



ΤΕΙ Κρήτης

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Πτυχιακή Εργασία

Λογισμικά Ανοικτού Κώδικα για την Ανάπτυξη Τρισδιάστατης Γεωμετρίας

Καμνάκης Νικόλαος

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Πετούσης Μάρκος

Περίληψη

Η πτυχιακή αυτή εργασία στηρίζεται στην περιγραφή κάποιων Λογισμικών Ανοικτού Κώδικα για την ανάπτυξη τρισδιάστατης γεωμετρίας. Αρχικά, αναφέρονται πληροφορίες σχετικά με το Ελεύθερο Λογισμικό και το Λογισμικό Ανοικτού Κώδικα που πρόκειται για όρους που περιγράφουν σχεδόν την ίδια κατηγορία λογισμικού, αλλά αντιπροσωπεύουν κάποιες απόψεις βασισμένες σε διαφορετικές αξίες. Ως Ελεύθερο Λογισμικό ορίζεται το λογισμικό το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αντιγραφεί, μελετηθεί, τροποποιηθεί και αναδιανεμηθεί χωρίς περιορισμό. Το Λογισμικό Ανοικτού Κώδικα αρχικά προτάθηκε για να αποφευχθούν πιθανές παρεξηγήσεις του όρου “Ελεύθερο Λογισμικό” αλλά σύντομα συσχετίστηκε με απόψεις αρκετά διαφορετικές.

Στη συνέχεια, περιγράφονται τα Λογισμικά Ανοικτού Κώδικα, MeshLab, 3D Slicer και ITK, που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη τρισδιάστατης γεωμετρίας. Επίσης, παρατίθενται δύο παραδείγματα που υλοποιήθηκαν με τη βοήθεια των δύο εξ αυτών λογισμικών. Στο πρώτο παράδειγμα έγινε η επεξεργασία ενός point cloud αρχείου στο MeshLab, ενώ στο δεύτερο παρουσιάστηκε η παραγωγή ενός 3D μοντέλου από μία μαγνητική τομογραφία στο Slicer.

Abstract

This thesis work is based on the description of Open Source Software for the development of three-dimensional geometry. At first, listed information about Free Software and Open Source Software that are two terms describe almost the same category of software, but they represent views based on different values. As Free Software is defined as the software that can be used, copied, studied, modified and redistributed without restriction. Open Source Software originally proposed to avoid a possible misunderstanding of the term "Free Software" but it soon became associated with quite different views.

Also, the Open Source Software, MeshLab, 3D Slicer and ITK, that used to develop three-dimensional geometry, are described. Furthermore, two examples are given that were applied by both of these software. The first example was the elaboration of a point cloud file in MeshLab and the second appeared to produce a 3D model of an MRI on Slicer.

Περιεχόμενα

Περίληψη	2
Abstract	3
1 Ελεύθερο Λογισμικό/ Λογισμικά Ανοικτού Κώδικα	6
1.1 Ορισμός Ελεύθερου Λογισμικού	6
1.2 Ορισμός Λογισμικού Ανοικτού Κώδικα.....	6
1.3 Ιστορία του Ελεύθερου Λογισμικού και του Λογισμικού Ανοικτού Κώδικα	8
1.4 Το GNU Project	10
1.5 Ίδρυμα Ελεύθερου Λογισμικού, ΙΕΛ / (Free Software Foundation, FSF).....	11
1.6 Το ΕΕΛ/ΛΑΚ (Εταιρία Ελεύθερου Λογισμικού/Λογισμικού Ανοικτού Κώδικα).....	12
1.7 Στόχοι του ΕΕΛ/ΛΑΚ.....	13
1.8 Πλεονεκτήματα Ελεύθερου Λογισμικού/Ανοικτού Λογισμικού	14
1.9 Μειονεκτήματα Ελεύθερου Λογισμικού/Ανοικτού Λογισμικού	15
1.10 Άδειες Χρήσης Λογισμικού.....	16
1.11 Άδειες Χρήσης Ελεύθερου Λογισμικού.....	17
2 Λογισμικά Ανοικτού Κώδικα για 3D Εφαρμογές.....	20
2.1 Το Λογισμικό MeshLab	20
2.1.1 Γενικά για το MeshLab	20
2.1.2 Χαρακτηριστικά του MeshLab	21
2.2 Το Λογισμικό 3D Slicer	28
2.2.1 Γενικά για το 3D Slicer	28
2.2.2 Ιστορία του 3D Slicer	29
2.2.3 Χρήστες του 3D Slicer.....	30
2.2.4 Σχεδιαστές του 3D Slicer.....	31
2.3 Το ΙΤΚ	31
2.3.1 Εισαγωγικά για το ΙΤΚ.....	31
2.3.2 Προέλευση του ΙΤΚ.....	32
2.3.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά του ΙΤΚ.....	33
3 Μαγνητικοί και Αξονικοί Τομογράφοι – Νέφος Σημείων και Αρχεία .stl	35
3.1 MRI και CT Scans	35
3.1.1 Μαγνητική Τομογραφία (MRI)	35

3.1.2 Αξονική Τομογραφία (CT Scans)	44
3.1.3 Το Πρότυπο DICOM	46
3.2 Τρισδιάστατο Νέφος Σημείων (3D PointCloud)	48
3.3 Stl Αρχεία	51
4 Παραδείγματα για την παραγωγή γεωμετρικών μοντέλων	53
4.1 Παράδειγμα επεξεργασίας Νέφους Σημείων (Point Clouds) για παραγωγή μοντέλου .stl στο MeshLab	53
4.2 Παράδειγμα παραγωγής μοντέλου .stl από mri στο 3D Slicer	68
Συμπεράσματα.....	75
Βιβλιογραφία.....	77

1 Ελεύθερο Λογισμικό/ Λογισμικά Ανοικτού Κώδικα

1.1 Ορισμός Ελεύθερου Λογισμικού

Το Ίδρυμα Ελεύθερου Λογισμικού (Free Software Foundation) ορίζει ως Ελεύθερο Λογισμικό το λογισμικό το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αντιγραφεί, μελετηθεί, τροποποιηθεί και αναδιανεμηθεί χωρίς περιορισμό. Ο όρος Ελεύθερο Λογισμικό δε σημαίνει και δωρεάν λογισμικό. Η έννοια της ελευθερίας βασίζεται στις παρακάτω τέσσερις ελευθερίες:

- Η ελευθερία να εκτελεί κάποιος το πρόγραμμα για οποιοδήποτε σκοπό.
- Η ελευθερία του να μελετήσει κάποιος το πρόγραμμα και αφού κατανοήσει τον τρόπο λειτουργίας του στη συνέχεια να το προσαρμόσει στις δικές του ανάγκες και απαιτήσεις. Ωστόσο για να είναι εφικτό αυτό θα πρέπει ο χρήστης να έχει πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα. Άρα, αναγκαία προϋπόθεση για να μπορεί να ισχύει η πρώτη ελευθερία είναι η πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα.
- Η ελευθερία να μπορεί κάποιος να αναδιανέμει αντίγραφα του προγράμματος προκειμένου να βοηθήσει συνανθρώπους του.
- Η ελευθερία να μπορεί κάποιος να τροποποιήσει το πρόγραμμα προκειμένου να το βελτιώσει και στη συνέχεια αυτές τις τροποποιήσεις να τις δημοσιεύσει στο ευρύ κοινό προκειμένου όλη η κοινότητα να επωφεληθεί και γι' αυτή την ελευθερία απαραίτητη προϋπόθεση είναι η πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα εγχειρίδια λογισμικού είναι και αυτά ελεύθερα καθώς είναι αναπόσπαστο κομμάτι του λογισμικού. Αυτές οι ελευθερίες είναι απαραίτητες, όχι μόνο για το καλό του χρήστη, αλλά και επειδή προωθούν κοινωνική αλληλεγγύη. Σε έναν κόσμο ψηφιακών ήχων, εικόνων και λέξεων, το ελεύθερο λογισμικό συνεχώς αυξάνεται έτσι ώστε να εξισορροπηθεί με την ελευθερία γενικότερα.

1.2 Ορισμός Λογισμικού Ανοικτού Κώδικα

Το 1998, ένα μέρος της κοινότητας του Ελεύθερου Λογισμικού διασπάστηκε και ξεκίνησε να δραστηριοποιείται με το όνομα “Ανοιχτός Κώδικας”. Αυτός ο όρος αρχικά προτάθηκε για να αποφευχθούν πιθανές παρεξηγήσεις του όρου “Ελεύθερο Λογισμικό”, αλλά σύντομα συσχετίστηκε με φιλοσοφικές απόψεις αρκετά διαφορετικές από εκείνους του κινήματος του Ελεύθερου Λογισμικού. Σχεδόν όλο το Λογισμικό Ανοικτού Κώδικα είναι Ελεύθερο Λογισμικό. Οι δύο όροι περιγράφουν σχεδόν την ίδια κατηγορία λογισμικού, αλλά αντιπροσωπεύουν κάποιες απόψεις βασισμένες σε διαφορετικές αξίες καθώς ο Ανοιχτός Κώδικας είναι μία μεθοδολογία ανάπτυξης,

ενώ το Ελεύθερο Λογισμικό αποτελεί ένα κοινωνικό κίνημα. Στην έκδοση 1.9 ορίζονται τα κριτήρια για να ονομαστεί ένα λογισμικό Λογισμικό Ανοικτού Κώδικα, τα οποία είναι:

- **Ελεύθερη Επαναδιάθεση (redistribution)**

Η άδεια χρήσης δεν πρέπει να περιορίζει κανένα συμβαλλόμενο μέρος από το να πωλήσει ή να χαρίσει το λογισμικό είτε ως συστατικό (component) είτε σαν συνολική διανομή λογισμικού (software distribution) που να περιέχει προγράμματα από διαφορετικές πηγές. Η άδεια χρήσης δεν πρέπει να απαιτεί δικαιώματα εκμετάλλευσης ή άλλη αμοιβή για τέτοια πώληση.

- **Πηγαίος Κώδικας (Source Code)**

Το πρόγραμμα πρέπει να περιλαμβάνει τον πηγαίο κώδικα, και πρέπει να επιτρέπει την διάθεση είτε σε πηγαίο κώδικα είτε σε μεταγλωττισμένη μορφή. Όπου κάποια μορφή ενός προγράμματος δεν διανέμεται με τον πηγαίο του κώδικα, πρέπει να υπάρχει ένας καλά δημοσιεύσιμος τρόπος απόκτησης του πηγαίου κώδικα για όχι παραπάνω από ένα λογικό κόστος αναπαραγωγής- προτιμότερα, να το κατεβάσει κάποιος μέσω του Internet χωρίς χρέωση. Ο πηγαίος κώδικας πρέπει να είναι η προτεινόμενη μορφή στην οποία ο προγραμματιστής θα μπορεί να τροποποιήσει το πρόγραμμα. Πηγαίος κώδικας που προκαλεί εσκεμμένα σύγχυση δεν επιτρέπεται. Ενδιάμεσες μορφές, όπως το αποτέλεσμα ενός προ-επεξεργαστή (preprocessor) ή ενός μεταφραστή δεν επιτρέπονται.

- **Παραγόμενα Έργα**

Η άδεια χρήσης πρέπει να επιτρέπει αλλαγές και παραγόμενα έργα, και πρέπει να τους επιτρέπει να διανέμονται με τους ίδιους όρους όπως και η άδεια χρήσης του αυθεντικού λογισμικού.

- **Ακεραιότητα του Πηγαίου Κώδικα του Συγγραφέα**

Η άδεια χρήσης μπορεί να περιορίσει τον πηγαίο κώδικα από το να διανέμεται τροποποιημένος μόνο αν η άδεια χρήσης επιτρέπει την διανομή αρχείων ενημέρωσης (patch files) με τον πηγαίο κώδικα με σκοπό την τροποποίηση του προγράμματος στο χρόνο ανάπτυξης (build time). Η άδεια χρήσης πρέπει ρητά να επιτρέπει την διανομή λογισμικού που έχει αναπτυχθεί (built) από τον τροποποιημένο πηγαίο κώδικα. Η άδεια χρήσης μπορεί να απαιτεί τα παραγόμενα έργα να χρησιμοποιούν διαφορετικό όνομα ή αριθμό έκδοσης από το αρχικό λογισμικό.

- **Καμία διάκριση ενάντια σε Πρόσωπα ή Ομάδες**

Η άδεια χρήσης δεν πρέπει να κάνει καμία διάκριση ενάντια σε οποιοδήποτε πρόσωπο ή ομάδα προσώπων.

- **Καμία διάκριση ενάντια σε Πεδία Χρήσης (Fields of Endeavor)**

Η άδεια χρήσης δεν πρέπει να περιορίζει οποιονδήποτε από το να κάνει χρήση του προγράμματος σε κάποιο συγκεκριμένο πεδίο χρήσης. Για παράδειγμα, δεν θα πρέπει να περιορίζει ένα πρόγραμμα από το να χρησιμοποιηθεί σε μία επιχείρηση, ή από το να

χρησιμοποιηθεί από γενετική έρευνα.

- **Διανομή της άδειας χρήσης**

Τα δικαιώματα χρήσης που συνδέονται με το πρόγραμμα πρέπει να εφαρμόζονται σε όλους όσους το πρόγραμμα αναδιανέμεται χωρίς την ανάγκη εκτέλεσης επιπρόσθετης άδειας από αυτούς.

- **Η άδεια χρήσης δεν πρέπει να είναι συγκεκριμένη για ένα προϊόν**

Τα δικαιώματα χρήσης που συνδέονται με το πρόγραμμα δεν πρέπει να εξαρτιούνται με το αν το πρόγραμμα είναι μέρος μίας συγκεκριμένης διανομής λογισμικού (software distribution). Αν το πρόγραμμα έχει αποσπαστεί από αυτή την διανομή και χρησιμοποιείται ή διανέμεται εντός των όρων της άδειας χρήσης, όλοι όσοι στους οποίους πρόγραμμα αναδιανέμεται πρέπει να έχουν τα ίδια δικαιώματα χρήσης με αυτά που εκχωρήθηκαν στην αυθεντική διανομή του λογισμικού.

- **Η άδεια δεν πρέπει να περιορίζει άλλο λογισμικό**

Η άδεια δεν πρέπει να θέτει περιορισμούς σε άλλο λογισμικό που διανέμεται μαζί με το υπό την παραπάνω άδεια λογισμικού. Για παράδειγμα, η άδεια δεν πρέπει να αξιώνει ότι όλα τα άλλα προγράμματα που διανέμονται με το ίδιο μέσο πρέπει να είναι Λογισμικά Ανοικτού Κώδικα (open-source).

1.3 Ιστορία του Ελεύθερου Λογισμικού και του Λογισμικού Ανοικτού Κώδικα

Από τη δεκαετία '50 έως τη δεκαετία του '70 οι χρήστες των υπολογιστών είχαν τις ίδιες ελευθερίες με τις ελευθερίες που συνδέονται με το Ελεύθερο Λογισμικό. Το λογισμικό μοιράζονταν ελεύθερα στα άτομα που χρησιμοποιούσαν τους υπολογιστές από τους κατασκευαστές του τεχνικού υπολογισμού. Έγιναν διάφορες οργανώσεις από χρήστες και προμηθευτές προκειμένου να διευκολυνθεί η ανταλλαγή του λογισμικού. Αυτό όμως άλλαξε στα τέλη της δεκαετίας του 1960 λόγω υπερβολικής αύξησης στο κόστος παραγωγής του λογισμικού. Μια συνεχώς αναπτυσσόμενη βιομηχανία λογισμικού ανταγωνίζονταν με τους κατασκευαστές του εξοπλισμού συσκευασμένα προϊόντα λογισμικού, μισθωμένες μηχανές απαιτούσαν υποστήριξη λογισμικού ενώ δεν παρείχαν κανένα έσοδο για το λογισμικό και μερικοί πελάτες που είχαν την δυνατότητα να ανταποκριθούν στις ιδιαίτερες ανάγκες τους δεν ήθελαν τα κόστη του ελεύθερου λογισμικού να έρχονται ως ενιαία δέσμη με το κόστος των προϊόντων εξοπλισμού υπολογιστών. Στην απόφαση των Ηνωμένων Πολιτειών εναντίον της IBM που αρχειοθετήθηκε στις 17 Ιανουαρίου 1969, η κυβέρνηση κατηγορήσε την εταιρεία ότι το "λογισμικό σε πακέτο" ήταν εναντίον του ανταγωνισμού. Κι ενώ κάποια λογισμικά θα μπορούσαν πάντα να είναι ελεύθερα, δινόταν παράλληλα η δυνατότητα να παραχθεί ένα διαρκώς αυξανόμενο σε ποσότητα λογισμικό που ήταν μόνον προς πώληση. Στην δεκαετία του 1970 και νωρίς του 1980, η βιομηχανία λογισμικού άρχισε να χρησιμοποιεί τεχνικά

μέτρα (τέτοια όπως την διανομή μόνον δυαδικών αντιγράφων από τα προγράμματα υπολογιστών) για να αποτρέψουν τους χρήστες από την μελέτη και τροποποίηση του λογισμικού. Το 1980 η νομοθεσία για πνευματική ιδιοκτησία επεκτάθηκε και στα προγράμματα υπολογιστών.

Το 1983, Ρίτσαρντ Στόλμαν για πολλά χρόνια μέλος της κοινότητας των χάκερ στο Εργαστήριο Τεχνητής Νοημοσύνης του MIT, ανακοίνωσε το GNU Project, λέγοντας ότι είχε απογοητευθεί με τα αποτελέσματα στην αλλαγή της κουλτούρας της βιομηχανίας των υπολογιστών και των χρηστών της. Η ανάπτυξη του λογισμικού για το GNU άρχισε τον Ιανουάριο του 1984, και το Ίδρυμα Ελεύθερου Λογισμικού (FSF) ιδρύθηκε τον Οκτώβριο του 1985. Αυτός ανέπτυξε ένα ορισμό για το Ελεύθερο Λογισμικό και την έννοια του "copyleft", σχεδιασμένη ειδικά για να διασφαλίσει την ελευθερία του λογισμικού για όλους.



Εικόνα 1.1: Ελεύθερα λογισμικά ανοιχτού κώδικα.

Η οικονομική βιωσιμότητα του Ελεύθερου Λογισμικού έχει αναγνωριστεί από μεγάλες εταιρείες όπως η IBM, η Red Hat και η Sun Microsystems. (Εικόνα 1.1) Πολλές εταιρείες που η κύρια δραστηριότητά τους δεν είναι στον τομέα IT επιλέγουν το ελεύθερο λογισμικό για την Διαδικτυακή τους πληροφορία και τις ιστοσελίδες των πωλήσεων, λόγω του χαμηλότερου αρχικού κεφαλαίου επένδυσης και την ικανότητα να προσαρμόζουν ελεύθερα τα πακέτα εφαρμογών του. Επίσης, μερικές βιομηχανίες (όχι λογισμικού) αρχίζουν να χρησιμοποιούν τεχνικές παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάπτυξη του ελεύθερου λογισμικού για τις έρευνές τους και την αναπτυξιακή διαδικασία. Οι επιστήμονες, για παράδειγμα, αναζητούν ακόμα περισσότερο ανοιχτές διαδικασίες ανάπτυξης, και σε εξοπλισμό όπως τα μικροσίπ αρχίζουν να αναπτύσσονται με εξειδικεύσεις όρων που δημοσιεύονται κάτω από άδειες copyleft (δείτε το εγχείρημα

OpenCores, για παράδειγμα). Τα Creative Commons και το free culture movement έχουν επίσης επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από το κίνημα του ελεύθερου λογισμικού.

1.4 Το GNU Project

Το εγχείρημα GNU (Εικόνα 1.2) ανακοινώθηκε επίσημα το 1983 και τέθηκε σε λειτουργία από τον Ιανουάριο του 1984, με σκοπό τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου λειτουργικού συστήματος (GNU), τύπου Unix το οποίο θα ήταν ελεύθερο λογισμικό. Σήμερα, παραλλαγές του λειτουργικού GNU που χρησιμοποιούν τον πυρήνα του Linux, χρησιμοποιούνται ευρέως. Αν και αυτά τα συστήματα αναφέρονται συνήθως σαν "Linux", θα ήταν πιο ακριβές να αποκαλούνται συστήματα GNU/Linux. Το έργο GNU ανακοινώθηκε δημοσίως στις 27 Σεπτεμβρίου του 1983 στις ομάδες net.unix-wizards και στο net.usoft. Η ανάπτυξη του λογισμικού ξεκίνησε τον Ιανουάριο, όταν ο Ρίτσαρντ Στόλλμαν παραιτήθηκε από το MIT (Τεχνολογικό Ινστιτούτο Μασαχουσέτης) ώστε το Ινστιτούτο να μη διεκδικήσει την ιδιοκτησία του GNU ή παρέμβει στη διάδοσή του ως ελεύθερο λογισμικό. Η λέξη GNU οφείλεται σε διάφορα λογοπαίγνια, μεταξύ άλλων και σε κάποιο ομώνυμο τραγούδι.



Εικόνα 1.2: Λογότυπο λειτουργικού συστήματος GNU.

Ο σκοπός του GNU ήταν να υλοποιηθεί ένα λειτουργικό σύστημα εντελώς ελεύθερο, εννοώντας την ελευθερία ως τη δυνατότητα να μπορεί μελετηθεί ο κώδικάς του, να τροποποιηθεί, και να αναδημοσιευτεί από τους χρήστες χωρίς περιορισμούς, αναβιώνοντας έτσι μια ελευθερία που ίσχυε στις δεκαετίες του '60 και του '70, στις κοινότητες των χάκερ. Η φιλοσοφία αυτή δημοσιοποιήθηκε τον Μάρτιο του 1985 με τίτλο Το Μανιφέστο GNU.

Η πλειονότητα του λογισμικού έπρεπε να προγραμματιστεί από την αρχή από εθελοντές, εκτός από την περίπτωση όπου υπήρχαν ελεύθερα συμβατά μέρη των προγραμμάτων (πχ. Το TeX και το X). Τον Οκτώβριο του 1985 ο Stallman ίδρυσε το Ίδρυμα Ελεύθερου Λογισμικού (FSF) το οποίο προσέλαβε προγραμματιστές για να αναπτύξουν το λογισμικό που θα χρειαζόταν το GNU, φτάνοντας στα 15 άτομα δυναμικό. Το copyright μερικών από τα πακέτα του GNU ανήκει στο FSF

ενώ τα περισσότερα έχουν την άδεια GNU GPL. Ένα μικρό ποσοστό κυκλοφορεί υπό άλλες λιγότερο διαδεδομένες αλλά παρόμοιες άδειες.

Το GNU επιχείρησε να είναι συμβατό με το Unix, το οποίο όμως τότε ήταν ιδιόκτητο σύστημα, δημοφιλές εκείνη την εποχή. Το σύστημα αυτό ήταν και σταθερό και διαμεριστικό και μπορούσε να χιιστεί κομμάτι κομμάτι. Ο σχεδιασμός του πυρήνα (ο οποίος ήταν ένας πολυδιακομιστικός μικροπυρήνας) ήταν η σημαντικότερη διαφοροποίηση από το παραδοσιακό Unix. Το όνομά του είναι GNU Hurd και τρέχει πάνω στον μικροπυρήνα Mach. Αποτελείται κυρίως από ένα σύνολο προγραμμάτων (διακομιστών) που κάνουν παρόμοιες λειτουργίες με τον πυρήνα του Unix. Ο πρώτος πυρήνας ήταν ο TRIX, ένας πυρήνας κλήσεων μακρινών διεργασιών που αναπτύχθηκε στο MIT και διανεμήθηκε δωρεάν αλλά σταμάτησε να χρησιμοποιείται ως ακατάλληλος, καθώς ήταν μη φορητός (δεν λειτουργούσε σε άλλες αρχιτεκτονικές). Έτσι, υιοθετήθηκε ο Mach που αναπτύσσονταν στο Carnegie Mellon University, και το 1990 αφαιρέθηκαν από αυτόν γραμμές κώδικα ιδιόκτητου λογισμικού, έτσι ώστε να γίνει ελεύθερο λογισμικό. Πάνω στον Mach, βασίστηκαν τα μέρη υψηλότερου επιπέδου του πυρήνα (αρχικά με το όνομα Alix) που ήταν μια συλλογή εφαρμογών. Τελικά το σύστημα έγινε γνωστό με το όνομα Hurd. Η επιλογή ωστόσο του Mach δεν βοήθησε την ανάπτυξη του Hurd, και ο Στόλλμαν τη χαρακτήρισε ως προσωπικό του λάθος. Έγιναν απόπειρες να μεταφερθεί ο πυρήνας πάνω στον μικροπυρήνα L4 ή στον πυρήνα Coyotos που δεν καρποφόρησαν.

Ο όρος GNU/Hurd αναφέρεται στη διανομή του λειτουργικού συστήματος GNU που χρησιμοποιεί τον πυρήνα GNU Hurd. Η λέξη "GNU" στον όρο GNU Hurd δηλώνει ότι είναι μέρος του εγχειρήματος GNU, ενώ ο όρος "GNU/Hurd" το διαχωρίζει ως ένα εκ των τριών υπαρχόντων συστημάτων GNU: το GNU/Linux το GNU/Hurd και το GNU/kFreeBSD. Σκέτη η λέξη "GNU" αναφέρεται ή στο GNU/Hurd ή σε παράγωγο σύστημα Hurd. Υπάρχει ζήτημα και διαφωνίες όσον αφορά τον όρο GNU/Linux και τη σημασία του.

Σήμερα το GNU έχει αποκτήσει κύρος, εφόσον επιχειρήσεις άρχισαν να συνεισφέρουν στην ανάπτυξη ή διανέμουν το λογισμικό GNU, καθώς και τεχνική υποστήριξη. Η πιο γνωστή είναι η Cygnus Solutions, που τώρα είναι μέρος της Red Hat.

1.5 Ίδρυμα Ελεύθερου Λογισμικού, IEL / (Free Software Foundation, FSF)

Το Ίδρυμα Ελεύθερου Λογισμικού (IEL) (Free Software Foundation, FSF) είναι ένας μη-κερδοσκοπικός οργανισμός που ιδρύθηκε τον Οκτώβριο του 1985 από τον Ρίτσαρντ Στόλλμαν, για την υποστήριξη του κινήματος ελεύθερου λογισμικού, και ειδικότερα του GNU project. Από την ίδρυσή του μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '90 τα κονδύλια του IEL χρησιμοποιούνταν κυρίως για την πρόσληψη προγραμματιστών για να γράψουν ελεύθερο λογισμικό. Από τα μέσα και

τέλη του '90 υπάρχουν πολλές εταιρίες και ιδιώτες που γράφουν ελεύθερο λογισμικό, οπότε οι υπάλληλοι και εθελοντές του ΙΕΛ απασχολούνται κυρίως με νομικά και οργανωτικά θέματα που αφορούν την κοινότητα του ελεύθερου λογισμικού.

Στις 10 Μαρτίου του 2001 ιδρύθηκε επίσης το Ευρωπαϊκό Ίδρυμα Ελεύθερου Λογισμικού, ενώ το 2003 και 2005 ακολούθησε η ίδρυση των αντίστοιχων ιδρυμάτων της Ινδίας και της Λατινικής Αμερικής αντίστοιχα

Το Ίδρυμα δημοσιεύει άδειες χρήση για λογισμικό (τη GPL και την Affero GPL) και εγχειρίδια (τη GFDL), και διοικεί τη διαδικασία ενημέρωσης αυτών των αδειών. Διατηρεί στο wiki του προσχέδια μελλοντικών εκδόσεων των αδειών και δέχεται σχόλια για αυτά.

Μια ειδική ομάδα στο Εργαστήριο Εφαρμογής ΙΕΛ (FSF Compliance Lab) του Ιδρύματος συντονίζει τις δραστηριότητες σχετικά με την εφαρμογή των αδειών. Επίσης απαντάει σε ερωτήσεις από το κοινό για τη χρήση των αδειών.

Το Ίδρυμα υποστηρίζει μερικά πολιτικά προγράμματα με επίκεντρο την προστασία του ελεύθερου λογισμικού. Καταπολεμά τις πατέντες του λογισμικού και την διαχείριση ψηφιακών δικαιωμάτων (DRM), καθώς προβάλλει ελεύθερες εναλλακτικές λύσεις χωρίς πατέντες, π.χ. τη μορφή κειμένου OpenDocument και την κωδικοποίηση ήχου Ogg. Επιπλέον διατηρεί έναν κατάλογο εφαρμογών με υψηλή προτεραιότητα ανάπτυξης.

1.6 Το ΕΕΛ/ΛΑΚ (Εταιρία Ελεύθερου Λογισμικού/Λογισμικού Ανοικτού Κώδικα)

Το ΕΕΛ/ΛΑΚ είναι μια μη κερδοσκοπική εταιρία η οποία ιδρύθηκε το 2008. Αποτελείται από 29 Πανεπιστήμια, Ερευνητικά κέντρα και κοινωφελείς οργανισμούς. Βασικός στόχος του είναι να συμβάλλει στην προώθηση και ανάπτυξη του Ελεύθερου Λογισμικού, του ανοιχτού Περιεχόμενου και των Τεχνολογιών Ανοικτής Αρχιτεκτονικής στο χώρο της εκπαίδευσης, του δημόσιου τομέα και των επιχειρήσεων στην Ελλάδα. Ταυτόχρονα φιλοδοξεί να αποτελέσει κέντρο γνώσης και πλατφόρμα διαλόγου για τις ανοιχτές τεχνολογίες. Ανάμεσα στους φορείς που συμμετέχουν στην ΕΕΛ/ΛΑΚ είναι τα πιο πολλά ελληνικά Πανεπιστήμια και Ερευνητικά Κέντρα, ενώ για την υλοποίηση των δράσεων της η ΕΕΛ/ΛΑΚ βασίζεται στην συνεργασία και ενεργή συμμετοχή των μελών της και της ελληνικής κοινότητας χρηστών και δημιουργών Ελεύθερου Λογισμικού, Ανοιχτού Περιεχομένου και Τεχνολογιών Ανοικτής Αρχιτεκτονικής. Η ΕΕΛ/ΛΑΚ εκπροσωπεί τα Creative Commons, είναι ιδρυτικό μέλος του COMMUNIA, του FAB LAB ATHENS και μέλος του Open Government Partnership (OGP) Network. Συνεργάζεται επίσης με το Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης (ΕΚΤ, www.ekt.gr) στο δίκτυο Enterprise Europe Network – Hellas στον κλάδο των ΤΠΕ με στόχο να ενισχυθεί το δίκτυο των επιχειρήσεων που παρέχουν εφαρμογές ή υπηρεσίες Ανοιχτών Τεχνολογιών, μέσα από την υλοποίηση δράσεων που βοηθούν την ενημέρωση, την ανταλλαγή

τεχνογνωσίας και την ενίσχυση της εξωστρέφειας των εταιρειών αυτών. Εννέα μέλη της ΕΕΛ/ΛΑΚ συμμετέχουν στη δημιουργία Μονάδων Αριστείας Ανοιχτού Λογισμικού που έχουν ως έργο τη διοργάνωση και υλοποίηση δράσεων εκπαίδευσης για την ανάπτυξη εφαρμογών ΕΕΛ/ΛΑΚ σε δέκα θεματικές περιοχές. Οι επιστημονικοί συνεργάτες της ΕΕΛ/ΛΑΚ έχουν μεγάλη διεπιστημονική εμπειρία στο σχεδιασμό και ανάπτυξη δράσεων διαφάνειας και διαβούλευσης. Οι δράσεις αυτές περιλαμβάνουν έργα ηλεκτρονικής διαβούλευσης, συμμετοχικής διαμόρφωσης αποφάσεων και ανοιχτής καινοτομίας. Για τον καλύτερο συντονισμό των δράσεων των επιστημονικών συνεργατών της ΕΕΛ/ΛΑΚ έχουν δημιουργηθεί 8 ομάδες εργασίας, με περισσότερα από 200 μέλη, η κάθε ομάδα διαμορφώνει το πρόγραμμα δράσης της συνεργατικά μέσα από το WIKI, το πρόγραμμα δράσης επικαιροποιείται κάθε τρίμηνο.

