



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Αυτόματη Εξαγωγή της Καρωτίδας από Εικόνες Υπερήχου με
Τεχνικές Επεξεργασίας Εικόνας και Ανάπτυξη Ασαφούς Βάσης
Γνώσης για τον Εντοπισμό και Χαρακτηρισμό της Αθηρωματικής
Πλάκας σε Περιβάλλον Αντικειμενοστρεφούς Ανάλυσης

Διπλωματική Εργασία

Τρανού Αθανασία

Αθήνα, Οκτώβριος 2017

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING

**Automatic Extraction of Carotid Artery from Ultrasound
Images with Image Processing Techniques and Development
of a Fuzzy Knowledge Base for Atheromatous Plaque
Extraction and Characterization in an Object Oriented
Environment Analysis**

Diploma Thesis

Tranou Athanasia

Athens, October 2017

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Αυτόματη Εξαγωγή της Καρωτίδας από Εικόνες Υπερήχου με
Τεχνικές Επεξεργασίας Εικόνας και Ανάπτυξη Ασαφούς Βάσης
Γνώσης για τον Εντοπισμό και Χαρακτηρισμό της Αθηρωματικής
Πλάκας σε Περιβάλλον Αντικειμενοστρεφούς Ανάλυσης

Επιβλέπων: Δ. Αργιαλάς, Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελής επιτροπή στις Οκτωβρίου 2017 :

.....

Δ. Αργιαλάς

Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Β. Καραθανάση,

Καθηγήτρια ΕΜΠ

.....

Π. Κολοκούσης,

Δρ. ΕΜΠ

Τρανού Αθανασία

Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ

Copyright © Τρανού Αθανασία, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανατέθηκε από τον κ. Αργιαλά Δημήτρη, καθηγητή στο Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με σκοπό την εξαγωγή και τον χαρακτηρισμό της αθηρωματικής πλάκας από εικόνες υπερήχων καρωτίδων.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στο να πραγματοποιηθεί η παρούσα εργασία, ξεκινώντας από τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Δημήτρη Αργιαλά. Τον ευχαριστώ για την ανάθεση ενός τέτοιου θέματος, το συνεχές ενδιαφέρον του και τις γνωσιακές βάσεις που έθεσε.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον Αναπληρωτή Καθηγητή Ακτινολογίας κ. Αριστείδη Αντωνίου και την κα Μπουργιώτη Χαρά, Ακτινολόγο και Επιστημονικό Συνεργάτη από το Τμήμα Υπερήχων του Αρεταιείου Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου Αθηνών για τον χρόνο που διέθεσαν, για την καθοδήγησή τους καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας καθώς και για την παροχή των εικόνων υπερήχου που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης ευχαριστώ πολύ τον ακτινολόγο Δρ. Βόρκα Γεώργιο, που και εκείνος παραχώρησε εικόνες μια εκ των οποίων χρησιμοποιήθηκε για τον σκοπό αυτής της εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον Δρ. Μηχ. Πολυχρόνη Κολοκούση, του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης ΕΜΠ, για τη συνεργασία, την βοήθεια του και τις χρήσιμες συμβουλές του.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που με έχουν στηρίξει πολύ στη μέχρι τώρα πορεία μου και τους φίλους μου για τη συμπαράσταση και την κατανόηση που μου έδειξαν όλο αυτό το διάστημα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	6
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	8
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	15
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	16
EXTENDED ABSTRACT	18
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	20
1.1 Γενικά	20
1.2 Στόχος	21
1.3 Διάρθρωση Εργασίας	21
2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	23
2.1 Στοιχεία Καρωτίδας και Καρωτιδικού Τοιχώματος	23
2.2 Η Αθρωματική Πλάκα	26
2.3 Μέθοδοι Απεικόνισης Καρωτίδων	28
2.3.1 Βασικές Αρχές Υπερήχων	28
2.3.2 Απεικόνιση B-mode Καρωτίδας	30
2.3.3 Έγχρωμη Απεικόνιση Doppler	33
2.4 Υπολογιστικά Υποβοηθούμενη Διάγνωση	35
2.5 Θεωρητικό Υπόβαθρο Μεθοδολογίας	36
2.5.1 Προ-επεξεργασία	36
2.5.1.1 Γραμμικά Χωρικά Φίλτρα	37
2.5.1.2 Μη Γραμμικά Χωρικά Φίλτρα	38
2.5.1.3 Αλγόριθμος Ενίσχυσης Σωληνοειδών Αντικειμένων	38
2.5.2 Κατάτμηση	39
2.5.3 Μαθηματική Μορφολογία	40
2.5.4 Ανάλυση και Ταξινόμηση Εικόνας	41
2.5.4.1 Αντικειμενοστρεφής Ανάλυση - Κατάτμηση	43
2.5.4.2 Αντικειμενοστρεφής Ανάλυση – Ταξινόμηση	44
2.6 Μελέτη Προσέγγισης Εργασιών Συναφούς Θέματος	47
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	49
3.1 Ανάπτυξη Αλγόριθμου Εξαγωγής Πιθανών Περιοχών Καρωτίδας	49
3.1.1 Εξομάλυνση	52
3.1.1.1 Φίλτρο Ανισοτροπικής Διάχυσης	52
3.1.1.2 Καθοδηγούμενο Φίλτρο	57
3.1.2 Εξαγωγή Χαρακτηριστικών με Φίλτρα Ενίσχυσης	62
3.1.2.1 Διαφορά Αρχικής Εικόνας από Φιλτραρισμένη Εικόνα Gauss	62

3.1.2.2	Φίλτρο Ενίσχυσης Σωληνοειδών Αντικειμένων _____	63
3.1.3	Επεξεργασία με Μορφολογικούς Τελεστές και Εφαρμογή Αλγορίθμου Κατάτμησης _____	64
3.1.4	Εφαρμογή του Αλγορίθμου Πιθανών Περιοχών Εξαγωγής Καρωτίδας σε Άλλες Εικόνες _____	70
3.2	Ταξινόμηση Μέσω Αντικειμενοστρεφούς Ανάλυσης _____	96
3.2.1	Φωτοερμηνεία Στοιχείων εντός Καρωτίδας _____	97
3.2.2	Εννοιολογική Προσέγγιση του Προβλήματος _____	98
3.2.3	Υλοποίηση Αντικειμενοστρεφούς Ανάλυσης _____	99
3.2.3.1	Κατάτμηση και Ταξινόμηση Επιπέδου 1 _____	101
3.2.3.2	Κατάτμηση και Ταξινόμηση Επιπέδου 2 _____	103
3.2.3.3	Κατάτμηση και Ταξινόμηση Επιπέδου 3 _____	107
3.2.3.4	Κατάτμηση και Ταξινόμηση Επιπέδου 4 _____	114
3.2.3.5	Κατάτμηση και Ταξινόμηση Επιπέδου 5 _____	119
3.2.3.6	Κατάτμηση και Ταξινόμηση Επιπέδου 6 _____	124
3.2.3.7	Ταξινόμηση Επιπέδου 7 _____	127
3.2.4	Αποτελέσματα Υλοποίησης Αντικειμενοστρεφούς Ανάλυσης των Υπόλοιπων Εικόνων _____	130
4	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ _____	156
4.1	Αξιολόγηση Σταθερότητας της Ταξινόμησης “Classification Stability” _____	156
4.2	Αξιολόγηση Βάσει του Καλύτερου Αποτελέσματος Ταξινόμησης “Best Classification Result” _____	163
4.3	Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων μέσω Εικόνων Αναφοράς _____	170
4.4	Ποιοτική Αξιολόγηση του Εντοπισμού Αθηρωματικής Πλάκας _____	188
4.5	Αξιολόγηση του Χαρακτηρισμού της Αθηρωματικής Πλάκας _____	190
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ _____	192
5.1	Συμπεράσματα _____	192
5.2	Προοπτικές _____	194
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ _____	194
7	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ _____	198
7.1	Παράμετροι Αλγορίθμου Εξαγωγής Καρωτιδικής Αρτηρίας _____	198
7.2	Επεξεργασία Νέας Εικόνας Δεδομένων (Εικόνα Δεδομένων 12) _____	200

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 2.1 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΟΡΤΙΚΟΥ ΤΟΞΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΙΑΚΛΑΔΩΣΕΩΝ ΤΟΥ [ΠΗΓΗ: (GRAY, 1918)]	23
ΕΙΚΟΝΑ 2.2 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΔΙΧΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΚΟΙΝΗΣ ΚΑΡΩΤΙΔΑΣ ΣΕ ΈΣΩ ΚΑΙ ΈΞΩ [ΠΗΓΗ: GRAY'S BOOK 'ANATOMY OF THE HUMAN BODY' (1918)]	24
ΕΙΚΟΝΑ 2.3 ΟΙ ΧΙΤΩΝΕΣ ΤΟΥ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΚΑΡΩΤΙΔΩΝ [ΠΗΓΗ: (INCARDIOLOGY.GR, 2017)].....	25
ΕΙΚΟΝΑ 2.4 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΛΑΚΑΣ ΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΔΙΧΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΣΤΗ ΚΟΙΝΗ ΚΑΡΩΤΙΔΑ [ΠΗΓΗ: (INCARDIOLOGY.GR, 2017)].....	27
ΕΙΚΟΝΑ 2.5 ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΧΙΤΩΝΩΝ ΤΟΥ ΚΑΡΩΤΙΔΙΚΟΥ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΕΙΚΟΝΑ ΥΠΕΡΗΧΟΥ B-MODE.....	31
ΕΙΚΟΝΑ 2.6 ΥΠΕΡΗΧΟΣ ΚΟΙΝΗΣ ΚΑΡΩΤΙΔΑΣ - ΟΡΙΟΘΕΤΗΜΕΝΗ ΑΘΗΡΩΜΑΤΙΚΗ ΠΛΑΚΑ ΠΟΥ, ΩΣ ΕΠΙ ΤΟ ΠΛΕΙΣΤΟΝ, ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΕΠΑΣΒΕΣΤΩΜΕΝΗ [ΠΗΓΗ: (SPENCE, 2006)].....	32
ΕΙΚΟΝΑ 2.7 ΥΠΟΗΧΟΪΚΗ ΠΛΑΚΑ (ΒΕΛΗ). COLOUR DOPPLER. ΠΗΓΗ: [(ΣΑΡΑΦΟΠΟΥΛΟΣ , 2012)]	33
ΕΙΚΟΝΑ 2.8 ΥΠΕΡΗΧΟΓΕΝΗΣ ΠΛΑΚΑ [ΠΗΓΗ: (ΣΑΡΑΦΟΠΟΥΛΟΣ , 2012).....	33
ΕΙΚΟΝΑ 2.9 ΥΠΟΗΧΟΪΚΗ ΠΛΑΚΑ (ΚΕΦΑΛΕΣ ΒΕΛΩΝ) ΜΕ ΕΣΤΙΑΚΗ ΕΠΑΣΒΕΣΤΩΣΗ	33
ΕΙΚΟΝΑ 2.10: ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ ΜΕΑΝ LAYER 1 (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) - ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ (ΔΕΞΙΑ).....	46
ΕΙΚΟΝΑ 2.11: ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ	47
ΕΙΚΟΝΑ 3.1 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ.....	50
ΕΙΚΟΝΑ 3.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΠΙΘΑΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΚΑΡΩΤΙΔΑΣ.....	51
ΕΙΚΟΝΑ 3.3 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) , ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ), ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ -ΚΑΤΩ), ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ (ΔΕΞΙΑ- ΚΑΤΩ).....	53
ΕΙΚΟΝΑ 3.4 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ)	53
ΕΙΚΟΝΑ 3.5 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) , ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ)	54
ΕΙΚΟΝΑ 3.6 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 4: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ)	54
ΕΙΚΟΝΑ 3.7 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 5: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ)	55
ΕΙΚΟΝΑ 3.8 ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 6: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ)	55
ΕΙΚΟΝΑ 3.9 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 7: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ)	55
ΕΙΚΟΝΑ 3.10 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 8: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ)	56
ΕΙΚΟΝΑ 3.11 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 9: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ)	56
ΕΙΚΟΝΑ 3.12 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 10: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ)	56
ΕΙΚΟΝΑ 3.13 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 11: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ)	57
ΕΙΚΟΝΑ 3.14 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) , ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ (ΔΕΞΙΑ), ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ -ΚΑΤΩ), ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ (ΔΕΞΙΑ- ΚΑΤΩ).....	57
ΕΙΚΟΝΑ 3.15 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) , ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ (ΔΕΞΙΑ).....	58
ΕΙΚΟΝΑ 3.16 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) , ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ (ΔΕΞΙΑ).....	58
ΕΙΚΟΝΑ 3.17 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 4: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) , ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ (ΔΕΞΙΑ).....	59
ΕΙΚΟΝΑ 3.18 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 5: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) , ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ (ΔΕΞΙΑ).....	59
ΕΙΚΟΝΑ 3.19 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 6: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) , ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ (ΔΕΞΙΑ).....	60
ΕΙΚΟΝΑ 3.20 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 7: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) , ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ (ΔΕΞΙΑ).....	60
ΕΙΚΟΝΑ 3.21 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 8: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) , ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ (ΔΕΞΙΑ).....	60
ΕΙΚΟΝΑ 3.22 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 9: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) , ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ (ΔΕΞΙΑ).....	61
ΕΙΚΟΝΑ 3.23 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 10: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) , ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ (ΔΕΞΙΑ).....	61
ΕΙΚΟΝΑ 3.24 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 11: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) , ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ (ΔΕΞΙΑ).....	61
ΕΙΚΟΝΑ 3.25 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕ GUIDED FILTER (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΙΚΟΝΑ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗ ΜΕ GAUSSIAN FILTER ΑΠΟ ΤΗΝ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗ ΜΕ GUIDED FILTER (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) (ΔΕΞΙΑ)	63
ΕΙΚΟΝΑ 3.26 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ	63
ΕΙΚΟΝΑ 3.27 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΚΑΤΩΦΛΙΩΣΗ	64
ΕΙΚΟΝΑ 3.28 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ.....	65
ΕΙΚΟΝΑ 3.29 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟ ΚΛΕΙΣΙΜΟ	65
ΕΙΚΟΝΑ 3.30 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΔΥΑΔΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΩΤΟΥ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ ..	66
ΕΙΚΟΝΑ 3.31 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	66
ΕΙΚΟΝΑ 3.32 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ	67
ΕΙΚΟΝΑ 3.33 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΤΗΡΙΑ	67
ΕΙΚΟΝΑ 3.34 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ	68
ΕΙΚΟΝΑ 3.35 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	68
ΕΙΚΟΝΑ 3.36 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΤΡΙΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ - ΤΕΛΙΚΗ ΔΥΑΔΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ	69
ΕΙΚΟΝΑ 3.37 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕ ΌΡΙΑ ΤΗΣ ΔΥΑΔΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	69

EΙΚΟΝΑ 3.38 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2: EΙΚΟΝΑ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ EΙΚΟΝΑΣ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗ ΜΕ GAUSSIAN FILTER ΑΠΟ ΤΗΝ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗ ΜΕ GUIDED FILTER (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (ΔΕΞΙΑ)	70
EΙΚΟΝΑ 3.39 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2: ΚΑΤΩΦΛΙΩΣΗ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (ΔΕΞΙΑ)	70
EΙΚΟΝΑ 3.40 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2: ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟ ΚΛΕΙΣΙΜΟ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΔΥΑΔΙΚΗΣ EΙΚΟΝΑΣ ΚΑΙ ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (ΔΕΞΙΑ)	71
EΙΚΟΝΑ 3.41 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2: ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (ΔΕΞΙΑ)	71
EΙΚΟΝΑ 3.42 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2: ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΤΗΡΙΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ (ΔΕΞΙΑ)	71
EΙΚΟΝΑ 3.43 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2: ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΤΡΙΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ - ΤΕΛΙΚΗ ΔΥΑΔΙΚΗ EΙΚΟΝΑ (ΔΕΞΙΑ)	72
EΙΚΟΝΑ 3.44 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2: ΑΡΧΙΚΗ EΙΚΟΝΑ ΜΕ ΌΡΙΑ ΤΗΣ ΔΥΑΔΙΚΗΣ EΙΚΟΝΑΣ	72
EΙΚΟΝΑ 3.45 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3: EΙΚΟΝΑ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ EΙΚΟΝΑΣ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗ ΜΕ GAUSSIAN FILTER ΑΠΟ ΤΗΝ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗ ΜΕ GUIDED FILTER (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (ΔΕΞΙΑ)	73
EΙΚΟΝΑ 3.46 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3: ΚΑΤΩΦΛΙΩΣΗ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (ΔΕΞΙΑ)	73
EΙΚΟΝΑ 3.47 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3: ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟ ΚΛΕΙΣΙΜΟ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΔΥΑΔΙΚΗΣ EΙΚΟΝΑΣ ΚΑΙ ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (ΔΕΞΙΑ)	73
EΙΚΟΝΑ 3.48 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3: ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (ΔΕΞΙΑ)	74
EΙΚΟΝΑ 3.49 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3: ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΤΗΡΙΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ (ΔΕΞΙΑ)	74
EΙΚΟΝΑ 3.50 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3: ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ (2) (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΤΡΙΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ - ΤΕΛΙΚΗ ΔΥΑΔΙΚΗ EΙΚΟΝΑ (ΔΕΞΙΑ)	74
EΙΚΟΝΑ 3.51 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3: ΑΡΧΙΚΗ EΙΚΟΝΑ ΜΕ ΌΡΙΑ ΤΗΣ ΔΥΑΔΙΚΗΣ EΙΚΟΝΑΣ, ΣΗΜΕΙΑ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΕΙ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΟΡΙΟ ΤΗΣ ΑΡΤΗΡΙΑΣ (ΚΟΚΚΙΝΑ ΒΕΛΗ), Η ΓΡΑΜΜΗ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΕΠΡΕΠΕ ΝΑ ΕΙΝΑΙ ΠΙΟ ΟΜΑΛΗ (ΚΙΤΡΙΝΟ ΒΕΛΟΣ).....	75
EΙΚΟΝΑ 3.52 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 4: EΙΚΟΝΑ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ EΙΚΟΝΑΣ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗ ΜΕ GAUSSIAN FILTER ΑΠΟ ΤΗΝ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗ ΜΕ GUIDED FILTER (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (ΔΕΞΙΑ)	75
EΙΚΟΝΑ 3.53 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 4: ΚΑΤΩΦΛΙΩΣΗ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (ΔΕΞΙΑ)	76
EΙΚΟΝΑ 3.54 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 4: ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟ ΚΛΕΙΣΙΜΟ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΔΥΑΔΙΚΗΣ EΙΚΟΝΑΣ ΚΑΙ ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (ΔΕΞΙΑ)	76
EΙΚΟΝΑ 3.55 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 4: ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (ΔΕΞΙΑ)	76
EΙΚΟΝΑ 3.56 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 4: ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΤΗΡΙΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ (ΔΕΞΙΑ)	77
EΙΚΟΝΑ 3.57 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 4: ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΤΡΙΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ - ΤΕΛΙΚΗ ΔΥΑΔΙΚΗ EΙΚΟΝΑ (ΔΕΞΙΑ)	77
EΙΚΟΝΑ 3.58 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 4: ΑΡΧΙΚΗ EΙΚΟΝΑ ΜΕ ΌΡΙΑ ΤΗΣ ΔΥΑΔΙΚΗΣ EΙΚΟΝΑΣ, ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΟΥ ΟΡΙΟΥ ΑΡΤΗΡΙΑΣ ΚΑΘΩΣ ΠΡΟΚΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΣΤΟΥ (ΚΟΚΚΙΝΟ ΑΣΤΕΡΙ)	77
EΙΚΟΝΑ 3.59 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 5: EΙΚΟΝΑ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ EΙΚΟΝΑΣ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗ ΜΕ GAUSSIAN FILTER ΑΠΟ ΤΗΝ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗ ΜΕ GUIDED FILTER (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (ΔΕΞΙΑ)	78
EΙΚΟΝΑ 3.60 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 5: ΚΑΤΩΦΛΙΩΣΗ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (ΔΕΞΙΑ)	78
EΙΚΟΝΑ 3.61 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 5: ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟ ΚΛΕΙΣΙΜΟ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΔΥΑΔΙΚΗΣ EΙΚΟΝΑΣ ΚΑΙ ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (ΔΕΞΙΑ)	79
EΙΚΟΝΑ 3.62 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 5: ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (ΔΕΞΙΑ)	79
EΙΚΟΝΑ 3.63 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 5: ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΤΗΡΙΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ (ΔΕΞΙΑ)	79
EΙΚΟΝΑ 3.64 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 5: ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΤΡΙΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ - ΤΕΛΙΚΗ ΔΥΑΔΙΚΗ EΙΚΟΝΑ (ΔΕΞΙΑ)	80
EΙΚΟΝΑ 3.65 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 5: ΑΡΧΙΚΗ EΙΚΟΝΑ ΜΕ ΌΡΙΑ ΤΗΣ ΔΥΑΔΙΚΗΣ EΙΚΟΝΑΣ	80
EΙΚΟΝΑ 3.66 EΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 6: EΙΚΟΝΑ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ EΙΚΟΝΑΣ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗ ΜΕ GAUSSIAN FILTER ΑΠΟ ΤΗΝ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗ ΜΕ GUIDED FILTER (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (ΔΕΞΙΑ)	81

ΕΙΚΟΝΑ 3.97 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 10: ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΤΗΡΙΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ (ΔΕΞΙΑ).....	92
ΕΙΚΟΝΑ 3.98 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 10: ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΤΡΙΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ - ΤΕΛΙΚΗ ΔΥΑΔΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΔΕΞΙΑ)	92
ΕΙΚΟΝΑ 3.99 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 10: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕ ΌΡΙΑ ΤΗΣ ΔΥΑΔΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	93
ΕΙΚΟΝΑ 3.100 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 11:ΕΙΚΟΝΑ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗ ΜΕ GAUSSIAN FILTER ΑΠΟ ΤΗΝ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗ ΜΕ GUIDED FILTER (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (ΔΕΞΙΑ).....	93
ΕΙΚΟΝΑ 3.101 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 11: ΚΑΤΩΦΛΙΩΣΗ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (ΔΕΞΙΑ)	94
ΕΙΚΟΝΑ 3.102 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 11: ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟ ΚΛΕΙΣΙΜΟ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΔΥΑΔΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΚΑΙ ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (ΔΕΞΙΑ)	94
ΕΙΚΟΝΑ 3.103 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 11: ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (ΔΕΞΙΑ)	94
ΕΙΚΟΝΑ 3.104 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 11: ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΤΗΡΙΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ (ΔΕΞΙΑ).....	95
ΕΙΚΟΝΑ 3.105 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 11: ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΤΡΙΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ - ΤΕΛΙΚΗ ΔΥΑΔΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΔΕΞΙΑ)	95
ΕΙΚΟΝΑ 3.106 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 11: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕ ΌΡΙΑ ΤΗΣ ΔΥΑΔΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	95
ΕΙΚΟΝΑ 3.107 ΦΩΤΟΘΕΡΜΗΝΕΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΡΩΤΙΔΑΣ	97
ΕΙΚΟΝΑ 3.108 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ	98
ΕΙΚΟΝΑ 3.109 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΣΑΦΟΥΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ	100
ΕΙΚΟΝΑ 3.110 ΚΑΝΟΝΕΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 1 ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	102
ΕΙΚΟΝΑ 3.111 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 1.....	103
ΕΙΚΟΝΑ 3.112 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2	104
ΕΙΚΟΝΑ 3.113 ΚΑΝΟΝΕΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2 ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	106
ΕΙΚΟΝΑ 3.114 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2	107
ΕΙΚΟΝΑ 3.115 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 3	108
ΕΙΚΟΝΑ 3.116 ΚΑΝΟΝΕΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 3 ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	111
ΕΙΚΟΝΑ 3.117 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 3	113
ΕΙΚΟΝΑ 3.118 ΤΡΟΠΟΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 4	114
ΕΙΚΟΝΑ 3.119 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 4 (ΟΥΣΙΑΣΤΙΚΑ ΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΠΟΥ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΚΑΙ ΠΡΑΣΙΝΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ).....	115
ΕΙΚΟΝΑ 3.120 ΚΑΝΟΝΕΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 4 ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	117
ΕΙΚΟΝΑ 3.121 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 4	119
ΕΙΚΟΝΑ 3.122 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 5	120
ΕΙΚΟΝΑ 3.123 ΚΑΝΟΝΕΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 5 ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	122
ΕΙΚΟΝΑ 3.124 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 5	124
ΕΙΚΟΝΑ 3.125 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 6 ΓΙΑ ΤΙΣ ΤΡΕΙΣ ΠΛΑΚΕΣ (ΚΟΚΚΙΝΑ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΑ) (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), FEATURE VIEW ΓΙΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑΣ $0 < \text{MEAN LAYER 1} < 90.5$ (ΔΕΞΙΑ)	125
ΕΙΚΟΝΑ 3.126 FEATURE VIEW ΓΙΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΜΕΣΑΙΑΣ ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑΣ $90.5 < \text{MEAN LAYER 1} < 140.5$ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), FEATURE VIEW ΓΙΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑΣ $140.5 < \text{MEAN LAYER 1} < 255$	125
ΕΙΚΟΝΑ 3.127 ΚΑΝΟΝΕΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 6 ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	126
ΕΙΚΟΝΑ 3.128 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 6	127
ΕΙΚΟΝΑ 3.129 ΚΑΝΟΝΕΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 7 ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	129
ΕΙΚΟΝΑ 3.130 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 7	129
ΕΙΚΟΝΑ 3.131 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ.....	130
ΕΙΚΟΝΑ 3.132 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2.....	130
ΕΙΚΟΝΑ 3.133 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 3.....	130
ΕΙΚΟΝΑ 3.134 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 4.....	131
ΕΙΚΟΝΑ 3.135 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 5.....	131
ΕΙΚΟΝΑ 3.136 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 6.....	131
ΕΙΚΟΝΑ 3.137 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 7	132
ΕΙΚΟΝΑ 3.138 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 1.....	132
ΕΙΚΟΝΑ 3.139 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2.....	132
ΕΙΚΟΝΑ 3.140 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 3.....	133
ΕΙΚΟΝΑ 3.141 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 4.....	133
ΕΙΚΟΝΑ 3.142 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 5.....	133
ΕΙΚΟΝΑ 3.143 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 6.....	134

ΕΙΚΟΝΑ 7.3 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 12: ΕΙΚΟΝΑ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗ ΜΕ GAUSSIAN FILTER ΑΠΟ ΤΗΝ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΗ ΜΕ GUIDED FILTER (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (ΔΕΞΙΑ)	201
ΕΙΚΟΝΑ 7.4 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 12: ΚΑΤΩΦΛΙΩΣΗ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (ΔΕΞΙΑ)	201
ΕΙΚΟΝΑ 7.5 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 12: ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟ ΚΛΕΙΣΙΜΟ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΔΥΑΔΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΚΑΙ ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (ΔΕΞΙΑ)	202
ΕΙΚΟΝΑ 7.6 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 12: ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (ΔΕΞΙΑ)	202
ΕΙΚΟΝΑ 7.7 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 12: ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΤΗΡΙΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ (ΔΕΞΙΑ).....	202
ΕΙΚΟΝΑ 7.8 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 12: ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΤΡΙΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ - ΤΕΛΙΚΗ ΔΥΑΔΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (ΔΕΞΙΑ)	203
ΕΙΚΟΝΑ 7.9 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 12: ΑΡΧΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕ ΌΡΙΑ ΤΗΣ ΔΥΑΔΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	203
ΕΙΚΟΝΑ 7.10 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 12: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 1.....	204
ΕΙΚΟΝΑ 7.11 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 12: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2.....	204
ΕΙΚΟΝΑ 7.12 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 12: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 3.....	204
ΕΙΚΟΝΑ 7.13 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 12: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 4.....	205
ΕΙΚΟΝΑ 7.14 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 12: ΟΙ ΑΛΛΑΓΕΣ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΕΠΙΠΕΔΟ 3	205
ΕΙΚΟΝΑ 7.15 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 12: ΟΙ ΑΛΛΑΓΕΣ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΕΠΙΠΕΔΟ 4	206
ΕΙΚΟΝΑ 7.16 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 12: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 5.....	206
ΕΙΚΟΝΑ 7.17 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 12: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 6.....	206
ΕΙΚΟΝΑ 7.18 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 12: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΕΠΙΠΕΔΟΥ 7.....	207

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2	103
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΚΑΝΟΝΩΝ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2.....	106
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 3	107
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΚΑΝΟΝΩΝ ΤΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ “ATHEROMATOUS PLAQUE (LIKE) L3” ΕΠΙΠΕΔΟΥ 3	111
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΚΑΝΟΝΩΝ ΤΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ “ATHEROMATOUS PLAQUE_OR_WALL OF ARTERY L3” ΕΠΙΠΕΔΟΥ 3	112
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.6 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΚΑΝΟΝΩΝ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 3	113
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.7 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 4	114
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.8 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΚΑΝΟΝΩΝ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ “ATHEROMATOUS PLAQUE_OR_WALL OF ARTERY L4” ΚΑΙ “ATHEROMATOUS PLAQUE (LIKE) L4” ΕΠΙΠΕΔΟΥ 4.....	118
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.9 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΚΑΝΟΝΩΝ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΕΠΙΠΕΔΟΥ L4	119
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.10 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 5	120
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.11 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΚΑΝΟΝΩΝ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 5	124
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.12 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 6	124
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.13 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΚΑΝΟΝΩΝ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 6.....	127
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.14 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΚΑΝΟΝΩΝ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 7.....	129
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1: ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	173
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2: ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	174
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3: ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	176
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 4: ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	178
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 5: ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	179
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 6: ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	181
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 7: ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	182
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 8: ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	183
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 9: ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	184
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 10: ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	186
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.11 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 11: ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	187
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.12 ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ 5	190
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.13 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ.....	192
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΠΙΘΑΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΚΑΡΩΤΙΔΑΣ	199

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι καρωτίδες είναι οι βασικές αρτηρίες που τροφοδοτούν με αίμα το κεφάλι και τον λαιμό. Η μελέτη της αθηρωματικής νόσου των καρωτίδων είναι ιδιαίτερος σημαντική καθώς αποτελεί την βασική αιτία των ισχαιμικών εμβολικών εμφραγμάτων. Η αθηρωματική νόσος είναι αποτέλεσμα μιας περίπλοκης διαδικασίας η οποία οδηγεί στην συσσώρευση διαφόρων στοιχείων, όπως λιπίδια, χοληστερόλη και ασβέστιο, στα τοιχώματα των αρτηριών με αποτέλεσμα την σταδιακή στένωση τους. Η σύσταση μιας αθηρωματικής πλάκας παίζει σημαντικό ρόλο στην απόφαση του ακτινολόγου σχετικά με την θεραπεία που θα ακολουθηθεί. Βάσει συστάσεως, οι αθηρωματικές πλάκες μπορούν να χαρακτηριστούν ως σταθερές ή ασταθείς. Οι ασταθείς πλάκες χαρακτηρίζονται από μεγάλη συγκέντρωση σε χοληστερόλη και έχουν μεγάλη πιθανότητα να ραγούν προκαλώντας ισχαιμικό εμβολικό έμφραγμα. Επίσης ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι μια ασταθής πλάκα εμφανίζει προοδευτική αύξηση του μεγέθους της, εάν δεν σκληρυνθεί, οδηγώντας την αρτηρία σε υψηλό βαθμό στένωσης. Σκλήρυνση της πλάκας προκαλείται εφόσον υπάρξει εναπόθεση ασβεστίου.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την ανίχνευση της αθηρωματικής πλάκας από εικόνες υπερήχου καρωτίδας και στην συνέχεια τον χαρακτηρισμό της ως προς την σύσταση της. Ο εντοπισμός της αθηρωματικής πλάκας, μέσω της εικόνας υπερήχου b-mode (grayscale image), είναι πολύ δύσκολος καθώς υπάρχει θόρυβος ο οποίος δίνει την εντύπωση πλάκας. Πάρα το γεγονός αυτό στην συγκεκριμένη εργασία έγινε προσπάθεια ανίχνευσης των περιοχών της αθηρωματικής πλάκας μέσω φασματικών και τοπολογικών χαρακτηριστικών.

Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία της μεθοδολογίας αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος γίνεται εξαγωγή των πιθανών περιοχών της καρωτίδας μέσω τεχνικών επεξεργασίας εικόνας. Δοκιμάστηκαν φίλτρα εξομάλυνσης τα οποία διατηρούν της ακμές, έγινε ενίσχυση περιοχών υψηλών συχνοτήτων και επίσης ενισχύθηκαν τα σωληνοειδή στοιχεία των εικόνων. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε κατάτμηση και μέσω μορφολογικών τελεστών έγινε διόρθωση των ορίων των εξαχθέντων περιοχών. Σε δεύτερο στάδιο έγινε δημιουργία της ασαφούς βάσης γνώσης σε περιβάλλον αντικειμενοστρεφούς

ανάλυσης. Στο περιβάλλον αυτό εισήχθησαν με το ίδιο βάρος η εικόνα υπερήχου τόνων του γκρι και η δυαδική εικόνα που εξήχθηκε στο πρώτο μέρος της μεθοδολογίας. Για τον εντοπισμό της αθηρωματικής πλάκας δημιουργήθηκαν 5 επίπεδα κατάτμησης και για τον χαρακτηρισμό του τύπου της άλλα δύο επίπεδα. Ο λόγος που δημιουργήθηκαν τα πέντε επίπεδα ήταν η ανάγκη αναπαράστασης ενδιάμεσων οντοτήτων οι οποίες θα οδηγούσαν στην αθηρωματικής πλάκας. Έγιναν ταξινομήσεις σε κάθε επίπεδο κατάτμησης ώστε αξιοποιώντας την κλίμακα να εντοπιστεί και να χαρακτηριστεί η αθηρωματική πλάκα. Η κάθε κατηγορία ορίστηκε βάσει ορισμένων χαρακτηριστικών και με την χρήση ασαφών συναρτήσεων συμμετοχής. Ο στόχος, που υλοποιήθηκε με επιτυχία, ήταν να δημιουργηθεί μια μεθοδολογία που να εφαρμοστεί σε όλες τις εικόνες δεδομένων με τους ίδιους κανόνες και τα ίδια όρια στα πεδία τιμών των ιδιοτήτων των κατηγοριών.

Τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας όσο αφορά τον εντοπισμό της αθηρωματικής πλάκας, αξιολογήθηκαν με την χρήση εικόνων αναφοράς, ενώ τα αποτελέσματα των τύπων των αθηρωματικών πλακών επιβεβαιώθηκαν από τους ειδικούς (ακτινολόγους). Συνοπτικά τα αποτελέσματα έδειξαν ότι συνολικά δεν υπήρχαν μεγάλα ποσοστά σφάλματος παράλειψης της αθηρωματικής πλάκας. Κυρίως υπήρχαν μεγαλύτερα ποσοστά στα σφάλματα συμπερίληψης της τάξης του 35%. Επιπλέον έγινε αξιολόγηση σχετικά με την σταθερότητα της ασαφούς βάσης με την χρήση των εργαλείων που παρείχε το περιβάλλον που έγινε η αντικειμενοστρεφής ανάλυση (Classification Stability, Best Classification Result).

Λέξεις κλειδιά: καρωτίδα, αθηρωματική πλάκα, αθηρωματική νόσος, εικόνες υπέρηχου, επεξεργασία εικόνας, μαθηματική μορφολογία, αντικειμενοστρεφής ανάλυση.

EXTENDED ABSTRACT

The carotid arteries are basic arteries of human body that supply the brain and the neck with blood. The atherosclerosis of carotid arteries, which this thesis is concerned with, is a very important health problem because it is the main reason of ischemic embolic strokes. Atherosclerosis is the result of a complex procedure that leads to the accumulation of various elements, such as lipids, cholesterol and calcium, on the walls of the arteries, resulting in their gradual narrowing. The formation of an atheromatous plaque plays an important role in the decision of the radiologist about the treatment which have to be followed. Depending on the composition, an atheromatous plaque is characterized as being stable or unstable. Unstable plaques are characterized by high cholesterol concentration and are highly likely to crack causing ischemic embolic infarction. Another important feature of unstable plaques is that they have a gradual increase in size if it does not become harder, leading the artery to a high degree of stenosis. Plaque hardening is caused by calcium deposition.

This thesis aims at detecting the atherosclerotic plaque from carotid ultrasound images and then characterizing it in terms of its composition. Detecting the atherosclerotic plaque through the simple grayscale image is very difficult as there is noise that gives the impression of being an atheromatous plaque. However, in this work, an attempt was made in order to detect areas of the atheromatous plaque through spectral and topological features.

More specifically, the methodology process consists of two parts. In the first part, the possible areas of the carotid artery are extracted by using image processing techniques. In the preprocessing procedure, smoothing filters, which concurrently maintain the edges, were investigated and high-frequency regions and tubular elements of the images were enhanced. Then techniques such as segmentation with active contours and morphological operators were implemented. These techniques created the extracted areas and corrected their border. In the second stage, a fuzzy knowledge base was created in an object-oriented analysis environment. In this environment, the ultrasound gray scale image and the binary image that was extracted in the first part of the methodology were introduced with equal weight. Five levels of segmentation were created in order to detect the atheromatous plaque. Essentially, the reason that five levels were designed was to represent intermediate entities necessary

for the derivation of atheromatic plaque. In order to characterize the plaque, another two levels were also created. Classification took place at each segmentation level, utilizing the scale to detect and characterize the atherosclerotic plaque. Each category was defined based on certain attributes and the use of fuzzy membership functions. The aim that was achieved was to create a robust knowledge base which could be applied to all images with the same rules and the same feature limits in the class attributes.

The results of the methodology for detection of the atherosclerotic plaque were evaluated using reference images, while the results of the types of atherosclerotic plaques were confirmed by the experts (radiologists). In summary, the results showed that overall there was no high percentage of omission of the atherosclerotic plaque. Mostly there was higher percentage in commission errors, around 35%. In addition, an assessment was made on the stability of the fuzzy knowledge base by using the tools provided by the environment (Classification Stability and Best Classification Result).

Key words: carotid, atheromatous plaque, atherosclerosis, ultrasound images, Image processing, mathematical morphology, object based image analysis, OBIA

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Τα καρδιαγγειακά νοσήματα αποτελούν παγκοσμίως έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες νοσηρότητας και θνησιμότητας. Οι κυριότερες μορφές των καρδιαγγειακών νοσημάτων είναι η στεφανιαία νόσος και το εγκεφαλικό επεισόδιο. Ως αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο (ΑΕΕ) ορίζεται, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, κάθε οξείας έναρξης εστιακή ή γενικευμένη διαταραχή της εγκεφαλικής λειτουργίας που διαρκεί περισσότερο από 24 ώρες και οφείλεται αποκλειστικά σε αγγειακά αίτια. Τα ΑΕΕ χαρακτηρίζονται είτε ως ισχαιμικά είτε ως αιμορραγικά, με τα πρώτα να καταλαμβάνουν το 80% και τα δεύτερα το 20% των περιπτώσεων (Κατσαρού, 2014).

Τα ισχαιμικά εγκεφαλικά επεισόδια οφείλονται στη μείωση ή διακοπή της παροχής αίματος στον εγκέφαλο. Η ροή του αίματος μπορεί να διακοπεί κυρίως με δύο μηχανισμούς: τη θρόμβωση και την εμβολή. Ένα εγκεφαλικό επεισόδιο μπορεί να είναι ελαφρύ ή σοβαρό και να αποτελέσει προσωρινά ή μόνιμα αποτελέσματα. Η σοβαρότητα ενός τέτοιου επεισοδίου εξαρτάται από την σημαντικότητα των κύτταρων που έχουν υποστεί βλάβη.

Τα εγκεφαλικά επεισόδια αποτελούν την δεύτερη πιο κοινή αιτία θανάτου στην Ευρώπη, με ποσοστό θνησιμότητας 9% στους άνδρες και 13% στις γυναίκες (European Heart Network, 2017). Οι παράγοντες κινδύνου των ΑΕΕ ποικίλουν και μπορεί να είναι γενετικοί, αγγειακοί και παράγοντες που σχετίζονται με τον τρόπο ζωής. Συγκεκριμένα η ηλικία, το φύλο, η φυλή αλλά και η κληρονομικότητα είναι μη μεταβαλλόμενοι υπαίτιοι των αγγειακών εγκεφαλικών επεισοδίων. Μερικοί μεταβαλλόμενοι προδιαθεσικοί παράγοντες εκδήλωσης αυτών είναι η υπέρταση, ο διαβήτης, η καρδιοπάθεια, η δισλιπιδαιμία, η στένωση καρωτίδων, η αθηρωμάτωση του αορτικού τόξου, το κάπνισμα, ο αλκοολισμός, η παχυσαρκία-έλλειψη άσκησης και άλλα (Τσιβγούλης, 2014).

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται σε έναν από τους προαναφερθέντες παράγοντες των ΑΕΕ και συγκεκριμένα σε εκείνον της στένωσης των καρωτίδων,

τη λεγόμενη αθηρωματική νόσο. Στις αθηρωματικές πλάκες των καρωτίδων οφείλεται η πλειονότητα των ισχαιμικών εμβολικών εμφραγμάτων.

1.2 Στόχος

Ο στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι να εξαχθούν αυτόματα και να χαρακτηριστούν οι αθηρωματικές πλάκες από εικόνες υπερήχου καρωτίδων (b-mode). Στην συνέχεια, οι αθηρωματικές πλάκες που εντοπίζονται και χαρακτηρίζονται ως προς την σύσταση τους. Για την επίτευξη του στόχου χρησιμοποιήθηκαν 12 εικόνες υπερήχου οι οποίες υπέστησαν επεξεργασία με τεχνικές επεξεργασίας εικόνας ώστε να εξαχθούν οι πιθανές περιοχές της καρωτίδας, ως δυαδική εικόνα. Κατόπιν οι εικόνες υπερήχου καρωτίδας (τόνων του γκρι) σε συνδυασμό με τις δυαδικές εικόνες, χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία της ασαφούς βάσης γνώσης που με βάση την αντικειμενοστρεφή ανάλυση υλοποιείται ο εντοπισμός και ο χαρακτηρισμός της αθηρωματικής πλάκας.

