

# Μεταφορά Κίνησης Σε Αρθρωτούς Χαρακτήρες

Η Μεταπτυχιακή Εργασία Εξειδίκευσης

υποβάλλεται στην ορισθείσα

από τη Γενική Συνέλευση Ειδικής Σύγκλησης  
του Τμήματος Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής  
Εξεταστική Επιτροπή

από την

Αναστασία Μουταφίδου

ως μέρος των υποχρεώσεων για την απόκτηση του

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ  
ΣΤΗΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

ΜΕ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ  
ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Οκτώβριος 2017

Εξεταστική Επιτροπή:

- **Ιωάννης Φούντος**, Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων (Επιβλέπων)
- **Βασίλειος Δημακόπουλος**, Αναπλ. Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
- **Κωνσταντίνος Παρσόπουλος**, Αναπλ. Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

# ΑΦΙΕΡΩΣΗ

---

Θα αφιερώσω την εργασία μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη στήριξή τους.

# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

---

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω αρχικά τον καθηγητή μου κ. Ιωάννη Φούντο που πίστεψε σε μένα και με την αμέριστη βοήθεια του κατάφερα να φέρω εις πέρας την μεταπτυχιακή μου εργασία. Υπήρξε καθοριστικός παράγοντας η συστηματική του ανταπόκριση και βοήθειά του σε όλο το διάστημα των σπουδών μου και δεν θα τα είχα καταφέρει μόνη μου. Στην συνέχεια θα ήθελα μέσα από την καρδιά μου να ευχαριστήσω όλη μου την οικογένεια καθέναν ξεχωριστά τον πατέρα μου Ιωάννη Μουταφίδη την μητέρα μου Μαρία Κολοζώφ αλλά και τις αδερφές μου Ισαβέλλα Μουταφίδου και Γεωργία Μουταφίδου αλλά και τους παππούδες μου διότι χωρίς την στήριξη τους οικονομικά αλλά και πνευματικά δεν θα τα είχα καταφέρει. Αποτέλεσαν έναν αστάθμητο παράγοντα σε όλα αυτά τα χρόνια σπουδών μου.

Επίσης, να ευχαριστήσω τον Βασίλη Τουλατζή συνοδοιπόρο αλλά και σπουδαίο μου συνεργάτη αυτά τα δύο χρονιά των μεταπτυχιακών μου σπουδών για την καθημερινή του συμβολή στην ζωή μου αλλά ταυτόχρονα και για τον χρόνο που διέθεσε ώστε να με βοηθήσει καθώς και για την εξαίσια μας συνεργασία. Ευχαριστώ πολύ! Τέλος, να ευχαριστήσω όλους μου τους φίλους αλλά και τους συνεργάτες μου πανεπιστημιακά για την υπομονή τους αλλά και την πίστη τους σε μένα και στην προσπάθειά μου να πετύχω το στόχο μου. Ευχαριστώ πολύ.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

Κατάλογος Σχημάτων	iii
Κατάλογος Πινάκων	v
Κατάλογος Αλγορίθμων	vi
Περίληψη	vii
Extended Abstract	viii
<b>1 Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
1.1 Μεταφορά Κίνησης σε 3D Χαρακτήρες . . . . .	1
1.2 Συμβολή της Διπλωματικής Εργασίας . . . . .	3
1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας . . . . .	6
<b>2 Βασικές Έννοιες και Σχετική Βιβλιογραφία</b>	<b>7</b>
2.1 3D Χαρακτήρες και Βασικές Λειτουργίες . . . . .	7
2.2 Τεχνικές Μεταφοράς Κίνησης . . . . .	9
2.3 Ανασκόπηση Τεχνικών Μεταφοράς Κίνησης . . . . .	12
<b>3 Γεωμετρική Αντιστοίχιση</b>	<b>14</b>
3.1 Σχεδίαση Αλγορίθμου . . . . .	14
3.2 Τεχνικές Υλοποίησης Γεωμετρικής Αντιστοίχισης . . . . .	17
3.2.1 Καθορισμός Σημείων Αναφοράς . . . . .	18
3.2.2 Επαναληπτική Αφαίρεση Λεπτομεριών . . . . .	30
3.2.3 Παραγωγή Τελικού Μοντέλου . . . . .	33
3.3 Αποτελέσματα και Ιδιαιτερότητες . . . . .	35

<b>4</b>	<b>Μεταφορά Σκελετού</b>	<b>39</b>
4.1	Σχεδίαση Αλγορίθμου . . . . .	40
4.2	Τεχνικές Υλοποίησης Μεταφοράς Σκελετού . . . . .	43
4.2.1	Επαναπροσδιορισμός Κάθε Άρθρωσης . . . . .	44
4.2.2	Επαναπροσδιορισμός της Κατεύθυνσης και Περιστροφής Κάθε Άρθρωσης . . . . .	47
4.3	Αποτελέσματα και Ιδιαιτερότητες . . . . .	49
<b>5</b>	<b>Μεταφορά Δέρματος</b>	<b>51</b>
5.1	Σχεδίαση Αλγορίθμου . . . . .	51
5.2	Τεχνικές Υλοποίησης Μεταφοράς Δέρματος . . . . .	54
5.2.1	Επαναπροσδιορισμός Νέου Δέρματος . . . . .	55
<b>6</b>	<b>Αποτελέσματα</b>	<b>60</b>
6.1	Πειράματα Στην Γεωμετρική Αντιστοίχιση . . . . .	61
6.2	Πειράματα Στην Μεταφορά Σκελετού . . . . .	66
6.3	Πειράματα Σε μία Ολοκληρωμένη Κίνηση . . . . .	69
<b>7</b>	<b>Συμπεράσματα</b>	<b>77</b>
	<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>79</b>

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

---

1.1	Το Διάγραμμα Ροής του Αλγορίθμου μας. . . . .	5
2.1	Η διαδικασία μεταφοράς κίνησης σε 5 βήματα. . . . .	12
3.1	Η αρχιτεκτονική δομή της γεωμετρικής αντιστοίχισης. . . . .	17
3.2	Η επιλογή των σημείων αναφοράς από τον χρήστη. . . . .	19
3.3	Διαφορά μεταξύ τις απλής επιλογής και της βαρυκεντρικής επιλογής.	20
3.4	Αρχιτεκτονική Δομή της Διαδικασίας Αφαίρεσης Λεπτομερειών. . . .	33
3.5	Παράδειγμα μεταφοράς γεωμετρίας. . . . .	35
4.1	Η παραμόρφωση που δημιουργείται από την μετακίνηση ενός κόκαλου.	41
4.2	Η ιεραρχία ενός σκελετού ανθρώπινης μορφής. . . . .	42
4.3	Το Διάγραμμα Ροής της Μεταφοράς Σκελετού. . . . .	44
4.4	Η Σχέση Κόκαλο-Βάρος. . . . .	46
5.1	Δημιουργία Δέρματος. . . . .	52
5.2	Παραμόρφωση Κατά την Κίνηση . . . . .	53
5.3	Μετασχηματισμοί Κατά την Κίνηση. . . . .	54
6.1	Πηγή. . . . .	61
6.2	Στόχος. . . . .	62
6.3	Αποτέλεσμα Ευθυγράμμισης. . . . .	62
6.4	Πηγή. . . . .	63
6.5	Στόχος. . . . .	63
6.6	Αποτέλεσμα Ευθυγράμμισης. . . . .	64
6.7	Τελικο αποτέλεσμα πείραμα 1. . . . .	64
6.8	Τελικο αποτέλεσμα πείραμα 2. . . . .	65
6.9	Διάγραμμα Χρόνου-Κορυφών. . . . .	66

6.10 Ο αρχικός μας σκελετός. . . . .	67
6.11 Τελικο αποτέλεσμα σκελετού. . . . .	67
6.12 Ο σκελετός πηγή. . . . .	68
6.13 Ο σκελετός στόχος. . . . .	68
6.14 Πείραμα 1 Πόζα 1. . . . .	70
6.15 Πείραμα 1 Πόζα 2. . . . .	71
6.16 Πείραμα 1 Πόζα 3. . . . .	72
6.17 Πείραμα 1 Πόζα 4. . . . .	73
6.18 Πείραμα 2 Πόζα 1. . . . .	74
6.19 Πείραμα 2 Πόζα 2. . . . .	74
6.20 Διάγραμμα Χρόνου-Κορυφών Στην Συνολική Κίνηση. . . . .	75



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

---

3.1	Ο Πίνακας Μ. . . . .	24
3.2	Ο Πίνακας Περιστροφής. . . . .	29
3.3	Ο Πίνακας Κλιμάκωσης. . . . .	29
3.4	Ο Πίνακας Μεταφοράς. . . . .	29

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ

---

3.1	Υπολογισμός της Γεωμετρικής Αντιστοίχισης. . . . .	38
4.1	Μεταφορά Περιστροφής και Κατεύθυνσης. . . . .	49
4.2	Υπολογισμός της Μεταφοράς Σκελετού. . . . .	50
5.1	Διαδικασία Φιλτραρίσματος Κορυφών. . . . .	56

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Αναστασία Μουταφίδου, Μ.Δ.Ε. στην Πληροφορική, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Οκτώβριος 2017.

Μεταφορά Κίνησης Σε Αρθρωτούς Χαρακτήρες.

Επιβλέπων: Ιωάννης Φούντος, Καθηγητής.

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στη μεταφορά κίνησης μεταξύ χαρακτήρων (animation transfer). Σκοπός είναι η κίνηση που έχουμε (σκελετός, δέρμα ή εξωτερικό περίβλημα και βάρη) για τον αρχικό μας χαρακτήρα-πηγή (source) να μεταφερθεί σε έναν χαρακτήρα-στόχο (target) για τον οποίον έχουμε μόνο το εξωτερικό περίβλημα (δέρμα). Στόχος μας είναι ο νέος χαρακτήρας-στόχος (i) να προσομοιάζει στον αρχικό χαρακτήρα-στόχο και (ii) να κινείται κατά τον ίδιο τρόπο με τον χαρακτήρα-πηγή. Παρουσιάζουμε την βήμα προς βήμα υλοποίηση, την ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση της ποιότητας και αποδοτικότητας και την βελτίωση ενός αλγορίθμου μεταφοράς όλων αυτών το συντελεστών που ορίζουν μία κίνηση. Ο αλγόριθμος λειτουργεί σε τρία βήματα: την γεωμετρική αντιστοίχιση, τη μεταφορά σκελετού και τέλος τη μεταφορά του δέρματος. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην αυτοματοποίηση του μεγαλύτερου μέρους της διαδικασίας και η απλοποίηση της αλληλεπίδρασης με τον χρήστη ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από χρήστες που δεν έχουν ειδικές γνώσεις γραφικών ή προγραμματισμού.

# EXTENDED ABSTRACT

---

Anastasia Moutafidou, M.Sc. in Computer Science, Department of Computer Science and Engineering, University of Ioannina, Greece, October 2017.

Animation Transfer.

Advisor: Ioannis Fountos, Professor.

The present thesis, focus on transfer animation. The step-by-step design of an animation and the process of rendering it on a character consist of three basic steps that any user should follow. As a first step we design a skeleton on an existing body or else mesh, which should simulate the structure and the characteristics of the body that we work on. The second step will be the creation of skin in the form of “weight” on each vertice which will be affected by one or more bones. Thus, on each bone there will be a number of weights according to the vertices that will be affected, and will be deformed in the process of animation. So we want each and every character to have and move in the same way. The third and final step is to create the desired animation for our character. Well it is obvious that this is a process that takes both time and money to do that. It would be desirable therefore that when we want to design a multi-character move, which we would like to move in the same way, with an automatic (or semiautomatic) routine, to be able to move the animation directly without having to design it from the beginning.

Substantially we would first like our initial character source and the one or many other target characters to share a common skeleton and a common “skin” first, as well as a common geometry. We want therefore to design an algorithm of transfer of all these three factors that define the basics of an animation of a character and thus, implementing the algorithm and our new character can move in the same way as our source. Also an important part will be the ability of our approach to be effective, for characters with different geometry and characteristics, for example from a tall person to a short one and so on. Therefore it will be, an algorithm the realization of which

will render the process of character animation a simple routine accessible to every user.

Therefore the way of realization of this algorithm was separated into three subsections. As a first step we have the geometric correspondance, then the skeleton transfer and finally the skin transfer. With their completion we have a new character, which behaves, or else moves in the same way with our initial source. More specifically through the process of geometric correspondance we try to create a new geometry for our source which will absolutely suit with our aim. The way of approach of this effort was carried out through the concretisation of the perfect alignment, but also by trying to move or else to convert the source in such a way that it can be perfectly aligned with our aim. We use known transformations, that is to say, rotation translation but also scale as to translate ,rotate or scale the source character , so that can be placed at the same place with our target. Having two characters aligned now, we will apply techniques of optimisation and in linear time we will simplify the geometry of our characters aiming at their conjunction into a final character. This simplification leads to two characters with simple geometry without detail, which we can work with now and create a new final source character, which it will also be our desirable result with a geometry similar to that of our target.

With the aid of our new characters we can finally move on to our last process that of the skeleton transfer. This section consists of two steps. First we will mention the transfer of the skeleton according to our new source, and then the redefinition of the rotation and orientation of each bone separately so that they can behave in the same way when they are under some transformations. With the completion of this process, we have created a skeleton for our target which henceforth suits its new geometry, as it has resulted from the step mention. In the final stage therefore, we have the transfer of the skin. Here simply, having our source which is the same as our target, we determine the new weights according to the new geometry as well as the new skeleton taken from the two preceding stages. Thus we will create new “skin” for our character, which will satisfy our new requirements, namely, the new characteristics of our target. Therefore the completion of our algorithm, after our last step we have our desirable result. In other words we have the creation of a new character, from start with the same characteristics and behavior as our source.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- 
- 1.1 Μεταφορά Κίνησης σε 3D Χαρακτήρες
  - 1.2 Συμβολή της Διπλωματικής Εργασίας
  - 1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας
- 

### 1.1 Μεταφορά Κίνησης σε 3D Χαρακτήρες

Η μεταφορά κίνησης σε τρισδιάστατους χαρακτήρες, είναι ένα θέμα που απασχόλησε πολύ τα τελευταία χρόνια. Η δημιουργία μίας ολοκληρωμένης κίνησης είναι μια χρονοβόρα διαδικασία, καθώς απαιτεί την ύπαρξη μίας υποτυπώδους εξειδίκευσης. Ως επιθυμητός στόχος μας λοιπόν θα είναι η δημιουργία ενός εργαλείου ή αλλιώς αλγορίθμου με το οποίο, οποιοσδήποτε χρήστη με βασικές δεξιότητες θα μπορεί να μεταφέρει μία ολοκληρωμένη κίνηση από ένα χαρακτήρα πηγή σε έναν ή πολλούς χαρακτήρες στόχο σε γραμμικό χρόνο μειώνοντας έτσι και το χρόνο δουλειάς αλλά, επιτρέποντας και την απουσία κάποιου προ απαιτούμενου υπόβαθρου. Η διαδικασία παραγωγής μίας κίνησης αποτελείται από κάποια βασικά στάδια. Βασική προϋπόθεση αποτελεί η ύπαρξη ενός “σώματος” ή χαρακτήρα συγκεκριμένα, ο οποίος στα γραφικά ορίζεται ως ένα σύνολο ακμών και κορυφών (mesh).

Το σώμα αυτό στον τρισδιάστατο χώρο απεικονίζεται ως ένα νέφος σημείων, στο οποίο επιπρόσθετα υπάρχουν και οι ακμές του, οι οποίες ορίζουν πολύγωνα με ελάχιστο πλήθος ακμών (3) δηλαδή τρίγωνα και μέγιστο αριθμό τον επιθυμητό από το χρήστη. Κάθε κορυφή αντιπροσωπεύεται στον τρισδιάστατο χώρο, ως ένα

σύνολο συντεταγμένων  $(x,y,z)$  και κάθε τρίγωνο ή πολύγωνο, αναπαριστάται με μία ακολουθία αριθμών που μας δείχνουν την θέση της κάθε κορυφής στο αρχείο που κρατάει την αντίστοιχη πληροφορία του σώματός μας, και είναι της μορφής `sample.obj`. Η κατάληξη `obj` προέρχεται από την λέξη `object`, και αναφέρεται στο σώμα μας. Επίσης, τα πολύγωνα που θα έχουμε, αναφέρονται με τον όρο `faces`. Με αυτό λοιπόν τον τρόπο ορίζεται η γεωμετρία του σώματος μας, και την οποία θα προσπαθήσουμε να την μεταφέρουμε και στον επιθυμητό χαρακτήρα μας, στόχο.

Στην προσπάθεια μας λοιπόν να υλοποιήσουμε μεταφορά της γεωμετρίας, υποθέτουμε ότι έχουμε δύο χαρακτήρες. Ο χαρακτήρας πηγή (`source`) και ο χαρακτήρας στόχος (`target`). Η διαδικασία λοιπόν της μεταφοράς, σε γραμμικό χρόνο πάντα, δημιουργεί έναν καινούργιο χαρακτήρα πηγή του οποίου η γεωμετρία θα είναι ίδια με αυτή του στόχου μας. Με τον τρόπο αυτό ουσιαστικά δημιουργώ μία καινούργια πηγή η οποία είναι όμοια με τον στόχο μας. Θέλουμε να παράγουμε έναν χαρακτήρα με άλλα λόγια, ο οποίος θα ακολουθεί την γεωμετρία του στόχου μας, με αποτέλεσμα ο νέος μας χαρακτήρας να μοιράζεται τα ίδια χαρακτηριστικά μαζί της. Σε όλη τη διαδικασία της υλοποίησης μας θα δούμε πως η κεντρική ιδέα είναι να φέρουμε την πηγή μας πάνω στον στόχο, και όχι το αντίθετο.

Η ιδέα πίσω από την μεταφορά της γεωμετρίας, είναι η εφαρμογή ενός αλγορίθμου ο οποίος πετυχαίνει την απόλυτη 1-1 αντιστοίχιση των κορυφών της πηγής με του στόχου, και επιπλέον σε χαρακτήρες οι οποίοι θα διαφέρουν στην μορφή τους σημαντικά. Είναι λοιπόν αναγκαίο, ο χρήστης να ορίσει κάποια σημεία αναφοράς και στα δύο σώματα με τα οποία θα ορίζει την αντιστοίχιση αυτών των δύο σωμάτων. Έχοντας λοιπόν μία βάση για την αντιστοίχιση τους μπορούμε να υλοποιήσουμε ευθυγράμμιση, παραμόρφωση αλλά και ταίριασμα με σκοπό την απόλυτη μεταφορά της γεωμετρίας. Με την προϋπόθεσή ότι έχουμε δύο διαφορετικούς χαρακτήρες οι οποίοι μοιράζονται την ίδια γεωμετρία μπορούμε να περάσουμε στον επόμενο βήμα που είναι η μεταφορά του σκελετού. Ο λόγος για τον οποίο υπολογίζουμε πρώτα την γεωμετρία, είναι διότι μας βοηθάει να χρησιμοποιήσουμε τον ίδιο σκελετό από τον χαρακτήρα πηγή και απλά να επαναπροσδιορίσουμε την νέα του θέση. Είναι πολύ πιο αποτελεσματικό και γρήγορο να βασιστούμε πάνω σε ένα έτοιμο σκελετό και να μην σχεδιάσουμε ένα νέο από την αρχή.

Ο σκελετός τώρα σε ένα χαρακτήρα είναι το άθροισμα των επιμέρους κοκάλων του, σύμφωνα με την ανατομία του ανθρώπινου σώματος, τα οποία μας βοηθούν να παραμορφώνουμε το χαρακτήρα μας με την πάροδο του χρόνου (κίνηση). Το

κάθε κόκαλο ή αλλιώς άρθρωση εκφράζεται με συντεταγμένες  $(x,y,z)$  οι οποίες σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, μετακινούνται, επηρεάζοντας έτσι της περιοχές του σώματος στο οποίο ανήκει. Η διαδικασία της μεταφοράς μοιράζεται σε δύο φάσεις. Πρώτα για κάθε νέο κόκαλο στον χαρακτήρα στόχο, το μεταφέρουμε στον χαρακτήρα πηγή, αλλάζοντας της συντεταγμένες ώστε να είναι σύμφωνες με τις νέες υπολογισμένες κορυφές από το προηγούμενο στάδιο. Στο επόμενο βήμα ορίζουμε της έννοιες, κατεύθυνση και περιστροφή, και της υπολογίζουμε με την βοήθεια μεθόδων βελτιστοποίησης, με σκοπό να διορθώσουμε τυχόν λάθη από το πρώτο βήμα. Τέτοια λάθη συχνά εμφανίζονται με την μορφή παραμορφωμένων σωμάτων η μη σωστής στάσης σώματος στην διαδικασία της κίνησης. Φτάνοντας λοιπόν στο σημείο να έχουμε νέα γεωμετρία αλλά και ένα νέο σκελετό αντιπροσωπευτικό για το νέο μας σώμα, το τελευταίο βήμα για το οποίο θα μιλήσουμε βρίσκει έναν τρόπο να ενωθούν η γεωμετρία και ο σκελετός μεταξύ τους, ώστε να μπορεί ο χαρακτήρας μας να κινηθεί.

Η λύση σε αυτό το πρόβλημα, θα είναι η μεταφορά του δέρματος, το οποίο θα είναι και το τελικό μας βήμα. Το 'δέρμα' αναπαριστά της συσχέτιση του σώματος με τα κόκαλα. Ορίζεται ως το σύνολο από βάρη, όπου κάθε ένα από αυτά αντιστοιχίζεται σε κάθε κορυφή (vertex), και μας δείχνει τον βαθμό εξάρτησης αυτής, από το ένα τουλάχιστον ή και περισσότερα κόκαλα που την επηρεάζει. Κάθε κορυφή επηρεάζεται συγκεκριμένα από ένα ως και τέσσερα κόκαλα το πολύ. Ο τρόπος μεταφοράς λοιπόν του δέρματος βασίζεται στην ιδέα που αναλύσαμε παραπάνω για τον σκελετό. Στόχος είναι να αξιοποιήσουμε τα ίδια βάρη που έχουμε από το χαρακτήρα πηγή και να τα ανανεώσουμε - τροποποιήσουμε με βάση την νέα γεωμετρία αλλά παράλληλα και με βάση τον καινούργιο σκελετό. Με τους νέους αυτούς υπολογισμούς, το αποτέλεσμα μας θα είναι λοιπόν ένας χαρακτήρας πηγή, και ένας στόχος, οι οποίοι θα μοιράζονται ίδια γεωμετρία, κόκαλα ,δέρμα αλλά παράλληλα θα διατηρούν την διαφορετικότητα τους ενώ θα κινούνται με τον ίδιο τρόπο.

## 1.2 Συμβολή της Διπλωματικής Εργασίας

Στην μεταπτυχιακή εργασία αυτή στοχεύσαμε στην υλοποίηση ενός αλγορίθμου ο οποίος θα μεταφέρει τον σκελετό το δέρμα αλλά και την γεωμετρία μεταξύ δύο χαρακτήρων οι οποίοι θα διαφέρουν πολύ. Θα παίρνει σαν είσοδο ένα χαρακτήρα



έτοιμο με δική του γεωμετρία κοκάλια και δέρμα, και σε γραμμικό χρόνο θα μεταφέρει αυτά τα χαρακτηριστικά σε ένα δεύτερο χαρακτήρα ο οποίος δεν έχει τίποτα από τα παραπάνω. Έτσι στην συνέχεια χρησιμοποιώντας αυτούς τους χαρακτήρες σε μία πλατφόρμα όπως το Blender για παράδειγμα, θα μπορούν να κινούνται με τον ίδιο τρόπο ασχέτως της δομής του σώματος τους.

Κατανοούμε ότι η σχεδίαση ενός χαρακτήρα από την αρχή είναι μία πολύ χρονοβόρα διαδικασία κατά την οποία ο ενδιαφερόμενος θα πρέπει να σχεδιάσει αρχικά το σώμα (mesh). Ο πιο συχνός τρόπος είναι με την χρήση ακμών και κορυφών, δημιουργώντας πολύγωνα. Αυτή η σχεδίαση ορίζει και την γεωμετρία του σώματος. Στην συνέχεια θα πρέπει να δημιουργήσει τον σκελετό, ο οποίος συχνά παρομοιάζει τον ανθρώπινο στην δομή του, αλλά και το δέρμα του χαρακτήρα. Το δέρμα αλλά και τα κόκαλα είναι αυτά που καθορίζουν την παραμόρφωση του σώματος στην διαδικασία κίνησης του. Είναι λοιπόν προφανές ότι αν έχουμε ως στόχο την παραγωγή χαρακτήρων με διαφορετικό σώμα, και γεωμετρία αλλά με την ίδια κίνηση, τελικά είναι χρήσιμο να υπάρχει μια αυτόματη μεταφορά της κίνησης.

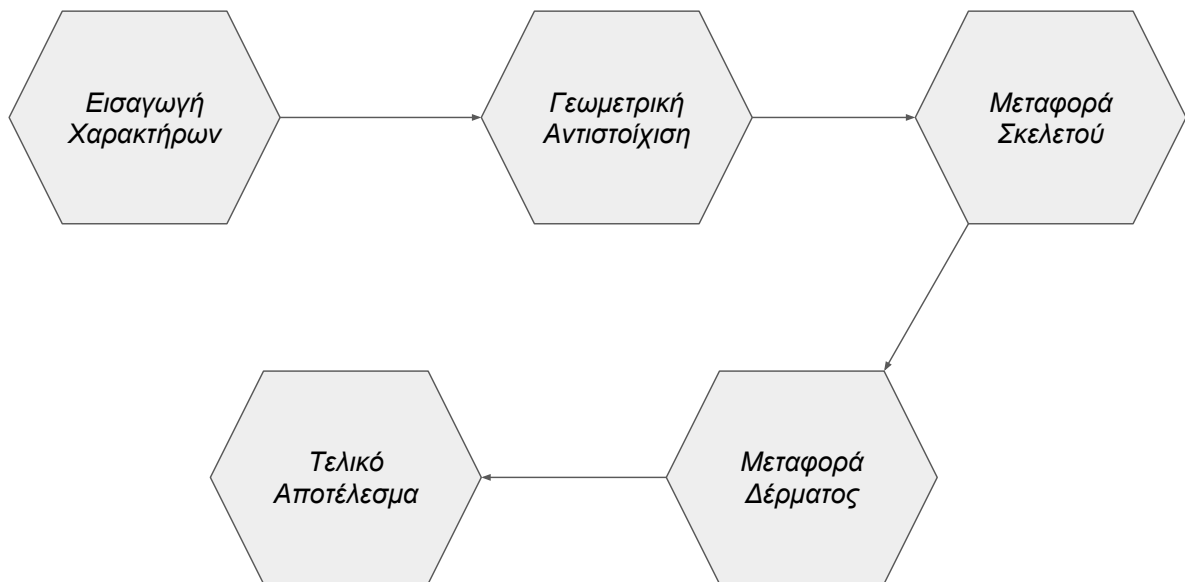
Σ αυτό λοιπόν το σημείο θα πρέπει ο αλγόριθμος να έχει την δυνατότητα να μεταφέρει τα βασικά αυτά χαρακτηριστικά, που συγκροτούν μία κίνηση με βέλτιστο τρόπο, αλλά και γραμμικό χρόνο ώστε ο τελικός χρήστης να αποβεί κερδισμένος. Έτσι λοιπόν θα πρέπει αρχικά να μεταφέρουμε την γεωμετρία του χαρακτήρα. Με τον όρο μεταφορά ορίζουμε την αλλαγή στην γεωμετρία του χαρακτήρα που θέλουμε να τροποποιήσουμε με στόχο τελικά τα δύο μας σώματα να μοιράζονται την ίδια γεωμετρία.

Αν λοιπόν έχουμε δύο σώματα με πανομοιότυπη γεωμετρία τότε μπορούμε μεταφέρουμε τον σκελετό. Και πάλι εδώ η μεταφορά ορίζεται ως την τροποποίηση του υπάρχων σκελετού, με τέτοιο τρόπο ώστε να ταιριάζει απόλυτα πάνω στο καινούργιο σώμα. Ο καινούργιος αυτός σκελετός, θα έχει τα χαρακτηριστικά του αρχικού μας, αλλά τώρα θα είναι σύμφωνος με την γεωμετρία που προέκυψε από τους παραπάνω υπολογισμούς μας. Τέλος, στο τελικό στάδιο θα μεταφερθεί και το δέρμα, όπου και εδώ ουσιαστικά θα ανανεωθεί το δέρμα που υπάρχει ήδη από την πηγή μας, σύμφωνα με τον καινούργιο σκελετό αλλά και την καινούργια γεωμετρία. Με αυτό τον τρόπο την επαναληπτικής αλλαγής όλων των χαρακτηριστικών τις κίνησης προκύπτει ένας καινούργιος χαρακτήρας, με τα χαρακτηριστικά που έχουμε λάβει από τους υπολογισμούς μας.

Η κεντρική ιδέα της εργασίας βασίζεται λοιπόν στην ανάγκη σχεδίασης πολ-

λαπλών χαρακτήρων με εκ διαμέτρου διαφορετικά χαρακτηριστικά αλλά και σωματοδομή με σκοπό την κίνηση τους με τον ίδιο τρόπο. Έτσι λοιπόν στο πρώτο στάδιο ορίζουμε την νέα γεωμετρία μέσα από την υλοποίηση μιας ημιαυτόματης διαδικασίας στην οποία ο χρήστης θα ορίζει σημεία αναφοράς πάνω στα δύο σώματα. Έπειτα με μεθόδους βελτιστοποίησης διορθώνουμε οποιοδήποτε πρόβλημα. Η μέθοδος χρησιμοποιεί κυρίως δίποδα και χαρακτήρες κοντά στην φυσική μορφή του ανθρώπου με δυο πόδια, δύο χέρια και όχι τόσα τετράποδα και επιστημονικής φαντασίας μορφές.

