

Ατομική Διπλωματική Εργασία

**ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ
ΥΠΕΡΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΚΑΡΩΤΙΔΙΚΗΣ ΠΛΑΚΑΣ**

Κωνσταντίνος Λαζάρου

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μάιος 2012

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ
ΥΠΕΡΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΚΑΡΩΤΙΔΙΚΗΣ ΠΛΑΚΑΣ**

Κωνσταντίνος Λαζάρου

Επιβλέπων Καθηγητής
Κωνσταντίνος Σ. Παττίχης

Η Ατομική Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων απόκτησης του πτυχίου Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Κύπρου

Μάιος 2012

Ευχαριστίες

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον κύριο Κωνσταντίνο Παττίχη, ο οποίος μου προσέφερε αυτή την πολύ ενδιαφέρουσα και χρήσιμη εργασία καθώς και για την πλήρη κατανόηση και υποστήριξη που είχα από αυτόν, κατά τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την κυρίαΣτυλιανή Πετρούδη για την πολύτιμη βοήθεια που μου έχει προσφέρει σε όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος οφείλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μου εντός και εκτός Πανεπιστημίου οι οποίοι μου συμπαραστάθηκαν όλο αυτό τον καιρό αλλά και ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένειά μου και ιδιαίτερα στους γονείς μου για την ηθική και οικονομική υποστήριξη που μου πρόσφεραν όχι μόνο κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Στην διπλωματική μου εργασία παρουσιάζω την διαδικασία επεξεργασίας εικόνων υπερηχογραφήματος και την χρήση τους για την δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου της καρωτίδας. Επίσης παρουσιάζω τους αλγόριθμους κατάτμησης και τα αποτελέσματα που είχαν στην διαδικασία απομόνωσης της καρωτιδικής πλάκας.

Έγινε επεξεργασία και μετατροπή των εικόνων στην κατάλληλη μορφή DICOM ώστε να είναι συμβατές ως είσοδος για το λογισμικό τρισδιάστατης απεικόνισης. Έχουν χρησιμοποιηθεί εικόνες από υπερηχογραφήματα τεσσάρων ασθενών οι οποίοι πάσχουν από καρωτιδική πλάκα. Για την κάθε περίπτωση έχουν χρησιμοποιηθεί κατά μέσο όρο 25 εικόνες οι οποίες είναι επικεντρωμένες στις περιοχές της καρωτίδας όπου παρουσιάζεται η πλάκα.

Για την καλύτερη απεικόνιση και ανάλυση των αποτελεσμάτων έχουν κατασκευαστεί αρκετά τεχνητά μοντέλα της καρωτίδας όπου προστέθηκε και καρωτιδική πλάκα σε μια προσπάθεια να βελτιστοποιήσης της ποιότητας των τρισδιάστατων μοντέλων και των αποτελεσμάτων τους.

Ακολούθως εφαρμόστηκαν στα μοντέλα της καρωτίδας αλγόριθμοι που επιλέχθηκαν για την κατάτμηση της καρωτιδικής πλάκας με τις κατάλληλες παραμέτρους εισόδου και παρουσιάστηκαν τα νέα τρισδιάστατα μοντέλα της καρωτιδικής πλάκας.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	I
Περίληψη	Error! Bookmark not defined.
Περιεχόμενα	Error! Bookmark not defined.I
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	6
1.1 Εισαγωγή	6
1.2 Σκοπός διπλωματικής εργασίας	7
1.3 Σύνοψη ανασκόπηση κεφαλαίων	7
Κεφάλαιο 2: Ανασκόπηση εργαλείων 3D	9
2.1 ImageVis3D	9
2.2 Seg3D	10
2.3 GIMIAS	Error! Bookmark not defined.
2.4 ITK/VTK.....	Error! Bookmark not defined.
2.4.1 ITK.....	Error! Bookmark not defined.
2.4.2 VTK.....	Error! Bookmark not defined.
2.6 ImageJ	Error! Bookmark not defined.
2.7 3D Slicer	Error! Bookmark not defined.
2.8 Επιλογή κατάλληλων εργαλείων για την περάτωση της διπλωματικής εργασίας	20
2.8.1 Επιλογή 3D Slicer.....	20
2.8.2 ΕπιλογήMATLAB.....	21
2.8.3 Επιλογή ImageJ	22
Κεφάλαιο 3: 3D Slicer – 3Δ Ανοικοδόμηση και αλγόριθμοι κατάτμησης	23
3.1 3Δ Ανοικοδόμηση (3DReconstruction).....	23
3.2 Κατάτμηση εικόνας (Segmentation)	24
3.3 Αλγόριθμοι κατάτμησης στο 3DSlicer.....	25
3.3.1 Simple Region Growing	25
3.3.2 Fast Marching Segmentation	26
3.3.3 Mesh Contour Segmentation	29
Κεφάλαιο 4: Υπέρηχοι και καρωτίδα.....	30
4.1 Υπέρηχοι - Υπερηχογράφημα.....	30
4.2 Ιατρικός εξοπλισμός.....	32

4.3	Αρτηριακή πλάκα	33
4.4	Αθηροσκλήρωση.....	Error! Bookmark not defined.
4.5	Καρωτίδα και καρωτιδική πλάκα.....	Error! Bookmark not defined.
4.5.1	Κακοήθεις καρωτιδική πλάκα	Error! Bookmark not defined.
4.6	Προηγούμενες μελέτες	Error! Bookmark not defined.
Κεφάλαιο 5: Υλοποίηση		38
5.1	Τεχνητή καρωτίδα.....	39
5.1.1	Δημιουργία εικόνων.....	40
5.1.2	Περεταίρω επεξεργασία εικόνων	Error! Bookmark not defined.
5.1.3	Σειριοποίηση και μεγέθυνση εικόνων	Error! Bookmark not defined.
5.1.3.1	Εισαγωγή σειράς εικόνων	Error! Bookmark not defined.
5.1.3.2	Καθορισμός χαρακτηριστικών της δέσμης εικόνων.....	Error! Bookmark not defined.
5.1.3.3	Οπτικοποίηση και αποθήκευση της δέσμης εικόνων.....	Error! Bookmark not defined.
5.1.4	3D Slicer – Εισαγωγή ακολουθίας εικόνων, κατάτμηση και ανοικοδόμηση 3Δ μοντέλου.....	Error! Bookmark not defined.
5.1.4.1	3D Slicer – Εισαγωγή ακολουθίας εικόνων	Error! Bookmark not defined.
5.1.4.2	3D Slicer – Δημιουργία 3Δ μοντέλου καρωτίδας.....	Error! Bookmark not defined.
5.1.4.3	3D Slicer – Fast Marching Segmentation	Error! Bookmark not defined.
5.1.4.4	3D Slicer – Simple Region Growing Segmentation.....	Error! Bookmark not defined.
5.2	Πραγματική καρωτίδα.....	52
5.2.1	Επεξεργασία εικόνων.....	53
5.2.2	Σειριοποίηση και μεγέθυνση εικόνων	54
5.2.2.1	Εισαγωγή σειράς εικόνων	55
5.2.2.2	Καθορισμός χαρακτηριστικών της δέσμης εικόνων	56
5.2.2.3	Οπτικοποίηση και αποθήκευση της δέσμης εικόνων.....	56
5.2.3	3D Slicer – Εισαγωγή ακολουθίας εικόνων, κατάτμηση και ανοικοδόμηση 3Δ μοντέλου.....	58
5.2.3.1	3D Slicer – Εισαγωγή ακολουθίας εικόνων	58
5.2.3.2	3D Slicer – Δημιουργία 3Δ μοντέλου καρωτίδας.....	59
5.2.3.3	3D Slicer – Fast Marching Segmentation	61
5.2.3.4	3D Slicer – Simple Region Growing Segmentation.....	63
Βιβλιογραφία		65
Παράρτημα Α: Χρήσιμοι όροι		A-68
	Volume rendering	A-68
	Workflow – Εφαρμογή ροής.....	A-69

Label map	A-69
Speckle noise	A-69
Threshold - κατώφλι	A-70
Fiducials	A-70
Παράρτημα Β: Πηγαίος Κώδικας	B-72
Matlab – Επεξεργασία πραγματικών εικόνων.....	B-72
Matlab - Δημιουργία τεχνητών εικόνων	B-72
Matlab - Επεξεργασία τεχνητών εικόνων	B-Error! Bookmark not defined.
Matlab – Θόρυβος Speckle σε τεχνητές εικόνες	B-Error! Bookmark not defined.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

- 1.1 Εισαγωγή
 - 1.2 Σκοπός Εργασίας
 - 1.3 Σύντομη ανασκόπηση κεφαλαίων
-

1.1 Εισαγωγή

Η αθηροσκληρωτική καρωτιδική πλάκα είναι συχνός υπαίτιος για εγκεφαλικά επεισόδια, και λόγω των διατροφικών συνηθειών και άλλων ανθυγιεινών συνηθειών της σύγχρονης ζωής, η παρουσία αθηροσκληρωτικής καρωτικής πλάκας γίνεται ολοένα και πιο συχνή.

Ταυτόχρονα όμως με τις ανθυγιεινές συνήθειες που έφερε ο σύγχρονος τρόπος ζωής, έφερε επίσης και τεράστια τεχνολογική ανάπτυξη. Ένας τομέας που γνώρισε αυτή την ανάπτυξη κατά τις τελευταίες δεκαετίες είναι και ο τομέας της τρισδιάστατης απεικόνισης καθώς και οι εφαρμογές της στον ιατρικό κόσμο.

Ακολουθώντας λοιπόν αυτή την λογική ακολουθία των δεδομένων που προκύπτουν, μπορούμε να πούμε ότι αρνητικές συνέπειες της σύγχρονης ζωής όπως η αθηροσκληρωτική καρωτιδική πλάκα αντισταθμίζονται από τις θετικές καινοτομίες στον κόσμο της τεχνολογίας και της ιατρικής.

Μέσω λοιπόν των δυνατοτήτων που προσφέρει η 3 Δ απεικόνιση είναι δυνατό να κατασκευαστούν 3Δ μοντέλα αντίγραφα της καρωτίδας κάποιου ασθενούς, δίνοντας στους ιατρούς χρήσιμες πληροφορίες όπως μετρήσεις, εναλλακτικές όψεις, συγκρίσεις κτλ. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την καλύτερη διάγνωση και προετοιμασία πριν από μια επέμβαση, ως οδηγός κατά την διάρκεια μιας επέμβασης αλλά και ως μέσο αξιολόγησης των αποτελεσμάτων και μέτρο σύγκρισης μετά από μια επέμβαση.

1.2 Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Η διπλωματική εργασία έχει σαν σκοπό την δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου της καρωτίδας για την καλύτερη και πιο αποδοτική μελέτη των εικόνων υπερηχογραφήματος της καρωτίδας και πιο συγκεκριμένα της αθηροσκληρωτικής καρωτιδικής πλάκας. Με την επεξεργασία εικόνας λαμβάνονται σημαντικές πληροφορίες για την πλάκα στο εσωτερικό της αρτηρίας ασθενών αθηροσκλήρωσης, οι οποίες πληροφορίες είναι χρήσιμες στον υπολογισμό των παραμέτρων εισόδου των αλγόριθμων κατάτμησης της καρωτιδικής πλάκας από το μοντέλο ολόκληρης της καρωτίδας.

Τα τελικά μοντέλα της αθηροσκληρωτικής καρωτιδικής πλάκας μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ιατρικό προσωπικό για την εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν την πρόληψη εγκεφαλικών επεισοδίων.

1.3 Σύντομη ανασκόπηση κεφαλαίων

Η διπλωματική αυτή εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια και δύο παραρτήματα, με το πρώτο κεφάλαιο να είναι εισαγωγικό.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται ανασκόπηση των εργαλείων που υπάρχουν για την τρισδιάστατη απεικόνιση και επεξεργασία ιατρικών εικόνων. Πιο συγκεκριμένα για την τρισδιάστατη απεικόνιση παρουσιάζονται τα εργαλεία ImageVis3D, Seg3D, Gimias, ITK, VTK και 3DSlicer, ενώ για τη επεξεργασία εικόνας παρουσιάζονται τα εργαλεία Matlab και ImageJ. Τέλος αναλύεται η επιλογή των εργαλείων για την παρούσα εργασία και περιγράφονται οι λόγοι επιλογής τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι έννοιες της 3Δ ανοικοδόμησης και της κατάτμησης και οι λόγοι για τους οποίους είναι απαραίτητοι για την εργασία. Ακολούθως παρουσιάζονται οι αλγόριθμοι κατάτμησης που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων και περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια ανασκόπηση εννοιών οι οποίες είναι το υπόβαθρο της εργασίας. Τέτοιες έννοιες περιλαμβάνουν τα υπερηχογραφήματα και την επεξήγηση της ανατομίας της καρωτίδας και της καρωτιδικής πλάκας. Τέλος γίνεται μια σύντομη αναφορά σε προηγούμενες εργασίες που προσπίπτουν στην ίδια θεματική κατηγορία.

Το πέμπτο κεφάλαιο αφορά την υλοποίηση, δηλαδή την λεπτομερή διαδικασία δημιουργίας των 3Δ μοντέλων της καρωτίδας και της καρωτιδικής πλάκας. Το κεφάλαιο χωρίζεται σε δύο επιμέρους κομμάτια. Το πρώτο κομμάτι έχει να κάνει με την διαδικασία δημιουργίας τεχνητών εικόνων, την δημιουργία τεχνητών καρωτίδων και την ανάλυση τους. Το δεύτερο κομμάτι ασχολείται με τη επεξεργασία των πραγματικών εικόνων καρωτίδας, την δημιουργία πραγματικών 3Δ μοντέλων και την ανάλυση τους.

Τέλος, υπάρχουν δύο παραρτήματα όπου το πρώτο περιλαμβάνει επεξηγήσεις εννοιών που χρησιμοποιούνται και το δεύτερο περιλαμβάνει τμήματα κώδικα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την υλοποίηση.

Κεφάλαιο 2

Ανασκόπηση εργαλείων 3D

- 2.1 ImageVis3D
 - 2.2 Seg3d
 - 2.3 GIMIAS
 - 2.4 ITK/VTK
 - 2.4.1 1ITK
 - 2.4.2 VTK
 - 2.5 MATLAB
 - 2.6 ImageJ
 - 2.7 3DSlicer
 - 2.8 Επιλογή κατάλληλων εργαλείων για την περάτωση της διπλωματικής εργασίας
 - 2.8.1 Επιλογή 3DSlicer
 - 2.8.2 Επιλογή MATLAB
 - 2.8.3 Επιλογή ImageJ
-

2.1ImageVis3D

Το ImageVis3D[1] είναι ένα πολύ διαδεδομένο λογισμικό ανοιχτού κώδικα για το rendering πληροφοριών μεγάλης κλίμακας.

Είναι διαθέσιμο σε όλα τα δημοφιλείς λειτουργικά συστήματα και μπορεί να διαβάσει ένα μεγάλο εύρος μορφών αρχείων που είναι συνήθεις στον τομέα του medicalimaging, όπως DICOMs, imagestacks, Analyze 7.5, Kitware MHD files, BOV meshes, και NRRDs.



Εικόνα 2.1– Τρισδιάστατη αναπαράσταση πραγματικής καρωτίδας μέσω του ImageVis3D.

2.2Seg3d

Το Seg3D[2] είναι ένα δωρεάν εργαλείο για κατάτμηση και επεξεργασία τρισδιάστατων όγκων-μοντέλων, το οποίο αναπτύχθηκε από το NIH κέντρο βιοϊατρικής πληροφορικής, στο επιστημονικό ινστιτούτο υπολογισμού και απεικόνισης του πανεπιστημίου της Γιούτα. Συνδυάζει ένα ευέλικτο χειρίδιο διασύνδεσης για την κατάτμηση, με ένα ισχυρό μίγμα αλγορίθμων για την επεξεργασία εικόνας και την κατάτμηση από το InsightToolkit. Οι χρήστες μπορούν να εξερευνήσουν και να επισημαίνουν όγκους εικόνας με τη χρήση volumerendering και ορθογώνιων παραθύρων τομής .

Το Seg3D διαβάζει τις στοίβεςεικόνωνως ένα όγκοχρησιμοποιώντας τυπικέςμορφές αρχείωνκαι παρέχει μια σειράαπόεργαλεία για τον εντοπισμότων διαφόρων περιοχώνμέσα στον όγκοδημιουργώντας έτσιέναlabelmapτου όγκου.

Τα δύο αυτά λογισμικά,ImageVis3D και Seg3Dείναι σε μεγάλο βαθμόγενικά και όχειδικά σε κάποιο συγκεκριμένοτομέαεφαρμογής.Και τα δύο είναιμικρά προγράμματα, που δημιουργήθηκαν μέσα σε ένα χρόνοαπό μια μικρή ομάδαμε στόχονα διευκολύνουν την ταχεία προσαρμογή ή προσθήκη νέων χαρακτηριστικώνστο περιβάλλον εργασίας του χρήστη. Παρότι είναιξεχωριστά προγράμματα,

ενσωματώνουν τις λειτουργίες τους στηροή εργασίας μέσω των αρχείων, τα οποία μπορούν ευέλικτα να διαβάζουν και να γράφουν.

2.3 GIMIAS

Το GIMIAS[3] (Graphical Interface for Medical Image Analysis and Simulation) είναι ένα λογισμικό πλαισίου που έχει σχεδιαστεί για να είναι ένα ενοποιητικό εργαλείο για την γρήγορη προτυποποίηση των ιατρικών εφαρμογών. Πρόκειται για ένα περιβάλλον προσανατολισμένο σε μια ροή εργασίας προηγμένης βιοϊατρικής πληροφορικής εικόνας και προσομοιώσεις, και μπορεί να επεκταθεί μέσα από την ανάπτυξη του προβλήματος, με την χρήση ειδικών plug-ins.

Το GIMIAS είναι ιδιαίτερα προσαρμοσμένο για την ενσωμάτωση εργαλείων ιατρικής απεικόνισης, υπολογιστικής μοντελοποίησης, αριθμητικών μεθόδων και γραφικά υπολογιστών ώστε να παρέχει στους επιστημονικούς προγραμματιστές και ερευνητές ένα πλαίσιο λογισμικού για την οικοδόμηση μιας ευρείας ποικιλίας εργαλείων. Η πολυτροπική επεξεργασία εικόνας, η δημιουργία εξατομικευμένων μοντέλων, η αριθμητική προσομοίωση και οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης είναι μερικές από τις πιθανές εφαρμογές για τις οποίες το GIMIAS έχει σχεδιαστεί. Ο στόχος του πλαισίου αυτού είναι να συνδυάσει εργαλεία από διάφορες περιοχές γνώσης παρέχοντας έτσι ένα πλαίσιο για διεπιστημονική έρευνα και κλινική μελέτη.

Το εργαλείο GIMIAS επιτρέπει τη δημιουργία πρωτοτύπων για ιατρική κλινική αξιολόγηση στους τομείς της ιατρικής ανάλυσης εικόνας, μοντελοποίησης και προσομοίωσης. Απλοποιεί την ενσωμάτωση των εργαλείων που απαιτούνται για τη δημιουργία νέων κλινικών ροών εργασίας. Απλοποιεί επίσης τη χρήση κοινών βιβλιοθηκών από τον χρήστη για τις διεπαφές του, την απεικόνιση, την επεξεργασία εικόνας, την πρόσβαση σε DICOM κλπ., που χρησιμοποιούνται συνήθως ως πρότυπο σε έρευνες τύπου Virtual Physiological Human (VPH).

Τα πρωτότυπα που έχουν αναπτυχθεί με τη χρήση του εργαλείου GIMIAS μπορούν να ελεγχθούν από τους τελικούς χρήστες σε πραγματικά σενάρια και με πραγματικά δεδομένα στα αρχικά στάδια της ανάπτυξης, μειώνοντας έτσι το χρόνο και την προσπάθεια που απαιτείται για να πάρει νέες ιδέες από την έρευνα στο κλινικό περιβάλλον.

Το GIMIAS παρέχει μια γραφική διεπαφή για τον χρήστη με όλα τα κύρια στοιχεία εισόδου/εξόδου, οπτικοποίησης και λειτουργίες αλληλεπίδρασης για εικόνες, πλέγματα (meshes) και μηνύματα. Περιλαμβάνει ακόμα πρόσθετα εργαλεία για την κατάτμηση εικόνας, επεξεργασία πλεγμάτων, σημάτων πλοήγησης και ειδικές απεικονίσεις.

Επίσης, το εργαλείο GIMIAS παρέχει ένα απλό Application Programming Interface (API) που επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργήσουν τα δικά τους εργαλεία ως plugins που μπορούν να φορτωθούν δυναμικά και να συνδυαστούν με διάφορους τρόπους για να δημιουργήσουν ειδικές εφαρμογές. Το GIMIAS API παρέχει μεταξύ άλλων υπηρεσίες, όπως πρόσβαση σε δεδομένα και προηγμένα απεικονιστικά πολυτροπικά δεδομένων απεικόνισης.

Το GIMIAS είναι χτισμένο με κώδικα C++ και βασισμένο σε βιβλιοθήκες, όπως η εργαλειοθήκη Οπτικοποίησης (VTK, Kitware Inc.) το Insight Toolkit (ITK VTK, Kitware Inc.), το DICOM Toolkit (DCMTK, Offis στη Γερμανία), το εργαλείο αλληλεπίδρασης Ιατρικής Απεικόνισης (MITK, που αναπτύχθηκε στο τμήμα της Ιατρικής Πληροφορικής, Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ), Γερμανία) και άλλες βιβλιοθήκες που χρησιμοποιούνται συνήθως από την C++ (Boost, wxWidgets, CXXTest κλπ.).