1.3 Διάρθρωση Εργασίας

Στο *πρώτο κεφάλαιο* γίνεται μια εισαγωγή στα εγκεφαλικά επεισόδια ώστε να παρουσιαστεί μακροσκοπικά η αθηρωματική νόσος, η οποία θα απασχολήσει την παρούσα διπλωματική εργασία. Επίσης διατυπώνονται οι στόχοι που τέθηκαν αρχικώς και που στη συνέχεια έγινε προσπάθεια υλοποίησής τους.

Στο *δεύτερο κεφάλαιο* παρουσιάζεται και αναλύεται θεωρητικά το ιατρικό υπόβαθρο για την αθηρωματική νόσο και τους υπερήχους, ώστε να γίνουν κατανοητά τα στοιχεία που θα εξαχθούν και θα χαρακτηριστούν στο *τρίτο κεφάλαιο*. Επίσης, αναφέρονται τα βήματα της Υπολογιστικά Υποβοηθούμενης Διάγνωσης και στην συνέχεια αναλύονται οι διαδικασίες επεξεργασίας, ανάλυσης και ταξινόμησης εικόνας που είτε χρησιμοποιήθηκαν είτε υλοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη εργασία.

Στο *τρίτο κεφάλαιο* παρουσιάζεται λεπτομερώς ολόκληρη η μεθοδολογία, μέσω της οποίας έγινε προσπάθεια υλοποίησης των αρχικών στόχων. Αρχικά παρουσιάζονται όλα τα στάδια του αλγόριθμος εξαγωγής της καρωτίδας: προ επεξεργασία, κατάτμηση και μαθηματική μορφολογία. Στην συνέχεια αναλύεται η διαδικασία υλοποίησης μια ασαφούς βάσης γνώσης ώστε να ταξινομηθούν τα

στοιχεία που υπάρχουν εντός της καρωτίδας και να γίνει χαρακτηρισμός της αθηρωματικής πλάκας.

Στο *τέταρτο κεφάλαιο* καταγράφονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της ταξινόμησης του επιπέδου 5 και 6 με βάση εικόνες αναφοράς. Η αξιολόγηση έγινε χρησιμοποιώντας εργαλεία του λογισμικού στο οποίο έγινε η αντικειμενοστρεφής ανάλυση.

Τέλος το *πέμπτο κεφάλαιο* περιέχει τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας σε ποια σημεία μειονεκτεί και σε ποια πλεονεκτεί η μεθοδολογία που προτάθηκε και ποιες είναι οι προοπτικές βελτίωσής της.

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

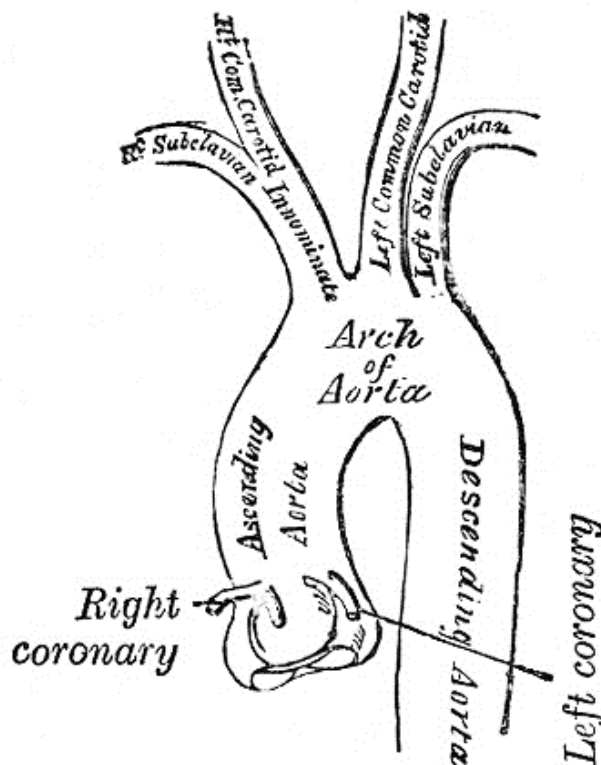
2.1 Στοιχεία Καρωτίδας και Καρωτιδικού Τοιχώματος

Οι κύριες αρτηρίες που τροφοδοτούν το κεφάλι και τον λαιμό είναι οι καρωτίδες, λέγονται και κοινές καρωτίδες. Υπάρχουν δύο κοινές καρωτίδες, η μία δεξιά του λαιμού και η δεύτερη αριστερά του. Η δεξιά εκφύεται από το βραχιονοκεφαλικό στέλεχος (*innominate artery*) ενώ η αριστερή απευθείας από το αορτικό τόξο (*arch of the aorta*) (Εικόνα 2.1). Η κάθε καρωτίδα διασχίζει το λαιμό και χωρίζεται σε δύο κλάδους στο σημείο διχασμού (*bifurcation point*) (Gray, 1918):

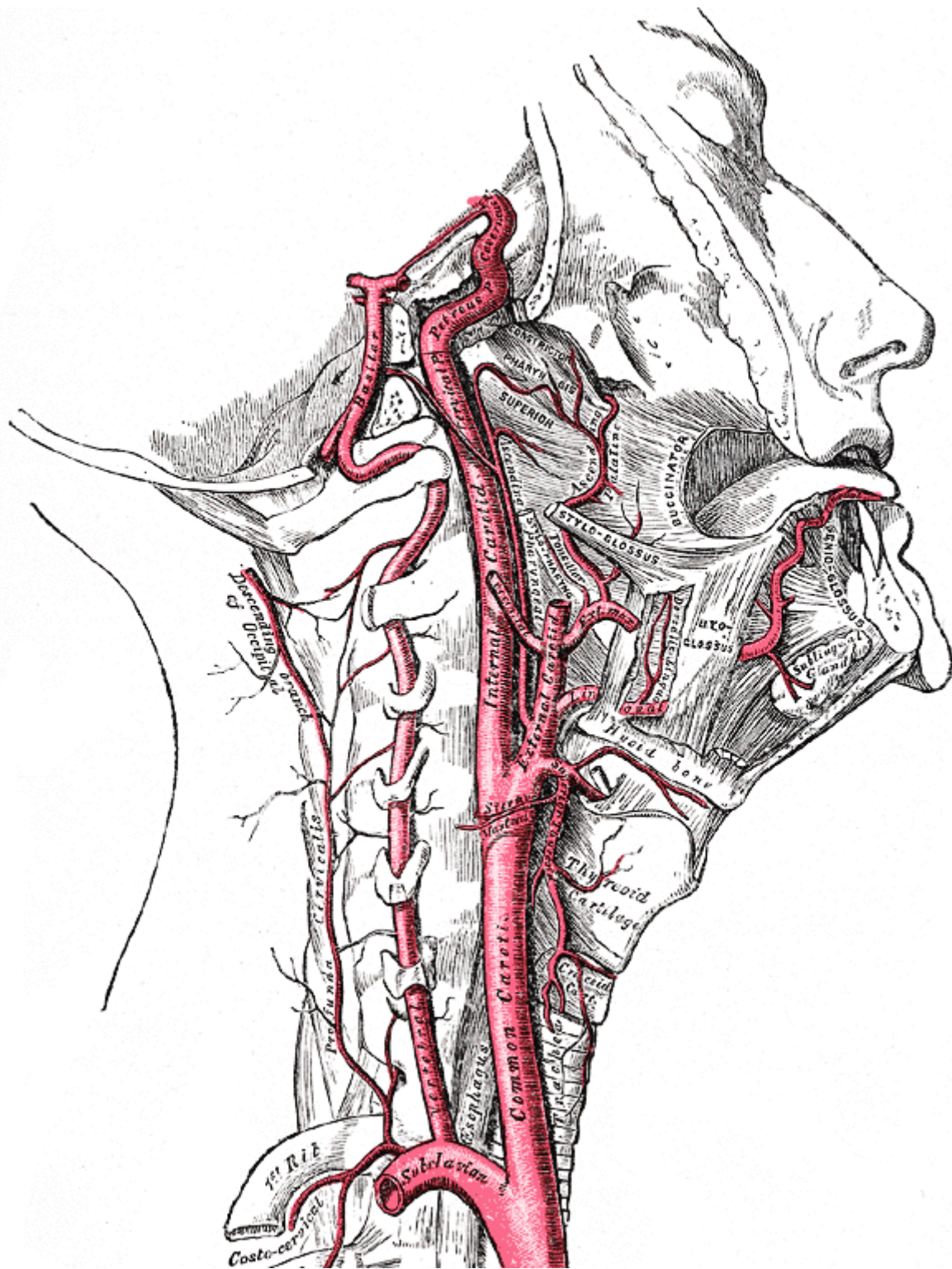
α) στην *έσω καρωτίδα* που τροφοδοτεί το πρόσθιο τμήμα του εγκεφάλου, το μάτι, το μέτωπο και τη μύτη και

β) στην *έξω καρωτίδα* που τροφοδοτεί το εξωτερικό μέρος του κρανίου, το πρόσωπο και το μεγαλύτερο μέρος του λαιμού.

Η διάμετρος του αυλού της έσω καρωτίδας είναι μεγαλύτερη από εκείνη της έξω καρωτίδας.



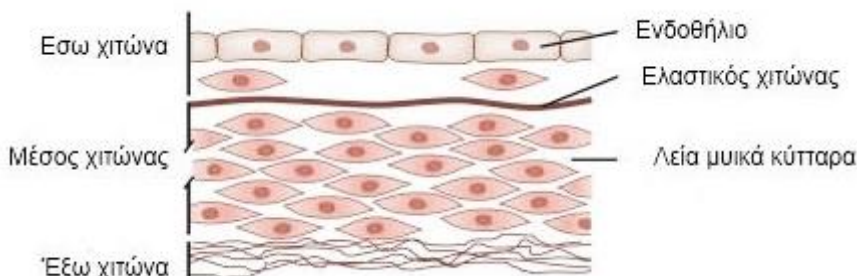
Εικόνα 2.1 Αναπαράσταση Αορτικού Τόξου και των Διακλαδώσεών του
[Πηγή: (Gray, 1918)]



Εικόνα 2.2 Αναπαράσταση του Διχασμού της Κοινής Καρωτίδας σε Έσω και Έξω [Πηγή: Gray's Book 'Anatomy of the Human Body' (1918)]

Το τοιχώμα των αρτηριών, επομένως και των καρωτίδων, είναι παχύ και σχηματίζεται από τρεις στιβάδες (Κατρίσης & Κελέκης, 2007) (Nicolaidis, Beach, Kyriacou, & Pattichis, 2012):

- α. Η εσωτερική στιβάδα - έσω χιτώνας (*Intima*) σχηματίζεται από ενδοθήλιο. Το ενδοθήλιο είναι συνεχές και λείο και έτσι διευκολύνει στη γρήγορη ροή του αίματος αποτρέποντας ταυτόχρονα τη πήξη του αίματος μέσα στις αρτηρίες.
- β. Η μέση στιβάδα - μέσος χιτώνας (*Media*) σχηματίζεται από λείες μυϊκές καθώς και από ελαστικές ίνες. Η συγκεκριμένη στιβάδα είναι πολύ ανθεκτική. Οι ελαστικές ίνες βοηθούν στην μετάδοση των ωθήσεων της καρδιάς (σφυγμοί) και οι μυϊκές ίνες με τη σύσπαση ή τη χάλασή τους μεταβάλλουν τη διάμετρο του αγγείου.
- γ. Η έξω στιβάδα - έξω χιτώνας (*Adventitia*) σχηματίζεται από συνδετικές ίνες και μερικές ελαστικές. Σ' αυτή την έξω στιβάδα διακλαδίζονται πολύ λεπτά αγγεία, τα οποία εξασφαλίζουν την θρέψη του τοιχώματος των αρτηριών. Ακόμη υπάρχουν και νευρικές ίνες του φυτικού νευρικού συστήματος, οι οποίες νευρώνουν τις λείες μυϊκές ίνες της μέσης στιβάδας.



Εικόνα 2.3 Οι Χιτώνες του Τοιχώματος των Καρωτίδων [Πηγή: (incardiology.gr, 2017)]

Το φυσιολογικό πάχος του έσω-μέσω χιτώνα (*intima-media thickness*) είναι ίδιο στις δύο καρωτίδες και κυμαίνεται από 0.03cm έως 0.10 cm, ανάλογα με την ηλικία. Σε αρχικό στάδιο παρατηρείται πάχυνση του έσω-μέσω χιτώνα των καρωτίδων περισσότερο από το φυσιολογικό και με την πάροδο του χρόνου εξελίσσεται σε αθηρωματική πλάκα (>0.15cm).

2.2 Η Αθηρωματική Πλάκα

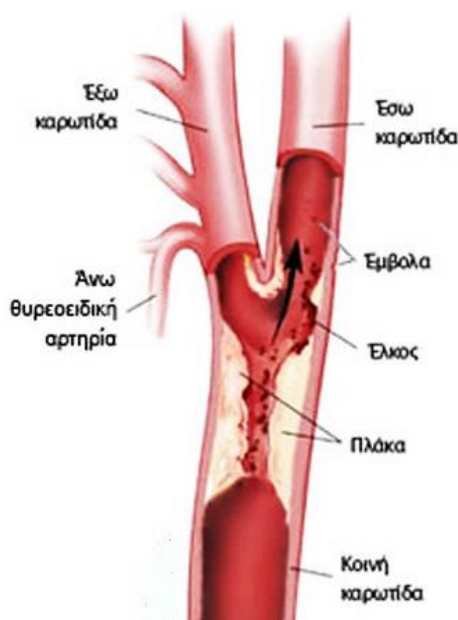
Η αθηρωματική νόσος (αθηροσκλήρωση) είναι μια προοδευτική νόσος που μπορεί θεωρητικά να προσβάλει οποιοδήποτε κλάδο του αγγειακού δέντρου (McGill, 1984) . Είναι αποτέλεσμα μιας περίπλοκης παθολογικής διαδικασίας. Η πορεία της νόσου περιγράφεται στα εξής 4 στάδια (Δημητριάδης, 2009):

1. Δυσλειτουργία ενδοθηλίου / διέλευση και τροποποίηση των λιποπρωτεϊνών
2. Μετανάστευση των μονοκυττάρων / Δημιουργία αφρωδών κυττάρων / Σχηματισμός λιπώδους γράμμωσης
3. Μετανάστευση λείων μυϊκών κυττάρων / Σχηματισμός ώριμης αθηροσκληρωτικής πλάκας
4. Εξέλιξη/Ρήξη της ώριμης αθηροσκληρωτικής πλάκας

Η αθηρωματική πλάκα δημιουργείται από την εναπόθεση λιπιδίων, χοληστερόλης, μακροφάγων, κυτταρικών αποβλήτων και ασβεστίου στα τοιχώματα των αρτηριών. Η σύσταση της καθορίζει εάν είναι *σταθερή* ή *ασταθής*. Οι *ασταθείς* πλάκες έχουν την τάση να ραγούν και τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η λεπτή ινώδης κάψα και ο ευμεγέθης λιπώδης πυρήνας, μεγάλης συγκέντρωσης εστέρων χοληστερόλης και πολυακόρεστων οξέων. Αντίθετα οι *σταθερές* πλάκες έχουν χαμηλή πιθανότητα να ραγούν λόγω της συμπαγούς τους φύσης, που οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητα σε άλατα ασβεστίου και ίνες κολλαγόνου (Wal & Becker, 1999) (Σαραφόπουλος , 2012). Μια αθηροσκληρωτική πλάκα, εάν δε σκληρυνθεί, εμφανίζει προοδευτική αύξηση του μεγέθους της (Δημητριάδης, 2009).

Κάθε αναπτυσσόμενη πλάκα δεν προκαλεί κατευθείαν στένωση του αυλού επειδή, η έκκεντρη μετατόπιση στο αρτηριακό τοίχωμα και η αρχική επέκταση προς τα έξω, αντιρροπεί την παρουσία του πλεονάζοντος ενδοτοιχωματικού ιστού. Αποτέλεσμα αυτού είναι η εξωτερική διόγκωση του αγγείου, στην περιοχή της πλάκας, η οποία όμως δεν δημιουργεί σημαντική αύξηση της στένωσης του αυλού. Όταν, όμως, το μέγεθος της αθηρωματικής πλάκας φτάσει και ξεπεράσει το 40% της περιφέρειας του αρτηριακού τοιχώματος τότε ο αυλός υφίσταται σταδιακή στένωση (Tuttle, et al., 2001) (Σαραφόπουλος , 2012).

Η συχνότερη περιοχή εντόπισης των αθηρωματικών πλακών στις καρωτίδες είναι ο διχασμός (*bifurcation point*) και ειδικότερα το αρχικό τμήμα της έσω καρωτίδας (Οικονόμου, και συν., 2013) (Σαραφόπουλος , 2012).



Εικόνα 2.4 Αναπαράσταση Πλάκας στο Σημείο Διχασμού και στη Κοινή Καρωτίδα [Πηγή: (incardiology.gr, 2017)]

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν άμεσα μια πλάκα είναι: το πάχος της, το μήκος της η θέση της στο καρωτιδικό βολβό, ο βαθμός στένωσης που προκαλεί και η σύστασή της (Γκέκας, 2012). Η μεγάλη βαθμού στένωση της έσω καρωτίδας, ειδικά όταν ξεπερνά το 70%, αυξάνει σημαντικά το κίνδυνο εμφάνισης εγκεφαλικού επεισοδίου. Ο προσδιορισμός του ποσοστού στένωσης στις έσω καρωτίδες αποτελεί σημαντικό δείκτη που καθορίζει τους μετέπειτα θεραπευτικούς χειρισμούς, καθώς υψηλό ποσοστό στένωσης >70% αποτελεί ένδειξη χειρουργικής αποκατάστασης με ενδαρτηρεκτομή ή τοποθέτηση ενδαρτηριακού νάρθηκα (stent) (Οικονόμου, και συν., 2013). Επίσης, σύμφωνα με τον κ. Σαραφόπουλο (Σαραφόπουλος , 2012), πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η εκτίμηση του υπερηχολόγου – ακτινολόγου, σχετικά με την ποιότητα-σύσταση της πλάκας, για την έγκαιρη επέμβαση στις καρωτίδες. Στόχος είναι να αποφευχθεί το ισχαιμικό εγκεφαλικό επεισόδιο ακόμα και στις περιπτώσεις που η στένωση είναι μικρότερη από 70%. Σε περιπτώσεις που διαγνωστεί αθηρωματική νόσος ελαφριάς μορφής, η θεραπεία περιορίζεται σε

φαρμακευτική αγωγή. Η φαρμακευτική αγωγή δεν θεραπεύει άμεσα το πρόβλημα απλώς ελέγχει παράγοντες ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος εγκεφαλικού επεισοδίου. Πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνει ουσίες που είτε ελαττώνουν τη ροή ή τη δημιουργία θρόμβων είτε ελέγχουν συνυπάρχουσες παθήσεις, όπως ο διαβήτης και η υπέρταση (Μπουφέα, 2014).

2.3 Μέθοδοι Απεικόνισης Καρωτίδων

Οι βασικές απεικονιστικές μέθοδοι για την αξιολόγηση της νόσου των καρωτίδων είναι (Nicolaidis, Beach, Kyriacou, & Pattichis, 2012):

1. Αγγειογραφία (*Angiography*)
2. Υπερηχογράφημα Έγχρωμης Ροής (*Color Duplex / Triplex Ultrasound*)
3. Αξονική Τομογραφία (*Computed Tomography Angiography*)
4. Μαγνητική Τομογραφία (*Magnetic Tomography Angiography*)

Η εξέλιξη των απεικονιστικών μεθόδων είναι συνεχής και πλέον μπορούν να εντοπιστούν στοιχεία όπως εκτεταμένη νέκρωση αγγείου αλλά και αιμορραγίες εντός των πλακών. (Nicolaidis, Beach, Kyriacou, & Pattichis, 2012)

Η κύρια απεικονιστική μέθοδος για τη διάγνωση της νόσου των καρωτίδων είναι το υπερηχογράφημα έγχρωμης ροής το οποίο δίνει την δυνατότητα να μελετηθεί η ταχύτητα ροής του αίματος στην περιοχή της στένωσης της καρωτίδας. Οι άλλες δύο μέθοδοι είναι συμπληρωματικές. Η ευρεία χρήση του υπερηχογραφήματος οφείλεται στο γεγονός ότι συνδυάζει σχετικά μικρό κόστος, μπορεί να είναι φορητό, έχει αρκετά καλά διαγνωστικά συμπεράσματα μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους ασθενείς και είναι ασφαλέστερη από άλλες μεθόδους που βασίζονται στις ακτίνες Χ.

2.3.1 Βασικές Αρχές Υπερήχων

Η ακοή του ανθρώπου μπορεί να αντιληφθεί συχνότητες από 20-20000 Hz. Τα ηχητικά κύματα με συχνότητα μικρότερη από το ακουστικό όριο ονομάζονται *υπόηχοι* ενώ *υπέρηχοι* λέγονται εκείνα που έχουν μεγαλύτερη συχνότητα από τους ακουστικούς ήχους.

Η ενέργεια των υπερήχων διαδίδεται στο μέσο διάδοσης με την μορφή διαμήκων κυμάτων. Η απουσία μέσου διάδοσης καθιστά αδύνατη την διάδοση ενός μηχανικού κύματος, όπως είναι οι υπέρηχοι. Το μέσο διάδοσης επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά του κύματος. Έτσι αναλύοντας τη συμπεριφορά ενός κύματος μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες σχετικές με το μέσο διάδοσης του κύματος.

Τα βασικά στοιχεία που καθορίζουν τη φυσική συμπεριφορά των υπερήχων είναι τα εξής (Καραϊσκος, 2015) (Gruetter, 2017):

- *Εξασθένιση*: Το ηχητικό κύμα εξασθενεί καθώς διαδίδεται επειδή απορροφάται σταδιακά από τους ιστούς. Επίσης άλλοι λόγοι είναι λόγω σκέδασης και εξαιτίας του ότι η ενέργεια της υπερηχητικής δέσμης κατά την διάδοση κατανέμεται σε μία ευρύτερη περιοχή με αποτέλεσμα τη μείωση της έντασης της δέσμης. Η εξασθένιση των υπερηχητικών κυμάτων αξιοποιείται για την εκτίμηση του είδους των ιστών του σώματος μέσω των οποίων διαδόθηκε το κύμα.
- *Διάθλαση*: Το κύμα αλλάζει κατεύθυνση κατά την πρόσπτωση του σε διαφορετικό μέσο διάδοσης. Η διάθλαση των υπερήχων αποτελεί πηγή παραμόρφωσης του κύματος.
- *Σκέδαση*: Η βασικότερη παραμόρφωση των υπερήχων οφείλεται στη σκέδαση, όπως ακριβώς συμβαίνει και στο φως. Το φαινόμενο αυτό είναι το σύνολο των πολλαπλών ανακλάσεων και διαθλάσεων του ηχητικού κύματος προς όλες τις κατευθύνσεις εξαιτίας είτε της ανομοιογένειας του μέσου είτε της τραχύτητας της επιφάνειας. Όταν τα ηχητικά κύματα έχουν μήκος μικρότερο από τα σωματίδια στα οποία προσπίπτουν, τότε παρατηρείται το φαινόμενο αυτό. Ένας τρόπος περιορισμού της είναι μέθοδοι επεξεργασίας εικόνας.
- *Ανάκλαση*: Καθώς το κύμα διαδίδεται, μέρος του διαρκώς ανακλάται. Το χρονικό διάστημα από την εκπομπή μέχρι τη λήψη του κύματος, χάρη στην ανάκλαση, αξιοποιείται για την εκτίμηση του μήκους που διανύθηκε.

Βασικό στοιχείο της διάταξης των υπερηχογράφων αποτελεί ο πιεζοηλεκτρικός μετατροπέας (*ultrasound transducer*). Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά (πχ. κρύσταλλοι) έχουν την ιδιότητα να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα όταν υφίστανται μηχανική

πίεση όπως αυτή των ηχητικών κυμάτων, καθώς και αντίστροφα (Καραΐσκος, 2015) (Grutter, 2017).

Στην περίπτωση των υπερηχογράφων ο μετατροπέας εκτίθεται σε ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο μετατρέπεται λόγω της φύσης του υλικού σε υπέρηχο, στη συνέχεια το κύμα διαδίδεται στο σώμα και μέρος του ανακλάται στο πιεζοηλεκτρικό υλικό και μεταβάλλεται σε ηλεκτρικό ρεύμα. Στην ακτινοδιαγνωστική χρησιμοποιούνται συχνότητες από 1 – 50 MHz τα οποία αντιστοιχούν σε μήκη κύματος της τάξης του χιλιοστού και επομένως μπορούν να ανακλαστούν από δομές αντίστοιχων διαστάσεων, με αποτέλεσμα και η χωρική διακριτική ικανότητα της τεχνικής να είναι αντίστοιχη (της τάξης του χιλιοστού) (Καραΐσκος, 2015). Γενικά όσο πιο μεγάλη είναι η συχνότητα ενός υπερηχητικού κύματος (10-15 MHz) τόσο καλύτερη είναι η διακριτική ικανότητα. Ταυτόχρονα, όμως, τα κύματα μεγάλης συχνότητας υφίστανται μεγαλύτερη εξασθένηση σε σχέση με εκείνα που έχουν μικρή συχνότητα για το λόγο αυτό δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν παρά μόνο σε επιφανειακούς ιστούς (πχ. καρωτίδες) (Σαραφόπουλος, 2012).

Κυρίαρχο ρόλο στην λήψη εικόνας υπερήχου έχει το άτομο που κάνει το υπερηχογράφημα. Απαιτείται εμπειρία για καλύτερης ποιότητας εικόνες.

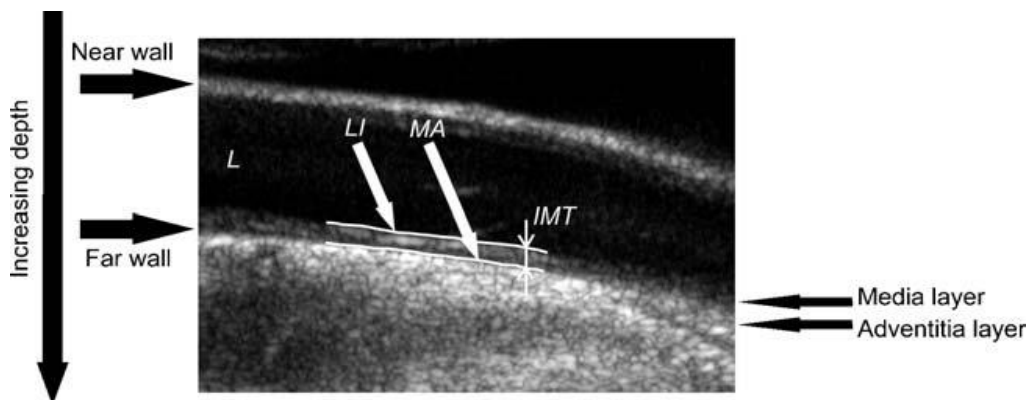
2.3.2 Απεικόνιση B-mode Καρωτίδας

Η πιο συνήθης μέθοδος αξιοποίησης των υπερήχων στην ιατρική επιστήμη ονομάζεται *B-mode*. Ουσιαστικά, η απεικόνιση αυτή βασίζεται στην αναπαράσταση της έντασης των ανακλάσεων στις κυψελίδες (picture elements ή pixels) με τη χρήση της κλίμακας του γκριζου. Η κεφαλή των υπερήχων αποτελείται από μια σειρά κρυστάλλων-μετατροπέων, ο καθένας εκ' των οποίων αρχικά στέλνει και έπειτα λαμβάνει υπερήχους. Έτσι δημιουργείται εικόνα δύο διαστάσεων που δείχνει το πλάτος αντήχησης για κάθε σημείο, που συναντούν οι υπέρηχοι, και τη γεωμετρική θέση του. Η εικόνα αντιστοιχεί σε μια τομή του σώματος όπως ορίζεται από την ευθεία κινήσεως του μετατροπέα και την διεύθυνση διαδόσεως των κυμάτων.

Υπάρχουν δύο είδη υπερηχογραφικών κεφαλών: α) ο γραμμικής διάταξης ηχοβολέας και β) ο καμπυλόγραμμης διάταξης ηχοβολέας. Στην περίπτωση των

καρωτίδων οι μετατροπείς, που χρησιμοποιούνται συνήθως, έχουν γραμμική συστοιχία κρυστάλλων.

Η απεικόνιση αυτή χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό αθηρωματικής πλάκας αλλά και για αξιολόγηση περί της συστάσεώς της. Είναι σημαντικό να επισημανθούν πως απεικονίζονται σε εικόνες υπερήχου τα εξής στοιχεία: έσω, μέσο και έξω χιτώνας, καρωτιδικός αυλός, αθηρωματική πλάκα. Στο υπερηχογράφημα ο έσω και έξω χιτώνας της καρωτίδας απεικονίζονται ως δύο παράλληλες υπερηχογενείς γραμμές. Ο μέσω χιτώνας καρωτίδας είναι η περιοχή ενδιάμεσα από τον έσω και έξω χιτώνα και αποτελεί μια υποηχοϊκή ζώνη (Σαραφόπουλος , 2012). Ο αυλός της αρτηρίας έχει πολύ χαμηλή ηχογένεια, όμως εξαιτίας ανεπιθύμητων θορύβων (artifacts), η ηχογένεια του διαφοροποιείται. Οι θόρυβοι πρέπει να εξαλειφθούν, ώστε να μπορούν να οριοθετηθούν τυχόν υποηχοϊκές αθηρωματικές πλάκες. Κάποιες φορές ο έσω χιτώνας μπορεί να έχει παρόμοια ηχογένεια με τον μέσος χιτώνα και κατά συνέπεια να μην ξεχωρίζει από αυτόν. Στην Εικόνα 2.5 παρατηρείται πως εμφανίζονται οι χιτώνες της καρωτιδικής αρτηρίας σε εικόνα υπερήχου B-mode.



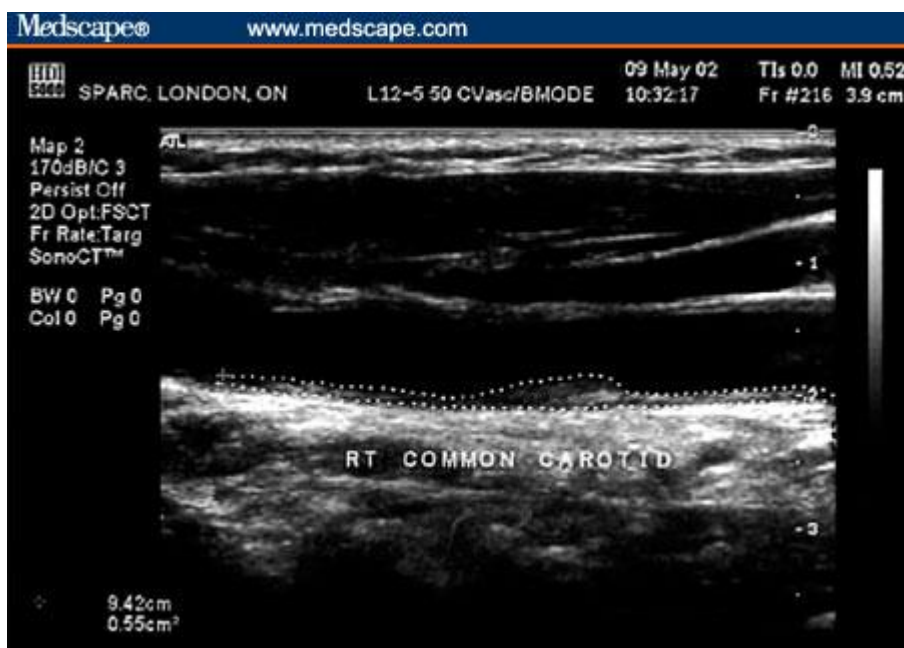
Εικόνα 2.5 Επισήμανση των Χιτώνων του Καρωτιδικού Τοιχώματος σε Εικόνα Υπερήχου B-mode. Η γραμμή LI βρίσκεται μεταξύ του αυλού και του έσω χιτώνα. Η γραμμή MA βρίσκεται μεταξύ του έσω και του έξω χιτώνα. IMT: Πάχος έσω και μέσου χιτώνα (intima-media thickness) [Πηγή: (Molinari, Zeng, & Suri, 2010)]

Η αθηρωματική πλάκα μπορεί να χαρακτηριστεί ως προς την ηχογένεια της με βάση την συνολική φωτεινότητα της πλάκας ως (Σαραφόπουλος , 2012):

- *Ισοηχητική πλάκα*, η ηχογένεια της οποίας είναι περίπου ίση με την ηχογένεια του στερνοκλειδομαστοειδη μυός.

- Υποηχοϊκή πλάκα, η οποία έχει ηχογένεια μικρότερη του στερνοκλειδομαστοειδη μυός και παρόμοια με εκείνη του αυλού της αρτηρίας.
- Υπερηχογενής πλάκα με ηχογένεια μεγαλύτερη του στερνοκλειδομαστοειδη μυός.

Οι πλάκες, που δημιουργούνται από άλατα ασβεστίου, χαρακτηρίζονται ως επασβεστωμένες πλάκες και στο υπερηχογράφημα έχουν πολύ αυξημένη ηχογένεια. Οι επασβεστωμένες και οι υπερηχογενείς πλάκες είναι σταθερές και σχετίζονται με μικρό κίνδυνο ισχαιμικού εμφράγματος. Οι υποηχοϊκές είναι μαλακές πλάκες, ασταθείς, με μεγάλη πιθανότητα να ραγούν ή να μεγαλώσουν τόσο που θα προκαλέσουν σοβαρή στένωση του αυλού της αρτηρίας (Σαραφόπουλος, 2012). Στην Εικόνα 2.6 έχει οριοθετηθεί αθηρωματική πλάκα σε εικόνα υπερήχου στην οποία δεν εντοπίζονται επασβεστωμένες περιοχές.



Εικόνα 2.6 Υπέρηχος Κοινής Καρωτίδας - Οριοθετημένη Αθηρωματική Πλάκα που, ως επί το πλείστον, δεν είναι επασβεστωμένη [Πηγή: (Spence, 2006)]

Επίσης στις εικόνες 2.7 και 2.8 παρουσιάζονται πως απεικονίζονται σε εικόνες υπερηχών, μια υπερηχογενής αθηρωματική πλάκα και μια υποηχοϊκή.

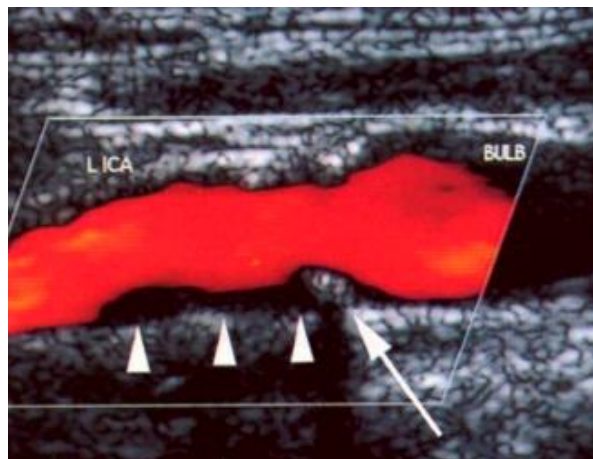


Εικόνα 2.8 Υπερηχογενής Πλάκα
[Πηγή: (Σαραφόπουλος , 2012)



Εικόνα 2.7 Υποηχοϊκή Πλάκα (βέλη). Colour Doppler. Πηγή: [(Σαραφόπουλος , 2012)]

Επιπροσθέτως, οι πλάκες ταξινομούνται, σε σχέση με το ομοιογένεια τους, σε *ομοιογενείς* και *ανομοιογενείς*. Ο χαρακτηρισμός περί ομοιογένειας αφορά την υφή της πλάκας. Εάν η πλάκα έχει ομότιμη ηχοδομή τότε ταξινομείται ως ομοιογενής, αλλιώς είναι ανομοιογενής, όπως είναι η πλάκα της εικόνας 2.9 και επομένως περιέχει υπερηχογενείς και υποηχοϊκές εστίες (Σαραφόπουλος , 2012) (Γκέκας, 2012).



Εικόνα 2.9 Υποηχοϊκή Πλάκα (κεφαλές βέλων) με Εστιακή Επασβέστωση (μεγάλο βέλος). Ανομοιογενής Πλάκα. Colour Doppler. [Πηγή: (Γκέκας, 2012)]

2.3.3 Έγχρωμη Απεικόνιση Doppler

Η δυσδιάστατη εικόνα (B-mode) παρέχει πληροφορίες σχετικές με τη μορφολογία της καρωτίδας. Οι πληροφορίες σχετικά με τη ροή του αίματος, τη δυναμική της ροής και τις αγγειακές ανωμαλίες λαμβάνονται με την έγχρωμη απεικόνιση Doppler (Λύρα-Γεωργοσοπούλου, 2009).

Οι δύο παραπάνω μέθοδοι συνδυάζονται και αποτελούν μαζί μια σχετικά εύκολη αξιόπιστη μέθοδο αξιολόγησης της καρωτιδικής στένωσης με υψηλή ευαισθησία (95%) (Stradness, 1993). Η δισδιάστατη εικόνα, λοιπόν, συμπληρώνεται με τις πληροφορίες των κατά παλμούς Doppler συστημάτων.

Το φαινόμενο Doppler είναι η αλλαγή στην παρατηρούμενη συχνότητα ενός κύματος λόγω κίνησης της πηγής ή του στόχου.

Για να υλοποιηθεί μια έγχρωμη γραμμική σάρωση απαιτούνται αρκετοί παλμοί. Ουσιαστικά, οι ανακλάσεις που δεν υπέστησαν μετατόπιση Doppler απεικονίζονται στην κλίμακα του γκριζου. Αντίθετα, όταν στις ανακλάσεις παρατηρείται μετατόπιση Doppler, υπολογίζεται η μετατόπιση Doppler, Δf , και απεικονίζονται αναλόγως με συγκεκριμένο χρώμα (Λύρα-Γεωργοσοπούλου, 2009). Η σχέση μετατόπισης στη συχνότητα των υπερήχων (Δf) δίνεται από τον εξής τύπο (Ορφανουδάκης & Μαριάς, 2003-2004):

$$\Delta f = \frac{2f \cdot v \cdot \cos\theta}{c},$$

Όπου,

v: η ταχύτητα του κινούμενου στόχου - ταχύτητα του αίματος

c: η ταχύτητα ήχου στους μαλακούς ιστούς

θ : η γωνία που σχηματίζει η δέσμη με την κατεύθυνση κινούμενων στόχων

Η απόχρωση, η πληρότητα (απαλό ή βαθύ χρώμα) και η φωτεινότητα (φωτεινό ή σκοτεινό χρώμα) του χρώματος στο έγχρωμο Doppler υπερηχογράφημα έχουν συγκεκριμένη ερμηνεία. Το κόκκινο χρώμα δηλώνει την διεύθυνση της ροής του αίματος στις αρτηρίες και το μπλε την αντίθετη σε αυτή διεύθυνση. Το μπλε πο παρατηρείται σε ορισμένα σημεία όταν εξετάζεται αρτηρία συνδέεται με την στροβιλώδη ροή που δημιουργείται εντός του αυλού. Επίσης η πληρότητα δηλώνει τον όγκο ροής και η λαμπρότητα αφορά τις τιμές των ταχυτήτων (Λύρα-Γεωργοσοπούλου, 2009). Πιο συγκεκριμένα οι χαμηλές ταχύτητες απεικονίζονται με βαθύ-σκοτεινό χρώμα ενώ οι υψηλές ταχύτητες έχουν φωτεινό και ανοιχτό χρωματικό σήμα (Σαραφόπουλος, 2012).

Η αιματική ροή είναι σύνθετη εξαιτίας πολλών παραγόντων. Το αίμα είναι ανομοιογενές, η ροή είναι παλμική, οι αρτηρίες καμπυλώνουν και διακλαδίζονται. Οι παθολογικοί παράγοντες, όπως είναι η στένωση της καρωτίδας, επίσης την επηρεάζουν (Λύρα-Γεωργοσοπούλου, 2009). Επομένως, για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των σημάτων Doppler, πρέπει να ληφθούν υπόψη όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την αιματική ροή.

Επίσης είναι πολύ σημαντικό να γίνεται ενίσχυση του σήματος Doppler τόσο ώστε να πληρεί τον αυλό της καρωτίδας, να μην ξεπερνάει το τοίχωμα της και να μην διαχέεται στους γύρω ιστούς καθώς αυτό θα προκαλούσε λανθασμένη εκτίμηση του ποσοστού στένωσης (Σαραφόπουλος, 2012).

2.4 Υπολογιστικά Υποβοηθούμενη Διάγνωση

Τα υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης CAD (Computer-Aided Diagnosis) είναι ένα από τα σημαντικότερα ερευνητικά θέματα στο τομέα της διαγνωστικής ακτινολογίας. Αναπτύσσονται με στόχο να αποτελούν βοηθητικό εργαλείο, ή αλλιώς μια δεύτερη γνώμη, για τον ακτινολόγο-γιατρό ώστε να καταλήξει στην τελική διάγνωση. Σε καμία περίπτωση δεν τον αντικαθιστούν. Στην πραγματικότητα, ένας μεγάλος αριθμός αυτών των συστημάτων έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση καρκίνου του στήθους σε αρχικό στάδιο από μαστογραφίες.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και το γεγονός ότι πλέον τα ακτινολογικά μηχανήματα, που χρησιμοποιούνται, είναι ψηφιακά δίνουν ένα μεγαλύτερο πλεονέκτημα στην ανάπτυξη τέτοιου είδους συστημάτων με συνεχώς αυξανόμενα ποσοστά επιτυχιών στη διάγνωση.