Εξετάσαμε και επικεντρωθήκαμε λοιπόν στον τρόπο με τον οποίο μία μέθοδος σαν αυτή μας δίνει αποτελέσματα στη διαδικασία μεταφοράς σε τελείως ανόμοιους χαρακτήρες (δίποδα), καθώς επίσης και κατά πόσο μετά από αυτό συμπεριφέρονται σωστά στην διαδικασία απόδοσης της κίνησης. Επίσης, στόχος μας ήταν και η παραγωγή ενός νέου χαρακτήρα με τον βέλτιστο τρόπο ώστε να είναι κοντά στο επιθυμητό αποτέλεσμα αλλά και να εκτελείται σε γραμμικό χρόνο ώστε να είναι η μέθοδος γρήγορη και εύχρηστη. Θα μπορούσαμε λοιπόν να παρουσιάσουμε όλη την παραπάνω διαδικασία με ένα διάγραμμα ροής, όπως φαίνεται στο σχήμα (1.1).



Σχήμα 1.1: Το Διάγραμμα Ροής του Αλγορίθμου μας.

### 1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Η δομή της διπλωματικής εργασίας θα έχει την ακόλουθη μορφή :

Στο κεφάλαιο 2 θα αναλύσουμε βασικές έννοιες χρήσιμες ώστε να κατανοήσουμε τα παρακάτω κεφάλαια. Θα βασιστούμε και θα εξηγήσουμε όλο το θεωρητικό υπόβαθρο που είναι απαραίτητο όταν μελετάμε την μεταφορά κίνησης. Θα μιλήσουμε για τους τρισδιάστατους χαρακτήρες και τα χαρακτηριστικά τους, καθώς και για τις ιδιαιτερότητες που εμφανίζουν στην διαδικασία μεταφοράς των ιδιοτήτων τους. Έπειτα θα εστιάσουμε την προσοχή μας σε τεχνικές μεταφοράς κίνησης, απαραίτητες για την υλοποίηση του αλγορίθμου μας.

Στο επόμενο κεφάλαιο το 3, θα αναλύσουμε το πρώτο κομμάτι της εργασίας το οποίο είναι η γεωμετρική αντιστοίχιση δύο χαρακτήρων. Θα αναλύσουμε την βασική σχεδίαση του αλγορίθμου μας, αλλά και τις τεχνικές υλοποίησης με τις οποίες πετύχαμε τον στόχο μας. Τέλος, θα μιλήσουμε για την παραγωγή του τελικού μοντέλου αλλά και τυχόν ιδιαιτερότητες που μπορεί να εμφανίζει η μέθοδός μας.

Στο κεφάλαιο 4 τώρα θα ασχοληθούμε με το επόμενο κομμάτι που είναι η μεταφορά του σκελετού από την πηγή στον στόχο. Η δομή του κεφαλαίου μας θα είναι η ίδια με το κεφάλαιο 3. Δηλαδή, θα αναλύσουμε την βασική σχεδίαση του αλγορίθμου μας, αλλά και τις τεχνικές υλοποίησης με τις οποίες πετύχαμε τον στόχο μας. Τέλος, θα μιλήσουμε για την παραγωγή του τελικού μοντέλου αλλά και τυχόν ιδιαιτερότητες που μπορεί να εμφανίζει η μέθοδός μας.

Το τελευταίο κεφάλαιο που αναφέρεται σε μεταφορά ,είναι αυτή του δέρματος, και θα αναλυθεί με την σειρά του στο κεφάλαιο 5, για την τεχνική υλοποίησης του. Και εδώ η δομή μας θα ακολουθεί την ίδια μορφή με τα προηγούμενα κεφάλαια.

Στο κεφάλαιο 6 και ενώ έχει ολοκληρωθεί η ανάλυση μας θα μιλήσουμε για τα αποτελέσματα της μεθόδου μας και την σημαντικότητα της χρήσης ενός τέτοιου αλγορίθμου Επίσης θα αναφέρουμε τις κατάλληλες παραμέτρους που θα χρησιμοποιεί ο χρήστης κατά την εκτέλεση του αλλά και τα αναμενόμενα αποτελέσματα που θα έχει σε διαφορετικές εκτελέσεις.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 συνοψίζουμε τον προτεινόμενο αλγόριθμο και εξάγουμε τα συμπεράσματα σχετικά με τις ωφέλειες που αυτή παρέχει. Επίσης, συζητάμε και πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

# ΒΑΣΙΚΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 
- 2.1 3D Χαρακτήρες και Βασικές Λειτουργίες
  - 2.2 Τεχνικές Μεταφοράς Κίνησης
  - 2.3 Ανασκόπηση Τεχνικών Μεταφοράς Κίνησης
- 

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε αρχικά στο απαραίτητο υπόβαθρο όσο αναφορά τους τρισδιάστατους χαρακτήρες και τα βασικά τους χαρακτηριστικά. Θα επικεντρωθούμε στην δομή που ακολουθούν καθώς και πως μπορούμε να τους χρησιμοποιήσουμε στην επικείμενη εργασία μας. Θα αναλύσουμε τεχνικές επεξεργασίας τους καθώς και βασικές τους ιδιότητες. Έπειτα θα εστιάσουμε στις τεχνικές μεταφοράς κίνησης. Θα ορίσουμε βασικά χαρακτηριστικά που θα είναι το κλειδί για τα παρακάτω κεφάλαια. Τέλος, θα επισημάνουμε διαφορές μεταξύ των κατηγοριών αλλά και θα αναφέρουμε πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε κάθε κατηγορία.

### 2.1 3D Χαρακτήρες και Βασικές Λειτουργίες

Ένας τρισδιάστατος χαρακτήρας απεικονίζεται στον υπολογιστή με την μορφή συνόλου σημείων. Μπορεί να είναι ένα δίποδο ή τετράποδο, και να έχει οποιαδήποτε

μορφή επιλέξει ο χρήστης. Για την συγκεκριμένη εργασία επικεντρωθήκαμε κυρίως στα δίποδα και πιο ειδικά στις φιγούρες που απεικονίζουν ανθρώπους. Ο τρόπος σχεδίασης της αρχικής φιγούρας είναι με την χρήση ειδικών σχεδιαστικών προγραμμάτων. Στην συνέχεια είναι η τρισδιάστατη απεικόνιση τους. Εδώ θέλουμε την θέση που καταλαμβάνουν στον τρισδιάστατο χώρο. Η θέση αυτή δίνεται από την συνολική θέση των επιμέρους σημείων που ορίζουν το σώμα μας. Το κάθε σημείο αποτελείται από τρεις συντεταγμένες  $(x,y,z)$  οι οποίες προσδιορίζουν την θέση στον αντίστοιχο άξονα  $x,y,z$  του καρτεσιανού μας συστήματος. Όλα αυτά τα σημεία στον χώρο ενώνονται μεταξύ τους με την χρήση των ακμών και σχηματίζοντας με αυτό τον τρόπο πολύγωνα. Το πιο συνηθισμένο πολύγωνο που χρησιμοποιείται στην πράξη, είναι το τρίγωνο.

Με την χρήση λοιπόν των κορυφών και ακμών ορίζουμε την απεικόνιση του χαρακτήρα μας. Το πρώτο λοιπόν χαρακτηριστικό που παρατηρούμε είναι η δημιουργία γειτονιάς. Μία κορυφή  $a$  έχει τόσους γείτονες όσες και οι ακμές που βρίσκονται πάνω σε αυτήν την κορυφή. Γνωρίζοντας λοιπόν τον ορισμό της γειτονιάς για μία κορυφή μπορούμε περαιτέρω να ορίσουμε και την έννοια του κοντινότερου γείτονα. Από το σύνολο των κορυφών που γειτονεύουν με τον κόμβο  $a$  ο κοντινότερος γείτονας του είναι αυτός που η απόσταση τους είναι η ελάχιστη. Προφανώς, και η έννοια της απόστασης ορίζεται από το αντίστοιχο μήκος της ακμής που τις συνδέει ή χρησιμοποιώντας την ευκλείδεια απόσταση τους.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό που μας δίνουν τα σώματα αυτά (mesh) είναι την γεωμετρία τους. Η γεωμετρία ενός σώματος ορίζεται από το πλήθος των πολυγώνων που έχει, αλλά και την θέση τους στο χώρο. Τα πολύγωνα ορίζουν κλειστές επιφάνειες όπου στο σύνολό τους μας δίνουν την μορφή, ή με άλλα λόγια την κατασκευαστική δομή του χαρακτήρα μας. Ο χαρακτήρας λοιπόν όπως έχει οριστεί αποτελείται από κορυφές και ακμές βρίσκεται κάπου στον χώρο. Από κει και πέρα εμείς μπορούμε να μετακινήσουμε ή να παραμορφώσουμε αυτόν τον χαρακτήρα όπως μας είναι χρήσιμο. Πιο συγκεκριμένα μπορούμε να μεταφέρουμε, περιστρέψουμε αλλά και να αλλάξουμε κλίμακα στον χαρακτήρα μας ταυτόχρονα ή μεμονωμένα σε κάποιο κομμάτι από το σώμα μας. Οι διαδικασίες αυτές ονομάζονται μετασχηματισμοί και εφαρμόζονται σε κάθε κορυφή ξεχωριστά. Το συνολικό αποτέλεσμα των μετασχηματισμών είναι η παραγωγή μοντέλων σε διαφορετικές πόζες.

## 2.2 Τεχνικές Μεταφοράς Κίνησης

Στο στάδιο λοιπόν που επιθυμούμε να μεταφέρουμε μία κίνηση από ένα χαρακτήρα σε έναν άλλο θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε κάποιες τεχνικές μεταφοράς κίνησης. Με άλλα λόγια, θα πρέπει να κατανοήσουμε και να μελετήσουμε την κίνηση που επιθυμούμε να μεταφέρουμε σαν τρία ξεχωριστά κομμάτια μεταξύ τους. Το πρώτο και πιο σημαντικό κομμάτι είναι η μεταφορά της γεωμετρίας του παλιού μοντέλου στο νέο μας μοντέλο. Ουσιαστικά εδώ αυτό που προσπαθούμε να πετύχουμε είναι ο προσδιορισμός ενός νέου χαρακτήρα ‘προορισμό’ διατηρώντας την δομή του χαρακτήρα που έχουμε ως πηγή και προσαρμόζοντάς τον στο στόχο. Πολύ μεγάλη σημασία εδώ θα έχει να ορίσουμε πως το τελικό αποτέλεσμα της μεταφοράς συνδέεται άμεσα με το ποιο χαρακτήρα ορίζουμε πηγή και ποιο στόχο. Σε καθεμία από της παραπάνω περιπτώσεις το αποτέλεσμα είναι σαφώς διαφορετικό. Η σωστή επιλογή των χαρακτήρων καθορίζεται καταρχάς από που προς τα που θα θέλαμε να μεταφέρουμε την κίνηση. Γνωρίζοντας τον αρχικό χαρακτήρα που είναι ολοκληρωμένος και έχει κίνηση άμεσα κατανοούμε ότι αυτή είναι η πηγή μας και άμεσα προκύπτει ο στόχος. Βέβαια, είναι εφικτό να ορίσουμε και την αντίστροφη μεταφορά κίνησης αν επιθυμούμε ωστόσο αν ο δεύτερος χαρακτήρας μας δεν έχει κάποια κίνηση το μόνο που θα πετύχουμε είναι η μεταφορά της γεωμετρίας μόνο.

Στο κομμάτι λοιπόν αυτό και ενώ έχουμε επιλέξει τους σωστούς χαρακτήρες πηγή και στόχο προχωράμε στην υλοποίηση μίας τεχνικής μεταφοράς γεωμετρίας η οποία ονομάζεται Elastiface [1] η οποία υλοποιεί μεταφορά γεωμετρίας σε τρία απλά στάδια με σκοπό την παραγωγή μίας νέας τοπολογίας για το χαρακτήρα ‘προορισμό’ μας. Δηλαδή, προσπαθούμε μέσα από κάποια βήματα να πετύχουμε το απόλυτο ταίριασμα γεωμετρικά των δύο μας χαρακτήρων μέσα από υπολογισμούς και μεθόδους βελτιστοποίησης τους οποίους θα αναλύσουμε στο Κεφάλαιο (3). Με αυτό τον τρόπο υλοποίησης, θα εξασφαλίσουμε την αντιστοίχιση ακόμα και τελείως ανόμοιων χαρακτήρων καθώς θα μπορούμε με την μεταφορά να αντιγράψουμε ακόμα και λεπτομέρειες από τον ένα χαρακτήρα στον άλλον, όπως για παράδειγμα, τα χαρακτηριστικά του προσώπου τους. Εισάγει την έννοια της 1-1 αντιστοίχισης κατά την οποία προσπαθούμε να αντιστοιχήσουμε κάθε ένα σημείο του χαρακτήρα πηγή με ένα από τον στόχο, αφού πρώτα έχουμε αντιστοιχήσει κάποια μόνοι μας (σημεία αναφοράς). Υπάρχει διαδραστικότητα με το χρήστη ώστε να έχει την δυνατότητα να επιλέξει το τρόπο με τον οποίο η μέθοδος θα ταιριάζει τα

δύο αυτά σώματα. Αυτό είναι εξαιρετικά χρήσιμο σε περιπτώσεις όπου για παράδειγμα, οι δύο χαρακτήρες δεν είναι ανθρώπινης μορφής αλλά είναι ένα τετράποδο και ένα δίποδο. Πιο συγκεκριμένα αν για παράδειγμα έχουμε ένα τετράποδο και ένα δίποδο (άνθρωπο) τότε τα άκρα τους θα δημιουργήσουν πρόβλημα κατά τη διαδικασία ταιριάσματος. Εκεί λοιπόν ο χρήστης θα μπορεί να επιλέξει τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει το ταιρίασμα ώστε να πάρει το αποτέλεσμα που επιθυμεί. Ένα σημαντικό επίσης ζήτημα θα είναι και ο χρόνος που απαιτεί μια τέτοια διαδικασία. Έτσι λοιπόν χρησιμοποιούμε τεχνικές βελτιστοποίησης ώστε σε γραμμικό χρόνο να πάρουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα όπως θα δούμε παρακάτω. Συνοψίζοντας λοιπόν την πρώτη μας τεχνική μεταφοράς που αφορά την μεταφορά της γεωμετρίας μεταξύ δύο χαρακτήρων θα αναλύσουμε τους τρόπους ώστε να πετύχουμε αυτόν τον στόχο μας και θα επιμείνουμε σε θέματα βελτιστοποίησης και σε θέματα που αφορούν τον χρήστη στο τελικό αποτέλεσμα.

Η επόμενη και αναμενόμενη τεχνική μας αφορά την μεταφορά του σκελετού που έχει ο χαρακτήρας πηγή. Ο σκελετός αυτός προσδιορίζει ουσιαστικά και την δομή για το σώμα που μελετάμε. Ο τρόπος με τον οποίο θα αξιοποιήσουμε αυτήν την πληροφορία για τα κόκαλα θα αναλυθεί στο Κεφάλαιο (4). Το κάθε κόκαλο αποτελείται από τον κορμό του, και τις αρθρώσεις του. Στόχος μας είναι να σχεδιάσουμε ένα νέο σκελετό για το νέο μας χαρακτήρα που προέκυψε από το προηγούμενο βήμα, δίνοντας του την χαρακτηριστική μορφή του από τον υπάρχων σκελετό. Απαραίτητο στοιχείο σε αυτό το βήμα λοιπόν είναι η ύπαρξη του σκελετού από τον χαρακτήρα πηγή ο οποίος να αποτελείται από την ιεραρχία των κοκάλων του αλλά και την θέση τους, όπως επίσης και τις σχέσεις μεταξύ των αρθρώσεων τους [2]. Έχοντας λοιπόν τον σκελετό μας προσπαθούμε να υλοποιήσουμε μεταφορά σκελετού σε δύο βήματα. Πρώτον στοχεύουμε στην μεταφορά του κάθε κόκαλου ξεχωριστά με στόχο τον επαναπροσδιορισμό του σε μέγεθος καθώς και σε θέση τους σε σχέση πάντα με το νέο μας χαρακτήρα. Εκτελώντας λοιπόν αυτήν τη διαδικασία θα έχουμε ένα νέο σκελετό για το χαρακτήρα μας σύμφωνα με τις δικές του διαστάσεις. Στο δεύτερο βήμα τώρα θα θέλαμε να στοχεύσουμε και τις αρθρώσεις σαν τελικό στάδιο μεταφοράς. Ο λόγος που θέλουμε τις αρθρώσεις σε νέα θέση είναι ώστε να εξασφαλίσουμε ότι ο σκελετός που μεταφέραμε θα είναι απόλυτα ευθυγραμμισμένος με το νέο μας σώμα ώστε να μπορεί μετέπειτα να κινεί το σώμα μας όπως θα είναι το λογικό. Θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι αυτή η διαδικασία είναι πολύ σημαντική για το τελικό αποτέλεσμα τις μεταφορές διότι το κάθε κόκαλο που σχεδιάζουμε συνδέεται με ένα

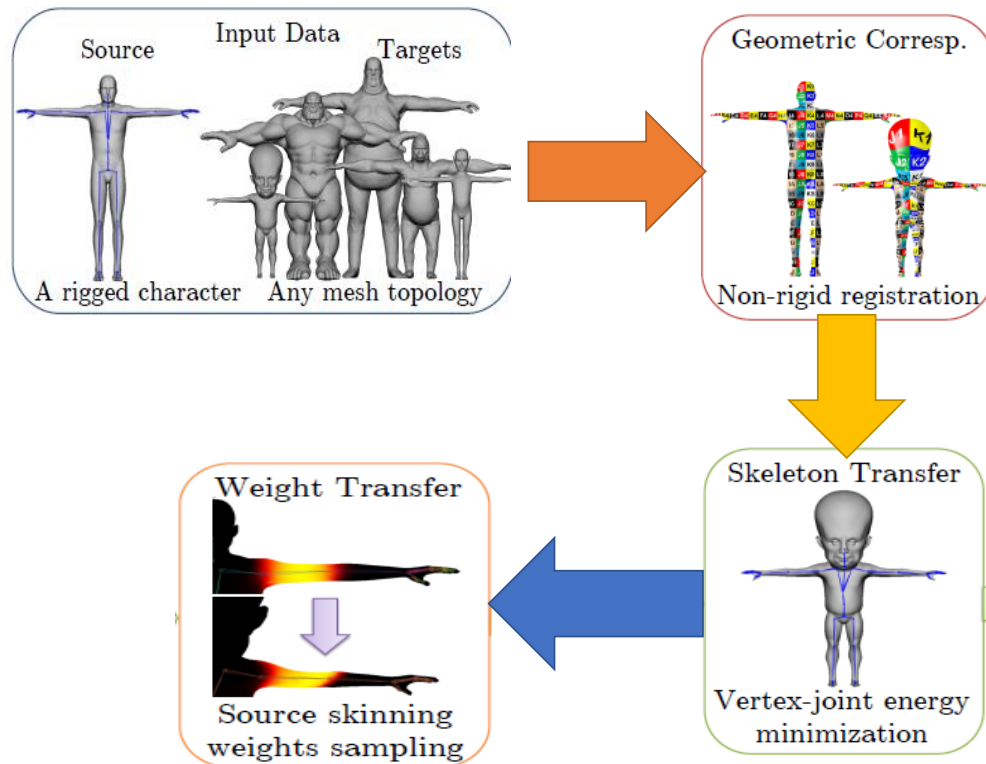
πλήθος κορυφών από τον χαρακτήρα μας και είναι υπεύθυνο να παραμορφώνει τις κορυφές αυτές σε κάθε κίνηση που του ορίζουμε. Έτσι λοιπόν εμείς μετακινώντας τα κόκαλα ουσιαστικά παραμορφώνουμε τις αντίστοιχες κορυφές με αποτέλεσμα να ‘τσαλακώνουμε’ το σώμα μας και τελικά να φαίνεται οπτικά η επιθυμητή κίνηση. Η υλοποίηση αυτής της τεχνικής μας αποδίδει σε βέλτιστο χρόνο το επιθυμητό αποτέλεσμα και το κλειδί σε αυτό το βήμα είναι η γεωμετρική αντιστοίχιση που υλοποιήσαμε στο προηγούμενο βήμα, και έτσι γιατί έχοντας δύο σώματα με την ίδια ακριβώς γεωμετρία είναι πολύ εύκολο να μετακινούμε κάθε κόκαλο στο χαρακτήρα στόχο μας που ουσιαστικά είναι το ίδιο με το αρχικό μας σώμα.

Η τελευταία μας τεχνική αφορά την μεταφορά του δέρματος μεταξύ των χαρακτήρων μας. Το δέρμα ίσως είναι και το πιο σημαντικό στην διαδικασία κίνησης ενός χαρακτήρα διότι είναι αυτό που προσδιορίζει την παραμόρφωση του σκελετού στην διαδικασία της κίνησής του. Όπως είπαμε και παραπάνω ο σκελετός στο σύνολό του προσδιορίζεται από την σχέση που έχει κάθε κόκαλο με τις επιμέρους κορυφές που του αντιστοιχούν. Έχοντας λοιπόν αυτήν τη σχέση κορυφών – κοκάλων αυτό που μας λείπει είναι ο τρόπος να τα ενώσουμε μεταξύ τους. Ο τρόπος αυτός ονομάζεται δέρμα. Το δέρμα είναι ένα σύνολο από βάρη τα οποία προσδιορίζουν το ποσοστό παραμόρφωσης που μπορεί να ασκήσει κάθε κόκαλο σε μία κορυφή. Στην κάθε κορυφή αντιστοιχεί ένα βάρος το οποίο προσδιορίζει το βαθμό που αυτή η κορυφή μπορεί να παραμορφωθεί όταν το κόκαλο μετακινηθεί. Κάθε κορυφή μπορεί να έχει ένα μόνο βάρος σε σχέση με ένα κόκαλο και να την προσδιορίζει με μοναδικό τρόπο, από την άλλη πλευρά όμως κάθε κορυφή μπορεί να επηρεάζεται από το πολύ τέσσερα κόκαλα και τουλάχιστον ένα. Έτσι λοιπόν η τεχνική της μεταφοράς του δέρματος που θα αναλυθεί εκτενέστερα το Κεφάλαιο (5), συνδέεται άμεσα με τον σκελετό και άρα το προηγούμενο στάδιο και είναι το κλειδί για να πετύχουμε την κίνηση σε ένα χαρακτήρα.

Ολοκληρώνοντας εδώ τις τρεις βασικές μας τεχνικές παρατηρούμε ότι είναι οι πυλώνες της μεταφοράς μίας κίνησης συνολικά αλλά και πολύ σημαντικά σαν αυτόνομα κομμάτια. Φυσικά, αν θέλουμε να πετύχουμε μια κίνηση σαν τελικό αποτέλεσμα τότε τα τρία αυτά στάδια είναι απαραίτητα καθώς επίσης και η σειρά εκτέλεσής τους. Θα πρέπει να διαδέχεται η μία μεταφορά την άλλη διότι η μία εξαρτάται από την άλλη. Το τελικό αποτέλεσμα της εκτέλεσής τους θα είναι ο ζητούμενος χαρακτήρας μας. Θα μπορούσαμε λοιπόν να αναπαραστήσουμε την συνολική μας διαδικασία ως ένα διάγραμμα ροής με την μορφή του παρακάτω σχήματος (Σχήμα



2.1).



Σχήμα 2.1: Η διαδικασία μεταφοράς κίνησης σε 5 βήματα.

### 2.3 Ανασκόπηση Τεχνικών Μεταφοράς Κίνησης

Σε όλες λοιπόν της παραπάνω τεχνικές είδαμε, πως μπορούμε να υλοποιήσουμε μεταφοράς κίνησης σε τρία βήματα. Το πιο ενδιαφέρον και βασικό μας μέλημα θα είναι να σιγουρευτούμε πως ο τρόπος μας θα είναι πιο αποτελεσματικός σε σχέση με άλλους αλγόριθμους που υπάρχουν ήδη. Διάφοροι μέθοδοι έχουν προταθεί τα προηγούμενα έτη που είτε υλοποιούν συνολική μεταφορά [3] ή και [4], είτε κάποια κομμάτια ξεχωριστά σαν αυτόνομοι αλγόριθμοι. Στόχος μας είναι σ' αυτήν την ενότητα να επικεντρωθούμε σε κάθε κομμάτι που θα υλοποιήσουμε εμείς και να σιγουρευτούμε πως προσεγγίζουμε την λύση με ένα καλύτερο τρόπο, από ένα ήδη υπάρχων. Αρχικά κοιτώντας το κομμάτι της κίνησης σαν μία συνολική διαδικασία,

έχει μελετηθεί τα προηγούμενα χρόνια, με σημαντικά αποτελέσματα [5], και με επιτυχής μεταφορά κίνησης σαν τελικό βήμα. Το μόνο μειονέκτημα είναι ότι δεν έχουμε επαφή με τον σκελετό ή το δέρμα σαν επιμέρους κομμάτια, διότι το μελετάμε σαν μία κίνηση. Σε αντίθεση με την δική μας προσέγγιση όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τη είδους μεταφορά επιθυμεί να υλοποιήσει και να εκτελεί μία σε κάθε επανάληψη αν δεν επιθυμεί μία συνολική κίνηση.

Συνεχίζοντας την αναζήτηση για παλιότερο υλικό θα δούμε πως στο κομμάτι της δημιουργίας ή μεταφοράς σκελετού υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις. Υπάρχουν μέθοδοι οι οποίες εξάγουν τον σκελετό με το δικό τους τρόπο αλλά για να χρησιμοποιήσουν βάρη για το τελικό αποτέλεσμα θα βασιστούν πάνω σε άλλες δουλείες, [6]. Υπάρχουν φυσικά και μέθοδοι οι οποίες υπολογίζουν το δέρμα από τον σκελετό και την γεωμετρία απαιτούν όμως μία συλλογή από πόζες για να μας δώσουν αποτέλεσμα, [7]. Η δική μας μέθοδος από την άλλη εξάγει και μεταφέρει τον σκελετό αλλά και το δέρμα στον χαρακτήρα πηγή χωρίς να απαιτεί την ύπαρξη περισσότερης πληροφορίας πέρα από την πηγή μας. Κατανοούμε λοιπόν πως η δική μας μέθοδος είναι πιο εύκολα προσιτή από χρήστες οι οποίοι δεν έχουν πολλή πληροφορία στην διάθεση τους. Βλέπουμε λοιπόν πως πολλές μέθοδοι έχουν προταθεί για μεταφορά σκελετού και δέρματος, άλλες να απαιτούν χαρακτήρες όμοιους στην τοπολογία [8], άλλες να χρειάζονται μία βάση δεδομένων ώστε να έχουν αρχείο με πληροφορίες [9], σε πλήρη αντιδιαστολή με την δική μας που όπως θα δούμε και στα επόμενα κεφάλαια δεν χρειάζεται τίποτα από αυτά.

