



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων
Π.Μ.Σ. “Πληροφοριακά Συστήματα &
Υπηρεσίες”

Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης Εφαρμοσμένες στην Άυλη Πολιτιστική Κληρονομιά

Η
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
εκπονήθηκε από τον

Γεωργούλα Ιωάννη - ΜΕ 1740

καθηγητής
Δημοσθένης Κυριαζής

Αθήνα,
Δεκέμβριος 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την μελέτη, την επεξεργασία, την ανάλυση και ψηφιοποίηση της άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς με τεχνικές μηχανικής μάθησης και όρασης υπολογιστών. Αντιλαμβανόμενοι την αναγκαιότητα καταγραφής και διαφύλαξης της άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς η παρούσα διπλωματική εργασία, μέσω τεχνολογιών-αιχμής, θα προσπαθήσει να επεξεργαστεί τα δεδομένα και τα μετά-δεδομένα σε μια σειρά κινησιολογικών καταγραφών.

Στόχος της επιδιωκόμενης ερευνητικής μελέτης και παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη διαφόρων τεχνικών μηχανικής μάθησης με σκοπό την ψηφιοποίηση της άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς, δηλαδή των χορευτών και των χορευτικών τους κινήσεων, χορευτικών εκφράσεων, καθώς και η αρχειοθέτηση των σχετικών δεδομένων σε κατάλληλη ψηφιακή βιβλιοθήκη, προκειμένου να διατηρηθεί τμήμα της μη απτής πολιτιστικής κληρονομιάς. Επιπλέον τίθεται η ανάγκη να μειωθεί η πολυπλοκότητα της ψηφιοποίησης που διέπει την καταγραφή, την απεικόνιση, τη μοντελοποίηση και την εικονική αναπαράσταση.

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι δομημένη σε δύο διαφορετικά σκέλη - ενότητες, η κάθε μια από τις οποίες μελετάει και αναλύει μία διαφορετική εφαρμογή πάνω στην άυλη πολιτιστική κληρονομιά.

Στην πρώτη ενότητα θα παρουσιαστεί μια εναλλακτική προσέγγιση σύνοψης της χορογραφίας. Αυτό σημαίνει ότι ένας πολύ μικρός αριθμός καρέ εικόνων εξάγονται με σκοπό να αντιπροσωπεύσουν μια χορογραφία, μειώνοντας έτσι σημαντικά την πολυπλοκότητα επεξεργασίας και αποθήκευσης. Στην προσέγγισή μας το πρόβλημα της συνοπτικής παρουσίασης της χορογραφίας αντιμετωπίζεται ως μια προσέγγιση μη εποπτευόμενης ομαδοποίησης.

Στην δεύτερη ενότητα θα παρουσιαστεί ένα εκπαιδευτικό πλαίσιο για την ανάλυση και απεικόνιση της κινησιολογίας χορού βασισμένο στην εκμάθηση ενός σημειογραφικού συστήματος για την ανάλυση και επεξεργασία της ανθρώπινης κίνησης (Labanotation). Ο αισθητήρας Kinect χρησιμοποιείται για την εξαγωγή δεδομένων του σκελετού, τα οποία κατόπιν επεξεργάζονται και μετασχηματίζονται γεωμετρικά. Στη συνέχεια, αναλύονται με βάση το σύστημα Labanotation (σημειογραφικό σύστημα για την ανάλυση και επεξεργασία της ανθρώπινης κίνησης) για να χαρακτηρίσουν τη στάση των ανθρώπινων άκρων

Τέλος γίνεται μια σύνοψη της όλης μελέτης που πραγματοποιήθηκε, καθώς και μελλοντικές προτάσεις σχετικά με τη βελτίωση των υπάρχοντων όπως και άλλων μεθόδων προσέγγισης.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the study, processing, analysis and digitization of intangible cultural heritage using techniques of machine learning and computer vision. Understanding the necessity of recording and preserving the intangible cultural heritage, this diploma thesis, through state-of-the-art technologies, will attempt to process data and meta-data in a series of kinesiological records.

The aim of the research study and present diploma thesis is the study of various techniques of machine learning for the digitization of the intangible cultural heritage, namely the dancers and their dancing movements, dance expressions, as well as the archiving of the relevant data in a suitable digital library, in order to preserve part of the non-tangible cultural heritage. In addition, there is a need to reduce the complexity of digitization that governs recording, imaging, modeling and virtual representation.

This diploma thesis is structured in two different parts, each of which studies and analyzes a different application and framework on the intangible cultural heritage.

In the first section will be presented an alternative approach to choreography summarization. This means that a very small number of key-frames from images are exported in order to represent a whole choreography, thus significantly reducing the processing and storage complexity. In our approach, the problem of the summary of choreography is treated as an approach of unsupervised clustering.

In the second section, an educational framework will be presented for analysis and visualization of dance kinesiology based Labanotation and embodied learning concepts. The Kinect sensor is used to extract skeletal data, which are then processed and transformed geometrically. In the sequel they are analyzed based on the Labanotation system to characterize the posture of the human limbs.

Finally, a summary of the study is carried out, as well as future proposals on the improvement of existing methods that have been used.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης Εφαρμοσμένες στην Άυλη Πολιτιστική Κληρονομιά.....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	4
1. Άυλη Πολιτιστική Κληρονομιά	6
1.1 Εισαγωγή	6
1.2 Θεωρητικό Πλαίσιο.....	8
1.2.1 Προηγούμενες Εργασίες	9
1.2.2 Συνεισφορά	10
1.3 Μεθοδολογία	11
2. Εξαγωγή Εικόνων από 3D Δεδομένα Ανθρώπινης Κίνησης για Σύνοψη Χορογραφίας.....	12
2.1 Επισκόπηση Μεθοδολογίας.....	12
2.2 Επεξεργασία και Μετασχηματισμός.....	15
2.3 Η σύνοψη χορογραφίας ως πρόβλημα συσταδοποίησης (clustering).....	16
2.4 Αποτίμηση της συνοψισμένης χορογραφίας	18
2.4.1 Ο Δείκτης Silhouette	18
2.4.2 Ο Δείκτης Davies-Bouldin.....	19
2.5 Πειράματα	20
2.5.1 Πειραματικές Ρυθμίσεις και Διαδικασίες	20
2.5.2 Διεξαγωγή Πειραμάτων	20
3. Διαδραστικό Παιχνίδι Εκμάθησης Χορογραφίας Χρησιμοποιώντας Kinect και Labanotation.....	26
3.1 Θεωρητικό Πλαίσιο.....	26
3.1.1 Προηγούμενες Εργασίες	27
3.1.2 Συνεισφορά	29
3.2 Η Αρχιτεκτονική του Συστήματος.....	30
3.3 Η Διεπαφή Καταγραφής της Τρισδιάστατης Κίνησης	31
3.3.1 Το Σύστημα Καταγραφής Κίνησης.....	31
3.3.2 Τα Δεδομένα του Ανθρώπινου Σκελετού	31
3.4 Η Διεπαφή Γεωμετρικού Μετασχηματισμού: Εξαγωγή των Γεωμετρικών Χαρακτηριστικών του Ανθρώπινου Σώματος.....	32

3.4.1 Γεωμετρική Διαμόρφωση της Διεπαφής	32
3.4.2 Ανάλυση και Καθοδήγηση της Ανθρώπινης Κίνησης.....	32
3.5 Η Διεπαφή του Συστήματος Labanotation.....	33
3.5.1 Μοντελοποιώντας τις Ανθρώπινες Σχέσεις.....	33
3.5.2 Μοντελοποιώντας τις Γωνίες Κάμψης	35
3.6 Η Διαδραστική Διεπαφή Απεικόνισης.....	37
3.7 Το Προτεινόμενο Εκπαιδευτικό Παιχνίδι	40
3.7.1 Η Ροή του Παιχνιδιού	40
3.7.2 Εκμάθηση Χορογραφικών Κινήσεων	42
4. Συμπεράσματα - Μελλοντική Εργασία	43
5. Βιβλιογραφία - Αναφορές	45

1. Άυλη Πολιτιστική Κληρονομιά

1.1 Εισαγωγή

Ο Πολιτισμός, ως σύνολο της κοινωνικής κληρονομιάς των υλικών και άυλων αξιών και φαινομένων που δημιουργήθηκαν από την επικράτηση του ανθρώπου στην γη, στη διάρκεια της ιστορίας της, εγκολπώνει την τεχνολογία υπό την μορφή της οικονομικής και κοινωνικής δομής. Αναπόδραστα ο πολιτισμός χαρακτηρίζει σε κάθε ιστορική περίοδο το επίπεδο ανάπτυξης στα πεδία της επιστήμης, των τεχνών, της φιλοσοφίας, της ηθικής και των θεσμών και πιο συγκεκριμένα την σχέση που αυτά αλληλεπιδρούν, σχετίζονται και μεταβάλλονται δημιουργώντας νέες σχέσεις παράγωγης, ανάπτυξη τεχνογνωσίας και δημιουργία νέων προϊόντων. Αντιλαμβανόμενη την σημαντικότητα διάσωσης της πολιτιστικής κληρονομιάς η Unesco χρηματοδοτεί και συμμετέχει σε κάθε εγχείρημα διαφύλαξης της παγκόσμιας ιστορίας.

Στη σημερινή εποχή (Nij, 1992) ο μηχανικός αντιλαμβάνεται την τεχνολογία υπό το πρίσμα των μηχανών και των εργαλείων, ο οικονομολόγος ως μηχανισμό ελάττωσης του κόστους και αύξησης του οφέλους, ο ανθρωπολόγος ως πολιτισμική έννοια και ο κοινωνιολόγος ως σύμβολο κοινωνικής αλλαγής. Ο ρόλος του ιστορικού τέχνης και του αρχαιολόγου βασίζεται σε διαφορετικές μεθόδους αρχειοθέτησης όπως είναι η ζωγραφική και η σχεδίαση. Εν προκειμένο και οι δυο μέθοδοι παρουσιάζουν θεμελιώδη μειονεκτήματα όσον αφορά τις τεχνικές διαχείρισης και οργάνωσης (Traunecker, 1987, Loeben, 1996), τέτοια είναι η πιστότητα περιγραφής του αντικειμένου μελέτης και η προσαρμοστικότητα καταγραφής. Η μέθοδος της φωτογραμμετρίας ήταν η μονή μέθοδος που μπορούσε να εφαρμοστεί σε μικρά χρονικά πλαίσια (Boehler, Marbs, 2002). Καθώς διανύουμε την τέταρτη δεκαετία της βιομηχανικής επανάστασης νέες τεχνολογίες απαντούν στο πρόβλημα της καταγραφής και προβολής της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η χρήση φωτο-ρεαλιστικών μοντέλων και η παρουσίαση τους με την συμβολή της εικονικής πραγματικότητας επιφέρει αύξηση στη διάχυση της γνώσης. Επιπλέον η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο στην προσπάθεια καταγραφής της πολιτιστικής και πολιτισμικής μας κληρονομιάς. Παράλληλα η αύξηση στις ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, επεξεργασίας τρισδιάστατων γραφικών και υπολογιστικών μέσων επιτρέπει στους χρήστες πρόσβαση σε υψηλού επιπέδου γραφικές αναπαραστάσεις. Αξίζει να σημειωθεί η προσπάθεια τρισδιάστατης γραφικής απεικόνισης μνημείων με τεράστια πολιτιστική αξία, αλλά και αναπαράσταση μουσείων με την βοήθεια της επαυξημένης πραγματικότητας (Doulamis, 2016, Voulodimos, 2017).

Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει προκειμένου να καταγραφεί και να διασωθεί η υλική κληρονομιά, όμως η άυλη κληρονομιά λόγω της μη απτής φύσης της επιφέρει δυσκολίες τόσο στην παρατήρηση όσο και στην καταγραφή. Παρόλο την τεράστια πρόοδο που έχει επιτευχθεί στην τεχνολογία της ψηφιοποίησης, κυρίως όσο άφορα τα απτά πολιτιστικά αγαθά στο επίπεδο της τρισδιάστατης απεικόνισης, η ηλεκτρονική τεκμηρίωση των άυλων πολιτιστικών αγαθών δεν είναι πλήρως φανερή, ειδικότερα στις λαϊκές μορφές τέχνης. Αυτό οφείλεται στο σύμπλεγμα διεπιστημονικότητας των φολκλόρ παραστάσεων που παρουσιάζουν μια σειρά από προκλήσεις που κυμαίνονται από τη χορογραφία, τη λαϊκή μουσική, οι στολές, η μουσική και από την ψηφιοποίηση και τον υπολογιστή όραση για χωροχρονικό (4D) δυναμικές μοντελοποίηση και την παραγωγή εικονικών σκηνών. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι αυτή είναι η πρώτη φορά που υλοποιείται τέτοιο καινοτόμο πεδίο έρευνας, το οποίο έχει ως στόχο να λειτουργήσει ως ένα πρωτοποριακό μηχανισμό για την ενοποίηση του περιεχομένου ICH (Intangible Cultural Heritage) (Alivizatos-Barakou, 2017) με ήδη υπάρχον ψηφιοποιημένο περιεχόμενο ICH από ψηφιακών βιβλιοθηκών (Europeana), και των οποίων τα αποτελέσματα όχι μόνο θα οδηγήσουν σε προηγμένες επιστημονικές δημοσιεύσεις, αλλά και τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας, το οποίο θα τονώσουν την οικονομική ανάπτυξη της ΕΕ.

Στο σημείο αυτό είναι ανάγκη να τονίσουμε τον απώτερο στόχο καθώς και το πλαίσιο που θα ενσωματώνει διάφορους επιμέρους παράγοντες όπως την ψηφιοποίηση, την υπολογιστική όραση, τα γραφικά περιβάλλοντα, την τρισδιάστατη απεικόνιση του ανθρώπινου σώματος (Chen, 2009, Gall, 2009), την χορογραφία, την μουσική, τις στολές χορού, τα μεταδεδομένα, την μηχανική του ανθρωπίνου σώματος (Moon, 2008, Dobbyn, 2009) και τέλος την οντολογική και σημασιολογική σημασία των προαναφερθέντων.

Τέλος η ερευνητική μελέτη που θα γίνει στην παρούσα διπλωματική εργασία θα δομηθεί σε δύο διαφορετικά σκέλη - ενότητες, η κάθε μια από τις οποίες μελετάει και αναλύει μία διαφορετική εφαρμογή τεχνικών μηχανικής μάθησης πάνω στην άυλη πολιτιστική κληρονομιά.

Στην πρώτη ενότητα θα παρουσιαστεί μια εναλλακτική προσέγγιση σύνοψης της χορογραφίας. Αυτό σημαίνει ότι ένας πολύ μικρός αριθμός καρέ εικόνων εξάγονται με σκοπό να αντιπροσωπεύσουν μια χορογραφία, μειώνοντας έτσι σημαντικά την πολυπλοκότητα επεξεργασίας και αποθήκευσης. Στην προσέγγισή μας το πρόβλημα της συνοπτικής παρουσίασης της χορογραφίας αντιμετωπίζεται ως μια προσέγγιση μη εποπτευόμενης ομαδοποίησης.

Στην δεύτερη ενότητα θα παρουσιαστεί ένα εκπαιδευτικό πλαίσιο για την ανάλυση και απεικόνιση της κινησιολογίας χορού βασισμένο στην εκμάθηση ενός σημειογραφικού συστήματος για την ανάλυση και επεξεργασία της ανθρώπινης κίνησης (Labanotation). Ο αισθητήρας Kinect χρησιμοποιείται για την εξαγωγή δεδομένων του σκελετού, τα οποία κατόπιν επεξεργάζονται και μετασχηματίζονται γεωμετρικά. Στη συνέχεια, αναλύονται με βάση το σύστημα Labanotation (σημειογραφικό σύστημα για την ανάλυση και επεξεργασία της ανθρώπινης κίνησης) για να χαρακτηρίσουν τη στάση των ανθρώπινων άκρων

1.2 Θεωρητικό Πλαίσιο

Στις τέχνες, όπως ο κλασικός χορός ή ο σύγχρονος, το θέατρο, οι κινήσεις και οι χειρονομίες του σώματος χρησιμοποιούνται και εφαρμόζονται σκοπίμως για να επισημάνουν κάθε γεγονός με έναν αισθητικά ευχάριστο και διεξοδικό τρόπο. Αν και ο ανθρώπινος εγκέφαλος εγγενώς και σχεδόν στιγμιαία αντιλαμβάνεται και αποκρυπτογραφεί τέτοιες χειρονομίες, από την άποψη της επιστήμης των υπολογιστών, αυτές οι χειρονομίες πρέπει να αναλύονται υπό ένα κατάλληλο πλαίσιο με κατάλληλα χαρακτηριστικά, όπως επαναλαμβανόμενα πρότυπα και τροχιές κίνησης, με σκοπό να αποκρυπτογραφήσουν τη σημασιολογία και την ουσία τους.

Για το λόγο αυτό ο ορισμός του όρου "σύλληψη κίνησης" υιοθετήθηκε πρόσφατα για την καταγραφή μιας ζωντανής εκδήλωσης κίνησης και τη μετατροπή της σε χρήσιμους μαθηματικούς όρους, παρακολουθώντας διάφορα βασικά σημεία κατά την πάροδο του χρόνου, καθώς και την αλληλοσύνδεσή τους, με σκοπό τον σχηματισμό μίας τρισδιάστατης αναπαράστασης της κίνησης του ανθρώπινου σώματος. Η ψηφιοποίηση της ανθρώπινης κίνησης έχει πολλά σενάρια εφαρμογών, που κυμαίνονται από παιχνίδια, ταινίες, κινούμενα σχέδια και αθλητικές βιομηχανίες [1]. Για την ακριβή καταγραφή κινήσεων, χρησιμοποιήθηκαν συστήματα οπτικών δεικτών όπως τα Vicon, Kinect, PhaseSpace και Xsens [2], [3] σε εφαρμογές όπως ανάλυση βάδισης, αποκατάσταση, 3D κινούμενα σχέδια και ειδικά εφέ στον κινηματογράφο [4].

Η άυλη πολιτιστική κληρονομιά και η διατήρησή της παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον τόσο για τις επιστημονικές και πολιτιστικές κοινότητες, όσο και για το ευρύ κοινό. Οι πιο σημαντικές προκλήσεις συνδέονται με την σύνθετη δομή της άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς, δηλαδή τη δυναμική της φύση, την αλληλεπίδραση μεταξύ των αντικειμένων και του περιβάλλοντος, καθώς και συναισθηματικά στοιχεία, όπως οι εκφράσεις και το ύφος των χορευτών [5].

Οι λαϊκοί χοροί είναι σημαντικοί για την άυλη πολιτιστική κληρονομιά, καθώς συνδέονται άμεσα με τον τοπικό πολιτισμό και την ταυτότητα [6].

Από την άλλη πλευρά, η συνοπτική παρουσίαση βίντεο μέσω της αναγνώρισης και της εξαγωγής των κύριων καρέ εικόνων είναι μια σημαντική διαδικασία στην έρευνα πολυμέσων και γραφικών υπολογιστών. Επιτρέπει γρήγορη περιήγηση βάσει περιεχομένου, αποτελεσματική ευρετηρίαση, αποθήκευση σε αποθετήρια πολυμέσων και ανάκτηση περιεχομένου [7], [8]. Είναι στην πραγματικότητα μια διαδικασία δειγματοληψίας βασισμένη στο περιεχόμενο, όπου εξάγεται ένα σύνολο καρέ εικόνων για την παροχή μιας ουσιαστικής σύνοψης της ακολουθίας βίντεο, δηλαδή της χορογραφίας στο σενάριο της παρούσας μελέτης.

1.2.1 Προηγούμενες Εργασίες

Μια από τις πρώτες προσεγγίσεις για την τρισδιάστατη ψηφιοποίηση των παραδοσιακών καλλιτεχνικών επιδόσεων είναι το έργο του [9]. Σε αυτό το έργο, προτείνεται ένα 3D σύστημα αρχειοθέτησης που να εκμεταλλεύεται τα βίντεο πολλαπλών προβολών και τον αλγόριθμο κοπής γραφημάτων. Προς αυτή την κατεύθυνση, το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών των Η.Π.Α. υποστηρίζει ένα πρόγραμμα για την ανάπτυξη ενός επιβλητικού χορού σε Δημιουργικό Περιβάλλον Ανθρώπου / Υπολογιστή. Σκοπός αυτής της έρευνας είναι να σχεδιάσει μία δημιουργική δομή χορογραφίας βασισμένη στην τεχνική LMA (Laban Movement Analysis) [10]. Προηγμένες αρχιτεκτονικές καταγραφές κίνησης για ψηφιοποίηση παραδοσιακών καλλιτεχνικών έργων παρουσιάζονται στο [5]. Σε αυτό το έργο διερευνώνται αλγόριθμοι ανάλυσης κίνησης με κύριο στόχο τη μετατροπή των τροχιών κίνησης των χορευτών σε σημαντικά και σημασιολογικά εμπλουτισμένα χαρακτηριστικά τεχνικής LMA (Laban Movement Analysis).