2.4 ITK/VTK

2.4.1 ITK

Το ITK[4] (Insight Segmentation and Registration Toolkit) είναι ένα ανοικτού κώδικα πλαίσιο ανάπτυξης εφαρμογών που χρησιμοποιούνται ευρέως για την ανάπτυξη προγραμμάτων κατάτμησης και εγγραφής εικόνας. Η κατάτμηση είναι η διαδικασία αναγνώρισης και κατηγοριοποίηση των στοιχείων που βρέθηκαν σε ψηφιακά αντιπροσωπευτικά δείγματα. Συνήθως αυτή η διαδικασία είναι μια εικόνα που αποκτήθηκε από ιατρικά μηχανήματα, όπως σαρωτές CT ή MRI. Η εγγραφή είναι το έργο της ευθυγράμμισης ή της ανάπτυξης αντιστοιχιών μεταξύ των δεδομένων. Για παράδειγμα, στο ιατρικό περιβάλλον, μια αξονική τομογραφία μπορεί να ευθυγραμμιστεί με μια μαγνητική τομογραφία, προκειμένου να συνδυαστούν οι πληροφορίες που περιέχονται και στις δύο.

Το ITK αναπτύχθηκε με χρηματοδότηση από την Εθνική Βιβλιοθήκη Ιατρικής (HΠΑ) ως μια ανοικτή πηγή αλγορίθμων για την ανάλυση των εικόνων του Visible Human Project. Η εργαλειοθήκη παρέχει αλγόριθμους κατάτμησης και καταχώρησης σε τρεις και περισσότερες διαστάσεις. Το ITK χρησιμοποιεί το περιβάλλον Cmake για τη διαχείριση της διαδικασίας διαμόρφωσης. Το λογισμικό υλοποιείται σε C++ και έχει περιτύλιγμα για Tcl, Python (με τη χρήση CableSwig) και Java. Αυτό επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργήσουν το λογισμικό χρησιμοποιώντας μια ποικιλία γλωσσών προγραμματισμού. Το ITK σε C++ κώδικα είναι γνωστό ως γενικού προγραμματισμού (δηλαδή, χρησιμοποιώντας τον κωδικό templated). Η C++ templating σημαίνει ότι ο κώδικας είναι εξαιρετικά αποτελεσματικός, και ότι πολλά προβλήματα λογισμικού ανακαλύπτονται κατά την μεταγλώττιση, παρά κατά τον χρόνο εκτέλεσης κατά την εκτέλεση του προγράμματος.

Επειδή το ITK είναι ένα ανοικτού κώδικα, προγραμματιστές από όλο τον κόσμο μπορούν να χρησιμοποιήσουν, να διορθώσουν, να διατηρήσουν, και να επεκτείνουν το λογισμικό. Το ITK χρησιμοποιεί ένα μοντέλο ανάπτυξης λογισμικού που αναφέρετε

ως ακραίος προγραμματισμός. Ο ακραίος προγραμματισμός καταρρίπτει τη συνήθη μεθοδολογία δημιουργίας λογισμικού με μια ταυτόχρονη και επαναληπτική διαδικασία σχεδιασμού-εφαρμογής-δοκιμής-έκδοσης. Τα βασικά χαρακτηριστικά του ακραίου προγραμματισμού είναι η επικοινωνία και οι δοκιμές. Η επικοινωνία μεταξύ των μελών της κοινότητας [TK] βοηθά να διαχειριστείς ταχεία εξέλιξη του λογισμικού. Οι δοκιμές είναι αυτές που διατηρούν την αξιοπιστία του λογισμικού.

2.4.2 VTK

Ο Οδηγός οπτικοποίησης [5] (VTK) είναι ένα ανοικτού κώδικα λογισμικό σύστημα για 3D γραφικά υπολογιστών, επεξεργασία εικόνας και απεικόνιση. Το VTK αποτελείται από μια C++ βιβλιοθήκη και διάφορα στρώματα διασύνδεσης όπως Tcl / Tk, Java, και Python. Η Kitware, της οποίας η ομάδα δημιουργήσε και συνεχίζει να επεκτείνει την εργαλειοθήκη, προσφέρει επαγγελματική υποστήριξη και συμβουλευτικές υπηρεσίες για το VTK.

Το VTK υποστηρίζει μια μεγάλη ποικιλία από αλγόριθμους απεικόνισης, συμπεριλαμβανομένων: διανυσμάτων, υφής, και ογκομετρικών μεθόδων. Επίσης υποστηρίζει προηγμένες τεχνικές μοντελοποίησης όπως: έμμεση μοντελοποίηση, πολυγωνική μείωση, χάραξη περιγράμματος, και τριγωνοποίησης Delaunay. Το VTK διαθέτει ένα εκτεταμένο πλαίσιο οπτικοποίησης πληροφοριών, έχει μια σειρά από 3D γραφικά αλληλεπίδρασης, υποστηρίζει παράλληλη επεξεργασία, και ενσωματώνεται με διάφορες βάσεις δεδομένων για σετ εργαλείων για GUI όπως το Qt και Tk. Το VTK είναι cross-platform και τρέχει σε Linux, Windows, Mac και Unix πλατφόρμες.

Στον πυρήνα του το VTK υλοποιείται ως μια C++ εργαλειοθήκη, απαιτώντας από τους χρήστες να δημιουργήσουν εφαρμογές, συνδυάζοντας διάφορα αντικείμενα σε μια εφαρμογή. Το σύστημα υποστηρίζει επίσης

αυτοματοποιημένη συσκευασία (wrapping) της C++ στις γλώσσες Python, Java και Tcl, έτσι ώστε οι εφαρμογές VTK να μπορούν γραφτούν και σε αυτές τις γλώσσες προγραμματισμού.

Το VTK χρησιμοποιείται παγκοσμίως σε εμπορικές εφαρμογές, στην έρευνα και στην ανάπτυξη, και είναι η βάση πολλών προηγμένων εφαρμογών οπτικοποίησης, όπως τα: ParaView, VisTrails, 3DSlicer, MayaVi και OsiriX.

2.5 MATLAB

Η MATLAB [6] (matrix laboratory) είναι ένα αριθμητικό υπολογιστικό περιβάλλον και μια τέταρτης γενιάς γλώσσα προγραμματισμού. Αναπτύχθηκε από την εταιρεία The MathWorks. Η MATLAB επιτρέπει χειρισμούς πινάκων, σχεδίαση λειτουργιών και δεδομένων, εφαρμογή αλγορίθμων, δημιουργία διεπαφών χρήστη, και διασυνδέεται με προγράμματα που είναι γραμμένα σε άλλες γλώσσες, συμπεριλαμβανομένων των C, C++, Java και Fortran.

Αν και η MATLAB προορίζεται κυρίως για την αριθμητική υπολογιστών, μια προαιρετική εργαλειοθήκη χρησιμοποιεί τη συμβολική μηχανή MuPAD, επιτρέποντας την πρόσβαση σε συμβολικές υπολογιστικές δυνατότητες. Ένα επιπλέον πακέτο, το Simulink, προσθέτει γραφικά προσομοίωσης και μοντελοποιημένους σχεδιασμούς στα οποία βασίζονται τα δυναμικά και ενσωματωμένα συστήματα.

Χρησιμοποιώντας τη MATLAB, μπορούν να επιλυθούν τεχνικά προβλήματα πληροφορικής ταχύτερα από ό, τι με τις παραδοσιακές γλώσσες προγραμματισμού, όπως η C, C++ και Fortran.

Η MATLAB μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών,

συμπεριλαμβανομένης της επεξεργασίας σήματος και εικόνων, επικοινωνιών, στο σχεδιασμό ελέγχου, δοκιμών και μετρήσεων, οικονομικής μοντελοποίησης και ανάλυσης, και υπολογιστικής βιολογίας. Για ένα εκατομμύριο μηχανικούς και επιστήμονες γιατί βιομηχανία και τον ακαδημαϊκό κόσμο, η MATLAB είναι η γλώσσα των τεχνικών πληροφορικής.

Το 2004, το MATLAB είχε περίπου ένα εκατομμύριο χρήστες σε όλη τη βιομηχανία και τον ακαδημαϊκό κόσμο. Οι χρήστες της MATLAB προέρχονται από διάφορους χώρους της μηχανικής, της επιστήμης, και της οικονομίας. Η MATLAB χρησιμοποιείται ευρέως σε ακαδημαϊκά και ερευνητικά ιδρύματα καθώς και βιομηχανικές επιχειρήσεις.

2.6 ImageJ

Το ImageJ [7] είναι ένα Java πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνων εμπνευσμένο από το NIH Image for the Macintosh. Τρέχει, είτε ως απευθείας εφαρμογή ή ως downloadable εφαρμογή, σε οποιοδήποτε υπολογιστή με Java 1.4 ή μεταγενέστερη εικονική μηχανή. Είναι διαθέσιμο για Windows, Mac OS, Mac OS X και Linux.

Μπορεί να προβάλει, να επεξεργαστεί, να αναλύσει, να επεξεργαστεί, να αποθηκεύσει και να εκτυπώσει εικόνες των 8-bit, 16-bit και 32-bit. Μπορεί να διαβάσει πολλές μορφές εικόνων όπως TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM, ταιριάζει ακόμα και με raw τύπο. Υποστηρίζει "στοίβες", μια σειρά από εικόνες που μοιράζονται ένα μόνο παράθυρο. Είναι πολυνηματική, έστι χρονοβόρες ενέργειες, όπως η ανάγνωση αρχείου εικόνας μπορούν να εκτελούνται παράλληλα με άλλες δραστηριότητες.

Μπορεί να υπολογίσει τις αξίες των στατιστικών που καθορίζονται από το χρήστη για ένα pixel αλλά και για μια περιοχή από pixels. Μπορεί να μετρήσει αποστάσεις και γωνίες. Μπορεί να δημιουργήσει ιστογράμματα πυκνότητας και γραμμικά γραφήματα. Υποστηρίζει τυπικές λειτουργίες επεξεργασίας εικόνας, όπως οι αντιθέσεις, το ακόνισμα, λείανση, ανίχνευση ακμών και το median φιλτράρισμα.

Κάνει γεωμετρικούς μετασχηματισμούς, όπως η κλιμάκωση, περιστροφή και αντιστροφή. Η εικόνα μπορεί να μεγθυνθεί έως και 32:1 και να σμικρυνθεί μέχρι 1:32. Όλες οι αναλύσεις και οι λειτουργίες επεξεργασίας είναι διαθέσιμες σε κάθε παράγοντα μεγέθυνσης. Το πρόγραμμα υποστηρίζει ένα οποιοδήποτε αριθμό από παράθυρα (εικόνες) ταυτόχρονα, περιοριζόμενο μόνο από τη διαθέσιμη μνήμη.

Είναι διαθέσιμη η χωρική βαθμονόμηση για να παρέχει πραγματικές μονάδες μέτρησης όπως τα χιλιοστά. Είναι επίσης διαθέσιμη πυκνότητα ήγκρικλίμακα βαθμονόμησης. Το ImageJ σχεδιάστηκε με μια ανοικτή αρχιτεκτονική που παρέχει επεκτασιμότητα μέσω Java plugins. Προσαρμοσμένη απόκτηση, ανάλυση και επεξεργασία των plugins μπορεί να αναπτυχθεί με τη χρήση του ενσωματωμένου ImageJ επεξεργαστή και του μεταγλωττιστή της Java. Plugins γραμμένα από τον χρήστη καθιστούν δυνατή την επίλυση σχεδόν κάθε προβλήματος επεξεργασίας ή ανάλυσης εικόνας.

Το ImageJ αναπτύσσεται στο Mac OS Χρησιμοποιώντας τον ενσωματωμένο επεξεργαστή του και το μεταγλωττιστή της Java, καθώς και τον συντάκτη BBEdit και το εργαλείο κατασκευής Ant. Ο πηγαίος κώδικας είναι ελεύθερα διαθέσιμος.

2.7 3D Slicer

Slicer ή 3D Slicer[8], είναι ένα δωρεάν, ανοιχτού κώδικα λογισμικό για την οπτικοποίηση και την ανάλυση της εικόνας. Το 3D Slicer έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι διαθέσιμο σε πολλαπλές πλατφόρμες, συμπεριλαμβανομένων των Windows, Linux και Mac OS X.

Είναι μια πλατφόρμα που δημιουργήθηκε για το σκοπό της ιατρικής ανάλυσης εικόνας και την απεικόνιση εικόνων.

- Πολύ-απεικονιστική μέθοδος, συμπεριλαμβανομένων MRI, CT, US, πυρηνικής ιατρικής, και μικροσκοπίας.

- Δυνατότητες για πολλά όργανα του ανθρώπινου σώματος, από το κεφάλι μέχρι τα δάχτυλα.

- Αμφίδρομη διασύνδεση για συσκευές.

- Δυνατότητα επέκτασης και διεπαφές για πολλαπλά εργαλεία.

Το 3D Slicer αποτελείται από πάνω από ένα εκατομμύριο γραμμές κώδικα, κυρίως C++. Αυτή η μαζική προσπάθεια ανάπτυξης λογισμικού έχει ενεργοποιηθεί από τη συμμετοχή αρκετών μεγάλων κλίμακας κοινοτήτων συμπεριλαμβανομένης της NA-MIC, NAC, BIRN, CIMIT και CIGT που χρηματοδοτούνται από το NIH.

Τα εκτελέσιμα αρχεία του Slicer και ο πηγαίος κώδικας είναι διαθέσιμα χωρίς κάποια συμφωνία αδειών ανοιχτού κώδικα σύμφωνα με την οποία δεν υπάρχουν απαιτήσεις αμοιβαιότητας, δεν υπάρχουν περιορισμοί στη χρήση, και δεν παρέχονται εγγυήσεις επιδόσεων. Το Slicer αξιοποιεί μια ποικιλία εργαλείων και μεθοδολογιών λογισμικού που έχουν επισημανθεί στην NAMIC.

Ιστορία:

Το

Slicer ξεκίνησε ως μεταπτυχιακή διατριβή μεταξύ του Χειρουργικού Εργαστηρίου του Νοσοκομείου Brigham and Women και του Εργαστηρίου Τεχνητής Νοημοσύνης του MIT το 1998. Μια νέα, εντελώς αναδομημένη έκδοση του Slicer αναπτύχθηκε και έχει κυκλοφορήσει το 2007. Τον Μάιο του 2008 κυκλοφόρησε η έκδοση 3.2, το Μάιο του 2009 η έκδοση 3.4 και τον Ιούνιο του 2010 έκδοση 3.6. Το Slicer 4.0 κυκλοφόρησε τον Νοέμβριο του 2011.



Εικόνα 2.2 – Slicer and Image-Guided Therapy

Με τα κατάλληλα κλινικά πρωτόκολλα IRB που δημιουργήθηκαν και διαχειρίζονται, το Slicer έχει χρησιμοποιηθεί στην κλινική έρευνα. Σε εικονικά καθοδηγούμενη έρευνα θεραπείας, το Slicer χρησιμοποιείται συχνά για να κατασκευάσει και να απεικονίσει δεδομένα από συλλογές μαγνητικής τομογραφίας ώστε να καταστεί δυνατή η απόκτηση των χωρικών συντεταγμένων των οργάνων για την παρακολούθηση τους. Στην πραγματικότητα, το Slicer έχει ήδη παίξει τόσο ζωτικό ρόλο στην εικονικά κατευθυνόμενη θεραπεία, που θα μπορούσε να θεωρηθεί πως μεγαλώνει παράλληλα με τον τομέα αυτό.

Το Slicer παρέχει μια γραφική διεπαφή χρήστη για την αλληλεπιδράσει με τα δεδομένα.

Εκτός από το εγχειρίδιο του κατακερματισμού και τη δημιουργία 3D μοντέλων επιφανειών από συμβατικές εικόνες μαγνητικής τομογραφίας, το Slicer έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για τη non-rigid καταγραφή εικόνας και την ενσωμάτωση μοντέλων της νευροαγγειακής κατηγορίας χρησιμοποιώντας κατάτμηση εικόνας σε κατευθυνόμενες μαγνητικές τομογραφίες για βιοψίες του προστάτη.

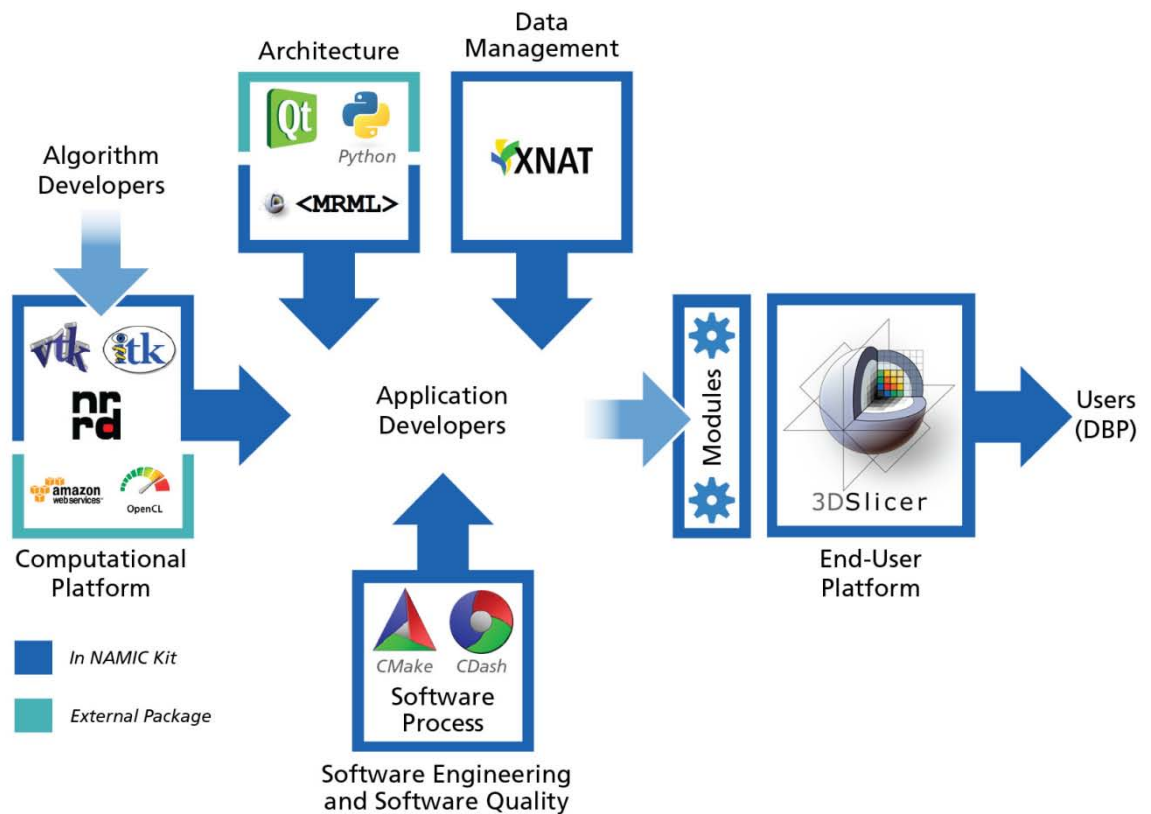
2.8 Επιλογή κατάλληλων εργαλείων για την περάτωση της διπλωματικής εργασίας

2.8.1 Επιλογή 3D Slicer

Το 3D Slicer έχει επιλεγεί για την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου της καρωτίδας και έχει επιλεγεί έναντι των ITK/VTK, GIMIAS, Seg3d και ImageVis3D. Από αυτά τα λογισμικά τα πιο ολοκληρωμένα για την δημιουργία τρισδιάστατων όγκων για ιατρική χρήση είναι το 3D Slicer και τα ITK/VTK καθώς παρέχουν την δυνατότητα χρήσης ποικίλων αλγορίθμων για την κατάτμηση όγκου.

Ο συνδυασμός ITK/VTK δεν επιλέχτηκε για δύο σημαντικούς λόγους. Καταρχάς η εγκατάστασή τους είναι αρκετά πολύπλοκη καθώς γίνεται μέσω της ενδιάμεσης πλατφόρμας CMake η οποία δημιουργεί ένα αρκετά μεγάλο αριθμό διεργασιών στην VisualStudio. Αυτό αφενός παρέχει εύκολη πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα των αλγορίθμων αλλά αφετέρου δυσχεραίνει αισθητά την ευχάριστη επικοινωνία με τον χρήστη. Ο δεύτερος και πιο σημαντικός λόγος που δεν επιλέχτηκε ο συνδυασμός ITK/VTK ήταν το γεγονός ότι μετά από βαθύτερη έρευνα για την επιλογή του κατάλληλου εργαλείου βρέθηκε ότι τα χρήσιμα συστατικά του ITK/VTK για την παρούσα διπλωματική εργασία είναι είδη ενσωματωμένα στο 3D Slicer.

Επομένως το 3D Slicer είναι το πιο ολοκληρωμένο και εύκολο στην χρήση για τον σκοπό που χρειαζόταν, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα λογισμικά που μελετήθηκαν.



Εικόνα 2.3 – Η πλατφόρμα NAMIC

2.8.2 Επιλογή Matlab

Το λογισμικό Matlab επιλέχτηκε για τη δημιουργία ή/και επεξεργασία των εικόνων που θα χρησιμοποιούνταν για την δημιουργία του τρισδιάστατου όγκου. Έχει επιλεχτεί για αυτόν τον σκοπό κυρίως επειδή είναι το πιο ολοκληρωμένο και διαδεδομένο δωρεάν λογισμικό για την επιστημονική επεξεργασία εικόνας. Ένας άλλος παράγοντας για την επιλογή της Matlab ήταν το γεγονός ότι υπήρχε εξοικείωση με το λογισμικό αυτό καθώς είχε διδαχτεί και χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια του προπτυχιακού μαθήματος ψηφιακής επεξεργασίας.

Η Matlab χρησιμοποιήθηκε για την διεκπεραίωση δύο σημαντικών εργασιών που αφορούσαν τις εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στην δημιουργία των τρισδιάστατων

μοντέλων της καρωτίδας. Η μια εργασία ήταν η δημιουργία των εικόνων για τη χρήση τους στη δημιουργία ενός τεχνητού μοντέλου καρωτίδας. Η άλλη εργασία ήταν η επεξεργασία των πραγματικών εικόνων για τη χρήση τους στη δημιουργία ενός πραγματικού μοντέλου καρωτίδας.