Το τελευταίο στάδιο σύγκρισης θα γίνει στην γεωμετρική αντιστοίχιση. Αναζητώντας δουλείες για γεωμετρική αντιστοίχιση είδαμε να υπάρχουν αρκετές. Σε όλες όμως η κυριότερη απαίτηση είναι η εισαγωγή χαρακτήρων οι οποίοι να είναι ισομετρικοί ή σχεδόν ισομετρικοί, [10]. Με την δική μας προσέγγιση λοιπόν απορρίπτουμε αυτήν την απαίτηση και υλοποιούμε την γεωμετρικοί μας αντιστοίχιση σε χαρακτήρες μη ισομετρικούς [1], δημιουργώντας έτσι την δυνατότητα μεταφοράς ακόμα λεπτομέρειας, όπως για παράδειγμα τα δάχτυλα στα χέρια ή πόδια. Έτσι λοιπόν βλέπουμε πως σε όλα τα στάδια της προσέγγισης μας με άλλες μεθόδους, ο δικός μας αλγόριθμος μπορεί να καλύψει ένα μεγαλύτερο εύρος δυνατοτήτων στην μεταφορά κίνησης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ

---

### 3.1 Σχεδίαση Αλγορίθμου

### 3.2 Τεχνικές Υλοποίησης Γεωμετρικής Αντιστοίχισης

### 3.3 Αποτελέσματα και Ιδιαιτερότητες

---

Στην ενότητα αυτή θα αναλύσουμε την ιδέα πίσω από την υλοποίηση της γεωμετρικής αντιστοίχισης μεταξύ δύο χαρακτήρων. Θα ασχοληθούμε εκτενώς με τις πιο βασικές έννοιες οι οποίες θα είναι απαραίτητες για την υλοποίηση αυτής της αντιστοίχισης [11]. Θα αναφέρουμε τον βασικό αλγόριθμο στον οποίο βασιστήκαμε για την υλοποίηση μας αλλά και τις τεχνικές που χρησιμοποιήσαμε στο στάδιο της υλοποίησης του αλγορίθμου μας [1]. Τέλος, θα αναφέρουμε τις διάφορες ιδιαιτερότητες που εμφανίζει ο αλγόριθμός μας αλλά και τα απαραίτητα βήματα που θα πρέπει να ακολουθήσει κάποιος ώστε να πάρει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

### 3.1 Σχεδίαση Αλγορίθμου

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει το πιο βασικό κομμάτι στην διαδικασία μεταφοράς μίας κίνησης είναι η μεταφορά της γεωμετρίας του πρώτα. Η γεωμετρία από την οποία αποτελείται ένα σώμα είναι το πιο βασικό του χαρακτηριστικό, και απαραίτητο για την σχεδίαση μίας κίνησης. Όπως γνωρίζουμε στην διαδικασία κατά την οποία ο

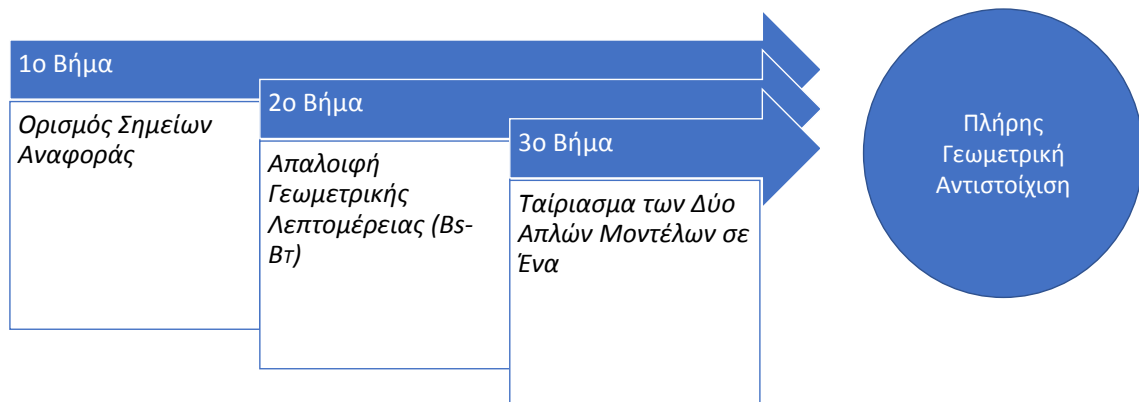
χρήστης επιθυμεί να δημιουργήσει μία κίνηση ακολουθεί τα εξής βήματα. Αρχικά μελετά την γεωμετρία του ώστε να μπορέσει να σχεδιάσει ένα σκελετό πάνω στον χαρακτήρα του. Έπειτα ξεκινά να σχεδιάζει το δέρμα με σκοπό να ενώσει το σώμα με τα κόκαλα και τελικά μέσα από την κίνηση που δίνει στα κόκαλα καταφέρνει να κινεί και το σώμα. Είναι λοιπόν προφανές ότι στο σημείο που θα θέλει ο χρήστης να μεταφέρει αυτήν την κίνηση σε ένα άλλο χαρακτήρα θα πρέπει να μελετήσει εξίσου την γεωμετρία του ώστε να καταλάβει πως θα πρέπει να σχεδιάσει και πάνω σε αυτόν, το σκελετό και το δέρμα. Οδηγούμαστε έτσι στην σκέψη πως αν θα μπορούσαμε να μεταφέρουμε την γεωμετρία που έχουμε στον νέο μας χαρακτήρα θα ήταν πολύ πιο γρήγορη η διαδικασία μεταφοράς των παρακάτω κομματιών. Έτσι λοιπόν στόχος μας είναι η μεταφορά και ουσιαστικά εννοούμε την τροποποίηση της γεωμετρίας του νέου μας χαρακτήρα ώστε να ταιριάζει απόλυτα με το παλιό μας χαρακτήρα.

Με τον όρο τώρα γεωμετρία ενός χαρακτήρα εννοούμε την τρισδιάστατη αναπαράστασή του σαν ένα αντικείμενο. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος αναπαράστασης είναι με κορυφές και ακμές. Έχουμε δηλαδή ένα σύνολο κορυφών στον τρισδιάστατο χώρο  $(x,y,z)$  οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με ακμές. Οι επιφάνειες λοιπόν που δημιουργούνται από αυτό το σύνολο κορυφών ακμών ορίζουν την γεωμετρία του χαρακτήρα μας. Οι επιφάνειες αυτές μπορεί να ορίζουν τουλάχιστον τρίγωνα αλλά και τετράγωνα και μεγαλύτερα πολύγωνα. Στόχος μας λοιπόν είναι να μπορέσουμε με δικές μας τεχνικές να τροποποιήσουμε ή να μετακινήσουμε τις κορυφές του νέου μας χαρακτήρα με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορέσουμε να προσομοιώνουμε την μορφή του αρχικού μας χαρακτήρα. Εφαρμόζοντας λοιπόν επαναληπτικά τεχνικές για την αλλαγή γεωμετρίας μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα χαρακτήρα που να διατηρεί τα χαρακτηριστικά του στόχου μας αλλά να έχει την γεωμετρία της πηγής μας.

Το επόμενο και πιο σημαντικό βήμα, είναι να εξασφαλίσουμε ότι αυτή η μέθοδος μας θα μπορεί να δίνει αποτέλεσμα και σε χαρακτήρες οι οποίοι διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, καθώς επίσης και σε μέρη του σώματος με πολλή λεπτομέρεια όπως για παράδειγμα το πρόσωπο. Η μεθοδός μας κυρίως θα εστιάσει την προσοχή της σε χαρακτήρες που μιμούνται την ανθρώπινη μορφή και όχι τόσο σε τετράποδα ή άλλους χαρακτήρες. Είναι λοιπόν πολλή σημαντική η δυνατότητα να μπορούμε να διαχειριστούμε τελείως ανόμοιους χαρακτήρες. Ποιο ειδικά λοιπόν η μέθοδος μας προσπαθεί να πετύχει μία πλήρης 1-1 αντιστοίχιση μεταξύ των δύο χαρακτήρων μας

[1]. Έχει, όπως θα δούμε και παρακάτω πολύ μεγάλη σημασία η 1-1 αντιστοίχιση λόγω του ότι υπάρχουν και άλλοι μέθοδοι για το ταίριασμα της γεωμετρίας οι οποίοι όμως, απαιτούν τους χαρακτήρες να είναι ομοιόμορφοι ως προς την σφαίρα ή το επίπεδο. Όλες αυτές οι μέθοδοι που απαιτούν γενικότερα συγκεκριμένη μορφολογία αποτυγχάνουν σε πολλές περιπτώσεις, [10]. Το συμπέρασμα λοιπόν είναι ότι η δικιά μας μέθοδος παραβλέπει αλλά και αγνοεί τους περιορισμούς που δημιουργεί η τοπολογία και εφαρμόζει μία άκαμπτη προσέγγιση στην λύση της αντιστοίχισης.

Θέλουμε λοιπόν να σχεδιάσουμε μία μέθοδο που μέσα από απλά βήματα όπως είναι η αποσύνθεση και ο μετασχηματισμός να μπορούμε να παράγουμε το επιθυμητό μας μοντέλο. Μπορούμε λοιπόν να χωρίσουμε τον αλγόριθμο μας σε τρία επιμέρους τμήματα όπου το καθένα ξεχωριστά μας οδηγεί ένα βήμα πιο κοντά στο τελικό μας αποτέλεσμα. Στο πρώτο βήμα θα ασχοληθούμε με τον τρόπο που ο χρήστης θα έχει καθοριστικό ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα με την επιλογή σημείων πάνω στους χαρακτήρες μας (Ενότητα 3.2.1). Έπειτα έχοντας λάβει υπόψιν μας τις επιλογές του χρήστη θα προσπαθήσουμε να ευθυγραμμίσουμε τα σημεία αυτά μεταξύ τους και να τα κρατήσουμε σαν βάση για το επόμενο βήμα που είναι η ευθυγράμμιση όλου του χαρακτήρα μας τελικά. Ταυτόχρονα με την ευθυγράμμιση προσπαθούμε να ‘λιώσουμε’ τον χαρακτήρα μας εφαρμόζοντας τεχνικές ώστε να διαγράψουμε τις πολλές λεπτομέρειες τους, (Ενότητα 3.2.2) και να παράγουμε δύο νέα μοντέλα με καθόλου λεπτομέρεια. Τέλος, προσπαθούμε να ενώσουμε αυτά τα δύο μοντέλα σε ένα όπου θα είναι και το τελικό μας αποτέλεσμα (Ενότητα 3.2.3). Έτσι λοιπόν τα βήματα που θα ακολουθήσουμε παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα (3.1).



Σχήμα 3.1: Η αρχιτεκτονική δομή της γεωμετρικής αντιστοίχισης.

### 3.2 Τεχνικές Υλοποίησης Γεωμετρικής Αντιστοίχισης

Στην ενότητα αυτή θα αναλύσουμε βήμα βήμα τον τρόπο που θα υλοποιήσουμε την 1-1 αντιστοίχιση που επιθυμούμε μεταξύ των δύο χαρακτήρων μας. Στόχος μας είναι σε τρία βήματα να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε ένα νέο χαρακτήρα ο οποίος θα είναι το αποτέλεσμα της αντιστοίχισης μας. Η υλοποίηση μας θα ξεκινήσει έχοντας το χαρακτήρα πηγή και τον χαρακτήρα στόχο. Θα ζητήσουμε την συμμετοχή από το χρήστη στην επιλογή κάποιων σημείων πάνω στους δύο χαρακτήρες με σκοπό να μας δηλώσει το τρόπο με τον οποίο θέλει να αντιστοιχιστούν οι δύο χαρακτήρες. Είναι ένα απαραίτητο στάδιο καθώς δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει το τρόπο με τον οποίο θα γίνει η μεταφορά της γεωμετρίας και αυτό κατά συνέπεια καλύπτει και τις περιπτώσεις που θα πρέπει να γίνει μεταφορά σε τελείως ανόμοιους χαρακτήρες όχι μόνο ως προς την γεωμετρία τους αλλά και γενικότερα ως προς την μορφή τους. Κρατώντας αυτήν την πληροφορία θα μπορέσουμε να προχωρήσουμε και παρακάτω στο επόμενο βήμα στο οποίο θα προσπαθήσουμε με επαναληπτικό τρόπο να διαγράψουμε τις λεπτομέρειες από το

κάθε χαρακτήρα μας, ώστε να μπορούμε να έχουμε δύο χαρακτήρες με πολλή απλή γεωμετρία. Αλλοιώνοντας την γεωμετρία τους μέσα από μία διαδικασία ελαχιστοποίησης θα κρατήσουμε την βασική γεωμετρία από κάθε χαρακτήρα και ουσιαστικά θα έχουμε δύο σώματα τα οποία θα μοιάζουν πολύ μεταξύ τους. Αυτό μας εξυπηρετεί για το τελικό μας στάδιο στο οποίο θα προσπαθήσουμε να ενώσουμε τους δύο αυτούς χαρακτήρες σε έναν. Η διαδικασία αυτή θα ακολουθήσει τη φιλοσοφία του προηγούμενου σταδίου. Θα προσπαθήσουμε μέσα από επαναληπτικά βήματα ελαχιστοποίησης να μειώσουμε τις διαφορές τους και τελικά να παράγουμε τον επιθυμητό μας χαρακτήρα σαν τελικό βήμα. Τώρα οι λεπτομέρειες για το κάθε βήμα ξεχωριστά θα αναλυθούν στις παρακάτω υπό ενότητες.

### 3.2.1 Καθορισμός Σημείων Αναφοράς

Ξεκινώντας αυτήν την υπό ενότητα λοιπόν θα μελετήσουμε λίγο πιο αναλυτικά τα σημεία αναφοράς και την χρήση τους στον αλγόριθμό μας συνολικά. Όπως έχουμε ήδη πει για να ξεκινήσουμε τη διαδικασία της αντιστοίχισης θα πρέπει πρώτα ο χρήστης να μας δώσει ένα σύνολο από σημεία αναφοράς που έχει επιλέξει είτε ο ίδιος είτε έχει αφήσει το σύστημα μας να επιλέξει. Με αυτό τον τρόπο ο αλγόριθμός μας καθίσταται ημιαυτόματης καθώς εξαρτάται και από τη συνεργασία του χρήστη. Ο λόγος ύπαρξης αυτών των σημείων αναφοράς είναι να χρησιμεύουν σαν βάση στον υπολογισμό της αντιστοιχίας μας. Μπορεί να μας δώσει αποτελέσματα σε χαρακτήρες μη ισομετρικούς χαρακτηριστικό ιδιαίτερα σημαντικό στην 1-1 αντιστοιχία. Θα δούμε στην συνέχεια πως κρατώντας σαν βάση την αντιστοίχιση των σημείων αναφοράς μας μπορούμε μετά με μία ελαχιστοποίηση της κατάλληλης αντικειμενικής συνάρτησης να πετύχουμε την βέλτιστη αντιστοίχιση για όλο τον χαρακτήρα μας.

Έτσι θα μπορέσουμε να χωρίσουμε την διαδικασία των σημείων αναφοράς σε τρία επιμέρους βήματα. Αρχικά προφανώς θα είναι η επιλογή των σημείων αυτών. Τρόποι για την επιλογή τους υπάρχουν πολλοί. Καταρχάς θα μπορούσε ο χρήστης να τα έχει εξαρχής επιλεγμένα και σταθερά και να τα εισάγει στον αλγόριθμό μας με την μορφή ενός αρχείου είτε ένα και για τους δύο χαρακτήρες μαζί είτε δύο ένα για το καθένα ξεχωριστά. Τις περισσότερες φορές όμως καταλήγουμε πως ο χρήστης δεν γνωρίζει από την αρχή πώς επιθυμεί να ταιριάζει τους χαρακτήρες ή να θέλει να εκτελέσει διαφορετικά πειράματα σε κάθε επανάληψη. Δεύτερος τρόπος

θα μπορούσε να είναι η διαδραστική επιλογή. Με αυτόν τον όρο εννοούμε πως ο χρήστης σε κάθε εκτέλεση θα πρέπει να έχει μπροστά του τους χαρακτήρες, και να επιλέγει εκείνη την στιγμή τα σημεία που επιθυμεί. Κάτι τέτοιο όμως κατανοούμε πως απαιτεί χρόνο καθώς και γνώση του πως υλοποιείται η αντιστοίχιση μας διότι σε κάθε άλλη περίπτωση η επιλογή του θα είναι λανθασμένη. Αυτός ο τρόπος ενδείκνυται μόνο για χρήση από γνώστες του αντικειμένου και όχι από απλούς χρήστες. Έτσι λοιπόν οδηγηθήκαμε στον τρίτο μας τρόπο ο οποίος προσπαθεί να συνδυάσει τους παραπάνω τρόπους. Θα δώσουμε αρχικά στο χρήστη δύο επιλογές οι οποίες θα είναι είτε να επιλέξει ο αλγόριθμος τα σημεία που επιθυμεί εκείνος ή θα προχωρήσουμε στην επιλογή σημείων από το χρήστη Σχήμα (3.2). Εκεί θα ζητήσουμε από το χρήστη ή να μας εισάγει ένα αρχείο που θα περιέχει τα σημεία που θέλει η να μας τα εισάγει εκείνη την στιγμή από κάποιο τερματικό που θα εμφανιστεί μπροστά του. Ο μόνος περιορισμός που θα ζητηθεί από το χρήστη είναι η επιλογή σημείων αναφοράς από της υπάρχουσες κορυφές στον χαρακτήρα μας και όχι τυχαίες. Η παραβίαση αυτού του κανόνα θα οδηγήσει στην εμφάνιση του αντίστοιχου μηνύματος λάθους και σε μια δεύτερη προσπάθεια.



Σχήμα 3.2: Η επιλογή των σημείων αναφοράς από τον χρήστη.

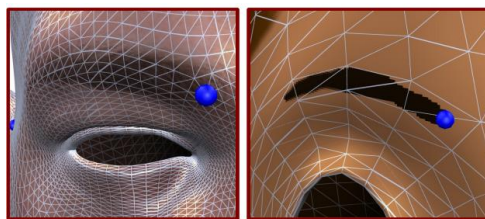
Στο δεύτερο κομμάτι τώρα και από την στιγμή που πήραμε από τον χρήστη τα σημεία που θέλαμε το επόμενο βήμα μας είναι τώρα η επεξεργασία τους. Αυτό μπορεί να σημαίνει πως ίσως να χρειαστούν μία μορφή επεξεργασίας αν τα έχει δώσει ο χρήστης σε τέτοια μορφή ώστε να τα καταλαβαίνει ο αλγόριθμος μας ή



και όχι αν ή επιλογή έχει γίνει από το σύστημα μας. Όπως έχουμε ήδη πει τα σημεία μας θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 50 αλλά και παραπάνω αν το κρίνει ο χρήστης απαραίτητο. Το κάθε ένα σημείο μας που βρίσκεται στο τρισδιάστατο χώρο αναπαρίσταται από τρεις συντεταγμένες (x,y,z). Ακόμα πιο συγκεκριμένα εμείς θα τα αναπαριστούμε σύμφωνα με τις βαρυκεντρικές τους συντεταγμένες με σκοπό να μπορέσουμε να αποθηκεύσουμε κάθε πιθανή λεπτομέρεια που θα χρειαστεί. Ο λόγος τώρα που οι βαρυκεντρικές αποδίδουν καλύτερα αποτελέσματα φαίνεται στο σχήμα (3.2). Το κάθε σημείο λοιπόν μπορεί να αναπαρασταθεί ως μία βαρυκεντρική αναπαράσταση με τον εξής τρόπο :

$$\alpha_k^s a_k^s + \beta_k^s b_k^s + \gamma_k^s c_k^s, \quad k = 1 \dots N. \quad (3.1)$$

Τελειώνοντας την αναπαράσταση αυτή θα μας προκύψουν ζεύγη σημείων αναφοράς. Το κάθε ζεύγος θα αποτελείται από την βαρυκεντρική αναπαράσταση του σημείου αναφοράς στην πηγή μας και το αντίστοιχο σημείο στον στόχο μας όπως τα όρισε ο χρήστης. Έτσι λοιπόν θα έχουμε ζεύγη  $(r_k^s, r_k^t)$  με  $k = 1 \dots N$ , όπως φαίνεται από την σχέση (3.1) στην οποία τα  $\alpha, \beta, \gamma$  ορίζουν τις βαρυκεντρικές συντεταγμένες και τα a,b,c είναι οι κορυφές του τριγώνου που περιέχουν το εκάστοτε σημείο μας. Σαν παρατήρηση εδώ θα κάνουμε πως στον δικό μας αλγόριθμο τα σημεία θα πέφτουν πάνω στα τρίγωνα μας διότι θα επιλέγουμε σημεία από το ίδιο το σώμα.



Σχήμα 3.3: Διαφορά μεταξύ τις απλής επιλογής και της βαρυκεντρικής επιλογής.

Το πιο σημαντικό κομμάτι του αλγορίθμου μας λοιπόν είναι το επόμενο. Από την στιγμή που έχουμε τελειώσει με την επεξεργασία των σημείων μας θα πρέπει

να βρούμε ένα τρόπο να ενώσουμε τα σημεία αναφοράς της πηγής και του στόχου μας. Ο καλύτερος τρόπος είναι η ευθυγράμμισή τους χρησιμοποιώντας την μέθοδο ‘best-matching similarity’. Μέσα από αυτήν την μέθοδο θα προσπαθήσουμε να ευθυγραμμίσουμε κάθε σημείο της πηγής μας με κάθε σημείο του στόχου μας, με την σειρά που μας όρισε ο χρήστης, και εν τέλει να εφάπτονται το ένα πάνω στο άλλο. Η μέθοδος αυτή ουσιαστικά θα ελαχιστοποιήσει της αποστάσεις των σημείων ανά δύο, χρησιμοποιώντας την παρακάτω φόρμα ελαχιστοποίησης:

$$\min_{R,t,s} \sum_{k=1}^K \|sRr_k^s + t - r_k^t\|^2. \quad (3.2)$$

Τα  $R, t, s$  όπως θα δούμε και παρακάτω είναι οι γνωστοί μετασχηματισμοί περιστροφή, κλιμάκωση και μεταφορά. Θα πρέπει λοιπόν δεδομένου του ότι γνωρίζουμε τα σημεία αναφοράς να υπολογίσουμε αυτούς τους τρεις μετασχηματισμούς και πιο ειδικά με βάση τον κλειστό τους τύπο [11]. Ο κλειστός τύπος στους υπολογισμούς θα μας δώσει σε ένα βήμα το αποτέλεσμα χωρίς να χρειαστούμε επαναλήψεις και αυτός είναι και ο λόγος που θεωρείται βέλτιστος αυτός ο υπολογισμός. Μέσα λοιπόν από την κλειστότητα θα λύσουμε ένα πρόβλημα ελαχίστων τετραγώνων με τρία η παραπάνω σημεία όπου αυτό είναι και το ζητούμενο μας.

Η μέθοδος λοιπόν υπολογισμού ξεκινά υπολογίζοντας πρώτα την περιστροφή ως τον πιο δύσκολο μετασχηματισμό. Από την στιγμή που θα το βρω θα συνεχίσω στην κλιμάκωση και τελικά θα υπολογίσω και την μεταφορά. Θα πρέπει εδώ να τονίσουμε ότι επειδή δεν μπορούμε να υπολογίσουμε τους ακριβής μετασχηματισμούς, τους προσεγγίζουμε, και αυτός είναι και ο λόγος που χρησιμοποιούμε την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων.

Ας ξεκινήσουμε όμως με την περιστροφή διότι είναι απαραίτητη και για τα επόμενα βήματα. Το να μετασχηματίσουμε σημεία στον Καρτεσιανό χώρο θα μας δώσει σαν αποτέλεσμα την ευθυγράμμιση που επιθυμούμε. Το ίδιο ισχύει και για την μεταφορά όπως θα δούμε και παρακάτω. Η κάθε περιστροφή έχει τρεις βαθμούς ελευθερίας. Οι βαθμοί ελευθερίας δηλώνουν την δυνατότητα που έχουμε να κινήσουμε ένα σώμα ή με άλλα λόγια ο αριθμός των εξαρτημένων παραμέτρων που ορίζουν την λειτουργικότητα του. Στην περιστροφή λοιπόν οι τρεις βαθμοί ελευθερίας είναι καταρχάς ο άξονας πάνω στον οποίο θα γίνει η περιστροφή καθώς και την γωνία περιστροφής. Επίσης, θα τονίσουμε πάλι πως θα χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων διότι σαν μέθοδος μας δίνει την δυνατότητα να

την εφαρμόζουμε επαναληπτικά στο πρόβλημά μας μέχρι να ελαχιστοποιήσουμε μια ποσότητα λάθους. Αν πάλι μπορέσουμε να κάνουμε μία καλή αρχική υπόθεση μπορούμε να πάρουμε αποτέλεσμα σε ένα βήμα. Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε και άλλες μεθόδους ώστε να προσεγγίσουμε την καλύτερη περιστροφή, θα πρέπει να κατανοήσουμε όμως πως όλες αυτές οι μέθοδοι είναι επαναληπτικοί και έτσι μπορούμε μόνο να βρίσκουμε προσεγγίσεις και όχι την ακριβής λύση μας.

Συμπερασματικά, λοιπόν θα πούμε πως θα ψάξουμε να βρούμε έναν πίνακα περιστροφής με στόχο μας την περιστροφή όλων των σημείων αναφοράς μας ώστε να ευθυγραμμιστούν όσο πιο βέλτιστα γίνεται. Εδώ λοιπόν θα τονίσουμε πως έχει πολύ μεγάλη σημασία να ορίσουμε ένα σύστημα αριστερά-δεξιά. Επειδή έχουμε να κάνουμε με σημεία αναφοράς της πηγής αλλά και του στόχου θα πρέπει να ονομάσουμε έναν αριστερά και έναν δεξιά και να λύσουμε το πρόβλημά μας από τα αριστερά προς τα δεξιά. Έχει πολύ μεγάλη σημασία ο ορισμός αυτός διότι τα αποτελέσματα μας θα είναι διαφορετικά σε κάθε περίπτωση. Εμείς λοιπόν θα κάνουμε την θεώρηση πως αριστερά είναι η πηγή μας και δεξιά ο στόχος μας και έτσι θα προχωρήσουμε στα παρακάτω βήματα. Στην συνέχεια λοιπόν θα δούμε πως υπάρχουν πολύ τρόποι να αναπαραστήσουμε την περιστροφή (Euler , vector) αλλά εμείς θα διαλέξουμε τον ορθογώνιο πίνακα και τον λόγο θα το καταλάβουμε παρακάτω. Θα πρέπει και εδώ πάλι να τονίσουμε πως από την στιγμή που η ορθογωνιότητα σε ένα πίνακα μας δημιουργεί περιορισμούς και εμείς προσεγγίζουμε την λύση μας με τα ελάχιστα τετράγωνα χωρίς να λαμβάνουμε υπόψιν μας περιορισμούς το αποτέλεσμα που θα έχουμε θα είναι ένας σχεδόν ορθογώνιος πίνακας. Σε αυτήν την περίπτωση λοιπόν θα ευχόμεσταν να βρίσκαμε τον πιο κοντινό πίνακα στον ορθογώνιο που θα περιμέναμε. Για αυτό το λόγο και εμείς θα χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο της ελαχιστοποίησης με αποτέλεσμα να μπορέσουμε να προσεγγίσουμε την καλύτερη λύση με την ελάχιστη απόκλιση από τον πραγματικά ορθογώνιο πίνακα.

Η μέθοδος λοιπόν για να πετύχουμε όλα τα παραπάνω αλλά και το επιθυμητό μας αποτέλεσμα λύνεται με την χρήση ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων. Θα οδηγηθούμε μέσα από αυτό στην λύση ενός τετραγωνικού συστήματος το οποίο είναι πολύ απλό σε σχέση με άλλες προσεγγίσεις. Τα προβλήματα που πιθανώς θα αντιμετωπίσουμε πηγάζουν κυρίως από ειδικές περιπτώσεις που θα πρέπει να συμπεριλάβουμε. Χρειαζόμαστε λοιπόν ιδιοτιμές και ιδιοδιανύσματα για τον  $3 \times 3$  πίνακα περιστροφής μας. Θα αναζητήσω λοιπόν έναν πίνακα περιστροφής  $R$  ο οποίος θα μεγιστοποιεί την παρακάτω ποσότητα :

$$\sum_{i=1}^n r'_{r,i} (R(r'_{l,i})) = \sum_{i=1}^n (r'_{r,i})^T (R(r'_{l,i})) \quad (3.3)$$

Στην σχέση λοιπόν αυτή παρατηρούμε τον R πίνακα και δύο νέους συμβολισμούς τον  $r'_{r,i}$  και τον  $r'_{l,i}$ . Αυτά καλούνται κέντρα βάρους των μετρήσεων (centroids). Ο τρόπος ορισμού τους είναι :

$$r_{l,i}^{\bar{}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (r'_{l,i}) \quad \text{και} \quad r_{r,i}^{\bar{}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (r'_{r,i}) \quad (3.4)$$

Μπορούμε λοιπόν να οδηγηθούμε σε μία νέα μορφή συντεταγμένων οι οποίες θα έχουν την μορφή :

$$r'_{l,i} = r_{l,i} - r_{l,i}^{\bar{}} \quad \text{και} \quad r'_{r,i} = r_{r,i} - r_{r,i}^{\bar{}} \quad (3.5)$$

Αυτό που προσπαθούμε να πετύχουμε με αυτούς τους υπολογισμούς των κέντρων βάρους είναι να θεωρήσουμε εμείς ένα δικό μας σύστημα συντεταγμένων κοινό και για την πηγή αλλά και για τον στόχο μας με σκοπό να μπορούμε να δουλέψουμε παρακάτω όπως θα δούμε. Ο λόγος που δεν διατηρούμε το υπάρχων σύστημα συντεταγμένων είναι διότι ο χρήστης μπορεί να έχει εισάγει χαρακτήρες οι οποίοι να βρίσκονται σε τυχαίες θέσεις στον χώρο η μπορεί να είναι και ο ένας πάνω στον άλλον. Το αποτέλεσμα θα είναι και τα σημεία αναφοράς που έχουμε να είναι τυχαία σημεία στο χώρο. Δημιουργείται έτσι η επιτακτική ανάγκη να δημιουργήσουμε ένα σύστημα κοινό και για τους δύο ώστε να έχουμε τον έλεγχο της θέσης τους και έτσι να δημιουργήσουμε ένα πίνακα που να περιστρέφει τους χαρακτήρες μας με έναν λογικό τρόπο για το ανθρώπινο μάτι.

