
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα:

**ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ
ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΗΣ
ΕΝΔΥΣΗΣ**



Επιμέλεια : ΛΥΜΑΚΗ ΜΑΡΙΝΑ

ΑΜ – 9811119

Επιβλέπων Καθηγητής : ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΠΙΛΑΛΗΣ

ΧΑΝΙΑ 2004



Στους γονείς μου,
Γιώργο και Δήμητρα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω, τον επιβλέπον καθηγητή μου, και καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Σχεδίασης και παραγωγής με Υπολογιστές – CAD, CAM, κύριο Νικόλαο Μπιλάλη

για την άρτια καθοδήγηση και βοήθεια πάνω στην πλήρη κατανόηση του αντικειμένου της εργασίας.

Καθώς επίσης και τον κύριο Γεώργιο Καρτσούνη, Λέκτορα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, και συνεργάτη του εργαστηρίου του Πολυτεχνείου Κρήτης CAD – CAD LAB, για το χρόνο που αφιέρωσε παρέχοντας πρόσθετες πληροφορίες και επεξηγήσεις επί του θέματος.

Η συμβολή των παραπάνω ήταν καταλυτική για την Ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΩΝ.....	13
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	15
1.2 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΕΙΚΟΝΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ	16
1.2.1 Μελέτες πάνω στην εφαρμογή ανθρωπομετρικών δεδομένων για την αναπαράσταση εικονικών ανθρώπων – Virtual humans.	17
1.2.2 Τρισδιάστατοι σαρωτές σωμάτων – 3D Body scanners	19
1.3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	20
1.4 ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ – ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΥΣ ΜΟΡΦΗΣ	24
2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	26
2.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΑΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ – 3D SCANNED DATA & PREPROCESSING.....	30
2.2.1 Δεδομένα τρισδιάστατης σάρωσης.....	30
2.2.2 Μοντέλο Αναφοράς (Reference – model)	30
I. Σκελετός.....	30
II. Πρότυπο πολυγωνικό πλέγμα	31
III. Χαρακτηριστικά σημεία και χαρακτηριστικές ισοΰψεις καμπύλες (Feature Points and Feature contours).....	31
2.2.3 Προ επεξεργασία.....	32
I. Παραμόρφωση λόγω σκελετού (Skeleton - Driven Deformation).....	33

II. Αποστάσεις Αντιστοίχισης και Σχηματισμός Σκελετού (Skeleton configuration and Displacement map)	34
2.2.3.1 Προσαρμογή Σκελετού (Skeleton fitting).....	34
2.2.3.2 Τελειοποίηση του δέρματος (Fine skin refinement).....	37
I. Αντιστοίχιση σημείων (Mapping)	38
II. Χαλάρωση (Relaxation).....	39
III. Αναπροσαρμογή του Σκελετού (Skeleton refitting)	40
IV. Υποδιαίρεση υψηλής ανάλυσης (Multi – Resolution subdivision)	40
2.3 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	41
2.3.1 Ανάλυση Βασικών Συνιστωσών (Principal Component Analysis, PCA)	42
2.4 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ – ΜΟΡΦΗΣ.....	43
2.5 ΣΥΝΘΕΤΗΤΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	44
2.5.1 Παρεμβολή αρθρώσεων – Joint interpolation.....	48
2.5.1.1 Συνθετικής αρθρώσεων – Joint synthesizer	49
2.5.2 Παρεμβολή αποστάσεων - Displacement interpolation.....	49
2.5.2.1 Συνθετικές αποστάσεων – Displacement synthesizers	50
2.5.3 Κανονικοποίηση - Normalization	50
2.5.4 Συνθετικής πληθυσμού μοντέλων - Population synthesizer	51
2.5.5 Υπερβολικά μοντέλα – Exaggeration models.....	51
2.6 ΣΥΝΘΕΤΗΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ	52
2.6.1 Βαθμονόμηση του δείγματος – Sample calibration.....	52
2.6.2 Παραμετρική τροποποίηση μεμονωμένων μοντέλων.....	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΗΣ ΕΝΔΥΣΗΣ.....	57
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	59
3.2 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	61
3.2.1 Θεωρητικό υπόβαθρο και βοηθητικές τεχνολογίες	61
3.2.1.1 Ο Εξυπηρετητής – The Server	62
3.2.1.2 Ο Πελάτης – The Client.....	64
3.3 ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΟΣ	64
3.3.1 Χρήση των μετρήσεων διαστάσεων	64
3.3.2 Πρωτογενή μοντέλα.....	64

3.3.2.1	Ιεραρχία του σκελετού.....	65
3.3.2.2	Τμηματοποίηση και εξαγωγή.....	66
3.3.3	Προσέγγιση βάση παραδειγμάτων.....	66
3.3.3.1	Προετοιμασία μοντέλων δείγματος.....	67
3.3.3.2	Κατασκευή μοντέλων παρεμβολής και εξαγωγή.....	69
3.4	ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΝΔΥΜΑΤΩΝ.....	69
3.4.1.	Σχεδιασμός των ρούχων.....	69
3.4.2	Προ επεξεργασία του ενδύματος.....	70
3.4.2.1	Υπολογισμός δεδομένων σύνδεσης του υφάσματος.....	71
3.4.2.2	Τμηματοποίηση.....	72
3.4.2.3	Εξαγωγή.....	72
3.5	ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	73
3.6	ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΟΥ ΠΕΛΑΤΗ.....	73
3.6.1	Έλεγχος ActiveX.....	73
3.6.2	Javascript και σελίδες HTML.....	74
3.7	ΥΠΟ ΜΟΝΑΔΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΩΜΑΤΟΣ / ΕΝΔΥΜΑΤΟΣ.....	75
3.7.1	Διαστασιολόγηση σώματος.....	75
3.7.1.1	Στρέβλωση ισοϋψών καμπυλών.....	76
3.7.1.2	Παραμόρφωση πολυγωνικού πλέγματος.....	76
3.7.1.3	Τελειοποίηση.....	76
3.7.2	Διαστασιολόγηση ενδυμάτων.....	77
3.8	ΥΠΟ ΜΟΝΑΔΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΔΕΡΜΑΤΟΣ / ΕΝΔΥΜΑΤΟΣ.....	78
3.8.1	Παραμόρφωση δέρματος λόγο αρθρώσεως.....	78
3.8.2	Προσομοίωση ενδύματος.....	78
I	Στρώμα 1.....	79
II	Στρώμα 2.....	79
III	Στρώμα 3.....	79
3.9	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ.....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		82
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I.....		87
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II.....		96
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....		107

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιστήμη της Γεωμετρικής Μοντελοποίησης αναπτύσσει, τις τέσσερις τελευταίες δεκαετίες, μια μεγάλη ποικιλία μοντέλων επιφανειών με αρχικό και βασικό στόχο την υποστήριξη εφαρμογών «Σχεδίασης με Υπολογιστή (Computer-Aided Design / CAD)». Πρόσφατα, τα μοντέλα αυτά άρχισαν να χρησιμοποιούνται και σε άλλους τεχνολογικούς τομείς όπως η εικονική πραγματικότητα, ο ψηφιακός κινηματογράφος, τα ηλεκτρονικά παιχνίδια, η οπτικοποίηση δεδομένων και φυσικών φαινομένων, κ.α. Σε αρκετούς από αυτούς τους τομείς ένα βασικό πρόβλημα είναι η (γεωμετρική) μοντελοποίηση οργανικών μορφών όπως το ανθρώπινο σώμα. Η παρούσα εργασία αναφέρεται σε τεχνικές μοντελοποίησης – παραμετροποίησης μοντέλων σώματος πλήρους μορφής καθώς επίσης και στην ολοκλήρωση των τεχνικών αυτών σε εικονικά περιβάλλοντα και συγκεκριμένα όσο αναφορά τον τομέα της βιομηχανίας της ένδυσης.

Στο Κεφάλαιο 1, παρουσιάζεται συνοπτικά ο τρόπος με τον οποίο η αναπαράσταση εικονικών ανθρώπινων μοντέλων σωμάτων αλλά και του περιβάλλοντος έχει ενσωματωθεί στους τομείς επιστημονικής οπτικοποίησης και οικονομικών εφαρμογών αναπαράστασης τρισδιάστατων χαρακτήρων και περιβάλλοντος, στο Internet.

Εν συνεχεία στο Κεφάλαιο 2, επικεντρώνεται η προσοχή στο μαθηματικό υπόβαθρο της παραμετρικής μοντελοποίησης ρεαλιστικών και πλήρως ελεγχόμενων αναπαραστάσεων ανθρώπινων σωμάτων, βασισμένες σε πραγματικό δείγμα το οποίο συλλέγεται με δειγματοληψίες σωματομετρικών δεδομένων, με τη βοήθεια των οποίων οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν μια νέα αναπαράσταση ή να τροποποιήσουν μια ήδη υπάρχουσα, ελέγχοντας απλά κάποιες παραμέτρους διαστάσεων. Την προσέγγιση, η οποία πραγματοποιείται βάση συγκεκριμένου δείγματος, την συνθέτουν τρία βασικά στάδια.

- Επεξεργασία κάθε δείγματος μοντέλων που προκύπτει από τρισδιάστατη σάρωση, ώστε όλα τα δείγματα αναπαραστάσεων να βασίζονται στην ίδια τοπολογία.
- Το σύστημα το οποίο είναι ένας μηχανισμός σύνθεσης μοντέλων, μαθαίνει από το σύνολο του δείγματος, τις συσχετίσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών παραμέτρων του σώματος και της γεωμετρίας.
- Μετά από την διαδικασία μάθησης, ο μηχανισμός σύνθεσης (συνθετητής) προσανατολίζεται αποκλειστικά στην παραγωγή των κατάλληλων σχημάτων και αναλογιών της γεωμετρίας του σώματος με την εφαρμογή παρεμβολής.

Εν κατακλείδι, παρουσιάζεται η εφαρμογή του συστήματος τροποποίησης και σύνθεσης (modifier – synthesizer), πάνω σε πιο επιδέξιους χειρισμούς του δείγματος των μοντέλων,

χρησιμοποιώντας παραμέτρους υψηλού επιπέδου, όπως είναι το ποσοστό λίπους. Σε κάθε σύνθεση μοντέλου, η υποκείμενη δομή των οστών και της επιφάνειας του δέρματος, προσαρμόζεται καταλλήλως, έτσι ώστε να είναι δυνατή η απόδοση κίνησης (animatable) στο μοντέλο, σύμφωνα με την κίνηση των αρθρώσεων. Επιτρέποντας την αυτόματη μορφοποίηση από μια σειρά παραμέτρων, η προσέγγιση μπορεί να οδηγήσει στην αυτόματη δημιουργία διάφορων συνθέσεων πληθυσμών (population synthesizer).

Τέλος στο Κεφάλαιο 3, παρουσιάζεται μια εφαρμογή της ολοκλήρωσης της παραμετρικής μοντελοποίησης σωμάτων, σε ένα εικονικό κατάστημα ρούχων εντός διαδικτύου καταστήματος ρούχων (Online virtual clothing store). Πρόκειται για μια εφαρμογή δικτύου η οποία παρέχει την καλύτερη δυνατή πρόσβαση και διαχείριση στοιχείων σχετικών με τα ρούχα, με τον σχεδιασμό και την παραγωγή πατρόν και την διαστασιολόγηση ενδυμάτων, σύμφωνα με τα μοντέλα σωμάτων που είναι διαθέσιμα. Για την υλοποίηση αναπαραγωγής «εικονικών» ενδυμάτων σημαντικό παράγοντα αποτελεί η εφαρμογή τεχνολογίας τρισδιάστατων γραφικών η οποία βοηθά στην δημιουργία και προσομοίωση του εικονικού καταστήματος ρούχων. Για το λόγο αυτό αναφέρονται διάφορες έρευνες σχετικά με την προσομοίωση και δημιουργία σωμάτων / ενδυμάτων και διαστασιολόγησή τους σε απευθείας σύνδεση με το δίκτυο. Το υπό ανάλυση σύστημα, υποστηρίζει ένα σύνολο ικανών και αλληλεπιδραστικών λειτουργιών, όπως αυτόματη προσαρμογή των τρισδιάστατων ανθρωποειδών (mannequins), σύμφωνα με της μετρήσεις των διαστάσεων του πελάτη, πρόβα και αναπροσαρμογή διαστάσεων του ενδύματος (resizing) σε απευθείας σύνδεση, καθώς επίσης προσομοίωση κίνησης του ρούχου σε πραγματικό χρόνο (real – time animation).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

**ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΩΝ**

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η επιστήμη της Γεωμετρικής Μοντελοποίησης αναπτύσσει, τις τέσσερις τελευταίες δεκαετίες, μια μεγάλη ποικιλία μοντέλων επιφανειών με αρχικό και βασικό στόχο την υποστήριξη εφαρμογών «Σχεδίασης με Υπολογιστή (Computer-Aided Design / CAD)». Πρόσφατα, τα μοντέλα αυτά άρχισαν να χρησιμοποιούνται και σε άλλους τεχνολογικούς τομείς όπως η εικονική πραγματικότητα, ο ψηφιακός κινηματογράφος, τα ηλεκτρονικά παιχνίδια, την οπτικοποίηση δεδομένων και φυσικών φαινομένων, κ.α. Σε αρκετούς από αυτούς τους τομείς ένα βασικό πρόβλημα είναι η (γεωμετρική) μοντελοποίηση οργανικών μορφών όπως το ανθρώπινο σώμα

Η μοντελοποίηση στο χώρο των ηλεκτρονικών υπολογιστών και η προσομοίωση τρισδιάστατης κίνησης 3D animation του ανθρώπινου σώματος κατέχει σημαντική θέση στον τομέα επιστημονικής οπτικοποίησης και οικονομικών εφαρμογών αναπαράστασης τρισδιάστατων χαρακτήρων και περιβάλλοντος, στο Internet. Η χρησιμοποίηση τρισδιάστατων σαρωτών παρέχει ένα αξιόπιστο και ακριβές σύνολο δεδομένων, σχετικά με πραγματικές μορφές και διαστάσεις των ανθρώπινων σωμάτων. Με την ανάθεση της μοντελοποίησης σε συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, και την δημιουργία τρισδιάστατων αντικειμένων, απόδοση κίνησης σε χαρακτήρες βάση της μεθόδου ενδιάμεσων καρέ (key framing) ή καταγεγραμμένων κινήσεων τρισδιάστατων μοντέλων ανθρώπινων σωμάτων (3D captured motion), είναι δυνατή η εκτέλεση αξιόπιστης προσομοίωσης εικονικών μοντέλων. Η κατασκευή ενός εικονικού περιβάλλοντος με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και η ολοκλήρωσή του με εικονικούς ανθρώπους, είναι μέθοδος αρκετά ανεπτυγμένη. Αποτελεί μια διαδικασία εφαρμογής “εξεζητημένων” τεχνολογιών πληροφόρησης στα πλαίσια της φάσης σχεδιασμού και κατασκευής ενός περιβάλλοντος εργασίας ή κατοικίας. Η δυνατότητα εικονικής αναπαράστασης ανθρώπων σε πραγματικό χρόνο, μέσα σε επίσης εικονικά περιβάλλοντα, δίνει την ευκαιρία στα ηλεκτρονικά μέσα να πειραματίζονται αναπαράγοντας εικονικούς παρουσιαστές τηλεόρασης και ηθοποιούς μέσα σε ένα περιβάλλον επίσης προϊόν των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Επιπρόσθετα αρκετές εταιρίες οι οποίες επιδιώκουν συναλλαγές μέσω διαδικτύου (Internet), έχουν στη διάθεσή τους ένα πολύτιμο εργαλείο για την ανάπτυξη νέων μεθόδων αξιοποίησης των σχετικών ιστοσελίδων. Συνοψίζοντας λοιπόν οι βιομηχανικές και οικονομικές επιχειρήσεις με την ανάπτυξη της τεχνολογίας της εικονικής πραγματικότητας, έχουν στη διάθεσή τους μια καινοτομική μέθοδο για την διεκπεραίωση συναλλαγών σε παγκοσμία κλίμακα, την προώθηση προϊόντων και ανάπτυξη του εμπορίου, σε απευθείας σύνδεση με το δίκτυο.

1.2 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΕΙΚΟΝΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

Η εικονική αναπαράσταση του μοντέλου ενός πραγματικού ανθρώπου μπορεί να πραγματοποιηθεί με την εφαρμογή χειροκίνητων μεθόδων μοντελοποίησης όπου γίνεται χρήση συμβατικών ανθρωπομετρικών μετρήσεων, καθώς επίσης και με την εισαγωγή συμβατικών μοντέλων τρισδιάστατης σάρωσης πραγματικών ανθρώπων.

Η ανθρωπομετρία αποτελεί ένα γνωστικό πεδίο και μία εφαρμογή μέτρησης διαστάσεων, η οποία επαληθεύει την φυσική γεωμετρία, τις ιδιότητες της μάζας και τις ικανότητες αντοχής του ανθρώπινου σώματος. Ετυμολογικά προέρχεται από τις λέξεις “άνθρωπος” και “μετρικός” εννοώντας την μέτρηση μετροταινίας ή σχετικά με τέτοιου είδους μετρήσεις. Η μέτρηση των διαστάσεων ανθρώπινων σωμάτων βρίσκει σημαντικές εφαρμογές στην εγκληματολογία, σε ιατρικές εφαρμογές, στην ένδυση καθώς και σε εφαρμογές πολυμέσων. Ο τομέας ο οποίος αναπτύσσεται στην παρούσα εργασία σχετίζεται με εφαρμογές σχεδιασμού και αναπαράστασης σωμάτων, όπου η μέτρηση διαστάσεων καθ’ αυτή, είναι σημαντικός παράγοντας.

Οι ανθρωπομετρικές μέθοδοι βρίσκονται ανάμεσα στα βασικά εργαλεία εφαρμογών ανάλυσης και ανάπτυξης των απαιτήσεων μηχανολογικού σχεδιασμού, ανθρώπινων παραμέτρων και επαγγελματικής εργονομίας. Διάφορες μελέτες περιλαμβάνουν μεγάλο εύρος μεγεθών όπως διαστάσεις, κινητικότητα, αντοχή, και άλλες παραμέτρους οι οποίες καθορίζουν την φυσιολογία του ανθρώπινου σώματος. Η ικανότητα της ανθρώπινης αντίληψης και απόδοσης σχετίζεται εν μέρει με τα σωματικά χαρακτηριστικά, έτσι το ανθρωπομετρικό ενδιαφέρον απευθύνεται σε σκοπιές των ανθρώπινων παραμέτρων σχετικές με τη φυσιολογία και την ψυχολογική άνεση και αντίληψη.

Η εμφάνιση νέων τεχνικών μοντελοποίησης με τη χρήση υπολογιστών, συμβαδίζει με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών μέτρησης διαστάσεων (Measurement technologies). Μερικές από αυτές κάνουν χρήση ακτινών laser, βιντεοσκόπηση, δομημένες δέσμες φωτός, σημειακές ακτίνες φωτός, αναπαράσταση μαγνητικού συντονισμού (Magnetic resonance imaging, MRI), σάρωση με τομογράφους (Computer – aided tomography, CAT), μεθόδους με ακτίνες X (X – ray methods), αναπαράσταση με υπέρηχους, ψηφιοποίηση βάση ηχητικών συχνοτήτων και κίνησης.

Στην πλειοψηφία τους οι παραπάνω μέθοδοι χρησιμοποιούν υπολογιστές συνδεδεμένους με αισθητήρες παράγοντας ψηφιακά δεδομένα, σημεία και εικονοστοιχεία (pixels), στον τρισδιάστατο χώρο. Τα δεδομένα εξόδου διαφέρουν από αυτά της μονοδιάστατης ή δισδιάστατης απεικόνισης. Οι δυνατότητες των μεθόδων μέτρησης διαστάσεων, αποτελούν μια

νέα προσέγγιση στο πρόβλημα συγκέντρωσης δεδομένων, στην συμπίεσή τους και στην ανάπτυξη ενός ικανού λογισμικού διαχείρισης του «νέφους σημείων».

1.2.1 Μελέτες πάνω στην εφαρμογή ανθρωπομετρικών δεδομένων για την αναπαράσταση εικονικών ανθρώπων – *Virtual humans*.

Με την εισαγωγή της ανθρωπομετρίας στον τομέα των γραφικών, πολλοί μελετητές ασχολήθηκαν με την διερεύνηση των εφαρμογών ανθρωπομετρικών δεδομένων με στόχο την αναπαράσταση εικονικών ανθρώπων. Οι μελέτες των *Azula et al* και *Grosso et al*, παρουσιάζουν συστήματα με τα οποία δημιουργούνται ανθρωποειδή διαφόρων διαστάσεων, βάση ανθρωπομετρικών δεδομένων. Το σύστημα της μεθόδου που παρουσιάζεται, αναπαράγει αυτόματα τις διαστάσεις για κάθε τμήμα μιας αρχικής ανθρώπινης φιγούρας, βάση πλήθους δεδομένων τα οποία αποτελούν την είσοδο του συστήματος. Σε μια εναλλακτική περίπτωση μια δεδομένη διάσταση ενός ατόμου μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα, για την δημιουργία ενός εικονικού μοντέλου ανθρώπινου σώματος. Για κάθε τμήμα ή δομή ενός σώματος με γεωμετρική αναπαράσταση, σύμφωνα με την μέθοδο, τρεις μετρήσεις ληφθήκανε υπ' όψιν, αυτές του μήκους τμήματος του πλάτους και του βάθους ή πάχους. Η επιθυμητή διάσταση εφαρμόζεται αρχικά μέσω ανελαστικής μεγέθυνσης κάθε συστατικού του σώματος, παρόλο που στην πορεία τα συστατικά αυτά εκφράζουν την επέκταση του συστήματος το οποίο διαθέτει μερικώς παραμορφούμενα μοντέλα. Στόχος των τεχνικών μοντελοποίησης είναι η δημιουργία μοντέλων σωμάτων τα οποία δεν θα έχουν ραφές και θα μπορούν να παραμορφωθούν.

Ακόμα πιο πρόσφατα στη μελέτη *DeCarlo et al*, αποδείχτηκε ότι το πρόβλημα αναπαραγωγής γεωμετρίας προσώπου μπορεί να αναχθεί απλά στην αναπαραγωγή συνόλων ανθρωπομετρικών μετρήσεων υιοθετώντας μοντελοποίηση με τη χρήση τεχνικών διαφοροποίησης. Βασική ιδέα της προσέγγισης αυτής είναι η αναπαραγωγή μιας μορφής η οποία διαθέτει κοινά στοιχεία, στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό, με τις βασικές ιδιότητες ενός πρότυπου προσώπου ενώ ταυτόχρονα ακολουθεί τις δοθείσες ανθρωπομετρικές μετρήσεις. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται σαν ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης υπό περιορισμούς, οι ανθρωπομετρικές μετρήσεις είναι το σύνολο των περιορισμών, και το υπόλοιπο πρόσωπο ορίζεται με την βελτιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης της επιφάνειας. Με την διαδικασία αυτή παράγεται ποικιλία προσώπων αυτόματα, συνθέτοντας ένα συγκεκριμένο πληθυσμό. Η προσέγγιση αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, ωστόσο σημειώνεται ότι η παραγωγή των προσώπων γίνεται με σχετικά αργούς ρυθμούς (ένα λεπτό για κάθε πρόσωπο), εξαιτίας της μοντελοποίησης διαφοροποίησης. Επιπρόσθετα η μορφή είναι μια «παθητική οντότητα», εφόσον

η πρότυπη μορφή μετασχηματίζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιεί τους περιορισμούς μετρήσεων, ενώ παράλληλα η ομαλότητα – ωραιότητα του σχήματος μεγιστοποιείται. Για το λόγο αυτό κάθε επιθυμητό χαρακτηριστικό του προσώπου καθορίζεται επακριβώς σαν μια σταθερά έτσι ώστε να προκύπτει μια ρεαλιστική μορφή του τελικού μοντέλου το οποίο να ανταποκρίνεται σε πρόσωπα πραγματικών ανθρώπων, όπως για παράδειγμα τα κατωπήγωνα και οι καμπουρωτές μύτες.

Μια πολύ καλή προσέγγιση για την κατασκευή ανθρωπομετρικών μοντέλων σωμάτων είναι βάση δείγματος μοντέλων, όπου οι διαστάσεις πραγματικών ανθρώπων που καταγράφονται, χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της μορφής του σώματος, σε σχέση με τις δοθείσες μετρήσεις. Έως σήμερα, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τέτοιου είδους τεχνικές, που αναφέρονται συγκεκριμένα στη μοντελοποίηση προσώπων, και βασίζονται στη χρήση ενός μορφοποιήσιμου μοντέλου για τη διαχείριση ήδη υπαρχόντων μοντέλων αλλάζοντας απλά κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του προσώπου. Τα νέα πρόσωπα μοντελοποιούνται με την κατασκευή γραμμικών συνδυασμών των πρότυπων μοντέλων από δείγμα (σύμφωνα με μελέτες 200 προσώπων σάρωσης). Η χειροκίνητη ανάθεση των χαρακτηριστικών χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των διανυσμάτων μορφής και υφής, τα οποία προστιθέμενα ή αποσπώμενα από ένα πρόσωπο, επηρεάζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.

Πλήθος τεχνικών μοντελοποίησης που συναντώνται στη βιβλιογραφία χρησιμοποιούν ακτινικές συναρτήσεις, *Radial Basis Functions – RBF*, για την αναπαράσταση και μοντελοποίηση αντικειμένων της ίδιας κλάσης με τη βοήθεια συναρτήσεων καμπυλών. Στην μελέτη *Lewis et al*, παρουσιάζεται η παραμόρφωση του δέρματος ενός αρθρωτού χαρακτήρα, σαν μια συνάρτηση τοποθέτησης (Function of pose). Γίνεται η προσπάθεια να παρακαμφθεί το πρόβλημα της γεωμετρικής παραμόρφωσης του δέρματος, χρησιμοποιώντας μια «γλυπτή» επιφάνεια δέρματος σε διάφορες όψεις, ενώ κατά την διάρκεια της απόδοσης κίνησης γίνεται μείξη των επιφανειών αυτών. Κάθε μοντέλο του δείγματος σχολιάζεται βάση των χαρακτηριστικών του και τοποθετείται στο «χώρο» των χαρακτηριστικών και μορφών του δείγματος. Για κάθε σημείου του χώρου των χαρακτηριστικών, απορρέει και μια μορφή (σχήμα) μέσω παρεμβολής RBF όλων των παραδειγμάτων του δείγματος. Σε μια άλλη πρόσφατη προσέγγιση, *Kry et al*, γίνεται εισήγηση μιας προέκτασης της τεχνικής αυτής, όπου χρησιμοποιείται πλέον η μέθοδος Ανάλυσης Βασικών Συνιστωσών (Principal Component Analysis – PCA), και με την οποία επιτρέπεται η βέλτιστη ελαχιστοποίηση των δεδομένων με αποτέλεσμα η διαδικασία της παραμόρφωσης να είναι πλέον ταχύτερη. Στην προσέγγιση *Sloan*

et al, προκύπτουν παρόμοια αποτελέσματα κατά την εφαρμογή RBF παρεμβολής, για την μείξη μοντέλων προσώπου και άνω άκρων με σκοπό την παραγωγή νέων.

Σχετικά ερευνητικά αποτελέσματα έχουν αναφερθεί πρόσφατα από ομάδες του Πανεπιστημίου της Γενεύης, (Εργαστήριο *Miralab*, www.miralab.ch), το Πανεπιστήμιο της Ουάσιγκτον, και το Πανεπιστημιακό Κολλέγιο του Λονδίνου.

Τα αποτελέσματα των 2 πρώτων ομάδων έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά, προσπαθούν και οι δύο να παραμετροποιήσουν τον «χώρο» των μορφών των ανθρώπινων σωμάτων λύνοντας αρχικά το πρόβλημα της αντιστοίχισης (correspondence) των τρισδιάστατων σωμάτων με ένα σώμα αναφοράς για να χρησιμοποιήσουν μετά τις παραμέτρους αντιστοίχισης – διαφοροποίησης από το πρότυπο σώμα σαν στατιστικές μεταβλητές που περιγράφουν την διασπορά (variance) των μορφών που παρατηρούνται σε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα σκαναρισμένων σωμάτων.

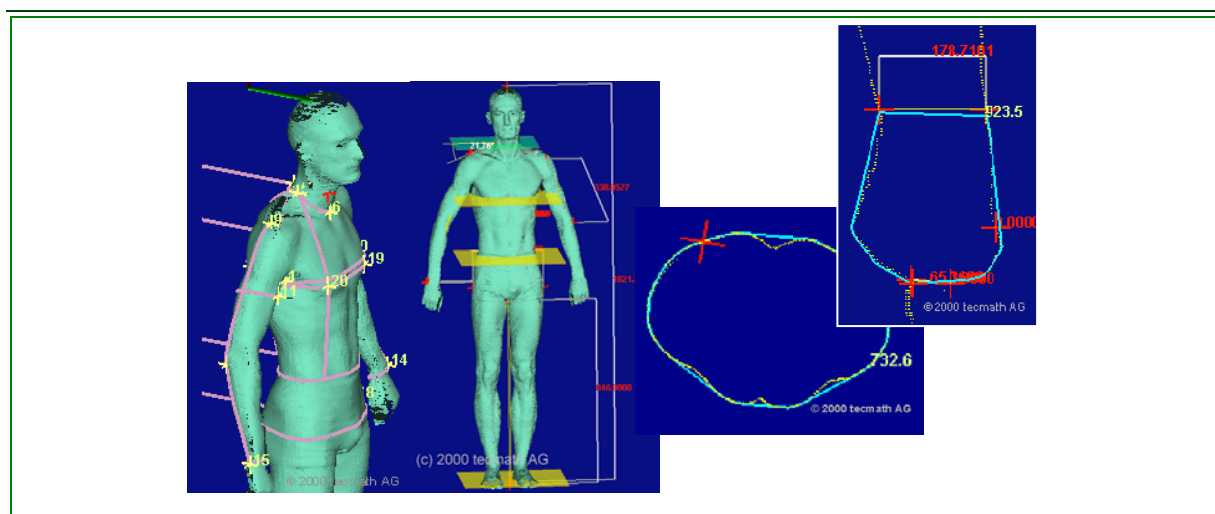
1.2.2 Τρισδιάστατοι σαρωτές σωμάτων – 3D Body scanners

Με την εμφάνιση των τρισδιάστατων σαρωτών πλήρους σώματος (3D whole body scanners) που βασίζονται σε τεχνικές τριγωνοποίησης για την εύρεση του βάθους (διάσταση *z*) με χρήση γραμμών σάρωσης λευκού φωτός ή laser, έγινε δυνατό να είναι διαθέσιμη πληροφορία σε μορφή νέφους σημείων για όλη την εξωτερική επιφάνεια του ανθρώπινου σώματος με μεγάλη διακριτική ικανότητα (mm) και σε χρόνο λίγων sec.

Οι ψηφιακοί τρισδιάστατοι σαρωτές αποτελούνται από μια ή και περισσότερες υπομονάδες μέτρησης υψηλής ανάλυσης, συσκευές μετακίνησης για την μεταφορά του μηχανισμού, και συχνά επεξηγήσεις λογισμικού για τον καθορισμό των τρισδιάστατων χαρακτηριστικών των αντικειμένων προς μέτρηση. Τα μοντέλα σωμάτων που προκύπτουν από τρισδιάστατους σαρωτές είναι ιδανικά για συστήματα τρισδιάστατης απόδοσης κίνησης (3D computer animators), εργονομική ανάλυση, ανθρωπολογία, σχεδίαση και άλλους τομείς στους οποίους απαιτείται μια ακριβής και αξιόπιστη τρισδιάστατη αναπαράσταση του σώματος.

Η σάρωση γίνεται στις τρεις διαστάσεις και καταγράφονται περισσότερα από 200,000 σημεία μέτρησης τα οποία ορίζονται με συγκεκριμένες συντεταγμένες. Όπως ένα πραγματικό σώμα αποτελεί έναν καταμερισμό μεταβλητών διαφοροποίησης μορφής και διαστάσεων, η πυκνότητα των προαναφερθέντων μετρήσεων είναι επαρκής για τον υπολογισμό και την παρουσίαση επί της οθόνης ενός ικανοποιητικού εικονικού μοντέλου σώματος.

Τα δεδομένα που προκύπτουν από σαρωτές και το λογισμικό που τους συνοδεύει είναι σε μορφή ανοργάνωτου νέφους σημείων στο τρισδιάστατο χώρο καθώς και μετρήσεις μέχρι και 100 αποστάσεων και περιμέτρων σε διάφορα τμήματα του σώματος όπως φαίνεται στην εικόνα 1 (ορισμένες με τρόπο που να προσεγγίζουν μετρήσεις που παίρνονται με μετροταινία από ράφτες). Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την διερεύνηση των υπολογισμών, καθιστούν ικανή την κατασκευή ενός επιφανειακού μοντέλου από τα σημεία του νέφους ή την κατασκευή ενός χαρακτηριστικού κελύφους το οποίο εσωκλείει τις συντεταγμένες των διάσπαρτων σημείων.



Εικόνα 1:

Αριστερά – Νέφος σημείων (με οργάνωση και οπτικοποίηση) που αποκτάται από σαρωτή ανθρώπινου σώματος. Διακρίνονται τα χαρακτηριστικά σημεία με βάση τα οποία ορίζονται οι μετρήσεις των αποστάσεων.

Δεξιά – Οριζόντιες και κάθετες τομές στο νέφος και προκύπτουσες καμπύλες.

[Από scanner της εταιρείας Human Solutions GmbH]

1.3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η μοντελοποίηση ενός εικονικού περιβάλλοντος γίνεται βάση πραγματικών διαστάσεων, και αναπαριστά κατά κύριο λόγο το εργασιακό ή το οικιακό περιβάλλον. Οι επιφανειακές ιδιότητες των υλικών παρουσιάζονται με ιδιαίτερες αποχρώσεις και χαρακτηριστικά υφής των επιφανειακών στρώσεων. Αποτέλεσμα αυτής της ικανότητας διαφοροποίησης των αντικειμένων είναι η αξιόπιστη προσομοίωση και αλληλεπίδραση μεταξύ των εικονικών χαρακτήρων και των αντικειμένων εξοπλισμού εντός του εικονικού περιβάλλοντος εργασίας ή κατοικίας. Τα

περιβάλλοντα αυτά βρίσκουν σημαντικές εφαρμογές στους τομείς της βιομηχανίας της εργονομίας και συγκεκριμένων εικονικών οπτικοποιήσεων ανθρωπομετρίας.

Με τη χρήση καλλιτεχνικά ελεύθερων και φανταστικών στοιχείων στην εικονική αναπαράσταση περιβάλλοντος, είναι δυνατή η δημιουργία ενός ουτοπικού κόσμου. Η αλληλεπίδραση δισδιάστατων φωτογραφιών του φυσικού περιβάλλοντος και ενός εικονικού τοπίου σε συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, αποφέρει ενδιαφέροντα συμπεράσματα όσο αναφορά την σύνθεση εικονικών ανθρώπων σε έναν εικονικό κόσμο.

1.4 ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

Η απόδοση κίνησης (Animation) σε ένα ψηφιακό τρισδιάστατο χαρακτήρα, σε εικονικά περιβάλλοντα αποτελεί μια εξαιρετικά δύσκολη και περίπλοκη διαδικασία και θα πρέπει να πληρούνται οι εξής προϋποθέσεις:

1. Η σχεδίαση και ανάπτυξη ενός κινούμενου μοντέλου σκελετού, με επαρκή βάση δεδομένων των κινήσεων.
2. Σχεδίαση και μοντελοποίηση τρισδιάστατου μοντέλου σώματος το οποίο θα κινείται σύμφωνα με τον σκελετό.
3. Απόδοση κίνησης μέσω υπολογιστή για την αλληλεπίδραση του μοντέλου με το περιβάλλον.