2.8.3 Επιλογή ImageJ

Το εργαλείο ImageJ χρησιμοποιήθηκε για την σειριοποίηση των εικόνων σε δέσμες. Οι πραγματικές εικόνες που παραχωρήθηκαν καθώς και οι τεχνητές εικόνες που δημιουργήθηκαν για το κάθε μοντέλο καρωτίδας δεν είχαν κάποια δομή που να καθορίζει την μεταξύ τους σχέση, όπως την σειρά τους, τις σχετικές τους συντεταγμένες κτλ. Αυτή η σειριοποίηση όμως ήταν απαραίτητη καθώς το 3D Slicer την απαιτεί ούτως ώστε να αναγνωρίσει τις εικόνες ως δέσμη(branch) και όχι ως μεμονωμένες εικόνες για την δημιουργία των μοντέλων.

Έτσι έγινε χρήση του εργαλείου ImageJ το οποίο παρέχει την δυνατότητα σειριοποίησης του περιεχόμενου φακέλων εικόνων σε δέσμες εικόνων, κάνοντας με αυτό τον τρόπο συμβατά τα αποτελέσματα εξόδου της Matlab με τις απαιτήσεις για την μορφή των δεδομένων εισόδου του 3D Slicer.

Κεφάλαιο 3

3DSlicer– 3Δ Ανοικοδόμηση και αλγόριθμοι κατάτμησης

-
- 3.1 3Δ Ανοικοδόμηση (3DReconstruction)
 - 3.2 Κατάτμηση εικόνας (Segmentation)
 - 3.3 Αλγόριθμοι κατάτμησης στο 3DSlicer
 - 3.3.1 Simple Region Growing
 - 3.3.2 Fast Marching Segmentation
 - 3.3.3 Mesh Contour Segmentation
-

3.1 3ΔΑνοικοδόμηση (3D Reconstruction)

3Δ ανοικοδόμηση είναι η διαδικασία εξαγωγής ενός τρισδιάστατου μοντέλου από ένα σύνολο δυσδιάστατων εικόνων.

Ο ιατρικός κόσμος γνώρισε στα τέλη του περασμένου αιώνα, μια πραγματική επανάσταση στην 3Δ απεικόνιση η οποία μεταφράστηκε και σε πολλά βραβεία Νόμπελ στη φυσική και ιατρική. Με την εξαγωγή των ιατρικών πληροφοριών που περιέχονται στις εικόνες σε μια σειρά από 3Δ μοντέλα, είναι σήμερα δυνατό να ληφθεί ένα προ-εγχειρητικό 3Δ μοντέλο του ασθενούς, δηλαδή ένας ψηφιακός κλώνος του πραγματικού ασθενή.

Το πρόγραμμα visiblehuman αρχικά περιοριζόταν σε πτωματικά μοντέλα, και κατά συνέπεια μπορεί να αντικατασταθεί με μοντέλα από ιατρικές εικόνες από ζωντανούς ασθενείς.

Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν προ-εγχειρητικά ως προετοιμασία για

μια χειρουργική επέμβαση, διεγχειρητικά για να καθοδηγήσουν τον χειρουργό αλλά και μετεγχειρητικά στο πλαίσιο της ανατομικής εκπαίδευσης και της ιατρικής προσομοίωσης.

Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να συγκρίνουν τις διάφορες κατατμήσεις και αλγόριθμους προσομοίωσης.

3.2 Κατάτμηση εικόνας (Segmentation)

Στην υπολογιστική όραση, κατάτμηση είναι η διαδικασία τεμαχισμού μιας ψηφιακής εικόνας σε πολλά τμήματα (σύνολα από pixels, επίσης γνωστά και ως superpixels). Ο στόχος της κατάτμησης είναι η απλοποίηση και/ή τροποποίηση της αναπαράστασης μιας εικόνας σε κάτι που είναι πιο ουσιαστικό και πιο εύκολο να αναλυθεί.

Η κατάτμηση είναι ένα βασικό βήμα της ιατρικής απεικόνισης και χρησιμοποιείται συνήθως για να εντοπιστούν τα αντικείμενα και τα όρια (γραμμές, καμπύλες, κλπ.) σε εικόνες. Πιο συγκεκριμένα, ο κατακερματισμός της εικόνας είναι η διαδικασία ανάθεσης μιας ετικέτας σε κάθε pixel της εικόνας αυτής, έτσι ώστε τα pixels με την ίδια ετικέτα να μοιράζονται ορισμένα οπτικά χαρακτηριστικά.

Το αποτέλεσμα της κατάτμησης μιας εικόνας είναι ένα σύνολο τμημάτων που καλύπτουν συλλογικά ολόκληρη την εικόνα, ή ένα σύνολο από καμπύλες που προέρχονται από την εικόνα (ανίχνευση ακμών). Κάθε ένα από τα pixels σε μια περιοχή είναι παρόμοιο σε σχέση με κάποιο χαρακτηριστικό ή κάποια υπολογιζόμενη ιδιότητα, όπως το χρώμα, την ένταση ή την υφή.

Γειτονικές περιοχές διαφέρουν σημαντικά σε σχέση με το ίδιο χαρακτηριστικό (ά). Κατά την κατάτμηση της εικόνας οι προκύπτουσες καμπύλες μπορούν να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία 3D αναπαραστάσεων με τη βοήθεια των αλγορίθμων παρεμβολής, όπως τους κύβους πορείας.

3.3 Αλγόριθμοι κατάτμησης στο 3D Slicer

Η κατάτμηση των εικόνων είναι η διαδικασία αναγνώρισης και την επισήμανσης περιοχών ενδιαφέροντος μέσα σε μια εικόνα. Το 3D Slicer είναι ένα ισχυρό και ευέλικτο εργαλείο για την ημι-αυτοματοποιημένη και χειροκίνητη κατάτμηση εικόνων. Είναι κτισμένο στο εργαλείο NAMIC και είναι αναμφισβήτητο, το πρότυπο για ανοιχτού κώδικα GUI που βασίζεται σε 3D κατάτμησης εικόνας. Έχει επί του παρόντος βελτιστοποιηθεί για κατάτμηση των εικόνων μαγνητικής τομογραφίας του εγκεφάλου, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιοδήποτε τμήμα του συνόλου δεδομένων DICOM.

Το 3D Slicer παρέχει αρκετούς αλγόριθμους κατάτμησης αλλά θα γίνει περαιτέρω αναφορά και ανάλυση σε αυτούς των οποίων η εφαρμογή είναι συμβατή και χρήσιμη για τις εργασίες της παρούσας ατομικής διπλωματικής εργασίας.

3.3.1 SimpleRegionGrowing

Ο SimpleRegion Growing [9] είναι ένας στατιστικός αλγόριθμος αναπτυσσόμενης περιοχής. Ο αλγόριθμος παίρνει ένα ή περισσότερα σημεία (seeds) ως είσοδο και εκτελείτε ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

- Εκτιμάτε ένα στατιστικό μοντέλο των νέων στοιχείων (μέσος όρος και τυπική απόκλιση της έντασης) πάνω από τις περιοχές των σημείων. Το στατιστικό μοντέλο μετατρέπεται σε μια βαθμωτή κλίμακα ορίων (scalar threshold range) χρησιμοποιώντας τη μέση ένταση του κάθε σημείου στην πλην ένα πολλαπλασιαστή ή την τυπική απόκλιση.
- Ο αλγόριθμος στη συνέχεια κατασκευάζει μια κατάτμηση, επισημαίνοντας όλα

τα voxels που συνδέονται με τα voxels των σημείων-seeds και που ικανοποιούν την βαθμωτή κλίμακα ορίων.

Μετά από αυτή την αρχική κατάτμηση, το στατιστικό μοντέλο μπορεί να τελειοποιηθεί επαναληπτικά μέσω ενός νέου υπολογισμού της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης της έντασης των voxels στην αρχική κατάτμηση. Το εκλεπτυσμένο στατιστικό μοντέλο με τη σειρά του μετατρέπεται σε μια νέα βαθμωτή κλίμακα ορίων, όπως περιγράφεται στην προηγούμενη παράγραφο. Αυτό ακολουθείται από μια νέα κατάτμηση, όπου ο αλγόριθμος επισημαίνει όλα τα voxels που συνδέονται με τα voxels των σημείων-seeds και που ικανοποιούν την βαθμωτή κλίμακα ορίων. Ο αριθμός των επαναλήψεων για τη διαδικασία κατάτμησης ορίζεται χρησιμοποιώντας μια παράμετρο επανάληψης του αλγορίθμου.

Μέσω αυτής της διαδικασίας, ο αλγόριθμος κατάτμησης SimpleRegionGrowing επιχειρεί να προσαρμοστεί στις στατιστικές ιδιότητες της εικόνας. Αρχικά, το στατιστικό μοντέλο βασίζεται στην εστίαση στις περιοχές για τα seeds. Αυτό το στατιστικό μοντέλο είναι ακριβές (αφού βασίζεται στα seeds που παρέχονται από τον χρήστη), αλλά και αβέβαιη (επειδή ο αριθμός των δειγμάτων στο μοντέλο μπορεί να είναι σχετικά μικρός). Μετά την αρχική κατάτμηση, τα στατιστικά στοιχεία υπολογίζονται εκ νέου δίνοντας έτσι ένα πιο αξιόπιστο μοντέλο (γιατί ο αριθμός των δειγμάτων στο μοντέλο είναι πλέον αρκετά μεγαλύτερος).

3.3.2 FastMarching Segmentation

Ο αλγόριθμος fastmarching level-set [10] εισήχθη από τον Sethian και υπολογίζει μια ερμηνευτική λύση της εξίσωσης συνόλου σταθερών επιπέδων.

$$|\nabla T(x, y)| = \frac{1}{v(x, y)}$$

Όπου $v(x, y)$ αντιστοιχεί στην ταχύτητα του κινούμενου μετώπου, ενώ το $T(x, y)$ είναι ο χάρτης του πλήθους διελεύσεων.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος είναι μια παραλλαγή του αλγόριθμου fastmarching, ο οποίος εκτός από τις ιδιότητες του αρχικού αλγορίθμου, είναι σε θέση να αντιμετωπίζει πολλαπλές κατηγορίες (ή ετικέτες). Ο αλγόριθμος που περιγράφεται παρακάτω προϋποθέτει την ύπαρξη μιας αρχικοποίησης για το $T(x, y)$, ειδικά για το αρχικό επίπεδο.

Υπάρχουν τρεις πιθανές καταστάσεις για το κάθε τα εικονοστοιχείο. Ένα "ζωντανό" pixel αντιπροσωπεύει μια σταθερή αξία της ώρας άφιξης. Ένα "trial" pixel αποτελεί μία υποψηφιότητα για μια ειδική ετικέτα όπου την ώρα άφιξης η τιμή της υπόκειται αλλαγής. Τέλος τα "faraway" pixels δεν έχουν ακόμη επεξεργαστεί.

Όταν λοιπόν δεν υπάρχει κανένα άλλο "trial" pixel, το "ζωντανό" pixel με τον μικρότερο χρόνο άφιξης χρησιμοποιείται για να επισημάνει (label) το κάθε pixel.

Ο αλγόριθμος παρέχεται με ένα labelmap το οποίο είναι μερικώς συμπληρωμένο με αποφάσεις. Διατηρείται επίσης ένας χάρτης με δείκτες που συνδέονται με καταλόγους από trial pixels. Οι κατάλογοι αυτοί είναι αρχικά κενοί, εκτός από τις περιοχές που είναι γειτονικές με τις αρχικές αποφάσεις. Για αυτές τις περιοχές ένα trial pixel προστίθεται στην αντίστοιχη λίστα για κάθε διαφορετική ετικέτα των γειτονικών αποφάσεων και ανατίθεται μια αρχική ώρα άφιξης. Όλα τα trial pixels περιέχονται σε μια κοινή ουρά προτεραιότητας.

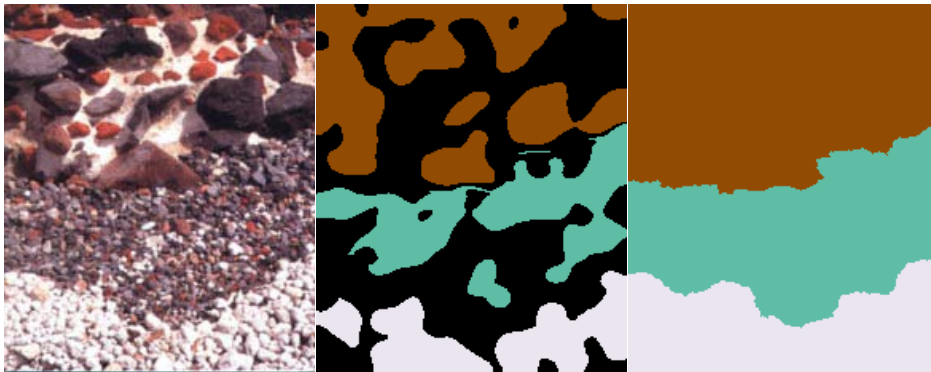
Όταν δεν υπάρχουν πια trial pixels, το trial pixel με την μικρότερη ώρα άφιξης επιλέγεται και μετατρέπεται σε ζωντανό. Εάν δεν υπάρχει άλλο ζωντανό pixel σε αυτή την πλευρά, η ετικέτα του αντιγράφεται στο τελικό labelmap. Για όλους τους μη-ζωντανούς γείτονες αυτής της πλευράς προστίθεται εάν δεν υπάρχει ήδη ένα trial pixel στους αντίστοιχους καταλόγους από trial pixels. Τέλος, όλα τα γειτονικά trial pixels με την ίδια ετικέτα ενημερώνουν την τιμή για το πλήθος άφιξης τους σύμφωνα με τα νέα δεδομένα.

Μέσω στατιστικών δοκιμών λαμβάνεται ένας αρχικός χάρτης με τις πλευρές που έχουν επισημανθεί. Οι δοκιμές αυτές κατατάσσονται σημεία με υψηλή εμπιστοσύνη όπου η τιμή της πιθανότητας λάθους κατάταξης είναι πολύ μικρή. Στη συνέχεια ο αλγόριθμος multi-label fast marching level-set εφαρμόζεται σε όλα τα σύνολα σημείων που έχουν επισημανθεί αρχικά. Η διάδοση του περιγράμματος της κάθε περιοχής εξαρτάται από την ετικέτα και την απόσταση του υπό μελέτη σημείου από τη υποψήφια ετικέτα.

Η ακριβής ταχύτητα μετάδοσης για μια δεδομένη ετικέτα είναι:

$$v_j(m, n) = \frac{\Pr(j)}{\sum_{l=1}^L \Pr(l) e^{d_j(m, n) - d_l(m, n)}}$$

Η έκφραση της ταχύτητας διάδοσης υπαγορεύεται από το κριτήριο της μέγιστης εκ των υστέρων πιθανότητας. Η υποψήφια ετικέτα διαδίδεται σύμφωνα με την εκ των υστέρων πιθανότητα, η οποία εκφράζεται με βάση της συνάρτησης ομοιότητας για κάθε ετικέτα.



Εικόνα 3.1 – Η αρχική εικόνα και τα αποτελέσματα όπως προκύπτουν κατά την εκτέλεση του αλγόριθμου FastMarchingSegmentation.

3.3.3 MeshContourSegmentation

Ο αλγόριθμος κατάτμησης MeshContour[11] χρησιμοποιείται για τη δημιουργία κλειστών περιγραμμάτων σε μία επιφάνεια 3D. Το περίγραμμα αρχικοποιείται με μια σειρά από σημεία, και στη συνέχεια «εξελίσσεται», σύμφωνα με κάποιο γεωμετρικό κριτήριο της υποκείμενης επιφάνειας (π.χ. κανονικότητα επιφάνειας, μέση καμπυλότητα κλπ) και της ενσωματωμένης καμπύλης (π.χ. γεωδαισιακή καμπυλότητα, κανονική καμπυλότητα κλπ.).

Η εφαρμογή χρησιμοποιεί μια εκδοχή του SparseFieldLevelSets (Whitaker et al 1998) τροποποιημένη για ένα πλέγμα όπου υπάρχει ένας αυθαίρετος αριθμός από γειτονικές κορυφές.

Ενώ το κινητήριο πρόβλημα για αυτή την εφαρμογή του αλγορίθμου ήταν ο κατακερματισμός των Sulci και Gyri στην επιφάνεια του φλοιού του εγκεφάλου, η τεχνική αυτή εφαρμόζεται επίσης στην ανάλυση και άλλων ανατομικών δομών όπως τα οστά και τα κατάγματα.

Κεφάλαιο 4

Υπέρηχοι και καρωτίδα

- 4.1 Υπέρηχοι - Υπερηχογράφημα
 - 4.2 Ιατρικός εξοπλισμός
 - 4.3 Αρτηριακή πλάκα
 - 4.4 Αθηροσκλήρωση
 - 4.5 Καρωτιδική πλάκα
 - 4.5.1 Κακοήθεις καρωτιδική πλάκα
 - 4.6 Προηγούμενες μελέτες
-

4.1 Υπέρηχοι - Υπερηχογράφημα

Το υπερηχογράφημα χρησιμοποιεί υψηλής συχνότητας ηχητικά κύματα για να δείξει τους μαλακούς ιστούς όπως οι μύες και τα εσωτερικά όργανα. Επειδή οι εικόνες υπερήχων παράγονται σε πραγματικό χρόνο, μπορούν να παρουσιάσουν τις μετακινήσεις των εσωτερικών οργάνων του σώματος καθώς και τη ροή του αίματος μέσα σε αιμοφόρα αγγεία.

Σε μια εξέταση υπερηχογραφήματος, ένας αισθητήρας χεριού τοποθετείται στο δέρμα. Ο αισθητήρας αυτός στέλνει υψηλής συχνότητας ηχητικά κύματα που ανακλώνται από τις δομές του σώματος. Τα ηχητικά κύματα που επιστρέφουν, εμφανίζονται ως εικόνα σε μια οθόνη. Η εικόνα βασίζεται στη συχνότητα και ένταση (πλάτος) του ηχητικού σήματος και στο χρόνο που χρειάζεται για να επιστρέψει από τον ασθενή στον αισθητήρα. Σε αντίθεση με μια ακτινογραφία, κατά το υπερηχογράφημα δεν υπάρχει έκθεση σε ακτινοβολία.

Τα υπερηχογραφήματα χρησιμοποιούνται σε πολλούς τύπους εξετάσεων και διαδικασιών. Μερικά παραδείγματα είναι:

- Υπερηχογράφημα Doppler(για την απεικόνιση της ροής του αίματοςμέστων αιμοφόρων αγγείων).
- Υπερηχογράφηματων οστών(για τη διάγνωση της οστεοπόρωσης).
- Ηχοκαρδιογράφημα(για την οπτικοποίηση της καρδιάς).
- Υπερηχογράφημα εμβρύου(για την οπτικοποίηση του εμβρύουκατά την εγκυμοσύνη).
- Βιοψίες καθοδηγούμενες από υπέρηχους.

Τα υπερηχογραφήματαχρησιμοποιούνται πέρα των 20 χρόνωνκαιέχουν έναεξαιρετικό ιστορικό ασφαλείας. Είναιμη ιοντίζουσα ακτινοβολία και για αυτόδεν έχουντους ίδιους κινδύνους, όπως ακτινογραφίεςήάλλα είδητηςιονίζουσας ακτινοβολίας.

Ακόμα όμως και ανδεν υπάρχουν γνωστοίκίνδυνοιτης απεικόνισης με υπέρηχους, μπορούν να επηρεάσουν το σώμα. Όταν το υπερηχογράφημαεισέρχεται στο σώμα, θερμαίνειτους ιστούςελαφρά. Σε ορισμένεςπεριπτώσεις, μπορεί να παράγει, επίσης, μικρές εστίεςαερίου σευγρά του σώματοςή ιστούς. Οιμακροπρόθεσμες επιπτώσειςτηςθέρμανσηςτων ιστώνδεν είναι γνωστές.

Τέλος λόγω τηςιδιαιτέρης ανησυχίαςγια την εμβρυϊκήέκθεση σε υπέρηχους, εθνικοί και διεθνείςοργανισμοί υποστηρίζουν τηνσυνετή χρήσητης απεικόνισης με υπέρηχους. Επιπλέον, η χρήσητων διαγνωστικώνυπέρηχωνγια μη ιατρικούςσκοπούς όπωςβίντεο του εμβρύου γιαενθύμιοέχειαποθαρρυνθεί.

4.2 Ιατρικός εξοπλισμός

Για την λήψη των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας VL13-5 με τον σαρωτή υπερηχογράφων PhilipsiU22[12]. Αυτός ο αισθητήρας είναι ιδανικός για την καρωτίδα και υποστηρίζει 2Δ και 3Δ λήψη εικόνων. Αποτελείται από μια υψηλής ανάλυσης γραμμική συστοιχία με 192 στοιχεία, που υποστηρίζεται σε ένα ρευστό τμήμα, το οποίο αποκτά μηχανικά μια σειρά από συμβατικές εικόνες που καλύπτοντο σύνολο της καρωτιδικής διακλάδωσης μέσα σε ένα πέρασμα περίπου 3-4 δευτερόλεπτα. Αυτές οι εικόνες συνδυάζονται αυτόματα για να δημιουργήσουν κουτιά $4 \times 25 \times 25$ cm από voxels. Αυτές οι εικόνες υπερηχογραφήματος μπορούν να ληφθούν με ή χωρίς ροή χρώματος. Επειδή η κίνηση του αισθητήρα γίνεται εντός του ρευστού τμήματος, διατηρείται η επαφή του αισθητήρα με το δέρμα. Η 3Δ λήψη εικόνας ενεργοποιείται μετά από την απεικόνιση μιας βέλτιστης 2Δ διαμήκης συμβατικής εικόνας στην οθόνη, στην οποία έχουν γίνει κάποιες προσαρμογές ως προς τη γωνία, εστιακή ζώνη κτλ.

Ο αισθητήρας VL13-5 υποστηρίζει το SonoCT το οποίο είναι απαραίτητο για την 3Δ απεικόνιση καθώς και το XRES. Το SonoCT παρέχει σύνθετη απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο. Χρησιμοποιεί μια δέσμη μετάδοσης για την απόκτηση συνεπίπεδων εικόνων από διαφορετικές γωνίες θέασης, οι οποίες συνδυάζονται σε μία ενιαία εικόνα σε πραγματικό χρονικό διάστημα. Αυτό μειώνει το θόρυβο speckle, αλλά πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι επιτρέπει την απεικόνιση δομών με καμπυλωτά ή ασύμμετρα σύνορα.