Παρόλο που οι τεχνολογίες ψηφιοποίησης 3D παρέχουν ένα αποτελεσματικό πλαίσιο για τεκμηρίωση και διατήρηση των αντικειμένων της άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς, έχει τον περιορισμό ότι τα παραδοτέα 3D δεδομένα είναι πολύ μεγάλα για επεξεργασία, αποθήκευση και αρχειοθέτηση. Για το λόγο αυτό, εκτελείται πρώτα η μορφοποίηση του σκελετού, η οποία είναι μια διαδικασία που δίνει έμφαση στις γεωμετρικές και τοπικές ιδιότητες των τροχιών κίνησης. Σε αυτό το πλαίσιο, το έργο του [12] παρουσιάζει μια μεθοδολογία για την εκμάθηση και την αξιολόγηση χορού χρησιμοποιώντας πολυαισθητήρες, όπου η βελτίωση της σκελετικής παρακολούθησης επιτυγχάνεται μέσω ενός αλγόριθμου που χωρίζει τα σκελετικά δεδομένα σε διάφορα μέρη του σώματος και στη συνέχεια τα μεταμορφώνει για να επιτρέψει την αναγνώριση της προβαλλόμενης στάσης.

Η ταξινόμηση και η ανάλυση των τροχιών κίνησης ενός χορευτή υιοθετήθηκε πρόσφατα ως αποτελεσματική μεθοδολογία επεξεργασίας δεδομένων τροχιάς κίνησης. Συγκεκριμένα, στην αναφορά [13] εισάγεται ένας αλγόριθμος πολυδιάστατης ταξινόμησης ικανός να χειρίζεται χρονικά εξελισσόμενα σήματα. Η μέθοδος εκμεταλλεύεται ιστογράμματα σημείων Grassmannian για να εκτελέσει την ταξινόμηση. Ομοίως, στα έργα των [14], [15] παρουσιάζεται ένα σύστημα εντοπισμού χωρίς δείκτη, το οποίο εκμεταλλεύεται τις αρχές του αισθητήρα Kinect για την ερμηνεία τροχιάς κίνησης και την αναγνώριση προτύπων σε παραδοσιακούς χορούς.

Άλλες προσεγγίσεις παρουσιάζουν τρισδιάστατες διαδραστικές εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας για τη μετάδοση των παραδοσιακών χορών στις νεότερες γενιές. Παραδείγματα περιλαμβάνουν το έργο του [16] όπου διερευνάται ένα χορευτικό παιχνίδι και το έργο του [17] στο οποίο διερευνάται η απόδοση ενός χορού χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα Kinect. Ένα πλαίσιο για ανάλυση μουσικής και κίνησης, καθώς και σύνθεσης κίνησης με βάση τα εξαγόμενα χαρακτηριστικά (features) παρουσιάζεται στο έργο [18]. Ένα σύστημα κίνησης χαρακτήρων με γνώμονα τη μουσική, το οποίο υποστηρίζει αντιστοίχιση των μουσικών χαρακτηριστικών, βασισμένα σε δεδομένα, σε κινήσεις παρουσιάζεται στο έργο [19]. Επιπλέον, μια νέα μέθοδος για την αναγνώριση δράσης / κίνησης σε δεδομένα κίνησης προτάθηκε στο έργο του [20], το οποίο χρησιμοποιεί χαρακτηριστικές θέσεις και γωνίες άρθρωσης χρησιμοποιώντας διακύμανση του αλγορίθμου K-means και του SVM classifier.

1.2.2 Συνεισφορά

Ο κύριος περιορισμός των προαναφερθέντων μεθόδων είναι ότι η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση μιας χορογραφίας περιλαμβάνει πάρα πολλά δεδομένα, καθιστώντας τη διαδικασία επεξεργασίας και αποθήκευσης ένα δύσκολο έργο. Η αντιμετώπιση αυτής της δυσκολίας επιτυγχάνεται με την εξαγωγή σημείων ενδιαφέροντος, δηλαδή τις αρθρώσεις, στην κίνηση του ανθρώπινου σώματος. Ωστόσο, εξακολουθεί να παραμένει δυσκολία επεξεργασίας αφού οι εξαγόμενες αρθρώσεις παρουσιάζουν αρκετές εξαρτήσεις τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο.

Στην παρούσα μελέτη διπλωματικής εργασίας προτείνεται ένας αλγόριθμος κατηγοριοποίησης για τη σύνοψη της χορογραφίας, ο οποίος χρησιμοποιεί τις τροχιές κίνησης ενός χορευτή εκτιμώντας τα βασικά σημεία της χορογραφίας, δηλαδή εκείνα που αντιπροσωπεύουν καλύτερα την όλη τροχιά κίνησης. Το κύριο πλεονέκτημα του προτεινόμενου αλγορίθμου σε σχέση με τις τρέχουσες μεθόδους ανάλυσης και ψηφιοποίησης μιας χορογραφίας είναι ότι i) μειώνει σημαντικά τις απαιτούμενες πληροφορίες, καθιστώντας την ανάλυση, επεξεργασία και αποθήκευση ευκολότερη και ii) δεν συσχετίζει την καταγεγραμμένη 3D πληροφορία σε ένα αντιπροσωπευτικό σύνολο βασικών σημείων. Με αυτόν τον τρόπο, μόνο μια μικρή ομάδα αντιπροσωπευτικών σημείων και αρθρώσεων-κλειδιών είναι αναγκαία για την ανάλυση και τεκμηρίωση της χορογραφίας.

Σύμφωνα με την προσέγγιση της παρούσας μελέτης, η σύνοψη της χορογραφίας διαμορφώνεται μέσω ενός προβλήματος κατηγοριοποίησης. Επομένως, η εξαγωγή των σημαντικότερων καρέ μιας χορογραφίας είναι ισοδύναμη με την εκτίμηση των πλέον αντιπροσωπευτικών δεδομένων που είναι όσο το δυνατόν περισσότερο μη συσχετισμένα μεταξύ τους τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Για το λόγο αυτό, αρχικά, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αρθρώσεων του σκελετού κίνησης του ανθρώπινου σώματος μετατρέπονται σε ένα τοπικό σύστημα συντονισμού, το κέντρο του οποίου συμπίπτει με το κέντρο της μάζας του χορευτή. Κατόπιν, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά εξάγονται για κάθε άρθρωση, περιγράφοντας τη θέση στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων, δηλαδή τη θέση του σε σχέση με το κέντρο της μάζας του χορευτή. Οι αλγόριθμοι κατηγοριοποίησης αξιοποιούνται για τον εντοπισμό των πιο βασικών αρθρώσεων και επομένως των καρέ που αντιπροσωπεύουν τη χορογραφία όσο καλύτερα μπορούν.

1.3 Μεθοδολογία

Ο τρόπος ανάπτυξης της παρούσας έρευνας και διπλωματικής εργασίας, που θα ακολουθηθεί, αποτελεί μία σύνθετη διαδικασία και παρουσιάζεται εν συντομία παρακάτω :

- I. Μελέτη, ανάλυση και αξιολόγηση των τεχνολογιών ψηφιοποίησης, ώστε να εντοπιστεί εκείνη, η οποία θα παρέχει σημαντικά μειωμένη πολυπλοκότητα στην καταγραφή με τη χρήση συσκευών χαμηλού κόστους, τέτοιες ώστε να έχουν τη δυνατότητα να καταγράψουν υψηλής ποιότητας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο.
- II. Οι αισθητήρες με τεχνολογίες απεικόνισης πρόκειται να συγκριθούν, μέσω χρήσης εργαλείων όρασης υπολογιστών, επεξεργασίας δεδομένων (Protoraadakis, 2017) και τρισδιάστατης μοντελοποίησης, με σκοπό να απομονωθεί η τεχνολογία που παράγει τις πιο ακριβείς εικονικές αναπαραστάσεις κινήσεων και πολύπλοκων αντικειμένων, που αλληλεπιδρούν δυναμικά μεταξύ τους αλλά και με το περιβάλλον.
- III. Έρευνα σχετικά με την επεξεργασία δεδομένων και με μαθηματικά μοντέλα, που εξυπηρετούν στην αυτοματοποίηση της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης. Πρόκειται για εργαλεία, που επιτρέπουν τη σύνδεση των διαφορετικών καταγεγραμμένων εικόνων από διάφορες οπτικές γωνίες σε ένα κοινό περιβάλλον εργασίας, μειώνοντας την πολυπλοκότητα της ψηφιοποίησης και ενισχύοντας τη δυνατότητα αυτοματοποίησης και την ποιότητα και ακρίβεια της καταγραφής.
- IV. Διερεύνηση των τρόπων εξαγωγής σημασιολογικών και οντολογικών υπογραφών με τη βοήθεια της τρισδιάστατης όρασης υπολογιστών και υπολογιστικές μεθοδολογίες για μοντελοποίηση ανθρώπινων κινήσεων (Protoraadakis, 2017 June) και για μέτρηση της ανθρώπινης έκφρασης (Aristidou, 2017). Παράλληλα, θα διερευνηθούν προηγμένες μέθοδοι στον τομέα της τρισδιάστατης απόδοσης του εικονικού περιβάλλοντος, το οποίο θα είναι εμπλουτισμένο με κινούμενα σχέδια και πρόσθετες πληροφορίες των καταγεγραμμένων δεδομένων αλλά και αλγόριθμοι που θα επιτρέπουν την εύκολη προσαρμογή μοντέλων και την αυτόματη ενημέρωση του συστήματος (Alivizatos-Barakou, 2017).

Η παρούσα διπλωματική εργασία ερευνά τον τρόπο διασύνδεσης ψηφιακών μοντέλων και της αντίστοιχης δομής τους, με υπάρχουσες πολιτιστικές ψηφιακές βιβλιοθήκες, ώστε να είναι εφικτός ο εύκολος χειρισμός, ο εμπλουτισμός, η χρήση και η επαναχρησιμοποίηση των καταγεγραμμένων παραδοσιακών παραστάσεων σε συνδυασμό με άλλα υλικά ή άυλα στοιχεία.

Το αποτέλεσμα της παρούσας ερευνητικής μελέτης θα είναι η δυνατότητα οπτικοποίησης κινουμένων σχεδίων, συμπεριλαμβανομένων των εικονικών χαρακτήρων, μέσα σε ένα εξαιρετικά λεπτομερές τρισδιάστατο περιβάλλον. Τέλος, θα δημιουργηθεί ένα προσβάσιμο ψηφιακό αρχείο χορών, το οποίο θα αποτελείται από βίντεο αλλά και τεχνολογίες, που θα χρησιμοποιούνται για να καταγράψουν και να αρχειοθετούν τα υψηλής ποιότητας δεδομένα κίνησης και έκφρασης των χορευτών. Μέσω της διαδικασίας αυτής επομένως, πρόκειται να διατηρηθεί αυτής της μορφής η άυλη πολιτιστική κληρονομιά.

2. Εξαγωγή Εικόνων από 3D Δεδομένα Ανθρώπινης Κίνησης για Σύνοψη Χορογραφίας

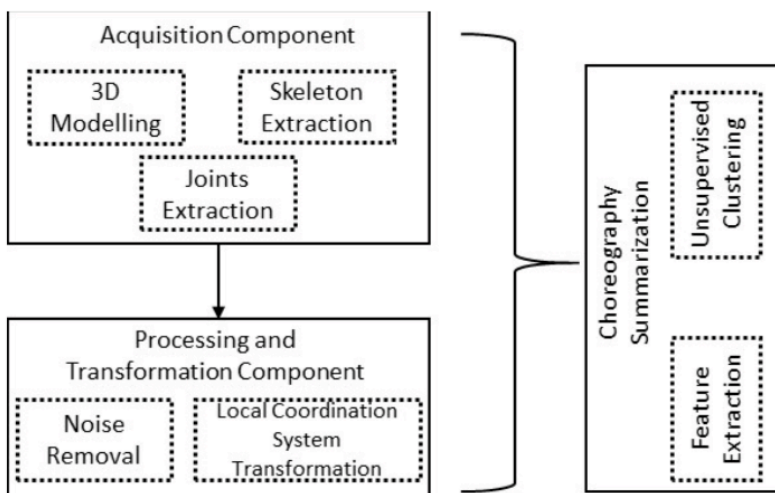
Η μοντελοποίηση και η ψηφιοποίηση των τεχνών θεάματος μέσω των διεπαφών καταγραφής κίνησης είναι μια σημαντική πτυχή για την ανάλυση, επεξεργασία και τεκμηρίωση των περιουσιακών στοιχείων άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς. Ωστόσο, οι υφιστάμενες προσεγγίσεις μοντελοποίησης ενδέχεται να περιλαμβάνουν τεράστιες ποσότητες πληροφοριών οι οποίες είναι δύσκολο να επεξεργαστούν, να αποθηκευτούν και να αναλυθούν. Για να αντιμετωπιστούν αυτοί οι περιορισμοί, συνήθως εξάγεται ένας σκελετός που περιγράφει την κίνηση του χορευτή. Ωστόσο, συχνά η πολυπλοκότητα παραμένει λόγω των υψηλών χωροχρονικών εξαρτήσεων των ανιχνεύσιμων αρθρώσεων του σκελετού.

Στη παρούσα ενότητα θα παρουσιαστεί μια εναλλακτική προσέγγιση: η σύνοψη της χορογραφίας [28]. Αυτό σημαίνει ότι ένας πολύ μικρός αριθμός καρέ εικόνων εξάγονται με σκοπό να αντιπροσωπεύσουν μια χορογραφία, μειώνοντας έτσι σημαντικά την πολυπλοκότητα επεξεργασίας και αποθήκευσης. Στην προσέγγισή μας το πρόβλημα της συνοπτικής παρουσίασης της χορογραφίας αντιμετωπίζεται ως μια προσέγγιση μη εποπτευόμενης ομαδοποίησης. Οι δείκτες αξιολόγησης εισάγονται για την παρακολούθηση της απόδοσης συνοπτικής παρουσίασης. Τα πειραματικά αποτελέσματα στις πραγματικές χορευτικές παραστάσεις επιβεβαιώνουν την ικανότητα της προτεινόμενης μεθόδου να συλλάβει τα κύρια μοτίβα της χορογραφίας με πολύ μικρό αριθμό σημείων τροχιάς.

2.1 Επισκόπηση Μεθοδολογίας

Το σχήμα 1 παρουσιάζει μια επισκόπηση της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής που χρησιμοποιήθηκε για την σύνοψη μιας χορογραφίας. Όπως παρατηρείται, η προσέγγισή μας αποτελείται από τρία βασικά μέρη. Το πρώτο είναι υπεύθυνο για την απόκτηση δεδομένων και επίσης χρησιμοποιείται για την εξαγωγή 3D πληροφορίας ενός χορού, την αντίστοιχη μορφοποίηση του σκελετού καθώς και των αρθρώσεων στο τρισδιάστατο χώρο που αντιπροσωπεύουν την κίνηση του ανθρώπινου σώματος. Το επόμενο μέρος αφορά τις δυνατότητες επεξεργασίας και μετασχηματισμού.

Πρώτον, εφαρμόζεται ένα φίλτρο απομάκρυνσης θορύβου. Αυτό το φίλτρο είναι υπεύθυνο για την εξάλειψη των λανθασμένων αντιδράσεων του καταγραφικού στοιχείου που χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση των κινήσεων του ανθρώπινου σώματος. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται ένας μετασχηματισμός για τη μετατροπή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των ανιχνευμένων αρθρώσεων του ανθρώπινου σώματος, σε σχέση με το τοπικό σύστημα συντεταγμένων, το κέντρο του οποίου συμπίπτει με το κέντρο μάζας του χορευτή. Η τελική συνιστώσα της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής ασχολείται με τη σύνοψη της χορογραφίας. Σε αυτό το βήμα, συλλέγονται πρώτα κατάλληλα χαρακτηριστικά για να μοντελοποιηθεί η τροχιά κίνησης του χορευτή και στη συνέχεια η συνοπτική χορογραφία αντιμετωπίζεται ως πρόβλημα μη εποπτευόμενης συσπείρωσης. Με αυτόν τον τρόπο, τα εξαγόμενα πιο αντιπροσωπευτικά καρέ εικόνων συμπίπτουν με τον εκπρόσωπο των συστάδων, υποδεικνύοντας μη-συσχετισμό τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο.



Σχήμα 1:
Ένα δομικό διάγραμμα της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής για σύνοψη χορογραφίας

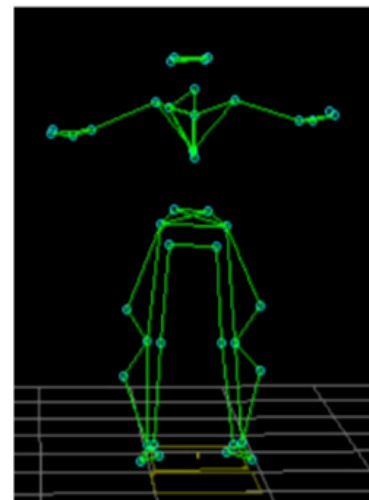
Σχήμα 2:
Το σύστημα καταγραφής Vicon για μοντελοποίηση των 3D χαρακτηριστικών της κινητικής τροχιάς του χορευτή



Η καρδιά του στοιχείου καταγραφής που χρησιμοποιήθηκε για τη μοντελοποίηση των τροχιών κίνησης του χορευτή σε τρισδιάστατο χώρο βασίζεται στο Vicon Motion System [2], το οποίο είναι ένα εργαλείο καταγραφής κίνησης το οποίο χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς, όπως βιντεο-παιχνίδια, παραγωγή ταινιών, κλινική έρευνα και ψυχαγωγία .

Στην παρούσα εφαρμογή, συμπεριλαμβάνονται δέκα κάμερες Bonita B3, που τρέχουν το λογισμικό Nexus [ver.:1.8.5.61009h]. Η περιοχή μετακίνησης είναι ένα τετράγωνο 6,75 μέτρων. Η προέλευση του συστήματος συντεταγμένων Vicon είναι το κέντρο της τετραγωνικής επιφάνειας. Για τη βαθμονόμηση των δέκα καμερών χρησιμοποιείται ένα ραβδί βαθμονόμησης με δείκτες. Το σώμα του χρήστη μετράται συνδέοντας 35 δείκτες σε σταθερές θέσεις στο σώμα του. Αφού κολληθούν όλοι οι δείκτες, μετράται το ύψος, το βάρος και άλλα ειδικά ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά του χρήστη. Το σύστημα λειτουργεί σε σκοτεινά περιβάλλοντα για υψηλή ακρίβεια και ο ρυθμός λήψης των καρτέ είναι περίπου 100Hz. Το σχήμα 2 δείχνει την τοπολογία των 10 καμερών που χρησιμοποιούνται στο εργαλείο καταγραφής Vicon για να συλλάβει τη τροχιά κίνησης του χορευτή και στη συνέχεια να γίνει μοντελοποίηση των τρισδιάστατων χαρακτηριστικών του, για την εξαγωγή των αρθρώσεων.

Τα καταγεγραμμένα δεδομένα από το σύστημα Vicon χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό ενός πλέγματος μετασχηματισμού χρησιμοποιώντας μονάδες τεταρτημόριων. Με βάση αυτό το πλέγμα μετασχηματισμού, ένας σκελετός από το σύστημα Vicon αντιπροσωπεύεται όπως φαίνεται στο σχήμα 3.



Σχήμα 3:

Το σύστημα καταγραφής Vicon για μοντελοποίηση των 3D χαρακτηριστικών της κινητικής τροχιάς του χορευτή

Στη συνέχεια, ας δηλώσουμε ως $\vec{J}_k^G = (x_i^G, y_i^G, z_i^G)$ την k-τη άρθρωση από τις $N = 35$, που εξάγεται από την αρχιτεκτονική του συστήματος καταγραφής Vicon. Οι μεταβλητές x_i^G, y_i^G, z_i^G υποδεικνύουν τις συντεταγμένες της αντίστοιχης άρθρωσης σε σχέση με ένα σύστημα συντεταγμένων αναφοράς του Vicon. Υποθέτουμε ότι αυτές οι αρθρώσεις έχουν ληφθεί μετά από φιλτράρισμα των ανιχνευόμενων αρμών ώστε να απομακρυνθεί ο πιθανός θόρυβος από τη διαδικασία καταγραφής.