Συγκεκριμένα, σχετικά με την αθηρωματική πλάκα, η διάγνυσή της και οι αποφάσεις που θα παρθούν για την αντιμετώπιση της βασίζονται κυρίως στον βαθμό στένωσης και στα συμπτώματα του ασθενούς. Υπάρχουν, όμως, πλάκες με μικρό βαθμό στένωσης που μπορεί να εμφανίζουν συμπτώματα ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν ασυμπτωματικοί ασθενείς με μεγάλης στένωσης πλάκες που να παραμένουν ασυμπτωματικοί. Υπάρχει, λοιπόν, ανάγκη δημιουργία ενός συστήματος υποβοηθούμενης διάγνωσης της αθηροσκλήρωσης, που θα αξιολογεί την σοβαρότητα της αθηρωματικής πλάκας, δηλαδή κατά πόσο

μπορεί να επηρεάσει την υγεία του ασθενούς. Έχουν γίνει μελέτες που εξετάζουν την υφή της πλάκας αλλά και την κίνηση του καρωτιδικού τοιχώματος ώστε να βοηθήσουν στην διάγνωση της νόσου (Stoitsis, et al., 2006).

Τα βασικά βήματα της υπολογιστικά υποβοηθούμενη διάγνωσης είναι τα εξής:

1. Προ-επεξεργασία (*preprocessing*)
2. Κατάτμηση (*segmentation*)
3. Εξαγωγή Χαρακτηριστικών (*feature extraction*)
4. Ταξινόμηση (*classification*)

2.5 Θεωρητικό Υπόβαθρο Μεθοδολογίας

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν από θεωρητικής άποψης όλες οι τεχνικές επεξεργασίας, ανάλυσης και ταξινόμησης εικόνας που θα υλοποιηθούν ή θα χρησιμοποιηθούν γενικά στο κεφάλαιο 3 της μεθοδολογίας.

2.5.1 Προ-επεξεργασία

Το αντικείμενο της προ-επεξεργασίας της εικόνας αποτελεί μια σημαντική διαδικασία και στοχεύει στην βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων μέσα από μεθόδους αφαίρεσης θορύβου (*φίλτρα μέσης τιμής, μέσου όρου, Laplace και Gauss*), ενίσχυσης ακμών των δομών των εικόνων και ενίσχυσης της αντίθεσης της εικόνας (*histogram equalization*) (Stoitsis, et al., 2006).

Όλα τα χωρικά φίλτρα (γραμμικά και μη) είναι παράθυρα (*kernel*) με συγκεκριμένο μέγεθος κάθε φορά και εφαρμόζονται σε όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας. Η εφαρμογή του φίλτρου ξεκινάει από την αρχή της εικόνας, σαρώνοντας την οριζόντια, εφαρμόζεται από εικονοστοιχείο σε εικονοστοιχείο διαδοχικά μέχρι το τέλος της εικόνας. Ουσιαστικά, το φίλτρο ορίζει μια γειτονία από εικονοστοιχεία της εικόνας και χρησιμοποιώντας την ραδιομετρία τους, βάσει κάποιων προκαθορισμένων υπολογισμών, παράγει μία νέα ραδιομετρικό τιμή, που αποθηκεύεται σε αντίστοιχο εικονοστοιχείο της νέας φιλτραρισμένης εικόνας.

Όπως προκύπτει από την περιγραφή της διαδικασίας που δόθηκε, το φίλτρο είναι αδύνατον να ξεκινήσει από το πρώτο εικονοστοιχείο της εικόνας αφού δεν

υπάρχουν κάποια γειτονικά εικονοστοιχεία. Αυτό είναι ένα τεχνικό πρόβλημα της συγκεκριμένης μεθοδολογίας και γενικεύεται σε όλες τις ακραίες σειρές και στήλες της εικόνας αλλά μπορεί να λυθεί με διάφορους τρόπους.

2.5.1.1 Γραμμικά Χωρικά Φίλτρα

Γραμμικό χωρικό φίλτρο είναι ένας γραμμικός μετασχηματισμός μεταξύ των τιμών εισόδου, δηλαδή των ραδιομετρικών τιμών των εικονοστοιχείων που ορίζονται κάθε φορά από το φίλτρο. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων φίλτρων είναι το φίλτρο του μέσου όρου και το φίλτρο Gauss. Τα φίλτρα αυτά είναι χαμηλοπερατά και συντελούν στη δημιουργία μιας εικόνας απαλλαγμένης από έντονη υφή, δηλαδή συμβάλουν στην εξομάλυνσή της.

Το φίλτρο μέσου όρου (*Mean Filter*) υπολογίζει τον μέσο όρο των ραδιομετρικών τιμών των εικονοστοιχείων, στα οποία εφαρμόζεται το φίλτρο. Η πράξη που συντελείται είναι η πράξη της συνέλιξης. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η νέα εικόνα που έχει μειωμένο θόρυβο αλλά είναι θολή. Το «θόλωμα» και η μείωση του θορύβου εξαρτώνται από το μέγεθος του φίλτρου που έχει χρησιμοποιηθεί.

Οι συντελεστές του γκαουσιανού φίλτρου (*Gaussian Filter*) προκύπτουν από τη δισδιάστατη γκαουσιανή κατανομή. Επομένως κάθε γειτονικό εικονοστοιχείο συμβάλει διαφορετικά στο τελικό αποτέλεσμα. Το κεντρικό στοιχείο έχει την μέγιστη επιρροή ενώ η επιρροή των γειτονικών εικονοστοιχείων μειώνεται όσο αυξάνεται η απόστασή τους από το κεντρικό εικονοστοιχείο. Το φίλτρο αυτό έχει μια παράμετρο που ρυθμίζει το βαθμό εξομάλυνσης και αυτή είναι η παράμετρος σ (τυπική απόκλιση). Το φίλτρο αυτό διατηρεί λίγο καλύτερα τις ακμές σε σχέση με το φίλτρο μέσου όρου το οποίο προκαλεί «θόλωμα».

Το καθοδηγούμενο φιλτράρισμα (*Guided filtering*) όπως περιγράφεται στο (Kaiming, Jian, & Xiaoou, 2013) είναι συμπληρωματικό του τοπικού γραμμικού μοντέλου και δημιουργείται λαμβάνοντας υπόψιν το περιεχόμενο μιας εικόνας «οδηγού». Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας τελεστής εξομάλυνσης που ταυτόχρονα διατηρεί της ακμές, όπως είναι το διμερές φίλτρο (*bilateral filter*), χωρίς όμως να περιέχει τεχνικά σφάλματα (*gradient reversal artifacts*). Αποτελεί ένα από τα πιο γρήγορα φίλτρα εξομάλυνσης και ταυτόχρονης διατήρησης των ακμών. Τα στοιχεία εισόδου για την υλοποίηση του φιλτραρίσματος είναι μια εικόνα input, μια εικόνα οδηγός (η εικόνα οδηγός μπορεί να ταυτίζεται με την

εικόνα Input), το μέγεθος της γειτονίας γύρω από κάθε εικονοστοιχείο που θα συμβάλει στο φιλτράρισμα και ένα μέγεθος που ρυθμίζει το βαθμό εξομάλυνσης της τελικής εικόνας.

2.5.1.2 Μη Γραμμικά Χωρικά Φίλτρα

Αντίθετα, τα μη γραμμικά χωρικά φίλτρα εφαρμόζουν έναν μη γραμμικό μετασχηματισμό στις τιμές εισόδου. Τέτοιου είδους φίλτρα είναι το φίλτρο μέσης τιμής και το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης.

Το φίλτρο μέσης τιμής (*Median filter*) μειώνει τον θόρυβο και ταυτόχρονα διατηρεί τις ακμές. Ιδιαίτερα καλά αποτελέσματα δίνει όταν εφαρμόζεται σε εικόνα με διακριτό θόρυβο τύπου αλατοπίπερο (*salt-pepper*). Το φίλτρο αυτό είναι ένα φίλτρο κατάταξης (*rank*) και η νέα εικόνα προκύπτει από τη διάμεσο των εικονοστοιχείων που ορίζονται κάθε φορά από το φίλτρο. Όσο πιο μεγάλο φίλτρο χρησιμοποιείται τόσο λιγότερες λεπτομέρειες έχει η εικόνα.

Το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης (*Anisotropic diffusion filter*) δημιουργήθηκε από τους Perona και Malik και στόχος ήταν να αποφευχθούν τα προβλήματα θολώματος που δημιουργούσαν τα γραμμικά φίλτρα διάχυσης. Το φίλτρο αυτό εφαρμόζει μια ανομοιογενή διαδικασία κατά την οποία μειώνεται η διάχυση σε εκείνες τις περιοχές που έχουν την μεγαλύτερη πιθανότητα να είναι ακμές (Perona & Malik, 1990) (Weickert, 2008). Μπορεί οι δημιουργοί του να το ονόμασαν ανισοτροπικό, όμως πρέπει να τονιστεί, ότι μπορεί να θεωρηθεί ένα ισοτροπικό μοντέλο εφόσον χρησιμοποιεί κλιμακωτή διάχυση και όχι τανυστή διάχυσης. Η διάχυση και εντοπισμός ακμών αποτελούν μια και μόνο διαδικασία (Weickert, 2008).

2.5.1.3 Αλγόριθμος Ενίσχυσης Σωληνοειδών Αντικειμένων

Ο αλγόριθμος αυτός, που είναι βασισμένος στο Multiscale Vessel Enhancement Filtering (Frangi, Niessen, Vincken, & Viergever, 1998), ενισχύει τα σωληνοειδή στοιχεία. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιήθηκε μέσω συνάρτησης στο προγραμματιστικό περιβάλλον του Matlab. Δεν αποτελεί συνάρτηση κατάτμησης αλλά αφορά το στάδιο της προ-επεξεργασίας ώστε να ενισχυθούν συγκεκριμένες δομές. Συνοπτικά χρησιμοποιείται η ανάλυση όλων των ιδιοτιμών του Hessian matrix ώστε να βρεθεί η πιθανότητα να υπάρχει αγγείο σε τοπικό επίπεδο.

2.5.2 Κατάτμηση

Η κατάτμηση είναι μια διαδικασία κατά την οποία μια εικόνα διαιρείται σε αντικείμενα με βάση την ομοιογένεια στην φωτεινότητα των εικονοστοιχείων, είτε με βάση τις μεταβολές της φωτεινότητας που υπάρχουν σε μια εικόνα (πχ ακμές). Οι αλγόριθμοι ταξινομούνται ανάλογα με το εάν χρησιμοποιούν την ομοιογένεια ή την ανομοιογένεια ώστε να καταλήξουν στο αποτέλεσμα της κατάτμησης. Έτσι υπάρχουν οι αλγορίθμους εντοπισμού ορίου περιοχών (*boundary based segmentation*) που εντοπίζουν τις ανομοιογένειες μια εικόνας και βάσει αυτών πραγματοποιούν την κατάτμηση. Ενώ η δεύτερη κατηγορία αλγόριθμων είναι εκείνοι που είναι βασισμένοι σε περιοχές (*region based segmentation*) και εκμεταλλεύονται την ομοιογένεια των περιοχών μια εικόνας.

Στην κατηγορία των αλγορίθμων εντοπισμού ορίου περιοχών ανήκουν οι μέθοδοι ανίχνευσης ακμών και οι μέθοδοι ενεργών περιγραμμάτων. Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε αλγόριθμος κατάτμησης παρόμοιος με αυτόν που περιγράφεται στο *Geodesic Active Contour* (Caselles, Kimmel, & Sapiro, 1997) και λέγεται *active contour edges*. Αυτός ο αλγόριθμος αποτελεί μια επαναληπτική διαδικασία. Αρχικά χρησιμοποιείται μια δυαδική εικόνα, ως μάσκα, για την αρχικοποίηση του. Πρόκειται, αποκλειστικά, για έναν αλγόριθμο συρρίκνωσης προς τα μέσα. Τα όρια της δυαδικής εικόνας αποτελούν τα αρχικά όρια που θα χρησιμοποιήσει ο αλγόριθμος ώστε να προσδιορίσει τα πραγματικά όρια της περιοχής που πρέπει να κατατμηθεί. Όσο πιο κοντά είναι τα αρχικά όρια από τα πραγματικά τόσο πιο ακριβή και γρήγορα αποτελέσματα θα υπάρχουν.

Η κατωφλίωση αποτελεί μια απλή μέθοδο κατάτμησης με βάση τις περιοχές. Για την αυτοματοποίηση της κατωφλίωσης, δηλαδή την αυτόματη εύρεση ενός κατωφλιού, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι μέθοδοι, μια εξ' αυτών είναι η Otsu's Method. Ο αλγόριθμος υποθέτει ότι η εικόνα περιέχει δύο κατηγορίες εικονοστοιχείων που ακολουθούν το ιστόγραμμα bi-modal (εικονοστοιχεία προσκηνίου και εικονοστοιχεία υποβάθρου). Στην συνέχεια, μέσα από επαναλήψεις χρησιμοποιώντας όλες τις πιθανές τιμές κατωφλιών, υπολογίζεται ένα μέτρο διασποράς για τα επίπεδα των εικονοστοιχείων από κάθε πλευρά του κατωφλιού. Στόχος είναι να βρεθεί η τιμή του κατωφλιού όπου το άθροισμα των σταθμισμένων αποκλίσεων των στοιχείων προσκηνίου και παρασκηίου να είναι ελάχιστη (Otsu, 1979). Από την μέθοδο αυτή παράγεται ένας αριθμός που

έχει εύρος $[0, 1]$ και αποτελεί μια κανονικοποιημένη τιμή έντασης. Άλλοι αλγόριθμοι κατάτμησης βασισμένοι στις περιοχές είναι ο αλγόριθμος που χρησιμοποιεί το μετασχηματισμό Watershed.

2.5.3 Μαθηματική Μορφολογία

Η μαθηματική μορφολογία περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό τελεστών που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία εικόνας ώστε να εξαχθεί κάποια πληροφορία ή να γίνει κάποια μετατροπή της. Οι μορφολογικοί τελεστές είναι μη- γραμμικοί και περιλαμβάνουν : φιλτράρισμα, ανίχνευση ακμών ή χαρακτηριστικών, κατάτμηση εικόνας, μείωση θορύβου κ.α. (Dougherty, 2009).

Όλοι οι μορφολογικοί τελεστές είναι βασισμένοι σε μερικές απλές μαθηματικές έννοιες της θεωρίας των συνόλων. Στην περίπτωση εφαρμογής τους σε δυαδικές εικόνες είναι λογικοί τελεστές όπως 'OR', 'AND', 'XOR' και 'NOT'. Η ένωση (*union*), είναι ισοδύναμη με το 'OR' στις δυαδικές εικόνες, ενώ η τομή (*intersection*) είναι ισοδύναμη με τον τελεστή 'AND' (Dougherty, 2009).

Οι βασικοί μορφολογικοί τελεστές είναι δύο: η *διαστολή* και η *συστολή*. Οι υπόλοιποι τελεστές είναι συνδυασμός των δύο αυτών μορφολογικών τελεστών.

Η *διαστολή* (*dilation*) είναι ένας τελεστής, ο οποίος, στις δυαδικές εικόνες, αυξάνει τα αντικείμενα του προσκηνίου (άσπρα αντικείμενα). Ο αλγόριθμος της διαστολής περιγράφεται ως εξής: το δομικό στοιχείο (*structure element*) εφαρμόζεται διαδοχικά σε όλα τα pixels της εικόνας εισόδου. Το δομικό στοιχείο είναι ένα παράθυρο όπως είναι ο πίνακας συνέλιξης όταν εφαρμόζουμε ένα φίλτρο σε μια εικόνα. Τα δομικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι εκείνα που έχουν 4 και 8 συνδεδεμένους γείτονες. Εάν ένα τουλάχιστον pixel του δομικού στοιχείου συμπίπτει με στοιχείο του προσκηνίου της εικόνας τότε το pixel στην νέα εικόνα, που έχει τη ίδια θέση του κεντρικού pixel του δομικού στοιχείου, γίνεται pixel του προσκηνίου, αλλιώς παραμένει αμετάβλητο. Το δομικό στοιχείο που επιλέγεται κάθε φορά καθορίζει και το αποτέλεσμα της διαστολής (μικρή ή μεγάλη διαστολή). Όσο πιο μεγάλο είναι το δομικό στοιχείο τόσο περισσότερη διαστολή συντελείται (Dougherty, 2009).

Αντίθετα, η συστολή (*erosion*), στις δυαδικές εικόνες, αυξάνει τα αντικείμενα του παρασκηνίου. Ο αλγόριθμος είναι ο εξής: το δομικό στοιχείο υπερθέτεται σε κάθε Pixel της εικόνας και εάν τουλάχιστον ένα pixel του δομικού στοιχείου συμπίπτει με pixel του παρασκηνίου στην εικόνα, τότε δημιουργείται ένα pixel στην νέα εικόνα που έχει την πληροφορία του παρασκηνίου, αλλιώς το νέο pixel παραμένει αμετάβλητο, δηλαδή με πληροφορία προσκηνίου.

Στις gray-scale εικόνες, η διαστολή και η συστολή αποτελούν παρόμοια διαδικασία με τη συνέλιξη με φίλτρο κατάταξης (*rank*) που τελικά θα επιλέγεται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή αντίστοιχα.

Οι σημαντικοί μορφολογικοί τελεστές είναι το μορφολογικό άνοιγμα (*opening*) και κλείσιμο (*closing*). Το άνοιγμα είναι μια συστολή και στην συνέχεια μια διαστολή έτσι χάνονται κάποιες λεπτομέρειες του προσκηνίου και μετά τα αντικείμενα που απέμειναν συμπληρώνονται - μεγαλώνουν ανάλογα με το δομικό στοιχείο που έχει επιλεγεί. Ουσιαστικά διατηρεί στοιχεία του προσκηνίου που έχουν παρόμοιο σχήμα με το δομικό στοιχείο. Το κλείσιμο είναι ακριβώς η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή συντελείται αρχικά μια διαστολή και έπειτα μια συστολή.

Ένας άλλος ευρέως χρησιμοποιούμενος μορφολογικός τελεστής είναι ο μετασχηματισμός *Top-hat*. Ο μετασχηματισμός αυτός χρησιμοποιείται για την εξαγωγή χαρακτηριστικών σε μια εικόνα και ανάλογα το μέγεθος των αντικειμένων που πρέπει εξαχθούν γίνεται χρήση αντίστοιχου δομικού στοιχείο. Ο μετασχηματισμός είτε δίνει ως αποτέλεσμα αντικείμενα που είναι πιο φωτεινά από του γείτονες τους και λέγεται *White Top-hat*, είτε εξάγει αντικείμενα σκοτεινότερα σε σχέση με την γειτονία τους και ονομάζεται *Black Top-hat*.

2.5.4 Ανάλυση και Ταξινόμηση Εικόνας

«Ο στόχος της ταξινόμησης είναι η αντικατάσταση της Φωτοερμηνείας των εικόνων με ποσοτικές τεχνικές για την αυτοματοποίηση της αναγνώρισης διάφορων χαρακτηριστικών (θεματικών κατηγοριών, αντικείμενων) σε μια εικόνα» (Αργιαλάς, Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνων, 1999).

Γίνεται προσπάθεια να μεταφραστεί η ικανότητα αντίληψης του ανθρώπου σε μια γλώσσα που να αναγνωρίζει ο υπολογιστής και έτσι να μπορεί μόνος του να κάνει ανάγνωση των οντοτήτων μιας εικόνας. Οι μέθοδοι ταξινόμησης ποικίλουν και μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα τη στοιχειώδη μονάδα που χρησιμοποιείται στην ανάλυση, δηλαδή είτε βάσει του εικονοστοιχείου (*pixel*) είτε βάσει αντικειμένων (*objects*).

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση και η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση βασίζονται στην ανάλυση των pixels. Πιο συγκεκριμένα, στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, η ταξινόμηση γίνεται με βάση αλγόριθμους επιβλεπόμενης ταξινόμησης, όπως είναι ο αλγόριθμος μέγιστης πιθανοφάνειας, αφού πρώτα μελετηθούν οι φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων των περιοχών εκπαίδευσης. Στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, γίνεται ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων (*clusters*) από τον αλγόριθμο ταξινόμησης, δίχως δεδομένα επίβλεψης. Στο τέλος της αυτοματοποιημένης αλγοριθμικής διαδικασίας έχει γίνει η ταξινόμηση χωρίς όμως να είναι γνωστή η θεματική κατηγορία της κάθε θεματικής τάξης. Τέλος, ορίζεται η ταυτότητα της κάθε τάξης. (Αργιαλάς, Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνων, 1999)

Γενικά, οι ταξινομητές που χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπηση είναι ο ταξινομητής που βασίζεται στη μέγιστη πιθανοφάνεια, στην ελάχιστη απόσταση και ο ταξινομητής που χρησιμοποιεί τον κανόνα του παραλληλεπιπέδου. Τελικό αποτέλεσμα των ταξινομητών αυτών είναι μια τιμή 1 ή 0 για κάθε αντικείμενο και επομένως ορίζουν με απόλυτο τρόπο αν αυτό ανήκει στην υπό εξέταση κατηγορία.

Η αντικειμενοστρεφής ανάλυση (*object-oriented analysis*), η οποία θα αποτελεί μέρος της μεθοδολογίας της παρούσας εργασίας, υλοποιεί ταξινόμηση με βάση τα σημασιολογικά αντικείμενα που δημιουργούνται από την κατάτμηση. Τα αντικείμενα που προκύπτουν μπορούν να έχουν διαφορετική κλίμακα και σχήμα. Ένα βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι η ανάλυση γίνεται μέσω των αντικειμένων, που χαρακτηρίζονται από φασματικές ιδιότητες αλλά και από το σχήμα, την υφή και τη σχέση τους με άλλα γειτονικά αντικείμενα. Η χωρική πληροφορία, που χρησιμοποιείται για την ανάλυση, δίνει την δυνατότητα να χαρακτηριστεί ένα αντικείμενο ανάλογα με τη χωρική του θέση και τη σχετική του θέση με τα γειτονικά αντικείμενα.

2.5.4.1 Αντικειμενοστρεφής Ανάλυση - Κατάτμηση

Η υλοποίηση της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης έγινε με το λογισμικό *eCognition Developer*. Η κεντρική ιδέα του λογισμικού είναι η κατάτμηση σε πολλαπλά επίπεδα χωρικής ανάλυσης (*multi-resolution segmentation*) και η χρήση των ταξινομημένων αντικειμένων ενός επιπέδου στην ταξινόμηση άλλων αντικειμένων, που βρίσκονται σε διαφορετικό επίπεδο κατάτμησης.

Η κατάτμηση γίνεται σε ένα επίπεδο κλίμακας αντίστοιχο με το μέγεθος των αντικειμένων που πρέπει να εξαχθούν και θεωρείται επιτυχής όταν τα αντικείμενα που παράγονται δεν αλλοιώνουν την πληροφορία που θέλει να εξαχθεί στο συγκεκριμένο επίπεδο κατάτμησης. Πιο συγκεκριμένα, κάθε αντικείμενο πριν χαρακτηριστεί ως αντικείμενο μιας κλάσης κατά την ταξινόμηση, θα πρέπει να έχει, εξολοκλήρου, την πληροφορία αυτής της κλάσης γιατί διαφορετικά θα χαθεί πληροφορία. Ουσιαστικά, ο αλγόριθμος της κατάτμησης συνενώνει εικονοστοιχεία κατά τις επαναλήψεις και δημιουργεί αντικείμενα- οντότητες που είναι τόσο ετερογενείς όσο επιτρέπουν οι τιμές των παραμέτρων που ορίζει ο χρήστης. Οι παράμετροι βάσει των οποίων γίνεται η κατάτμηση είναι οι εξής:

1. Κλίμακα (*scale*) : Η παράμετρος της κλίμακας καθορίζει το μέγεθος των αντικειμένων που θα δημιουργηθούν σε ένα επίπεδο κατάτμησης. Όσο μεγαλώνει η παράμετρος αυτή τόσο αυξάνεται το μέγεθος των αντικειμένων και επομένως και η ετερογένεια τους.
2. Χρώμα (*color*) : Η παράμετρος αυτή υπάρχει ώστε να ρυθμίζεται το βάρος που θα δοθεί στα φασματικά χαρακτηριστικά των εικονοστοιχείων (pixels) ώστε να παραχθούν αντικείμενα που μπορεί να έχουν από μικρή ως μεγάλη φασματική ποικιλία εικονοστοιχείων. Θεωρητικά, το εύρος τιμών της παραμέτρου είναι από $0.1 - 1$. Η μικρότερη τιμή είναι το 0.1 καθώς δεν γίνεται να παραχθούν αξιοποιήσιμα αντικείμενα χωρίς να ληφθεί καθόλου η φασματική τους πληροφορία.
3. Σχήμα (*shape*) : Μέσω της παραμέτρου αυτής ρυθμίζεται το βάρος που θα δίνεται στο σχήμα κατά την κατάτμηση. Το χρώμα και το σχήμα είναι δυο παράμετροι συμπληρωματικοί και το άθροισμά τους θα ισοδυναμεί με την τιμή 1. Αυτό σημαίνει ότι εάν οριστεί τιμή χρώματος ίση με 0.2 τότε το βάρος του σχήματος θα ισούται με 0.8 . Εφόσον υπάρχει βάρος στο σχήμα των παραγόμενων αντικειμένων υπάρχουν άλλες δύο που

καθορίζουν το σχήμα. Ο λόγος για τις παραμέτρους της ομαλότητας των ορίων (*smoothness*) και την κανονικότητα των σχημάτων (*compactness*). Οι παράμετροι αυτοί είναι μεταξύ τους, επίσης, συμπληρωματικοί με άθροισμα 1 και το εύρος τιμών τους είναι από 0 – 1.

Κατά την κατάτμηση, λοιπόν, η εικόνα διασπάται σε πολύγωνα τα όρια των οποίων γειτνιάζουν. Βασικός κανόνας της πολλαπλής κατάτμησης είναι ότι τα όρια του κάθε αντικειμένου δεν μπορεί να τέμνουν όρια άλλου αντικειμένου ανώτερου επιπέδου. Για να ακολουθηθεί ο κανόνας αυτός πρέπει η δημιουργία των επιπέδων να γίνεται, είτε από το επίπεδο μεγαλύτερου συντελεστή κλίμακας προς τα επίπεδα μικρότερου συντελεστή (*top-down*), είτε το αντίστροφο, δηλαδή, από το επίπεδο με το μικρότερο συντελεστή κλίμακας δημιουργούνται κατά σειρά επίπεδα με όλο και μεγαλύτερο συντελεστή (*bottom-up*).

Η διαδικασία της κατάτμησης απαιτεί πολλές δοκιμές (*trial and error*) ώστε να βρεθεί ο συνδυασμός που θα περιγράψει καλύτερα την οντότητα που απαιτείται να εξαχθεί.

2.5.4.2 Αντικειμενοστρεφής Ανάλυση – Ταξινόμηση

Μετά το στάδιο της κατάτμησης έπεται το στάδιο της ταξινόμησης. Όμως, για να γίνει η ταξινόμηση, απαιτείται να εξαχθούν τα χαρακτηριστικά που θα διαχωρίσουν τα αντικείμενα σε διαφορετικές κλάσεις.

Αρχικά είναι απαραίτητο να αναλυθεί ο τρόπος που είναι χτισμένο το δίκτυο των αντικειμένων ώστε να γίνει τελικά αντιληπτή η ταξινόμηση.

«Η ιεραρχία κατηγοριών ή αλλιώς *class hierarchy* αποτελεί το πλαίσιο που χρησιμοποιεί το λογισμικό για τη διατύπωση της γνωσιακής βάσης για την ταξινόμηση των αντικειμένων της εικόνας. Περιέχει όλες της κατηγορίες ενός σχεδιαγράμματος ταξινόμησης, δομημένο σε μορφή ιεραρχίας» (Baatz, et al., 2001).

Η διαδικασία της ταξινόμησης υλοποιείται όταν γίνει η σύνδεση των αντικειμένων που έχουν προκύψει από την κατάτμηση με την ιεραρχία των κατηγοριών (*class hierarchy*). Τα χαρακτηριστικών που εισάγονται στην κάθε κλάση μπορεί να είναι φασματικά, γεωμετρικά ή τοπολογικά ανάλογα με την σημασιολογική ταυτότητα της.

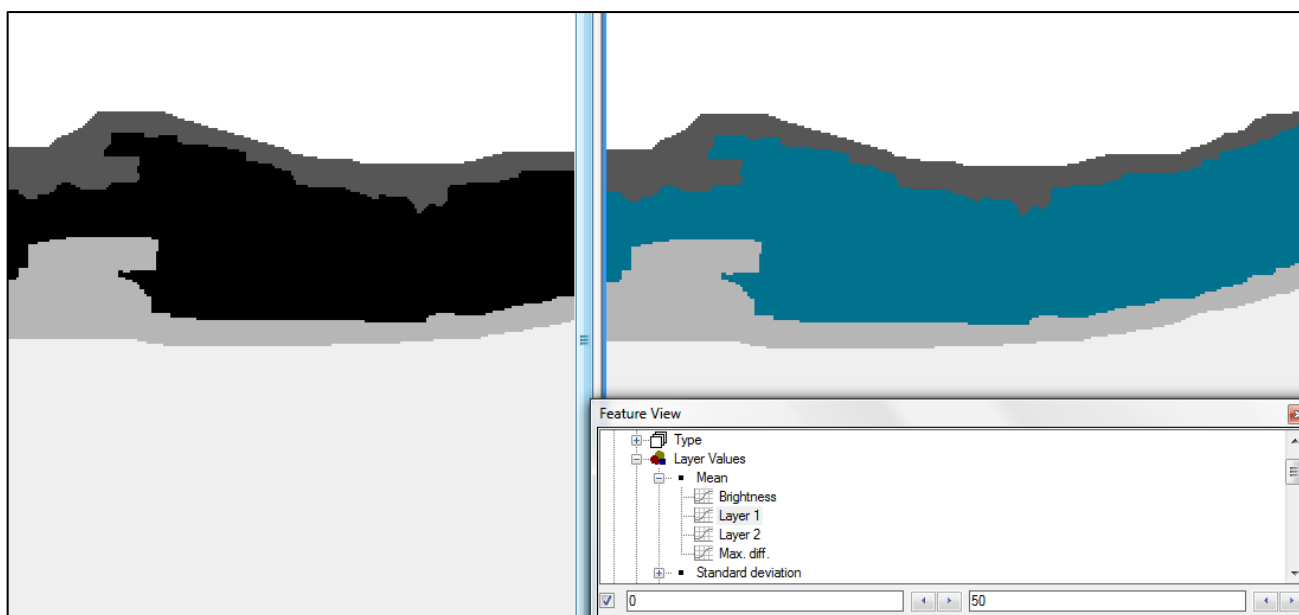
Γενικά τα χαρακτηριστικά, που είναι διαθέσιμα στο λογισμικό, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως χαρακτηριστικά:

- που αφορούν στατιστικά στοιχεία των pixels που συνθέτουν το κάθε αντικείμενο
- που συνδέουν το κάθε αντικείμενο με τα γειτονικά αντικείμενα
- που περιγράφουν σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων ενός επιπέδου με τα υπόλοιπα επίπεδα χωρικής ανάλυσης.

Συμπληρωματικά, παρέχεται η δυνατότητα μέσω των διαθέσιμων χαρακτηριστικών να δημιουργηθούν παράγοντα χαρακτηριστικά, δηλαδή χαρακτηριστικά που προκύπτουν από πράξεις των ήδη υπάρχοντων χαρακτηριστικών.

Έτσι η ταξινόμηση ξεκινάει από ένα επίπεδο και με βάση τα ταξινομημένα αντικείμενα του ενός επιπέδου γίνεται περαιτέρω ταξινόμηση αντικειμένων άλλης χωρικής κλίμακας. Το λογισμικό είτε κάνει επιβλεπόμενη ταξινόμηση χρησιμοποιώντας τον εγγύτερο γείτονα (nearest neighbor) είτε κάνει χρήση των συναρτήσεων ασαφούς λογικής.

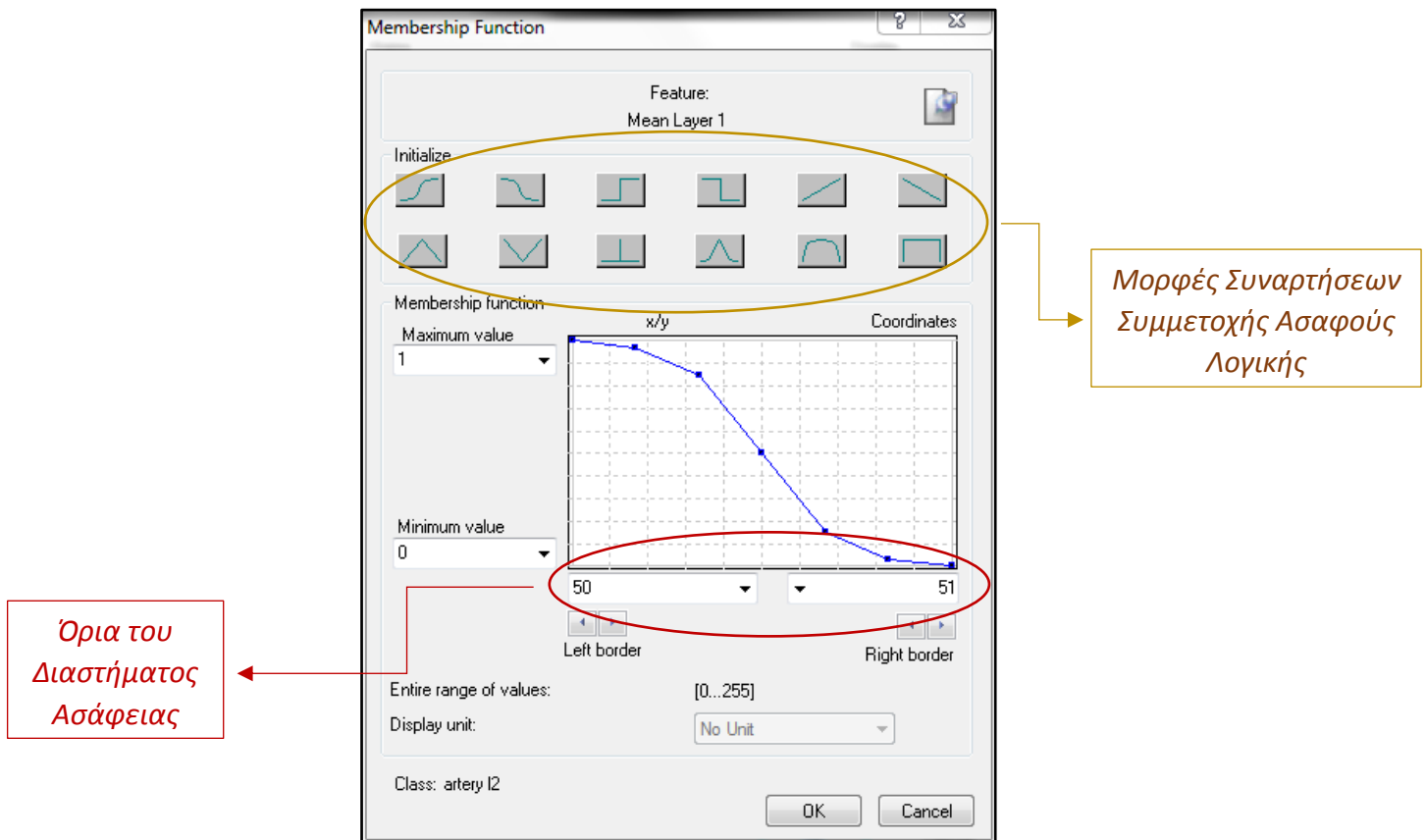
Η ποικιλία των αξιοποιήσιμων χαρακτηριστικών που συμβάλουν στη ταξινόμηση είναι μεγάλη. Η απόφαση για τα χαρακτηριστικά που θα έχει η κάθε κλάση και το εύρος τιμών τους λαμβάνεται με την χρήση ενός γραφικού εργαλείου του λογισμικού που λέγεται (*feature view*). Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να εξακριβώσει, μέσω πειραματισμών, το εύρος τιμών ενός χαρακτηριστικού για κάθε αντικείμενο σε πραγματικό χρόνο. Όσο πιο φωτεινό εμφανίζεται ένα αντικείμενο στο *feature view* τόσο μεγαλύτερη τιμή έχει το χαρακτηριστικό που εξετάζεται. Στην *Εικόνα 2.10* φαίνεται πως ένα αντικείμενο ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα (αντικείμενο χρώματος μπλε) για συγκεκριμένο εύρος τιμών μέσης τιμής φωτεινότητας στο κανάλι 1 (gray-scale image).



Εικόνα 2.10: Εικόνα του χαρακτηριστικού Mean Layer 1 (αριστερά) - Επιλογή αντικειμένου με βάση τα όρια του χαρακτηριστικού (δεξιά)

Αφού βρεθούν τα χαρακτηριστικά της κάθε κλάσης είναι απαραίτητο να οριστούν οι συναρτήσεις συμμετοχής ασαφούς λογικής. Όπως έχει ήδη ειπωθεί, οι κλασικοί ταξινομητές ταξινομούν κατά απόλυτο τρόπο, δηλαδή εάν ένα χαρακτηριστικό είναι πάνω από μια τιμή τότε το αντικείμενο ανήκει σε συγκεκριμένη κατηγορία. Η ταξινόμηση που βασίζεται στην ασαφή λογική προσπαθεί μέσω ενός διαστήματος ασάφειας να εξαλείψει το σφάλμα που υπεισέρχεται λόγω του απόλυτου αυτού τρόπου ταξινόμησης.

Οι συναρτήσεις ασαφούς λογικής ορίζονται εφόσον επιλεγεί η μορφή της συνάρτησης και οι ακραίες τιμές του διαστήματος ασάφειας. Σε κάθε συνάρτηση ο άξονας των X δείχνει το διάστημα ασάφειας, ενώ ο άξονας των Y δείχνει το βαθμό συμμετοχής του χαρακτηριστικού για την συγκεκριμένη κατηγορία και έχει εύρος τιμών $[0,1]$. Η εικόνα 2.11 δείχνει το παράθυρο μέσω του οποίου καθορίζεται μια συνάρτηση συμμετοχής ασαφούς λογικής. Με βάση την συνάρτηση που φαίνεται στην εικόνα, κάθε αντικείμενο, με τιμή από 51 και πάνω για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό, δεν ανήκει στην κλάση που θα ορίζεται από αυτή την συνάρτηση. Ενώ, εάν η τιμή του είναι από 50 και κάτω θα ταξινομηθεί σίγουρα στη συγκεκριμένη κλάση. Σχετικά με τις ενδιάμεσες τιμές, ο αλγόριθμος ταξινόμησης θα υπολογίσει την πιθανότητα να ανήκει το αντικείμενο στη συγκεκριμένη κατηγορία και αναλόγως θα ταξινομηθεί ή όχι σε αυτή.



Εικόνα 2.11: Παράθυρο ρύθμισης της μορφής και των ορίων των συναρτήσεων συμμετοχής ασαφούς λογικής

Η μορφή της συνάρτησης εξαρτάται από το χαρακτηριστικό που περιγράφει την κλάση. Η συνάρτηση που θα χρησιμοποιηθεί κατά κόρον είναι η σιγμοειδής συνάρτηση.

Μια κλάση μπορεί να οριστεί με περισσότερα από ένα χαρακτηριστικά- κριτήρια ταξινόμησης. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται τελεστές όπως $\text{and}(\min)$, $\text{or}(\max)$ κ.α. , οι οποίοι διευκολύνουν την περιγραφή της οντότητας μέσω των χαρακτηριστικών της γνωρισμάτων.

2.6 Μελέτη Προσέγγισης Εργασιών Συναφούς Θέματος

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας μελετήθηκαν συναφείς εργασίες ώστε να υπάρχει μια ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με το πώς έχει προσεγγιστεί το συγκεκριμένο θέμα.

Η διπλωματική εργασία της Μπουφέας με τίτλο «Ανάπτυξη Αυτόματου Εντοπισμού Αθηρωματικής Πλάκας σε Εικόνες Υπερήχων του Αρτηριακού τοιχώματος» (Μπουφέα, 2014) περιλαμβάνει επιβλεπόμενη κατάτμηση με έναν τροποποιημένο μοντέλο Γεωδαιτικών Ενεργών Περιοχών. Αρχικά γίνεται αρχικοποίηση του αλγορίθμου αυτόματης κατάτμησης του αρτηριακού τοιχώματος χρησιμοποιώντας τεχνικές ανίχνευσης ακμών, μορφολογικούς τελεστές και τις εικόνες υπερήχου Doppler. Έπειτα γίνεται η ανάλυση των στοιχείων κίνησης της ακολουθίας των εικόνων υπερήχου (και όχι σε στοιχεία υφής ή φωτεινότητας) και αυτά χρησιμοποιούνται μαζί με ground truth πληροφορία για να εξαχθούν καμπύλες πιθανοτήτων που να σχετίζουν την τιμή της πληροφορίας αμοιβαιότητας της ολικής κίνησης κάθε εικονοστοιχείου με την πιθανότητα αυτό το εικονοστοιχείο να ανήκει στην περιοχή της πλάκας ή στην περιοχή του παρασκηνίου (αυλός / αρτηριακό τοίχωμα). Τέλος η τελική κατάτμηση εφαρμόζει τη θεωρία των γεωδαιτικών ενεργών περιοχών. Ο αλγόριθμος μπορεί να εντοπίσει με επιτυχία (ενδιάμεση τιμή απόδοσης πάνω από 95%) το μεγαλύτερο ποσοστό των εικονοστοιχείων που δεν αποτελούν αθηρωματική πλάκα.