Το XRES είναι μια τεχνική μετα-επεξεργασίας, η οποία, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή “μειώνει τον θόρυβο speckle, την ομίχλη και την ακαταστασία των αντικειμένων και, ταυτόχρονα, τονώνει τα όρια διορθώνοντας την ασυνέχεια μεταξύ των περιφερειών υφής, κάτι το οποίο επιτρέπει τη βελτίωση των εικόνων φέρνοντας τις πιο κοντά στο πώς οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται τα ιστολογικά μοτίβα”. Το XRES είναι χρήσιμο για τις μετρήσεις του όγκου της πλάκας, αλλά θα πρέπει να απενεργοποιείτε όταν αποκτώνται εικόνες για μετρήσεις υφής.



Εικόνα 4.1 – Ο αισθητήρας Philips VL13-5

4.3 Αρτηριακή πλάκα

Οι αρτηρίες είναι αιμοφόρα αγγεία τα οποία μεταφέρουν αίμα πλούσιο σε οξυγόνο στην καρδιά και άλλα μέρη του σώματος.

Η πλάκα που συσσωρεύεται στα εσωτερικά τοιχώματα των αρτηριών αποτελείται από ένα πλήθος ουσιών οι οποίες κυκλοφορούν στο αίμα. Αυτές περιλαμβάνουν το ασβέστιο, το λίπος, τη χοληστερόλη, τα κυτταρικά απόβλητα, και το ινώδες, ένα υλικό που εμπλέκετε στην πήξη του αίματος.

Ως αντίδραση στην συσσώρευση πλάκας, τα κύτταρα στα τοιχώματα των αρτηριών πολλαπλασιάζονται και εκκρίνουν πρόσθετες ουσίες που μπορούν να επιδεινώσουν την κατάσταση της φραγμένης αρτηρίας.

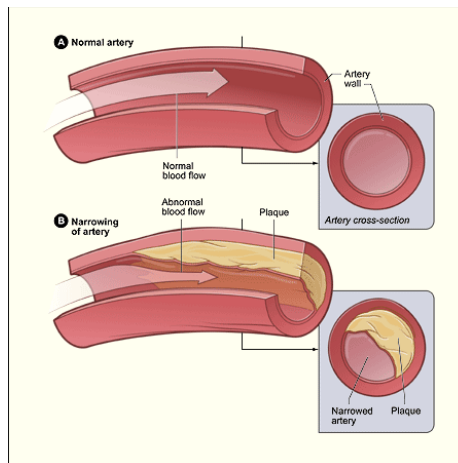
Καθώς αυξάνεται η εναπόθεση της πλάκας, παρουσιάζεται μια κατάσταση που ονομάζεται αθηροσκλήρωση.

4.4 Αθηροσκλήρωση

Η αθηροσκλήρωση είναι μια νόσος στην οποία γίνεται συσσώρευση πλάκας στο εσωτερικών των αρτηριών. Αυτή η κατάσταση προκαλεί στένωση και σκλήρυνση στις αρτηρίες.

Αν και οι ειδικοί δεν γνωρίζουν με βεβαιότητα τι ξεκινά αθηροσκλήρωση, η διαδικασία φαίνεται να προέρχεται από βλάβη στο αρτηριακό τοίχωμα η οποία επιτρέπει την εναπόθεση της πλάκας.

Αυτό περιορίζει τη ροή του πλούσιου σε οξυγόνο αίματος προς τα όργανα και άλλα μέρη του σώματος.



Εικόνα 4.2 – Το σχήμα Α δείχνει μια φυσιολογική αρτηρία με κανονική ροή αίματος. Το σχήμα Β δείχνει μια αρτηρία με συσσώρευση πλάκας.

4.5 Καρωτίδα και καρωτιδική πλάκα

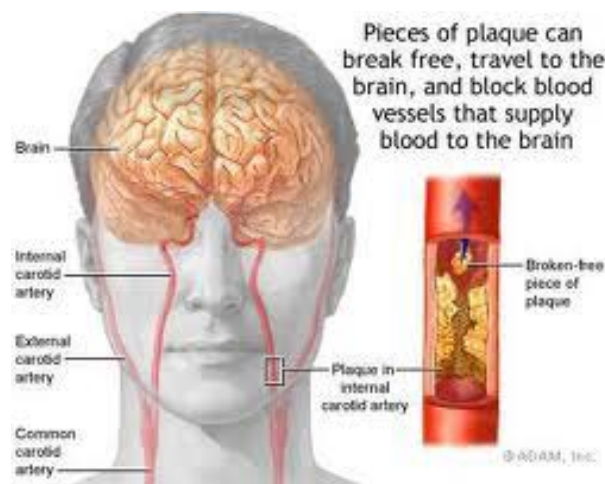
Η καρωτιδική πλάκα παρουσιάζεται όταν η πλάκα συσσωρεύεται στις αρτηρίες που βρίσκονται στις δύο πλευρές του λαιμού (καρωτίδες αρτηρίες). Αυτές οι αρτηρίες παρέχουν πλούσιο σε οξυγόνο αίμα προς τον εγκέφαλο. Εάν η ροή του αίματος προς τον εγκέφαλο μειωθεί ή μπλοκαριστεί, μπορεί να προκαλέσει ένα εγκεφαλικό επεισόδιο.



Εικόνα 4.3 – Καρωτιδική πλάκα.

4.5.1 Κακοήθεις καρωτιδική πλάκα

Εκτός από την πρόκληση εγκεφαλικού επεισοδίου λόγω στένωσης της καρωτίδας, υπάρχει και η περίπτωση όπου μικρά φράγματα πλάκας αποκολλούνται από τα τοιχώματα της αρτηρίας. Αυτά τα μικρά φράγματα ταξιδεύουν προς τον εγκέφαλο και μπορούν να φράξουν μικρότερα αγγεία προκαλώντας έτσι ένα εγκεφαλικό επεισόδιο.



Εικόνα 4.4 – Κακοήθεις καρωτιδική πλάκα.

4.6 Προηγούμενες μελέτες[13]

Οι πολλές μέθοδοι προβολής 3D έχουν αναπτυχθεί την τελευταία δεκαετία. Στην εργασία “ VolumetricEvaluationofCarotidAtherosclerosisUsing 3-DimensionalUltrasonicImaging” η προσέγγιση που χρησιμοποιείτε πιο συχνά από τους συγγραφείς GraceParaga, AndrewH. House, AdamKrasinski, J. DavidSpence, και AaronFensterείναι η όψη κύβου, η οποία βασίζεται στηναπόδοσηχρησιμοποιώνταςπολύ-επίπεδαχαρτογράφησηςυφής. Σε αυτή την τεχνική μια 3Δ εικόναεμφανίζεται ωςέναπολύεδρο, καιη κατάλληληεικόναγιακάθεεπιφάνεια ζωγραφίζεταιστην αντίστοιχη όψητου κύβου. Οι χρήστες μπορούν ναπεριστρέψουν τοπολύεδρο, προκειμένου να επιτευχθείτο επιθυμητόςπροσανατολισμόςτης3D εικόναςκαθώς και να κάνουν οποιαδήποτεμετακίνησητων επιφανειώνσε σχέση με την αρχική θέση, ενώ ταυτόχρονα προσαρμόζεται η υφή στις επιφάνειες που επηρεάζονται. Ως αποτέλεσμα, οι χρήστες έχουνπάντα μια 3Δεικόναμε βάσητις ενδείξεις που χορηγούνται , οι οποίες συνδέουντην όψη που επηρεάζεται με το υπόλοιπο της ανατομίας. Αυτές οιοπτικές ενδείξειςεπιτρέπουν στους χρήστεςνα προσδιορίσουναποτελεσματικάτις επιθυμητέςδομές.[14][15][16][17]

Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε ένας αισθητήρας παλαιότερου τύπου ο οποίος πρέπει να μετακινείται κατά μήκος της καρωτίδας.

Οι συγγραφείς έχουν υπολογίσει καρωτιδική αθηροσκλήρωση χρησιμοποιώντας χειροκίνητη καταμέτρηση των επιπέδων επιφανειών για την δημιουργία : του συνολικού όγκου της πλάκας (TPV) και του όγκου των τοιχωμάτων των αγγείων (VWV). Για τη μέτρηση του TPV, κάθε 3 Δείκνα της καρωτίδας είναι κόπηκε σε εγκάρσιες φέτες σε σχέση με τον άξονα της αρτηρίας, αρχίζοντας από το ένα άκρο της πλάκας χρησιμοποιώντας και χρησιμοποιώντας μια απόσταση μεταξύ των φετών (ISD) 1,0 mm. Χρησιμοποιώντας λογισμικό που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο των συγγραφέων, η πλάκα χωρίζεται σε κάθε εικόνα διατομής με ένα γραμμικό δρομέα. Καθώς τα περιγράμματα περιγράφονται με το χέρι, το λογισμικό απεικόνιση υπολογίζει την περιοχή των περιγραμμάτων αυτόματα. Οι διαδοχικές περιοχές που περικλείονται από τα περιγράμματα προσεγγίζονται στον μέσο όρο και πολλαπλασιάζεται με την ISD, προκειμένου να υπολογιστεί ο οριακός όγκος. Η σύνοψη των στοιχειωδών ποσοτήτων παρέχει μια μέτρηση για τον TPV. Μετά από μια πλήρη μέτρηση της έντασης της πλάκας, η 3Δ Δείκνα μπορεί να προβληθεί σε πολλαπλές κατευθύνσεις, προκειμένου να εξακριβωθεί το σύνολο του όγκου της πλάκας περιγράφεται από το σύνολο των περιγραμμάτων.

Έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμα εργαλεία για τις μετρήσεις της καρωτιδικής αθηροσκλήρωσης και χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των ασθενών που διατρέχουν κίνδυνο εγκεφαλικού επεισοδίου, που παρουσιάζουν δηλαδή υψηλή πίεση του αίματος και υψηλά επίπεδα χοληστερόλης. Εδώ, έγινε χρήση των 3Δ υπερήχων των καρωτίδων για την παρακολούθηση της αθηροσκλήρωσης. Για την απεικόνιση των αλλαγών στην καρωτιδική αρτηρία και ενδεχόμενη αρτηριακή αναδιαμόρφωση που συμβαίνει κατά τη διάρκεια της εντατικής θεραπείας, οι συγγραφείς προσπάθησαν να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η 3Δ απεικόνιση, με διαδοχικές μετρήσεις [18][19][20][21][22] του τοιχώματος της αρτηρίας και με κατατιμήσεις σε διάφορα πάχη τοιχωμάτων.

Κεφάλαιο 5

Υλοποίηση

5.1 Τεχνητή καρωτίδα

5.1.1 Δημιουργία εικόνων

5.1.2 Περεταίρω επεξεργασία εικόνων

5.1.3 Σειριοποίηση και μεγέθυνση εικόνων

5.1.3.1 Εισαγωγή σειράς εικόνων

5.1.3.2 Καθορισμός χαρακτηριστικών της δέσμης εικόνων

5.1.3.3 Οπτικοποίηση και αποθήκευση της δέσμης εικόνων

5.1.4 3D Slicer – Εισαγωγή ακολουθίας εικόνων, κατάτμηση και ανοικοδόμηση 3Δ μοντέλου

5.1.4.1 3D Slicer – Εισαγωγή ακολουθίας εικόνων

5.1.4.2 3D Slicer – Δημιουργία 3Δ μοντέλου καρωτίδας

5.1.4.3 3D Slicer – Fast Marching Segmentation

5.1.4.4 3D Slicer – Simple Region Growing Segmentation

5.2 Πραγματική καρωτίδα

5.2.1 Επεξεργασία εικόνων

5.2.2 Σειριοποίηση και μεγέθυνση εικόνων

5.2.2.1 Εισαγωγή σειράς εικόνων

5.2.2.2 Καθορισμός χαρακτηριστικών της δέσμης εικόνων

5.2.2.3 Οπτικοποίηση και αποθήκευση της δέσμης εικόνων

5.2.3 3D Slicer – Εισαγωγή ακολουθίας εικόνων, κατάτμηση και ανοικοδόμηση 3Δ μοντέλου

5.2.3.1 3D Slicer – Εισαγωγή ακολουθίας εικόνων

5.2.3.2 3D Slicer – Δημιουργία 3Δ μοντέλου καρωτίδας

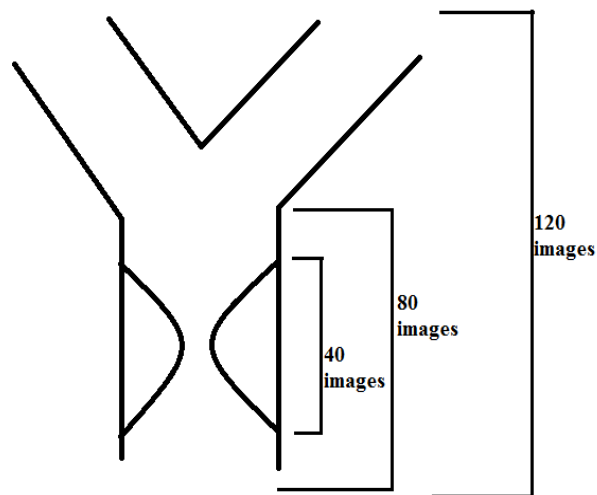
5.2.3.3 3DSlicer – FastMarchingSegmentation

5.2.3.4 3D Slicer – Simple Region Growing Segmentation

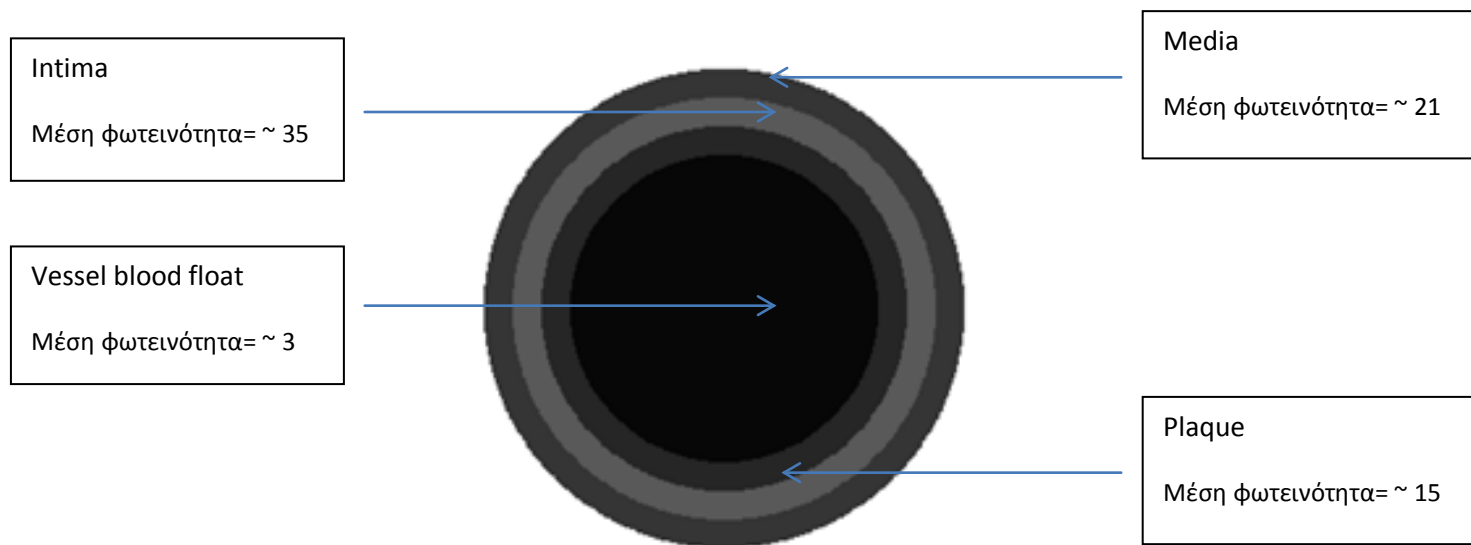
5.1 Τεχνητή καρωτίδα

Η τεχνητή καρωτίδα δημιουργήθηκε ώστε να μπορούν να μελετηθούν τα αποτελέσματα της ανοικοδόμησης και των αλγορίθμων κατάτμησης σε ένα περιβάλλον όπου όλες οι παράμετροι ήταν ελεγχόμενοι. Επιτυγχάνοντας και διευκολύνοντας με αυτό τον τρόπο τον έλεγχο της ορθότητας και της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται ως έξοδος της όλης διαδικασίας.

Οι τελικές εικόνες λοιπόν από τις οποίες αποτελείται την τεχνητή καρωτίδα πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο ακριβής σε σχέση με μια πραγματική καρωτίδα. Για αυτόν τον λόγο οι τελικές εικόνες ικανοποιούν την ανατομία, τις φωτεινότητες, τον θόρυβο και άλλα συνήθως χαρακτηριστικά που συναντιούνται συνήθως σε μια πραγματική εικόνα υπερηχογραφήματος καρωτίδας με καρωτιδική πλάκα.



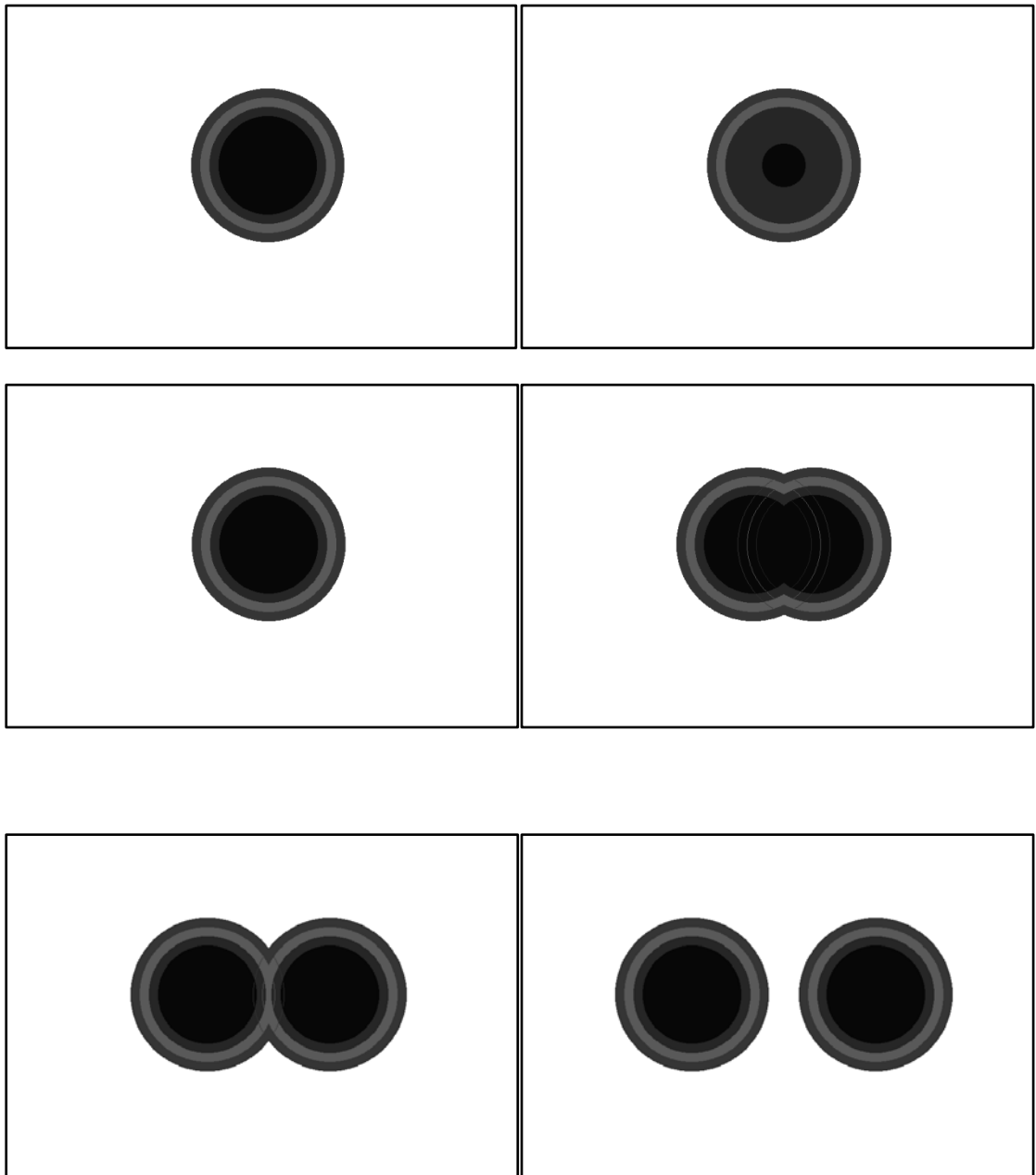
Εικόνα 5.1 – 2Δ πρότυπο τεχνητής καρωτίδας



Εικόνα 5.2 – Βασική ανατομία της τεχνητής καρωτίδας

5.1.1 Δημιουργία εικόνων

Για την δημιουργία ενός μοντέλου τεχνητής τρισδιάστατης καρωτίδας έπρεπε να δημιουργηθούν οι εικόνες βάση των οποίων θα κτιζόταν αυτό το μοντέλο. Με την χρήση του λογισμικού Matlab δημιουργήθηκαν 120 εικόνες. Το πλήθος των εικόνων επιλέχτηκε με βάση τις ικανότητες εκχώρησης μνήμης του ηλεκτρονικού υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε. Ο κώδικας για την δημιουργία των εικόνων επισυνάπτεται στο παράρτημα [B].



