

ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΟΓΚΟΥ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΓΙΑ ΑΚΟΛΟΥΘΙΕΣ
ΚΙΝΗΣΗΣ

Η
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Υποβάλλεται στην

ορισθείσα από την Γενική Συνέλευση Ειδικής Σύνθεσης
του Τμήματος Πληροφορικής
Εξεταστική Επιτροπή

από τον

Κωνσταντίνο Τζιομάκη

ως μέρος των Υποχρεώσεων

για τη λήψη

του

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ
ΜΕ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Ιούλιος 2012

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Αφιερώνω με όλη μου την αγάπη αυτή την εργασία στην κοπέλα που κάνει τόσο όμορφη την ζωή μου και στην οικογένεια μου για την υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Φούντο Ιωάννη, Αναπληρωτή καθηγητή του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, για την συνεργασία μας όλα αυτά τα χρόνια τόσο κατά την διάρκεια των προπτυχιακών όσο και των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον φίλο μου και υποψήφιο διδάκτορα Βασιλάκη Ανδρέα-Αλέξανδρο για την υποστήριξη όλον αυτόν τον καιρό καθώς και για την σωστή καθοδήγηση του σε δύσκολες στιγμές της εργασίας. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Αθανασιάδη Θεόδωρο για την βοήθεια του στην παράλληλη υλοποίηση της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ
ΑΦΙΕΡΩΣΗ	iii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iv
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	v
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	vii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	ix
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	xi
EXTENDED ABSTRACT IN ENGLISH	xiii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Στόχοι	4
1.2. Καθολική Διατήρηση Όγκου	6
1.3. Τοπική Διατήρηση Όγκου	6
1.4. Παραμόρφωση Αντικειμένου	8
1.5. Σχετικές Εργασίες	9
1.6. Δομή της Διατριβής	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΚΑΘΟΛΙΚΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΟΓΚΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΘΕΤΩΝ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΩΝ	13
2.1. Αναπαράσταση Αντικειμένου	15
2.1.1. Περίβλημα	15
2.1.2. Κίνηση Περιβλήματος	16
2.1.3. Κάθετα Διανύσματα	17
2.2. Υπολογισμός Όγκου	18
2.3. Διατήρηση Όγκου	19
2.4. Αποτελέσματα - Σχολιασμός	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΚΑΘΟΛΙΚΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΟΓΚΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	25
3.1. Παραμόρφωση Περιβλήματος	27
3.2. Εισαγωγή Παραμέτρων στις κορυφές του Πλέγματος	28
3.2.1. Deformation Gradient	29
3.3. Πόζες Αναφοράς	31
3.4. Διατήρηση του Όγκου με τη Χρήση Παραμέτρων Παραμόρφωσης	33
3.5. Αποτελέσματα - Σχολιασμός	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΟΠΙΚΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΟΓΚΟΥ	39
4.1. Τοπική Διατήρηση του Όγκου	41
4.2. Συσταδοποίηση	42
4.2.1. Κριτήριο Συσταδοποίησης	44
4.2.2. Πόζες Αναφοράς	44
4.2.3. Αλγόριθμος Variational Region Growing	45

4.3. Τοπική - Ολική Διατήρηση του Όγκου	50
4.4. Αλληλεπίδραση Γειτονικών Τμημάτων	53
4.5. Αποτελέσματα – Σχολιασμός	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	61
5.1. Θέματα Υλοποίησης	62
5.1.1. Θέματα Παραλληλοποίησης (OpenCL)	63
5.2. Πειραματικά Αποτελέσματα	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	73
6.1. Συμπεράσματα	73
6.2. Μελλοντική Έρευνα	75
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	77
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	79
A. Αλγόριθμος 1: Variational Region Growing	79
B. Κώδικας Πυρήνων OpenCL	80
ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ	83

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας	Σελ
Πίνακας 5.1 3Δ Μοντέλα Επεξεργασίας	64
Πίνακας 5.2 Αναλύσεις Ράβδου 2	64

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα	Σελ
Σχήμα 1.1 Στιγμιότυπο Πλατφόρμας Blender	3
Σχήμα 1.2 Απώλεια Όγκου	5
Σχήμα 1.3 Πόζα Αναφοράς – Πόζα Επεξεργασίας	5
Σχήμα 1.4 Τοπική Μεταβολή Όγκου	7
Σχήμα 1.5 Παραμόρφωση Αντικειμένου (Κόκκινες περιοχές)	8
Σχήμα 2.1 Πλεγματική Αναπαράσταση Γυναίκας	16
Σχήμα 2.2 Mesh Animation	17
Σχήμα 2.3 Normal	17
Σχήμα 2.4 Όγκος Τριγώνου (Προβολή στον άξονα xy)	19
Σχήμα 2.5.1 Αρχικό Animation	23
Σχήμα 2.5.2 Animation με Διατήρηση του Όγκου με την Χρήση Normal	23
Σχήμα 2.6.1 Αρχικό Animation	24
Σχήμα 2.6.2 Animation με Διατήρηση του Όγκου με την Χρήση Normal	24
Σχήμα 3.1 Παραμόρφωση Μελών Αντικειμένου	26
Σχήμα 3.2 Επεξεργασία Αντικειμένου (Περιστροφή, Κλιμάκωση, Στρέβλωση)	28
Σχήμα 3.3 Παραμόρφωση Πλέγματος	30
Σχήμα 3.4 Πόζες Αναφοράς	32
Σχήμα 3.5 Πόζα Επεξεργασίας	32
Σχήμα 3.6 Συνεισφορά Deformation Gradient στην Διατήρηση	35
Σχήμα 3.7 Συνεισφορά Deformation Gradient (Κόκκινο-Μεγαλύτερη Συνεισφορά)	35
Σχήμα 3.8 Animation με Διατήρηση του Όγκου με την Χρήση Deformation Gradient	37
Σχήμα 3.9 Animation με Διατήρηση του Όγκου με την Χρήση Deformation Gradient	38
Σχήμα 4.1 Τοπική Μεταβολή Όγκου	40
Σχήμα 4.2 Variational Region Growing Clustering Βασισμένο Στην Παραμόρφωση	49
Σχήμα 4.3 Variational Region Growing Clustering Βασισμένο Στην Παραμόρφωση	49
Σχήμα 4.4 Απώλεια Όγκου (Κόκκινες Περιοχές - Μεγαλύτερη Απώλεια Όγκου)	50
Σχήμα 4.5 Απώλεια Όγκου (Κόκκινες Περιοχές - Μεγαλύτερη Απώλεια Όγκου)	51
Σχήμα 4.6 Διατήρηση Όγκου με την Χρήση Τοπικού Σφάλματος-Γνώση Γειτονιάς	59
Σχήμα 4.7 Διατήρηση Όγκου με την Χρήση Τοπικού Σφάλματος-Γνώση Γειτονιάς	59

Σχήμα 5.1 Καθολικό Σφάλμα Όγκου Μεθόδων Καθολικής Διατήρησης	66
Σχήμα 5.2 Απόδοση Μεθόδων Καθολικής Διατήρησης	66
Σχήμα 5.3 Αναλογία Χρόνου Διατήρησης Όγκου - Μέθοδο Καθολικής Διατήρησης	67
Σχήμα 5.4 Αναλογία Χρόνου Διατήρησης Όγκου με την Αύξηση των Συστάδων	68
Σχήμα 5.5 Αναλογία Απόδοσης – Αριθμού Συστάδων	69
Σχήμα 5.6 Καθολικό Σφάλμα Όγκου Μεθόδων Τοπικής Διατήρησης	70
Σχήμα 5.7 Απόδοση Μεθόδων Τοπικής Διατήρησης	70
Σχήμα 5.8 Σύγκριση Απόδοσης Παραλληλοποίησης	71
Σχήμα 5.9 Επίδραση Σύγκλισης Διατήρησης Όγκου – Απόδοσης Παραλληλοποίησης	72
Σχήμα 5.10 Αναλογία Βημάτων Διατήρησης Όγκου	72

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κωνσταντίνος Τζιομάκης του Γεωργίου και της Μαρίας.MSc, Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιούλιος, 2012. Διατήρηση του Όγκου Βασισμένη σε Χαρακτηριστικά Παραμόρφωσης για Ακολουθίες Κίνησης. Επιβλέποντας: Ιωάννης Φούντος, Αναπληρωτής Καθηγητής.

Οι απεικονίσεις τριδιάστατων αντικειμένων στους Η/Υ έχουν ως στόχο την ψυχαγωγία, τον ρεαλισμό, καθώς και ακριβείς απεικονίσεις της πραγματικότητας. Οι εφαρμογές δημιουργίας τριδιάστατων αντικειμένων δίνουν την δυνατότητα ανάπτυξης ακολουθιών κίνησης στις οποίες συμμετέχουν τα αντικείμενα αυτά. Οι σχεδιαστές δημιουργούν συνήθως κάθε πόζα ξεχωριστά με αποτέλεσμα να δημιουργούνται λάθη στην ακολουθία και να προκαλείται εμφάνιση ορατών σφαλμάτων σε αυτή, όπως για παράδειγμα, η απώλεια όγκου.

Στην συγκεκριμένη διατριβή μελετώνται τρόποι διατήρησης του όγκου σε ένα αντικείμενο κατά την διάρκεια συμμετοχής του σε μία ακολουθίας κίνησης. Η διατήρηση του όγκου ορίζεται χρησιμοποιώντας ως σημείο αναφοράς έναν αρχικό όγκο σύμφωνα με τον οποίο δημιουργούνται οι επόμενες πόζες. Αυτό επιτυγχάνεται είτε καθολικά στο αντικείμενο είτε τοπικά σε διάφορα τμήματά του. Στην εν λόγω διατριβή προτείνονται νέες μέθοδοι τόσο για την ολική όσο και την τοπική συντήρηση του όγκου.

Αρχικά προτείνεται η είσοδος παραμέτρων παραμόρφωσης του αντικειμένου οι οποίες εντοπίζουν περιοχές με μεγάλη μεταβολή κατά την διάρκεια της ακολουθίας κίνησης. Αυτές οι παράμετροι βοηθούν στην γνώση της κίνησης/παραμόρφωσης των τμημάτων του μοντέλου και συντελούν στην ομαλότερη διόρθωση του όγκου του. Στην συνέχεια προτείνεται ένας αλγόριθμος συσταδοποίησης του αντικειμένου σε περιοχές κοινού ενδιαφέροντος ως προς την παραμόρφωση ενώ ο όγκος προσεγγίζεται τοπικά στα μέλη του ώστε η διόρθωση να επιτευχθεί τοπικά. Επίσης παρουσιάζονται νέες τεχνικές διαμοιρασμού της απώλειας όγκου ενός τμήματος σε

γειτονικά τμήματα του αντικειμένου με σκοπό την ρεαλιστική διόρθωση του όγκου του και την αποφυγή φαινομένων δομικών προβλημάτων. Τέλος προτείνεται μία μέθοδος αλληλεπίδρασης γειτονικών δομικών στοιχείων του αντικειμένου με σκοπό την παραγωγή μίας ομαλής εκδοχής με διορθωμένο όγκο για την κάθε πόζα.

Αποτέλεσμα της διατριβής ήταν η ανάπτυξη ενός μοντέλου που παρέχει τις παραπάνω δυνατότητες και επιτυγχάνει την βελτίωση της μεθόδου διατήρησης του όγκου σε μία ακολουθία κίνησης σε πραγματικό χρόνο.

EXTENDED ABSTRACT IN ENGLISH

Konstantinos Tziomakis. MSc, Computer Science Department, University of Ioannina, Greece. July, 2012. Deformation Based Volume Preservation for Mesh Animation. Thesis Supervisor: Ioannis Fudos.

Three-dimensional representations of objects for computer-generated imagery, games and virtual reality applications, are used to efficiently render realistic and accurate depictions of reality or fiction. Software tools to create 3D graphics provide designers the means to develop animations of these objects. The poses of these objects are traditionally created by designer intervention, which increases the potential for manual errors (for example detached limbs and holes) or algorithmic flaws (such as loss of volume).

We have studied ways to preserve the volume of an object during an animation. Each pose preserves its volume with respect to a reference pose, which provides the initial volume measure. Volume can be preserved globally (i.e. distributed to the entire object) or locally (i.e. in certain parts of the object). Deformation determines how the object boundary (skin or mesh) is deformed locally during animation. This extra information facilitates more intuitive volume preservation. In this thesis we introduce methods for both global and local preservation of volume based on a local deformation measures such as the deformation gradient.

Firstly we present background information on defining deformation measures to identify areas of change in the object during animation. These measures indicate where motion/deformation arises on the object boundary and provide the means for smooth preservation of volume. Then a clustering algorithm is employed that splits the object into coherent parts based on the deformation attribute. Clustering facilitates local computation and preservation of the volume in deformation-wise homogeneous segments. Due to the creation of structural problems on neighboring parts of the

model during the local preservation of volume, we propose a method for distributing the local volume error of a segment to its neighboring segments. Finally, we present a novel technique that accomplishes the interaction of neighboring structures of the object so as to create a smooth version of the volume correction results for each pose.

Overall, we have developed a method that produces a volume-corrected version of an animation sequence in real time with low-error, high quality, intuitive results.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- 1.1 Στόχοι
 - 1.2 Καθολική Διατήρηση Όγκου
 - 1.3 Τοπική Διατήρηση Όγκου
 - 1.4 Παραμόρφωση Αντικειμένου
 - 1.5 Σχετικές Εργασίες
 - 1.6 Δομή της Διατριβής
-

Στην σύγχρονη εποχή ο τομέας των τριδιάστατων γραφικών αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας. Τριδιάστατες γραφικές απεικονίσεις αντικειμένων συναντώνται τόσο στην τηλεόραση, στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, στο Διαδίκτυο, στα βιντεοπαιχνίδια, στον κινηματογράφο, σε εξομοιωτές που περιλαμβάνουν τομείς όπως την βιομηχανία αυτοκινήτων έως και την ιατρική χειρουργική καθώς και σε πολλούς άλλους. Στόχος των απεικονίσεων αυτών στις μέρες μας αποτελεί να μεν η ψυχαγωγία αλλά και ο ρεαλισμός και η οπτική ικανοποίηση του χρήστη καθώς επίσης σε μερικούς τομείς και η ακριβής αντιστοίχιση των απεικονίσεων αυτών με την πραγματικότητα (π.χ. Ιατρική). Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία τεράστια ανάπτυξη στο υλικό των Η/Υ, η οποία δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εκμεταλλευτεί νέες εφαρμογές με τεράστιες υπολογιστικές απαιτήσεις. Αυτή η ανάπτυξη ωφελεί σε τεράστιο βαθμό τον τομέα των γραφικών, τομέας απαιτητικός σε πόρους και δίνει την δυνατότητα σχεδιασμού και αναπαραγωγής ρεαλιστικότερων τριδιάστατων μοντέλων.

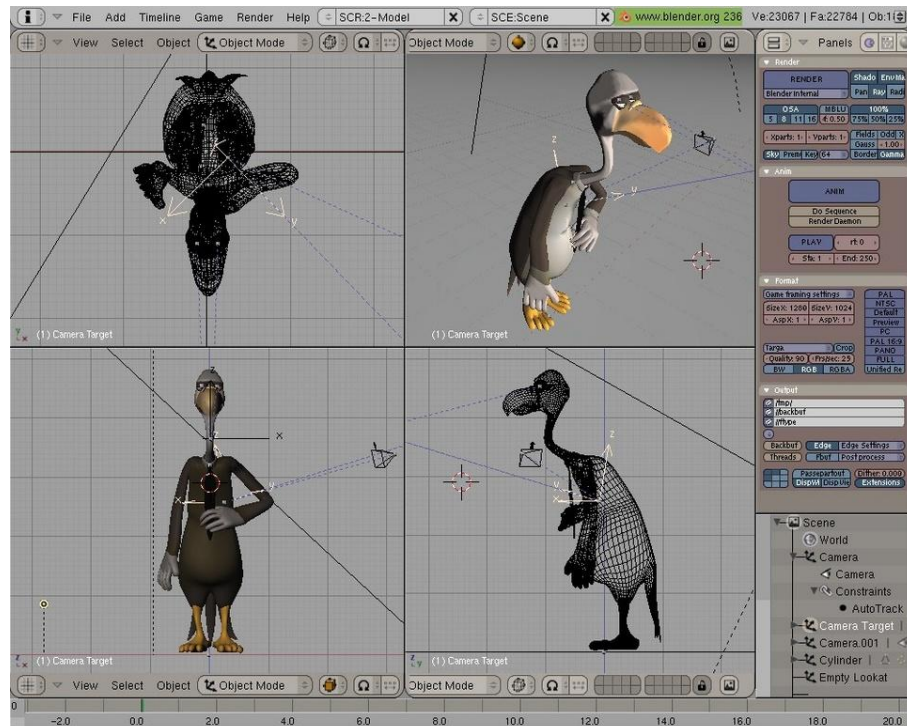
Εφαρμογές δημιουργίας τριδιάστατων αντικειμένων έχουν αναπτυχθεί δίνοντας την δυνατότητα στους σχεδιαστές να αναπτύσσουν ρεαλιστικά αντικείμενα καθώς και να προσδίδουν κίνηση σε αυτά. Παρόλα αυτά ο σχεδιαστής πρέπει να σχεδιάζει το μοντέλο και μετέπειτα να προσδίδει την κίνηση σε αυτό δημιουργώντας

έτσι νέες πόζες του αντικειμένου, γεγονός που εκτός από χρονοβόρο αυξάνει την πιθανότητα λάθους χειρισμού από τον χρήστη, τόσο στον σχεδιασμό του αντικειμένου όσο και στην απόδοση της κίνησής του. Για τον λόγο αυτό παρέχονται στον σχεδιαστή δυνατότητες διόρθωσης των σφαλμάτων είτε με μετέπειτα επεξεργασία του αντικειμένου είτε με την ταυτόχρονη διόρθωση του κατά την διάρκεια της δημιουργίας του. Αυτό το περιθώριο λάθους καθώς και η επίπονη για τον χρήστη τροποποίηση του αντικειμένου δημιουργεί τομείς προβλημάτων που χρήζουν αντιμετώπισης.

Για την δημιουργία μίας συνεχούς ακολουθίας κίνησης ενός τριδιάστατου αντικειμένου (mesh animation) ο σχεδιαστής θα πρέπει είτε να σχεδιάζει κάθε πόζα του, είτε να δώσει σε αυτή έναν εύλογο αριθμό ποζών οι οποίες θα αποτελούν ενδιάμεσα βήματα της κίνησης. Στην συνέχεια δίνει την δυνατότητα σε κάποια εφαρμογή (π.χ. Blender Σχήμα 1.1) να δημιουργήσει όλα τα βήματα της κίνησης χρησιμοποιώντας τις ενδιάμεσες πόζες του σχεδιαστή. Η πρώτη περίπτωση σίγουρα είναι αρκετά επίπονη καθώς ο σχεδιαστής πρέπει να δημιουργήσει έναν τεράστιο αριθμό ποζών ενώ η δεύτερη περίπτωση εξακολουθεί να είναι επίπονη για τον σχεδιαστή, σαφώς όμως με λιγότερο κόστος από την πρώτη περίπτωση. Όμως και στις δύο αυτές περιπτώσεις δημιουργείται ένα τεράστιο περιθώριο λάθους στην κατασκευή του animation. Στην πρώτη περίπτωση ο σχεδιαστής πρέπει να εξετάζει λεπτομερώς το αντικείμενο του σε κάθε πόζα για την διατήρηση της συνοχής του, ενώ στην δεύτερη περίπτωση και με την προϋπόθεση ότι ο σχεδιαστής έχει δημιουργήσει ρεαλιστικά ενδιάμεσα μοντέλα, η εφαρμογή δημιουργεί το animation κάτι το οποίο συμβάλλει στην ύπαρξη λάθους.

Σε ένα animation ενός αντικειμένου η κίνηση του για να είναι ρεαλιστική θα πρέπει να μην περιέχει κενά, δηλαδή να είναι συνεχής, να αποδίδει οπτικά την κίνηση του αντίστοιχου πραγματικού, καθώς και να μην επηρεάζεται η δομή του αντικειμένου. Π.χ. στην περίπτωση ενός τριδιάστατου μοντέλου ενός ανθρώπου ο οποίος περπατά θα πρέπει ο αριθμός των ποζών να είναι ικανοποιητικά μεγάλος έτσι ώστε η κίνηση του να αποδίδεται χωρίς κενά και να είναι εφάμιλλη με το περπάτημα ενός πραγματικού ανθρώπου. Επίσης η δομή του αντικειμένου θα πρέπει να παραμένει αναλλοίωτη, π.χ. τα χέρια του ανθρώπου να έχουν το ίδιο μήκος σε όλες τις πόζες, τα μάτια να βρίσκονται συνεχώς στο πρόσωπο, καθώς και ο όγκος κάθε μέλους του σώματος να παραμένει σταθερός. Η τελευταία παρατήρηση σχετικά με

την διατήρηση του όγκου ενός αντικειμένου σε ένα mesh animation αποτελεί και το πρόβλημα προς επίλυση της συγκεκριμένης διατριβής.



Σχήμα 1.1 Στιγμιότυπο Πλατφόρμας Blender

Ο όγκος αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό ενός αντικείμενου. Χαρακτηρίζει την ποσότητα του χώρου που καταλαμβάνει αυτό το αντικείμενο και του δίνει υπόσταση. Συνήθως ο όγκος ενός μη άμεσα φθαρτού αντικείμενου παραμένει σταθερός τουλάχιστον βραχυπρόθεσμα. Π.χ. ένας πλαστικός σωλήνας που λυγίζει διατηρεί τον όγκο του και αφού λυγίσει. Βεβαίως υπάρχουν και αντικείμενα που φθείρονται με την πάροδο του χρόνου π.χ. μία γόμα. Κατά την παραγωγή ενός animation ο σχεδιαστής πρέπει να λαμβάνει υπόψη και αυτή την πληροφορία για την παραγωγή νέας πόζας στην κίνηση, κάτι που πολλές φορές είναι αρκετά δύσκολο έως και ακατόρθωτο να πραγματοποιηθεί με μεγάλη ακρίβεια. Έτσι παρατηρούνται φαινόμενα κατά την διάρκεια ενός animation στα οποία το αντικείμενο που αναπαριστάται χάνει ή κερδίζει όγκο, γεγονός που οδηγεί σε μη ρεαλιστικά αποτελέσματα. Φανταστείτε έναν τριδιάστατο άνθρωπο που περπατά και κατά την διάρκεια της κίνησης του τα πόδια του «λεπταίνουν» και το κεφάλι του «φουσκώνει».

Στην συγκεκριμένη διατριβή το πρόβλημα που τίθεται προς αντιμετώπιση είναι η διατήρηση του όγκου κατά την διάρκεια ενός mesh animation, έτσι ώστε αυτό να παραμένει ρεαλιστικό και αληθοφανές στον χρήστη.

1.1. Στόχοι

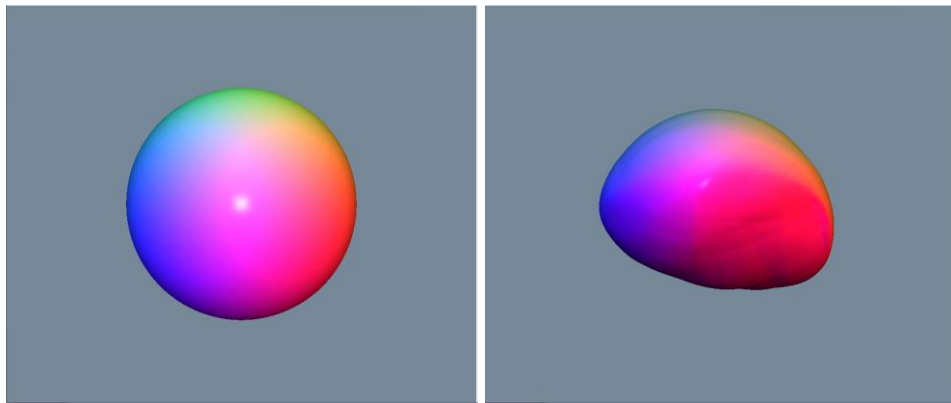
Στόχο της παρούσας διατριβής αποτελεί η διατήρηση του όγκου κατά την διάρκεια ενός mesh animation χωρίς ουσιαστικές και επίπονες παρεμβάσεις του χρήστη σε αυτό με σκοπό την ρεαλιστικότερη και σε πραγματικό χρόνο απόδοση του animation. Η διατήρηση του όγκου ενός αντικειμένου ορίζεται με σημείο αναφοράς έναν αρχικό όγκο ως προς τον οποίο διατηρούνται οι πόζες του animation. Η διατήρηση του όγκου μπορεί να γίνει με δύο τρόπους οι οποίοι αναλύονται και υλοποιούνται στην διατριβή αυτή.

Στην πρώτη περίπτωση ο όγκος ενός αντικειμένου διατηρείται ολικά ως προς το αντικείμενο αναφοράς. Λαμβάνεται υπόψη μόνο ο συνολικός όγκος του αρχικού αντικειμένου, ο οποίος θα πρέπει να διατηρηθεί σταθερός και στα παραγόμενα αντικείμενα. Στην διαδικασία αυτή δεν λαμβάνονται υπόψη τοπικές πληροφορίες του αντικειμένου. Στην δεύτερη περίπτωση ο όγκος ενός αντικειμένου διατηρείται τοπικά ως προς το αντικείμενο αναφοράς. Το αντικείμενο χωρίζεται σε περιοχές στις οποίες φροντίζουμε να διατηρηθεί ο όγκος. Συνεπώς επιτυγχάνεται ταυτόχρονα και ολική διατήρηση του όγκου. Οι περιοχές αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν είτε συγκεκριμένα μέλη του αντικειμένου, είτε να είναι περιοχές με συγκεκριμένα κοινά χαρακτηριστικά που τις χαρακτηρίζουν. Π.χ. σε έναν άνθρωπο το κεφάλι μπορεί να θεωρηθεί τμήμα χωρίς αλληλεπίδραση με τα χέρια.

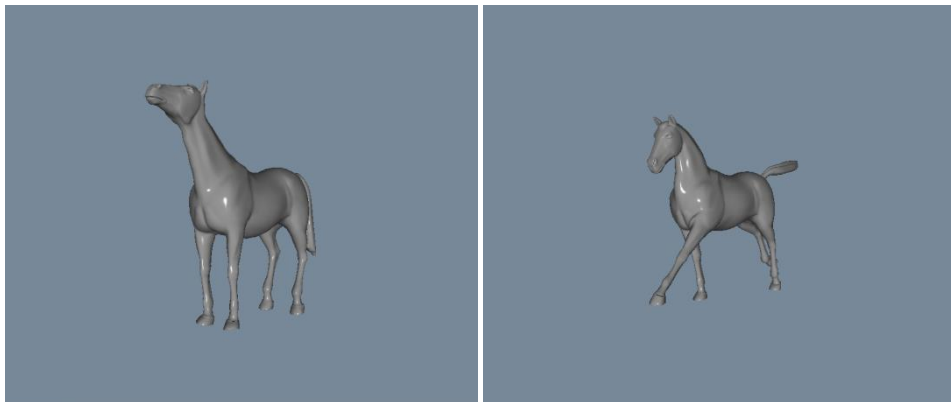
Επίσης για την επίτευξη του στόχου της διατήρησης του όγκου χρησιμοποιούνται διάφορες πληροφορίες από το animation, όπως η μεταβολή του ολικού όγκου ανάμεσα σε δύο πόζες, η μεταβολή του τοπικού όγκου για ένα μέλος του αντικειμένου από πόζα σε πόζα, καθώς και πληροφορίες για την παραμόρφωση περιοχών του αντικειμένου κατά την διάρκεια του animation. Αυτές οι πληροφορίες έχουν ως αποτέλεσμα την εξαγωγή χρήσιμων χαρακτηριστικών σε κάθε περιοχή του αντικειμένου, τα οποία προσαρμόζουν και βοηθούν στην ομαλότερη, πιο ρεαλιστική διατήρηση του όγκου. Μία γενική ιδέα για τα παραπάνω παρουσιάζεται στην

συνέχεια του κεφαλαίου, καθώς και εκτενής επεξήγηση τους στα επόμενα κεφάλαια της διατριβής.

Σκοπό της διατριβής αποτελεί η ανάπτυξη ενός μοντέλου που θα προσφέρει στον σχεδιαστή τις παραπάνω δυνατότητες για την διατήρηση του όγκου σε ένα mesh animation, καθώς και να προτείνει τεχνικές που θα είναι αποδοτικές και θα μπορούν να αποδώσουν σε πραγματικό χρόνο το animation διατηρημένο ως προς τον όγκο.



Σχήμα 1.2 Απώλεια Όγκου



Σχήμα 1.3 Πόζα Αναφοράς – Πόζα Επεξεργασίας

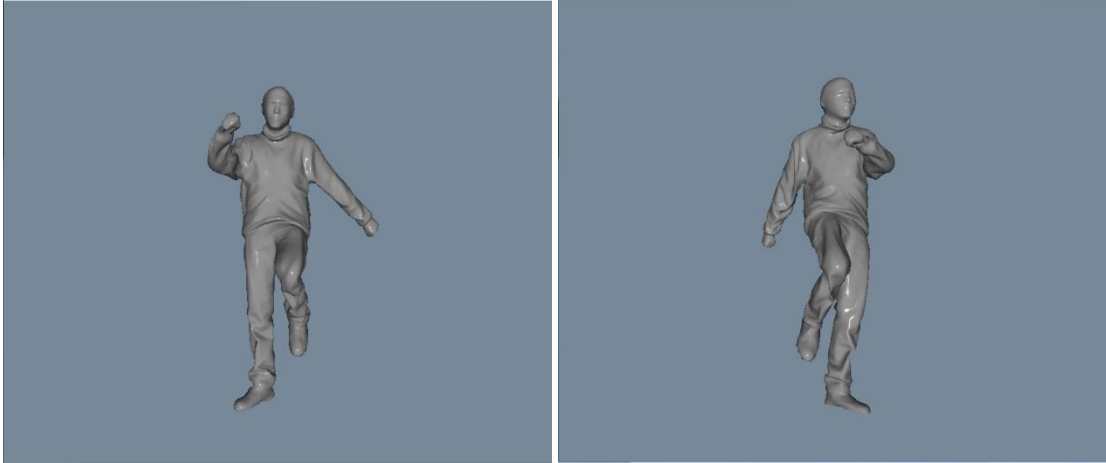
1.2. Καθολική Διατήρηση Όγκου

Η πρώτη προσέγγιση για την επίλυση του προβλήματος διατήρησης του όγκου περιλαμβάνει την ολική διατήρηση του, η οποία αποτελεί και την πιο απλή μορφή διατήρησης όγκου. Χρησιμοποιώντας μία πόζα αναφοράς και εισάγοντας μία ακολουθία ποζών πλέγματος (mesh animation), υπολογίζεται ο συνολικός όγκος για κάθε μία από αυτές. Οι πόζες του animation επί το πλείστον θα διαφέρουν ως προς τον όγκο της πόζας αναφοράς. Εφαρμόζοντας μία επαναληπτική διαδικασία σε όλο το αντικείμενο της εκάστοτε πόζας, προσπαθούμε να επιτύχουμε την προσέγγιση του όγκου της πόζας αναφοράς. Στην διατήρηση αυτή λαμβάνονται υπόψη όλα τα μέλη του αντικειμένου τα οποία συνεισφέρουν στην επιδιόρθωση του όγκου. Τα αποτελέσματα αυτής της προσέγγισης συνήθως παράγουν ένα ολικό «φούσκωμα» ή «ξεφούσκωμα» του αντικειμένου. Με αυτή την τεχνική μπορούν να γίνουν ορατά εφέ πλαστικότητας των αντικειμένων. Στο κεφάλαιο 1.4 θα γίνει μία εισαγωγή για την προσπάθεια ρύθμισης παραμέτρων τέτοιων ώστε να καθορίζεται ο βαθμός με τον οποίο θα συνεισφέρει κάθε μέλος στην διατήρηση του όγκου.