1.7 Στόχοι του ΕΕΛ/ΛΑΚ

Η ΕΕΛ/ΛΑΚ μέσα από τις πρωτοβουλίες που αναλαμβάνει στοχεύει:

- Να συμβάλλει στην ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με τα οφέλη που προκύπτουν από την χρήση και ανάπτυξη του Ελεύθερου Λογισμικού, του Ανοιχτού Περιεχομένου και των Τεχνολογιών Ανοιχτής Αρχιτεκτονικής.
- Να φροντίσει για την έγκυρη και έγκαιρη πληροφόρηση σε θέματα που αφορούν τις ανοιχτές τεχνολογίες στην Ελλάδα και το διεθνή χώρο.
- Να εργαστεί ώστε να υπάρχει συνεργασία με την ισότιμη συμμετοχή όλων των άλλων φορέων που έχουν άμεσο ή έμμεσο ρόλο στη διάδοση και ανάπτυξη του του Ελεύθερου Λογισμικού, του Ανοιχτού Περιεχομένου και των Τεχνολογιών Ανοιχτής Αρχιτεκτονικής στην Ελλάδα, όπως μεταξύ άλλων της κοινότητας προγραμματιστών ΕΕΛ/ΛΑΚ στην Ελλάδα καθώς και όσων ενδιαφέρονται να αναπτύξουν επιχειρηματική δραστηριότητα που σχετίζεται με το ΕΕΛ/ΛΑΚ.
- Να δημιουργήσει κέντρα προώθησης για τις ανοιχτές τεχνολογίες στην Ελλάδα(με στόχους: την διοργάνωση εκπαιδευτικών σεμιναρίων, την καταγραφή αναγκών για την εισαγωγή και χρήση του ΕΕΛ/ΛΑΚ σε διαφορετικούς τομείς καθώς και την καταγραφή των φορέων και των οργανώσεων που ασχολούνται με το ΕΕΛ/ΛΑΚ στην Ελλάδα). ΕΕΛ/ΛΑΚ
- Να συμβάλει στο συντονισμό των ομάδων εθελοντών προγραμματιστών ΕΕΛ/ΛΑΚ στην Ελλάδα, ώστε να αποτελέσουν τον βασικό κορμό για την ανάπτυξη και υλοποίηση λογισμικού και εφαρμογών.
- Να υποστηρίξει την ανάπτυξη και προώθηση επιχειρηματικών μοντέλων που βασίζονται στο ΕΕΛ/ΛΑΚ, καθώς και την ενημέρωση επιχειρήσεων για την υιοθέτηση τους ή για τη μετάβαση τους σε αυτά.

- Να προσφέρει τεχνική υποστήριξη εφαρμογών ΕΕΛ/ΛΑΚ και συγκεκριμένα: δημιουργία υπηρεσίας υποστήριξης (help-desk) για χρήστες και ομάδες ΕΕΛ/ΛΑΚ, μέριμνα για εξελληνισμό (εντοπιολογία) λογισμικού, ανάπτυξη γλωσσάριου, καθώς και να συμβάλει στην ανάπτυξη εφαρμογών για τις οποίες υπάρχει ζήτηση στην Ελλάδα.
- Να συμβάλει στο σχεδιασμό, ανάπτυξη και προώθηση δράσεων Ανοικτού Περιεχομένου και Τεχνολογιών Ανοιχτής Αρχιτεκτονικής.
- Να συμμετέχει στο σχεδιασμό και υλοποίηση αναπτυξιακών και ερευνητικών έργων σε συνεργασία με τα μέλη της.

1.8 Πλεονεκτήματα Ελεύθερου Λογισμικού/Ανοικτού Λογισμικού

- Η λογική με την οποία αναπτύσσεται το λογισμικό ανοικτού κώδικα μας δίνει τη δυνατότητα για περαιτέρω έρευνα και επεξεργασία των προγραμμάτων. Επίσης, μπορούμε να εκτιμήσουμε πολύ καλύτερα την ποιότητα του λογισμικού και να ερευνήσουμε για πιθανά σφάλματα καθώς επίσης μπορούμε να βρούμε ευκολότερα ευαίσθητα σημεία του λογισμικού τα οποία επιτρέπουν κακόβουλες επιθέσεις σε διάφορα ευαίσθητα τμήματα του εξοπλισμού μας.
- Το ελεύθερο λογισμικό δίνει τη δυνατότητα παραμετροποίησης προγραμμάτων ώστε να προσαρμοστούν και να επεκταθούν σε οποιαδήποτε ανάγκη χρήστη ή οργανισμού. Επίσης, γίνεται η δυνατότητα μετατροπής του λογισμικού που σημαίνει πως εμείς μπορούμε να το προσαρμόσουμε καλύτερα στις ανάγκες μας ή να το βελτιώσουμε ή να διορθώσουμε κάποιο σφάλμα του.
- Είναι ένα σημαντικό εργαλείο στην εκπαίδευση διότι παραχωρείται δωρεάν και μπορούν και τα ιδρύματα και οι εκπαιδευόμενοι να έχουν πρόσβαση σε αυτό. Επίσης είναι σημαντικό εργαλείο για απόκτηση προγραμματιστικής εμπειρίας από αυτούς που αναπτύσσουν κώδικα.
- Τα έργα ΕΛΛΑΚ επειδή δοκιμάζονται συνεχώς σε διαφορετικά περιβάλλοντα εργασίας όσο περνάει ο χρόνος ενσωματώνουν διαδικασίες και πρακτικές οι οποίες είναι και παραδεκτές και αποτελεσματικές.
- Το ελεύθερο λογισμικό είναι λειτουργικό ακόμα και μεταξύ λογισμικού διαφορετικών προμηθευτών.
- Υπάρχει ένα μεγάλο πλήθος επιλογής προγραμμάτων τα οποία είναι δοκιμασμένα και συνεπώς μπορούν να αποδειχθούν αξιόπιστες λύσεις σε διάφορες εφαρμογές .
- Επειδή το λογισμικό είναι δοκιμασμένο από πολλούς χρήστες συνήθως υπάρχουν ελάχιστα σφάλματα. Επειδή ο κώδικας που μελετάτε από πολλούς χρήστες τα κενά ασφαλείας

εντοπίζονται και διορθώνονται πολύ γρήγορα. Οπότε αν προκύψει κάποιο πρόβλημα μπορεί κάποιος να βοηθηθεί με μεγάλη ταχύτητα .Αυτό σημαίνει ότι το ελεύθερο λογισμικό είναι πολύ ασφαλές και αξιόπιστο.

- Το κόστος των προγραμμάτων ανοικτού κώδικα είναι συνήθως μηδενικό. Οπότε μπορούμε να εκτελέσουμε το λογισμικό για οποιοδήποτε σκοπό εμείς θέλουμε και σε οποιοδήποτε υπολογιστή θέλουμε. Δεν αγοράζουμε τις άδειες χρήσεις και μπορούμε να εγκαταστήσουμε όσες φορές θέλουμε το λογισμικό. Επίσης μπορούμε να το αντιγράψουμε και να το διανείμουμε το λογισμικό σε οποιοδήποτε άτομο εμείς θέλουμε.
- Σταματάει η εξάρτηση από τις εταιρείες παροχής λογισμικού και προγραμμάτων .Οπότε αυτό δίνει ελευθερία και ευελιξία σε κάποιο οργανισμό ή στους απλούς χρήστες να εργαστούν.
- Επειδή η διανομή ,η διόρθωση των σφαλμάτων και η ανάπτυξη του λογισμικού ΕΕΛ/ΛΑΚ μπορεί να γίνει από κάθε τεχνικά καταρτισμένη ομάδα, δημιουργείται ένα περιβάλλον έντονου ανταγωνισμού ο οποίος οδηγεί σε χαμηλές τιμές και υψηλές υπηρεσίες υποστήριξης .Μείωση του κόστους αγοράς ,χρήσης και συντήρησης πληροφοριακών συστημάτων. Καλύτερες προσφερόμενες υπηρεσίες.
- Τα δημοφιλή προγράμματα ΕΕΛ/ΛΑΚ είναι πολύ σπάνιο να μείνουν χωρίς υποστήριξη ακόμα και όταν η εταιρεία ή η ομάδα ανθρώπων που το έφτιαξε το παραμελήσει ή διαλυθεί.
- Οι χρήστες ΕΕΛ/ΛΑΚ έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν τον πηγαίο κώδικα πού συχνά διανέμουν τα αποτελέσματα της προσπάθειάς τους ως ΕΕΛ/ΛΑΚ. Οπότε έχουμε ουσιαστικά δωρεάν ανανέωση και υποστήριξη.

1.9 Μειονεκτήματα Ελεύθερου Λογισμικού/Ανοικτού Λογισμικού

- Υπάρχει δυσκολία εύρεσης προσωπικού με τεχνογνωσία .Πολλές φορές η υποστήριξη των προγραμμάτων ανοικτού κώδικα είναι δύσκολη διότι δεν υπάρχει κάποια επίσημη εταιρεία με καταρτισμένους τεχνικούς .
- Πολλές φορές στα προγράμματα ανοικτού κώδικα τα εγχειρίδια χρήσης ή δεν υπάρχουν καθόλου ή έχουν πάρα πολλές ελλείψεις και λάθη. Αυτό είναι παρά πού σημαντικό μειονέκτημα διότι όταν ένα ελεύθερο λογισμικό πακέτο δε συνοδεύεται από ανάλογο ελεύθερο εγχειρίδιο χρήσης είναι κατά κάποιο τρόπο ημιτελές.
- Υπάρχουν ασυμβατότητες με κάποια διαδεδομένα κλειστά πρότυπα αρχείων. Κάποια προγράμματα ανοικτού λογισμικού δεν είναι πάντα συμβατά με κάποια διαδεδομένα κλειστά πρότυπα και αρχεία. Έτσι δεν είναι εύκολο για τον χρήστη να αχρηστεύσει που έχει κάνει μέχρι τώρα με κάποιο άλλο πρόγραμμα.

- Τα αντίστοιχα εμπορικά προγράμματα προσφέρουν συνήθως καλύτερη υποστήριξη, τεκμηρίωση και συνεργασία καθώς και οι δυνατότητές τους είναι μεγαλύτερες.
- Υπάρχει δυσαναλογία ανάμεσα στο κόστος κτήσης και στο κόστος συντήρησης για τα προγράμματα ανοικτού λογισμικού. Έτσι αν για παράδειγμα ένα πρόγραμμα εγκαταλειφθεί από τους δημιουργούς του ο οργανισμός μένει χωρίς υποστήριξη για το συγκεκριμένο πρόγραμμα. Το μηδενικό κόστος εγκατάστασης πολλές φορές ενός λογισμικού ανοικτού κώδικα σιγά-σιγά αυξάνεται από το κόστος συντήρησης και επιδιόρθωσης των λαθών από εξωτερικούς συνεργάτες.
- Εάν κάποιος οργανισμός εγκαταστήσει ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα θα πρέπει να έχει πού καλό τμήμα πληροφορικής ώστε να μπορεί να αντιμετωπίσει τις δυσκολίες που θα παρουσιάζονται πράγμα που επιβαρύνει τον προϋπολογισμό της επιχείρησης.
- Μια επιχείρηση που θα στηριχτεί σε κάποιο λογισμικό ανοικτού κώδικα θα πρέπει να επωμιστεί το κόστος επανεκπαίδευσης ατόμων τα οποία έχουν εμπειρία σε αντίστοιχα λογισμικά κλειστού κώδικα. Επίσης είναι πολύ δύσκολο να βρεθεί εκπαιδευτής ο οποίος θα αναλάβει να εκπαιδεύσει αυτά τα άτομα όπως επίσης και η ποιότητα του εκπαιδευτή δεν είναι πάντα σίγουρη.
- Υπάρχει έλλειψη κάποιων εξειδικευμένων εφαρμογών.
- Ο προγραμματισμός είναι αποδιοργανωμένος .Δηλαδή πάρα πολύ προγραμματιστές με τις δικές τους συνήθειες ,στόχους και τεχνικές προσπαθούν να προωθήσουν τη λύση τους ως την καλύτερη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο ανοιχτός κώδικας να είναι ένα μείγμα από όλο αυτό τον προγραμματισμένο κώδικα στο σύνολό του. Το λογισμικό βέβαια μπορεί να λειτουργήσει αλλά πιθανό να είναι αργό και να μην μπορεί να γίνει κατανοητό από άλλους προγραμματιστές.
- Τα προγράμματα ανοικτού λογισμικού δεν συνεισφέρουν πάντοτε στην καινοτομία αφού συνήθως μιμούνται τη λειτουργικότητα κάποιου υπάρχοντος προγράμματος εμπορικού λογισμικού.
- Επειδή δεν υπάρχει χρηματική αμοιβή αυτό έχει σαν συνέπεια να περιορίζει την περαιτέρω παραγωγή λογισμικού και τις επενδύσεις.

1.10 Άδειες Χρήσης Λογισμικού

Άδεια λογισμικού ονομάζεται ένα νομικό εργαλείο που καθορίζει την χρήση ή διανομή λογισμικού που υπόκειται σε δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας. Μια τυπική άδεια λογισμικού παρέχει σε έναν τελικό χρήστη άδεια να χρησιμοποιήσει ένα ή περισσότερα αντίγραφα του λογισμικού με τρόπους που διαφορετικά (αν δεν είχε δοθεί η άδεια) θα αποτελούσαν καταπάτηση

των δικαιωμάτων του εκδότη σύμφωνα με τον νόμο πνευματικής ιδιοκτησίας. Πρακτικά, η άδεια λογισμικού λειτουργεί σαν μια υπόσχεση από τον εκδότη του λογισμικού ότι δεν θα μηνύσει τον τελικό χρήστη για δραστηριότητες του που κανονικά αποτελούνε αποκλειστικά προνόμια του εκδότη του λογισμικού.

- **Κλειστό έναντι Ελεύθερου/Ανοιχτού λογισμικού**

Οι άδειες λογισμικού γενικά ανήκουν σε μια από τις δύο ακόλουθες ευρείες κατηγορίες: Άδειες κλειστού λογισμικού και ελεύθερου-ανοιχτού κώδικα λογισμικού. Οι διαφορές που ξεχωρίζουν τις δύο κατηγορίες αδειών έχουν σημαντικό αντίκτυπο στα δικαιώματα του τελικού χρήστη.

- **Κλειστό λογισμικό**

Τυπικά μια άδεια κλειστού λογισμικού επιτρέπει στον τελικό χρήστη την χρήση του λογισμικού εντός περιορισμένου περιβάλλοντος, απαγορεύοντας την αποσυμπίληση του λογισμικού (δηλαδή το να επιχειρηθεί η ανάκτηση του πηγαίου κώδικα από το έτοιμο λογισμικό), και την ανάλυση, τροποποίηση και αναδημιουργία του λογισμικού, και συνήθως απαγορεύονται επίσης η αντιγραφή και διανομή του λογισμικού (είτε δωρεάν είτε επί πληρωμή) από τρίτα πρόσωπα, καθώς και η χρήση του από ένα μεγάλο αριθμό ανθρώπων ή η εγκατάστασή του σε πολλούς υπολογιστές. Μια άδεια που επιτρέπει την δωρεάν αντιγραφή και διανομή του λογισμικού (freeware) παραμένει κλειστή άδεια από την στιγμή που δεν επιτρέπει την τροποποίηση του λογισμικού ή την εμπορική διανομή.

- **Ελεύθερο λογισμικό**

Τυπικά μια άδεια ελεύθερου λογισμικού επιτρέπει την αντιγραφή, τροποποίηση και διανομή από οποιονδήποτε και για οποιοδήποτε σκοπό (ακόμη και εμπορικό). Πολλές φορές χρησιμοποιείται και ο όρος ανοικτό λογισμικό που αφορά λογισμικό για το οποίο διατίθεται ο πηγαίος κώδικας αλλά υπάρχουν περιορισμοί στην ελεύθερη χρήση του (π.χ. στην εμπορική χρήση). Κάποιες από αυτές τις άδειες περιέχουν περιοριστικούς όρους όπως η υποχρεωτική αναφορά στο όνομα του δημιουργού ή κατόχου των πνευματικών δικαιωμάτων, καθώς αυτοί οι όροι δεν περιορίζουν τις προηγούμενες ελευθερίες τροποποίησης και διακίνησης. Επίσης μπορεί να έχουν ιούς.

1.11 Άδειες Χρήσης Ελεύθερου Λογισμικού

Σε ποιον ανήκει το ελεύθερο λογισμικό; Μπορώ να το αντιγράψω; Μπορώ να αλλάξω μια γραμμή στον κώδικα και το πουλήσω ως κλειστό λογισμικό; Αν και στις περισσότερες περιπτώσεις, ιδιοκτήτης του copyright παραμένει ο αρχικός συγγραφέας του λογισμικού, οι απαντήσεις στις παραπάνω ερωτήσεις εξαρτώνται από την άδεια (licence) με την οποία έρχεται το εκάστοτε

πρόγραμμα, και την οποία είναι υποχρεωμένος να δεχθεί όποιος σκοπεύει να το χρησιμοποιήσει με οποιονδήποτε έμμεσο ή άμεσο τρόπο. Οι κυριότερες άδειες ανοικτού λογισμικού είναι οι εξής:

- **Apache Licence**

Δημιουργήθηκε από το Apache Foundation και είναι η άδεια υπό την οποία διανέμεται ο εξυπηρετητής HTTP Apache. Είναι μια πολύ αναλυτικά διατυπωμένη άδεια, που ενώ επιτρέπει την αναδιανομή και τροποποίηση του λογισμικού, απαιτεί αυτή να γίνεται υπό την ίδια άδεια, να δείχνονται αναλυτικά ποια αρχεία του πηγαίου κώδικα πείραξε ο χρήστης και απαγορεύει τη χρήση υλικού που σχετίζεται με πατέντες λογισμικού καθώς και τη χρήση ονομάτων και συμβόλων του αρχικού συγγραφέα για διαφημιστικούς σκοπούς. Τέλος, απαλλάσσει το δημιουργό από κάθε ευθύνη σχετική με τη χρήση του προγράμματος. Εκτός από τον Apache, την άδεια χρησιμοποιούν πολλά προγράμματα που σχετίζονται με αυτόν, όπως ο Tomcat.

- **Artistic Licence**

Την συνέταξε ο συγγραφέας της perl, Larry Wall. Η πρώτη της έκδοση ήταν τόσο περίπλοκα διατυπωμένη που πολλοί την κατηγόρησαν ότι δεν είναι άδεια ελεύθερου λογισμικού. Η γλώσσα προγραμματισμού perl αλλά και πολλά modules της ήταν συνδεδεμένα με αυτήν. Η δεύτερη έκδοση είναι πιο σαφώς διατυπωμένη, και δίδει το δικαίωμα ανάγνωσης, τροποποίησης και αναδιανομής του πηγαίου κώδικα/προγράμματος (υπό οποιαδήποτε άδεια), εφόσον διατηρείται η αναφορά στον αρχικό συγγραφέα του προγράμματος, σε περίπτωση που δεν υπάρξει τροποποίηση. Επιπλέον, απαλλάσσει το συγγραφέα από κάθε ευθύνη σχετική με τη χρήση του προγράμματος. Η PostgreSQL διατίθεται υπό αυτήν την άδεια.

- **BSD Licence**

Η άδεια αυτή αφορά λογισμικό που αναπτύχθηκε αρχικά στο πανεπιστήμιο Berkeley στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ. Είναι μια από τις πιο 'ελεύθερες' άδειες, εφόσον επιτρέπει την ανάγνωση, την τροποποίηση και την αναδημοσίευση του προγράμματος υπό οποιαδήποτε άδεια, με ή χωρίς τον πηγαίο κώδικα, σε εμπορικά ή μη εμπορικά πακέτα. Επιπλέον, υπάρχουν τροποποιήσεις της άδειας, που αφορούν όμως μόνο το θέμα της χρήσης του ονόματος του αρχικού συγγραφέα για διαφημιστικούς σκοπούς. Παράδειγμα προγραμμάτων που τη χρησιμοποιούν είναι όλα τα είδη λειτουργικού BSD (freeBSD, netBSD, openBSD) καθώς και οι αρχικές εκδόσεις των προγραμμάτων ηλεκτρονικού σχεδιασμού Spice, Magic και IrSim. Ως αποτέλεσμα της ελευθερίας που δίδει η άδεια για χρήση κώδικα ελεύθερων προγραμμάτων σε ιδιοταγή προγράμματα, πολλά κλειστά λειτουργικά συστήματα έχουν κομμάτια βασισμένα στο BSD (π.χ. μέρος του network API στα Windows 2000) και πολλά ιδιοταγή πακέτα ηλεκτρονικού σχεδιασμού βασίζονται στο Spice. Αυτό εκλαμβάνεται σαν ελευθερία από τους οπαδούς της άδειας, αλλά πολλές φορές δρα ανασταλτικά προς την ανάπτυξη του ελεύθερου λογισμικού.

- **GNU General Public Licence (GPL)**

Γράφτηκε αρχικά από τον Richard Stallman για το GNU project. Επιτρέπει την ανάγνωση, τροποποίηση και αναδιανομή του λογισμικού, μαζί με τον πηγαίο κώδικα του, με τον όρο ότι τροποποιημένες ή μη εκδόσεις του θα αναδιανέμονται υπό την ίδια άδεια. Εν ολίγοις, διασφαλίζει ότι οι χρήστες του τροποποιημένου λογισμικού θα απολαμβάνουν τις ίδιες ελευθερίες με το χρήστη του αρχικού λογισμικού. Συνεπώς απαγορεύει την χρήση (ολόκληρου ή τμήματος) του πηγαίου κώδικα του προγράμματος σε κλειστά πακέτα λογισμικού. Αυτό εξασφαλίζεται δίνοντας το copyright του προγράμματος στον αρχικό δημιουργό, οπότε σε περίπτωση που κάποιος δε σεβαστεί την GPL μπορεί να μηνυθεί για καταπάτηση πνευματικών δικαιωμάτων. Η GNU GPL έχει κατηγορηθεί από πολλούς ως "ιός" (επειδή θα πρέπει κάθε πρόγραμμα που έχει σχέση με το αρχικό να τη φέρει) και ότι στερεί τη δημιουργία άμεσου κέρδους στον προγραμματιστή (επειδή μπορεί οποιοσδήποτε να αναδιανείμει το λογισμικό). Παρά τις κριτικές αποτελεί τη σημαντικότερη και πιο διαδεδομένη άδεια ελεύθερου λογισμικού. Σημαντικά προγράμματα που τη χρησιμοποιούν είναι ο πυρήνας του Linux, ο μεταγλωττιστής gcc, ο επεξεργαστής κειμένου Emacs, ο διερμηνέας της Perl, ο Mozilla Firefox, η MySQL, το Cygwin, το σύστημα αρχείων ReiserFS και πλέον και η βιβλιοθήκη Qt. Μια πιο ελαστική έκδοση της GPL είναι η GNU Lesser General Public Licence (LGPL). Μια LGPL βιβλιοθήκη για παράδειγμα, μπορεί να συνδεθεί με ένα πρόγραμμα που χρησιμοποιεί άλλη άδεια, ακόμα και αν αυτό δεν είναι ελεύθερο λογισμικό. Το 2005 άρχισαν συζητήσεις για την τρίτη έκδοση της άδειας, η οποία δίνει ιδιαίτερη έμφαση σε θέματα πατέντων λογισμικού και DRM. Η GNU GPLv3 εκδόθηκε στις 27 Ιουνίου 2007.

- **MIT Licence**

Η άδεια αυτή επιτρέπει την τροποποίηση και την αναδιανομή του προγράμματος με οποιονδήποτε τρόπο, υπό οποιαδήποτε άδεια, για οποιονδήποτε σκοπό. Το πιο γνωστό πρόγραμμα που τη χρησιμοποιεί είναι ο X Window System (X11) που χρησιμοποιείται για το παραθυρικό περιβάλλον στις περισσότερες διανομές Linux, και γι' αυτό η άδεια αυτή ονομάζεται πολλές φορές και X Licence ή X11 Licence. Άλλα προγράμματα που τη χρησιμοποιούν είναι το Expat, το MetaKit, και το PuTTY.

- **Open Software Licence**

Ουσιαστικά δίνει τις ίδιες ελευθερίες και τους ίδιους περιορισμούς με την GNU GPL (δηλαδή απαιτεί την αναδιανομή υπό την ίδια άδεια) με σημαντική διαφορά τον όρο που αφορά τις πατέντες λογισμικού. Ο όρος αυτός τερματίζει αυτόματα την άδεια και στερεί τον χρήστη από τις ελευθερίες της στην περίπτωση που ο χρήστης μηνύσει οποιοδήποτε λογισμικό που τη χρησιμοποιεί για καταπάτηση πατεντών λογισμικού. Αυτό γίνεται κυρίως για αντιμετωπιστεί το θέμα των πατεντών λογισμικού, που πολλοί πιστεύουν ότι έχουν γίνει επιζήμιες για το ελεύθερο λογισμικό.

2 Λογισμικά Ανοικτού Κώδικα για 3D Εφαρμογές

2.1 Το Λογισμικό MeshLab

Το MeshLab (Εικόνα 2.1) είναι ένα προηγμένο σύστημα 3D λογισμικού επεξεργασίας πλέγματος, που είναι πολύ γνωστό στα περισσότερα τεχνικά πεδία της τρισδιάστατης ανάπτυξης και το χειρισμό των δεδομένων. Το MeshLab είναι ένα ελεύθερο λογισμικό ανοικτού κώδικα, υπό τις προδιαγραφές της GNU - General Public License (GPL), έκδοση 2 ή μεταγενέστερη, και χρησιμοποιείται τόσο ως ένα πλήρες πακέτο αλλά και ως μια βιβλιοθήκη τροφοδότησης άλλων λογισμικών.



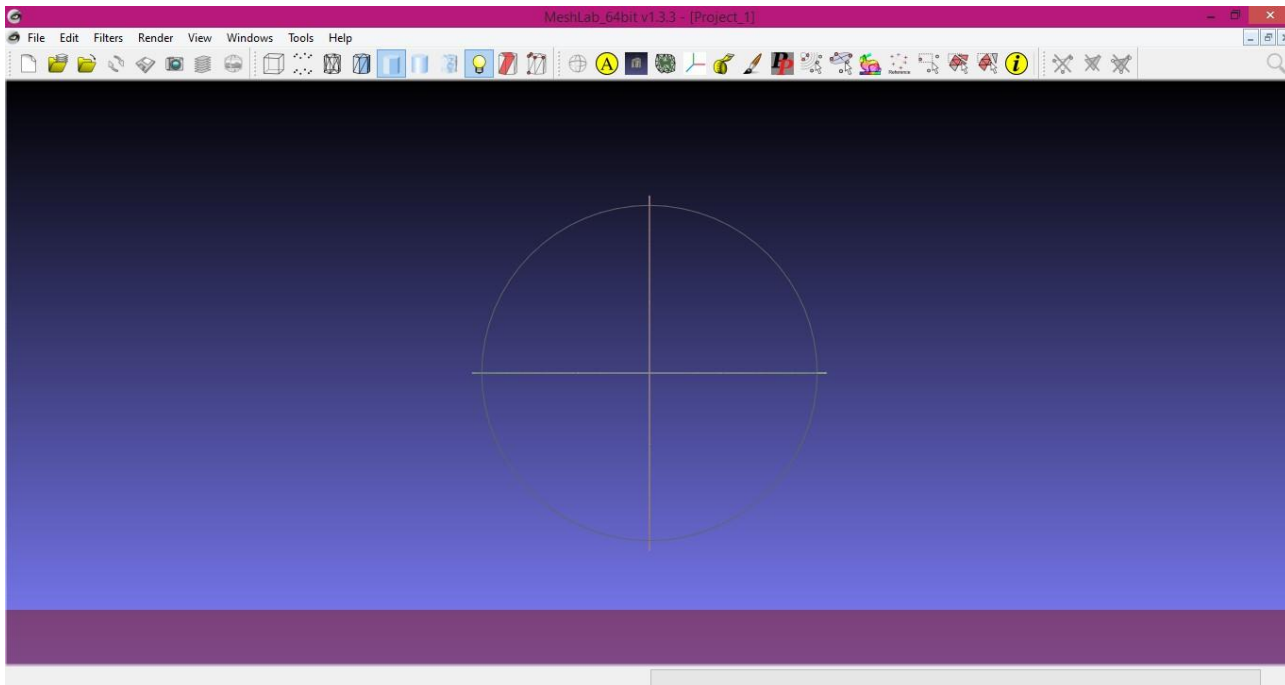
Εικόνα 2.1: Λογότυπο του 3D λογισμικού επεξεργασίας πλέγματος MeshLab.

2.1.1 Γενικά για το MeshLab

Το MeshLab έχει αναπτυχθεί από το ερευνητικό κέντρο ISTI - CNR, αρχικά δημιουργήθηκε ως μια εργασία σε μάθημα στο Πανεπιστήμιο της Πίζας Της Ιταλίας στα τέλη του 2005. Πρόκειται για ένα σύστημα γενικής χρήσης ανοικτού κώδικα με σκοπό την επεξεργασία των τυπικών και όχι τόσο μικρών αδόμητων 3D μοντέλων που προκύπτουν από την τρισδιάστατη σάρωση. Το MeshLab είναι προσανατολισμένο ως προς τη διαχείριση και την επεξεργασία των αδόμητων μεγάλων πλεγμάτων και παρέχει ένα σύνολο εργαλείων για την επεξεργασία, τον καθαρισμό, την επιθεώρηση, την απόδοση και την μετατροπή τους.(Εικόνα 2.2)

Το MeshLab είναι διαθέσιμο για τις περισσότερες πλατφόρμες, συμπεριλαμβανομένων των Windows, Linux, Mac OS X, με μειωμένη λειτουργικότητα σε iOS και Android και σε εφαρμογές javascript. Το σύστημα υποστηρίζει είσοδο / έξοδο σε πολλές μορφές. Συγκεκριμένα οι τύποι αρχείων εισόδου είναι οι εξής: PLY, STL, OFF, OBJ, 3DS, COLLADA, PTX, V3D, PTS, APTS, XYZ, GTS, TRI, ASC, X3D, X3DV, VRML, ALN. Καθώς και οι τύποι αρχείων εξόδου είναι: PLY, STL, OFF, OBJ, 3DS, COLLADA, VRML, DXF, GTS, U3D, IDTF, X3D. Μπορεί ,επίσης, να εισάγει τα

point clouds μόνο ανακατασκευασμένα σε μορφή PLY ή OBJ χρησιμοποιώντας το Photosynth ή το CloudCompare που χρησιμοποιήθηκε στο παράδειγμα που περιγράφεται στο κεφάλαιο 4 της παρούσας εργασίας.



Εικόνα 2.2: Λειτουργικό περιβάλλον του MeshLab

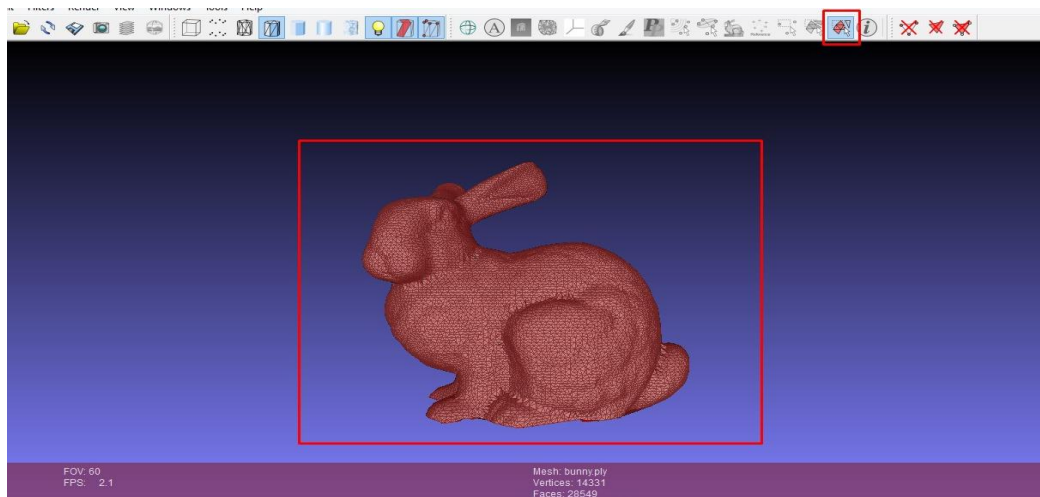
Συνοψίζοντας, το MeshLab χρησιμοποιείται σε διάφορα ακαδημαϊκά και ερευνητικά πεδία, όπως στη μικροβιολογία, στην πολιτιστική κληρονομιά, στην ανασυγκρότηση επιφανειών, στην παλαιοντολογία, για την Ταχεία Προτυποποίηση (Rapid Prototyping) στην Ορθοπεδική Χειρουργική, στην Ορθοδοντική.