Θα προχωρήσουμε ένα βήμα παρακάτω την σχέση (3.3) εισάγοντας την έννοια του ίχνους. Το ίχνος σε έναν πίνακα είναι το άθροισμα των στοιχείων της διαγωνίου. Παραπέρα διαγώνια είναι τα στοιχεία που ισχύει ότι  $i=j$  όπου  $i$  είναι ο αριθμός της γραμμής και  $j$  ο αριθμός της στήλης. Αν λοιπόν υποθέσουμε την σχέση :

$$a^T R b = \text{Trace}(R^T a b^T) \quad (3.6)$$

Μπορούμε να γράψουμε ξανά την (3.3) ως:

$$\text{Trace}(R^T \sum_{i=1}^n (r'_{r,i})(r'_{l,i})^T) = \text{Trace}(R^T M) \quad (3.7)$$

Βλέπουμε εδώ την εισαγωγή ενός νέου πίνακα του  $M$ . Αυτός λοιπόν ο πίνακας είναι το κλειδί μας για να βρούμε τον πίνακα περιστροφής μας. Προφανώς, ο τύπος του θα είναι :

$$M = \sum_{i=1}^n (r'_{r,i})(r'_{l,i})^T \quad (3.8)$$

Το κάθε  $r'_{r,i}$  είναι ένα σημείο στον τρισδιάστατο χώρο με τα  $(x,y,z)$  του. Μπορούμε λοιπόν να τα αναπαραστήσουμε με έναν πίνακα μία διάστασης  $3 \times 1$ . Αν τώρα θέλουμε τον ανάστροφο, αυτό που κάνουμε είναι τον πίνακα γραμμής πίνακα στήλης και αντίθετα, με αποτέλεσμα να προκύπτει ο πίνακας  $1 \times 3$ . Αν τώρα πολλαπλασιάσουμε τους πίνακες αυτούς το αποτέλεσμα μας θα είναι ένας πίνακας  $3 \times 3$  που είναι και το ζητούμενο μας. Έχοντας αναλύσει λοιπόν την σχέση μας όσο περισσότερο μπορούμε θα προσπαθήσουμε να βρούμε τον πίνακα  $M$  και τις τιμές που θα πρέπει να έχει. Ο πίνακας  $M$  μπορεί να γραφτεί στην παρακάτω μορφή:

Πίνακας 3.1: Ο Πίνακας  $M$ .

$S_{xx}$	$S_{xy}$	$S_{xz}$
$S_{yx}$	$S_{yy}$	$S_{yz}$
$S_{zx}$	$S_{zy}$	$S_{zz}$

Το καθένα από τα στοιχεία του πίνακα (3.1) είναι το άθροισμα που προκύπτει αν πολλαπλασιάσουμε τις αντίστοιχες συντεταγμένες που δηλώνει η θέση στον πίνακα για όλα τα σημεία αναφοράς που έχουμε. Θα μπορούσα παραδειγματικά να πούμε πως:

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_{r,i})(x_{l,i}) \quad (3.9)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_{r,i})(y_{l,i}) \quad (3.10)$$

Καταλήγουμε λοιπόν πως μετά τις παραπάνω σχέσεις στόχος μου είναι να βρω τον κατάλληλο πίνακα  $R$  με στόχο να μεγιστοποιήσω το ίχνος από τον πίνακα που προκύπτει μετά τον πολλαπλασιασμό  $(R^T M)$ . Πάμε λοιπόν βήμα βήμα να βρούμε πως θα μπορέσουμε να κατασκευάσουμε αυτόν τον πίνακα  $M$  που ζητάμε. Θα χρησιμοποιήσουμε αρχικά ένα θεώρημα που μιλάει για το γινόμενο ορθογώνιου και συμμετρικού πίνακα.

**Θεώρημα 3.1.** Ένας τετραγωνικός πίνακας  $M$  αποσυνθέεται σε γινόμενο ορθογώνιου πίνακα  $U$  και θετικά ημι-ορισμένου πίνακα  $S$ . Ο  $S$  είναι μοναδικά ορισμένος και ο  $U$  θα είναι μοναδικός μόνο αν ο πίνακας  $M$  είναι non-singular. Αυτό σημαίνει πως η ορίζουσα του πίνακα  $M$  θα πρέπει να είναι διαφορετική από το μηδέν.

Άρα μπορούμε να γράψουμε τον πίνακα  $M$  ως  $M=US$  όπου ( $S^T = S$ ) και ( $U^T U = I$ ). Μπορούμε λοιπόν να ορίσουμε τον  $S$  και  $U$  ως :

$$S = (M^T M)^{\frac{1}{2}} \quad (3.11)$$

$$U = M(M^T M)^{-\frac{1}{2}} \quad (3.12)$$

Έχουμε λοιπόν το γινόμενο  $(M^T M)$  το οποίο μπορούμε να το αναπαραστήσουμε σαν συνδυασμό ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων. Με άλλα λόγια μπορούμε αν υποθέσουμε πως  $u$  είναι τα ιδιοδιανύσματα και  $k$  οι ιδιοτιμές να γράψουμε το γινόμενο  $(M^T M)$  :

$$(M^T M) = k_1 \bar{u}_1 \bar{u}_1^T + k_2 \bar{u}_2 \bar{u}_2^T + k_3 \bar{u}_3 \bar{u}_3^T \quad (3.13)$$

Επειδή και ο  $(M^T M)$  είναι θετικά ορισμένος από το θεώρημα αυτόματα και οι ιδιοτιμές του θα είναι θετικές. Άρα και οι τετραγωνικές ρίζες τους θα είναι πραγματικές και έτσι μπορούμε να φτιάξουμε τον πίνακα  $S$ .

$$S = \sqrt{k_1} \bar{u}_1 \bar{u}_1^T + \sqrt{k_2} \bar{u}_2 \bar{u}_2^T + \sqrt{k_3} \bar{u}_3 \bar{u}_3^T \quad (3.14)$$

$$S^2 = k_1 \bar{u}_1 \bar{u}_1^T + k_2 \bar{u}_2 \bar{u}_2^T + k_3 \bar{u}_3 \bar{u}_3^T = (M^T M) \quad (3.15)$$

Σαν επαλήθευση λοιπόν για τον παραπάνω ισχυρισμό μας μπορούμε να θεωρήσουμε ένα τυχαίο διάνυσμα  $x$ . Έτσι θα έχουμε

$$x^T S x = k_1 (\bar{u}_1 x)^2 + k_2 (\bar{u}_2 x)^2 + k_3 (\bar{u}_3 x)^2 > 0 \quad (3.16)$$

Και έτσι ο  $S = (M^T M)^{\frac{1}{2}}$  θα είναι θετικά ορισμένος με  $k_1, k_2, k_3 > 0$  και αν πάλι προκύψει έστω και μία ιδιοτιμή μηδενική τότε αποκαλείται ημί-ορισμένος θετικά. Προχωράμε λοιπόν ένα βήμα παραπάνω και θα προσπαθήσουμε τώρα να αποσυνθέσουμε τον πίνακα  $S$ . Αν λοιπόν έχει θετικές ιδιοτιμές όπως παρατηρήσαμε και παραπάνω μπορούμε να γράψουμε ότι

$$S^{-1} = (M^T M)^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{k_1}} \bar{u}_1 \bar{u}_1^T + \frac{1}{\sqrt{k_2}} \bar{u}_2 \bar{u}_2^T + \frac{1}{\sqrt{k_3}} \bar{u}_3 \bar{u}_3^T \quad (3.17)$$

Και έτσι μπορούμε να πούμε ότι:

$$U = M S^{-1} = M (M^T M)^{-\frac{1}{2}} \quad (3.18)$$

Παρατηρούμε λοιπόν πως το πρόσημο της ορίζουσας του πίνακα  $M$  και  $U$  είναι το ίδιο. Ακόμα πιο ειδικά το πρόσημο της ορίζουσας του ανάστροφου του  $S$  είναι πάντα θετικό διότι υποθέσαμε στα προηγούμενα βήματα πως οι ιδιοτιμές του είναι θετικές. Ουσιαστικά λοιπόν ο πίνακας  $U$  θα είναι για μας ο πίνακας περιστροφής μας όταν η ορίζουσά του θα είναι θετική.

Μπορούμε τώρα να παρατηρήσουμε κάποιες ειδικές περιπτώσεις για τον πίνακα  $U$  βάση των ιδιοτιμών του. Ας ορίσουμε πρώτα τον βαθμό ενός πίνακα. Βαθμός ενός πίνακα είναι το πλήθος των ιδιοτιμών που έχει και οι οποίες είναι διαφορετικές του μηδέν. Στην περίπτωση μας ο πίνακας  $U$  θα έχει κανονικά βαθμό 3 αν όμως πέσουμε στην περίπτωση, με μηδενική μία τουλάχιστον ιδιοτιμή, τότε ο βαθμός θα είναι δύο ή και ένα και έτσι οι παραπάνω σχέσεις θα αλλάξουν και θα γίνουν όπως θα δούμε παρακάτω. Και επίσης να σημειώσουμε πως το  $v^3$  είναι το αρχικό μας σημείο και όχι η ιδιοτιμή του. Δηλαδή ένα παράδειγμα για βαθμό δύο θα είναι:

$$U = M\left(\frac{1}{k_1}\bar{u}_1\bar{u}_1^T + \frac{1}{k_2}\bar{u}_2\bar{u}_2^T\right) + \frac{1}{k_3}\bar{u}_3v_3^T \quad (3.19)$$

Βλέπουμε λοιπόν πως με αυτόν τον τρόπο μπορούμε γνωρίζοντας τον βαθμό για τον πίνακα μας να αποφύγουμε αριθμητικά λάθη και έτσι να βρούμε όσο το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση. Συνοψίζοντας λοιπόν την μέθοδο μας είδαμε πως μπορούμε να υπολογίζουμε τον πίνακα περιστροφής μας μέσα από μία διαδικασία εύρεσης ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων. Προσπαθήσαμε να επαναπροσδιορίσουμε το πρόβλημα μας σαν ένα πρόβλημα μεγιστοποίησης του ίχνους στον πίνακα  $M$ . Στην συνέχεια προσπαθήσαμε να διασπάσουμε τον πίνακα  $M$  σε γινόμενο πινάκων που είναι πιο γνωστοί σε μας. Έτσι λοιπόν πήραμε τους πίνακες  $S$  και  $U$ . Προσπαθήσαμε να αναλύσουμε ξεχωριστά τους δύο αυτούς πίνακες και αφού τους αναλύσαμε καταλήξαμε στο συμπέρασμα πως ο πίνακας  $U$  είναι ο πίνακας που θα μας δώσει τον πίνακα περιστροφής μας στην τετριμμένη περίπτωση. Έτσι λοιπόν υπολογίζοντας ιδιοτιμές και ιδιοδιανύσματα του πίνακα  $M$  μπορούμε να κρατήσουμε τις συνιστώσες που απαιτεί ο  $U$  και να έχουμε σαν τελικό αποτέλεσμα τον πίνακα περιστροφής που επιθυμούμε.

Στον ίδιο ρυθμό θα εργαστούμε και για να υπολογίσουμε την μεταφορά και την κλιμάκωση. Πιο ειδικά θα δούμε πως η κλιμάκωση είναι μία διαδικασία ανεξάρτητη από τον υπολογισμό και την επιλογή της κατάλληλης περιστροφής. Αρχικά θα πρέπει να αναφέρουμε πως η κλιμάκωση είναι ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας που συνδέεται άμεσα με την σωστή επιλογή του συστήματος αριστερά δεξιά όπως

έχουμε πει και παραπάνω. Αυτό σημαίνει πως ο ορισμός του συστήματος επηρεάζει αυτόματα και το αποτέλεσμα της διαδικασίας της κλιμάκωσης. Πιο ειδικά θα μπορούσαμε να πούμε πως λόγω του ότι τα δεδομένα μας δεν είναι τέλεια όπως έχουμε, πει αλλά προσπαθούμε να τα προσεγγίσουμε όσο το δυνατόν καλύτερα, θα έχουμε πάντα και ένα σφάλμα στους υπολογισμούς μας που μπορούμε να το ορίσουμε με τον παρακάτω τύπο:

$$e_i = r'_{r,i} - sR(r'_{l,i}) - r'_o \quad (3.20)$$

Βλέπουμε λοιπόν πως το σφάλμα προσπαθεί να υπολογίσει την απόκλιση που έχουμε στην διαδικασία ευθυγράμμισης των σημείων μας. Όμως αυτός ο υπολογισμός του σφάλματος οδηγεί σε μία ασυμμετρία στην κλιμάκωση μας, και αυτό προκύπτει καθαρά από τον τρόπο ορισμού του συστήματος μας. Βλέπουμε λοιπόν χαρακτηριστικά πως αν το σύστημα μας είναι από τα αριστερά προς τα δεξιά το σφάλμα μας είναι:

$$e_i = r'_{l,i} - \frac{1}{s}R^T(r'_{r,i}) \quad (3.21)$$

Ενώ αν είναι από τα δεξιά προς τα αριστερά θα έχουμε:

$$e_i = -[r'_{r,i} \frac{1}{s} - R(r'_{l,i})] \quad (3.22)$$

Αν τώρα προσπαθήσουμε να ορίσουμε ένα συνολικό σφάλμα για όλα τα σημεία αναφοράς μας τότε θα μας προκύψει ένα σφάλμα της μορφής:

$$\sum_{i=1}^n \left\| \frac{1}{s}r'_{r,i} - R(r'_{l,i}) \right\|^2 \quad (3.23)$$

Στην περίπτωση τώρα που θα παρατηρήσουμε πως τα δύο σφάλματα μας δίνουν το ίδιο αποτέλεσμα και άρα έχουμε πετύχει την συμμετρία που επιθυμούμε θα μπορούσαμε να ορίσουμε το σφάλμα μας ως:

$$e_i = \frac{1}{\sqrt{s}}r'_{r,i} - \sqrt{s}Rr'_{l,i} \quad (3.24)$$

Και κατά συνέπεια να να πάρουμε σαν αποτέλεσμα:

$$\frac{1}{s} \sum_{i=1}^n \|r'_{r,i}\|^2 - 2 \sum_{i=1}^n (r'_{r,i} - sR(r'_{l,i})) + s \sum_{i=1}^n \|r'_{l,i}\|^2 \quad (3.25)$$

Σ'αυτήν την σχέση μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο πρώτος και ο τρίτος όρος μας δίνουν την κλιμάκωση από τα αριστερά και από τα δεξιά αντίστοιχα, ενώ ο δεύτερος όρος παρατηρούμε ότι εξαρτάται από τον παράγοντα περιστροφή και



έτσι μπορούμε να πάρουμε την επιθυμητή μας κλιμάκωση ελαχιστοποιώντας την παραπάνω σχέση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε μηδενίζοντας τον πρώτο όρο, είτε λύνοντας την στη σχέση μας ως προς την μεταβλητή  $s$ . Όλα αυτά όμως θα έχουν το νόημα της ελαχιστοποίησης μόνο έναν μπορούμε να ελαχιστοποιήσουμε και τον δεύτερο όρο μας. Αυτό θα συμβεί μόνο στην περίπτωση που θα έχουμε υπολογίσει την καλύτερη περιστροφή μας. Έτσι λοιπόν παρακάτω θα δούμε τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να υπολογίσουμε την βέλτιστη τιμή της κλιμάκωσης μας:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \|r'_{r,i}\|^2}{\sum_{i=1}^n \|r'_{l,i}\|^2}} \quad (3.26)$$

Το τελευταίο μας βήμα θα είναι και ο υπολογισμός της μεταφοράς μας. Θα είναι ο τελευταίος υπολογισμός μας όχι τυχαία αλλά γιατί θα δούμε πως εξαρτάται από τους δύο παραπάνω μετασχηματισμούς. Σκοπός μας λοιπόν είναι να υπολογίσουμε την κατάλληλη μεταφορά για τα σημεία αναφοράς μας. Όπως είδαμε και παραπάνω ο ορισμός του σφάλματος που προκύπτει από τους υπολογισμούς δίνεται από την σχέση (3.20). Στην σχέση αυτή εκτός από τους όρους  $s$ , όπου είναι η κλιμάκωση και  $R$ , όπου είναι η περιστροφή και ειδικά είναι ο όρος που φανερώνει το νέο σημείο μας που προκύπτει από την περιστροφή του αρχικού μας σημείου, παρατηρούμε και τον όρο  $r'_o$  όπου ουσιαστικά είναι το νέο μας σημείο που προέκυψε από τη διαδικασία της μεταφοράς. Αν λοιπόν λύσω την σχέση (3.20) ως προς αυτόν τον όρο θα προκύψει η σχέση:

$$r'_o = r_o - \bar{r}_r + sR(\bar{r}_l) \quad (3.27)$$

Από την σχέση αυτή μπορώ να δω πως το σφάλμα μου θα ελαχιστοποιηθεί είτε εάν μηδενίσω τον όρο  $r'_o$  είτε εάν μεταφέρω το σημείο μου δεξιά ή αριστερά ανάλογα το σύστημα που θα έχω. Δηλαδή θα έχω την σχέση:

$$r_o = r_r - sR(r_{l,i}) \quad (3.28)$$

Βλέπω λοιπόν πως αν έχω την περιστροφή και την κλιμάκωση μπορώ να υπολογίσω τον παράγοντα μεταφορά και να έχω εξασφαλίσει ότι θα είναι και ο βέλτιστος. Σ' αυτό το σημείο λοιπόν έχουμε υπολογίσει τις τιμές όλων των μετασχηματισμών που θα χρειαστούμε. Παρακάτω θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε όμως πίνακες και όχι τιμές. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να κάνουμε ένα βήμα παραπάνω και να δημιουργήσουμε τους πίνακες των αντίστοιχων μετασχηματισμών αντικαθιστώντας απλά τις τιμές που έχουμε υπολογίσει. Οι πίνακες αυτοί θα έχουν την παρακάτω μορφή:

Πίνακας 3.2: Ο Πίνακας Περιστροφής.

$\cos(\theta)$	$-\sin(\theta)$	0
$\sin(\theta)$	$\cos(\theta)$	0
0	0	1

Πίνακας 3.3: Ο Πίνακας Κλιμάκωσης.

$S_x$	0	0
0	$S_y$	0
0	0	1

Πίνακας 3.4: Ο Πίνακας Μεταφοράς.

1	0	$T_x$
0	1	$T_y$
0	0	1

Έχοντας λοιπόν υπολογίσει και τους πίνακες 3x3 των μετασχηματισμών (Πίνακες 3.2, 3.3, 3.4 αντίστοιχα) μας θα ολοκληρώσουμε τη διαδικασία μας με το τελευταίο βήμα. Στο βήμα αυτό και από την στιγμή που γνωρίζουμε τον βέλτιστο τρόπο ευθυγράμμισης των σημείων αναφοράς θα εφαρμόσουμε πάνω τους ελαχιστοποίηση με σκοπό να πάρουμε το βέλτιστο αποτέλεσμα. Στην πράξη λοιπόν θα δούμε πως δεν θα χρειαστεί παρά μόνο μία επανάληψη και ο λόγος είναι πως έχουμε υπολογίσει τους βέλτιστους μετασχηματισμούς μέσα από τον κλειστό τύπο τους. Σε ένα βήμα λοιπόν θα έρθουμε και θα ευθυγραμμίσουμε την πηγή μας πάνω στον στόχο μας. Πιο αναλυτικά στο πρώτο βήμα θα ευθυγραμμίσω τα σημεία αναφοράς μου με τον παρακάτω τύπο

$$\min_{R,t,s} \sum_{k=1}^K \|sRr_k^s + t - r_k^t\|^2 \quad (3.29)$$

ενώ στην συνέχεια θα εφαρμόσω τους ίδιους πίνακες μετασχηματισμού σε ολόκληρο τον χαρακτήρα πηγή μου ώστε να τον ευθυγραμμίσω πάνω στον στόχο μου. Κανένας θα περίμενε να συμβεί το αντίθετο δηλαδή να φέρω τον στόχο πάνω στην πηγή αλλά αυτό δεν θα με εξυπηρετούσε για τον λόγο του ότι θέλω να αξιοποιήσω την πληροφορία της πηγής μου και σε αυτό αλλά και στα παρακάτω βήματα.

Άλλωστε στόχος μας είναι να φέρουμε την πηγή πάνω στον στόχο μας ώστε να τα επεξεργαστούμε ευκολότερα στα παρακάτω βήματα (3.2.2 , 3.2.3).

### 3.2.2 Επαναληπτική Αφαίρεση Λεπτομερειών

Σ' αυτήν την ενότητα θα αναλύσουμε το επόμενο βήμα της μεθόδου μας που είναι η τροποποίηση των χαρακτήρων με τέτοιο τρόπο ώστε να μην έχουν μεγάλη λεπτομέρεια. Στο στάδιο αυτό έχουμε στην διάθεσή μας δύο χαρακτήρες οι οποίοι έχουν ευθυγραμμιστεί μεταξύ τους σύμφωνα με το προηγούμενο βήμα. Στην συνέχεια λοιπόν θα πάρουμε αυτούς τους χαρακτήρες και θα εφαρμόσουμε πάνω τους μία αντικειμενική συνάρτηση με σκοπό να αφαιρέσουμε κάθε είδους λεπτομέρεια που μπορεί να έχουν όπως για παράδειγμα χαρακτηριστικά προσώπου ή οτιδήποτε άλλο. Θέλουμε να τους δώσουμε μία μορφή η οποία στο τελικό μας βήμα θα είναι εύκολη στο να επεξεργαστεί και να μας δώσει το τελικό μας αποτέλεσμα. Ο τρόπος λοιπόν που θα πετύχουμε κάτι τέτοιο είναι μέσα από μία επαναληπτική διαδικασία βελτιστοποίησης μίας ποσότητας που θα αναλύσουμε στην συνέχεια. Την στιγμή λοιπόν που η συνάρτηση μας θα συγκλίνει το αποτέλεσμα της θα είναι δύο νέοι χαρακτήρες απαλλαγμένοι από λεπτομέρεια και αποθηκευμένοι ο καθένας σε χωριστό αρχείο έτοιμη προς περαιτέρω επεξεργασία. Η σύγκλιση της συνάρτησης μας θα επέλθει από τον ορισμό ενός φράγματος ή ενός περιορισμού όπως είναι για παράδειγμα να σταματήσουν τα σημεία να αλλάζουν θέση. Και σ' αυτό το κομμάτι θα μας χρησιμεύσουν τα ελάχιστα τετράγωνα . Ο λόγος είναι ότι τα ελάχιστα τετράγωνα είναι μία καλή μέθοδος για υπερ-προσδιορισμένα συστήματα όταν δηλαδή οι άγνωστοι είναι πιο πολλοί. Ορίζεται λοιπόν για αυτό το σκοπό η έννοια του σφάλματος το οποίο είναι η διαφορά της τιμής που υπολογίζουμε πλύν της πραγματικής τιμής. Όσο λοιπόν ελαχιστοποιείται το σφάλμα μας τόσο τα σημεία από τους χαρακτήρες μας αλλάζουν με αποτέλεσμα όταν θα ολοκληρωθεί η μέθοδός μας θα έχουμε το επιθυμητό μας αποτέλεσμα.

Θα ορίσουμε αρχικά την συνάρτηση μας και στην συνέχεια θα αναλύσουμε λίγο παραπάνω τους όρους από τους οποίους αποτελείται. Η συνάρτηση μας λοιπόν

ακολουθεί την μορφή:

$$\begin{aligned}
E_{fair}(x_1^s, \dots, x_n^s, x_1^t, \dots, x_n^t) &= \frac{\lambda_1}{\sum_{i=1}^n A_i^s + \sum_{j=1}^m A_j^t} \left[ \sum_{i=1}^n A_i^s \|\Delta x_i^s\|^2 + \sum_{j=1}^m A_j^t \|\Delta x_j^t\|^2 \right] \\
&+ \frac{\lambda_2}{K} \sum_{k=1}^K \|r_k^s - r_k^t\|^2 \\
&+ \frac{\lambda_3}{K} \sum_{k=1}^K \left\| \frac{1}{2}(r_k^s + r_k^t) - \frac{1}{2}(\bar{r}_k^s + \bar{r}_k^t) \right\|^2
\end{aligned}$$

Προχωρώντας λοιπόν στην ανάλυση της συνάρτησης μας θα ορίσουμε της σταθερές  $\lambda_1=0.1$ ,  $\lambda_2=100$  και  $\lambda_3=1$ . Οι τιμές αυτών των παραμέτρων είναι οι βέλτιστες καθώς πιέζουν το σύστημα να μετακινεί τα σημεία κατάλληλα ώστε να μπορούμε να εντοπίζουμε και ολικά ελάχιστα αλλά και να μην παγιδευόμαστε στα τοπικά σημεία με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να έχουμε λύση. Στην συνέχεια οι μεταβλητές στα αθροίσματα μας ,δηλαδή οι  $k,m,n$  δηλώνουν τα αντίστοιχα μεγέθη της πηγής του στόχου αλλά και των σημείων αναφοράς. Πιο συγκεκριμένα το  $k$  είναι το πλήθος των σημείων αναφοράς, το  $n$  είναι το πλήθος των κορυφών της πηγής και το  $m$  του στόχου μας αντίστοιχα.

Ξεκινώντας τώρα με τον πρώτο όρο το πρώτο πράγμα που παρατηρούμε είναι η μεταβλητές  $A_i^s$  και  $A_j^t$  αντίστοιχα. Οι μεταβλητές αυτές δηλώνουν τα βάρη Voronoi για την κάθε κορυφή στην πηγή αλλά και στον στόχο. Στον δικό μας αλγόριθμο οι τιμές αυτές είναι καθορισμένες από την αρχή. Ο λόγος που μπορούμε να κάνουμε μία τέτοια υπόθεση είναι διότι επιλέγουμε σημεία πάνω από τον ίδιο μας χαρακτήρα και όχι τυχαία επιλεγμένα στο χώρο. Έτσι δεν υπάρχει η ανάγκη να αναλύσουμε με voronoi περιοχές και να βρούμε την σχετική θέση του σημείου αναφοράς σε σχέση με τον χαρακτήρα μας. Στην συνέχεια λοιπόν βλέπουμε της δύο τελευταίες μεταβλητές μας οι οποίες είναι η  $\Delta x_i^s$  και η  $\Delta x_j^t$ . Έδω λοιπόν μιλάμε για τους Laplacians γείτονες την κάθε κορυφής και για τους δύο χαρακτήρες αντίστοιχα. Θα προσπαθήσουμε να υπολογίσουμε μία δομή για κάθε χαρακτήρα η οποία θα περιλαμβάνει για κάθε κορυφή τους γείτονες της. Με τον όρο γείτονες εννοούμε της κορυφές με της οποίες συνδέεται με ακμή η εκάστοτε κορυφή. Το ίδιο το επαναλαμβάνουμε και για τον στόχο μας. Σαν αποτέλεσμα λοιπόν υπολογίζουμε σε κάθε επανάληψη προσεγγιστικές θέσεις για τα σημεία μας με βάση τους γείτονές τους αλλά και τα βάρη τους.

Στην συνέχεια λοιπόν ακολουθεί ο όρος δύο ο οποίος το μόνο που κάνει είναι να μας ορίζει έναν περιορισμό. Ο περιορισμός αυτός μας λέει πως για να είναι απο-

δεκτό το αποτέλεσμα μας θα πρέπει η διαφορά των σημείων αναφοράς ή αλλιώς η απόκλιση του να ελαχιστοποιείται συνεχώς. Όπως έχουμε πει τα σημεία αναφοράς είναι για μας η βάση για την σωστή ευθυγράμμιση των χαρακτήρων μας. Έτσι λοιπόν σε κάθε επανάληψη απαιτούμε να μετακινούνται και αυτά με τον βέλτιστο τρόπο ώστε να συνεχίζουν να είναι σωστή βάση για εμάς, και αυτό θα φανεί με το να μας δίνουν ελάχιστη τιμή σαν αποτέλεσμα σε κάθε επανάληψη.

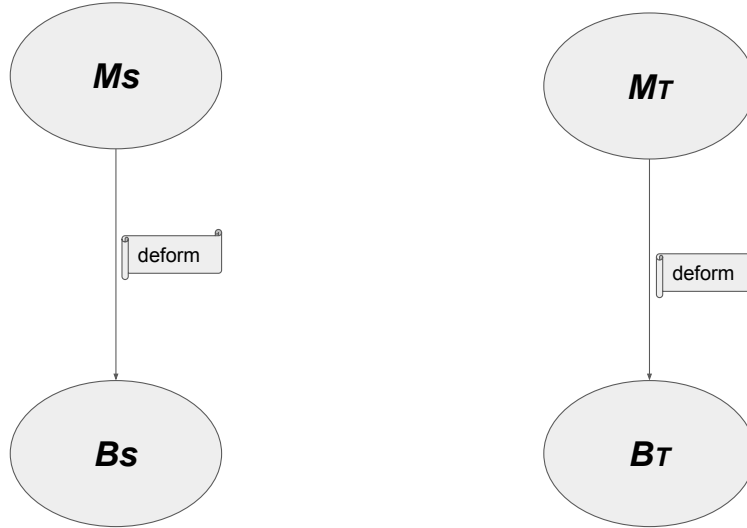
Τέλος, ο τρίτος μας όρος ορίζει και αυτός με την σειρά του τον δικό του περιορισμό. Σ' αυτήν την περίπτωση εδώ προσπαθούμε να αποφύγουμε της τετριμμένες λύσεις. Έτσι λοιπόν σε κάθε επανάληψη έχοντας κρατήσει την τελευταία λύση στις μεταβλητές  $\bar{r}_k^t$  και  $\bar{r}_k^s$ , υπολογίζουμε την διαφορά τους από το νέο μας αποτέλεσμα. Έτσι λοιπόν αναγκάζουμε την συνάρτηση μας να κάνει μία υποτυπώδη πρόοδο σε κάθε βήμα. Συνολικά πάλι μπορούμε να πούμε πως είναι κατανοητό πως όλη η διαδικασία της αλλοίωσης υλοποιείται από τον πρώτο όρο μας και οι άλλοι δύο ουσιαστικά λειτουργούν σαν περιορισμοί ώστε να εξασφαλίσουμε το επιθυμητό μας αποτέλεσμα. Από την στιγμή λοιπόν που μας είναι κατανοητή η συνάρτηση μας θέλουμε να επιλέξουμε μία κατάλληλη μέθοδο βελτιστοποίησης η οποία θα πάρει σαν είσοδο την αντικειμενική μας συνάρτηση και θα μας δίνει σαν αποτέλεσμα την ελάχιστη λύση, με άλλα λόγια δηλαδή τα επιθυμητά μας σημεία. Η λύση μας λοιπόν σ' αυτήν την περίπτωση είναι η χρήση την μεθόδου BFGS. Η μέθοδος L-BFGS λύνει το πρόβλημα ελαχιστοποίησης, χωρίς περιορισμούς, δηλαδή το:

$$F(x), \text{ με } x = (x_1, x_2, \dots, x_N),$$

Μόνο εάν η αντικειμενική συνάρτηση  $F(x)$  και η κλίση της  $G(x)$  μπορούν να υπολογιστούν. Η γνωστή μέθοδος του Νεύτωνα απαιτεί τον υπολογισμό του αντιστρώφου του εσσιανού πίνακα της αντικειμενικής συνάρτησης. Ωστόσο, το υπολογιστικό κόστος για το αντίστροφο εσσιανό πίνακα είναι ακριβό, ειδικά όταν η αντικειμενική συνάρτηση παίρνει μεγάλο αριθμό μεταβλητών. Η μέθοδος BFGS και ιδιαίτερα η L-BFGS (limited memory) βρίσκει επαναληπτικά έναν ελαχιστοποιητή, προσεγγίζοντας τον αντίστροφο εσσιανό πίνακα με πληροφορίες από τις τελευταίες  $m$  επαναλήψεις. Αυτή η καινοτομία μειώνει δραστικά την χρήση μνήμης και τον υπολογιστικό χρόνο για μεγάλης κλίμακας προβλημάτων.

