα, ως μεσαίο επίπεδο ορίζεται η συνήθης στάση όπου τα πόδια δεν είναι λυγισμένα στο γόνατο αλλά όχι πλήρως τεντωμένα (βλ. Σχήμα 12). Ως χαμηλό επίπεδο ορίζεται η στάση με τα πόδια λυγισμένα και τα πόδια να πατούν ολόκληρα στο έδαφος. Στο

χαμηλό επίπεδο το κέντρο βάρους του σώματος είναι χαμηλωμένο. Οι ακριβείς βαθμοί του λυγίσματος δείχνονται με μια άλλη κατηγορία συμβόλων που ονομάζονται σημεία συστολής. Ως ψηλό επίπεδο ορίζεται η στάση του χορευτή στις μύτες των ποδιών. Το επίπεδο αυτό αντιστοιχεί σε κέντρο βάρους υψηλότερο από αυτό του μέσου επιπέδου. Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται ένα παράδειγμα βηματισμού σε μέσο επίπεδο.



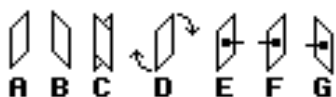
Παράδειγμα καταγραφής τεσσάρων βημάτων προς τα εμπρός σε μέσο επίπεδο.
(Πηγή: epth.sfm.gr)

Τα πηδήματα αποτελούν ένα άλλο είδος μετακίνησης του σώματος. Ένα πήδημα απεικονίζεται με ένα κενό και στις δύο στήλες μετακίνησης. Η κινησιογραφία αναγνωρίζει πέντε ειδών πηδήματα. Στην Εικόνα 14 απεικονίζει μια σειρά από ακολουθίες πηδημάτων: πήδημα από τα δύο πόδια στα δύο (A), πήδημα από το ένα πόδι στο άλλο (B), αναπήδηση από το ένα πόδι στο ίδιο πόδι (C), πήδημα από το ένα πόδι στα δύο (D), πήδημα από τα δύο πόδια στο ένα (E).



Εικόνα 14: Παραδείγματα πηδημάτων. (Πηγή: Griesbeck 1996)

Αν κατά τη διάρκεια του πηδήματος τα πόδια πρέπει να εκτελούν κάποια “χειρονομία” τότε αυτή γράφεται στην αντίστοιχη στήλη.



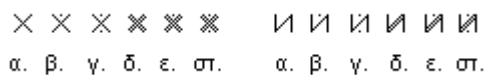
Εικόνα 15: Σύμβολα στροφών. (Πηγή: Griesbeck 1996)

Ένα άλλος τύπος κίνησης ολόκληρου του σώματος είναι η στροφή. Στροφές μπορούν να γίνουν γύρω από διάφορους άξονες, ωστόσο συνήθως γίνονται στροφές γύρω από τον κατακόρυφο άξονα. Στην Εικόνα 15 απεικονίζονται σύμβολα στροφών. Μια στροφή μπορεί να είναι προς τα δεξιά (A), προς τα

αριστερά (B) ή ουδέτερη στροφή (C). Ο τύπος της στροφής που δηλώνει ένα σύμβολο, μπορεί να βρεθεί αν θεωρηθούν νοητά βέλη στις γωνίες με τον τρόπο που φαίνεται στο σχήμα (D) της εικόνας. Τα σχήματα (E), (F) και (G) της εικόνας προέρχονται από συνδυασμό του συμβόλου της στροφής με ακίδες οι οποίες χρησιμοποιούνται για αν δοθούν διαβαθμίσεις στα βασικά σύμβολα του συστήματος και περιγράφουν στροφές 1/4 δεξιά, 3/4 δεξιά και 1/4 αριστερά αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι τα σύμβολα των στροφών πέρα από τη μετακίνηση, χρησιμοποιούνται και για στροφές των άκρων.

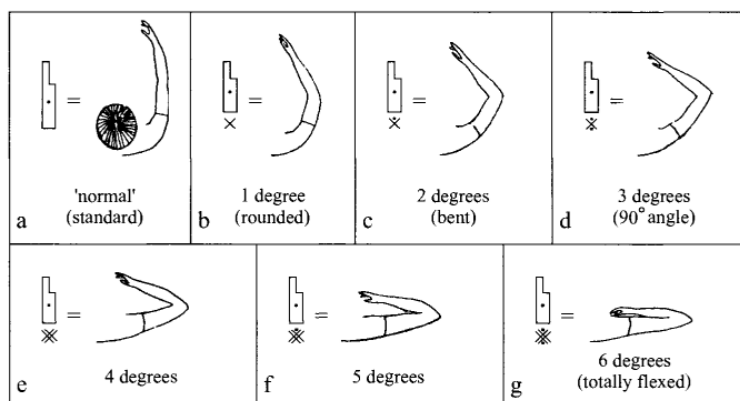
3.3.6 Σημεία συστολής και έκτασης

Η συστολή ή η έκταση των άκρων του σώματος απεικονίζεται με τη χρήση των συμβόλων συστολής και έκτασης. Στο Σχ. 13 απεικονίζεται η κλίμακα των σημείων συστολής (αριστερά) και των σημείων έκτασης (δεξιά), τα οποία όταν βρίσκονται σε μία από τις στήλες κίνησης των άκρων που δεν φέρουν σωματικό βάρος, δηλώνουν το κατά πόσον θα λυγίσει το μέλος του σώματος. Με τη συστολή προξενείται μείωση της γωνίας που σχηματίζουν τα δύο μέρη του άκρου, ενώ αντίθετα με την έκταση αύξηση της γωνίας. Αντίστοιχα, σε μια από τις στήλες μετακίνησης ένα σύμβολο συστολής ή έκτασης απεικονίζει ότι το βήμα και το πήδημα είναι μικρότερα ή μεγαλύτερα από το κανονικό.



Σχήμα 13: Η κλίμακα των σημείων συστολής (αριστερά) και των σημείων έκτασης (δεξιά). (Πηγή: epth.sfm.gr)

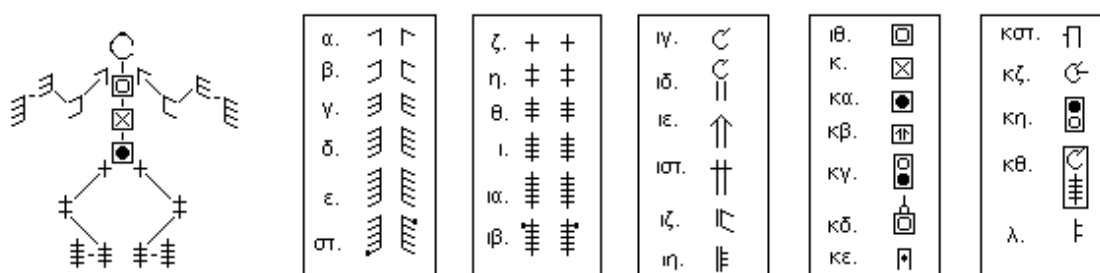
Στην Εικόνα 16 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα διαδοχικής συστολής του άνω άκρου και οι αντίστοιχοι βαθμοί συστολής.



Εικόνα 16: Παράδειγμα συστολής άκρου. Απεικονίζονται οι βαθμοί συστολής. (Πηγή: Guest 2013)

3.3.7 Τα σημεία-σύμβολα του σώματος

Στο Labanotation υπάρχουν σύμβολα που αναπαριστούν με λεπτομέρεια τα μέλη του σώματος (βλ. Εικόνα 17). Τα σύμβολα χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν ένα συγκεκριμένο μέλος που πρέπει να εκτελέσει μια κίνηση. Στις κύριες στήλες του κινησιογράμματος που αναφέρθηκαν προηγουμένως, μπορούν να γραφούν αντίστοιχα οι κινήσεις ολόκληρου ενός άνω άκρου και ενός κάτω άκρου, καθώς και των δύο μισών τμημάτων του άνω σώματος. Αντίθετα, τα σύμβολα που παρουσιάζονται εδώ, χρησιμοποιούνται ως ενδείξεις για μέρη των άνω άκρων ή των σκελών, για το κεφάλι ή για άλλα σημεία του σώματος (π.χ. στήθος, μέση κ.α.) τα οποία πρέπει να εκτελέσουν κινήσεις.



Εικόνα 17: Τα σημεία-σύμβολα των μερών του σώματος. (Πηγή: epth.sfm.gr)

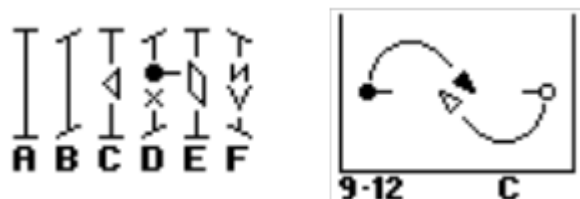
Τα σύμβολα της Εικόνας 17 αναπαριστούν: (α) αριστερό και δεξιό ώμο, (β) αριστερό και δεξιό αγκώνα, (γ) αριστερό και δεξιό καρπό, (δ) αριστερό και δεξιό χέρι, (ε) δάχτυλα αριστερού και δεξιού χεριού, (στ) δεξιό αντίχειρα και αριστερό μικρό δάκτυλο, (ζ) αριστερό και δεξιό γοφό, (η) αριστερό και δεξιό γόνατο, (θ) αριστερό και δεξιό αστράγαλο, (ι) αριστερό και δεξιό πόδι, (ια) δάχτυλα αριστερού και δεξιού ποδιού, (ιβ) αριστερό και δεξιό μεγάλο δάχτυλο ποδιού, (ιγ) κεφάλι, (ιδ) λαιμό, (ιε) και τα δύο χέρια, (ιστ) και τους δύο μηρούς, (ιζ) δεξιό αγκώνα, (ιη) δεξιά γάμπα, (ιθ) στήθος, (κ) μέση, (κα) περιφέρεια, (κβ) περιφέρεια ώμων, (κγ) κορμό (από το στήθος στην περιφέρεια), (κδ) εμπρός μέρος του στήθους, (κε) παλάμη / πέλμα, (κστ) πλευρά δεξιού χεριού (από την πλευρά του αντίχειρα), (κζ) δεξιό αφτί, (κη) από την περιφέρεια στο στήθος (ανάποδα), (κθ) από το κεφάλι στα πόδια, (λ) δεξιό γόνατο.

3.3.8 Διαδρομές κίνησης

Υπάρχουν δύο τρόποι καταγραφής διαδρομών κίνησης, είτε απευθείας στο κινησιόγραμμα είτε σε περίπλοκες κινήσεις με χρήση κατόψεων [Griesbeck 1996].

Με τον πρώτο τρόπο οι διαδρομές γράφονται απευθείας στο κινησιόγραμμα και δείχνουν πως ολόκληρο το σώμα κινείται στο χώρο. Οι διαδρομές γράφονται δεξιά από το κινησιόγραμμα. Στην Εικόνα 18 (αριστερά) απεικονίζονται τα σημεία για:

ευθεία διαδρομή (A), καμπύλη διαδρομή (B), ευθεία διαδρομή προς τα αριστερά (C), διαδρομή τεταρτοκυκλίου στα δεξιά (D), στροφή σε ευθεία διαδρομή (E) και σπειροειδή διαδρομή στα αριστερά (F).



Εικόνα 18: Βασικά σημεία διαδρομών (αριστερά) και παράδειγμα κάτοψης (δεξιά). (Πηγή: Griesbeck 1996)

Οι κατόψεις γράφονται πίσω ή δίπλα από το κινησιόγραμμα με σκοπό να δώσουν μια γρήγορη επισκόπηση της κίνησης στο χώρο και για να περιγράψουν περίπλοκες χορογραφίες. Ένα παράδειγμα κάτοψη παρουσιάζεται στην παραπάνω Εικόνα (δεξιά).

3.3.9 Άλλα σημεία

Από τη δεκαετία του 1930 που εμφανίστηκε, το Labanotation αναπτύχθηκε και εξελίχθηκε, με αποτέλεσμα σήμερα το σύστημα να περιλαμβάνει μια πληθώρα σημείων-συμβόλων και κανόνων που τα συνοδεύουν. Στις προηγούμενες ενότητες έγινε μια αναφορά στις βασικές ιδέες που το διέπουν και στα βασικά του σύμβολα. Το σύστημα περιλαμβάνει εκτός από τα βασικά σύμβολα, σημεία: για την κάμψη του σώματος, την επαφή με το έδαφος, τα ταυτόχρονα άλματα και στροφές, τις κυκλικές κινήσεις βραχίονα και σκέλους, για τις σχετικές θέσεις των μελών, σημεία παύσης ή επανάληψης της κίνησης, ακίδες συσχέτισης και άγκιστρα που χρησιμοποιούνται για τη δήλωση διαβαθμίσεων στις κατευθύνσεις και για να περιγράψουν συγκεκριμένα σημεία σε ένα μέλος σώματος αντίστοιχα. Η δυνατότητα του Labanotation να δείχνει ακριβείς διαβαθμίσεις στις κινήσεις αποτελεί ένα μεγάλο του πλεονέκτημα. Υπάρχουν, επίσης, σημεία αναφοράς που δίνουν λεπτομέρειες για την εκτέλεση μιας κίνησης, σύμβολα για την εκτέλεση χορών που συμμετέχουν πολλά άτομα αλλά και σημεία δυναμικής της κίνησης, σημεία ποσοτικοποίησης της κίνησης κ.α. [Καραβία 2013]. Επίσης, υπάρχουν πολλά βοηθητικά σύμβολα.

4 Συστήματα καταγραφής κίνησης και Kinect

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια σύντομη περιγραφή των τεχνολογιών καταγραφής κίνησης (motion capture) και μια αναλυτική περιγραφή της συσκευής Kinect και της τεχνολογίας εκτίμησης στάσεων ανθρώπινου σώματος (human pose estimation) που εφαρμόζει.

4.1 Καταγραφή κίνησης

Motion capture (mocap) ή *motion tracking* ονομάζεται η διαδικασία καταγραφής της κίνησης ανθρώπων ή αντικειμένων εν γένει. Χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές στον τομέα της ψυχαγωγίας, στις επιστήμες του αθλητισμού, της εμβιομηχανικής, της ρομποτικής, της υπολογιστικής όρασης, καθώς και σε ιατρικές, στρατιωτικές και εφαρμογές εικονικής ή επαυξημένης πραγματικότητας. Ιδιαίτερα στον τομέα της ψυχαγωγίας έχει ευρεία χρήση στην παραγωγή ταινιών και στην ανάπτυξη βιντεοπαιχνιδιών, όπου γίνονται καταγραφές ανθρώπων-ηθοποιών που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων χαρακτήρων σε δισδιάστατα ή τρισδιάστατα computer animation. [Wikipedia, "Motion capture"]

4.1.1 Τεχνολογίες καταγραφής

Η ενότητα αυτή έχει ως κύρια βιβλιογραφική πηγή το άρθρο "Motion capture in robotics review" των Field et al. [2009].

Για την καταγραφή κίνησης έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες και τεχνικές. Μια βασική κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει με βάση τη χρήση ή όχι στόχων (markers) τοποθετημένων πάνω στο σώμα του καταγραφόμενου. Οι Field et al. [2009] αναφέρουν μια κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών ανίχνευσης κίνησης, στο πλαίσιο της ρομποτικής και των αυτοματισμών, με βάση την αρχή λειτουργίας. Με αυτό το κριτήριο, τα συστήματα αισθητήρων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

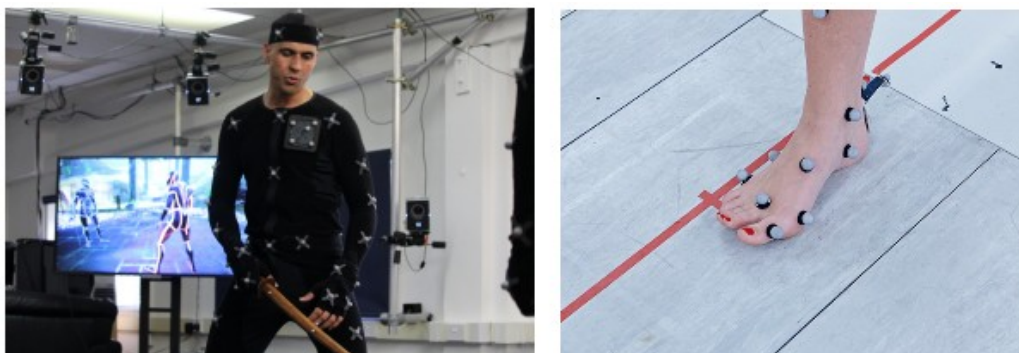
1. Οπτικό – Παθητικοί στόχοι

Η οπτική ανίχνευση με παθητικούς στόχους, ή ανακλαστικούς δείκτες, χρησιμοποιεί πολλαπλές υψηλής ταχύτητας κάμερες γύρω από την περιοχή μέτρησης για να υπολογίσει με τριγωνισμό μια ακριβή θέση του στόχου. Υπέρυθρος φωτισμός επιτρέπει την καταγραφή εικόνων υψηλής αντίθεσης των ανακλαστικών στόχων μέχρι και τα 2kHz. Κάθε στιγμή, τουλάχιστον δύο κάμερες θα πρέπει να καταγράφουν ένα στόχο αλλιώς υπάρχουν σφάλματα απόκρυψης. Δεν μπορεί να γίνει διάκριση των στόχων μεταξύ

τους μέχρι να γίνει ανάλυση της τροχιάς κάθε στόχου κατά τη διάρκεια της μετεπεξεργασίας. Από αυτή τη διαδικασία προκύπτει ένα σύνολο από σημεία στον τρισδιάστατο χώρο, χωρίς κατηγοριοποίηση, που αντιστοιχούν στην κινητική δομή του αντικειμένου.

Αυτά τα συστήματα επηρεάζονται από περιπτώσεις στόχων που αποκρύπτονται, αλλά επιτυχείς καταγραφές έχουν σφάλματα κάτω του χιλιοστού. Πλεονάζοντες στόχοι χρησιμοποιούνται συχνά για την αντιμετώπιση των αποκρύψεων, γεγονός που μειώνει την πιθανότητα σφάλματος αλλά η αύξηση του αριθμού των στόχων αυξάνει το χρόνο επεξεργασίας. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων με παθητικούς στόχους είναι ότι το αντικείμενο καταγραφής δεν επιβαρύνεται με μπαταρίες ή περιορίζεται με καλώδια προς τους αισθητήρες.

Σημαντικά μειονεκτήματα των συστημάτων αυτών είναι το μεγάλο κόστος, η έλλειψη φορητότητας, και ο σταθερός χώρος καταγραφής, που είναι μια μικρή περιοχή στο οπτικό πεδίο των καμερών. Η περιοχή μπορεί να μεγαλώσει αλλά περιορίζεται στο χώρο εντός ενός κτηρίου και από την ένταση του ανακλώμενου φωτός.



Εικόνα 19: Σύστημα καταγραφής κίνησης της Vicon. Στην εικόνα αριστερά διακρίνεται η στολή με τους στόχους και μέρος της διάταξης των καμερών του συστήματος. Στην εικόνα δεξιά διακρίνεται μια εναλλακτική λύση με στόχους που κολλώνται στο σώμα. (Πηγή: vicon.com)

2. Οπτικό – Ενεργητικοί στόχοι

Οι ενεργητικοί οπτικοί στόχοι λειτουργούν ως πηγή φωτός αντί με είναι ένας ανακλαστήρας και συνήθως χρησιμοποιούνται δίοδοι εκπομπής υπέρυθρου φωτός (IRED). Η εκπομπή φωτός από τους στόχους είναι πολυπλεγμένη (multiplexed) και επομένως η συχνότητα της ταχύτητας λήψης της κάμερας διαιρείται από τον αριθμό των αισθητήρων που πρέπει να ανιχνευθούν. Παρόλο που αυτό περιορίζει τη συχνότητα μέτρησης,

απαιτείται λιγότερη μετεπεξεργασία μιας και κάθε δίοδος μπορεί να αναγνωρισθεί.

Στα μειονεκτήματα των συστημάτων αυτών είναι το υψηλό κόστος και το γεγονός ότι υπάρχουν περιορισμοί από την τοποθέτηση των καμερών και το οπτικό τους πεδίο. Η περιοχή μέτρησης είναι, συνήθως, της τάξεως μερικών τετραγωνικών μέτρων και θεωρητικά μεγαλύτερη από τα παθητικά συστήματα λόγω της μείωσης της έντασης του φωτός με το αντίστροφο του τετραγώνου της απόστασης. Μιας και οι στόχοι χρειάζονται ενέργεια, προκειμένου η καταγραφή να γίνει ασύρματα, το αντικείμενο θα πρέπει να φέρει μπαταρίες και καλώδια.

3. Οπτικό - Χωρίς στόχους

Η ανίχνευση της κίνησης χωρίς ειδικό εξοπλισμό (με μία κάμερα ή ένα ζεύγος καμερών από μία συγκεκριμένη θέση, όπως η ανθρώπινη όραση) και χωρίς να απαιτούνται στόχοι πάνω στο σώμα του αντικειμένου, αποτελεί την ιδεατή περίπτωση. Η χωρίς στόχους ανίχνευση, της κίνησης αλλά και η αναγνώρισή της καθώς και η ερμηνεία της, αποτελεί αντικείμενο εκτενούς έρευνας της Όρασης Υπολογιστών εδώ και δεκαετίες. Παρά την εξέλιξη στον τομέα αυτό, τα μόνα ακριβή συστήματα περιορίζονται σε μια περιορισμένη περιοχή λήψης και φόντο, συνήθως δίνουν μη ακριβείς εκτιμήσεις ή απαιτούν κάμερες από πολλές γωνίες θέασης.

Ωστόσο, η χωρίς στόχους καταγραφή είναι μια εν εξελίξει περιοχή έρευνας με μεγάλη προοπτική. Βασίζεται σε τεχνικές κατάτμησης και επεξεργασίας εικόνας για να βρει τη στάση του σώματος η οποία μπορεί να ταυτιστεί με ένα ανθρώπινο πρότυπο. Οι συνήθεις προσεγγίσεις χρησιμοποιούν τεχνικές αφαίρεσης φόντου της σκηνής για να εξάγουν μια σιλουέτα και διάφορους αλγορίθμους εκμάθησης πολλαπλοτήτων.

Οι έρευνες που έχουν γίνει μπορούν να ταξινομηθούν με πολλούς τρόπους στη βάση κοινών χαρακτηριστικών. Έτσι, μπορούν να προκύψουν διάφορες κατηγοριοποιήσεις των προσεγγίσεων, όπως π.χ. : βασιζόμενες σε μοντέλα ή όχι, προσεγγίσεις 2D ή 3D, με βάση τον τύπο του αισθητήρα (ορατού φωτός, υπέρυθρου φωτός, αισθητήρα βάθους κ.α.) ή τον αριθμό των αισθητήρων ή την αν είναι κινούμενοι ή όχι, παρακολούθησης (tracking) έναντι αναγνώρισης (recognition), εκτίμησης στάσης (pose estimation) έναντι αναγνώρισης, εκτίμησης στάσης έναντι παρακολούθησης, κινηματικές ή κινητικές, με βάση διάφορες υποθέσεις του τύπου της κίνησης κ.α. Λόγω της εκτεταμένης έρευνας, μια πιο βαθιά εξέταση στις τεχνικές αυτές μπορεί να βρεθεί στις εξής δημοσιεύσεις:

[Moeslund & Granum 2001], [Hu et al. 2004], [Moeslund et al. 2006], [Kale & Patil 2016].