Η διπλωματική εργασία του Ασιμομήτη (Ασιμομήτης, 2015) με τίτλο «Ανάπτυξη συστήματος υποστήριξης διάγνωσης καρωτιδικής αθηρωμάτωσης μέσω ταξινόμησης ασβεστοποιημένων και μη ασβεστοποιημένων πλακών – ολοκληρωμένη διαδικτυακή πλατφόρμα» δημιουργείται ένα σύστημα το οποίο δέχεται ως είσοδο ένα video υπερήχου για κάθε αθηρωματική πλάκα και κάνει online ανάλυση της σύστασης της πλάκας. Η ανάλυση αυτή στηρίζεται σε ένα σύνολο δεικτών υφής και κίνησης του καρωτιδικού τοιχώματος. Έπειτά νευρωνικά δίκτυα ταξινομούν με βάση τους δείκτες την αθηρωματική πλάκα ως ασβεστοποιημένη ή μη. Σε σύνολο 36 χειρουργημένων περιστατικών που χρησιμοποιήθηκαν για εκπαίδευση και αξιολόγηση, ο ταξινομητής κίνησης παρουσίασε 89% ακρίβεια, 86% ευαισθησία και 93% ειδικότητα ενώ ο αντίστοιχος της υφής 89% ακρίβεια, 91% ευαισθησία και 86% ειδικότητα.

Στη δημοσίευση των (Polat, Kara, & Latifoglu, 2007) γίνεται ανάλυση των σημάτων Doppler της καρωτίδας, ώστε να γίνει διάγνωση αθηροσκλήρωσης, χρησιμοποιώντας ασαφής σταθμισμένη προεπεξεργασία και για ταξινομητή το Least Square Support Vector Machine (LSSVM). Αρχικά για να προσδιοριστούν οι είσοδοι για το LSSVM έγινε φασματική ανάλυση. Η μέθοδος έχει 100%

επιτυχία στην ταξινόμηση σε υγιείς περιπτώσεις και περιπτώσεις αθηροσκλήρωσης.

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

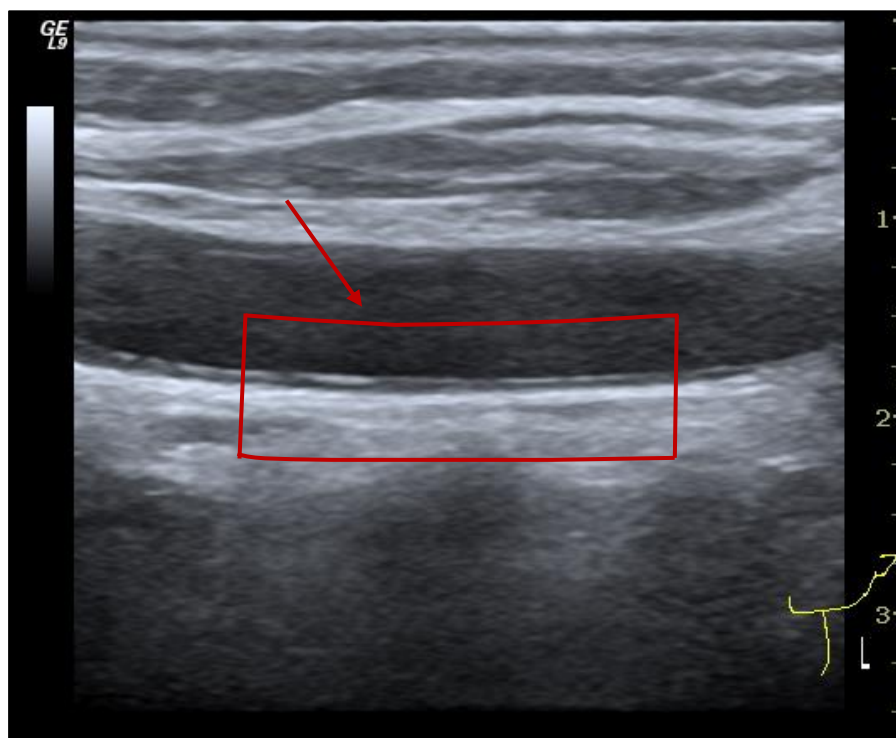
Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στο κεφάλαιο αυτό είναι εκείνες που δόθηκαν από το Τμήμα Υπερήχων του Αρεταίειο Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου. Στο Παράρτημα εφαρμόστηκε η ίδια μεθοδολογία και για εικόνα που δόθηκε από τον ακτινολόγο Δρ. Βόρκα Γεώργιο με μικρές αλλαγές στα όρια των πεδίων τιμών των ιδιοτήτων των κατηγοριών.

Η μεθοδολογία αποτελείται από δύο μέρη, καθώς για να επιτευχθεί ο στόχος έγινε, αρχικά, επεξεργασία των εικόνων υπερήχου για την εξαγωγή της καρωτίδας και στην συνέχεια αντικειμενοστρεφής ανάλυση για τον εντοπισμό και χαρακτηρισμό των αθηρωματικών πλακών. Η συγκεκριμένη προσέγγιση του θέματος αποφασίστηκε επειδή έπρεπε να γίνει διαχωρισμός της αρτηρίας από τους γειτονικούς ιστούς. Σε πρώτη φάση είχαν δοκιμαστεί κατατημήσεις και ταξινομήσεις πάνω στην αρχική εικόνα της κλίμακας του γκρίζου, όμως, το αποτέλεσμα δεν ήταν καθόλου ικανοποιητικό. Όπως, δηλαδή, ήταν αναμενόμενο δεν βρέθηκε γρήγορος και απλός τρόπος εξαγωγής της αρτηρίας μόνο με αντικειμενοστρεφή ανάλυση. Το πρόβλημα αφορούσε την αναγνώριση μιας γεωμετρικής δομής και για αυτό το λόγο εφαρμόστηκαν τεχνικές επεξεργασίας εικόνας και δημιουργήθηκε μια δυαδική εικόνα. Η εικόνα αυτή είχε, ως ενιαίο αντικείμενο προσκηνίου, ολόκληρη την περιοχή της αρτηρίας και πιθανόν ένα δύο ακόμα αντικείμενα προσκηνίου. Η δυαδική εικόνα, λοιπόν, σε επόμενο στάδιο χρησιμοποιήθηκε ώστε να ταξινομηθεί η αρτηρία και να γίνει αντικειμενοστρεφή ανάλυση για τον εντοπισμό και χαρακτηρισμό της αθηρωματικής πλάκας.

3.1 Ανάπτυξη Αλγόριθμου Εξαγωγής Πιθανών Περιοχών Καρωτίδας

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται όλα τα βήματα του αλγόριθμου Εξαγωγής Πιθανών Περιοχών Καρωτίδας. Ο στόχος του αλγορίθμου αυτού είναι η δημιουργία ενός αντικειμένου που θα εντοπίζει την περιοχή ενδιαφέροντος μέσα στην οποία θα γίνει μετέπειτα η ταξινόμηση. Η περιοχή αυτή είναι η

αρτηρία μέχρι τον έξω χιτώνα, όπως αυτός έχει φωτοερμηνευθεί στο 2.3.2. Η περιοχή ενδιαφέροντος φαίνεται ενδεικτικά στην Εικόνα 3.1. Ο αλγόριθμος αναπτύχθηκε σε περιβάλλον MATLAB.



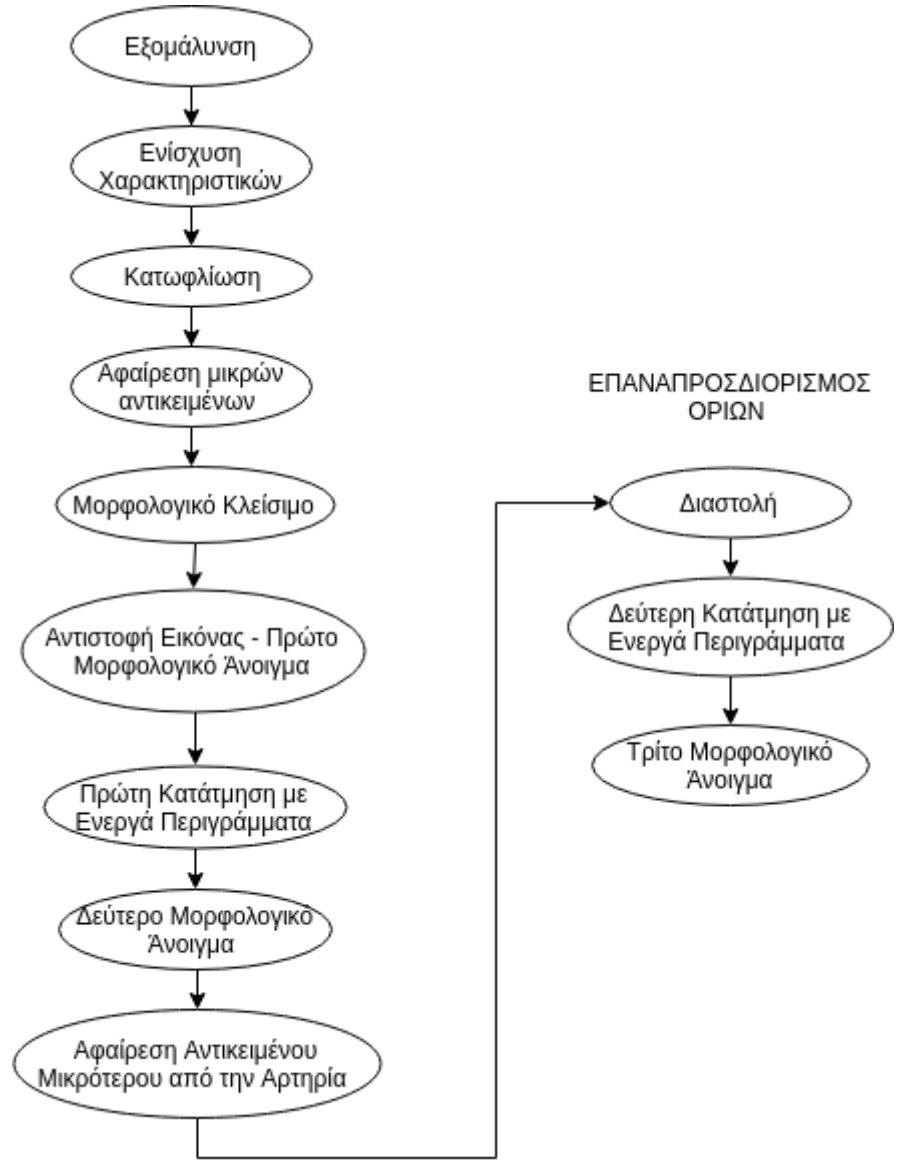
Εικόνα 3.1 Ενδεικτικά η Περιοχή Ενδιαφέροντος

Η αρχική προσέγγιση για τον προσδιορισμό της αρτηρίας είχε γίνει μόνο με μορφολογία όπου μετά από πολλούς συνδυασμούς αποδείχτηκε πως δεν μπορούσε να εφαρμοστεί ίδια διαδικασία για όλες τις εικόνες. Η κάθε εικόνα είχε την δική της ιδιαιτερότητα. Μερικά προβλήματα ήταν τα εξής:

- Πολλές φορές στην αφαίρεση μικρών αντικειμένων αφαιρούνται και τμήματα του έξω χιτώνα με αποτέλεσμα να χάνεται η συνέχεια του.
- Η πλάκα ενωνόταν με τον έξω χιτώνα και έτσι δεν συμπεριλαμβανόταν στην περιοχή ενδιαφέροντος στην οποία σε επόμενο στάδιο γίνεται η ταξινόμηση.
- Η κάθε εικόνα απεικονίζει την καρωτίδα σε διαφορετικό σημείο και η γεωμετρία της είναι διαφορετική - είτε είναι οριζόντια, είτε διχάζεται στο σημείο διχασμού, είτε έχει κάποια κλίση.

Τελικά δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος που λύνει πολλά από τα παραπάνω προβλήματα. Πολύ βασικό βήμα είναι αυτό της ενίσχυσης των επιμηκών αντικειμένων με τον αλγόριθμο ενίσχυσης *fibermetric*. Ο αλγόριθμος εξαγωγής

της καρωτίδας περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 3.2). Ουσιαστικά, πρέπει να ενισχυθεί ο έξω χιτώννας που έχει υψηλή φωτεινότητα και είναι μακρόστενη επιφάνεια. Αρχικά γίνεται μια προεπεξεργασία που περιλαμβάνει εξομάλυνση της εικόνας με διατήρηση των ακμών, ενίσχυση των περιοχών υψηλής φωτεινότητας και των μακρόστενων στοιχείων. Τέλος γίνεται κατωφλίωση ώστε να απομονωθούν μόνο οι περισσότερο φωτεινές και μακρόστενες περιοχές, ενώ οι υπόλοιπες γίνονται περιοχές παρασκηνίου. Στην συνέχεια διορθώνονται τα όρια των περιοχών αυτών δημιουργείται το αντικείμενο της αρτηρίας μέσω της κατάτμησης και τέλος επαναπροσδιορίζονται τα όρια του αντικειμένου της αρτηρίας. Τονίζεται ότι βάσει του παρακάτω διαγράμματος (Εικόνα 3.2) γίνει η περιγραφή του αλγορίθμου στην συνέχεια.



Εικόνα 3.2 Διάγραμμα Αλγορίθμου Εξαγωγής Πιθανών Περιοχών Καρωτίδας

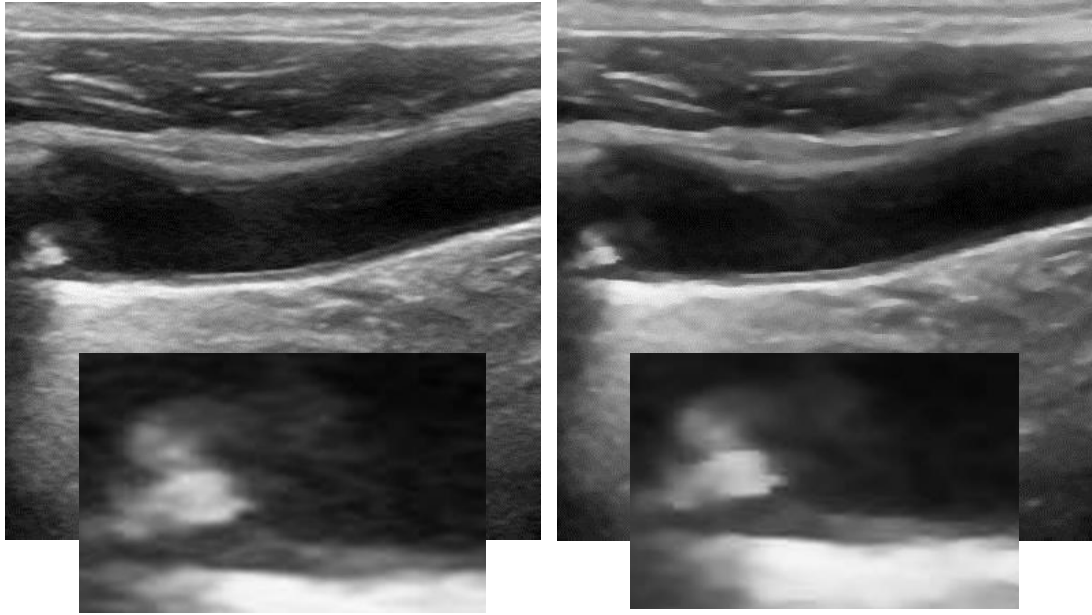
3.1.1 Εξομάλυνση

Στο στάδιο της προεπεξεργασίας δοκιμάστηκαν δύο φίλτρα τα οποία εξομαλύνουν την εικόνα αλλά ταυτόχρονα διατηρούν τις ακμές, το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης και το καθοδηγούμενο φίλτρο (guided filter). Η διατήρηση των ακμών είναι βασική προϋπόθεση καθώς είναι απαραίτητο να ενισχυθούν και να εξαχθούν τα γραμμικά στοιχεία (έξω χιτώνας).

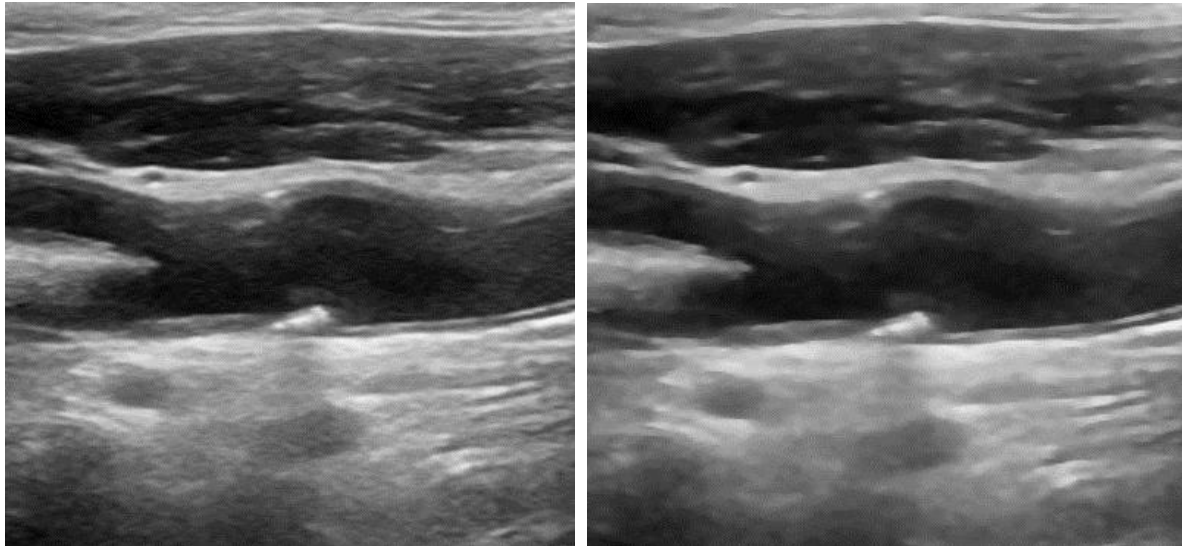
3.1.1.1 Φίλτρο Ανισοτροπικής Διάχυσης

Ο κώδικας του φίλτρου ανισοτροπικής διάχυσης που εφαρμόστηκε είναι του Peter Kovesi (Kovesi, 2000) και βασίζεται στην συνάρτηση των P. Perona και J. Malik (Perona & Malik, 1990). Η συνάρτηση έχει ως είσοδο την προς φιλτράρισμα εικόνα, των αριθμό των επαναλήψεων, έναν συντελεστή 'kappa' που σχετίζεται με το φιλτράρισμα των ακμών και ένας συντελεστή 'lambda' που ελέγχει την ταχύτητα της διάχυσης. Ο συντελεστής 'kappa' μπορεί να πάρει τιμές από 20-100, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή τόσο εξομαλύνονται οι ακμές, άρα η τιμή που χρησιμοποιήθηκε είναι η 'kappa'=20. Σχετικά με τον συντελεστή 'lambda' συνήθως επιλέγεται η μέγιστη τιμή του που είναι 0.25 και η οποία επιλέχθηκε και στην συγκεκριμένη εργασία. Επίσης ο κώδικας αυτός δίνει δύο επιλογές συναρτήσεων διάχυσης, η πρώτη ευνοεί τις μεγάλης αντίθεσης ακμές σε σχέση με τις μικρότερες και η δεύτερη επιλογή ευνοεί τις μεγάλες περιοχές σε σχέση με τις μικρότερες. Η επιλογή που χρησιμοποιήθηκε είναι η πρώτη. Στην συνέχεια παραθέτονται οι αντίστοιχες φιλτραρισμένες εικόνες των δεδομένων.

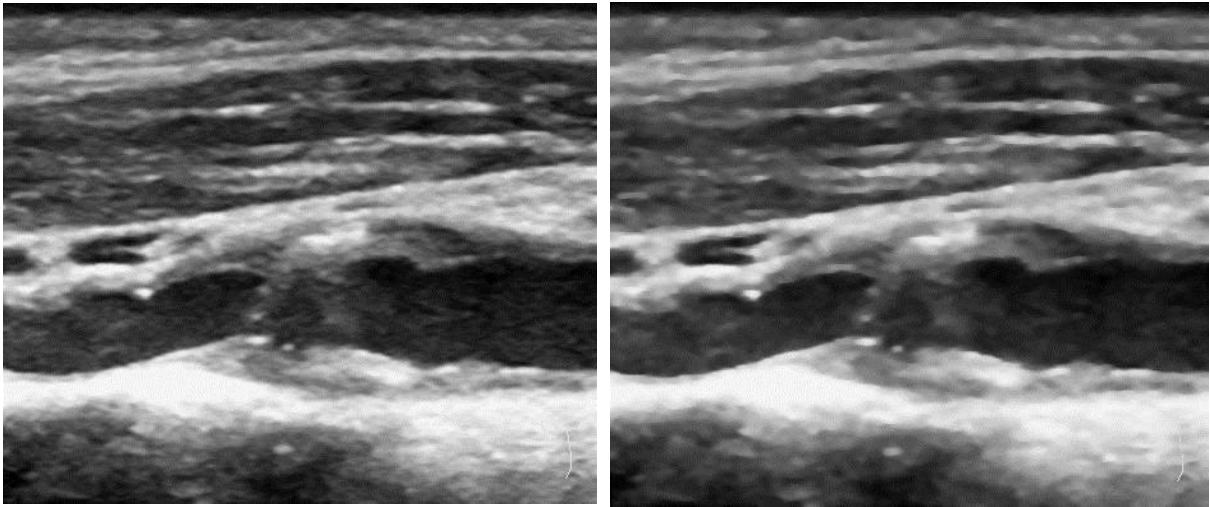
Η εξομάλυνση δεν είναι πολύ έντονη έτσι για φανεί το αποτέλεσμα της καλύτερα παρουσιάζεται ένα τμήμα της σε μεγέθυνση, μόνο για την Εικόνα Δεδομένων 1, εκτός από το αποτέλεσμα που είχε η εξομάλυνση σε ολόκληρη την εικόνα (Εικόνα 3.3).



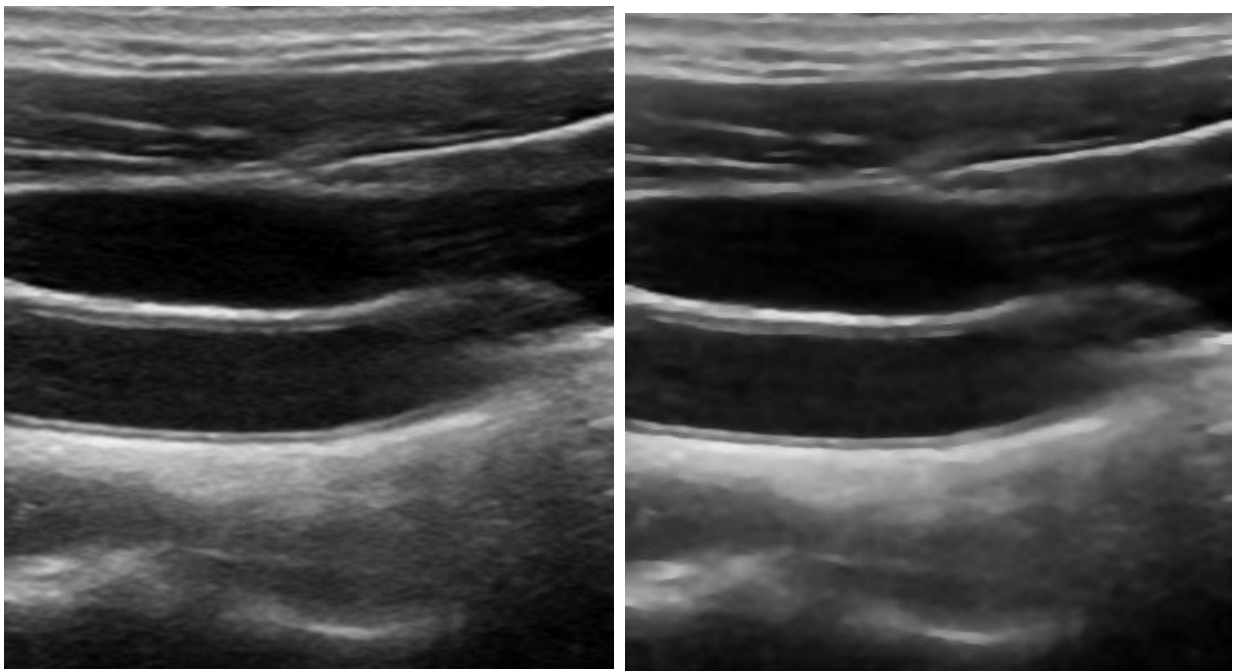
Εικόνα 3.3 Εικόνα Δεδομένων 1: Αρχική Εικόνα (αριστερά) , Εφαρμογή Φίλτρου Ανιστροπικής Διάχυσης (δεξιά), Τμήμα της Αρχικής Εικόνας (αριστερά -κάτω), Τμήμα της Φιλτραρισμένης Εικόνας (δεξιά- κάτω)



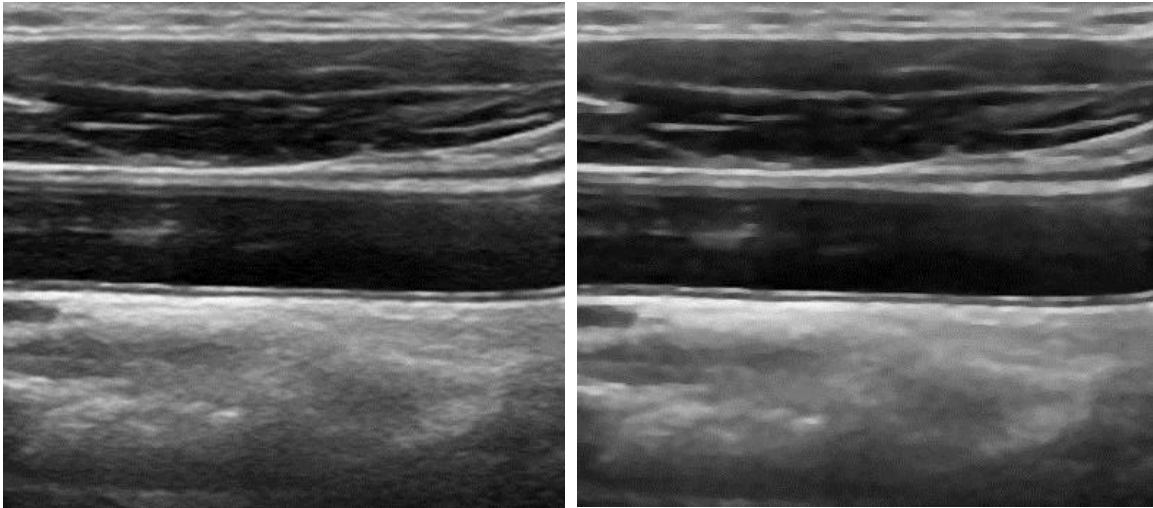
Εικόνα 3.4 Εικόνα Δεδομένων 2: Αρχική Εικόνα (αριστερά), Εφαρμογή Φίλτρου Ανιστροπικής Διάχυσης (δεξιά)



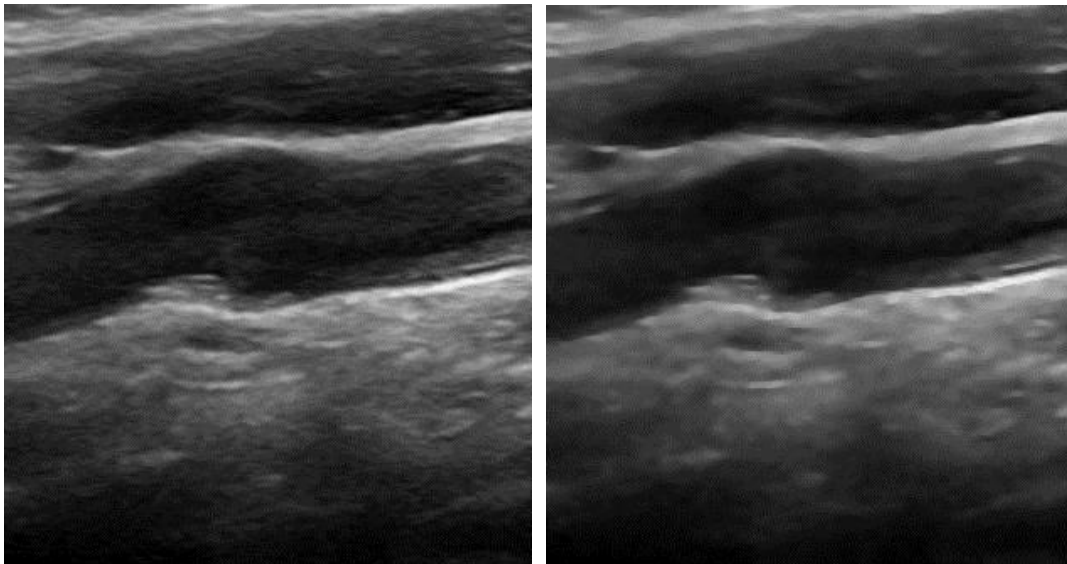
**Εικόνα 3.5 Εικόνα Δεδομένων 3: Αρχική Εικόνα (αριστερά) ,
Εφαρμογή Φίλτρου Ανιστροπικής Διάχυσης (δεξιά)**



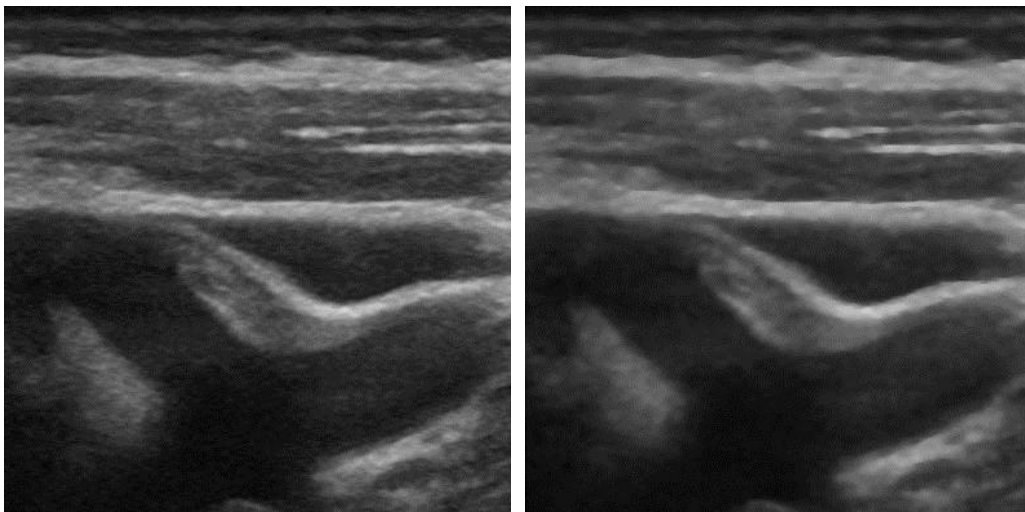
**Εικόνα 3.6 Εικόνα Δεδομένων 4: Αρχική Εικόνα (αριστερά),
Εφαρμογή Φίλτρου Ανιστροπικής Διάχυσης (δεξιά)**



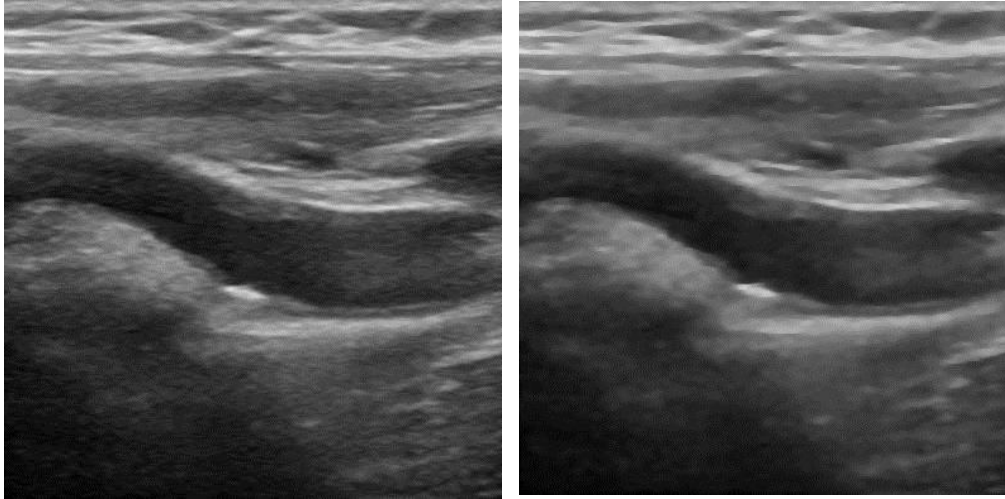
**Εικόνα 3.7 Εικόνα Δεδομένων 5: Αρχική Εικόνα (αριστερά),
Εφαρμογή Ανιστροπικής Διάχυσης (δεξιά)**



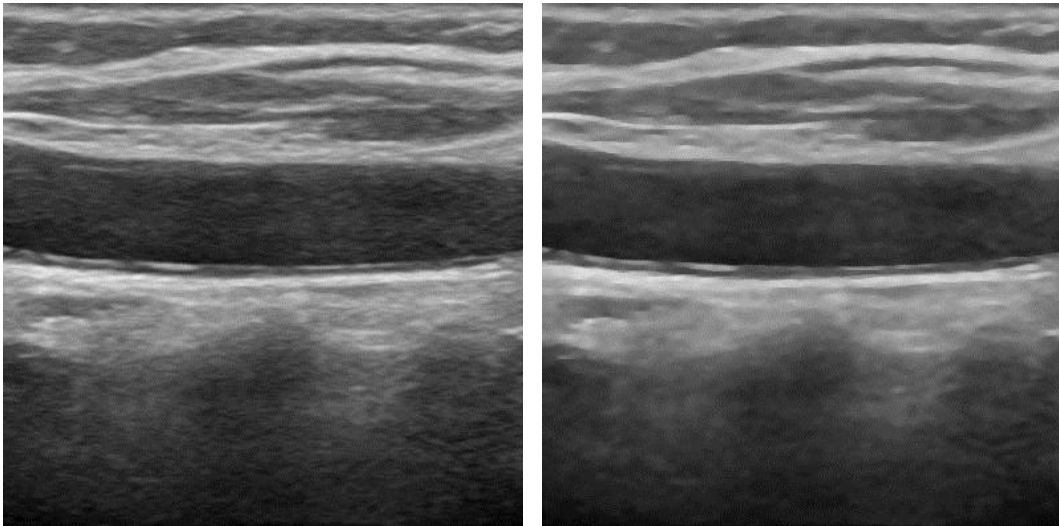
**Εικόνα 3.8 Εικόνων Δεδομένων 6: Αρχική Εικόνα (αριστερά),
Εφαρμογή Φίλτρου Ανιστροπικής Διάχυσης (δεξιά)**



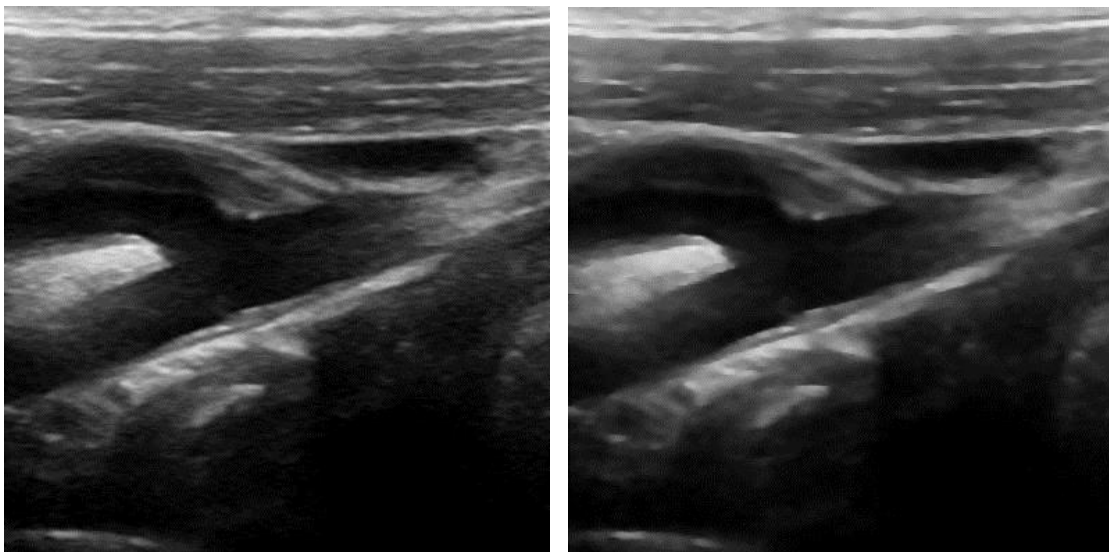
**Εικόνα 3.9 Εικόνα Δεδομένων 7: Αρχική Εικόνα (αριστερά),
Εφαρμογή Φίλτρου Ανιστροπικής Διάχυσης (δεξιά)**



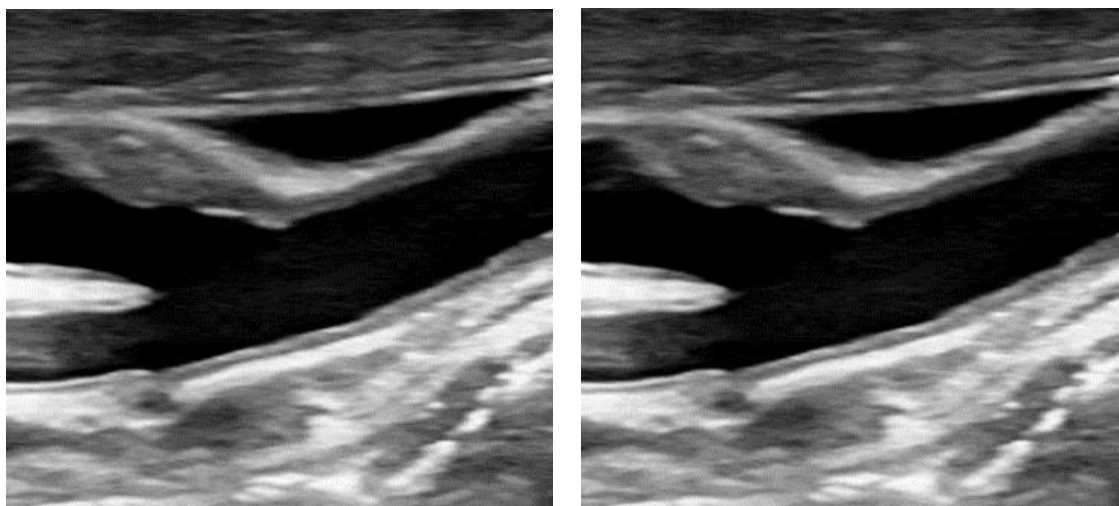
Εικόνα 3.10 Εικόνα Δεδομένων 8: Αρχική Εικόνα (αριστερά),
Εφαρμογή Φίλτρου Ανισοτροπικής Διάχυσης (δεξιά)



Εικόνα 3.11 Εικόνα Δεδομένων 9: Αρχική Εικόνα (αριστερά),
Εφαρμογή Φίλτρου Ανισοτροπικής Διάχυσης (δεξιά)



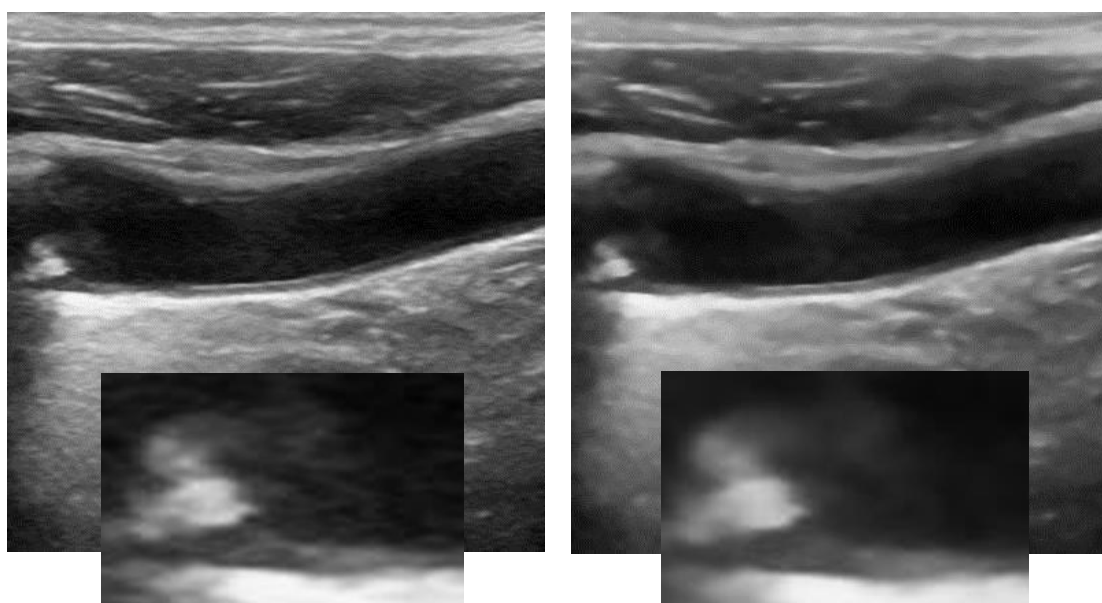
Εικόνα 3.12 Εικόνα Δεδομένων 10: Αρχική Εικόνα (αριστερά),
Εφαρμογή Φίλτρου Ανισοτροπικής Διάχυσης (δεξιά)



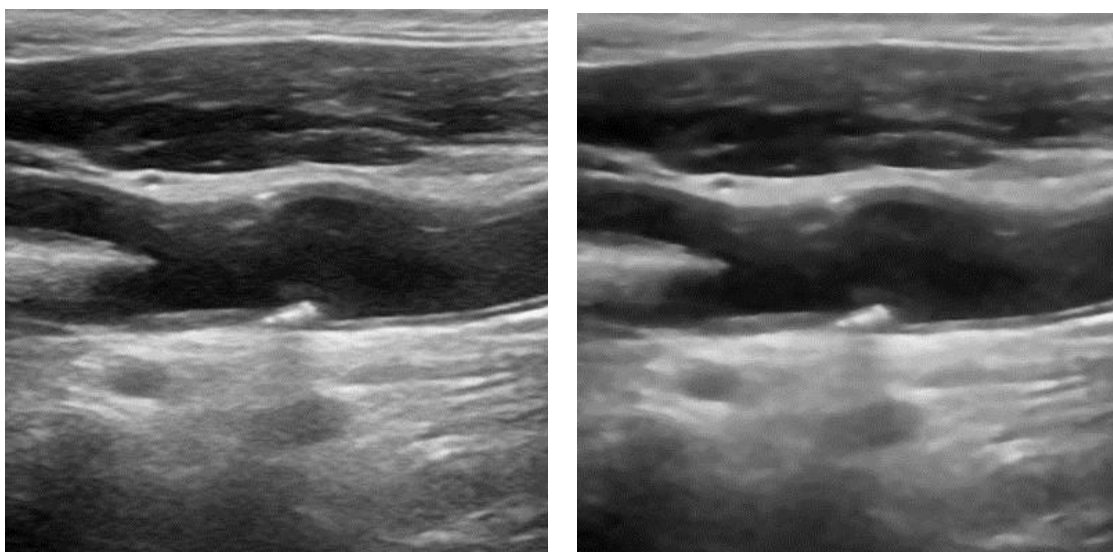
Εικόνα 3.13 Εικόνα Δεδομένων 11: Αρχική Εικόνα (αριστερά), Εφαρμογή Φίλτρου Ανιστροπικής Διάχυσης (δεξιά)

3.1.1.2 Καθοδηγούμενο Φίλτρο

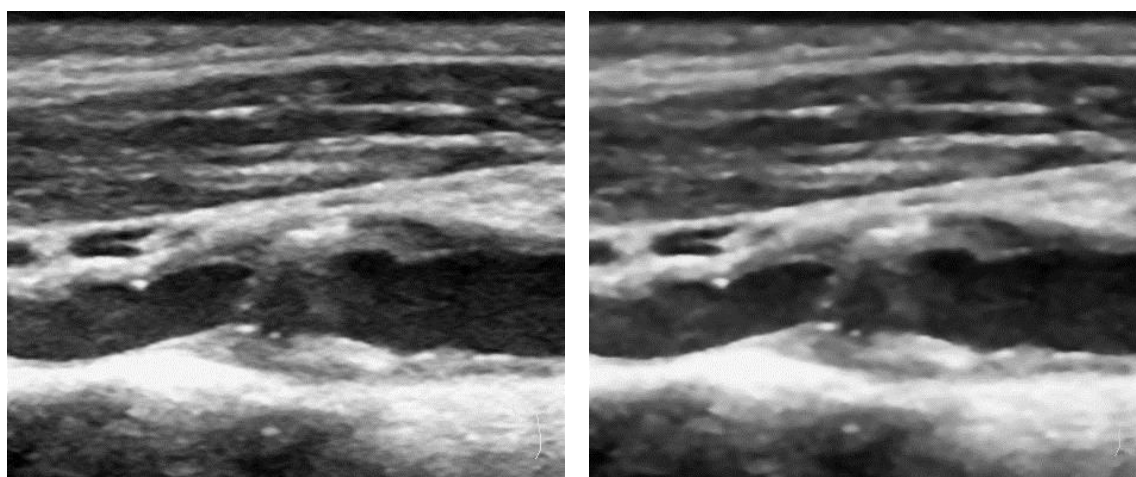
Το φίλτρο αυτό απαιτεί μια εικόνα εισόδου και μια εικόνα «οδηγό». Στην συγκεκριμένη επεξεργασία χρησιμοποιήθηκε ως εικόνα «οδηγός» η ίδια εικόνα εισόδου. Τα αποτελέσματα, που είχε η εφαρμογή του φίλτρου σε όλες τις εικόνες, φαίνονται παρακάτω.