Έτσι λοιπόν αξιοποιώντας το εργαλείο μας αυτό θα χρησιμοποιήσουμε την L-BFGS μέθοδό μας [12] και θα της δώσουμε σαν είσοδο την αντικειμενική μας συνάρτηση και θα παρατηρήσουμε ότι σε 5-10 επαναλήψεις θα μας δώσει σαν αποτέλεσμα δύο χαρακτήρες πηγή και στόχο απαλλαγμένους από λεπτομέρειες και

έτοιμους για να τους αξιοποιήσουμε στο τελευταίο μας κομμάτι (3.2.3). Αν λοιπόν θα θέλαμε να αναπαραστήσουμε την διαδικασία μας με ένα διάγραμμα ροής θα ήταν σύμφωνα με το σχήμα (3.4).



Σχήμα 3.4: Αρχιτεκτονική Δομή της Διαδικασίας Αφαίρεσης Λεπτομερειών.

### 3.2.3 Παραγωγή Τελικού Μοντέλου

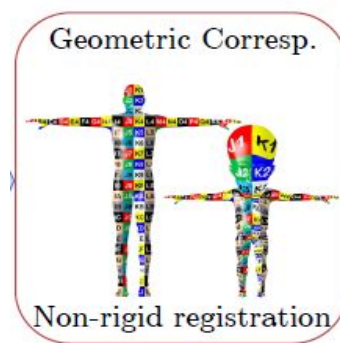
Στο τελευταίο μας βήμα λοιπόν θέλουμε να παράγουμε ένα τελικό χαρακτήρα με βάση τους δύο παραπάνω χαρακτήρες που έχουμε υπολογίσει ( $B_s$ ,  $B_t$ ). Οι δύο αυτοί χαρακτήρες έχουν τόσο από δομή, ύστερα από την επεξεργασία που έχουν υποστεί, όσο και γεωμετρία, με αποτέλεσμα να είναι τόσο εύκολοι στην χρήση τους, που μπορούμε να παράγουμε το νέο μας μοντέλο μέσα σε λίγες επαναλήψεις και εδώ. Η ιδέα μας εδώ ακολουθεί την δομή της προηγούμενης ενότητας μας. Θα ορίσουμε και εδώ μία συνάρτηση που θα πετυχαίνει τον σκοπό μας και θα την ελαχιστοποιήσουμε στο επόμενο βήμα ώστε να μας δώσει το αποτέλεσμα που θέλουμε. Εδώ λοιπόν η συνάρτηση μας θα έχει την εξής μορφή:

$$\begin{aligned}
 E_{fit}(x_1^s, \dots, x_n^s) = & \frac{\mu_1}{\sum_{i=1}^n A_i^s} \sum_{i=1}^n \bar{A}_i^s \|\Delta x_i^s - \Delta \bar{x}_i^s\|^2 \\
 & + \frac{\mu_2}{n} \sum_{i=1}^n \|x_i^s - \bar{c}_i^t\|^2 \\
 & + \frac{\mu_3}{K} \sum_{k=1}^K \|r_k^s - \bar{r}_k^t\|^2
 \end{aligned}$$

Η παραπάνω λοιπόν συνάρτηση αποτελείται και αυτή από τρεις όρους. Ας ξεκινήσουμε όμως από της τρεις μεταβλητές  $\mu_1=1$ ,  $\mu_2=1$  και  $\mu_3=10$ . Η κάθε μία λοιπόν έχει ένα ξεχωριστό ρόλο στην συνάρτηση μας. Η  $\mu_1$  μας επιτρέπει με την τιμή 10 να καλύψουμε της περιπτώσεις που ο χαρακτήρας μας έχει άκαμπτες επιφάνειες αλλά θα μπορούσαμε να του δώσουμε και την τιμή 0.1 για να κάνουμε ταίριασμα στις λεπτομέρειες τους. Οι άλλες δύο μεταβλητές  $\mu_2$  και  $\mu_3$  ορίζουν κάποια βάρη στους δύο τελευταίους όρους που ορίζουν κάποιους περιορισμούς. Έτσι λοιπόν ο πρώτος όρος προσπαθεί να παράγει ένα λείο αποτέλεσμα στον χαρακτήρα μας. Αυτό το πετυχαίνει με την χρήση των Laplacians γειτόνων πολλαπλασιασμένο με τα Voronoi βάρη. Η μόνη διαφορά εδώ έγκειται στον τρόπο με τον οποίο ορίζουμε την έννοια της γειτονικότητας στην διαδικασία παραγωγής της δομής με τους γείτονες. Έτσι για κάθε μία κορυφή μελετάμε και βρίσκουμε της γειτονικές κορυφές με βάση της ακμές που τους ενώνουν. Η διαφορετικότητα είναι πως για κάθε μία κορυφή στην πηγή μας αφαιρούμε και την κορυφή την αντίστοιχη στο απλό μας μοντέλο όμως  $B_s$ . Στόχος μας λοιπόν είναι να παράγουμε ένα μοντέλο το οποίο θα έχει ομαλές επιφάνειες και θα συνδυάζει τα χαρακτηριστικά των δύο μας σωμάτων δηλαδή της αρχικής μας πηγής  $M_s$  και της απλής μας ποία πηγής  $B_s$ . Ο δεύτερος όρος τώρα υλοποιεί ουσιαστικά το ταίριασμα. Με άλλα λόγια προσπαθεί να μειώσει την απόσταση της κάθε κορυφής μας στο αρχικό μοντέλο  $M_s$  με τον κοντινότερο του γείτονα στο απλό μας μοντέλο πηγής  $B_s$ . Ορίζουμε τον κοντινότερο γείτονα που θα είχε στον στόχο μας  $M_t$ , ως την ελάχιστη ευκλείδεια απόστασή τους. Και με τον τελευταίο μας όρο ο οποίος έχει τον ρόλο του περιορισμού εξασφαλίζουμε πως τα σημεία μας θα συμπίπτουν. Με αυτό εννοούμε πως διατηρώντας την ελάχιστη απόσταση στα σημεία αναφοράς μας είμαστε βέβαιοι πως το αποτέλεσμα μας θα είναι το επιθυμητό. Η μόνη μας παραλλαγή είναι πως εδώ θα πρέπει να δώσουμε στα σημεία αναφοράς μας της σωστές συντεταγμένες και αυτό σημαίνει τις νέες συντεταγμένες που έχουν προκύψει από τα απλά μας μοντέλα.

Έχοντας λοιπόν υλοποιήσει την συνάρτηση μας και γνωρίζοντας τη λειτουργία της απόλυτα μπορούμε να εφαρμόσουμε και εδώ την συνάρτηση βελτιστοποίησης μας όπου θα είναι η ίδια με την προηγούμενη ενότητα [12] και μέσα σε 2-3 επαναλήψεις θα έχουμε παράγει το καινούργιο μας μοντέλο. Σ' αυτό το σημείο θα πρέπει να κάνουμε μερικούς σχολιασμούς. Θα πρέπει να τονίσουμε πως η διαδικασία ταίριασματος θα γίνει πάνω στην αρχική μας πηγή  $M_s$  και όχι πάνω στον στόχο μας. Θα πρέπει να καταλάβουμε πως σε όλα μας τα στάδια υλοποίησης μας ενδιαφέρει

να παραμορφώσουμε την πηγή μας και να μοιάζει στον στόχο μας και όχι το αντίθετο. Με άλλα λόγια το τελικό μας αποτέλεσμα θα είναι μία νέα πηγή και όχι ένας νέος στόχος. Έτσι λοιπόν στο τελευταίο μας βήμα δίνουμε τελική μορφή στην πηγή μας και όχι στον στόχο μας. Επίσης, μέσα από τη διαδικασία ελαχιστοποίησης της συνάρτησης θα πάρουμε σαν αποτέλεσμα τους καλύτερους κοντινότερους γείτονες  $\tilde{c}_i^t$ . Αφού λοιπόν ολοκληρώσουμε και το τελευταίο μας βήμα και πάρουμε την νέα μας πηγή θα αντικαταστήσουμε και στον στόχο μας της κορυφές του. Οι νέες του κορυφές θα είναι τα υπολογισμένα μας κοντινότερα σημεία  $\tilde{c}_i^t$ . Έχουμε λοιπόν παράγει σ' αυτό το σημείο δύο νέους χαρακτήρες πηγή και στόχο οι οποίοι έχουν την ίδια γεωμετρία και υπάρχουν και σε αρχεία μέσα και είναι έτοιμοι για το επόμενο βήμα. Μπορούμε λοιπόν να δούμε και σχηματικά μία τέτοια εφαρμογή της μεθόδου μας σχήμα (3.3)



Σχήμα 3.5: Παράδειγμα μεταφοράς γεωμετρίας.

### 3.3 Αποτελέσματα και Ιδιαιτερότητες

Αφού λοιπόν υλοποιήσαμε τον αλγόριθμο μας σύμφωνα με παραπάνω θα πρέπει να αναφέρουμε και μερικές ιδιαιτερότητες κατά τη διαδικασία της υλοποίησης μας. Στο πρώτο κομμάτι που γίνεται η επιλογή των σημείων ελέγχου θα πρέπει ο χρήστης



να έχει οπτική επαφή με τα σώματα ώστε να μπορέσει να αντιστοιχήσει τα σημεία που επιθυμεί σωστά. Επίσης, στην παρούσα υλοποίηση θα ασχοληθούμε κυρίως με δίποδα και ποιο ειδικά με χαρακτήρες που έχουν ανθρώπινη μορφή. Υποθέτουμε λοιπόν ότι θα υπάρχουν τέσσερα άκρα και ο βασικός κορμός μαζί με το κεφάλι. Έτσι λοιπόν θα καθορίσουμε ένα αντιπροσωπευτικό αριθμό επιλογής σημείων που είναι το πενήντα. Είναι ένας αριθμός ικανός να συμπεριλάβει τα ποιο σημαντικά μέρη για την αντιστοίχιση. Σημαντική παρατήρηση είναι πως τα σημεία θα πρέπει να είναι σημεία από τις υπάρχουσες κορυφές και όχι τυχαία σημεία κοντά στην περιοχή που θέλει ο χρήστης. Εν τέλει λοιπόν θα έχουμε πενήντα επιλεγμένες κορυφές του αρχικού αλλά και του τελικού μας χαρακτήρα τα οποία θα τα εισάγουμε στον αλγόριθμό μας από την αρχή της εκτέλεσης. Υπάρχει βέβαια και η δυνατότητα ο χρήστης να μην επιθυμεί να επιλέξει αυτός και τότε επιλέγει το πρόγραμμα από μόνο του προσπαθώντας να επιλέξει τα πιο αντιπροσωπευτικά σε ολόκληρο τον χαρακτήρα μας. Φυσικά, υπάρχει περίπτωση ο χρήστης να χρειαστεί περισσότερα από πενήντα σημεία σε περίπτωση που οι χαρακτήρες είναι σημαντικά διαφορετικοί. Έχοντας λοιπόν επιλέξει με έναν από τους παραπάνω τρόπους τα σημεία ελέγχου τότε μπορούμε να περάσουμε στο επόμενο στάδιο.

Σ' αυτό το σημείο που προσπαθούμε να λιώσουμε τους χαρακτήρες μας ουσιαστικά εφαρμόζουμε την παραπάνω μέθοδο βελτιστοποίησης ώστε να ελαχιστοποιήσουμε την αντικειμενική μας συνάρτηση. Στην διαδικασία λοιπόν της βελτιστοποίησης θα καθορίσουμε κάποια βασικά χαρακτηριστικά τετριμμένα και δεν θα αλλάζουν κατά την εκτέλεση του προγράμματός μας. Πρώτο και ποιο σημαντικό είναι οι τρεις παράγοντες  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  οι οποίοι θα έχουν σταθερές τιμές σε όλη την εκτέλεση, και είναι αυτοί οι οποίοι μας καθορίζουν το πόσο σημαντικός είναι ο κάθε παράγοντας της συνάρτησης στο τελικό μας αποτέλεσμα (3.2.2). Δεύτερο και πιο σημαντικό είναι οι νομοποι περιοχές όπου δεν τις λαμβάνουμε υπόψιν μας πράγμα που σημαίνει ότι για κάθε κορυφή ξεχωριστά θα δώσουμε την τιμή  $1/3$ . Ο λόγος που μπορούμε να κάνουμε αυτήν την θεώρηση είναι διότι όπως αναφέραμε και παραπάνω θεωρούμε ότι ο χρήστης επιλέγει σημεία από τον χαρακτήρα μας πάνω και όχι τυχαία σημεία στο χώρο και κατά συνέπεια τα σημεία αυτά είναι κορυφές τριγώνου. Στην ίδια φιλοσοφία θα θεωρήσουμε και της τιμές για τις βαρυκεντρικές συντεταγμένες μας  $1/3$  διότι και εδώ μιλάμε για σημεία που θα είναι πάνω στις ακμές του εκάστοτε τριγώνου και όχι εσωτερικά ή εξωτερικά. Μας είναι γνωστό πως ένα σημείο καλείται βαρύκεντρο εάν απέχει από κάθε κορυφή τα  $2/3$

της αντίστοιχης διαμέσου. Την παραπάνω θεώρηση λοιπόν την εξασφαλίζουμε με τον περιορισμό τις επιλογής των σημείων αναφοράς. Επίσης, είναι προφανές πως ακριβώς οι ίδιες θεωρήσεις ισχύουν και για του δύο μας χαρακτήρες.

Αφού ολοκληρωθεί λοιπόν και το δεύτερο βήμα και έχουμε παράγει δύο χαρακτήρες με σχεδόν καθόλου γεωμετρική λεπτομέρεια μας ωθεί και στο τελευταίο κομμάτι και στην προσπάθεια να ενώσουμε τους δύο αυτούς χαρακτήρες σε έναν. Στο στάδιο αυτό προσπαθούμε και πάλι μέσα από μία επαναληπτική ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής μας συνάρτησης να οδηγηθούμε στο τελικό μας αποτέλεσμα. Έτσι λοιπόν και σ αυτό το σημείο θα κρατήσουμε τρεις αντίστοιχες μεταβλητές  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$  σταθερές οι οποίες θα μας καθορίσουν πόσο σημαντικός είναι ο κάθε παράγοντας στο τελικό μας αποτέλεσμα. Επίσης, οι νομοποι τιμές θα είναι ακριβώς οι ίδιες δηλαδή  $1/3$  και ο λόγος που μας επιτρέπεται να κάνουμε αυτήν την θεώρηση και εδώ είναι διότι κρατάμε σε όλη την διάρκεια εκτέλεσης του αλγορίθμου τα ίδια σημεία αναφοράς το μόνο που πιθανός να αλλάζει θα είναι η θέση τους στο χώρο που δεν επηρεάζει τους συντελεστές μας. Το τελευταίο και πιο σημαντικό σαν παρατήρηση είναι η σειρά με την οποία θέλουμε να ενώσουμε τους δύο χαρακτήρες. Αυτό σημαίνει πως αν θέλουμε να ενώσουμε την πηγή στο στόχο θα μας δώσει άλλο αποτέλεσμα με το να θέλουμε να ενώσουμε τον στόχο στην πηγή. Αν λοιπόν εφαρμόσουμε όλα τα παραπάνω και σε συνδυασμό με την εκτέλεση του αλγορίθμου μας θα έχουμε σαν αποτέλεσμα τον νέο μας χαρακτήρα από την πηγή προς τον στόχο, ο οποίος θα έχει τα χαρακτηριστικά του στόχου μας αλλά με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της πηγής μας. Ο νέος αυτός χαρακτήρας μας θα αποθηκευτεί σε ένα νέο αρχείο (.obj) στο φάκελό μας και θα είναι έτοιμο να το αξιοποιήσει ο χρήστης όπως επιθυμεί. Στο επόμενο βήμα ο χρήστης θα μπορεί ή να τερματίσει την διαδικασία της μεταφοράς ή να συνεχίσει στην μεταφορά σκελετού που θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 4). Σαν τελευταίο βήμα θα παρουσιάσουμε μέσα από αλγοριθμικά βήματα την υλοποίηση όλης μας της μεθόδου (Αλγόριθμος 3.1)

---

**Αλγόριθμος 3.1** Υπολογισμός της Γεωμετρικής Αντιστοίχισης.

---

**Require:** *Two mesh models*

**Ensure:** *Files in the form of example.obj*

- 1: *Input Data(source, target)*
  - 2: *Manual Point Selection*
  - 3: *Compute Barycentric Coordinates*
  - 4: *Closed Form Computations*
  - 5: *Perfect Matching and Allignment*
  - 6: *Final Models*
  - 7: *End*
  - 8: *Begin the Process of Joint Fairing*
  - 9: *Compute the Objective Function*
  - 10: *L – BFGS Optimization*
  - 11: *Final Models( $B_S, B_T$ )*
  - 12: *End*
  - 13: *Begin the Process of Fitting*
  - 14: *Compute the Objective Function*
  - 15: *L – BFGS Optimization*
  - 16: *Create Final Model*
  - 17: *End*
  - 18: *Save Final Models*
-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

# ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΚΕΛΕΤΟΥ

---

### 4.1 Σχεδίαση Αλγορίθμου

### 4.2 Τεχνικές Υλοποίησης Μεταφοράς Σκελετού

### 4.3 Αποτελέσματα και Ιδιαιτερότητες

---

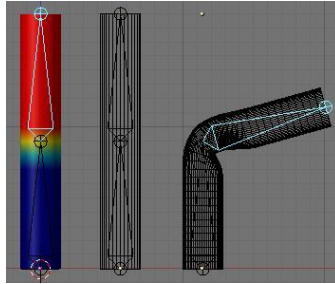
Στο κεφάλαιο αυτό θα εστιάσουμε την προσοχή μας στο δεύτερο κομμάτι της μεταφοράς κίνησης το οποίο είναι η μεταφορά σκελετού. Το κομμάτι αυτό έχει ξεχωριστή σημασία στην συνολική διαδικασία της μεταφοράς διότι ο σκελετός αποτελεί κατασταλτικό παράγοντα στην τελική κίνηση του χαρακτήρα μας. Θα προσπαθήσουμε λοιπόν μέσα σε δύο βήματα να μετακινήσουμε και ουσιαστικά να μεταφέρουμε τον υπάρχων σκελετό της πηγής μας στο στόχο. Στο πρώτο βήμα θα μελετάμε ξεχωριστά ένα, ένα τα κόκαλα του σκελετού και θα τα μετακινούμε στον νέο μας χαρακτήρα αλλάζοντας τις συντεταγμένες του ώστε να εφάπτεται πάνω στο νέο μας σώμα. Ο λόγος που μπορούμε να το πετύχουμε αυτό μέσα από μία απλή διαδικασία είναι διότι οι δύο αυτοί χαρακτήρες έχουν πλέον την ίδια γεωμετρία οπότε γνωρίζουμε ακριβώς την περιοχή στην οποία πρέπει να τοποθετήσουμε το εκάστοτε κόκαλο, η οποία θα είναι η ίδια περιοχή με αυτή της πηγής μας. Αφού λοιπόν ολοκληρώσουμε αυτό το βήμα, το οποίο θα γίνει επαναληπτικά τόσες φορές όσες και τα κόκαλα του σκελετού μας θα οδηγηθούμε στο δεύτερο βήμα το οποίο είναι ο επαναπροσδιορισμός της κατεύθυνσης και περιστροφής για το κάθε κόκαλο ή αλλιώς για την κάθε άρθρωση. Το στάδιο αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό διότι εδώ ουσιαστικά

θα ορίσουμε κατεύθυνση και περιστροφή στο νέο μας σκελετό ώστε η διάφορες κινήσεις να είναι προσαρμοσμένες στο νέο μας σώμα και να μην έχουμε ανεπιθύμητες παραμορφώσεις. Αυτό που προσπαθούμε να πετύχουμε σε αυτό το βήμα είναι να έχουμε ένα σκελετό πλήρως ενσωματωμένο στο νέο μας σώμα ώστε να είναι έτοιμο να του δώσουμε και νέο δέρμα (Κεφάλαιο 5) και να δημιουργήσουμε την τελική μας κίνηση. Παρακάτω λοιπόν θα αναλύσουμε αυτά τα δύο βήματα εκτενέστερα αλλά θα αναφέρουμε και της απαιτήσεις και ιδιαιτερότητες που εμφανίζει ο αλγόριθμός μας κατά την εκτέλεση του.

#### 4.1 Σχεδίαση Αλγορίθμου

Στην διαδικασία κίνησης ενός χαρακτήρα το πιο σημαντικό κομμάτι είναι ο σκελετός. Σκελετό καλούμε ένα σύνολο από κόκαλα και αρθρώσεις. Έναν σκελετό μπορούμε είτε να τον δημιουργήσουμε είτε να τον έχουμε έτοιμο και απλά να το προσαρμόσουμε στα δικά μας δεδομένα. Στην διαδικασία που επιθυμούμε να δημιουργήσουμε τον δικό μας σκελετό θα πρέπει να ακολουθήσουμε μία γνωστή μεθοδολογία. Χρησιμοποιώντας ένα σχεδιαστικό περιβάλλον θα ξεκινήσουμε να προσθέτουμε ανά βήμα και ένα κόκαλο, με τέτοιο τρόπο ώστε συνολικά να δημιουργείται ένας σκελετός ικανός να κινεί το χαρακτήρα μας. Έχοντας λοιπόν μία αλληλουχία από κόκαλα το επόμενο στάδιο είναι ο ορισμός σχέσεων μεταξύ των κοκάλων που έχεις. Με αυτό εννοούμε ότι για κάθε κόκαλο θα πρέπει να ορισθεί ένας πρόγονος του ή αλλιώς πατέρας του και ένας οι περισσότεροι απόγονοι ή αλλιώς τα παιδιά. Είναι αναγκαίο να ορισθεί πως κάθε κόκαλο θα πρέπει να έχει έναν μοναδικό πατέρα και ένα η περισσότερα παιδιά. Έχουμε με αυτόν τον τρόπο δημιουργήσει έναν σκελετό ο οποίος είναι πλήρως συνδεδεμένος μεταξύ του, και παραμορφώνοντας ένα κόκαλο θα επηρεάζονται ταυτόχρονα και τα παιδιά του. Απώτερος σκοπός όλης αυτής της διαδικασίας είναι να κινείται το σώμα μας και όχι ο σκελετός. Όπως είναι φανερό ο σκελετός μας χρησιμεύει απλά στο να μας είναι πιο εύκολη η δημιουργία την κίνησης μας. Για να πετύχουμε λοιπόν τον στόχο μας θέλουμε το κάθε κόκαλο ξεχωριστά να επηρεάζει ένα σύνολο από κορυφές στο χαρακτήρα μας. Είναι σημαντικό να τονίσουμε πως κάθε κόκαλο θα επηρεάζει ένα πεπερασμένο πλήθος κορυφών και κάθε κορυφή θα μπορεί να επηρεάζεται από το πολύ τέσσερα κόκαλα. Αυτό συμβαίνει συχνά σε κορυφές που βρίσκονται σε σημεία που συναντώ-

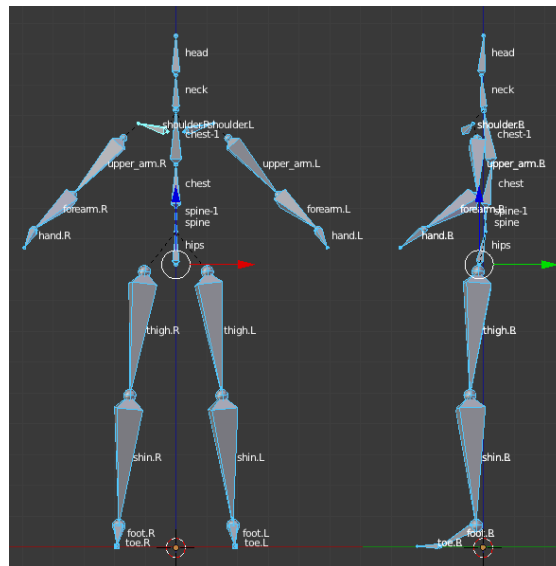
νται κόκαλα. Με την συσχέτιση αυτή καταλαβαίνουμε πως με τον μετασχηματισμό ενός κόκαλου θα μετασχηματίζονται και οι κορυφές με αποτέλεσμα να βλέπουμε το σώμα μας να κινείται (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1: Η παραμόρφωση που δημιουργείται από την μετακίνηση ενός κόκαλου.

Είναι λοιπόν φανερό πως μία τέτοια διαδικασία είναι εξαιρετικά αργή καθώς επίσης απαιτεί και γνώσεις για τον σχεδιασμό του σκελετού. Για αυτό το λόγο οδηγούμαστε στο δεύτερο τρόπο και την μεταφορά του σκελετού από την πηγή μας στο στόχο. Εδώ λοιπόν θα τεθούν κάποια βασικά προβλήματα που εμφανίζει αυτός ο τρόπος. Καταρχάς θα πρέπει ο εκάστοτε σκελετός να μπορεί να προσαρμόζεται στην μορφολογία του στόχου μας. Αυτό σημαίνει πως θα μπορεί να προσαρμόζεται και να παραμορφώνεται ανάλογα με την μορφή του χαρακτήρα στόχου μας διατηρώντας όμως την συγγενική σχέση που έχει σταθερή. Αυτό απαιτεί αυτόματα τον μετασχηματισμό του κάθε κόκαλου με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτει σε εύρος τόσες κορυφές στον στόχο μας όσες και στην πηγή μας. Θα πρέπει λοιπόν να θεωρούμε πως ένα κόκαλο ισοδυναμεί με ένα σύνολο κορυφών τις οποίες καλείται να επηρεάζει με διαφορετικό τρόπο. Έτσι λοιπόν απαιτούμε το αντίστοιχο κόκαλο να επηρεάζει το ίδιο πλήθος ακμών και έπειτα (4.2.1). Θα εφαρμόσουμε λοιπόν μία μεθοδολογία, κατά την οποία θα προσπαθούμε επαναληπτικά να εφαρμόζουμε μία τεχνική ελαχιστοποίησης η οποία θα προσπαθεί να βρίσκει τον βέλτιστο τρόπο τοποθέτησης της άρθρωσης στον στόχο μας. Μετά από ένα πεπερασμένο πλήθος

βημάτων, διασχίζοντας όλα τα κόκαλα της πηγής μας θα μπορούσαμε να τα μεταφέρουμε και στον στόχο μας. Το αποτέλεσμα μας θα είναι ένας νέος σκελετός με την ίδια ιεραρχία αλλά με διαφορετική τοποθέτηση τώρα. Παρακάτω μπορούμε να δούμε ένα σχήμα με έναν σκελετό ώστε να κατανοήσουμε καλύτερα τη διαδικασία για την οποία μιλάμε (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2: Η ιεραρχία ενός σκελετού ανθρώπινης μορφής.