1.3. Τοπική Διατήρηση Όγκου

Με μία εκτενέστερη μελέτη του προβλήματος παρατηρούμε ότι πολλές φορές ο όγκος ενός αντικειμένου σε ένα animation πλεγμάτων δεν μεταβάλλεται εξολοκλήρου αλλά τοπικά. Στο παράδειγμα με τον άνθρωπο που περπατά, μπορεί να μεταβάλλεται ο όγκος στα χέρια και τα πόδια, ενώ ο όγκος στο κεφάλι του ανθρώπου να παραμένει σταθερός κατά την διάρκεια του animation. Χρησιμοποιώντας την μέθοδο που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα, το κεφάλι του ανθρώπου παρόλο που ο όγκος του δεν έχει μεταβληθεί σε σχέση με την πόζα αναφοράς, θα συνεισφέρει στην διαδικασία για την διατήρηση του ολικού όγκου στην συγκεκριμένη πόζα. Έτσι παρόλο που αυτό το μέλος του σώματος διατηρούσε τον όγκο του αρχικά στην πόζα, λόγω της λανθασμένης εκτίμησης του προβλήματος, μεταβάλλεται ώστε ο όγκος του συνολικού αντικειμένου να είναι ίσος με αυτόν την πόζας αναφοράς.

Συνεπώς οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως σε ένα animation πλεγματών μπορεί να μην μεταβάλλεται ο όγκος σε όλο το αντικείμενο αλλά τοπικά σε μέρη αυτού. Συμπεραίνουμε πως υπάρχουν μέρη στο αντικείμενο στα οποία ο όγκος παραμένει σταθερός ως προς την αρχική πόζα.



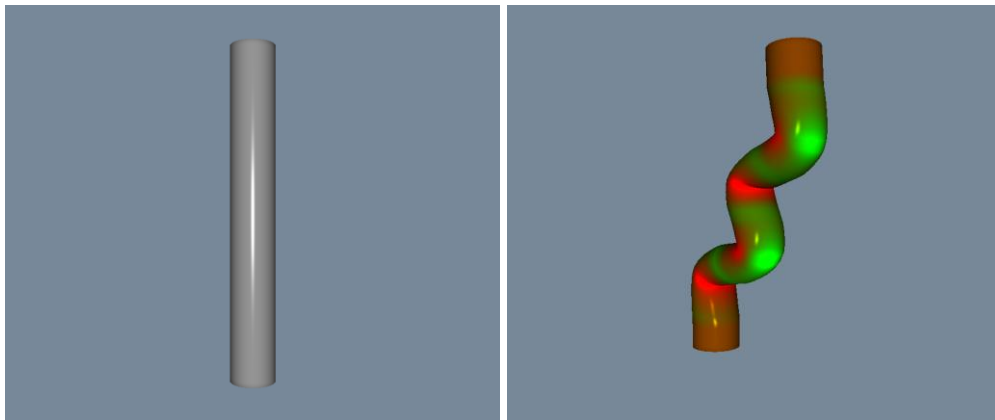
Σχήμα 1.4 Τοπική Μεταβολή Όγκου

Πρέπει να δοθεί λοιπόν στον σχεδιαστή η δυνατότητα να επιλέξει τον τρόπο με τον οποίο θα συνεισφέρουν τα μέρη του αντικειμένου που δεν μεταβλήθηκε ο όγκος τους ως προς την πόζα αναφοράς, στην διατήρηση του ολικού όγκου που έχει αλλάξει σε σχέση με την πόζα αναφοράς. Οι δύο στρατηγικές για την επίλυση αυτού του προβλήματος είναι είτε αυτές οι περιοχές να διορθωθούν για τον όγκο που έχασαν γιατί π.χ. ο σχεδιαστής έκανε λάθος στον σχεδιασμό της νέας πόζας του μοντέλου, είτε να μην γίνει διόρθωση του όγκου σε αυτές τις περιοχές γιατί μπορεί ο σχεδιαστής θελημένα να μετέβαλε τον όγκο τους π.χ. σε ένα υλικό με πιο αραιή δομή (υγρά κτλ) να μεταφέρθηκε όγκος από μία περιοχή σε κάποια άλλη. Με αυτόν τον τρόπο παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας οργανικών εφέ στο αντικείμενο όπως μύες κτλ. Επίσης σε αυτή την μέθοδο μπορούν να οριστούν παράμετροι οι οποίες θα καθορίζουν τον βαθμό που θα συνεισφέρει κάθε μέλος στην διατήρηση του ολικού όγκου. Επομένως διατηρώντας το αντικείμενο τοπικά, επιτυγχάνεται και η διατήρηση του ολικού όγκου.

1.4. Παραμόρφωση Αντικειμένου

Κατά την διάρκεια ενός animation πλεγμάτων το αντικείμενο που αναπαριστάται μεταβάλλεται είτε ολικώς είτε μερικώς. Περιοχές αυτού μπορεί να μετακινούνται, να παραμορφώνονται ακόμα και να καταστρέφονται δομικά. Από τις παραμορφώσεις αυτές μπορούν να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες για το μοντέλο. Π.χ. περιοχές που δεν παραμορφώνονται καθόλου κατά την διάρκεια του animation μπορεί να αποτελούν «στέρεα» μέλη του αντικειμένου, ενώ περιοχές που μεταβάλλονται αρκετά να αποτελούν «ιστούς λίπους» του αντικειμένου. Επίσης μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες σχετικές με την αύξηση/μείωση του όγκου στις περιοχές αυτές, καθώς περιοχές με μεγαλύτερη παραμόρφωση είναι πιο πιθανό να έχουν μεταβληθεί ως προς τον όγκο τους από περιοχές με μικρότερη παραμόρφωση.

Λαμβάνοντας υπόψη τέτοιες πληροφορίες και σε συνδυασμό με τις τεχνικές των ενοτήτων 1.2 - 1.3, η διατήρηση του όγκου σε ένα αντικείμενο μπορεί να γίνει πιο συγκεκριμένη και να επικεντρωθεί σε σημεία του αντικειμένου που χρήζουν ιδιαίτερης μεταχείρισης. Με την εξαγωγή αυτών των παραμέτρων και την χρήση τους στην διατήρηση του όγκου, μπορούν να αποδοθούν ρεαλιστικότερες αναπαραστάσεις, καθώς και να δημιουργηθούν ειδικά εφέ που θα το κάνουν να γίνεται όσο τον δυνατόν πιο πειστικό και να ανταποκρίνεται στην συμπεριφορά του πραγματικού αντικειμένου. Έτσι στο παράδειγμα του ανθρώπου που περπατά, θα μπορούσαν να δημιουργηθούν εξογκώματα στις περιοχές που παραμορφώνονται, όπως τα πόδια και τα «μπράτσα» του.



Σχήμα 1.5 Παραμόρφωση Αντικειμένου (Κόκκινες περιοχές)

Για την εξαγωγή τέτοιων πληροφοριών από την παραμόρφωση του αντικειμένου μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μέθοδοι. Τέτοιες μέθοδοι θα παρουσιαστούν τόσο στα κεφάλαια 3 και 4.

1.5. Σχετικές Εργασίες

Ο τομέας που ασχολείται με την διατήρηση του όγκου σε τριδιάστατα αντικείμενα είναι αρκετά ευρύς και περιλαμβάνει πληθώρα προτεινόμενων τεχνικών για την επίλυση του προβλήματος. Οι διάφορες τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί επικεντρώνονται σε συγκεκριμένα σημεία της διατήρησης του όγκου, θέτουν κάποιες προϋποθέσεις ως προς το σύνολο των δεδομένων που θα επεξεργαστούν καθώς και θέτουν ειδικούς χειρισμούς στον σχεδιαστή για την επίτευξη του αποτελέσματος. Στην διατριβή αυτή προσπαθήσαμε να ελαχιστοποιήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο το σύνολο των δεδομένων που χρειάζονται για την αναπαράσταση και διατήρηση του όγκου του αντικειμένου, καθώς επίσης περιορίστηκε και η επίπονη διαδικασία ειδικού χειρισμού που απαιτείται από τον σχεδιαστή για την επίτευξη της διατήρησης του όγκου.

Οι διαφορές των τεχνικών που έχουν προταθεί για την επίτευξη διατήρησης του όγκου διαχωρίζονται ανάλογα με το είδος της πληροφορίας που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση του αντικειμένου, τον τρόπο και το επίπεδο διατήρησης του, τη χρήση επιπλέον πληροφορίας για την εξαγωγή χρήσιμων παραμέτρων, τους τρόπους επίδρασης του σχεδιαστή για την ολοκλήρωση της διαδικασίας.

Σε αρκετές τεχνικές που έχουν προταθεί [1,3,4] εμπεριέχεται η χρήση σκελετικής δομής ως επιπλέον χαρακτηριστικό του πλέγματος που αναπαριστά το αντικείμενο με σκοπό την οριοθέτηση περιοχών επιρροής από αυτή. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η δημιουργία νέων ποζών του αντικειμένου με την παραμόρφωση της σκελετικής δομής. Κάθε στοιχείο του πλέγματος επηρεάζεται σε κάποιο βαθμό από ένα ή περισσότερα μέρη του σκελετού. Ο συνδυασμός όλων αυτών των επιρροών για κάθε στοιχείο του πλέγματος οδηγεί στην εκ νέου παραμόρφωση του αντικειμένου. Το επιπλέον αυτό χαρακτηριστικό προϋποθέτει την δημιουργία του από τον σχεδιαστή καθώς επίσης και την απόδοση του βαθμού επιρροής των σημείων του

πλέγματος από τα μέλη της σκελετικής δομής, γεγονός που είναι αρκετά επίπονο για τον σχεδιαστή. Βασιζόμενοι στην τελευταία παρατήρηση στην συγκεκριμένη διατριβή δεν προστέθηκε η χρήση σκελετού καθώς ο χρήστης εισάγει μόνο ένα πλέγμα αναφοράς και το πλέγμα το οποίο επιθυμεί να διατηρήσει.

Άλλες τεχνικές χρησιμοποιούν ειδικές μεθόδους για την διατήρηση του όγκου μέσω της χρήσης σχημάτων. Ο σχεδιαστής εισάγει παραμέτρους σύμφωνα με τις οποίες διαμορφώνεται η διατήρηση στα μέρη του αντικειμένου. Π.χ. μπορεί να καθοριστεί ο βαθμός διατήρησης ως προς τους άξονες συντεταγμένων [2], ή να μελετάται η μετακίνηση πλαισίων των πλεγμάτων [8] και με επεξεργασία αυτών να επιτυγχάνεται η διατήρηση του όγκου.

Έχουν αναπτυχθεί επίσης τεχνικές οι οποίες προσπαθούν να προσομοιώσουν την παραμόρφωση δίνοντας ρεαλιστικότερες αποδόσεις με την εισαγωγή της φυσικής των αντικειμένων [13]. Επίσης όπως προτείνεται στο [9] για την διατήρηση του όγκου χρησιμοποιείται η γνώση του μονοπατιού κίνησης των σημείων του αντικειμένου, ενώ μία άλλη τεχνική προτείνει την χρήση φίλτρων για την προσαρμογή διαφορετικής ανάλυσης πλεγμάτων και την εξαγωγή πληροφοριών [10].

Επιπλέον στις περισσότερες τεχνικές παρουσιάζονται μέθοδοι τόσο για την ολική όσο και την τοπική διατήρηση του όγκου [1,2]. Για την κατάτμηση των αντικειμένων χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές [5,6] βασιζόμενες σε κοινές παραμέτρους των σημείων του αντικειμένου που τα χαρακτηρίζουν. Στην συγκεκριμένη διατριβή λαμβάνεται υπόψη η παραμόρφωση των σημείων του αντικειμένου σε σχέση με την πόζα αναφοράς και χρησιμοποιείται τόσο για την κατάτμηση του αντικειμένου όσο και για την εξαγωγή πληροφορίας για την λεπτομερέστερη διατήρηση του όγκου.

1.6. Δομή της Διατριβής

Η διατριβή αυτή αποτελείται από πέντε (5) κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στο πρόβλημα, δίνεται μία γενική εικόνα στον αναγνώστη, παρουσιάζονται σχετικές εργασίες και παρουσιάζονται οι στόχοι της διατριβής. Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται το πρόβλημα της διατήρησης του όγκου ενός αντικειμένου σε ένα mesh animation, δίνονται βασικές πληροφορίες σχετικά με την

κατανόηση του προβλήματος, παρουσιάζεται μία μέθοδος υπολογισμού του όγκου ενός αντικειμένου και γίνεται μία πρώτη προσέγγιση της ολικής διατήρησης του όγκου του. Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται νέες προσεγγίσεις του προβλήματος, εξάγονται νέες παράμετροι βασιζόμενες στην παραμόρφωση του αντικειμένου που βοηθούν στην ομαλότερη διατήρηση του όγκου του και γίνεται μία νέα προσπάθεια διατήρησης του. Στο 4^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται μία μέθοδος κατάτμησης του αντικειμένου, η οποία ομαδοποιεί μέλη του με βάση κοινά στοιχεία παραμόρφωσης, παρουσιάζεται μία νέα προσέγγιση του υπολογισμού του τοπικού όγκου των ομαδοποιημένων μελών του αντικειμένου, εισάγονται νέες επιπλέον παράμετροι οι οποίες βοηθούν την ομαλότερη και ρεαλιστικότερη διατήρηση του τοπικού όγκου των ομαδοποιημένων μελών. Τέλος στο Κεφάλαιο 5 δίνονται πληροφορίες σχετικές με την υλοποίηση της διατριβής, πληροφορίες για το περιβάλλον υλοποίησης, πειραματικά αποτελέσματα των μεθόδων που παρουσιάστηκαν στην διατριβή καθώς και μελλοντική εργασία και επεκτάσεις της. Τέλος παρατίθενται οι σχετικές αναφορές που μελετήθηκαν για την διεκπεραίωση της διατριβής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΚΑΘΟΛΙΚΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΟΓΚΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΘΕΤΩΝ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΩΝ

2.1 Αναπαράσταση Αντικειμένου

2.2 Υπολογισμός Όγκου

2.3 Διατήρηση Όγκου

2.4 Αποτελέσματα – Σχολιασμός

Ας σκεφτούμε την αναπαραγωγή μίας κίνησης ενός τριδιάστατου αντικειμένου ως μία ακολουθία από επαρκής παραμορφωμένες πόζες αυτού. Το πλήθος των ποζών προσδίδει μεγαλύτερη λεπτομέρεια στην κίνηση του και την κάνει πιο αληθοφανή. Κάθε πόζα του αντικειμένου αποτελεί απλώς μία παραμόρφωση της πόζας αναφοράς, είτε μετακινώντας κάποια σημεία της είτε ολόκληρη την πόζα. Αυτές οι μετακινήσεις των σημείων της μπορεί να έχουν δημιουργηθεί από τον σχεδιαστή ή να είναι αποτέλεσμα κάποιας συνάρτησης που εφαρμόστηκε στο αρχικό μοντέλο. Επειδή αυτές οι μετακινήσεις έχουν δημιουργηθεί ως επί το πλείστον μη λαμβάνοντας υπόψη την δομή των ιστών του αντικειμένου (π.χ. αν μετακινηθεί ένα χέρι μπορεί να δημιουργηθεί εξόγκωμα του μυός κτλ), κάθε σημείο μπορεί να παραμορφωθεί ως ανεξάρτητο, με αποτέλεσμα να αλλάζει η δομή σε σχέση με τα γειτονικά του σημεία. Σαν αποτέλεσμα των παραπάνω παρατηρείται δημιουργία ακόμα και εξαφάνιση περιοχών, όγκου και έλλειψη συνέχειας του αντικειμένου.

Σύμφωνα με τα παραπάνω για την αναπαραγωγή ποζών από τον σχεδιαστή θα χρειαζόταν μία ιδιαίτερα εκλεπτυσμένη μεταχείριση των περιοχών του αντικειμένου με επιπλέον γνώση της δομής αυτού. Απαραίτητη λοιπόν προϋπόθεση για την ανάπτυξη παραμορφώσεων σε κάποιο αντικείμενο αποτελεί η γνώση της γειτονικής

δομής για κάθε σημείο, έτσι ώστε οι παραμορφώσεις να είναι συνεχείς και ρεαλιστικές οπτικά.

Κατά την αναπαραγωγή ενός mesh animation το αντικείμενο που αναπαριστάται, μετακινείται, περιστρέφεται, παραμορφώνεται. Χωρίς ειδική μεταχείριση ο όγκος του κατά την διάρκεια ενός animation μεταβάλλεται τοπικά συνεπώς και ολικά. Μία πρώτη προσέγγιση του προβλήματος μας οδηγεί στην καταμέτρηση της διαφοράς του όγκου μίας πόζας από την πόζα αναφοράς. Αυτή η καταμέτρηση μας δείχνει αν η πόζα που ελέγξαμε «δημιούργησε» ή «έχασε» όγκο σε σχέση με την αρχική. Η πληροφορία αυτή μας δίνει μία γενική εικόνα του αντικειμένου και δεν προσφέρει κάποια τοπική πληροφορία για το που ακριβώς συνέβη αυτή η μεταβολή στο αντικείμενο. Η πρώτη σκέψη για διατήρηση του όγκου γίνεται σε καθολικό επίπεδο στο αντικείμενο καθώς δεν είναι γνωστή περισσότερη πληροφορία για αυτό.

Υποθέτουμε αρχικά πως αν μετακινήσουμε εκ νέου όλα τα σημεία του αντικειμένου με κατάλληλο τρόπο, μπορεί να επιτύχουμε μία καλή προσέγγιση του όγκου της αρχικής πόζας. Όμως σκεπτόμενοι αυτό δημιουργούμε νέα προβλήματα:

- Ποιος θα είναι ο συντελεστής μετακίνησης κάθε σημείου του μοντέλου;
- Προς ποια κατεύθυνση θα μετακινηθεί κάθε σημείο;

Εφαρμόζοντας αυτήν την τεχνική μπορούμε να επιτύχουμε μία καλύτερη προσέγγιση του όγκου της πόζας αναφοράς από την συγκεκριμένη πόζα, όμως υπάρχει και η πιθανότητα να δημιουργήσουμε μεγαλύτερο σφάλμα με αυτή την μετακίνηση. Γεννώνται λοιπόν νέα ερωτήματα ως προς την εφαρμογή της συγκεκριμένης διαδικασίας ανάλογα με το αποτέλεσμα που αυτή θα επιφέρει στο αντικείμενο.

Στην περίπτωση που το σφάλμα του όγκου έχει μειωθεί ως προς την πόζα αναφοράς:

- Μπορούμε να εφαρμόσουμε εκ νέου την παραπάνω διαδικασία;
- Πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τις ίδιες παραμέτρους με πριν;
- Μέχρι πότε θα μπορούμε να εφαρμόζουμε την συγκεκριμένη τεχνική εάν συνεχώς επιτυγχάνουμε μείωση του σφάλματος;

Στην περίπτωση που η αρχική διόρθωση δεν έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του σφάλματος:

- Μπορούμε να θέσουμε νέες παραμέτρους για την μετακίνηση των σημείων;
- Πρέπει να προσδιορίσουμε νέους άξονες μετακίνησης;

Στο κεφάλαιο λοιπόν αυτό θα παρουσιαστούν βασικές πληροφορίες απαραίτητες για την κατανόηση του προβλήματος καθώς και ένας τρόπος υπολογισμού του όγκου του αντικειμένου. Παρουσιάζεται επίσης μία πρώτη προσέγγιση για την διατήρηση του όγκου του, δίνονται επεξηγήσεις για τους τρόπους διόρθωσης του και για τους υπολογισμούς που απαιτούνται. Τέλος δίνονται αποτελέσματα της μεθόδου και γίνεται σχολιασμός αυτών.

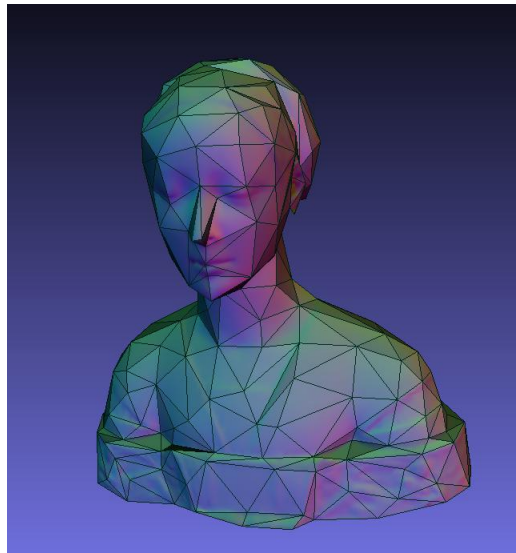
2.1. Αναπαράσταση Αντικειμένου

Η απεικόνιση ενός τριδιάστατου αντικειμένου σε έναν H/Y πλέον αποτελεί έναν σημαντικό κομμάτι στον χώρο της Πληροφορικής και τον τομέα των γραφικών. Για αυτόν το λόγο έχουν αναπτυχτεί αρκετές μέθοδοι αναπαράστασης φυσικών αντικειμένων σε H/Y. Κάποιες απαιτούν την σχεδίαση του αντικειμένου από έναν σχεδιαστή, άλλες την δημιουργία του μέσω τριδιάστατων scanner, ενώ υπάρχουν και μέθοδοι οι οποίες καταγράφουν την κίνηση του αντικείμενου (motion capture) και την αποτυπώνουν στον H/Y. Κάθε μία από αυτές μπορεί να υπερτερεί σε κάποιους τομείς (π.χ. τα 3D scanner αποδίδουν πιο ρεαλιστικά το μοντέλο από την εξολοκλήρου σχεδίαση του), ενώ μπορεί να μειονεκτούν σε άλλους τομείς (π.χ. το κόστος απόκτησης ενός 3D scanner είναι συνήθως απαγορευτικό) .

2.1.1. Περίβλημα

Για την απεικόνιση ενός τριδιάστατου αντικειμένου στους H/Y έχει επικρατήσει η αναπαράσταση του στην μορφή πλέγματος (mesh), καθώς αυτή διευκολύνει την επεξεργασία και οπτικοποίηση του. Το πλέγμα αυτό αποτελείται από κορυφές (vertices), ακμές (edges) και επιφάνειες (faces), οι οποίες συνθέτουν το πολυεδρικό αντικείμενο. Συνήθως οι επιφάνειες ορίζονται από τριδιάστατα τρίγωνα ή τετράπλευρα. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιούνται τρίγωνα για την αναπαράσταση των επιφανειών αφού αποτελούν τον πιο διαδεδομένο τρόπο

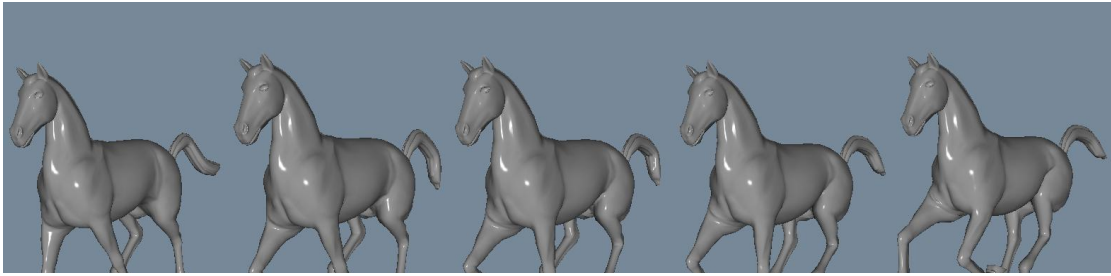
αναπαράστασης. Το πλήθος των παραπάνω στοιχείων σχηματίζει το αντικείμενο και καθορίζει την ευκρίνεια του. Συνήθως περισσότερα σημεία σε ένα πλέγμα, αποδίδουν το αντικείμενο με μεγαλύτερη λεπτομέρεια και το καθιστούν ρεαλιστικότερο. Οι κορυφές του πλέγματος ενώνονται μεταξύ τους με ακμές, οι οποίες ανά κλειστές τριάδες καθιστούν μία επιφάνεια του αντικειμένου (face). Η επεξεργασία του πλέγματος επιτυγχάνεται με την μετακίνηση, περιστροφή, παραμόρφωση αυτών των τριών δομικών χαρακτηριστικών.



Σχήμα 2.1 Πλεγματική Αναπαράσταση Γυναίκας

2.1.2. Κίνηση Περιβλήματος

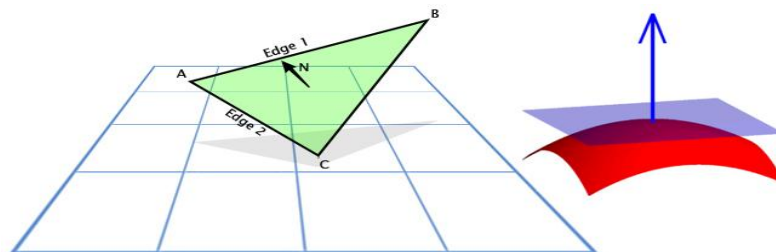
Μία ακολουθία κίνησης (mesh animation) χρησιμοποιείται συνήθως για την αναπαράσταση της κίνησης ενός τριδιάστατου αντικειμένου. Αποτελείται από στιγμιότυπα του αντικειμένου και κάθε στιγμιότυπο της ακολουθίας αποτελείται από μία πλεγματική αναπαράσταση του αντικειμένου. Οι κορυφές, οι ακμές και οι επιφάνειες παραμένουν σταθερές ως προς την δομή και την συνδεσιμότητα τους κατά την διάρκεια του animation, μπορούν όμως να μετακινούνται να περιστρέφονται και να παραμορφώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην τις επηρεάζουν. Αυτές οι μετακινήσεις αποδίδουν την κίνηση του αντικειμένου και προσφέρουν το τελικό αποτέλεσμα.



Σχήμα 2.2 Mesh Animation

2.1.3. Κάθετα Διανύσματα

Εκτός των δομικών στοιχείων ενός πλέγματος (κορυφές, ακμές, επιφάνειες), σημαντική πληροφορία για αυτό δίνουν και τα κάθετα διανύσματα (Normal). Το normal ενός τριγώνου του πλέγματος είναι ένα κάθετο διάνυσμα στην επιφάνεια του. Κάθε τρίγωνο στο πλέγμα ορίζεται από τρία τριδιάστατα σημεία έστω v_1, v_2, v_3 . Το Normal n ενός τριγώνου t υπολογίζεται ως $n_t = (v_2 - v_1) \times (v_3 - v_1)$, όπου $\times$ είναι το εξωτερικό γινόμενο των δύο διανυσμάτων. Η κατεύθυνση του normal καθορίζεται από την σειρά των κορυφών του τριγώνου. Στην περίπτωση που οι κορυφές είναι ταξινομημένες στο τρίγωνο με την φορά του ρολογιού (από την σκοπιά του θεατή), τότε το Normal κατευθύνεται προς τον θεατή, ενώ στην αντίθετη περίπτωση το διάνυσμα κατευθύνεται στην αντίθετη κατεύθυνση προς τον θεατή.



Σχήμα 2.3 Normal

Κάθε σημείο του πλέγματος το πιο πιθανό είναι να συμμετέχει σε περισσότερα του ενός τρίγωνα. Υπολογίζοντας τα normal για όλα τα τρίγωνα του

πλέγματος μπορούμε στην συνέχεια να υπολογίσουμε τα normal κάθε κορυφής του. Το Normal η μίας κορυφής ν υπολογίζεται ως το άθροισμα των Normal των τριγώνων στα οποία συμμετέχει αυτή η κορυφή:

$$n_v = \sum_t n_t,$$

όπου t είναι το σύνολο των τριγώνων στα οποία συμμετέχει η κορυφή ν. Αφού υπολογιστεί η τιμή του Normal για μία κορυφή ν η τιμή του κανονικοποιείται στην μονάδα. Το κανονικοποιημένο διάνυσμα του προκύπτει ως:

$$n(x, y, z) = n(x, y, z) / \sqrt{x^2 + y^2 + z^2},$$

όπου ο παρανομαστής αποτελεί το «μέτρο» του διανύσματος και x,y,z οι συντεταγμένες του διανύσματος.

Τα Normal αποτελούν πολύ σημαντική πληροφορία σε ένα πλέγμα καθώς χρησιμοποιούνται ευρέως σε μία πληθώρα εφαρμογών για την επεξεργασία του όπως και στην παραγωγή σωστού φωτισμού του αντικειμένου. Τα Normal κάθε κορυφής δίνουν στοιχεία για την εξωτερική κατεύθυνση του αντικειμένου. Στην συνέχεια θα προταθεί χρήση των Normal των κορυφών για την ρύθμιση της κατεύθυνσης στην οποία θα κινηθούν οι κορυφές του πλέγματος για την διατήρηση του όγκου του και για αυτόν τον λόγο κρίθηκε σκόπιμη η αναφορά τους στο σημείο αυτό.

2.2. Υπολογισμός Όγκου

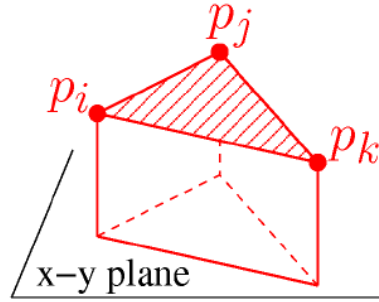
Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα το πλέγμα που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση του αντικειμένου αποτελείται από επιμέρους επιφάνειες. Αυτές οι επιφάνειες μπορεί να είναι τρίγωνα, τετράπλευρα κτλ. Στην συγκεκριμένη προσέγγιση για να οριστούν οι επιφάνειες χρησιμοποιούνται τρίγωνα. Για κάθε τρίγωνο στον δισδιάστατο χώρο μπορεί να υπολογισθεί το εμβαδόν του ως $b * h/2$, όπου b το μήκος της βάσης του τριγώνου και h το ύψος του. Στα πλέγματα που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των αντικειμένων γίνεται μία προσαρμογή έτσι ώστε να υπολογιστεί ο όγκος τους. Για κάθε τρίγωνο του πλέγματος υπολογίζεται ο όγκος του υπολογίζοντας αντίστοιχα τον όγκο του πρίσματος που προκύπτει με την προβολή του τριγώνου στους άξονες xy. Έτσι για κάθε τρίγωνο t με κορυφές v_1, v_2, v_3 ο όγκος του εκφράζεται ως εξής:

$$vol(t) = \frac{1}{6} * (v_{1_z} + v_{2_z} + v_{3_z}) * \begin{vmatrix} (v_{2_x} - v_{1_x}) & (v_{3_x} - v_{1_x}) \\ (v_{2_y} - v_{1_y}) & (v_{3_y} - v_{1_y}) \end{vmatrix},$$

όπου x,y,z είναι οι συντεταγμένες της κάθε κορυφής.