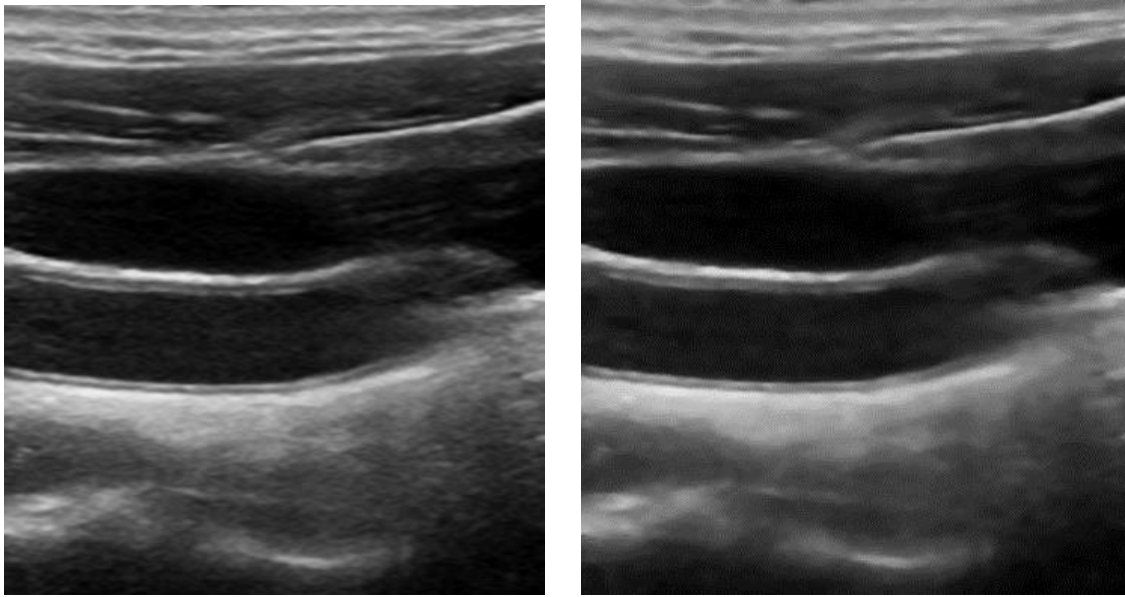
Εικόνα 3.14 Εικόνα Δεδομένων 1: Αρχική Εικόνα (αριστερά) , Εφαρμογή Καθοδηγούμενου Φίλτρου (δεξιά), Τμήμα της Αρχικής Εικόνας (αριστερά -κάτω), Τμήμα της Φιλτραρισμένης Εικόνας (δεξιά- κάτω)



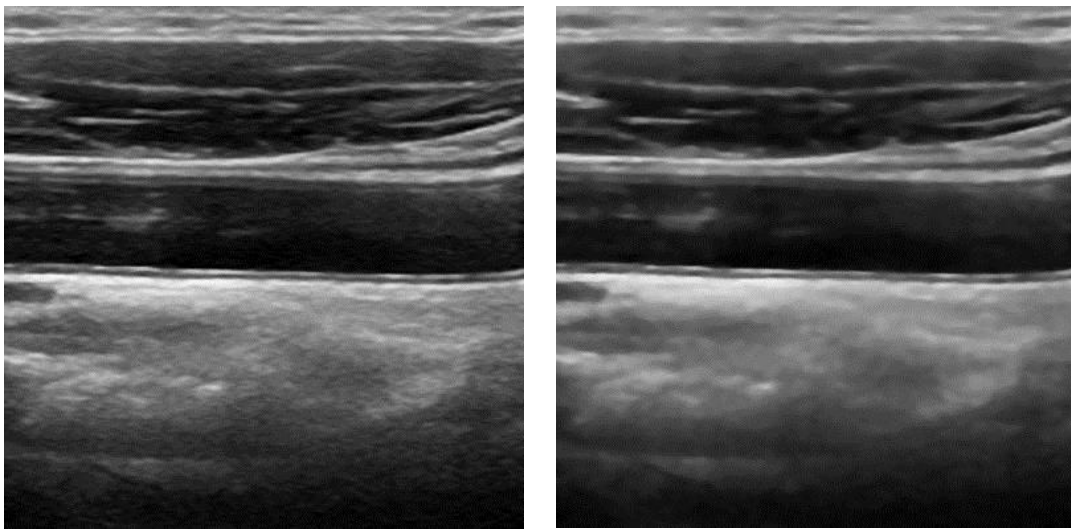
**Εικόνα 3.15 Εικόνα Δεδομένων 2: Αρχική Εικόνα (αριστερά) ,
Εφαρμογή Καθοδηγούμενου Φίλτρου (δεξιά)**



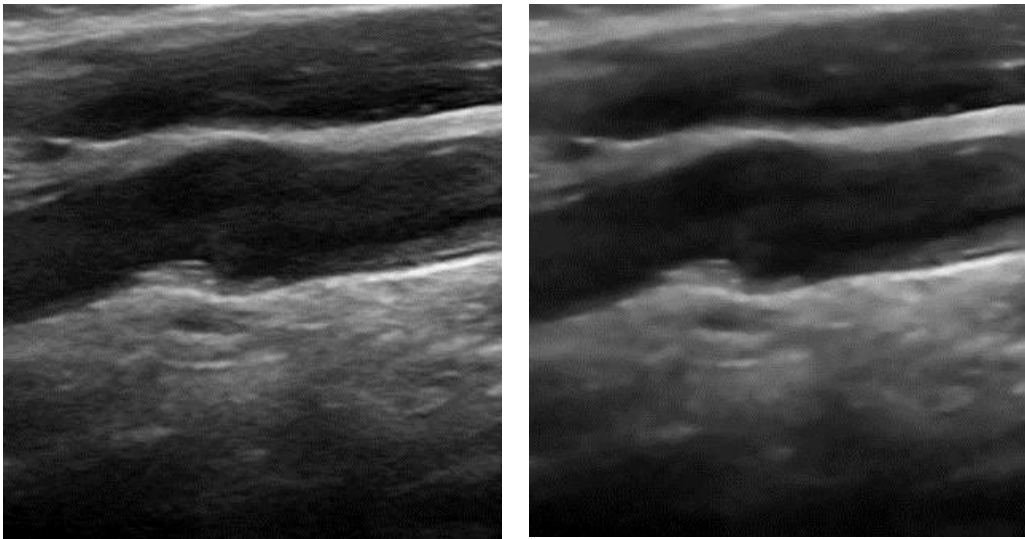
**Εικόνα 3.16 Εικόνα Δεδομένων 3: Αρχική Εικόνα (αριστερά) ,
Εφαρμογή Καθοδηγούμενου Φίλτρου (δεξιά)**



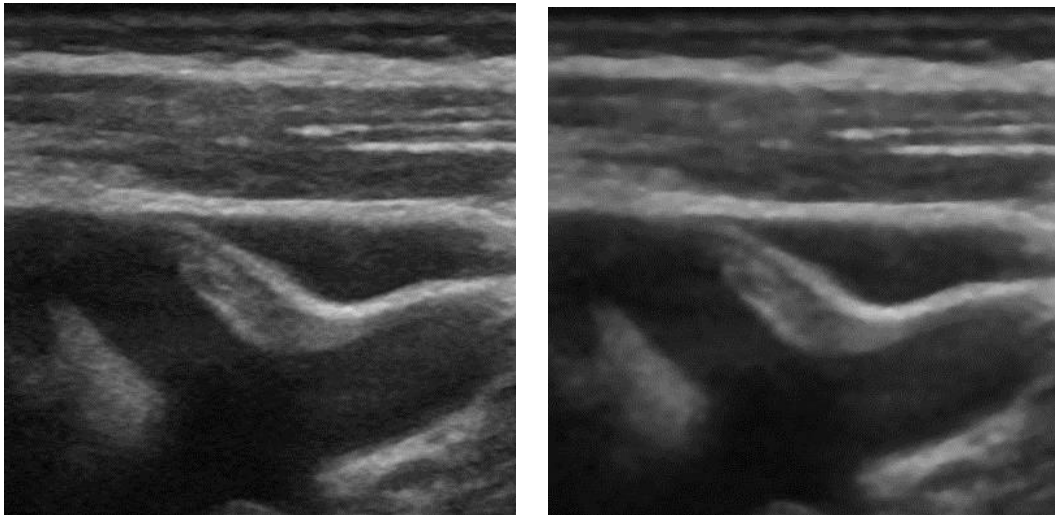
**Εικόνα 3.17 Εικόνα Δεδομένων 4: Αρχική Εικόνα (αριστερά) ,
Εφαρμογή Καθοδηγούμενου Φίλτρου (δεξιά)**



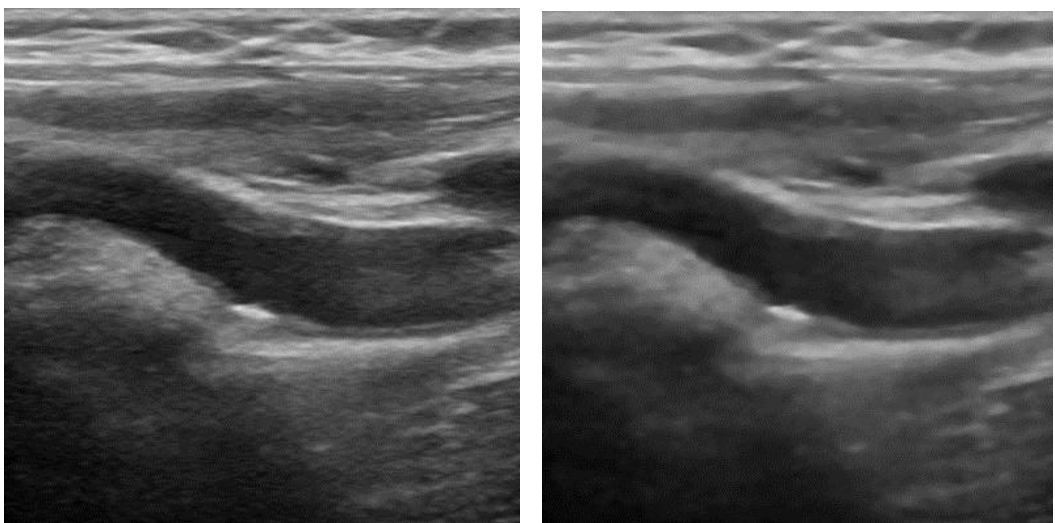
**Εικόνα 3.18 Εικόνα Δεδομένων 5: Αρχική Εικόνα (αριστερά) ,
Εφαρμογή Καθοδηγούμενου Φίλτρου (δεξιά)**



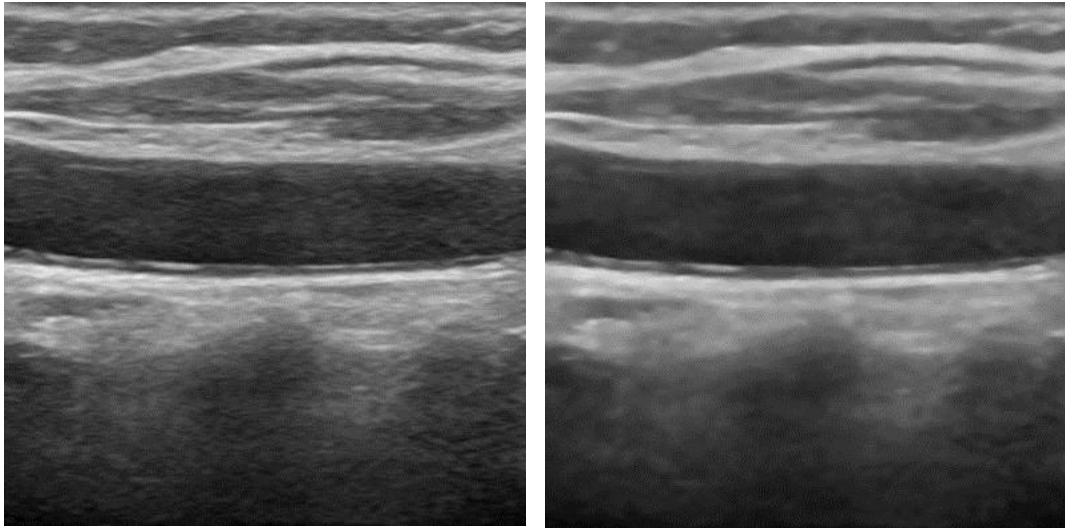
Εικόνα 3.19 Εικόνα Δεδομένων 6: Αρχική Εικόνα (αριστερά) ,
Εφαρμογή Καθοδηγούμενου Φίλτρου (δεξιά)



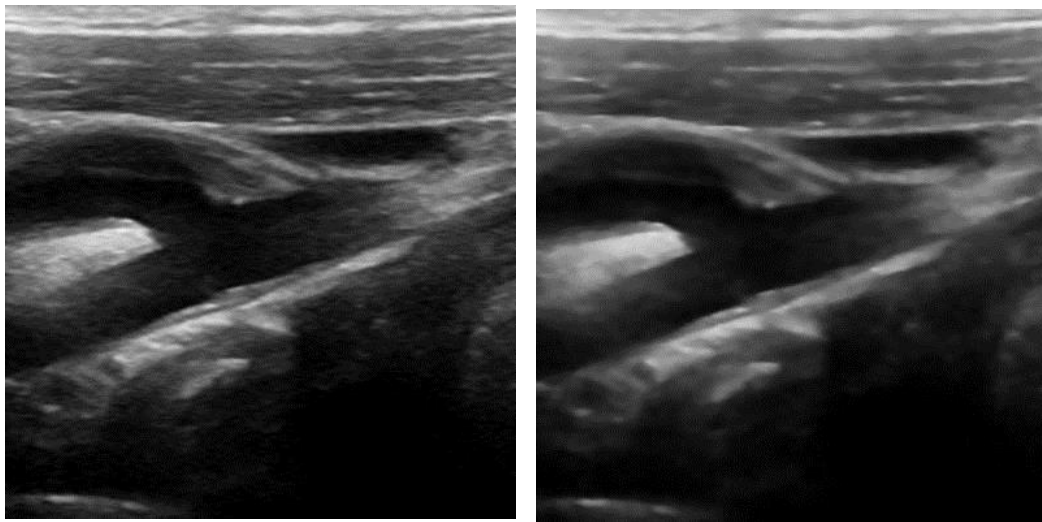
Εικόνα 3.20 Εικόνα Δεδομένων 7: Αρχική Εικόνα (αριστερά) ,
Εφαρμογή Καθοδηγούμενου Φίλτρου (δεξιά)



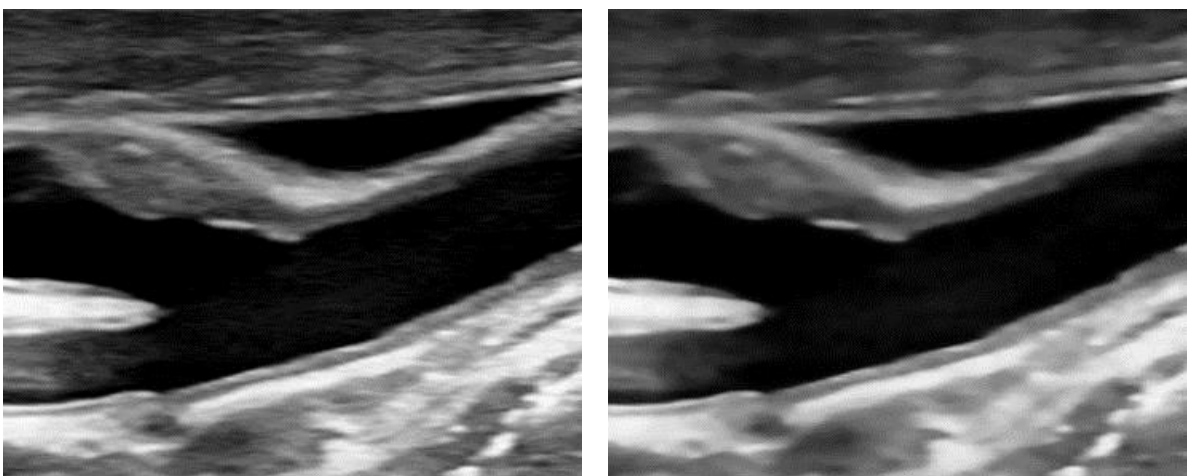
Εικόνα 3.21 Εικόνα Δεδομένων 8: Αρχική Εικόνα (αριστερά) , Εφαρμογή
Καθοδηγούμενου Φίλτρου (δεξιά)



Εικόνα 3.22 Εικόνα Δεδομένων 9: Αρχική Εικόνα (αριστερά) ,
Εφαρμογή Καθοδηγούμενου Φίλτρου (δεξιά)



Εικόνα 3.23 Εικόνα Δεδομένων 10: Αρχική Εικόνα (αριστερά) ,
Εφαρμογή Καθοδηγούμενου Φίλτρου (δεξιά)



Εικόνα 3.24 Εικόνα Δεδομένων 11: Αρχική Εικόνα (αριστερά) , Εφαρμογή Καθοδηγούμενου
Φίλτρου (δεξιά)

Τα αποτελέσματα των δύο φίλτρων είναι παρόμοια και κρίθηκε αμελητέα η διαφορά τους. Τελικά επιλέχθηκε το καθοδηγούμενο φίλτρο επειδή θεωρείται πιο γρήγορο.

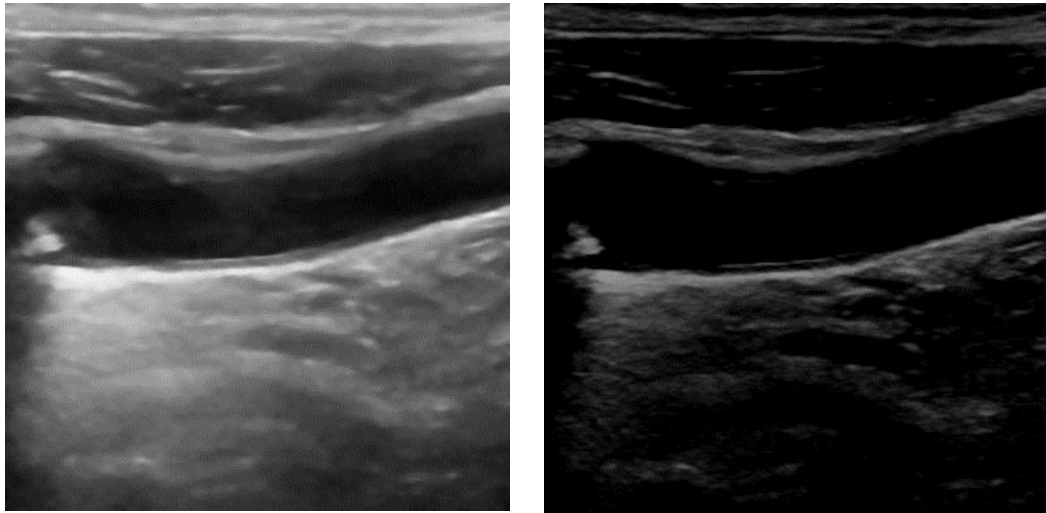
Τα παρακάτω βήματα της διαδικασίας εξαγωγής της αρτηρίας της καρωτίδας θα περιγράφουν με παράδειγμα την Εικόνα Δεδομένων 1. Τα αποτελέσματα των υπόλοιπων Εικόνων των Δεδομένων θα εμφανιστούν στο εδάφιο «3.1.4 Εφαρμογή του Αλγορίθμου Πιθανών Περιοχών Εξαγωγής Καρωτίδας σε Άλλες Εικόνες».

3.1.2 Εξαγωγή Χαρακτηριστικών με Φίλτρα Ενίσχυσης

Το επόμενο στάδιο της προεπεξεργασίας, αφού δηλαδή επιλέχθηκε ότι στον αλγόριθμο θα χρησιμοποιηθεί η φιλτραρισμένη εικόνα που προέκυψε από καθοδηγούμενο φίλτρο, είναι να χρησιμοποιηθούν φίλτρα ώστε να ενισχυθούν τα χαρακτηριστικά του έξω χιτώνα.

3.1.2.1 Διαφορά Αρχικής Εικόνας από Φιλτραρισμένη Εικόνα Gauss

Στο βήμα αυτό έγινε φιλτράρισμα με πολύ μεγάλη τυπική απόκλιση του φίλτρου Gauss, επομένως οι εικόνες που προκύπτουν είναι πολύ θολές, σε βαθμό που δεν ξεχωρίζουν τα αντικείμενα της εικόνας. Η εικόνα που προέκυψε από το καθοδηγούμενου φίλτρου (Guided Filter), αφαιρείται από τη φιλτραρισμένη εικόνα με Gauss, ώστε να διατηρηθούν οι υψηλές συχνότητες. Όταν χρησιμοποιήθηκε φίλτρο Gauss μεγάλης τυπικής απόκλισης, το αποτέλεσμα της αφαίρεσης αναδείκνυε τα αντικείμενα υψηλών συχνοτήτων καθώς αφαιρούσε τον θόρυβο εντός των σκούρων περιοχών (αρτηρία), ενώ όταν χρησιμοποιήθηκε φίλτρο μικρής τυπικής απόκλισης το αποτέλεσμα ήταν οι ακμές των αντικειμένων υψηλής συχνότητας. Έτσι αποδείχτηκε πολύ αποτελεσματικότερο και χρησιμοποιήθηκε φίλτρο Gauss με μεγάλη τυπική απόκλιση, ίση με 50 σε όλες τις περιπτώσεις. Το μέγεθος του φίλτρου καθορίστηκε με βάση την τυπική απόκλιση σ ως εξής: $2 * \text{ceil}(2 * \sigma) + 1$. Στην Εικόνα 3.25 φαίνεται το αποτέλεσμα αυτού του βήματος και η αρχική εξομαλυμένη εικόνα. Παρατηρείται αφαίρεση του θορύβου και εμφανίζονται μόνο οι περιοχές μεγάλης φωτεινότητας.



Εικόνα 3.25 Εικόνα Δεδομένων 1: Φιλτραρισμένη Εικόνα με Guided Filter (αριστερά), Εικόνα που προέκυψε από την αφαίρεση της αρχικής εικόνας που είναι φιλτραρισμένη με Gaussian Filter από την φιλτραρισμένη με Guided Filter (αριστερά) (δεξιά).

3.1.2.2 Φίλτρο Ενίσχυσης Σωληνοειδών Αντικειμένων

Έπειτα έπρεπε να αναδειχθούν τα επιμήκη αντικείμενα υψηλών συχνοτήτων γι' αυτό το σκοπό εφαρμόστηκε η συνάρτηση *fibermetric*. Για την εφαρμογή της συγκεκριμένης συνάρτησης έπρεπε να προσδιορισθούν δύο παράμετροι. Η μια αφορούσε το πάχος των επιμηκών αντικειμένων που θα ενισχυθούν και λεγόταν *thickness*. Η τιμή αυτή, για τις εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη εργασία, πήρε τιμές από 30-60 pixels. Η δεύτερη αποτελούσε ένα κατώφλι που χρησιμοποιείται για να διαφοροποιήσει τα επιμήκη αντικείμενα από αντικείμενα του παρασκηνίου και χρησιμοποιήθηκε η τιμή 5 για όλες τις εικόνες μετά από δοκιμές.

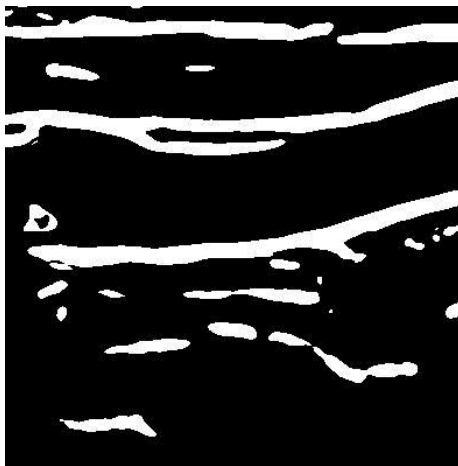
Η παράμετρος *thickness*, για την Εικόνα Δεδομένων 1, επιλέχθηκε να έχει τιμή 40 pixels και το αποτέλεσμα φαίνεται στην Εικόνα 3.26.



Εικόνα 3.26 Εικόνα Δεδομένων 1: Εφαρμογή Φίλτρου Ενίσχυσης Επιμηκών Αντικείμενων

3.1.3 Επεξεργασία με Μορφολογικούς Τελεστές και Εφαρμογή Αλγορίθμου Κατάτμησης

Ο στόχος των μορφολογικών τελεστών είναι να γίνει διόρθωση των ορίων ενώ της κατάτμησης είναι να μετατραπεί η καρωτίδα σε ένα αντικείμενο. Μετά, λοιπόν, την εφαρμογή του φίλτρου ενίσχυσης των επιμηκών αντικειμένων έγινε κατωφλίωση με την χρήση της μεθόδου Otsu, έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια δυαδική εικόνα. Ουσιαστικά, το στάδιο αυτό αποτελεί το τελευταίο στάδιο της προεπεξεργασίας. Στις περισσότερες εικόνες έγινε προσαύξηση της τιμής του κατωφλιού που προέκυπτε από την μέθοδο Otsu κατά 0.2, όπως έγινε και στην Εικόνα Δεδομένων 1. Το αποτέλεσμα της οποίας φαίνεται στην Εικόνα 3.27.



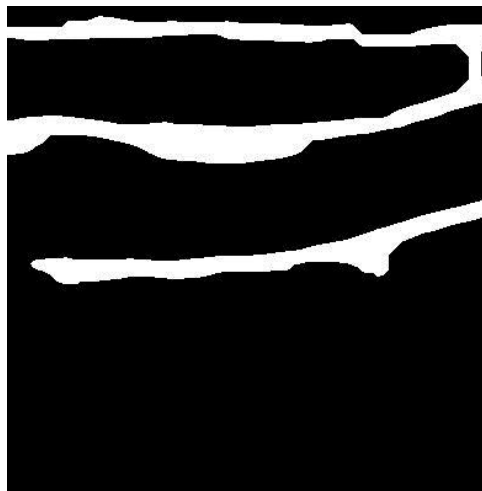
Εικόνα 3.27 Εικόνα Δεδομένων 1: Κατωφλίωση

Όπως φαίνεται στην εικόνα 3.27, εκτός από τις δύο συνεχείς γραμμές που πρέπει να μείνουν σαν αντικείμενα προσκηνίου υπάρχει, εντός της αρτηρίας, ένα αντικείμενο το οποίο πρέπει να αφαιρεθεί καθώς είναι τμήμα της πλάκας και σε αυτή την φάση θεωρείται θόρυβος. Η αφαίρεση των μικρών αντικειμένων στην Εικόνα 3.27 έγινε με κατώφλι 1000pixels. Γενικά το συγκεκριμένο κατώφλι ποικίλει και το εύρος τιμών του είναι μεγάλο ανάλογα με την εικόνα. Εξαρτάται από τα στοιχεία εντός τις αρτηρίας που πρέπει να αφαιρεθούν αλλά και από το γεγονός ότι ταυτόχρονα πρέπει να διατηρηθεί η συνέχεια των αντικείμενων που αντιπροσωπεύουν τον έξω χιτώνα της αρτηρίας. Δεν βρέθηκε τρόπος αυτοματοποίησης αυτής της παραμέτρου. Στην συνέχεια έγινε αφαίρεση των μικρών αντικειμένων μερικά από τα οποία ήταν εντός της αρτηρίας και αποτελούσαν τμήματα πλάκας ή τοιχώματος (Εικόνα 3.28).



Εικόνα 3.28 Εικόνα Δεδομένων 1: Αφαίρεση Μικρών Αντικείμενων

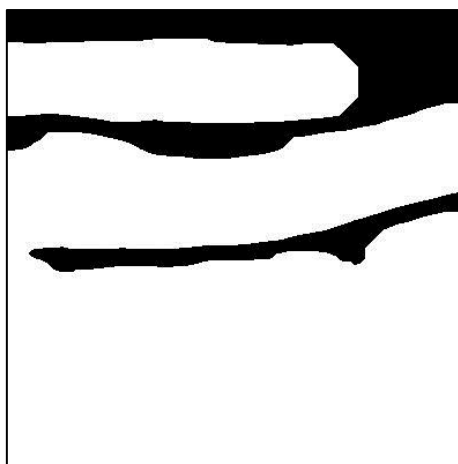
Η εφαρμογή ενός μορφολογικού κλεισίματος υλοποιεί ένωση των αντικειμένων του προσκηνίου. Ο στόχος είναι να γίνει διόρθωση του ορίου και το κατάλληλο δομικό στοιχείο στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι ο δίσκος. Το μέγεθος του δίσκου που χρησιμοποιήθηκε είναι 20pixels σε όλες τις εικόνες, εκτός από μια εξαίρεση (που δόθηκε τιμή 15). Στην Εικόνα 3.29 έχει εφαρμοστεί μορφολογικό κλείσιμο με μέγεθος δίσκου 20pixels.



Εικόνα 3.29 Εικόνα Δεδομένων 1: Μορφολογικό Κλείσιμο

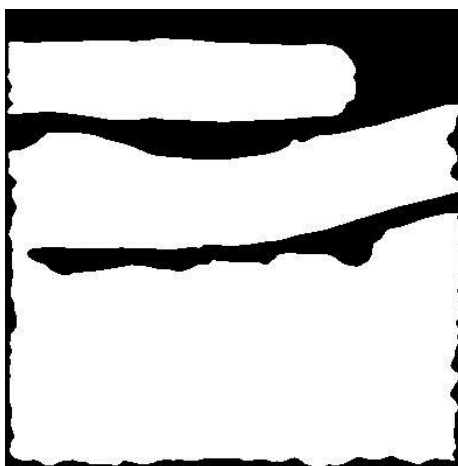
Το επόμενο βήμα είναι να γίνει αντιστροφή της δυαδικής εικόνας ώστε επιφάνεια της αρτηρίας να αποτελεί αντικείμενο του προσκηνίου (λευκό αντικείμενο). Κατόπιν πραγματοποιείται μορφολογικό άνοιγμα με δομικό στοιχείο τον δίσκο και μέγεθος 15, 20, 30 και 35pixels. Στην Εικόνα Δεδομένων 1 το μέγεθος του δομικού στοιχείο είναι η τιμή 20, η οποία είναι η τιμή που

χρησιμοποιήθηκε στην πλειονότητα των εικόνων. Το αποτέλεσμα της αντιστροφής και του ανοίγματος φαίνεται στην Εικόνα 3.30.



Εικόνα 3.30 Εικόνα Δεδομένων 1: Αντιστροφή Δυαδικής Εικόνας και Εφαρμογή Πρώτου Μορφολογικού Ανοίγματος

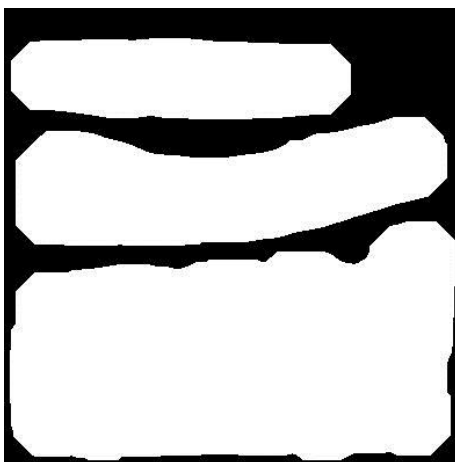
Στο στάδιο αυτό εφαρμόστηκαν ενεργά περιγράμματα (*active contour edges*) ώστε να δημιουργηθεί ένα αντικείμενο περιμετρικά της εικόνας που να αποτελεί μέρος του παρασκηνίου. Το βήμα αυτό αποτελεί τέχνασμα ώστε σε επόμενο βήμα να ξεχωρίσει η αρτηρία ως ένα ενιαίο αντικείμενο που δεν ενώνεται με άλλα αντικείμενα. Η παράμετρος που προσδιορίστηκε είναι εκείνη του αριθμού των επαναλήψεων και έχει την τιμή 100 για όλες τις εικόνες των δεδομένων.



Εικόνα 3.31 Εικόνα Δεδομένων 1: Πρώτη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων

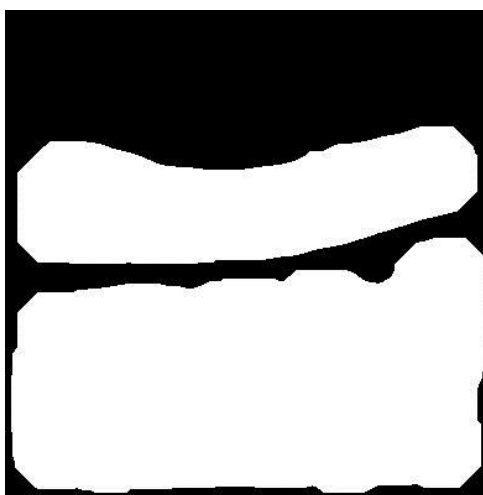
Στην συνέχεια εφαρμόζεται για δεύτερη φορά μορφολογικό άνοιγμα ώστε να κλείσει το αντικείμενο της αρτηρίας. Το άνοιγμα έγινε με δομικό στοιχείο δίσκο

και τιμή μεγέθους 30 ή 35pixels ανάλογα την εικόνα. Στην Εικόνα 3.32 το μέγεθος του δομικού στοιχείου είναι 30pixels.



**Εικόνα 3.32 Εικόνα Δεδομένων 1:
Εφαρμογή Δεύτερου Μορφολογικού
Ανοίγματος**

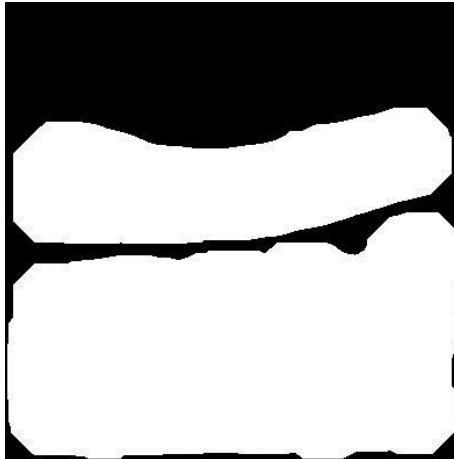
Σε αυτό το σημείο αφαιρέθηκε, εάν υπήρχε, αντικείμενο μικρότερο του αντικειμένου της αρτηρίας από την Εικόνα 3.32. Αυτό το βήμα αποτελεί προαιρετικό καθώς μπορεί να μην υπάρχει αντικείμενο μικρότερο της αρτηρίας και επιπλέον το αντικείμενο της αρτηρίας, έτσι κι αλλιώς, θα ξεχωρίσει από τα άλλα αντικείμενα στο πρώτο στάδιο της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης. Ουσιαστικά η υλοποίηση του βήματος αυτού αφορά την δημιουργία μιας πιο απλοποιημένης δυαδικής εικόνας.



**Εικόνα 3.33 Εικόνα Δεδομένων 1: Αφαίρεση
Αντικειμένου Μικρότερου από την Αρτηρία**

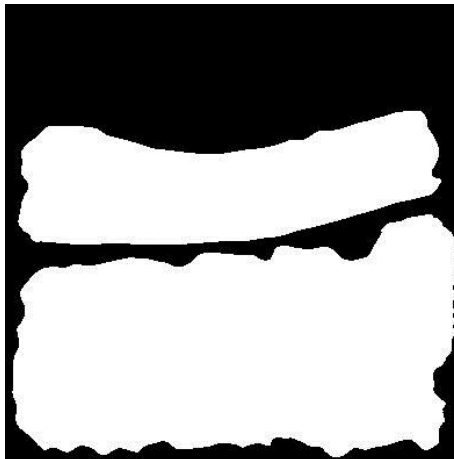
Η αρτηρία έχει πλέον εξαχθεί, όμως, παρατηρήθηκε πως σε κάποιες εικόνες πως τα όριά της έχαναν λίγο σε ακρίβεια και συγκεκριμένα βρίσκονταν πάνω στον έσω χιτώνα της αρτηρίας. Έτσι προστέθηκαν επιπλέον βήματα ώστε

να επαναπροσδιοριστούν τα όρια της. Το πρώτο βήμα του επαναπροσδιορισμού είναι να γίνει διαστολή. Το δομικό στοιχείο ήταν ο δίσκος και το μέγεθος αυτού διαφέρει από 3-8 ανάλογα με την εικόνα. Δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από 10 γιατί αλλοιώνονται πολύ τα όρια της αρτηρίας και δεν μπορεί να προσαρμοστεί ο αλγόριθμος κατάτμησης στην σωστή γραμμή (έξω χιτώνας) ο αλγόριθμος κατάτμησης.



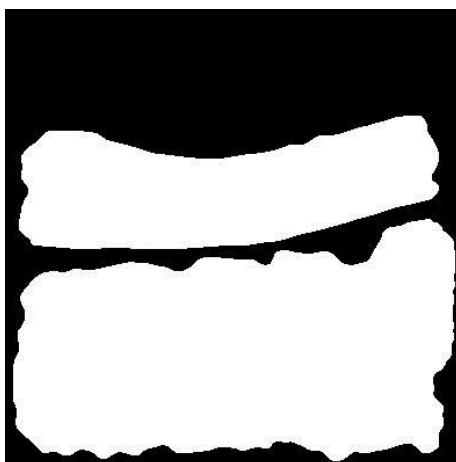
**Εικόνα 3.34 Εικόνα Δεδομένων 1:
Εφαρμογή Διαστολής**

Έπειτα εφαρμόστηκε για δεύτερη φορά ο αλγόριθμος κατάτμησης ενεργών περιγραμμάτων στην Εικόνα 3.34, με αριθμό επαναλήψεων 200.