2.1.2 Χαρακτηριστικά του MeshLab

Το λογισμικό επιτρέπει την πολυεπίπεδη επεξεργασία των νεφών σημείων με πλήθος εργαλείων και αλγοριθμικών μεθόδων.

- Selection

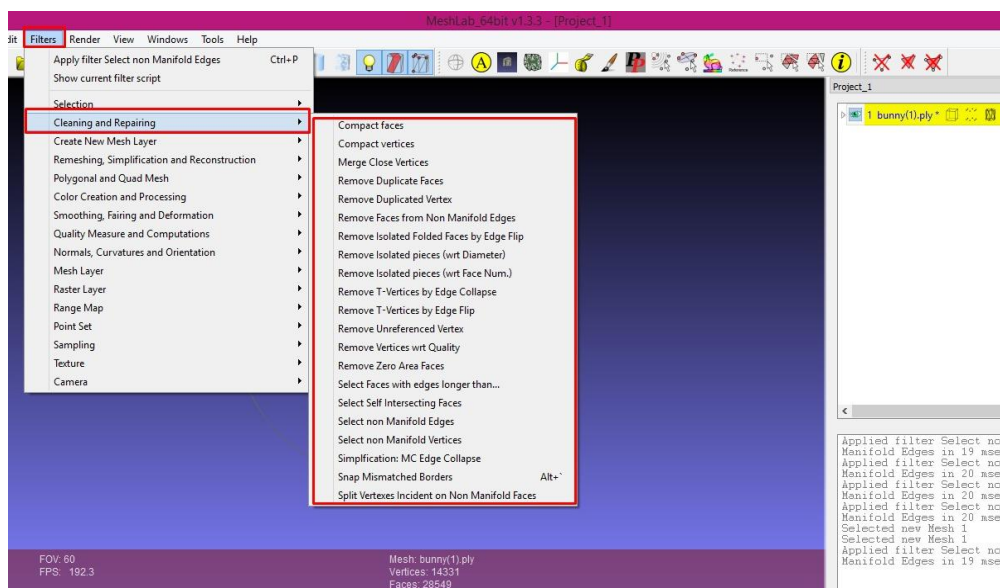
Το εργαλείο αυτό, δίνει τη δυνατότητα επεξεργασίας επιλεγμένων τμημάτων του νέφους σημείων ή και της δημιουργηθείσας επιφάνειας. (Εικόνα 2.3) Επιτρέπει τη διαγραφή σημείων ή επιφανειών, την επιλογή τμημάτων του νέφους ή της επιφάνειας με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που ορίζονται από το χρήστη στα επιμέρους παράθυρα που ενεργοποιούνται, ανάλογα κάθε φορά με την επιλογή του.



Εικόνα 2.3: Η επιλογή Selection του MeshLab

- Cleaning and Repairing

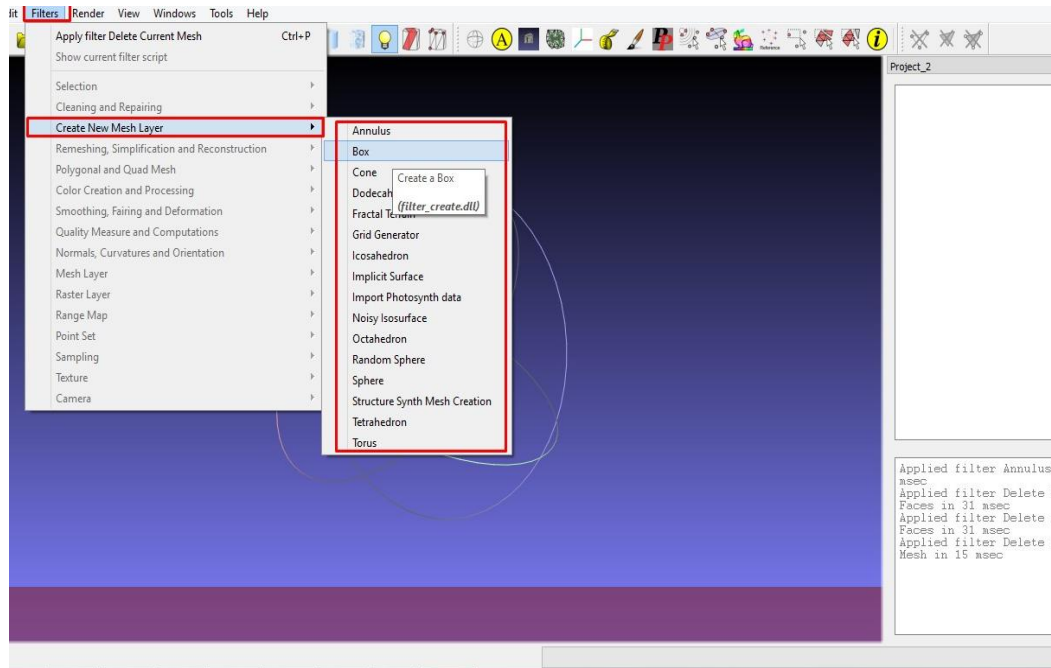
Πρόκειται για την επιλογή που επιτρέπει την απομάκρυνση σημείων και επιφανειών που διαθέτουν ορισμένα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τις συντεταγμένες, τη σχέση τους με τα υπόλοιπα σημεία ή επιφάνειες του νέφους ή άλλα κατώφλια ή σταθερές, ανάλογα προς το είδος της επεξεργασίας που πραγματοποιείται. (Εικόνα 2.4)



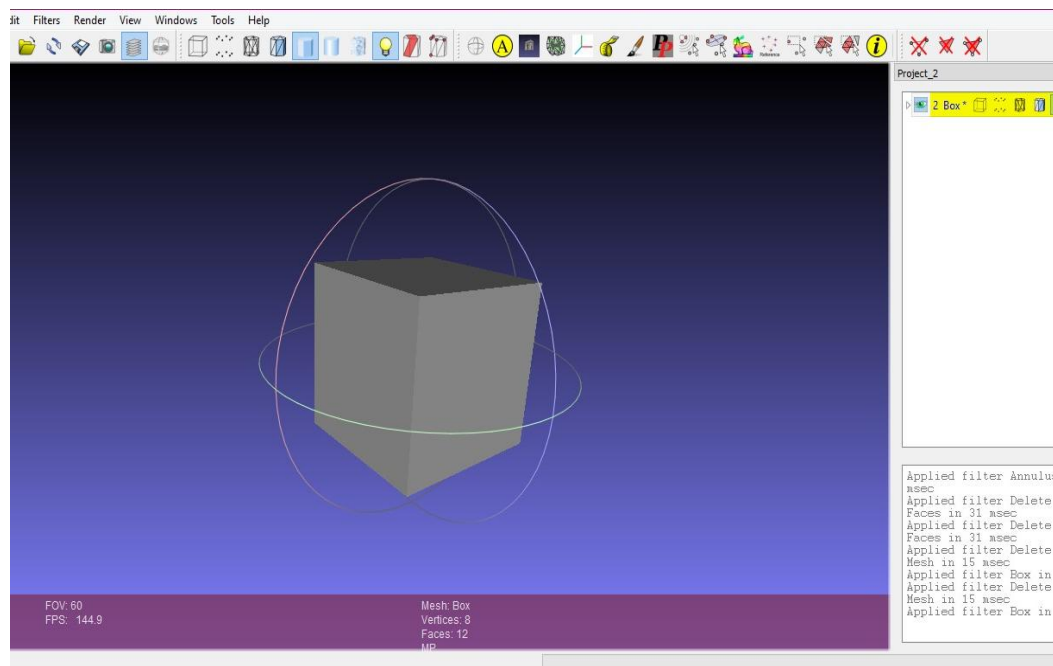
Εικόνα 2.4: Η επιλογή Cleaning and Repairing του MeshLab

- Create New Mesh layer

Η επιλογή αυτή επιτρέπει την κατασκευή σε μια νέα επιφάνεια, σχημάτων ή επιφανειών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που ορίζονται από το χρήστη σε κάθε περίπτωση σε σχέση με τις απαιτήσεις του. (Εικόνες 2.5 και 2.6)



Εικόνα 2.5



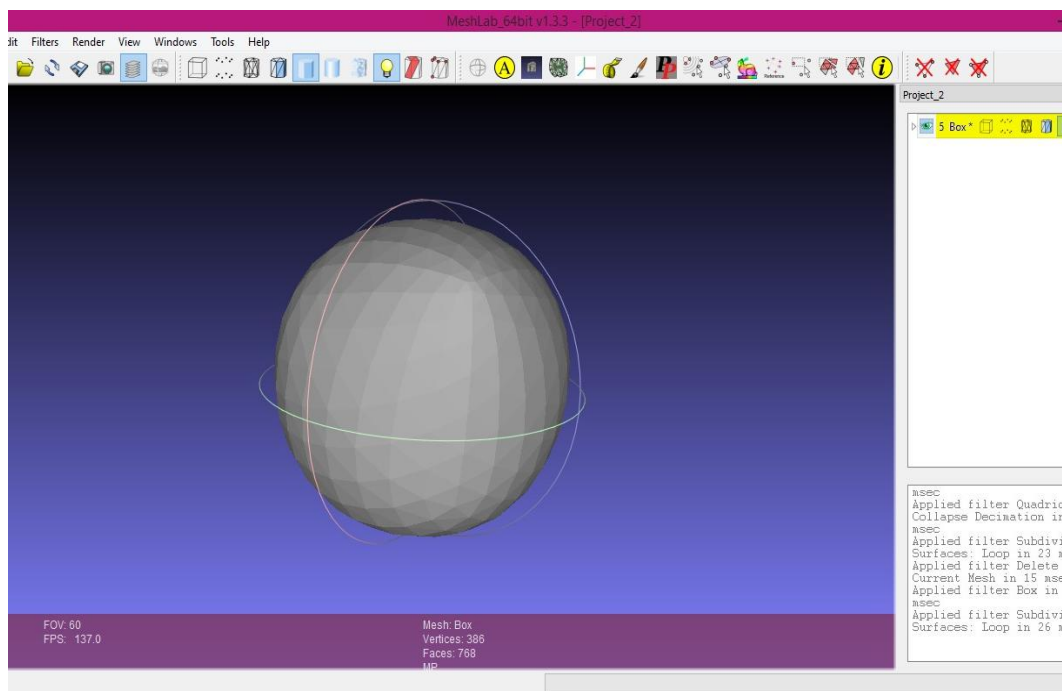
Εικόνα 2.6

Εικόνα 2.5 & 2.6: Η επιλογή Create New Mesh layer του MeshLab

- Remeshing, Simplification, Reconstruction

Το εργαλείο αυτό αποτελείται από πλήθος επιμέρους εργαλείων, με δυνατότητα συμπλήρωσης κενών, «απλοποίησης» του νέφους με περιορισμό των σημείων που το αποτελούν

διατηρώντας τα βασικά του χαρακτηριστικά λεπτομερειών, επιμερισμό του νέφους σε τμήματα, αλλά και κατασκευή από αυτό επιφανειών. Για τις διαδικασίες αυτές, παρέχεται πληθώρα αλγορίθμων που αξιοποιούν διαφορετικές μεθοδολογίες, οπότε είναι δυνατό να επιλεγεί κάθε φορά το φίλτρο που αντιμετωπίζει καλύτερα τις ανάγκες που καλείται να ικανοποιήσει ο χρήστης. Η επιλογή του χρησιμοποιούμενου κάθε φορά φίλτρου, (Εικόνα 2.7) επαφίεται στη γνώση των χαρακτηριστικών του και των παραμέτρων που ο χρήστης επιλέγει, ενώ διατίθενται και κάποια επιπλέον βοηθητικά στοιχεία τόσο στην περιγραφή των φίλτρων κατά την επιλογή τους όσο και στο ειδικό κουμπί βοήθειας (Help) κατά την ενεργοποίηση του ίδιου του φίλτρου.



Εικόνα 2.7: Applied filter Subdivision Surfaces: Loop

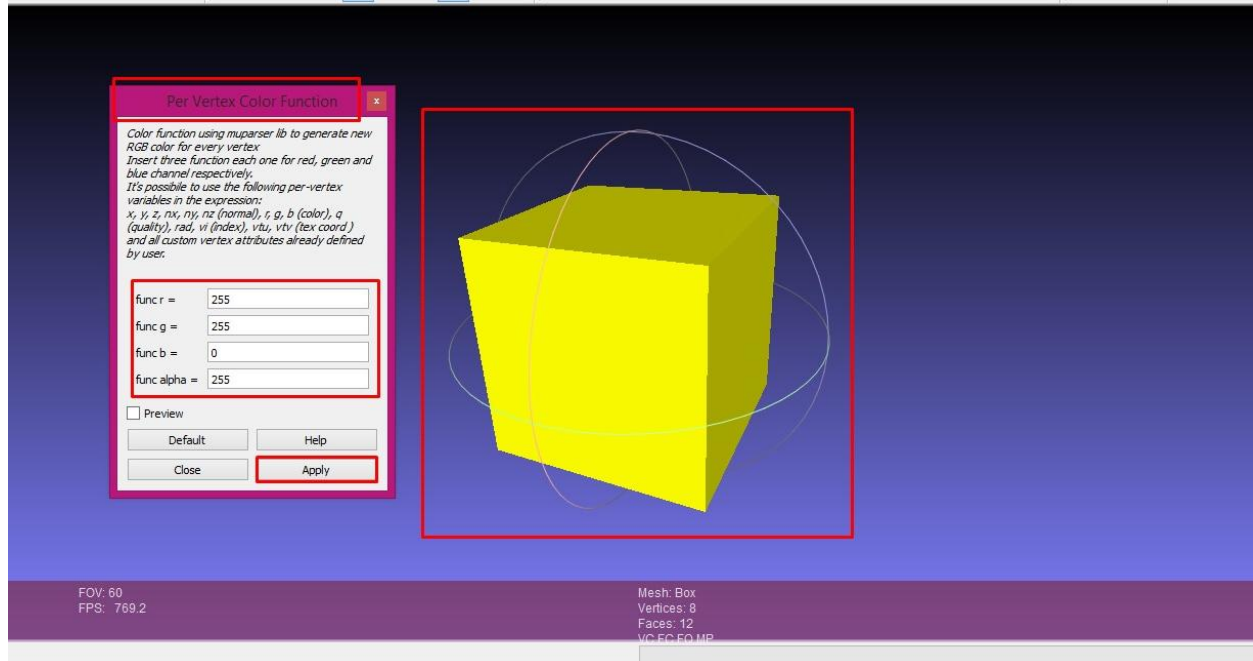
- Polygonal, Quad Mesh

Πρόκειται για το εργαλείο που επιτρέπει τη δημιουργία subdivision surfaces, δηλαδή την παραγωγή, με διάφορες μεθόδους, πλεγμάτων πολυγώνων, ξεκινώντας από ένα βασικό πλέγμα, με διαδοχικές διαδικασίες εξομάλυνσης και πύκνωσης του αρχικού πλέγματος, με σκοπό τη βέλτιστη προσέγγιση της επιφάνειας του αποδιδόμενου αντικειμένου (K.I. Joy, 2000).

- Color Creation and Processing

Επιλέγοντας το συγκεκριμένο εργαλείο, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει από πληθώρα διαφορετικών φίλτρων την απόδοση χρώματος στο τρισδιάστατο μοντέλο του όχι με σκοπό την απόδοση σε αυτού υφής, αλλά για την ανάδειξη ή των έλεγχο των χαρακτηριστικών του. Τέτοιου είδους φίλτρα μπορούν να σχετίζονται με την απόσταση των σημείων του νέφους ή των τριγώνων μεταξύ τους, την απόστασή τους από κάποιο δεδομένο σημείο, την απόδοση χρώματος βάσει της

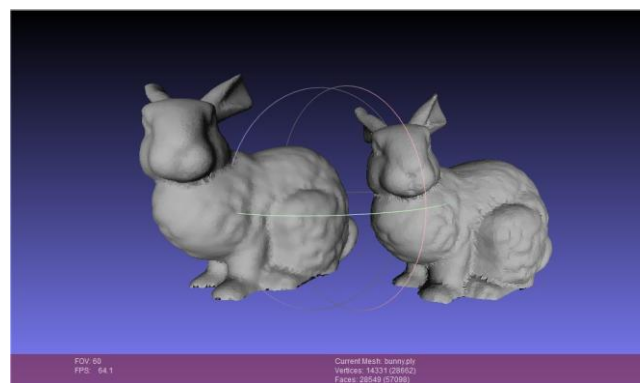
καμπυλότητας ή βάσει συναρτήσεων. Ακόμα, περιλαμβάνονται φίλτρα εξομάλυνσης του χρώματος αλλά και πιο κοινών ρυθμίσεων όπως η αντίθεση και η φωτεινότητα, εξισορρόπησης των χρωμάτων και αρκετά άλλα που επιτρέπουν πλήθος ραδιομετρικών παρεμβάσεων. (Εικόνα 2.8)



Εικόνα 2.8: Η επιλογή Color Creation and Processing του MeshLab

- Smoothing, Fairing and Deformation

Εδώ, περιλαμβάνονται φίλτρα εξομάλυνσης του μοντέλου σε σχέση με τα χαρακτηριστικά των σημείων και των τριγώνων αυτού, με ποικιλία μεθόδων καθώς και επιβολής γεωμετρικών μετασχηματισμών, με τη μορφή εξίσωσης για κάθε μια από τις συντεταγμένες σε αυτό ή βάσει άλλων χαρακτηριστικών των σημείων του νέφους.(Εικόνα 2.9)



Εικόνα 2.9: Smooth Face Normals

- Quality Measure and Computations

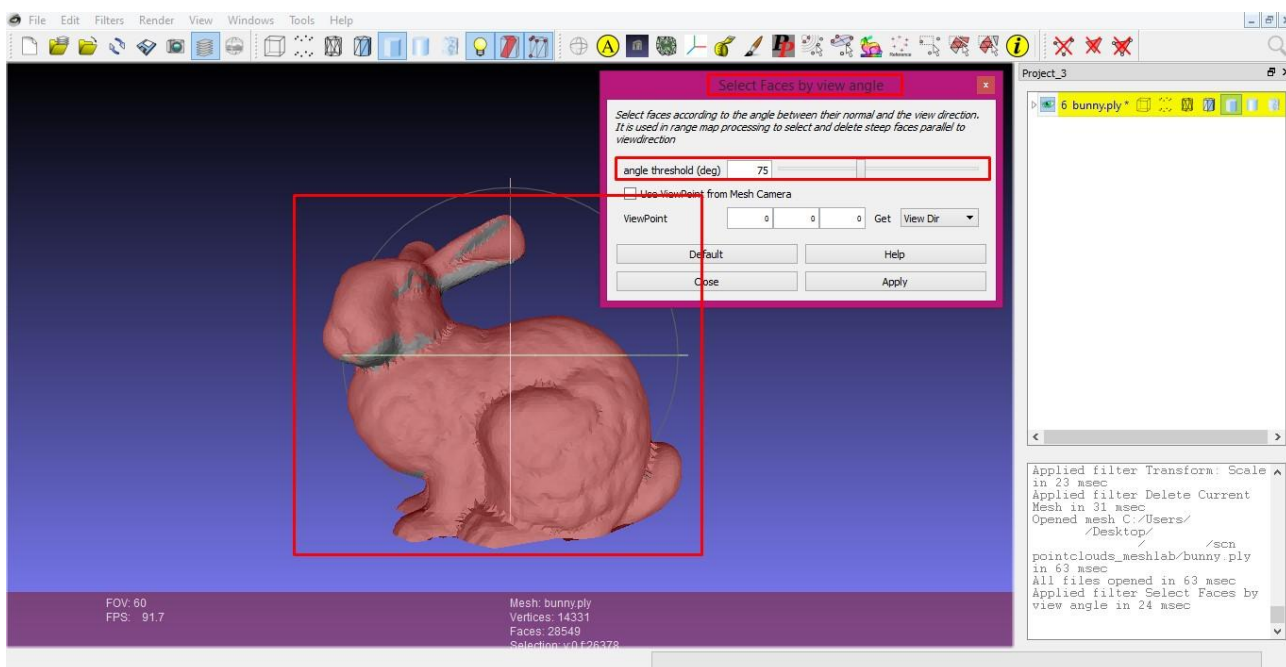
Η συγκεκριμένη επιλογή επιτρέπει την εξαγωγή ποιοτικών χαρακτηριστικών του μοντέλου, που σχετίζονται με το νέφος σημείων του, τα τοπολογικά χαρακτηριστικά του μοντέλου, την εξαγωγή ιστογραμμάτων και στατιστικών στοιχείων των σημείων και των τριγώνων της επιφάνειας του μοντέλου, την επιβολή συναρτησιακών σχέσεων μεταξύ των σημείων του νέφους ή των τριγώνων, την εξαγωγή τομών από το μοντέλο ή την επιλογή σημείων ή τριγώνων βάσει συγκεκριμένων ποιοτικών χαρακτηριστικών τους που μπορούν να προκύψουν με ορισμό από το χρήστη εύρους ή αντίστοιχων κατωφλιών που σχετίζονται με τα διανυσματικά χαρακτηριστικά του κάθε στοιχείου.

- Normals, Curvatures and Orientation

Πρόκειται για ένα εργαλείο που περιλαμβάνει φίλτρα υπολογισμού των στοιχείων καμπυλότητας, προσδιορισμού και επεξεργασίας των διανυσμάτων προσανατολισμού των σημείων του νέφους του μοντέλου. Σε αυτό, περιλαμβάνονται και τα φίλτρα επιβολής μετασχηματισμών στο μοντέλο, με μεταβολή του βασικού του άξονα, μετάθεση, στροφή και περιστροφή αλλά και επιβολή κλίμακας.

- Layer and Attribute Management

Περιλαμβάνει φίλτρα διαχείρισης των διαφόρων επιπέδων εργασίας όπου τοποθετούνται προς επεξεργασία τα νέφη σημείων και τα προκύπτοντα τρισδιάστατα μοντέλα. Στο εργαλείο αυτό συναντώνται επίσης και φίλτρα επεξεργασίας των χαρακτηριστικών των σημείων και των τριγώνων του μοντέλου.



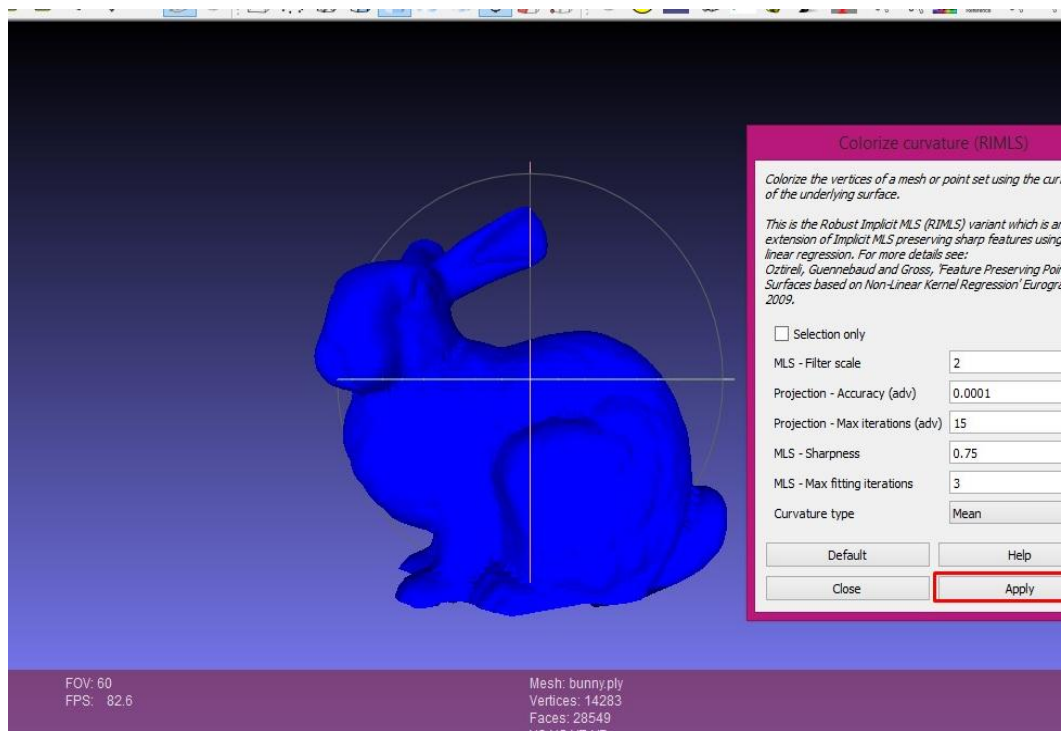
Εικόνα 2.10: Η επιλογή Range Map του MeshLab

- Range Map

Στο εργαλείο αυτό περιέχονται φίλτρα χονδρικής σύνδεσης ανεξάρτητων νεφών σε ένα ενιαίο μοντέλο και επιλογής σημείων με βάση τη γωνία που σχηματίζουν ο προσανατολισμός των τριγώνων του μοντέλου με τη διεύθυνση του οπτικού άξονα της φωτογραφικής μηχανής (view direction). (Εικόνα 2.10)

- Point Set

Είναι το εργαλείο όπου περιέχει τα φίλτρα που σχετίζονται με την επεξεργασία νεφών σημείων ή τμήματός τους, όπως το χρωματισμό τους βάσει της καμπυλότητας της υποκείμενης τους επιφάνειας, υπολογισμούς διάφορων χαρακτηριστικών τους, εξομάλυνσης και δημιουργίας επιφάνειας. (Εικόνα 2.11) Κάποια από αυτά, συναντώνται και σε άλλα εργαλεία, ανάλογα με την κατηγοριοποίησή τους.



Εικόνα 2.11: Η επιλογή Point Set του MeshLab

- Sampling

Στο εργαλείο αυτό, περιλαμβάνονται φίλτρα δειγματοληψίας επιτρέποντας την επιλογή από πλήθος διαφορετικών μεθόδων, ενώ δίνει και τη δυνατότητα πραγματοποίησης σύγκρισης της σύμπτωσης δύο νεφών σημείων. Συνδυάζοντας το φίλτρο αυτό με τα φίλτρα χρωματικής απόδοσης βάσει χαρακτηριστικών που συναντώνται στο εργαλείο Color Creation and Processing, είναι δυνατή η οπτικοποίηση με διαφορετικούς χρωματισμούς της εγγύτητας μεταξύ δύο αντίστοιχων νεφών.

- Texture

Η επιλογή αυτή παρέχει φίλτρα που σχετίζονται με την απόδοση υφής στα τρισδιάστατα μοντέλα. Και εδώ οι δυνατότητες ποικίλλουν, ανάλογα με την υπάρχουσα πληροφορία ως προς την υφή αλλά και τις ανάγκες του χρήστη.

- Camera

Το εργαλείο αυτό δίνει τη δυνατότητα παρέμβασης στα στοιχεία που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά της φωτογραφικής μηχανής και την εξαγωγή πληροφοριών από αυτά για το νέφος ή τη μετατροπή τους.

2.2 Το Λογισμικό 3D Slicer

2.2.1 Γενικά για το 3D Slicer

Το 3D Slicer (Εικόνα 2.12) είναι ένα Ελεύθερο και Ανοικτού Κώδικα Λογισμικό για την ανάλυση εικόνας και την επιστημονική απεικόνιση. Το Slicer χρησιμοποιείται σε ποικιλία ιατρικών εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένου του αυτισμού, της σκλήρυνσης κατά πλάκας, του συστηματικού ερυθματώδη λύκου, του καρκίνου του προστάτη, της σχιζοφρένειας, της ορθοπεδικής βιομηχανίας COPD, της καρδιαγγειακής νόσου και της νευροχειρουργικής.



Εικόνα 2.12: Το λογότυπο του 3D Slicer

Το 3D Slicer είναι ένα δωρεάν λογισμικό ανοιχτού κώδικα (με άδεια τύπου BSD) και αποτελεί μία ευέλικτη πλατφόρμα για την ανάλυση και απεικόνιση εικόνας. Το 3D Slicer μπορεί εύκολα να επεκταθεί και να επιτρέψει την ανάπτυξη διαδραστικών εργαλείων και εργαλείων ομαδικής επεξεργασίας για μια ποικιλία από εφαρμογές.

Επίσης, προβλέπει την καταγραφή εικόνας, επεξεργασία DTI (diffusion tractography), μια

διεπαφή για εξωτερικές συσκευές που να παρέχουν υποστήριξη στην καθοδήγηση της εικόνας μεταξύ άλλων δυνατοτήτων. Το 3D Slicer έχει μια αρθρωτή οργάνωση που επιτρέπει την προσθήκη νέων λειτουργιών και παρέχει μια σειρά από γενικές λειτουργίες που δεν είναι διαθέσιμες σε ανταγωνιστικά εργαλεία.

Οι διαδραστικές δυνατότητες απεικόνισης του 3D Slicer περιλαμβάνουν την δυνατότητα της αυθαίρετης προβολής προσανατολισμένων τομών εικόνας, την κατασκευή μοντέλων επιφάνειας (surface models) από labels εικόνας και την υψηλή απόδοση όγκου. Το 3D Slicer, επίσης, υποστηρίζει ένα πλούσιο σύνολο χαρακτηριστικών σχολιασμού (fiducials και measurement widgets).

Στις δυνατότητες του Slicer περιλαμβάνονται:

- Χειρισμός εικόνων τύπου DICOM και ανάγνωσης/γραφής πολλών άλλων formats
- Διαδραστική απεικόνιση Ογκομετρικών εικόνων και Πολυγωνικών πλεγμάτων
- Χειροκίνητη τροποποίηση
- Συγχώνευση και συν-αντιστοίχιση δεδομένων κάνοντας χρήση συμπαγών και μη αλγορίθμων
- Αυτόματη κατάτμηση εικόνας
- Παρακολούθηση συσκευών για διαδικασίες καθοδήγησης εικόνας

Το Slicer είναι μεταγλωττισμένο για χρήση σε πολλαπλές πλατφόρμες, περιλαμβάνοντας τα Window, Linux και Mac OS X.