Η κίνηση τρισδιάστατων μοντέλων, βασίζεται στην κατανόηση της κινηματικής μηχανικής του σώματος, τόσο σε κατάσταση ηρεμίας αλλά και δράσης, πράγμα που συνεπάγεται μετρήσεις ταχυτήτων, δυνάμεων, χρονικών διαστημάτων επιταχύνσεων κλπ. Το πρόβλημα της μηχανικής της κίνησης οργανικών συστημάτων είναι ιδιαίτερα περίπλοκο. Η πολυπλοκότητα διακρίνεται στην ταξινόμηση των δειγμάτων οργανικής μηχανικής καθώς επίσης και στην ανάλυση και σύνθεση της κίνησης αυτών, όταν η μεταφορά και ο έλεγχος του υπό εξέταση συστήματος θα πρέπει να καθοριστούν ταυτόχρονα.

Μια συμβατική προσέγγιση κίνησης τρισδιάστατων χαρακτήρων είναι με την χρήση ενδιάμεσων καρτέ – Key framing. Η προσέγγιση αυτή αποφέρει υψηλής ποιότητας αποτελέσματα αλλά οι διαδικασία αποπεράτωσής της είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και κατά συνέπεια η αναπαραγωγή κινούμενων μοντέλων με τη μέθοδο αυτή έχει υψηλό κόστος. Μια μεταγενέστερη προσέγγιση εφαρμόζει την επονομαζόμενη «καταγραφής κίνησης» (*Motion Capture, MOCAP*). Τα συστήματα αυτά ανιχνεύουν την πλήρη μακρο-κινηματική του σώματος. Παράλληλα ψηφιοποιούν τις καταγεγραμμένες κινήσεις αληθινών ανθρώπων, και τις αντιστοιχούν σε κινήσεις εικονικών χαρακτήρων.

Τα συστήματα «καταγραφής εικόνων δράσης», θα πρέπει να είναι σε συμφωνία με δύο κατά κανόνα διαφορετικές προσεγγίσεις επεξεργασίας δεδομένων. Θα πρέπει να μπορούν να ανιχνεύουν τις κινήσεις αληθινών χαρακτήρων, να αναπαράγουν διάφορες αντανakλάσεις και εικονικά μοντέλα και ταυτόχρονα να μεταφράζουν τις φυσικές κινήσεις που έχουν καταγραφεί σε κινήσεις εικονικών ανθρώπων σε εικονικά περιβάλλοντα. Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται γενικότερα από την ικανότητά τους να αποθηκεύουν τα δεδομένα για τις ανάγκες μελλοντικών αναλύσεων και επεξεργασιών, ενώ σε πιο εξειδικευμένα μοντέλα των συστημάτων αυτών, τα οποία λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο, είναι δυνατός ο μετασχηματισμός των δεδομένων κίνησης πραγματικών ατόμων τα οποία καταγράφονται σε πραγματικό χρόνο, σε δεδομένα τρισδιάστατων χαρακτήρων.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ – ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΥΣ ΜΟΡΦΗΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το πρόβλημα της αναπαράστασης (μοντελοποίησης) ανθρώπινων σωμάτων αποτελεί πρωταρχικό θέμα μελέτης στον τομέα γραφικών Η/Υ. Μέχρι σήμερα είναι διαθέσιμες διάφορες μεθοδολογίες οι οποίες κατατάσσονται είτε στον κλάδο προσέγγισης ανασύνθεσης είτε σε αυτόν της δημιουργικής προσέγγισης. Μεθοδολογίες αναπαράστασης με βάση στοιχεία ανατομίας, συμπίπτουν με προγενέστερες προσεγγίσεις. Σύμφωνα με τις προσεγγίσεις αυτές παρατηρείται ότι κάθε αναπαράσταση θα πρέπει να μιμείται πραγματικά τμήματα του σώματος, και η μοντελοποίηση τους γίνεται σε πολλαπλά επίπεδα αναπαράστασης, με προσομοίωση μεμονωμένων μυών, οστών και ιστών. Ενώ υπάρχει δυνατότητα αλληλεπιδραστικής σχεδίασης, απαιτείται παράλληλα η αξιοσημείωτη παρέμβαση του χρήστη, και για το λόγο αυτό οι μεθοδολογίες αυτές είναι χαμηλής παραγωγικότητας και στερούνται σε ευχέρεια ελέγχου λειτουργιών.

Τελευταία πολλές μελέτες προσανατολίστηκαν στην προσέγγιση ανασύνθεσης με στόχο την αυτόματη κατασκευή της τρισδιάστατης γεωμετρίας του ανθρώπου, καταγράφοντας ήδη υπάρχουσες μορφές. Ανασταλτικός παράγοντας των τεχνικών αυτών είναι το γεγονός ότι ο χρήστης δεν έχει την επιθυμητή ευχέρεια ελέγχου, για παράδειγμα είναι πολύ δύσκολη η απόδοση διαφορετικών μορφών αυτομάτως με τη διαμόρφωση τελικών μοντέλων (μοντέλων εξόδου – output models), σύμφωνα πάντα με τις εκάστοτε απαιτήσεις του χρήστη.

Τεχνικές βάση δείγματος μοντέλων σωμάτων (example models) αποτελούν μια καλή εναλλακτική λύση για την αντιμετώπιση τέτοιου είδους περιορισμών, εφόσον παρέχουν στο χρήστη τη δυνατότητα ελέγχου υψηλού βαθμού πάνω στο μοντέλο – στόχο (target model) διατηρώντας παράλληλα την ποιότητα του εκάστοτε δείγματος μοντέλων. Συγκεκριμένα, οι μέθοδοι με τις οποίες αποκομίζονται χρήσιμα στατιστικά στοιχεία από τη συλλογή δείγματος (δειγματοληψία) μοντέλων, έχουν προοπτικές για το λόγο του ότι καθοδηγούν την εκτίμηση (estimation) αβέβαιης πληροφορίας προσθέτοντας κατ' αυτό τον τρόπο ευρωστία στον μηχανισμό μοντελοποίησης. Κατά κοινή ομολογία η μοντελοποίηση του ανθρώπου είναι ένας τομέας στον οποίο η θεωρία της στατιστικής ανάλυσης αποδεικνύεται ιδιαίτερα χρήσιμη.

Στα συστήματα ανθρωπομετρικής μοντελοποίησης παρατηρείται η έντονη χρήση πληροφοριών στατιστικής, που συλλέγονται σε πρώτη φάση με δειγματοληψίες σωματομετρικών δεδομένων από επιλεγμένες κατηγορίες του πληθυσμού μιας χώρας (sizing surveys). Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας τρισδιάστατης σάρωσης (3D Scanners), η χρήση τέτοιου είδους δεδομένων είναι συνήθης στα πλαίσια της σύγχρονης ανθρωπομετρίας, αντικαθιστώντας την συμβατική μετροταινία (tape measure). Με βάση τις παραπάνω συνθήκες

λοιπόν, έχει προταθεί ένας εναλλακτικός τρόπος ανθρωπομετρικής μοντελοποίησης. Σε αντίθεση με παλαιότερους μηχανισμούς μοντελοποίησης, τα δεδομένα τρισδιάστατης σάρωσης χρησιμοποιούνται άμεσα, αντί μιας στατιστικά επεξεργασμένης μορφής ανθρωπομετρικών δεδομένων. Αναντίρρητα η ληφθείσα σωματική γεωμετρία από δείγματα πραγματικών ανθρώπων διαθέτει τους καλύτερους δυνατούς πόρους για την άρτια μοντελοποίηση και εκτίμηση των συσχετίσεων μεταξύ των μετρήσεων διάστασης και μορφής των σωμάτων.

Στην παρακάτω ανάλυση, παρουσιάζεται ο τρόπος με το οποίο οι τεχνικές δειγματοληψίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη ρύθμιση της ρεαλιστικότητας της μορφής ανθρώπινων σωμάτων κατά την διάρκεια κατασκευής ενός μοντέλου σώματος, το οποίο θα ικανοποιεί παράλληλα έναν αριθμό μετρήσεων διαστάσεων (measurements) διαφόρων τμημάτων του σώματος. Σε αντίθεση με προηγούμενες προσεγγίσεις, η παραμικρή συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων και της μορφής του σώματος, εξάγεται από ένα σύνολο γεωμετρικών μετρήσεων οι οποίες προκύπτουν από σαρωτές βάθους (range scanners). Η διαδικασία αναπαραγωγής ρεαλιστικών και ελεγχόμενων ανθρώπινων μοντέλων πλήρους σώματος, περιλαμβάνει τις παρακάτω συνεισφορές:

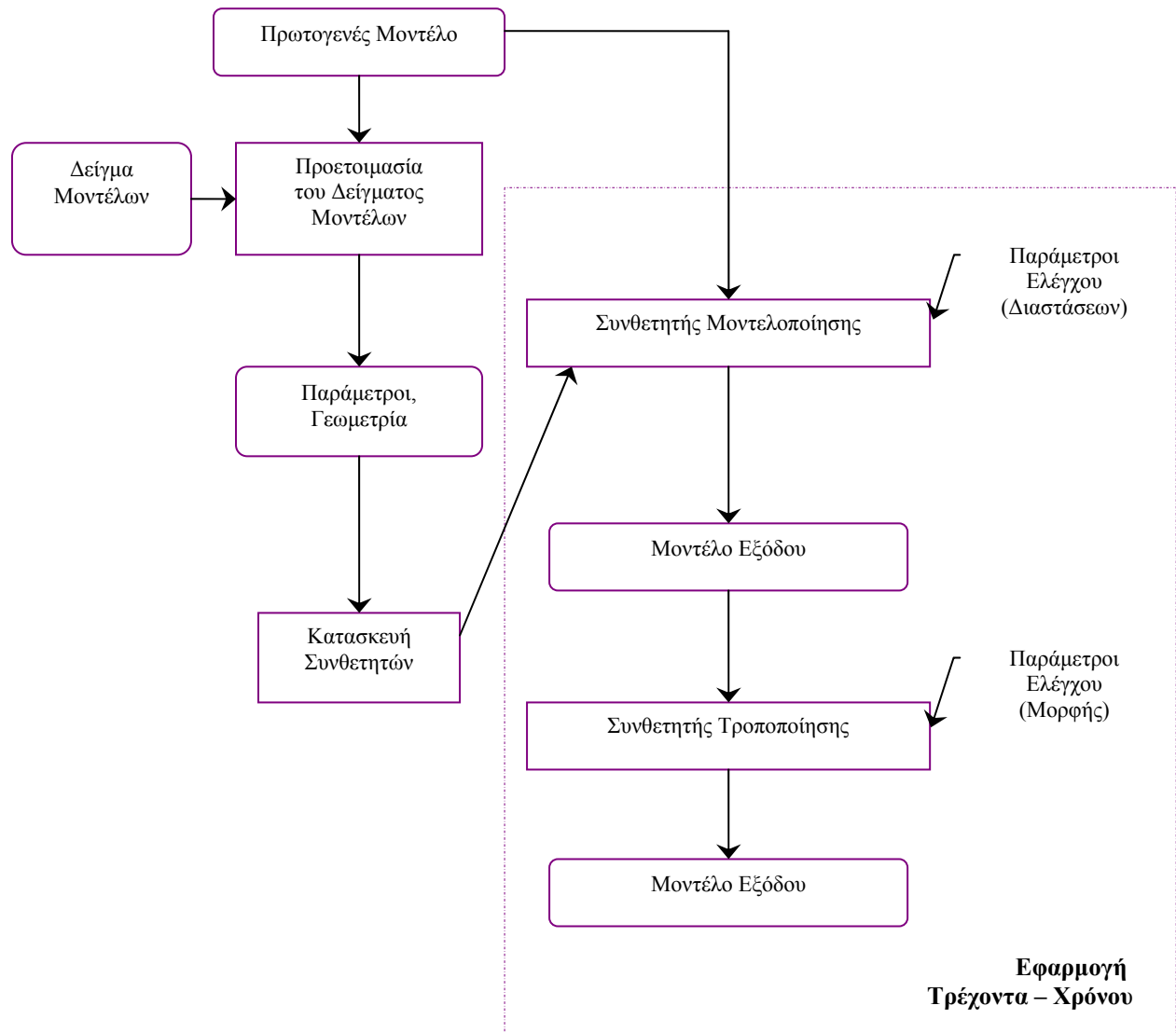
- Ο μοντελοποιητής ή μηχανισμός μοντελοποίησης (modeler), βασίζεται σε ένα πρότυπο μοντέλο ή μοντέλο αναφοράς (template model), το οποίο έχει σχεδιαστεί κατά κύριο λόγο για εφαρμογές αναπαραγωγής κίνησης σε πραγματικό χρόνο (real – time animation). Το μοντέλο συμπεκνώνει όλα τα απαιτούμενα δομικά συστατικά – δεδομένα σύνδεσης οστών και δέρματος, τα οποία επιτρέπουν την απόδοση κίνησης στο μοντέλο ανά πάσα στιγμή κατά τη διάρκεια της σύνθεσής του, με επαναπροσδιορισμό της σύνδεσης δέρματος (βλ. Παράρτημα I – 1), των οριακών επιφανειών και ισοϋψών καμπυλών, μέσω των οποίων παραμένει μετρήσιμο.

- Παρουσιάζεται ένας συνθετητής μοντελοποίησης (modeling synthesizer), ο οποίος λαμβάνει ένα σύνολο μετρήσεων ελέγχου διάστασης (sizing control parameters) σαν δεδομένα εισόδου και αναπαράγει γεωμετρία πλήρους σώματος. Από το μέγεθος του δείγματος εφαρμόζοντας καμπύλες με ακτινικές βασικές συναρτήσεις RBF (Radial Basis Function network) προκύπτει εμπειρικά η αντιστοίχιση των παραμέτρων στην σωματική γεωμετρία. Κατ' επέκταση γίνεται αναφορά στη εφαρμογή του συνθετητή για την αυτόματη αναπαραγωγή πληθυσμού μοντέλων και διογκωμένων – υπερβολικών μοντέλων (population models – exaggerated models).

- Η σωματική γεωμετρία χρησιμοποιείται συνήθως για την τροποποίηση ήδη υπάρχοντων μοντέλων, και αυτή είναι και η λειτουργία του συνθετητή τροποποίησης (modifier

synthesizer). Με βάση την στατιστική ανάλυση του δείγματος των μοντέλων, παρουσιάζεται η χρήση των μετρήσεων για τον έλεγχο της γενικευμένης μορφής του μοντέλου.

Τα στάδια αυτά λοιπόν συνθέτουν το ολικό σύστημα της διαδικασίας μοντελοποίησης – παραμετροποίησης το οποίο απεικονίζεται στο περιληπτικά στο παρακάτω Διάγραμμα.



Διάγραμμα 1 – Η διαδικασία της Μοντελοποίησης

Τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου συστήματος αφορούν στον εύκολο και γρήγορο έλεγχο του τελικού μοντέλου από το χρήστη, όπου αλλάζοντας απλά τις παραμέτρους διαστάσεων κατά βούληση, αναπαράγεται μια αρκετά ρεαλιστική σωματική γεωμετρία. Τέλος, τα παραγόμενα μοντέλα είναι έτοιμα για χρήση σε περιβάλλον απεικόνισης και προσομοίωσης, πράγμα το οποίο συνεπάγεται την αξιοποίηση των πληροφοριών σύνδεσης του δέρματος (skin attachment) που έχουν αποδοθεί αρχικά στο μοντέλο αναφοράς .

Η σύνθεση (παραμετροποίηση) ενός μοντέλου σώματος περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια:

1. Προ επεξεργασία των δεδομένων τρισδιάστατης σάρωση (Preprocessing).
2. Συναρτησιακή προσέγγιση του παραμετρικού μοντελοποιητή, κατασκευή του μοντέλου παρεμβολής (Interpolator Constructor).
3. Αξιολόγηση των μοντέλων σε πραγματικό χρόνο (Runtime modeler) για την αναπαραγωγή καινούργιας γεωμετρίας σωμάτων βάση των δεδομένων εισόδου που ορίζει ο χρήστης (input - size or shape parameters).

Κατά την προ επεξεργασία γίνεται χρήση παραμετροποιημένων πρωτογενών μοντέλων, τα οποία προσαρμόζονται σε κάθε επιφάνεια των μοντέλων σάρωσης. Χρησιμοποιώντας το ίδιο πρωτογενές μοντέλο για την μοντελοποίηση - αναπαράσταση όλων των πληροφοριών σάρωσης, η αντιστοίχιση των χαρακτηριστικών, μεταξύ των δεδομένων σάρωσης παραλείπεται. Η αντιστοίχιση των χαρακτηριστικών χρησιμοποιείται στη συνέχεια στη διαδικασία εφαρμογής παρεμβολής στη μορφή του σώματος. Το σύνολο των παραμέτρων του πρωτογενούς μοντέλου συνθέτουν, οι παράμετροι σχηματισμού του σκελετού (skeleton configuration parameters) που αντιπροσωπεύουν τις γενικές αναλογίες των σωμάτων σάρωσης και τα διανύσματα απόστασης από τα οποία προκύπτουν οι λεπτομέρειες της επιφάνειας σάρωσης. Συνοψίζοντας η προ επεξεργασία χωρίζεται σε δύο στάδια:

- Στην φάση προσαρμογής του σκελετού γίνεται γραμμική προσέγγιση του πρότυπου μοντέλου εκτιμώντας τον βέλτιστο σχηματισμό του σκελετού ο οποίος ταιριάζει καλύτερα στη θέση που των αντίστοιχων χαρακτηριστικών σημείων κάθε μοντέλου σάρωσης.

- Κατά την διάρκεια της φάσης τελειοποίησης της επιφάνειας του δέρματος, παραμορφώνεται περαιτέρω το πολυγωνικό πλέγμα του δέρματος, με τον υπολογισμό των διανυσμάτων αντιστοίχισης κάθε κορυφής του πλέγματος. Η απόσταση αυτή εκφράζει τη μετατόπιση κάθε κορυφής αμέσως μετά την προσαρμογή του σκελετού στο πολυγωνικό πλέγμα σάρωσης.

Αντί να υπολογίζεται η γεωμετρία για κάθε μοντέλο, θεωρείται δεδομένο ότι όλα τα τελικά μοντέλα (μοντέλα εξόδου - output models) διαθέτουν την ίδια τοπολογία. Ο λόγος που γίνεται η παραδοχή αυτή είναι για την αξιοποίηση των κοινών δομικών στοιχείων των σωμάτων που εξετάζουμε. Εκτός του ότι απλοποιείται το πρόβλημα και επιταχύνεται η μοντελοποίηση, η παραμόρφωση ενός ήδη υπάρχοντος μοντέλου για την δημιουργία νέων καθιστά ευκολότερη την άμεση απόδοση κίνησης (animation) στα καινούργια – τελικών μοντέλων.

2.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΑΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ – 3D SCANNED DATA & PREPROCESSING

2.2.1 Δεδομένα τρισδιάστατης σάρωσης

Η εφαρμογή μοντελοποίησης βασίσθηκε σε δείγμα 100 σκανναρισμένων σωμάτων (50 για κάθε συνθετική) Ευρωπαίων ενηλίκων κυρίως, από τον τρισδιάστατο σαρωτή βάθους Techmath 3D range scanner. Τα αρχικά πολυγωνικά μοντέλα υπόκεινται σε περαιτέρω προ επεξεργασία, με τη χρήση διαφόρων πακέτων γραφικών του εμπορίου, το γέμισμα των οπών, την μείωση του πλήθους τριγωνικών μπαλωμάτων έως 50000, και την σύνδεση των μπαλωμάτων δημιουργώντας έτσι ένα πολυγωνικό πλέγμα. Σαν αποτέλεσμα, κάθε ένα από τα δεδομένα σάρωσης αντιπροσωπεύεται από ένα και μοναδικό πολυγωνικό πλέγμα, χωρίς οπές και ελεύθερες ακμές. Έχει γίνει η παραδοχή ότι η τρισδιάστατη γεωμετρία κάθε μοντέλου του δείγματος αναπαρίσταται από ένα πολυγωνικό πλέγμα μέτριας πολυπλοκότητας, ενώ δεν διαθέτεται καμία πληροφορία όσο αναφορά δεδομένα υφής – texture data.

Όλα τα άτομα εξετάσθηκαν σε όρθια στάση με τα άκρα ελαφρώς εκτεταμένα και διακριτικό ρουχισμό, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3, ώστε οι μετρήσεις να είναι μεγάλης ακρίβειας. Η πληροφορίες σάρωσης προκύπτουν με μετρήσεις σε διάφορα τμήματα του σώματος, κυρίως γύρω από τον κορμό, και καταγράφονται σαν παράμετροι μετρήσεων μετροταινίας – διαστάσεων (sizing parameters). Οι παράμετροι – μετρήσεις διαστάσεων φαίνονται στον Πίνακα 1.

2.2.2 Μοντέλο Αναφοράς (Reference – model)

Το πρότυπο μοντέλο συνθέτουν μια μέση δομή σκελετού του ανθρώπου και η επιφάνεια του δέρματος την οποία συνθέτουν τετράπλευρα επιφανειακά μπαλώματα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2. Η προετοιμασία των μοντέλων αναφοράς περιλαμβάνει τρία διαδοχικά στάδια:

- Δημιουργία σκελετού και πρότυπου πολυγωνικού πλέγματος.
- Σκελετός και πολυγωνικό πλέγμα προσαρμόζονται μεταξύ τους.
- Υπολογισμός πληροφοριών σύνδεσης του δέρματος.

I. Σκελετός

Η ιεράρχηση του σκελετού έγινε σε επίπεδο αρθρώσεων τύπου 2 (Level of Articulation 2, LoA2) κατά H-Anim (βλ. Παράρτημα II). Η διαμόρφωση αυτή περιλαμβάνει 33 αρθρώσεις συμπεριλαμβανομένου της βάσης, εκτός από τις αρθρώσεις χεριών και ποδιών. Ο σκελετός που προκύπτει αποτελεί μια πολύ καλή προσέγγιση της πραγματικής κινηματικής του ανθρώπου,

ενώ παράλληλα η επίλυση και απόδοση κίνησης είναι σχετικά απλή και οι αρθρώσεις κατά μήκος της ραχοκοκαλιάς έχουν απλοποιηθεί. Οι συνδεσμολογία των οστών ακολουθεί τους κανόνες ιεραρχίας, εννοώντας ότι κάθε μετασχηματισμός μεγέθυνσης (scale), περιστροφής (rotate) και μετατόπισης (translate), κληρονομείται από τους αμέσως προηγούμενους στους επόμενους συνδέσμους, βάση της κατάταξής τους. Ειδική περίπτωση αποτελεί ο χειρισμός του συνδέσμου βάσης του κρανίου όπου η κληρονομικότητα, από τον αμέσως προηγούμενο σύνδεσμο, του μετασχηματισμού κλίμακας απενεργοποιείται.

II. Πρότυπο πολυγωνικό πλέγμα

Το αρχικό πρότυπο πολυγωνικό πλέγμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, προκύπτει χρησιμοποιώντας κάποια από τις αναπαραστάσεις σάρωσης, και αποτελείται κυρίως από σύνολο οριζόντιων ισοϋψών καμπυλών και κάθετων γραμμών οι οποίες σχηματίζουν ένα σύνολο τετραγωνικών μπαλωμάτων Bezier, τα οποία ορίζονται ως εξής:

$$P(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{ij} B_{i,n}(u) B_{j,m}(v), \quad 0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1$$

όπου $P(u, v)$ είναι ένα σημείο στην επιφάνεια και P_{ij} είναι τα σημεία ελέγχου. Τα σημεία ελέγχου αποτελούν τις κορυφές του πολυέδρου ελέγχου (ή χαρακτηριστικού πολυέδρου) και τοποθετούνται σε ορθογώνιο πίνακα $(n+1) \times (m+1)$. Έχει ανελαστική κατασκευή και η μέτρηση των διαστάσεων ενός μοντέλου ανάγεται απλά στην άμεση μέτρηση των οριζόντιων και κάθετων ισοϋψών καμπυλών. Η δημιουργία τετραγωνικού πλέγματος Bezier διευκολύνει επίσης την βελτίωσή του εκτελώντας τμηματοποίηση κατά Bezier.

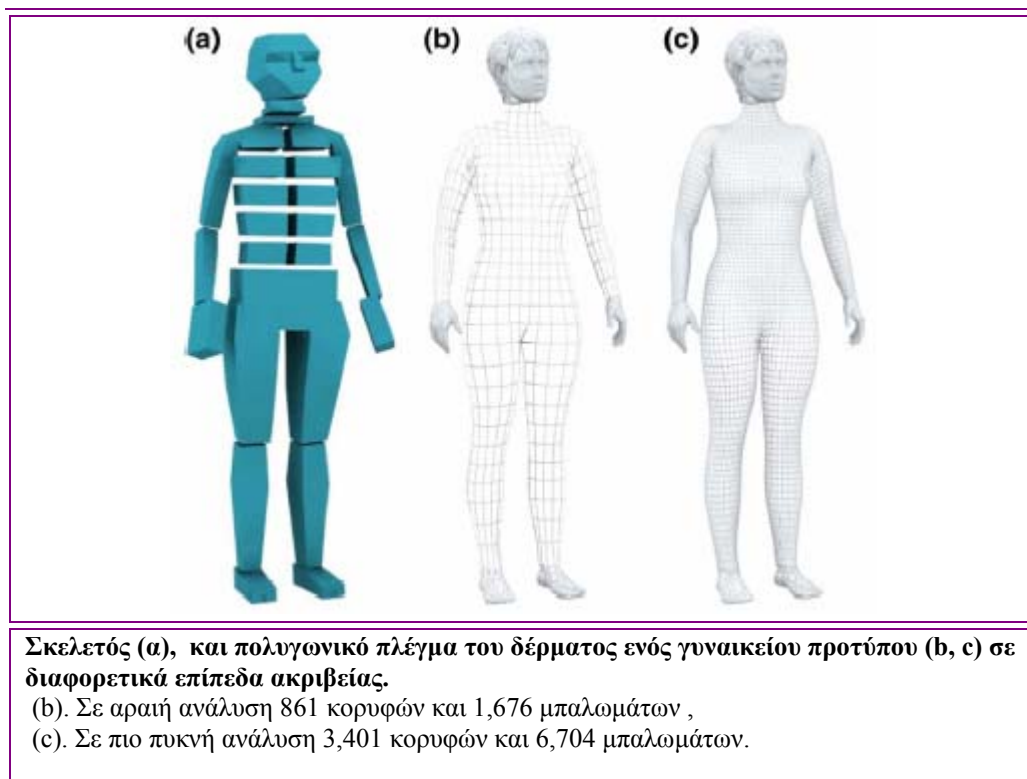
Κατά την προσαρμογή του σκελετού και του δέρματος αναφοράς εκτελείται η λειτουργία σύνδεσης του δέρματος δηλαδή προσαρμογή επιφάνειας καμπυλών στο χώρο (skinning or skin attachment). Σκοπός είναι η ομαλή παραμόρφωση του δέρματος κατά τον μετασχηματισμό των αρθρώσεων του σκελετού. Όλη η διαδικασία λαμβάνει χώρα συνήθως σε περιβάλλον 3D Studio MaxTM.

III. Χαρακτηριστικά σημεία και χαρακτηριστικές ισοϋψείς καμπύλες (Feature Points and Feature contours)

Παράλληλα με την πραγματοποίηση σύνδεσης της επιφάνειας του δέρματος, προσδιορίζονται και τα χαρακτηριστικά σημεία του πλέγματος για την καθοδήγηση της προσαρμογής του σκελετού. Παρόλο που υπάρχει πληθώρα εφαρμογών σε διάφορους τομείς γραφικών υπολογιστών, το πρόβλημα του αυτόματου εντοπισμού των χαρακτηριστικών σημείων

δεν έχει επιλυθεί πλήρως. Μερικά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα ο ομφαλός του ανθρώπινου σώματος, είναι αρκετά δύσκολο να εντοπισθούν αυτόματα, εφόσον δεν υπάρχουν συγκεκριμένες πληροφορίες για την υφή τους, και η ακρίβεια των δεδομένων σάρωσης δεν αρκεί για τον προσδιορισμό της θέσης τους. Στην παρούσα εφαρμογή τα δεδομένα που εισάγει ο χρήστης, αξιοποιούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να αναγνωρίζονται εύκολα τα σημεία αυτά.

Σε αυτή τη φάση ορίζονται επίσης και οι χαρακτηριστικές ισοϋψείς καμπύλες (contours), οι οποίες χρησιμοποιούνται όχι μόνο στην μέτρηση των διαστάσεων του πρότυπου μοντέλου, ανά πάσα στιγμή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, αλλά και στο στάδιο της προσαρμογής του.



Σχήμα 2 – Το μοντέλο Αναφοράς

2.2.3 Προ επεξεργασία

Η γεωμετρία του σώματος αναπαριστάτε με τη μορφή διανύσματος προκαθορισμένων διαστάσεων (είναι γνωστής τοπολογίας εξαρχής – a priori), το οποίο προκύπτει διαμορφώνοντας το μοντέλο αναφοράς σε κάθε μοντέλο σάρωσης. Συμπερασματικά οποιαδήποτε σωματική γεωμετρία είναι εφικτή μέσω παραμόρφωσης του μοντέλου αναφοράς. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι οι οποίες μπορούν να εφαρμοσθούν με επιτυχία, και θα παρουσιάσουμε τη μέθοδο που βασίζεται σε χαρακτηριστικά σημεία. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται ένα σύνολο προκαθορισμένων οριακών – επιφανειών ή χαρακτηριστικών σημείων για την μέτρηση της ακρίβειας της εφαρμογής μεταξύ των δύο μοντέλων (αναφοράς και σάρωσης) και την

καθοδήγηση της διαμόρφωσης του πρότυπου μοντέλου στο μοντέλο σάρωσης με μέθοδο βελτιστοποίησης. Ο αλγόριθμος αυτός περιλαμβάνει δύο φάσεις : την προσαρμογή του σκελετού (skeleton fitting) και την τελειοποίηση του δέρματος (skin refinement).

Κατά την προσαρμογή του σκελετού προκύπτει μια γραμμική προσέγγιση (της όψης και των αναλογιών) του μοντέλου σάρωσης συμμορφώνοντας το μοντέλο αναφοράς στα δεδομένα σάρωσης, μέσω της διαδικασίας παραμόρφωσης που προκαλεί ο σκελετός (skeleton – driven deformation). Με βάση τα χαρακτηριστικά σημεία, συμπεραίνεται ότι κυρίως οι παράμετροι των αρθρώσεων είναι αυτές οι οποίες ελαχιστοποιούν τις αποστάσεις αντιστοίχισης θέσεων πριν και μετά την προσαρμογή. Στη φάση της τελειοποίησης του δέρματος, βελτιώνεται με επαναληπτική διαδικασία η ακρίβεια της επιφάνειας. Η επαναληπτική αυτή διαδικασία ελαχιστοποιεί τις διαφορές – μορφής μεταξύ του μοντέλου αναφοράς και του μοντέλου σάρωσης. Η διαφορά αυτή αποθηκεύεται στη βάση δεδομένων των αποστάσεων αντιστοίχισης (displacement map).

I. Παραμόρφωση λόγω σκελετού (Skeleton - Driven Deformation)

Για την ολοκλήρωση του πολυγωνικού μοντέλου, ο σκελετός αναφοράς προσαρμόζεται ώστε να ταιριάζει απόλυτα σε αυτό πριν ακόμα εφαρμοσθεί η σχέση του λόγου δέρματος / οστών (skin – to – bone relation). Η παραμόρφωση λόγω σκελετού αποτελεί μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική στον τομέα παραμόρφωσης δέρματος σε τρισδιάστατο χώρο. Απαραίτητη προϋπόθεση μιας τέτοιου είδους επιτυχούς παραμόρφωσης είναι η κατάλληλη σύνδεση της επιφάνειας του δέρματος και του υποκείμενου σκελετού, ήτοι η ανάθεση σε κάθε κορυφή του πολυγωνικού πλέγματος, του πλήθους των οστών που επηρεάζει αυτή, και του αντιστοιχού βάρους κάθε κορυφής. Το βάρος κορυφής ανάλογα με το οστό στο οποίο αντιστοιχεί, είναι τέτοιο ώστε σε κάθε μετασχηματισμό του οστού η κορυφή να παραμένει στο ίδιο επίπεδο και προς την ίδια κατεύθυνση με αυτό. Στην υπό μελέτη εφαρμογή τα βάρη αυτά δεν αναθέτονται αυτόματα από το σύστημα.

Η παραμόρφωση βάση σκελετού χρησιμοποιείται όχι μόνο για τον καθορισμό των παραμορφώσεων του δέρματος αλλά και για την τροποποίηση των διαστάσεων και της τοποθέτησης διαφόρων τμημάτων, εφαρμόζοντας ανελαστική παραμόρφωση σε αρθρώσεις. Η μορφή των δεδομένων σάρωσης, είναι αποτέλεσμα της παραμόρφωσης που υφίστανται το πρωτογενές πολυγωνικό πλέγμα κατά την προσαρμογή του στον σκελετό. Υπολογίζεται ο πίνακας μετασχηματισμού για κάθε άρθρωση με τέτοιο τρόπο ώστε η πρωτογενής μορφή που προκύπτει από την παραμόρφωση λόγω σκελετού να προσεγγίζει καλύτερα το πολυγωνικό πλέγμα σάρωσης. Οι πίνακες που αναπαράγονται εκφράζουν τον γενικό σχηματισμό (δομή) του

σκελετού (skeleton configuration) και ανταποκρίνονται στις ολικές αναλογίες των σωμάτων σάρωσης.

II. Αποστάσεις Αντιστοίχισης και Σχηματισμός Σκελετού (Skeleton configuration and Displacement map)

Για την περιγραφή κάθε πολυγωνικού πλέγματος σάρωσης, χρησιμοποιείται το ίδιο πρωτογενές μοντέλο. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητος ο ορισμός παραμέτρων για την αναδόμηση της πραγματικής μορφής του πολυγωνικού πλέγματος σάρωσης, με τη χρήση πρωτογενούς μοντέλου. Οι παράμετροι αυτοί είναι η δομή του σκελετού (skeleton configuration) και οι αποστάσεις αντιστοίχισης (displacement map). Η δομή του σκελετού περιλαμβάνει τις γενικές αναλογίες των σωμάτων, δηλαδή τους μετασχηματισμούς μεταφοράς (translation), περιστροφής (rotation) και κλίμακας ή μεγέθυνσης (scaling) κάθε άρθρωσης. Με την εφαρμογή της δομής του σκελετού στο πρωτογενές μοντέλο, λαμβάνεται ένα νέο σχήμα σαν αποτέλεσμα της παραμόρφωσης λόγω σκελετού. Οι αποστάσεις αντιστοίχισης αντιπροσωπεύονται από μια λίστα διανυσμάτων μεταφοράς, και χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της τελικής θέσης των κορυφών της επιφάνειας σάρωσης μετά την παραμόρφωση που προκαλεί ο σκελετός. Οι πίνακες μεταφοράς βρίσκουν εφαρμογή σε διάφορους τομείς. Η δομή του σκελετού σε συνδυασμό με τις αποστάσεις αντιστοίχισης έχουν σαν αποτέλεσμα την αναδόμηση του σχήματος της αρχικής επιφάνειας σάρωσης από το πρωτογενές πολυγωνικό πλέγμα. Η κατασκευή της βάσης δεδομένων γίνεται προσδιορίζοντας τις δύο αυτές παραμέτρους για κάθε ένα από τα δεδομένα σάρωσης.

2.2.3.1 Προσαρμογή Σκελετού (Skeleton fitting)

Ο αλγόριθμος που ακολουθείται σε πρώτη φάση, βρίσκει την σχετική θέση, τις αναλογίες και την όψη – πόζα του μοντέλου σάρωσης, προσαρμόζοντας σε αυτό το μοντέλο αναφοράς κατάλληλα. Οι μετασχηματισμοί (transformations) που εφαρμόζονται σε κάθε άρθρωση του σκελετού αναφοράς αποτελούν τις παραμέτρους της εκάστοτε άρθρωσης. Κατά την διάρκεια της προσαρμογής, χρησιμοποιώντας διαφορετικές παραμέτρους, μέσω της παραμόρφωσης λόγω σκελετού, η τοποθέτηση του δέρματος επαναπροσδιορίζεται, σύμφωνα πάντα με τους μετασχηματισμούς του υποκείμενου σκελετού. Κατάλληλο σύνολο παραμέτρων, είναι αυτό το οποίο μετακινεί το δέρμα αναφοράς, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να προσεγγίζει ικανοποιητικά χαρακτηριστικά σημεία, ελαχιστοποιώντας την απόκλιση (σφάλμα).

$$\text{Η τιμή της απόκλισης δίδεται από την σχέση: } E_F(X) = \sum_{i=1}^m \|P_i - P'_i(X)\|, \quad (1).$$

Όπου το X εκφράζει τις παραμέτρους κάθε άρθρωσης, m είναι το πλήθος των χαρακτηριστικών σημείων που επηρεάζονται από το X , οι μεταβλητές P_i και $P'_i(X)$, δηλώνουν αντίστοιχα, την θέση χαρακτηριστικού σημείου i στο πολυγωνικό πλέγμα σάρωσης, και τη θέση που υπολογίζεται για το αντίστοιχο σημείο στο μοντέλο αναφοράς μέσω παραμόρφωσης λόγω σκελετού.