Έστω το mesh M , $M = (p_1, \dots, p_N) \in \mathbb{R}^{3N}$, όπου $p_1, \dots, p_N$ το σύνολο των κορυφών του mesh M και έστω T το σύνολο των επιφανειών (τριγώνων) του μοντέλου, που προκύπτουν από το σύνολο M . Τότε ο συνολικός όγκος του πλέγματος υπολογίζεται ως το άθροισμα των προσημασμένων όγκων των πρισμάτων που αντιστοιχούν στα τρίγωνα του συνόλου T . Άρα ο όγκος ενός πλέγματος M είναι:

$$Vol(M) = \sum_{t \in T} vol(t), \quad \text{Εξ. 2.1}$$



Σχήμα 2.4 Όγκος Τριγώνου (Προβολή στον άξονα xy)

2.3. Διατήρηση Όγκου

Ας υποθέσουμε δύο πόζες ενός αντικειμένου. Έστω M^0 το mesh της πόζας αναφοράς και M^T το mesh μίας πόζας του animation η οποία έχει παραμορφωθεί σε σχέση με την πόζα αναφοράς. Έστω ότι κάθε πόζα αποτελείται από N κορυφές και F προσανατολισμένες (με την φορά του ρολογιού) επιφάνειες. Συνεπώς κάθε πόζα T χαρακτηρίζεται από ένα $3N$ διάνυσμα ως $M^T = (p_1^T, \dots, p_N^T) \in \mathbb{R}^{3N}$. Χρησιμοποιώντας την μέθοδο για τον υπολογισμό του όγκου της ενότητας 2.2. υπολογίζουμε τους όγκους $Vol(M^0)$ και $Vol(M^T)$ της πόζας αναφοράς και της ενδιάμεσης πόζας αντίστοιχα. Επομένως η καθολική μεταβολή του όγκου της νέας πόζας από την πόζα αναφοράς υπολογίζεται ως:

$$\Delta V = Vol(M^0) - Vol(M^T).$$

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή του κεφαλαίου αρχικός στόχος είναι η μετακίνηση όλων των κορυφών του πλέγματος της παραμορφωμένης πόζας σε τέτοιο βαθμό ώστε ο όγκος της παραμορφωμένης πόζας να τείνει στον όγκο της πόζας αναφοράς. Επομένως πρέπει να βρεθούν εκείνα τα διανύσματα διορθωτικής μετακίνησης για κάθε κορυφή της πόζας τα οποία θα οδηγήσουν το $\Delta V \rightarrow 0$. Έστω λοιπόν ότι αυτά τα διανύσματα της πόζας T είναι τα $u^T = (u_1^T, \dots, u_N^T) \in \mathbb{R}^{3N}$.

Γνωρίζοντας πως με την μετακίνηση των κορυφών θα επιτύχουμε πιθανώς μία καλύτερη προσέγγιση του όγκου της πόζας αναφοράς δημιουργούνται δύο νέα ερωτήματα:

- Ποια θα είναι η κατεύθυνση μετακίνησης του κάθε διορθωτικού διανύσματος u
- Σε ποιο βαθμό θα μετακινηθεί κάθε κορυφή στην ορισμένη κατεύθυνση

Συνεπώς κάθε διάνυσμα u για μία κορυφή v μπορεί να εκφραστεί ως $u_v = \rho_v * y_v$, όπου το ρ_v δίνει τον βαθμό μετακίνησης της κορυφής και το y_v δίνει την κατεύθυνση στην οποία θα κινηθεί η κορυφή.

Για να ορίσουμε την διατήρηση του όγκου εξαρτημένη της τοπικής ιδιομορφίας(πληροφοριών) του αντικειμένου ορίζουμε ως y_v το Normal της κορυφής v που περιγράφηκε στην ενότητα 2.1.3, συνεπώς $u_v = \rho_v * n_v$, όπου n_v το κανονικοποιημένο Normal της κορυφής v . Μένει να ορίσουμε λοιπόν τον βαθμό με τον οποίο κάθε κορυφή θα μετακινηθεί στην κατεύθυνση του Normal της.

Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση που το $\|u\|$ είναι αρκετά μικρό τότε η μη γραμμική συνάρτηση του όγκου μπορεί να γίνει γραμμική με την χρήση προσέγγισης πρώτης τάξης (Εξ. 2.1):

$$Vol(M^T + u^T) = Vol(M^0) + \langle u, \nabla Vol(M^T) \rangle_{\mathbb{R}^{3N}}$$

όπου $\langle, \rangle_{\mathbb{R}^{3N}}$ το εσωτερικό γινόμενο στον $\mathbb{R}^{3N}$. Έστω λοιπόν ότι $\rho = (\rho_1, \dots, \rho_N)$ τότε $(\rho n)^T = (\rho_1 n_1^T, \dots, \rho_N n_N^T)$ και $\Delta V = \langle \rho n, \nabla Vol(M^T) \rangle_{\mathbb{R}^{3N}}$.

Η διατήρηση του όγκου μπορεί να εκφραστεί λοιπόν ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης με περιορισμούς:

$$\begin{cases} \min \| \rho \|_{\mathbb{R}^N}^2 \\ Vol(M^T + \rho n) = Vol(M^0) \end{cases} \quad \text{Εξ. 2.2}$$

Χρησιμοποιώντας ένα πολλαπλασιαστή Lagrange λ μπορούμε να βρούμε έναν κλειστό τύπο υπολογισμού των ρ_k τιμών. Έτσι το παραπάνω πρόβλημα βελτιστοποίησης με περιορισμούς (Εξ. 2.2) μετατρέπεται σε ένα ελαχίστου-μεγίστου πρόβλημα χωρίς περιορισμούς:

$$E(\rho, \lambda) = \|\rho\|_{\mathbb{R}^N}^2 - \lambda(<\rho n, \nabla Vol(v)>_{\mathbb{R}^{3N}} - \Delta V).$$

Εάν επιλύσουμε το πρόβλημα αυτό για κάθε ρ_v τιμή όπου v κορυφή έχουμε:

$$\rho_v = \Delta V \frac{<n_v, \nabla Vol(v)>}{\sum_{j=1}^N <n_j, \nabla Vol(v)>^2} \quad \text{Εξ. 2.3}$$

Ο υπολογισμός της καθολικής μεταβολής του όγκου ΔV και της κλίσης ∇Vol μπορεί να προϋπολογιστεί ώστε η διόρθωση των σημείων να είναι αποδοτική.

Σε αυτό το στάδιο λοιπόν έχουμε επιλύσει τους αρχικούς προβληματισμούς. Ορίστηκε τόσο η κατεύθυνση διόρθωσης για κάθε κορυφή του πλέγματος όσο και ο βαθμός με τον οποίο επηρεάζεται κάθε κορυφή. Όλες οι κορυφές του πλέγματος λοιπόν μετακινούνται κατά ένα παράγοντα u . Η διαδικασία αυτή μπορεί να εφαρμοστεί επαναληπτικά σε ένα πλέγμα ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη διόρθωση του καθολικού σφάλματος του όγκου.

2.4. Αποτελέσματα - Σχολιασμός

Στο κεφάλαιο αυτό μελετήσαμε βασικές αρχές για την πλεγματική αναπαράσταση του αντικειμένου σε έναν H/Y και ορίστηκαν κάποιες βασικές δομές του. Παρουσιάστηκαν πληροφορίες για τον υπολογισμό των Normal των κορυφών του καθώς και η χρησιμότητα τους για την διατήρηση του όγκου. Μελετήθηκε ένας τρόπος υπολογισμού του όγκου μίας πλεγματικής πόζας και παρουσιάστηκε μία μέθοδος υπολογισμού διορθωτικών διανυσμάτων τέτοιων ώστε ο όγκος της πόζας που μας ενδιαφέρει να πλησιάζει τον όγκο της πόζας αναφοράς.

Συνοψίζοντας λοιπόν παρουσιάστηκαν τα εξής:

- Πλεγματική Αναπαράσταση του αντικειμένου
- Υπολογισμός Normal κορυφών
- Υπολογισμός Όγκου του αντικειμένου
- Εύρεση σφάλματος όγκου από την πόζα αναφοράς
- Εύρεση διορθωτικών διανυσμάτων u

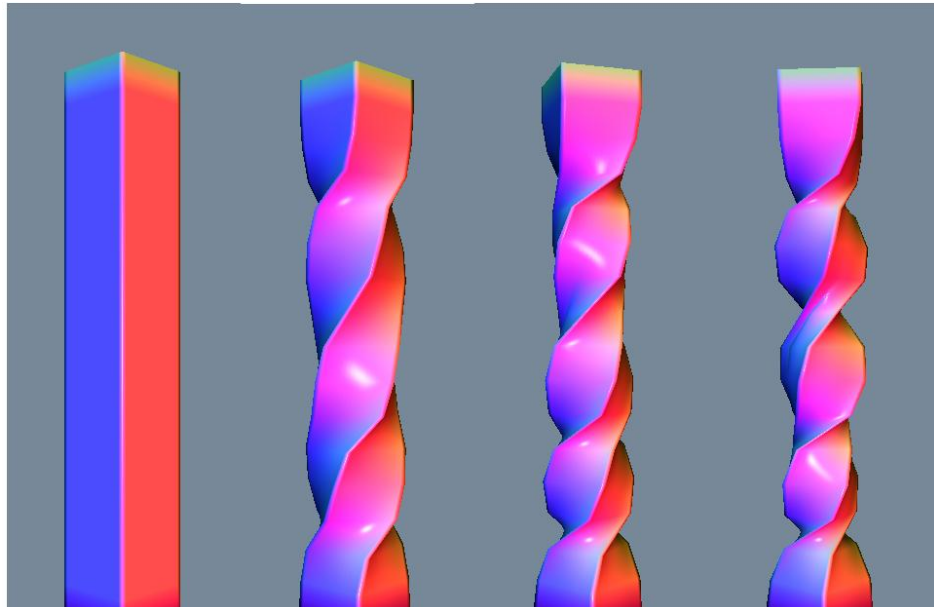
- Χρήση του Normal της κορυφής για την κατεύθυνση του διανύσματος u
- Εύρεση μετρικής ρ για τον βαθμό μετακίνησης στην κατεύθυνση αυτή
- Εφαρμογή των διανυσμάτων u σε όλες τις κορυφές του πλέγματος
 - Εκ νέου υπολογισμός του όγκου για την εύρεση του νέου σφάλματος
- Πιθανή επανάληψη της διαδικασίας για εύρεση μικρότερου σφάλματος

Τα πειραματικά αποτελέσματα που διενεργήθηκαν έπειτα από την εφαρμογή της παραπάνω διαδικασίας σε διάφορα πλεγματικά μοντέλα επιβεβαιώνουν τις αρχικές μας εκτιμήσεις. Το σφάλμα του καθολικού όγκου μειώνεται ως προς την πόζα αναφοράς. Το ποσοστό της μείωσης αυτής διαφέρει από πόζα σε πόζα και από μοντέλο σε μοντέλο. Το συνολικό συμπέρασμα όμως μας οδηγεί στο γεγονός της μείωσης ως επί το πλείστον του σφάλματος. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων εφαρμόζοντας την διορθωτική διαδικασία περισσότερες φορές στο ίδιο μοντέλο, επιτυγχάνεται ακόμα μεγαλύτερη μείωση του σφάλματος.

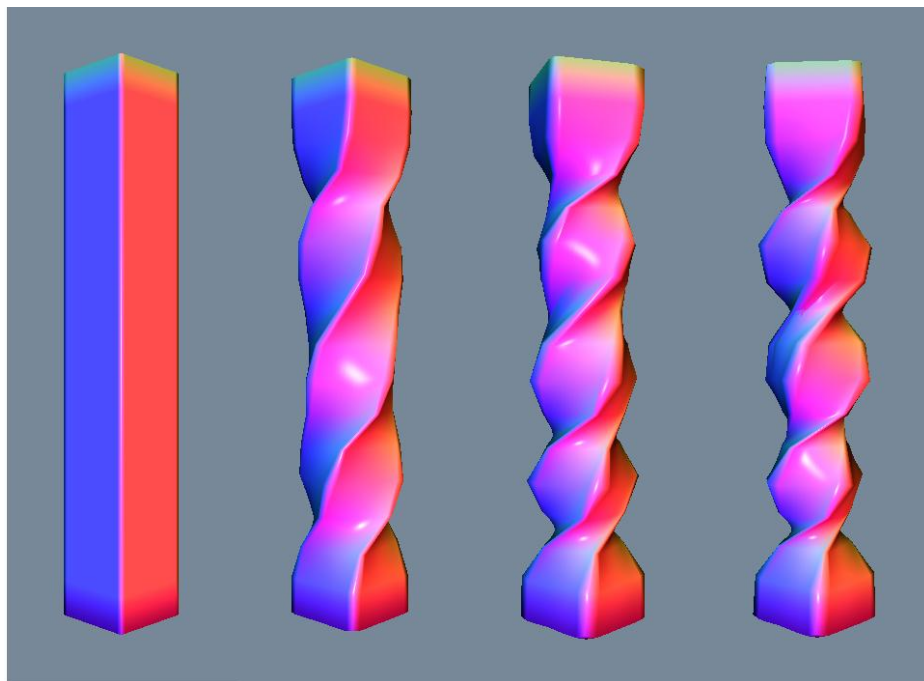
Παρόλα αυτά παρατηρείται γενικά πως τα παραγόμενα μοντέλα έπειτα από την εφαρμογή της διορθωτικής διαδικασίας, παρουσιάζουν κάποιο «φούσκωμα» ή «ξεφούσκωμα» αντίστοιχα, γεγονός που καθιστά τα μοντέλα όχι και τόσο ρεαλιστικά. Όπως ήταν αναμενόμενο αυτό συμβαίνει λόγω της καθολικής διόρθωσης του πλέγματος η οποία επηρεάζει και σημεία του στα οποία δεν υπήρχε λόγος διόρθωσης αφού το μοντέλο δεν είχε παραμορφωθεί στην περιοχή τους. Λόγω των παραπάνω προβλημάτων της διαδικασίας στο Κεφάλαιο 3 θα γίνει μία εκτενέστερη μελέτη του προβλήματος και θα δοθεί μεγαλύτερη λεπτομέρεια στην ρεαλιστικότερη διόρθωση των πλεγμάτων.

Τα πειραματικά αποτελέσματα για τις ακολουθίες πλεγμάτων (mesh animation) θα παρουσιασθούν αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5, καθώς θα παρουσιαστούν και αναλυτικοί πίνακες των αποτελεσμάτων της παραπάνω διαδικασίας καθώς και για τα στοιχεία των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν.

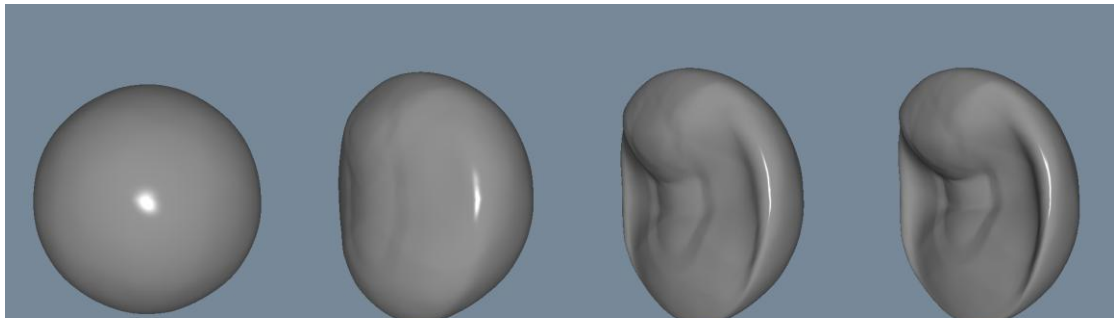
Στο Σχήμα 2.5.2 παρατηρούμε το ολικό «φούσκωμα» του αντικειμένου, ενώ ο όγκος διατηρείται σε σχέση με το σχήμα 2.5.1. Επίσης ένα παρόμοιο αποτέλεσμα παρακολουθούμε στο Σχήμα 2.6.2 το οποίο αποτελεί το διατηρημένο animation του Σχήματος 2.6.1.



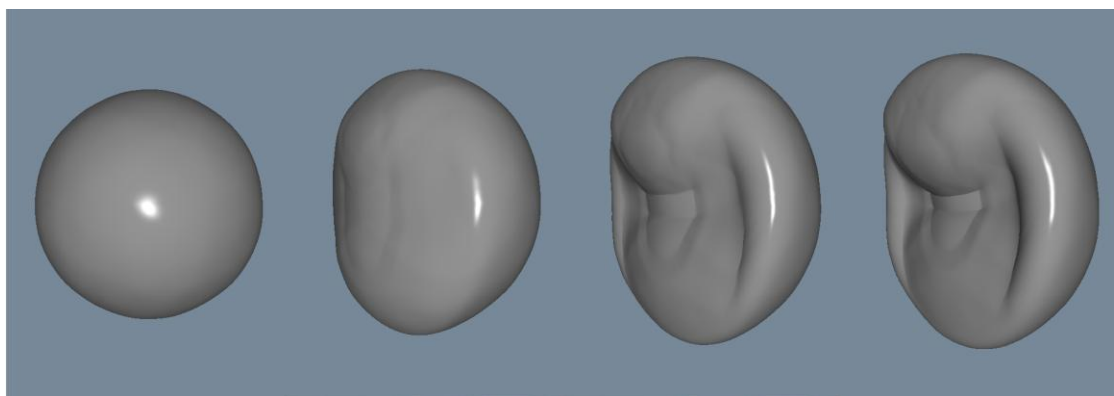
Σχήμα 2.5.1 Αρχικό Animation



Σχήμα 2.5.2 Animation με Διατήρηση του Όγκου με την Χρήση Normal



Σχήμα 2.6.1 Αρχικό Animation



Σχήμα 2.6.2 Animation με Διατήρηση του Όγκου με την Χρήση Normal

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΚΑΘΟΛΙΚΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΟΓΚΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

3.1 Παραμόρφωση Περιβλήματος

3.2 Εισαγωγή Παραμέτρων στις κορυφές του Πλέγματος

3.3 Πόζες Αναφοράς

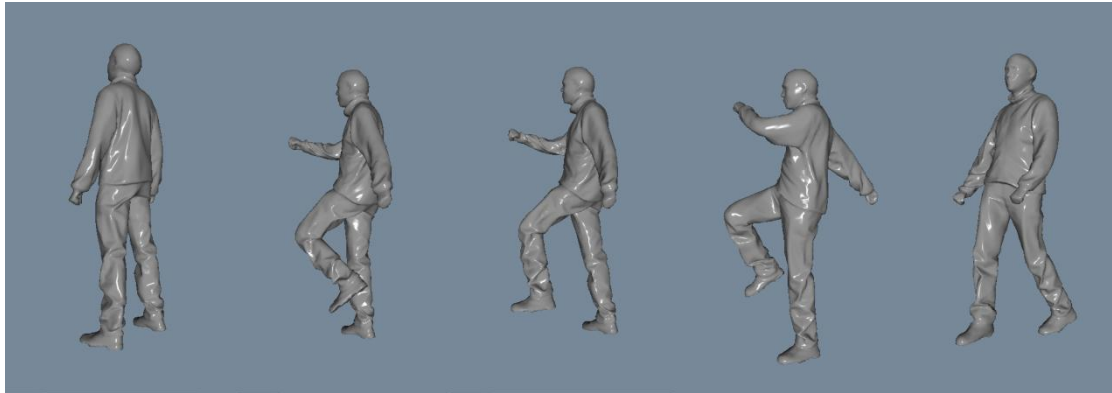
3.4 Διατήρηση του Όγκου με τη Χρήση Deformation Gradient

3.5 Αποτελέσματα - Σχολιασμός

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκε μία πρώτη προσέγγιση για την διόρθωση του καθολικού σφάλματος του όγκου σε μία πλεγματική πόζα ενός αντικειμένου. Η διόρθωση επιτεύχθηκε υπολογίζοντας το καθολικό σφάλμα ως προς την πόζα αναφοράς και βρίσκοντας διανύσματα διόρθωσης για κάθε κορυφή του πλέγματος. Τα πειραματικά αποτελέσματα επαλήθευσαν την υπόθεση μας, διορθώνοντας τον όγκο του αντικειμένου. Παρόλα αυτά τα οπτικά αποτελέσματα της παραπάνω μεθόδου δεν απέδιδαν ρεαλιστικές παραμορφώσεις του αντικειμένου γεγονός αναμενόμενο αφού η διόρθωση του όγκου πραγματοποιήθηκε σε όλο το αντικείμενο μη λαμβάνοντας υπόψη την τοπική παραμόρφωση του. Παρατηρήθηκαν φαινόμενα «φουσκώματος-ξεφουσκώματος» του πλέγματος χωρίς να αποδίδονται ιδιαίτερα χαρακτηριστικά σε αυτό.

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με πληροφορίες του αντικειμένου που πηγάζουν από τις τοπικές παραμορφώσεις του. Σε ένα αντικείμενο κατά την διάρκεια ενός animation κάποια σημεία του παραμορφώνονται ενώ κάποια άλλα μπορεί όχι. Αυτή η παραμόρφωση μπορεί να διαφέρει από πόζα σε πόζα αλλά και από περιοχή σε περιοχή στο αντικείμενο. Στο αρχικό μας παράδειγμα ενός ανθρώπου που περπατά,

τα άκρα του παραμορφώνονται στην πλειονότητα των ποζών του animation ενώ το κεφάλι του π.χ. μπορεί να παραμορφώνεται μόνο σε μερικές από αυτές ακόμα και σε καμία όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1 Παραμόρφωση Μελών Αντικειμένου

Οι παραπάνω μελέτες θέτουν νέους προβληματισμούς για την διατήρηση του όγκου ενός mesh. Ως πρώτος στόχος τίθεται η κατανόηση της έννοιας της παραμόρφωσης, ώστε να προσδιορισθεί τι είναι αυτό που μπορεί να θεωρηθεί πως έχει παραμορφώσει ένα σημείο της πόζας καθώς και σε σύγκριση με ποιο αντικείμενο θεωρείται πως παραμορφώθηκε. Επεκτείνοντας τίθεται το ερώτημα ποιες είναι εκείνες οι διαδικασίες οι οποίες θα εξάγουν την πληροφορία της παραμόρφωσης του πλέγματος και τελικά πως αυτές θα χρησιμοποιηθούν καταλλήλως για την αποτελεσματικότερη διόρθωση του σφάλματος του όγκου.

Στόχος λοιπόν αυτού του κεφαλαίου αποτελεί η μελέτη, η εξαγωγή και η χρήση της παραμόρφωσης του αντικειμένου με σκοπό την αποτελεσματικότερη και πιο ρεαλιστική διόρθωση του πλέγματος με αναφορά τον όγκο του.

Συνεπώς στο Κεφάλαιο αυτό:

- Μελετάται η έννοια της παραμόρφωσης
- Προτείνεται μέθοδος υπολογισμού και χρήσης της παραμόρφωσης
- Προτείνονται πόζες αναφοράς για τον υπολογισμό της παραμόρφωσης
- Παρουσιάζεται ένας νέος τρόπος διόρθωσης του σφάλματος του όγκου
- Δίδονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της νέας μεθόδου

Αρκετές φορές αναφερθήκαμε στην έννοια της παραμόρφωσης ενός πλέγματος. Τι μπορεί όμως να θεωρηθεί παραμόρφωση σε ένα πλέγμα; Τι πληροφορίες μπορούμε να εξάγουμε γνωρίζοντας την παραμόρφωση;

3.1. Παραμόρφωση Περιβλήματος

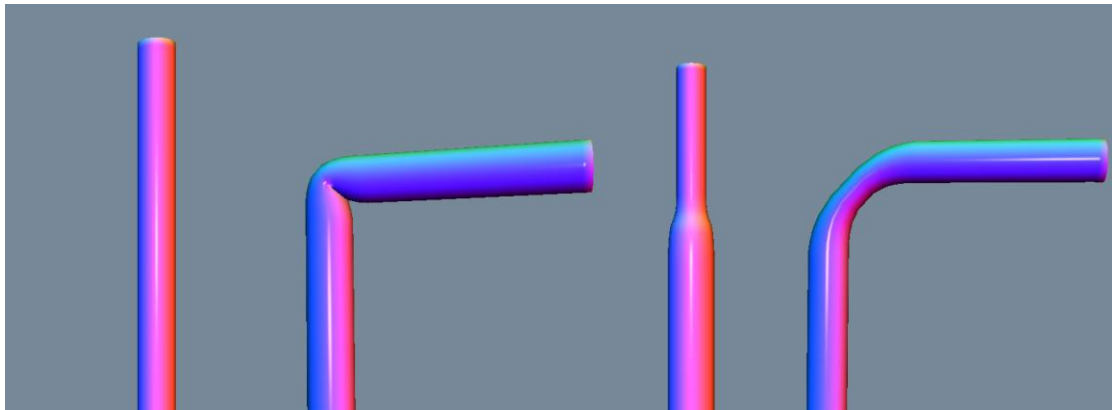
Σε μία πλεγματική πόζα αναφοράς ο σχεδιαστής του αντικειμένου έχει την δυνατότητα να ασκήσει διάφορες τροποποιήσεις. Μπορεί να αλλάξει την δομή του τόσο ολικά όσο και τοπικά, π.χ. να προσθέσει και να αφαιρέσει σημεία και επιφάνειες σε αυτό. Έχοντας λοιπόν σχεδιάσει την πόζα αναφοράς ασκεί τροποποιήσεις σε αυτή έτσι ώστε να δώσει κίνηση στο αντικείμενο, να αλλάξει περιοχές που τον ενδιαφέρουν και γενικά να παράγει ένα οπτικό αποτέλεσμα διαφορετικό της αρχικής πόζας. Η δημιουργία τέτοιων συνεχόμενων στάσεων του μοντέλου παράγει μία ακολουθία, η οποία ταχέως προβαλλόμενη δημιουργεί την ψευδαίσθηση της κίνησης στον παρατηρητή (animation).

Για την δημιουργία παραμορφώσεων στο πλέγμα ο σχεδιαστής μπορεί να επεξεργαστεί τα δομικά στοιχεία που το αποτελούν (κορυφές, ακμές, επιφάνειες).

Οι βασικές δυνατότητες επεξεργασίας που δίνονται στον σχεδιαστή είναι:

- Μετακίνηση (translation)
- Στρέβλωση (shear)
- Περιστροφή (rotation)
- Κλιμάκωση (scale)

Χρησιμοποιώντας αυτές τις τεχνικές (υπάρχουν και άλλες τεχνικές επεξεργασίας, εδώ αναφέρονται μόνον οι βασικές) όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.2, μπορεί να δοθεί στο μοντέλο η μορφή που επιθυμούμε για να παραχθεί μία νέα πόζα του animation. Η μετακίνηση ναι μεν αποτελεί μία βασική δυνατότητα επεξεργασίας του πλεγματικού μοντέλου, παρόλα αυτά δεν δίνει αρκετές πληροφορίες για την παραμόρφωση του. Αν απλά μετακινήσουμε την αρχική πόζα ενός μοντέλου για να παράγουμε μία καινούρια, η νέα πόζα διατηρεί αναλλοίωτα βασικά χαρακτηριστικά της όπως ο όγκος, τα Normal κτλ, μη δίνοντας (σε σχέση με την πόζα αναφοράς) χρήσιμες πληροφορίες για την παραμόρφωση της.



Σχήμα 3.2 Επεξεργασία Αντικειμένου (Περιστροφή, Κλιμάκωση, Στρέβλωση)

Η περιστροφή, η στρέβλωση και η κλιμάκωση ενός μοντέλου, τοπικά αλλά και ολικά, παραμορφώνουν τα δομικά συστατικά του (π.χ. τις επιφάνειες), με αποτέλεσμα να αλλάζουν οι τιμές για βασικές πληροφορίες του πλέγματος (π.χ. όγκος, Normal κτλ), και τελικά να αλλάζει η μορφή του και να αναπαριστά μία νέα θέση του μοντέλου.

Στόχος λοιπόν αποτελεί η εύρεση τέτοιων επεξεργασιών που πραγματοποιήθηκαν στην πόζα αναφοράς του μοντέλου για να παραχθεί η νέα, ώστε να μελετηθεί σε ποιες περιοχές του μοντέλου οι βασικές του πληροφορίες έχουν αλλάξει και να χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια για την επίτευξη της ομαλότερης διατήρησης του.

3.2. Εισαγωγή Παραμέτρων στις κορυφές του Πλέγματος

Στο Κεφάλαιο 2 έγινε σαφές πως χωρίς την εισαγωγή πρόσθετων παραμέτρων στα διανύσματα διόρθωσης του όγκου, επιτυγχάνουμε μεν να διατηρήσουμε τον όγκο σε ένα βαθμό αλλά δεν επιτυγχάνουμε τα καλύτερα δυνατά οπτικά αποτελέσματα. Σε αυτό το κεφάλαιο επαναπροσδιορίζοντας τον αρχικό μας προβληματισμό συμπεράναμε πως η χρήση της πληροφορίας της παραμόρφωσης του αντικειμένου θα βοηθούσε την ομαλότερη και ορθότερη διατήρηση του όγκου σε περιοχές που χρήζουν ιδιαίτερης σημασίας.

Χρειαζόμαστε λοιπόν εκείνες τις παραμέτρους οι οποίες θα μας δώσουν τις τοπικές πληροφορίες επεξεργασίας του πλέγματος. Θα πρέπει δηλαδή να βρεθούν οι παραμορφώσεις (περιστροφή, κλιμάκωση, στρέβλωση) κάθε κορυφής του πλέγματος που έγιναν στην πόζα αναφοράς ώστε να προκύψει η νέα πόζα.

Μία αρκετά διαδεδομένη μέθοδος για τον υπολογισμό των παραπάνω παραμέτρων είναι η εύρεση της κλίσης παραμόρφωσης (deformation gradient) για κάθε κορυφή του πλέγματος.

3.2.1. Deformation Gradient

Θεωρούμε πως για κάθε κορυφή του πλέγματος υπάρχει μία συνάρτηση F η οποία αν εφαρμοστεί στην αρχική πόζα θα μας δώσει την παραμορφωμένη πόζα που έχουμε δημιουργήσει. Έστω λοιπόν η κορυφή v της πόζας αναφοράς και $\bar{v}$ η ίδια κορυφή της παραμορφωμένης πόζας. Υποθέτουμε ότι υπάρχει συνάρτηση F τέτοια ώστε:

$$\forall v \exists F \mid F(v) = \bar{v}.$$

Σύμφωνα με [7] μπορούμε να αναπαραστήσουμε την παραμόρφωση της πόζας αναφοράς ως μία συλλογή προκαθορισμένων μετασχηματισμών σε μορφή πινάκων για κάθε τρίγωνο του πλέγματος. Ωστόσο τα τρία σημεία του τριγώνου δεν είναι επαρκή τόσο πριν όσο και έπειτα από την παραμόρφωση να καθορίσουν πλήρως τους μετασχηματισμούς, καθώς για να καθοριστεί μία παραμόρφωση στο τρίγωνο πρέπει να είναι γνωστή και η κατεύθυνση του, γεγονός που δεν μπορεί να δοθεί από τα τρία σημεία του.