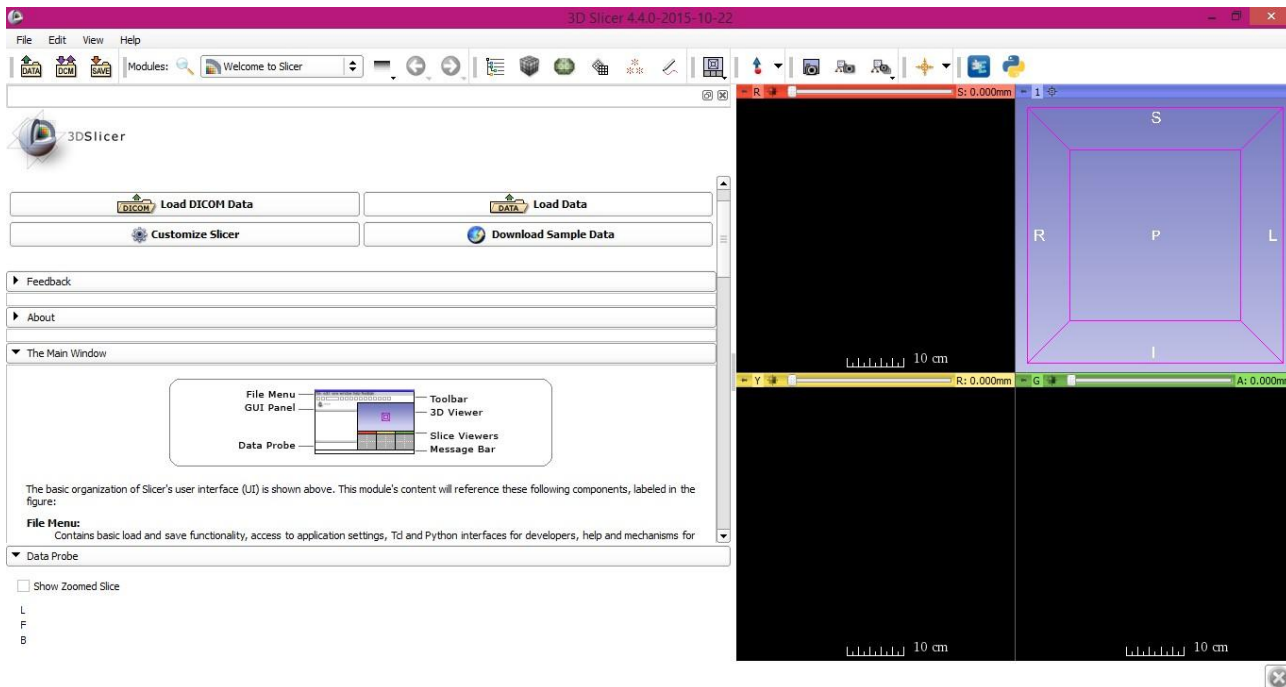
Το Slicer διανέμεται δωρεάν με άδεια BSD ανοιχτού κώδικα. Η άδεια δεν θέτει περιορισμούς σχετικά με τη χρήση του λογισμικού σε ακαδημαϊκά ή επαγγελματικά προγράμματα. Ωστόσο, δεν υπάρχουν αξιώσεις σχετικά με τη χρήση του λογισμικού για κάθε συγκεκριμένη εργασία. Είναι αποκλειστική ευθύνη του χρήστη η συμμόρφωση με τους τοπικούς κανόνες και κανονισμούς. Το Slicer δεν έχει επίσημα εγκριθεί για κλινική χρήση στην FDA στις ΗΠΑ ή από οποιαδήποτε άλλη ρυθμιστική αρχή κάπου αλλού.

Η ανάπτυξη του Slicer είναι σε εξέλιξη. Το Slicer συχνά κατηγορείται από ακαδημαϊκούς χρήστες ότι δεν είναι καλά τεκμηριωμένο και ότι έχει έλλειψη από αυτόματες διευκολύνσεις. Παρόλο που τα τυχόν σφάλματα μπορούν να αναφερθούν με Email, δεν εγγυάται ότι θα διορθωθούν εγκαίρως, πράγμα το οποίο είναι καθορισμένο από την ελεύθερα διαθέσιμη φύση του.

2.2.2 Ιστορία του 3D Slicer

Το Slicer ξεκίνησε ως διπλωματική διατριβή μεταξύ του Surgical Planning Laboratory Brigham & Women's Hospital και του MIT Artificial Intelligence Laboratory το 1998. Η 2^η έκδοση του 3D Slicer έγινε download χιλιάδες φορές και έτσι το 2007 κυκλοφόρησε μια εντελώς

ανανεωμένη 3^η έκδοση του Slicer. Τέλος, εκδόθηκε και η 4^η έκδοση του Slicer το 2011. (Εικόνα 2.13)



Εικόνα 2.13: Λειτουργικό περιβάλλον του 3D Slicer

Το Λογισμικό Slicer επέτρεψε μια ποικιλία ερευνητικών δημοσιεύσεων, που αποσκοπούν στη βελτίωση της ανάλυσης της εικόνας.

2.2.3 Χρήστες του 3D Slicer

Η πλατφόρμα του Slicer παρέχει λειτουργικότητες για κατάμηση, registration και 3D απεικόνιση πολυτροπικών δεδομένων εικόνας, όπως επίσης και την προηγμένη ανάλυση εικόνων από αλγόριθμους για diffusion tensor απεικόνιση, MRI απεικόνιση και καθοδήγηση εικόνας για θεραπεία με ακτινοβολία. Υποστηρίζονται τυπικά formats αρχείων και η εφαρμογή ενσωματώνει δυνατότητες διεπαφής σε λογισμικό βιοχημικής έρευνας.

Το Slicer έχει χρησιμοποιηθεί σε μια ποικιλία από κλινικές μελέτες. Στην έρευνα της θεραπείας με καθοδήγηση εικόνας, το Slicer χρησιμοποιείται για να κατασκευάσει και να απεικονίσει συλλογές από δεδομένα MRI που είναι διαθέσιμα προεγχειρητικά καθώς και κατά την διάρκεια, για να επιτρέψει την απόκτηση χωρικών συντεταγμένων για παρακολούθηση οργάνου. Το 3D Slicer εκτός από την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων από συμβατικές MRI εικόνες, έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για να παρουσιάσει δεδομένα παρμένα από fMRI, DTI και

ηλεκτροκαρδιογράφημα.

2.2.4 Σχεδιαστές του 3D Slicer

Το 3D Slicer έχει κτιστεί πάνω στο VTK, που είναι μια γραφική βιβλιοθήκη βασισμένη σε pipeline, που χρησιμοποιείται ευρύτερα στην επιστημονική απεικόνιση. Στην έκδοση 4 του Slicer, η βασική εφαρμογή είναι υλοποιημένη σε C++ και το API είναι διαθέσιμο μέσω του περιτυλίγματος της Python για να διευκολύνει την ταχεία και επαναλαμβανόμενη ανάπτυξη και απεικόνιση στην συμπεριλαμβανόμενη κονσόλα της Python. Η διεπαφή των χρηστών είναι υλοποιημένη σε Qt, και μπορεί να επεκταθεί χρησιμοποιώντας C++ ή Python.

Το Slicer υποστηρίζει πολλούς τύπους αρθρωτής ανάπτυξης. Οι πλήρως διαδραστικές και προσαρμοσμένες διεπαφές μπορούν να γραφτούν σε C++ ή Python.

2.3 Το ITK

2.3.1 Εισαγωγικά για το ITK

Το ITK (Εικόνα 2.14) είναι μία πολλαπλή πλατφόρμα, στο πλαίσιο ανάπτυξης εφαρμογών ανοικτού κώδικα που χρησιμοποιείται ευρέως για την κατάτμηση της εικόνας και στα προγράμματα εγγραφής της εικόνας. Η κατάτμηση είναι η διαδικασία αναγνώρισης και κατηγοριοποίησης των στοιχείων που βρέθηκαν σε ψηφιακά αντιπροσωπευτικά δείγματα. Συνήθως αυτή η δειγματοληψία 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.



Εικόνα 2.14: Λογότυπο πλατφόρμας ITK.

Το ITK αναπτύχθηκε με χρηματοδότηση από την Εθνική Βιβλιοθήκη Ιατρικής των ΗΠΑ ως ανοικτός κώδικας αλγορίθμων για την ανάλυση των εικόνων του Visible Human Project. Η

εργαλειοθήκη παρέχει αλγόριθμους κατάτμησης και καταχώρησης σε τρεις και περισσότερες διαστάσεις. Το ΙΤΚ 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 ΙΤΚ σε C++ κώδικα είναι γνωστό ως γενικού προγραμματισμού (δηλαδή, χρησιμοποιείται ο κώδικας 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 ΙΤΚ είναι ένα ανοικτού κώδικα λογισμικό, προγραμματιστές από όλο τον κόσμο μπορούν να χρησιμοποιήσουν, να διορθώσουν, να διατηρήσουν, και να επεκτείνουν το λογισμικό. Το ΙΤΚ χρησιμοποιεί ένα μοντέλο ανάπτυξης λογισμικού που αναφέρεται ως ακραίος προγραμματισμός. Ο ακραίος προγραμματισμός καταρρίπτει τη συνήθης 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 του ΙΤΚ βοηθά τη διαχείριση της ταχείας εξέλιξης του λογισμικού. Οι δοκιμές είναι αυτές που διατηρούν την αξιοπιστία του λογισμικού.

2.3.2 Προέλευση του ΙΤΚ

Το 1999, η Εθνική Βιβλιοθήκη Ιατρικής των ΗΠΑ από τα Εθνικά Ινστιτούτα Υγείας σύναψε ένα τριετές συμβόλαιο για την ανάπτυξη ενός ανοικτού κώδικα εργαλείο κατάτμησης, το οποίο τελικά κατέληξε να είναι γνωστό ως το Insight Toolkit (ITK). Ο υπεύθυνος της εργασίας για το ΙΤΚ ήταν ο Dr Terry Yoo, ο οποίος συντόνισε τους έξι βασικούς εργολάβους που έφτιαξαν το Insight Software Consortium. Στα μέλη της κοινοπραξίας περιλαμβάνονται οι τρεις εμπορικοί εταίροι GE Corporate R&D, Kitware, Inc. Και MathSoft (η επωνυμία της εταιρείας είναι πλέον Insightful) και οι τρεις ακαδημαϊκοί εταίροι Πανεπιστήμιο της Βόρειας Καρολίνας (UNC), Πανεπιστήμιο του Tennessee (UT), και το Πανεπιστήμιο της Πενσιλβανίας (UPenn). Οι κύριοι ερευνητές για τους εταίρους αυτούς ήταν, αντίστοιχα, ο Bill Lorensen στην GE CRD, ο Will Schroeder στην Kitware, Vikram Chalana στην Insightful, οι Stephen Aylward και Luis Ibáñez στο UNC (ο δεύτερος στη συνέχεια μετακόμισε στην Kitware), οι Ross Whitaker και Josh Cates στο UT (και οι δύο τώρα βρίσκονται στη Utah), και ο Δημήτρης Μεταξάς στο UPenn (ο Δημήτρης Μεταξάς είναι τώρα στο Πανεπιστήμιο Rutgers). Επιπλέον, προστέθηκαν αρκετοί υπεργολάβοι στην κοινοπραξία, συμπεριλαμβανομένων των Peter Ratiu του Νοσοκομείου Brigham & Women's, Celina Imielinska και Pat Molholt του Πανεπιστημίου της Κολούμπια, Jim Gee του Εργαστηρίου UPenn's Grasp και ο George Stetten του Πανεπιστημίου του Πίτσμπουργκ.

2.3.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά του ΙΤΚ

Παρακάτω συνοψίζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εργαλείου Insight ΙΤΚ.

Η φιλοσοφία σχεδίασης

Τα παρακάτω είναι τα βασικά χαρακτηριστικά της σχεδιαστικής φιλοσοφίας του ΙΤΚ:

- Η εργαλειοθήκη παρέχει αναπαράσταση δεδομένων και αλγορίθμων για την εκτέλεση του κατακερματισμού και την καταγραφή. Η εστίαση είναι στην ιατρικές εφαρμογές, αν και η εργαλειοθήκη είναι ικανή να επεξεργάζεται άλλους τύπους δεδομένων.
- Η εργαλειοθήκη παρέχει αναπαραστάσεις δεδομένων σε γενική μορφή για τις εικόνες (αυθαίρετη διάσταση) και (αδόμητη) μάτια.
- Η εργαλειοθήκη δεν ασχολείται με την απεικόνιση ή γραφική διεπαφή χρήστη. Αυτά είναι τα αριστερά προς άλλους Οδηγούς (όπως VTK, VisPack, 3DViewnix, MetalImage, κλπ)
- Η εργαλειοθήκη παρέχει ελάχιστα εργαλεία για τη διασύνδεση αρχείων. Και πάλι, αυτό αφήνεται να άλλους Οδηγούς / βιβλιοθήκες να παρέχουν.
- Multi-threaded (κοινόχρηστη μνήμη) παράλληλης επεξεργασίας υποστηρίζεται.
- Η ανάπτυξη των εργαλείων βασίζεται στις αρχές της ακραίας προγραμματισμού. Δηλαδή, το σχεδιασμό, την υλοποίηση και τη δοκιμή πραγματοποιείται σε μια ταχεία, επαναλαμβανόμενη διαδικασία. Δοκιμές αποτελεί τον πυρήνα αυτής της διαδικασίας. Στο Insight, δοκιμή εκτελείται συνεχώς καθώς τα αρχεία ελέγχονται, και κάθε βράδυ σε πολλαπλές πλατφόρμες και μεταγλωττιστές. Η ΙΤΚ ταμπλό δοκιμών, όπου τα αποτελέσματα δοκιμών δημοσιεύτηκε, είναι κεντρικής σημασίας σε αυτή τη διαδικασία.

Αρχιτεκτονική

Τα παρακάτω είναι τα βασικά χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής της εργαλειοθήκης:

- Η εργαλειοθήκη είναι οργανωμένη γύρω από μια αρχιτεκτονική ροής δεδομένων. Δηλαδή, τα δεδομένα αντιπροσωπεύονται χρησιμοποιώντας αντικείμενα δεδομένων τα οποία με τη σειρά τους επεξεργάζονται από διεργασία αντικείμενα (φίλτρα). Τα αντικείμενα δεδομένων και αντικειμένων διαδικασία που συνδέεται μαζί σε αγωγούς. Αγωγοί είναι σε θέση να επεξεργάζεται τα δεδομένα σε κομμάτια σύμφωνα με ένα καθορισμένο από το χρήστη όριο μνήμης που για τον αγωγό.
- Εργοστάσια Αντικείμενο χρησιμοποιούνται για την υπόσταση αντικείμενα. Εργοστάσια επιτρέπει παράταση χρόνου εκτέλεσης του συστήματος.
- Ένα πρότυπο σχεδιασμού εντολή / παρατηρητής χρησιμοποιείται για την επεξεργασία εκδήλωση.

Εφαρμογή Φιλοσοφία

Τα παρακάτω είναι τα βασικά χαρακτηριστικά της φιλοσοφίας για την εφαρμογή της εργαλειοθήκης:

- Η εργαλειοθήκη υλοποιείται με τη χρήση γενικών αρχών προγραμματισμού. Τέτοια βαριά templated κώδικα C ++ «προκαλούν» πολλούς μεταγλωττιστές, ως εκ τούτου, η ανάπτυξη τους διεξήχθη με τις τελευταίες εκδόσεις του MSVC, Sun, gcc, Intel και μεταγλωττιστές SGI.
- Η εργαλειοθήκη είναι cross-platform (Unix, Windows και Mac OS X).
- Η εργαλειοθήκη υποστηρίζει πολλές συνδέσεις γλώσσα, συμπεριλαμβανομένων των γλωσσών ως Tcl, Python, Java και. Αυτές οι συνδέσεις δημιουργούνται αυτόματα χρησιμοποιώντας μια διαδικασία αυτόματης περικάλυμμα.
- Το μοντέλο μνήμης εξαρτάται από την «έξυπνη δείκτες» που διατηρεί μία μέτρηση γίνεται αναφορά στα αντικείμενα. Έξυπνες δείκτες μπορούν να διατεθούν στη στοίβα, και όταν το πεδίο εφαρμογής εγκαταλειφθεί, οι έξυπνες δείκτες εξαφανίζονται και θα ελαττωθεί μέτρηση αναφοράς τους με το αντικείμενο που αυτά αφορούν.

3 Μαγνητικοί και Αξονικοί Τομογράφοι – Νέφος Σημείων και Αρχεία .stl

3.1 MRI και CT Scans

3.1.1 Μαγνητική Τομογραφία (MRI)

Η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (στα αγγλικά Magnetic Resonance Imaging (MRI), ή αλλιώς Πυρηνικός Μαγνητικός Συντονισμός) ή, όπως είναι περισσότερο γνωστή στην Ελλάδα, Μαγνητική Τομογραφία είναι μια ακτινολογική μέθοδος απεικόνισης του εσωτερικού ενός οργανισμού. (Εικόνα 3.1)



Εικόνα 3.1: Μαγνητικός τομογράφος MRI

- **Ιστορία**

Αρχικά πρέπει να γίνει ιδιαίτερη αναφορά στον μαθηματικό Ζοζέφ Φουριέ ο οποίος ανακάλυψε τους ομώνυμους μετασχηματισμούς, χωρίς τους οποίους θα ήταν αδύνατη σήμερα η ανακατασκευή των φασμάτων και στον Νικόλα Τέσλα για τις εφευρέσεις του σχετικά με τον ηλεκτρομαγνητισμό οι οποίες έδωσαν μεγάλη ώθηση στην περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας. Αρχικά το 1924 ο Pauli μετά από σειρά μελετών πρότεινε την θεωρητική ύπαρξη μιας εγγενούς πυρηνικής περιστροφής. Το 1925 οι Uhlenbeck και Goudsmit εισήγαγαν στην φυσική την έννοια του περιστρεφόμενου ηλεκτρονίου. Δύο χρόνια αργότερα, ο Pauli και ο Charles Galton Darwin ανέπτυξαν ένα θεωρητικό πλαίσιο για την έννοια της περιστροφής ηλεκτρονίων με βάση τους νόμους της κβαντικής μηχανικής που αναπτύχθηκαν από τον Έρβιν Σρέντινγκερ και τον Βέρνερ Χάιζενμπεργκ.

Οι πρώτες μελέτες σχετικά με τις μαγνητικές ιδιότητες των πυρήνων ξεκινούν στις αρχές της δεκαετίας του '30 με τους Gorter και Rabi. Το 1933 ο Otto Stern και ο Walther Gerlach ήταν σε θέση να μετρήσουν την επίδραση της πυρηνικής περιστροφής από την εκτροπή μιας ακτίνας μορίων υδρογόνου. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '30, το εργαστήριο του Isidor Isaac Rabi στο πανεπιστήμιο Κολούμπια της Νέας Υόρκης έγινε σημαντικό κέντρο σχετικών μελετών. Ο Gorter χρησιμοποίησε αρχικά τον όρο "πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός" σε μια δημοσίευση που εμφανίστηκε στην Ολλανδία το 1942.

Ο μαγνητικός συντονισμός περιστροφής ηλεκτρονίων ανακαλύφθηκε στο πανεπιστήμιο Kazan από τον Yevgeni K. Zavoisky προς το τέλος του 1943. Ο Zavoisky είχε ανιχνεύσει τον πυρηνικό μαγνητικό συντονισμό το 1941 και παρουσίασε τα πορίσματά του σε αγγλόφωνο ρωσικό επιστημονικό περιοδικό, αλλά δεν είχε αντίκτυπο στην επιστημονική κοινότητα της εποχής. Επίσημα το φαινόμενο του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (nuclear magnetic resonance-NMR) ανακαλύφθηκε ανεξάρτητα από τους Φέλιξ Μπλοχ (Stanford) και Έντουαρντ Πάρσελ (Harvard) το 1946 και το 1952 βραβεύονται με βραβείο Νόμπελ φυσικής.

Λίγα χρόνια αργότερα αναπτύχθηκε η φασματοσκοπία NMR, η οποία ξεκινά να εφαρμόζεται κυρίως για την *in vitro* έρευνα στοιχείων και χημικών ενώσεων (σε μελέτες με πολλές τεχνικές δυσκολίες και με αρκετά σφάλματα). Το 1955/1956, ο Erik Odeblad και ο Gunnar Lindstrom από τη Στοκχόλμη δημοσίευσαν τις πρώτες μελέτες NMR, συμπεριλαμβανομένων μετρήσεων χρόνων χαλάρωσης, μελετών ζωντανών κυττάρων και αξιολόγησης ζωικών ιστών. Ο Odeblad συνέχισε τις μελέτες σε ζωντανούς ιστούς καθ' όλη τη διάρκεια της δεκαετίας του '50 και του '60. Το 1959 ο Jay Singer μελέτησε την δυνατότητα μέτρησης ροών σε ιστούς. Στα τέλη της δεκαετίας του '60 γίνονται έρευνες για την λήψη σημάτων και προσδιορισμού των χρόνων χαλάρωσης σε ανθρώπους και σε ζώα με κυριότερη την μελέτη του J. Johns, ο οποίος μελέτησε την χημική σύσταση των ιστών ζωντανών ζώων (1967). Η εφεύρεση του αξονικού τομογράφου στα μέσα της δεκαετίας του '60 επηρέασε θετικά την έρευνα για την εξέλιξη των εφαρμογών απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού. Μερικές εβδομάδες μετά την εγκατάσταση του πρώτου αξονικού τομογράφου (Αγγλία, 1971) Paul Lauterbur ανακαλύπτει την δυνατότητα χωρικής χαρτογράφησης των μοριακών συγκεντρώσεων συνδυάζοντας τα γραμμικά βαθμιδωτά πεδία (χρησιμοποιήθηκαν πρώτη φορά από τον Erwin L. Hahn το 1950) και την τεχνική της οπισθοπροβολής (σε αυτή βασίζεται η αξονική τομογραφία).

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 πραγματοποιούνται οι πρώτες μελέτες της φασματοσκοπίας φωσφόρου για την ανάλυση δειγμάτων ερυθροκυττάρων (Moon 1973). Το 1974 ο Hoult μελετά με την φασματοσκοπία φωσφόρου την σύσταση των μυικών ιστών ποντικών. Τότε γίνεται φανερό ότι η φασματοσκοπία προσφέρει μη επεμβατική *in vivo* ανάλυση της σύστασης και του μεταβολισμού των ιστών.

Το 1972 ο Raymond Damadian ανακαλύπτει ότι οι παθολογικοί ιστοί εμφανίζουν

μεγαλύτερους χρόνους χαλάρωσης σε σχέση με τους αντίστοιχους υγιείς. Το 1973 ο Lauterbur παρουσιάζει την εικόνα δυο σωλήνων με νερό στο περιοδικό Nature και το 1974 παρουσιάζει την απεικόνιση της θωρακικής κοιλότητας ενός ποντικού. Ονόμασε την τεχνική αυτή ζευγματογραφία, όρος ο οποίος μετέπειτα αντικαταστάθηκε από τον όρο απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού. Το 1974 οι Anil Kumar, Dieter Welti και Richard Ernst παρουσίασαν την εργασία 'NMR Fourier Zeugmatography' η οποία περιγράφει την χρήση χρονικά μεταβαλλόμενων βαθμιδωτών πεδίων και την εφαρμογή των μετασχηματισμών Fourier για την ανακατασκευή των εικόνων. Επίσης το 1974 η εταιρία EMI ασχολήθηκε με την κατασκευή εξοπλισμού αυτού του είδους. Με την συνεισφορά και των εργασιών του Damadian και τις ανακαλύψεις του Lauterbur επήλθε επανάσταση στην ιατρική απεικόνιση καθώς οδήγησε στην δημιουργία του πρώτου υποτυπώδους πειραματικού μαγνητικού τομογράφου.

Οι καθηγητές Damadian, Minkoff και Goldsmith, μόλις ολοκλήρωσαν την κατασκευή του πρώτου υποτυπώδους μαγνητικού τομογράφου (Indomitale), στις 3 Ιουλίου 1977, μετά από μέτρηση 6 ωρών και ανακατασκευή 22 ωρών παρήγαγαν την πρώτη ιατρική εικόνα του ανθρώπινου σώματος (τομή θωρακικής χώρας).

Επίσης το 1977 ο Sir Peter Mansfield και η ομάδα του έλαβαν εικόνες από τομή δακτύλου του χεριού και από την κοιλιακή χώρα με την βοήθεια της τεχνικής Echo Planar Imaging (E.P.I.).

- **Τεχνική λήψης**

Ο εξεταζόμενος τοποθετείται εντός ισχυρού μαγνητικού πεδίου (τουλάχιστον 1,5 Tesla-15.000 φορές ισχυρότερο από το μαγνητικό πεδίο της γης). Υπό αυτές τις συνθήκες οι πυρήνες υδρογόνου του σώματος (που βρίσκονται σχεδόν σε όλες τις ενώσεις-νερό, λίπος και άλλες οργανικές ενώσεις) προσανατολίζονται παράλληλα ως προς της μαγνητικές γραμμές του πεδίου και εκτελούν μεταπτωτική κίνηση γύρω από τον άξονα των μαγνητικών γραμμών με συγκεκριμένη συχνότητα περιστροφής (συχνότητα Larmor). Η συχνότητα αυτή είναι χαρακτηριστική για κάθε άτομο. Η ποσότητα γ είναι ίση με το λόγο της μαγνητικής ροπής εξ' αιτίας του σπιν προς τη στροφορμή λόγω σπιν. Ο λόγος γ ονομάζεται γυρομαγνητικός λόγος του σπιν (gyromagnetic ratio). Είναι φανερό ότι για δεδομένο εξωτερικό πεδίο κάθε τύπος ατομικού πυρήνα εκτελεί μεταπτωτική κίνηση με ορισμένη συχνότητα (ιδιοσυχνότητα), που είναι διαφορετική για κάθε άτομο. Συνεπώς η μεταπτωτική αυτή κίνηση αποτελεί ένα μέσο διερεύνησης των διαφόρων τύπων πυρήνων που εμπεριέχονται σε ένα σώμα, είτε αυτό είναι δείγμα κάποιας βιολογικής ή χημικής ουσίας είτε είναι ιστός κάποιου εξεταζόμενου.

Κατά την διάρκεια της εξέτασης τα πηνία ραδιοσυχνότητας του μαγνητικού τομογράφου εκπέμπουν RF (ραδιοκύματα) με συχνότητα ίση με αυτή της περιστροφής των πυρήνων (συχνότητα Larmor). Οι πυρήνες απορροφούν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια και αλλάζει η κατάσταση περιστροφής τους. Μετά από την διέγερση με παλμούς RF, ενώ οι τροχιές μεταπίπτουν

στην αρχική τους κατάσταση, εκπέμπουν ένα αδύνατο σήμα ραδιοσυχνότητας στην συχνότητα Larmor (με μικρές αποκλίσεις). Το αδύναμο εκπεμπόμενο σήμα RF το οποίο λαμβάνουμε είναι το σήμα μαγνητικού συντονισμού. Το σήμα αυτό φθίνει με την πάροδο του χρόνου και ονομάζεται σήμα ελεύθερης επαγωγικής απόσβεσης (Free Induction Decay). Έπειτα με την εφαρμογή μετασχηματισμού Fourier στο FID (σήμα στο πεδίο του χρόνου) λαμβάνουμε το σήμα στην τελική του μορφή, δηλαδή στο πεδίο των συχνοτήτων.

Κατά την εκτέλεση εξετάσεων MRI ο χωρικός προσδιορισμός των λαμβανόμενων σημάτων γίνεται με την υπέρθεση βαθμιδωτών μαγνητικών πεδίων τα οποία αλλάζουν τοπικά την ισχύ του κύριου πεδίου με αποτέλεσμα την μικρή αλλαγή στην συχνότητα συντονισμού των πυρήνων υδρογόνου. Με αυτό τον τρόπο και την εκπομπή RF παλμών με συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων διεγείρονται συγκεκριμένες περιοχές (και μπορεί να προσδιορισθεί η θέση τους με βάση τις διαφορές στην συχνότητα και στον ρυθμό περιστροφής των πρωτονίων.

- **Μαγνητικός τομογράφος - τυπική δομή**

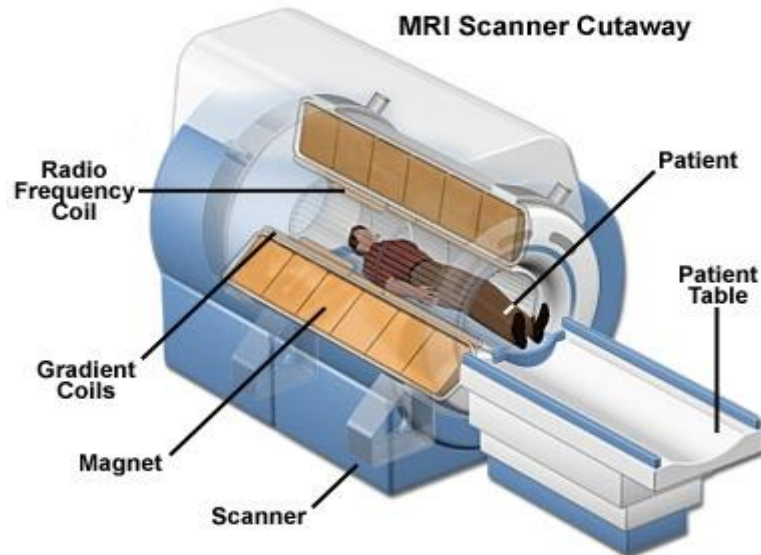
Η κύρια συνιστώσα του συστήματος είναι ο κύριος μαγνήτης που παράγει το εξωτερικό στατικό πεδίο B_0 . Υπάρχουν τρεις τύποι μαγνητών που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα συστήματα απεικόνισης:

1. μόνιμοι μαγνήτες (Permanent magnets)
2. υπεραγώγιμοι μαγνήτες (Superconductive magnets) και
3. μαγνήτες αντιστάσεως (Resistive magnets).

Οι μόνιμοι μαγνήτες κατασκευάζονται από κάποιο μόνιμα μαγνητισμένο υλικό. Οι υπεραγώγιμοι και οι μαγνήτες αντιστάσεων αποτελούνται από πηνία ή σωληνοειδή που διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα. Λειτουργούν με βάση την αρχή της παραγωγής μαγνητικού πεδίου στο περιβάλλον ενός ρευματοφόρου αγωγού. Στην περίπτωση των υπεραγώγιμων μαγνητών το υλικό κατασκευής επιλέγεται ώστε να παρουσιάζει το φαινόμενο της υπεραγωγιμότητας (superconductivity). Δηλαδή το φαινόμενο κατά το οποίο συμβαίνει μηδενισμός της ηλεκτρικής αντίστασης σε χαμηλές θερμοκρασίες (χαμηλότερες από μια ορισμένη τιμή που είναι διαφορετική για κάθε υλικό). Εκτός από τον βασικό μαγνήτη ένα σύστημα απεικόνισης πρέπει να διαθέτει τέσσερα ακόμα είδη πηνίων:

1. πηνία βαθμίδας (gradient coils), για την παραγωγή της βαθμίδας πεδίου και το χωρικό προσδιορισμό της απεικονιζόμενης περιοχής
2. πηνία εξομάλυνσης (shim coils), για την εξομάλυνση των ανομοιογενειών του στατικού μαγνητικού πεδίου
3. πηνία ραδιοσυχνότητας (RF coils), για παραγωγή μαγνητικών παλμών και ανίχνευση σημάτων FID και

4. πηνία επιφανείας (surface coils), για την διέγερση της επιλεγμένης περιοχής του σώματος. Τέλος το απεικονιστικό σύστημα περιλαμβάνει έναν ισχυρό ηλεκτρονικό υπολογιστή για την ανακατασκευή και την επεξεργασία των λαμβανόμενων σημάτων.



Εικόνα 3.2: Τμήματα μαγνητικού τομογράφου (MRI)

Όλο το σύστημα του μαγνήτη, με τα διάφορα πηνία, βρίσκεται στο βασικό σώμα (ή ικρίωμα-gantry) του μηχανήματος. Το σώμα έχει συνήθως σχήμα, κατά προσέγγιση, ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου με ένα άνοιγμα-σήραγγα (τούνελ) στο μέσον της πρόσοψής του. Στο άνοιγμα αυτό εισάγεται ο ασθενής. (Εικόνα 3.2) Το άνοιγμα είναι σημαντικά μεγαλύτερο στα λεγόμενα συστήματα ανοικτών μαγνητών (open magnets). Σε τέτοια συστήματα το βασικό σώμα του μηχανήματος μπορεί να έχει τη μορφή δύο κυλινδρικών δακτυλίων. Ανάμεσα στους δακτυλίους υπάρχει επαρκής χώρος ώστε να διευκολύνονται χειρουργικές επεμβάσεις (σε χώρους χειρουργείου). Σε άλλα συστήματα το σώμα του μηχανήματος έχει δύο κυλινδρικά σώματα (πόλοι), εκ των οποίων το ένα βρίσκεται επάνω από τον ασθενή και το άλλο από κάτω. Συνεπώς μεταξύ των πόλων υπάρχει επαρκής χώρος για επεμβάσεις, για εξετάσεις παιδιών και για διευκόλυνση κλειστοφοβικών ασθενών. Το βασικό σώμα του μηχανήματος είναι τοποθετημένο σε κατάλληλα διευθετημένο χώρο που ονομάζεται χώρος εξέτασης (scan room).