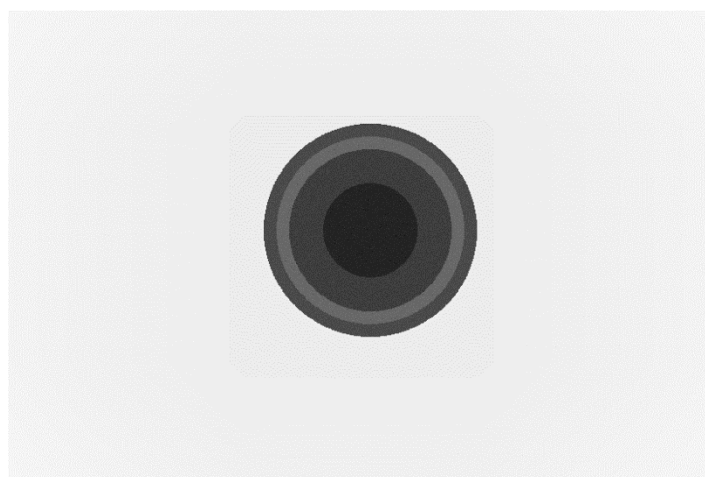
Εικόνα 5.3 – Πιο πάνω παρουσιάζονται με σειρά οι εικόνες 1, 40, 80, 90, 100, 110
μετά από την δημιουργία τους

5.1.2 Περαιτέρω επεξεργασία εικόνων

Για να είναι όσο το δυνατό πιο αληθοφανείς οι τεχνητές εικόνες ως προς την ανατομία και τις φωτεινότητες τους, έπρεπε να αποφευχθεί η πλήρης ομοιογένεια των pixels στην εκάστοτε περιοχή. Δηλαδή έστω το τοίχωμα της καρωτιδικής πλάκας, το οποίο έχει μέση τιμή φωτεινότητας 15, το κάθε εικονοστοιχείο αυτού του τοιχώματος θα πρέπει να έχει μια τυχαία τιμή φωτεινότητας με κάποια απόκλιση από την μέση τιμή, π.χ. $15-5 < \text{φωτεινότητα τυχαίου pixel} < 15+5$. Αυτό επιτεύχθηκε δημιουργώντας μια μάσκα η οποία τοποθετούμενη πάνω από την εκάστοτε περιοχή ενδιαφέροντος προσθέτει ή αφαιρεί στο κάθε εικονοστοιχείο μια τυχαία τιμή επηρεάζοντας έτσι την φωτεινότητά του αλλά κρατώντας την εντός της τυπικής απόκλισης από την μέση τιμή που ορίστηκε.

Στα πλαίσια της προσπάθειας δημιουργίας όσο το δυνατό πιο αληθοφανούς τεχνητών εικόνων προστέθηκε επίσης στην κάθε εικόνα θόρυβος speckle, ο οποίος είναι ένα συνηθισμένο και βασικό χαρακτηριστικό των πραγματικών εικόνων υπερηχογραφήματος.

Ο κώδικας Matlab για τις πιο πάνω επεξεργασίες επισυνάπτεται στο παράρτημα **B.2.**



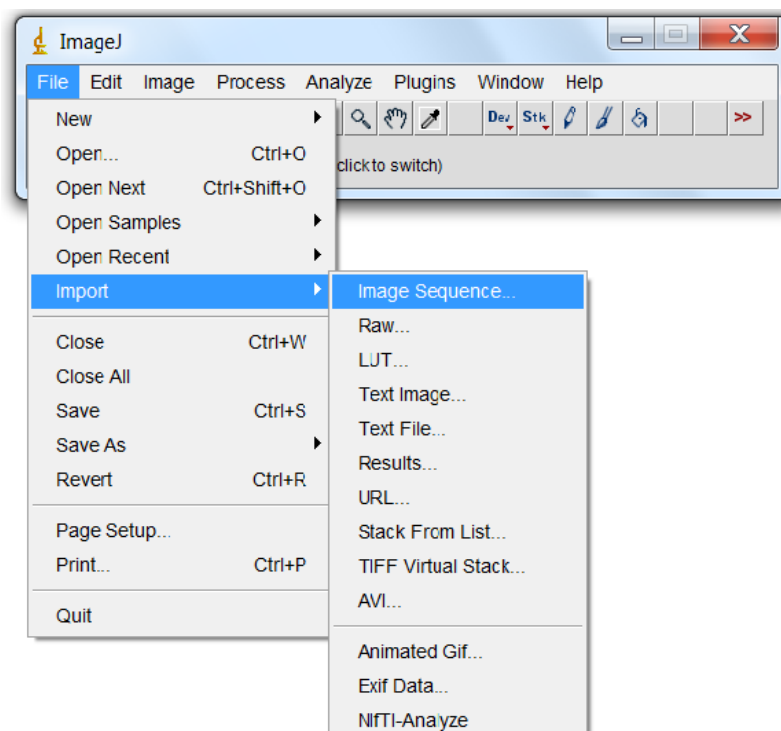
Εικόνα 5.4 – Η εικόνα 35 μετά από την προσθήκη της τυπικής απόκλισης και του speckle θορύβου.

5.1.3 Σειριοποίηση και μεγέθυνση εικόνων

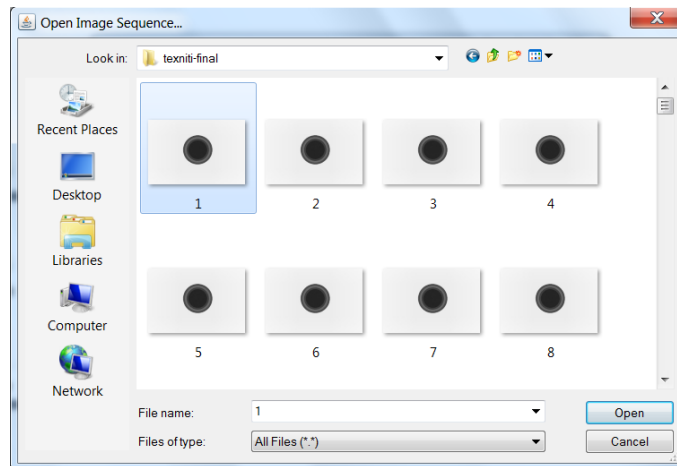
Τελικό βήμα στην επεξεργασία των εικόνων ήταν σειριοποίηση του περιεχόμενου φακέλων εικόνων σε δέσμες εικόνων, κάνοντας με αυτό τον τρόπο συμβατά τα αποτελέσματα εξόδου της Matlab με τις απαιτήσεις για την μορφή των δεδομένων εισόδου του 3D Slicer. Αυτό έγινε με τη χρήση του εργαλείου ImageJ και ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα.

5.1.3.1 Εισαγωγή σειράς εικόνων

Σε αυτό το βήμα επιλέγεται η πρώτη εικόνα της ακολουθίας.



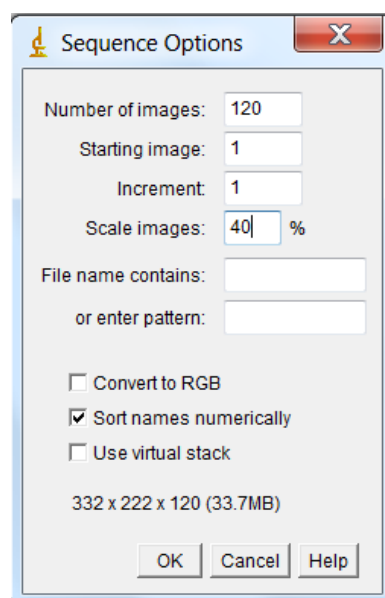
Εικόνα 5.5 – Το παράθυρο διεπαφής για την εισαγωγή ακολουθίας εικόνων στο ImageJ



Εικόνα 5.6 – Το παράθυρο διεπαφής για την εισαγωγή ακολουθίας εικόνων στο ImageJ

5.1.3.2 Καθορισμός χαρακτηριστικών της δέσμης εικόνων

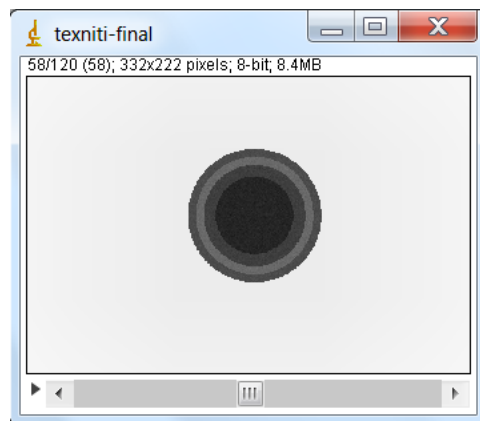
Σε αυτό το βήμα καθορίζονται τα χαρακτηριστικά τα οποία θα διέπουν ολόκληρη την ακολουθία εικόνων. Μερικά από αυτά είναι το πλήθος εικόνων της ακολουθίας, η πρώτη εικόνα και ο συντελεστής μεγέθυνσης. Έχει επιλεγθεί συντελεστής σμίκρυνσης 40% για περεταίρω εξοικονόμηση μνήμης κατά την δημιουργία και επεξεργασία του τρισδιάστατου μοντέλου.



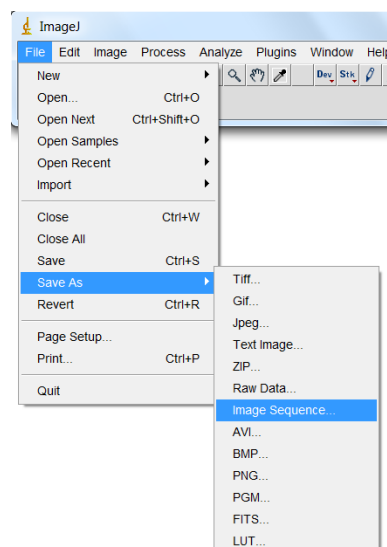
Εικόνα 5.7 – Το παράθυρο διεπαφής για την εισαγωγή επεξεργασία ακολουθίας εικόνων στο ImageJ

5.1.3.3 Οπτικοποίηση και αποθήκευση της δέσμης εικόνων

Μετά από τον καθορισμό των χαρακτηριστικών της δέσμης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία μπορούν να αναθεωρηθούν και ακολούθως να αποθηκευτούν ως δέσμη εικόνων.



Εικόνα 5.8 – Το παράθυρο διεπαφής για την οπτικοποίηση ακολουθίας εικόνων στο ImageJ



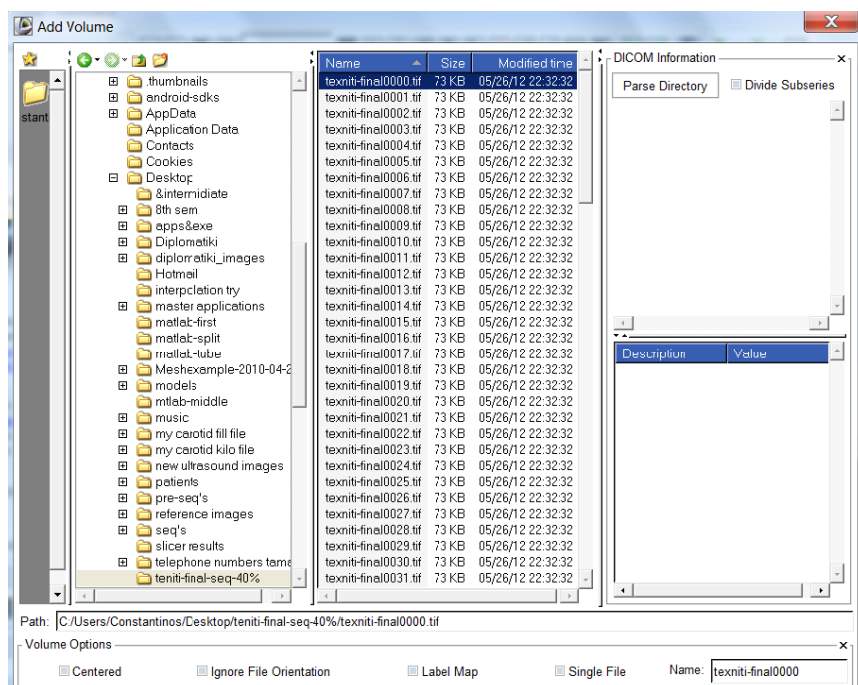
Εικόνα 5.9 – Το παράθυρο διεπαφής για την αποθήκευση ακολουθίας εικόνων στο ImageJ

5.1.4 3D Slicer – Εισαγωγή ακολουθίας εικόνων, κατάτμηση και ανοικοδόμηση 3Δ μοντέλου

Το εργαλείο 3D Slicer χρησιμοποιείται για την εισαγωγή ακολουθίας εικόνων, κατάτμηση και ανοικοδόμηση 3Δ μοντέλου. Στην παρούσα φάση το εργαλείο χρησιμοποιείται για την δημιουργία, κατάτμηση και μελέτη μιας τεχνητής 3Δ καρωτίδας και καρωτιδικής πλάκας.

5.1.4.1 3D Slicer – Εισαγωγή ακολουθίας εικόνων

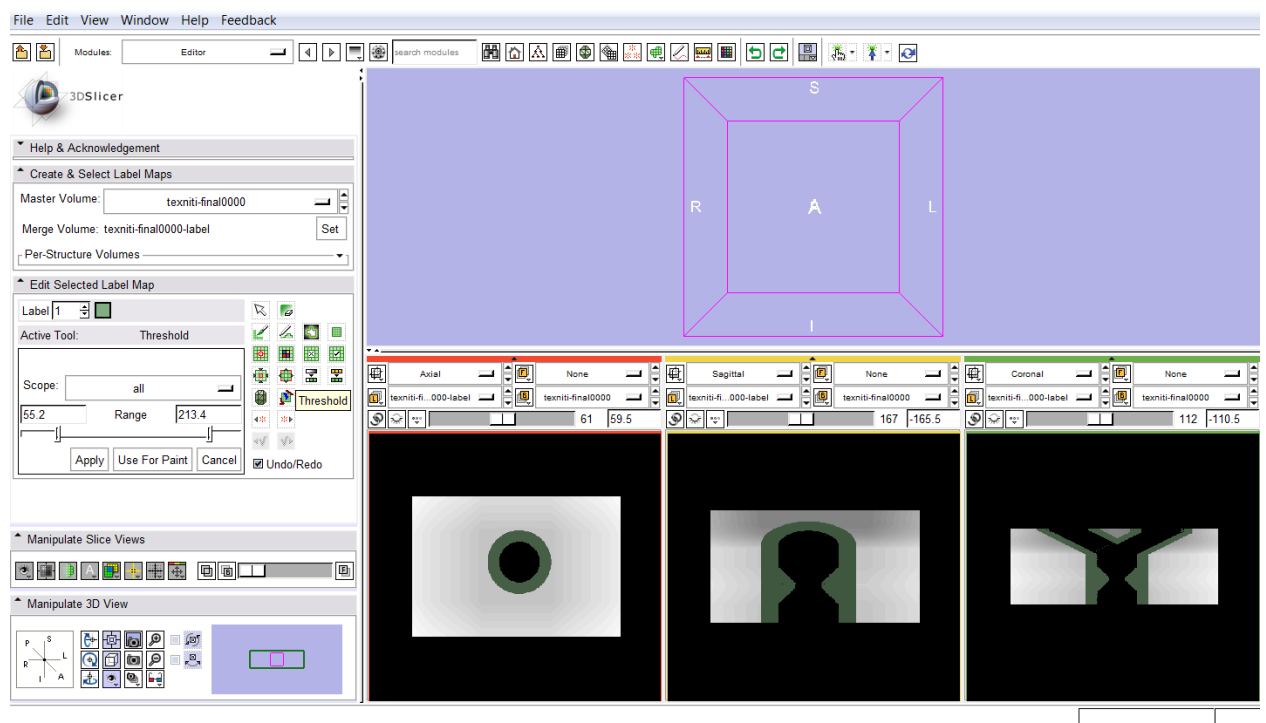
Η ακολουθία εικόνων μπορεί να φορτωθεί στο εργαλείο 3D Slicer επιλέγοντας από την κύρια μπάρα της διεπαφής File->AddVolume. Στη συνέχεια επιλέγεται ο φάκελος ο οποίος περιέχει την ακολουθία και επιβεβαιώνεται η φόρτωσή της.



Εικόνα 5.10 – Το παράθυρο διεπαφής για την εισαγωγή ακολουθίας εικόνων στο Slicer

5.1.4.2 3D Slicer – Δημιουργία 3Δ μοντέλου καρωτίδας

Όταν φορωθεί η ακολουθία εικόων ακολουθεί η δημιουργία του 3 Δ μοντέλου ολόκληρης της καρωτίδας. Για την επίτευξη αυτής της εργασίας επιλέγεται η λειτουργική μονάδα modules->editor και εντός του editor επιλέγεται το εικονίδιο threshold. Η επιλογή κατώτατου και ανώτατου σκαλοπατιού επιτρέπουν την απομόνωση της καρωτίδας. Αυτή η επιλογή μπορεί να γίνει δοκιμάζοντας διάφορες τιμές καθώς η κάθε αλλαγή απεικονίζεται αυτόματα στα πλαίσια εικόνας του 3D Slicer. Μετά από μερικές εμπειρικές δοκιμές βρέθηκε ότι το κατώτατο σκαλοπάτι φωτεινότητας για την τεχνητή καρωτίδα είναι 55.2 και το ανώτατο 213.4. Επιλέγοντας αυτές τις τιμές δημιουργείτε ένα labelmap που στην ουσία είναι ένας χάρτης των εικόνων με επισημασμένα τα εικονοστοιχεία τα οποία εμπίπτουν εντός του threshold που ορίστηκε. Τέλος δίδεται η επιλογή label η οποία ορίζει την τιμή του χρωματισμού του labelmap.



Εικόνα 5.11 – Επιλογή threshold

Ακολούθως το labelmap που έχει δημιουργηθεί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία του μοντέλου που βάση των περιοχών που επισημαίνονται στο labelmap. Για την επίτευξη αυτής της εργασίας επιλέγεται η λειτουργική μονάδα `modelmaker`. Στο παράθυρο που εμφανίζεται συμπληρώνονται οι κατάλληλες τιμές για 3D μοντέλο ως όπως παρουσιάζονται πιο κάτω:

Parameterset: Modelmaker

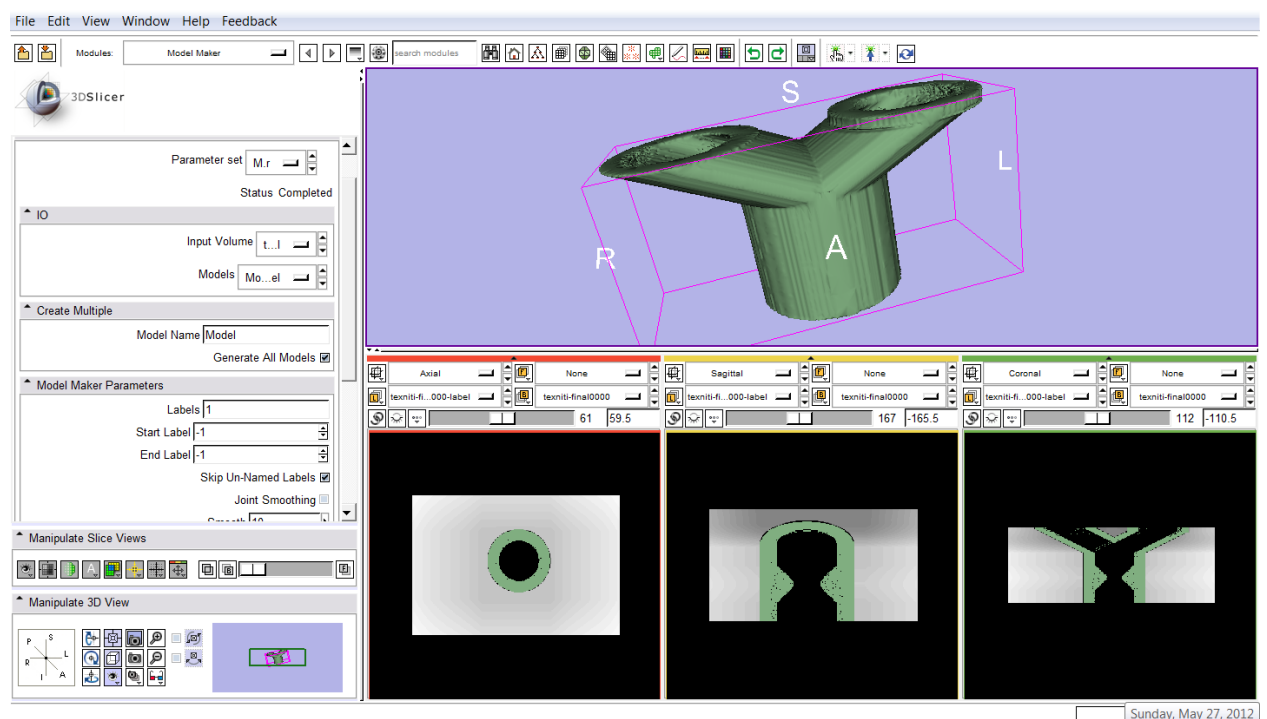
InputVolume: Labelmapvolume (η εικόνα που δημιουργήθηκε στην προηγούμενη λειτουργική μονάδα όπως αυτή έχει περιγραφεί)

Models: Model Maker Model

Model Name: Model x

Labels: number (η τιμή αντιπροσωπεύει το χρώμα που επιλέχτηκε στο χρωματισμό του Labelmap)

Με την ολοκλήρωση της εργασίας εμφανίζεται στο τρισδιάστατο παράθυρο του 3D Slicer, το 3D μοντέλο της τεχνητής καρωτίδας.



Εικόνα 5.12 – Το παράθυρο διεπαφής για την δημιουργία 3D μοντέλου στο Slicer

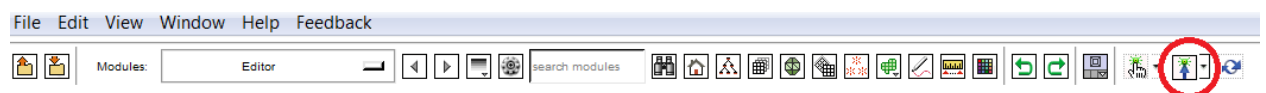
Μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας της καρωτίδας μπορούν να εφαρμοστούν οι αλγόριθμοι κατάτμησης για την απομόνωση της καρωτιδικής πλάκας.

5.1.4.3 3DSlicer – FastMarchingSegmentation

Για την επίτευξη αυτής της εργασίας επιλέγεται η λειτουργική μονάδα `modules->Segmentation->FastMarchingSegmentation`. Στο παράθυρο που εμφανίζεται παρουσιάζονται οι παράμετροι που πρέπει να οριστούν και αυτοί έχουν ως εξής:

Inputvolume: Η πρώτη εικόνα της ακολουθίας εικόνων η οποία παρέχεται ως επιλογή με το που φορτώνεται η ακολουθία.