Αυτό μας οδηγεί στον υπολογισμό ενός τέταρτου σημείου σε κάθε τρίγωνο, το οποίο βρίσκεται πάνω στο κάθετο διάνυσμα του τριγώνου (Normal). Έστω λοιπόν v_1, v_2, v_3 οι κορυφές ενός τριγώνου της πόζας αναφοράς και $\bar{v}_1, \bar{v}_2, \bar{v}_3$ οι κορυφές του ίδιου τριγώνου στην παραμορφωμένη πόζα. Το τέταρτο σημείο v_4 και $\bar{v}_4$ υπολογίζεται ως:

$$v_4 = v_1 + (v_2 - v_1) \times (v_3 - v_1) / \sqrt{|(v_2 - v_1) \times (v_3 - v_1)|}$$

αναλόγως πράττουμε για τον υπολογισμό του $\bar{v}_4$. Κλιμακώνουμε το εξωτερικό γινόμενο έτσι ώστε το μήκος του κάθετου διανύσματος του τριγώνου να είναι ανάλογο του μήκους των πλευρών του τριγώνου. Έχοντας λοιπόν υπολογίσει τέσσερα σημεία μπορούμε να ορίσουμε τους πίνακες μετασχηματισμών για κάθε τρίγωνο.

Ένας μετασχηματισμός ορίζεται από έναν 3×3 πίνακα μετασχηματισμού Q , και από ένα διάνυσμα μετατόπισης d . Έτσι τα $Q+d$ μεταμορφώνουν τις τέσσερις κορυφές ως εξής:

$$Qv_i + d = \bar{v}_i, i \in 1 \dots 4.$$

Αν αφαιρέσουμε την πρώτη εξίσωση από τις υπόλοιπες για να εξαλείψουμε το παράγοντα d και την προσαρμόσουμε σε μορφή πινάκων γράφοντας τα διανύσματα ως στήλες παίρνουμε το αποτέλεσμα:

$$QV = \bar{V}, \text{ όπου}$$

$$V = [v_2 - v_1 \quad v_3 - v_1 \quad v_4 - v_1]$$

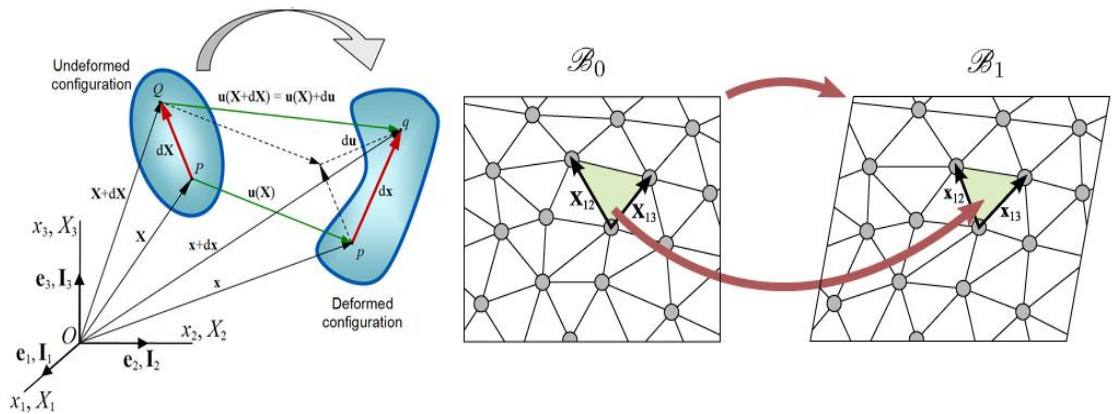
$$\bar{V} = [\bar{v}_2 - \bar{v}_1 \quad \bar{v}_3 - \bar{v}_1 \quad \bar{v}_4 - \bar{v}_1]$$

Άρα

$$Q = \bar{V}V^{-1}, \quad \text{Εξ. 3.1}$$

Στον πίνακα Q περιλαμβάνονται πληροφορίες για κάθε τρίγωνο όπως:

- Κλιμάκωση (scale)
- Στρέβλωση (shear)
- Περιστροφή (rotation)



Σχήμα 3.3 Παραμόρφωση Πλέγματος

Συνεπώς χρησιμοποιούμε τα Deformation Gradient για να αποτυπώσουμε τις παραμορφώσεις που εφαρμόστηκαν στην πόζα αναφοράς ώστε να προκύψει η συγκεκριμένη πόζα της ακολουθίας. Από τον πίνακα των Deformation Gradient μπορούν να εξαχθούν οι πληροφορίες της παραμόρφωσης κάθε τριγώνου. Αυτή η πληροφορία μπορεί να φανεί χρήσιμη για την ρεαλιστικότερη διόρθωση του όγκου.

3.3. Πόζες Αναφοράς

Ο υπολογισμός των Deformation Gradient μίας πόζας όπως και ο υπολογισμός του σφάλματος όγκου καθώς και άλλων συσχετιστικών μεταβλητών μεταξύ των ποζών γίνεται με αναφορά σε κάποια αρχική πόζα. Ως πόζα αναφοράς συνήθως χρησιμοποιείται ή η πόζα ανάπαυσης (rest pose) του μοντέλου, καθώς σε αυτήν την πόζα τα μέλη του βρίσκονται σε μία ουδέτερη στάση χωρίς παραμορφώσεις και μετακινήσεις, ή η αρχική πόζα της ακολουθίας.

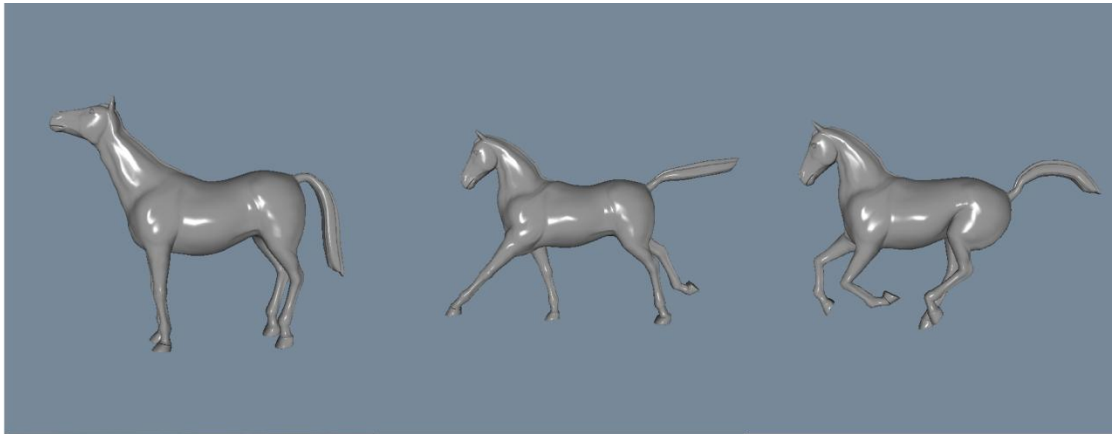
Κατά την διάρκεια ενός animation κάθε πόζα υπολογίζει τα Deformation Gradient της σε σχέση με την πόζα αναφοράς και στην συνέχεια διατηρεί το μοντέλο. Όμως σε μία ακολουθία ποζών σύνηθες είναι κάθε πόζα να δημιουργείται έπειτα από μία μικρή παραμόρφωση της προηγούμενης πόζας έτσι ώστε το τελικό αποτέλεσμα της κίνησης να είναι αληθοφανές και ρεαλιστικό χωρίς «σπασίματα» της. Αυτό οδηγεί στην σκέψη για χρήση ως πόζας αναφοράς για μία πόζα του animation την προηγούμενη από αυτήν πόζα. Οι μεταβολές ανάμεσα σε συνεχόμενες πόζες είναι μικρές και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε γρήγορο υπολογισμό των Deformation Gradient και ακριβέστερο υπολογισμό της μεταβολής.

Συνεπώς για την διατήρηση του όγκου και την εξαγωγή πληροφοριών για τις παραμέτρους παραμόρφωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες πόζες ως πόζες αναφοράς όπως στο Σχήμα 3.4 για να υπολογισθούν οι σχετικές τιμές του Σχήματος 3.5.

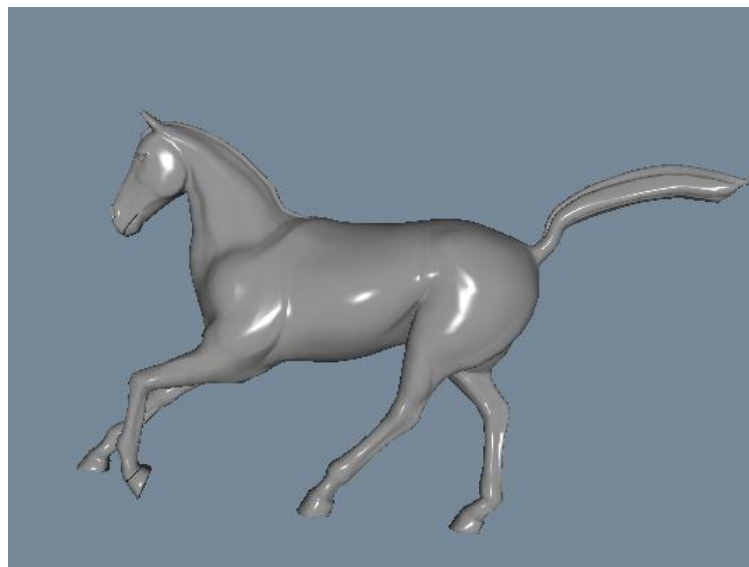
Συνήθως πόζες αναφοράς σε ένα mesh animation είναι:

- Η αρχική πόζα του animation
- Η πόζα ανάπαυσης του μοντέλου (rest pose)
- Η προηγούμενη πόζα της ακολουθίας του animation

Υπάρχουν βεβαίως και άλλες τεχνικές που ορίζουν τις πόζες αναφοράς όπως π.χ. η χρήση ενδιάμεσων ποζών του animation. Κάθε πόζα χρησιμοποιεί ως αναφορά την ενδιάμεση πόζα που βρίσκεται πλησιέστερα της ή την αμέσως προηγούμενη της ενδιάμεση πόζα.



Σχήμα 3.4 Πόζες Αναφοράς



Σχήμα 3.5 Πόζα Επεξεργασίας

3.4. Διατήρηση του Όγκου με τη Χρήση Παραμέτρων Παραμόρφωσης

Στην ενότητα 2.3 παρουσιάστηκε μία πρώτη προσέγγιση για την διατήρηση του όγκου μίας πόζας ως προς μία πόζα αναφοράς σε ένα animation. Παρόλο που τα αποτελέσματα έδειξαν να επιτυγχάνεται η διατήρηση του όγκου σε ένα βαθμό, τα οπτικά αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά καθώς στην πόζα υπέστησαν διόρθωση όλα τα σημεία της με αποτέλεσμα να παρατηρείται μόνο ένα «φούσκωμα-ξεφούσκωμα» αυτής.

Έχοντας τα παραπάνω αποτελέσματα έγινε αντιληπτό πως δεν έπρεπε όλες οι κορυφές της πόζας να συνεισφέρουν στην διόρθωση του αντικειμένου με τον ίδιο βαθμό. Κάθε κορυφή πρέπει να συνδράμει ανάλογα με το μέγεθος της παραμόρφωσης που έχει υποστεί. Αυτό θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη ακρίβεια και ορθότερη βελτίωση του όγκου.

Στην συνέχεια παρουσιάστηκε η ανάλυση και ο υπολογισμός των Deformation Gradient για την ποσοτικοποίηση της παραμόρφωσης κάθε τριγώνου. Στόχο λοιπόν αποτελεί η προσαρμογή και χρήση των Deformation Gradient σε κάθε κορυφή ώστε να δοθεί σε αυτές ο βαθμός με τον οποίο θα συμμετέχουν στην διόρθωση του όγκου.

Στην ενότητα 3.2.1 υπολογίστηκαν τα Deformation Gradient κάθε τριγώνου της πόζας. Πρέπει όμως αυτά να προσαρμοστούν για κάθε κορυφή του πλέγματος. Αρχικά πρέπει να ποσοτικοποιήσουμε τους πίνακες των Deformation Gradient σε τιμές τέτοιες ώστε να δίνουν το μέγεθος της παραμόρφωσης του τριγώνου. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούμε την Frobenius Norm των πινάκων για να εξάγουμε τις συγκεκριμένες τιμές. Η Νόρμα 2 (Frobenius Norm) ενός πίνακα A ορίζεται ως:

$$\|A\|_F = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |a_{ij}|^2} \quad \text{Εξ. 3.2}$$

Οι παραπάνω υπολογισμοί είναι αρκετά απλοί αφού τα Deformation Gradient είναι πίνακες 3x3 για κάθε τρίγωνο (Στην Εξ. 3.2 m,n = 3). Μέσω της Frobenius Norm λοιπόν ποσοτικοποιήσαμε το μέγεθος της παραμόρφωσης που έχει υποστεί κάθε τρίγωνο του πλέγματος. Έστω λοιπόν ότι οι τιμές που προκύπτουν είναι οι:

$$DG_i, \forall i \in T, T: \text{σύνολο τριγώνων του πλέγματος.}$$

Για να προσαρμοστεί αυτή η πληροφορία σε κάθε κορυφή v του πλέγματος αθροίζουμε τις τιμές των DG των τριγώνων t στα οποία συμμετέχει η εκάστοτε

κορυφή v και παίρνουμε τον μέσο όρο διαιρώντας με το πλήθος των τριγώνων αυτών. Δηλαδή:

$$\forall v, DGV_v = \sum_{t \in T} DG_t / |T|, \quad \text{Εξ. 3.3}$$

όπου T το σύνολο των τριγώνων t για τα οποία $v \in t$.

Στο σημείο αυτό έχουμε για κάθε κορυφή του πλέγματος μία παράμετρο η οποία δίνει τον βαθμό παραμόρφωσης της ως προς την πόζα αναφοράς για να προκύψει η νέα πόζα (οι τιμές κανονικοποιούνται στην μονάδα για να αποδίδουν ομαλότερα οπτικά αποτελέσματα). Έχοντας αυτή την πληροφορία δημιουργούνται νέοι προβληματισμοί για το πως θα μπορούσε αυτή να χρησιμοποιηθεί στην διατήρηση του όγκου. Παρατηρούνται δύο τρόποι:

- Μέγιστη παραμόρφωση $\rightarrow$ Μέγιστη συμμετοχή στην διόρθωση του όγκου
- Μέγιστη παραμόρφωση $\rightarrow$ Ελάχιστη συμμετοχή στην διόρθωση του όγκου

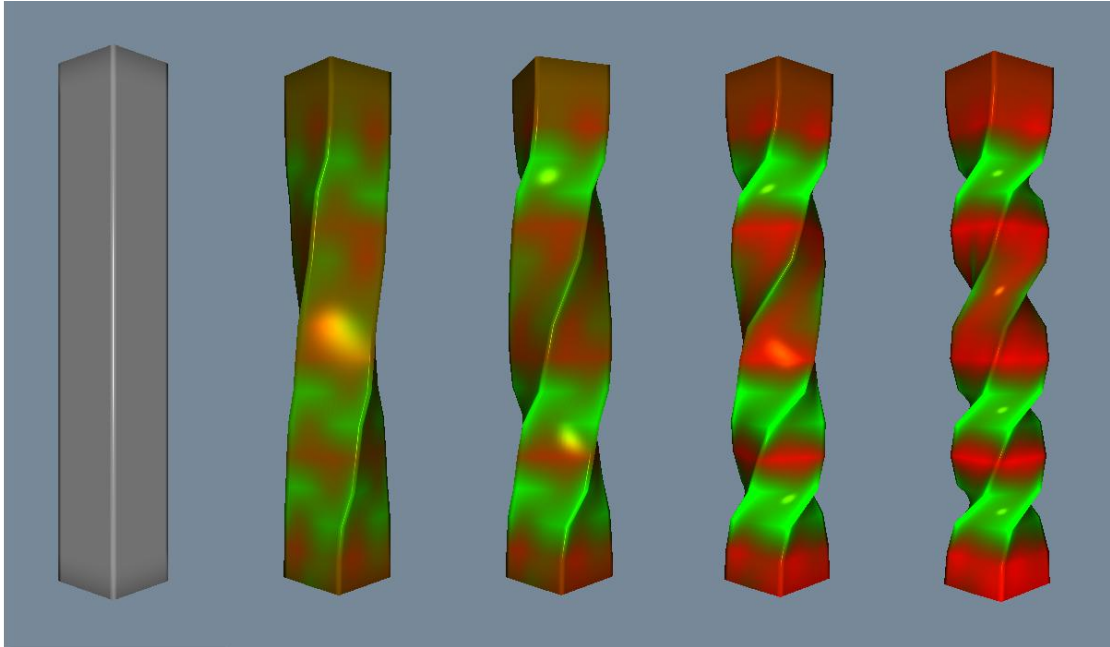
Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (2.3) της ενότητας 2.3, εισάγουμε την μετρική της παραμόρφωσης σε κάθε κορυφή v του πλέγματος M ως εξής:

$$\rho_v = \Delta V \frac{DGV_v < n_v, \nabla Vol(v) >}{\sum_{j=1}^N < n_j, \nabla Vol(v) >^2} \quad \text{Εξ. 3.4}$$

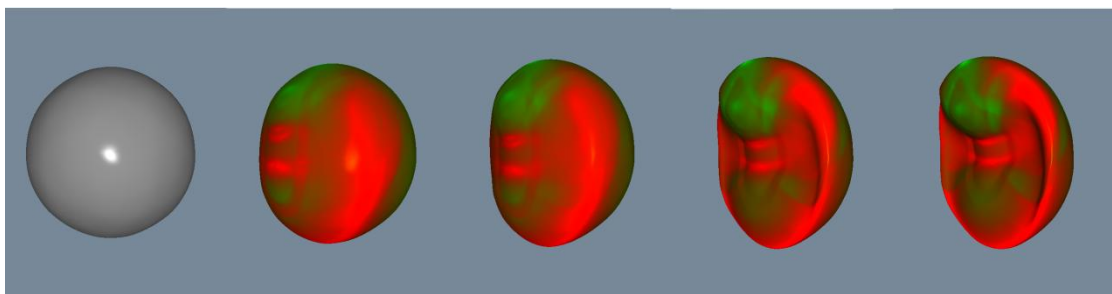
Τα διανύσματα διόρθωσης προκύπτουν όπως και στην ενότητα 2.3 χρησιμοποιώντας αυτή την φορά την Εξίσωση 3.4 για να προσδιορίσουμε τον βαθμό διόρθωσης κάθε κορυφής και να συμπεριλάβουμε σε αυτά την παράμετρο της παραμόρφωσης τους.

Σκεπτόμενοι πως η παραμόρφωση ενός αντικειμένου συνήθως γίνεται θελημένα από τον σχεδιαστή της πόζας, καταλήξαμε στο συμπέρασμα χρήσης του συμπληρώματος των DGV_v ως προς την μονάδα. Δηλαδή προτού χρησιμοποιηθούν στην Εξίσωση (3.4), τα DGV_v μετατρέπονται ως $DGV_v = 1 - DGV_v$ όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.6 και 3.7. Με πράσινο χρώμα δίνονται τα σημεία που έχουν παραμορφωθεί περισσότερο, ενώ με κόκκινο αυτά που έχουν παραμορφωθεί λιγότερο κατά την επεξεργασία του αντικειμένου. Σε αυτό το συμπέρασμα καταλήξαμε καθώς η παραμόρφωση ενός αντικειμένου είναι μία θελημένη κίνηση από τον σχεδιαστή για να προκύψει η νέα πόζα και δεν θα θέλαμε να παρέμβουμε στο σχεδιαστικό κομμάτι. Ας υποθέσουμε π.χ. μία πλαστική μπάλα που δέχεται μία δύναμη (π.χ. μία κλωτσιά από κάποιον ποδοσφαιριστή) σε κάποια σημεία της. Επιθυμούμε αυτά τα σημεία να

παραμείνουν αμετάβλητα καθώς η μπάλα υποθετικά δέχεται την δύναμη του ποδοσφαιριστή και τα υπόλοιπα σημεία της μπάλας να «φουσκώσουν» αναλόγως ώστε να διατηρηθεί τελικά ο όγκος της.



Σχήμα 3.6 Συνεισφορά Deformation Gradient στην Διατήρηση



Σχήμα 3.7 Συνεισφορά Deformation Gradient (Κόκκινο-Μεγαλύτερη Συνεισφορά)

3.5. Αποτελέσματα - Σχολιασμός

Έχοντας ως υπόβαθρο το κεφάλαιο 2 στο κεφάλαιο αυτό επεκτείναμε την διόρθωση του πλέγματος ενός αντικειμένου προσθέτοντας σε αυτό την πληροφορία της παραμόρφωσης του. Διορθώνοντας το σφάλμα του όγκου στο κεφάλαιο 2 δεν λάβαμε υπόψη την ρεαλιστική διόρθωση του. Σημαντικός παράγοντας σε μία πλεγματική ακολουθία αποτελεί και η ρεαλιστική απεικόνιση των πραγματικών αντικειμένων. Στόχος λοιπόν αυτού του κεφαλαίου ήταν η μεγαλύτερη διερεύνηση του προβλήματος ώστε να εισάγουμε στην διόρθωση του ρεαλιστικότερες απεικονίσεις.

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε αντιληπτό τι εννοούμε παραμόρφωση ενός αντικειμένου, και πως αυτή προκύπτει από την πόζα αναφοράς καθώς και την χρησιμότητα της για συμμετοχή στην διατήρηση του όγκου της πόζας. Σχολιάστηκε η κατάλληλη επιλογή πόζας αναφοράς για ορθότερους υπολογισμούς της παραμόρφωσης και παρουσιάστηκε επίσης ένας τρόπος υπολογισμού της παραμόρφωσης μέσω των Deformation Gradient. Τέλος επαναπροσδιορίστηκε η διατήρηση του όγκου, που είχε παρουσιαστεί στην ενότητα 2.3, εισάγοντας την παράμετρο της παραμόρφωσης στα διορθωτικά διανύσματα u .

Συνοψίζοντας στο κεφάλαιο αυτό ασχοληθήκαμε με:

- Την έννοια της παραμόρφωσης του πλέγματος καθώς και με το τι ορίζουμε ως παραμόρφωση
- Ποσοτικοποιήθηκε η παραμόρφωση κάθε κορυφής μέσω των Deformation Gradient
- Παρουσιάστηκαν λεπτομέρειες για την επιλογή της πόζας αναφοράς
- Επαναπροσδιορίστηκε η διατήρηση του όγκου εισάγοντας τις παραμέτρους παραμόρφωσης στην διαδικασία

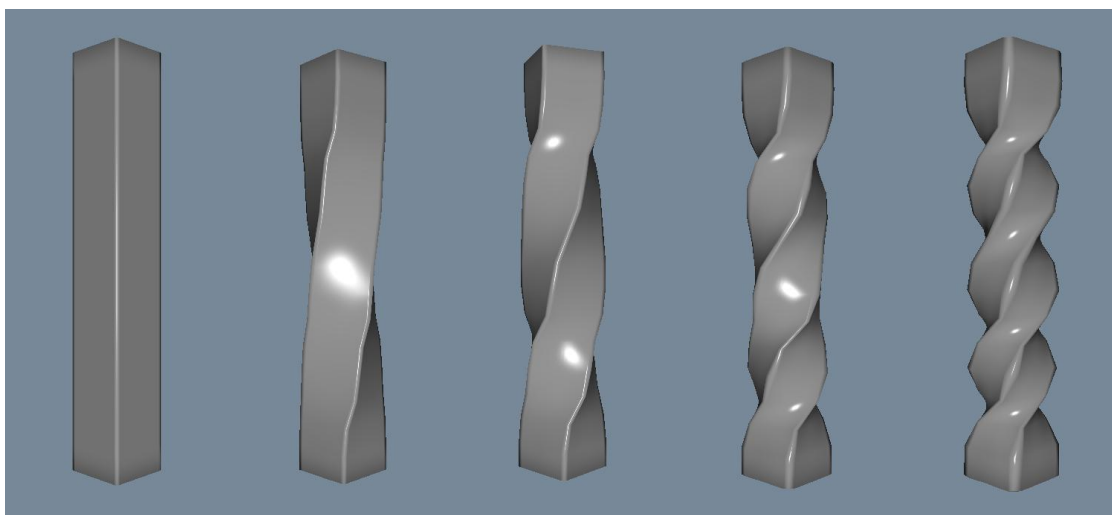
Τα πειραματικά αποτελέσματα της διόρθωσης του σφάλματος του όγκου έπειτα από την εισαγωγή της πληροφορίας της παραμόρφωσης ήταν άκρως ενθαρρυντικά. Το σφάλμα σε όλα τα πειράματα που διεξήχθησαν μειώθηκε τόσο ως προς το αρχικό σφάλμα της πόζας όσο και ως προς το σφάλμα έπειτα από την προσέγγιση της ενότητας 2.3. Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις η διαδικασία επαναλήφθηκε έως ότου επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Η μείωση του

σφάλματος παρατηρήθηκε σε όλες τις πόζες των animation αλλά τα ποσοστά διόρθωσης διέφεραν από πόζα σε πόζα και από ακολουθία σε ακολουθία.

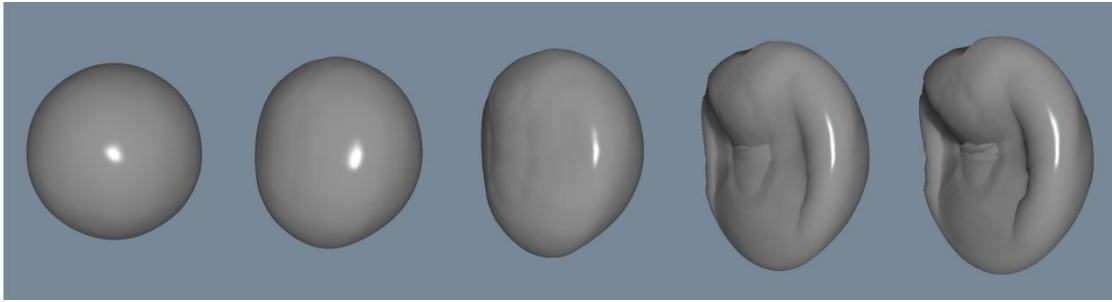
Η αναθεωρημένη μέθοδος διατήρησης όγκου που παρουσιάστηκε στην ενότητα 3.4 απέδωσε μεγαλύτερη λεπτομέρεια στην διόρθωση του όγκου, καθώς δημιούργησε ρεαλιστικότερες διατηρήσεις των όγκων σε διάφορα σημεία του μοντέλου. Π.χ. δημιουργία εξογκωμάτων σε «μυϊκές» περιοχές του αντικειμένου, μηδενικές σχεδόν μεταβολές σε «μη-εύκαμπτες» περιοχές του αντικειμένου όπως π.χ. αρθρώσεις.

Συμπεραίνοντας, η μέθοδος διόρθωσης του κεφαλαίου αυτού δημιουργεί περισσότερο διατηρημένα ως προς τον όγκο αντικείμενα, με ρεαλιστικότερη και ορθά κατανοημένη διατήρηση λόγω της χρήσης της πληροφορίας της παραμόρφωσης του αντικειμένου. Περισσότερες λεπτομέρειες για τα πειραματικά αποτελέσματα και σύγκριση των προτεινόμενων μεθόδων θα δοθεί στο κεφάλαιο 5.

Όπως φαίνεται και στα Σχήματα 3.8 και 3.9 η συνεισφορά των Deformation Gradient είναι σημαντική καθώς δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στις κορυφές που μας ενδιαφέρουν. Τα αποτελέσματα είναι πιο ομαλά σε σχέση με αυτά της ενότητας 2.4 και ο όγκος έχει διατηρηθεί σε μεγαλύτερο βαθμό.



Σχήμα 3.8 Animation με Διατήρηση του Όγκου με την Χρήση Deformation Gradient



Σχήμα 3.9 Animation με Διατήρηση του Όγκου με την Χρήση Deformation Gradient

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΟΠΙΚΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΟΓΚΟΥ

4.1 Τοπική Διατήρηση Όγκου

4.2 Συσταδοποίηση

4.3 Τοπική - Ολική Διατήρηση Όγκου

4.4 Αλληλεπίδραση Γειτονικών Τμημάτων

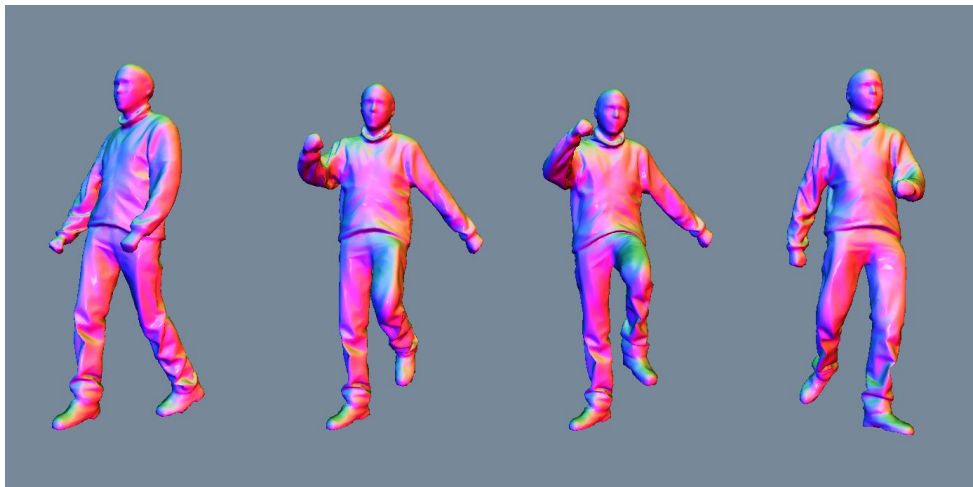
4.5 Αποτελέσματα - Σχολιασμός

Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκαν μέθοδοι για την διατήρηση του όγκου μίας πόζας ενός animation. Το πρόβλημα αρχικά προσεγγίστηκε καθολικά, ελέγχοντας τον ολικό όγκο του αντικειμένου και βελτιώνοντας το σφάλμα του μετακινώντας όλες τις κορυφές του πλέγματος σύμφωνα με ένα διάνυσμα διόρθωσης u . Τα αποτελέσματα κρίθηκαν ενθαρρυντικά αλλά χωρίς ρεαλιστική απόδοση του ποσοστού διόρθωσης ανά κορυφή.