- **Πλεονεκτήματα**

Με την αποκλειστική χρήση μαγνητικού τομογράφου είναι δυνατή η λήψη πληροφοριών σχετικά με την βιοχημική κατάσταση των ιστών με την μορφή εικόνων και φασμάτων. Η MRI προσφέρει την δυνατότητα του έγκαιρου εντοπισμού διαφόρων βιοχημικών αλλαγών οι οποίες συμβαίνουν πριν το σχηματισμό κακοήθειας. Επίσης σε σχέση με άλλες απεικονιστικές μεθόδους,

οι οποίες βασίζονται στην ανίχνευση συγκεκριμένων ιχνηθετών με εξειδικευμένη δράση, προσφέρουν μεγαλύτερη ευαισθησία, καλύτερη διακριτική ικανότητα και μεγαλύτερη ευελιξία στην εφαρμογή. Η μαγνητική τομογραφία προσφέρει μία πληθώρα εργαλείων για την εύρεση και την παρακολούθηση της πορείας διαφόρων βλαβών καθώς επίσης και την δυνατότητα πολλών επαναλήψεων μιας και οι ασθενείς δεν επιβαρύνονται με ιοντίζουσες ακτινοβολίες ή άλλες χημικές ουσίες. Επίσης η εφαρμογή της γεφυρώνει το χάσμα της ανατομικής απεικόνισης και της μοριακής απεικόνισης καθώς προσφέρει την δυνατότητα χωρικής απεικόνισης της λειτουργικής κατάστασης των ιστών. Με την βοήθεια της μαγνητικής τομογραφίας είναι δυνατή η σταδιοποίηση και ο χαρακτηρισμός, η εκτίμηση της πορείας της νόσου και η παρατήρηση της ανταπόκρισης των ιστών στην θεραπεία. Η δυνατότητα εφαρμογής σε όλες σχεδόν τις ανατομικές περιοχές και η ραγδαία εξέλιξη της σχετικής τεχνολογίας υπόσχονται ταχύτερη, καλύτερη και ακόμα πιο έγκαιρη διάγνωση σε σχέση με άλλες πιο πολύπλοκες και ακριβότερες διαγνωστικές μεθόδους.

Συνοπτικά τα κυριότερα πλεονεκτήματα είναι:

- α. η εκμετάλλευση πολλαπλών φυσικών παραμέτρων για τη λήψη φασμάτων και μεταβολικών χαρτών υψηλής διαγνωστικής αξίας και στα τρία χωρικά επίπεδα.
- β. η αποφυγή επιβάρυνσης του εξεταζόμενου με ιοντίζουσες ακτινοβολίες (ακτινοβολίες Χ, γ, β - δυνατότητα επανάληψης χωρίς σημαντικές επιπτώσεις).
- γ. ο προσδιορισμός της βιοχημικής σύστασης του οργανισμού με διαδικασίες ανώδυνες, με μη επεμβατικό χαρακτήρα.

- **Μειονεκτήματα**

Η μαγνητική τομογραφία, παρότι έχει φέρει νέα επανάσταση στην ακτινοδιαγνωστική εμφανίζει και ορισμένα μειονεκτήματα:

- α. Η αφθονία εφαρμογών και η απαίτηση σύνθετης γνώσης φυσικών παραμέτρων, υπολογιστών, μαθηματικών, φυσιολογίας και ανατομίας για την σωστή εκμετάλλευση αυτού του εργαλείου καθιστά σχετικά δύσκολη την εφαρμογή του.
- β. Η μεγάλη χρονική διάρκεια εκτέλεσης ορισμένων ακολουθιών.
- γ. Η ερμηνεία και η επεξεργασία των εικόνων και των ποσοτικών δεδομένων καθώς επίσης και η δυσκολία αναγνώρισης των ψευδενδείξεων.
- δ. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στην ιατρική έχουν υψηλό κόστος (περίπου ένα εκατομμύριο δολάρια ανά Τέσλα για μία μονάδα, καθώς και μερικές χιλιάδες ευρώ για τη συντήρησή τους).

- **Χρήση σε άλλες επιστήμες**

Ο Μαγνητικός Συντονισμός έχει επίσης βρει πολλές πρωτότυπες εφαρμογές σε άλλα πεδία πέραν της ιατρικής και της βιολογίας, από τον καθορισμό της περατότητας βράχων ως τους υδρογονάνθρακες και ορισμένες μεθόδους μη-καταστρεπτικών δοκιμών υλικών, ενώ αποτελεί και

μια μέθοδο ανίχνευσης ποσοτήτων νερού σε γεωλογικές δομές. Άλλες πρόσφατες υλοποιήσεις αφορούν στρατιωτικές εφαρμογές και την ασύρματη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας (Intel, 2008).

- **Σκιαγραφικές ουσίες στην μαγνητική τομογραφία**

Πρόκειται για ουσίες που χρησιμοποιούνται, όπως και στις άλλες απεικονιστικές μεθόδους για ενίσχυση της αντίθεσης μεταξύ δυο ιστών. Οι ουσίες που χρησιμοποιούνται στο μαγνητικό συντονισμό διαφέρουν τελείως από αυτές των ακτίνων Χ. Μια βασική διαφορά είναι ο μηχανισμός μέσω του οποίου επιτυγχάνεται η ενίσχυση της αντίθεσης. Στις ακτίνες Χ χρησιμοποιούνται υλικά μεγάλου ατομικού αριθμού που απορροφούν την ακτινοβολία. Στο μαγνητικό συντονισμό η ενίσχυση της αντίθεσης βασίζεται στη μεταβολή των χρόνων μαγνητικής αποκατάστασης. Οι χρησιμοποιούμενες ουσίες είναι κυρίως παραμαγνητικά ιόντα, παραμαγνητικά σύμπλοκα και μοριακό οξυγόνο. Πρόκειται για μόρια ή ιόντα που διαθέτουν ένα ασύζευτο (μονήρες) ηλεκτρόνιο. Το ηλεκτρόνιο αυτό έχει μεγάλη μαγνητική ροπή. Όταν μια παραμαγνητική ουσία βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο (B_0) οι μαγνητικές ροπές προσανατολίζονται παράλληλα με τις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Το αποτέλεσμα είναι η μεταβολή της έντασης του τοπικού πεδίου με αντίστοιχες μεταβολές στους χρόνους μαγνητικής αποκατάστασης των γειτονικών ιστών (που παρουσιάζουν διαγνωστικό ενδιαφέρον). Αυτό που ενδιαφέρει, ως προς την ενίσχυση της αντίθεσης είναι η ελάττωση του χρόνου μαγνητικής αποκατάστασης. Η ελάττωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση του σήματος που προέρχεται από τον εξεταζόμενο ιστό. Η ελάττωση του χρόνου μαγνητικής αποκατάστασης είναι ανάλογη της συγκέντρωσης της παραμαγνητικής ουσίας και του τετραγώνου της μαγνητικής ροπής. Η χορήγηση των σκιαγραφικών ουσιών μπορεί να γίνει με ενδοαγγειακή έγχυση, από το στόμα ή και με εισπνοή. Ως σκιαγραφικά ενδοαγγειακής έγχυσης έχουν προταθεί τα ιόντα Γαδολίνιου (Gd^{3+}), Χρωμίου (Cr^{3+}) και Μαγγανίου (Mn^{2+}) συνδεδεμένα με χημικά σύμπλοκα όπως EDTA και DTPA, καθώς επίσης και ελεύθερες σταθερές ρίζες μονοξειδίου του Αζώτου (Nitroxide stable free radicals- NSFR) και κυρίως τα παράγωγα πιπεριδίνη και πυρρολιδίνη. Ως ουσίες χορηγούμενες από το στόμα έχουν προταθεί: διαλυτά μεταλλικά ιόντα όπως (ferric ammonium citrate), διαλυτά μεταλλικά σύμβολα ιόντων όπως Cr-EDTA και αδιάλυτες ουσίες όπως (gadolinium oxalate). Τέλος για χορήγηση με εισπνοή έχει προταθεί το μοριακό οξυγόνο το οποίο διαθέτει δυο ασύζευκτα ηλεκτρόνια (με παράλληλα spin) και συνεπώς είναι παραμαγνητικό. Εκτός από τις σκιαγραφικές ουσίες που επηρεάζουν τους χρονικούς T1, T2 έχουν προταθεί και ουσίες που επηρεάζουν την πυκνότητα πρωτονίων χωρίς όμως σημαντικές εφαρμογές μέχρι στιγμής.

- **Βιολογικές επιπτώσεις**

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού είναι ότι οι εξεταζόμενοι και το προσωπικό δεν εκτίθενται σε ιοντίζουσα ακτινοβολία. Υπάρχει όμως η επίδραση τριών διαφορετικών μαγνητικών πεδίων: του στατικού μαγνητικού πεδίου B_0 , των

βαθμίδων πεδίου G_x , G_y κλπ. και των μαγνητικών παλμών B1. Αυτοί οι τελευταίοι αποτελούν τη λεγόμενη "ακτινοβολία ραδιοσυχνότητα". Οι πιθανές βιολογικές επιπτώσεις θα προέρχονται άμεσα ή έμμεσα από τα τρία αυτά πεδία. Ως προς την επίδραση στατικών πεδίων σε βιολογικούς οργανισμούς υπάρχουν μια σειρά από δεδομένα προερχόμενα από άλλους χώρους εργασίας. Π.χ. εργαστήρια Πυρηνικής Φυσικής που χρησιμοποιούν επιταχυντές σωματιδίων. Υπάρχουν επίσης αποτελέσματα που προέρχονται από πειράματα σε ζώα (κυρίως ποντίκια). Γενικά, εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις, δεν έχουν μέχρι αυτή τη στιγμή παρατηρηθεί τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα βλαβερά βιολογικά αποτελέσματα. Π.χ. μυτογενετικά αποτελέσματα (mutogenic effects), ηλεκτρική αγωγιμότητα νεύρων (nerve conduction E.C.G. characteristics). Η ανάπτυξη μικρού ηλεκτρικού δυναμικού σε αγγεία μεγάλης διαμέτρου που κινούνται κάθετα στο πεδίο, δεν φαίνεται να έχει αποτελέσματα στη λειτουργία της καρδιάς. Διαφορά δυναμικού μπορεί να αναπτυχθεί εξ' αιτίας της κίνησης φορτίων που βρίσκονται μέσα σε ρευστά (αίμα) που ρέουν στο εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος. Στο φορτίο ασκούνται δυνάμεις Laplace, λόγω της ύπαρξης μαγνητικού πεδίου, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου και ηλεκτρικού δυναμικού. Όπως έχει υπολογισθεί για την αορτή, αναπτύσσεται μια διαφορά δυναμικού πεδίου 16 mVolt/Tesla όταν η ταχύτητα ροής είναι περίπου 0,6 m/sec. Προβλήματα μπορεί να παρουσιασθούν έμμεσα με ασθενείς που φέρουν διάφορες μεταλλικές εμφυτεύσεις π.χ. aneurysm clips, heart valves, dental plates. Επίσης σε ασθενείς που συνοδεύονται από IV stands, μπουκάλες οξυγόνου, physiological monitors κλπ. Αντικείμενα κατασκευασμένα με σιδηρομαγνητικό υλικό τείνουν να στραφούν έτσι ώστε να ευθυγραμμισθούν με τις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Σε ορισμένες περιπτώσεις (aneurysm clips, heart valves) κάτι τέτοιο είναι καταστρεπτικό. Επίσης, όμως έχει προαναφερθεί, τέτοια αντικείμενα παραμορφώνουν το μαγνητικό πεδίο και υποβαθμίζεται έτσι η ποιότητα της διαγνωστικής εικόνας. Ανάλογα με τη νομοθεσία της κάθε χώρας το ανώτατο όριο στατικού μαγνητικού πεδίου καθορίζεται σε 2 ή 2,5 T (Η.Π.Α., Βρετανία). Μια βάση για τον καθορισμό του ορίου 2,5 Tesla είναι το γεγονός ότι, σε τέτοιες τιμές πεδίου, αναπτύσσεται στα τοιχώματα της αορτής τάση 40 mVolt περίπου ($2,5 \text{ Tesla} \times 16 \text{ mVolt/Tesla}$). Η τιμή 40 mVolt αποτελεί όριο πέραν του οποίου εμφανίζονται φαινόμενα αποπόλωσης των καρδιακών μυϊκών ινών. Συνιστάται επίσης στους εργαζόμενους σε συστήματα μαγνητικού συντονισμού να μην εκτίθενται για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε μαγνητικά πεδία εντονότερα των 0,02 Tesla (ολόσωμη έκθεση). Εάν πρόκειται μόνο για τα χέρια το όριο είναι 0,2 Tesla. Επίσης εάν η παραμονή στο πεδίο είναι συντομότερη από 15 λεπτά τα όρια αυξάνονται σε 0,2 Tesla και 2 Tesla αντίστοιχα. Προβλήματα μπορεί να παρουσιασθούν εξ' αιτίας της απότομης χρονικής μεταβολής του πεδίου κατά την εφαρμογή και την άρση των βαθμίδων. Ένα πρώτο φαινόμενο είναι η ανάπτυξη επαγωγικών ρευμάτων στους ιστούς. Κάτι τέτοιο μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σε νευρικά κύτταρα, στους μύς της καρδιάς και του αναπνευστικού (muscle fibers of the heart, respiratory musculature). Σημαντικό πρόβλημα

φαίνεται ότι είναι η διέγερση του αμφιβληστροειδούς. Εξ' αιτίας της διέγερσης των magnetic retinal phosphenes προκαλείται η αίσθηση αναλαμπών φωτός. Αυτή η τελευταία παρουσιάζεται όταν η πυκνότητα ρεύματος (i/s) στους ιστούς είναι 1-10 A/m. Άλλα πιθανά προβλήματα εξ' αιτίας της χρονικής μεταβολής του πεδίου μπορεί να είναι: ventricular fibrillations και alterations in bone heating. Όπως έχει προαναφερθεί ως όριο χρονικής μεταβολής του πεδίου έχουν τεθεί τα 3T/sec. Καθώς επίσης πειράματα που έχουν γίνει σε ποντίκια έχουν δείξει ότι ρυθμοί μεταβολής μέχρι και 60 T/sec δεν επιφέρουν αξιοσημείωτες βλάβες (δεν παρουσιάζονται προβλήματα καρδιακά, αναπνευστικά κλπ.). Πάντως κανένα πρόβλημα βιολογικών επιπτώσεων δεν παρουσιάζεται τουλάχιστο όσον αφορά τις ισχύς των παλμών που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα συστήματα μαγνητικού συντονισμού. Συνήθως διατίθενται κατάλληλες ασφάλειες στα πηνία ώστε η ισχύς στους ιστούς να μην υπερβαίνει κάποια όρια. Ένα σημαντικό ζήτημα σχετικό με την "ακτινοβολήση" του εξεταζομένου με ενέργεια RF. είναι ο καθορισμός ορισμένων ανωτάτων οριακών τιμών απορροφούμενης ισχύος. Οι τιμές αυτές δεν θα πρέπει να υπερβαίνονται κατά τις εξετάσεις. Σύμφωνα με την Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων των Η.Π.Α. (Food- Drug Administration) το όρια αυτά πρέπει να είναι 2 Watt/Kgr για ένα γραμμάριο ιστού ή 0,4 Watt/Kgr μέση τιμή για ολόκληρο το σώμα. Στη Βρετανία έχει καθορισθεί η τιμή 4 Watt/Kgr για ένα γραμμάριο. Τα όρια απορροφούμενης ισχύος έχουν τεθεί με βάση το συλλογισμό ότι δεν θα πρέπει να εισάγεται στον ανθρώπινο οργανισμό θερμότητα περισσότερη απ' όση αυτός παράγει σε κατάσταση ηρεμίας (Βασικός ρυθμός μεταβολισμού). Πρακτικά βάση για τον καθορισμό αυτών των ορίων αποτελεί η απαίτηση η αύξηση της θερμοκρασίας να μην υπερβαίνει τον 1οC. Γενικά, στο ζήτημα της θέρμανσης των ιστών απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή διότι η τοπική εναπόθεση μεγάλων ποσοτήτων ισχύος μπορεί να είναι αποτέλεσμα τυχαίων γεγονότων. Π.χ. κλειστοί βρόγχοι αγωγίμου σύρματος που μπορεί να βρίσκεται στον ασθενή. Στους βρόγχους αυτούς παρουσιάζονται επαγωγικά φαινόμενα, με αποτέλεσμα το συντονισμό τους και την εναπόθεση ισχύος στους ιστούς. Πρόβλημα μπορεί να παρουσιασθεί επίσης εάν δεν υφίσταται ορθή αποσύζευξη του πηνίου δέκτη από το πηνίο πομπός. Τέλος όπως έχει ήδη αναφερθεί, προβλήματα παρουσιάζονται στη λειτουργία των βηματοδοτών. Συνεπώς ασθενείς με βηματοδότη θα πρέπει να αποκλείονται από εξετάσεις με μαγνητικό συντονισμό. Δεν θα πρέπει επίσης να πλησιάζουν σε χώρους με πεδία ισχυρότερα από 3 ή 5 Gauss. Ένα πρόβλημα που πρέπει να προβλέπεται από τους κανονισμούς είναι η πιθανότητα εκτόξευσης μικρών διαστάσεων μεταλλικών αντικειμένων λόγω ανάπτυξης ισχυρών μαγνητικών δυνάμεων. Συνεπώς η παρουσία ανιχνευτών μεταλλικών αντικειμένων (συνήθως υπό μορφή αφίδας) είναι απαραίτητη σε κάθε τμήμα μαγνητικού συντονισμού. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να εστιασθεί στην ενημέρωση και την εξοικείωση του προσωπικού κάθε κατηγορίας με τις ιδιότητες του μαγνητικού πεδίου και τα πάσης φύσεως φαινόμενα που οφείλονται στην ύπαρξή του. Π.χ. όργανα και εργαλεία που χρησιμοποιούνται στη

συντήρηση του συστήματος είναι δυνατόν να μη λειτουργούν σωστά, να μη μπορούν να χρησιμοποιηθούν ή να μην επιτρέπεται η παρουσία τους στο χώρο του πεδίου (λόγω επικινδυνότητας). Άτομα που μπορεί να εισέλθουν στο χώρο που βρίσκεται το μηχάνημα σε ώρες εκτός του κανονικού ωραρίου λειτουργίας (π.χ. καθαρίστριες, φύλακες, πυροσβέστες) μπορεί να κινδυνεύσουν εάν δεν έχουν ενημερωθεί. Πρέπει επίσης να γίνεται αυστηρός έλεγχος σε διάφορα αντικείμενα για τα οποία υπάρχει υποψία παρουσίας σιδηρομαγνητικού υλικού. Γενικά ο χώρος πρέπει κατά τις ώρες εκτός ωραρίου λειτουργίας να φυλάσσεται προσεκτικά ή να είναι κλειδωμένος ιδιαίτερα όταν πρόκειται για ισχυρούς υπεραγωγίσιμους μαγνήτες. Προβλήματα ενδέχεται να παρουσιασθούν στους εξεταζόμενους κατά την απότομη διακοπή του μαγνητικού πεδίου (quenching). Π.χ. ανάπτυξη επαγωγικών ρευμάτων στον ασθενή που μπορεί να προκαλέσουν κάποιο καρδιακά επεισόδιο.

3.1.2 Αξονική Τομογραφία (CT Scans)

Η αξονική τομογραφία ή Υπολογιστική τομογραφία (στα Αγγλικά αρχικά Axial Tomography, σήμερα Computed Tomography - CT) είναι ακτινολογική μέθοδος εξέτασης του ανθρώπινου σώματος. Μπορεί να απεικονίσει σε κάθετες τομές ολόκληρο το σώμα, χρησιμοποιώντας την ακτινοβολία Χ. (Εικόνα 3.3)



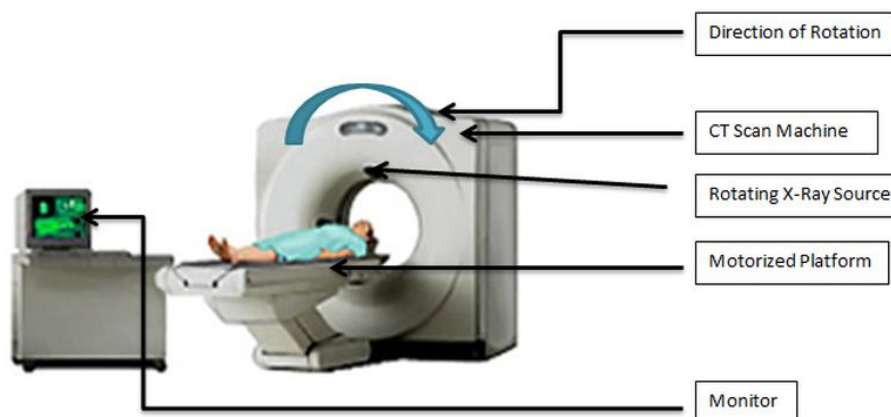
Εικόνα 3.3: Αξονικός τομογράφος (CT Scanner)

- **Ιστορία**

Η αξονική τομογραφία εισήχθη στην ιατρική διαγνωστική τη δεκαετία του 1970 (για την ακρίβεια το 1968) και έφερε επανάσταση στο χώρο. Ξεκίνησε από τις ΗΠΑ και το πρώτο όργανο που μελετήθηκε με αυτήν ήταν ο εγκέφαλος. Η μέθοδος έτυχε ταχέως καθολικής αποδοχής, κυρίως, για το ότι δεν προκαλεί καμία ταλαιπωρία στους ασθενείς και έχει μεγάλη διαγνωστική ακρίβεια.

- **Τεχνική λήψης**

Οι αξονικές τομογραφίες λαμβάνονται με ένα μεγάλο όργανο, που καλείται αξονικός τομογράφος. Ο εξεταζόμενος τοποθετείται σε ύπτια θέση σε ένα κινούμενο κάθισμα το οποίο αργά διέρχεται μέσω μιας κυκλικής τρύπας του μηχανήματος. Αποφεύγεται να ακτινοβοληθούν οι οφθαλμοί, γι' αυτό και το κεφάλι τοποθετείται με κλίση 15ο προς τα κάτω. Όση ώρα ο εξεταζόμενος βρίσκεται μέσα στην κυκλική περιοχή ακτινοβολείται με ακτίνες ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Με αυτήν τη μέθοδο λαμβάνονται κάθετες λεπτές τομές (μεταξύ 0,6-10 χιλιοστών) του ανθρώπινου σώματος, οι οποίες αποτυπώνονται σε φιλμ και εκτυπώνονται σε ειδικό χαρτί, με χρώμα μαύρο - άσπρο και διαφανές. (Εικόνα 3.4)



Εικόνα 3.4: Τμήματα αξονικού τομογράφου (CT Scanner)

Οι εικόνες αποθηκεύονται στον υπολογιστή και μπορούν να μεταφερθούν οπουδήποτε. Συνήθως αποθηκεύονται και σε CD που δίδεται στον ασθενή και έτσι μπορεί να γίνει διάγνωση σε οποιονδήποτε άλλον υπολογιστή με τη χρήση κατάλληλων προγραμμάτων.

Τα συμπαγή μόρια φαίνονται καλύτερα. Έτσι απεικονίζεται το εσωτερικό του σώματος και επιτρέπεται στον εξεταστή να αναζητήσει βλάβες μέσα στα όργανα ή να εντοπίσει ανωμαλίες σε σημεία που ήταν αδιανόητο να εντοπιστούν με την απλή ακτινογραφία.

Μια τελευταία εξέλιξη της αξονικής τομογραφίας είναι η ελικοειδής αξονική τομογραφία (spiral) η οποία, πέρα από άλλα πλεονεκτήματα, παρέχει τη δυνατότητα ανακατασκευής των εικόνων, ώστε να έχουμε και τομές σε άλλα επίπεδα (μετωπιαία, στεφανιαία και λοξά), πράγμα που

μέχρι τώρα μόνο η μαγνητική τομογραφία μπορούσε να κάνει.

Υπάρχει επίσης η δυνατότητα διαμόρφωσης εντυπωσιακών εικόνων τριών διαστάσεων (3D), που βοηθούν πολύ στην ορθοπεδική και στην αγγειολογία-καρδιολογία.

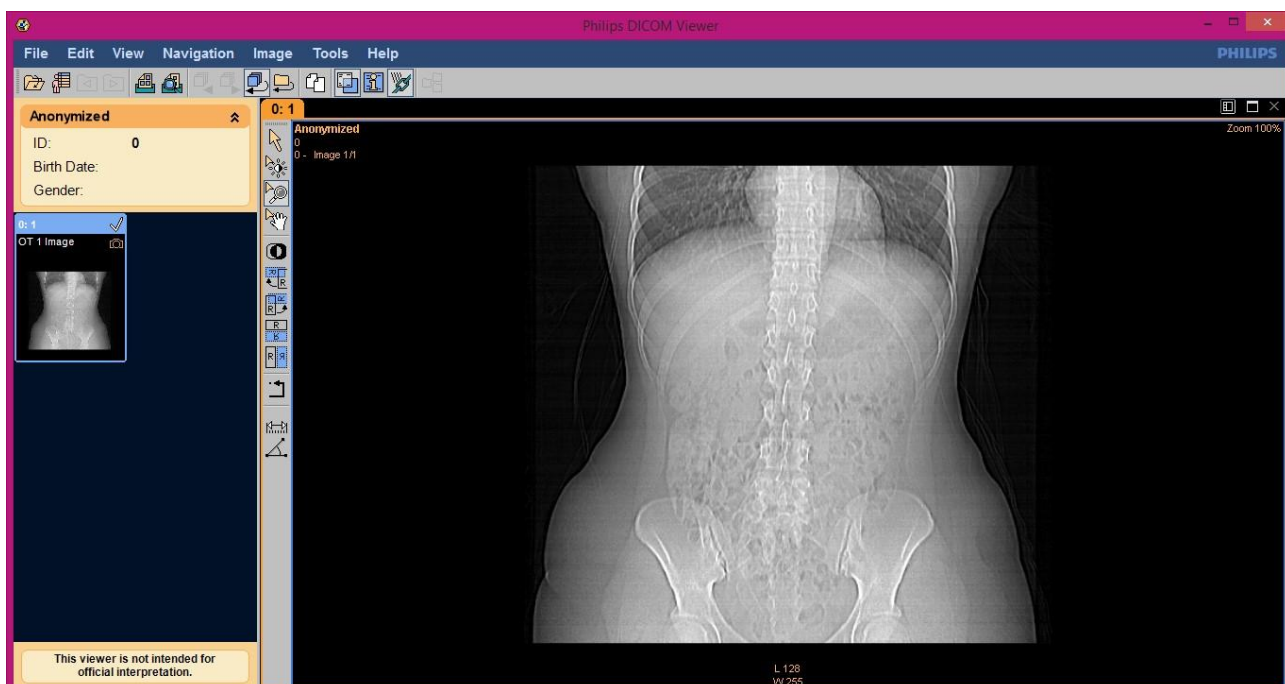
Ορισμένες φορές η εξέταση γίνεται μετά από ενδοφλέβια έγχυση σκιερής ουσίας (ιωδιούχο σκιαγραφικό), ενώ σε κάποιες ειδικές περιπτώσεις λαμβάνονται πολύ λεπτές τομές 1-2 χιλ.

- **Μειονεκτήματα**

Η αξονική τομογραφία, παρά τα τεράστια θετικά της, έχει και ορισμένα μειονεκτήματα. Τα πιο βασικά είναι:

1. Ο εξεταζόμενος ακτινοβολείται με μεγάλη ποσότητα ακτίνων Χ, και η ακτινοβολία έχει διαπιστωθεί ότι είναι ένας μεταλλαξιογόνος παράγοντας
2. ένα πολύ μικρό ποσοστό ανθρώπων εμφανίζει αλλεργία στη σκιαγραφική ουσία
3. η εικόνα είναι σχετικά "άκαμπτη", αφού η μέγιστη κλίση λήψης που επιτυγχάνεται είναι 30ο. Για ορισμένα από αυτά τα σημεία, εξέλιξη της αξονικής θεωρείται η μαγνητική τομογραφία
4. δεν απεικονίζει καλά τα μαλακά μόρια.

3.1.3 Το Πρότυπο DICOM



Εικόνα 3.5: Philips DICOM Viewer 3.0

Το πρότυπο DICOM αποτελεί το βασικό «εργαλείο» για τη δόμηση των λειτουργιών του PACS. Η έκδοση 3.0 του DICOM (επίσης γνωστή ως DICOM 3.0) εκδόθηκε το 1993 και είναι το τρέχον πρότυπο. Το «DICOM» είναι συνώνυμο με το DICOM 3.0 δεδομένου ότι δεν υπήρξε καμία

προηγούμενη έκδοση με όνομα DICOM 1.0 ή DICOM 2.0. Ωστόσο, πριν από το DICOM 3.0, το πρότυπο είχε διαφορετικό όνομα και ονομαζόταν πρότυπο ACR/NEMA 2.0. Με την εισαγωγή της υπολογιστικής τομογραφίας (computed tomography – CT) ακολουθούμενης από άλλα ψηφιακά διαγνωστικά ιατρικά μηχανήματα τη δεκαετία του '70 και την αυξανόμενη χρήση των υπολογιστών στις κλινικές εφαρμογές, το American College of Radiology (ACR) και ο National Electrical Manufacturers Association (NEMA) αναγνώρισαν την επείγουσα ανάγκη για μια τυποποιημένη μέθοδο μεταφοράς εικόνων και της σχετιζόμενης πληροφορίας μεταξύ των συσκευών που προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές. Αυτές οι συσκευές παρήγαγαν μια μεγάλη ποικιλία από διαφορετικούς τύπους ψηφιακών εικόνων. Το ACR και ο NEMA σχημάτισαν μια κοινή επιτροπή το 1983 για την ανάπτυξη ενός προτύπου που θα είχε τα παρακάτω βασικά χαρακτηριστικά:

- Να προωθεί την επικοινωνία που σχετίζεται με την πληροφορία των παραγόμενων ψηφιακών ιατρικών εικόνων ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή της συσκευής που τις παράγει.
- Να διευκολύνει της ανάπτυξη και την επέκταση των PACS καθώς και τη δημιουργία διεπαφών με τα άλλα συστήματα πληροφοριών μέσα στο νοσοκομειακό χώρο.
- Να επιτρέπει τη δημιουργία βάσεων δεδομένων διαγνωστικής πληροφορίας που θα είναι προσβάσιμες από διαφορετικές συσκευές που θα κατανέμονται γεωγραφικά

Η δημοσίευση του προτύπου ACR-NEMA No 300-1985 πραγματοποιήθηκε το 1985 και καθορίστηκε ως η έκδοση 1.0 του προτύπου. Το πρότυπο ακολουθήθηκε από δυο αναθεωρήσεις: Την Αριθμός 1 τον Οκτώβριο του 1986 και την Αριθμός 2 τον Ιανουάριο του 1988. Η δημοσίευση του προτύπου ACR-NEMA No 300-1988 πραγματοποιήθηκε το 1988 και καθορίστηκε ως η έκδοση 2.0 του προτύπου. Αυτή περιελάμβανε την έκδοση 1.0, τις δημοσιευμένες αναθεωρήσεις και επιπρόσθετες αναθεωρήσεις. Επιπλέον περιελάμβανε νέο υλικό που παρείχε εντολές υποστήριξης για τις συσκευές απεικόνισης προκειμένου να εισάγουν ένα νέο ιεραρχικό σχήμα που προσδιορίζει μια εικόνα και να προσθέσουν δομοστοιχεία δεδομένων για αυξημένες προσδιοριστικές δυνατότητες όταν περιγράφεται μια εικόνα. Αυτές οι δημοσιεύσεις προτύπων όριζαν μια διεπαφή υλικού (hardware interface), ένα ελάχιστο σύνολο από εντολές λογισμικού και ένα σταθερό σύνολο από τύπους δεδομένων. Το DICOM 3.0 χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα από τους περισσότερους κατασκευαστές. (Εικόνα 3.5) Αν και το ίδιο το πρότυπο δεν έχει αλλάξει, έχουν προστεθεί συμπληρώματα (Supplements) και καινούρια μέρη (Parts) για να επιληφθούν των τεχνολογικών αλλαγών και αναγκών που έχουν προκύψει από την αρχική έκδοση του προτύπου. Τα συμπληρώματα αυτά επεκτείνουν τη λειτουργία του DICOM σε πολλούς τύπους επικοινωνιών ψηφιακής απεικόνισης.