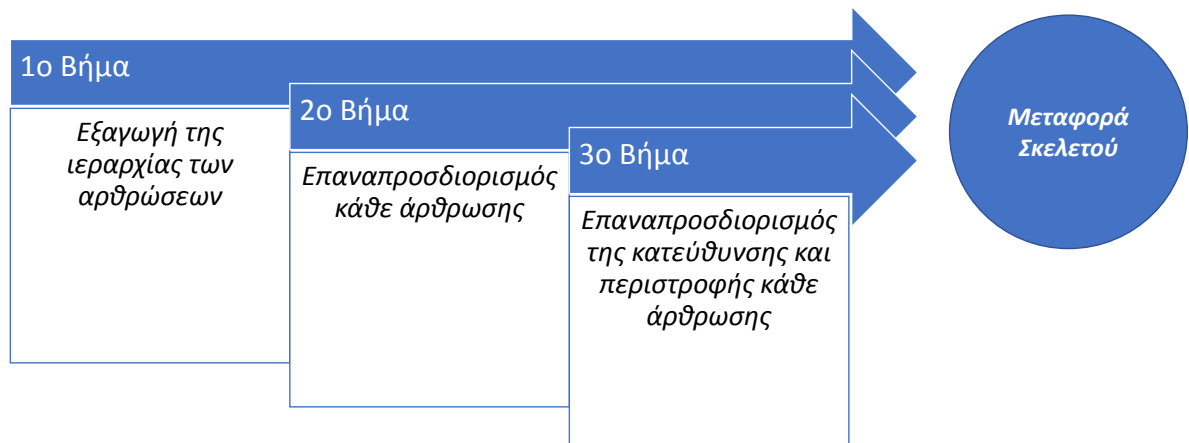
Με δεδομένο το νέο μας σκελετό μπορούμε να προχωρήσουμε και στο τελικά στάδιο του αλγορίθμου μας που είναι ο επαναπροσδιορισμός της κατεύθυνσης και περιστροφής για κάθε άρθρωση. Ο υπολογισμός αυτός επιτρέπει στον σκελετό σαν σύνολο να ενσωματωθεί σωστά στο νέο σώμα. Ο λόγος είναι ότι συνολικά ένας σωστός σκελετός αποτελείται εκτός από τα κόκαλα και από άλλα δύο χαρακτηριστικά που είναι η κατεύθυνση και η περιστροφή. Οι δύο αυτοί επιπλέον παράγοντες μας διασφαλίζουν πως ο σκελετός μας σαν δομή θα παραμορφώνει το σώμα μας στην κατεύθυνση και με τον τρόπο που επιθυμούμε. Αν έχουμε μεταφέρει όλα αυτά τα χαρακτηριστικά είμαστε σίγουροι πως οι δύο χαρακτήρες θα κινούνται με τον ίδιο τρόπο. Σε αυτό το κομμάτι θα μας φανεί χρήσιμη η πληροφορία της κληρονομικότητας. Θα προσπαθήσουμε εδώ με έναν αλγόριθμο (4.1) να προσδιορίζουμε επαναληπτικά την κατεύθυνση και περιστροφή με βάση τα χαρακτηριστικά του νέου πατέρα και όχι με βάση τον αρχικό μας σκελετό. Μελετάμε πλέον τον νέο μας σκελετό και προσπαθούμε να τον τελειοποιήσουμε στον νέο του σώμα.

Στην συνέχεια λοιπόν θα μιλήσουμε αναλυτικά για το τρόπο με τον οποίο υλοποιήθηκαν οι δύο αυτές τεχνικές και όλα τα χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα ώστε να γίνει μία επιτυχημένη μεταφορά σκελετού.

## 4.2 Τεχνικές Υλοποίησης Μεταφοράς Σκελετού

Στην ενότητα αυτή θα μιλήσουμε αναλυτικά για τον τρόπο με τον οποίο υλοποιήσαμε την μεταφορά του σκελετού μέσα από δύο επιμέρους βήματα. Θα αναλύσουμε τον τρόπο με τον οποίο θα μεταφέρεται κάθε επιμέρους άρθρωση και πώς τοποθετείται στον νέο μας σκελετό. Επίσης, θα μελετήσουμε τις άλλες δύο σημαντικές παραμέτρους που αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά για τον ορισμό ενός σκελετού δηλαδή την κατεύθυνση και την περιστροφή της κάθε άρθρωσης. Το κομμάτι αυτό του αλγορίθμου μας είναι η συνέχεια της γεωμετρικής αντιστοίχισης και είναι απαραίτητο να κατανοηθεί πως δεν μπορεί να αποτελέσει ένα αναπόσπαστο κομμάτι υλοποίησης διότι απαιτεί πρώτα να υπάρχει γεωμετρική αντιστοίχιση στα σώματα που μελετά. Η συνολική ροή του αλγορίθμου θα ακολουθεί τα εξής στάδια. Στο πρώτο στάδιο θα συμπεριλάβουμε την εξαγωγή της ιεραρχίας του σκελετού πηγή μέσα από το αρχείο που θα εισάγει ο χρήστης στην μορφή (.bvh , biovision file). Τα αρχεία αυτής της μορφής περιέχουν μέσα όλη την αναλυτική σχέση συγγένειας μεταξύ των κοκάλων καθώς και την θέση του πάνω στο σώμα [2]. Έπειτα θα εφαρμόζουμε τα δύο βήματα που αναφέραμε παραπάνω με αποτέλεσμα να παράγουμε έναν νέο σκελετό και να το αποθηκεύσουμε σε ένα νέο αρχείο ίδιου τύπου ώστε να μπορεί ο χρήστης να το αξιοποιήσει όπως επιθυμεί. Αν λοιπόν θα θέλαμε να αναπαραστήσουμε τη διαδικασία μας σαν ένα διάγραμμα ροής θα είχε την παρακάτω μορφή (Σχήμα 4.3).





Σχήμα 4.3: Το Διάγραμμα Ροής της Μεταφοράς Σκελετού.

#### 4.2.1 Επαναπροσδιορισμός Κάθε Άρθρωσης

Στόχος μας σ' αυτήν την ενότητα είναι να καταφέρουμε να μεταφέρουμε αρχικά ένα ένα τα κόκαλα μας στον χαρακτήρα πηγή. Για τον σκοπό αυτό θα χρειαστούμε κάποιες βασικές πληροφορίες που θα πάρουμε από την πηγή μας για τον δικό του σκελετό. Πιο ειδικά θα χρειαστούμε την ιεραρχία των κοκάλων του καθώς και τα ίδια του τα κόκαλα. Την ιεραρχία μπορούμε να την λάβουμε από το αρχείο biovision το οποίο από την φύση του έχει μέσα την ιεραρχία ενός σκελετού. Επίσης, σημαντική πληροφορία που θα έχουμε από το ίδιο αρχείο θα είναι και τα ονόματα από κάθε κόκαλο που έχει ο σκελετός. Το κάθε κόκαλο θα έχει το δικό του όνομα το οποίο θα είναι αντιπροσωπευτικό και μοναδικό. Θα προσπαθήσουμε λοιπόν να φτιάξουμε μία δική μας δομή βασισμένη στα κόκαλα και συνολικά στον σκελετό μας με σκοπό σε κάθε βήμα να την γεμίζουμε με τα απαραίτητα συστατικά για την μεταφορά μας στο κομμάτι που μελετάμε. Έτσι λοιπόν η πρώτη πληροφορία που θα χρειαστούμε θα είναι τα ονόματα καθώς και τις σχέσεις παιδί γονέα για της οποίες μιλήσαμε παραπάνω. Από το ίδιο πάλι αρχείο θα μελετήσουμε το επόμενο κομμάτι που ακολουθεί και περιέχει μέσα την κίνηση. Όταν λοιπόν μιλάμε για κίνηση

εκτός από την φυσική της μορφή που είναι γνωστή σε όλους μας, στον αλγόριθμό μας θα την μελετήσουμε σαν μία ακολουθία μετασχηματισμών. Με άλλα λόγια η κίνηση του χαρακτήρα μας θα χωριστεί σε πόζες οι οποίες θα χαρακτηρίζονται από τους επικείμενους μετασχηματισμούς που έχει υποστεί ο σκελετός μας. Καθώς η κίνηση μας εξελίσσεται με τον χρόνο στο αρχείο μέσα αποθηκεύονται όλοι οι μετασχηματισμοί για το κάθε κόκαλο ξεχωριστά αλλά και για την κάθε χρονική στιγμή ξεχωριστά. Σε κάθε χρονική στιγμή θα έχουμε και μία ξεχωριστή πόζα. Τώρα από την άλλη πλευρά ο κάθε μετασχηματισμός μας αφορά το κάθε κόκαλο σε κάθε χρονική στιγμή ξεχωριστά. Οι μετασχηματισμοί αυτοί όπως γνωρίζουμε από το προηγούμενο κεφάλαιο μπορεί να είναι είτε περιστροφή είτε μεταφορά είτε κλιμάκωση (πιο σπάνια). Άρα αυτό που μας δίνει σαν πληροφορία το αρχείο μας είναι η αλλαγή στις συντεταγμένες του κάθε μας κόκαλου με την πάροδο του χρόνου. Έτσι η δεύτερη πληροφορία που μας χρειάζεται είναι οι μετασχηματισμοί για κάθε κόκαλο σε κάθε χρονική στιγμή. Τώρα αυτούς τους μετασχηματισμούς τους ονομάζουμε και τοπικούς διότι αφορούν το κάθε κόκαλο χωριστά. Παρακάτω θα δούμε ότι υπάρχουν και οι σφαιρικοί μετασχηματισμοί. Ταυτόχρονα με αυτήν την πληροφορία φυσικά θα κρατήσουμε και της αρχικές συντεταγμένες μας σε κάθε κόκαλο.

Στην συνέχεια λοιπόν από την στιγμή που έχουμε αξιοποιήσει το πρώτο μας αρχείο θα προχωρήσουμε στην χρήση του επόμενου μας αρχείου που είναι το αρχείο τύπου collada. Το αρχείο αυτό περιέχει μέσα όλες της πληροφορίες για τα βάρη και την σχέση βάρος κόκαλο για την οποία πιο αναλυτικά θα την δούμε στο επόμενο κεφάλαιο. Η πρώτη λοιπόν πληροφορία από αυτό το αρχείο θα είναι προφανώς τα βάρη για κάθε κορυφή, και την πληροφορία αυτήν θα την συμπληρώσουμε στην δομή μας. Έπειτα θα χρειαστούμε και την σχέση βάρος κόκαλο στην δομή μας. Η πληροφορία αυτή θα μας δώσει μία εικόνα καλύτερη για την χρησιμότητα του κάθε μας κόκαλου στην συνολική μας κίνηση (Σχήμα 4.4). Εδώ λοιπόν πήραμε όλες τις χρήσιμες πληροφορίες που θα χρειαστούμε σε όλη τη διαδικασία μεταφοράς του κάθε μας κόκαλου και μπορούμε να προχωρήσουμε στο επόμενο βήμα και την πραγματική μας μεταφορά.



Σχήμα 4.4: Η Σχέση Κόκαλο-Βάρος.

Το πρώτο βήμα μας θα είναι η δημιουργία μιας δομής η οποία θα περιέχει μέσα την σχέση κορυφής άρθρωσης. Χρειαζόμαστε δηλαδή να γνωρίζουμε το σύνολο των κορυφών που επηρεάζονται από ένα κόκαλο. Έτσι λοιπόν για κάθε κόκαλο θα ορίσουμε σαν έμβαρεις κορυφές, εκείνες τις οποίες επηρεάζονται από το συγκεκριμένο κόκαλο. Με άλλα λόγια για κάθε κορυφή, για την οποία ισχύει η σχέση (4.1). Μπορούμε λοιπόν μετά τον υπολογισμό αυτής της σχέσης να την μεταφέρουμε και στην πηγή μας. Αν λοιπόν συμβολίζουμε το κάθε κόκαλο  $J_s$  το οποίο θα αποτελείται από  $m$  έμβαρεις ακμές μπορούμε να εκφράζουμε το κάθε κόκαλο σαν γραμμικό συνδυασμό των κορυφών που επηρεάζει με τον εξής τρόπο:

$$J_s = \sum_{i=1}^m c_i v_{iS} \quad (4.1)$$

και με αυτόν τον τρόπο λοιπόν έχουμε προσδιορίσει και δώσει μορφή σε κάθε μας κόκαλο για την πηγή μας. Στο επόμενο μας βήμα θα θέλαμε να αρχίσουμε τον υπολογισμό και την μεταφορά κάθε κόκαλου και στον στόχο μας αντίστοιχα.

Το πρώτο πράγμα που θα πρέπει να υπολογίσουμε θα είναι τα νέα μας βάρη για την νέες μας κορυφές από τον στόχο τώρα πια. Τα υπάρχοντα βάρη από την πηγή μας συμβολίζονται  $c_i$ . Έτσι λοιπόν θα θέλαμε να επιλέξουμε και υπολογίσουμε νέα βάρη τα οποία να ακολουθούν τρία βασικά κριτήρια. Αρχικά θα θέλαμε από όλους τους γραμμικούς συνδυασμούς από βάρη κορυφές να κρατάμε αυτούς που

θα είναι πιο κοντά στις συντεταγμένες του εκάστοτε κόκαλου μας. Δεύτερον θα θέλαμε το κάθε βάρος για τον στόχο να είναι αναλογικό με τα αντίστοιχα βάρη της πηγής και τέλος όλα τα βάρη να αθροίζονται στο ένα. Έτσι για να επιτευχθούν όλα τα παραπάνω θα υλοποιήσουμε μία αντικειμενική συνάρτηση όπου να τα υλοποιεί και έτσι θα έχει την μορφή:

$$\begin{aligned}
 E(c_1, \dots, c_m) = & \omega_1 \left\| \sum_{i=1}^m c_i v_{iS} - J_s \right\|^2 \\
 & + \omega_2 \sum_{i=1}^m \left( c_i - \frac{w_{iS}}{\sum_{j=1}^m w_{jS}} \right)^2 \\
 & + \omega_3 \left( \left( \sum_{i=1}^m c_i \right) - 1 \right)^2
 \end{aligned}$$

Το αποτέλεσμα μας θα είναι η δημιουργία ενός νέου σκελετού πανομοιότυπου σε ιεραρχία και αριθμό από κόκαλα με την μόνη διαφορά πως θα είναι προσαρμοσμένος πάνω στον νέο μας χαρακτήρα δηλαδή την πηγή μας. Σαν τελικό λοιπόν βήμα θα πρέπει να εγγυηθούμε πως θα κινείται και σύμφωνα με την πηγή μας το οποίο θα αναλύσουμε στην ενότητα (4.2.2).

#### 4.2.2 Επαναπροσδιορισμός της Κατεύθυνσης και Περιστροφής Κάθε Άρθρωσης

Στην τελική μας ευθεία πριν κλείσουμε τη διαδικασία μεταφοράς του σκελετού μας θα πρέπει να βεβαιωθούμε πως ο σκελετός μας είναι ενσωματωμένος απόλυτα στον νέο μας χαρακτήρα. Όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενες ενότητες το κάθε κόκαλο εκτός από την θέση του σαν συντεταγμένες πάνω στο σώμα χρειάζεται και μία κατεύθυνση και περιστροφή. Οι δύο αυτές μεταβλητές μας βοηθάνε στην διαδικασία την κίνησης συνολικά. Είναι συχνό το φαινόμενο, που ενώ δύο χαρακτήρες μοιράζονται τον ίδιο σκελετό σαν δομή κινούνται με διαφορετικό τρόπο. Όπως και στην ανθρώπινη πραγματικότητα όλοι οι άνθρωποι περπατάμε, σηκώνουμε το χέρι μας ή τρέχουμε στο κάθε άνθρωπο όμως φαίνεται με διαφορετικό τρόπο. Θέλουμε λοιπόν να εξασφαλίσουμε ένα τρόπο με τον οποίο θα μεταφέρουμε και αυτά τα χαρακτηριστικά. Η λύση προφανώς θα είναι η χρήση αυτών των δύο μεταβλητών που αναφέραμε παραπάνω.

Ένα πολύ συχνό φαινόμενο που παρατηρούμε στα σώματα μας είναι στα άκρα τους. Ενώ εκ πρώτης βλέπουμε ότι βρίσκονται στην ίδια πόζα και οι δύο χαρακτήρες

παρόλα αυτά υπάρχουν μικρές διαφορές όπως. Έτσι λοιπόν λόγω αυτών των μικρών διαφορών θα υπολογίσουμε της δύο μας μεταβλητές, περιστροφή και κατεύθυνση, βασιζόμενοι στα βάρη και της έμβαρες κορυφές του κάθε κόκαλου. Θα υλοποιήσουμε ένα αλγόριθμο (4.1) ο οποίος θα επισκέπτεται επαναληπτικά κάθε κόκαλο και θα εκτελεί μία σειρά από υπολογισμούς διατηρώντας και την ιεραρχία τους ξεκινώντας πάντα από την ρίζα. Ο αλγόριθμος μας θα καλείται αναδρομικά μέχρι να επισκεφθεί όλα τα κόκαλα του σκελετού μας και με τον τερματισμό του θα έχει ολοκληρωθεί και όλη η διαδικασία της μεταφοράς μας.

Ας ξεκινήσουμε όμως να δούμε τα βήματα που θα εκτελεί το κάθε κόκαλο μέσα στον αλγόριθμο μας. Σε κάθε βήμα θα παίρνουμε σαν είσοδο και ένα διαφορετικό κόκαλο ξεκινώντας πάντα από την ρίζα. Σε κάθε επανάληψη επίσης το επόμενο κόκαλο που θα έχει σειρά θα είναι το παιδί αυτού που εκτελείται και όχι με τυχαίο τρόπο. Αν και μιλάμε πλέον για έναν νέο σκελετό του στόχου μας παρόλα αυτά η ιεραρχία διατηρείται με αποτέλεσμα οι σχέσεις γονέα παιδιού να είναι οι ίδιες. Προχωράμε λοιπόν μετά από την επιλογή του κόκαλου στο πρώτο μας βήμα. Εδώ θα αντιγραφεί η κατεύθυνση από την πηγή στο στόχο αυτούσια χωρίς κάποια επεξεργασία. Την κατεύθυνση θα την ορίζουμε σαν ένα σημείο με τρεις συντεταγμένες  $(x,y,z)$  την οποία την έχουμε μέσα από το αρχείο biovision. Στην συνέχεια λοιπόν προχωράμε και επιθυμούμε να επιλέξουμε όλες εκείνες της κορυφές τις οποίες επηρεάζει το κόκαλο μας. Προφανώς, θα δουλέψουμε με την νέα μας πηγή μετά την γεωμετρική μας αντιστοίχιση και έτσι μετά από αυτό το βήμα θα έχουμε ένα σύνολο από κορυφές. Πάμε έτσι στο βήμα τρία όπου θα πάρουμε κάθε μία από της παραπάνω επιλεγμένες κορυφές και θα της περιστρέψουμε με βάση τον πίνακα περιστροφής του πατέρα. Έτσι λοιπόν θα δημιουργήσω ένα νέο σύνολο από κορυφές που θα είναι οι παλιές μου μετά την περιστροφή του. Να τονίσουμε εδώ πως ο πίνακας περιστροφής υπάρχει στην δομή μας σύμφωνα με την προηγούμενη ενότητα μας.

Συνεχίζουμε λοιπόν στο τέταρτο μας βήμα όπου θα προσπαθήσουμε να κατασκευάσουμε έναν πίνακα σφαιρικής περιστροφής. Για κάθε μία από της κορυφές του νέου μας συνόλου θα τις συνδέσω με της κορυφές που προέκυψαν από την περιστροφή και έτσι θα δημιουργήσω έναν νέο πίνακα περιστροφής. Ο πίνακας αυτός θα προσπαθεί να ευθυγραμμίζει την κάθε νέα κορυφή μου με την αντίστοιχη κορυφή που υπάρχει στην πηγή μου. Με αυτόν τον πίνακα θα προχωρήσουμε στο βήμα πέντε και στο οποίο θα ορίσουμε τον νέο πίνακα περιστροφής για το κόκαλο μας

ως το γινόμενο του νέου πίνακα από το βήμα τέσσερα και αυτού που ήδη είχαμε. Στα τρία τελευταία μας βήματα ουσιαστικά υλοποιούμε την αναδρομή μας. Έτσι για κάθε παιδί που έχει το κόκαλο μας ορίζουμε ένα νέο πίνακα περιστροφής και ξανά εκτελούμε όλη την παραπάνω διαδικασία επαναληπτικά. Με αυτόν τον τρόπο θα διασχίσουμε όλη την ιεραρχία και μετά από ένα πεπερασμένο πλήθος από βήματα ο νέος μας σκελετός θα είναι έτοιμος. Έτσι για κάθε νέο κόκαλο του στόχου μας θα έχουμε και την περιστροφή του και την κατεύθυνση του αλλά και της νέες του συντεταγμένες. Παρακάτω λοιπόν θα δούμε τον ψευδοκώδικα που υλοποιεί την παραπάνω διαδικασία (Αλγόριθμος 4.1).

---

#### Αλγόριθμος 4.1 Μεταφορά Περιστροφής και Κατεύθυνσης.

---

**Require:** ( $J_{rootS}$ ,  $J_{rootT}$ , *identityMatrix*)

- 1:  $J_{iT}.orient = J_{iS}.orient$
  - 2:  $p_{iT} = GeometricCorresp(v_{iS}|w(v_{iS}J_{iS}) > 0)$
  - 3:  $p'_{iT} = Rotate(p_{iT}, parentTransf)$
  - 4:  $globalRot = BestROt(p'_{iT}, v_{iS}|w(v_{iS}J_{iS}) > 0)$
  - 5:  $J_{iT}\Delta_{rot} = J_{iS}.globalToLocalMatrix * globalRot$
  - 6: *foreach*  $child_S.children$ ;  $child_T \in J_{iT}.children$  *do*
  - 7:      $inverseRot = parentTransf * Rotation(-\Delta_{rot})$
  - 8:     *TransferJoint*( $child_S, child_T, inverseRot$ )
  - 9: *end*
- 

### 4.3 Αποτελέσματα και Ιδιαιτερότητες

Στο τελικό στάδιο που έχει αναλυθεί όλος ο αλγόριθμος μας θα αναφέρουμε κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να προσέξει ο χρήστης για να έχει το αποτέλεσμα που επιθυμεί. Το πρώτο και πιο σημαντικό κομμάτι είναι να γίνει εισαγωγή του σωστού αρχείου biovision ώστε να μπορούμε να εξάγουμε την απαραίτητη πληροφορία μας που είναι η ιεραρχία. Από την άλλη το τελικό μας αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί σε ένα νέο αρχείο ίδιου τύπου ώστε να είναι έτοιμο προς χρήση. Θα πρέπει παρόλα αυτά ο χρήστης να εισάγει και το κατάλληλο αρχείο που περιέχει και το δέρμα της πηγής (collada) διότι μας είναι απαραίτητη η πληροφορία για τα βάρη στην μεταφορά του σκελετού όπως είδαμε και παραπάνω. Έχοντας λοιπόν όλα τα απαραίτητα αρχεία μπορούμε να ξεκινήσουμε τη διαδικα-

σία της μεταφοράς του σκελετού σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση θα πρέπει να καθορίσουμε και εδώ τρεις μεταβλητές  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  οι οποίες χρησιμοποιούνται στην βελτιστοποίηση μας και καθορίζουν πόσος σημαντικός είναι ο κάθε παράγοντας. Το αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης μας δίνει τα ελάχιστα βάρη τα οποία καθορίζουν της νέες μας αρθρώσεις και το σημαντικό εδώ είναι πως θα πρέπει υποχρεωτικά να αθροίζουν στο ένα. Τέλος, θα πρέπει μετά την ολοκλήρωση αυτού του κομματιού να αποφασίσει ο χρήστης αν θα θέλει να προχωρήσει στο τελικό στάδιο και την μεταφορά του δέρματος (Κεφάλαιο 6) ή να σταματήσει εδώ. Παρακάτω λοιπόν (Αλγόριθμος 4.2) θα δούμε σε επιμέρους βήματα τη διαδικασία όλης της μεταφοράς του σκελετού.

---

**Αλγόριθμος 4.2** Υπολογισμός της Μεταφοράς Σκελετού.

---

**Require:** *The biovision file*

**Ensure:** *Files Also the collada file for the weights*

- 1: *Input Data(bvh, collada)*
  - 2: *Joint Position Retargeting*
  - 3: *Compute Bones of Source*
  - 4: *Compute the Objective Function*
  - 5: *L – BFGS Optimization*
  - 6: *Export Bones for Target*
  - 7: *End*
  - 8: *Joint Orientation and Rotation*
  - 9: *Compute the Algorithm(4.1)*
  - 10: *Final Models( $B_S, B_T$ )*
  - 11: *End*
  - 12: *Save Final Hierarchy*
-

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

## ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΕΡΜΑΤΟΣ

---

### 5.1 Σχεδίαση Αλγορίθμου

### 5.2 Τεχνικές Υλοποίησης Μεταφοράς Δέρματος

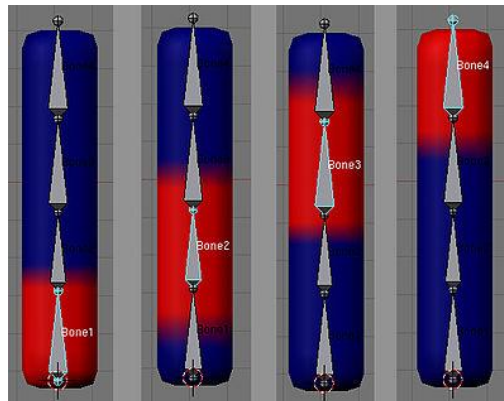
---

### 5.1 Σχεδίαση Αλγορίθμου

Το τελευταίο βήμα στην συνολική μεταφορά της κίνησης είναι η μεταφορά του δέρματος. Ένας χαρακτήρας ο οποίος έχει γεωμετρία και σκελετό είναι αδύνατον να μπορέσει να κινηθεί χωρίς το δέρμα. Ο σκελετός και το σώμα είναι δύο ξεχωριστά κομμάτια και σκοπός μας είναι να βρούμε ένα τρόπο να τα ενώσουμε. Ο τρόπος αυτός είναι το δέρμα. Ο όρος δέρμα αντιπροσωπεύει τον τρόπο με τον οποίο ο σκελετός θα επηρεάζει και θα παραμορφώνει το σώμα μας με την κίνηση του. Και σε αυτό το κομμάτι υπάρχουν δύο ειδών τρόποι να έχουμε το δέρμα που θέλουμε. Ο πρώτος τρόπος είναι να σχεδιάσουμε εμείς το δέρμα πάνω στο χαρακτήρα μας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση ενός σχεδιαστικού προγράμματος και ακολουθώντας μία καθορισμένη τεχνική. Στόχος μας είναι να καθορίσουμε το πόσο κάθε κορυφή θα επηρεάζεται από ένα κόκαλο σε κάθε μετασχηματισμό του. Μία τέτοια σχεδίαση φαίνεται στο σχήμα (5.1). Έτσι λοιπόν μπορούμε να πούμε πως το δέρμα είναι το άθροισμα από κάθε βάρος που θα δώσουμε στις κορυφές μας σε



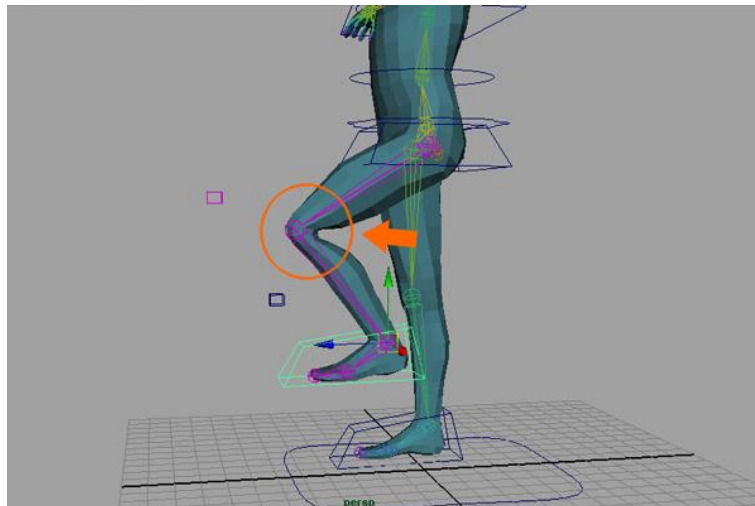
όλη τη διαδικασία της κίνησης μας. Το κάθε βάρος είναι ένας αριθμός που αν είναι διαφορετικός από το μηδέν μας δείχνει το ποσοστό που η συγκεκριμένη κορυφή θα επηρεαστεί και θα παραμορφωθεί όταν κινηθεί το κόκαλο που της αντιστοιχεί. Από την άλλη αν είναι μηδέν σημαίνει πως θα παραμένει σταθερή και ως κινείται το κόκαλο. Έτσι λοιπόν καταλαβαίνουμε πως μπορούμε να ορίσουμε εμείς πως θα επιθυμούμε να κινήσουμε το σώμα μας και να πετύχουμε κινήσεις όπως είναι ο χαιρετισμός ή και άλλες τέτοιες που απαιτούν την κίνηση μόνο ενός μέρους από το σώμα μας.



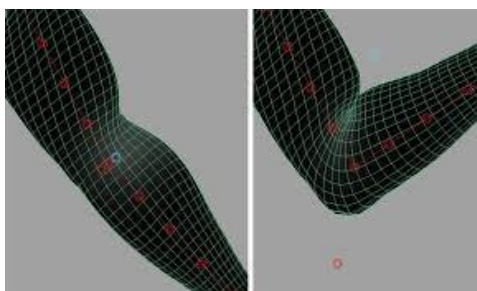
Σχήμα 5.1: Δημιουργία Δέρματος.