Κάθε οστό επηρεάζει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά σημεία του πλέγματος του δέρματος στα οποία προστίθεται η απόσταση (διάστημα) απόκλισης. Τα χαρακτηριστικά σημεία αναγνωρίζονται με τη βοήθεια των πληροφοριών σύνδεσης του δέρματος. Όταν σε ένα οστό δεν αντιστοιχούν χαρακτηριστικά σημεία, χρησιμοποιούνται τα χαρακτηριστικά σημεία των απογόνων $1^{ου}$ ή μεγαλύτερου βαθμού του οστού. Ακόμα και με αυτό το υποσύνολο των χαρακτηριστικών σημείων επιτυγχάνεται η απαιτούμενη ακρίβεια. Σε κάποιες περιπτώσεις, αδύναμη σύνδεση χαρακτηριστικών σημείων με ένα οστό έχει σαν αποτέλεσμα τη στρέβλωση του οστού, εφόσον υπόκεινται σε ακραίου βαθμού μετασχηματισμό μεγέθυνσης κατά μήκος μιας ή και των δύο κατευθύνσεων. Αν αποδοθεί στην απόσταση βάρος σύμφωνα με το λόγο βάρους κορυφή / οστό (vertex – to – bone) η στρέβλωση μπορεί να αποφευχθεί, ωστόσο θα έχουμε χαλαρή σύνδεση σε κάποια σημεία. Το πρόβλημα παρακάμπτεται με την εισαγωγή εσωτερικού δυναμικού όρου στην αντικειμενική συνάρτηση τιμωρίας της δομής άρθρωσης η οποία παραβιάζει την σταθερότητα της αναλογίας κλίμακας. Συνεπώς η ενέργεια που εκφράζει η σχέση (1) μετατρέπεται ως εξής:

$$E(X) = a * E_F + \beta * E_D, \quad (2)$$

$$\text{όπου } E_D = \frac{s_x}{s_y} + \frac{s_y}{s_z} + \frac{s_z}{s_x}.$$

Για την εύρεση λύσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι μέθοδοι βελτιστοποίησης, βασισμένες στην παραγωγή αναλυτικών συναρτήσεων. Παρ' όλ' αυτά λόγω της πολυπλοκότητας του παρόντος προβλήματος αποτελεί χρονοβόρα διαδικασία, για το λόγο αυτό γίνεται χρήση της μεθόδου ορισμού κατεύθυνσης. Αναζητείται ο μισός αριθμός των οστών στα οποία αντιστοιχούν τα χαρακτηριστικά σημεία. Ακραία οστά, όπως το κρανίο και τα άνω και κάτω άκρα, εξαιρούνται, εφόσον δεν υπάρχουν σημεία τέλους και η αναζήτηση είναι αδύνατη.

Για κάθε οστό ορίζονται οι παράμετροι των αρθρώσεων. Για κάθε νέο οστό που συναντάται στην αναζήτηση κατά βάθος (Depth – First – Search, DFS), ορίζεται και ένα πεδίο αναζήτησης βάση του βαθμού ελευθερίας (DoF) του οστού. Η άρθρωση – ρίζα του «δέντρου», έχει το μέγιστο βαθμό ελευθερίας, δηλαδή τρεις βαθμούς ελευθερίας (μεταφορά, περιστροφή, μεγέθυνση) ενώ οι άλλες αρθρώσεις εκτός των αρθρώσεων σπονδυλικής στήλης, παρουσιάζουν

μόνο μετασχηματισμό μεγέθυνσης (s_x, s_y, s_z) και περιστροφής (r_x, r_y, r_z) . Οι αρθρώσεις της σπονδυλικής στήλης περιστρέφονται μέχρι κάποια συγκεκριμένη γωνία για την αποφυγή ανεπιθύμητων ροπών στρέψης, ή απόσπασής τους από την σπονδυλική στήλη εξαιτίας των περιορισμένων προδιαγραφών των χαρακτηριστικών σημείων. Εισάγεται περιορισμός ώστε το εύρος αναζήτησης μετασχηματισμού περιστροφής να κυμαίνεται στο διάστημα $[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$ και για μετασχηματισμό μεγέθυνσης – κλίμακας να υπερβαίνει την τιμή μηδέν (scale > 0,0).

Είναι προφανές ότι το μειονέκτημα της παραπάνω προσέγγισης είναι ότι η αναζήτηση μπορεί να τερματιστεί με διαφορετικές παραμέτρους να εξαρτώνται από την σειρά με την οποία εκτελούνται οι μετασχηματισμοί στο διάστημα αναζήτησης. Εξετάζοντας τους συνδυασμούς, μεταφορά, περιστροφή, κλίμακα (TRS), και κλίμακα, περιστροφή, μεταφορά (SRT), προέκυψε το συμπέρασμα ότι η αλλαγή στην σειρά των μετασχηματισμών δεν επηρεάζει σημαντικά την τελική δομή του σκελετού. Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιείται TRS μετασχηματισμός και η παράμετρος άρθρωσης X_j γίνεται:

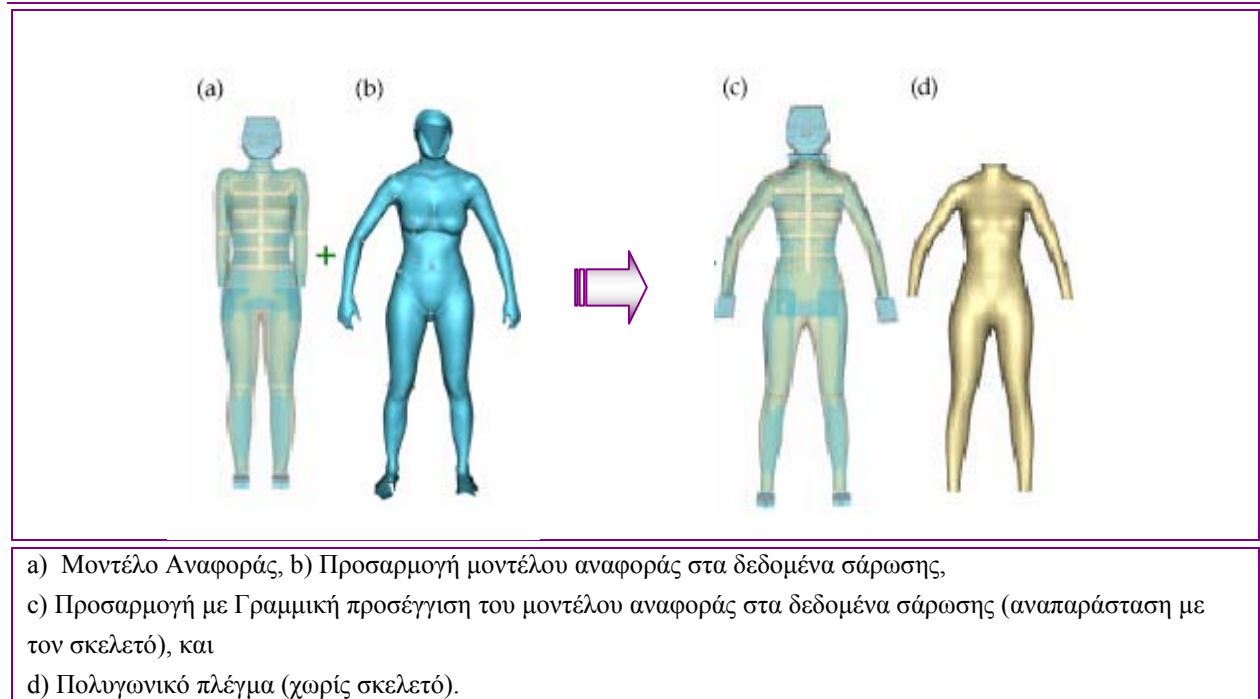
$$X_j = (t_{x_j}, t_{y_j}, t_{z_j}, \theta_{x_j}, \theta_{y_j}, \theta_{z_j}, s_{x_j}, s_{y_j}, s_{z_j}),$$

όπου t_{x_j} και s_{x_j} εκφράζουν τον μετασχηματισμό μεταφοράς και κλίμακας κατά τον άξονα x , και θ_{x_j} είναι η γωνία περιστροφής γύρω από τον άξονα x της άρθρωσης j .

Λόγο της αρχής ιεραρχίας, κάθε οστό κληρονομεί τους μετασχηματισμούς του προηγούμενου, και οι μετασχηματισμοί αυτοί χρησιμοποιούνται ως αρχικές τιμές. Για το οστό – ρίζα του ανθρωποειδούς (“Humanoid Root” bone), χρησιμοποιήθηκε η προκαθορισμένη τιμή του μοντέλου αναφοράς σαν αρχικός μετασχηματισμός. Σε ορισμένες περιπτώσεις η επιρροή των οστών πάνω σε ένα κοινό χαρακτηριστικό σημείο, για παράδειγμα τα σημεία γύρω από τον αγκώνα επηρεάζονται από τα οστά του άνω και κάτω βραχίονα, μπορεί να οδηγήσει σε διαδοχική αναζήτηση με το οστό – απόγονο να προκαλεί αύξηση της απόστασης του χαρακτηριστικού σημείου με τον πρόγονό του, δεδομένου ότι πριν την διαδικασία αναζήτησης η απόσταση αυτή ήταν μικρότερη. Ωστόσο η διαδοχική αναζήτηση κατά βάθος (DFS) και η εύρεση βέλτιστων τοπικών μετασχηματισμών, έχει σαν αποτέλεσμα μια πολύ καλή προσέγγιση των υπό εξέταση στοιχείων.

Ενώ με την παραπάνω μέθοδο προκύπτει μια αποδεκτή γραμμική προσέγγιση, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ορίσει επιλεκτικά τον μετασχηματισμό για κάθε οστό μετά την αυτόματη προσαρμογή. Επαναλήψεις της διαδικασίας βελτιστοποίησης οδήγησαν σε μια αρκετά καλή προσέγγιση της δομής του σκελετού. Στο Σχήμα 3, φαίνεται ο σκελετός και το πρότυπο πλέγμα

ελέγχου της επιφάνειας του δέρματος να έχουν προσαρμοστεί ανάλογα, με παραμόρφωσης λόγω σκελετού. Ο απαιτούμενος τρέχοντας χρόνος για μια ολοκληρωμένη προσαρμογή είναι σχεδόν πέντε δευτερόλεπτα σε επεξεργαστή 1,0 GHz Pentium 3.



Σχήμα 3 – Προσαρμογή του Σκελετού

2.2.3.2 Τελειοποίηση του δέρματος (*Fine skin refinement*)

Με βάση το πρόχειρα προσαρμοσμένο μοντέλο αναφοράς, που προέκυψε στο στάδιο προσαρμογής σκελετού, με συνεχείς επαναλήψεις βελτιώνεται η ακρίβεια της προσαρμογής αυτής μέσω ελαχιστοποίησης των μορφολογικών διαφορών μεταξύ του μοντέλου αναφοράς και του μοντέλου σάρωσης Σχήμα 4. Η μορφολογική διαφορά αποθηκεύεται στα δεδομένα αποστάσεων αντιστοίχισης (*displacement map*). Ο αλγόριθμος τελειοποίησης της επιφάνειας του δέρματος περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

1. *Αρχική Αντιστοίχιση*: Αρχικά, εντοπίζεται το πρότυπο πολυγωνικό πλέγμα, πάνω στο πλέγμα σάρωσης. Κάθε κορυφή του πρότυπου πλέγματος προβάλλεται πάνω στην πλησιέστερη κορυφή, ακμή ή τρίγωνο του πλέγματος σάρωσης με εκτέλεση ανίχνευσης επαφής (*collision detection*). Με αυτό τον τρόπο αναπαράγονται οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους για κάθε κορυφή του μοντέλου αναφοράς.

2. *Χαλάρωση*: Οι θέσεις των κορυφών του πολυγωνικού πλέγματος αναφοράς ενημερώνονται κατά την ελαχιστοποίηση της δυναμικής συνάρτησης (2) (παρ. 2.2.3.1), η οποία: α) ελαχιστοποιεί τον βαθμό παραμόρφωσης του πολυγωνικού πλέγματος και β) θέτει τον

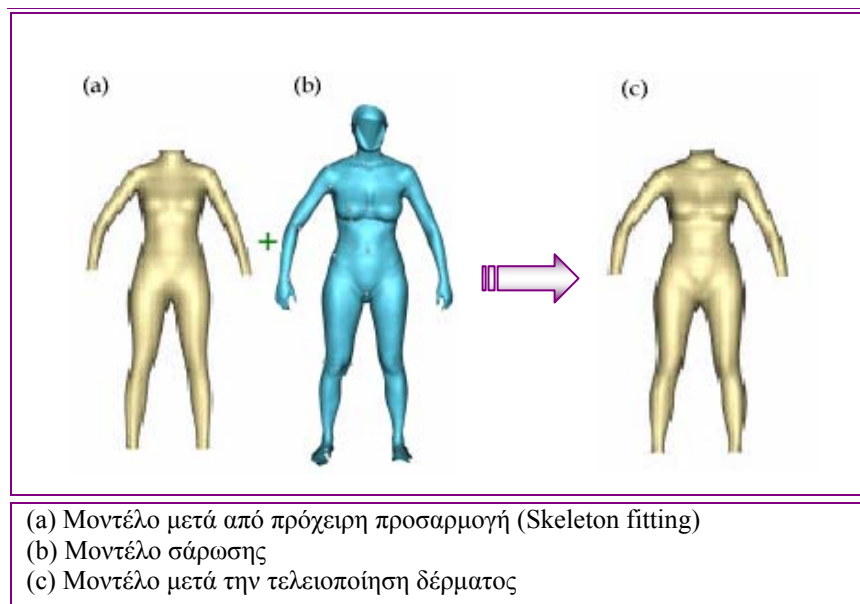
περιορισμό οι κορυφές που ανήκουν στην ίδια χαρακτηριστική ισοϋψή καμπύλη να είναι ομοεπίπεδες. Τέλος υπολογίζεται το διάνυσμα απόστασης μεταξύ παλιάς και νέας θέσης.

3. *Αντιστοίχιση* : Οι νέες κορυφές προβάλλονται στην επιφάνεια του πολυγωνικού πλέγματος σάρωσης. Οι αρχικές συντεταγμένες κέντρου βάρους ενημερώνονται κατά εκτέλεση βελτιστοποιημένης ανίχνευσης επαφής, κάνοντας χρήση των διανυσμάτων απόστασης.

4. Αν η μορφή που προκύπτει είναι ικανοποιητική, τερματίζεται ο αλγόριθμος, ειδάλλως επαναλαμβάνονται τα βήματα 2 και 3.

5. *Αναπροσαρμογή του σκελετού* : Η εύρεση των αποστάσεων αντιστοίχισης έχει ολοκληρωθεί και βελτιώνεται η προσαρμογή του σκελετού, ώστε το εύρος των συντεταγμένων αυτών να ελαχιστοποιηθεί. Η λογική είναι να υπολογιστεί ο μετασχηματισμός κάθε άρθρωσης που ελαχιστοποιεί την απόσταση μεταξύ των δύο τμημάτων, όπου το ένα περιλαμβάνει μόνο την παραμόρφωση λόγο σκελετού και το άλλο περιλαμβάνει και τις συντεταγμένες αντιστοίχισης. Η συνάρτηση τιμωρίας της ελαχιστοποίησης υπολογίζει το άθροισμα της απόστασης των διανυσμάτων αρχικής κατάστασης και τελικού στόχου. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η μέθοδος ορισμού κατεύθυνσης.

Το Σχήμα 6 απεικονίζει λεπτομερώς τις αποστάσεις των σημείων του δέρματος. Τα μπλε σημεία έχουν μικρότερο μέγεθος από τα κόκκινα σημεία.



Σχήμα 4 – Τελειοποίηση προσαρμογής του δέρματος

I. *Αντιστοίχιση σημείων (Mapping)*

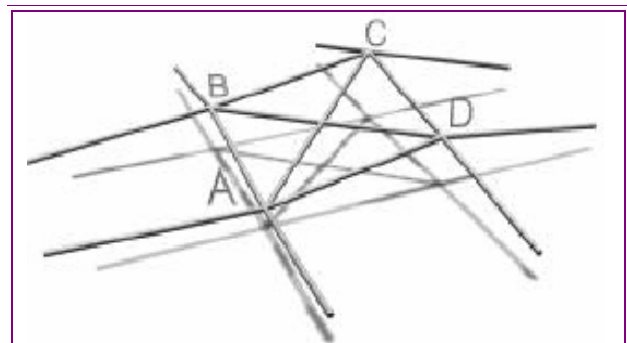
Κάθε κορυφή του πολυγωνικού πλέγματος αναφοράς μετακινείται στην πλησιέστερη κορυφή, ακμή ή τρίγωνο του πλέγματος σάρωσης με ανίχνευση επαφής. Κατά την διάρκεια της

διαδικασίας ανίχνευσης επαφής, για κάθε κορυφή του πλέγματος αναφοράς ανιχνεύεται με ποια κορυφή ακμή ή τρίγωνο του πλέγματος σάρωσης, η απόστασή της είναι η ελάχιστη, και εκεί αντιστοιχείται – τοποθετείται. Για την αποφυγή επανάληψης της ανίχνευσης επαφής μετά από κάθε βήμα της λειτουργίας της χαλάρωσης, ελέγχεται πριν κάθε ανίχνευση αν η νέα απόσταση μιας κορυφής του πλέγματος αναφοράς έχει αλλάξει από κάποια προηγούμενη αντιστοίχιση. Μόνο οι κορυφές, για τις οποίες έχει αλλάξει η απόσταση, υπολογίζονται ξανά.

II. Χαλάρωση (Relaxation)

Με δεδομένες τις θέσεις όλων των κορυφών του πρωτογενούς πολυγωνικού πλέγματος, υπολογίζεται η ολική ενέργεια η οποία απαρτίζεται από δύο όρους.

Ο πρώτος όρος εκτιμά την παραμόρφωση ενός ελαστικού πολυγωνικού πλέγματος (spring mesh). Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5, το ελαστικό πολυγωνικό πλέγμα δημιουργείται πάνω από το τετραγωνικό μπάλωμα του πλέγματος. Απαρτίζεται από τέσσερις ελαστικές ακμές (AB, BC, CD, DA) του τετραγωνικού μπαλώματος και δύο πρόσθετα ελατήρια (AC και BD) κατά μήκος της διαγωνίου κάθε μπαλώματος.



Σχήμα 5 –Ελαστικό Πολυγωνικό πλέγμα (ABCD) πάνω από το τετραγωνικό μπάλωμα

Η δυναμική συνάρτηση του ελαστικού αυτού πολυγωνικού πλέγματος που σχηματίζεται εκφράζεται ως εξής:

$$S(e) = \sum_i |e_i - e'_i|,$$

όπου e_i και e'_i είναι τα αντίστοιχα μήκη του αρχικού και του παρόντος ελαστικού πολυγωνικού πλέγματος.

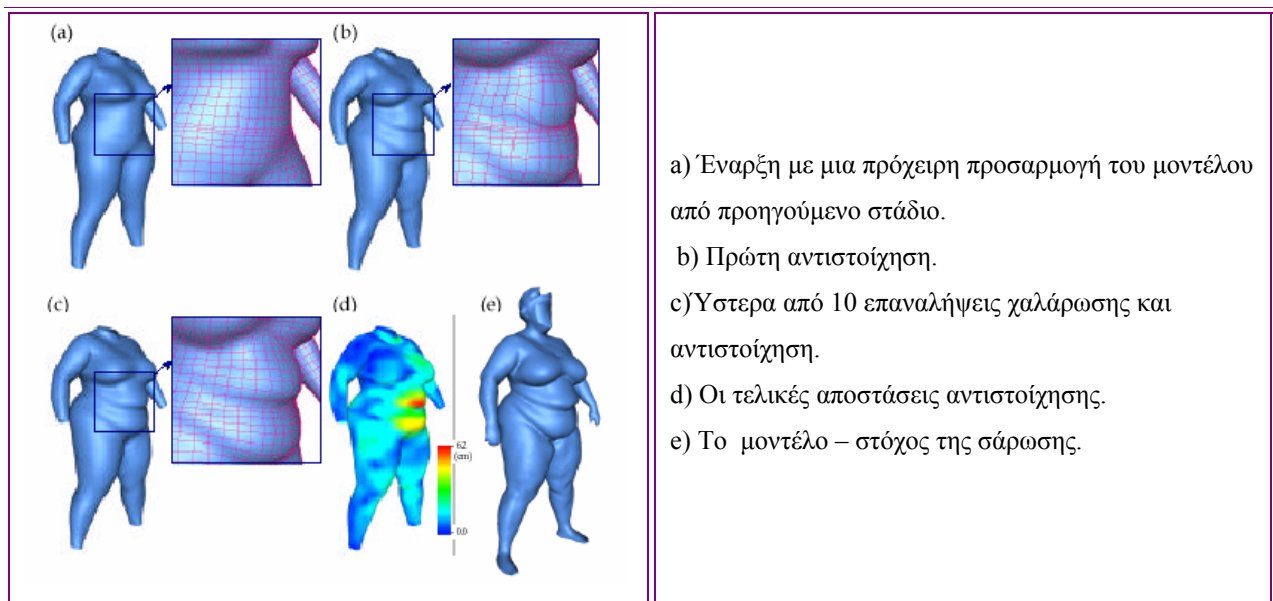
Ο δεύτερος όρος θέτει τον περιορισμό οι κορυφές που ανήκουν στην ίδια χαρακτηριστική ισοϋψή καμπύλη να βρίσκονται σε ίδιο επίπεδο. Για κάθε ισοϋψή καμπύλη, υπολογίζεται μέσο επίπεδο. Οι κορυφές αναγκάζονται να μετακινηθούν στη θέση προβολής τους πάνω στο επίπεδο αυτό με πλασματικά ελατήρια (ελατήρια μηδενικού μήκους).

Η προσαρμογή γίνεται μέσω επαναληπτικής μεθόδου κατάβασης τανυστή (*gradient descent method*), με στόχο την ελαχιστοποίηση της συνάρτησης ολικής ενέργειας. Μετά από κάθε βήμα χαλάρωσης, οι νέες κορυφές προβάλλονται στην επιφάνεια του πολυγωνικού πλέγματος σάρωσης κατά όμοιο τρόπο ο οποίος περιγράφηκε στο στάδιο της αντιστοίχισης.

III. Αναπροσαρμογή του Σκελετού (Skeleton refitting)

Με εύρεση των αποστάσεων αντιστοίχισης (displacement map), είναι δυνατή η βελτίωση της προσαρμογής του σκελετού, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η πυκνότητα των αποστάσεων αυτών.

Αρχικά το πλέγμα του δέρματος χωρίζεται σε διαφορετικά τμήματα τα οποία επηρεάζονται περισσότερο από το ίδιο οστό. Υπάρχουν δύο μορφές για κάθε τμήμα: η μορφή προέλευσης, η οποία είναι αποτέλεσμα αποκλειστικά της παραμόρφωσης λόγω σκελετού, και η μορφή – στόχος στην οποία περιλαμβάνονται και οι αποστάσεις αντιστοίχισης των κορυφών. Η διαδικασία της προσαρμογής ανάγεται στην επίλυση του προβλήματος υπολογισμού του κατάλληλου μετασχηματισμού για κάθε άρθρωση, ο οποίος θα ελαχιστοποιήσει την απόσταση μεταξύ των δύο αυτών τμημάτων. Η συνάρτηση κόστους ελαχιστοποίησης είναι το άθροισμα των αποστάσεων των κορυφών της μορφής προέλευσης και στόχου, και υπολογίζεται με μέθοδο ορισμού διεύθυνσης κατάβασης. Σαν αποτέλεσμα, προκύπτει ένας νέος σχηματισμός σκελετού. Στο Σχήμα 6, το μοντέλο αναφοράς προσαρμόζεται στο μοντέλο που προκύπτει από τη σάρωση (e). Η εικόνα (b) είναι το αποτέλεσμα του πρωτογενούς μοντέλου μετά την παραμόρφωση λόγω σκελετού. Η εικόνα (c) δείχνει τις αποστάσεις αντιστοίχισης, απαραίτητες κατά την προσαρμογή του πρωτογενούς μοντέλου (b) στο πολυγωνικό πλέγμα καμπυλών σάρωσης.



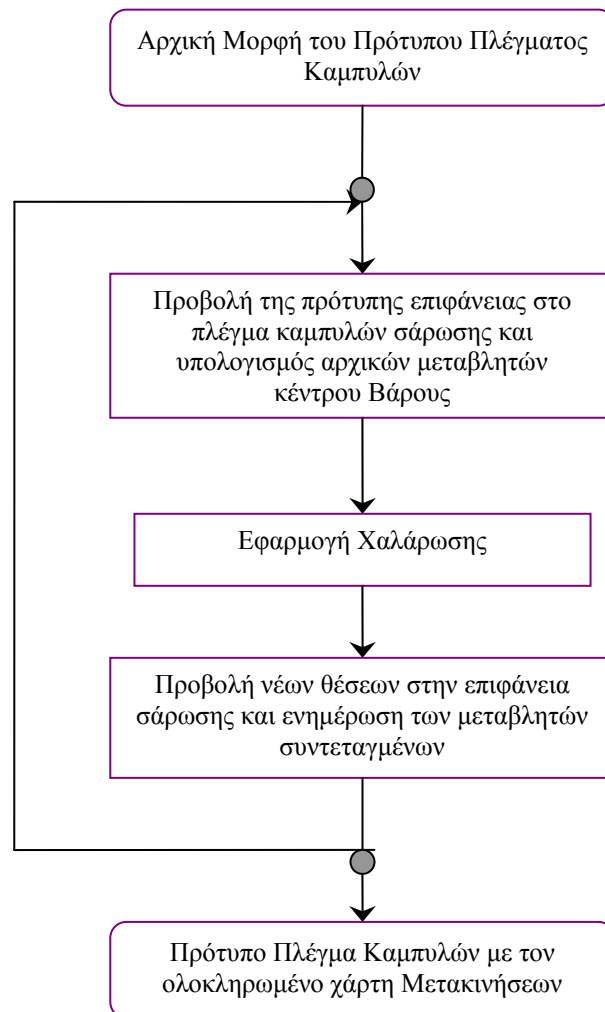
Σχήμα 6 - Διαδικασία τελειοποίησης επιφάνειας του δέρματος

IV. Υποδιαίρεση υψηλής ανάλυσης (Multi – Resolution subdivision)

Για υψηλότερη ακρίβεια προσαρμογής της επιφάνειας, μπορεί να εφαρμοστεί υποδιαίρεση του πολυγωνικού πλέγματος καμπυλών, με υποδιαίρεση κάθε τετραγωνικού

μπαλώματος σε τέσσερα τετράγωνα. Κάθε μία από τις νέες κορυφές που παράγονται αντιστοιχείται στα δεδομένων της επιφάνειας σάρωσης και υπολογίζεται ένα διάνυσμα απόστασης.

Συνοψίζοντας η διαδικασία την τέλειας προσαρμογής του μοντέλου αναφοράς, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να προσεγγίζει στον βέλτιστο βαθμό το μοντέλο σάρωσης, περιγράφεται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 2).



Διάγραμμα 2 – Το στάδιο της προσαρμογής

2.3 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η παραμόρφωση του μοντέλου αναφοράς για την απόκτηση ενός νέου περιλαμβάνει δύο ξεχωριστές οντότητες, το τμήμα του σκελετού και του διαστήματος (απόσταση) της παραμόρφωσης. Ο σκελετός όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι η γραμμική προσέγγιση της φυσιολογίας, η οποία ορίζεται από μετασχηματισμούς κατά τη διαδικασία προσαρμογής του

δέρματος. Οι μετακινήσεις, εκφράζουν τις αποστάσεις μετακίνησης των κορυφών της επιφάνειας του δέρματος κατά τη διαδικασία παραμόρφωσης λόγω σκελετού, αποδίδοντας την λεπτομερή μορφή του σώματος.

Εφόσον κάθε μοντέλο του δείγματος έχει διαφορετική όψη (πόζα), και εφόσον η αποστάσεις των κορυφών εξαρτώνται από αυτή, ο σκελετός που προσαρμόζεται κανονικοποιείται με την χρήση προκαθορισμένης σταθεράς περιστροφής, ώστε όλα τα μοντέλα να έχουν την ίδια στάση.

Έτσι το τμήμα του σκελετού εκφράζεται ως εξής:

$$J = (t_x^1, t_y^1, t_z^1, s_x^1, s_y^1, s_z^1, t_x^2, \dots, t_y^m, t_z^m, s_x^m, s_y^m, s_z^m)^T \in R^{6m}$$

όπου t_x^j και s_x^j είναι οι μετασχηματισμοί μεταφοράς και κλίμακας της άρθρωσης j ($j = 1, \dots, m$) κατά τον άξονα x (x -axis), ενώ ο μετασχηματισμός περιστροφής παραλείπεται.

Ομοίως το τμήμα της απόστασης αντιπροσωπεύεται από την εξής σχέση:

$$D = (d_x^1, d_y^1, d_z^1, d_x^2, \dots, d_y^n, d_z^n)^T \in R^{3n}$$

όπου το στοιχείο d_x^i εκφράζει την απόσταση μετακίνησης της κορυφής i ($i = 1, \dots, n$), κατά μήκος του άξονα x (x -axis) πάνω στο πολυγωνικό πλέγμα του δέρματος.

Συνοψίζοντας η γεωμετρία του σώματος αναπαριστάται από το διάνυσμα $P = (J, D)$.

2.3.1 Ανάλυση Βασικών Συνιστωσών (Principal Component Analysis, PCA)

Παρόλο που οι μετασχηματισμοί μπορούν να υπολογιστούν χωριστά για κάθε οστό, σύμφωνα με τις παραπάνω σχέσεις, υπάρχει πλήθος απλοποιήσεων στους υπολογισμούς εφόσον προκύπτουν οι ίδιοι μετασχηματισμοί σε γειτονικά οστά. Για παράδειγμα σώματα με περίμετρο γλουτών μεγαλύτερη από τη συνηθισμένη (μεγάλες τιμές για τις μεταβλητές s_x, s_y των αρθρώσεων της λεκάνης) στην πλειοψηφία των περιπτώσεων διαθέτουν και μεγαλύτερους μηρούς (μεγάλες «αρθρώσεις» γλουτών). Παρόμοιες απλοποιήσεις προκύπτουν και στις αποστάσεις του δέρματος. Για το λόγο αυτό αναζητούμε απλοποιήσεις οι οποίες επιτρέπουν στους συνθετικές να λειτουργούν σε σταθερό πεδίο ορισμού των διανυσμάτων. Και στις δύο περιπτώσεις εφαρμόζεται Ανάλυση βασικών συνιστωσών (PCA), μια από τις πιο συνηθισμένες μεθόδους ελαχιστοποίησης της διάστασης των δεδομένων. Για την εύρεση της ορθογώνιας βάσης την οποία συνθέτουν ιδιοδιανύσματα, το αρχικό δεδομένο διάνυσμα x διαστάσεων $n \times 1$, αντικαθίσταται από την προβολή του στα πρώτα ιδιοδιανύσματα $M(\llbracket n \rrbracket)$, τα οποία έχουν και τις M μεγαλύτερες τιμές των ιδιοδιανυσμάτων. Στην παρούσα περίπτωση οι πρώτες 30 τιμές είναι αρκετές για την περιγραφή του 99% των διαφοροποιήσεων (αποκλίσεων) μεταξύ των

δεδομένων, έτσι σχηματίζεται ένας χώρος διάστασης 30. Η τελική αναπαράσταση του διανύσματος του σώματος είναι $P_N = (J_N, D_N)$, και αποτελείται από δύο σύνολα 30 συντελεστών το κάθε ένα, τα οποία προκύπτουν από την προβολή του αρχικού διανύσματος σώματος σε κάθε σύνολο ιδιοδιανυσμάτων, με:

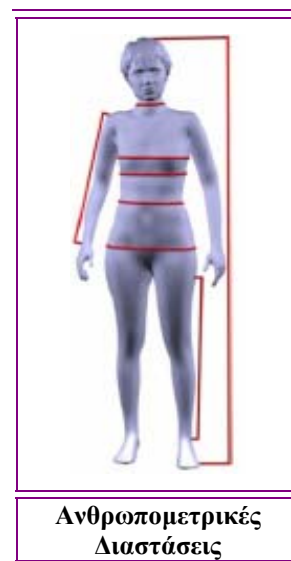
$$J_N = (\tau^1, \tau^2, \dots, \tau^{25}) \in R^{25},$$

$$D_N = (\delta^1, \delta^2, \dots, \delta^{25}) \in R^{25}$$

2.4 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ – ΜΟΡΦΗΣ

Κατά κοινή ομολογία οι παράμετροι μέτρησης διαστάσεων ή αλλιώς μετρήσεις μετροταινίας (tape measure), επιτρέπουν τον πλήρη έλεγχο της μορφής του σώματος. Η διάθεση όμως όλων των μετρήσεων τέτοιου τύπου για την λεπτομερή περιγραφή του μοντέλου δεν είναι ιδιαίτερα πρακτική. Στην υπό ανάλυση μέθοδο επιλέγονται οι 8 ανθρωπομετρικές μετρήσεις (5 μετρήσεις περιμέτρου και 3 μετρήσεις ύψους) σαν παράμετροι μέτρησης με μετροταινία. Οι 8 αυτές μετρήσεις αναφέρονται αναλυτικότερα παρακάτω στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 1), και έχουν ορισθεί σαν τις βασικές διαστάσεις σώματος για την ανάθεση παραγωγής ανεξάρτητων – προϊόντων (βιομηχανία ένδυσης κλπ.).

Το διπλανό σχήμα απεικονίζει με τις χαρακτηριστικές κόκκινες γραμμές τις περιμέτρους και τα μήκη του ανθρώπινου σώματος, όπου πραγματοποιούνται οι μετρήσεις των διαστάσεων με χρήση κοινής μετροταινίας (μεζούρα). Με τη χρήση ενός τέτοιου περιορισμένου συνόλου μεταβλητών μέτρησης προκύπτουν σταθερές παράμετροι σωματικής γεωμετρίας, ενώ είναι δυνατή η συλλογή τους από οποιονδήποτε. Αυτό είναι που καθιστά εφικτή την ανάπτυξη εφαρμογών όπως καταστήματα ρούχων στο δια δίκτυο, όπου πλέον ο πελάτης εισάγει τις μετρήσεις των διαστάσεων του για την προσαρμογή πατρών ρούχων. Οι παράμετροι διαστάσεων του συστήματος μοντελοποίησης θεωρούνται σαν δεδομένα εισόδου.



Μορφολογικές ιδιότητες των σωμάτων όπως σώματα που προσεγγίζουν με μια πρώτη ματιά το σχήμα κλεψύδρας ή αχλαδιού, περιγράφουν γενικά τα σώματα αυτά και μειώνουν δραματικά τον αριθμό των παραμέτρων. Η κοντινότερη έμμετρη ποσότητα μέσω της οποίας οι παραπάνω ιδιότητες αντιστοιχούνται σε νούμερα είναι ο λόγος περιμέτρου γλουτών προς περίμετρο μέσης (hip – to – waist ratio, HWR). Μία άλλη έμμετρη ποσότητα η οποία περιγράφει τις γενικές αλλαγές της φυσιολογίας του σώματος είναι το ποσοστό λίπους (fat percentage). Η

ποσότητα αυτή ωστόσο απαιτεί πληροφορία η οποία δεν παρέχεται από τα δεδομένα σάρωσης των σωμάτων. Για παράδειγμα στην διαδικασία κατάταξης ανθρωποειδών βάση σωματότυπου, συλλέγονται πληροφορίες για τις πτυχώσεις τεσσάρων επιλεγμένων τμημάτων του σώματος, και από αυτές τις πληροφορίες προκύπτει η αναλογία του ποσοστού λίπους κατά προσέγγιση. Υπάρχουν πληθώρα εμπειρικών αποτελεσμάτων, τα οποία επιτρέπουν τον υπολογισμό του ποσοστού λίπους από πλήθος ανθρωπομετρικών μετρήσεων. Κατά τη διαδικασία της μοντελοποίησης χρησιμοποιείται ο συντελεστής HWR και το ποσοστό λίπους σαν παράμετροι μορφής του σώματος στο στάδιο κατασκευής του συνθετιτή τροποποίησης.