Ένα παράδειγμα οπτικού συστήματος χωρίς στόχους αποτελεί το Kinect της εταιρείας Microsoft, το οποίο κατέστησε δυνατή την καταγραφή κίνησης με χαμηλό κόστος, κάνοντας εκτίμηση της στάσης του σώματος με χρήση δεδομένων από αισθητήρα βάθους και τεχνικής ταξινόμησης με ταξινομητή που προέκυψε από διαδικασία μηχανικής μάθησης. Αναφορά στο Kinect και στη προσέγγιση που ακολουθεί γίνεται στο παρακάτω κεφάλαιο.

4. Αδρανειακό

Η αδρανειακή καταγραφή της κίνησης βασίζεται σε μετρήσεις επιτάχυνσης και γωνιακής ταχύτητας από τριαξονικά επιταχυνσιόμετρα και γυροσκόπια. Κάθε αδρανειακός αισθητήρας τοποθετημένος σε στρατηγικά σημεία στο σώμα μετρά τον ακριβή προσανατολισμό με ακρίβεια μέχρι 2° RMS [Cutti et al. 2006]. Αυτό επιτυγχάνεται με μεθόδους εκτίμησης όπως Φίλτρα Kalman [Shon et al. 2007] συνδυάζοντας το ρυθμό μεταβολής της ταχύτητας με την κλίση (διάνυσμα της βαρύτητας) και, για κάποιους αισθητήρες, μαγνητόμετρα για πιο αξιόπιστα δεδομένα κατεύθυνσης της πορείας. Με μια γνωστή διάταξη των αισθητήρων και βαθμονομώντας τις διαστάσεις του ανθρώπου που καταγράφεται, μπορεί να επιλυθεί η ακριβής στάση του σώματός του.



Εικόνα 20: Το εμπορικό αδρανειακό σύστημα MVN της εταιρίας Xsens σε δύο εκδοχές. Στην πρώτη οι αισθητήρες είναι ασύρματοι και δένονται με ιμάντες στο σώμα, ενώ στη δεύτερη οι αισθητήρες συνδέονται με καλώδια και είναι ενσωματωμένοι σε στολή Lycra. Και στις δύο εκδοχές υπάρχει μονάδα ασύρματης ζεύξης δεδομένων σε σακίδιο και βαλίτσα αντίστοιχα. (Πηγή: xsens.com)

Ένα σημαντικό μειονέκτημα αυτών των αισθητήρων είναι ότι στην εκτίμηση της θέσης ενσωματώνοντας επιταχύνσεις ή γωνιακή ταχύτητα, συγκεντρώνεται ένα αθροιστικό σφάλμα, που αναφέρεται ως “drift”. Οι σύγχρονες αδρανειακές στολές καταγραφής της κίνησης βασίζονται στην

ανίχνευση δυνάμεων επαφής με το έδαφος, που υποδεικνύονται από αιφνίδιες επιταχύνσεις ποδιών, για να ενημερώσουν τη θέση αναφοράς. Χωρίς καλά καθορισμένα γεγονότα όπως αυτά, η στάση του σώματος παραμένει ακριβής, αλλά η παρακολούθηση της θέσης του σώματος στο χώρο δεν είναι αξιόπιστη λόγω του drift. Άλλοι περιορισμοί περιλαμβάνουν την ανάγκη για μετεπεξεργασία σε αβέβαια περιβάλλοντα, όταν η στήριξη στο έδαφος ποικίλει σημαντικά.

Παρά τα εγγενή της προβλήματα, η τεχνική αυτή μπορεί να βελτιωθεί με το συνδυασμό της με μια άλλη τεχνολογία. Ένα τέτοιο υβριδικό σύστημα είναι αυτό των Vlasic et al. [2007] που αποτελεί συνδυασμό αδρανειακού και ηχητικού συστήματος Εικ. 19. Στους αισθητήρες του συστήματος αυτού, πέρα από μικροσκοπικά γυροσκόπια και επιταχυνσιόμετρα, περιλαμβάνονται και μικροσκοπικά μικρόφωνα που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση αποστάσεων με τη μέθοδο time-of-flight από πομπούς υπερηχητικών κυμάτων που βρίσκονται πάνω στο σώμα. Οι μετρήσεις αυτών των αποστάσεων περιορίζουν το drift που είναι ένα σύνηθες πρόβλημα των αδρανειακών αισθητήρων. Το σύστημα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε εξωτερικό χώρο και θα μπορούσε να συνδυασθεί με ένα οπτικό σύστημα με στόχους για μια ακριβή καταγραφή θέσης.



Εικόνα 21: Φορητό υβριδικό σύστημα καταγραφής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή ανθρώπινης δραστηριότητας τόσο σε εσωτερικό όσο και σε εξωτερικό περιβάλλον. Αποτελεί συνδυασμό αδρανειακού και ηχητικού συστήματος (Πηγή: Vlasic et al. 2007)

5. Μαγνητικό

Ηλεκτρομαγνητικά πεδία δημιουργούνται μέσω ακριβών παλμών ρεύματος από τοποθετημένες κεραίες μετάδοσης. Κάθε μαγνητικό πεδίο, συμπεριλαμβανομένου και του γήινου, μετριέται δίνοντας μια εκτίμηση των θέσεων, των γωνιών, και του προσανατολισμού στο χώρο, των αρθρώσεων του σώματος. Τα ηλεκτρομαγνητικά συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος επηρεάζονται πολύ από γειτονικά μεταλλικά αντικείμενα, αλλά τα πρόσφατα συστήματα μαγνητικού πεδίου συνεχούς ρεύματος επηρεάζονται σε πολύ λιγότερο βαθμό.

Ένας τριαξονικός πομπός δημιουργεί παλμούς συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος διαδοχικά σε κάθε άξονα και οι κεραίες-δέκτες, τοποθετημένες σε σημαντικά σημεία στο σώμα, μετρούν το μαγνητικό πεδίο σε κάθε άξονα. Το γήινο μαγνητικό πεδίο μετράται όταν δεν υπάρχει παλμός και αφαιρείται όταν μετράται ο προσανατολισμός. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πληροφορίες θέσης και προσανατολισμού με έξι βαθμούς ελευθερίας (6DoF) για κάθε αισθητήρα με απόσταση μέχρι και τρία μέτρα από τον πομπό.

Στα πλεονεκτήματα αυτής της προσέγγισης είναι η ευελιξία στον εντοπισμό των αισθητήρων στο σώμα καθώς δεν υπάρχουν προβλήματα απόκρυψης.

Η δυνατότητα μέτρησης περιορίζεται σε μια μικρή περιοχή γύρω από τον πομπό, συγκρινόμενο με τα οπτικά συστήματα, και είναι τόσο φορητό όσο και ο πομπός. Τα μεταλλικά αντικείμενα προξενούν ένα σημαντικό επίπεδο θορύβου και παραμορφώσεις στις μετρήσεις.

6. Μηχανικό

Η απλούστερη μέθοδος καταγραφής της στάσης του σώματος είναι η μέτρηση του προσανατολισμού άμεσα με χρήση ηλεκτρομηχανικών ποτενσιόμετρων μετρώντας την αλλαγή του προσανατολισμού κάθε άρθρωσης. Αυτή η προσέγγιση είναι αποτελεσματική σε πολλές περιπτώσεις μιας και δεν επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες η αποκρύψεις, οι μετρήσεις μπορούν να είναι γρήγορες και ο εξοπλισμός φορητός.

Το κύριο μειονέκτημα είναι ότι η κίνηση συνήθως περιορίζεται από την δυσκαμψία του εξοπλισμού ο οποίος “φοριέται” πάνω στο σώμα. Ένα εξω-σκελετικό πλαίσιο συνήθως δημιουργεί περιορισμούς στο εύρος της κίνησης μιας και οι ανθρώπινες αρθρώσεις μπορούν να είναι πολύ πιο ευέλικτες από μηχανικούς συνδέσμους. Ένα άλλο πρόβλημα είναι η εύρεση της αληθούς θέσης και προσανατολισμού ολόκληρου του πλαισίου. Αυτός ο μηχανισμός δεν μπορεί να ανιχνεύσει γεγονότα όπως ένα πήδημα ή μια στροφή, αλλά μόνο σχετικές γωνίες μεταξύ των άκρων. Επομένως τα δεδομένα που λαμβάνονται φαίνονται να “γλιστρούν”, πρόβλημα το οποίο μπορεί να αντιμετωπιστεί με την εφαρμογή άλλων τεχνικών μέτρησης. Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε εξω-σκελετικά πλαίσια και προσθετικά μιας και οι αρθρώσεις πρέπει να τροφοδοτούνται επίσης με ρεύμα.

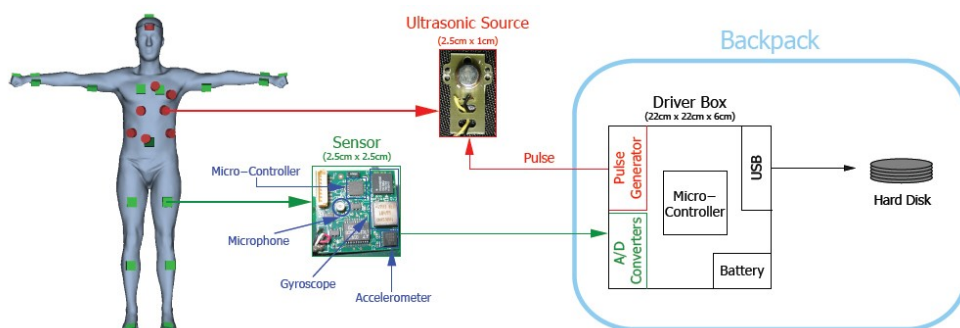


Εικόνα 22: Μηχανικό σύστημα καταγραφής κίνησης (Πηγή: lukebeech.wordpress.com)

7. Ακουστικό

Τοποθετώντας υπερηχητικούς πομπούς και μικρόφωνα σε συγκεκριμένες θέσεις σε ένα κινούμενο σώμα, μια εκτίμηση της θέσης μπορεί να προσδιορισθεί μέσω της έντασης των ηχητικών παλμών. Οι παλμοί είναι πολυπλεγμένοι (multiplexed) έτσι ώστε κάθε μικρόφωνο να μετρά την ένταση του παλμού από κάθε πομπό για να εκτιμηθούν οι σχετικές αποστάσεις ανάμεσα σε όλους τους αισθητήρες στο σώμα.

Μια περιπλοκή που προκύπτει από αυτή τη διάταξη είναι η αυτο-καλύψεις, δηλαδή μέρη του κινούμενου σώματος που εμποδίζουν την απευθείας μετάδοση στα μικρόφωνα που καταγράφουν τα υπερηχητικά κύματα. Είναι ιδιαίτερα δύσκολο στις περιπτώσεις που υπάρχει μερική κάλυψη μιας και σε αυτή την περίπτωση η μειωμένη ένταση δεν θα πρέπει να ερμηνευθεί ως μεγαλύτερη απόσταση. Ανάλογα με τις χρησιμοποιούμενες συχνότητες, το σύστημα είναι ευαίσθητο στους γύρω θορύβους, στη



Εικόνα 23: Το πρωτότυπο του υβριδικού συστήματος των Vlasic et al. 2007.

Το σύστημα αυτό αποτελείται από μια σειρά από μικρούς, χαμηλού κόστους και μικρής ισχύος πομπούς υπερήχων και ανιχνευτές (μικρόφωνα) τοποθετημένα στο σώμα (αριστερά). Οι πομποί (μέση-πάνω) εκπέμπουν διαδοχικά παλμούς υπερήχων, οι οποίοι λαμβάνονται από τα μικρόφωνα (μέση-κάτω) και επεξεργάζονται για να προκύψουν μετρήσεις απόστασης για όλα τα ζεύγη πομπού-μικροφώνου. Για την αύξηση της ακρίβειας και του ρυθμού δειγματοληψίας, καθώς και για την αντιμετώπιση των προβλημάτων ορατότητας, κάθε αισθητήρας είναι επίσης εξοπλισμένος με γυροσκόπιο 3 αξόνων και επιταχυνσιόμετρο 3 αξόνων που μετρούν περιστροφές και γραμμικές επιταχύνσεις αντίστοιχα (μέση-κάτω). (Πηγή: Vlasic et al. 2007)

θερμοκρασία και στην υγρασία του περιβάλλοντος χώρου και στον άνεμο όταν χρησιμοποιείται σε εξωτερικό χώρο.

Method	Advantages	Disadvantages
Optical - Passive	<ul style="list-style-type: none"> · Precision < 1mm · Wireless · Less burden · 	<ul style="list-style-type: none"> · Position only · Limited measurement space · Occlusions · Post-processing latency
Optical - Active	<ul style="list-style-type: none"> · Precision < 1mm · Wireless · Higher range than passive 	<ul style="list-style-type: none"> · Position only · Limited measurement space · Occlusions · Post-processing latency · F_s divided among sensors · Burdened by wires on body
Optical - Markerless	<ul style="list-style-type: none"> · Wireless-Outdoor · Flexible · No sensor burden · Contextual information 	<ul style="list-style-type: none"> · High noise · Occlusions · High post-processing cost · Generally not real-time · High sensitivity to lighting
Inertial	<ul style="list-style-type: none"> · Accelerations · Precision < a degree · Wireless - outdoor · Fast calibration · Portable 	<ul style="list-style-type: none"> · No reference position · Post-processing - external contacts · Noise · Magnetic disturbances
Mechanical	<ul style="list-style-type: none"> · Portable · Wireless-outdoor · Robust, reliable 	<ul style="list-style-type: none"> · Restrictive movement · No reference position · Relative orientation only
Magnetic	<ul style="list-style-type: none"> · Portable · Wireless-outdoor · Flexible sensor arrangement 	<ul style="list-style-type: none"> · Limited range · No reference position · Magnetic disturbances
Acoustic	<ul style="list-style-type: none"> · Portable · Wireless-outdoor · Flexible sensor arrangement 	<ul style="list-style-type: none"> · Partial occlusions · No reference position · Environmental conditions

Εικόνα 24: Συγκεντρωτικός πίνακας των μεθόδων καταγραφής κίνησης, των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων τους από τους Field et al. [2009].

4.2 Ο αισθητήρας Kinect

Kinect είναι η ονομασία μια σειράς συσκευών εισόδου για ανίχνευση και καταγραφή κίνησης η οποία κυκλοφόρησε από τη Microsoft για τις κονσόλες βιντεοπαιχνιδιών Xbox 360 και Xbox One και για ηλεκτρονικούς υπολογιστές Windows. Το Kinect είναι μια περιφερειακή συσκευή που επιτρέπει στους χρήστες να χειριστούν και να αλληλεπιδράσουν με την κονσόλα ή τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, χωρίς τη χρήση χειριστηρίου, μέσω μιας φυσικής διεπαφής με χειρονομίες και φωνητικές εντολές. Ονομάζεται και αισθητήρας RGB-D καθώς μπορεί να κάνει λήψη έγχρωμης εικόνας και εικόνας βάθους ταυτόχρονα. Το Kinect, επίσης, συνδυάζει διάφορες τεχνολογίες ανίχνευσης ανθρώπινης κίνησης, αναγνώρισης προσώπου και φωνής. Ο συνδυασμός αυτός των τεχνολογιών έδωσε την ευκαιρία για νέες εφαρμογές, ιδιαίτερα στα παιχνίδια αλλά και ευρύτερα σε άλλους τομείς.

Το Kinect στη φάση της ανάπτυξής του είχε την ονομασία "Project Natal". Αναπτύχθηκε από το τμήμα έρευνας της Microsoft με χρήση υλικού που ανέπτυξε η εταιρεία PrimeSense (σύστημα καταγραφής βάθους), για την καταγραφή του σώματος του χρήστη της παιχνιδομηχανής Xbox. Οι στόχοι για το παραγόμενο σύστημα, έπειτα από μια αρχική φάση έρευνας, ήταν οι εξής:

- Να γίνεται εκτίμηση της στάσης σώματος του χρήστη (human pose estimation)
 - οποιασδήποτε στάσης σώματος
 - οποιουδήποτε σωματότυπου και μεγέθους χρήστη
- Να μην απαιτείται βαθμονόμηση (calibration) του οργάνου ή του χρήστη
- Να είναι εύρωστο (robust), με χαμηλό βαθμό αποτυχίας στην εκτίμηση της στάσης σώματος
- Να τρέχει σε πραγματικό χρόνο (real time) χρησιμοποιώντας μόνο μέχρι το 10% των υπολογιστικών πόρων του Xbox 360.

Η πρώτη γενιά Kinect (Kinect V1) παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το Νοέμβριο του 2010 για το Xbox 360. Μια έκδοση για τα Microsoft Windows κυκλοφόρησε το Φεβρουάριο του 2012. Μια νεότερη έκδοση, το Kinect 2.0 (ή Kinect V2), κυκλοφόρησε με την πλατφόρμα Xbox One το 2013.



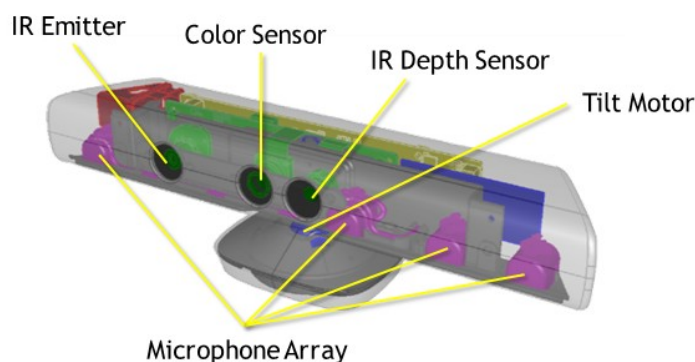
Εικόνα 25: Οι δύο γενιές αισθητήρων. Ένας αισθητήρας Kinect πρώτης (αριστερά) και δεύτερης γενιάς (δεξιά). (Πηγή: msdn.microsoft.com , windowscentral.com)

Παράλληλα με την κυκλοφορία του Kinect, η Microsoft έδωσε στην κυκλοφορία και το Kit Ανάπτυξης Λογισμικού (Software Development Kit - SDK) 'Kinect for Windows' έτσι ώστε να δώσει τη δυνατότητα σε προγραμματιστές να αναπτύξουν εφαρμογές για το Kinect σε γλώσσες προγραμματισμού C ++ / CLI, C # ή Visual Basic .NET. Το πρώτο SDK σε μορφή 'Beta' κυκλοφόρησε για τα Windows 7 τον Ιούνιο του 2011.

Η Microsoft σταμάτησε την κυκλοφορία της έκδοσης για τα Windows τον Απρίλιο του 2015 και τις εκδόσεις για τις δύο κονσόλες Xbox, τον Απρίλιο του 2016 και τον Οκτώβριο του 2017, αντίστοιχα. [Wikipedia, "Kinect"] Ωστόσο η τεχνολογία -υλικού αλλά και λογισμικού (ανίχνευση κίνησης, προσώπου, αναγνώριση χειρονομιών και φωνής κ.α.)- που αναπτύχθηκε για το Kinect, τώρα χρησιμοποιείται και εξελίσσεται σε άλλα προϊόντα της Microsoft, όπως τα HoloLens, Cortana, Windows Hello κ.α.

4.2.1 Ο αισθητήρας Kinect V1

Πρόκειται για την πρώτη γενιά του αισθητήρα, η οποία άρχισε να κυκλοφορεί το Νοέμβριο του 2010.



Εικόνα 26: Βασικά μέρη του αισθητήρα πρώτης γενιάς Kinect V1 (Πηγή: msdn.microsoft.com)

4.2.1.1 Το υλικό του Kinect V1

Η συσκευή αποτελείται από διάφορα ηλεκτρονικά μέρη. Συγκεκριμένα αποτελείται από [Microsoft Developer Network, “Kinect for Windows Sensor Components and Specifications”] :

- **Έγχρωμη κάμερα RGB** (ή ‘*Color Sensor*’) που κάνει λήψη σε τρία κανάλια σε ανάλυση 1280x960. Με αυτή καταγράφονται έγχρωμες εικόνες.
- **Αισθητήρα βάθους** που αποτελείται από δύο μέρη: ένα πομπό υπερύθρων ακτίνων (*IR emitter*) και μια κάμερα υπερύθρων (*IR depth sensor*).
- **Συστοιχία μικροφώνων** (*Microphone Array*), που περιλαμβάνει τέσσερα μικρόφωνα για την καταγραφή ήχου. Με αυτά μπορεί να καταγραφεί ήχος, αλλά και να βρεθεί η θέση της ηχητικής πηγής, καθώς και η διεύθυνση του ηχητικού κύματος.
- **Επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων** το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί ο προσανατολισμός του Kinect σε μια δεδομένη στιγμή.
- **Κινητήρα κλίσης** (*Tilt Motor*).

Η διάταξη των μερών στον αισθητήρα φαίνεται στην Εικόνα 21.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι βασικές προδιαγραφές του Kinect V1.

Γωνίες λήψης	43° κατακόρυφο, 57° οριζόντιο ορατό πεδίο (field of view, FOV)
Εύρος κατακόρυφης κλίσης (tilt)	± 27 °
Αριθμός “καρέ” (frame rate) για τις ροές δεδομένων βάθους και χρώματος (depth and color stream)	30 “καρέ” το δευτερόλεπτο (frames per second, FPS)
Φορμά ήχου	16-kHz, 24-bit mono pulse code modulation (PCM)
Χαρακτηριστικά συσκευής εισόδου ήχου	συστοιχία τεσσάρων μικροφώνων με μετατροπέα αναλογικού ψηφιακού ψηφιακού σήματος (ADC) 24 bit και δυνατότητα επεξεργασίας σήματος με ακύρωση ηχούς και καταστολή θορύβου
Χαρακτηριστικά επιταχυνσιόμετρου	Επιταχυνσιόμετρο 2G / 4G / 8G διαμορφωμένο για εύρος 2G, με ανώτατο όριο ακριβείας 1 °

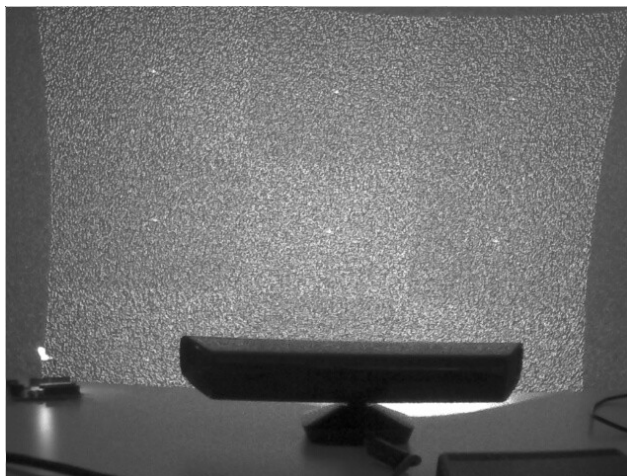
Πίνακας 1: Τεχνικές προδιαγραφές αισθητήρα V1 (Πηγή: msdn.microsoft.com)

4.2.1.2 Ο αισθητήρας βάθους του Kinect V1

Βασική λειτουργία του Kinect αποτελεί η εξαγωγή μιας τρισδιάστατης αναπράστασης του χώρου λήψης. Αυτό καθίσταται δυνατό από τον αισθητήρα βάθους (depth sensor) που το Kinect ενσωματώνει. Ο αισθητήρας βάθους αποτελείται από δύο μέρη. Από ένα πομπό υπέρυθρων ακτίνων laser και μία κάμερα υπέρυθρων (μονοχρωματικός αισθητήρας CMOS) που βρίσκονται σε μια προκαθορισμένη απόσταση μεταξύ τους μέσα στο Kinect.