Στο τέλος λοιπόν της διαδικασίας αυτής έχουμε έναν έτοιμο σκελετό ο οποίος μπορεί πλέον να κινηθεί όπως επιθυμούμε εικόνα (5.2). Από την άλλη πλευρά μπορούμε να αποφύγουμε τη διαδικασία και να μεταφέρουμε το δέρμα από την πηγή μας στο στόχο. Η μεταφορά αυτή θα γίνει σε ένα βήμα και το αποτέλεσμα που θα έχουμε είναι ο νέος μας χαρακτήρας να συμπεριφέρεται όπως και ο παλιός. Για την μεταφορά του δέρματος θα εφαρμόσουμε έναν αλγόριθμο ο οποίος θα υλοποιήσει το γνωστό 'blending'. Η διαδικασία αυτή προσπαθεί να παράγει βάρη ή αλλιώς να δημιουργήσει δέρμα λαμβάνοντας υπόψιν του τις κορυφές από το σώμα μας, και τον βαθμό αλλά και το πλήθος των κοκάλων από τα οποία επηρεάζονται. Με αυτόν τον τρόπο παράγει ένα συνολικό βάρος αντιπροσωπευτικό για κάθε κορυφή το οποίο λαμβάνει υπόψιν του όλα τα κόκαλα που το επηρεάζουν. Ο λόγος που

θέλουμε κάτι τέτοιο είναι γιατί υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες ενώ προσπαθούμε να υλοποιήσουμε μία κίνηση παρατηρούμε ότι το σώμα παραμορφώνεται με έναν τρόπο ο οποίος δεν μας δίνει το φυσιολογικό αποτέλεσμα για μας. Τέτοιες περιπτώσεις είναι για παράδειγμα η διάφορες πτυχώσεις που θα υπάρχουν κατά την περιστροφή ενός χεριού για παράδειγμα όπως φαίνεται στην εικόνα 5.2. Κατανοούμε λοιπόν πως θα πρέπει να μεταφέρουμε το δέρμα μας προσεκτικά πάνω στις νέες μας κορυφές που έχουν προκύψει από την γεωμετρική μας αντιστοίχιση και να υλοποιήσουμε την μέθοδο 'blending' στο νέο μας σώμα. Ο λόγος που επαναλαμβάνουμε αυτήν τη διαδικασία είναι διότι παρόλο που υπάρχει η αντιστοιχία από το πρώτο βήμα τώρα έχουμε να χειριστούμε ένα νέο σώμα και να θα πρέπει να ανακαλύψουμε εδώ πως θα αποφύγουμε την ανεπιθύμητες παραμορφώσεις. Την ανάλυση του αλγορίθμου μας αυτού θα την δούμε στην επόμενη μας ενότητα (5.2).



Σχήμα 5.2: Παραμόρφωση Κατά την Κίνηση



Σχήμα 5.3: Μετασχηματισμοί Κατά την Κίνηση.

## 5.2 Τεχνικές Υλοποίησης Μεταφοράς Δέρματος

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα εστιάσουμε την προσοχή μας στο πιο σημαντικό κομμάτι για την κίνηση ενός χαρακτήρα. Θέλουμε να υπολογίσουμε ένα νέο βάρος από την αρχή για τον στόχο μας με σκοπό να ταιριάζει πάνω του από την μία, αλλά και να διατηρεί τα χαρακτηριστικά της πηγής μας. Θα προσπαθήσουμε λοιπόν βήμα, βήμα να μεταφέρουμε για κάθε κορυφή της πηγής μας το δικό της βάρος. Στην διαδικασία αυτή θα παρατηρήσουμε μερικά προβλήματα που θα αντιμετωπίσουμε. Το πρώτο πράγμα για το οποίο θα μιλήσουμε αφορά την μορφολογία και δομή των χαρακτήρων μας. Όπως έχουμε πει το κάθε βάρος προσδιορίζει τον βαθμό που θα μετασχηματιστεί από το κόκαλο που την επηρεάζει η εκάστοτε κορυφή. Βλέπουμε λοιπόν πως τα βάρη έχουν άμεση σχέση με της κορυφές με αποτέλεσμα ορισμένες φορές ένας απλός επαναπροσδιορισμός να μην μας είναι αρκετός. Μπορούμε λοιπόν να διακρίνουμε δύο τρόπους μεταφοράς του δέρματος μας. Ο πρώτος τρόπος αφορά τους χαρακτήρες οι οποίοι είπαμε πως θα έχουν κοινή μορφολογία. Με άλλα λόγια τέτοιοι χαρακτήρες θα είναι συνήθως όμοιοι στην 'εξωτερική' τους εμφάνιση ή θα έχουν την ίδια ανάλυση στο σώμα τους. Έτσι λοιπόν χαρακτήρες οι οποίοι θα μοιάζουν σύμφωνα με τα παραπάνω μας χαρακτηριστικά και ιδιαίτερα αν ο  $M_S$

είναι πιο λεπτομερείς από το πούμε από τον  $M_T$  τότε μπορούμε να προσεγγίσουμε τα βάρη τους με μία γραμμική παρεμβολή.

Βλέπουμε λοιπόν ότι στην απλή μας περίπτωση μπορούμε να υπολογίσουμε για τον στόχο μας το κάθε του βάρος ως τον βαρυκεντρικό συνδυασμό των βαρών που έχουμε ήδη υπολογίσει από το προηγούμενο βήμα μας (Κεφάλαιο 4). Θα μπορούσαμε να ορίσουμε την παραπάνω σχέση με τον εξής τύπο (Σχέση 5.1):

$$w_i^{blend} = \beta_a w_{aS} + \beta_b w_{bS} + \beta_c w_{cS} \quad (5.1)$$

όπου τα a,b,c αναφέρονται στις εκάστοτε κορυφές της πηγής μας ,ενώ τα  $\beta_a, \beta_b$  και  $\beta_c$  είναι οι βαρυκεντρικές συντεταγμένες μας.

Υπάρχουν τώρα και πολλές περιπτώσεις στις οποίες οι χαρακτήρες μας είτε διαφέρουν πάρα πολύ σε μορφή, είτε σε τοπολογία. Ακόμα πιο συχνά θα δούμε πως θα διαφέρουν και σε μέγεθος. Με την λέξη μέγεθος εννοούμε πλήθος ακμών και κορυφών. Στην περίπτωση που ο στόχος μας έχει μικρότερο μέγεθος είμαστε καλυμμένοι και μπορούμε να κάνουμε έναν απλό επαναπροσδιορισμό. Αν τώρα μας συμβεί το αντίθετο, και το μέγεθος του στόχου μας είναι μικρότερο, θα δούμε πως δεν θα μπορούμε να παράγουμε τόσα βάρη όσα μας είναι απαραίτητα και έτσι το αποτέλεσμα μας θα είναι κακό. Θα υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες δεν θα μπορούμε να καλύψουμε το σώμα μας όλο με δέρμα και έτσι θα παρατηρήσουμε πως στις κινήσεις του θα υπάρχουν κενά η περίεργες πτυχώσεις. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να βρούμε μία δραστική λύση, χωρίς όμως να παρέμβουμε στον τρόπο με τον οποίο είναι σχεδιασμένα τα βάρη για να κινούν το χαρακτήρα μας. Η καλύτερη λοιπόν προσέγγιση στο πρόβλημα μας είναι η μέθοδος του φιλτραρίσματος την οποία θα αναλύσουμε στην ενότητα (5.2.1)

### 5.2.1 Επαναπροσδιορισμός Νέου Δέρματος

Στην ενότητα λοιπόν αυτή θα εστιάσουμε την προσοχή μας στο κομμάτι της διαδικασίας φιλτραρίσματος. Είδαμε πως σε μεγάλες διαφορές είτε στην τοπολογία είτε και στο μέγεθος έχουμε να αντιμετωπίσουμε προβλήματα αλλοίωσης του τελικού μας αποτελέσματος. Πρέπει λοιπόν πρώτα να βρούμε έναν τρόπο να ανιχνεύουμε το πρόβλημα μας, και έναν τρόπο να το επιλύσουμε. Στο κομμάτι λοιπόν της ανίχνευσης, μία καλή προσέγγιση είναι να συγκρίνουμε το πλήθος των πολυγώνων σε κάθε μας χαρακτήρα. Ο λόγος που κάτι τέτοιο θα μας είναι χρήσιμο, είναι διότι έχουμε

αναφέρει πως τα πολύγωνα τόσο σε πλήθος όσο και σε σχήμα (τρίγωνα τετράγωνα κλπ) μας προσδιορίζουν την γεωμετρία του χαρακτήρα μας. Έτσι γνωρίζοντας την γεωμετρία του θα μπορούσαμε να προβλέψουμε της διαφορές των χαρακτήρων μας στην τοπολογία τους. Πάλι αυτή η δυνατότητα της σύγκρισης προκύπτει μέσα από την γεωμετρική μας αντιστοίχιση κατά την οποία προσπαθήσαμε να δημιουργήσουμε όμοιες γεωμετρίες. Βλέπουμε λοιπόν πως ακόμα και σε αυτό το βήμα μας προαπαιτούμενο είναι η γεωμετρική αντιστοίχιση.

Αν λοιπόν έχουμε καταλήξει στο συμπέρασμα πως υπάρχει πρόβλημα και πρέπει να ξεκινήσει η διαδικασία του φιλτραρίσματος, με την οποία θα ακολουθήσουμε τα παρακάτω βήματα. Όλη μας η λύση θα δούμε πως θα βασιστεί σε έναν αλγόριθμο ο οποίος με τον τερματισμό του θα έχει παράγει τα κατάλληλα βάρη για της κορυφές που χρειαζόμαστε (Αλγόριθμος 5.1). Παρακάτω λοιπόν βλέπουμε τον αλγόριθμό μας και στην συνέχεια θα αναλύσουμε το κάθε βήμα εκτέλεσης του μέχρι το τελικό αποτέλεσμα.

---

#### Αλγόριθμος 5.1 Διαδικασία Φιλτραρίσματος Κορυφών.

---

```

1:  $w_i^{blend} = \beta_\alpha w_{\alpha S} + \beta_b w_{bS} + \beta_c w_{cS}$ 
2: if  $VA^{blend} < VA(v_{iT})$  then
3:    $Sel =$ 
4:    $Sum = VA^{blend}$ 
5:    $Next = v_{\alpha S}, v_{bS}, v_{cS}$ 
6:    $VA_{Next} = \sum_{v_{kS} \in Next} VA(v_{kS})$ 
7:   while  $Sum + VA_{Next} < VA(v_{iT})$  do
8:      $Sel = Sel \cup Next$ 
9:      $Sum = Sum + VA(v_{Next}$ 
10:     $Next = vertices \text{ from next ring of neighbors}$ 
11:     $VA(v_{Next} = \sum_{v_{kS} \in Next} VA(v_{kS})$ 
12:   end while
13: end if

```

---

Στο πρώτο λοιπόν βήμα βλέπουμε πως υπολογίζει για κάθε μία κορυφή, ποία είναι η Voronoi περιοχή της, με την βοήθεια των βαρυκεντρικών συντεταγμένων. Έτσι στο επόμενο βήμα θα συγκρίνει την περιοχή που βρήκε με την αντίστοιχη περιοχή του στόχου μας και θα δει ποια είναι μεγαλύτερη. Προφανώς, και αν είναι της πηγής μας τότε θα κάνουμε φιλτράρισμα αλλιώς απλά προχωράμε στην επόμενη

μας κορυφή. Βλέπουμε αμέσως ότι ο στόχος του στα πρώτα κιόλας βήματα, είναι να ανιχνεύσει την διαφορά στο μέγεθος του στόχου και της πηγής. Οι Vronoi περιοχές μας βοηθάνε αρκετά σε όλη την διαδικασία που ακολουθούμε διότι μας επιτρέπουν να ελέγχουμε της γειτονιές αν θα μπορούσαμε να το πούμε και έτσι, και να βλέπουμε πως ταιριάζουν μεταξύ τους απόλυτα οι ακμές ή αν κάποια περισσεύει, ώστε να πάρουμε την σωστή απόφαση.

Στην περίπτωση λοιπόν που ανιχνεύσαμε το λάθος μας προχωράμε στα επόμενα βήματα. Αν λοιπόν η περιοχή του στόχου μας είναι μεγαλύτερη από της πηγής μας, έχουμε άμεσα βρει και της ακμές που μας περισσεύουν. Η κάθε περιοχή ορίζεται από πλήθος ακμών και κορυφών. Αν λοιπόν η μία περιοχή με το ίδιο πλήθος κορυφών έχει περισσότερες ακμές, άμεσα μπορούμε να βρούμε και ποιες είναι οι ακμές που περισσεύουν. Οι ακμές λοιπόν οι οποίες περισσεύουν μπαίνουν σε ένα σύνολο (Select), ταυτόχρονα όμως με αυτό θα αποθηκεύουμε και της περιοχές από της οποίες της βρήκαμε. Στόχο μας θα δούμε πως είναι να φτιάξουμε ένα σύνολο κορυφών μεγαλύτερο από την περιοχή του στόχου μας. Όταν φτάσουμε σε εκείνο το επίπεδο θα μπορούμε να πούμε πως θα ισχύουν η μία από της δύο παρακάτω σχέσεις (5.2 Και 5.3)

$$VA^{blend} + \sum_{v_{jS} \in Sel} VA(v_{jS}) < VA(v_{iT}) \quad (5.2)$$

$$VA^{blend} + \sum_{v_{jS} \in Sel} VA(v_{jS}) + \sum_{v_{kS} \in Next} VA(v_{kS}) \geq VA(v_{iT}) \quad (5.3)$$

Αν θα μπορούσαμε λοιπόν να συνοψίσουμε την ιδέα που προσπαθεί να υλοποιηθεί ο αλγόριθμός μας θα ήταν ως εξής. Προσπαθούμε για κάθε κορυφή της πηγής, η οποία έχει περισσότερες ακμές στον στόχο μας να δημιουργήσουμε ένα νέο σύνολο από ακμές πηγής με σκοπό οι δύο αυτές περιοχές να είναι ίσες, ή η πηγή να έχει μεγαλύτερη περιοχή από τον στόχο μας. Ο τρόπος με τον οποίο το πετυχαίνουμε αυτό είναι με την επαναληπτική επίσκεψη σε κάθε κορυφή και την προσθήκη σε ένα αρχικά κενό σύνολο, όλων των περιττών ακμών μέχρι να πετύχουμε τον παραπάνω μας στόχο. Όλη αυτή η διαδικασία γίνεται επαναληπτικά για κάθε περιοχή που έχουμε ανιχνεύσει με πρόβλημα.

Με τον τερματισμό λοιπόν της εύρεσης των σωστών περιοχών, είναι η ώρα να προσδιορίσουμε και τα κατάλληλα βάρη. Έτσι λοιπόν το κάθε βάρος για τον στόχο μας θα υπολογίζεται σε συνδυασμό τώρα με την περιοχή που του έχουμε ορίσει να

ανήκει. Με άλλα λόγια το κάθε βάρος θα ορίζεται ως :

$$\begin{aligned}
w_{iT}VA(v_{iT}) = & w_i^{blend}VA^{blend} \\
& + \sum_{v_{jS} \in Sel} w_s(v_{jS})VA(v_{jS}) \\
& + \sum_{v_{kS} \in Next} w_s(v_{kS})VA(v_{kS}) \left( \frac{VA(v_{iT}) - VA^{blend} - VA_{Sel}}{VA_{Next}} \right)
\end{aligned}$$

Όπου το  $VA_{Sel}$  θα υπολογίζεται ως:

$$VA_{Sel} = \sum_{v_{jS} \in Sel} VA(v_{jS}) \quad (5.4)$$

Ενώ το  $VA_{Next}$  θα ακολουθεί τον εξής τύπο:

$$VA_{Next} = \sum_{v_{kS} \in Next} VA(v_{kS}) \quad (5.5)$$

Τέλος, λοιπόν αν υποθέσουμε ότι έχουμε τον σκελετό του στόχου μας έτοιμο, για κάθε κόκαλο του, η κάθε κορυφή που θα επηρεάζει θα αποθηκεύει πάνω της τα βάρη. Το κάθε βάρος θα περιγράφει όπως περιμέναμε το ποσοστό που αυτή η κορυφή θα επηρεάζεται από το κόκαλο και κατά συνέπεια τον βαθμό που θα μετασχηματίζεται κατά την κίνηση. Αν τώρα θέλουμε να περιορίσουμε κάθε λάθος από τον παραπάνω αλγόριθμο ή μη επιτρεπτούς μετασχηματισμούς θα πρέπει να κανονικοποιήσουμε τα βάρη. Με άλλα λόγια, το άθροισμα των βαρών για το κάθε κόκαλο θα πρέπει να αθροίζει στο ένα (Σχέση 5.4).

$$\sum_{l=1}^n w_{Jl} = 1 \quad (5.6)$$

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας μεταφοράς του δέρματος, έχουμε κάνει κάθε υπολογισμό που θα θέλαμε για τον τελικό μας χαρακτήρα. Σαν τελευταίο λοιπόν βήμα θα πρέπει όλους τους υπολογισμούς μας να τους αποθηκεύσουμε σε ένα τελικό αρχείο. Το αρχείο αυτό θα αποτελεί και το παραδοτέο αποτέλεσμα στον χρήστη μετά από ολόκληρη της μεταφοράς. Το αρχείο αυτό θα είναι ένα αρχείο collada [13]. Το αρχείο αυτό μπορεί να συνδυάζει γεωμετρία, σκελετό και δέρμα με αποτέλεσμα να μας παρέχει ολόκληρη την κίνηση. Χωρίζεται σε τέσσερις βασικές ενότητες που θα μας απασχολήσουν. Το πρώτο κομμάτι αφορά το κομμάτι της γεωμετρίας και στο οποίο θα μεταφέρουμε τα νέα μας δεδομένα. Θα βασιζόμαστε σε κάθε βήμα μας στο αντίστοιχο αρχείο collada της πηγής μας και θα δημιουργήσουμε

ένα νέο για τον στόχο μας. Έτσι θα βασιστούμε πάνω στην δομή που παρουσιάζει η γεωμετρία της πηγής μας και θα αντικαταστήσουμε σ' αυτήν της κορυφές και ακμές του νέου μας στόχου. Στην επόμενη ενότητα έχουμε τους χειριστές. Ο κάθε χειριστής ορίζεται από ένα σύνολο με κόκαλα, και ένα σύνολο με κορυφές και ορίζει την μεταξύ τους σχέση με την χρήση του δέρματος. Βλέπουμε λοιπόν πως εδώ εμείς θα κρατήσουμε όσους χειριστές έχει και η πηγή μας και θα αντικαταστήσουμε της νέες μας κορυφές καθώς και τα νέα μας βάρη. Στην συνέχεια υπάρχει η ενότητα της κίνησης. Στην ενότητα αυτήν υπάρχει για κάθε κόκαλο η πληροφορία για το πως μετασχηματίζεται σε ολόκληρη την κίνηση μας. Στο κομμάτι αυτό θα εισάγουμε τους νέους μας μετασχηματισμούς που υπολογίσαμε στο Κεφάλαιο (4). Η τελευταία ενότητα καθορίζει με την σειρά της, την σκηνή που θα εμφανίζεται στο χρήστη. Αν λοιπόν έχουμε όλες της παραπάνω ενότητες τροποποιημένες το τελευταίο μας κομμάτι δεν θα χρειαστεί καμία αλλαγή. Βλέπουμε λοιπόν πως μετά από μία επεξεργασία μπορούμε να παραδώσουμε στον χρήστη ένα τελικό αρχείο, έτοιμο για να το αξιοποιήσει όπως επιθυμεί.

Με το τελευταίο μας κομμάτι έχει ολοκληρωθεί και όλη η διαδικασία μεταφοράς του δέρματος μας. Ακόμα περισσότερο έχει ολοκληρωθεί και όλη η μεταφορά μας στο σύνολό της και έτσι τώρα ο χαρακτήρας μας είναι έτοιμος να κινηθεί, και να του εφαρμόσουμε οποιαδήποτε τεχνική με αποτέλεσμα πηγή και στόχος να συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

---

### 6.1 Πειράματα Στην Γεωμετρική Αντιστοίχιση

### 6.2 Πειράματα Στην Μεταφορά Σκελετού

### 6.3 Πειράματα Σε μία Ολοκληρωμένη Κίνηση

---

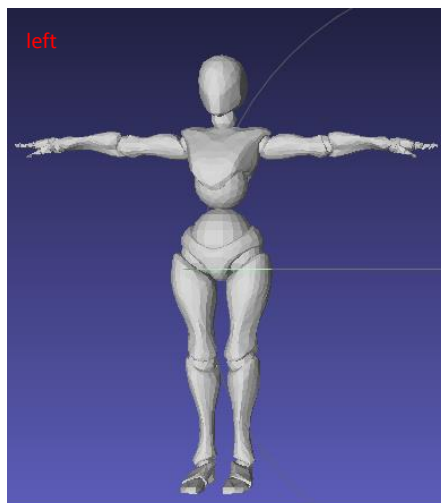
Στον τελικό βήμα της μεταπτυχιακής μας εργασίας θα ασχοληθούμε με τα πειράματα αλλά και της επιδόσεις που έχει ο αλγόριθμός μας. Θα μελετήσουμε ξεχωριστά το κάθε βήμα, και θα δούμε την απόδοσή του σαν εικονικό αποτέλεσμα αλλά και σαν χρόνο. Στο κομμάτι του χρόνου θα παρουσιάσουμε διαγράμματα με βάση το χρόνο που απαιτεί μία εκτέλεση με είσοδο διαφορετικούς χαρακτήρες. Θα ασχοληθούμε στην αρχή με απλούς και θα φτάσουμε μέχρι και στους πολύ ανόμοιους. Στην συνέχεια θα μελετήσουμε την επίδοση της μεταφοράς σκελετού. Εδώ θα ελέγξουμε την ικανότητα του αλγορίθμου μας να μεταφέρει τον σκελετό γρήγορα και αποδοτικά. Το τελευταίο μας κομμάτι θα είναι μερικά παραδείγματα συνολικής μεταφοράς γεωμετρίας, σκελετού αλλά και δέρματος. Θα δούμε λοιπόν το τρόπο με τον οποίο θα είναι επιτυχής η κίνηση μας σε καθένα από τα παραδείγματα μας. Ας ξεκινήσουμε λοιπόν με την γεωμετρική αντιστοίχιση (Ενότητα 6.1).

Έχουμε λοιπόν σχεδιάσει έναν αλγόριθμο σε C++ ο οποίος μέσα από τρεις επιμέρους λειτουργίες της οποίες αναλύσαμε μας δίνει το επιθυμητό μας αποτέλεσμα. Πιο συγκεκριμένα για τον αλγόριθμό μας χρησιμοποιήσαμε το προγραμματιστικό περιβάλλον Visual Studio 2012 ενώ από την άλλη τα πειράματα μας εκτελέσαμε

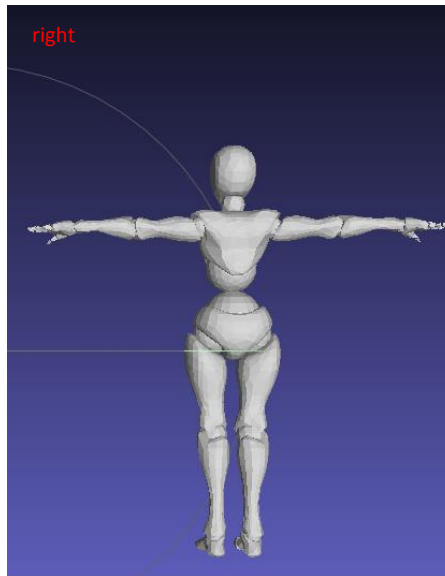
και είδαμε τα αποτελέσματα οπτικά με την βοήθεια του MeshLab αλλά και του Blender. Επίσης, έχουμε υλοποιήσει βοηθητικά κάποιους αλγορίθμους για εισαγωγή και εξαγωγή πληροφοριών για τα αρχεία (.obj , .bvh, .dae). Τέλος, για την καλύτερη εκτέλεση του προγράμματος μας κάναμε χρήση δύο βιβλιοθηκών που μας παρείχαν την υλοποίηση της SVD αποσύνθεσης αλλά και του αλγορίθμου BFGS για την βελτιστοποίηση μας [12].

## 6.1 Πειράματα Στην Γεωμετρική Αντιστοίχιση

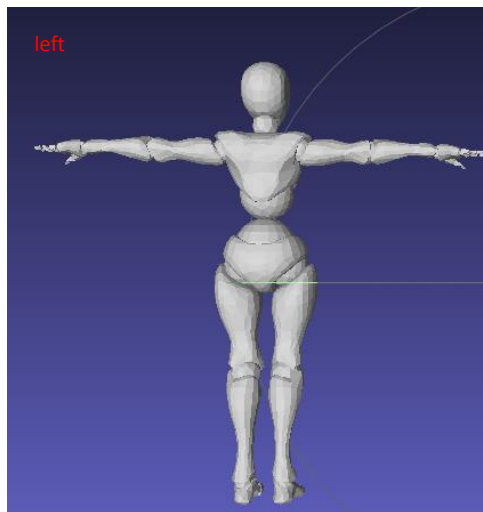
Πρώτο Πείραμα: Εισαγωγή της πηγής (κορυφές =3243 και πολύγωνα=6138) Σχήμα 6.1. Εισαγωγή του στόχου (κορυφές =3243 και πολύγωνα=6138) Σχήμα 6.2. Τελικό αποτέλεσμα ευθυγράμμισης (κορυφές =3243 και πολύγωνα=6138) Σχήμα 6.3.



Σχήμα 6.1: Πηγή.

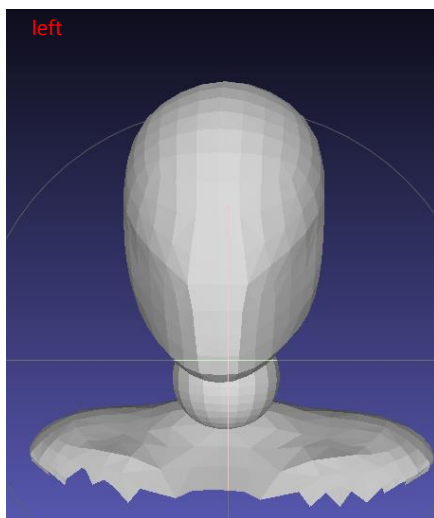


Σχήμα 6.2: Στόχος.

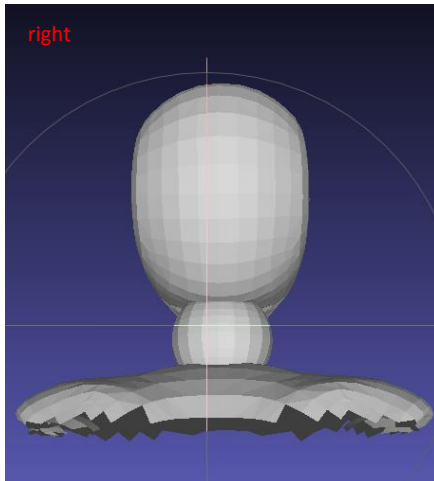


Σχήμα 6.3: Αποτέλεσμα Ευθυγράμμισης.

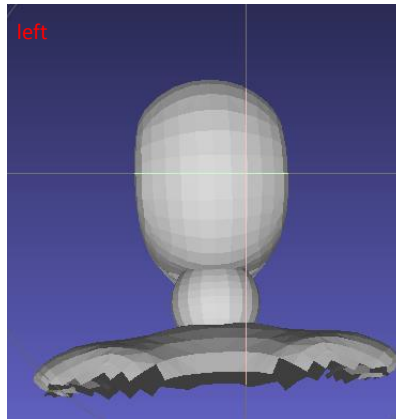
Δεύτερο Πείραμα: Εισαγωγή της πηγής (κορυφές =1391 και πολύγωνα=2621)  
Σχήμα 6.4. Εισαγωγή του στόχου (κορυφές =1391 και πολύγωνα=2621) Σχημα 6.5.  
Τελικό αποτέλεσμα ευθυγράμμισης (κορυφές =1391 και πολύγωνα=2621) Σχήμα 6.6.



Σχήμα 6.4: Πηγή.

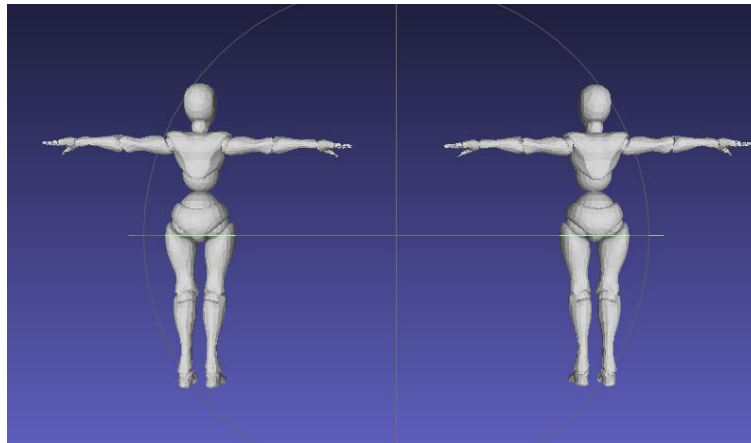


Σχήμα 6.5: Στόχος.

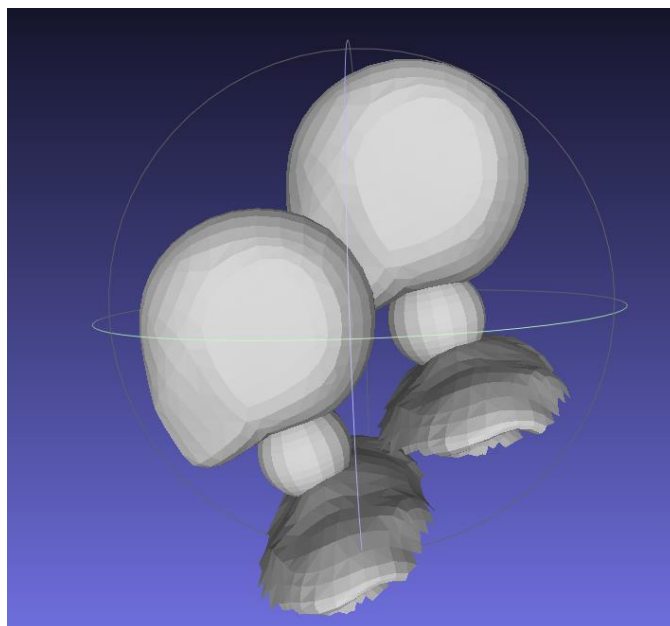


Σχήμα 6.6: Αποτέλεσμα Ευθυγράμμισης.