Inputseeds: Μια λίστα από σημεία αρχικοποίησης όπως αυτά περιγράφονται στο κεφάλαιο 3.3.2. Η δημιουργία των σημείων γίνεται μέσω του κουμπιού `addseedpoint` το οποίο βρίσκεται στην βασική μπάρα. Στην συνέχεια πατώντας οπουδήποτε εντός των 2 Δ ή 3 Δ παράθυρων του Slicer δημιουργείται ένα σημείο με τις αντίστοιχες συντεταγμένες και χαρακτηριστικά του εικονοστοιχείου με το οποίο αντιστοιχεί.



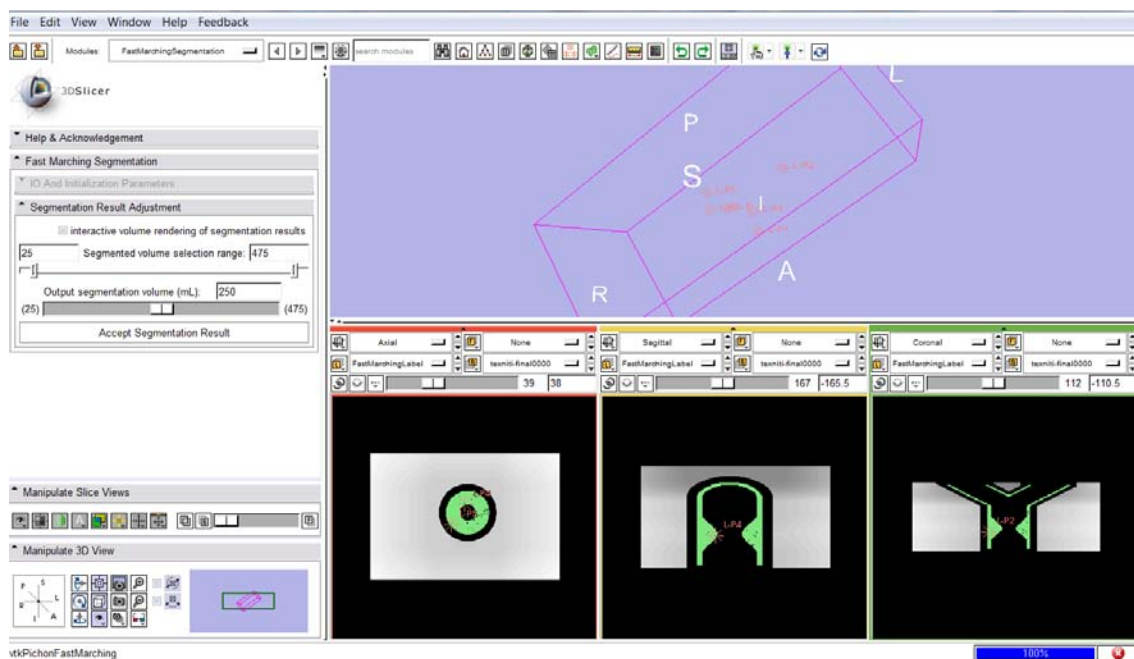
Εικόνα 5.13 – Δημιουργία Fiducials

Outputvolume: `createnewvolume` (το νέο labelmap το οποίο θα δημιουργηθεί)

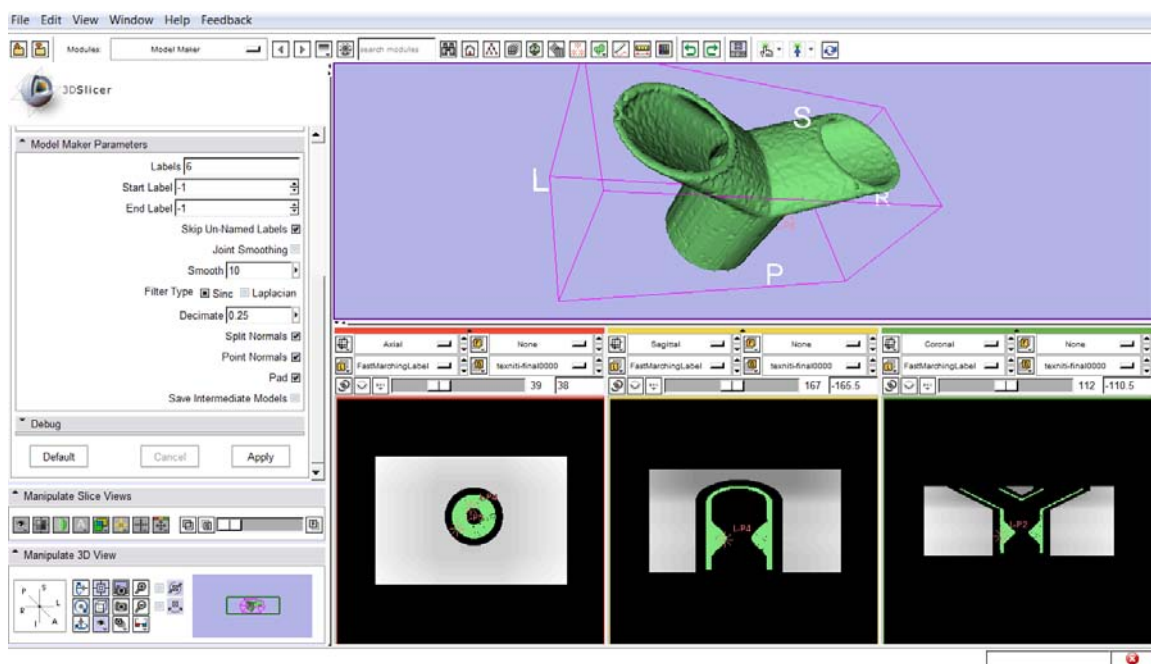
TargetsegmentedVolume (mL): το μέγεθος του όγκου το οποίο αναμένεται σε χιλιόλιτρα.

OutputLabelValue: η τιμή του χρωματισμού του νέου labelmap.

Μετά λοιπόν από την συμπλήρωση των τιμών για τις παραμέτρους επιλέγεται το `RunSegmentation`, και με την ολοκλήρωση του αλγορίθμου εμφανίζεται το παράθυρο για την προσαρμογή και επιλογή του τελικού όγκου του αποτελέσματος. Για την τεχνητή καρωτίδα ο όγκος ολόκληρης της καρωτιδικής πλάκας είναι 242.4 χιλιόλιτρα. Τέλος επιλέγεται το `AcceptSegmentationResult` και το νέο labelmap μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία 3Δ μοντέλου της καρωτιδικής πλάκας επαναλαμβάνοντας τα βήματα της διαδικασίας 5.1.4.2.



Εικόνα 5.14 – Το αποτέλεσμα-Labelmap που προκύπτει από την χρήση του αλγόριθμου Fastmarchingsegmentation για την κατάτμηση της καρωτιδικής πλάκας.



Εικόνα 5.15 – Το μοντέλο της καρωτιδικής πλάκας που προκύπτει μετά την εισαγωγή του αποτελέσματος του αλγόριθμου Fastmarchingsegmentation στην εργασία modelmaker.

5.1.4.4 3D Slicer – Simple Region Growing Segmentation

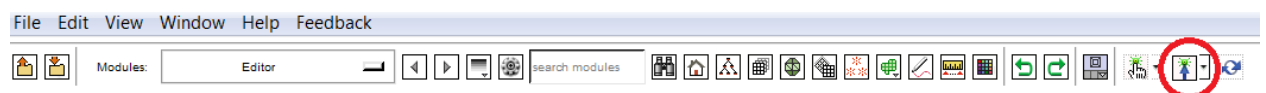
Για την επίτευξη αυτής της εργασίας επιλέγεται η λειτουργική μονάδα `modules->Segmentation->SimpleRegionGrowing`. Στο παράθυρο που εμφανίζεται παρουσιάζονται οι παράμετροι που πρέπει να οριστούν και αυτοί έχουν ως εξής:

Parameter set: Simple region growing

Number of iterations: το πλήθος επαναλήψεων του αλγορίθμου

Multiplier: το εύρος της τυπικής απόκλισης που θα χρησιμοποιηθεί

Seeds: Μια λίστα από σημεία αρχικοποίησης όπως αυτά περιγράφονται στο κεφάλαιο 3.3.1. Η δημιουργία των σημείων γίνεται μέσω του κουμπιού `addseedpoint` το οποίο βρίσκεται στην βασική μπάρα. Στην συνέχεια πατώντας οπουδήποτε εντός των 2D ή 3D παράθυρων του Slicer δημιουργείται ένα σημείο με τις αντίστοιχες συντεταγμένες και χαρακτηριστικά του εικονοστοιχείου με το οποίο αντιστοιχεί.

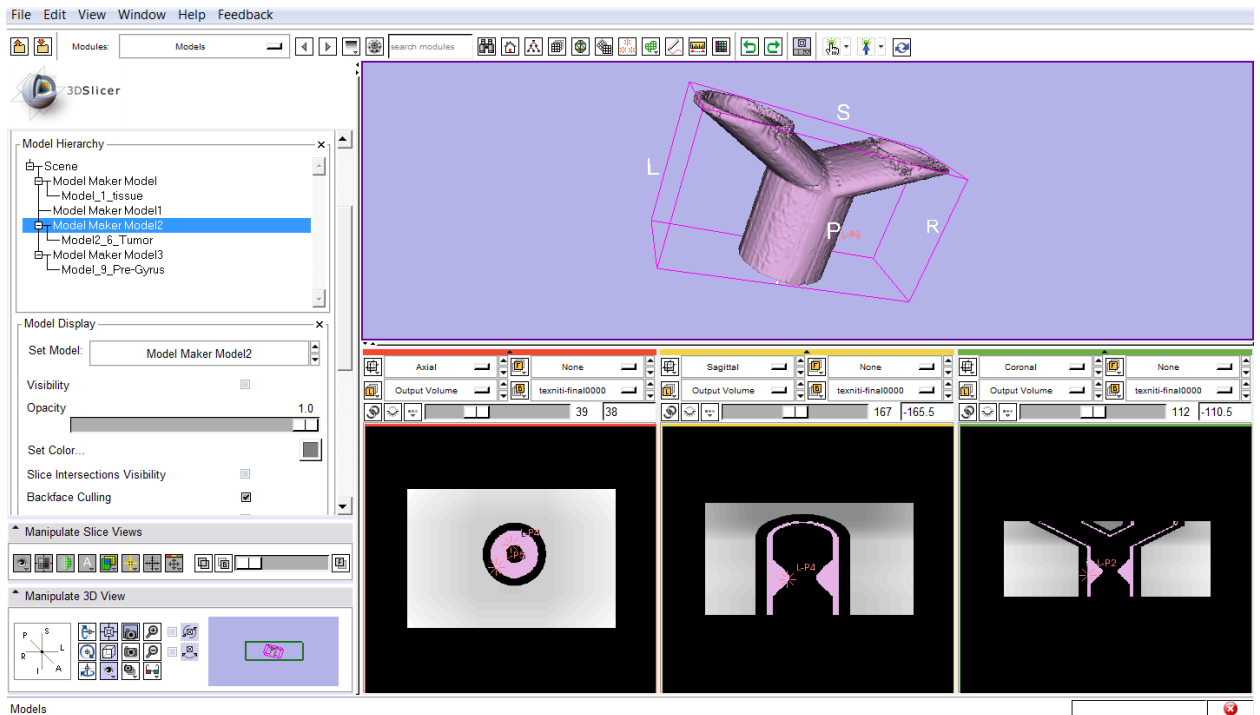


Εικόνα 5.16 – Δημιουργία Fiducials

Input volume: Η πρώτη εικόνα της ακολουθίας εικόνων η οποία παρέχεται ως επιλογή με το που φορτώνεται η ακολουθία.

Output volume: `createnewvolume` (το νέο labelmap το οποίο θα δημιουργηθεί)

Μετά λοιπόν από την συμπλήρωση των τιμών για τις παραμέτρους επιλέγεται το `Apply`, και με την ολοκλήρωση του αλγορίθμου δημιουργείται το νέο labelmap(`outputvolume`) μπορεί το οποίο να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία 3D μοντέλου της καρωτιδικής πλάκας επαναλαμβάνοντας τα βήματα της διαδικασίας 5.1.4.2.



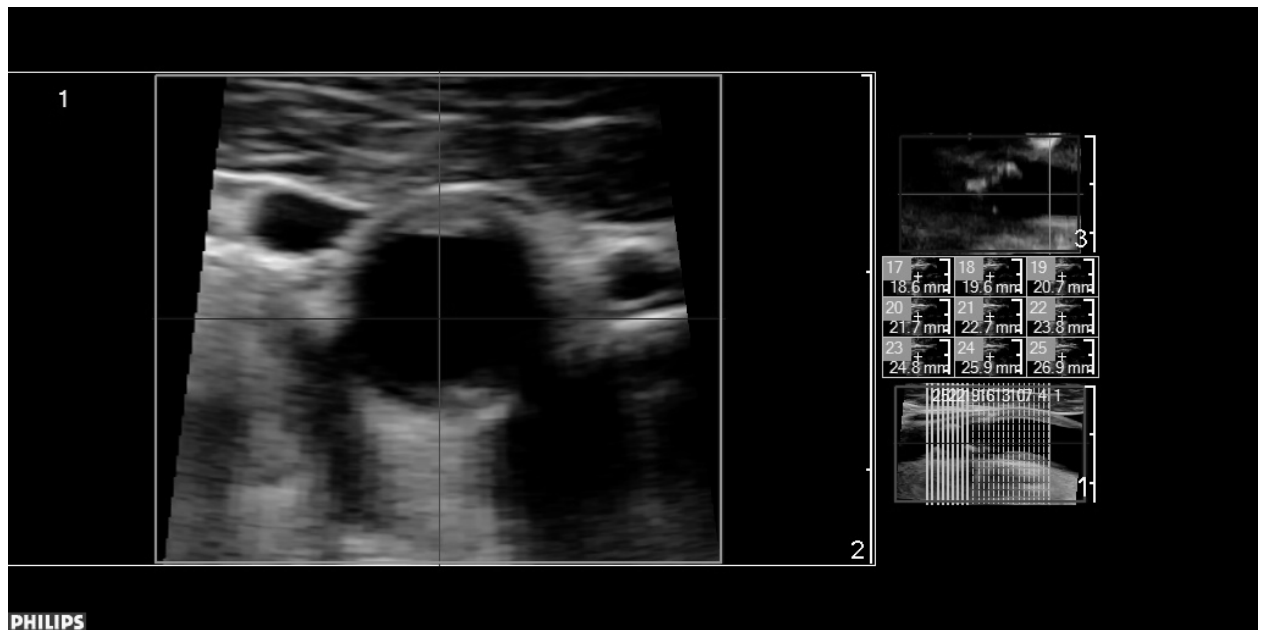
Εικόνα 5.17 – Το μοντέλο της καρωτιδικής πλάκας που προκύπτει μετά την εισαγωγή του αποτελέσματος του αλγόριθμου SimpleRegion στην εργασία modelmaker.

5.2 Πραγματική καρωτίδα

Η πραγματική καρωτίδα δημιουργήθηκε από πραγματικές εικόνες υπερηχογραφημάτων από ασθενείς οι οποίοι πάσχουν από στένωση της καρωτικής αρτηρίας λόγω καρωτιδικής πλάκας. Έχουν παραχωρηθεί από τον Δρ. Ανδρέα Νικολαΐδη εικόνες από τα υπερηχογραφήματα τριών ασθενών, όπου η κάθε δέσμη αποτελείται από 25 εικόνες.

Λόγο της μορφής αλλά και του μικρο ύπληθους των εικόνων τις κάθε δέσμης θεωρήθηκε αναγκαία η δημιουργία και μιας τεχνητής καρωτίδας ούτως ώστε να μπορούν να επικυρωθούν καλύτερα τα αποτελέσματα της κάθε διαδικασίας.

Τέλος παρότι μελετήθηκαν και οι εικόνες όλων των ασθενών, βρέθηκε ότι ήταν όμοιες σε ένα πολύ μεγάλο βαθμό και έτσι παρακάτω παρουσιάζεται η επεξεργασία και εξαγωγή αποτελεσμάτων μόνο για έναν ασθενή και τα οποία θεωρούνται αντιπροσωπευτικά και για τους υπόλοιπους.



Εικόνα 5.18 - Η αυθεντική εικόνα 1 από την υπό μελέτη περίπτωση

5.2.1 Επεξεργασία εικόνων

Όπως παρατηρείται και στην εικόνα 5.2.1 οι εικόνες που παραχωρήθηκαν εμπεριείχαν και επιπλέον άχρηστη για την παρούσα εργασία πληροφορία, όπως τα επιπλέον πλαίσια στα δεξιά και τα διάφορα περιγράμματα. Για αυτόν το λόγο ήταν αναγκαία η επεξεργασία τους η οποία έγινε με την χρήση του εργαλείου Matlab.

Καταρχάς οι εικόνες μετατράπηκαν σε grayscale (φωτεινότητες 0-255), και ακολούθως αποκόπηκαν όλες με βάση ενός κοινού πλαισίου. Ο κώδικας για την παραπάνω επεξεργασία των εικόνων επισυνάπτεται στο παράρτημα [B].



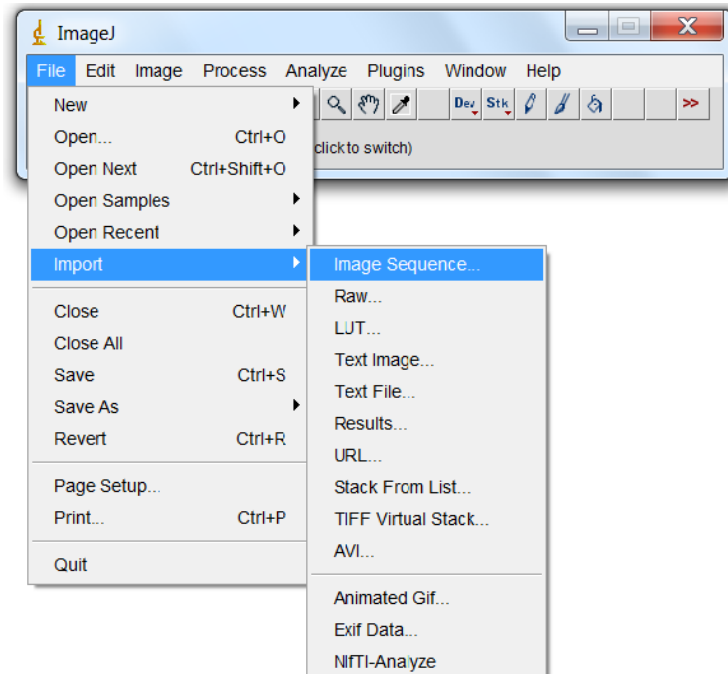
Εικόνα 5.19 - εικόνα 1 από την υπό μελέτη περίπτωση μετά την επεξεργασία και αποκοπή

5.2.2 Σειριοποίηση και μεγέθυνση εικόνων

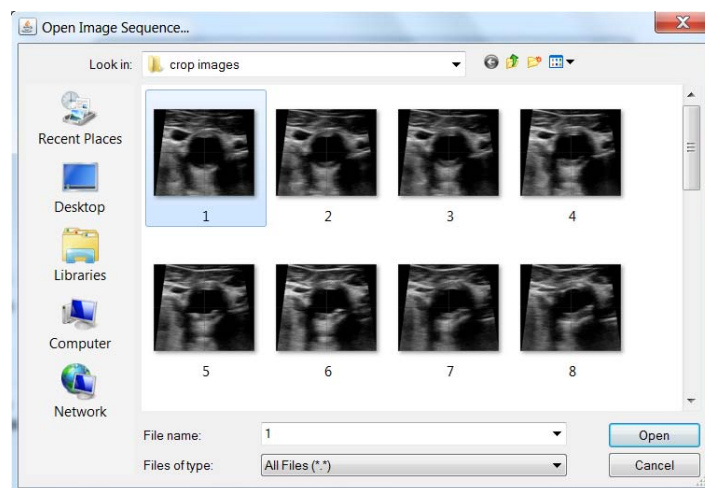
Τελικό βήμα στην επεξεργασία των εικόνων ήταν σειριοποίηση του περιεχόμενου φακέλων εικόνων σε δέσμες εικόνων, κάνοντας με αυτό τον τρόπο συμβατά τα αποτελέσματα εξόδου της Matlab με τις απαιτήσεις για την μορφή των δεδομένων εισόδου του 3D Slicer. Αυτό έγινε με τη χρήση του εργαλείου ImageJ και ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα.

5.2.2.1 Εισαγωγή σειράς εικόνων

Σε αυτό το βήμα επιλέγεται η πρώτη εικόνα της ακολουθίας.



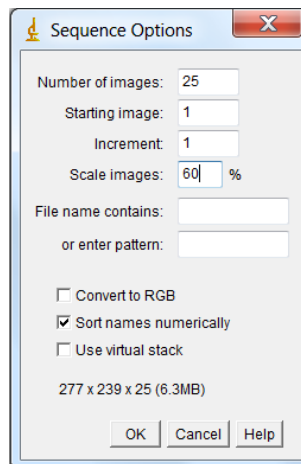
Εικόνα 5.20 – Το παράθυρο διεπαφής για την εισαγωγή ακολουθίας εικόνων στο ImageJ



Εικόνα 5.21 – Το παράθυρο διεπαφής για την εισαγωγή ακολουθίας εικόνων στο ImageJ

5.2.2.2 Καθορισμός χαρακτηριστικών της δέσμης εικόνων

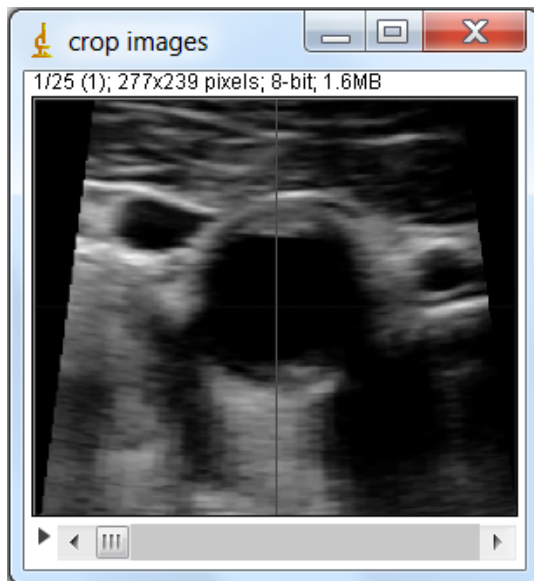
Σε αυτό το βήμα καθορίζονται τα χαρακτηριστικά τα οποία θα διέπουν ολόκληρη την ακολουθία εικόνων. Μερικά από αυτά είναι το πλήθος εικόνων της ακολουθίας, η πρώτη εικόνα και ο συντελεστής μεγέθυνσης. Έχει επιλεγθεί συντελεστής σμίκρυνσης 60% για περεταίρω εξοικονόμηση μνήμης κατά την δημιουργία και επεξεργασία του τρισδιάστατου μοντέλου.