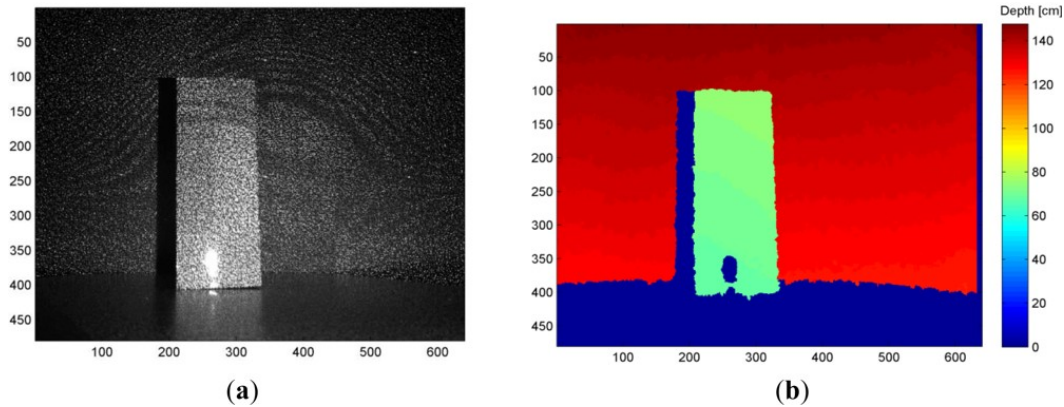
4.2.1.2.1 Μέτρηση του βάθους με τριγωνισμό

Ο αισθητήρας βάθους του Kinect V1 ανήκει στην κατηγορία των σαρωτών δομημένου φωτός (structured-light 3D scanner). Πρόκειται για οπτικά συστήματα σάρωσης, που βασίζονται στη μέθοδο του δομημένου φωτός και χρησιμοποιούν τριγωνισμό για τον υπολογισμό του βάθους. Η μέθοδος του δομημένου φωτός είναι η διαδικασία προβολής ενός γνωστής γεωμετρίας φωτεινού σχηματισμού (light pattern) (συχνά πλέγματα ή οριζόντιες ράβδοι) σε μια σκηνή. Ο φωτεινός αυτός σχηματισμός καταγράφεται από μια κάμερα ενσωματωμένη στο σύστημα. Ο τρόπος με τον οποίο αυτοί οι σχηματισμοί παραμορφώνονται όταν κτυπούν τις επιφάνειες, επιτρέπει στο σύστημα να υπολογίσει την πληροφορία βάθους για πολλά σημεία στη σκηνή και να αποτυπώσει, έτσι, τις επιφάνειες των αντικειμένων στη σκηνή. Στην περίπτωση του Kinect, ο φωτεινός σχηματισμός είναι ένα σταθερό τυχαίο (έτσι ώστε να μην υπάρχουν περιοχές που επαναλαμβάνονται) μοτίβο κουκίδων.



Εικόνα 27: Φωτογραφία του φωτεινού σχηματισμού του Kinect V1 όπως αυτός προβάλλεται σε μία σκηνή. Πρόκειται για ένα μοτίβο που δημιουργείται από τα ίχνη των υπέρυθρων ακτίνων laser που εκπέμπει το Kinect στις επιφάνειες των αντικειμένων μιας σκηνής. (Πηγή: livingplace.informatik.haw-hamburg.de)

Στο Kinect, μια πηγή υπέρυθρου laser εκπέμπει μία ακτίνα η οποία διαχωρίζεται σε πολλές ακτίνες προς διάφορες διευθύνσεις περνώντας μέσα από ένα περιθλαστικό φράγμα (diffraction grating) δημιουργώντας μια σταθερής γεωμετρίας δέσμη ακτίνων laser η οποία προβάλλεται ως ένα μοτίβο κουκκίδων στη σκηνή (Εικόνα 27). Το μοτίβο αυτό καταγράφεται από την υπέρυθρη κάμερα και γίνεται σύγκρισή του με ένα μοτίβο αναφοράς. Το μοτίβο αναφοράς είναι μια υπέρυθρη εικόνα που έχει ληφθεί καταγράφοντας μια επίπεδη επιφάνεια σε μια γνωστή απόσταση από τον αισθητήρα, και βρίσκεται αποθηκευμένο στη μνήμη του αισθητήρα. Όταν μια κουκκίδα προβάλλεται πάνω σε ένα αντικείμενο του οποίου η απόσταση από τον αισθητήρα είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από αυτή του επιπέδου αναφοράς, η θέση της κουκκίδας στην υπέρυθρη εικόνα θα είναι μετατοπισμένη (σε σχέση με τη θέση στην εικόνα αναφοράς) στη διεύθυνση της βάσης μεταξύ του πομπού laser και του προβολικού κέντρου της υπέρυθρης κάμερας. Αυτές οι μετατοπίσεις (x -παράλλαξη ή disparity) (των αντίστοιχων κουκκίδων ανάμεσα στην υπέρυθρη εικόνα και την εικόνα αναφοράς) μετρώνται για όλες τις κουκκίδες στην υπέρυθρη εικόνα μέσω μια απλής διαδικασίας συσχέτισης εικόνων, από την οποία προκύπτει η «εικόνα βάθους» (depth image ή disparity image). Για κάθε εικονοστοιχείο η απόσταση από τον αισθητήρα μπορεί, τότε, να υπολογιστεί από την αντίστοιχη x -παράλλαξη με το τρόπο που περιγράφεται παρακάτω [Khoshelham & Elberink 2012]. Η «εικόνα βάθους» αναφέρεται στη βιβλιογραφία και ως «χάρτης βάθους» ή «πίνακας βάθους» ή «πίνακας ανομοιοτήτων βάθους» (depth map ή disparity map) [Μαλτέζος 2014].



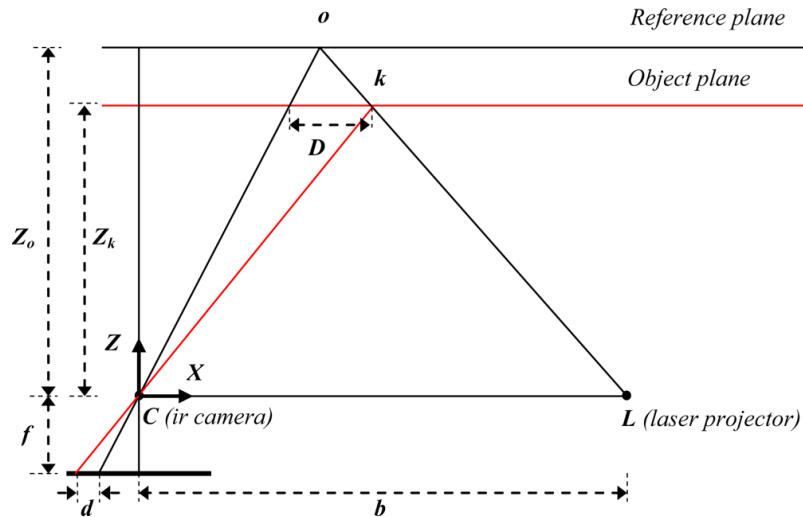
Εικόνα 28: Εικόνα (a) Υπέρυθρη εικόνα του μοτίβου από κουκκίδες όπως προβάλλεται σε αυτή τη σκηνή, (b) Η εικόνα βάθους που προκύπτει (Σημειώνεται η ζώνη κατά μήκος του αντικειμένου στα αριστερά όπου λόγω της θέσης του πομπού των υπέρυθρων ακτίνων δεν υπάρχει προβολή κουκκίδων λόγω απόκρυψης. Εκεί δεν καταγράφεται βάθος και κατά συνέπεια στην εικόνα βάθους η ζώνη αυτή έχει την τιμή μηδέν.) (Πηγή: Khoshelham & Elberink 2012)

Σημειώνεται εδώ ότι η δεύτερη γενιά, Kinect 2.0, χρησιμοποιεί διαφορετικό τύπο αισθητήρα που λειτουργεί με τη μέθοδο Time-of-Flight (ToF) [Sarbolandi et al. 2015] [Gonzalez-Jorge et al. 2015] [Corti et al. 2016] .

4.2.1.2.2 Μαθηματικό μοντέλο

Η ενότητα αυτή καθώς και η επόμενη έχουν ως κύρια βιβλιογραφική πηγή το άρθρο “Accuracy and Resolution of Kinect Depth Data for Indoor Mapping Applications” των Khoshelham & Elberink [2012]

Το Σχήμα 14 δείχνει τη σχέση ανάμεσα στην απόσταση του σημείου k που ανήκει σε ένα αντικείμενο από τον αισθητήρα, σε σχέση με το επίπεδο αναφοράς και τη μετρούμενη x -παράλλαξη (disparity) d . Για την έκφραση των τρισδιάστατων συντεταγμένων των σημείων ενός αντικειμένου ορίζεται ένα σύστημα συντεταγμένων με αρχή το προβολικό κέντρο της υπέρυθρης κάμερας. Ο άξονας Z σχηματίζει ορθή γωνία με το επίπεδο της εικόνας (εστιακό επίπεδο) και έχει κατεύθυνση προς το αντικείμενο, ο άξονας X είναι κάθετος με τον άξονα Z και ταυτίζεται με τη διεύθυνση της βάσης b ανάμεσα στο προβολικό κέντρο της υπέρυθρης κάμερας και στον πομπό υπέρυθρων, και ο άξονας Y σχηματίζει ορθή γωνία με τον X και τον Z δημιουργώντας ένα δεξιόστροφο σύστημα συντεταγμένων.



Σχήμα 14: Σχέση μεταξύ του σχετικού βάθους ($Z_0 - Z_k$) και της μετρούμενης μετατόπισης στο εστιακό επίπεδο της εικόνας (disparity) της υπέρυθρης κάμερας (Πηγή: Khoshelham & Elberink 2012)

Ας υποθέσουμε ότι ένα αντικείμενο βρίσκεται στο επίπεδο αναφοράς με απόσταση Z_0 από τον αισθητήρα, και μια προβαλλόμενη κουκκίδα στο αντικείμενο καταγράφεται στο εστιακό επίπεδο της υπέρυθρης κάμερας. Αν το αντικείμενο μετατοπίζεται πιο κοντά (ή πιο μακριά από) στον αισθητήρα η θέση της κουκκίδας στο εστιακό επίπεδο θα μετατοπίζεται κατά μήκος της διεύθυνσης X . Αυτή η μετατόπιση μετριέται στο σύστημα των εικονοσυντεταγμένων ως x -παράλλαξη d αντιστοιχώντας σε ένα σημείο k στο τρισδιάστατο σύστημα. Από την ομοιότητα τριγώνων προκύπτει:

$$\frac{D}{b} = \frac{Z_0 - Z_k}{Z_0}$$

και:

$$\frac{d}{f} = \frac{D}{Z_k},$$

όπου το Z_k δηλώνει την απόσταση (βάθος) του σημείου k στον τρισδιάστατο χώρο, b είναι το μήκος της βάσης, f είναι η εστιακή απόσταση της υπέρυθρης κάμερας, D είναι η μετατόπιση του σημείου k στο χώρο, και d η παρατηρούμενη x -παράλλαξη στον χώρο της εικόνας. Με αντικατάσταση του D από την δεύτερη εξίσωση στην πρώτη και λύνοντας ως προς Z_k προκύπτει ότι:

$$Z_k = \frac{Z_0}{1 + \frac{Z_0}{f} d}.$$

Η παραπάνω εξίσωση είναι το βασικό μαθηματικό μοντέλο για την εκτίμηση του βάθους από την μετρούμενη x -παράλλαξη στο σύστημα των εικονοσυντεταγμένων θεωρώντας ότι οι σταθερές παράμετροι Z_0 , f και b μπορούν να προσδιορισθούν από βαθμονόμηση του συστήματος. Η συντεταγμένη κατά Z ενός σημείου μαζί με την εστιακή απόσταση f καθορίζουν τη σημειακή κλίμακα. Οι συντεταγμένες του σημείου κατά X και Y μπορούν να υπολογιστούν από τις εικονοσυντεταγμένες και την σημειακή κλίμακα με χρήση της συνθήκης συγγραμμικότητας για εικόνα χωρίς στροφές, αφού θεωρούμε ότι τα συστήματα της εικόνας και του χώρου είναι παράλληλα:

$$X_k = -\frac{Z_k}{f}(x_k - x_0 + \delta x)$$

$$Y_k = -\frac{Z_k}{f}(y_k - y_0 + \delta y),$$

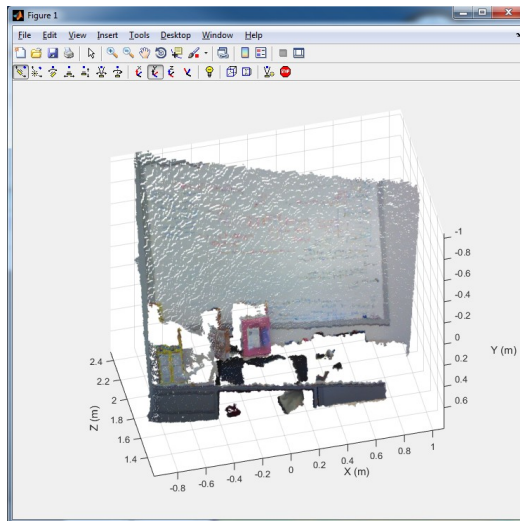
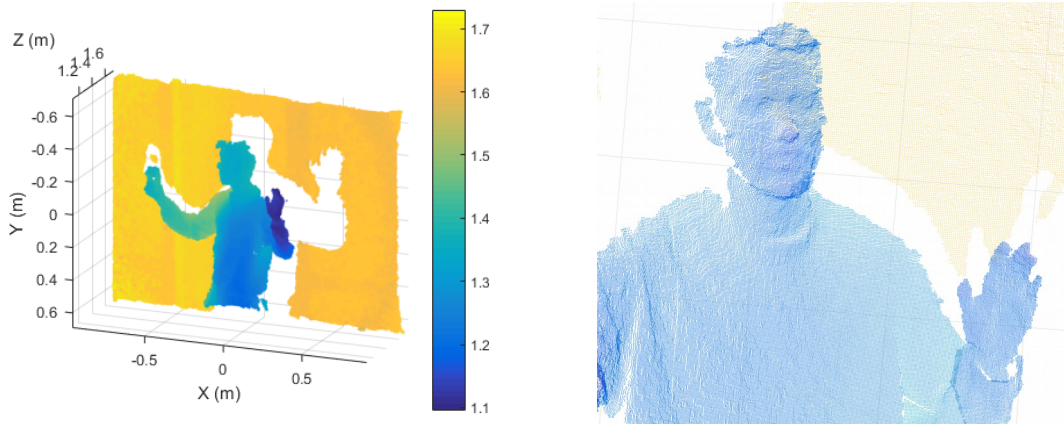
όπου x_k και y_k είναι οι εικονοσυντεταγμένες του σημείου, x_0 και y_0 είναι οι εικονοσυντεταγμένες του πρωτεύοντος σημείου, και δx και δy οι διορθώσεις για τις παραμορφώσεις των φακών, για τις οποίες υπάρχουν αρκετά μοντέλα με διάφορους συντελεστές.

4.2.1.2.3 Παραγωγή νέφους σημείων

Οι παράμετροι του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου που αναφέρθηκαν: εστιακή απόσταση (f), εικονοσυντεταγμένες πρωτεύοντος σημείου (x_0 , y_0), συντελεστές μοντέλων για παραμορφώσεις του φακού (με τους οποίους υπολογίζονται τα δx , δy), μήκος βάσης (b), απόσταση του επιπέδου αναφοράς (Z_0), υπολογίζονται από διαδικασίες βαθμονόμησης. Με τη γνώση αυτών, καθορίζεται πλήρως η σχέση μεταξύ των μετρήσεων στη εικόνα (x , y , d) και των συντεταγμένων κάθε σημείου (X , Y , Z) και γίνεται δυνατή η παραγωγή ενός νέφους σημείων από κάθε εικόνα βάθους.

Επίσης, με διαδικασία βαθμονόμησης μπορεί να υπολογιστεί ο σχετικός προσανατολισμός της έγχρωμης κάμερας του Kinect ως προς την υπέρυθρη κάμερα, να υπολογιστούν, δηλαδή, οι τρεις στροφές ανάμεσα στο σύστημα της έγχρωμης κάμερας και σε αυτό της υπέρυθρης και η θέση του προβολικού κέντρου της έγχρωμης κάμερας, καθώς και τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού της έγχρωμης κάμερας (εστιακή απόσταση, θέση πρωτεύοντος σημείου, παράμετροι διαστρωφών φακού). Ο παράμετροι αυτές περιγράφουν τη σχέση ανάμεσα στις τρισδιάστατες συντεταγμένες του σημείου και στις

εικονοσυντεταγμένες στην έγχρωμη εικόνα. Με το υπολογισμό τους, μπορεί δοθεί χρώμα σε κάθε σημείο του νέφους σημείων, επαναπροβάλλοντας το στην έγχρωμη εικόνα και κάνοντας παρεμβολή χρώματος.



Εικόνα 29: Νέφη σημείων από το Kinect .

4.2.2 Το περιβάλλον ανάπτυξης Kinect for Windows SDK

Το Kinect for Windows SDK είναι το επίσημο περιβάλλον προγραμματισμού της Microsoft για τον αισθητήρα Kinect. Στόχος του SDK είναι να παρέχει μια διεπαφή προγραμματισμού για την ανάκτηση των δεδομένων που καταγράφει το Kinect (δεδομένα ήχου, εικόνας και βάθους, δεδομένα από επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο όπως σκελετικά κατάτμησης κ.α.). Ο τρόπος ανάκτησης της πληροφορίας από τον αισθητήρα είναι προγραμματιστικά μέσω ροών δεδομένων (data streams) που παρέχουν τα καρέ (frame) του χρώματος, του βάθους και του σκελετού καθώς και δεδομένα ήχου. Υποστηρίζεται, επίσης, η μετατροπή δεδομένων μεταξύ των διαφόρων συστημάτων αναφοράς που χρησιμοποιούνται στον αισθητήρα

[Microsoft Developer Network, “Kinect for Windows SDK 1.8”]. Στη συνέχεια, ακολουθεί περιγραφή των ροών έγχρωμης εικόνας, βάθους και σκελετού.

4.2.2.1 Η ροή καρτέ έγχρωμων εικόνων και το σύστημα της έγχρωμης εικόνας

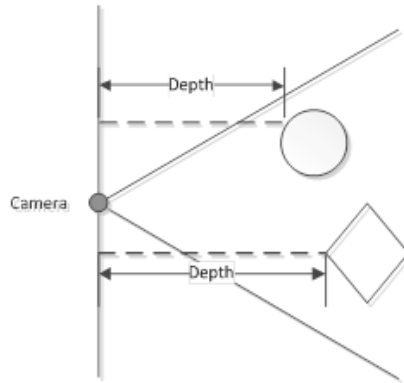
Σε κάθε καρτέ, ο αισθητήρας χρώματος (έγχρωμη κάμερα) καταγράφει μια έγχρωμη εικόνα του χώρου και των αντικειμένων που είναι στο οπτικό του πεδίο του. Τα καρτέ έγχρωμων εικόνων παρέχονται από τη ροή εικόνων χρώματος (Color Stream) σε διαφορετικές αναλύσεις και κωδικοποιήσεις. Οι διαθέσιμες κωδικοποιήσεις είναι οι RGB, YUV και Bayer.

Το καρτέ της έγχρωμης εικόνας αποτελείται από εικονοστοιχεία με αριθμό που προκύπτει από την ανάλυση εικόνας που έχει επιλεγεί από τις παρεχόμενες αναλύσεις. Για την κωδικοποίηση RGB, κάθε εικονοστοιχείο περιέχει μία τιμή για το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε, σε μια συγκεκριμένη θέση (j, i) στην έγχρωμη εικόνα.

4.2.2.2 Η ροή εικόνων βάθους και το σύστημα της εικόνας βάθους

Τα καρτέ εικόνων βάθους παρέχονται από τη ροή δεδομένων βάθους (Depth Stream). Σε κάθε καρτέ, ο αισθητήρας βάθους καταγράφει μια εικόνα βάθους κλίμακας του γκρι, με τα αντικείμενα που βρίσκονται στο οπτικό του πεδίο. Η συχνότητα καταγραφής φθάνει τα 30 καρτέ το δευτερόλεπτο.

Το καρτέ της εικόνας βάθους αποτελείται από εικονοστοιχεία, το μέγεθος των οποίων καθορίζεται από μια σειρά δυνατών αναλύσεων καταγραφής (640x480-προεπιλεγμένη, 320x240, και 80x60). Κάθε εικονοστοιχείο περιέχει την απόσταση (“βάθος”), σε χιλιοστά (mm), από το επίπεδο του αισθητήρα στο πλησιέστερο αντικείμενο στο οπτικό πεδίο του αισθητήρα σε μια συγκεκριμένη θέση (j,i) Σχ. 11. Οι συντεταγμένες (j,i) δεν αντιπροσωπεύουν φυσικές μονάδες χώρου αλλά αποτελούν δείκτες για τη θέση στο καρτέ.



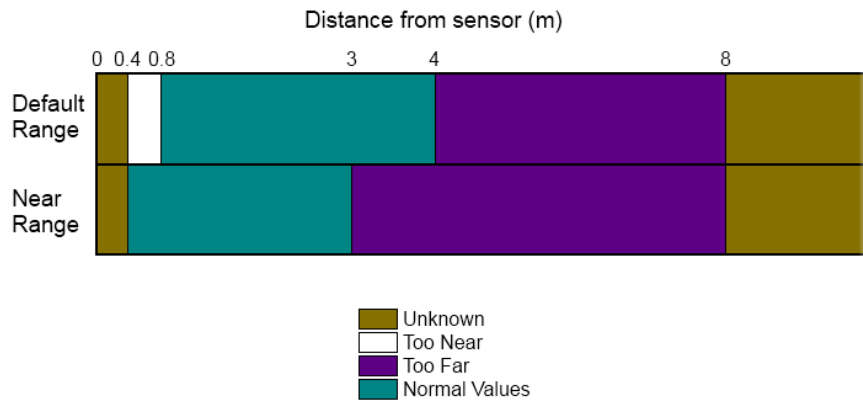
Σχήμα 15: Απεικόνιση του οπτικού πεδίου του αισθητήρα και των τιμών βάθους. Οι τιμές βάθους είναι οι αποστάσεις σημείων των αντικείμενων από το επίπεδο που περνά από το προβολικό κέντρο της υπέρυθρης κάμερας του αισθητήρα βάθους και είναι παράλληλο με το εστιακό της επίπεδο (Πηγή: msdn.microsoft.com)

Όταν στον πίνακα υπάρχει η τιμή μηδέν αυτό σημαίνει ότι είτε δεν ανιχνεύθηκε κάποιο αντικείμενο που να αντιστοιχεί σε αυτή τη θέση, είτε ότι ανιχνεύθηκε αντικείμενο αλλά είναι είτε πολύ κοντά στον αισθητήρα, είτε πολύ μακριά και έτσι η μέτρηση δεν μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστη.