Το DICOM καθορίζει τους τύπους επικοινωνιών που καλούνται κλάσεις υπηρεσιών DICOM

(DICOM Service Classes). Η λειτουργία του DICOM επεκτείνεται όταν οι κλάσεις υπηρεσιών επεκτείνονται ή/και αυξάνονται. Το DICOM καθορίζει επίσης τους τύπους των δεδομένων που στέλνονται, και τη μορφή για αυτά τα δεδομένα. Αυτά καλούνται Στοιχεία Εξέτασης DICOM (DICOM Objects). Παραδείγματος χάριν, ένα Στοιχείο Εξέτασης DICOM αποκαλούμενο CT είναι μία συγκεκριμένη μορφή δεδομένων για τη μετάδοση δεδομένων CT.

3.2 Τρισδιάστατο Νέφος Σημείων (3D PointCloud)

Ένα νέφος σημείων είναι μια δομή δεδομένων που χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει τρισδιάστατα δεδομένα με τη συλλογή πολυδιάστατων σημείων. (Εικόνα 3.6) Σε ένα 3D νέφος σημείων, τα σημεία αντιπροσωπεύουν συνήθως τις γεωμετρικές συντεταγμένες X, Y, και Z, οι οποίες βοηθούν στην επεξήγηση και αναπαράσταση της υποκείμενης επιφάνειας ενός δείγματος. Βιομηχανίες όπως η κατασκευαστική, χρησιμοποιεί το νέφος σημείων για τη διαδικασία της αντίστροφης μηχανικής (reverse engineering), για τη διασφάλιση της ποιότητας, για την παραμετροποίηση και σχεδίαση προϊόντων. Χρησιμοποιώντας υπολογιστικές τεχνικές (computer aided design - CAD), ένα φυσικό αντικείμενο σαρώνεται και αναλύεται για τη διαπίστωση της ακρίβειας ή τυποποίησης του. Στην ιατρική τεχνολογία, τα νέφη σημείων, μπορούν να βοηθήσουν στην προσαρμογή των ιατρικών συσκευών για να καλύψουν τις ανάγκες των διάφορων ασθενών. Στην ιατρική απεικόνιση χρησιμοποιούνται, για παράδειγμα, στην τρισδιάστατη αξονική τομογραφία (CT) για την συμπίεση δεδομένων και την μετατροπή τους σε τρισδιάστατα ή τετραδιάστατα υπολογιστικά μοντέλα.



Εικόνα 3.6: Νέφος σημείων από το Κολοσσαίο στη Ρώμη

Η τρισδιάστατη ανακατασκευή ενός αντικειμένου δεν είναι η μόνη χρήση του νέφους σημείων. Όταν απαθανατίζεται η επιφάνεια ενός αντικειμένου, μπορούν να αποθηκευτούν και άλλες πληροφορίες στο νέφος σημείων όπως είναι το χρώμα της επιφάνειας και τα κάθετα

διανύσματα σε κάθε σημείο, δημιουργώντας έτσι ένα νέφος σημείων μεγαλύτερης διάστασης. Αυτή η επιπρόσθετη πληροφορία επιτρέπει στον χρήστη να έχει μεγαλύτερη ευελιξία όσον αφορά την επεξεργασία των ανακατασκευασμένων επιφανειών. Η ανακατασκευή μιας επιφάνειας με ένα νέφος σημείων το οποίο εμπεριέχει και το χρώμα της επιφάνειας, δίνει την δυνατότητα μιας πιο ρεαλιστικής ανακατασκευής του αντικειμένου στον τρισδιάστατο ψηφιακό χώρο.

Για την συλλογή ενός νέφους σημείων από την σάρωση ενός αντικειμένου, χρειάζεται ένα εξειδικευμένο εργαλείο ώστε να παρέχονται οι αναλυτικές πληροφορίες που απαιτούνται για την ανακατασκευή:

- **Σαρωτής Χειρός (3D Hand Held Scanner)**

Ο σαρωτής χειρός χρησιμοποιείται για εφαρμογές όπου γίνονται σαρώσεις με μικρή απόσταση από την επιφάνεια προς σάρωση. (Εικόνα 3.7) Χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικού σχεδιασμού, προτυποποίησης, εφαρμογών reverse engineering και ψηφιοποίησης μικρών μοντέλων, για παράδειγμα, μακέτες. Η ανάλυση που προσφέρει το σύστημα σε σαρώσεις μικρής εμβέλειας είναι της τάξης των $\pm 0.055\text{mm} \sim \pm 0.1\text{mm}$, ενώ η ακρίβεια είναι της τάξης των $\pm 0.03\text{mm} \sim \pm 0.04\text{mm}$. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι ο ρυθμός σάρωσης, ο οποίος μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 200.000 και 500.000 μετρήσεων ανά δευτερόλεπτο. Συχνά παρατηρείται να προσάπτεται σε ένα αυτόματο ρομποτικό βραχίονα ο οποίος έχει σκοπό την πιο ακριβή και σταθερή σάρωση της επιφάνειας από κοντινές αποστάσεις.



Εικόνα 3.7: Σαρωτής χειρός
Go!SCAN 3D

- **Κινητοί Σαρωτές (Mobile Scanners)**

Οι σαρωτές αυτοί χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα σε εργασίες χαρτογράφησης μεγάλης κλίμακας, όπου είναι επιθυμητό το κόστος να είναι μικρό και ταυτόχρονα να υπάρχει αυξημένη ακρίβεια με πολύ γρήγορη συλλογή δεδομένων. Η ακρίβεια των συστημάτων αυτών κυμαίνεται από τα $\pm 20\text{mm} \sim \pm 100\text{mm}$. Υπάρχουν κινητοί σαρωτές ενσωματωμένοι σε οχήματα οι οποίοι χαρτογραφούν ολόκληρες πόλεις, σιδηροδρομικά δίκτυα και δίκτυα αυτοκινητόδρομων. Η

δυνατότητα χαρτογράφησης δικτύων όπως είναι οι σιδηρόδρομοι και οι αυτοκινητόδρομοι οφείλεται στο γεγονός ότι οι σαρωτές μπορούν να ανακτήσουν τα δεδομένα ακόμα και όταν το όχημα στο οποίο βρίσκεται έχει ταχύτητα 80km/h. Οι κινητοί σαρωτές έχουν συνήθως, ενσωματωμένο και ένα σύστημα GPS για άμεσο προσανατολισμό του συστήματος όταν το όχημα δεν είναι επανδρωμένο. Τέτοιου είδους σαρωτές χρησιμοποιούνται επιπλέον σε λατομεία, για τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους καθώς επίσης και για χαρτογράφηση ακτογραμμών σε παράκτιες μελέτες.

- **Επίγειοι Σαρωτές**

Οι επίγειοι σαρωτές, γνωστοί και ως LiDAR (Light detection and ranging) τείνουν να γίνουν οι πιο προτιμώμενοι σαρωτές για γρήγορη και ακριβή συλλογή 3D δεδομένων. Τα επίγεια LiDAR αποτελούνται από το σαρωτή πάνω σε ένα τρίποδο. (Εικόνα 3.8) Τα συστήματα αυτά έχουν μεγάλη ακρίβεια με μέσο όρο περίπου $\pm 3\text{mm}$ ανά σημείο σάρωσης, για στατική σάρωση. Οι επίγειοι σαρωτές μπορούν να χωριστούν σε σαρωτές βασισμένους στη φάση και σε σαρωτές βασισμένους στην ώρα επιστροφής του σήματος (time of flight - TOF). Οι σαρωτές που είναι βασισμένοι στη φάση μετράνε την διαφορά της φάσης της ακτίνας laser που εκπέμπεται. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι αυξάνεται σημαντικά ο όγκος πληροφορίας που αποκτάται ($>1.000.000$ σημεία ανά δευτερόλεπτο). Οι σαρωτές στη δεύτερη κατηγορία (TOF), εκπέμπουν ένα παλμό φωτός και μετρούν το χρόνο ο οποίος θα χρειαστεί για να επιστρέψει πίσω στο σαρωτή. Χρησιμοποιούνται τόσο σε αεροπλάνα για την χαρτογράφηση του εδάφους, όσο και σε πλοία για την χαρτογράφηση του βυθού. Το πλεονέκτημα αυτών των σαρωτών είναι ότι μπορούν να λάβουν πληροφορία από πιο μακρινές αποστάσεις σε σχέση με τους σαρωτές που βασίζονται στη φάση.



Εικόνα 3.8: Επίγειος σαρωτής για σάρωση κτιρίων.

- **Σαρωτής Kinect**

Ο σαρωτής Kinect ήταν γνωστός και ως Project Natal. Πρόκειται για ένα αισθητήρα κίνησης ο οποίος αρχικά παρουσιάστηκε ως τηλεχειριστήριο παιχνιδιών. (Εικόνα 3.9) Στην συνέχεια όμως,

με την κάμερα βάθους που παρέχει μια πολύ καλή ακρίβεια και με το χαμηλό κόστος του, κέντρισε το ενδιαφέρον των ερευνητών για νέες καινοτόμες εφαρμογές ή για την αντικατάσταση παλιών μεθόδων με μεθόδους όπου έχουν χαμηλότερο κόστος.



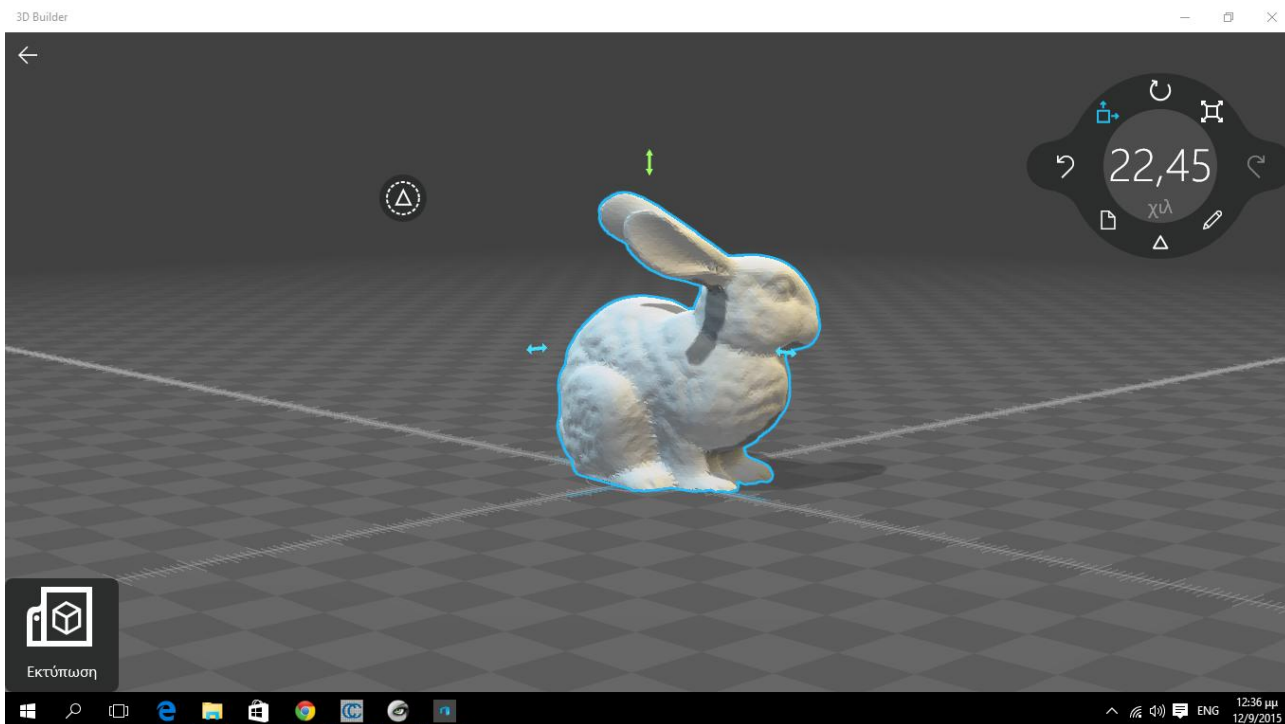
Εικόνα 3.9: Σαρωτής Kinect

Ο αισθητήρας αυτός αποτελείται από δύο τμήματα. Το μηχανικό τμήμα το οποίο είναι η βάση του και η οποία έχει μηχανισμό που επιτρέπει στο Kinect να αλλάζει την οριζόντια κλίση του. Το τμήμα αυτό στηρίζει το κυρίως κομμάτι του αισθητήρα στο οποίο βρίσκονται οι αισθητήρες και οι κάμερες. Αναλυτικότερα, ένας αισθητήρας Kinect περιλαμβάνει μία RGB κάμερα, ένα πομπό υπερύθρων (IR emitter), ένα υπέρυθρο αισθητήρα βάθους, μια σειρά από μικρόφωνα και ένα LED το οποίο υποδεικνύει πότε είναι σε λειτουργία.

3.3 Stl Αρχεία

Τα αρχεία .stl είναι αρχεία τα οποία παρέχουν πληροφορίες για ένα τρισδιάστατο αντικείμενο. Τα αρχικά stl είναι συντομογραφία της λέξης στεριολιθογραφία (stereolithography) και υποδηλώνουν τον πρωταρχικό στόχο αυτού του τύπου αρχείων, που είναι να περιγράψουν το σχήμα ενός τρισδιάστατου, στατικού αντικειμένου. Τα δεδομένα των αρχείων αυτών περιγράφουν μόνο την γεωμετρία της επιφάνειας των τρισδιάστατων αντικειμένων, χωρίς να δίνουν καμία επιπλέον πληροφορία για το χρώμα, την υφή ή οτιδήποτε άλλο. (Εικόνα 3.10) Η επιφάνεια που περιγράφεται, έχει χωριστεί σε τρίγωνα. Για κάθε τρίγωνο της επιφάνειας, το αρχείο περιλαμβάνει τις διαστάσεις των διανυσμάτων του τριγώνου σε καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων και σε ωρολογιακή φορά, όπως αυτά φαίνονται από το εξωτερικό της επιφάνειας. Το μοναδιαίο κάθετο διάνυσμα του τριγώνου μπορεί επίσης να περιλαμβάνεται στο αρχείο. Τα αρχεία STL υποστηρίζουν τόσο δυαδική όσο και αναπαράσταση ASCII. Η πρώτη είναι πιο συνηθισμένη καθώς τα δυαδικά

αρχεία είναι πιο συμπιεσμένα. Ένα ASCII STL αρχείο χωρίζεται σε μπλοκ, ένα για κάθε διάνυσμα. Στην πρώτη γραμμή του αρχείου υπάρχει πρώτη η λέξη `solid` και μετά το όνομα του αρχείου. Το τέλος του αρχείου επισημαίνεται με τη λέξη `endsolid`. Όμοια, κάθε μπλοκ διανύσματος αρχίζει με τη λέξη `facet` και το όνομα και από κάτω, `outer loop` και τελειώνει με τη λέξη `endloop` και στην από κάτω γραμμή με τη λέξη `endfacet`. Τα δυαδικά STL αρχεία έχουν μία επικεφαλίδα 80 χαρακτήρων, η οποία δεν πρέπει ποτέ να αρχίζει με τη λέξη `solid` γιατί κάτι τέτοιο θα προκαλέσει σύγχυση για την αναγνώριση του αρχείου σαν ASCII STL. Την επικεφαλίδα διαδέχεται ένας μη προσημασμένος ακέραιος μεγέθους 4-bytes που υποδηλώνει τον αριθμό των τριγώνων στο αρχείο. Τέλος, ακολουθεί η περιγραφή των τριγώνων. Το αρχείο τελειώνει με το τέλος της περιγραφής και του τελευταίου τριγώνου. Το κάθε τρίγωνο περιγράφεται από δώδεκα 32- bits αριθμούς κινητής υποδιαστολής: τρεις για το μοναδιαίο κάθετο διάνυσμα και τρεις για τις συντεταγμένες x, y, z κάθε διανύσματος. Μετά τους δώδεκα παραπάνω αριθμούς ακολουθεί ένας μη- προσημασμένος αριθμός μεγέθους δύο bytes που χρησιμεύει ως μετρητής.



Εικόνα 3.10: Μοντέλο .stl

4 Παραδείγματα για την παραγωγή γεωμετρικών μοντέλων

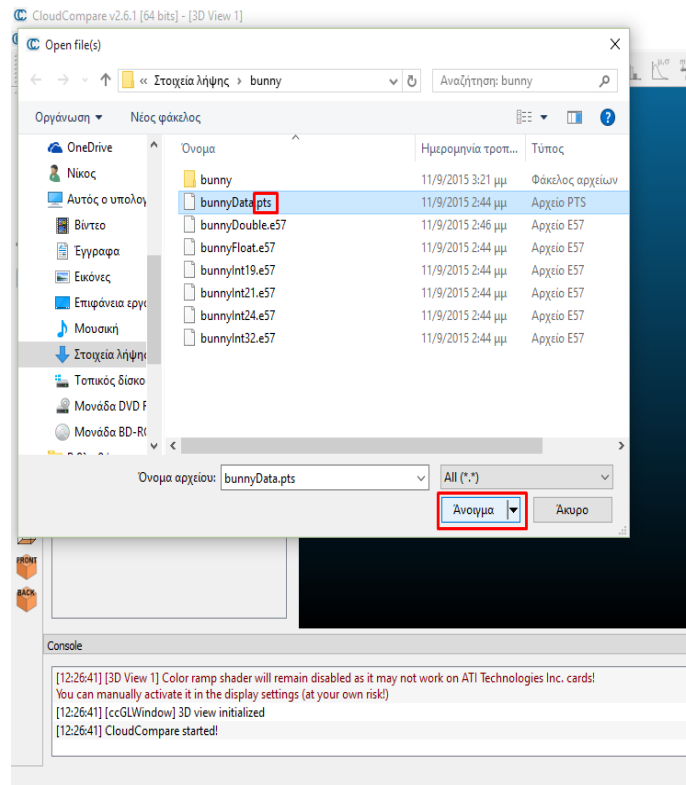
Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται δύο παραδείγματα παραγωγής μοντέλων .stl από point clouds και από μαγνητική τομογραφία (mri) χρησιμοποιώντας τα Λογισμικά Ανοικτού Κώδικα MeshLab και 3D Slicer αντίστοιχα.

4.1 Παράδειγμα επεξεργασίας Νέφους Σημείων (Point Clouds) για παραγωγή μοντέλου .stl στο MeshLab

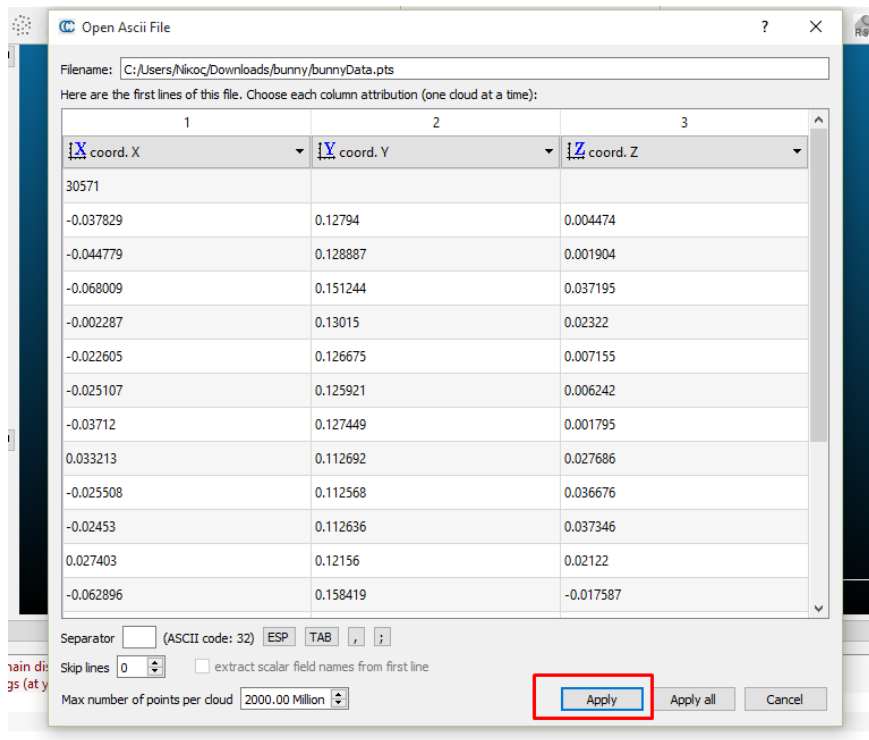


Εικόνα 4.1: Scanner Cyberware 3030 MS

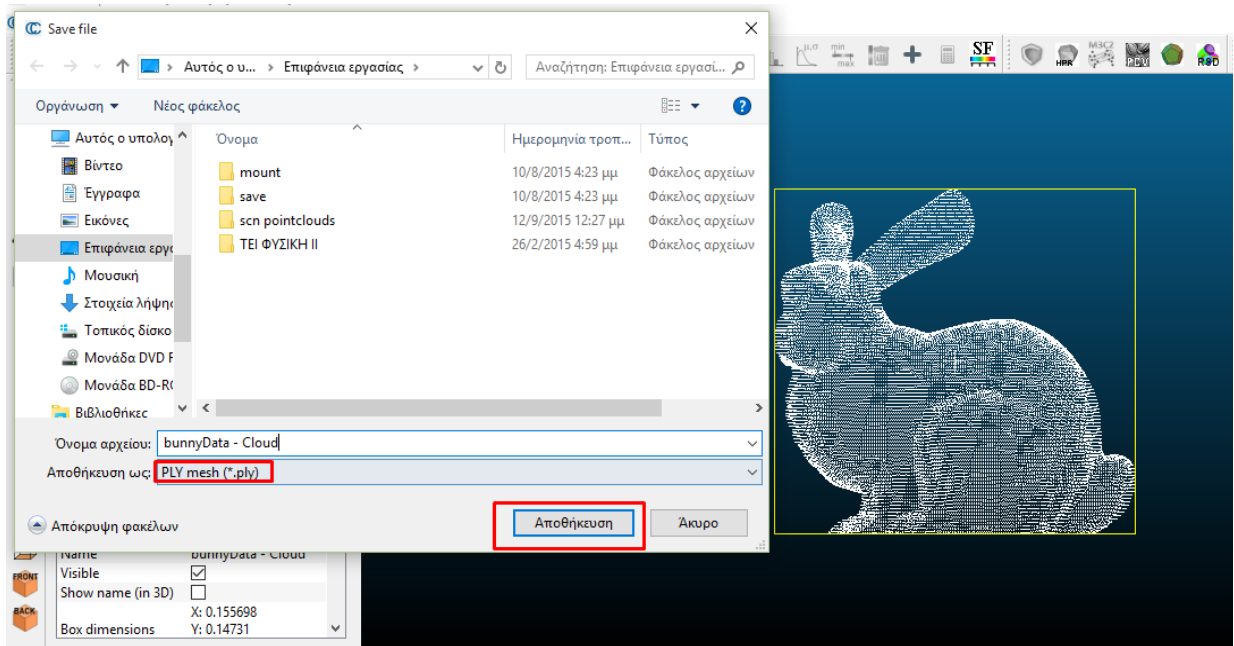
Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται η διαδικασία για να παραχθεί ένα μοντέλο mesh (.stl) από ένα αρχείο Cloud Points (.pts) δουλεύοντας στα προγράμματα CloudCompare και MeshLab. Στο παράδειγμα που ακολουθεί έχει χρησιμοποιηθεί το αρχείο bunnyData.pts το οποίο απεικονίζει ένα κουνέλι που έχει σαρωθεί στο Πανεπιστήμιο του Stanford το 1993-94 με το Scanner Cyberware 3030 MS (Εικόνα 4.1), η σάρωση πραγματοποιήθηκε 10 φορές από διαφορετικές όψεις και το μοντέλο αποτελείται από 35.947 σημεία μετά την ανασυγκρότηση. Για να μπορεί να είναι εφικτή η επεξεργασία του αρχείου στο MeshLab θα πρέπει το αρχείο σε μορφή .pts να μετατραπεί σε αρχείο .ply με τη βοήθεια του προγράμματος CloudCompare έτσι ώστε να είναι συμβατό με το MeshLab. Στη συνέχεια, εισάγεται στο MeshLab το νέο αρχείο .ply και στην οθόνη εμφανίζεται το κουνέλι σε Cloud Points. (Εικόνες 4.2- 4.7)