**Εικόνα 3.35 Εικόνα Δεδομένων 1:
Δεύτερη Εφαρμογή Ενεργών
Περιγραμμάτων**

Τέλος έγινε ένα επιπλέον μορφολογικό άνοιγμα με δομικό στοιχείο τον δίσκο και μέγεθος τάξης μεγέθους 5pixels ώστε να ομαλοποιηθούν τα όρια. Η αλλαγή που προκαλεί το στάδιο αυτό είναι αμελητέα.



**Εικόνα 3.36 Εικόνα Δεδομένων 1:
Τρίτη Εφαρμογή Μορφολογικού
Ανοίγματος - Τελική Δυαδική Εικόνα**

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου για την Εικόνα Δεδομένων 1, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.37, είναι καλό. Η πληροφορία του μέσω και έσω χιτώννα και της πλάκας είναι εντός του αντικειμένου του προσκηνίου της δυαδικής εικόνας.

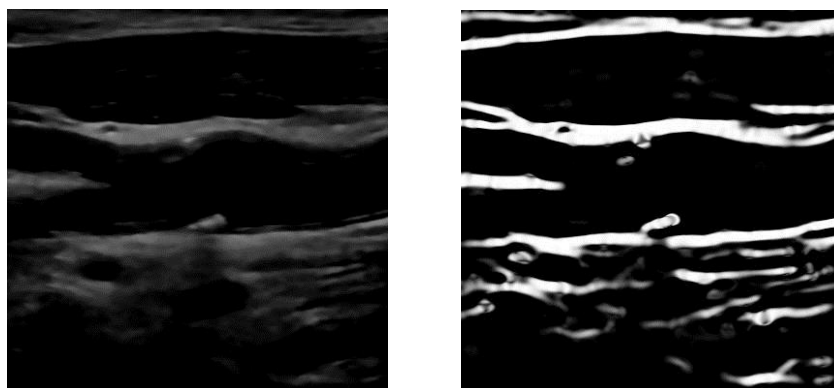


**Εικόνα 3.37 Εικόνα Δεδομένων 1:
Αρχική Εικόνα με Όρια της Δυαδικής
Εικόνας**

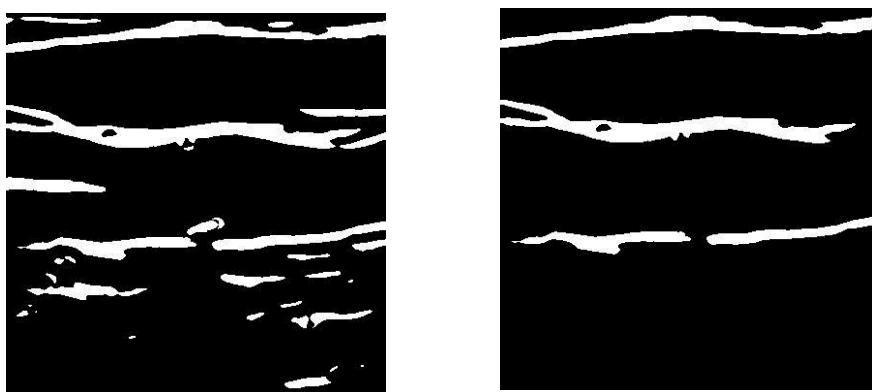
3.1.4 Εφαρμογή του Αλγορίθμου Πιθανών Περιοχών Εξαγωγής Καρωτίδας σε Άλλες Εικόνες

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα των σταδίων του αλγορίθμου για την κάθε Εικόνα Δεδομένων. Στο «7.1 Παράμετροι Αλγορίθμου Εξαγωγής Καρωτιδικής Αρτηρίας» θα παρουσιαστούν αναλυτικά σε πίνακα, όλες οι τιμές των παραμέτρων του αλγορίθμου που χρησιμοποιήθηκαν ανά εικόνα.

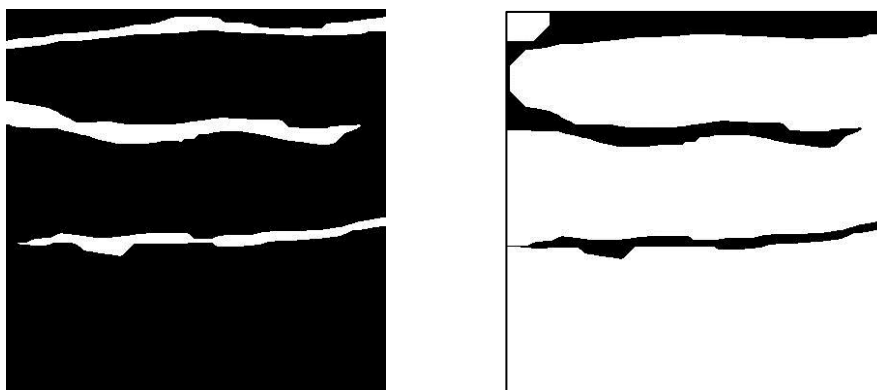
Εικόνα Δεδομένων 2



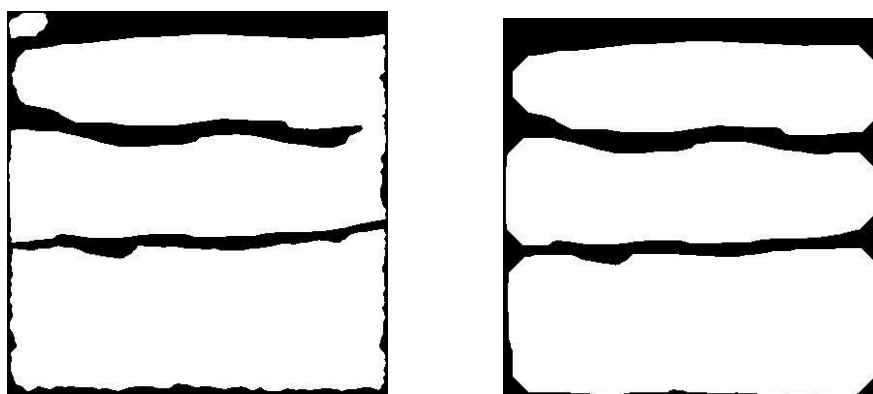
Εικόνα 3.38 Εικόνα Δεδομένων 2: Εικόνα που προέκυψε από την αφαίρεση της αρχικής εικόνας που είναι φιλτραρισμένη με Gaussian Filter από την φιλτραρισμένη με Guided Filter (αριστερά), Εφαρμογή Φίλτρου Ενίσχυσης Επιμηκών Αντικείμενων (δεξιά)



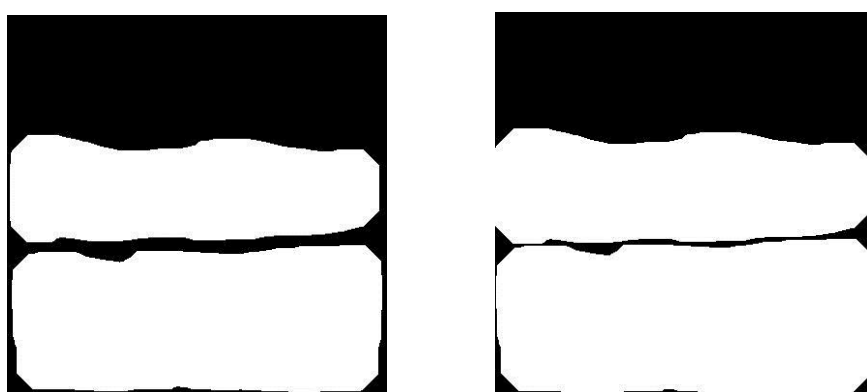
Εικόνα 3.39 Εικόνα Δεδομένων 2: Κατωφλίωση (αριστερά), Αφαίρεση Μικρών Αντικείμενων (δεξιά)



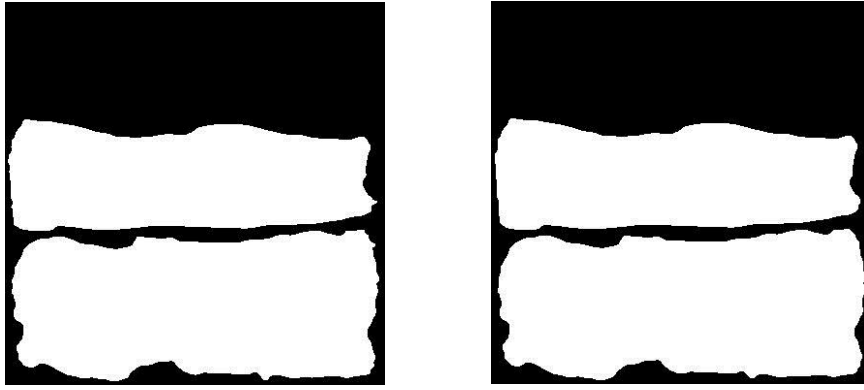
Εικόνα 3.40 Εικόνα Δεδομένων 2: Μορφολογικό Κλείσιμο (αριστερά), Αντιστροφή Δυαδικής Εικόνας και Πρώτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



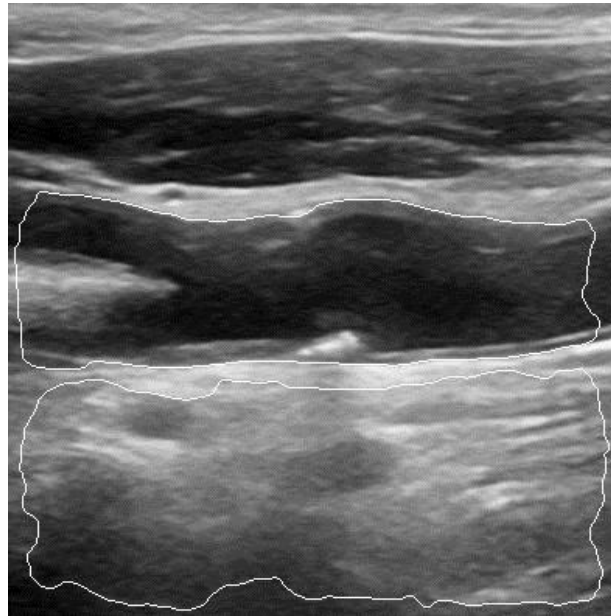
Εικόνα 3.41 Εικόνα Δεδομένων 2: Πρώτη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Δεύτερη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



Εικόνα 3.42 Εικόνα Δεδομένων 2: Αφαίρεση Αντικειμένου Μικρότερου από την Αρτηρία (αριστερά), Εφαρμογή Διαστολής (δεξιά)



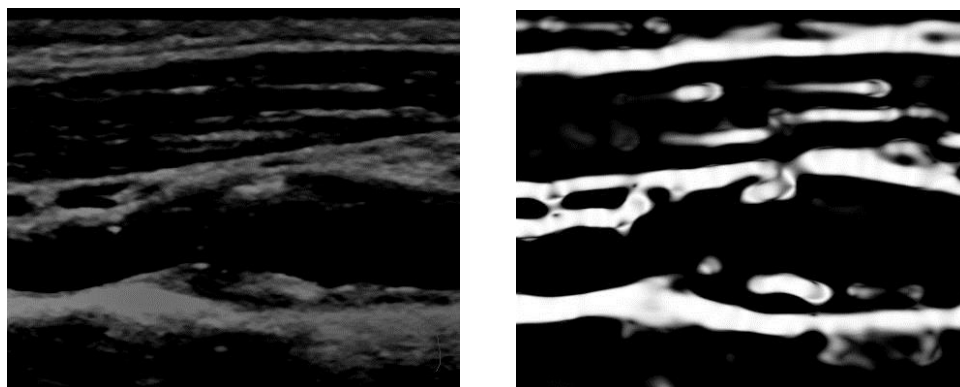
Εικόνα 3.43 Εικόνα Δεδομένων 2: Δεύτερη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Τρίτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος - Τελική Δυαδική Εικόνα (δεξιά)



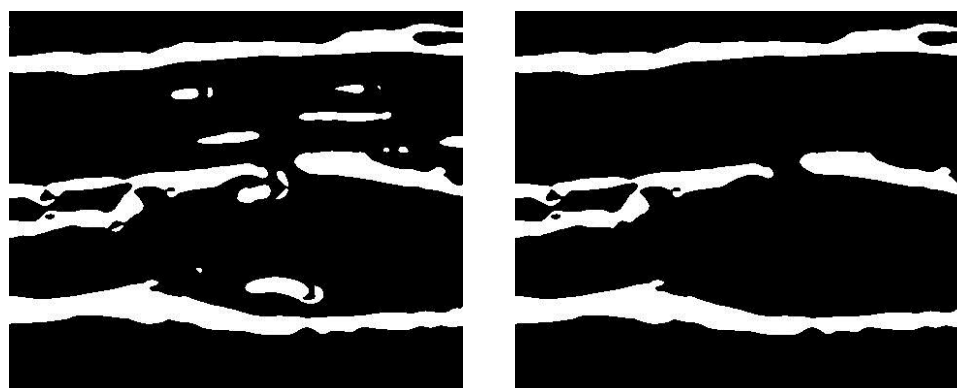
Εικόνα 3.44 Εικόνα Δεδομένων 2: Αρχική Εικόνα με Όρια της Δυαδικής Εικόνας

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου για την Εικόνα Δεδομένων 2 είναι, επίσης πολύ ικανοποιητικό. Δεν χάνεται καμία σημαντική πληροφορία και τα όρια του αντικειμένου του προσκηνίου που αντιστοιχεί στην αρτηρία εφαρμόζουν καλά στον έξω χιτώνα.

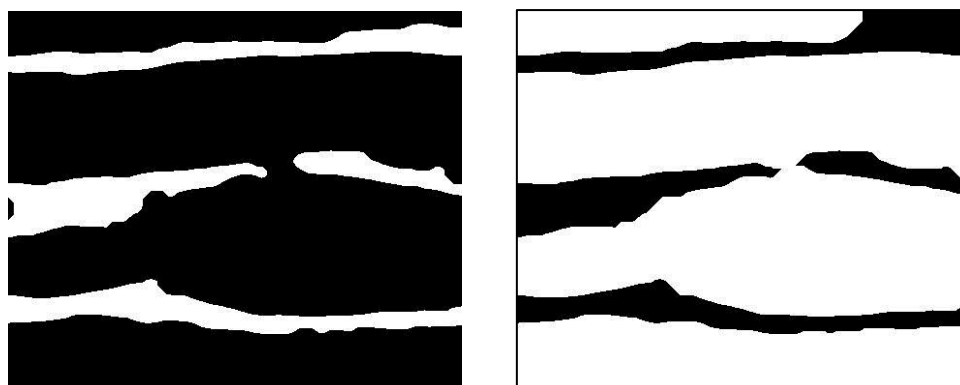
Εικόνα Δεδομένων 3



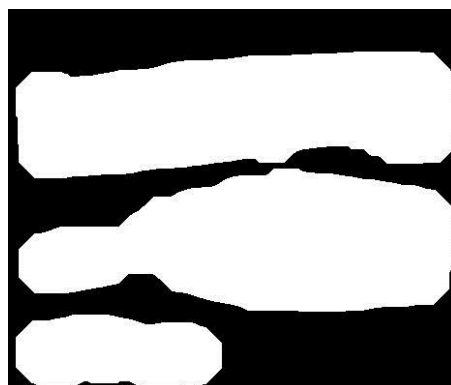
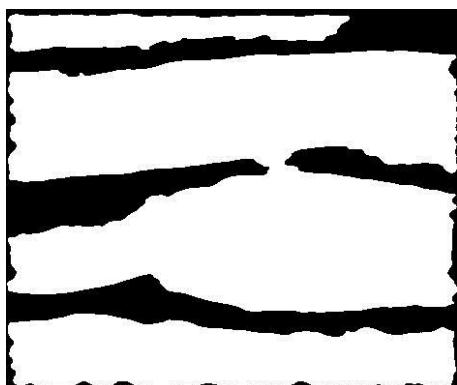
Εικόνα 3.45 Εικόνα Δεδομένων 3: Εικόνα που προέκυψε από την αφαίρεση της αρχικής εικόνας που είναι φιλτραρισμένη με Gaussian Filter από την φιλτραρισμένη με Guided Filter (αριστερά), Εφαρμογή Φίλτρου Ενίσχυσης Επιμηκών Αντικείμενων (δεξιά)



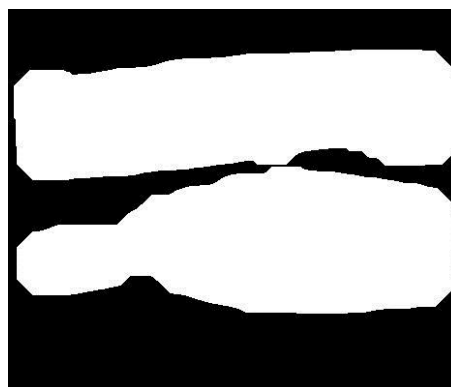
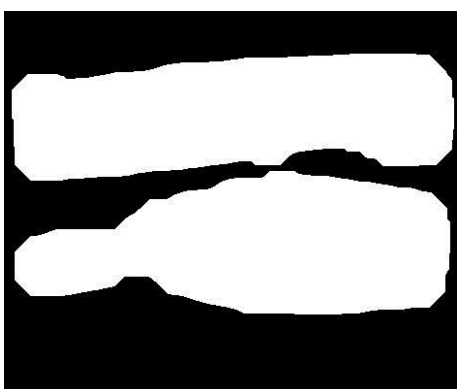
Εικόνα 3.46 Εικόνα Δεδομένων 3: Κατωφλίωση (αριστερά), Αφαίρεση Μικρών Αντικείμενων (δεξιά)



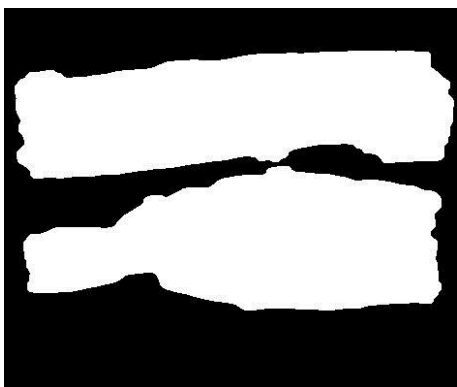
Εικόνα 3.47 Εικόνα Δεδομένων 3: Μορφολογικό Κλείσιμο (αριστερά), Αντιστροφή Δυαδικής Εικόνας και Πρώτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



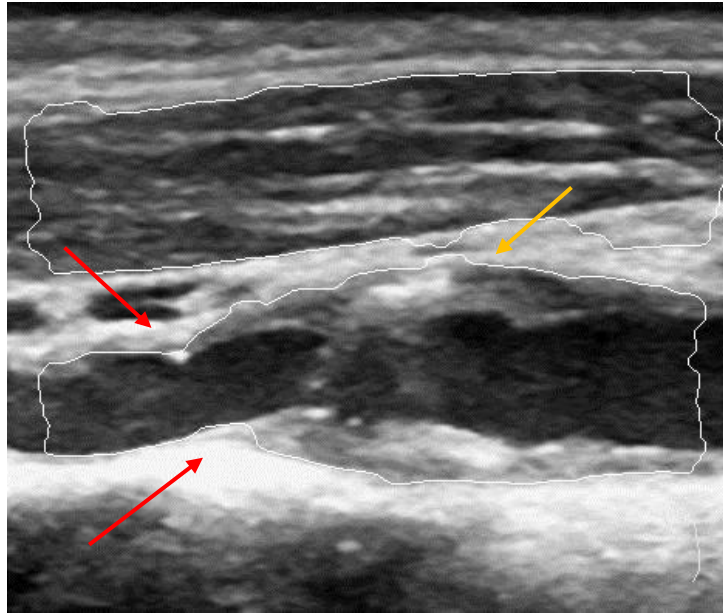
Εικόνα 3.48 Εικόνα Δεδομένων 3: Πρώτη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Δεύτερη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



Εικόνα 3.49 Εικόνα Δεδομένων 3: Αφαίρεση Αντικειμένου Μικρότερου από την Αρτηρία (αριστερά), Εφαρμογή Διαστολής (δεξιά)



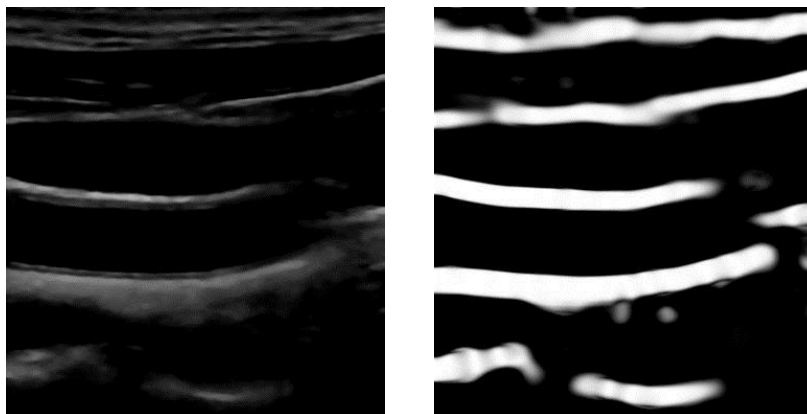
Εικόνα 3.50 Εικόνα Δεδομένων 3: Δεύτερη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (2) (αριστερά), Τρίτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος - Τελική Δυαδική Εικόνα (δεξιά)



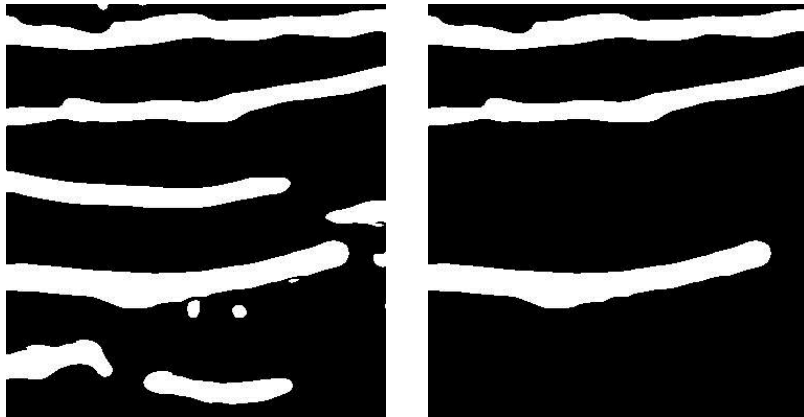
Εικόνα 3.51 Εικόνα Δεδομένων 3: Αρχική Εικόνα με Όρια της Δυναδικής Εικόνας, Σημεία που υπάρχει απόκλιση από το πραγματικό όριο της αρτηρίας (κόκκινα βέλη), Η γραμμή του ορίου έπρεπε να είναι πιο ομαλή (κίτρινο βέλος)

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου για την Εικόνα Δεδομένων 3 δεν είναι τόσο καλό όσο τα προηγούμενα δύο (Εικόνας Δεδομένων 1, Εικόνας Δεδομένων 2). Παρά τις μικρές αποκλίσεις θεωρήθηκε αρκετά καλή προσέγγισή δεδομένου των δυσκολιών.

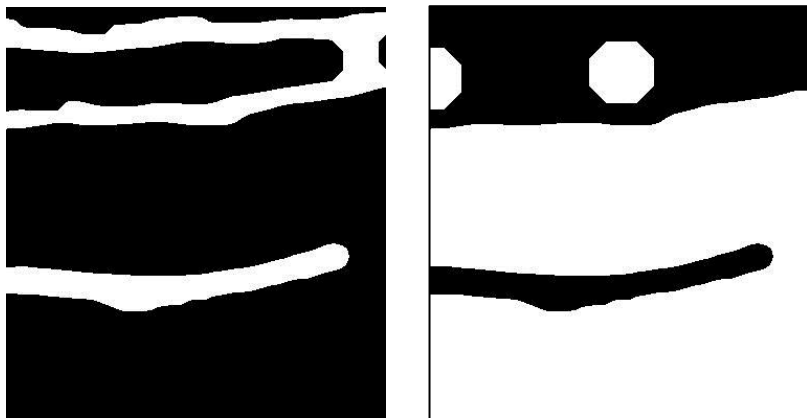
Εικόνα Δεδομένων 4



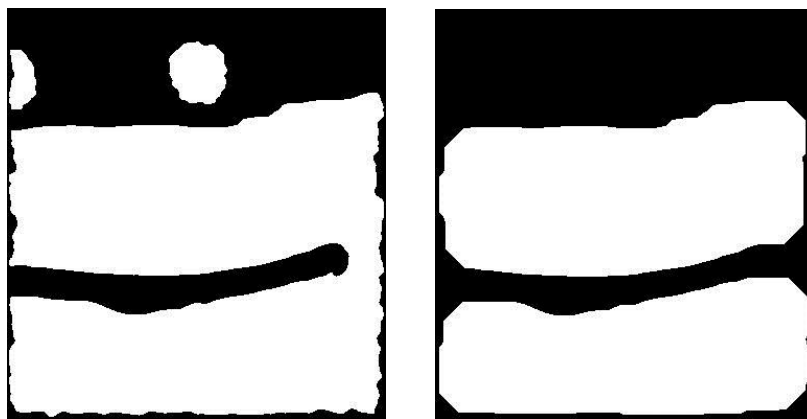
Εικόνα 3.52 Εικόνα Δεδομένων 4:Εικόνα που προέκυψε από την αφαίρεση της αρχικής εικόνας που είναι φιλτραρισμένη με Gaussian Filter από την φιλτραρισμένη με Guided Filter (αριστερά), Εφαρμογή Φίλτρου Ενίσχυσης Επιμηκών Αντικείμενων (δεξιά)



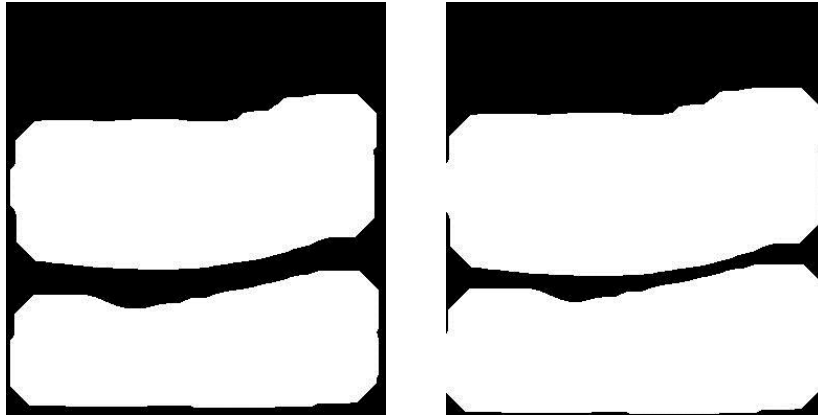
Εικόνα 3.53 Εικόνα Δεδομένων 4: Κατωφλίωση (αριστερά), Αφαίρεση Μικρών Αντικείμενων (δεξιά)



Εικόνα 3.54 Εικόνα Δεδομένων 4: Μορφολογικό Κλείσιμο (αριστερά), Αντιστροφή Δυαδικής Εικόνας και Πρώτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



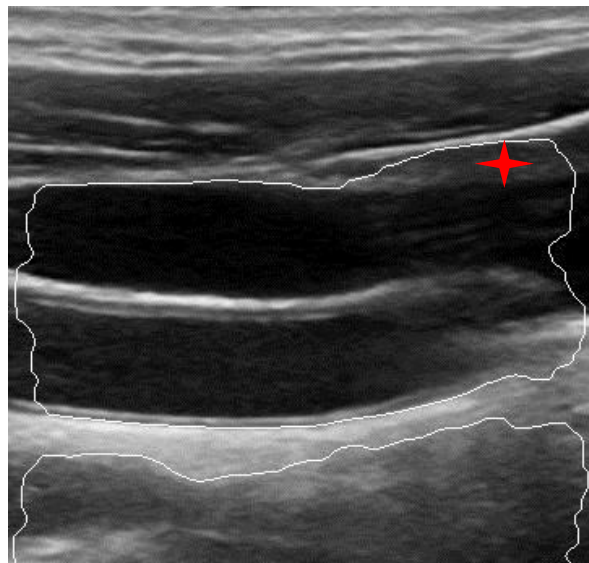
Εικόνα 3.55 Εικόνα Δεδομένων 4: Πρώτη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Δεύτερη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



Εικόνα 3.56 Εικόνα Δεδομένων 4: Αφαίρεση Αντικειμένου Μικρότερου από την Αρτηρία (αριστερά), Εφαρμογή Διαστολής (δεξιά)



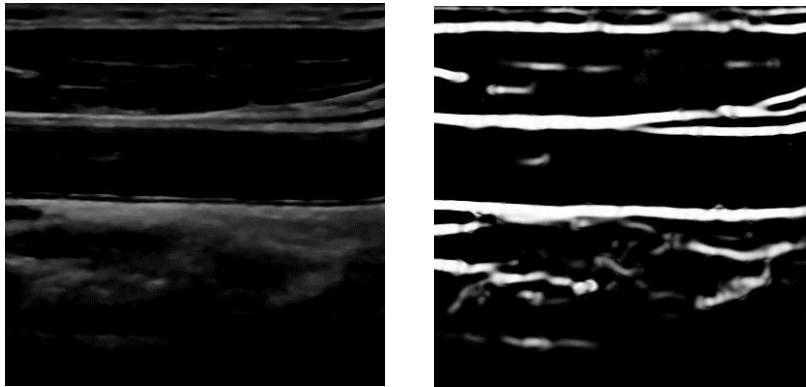
Εικόνα 3.57 Εικόνα Δεδομένων 4: Δεύτερη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Τρίτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος - Τελική Δυαδική Εικόνα (δεξιά)



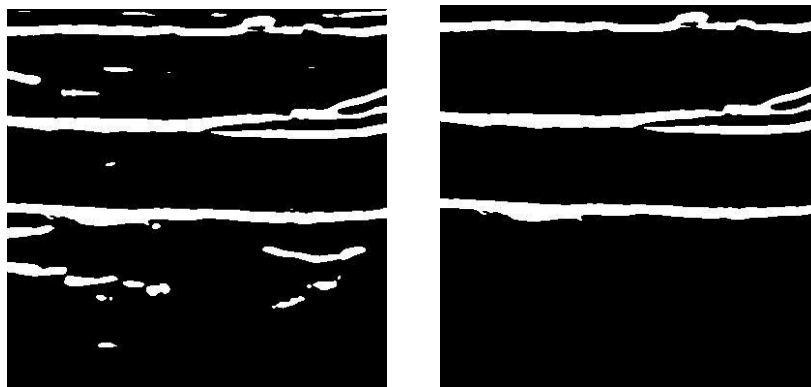
Εικόνα 3.58 Εικόνα Δεδομένων 4: Αρχική Εικόνα με Όρια της Δυαδικής Εικόνας, Επισήμανση Λανθασμένου Ορίου Αρτηρίας καθώς πρόκειται για Περιοχή Ιστού (κόκκινο αστέρι)

Στο αποτέλεσμα του αλγορίθμου για την Εικόνα Δεδομένων 4 υπάρχει δυσκολία στον εντοπισμό του έξω χιτώνα σε συγκεκριμένη περιοχή (κόκκινο αστέρι-Εικόνα 3.58) επειδή στο συγκεκριμένο σημείο ο έξω χιτώνας δεν έχει υψηλή συχνότητα.

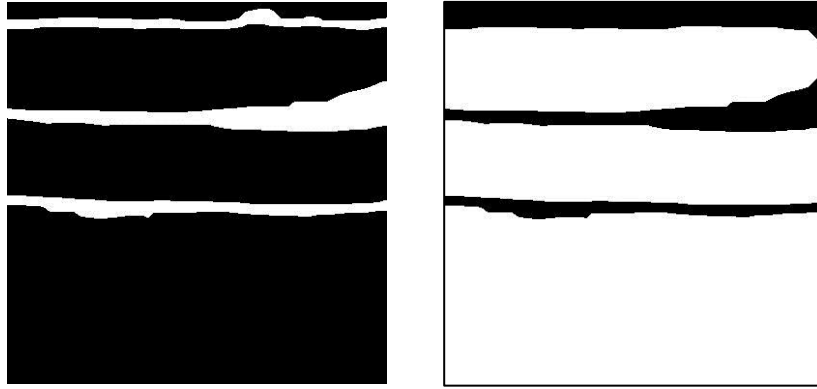
Εικόνες Δεδομένων 5



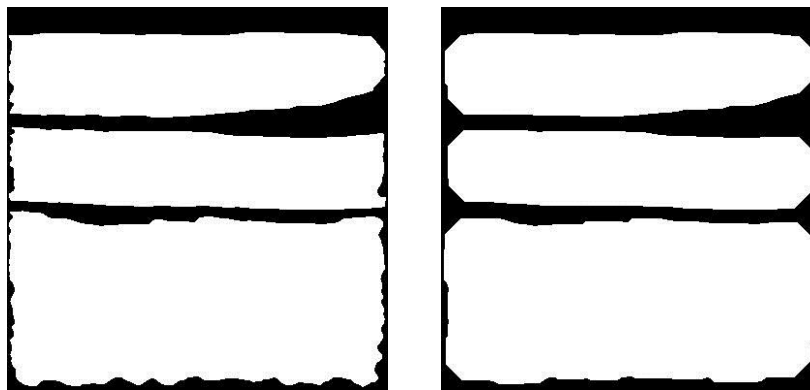
Εικόνα 3.59 Εικόνα Δεδομένων 5: Εικόνα που προέκυψε από την αφαίρεση της αρχικής εικόνας που είναι φιλτραρισμένη με Gaussian Filter από την φιλτραρισμένη με Guided Filter (αριστερά), Εφαρμογή Φίλτρου Ενίσχυσης Επιμηκών Αντικείμενων (δεξιά)



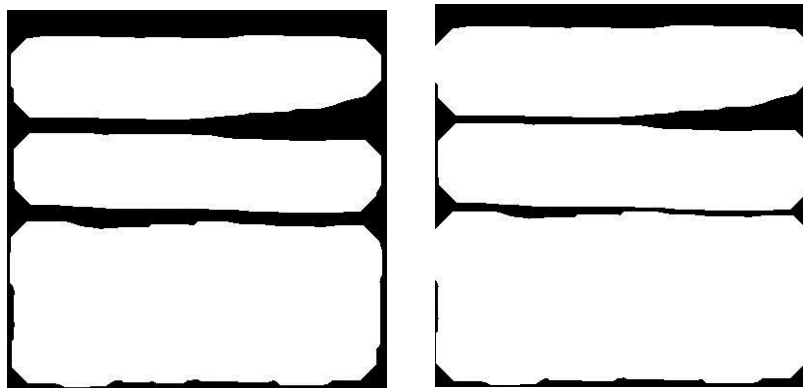
Εικόνα 3.60 Εικόνα Δεδομένων 5: Κατωφλίωση (αριστερά), Αφαίρεση Μικρών Αντικείμενων (δεξιά)



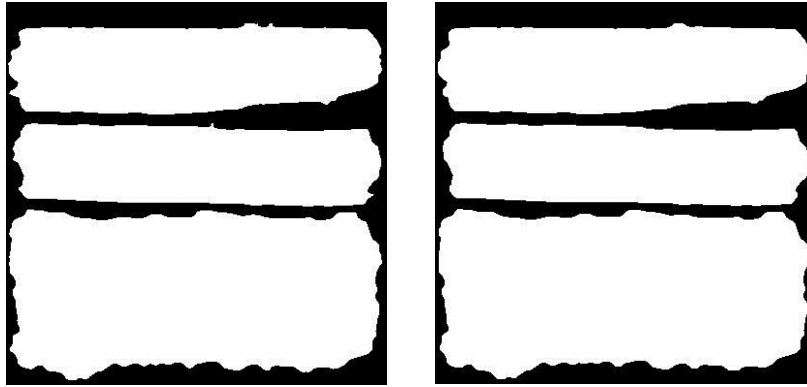
Εικόνα 3.61 Εικόνα Δεδομένων 5: Μορφολογικό Κλείσιμο (αριστερά), Αντιστροφή Δυαδικής Εικόνας και Πρώτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



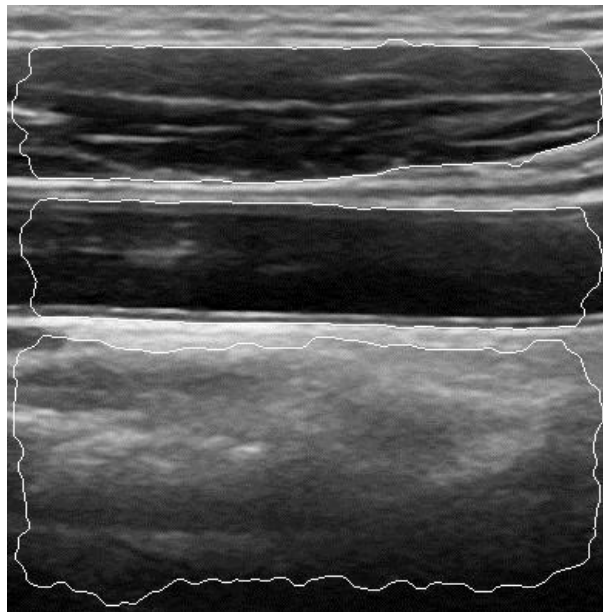
Εικόνα 3.62 Εικόνα Δεδομένων 5: Πρώτη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Δεύτερη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



Εικόνα 3.63 Εικόνα Δεδομένων 5: Αφαίρεση Αντικειμένου Μικρότερου από την Αρτηρία (αριστερά), Εφαρμογή Διαστολής (δεξιά)



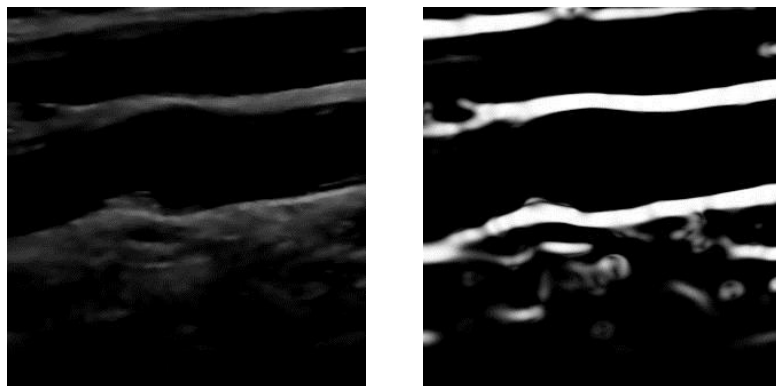
Εικόνα 3.64 Εικόνα Δεδομένων 5: Δεύτερη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Τρίτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος - Τελική Δυαδική Εικόνα (δεξιά)



Εικόνα 3.65 Εικόνα Δεδομένων 5: Αρχική Εικόνα με Όρια της Δυαδικής Εικόνας

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου για την Εικόνα Δεδομένων 5 είναι καλό.