Στην συνέχεια έχοντας ως προβληματισμό τα παραπάνω εισήχθηκε η έννοια της τοπικής παραμόρφωσης του αντικειμένου. Ο σχεδιαστής μετακινώντας την δομή του πλέγματος αναφοράς παράγει νέες πόζες για το animation. Οι μετακινήσεις αυτές παραμορφώνουν το πλέγμα στα μέλη που επιθυμεί ο σχεδιαστής επηρεάζουν όμως και διάφορες πληροφορίες του πλέγματος όπως π.χ. τον όγκο του. Εισήχθηκε λοιπόν η έννοια της παραμόρφωσης ώστε η διόρθωση του όγκου να επιτευχθεί σε κάθε κορυφή στο πλέγμα ανάλογα με την παραμόρφωση την οποία έχει δεχθεί. Τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου σαφώς ήταν πιο ρεαλιστικά από αυτά της πρώτης, καθώς επίσης το σφάλμα του όγκου μειώθηκε. Παρόλα αυτά υπάρχουν ακόμα μη ρεαλιστικές αποδόσεις της διατήρησης του όγκου.

Στην ανάλυση του προβλήματος ως αυτό το σημείο, για κάθε διάνυσμα διόρθωσης u χρησιμοποιείται η καθολική μεταβολή του όγκου ΔV (εξισώσεις (2.3),(3.4)) ώστε να δώσει στα διανύσματα u τον βαθμό μεταβολής του όγκου. Ας θεωρήσουμε το παράδειγμα του ανθρώπου που περπατά στο animation όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Τα άκρα του (χέρια, πόδια) είναι αυτά τα οποία δέχονται την μεγαλύτερη παραμόρφωση, ενώ περιοχές όπως π.χ. η λεκάνη του δέχονται μικρότερη παραμόρφωση. Υπάρχουν όμως και περιοχές σε αυτό οι οποίες δεν έχουν δεχτεί καθόλου παραμόρφωση όπως η περιοχή του κεφαλιού και άλλες. Συνεπώς ο όγκος στο κεφάλι του ανθρώπου δεν έχει αλλάξει καθόλου σε σχέση με τον αρχικό όγκο. Παρόλα αυτά στην διατήρηση του όγκου, το κεφάλι λαμβάνει μέρος έχοντας ως ΔV την αλλαγή του ολικού όγκου και DGV των κορυφών του κεφαλιού να ισούται με την μονάδα (η προσαρμογή γίνεται ως προς το συμπλήρωμα προς την μονάδα ενώ αρχικά είχαν μηδενική παραμόρφωση).

Το παραπάνω παράδειγμα μας οδηγεί σε νέους προβληματισμούς για τον τρόπο επίλυσης του προβλήματος της διατήρησης του όγκου. Θα επιθυμούσαμε να αποκλείσουμε περιοχές οι οποίες δεν επηρεάζονται για να παραχθεί μία πόζα και να ενισχύσουμε περιοχές με μεγάλη μεταβολή του όγκου. Καθοδηγούμαστε έτσι στην τοπική διόρθωση του όγκου για κάθε μέλος του αντικειμένου, με σκοπό την επίτευξη της διατήρησης του ολικού όγκου.



Σχήμα 4.1 Τοπική Μεταβολή Όγκου

Γεννώνται επίσης πολλά ερωτήματα ως προς την επίτευξη της τοπικής διατήρησης του όγκου:

- Ποια είναι τα μέλη ενός μοντέλου;
- Πως μπορούμε να τα υπολογίσουμε;
- Είναι κάθε μέλος του μοντέλου ανεξάρτητο;
- Η τοπική διατήρηση του όγκου θα μας οδηγήσει τελικά και σε ολική;
- Με ποιον βαθμό συμμετέχουν τα μέλη στην ολική διόρθωση και με ποιο βαθμό; οι κορυφές κάθε μέλους στην τοπική;

Στο κεφάλαιο αυτό λοιπόν θα ασχοληθούμε με την τοπική διόρθωση του όγκου ενός μοντέλου καθώς περιοχές οι οποίες δεν έχουν αλλάξει ως προς τον όγκο τους δεν πρέπει να συμβάλλουν στην διόρθωση (ή όπως θα δούμε παρακάτω να συμβάλλουν σε έναν ορισμένο βαθμό). Θα μελετήσουμε τρόπους για τον υπολογισμό των μελών ενός μοντέλου και πως μπορούν αυτά να συσχετίζονται μεταξύ τους. Θα διερευνήσουμε αν η τοπική διόρθωση μπορεί να οδηγήσει και στην ολική διόρθωση του όγκου. Με την χρήση της τοπικής διόρθωσης ευελπιστούμε στην μεγαλύτερη λεπτομέρεια της διατήρησης, με περισσότερα αληθοφανή αποτελέσματα καθώς και σε μείωση του αρχικού σφάλματος. Κλείνοντας θα σχολιαστούν τα αποτελέσματα και κατά πόσο αυτά ανταπεξέρχονται στις προσδοκίες μας.

4.1. Τοπική Διατήρηση του Όγκου

Στα Κεφάλαια 2 και 3 στις εξισώσεις (2.3) και (3.4) αντίστοιχα χρησιμοποιήθηκε ως μεταβολή του όγκου η ποσότητα ΔV η οποία δίνει το ολικό σφάλμα της πόζας από την πόζα αναφοράς. Για την επίτευξη της τοπικής διατήρησης του όγκου μίας πόζας χρειάζεται:

- Να υπολογιστούν οι τοπικές περιοχές του αντικειμένου
 - Τι αποτελεί μία περιοχή στο αντικείμενο;
- Να υπολογιστεί ο όγκος για κάθε περιοχή
- Να βρεθούν τα τοπικά ΔV_c κάθε περιοχής

Έχοντας υπολογίσει τις περιοχές του πλέγματος υπολογίζουμε τον όγκο που αυτές καταλαμβάνουν. Στόχο αποτελεί η χρήση του ΔV_c των περιοχών του αντικειμένου στις εξισώσεις (2.3) και (3.4), έτσι ώστε κάθε περιοχή να διορθώνει τον όγκο που της αναλογεί και να μην παρεμβαίνει σε μέρη του αντικειμένου που δεν επηρεάζει.

Υπολογίζοντας τον καθολικό όγκο του αντικειμένου δύο περιοχές μπορεί να έχουν αντίθετες τιμές για τον όγκο συνεπώς να αναιρέσουν η μία την άλλη και ο συνολικός τους όγκος να είναι τελικά μηδέν. Χάνεται έτσι το περιθώριο της διατήρησης του όγκου.

Για τον υπολογισμό των τοπικών ΔV_c το αντικείμενο πρέπει να διασπαστεί σε αντίστοιχες περιοχές ώστε να υπολογιστούν οι τοπικές πληροφορίες σε αυτό. Διασπάμε συνεπώς το αντικείμενο μας σε «συστάδες» (clusters). Αρκετοί αλγόριθμοι έχουν προταθεί για τον διαχωρισμό αυτό, πολλοί από αυτούς βασίζονται σε σκελετικές δομές του αντικειμένου, οι οποίες χωρίζουν το αντικείμενο με βάση τα σκελετικά μέρη που ασκούν μεγαλύτερη επιρροή στις κορυφές του πλέγματος, ενώ άλλες βασίζονται σε κοινές πληροφορίες των περιοχών του πλέγματος για τον διαχωρισμό τους. Με την διάσπαση αυτή του αντικειμένου, κάθε περιοχή μπορεί να δώσει μεγαλύτερη λεπτομέρεια στην διατήρηση του όγκου της και να κάνει πιο ρεαλιστική την απεικόνιση του αντικειμένου. Στην τοπική διατήρηση του όγκου περιοχές με μηδενικό σφάλμα του όγκου τους δεν υπολογίζονται στην διατήρηση του, γεγονός που κάνει την υλοποίηση πιο αποδοτική.

4.2. Συσταδοποίηση

Η συσταδοποίηση (clustering) ενός τριδιάστατου αντικειμένου αποτελεί ένα μεγάλο πρόβλημα τόσο στον τομέα των γραφικών όσο και γενικά στον κλάδο της Πληροφορικής. Με τον όρο συσταδοποίηση εννοούμε την ενοποίηση περιοχών του αντικειμένου σύμφωνα με κάποια κοινά κριτήρια των μελών που τα απαρτίζουν. Οι συστάδες αποτελούνται από δομικά στοιχεία του αντικειμένου (π.χ. κορυφές, επιφάνειες) τα οποία έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά και επαληθεύουν ένα κριτήριο ορισμένο από τον χρήστη.

Π.χ. σε ένα γράφημα σημείων κριτήριο μπορεί να θεωρηθεί η απόσταση μεταξύ των σημείων και συνεπώς η συσταδοποίηση να δώσει εκείνες τις περιοχές που αποτελούνται από «κοντινά» σημεία. Ο όρος «κοντινά» όμως είναι σχετικός, γεγονός που καθιστά υπεύθυνο τον χρήστη να ορίσει την έννοια του.

Ο όρος «καλύτερη» συσταδοποίηση δεν μπορεί να θεωρηθεί έγκυρος καθώς ο χρήστης είναι εκείνος που ορίζει το κριτήριο που θέλει να ικανοποιείται από το clustering. Για τον λόγο αυτό υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για συσταδοποίηση όπως k-means, fuzzy c-means, mixture of Gaussians κτλ. Κάθε μία από τις μεθόδους ικανοποιεί διαφορετικά κριτήρια και διαφορετικές ανάγκες ως προς τα δεδομένα. Υπάρχουν π.χ. μέθοδοι οι οποίες ορίζουν αυτές τον βέλτιστο αριθμό των συστάδων για τα δεδομένα, υπάρχουν και μέθοδοι οι οποίες ζητούν από τον χρήστη να ορίσει τον αριθμό των συστάδων. Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από τα δεδομένα που εισάγει ο χρήστης, από τις πληροφορίες που μπορεί να παρέχει (π.χ. μπορεί να ορίσει τον αριθμό των συστάδων αν τον γνωρίζει) καθώς και από τα αποτελέσματα που επιθυμεί.

Στόχος αυτής της ενότητας είναι η συσταδοποίηση μίας πόζας πλέγματος σε συστάδες που να απαρτίζονται από κορυφές του πλέγματος με κοινά χαρακτηριστικά. Σε αυτές τις συστάδες θα υπολογισθεί ο τοπικός όγκος τους τόσο στην πόζα αναφοράς όσο και στις πόζες του animation και για κάθε πόζα θα υπολογισθεί το τοπικό σφάλμα κάθε συστάδας. Το σφάλμα αυτό στην συνέχεια μπορεί να αντικαταστήσει το ΔV των εξισώσεων (2.3) και (3.4) με το ΔV_c ώστε οι κορυφές κάθε συστάδας να συμβάλλουν στην διόρθωση της συστάδας στην οποία ανήκουν.

Αναφέροντας τις παραπάνω πληροφορίες προκύπτουν νέες σκέψεις για την υλοποίηση της συσταδοποίησης:

- Ποιο θα είναι εκείνο το κοινό κριτήριο για τα μέλη των συστάδων;
- Με βάση ποιον αλγόριθμο θα πραγματοποιηθεί η συσταδοποίηση;
- Θα δίνεται δυνατότητα στον χρήστη να ορίσει τον αριθμό των συστάδων;
- Ποια θα χρησιμοποιηθεί ως πόζα αναφοράς στην οποία θα πραγματοποιηθεί η συσταδοποίηση;
- Πότε θεωρούμε πως έχουμε μία καλή συσταδοποίηση του αντικειμένου μας;

4.2.1. Κριτήριο Συσταδοποίησης

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3 στην διατήρηση του όγκου εισήχθηκε ο παράγοντας της παραμόρφωσης των σημείων σε ένα μοντέλο. Αυτή η πληροφορία ορίζει τον βαθμό παραμόρφωσης σε κάθε κορυφή ώστε να προκύψει η νέα πόζα του μοντέλου. Τελικά συμπεριλάβαμε αυτό το βαθμό ώστε να καθορίζει το ποσοστό συμβολής κάθε κορυφής στην διατήρηση του όγκου του αντικειμένου. Περιοχές με μεγάλο βαθμό παραμόρφωσης έχουν επηρεάσει σημαντικά την αλλαγή του όγκου του αντικειμένου ενώ περιοχές με μικρό βαθμό παραμόρφωσης ελάχιστα.

Διακρίνουμε από τα παραπάνω πως ο βαθμός της παραμόρφωσης συμβάλει σημαντικά στην διατήρηση του όγκου και για αυτό τον λόγο θεωρήθηκε πως θα μπορούσε να αποτελεί ένα καλό κριτήριο για την συσταδοποίηση των αντικειμένων καθώς η παράμετρος αυτή είναι βασικό στοιχείο για την συμμετοχή κάθε κορυφής στην διατήρηση. Έτσι θα διαχωριστούν περιοχές του αντικειμένου βάσει της παραμόρφωσης τους και θα εξαχθούν περιοχές σε αυτό με μεγάλο ή μικρό βαθμό συμβολής αντίστοιχα στην διατήρηση του όγκου. Οι περιοχές αυτές θα πρέπει ταυτόχρονα να είναι και συνεκτικές ώστε να ανήκουν σε αυτές «κοντινά» μέλη του μοντέλου. Επιπλέον θα μπορούσαν να αποκλειστούν περιοχές με μηδενική συμβολή στην διατήρηση του όγκου γεγονός που καθιστά τον αλγόριθμο διατήρησης πιο αποδοτικό.

4.2.2. Πόζες Αναφοράς

Στην ενότητα 3.3 αναφέρθηκε ο υπολογισμός των Deformation Gradient χρησιμοποιώντας διαφορετική πόζα αναφοράς για τον ορθότερο υπολογισμό των αποτελεσμάτων. Χρησιμοποιώντας την ίδια λογική και σε αυτή την ενότητα προσπαθούμε να ερμηνεύσουμε ποια θα ήταν εκείνη η πόζα που θα μας έδινε την καλύτερη συσταδοποίηση του αντικειμένου.

Για κάθε πόζα της ακολουθίας έχουν υπολογιστεί τα Deformation Gradient σε σχέση με την πόζα αναφοράς. Μία πρώτη σκέψη μας οδηγεί στην συσταδοποίηση κάθε πόζας χρησιμοποιώντας την πληροφορία της από τα Deformation Gradient. Κάτι τέτοιο όμως θα μπορούσε να αποβεί ιδιαίτερα χρονοβόρο στην περίπτωση μίας μεγάλης ακολουθίας ποζών. Μία εναλλακτική τεχνική θα ήταν η συσταδοποίηση χρησιμοποιώντας μία πόζα του animation με την χρήση των Deformation Gradient

των κορυφών της. Στην τελευταία περίπτωση όμως τα Deformation Gradient δεν θα ήταν αντιπροσωπευτικά για κάθε πόζα του animation.

Θα ήταν επιθυμητό οι συστάδες να δημιουργηθούν από αντιπροσωπευτικές τιμές για όσο το δυνατόν περισσότερες από τις πόζες του animation. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να γίνει με τον υπολογισμό ενδιάμεσων ποζών στην ακολουθία πλεγμάτων. Όμως και εδώ τίθενται ερωτήματα για το πλήθος των ενδιάμεσων ποζών καθώς και για την συχνότητα υπολογισμών τους. Σε περίπτωση μεγάλου πλήθους ποζών οδηγούμαστε πάλι σε χρονοβόρες διαδικασίες, ενώ με μικρό πλήθος οδηγούμαστε σε ανακριβείς υπολογισμούς.

Για να επιτύχουμε μία ενδιάμεση λύση τόσο μεταξύ του χρόνου υπολογισμού των συστάδων καθώς και της ακρίβειας του αποτελέσματος υποθέσαμε την μέση πόζα του animation ως αναφορά χρήσης για την συσταδοποίηση. Η μέση πόζα αναφοράς έχει ως Deformation Gradient κάθε κορυφής τον μέσο όρο των Deformation Gradient της κορυφής από όλες τις πόζες. Δηλαδή για κάθε κορυφή v και ένα σύνολο πλεγμάτων M το $mean DG_v$ της κορυφής υπολογίζεται ως εξής:

$$mean DG_v = \sum_{i \in M} \frac{DG_{v_i}}{|M|} \quad \text{Εξ. 4.1}$$

Η παράμετρος αυτή δείχνει για κάθε κορυφή πόσο έχει παραμορφωθεί συνολικά κατά την διάρκεια του animation και δίνει πληροφορίες σχετικά με την «κινητικότητα» της. Επιτυγχάνουμε έτσι την ύπαρξη μόνο μίας τιμής ανά κορυφή για τον υπολογισμό των συστάδων αποφεύγοντας χρονοβόρες διαδικασίες ενώ ταυτόχρονα χρησιμοποιούμε μία καλή γενική προσέγγιση της τιμής των Deformation Gradient κάθε κορυφής για όλες τις πόζες. Σε περίπτωση που θέλουμε να δώσουμε μεγαλύτερη λεπτομέρεια ως προς την παραμόρφωση για τον υπολογισμό των συστάδων μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μία από τις τεχνικές που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

4.2.3. Αλγόριθμος Variational Region Growing

Για την συσταδοποίηση των δοθέντων δεδομένων έχουν αναπτυχθεί πάρα πολλές τεχνικές. Σκοπός είναι να βρεθεί η κατάλληλη τεχνική για τα δεδομένα που χρησιμοποιούμε και να επιτύχουμε το «βέλτιστο» αποτέλεσμα που επιθυμούμε.

Στόχο της συσταδοποίησης στην διατριβή αυτή αποτελεί η εύρεση τέτοιων συστάδων που να περιλαμβάνουν τα πιο «κοντινά» ως προς την παραμόρφωση σημεία του πλέγματος καθώς και η συνεκτικότητα των συστάδων αυτών.

Οι τεχνικές «Επέκτασης περιοχής» (Region Growing) αποτελούν μία απλή τεχνική διαχωρισμού περιοχών η οποία εφαρμόζεται και στην επεξεργασία εικόνων. Για την εφαρμογή της απαιτείται η επιλογή αρχικών δομών από τις οποίες αρχικοποιείται ο αλγόριθμος. Το πλήθος των δομών αυτών δηλώνει τον αριθμό των συστάδων που επιθυμούμε να δημιουργηθούν. Επιλέγοντας το πλήθος τους δίνεται λοιπόν η δυνατότητα στον χρήστη να δημιουργήσει πιο λεπτομερές και ακριβές συστάδες για το αντικείμενο του.

Η τεχνική βασίζεται στην λογική της επέκτασης μίας περιοχής που εκπληρώνει συγκεκριμένα κριτήρια. Έχοντας επιλέξει τις αρχικές δομές (τρίγωνα) ελέγχονται οι γειτονικές αυτών και εξετάζεται αν πρέπει να προστεθούν στην συστάδα. Με τον ίδιο τρόπο εξετάζονται επαναληπτικά όλες οι δομές και προστίθενται στην συστάδα που ανήκουν. Τέλος ελέγχονται τα κριτήρια τερματισμού και αν αυτά πληρούνται ο αλγόριθμος τερματίζει, εάν όχι εφαρμόζεται εκ νέου ο αλγόριθμος με νέες αρχικές δομές.

Η επιλογή των αρχικών δομών του αλγορίθμου μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Οι δομές αυτές μπορεί να επιλεγθούν τυχαία, να επιλεγθούν με βάση κάποιο κριτήριο ή κάποια κατανομή σε ένα σύνολο (π.χ. ομοιόμορφα στο σύνολο των τριγώνων του πλέγματος). Επειδή το αποτέλεσμα των συστάδων εξαρτάται από την αρχικοποίηση αυτών των δομών, συστήνεται η πολλαπλή εκκίνηση του αλγορίθμου ορίζοντας νέες αρχικές δομές σε κάθε επανάληψη.

Παρόλο που στην ενότητα 3.4 υπολογίσαμε τα Deformation Gradient για κάθε κορυφή του πλέγματος, ο υπολογισμός των Deformation Gradient σχετίζεται περισσότερο με τις επιφάνειες του. Συνεπώς επιλέχθηκαν ως κριτήριο δομής για τις συστάδες οι επιφάνειες του πλέγματος αντί των κορυφών, αν και η χρήση των κορυφών δεν θα δημιουργούσε κανένα επιπλέον πρόβλημα στην υλοποίηση του αλγορίθμου.

Σε κάθε συστάδα σκοπός είναι να έχουμε όσο το δυνατόν μικρότερη «απόσταση» μεταξύ των στοιχείων που την αποτελούν. Δηλαδή κάθε συστάδα θα πρέπει να αποτελείται με όσο το δυνατόν πιο κοντινές ως προς την παραμόρφωση

επιφάνειες. Όταν ικανοποιηθεί η παραπάνω υπόθεση για όλες τις συστάδες που θα δημιουργηθούν ο αλγόριθμος τερματίζει.

Έστω λοιπόν ότι έχουμε ένα σύνολο R από j συστάδες. Προσπαθούμε να ελαχιστοποιήσουμε το σφάλμα παραμόρφωσης για κάθε συστάδα R_j . Προσπαθούμε να επιτύχουμε λοιπόν την μείωση της σχέσης:

$$D(T_i, F_j) = \|d_i - D_j\|^2, \text{ όπου } T_i \text{ το τρίγωνο της επιφάνειας } i, \\ d_i \text{ το mean deformation gradient του τριγώνου } i \\ D_j = \frac{\sum_{f_i \in R_j} D_i}{|R_j|}, \text{ μέσο deformation gradient της συστάδας } R_j.$$

Ο αλγόριθμος συσταδοποίησης μπορεί να χωριστεί σε τρία βήματα:

- Αρχικοποίηση συστάδων – Ορισμός αρχικών επιφανειών (1)
- Εύρεση Συστάδων (2)
- Επαναπροσδιορισμός αρχικών επιφανειών (3)

Κατά την αρχικοποίηση των συστάδων (1) επιλέγεται τυχαία ένας αριθμός τριγώνων τα οποία και δηλώνουν τον αριθμό των συστάδων. Κάθε συστάδα αρχικοποιείται αντίστοιχα από ένα επιλεγμένο τρίγωνο. Αρχικά λοιπόν για κάθε συστάδα το mean deformation gradient D_j της συστάδας είναι το deformation gradient του αρχικού τριγώνου. Πρέπει σε αυτό το σημείο να γίνει κατανοητό ότι ο αλγόριθμος είναι ευρετικός και εξαρτάται σημαντικά από την αρχικοποίηση των τριγώνων. Για τον παραπάνω λόγο μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι αλγόριθμοι για την επιλογή των αρχικών τριγώνων όπως π.χ. P-center.

Συνεχίζοντας στο βήμα (2) κάθε αρχικό τρίγωνο προσθέτει τα άμεσα γειτονικά του τρίγωνα (έχουν δύο κοινές κορυφές) σε μία καθολική ουρά προτεραιότητας η οποία ταξινομείται ανάλογα με το deformation error που έχει κάθε νεοεισαχθέν τρίγωνο σε σχέση με το D_j της συστάδας από την οποία προτάθηκε για εισαγωγή. Ταυτόχρονα εισάγεται και ένας δείκτης ο οποίος δείχνει την συστάδα με την οποία ελέγχθηκε κάθε τρίγωνο (συνεπώς κάθε τρίγωνο μπορεί να εμφανιστεί το πολύ τρεις φορές στην ουρά προτεραιότητας).

Μόλις προστεθούν όλα τα γειτονικά τρίγωνα στην ουρά προτεραιότητας εξάγεται το πρώτο από αυτή και ελέγχεται εάν έχει ήδη καταχωρηθεί ως μέλος

κάποιας συστάδας. Εάν έχει ήδη οριστεί τότε απορρίπτεται και εξάγεται νέο τρίγωνο από αυτή, ενώ εάν το τρίγωνο δεν έχει ήδη προστεθεί σε κάποια συστάδα προστίθεται στην συστάδα που υποδεικνύει ο δείκτης και το τρίγωνο κατοχυρώνεται από αυτή. Προτού το τρίγωνο εγγραφεί σε κάποια συστάδα εισάγει στην ουρά προτεραιότητας τα δύο άμεσα γειτονικά του τρίγωνα. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται έως ότου η ουρά προτεραιότητας μείνει κενή γεγονός που δείχνει ότι κάθε τρίγωνο έχει εγγραφεί σε μία συστάδα. Να σημειωθεί πως τα αρχικά τρίγωνα δεν εισάγονται στην ουρά προτεραιότητας ώστε να βεβαιώσουμε την επιστροφή των συστάδων που επιθυμεί ο χρήστης έστω και με ένα τρίγωνο ως μέλος.

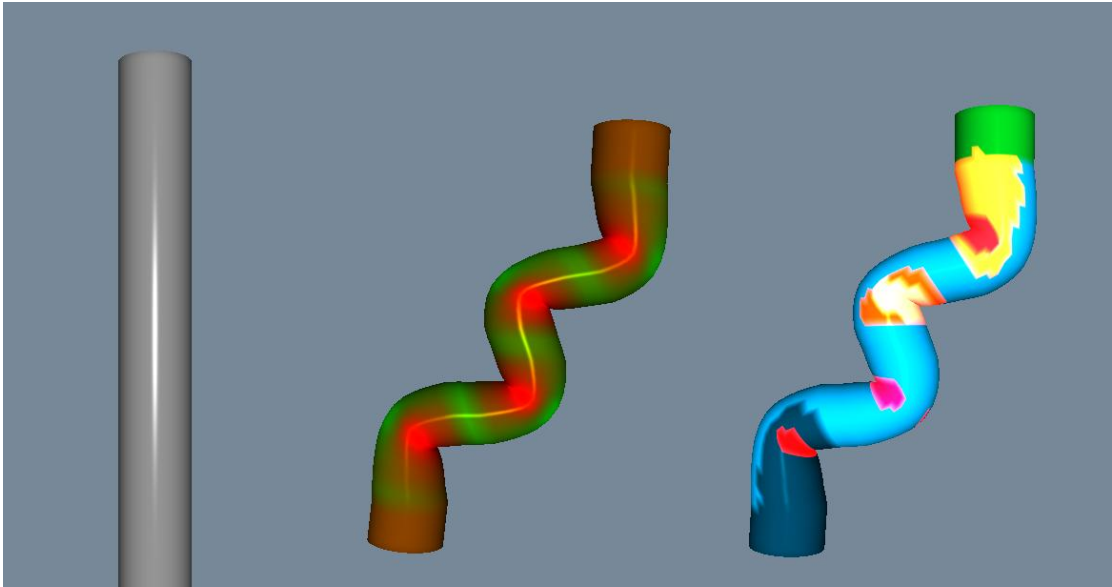
Στο τρίτο και τελευταίο μέρος του αλγορίθμου υπολογίζεται για κάθε συστάδα το D_j της και επιλέγεται νέο αρχικό τρίγωνο για κάθε συστάδα. Επιλέγεται ως αρχικό εκείνο το τρίγωνο κάθε συστάδας με την μικρότερη διαφορά του deformation gradient του από το D_j της συστάδας του. Το D_j κάθε συστάδας δεν αντικαθίσταται καθώς το νέο τρίγωνο βοηθά μόνο στην επανάληψη της διαδικασίας.

Τα βήματα (2), (3) του αλγορίθμου επαναλαμβάνονται έως ότου κάποιο κριτήριο τερματισμού επαληθευτεί ή αν ξεπεραστεί ο μέγιστος αριθμός βημάτων του αλγορίθμου που ορίζει ο χρήστης. Ως κριτήριο τερματισμού χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος του σφάλματος παραμόρφωσης των συστάδων:

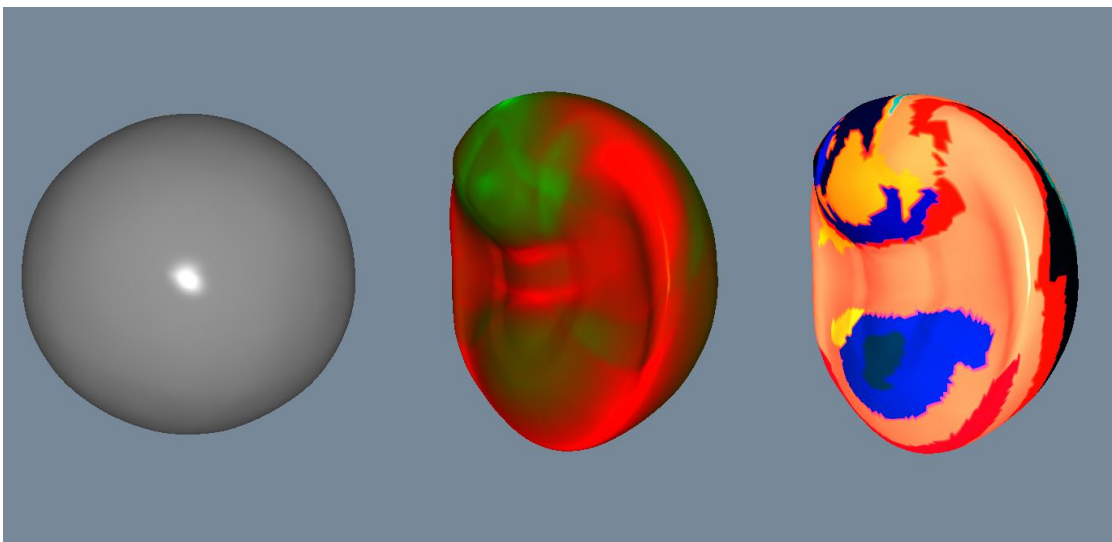
$$avg_{|C|} \left(\sum_{R_j \in C} \|D_{j,seed} - D_j\|^2 \right),$$

όπου $D_{j,seed}$ το deformation gradient του αρχικού τριγώνου της συστάδας.

Στο Παράρτημα Α παρουσιάζεται ο αλγόριθμος συσταδοποίησης Variational Region Growing ενώ στα Σχήματα 4.2 και 4.3 παρουσιάζεται το Clustering για τα δύο αντικείμενα με βάση το Deformation Gradient.