Μετρήσεις Μετροταινίας (Παράμετροι Διαστάσεων)	Ορισμός
Ανάστημα (Stature)	Η κάθετη απόσταση από το έδαφος της περιμέτρου του κεφαλιού (crown of the head).
Ύψος καβάλου (Crotch length)	Είναι η κάθετη απόσταση από το έδαφος, του επίπεδου του καβάλου στο κέντρο του σώματος.
Μήκος άνω άκρων (Arm length)	Είναι η απόσταση από το σημείο διατομής μεταξύ του άξονα του βραχίονα και του ώμου (acromion) που περνάει τον αγκώνα και καταλήγει στην προέκταση του καρπού (ulna) κατά μήκος της ευθείας του μικρού δακτύλου της παλάμης.
Περίμετρος λαιμού (Neck girth)	Είναι η περίμετρος της βάσης του λαιμού.
Περίμετρος στήρνου (Chest/Bust girth)	Είναι η μέγιστη περιφέρεια του κορμού που μετριέται στο ύψος του στήρνου.
Περίμετρος υπό-στήρνου (Under-bust girth)	Είναι η οριζόντια περίμετρος του τμήματος του σώματος αμέσως κάτω από το στήρνο.
Περίμετρος μέσης (Waist girth)	Είναι η οριζόντια περίμετρος στο ύψος της μέσης.
Περίμετρος ισχίου (Hip girth)	Είναι η οριζόντια περίμετρος του κορμού που μετριέται στο ύψος των γλουτών.

Πίνακας 1

2.5 ΣΥΝΘΕΤΗΤΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Μετά το πέρας της προ επεξεργασίας του δείγματος των μοντέλων του συστήματος, σχηματίζονται συνθετητές για κάθε συστατικό της γεωμετρίας του σώματος με διάσπαρτη παρεμβολή στα δεδομένα. Πρόκειται για ένα αυτόματο μηχανισμό μοντελοποίησης σε τρέχοντα χρόνο (automatic runtime modeler), για την αναπαράσταση ρεαλιστικών ανθρώπινων σωμάτων

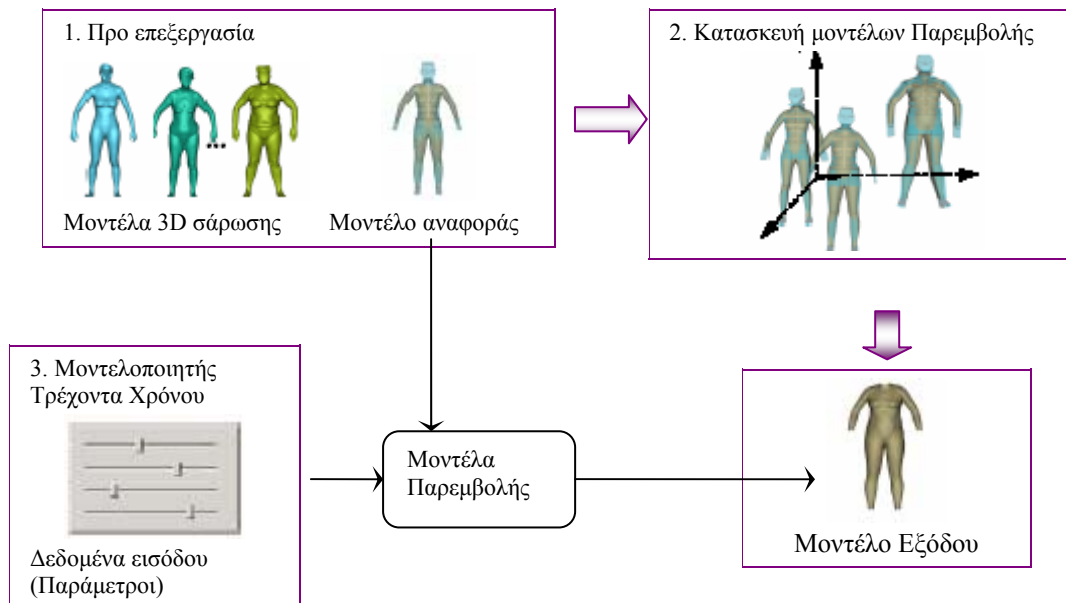
στα οποία είναι δυνατή η απόδοση κίνησης σε αυτά (animatable). Ο χρήστης μπορεί να αναπαράγει ένα νέο μοντέλο ή να τροποποιήσει ένα ήδη υπάρχον, εισάγοντας απλά κάποιες παραμέτρους διαστάσεων.

Οι συνθετητές αποτελούν ουσιαστικά συναρτήσεις μετασχηματισμού, με τις οποίες παράγεται η κατάλληλη μορφή και οι σωστές αναλογίες της γεωμετρίας του ανθρώπινου σώματος, θέτοντας τις παραμέτρους διαστάσεων σε δεδομένα εισόδου. Βάση δείγματος πλήθους ανθρώπινων μοντέλων σωμάτων (human body models) που προκύπτουν από την 3-διάστατη σάρωση σε πρώτη φάση, οι συναρτήσεις αυτές προκύπτουν με παρεμβολή RBF (Radial Basis interpolation). Αναγκαία προϋπόθεση μιας τέτοιας ανάπτυξης είναι η αντιστοίχιση των μοντέλων του δείγματος στη βάση δεδομένων εισόδου. Η αντιστοίχιση αυτή επιτυγχάνετε με την προσαρμογή ενός προτύπου (template) πάνω σε κάθε ένα από τα δεδομένα σάρωσης, όπως αναφέρθηκε στην φάση της προ επεξεργασίας. Τη γεωμετρία του σώματος θεωρείται ότι αποτελούν δύο διακριτές οντότητες, ήτοι τμήματα ανελαστικής και ελαστικής παραμόρφωσης. Η ανελαστική παραμόρφωση αντιπροσωπεύεται από τις αντίστοιχες παραμέτρους των αρθρώσεων, οι οποίες με τη σειρά τους ορίζουν μια γραμμική προσέγγιση της σωματικής διάπλασης. Κατά την ελαστική παραμόρφωση πραγματοποιούνται ουσιαστικά εκτοπίσεις κορυφών του πλέγματος του δέρματος. Τα δύο αυτά είδη παραμορφώσεων περιγράφουν λεπτομερώς η μορφή του σώματος.

Με τον σχηματισμό των μοντέλων παρεμβολής (interpolators), η σχεδίαση περιορίζετε στον υπολογισμό λειτουργικών συναρτήσεων και στην εφαρμογή των αποτελεσμάτων στο μοντέλο αναφοράς (template model). Με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιώντας διαφορετικές παραμέτρους κάθε φορά προκύπτει μια ευρεία κλίμακα από διαφορετικές αναπαραστάσεις του ανθρώπινου σώματος.

Το πλαίσιο προσαρμογής λοιπόν του μοντέλου αναφοράς σε συγκεκριμένα δεδομένα εισόδου (μετρήσεις) ανάγεται σε πρόβλημα παρεμβολής του δείγματος των μοντέλων στα δεδομένα αυτά. Χρησιμοποιούνται διάφοροι αλγόριθμοι όπως ο αλγόριθμος RBF (radial basis function), ωστόσο οι βασικές RBF (radial basis function) τεχνικές απαιτούν αρκετές συναρτήσεις παρεμβολής, λόγο των μεγάλων διαστάσεων του χώρου της μορφής. Η προσέγγιση του προβλήματος αυτού επιτυγχάνεται με την υιοθέτηση μιας συμπαγούς και ικανής απεικόνισης σχήματος, με την εύρεση της βάσης. Η γεωμετρία του σώματος απαρτίζεται από δύο διακριτές οντότητες, ήτοι τμήματα ελαστικής και ανελαστικής παραμόρφωσης. Το ανελαστικό τμήμα αντιπροσωπεύουν οι παράμετροι των αρθρώσεων του ανθρώπινου σώματος, οι οποίες καθορίζουν τις γενικές αναλογίες του σώματος. Στη συνέχεια οι παράμετροι μορφής οι

οποίες εκφράζουν το ελαστικό τμήμα του σώματος, προστιθέμενες με τις παραμέτρους ανελαστικής παραμόρφωσης περιγράφουν λεπτομερώς τη συνολική μορφή του σώματος. Σε τρέχοντα χρόνο, κατά τη λειτουργία προσέγγισης, υπολογίζεται η απαιτούμενη παραμόρφωση μέσω αποτελεσματικής μείξης των δειγμάτων με γνωστές τις παραμέτρους, για την παραγωγή ενός σχήματος παρεμβολής.



Ενδεικτικό Διάγραμμα της διαδικασίας μοντελοποίησης

Οι συνθετητές που προκύπτουν είναι δύο ειδών: Συνθετητές αρθρώσεων (joint interpolators) οι οποίοι διαχειρίζονται τους βαθμούς ελευθερίας των αρθρώσεων, και συνθετητές αποστάσεως (displacement interpolators) οι οποίοι προσδιορίζουν τις κατάλληλες αποστάσεις στο πολυγωνικό πλέγμα του δέρματος αναφοράς από τις παραμέτρους εισόδου.

Η μοντελοποίηση της γεωμετρίας του σώματος με τον έλεγχο των παραμέτρων διαστάσεων, δεν επιτυγχάνεται με την άμεση εφαρμογή μετασχηματισμών των αντίστοιχων οστών. Οι περιορισμοί έχουν να κάνουν με το ότι υπάρχουν μετασχηματισμοί οι οποίοι δεν καθορίζονται πλήρως από τις μετρήσεις, καθώς επίσης ότι δεν εγγυάται την παραγωγή ρεαλιστικής γεωμετρίας της μορφής των μοντέλων. Στόχος είναι η ομαλή παρεμβολή η οποία θα μετασχηματίζει τον χώρο των παραμέτρων στα πλαίσια του χώρου της γεωμετρίας του σώματος, παρεμβάλλοντας τα μοντέλα του δείγματος. Με δεδομένο δείγμα μοντέλων θεωρείται ότι οι μετρήσεις καθορίζουν τις διαστάσεις ενός χώρου (dimension space), όπου κάθε μέτρηση αντιπροσωπεύει έναν ξεχωριστό άξονα. Στόχος είναι η παραγωγή σε κάθε σημείο p του χώρου, νέας παραμόρφωσης $X(p)$ του μοντέλου αναφοράς παρεμβάλλοντας το πλήθος των μοντέλων

του δείγματος. Στην περίπτωση που το p ισούται με το p_i κάποιου συγκεκριμένου μοντέλου του δείγματος, τότε και το $X(p)$ ισούται με το X_i , όπου το X_i αντιπροσωπεύει την μορφή του μοντέλου i του δείγματος. Στο δείγμα η διαφοροποίηση μεταξύ των μοντέλων θα πρέπει να είναι ομαλή.

Η χρήση της κανονικής συνάρτησης GRBF (Gaussian Radial Basis Function) όπως ήδη αναφέραμε αποτελεί μια συνηθισμένη προσέγγιση για παρεμβολή διάσπαρτων δεδομένων.

Η κανονική συνάρτηση Gauss δίδεται από τη σχέση $\Phi(r) = e^{-ar^2}$, ενώ στη γενική τους μορφή οι συναρτήσεις παρεμβολής RBF δίδονται από τη σχέση:

$$s(x) = p_m(x) + \sum_i^N w_i \cdot \Phi(\|x - x_i\|), \quad x \in R^d, w_i \in R, \quad (1)$$

όπου p_m είναι πολυώνυμο μικρότερου βαθμού, $\|\cdot\|$ είναι η Ευκλείδεια νόρμα πίνακα και d, N εκφράζουν την διάσταση της παραμέτρου και το μέγεθος του δείγματος που παρεμβάλλεται αντίστοιχα

Στην προκειμένη περίπτωση θεωρείται αντιστοίχιση ενός χώρου δεδομένων x διάστασης d , σε χώρο δεδομένων διάστασης ένα (μονοδιάστατο χώρο). Το αποτέλεσμα $s(x)$ της αντιστοίχισης, είναι γραμμική προσέγγιση των συναρτήσεων βάσης.

$$s(x) = \sum_i^N w_i \cdot \exp(-\beta \|x - x_i\|^2), \quad x \in R^d, w_i \in R, \quad (2)$$

όπου τα N διανύσματα εισόδου x_i αποτελούν το σύνολο των μοντέλων του δείγματος, β είναι παράμετρος περιμέτρου η οποία ελέγχει την ομαλότητα της συνάρτησης παρεμβολής και $\|\cdot\|$ είναι η Ευκλείδεια νόρμα. Το βάρος w_i υπολογίζεται με τη επίλυση σχετικού γραμμικού συστήματος.

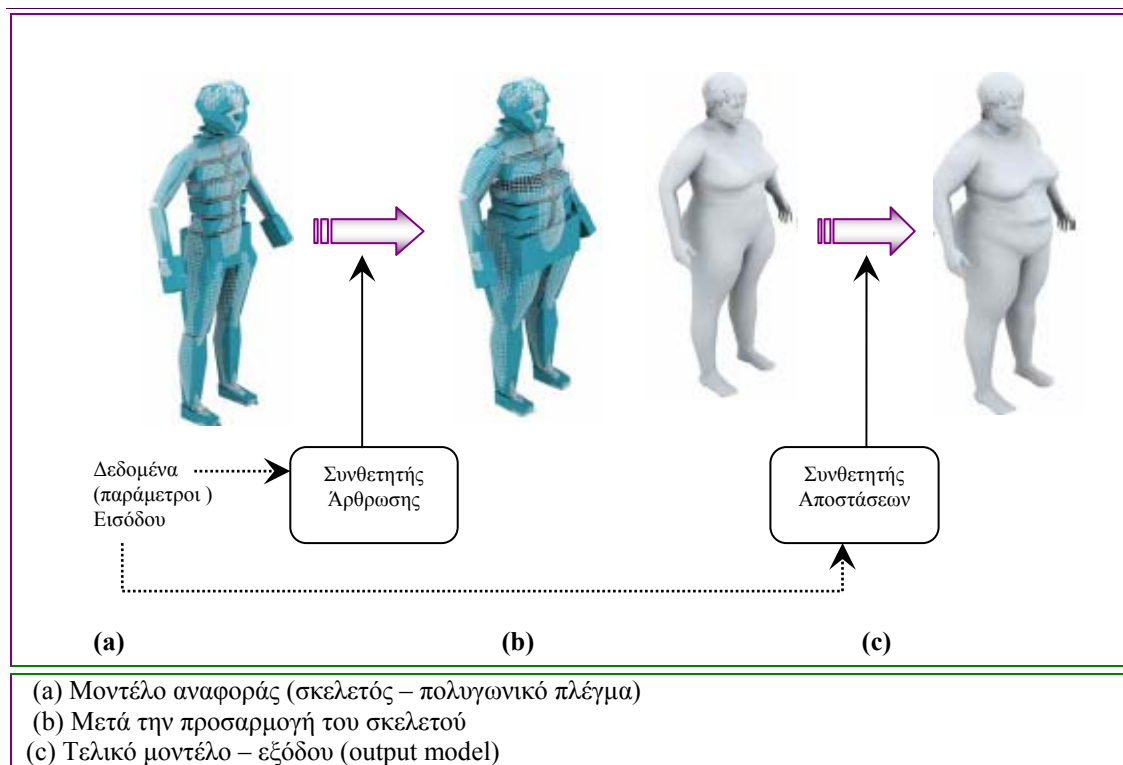
Ένα μειονέκτημα της αναλυτικής επίλυσης είναι ο μεγάλος αριθμός αρνητικών βαρών. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι δεν βαθμολογεί σωστά, εφόσον έγκειται στην επίλυση γραμμικού συστήματος τάξης $O(n^2)$. Επιπρόσθετα, η επίλυση του γραμμικού συστήματος οδηγεί σε εσφαλμένα αποτελέσματα καθώς το μέγεθος του δείγματος μεγαλώνει. Παρόλο που στην προκειμένη περίπτωση το δείγμα αποτελείται από 100 μοντέλα, σε πρακτικές εφαρμογές ξεπερνούν τον αριθμό αυτό.

Για την παράκαμψη των παραπάνω μειονεκτημάτων, υιοθετείται εναλλακτικό δίκτυο παρεμβολής RBF. Συχνά ερευνητικός στόχος είναι η εφαρμογή ενός δικτύου παραμέτρων μέσω κατάλληλου κανόνα εκμάθησης. Κατά συνέπεια γίνεται χρήση μεγάλου συνόλου αλγορίθμων οι οποίοι αποσκοπούν στον σωστό υπολογισμό του βάρους w_i , και την βελτιστοποίηση της

συνάρτησης βάση. Πρόσφατα η μελέτη *Esposito et al*, ανέπτυξε στρατηγική αύξουσας ολοκλήρωσης, κατά την οποία πραγματοποιείται γρήγορη «εκπαίδευση». Αντί της κοινής παραμέτρου β , κάθε συνάρτηση ενεργοποίησης έχει τη δική της παράμετρο β_i , της οποίας η τιμή προκύπτει από την «εκπαίδευση». Οπότε η συνάρτηση $s(x)$, μετατρέπεται:

$$s(x) = \sum_i^N w_i \cdot \exp(-\beta_i \|x - x_i\|^2), \quad x \in R^d, \quad w_i \in R$$

Η διαδικασία εκμάθησης βασίζεται στην τυχαία αναζήτηση. Για κάθε νέο στοιχείο που προστίθεται στο νευρωνικό δίκτυο – RBF, πληθυσμός παραμέτρων β_i αναπαράγεται με τη χρήση πιθανότητας κανονικής κατανομής. Και για τους δύο τύπους συνθετητών 20 πληθυσμοί αποδίδουν ικανοποιητικά αποτελέσματα.



Σχήμα 4 – Η μοντελοποίηση του σώματος με τη χρήση του Συνθετητή (*synthesizer*).

2.5.1 Παρεμβολή αρθρώσεων – *Joint interpolation*

Παρόλο που οι μετασχηματισμοί υπολογίζονται χωριστά για κάθε οστό, παρουσιάζονται αρκετά πλεονάζοντα στοιχεία, όπως για παράδειγμα γειτονικά οστά συχνά υπόκεινται στους ίδιους μετασχηματισμούς. Όταν το ιερό οστό, το οποίο επηρεάζει κυρίως την περιοχή των γλουτών, υπόκειται σε μετασχηματισμό κλίμακας μεγάλου βαθμού, το ένα οστό των γλουτών τείνει να υποστεί τον ίδιο μετασχηματισμό, αναπαριστώντας ένα μεγάλο μηρό. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται επίσης στο γεγονός ότι μεταξύ διαφορετικών παραμέτρων υπάρχει συσχέτιση.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο η ανάλυση βασικών συνιστωσών (PCA), για μετασχηματισμούς οστών εξυπηρετεί στην εύρεση μιας βέλτιστης ορθογώνιας βάσης. Σε πρώτη φάση, υπολογίζεται το ιδιοδιάνυσμα του σκελετού για κάθε βαθμό ελευθερίας. Κάνοντας περικοπές στην βάση του παραπάνω διανύσματος, εξακολουθεί να προκύπτει μια καλή προσέγγιση των μετασχηματισμών του υπό εξέταση οστού.

Κάθε ένα από τα στοιχεία των παραμέτρων των αρθρώσεων, απορρέει από μία συνάρτηση παρεμβολής. Όπως προαναφέρθηκε το πλήθος των συναρτήσεων παρεμβολής είναι $25N$ ($N: DoF$, 8 σε αυτή την περίπτωση) και στις συναρτήσεις αυτές οφείλονται οι μετασχηματισμοί κλίμακας και μεταφοράς των αρθρώσεων κατά τις διευθύνσεις x, y και z . Σημειώνεται ότι οι συναρτήσεις παρεμβολής των αρθρώσεων δεν περιλαμβάνουν τους μετασχηματισμούς περιστροφής, εφόσον δεν επηρεάζουν τις διαστάσεις του σώματος.

Το ανθρώπινο σώμα είναι δομημένο βάση ιεραρχικών κανόνων και για το λόγο αυτό οι μετασχηματισμοί κλίμακας και μεταφοράς εκφράζονται βάση απόλυτου ή σχετικού συστήματος συντεταγμένων. Ο μετασχηματισμός ως προς το σχετικό (κινητό) σύστημα συντεταγμένων καθορίζει τη θέση ενός τμήματος σε σχέση με τη θέση του προηγούμενου τμήματος, ενώ ο μετασχηματισμός ως προς το απόλυτο (ακίνητο) σύστημα συντεταγμένων καθορίζει τη θέση σε σχέση με την αρχή συντεταγμένων του μοντέλου του σκελετού.

2.5.1.1 Συνθετητής αρθρώσεων – Joint synthesizer

Εφόσον πραγματοποιείται αντιστοίχιση $R^8 \rightarrow R^{25}$, και στα δίκτυα RBF έχουν να κάνουν με αντιστοίχιση $R^8 \rightarrow R$, κατασκευάζονται 25 δίκτυα, ένα για κάθε στοιχείο του διανύσματος J . Σημειώνεται ότι ο σκελετός διαθέτει ιεράρχηση δέντρου, και υπάρχουν δύο τρόποι περιγραφής των μετασχηματισμών μιας άρθρωσης: σύμφωνα με το απόλυτο ή το σχετικό σύστημα συντεταγμένων. Όταν γίνεται χρήση σχετικών μετασχηματισμών, τότε οι σχηματισμοί της άρθρωσης παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ τους (variation). Λόγω του ότι υψηλές τιμές της απόκλισης στο πρόγραμμα εκπαίδευσης προκαλούν θορύβους στα δεδομένα, δηλαδή αποκλίσεις, επιλέγουμε απόλυτους μετασχηματισμούς για την περιγραφή των παραμέτρων των αρθρώσεων, και ανεξαρτήτου άρθρωσης – προγόνου.

2.5.2 Παρεμβολή αποστάσεων - Displacement interpolation

Οι αποστάσεις, αφορούν κυρίως στις αποστάσεις των κορυφών του πολυγωνικού πλέγματος αναφοράς μετά την τελειοποίηση της επιφάνειας του δέρματος. Υπολογίζονται βάση του απόλυτου συστήματος συντεταγμένων, έτσι οι τιμές διαφέρουν ανάλογα με την πόζα του

σώματος. Για την απομάκρυνση χαρακτηριστικών εξαρτώμενων τις πόζας από την διαδικασία της αντιστοίχισης, οι αποστάσεις καταγράφονται στην ίδια στάση (στην παρούσα περίπτωση από πλάγια αριστερή αναπαράσταση όπως φαίνεται σε σχετική εικόνα του Παραρτήματος Ι).

Όπως περιγράφηκε και παραπάνω, τα λοιπά συστατικά (residual components) της γεωμετρίας του σώματος εκφράζονται με σημειακά διανύσματα. Όπως και στην περίπτωση των παραμέτρων των αρθρώσεων, μεταξύ των αποστάσεων κορυφών τις επιφάνειας του δέρματος παρουσιάζεται σημαντική συνάφεια. Αρχικά βρίσκεται η ιδιοκατάσταση των μετατοπίσεων με τη χρήση της ανάλυσης βασικών συνιστωσών (PCA). Στην παρούσα εφαρμογή που παρουσιάζεται τα πρώτα 25 βασικά συστατικά ήταν αρκετά για την ανακατασκευή της πρωτότυπης μορφής του σώματος. Συνεπώς, κατασκευάζονται τρία σύνολα συναρτήσεων παρεμβολής διάστασης 25, για τις αποστάσεις κατά τους άξονες x , y και z .

Αντίστοιχα με τις συναρτήσεις παρεμβολής των αρθρώσεων, έτσι και στην παρεμβολή αποστάσεων, αξιοποιείται το πλήθος των συσχετίσεων μεταξύ των μοντέλων σωμάτων του δείγματος, με σκοπό τον συντονισμό της εκτίμησης ρεαλιστικών σχημάτων με δεδομένα εισόδου τις παραμέτρους διαστάσεων. Αντίθετα με την περίπτωση παρεμβολής αρθρώσεων, η συνάρτηση περιλαμβάνει το μη γραμμικό όρο p_m (Εξίσωση (1), παρ. 2.5). Η ύπαρξη του όρου αυτού οφείλεται στο γεγονός ότι οι μεγάλοι μυς έχουν εξαιρετικά μη γραμμικό χαρακτήρα και μοντελοποιούνται καλύτερα μέσω ελαστικών παραμορφώσεων.

2.5.2.1 Συνθετητές αποστάσεων – Displacement synthesizers

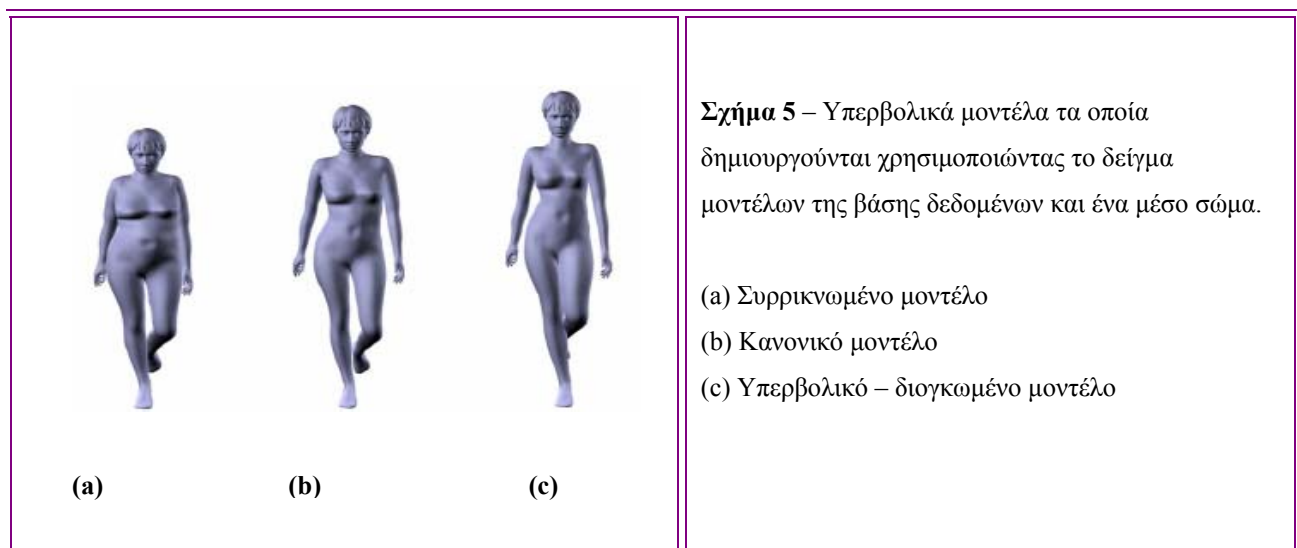
Όμοια όπως και στην περίπτωση των συνθετητών αρθρώσεων, κατασκευάζονται 25 σύνολα δικτύων για κάθε στοιχείο του πίνακα αποστάσεων D .

2.5.3 Κανονικοποίηση - Normalization

Οι συναρτήσεις RBF παίρνουν τιμές καθορισμένες από μία παράμετρο, η οποία εκφράζει την απόσταση από ένα κεντρικό σημείο σε ένα πολλαπλών - διαστάσεων χώρο. Στην παρούσα εφαρμογή το σύνολο των μετρήσεων ορίζει την διάσταση του χώρου και κάθε μέτρηση αναπαριστά ένα ξεχωριστό άξονα σε αυτό. Καθώς κάθε μέτρηση έχει διαφορετική μέση τιμή και απόκλιση, δεν επιτρέπεται να οριστεί η διάσταση του χώρου απευθείας από τις μετρήσεις αυτές. Αντί αυτού ομαλοποιείται κάθε μεταβλητή μέτρησης ώστε να έχει μέση (αναμενόμενη) τιμή μηδέν και απόκλιση τη μονάδα με εφαρμογή PCA.

2.5.4 Συνθετικής πληθυσμού μοντέλων - *Population synthesizer*

Με την κατασκευή του μεμονωμένου συνθετητή, το πρόβλημα της αυτόματης αναπαραγωγής πληθυσμού περιορίζεται στο πρόβλημα αναπαραγωγής επιθυμητού αριθμού αληθοφανών συνόλων παραμέτρων. Κατά την αυτόματη αναπαραγωγή συνόλου ανθρωπομετρικών μετρήσεων, θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν την εξάρτηση των συσχετίσεων μεταξύ των μετρήσεων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι εξαρτήσεις αυτές έχουν απομακρυνθεί και στη θέση τους έχει σχηματισθεί κανονικοποιημένος χώρος παραμέτρων ορισμένος από τις ορθογώνιες βάσεις. Έτσι είναι δυνατή η αναπαραγωγή κάθε παραμέτρου χωριστά με σκοπό την αυτόματη παραγωγή επιθυμητού αριθμού νέων παραμέτρων απαραίτητων για την κατασκευή νέων σωμάτων. Γίνεται χρήση κανονικής γεννήτριας τυχαίων αριθμών Gauss. Η απόκλιση μεταξύ του πληθυσμού μπορεί να προσαρμοστεί από τον χρήστη, παρόλο που ορίζεται προεπιλεγμένη απόκλιση ως απόκλιση στη βάση δεδομένων.



2.5.5 Υπερβολικά μοντέλα – *Exaggeration models*

Στο πλαίσιο που περιγράφεται είναι δυνατή η υλοποίηση υπερβολικών και μη – υπερβολικών μοντέλων σε τέσσερα στάδια:

1. Γίνεται μέτρηση της γεωμετρίας του σώματος το οποίο και θα διογκώσουμε, για τον σχηματισμό ενός διάνυσματος διάστασης στο χώρο των παραμέτρων.
2. Το διάνυσμα διάστασης κανονικοποιείται και διατίθεται στους συνθετητές οι οποίοι παρέχουν διάνυσμα σώματος εντός του κανονικοποιημένου χώρου του σώματος.

3. Το διάνυσμα σώματος πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή κλίμακας (αρνητικό στην περίπτωση της συρρίκνωσης), ο οποίος καθορίζεται βάση του βαθμού διόγκωσης.

4. Δημιουργείται ένα διογκωμένο μοντέλο, με τον συνδυασμό του διανύσματος μετασχηματισμού κλίμακας του σώματος με το ιδιοδιάνυσμα του σκελετού και τα ιδιοδιανύσματα αποστάσεων. Σαν αποτέλεσμα προκύπτει μια συγκεκριμένη δομή σκελετού και αποστάσεις αντιστοίχισης για την εφαρμογή τους στο μοντέλο αναφοράς. Στο σχήμα 5 φαίνεται ένα διογκωμένο μοντέλο με τη χρήση του μηχανισμού μοντελοποίησης.

2.6 ΣΥΝΘΕΤΗΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ

Σε προηγούμενες παραγράφους αναφέρθηκαν τεχνικές σύνθεσης ενός ή πληθυσμού μοντέλων από πλήθος ανθρωπομετρικών μετρήσεων μετροταινίας (παράγραφοι 2.5.1-2.5.3, 2.5.4). Ένα μειονέκτημα του συνθετητή μοντελοποίησης είναι ότι εισάγοντας τις ίδιες παραμέτρους παράγονται πάντα ίδια πανομοιότυπα μοντέλα. Συχνά είναι επιθυμητή η απόδοση σε ένα μοντέλο σώματος, κάποιων ιδιαίτερων χαρακτηριστικών διαφοροποίησης, διατηρώντας τα χαρακτηριστικά της φυσιολογίας ίδια. Ένα τυπικό παράδειγμα θα ήταν το πώς θα άλλαζε το σώμα ενός ανθρώπου αν αυτός / αυτή έχανε βάρος. Το ερώτημα αυτό απασχολεί τα τελευταία χρόνια τον κλάδο γραφικών H/Y, και ιδιαίτερα τον τομέα αναπαράστασης προσώπων. Οι *Blanz* και *Vetter* [3], χρησιμοποιούν ένα συγκεκριμένο δείγμα σάρωσης για βάση δεδομένων, καθώς επίσης μια γραμμική συνάρτηση η οποία αντιστοιχεί τα χαρακτηριστικά του προσώπου (φύλλο, βάρος, έκφραση) στο τρισδιάστατο μοντέλο αναπαράστασης. Η μελέτη του *Kahler et al* [12], χρησιμοποιεί ανθρωπομετρικά δεδομένα για τον υπολογισμό παραμόρφωσης των οριακών επιφανειών, σύμφωνα με τις αλλαγές που επιφέρει η γήρανση και τη αλλαγή βάρους.

Ο συνθετητής τροποποίησης βασίζεται σε μοντέλα παλινδρόμησης, χρησιμοποιώντας παραμέτρους μορφής για εκτιμήτριες μεταβλητές και κάθε στοιχείο του διανύσματος σώματος σαν μεταβλητή απόκρισης. Το μέγεθος του δείγματος που χρησιμοποιείται από την μέθοδο αυτή είναι σχετικά μικρό ($n = 50$), και ασύμμετρο.

2.6.1 Βαθμονόμηση του δείγματος – *Sample calibration*

Έχει παρατηρηθεί ότι ψιλόλιγνα και κοντόχοντρα σώματα, παρουσιάζουν αρκετά αποκλίνουσες τιμές στη βάση δεδομένων με υψηλή συσχέτιση μεταξύ ποσοστού βάρους και ύψους ($r = -2.6155$, $p < 0.0001$). Η άμεση χρήση τέτοιων δεδομένων άνισης κατανομής, έχει σαν αποτέλεσμα λανθασμένες εκτιμήσεις του συνθετητή τροποποίησης. Για το λόγο αυτό γίνεται βαθμονόμηση του δείγματος, με στόχο την αποφυγή σφαλμάτων. Η τεχνική βαθμονόμησης που χρησιμοποιείται στη μέθοδο βελτιώνει την μορφολογική αναπαράσταση, την

κατανομή και τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού του δείγματος, αναθέτοντας βάρη σε κάθε στοιχείο του. Στόχος είναι ο καθορισμός βαρών για κάθε δείγμα ώστε η γραμμική συνάρτηση αντιστοίχισης του ύψους στο ποσοστό λίπους, να έχει μηδενική κλίση.

Το δείγμα απαρτίζεται από n στοιχεία. Για κάθε στοιχείο k του δείγματος ορίζεται y_k η μεταβλητή – στόχος και \vec{x}_k το διάνυσμα των p υπόλοιπων μεταβλητών. Τα διανύσματα \vec{x}_k συσχετίζονται με την μεταβλητή y_k μέσω της συνάρτησης παλινδρόμησης $Y = XB$, όπου το $(X)_{kj} = x_k^j$ εκφράζει την μεταβλητή j του στοιχείου k , το Y εκφράζει το διάνυσμα των n μεταβλητών – στόχου, και το διάνυσμα συσχέτισης $B = [b_1, b_2, \dots, b_n]^T$ θεωρείται δεδομένο για τον πληθυσμό.

Η βαθμονόμηση έγκειται στον υπολογισμό του βάρους w_k κάθε στοιχείου ώστε η κατανομή του δείγματος των μεταβλητών X να συμφωνεί με την κατανομή του πληθυσμού. Το πρόβλημα λοιπόν την βαθμονόμησης μοντελοποιείται ως εξής:

1. Ελαχιστοποίηση της απόστασης :

$$\sum_{k=1}^n G(w_k), \quad (1)$$

που εξαρτάται από μια σταθερά βαθμονόμησης η οποία ορίζεται από την τετραγωνική συνάρτηση ελαχίστου βάρους:

$$X^T W_m X B = X^T W_m Y, \quad (2)$$

όπου $W_m = \text{diag}(w_1, \dots, w_n)$, διαγώνιος πίνακας με τα στοιχεία w_1, \dots, w_n στην κύρια διαγώνιο.