Ακολούθως, το κέντρο της μάζας του χορευτή αναφορικά με το σύστημα συντεταγμένων Vicon μπορεί να ληφθεί ως:

$$\vec{C}_{cm} = \sum_{k=1}^N \frac{\vec{J}_k^G}{N}$$

- 1 -

Το κύριο πρόβλημα της άμεσης επεξεργασίας των αρθρώσεων $\vec{J}_k^G, k = 1, 2, \dots, N$ είναι ότι η χωρική τοποθέτηση του χορευτή που επηρεάζει τις ιδιότητες των αρθρώσεων και κατά συνέπεια την απόδοση της επεξεργασίας.

2.2 Επεξεργασία και Μετασχηματισμός

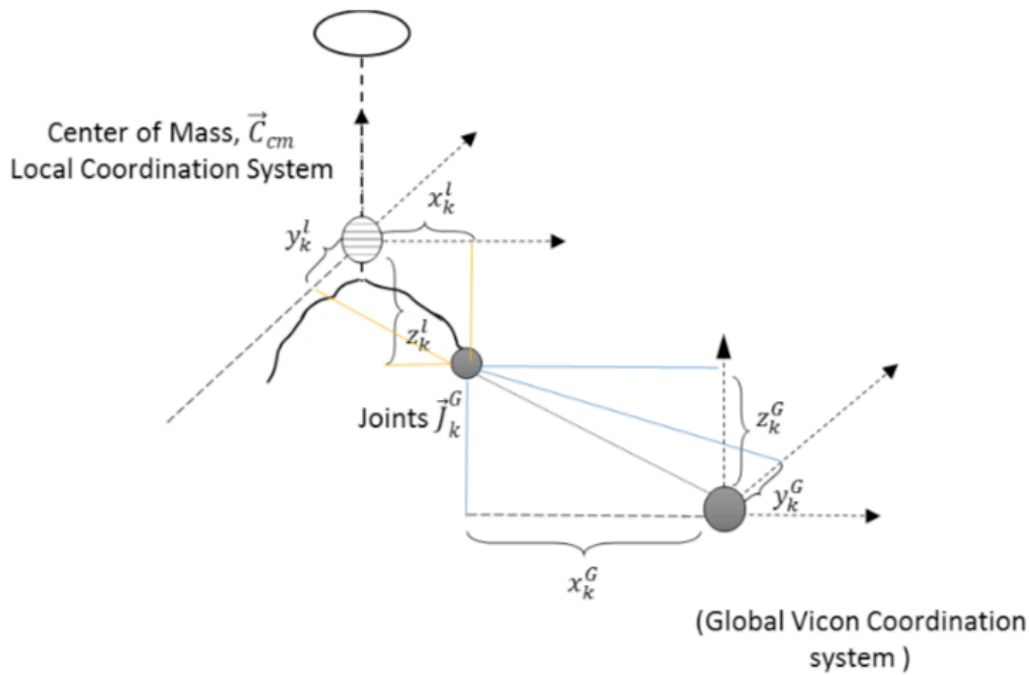
Για να αντιμετωπίσουμε τους περιορισμούς της χρήσης του καθολικού συστήματος συντεταγμένων του Vicon, τα χαρακτηριστικά των αρθρώσεων της εξίσωσης -1- μετατρέπονται σε ένα τοπικό σύστημα συντεταγμένων το κέντρο του οποίου συμπίπτει με το κέντρο μάζας του χορευτή. Αυτό επιτυγχάνεται από την εξίσωση -2-. Το σχήμα 4 παρουσιάζει την προσέγγιση που υιοθετήθηκε στη παρούσα μελέτη για τη μετατροπή του καθολικού συστήματος συντεταγμένων Vicon των αρθρώσεων \vec{J}_k^G σε ένα τοπικό σύστημα συντεταγμένων.

Ως εκ τούτου, οι καταγεγραμμένες συντεταγμένες μετασχηματίζονται σε σχέση με την κίνηση του χορευτή, καθιστώντας τες ανεξάρτητες από την χωρική θέση του χορευτή. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το τοπικό σύστημα συντεταγμένων ενημερώνεται δυναμικά καθώς ο χορευτής κινείται στο χώρο καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος καταγραφής.

Είναι ξεκάθαρο ότι μετά τον μετασχηματισμό στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων, τα χαρακτηριστικά του καθενός από τις N σκελετικές αρθρώσεις θα εκφράζονται ως :

$$\vec{J}_k^L = \vec{J}_k^G - \vec{C}_{CM}$$

- 2 -



Σχήμα 4:

Μετασχηματισμός του καθολικού συστήματος συντεταγμένων Vicon σε τοπικό, το κέντρο του οποίου συμπίπτει με το κέντρο μάζας του χορευτή. Αυτή είναι μια σημαντική πτυχή της ανάλυσης της συλληφθείσας κινητής τροχιάς του χορού, δεδομένου ότι η χωρική τοποθέτηση του χορευτή αντισταθμίζεται.

2.3 Η σύνοψη χορογραφίας ως πρόβλημα συσταδοποίησης (clustering)

Ο σκοπός είναι να εξαχθεί μια σειρά από L σημεία 'κλειδιά' από την κίνηση του χορευτή τα οποία ταιριάζουν καλύτερα σε ολόκληρο το κίνημα. Συγκεκριμένα, ας εξετάσουμε πρώτα ένα υποσύνολο αρθρώσεων, $\vec{J}_k^L, k \in \ell$ που είναι σημαντικά για την αναπαράσταση του χορού. Για παράδειγμα, όσον αφορά μια χορογραφία όπου μόνο η κίνηση των ποδιών του χορευτή θεωρείται σημαντική και όχι η κίνηση των βραχιόνων, τότε μόνο οι αρθρώσεις των ποδιών του χορευτή συμπεριλαμβάνονται για περαιτέρω επεξεργασία.

Οι αρθρώσεις $\vec{J}_k^L, k \in \ell$ αναφέρονται σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή t , ή το καρέ εικόνας που έχει ληφθεί κατά τη διάρκεια της καταγραφής. Εμείς συσσωρεύουμε όλα τα χαρακτηριστικά των αρθρώσεων που μας ενδιαφέρουν σε ένα διάνυσμα γνωρισμάτων, που αντιπροσωπεύουν τις ιδιότητες της κίνησης του χορευτή τη χρονική στιγμή t .

Πιο συγκεκριμένα, έχουμε ότι :

$$\overrightarrow{f(t)} = [\dots \overrightarrow{J_k^L(t)} \dots]^T, k \in \ell \quad - 3 -$$

Στη συνέχεια, υποδεικνύοντας ως $t_i, i = 1, 2, \dots, L$ τις χρονικές στιγμές της κινούμενης τροχιάς του χορευτή που αντιπροσωπεύουν καλύτερα ολόκληρη την κίνηση του χορευτή, ως εξετάσουμε πρώτα ένα σύνολο S που περιέχει παρόμοιες κινήσεις χορού. Εφόσον μια χορευτική κίνηση αντιπροσωπεύεται από το διάνυσμα $\overrightarrow{f(t_i)}$, δύο χορευτικές τροχιές σε δύο διαφορετικές καταγεγραμμένες στιγμές $\{t_i, t_j\}$, θα ανήκουν στο ίδιο σετ D μόνο εάν :

$$\{t_i, t_j\} \in S \quad \text{only if} \quad - 4a -$$

$$D(\overrightarrow{f(t_i)}, \overrightarrow{f(t_j)}), \leq D(\overrightarrow{f(t_i)}, \overrightarrow{f(t_j)}), \quad - 4b -$$

$$\forall \{t_i, t_j\} \in S \quad \forall t_i \in S, t_j \notin S$$

Όπου $D(\cdot)$ η καταμέτρηση απόστασης, και στη περίπτωση μας η Ευκλείδεια απόσταση.

Η εξίσωση -4- μας δείχνει ότι δύο σημεία t_i, t_j στη τροχιά κίνησης του χορευτή θα είναι όμοια μόνον εάν η απόσταση των αντίστοιχων διανυσμάτων $\overrightarrow{f(t_i)}$ και $\overrightarrow{f(t_j)}$ είναι πιο κοντά από την περίπτωση δύο σημείων που ανήκουν σε διαφορετικό σετ. Ομαδοποιώντας τα σημεία της χορευτικής κίνησης σε L διαφορετικές κλάσεις, μπορούμε να αναγνωρίσουμε τις πιο αντιπροσωπευτικές χρονικές στιγμές $t_i, i = 1, 2, \dots, L$ που περιγράφουν τη κίνηση του χορευτή.

Το προαναφερθέν πρόβλημα είναι στην πραγματικότητα ένα πρόβλημα ομαδοποίησης. Έχουν εφαρμοστεί αρκετές μέθοδοι στην κοινότητα μηχανικής μάθησης για την εκτίμηση των βέλτιστων τάξεων S_i . Κάθε τάξη περιέχει χρονικές στιγμές παρόμοιων χαρακτηριστικών της χορογραφίας. Στη παρούσα μελέτη, ο αλγόριθμος K-means++ έχει υιοθετηθεί για την εκτέλεση της ομαδοποίησης [21]. Τα πλεονεκτήματα του αλγορίθμου K-means++ είναι ότι ορίζει μια διαδικασία για την αρχικοποίηση των κέντρων του συμπλέγματος πριν προχωρήσουμε με τις τυπικές επαναλήψεις βελτιστοποίησης του αλγορίθμου K-means++. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται η απόδοση της ομαδοποίησης.

Στη συνέχεια, οι πιο αντιπροσωπευτικές χρονικές στιγμές της χορογραφίας υπολογίζονται ως ακολούθως. Ας θεωρήσουμε ως $\overrightarrow{f_c^i}$ το κέντρο συμπλέγματος της i -ης κλάσης :

$$\overrightarrow{f_c^i} = \frac{\sum_{k \in S_i} \overrightarrow{f(t_k)}}{\|S_i\|} \quad - 5 -$$

Όπου ο συντελεστής $\|\cdot\|$ υποδηλώνει την αντιπροσώπευση του ανιχνευόμενου συνόλου S_i από τον αλγόριθμο ανεξάρτητης ομαδοποίησης. Στη συνέχεια, ως το πιο αντιπροσωπευτικό χρονικό στιγμιότυπο από όλα τα δείγματα του συνόλου S_i επιλέγεται εκείνο που έχει διάνυσμα ελάχιστης απόστασης με το κέντρο.

Επομένως, έχουμε ότι :

$$t_{S_i} = \arg \min_{\forall t_i \in S_i} D(\overrightarrow{f(t_i)}, \overrightarrow{f_c^i}) \quad - 6 -$$

Εφόσον έχουμε ανιχνεύσει τις ομάδες $L S_i$ και για κάθε ομάδα επιλέγεται ένα αντιπροσωπευτικό χρονικό στιγμιότυπο, ας πούμε t_{S_i} , ο αλγόριθμος εξάγει το L διαφορετικό χρονικό γκρουπ, το t_{S_1}, \dots, t_{S_L} που ταιριάζει καλύτερα στην κίνηση του χορευτή. Οι επιλεγμένες L χρονικές στιγμές t_{S_1}, \dots, t_{S_L} θεωρούνται ως τα συνοπτικά βασικά σημεία (ή ισοδύναμα) καρέ της εικόνας της χορογραφίας C .

$$C = \{t_{S_1}, t_{S_2}, \dots, t_{S_L}\} \quad - 7 -$$

2.4 Αποτίμηση της συνοψισμένης χορογραφίας

Σε αυτή την ενότητα, περιγράφουμε δείκτες που αξιολογούν την απόδοση της συνοψισμένης χορογραφίας. Αυτοί οι δείκτες είναι πολύ σημαντικοί για την επιλογή του κατάλληλου αριθμού σημείων-‘κλειδιών’ και, ως εκ τούτου, για τον προσδιορισμό της αξίας των L . Στο πλαίσιο αυτό, εξετάζονται δύο δείκτες: ο δείκτης Silhouette και ο δείκτης Davies-Bouldin .

2.4.1 Ο Δείκτης Silhouette

Ο δείκτης Silhouette μετρά τον τρόπο με τον οποίο ένα σημείο ταιριάζει με το δικό του σύμπλεγμα ή όχι [22]. Επομένως, αποτελεί ένδειξη της απόδοσης της ομαδοποίησης. Ας θεωρήσουμε ως $a_p(t_i)$ with $t_i \in S_p$ μια μεταβλητή που υποδεικνύει τη μέση απόσταση της χρονικής στιγμής t_i (δηλαδή, ενός σημείου του αλγόριθμου ομαδοποίησης) σε σχέση με τα άλλα χρονικά στιγμιότυπα (δηλαδή σημεία) που ανήκουν στην ίδια συστάδα ως t_i , που είναι το S_p . Με άλλα λόγια, το $a_p(t_i)$ ορίζεται ως εξής:

$$a_p(t_i) = \frac{1}{\|S_p\| - 1} \sum_{k \in S_p} D(f(t_i), f(t_k)) \quad - 8 -$$

Σε αυτό το σημείο, ορίζουμε επίσης ως $b_{p,q}(t_i)$ τη μέση απόσταση από το i -το σημείο (δηλαδή, το χρονικό στιγμιότυπο $t_i \in S_j$) στα σημεία που ανήκουν στη S_q συστάδα, δηλαδή $t_k \in S_q$. Επομένως, έχουμε ότι :

$$b_{p,q}(t_i) = \frac{1}{\|S_q\|} \sum_{k \in S_q, t_i \in S_p} D(f(t_i), f(t_k)) \quad - 9 -$$

Στη συνέχεια, λαμβάνοντας υπόψιν την ελάχιστη τιμή από όλες τις συστάδες, θα έχουμε ότι :

$$b_p(t_i) = \min_{\forall q} b_{p,q} \quad - 10 -$$

Αξιοποιώντας τις μεταβλητές $a_p(t_i)$ και $b_p(t_i)$, ο δείκτης Silhouette ορίζεται ως εξής :

$$s_p(t_i) = \frac{b_p(t_i) - a_p(t_i)}{\max(b_p(t_i), a_p(t_i))} \quad - 11 -$$

Η τιμή του δείκτη στην εξίσωση -11-, κυμαίνεται από -1 έως +1. Μια υψηλή τιμή του δείκτη Silhouette υποδηλώνει ότι το $t_i \in S_p$ είναι καλά προσαρμοσμένο στη δική του συστάδα και δεν ταιριάζει τόσο με τις γειτονικές συστάδες. Επομένως, αν τα περισσότερα σημεία έχουν υψηλή τιμή του δείκτη Silhouette, τότε η λύση είναι κατάλληλη. Διαφορετικά, η λύση μπορεί να έχει πάρα πολλές ή πολύ λίγες συστάδες. Αυτό σημαίνει ότι εκμεταλλευόμενοι τον δείκτη Silhouette, έχουμε ορίσει τον αριθμό των συμπλεγμάτων L . Λαμβάνοντας το άθροισμα καθ'όλη τη χρονική διάρκεια έχουμε ότι :

$$s = \frac{1}{L} \sum_i s_p(t_i) \quad - 12 -$$

2.4.2 Ο Δείκτης Davies-Bouldin

Ένας άλλος δείκτης για την αξιολόγηση της απόδοσης της συνοψισμένης χορογραφίας βασίζεται στο κριτήριο Davies-Bouldin [22]. Συγκεκριμένα, ας υποδείξουμε ως δ_p τη μέση απόσταση των σημείων που ανήκουν στη συστάδα $t_i \in S_p$ σε σχέση με το κέντρο της συστάδας, \vec{f}_c^p . Έτσι θα έχουμε ότι :

$$\delta_p = \frac{1}{\|S_p\|} \sum_{i \in S_p} D(f(t_i), \vec{f}_c^p) \quad - 13 -$$

Ας υποδείξουμε, επίσης, ως $\Delta_{p,q}$ την απόσταση μεταξύ δύο κέντρων από δύο διαφορετικές συστάδες :

$$\Delta_{p,q} = D(\vec{f}_c^p, \vec{f}_c^q) \quad - 14 -$$

Τότε, ο δείκτης Davies-Douldin θα δίνεται ως :

$$DB = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L \max_{p \neq q} \left(\frac{\delta_p + \delta_q}{\Delta_{p,q}} \right) \quad - 15 -$$

Η βέλτιστη λύση συσταδοποίησης (clustering) έχει την μικρότερη τιμή του δείκτη Davies-Bouldin.

2.5 Πειράματα

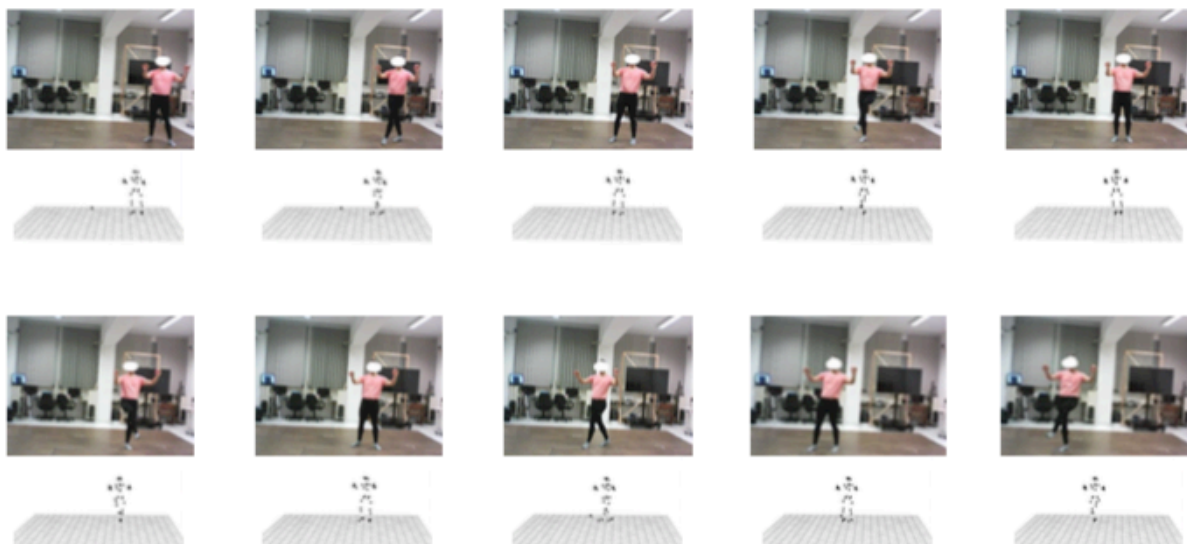
2.5.1 Πειραματικές Ρυθμίσεις και Διαδικασίες

Στη παρούσα μελέτη, το σύστημα Vicon χρησιμοποιείται για την καταγραφή της κίνησης των χορευτών [2]. Έξι Ελληνικοί παραδοσιακοί χοροί με διαφορετικό βαθμό πολυπλοκότητας καταγράφηκαν. Κάθε χορός εκτελέστηκε από τρεις χορευτές δύο φορές: την πρώτη φορά σε ευθεία γραμμή και η δεύτερη σε ημικυκλική καμπύλη γραμμή. Ο χορός που διερευνήθηκε ανήκει στην κατηγορία "Σύρτος", που είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς παραδοσιακούς χορούς. Έρχεται σε δύο εκδόσεις: γραμμικό και κυκλικό χορό, που εκτελούνται από χορευτές (γυναίκες και άνδρες) σε μια καμπύλη γραμμή κρατώντας τα χέρια, στραμμένη δεξιά. Είναι διαδεδομένη μέσω της Ηπείρου, της Δυτικής Μακεδονίας, της Θεσσαλίας, της Κεντρικής Ελλάδας και της Πελοποννήσου.

Τα καταγεγραμμένα δεδομένα από το σύστημα Vicon χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της τρισδιάστατης μοντελοποίησης των χορευτών καθώς και για την εξαγωγή της κίνησης των αρθρώσεων του σκελετού.

2.5.2 Διεξαγωγή Πειραμάτων

Το σχήμα 5 απεικονίζει ένα παράδειγμα της χορογραφίας που καταγράφηκε από το σύστημα Vicon. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, απεικονίσαμε επίσης τον σκελετό καθώς και τις αντίστοιχες αρθρώσεις-συνδέσμους που εξάγονται από το σύστημα καταγραφής Vicon. Με τον τρόπο αυτό, λαμβάνονται οι συντεταγμένες κάθε άρθρωσης, όπως εξάλλου αναλύθηκε στην ενότητα 2.3.