Σχήμα 4.2 Variational Region Growing Clustering Βασισμένο Στην Παραμόρφωση

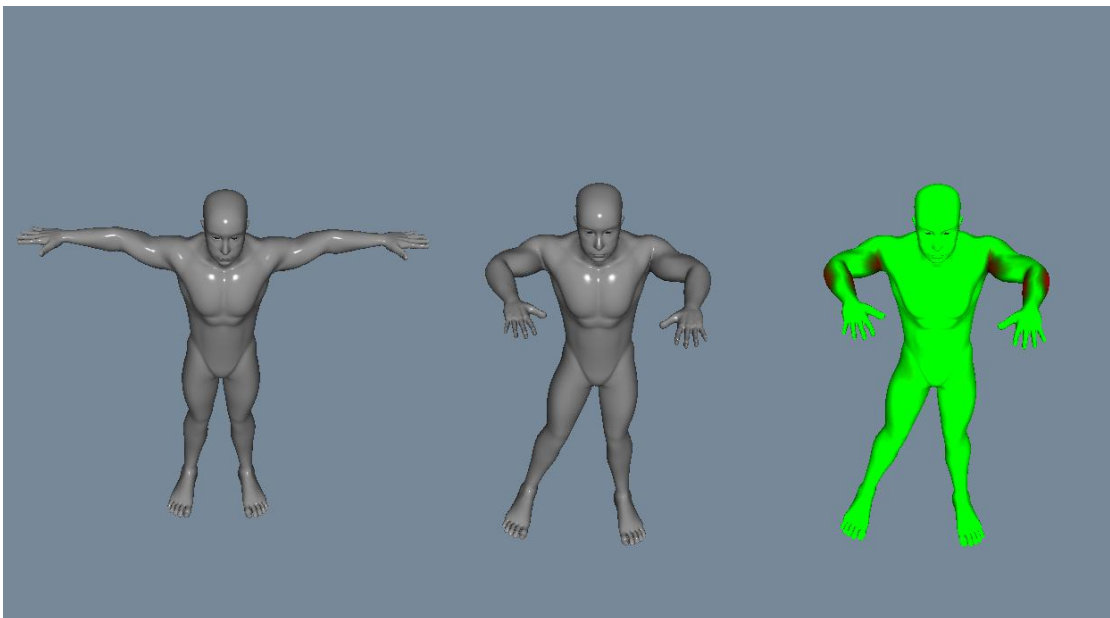


Σχήμα 4.3 Variational Region Growing Clustering Βασισμένο Στην Παραμόρφωση

4.3. Τοπική - Ολική Διατήρηση του Όγκου

Στα προηγούμενα κεφάλαια όπως και σε αυτό αναφερθήκαμε αρκετές φορές στον τρόπο χρήσης του σφάλματος του όγκου για την επίτευξη της διατήρησης του. Στο δεύτερο κεφάλαιο η προσέγγιση αφορούσε το καθολικό σφάλμα του όγκου και κάθε κορυφή του πλέγματος χρησιμοποιούσε αυτήν την τιμή για να δώσει έναν βαθμό στην διεύθυνση μετακίνησης του διορθωτικού διανύσματος. Η τιμή αυτή αποδείχθηκε ανεπαρκής ώστε να δώσει λεπτομερή αποτελέσματα στο αντικείμενο.

Στο κεφάλαιο 3 η τιμή αυτή παρέμεινε αναλλοίωτη καθώς επικεντρωθήκαμε κυρίως στην καταμέτρηση της παραμόρφωσης κάθε κορυφής για να δώσουμε μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Η τιμή του σφάλματος του όγκου παρέμεινε ίδια με το δεύτερο κεφάλαιο, συνεπώς κάθε περιοχή συνέβαλε στην διατήρηση του όγκου ακόμα και αν δεν είχε «χάσει» όγκο τοπικά αυτή. Στα Σχήματα 4.4 και 4.5 παρατηρούμε την απώλεια όγκου από την πόζα αναφοράς (Οι Κόκκινες περιοχές υποδεικνύουν μεγαλύτερη απώλεια όγκου).



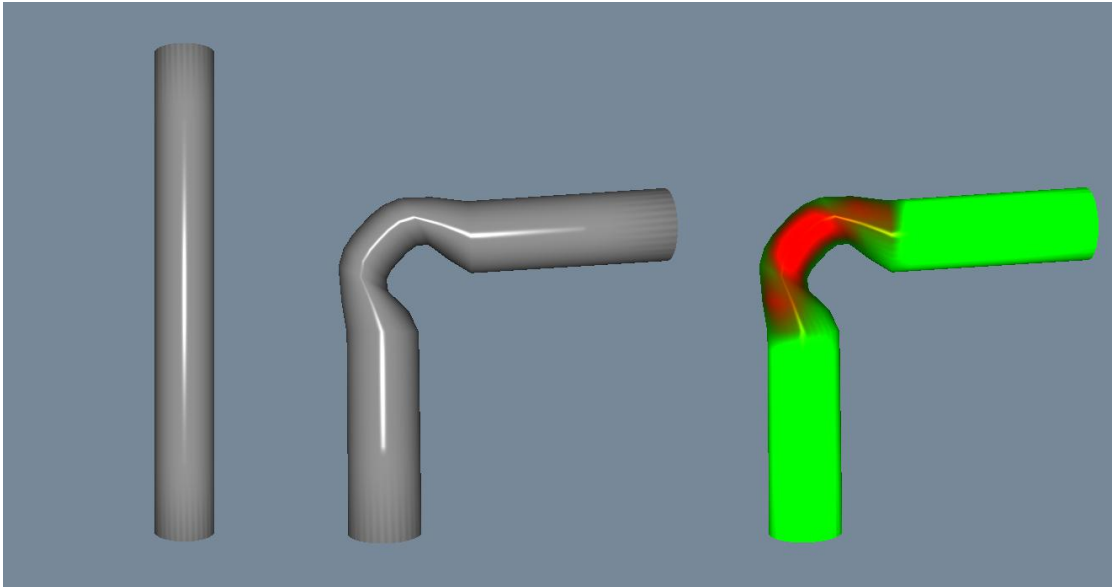
Σχήμα 4.4 Απώλεια Όγκου (Κόκκινες Περιοχές - Μεγαλύτερη Απώλεια Όγκου)

Συνεχίζοντας σε αυτό το κεφάλαιο επαναφέραμε την σκέψη για καλύτερη προσέγγιση του όγκου υπολογίζοντας το όγκο σε κάθε συστάδα όπως αυτές

υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 4.2. Υπολογίζουμε εκ νέου λοιπόν το σφάλμα του όγκου για κάθε συστάδα σε σχέση με την αντίστοιχη συστάδα της πόζας αναφοράς και προκύπτουν οι τιμές ΔV_c , όπου $c \in C, C$: σύνολο συστάδων. Χρησιμοποιώντας τις τιμές ΔV_c για τις κορυφές κάθε συστάδας στην Εξ. 3.4 προκύπτει η εξίσωση:

$$\rho_v = \Delta V_c \frac{DG_{V_v} < n_k, \nabla Vol(v) >}{\sum_{j=1}^N < n_j, \nabla Vol(v) >^2} \quad \text{Εξ. 4.2}$$

Συνεπώς κάθε κορυφή του πλέγματος συμβάλλει στην διατήρηση του όγκου ανάλογα με τον βαθμό του σφάλματος που έχει ο όγκος της συστάδας του από την αντίστοιχη συστάδα της πόζας αναφοράς. Κάθε κορυφή συνεπώς προσπαθεί να «συμπληρώσει» το σφάλμα της συστάδας του και όχι σφάλμα άλλης συστάδας. Σε συστάδες στις οποίες ο όγκος δεν έχει αλλάξει καθόλου οι κορυφές δεν συνεισφέρουν στην διατήρηση του πλέγματος και παραμένουν σταθερές.



Σχήμα 4.5 Απώλεια Όγκου (Κόκκινες Περιοχές - Μεγαλύτερη Απώλεια Όγκου)

Επιτυγχάνοντας την διατήρηση των τοπικών όγκων των συστάδων επιτυγχάνουμε και την ολική διατήρηση του αντικειμένου. Έτσι το καθολικό σφάλμα που προκύπτει είναι:

$$\Delta V = \sum_{c \in C} \Delta V_c, C \text{ σύνολο συστάδων.}$$

Όπως παρατηρήσαμε και νωρίτερα, σε συστάδες που το σφάλμα του όγκου είναι μηδέν οι κορυφές παραμένουν αμετακίνητες αφού η παράμετρος ΔV_c στην Εξ. 4.2 είναι μηδέν. Μελετώντας και υλοποιώντας την παραπάνω υπόθεση, συμπεράναμε κάποια οπτικά κυρίως σφάλματα στην τοπική διατήρηση του όγκου.

Έστω λοιπόν δύο γειτονικές συστάδες c_1 και c_2 . Έστω το σφάλμα του όγκου της πρώτης συστάδας είναι μηδέν και της δεύτερης συστάδας πολύ μεγαλύτερο αυτού της πρώτης, $\Delta V_{c_1} \ll \Delta V_{c_2}$. Οι κορυφές της πρώτης συστάδας δεν θα μετακινηθούν από την αρχική τους θέση, ενώ οι κορυφές της δεύτερης συστάδας θα μετακινηθούν σε μεγάλο βαθμό. Το παραπάνω ενδεχόμενο μπορεί να προκαλέσει μεγάλες ασυνέπειες στο παραγόμενο αποτέλεσμα του πλέγματος και το animation να μην είναι ρεαλιστικό.

Το παραπάνω πρόβλημα δημιουργήθηκε λόγω της τοπικής διαχείρισης των συστάδων και των παραμέτρων τους και την ανεξαρτητοποίηση τους από γειτονικά τμήματα του αντικειμένου. Επίσης ο διαχωρισμός των συστάδων αποτελεί μία διαδικασία προσεγγιστική και πιθανότατα δεν είναι η βέλτιστη για το αντικείμενο. Επιπλέον πρέπει να συνυπολογίσουμε ότι σε «ζωτικά-λιπώδης» κυρίως αντικείμενα, όπως π.χ. μύες κτλ υπάρχουν μετακινήσεις όγκων και δομών. Αυτό μας οδηγεί στην σκέψη υπολογισμού των γειτονικών δομών ενός αντικειμένου.

Το σφάλμα που παρατηρήσαμε διαπιστώθηκε πως προέρχεται κυρίως από την ανεξαρτητοποίηση των συστάδων και την μη συσχέτιση τους με άλλες συστάδες του αντικειμένου. Σκοπό σε αυτό το σημείο αποτελεί η αποφυγή τέτοιων φαινομένων στις συστάδες του πλέγματος ώστε το αποτέλεσμα να είναι πιο ρεαλιστικό και να λαμβάνονται υπόψη γειτονικές πληροφορίες.

Αναπροσαρμόζουμε λοιπόν τις τιμές ΔV_c των συστάδων ώστε να λαμβάνουν υπόψη τους την πληροφορία του σφάλματος από γειτονικές συστάδες. Έτσι κάθε συστάδα διαμοιράζει ένα ποσοστό του σφάλματος ΔV_c στις γειτονικές συστάδες ώστε να «αναλάβουν» αυτές την διατήρηση του. Συνεπώς για κάθε συστάδα c το ΔV_c προσαρμόζεται ως:

$$\Delta V_c = \frac{(\sum_{j \in N_c} \Delta V_j) + \Delta V_c}{|N_c| + 1}, \quad \text{Εξ. 4.3}$$

όπου N_c το σύνολο των γειτονικών συστάδων του c .

Με τον παραπάνω διαμοιρασμό της πληροφορίας κάθε συστάδας επιτυγχάνεται μία εξομάλυνση των ασυνεχειών που παρατηρήθηκαν προηγουμένως κατά την διατήρηση του αφού συστάδες με μεγάλη διαφορά σφάλματος όγκου από τις γειτονικές τους «εξομαλύνονται» προσεγγίζοντας το σφάλμα των γειτόνων τους καλύτερα. Η Εξίσωση 4.3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί επαναληπτικά εάν επιθυμούμε μεγαλύτερη επικοινωνία μεταξύ των συστάδων π.χ. αν το αντικείμενο είναι υγρής μορφής.

Παρατηρούμε πως με την επαναληπτική εφαρμογή της (Εξ. 4.3) η εξομάλυνση των ΔV_c πλησιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο την παράμετρο ΔV του αρχικού καθολικού σφάλματος. Κάθε συστάδα διαμοιράζει ένα μέρος της σε γειτονικές συστάδες, ενώ άλλες συστάδες λαμβάνουν μέρος διατήρησης από τις γειτονικές τους με αποτέλεσμα τα ΔV_c να τείνουν σε μία τιμή έπειτα από αρκετές επαναλήψεις. Δίνεται με αυτόν τον τρόπο η δυνατότητα επιλογής μεταφοράς όγκου από περιοχή σε περιοχή.

4.4. Αλληλεπίδραση Γειτονικών Τμημάτων

Στο κεφάλαιο 3 εισήχθηκε η παράμετρος της παραμόρφωσης για την επίτευξη της διατήρησης του αντικειμένου. Κάθε κορυφή καθορίζει τον βαθμό με τον οποίο συμμετέχει στην διατήρηση με την παράμετρο DGV_v στην Εξ. 3.4. Η παράμετρος αυτή υπολογίζεται βάση της παραμόρφωσης που έχει υποστεί η κορυφή v και είναι μοναδική για κάθε κορυφή.

Έχοντας υπολογίσει τις συστάδες ενός αντικειμένου στην ενότητα 4.2 σχεδιάσαμε έναν καινούριο τρόπο υπολογισμού του σφάλματος του όγκου. Στην προηγούμενη ενότητα παρατηρήσαμε προβλήματα όταν θεωρήσαμε κάθε συστάδα ως ανεξάρτητη και για αυτό τον λόγο θεωρήσαμε πως κάθε συστάδα επηρεάζεται και από τις γειτονικές της.

Στις προηγούμενες ενότητες υπολογίζαμε για κάθε κορυφή την παραμόρφωση της και μέσω του συντελεστή DGV_v ορίζαμε την συμμετοχή της στην διατήρηση του όγκου. Μία νέα σκέψη για μεγαλύτερη απόδοση της διατήρησης χωρίς την χρήση μεγάλου αριθμού πληροφοριών οδηγεί στον υπολογισμό για κάθε συστάδα του μέσου όρου των deformation gradient των κορυφών που την απαρτίζουν. Έτσι για τις

κορυφές v κάθε συστάδας c η τιμή DGV_v στην Εξ. 3.4 μπορεί να αντικατασταθεί από την:

$$DGV_c = \left(\sum_{v \in c} DGV_v \right) / |c|, \quad \text{Εξ. 4.4}$$

όπου c συστάδα.

Κάθε κορυφή λοιπόν μίας συστάδας χρησιμοποιεί τον μέσο όρο των deformation gradient των κορυφών της συστάδας. Αυτό αποτελεί μία προσέγγιση για κάθε κορυφή συνεπώς δεν περιμένουμε και τα ορθότερα αποτελέσματα στην διατήρηση, παρόλα αυτά αποτελεί μία πιο αποδοτική προσεγγιστική επίλυση του προβλήματος.

Ο υπολογισμός των συστάδων στην προηγούμενη ενότητα θα μπορούσε να βοηθήσει στην προσαρμογή των παραμέτρων των deformation gradient όπως ακριβώς έγινε και με το σφάλμα όγκου ΔV_c . Βασιζόμενοι στην ίδια λογική για την προσαρμογή των ΔV_c ώστε μία συστάδα να συνεισφέρει σε γειτονικές συστάδες σκεπτόμαστε την αναπροσαρμογή των DGV_v των κορυφών έτσι ώστε να επηρεάζονται από την μεταβολή περισσότερων του ενός συστάδων.

Αφού υπολογίσουμε τις συστάδες στην ενότητα 4.2, μπορούμε να υπολογίσουμε το μέγιστο και το ελάχιστο μήκος επιρροής της συστάδας. Αρχικά υπολογίζουμε το κέντρο της συστάδας παίρνοντας το μέσο όρο των σημείων v που την αποτελούν:

$$Center_c = \left(\sum_{v \in c} v \right) / |c|$$

Για την μέγιστη απόσταση της συστάδας βρίσκουμε το σημείο της συστάδας που με την μεγαλύτερη απόσταση από το κέντρο της (χρησιμοποιώντας Ευκλείδεια απόσταση), ενώ για την μικρότερη απόσταση βρίσκουμε το σημείο που βρίσκεται πιο κοντά στο κέντρο της.

Έχοντας υπολογίσει την μέγιστη απόσταση σε μία συστάδα θέτουμε ως μέγιστη απόσταση επιρροής της συστάδας την απόσταση αυτή. Δημιουργούμε λοιπόν μία νοητή σφαίρα επιρροής της συστάδας στο μοντέλο. Η επιρροή μίας συστάδας μπορεί να εισέρχεται και σε σημεία που ανήκουν σε κάποια άλλη συστάδα. Θέλουμε με αυτόν τον τρόπο να δείξουμε ότι τα σημεία μπορεί να ανήκουν σε μία συστάδα αλλά να επηρεάζονται από περισσότερες. Εισάγοντας αυτή την πληροφορία για κάθε

κορυφή μπορούμε να υπολογίσουμε τις συστάδες που την επηρεάζουν. Υποψήφιες συστάδες επιρροής είναι η συστάδα στην οποία ανήκει η κορυφή καθώς και οι γειτονικές συστάδες της.

Με τον παραπάνω τρόπο συμπεραίνουμε ότι η δομή ενός αντικειμένου συμβάλει σημαντικά στην παραμόρφωση των κορυφών του καθώς γειτονικές περιοχές μπορεί να τις επηρεάζουν. Έτσι για κάθε κορυφή v δημιουργούμε ένα σύνολο βαρών επιρροής w_i για κάθε ένα από τις συστάδες c_i που επηρεάζουν την κορυφή. Άρα για κάθε κορυφή:

$$\forall v \in w_i \mid w_i \text{ βαθμός επιρροής από το } c_i, \\ \text{όπου } c_i \text{ οι συστάδες επιρροής για την κορυφή } v.$$

Μία κορυφή v επηρεάζεται από μία συστάδα c εάν η απόσταση της κορυφής από το κέντρο της συστάδας είναι μικρότερη από την μέγιστη απόσταση επιρροής της συστάδας:

$$Distance(v, Center_c) < MaxDis_c$$

Ο βαθμός επιρροής κάθε συστάδας σε μία κορυφή εξαρτάται από την απόσταση της (dis) από το κέντρο της συστάδας. Αφού υπολογισθούν οι συστάδες επιρροής C μίας κορυφής v και η απόσταση της κορυφής από κάθε συστάδα προσαρμόζουμε τις αποστάσεις αυτές ώστε να αθροίζουν στην μονάδα.

Συνεπώς:

$$dis_{v_i} = \frac{dis_{v_i}}{\sum_{i \in C} dis_{v_i}}, i \in C,$$

όπου C το σύνολο των συστάδων που επηρεάζουν την κορυφή v .

Υπολογίζουμε έτσι μία κανονικοποιημένη τιμή για τον βαθμό επιρροής μίας κορυφής από μία συστάδα.

Προηγούμενως υπολογίσαμε για κάθε συστάδα το μέσο deformation gradient των κορυφών που την αποτελούν στην Εξ. 4.4 και το χρησιμοποιήσαμε για μία προσεγγιστική επίλυση της διατήρησης του όγκου κάθε συστάδας. Η προσεγγιστική αυτή επίλυση να μεν βελτιώνει την αποθήκευση τιμών υπολογισμού, μειώνει δε την ακρίβεια στην διατήρηση και στον ρεαλισμό της λύσης. Ο μέσος όρος των τιμών μπορεί να απέχει αρκετά από κάποιες τιμές των κορυφών της συστάδας και το αποτέλεσμα για κάποιες κορυφές να μην είναι ικανοποιητικό. Επίσης το παραπάνω

πρόβλημα μπορεί να οφείλεται και στην προσεγγιστική λύση της συσταδοποίησης, ειδικά σε κορυφές που βρίσκονται στα σύνορα των συστάδων.

Για την επίλυση αυτού του προβλήματος χρησιμοποιούμε την λογική της γειτνίασης των συστάδων και της εξάρτησης των δομών του αντικειμένου από γειτονικές δομές. Για τον σκοπό αυτό στην Εξ. 3.4 τροποποιούμε την μεταβλητή DGV_v κάθε κορυφής. Κάθε κορυφή χρησιμοποιεί ως βαθμό παραμόρφωσης DGV_v έναν γραμμικό συνδυασμό των μέσων deformation gradient των συστάδων που επηρεάζουν την κορυφή v .

Έτσι για κάθε κορυφή v η τιμή DGV_v διαμορφώνεται ως:

$$DGV_v = \sum_{i \in C} dis_{v_i} * DGV_i, \quad \text{Εξ. 4.5}$$

όπου το DGV_i προκύπτει από την Εξ. 4.4,

C το σύνολο των συστάδων που επηρεάζουν την κορυφή v ,

dis_{v_i} η κανονικοποιημένη απόσταση της κορυφής v από την συστάδα i .

Οι τιμές DGV_v αφού υπολογιστούν κανονικοποιούνται στην μονάδα για την ομαλότερη μετάβαση στην διατηρημένη πόζα.

Η παραπάνω προσεγγιστική επίλυση της τοπικής διατήρησης επιλύει το πρόβλημα με μεγάλη ακρίβεια και δεν χρησιμοποιεί μεγάλο αριθμό πληροφοριών, ενώ εξομαλύνει αρκετές ασυνέχειες της διατήρησης που είχαν προκληθεί λόγω της ανεξαρτητοποίησης κάθε κορυφής του μοντέλου. Κάθε κορυφή αποκτά πληροφορία σχετικά με την δομή του πλέγματος και δεν επιδρά στην διατήρηση ως ανεξάρτητο μέλος αυτού. Σημαντικό ρόλο σε αυτό αποτελεί το αποτέλεσμα της συσταδοποίησης.

Τα αποτελέσματα όλων των παραπάνω διαδικασιών θα σχολιαστούν στην ενότητα 4.5 ενώ πίνακες με ακριβείς τιμές των μετρήσεων θα παρατεθούν στο Κεφάλαιο 5.

4.5. Αποτελέσματα – Σχολιασμός

Στο κεφάλαιο αυτό προσπαθήσαμε να αντιμετωπίσουμε προβλήματα των προηγούμενων κεφαλαίων επαναπροσδιορίζοντας το αρχικό μας πρόβλημα. Παρατηρήσαμε πως το σφάλμα του όγκου μίας πόζας από την πόζα αναφοράς δεν είναι επαρκές για να δώσει την απαραίτητη πληροφορία ώστε να επιτύχουμε ρεαλιστική διατήρηση του αντικειμένου. Περιοχές οι οποίες δεν έπρεπε να συμμετέχουν στην διόρθωση του όγκου αφού δεν είχαν παραμορφωθεί σε σχέση με την πόζα αναφοράς, συμμετείχαν στην διόρθωση του. Για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος προτάθηκε η συσταδοποίηση του αντικειμένου σε περιοχές κοινού ενδιαφέροντος. Οι περιοχές αυτές διαχωρίστηκαν με γνώμονα την παραμόρφωση που είχαν υποστεί ώστε να παραχθούν ομοιογενής ως προς την παραμόρφωση και τον χώρο συστάδες. Οι συστάδες που προέκυψαν έδωσαν στοιχεία για την παραμόρφωση της περιοχής.

Αφού το αντικείμενο χωρίστηκε σε συστάδες (χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Variational Region Growing και χρησιμοποιώντας ως χαρακτηριστικό τα Deformation Gradient των επιφανειών), επαναπροσδιορίστηκε το σφάλμα του όγκου ως προς την πόζα αναφοράς. Κάθε συστάδα πλέον υπολογίζει το τοπικό της σφάλμα σε σχέση με την αντίστοιχη συστάδα της πόζας αναφοράς και αυτό χρησιμοποιείται στην Εξ. 4.2. Κάθε συστάδα λοιπόν επιδιώκει να διορθώσει τοπικά το σφάλμα του όγκου με συνέπεια ο όγκος να επιδιορθώνεται και ολικά. Με αυτό τον τρόπο περιορίστηκε το πρόβλημα που αναφέραμε προηγουμένως και δόθηκε μεγαλύτερη λεπτομέρεια στην δομή του αντικειμένου.

Παρόλα αυτά η ανεξαρτητοποίηση των συστάδων χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τις γειτονικές δομές του αντικειμένου, σε κάποιες περιπτώσεις δημιουργήσε προβλήματα ασυνέχειας μεταξύ των συστάδων. Σε ένα αντικείμενο θα ήταν θεμιτό να παρέχεται η πληροφορία της δομής έτσι ώστε τα μέλη του αντικειμένου να δρουν ανάλογα. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε ο διαμοιρασμός πληροφορίας μεταξύ των συστάδων για την ομαλότερη διατήρηση του.

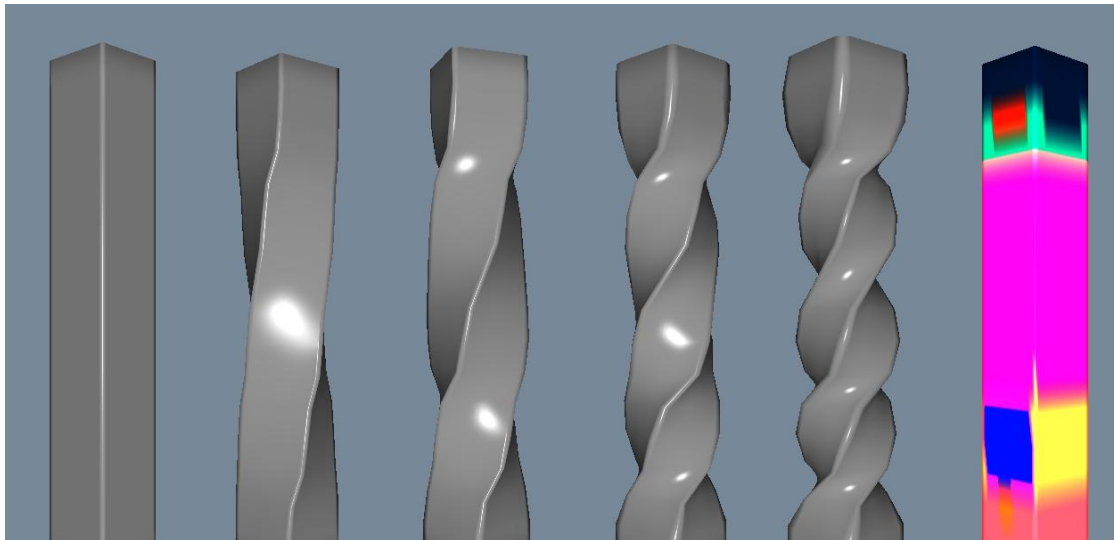
Η πληροφορία που επιλέχθηκε να διαμοιράζεται μεταξύ των συστάδων αφορά τόσο το σφάλμα του όγκου κάθε συστάδας, όσο και την επιρροή των κορυφών από περισσότερες της μίας συστάδες. Κάθε συστάδα όπως αναφέρθηκε προηγουμένως έχει ένα τοπικό σφάλμα όγκου σε σχέση με την πόζα αναφοράς. Αυτή η πληροφορία

διαμοιράζεται στις γειτονικές συστάδες με σκοπό να συμμετέχουν και αυτές στην διόρθωση ενός μέρους του σφάλματος της αρχικής συστάδας. Με τον διαμοιρασμό αυτό ασυνέχειες μεταξύ των συστάδων εξομαλύνονται και παράγεται ένα πιο ρεαλιστικό διατηρημένο μοντέλο.

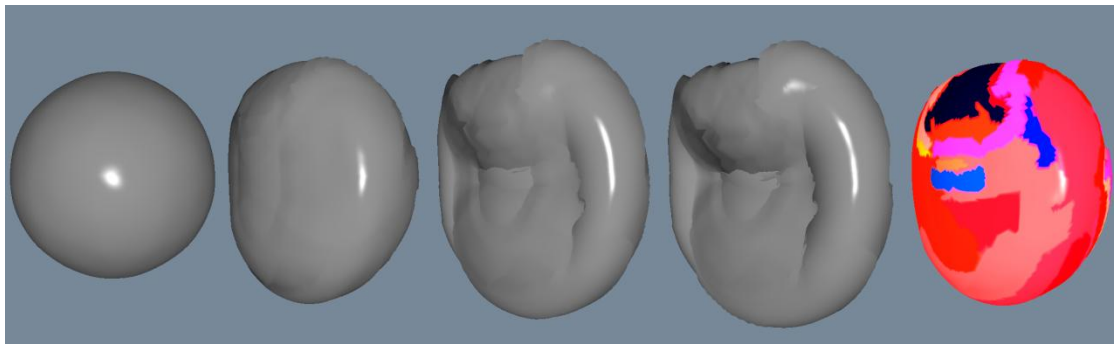
Η γραμμική επιρροή των κορυφών από περισσότερες από μία συστάδες βοηθά την διατήρηση στην γνώση τόσο της τοπικής πληροφορίας μίας κορυφής όσο και στην γνώση γειτονικών πληροφοριών. Κάθε κορυφή επηρεάζεται από την γειτονική της δομή και αποτέλεσμα αυτού είναι η ομαλή μετάβαση στην διατήρηση του μοντέλου (η απόδοση των συστάδων παίζει πολύ σημαντικό ρόλο και σε αυτό το σημείο).

Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν την όλο και ομαλότερη μετάβαση της διατήρησης του μοντέλου όσο χρησιμοποιούνται περισσότερες πληροφορίες για αυτή, καθώς επιβεβαιώνουν και την μείωση του σφάλματος τόσο τοπικά στις συστάδες όσο και καθολικά σε όλο το μοντέλο. Φτάνοντας σε αυτό το σημείο καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως με την χρήση περισσότερης πληροφορίας για την δομή του αντικειμένου και με την χρήση περισσότερο εκλεπτυσμένων τοπικών πληροφοριών η διατήρηση του αντικειμένου επιτυγχάνεται ομαλότερα, σε μεγαλύτερο βαθμό και με μεγαλύτερη δόση ρεαλισμού στο τελικό οπτικό αποτέλεσμα.

Ακριβείς τιμές θα δοθούν στο επόμενο κεφάλαιο τόσο για την τοπική διατήρηση του όγκου όσο και για την τοπική διατήρηση χρησιμοποιώντας γνώση των γειτόνων. Η παραπάνω μέθοδοι θα συγκριθούν και με τις μεθόδους που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Στα Σχήματα 4.6 και 4.7 παρουσιάζεται η διατήρηση του όγκου με την χρήση του τοπικού ΔV και την χρήση γνώσης της γειτονιάς του αντικειμένου (Χρήση γραμμικού συνδυασμού βαρών συστάδων επιρροής κάθε κορυφής).



Σχήμα 4.6 Διατήρηση Όγκου με την Χρήση Τοπικού Σφάλματος-Γνώση Γειτονιάς



Σχήμα 4.7 Διατήρηση Όγκου με την Χρήση Τοπικού Σφάλματος-Γνώση Γειτονιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Θέματα Υλοποίησης

5.2 Πειραματικά Αποτελέσματα

Η παραγωγή ενός mesh animation στις μέρες μας έχει γίνει μία ιδιαίτερα εύκολη διαδικασία μέσω της χρήσης διαφόρων εργαλείων σχεδιασμού. Παρόλα αυτά αντιμετωπίζει ακόμα αρκετά προβλήματα στην παραγωγή ρεαλιστικών animation. Η σχεδίαση βασίζεται κυρίως στον ανθρώπινο παράγοντα με αποτέλεσμα την μεγάλη πιθανότητα σφαλμάτων κατά την παραγωγή των ποζών του αντικειμένου. Αρκετά προγραμματιστικά εργαλεία μέσω της χρήσης διαφόρων λειτουργιών που παρέχουν μπορούν να μειώσουν αυτά τα σφάλματα τόσο κατά της διάρκεια της σχεδίασης των αντικειμένων όσο και με μετέπειτα επεξεργασία του mesh animation.

Πολλά προβλήματα δημιουργούνται τόσο στην κίνηση των αντικειμένων, όσο και στην ρεαλιστική απεικόνιση τους λόγω της επιρροής των δομών από τον σχεδιαστή. Στην συγκεκριμένη διατριβή μελετήθηκε το πρόβλημα του σφάλματος της διατήρησης του όγκου κατά την δημιουργία ενός mesh animation. Ο σχεδιαστής επηρεάζει τις δομές του αντικειμένου με διάφορους τρόπους (π.χ. μετακίνηση, περιστροφή, στρέβλωση, κλιμάκωση κτλ) μη έχοντας συνήθως υπόψη την δημιουργία προβλημάτων στα παραγόμενα μοντέλα.