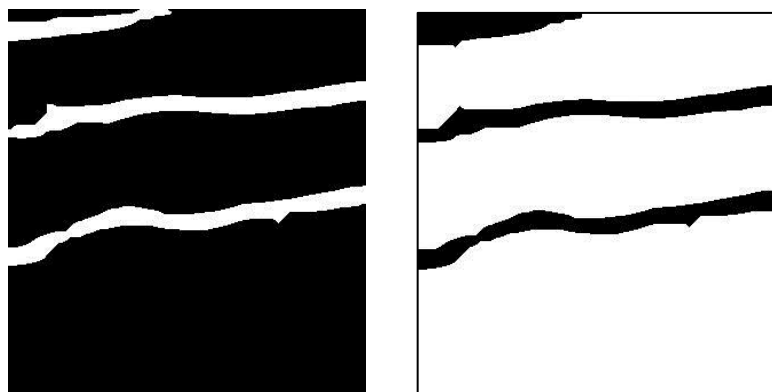
Εικόνες Δεδομένων 6



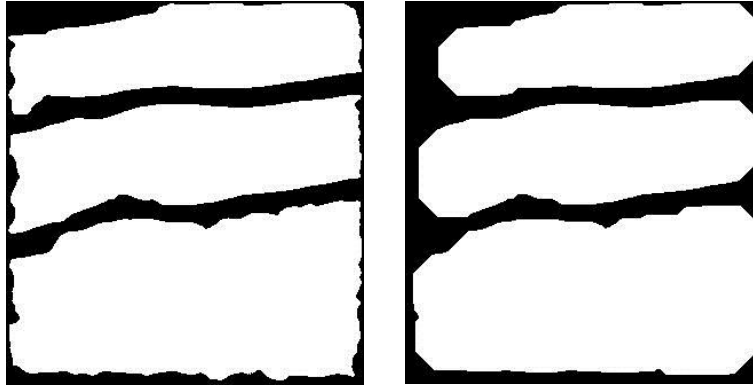
Εικόνα 3.66 Εικόνα Δεδομένων 6: Εικόνα που προέκυψε από την αφαίρεση της αρχικής εικόνας που είναι φιλτραρισμένη με Gaussian Filter από την φιλτραρισμένη με Guided Filter (αριστερά), Εφαρμογή Φίλτρου Ενίσχυσης Επιμηκών Αντικείμενων (δεξιά)



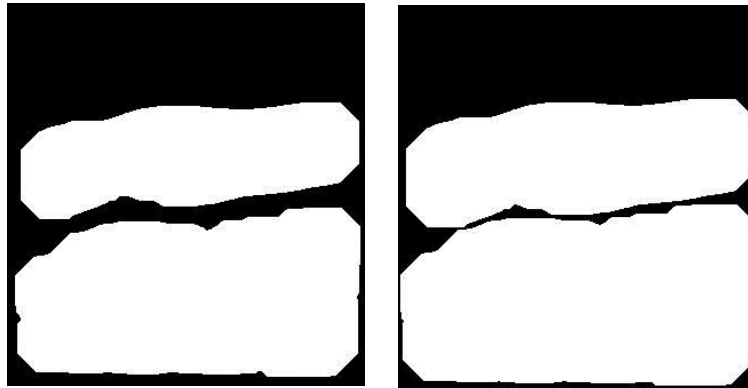
Εικόνα 3.67 Εικόνα Δεδομένων 6: Κατωφλίωση (αριστερά), Αφαίρεση Μικρών Αντικείμενων (δεξιά)



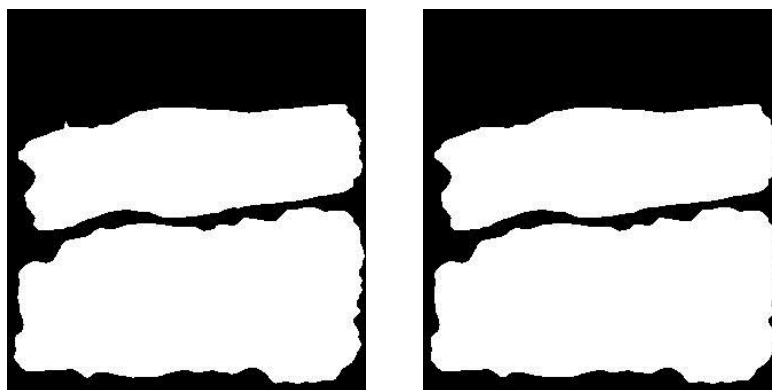
Εικόνα 3.68 Εικόνα Δεδομένων 6: Μορφολογικό Κλείσιμο (αριστερά), Αντιστροφή Δυαδικής Εικόνας και Πρώτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



Εικόνα 3.69 Εικόνα Δεδομένων 6: Πρώτη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Δεύτερη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



Εικόνα 3.70 Εικόνα Δεδομένων 6: Αφαίρεση Αντικειμένου Μικρότερου από την Αρτηρία (αριστερά), Εφαρμογή Διαστολής (δεξιά)



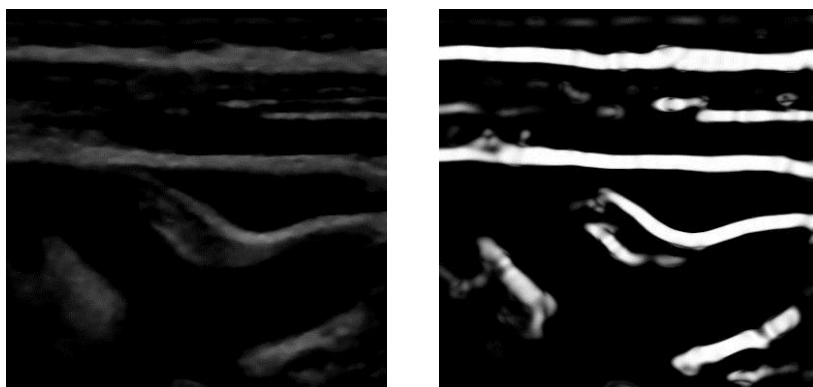
Εικόνα 3.71 Εικόνα Δεδομένων 6: Δεύτερη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Τρίτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος - Τελική Δυαδική Εικόνα (δεξιά)



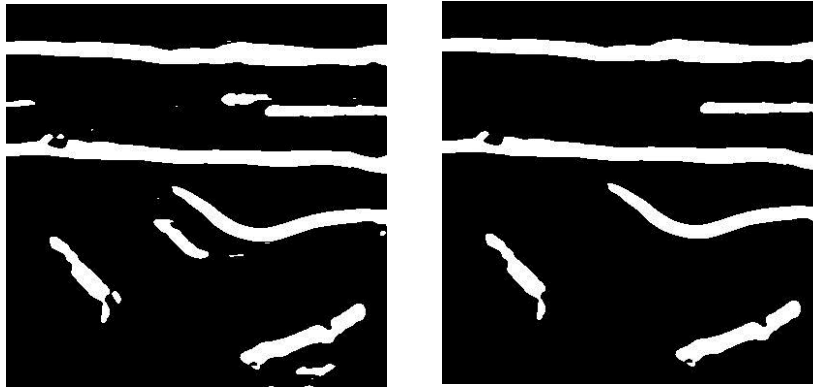
Εικόνα 3.72 Εικόνα Δεδομένων 6: Αρχική Εικόνα με Όρια της Δυαδικής Εικόνας, Περιοχή που αποκλίνει λίγο το αποτέλεσμα του αλγορίθμου από την πραγματικότητα (κόκκινο βέλος)

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.72, για την Εικόνα Δεδομένων 6, είναι αρκετά καλό. Το αντικείμενο της αρτηρία που εξάχθηκε από τον αλγόριθμο έχει μια πολύ μικρή περιοχή που στην πραγματικότητα είναι εκτός της αρτηρίας (κόκκινο βέλος).

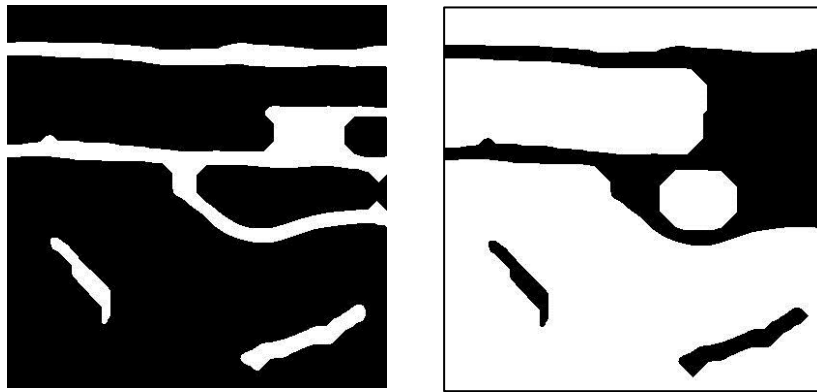
Εικόνα Δεδομένων 7



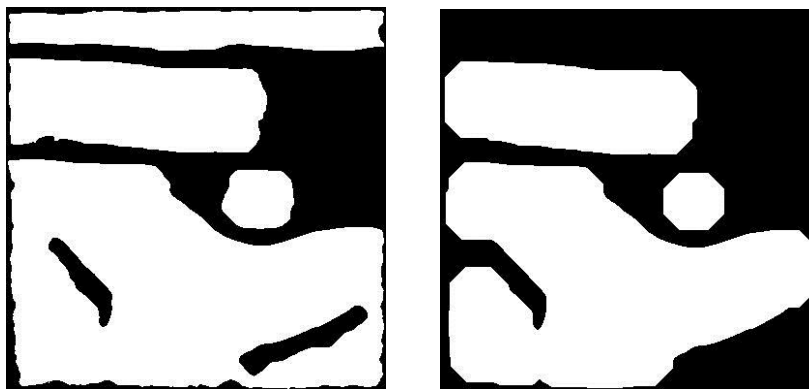
Εικόνα 3.73 Εικόνα Δεδομένων 7: Εικόνα που προέκυψε από την αφαίρεση της αρχικής εικόνας που είναι φιλτραρισμένη με Gaussian Filter από την φιλτραρισμένη με Guided Filter (αριστερά), Εφαρμογή Φίλτρου Ενίσχυσης Επιμηκών Αντικείμενων (δεξιά)



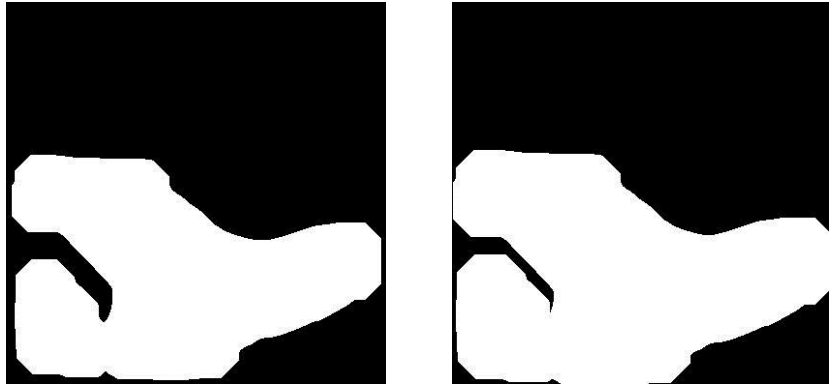
Εικόνα 3.74 Εικόνα Δεδομένων 7: Κατωφλίωση (αριστερά), Αφαίρεση Μικρών Αντικείμενων (δεξιά)



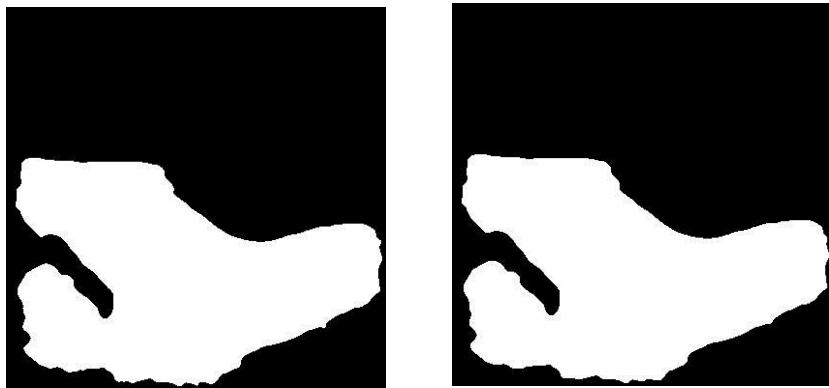
Εικόνα 3.75 Εικόνα Δεδομένων 7: Μορφολογικό Κλείσιμο (αριστερά), Αντιστροφή Δυαδικής Εικόνας και Πρώτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



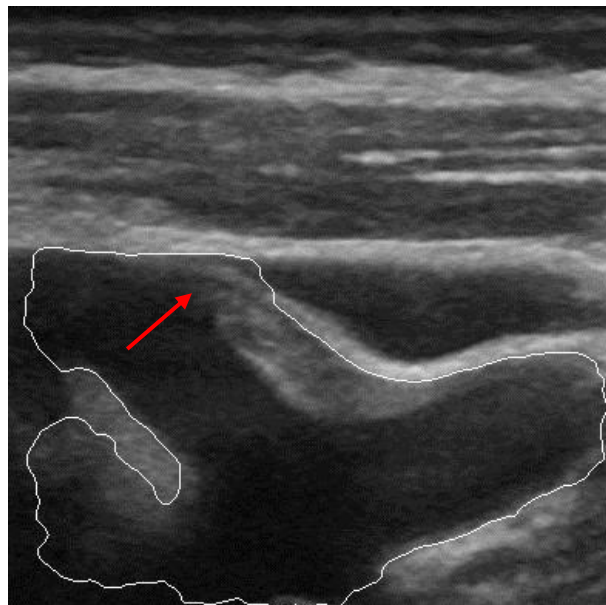
Εικόνα 3.76 Εικόνα Δεδομένων 7: Πρώτη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Δεύτερη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



Εικόνα 3.77 Εικόνα Δεδομένων 7: Αφαίρεση Αντικειμένου Μικρότερου από την Αρτηρία (αριστερά), Εφαρμογή Διαστολής (δεξιά)



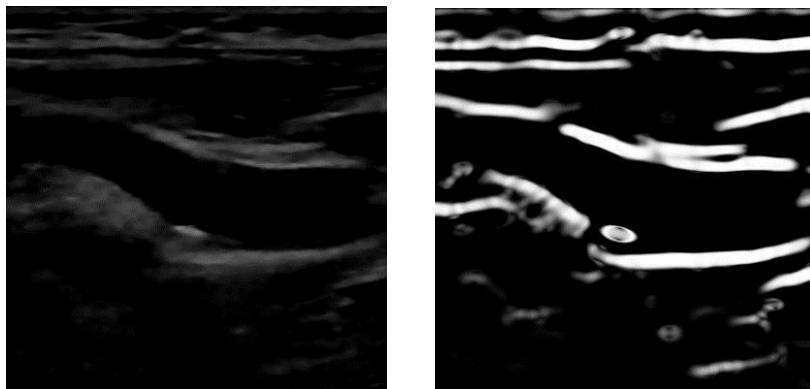
Εικόνα 3.78 Εικόνα Δεδομένων 7: Δεύτερη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Τρίτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος - Τελική Δυαδική Εικόνα (δεξιά)



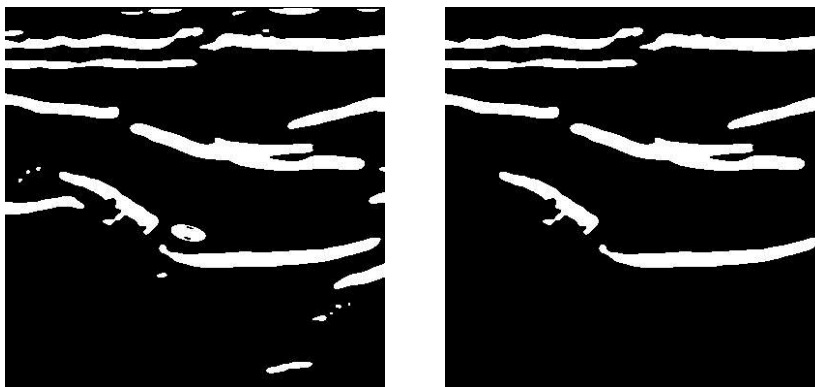
Εικόνα 3.79 Εικόνα Δεδομένων 7: Αρχική Εικόνα με Όρια της Δυαδικής Εικόνας, Περιοχή που αποκλίνει λίγο το αποτέλεσμα του αλγορίθμου από την πραγματικότητα (κόκκινο βέλος)

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.79, για την Εικόνα Δεδομένων 7 είναι αρκετά καλό. Μόνο μια περιοχή δεν ακολούθησε την συνέχεια της γραμμής και παρατηρείται μια μικρή απόκλιση.

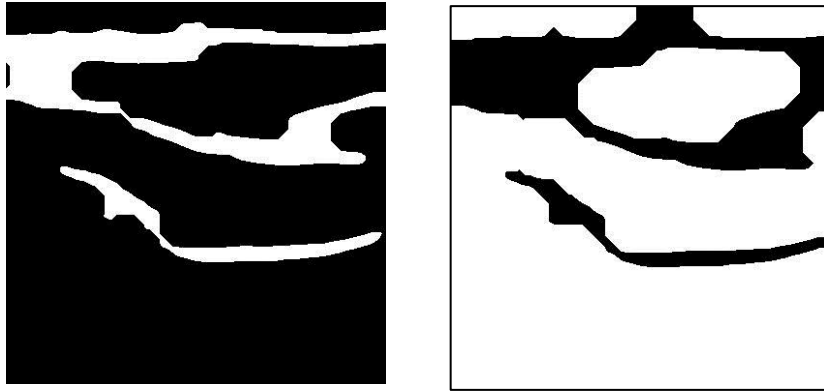
Εικόνα Δεδομένων 8



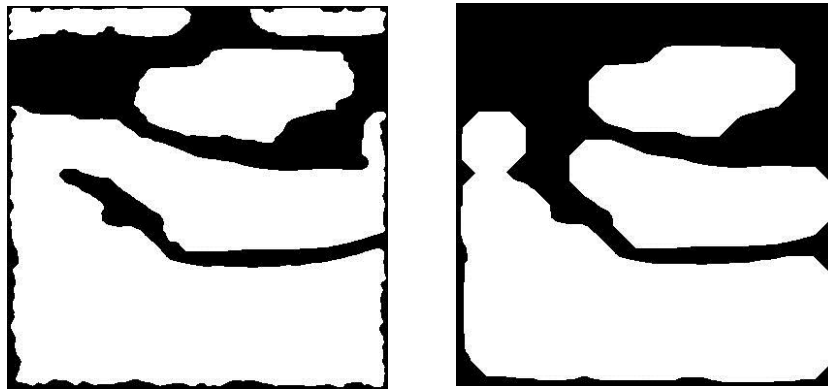
Εικόνα 3.80 Εικόνα Δεδομένων 8: Εικόνα που προέκυψε από την αφαίρεση της αρχικής εικόνας που είναι φιλτραρισμένη με Gaussian Filter από την φιλτραρισμένη με Guided Filter (αριστερά), Εφαρμογή Φίλτρου Ενίσχυσης Επιμηκών Αντικείμενων (δεξιά)



Εικόνα 3.81 Εικόνα Δεδομένων 8: Κατωφλίωση (αριστερά), Αφαίρεση Μικρών Αντικείμενων (δεξιά)



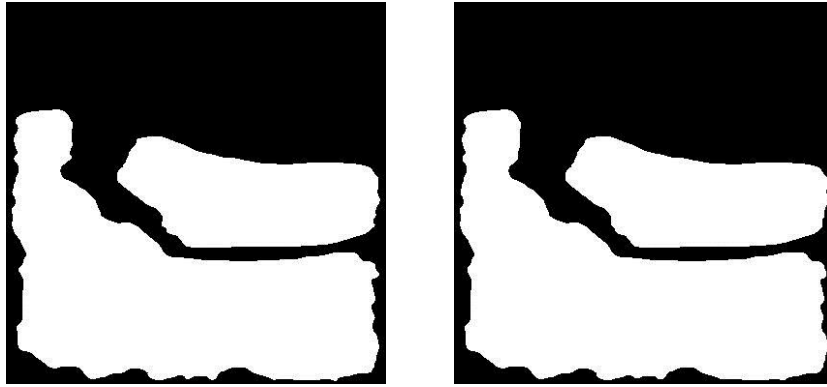
Εικόνα 3.82 Εικόνα Δεδομένων 8: Μορφολογικό Κλείσιμο (αριστερά), Αντιστροφή Δυαδικής Εικόνας και Πρώτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



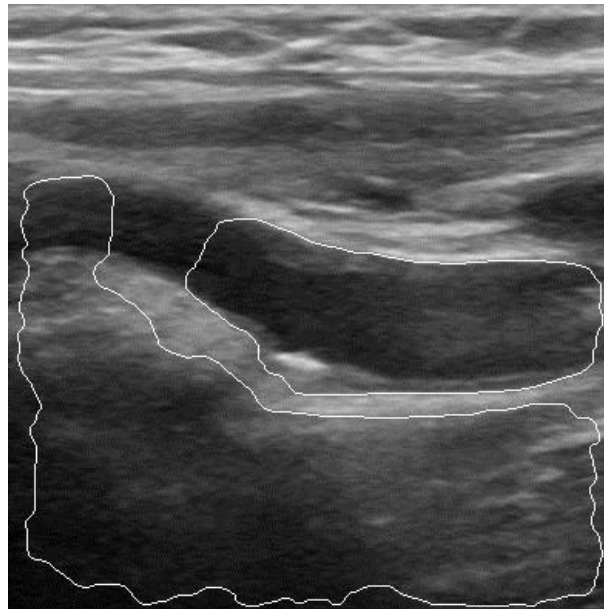
Εικόνα 3.83 Εικόνα Δεδομένων 8: Πρώτη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Δεύτερη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



Εικόνα 3.84 Εικόνα Δεδομένων 8: Αφαίρεση Αντικειμένου Μικρότερου από την Αρτηρία (αριστερά), Εφαρμογή Διαστολής (δεξιά)



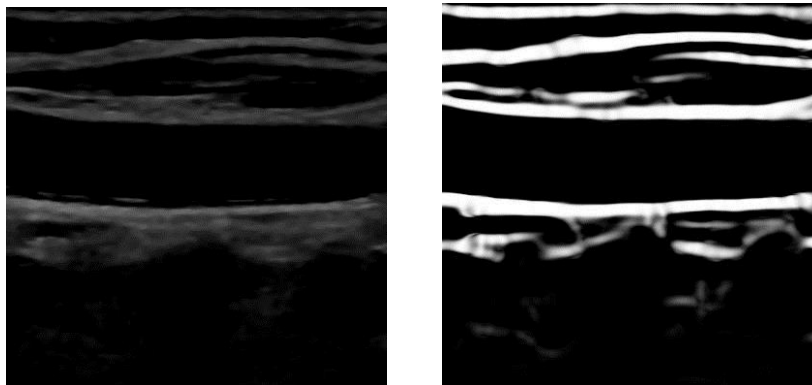
Εικόνα 3.85 Εικόνα Δεδομένων 8: Δεύτερη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Τρίτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος - Τελική Δυαδική Εικόνα (δεξιά)



Εικόνα 3.86 Εικόνα Δεδομένων 8: Αρχική Εικόνα με Όρια της Δυαδικής Εικόνας

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.86, για την Εικόνα Δεδομένων 8 είναι ικανοποιητικό.

Εικόνα Δεδομένων 9



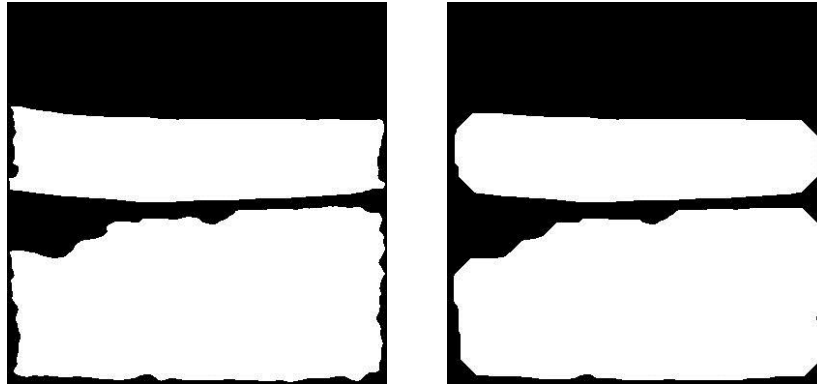
Εικόνα 3.87 Εικόνα Δεδομένων 9: Εικόνα που προέκυψε από την αφαίρεση της αρχικής εικόνας που είναι φιλτραρισμένη με Gaussian Filter από την φιλτραρισμένη με Guided Filter (αριστερά), Εφαρμογή Φίλτρου Ενίσχυσης Επιμηκών Αντικείμενων (δεξιά)



Εικόνα 3.88 Εικόνα Δεδομένων 9: Κατωφλίωση (αριστερά), Αφαίρεση Μικρών Αντικείμενων (δεξιά)



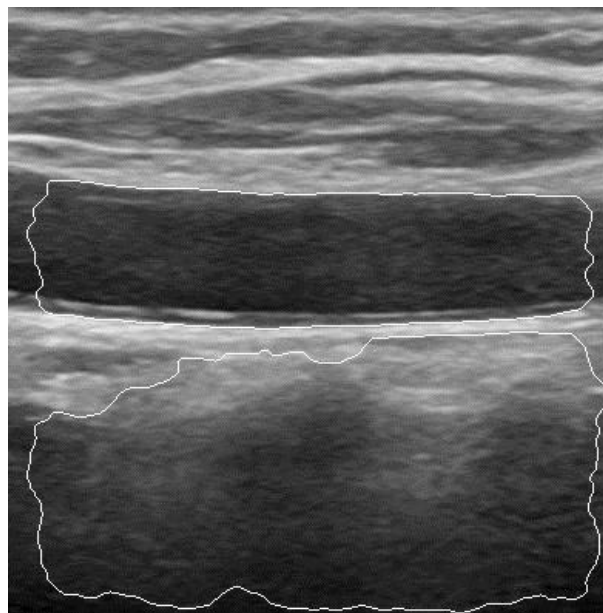
Εικόνα 3.89 Εικόνα Δεδομένων 9: Μορφολογικό Κλείσιμο (αριστερά), Αντιστροφή Δυαδικής Εικόνας και Πρώτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



Εικόνα 3.90 Εικόνα Δεδομένων 9: Πρώτη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Δεύτερη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



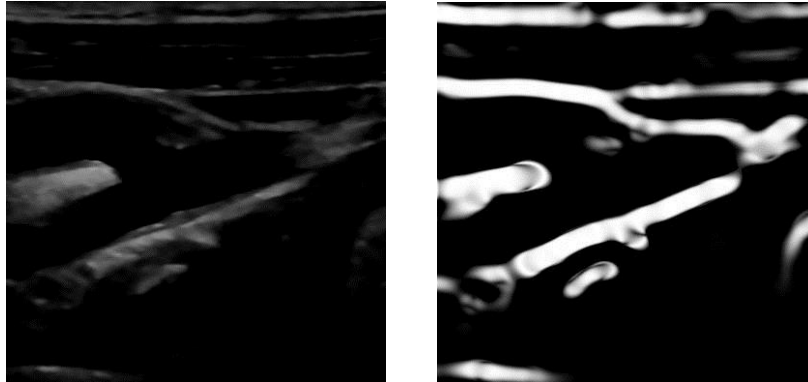
Εικόνα 3.91 Εικόνα Δεδομένων 9: Αφαίρεση Αντικειμένου Μικρότερου από την Αρτηρία (αριστερά), Εφαρμογή Διαστολής (δεξιά)



Εικόνα 3.92 Εικόνα Δεδομένων 9: Δεύτερη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Τρίτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος - Τελική Δυαδική Εικόνα (δεξιά)

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.92, για την Εικόνα Δεδομένων 9 είναι πολύ καλό.

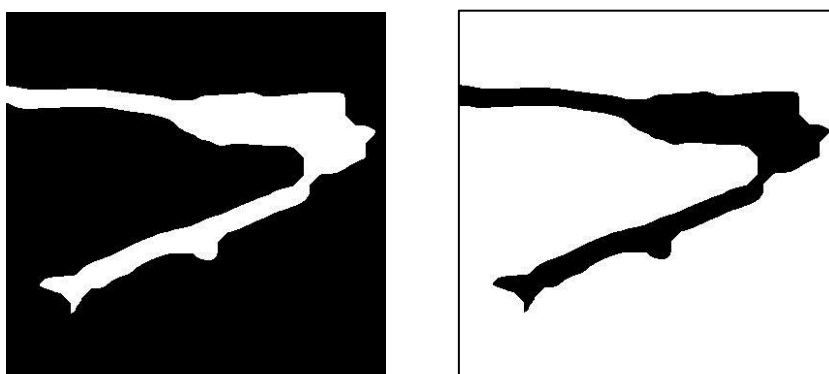
Εικόνα Δεδομένων 10



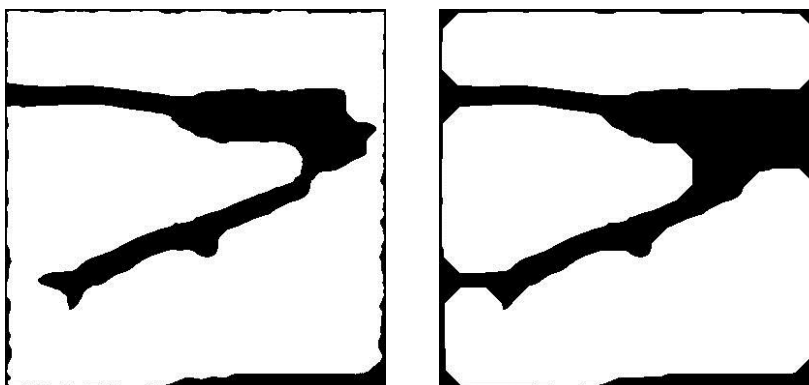
Εικόνα 3.93 Εικόνα Δεδομένων 10: Εικόνα που προέκυψε από την αφαίρεση της αρχικής εικόνας που είναι φιλτραρισμένη με Gaussian Filter από την φιλτραρισμένη με Guided Filter (αριστερά), Εφαρμογή Φίλτρου Ενίσχυσης Επιμηκών Αντικείμενων (δεξιά)



Εικόνα 3.94 Εικόνα Δεδομένων 10: Κατωφλίωση (αριστερά), Αφαίρεση Μικρών Αντικείμενων (δεξιά)



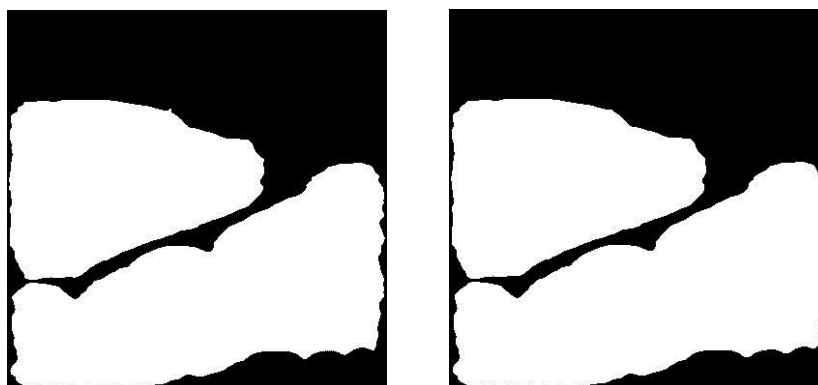
Εικόνα 3.95 Εικόνα Δεδομένων 10: Μορφολογικό Κλείσιμο (αριστερά), Αντιστροφή Δυαδικής Εικόνας και Πρώτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



Εικόνα 3.96 Εικόνα Δεδομένων 10: Πρώτη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Δεύτερη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



Εικόνα 3.97 Εικόνα Δεδομένων 10: Αφαίρεση Αντικειμένου Μικρότερου από την Αρτηρία (αριστερά), Εφαρμογή Διαστολής (δεξιά)



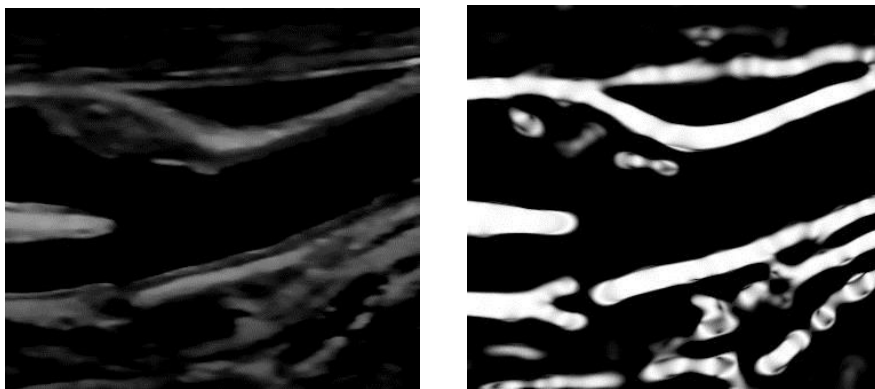
Εικόνα 3.98 Εικόνα Δεδομένων 10: Δεύτερη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Τρίτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος - Τελική Δυναμική Εικόνα (δεξιά)



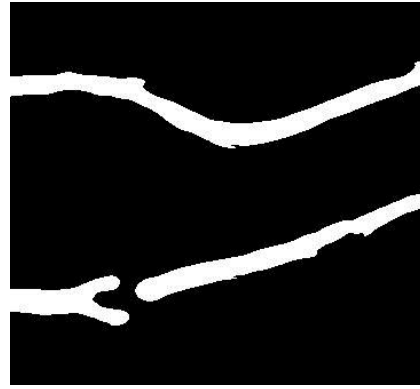
Εικόνα 3.99 Εικόνα Δεδομένων 10: Αρχική Εικόνα με Όρια της Δυαδικής Εικόνας

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.99, για την Εικόνα Δεδομένων 10 είναι ικανοποιητικό.

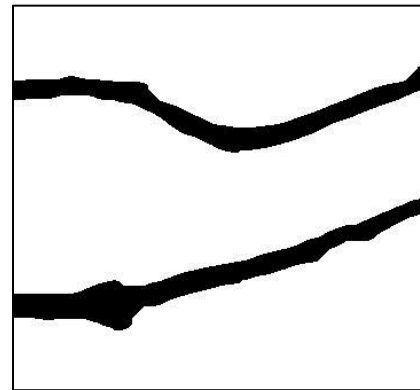
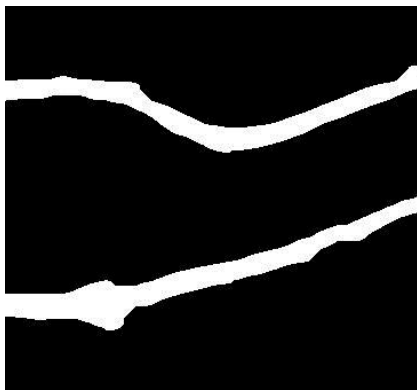
Εικόνα Δεδομένων 11



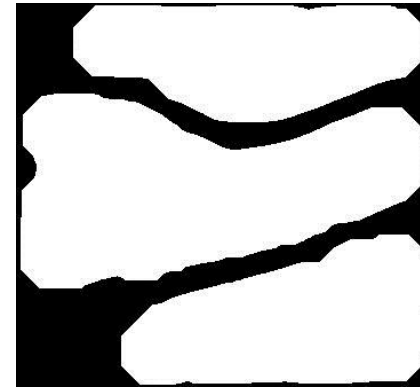
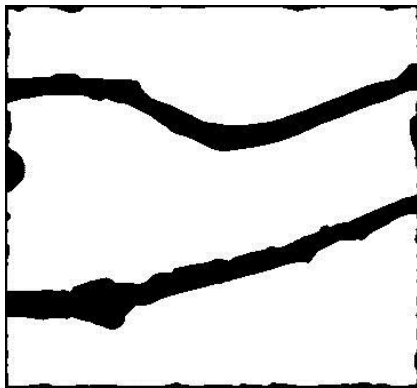
Εικόνα 3.100 Εικόνα Δεδομένων 11:Εικόνα που προέκυψε από την αφαίρεση της αρχικής εικόνας που είναι φιλτραρισμένη με Gaussian Filter από την φιλτραρισμένη με Guided Filter (αριστερά), Εφαρμογή Φίλτρου Ενίσχυσης Επιμηκών Αντικείμενων (δεξιά)



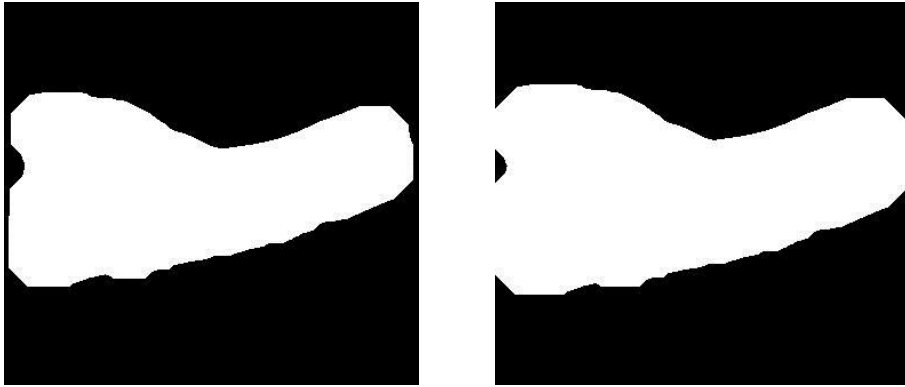
Εικόνα 3.101 Εικόνα Δεδομένων 11: Κατωφλίωση (αριστερά), Αφαίρεση Μικρών Αντικείμενων (δεξιά)



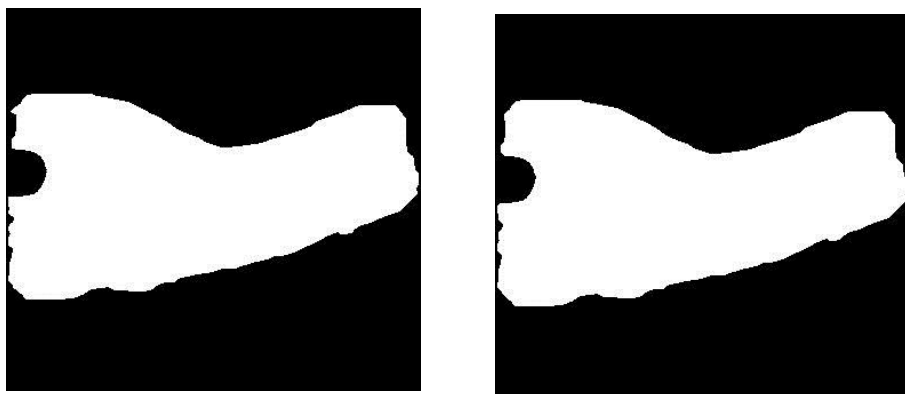
Εικόνα 3.102 Εικόνα Δεδομένων 11: Μορφολογικό Κλείσιμο (αριστερά), Αντιστροφή Δυαδικής Εικόνας και Πρώτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



Εικόνα 3.103 Εικόνα Δεδομένων 11: Πρώτη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Δεύτερη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



Εικόνα 3.104 Εικόνα Δεδομένων 11: Αφαίρεση Αντικειμένου Μικρότερου από την Αρτηρία (αριστερά), Εφαρμογή Διαστολής (δεξιά)



Εικόνα 3.105 Εικόνα Δεδομένων 11: Δεύτερη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Τρίτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος - Τελική Δυαδική Εικόνα (δεξιά)



Εικόνα 3.106 Εικόνα Δεδομένων 11: Αρχική Εικόνα με Όρια της Δυαδικής Εικόνας

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.106, για την Εικόνα Δεδομένων 11 είναι καλό.

3.2 Ταξινόμηση Μέσω Αντικειμενοστρεφούς Ανάλυσης

Ο στόχος του υποκεφαλαίου είναι με την χρήση της δυαδικής εικόνας, που δημιουργήθηκε από τον αλγόριθμο εξαγωγής των πιθανών περιοχών καρωτίδας, και την αντικειμενοστρεφή ανάλυση να ταξινομηθούν τα διάφορα στοιχεία που υπάρχουν σε μια εικόνα υπερήχου καρωτίδας και τελικώς να χαρακτηριστεί η αθηρωματική πλάκα. Ουσιαστικά η δυαδική εικόνα χρησιμοποιήθηκε έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια περιοχή που θα κατατμηθεί και θα ταξινομηθεί για να εντοπιστεί και να χαρακτηριστεί η πλάκα.

Όπως ήδη έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο «2.5.4 Ανάλυση και Ταξινόμηση Εικόνας», η αντικειμενοστρεφής ανάλυση υλοποιείται σε πολλά επίπεδα κατάτμησης (*multiresolution segmentation*), τα σημασιολογικά αντικείμενα των οποίων, πρέπει να συνδυαστούν ώστε να προκύψει η τελική ταξινόμηση. Η ταξινόμηση σε κάθε επίπεδο κατάτμησης (*hierarchical classification*) γίνεται βάσει των χαρακτηριστικών της κάθε κατηγορίας και της ασαφούς λογικής. Η μορφή οργάνωσης είναι ιεραρχική και κάθε κατηγορία μπορεί να έχει μια υπέρ-κατηγορία και κατά συνέπεια να κληρονομήσει τις ιδιότητές από μια ή περισσότερες υπέρ-κατηγορίες (Baatz, et al., 2001). Έτσι ο στόχος της ταξινόμησης γίνεται πιο γρήγορος ενώ ταυτόχρονα γίνεται πιο ακριβής.

Η υλοποίηση της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης έγινε στο λογισμικό eCognition. Αρχικώς, εισάγονται για κάθε εικόνα δεδομένων, δηλαδή για κάθε περίπτωση, οι εξής εικόνες που προέκυψαν στο υποκεφάλαιο 3.1:

- ✓ Η φιλτραρισμένη εικόνα με το καθοδηγούμενο φίλτρο (*guided filter*), κλίμακας του γκρι (8bit), που προέκυψε στην προ επεξεργασία (*Layer 1*).
- ✓ Η τελική δυαδική εικόνα που προέκυψε στο τέλος του αλγορίθμου εξαγωγής πιθανών περιοχών καρωτίδας (*Layer 2*).

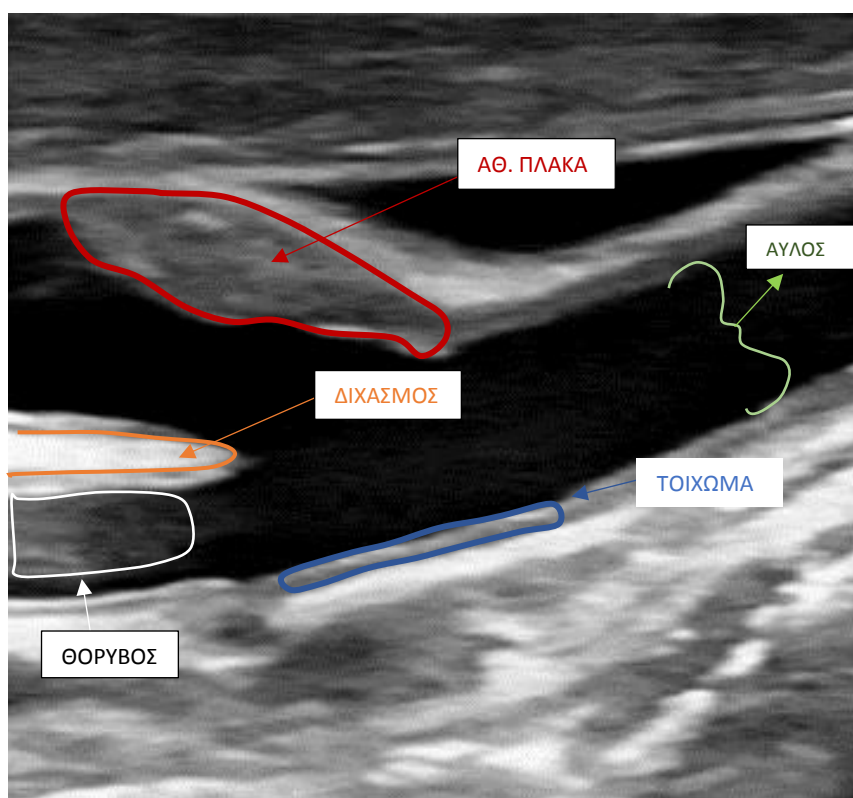
Τα δύο αυτά είδη εικόνων εισάγονται με το ίδιο βάρος (τιμή βάρους ίση με 1), που σημαίνει ότι επηρεάζουν το αποτέλεσμα ισοδύναμα. Επίσης, αφού υπολογίστηκε το μέγεθος του pixel, εισάγεται στο λογισμικό ως δεδομένο κλίμακας. Στις πρωτότυπες εικόνες υπήρχε γραφική κλίμακα. Έτσι, προσδιορίζοντας των αριθμών των pixels, που αντιστοιχούν σε ένα centimeter,

υπολογίστηκε το μέγεθος του pixel σε centimeter. Η κλίμακα δεν ήταν ίδια σε όλες τις αρχικές εικόνες, επομένως, η διαδικασία αυτή εκτελέστηκε σε κάθε εικόνα ξεχωριστά. Οι εικόνες που προέκυψαν από επεξεργασία (η φιλτραρισμένη εικόνα και οι δυαδική) δεν υπέστησαν καμία μεταβολή στην κλίμακα τους.