Η ροή δεδομένων βάθους παρέχει, επίσης, δεδομένα κατάτμησης παικτών. Το runtime του Kinect επεξεργάζεται τα δεδομένα βάθους και μπορεί να εντοπίσει έως και έξι ανθρώπους σε μια εικόνα κατάτμησης. Η εικόνα κατάτμησης είναι μια εικόνα bitmap με τιμές εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν στο δείκτη του ατόμου στο οπτικό πεδίο, το οποίο είναι πιο κοντά στην κάμερα σε αυτή τη θέση εικονοστοιχείου.

4.2.2.2.1 Εμβέλεια αισθητήρα βάθους

Ο αισθητήρας βάθους έχει ονομαστική εμβέλεια από 0.4 έως 8 μέτρα, ωστόσο το εύρος για αξιόπιστες μετρήσεις είναι 0.8 έως 4 μέτρα στην κανονική κατάσταση λειτουργίας ή 0.4 έως 3 μέτρα στην κοντινή κατάσταση λειτουργίας - με τις τιμές εκτός των ορίων αυτών να είναι αβέβαιες (Εικόνα 30). Η κανονική κατάσταση λειτουργίας είναι η προεπιλεγμένη κατάσταση στην έκδοση Kinect for Windows και στην έκδοση Xbox 360, ενώ η κοντινή κατάσταση λειτουργίας είναι διαθέσιμη μόνο στον αισθητήρα Kinect for Windows.



Εικόνα 30: Εμβέλεια του αισθητήρα στις δύο καταστάσεις λειτουργίας (Πηγή: msdn.microsoft.com)

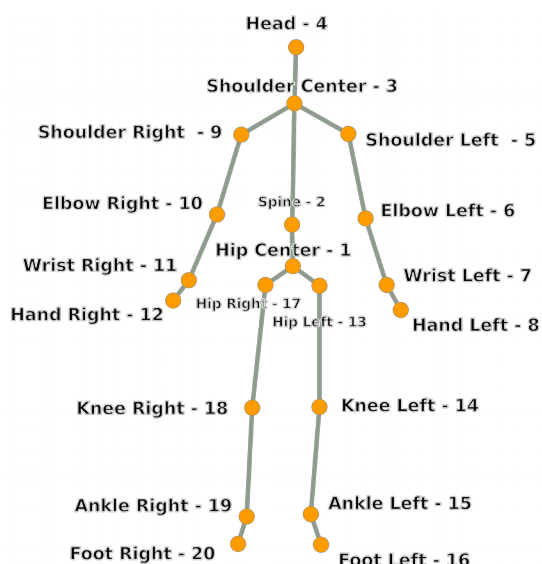
4.2.2.3 Η ροή σκελετικών δεδομένων

Το Kinect μπορεί να αναγνωρίσει έως και έξι χρήστες στο οπτικό του πεδίο και να καταγράψει πλήρως, για δύο από αυτούς, τη θέση τους στον τρισδιάστατο χώρο. Η καταγραφή προκύπτει με τη μορφή των σκελετικών δεδομένων τα οποία παρέχονται από τη ροή σκελετικών δεδομένων (Skeleton Stream) και προκύπτουν από την επεξεργασία ενός καρέ εικόνας βάθους. Τα δεδομένα σκελετού αποτελούνται από τις συνταγμένες των ανιχνευόμενων αρθρώσεων του χρήστη στο χώρο, όπως προκύπτουν από τον αλγόριθμο ανίχνευσης. Σε επόμενη ενότητα περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία εξαγωγής σκελετικών δεδομένων που ακολουθείται από το Kinect.

Με το Kinect V1 μπορούν να ανιχνευθούν 20 αρθρώσεις σε ένα σώμα χρήστη. Για κάθε άρθρωση δίδεται, επίσης, και μια επισήμανση ως Ανιχνευμένη (Tracked), Συναγόμενη (Inferred) και Μη Ανιχνευμένη (Untracked), με βάση την εμπιστοσύνη της πρόβλεψης που προκύπτει από τον διαδικασία της ανίχνευσης.

Οι ανιχνευόμενες αρθρώσεις και οι κωδικοί του αριθμοί παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 και στην Εικόνα 31.

Σημείωση: Ο όρος άρθρωση (joint) όταν αναφερόμαστε στα σκελετικά δεδομένα του Kinect, χρησιμοποιείται καταχρηστικά και για άλλα αντιπροσωπευτικά σημεία του ανθρώπινου σώματος [π.χ. κέντρο κεφαλιού, κέντρο χεριού ή ποδιού, σημείο σπονδυλικής στήλης (spine), “κέντρο” ισχίων (hip center), “κέντρο” ώμων (shoulder center)] πέραν των ορθών με βάση την ανατομία αρθρώσεων (όπως γόνατο, ώμος, αγκώνας, καρπός, ισχίο, γόνατο, αστράγαλος).



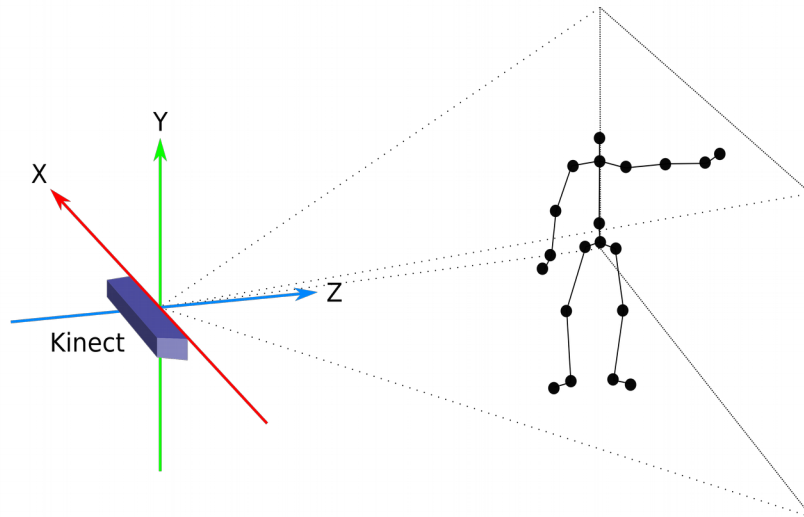
Εικόνα 31: Οι ανιχνευόμενες αρθρώσεις από Kinect V1.

Όνομα	id	Περιγραφή
Hip_Center	1	Κέντρο ισχίων
Spine	2	Σπονδυλική στήλη
Shoulder_Center	3	Κέντρο ώμων
Head	4	Κεφάλι
Shoulder_Left	5	Αριστερός ώμος
Elbow_Left	6	Αριστερός αγκώνας
Wrist_Left	7	Αριστερός καρπός
Hand_Left	8	Αριστερό χέρι
Shoulder_Right	9	Δεξιός ώμος
Elbow_Right	10	Δεξιός αγκώνας
Wrist_Right	11	Δεξιός καρπός
Hand_Right	12	Δεξιό χέρι
Hip_Left	13	Αριστερό ισχίο
Knee_Left	14	Αριστερό γόνατο
Ankle_Left	15	Αριστερός αστράγαλος
Foot_Left	16	Αριστερό πόδι
Hip_Right	17	Δεξί ισχίο
Knee_Right	18	Δεξί γόνατο
Ankle_Right	19	Δεξιός αστράγαλος
Foot_Right	20	Δεξί πόδι

Πίνακας 2: Οι ανιχνευόμενες αρθρώσεις από Kinect V1.

4.2.2.4 Το τρισδιάστατο σύστημα των σκελετικών δεδομένων

Η θέση ενός σκελετού και καθεμιά από τις αρθρώσεις του σκελετού αποθηκεύονται ως συντεταγμένες (X, Y, Z) , που εκφράζονται σε μέτρα. Το σύστημα των σκελετικών δεδομένων είναι ένα δεξιόστροφο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων με αφετηρία το Kinect. Οι άξονες X , Y και Z είναι οι κύριοι άξονες του σώματος του αισθητήρα βάθους με τον τρόπο που φαίνεται στο Σχ. 16. Ο θετικός ημιάξονας Z εκτείνεται προς την κατεύθυνση που είναι στραμμένο το Kinect, ο θετικός ημιάξονας X εκτείνεται προς τα αριστερά και ο θετικός ημιάξονας Y εκτείνεται προς τα επάνω.



Σχήμα 16: Το τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων των σκελετικών δεδομένων του Kinect

4.3 Το πρόβλημα της εκτίμησης στάσης σώματος και η προσέγγιση στο Kinect

Το Kinect μπορεί να προσφέρει έναν εναλλακτικό τρόπο αλληλεπίδρασης του χρήστη με μια κονσόλα ή με τον υπολογιστή, κάνοντας χρήση της κίνησης του χρήστη. Για να μπορεί να γίνει εφικτή μια τέτοια αλληλεπίδραση θα πρέπει πρώτα οι κινήσεις να καταγραφούν και στη συνέχεια να ερμηνευθούν. Αυτό, αποτελεί εδώ και χρόνια ένα αντικείμενο έρευνας για το πεδίο της Όρασης Υπολογιστών, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, αλλά πριν τις εξελίξεις στην τεχνητή νοημοσύνη και την πρόοδο των τρισδιάστατων αισθητήρων βάθους, είχε αποδειχθεί ιδιαίτερα δύσκολο να επιτευχθεί με τη χρήση μιας απλής βιντεοκάμερας. Το Kinect, με τον αισθητήρα βάθους που περιέχει, δίνει τη δυνατότητα στον υπολογιστή να καταγράψει άμεσα σε τρισδιάστατη μορφή τους παίκτες και το περιβάλλον, διευκολύνοντας κατά πολύ το έργο της κατανόησης των κινήσεων.

Η διαδικασία εκτίμησης της υποκείμενης κινηματικής ή σκελετικής δομής ενός ανθρώπου έχει ονομαστεί εκτίμηση στάσης σώματος (human pose estimation). Αυτό γίνεται συνήθως με την εκτίμηση της θέσης χαρακτηριστικών σημείων του σώματος (αρθρώσεις) τα οποία συνδεόμενα μεταξύ τους δημιουργούν το σκελετό του ατόμου.

4.3.1 Δυσκολίες στην εκτίμηση της στάσης του ανθρώπινου σώματος

Η αναγνώριση αντικειμένων και ιδιαίτερα του ανθρώπινου σώματος έχει σημαντικές δυσκολίες. Υπάρχουν γενικά προβλήματα που σχετίζονται με τη γωνία θέασης, το φωτισμό, την κλίμακα του αντικειμένου, τη θέση και τον προσανατολισμό του αντικειμένου (pose), τις αποκρύψεις, το περιβάλλον κ.α.

Στην περίπτωση, όμως, της αναγνώρισης του ανθρώπινου σώματος και της εκτίμησης της στάσης του υπάρχουν πρόσθετες δυσκολίες, όπως η μεγάλη ποικιλία στάσεων που μπορεί να πάρει ένα ανθρώπινο σώμα αλλά και το γεγονός ότι οι άνθρωποι έχουν διαφορετικά μεγέθη και σωματότυπους, φορούν διάφορα ρούχα, έχουν διαφορετικά μαλλιά, μπορεί να μεταφέρουν πράγματα ή να φορούν ίδιου χρώματος ρούχα με το παρασκήνιο, να υπάρχουν πολλά άτομα που καλύπτουν το ένα το άλλο ή να μην φαίνονται ολόκληρα στο καρέ της εικόνας κ.α.

Καθώς είναι πρακτικά αδύνατο να προγραμματιστεί κάθε δυνατή περίπτωση, στο πρόβλημα της αναγνώρισης μπορεί να δώσει λύση η μηχανική μάθηση πάνω σε κατάλληλα δεδομένα εκπαίδευσης. Οι διαδικασίες μηχανικής μάθησης σε αδρές γραμμές λειτουργούν ως εξής: Αρχικά, συλλέγονται δεδομένα εκπαίδευσης και προγραμματίζονται κάποια χαρακτηριστικά (features). Στην συνέχεια γίνεται η εκμάθηση και προκύπτει ένα μοντέλο που είναι μια αναπαράσταση των δεδομένων εκπαίδευσης και των προτύπων που υπάρχουν σε αυτά. Τέλος, εξετάζονται κάποια δεδομένα ελέγχου στο μοντέλο που δημιουργήθηκε και αν τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά, το μοντέλο χρησιμοποιείται για την εκτίμηση στο εκάστοτε αντικείμενο εφαρμογής.

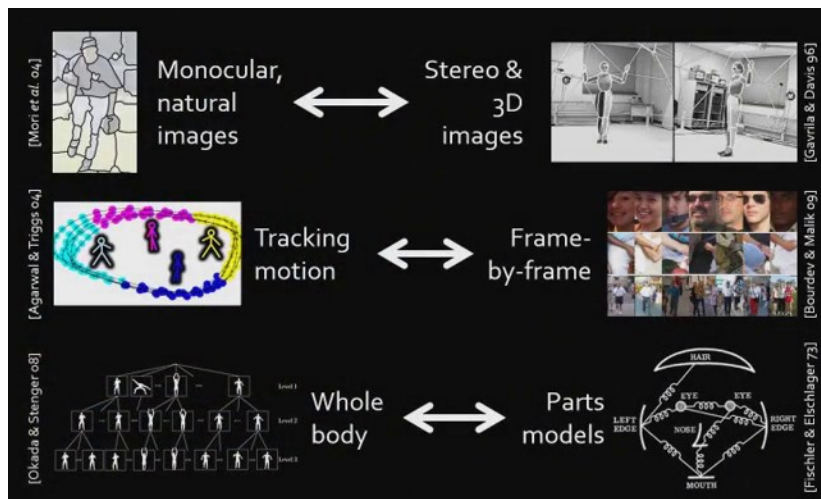
4.3.2 Προσεγγίσεις στην Όραση Υπολογιστών στην εκτίμηση της στάσης του ανθρώπινου σώματος

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, υπάρχουν συστήματα καταγραφής κίνησης που είναι πολύ ακριβή και που προσφέρουν υψηλό ρυθμό καταγραφής, τα οποία όμως απαιτούν μια διάταξη αρκετών αισθητήρων (με τον αντίστοιχο χώρο), στόχους ή στολή στο σώμα του καταγραφόμενου, έχουν υψηλό κόστος, και απαιτούν βαθμονόμηση του συστήματος.

Εδώ και δεκαετίες επιστήμονες από το πεδίο της Όρασης υπολογιστών, προσπαθούν να λύσουν το πρόβλημα της καταγραφής κινήσεων χωρίς τη χρήση ειδικού εξοπλισμού και στόχων αλλά με τη χρήση ενός οπτικού συστήματος και με εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων επεξεργασίας. Μπορούν να διακριθούν τρεις άξονες που δείχνουν τις διαφορές στις προσεγγίσεις για την επίλυση το πρόβλημα της εκτίμησης της στάσης:

- *χρήση μονοεικονικών μεθόδων - φυσικών εικόνων έναντι πολυεικονικών μεθόδων - εικόνων με 3D πληροφορία*

- παρακολούθηση (*tracking*) της στάσης ανάμεσα σε πολλαπλά καρέ **έναντι** αντιμετώπισης κάθε καρέ ξεχωριστά (*frame-by-frame*)
- αναζήτηση στάσης ολόκληρου του σώματος **έναντι** αναζήτησης μερών σώματος και σύνδεσής τους στη συνέχεια.



Εικόνα 32: Κύριοι άξονες προσεγγίσεων του pose estimation στην Όραση Υπολογιστών (Πηγή: “Body Part Recognition and the Development of Kinect”, youtube.com)

Παρακάτω, γίνεται μια αναφορά σε κάποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάποιων προσεγγίσεων.

4.3.2.1 Πλεονεκτήματα της χρήσης 3D πληροφορίας

Η χρήση 3D πληροφορίας από ένα αισθητήρα βάθους διευκολύνει κατά πολύ το πρόβλημα καθώς τα δεδομένα που προκύπτουν έχουν κάποιες χρήσιμες ιδιότητες (Πίνακας 3). Μια πολύ χρήσιμη ιδιότητα είναι το γεγονός ότι το σώμα του ανθρώπου ξεχωρίζει από το παρασκήνιο ή από άλλα σώματα, κάνοντας εύκολη την αφαίρεση του φόντου και την εξαγωγή της σιλουέτας. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης τρισδιάστατης πληροφορίας με τη μορφή εικόνων βάθους, είναι ότι η δημιουργία ρεαλιστικών συνθετικών εικόνων βάθους που απεικονίζουν ανθρώπους είναι σχετικά απλή, και έτσι είναι δυνατή η δημιουργία ενός μεγάλου συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης.

Δεδομένα RGB	Δεδομένα βάθους
<ul style="list-style-type: none"> • Απαιτείται το θέμα είναι καλά φωτισμένο • Ο άνθρωπος γίνεται ένα με το παρασκήνιο • Άγνωστη κλίμακα • Πρόβλημα με τις διαφοροποιήσεις ρούχων ή τόνου δέρματος ή μαλλιών 	<ul style="list-style-type: none"> • Λειτουργία σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού • Ο άνθρωπος ξεχωρίζει από το παρασκήνιο και ξεχωρίζουν τα μέλη του σώματος μεταξύ τους • Γνωστή κλίμακα • Δεν υπάρχει μεταβολή στο χρώμα ή στην υφή

Πίνακας 3: Σύγκριση χρήσης εικόνας RGB έναντι πληροφορίας βάθους στην εκτίμηση στάσης σώματος (Πηγή: “Body Part Recognition and the Development of Kinect”, youtube.com)

Μέχρι την ανάπτυξη του Kinect, υπήρχαν κάποια αποτελέσματα από έρευνες στη χρήση δεδομένων βάθους συχνά από στερεο-κάμερες και από κάποιους αισθητήρες βάθους, ωστόσο τα αποτελέσματα προέκυπταν με συγκεκριμένα δεδομένα και δεν είναι είχε δοκιμαστεί αν μπορούσαν να ανταποκριθούν στο πλήθος των διαφορετικών περιπτώσεων (βλ. Κεφ. 4.3.1).

4.3.2.2 Μειονεκτήματα της παρακολούθησης της στάσης ανάμεσα σε πολλαπλά καρτέ

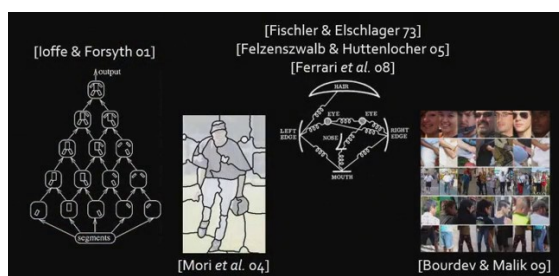
Με την παρακολούθηση (tracking) ανάμεσα σε πολλαπλά καρτέ δεδομένων είναι δυνατόν αν είναι γνωστή η θέση του ανθρώπου στο καρτέ την χρονική στιγμή t να γίνει κάποια πρόβλεψη για τη θέση του ανθρώπου στο καρτέ τη χρονική στιγμή $t+1$ με βάση τη θέση που βρισκόταν πριν. Η λύση αυτή έχει ομαλά και ρεαλιστικά αποτελέσματα αλλά έχει δύο μειονεκτήματα. Πρώτον, απαιτεί κάποιου είδους αρχικοποίηση, όπως για παράδειγμα ο χρήστης να πάρει μια συγκεκριμένη στάση σε μια συγκεκριμένη θέση ώστε το σύστημα να “κλειδώσει” το χρήστη, και δεύτερον αν ο χρήστης κινηθεί πολύ γρήγορα ή με απρόβλεπτο τρόπο υπάρχει ο κίνδυνος το σύστημα να χάσει το “στόχο”, δηλαδή να μην γίνει μια σωστή πρόβλεψη της θέσης και έτσι να βρίσκεται αρκετά μακριά από μια καλή λύση για να μπορεί στη συνέχεια να βελτιώσει την εκτίμηση και να δώσει μια ορθή λύση, με αποτέλεσμα να αποτυγχάνει τελείως και να απαιτείται και πάλι αρχικοποίηση. Κατά συνέπεια, κάθε λύση που βασίζεται στο tracking με αυτό τον τρόπο είναι πιθανό να αποτύχει.

4.3.2.3 Αναζήτηση στάσης ολόκληρου του σώματος έναντι αναζήτησης μερών σώματος

Η εικόνα ολόκληρου του σώματος είναι πολύ αντιπροσωπευτική της στάσης του ανθρώπου. Έτσι, αν υπάρχει η πλήρης εικόνα ενός ανθρώπου τότε μπορεί να γίνει σύγκριση με μια σειρά εικόνων που έχουν καταγράψει διάφορες στάσεις ή μια κίνηση σε διάφορες φάσεις και να επιλεγεί η κοντινότερη με τη χρήση και κάποιας

ιεραρχίας. Το μειονέκτημα αυτής της λύσης είναι ότι ο αριθμός από αναπαραστάσεις στάσεων που πρέπει να υπάρχει και να αναζητηθεί, είναι εκθετικός με τον αριθμό των χαρακτηριστικών σημείων σώματος που επιλέγονται για την περιγραφή του σώματος. Κατά συνέπεια είναι πολύ δύσκολο να αυξηθεί το μέγεθος των δυνατών στάσεων που μπορούν ανιχνευθούν.

Αντίθετα, η προσέγγιση που βασίζεται σε μέλη σώματος δεν αναζητά ολόκληρο το σώμα αλλά αναζητά τα διάφορα μέλη του σώματος ξεχωριστά και στη συνέχεια τα ενώνει μεταξύ τους με το βέλτιστο τρόπο.



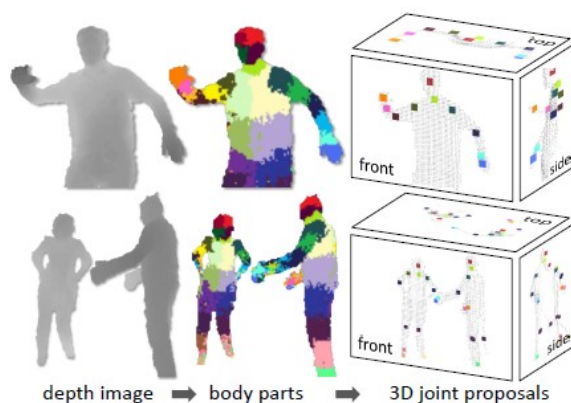
Εικόνα 33: Παραδείγματα της προσέγγισης κατά μέλη (Πηγή: “Body Part Recognition and the Development of Kinect”, youtube.com)

4.3.3 Η προσέγγιση που ακολουθείται στο Kinect

Η διαδικασία που εκτελείται στο Kinect περιγράφεται από τους Shotton et al. [2011], [2013] και χαρακτηρίζεται ως εκτίμηση σε πραγματικό χρόνο της στάσης σώματος σε μέλη από μία εικόνα βάθους. Η μέθοδος που εφαρμόζεται, ακολουθεί διάφορες από τις κατευθύνσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω. Συγκεκριμένα, εξαιτίας του μειονεκτήματος της αναζήτησης στάσης ολόκληρου του σώματος και επειδή ο στόχος ήταν ένα εύρωστο σύστημα χωρίς κάποιου είδους αρχικοποίηση, έχουν επιλεγεί οι προσεγγίσεις της αναγνώρισης μελών σώματος (body part recognition) και ανά καρέ ξεχωριστά (frame-by-frame). Τα δεδομένα στα οποία γίνεται η αναζήτηση είναι η εικόνες βάθους από τον αισθητήρα βάθους.