Ένα αντικείμενο κατά της διάρκεια ενός mesh animation θα έπρεπε να διατηρούσε τον όγκο του εκτός αν ο σχεδιαστής θελήμένα τον μετέβαλε. Παρόλα αυτά λόγω των παραμορφώσεων των δομών του αντικειμένου το σφάλμα του όγκου ανά πόζα μπορεί να αυξηθεί δραματικά κατά την διάρκεια ενός animation, με αποτέλεσμα η αναπαράσταση του αντικειμένου να έχει αρκετά προβλήματα και να

μην είναι ρεαλιστική. Στην εν λόγω μελέτη παρουσιάστηκαν διάφορες μέθοδοι για την διατήρηση του αρχικού όγκου του μοντέλου σε ένα mesh animation τόσο ολικά όσο και τοπικά.

5.1. Θέματα Υλοποίησης

Η υλοποίηση των παραπάνω διαδικασιών πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας την σουίτα εφαρμογών Microsoft Visual Studio 2010 Ultimate, ενώ ως γλώσσα προγραμματισμού χρησιμοποιήθηκε η C#. Για την οπτική απόδοση των αντικειμένων χρησιμοποιήθηκαν οι συνδέσεις της C# για OpenGL μέσω του OpenTK και της GLSL, ενώ για την ανάπτυξη της διεπιφάνειας το Microsoft .Net Framework 4.

Στην εφαρμογή δίνεται η δυνατότητα φόρτωσης αρχείων mesh σε Wavefront format (.obj) για την παραγωγή των animation. Η πόζα αναφοράς μπορεί να οριστεί από τον χρήστη για να υπολογιστούν τα deformation gradient κάθε πόζας και η οπτικοποίηση τους να γίνει μέσω της GLSL shading γλώσσας. Επίσης μέσω της GLSL οπτικοποιούνται τόσο τα clusters όσο και οι πληροφορίες που έχουν υπολογιστεί στα προηγούμενα κεφάλαια. Οι αλγόριθμοι που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια έχουν υλοποιηθεί στο περιβάλλον που περιγράφηκε.

Οι πληροφορίες που παράγονται από την εφαρμογή (συστάδες, γειτονικές πληροφορίες δομών, deformation gradient κορυφών κτλ) εμφανίζονται στον χρήστη μέσω της διεπαφής καθώς δίνεται και η δυνατότητα να αποθηκευτούν σε αρχεία κείμενου (.txt) για μετέπειτα φόρτωση στο σύστημα. Από τον χρήστη απαιτείται μόνο η χρήση .obj αρχείων για την αναπαράσταση των αντικειμένων του animation. Τα πειράματα και οι μετρήσεις των διαδικασιών διεξήχθησαν σε έναν Η/Υ με επεξεργαστή Intel(R) Core(TM) i7 στα 3.20 GHz, 12GB RAM, κάρτα γραφικών NVIDIA GeForce GTX 560 με 330 πυρήνες επεξεργασίας. Για την OpenGL χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 4.2 ενώ για την GLSL η έκδοση 330.

5.1.1. Θέματα Παραλληλοποίησης (OpenCL)

Οι σύγχρονες τάσεις στην τεχνολογία επιβάλλουν την χρήση πολλαπλών συσκευών για την αξιοποίηση της επεξεργαστικής τους ισχύς καθώς και των πόρων που διαθέτουν για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων. Ηλεκτρονικοί υπολογιστές με πολλαπλούς επεξεργαστές, πυρήνες, νήματα, δίνουν την δυνατότητα παράλληλης εκτέλεσης αλγορίθμων για την ταχύτατη επίλυση τους.

Τα τελευταία χρόνια αποκτά όλο και περισσότερη εφαρμογή η χρήση της κάρτας γραφικών ενός Η/Υ για την ταχύτατη επίλυση διαδικασιών. Η αρχιτεκτονική της βοηθά και επιταχύνει την επεξεργασία γραμμικών συστημάτων. Πολλές γλώσσες προγραμματισμού έχουν αναπτυχθεί με τις οποίες οι προγραμματιστές μπορούν να αναθέσουν στην κάρτα γραφικών μία διαδικασία προς επίλυση. Μέσω του CUDA, της OpenCL κ.ά. οι προγραμματιστές μπορούν να σχεδιάσουν τα προβλήματα προς επίλυση στις κάρτες γραφικών καθώς και σε άλλες επεξεργαστικές μονάδες.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το πλαίσιο της OpenCL (Open Computing Language) και η βιβλιοθήκη Cloo για την σύνδεση της με την C#. Στην OpenCL ο προγραμματιστής μπορεί να σχεδιάσει τις διαδικασίες οι οποίες μπορούν να ανατεθούν προς επίλυση σε ένα πλήθος από ετερογενείς πλατφόρμες, όπως η CPU η GPU και άλλες. Η OpenCL παρέχει μία γλώσσα προγραμματισμού βασισμένη στην C99 για την συγγραφή πυρήνων (kernels) οι οποίοι εκτελούνται στην πλατφόρμα επιλογής, και μία διεπαφή για την συγγραφή διαδικασιών διαχείρισης στις πλατφόρμες. Το OpenCL έχει υιοθετηθεί από εταιρείες όπως η NVIDIA, Intel, ARM. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 1.1 της OpenCL και ως πλατφόρμες χρησιμοποιήθηκαν ο προαναφερθείς επεξεργαστής της Intel με 8 υπολογιστές μονάδες και η κάρτα γραφικών της NVIDIA GeForce GTX 560 με 330 πυρήνες επεξεργασίας.

Οι πυρήνες εκτέλεσης ανατίθενται στο παράρτημα της εργασίας.

5.2. Πειραματικά Αποτελέσματα

Τα πειράματα της μελέτης αυτής διεξήχθησαν στα υπολογιστικά μοντέλα που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Για την διεξαγωγή τους χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα του Πίνακα 5.1 καθώς και αυτά του Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.1 3Δ Μοντέλα Επεξεργασίας

Μοντέλο	Κορυφές	Επιφάνειες
Ράβδος	1538	3072
Κύλινδρος 1	2050	4096
Σφαίρα	15362	30720
Ράβδος 2	51458	102912

Πίνακας 5.2 Αναλύσεις Ράβδου 2

Μοντέλο	Κορυφές	Επιφάνειες
Χαμηλή Ανάλυση	3202	6400
Μέση Ανάλυση	12866	25728
Υψηλή Ανάλυση	51458	102912
Πολύ Υψηλή Ανάλυση	76802	153600

- *Καθολική Διατήρηση Όγκου*

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάστηκε μία πρώτη προσέγγιση για την διατήρηση του όγκου σε μία ακολουθία κίνησης. Χρησιμοποιήθηκαν τα κάθετα διανύσματα των κορυφών του περιβλήματος για να ορίσουν την κατεύθυνση διόρθωσης κάθε κορυφής. Για τον βαθμό μετακίνησης στην κατεύθυνση αυτή χρησιμοποιήθηκε το καθολικό σφάλμα του όγκου υπολογισμένο ως προς την πόζα αναφοράς. Αξίζει να αναφερθεί πως στα πειράματα που υλοποιήθηκαν χρησιμοποιήθηκαν ως πόζες αναφοράς, η πρώτη πόζα της ακολουθίας κίνησης (αναφέρεται ως Rest pose στα πειράματα), καθώς και η προηγούμενη πόζα μίας πόζας επεξεργασίας στην ακολουθία (αναφέρεται ως Pose to Pose – P2P μέθοδος).

Σο Κεφάλαιο 3 εισήχθηκε η έννοια της παραμόρφωσης του μοντέλου. Εντοπίστηκε και καταμετρήθηκε με την χρήση μετασχηματισμών παραμόρφωσης (Deformation Gradient), ώστε να αποδοθεί στις κορυφές του μοντέλου ο βαθμός παραμόρφωσης τους. Κάθε κορυφή ορίζεται να συμμετέχει στην διαδικασία της συντήρησης ανάλογα με τον βαθμό παραμόρφωσης της. Τα αποτελέσματα που

παράγονται με την χρήση των παραμέτρων παραμόρφωσης παρουσιάζονται πιο αληθοφανή και ρεαλιστικά. Στα πειράματα που διεξήχθησαν η χρήση των παραμέτρων παραμόρφωσης επετεύχθη με δύο τρόπους. Τόσο με την χρήση των παραμέτρων παραμόρφωσης που εξάγονται ως προς την πρώτη πόζα της ακολουθίας (Rest Pose), όσο και με τις παραμέτρους παραμόρφωσης που εξάγονται ως προς την προηγούμενη πόζα της ακολουθίας (P2P). Στα πειράματα η χρήση των παραμέτρων παραμόρφωσης αναφέρεται ως «Deformation Gradient».

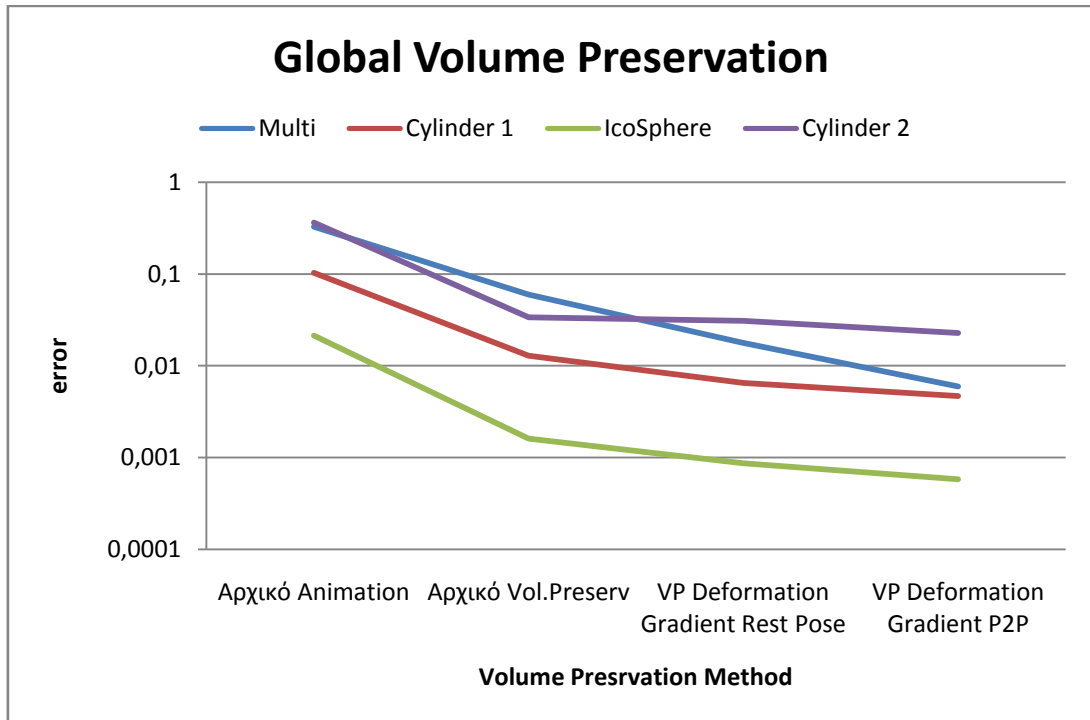
Στα Σχήματα 5.1, 5.2 και 5.3 παρουσιάζονται τόσο τα πειραματικά αποτελέσματα διατήρησης του όγκου με την χρήση κάθετων διανυσμάτων (Αρχικό Vol. Preserv), όσο και τα αποτελέσματα με την χρήση παραμέτρων παραμόρφωσης (Deformation Gradient Rest Pose, Deformation Gradient P2P).

Στο Σχήμα 5.1 παρατίθεται το καθολικό σφάλμα του όγκου έπειτα από την εφαρμογή των παραπάνω διαδικασιών στα μοντέλα του Πίνακα 5.1. Όπως ήταν αναμενόμενο παρατηρούμε μείωση του αρχικού σφάλματος από όλες τις μεθόδους διατήρησης. Η χρήση των παραμέτρων παραμόρφωσης έδωσε εκείνη την λεπτομέρεια στις κορυφές του μοντέλου ώστε να επιτύχουν μεγαλύτερη ακρίβεια στα επίπεδα συμμετοχής στην διατήρηση, καθώς και να δώσουν καλύτερα οπτικά αποτελέσματα.

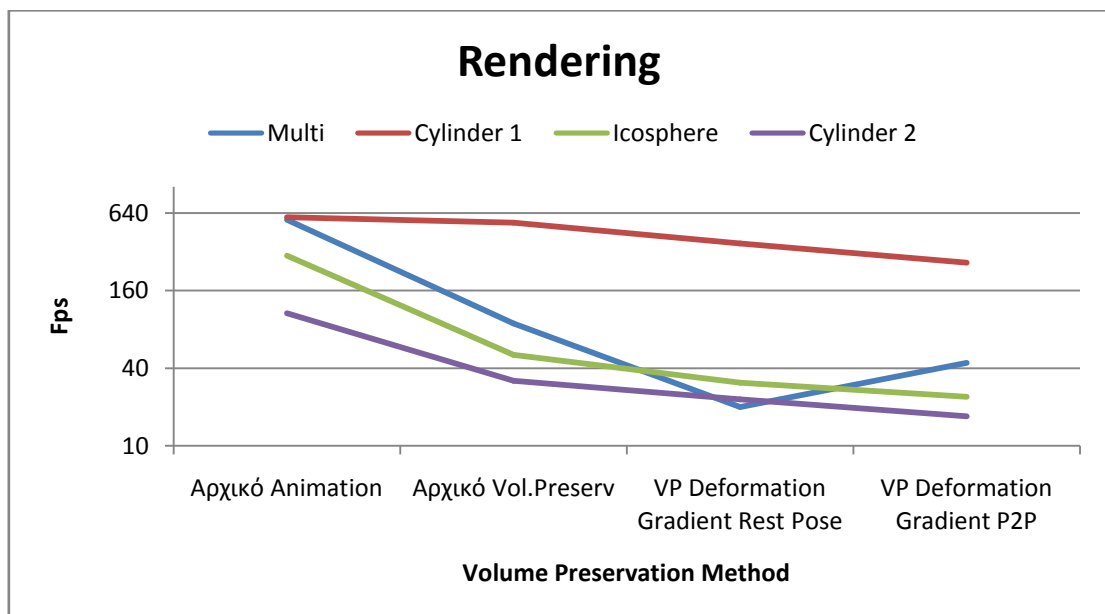
Η διακύμανση που παρουσιάζεται μεταξύ της διαφορετικής χρήσης πόζας αναφοράς στις μεθόδους με χρήση παραμέτρων παραμόρφωσης, κρίνεται επίσης λογική καθώς στην δεύτερη περίπτωση (P2P), δίνεται μεγαλύτερη λεπτομέρεια σε κάθε κορυφή ως προς τον βαθμό παραμόρφωσης. Η μεταβολή ενός μοντέλου από την προηγούμενη πόζα της ακολουθίας είναι αρκετά μικρή, γεγονός που καταγράφεται σε μεγαλύτερο βαθμό με την χρήση της συγκεκριμένης πόζας αναφοράς.

Στο Σχήμα 5.2 παρουσιάζεται η απόδοση των μεθόδων καθολικής διατήρησης σε συνάρτηση με τον αριθμό των ποζών που αναπαράγουν ανά δευτερόλεπτο (Frames Per Second - Fps). Όπως ήταν αναμενόμενο η μεγαλύτερη λεπτομέρεια που εισέρχεται στις κορυφές των μεθόδων χρήσης παραμέτρων παραμόρφωσης επηρεάζει την απόδοσή τους. Παρόλα αυτά το ποσοστό της απόδοσης παραμένει σε υψηλές τιμές και τα αποτελέσματα κρίνονται ενθαρρυντικά. Οι πόζες που παράγονται ανά δευτερόλεπτο είναι ικανές ώστε να αναπαραστήσουν την ακολουθία κίνησης ρεαλιστικά. Στο μοντέλο της πρώτης ράβδου παρατηρούμε μεγάλη απόκλιση των υλοποιήσεων παραμέτρων παραμόρφωσης, καθώς η φύση της ακολουθίας του

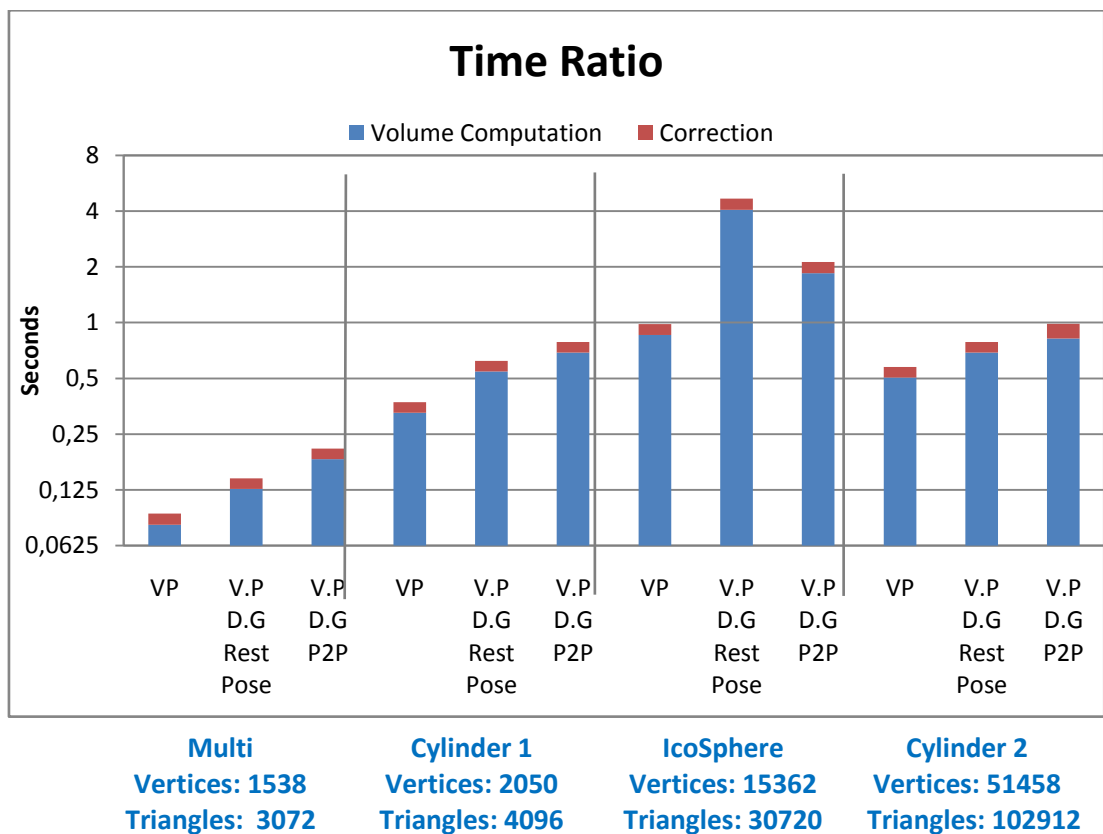
μοντέλου κρίνεται περίπλοκη. Οι πόζες της ακολουθίας διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από την αρχική πόζα με αποτέλεσμα η διατήρηση του όγκου να παρουσιάζει αργή σύγκλιση.



Σχήμα 5.1 Καθολικό Σφάλμα Όγκου Μεθόδων Καθολικής Διατήρησης



Σχήμα 5.2 Απόδοση Μεθόδων Καθολικής Διατήρησης



Σχήμα 5.3 Αναλογία Χρόνου Διατήρησης Όγκου - Μέθοδο Καθολικής Διατήρησης

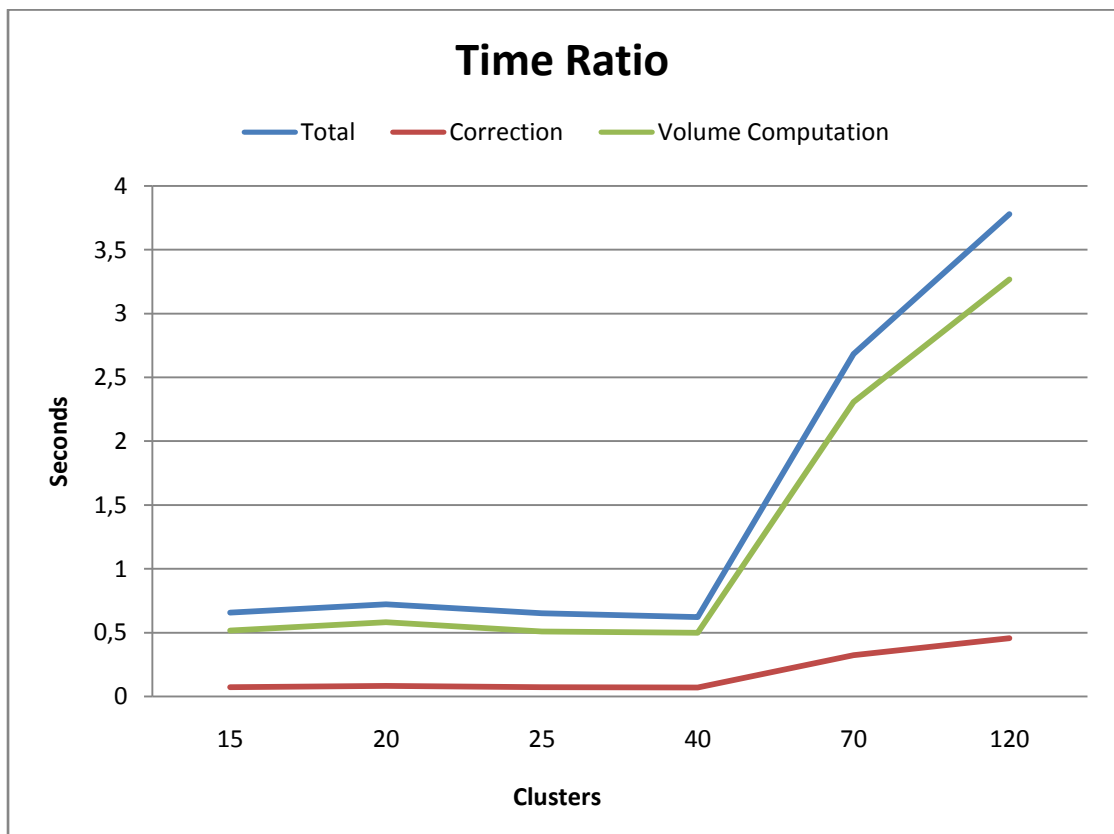
Στο Σχήμα 5.3 παρουσιάζονται οι χρόνοι εκτέλεσης των διαδικασιών που απαρτίζουν την διατήρηση του μοντέλου. Κατά την συντήρηση του μοντέλου εκτελούνται οι διαδικασίες της διόρθωσης των κορυφών (correction) και η διαδικασία του υπολογισμού του όγκου (volume computation). Όπως γίνεται αντιληπτό από όλα τα μοντέλα των πειραμάτων, η διαδικασία υπολογισμού του όγκου καταναλώνει το μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου της διατήρησης του όγκου.

- *Τοπική Διατήρηση Όγκου*

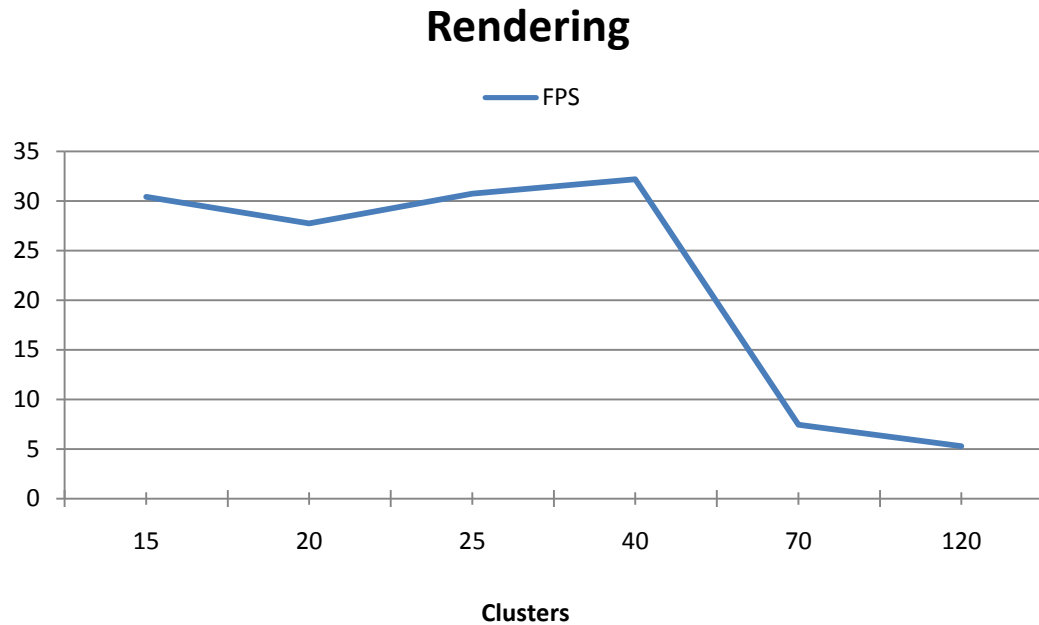
Έχοντας εντοπίσει τα προβλήματα των διαδικασιών καθολικής διατήρησης που προτάθηκαν στα Κεφάλαια 2 και 3, εισήχθηκε η έννοια της τοπικής διατήρησης του όγκου σε μία ακολουθία κίνησης. Στόχο στην τοπική διατήρηση αποτελεί η

ορθότερη απόδοση ποσοστών συμμετοχής στις κορυφές. Κάθε κορυφή συμμετέχει στην διατήρηση του τμήματος του αντικειμένου στο οποίο συμμετέχει.

Αρχικά το αντικείμενο διασπάστηκε σε συνεκτικές συστάδες με γνώμονα τον βαθμό παραμόρφωσης των τριγώνων. Υπολογίστηκαν εκ νέου τα τοπικά σφάλματα όγκου των συστάδων και χρησιμοποιήθηκαν ώστε να αποδώσουν βαθμό συμμετοχής στις κορυφές που τις απαρτίζουν. Όπως φαίνεται και στα Σχήματα 5.4 και 5.5 ο αριθμός των συστάδων επηρεάζει σημαντικά την απόδοση της διατήρησης του όγκου. Παρατηρούμε πως υπάρχει ένα εύρος τιμών για την ποσότητα των συστάδων στο οποίο η απόδοση της διατήρησης δεν επηρεάζεται. Επίσης παρατηρούμε μία μέγιστη τιμή αριθμού συστάδων η οποία αν ξεπεραστεί επηρεάζει σημαντικά τον χρόνο διατήρησης.



Σχήμα 5.4 Αναλογία Χρόνου Διατήρησης Όγκου με την Αύξηση των Συστάδων

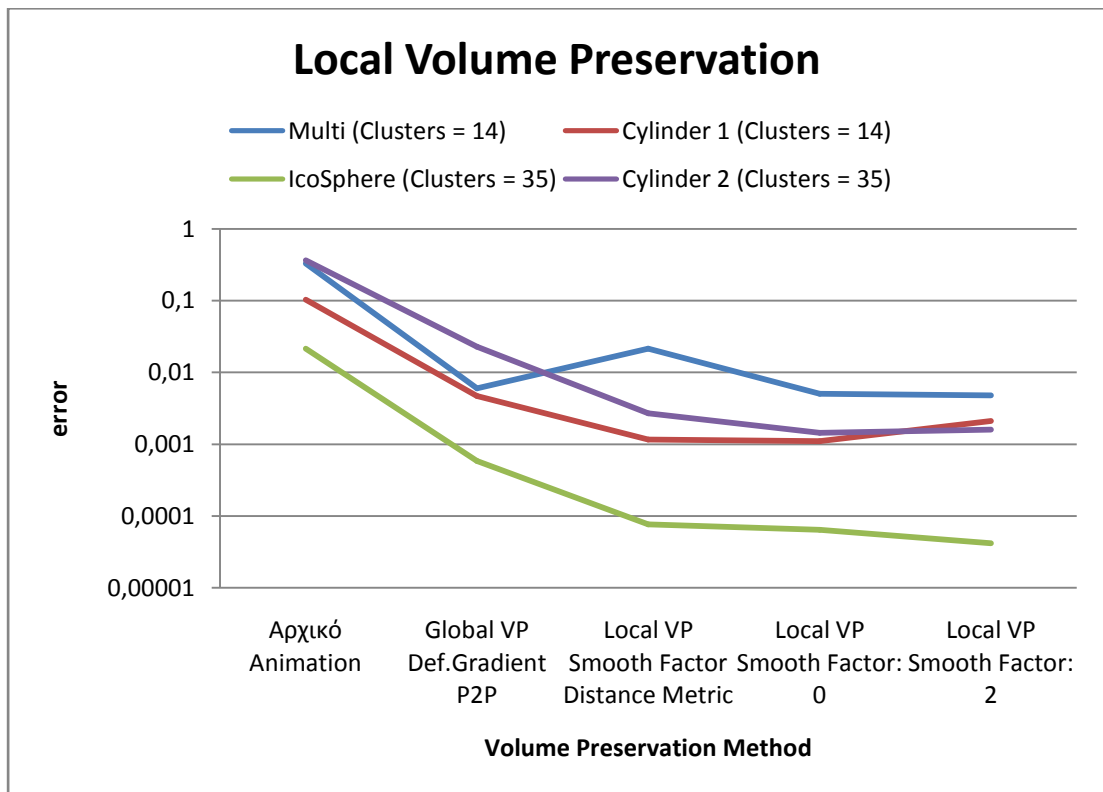


Σχήμα 5.5 Αναλογία Απόδοσης – Αριθμού Συστάδων

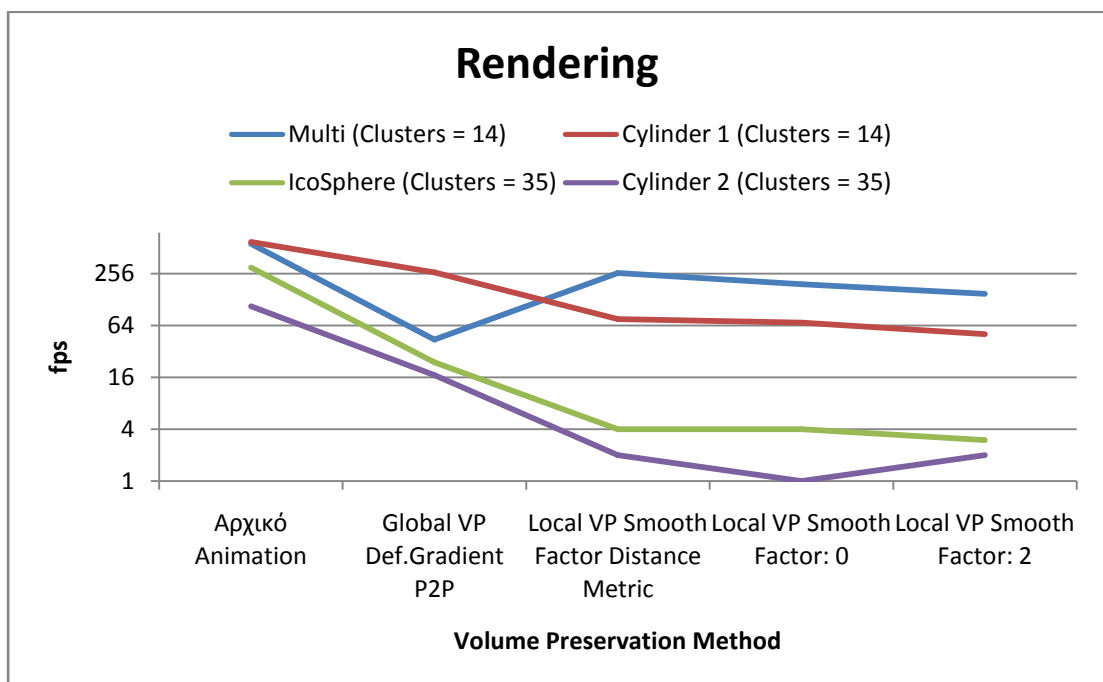
Η τοπική διατήρηση του όγκου ανά συστάδα επέφερε μείωση τόσο του τοπικού όσο και του ολικού σφάλματος του όγκου του μοντέλου, αλλά παρόλα αυτά δεν απέδωσε ρεαλιστικά οπτικά αποτελέσματα. Μεταξύ γειτονικών συστάδων υπήρξαν δομικά προβλήματα με αποτέλεσμα να παρατηρούνται «κενά» στο μοντέλο.