Η συνάρτηση απόστασης G μετράει την διαφορά μεταξύ την πραγματικής τιμής του βάρους, ομοιόμορφη κατανομή του βάρους στην προκειμένη περίπτωση με τιμή 1, και των τιμών w_k . Ο αντικειμενικός στόχος είναι η αποκόμιση νέων βαρών οι τιμές των οποίων θα είναι όσο το δυνατότερο πιο κοντινές της πραγματικής τιμής. Το μοντέλο παλινδρόμησης είναι γραμμικό ($p = 2$), x_i^j και y_i είναι, τα ποσοστά βάρους υψωμένα στη δύναμη $j-1$ και το ύψος του στοιχείου i , αντίστοιχα. Ο συντελεστής B είναι $B = [b_1, 0]^T$. Με βάση τις τιμές αυτές η σχέση (2) ισοδυναμεί:

$$L \cdot W_v = \begin{bmatrix} x_1^1(b_1 - y_1) & \cdots & x_n^1(b_1 - y_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1^p(b_1 - y_1) & \cdots & x_n^p(b_1 - y_n) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = 0, \quad (3)$$

το γραμμικό σύστημα που εκφράζει η εξίσωση (3) είναι ημι – ορισμένο, και $n > p$. Τα βάρη τα οποία υπολογίζονται θα πρέπει να ελαχιστοποιούν την εξίσωση [1]. Η εύρεση λύσης του συστήματος (3) η οποία θα ελαχιστοποιεί την (1), γίνεται με την αντικατάσταση της μεταβλητής w_k με $w'_k + 1$. Οπότε η (3) τροποποιείται ως εξής:

$$L \cdot W'_v = \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^n x_k^1 (b_1 - y_k) \\ \vdots \\ \sum_{k=1}^n x_k^p (b_1 - y_k) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

όπου $W'_v = [w'_1, \dots, w'_n]^T$, και υπό τον περιορισμό: $\sum_{k=1}^n w'_k = 0$, εφόσον η μέση τιμή των βαρών θα πρέπει να ισούται με την μονάδα. Η συνάρτηση απόστασης που χρησιμοποιείται είναι η τετραγωνική συνάρτηση $G(w_k) = \frac{1}{2}(w_k - 1)^2$. Ο ημιορισμένο σύστημα (3) επιλύεται με εφαρμογή τις μεθόδου ελαχίστης νόρμας κατά την οποία εκτελείται διάσπαση πίνακα κατά Cholesky.

2.6.2 Παραμετρική τροποποίηση μεμονωμένων μοντέλων

Όμοια με το συνθετική παραμετρικής μοντελοποίησης, σκοπός είναι η λήψη της τροποποίησης της γεωμετρίας του σώματος όπου κάθε παράμετρος θα αντιπροσωπεύεται από μια συνάρτηση, που στην παρούσα περίπτωση η παράμετροι αυτές είναι ποσοστά λίπους. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση του δείγματος των μοντέλων. Σε αντίθεση με τον συνθετική μοντελοποίησης ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των ανθρώπινων σωμάτων, δεν θα πρέπει να μεταβάλλονται κατά την διάρκεια της μοντελοποίησης, σε αντίθεση με άλλα τα οποία τροποποιούνται σύμφωνα με τις παραμέτρους ελέγχου. Γενικά είναι αρκετά δύσκολο να εντοπισθούν τα χαρακτηριστικά εκείνα που παραμένουν αμετάβλητα σε αλλαγές εξαιτίας διαφόρων παραγόντων (δίαιτα, άθληση, γήρανση κλπ.). Επιπρόσθετα, τα τρισδιάστατα παραδείγματα σώματος ενός ατόμου που υποβάλλεται σε διάφορες αλλαγές στην εμφάνιση του / της είναι σπάνια. Επομένως συμπεραίνεται ότι το πρόβλημα καθορίζεται ως εξής:

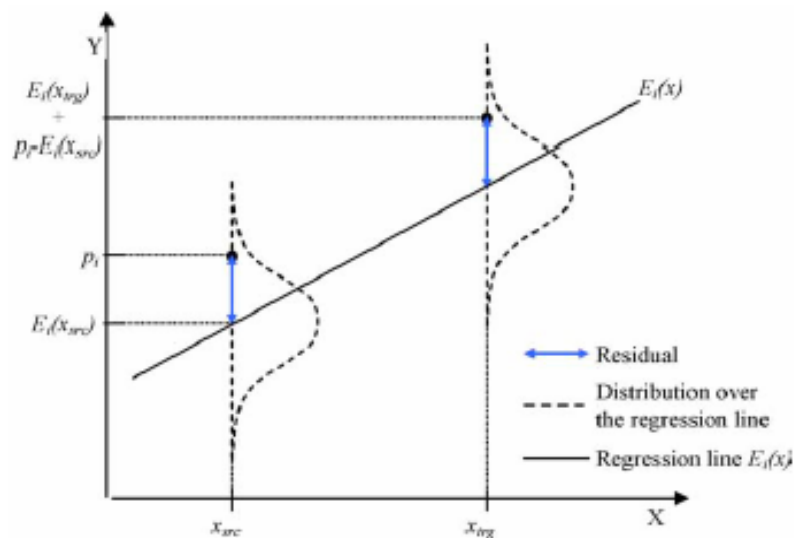
1. Χαρακτηρισμός των γεωμετρικών στοιχείων ενός ατόμου.
2. Προσδιορισμός των στοιχείων ελέγχου του δείγματος των μοντέλων.

Αρχικά γίνεται η προσέγγιση του προβλήματος με τον υπολογισμό του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης, μεταξύ μια παραμέτρου μορφής και κάθε στοιχείου του διανύσματος

του σώματος. Ο σχηματισμός του μοντέλου παλινδρόμησης βασίζεται στη μέθοδο βάρους ελαχίστου τετραγώνου και προκύπτει από την εξής σχέση:

$$B = (X^T W_m X)^{-1} \cdot (X^T W_m Y),$$

όπου W_m είναι ο πίνακας βαρών του δείγματος, X είναι οι τιμές των παραμέτρων μορφής κάθε στοιχείου του δείγματος, Y είναι το i -οστό στοιχείο του διανύσματος του σώματος p_i για κάθε στοιχείο του δείγματος και B είναι ο πίνακας μεταβλητών την συνάρτησης παλινδρόμησης $E_i(x)$.



Σχήμα 6 – Διακύμανση μορφής με την ευθεία παλινδρόμησης και τα διαστήματα απόκλισης

Για δεδομένη παράμετρο μορφής x , η συνάρτηση παλινδρόμησης $E_i(x)$ δίνει μέση τιμή \hat{p}_i του διανύσματος p_i (Σχήμα 6). Η διαφορά $e_i = p_i - \hat{p}_i$ είναι το υπόλοιπο (residual) ή απόκλιση της παλινδρόμησης, και εκφράζει την ιδιαιτερότητα κάθε σώματος όντας η απόκλιση του στοιχείου του διανύσματος του σώματος από την μέση τιμή του. Γίνεται η παραδοχή ότι η διακύμανση των συστατικών του σώματος διατηρεί τον στατιστικό μέσο όρο της κατά την εφαρμογή αλλαγών, για παράδειγμα ένας σχετικά μεγάλος όμως παραμένει μεγάλος. Με τον υπολογισμό των συναρτήσεων παλινδρόμησης $E_i(x)$ για κάθε p_i , είναι δυνατόν να προκύψει ένα μέσο σώμα για δεδομένες παραμέτρους μορφής. Για δεδομένο διάνυσμα σώματος με γνωστές τις παραμέτρους μορφής μπορεί να υπολογιστεί η απόκλιση για όλα τα συστατικά του διανύσματος αυτού. Έστω ότι σε ένα δεδομένο σώμα εισόδου, είναι γνωστή η παράμετρος μορφής x_{src} , και έστω ότι ζητείται η παραγωγή σώματος με παράμετρο μορφής x_{trg} , η νέα τιμή p_i' δίδεται από την σχέση:

$$p_i' = E_i(x_{trg}) + (p_i - E_i(x_{src}))$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΗΣ ΕΝΔΥΣΗΣ



3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η μοντελοποίηση – παραμετροποίηση του ανθρώπινου σώματος έχει εφαρμογές σε περιοχές όπως η βιομηχανία ψυχαγωγίας (τηλεόραση, κινηματογράφος), η ιατρική (εικονική αναπαράσταση της ανατομίας του σώματος, τρισδιάστατη ανακατασκευή από διαγνωστικές δισδιάστατες εικόνες – τομές), ο πολιτισμός (τρειςδιάστατες αναπαραστάσεις για αναπαράσταση ζωής σε αρχαίους πολιτισμούς), η εργονομία (χρήση ανθρωποειδών σε εικονικές αναπαραστάσεις παραγωγικών διαδικασιών) και μόλις πρόσφατα η βιομηχανία ένδυσης.

Οι εφαρμογές της ανάλυσης της μορφής του ανθρώπινου σώματος και της αντίστοιχης παραμετροποίησης / μοντελοποίησής του στην βιομηχανία της ένδυσης μπορούν και κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

1. Ανάλυση – παραμετροποίηση των χαρακτηριστικών μορφών που παρουσιάζονται σε ένα δεδομένο δείγμα του πληθυσμού που επιλέγεται με κριτήρια δημογραφικά (φύλλο, ηλικία, κλπ.) με στόχο να κατασκευάζονται ρούχα που έχουν καλή εφαρμογή στα σώματα των ανθρώπων του συγκεκριμένου πληθυσμού – στόχου (target group). Η πρωτογενής ανάλυση των μορφών γίνεται με βάση μονοδιάστατα δεδομένα (μετρήσεις) και δεν είναι άλλη από την πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση που καταλήγει στη δημιουργία των μεθοδολογιών για κάθε κατηγορία ρούχου. Άλλου τύπου κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει με την χρήση δεικτών που συνδυάζουν μετρήσεις, όπως π.χ. Body Mass Index (BMI) = Βάρος / (Υψος)³, waist – to – hip ratio (περίμετρος μέσης / περίμετρος γλουτών), chest – to – waist ratio (περίμετρος στήθους / περίμετρος μέσης), κλπ. Ή και ακόμα με ανάλυση σωματότυπων, μια ειδικά επιστημονική περιοχή με εφαρμογές κυρίως στον αθλητισμό, την διαιτολογία, κλπ.

2. Ανάλυση – παραμετροποίηση των χαρακτηριστικών μορφών που παρουσιάζονται σε ένα δεδομένο δείγμα του πληθυσμού που επιλέγεται με κριτήρια διαστασιομετρικά (π.χ. ποιες διαφοροποιήσεις παρουσιάζονται στο σχήμα συγκεκριμένων περιοχών του σώματος ατόμων που φορούν το ίδιο μέγεθος για ένα συγκεκριμένο είδος ρούχου), με στόχο να προσαρμόζεται κατά τον δυνατόν η σχεδίαση του ρούχου ώστε να καλύπτει όλες τις πιθανές ιδιομορφίες που παρουσιάζονται στα σώματα που κατατάσσονται στο ίδιο μέγεθος, με μόνο κριτήριο συγκεκριμένες μετρήσεις. Η ανάλυση αυτή μπορεί να επεκταθεί και στην διατύπωση απευθείας σχέσεων μεταξύ της μορφής κάποιας περιοχής και της μορφής του δισδιάστατου σχεδίου – πατρόν. Η διατύπωση τέτοιων σχέσεων είναι χρήσιμη για την αυτόματη τροποποίηση υπαρχόντων πατρόν για την προσαρμογή τους στο σώμα ενός συγκεκριμένου πελάτη (ρούχα ραμμένα στα μέτρα του πελάτη, *Made – To – Measure Technologies*).

Τα τελευταία χρόνια πολλές Ευρωπαϊκές χώρες έχουν κινηθεί προς την κατεύθυνση της παραγωγής ενδυμάτων ραμμένων στις διαστάσεις του πελάτη (made – to – measure) καθώς επίσης και στην ανάπτυξη του τομέα αγοράς ρούχων σε απευθείας σύνδεση με το διαδίκτυο (online apparel shopping). Η διεύρυνση του διαδικτύου, και η ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών δικτύου, παρέχουν ένα αρκετά ενδιαφέρον και αισθητικά ικανοποιητικό αποτέλεσμα του συστήματος επικοινωνίας του χρήστη.

Ωστόσο μέχρι σήμερα τέτοιου είδους εφαρμογές δικτύου, υποστηρίζουν μόνο βασικές λειτουργίες, όπως τρισδιάστατη ή δισδιάστατη απεικόνιση των ρούχων, συνδυασμό διαφορετικών κομματιών, μίξη και εναρμόνιση χρωμάτων και υφασμάτων, που μερικές φορές με την προβολή μανεκέν προσαρμοσμένου στις αναλογίες του αγοραστή. Συνηθισμένο μειονέκτημα αυτής της εφαρμογής είναι η προχειρότητα της πρόβας των ρούχων, η κακή εφαρμογή, αίσθημα δυσφορίας για το ρούχο ή το χρώμα του ρούχου. Η δυσαρέσκεια των πελατών έχει σαν αποτέλεσμα επιστροφές ρούχων και άλλα επιζήμια περιστατικά για την βιομηχανία e – Tailor.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια εφαρμογή δικτύου η οποία παρέχει την καλύτερη πρόσβαση και διαχείριση στοιχείων σχετικών με τα ρούχα, για τον σχεδιασμό την παραγωγή πατρόν και την διαστασιολόγηση ενδυμάτων. Για την υλοποίηση αναπαραγωγής «εικονικών» ενδυμάτων σημαντικό παράγοντα αποτελεί η εφαρμογή τεχνολογίας τρισδιάστατων γραφικών η οποία βοηθά στην δημιουργία και προσομοίωση του εικονικού καταστήματος ρούχων. Για το λόγο αυτό αναφέρονται διάφορες έρευνες σχετικά με την προσομοίωση και δημιουργία σωμάτων / ενδυμάτων και διαστασιολόγησή τους σε απευθείας σύνδεση με το δίκτυο. Πολλοί μελετητές έχουν επισημάνει ότι οι τεχνολογίες τρισδιάστατης απεικόνισης στο δίκτυο είναι επιζήμιες για το ηλεκτρονικό εμπόριο, αποσπώντας τους πελάτες και εξαιτίας του υψηλού κόστους συντήρησης τέτοιου είδους συστημάτων. Ωστόσο έχουν γίνει πολλές προσπάθειες εφαρμογής εικονικής πραγματικότητας στην αγορά ρούχων μέσω διαδικτύου, όχι μόνο για την επίτευξη ενός οπτικά ικανοποιητικού αποτελέσματος αλλά και ενός υψηλού επιπέδου αλληλεπίδρασης του χρήστη.

Το υπό ανάλυση σύστημα, υποστηρίζει ένα σύνολο ικανών και αλληλεπιδραστικών λειτουργιών, όπως αυτόματη προσαρμογή των τρισδιάστατων ανθρωποειδών (mannequins – μανεκέν) σύμφωνα με της μετρήσεις των διαστάσεων του πελάτη, πρόβα και αναπροσαρμογή διαστάσεων του ενδύματος σε απευθείας σύνδεση με το διαδίκτυο (online), καθώς επίσης προσομοίωση κίνησης του ρούχου σε πραγματικό χρόνο. Στόχος είναι η ανάπτυξη και ολοκλήρωση πληθώρας βασικών τεχνολογιών βάση των οποίων οι πελάτες μπορούν να

διαλέξουν ρούχα, να τα προβάρουν μέσω τρισδιάστατων ανθρωποειδών, προσαρμοσμένων στις δικές τους διαστάσεις, και κατά αυτό τον τρόπο να είναι δυνατή η αγορά ενδυμάτων απευθείας από το διαδίκτυο.

3.2 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

3.2.1 Θεωρητικό υπόβαθρο και βοηθητικές τεχνολογίες

Ένα κατάστημα ρούχων εντός διαδικτύου (online), σχεδιασμένο υπό τη μορφή εφαρμογής δικτύου απαιτεί ευέλικτη διαχείριση, γρήγορη αναμετάδοση και επαρκή μνήμη αποθήκευσης δεδομένων του περιεχομένου προβολής. Συγκεκριμένα, στη διαχείριση σχετικά υπέρογκων βάσεων δεδομένων ενδυμάτων και προσομοίωσης αντικειμένων περίπλοκων γραφικών, όπως του δέρματος και των υφασμάτων, ο σημαντικότερος περιοριστικός παράγοντας είναι η λειτουργία του συστήματος σε πραγματικό χρόνο. Η προσομοίωση κίνησης των ρούχων, με τη χρήση μοντέλων φυσικής, δεν είναι εφικτή σε πραγματικό χρόνο, και για το λόγο αυτό έχει ήδη προ καταγραφεί, ώστε η προβολή κίνησης του ενδύματος να γίνεται σε ρυθμό αλληλεπίδρασης.

Η μοντελοποίηση ανθρώπινων σωμάτων αποτελεί μία άλλη βασική τεχνολογία η οποία παρέχει την δυνατότητα υποστήριξης αυτόματης διαστασιολόγησης των ρούχων και επιλογή μεγέθους. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας τρισδιάστατης απεικόνισης, παρουσιάστηκε ιδιαίτερο ενδιαφέρον για μία εφαρμογή αυτής, η οποία έχει να κάνει με την μέτρηση των διαστάσεων του ανθρώπινου σώματος. Στην αγορά διατίθενται και άλλα συστήματα τα οποία βελτιστοποιούνται στην εξαγωγή ακριβών μετρήσεων τμημάτων του σώματος ή στην ρεαλιστική αναπαράσταση – απεικόνιση, με χρήση σε διάφορους τομείς όπως εφαρμογές ηλεκτρονικού εμπορίου. Η εταιρία *Cyberware inc.* με το σύστημα *DigisizeTM*, για παράδειγμα αναπτύχθηκε στα πλαίσια κυβερνητικού προγράμματος στρατιωτικών ενδυμάτων.

Ένας περιοριστικός παράγοντας της χρήσης τρισδιάστατων σαρωτών σώματος, έχει να κάνει με την ανικανότητα της ηλεκτρονικής και αυτόματης ολοκλήρωσης των δεδομένων της σάρωσης σε εφαρμογές λογισμικού. Οι περιορισμοί αυτοί οδήγησαν σε ένα διαφορετικό πλαίσιο μοντελοποίησης σωμάτων. Βασικό χαρακτηριστικό ενός καταστήματος ρούχων διαδικτύου, είναι η ικανότητα κατασκευής ενός τρισδιάστατου μανεκέν, σύμφωνα με τις μετρήσεις διαστάσεων διαφόρων τμημάτων του σώματος, που εισάγει ο πελάτης. Παρουσιάζεται η κατασκευή του τρισδιάστατου μανεκέν μέσα σε απευθείας σύνδεση με το δίκτυο, το οποίο ικανοποιεί τις δοθείσες μετρήσεις, αποφεύγοντας έτσι την περίπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία της τρισδιάστατης σάρωσης. Παρόλο που η κατασκευή γεωμετρίας πλήρους σώματος

φαινομενικά είναι δύσκολη λόγω των περιορισμένων πληροφοριών σε περιθώρια πραγματικού χρόνου, αποδεικνύεται πως αυτό είναι εφικτό στην πράξη, με την σθεναρή τεχνική μοντελοποίησης που χρησιμοποιείται. Επιπρόσθετα με μια τέτοια προσέγγιση οι μετρήσεις και η κίνηση του σώματος επιδέχεται τροποποίησης μέσω αλληλεπίδρασης του χρήστη.

Στο αντίστοιχο διάγραμμα (διάγραμμα 1) φαίνεται η αρχιτεκτονική του συστήματος που χρησιμοποιείται. Η παρούσα προσέγγιση έχει σαν αποτέλεσμα τον ελάχιστο χρόνο απόκρισης απέναντι στο χρήστη, αφού μεγάλο μέρος των συστατικών που διαχειρίζεται το σύστημα παράγεται από την μεριά του χρήστη (πελάτη) και όχι του εξυπηρετητή. Ο υπολογισμός της κίνησης του σώματος και του ρούχου στον εξυπηρετητή, και η αποστολή των δεδομένων μέσω Internet θα προκαλούσε υπερφόρτωση στο δίκτυο, μειώνοντας την ταχύτητα απόκρισης. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμο να μεταφερθούν οι λειτουργίες διαστασιολόγησης σώματος / ενδύματος και απόδοσης κίνησης του δέρματος / ενδύματος, από τη πλευρά του χρήστη, για να αποφεύγεται κάθε φορά η υπερφόρτωση σε προκαθορισμένα μοντέλα.

3.2.1.1 Ο Εξυπηρετητής – The Server

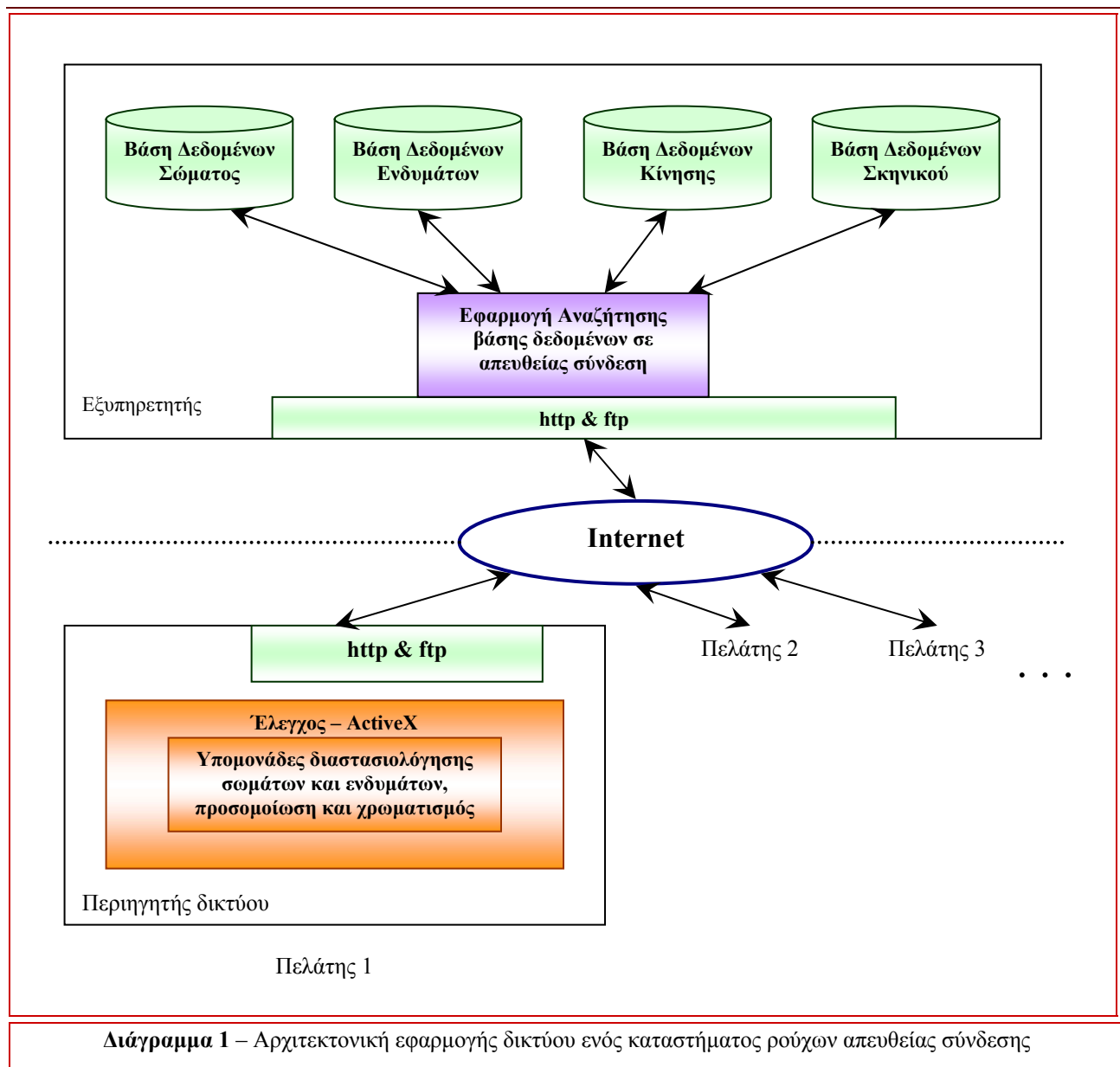
Ο εξυπηρετητής ενός καταστήματος ρούχων σε απευθείας σύνδεση με το δίκτυο, αποτελείται από πολλές βάσεις δομένων, ενώ περιλαμβάνει και μια υπομονάδα εφαρμογής αναζήτησης βάσης δεδομένων εντός δικτύου, για την αναζήτηση πληροφοριών.

- *Βάση δεδομένων σώματος (Body Database):* Αυτή η βάση δεδομένων περιλαμβάνει δύο τρισδιάστατα μανεκέν, ένα για κάθε φύλλο, τα οποία αναφέρονται σαν πρωτογενή μοντέλα καθώς επίσης και συγκεκριμένες στατιστικές πληροφορίες μοντέλων που παράγονται από τεχνολογίες τρισδιάστατης απεικόνισης. Η πληροφορία αυτή είναι πρωταρχικής σημασίας για την διαδικασία απόκτησης νέων γεωμετριών σώματος από δεδομένα εισόδου μετρήσεων διαστάσεων στην υπομονάδα διαστασιολόγησης σώματος / ενδύματος του πελάτη.

- *Βάση δεδομένων ενδυμάτων (Garment Database):* Ένα σύνολο τρισδιάστατων μοντέλων ρούχων έχουν δημιουργηθεί για τα πρωτογενή μοντέλα και κατηγοριοποιούνται. Υπό ιδανικές συνθήκες ένα κατάστημα ρούχων εντός δικτύου έχει να προτείνει μεγάλη ποικιλία διαφορετικών ενδυμάτων. Επιπρόσθετα είναι εύκολη η ενημέρωση της αντίστοιχης βάσης δεδομένων ώστε να υπάρχει συμφωνία των ρούχων που παρουσιάζονται στο διαδίκτυο και των ρούχων που είναι διαθέσιμα προς πώληση. Για το λόγο αυτό η βάση δεδομένων ρούχων είναι τοποθετημένη στο τμήμα του εξυπηρετητή. Με την επιλογή του χρήστη το αντίστοιχο τρισδιάστατο μοντέλο του ρούχου φορτώνεται (downloaded) στο υποσύστημα του πελάτη. Τα

ρούχα αυτά αποθηκεύονται υπό τη μορφή γλώσσας μοντελοποίησης εικονικής πραγματικότητας (VRML), η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στην τρισδιάστατη αναπαράσταση εντός διαδικτύου.

- *Βάση δεδομένων κίνησης (Motion Database):* Περιλαμβάνει δείγματα δεδομένων κίνησης μοντέλων. Ομοίως με τα δεδομένα ενδυμάτων, τα δεδομένα αυτά φορτώνονται κατά ζήτηση. Η συλλογή των δεδομένων κίνησης γίνεται με προ εγγραφή της κίνησης ενός πραγματικού ανθρώπου, χρησιμοποιώντας συστήματα βιντεοσκόπησης.
- *Βάση δεδομένων σκηνικού (Scene Database):* Τα γραφικά στοιχεία τα οποία συνθέτουν το φόντο εμφάνισης του συστήματος, αποθηκεύονται σε αρχεία VRML.



3.2.1.2 Ο Πελάτης – The Client

Ο πελάτης διαδικτύου, τρέχει πρόγραμμα μετά την φόρτωση των λειτουργικών μονάδων στον πελάτη υπό τη μορφή στοιχείων ελέγχου ActiveX. Απαρτίζεται από δύο βασικές μονάδες:

- Την υπό – μονάδα διαστασιολόγησης σώματος / ενδύματος, η οποία παρέχει λειτουργικότητες παραμόρφωσης του τρισδιάστατου ανθρωποειδούς (μανεκέν) σύμφωνα με τα δεδομένα εισόδου διαστάσεων του χρήστη και προσαρμογής του ρούχου στις διαστάσεις αυτές.
- Με την ολοκλήρωση της στατικής μορφής του τρισδιάστατου μανεκέν και του ενδύματος, η απόδοση κίνησης του ντυμένου μανεκέν εξασφαλίζεται μέσω της υπομονάδας προσομοίωσης ενδύματος σε πραγματικό χρόνο. Η προσέγγιση αυτή μειώνει δραστικά τον όγκο των δεδομένων που μεταφέρονται από τον εξυπηρετητή στον πελάτη.

3.3 ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΟΣ

Η μοντελοποίηση του σώματος βάση μετρήσεων μετροταινίας, βασίζεται κυρίως στο στάδιο της προ επεξεργασίας και στο στάδιο μοντελοποίησης σε τρέχοντα χρόνο. Η βάση δεδομένων έχει σχεδιαστεί για την αποθήκευση των αποτελεσμάτων προ επεξεργασίας τα οποία στη συνέχεια τροφοδοτούν τη διαδικασία μοντελοποίησης τρέχοντα χρόνου. Παρακάτω περιγράφεται η φάση της προ επεξεργασίας, η οποία παρουσιάστηκε αναλυτικά και σε προηγούμενο κεφάλαιο (ΚΕΦ.2). Αναφέρονται οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν από την εφαρμογή, η προετοιμασία του πρωτογενούς μοντέλου, και τι δεδομένα αποκομίζονται με την διαστασιολόγηση σώματος / ενδύματος σε τρέχοντα χρόνο.

3.3.1 Χρήση των μετρήσεων διαστάσεων

Η εφαρμογή χρησιμοποιεί τις 8 βασικές ανθρωπομετρικές μετρήσεις οι οποίες αναφέρονται αναλυτικά και στο ΚΕΦ.2, και οι οποίες προέκυψαν από δειγματοληψίες σωματομετρικών δεδομένων πληθυσμού για σχεδιασμό ενδυμάτων. Γίνεται η υπόθεση ότι οι χρήστες γνωρίζουν οι ίδιοι τις διαστάσεις του σώματός τους, ή ότι οι διαστάσεις τους έχουν καταγραφεί από τρισδιάστατη σάρωση / μετροταινίες.

3.3.2 Πρωτογενή μοντέλα

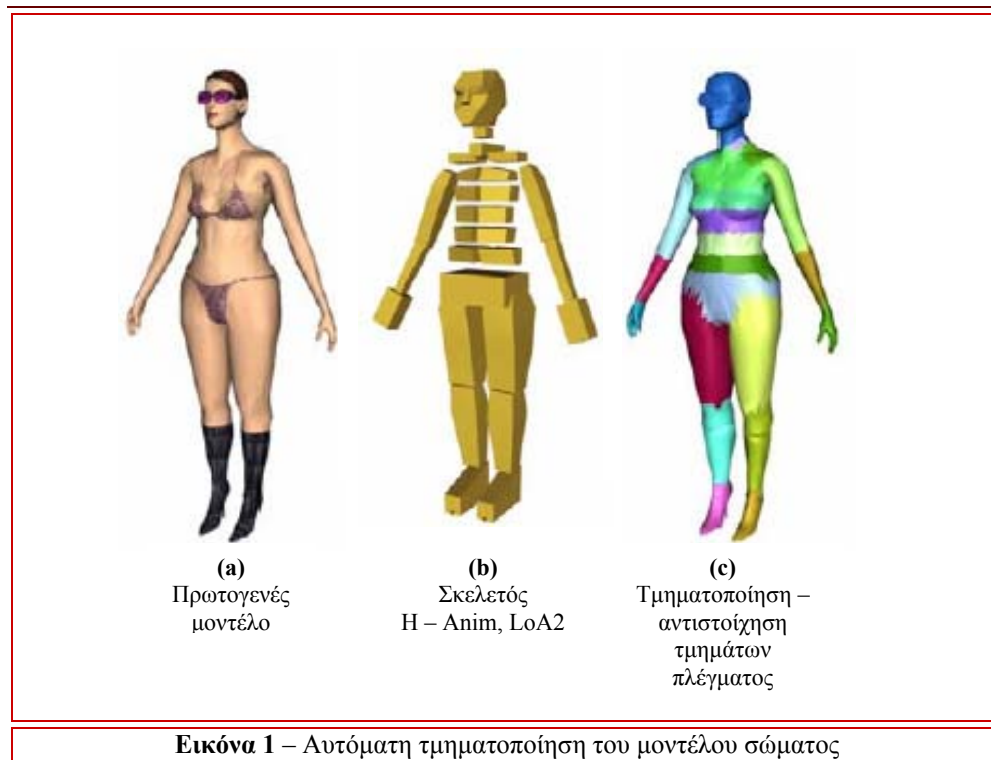
Γίνεται η παραδοχή ότι τα μοντέλα έχουν τη ίδια τοπολογία για να μην είναι απαραίτητη η δημιουργία νέας γεωμετρίας σώματος για κάθε μοντέλο. Το πρωτογενές μοντέλο συνθέτει ένας μέσος ανθρώπινος σκελετός, ο οποίος έχει τη δομή και την υφή δέρματος 6,000 κορυφών και 10,000 τριγώνων. Υπάρχουν δύο μοντέλα για κάθε φύλλο. Η προετοιμασία των πρωτογενών μοντέλων εκτελείται σε τρία στάδια:

1. Δημιουργείται ο σκελετός σύμφωνα με τις προδιαγραφές H – Anim, και προσαρμόζεται κατάλληλα σε σχέση με το πολυγωνικό πλέγμα του σώματος.
2. Υπολογίζονται τα δεδομένα σύνδεσης του δέρματος.
3. Το πολυγωνικό πλέγμα του σώματος χωρίζεται σε τμήματα, και η δομή πλήρους σώματος εξάγεται σε μορφή H – Anim.

Η όλη διαδικασία διαδραματίζεται σε περιβάλλον 3DS MaxTM, με τη χρήση οικιακής ή επαγγελματικής σύνδεσης.

3.3.2.1 Ιεραρχία του σκελετού

Η γενικές προδιαγραφές κατά H – Anim, αναλύουν έναν κοινό τρόπο αναπαράστασης ανθρωποειδών σε γλώσσα εικονικής πραγματικότητας VRML 97'. Το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από ένα σύνολο τμημάτων (όπως παλάμες, άνω και κάτω άκρα), τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με αρθρώσεις (όπως είναι ο καρπός, ο αγκώνας και ο αστράγαλος). Η πλήρης ιεράρχηση κατά H – Anim αποτελείται από 94 αρθρώσεις και 12 τμήματα δέρματος περιλαμβανομένου του κρανίου, των χεριών και των πελμάτων. Στην παρούσα εφαρμογή επιλέχτηκε επίπεδο σχηματισμού H – Anim δύο (Level of Articulation 2, LoA2). Ο σκελετός αναπαριστάται στην εικόνα 1 – (b).



3.3.2.2 Τμηματοποίηση και εξαγωγή

Η παραμόρφωση λόγω σκελετού, μια κλασσική μέθοδος για την βασική παραμόρφωση του δέρματος αποτελεί την πιο κοινή και ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική στην τρισδιάστατου χαρακτήρα παραμόρφωση του δέρματος. Απαραίτητη προϋπόθεση επιτυχημένης παραμόρφωσης λόγω σκελετού είναι η κατάλληλη σύνδεση του δέρματος με τον σκελετό όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο (ΚΕΦ.2). Η παραμόρφωση του σκελετού χρησιμοποιείται όχι μόνο για την προσομοίωση του δέρματος αλλά και για την τροποποίηση του μεγέθους κάθε συγκεκριμένου τμήματος και όψης, με την εφαρμογή ανελαστικής παραμόρφωσης στην άρθρωση.

Μετά τον ορισμό της σύνδεσης, αυτό που υπολείπεται είναι η τμηματοποίηση του πολυγωνικού πλέγματος του δέρματος και ο εντοπισμός καθενός από αυτά στην ιεραρχία του σκελετού, σαν ένας απόγονος – κόμβος της αντίστοιχης άρθρωσης. Το πλέγμα αποσυντίθεται σε μια συλλογή συνοριακών τριγώνων τα οποία μοιράζονται την άρθρωση με το υψηλότερο βάρος, και σχηματίζουν τα αντίστοιχα τμήματα κόμβων κάθε οστού, όπως φαίνεται και στην εικόνα 1-(c). Το μοντέλο μετά την τμηματοποίηση είναι έτοιμο για εξαγωγή σαν ένα ευπειθή ανθρώπινο σώμα H – Anim. Τα δεδομένα σύνδεσης εξάγονται σε δεδομένα XML στο αρχείο της γλώσσας εικονικής πραγματικότητας VRML.