Ακολουθήθηκε, επίσης, η μέθοδος της ταξινόμησης κάθε εικονοστοιχείου (pixel) της εικόνας βάθους σε ένα μέλος σώματος (το σώμα χωρίζεται σε 31 διαφορετικά μέρη κάποια από τα οποία αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες αρθρώσεις, ενώ τα υπόλοιπα συμπληρώνουν τα κενά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση). Η ταξινόμηση προκύπτει εξετάζοντας μία περιοχή γύρω από το εικονοστοιχείο προς ταξινόμηση, με αποτέλεσμα να προκύπτουν τοπικές εκτιμήσεις. Έτσι επιτυγχάνεται η “αποσύνδεση” των αντιπροσωπευτικών σημείων στο σώμα και αποφεύγεται η εκθετική αύξηση στον αριθμό των στάσεων που αναφέρθηκε παραπάνω, γεγονός που οδηγεί στη μείωση του αριθμού των δεδομένων και του χρόνου εκπαίδευσης σε μια διαδικασία μηχανικής μάθησης. Οι

εκτιμήσεις από την ταξινόμηση επαναπροβάλλονται στον τρισδιάστατο χώρο και υπολογίζονται οι θέσεις των αρθρώσεων.



Εικόνα 34: Επισκόπηση διαδικασίας εκτίμησης. Σε μία εικόνα βάθους γίνεται ταξινόμηση κάθε εικονοστοιχείου στα μέλη σώματος (Το χρώμα υποδεικνύει το πιο πιθανό μέλος σώματος στο οποίο ανήκει το εικονοστοιχείο). Με βάση την ταξινόμηση εκτιμώνται οι τρισδιάστατες θέσεις των αρθρώσεων του σώματος. (Πηγή: Shotton et al. 2011)

Επειδή το σύστημα έπρεπε να είναι πολύ γρήγορο και να δίνει αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο αλλά και επειδή το σύστημα έπρεπε να χρησιμοποιεί περιορισμένους υπολογιστικούς πόρους από το XBOX, η προσέγγιση που ακολουθήθηκε βασίζεται σε απλά χαρακτηριστικά (features) που απαιτούν απλές συγκρίσεις εικονοστοιχείων στην εικόνα βάθους, ενοποιημένα σε ένα ταξινομητή δάσους απόφασης (decision forest classifier) ο οποίος μπορεί να τρέξει παράλληλα στη μονάδα επεξεργασίας γραφικών και ο οποίος εκπαιδεύτηκε μέσω μηχανικής μάθησης.

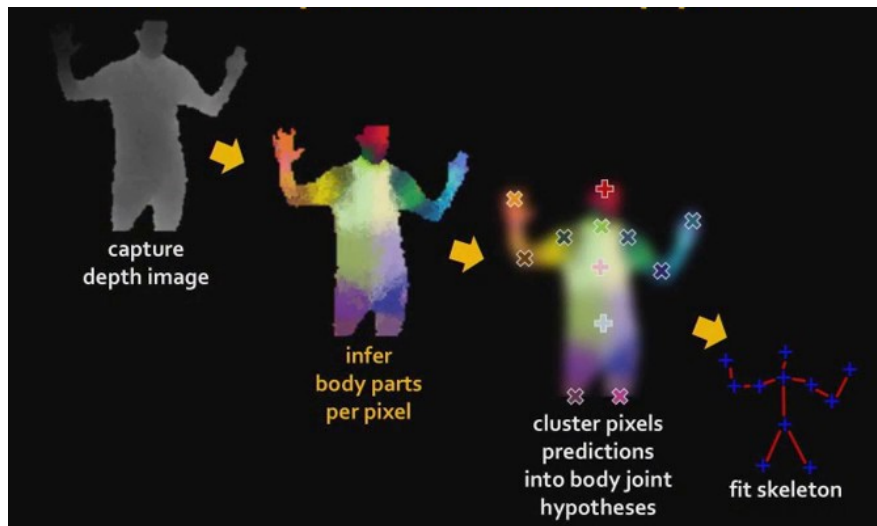
Για τη διαδικασία της εκπαίδευσης, δημιουργήθηκαν ρεαλιστικές συνθετικές εικόνες βάθους ανθρώπων διαφορετικών σωματότυπων και μεγεθών σε μια μεγάλη ποικιλία στάσεων επιλεγμένη από μια μεγάλη βάση δεδομένων από καταγραφή κίνησης. Με την χρήση εκατοντάδων χιλιάδων εικόνων εκπαίδευσης, εκπαιδεύτηκε ένας ταξινομητής τυχαιοποιημένου δάσους απόφασης σε μεγάλο βάθος, ο οποίος αποφεύγει την υπερπροσαρμογή (overfitting).

4.3.3.1 Η διαδικασία εντοπισμού σκελετού του Kinect

Συνοπτικά, τα βήματα για τον εντοπισμό σκελετού στο Kinect είναι τα εξής:

1. Λήψη από τον αισθητήρα βάθους και δημιουργία εικόνας βάθους, αφαίρεση φόντου

2. Εκτίμηση ετικετών μέλους σώματος για κάθε εικονοστοιχείο στην εικόνα βάθους
3. Ομαδοποίηση των προβλέψεων στα εικονοστοιχεία για την παραγωγή υποθέσεων θέσης αρθρώσεων στον χώρο
4. Προσαρμογή των θέσεων των αρθρώσεων στο 3D χώρο σε ένα σκελετό.



Εικόνα 35: Η διαδικασία της εκτίμησης της στάσης του σώματος στο Kinect (Πηγή: “Body Part Recognition and the Development of Kinect”, youtube.com)

Αρχικά, στο πρώτο στάδιο, γίνεται λήψη από τον αισθητήρα βάθους και εξάγεται η εικόνα βάθους. Στη συνέχεια γίνεται αφαίρεση φόντου και εξάγεται ο άνθρωπος που βρίσκεται στο καρέ της εικόνας.

Έπειτα, στο δεύτερο στάδιο κάθε εικονοστοιχείο πάνω στο σώμα που έχει εξαχθεί, ταξινομείται σε ένα μέλος σώματος, λαμβάνει δηλαδή μια ετικέτα για το μέλος που ανήκει. Η ταξινόμηση γίνεται με βάση κάποιο παράθυρο γύρω από το εικονοστοιχείο στην εικόνα βάθους, και σε αυτό βασίζεται η εξέταση των χαρακτηριστικών. Η διαδικασία της ταξινόμησης περιγράφεται στις ενότητες που ακολουθούν.

Στο τρίτο στάδιο γίνεται ομαδοποίηση των προβλέψεων στα εικονοστοιχεία και παράγονται υποθέσεις για τη θέση των αρθρώσεων στον τρισδιάστατο χώρο. Όπως αναφέρθηκε, η αναγνώριση μελών σώματος που εκτελείται στο προηγούμενο στάδιο, εξάγει πληροφορία ανά εικονοστοιχείο. Σε αυτό το στάδιο, η πληροφορία αυτή ομαδοποιείται για να εκτιμηθούν οι θέσεις των αρθρώσεων στον τρισδιάστατο χώρο. Για το σκοπό αυτό, παράγεται ένα τρισδιάστατο νέφος σημείων του σώματος από την εικόνα βάθους (βλ. Κεφ 4.2.2.2.3) με τις αντίστοιχες πιθανότητες για τα μέλη σώματος, και μετά εκτελείται ένας αλγόριθμος ομαδοποίησης (clustering) για την εύρεση τοπικών επικρατουσών τιμών. Ο αλγόριθμος ομαδοποίησης που εκτελείται σε αυτή τη διαδικασία είναι ο

αλγόριθμος μετατόπισης του μέσου (mean shift). Από αυτόν προκύπτει ένας αριθμός υποθέσεων για κάθε άρθρωση. Οι υποθέσεις κείνται στην επιφάνεια του σώματος. Για το λόγο αυτό μετατοπίζονται προς τα πίσω κατά μια απόσταση που έχει προκύψει από διαδικασία μάθησης προκειμένου να προκύψουν οι τελικές υποθέσεις.

Τέλος, σε ένα τέταρτο στάδιο, πάνω στις υποθέσεις αρθρώσεων προσαρμόζεται ο σκελετός. Το στάδιο αυτό αξιοποιεί την πληροφορία του χρόνου (temporal information) καθώς και κινηματικούς περιορισμούς (kinematic constraints) όπως για παράδειγμα αποστάσεις ανάμεσα σε αρθρώσεις.

4.3.3.2 Χρησιμοποιούμενα χαρακτηριστικά (features)

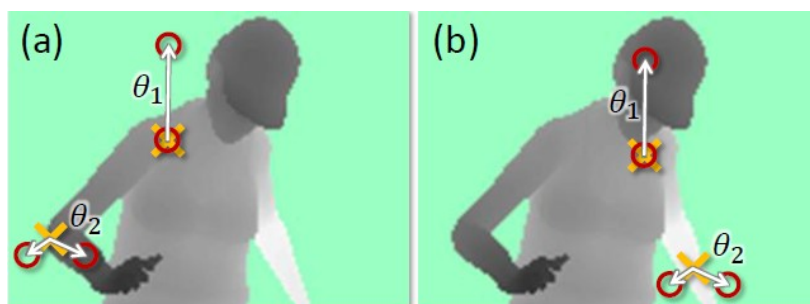
Η ταξινόμηση βασίζεται σε απλά χαρακτηριστικά σύγκρισης βάθους. Σε ένα εικονοστοιχείο x , τα χαρακτηριστικά υπολογίζονται ως εξής:

$$f_{\theta}(I, x) = d_I(x + \frac{u}{d_I(x)}) - d_I(x + \frac{v}{d_I(x)}),$$

όπου $d_I(x)$ είναι το βάθος στο εικονοστοιχείο x της εικόνας I , οι παράμετροι $\theta = (u, v)$ περιγράφουν μετατοπίσεις u και v πάνω στην εικόνα. Ο

πολλαπλασιασμός στις αποστάσεις πάνω στην εικόνα με $\frac{1}{d_I(x)}$ εξασφαλίζει

ανεξαρτησία των χαρακτηριστικών στο βάθος, καθώς με μια σταθερή απόσταση θα υπάρχει διαφορετικό αποτέλεσμα αν το σώμα έχει καταγραφεί κοντά απ' ότι αν ήταν μακριά στην εικόνα. Αν το εικονοστοιχείο που προκύπτει από τη μετατόπιση είναι στο παρασκήνιο ή εκτός των ορίων της εικόνας, τότε η τιμή του βάθους $d_I(x')$ είναι μια μεγάλη θετική σταθερή τιμή.

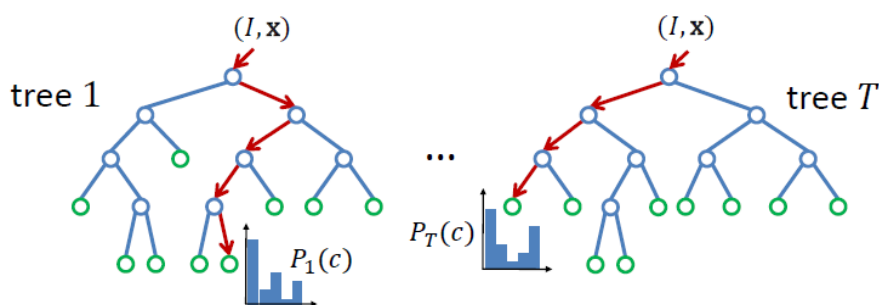


Εικόνα 36: Χαρακτηριστικά εικόνας βάθους. Οι κίτρινοι σταυροί υποδεικνύουν το εικονοστοιχείο x που ταξινομείται και οι κόκκινοι κύκλοι τις μετατοπίσεις στην εικόνα. Στο (a), τα παραδείγματα χαρακτηριστικών δίνουν μια μεγάλη διαφορά βάθους ως αποτέλεσμα. Στο (b), τα δύο ίδια χαρακτηριστικά σε νέες θέσεις στην εικόνα δίνουν αρκετά μικρότερη τιμή. (Πηγή: Shotton et al. 2011)

Το παράδειγμα στην Εικόνα 30 δείχνει τον έλεγχο δύο χαρακτηριστικών σε δύο διαφορετικές θέσεις εικονοστοιχείων x . Το χαρακτηριστικό f_{θ_1} ελέγχει προς τα πάνω. Ο παραπάνω τύπος εφαρμοζόμενος σε αυτό το χαρακτηριστικό, θα δώσει μια μεγάλη θετική τιμή για εικονοστοιχεία x κοντά στις άνω άκρες του σώματος, αλλά μια τιμή κοντά στο μηδέν για εικονοστοιχεία χαμηλότερα, στο μέσο του σώματος. Το χαρακτηριστικό f_{θ_2} μπορεί να είναι χρήσιμο για την εύρεση λεπτών κατακόρυφων δομών του σώματος όπως το χέρι.

Τα απλά αυτά χαρακτηριστικά έχουν μικρή χρησιμότητα από μόνα τους στον προσδιορισμό του μέλους στο οποίο ανήκει το εικονοστοιχείο, αλλά σε συνδυασμό σε ένα δάσος απόφασης (decision forest) είναι ικανά να ξεχωρίσουν τα μέλη για τα οποία έχει γίνει εκπαίδευση. Η επιλογή απλών features έγινε για λόγους υπολογιστικής αποδοτικότητας καθώς η ταξινόμηση θα έπρεπε να μπορεί να εκτελεστεί με περιορισμένους υπολογιστικούς πόρους. Με περισσότερους διαθέσιμους υπολογιστικούς πόρους μπορεί να γίνει χρήση ισχυρότερων χαρακτηριστικών.

4.3.3.3 Ταξινόμηση δένδρου απόφασης (decision tree classification)

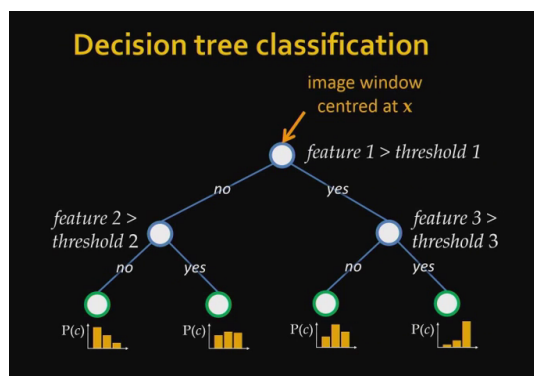


Εικόνα 37: Δάσος απόφασης (Πηγή: Shotton et al. 2011)

Τα τυχαιοποιημένα δένδρα και δάση απόφασης είναι γρήγοροι και αποτελεσματικοί ταξινομητές πολλών κλάσεων και μπορούν να υλοποιηθούν αποδοτικά στη μονάδα επεξεργασίας γραφικών (GPU). Ένα δάσος είναι ένα σύνολο από T δένδρα απόφασης (Εικόνα 37). Κάθε δένδρο αποτελείται από εσωτερικούς κόμβους και από κόμβους-φύλλα (Εικόνα 38). Κάθε εσωτερικός κόμβος περιλαμβάνει ένα χαρακτηριστικό f_{θ} και ένα κατώφλι τ που προκύπτει από τη διαδικασία της εκπαίδευσης.

Για την ταξινόμηση ενός εικονοστοιχείου x σε μια εικόνα I , ξεκινά κάποιος από τον κόμβο-ρίζα (ο πρώτος εσωτερικός κόμβος) και υπολογίζει διαδοχικά την τιμή χαρακτηριστικών, διακλαδούμενος δεξιά ή αριστερά σύμφωνα με την σύγκριση με κατώφλι τ . Σε κάθε κόμβο-φύλλο στο δένδρο t , μία κατανομή $P_t(c|I, x)$ για τα

μέλη σώματος c που έχει προκύψει από τη διαδικασία μάθησης είναι αποθηκευμένη. Η κατανομή αυτή είναι ένα κανονικοποιημένο ιστόγραμμα με όλες τις ετικέτες μέλους σώματος που έφθασαν σε αυτό τον κόμβο στη διαδικασία της εκπαίδευσης.



Εικόνα 38: Παράδειγμα ταξινόμησης με δένδρο απόφασης. Ξεκινώντας από τη ρίζα του δένδρου εξετάζονται διαδοχικά διάφορα χαρακτηριστικά για το εικονοστοιχείο x . Ανάλογα με την τιμή του χαρακτηριστικού γίνεται η διακλάδωση στο δένδρο μέχρι η διαδρομή να καταλήξει σε ένα κόμβο-φύλλο. Σε κάθε φύλλο υπάρχει μια κατανομή. (Πηγή: "Body Part Recognition and the Development of Kinect", youtube.com)

Από τις κατανομές υπολογίζεται ο μέσος όρος για όλα τα δένδρα στο δάσος προκειμένου να γίνει η τελική ταξινόμηση:

$$P(c|I, x) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T P_t(c|I, x) .$$

4.3.3.4 Δεδομένα εκπαίδευσης και εκπαίδευση ταξινομητή με διαδικασία μηχανικής μάθησης

4.3.3.4.1 Δεδομένα εκπαίδευσης

Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 4.3.1, το ανθρώπινο σώμα μπορεί να εμφανιστεί με πολλές στάσεις, μορφές και μεγέθη. Το μοντέλο εκτίμησης θα πρέπει να δίνει σωστά αποτελέσματα για το πλήθος αυτών των περιπτώσεων. Με άλλα λόγια θα πρέπει να υπάρχει μια ανεξαρτησία (invariance) στις διαφορές με τις οποίες μπορεί να εμφανιστεί ένα ανθρώπινο σώμα. Η ανεξαρτησία σε ορισμένες παραμέτρους μπορεί να κωδικοποιηθεί (π.χ. οι διαφοροποιήσεις στο βάθος και στη θέση στη σκηνή αντιμετωπίζονται στον υπολογισμό των χαρακτηριστικών). Η

ανεξαρτησία στις παραμέτρους που δεν μπορούν να κωδικοποιηθούν (γωνία λήψης, θόρυβος αισθητήρα, στάση σώματος, μέγεθος σώματος και σωματότυπος, ρούχα, μαλλιά κ.α.), θα πρέπει να προκύψει μέσω της εκπαίδευσης με πολλά δεδομένα που καλύπτουν ποικίλες περιπτώσεις. Με πολλά και ποικίλα δεδομένα επιτυγχάνεται η εκπαίδευση των δένδρων απόφασης σε βάθος γεγονός πολύ σημαντικό την ορθότητα των αποτελεσμάτων.

Για τη δημιουργία δεδομένων εκπαίδευσης για το Kinect, έγιναν καταγραφές διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε ένα εμπορικό σύστημα καταγραφής κίνησης υψηλής ακρίβειας. Από τις καταγραφές αυτές έγινε επιλογή σε ένα χρήσιμο σύνολο από πόζες στο πλαίσιο εφαρμογών ψυχαγωγίας. Αυτές οι πόζες μετασχηματίστηκαν σε διαφορετικούς σωματικούς χαρακτήρες με ποικίλους σωματότυπους και μεγέθη. Έτσι, με τα συνθετικά αυτά δεδομένα, κατάφεραν να αυξήσουν την ποσότητα των δεδομένων χωρίς να γίνει καταγραφή για κάθε μία περίπτωση. Στη συνέχεια απέδωσαν τα μοντέλα χαρακτήρων σε εικόνες βάθους και τις αντίστοιχες εικόνες με ετικέτες μελών σώματος. Από αυτή τη διαδικασία επιτεύχθηκε η δημιουργία μεγάλου σε μέγεθος και ποικιλία συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης.

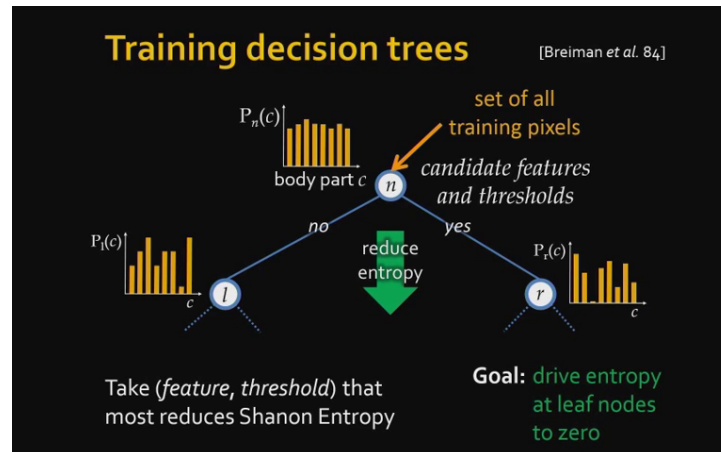


Εικόνα 39: Πραγματικά και συνθετικά δεδομένα εκπαίδευσης. Ζευγάρια εικόνων βάθους και εικόνων με τα αληθνή μέλη σώματος. Σημειώνεται η ποικιλία στη στάση του σώματος, στο σχήμα, στο σωματότυπο, στο ρουχισμό και στο ποσοστό του σώματος που καλύπτει η εικόνα. (Πηγή: Shotton et al. 2011)

4.3.3.4.2 Εκπαίδευση ταξινομητή

Στη διαδικασία της εκπαίδευσης δημιουργούνται τα δένδρα απόφασης. Ξεκινώντας από τον αρχικό κόμβο (ρίζα) δοκιμάζονται διάφορα υποψήφια ζεύγη χαρακτηριστικού-κατωφλίου και εξετάζεται πως διαχωρίζουν τα δεδομένα. Για κάθε υπόθεση χαρακτηριστικού-κατωφλίου υπολογίζεται το κέρδος πληροφορίας (information gain) και επιλέγεται αυτό που δίνει το μεγαλύτερο κέρδος, δηλαδή αυτό που επιφέρει τη μέγιστη μείωση στην εντροπία. Αφότου επιλεγεί το ζεύγος αυτό και διαχωριστούν τα δεδομένα, δημιουργούνται δύο νέοι κόμβοι στους οποίους επαναλαμβάνεται η διαδικασία που αναφέρθηκε. Η διαδικασία

συνεχίζεται έως ότου η εντροπία οδηγηθεί στο μηδέν στους ακραίους κόμβους (φύλλα).