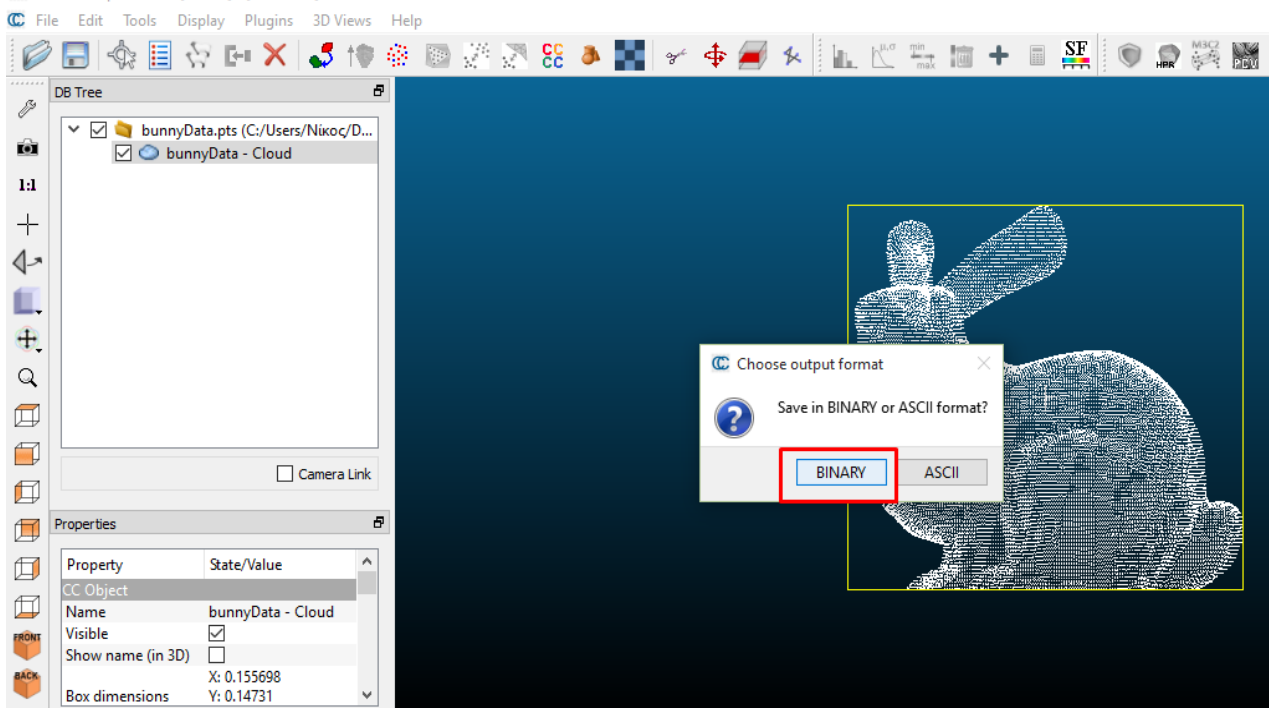
Εικόνα 4.2



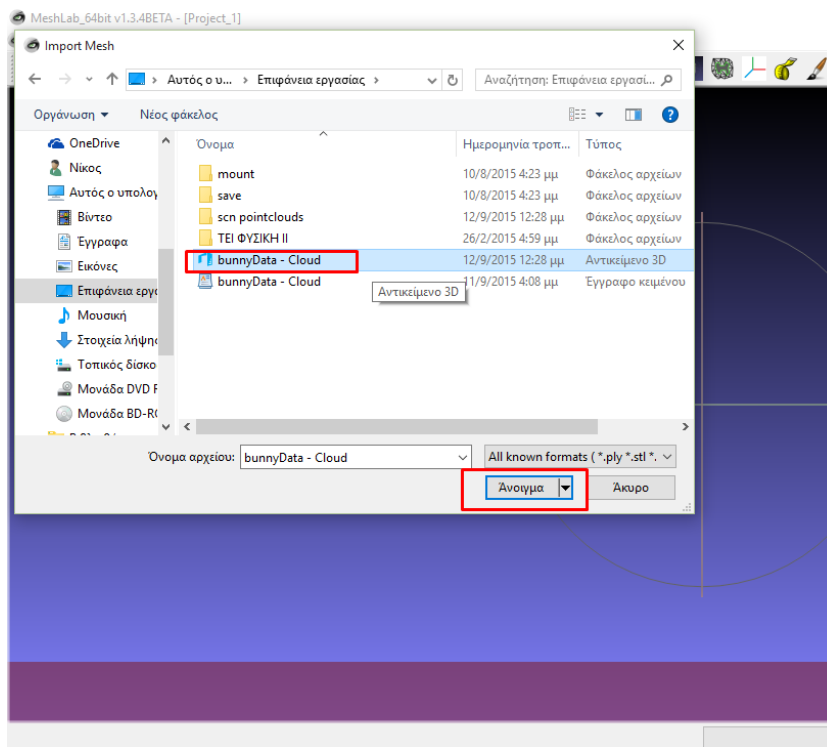
Εικόνα 4.3



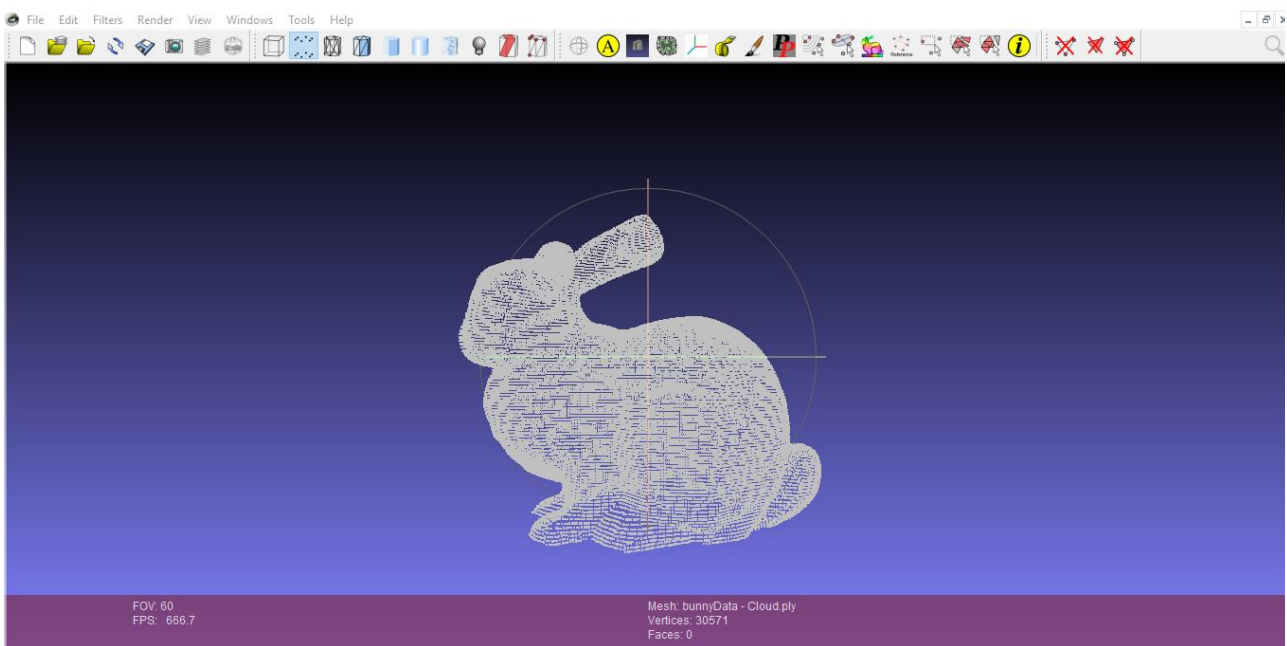
Εικόνα 4.4



Εικόνα 4.5



Εικόνα 4.6

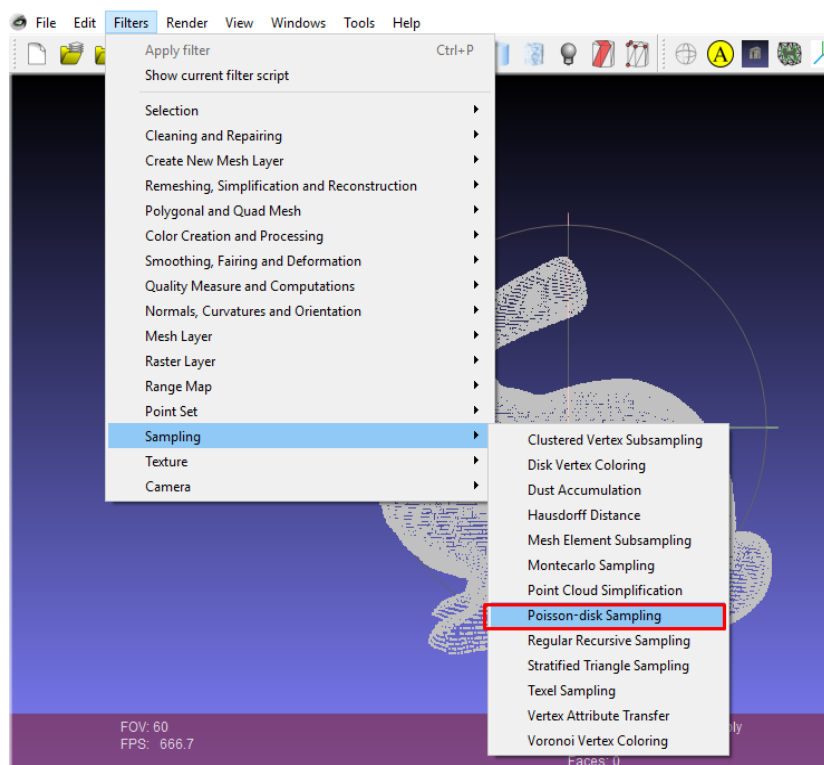


Εικόνα 4.7

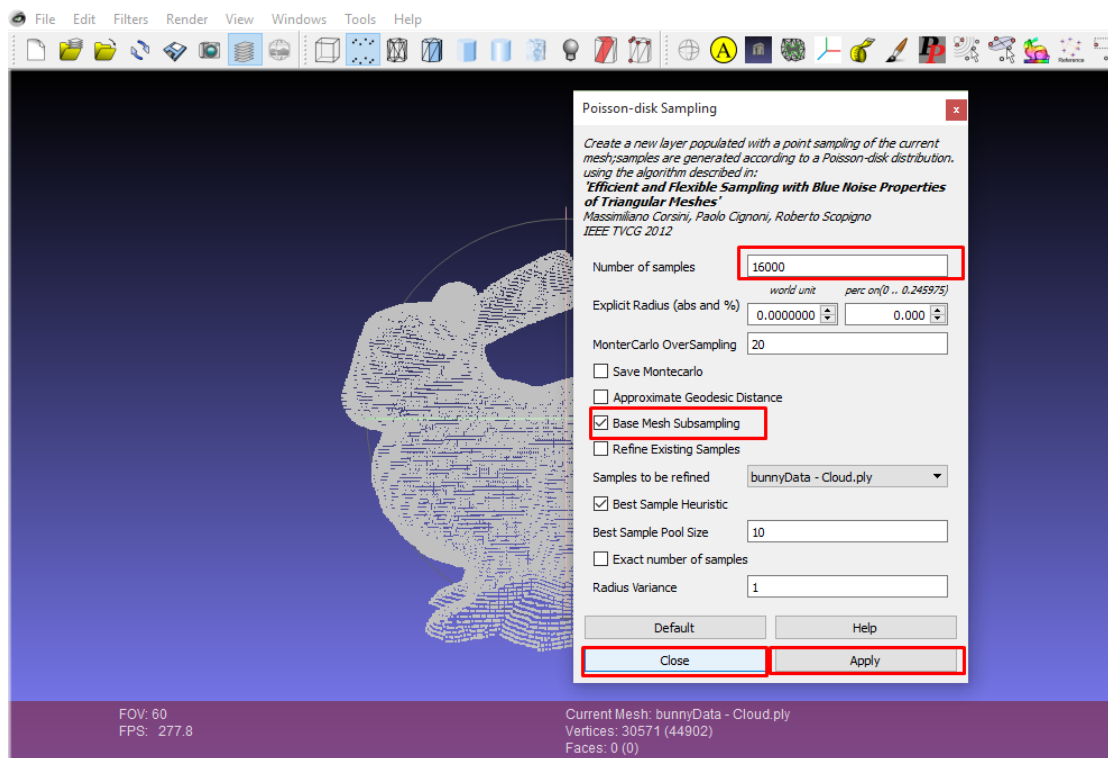
Εικόνες 4.2-4.7: Η διαδικασία μετατροπής του .pts αρχείου στο CloudCompare σε .ply για να είναι συμβατό με το MeshLab

Παρακάτω αναλύεται η διαδικασία βήμα – βήμα για την παραγωγή του μοντέλου:

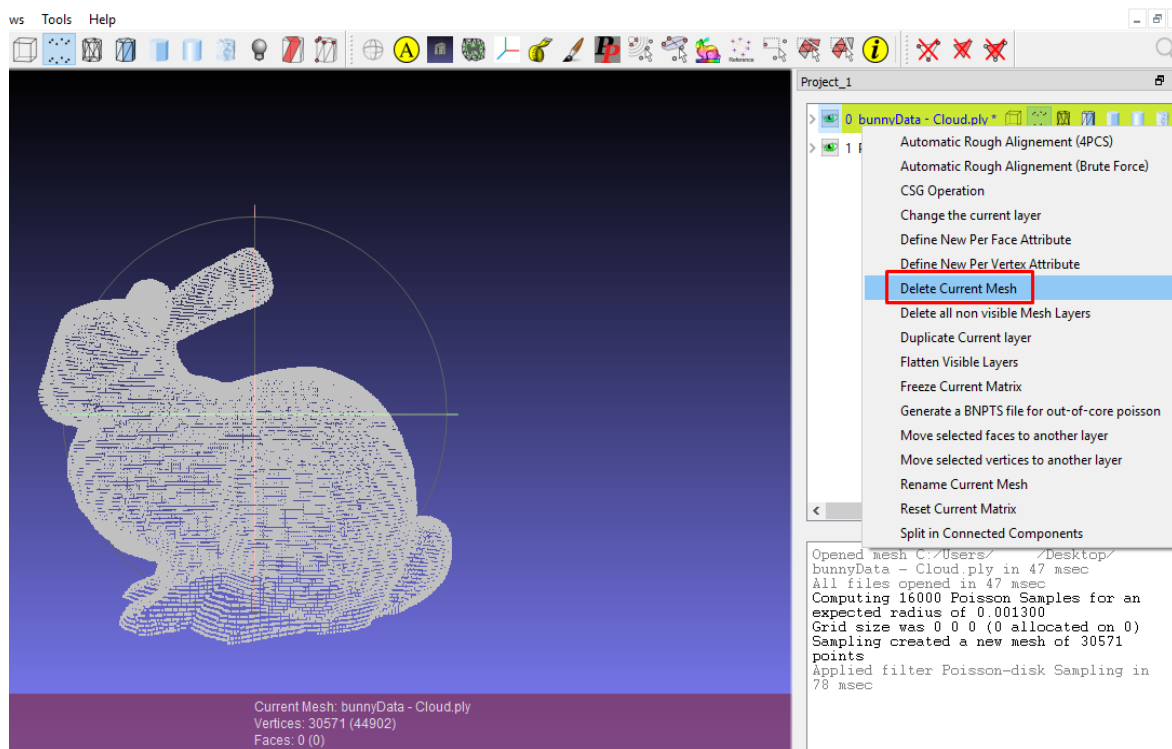
- Σαν πρώτο βήμα, για να είναι πιο διαχειρίσιμο το νέφος σημείων θα μειωθεί το σύνολο των σημείων. Με την επιλογή >>Filters>>Sampling>>Poisson-disk Sampling, από τη γραμμή εντολών, γίνεται η δειγματοληψία των σημείων από το ήδη υπάρχον αρχείο χρησιμοποιώντας την κατανομή Poisson-disk (Εικόνα 4.8). Η επιλογή αυτή είναι χρήσιμη όταν η πυκνότητα του νέφους σημείων είναι πολύ μεγάλη. Σε αυτό το φίλτρο μπορεί να οριστεί το ακριβές μέγεθος του δείγματος ή η μέση απόσταση μεταξύ των σημείων. Στο πλαίσιο Number of samples συμπληρώνεται το επιθυμητό μέγεθος του δείγματος, στο παράδειγμα με το κουνέλι το δείγμα είναι 16.000 σημεία από τα περίπου 30.000 σημεία του αρχικού (Εικόνα 4.9). Έπειτα, επιλέγεται η εντολή Base Mesh Subsampling και κατά αυτό τον τρόπο έχει πλέον ολοκληρωθεί η δειγματοληψία. Το δείγμα θα πρέπει να αποθηκευθεί ως καινούριο στρώμα (layer), καθώς επίσης πρέπει να διαγραφεί και το αρχικό αρχείο με τα συνολικά δεδομένα από το παράθυρο διαλόγου. (Εικόνα 4.10)



Εικόνα 4.8: Η επιλογή Poisson- disk Sampling για δειγματοληψία σημείων από το αρχείο

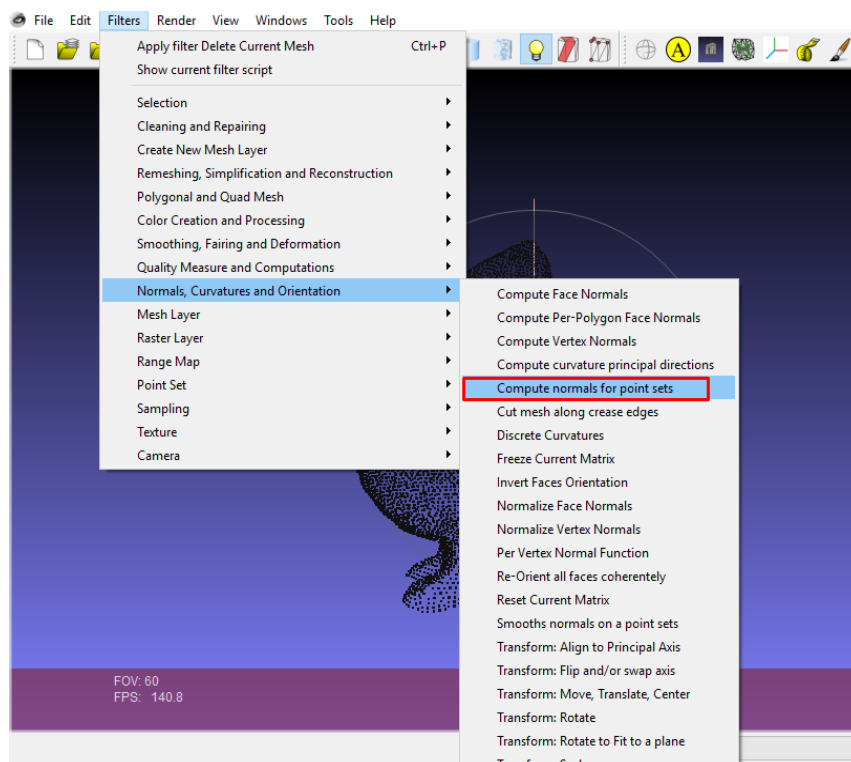


Εικόνα 4.9: Το πλαίσιο Number of samples που συμπληρώνεται το επιθυμητό μέγεθος του δείγματος

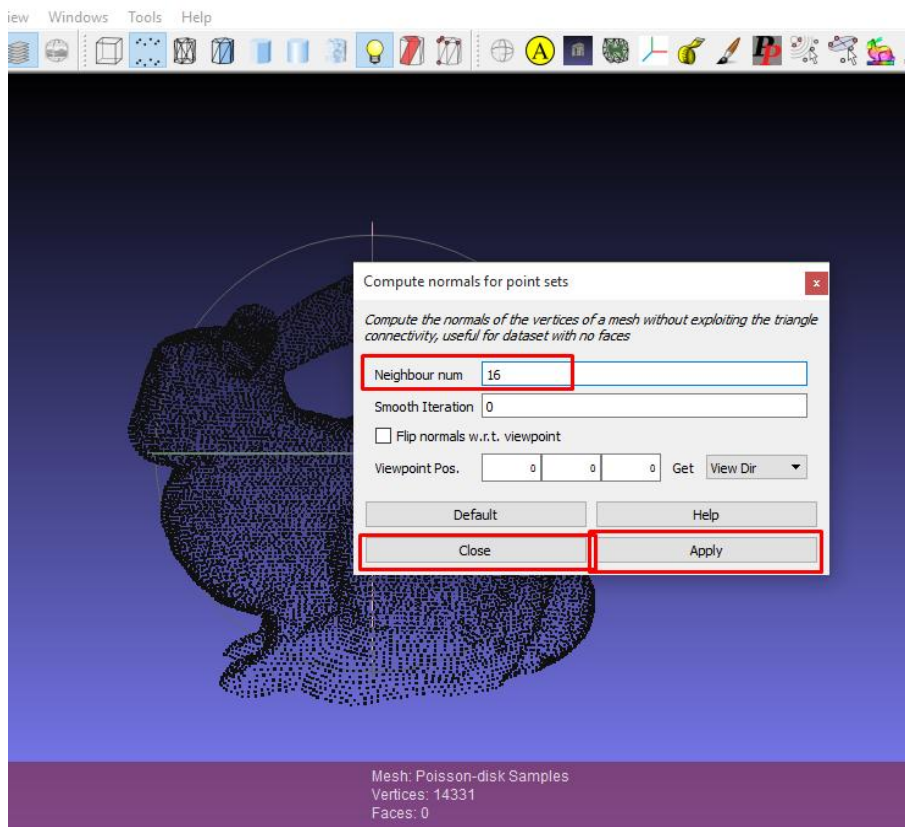


Εικόνα 4.10: Το αρχείο μετά την επιλογή του Base Mesh Subsampling

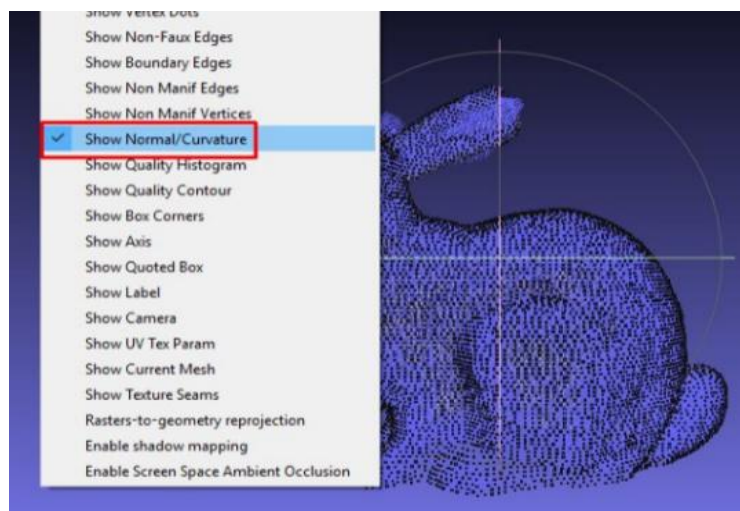
- Αν στο σύνολο σημείων δεν υπάρχουν κάθετα διανύσματα που να συνδέονται με αυτά τότε η οπτικοποίηση είναι φτωχή και περαιτέρω επιλογές επεξεργασίας μπορεί να μην είναι εφικτές. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται το φίλτρο >>Filters>>Normals, Curvatures and Orientation>>Compute normals for point sets που υπολογίζει τα κάθετα διανύσματα στις κορυφές του πλέγματος χωρίς να αξιοποιεί τη συνδεσιμότητα των τριγώνων και είναι χρήσιμο για σύνολα δεδομένων χωρίς όψεις (νέφους σημείων) (Εικόνα 4.11). Στο πλαίσιο Neighbour num συμπληρώνεται ο αριθμός των γειτονικών σημείων που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του σχεδιασμού της εφαπτομένης σε κάθε σημείο, στο παράδειγμα με το κουνέλι τα γειτονικά σημεία που επιλέχτηκαν είναι 16. (Εικόνα 4.12) Το διάνυσμα σε κάθε σημείο είναι προφανώς κάθετο στην εφαπτομένη του σημείου αυτού. Με την ενεργοποίηση της επιλογής Render>>Show Normal/Curvature φαίνονται τα κάθετα διανύσματα σε κάθε σημείο στην εικόνα που εμφανίζεται κάτω. (Εικόνα 4.13)



Εικόνα 4.11: Η επιλογή Compute normals for point sets που υπολογίζει τα κάθετα διανύσματα στις κορυφές του πλέγματος

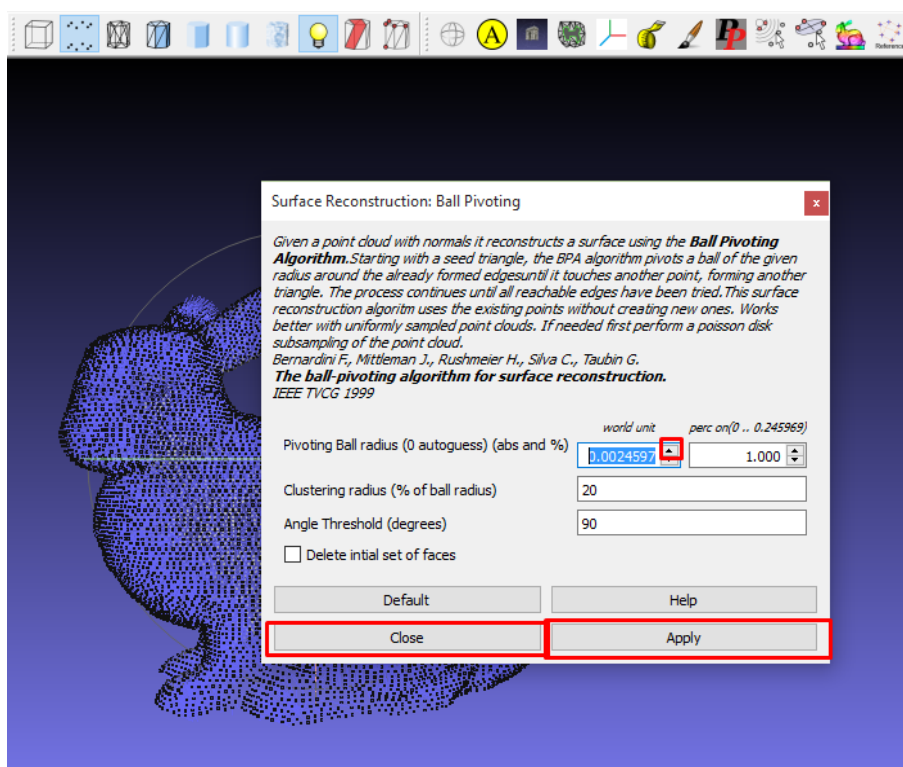


Εικόνα 4.12: Το πλαίσιο Neighbour num που συμπληρώνεται ο αριθμός των γειτονικών σημείων που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του σχεδιασμού της εφαπτομένης σε κάθε σημείο



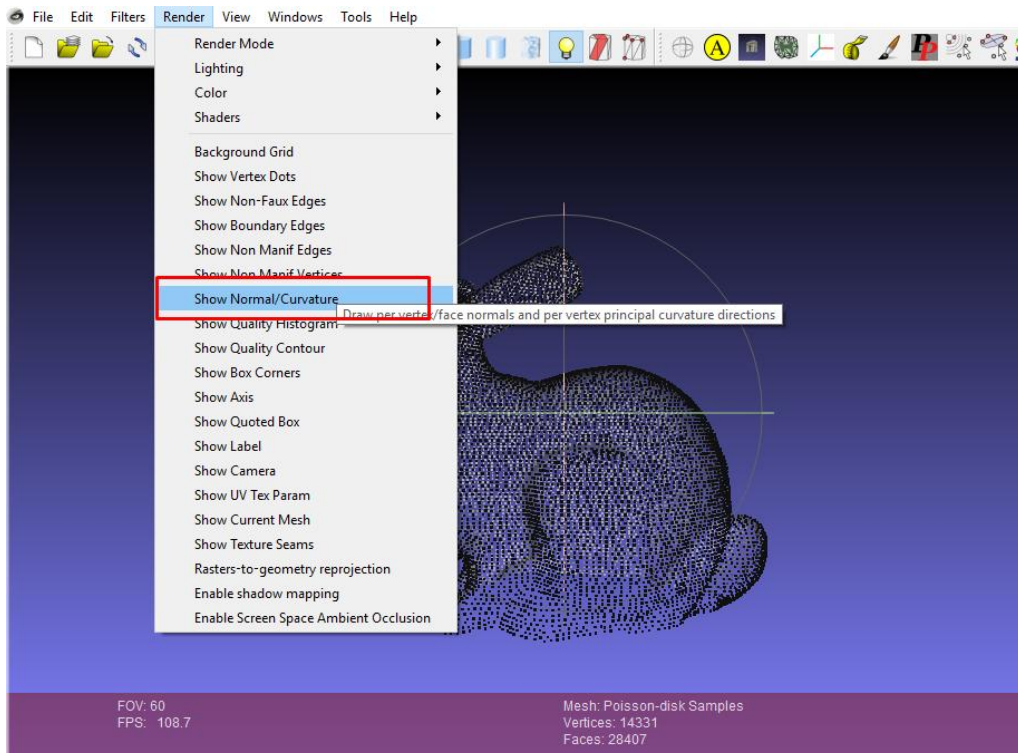
Εικόνα 4.13: Το δείγμα με τα διανύσματα.

- Στη συνέχεια χρησιμοποιείται το φίλτρο Surface Reconstruction: Ball Pivoting στο νέφος σημείων με τα κάθετα διανύσματα για την ανακατασκευή της επιφάνειας με χρήση του αλγόριθμου Ball Pivoting. Ο αλγόριθμος αυτός λειτουργεί ως εξής: Αρχικά τρία σημεία σχηματίζουν ένα τρίγωνο και μία σφαίρα με ακτίνα που ορίζει ο χρήστης τα αγγίζει χωρίς η σφαίρα να συγχέεται με άλλα σημεία, το μέγεθος της ακτίνας στο παράδειγμα ορίζεται ως 0.0024597. (Εικόνα 4.14) Οπότε, ξεκινώντας με το τρίγωνο – σπόρο η σφαίρα αρχίζει να περιστρέφεται γύρω από τη μία πλευρά του τριγώνου (διατηρώντας παράλληλα την επαφή με τις κορυφές του τριγώνου) μέχρι να αγγίξει ένα άλλο σημείο και να σχηματιστεί ένα νέο τρίγωνο. Η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου έχουν δοκιμαστεί όλα τα προσβάσιμα σημεία. Η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί με σφαίρα μεγαλύτερης ακτίνας έτσι ώστε να μπορέσει να διαχειριστεί τις άνισες πυκνότητες του δείγματος. Επισημαίνεται ότι αυτός ο αλγόριθμος ανασχηματισμού επιφάνειας χρησιμοποιεί τα ήδη υπάρχοντα σημεία χωρίς να δημιουργεί καινούρια και δουλεύει καλύτερα σε ομοιόμορφα δείγματα νέφους σημείων.

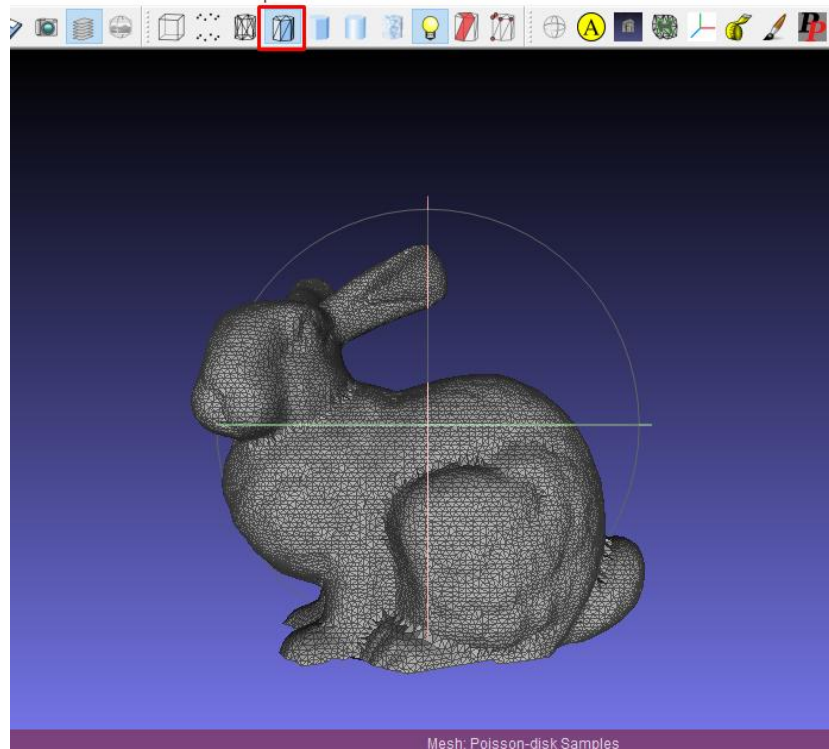


Εικόνα 4.14: Το φίλτρο Surface Reconstruction: Ball Pivoting για την ανακατασκευή της επιφάνειας

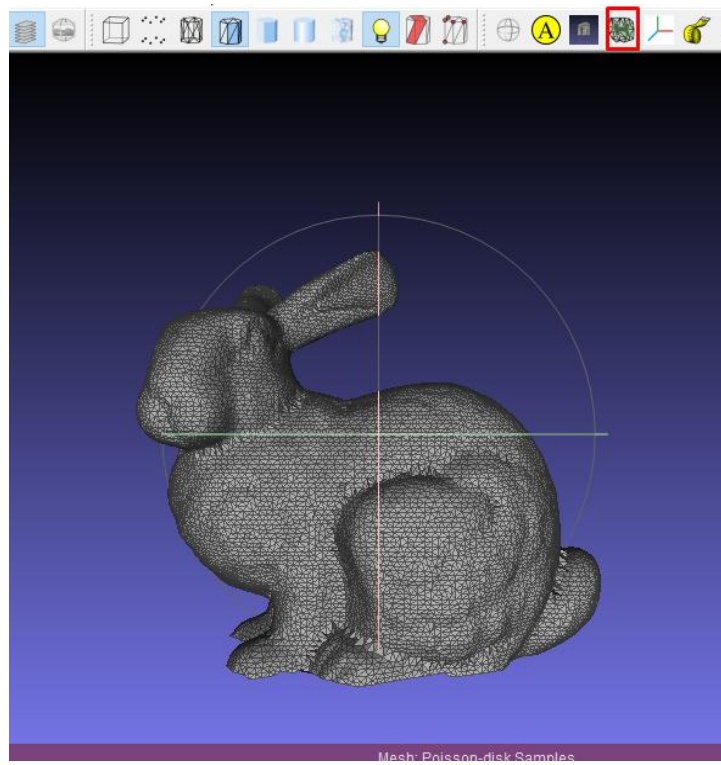
- Τέλος, αφού η επιλογή Show Normal/Curvatures απενεργοποιηθεί, με την επιλογή Flat Lines στη γραμμή εργαλείων φαίνεται στην οθόνη πλέον ξεκάθαρα το πλέγμα. Η επιλογή Fill Hole της γραμμής εργαλείων εντοπίζει τις τρύπες του πλέγματος και παρέχει τη δυνατότητα να καλυφθούν. Σε αυτό το σημείο μπορεί να γίνει η εξαγωγή του αρχείου σε μορφή .stl. (Εικόνες 4.15- 4.20)



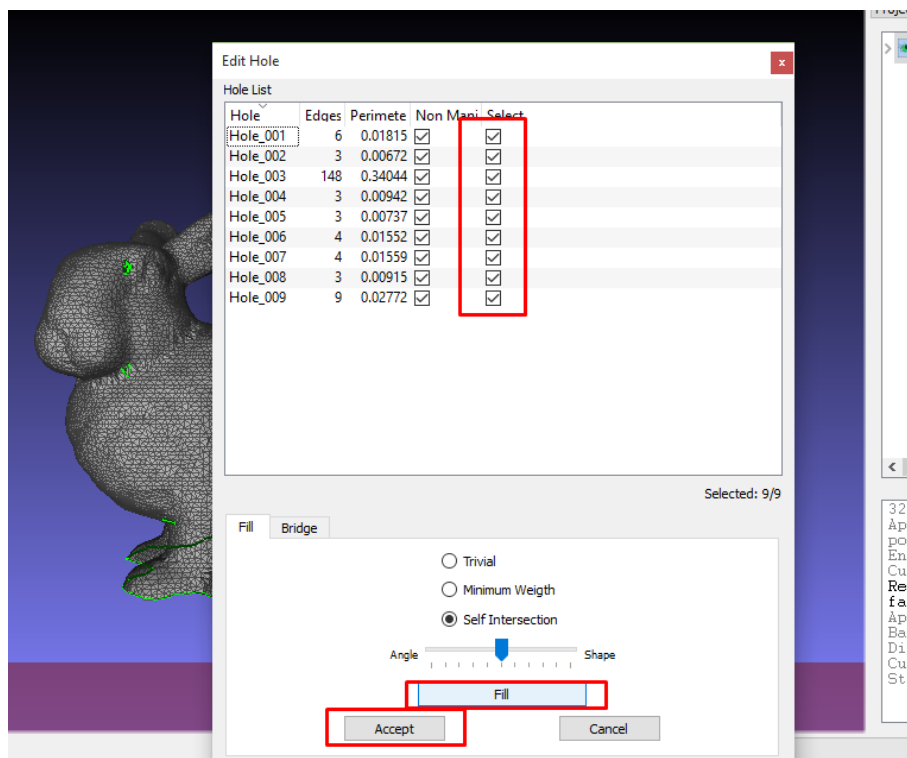
Εικόνα 4.15: Απενεργοποίηση της επιλογής Show Normal/Curvature