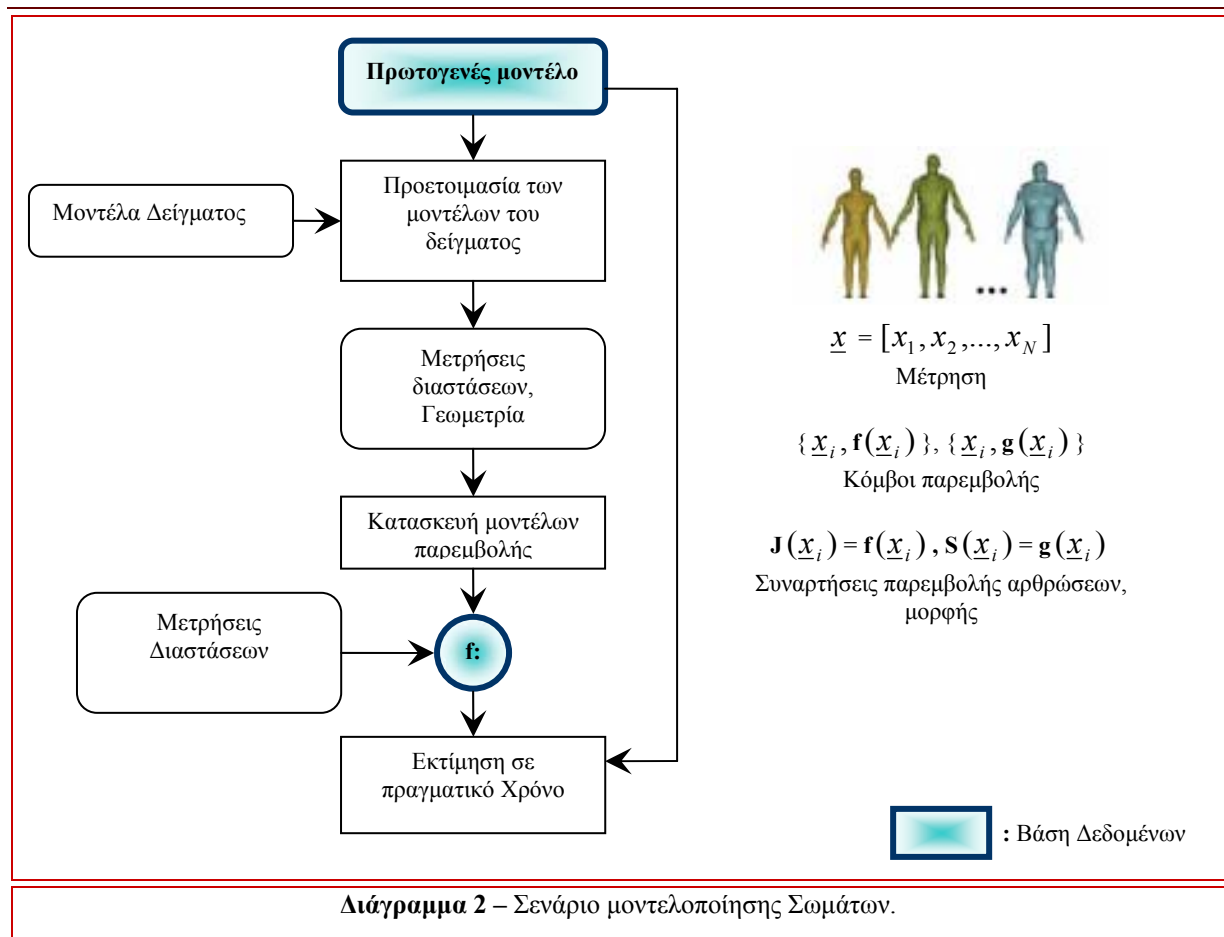
3.3.3 Προσέγγιση βάση παραδειγμάτων

Σε αυτή την παράγραφο γίνεται μια περίληψη του κυρίου μέρους κατασκευής των μοντέλων βάση των μετρήσεων των διαστάσεων του χρήστη σε πραγματικό χρόνο. Σημειώνεται ότι η απόλυτη γεωμετρική συνάφεια των μετρήσεων δεν εγγυάται την αληθοφάνεια της τελικής μορφής του σώματος. Κατά κοινή ομολογία η σωματική γεωμετρία πραγματικών ανθρώπων αποτελεί ιδανικό πρότυπο. Βασική ιδέα της προσέγγισης είναι η όσο το δυνατόν καλύτερη αξιοποίηση της συσχέτισης μεταξύ διαφορετικών μετρήσεων και μεταξύ μετρήσεων και μορφής του σώματος η οποία παρουσιάζεται σε σώματα πραγματικών ατόμων. Μια σθεναρή μοντελοποίηση σωματικής γεωμετρίας είναι εφικτή ακόμη και όταν οι πληροφορίες είναι περιορισμένες.

Στο διάγραμμα 2 φαίνεται η ροή των διεργασιών της μοντελοποίησης του σώματος. Περιλαμβάνονται δύο στάδια προ επεξεργασίας. Κατά πρώτον αρχικά εφαρμόζεται ισοδυναμία τοπολογίας μεταξύ των ομάδων δεδομένων με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η αντιστοίχιση των κορυφών του πλέγματος του δέρματος και της δομής του σκελετού. Κατά δεύτερον η εφαρμογή των συναρτήσεων – μοντέλων παρεμβολής τα οποία θα χρησιμοποιηθούν

για την εκτίμηση της απαραίτητης παραμόρφωσης για την λήψη νέων μοντέλων κατ' εξακολούθηση στο χώρο των μετρήσεων.

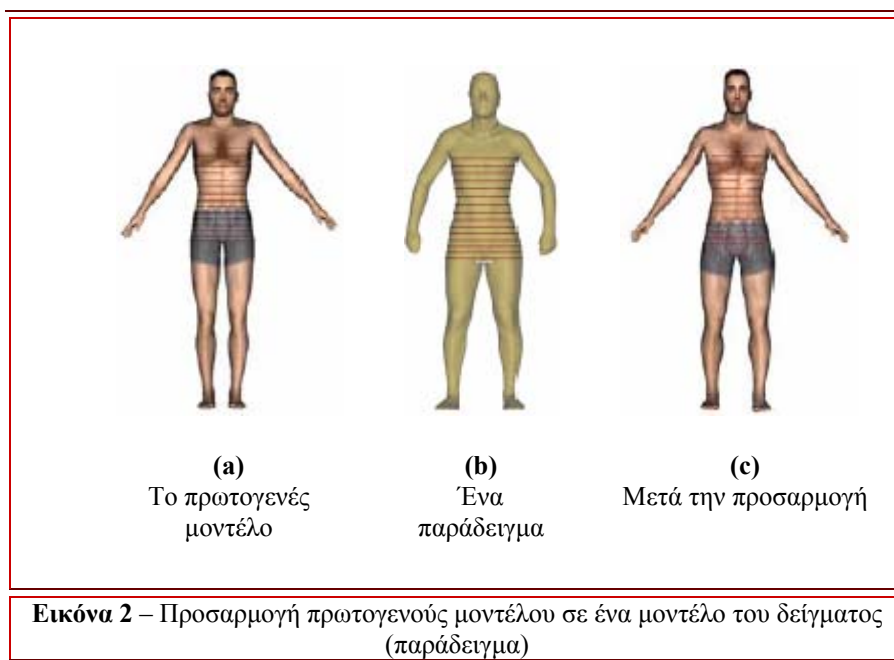
Η εκτέλεση σε απευθείας σύνδεση, των λειτουργιών διαστασιολόγησης σώματος / ενδύματος, κάνουν χρήση της συνάρτησης παρεμβολής για την παραμόρφωση του πρωτογενούς μοντέλου απευθείας, μέσω πολλαπλής μίξης των μοντέλων του δείγματος.



3.3.3.1 Προετοιμασία μοντέλων δείγματος

Τα αρχικά μοντέλα του δείγματος βασίζονται σε ήδη υπάρχοντα μοντέλα ή σε μοντέλα τα οποία προκύπτουν από τεχνολογίες καταγραφής τρισδιάστατης μορφής. Επιπρόσθετα, γίνεται η υπόθεση ότι υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ των μοντέλων. Όλα τα μοντέλα έχουν τον ίδιο αριθμό κορυφών και την ίδια συνδεσμολογία πολυγωνικού πλέγματος καθώς επίσης και την ίδια ιεράρχηση σκελετού. Αυτό επιτυγχάνεται με την σωστή προσαρμογή του πρωτογενούς μοντέλου σε κάθε μοντέλο του δείγματος. Τρόποι με τους οποίους επιτυγχάνεται πλήρης αντιστοιχία των μοντέλων αναλύεται σε αντίστοιχη παράγραφο του κεφαλαίου 2 (παράγραφο 2.2.3.2) . Η

προκαθορισμένη τοπολογία έχει τόσο πρακτικά όσο και θεωρητικά πλεονεκτήματα. Κατά πρώτον απλοποιεί το πρόβλημα επιτρέποντας, όπως αναφέρεται και στο Κεφάλαιο 2, τη διανυσματική αναπαράσταση της σωματικής γεωμετρίας και κατά δεύτερον τα δεδομένα σύνδεσης του δέρματος μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ώστε στα τελικά μοντέλα να είναι δυνατή η απευθείας απόδοση κίνησης. Τέλος διαφορετικές όψεις των παραδειγμάτων αναλύονται εύκολα μέσω συντελεστών μετασχηματισμού μεταφοράς και κλίμακας που λαμβάνονται από αυτά.



Η εφαρμογή που παρουσιάζεται έκανε χρήση 14 μοντέλων σωμάτων (6 μοντέλα ανδρών και 8 γυναικών), τα οποία προέκυψαν από τρισδιάστατη σάρωση. Μετά την εξασφάλιση της αντιστοιχίας τα μοντέλα μετρώνται σε διάφορα τμήματα του σώματος, λαμβάνοντας κατά αυτό τον τρόπο τις 8 βασικές ανθρωπομετρικές διαστάσεις. Οι τιμές των διαστάσεων μαζί με τις παραμέτρους μορφής και αρθρώσεων, αποτελούν τα δεδομένα εισόδου των μοντέλων παρεμβολής.

- *Παράμετροι αρθρώσεων:* Εκφράζουν τους βαθμούς ελευθερίας κάθε άρθρωσης (DoF). Μία άρθρωση έχει συντελεστές κλίμακας (s_x, s_y, s_z) και μεταφοράς (t_x, t_y, t_z), οι οποίοι σχηματίζουν ένα διάνυσμα διάστασης $6 \cdot N$, όπου N είναι ο αριθμός των αρθρώσεων.

- *Παράμετροι μορφής:* Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2, χρησιμοποιείται ένα σύνολο ισοϋψών καμπυλών για την λεπτομερή περιγραφή της μορφής (σχήματος) της γεωμετρίας του σώματος, και συγκεκριμένα του κορμού. Πολλές από τις λοιπές μετρήσεις βασίζονται σε τέτοιες καμπύλες. Η ελαστική απόκλιση των κορυφών τις καμπύλης κατά την

διαδικασία της προσαρμογής από την αρχική τους θέση, χρησιμοποιείται για την περιγραφή του ελαστικού τμήματος της παραμόρφωσης.

Η σταθερή αναπαράσταση των παραμέτρων γίνεται με την εφαρμογή Ανάλυσης Βασικών Συνιστωσών, PCA.

3.3.3.2 Κατασκευή μοντέλων παρεμβολής και εξαγωγή

Μετά την προετοιμασία των μοντέλων του δείγματος, κατασκευάζονται τα μοντέλα παρεμβολής τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την εκτίμηση των απαραίτητων παραμορφώσεων που θα οδηγήσουν στην παραγωγή νέων σωμάτων μέσω της λειτουργίας διαστασιολόγησης σώματος / ενδύματος. Με δεδομένο ένα σύνολο μετρήσεων οι συναρτήσεις παρεμβολής των αρθρώσεων είναι υπεύθυνες για την ανελαστική παραμόρφωση του σώματος, η οποία κατευθύνει την παραμόρφωση λόγο σκελετού που οδηγεί στη λήψη σωστής αναλογίας μεταξύ διαφόρων τμημάτων του σώματος. Οι συναρτήσεις παρεμβολής μορφής, εφαρμόζονται στο ελαστικό τμήμα της παραμόρφωσης προσθέτοντας λεπτομέρεια στο σχήμα του σώματος. Οι συναρτήσεις παρεμβολής εκφράζονται σε συναρτήσεις των 8 βασικών ανθρωπομετρικών μετρήσεων με την εφαρμογή μιας τεχνικής ακτινικής παρεμβολής σε διάσπαρτα δεδομένα RBF.

Μετά την κατασκευή των μοντέλων παρεμβολής εξάγεται ο χώρος των μετρήσεων για την εκτίμηση του ελαστικού και ανελαστικού τμήματος της παραμόρφωσης, επιτρέποντας την απευθείας αναπαραγωγή διαφοροποιημένων τρισδιάστατων μοντέλων σωμάτων. Με τη μορφή συναρτήσεων RBF, κάθε μοντέλο παρεμβολής περιγράφεται από τους κόμβους παρεμβολής και τα αντίστοιχα βάρη παρεμβολής. Για την επιτάχυνση της εκτίμησης σε πραγματικό χρόνο η συνάρτηση βάσης εφαρμόζεται με τη χρήση ευρετικού πίνακα περιεχομένων.

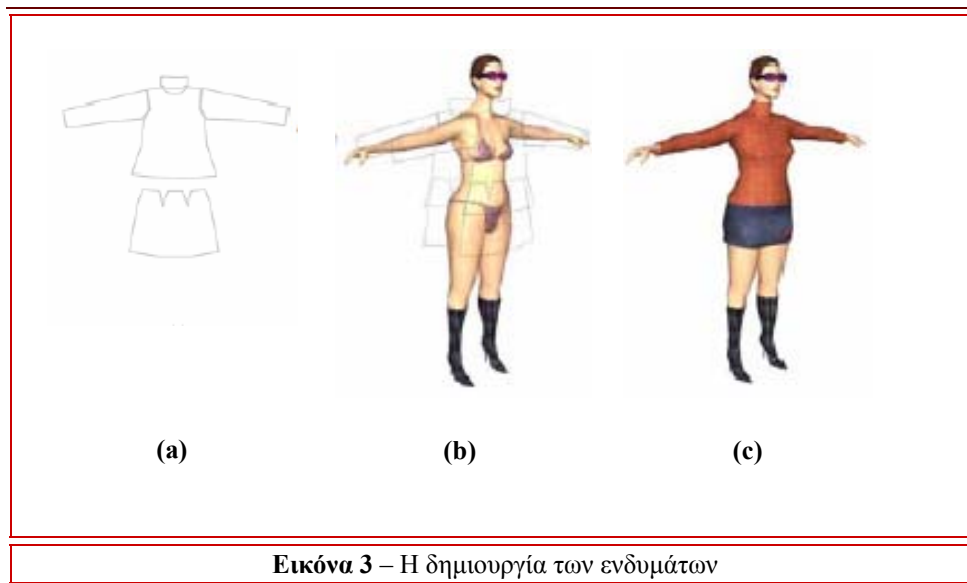
3.4 ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΝΔΥΜΑΤΩΝ

Για αυτή τη βάση δεδομένων υπολογίζεται ένα σύνολο ενδυμάτων από το οποίο θα «ντυθεί» το πρωτογενές μοντέλο. Για την δημιουργία ενδυμάτων συμβατών με το κατάστημα ρούχων απευθείας σύνδεσης, οι σχεδιαστές πρέπει αρχικά να φτιάξουν τα πατρόν, στη συνέχεια τα ενδύματα υπόκεινται σε προ επεξεργασία και τέλος εξάγονται στο σύστημα σε μορφή VRML.

3.4.1. Σχεδιασμός των ρούχων.

Ο σχεδιασμός των ενδυμάτων γίνεται σε λογισμικό τοπικής χρήσης. Ο σχεδιαστής σχεδιάζει σε δισδιάστατα πατρόν και ορίζει τις ραφές στα όρια του πατρόν, οι οποίες θα αντιπροσωπεύουν τις ακμές ένωσης των πολυγώνων του υφάσματος κατά την σύνθεση του

ενδύματος, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3-(a). Στη συνέχεια τα πατρόν, τριγωνοποιούνται σε πλέγμα και τοποθετούνται γύρω από ένα τρισδιάστατο σώμα, εικόνα 3-(b). Το αρχικό σχήμα του ρούχου υπολογίζεται με απόκριση επαφής, εικόνα 3-(c). Η μορφή του μοντέλου σώματος, καθοδηγεί την επιφάνεια του υφάσματος σαν αποτέλεσμα της απόκρισης αυτής. Εφόσον η διαστασιολόγηση του ενδύματος γίνεται απευθείας μέσω της λειτουργίας διαστασιολόγησης σώματος / ενδύματος, χρειάζεται μόνο μία προσομοίωση για την προετοιμασία κάθε τμήματος του ενδύματος πάνω στο πρωτογενές μοντέλο.



3.4.2 Προ επεξεργασία του ενδύματος

Η προσομοίωση ενδυμάτων σε πραγματικό χρόνο απαιτεί δραστικές απλοποιήσεις της διαδικασίας προσομοίωσης που εκτελείται, με αντίκτυπο στην μηχανική και γεωμετρική ακρίβεια. Η παρούσα προσέγγιση βασίζεται σε μια υβριδική μέθοδο όπου το ύφασμα χωρίζεται σε διάφορα τμήματα στα οποία εφαρμόζονται διαφορετικοί αλγόριθμοι. Προβάρνοντας ένα ρούχο παρατηρείται ότι η κίνηση του υφάσματος κατατάσσεται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την εφαρμογή του, δηλαδή αν είναι εφαρμόζει ακριβώς ή αν είναι φαρδύ πάνω στο σώμα. Για παράδειγμα στενά παντελόνια μπορεί να ακολουθούν την κίνηση των ποδιών, ενώ μια φούστα θα ρέει πάνω σε αυτά. Η τμηματοποίηση λοιπόν γίνεται σύμφωνα με τις τρεις παρακάτω κατηγορίες:

- *Στρώμα 1 – « Ελαστικά ρούχα »*

Είναι οι περιοχές του ενδύματος που εφαρμόζουν πάνω στο σώμα υπό ένα σταθερό περιθώριο (offset). Στην περίπτωση αυτή το ρούχο ακολουθεί ακριβώς την κίνηση της υποκείμενης επιφάνειας του δέρματος.

▪ *Στρώμα 2 – « Χαλαρά ρούχα »*

Περιοχές του ενδύματος οι οποίες κινούνται σε μια συγκεκριμένη απόσταση από την επιφάνεια του σώματος τοποθετούνται σε άλλη κατηγορία. Ιδανικό παράδειγμα είναι τα μανίκια των πουκαμίσων. Η υπόθεση που γίνεται στην περίπτωση αυτή είναι ότι η επιφάνεια του ρούχου έρχεται σε επαφή πάντα με το ίδιο τμήμα επιφάνειας του δέρματος και η κίνησή του είναι κυρίως κάθετη στην επιφάνεια του σώματος.

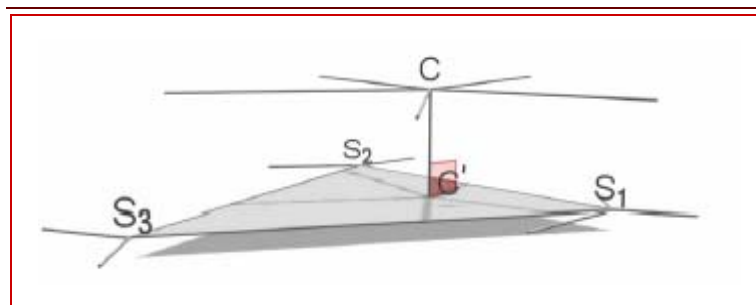
▪ *Στρώμα 3 – « Φαρδιά ρούχα »*

Έχει να κάνει με περιοχές του ενδύματος οι οποίες ρέουν (ανεμίζουν), γύρω από το σώμα. Η κίνηση του υφάσματος δεν ακολουθεί ακριβώς την κίνηση του σώματος. Οι επαφές μεταξύ ρούχου και δέρματος είναι μη προβλέψιμες. Για παράδειγμα στην περίπτωση μιας μακριάς φούστας, το αριστερό τμήμα της μπορεί να έρθει σε επαφή με το δεξί κατά την διάρκεια της κίνησης του μανεκέν.

Στις παραπάνω τρεις κατηγορίες η απόδοση κίνησης γίνεται σε τρία διαφορετικά στρώματα του ρούχου. Η βασική ιδέα της μεθόδου είναι η αποφυγή δύσκολων υπολογισμών φυσικής παραμόρφωσης και ανίχνευσης επαφής όποτε αυτό είναι εφικτό, δηλαδή στις περιπτώσεις όπου η ανίχνευση επαφής δεν κρίνεται απαραίτητη. Κύριος στόχος είναι η προ επεξεργασία του υφάσματος – στόχου και του μοντέλου σώματος, έτσι ώστε αυτά να εκτιμούνται σωστά σε πραγματικό χρόνο. Τα ενδύματα λοιπόν χωρίζονται σε τμήματα και στη συνέχεια ορίζεται η ανάλογη μέθοδος προσομοίωσης.

3.4.2.1 Υπολογισμός δεδομένων σύνδεσης του υφάσματος

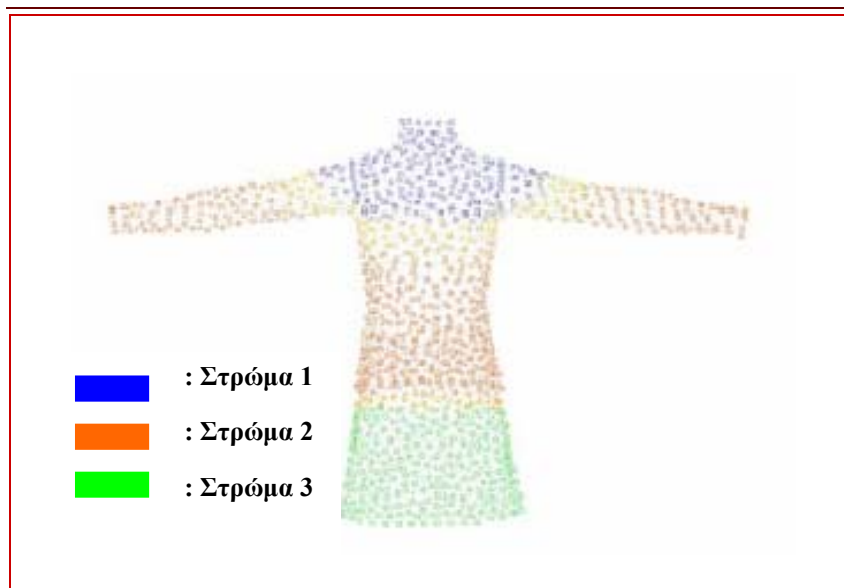
Το πρώτο στάδιο της προ επεξεργασίας των ενδυμάτων είναι ο ορισμός των δεδομένων σύνδεσης. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η μέθοδος παραμόρφωσης του υφάσματος κάνει χρήση της εκάστοτε μορφής του υποκείμενου δέρματος. Κάθε κορυφή του πολυγωνικού πλέγματος του ενδύματος συνδέεται με το πλησιέστερο τρίγωνο, κορυφή ή ακμή του πολυγωνικού πλέγματος του δέρματος. Στην εικόνα 3, η κορυφή C είναι σε επαφή με το τρίγωνο του δέρματος $S_1S_2S_3$. Ορίζεται το σημείο C' , σαν την πλησιέστερη κορυφή πάνω στο τρίγωνο $S_1S_2S_3$, του C . Στη συνέχεια υπολογίζονται οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους του C' , ρητές συντεταγμένες, βάση των κορυφών S_1 , S_2 και S_3 . Οι συντεταγμένες αυτές χρησιμοποιούνται κατά την διαδικασία προσομοίωσης και την διαστασιολόγηση του υφάσματος.



Εικόνα 3 - Αντιστοίχιση πληροφοριών σύνδεσης

3.4.2.2 Τμηματοποίηση

Από την πρόβα του ρούχου, πάνω στο αρχικό σώμα, χρησιμοποιείται η απόσταση μεταξύ του ενδύματος και της επιφάνειας του δέρματος για τον καθορισμό της κατηγορίας στην οποία ανήκουν τα τρίγωνα που συνθέτουν το ένδυμα. Σε κάθε τμήμα οι αποστάσεις από την επιφάνεια του δέρματος είναι αυτές οι οποίες ορίζουν την κατηγορία στην οποία θα ανήκει. Κάθε περιοχή του ενδύματος κατατάσσεται αναλόγως, σε στενό χαλαρό ή φαρδύ ρούχο. Οι κορυφές του υφάσματος οι οποίες βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του δέρματος ανήκουν στην 1η ή 2η κατηγορία – στρώμα. Οι κορυφές του υφάσματος οι οποίες δεν έρχονται σε επαφή με κανένα τμήμα της επιφάνειας του δέρματος κατατάσσονται στο στρώμα 3, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.



Εικόνα 4 – Τμηματοποίηση ενδυμάτων

3.4.2.3 Εξαγωγή

Μετά το πέρας της τμηματοποίησης, τα τρισδιάστατα μοντέλα των ενδυμάτων μαζί με όλα τα δεδομένα των χαρακτηριστικών τους, εξάγονται σε VRML μορφή, για τη χρησιμοποίησή

τους από το διαδικτυακό κατάστημα ρούχων. Τα μοντέλα αυτά αποθηκεύονται στον εξυπηρετητή (server), επιτρέποντας έτσι την εύκολη ενημέρωση και συντήρηση του υποσυστήματος.

3.5 ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ

Βασικά κριτήρια της κίνησης του ρούχου είναι λιγότερης σημασίας για την κίνηση μοντέλων ανθρώπινων σωμάτων. Συστήματα λήψης καρέ κινήσεως τα οποία διατίθενται στην αγορά, προσφέρουν μια εύκολη λύση για την καταγραφή της κίνησης ενός ατόμου. Λόγω του ότι τα πρωτογενή μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούνται περιγράφονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές H – Anim, τα δεδομένα κίνησης έχουν τροποποιηθεί έτσι ώστε να είναι αμέσως προσαρμόσιμα στο πρότυπο H – Anim. Ο μετατροπέας, αρχικά υπολογίζει την αντιστοιχία ιεραρχίας μεταξύ των δύο μοντέλων (μεταξύ μοντέλου του συστήματος καταγραφής κίνησης και H – Anim), και πραγματοποιεί μετασχηματισμούς σε κάθε γωνία άρθρωσης, για κάθε καρέ κίνησης, ώστε να εξαλειφθεί η διαφορά μεταξύ των όψεων των μοντέλων.

Τα μεταλλαγμένα δεδομένα κίνησης εξάγονται σε μορφή δεδομένων VRML, χρησιμοποιώντας τους κόμβους του μοντέλου παρεμβολής, και πλέον μπορούν να εφαρμοσθούν στις προδιαγραφές σώματος H- Anim ανά καρέ (frame – by – frame basis). Η βάση δεδομένων απαρτίζεται από πληθώρα βασικών κινήσεων που κάνει ένα άτομο όταν δοκιμάζει ένα ρούχο, όπως να περπατά και να περιστρέφεται.

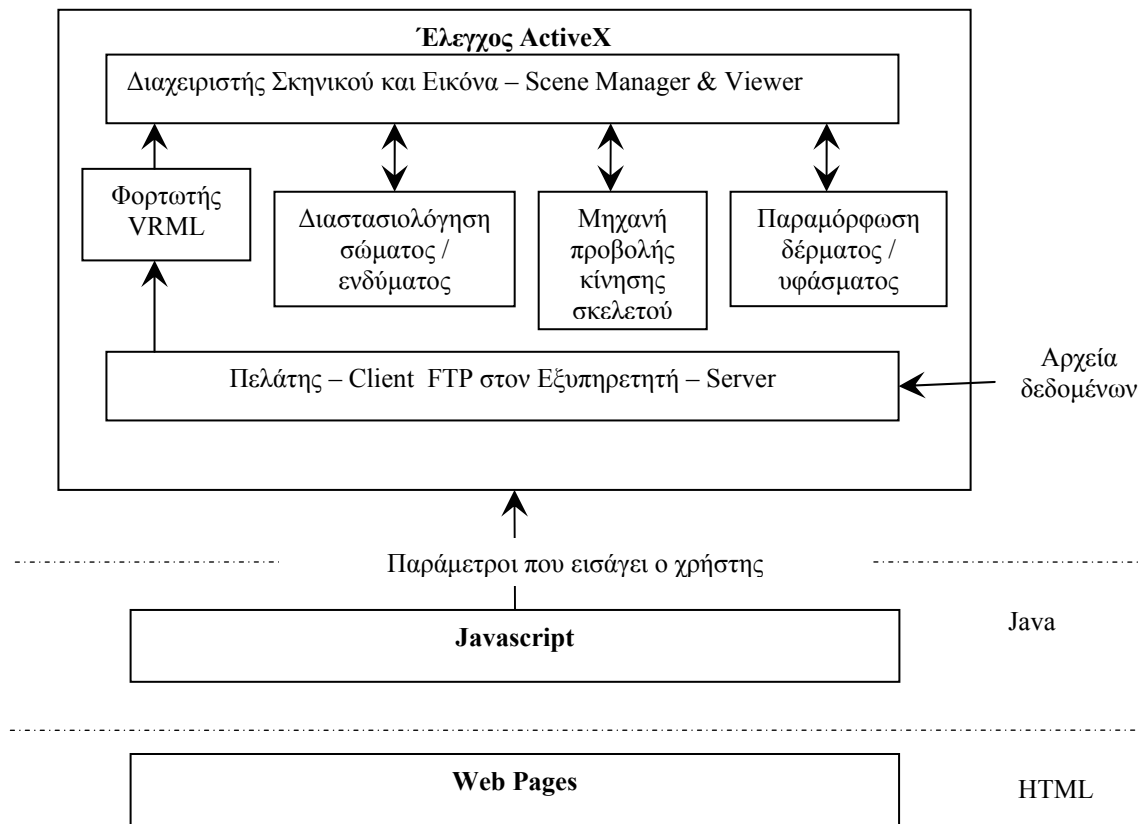
3.6 ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΟΥ ΠΕΛΑΤΗ

Η εφαρμογή του πελάτη (client) δεν αφορά μόνο την προβολή των ενδυμάτων στους αγοραστές, αλλά χρησιμοποιείται επίσης και για τον υπολογισμό των παραμορφώσεων που υπόκεινται το ένδυμα και το σώμα. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 3, η αρχιτεκτονική του πελάτη κάνει χρήση τριών διαφορετικών στρωμάτων υλοποίησης.

3.6.1 Έλεγχος ActiveX

Υπομονάδες για την απόδοση κίνησης και προβολή σε πραγματικό χρόνο, αναπτύσσονται σε γλώσσα προγραμματισμού C++, και ολοκληρώνονται υπό τη μορφή ελέγχου ActiveX. Οι μονάδες ελέγχου ActiveX είναι στοιχεία τα οποία ενσωματώνονται σε περιηγητές δικτύου όπως είναι ο Internet Explorer. Επειδή εφαρμόζονται σε οποιαδήποτε γλώσσα επικοινωνίας, έχουν την καλύτερη απόδοση σε λειτουργίες απευθείας χρόνου. Ένα άλλο πλεονέκτημα των μονάδων ελέγχου ActiveX, είναι ότι η εγκατάστασή τους σε κάθε

εξυπηρετητή γίνεται χωρίς να το αντιλαμβάνεται ο χρήστης. Φορτώνονται και εγκαθίστανται αυτόματα με κάθε επίσκεψη στην αντίστοιχη ιστοσελίδα.



Διάγραμμα 3 – Περίληψη της Αρχιτεκτονικής του Πελάτη

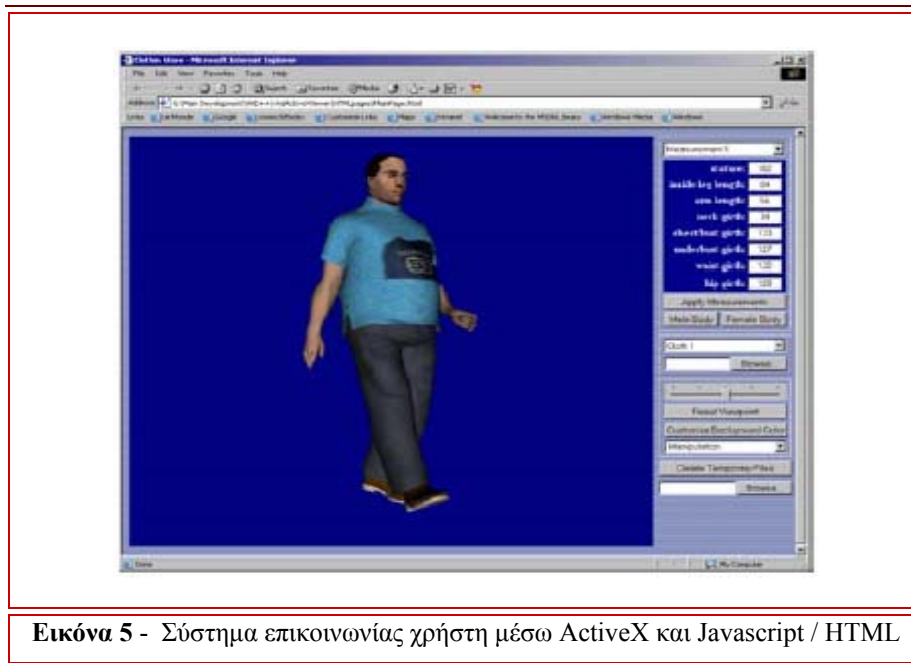
Ο έλεγχος ActiveX αποτελείται από διάφορες άλλες υπομονάδες, όπως:

1. FTP πελάτη για την φόρτωση δεδομένων από τον εξυπηρετητή.
2. Την μονάδα φόρτωσης δεδομένων VRML η οποία ευθύνεται για την παροχή των δεδομένων στη μονάδα διαχείρισης σκηνικού.
3. Το μηχανισμό προβολής κίνησης του σκελετού του mannequin.
4. Υπομονάδα διαστασιολόγησης σώματος / υφάσματος στα μέτρα του χρήστη και υπομονάδα παραμόρφωσης του δέρματος και του υφάσματος για την απόδοση κίνησης απευθείας.
5. Τον μηχανισμό τρισδιάστατης απεικόνισης για την προβολή του σκηνικού.

3.6.2 Javascript και σελίδες HTML

Η αποκρυπτογράφηση Javascript και οι σελίδες HTML χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή των γραφικών του συστήματος επικοινωνίας του χρήστη, και ευνοούν την αλληλεπιδραστικότητα. Ο μηχανισμός Javascript βοηθά σε περίπλοκες λειτουργίες όπως η

καταγραφή των επιλογών του χρήστη, των εργασιών διαχείρισης, και στην αποστολή τους στη μονάδα ελέγχου ActiveX. Η εικόνα 5, απεικονίζει την ιστοσελίδα όπου ο χρήστης εισάγει τις μετρήσεις του σώματός του και έρχεται σε οπτική επαφή με το κινούμενο τρισδιάστατο μανεκέν.



Εικόνα 5 - Σύστημα επικοινωνίας χρήστη μέσω ActiveX και Javascript / HTML

3.7 ΥΠΟ ΜΟΝΑΔΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΩΜΑΤΟΣ / ΕΝΔΥΜΑΤΟΣ

Κύρια μέριμνα της υπομονάδας διαστασιολόγησης σώματος / ενδύματος, είναι η σωστή διαχείριση των διαστάσεων του τρισδιάστατου μανεκέν υπό την μορφή VRML. Όπως περιγράφηκε και παραπάνω γίνεται χρήση του πρωτογενούς μοντέλου και των μοντέλων παρεμβολής για τον υπολογισμό των παραμέτρων αρθρώσεων και μορφής, βάση των οποίων παραμορφώνεται το πρωτογενές μοντέλο. Αρχικά παραμορφώνεται το μοντέλο σώματος με την εφαρμογή των παραμέτρων που έχουν υπολογισθεί από τα μοντέλα παρεμβολής σε συνάρτηση των παραμέτρων εισόδου. Στη συνέχεια παραμορφώνονται τα ενδύματα αναλόγως ώστε να προσαρμόζονται στο παραμορφωμένο σώμα.