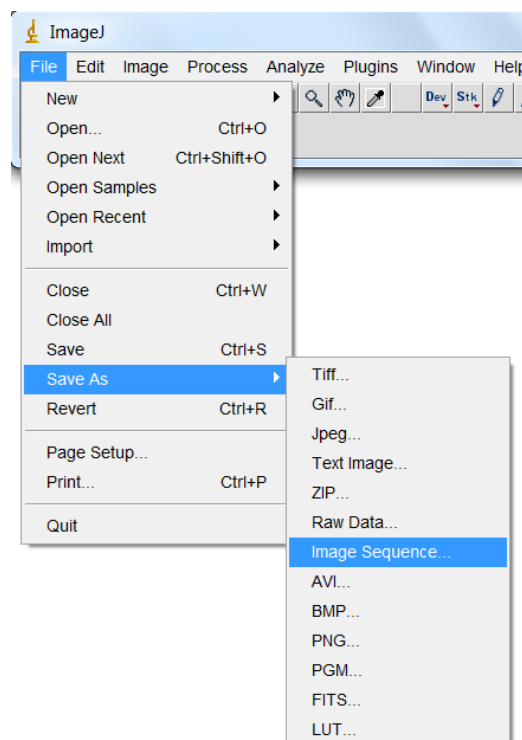
Εικόνα 5.22 – Το παράθυρο διεπαφής για την εισαγωγή επεξεργασία ακολουθίας εικόνων στο ImageJ

5.2.2.3 Οπτικοποίηση και αποθήκευση της δέσμης εικόνων

Μετά από τον καθορισμό των χαρακτηριστικών της δέσμης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία μπορούν να αναθεωρηθούν και ακολούθως να αποθηκευτούν ως δέσμη εικόνων.



Εικόνα 5.23 – Το παράθυρο διεπαφής για την οπτικοποίηση ακολουθίας εικόνων στο ImageJ



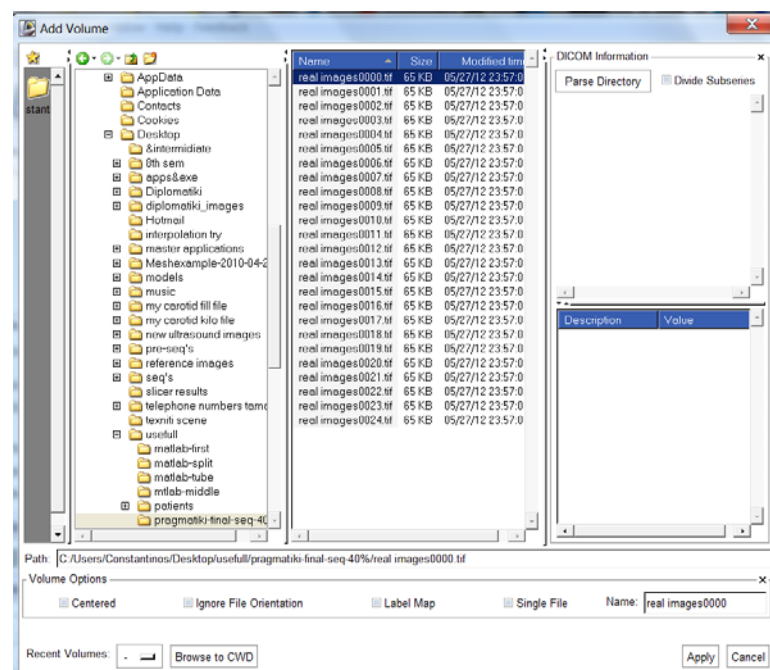
Εικόνα 5.24 – Το παράθυρο διεπαφής για την αποθήκευση ακολουθίας εικόνων στο ImageJ

5.2.3 3D Slicer – Εισαγωγή ακολουθίας εικόνων, κατάτμηση και ανοικοδόμηση 3Δ μοντέλου

Το εργαλείο 3D Slicer χρησιμοποιείται για την εισαγωγή ακολουθίας εικόνων, κατάτμηση και ανοικοδόμηση 3Δ μοντέλου. Στην παρούσα φάση το εργαλείο χρησιμοποιείται για την δημιουργία, κατάτμηση και μελέτη μιας πραγματικής 3Δ καρωτίδας και καρωτιδικής πλάκας.

5.2.3.1 3D Slicer – Εισαγωγή ακολουθίας εικόνων

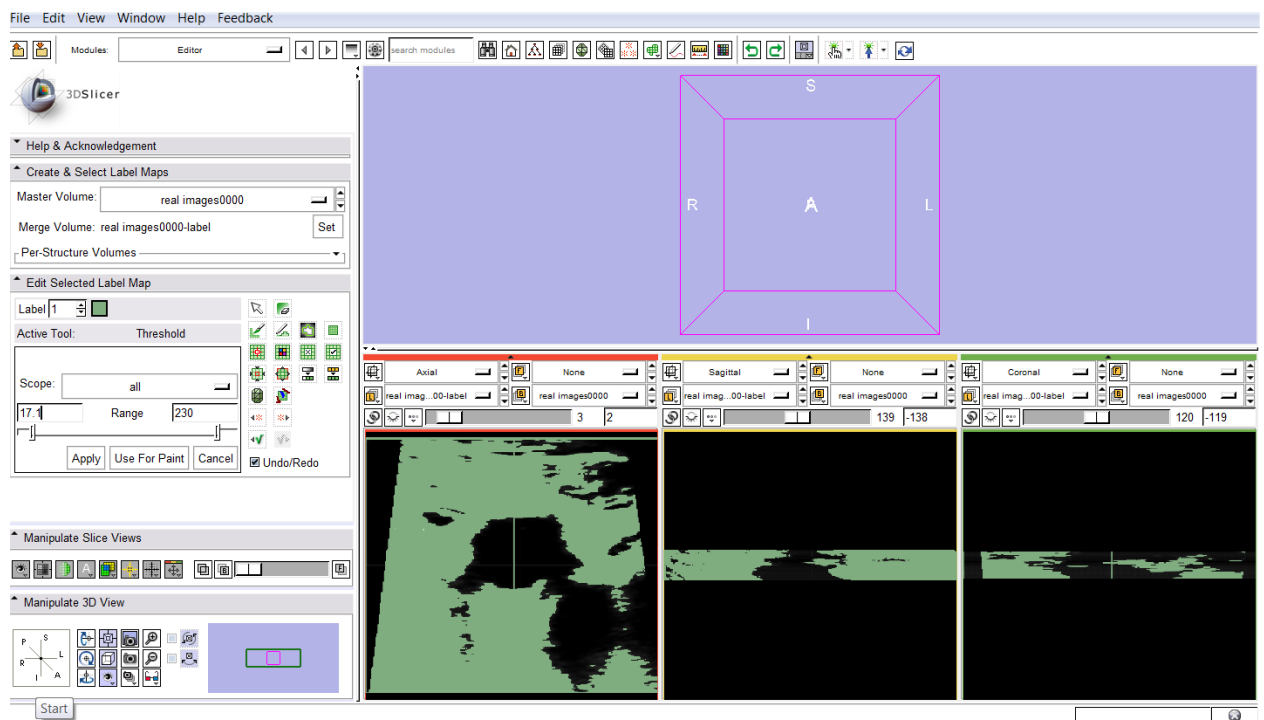
Η ακολουθία εικόνων μπορεί να φορτωθεί στο εργαλείο 3D Slicer επιλέγοντας από την κύρια μπάρα της διεπαφής File->AddVolume. Στη συνέχεια επιλέγεται ο φάκελος ο οποίος περιέχει την ακολουθία και επιβεβαιώνεται η φόρτωσή της.



Εικόνα 5.25 – Το παράθυρο διεπαφής για την εισαγωγή ακολουθίας εικόνων στο Slicer

5.2.3.2 3D Slicer – Δημιουργία 3Δ μοντέλου καρωτίδας

Όταν φορωθεί η ακολουθία εικόνων ακολουθεί η δημιουργία του 3 Δ μοντέλου ολόκληρης της καρωτίδας. Για την επίτευξη αυτής της εργασίας επιλέγεται η λειτουργική μονάδα modules->editor και εντός του editor επιλέγεται το εικονίδιο threshold. Η επιλογή κατώτατου και ανώτατου σκαλοπατιού επιτρέπουν την απομόνωση της καρωτίδας. Αυτή η επιλογή μπορεί να γίνει δοκιμάζοντας διάφορες τιμές καθώς η κάθε αλλαγή απεικονίζεται αυτόματα στα πλαίσια εικόνας του 3D Slicer. Μετά από μερικές εμπειρικές δοκιμές βρέθηκε ότι το κατώτατο σκαλοπάτι φωτεινότητας για την πραγματική καρωτίδα είναι 17.1 και το ανώτατο 230.0. Επιλέγοντας αυτές τις τιμές δημιουργείτε ένα labelmap που στην ουσία είναι ένας χάρτης των εικόνων με επισημασμένα τα εικονοστοιχεία τα οποία εμπίπτουν εντός του threshold που ορίστηκε. Τέλος δίδεται η επιλογή label η οποία ορίζει την τιμή του χρωματισμού του labelmap.



Εικόνα 5.26 – Επιλογή threshold

Ακολουθώντας το labelmap που έχει δημιουργηθεί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία του μοντέλου που βάση των περιοχών που επισημαίνονται στο labelmap. Για την επίτευξη αυτής της εργασίας επιλέγεται η λειτουργική μονάδα `models>modelmaker`. Στο παράθυρο που εμφανίζεται συμπληρώνονται οι κατάλληλες τιμές για 3D μοντέλο ως όπως παρουσιάζονται πιο κάτω:

Parameterset: Modelmaker

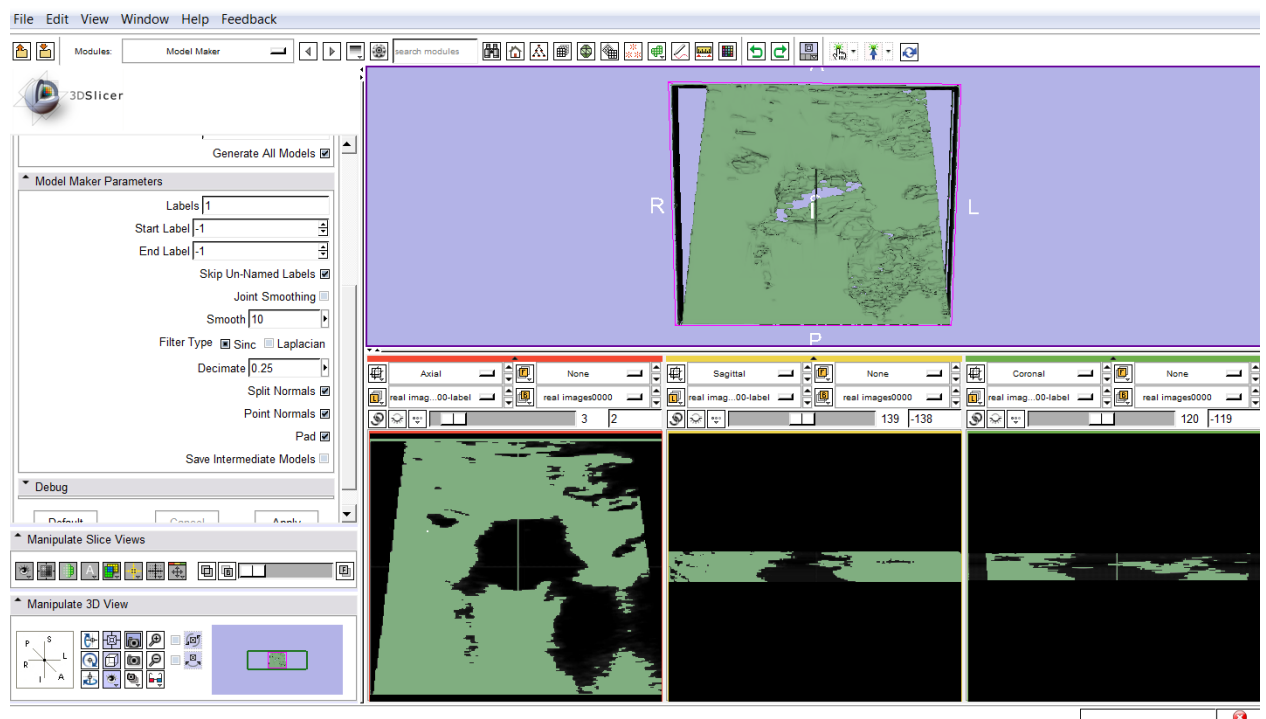
InputVolume: Labelmapvolume (η εικόνα που δημιουργήθηκε στην προηγούμενη λειτουργική μονάδα όπως αυτή έχει περιγραφεί)

Models: Model Maker Model

Model Name: Model x

Labels: number (η τιμή αντιπροσωπεύει το χρώμα που επιλέχτηκε στο χρωματισμό του Labelmap)

Με την ολοκλήρωση της εργασίας εμφανίζεται στο τρισδιάστατο παράθυρο του 3D Slicer, το 3D μοντέλο της πραγματικής καρωτίδας.



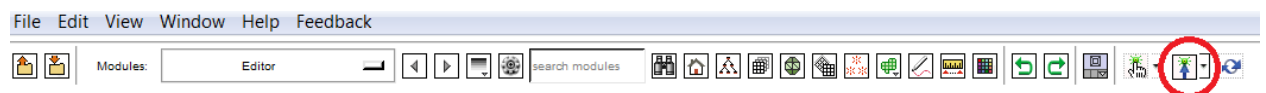
Εικόνα 5.27 – Μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας της καρωτίδας μπορούν να εφαρμοστούν οι αλγόριθμοι κατάτμησης για την απομόνωση της καρωτιδικής πλάκας.

5.2.3.3 3D Slicer – FastMarchingSegmentation

Για την επίτευξη αυτής της εργασίας επιλέγεται η λειτουργική μονάδα `modules->Segmentation->FastMarchingSegmentation`. Στο παράθυρο που εμφανίζεται παρουσιάζονται οι παράμετροι που πρέπει να οριστούν και αυτοί έχουν ως εξής:

Inputvolume: Η πρώτη εικόνα της ακολουθίας εικόνων η οποία παρέχεται ως επιλογή με το που φορτώνεται η ακολουθία.

Inputseeds: Μια λίστα από σημεία αρχικοποίησης όπως αυτά περιγράφονται στο κεφάλαιο 3.3.2. Η δημιουργία των σημείων γίνεται μέσω του κουμπιού `addseedpoint` το οποίο βρίσκεται στην βασική μπάρα. Στην συνέχεια πατώντας οπουδήποτε εντός των 2Δ ή 3Δ παράθυρων του Slicer δημιουργείται ένα σημείο με τις αντίστοιχες συντεταγμένες και χαρακτηριστικά του εικονοστοιχείου με το οποίο αντιστοιχεί. Για την πραγματική καρωτίδα τα σημεία που δημιουργήθηκαν είχαν φωτεινότητα κοντά στο 150 και αυτό γιατί περνώντας πάνω από την πλάκα στα 2Δ παράθυρα αυτή παρουσιαζόταν αυτή η τιμή ως φωτεινότητα φόντου.

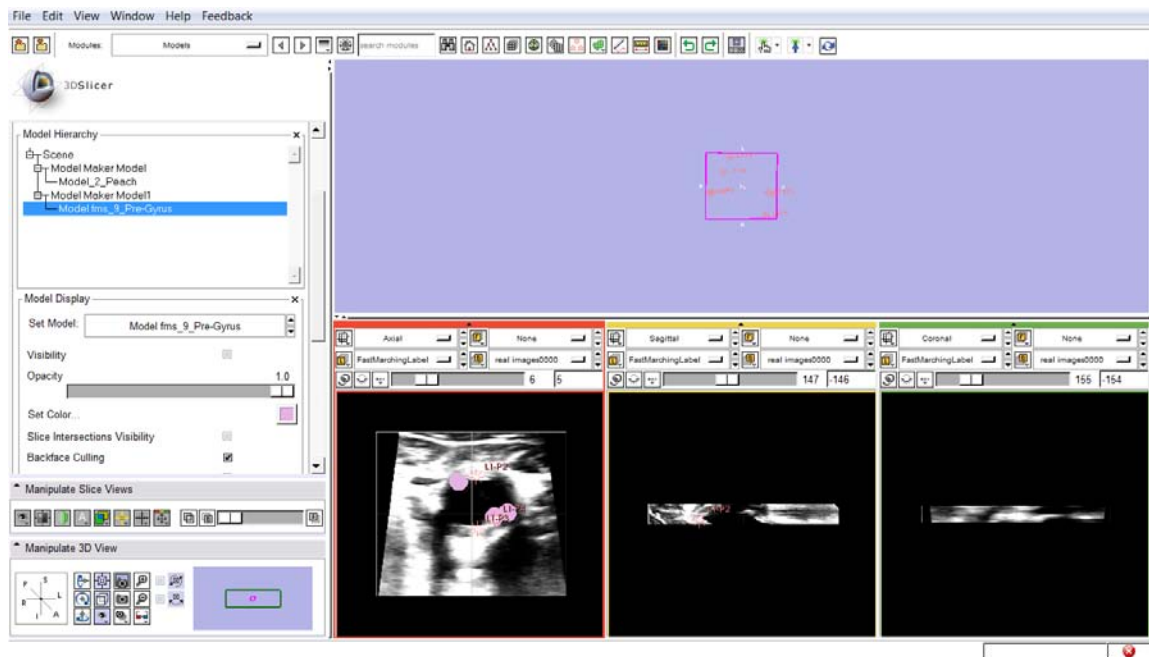


Outputvolume: `createnewvolume` (το νέο `labelmap` το οποίο θα δημιουργηθεί)

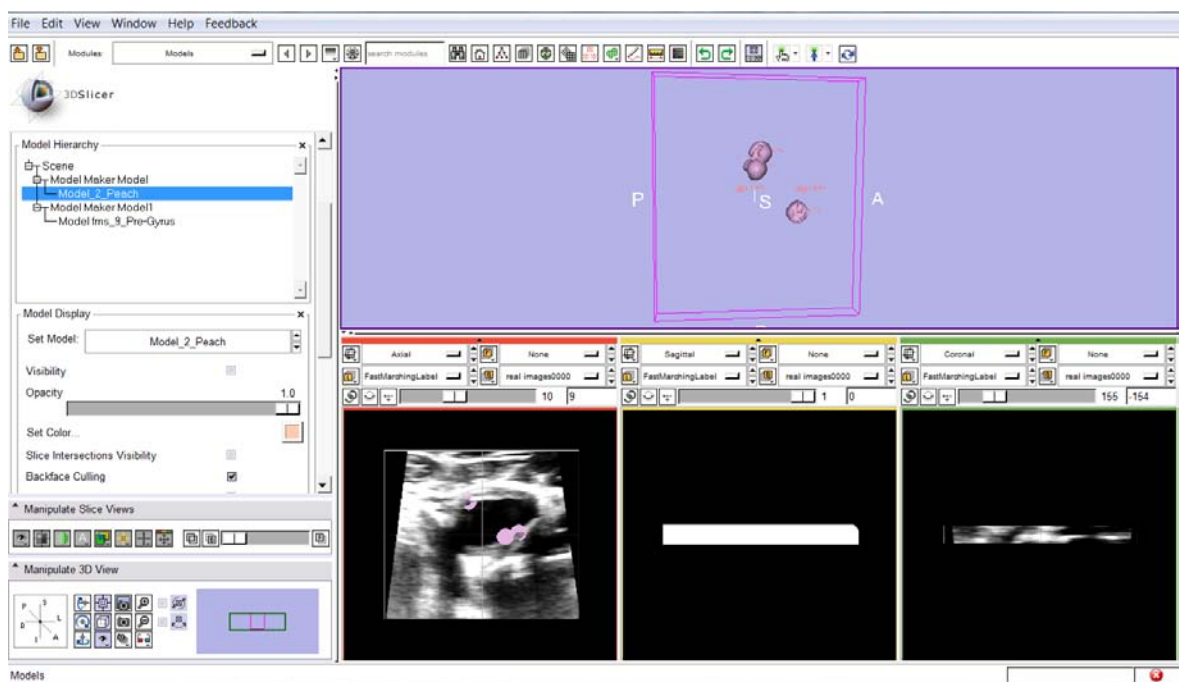
TargetsegmentedVolume (mL): το μέγεθος του όγκου το οποίο αναμένεται σε χιλιόλιτρα.

OutputLabelValue: η τιμή του χρωματισμού του νέου `labelmap`.

Μετά λοιπόν από την συμπλήρωση των τιμών για τις παραμέτρους επιλέγεται το `RunSegmentation`, και με την ολοκλήρωση του αλγορίθμου εμφανίζεται το παράθυρο για την προσαρμογή και επιλογή του τελικού όγκου του αποτελέσματος. Για την πραγματική καρωτίδα ο όγκος ολόκληρης της καρωτιδικής πλάκας είναι 11.5 χιλιόλιτρα. Τέλος επιλέγεται το `AcceptSegmentationResult` και το νέο `labelmap` μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία 3 Δ μοντέλου της καρωτιδικής πλάκας επαναλαμβάνοντας τα βήματα της διαδικασίας 5.1.4.2.



Εικόνα 5.28 – Το αποτέλεσμα-Labelmap που προκύπτει από την χρήση του αλγόριθμου Fastmarchingsegmentation για την κατάντηση της καρωτιδικής πλάκας.