Στον τελικό βήμα τα νέα μας αποτελέσματα δηλαδή πηγή και χρήστης θα είναι τα σχήματα 6.7 και 6.8:

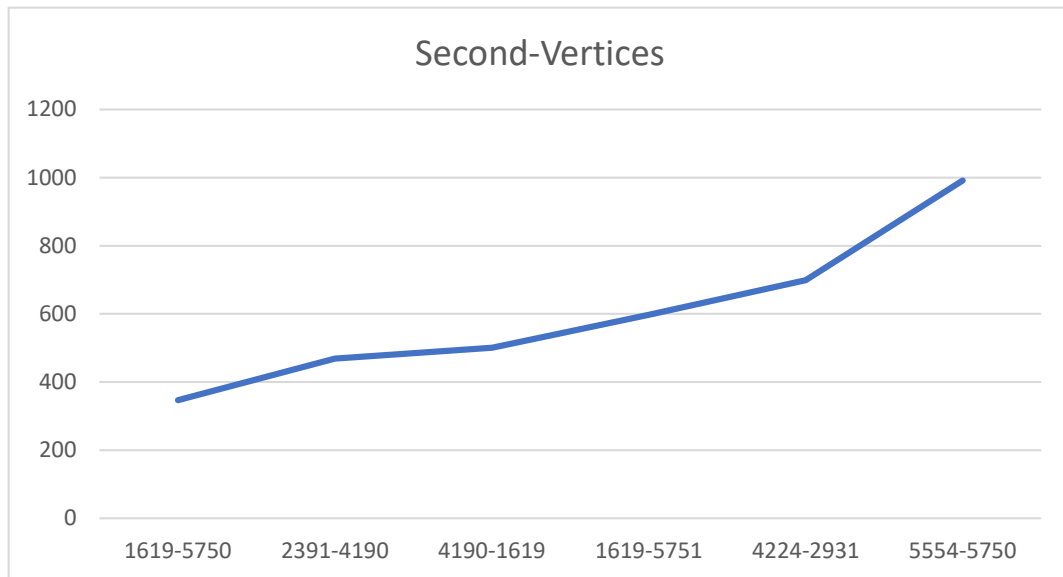


Σχήμα 6.7: Τελικο αποτέλεσμα πείραμα 1.



Σχήμα 6.8: Τελικο αποτέλεσμα πείραμα 2.

Είδαμε λοιπόν μέσα από τρία χαρακτηριστικά παραδείγματα την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου μας να μεταφέρει την γεωμετρία με επιτυχία και να μας δίνει στο αποτέλεσμα του, δύο χαρακτήρες με την ίδια γεωμετρία και μορφή χωρίς την αλλοίωση ή παραμόρφωση των μοντέλων μας. Εμείς φυσικά υλοποιήσαμε παραπάνω από τρία παραδείγματα με σκοπό την σίγουρη επιτυχία μας. Χρησιμοποιήσαμε εδώ λοιπόν, τα πιο χαρακτηριστικά όπως είναι το πρώτο το οποίο μας δίνει αποτέλεσμα σε όμοιες τοπολογίες στις οποίες πάνω έχουμε εφαρμόσει μετασχηματισμούς. Στο δεύτερο παράδειγμα είδαμε πως παίρνουμε αποτέλεσμα και στην λεπτομέρεια πάνω, με την χρήση ενός προσώπου. Στο τελευταίο μας παράδειγμα χρησιμοποιήσαμε και δύο τελείως ανόμοιους χαρακτήρες, που θα είναι και το πιο σύννηθες στην πράξη. Μπορούμε λοιπόν τώρα να παρουσιάσουμε και ένα διάγραμμα που θα μας δώσει να καταλάβουμε και την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου μας σε σχέση με το χρόνο. Έτσι λοιπόν εκτελέσαμε πειράματα για επτά διαφορετικού μεγέθους χαρακτήρες ώστε να δούμε τον χρόνο που χρειάστηκε η κάθε επανάληψη. Παρακάτω λοιπόν θα δούμε την ποσοτική απόδοση του αλγορίθμου μας.



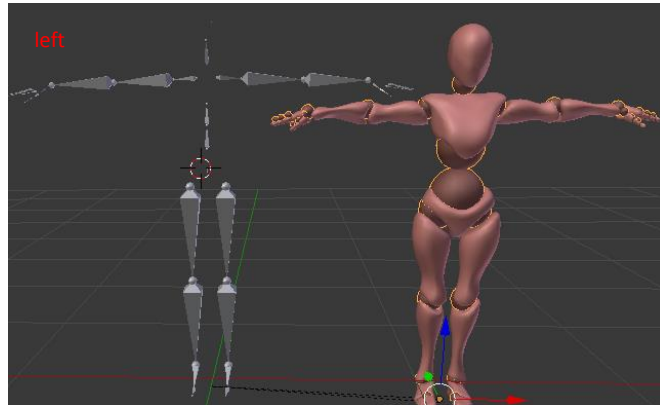
Σχήμα 6.9: Διάγραμμα Χρόνου-Κορυφών.

Βλέπουμε λοιπόν πως στην μία στήλη έχουμε τον χρόνο σε δευτερόλεπτα και στην άλλη στήλη είναι τα ζεύγη κορυφών πηγής και στόχου. Μπορούμε να παρατηρήσουμε λοιπόν πως ο χρόνος αυξάνει γραμμικά όσο μεγαλώνει το πλήθος των κορυφών. Όσο πιο πολλές κορυφές έχουν οι χαρακτήρες μας τόσο πιο πολύ χρόνο απαιτεί η διαδικασία μας για να παράγει αποτέλεσμα.

## 6.2 Πειράματα Στην Μεταφορά Σκελετού

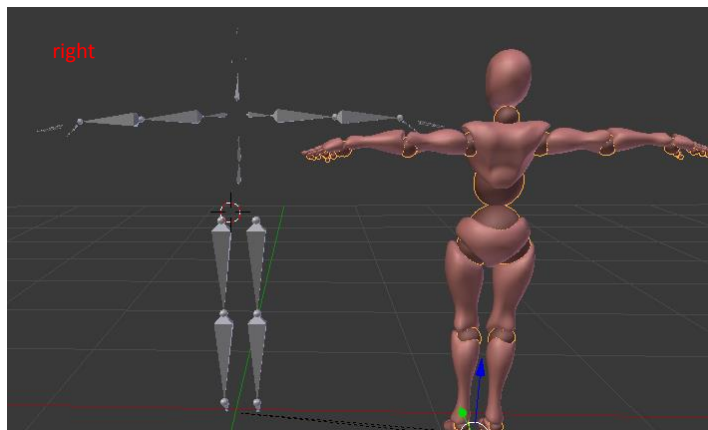
Συνεχίζουμε λοιπόν στο σκελετό μας εδώ θα δούμε κάποιες χαρακτηριστικές μεταφορές. Δεν μπορούμε μόνο από τον σκελετό να εξάγουμε συμπεράσματα για την ορθότητα του. Μπορούμε μόνο να παρατηρήσουμε πως μεταφέρετε σαν δομή και ότι διατηρεί την σωστή ιεραρχία του. Το κομμάτι της λειτουργικότητάς του θα εξεταστεί στα τελικά μας πειράματα.

Στο πρώτο μας πείραμα βλέπουμε τον σκελετό που έχει η πηγή μας 6.10



Σχήμα 6.10: Ο αρχικός μας σκελετός.

Καθώς εδώ θα δούμε το αποτέλεσμα της μεταφοράς στον στόχο μας, ο οποίος έχει προκύψει από την γεωμετρική αντιστοίχιση 6.11

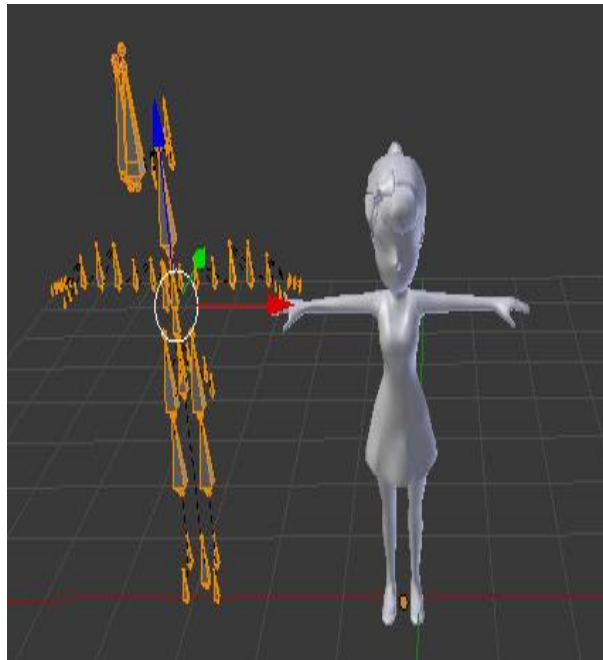


Σχήμα 6.11: Τελικο αποτέλεσμα σκελετού.

Σαν ένα δεύτερο πείραμα μπορούμε να δούμε την διαφορά πάνω στον σκελετό

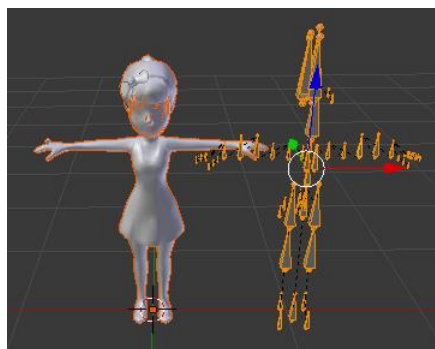


από ένα ψηλό σε έναν πιο κοντό χαρακτήρα όπως θα φανεί στο σχήμα 6.10: Στο πρώτο μας πείραμα βλέπουμε τον σκελετό που έχει η πηγή μας 6.10



Σχήμα 6.12: Ο σκελετός πηγή.

Καθώς εδώ θα δούμε το αποτέλεσμα της μεταφοράς στον στόχο μας, ο οποίος έχει προκύψει από την γεωμετρική αντιστοίχιση 6.11



Σχήμα 6.13: Ο σκελετός στόχος.

Στο κομμάτι λοιπόν με την μεταφορά σκελετού δεν χρειάζεται να δούμε πολλά διαφορετικά πειράματα διότι ο σκελετός από μόνος του δεν μας εγγυάται ότι θα λειτουργεί και σωστά. Έτσι λοιπόν μεγαλύτερο ενδιαφέρον έχει να δούμε τα τελικά μας πειράματα και την συνολική απόδοση του αλγορίθμου μας.

### **6.3 Πειράματα Σε μία Ολοκληρωμένη Κίνηση**

Στο τελευταίο μας κομμάτι θα μελετήσουμε την συνολική μεταφορά πάνω στο χαρακτήρα μας. Θα εφαρμόσουμε μεταφορές από πηγή προς στόχο και το αντίθετο. Θα μελετήσουμε και θα δούμε να μεταφέρεται και ο σκελετός καθώς και το δέρμα. Τέλος, θα δούμε μερικές πόζες της πηγής και του στόχου ώστε να παρατηρήσουμε την ορθότητα στην μεταφορά του δέρματος αλλά και του σκελετού μας συνολικά. Θα παρουσιάσουμε παρακάτω τρία χαρακτηριστικά παραδείγματα από την ίδια πηγή σε τρεις διαφορετικούς στόχους.

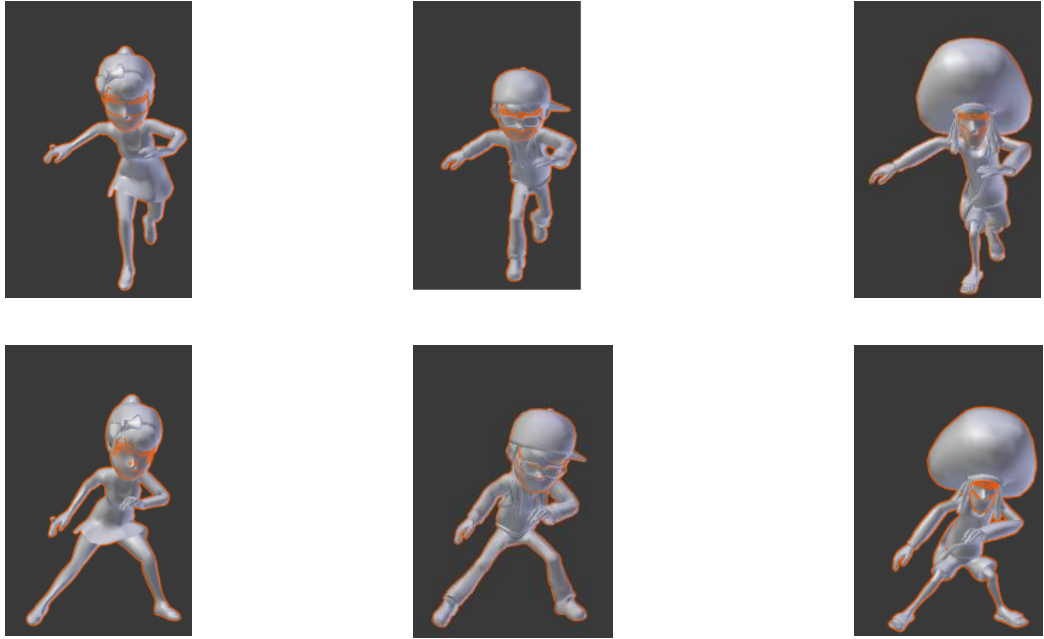
Για το πρώτο μας πείραμα χρησιμοποιήσαμε τρεις διαφορετικούς χαρακτήρες στην ίδια πόζα ώστε να παρατηρήσουμε την συνολική στάση του σώματος τους. Η παρακάτω πόζα δεν είναι τίποτα παραπάνω από ένα στιγμιότυπο μίας συνολικής κίνησης που έχει ο χαρακτήρας μας. Στα παρακάτω σχήματα θα δούμε στο αριστερό μέρος την πηγή μας και στο δεξί τον στόχο μας.



Σχήμα 6.14: Πείραμα 1 Πόζα 1.



Σχήμα 6.15: Πείραμα 1 Πόζα 2.



Σχήμα 6.16: Πείραμα 1 Πόζα 3.



Σχήμα 6.17: Πείραμα 1 Πόζα 4.

Θα συνεχίσουμε λοιπόν με το δεύτερό μας πείραμα στο οποίο επιλέξαμε και διαφορετικούς χαρακτήρες όπου τώρα θα είναι δύο αλλά και μία διαφορετική κίνηση. Έτσι λοιπόν επιλέγοντας και εδώ μερικές πόζες από την συνολική μας κίνηση θα δούμε πως έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα. Ας ξεκινήσουμε με την πρώτη μας πόζα:



Σχήμα 6.18: Πείραμα 2 Πόζα 1.

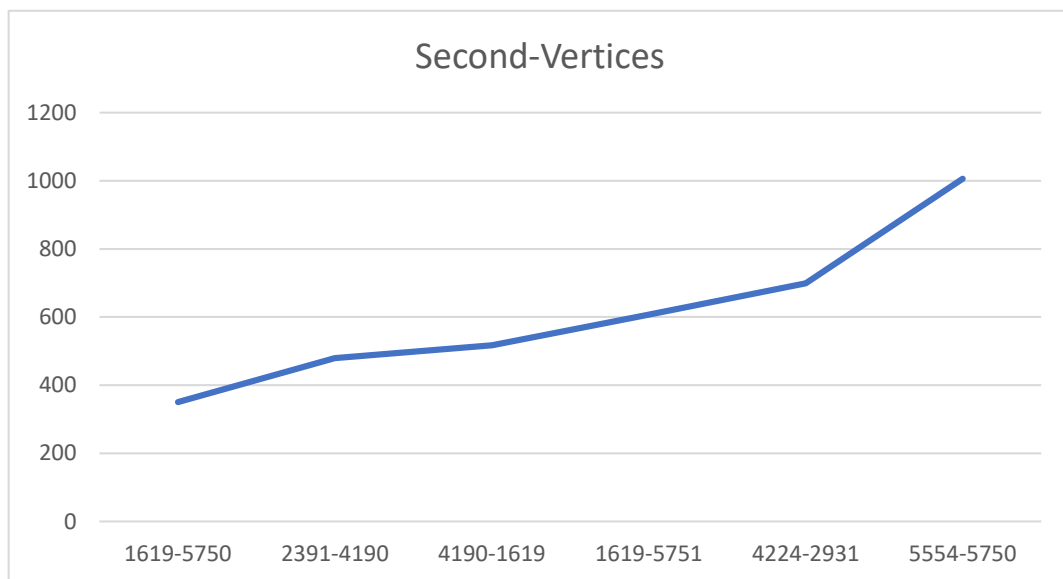
Θα συνεχίσουμε στην επόμενη πόζα :



Σχήμα 6.19: Πείραμα 2 Πόζα 2.

Είδαμε λοιπόν πως μπορούν διαφορετικοί χαρακτήρες να αποδώσουν την ίδια πόζα μέσα από την μεταφορά της κίνησης που υλοποιήσαμε. Μέσα από μεμονωμένες πόζες μίας συνολικής ακολουθίας, πήραμε μία πρώτη εικόνα για το αποτέλεσμα

της συνολικής μας κίνησης. Παρακάτω λοιπόν και για να ολοκληρώσουμε την ενότητα μας θα παρουσιάσουμε ένα διάγραμμα χρόνου μεγέθους. Θα εκτελέσουμε επτά διαφορετικά πειράματα, με διαφορετικούς χαρακτήρες ως προς το μέγεθος κορυφών και θα δούμε τον χρόνο εκτέλεσης που απαιτεί το κάθε μας πείραμα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα (6.2).



Σχήμα 6.20: Διάγραμμα Χρόνου-Κορυφών Στην Συνολική Κίνηση.

Βλέπουμε λοιπόν πως στην μία στήλη έχουμε τον χρόνο σε δευτερόλεπτα και στην άλλη στήλη είναι τα ζεύγη κορυφών πηγής και στόχου. Μπορούμε να παρατηρήσουμε λοιπόν πως ο χρόνος αυξάνει γραμμικά όσο μεγαλώνει το πλήθος των κορυφών. Όσο πιο πολλές κορυφές έχουν οι χαρακτήρες μας τόσο πιο πολύ χρόνο απαιτεί η διαδικασία μας για να παράγει αποτέλεσμα. Επιπλέον, και σύμφωνα με το ότι εδώ μελετάμε ολόκληρη την μεταφορά θα πρέπει να κάνουμε κάποιους επιπλέον σχολιασμούς. Καταρχάς παρατηρούμε ότι σε σχέση με το πρώτο μας διάγραμμα βλέπουμε πως δεν έχουμε μεγάλη απόκλιση στους χρόνους. Αυτό σημαίνει πως η διαδικασία της γεωμετρικής αντιστοίχισης είναι η πιο χρονοβόρα στον αλγόριθμό μας. Η μεταφορά σκελετού και δέρματος αντίθετα απαιτούν κάποια ελάχιστα



δευτερόλεπτα για να ολοκληρώσουν τους υπολογισμούς.

Στο συμπέρασμα το οποίο καταλήγουμε είναι πως ο χρόνος αυξάνει συνεχώς όσο αυξάνουμε και το μέγεθος του χαρακτήρα που δίνουμε σαν είσοδο. Πιο ειδικά, παρατηρούμε πως η διαδικασία μεταφοράς της γεωμετρίας είναι η πιο χρονοβόρα διότι απαιτεί μία συνεχή βελτιστοποίηση, ενώ το κομμάτι του σκελετού και του δέρματος απαιτούν πολύ λίγο χρόνο, καθώς είναι ανεξάρτητα του πλήθους των κορυφών που έχουμε. Με βάση λοιπόν τις παραπάνω ενότητες μπορούμε να περάσουμε στο Κεφάλαιο 7 και τα τελικά μας συμπεράσματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

Η μεταφορά κίνησης λοιπόν μας διευκολύνει πάρα πολλή στην διαδικασία παραγωγής πολλαπλών χαρακτήρων οι οποίοι θα συμπεριφέρονται σύμφωνα με το ίδιο πρότυπο. Έτσι λοιπόν αν έχουμε παράγει μία κίνηση πάνω σε ένα χαρακτήρα μπορούμε μέσα από μία ρουτίνα να μεταφέρουμε την ίδια κίνηση και σε έναν ή πολλούς χαρακτήρες ασχέτως της μορφολογία τους. Προσπερνώντας λοιπόν τα χαρακτηριστικά που μπορεί να έχει ο κάθε χαρακτήρας θα μεταφέρουμε πάνω του την επιθυμητή μας κίνηση και έτσι σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα θα έχουμε ένα μεγάλο πλήθος χαρακτήρων με όμοια κινησιολογία. Είναι λοιπόν μία πολύ σημαντική καινοτομία και εξέλιξη ευνοώντας σε χρόνο και κόπο κάθε σχεδιαστή χαρακτήρων. Υπάρχουν βέβαια σε κάθε επίπεδο περιορισμοί και κανόνες χρήσης αυτού του αλγορίθμου, παρόλα αυτά είναι πολύ πιο εύχρηστος από ήδη γνωστές τεχνικές. Τα πιο βασικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει ο αλγόριθμος μας είναι ότι εφαρμόζεται σε μη ισομετρικούς χαρακτήρες, πολύ χρήσιμο για μεταφορά λεπτομέρειας. Έπειτα μπορεί να μεταφέρει επιμέρους κομμάτια της συνολικής κίνησης, πράγμα που σημαίνει ότι δεν μελετά την κίνηση σαν μία ολότητα.

Συνοψίζοντας, στην μεταπτυχιακή εργασία αυτήν εξετάσαμε και υλοποιήσαμε έναν αλγόριθμο μεταφοράς κίνησης μεταξύ χαρακτήρων με διαφορετικές τοπολογίες. Εστίασαμε την προσοχή μας σε χαρακτήρες με ανθρώπινη μορφή και πειραματιστήκαμε πάνω σε αυτούς. Είναι πολύ εύχρηστη στην επιμέρους μεταφορά σκελετού διότι μπορεί να υποστηρίξει πολλούς διαφορετικούς χαρακτήρες. Στην

διαδικασία μεταφοράς των επιμέρους τμημάτων αιτείται είτε ή συμβολή του χρήστη σε κρίσιμα σημεία του αλγορίθμου είτε αιτείται η χρήση επιπλέον παραμέτρων, όπως για παράδειγμα η χρήση του δέρματος στην μεταφορά σκελετού με σκοπό την ακριβή εφαρμογή του πάνω στο εκάστοτε σώμα. Βλέπουμε ότι προσεγγίζουμε ξανά και τα βάρη σαν τελικό στάδιο με αποτέλεσμα όλη η μεταφορά να γίνεται με ακριβές τρόπο πάνω σε κάθε χαρακτήρα αξιοποιώντας την εκάστοτε τοπολογία που υπάρχει. Μπορούμε λοιπόν να πούμε πως μέσα από αυτόν τον αλγόριθμο θα εξάγουμε μοντέλα με λεπτομερή σχεδιασμό στο καθένα και έτοιμα να οδηγηθούν στο τελικό στάδιο της κίνησης τους με εξαιρετική απόδοση όπως θα γινόταν και αν το σχεδίαζε ο ίδιος χρήστης από την αρχή.

Δοκιμάσαμε την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου μας σε κάθε επιμέρους τμήματα αλλά και σαν συνολικό αποτέλεσμα. Για το κομμάτι της γεωμετρικής αντιστοίχισης εκτελέσαμε πειράματα μεμονωμένα σε διδιάστατα αλλά και τρισδιάστατα παραδείγματα. Μεταφέραμε γεωμετρία μεταξύ τελείως όμοιων χαρακτήρων στους οποίους είχαμε εφαρμόσει μετασχηματισμούς όπως κλιμάκωση περιστροφή ή και μεταφορά. Επίσης, μεταφέραμε την γεωμετρία και μεταξύ τελείως ανόμοιων χαρακτήρων άλλοι κοντοί ή ψηλοί με παράξενα χαρακτηριστικά και πάλι είδαμε την αποτελεσματικότητά που είχαμε. Μελετήσαμε τον χρόνο εκτέλεσης που απαιτούσε η διαδικασία στην αρχή για μικρό πλήθος κορυφών και έπειτα για όλο και μεγαλύτερο δημιουργώντας έτσι στατιστικά στοιχεία. Επίσης, το κομμάτι του σκελετού και του δέρματος το μελετήσαμε συνολικά σαν διαδικασία για να έχει νόημα. Εκτελέσαμε λοιπόν αντιπροσωπευτικά παραδείγματα καταγράφοντας όλα τα ενδιάμεσα στάδια καθώς και τον χρόνο εκτέλεσης τους και είδαμε εδώ της αντίστοιχες αλλαγές. Σαν τελευταίο κομμάτι θα μας απασχολήσει η μελλοντική δουλειά πάνω στον αλγόριθμό μας. Είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος με περισσότερη δουλειά θα μπορούσε ένα επεκταθεί, όπως για παράδειγμα να υλοποιεί μεταφορά κίνησης από άνθρωπο σε ζώο ή και από άνθρωπο σε ένα άλλου είδους χαρακτήρες. Επίσης, θα μπορούσαμε να μεταφέρουμε πολλαπλές κινήσεις σε μία επανάληψη ή και να της συνδυάζαμε μεταξύ τους. Τέλος, υπάρχουν θα λέγαμε αρκετές επεκτάσεις ανοιχτές στην υλοποίησή τους για ένα καλύτερο αποτέλεσμα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [1] E. Zell Mario Botsch, “Elastiface: Matching and blending textured faces,” tech. rep., Computer Graphics and Geometry Processing, Bielefeld University, 2013.
- [2] M. Meredith S. Maddock, “Motion capture file formats explained,” tech. rep., Department of Computer Science, University of Sheffield.
- [3] A. Feng, Yazhoo Huang Yuyu Xu Ari Shapiro, “Fast, automatic character animation pipelines,” Tech. Rep. 25:3-16, USC Institute for Creative Technologies, Playa Vista, CA, USA - University of California, Merced, CA, USA, 2013.
- [4] A. Feng, Yazhoo Huang Yuyu Xu Ari Shapiro, “Automating the transfer of a generic set of behaviors onto a virtual character,” Tech. Rep. 25:3-16, USC Institute for Creative Technologies, Playa Vista, CA, USA - University of California, Merced, CA, USA, 2013.
- [5] C. Bregler Loeb L. Chusng E. Deshpande H., “Turning to the masters: motion capturing cartoons,” tech. rep., ACM Trans. Graph. 21, 2002.
- [6] R. Wareham Lasenby J., *Bone glow: An improved method for the assignment of weights for mesh deformation.*, vol. 63-71 of *In Articulated Motion and Deformable Objects*. Springer, second ed., 2008.
- [7] H. Le B. Deng Z., “Robust and accurate skeletal rigging from mesh sequences,” Tech. Rep. 2, ACM Trans. Graph. 33, 4(2014).
- [8] B. Allen Curless B. Popovic Z., “The space of human body shapes,” Tech. Rep. 587.2, ACM Trans. Graph. 22, 2003.
- [9] C. Miller Arikan O. Fussell D.S., “Frankenrigs: building character rigs from multiple sources,” Tech. Rep. 1060-1070, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 17, 2011.

- [10] Y. Lipman Funkhouser T., “Möbius voting for surface correspondence,” Tech. Rep. 3,10, ACM Trans.Graph. 28, 2009.
- [11] B. K. Horn, Hugh M.Hilden Shahriar Negahdaripour, “Closed-form solution of absolute orientation using orthonormal matrices,” tech. rep., Department of Electrical Engineering and Department of Mathematics,University of Hawaii at Manoa,Honolulu, Hawaii,Artificial Intelligence Laboratory Massachusetts Institute of Technology Cambridge,Massachusetts, 1988.
- [12] O. dLib Library, “Dlib c++ library,” tech. rep., 2008.
- [13] C. Tutorial, “Step by step skeletal animation in c++ and opengl,using collada,” tech. rep., 2010.

## ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ

---

Η Αναστασία Μουταφίδου, γεννήθηκε στις 14 Οκτωβρίου στην πόλη της Καβάλας. Ολοκλήρωσε τις πρώτες σπουδές της στο τμήμα Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων το 2015. Ολοκληρώνει τις μεταπτυχιακές σπουδές της στο τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Επιπλέον, έχει πραγματοποιήσει δίμηνη πρακτική άσκηση στην εταιρία You Καβάλας στο κομμάτι του service αλλά και της γραμματειακής υποστήριξης κατά την καλοκαιρινή περίοδο Ιουλίου Αυγούστου πρακτικής άσκησης το έτος 2015 που προσφέρει το τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής. Τέλος, εργάζεται ως επιστημονικός συνεργάτης στον ινστιτούτο Πληροφορικής και Τεχνολογιών στην Θεσσαλονίκη ως ερευνητής.