3.7.1 Διαστασιολόγηση σώματος

Με βάση τις τιμές των διαστάσεων του σώματος ή μιας συγκεκριμένης θέσης στο χώρο των μετρήσεων που επιλέγεται από το σύστημα σε πραγματικό χρόνο, το μοντέλο παρεμβολής υπολογίζει την απαιτούμενη παραμόρφωση, μέσω αποτελεσματικής μίξης των μοντέλων του δείγματος των οποίων οι μετρήσεις είναι γνωστές, για την παραγωγή της μορφής με παρεμβολή.

3.7.1.1 Στρέβλωση ισοϋψών καμπυλών

Με την εισαγωγή ενός νέου συνδυασμού μετρήσεων, καθορίζεται η θέση τους στο χώρο των μετρήσεων. Με το διάνυσμα θέσης για είσοδο, υπολογίζονται οι παράμετροι των αρθρώσεων μέσω των συναρτήσεων παρεμβολής κάθε άρθρωσης του σκελετού. Στην εικόνα 6 – (b), φαίνεται το μοντέλο μετά την εφαρμογή των παραμέτρων άρθρωσης στο μοντέλο της εικόνας 6 – (a). Κατά παρόμοιο τρόπο οι συναρτήσεις παρεμβολής μορφής καθορίζουν το σχήμα των βασικών και εν συνεχεία, των βοηθητικών ισοϋψών καμπυλών και τις παραμορφώνουν προσθέτοντας την εκτιμώμενη ελαστική σταθερά, όπως απεικονίζεται και στην εικόνα 6 – (c).

3.7.1.2 Παραμόρφωση πολυγωνικού πλέγματος

Για τον προσδιορισμό μιας επιφάνειας δέρματος η οποία παρεμβάλλει ομαλά μεταξύ παραμορφωμένων ισοϋψών καμπυλών, χρησιμοποιείται η τεχνική παρεμβολής διάσπαρτων δεδομένων. Για κάθε σημείο p_i του πολυγωνικού πλέγματος του δέρματος, η τελική θέση δίδεται από τη σχέση:

$$p'_i = p_i + W(p_i), \quad (1)$$

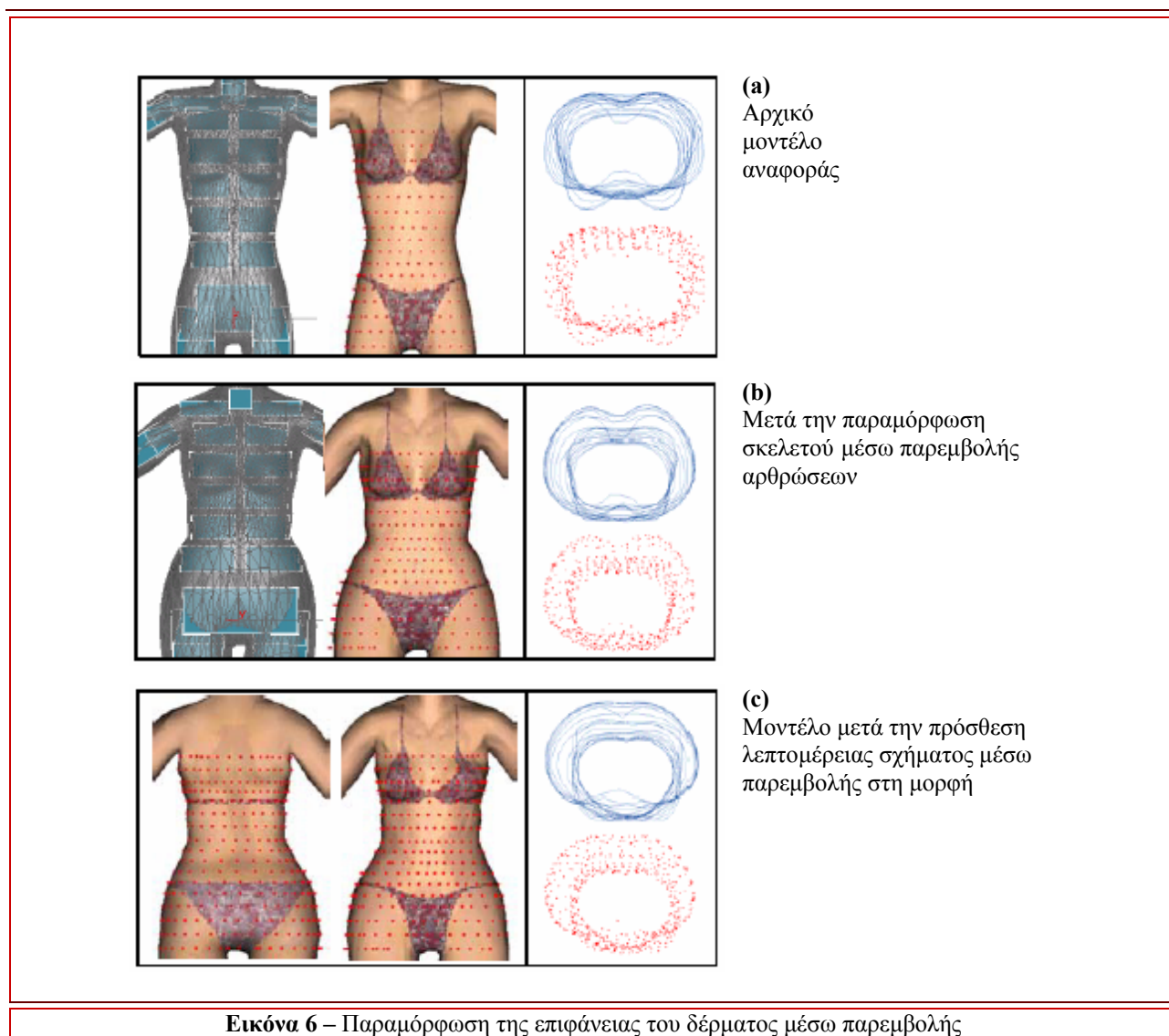
όπου $W = (s_x, s_y, s_z)$ είναι η συνάρτηση παραμόρφωσης, και $W(p_i) = \Delta p_{ix}, \Delta p_{iy}, \Delta p_{iz}$. Για n σημεία p_1, p_2, \dots, p_n του συνόλου των ισοϋψών καμπυλών, έχουμε $W(p_i)$ συναρτήσεις από τα μοντέλα παρεμβολής του σχήματος. Στη συνέχεια οι συντελεστές των κανονικών συναρτήσεων παρεμβολής s_x, s_y, s_z , βρίσκονται με την επίλυση του γραμμικού συστήματος:

$$\begin{cases} s_x = \sum \omega_i^x \cdot \Phi(\|p - p_i\|), \\ s_y = \sum \omega_i^y \cdot \Phi(\|p - p_i\|), \\ s_z = \sum \omega_i^z \cdot \Phi(\|p - p_i\|). \end{cases} \quad (2)$$

Με τον υπολογισμό των μοντέλων παρεμβολής, παραμορφώνεται το πολυγωνικό πλέγμα με την αντιστοίχιση όλων των σημείων του πλέγματος σύμφωνα με τιμές των αποτελεσμάτων.

3.7.1.3 Τελειοποίηση

Μερικές αρθρώσεις σχετίζονται απευθείας με τα δεδομένα (ύψος, μήκος καβάλου και μήκος άνω άκρων) μετρήσεων διαστάσεων και οι υπολογιζόμενες τιμές των παραμέτρων άρθρωσης από τα μοντέλα παρεμβολής θα πρέπει να προσαρμοστούν αναλόγως. Στο στάδιο της τελειοποίησης το σύστημα μετράει το μοντέλο που προκύπτει τη μίξη των μοντέλων παρεμβολής και προσαρμόζει το σκελετό για να επιβεβαιώσει τους περιορισμούς μέτρησης που έχει εισάγει ο χρήστης.



3.7.2 Διαστασιολόγηση ενδυμάτων

Μετά την κατάλληλη παραμόρφωση του μοντέλου του σώματος βάση των δοθέντων διαστάσεων, το υποσύστημα διαστασιολόγησης του ενδύματος τροποποιεί τα ενδύματα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ταιριάζουν απόλυτα στο νέο μοντέλο σώματος. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί σε αντίστοιχη παράγραφο το πολυγωνικό πλέγμα του υφάσματος έχει τμηματοποιηθεί σε τρία στρώματα, δύο στρώματα στα οποία οι κορυφές του υφάσματος είναι συνδεδεμένες στην επιφάνεια του σώματος και ένα στρώμα στο οποίο το ύφασμα κινείται ελεύθερα. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα δεδομένα σύνδεσης του υφάσματος (Εικόνα 3), οι θέσεις των κορυφών που ανήκουν στα δυο πρώτα στρώματα υπολογίζονται εύκολα από τη θέση των υποκείμενων κορυφών του δέρματος οι οποίες εκφράζονται σε ομογενείς συντεταγμένες με

σημείο ελέγχου το κέντρο βάρους κάθε τριγώνου του δέρματος. Οι κορυφές του υφάσματος σε αυτά τα δύο στρώματα ακολουθούν την επιφάνεια του δέρματος, ακόμη και στην περίπτωση που το δέρμα παραμορφωθεί στο υποσύστημα διαστασιολόγησης του σώματος. Για την διαστασιολόγηση των ρούχων που ανήκουν στο τρίτο στρώμα όπως φούστες ή φορέματα, στο υποσύστημα διαστασιολόγησης του σώματος υπολογίζονται η διάμετρος και το μήκος των κάτω άκρων. Η περίμετρος και το μήκος των ρούχων τροποποιούνται αναλόγως στο νέο μήκος των κάτω άκρων. Τα αποτελέσματα φαίνονται σε αντίστοιχη εικόνα του παραρτήματος (Παράρτημα II).

3.8 ΥΠΟ ΜΟΝΑΔΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΔΕΡΜΑΤΟΣ / ΕΝΔΥΜΑΤΟΣ

Αφού έχει ολοκληρωθεί η παραγωγή του ντυμένου πλέον σώματος βάση των μετρήσεων διαστάσεων που έχει εισάγει ο χρήστης, τα δεδομένα κίνησης που εφαρμόζονται στον σκελετό H – Anim καθοδηγούν την παραμόρφωση του δέρματος και του υφάσματος. Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζεται ο υπολογισμός προσομοίωσης σωμάτων και ρούχων σε πραγματικό χρόνο, σύμφωνα με την κίνηση του υποκείμενου σκελετού.

3.8.1 Παραμόρφωση δέρματος λόγω αρθρώσεων

Βασίζεται στην παραμόρφωση λόγω σκελετού. Σε κάθε καρέ της κίνησης υπολογίζεται η θέση των κορυφών, χρησιμοποιώντας τις τιμές των βαρών και τον πίνακα μετασχηματισμού των αρθρώσεων. Οι ίδιες τιμές για τα βάρη χρησιμοποιούνται για την εύρεση της επιφάνειας του κανονικού πολυγωνικού πλέγματος. Η κίνηση των κορυφών που ανήκουν σε μία άρθρωση, δεν καθορίζεται αλλά μετακινείται αυτόματα καθότι είναι συνδεδεμένες με την άρθρωση. Διπλές οριακές κορυφές, έχουν την ίδια θέση εφόσον μοιράζονται τις ίδιες πληροφορίες σύνδεσης. Έτσι οι οριακές καμπύλες μεταξύ τμημάτων δεν είναι ορατές. Σαν αποτέλεσμα προκύπτει ένα τμηματοποιημένο χωρίς ορατές ραφές σώμα, στο κανάλι παροχής εικόνας. Η μέθοδος αυτή συνδυάζει την ταχύτητα παραμόρφωσης των τμηματοποιημένων μοντέλων, μαζί με την ποιότητα αναπαράστασης που προσφέρουν τα σώματα χωρίς ραφές.

3.8.2 Προσομοίωση ενδύματος

Οι κορυφές των υφασμάτων, κινούνται με τρεις διαφορετικές μεθόδους, ανάλογα σε ποιο στρώμα ανήκουν, το οποίο ορίζεται στο στάδιο της προ επεξεργασίας. Έτσι βάση της κατάταξης των τμημάτων του υφάσματος έχουμε και τις παρακάτω τεχνικές απόδοσης κίνησης σε αυτό.

I Στρώμα 1

Τα στενά ρούχα ακολουθούν την παραμόρφωση του υποκείμενου δέρματος. Οι παραμορφώσεις αυτές υπολογίζονται με την αντιστοίχιση των δεδομένων σύνδεσης του δέρματος με την επιφάνεια του ενδύματος.

II Στρώμα 2

Για την κατηγορία 2 στην οποία ανήκουν τα χαλαρά ρούχα, η σχετικές κινήσεις του υφάσματος με το δέρμα είναι σχετικά περιορισμένες. Για παράδειγμα στην περίπτωση του μανικού σε σχέση με το χέρι, για μια συγκεκριμένη περιοχή του ενδύματος η περιοχή επαφής συμπίπτει με την προκαθορισμένη περιοχή της επιφάνειας του δέρματος κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Βάση του γεγονότος αυτού το εύρος της ανίχνευσης επαφής περιορίζεται δραματικά. Βασικό συμπέρασμα είναι ότι η κίνηση του ενδύματος εξαρτάται από την κίνηση του υποκείμενου δέρματος και ακολουθεί την επιφάνεια αυτή ανελαστικά. Κρίνεται απαραίτητη η προσομοίωση τοπικών αντιστοιχήσεων του υφάσματος με το δέρμα.

Στην εφαρμογή έχουν αναπτυχθεί δύο διαφορετικές μέθοδοι, μία για την παραμόρφωση του υφάσματος των άκρων (παντελόνια, μανίκια) , και μία για την παραμόρφωση του υφάσματος κορμού. Οι κορυφές του ενδύματος στα άκρα του περικλείονται σε ημισφαίρια τα οποία συνδέονται με την επιφάνεια του δέρματος. Οι κορυφές εντός των ημισφαιρίων αντιστοιχούνται με την εξίσωση κίνησης του άκαμπτου σώματος. Μια άλλη συνάρτηση καθορίζει την ακτίνα των ημισφαιρίων σε σχέση με την σχετική θέση την κορυφής του υφάσματος με την κανονική επιφάνεια του δέρματος. Οι κορυφές οι οποίες βρίσκονται στον κορμό κινούνται σε ένα γενικό πολυγωνικό πλέγμα. Το πλέγμα αυτό κινείται με φυσικές μεθόδους. Το πλέγμα του υφάσματος παραμορφώνεται με την μέθοδο FFD, χρησιμοποιώντας τις θέσεις των κορυφών πάνω στο γενικό πλέγμα.

III Στρώμα 3

Το στρώμα 3 απαρτίζεται από κορυφές οι οποίες κινούνται ελεύθερα γύρω από το σώμα, όπως είναι η περίπτωση όπου φαρδιές φούστες ρέουν πάνω στα κάτω άκρα. Οποιοδήποτε τμήμα της φούστας θα μπορούσε να έρθει σε επαφή με οποιοδήποτε τμήμα των ποδιών. Η προσομοίωση των στρωμάτων αυτών χρησιμοποιεί μια κλασσική προσέγγιση με συστήματα μορίων και αποφυγή επαφής.

3.9 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Μετά την ταυτοποίηση του χρήστη, αρχικά εξασφαλίζεται η επικοινωνία του χρήστη με το σύστημα, το σύστημα ελέγχου ActiveX φορτώνεται αν δεν έχει ήδη εγκατασταθεί στο μηχανισμό. Ο έλεγχος αρχικοποιείται, περιλαμβανομένου της φόρτωσης των δεδομένων του υποσυστήματος διαστασιολόγησης σώματος / ενδύματος. Ο επισκέπτης της ιστοσελίδας του καταστήματος ρούχων, ακολουθεί τα παρακάτω διαδοχικά βήματα:

1. Αφού έχει επιλέξει το ρούχο της αρεσκείας του από τον δισδιάστατο κατάλογο, η επιλογή του αυτή περνάει στο σύστημα ActiveX, μέσω της λειτουργίας Javascript.
2. Το ζητούμενο ρούχο και τα δεδομένα κίνησης, φορτώνονται από το σύστημα του υπολογιστή και στη συνέχεια στο περιβάλλον επικοινωνίας του χρήστη μέσω της γλώσσας VRML.
3. Ο χρήστης εισάγει τις διαστάσεις του σώματός του στην αντίστοιχη σελίδα, η οποία περιλαμβάνει και διάφορα άλλα πεδία. Μετά την εισαγωγή των δεδομένων, το σώμα και το ρούχο παίρνουν τις ανάλογες διαστάσεις.
4. Τέλος, με την ενέργεια δράσης ξεκινά η εκτέλεση της προσομοίωσης σε πραγματικό χρόνο (απευθείας). Κατά την διάρκεια της κίνησης του σκελετού, γίνεται ενημέρωση των τιμών της γωνίας του σκελετού του μανεκέν, και παραμορφώνονται το δέρμα και το ύφασμα αναλόγως.

Ο απαιτούμενος χρόνος προσομοίωσης εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του μοντέλου του σώματος και του ρούχου. Στον αντίστοιχα πίνακα του παραρτήματος φαίνεται το μέσο μέγεθος των δεδομένων που φορτώνονται στον υπολογιστή για την προσομοίωση. Το μεγαλύτερο μέγεθος δεδομένων προς φόρτωση είναι αυτών του σώματος. Το θετικό γεγονός είναι ότι τα δεδομένα αυτά φορτώνονται μία φορά στο στάδιο της αρχικοποίησης του συστήματος ActiveX. Κάθε φορά που ο χρήστης αλλάζει ρούχα ή / και πληροφορίες κίνησης, φορτώνονται και διαφορετικά δεδομένα.

Η ταχύτητα των καρέ, της κίνησης σε πραγματικό χρόνο, του μανεκέν στο σύστημα ActiveX, ανέρχεται σε 20 με 30 καρέ ανά δευτερόλεπτο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε ένα καινούργιο πλαίσιο αναπαραγωγής μοντέλων σώματος πλήρους μορφής σύμφωνα με διάφορες παραμέτρους ελέγχου. Στο σύστημα μοντελοποίησης είναι σημαντική η συνεισφορά των καμπυλών ακτινικής βάσης RBF, με την χρήση των οποίων αποκομίζεται μια συμπαγής και ικανοποιητική σωματική γεωμετρία και μια βαθμονομημένη βάση δεδομένων. Η προσέγγιση βασίζεται στο γεγονός ότι η μορφή και οι διαστάσεις μετροταινίας συχνά συσχετίζονται. Έχοντας στη διάθεσή του το πλήθος των μοντέλων του δείγματος, οι συνθετητές του συστήματος επιτρέπουν μια λογική εκτίμηση του σχήματος και των διαστάσεων ενός πλήρους σώματος ακόμα και όταν οι πληροφορίες των δοθέντων παραμέτρων είναι ελλιπής. Παρόλο που η βάση δεδομένων των μοντέλων σάρωσης, έχει τον μεγαλύτερο δυνατό όγκο για την αποκόμιση κάποιων στατιστικών αποτελεσμάτων, το πλήθος των δεδομένων μπορεί να αυξηθεί με την εισαγωγή νέων μοντέλων σάρωσης. Με την αύξηση του μεγέθους των δεδομένων η ικανότητα γρήγορης κατασκευής των συνθετητών επηρεάζεται αρνητικά. Το δίκτυο RBF, κλιμακώνεται ικανοποιητικά σε μεγάλες βάσεις δεδομένων λόγω του ότι υπολογίζει τα βάρη και τις διακυμάνσεις για κάθε κόμβο χωριστά μέσω επαναληπτικής διαδικασίας αντί με την απευθείας επίλυση ολόκληρου του συστήματος. Έως σήμερα, μελέτες βασίζονταν στην προσαρμογή του δέρματος και τον επανυπολογισμό της σύνδεσης του δέρματος για μη – μηδενικές αποστάσεις παραμόρφωσης του δέρματος κατά την διάρκεια κίνησης των αρθρώσεων. Σαν αποτέλεσμα, οι αλλαγές της μορφής που εξαρτώνται από την πόζα του σώματος είναι προβλέψιμες μόνο κατά την αρχική προσαρμογή του δέρματος. Για τον εμπλουτισμό της παραμόρφωσης είναι υπό μελέτη η κατασκευή ενός μοντέλου το οποίο θα ελέγχει και τη δυναμική (εξαρτώμενη από την πόζα) και την στατική παραμόρφωση του δέρματος.

Τα διανύσματα σώματος και η διανομή τους εξαρτάται επίσης από την αρχική προσαρμογή του δέρματος. Όταν το άνω μέρος του χεριού έχει μεγάλο βάρος, μια μικρή μεγέθυνση είναι επαρκής για να καταλήξει σε ένα μεγάλο χέρι, ενώ απαιτείται μεγαλύτερη μεγέθυνση για να έχει την ίδια επίδραση σε πιο χαλαρές συνδέσεις. Είναι δυνατή η κατασκευή ενός αυτόματου μηχανισμού τελειοποίησης και σύνδεσης του δέρματος, έτσι ώστε η διακύμανση των διανυσμάτων του σώματος μεταξύ όλων των μοντέλων του δείγματος να ελαχιστοποιείται. Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκε μια τεχνική μοντελοποίησης βάσης παραμέτρων μορφής και διαστάσεων, παρ' όλ' αυτά όμως υπάρχουν και άλλα κριτήρια παραμετροποίησης τα οποία είναι υπό μελέτη. Μερικά παραδείγματα τέτοιου είδους παραμέτρων που μπορούν να επηρεάζουν την μορφή αλλά και τις διαστάσεις του σώματος είναι ο αθλητισμός η γήρανση και η εθνικότητα. Μια πιθανή προέκταση του συστήματος που

ενδέχεται να εξετασθεί είναι ο συνδυασμός αυτών των παραμέτρων με τις παραμέτρους διαστάσεων.

Μετά την ανάλυση του συστήματος παραμετροποίησης του ανθρώπινου σώματος εξετάστηκε πώς τέτοιου είδους συστήματα αναπαράστασης μπορούν να ενσωματωθούν με την ανάπτυξη άλλων τεχνολογικών και επιχειρηματικών κλάδων όπως είναι η βιομηχανία της ένδυσης και οι συναλλαγές διαδικτύου. Συγκεκριμένα παρουσιάστηκε ένα πλαίσιο εφαρμογής ενός καταστήματος ρούχων διαδικτύου. Έγινε αναφορά στις αποφάσεις σχεδίασης και σε άλλα θέματα σχετικά με το «δημιουργικό» τμήμα, στην προσομοίωση και προσαρμογή τρισδιάστατων ενδυμάτων, και στα μοντέλα ανθρώπινων σωμάτων. Η διαδικασία προετοιμασίας διάφορων στοιχείων δεδομένων ωρίμασε καθιστώντας εφικτή την διαχείριση της δημιουργίας περιεχομένων γραφικών τα οποία είναι έτοιμα προς χρήση στο αλληλεπιδραστικό περιβάλλον του Internet. Τα σώματα και τα ενδύματα ανταποκρίνονται σε πραγματικές μετρήσεις σωμάτων σε καθοριστικά σημεία της φάσης σχεδιασμού των ενδυμάτων. Συγκεκριμένα μέθοδοι για την αποτελεσματική διαχείριση της μοντελοποίησης σωμάτων εντός δικτύου, επιλογή ενδυμάτων, προσαρμογή και προσομοίωση, έχουν αναπτυχθεί και ολοκληρωθεί σε εφαρμογές δικτύου, για την βέλτιστη δυνατή χρήση στο Internet.

Ωστόσο υπάρχουν πάντα περιθώρια βελτίωσης. Οι λειτουργίες διαστασιολόγησης μόνο για το σώμα και το ρούχο και η προσομοίωση ρούχων διαφορετικών διαστάσεων πάνω στο ίδιο σώμα αποτελεί αντικείμενο μελλοντικών ερευνών. Παράλληλα στόχος είναι η περαιτέρω ενίσχυση των δεδομένων εισόδου για την μοντελοποίηση του τρισδιάστατου μανεκέν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ανταποκρίνεται όσο το δυνατόν καλύτερα σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των πελατών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

1. Επανυπολογισμός σύνδεσης του δέρματος.

Μετά την τροποποίηση της μορφής του σώματος με την αντιστοίχιση, τα δεδομένα σύνδεσης του δέρματος θα πρέπει να προσαρμοστούν αναλόγως, ώστε το μοντέλο να ανακτήσει την ομαλή παραμόρφωση του δέρματος. Γενικά η θέση της κορυφής που υπόκεινται σε παραμόρφωση υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$p = \sum_{i=1}^n w_i M_i D_i^{-1} p_d ,$$

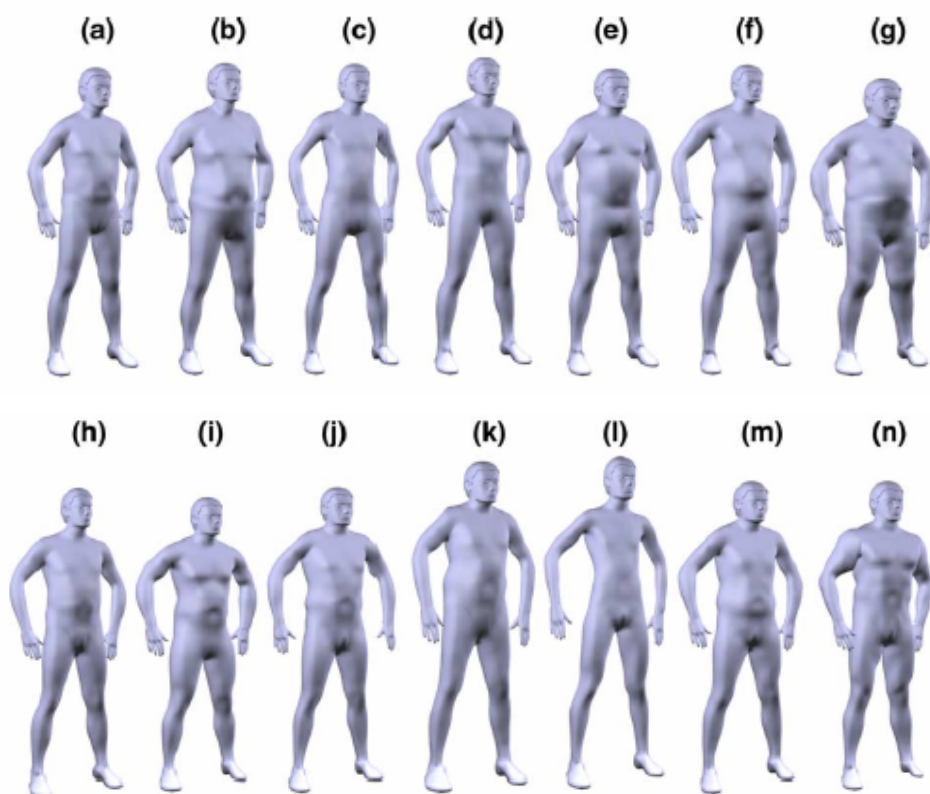
όπου M_i και w_i είναι οι πίνακες μετασχηματισμού και το βάρος αντίστοιχα, του οστού i που επηρεάζεται, D_i είναι ο πίνακας μετασχηματισμού του i – οστού επηρεαζόμενου οστού κατά την διάρκεια τις προσαρμογής του δέρματος (στις περισσότερες περιπτώσεις οι πίνακες αυτοί οδηγούν σε πόζα – «έτοιμη προς ένδυση» dress pose, δηλαδή χέρια σε ανοιχτά και πόδια εκτεταμένα) και p_d είναι η θέση του p σε πόζα – «έτοιμη προς ένδυση», σύμφωνα με το απόλυτο σύστημα συντεταγμένων του σώματος.

Ο επαναπροσδιορισμός της σύνδεσης του δέρματος αφορά την ενημέρωση της θέσης p_d για κάθε ένα από τα οστά που επηρεάζει. Σημειώνεται ότι το μοντέλο πρέπει να επιστραφεί στην πόζα προς ένδυση όταν πραγματοποιείται ο επανυπολογισμός.

2. Μετρήσεις ανθρωπομετρικών διαστάσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την αναπαραγωγή ανδρικών σωμάτων (σε cm)

<i>Subject</i>	<i>Neck girth</i>	<i>Bust girth</i>	<i>Under – bust</i>	<i>Waist girth</i>	<i>Hip girth</i>	<i>Height</i>	<i>Crotch length</i>	<i>Arm length</i>
(a)	38	105	100	93	98	177	72	59
(b)	42	105	101	107	109	179	68	67
(c)	36	87	84	79	94	184	73	70
(d)	35	102	95	84	92	180	76	64
(e)	44	114	108	102	101	177	70	63
(f)	40	102	100	101	98	179	73	65
(g)	46	120	117	114	115	171	66	60
(h)	36	99	95	88	94	180	74	67
(i)	38	103	96	92	97	174	68	60
(j)	41	105	101	98	101	182	75	66
(k)	42	113	108	106	108	196	77	66
(l)	35	89	83	77	92	195	83	70
(m)	41	103	99	99	101	184	73	66
(n)	44	115	109	98	100	182	74	67

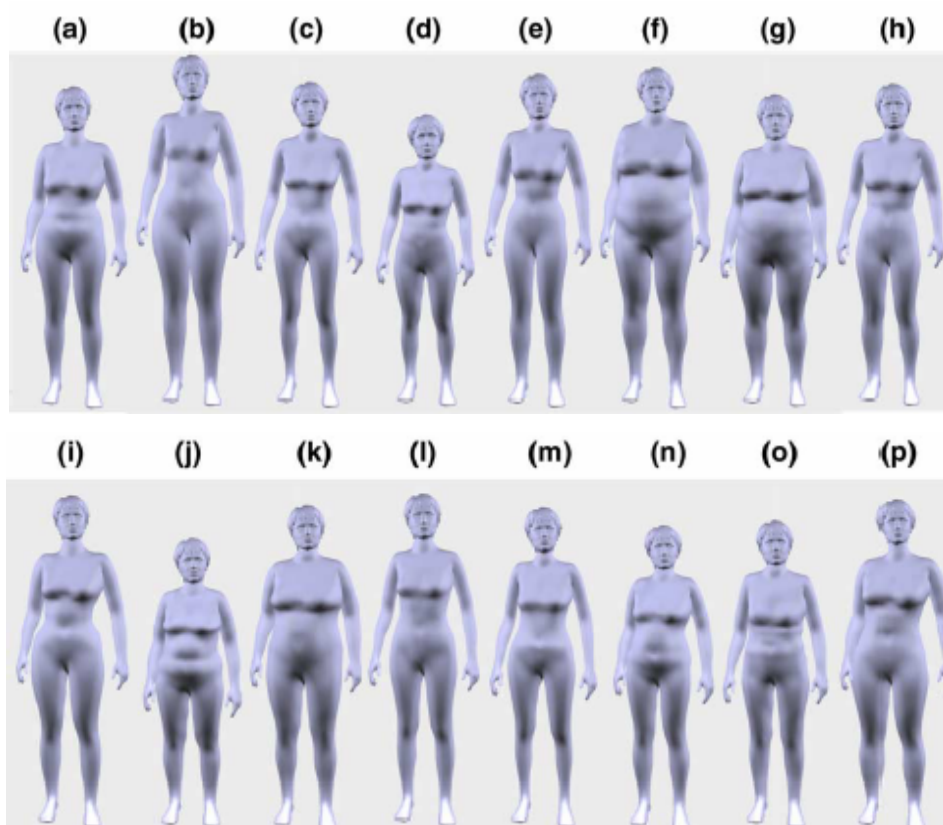
3. Μοντέλα ανδρών τα οποία παράγει ο συνθετητής μοντελοποίησης βάση του πίνακα μετρήσεων



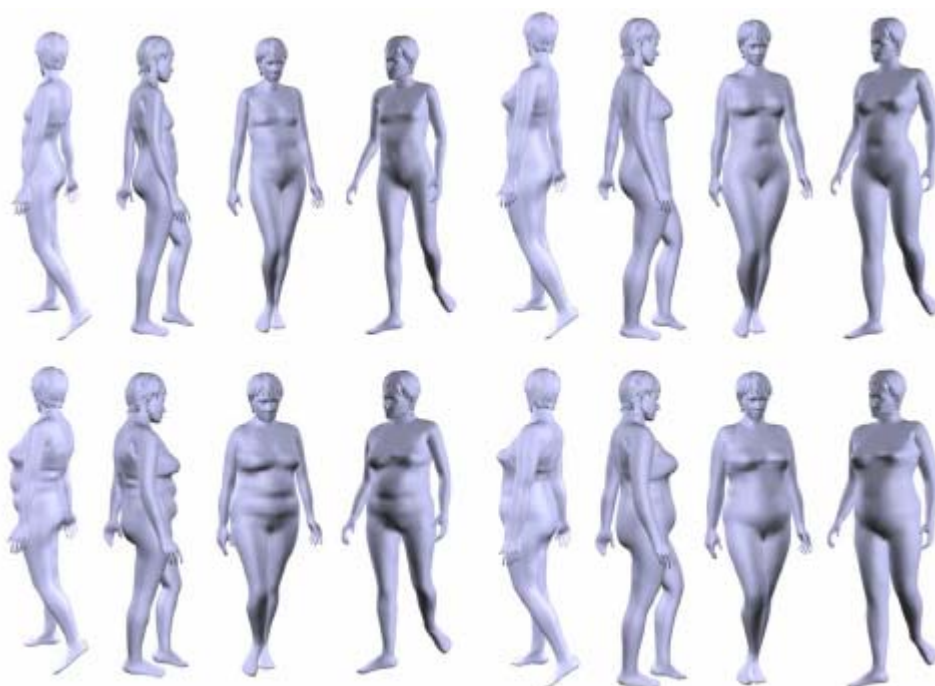
4. Μετρήσεις ανθρωπομετρικών διαστάσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την αναπαραγωγή γυναικείων σωμάτων (σε cm)

Subject	Neck girth	Bust girth	Under – bust	Waist girth	Hip girth	Height	Crotch length	Arm length
(a)	34	103	84	89	107	167	72	56
(b)	34	92	76	75	112	184	82	57
(c)	32	87	75	68	94	170	74	58
(d)	32	85	71	73	93	154	66	49
(e)	33	91	74	63	93	174	75	53
(f)	41	124	109	116	122	177	74	58
(g)	40	114	103	113	122	164	70	55
(h)	32	88	73	63	89	168	69	53
(i)	34	98	80	72	103	175	78	58
(j)	37	98	89	87	103	154	67	52
(k)	38	116	102	104	116	170	73	54
(l)	33	89	75	70	99	175	77	60
(m)	32	85	74	71	98	169	76	60
(n)	36	101	82	87	99	160	71	50
(o)	37	91	81	81	98	162	71	56
(p)	35	102	86	79	107	173	73	59

5. Μοντέλα ανδρών τα οποία παράγει ο συνθετητής μοντελοποίησης βάση του πίνακα μετρήσεων



6. Απόδοση κίνησης ανά καρέ στα μοντέλα



7. Αποτελέσματα επαλήθευσης του συνθετητή μοντελοποίησης

	<i>Bust girth</i>	<i>Underbust girth</i>	<i>Waist girth</i>	<i>Hips girth</i>	<i>Neck girth</i>
Corr. Coeff	0.973	0.984	0.989	0.982	0.974
Mean diff (cm)	0.654	0.585	0.692	0.618	0.567
Mean (cm)	92.765	82.970	67.776	93.056	32.091