Εικόνα 5.29 – Το μοντέλο της καρωτιδικής πλάκας που προκύπτει μετά την εισαγωγή του αποτελέσματος του αλγόριθμου Fastmarchingsegmentation στην εργασία modelmaker.

5.2.3.4 3D Slicer – Simple Region Growing Segmentation

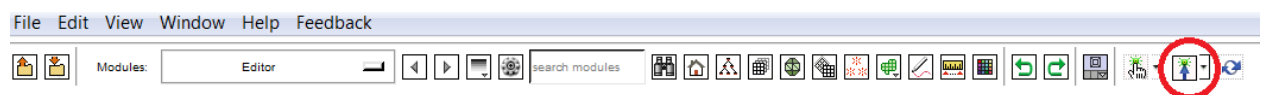
Για την επίτευξη αυτής της εργασίας επιλέγεται η λειτουργική μονάδα `modules->Segmentation->SimpleRegionGrowing`. Στο παράθυρο που εμφανίζεται παρουσιάζονται οι παράμετροι που πρέπει να οριστούν και αυτοί έχουν ως εξής:

Parameter set: Simple region growing

Number of iterations: 5 το πλήθος επαναλήψεων του αλγορίθμου

Multiplier: 1.2 το εύρος της τυπικής απόκλισης που θα χρησιμοποιηθεί

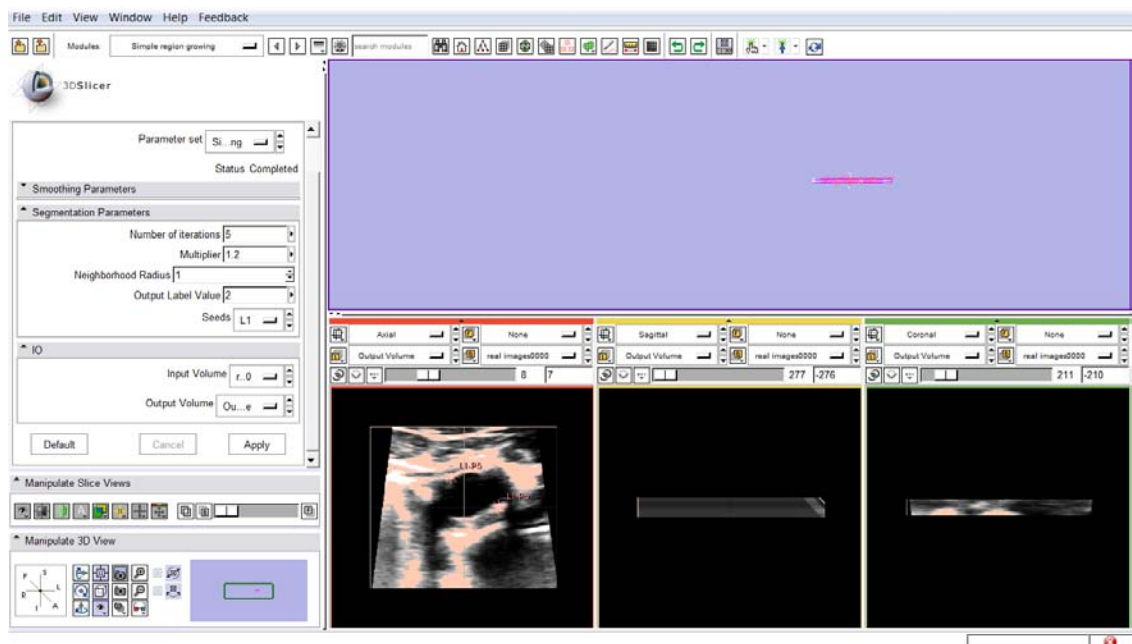
Seeds: Μια λίστα από σημεία αρχικοποίησης όπως αυτά περιγράφονται στο κεφάλαιο 3.3.1. Η δημιουργία των σημείων γίνεται μέσω του κουμπιού `addseedpoint` το οποίο βρίσκεται στην βασική μπάρα. Στην συνέχεια πατώντας οπουδήποτε εντός των 2D ή 3D παράθυρων του Slicer δημιουργείται ένα σημείο με τις αντίστοιχες συντεταγμένες και χαρακτηριστικά του εικονοστοιχείου με το οποίο αντιστοιχεί.



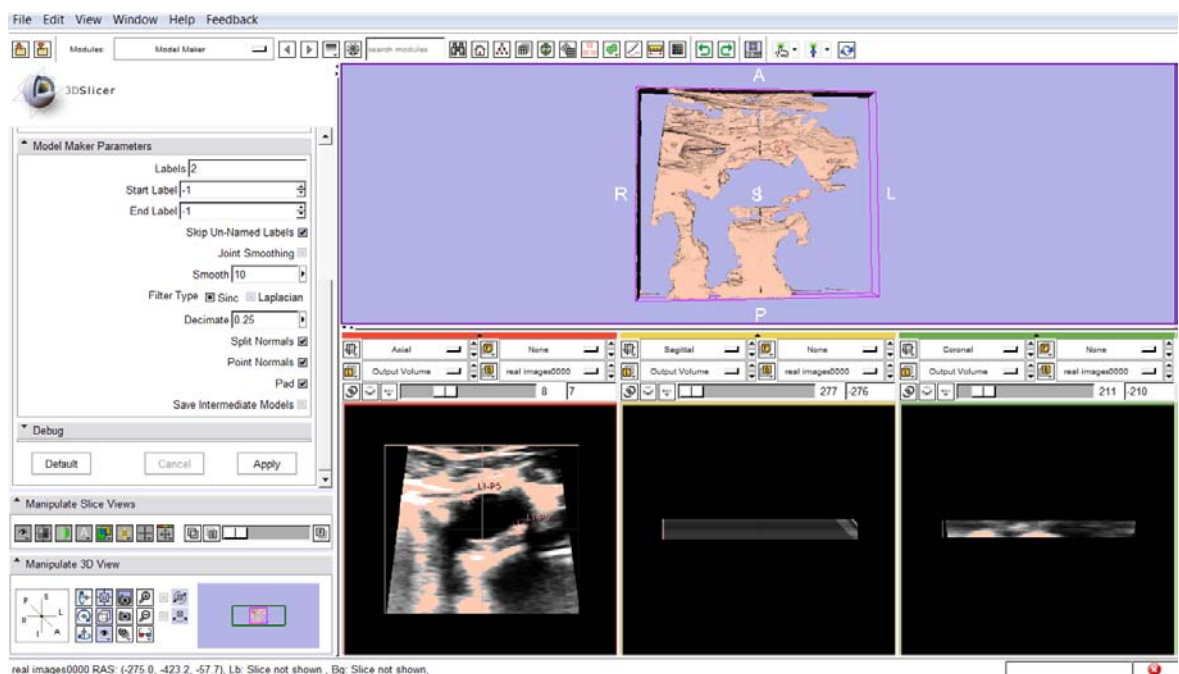
Input volume: Η πρώτη εικόνα της ακολουθίας εικόνων η οποία παρέχεται ως επιλογή με το που φορτώνεται η ακολουθία.

Output volume: `createnewvolume` (το νέο labelmap το οποίο θα δημιουργηθεί)

Μετά λοιπόν από την συμπλήρωση των τιμών για τις παραμέτρους επιλέγεται το `Apply`, και με την ολοκλήρωση του αλγορίθμου δημιουργείται το νέο `labelmap(outputvolume)` μπορεί το οποίο να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία 3D μοντέλου της καρωτιδικής πλάκας επαναλαμβάνοντας τα βήματα της διαδικασίας 5.1.4.2.



Εικόνα 5.30 – Το αποτέλεσμα-Labelmap που προκύπτει από την χρήση του αλγόριθμου SimpleRegionGrowingsegmentation για την κατάτμηση της καρωτιδικής πλάκας.



Εικόνα 5.31 – Το μοντέλο της καρωτιδικής πλάκας που προκύπτει μετά την εισαγωγή του αποτελέσματος του αλγόριθμου SimpleRegionGrowingsegmentation στην εργασία modelmaker.

Βιβλιογραφία

- [1] www.imagevis3d.com/
- [2] www.sci.utah.edu/cibc/software/42-seg3d.html
- [3] <http://gimias.org/whatisgimias>
- [4] <http://www.itk.org/ITK/help/documentation.html>
- [5] <http://www.vtk.org/VTK/help/documentation.html>
- [6] www.mathworks.com/products/matlab/
- [7] <http://rsbweb.nih.gov/ij/docs/index.html>
- [8] www.slicer.org/
- [9] http://www.slicer.org/slicerWiki/index.php/Modules:Simple_Region_Growing-Documentation-3.6
- [10] <http://www.slicer.org/slicerWiki/index.php/Modules:FastMarchingSegmentation-Documentation-3.6>
- [11] <http://www.slicer.org/slicerWiki/index.php/Modules:MeshContourSegmentation-Documentation-3.6>
- [12] Nicolaides A, Beach K W, Kyriacou E, Pattichis C S. Ultrasound and carotid bifurcation atherosclerosis. Springer;(18):299-324.

- [13] Nicolaides A, Beach K W, Kyriacou E, Pattichis C S. Ultrasound and carotid bifurcation atherosclerosis. *Springer*; (16):263-277.
- [14] Fenster A, Downey DB, Cardinal HN. Three-dimensional ultrasound imaging. *Phys Med Biol*. 2001;46(5):R67-R99.
- [15] Nelson TR, Downey DB, Pretorius DH, Fenster A. *Three-Dimensional Ultrasound*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 1999.
- [16] Fenster A, Downey DB. Three-dimensional ultrasound imaging. In: Beutel J, Kundel H, Van Metter R. *Hand-book of Medical Imaging, Physics and Psychophysics*, vol. 1. Bellingham: SPIE Press; 2000:433-509.
- [17] Fenster A, Downey DB. Three-dimensional ultrasound imaging. *Annu Rev Biomed Eng*. 2000;2:457-475.
- [18] Landry A, Spence JD, Fenster A. Measurements of carotid plaque volume by 3-dimensional ultrasound. *Stroke*. 2004;35(4):864-869.
- [19] Landry A, Spence JD, Fenster A. Quantification of carotid plaque volume measurements using 3D ultrasound imaging. *Ultrasound Med Biol*. 2005;31(6):751-762.
- [20] Ainsworth CD et al. 3D ultrasound measurements of change in carotid plaque volume: a tool for rapid evaluation of new therapies. *Stroke*. 2005;36(9):1904-1909.
- [21] Egger M, Chiu B, Spence JD, Fenster A, Parraga G. Mapping spatial and temporal changes in carotid atherosclerosis from three-dimensional ultrasound images. *Ultrasound Med Biol*. 2008;34(1):64-72.

- [22] Egger M, Spence JD, Fenster A, Parraga G. Validation of 3D ultrasound vessel wall volume: an imaging phenotype of carotid atherosclerosis. *Ultrasound Med Biol*. 2007;33(6):905-914.

ΠαράρτημαΑ

Χρήσιμοιόροι

Volumerendering

Workflow – Εφαρμογήροής

Label map

Speckle noise

Threshold - Κατώφλι

Fiducials

Volumerendering

Στηνεπιστημονική απεικόνισηκαι στα γραφικά υπολογιστών, το volumerenderingείναι ένα σύνολοτεχνικών που χρησιμοποιούνταιγια να εμφανιστεί μια2Dπροβολήενός3D δείγματος από διακριτικάστοιχεία.

Ένα τυπικόσύνολο δεδομένων3Dείναι μια ομάδααπό2D εικόνες-φέτες πουαποκτήθηκαναπόμια αξονική τομογραφία, μια μαγνητική τομογραφία, ή ένα MicroCTσαρωτή. Συνήθωςαυτάαποκτούνταισε μια οργανωμένη δομή(π.χ., μια φέτακάθεχιλιοστό) και συνήθωςέχουν ένακανονικό αριθμόαπό pixels εικόναςσε ένα κανονικό μοτίβο. Αυτόείναι ένα παράδειγμαενός πλέγματοςογκομετρικής, όπου κάθεστοιχείο όγκου, ήvoxelαντιπροσωπεύεταιαπόμια ενιαίατιμή πουπροκύπτει από τηδειγματοληψία στην άμεσηπεριοχή γύρω από τονoxel.

Για την κατάτμησημιας2Dπροβολής κάποιου3Dτουσυνόλου δεδομένων, πρέπει πρώτα ναοριστεί μιακάμεραστο χώροσε σχέση μετον όγκο. Επίσης, πρέπει να καθοριστεί

αδιαφάνεια και το χρώμα του κάθε voxel. Αυτό συνήθως ορίζεται χρησιμοποιώντας μια RGBA (κόκκινο, πράσινο, μπλε, άλφα) συνάρτηση μεταφοράς που καθορίζει την αξία RGBA για το κάθε voxel.

Workflow – Εφαρμογή ροής

Η εφαρμογή ροής εργασίας είναι μια εφαρμογή λογισμικού που αυτοματοποιεί, τουλάχιστον σε κάποιο βαθμό, μια διαδικασία ή οι διαδικασίες. Οι διαδικασίες μπορεί να είναι οποιαδήποτε διαδικασία που απαιτεί μια σειρά από βήματα που μπορεί να αυτοματοποιηθούν μέσω του λογισμικού. Μερικά βήματα της διαδικασίας μπορεί να απαιτούν ανθρώπινη παρέμβαση, όπως η έγκριση ή την ανάπτυξη των προσαρμοσμένων κειμένων, αλλά οι λειτουργίες που μπορούν να αυτοματοποιηθούν πρέπει να αντιμετωπίζονται από την εφαρμογή. Προηγμένες εφαρμογές επιτρέπουν στους χρήστες να εισάγουν νέα στοιχεία στην πράξη.

Labelmap

ένα labelmap είναι στη ουσία ένας χάρτης της 2Δ εικόνας, όπου στο κάθε εικονοστοιχείο προσδίδεται μια ετικέτα (label) βάση κάποιας διαδικασίας επιλογής και διαχωρισμού. Το labelmap χρησιμοποιείται κυρίως για την οργάνωση των εικονοστοιχείων σε ομάδες βάση των κοινών τους χαρακτηριστικών.

Speckle noise

Ο θόρυβος Speckle είναι ένας κοκκώδης θόρυβος που υπάρχει γενωσμένα σε ενεργοί αισθητήρες και υποβαθμίζει την ποιότητα συνθετικού διαφράγματος και τις εικόνες του αισθητήρα.

Ο θόρυβος Speckle σε συμβατικούς αισθητήρες είναι αποτέλεσμα τυχαίων διακυμάνσεων στο σήμα επιστροφής από ένα αντικείμενο που δεν είναι μεγαλύτερο από ένα μόνο στοιχείο πεξερργασίας εικόνας και αυξάνει τη μέση τιμή γκρι επιπέδου της περιοχής. Ο θόρυβος Speckle είναι γενικά σοβαρός, καθώς προκαλεί δυσκολίες στην ερμηνεία της εικόνας.

Threshold - Κατώφλι

Το κατώφλι είναι η απλούστερη μέθοδος για την κατάτμηση της εικόνας. Από μια ασπρόμαυρη εικόνα, το κατώφλι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία δυαδικών εικόνων. Κατά την διάρκεια της διαδικασίας κατωφλίου, τα μεμονωμένα pixel σε μια εικόνα χαρακτηρίζονται ως pixel αντικείμενου εάν η αξία τους είναι μεγαλύτερη από κάποια τιμή κατωφλίου (υποθέτοντας ένα αντικείμενο να είναι πιο φωτεινό από το υπόβαθρο) και ως pixel φόντου διαφορετικά. Η σύμβαση αυτή είναι γνωστή ως πάνω όριο. Οι παραλλαγές περιλαμβάνουν το κάτω όριο, το οποίο είναι το αντίθετο του πάνω ορίου, το εσωτερικό όριο, όπου ένα pixel ονομάζεται αντικείμενου, εάν η τιμή του είναι ανάμεσα σε δύο κατώτατα όρια, και το εκτός όριο, το οποίο είναι το αντίθετο του εσωτερικού ορίου. (Shapiro, et al, 2001: 83). Συνήθως, ένα εικονοστοιχείο αντικείμενου παίρνει την τιμή "1", ενώ ένα pixel παρασκήνιου παίρνει την τιμή "0".

Fiducials

Fiducials είναι ένα νασήμα ή πολλά σήματα, ορατά στο οπτικό πεδίο ενός οπτικού μέσου, τα οποία χρησιμοποιούνται ως σημείο αναφοράς για μετρήσεις.

Παράδειγμα κώδικα ενός fiducial list στο Slicer:

```

# Fiducial List file /home/username/L.fcsv
# name = L
# numPoints = 5
# symbolScale = 5.5
# symbolType = 11
# visibility = 1
# textScale = 12.5
# color = 0.4,1,1
# selectedColor = 0.807843,0.560784,1
# opacity = 1
# ambient = 0
# diffuse = 1
# specular = 0
# power = 1
# locked = 0
# columns = label,x,y,z,sel,vis
L-P, -58.0508,64.4069,0,1,1
L-P1,31.7797,-1.69492,0,1,1
L-P2, -2.11864, -49.1527,0,0,1
L-P3, -72.4576, -54.2374,0,1,0
L-P4, -63.1356,3.38984,0,1,1

```

Παράρτημα Β

Matlab - Επεξεργασία πραγματικών εικόνων

Matlab - Δημιουργία τεχνητών εικόνων

Matlab - Επεξεργασία τεχνητών εικόνων

Matlab - Θόρυβος Speckle σε τεχνητές εικόνες

Matlab – Επεξεργασία πραγματικών εικόνων

```
I = imread('C:\Users\Constantinos\Desktop\kilo\1.tif');  
J = rgb2gray(I);  
[I1 rect] = imcrop(J);  
dicomwrite(I1, 'C:\Users\Constantinos\Desktop\bwkilocrop\1.dcm');
```

```
I = imread('C:\Users\Constantinos\Desktop\kilo\2.tif');  
J = rgb2gray(I);  
I2=imcrop(J,rect);  
dicomwrite(I2, 'C:\Users\Constantinos\Desktop\bwkilocrop\2.dcm');
```

Matlab – Δημιουργία τεχνητών εικόνων

```
I=imread('C:\Users\Constantinos\Desktop\white.png');  
figure,imshow(I) ;  
  
r1 =  
rectangle('Position',[375,100,250,250], 'Curvature',[1,1], 'EdgeColor',[  
0.21,0.21,0.21], 'FaceColor',[0.21,0.21,0.21], 'LineWidth',1);  
  
l1 =  
rectangle('Position',[5,100,250,250], 'Curvature',[1,1], 'EdgeColor',[0.  
21,0.21,0.21], 'FaceColor',[0.21,0.21,0.21], 'LineWidth',1);
```

```

r2 =
rectangle('Position',[390,115,220,220],'Curvature',[1,1],'EdgeColor',[
0.35,0.35,0.35],'FaceColor',[0.35,0.35,0.35],'Linewidth',1);

l2 =
rectangle('Position',[20,115,220,220],'Curvature',[1,1],'EdgeColor',[0
.35,0.35,0.35],'FaceColor',[0.35,0.35,0.35],'Linewidth',1);

r3 =
rectangle('Position',[405,130,190,190],'Curvature',[1,1],'EdgeColor',[
0.15,0.15,0.15],'FaceColor',[0.15,0.15,0.15],'Linewidth',1);

l3 =
rectangle('Position',[35,130,190,190],'Curvature',[1,1],'EdgeColor',[0
.15,0.15,0.15],'FaceColor',[0.15,0.15,0.15],'Linewidth',1);

r4 =
rectangle('Position',[420,145,160,160],'Curvature',[1,1],'EdgeColor',[
0.03,0.03,0.03],'FaceColor',[0.03,0.03,0.03],'Linewidth',1);

l4 =
rectangle('Position',[50,145,160,160],'Curvature',[1,1],'EdgeColor',[0
.03,0.03,0.03],'FaceColor',[0.03,0.03,0.03],'Linewidth',1);

axisoff;

```

Matlab – Επεξεργασία τεχνητών εικόνων

```

a1=imread('C:\Users\Constantinos\Desktop\matlab-tube\120.tif');

a1=im2double(a1);

%image to grayscale
a2=rgb2gray(a1);

[nx,ny]=size(a2);

a3= 0.03 + 0.02.*randn(nx,ny);

a5=(a2~=1).*a3+a2;

outimage= speckle (a5, [nynx], 2);

imwrite(outimage,'C:\Users\Constantinos\Desktop\final-teniti-plaque-
noise-tube\120.tif');

```

Matlab – Θόρυβος Speckle σε τεχνητές εικόνες

```
function f = speckle(g, nhood, niterations)

%(c) Christos Loizou 2001
% A filter that filters multiplikative noise. lemv_3
%Filters the multiplicative and additive noise in Ultrasound Images
%Utilizes the local statistics of the noise image g(m,n )
%f[m,n]=m+k*(g[m,n] - m), where k = (1-
sqr(m)*(sqr(sr)/sqr(sx))/(1+sqr(sr))

%Example: outimage= speckle (a, [5 5], 2);
% if the image is 3D use outimage= speckle (a(:,:,1), [5 5], 2);

if isa(g, 'uint8')

    u8out = 1;

    if (islogical(g))

        % It doesn't make much sense to pass a binary image
        % in to this function, but just in case.
        logicalOut = 1;

        g = double(g);

    else

        logicalOut = 0;

        g = double(g)/255;

    end

else

    u8out = 0;

end

%Estimate the size of the image
[ma, na]=size(g);

f=g;

for i = 1:niterations

    fprintf('\rIteration %d',i);
```

```

ifniterations>=2

    g=f;

end

% Estimate the local mean of f.
localMean = filter2(ones(nhood), g) / prod(nhood);

% Estimate of the local variance of f.
localVar = filter2(ones(nhood), g.^2) / prod(nhood) - localMean.^2;

% Estimate the noise power if necessary.

stdnoise=(std2(g).*std2(g))/mean2(g); % to take in consideration the
logarithmic compression

noisevar=stdnoise; %noise variance

% Compute result
t=(localMean.*localMean).*noisevar;

k = localVar./ (t + localVar+0.0001);

f = localMean + k .*(g-localMean);

end

fprintf('\n');

if u8out==1,

if (logicalOut)

    f = uint8(f);

else

    f = uint8(round(f*255));

end

end

```