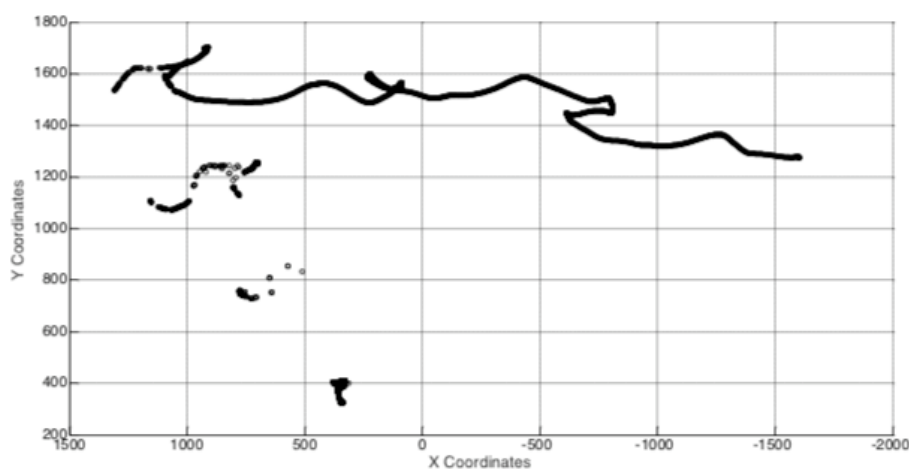


Σχήμα 5:

Ένα παράδειγμα που απεικονίζει 10 καρέ εικόνων του χορού “Συρτός”. Επίσης, απεικονίζονται ο σκελετός και οι αρθρώσεις που εξήχθησαν από το σύστημα καταγραφής Vicon

Το Σχήμα 6 παρουσιάζει την τροχιά κίνησης του χορευτή. Σε αυτό το σχήμα, μόνο ο σύνδεσμος κεφαλής παρουσιάζεται για σκοπούς απεικόνισης. Όπως παρατηρείται, υπάρχουν θορυβώδεις ανιχνευθείσες αρθρώσεις-σύνδεσμοι, οι οποίες όμως αφαιρούνται κατά την επεξεργασία μέσω μιας μεθόδου κατηγοριοποίησης (clustering). Αυτά αφαιρούνται από το στοιχείο επεξεργασίας μέσω της εφαρμογής μιας μεθόδου συγκέντρωσης με βάση την πυκνότητα, απομονώνοντας τις θορυβώδεις αρθρώσεις.

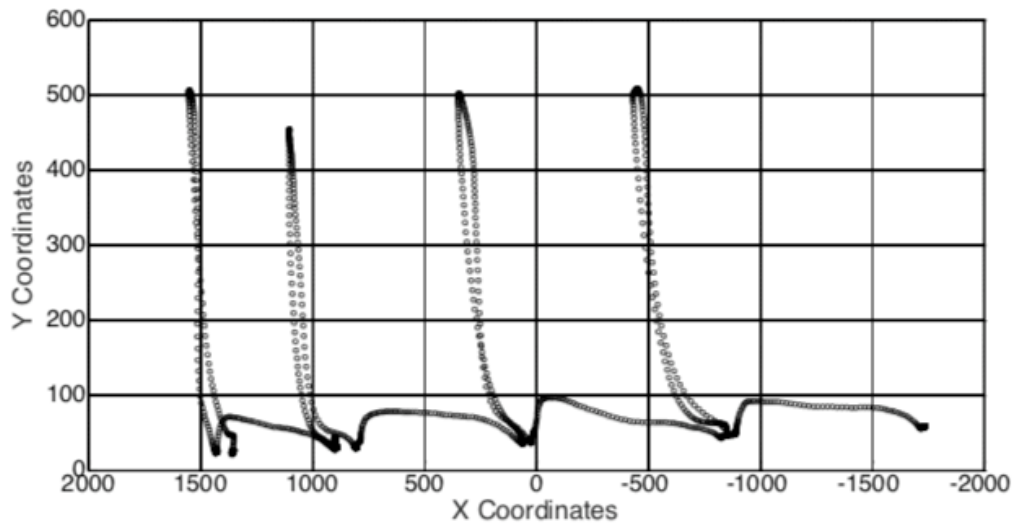
Σε αυτή την μελέτη χρησιμοποιείται μια τροποποίηση του αλγορίθμου DBSCAN για ένα τέτοιο φιλτράρισμα [24].



Σχήμα 6:

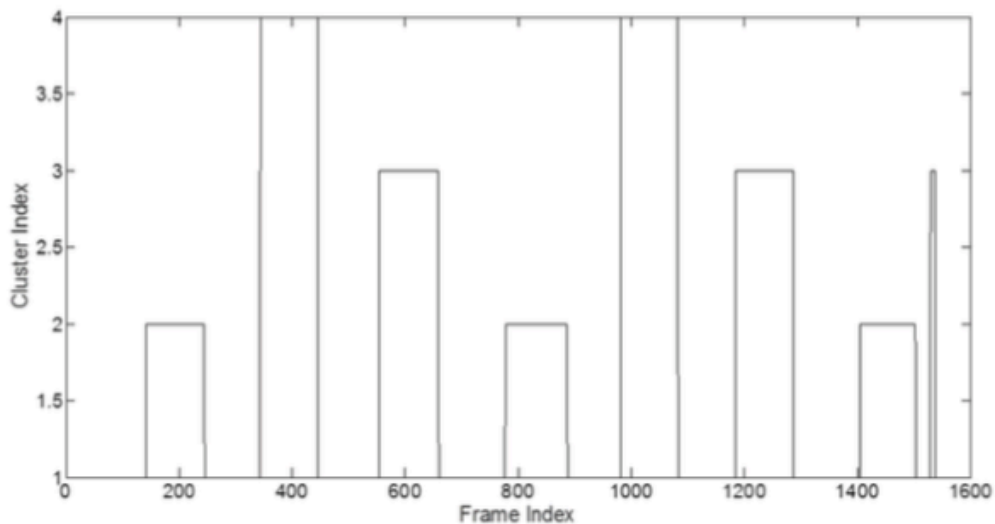
Η κινητική τροχιά της άρθρωσης του κεφαλιού. Όπως παρατηρείται, υπάρχει θόρυβος που αφαιρείται χρησιμοποιώντας κατάλληλο φιλτράρισμα

Οι φιλτραρισμένες αρθρώσεις μετασχηματίζονται σε ένα τοπικό σύστημα συντεταγμένων, το κέντρο του οποίου συμπίπτει με το κέντρο μάζας του χορευτή. Στη συνέχεια, εξάγονται χαρακτηριστικά που αντιπροσωπεύουν τις ιδιότητες κίνησης του χορού σε κάθε καρέ, δηλαδή μια χρονική στιγμή. Σε αυτή τη συγκεκριμένη χορογραφία και χωρίς απώλεια της γενικότητας, λαμβάνονται υπόψιν μόνο οι αρθρώσεις των ποδιών. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η κίνηση των χεριών δεν αποτελεί σημαντική χαρακτηριστική ιδιότητα του "Συρτού" παραδοσιακού χορού. Το σχήμα 7 απεικονίζει την κινούμενη τροχιά της άρθρωσης του αριστερού ποδιού του χορευτή F, απεικονίζοντας με αυτόν τον τρόπο τα κύρια βήματα του ρυθμού της χορογραφίας.



Σχήμα 7:

Κινητική τροχιά της άρθρωσης του αριστερού ποδιού, παρουσιάζοντας το ρυθμό της χορογραφίας.

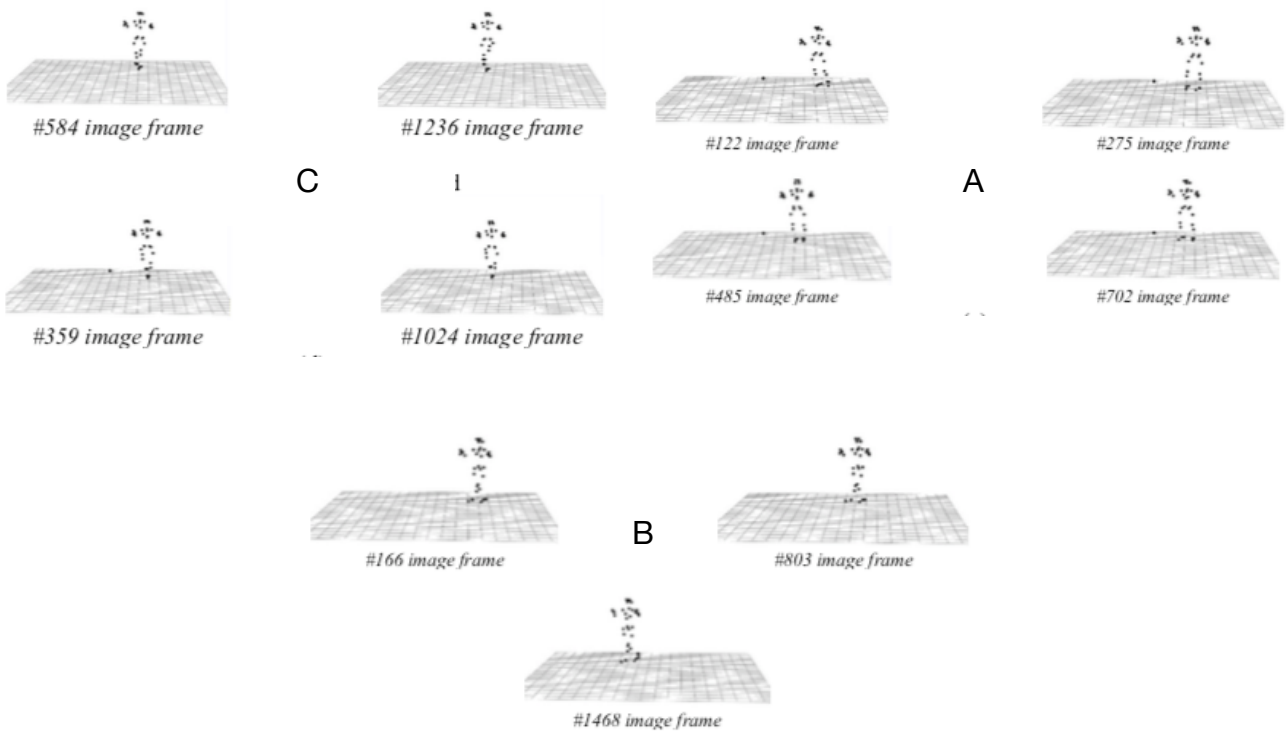


Σχήμα 8:

Κινητική τροχιά της άρθρωσης του αριστερού ποδιού, παρουσιάζοντας το ρυθμό της χορογραφίας.

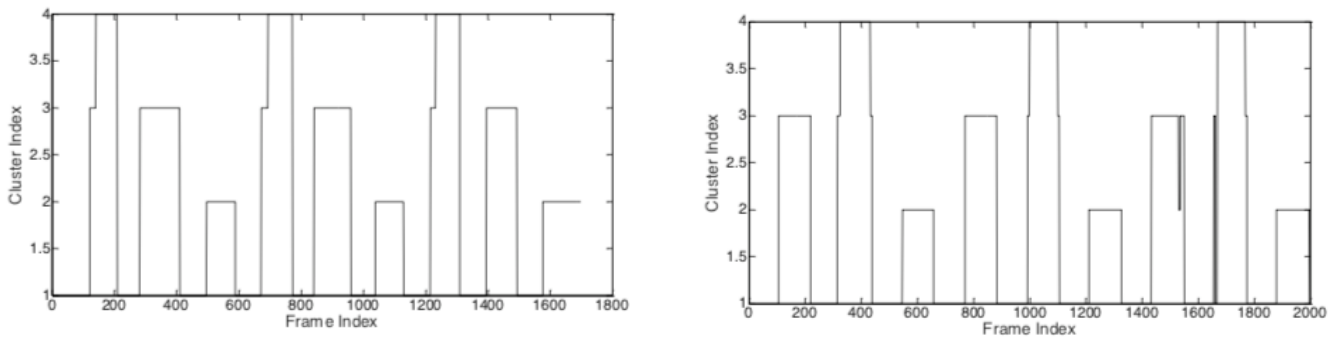
Χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά $\vec{f}(t_i)$ για κάθε καρέ, πραγματοποιείται η σύνοψη της χορογραφίας, εξάγοντας αρθρώσεις-συνδέσμους στην κινούμενη τροχιά που αντιπροσωπεύουν καλύτερα τον χορό. Για το λόγο αυτό, εξετάζεται ο αλγόριθμος K-means++ Ο δείκτης συστοδοποίησης έναντι του χρόνου (δηλ. Ο αριθμός των καρέ) απεικονίζεται στο σχήμα 8. Αυτές οι συστάδες έχουν ληφθεί χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο K-means++ [21]. Για μεγαλύτερη σαφήνεια έχουν παρουσιαστεί μόνο τα πρώτα 1600 καρέ εικόνων.

Το σχήμα 9 απεικονίζει αντιπροσωπευτικά καρέ εικόνων για κάθε συστάδα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να επικυρώσουμε την αποδοτικότητα του αλγόριθμου συσταδοποίησης (clustering) για να προσδιορίσουμε τα κύρια μοτίβα της χορογραφίας. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη συστάδα έχει εννέα παρουσίες μεταξύ των πρώτων 1600 εικόνων (βλ. Σχήμα 8). Στο σχήμα 9A, παρουσιάζουμε αντιπροσωπευτικά καρέ για τις πρώτες τέσσερις περιπτώσεις της συστάδας #1, τα καρέ #122, #275, #485, #702. Όπως παρατηρείται, η συστάδα #1 περιλαμβάνει τις χρονικές στιγμές όπου ο χορευτής έχει το αριστερό και το δεξί πόδι απέναντι. Παρομοίως, η συστάδα #2 έχει τρεις περιπτώσεις για τα πρώτα 1600 καρέ εικόνων (βλ. Σχήμα 8). Στο Σχήμα 9B έχουμε δείξει αντιπροσωπευτικά πλαίσια για τις τρεις απεικονιζόμενες συστάδες #2 του Σχήματος 8. Οι χρονικές στιγμές των πλαισίων είναι #166, #803, #1468. Όπως παρατηρείται, η συστάδα #2 εκφράζει την κατάσταση όπου το αριστερό και το δεξί πόδι του χορευτή διασταυρώνονται. Η συστάδα #3 εμφανίζεται τρεις φορές στα πρώτα 1600 καρέ εικόνων (δείτε Εικ.8). Τα αντιπροσωπευτικά πλαίσια της συστάδας #3 παρουσιάζονται στο Σχ. 9C, #584, #1236. Στην περίπτωση αυτή, ο χορευτής σηκώνει το αριστερό πόδι. Επίσης, στη συστάδα #3 το δεξί πόδι είναι ανυψωμένο, οι δύο περιπτώσεις του οποίου παρουσιάζονται στο σχήμα 9C, #359, #1024.



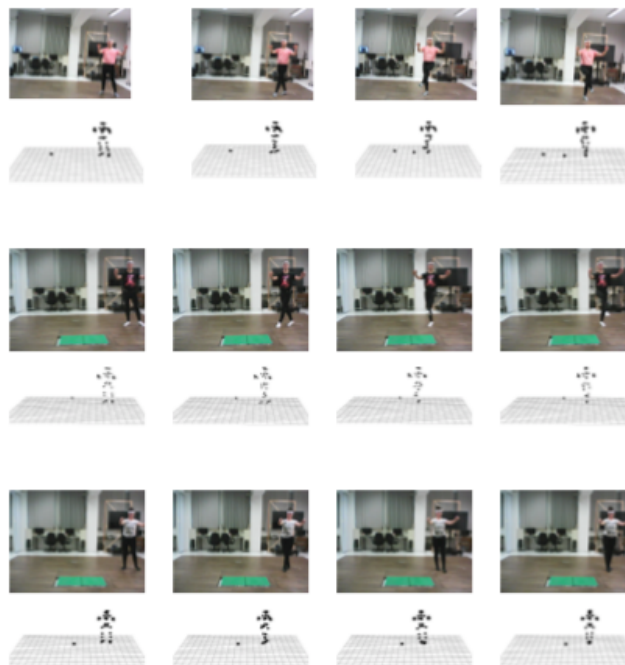
Σχήμα 9:
Αντιπροσωπευτικά καρέ εικόνων

Στα παρακάτω σχήματα απεικονίζεται ο δείκτης συσταδοποίησης (clustering index) έναντι του δείκτη καρέ εικόνων για τους άλλους δύο χορευτές. Και πάλι, αντλούνται τα ίδια συμπεράσματα (βλέπε σχήμα 10).



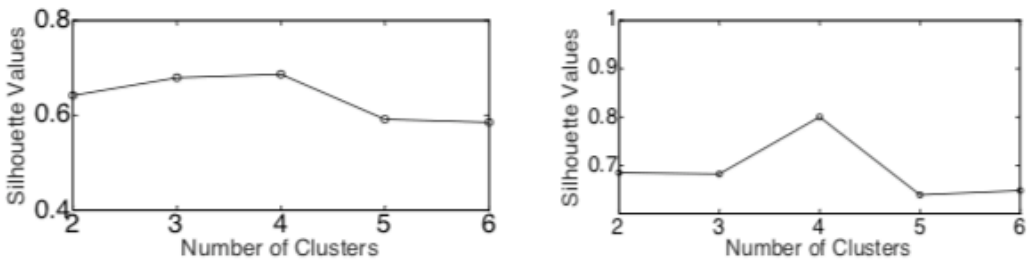
Σχήμα 10:
Δείκτης συσταδοποίησης έναντι
δείκτη καρέ εικόνων

Το ακόλουθο σχήμα 11 παρουσιάζει τις χρονικές στιγμές που ανήκουν σε μία συστάδα για τους τρεις διαφορετικούς χορευτές. Επίσης απεικονίζεται η περιγραφή της συστάδας (cluster), υποδεικνύοντας τα βασικά χαρακτηριστικά της χορογραφίας. Όπως παρατηρείται, η προτεινόμενη μέθοδος σύνοψης ως προσέγγιση συσταδοποίησης (clustering) εξάγει πραγματικά τα κύρια μοτίβα της χορογραφίας. Τα πρώτα 1600 καρέ εικόνων λαμβάνονται υπόψιν για λόγους σαφήνειας.



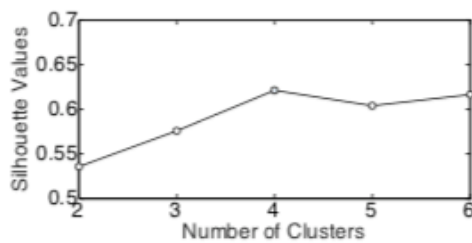
Σχήμα 11:
Απεικόνιση των βασικών χαρακτηριστικών
κάθε συστάδας, όπως αναλύθηκε από τον
αλγόριθμο με σκοπό τη σύνοψη χορογραφίας

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σχετικά με την αξιολόγηση της σύνοψης της χορογραφίας χρησιμοποιώντας τους δείκτες που παρουσιάζονται στην ενότητα 2.5. Όπως παρατηρείται, και οι δύο δείκτες παρέχουν μια μέση τιμή περίπου 4 ως την καλύτερη απόδοση συνοπτικής παρουσίασης για τη συγκεκριμένη χορογραφία. Ο δείκτης Davies-Bouldin φαίνεται να έχει καλύτερη απόδοση διακρίσεων σε σύγκριση με το δείκτη Silhouette. Αυτά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Σχήματα 12 και 13.