Ένας τρόπος επίλυσης του παραπάνω προβλήματος ήταν ο διαμοιρασμός του σφάλματος όγκου μίας συστάδας στις γειτονικές της συστάδες. Αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας ήταν η μείωση του σφάλματος του όγκου (Σχήμα 5.6), καθώς και η αποφυγή των δομικών προβλημάτων που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Ο διαμοιρασμός μεγαλύτερου ποσοστού του σφάλματος σε γειτονικές συστάδες είχε ως αποτέλεσμα την ομαλότερη οπτικά εκδοχή της τοπικά διατηρημένης πόζας.

Όπως ήταν φυσιολογικό η πιο εκλεπτυσμένη διαβάθμιση των ποσοστών συμμετοχής των κορυφών στην διατήρηση του μοντέλου, επέφερε σε γενικό βαθμό μείωση της απόδοσης της διαδικασίας συντήρησης (Σχήμα 5.7). Στο μοντέλο «Multi» ωστόσο παρατηρείται πως η ορθότερη απόδοση ποσοστών στις κορυφές του, αύξησε την απόδοση της τοπικής διατήρησης σε σχέση με αυτή της ολικής διατήρησης του όγκου. Η φύση των μεγάλων παραμορφώσεων του μοντέλου, οδηγεί στην εξήγηση αυτής της παρατήρησης, καθώς μέσω της τοπικής διατήρησης καταγράφονται λεπτομερέστερα οι παραμορφώσεις του μοντέλου.



Σχήμα 5.6 Καθολικό Σφάλμα Όγκου Μεθόδων Τοπικής Διατήρησης

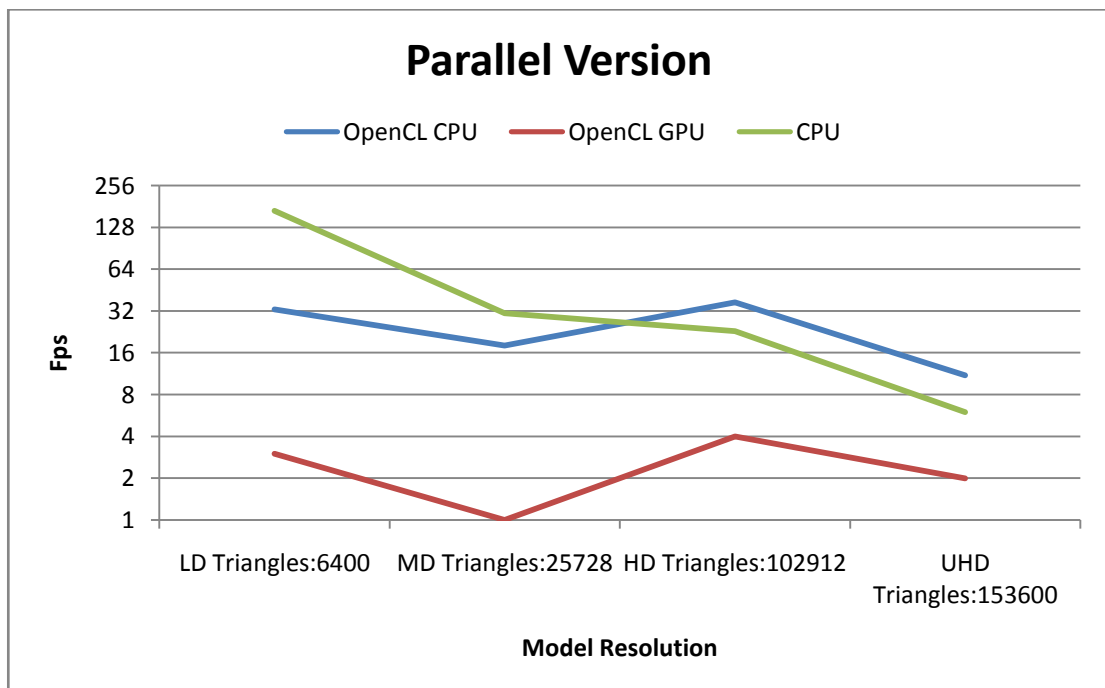


Σχήμα 5.7 Απόδοση Μεθόδων Τοπικής Διατήρησης

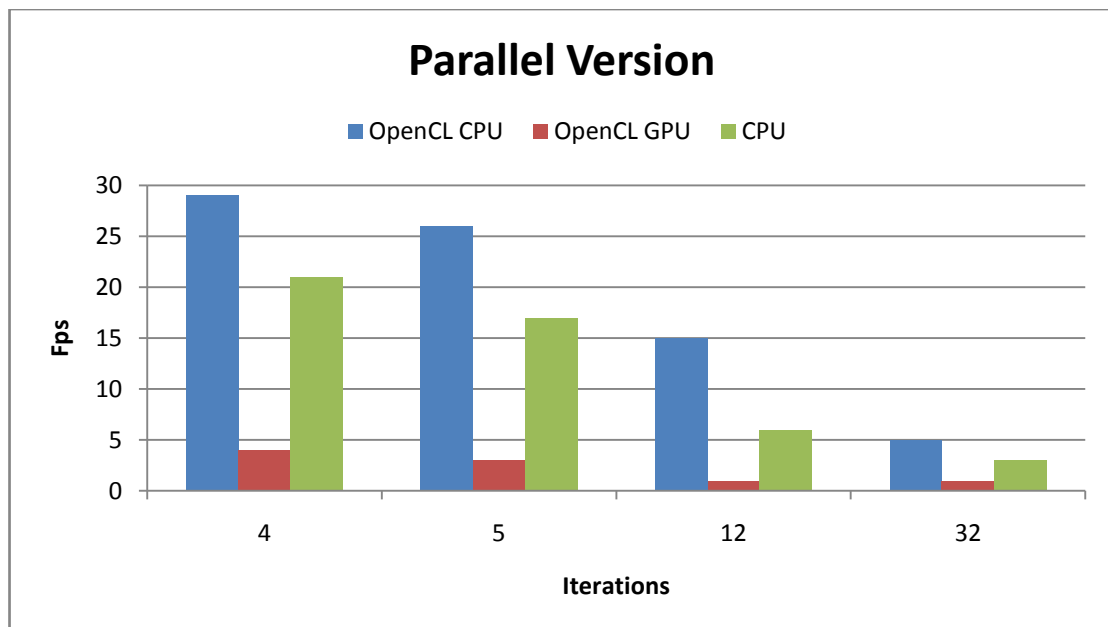
- *Παραλληλοποίηση Διατήρησης του Όγκου*

Η επίτευξη της παραλληλοποίησης των αλγορίθμων διατήρησης του όγκου για την εκμετάλλευση των πόρων σύγχρονων υπολογιστικών συστημάτων (πολλαπλές επεξεργαστικές μονάδες, διαφορετικές επεξεργαστικές πλατφόρμες), εξήγαγε χρήσιμα συμπεράσματα. Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.8, με την παράλληλη χρήση επεξεργαστών επιτύχαμε αύξηση της απόδοσης για την διατήρηση του όγκου σε μοντέλα μεγάλης κλίμακας. Η χρήση πολλαπλών επεξεργαστικών μονάδων σε προβλήματα μικρής κλίμακας δεν απέδωσε τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Αυτό κρίνεται λογικό καθώς προβλήματα μικρής διάστασης δεν αξιοποιούν κατάλληλα τους πόρους του συστήματος και δημιουργούν προβλήματα διαμοιρασμού του φόρτου της εργασίας.

Η χρήση της κάρτας γραφικών (GPU) του H/Y ως μονάδας επίτευξης της διαδικασίας διατήρησης του όγκου, κρίθηκε σχεδόν ακατάλληλη. Η παραπάνω διαπίστωση ερμηνεύεται στην ανάγκη επικοινωνίας της κάρτας γραφικών και του επεξεργαστή (CPU) για την επίτευξη της διαδικασίας. Το ποσοστό του χρόνου αυτής της επικοινωνίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.10. Παρατηρούμε πως το ποσοστό αυτό υπερτερεί των διαδικασιών του αλγορίθμου διατήρησης (Correction, Volume Computation) με αποτέλεσμα η απόδοση να μειώνεται δραματικά.

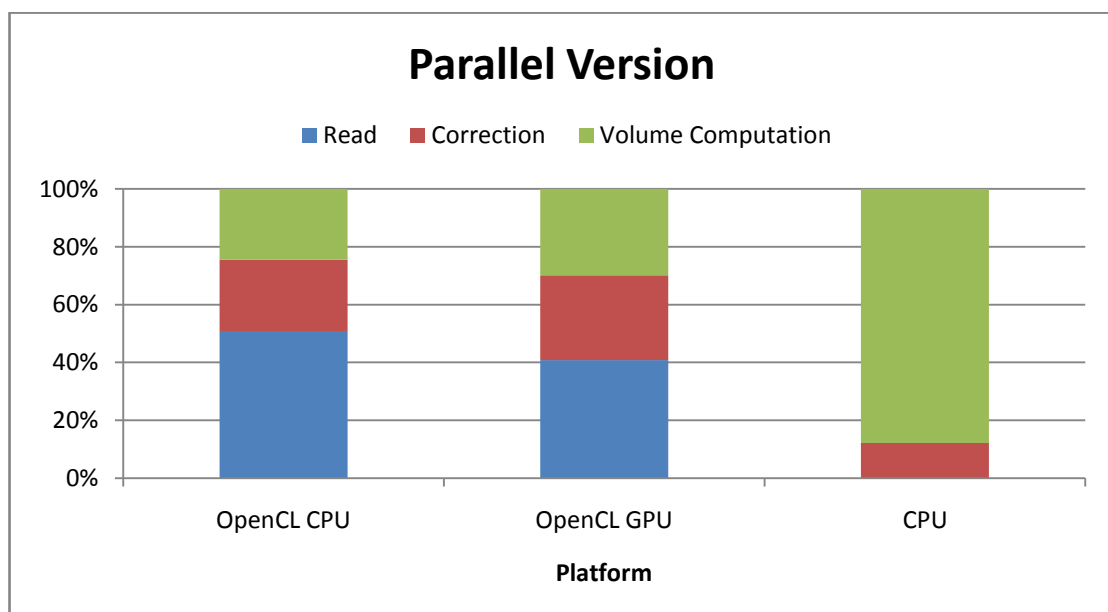


Σχήμα 5.8 Σύγκριση Απόδοσης Παραλληλοποίησης



Σχήμα 5.9 Επίδραση Σύγκλισης Διατήρησης Όγκου – Απόδοσης Παραλληλοποίησης

Στο Σχήμα 5.9 παρατηρούμε πως με την αύξηση των βημάτων για την σύγκλιση του αλγορίθμου διατήρησης η απόδοση μειώνεται. Ειδικά στην παράλληλη υλοποίηση του αλγορίθμου με την χρήση της κάρτας γραφικών για την επίτευξη της διαδικασίας η απόδοση μειώνεται αρκετά λόγω της συνεχόμενης επικοινωνίας της κάρτας γραφικών με τον επεξεργαστή του H/Y.



Σχήμα 5.10 Αναλογία Βημάτων Διατήρησης Όγκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

6.1 Συμπεράσματα

6.2 Μελλοντική Έρευνα

6.1. Συμπεράσματα

- Καθολική Διατήρηση Όγκου με την χρήση Normal

Αρχικά μελετήθηκε η καθολική διατήρηση του όγκου, χρησιμοποιώντας ως πληροφορία το σφάλμα του όγκου από την πόζα αναφοράς και εφαρμόζοντας διανύσματα διόρθωσης με κατεύθυνση αυτή του Normal για κάθε κορυφή του αντικειμένου. Αν και η διατήρηση του όγκου του αντικειμένου πραγματοποιήθηκε ως ένα βαθμό όπως ήταν αναμενόμενο, τα οπτικά αποτελέσματα έδωσαν ένα «φούσκωμα-ξεφούσκωμα» στα αντικείμενα, παραμορφώνοντας τα ολικά. Όλες οι κορυφές του αντικειμένου συνέβαλαν στην διόρθωση του όγκου μη λαμβάνοντας υπόψη την δομή του και την παραμόρφωση που αυτό είχε δεχθεί για την παραγωγή της νέας πόζας.

- Καθολική Διατήρηση του Όγκου με την χρήση Deformation Gradient

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα της πρώτης μεθόδου διατήρησης του όγκου διαπιστώθηκε η ανάγκη χρήσης περισσότερης πληροφορίας για το μοντέλο ώστε να επιτευχθεί «καλύτερη» διατήρηση του όγκου του με ρεαλιστικότερα αποτελέσματα ως προς την δομή του. Αφού διαπιστώθηκε η ανάγκη γνώσης της παραμόρφωσης του αντικειμένου στην νέα πόζα ώστε να γίνει αντιληπτό ποιες περιοχές έχουν επηρεαστεί κατά την σχεδίαση της, προτάθηκε η χρήση της πληροφορίας αυτής σε κάθε κορυφή με σκοπό να καθοριστεί ο βαθμός συμμετοχής της στην διατήρηση του όγκου. Ο υπολογισμός των Deformation Gradient για τον σκοπό αυτό διαπιστώθηκε ότι είναι ικανός να δώσει μία πολύ καλή προσέγγιση της πληροφορίας αυτής. Μέσω των Deformation Gradient κάθε τριγώνου υπολογίζονται για αυτό πληροφορίες όπως η

περιστροφή, η στρέβλωση και η κλιμάκωση. Χρησιμοποιώντας την πληροφορία αυτή στις κορυφές του μοντέλου, παρατηρούμε μία σαφώς καλύτερη διατήρηση του όγκου με μείωση του σφάλματος σε σχέση με την προηγούμενη μέθοδο, καθώς και μεγαλύτερη λεπτομέρεια διατήρησης ανά κορυφή του. Διακρίνονται πλέον περιοχές με μεγαλύτερη συμμετοχή στην διατήρηση του όγκου από περιοχές με ελάχιστη συμμετοχή.

- Τοπική Διατήρηση του όγκου

Στις προηγούμενες προσεγγίσεις του προβλήματος για την διατήρηση του όγκου ενός μοντέλου ελέγχθηκε το καθολικό σφάλμα του όγκου του ως προς μία πόζα αναφοράς. Μέσω των πειραμάτων που διεξήχθησαν παρατηρήθηκαν σφάλματα στην διόρθωση του όγκου ανά περιοχές. Κάθε κορυφή συμβάλει στην διατήρηση του όγκου, παρόλο που η κορυφή και η περιοχή της μπορεί να μην έχουν επηρεαστεί καθόλου κατά την σχεδίαση τους. Μέλη του αντικειμένου τα οποία δεν έχουν επηρεάσει την μεταβολή του όγκου συμμετέχουν σε αυτή κάτι το οποίο κυρίως σε «μυώδη-οργανικά» μοντέλα επηρεάζει την ρεαλιστική απεικόνιση τους. Μελετώντας το παραπάνω πρόβλημα διαπιστώθηκε πως με την χρήση επιπλέον τοπικών πληροφοριών θα μπορούσαμε να το αποφύγουμε τέτοια προβλήματα.

Το αντικείμενο διασπάστηκε σε τοπικές περιοχές στις οποίες μελετήθηκε η διατήρηση τους σαν να αποτελούσαν ένα ανεξάρτητο αντικείμενο. Η διάσπαση αυτή πραγματοποιήθηκε με παράμετρο τον βαθμό παραμόρφωσης κάθε κορυφής. Συνεπώς «κοντινές» κορυφές με παρόμοια παραμόρφωση ανήκουν σε μία κοινή περιοχή. Διατηρώντας τοπικά το αντικείμενο υπολογίστηκε το ελάχιστο σφάλμα για κάθε περιοχή του και επιτεύχθηκε τελικά η καθολική διατήρηση του. Η διάσπαση του αντικειμένου σε περιοχές κοινού ενδιαφέροντος αποτελεί μία προσεγγιστική λύση η οποία οδήγησε σε κάποια σφάλματα σχετικά με την οπτική ασυνέχεια των περιοχών αυτών.

Κάθε περιοχή του αντικειμένου πρέπει να λαμβάνει υπόψη της την δομή του ώστε να επηρεάζεται από γειτονικές περιοχές (π.χ. συστάδες) και να μην δρα ως ανεξάρτητη. Για τον λόγο αυτό μελετήθηκε η συσχέτιση των σφαλμάτων ανά περιοχή του αντικειμένου και παρουσιάστηκε ένας τρόπος διαμοιρασμού της πληροφορίας αυτής ανά γειτονικές περιοχές. Αποτέλεσμα αυτού ήταν να ελαχιστοποιηθούν τα προηγούμενα προβλήματα ασυνέχειας μεταξύ των περιοχών.

Παρόμοια λογική παρουσιάστηκε και στην χρήση των Deformation Gradient για κάθε κορυφή. Μία κορυφή ανήκει σε κάποια συστάδα του αντικειμένου η οποία χαρακτηρίζεται από έναν βαθμό παραμόρφωσης. Οι γειτονικές περιοχές όμως της συστάδας την επηρεάζουν κατά την παραμόρφωση τους. Συνεπώς κάθε κορυφή επηρεάζεται εκτός από την συστάδα στην οποία ανήκει και από περιοχές «κοντινές» στην κορυφή. Λήφθηκε έτσι υπόψη η παραμόρφωση των γειτονικών περιοχών μίας κορυφής με σκοπό να της δοθεί ο τελικός βαθμός παραμόρφωσης της έχοντας την γνώση της δομής του αντικειμένου. Αυτή η τιμή αποτελεί έναν γραμμικό συνδυασμό του βαθμού παραμόρφωσης κάθε συστάδας με τον βαθμό που αυτή επηρεάζει την κορυφή.

Τα αποτελέσματα κρίθηκαν αρκετά ικανοποιητικά, δόθηκε στο αντικείμενο λεπτομέρεια στην διατήρηση, δημιουργώντας «οργανικές» συμπεριφορές σε αυτό, παράγοντας επίσης πιο ρεαλιστικές απεικονίσεις.

6.2. Μελλοντική Έρευνα

Στην παρούσα διατριβή παρουσιάστηκαν διάφορες μέθοδοι για την διατήρηση του όγκου σε ακολουθίες κίνησης βασισμένη σε χαρακτηριστικά παραμόρφωσης μίας πόζας αναφοράς για να προκύψει μία νέα πόζα. Ο τομέας αυτός παρουσιάζει αρκετό ενδιαφέρον αν αναλογιστεί κανείς την όλο και μεγαλύτερη απαίτηση της παραγωγής γραφικών για ρεαλιστικά animation. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι επεκτάσεις των παραπάνω καθώς και η χρήση νέων μεθόδων προς επίλυση για την βελτίωση της διατήρησης του όγκου.

Θέματα προς μελλοντική μελέτη αποτελούν διάφορες μέθοδοι αποφυγής συγκρούσεων και αλληλοεπικάλυψης μεταξύ των επιφανειών του αντικειμένου (self intersection) όταν αυτές διορθώνονται για να διατηρήσουν τον όγκο. Τέτοιες μέθοδοι χρησιμοποιούνται συνεχώς ειδικά σε ακολουθίες κίνησης με μεγάλες παραμορφώσεις στην δομή και αποδίδουν ορθότερα οπτικά το αντικείμενο.

Θέμα προς επίλυση αποτελεί και η real time επίτευξη διατήρησης καθώς ο σχεδιαστής θα χειρίζεται την πόζα αναφοράς για να παράγει νέες πόζες. Ο υπολογισμός τόσο των deformation gradient όσο και των cluster θα πρέπει να γίνει

πιο αποδοτικός. Η χρήση της OpenCL ίσως βοηθούσε σε αυτόν τον τομέα για τον γρήγορο υπολογισμό τους.

Μία επιπλέον μελέτη γίνεται για την εισαγωγή των πληροφοριών της διατήρησης κατά την διαδικασία του Deformation Transfer μίας κίνησης από ένα μοντέλο σε ένα άλλο. Κάτι τέτοιο να μεν θα μετέδιδε την κίνηση του πρώτου αντικειμένου στο δεύτερο αλλά επιπλέον θα διατηρούσε και τον όγκο του δεύτερου αντικειμένου χρησιμοποιώντας πληροφορίες από την διατήρηση του πρώτου. Επεκτάσεις αυτού μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε morphing αντικειμένων.

Όμοια αντικείμενα με διαφορετική ανάλυση θα μπορούσαν να αξιοποιήσουν την πληροφορία μίας διατηρημένης εκδοχής του αντικειμένου προσαρμόζοντας την υπάρχουσα πληροφορία στην νέα ανάλυση του αντικειμένου χωρίς να χρειάζεται εκ νέου υπολογισμός όλων των παραμέτρων της διατήρησης τους. Ενώ η πληροφορία που υπολογίστηκε για να διατηρηθεί το αντικείμενο θα μπορούσε να εισαχθεί σε τεχνικές EigenSkinning.

Τέλος η εισαγωγή εφέ σε κάθε συστάδα του αντικειμένου γνωρίζοντας την δομή του και τα υλικά από τα οποία αποτελείται θα μπορούσε να δώσει αρκετά ρεαλιστικά στοιχεία, δημιουργώντας π.χ. «ρυτίδες» ή «τσαλακώματα» σε ένα αντικείμενο.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Damien Rohmer, Stefanie Hahmann and Marie-Paule Cani, Local Volume Preservation for Skinned Characters, Computer Graphics Forum, 2008, 1919-1927.
- [2] Damien Rohmer, Stefanie Hahmann and Marie-Paule Cani, Exact volume preserving skinning with shape control, In *Proceedings of the 2009 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation* (SCA '09, New York, NY, USA, 83-92, 2009.
- [3] Damien Rohmer, Stefanie Hahmann and Marie-Paule Cani. Active geometry for game characters, In *Proceedings of the Third international conference on Motion in games* (MIG'10), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 170-181, 2010.
- [4] Wolfram von Funck, Holger Theisel and Hans-Peter, Volume-preserving Mesh Skinning, VMV, 2008, 409-414, 2008.
- [5] David Cohen-Steiner, Pierre Alliez, and Mathieu Desbrun. 2004. Variational shape approximation. *ACM Trans. Graph.* 23, 3 (August 2004), 905-914.
- [6] Tong-Yee Lee, Yu-Shuen Wang, and Tai-Guang Chen. 2006. Segmenting a deforming mesh into near-rigid components. *Vis. Comput.* 22, 9 (September 2006), 729-739.
- [7] Robert W. Sumner and Jovan Popović. 2004. Deformation transfer for triangle meshes. *ACM Trans. Graph.* 23, 3 (August 2004), 399-405.
- [8] Yaron Lipman, Daniel Cohen-Or, Ran Gal, and David Levin. 2007. Volume and shape preservation via moving frame manipulation. *ACM Trans. Graph.* 26, 1, Article 5 (January 2007).
- [9] Wolfram von Funck, Holger Theisel, and Hans-Peter Seidel. 2006. Vector field based shape deformations. *ACM Trans. Graph.* 25, 3 (July 2006), 1118-1125.
- [10] Basile Sauvage, Stefanie Hahmann and Georges-Pierre Bonneau, Volume Preservation of Multiresolution Meshes. *Comput. Graph. Forum*, 2007, 275-283.
- [11] Alexis Angelidis and Karan Singh. 2007. Kinodynamic skinning using volume-preserving deformations. In *Proceedings of the 2007 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation* (SCA '07). Eurographics Association, Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland, 129-140.

- [12] Kevin G. Der, Robert W. Sumner, and Jovan Popovic. 2006. Inverse kinematics for reduced deformable models. *ACM Trans. Graph.* 25, 3 (July 2006), 1174-1179.
- [13] Geoffrey Irving, Craig Schroeder, and Ronald Fedkiw. 2007. Volume conserving finite element simulations of deformable models. In *ACM SIGGRAPH 2007 papers* (SIGGRAPH '07). ACM, New York, NY, USA , Article 13 .
- [14] Tiberiu Popa, Dan Julius, and Alla Sheffer. 2005. Material aware mesh deformations. In *ACM SIGGRAPH 2005 Posters* (SIGGRAPH '05), Juan Buhler (Ed.). ACM, New York, NY, USA, Article 5.
- [15] Bruce Merry, Patrick Marais, and James Gain. 2006. Normal transformations for articulated models. In *ACM SIGGRAPH 2006 Sketches* (SIGGRAPH '06). ACM, New York, NY, USA, Article 134 .
- [16] Jin Huang, Xiaohan Shi, Xinguo Liu, Kun Zhou, Li-Yi Wei, Shang-Hua Teng, Hujun Bao, Baining Guo, and Heung-Yeung Shum. 2006. Subspace gradient domain mesh deformation. In *ACM SIGGRAPH 2006 Papers* (SIGGRAPH '06). ACM, New York, NY, USA, 1126-1134.
- [17] Doug L. James and Christopher D. Twigg. 2005. Skinning mesh animations. In *ACM SIGGRAPH 2005 Papers* (SIGGRAPH '05), Markus Gross (Ed.). ACM, New York, NY, USA, 399-407.
- [18] Edilson de Aguiar, Christian Theobalt , Sebastian Thrun and Hans-Peter Seidel, Automatic Conversion of Mesh Animations into Skeleton-based Animations. *Comput. Graph. Forum*, 2008, 389-397.
- [19] Min Hong, Sunhwa Jung, Min-Hyung Choi, and Samuel Welch. 2005. Fast volume preservation for realistic muscle deformation. In *ACM SIGGRAPH 2005 Sketches* (SIGGRAPH '05), Juan Buhler (Ed.). ACM, New York, NY, USA, , Article 28 .
- [20] Stefanie Hahmann, Georges-Pierre Bonneau, Sébastien Barbier, Gershon Elber, and Hans Hagen. 2012. Volume-preserving FFD for programmable graphics hardware. *Vis. Comput.* 28, 3 (March 2012), 231-245.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A. Αλγόριθμος 1: Variational Region Growing

Αξίζει να σημειωθεί πως η μεταβλητή k αποτελεί τον αριθμό των συστάδων και Err το ελάχιστο σφάλμα. Η μεταβλητή $R_{j,seed}$ αποτελεί την αρχική επιφάνεια του cluster R_j και η μεταβλητή $D_{j,seed}$ το deformation gradient της αρχικής επιφάνειας του cluster.

Αλγόριθμος 1 VariationalRegionGrowing (ReferencePose, k , Err)

```

Initial_seeds = Initialize(ReferencePose,  $k$ );
PriorityQueue =  $\emptyset$ ;
AssignedFaces =  $\emptyset$ ;
C = Initial_clusters;
while  $avg_{|C|} \left( \sum_{R_j \in C} \|D_{j,seed} - \mathbf{D}_j\|^2 \right) < Err$  or  $maxIterations > iterations$  do
    for each  $R_j$  in C do
        PriorityQueue = PriorityQueue  $\cup$  ImmediatelyAdjacentFaces( $R_{j,seed}$ );
    while PriorityQueue  $\neq \emptyset$  do
        Face = PopFromQueue();
        if  $\neg AssignedFaces.Contains(Face.ID)$ 
            PriorityQueue = PriorityQueue  $\cup$  ImmediatelyAdjacentFaces(Face);
            AssignedFaces.Add(Face.ID);
            Initial_clusters[Face.Region].Add(Face);
    for each  $R_j$  in C do
         $\mathbf{D}_j$  = ComputeMeanDeformationGradient( $R_j$ );
         $R_{j,seed}$  = GetNearestFaceToMean( $\mathbf{D}_j$ );

```

```

C = Initial_clusters;
Initial_clusters =  $\emptyset$ ;
iterations += 1;

```

Αλγόριθμος 1: Variational Region Growing

Β. Κώδικας Πυρήνων OpenCL

Πυρήνας Υπολογισμού Όγκου

```

float volume_computation(float4 v0,float4 v1,float4 v2)
{
float tmp1= 0;
float tmp2= 0;
float tmp3= 0;
float tmp4= 0;
float tmp5= 0;

tmp1 = v0.z + v1.z + v2.z;
tmp2 = v1.x - v0.x;
tmp3 = v2.y - v0.y;
tmp4 = v2.x - v0.x;
tmp5 = v1.y - v0.y;
return((1.0f/6.0f)*(((tmp2*tmp3)-(tmp4*tmp5))*tmp1));
}

```

```

kernel void VolumeComputation(global float4* ver,
global read_only int* ind,
local float* temp,
long size,
global float* c)
{
int tid = get_local_id(0);

```

```

int index = get_global_id(0);
float sum = 0;

for(int i=tid;i<size;i+=get_local_size(0))
{
float4 v0 = ver[ind[i*3]];
float4 v1 = ver[ind[(i*3)+1]];
float4 v2 = ver[ind[(i*3)+2]];
sum+=volume_computation(v0,v1,v2);
}

temp[tid] = sum;
barrier(CLK_LOCAL_MEM_FENCE);

for(int s = get_local_size(0)/2;s>0;s>>=1)
{
if(tid < s)
{
temp[tid] += temp[tid+s];
}
barrier(CLK_LOCAL_MEM_FENCE);
}

if(tid == 0)
{
c[0] = temp[0];
}

}

```

Πυρήνας Διόρθωσης Σημείων

kernel void Correction(

```
long n,  
global float4 *ver,  
global float4 *u)  
{  
int index = get_global_id(0);  
if( index < n )  
    ver[index] += u[index];  
}
```

ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ

Ο Τζιομάκης Κωνσταντίνος γεννήθηκε τη 1 Μαΐου του 1987 στα Καλάβρυτα Αχαΐας. Αποφοίτησε από το Ενιαίο Λύκειο Καλαβρύτων «Ευσέβιος Κηπουργός» το 2005. Εισήχθη στο Τμήμα Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων για προπτυχιακές σπουδές το 2005 και αποφοίτησε το έτος 2010, ενώ το έτος 2010 εισήχθη στο Μεταπτυχιακό πρόγραμμα του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Τα Επιστημονικά ενδιαφέροντα του Κωνσταντίνου Τζιομάκη περιλαμβάνουν τα 3Δ γραφικά, Animation.