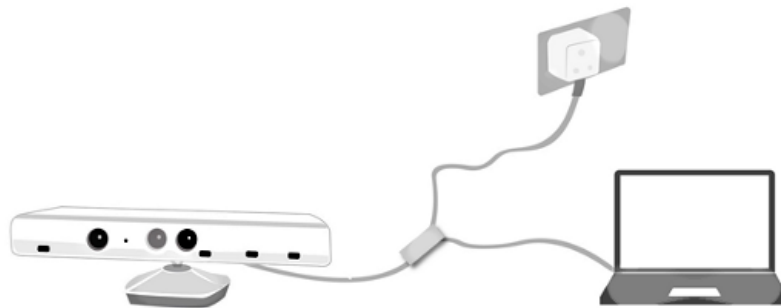
Εικόνα 40: Διαγραμματική απεικόνιση διαδικασίας εκπαίδευσης. (Πηγή: "Body Part Recognition and the Development of Kinect", youtube.com)

Για το σύστημα του Kinect έγινε εκπαίδευση με περίπου 1 εκατομμύριο εικόνες των 2000 εικονοστοιχείων. Έγιναν δοκιμές με περίπου 10 χιλιάδες ζεύγη χαρακτηριστικών-κατωφλίων και εκπαιδεύτηκε ένα δάσος με τρία δένδρα σε βάθος 20.

5 Υλοποίηση συστημάτων

5.1 Υλικό - Λογισμικό

Η καταγραφή και το λογισμικό που αναπτύχθηκε έγινε στο υπολογιστικό περιβάλλον **MATLAB** με χρήση την αντίστοιχης γλώσσας προγραμματισμού χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα πρώτης γενιάς **Kinect V1** - έκδοση XBOX 360. Ο αισθητήρας συνοδεύεται από ειδικό προσαρμογέα με καλώδια για τη σύνδεση με τον υπολογιστή μέσω θύρας usb και για τροφοδοσία ρεύματος.



Σχήμα 17: Σχηματική αναπαράσταση της σύνδεσης του Kinect με τροφοδοσία ρεύματος και με τον υπολογιστή μέσω προσαρμογέα usb. (Πηγή: packtpub.com)

Για την σύνδεση και χρήση του αισθητήρα από το περιβάλλον του MATLAB έγινε εγκατάσταση της εργαλειοθήκης “Image Acquisition Toolbox” και του πρόσθετου “Kinect for Windows Sensor support package” με το οποίο εγκαθίσταται και το αντίστοιχο “Kinect for Windows Runtime”.

Η εργαλειοθήκη “Image Acquisition Toolbox” περιλαμβάνει συναρτήσεις και block εντολών και δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης καμερών και αισθητήρων διαφόρων τύπων με το περιβάλλον του MATLAB. Περιλαμβάνει, επίσης, εφαρμογή που επιτρέπει τον εντοπισμό και τη ρύθμισή τους διαδραστικά. Η εφαρμογή αυτή δεν χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία καθώς η χρήση του αισθητήρα έγινε προγραμματιστικά. Η εργαλειοθήκη παρέχει, επίσης, τη δυνατότητα λήψης δεδομένων με διάφορους τρόπους (acquisition modes) όπως επεξεργασία in-the-loop, hardware triggering, απόκτηση υποβάθρου και συγχρονισμό λήψεων σε πολλαπλές συσκευές.

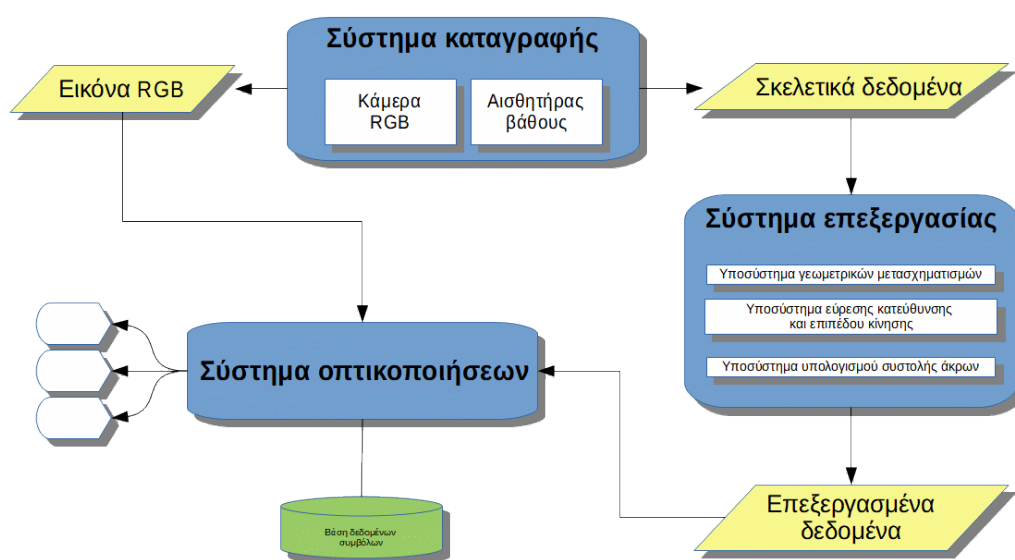
5.2 Τα συστήματα που δημιουργήθηκαν

Στο πλαίσιο της εργασίας δημιουργήθηκαν δύο συστήματα. Το πρώτο σύστημα είναι ένα σύστημα καταγραφής και ανάλυσης της στάσης του σώματος σε πραγματικό χρόνο, και το δεύτερο είναι μια εφαρμογή σε μορφή παιχνιδιού στο οποίο ο χρήστης καλείται να εκτελέσει με επιτυχία μια σειρά από χειρονομίες.

Το συστήματα λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο και χρησιμοποιούν τον αισθητήρα Kinect για την καταγραφή και την εξαγωγή των δεδομένων σκελετού του χρήστη. Παράλληλα γίνεται η επεξεργασία των σκελετικών δεδομένων για την ανάλυση της στάσης των άκρων του σώματος σε πραγματικό χρόνο, με βάση το σύστημα σημειογραφίας χορού και κίνησης Labanotation, και απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Η χρήση των συστημάτων γίνεται μέσω γραφικής διεπαφής χρήστη (GUI) η οποία δημιουργήθηκε με χρήση του περιβάλλοντος ανάπτυξης γραφικών διεπαφών GUIDE του MATLAB.

5.3 Σύστημα καταγραφής και ανάλυσης στάσης σώματος

Το σύστημα καταγραφής και ανάλυσης στάσης σώματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 18.



Σχήμα 18: Διάγραμμα συστήματος καταγραφής και ανάλυσης στάσης σώματος.

5.3.1 Μέρη συστήματος

Το σύστημα μπορεί να χωριστεί σε τρία επιμέρους συστήματα με βάση την λειτουργία που επιτελούν:

- στο **σύστημα καταγραφής** που εκτελεί τις διαδικασίες καταγραφής και παράγει τα πρωτογενή δεδομένα,
- στο **σύστημα επεξεργασίας**, στο οποίο γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων που προκύπτουν από την καταγραφή και
- στο **σύστημα οπτικοποιήσεων**, με το οποίο γίνεται η δημιουργία των οπτικοποιήσεων.

Το σύστημα συμπληρώνεται με μία βάση συμβόλων και λεκτικών περιγραφών.

5.3.2 Σύστημα καταγραφής

5.3.2.1 Διαδικασία καταγραφής σκελετού (skeleton tracking)

Όπως να αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 4, το Kinect ενσωματώνει τρεις αισθητήρες. Η ανίχνευση σκελετού (skeleton tracking) γίνεται από την επεξεργασία των εικόνων βάθους που λαμβάνονται από τον αισθητήρα βάθους.

Για να γίνει μια καταγραφή μέσω MATLAB από έναν από τους αισθητήρες, εν προκειμένω από τον αισθητήρα βάθους, ακολουθούνται τα εξής βήματα:

Δημιουργία αντικειμένου εισόδου βίντεο (video input object)

Αρχικά, δημιουργείται ένα αντικείμενο εισόδου βίντεο (video input object). Με τη δημιουργία του αντικείμενου, γίνεται η σύνδεση μεταξύ του MATLAB και του αισθητήρα.

Ρύθμιση παραμέτρων καταγραφής

Ακολουθεί η ρύθμιση των παραμέτρων του αισθητήρα για την διαδικασία της καταγραφής.

Εκκίνηση video input object

Στη συνέχεια, εκκινείται το video input object. Με την εκκίνησή του, ο αισθητήρας μπαίνει σε κατάσταση λειτουργίας και δεσμεύεται για αποκλειστική χρήση. Επίσης κλειδώνει η ρύθμιση παραμέτρων και έτσι ορισμένες ιδιότητες γίνονται διαθέσιμες μόνο για ανάγνωση.

Ενεργοποίηση (trigger) αισθητήρα για λήψη δεδομένων

Ο αισθητήρας που βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας λαμβάνει σήμα για καταγραφή (logging).

Ανάκτηση δεδομένων καταγραφής

Γίνεται ανάκτηση από το video input object των δεδομένων λήψης και των μεταδεδομένων.

Διακοπή video input object

Σταματά η δυνατότητα καταγραφής από το video input object.

Από την ανάκτηση στο video input object του αισθητήρα βάθους προκύπτουν τα εξής δεδομένα:

- πίνακας με τα καρέ (frame) των δεδομένων βάθους (εικόνες βάθους),
- πίνακας με τις χρονικές στιγμές λήψης των καρέ,
- struct (σύνθετη δομή δεδομένων τύπου “structure array”) με τα μεταδεδομένα κάθε καρέ λήψης τα οποία προκύπτουν από την επεξεργασία των εικόνων βάθους και στα οποία περιλαμβάνονται και τα σκελετικά δεδομένα.

Η ανάκτηση καθενός από αυτά τα δεδομένα είναι προαιρετική. Για παράδειγμα μπορεί να ανακτηθεί μόνο το struct με τα μεταδεδομένα.

5.3.2.2 Το struct μεταδεδομένων

Το struct με τα μεταδεδομένα που προκύπτει από την ανάκτηση, έχει 15 πεδία για κάθε καρέ λήψης. Τα πεδία είναι τα εξής:

Χρονοσφραγίδα με τον ακριβή χρόνο λήψης, αριθμός καρέ, αν έχει ανιχνευθεί η θέση για κάποιον από τους 6 σκελετούς που μπορούν να ανιχνευθούν, αν έχει γίνει καταγραφή σκελετού για κάποιον από τους 6 σκελετούς που ανιχνεύονται (μπορεί να γίνει καταγραφή για τους 2 από τους 6 που μπορούν να ανιχνευθούν), οι συντεταγμένες των αρθρώσεων των σκελετών στο σύστημα της εικόνας βάθους, οι συντεταγμένες των αρθρώσεων στο σύστημα της εικόνας RGB, η κατάσταση ανίχνευσης κάθε άρθρωσης, οι συντεταγμένες των αρθρώσεων στο τρισδιάστατο σύστημα των σκελετικών δεδομένων, οι συντεταγμένες της θέσης του σκελετού στο σύστημα της εικόνας βάθους, οι συντεταγμένες της θέσης του σκελετού στο σύστημα της εικόνας RGB, ο αριθμός του καρέ από τη στιγμή που έγινε ενεργοποίηση (trigger), τα δεδομένα κατάτμησης, τα id των σκελετών που ανιχνεύονται και τέλος ένας δείκτης για τα γεγονότα ενεργοποίησης.

Fields	AbsTime	FrameNumber	IsPositionTracked	IsSkeletonTracked	JointDepthIndices	JointImageIndices	JointTrackingState	JointWorldCoordinates	PositionDepthIndices	PositionImageIndices
1	[2017 1 8 18 20 39.9091]	1	[0, 0, 1, 0, 0]	[0, 0, 1, 0, 0]	20x26 double	20x26 double	20x6 double	20x36 double	2x6 double	2x6 double
2	[2017 1 8 18 20 39.9381]	2	[0, 0, 1, 0, 0]	[0, 0, 1, 0, 0]	20x26 double	20x26 double	20x6 double	20x36 double	2x6 double	2x6 double
3	[2017 1 8 18 20 39.9698]	3	[0, 0, 1, 0, 0]	[0, 0, 1, 0, 0]	20x26 double	20x26 double	20x6 double	20x36 double	2x6 double	2x6 double
4	[2017 1 8 18 20 40.0034]	4	[0, 0, 1, 0, 0]	[0, 0, 1, 0, 0]	20x26 double	20x26 double	20x6 double	20x36 double	2x6 double	2x6 double
5	[2017 1 8 18 20 40.0380]	5	[0, 0, 1, 0, 0]	[0, 0, 1, 0, 0]	20x26 double	20x26 double	20x6 double	20x36 double	2x6 double	2x6 double
6	[2017 1 8 18 20 40.0697]	6	[0, 0, 1, 0, 0]	[0, 0, 1, 0, 0]	20x26 double	20x26 double	20x6 double	20x36 double	2x6 double	2x6 double
7	[2017 1 8 18 20 40.1037]	7	[0, 0, 1, 0, 0]	[0, 0, 1, 0, 0]	20x26 double	20x26 double	20x6 double	20x36 double	2x6 double	2x6 double
8	[2017 1 8 18 20 40.1395]	8	[0, 0, 1, 0, 0]	[0, 0, 1, 0, 0]	20x26 double	20x26 double	20x6 double	20x36 double	2x6 double	2x6 double
9	[2017 1 8 18 20 40.1695]	9	[0, 0, 1, 0, 0]	[0, 0, 1, 0, 0]	20x26 double	20x26 double	20x6 double	20x36 double	2x6 double	2x6 double

Εικόνα 41:

Τμήμα του stuct μεταδεδομένων μιας λήψης. Φαίνονται τα πρώτα 10 από τα 15 πεδία. Σε αυτή τη λήψη έχουν καταγραφεί συνολικά 300 καρτέ και έχει γίνει καταγραφή ενός σκελετού.

5.3.2.3 Λήψη από τον αισθητήρα RGB

Η διαδικασία για τη λήψη από την κάμερα RGB είναι παρόμοια με τη διαδικασία για τη λήψη από τον αισθητήρα βάθους που περιγράφηκε παραπάνω. Δημιουργείται ένα video input object, ρυθμίζονται οι παράμετροι λήψης, γίνεται εκκίνηση του αντικειμένου, στη συνέχεια ενεργοποίηση και τέλος, ανάκτηση των δεδομένων λήψης, όπου ανακτάται το καρτέ της έγχρωμης εικόνας.

5.3.2.4 Ρύθμιση παραμέτρων

Το σύστημα που αναπτύχθηκε λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο και έτσι η ρύθμιση των παραμέτρων λήψης τόσο στον αισθητήρα βάθους όσο και στην κάμερα RGB πρέπει να ανταποκρίνονται σε αυτή την απαίτηση. Κατά συνέπεια, καθορίστηκε να γίνεται λήψη ενός καρτέ σε κάθε trigger και ο αριθμός των επαναλήψεων του trigger ορίστηκε σε “απεριόριστο”, δηλαδή να εκτελείται trigger κάθε φορά που πληρούται η συνθήκη ενεργοποίησης).

5.3.3 Σύστημα επεξεργασίας

Το σύστημα επεξεργασία αναλαμβάνει την επεξεργασία των δεδομένων που προέρχονται από το Kinect. Συγκριμένα, πραγματοποιεί γεωμετρικούς μετασχηματισμούς στα σκελετικά δεδομένα, πραγματοποιεί ανάλυση της κατεύθυνσης και του επιπέδου κίνησης σύμφωνα με το σύστημα σημειογραφίας Labanotation και ανάλυση της συστολής των άκρων.

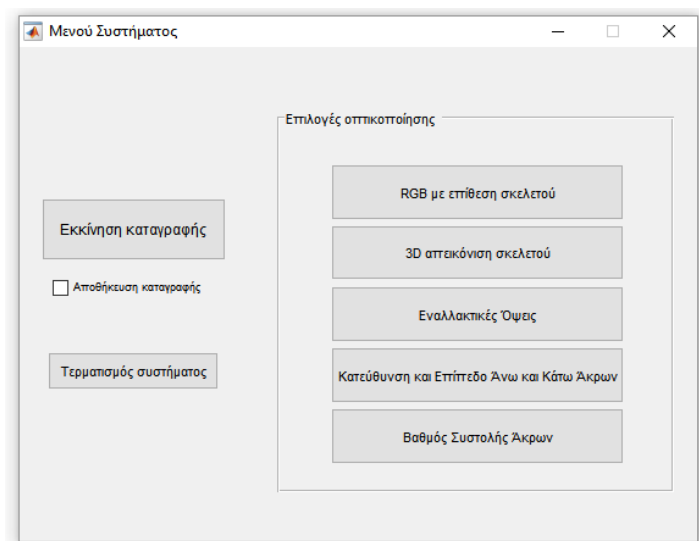
Οι διαδικασίες επεξεργασίας περιγράφονται αναλυτικά σε ενότητες που ακολουθούν.

5.3.4 Σύστημα οπτικοποιήσεων

Το σύστημα οπτικοποιήσεων είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία οπτικοποιήσεων που συνδυάζουν είτε πρωτογενή δεδομένα από τους αισθητήρες του Kinect (εικόνα RGB, εικόνα βάθους, σκελετικά δεδομένα), είτε δεδομένα που έχουν προκύψει από επεξεργασία των πρωτογενών (επεξεργασμένα σκελετικά δεδομένα, συμβολική αναπαράσταση της κίνησης με σύμβολα Labanotation).

5.3.4.1 Επιλογή οπτικοποιήσεων

Η επιλογή των επιθυμητών οπτικοποιήσεων γίνεται από το χρήστη μέσω της διεπαφής, από μία σειρά διαθέσιμων οπτικοποιήσεων, πριν την εκκίνηση της καταγραφής.



Εικόνα 42: Εικόνα από τη γραφική διεπαφή χρήστη.

Ακολουθεί η λίστα με τις διαθέσιμες οπτικοποιήσεις (viewers) και μια σύντομη περιγραφή τους:

RGB βίντεο με επίθεση σκελετού



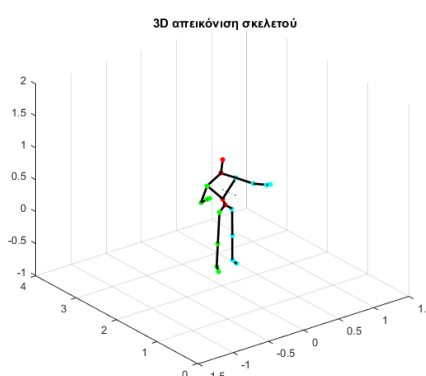
Εικόνα 43: Οπτικοποίηση με έγχρωμη εικόνα και επίθεση του καταγραφόμενου σκελετού.

Εμφανίζει την έγχρωμη εικόνα και πάνω της το σκελετό που ανιχνεύεται (Εικόνα 43).

Για τη δημιουργία του γίνεται χρήση της εικόνας που λαμβάνεται από την έγχρωμη κάμερα (κατοπτρικά ανεστραμμένης για να διευκολύνει το χρήστη) και των συντεταγμένων των αρθρώσεων στο σύστημα της εικόνας.

Η οπτικοποίηση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη κατά τη διαδικασία της λήψης, καθώς ο χρήστης μπορεί να δει αν βρίσκεται στο πεδίο λήψης και να πάρει σωστή θέση, αλλά και να διαπιστώσει αν γίνεται ανίχνευση σκελετού, καθώς και να κάνει μια ποιοτική εκτίμηση της ανίχνευσης.

3D απεικόνιση σκελετού



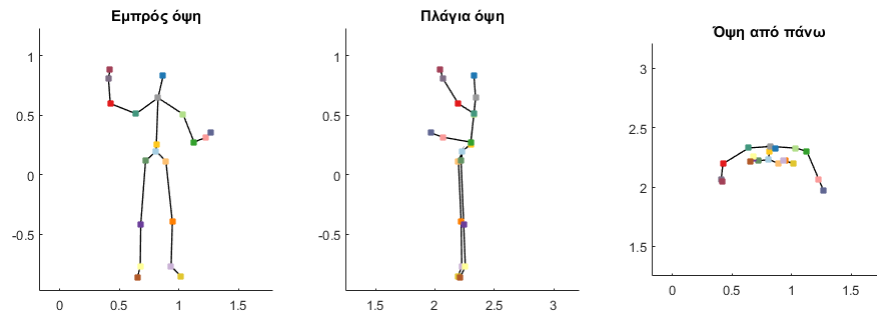
Εικόνα 44: Τρισδιάστατη απεικόνιση του σκελετού. Διακρίνονται οι αρθρώσεις και το διάνυσμα κατεύθυνσης.

Απεικονίζει το σκελετό και τις αρθρώσεις στο χώρο καθώς και ένα διάνυσμα που δείχνει την κατεύθυνση προς την οποία κοιτάζει ο άνθρωπος που καταγράφεται.

Γίνεται χρήση των συντεταγμένων αρθρώσεων στο τρισδιάστατο σύστημα του Kinect και του υπολογισμένου διανύσματος κατεύθυνσης το οποίο τοποθετείται στο κέντρο του θώρακα. Οι άξονες του διαγράμματος είναι σε μέτρα.

Η οπτικοποίηση αυτή δίνει τη δυνατότητα της τρισδιάστατης θέασης και έτσι ο χρήστης μπορεί να δει με τον καλύτερο τρόπο την καταγραφόμενη στάση του σώματος αλλά και να δει πως αυτή η στάση “μεταφράζεται” στην συμβολική αναπαράσταση του Labanotation στην αντίστοιχη οπτικοποίηση.

Πολλαπλές Όψεις



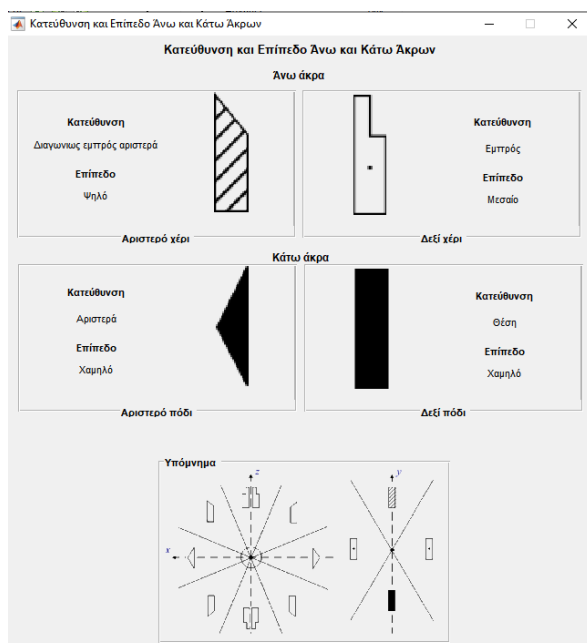
Εικόνα 45: Οπτικοποίηση που συνδυάζει εμπρός όψη, πλάγια όψη και όψη από πάνω του καταγραφόμενου σκελετού.

Δείχνει τον σκελετό που καταγράφεται σε εμπρός, πλάγια και από πάνω όψη (Εικόνα 45). Στην οπτικοποίηση αυτή, κάθε άρθρωση απεικονίζεται με διαφορετική απόχρωση. Το παράθυρο είναι κεντραρισμένο στον καταγραφόμενο σκελετό και τα όρια τίθενται δυναμικά με βάση το μήκος των άκρων για κάθε σκελετό που καταγράφεται. Οι άξονες είναι σε μέτρα.

Γίνεται χρήση των συντεταγμένων στο στραμμένο, με βάση το διάνυσμα κατεύθυνσης, σύστημα.