(a)

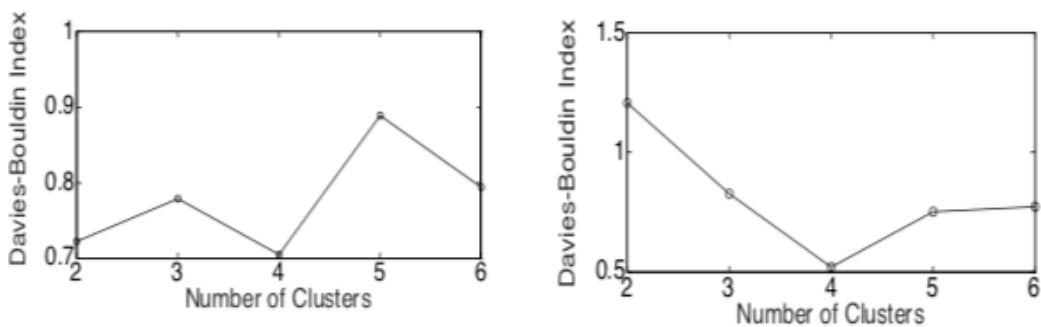
(b)



(c)

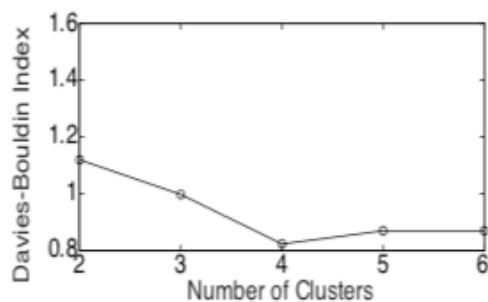
Σχήμα 12:

Ο Δείκτης Silhouette για τους τρεις χορευτές, αξιολογώντας την απόδοση σύνοψης χορογραφίας



(a)

(b)



(c)

Σχήμα 13:

Ο Δείκτης Davies-Bouldin για τους τρεις χορευτές, αξιολογώντας την απόδοση σύνοψης χορογραφίας

3. Διαδραστικό Παιχνίδι Εκμάθησης Χορογραφίας Χρησιμοποιώντας Kinect και Labanotation

Στην παρούσα ενότητα της διπλωματικής εργασίας θα παρουσιαστεί ένα εκπαιδευτικό πλαίσιο για την ανάλυση και απεικόνιση της κινησιολογίας χορού βασισμένο στην εκμάθηση ενός σημειογραφικού συστήματος για την ανάλυση και επεξεργασία της ανθρώπινης κίνησης (Labanotation) [23]. Ο αισθητήρας Kinect χρησιμοποιείται για την εξαγωγή δεδομένων του σκελετού, τα οποία κατόπιν επεξεργάζονται και μετασχηματίζονται γεωμετρικά. Στη συνέχεια, αναλύονται με βάση το σύστημα Labanotation (σημειογραφικό σύστημα για την ανάλυση και επεξεργασία της ανθρώπινης κίνησης) για να χαρακτηρίσουν τη στάση των ανθρώπινων άκρων.

Αρχικά θα πραγματοποιηθεί η καταγραφή, ανάλυση και η απεικόνιση των κινήσεων του σώματος, ενώ στη συνέχεια θα αναπτυχθεί μια εφαρμογή στην οποία ο χρήστης πρέπει να εκτελέσει με τα άνω άκρα του, μια σειρά χειρονομιών που δίνεται από το σύστημα με τη μορφή συμβόλων Labanotation. Η χορογραφική παράσταση αποτελείται από ένα σύνολο συμβόλων και κανόνων για την εγγραφή χορού (ή γενικώς την κίνηση), με παρόμοιο τρόπο που η μουσική σημειογραφία καταγράφει μουσική. Το γεγονός ότι το Labanotation αναγνωρίζεται ως ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα και ακριβή συστήματα σημειογραφίας για την εγγραφή χορού τονίζει την εφαρμογή και το δυναμικό του προτεινόμενου πλαισίου ως εκπαιδευτικό εργαλείο απεικόνισης.

3.1 Θεωρητικό Πλαίσιο

Η συμβολική απεικόνιση της ανθρώπινης κίνησης και μορφής υπήρξε το επίκεντρο της ερευνητικής κοινότητας που δραστηριοποιείται στον τομέα της χορευτικής παράστασης. Στις τέχνες του θεάματος, η μετάφραση των τετρα-διάστατων (4D) αρθρώσεων σε σημεία καθορίζεται μέσω του συστήματος Labanotation [26]. Το σύστημα Labanotation περιλαμβάνει διάφορα σύμβολα για να αναγνωρίσει και να ορίσει τις κινήσεις του ανθρώπινου σώματος, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον ορισμό μιας χορευτικής παράστασης που αντιπροσωπεύει την πρόθεση κινησιολογίας.

Η ανάλυση του χορού είναι ένας σημαντικός τομέας έρευνας στον πολιτιστικό τομέα, καθώς αποτελεί ένα από τα συστατικά της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς (ICH) [27]. Η ανάλυση των χορευτικών δομών είναι ένα πολύ περίπλοκο έργο καθώς περιλαμβάνει την εισαγωγή και επεξεργασία πολλών παραμέτρων όπως τα συναισθήματα και οι εκφράσεις του χορευτή, καθώς και οι κινησιολογικές

διαφορές, οι οποίοι εξαρτώνται ανάλογα με το φύλο του καθενός. Τέλος, οι παραδοσιακοί χοροί είναι ένα πάρα πολύ σημαντικό κομμάτι της λαογραφίας αφού συνδέονται με πρωτόγονες εκφράσεις και ορίζουν την τοπική ταυτότητα [28], [29], [30].

Ένα σύστημα καταγραφής κινήσεων χρησιμοποιείται συχνά για την καταγραφή ενός γεγονότος κίνησης σε πραγματικό χρόνο, μετατρέποντάς το σε μαθηματικούς όρους παρακολουθώντας τις παραλλαγές των αρθρώσεων του σώματος. Τα συστήματα καταγραφής κίνησης ψηφιοποιούν τις κινήσεις του ανθρώπινου σώματος μέσω των αισθητήρων και κατόπιν τα κωδικοποιούν σε τρισδιάστατες (3D) αναπαραστάσεις. Η προαναφερθείσα διαδικασία χρησιμοποιείται για την αναγνώριση, αποθήκευση και ανάλυση των τροχιών κίνησης και των μοντέλων κινησιολογίας [31], [32].

Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων συστημάτων καταγραφής κινήσεων είναι τα Kinect, Vicon, OptiTrak, PhaseSpace, Xsens τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ως ένα από τα πιο ακριβή σχήματα κίνησης που χρησιμοποιούνται για την ψηφιοποίηση των ανθρώπινων κινήσεων [31], [32], [33]. Τώρα, τα συστήματα αυτά, εφαρμόζονται ως κρίσιμη συνιστώσα σε πολλές εφαρμογές όπως το παιχνίδι, το 3D animation, η εκπαίδευση, η μηχανική, η αποκατάσταση και η αθλητική βιομηχανία [34]. Επιπλέον, η απεικόνιση του ανθρώπινου σώματος μέσω της αναγνώρισης των αρθρώσεων και της καταγραφής του χορευτικού κινήματος βασιζόμενη στη χορευτική κίνηση και το σύστημα Labanotation ανοίγει νέους ορίζοντες σε διάφορους τομείς όπως η κινησιολογία, η βιοϊατρική, η νευροεπιστήμη και η έρευνα στον τομέα των γραφικών υπολογιστών.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία και μελέτη θα γίνει παρουσίαση ενός εκπαιδευτικού παιχνιδιού το οποίο θα ενεργοποιείται από έναν αισθητήρα Kinect. Το παιχνίδι θα εκμεταλλεύεται μια διαδικασία αναγνώρισης κίνησης σε πραγματικό χρόνο, όπου οι αισθητήρες Kinect θα αναγνωρίζουν τις κινήσεις του χορευτή και θα παράγουν αυτόματα το αντίστοιχο αποτέλεσμα στο σύστημα Labanotation.

3.1.1 Προηγούμενες Εργασίες

Η χρήση του συστήματος Labanotation με την τεχνολογία των υπολογιστών έχει μελετηθεί στην πρόσφατη βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα, το έργο του [35] διακρίνει τρεις ερευνητικούς άξονες σχετικά με τη χρησιμότητα της πληροφορικής για χρήση του συστήματος Labanotation σε έναν χορό.

Ο πρώτος άξονας της έρευνας επικεντρώνεται σε εργαλεία λογισμικού που χρησιμοποιούνται ως εγχειρίδιο για το σύστημα Labanotation. Το λογισμικό παρέχει μια ποικιλία συμβόλων που εκμεταλλεύεται ο χρήστης για να δημιουργήσει μια βαθμολογία. Παραδείγματα αυτών των εργαλείων λογισμικού είναι το LabanEditor [36], το Labanatory [37], το LabanNotator, το GenLaban και το LED [38].

Ο δεύτερος άξονας της έρευνας επικεντρώνεται στην ανάπτυξη τρισδιάστατων μοντέλων που κινούνται με το σύστημα Labanotation. Ιδιαίτερα, στο [36], το LabanEditor αναπτύσσεται δημιουργώντας τρισδιάστατους ανθρώπινους σκελετούς που δίνουν την ευκαιρία στους μη έμπειρους χρήστες να κατανοήσουν

καλύτερα τις ανθρώπινες κινήσεις και να τις συσχετίσουν με το σύστημα Labanotation. Το προαναφερθέν εργαλείο έχει χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή και την προβολή της κινησιολογίας του παραδοσιακού ιαπωνικού θεάτρου [39]. Στο [40], εισάγεται ένα σύστημα χορογραφίας που βασίζεται στο σύστημα Labanotation.

Τέλος, ο τρίτος άξονας επικεντρώνεται σε μεθόδους για αυτοματοποιημένες διαδικασίες του συστήματος Labanotation. Η πρώτη προσέγγιση για τη δημιουργία μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας στο σύστημα Labanotation εισάγεται στο [41].

Στην παραπάνω έρευνα, παρουσιάζεται μία μέθοδος προκειμένου να δημιουργηθεί ένας συμβολισμός για τις παραλλαγές του άνω μέρους του ανθρώπινου σώματος ως χωροχρονική ανάλυση. Στο [38], το GenLaban αναπτύσσεται δημιουργώντας μια αυτοματοποιημένη ανάλυση Labanotation. Το GenLaban είναι ένα ακριβές εργαλείο για την καταγραφή των κινήσεων του σώματος του χορευτή σε αποτελέσματα Labanotation. Στο [17-42], εισάγεται ένα πλαίσιο συμβολισμού χρησιμοποιώντας ένα σύστημα καταγραφής κίνησης, ενώ πιο αυτοματοποιημένες διαδικασίες εισάγονται στα [43], [44]. Στη [45], εισάγεται επίσης μια προσέγγιση με γνώμονα την επεξεργασία των ανθρώπινων κινήσεων, η οποία εκμεταλλεύεται τις δομικές και τις χωροχρονικές πληροφορίες που είναι ενσωματωμένες στα δεδομένα κίνησης.

Μια άλλη προσέγγιση είναι η [46], όπου εισάγεται ένα νέο πλαίσιο εστιάζοντας στο σχεδιασμό προσαρμοσμένων παιχνιδιών που βασίζονται σε κινούμενες εφαρμογές του ανθρώπινου σώματος. Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία ανίχνευσης κίνησης, τόσο στο κομμάτι του υλικού (ανάπτυξη αισθητήρα βάθους κ.λπ.), όσο και στο παιχνίδι και σε εικονικά περιβάλλοντα, έχουν τη δυνατότητα δημιουργίας νέων εκπαιδευτικών μεθόδων και συναρπαστικών εμπειριών ψυχαγωγίας [47], [48]. Πρόσφατα, στην εργασία του "[49]" παρουσιάζεται η LabanDance "- ένα παιχνίδι για Labanotation" που εκμεταλλεύεται τον αισθητήρα Kinect. Ο χρήστης καλείται να εκτελέσει μια σειρά κινήσεων σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή καθώς καταγράφονται σε σκορ που εμφανίζεται στην οθόνη.

Το παιχνίδι έχει δύο τρόπους λειτουργίας: Το πρώτο απευθύνεται σε χρήστες με ελάχιστη εξοικείωση με το σύστημα βαθμονόμησης του Labanotation και συνοδεύεται από έναν εικονικό εκπαιδευτή. Το δεύτερο απαιτεί από τον χρήστη να εκτελέσει τις κινήσεις. Το παιχνίδι περιλαμβάνει τέσσερα επίπεδα με το χέρι, το πόδι, το άλμα και ένα επίπεδο με ένα συνδυασμό όλων αυτών των κινήσεων.

Στο έργο του [50] ένας αισθητήρας Kinect χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη ενός διαδραστικού παιχνιδιού που αποκαθιστά την ανθρώπινη ισορροπία. Στο [51] χρησιμοποιούν το Kinect για να καταγράψουν τις θέσεις του κεφαλιού και του κορμού ενός παίκτη έτσι ώστε να προβλέπουν την εμπειρία του παίκτη σε ένα παιχνίδι, ενώ μια ανάλυση της τροχιάς κίνησης του χορευτή στα σήματα δεδομένων που εισάγονται από τον αισθητήρα Kinect δίνεται στο [52]. Στο [53], οι ομοιότητες των παραδοσιακών χορών αναλύονται μέσω της χωρικής και χρονικής ολοκλήρωσης. Το έργο του [55] αναλύει τις εξαγόμενες βασικές στάσεις του χορού από τρισδιάστατα κινούμενα δεδομένα για σύνοψη χορογραφίας.

Τέλος, στην [54] η ταυτοποίηση των θέσεων χορού από δεδομένα κινούμενης τροχιάς πραγματοποιείται από διάφορους ταξινομητές. Στο [56], προτείνουν ένα σχήμα αναπαράστασης συμβολοσειράς με πολλαπλές αναλύσεις βασισμένο στην κβαντοποίηση κορμού δέντρου για να μετασχηματίσει την χρονοσειρά ανθρώπινων θέσεων σε ακολουθίες κωδικών λέξεων. Στο [57], πρότειναν μια προσέγγιση

Βασισμένη στην μηχανική μάθηση για την ανακατασκευή της 3D θέσης και κίνησης από μονοφωνικές εικόνες ή βίντεο. Στην [58], προτείνουν ένα νέο σύστημα για να αναγνωρίσει τις ενέργειες από τα δεδομένα σκελετού χρησιμοποιώντας νευρωνικά δίκτυα.

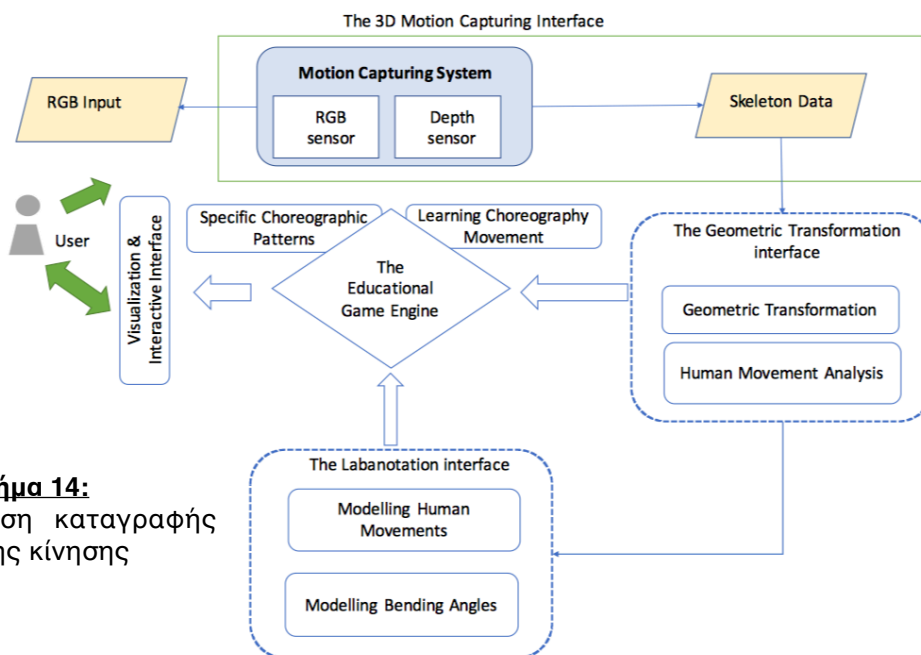
3.1.2 Συνεισφορά

Στην παρούσα προσέγγιση και μελέτη, παρουσιάζεται μια μηχανή παιχνιδιών σε πραγματικό χρόνο για την εκπαίδευση των λαϊκών χορευτών με σκοπό την εκπαίδευση και συντήρηση τους. Η πλατφόρμα εκμεταλλεύεται την ανάλυση καταγραφής κίνησης, που αντιπροσωπεύει το σύστημα Labanotation και δημιουργεί αυτόματα τις βαθμολογίες κίνησης. Υιοθετείται ένας αισθητήρας χαμηλού κόστους, όπως το Kinect, προκειμένου να εξάγονται οι παραλλαγές των αρθρώσεων που αναλύουν τη στάση των χορευτών.

Επιπλέον, εισάγεται επεξεργασία των σκελετικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και διαδικασία υπολογισμού της κατεύθυνσης των άνω και κάτω άκρων, καθώς και ο βαθμός κάμψης, με βάση το σύστημα Labanotation. Επίσης, η προτεινόμενη πλατφόρμα είναι ένα δυναμικό εκπαιδευτικό πλαίσιο, που ενισχύει την μάθηση και την εκπαίδευση των θεμελιωδών αρχών του συστήματος Labanotation.

Η παρούσα μελέτη της διπλωματικής εργασίας οργανώνεται ως ακολούθως:

Στο τμήμα II παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του συστήματος. Στο κεφάλαιο III, αναλύεται η τρισδιάστατη διεπαφή καταγραφής. Στο κεφάλαιο V περιγράφεται το σύστημα απεικόνισης. Στο Τμήμα VI παρουσιάζεται το Προτεινόμενο Εκπαιδευτικό Παιχνίδι. Τέλος, στο Τμήμα VII παρουσιάζονται τα συμπεράσματα του προτεινόμενου εκπαιδευτικού παιχνιδιού.



Σχήμα 14:

Η διασύνδεση καταγραφής τρισδιάστατης κίνησης

3.2 Η Αρχιτεκτονική του Συστήματος

Στην παρούσα μας μελέτη εισάγεται ένα γενικό πλαίσιο, που παρέχει έναν εύκολο τρόπο σχεδιασμού και ανάπτυξης διαδραστικής εφαρμογής παιχνιδιών, με χρήση φθηνού αισθητήρα για ανάλυση κινησιολογίας ή άλλο είδος δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένων κινήσεων σώματος που χρησιμοποιούν το σύστημα Labanotation για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Το σχήμα 14 απεικονίζει ένα δομικό διάγραμμα της προτεινόμενης πλατφόρμας παιχνιδιών. Αυτή η πλατφόρμα χρησιμοποιείται για εκπαιδευτικούς σκοπούς, δηλαδή για εκμάθηση χορογραφίας και κινησιολογίας με διαδραστικό τρόπο. Το εισαγόμενο πλαίσιο χρησιμοποιεί μια συσκευή καταγραφής Kinect για την απόκτηση δεδομένων κίνησης σε πραγματικό χρόνο συγκρίνοντάς τα με τα αποτελέσματα του συστήματος Labanotation.

Το προτεινόμενο πλαίσιο διακρίνεται σε δύο συνιστώσες: Το πρώτο είναι ένα σύστημα καταγραφής κίνησης που αναλύει σε πραγματικό χρόνο και απεικονίζει το ανώτερο και το κάτω άκρο του σώματος. Η δεύτερη είναι μια διαδραστική εφαρμογή στην οποία ο χρήστης πρέπει να εκτελέσει μια ακολουθία στάσεων με τη μορφή συμβόλων Labanotation, με τα άνω άκρα του να δίδονται από το σύστημα εκ των προτέρων.

Τέλος, το προτεινόμενο σύστημα διακρίνεται σε τρία υποσυστήματα:

- i) το σύστημα καταγραφής κινήσεων,
- ii) το σύστημα επεξεργασίας και
- iii) το σύστημα απεικόνισης.

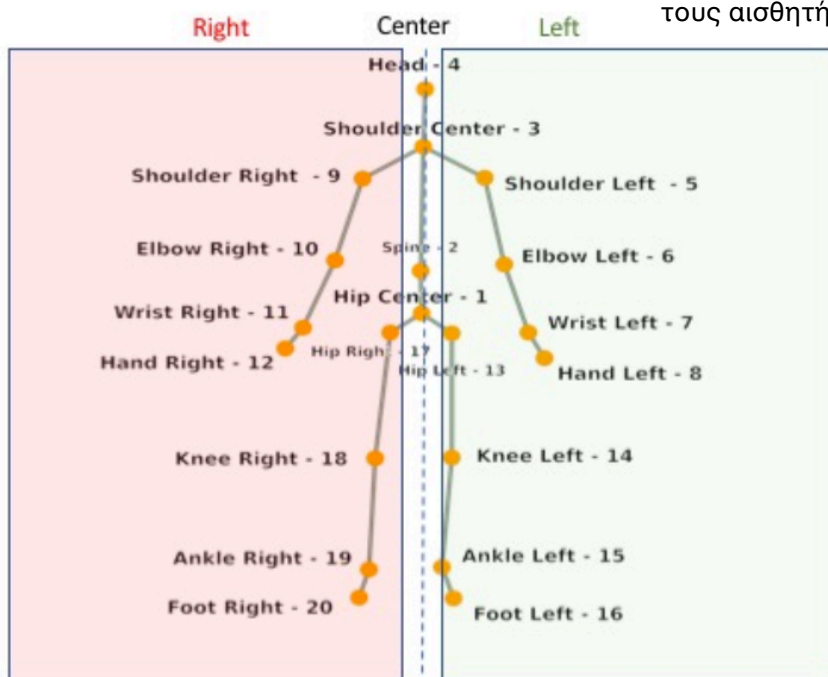
Συγκεκριμένα, το σύστημα καταγραφής κίνησης αποτελείται από έναν αισθητήρα Kinect και έναν υπολογιστή.