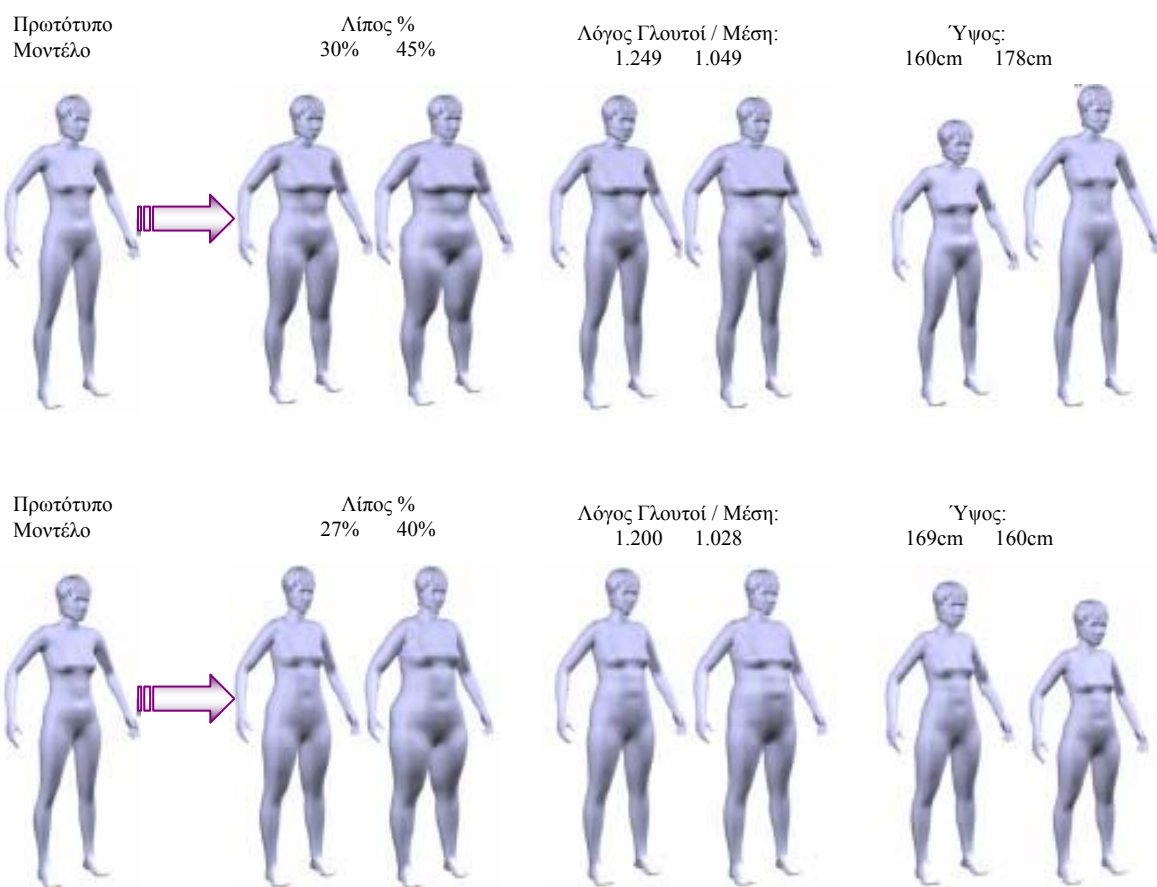
8. Μοντέλα παλινδρόμησης ποσοστού λίπους των στοιχείων του σκελετού

<i>Explanatory variable</i>	<i>Regression coefficient</i>	<i>Standard error</i>	<i>F – ratio</i>	<i>p - value</i>
<i>PC2 of scale X</i>	-0.02849	0.003272	75.82538	7.2 e-12
<i>PC5 of scale X</i>	0.003328	0.001485	5.024998	0.029115
<i>PC7 of scale X</i>	-0.00261	0.001122	5.420798	0.023673
<i>PC9 of scale X</i>	-0.00184	0.000738	6.186507	0.015994
<i>PC1 of scale Y</i>	0.043125	0.004694	84.39235	1.2 e-12
<i>PC1 of scale Z</i>	-0.00975	0.003704	6.926509	0.011048
<i>PC2 of trans X</i>	0.025454	0.012929	3.876025	0.054122
<i>PC3 of trans X</i>	0.02357	0.01203	3.838827	0.05525
<i>PC6 of trans X</i>	0.022441	0.007838	8.196972	0.002961
<i>PC3 of trans Y</i>	-0.06049	0.018584	10.59697	0.001958
<i>PC2 of trans Z</i>	0.07172	0.025202	8.098249	0.00625
<i>PC2 of trans Z</i>	0.03009	0.014531	4.287934	0.043178

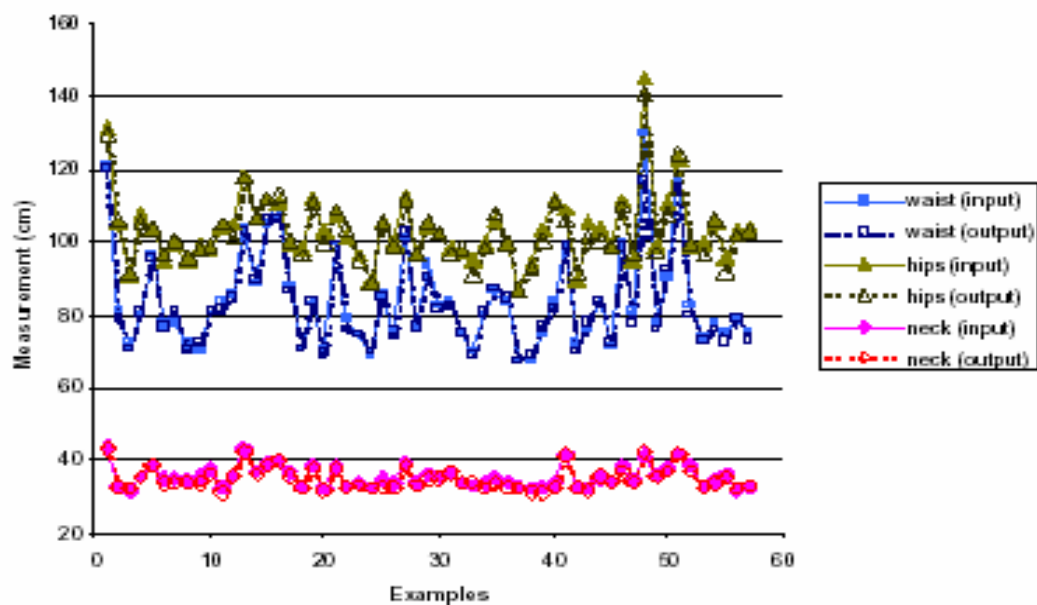
9. Μοντέλα παλινδρόμησης ποσοστού λίπους των στοιχείων απόστασης.

<i>Explanatory variable</i>	<i>Regression coefficient</i>	<i>Standard error</i>	<i>F – ratio</i>	<i>p - value</i>
<i>PC1 of displacement X</i>	-2.9363	0.039295	8.621829	0.004872
<i>PC5 of displacement X</i>	-0.06207	0.029464	4.438548	0.039797
<i>PC6 of displacement X</i>	0.121447	0.024977	23.64189	1.04e-06
<i>PC1 of displacement Y</i>	0.214258	0.04131	26.90133	3.3e-06
<i>PC4 of displacement Y</i>	-0.07232	0.03268	4.897688	0.031139
<i>PC5 of displacement Y</i>	0.107049	0.033195	10.39955	0.002141
<i>PC2 of displacement Z</i>	-0.08119	0.028622	8.046944	0.006405
<i>PC3 of displacement Z</i>	-0.06428	0.025047	6.58599	0.013085
<i>PC10 of displacement Z</i>	-0.064	0.0112807	24.97014	6.48e-06

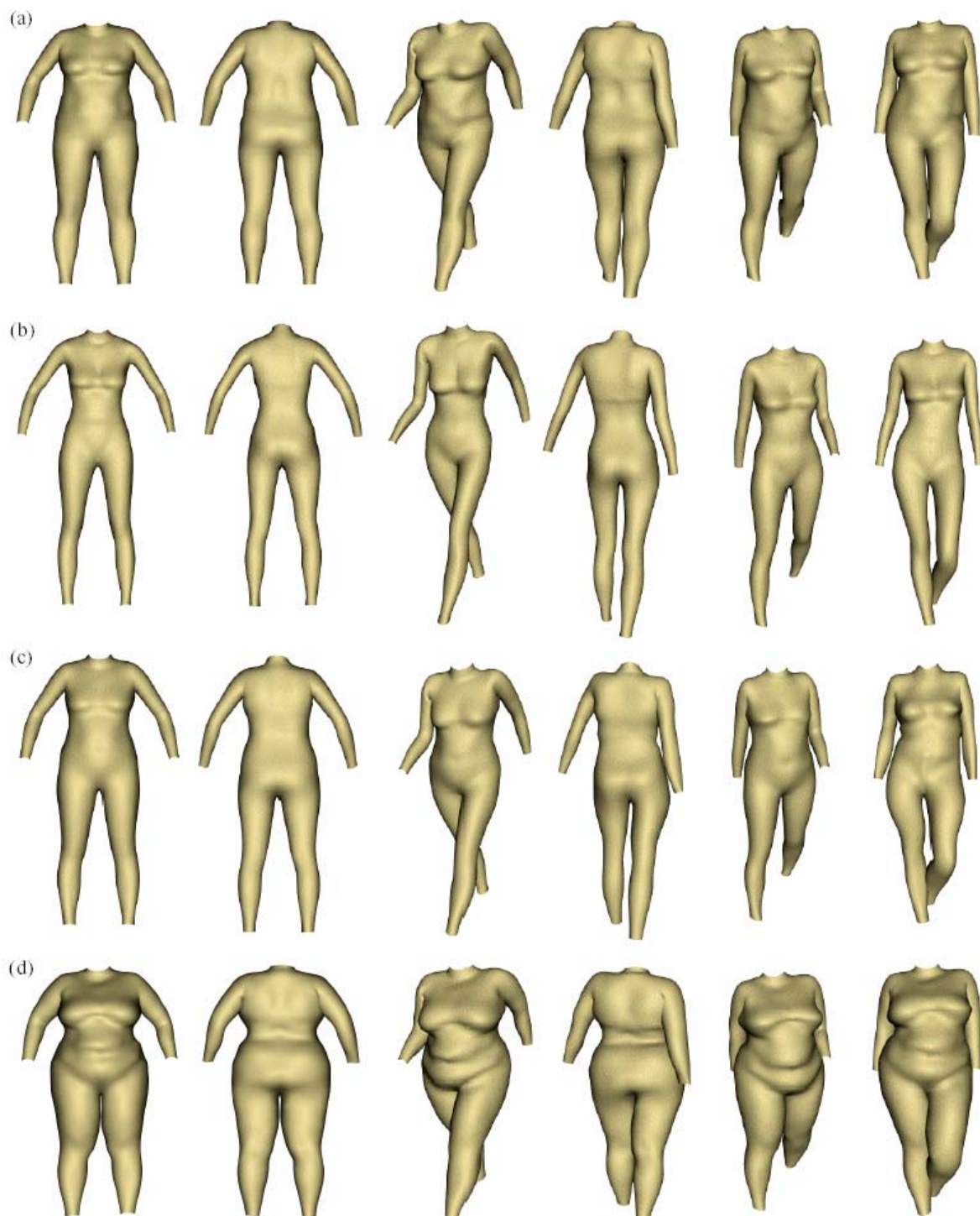
10. Τροποποίηση δύο μεμονωμένων μοντέλων ως προς το ποσοστό λίπους, αναλογία γλουτών – μέσης, και ύψος



11. Η επαλήθευση των αποτελεσμάτων του μοντελοποιητή

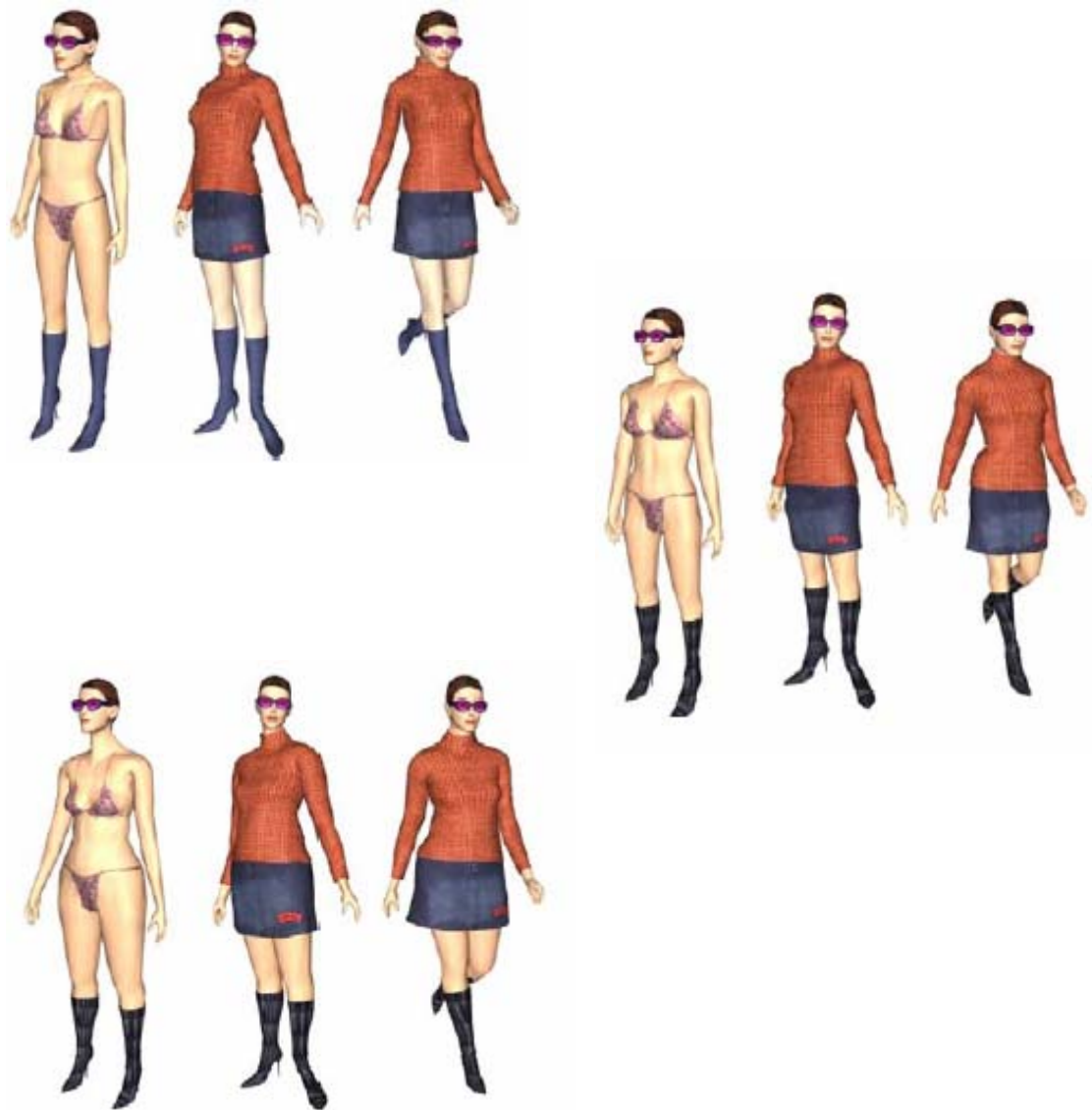


12. Μοντέλα που προκύπτουν με την εισαγωγή μετρήσεων μετροταινίας και δυνατή η άμεση απόδοση κίνησης σε αυτά.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

1. Προσομοίωση υπομονάδας διαστασιολόγησης σώματος / ενδύματος



2. Μια ακολουθία κινήσεων, προσομοίωσης ενδύματος σε πραγματικό χρόνο



3. Σελίδα υποδοχής του καταστήματος ρούχων διαδικτύου



4. H- Anim : Προδιαγραφές Πρότυπου Ανθρωποειδούς

Οι προδιαγραφές H – Anim, κάνουν δυνατή την μοντελοποίηση ανθρωποειδών στη γλώσσα εικονικής πραγματικότητας VRML' 97, καθώς επίσης με την χρήση βασικών εργαλείων διακομιστή τα μοντέλα αυτά μπορούν να κινηθούν μέσω καρέ αναφοράς, αντίστροφη κινηματική, συστημάτων απόδοσης κίνησης και άλλων τεχνικών.

Τα μοντέλα αυτά διαθέτουν: *συμβατότητα* με όλες της μηχανές αναζήτησης VRML' 97, *ευελιξία* και *απλότητα*.

Τη δομή ενός μοντέλου H – Anim, συνθέτουν ένας αριθμός τμημάτων (όπως η ωλένη, τα χέρια και τα πόδια) τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με αρθρώσεις (αγκώνας, καρπός και αστράγαλος). Για την επίτευξη της κίνησης του ανθρωποειδούς, θα πρέπει να είναι δυνατή η πρόσβαση στις αρθρώσεις και η μεταβολή των γωνιών των αρθρώσεων αυτών. Επίσης θα πρέπει να συλλεχθεί η απαραίτητη πληροφορία όσο αναφορά τα όρια των αρθρώσεων και της μάζας των τμημάτων.

Κάθε τμήμα του σώματος ορίζεται από ένα πολυγωνικό πλέγμα, και η εκάστοτε εφαρμογή μεταβάλλει τις θέσεις των κορυφών του πολυγωνικού πλέγματος, ενώ είναι απαραίτητη η απόκτηση δεδομένων για το ποιες κορυφές θα πρέπει να αντιμετωπισθούν σαν σύνολο για την πραγματοποίηση παραμορφώσεων.

Ένα αρχείο H- Anim αποτελείται από ένα σύνολο κόμβων αρθρώσεων το οποίο τακτοποιείται σύμφωνα με τους κανόνες ιεραρχίας. Κάθε κόμβος κορυφής μπορεί να περιλαμβάνει και άλλους κόμβους. Οι κόμβοι κορυφών δύναται να περιλαμβάνουν και ένα κόμβο τμήματος το οποίο περιγράφει το μέρος του σώματος που σχετίζεται με τον εκάστοτε κόμβο άρθρωσης.

Κάθε κόμβος τμήματος μπορεί να εμπεριέχει και έναν αριθμό κόμβων θέσης οι οποίοι περιγράφουν την θέση σε σχέση με το τμήμα του σώματος.

Οι κόμβοι θέσης χρησιμοποιούνται για την σύνδεση ενδυμάτων και κοσμημάτων στο σώμα, καθώς επίσης και σαν τελικό αποτέλεσμα εφαρμογής αντίστροφης κινηματικής. Τέλος χρησιμοποιούνται για τον ορισμό της θέσης των ματιών και της θέσης του κέντρου προβολής. Κάθε τμήμα έχει έναν αριθμό κόμβων αντιστοίχισης οι οποίοι καθορίζουν ποιες κορυφές εντός του τμήματος είναι σε αντιστοιχία με ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό ή σχηματισμό κορυφών.

Το αρχείο περιέχει επίσης έναν μοναδικό κόμβο ανθρωποειδούς, στον οποίο αποθηκεύονται δεδομένα τα οποία είναι αναγνώσιμα από τον άνθρωπο και τα οποία είναι σχετικά με το ανθρωποειδές, όπως πληροφορίες αυθεντικότητας και εκδότη.

- Οι κόμβοι των αρθρώσεων του σώματος σύμφωνα με τις προδιαγραφές H- Anim.

l_hip	l_knee	l_ankle	l_subtalar	l_midtarsal	l_metatarsal	
r_hip	r_knee	r_ankle	r_subtalar	r_midtarsal	r_metatarsal	
vl5	vl4	vl3	vl2	vl1		
vt12	vt11	vt10	vt9	vt8	vt7	
vt6	vt5	vt4	vt3	vt2	vt1	
vc7	vc6	vc5	vc4	vc3	vc2	vc1
l_sternoclavicular	l_acromioclavicular	l_shoulder	l_elbow	l_wrist		
r_sternoclavicular	r_acromioclavicular	r_shoulder	r_elbow	r_wrist		
HumanoidRoot	sacroiliac (pelvis)	skullbase				

* Οι αρθρώσεις vl5 και του ιερού οστού (sacroiliac), είναι απόγονοι της ρίζας – βάσης του ανθρωποειδούς (HumanoidRoot). Η βάση του ανθρωποειδούς αποθηκεύεται στο πεδίο σώματος ανθρωποειδούς του κόμβου, αλλά όλες οι άλλες αρθρώσεις είναι πρόγονοι είτε της vl5 ή του ιερού οστού. Αν αυτές οι αρθρώσεις λείπουν τότε οι αρθρώσεις χαμηλότερου επιπέδου είναι απόγονοι της βάσης του ανθρωποειδούς.

5. H – Anim : Επίπεδο σχηματισμού – Level of Articulation, LoA

Σε πολλές εφαρμογές δεν είναι απαραίτητο όλο το σύνολο των αρθρώσεων, για το λόγο αυτό κατασκευάζοντας ανθρωποειδή βάση ενός επιπέδου σχηματισμού (στην παρούσα περίπτωση 2), διασφαλίζεται η συμβατότητα κίνησης του ανθρωποειδούς με άλλα του ίδιου ή και υψηλότερου επιπέδου. Συνολικά υπάρχουν τέσσερα επίπεδα σχηματισμού του σκελετού.

Οι παρακάτω πίνακες περιλαμβάνουν την προτεινόμενη τοποθέτηση του κέντρου των αρθρώσεων και του τελικού σημείου προβολής. Πιο συγκεκριμένα αποτελεί ένα δείγμα κώδικα και όχι πραγματικής γεωμετρίας σώματος για επίπεδο σχηματισμού 2.

LOA 2 - Default Joint Centers

Joint	center	Joint	center
<i>HumanoidRoot</i>	0.0000 0.8240 0.0277	<i>l_middle1</i>	0.1987 0.7818 -0.0530
<i>Sacroiliac</i>	0.0000 0.9149 0.0016	<i>l_middle2</i>	0.2013 0.7273 -0.0503
<i>L_hip</i>	0.0961 0.9124 -0.0001	<i>l_middle3</i>	0.2026 0.7011 -0.0494
<i>l_knee</i>	0.1040 0.4867 0.0308	<i>l_ring0</i>	0.1956 0.8019 -0.0794
<i>l_ankle</i>	0.1101 0.0656 -0.0736	<i>l_ring1</i>	0.1956 0.7815 -0.0794
<i>l_subtalar</i>	0.1086 0.0001 -0.0368	<i>l_ring2</i>	0.1973 0.7287 -0.0777
<i>l_midtarsal</i>	0.1086 0.0001 0.0368	<i>l_ring3</i>	0.1983 0.7045 -0.0767
<i>l_metatarsal</i>	0.1086 0.0000 0.0762	<i>l_pinky0</i>	0.1925 0.8066 -0.1036
<i>R_hip</i>	-0.0950 0.9171 0.0029	<i>l_pinky1</i>	0.1925 0.7866 -0.1036
<i>r_knee</i>	-0.0867 0.4913 0.0318	<i>l_pinky2</i>	0.1938 0.7452 -0.1024
<i>r_ankle</i>	-0.0801 0.0712 -0.0766	<i>l_pinky3</i>	0.1948 0.7277 -0.1017
<i>r_subtalar</i>	-0.0801 0.0000 -0.0368	<i>r_sternoclavicular</i>	-0.0694 1.4600 -0.0330
<i>r_midtarsal</i>	-0.0801 0.0000 0.0368	<i>r_acromioclavicular</i>	-0.0836 1.4281 -0.0401
<i>r_metatarsal</i>	-0.0801 0.0039 0.0732	<i>r_shoulder</i>	-0.1907 1.4407 -0.0325
<i>vl5</i>	0.0028 1.0568 -0.0776	<i>r_elbow</i>	-0.1949 1.1388 -0.0620
<i>vl3</i>	0.0041 1.1276 -0.0796	<i>r_wrist</i>	-0.1959 0.8694 -0.0521
<i>vl1</i>	0.0048 1.1912 -0.0805	<i>r_thumb1</i>	-0.1899 0.8502 -0.0473
<i>vt10</i>	0.0056 1.2848 -0.0822	<i>r_thumb2</i>	-0.1874 0.8256 0.0306
<i>vt6</i>	0.0059 1.3866 -0.0800	<i>r_thumb3</i>	-0.1864 0.8190 0.0506
<i>vt1</i>	0.0065 1.4951 -0.0387	<i>r_index0</i>	-0.1961 0.8055 -0.0218
<i>vc4</i>	0.0066 1.5662 -0.0084	<i>r_index1</i>	-0.1961 0.7846 -0.0218
<i>vc2</i>	0.0066 1.5928 -0.0103	<i>r_index2</i>	-0.1954 0.7393 -0.0185
<i>Skullbase</i>	0.0044 1.6209 0.0236	<i>r_index3</i>	-0.1945 0.7169 -0.0173
<i>l_sternoclavicular</i>	0.0820 1.4488 -0.0353	<i>r_middle0</i>	-0.1972 0.8060 -0.0468
<i>l_acromioclavicular</i>	0.0962 1.4269 -0.0424	<i>r_middle1</i>	-0.1972 0.7849 -0.0468
<i>l_shoulder</i>	0.2029 1.4376 -0.0387	<i>r_middle2</i>	-0.1950 0.7304 -0.0441
<i>l_elbow</i>	0.2014 1.1357 -0.0682	<i>r_middle3</i>	-0.1939 0.7042 -0.0432
<i>l_wrist</i>	0.1984 0.8663 -0.0583	<i>r_ring0</i>	-0.1951 0.8049 -0.0732
<i>l_thumb1</i>	0.1924 0.8472 -0.0534	<i>r_ring1</i>	-0.1951 0.7845 -0.0732
<i>l_thumb2</i>	0.1951 0.8226 0.0246	<i>r_ring2</i>	-0.1920 0.7318 -0.0716
<i>l_thumb3</i>	0.1955 0.8159 0.0464	<i>r_ring3</i>	-0.1908 0.7077 -0.0706
<i>l_index0</i>	0.1983 0.8024 -0.0280	<i>r_pinky0</i>	-0.1926 0.8096 -0.0975
<i>l_index1</i>	0.1983 0.7815 -0.0280	<i>r_pinky1</i>	-0.1926 0.7896 -0.0975

<i>l_index2</i>	0.2017 0.7363 -0.0248	<i>r_pinky2</i>	-0.1902 0.7483 -0.0963
<i>l_index3</i>	0.2028 0.7139 -0.0236	<i>r_pinky3</i>	-0.1908 0.7540 -0.0960
<i>l_middle0</i>	0.1987 0.8029 -0.0530		

LOA 2 - Default Site Translations

Site	translation	Site	translation
<i>l_forefoot_tip</i>	0.1354 0.0016 0.1476	<i>l_middle_distal_tip</i>	0.2080 0.6731 -0.0491
<i>l_metatarsal pha5</i>	0.1825 0.0070 0.0928	<i>l_ring_distal_tip</i>	0.2035 0.6750 -0.0756
<i>l_digit2</i>	0.1195 0.0079 0.1433	<i>l_pinky_distal_tip</i>	0.2014 0.7009 -0.1012
<i>l_metatarsal pha1</i>	0.0816 0.0232 0.0106	<i>l_metacarpal pha2</i>	0.2009 0.8139 -0.0237
<i>l_lateral_malleolus</i>	0.1308 0.0597 -0.1032	<i>l_ulnar_styloid</i>	0.2142 0.8529 -0.0648
<i>l_medial_malleolus</i>	0.0890 0.0716 -0.0881	<i>l_metacarpal pha5</i>	0.1929 0.7860 -0.1122
<i>l_sphyrion</i>	0.0890 0.0575 -0.0943	<i>l_radial_styloid</i>	0.1901 0.8645 -0.0415
<i>l_calcaneous_post</i>	0.0974 0.0259 -0.1171	<i>l_olecranon</i>	0.1962 1.1375 -0.1123
<i>l_knee_crease</i>	0.0993 0.4881 -0.0309	<i>l_humeral_medial_epicondyle</i>	0.1735 1.1272 -0.1113
<i>l_femoral_lateral_epicondyle</i>	0.1598 0.4967 0.0297	<i>l_radiale</i>	0.2182 1.1212 -0.1167
<i>l_femoral_medial_epicondyle</i>	0.0398 0.4946 0.0303	<i>l_humeral_lateral_epicondyle</i>	0.2280 1.1482 -0.1100
<i>r_forefoot_tip</i>	-0.1043 -0.0227 0.1450	<i>l_clavicula</i>	0.0271 1.4943 0.0394
<i>r_metatarsal pha5</i>	-0.1523 0.0166 0.0895	<i>l_acromion</i>	0.2032 1.4760 -0.0490
<i>r_digit2</i>	-0.0883 0.0134 0.1383	<i>l_axilla_ant</i>	0.1777 1.4065 -0.0075
<i>r_metatarsal pha1</i>	-0.0521 0.0260 0.0127	<i>l_axilla_post</i>	0.1706 1.4072 -0.0875
<i>r_lateral_malleolus</i>	-0.1006 0.0658 -0.1075	<i>r_thumb_distal_tip</i>	-0.1869 0.8090 0.0820
<i>r_medial_malleolus</i>	-0.0591 0.0760 -0.0928	<i>r_index_distal_tip</i>	-0.1980 0.6883 -0.0180
<i>r_sphyrion</i>	-0.0603 0.0610 -0.1002	<i>r_dactylion</i>	-0.1941 0.6772 -0.0423
<i>r_calcaneous_post</i>	-0.0692 0.0297 -0.1221	<i>r_middle_distal_tip</i>	-0.1969 0.6758 -0.0427
<i>r_knee_crease</i>	-0.0825 0.4932 -0.0326	<i>r_ring_distal_tip</i>	-0.1934 0.6778 -0.0693
<i>r_femoral_lateral_epicondyle</i>	-0.1421 0.4992 0.0310	<i>r_pinky_distal_tip</i>	-0.1938 0.7035 -0.0949
<i>r_femoral_medial_epicondyle</i>	-0.0221 0.5014 0.0289	<i>r_metacarpal pha2</i>	-0.1977 0.8169 -0.0177
<i>r_iliocristale</i>	-0.1525 1.0628 0.0035	<i>r_ulnar_styloid</i>	-0.2117 0.8562 -0.0584
<i>r_trochanterion</i>	-0.1689 0.8419 0.0352	<i>r_metacarpal pha5</i>	-0.1929 0.7890 -0.1064
<i>l_iliocristale</i>	0.1612 1.0537 0.0008	<i>r_radial_styloid</i>	-0.1884 0.8676 -0.0360
<i>l_trochanterion</i>	0.1677 0.8336 0.0303	<i>r_olecranon</i>	-0.1907 1.1405 -0.1065

<i>r_asis</i>	-0.0887 1.0021 0.1112	<i>r_humeral_media l_epicn</i>	-0.1680 1.1298 -0.1062
<i>l_asis</i>	0.0925 0.9983 0.1052	<i>r_radiale</i>	-0.2130 1.1305 -0.1091
<i>r_psis</i>	-0.0716 1.0190 -0.1138	<i>r_humeral_latera l_epicn</i>	-0.2224 1.1517 -0.1033
<i>l_psis</i>	0.0774 1.0190 -0.1151	<i>r_clavicale</i>	-0.0115 1.4943 0.0400
<i>Crotch</i>	0.0034 0.8266 0.0257	<i>r_acromion</i>	-0.1905 1.4791 -0.0431
<i>skull_tip</i>	0.0050 1.7504 0.0055	<i>r_axilla_ant</i>	-0.1626 1.4072 -0.0031
<i>Sellion</i>	0.0058 1.6316 0.0852	<i>r_axilla_post</i>	-0.1603 1.4098 -0.0826
<i>r_infraorbitale</i>	-0.0237 1.6171 0.0752	<i>r_neck_base</i>	-0.0419 1.5149 -0.0220
<i>l_infraorbitale</i>	0.0341 1.6171 0.0752	<i>l_neck_base</i>	0.0646 1.5141 -0.0380
<i>supramenton</i>	0.0061 1.5410 0.0805	<i>suprasternale</i>	0.0084 1.4714 0.0551
<i>r_tragion</i>	-0.0646 1.6347 0.0302	<i>cervicale</i>	0.0064 1.520 -0.0815
<i>r_gonion</i>	-0.0520 1.5529 0.0347	<i>r_thelion</i>	-0.0736 1.3385 0.1217
<i>l_tragion</i>	0.0739 1.6348 0.0282	<i>l_thelion</i>	0.0918 1.3382 0.1192
<i>l_gonion</i>	0.0631 1.5530 0.0330	<i>substernale</i>	0.0085 1.2995 0.1147
<i>l_tragion</i>	0.0739 1.6348 0.0282	<i>r_rib10</i>	-0.0711 1.1941 0.1016
<i>l_gonion</i>	0.0631 1.5530 0.0330	<i>l_rib10</i>	0.0871 1.1925 0.0992
<i>Nuchale</i>	0.0039 1.5972 -0.0796	<i>rib10_midspine</i>	0.0049 1.1908 -0.1113
<i>l_thumb_distal_tip</i>	0.1982 0.8061 0.0759	<i>waist_preferred_ post</i>	0.0049 1.0915 -0.1091
<i>l_index_distal_tip</i>	0.2089 0.6858 -0.0245	<i>navel</i>	0.0069 1.0966 0.1017
<i>l_dactylion</i>	0.2056 0.6743 -0.0482		

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] B. Allen, B. Curless, Z. Popovic, “Articulated body deformation from range scan data”, (Proceedings : SINGGRAPH 2002, Addison – Wesley, 2002, pp. 612-619).
- [2] F. Azuola, N.I. Badler, P. Ho, I. Kakariadis, D. Metaxas, B. Ting, “Building anthropometry-based virtual human models”, (in Proc. IMAGE VII Conf., Tuson AZ, June, 1994).
- [3] Blanz B. and Vetter T., “A morphable model for the synthesis of 3D faces”, Proceedings SIGGRAPH ’99, Addison-Wesley 1999.
- [4] De Carlo D., Metaxas D., and Stone M., “An Anthropometric face model using variational techniques”, (Proceedings SIGGRAPH 1998, Addison Welsey, 1998.
- [5] M. Dooley, “Anthropometric Modeling Programs – A Survey” , IEEE Computer Graphics and Applications, IEEE Computer Society, vol. 2, no. 9.
- [6] H-Anim Specification : <http://ece.uwaterloo.ca/~H-ANIM/spec1.1>
- [7] Kry P. G., James D. L., and Pai D. K., “eiger Skin: Real Time Large Deformation Character Skinning in Graphics Hardware”, ACM SIGGRAPH symposium on Computer Animation ,2002.
- [8] J. P. Lewis, M. Cordner, N. Fong, “Pose Space Deformations: A Unified Approach to Shape Interpolation and Skeleton-Driven Deformation”, (Proceedings: SINGGRAPH 2000)
- [9] C. Rose, M Cohen, B. Bodenheimer, “Verbs and Adverbs: Multidimensional Motion Interpolation Using RBF”, IEEE Computer Graphics and Applications, IEEE Computer Society Press, (vol.18), 5 (1998).
- [10] P. P. Sloan, C. Rose, M. Cohen, “Shape by Example”, Symposium on Interactive 3D Graphics, March 2001.
- [11] A. Esposito, M. Marinaro, D. Oricchio, S. Scarpetta, “Approximation of continuous and discontinuous mapping by a growing neural RBF-based algorithm”, (in: Neural Networks, 13, Elsevier Science, 2000).
- [12] K. Kahler, J. Haber, H. Yamauchi, H.-P. Seidel, Head shop: Generating animated head models with anatomical structure, (Proc. ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation, 2002).
- [13] Tecmath AG, <http://www.hs.techmath.com/>
- [14] E-Tailor project, <http://www.atc.gr/e-tailor/>, IST-1999-10549.

- [15] M. Wagner, „3D E-Commerce: Fact or Fiction“. Proc. 6th International Conference on Virtual Systems and multimedia (vsmm), Ohmsha Press, 2000.
- [16] <http://www.cyberware.com/products>
- [17] P. Volino and N. Thalmann, “Virtual Clothing – Theory and practice”, Springer-Verlag book series, 2000, Germany.
- [18] F. Cordier and N. Magnenat-Thalmann, “Real-time Animation of Dressed Virtual Humans”, (to appear at Proc. Eurographics 2002, Blackwell Publishers).
- [19] BonesPro, a plug-in to 3DS Max, <http://www.digimation.com/>
- [20] D. Protopsaltou, C. Luible, M. Averalo, N. Magnenat-Thalmann, “ A body and garment creation method for an internet based virtual fitting room”. (to appear at CGI Graphics International, 2002, July 2002, IEEE Press).
- [21] <http://www.miralab.ch/>