Η συγκεκριμένη οπτικοποίηση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την παρατήρηση της κίνησης και την παρακολούθηση λεπτομερειών που δεν μπορούν να γίνουν ορατές στην προηγούμενη οπτικοποίηση με τον τρισδιάστατο σκελετό.

Κατεύθυνση και Επίπεδο άνω και κάτω άκρων

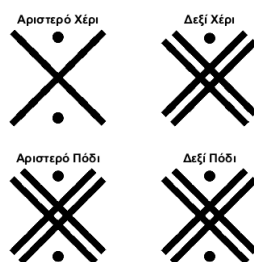


Εικόνα 46: Οπτικοποίηση με τα σύμβολα κατεύθυνσης του συστήματος Labanotation που αντιστοιχούν σε μια στάση σώματος.

Εμφανίζει τα σημεία κατεύθυνσης του Labanotation που αντιστοιχούν στην στάση των τεσσάρων άκρων του σώματος και την αντίστοιχη λεκτική περιγραφή, ενώ συνοδεύεται από υπόμνημα των σημείων κατεύθυνσης με διαχωρισμό για το οριζόντιο και το κατακόρυφο επίπεδο (Εικόνα 46).

Για κάθε άκρο, γίνεται χρήση του κωδικού που αντιστοιχεί στην υπολογισμένη κατεύθυνση και επίπεδο, για εμφάνιση του αντίστοιχου συμβόλου από την βάση των συμβόλων και της λεκτικής περιγραφή από τη λίστα των περιγραφών.

Βαθμός Συστολής Άκρων



Εικόνα 47: Οπτικοποίηση με τα σύμβολα του βαθμού συστολής των άκρων.

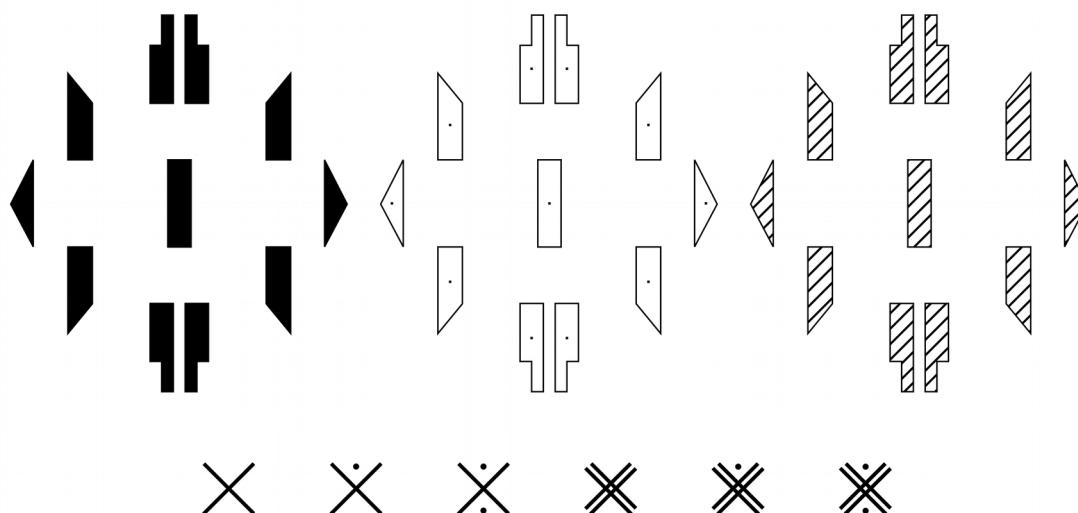
Εμφανίζει τα σύμβολα συστολής του Labanotation, για τα τέσσερα άκρα (Εικόνα 47).

Από τον υπολογισμένο βαθμό συστολής, για κάθε άκρο, γίνεται εμφάνιση του αντίστοιχου συμβόλου από την βάση των συμβόλων.

5.3.5 Βάση συμβόλων

Η βάση των συμβόλων περιλαμβάνει τα σημεία κατεύθυνσης και συστολής του σημειογραφικού συστήματος Labanotation. Τα σύμβολα που περιλαμβάνονται στη βάση δημιουργήθηκαν στο πρόγραμμα σχεδίασης διανυσματικών γραφικών **Inkscape**. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν 3 σειρές των 11 συμβόλων κατεύθυνσης με διαφορετικό γέμισμα για κάθε επίπεδο (χαμηλό, μέσο, ψηλό) και τα 6 σύμβολα συστολής (βλ. Σχ. 48). Προκειμένου να είναι δυνατή η εισαγωγή τους στο MATLAB, έγινε εξαγωγή των συμβόλων σε αρχεία png, έτσι ώστε να διατηρηθεί η διαφάνειά τους.

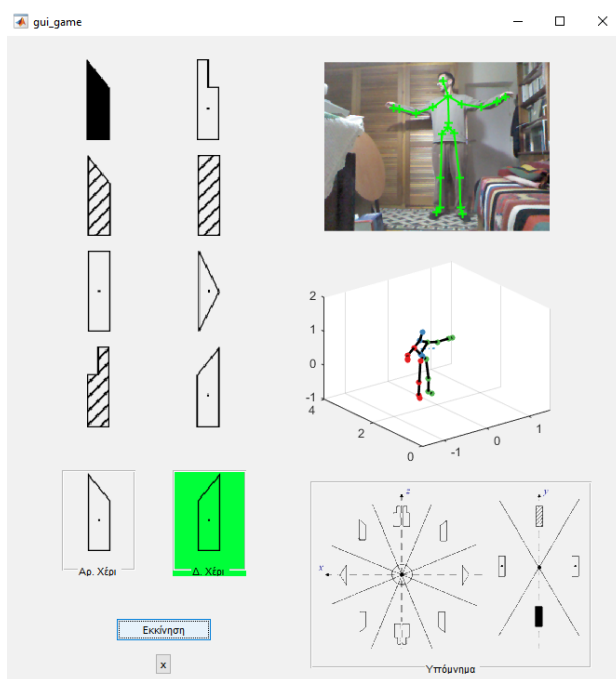
Τα αποθηκευμένα αρχεία συμβόλων εισάγονται πριν την εκτέλεση της καταγραφής σε πίνακες τύπου "cell array". Πρόκειται για σύνθετους πίνακες του MATLAB που μπορούν να περιέχουν δεδομένα διαφόρων τύπων και μεγεθών. Για κάθε αρχείο συμβόλου που εισάγεται, αποθηκεύονται σε διαφορετικά κελιά η εικόνα RGB και η πληροφορία για τη διαφάνεια (alpha channel) της εικόνας. Έτσι, για τα σημεία κατεύθυνσης προκύπτει ένας πίνακας 11x2x3 που περιλαμβάνει τα 11 σύμβολα για τα τρία επίπεδα. Τα σύμβολα ανακτώνται με χρήση των κατάλληλων δεικτών με βάση μια κωδικοποίηση που ακολουθήθηκε για την κάθε κατεύθυνση.



Εικόνα 48: Τα σύμβολα που σχεδιάστηκαν και περιέχονται στη βάση συμβόλων.

5.4 Παιχνίδι

Το δεύτερο σύστημα, είναι μια εφαρμογή με τη μορφή παιχνιδιού. Πραγματοποιεί καταγραφή σκελετικών δεδομένων, επεξεργασία και ανάλυση της στάσης των άνω άκρων σε πραγματικό χρόνο. Ο χρήστης καλείται να εκτελέσει μια ακολουθία από στάσεις για το δεξί και το αριστερό χέρι, οι οποίες δίνονται με τα αντίστοιχα σημεία κατεύθυνσης του συστήματος Labanotation. Ο χρήστης βαθμολογείται με βάση το χρόνο που θα καταφέρει να εκτελέσει την ακολουθία. Η γραφική διεπαφή του συστήματος παρουσιάζεται στην Εικόνα 49.



Εικόνα 49: Γραφική διεπαφή παιχνιδιού. Με πράσινο χρώμα υποδεικνύεται η επιτυχής εκτέλεση μιας στάσης.

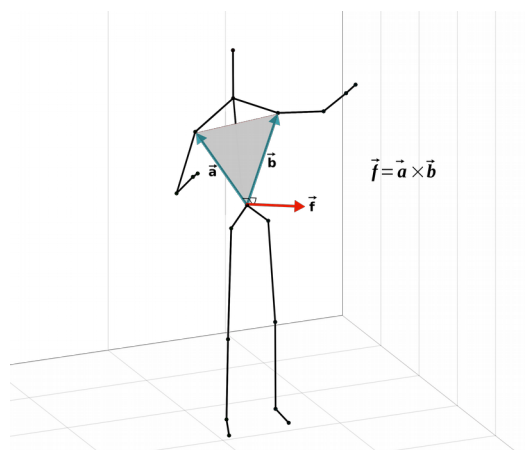
Ο πυρήνας του συστήματος είναι ο ίδιος με αυτό του πρώτου συστήματος. Αποτελείται από το ίδιο σύστημα καταγραφής και επεξεργασίας και ενσωματώνει οπτικοποιήσεις του συστήματος ανάλυσης που περιγράφεται παραπάνω.

Στις ενότητες που ακολουθούν γίνεται περιγραφή των διαδικασιών της επεξεργασίας των σκελετικών δεδομένων και της ανάλυσης για την εύρεση της στάσης των άκρων του σώματος που γίνονται στα δύο συστήματα.

5.5 Επεξεργασία σκελετικών δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφ. 3, στο Labanotation υπάρχουν 27 βασικά σύμβολα. Τα 27 αυτά σύμβολα δηλώνουν 27 διαφορετικές κατευθύνσεις που αντιστοιχούν σε 27 υποχωρία του τρισδιάστατου χώρου. Προκειμένου να καθορισθεί η κατεύθυνση μιας στοιχειώδους κίνησης, απαιτείται μια **διεύθυνση αναφοράς** με αφετηρία το ίδιο το ανθρώπινο σώμα. Για τα σκελετικά μοντέλα, η οριζόντια

συνιστώσα ενός διανύσματος κάθετου στο επίπεδο του κορμού του ανθρώπινου σώματος, χρησιμοποιείται συνήθως ως διεύθυνση αναφοράς. Το διάνυσμα αυτό έχει φορά στην κατεύθυνση προς την οποία ο άνθρωπος κοιτάζει (βλ. Σχ. 19) και στο εξής θα ονομάζεται διάνυσμα κατεύθυνσης.



Σχήμα 19: Το διάνυσμα κατεύθυνσης. Το διάνυσμα αντιπροσωπεύει το μπροστινό μέρος του ανθρώπινου σώματος.

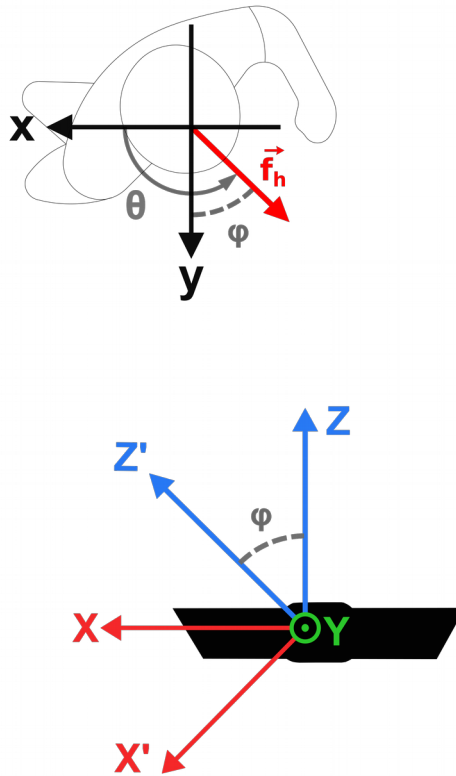
5.5.1 Υπολογισμός διανύσματος κατεύθυνσης

Για τον υπολογισμό του διανύσματος κατεύθυνσης χρησιμοποιούνται οι τρισδιάστατες συντεταγμένες των αρθρώσεων: δεξιού και αριστερού ώμου και του “κέντρο” ισχίων (hip center). Υπολογίζεται το διάνυσμα \vec{a} με αρχή το hip center και πέρας την άρθρωση του δεξιού ώμου και το διάνυσμα \vec{b} με την ίδια αρχή και πέρας την άρθρωση του αριστερού ώμου.) Το ζητούμενο διάνυσμα κατεύθυνσης \vec{f} προκύπτει ως το εξωτερικό γινόμενο των δύο διανυσμάτων και είναι κάθετο στο επίπεδο που σχηματίζουν (Σχ. 20):

$$\vec{f} = \vec{a} \times \vec{b} .$$

5.5.2 Στροφή συστήματος

Στη συνέχεια, γίνεται υπολογισμός της γωνίας θ που σχηματίζει η οριζόντια συνιστώσα του διανύσματος κατεύθυνσης με τον άξονα Z του συστήματος του Kinect, προκειμένου αυτό να στραφεί περί τον άξονα Y, έτσι ώστε ο νέος άξονας Z' να είναι παράλληλος με την οριζόντια συνιστώσα του διανύσματος κατεύθυνσης.



Σχήμα 20: Στροφή συστήματος σκελετικών δεδομένων. Το σύστημα σκελετικών δεδομένων στρέφεται περί τον άξονα Y κατά γωνία φ , με βάση την οριζόντια συνιστώσα του διανύσματος κατεύθυνσης \vec{f}_h .

5.5.2.1 Υπολογισμός γωνίας στροφής

Η γωνία στροφής φ υπολογίζεται ως εξής:

Αρχικά υπολογίζονται οι πολικές συντεταγμένες (ρ, θ) της οριζόντιας συνιστώσας του διανύσματος κατεύθυνσης \vec{f}_h σε τοπικό σύστημα (x, y) , όπου ο άξονας x είναι παράλληλος είναι με τον άξονα X και ο άξονας y είναι παράλληλος με τον άξονα Z του συστήματος των σκελετικών δεδομένων.

Η γωνία στροφής είναι:

$$\varphi = \theta - 90^\circ .$$

5.5.2.2 Εύρεση πίνακα στροφής

Για στροφή κατά γωνία θ του συστήματος περί τον άξονα Y , ο πίνακας στροφής που προκύπτει είναι ο εξής:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix} .$$

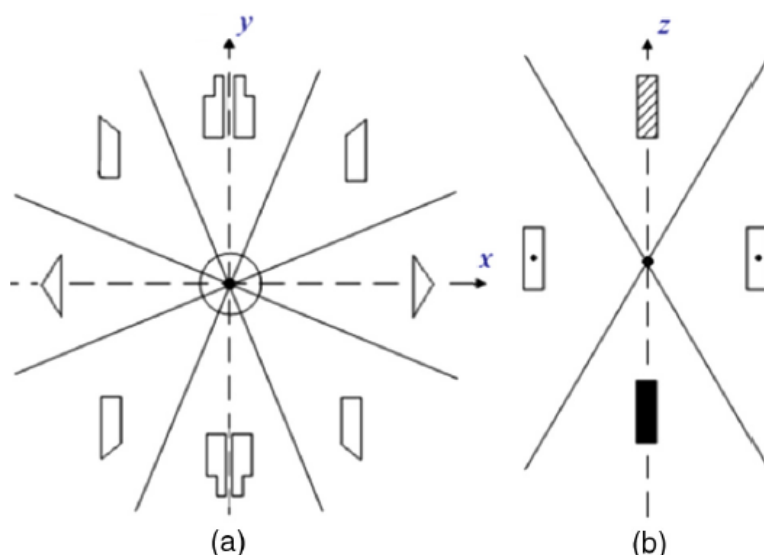
5.5.2.3 Μετασχηματισμός συντεταγμένων αρθρώσεων στο στραμμένο σύστημα

Γίνεται πολλαπλασιασμός του πίνακα στροφής R με τον πίνακα των συντεταγμένων των αρθρώσεων στο σύστημα των σκελετικών δεδομένων και προκύπτουν οι συντεταγμένες στο στραμμένο σύστημα:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} .$$

5.6 Ανάλυση στάσης άνω και κάτω άκρων

Για κάθε άκρο του σώματος (δεξί πόδι, αριστερό πόδι, δεξί χέρι, αριστερό χέρι) γίνεται ανάλυση της στάσης που αυτό έχει, τη δεδομένη χρονική στιγμή. Βρίσκεται η οριζόντια κατεύθυνση και το επίπεδο με βάση το διαχωρισμό του οριζόντιου και κατακόρυφου επιπέδου στο σύστημα Labanotation (βλ. Σχ. 21) και προκύπτει το αντίστοιχο σύμβολο με το κατάλληλο γέμισμα.



Σχήμα 21: Διαχωρισμός του χώρου στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο επίπεδο στο σύστημα Labanotation. (α) Οκτώ + μία ('θέση') οριζόντιες κατευθύνσεις. (β) Τρία κατακόρυφα επίπεδα. Διακρίνονται οι άξονες τοπικού συστήματος (x, y, z). (Πηγή: Διασκευή από Wang et al. 2017)

5.6.1 Εύρεση οριζόντιας κατεύθυνσης

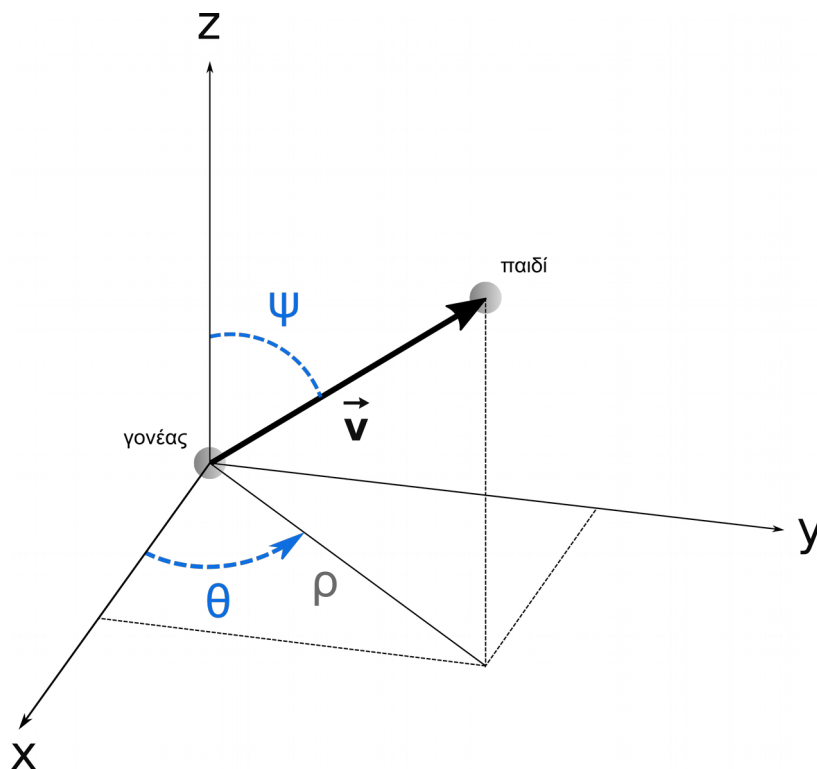
Σε κάθε άκρο υλοποιούνται τοπικά συστήματα. Χρησιμοποιούνται οι συντεταγμένες των ακραίων αρθρώσεων στο στραμμένο σύστημα (X' , Y' , Z'). Για το χέρι οι αρθρώσεις αυτές είναι η άρθρωση του ώμου και του καρπού και για το πόδι η άρθρωση του ισχίου και του αστραγάλου.

Συγκεκριμένα, για κάθε άκρο υπολογίζεται το διάνυσμα \vec{v} με αρχή την άρθρωση-γονέα (ώμος/ισχίο) και πέρας την άρθρωση-παιδί (καρπός/αστράγαλος).

$$\vec{v} = \begin{bmatrix} X'_{\text{παιδί}} \\ Y'_{\text{παιδί}} \\ Z'_{\text{παιδί}} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X'_{\text{γονέας}} \\ Y'_{\text{γονέας}} \\ Z'_{\text{γονέας}} \end{bmatrix}$$

Το διάνυσμα αυτό υλοποιεί ένα τοπικό σύστημα (x, y, z) , παράλληλο με το στραμμένο, με αφετηρία την άρθρωση γονέα (βλ. Σχ. 22).

$$\begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'_{\text{παιδί}} - X'_{\text{γονέας}} \\ -(Z'_{\text{παιδί}} - Z'_{\text{γονέας}}) \\ Y'_{\text{παιδί}} - Y'_{\text{γονέας}} \end{bmatrix}$$



Σχήμα 22: Τοπικό σύστημα με αφετηρία την άρθρωση-γονέα.

Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι πολικές συντεταγμένες (ρ, θ) για την οριζόντια συνιστώσας του διανύσματος \vec{v} .

Η οριζόντια κατεύθυνση του μέλους βρίσκεται ως εξής:

Αν $\rho \leq 0.15$ (δηλαδή αν η οριζόντια απόσταση του γονέα από το παιδί είναι μικρότερη ή ίση με 15 εκατοστά) τότε η κατεύθυνση είναι 'θέση'.

Αλλιώς, ανάλογα με τη γωνία θ του διανύσματος έχει μία από τις **οκτώ κατευθύνσεις**.

Το όριο των 15 εκατοστών για την κατεύθυνση 'θέση' τέθηκε έπειτα από δοκιμές.

5.6.2 Εύρεση κατεύθυνσης στο κατακόρυφο επίπεδο

Για την εύρεση της διεύθυνσης στο κατακόρυφο επίπεδο (επίπεδο κίνησης) υπολογίζεται η γωνία που σχηματίζει το διάνυσμα \vec{v} με τον άξονα z του τοπικού συστήματος (βλ. Σχ. 22). Αυτό γίνεται με τον υπολογισμό του διευθύνοντος συνημιτόνου και τη χρήση της αντίστροφης τριγωνομετρικής συνάρτησης για τον υπολογισμό της γωνίας ψ :

$$\psi = \arccos\left(\frac{z_v}{|\vec{v}|}\right),$$

όπου z_v η συνιστώσα κατά z του διανύσματος του \vec{v} .

Το επίπεδο κίνησης του μέλους βρίσκεται ως εξής:

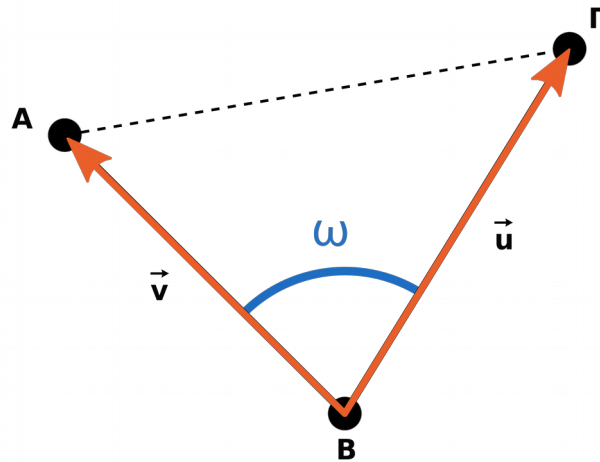
αν $\psi < 60^\circ$	το επίπεδο κίνησης είναι 'ψηλό'
αν $60^\circ \leq \psi \leq 120^\circ$	το επίπεδο κίνησης είναι 'μέσο'
αν $\psi > 120^\circ$	το επίπεδο κίνησης είναι 'χαμηλό'.