Το σύστημα επεξεργασίας διακρίνεται σε τρία υποσυστήματα:

- α) το υποσύστημα γεωμετρικών μετασχηματισμών,
- β) το υποσύστημα ανάλυσης κατεύθυνσης και κίνησης,
- γ) το υποσύστημα υπολογισμού των άκρων κάμψης.

Σχήμα 15:

Οι αρθρώσεις του ανθρώπινου σκελετού από τους αισθητήρες του Kinect



3.3 Η Διεπαφή Καταγραφής της Τρισδιάστατης Κίνησης

3.3.1 Το Σύστημα Καταγραφής Κίνησης

Το Microsoft Kinect είναι μία από τις πιο αναγνωρίσιμες συσκευές εισόδου ανίχνευσης κίνησης που είναι ευρέως διαθέσιμες. Ο αισθητήρας Kinect είναι ένας αισθητήρας ανίχνευσης κίνησης μη παθητικής σήμανσης, ικανός να εξάγει τις μεταβολές της ανθρώπινης κίνησης. Συγκεκριμένα, ο αισθητήρας Kinect της Microsoft είναι σχετικά φθηνός, αλλά μπορεί να εκτελέσει σε πραγματικό χρόνο την παρακολούθηση τρισδιάστατου σκελετού.

Ο εξαγόμενος σκελετός αποτελείται από είκοσι αρθρώσεις, όπως φαίνεται στο σχήμα 15, η κάθε μία από τις οποίες περιλαμβάνει τις τρισδιάστατες συντεταγμένες, τις παραμέτρους περιστροφής και την κατάσταση παρακολούθησης. Επιπλέον, η τοπολογία των δεικτών που χρησιμοποιούνται για την απόκτηση των τρισδιάστατων ιδιοτήτων της τροχιάς κίνησης του χορευτή, παρουσιάζεται παρακάτω στο Σχήμα 16.

Επιπλέον, ο αισθητήρας Kinect της Microsoft αναγνωρίζει τις ανθρώπινες κινήσεις, τόσο σε σκοτεινό όσο και σε φωτεινό περιβάλλον. Ένας σημαντικός περιορισμός είναι ότι ο αισθητήρας Kinect έχει σχεδιαστεί για να παρακολουθεί μόνο την εμπρόσθια πλευρά του ανθρώπινου σώματος και ότι η περιοχή κίνησης είναι περιορισμένη (περίπου 0,7-6m).

3.3.2 Τα Δεδομένα του Ανθρώπινου Σκελετού

Στην παρούσα μελέτη και προσέγγιση, χρησιμοποιούμε τον σκελετό αισθητήρα Kinect με 20 αρθρώσεις. Στη συνέχεια, ας δηλώσουμε ως $\vec{J}_k^G = (x_i^G, y_i^G, z_i^G)$ τη k οστή από τις $N = 20$ αρθρώσεις που εξάγονται από την αρχιτεκτονική Kinect. Το κύριο πρόβλημα της επεξεργασίας των αρθρώσεων $\vec{J}_k^G, k = 1, 2, \dots, N$ είναι η χωρική τοποθέτηση του χορευτή που επηρεάζει τις ιδιότητες των αρθρώσεων και συνεπώς την απόδοση της επεξεργασίας.

Είναι σαφές ότι μετά το μετασχηματισμό στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων, οι συντεταγμένες καθεμιάς από τις N ανιχνευθείσες αρθρώσεις του σκελετού εκφράζονται ως:

$$\vec{J}_k^L = \vec{J}_k^G - \vec{C}_{CM}$$

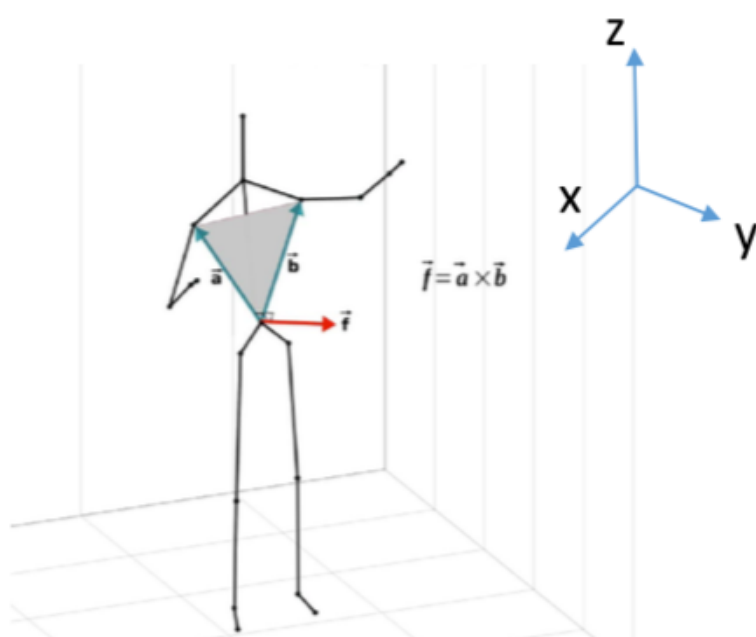
- 16 -

Στη παρούσα ενότητα και μελέτη, το κέντρο της μάζας συμπίπτει με την άρθρωση του ισχίου.

3.4 Η Διεπαφή Γεωμετρικού Μετασχηματισμού: Εξαγωγή των Γεωμετρικών Χαρακτηριστικών του Ανθρώπινου Σώματος

3.4.1 Γεωμετρική Διαμόρφωση της Διεπαφής

Το σύστημα επεξεργασίας στοχεύει στην ανάλυση των δεδομένων σκελετού και των εισόδων RGB. Πιο συγκεκριμένα, εκτελεί γεωμετρικούς μετασχηματισμούς σε δεδομένα σκελετού, αναλύει την κατεύθυνση και το μέγεθος των κινήσεων σύμφωνα με το σύστημα Labanotation και τελικά υπολογίζει τα χαρακτηριστικά γωνίας κάμψης του άνω και κάτω άκρου.



Σχήμα 16:

Γραφική απεικόνιση του αλγορίθμου που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση απόστασης ανθρώπινου σώματος όπως εκφράζονται από τις αρθρώσεις του Kinect

3.4.2 Ανάλυση και Καθοδήγηση της Ανθρώπινης Κίνησης

Σκοπός αυτής της ενότητας είναι η εκτίμηση του διανύσματος κατεύθυνσης κίνησης του ανθρώπινου σώματος σε σχέση με το τοπικό σύστημα συντεταγμένων όπως παρέχεται από την εξίσωση -16-. Μια γραφική αναπαράσταση της υιοθετημένης μεθόδου απεικονίζεται στο σχήμα 16.

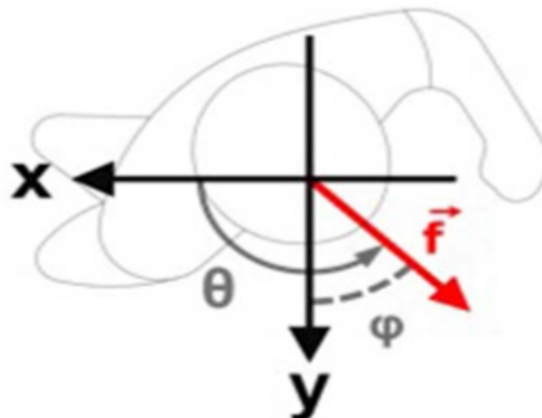
Προκειμένου να καθορισθεί το διάνυσμα κατεύθυνσης του ανθρώπινου σώματος (βλέπε σχήμα 16) υιοθετείται η ακόλουθη προσέγγιση. Αρχικά, υπολογίζουμε το διάνυσμα \vec{a} ως αυτό που συνδέει την άρθρωση του ανθρώπινου ισχίου με την δεξιά άρθρωση του ώμου (βλέπε σχήμα 16). Σε ένα παρόμοιο πλαίσιο, το διάνυσμα \vec{b} υπολογίζεται ως αυτό που συνδέει την άρθρωση του ισχίου με την άρθρωση του αριστερού ώμου του ανθρώπου. Επομένως, το εξωτερικό προϊόν των δύο αυτών διανυσμάτων χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της κατεύθυνσης της ανθρώπινης κίνησης.

Δηλαδή, έχουμε ότι $\vec{f} = \vec{a} \times \vec{b}$. Είναι ξεκάθαρο ότι το διάνυσμα $\vec{f} = (x_f, y_f, z_f)$ εκφράζει τις συντεταγμένες xyz ενός διανύσματος κάθετου στην ανθρώπινη επιφάνεια. Επομένως, το στοιχείο y εκφράζει την κατεύθυνση της ανθρώπινης κίνησης.

Στη συνέχεια η γωνία περιστροφής φ υπολογίζεται μέσω των συντεταγμένων του διανύσματος \vec{f} , απεικονίζεται στο σχήμα 17, όπου οι γωνίες φ και θ συσχετίζονται ως $\varphi - \theta = 90^\circ$. Χρησιμοποιώντας αυτή τη γωνία, εκτιμάται η περιστροφή της ανθρώπινης κίνησης, με βάση την αρχή του περιστρεφόμενου πλέγματος (matrix). Με αυτό τον τρόπο, μπορούμε να υπολογίσουμε πώς περιστρέφεται ο άνθρωπος σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων Kinect.

Σχήμα 17:

Γραφική απεικόνιση του αλγορίθμου που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της περιστροφής του ανθρώπινου σώματος όπως εκφράζονται από τις αρθρώσεις του Kinect



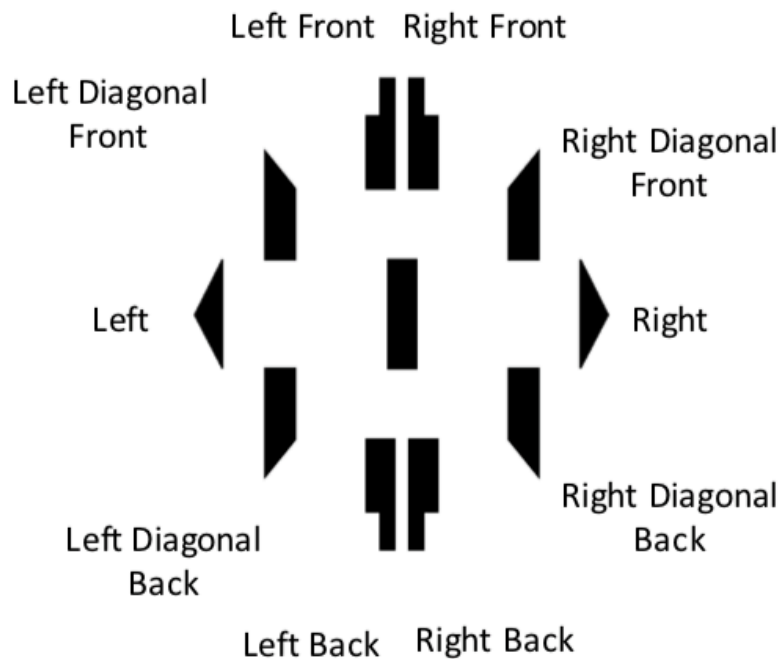
3.5 Η Διεπαφή του Συστήματος Labanotation

3.5.1 Μοντελοποιώντας τις Ανθρώπινες Σχέσεις

Το Labanotation είναι ένα σύστημα που στοχεύει στην ανάλυση των ανθρώπινων κινήσεων και του μηχανισμού του σώματος τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Είναι άμεσα συνδεδεμένο με την ανάλυση φυσικού σώματος, όπως η χορογραφία, το θέατρο και η φυσική θεραπεία. Το σύστημα Labanotation χρησιμοποιεί σύμβολα και σημάδια που έχουν καταγραφεί σε ένα ιδιαίτερο είδος βαθμονόμησης. Στην τυπική του μορφή, η βαθμονόμηση του συστήματος Labanotation είναι κατακόρυφη τριγωνική, που αντιπροσωπεύει το ανθρώπινο σώμα. Στην ακόλουθη μέθοδο που προτάσσεται δημιουργείται μια βάση του συστήματος Labanotation. Η βάση των συμβόλων του συστήματος Labanotation περιλαμβάνει τα σημεία κατεύθυνσης και τους βαθμούς κάμψης του.

Τα σύμβολα στη βάση δεδομένων Labanotation δημιουργήθηκαν στην πλατφόρμα λογισμικού της Inkscare. Δεδομένου ότι η κίνηση βρίσκεται στο τρισδιάστατο χώρο, κάνουμε διαίρεση του χώρου σε ένα σχήμα οριζόντιας και κάθετης κωδικοποίησης. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τον οριζόντιο άξονα (γύρω από την xz επιφάνεια - δείτε σχήμα 16 για περισσότερες λεπτομέρειες) έχουν δημιουργηθεί έντεκα διαφορετικές θέσεις, οι οποίες κάθε μία τους, αντιστοιχεί σε

μια συγκεκριμένη κατεύθυνση της ανθρώπινης κίνησης. Για παράδειγμα, έχουμε τις θέσεις Αριστερά (L), Αριστερά διαγώνια αριστερά (LDF), Αριστερή διαγώνια πίσω (LDB) και τις θέσεις αριστερού εμπρός και πίσω (LF / LB). Με τον ίδιο τρόπο, έχουμε τους δεξιά μπροστά (RF), τους δεξιώς διαγωνίως εμπρός (RDF), τους δεξιά (R), τους δεξιώς διαγωνίως πίσω (RDB) και τους δεξιά πίσω (RB) κωδικούς. Τα κωδικοποιημένα σύμβολα της ανθρώπινης θέσης σε σχέση με την οριζόντια επιφάνεια απεικονίζονται στο σχήμα 18.



Σχήμα 18:

Οι κώδικες Labanotation υιοθετούνται σε αυτό το εκπαιδευτικό παιχνίδι για τις διαφορετικές θέσεις των αρθρώσεων του ανθρώπινου σώματος. Οι κώδικες διαιρούνται σε οριζόντια και κατακόρυφη επιφάνεια

Έχουμε ακόμα τρεις πρόσθετες κατηγορίες σχετικά με την κάθετη αναπαράσταση της θέσης (δηλ. την z,y επιφάνεια -βλέπε σχήμα 16 για λεπτομέρειες).

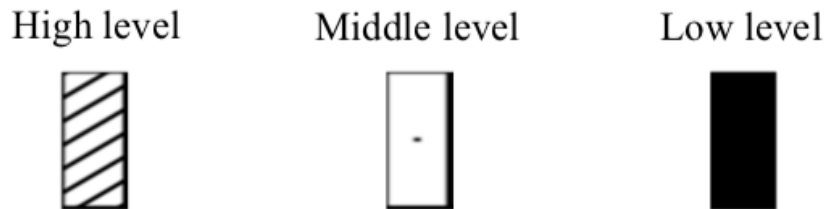
Σε αυτήν την κατάτμηση, έχουμε υιοθετήσει τρία μέρη :

- i) υψηλό επίπεδο,
- ii) μεσαίο επίπεδο και
- iii) χαμηλό επίπεδο.

Προκειμένου να εκφράσουμε αυτά τα σύμβολα, τροποποιήσαμε τους κώδικες του σχήματος 17 όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 19. Συγκεκριμένα έχουμε υιοθετήσει διαφορετικά σχέδια 'υψής' όπως αυτά που παρουσιάζονται παρακάτω (βλέπε Σχήμα 6).

Στη περίπτωση που συνδυάσουμε όλους αυτούς τους κωδικούς, έχουμε το τελικό σχήμα κωδικοποίησης Labanotation. Αυτό παρουσιάζεται σαφώς στο σχήμα 20.

Σχήμα 19:
Οι κώδικες Labanotation που έχουν υιοθετηθεί σε σχέση με τον κάθετο άξονα



Σχήμα 20:
Οι κώδικες Labanotation που έχουν υιοθετηθεί σε σχέση με τη θέση μιας άρθρωσης του ανθρώπινου σώματος



3.5.2 Μοντελοποιώντας τις Γωνίες Κάμψης

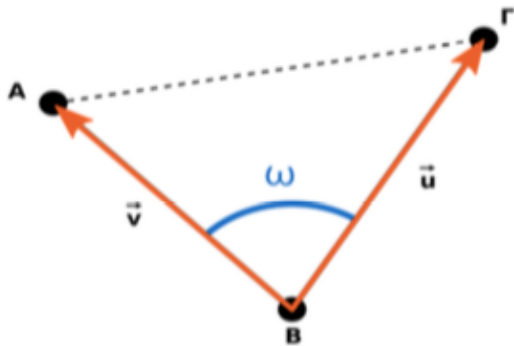
Πέρα από τη θέση μιας ανθρώπινης άρθρωσης, η προτεινόμενη πλατφόρμα παιχνιδιών κωδικοποιεί επίσης το επίπεδο κάμψης μιας άρθρωσης. Εστιάζουμε στο κατώτερο και ανώτερο ανθρώπινο άκρο. Το υποσύστημα κάμψεων των άκρων υπολογίζει τη γωνία συστολής. Ο βαθμός συστολής ορίζεται από τη γωνία που σχηματίζουν τα άκρα. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τα άνω άκρα, η γωνία συστολής υπολογίζεται ως αυτή μεταξύ του ώμου (το άνω μέρος του χεριού, από τον ώμο ως τον αγκώνα) με το αντιβράχιο (το κάτω μέρος του χεριού από τον αγκώνα ως το καρπό). Για τα κάτω άκρα, η γωνία συστολής υπολογίζεται ως η γωνία μεταξύ του μηρού και της κνήμης. Η μέθοδος που υιοθετήθηκε για την εκτίμηση της γωνίας κάμψης παρουσιάζεται στο σχήμα 21.

Το τρίγωνο σχηματίζεται από τον υπολογισμό της γωνίας που δημιουργείται από τα ακραία τμήματα της άρθρωσης B.

$$\omega = \left| \operatorname{atan2} \left(\frac{|\vec{u} \times \vec{v}|}{\vec{u} \cdot \vec{v}} \right) \right| \quad - 17 -$$

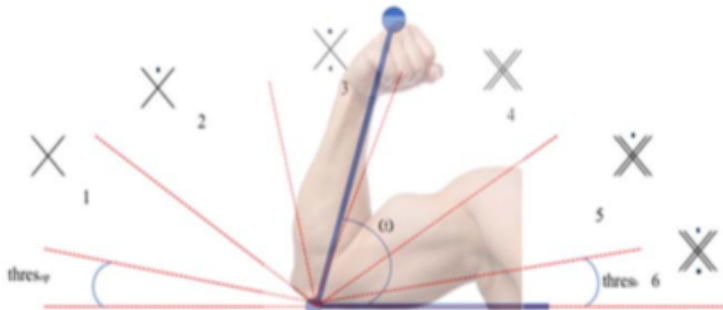
Η περιοχή συστολής των άκρων σύμφωνα με το σύστημα Labanotation διακρίνεται σε έξι βαθμούς κάμψης. Κατά την παρούσα προσέγγιση, ορίζεται ένα εύρος σχετικά με τη διαδικασία κάμψης των άκρων. Ξεκινώντας από μια τεντωμένη θέση, θέτουμε την προαναφερθείσα θέση ως την πρώτη θέση, στη συνέχεια παίρνουμε διαδοχικά τον 1°, 2°, 3°, 4°, 5°, 6° βαθμό (όταν το άκρο είναι πλήρως λυγισμένο και τα δύο μέρη του άκρου είναι σε επαφή) συστολής. Η όλη εύκαμπτη περιοχή, χωρίζεται σε ισάριθμους χώρους που αντιστοιχούν στους βαθμούς κάμψης.