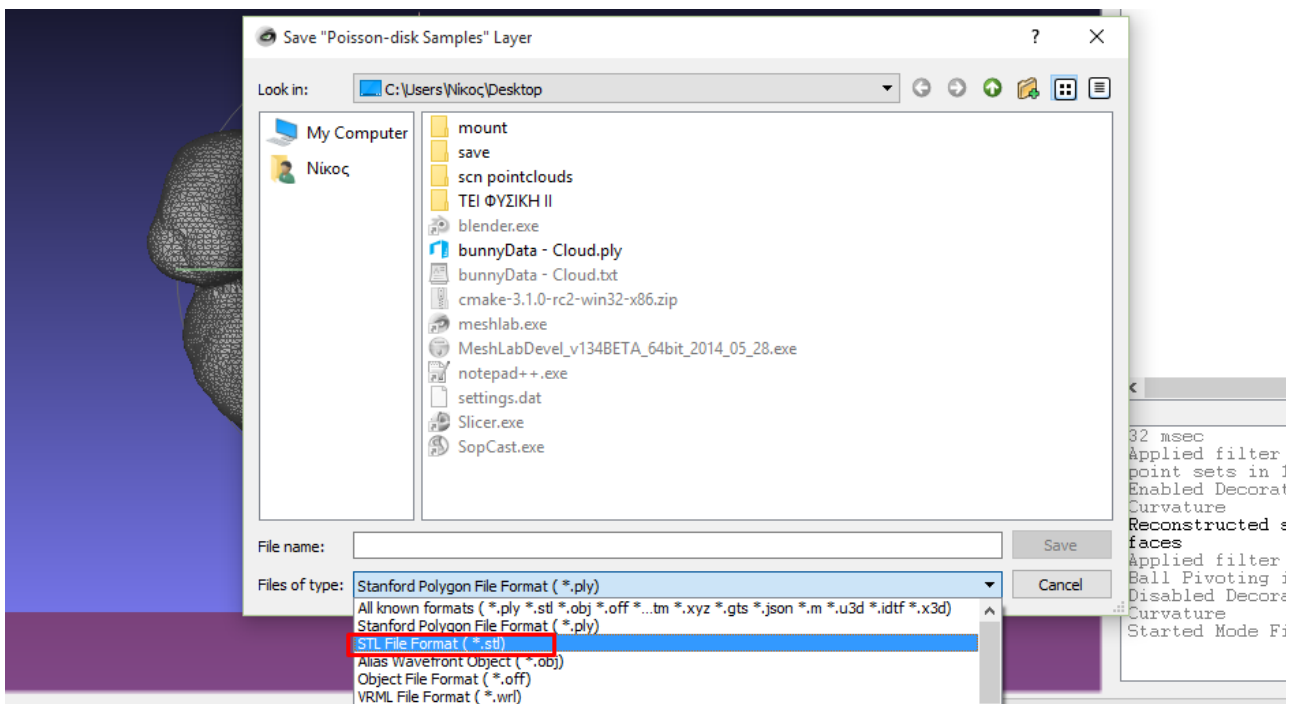
Εικόνα 4.16: Η επιλογή Flat Lines στη γραμμή εργαλείων



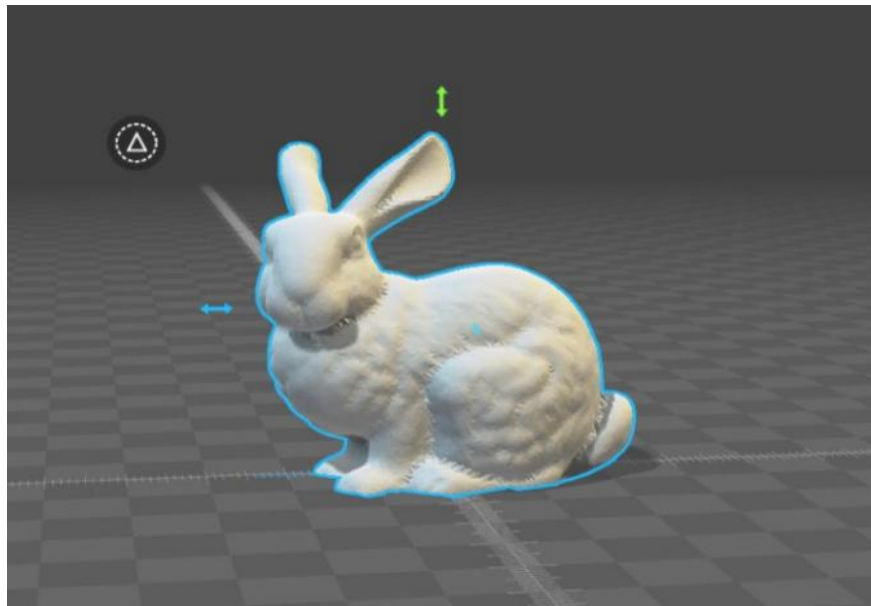
Εικόνα 4.17: Η επιλογή Fill Hole στη γραμμή εργαλείων που εντοπίζει τις τρύπες του πλέγματος



Εικόνα 4.18: Το γέμισμα των τρυπών που βρέθηκαν στο πλέγμα



Εικόνα 4.19: Αποθήκευση σε μορφή .stl του αρχείου

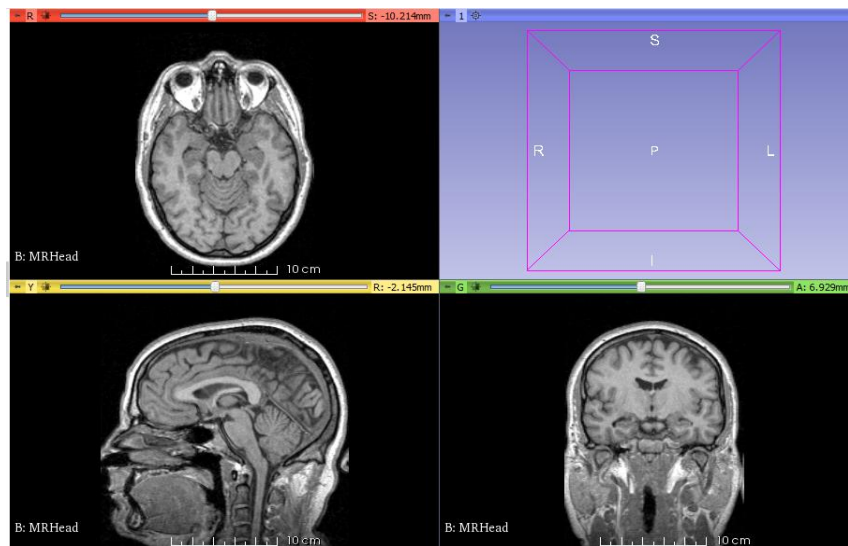


Εικόνα 4.20: Το τελικό μοντέλο σε μορφή .stl

4.2 Παράδειγμα παραγωγής μοντέλου .stl από mri στο 3D Slicer

Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται η ανοικοδόμηση 3D μοντέλου (για output .stl αρχείου) ενός κεφαλιού από μαγνητική τομογραφία με τη χρήση του 3D Slicer 4.4.0. Η μαγνητική τομογραφία (mri) είναι μια ακτινολογική μέθοδος απεικόνισης του εσωτερικού ενός οργανισμού. Με τη χρήση μαγνητικού τομογράφου είναι δυνατή η λήψη πληροφοριών σχετικά με την βιοχημική κατάσταση των ιστών με την μορφή εικόνων και φασμάτων.

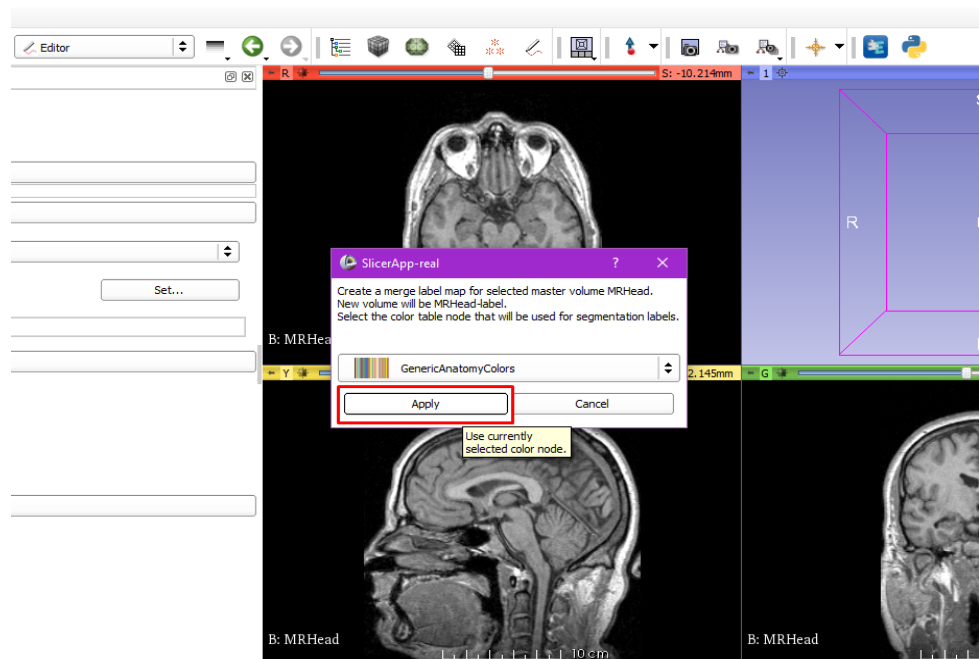
Η mri του κεφαλιού (αρχείο MRHead), που χρησιμοποιήθηκε, είναι δείγμα από το λογισμικό του Slicer. Η λήψη του αρχείου έγινε επιλέγοντας από την κύρια μπάρα διεπαφής >>Download Sample Data>>MR Head (Εικόνα 4.21)



Εικόνα 4.21: Αρχείο MR Head, MRI κεφαλιού.

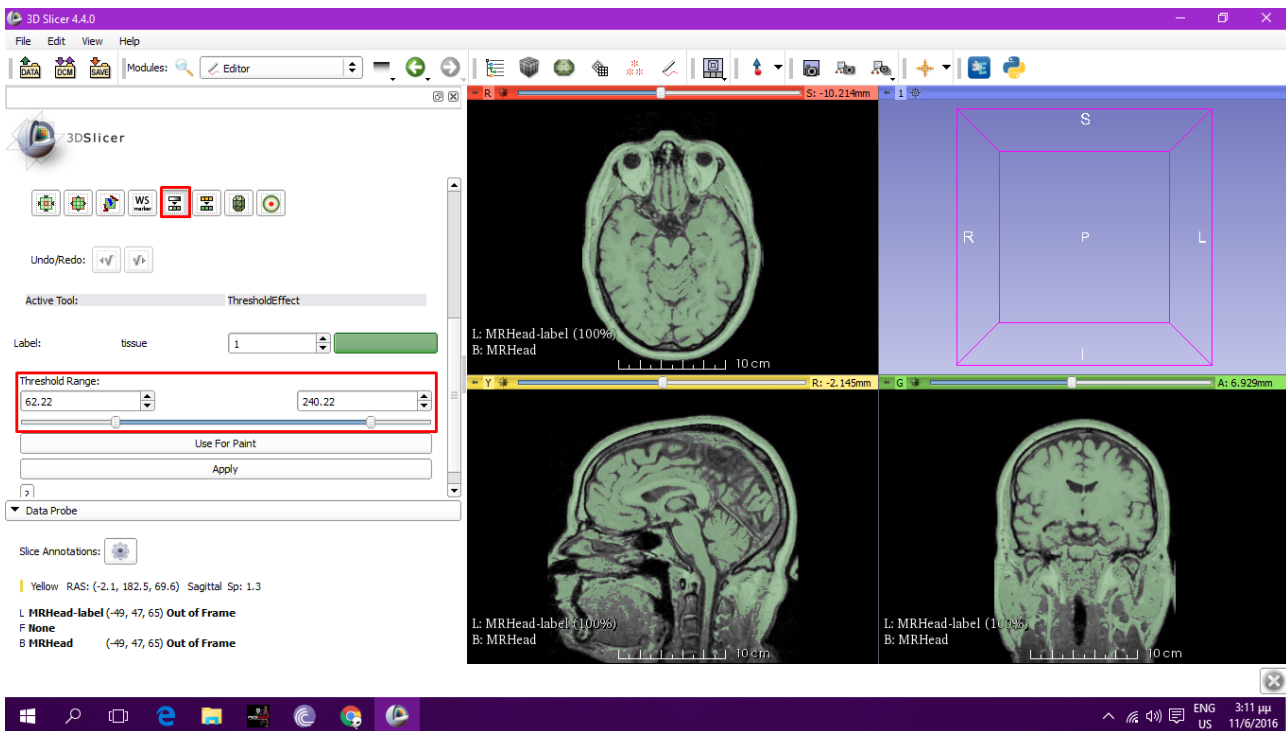
Η διαδικασία για την επίτευξη αυτής της εργασίας περιγράφεται παρακάτω:

- Αρχικά, επιλέγεται ο Editor από το Drop-down menu και εμφανίζεται στην οθόνη το παράθυρο SlicerApp-real (Εικόνα 4.22), απ' το οποίο δημιουργείται ένα label map που στην πραγματικότητα πρόκειται για έναν χάρτη των εικόνων με τα επισημασμένα εικονοστοιχεία από τον όγκο (volume) του κεφαλιού (MRHead) και ο νέος όγκος (volume) αποθηκεύεται σε ένα καινούριο αρχείο MRHead-label.

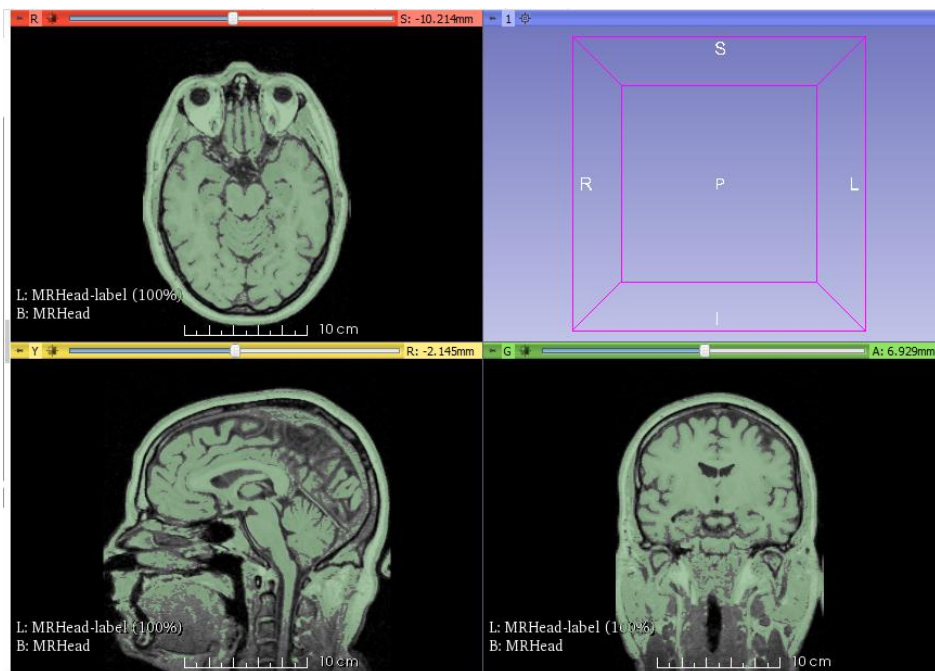


Εικόνα 4.22: Το παράθυρο SlicerApp-real που δημιουργείται το label map

- Έπειτα επιλέγεται, εντός του Editor, το εικονίδιο ThresholdEffect όπου στο threshold range επιλέγεται το ανώτατο και κατώτατο όριο για την απομόνωση του κεφαλιού. Η επιλογή του κατώτατου και ανώτατου σκαλοπατιού 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 το κεφάλι είναι 62,22 και το ανώτατο 240.22.(Εικόνα 4.23 και 4.24) Έτσι τοποθετούνται πλέον οι τρέχουσες τιμές, που εμπίπτουν εντός του threshold που ορίστηκε, στο label map που δημιουργήθηκε προηγουμένως. Τέλος δίδεται η επιλογή label η οποία ορίζει την τιμή του χρωματισμού του labelmap.

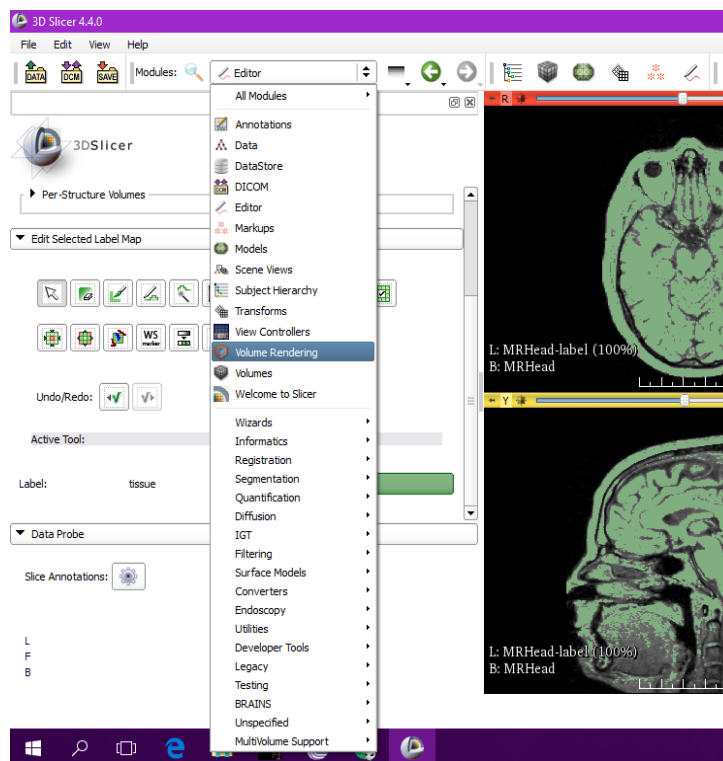


Εικόνα 4.23: Το threshold range που επιλέγεται το ανώτατο και κατώτατο όριο για την απομόνωση του κεφαλιού

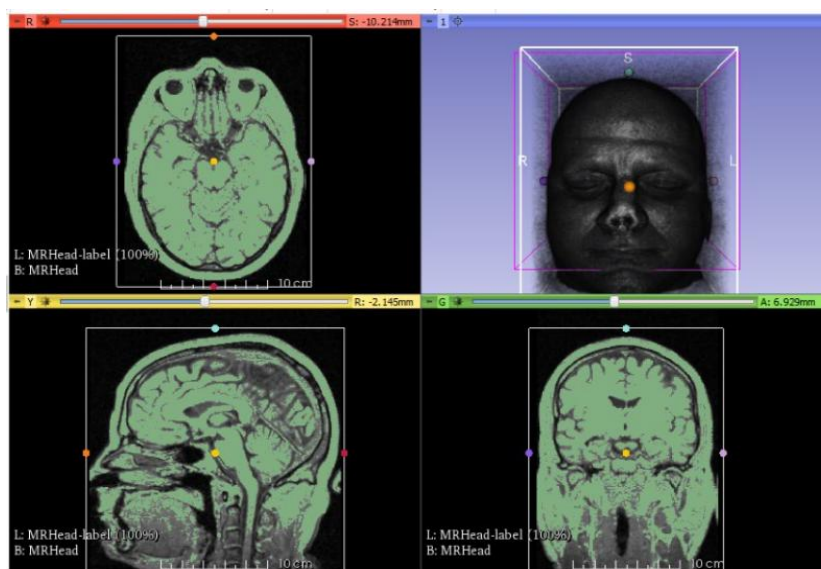


Εικόνα 4.24: Η MRI μετά το ThresholdEffect

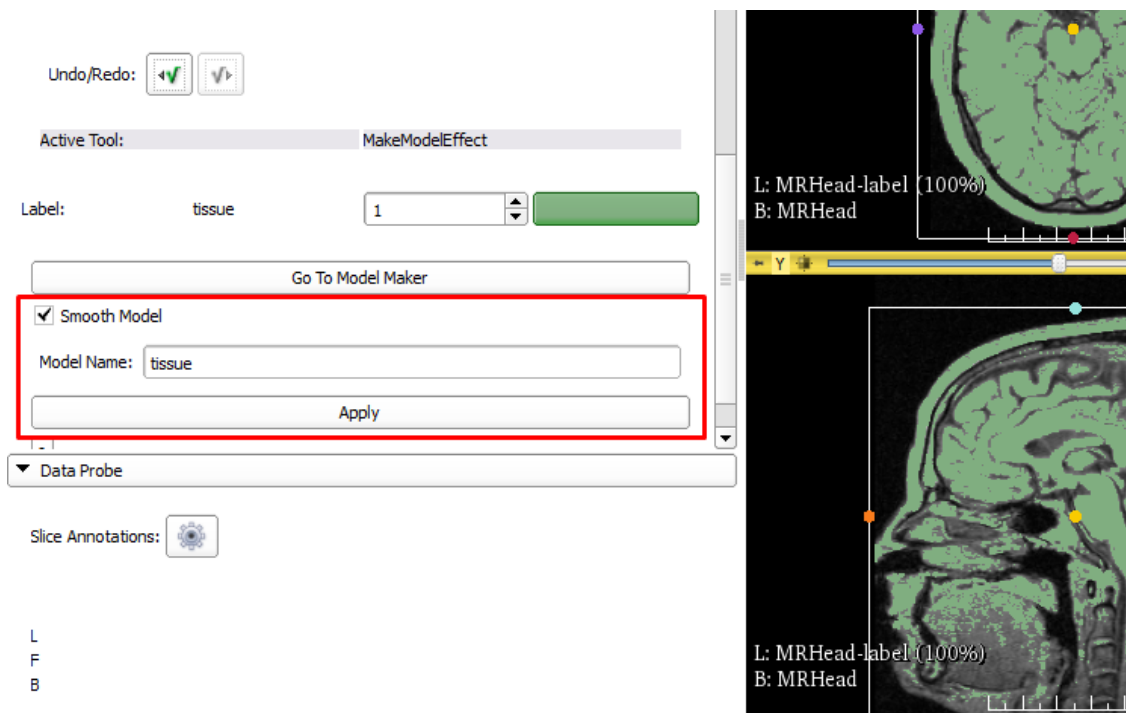
- Στη συνέχεια από το Drop-down menu επιλέγεται το Volume Rendering και εμφανίζεται στην οθόνη ο όγκος (volume). (Εικόνα 4.25 & 4.26) Από τον Editor, ξανά, ενεργοποιείται το εργαλείο MakeModelEffect που επιλέγεται πόσο λεία επιφάνεια (smooth) χρειάζεται να έχει το μοντέλο και έπειτα το χτίζει. (Εικόνα 4.27 και 4.28) Σε αυτό το σημείο απενεργοποιείται η επιλογή εμφάνισης του όγκου (volume).



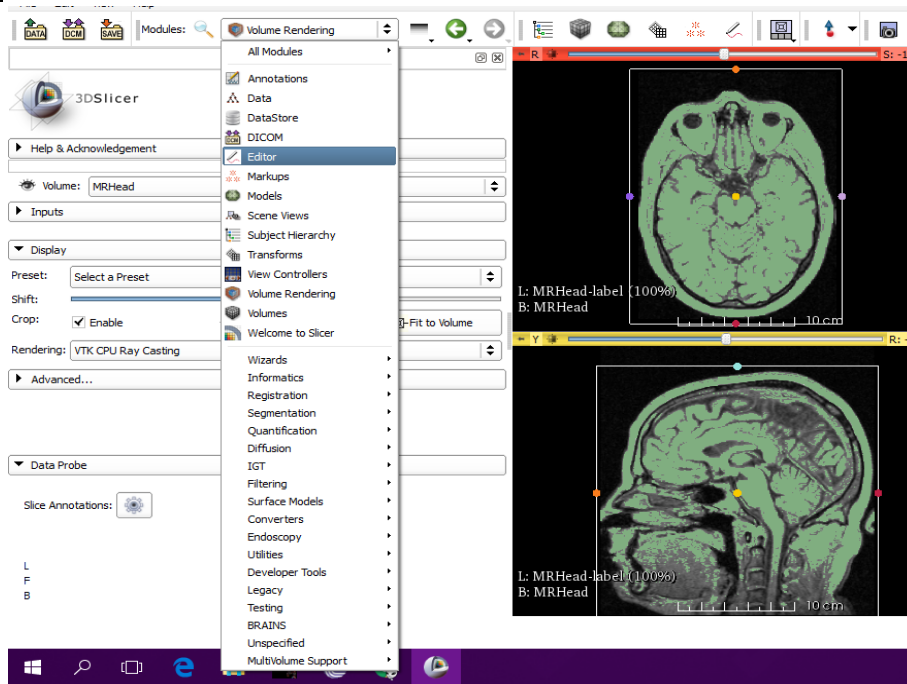
Εικόνα 4.25: Η επιλογή του το Volume Rendering από το Drop-down menu



Εικόνα 4.26: Ο όγκος όπως εμφανίζεται μετά το Volume Rendering

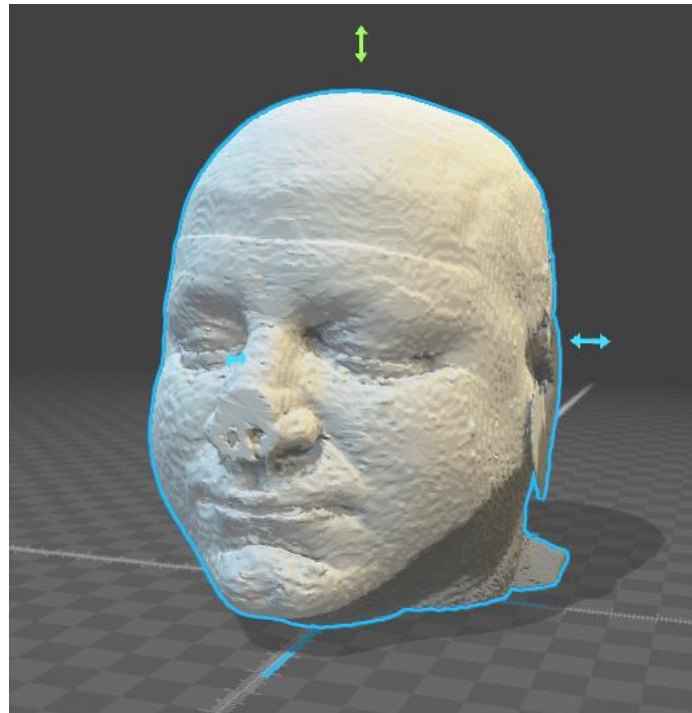


Εικόνα 4.28: Το εργαλείο MakeModelEffect όπου επιλέγεται πόσο smooth χρειάζεται να είναι το μοντέλο



Εικόνα 4.27: Η ενεργοποίηση του εργαλείου MakeModelEffect από τον Editor

- Το μοντέλο είναι έτοιμο και εξάγεται σε μορφή .stl. (Εικόνα 4.29) Όπως έχει αναφερθεί στόχος αυτού του τύπου αρχείων είναι να περιγράψουν απλά το σχήμα ενός τρισδιάστατου αντικειμένου. Τα δεδομένα των αρχείων αυτών περιγράφουν μόνο την γεωμετρία της επιφάνειας των τρισδιάστατων αντικειμένων, χωρίς να δίνουν καμία επιπλέον πληροφορία για το χρώμα, την υφή ή οτιδήποτε άλλο.



Εικόνα 4.29: Το κεφάλι σε μορφή .stl

Συμπεράσματα

Το Ίδρυμα Ελεύθερου Λογισμικού ορίζει ως Ελεύθερο Λογισμικό το λογισμικό το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αντιγραφεί, μελετηθεί, τροποποιηθεί και αναδιανεμηθεί χωρίς περιορισμό. Ο όρος Ελεύθερο Λογισμικό δε σημαίνει και δωρεάν λογισμικό. Το 1998, ένα μέρος της κοινότητας του Ελεύθερου Λογισμικού διασπάστηκε και ξεκίνησε να δραστηριοποιείται με το όνομα “Ανοιχτός Κώδικας”. Σχεδόν όλο το Λογισμικό Ανοικτού Κώδικα είναι Ελεύθερο Λογισμικό. Οι δύο όροι περιγράφουν σχεδόν την ίδια κατηγορία λογισμικού, αλλά αντιπροσωπεύουν κάποιες απόψεις βασισμένες σε διαφορετικές αξίες καθώς ο Ανοιχτός Κώδικας είναι μία μεθοδολογία ανάπτυξης, ενώ το Ελεύθερο Λογισμικό αποτελεί ένα κοινωνικό κίνημα.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν ελεύθερα λογισμικά ανοικτού κώδικα τρισδιάστατης γεωμετρίας και συγκεκριμένα μελετήθηκαν το MeshLab, το 3D Slicer και το ITK. Το MeshLab είναι ένα προηγμένο σύστημα 3D λογισμικού επεξεργασίας πλέγματος, που είναι πολύ γνωστό στα περισσότερα τεχνικά πεδία της τρισδιάστατης ανάπτυξης και το χειρισμό των δεδομένων.

Το 3D Slicer είναι λογισμικό ανάλυσης εικόνας επιστημονικής απεικόνισης και χρησιμοποιείται σε ποικιλία ιατρικών εφαρμογών. Το ITK είναι μία πολλαπλή πλατφόρμα, στο πλαίσιο ανάπτυξης εφαρμογών ανοικτού κώδικα που χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάπτυξη της κατάμησης εικόνας.

Στα πλαίσια της μελέτης των παραπάνω λογισμικών παρουσιάστηκαν δύο παραδείγματα παραγωγής μοντέλων πλέγματος (.stl) από point clouds και από μαγνητική τομογραφία (mri) χρησιμοποιώντας τα λογισμικά ανοικτού κώδικα MeshLab και 3D Slicer αντίστοιχα.

Στο πρώτο παράδειγμα, που υλοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού MeshLab, χρησιμοποιήθηκε ένα αρχείο νέφους σημείων από τη σάρωση ενός κουνελιού. Νέφος σημείων είναι μια δομή δεδομένων που χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει τρισδιάστατα δεδομένα με τη συλλογή πολυδιάστατων σημείων. Χρησιμοποιώντας υπολογιστικές τεχνικές ένα φυσικό αντικείμενο σαρώνεται και αναλύεται για την τυποποίηση του. Για την συλλογή ενός νέφους σημείων από την σάρωση ενός αντικειμένου χρειάζονται εξειδικευμένα εργαλεία, κάποια από αυτά είναι: οι σαρωτές χειρός (3D hand held scanner), οι κινητοί σαρωτές (mobile scanners), οι επίγειοι σαρωτές, και ο σαρωτής Kinect. Για τη σάρωση του κουνελιού χρησιμοποιήθηκε το Scanner Cyberware 3030 MS.

Στο δεύτερο παράδειγμα, το οποίο υλοποιήθηκε με το λογισμικό ανοικτού κώδικα 3D Slicer, χρησιμοποιήθηκε η μαγνητική τομογραφία ενός κεφαλιού. Η μαγνητική τομογραφία (mri) είναι μια ακτινολογική μέθοδος απεικόνισης του εσωτερικού ενός οργανισμού και με τη χρήση μαγνητικού τομογράφου είναι δυνατή η λήψη πληροφοριών σχετικά με την βιοχημική κατάσταση των ιστών με την μορφή εικόνων.

Συνοψίζοντας, τα αρχεία .stl, που παρήχθησαν στα παραδείγματα, είναι αρχεία τα οποία παρέχουν πληροφορίες για ένα τρισδιάστατο αντικείμενο. Τα αρχικά stl είναι συντομογραφία της λέξης στεριολιθογραφία (stereolithography) και υποδηλώνουν τον πρωταρχικό στόχο αυτού του τύπου αρχείων, που είναι να περιγράψουν το σχήμα ενός τρισδιάστατου, στατικού αντικειμένου. Τα δεδομένα των αρχείων αυτών περιγράφουν μόνο την γεωμετρία της επιφάνειας των τρισδιάστατων αντικειμένων, χωρίς να δίνουν καμία επιπλέον πληροφορία για το χρώμα, την υφή ή οτιδήποτε άλλο.

Βιβλιογραφία

- [1] <http://opensource.org/docs/osd>
- [2] <http://opensource.com/resources/what-open-source>
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Open-source_software
- [4] https://el.wikipedia.org/wiki/Ελεύθερο_λογισμικό
- [5] <https://el.wikipedia.org/wiki/GNU#History>
- [6] <https://eellak.ellak.gr/i-eellak-mesa-apo-tis-protovoulies-pou-analamvani-stochevi/>
- [7] https://el.wikipedia.org/wiki/Ίδρυμα_Ελεύθερου_Λογισμικού
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Insight_Segmentation_and_Registration_Toolkit
- [9] <https://en.wikipedia.org/wiki/VTK>
- [10] <http://graphics.stanford.edu/data/3Dscanrep/>
- [11] <http://meshlab.sourceforge.net/>
- [12] <https://itk.org/ITK/project/about.html>
- [13] <http://pointclouds.org/>
- [14] https://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud
- [15] https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner
- [16] G. Koutelakis and D. Lympferopoulos, “WADA service: An extension of DICOM WADO service”, IEEE Trans. Inform. Technol. Biomed., vol. 13, no 1, pp. 121–130, Jan. 2009.
- [17] https://el.wikipedia.org/wiki/Μαγνητική_τομογραφία
- [18] https://el.wikipedia.org/wiki/Αξονική_τομογραφία
- [19] https://en.wikipedia.org/wiki/STL_%28file_format%29