5.6.3 Εύρεση βαθμού συστολής άκρων

Γίνεται υπολογισμός του βαθμού συστολής των άκρων, δηλαδή του πόσο λυγισμένο είναι το άκρο (βλ. Κεφ. 3). Ο βαθμός συστολής βρίσκεται από τη **γωνία στο χώρο** που σχηματίζουν τα δύο κύρια τμήματα του άκρου. Για τα άνω άκρα, υπολογίζεται η γωνία που σχηματίζει ο βραχίονας (το ανώτερο τμήμα του χεριού, από τον ώμο μέχρι τον αγκώνα) με τον πήχυ (το κατώτερο τμήμα του χεριού, από τον αγκώνα μέχρι τον καρπό). Για τα κάτω άκρα υπολογίζεται η γωνία που σχηματίζει ο μηρός (το τμήμα του ποδιού πάνω από το γόνατο) με την κνήμη (το τμήμα του ποδιού από το γόνατο μέχρι τον αστράγαλο).

5.6.3.1 Υπολογισμός γωνίας

Οι αρθρώσεις του άκρου A, B, Γ σχηματίζουν ένα τρίγωνο που φαίνεται στο Σχ. 23.



Σχήμα 23: Το τρίγωνο που σχηματίζεται για τον υπολογισμό της γωνίας που σχηματίζουν τα τμήματα του άκρου στην άρθρωση B.

Με βάση το νόμο συνημιτόνων στο τρίγωνο $AB\Gamma$ που σχηματίζουν οι τρεις αρθρώσεις του άκρου, η γωνία ω μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$\omega = \arccos\left(\frac{AB^2 + B\Gamma^2 - A\Gamma^2}{2 AB \cdot B\Gamma}\right).$$

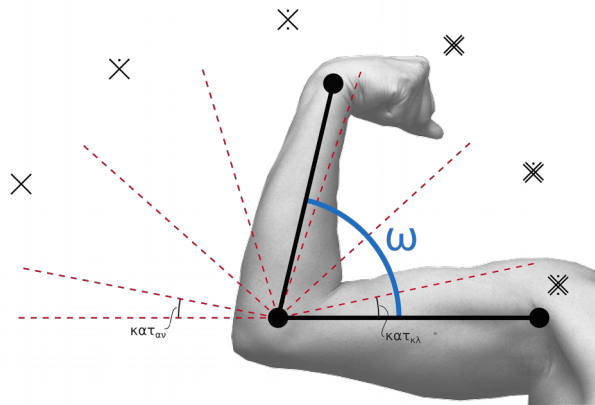
Για λόγους ακρίβειας στον υπολογισμό της γωνίας στο MATLAB, η γωνία ω υπολογίστηκε ως εξής:

$$\omega = \left| \operatorname{atan2}\left(\frac{|\vec{u} \times \vec{v}|}{\vec{u} \cdot \vec{v}}\right) \right|.$$

5.6.3.2 Διαχωρισμός εύρους συστολής

Το εύρος συστολής ενός άκρου είναι θεωρητικά ($0-180^\circ$) και στο σύστημα Labanotation χωρίζεται σε έξι βαθμούς συστολής. Ξεκινώντας από τεντωμένο, το άκρο μπορεί να λάβει διαδοχικά τον 1ο, 2ο, 3ο (όταν το άκρο σχηματίζει ορθή γωνία), 4ο, 5ο, 6ο βαθμό (όταν το άκρο είναι πλήρως λυγισμένο και τα δυο τμήματα του άκρου έρχονται σε επαφή) συστολής.

Στο πλαίσιο τη εφαρμογής το εύρος χωρίζεται με τον τρόπο που ακολουθεί. Αρχικά, τίθεται ένα εύρος για το οποίο το άκρο θεωρείται τεντωμένο (γωνία κατ_{av}) και ένα εύρος (γωνία $\text{κατ}_{κλ}$) για το οποίο θεωρείται πλήρως λυγισμένο (βλ. Εικ. 50), καθώς και ένα εύρος για τον 3ο βαθμό συστολής (κατ_3), τα οποία αφαιρούνται από το εύρος συστολής των 180° .



Εικόνα 50: Διαχωρισμός εύρους συστολής. Σχέση γωνίας άκρου με τα σύμβολα συστολής. (Πηγή εικόνας παρασκηνίου: OpenStax College [CC BY-SA 3.0], Wikimedia Commons)

Στη συνέχεια, το υπόλοιπο χωρίζεται σε ισομεγέθη διαστήματα στα οποία θα αντιστοιχούν οι υπόλοιποι βαθμοί συστολής. Συγκεκριμένα, υπολογίζονται τα ισομεγέθη διαστήματα i_1, i_2 στα οποία αντιστοιχούν οι 1ος, 2ος βαθμός και οι 4ος, 5ος βαθμός αντίστοιχα. Οι γωνίες των διαστημάτων υπολογίζονται ως εξής:

$$i_1 = \frac{90 - \frac{\kappa\alpha\tau_3}{2} - \kappa\alpha\tau_{\kappa\lambda}}{2} \quad i_2 = \frac{90 - \frac{\kappa\alpha\tau_3}{2} - \kappa\alpha\tau_{\alpha\nu}}{2} .$$

Έτσι με βάση την υπολογισμένη γωνία ω , το άκρο είναι:

στον 6ο βαθμό συστολής	αν	$\omega \leq \kappa\alpha\tau_{\kappa\lambda}$,
στον 5ο βαθμό συστολής	αν	$\kappa\alpha\tau_{\kappa\lambda} < \omega \leq \kappa\alpha\tau_{\kappa\lambda} + i_1$,
στον 4ο βαθμό συστολής	αν	$\kappa\alpha\tau_{\kappa\lambda} + i_1 < \omega \leq \kappa\alpha\tau_{\kappa\lambda} + 2 i_1$,
στον 3ο βαθμό συστολής	αν	$\kappa\alpha\tau_{\kappa\lambda} + 2 i_1 < \omega \leq \kappa\alpha\tau_{\kappa\lambda} + 2 i_1 + \kappa\alpha\tau_3$,
στον 2ο βαθμό συστολής	αν	$\kappa\alpha\tau_{\kappa\lambda} + 2 i_1 + \kappa\alpha\tau_3 < \omega \leq \kappa\alpha\tau_{\kappa\lambda} + 2 i_1 + \kappa\alpha\tau_3 + i_2$,
στον 1ο βαθμό συστολής	αν	$\kappa\alpha\tau_{\kappa\lambda} + 2 i_1 + \kappa\alpha\tau_3 + i_2 < \omega \leq \kappa\alpha\tau_{\kappa\lambda} + 2 i_1 + \kappa\alpha\tau_3 + 2 i_2$,
τεντωμένο	αν	$\kappa\alpha\tau_{\kappa\lambda} + 2 i_1 + \kappa\alpha\tau_3 + 2 i_2 < \omega \leq 180^\circ$.

Τα κατώφλια $\kappa\alpha\tau_{\kappa\lambda}$, $\kappa\alpha\tau_{\alpha\nu}$ μπορούν να οριστούν από το χρήστη στην διεπαφή. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή λόγω της ακρίβειας των δεδομένων που παρέχει το Kinect τα προεπιλεγμένα όρια είναι 45° και 20° αντίστοιχα.

6 Επίλογος

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκαν δύο συστήματα. Το πρώτο είναι ένα σύστημα για την ανάλυση της στάσης των άκρων του ανθρώπινου σώματος, όπου υπολογίζεται και εμφανίζεται η κατεύθυνση και το επίπεδο κίνησης με βάση το σύστημα σημειογραφίας Labanotation. Το δεύτερο είναι ένα παιχνίδι στο οποίο ο χρήστης καλείται να λάβει μια σειρά από προκαθορισμένες στάσεις με τα άνω άκρα του σώματός του και βαθμολογείται με βάση το χρόνο που κάνει για να τις εκτελέσει επιτυχώς. Τα συστήματα υλοποιούνται με τη χρήση αισθητήρα βάθους χαμηλού κόστους.

Το συστήματα αυτά έχουν εκπαιδευτική αξία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από αρχάριους στο Labanotation για να μάθουν με μία μέθοδο δοκιμής-και-λάθους τις κατευθύνσεις και τα σύμβολα που αντιστοιχούν, εκτελώντας οι ίδιοι τις κινήσεις.

Τα συστήματα αυτά αποτελούν περισσότερο δοκιμαστικές εφαρμογές για την εξακρίβωση της δυνατότητας υλοποίησης (“proof of concept”) παρά ένα τελικό προϊόν, το οποίο θα πρέπει να υλοποιηθεί σε ένα πιο κατάλληλο περιβάλλον από αυτό του MATLAB.

Η ανάλυση που γίνεται εδώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αυτόματη δημιουργία μιας παρτιτούρας χορού. Απαιτείται επιπλέον η κατάτμηση της κίνησης των άκρων προκειμένου να βρεθεί η διάρκεια των κινήσεων αλλά και η ανάλυση για τη μετακίνηση του κέντρου βάρους του σώματος και των μελών που την προξενούν, έτσι ώστε να βρεθούν τα βασικά στοιχεία της κίνησης που εμφανίζονται στο κινησιόγραμμα. Η ανάλυση αυτή μπορεί να γίνει μόνο μετά από μια καταγραφή και όχι από ένα σύστημα πραγματικού χρόνου όπως αυτό που αναπτύχθηκε.

Υπάρχουν πολλά άλλα στοιχεία του Labanotation, πέρα από τα βασικά, τα οποία μπορούν να κωδικοποιηθούν για μια πιο πλήρη αναπαράσταση της κίνησης. Απαιτείται η συνεργασία με ειδικούς στο Labanotation έτσι ώστε βεβαιωθεί ότι οι παραγόμενες παρτιτούρες ακολουθούν τους κανόνες του συστήματος.

Ένα εργαλείο αυτόματης δημιουργίας παρτιτούρας σε ένα σύστημα σημειογραφίας, μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για τους ειδικούς που καλούνται να καταγράψουν κάποιο χορό, καθώς μειώνει κατά πολύ το χρόνο της σημειογράφησης.

Έτσι μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο για την καταγραφή παραδοσιακών χορών και την διατήρησή τους.

Παρόμοια συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε άλλα πεδία για την καταγραφή κινήσεων, έλεγχο και αξιολόγηση ορθής εκτέλεσης κινήσεων όπως χορογραφιών, σωματικών ασκήσεων κ.α.

Αποδεικνύεται, τέλος, η αξία των αισθητήρων χαμηλού κόστους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ποικίλες εφαρμογές εκπαιδευτικές και άλλες, σε ευρεία κλίμακα και σε οικιακό περιβάλλον.

7 Βιβλιογραφία

Ballas, A.; Santad, T.; Sookhanaphibarn, K. & Choensawat, W. (2017), Game-based system for learning labanotation using Microsoft Kinect, in '2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)', pp. 1-3.

Burelli, P.; Triantafyllidis, G. & Patras, I. (2014), Non-invasive player experience estimation from body motion and game context, in '2014 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games', pp. 1-7.

Charsky, D. (2010), 'From Edutainment to Serious Games: A Change in the Use of Game Characteristics', *Games and Culture* 5(2), 177-198.

Chen, H.; Miao, Z.; Zhu, F.; Zhang, G. & Li, S. (2013), Generating Labanotation from Motion Capture Data, in '2013 International Conference on Culture and Computing', pp. 222-223.

Chen, H.; Qian, G. & James, J. (2005), An Autonomous Dance Scoring System Using Marker-based Motion Capture, in '2005 IEEE 7th Workshop on Multimedia Signal Processing', pp. 1-4.

Choensawat, W.; Nakamura, M. & Hachimura, K. (2015), 'GenLaban: A tool for generating Labanotation from motion capture data', *Multimedia Tools and Applications* 74(23), 10823--10846.

Choensawat, W.; Nakamura, M. & Hachimura, K. Laumond, J.-P. & Abe, N., ed., (2016), *Applications for Recording and Generating Human Body Motion with Labanotation*, Springer International Publishing, Cham, pp. 391--416.

Choensawat, W.; Takahashi, S.; Nakamura, M.; Choi, W. & Hachimura, K. (2010), 'Description and Reproduction of Stylized Traditional Dance Body Motion by Using Labanotation', *Transactions of the Virtual Reality Society of Japan* 15(3), 379-388.

Corti, A.; Giancola, S.; Mainetti, G. & Sala, R. (2016), 'A metrological characterization of the Kinect V2 time-of-flight camera', *Robotics and Autonomous Systems* 75, 584 - 594.

Cutti, A. G.; Giovanardi, A.; Rocchi, L. & Davalli, A. (2006), 'A simple test to assess the static and dynamic accuracy of an inertial sensors system for human movement analysis', *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology - Proceedings*, cited By 15, 5912-5915.

Field, M.; Stirling, D.; Naghdy, F. & Pan, Z. (2009), Motion capture in robotics review, in '2009 IEEE International Conference on Control and Automation', pp. 1697-1702.

Fisher, R. B. & Konolige, K. Siciliano, B. & Khatib, O., ed., (2008), *Range Sensors*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 521--542.

Gonzalez-Jorge, H.; Rodríguez-González, P.; Martínez-Sánchez, J.; González-Aguilera, D.; Arias, P.; Gesto, M. & Díaz-Vilariño, L. (2015), 'Metrological comparison between Kinect I and Kinect II sensors', *Measurement* 70, 21 - 26.

Graafland, M.; Schraagen, J. M. & Schijven, M. P. (2012), 'Systematic review of serious games for medical education and surgical skills training', *British Journal of Surgery* 99(10), 1322--1330.

Griesbeck, C. (1996), 'Introduction to Labanotation'. Διαθέσιμο ηλεκτρονικά: <http://user.uni-frankfurt.de/~griesbec/LABANE.HTML>

Guest, A. H. (2005), *Labanotation*, Taylor & Francis Ltd.

Guest, A. H. (2013), *Labanotation: The System of Analyzing and Recording Movement*, Routledge.

Guest, A. H. (2013), 'Labanotation', in *Encyclopædia Britannica*, ed., , Encyclopædia Britannica, inc.. Διαθέσιμο ηλεκτρονικά: <https://www.britannica.com/art/labanotation>

Guest, A. H. (2016), 'Dance notation', in *Encyclopædia Britannica*, ed., , Encyclopædia Britannica, inc.. Διαθέσιμο ηλεκτρονικά: <https://www.britannica.com/art/dance-notation>

Guo, H.; Miao, Z.; Zhu, F.; Zhang, G. & Li, S. (2014), Automatic Labanotation Generation Based on Human Motion Capture Data, in Shutao Li; Chenglin Liu & Yaonan Wang, ed., 'Pattern Recognition', Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 426--435.

Hachimura, K. & Nakamura, M. (2001), Method of generating coded description of human body motion from motion-captured data, in 'Proceedings 10th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication. ROMAN 2001 (Cat. No.01TH8591)', pp. 122-127.

Hu, W.; Tan, T.; Wang, L. & Maybank, S. (2004), 'A survey on visual surveillance of object motion and behaviors', *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* 34(3), 334-352.

Kale, G. V. & Patil, V. H. (2016), 'A Study of Vision based Human Motion Recognition and Analysis', *CoRR* abs/1608.06761.

Khoshelham, K. & Elberink, S. O. (2012), 'Accuracy and Resolution of Kinect Depth Data for Indoor Mapping Applications', *Sensors* 12(2), 1437--1454.

Kojima, K.; Hachimura, K. & Nakamura, M. (2002), LabanEditor: Graphical editor for dance notation, in 'Proceedings. 11th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication', pp. 59-64.

Laggis, A.; Doulamis, N.; Protopapadakis, E. & Georgopoulos, A. (2017), 'A LOW-COST MARKERLESS TRACKING SYSTEM FOR TRAJECTORY

INTERPRETATION', *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-2/W3*, 413--418.

Landau, M.; Choo, B. & Beling, P. (2015), 'Simulating Kinect Infrared and Depth Images', *IEEE TRANSACTIONS ON CYBERNETICS* PP, 1-14.

Laumond, J.-P. & Abe, N., ed. (2016), *Dance Notations and Robot Motion*, Springer International Publishing.

Maranan, D.; Coyle, M. & Calvert, T. (2002), A Tool for Translating Dance Notation to Animation, in 'Western Computer Graphics Symp.'

Microsoft_Developer_Network (), 'Kinect for Windows Sensor Components and Specifications'.

Moeslund, T. B. & Granum, E. (2001), 'A Survey of Computer Vision-Based Human Motion Capture', *Computer Vision and Image Understanding* 81(3), 231 - 268.

Moeslund, T. B.; Hilton, A. & Krüger, V. (2006), 'A survey of advances in vision-based human motion capture and analysis', *Computer Vision and Image Understanding* 104(2), 90 - 126.

Nakamura, M. & Hachimura, K. (2006), 'An xml representation of Labanotation, Labanxml, and its implementation on the notation editor Labaneditor2', *Review of the National Center for Digitization*(9), 47-51.

Paliyawan, P.; Sookhanaphibarn, K.; Choensawat, W. & Thawonmas, R. (2015), Body motion design and analysis for fighting game interface, in '2015 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG)', pp. 360-367.

Pirovano, M.; Mainetti, R.; Baud-Bovy, G.; Lanzi, P. L. & Borghese, N. A. (2012), Self-adaptive games for rehabilitation at home, in '2012 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG)', pp. 179-186.

Rallis, I.; Georgoulas, I.; Doulamis, N.; Voulodimos, A. & Terzopoulos, P. (2017), Extraction of key postures from 3D human motion data for choreography summarization, in '2017 9th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games)', pp. 94-101.

Eftychios Protopapadakis, Anastasios Doulamis, Charalabos Ioannidis, Sofia Soile, Stephanos Camarinopoulos, Nikolaos Doulamis, (2017) "Analyzing Folklore Dance Similarities via Spatial and Temporal Embedding and Signal Analysis," FIG Commission 3, Spatial Information Management,: Volunteered Geographic Information Emerging Applications in Public Science and Citizen Participation, Lisboa, 27-30 November, Portugal.

Protopapadakis, E.; Voulodimos, A.; Doulamis, A.; Camarinopoulos, S.; Doulamis, N. & Miaoulis, G. (2018), 'Dance Pose Identification from Motion Capture Data: A Comparison of Classifiers', *Technologies* 6(1), 31.

Sarbolandi, H.; Lefloch, D. & Kolb, A. (2015), 'Kinect range sensing: Structured-light versus Time-of-Flight Kinect', *Computer Vision and Image Understanding* 139, 1 - 20.

Shen, X.; Li, Q.; Yu, T.; Geng, W. & Lau, N. (2005), Mocap data editing via movement notations, in 'Ninth International Conference on Computer Aided Design and Computer Graphics (CAD-CG'05)', pp. 6 pp.-.

Shon, A. P.; Storz, J. J. & Rao, R. P. N. (2007), 'Towards a real-time Bayesian imitation system for a humanoid robot', *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation* , cited By 37, 2847-2852.

Shotton, J.; Fitzgibbon, A.; Blake, A.; Kipman, A.; Finocchio, M.; Moore, B. & Sharp, T. (2011), Real-Time Human Pose Recognition in Parts from a Single Depth Image, in , IEEE, .

Shotton, J.; Girshick, R.; Fitzgibbon, A.; Sharp, T.; Cook, M.; Finocchio, M.; Moore, R.; Kohli, P.; Criminisi, A.; Kipman, A. & Blake, A. (2013), 'Efficient Human Pose Estimation from Single Depth Images', *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 35(12), 2821-2840.

UNESCO (2013), 'Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention'.

UNESCO (1972), 'The Convention for the Protection of the World Cultural and Natural Heritage'.

UNESCO (2003), 'Σύμβαση για τη Διαφύλαξη της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς'.

UNESCO (2003), 'The Convention for the Safeguarding of the Intangible Cultural Heritage'.

Vlasic, D.; Adelsberger, R.; Vannucci, G.; Barnwell, J.; Gross, M.; Matusik, W. & Popovi, J. (2007), 'Practical motion capture in everyday surroundings', *Proceedings of the ACM SIGGRAPH Conference on Computer Graphics* , cited By 26.

Wang, J.; Miao, Z.; Guo, H.; Zhou, Z. & Wu, H. (2017), 'Using automatic generation of Labanotation to protect folk dance', *Journal of Electronic Imaging* 26, 26 - 26 - 18.

Wilke, L.; Calvert, T.; Ryman, R. & Fox, I. (2005), 'From dance notation to human animation: The LabanDancer project', *Computer Animation and Virtual Worlds* 16(3-4), 201--211.

Zhang, S.; Li, Q.; Yu, T.; Shen, X.; Geng, W. & Wang, P. (2006), Implementation of a Notation-Based Motion Choreography System, in Hongbin Zha; Zhigeng Pan; Hal Thwaites; Alonzo C. Addison & Maurizio Forte, ed., 'Interactive Technologies and Sociotechnical Systems', Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 495--503.

Zhang, Z. (2012), 'Microsoft Kinect Sensor and Its Effect', *IEEE MultiMedia* 19(2), 4-10.

Zhou, Z.; Miao, Z. & Wang, J. (2016), A system for automatic generation of labanotation from motion capture data, in '2016 IEEE 13th International Conference on Signal Processing (ICSP)', pp. 1031-1034.

Καραβία, Δέσποινα. (2013), 'Η Άυλη Πολιτιστική Κληρονομιά και ο Τόπος. Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για τη Διερεύνηση της Επίδρασης του Τόπου στη Διαμόρφωση της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς.', Master's thesis, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ - ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ.

Κουτσούμπα, Μαρία. (2005), *Σημειογραφία της Χορευτικής Κίνησης*, ΠΡΟΠΟΜΠΟΣ.

Λουτζάκη, Ρ. (2004), 'Η Κινησιογραφία του Λάμπαν (ή Labanotation)', Ερευνητικό Πρόγραμμα "Θράκη - Μακεδονία".

Μαλτέζος, Ευάγγελος. (2014), 'Εξαγωνή πινάκων ανοιμοιότητων βάθους από εναέριες εικόνες μέσω πυκνής συνταύτισης σημείων', Master's thesis, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ - ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ.

UNESCO , 'Tangible Cultural Heritage'.

<http://www.unesco.org/new/en/cairo/culture/tangible-cultural-heritage/>

UNESCO 'Intangible Heritage' <https://ich.unesco.org/>

UNESCO , 'Performing arts (such as traditional music, dance and theatre)'. Διαθέσιμο ηλεκτρονικά: <https://ich.unesco.org/en/performing-arts-00054>

LabanWriter , 'Department of Dance, Ohio State University'. Διαθέσιμο ηλεκτρονικά: <https://dance.osu.edu/research/dnb/lab-an-writer>

Wikipedia 'Kinect'.

Wikipedia, 'Laban movement analysis — Wikipedia, The Free Encyclopedia', <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Laban%20movement%20analysis>, [Online; accessed 10-March-2018].

Wikipedia, 'Labanotation — Wikipedia, The Free Encyclopedia', <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Labanotation>, [Online; accessed 10-March-2018].

Wikipedia, 'Motion capture — Wikipedia, The Free Encyclopedia', <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Motion%20capture&oldid=828154525>, [Online; accessed 10-March-2018].

'Άυλη Πολιτιστική Κληρονομιά της Ελλάδας' <http://ayla.culture.gr>

8 Παράρτημα

Αλγόριθμος καταγραφής και οπτικοποίησης