Πρέπει να αναφερθεί ότι έχει καθοριστεί ένα επίπεδο ανοχής όσον αφορά την κάμψη. Αυτό απεικονίζεται στο σχήμα 22. Συγκεκριμένα, δεν λαμβάνονται υπόψη μικρές γωνίες κάμψης γύρω από τις 180° (δηλ. ανοικτό άκρο) και 0° (δηλ. λυγισμένο άκρο)



Σχήμα 21:

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της γωνίας κάμψης μίας άρθρωσης του ανθρώπινου σκελετού



Σχήμα 22:

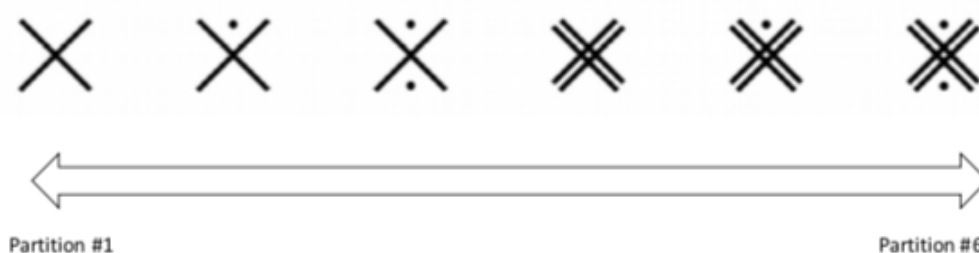
Η διαίρεση κατάτμησης που χρησιμοποιήθηκε για τη μοντελοποίηση γωνίας κάμψης της ανθρώπινης κινησιολογίας

Το Σχήμα 22 απεικονίζει τους βαθμούς κάμψης των άνω άκρων. Η ίδια ανάλυση γίνεται και για τα κάτω άκρα αντιστοίχως. Η μέθοδος που μελετήθηκε, αναλύει το σύστημα των άνω και κάτω άκρων σε πραγματικό χρόνο. Προκειμένου να ορίσουμε τη συστολή των άκρων, υποθέτουμε ότι η τυπική θέση είναι η επέκταση του χεριού. Η προαναφερθείσα θέση είναι η μηδενική θέση και στη συνέχεια υπολογίζεται αναλόγως οι βαθμοί κάμψης.

3.6 Η Διαδραστική Διεπαφή Απεικόνισης

Το σύστημα απεικόνισης είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία οπτικών εικόνων που συνδυάζουν είτε δεδομένα που προέρχονται από τους αισθητήρες Kinect (εικόνα RGB, εικόνα βάθους, σκελετικά δεδομένα) είτε δεδομένα προερχόμενα από πρωτογενή επεξεργασία (επεξεργασμένα σκελετικά δεδομένα, συμβολική απεικόνιση του Labanotation).

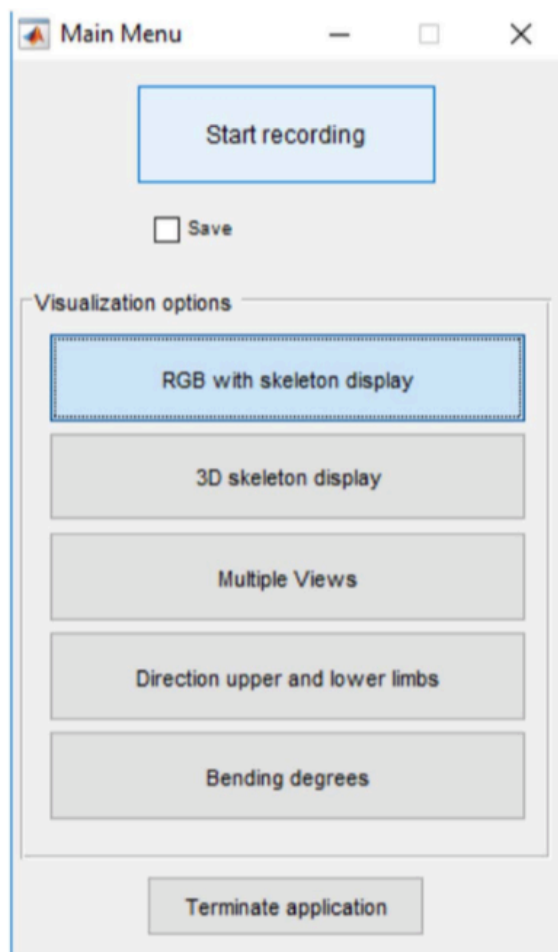
Οι επιλογές των επιθυμητών απεικονίσεων καθορίζονται από τον χρήστη, μέσω της συγκεκριμένης διεπαφής, από μια ποικιλία διαθέσιμων απεικονίσεων, λίγο πριν ξεκινήσει η εγγραφή. Το σχήμα 23 δείχνει το πλαίσιο κωδικοποίησης του υποσυστήματος κάμψης.



Σχήμα 23:

Το πλαίσιο κωδικοποίησης του υποσυστήματος κάμψης της προτεινόμενης διεπαφής παιχνιδιού

Προκειμένου να δημιουργηθεί ο τρισδιάστατος ανθρώπινος σκελετός, χρησιμοποιούνται τόσο η ληφθείσα εικόνα από την έγχρωμη κάμερα (καθρέφτη-ανεστραμμένη για να διευκολυνθεί ο χρήστης), όσο και η συντεταγμένη των αρθρώσεων στο σύστημα εικόνας. Αυτή η απεικόνιση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, καθώς ο χρήστης παρατηρεί εάν εμπίπτει εντός των ορίων της περιοχής, έτσι ώστε να αποκτήσει τη σωστή θέση, αλλά επίσης να διαπιστώσει αν ανιχνεύεται ο σκελετός του / της, με σκοπό να επιτευχθεί μια ποιοτική αξιολόγηση. Το σχήμα 24 δείχνει το κύριο μενού που αναπτύχθηκε για αυτό το συγκεκριμένο εκπαιδευτικό παιχνίδι.



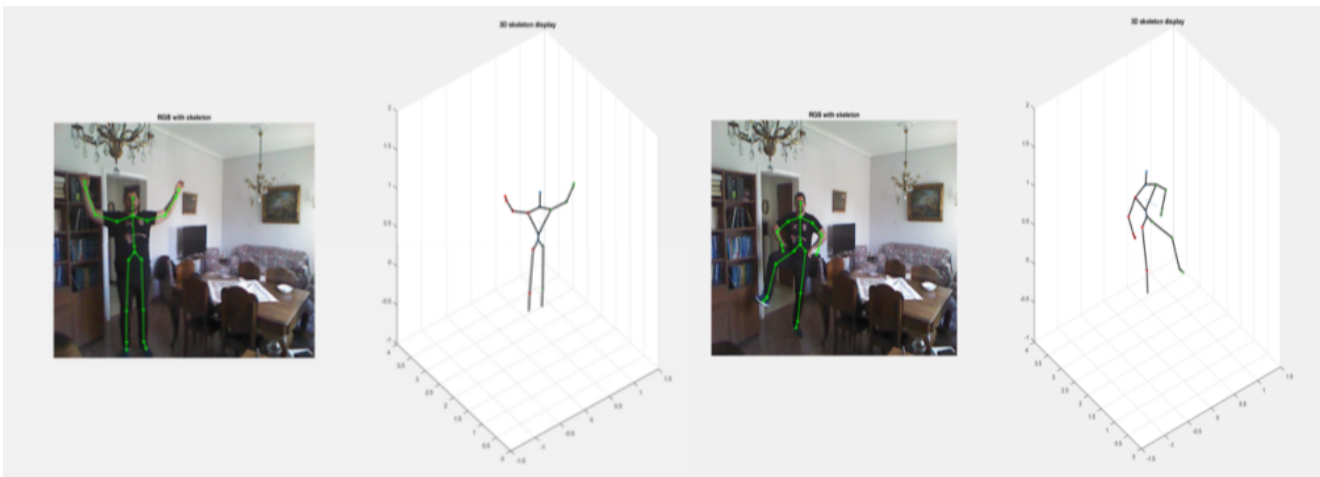
Σχήμα 24:

Το κυρίως μενού του παιχνιδιού εκπαίδευσης που ενσωματώνει τους αισθητήρες Kinect και την ανάλυση κίνησης του Labanotation για την εκπαίδευση χορού.

Το σύστημα απεικόνισης απεικονίζει τον σκελετό και τις αρθρώσεις στο χώρο, καθώς επίσης ένα διάνυσμα που δείχνει την κατεύθυνση κατά την οποία βλέπει ο χρήστης. Το κινητικό σύστημα συντεταγμένων χρησιμοποιείται στο τρισδιάστατο σύστημα του Kinect και το προκύπτων υπολογισμένο κατευθυντήριο διάνυσμα τοποθετείται στο κέντρο του θώρακα. Οι άξονες του διαγράμματος υπολογίζονται σε μέτρα. Αυτή η απεικόνιση επιτρέπει την τρισδιάστατη προβολή, έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να δει και να κατανοήσει την καταγεγραμμένη στάση και τη μορφή που απεικονίζεται στη συμβολική απεικόνιση του Labanotation.

Το σχήμα 25a παρουσιάζει τη διεπαφή παρουσίασης σχετικά με την εικόνα RGB και τον αντίστοιχο σκελετό όπως λαμβάνεται από τον αισθητήρα βάθους Kinect. Σε αυτό το συγκεκριμένο σενάριο, ο χρήστης σηκώνει πάνω τα χέρια του.

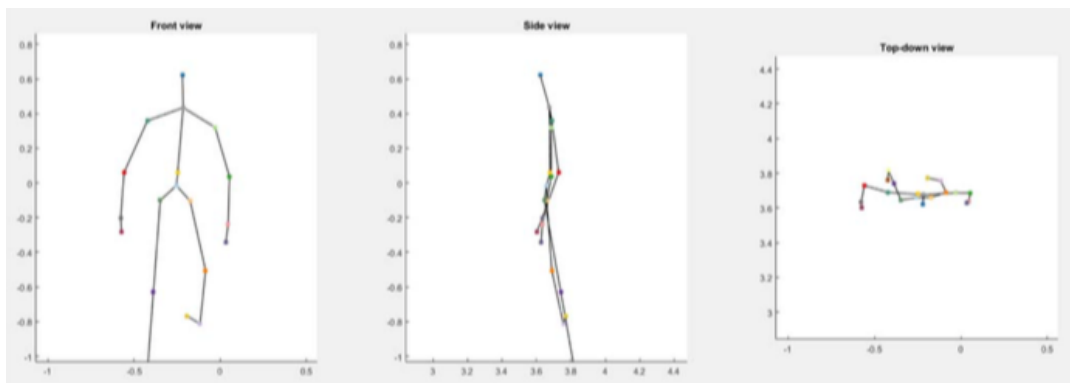
Ένα άλλο παράδειγμα απεικονίζεται στο σχήμα 25b. Σε αυτό το σχήμα, ο χρήστης κάνει μια άλλη κίνηση, ανεβάζοντας το δεξί του πόδι. Είναι σαφές ότι ο αισθητήρας Kinect καταγράφει την αντίστοιχη κίνηση και την κωδικοποιεί σε δεδομένα σκελετού.



Σχήμα 25 (a+b):

Δύο στιγμιότυπα της διεπαφής που απεικονίζουν τον ανθρώπινο σκελετό που επικαλυμμένα με δεδομένα RGB για διαφορετικές ανθρώπινες στάσεις.

Η διεπαφή απεικόνισης παρέχει τη δυνατότητα προβολής της ανθρώπινης κίνησης από διαφορετικές προβολές. Αυτό απεικονίζεται στο σχήμα 26, όπου ο καταγεγραμμένος σκελετός εμφανίζεται στην πρόσοψη, στα πλάγια και στην κορυφή. Σε αυτή την απεικόνιση, κάθε άρθρωση απεικονίζεται σε διαφορετική σκιά, όπως ορίζεται από το σύστημα Labanotation. Το παράθυρο είναι κεντραρισμένο στο εγγεγραμμένο πλαίσιο και τα όρια ρυθμίζονται δυναμικά ανάλογα με το μήκος των άκρων για κάθε καρτέ που εγγράφεται. Οι άξονες υπολογίζονται σε μέτρα. Αυτή η απεικόνιση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την παρακολούθηση λεπτομερειών κίνησης, οι οποίες δεν μπορούν να προβληθούν σε καμία από τις προηγούμενες απεικονίσεις με το τρισδιάστατο σκελετό.



Σχήμα 26:

Η διεπαφή του διαδραστικού παιχνιδιού που επιτρέπει στον χρήστη να απεικονίζει τρισδιάστατους ανθρώπινους σκελετούς

3.7 Το Προτεινόμενο Εκπαιδευτικό Παιχνίδι









Το προτεινόμενο εκπαιδευτικό παιχνίδι καταγράφει τις ιδιότητες του ανθρώπινου σώματος, δημιουργώντας ένα σκελετό σε πραγματικό χρόνο με επίκεντρο την ανάλυση των κινήσεων του άνω και κάτω άκρου. Ζητείται από το χρήστη να εκτελέσει μια σειρά προκαθορισμένων θέσεων, οι οποίες δίνονται σύμφωνα με τα αντίστοιχα σημεία του συστήματος Labanotation. Ο χρήστης βαθμολογείται βάσει της ορθότητας της κίνησης που εκτελεί σε σχέση με τη δεδομένη σειρά χορογραφίας. Το προτεινόμενο εκπαιδευτικό παιχνίδι ενισχύει την μάθηση μέσω της άμεσης αλληλεπίδρασης μεταξύ χρήστη και παιχνιδιού.

3.7.1 Η Ροή του Παιχνιδιού

Το εκπαιδευτικό παιχνίδι στοχεύει να μάθει το Labanotation και να κατανοήσει μια χορογραφία μέσω μίας διαδραστικής διεπαφής χρήστη. Για να κατανοήσουμε τη ροή του παιχνιδιού του αναπτυγμένου παιχνιδιού, μπορούμε στη συνέχεια να δούμε ένα παράδειγμα ροής του, το οποίο απεικονίζεται στον Πίνακα I.

Συγκεκριμένα, σε αυτό το παράδειγμα ο χρήστης έχει ως κίνητρο να μάθει μια συγκεκριμένη χορογραφία που συνθέτει διαδοχικές κινήσεις του δεξιού και του αριστερού άνω άκρου. Το αριστερό χέρι του ανθρώπου πρέπει να εκτελέσει την ακόλουθη ακολουθία: Αριστερό μπροστά - Υψηλό επίπεδο. Θέση κέντρου – Μεσαίο επίπεδο. Εμπρός διαγωνίως αριστερά - Υψηλό επίπεδο. Εμπρός διαγώνια αριστερά - Χαμηλό επίπεδο. Από την άλλη πλευρά, το δεξί χέρι ακολουθεί το σενάριο κίνησης: Εμπρός διαγώνια δεξιά - Μεσαίο επίπεδο. Δεξιά - Μεσαίο Επίπεδο. Κεντρική θέση - Υψηλό επίπεδο. Εμπρός Δεξιά - Μεσαίο επίπεδο.

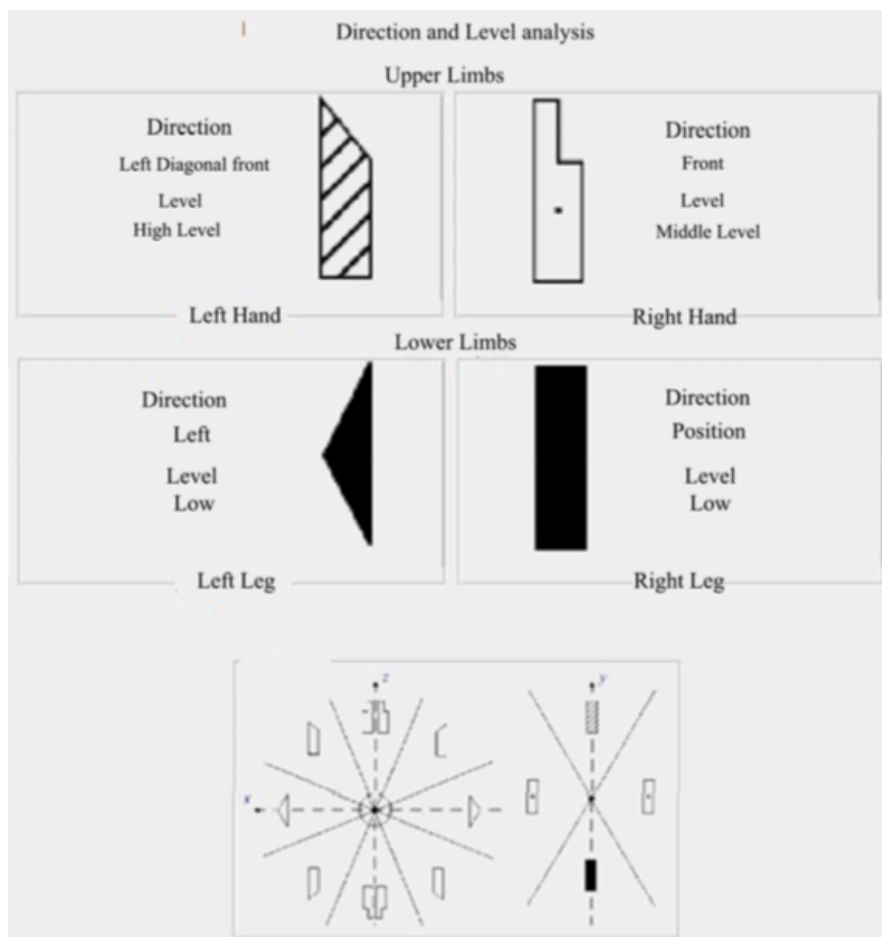
ΠΙΝΑΚΑΣ I

Human Movement Primitives (see Figs 5,6 for explanation of the symbols)				
Left hand	Left Front (High Level)	Center Position (Middle Level)	Left Diagonal Front (High Level)	Left Diagonal Front (Low Level)
				
Right Hand	Right Diagonal Front (Middle Level)	Right (Middle Level)	Center Position (High Level)	Right Front (Middle Level)
				

Ο χρήστης πρέπει να ακολουθήσει αυτό το σενάριο, περιγράφοντας με αυτό τον τρόπο μια χορογραφία. Με άλλα λόγια, το αριστερό και το δεξί χέρι του χρήστη θα πρέπει να ακολουθούν τα τέσσερα διαδοχικά πρωτόγονα του Πίνακα Ι. Το σενάριο του παιχνιδιού ενημερώνεται με νέα ακολουθία συμβόλων, μέχρις ότου ο χρήστης ακυρώσει την εκπαιδευτική διαδικασία.

Το σχήμα 27 απεικονίζει ένα στιγμιότυπο όπου οι κινήσεις του χρήστη, οι οποίες εκφράζονται μέσω των σκελετικών αρθρώσεων από τον αισθητήρα Kinect, μετατρέπονται σε σύμβολα Labanotation όπως αυτά που παρουσιάζονται στα Σχ. 18, 19. Αυτός ο μετασχηματισμός εκτελείται σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας έτσι την διαδραστικότητα και την εμπειρία του χρήστη.

Με αυτόν τον τρόπο, ο χρήστης κατανοεί καλύτερα την εκπαιδευτική διαδικασία που είναι ο κύριος σκοπός της παρούσας πλατφόρμας παιχνιδιού. Σε αυτό το παράδειγμα, οι κινήσεις του δεξιού και του αριστερού χεριού απεικονίζονται για λόγους σαφήνειας. Επίσης, στη συνέχεια απεικονίζεται μια λεζάντα που περιγράφει τα σύμβολα Labanotation τα οποία κωδικοποιούν το κινητικό μοντέλο της ανθρώπινης κίνησης.



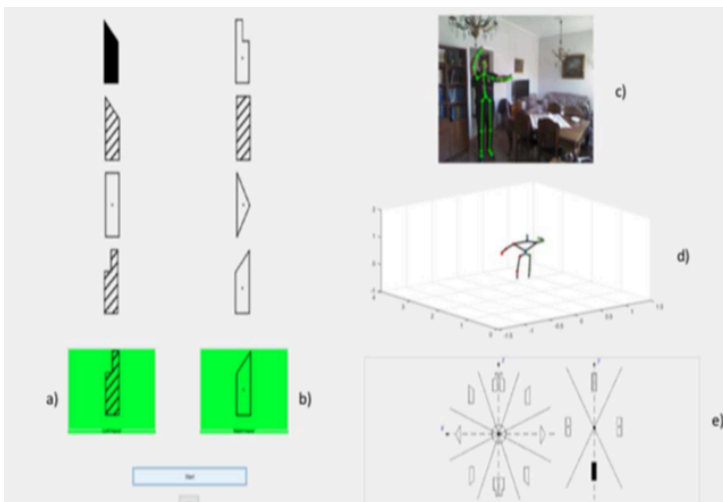
Σχήμα 27:

Ένα στιγμιότυπο του προτεινόμενου παιχνιδιού για την εκμάθηση της χορογραφίας της ανθρώπινης κινησιολογίας. Σε αυτή τη διεπαφή οι ανιχνευθείσες αρθρώσεις ανθρώπινου σκελετού κωδικοποιούνται σε σύμβολα Labanotions

3.7.2 Εκμάθηση Χορογραφικών Κινήσεων

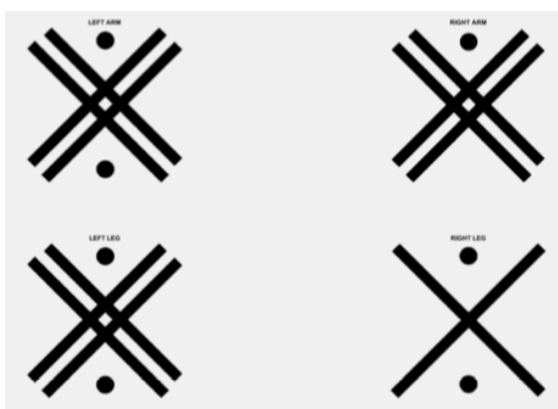
Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιείται η προτεινόμενη πλατφόρμα παιχνιδιού για εκμάθηση συγκεκριμένων μοτίβων χορογραφίας ή κινησιολογίας. Συγκεκριμένα, το σχήμα 28 απεικονίζει τη διεπαφή όπου ένας χρήστης μαθαίνει μια χορογραφία. Συγκεκριμένα, ο χρήστης είναι σε θέση να αντιληφθεί τις κινήσεις των ενεργειών του, καθώς και τον αντίστοιχο ανιχνευόμενο σκελετό που επικαλύπτεται πάνω από το σώμα του / της. Αυτό πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο, βελτιώνοντας έτσι την εμπειρία και την αλληλεπίδραση του χρήστη. Το παιχνίδι μπορεί να μετασχηματίσει τις ανιχνευθείσες ανθρώπινες αρθρώσεις σε σύμβολα Labanotation όπως παρουσιάζονται στα Σχήματα 18, 19. Επιπλέον, το παιχνίδι έχει προκαθορισμένα μοτίβα χορογραφίας ή κινησιολογίας, τα οποία ο χρήστης πρέπει να ακολουθήσει. Σε περίπτωση που ένας χρήστης επιτυγχάνει την επιλεγμένη χορογραφία, στην οθόνη εμφανίζεται ένα πράσινο πλαίσιο. Αυτό υποδεικνύει ότι ο χρήστης πρέπει να προχωρήσει στο επόμενο βήμα, δηλαδή την επόμενη κίνηση της χορογραφίας. Σε διαφορετική περίπτωση, απεικονίζεται ένα κόκκινο πλαίσιο που υποδεικνύει ότι ο χρήστης πραγματοποιεί λανθασμένη απόδοση. Αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 28.

Στη συνέχεια, η πλατφόρμα παιχνιδιού προτρέπει τον χρήστη να κάνει τη σωστή κίνηση για να εμφανιστεί ένα πράσινο κουτί. Το σχήμα 29 απεικονίζει τη διαδραστική διεπαφή που εμφανίζει το μετασχηματισμό των άνω και κάτω άκρων στα σύμβολα του συστήματος Labanotation.



Σχήμα 28:

Στιγμιότυπο της διεπαφής. Ένα πράσινο πλαίσιο εμφανίζεται στη περίπτωση που ο χρήστης εκτελεί μια σωστή κίνηση σύμφωνα με το ανάλογο χορογραφικό σενάριο



Σχήμα 29:

Στιγμιότυπο που απεικονίζει σε πραγματικό χρόνο τις μοίρες κάμψης των άνω και κάτω άκρων. Τα ανιχνευθέντα ανθρώπινα κωδικοποιούνται σε σύμβολα Labanotation

4. Συμπεράσματα - Μελλοντική Εργασία

Ο σκοπός της έρευνας της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη τεχνικών μηχανικής μάθησης σε διαφορετικές εφαρμογές που σχετίζονται με την άυλη πολιτιστική κληρονομία. Πραγματοποιήθηκαν διαφορετικές μελέτες και εφαρμογές, οι οποίες αναλύθηκαν στις προηγούμενες δύο ενότητες η κάθε μια.

Στη πρώτη ενότητα της παρούσας διπλωματικής εργασίας προτάθηκε μια μέθοδος σύνοψης χορογραφίας. Η μέθοδος εξάγει τα βέλτιστα βασικά σημεία-‘κλειδιά’ από την κινούμενη τροχιά τα οποία ταιριάζουν καλύτερα σε ολόκληρη τη χορογραφία. Το πρόβλημα της σύνοψης της χορογραφίας αντιμετωπίστηκε ως μια προσέγγιση μη επιτηρούμενης συσταδοποίησης (clustering).

Οι μετρήσεις αξιολόγησης αξιοποιούνται για να μετρηθεί η αποτελεσματικότητα της μεθόδου συσταδοποίησης (clustering) με σκοπό την καταγραφή των κυρίων μοτίβων της χορογραφίας. Έχουν διεξαχθεί πειραματικά αποτελέσματα σε πραγματικούς ελληνικούς χορούς, μέσω του συστήματος καταγραφής κίνησης Vicon το οποίο παρέχει ακριβή τρισδιάστατη μοντελοποίηση ενός κινούμενου αντικειμένου και η αρχιτεκτονική του είναι σε θέση να παράγει αρμούς σκελετού με μεγάλη ακρίβεια.

Τα πειράματα που διεξήχθησαν δείχνουν ότι μόνο λίγα καρέ εικόνων (σε αυτό το συγκεκριμένο πλαίσιο τέσσερα καρέ) είναι επαρκή για τη μοντελοποίηση μιας ολόκληρης χορογραφίας. Επομένως, η μέθοδος που προτάθηκε στη συγκεκριμένη εργασία μειώνει σημαντικά την ποσότητα πληροφοριών που απαιτούνται για την επεξεργασία και την αποθήκευση, καθώς μόνο ένας πολύ μικρός αριθμός καρέ εικόνων χρησιμοποιείται για να περιγράψει ολόκληρη τη χορογραφία. Αυτή είναι μια σημαντική πτυχή, ειδικά για την ανάλυση των τεχνών του θεάματος. Αντ' αυτού, οι τρέχουσες μέθοδοι ψηφιοποίησης, μοντελοποίησης, όπως ακόμα και διαδικασίας μοντελοποίησης του ανθρώπινου σκελετού παρέχουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων, δημιουργώντας περιορισμό στην επεξεργασία, την ανάλυση και την αποθήκευση.

Στη δεύτερη ενότητα της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάστηκε ένα διαδραστικό εκπαιδευτικό παιχνίδι που στοχεύει στην εκμάθηση χορογραφίας, με τη μίμηση και αντανάκλαση της προκαθορισμένης χορογραφίας, χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα χαμηλού κόστους. Προτάθηκε ένα οπτικοποιημένο παιχνίδι το οποίο υποστηρίζει δεδομένα Labanotation βασισμένα σε έναν αισθητήρα χαμηλού κόστους (συγκεκριμένα το Microsoft Kinect) και παρουσιάστηκε εν συντομία η αρχιτεκτονική του συστήματος, καθώς και τα κύρια χαρακτηριστικά ενός εκπαιδευτικού παιχνιδιού που βασίζεται στην κίνηση της χορογραφίας και μπορεί να εφαρμοστεί σε εκπαιδευτικό και μαθησιακό πλαίσιο.

Τα συμπεράσματα αυτής της παρούσας ενότητας της διπλωματικής εργασίας είναι ότι οι αισθητήρες Kinect και το σύστημα Labanotation είναι χρήσιμα για την εκπαιδευτική κατάρτιση των χορών (και της κινησιολογίας γενικότερα) που αποτελούν ένα πολύ σημαντικό στοιχείο στον τομέα της άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς.

Επιπλέον, η προτεινόμενη πλατφόρμα παιχνιδιού είναι αρκετά χρήσιμη για τους απλούς χρήστες που θέλουν να μπουν στο τμήμα κινησιολογίας και χορού.

Ως μελλοντικές εργασίες, θα εξεταστεί το ενδεχόμενο εισαγωγής περισσότερων χαρακτηριστικών για τη κίνηση των ανθρώπινων αρθρώσεων, ειδικά για τα κάτω άκρα, τα οποία θα υποδεικνύουν μια ολιστική εμπειρία στους χρήστες, σχετικά με την απόδοσή τους. Επιπλέον, θα ληφθεί υπόψιν να προστεθούν περισσότερες εξατομικευμένες λειτουργίες οπτικοποίησης για κάθε χρήστη.

5. Βιβλιογραφία - Αναφορές

- [1] Y. Kim, S. Baek, and B.-C. Bae, "Motion capture of the human body using multiple depth sensors," *ETRI Journal*, vol. 39, No. 2, pp. 181-190, 2017.
- [2] VICON, "Motion Capture Systems," VICON. [Online]. Available: <http://www.vicon.com>. [Accessed: 16-Jun-2017].
- [3] "optitrak.com." [Online]. Available: <http://optitrak.com/>. [Accessed: 16- Jun-2017]
- [4] A. Pfister, A. M. West, S. Bronner, and J. A. Noah, "Comparative abilities of Microsoft Kinect and Vicon 3D motion capture for gait analysis," *J. Med. Eng. Technol.*, vol. 38, no. 5, pp. 274–280, Jul. 2014.
- [5] A. Aristidou, E. Stavrakis, P . Charalambous, Y . Chrysanthou, and S. L. Himona, "Folk Dance Evaluation Using Laban Movement Analysis," *J Comput Cult Herit*, vol. 8, no. 4, p. 20:1–20:19, Aug. 2015.
- [6] M. Marolt, J.F Vratnatar, and G. Strle, "Ethnomuse: Archiving folk music and dance culture," *IEEE International Conference on Smart Technologies, EUROCON*, art. no. 5167650, pp. 322-326, 2009.
- [7] N. Doulamis and A. Doulamis, "Non-sequential multiscale content-based video decomposition," *Signal Process.*, vol. 85, no. 2, pp. 325–356, Feb. 2005.
- [8] N. D. Doulamis, A. D. Doulamis, Y. S. Avrithis, K. S. Ntalianis, and S. D. Kollias, "Efficient summarization of stereoscopic video sequences," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 10, no. 4, pp. 501–517, Jun. 2000.
- [9] K. Hisatomi, M. Katayama, K. Tomiyama, and Y. Iwadate, "3D Archive System for Traditional Performing Arts", *International journal of computer vision*, pp. 78-98, 2011.
- [10] R. M. Sheppard et al., "Advancing interactive collaborative mediums through tele-immersive dance (TED): A symbiotic creativity and design environment for art and computer science," presented at the 16th ACM International Conference on Multimedia, MM '08, 2008.
- [11] *Handbook for Laban Movement Analysis* "Written and Compiled by Janis Pforsich. copywrite Janis Pforsich 1977
- [12] A. Kitsikidis, K. Dimitropoulos, S. Douka, and N. Grammalidis, "Dance analysis using multiple Kinect sensors," *International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP)*, pp. 789–795, 2014.
- [13] K. Dimitropoulos; P. Barmpoutis, A. Kitsikidis; and N. Grammalidis, "Classification of Multidimensional Time-Evolving Data using Histograms of Grassmannian Points", in *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* (to appear).
- [14] E. Protopapadakis, A. Grammatikopoulou, A. Doulamis, and N. Grammalidis, "Folk dance pattern recognition over depth images acquired via kinect" *ISPRS International Workshop of 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Arhitectures*, Nafplio, 1-3 March, 2017, Greece.
- [15] A. Laggis, N. Doulamis, E. Protopapadakis, and A. Georgopoulos, "A low-cost markerless tracking system for trajectory interpretation," *ISPRS International Workshop of 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Arhitectures*, Nafplio, 1-3 March, 2017, Greece.
- [16] K. Jeff, T. Tang, J. C. P. Chan, and H. Leung, "Interactive dancing game with real-time recognition of continuous dance moves from 3D human motion capture," In *Proceedings of the 5th International Conference on Ubiquitous Information, Management and Communication (ICUIMC'11)*, pp 50:1–50:9, ACM, New York, NY, USA.

- [17] D. Alexiadis, P. Daras, P. Kelly, N.E. O'Connor, and T. Boubekeur, and M.B. Moussa, "Evaluating a dancer's performance using kinect-based skeleton tracking," Proceedings of the ACM Multimedia Conference and Co-Located Workshops, pp. 659-662, 2011
- [18] T. Shiratori, A. Nakazawa, and K. Ikeuchi, "Dancing-to-Music Character Animation", In Computer Graphics Forum, Blackwell Publishing, Inc, Vol. 25, No. 3, pp. 449-458, 2006.
- [19] D. Sauer, and Y. Yang, "Music-driven character animation, ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications" (TOMM), 5(4), 27.
- [20] I. Kapsouras, and N. Nikolaidis, "Action recognition on motion capture data using a dynemes and forward differences representation", Journal of Visual Communication and Image Representation, 25(6), 1432-1445, 2014.
- [21] D. Arthur, and S. Vassilvitskii, "k-means++: the advantages of careful seeding", Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms, pp. 1027–1035, PA, USA, 2007.
- [22] B. Desgraupes, "Clustering Indices", University of Paris Ouest Lab Modal'X , pp. 1 -34, 2013.
- [23] Rallis, I., Langis, A., Georgoulas, I., Voulodimos, A., Doulamis, N., & Doulamis, A. (2018, September). An Embodied Learning Game Using Kinect and Labanotation for Analysis and Visualization of Dance Kinesiology. In *2018 10th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games)* (pp. 1-8). IEEE.
- [24] K. Makantasis, A. Doulamis, N. Doulamis, and M. Ioannides, "In the wild image retrieval and clustering for 3D cultural heritage landmarks reconstruction," *Multimedia Tools and Applications*, , vol. 75, Issue 7, pp 3593–3629, April 2016.
- [25] X. Liu; G. F. He; S. J. Peng; Y. m. Cheung; Y. Y. Tang, "Efficient Human Motion Retrieval via Temporal Adjacent Bag of Words and Discriminative Neighborhood Preserving Dictionary Learning," in *IEEE Transactions on Human-Machine Systems* , vol. PP, no.99, pp.1-14
- [26] J. Pforsich, *Handbook for Laban Movement Analysis*. 1997.
- [27] N. Doulamis, A. Doulamis, C. Ioannidis, M. Klein, and M. Ioannides, "Modelling of Static and Moving Objects: Digitizing Tangible and Intangible Cultural Heritage," In *Mixed Reality and Gamification for Cultural Heritage*, pp. 567-589, Springer, Cham, 2017.
- [28] I. Rallis, I. Georgoulas, N. Doulamis, A. Voulodimos, P. Terzopoulos, "Extraction of key postures from 3D human motion data for choreography summarization," 9th IEEE International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications, VS-Games 2017 -art. no. 8056576, pp. 94-101, 2017.
- [29] I. Rallis, N. Doulamis, A. Doulamis, A. Voulodimos, and V. Vescoukis, "Spatio-temporal Summarization of Dance Choreographies," *Computers & Graphics*, vol. 73, pp. 88-101, June 2018.
- [30] K. Dimitropoulos, S. Manitsaris, F. Tsalakanidou, S. Nikolopoulos, et. al, "Capturing the intangible an introduction to the i-Treasures project," *Inter. Cof. on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP)*, Vol. 2, pp. 773-781, 2014.
- [31] J.J. Davis, J. Doebbler, J.L. Junkins, M. Vavrinx, J. Vian, "Characterizing and Calibrating the novel PhaseSpace camera system," *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference* 2011.
- [32] M. Windolf, N. Götzen, M. Morlock, "Systematic accuracy and precision analysis of video motion capturing systems-exemplified on the Vicon-460 system," *Journal of Biomechanics*, 41(12), pp. 2776-2780, 2008.
- [33] Z. Zhang, "Microsoft kinect sensor and its effect," *IEEE Multimedia*, Vol. 19, pp. 4-10, 2012.
- [34] M. Ioannides, A. Hadjiprocopi, N. Doulamis, A. Doulamis, E. Protopapadakis, et. al. "Online 4D reconstruction using multi-images," *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Saptial Information Sciences*, II-5 W, 1, 169-174, 2013.

- [35] J. Wang, Z. Miao, H. Guo, Z. Zhou, H. Wu, "Using automatic generation of Labanotation to protect folk dance," *Journal of Electronic Imaging*, 26(1), pp. 011-028, 2017.
- [36] K. Kojima, K. Hachimura, M. Nakamura, LabanEditor, "Graphical editor for dance notation," 11th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp. 59-64. 2002.
- [37] G. Misi, Labanatory. <http://labanatory.com/eng/software.html> Accessed, 10. 2005.
- [38] W. Choensawat, M. Nakamura, K. Hachimura, "GenLaban: A tool for generating Labanotation from 'motion capture data'", *Multimedia Tools and Applications*, 74(23), pp. 10823-10846, 2015.
- [39] W. Choensawat, M. Nakamura, K. Hachimura, J.-P. Laumond, N. Abe, "Applications for Recording and Generating Human Body Motion with Labanotation," Springer International Publishing, Cham, pp. 391-416. 2016.
- [40] M. Nakamura, K. Hachimura, "An XML representation of Labanotation, Labanxml, and its implementation on the notation editor Labaneditor2," *Review of the National Center for Digitization*, 9, pp. 47-51, 2006.
- [41] K. Hachimura, M. Nakamura, "Method of generating coded description of human body motion from motion-captured data," 10th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, ROMAN, pp. 122-127, 2001.
- [42] H. Chen, G. Qian, J. James, "An Autonomous Dance Scoring System Using Marker-based Motion Capture", *IEEE 7th Workshop on Multimedia Signal Processing*, pp. 1-4, 2005.
- [43] H. Guo, Z. Miao, F. Zhu, G. Zhang, S. Li, "Automatic Labanotation Generation Based on Human Motion Capture Data," Shutao Li; Chenglin Liu & Yaonan Wang, Eds., *Pattern Recognition*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 426-435, 2014.
- [44] J. Wang, Z. Miao, H. Guo, Z. Zhou, H. Wu, "Using automatic generation of Labanotation to protect folk dance", *Journal of Electronic Imaging* 26, 26 - 26 - 18. 2017.
- [45] Z. Zhou, Z. Miao, J. Wang, J. "A system for automatic generation of labanotation from motion capture data," *IEEE 13th International Conference on Signal Processing (ICSP)*, pp. 1031-1034, 2016.
- [46] A. Grammatikopoulou, S. Laraba, O. Sahbenderoglu, K. Dimitropoulos, N. Grammalidis, "An adaptive framework for the creation of bodymotion-based games," 9th IEEE International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications, (VS-Games), pp. 209-216, Athens, Greece, Sept., 2017.
- [47] D. Charsky, "From Edutainment to Serious Games: A Change in the Use of Game Characteristics," *Games and Culture*, 5(2), 177-198, 2010.
- [48] M. Graafland, J.M. Schraagen, M.P. Schijven, "Systematic review of serious games for medical education and surgical skills training," *British Journal of Surgery*, 99(10), 1322-1330. 2012.
- [49] A. Ballas, T. Santad, K. Sookhanaphibarn, W. Choensawat, "Game-based system for learning labanotation using Microsoft Kinect," *IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics, GCCE*, pp. 1-3, 2017.
- [50] M. Pirovano, R. Mainetti, G. Baud-Bovy, P. L. Lanzi, N.A. Borghese, "Self-adaptive games for rehabilitation at home," *IEEE Conference on Computational Intelligence and Games, CIG*, pp. 179-186. 2012.
- [51] P. Burelli, G. Triantafyllidis, I. Patras, "Non-invasive player experience estimation from body motion and game context," 2014 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games, pp. 1-7, 2014.
- [52] A. Laggis, N. Doulamis, E. Protopapadakis, A. Georgopoulos, "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, 2017.

- [53] E. Protopapadakis, A. Doulamis, C. Ioannidis, S. Soile, S. Camarinopoulos, N. Doulamis, "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. 2017.
- [54] E. Protopapadakis, A. Voulodimos, A. Doulamis, S. Camarinopoulos, N. Doulamis, G. Miaoulis, "Dance Pose Identification from Motion Capture Data: A Comparison of Classifiers," Technologies 6(1), 31, 2018.
- [55] C. Griesbeck, "Introduction to Labanotation": <http://user.unifrankfurt.de/~griesbec/LABANE.HTML>. 1996.
- [56] Kadu, H., & Kuo, C. C. J. "Automatic human mocap data classification, " IEEE Transactions on Multimedia, 16(8), 2191-2202, 2014.
- [57] Agarwal, A. "Machine learning for image based motion capture" (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG), 2006.
- [58] Cho, K., Chen, X. "Classifying and visualizing motion capture sequences using deep neural networks." In Computer Vision Theory and Applications (VISAPP), IEEE Vol. 2, pp. 122-130, 2014.