3.2.1 Φωτοερμηνεία Στοιχείων εντός Καρωτίδας

Ο στόχος αυτού του υποκεφαλαίου είναι να επισημανθούν τα στοιχεία που εμφανίζονται εντός της καρωτίδας και τα οποία θα ταξινομηθούν μέσω αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης. Οι κατηγορίες που απεικονίζονται στην Εικόνα 3.107 και θα εξαχθούν είναι οι εξής :

1. Τοίχωμα
2. Αθηρωματική Πλάκα
3. Διχασμός
4. Αυλός

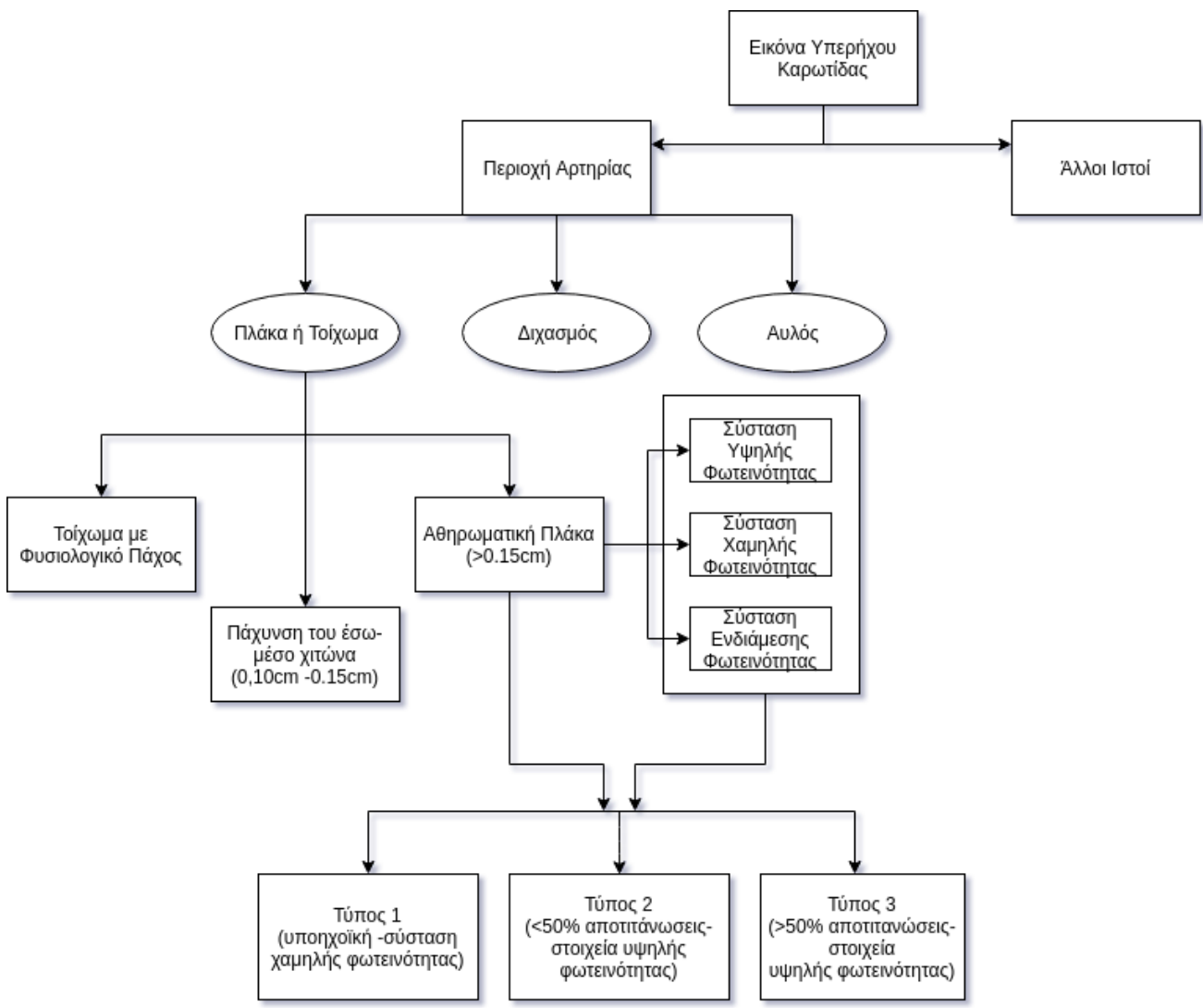


Εικόνα 3.107 Φωτοερμηνεία Στοιχείων Καρωτίδας

Να σημειωθεί ότι η ζώνη πολύ αυξημένης φωτεινότητας, που βρίσκεται μεταξύ της έσω και της έξω καρωτίδας, ονομάστηκε συμβατικά διχασμός “bifurcation”. Δεξιά και αριστερά της ζώνης αυτής υπάρχει το τοίχωμα (*intima-media thickness*) της έσω και της έξω αρτηρίας αντίστοιχα. Επομένως, αφού υπάρχει τοίχωμα μπορεί να αναπτυχθεί και πλάκα.

3.2.2 Εννοιολογική Προσέγγιση του Προβλήματος

Πριν την επεξεργασία, έγινε προσπάθεια προσέγγισης του θέματος θεωρητικά όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 3.108). Η κατάτμηση και η ταξινόμηση θα ξεκινήσουν από επίπεδο μεγαλύτερης κλίμακας προς μικρότερα επίπεδα, δηλαδή από τις γενικές θεματικές κατηγορίες θα γίνει ο προσδιορισμός πιο ειδικών κατηγοριών. Οι κατηγορίες στο διάγραμμα (Εικόνα 3.108), που βρίσκονται εντός ελλείψεων, αποτελούν κατηγορίες, οι οποίες για να εξαχθούν, θα χρειαστούν προσδιορισμό σε ένα επίπεδο και επαναπροσδιορισμό σε ένα άλλο επίπεδο μικρότερης κλίμακας. Ο προσδιορισμός και επαναπροσδιορισμός αντικειμένων είναι μια συνήθης διαδικασία της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης.



Εικόνα 3.108 Διάγραμμα Εννοιολογικής Προσέγγισης

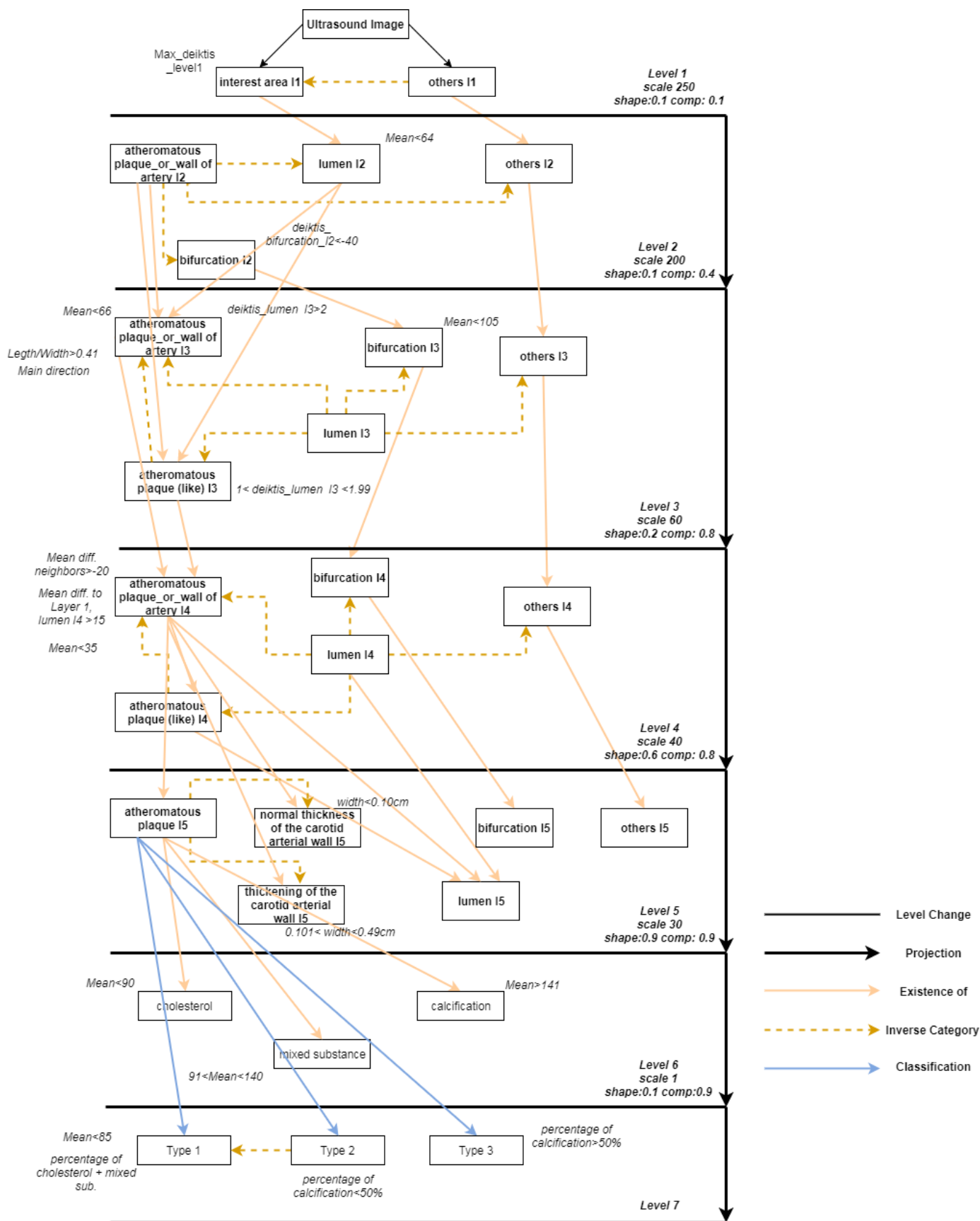
Με βάση το Διάγραμμα Εννοιολογικού Προσέγγισης, θα γίνει προσπάθεια να εξαχθεί η αθηρωματική πλάκα και να χαρακτηριστεί.

3.2.3 Υλοποίηση Αντικειμενοστρεφούς Ανάλυσης

Η υλοποίηση της διαδικασίας ανάλυσης και ταξινόμησης περιλαμβάνει 7 επίπεδα . Πιο αναλυτικά ο σκοπός του κάθε επιπέδου παρουσιάζεται ως εξής:

- Επίπεδο 1: Διαχωρισμός της Αρτηρίας Καρωτίδας (*interest area I1*) από τους Υπόλοιπους Ιστούς (*others I1*).
- Επίπεδο 2: Προσδιορισμός τριών κατηγοριών Αυλού (*lumen I2*), Διχασμού (*bifurcation I2*) και Αθηρωματική Πλάκα_ή_Τοίχωμα (*atheromatous plaque_or_wall of artery I2*).
- Επίπεδο 3: Επαναπροσδιορισμός των κατηγοριών: Αθηρωματική Πλάκα_ή_Τοίχωμα (*atheromatous plaque_or_wall of artery I3*), Αυλού (*lumen I3*) και Διχασμού (*bifurcation I3*) και δημιουργία κατηγορίας Αθηρωματική Πλάκα (ενδεχόμενη) (*atheromatous plaque (like) I3*).
- Επίπεδο 4: Επανεξέταση της κατηγορίας Αθηρωματική Πλάκα (ενδεχόμενη) (*atheromatous plaque (like) I4*) για το εάν θα καταταγεί ή όχι στην κατηγορία Αθηρωματική Πλάκα_ή_Τοίχωμα (*atheromatous plaque_or_wall of artery I4*) .
- Επίπεδο 5: Διαχωρισμός της κατηγορίας Αθηρωματική Πλάκα_ή_Τοίχωμα σε : Αθηρωματική Πλάκα (*atheromatous plaque I5*), Τοίχωμα Φυσιολογικού Πάχους (*normal thickness of the carotid arterial wall I5*) και Πάχυνση του Τοιχώματος (*thickening of the carotid arterial wall I5*).
- Επίπεδο 6: Ανάλυση σύστασης της Αθηρωματικής Πλάκας σε τρεις κατηγορίες φωτεινότητας: υψηλή (*calcification*) – ενδιάμεση (*mixed*)– χαμηλή (*cholesterol*).
- Επίπεδο 7: Ταξινόμηση Αθηρωματικής Πλάκας σε τρεις κατηγορίες: Τύπος 1 (*Type 1*) - Τύπος 2 (*Type 2*) – Τύπος 3 (*Type 3*).

Συνοπτικά η ασαφής βάση γνώσης που δημιουργήθηκε για τον εντοπισμό και χαρακτηρισμό της αθηρωματικής πλάκας περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 3.109). Τα χαρακτηριστικά των κατηγοριών που γράφονται δίπλα από κάθε κατηγορία στο διάγραμμα είναι ενδεικτικά καθώς δεν ήταν δυνατό να καταγραφούν όλα τα χαρακτηριστικά εξαιτίας της πολυπλοκότητας τους.



Εικόνα 3.109 Διάγραμμα Υλοποίησης της Ασαφούς Βάσης Γνώσης

3.2.3.1 Κατάτμηση και Ταξινόμηση Επιπέδου 1

Το επίπεδο αυτό (/1) δημιουργείται ώστε να γίνει διαχωρισμός των γειτονικών ιστών από την αρτηρία. Η διαδικασία αυτή υλοποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό κατά την εξαγωγή της δυαδικής εικόνας στο υποκεφάλαιο 3.1.

Επομένως, στο Επίπεδο 1 (/1), αφού έχει εισαχθεί η δυαδική εικόνα, γίνεται κατάτμηση με έμφαση στο σχήμα ώστε να δημιουργηθούν αντικείμενα βασισμένα στην δυαδική εικόνα. Συγκεκριμένα η παράμετρος του *σχήματος* έναντι του χρώματος έχει την τιμή 0.9. Επίσης τέθηκε βάρος 0.9 στην *ομαλότητα των ορίων* έναντι του συμπαγούς σχήματος. Για την παράμετρο της *κλίμακας* ορίστηκε η τιμή 250, η οποία επιλέχθηκε να είναι μεγάλη επειδή αφενός η αρτηρία αποτελεί ένα μεγάλο αντικείμενο και αφετέρου υπάρχει ανάγκη δημιουργίας όσο το δυνατόν λιγότερων αντικειμένων. Ουσιαστικά όσο λιγότερα αντικείμενα εξαχθούν τόσο ευκολότερα διαχωρίζεται η αρτηρία από τα λοιπά αντικείμενα.

Για τον διαχωρισμό της αρτηρίας από τους υπόλοιπους ιστούς ήταν απαραίτητο να παρατηρηθούν τα χαρακτηριστικά των αρτηριών όλων των εικόνων. Οι δυσκολίες ήταν πολλών ειδών και σχετίζονται κυρίως με την ύπαρξη την σύσταση και το μέγεθος της αθηρωματικής πλάκας. Πιο συγκεκριμένα, η αρτηρία αποτελεί ένα μακρόστενο αντικείμενο που συνήθως έχει χαμηλή φωτεινότητα όμως η ύπαρξη πλάκας μπορεί να αλλάξει κατά πολύ αυτήν την τιμή. Επίσης το αντικείμενο της αρτηρίας δεν είναι σε όλες τις εικόνες μακρόστενο αντικείμενο όπως για παράδειγμα στις εικόνες που απεικονίζουν την περιοχή του διχασμού. Ένα άλλο χαρακτηριστικό, που κρίθηκε απαραίτητο δοκιμάστηκε και τελικά χρησιμοποιήθηκε, είναι το γεγονός πως η αρτηρία απεικονίζεται στο κέντρο της εικόνας υπερήχου. Γενικά, υπήρχε δυσκολία να βρεθούν τιμές των συναρτήσεων συμμετοχής που να εφαρμόζονται σε όλες τις εικόνες εξαιτίας του ότι οι διακυμάνσεις των τιμών των διαφόρων χαρακτηριστικών από εικόνα σε εικόνα ήταν μεγάλες.

Οι κατηγορίες που δημιουργούνται σε αυτό το επίπεδο είναι η “*interest area /1*” και η “*others /1*” . Επομένως το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε ως εξής:

1. Δημιουργήθηκε μια μεταβλητή:

$$(close_to_center) = abs \left(\frac{size_image_x}{2} - X\ Center \right) + abs \left(\frac{size_image_y}{2} - Y\ Center \right) \text{ σε pixels,}$$

σύμφωνα με την οποία όταν το κέντρο ενός αντικειμένου είναι κοντά στο κέντρο η μεταβλητή αυτή έχει μικρή τιμή, ενώ όσο απομακρύνεται από το κέντρο η τιμή της μεταβλητής αυξάνεται.

2. Δημιουργήθηκε μια δεύτερη μεταβλητή συναρτήσεως της πρώτης:

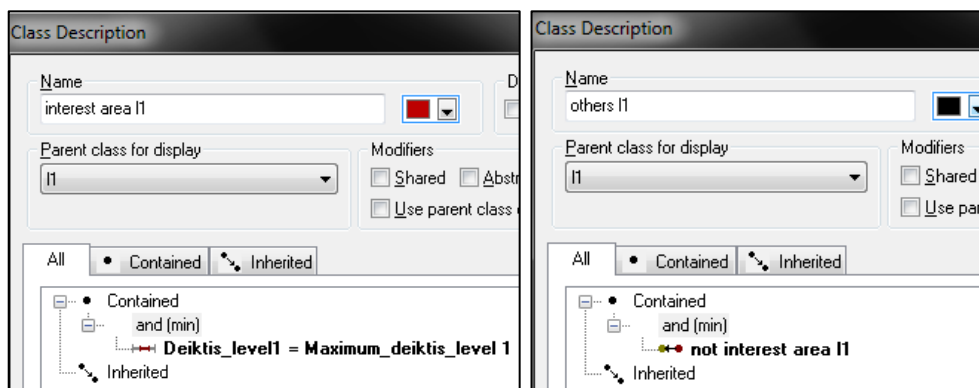
$$deiktis_level\ 1 = \left(\frac{-2 * Mean\ diff.\ to\ neighbors\ Layer\ 1}{close_to_center} \right),$$

σύμφωνα με την οποία δίνεται διπλάσιο βάρος στο χαρακτηριστικό “Mean diff. to neighbors Layer 1” σε σχέση με το “close_to_center” επειδή παρατηρήθηκε ότι τα αντικείμενα της αρτηρίας δεν ήταν πάντα τα πιο κοντινά αντικείμενα στο κέντρο αλλά επιπλέον όμως είχαν την μεγάλη αρνητική διαφορά σε σχέση με τα γειτονικά τους αντικείμενα. Τα αντικείμενα της αρτηρία θα εμφανίζονται με μεγάλη τιμή του συγκεκριμένου δείκτη.

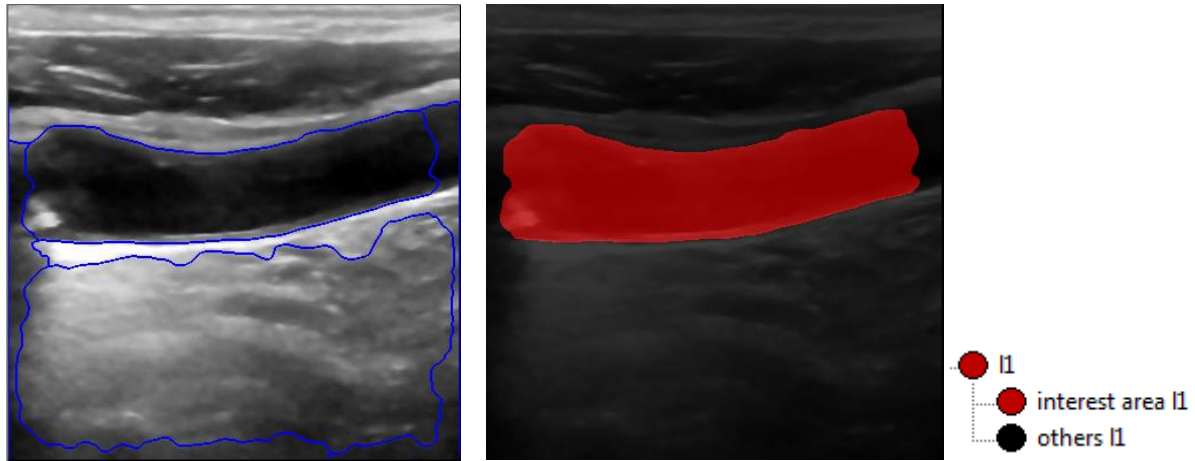
3. Δημιουργείται μια τρίτη μεταβλητή με την χρήση του αλγορίθμου compute statistical value, η οποία θα αποτελεί τη μέγιστη τιμή του δείκτη “deiktis_level 1”. Η διαδικασία αυτή έγινε επειδή δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ασαφής λογική σε όλες τις εικόνες. Το κοινό χαρακτηριστικό των αρτηριών όλων των εικόνων είναι ότι ο δείκτης “deiktis_level 1” παρουσιάζει την μέγιστη τιμή.

4. Τέλος θέτεται κατώφλι στην κατηγορία “interest area I1” όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.110.

Στο αποτέλεσμα της ταξινόμησης του επιπέδου 1 που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.111 φαίνεται ότι επιτεύχθηκε ο σκοπός της δημιουργίας αυτού του επιπέδου.



Εικόνα 3.110 Κανόνες Επιπέδου 1 ανά Κατηγορία



Εικόνα 3.111 Εικόνα Δεδομένων 1: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 1

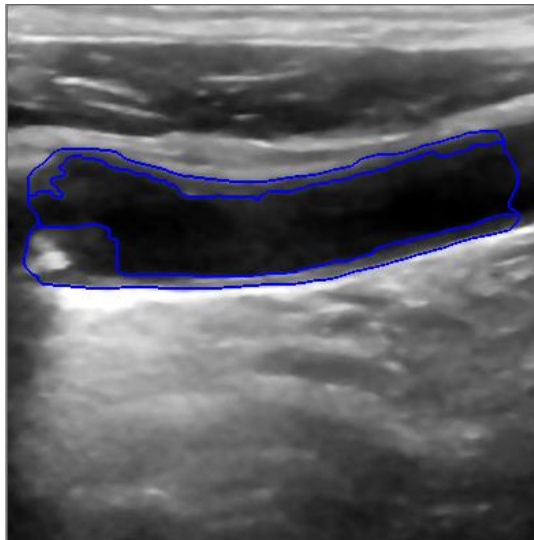
Τέλος γίνεται ενοποίηση των αντικειμένων που κατηγοριοποιήθηκαν ως “*others I1*” με την χρήση του αλγορίθμου *merge region* καθώς τα αντικείμενα αυτά δεν χρήζουν επαναπροσδιορισμού σε επόμενο επίπεδο.

3.2.3.2 Κατάτμηση και Ταξινόμηση Επιπέδου 2

Ο στόχος του συγκεκριμένου επιπέδου (*I2*) είναι να γίνει διαχωρισμός του υπερ αντικειμένου “*interest area*” στα επιμέρους στοιχεία που εμφανίζονται εντός της καρωτίδας. Η κατάτμηση γίνεται μόνο στην κατηγορία “*interest area*” σε μεγάλη κλίμακα ώστε να γίνει μια πρώτη γενική ταξινόμηση των στοιχείων της καρωτίδας με βάση κυρίως το κριτήριο της φωτεινότητας. Πιο συγκεκριμένα σε αυτό το επίπεδο δημιουργούνται μεγάλα αντικείμενα με έμφαση το χρώμα έναντι του σχήματος. Οι παράμετροι για την κατάτμηση επιλέχθηκαν μετά από δοκιμές και απορρίψεις σε όλες τις εικόνες ώστε να περιγράφονται αρκετά καλά τα στοιχεία της αρτηρίας που θα ταξινομηθούν στην συνέχεια. Συγκεκριμένα οι τιμές των παραμέτρων κατάτμησης καταγράφονται στον Πίνακα 3.1 ενώ το αποτέλεσμα της κατάτμησης στην Εικόνα 3.112.

Επίπεδο	Scale Parameter	Shape	Compactness
2	200	0.1	0.4

Πίνακας 3.1 Παράμετροι Κατάτμησης Επιπέδου 2



Εικόνα 3.112 Εικόνα Δεδομένων 1:
Αποτέλεσμα Κατάτμησης Επιπέδου 2

Για την ταξινόμηση των στοιχείων εντός της καρωτίδας δημιουργήθηκαν τέσσερις κατηγορίες: *atheromatous plaque_or_wall of artery* , *bifurcation l2*, *lumen l2*, *others l2*. Η λογική που ακολουθήθηκε έχει ως εξής:

- Το αντικείμενο της κατηγορίας “others l2” ταξινομήθηκε εύκολα καθώς αποτελεί αντικείμενο του υπεραντικειμένου της κατηγορίας “others l1” (*Existence of super objects others l1*).
- Τα αντικείμενα του αυλού της αρτηρίας είναι εντός της κατηγορίας “interest area l1” (*Existence of super objects interest area l1*) και έχουν χαμηλή φωτεινότητα. Οι τιμές του μέσου όρου φωτεινότητας στο Layer 1, που παρατηρήθηκαν στο σύνολο των δεδομένων, κυμαίνονταν κυρίως από 20-64. Το μεγάλο εύρος τιμών οφειλόταν στο γεγονός της διαφορετικής πυκνότητας του αίματος κατά μήκος της αρτηρίας και γενικότερα διαφόρων τεχνικών σφαλμάτων (artifacts). Για την ταξινόμηση των αντικειμένων του αυλού (*lumen l2*) χρησιμοποιήθηκε ως χαρακτηριστικό της κατηγορίας ο μέσος όρος της φωτεινότητας (*Mean Layer 1*). Όλα τα αντικείμενα με τιμή φωτεινότητας κάτω από 64.5 ταξινομήθηκαν ως αντικείμενα της κατηγορίας “lumen l2”.
- Η ζώνη πολύ αυξημένης φωτεινότητας, που βρίσκεται μεταξύ της έσω και της έξω καρωτίδας, ονομάστηκε συμβατικά διχασμός “bifurcation”. Δεξιά και αριστερά της ζώνης αυτής υπάρχει το τοίχωμα (*intima-media thickening*) της έσω και της έξω αρτηρίας αντίστοιχα. Στο επίπεδο 2, επειδή η κατάτμηση έγινε με μεγάλη παράμετρο κλίμακας, εμφανίζεται το τοίχωμα και η ζώνη αυξημένης φωτεινότητας ως ένα αντικείμενο που θα

επαναπροσδιοριστεί στο επίπεδο 3. Το αντικείμενο της κατηγορία “*bifurcation l2*”, λοιπόν, εάν υπάρχει σε μια εικόνα, θα είναι κοντά στο κέντρο του αρτηριακού σωλήνα και θα ξεχωρίζει από τα την γειτονία του εξαιτίας της μεγάλης φωτεινότητας. Επομένως για τον χαρακτηρισμό της κατηγορίας “*bifurcation l2*” δημιουργήθηκε ένας δείκτης “*deiktis_bifurcation_l2*” ο οποίος προκύπτει από έναν δείκτη (*bifurcation_2*) που χαρακτηρίζει το κάθε αντικείμενο ανάλογα με το πόσο απέχει από το μέσο Y του αντικειμένου “*interest area l1*” και από το χαρακτηριστικό “*Mean Diff. to neighbors Layer 1*”. Πιο αναλυτικά αυτό υλοποιήθηκε ως εξής:

1. Δημιουργία ενός δείκτη (*mean_Y_interest_area*) που χαρακτηρίζει τα αντικείμενα του επιπέδου 2 βάσει του αντικειμένου της κατηγορίας “*interest area l1*” (*Relational Feature*). Συγκριμένα όλα τα υποαντικείμενα της κατηγορίας “*interest area l1*” έχουν τιμή δείκτη ίση με τη μέση τεταγμένη Y του “*interest area l1*”.
2. Επόμενο βήμα είναι η δημιουργία ενός νέου δείκτη (*bifurcation_2*) ο οποίος προκύπτει από την διαφορά του “*mean_Y_interest_area*” από την τεταγμένη κάθε υποαντικειμένου δηλαδή:

$$bifurcation_2 = abs(mean_Y_interest_area - Y Center)$$

3. Τέλος συνθέτεται ο δείκτης “*deiktis_bifurcation_l2*” ως εξής:

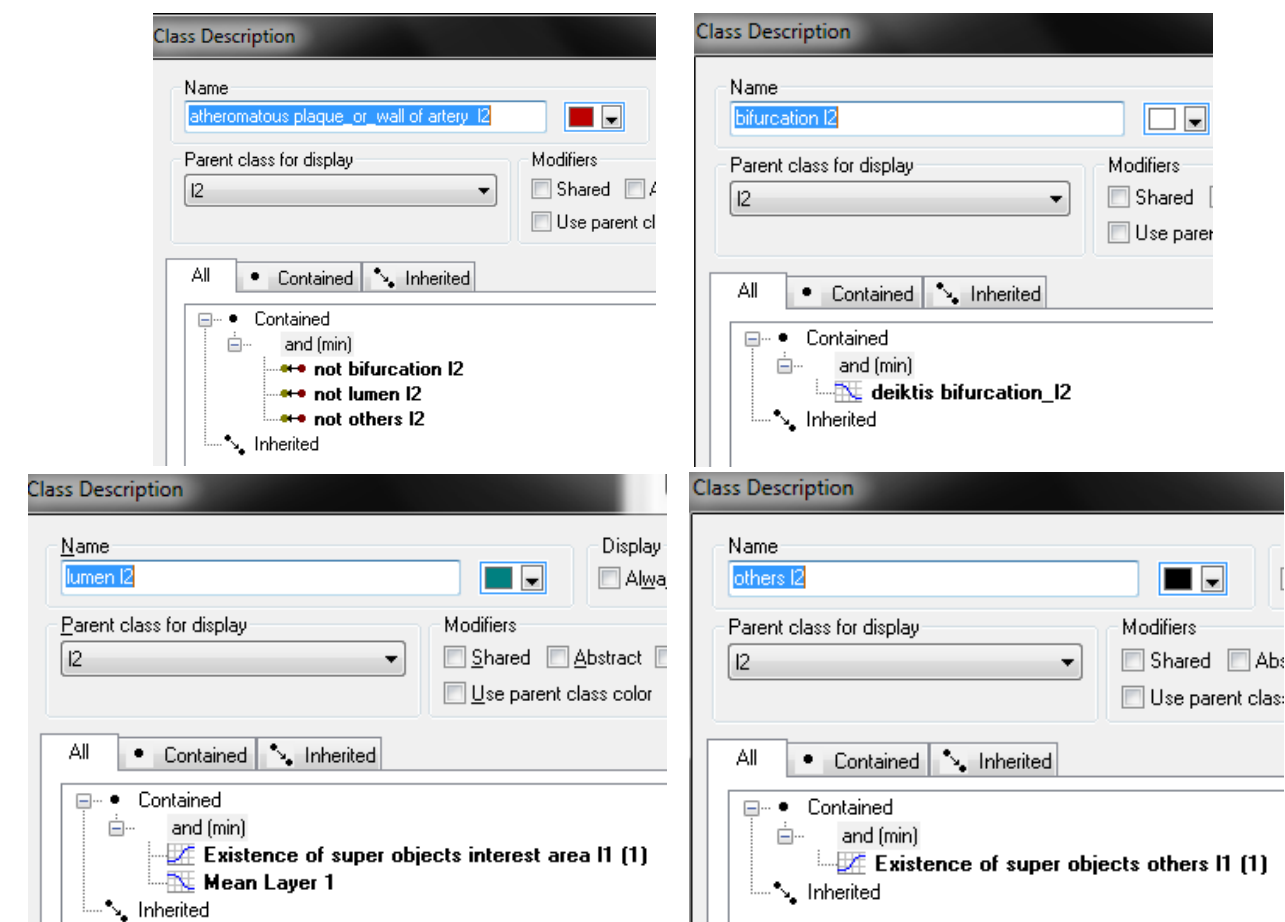
$$deiktis_bifurcation_l2 = bifurcation_2 - Mean Diff. to neighbors Layer 1,$$

σύμφωνα με τον οποίον κάθε αντικείμενο που έχει μεγάλη θετική διαφορά σε σχέση με τα γειτονικά του και επίσης έχει μικρή τιμή δείκτη “*bifurcation_2*” άρα βρίσκεται κοντά στο κέντρο του αρτηριακού σωλήνα, θα αποτελεί αντικείμενο της κατηγορίας “*bifurcation l2*”.

- Τα αντικείμενα της κατηγορίας “*atheromatous plaque_or_wall of artery l2*” χαρακτηρίζονται, εφόσον έχουν προσδιοριστεί όλες οι υπόλοιπες κατηγορίες, ως τα αντικείμενα που δεν είναι *lumen l2*, *others l2* και *bifurcation l2*.

Οι ιδιότητες της κάθε κατηγορίας φαίνονται στην Εικόνα 3.113, οι συναρτήσεις συμμετοχής στον Πίνακα 3.2 και το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στην Εικόνα 3.114. Στην Εικόνα 3.114, παρατηρείται ότι ένα

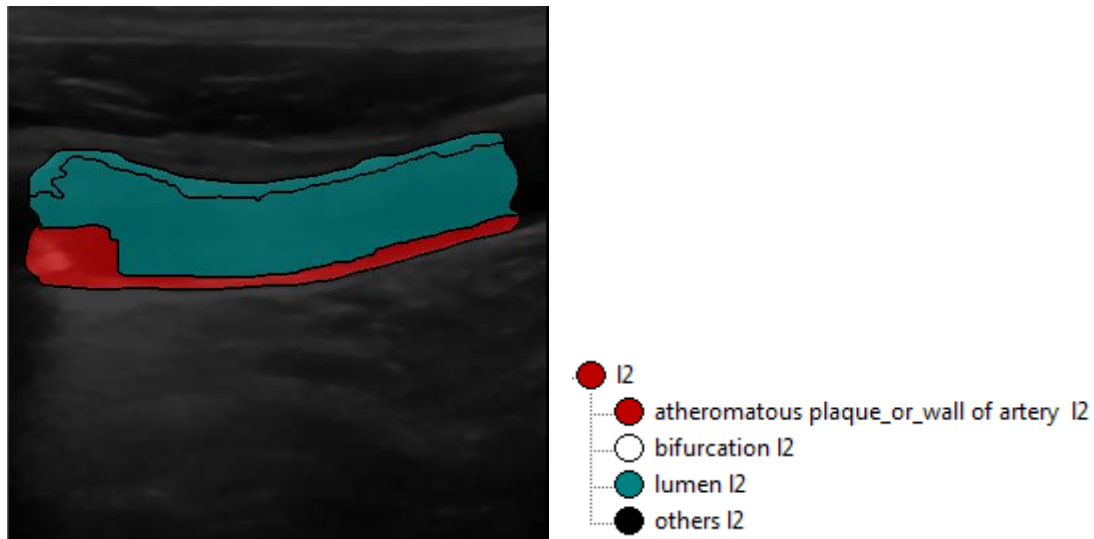
τμήμα που είναι τοίχωμα εντάχθηκε στην κατηγορία του αυλού (lumen) και επομένως θα επαναπροσδιοριστεί στο επόμενο επίπεδο.



Εικόνα 3.113 Κανόνες Επιπέδου 2 Ανά Κατηγορία

Κατηγορία	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο Συνάρτησης	Δεξί Όριο Συνάρτησης
atheromatous plaque_or_wall of artery I2	<i>not bifurcation I2</i>	-	-	-
	<i>not lumen I2</i>	-	-	-
	<i>not others I2</i>	-	-	-
bifurcation I2	<i>deiktis_bifurcation I2</i>		-40	-30
lumen I2	<i>Existence of super objects interest area I1</i>		0	1
	<i>Mean Layer 1</i>		64	65
others I2	<i>Existence of super objects others I1</i>		0	1

Πίνακας 3.2 Συναρτήσεις Συμμετοχής Κανόνων Επιπέδου 2



Εικόνα 3.114 Εικόνα Δεδομένων 1: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης Επιπέδου 2

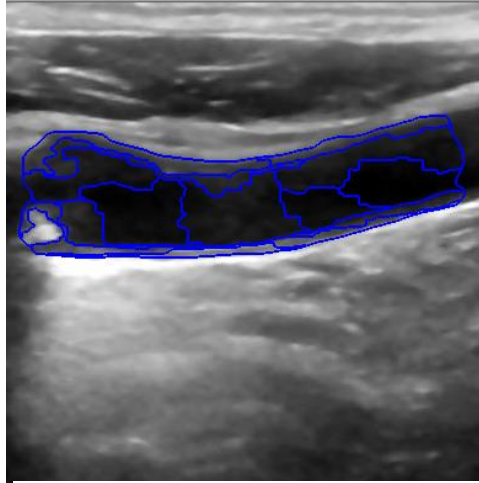
Μετά την ταξινόμηση των αντικειμένων στο επίπεδο κατάτμησης 2 γίνεται ενοποίηση των αντικειμένων του αυλού “lumen I2”. Η ενοποίηση του αυλού έγινε ώστε να βρεθεί ο μέσος όρος της φωτεινότητας της κατηγορία “lumen I2” η τιμή του οποίου θα χρησιμοποιηθεί στο επίπεδο 3.

3.2.3.3 Κατάτμηση και Ταξινόμηση Επιπέδου 3

Στο επίπεδο 3 (I3), γίνεται κατάτμηση σε όλες τις κατηγορίες του επιπέδου 2, εκτός από την κατηγορία “others I2”. Ουσιαστικά, σε αυτό το επίπεδο θα κατατμηθούν και θα επαναπροσδιοριστούν οι κατηγορίες: “lumen I2”, “atheromatous plaque_or_wall of artery I2” και “bifurcation I2”. Η κατάτμηση γίνεται με έμφαση στο χρώμα έναντι του σχήματος και δίνεται δυνατότητα να παραχθούν σχήματα μακρόστενα. Οι τιμές των παραμέτρων κλίμακας, χρώματος και σχήματος επιλέχθηκαν μετά από δοκιμές και απορρίψεις σε όλες τις εικόνες δεδομένων ώστε να περιγράφονται καλύτερα τα αντικείμενα που πρέπει να εξαχθούν σε αυτό το επίπεδο. Οι τιμές φαίνονται στον παρακάτω Πίνακας 3.3 και το αποτέλεσμα της κατάτμησης στην Εικόνα 3.115.

Επίπεδο	Scale Parameter	Shape	Compactness
3	60	0.2	0.8

Πίνακας 3.3 Παράμετροι Κατάτμησης Επιπέδου 3



Εικόνα 3.115 Εικόνα Δεδομένων 1:
Αποτέλεσμα Κατάτμησης Επιπέδου 3

Ουσιαστικά, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.115, δημιουργούνται μακρόστενα αντικείμενα κυρίως στην περιοχή των τοιχωμάτων της αρτηρίας. Ενώ η περιοχή του αυλού έχει περισσότερο συμπαγή αντικείμενα επειδή είναι μεγαλύτερη περιοχή και έχει ομοιομορφία στην κατανομή της φωτεινότητας.

Τα αντικείμενα του επιπέδου 3 θα ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες: Άλλοι Ιστοί “others l3”, Αθηρωματική Πλάκα_ή_Τοίχωμα (*atheromatous plaque_or_wall of artery l3*), Αυλός (*lumen l3*) και Περιοχή Διχασμού (*bifurcation l3*) και Αθηρωματική Πλάκα (ενδεχόμενη) (*atheromatous plaque (like) l3*). Πιο αναλυτικά η λογική που ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα στο επίπεδο αυτό έχει ως εξής:

- Αρχικώς, το αντικείμενο της κατηγορίας “others l3” ταξινομείται εύκολα ως υποαντικείμενο του υπεραντικειμένου της κατηγορίας “others l2” (*Existence of super objects others l2*).
- Η κατηγορία “bifurcation l3” ορίζεται ως υποαντικείμενο της κατηγορίας “bifurcation l2” (*Existence of super objects bifurcation l2*). Όμως, όπως έχει ήδη ειπωθεί, από το αντικείμενο “bifurcation l2” θα θεωρήσουμε μόνο την μεγάλης φωτεινότητας ζώνη ως “bifurcation l3”. Επομένως, η κατηγορία αυτή χαρακτηρίζεται ταυτόχρονα και από το μέσο όρο φωτεινότητας (*Mean Layer 1*). Η κατηγορίας “bifurcation l3” πρέπει να έχει τιμή μέσου όρου φωτεινότητας μεγαλύτερη από 104.5.
- Η κατηγορία “atheromatous plaque_or_wall of artery l3” περιλαμβάνει την αθηρωματική πλάκα μεγάλης φωτεινότητας και τα τοιχώματα. Άρα αποτελείται από όλα τα αντικείμενα που έχουν μέσο όρο φωτεινότητας

μεγαλύτερη από 65.5, δεν ανήκουν στην κατηγορία “*bifurcation l3*” και είτε είναι υποαντικείμενα της κατηγορίας “*bifurcation l2*” ή “*atheromatous plaque_or_wall of artery l2*”. Επίσης, τα τοιχώματα που έχουν χαμηλή φωτεινότητα εντοπίζονται και κατηγοριοποιούνται στην συγκεκριμένη κατηγορία ως αντικείμενα μακρόστενα (χαρακτηριστικό $Length/Width > 0.405$), με οριζόντια διεύθυνση (*Main Direction*), μέχρι ένα συγκεκριμένο πάχος ($Width < 0,245$) και ξεχωρίζουν από τα γειτονικά σκοτεινότερα αντικείμενα (*Mean diff. to darker neighbors Layer 1 > 22.5*, τιμή μεγάλης ασάφειας). Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι δημιουργήθηκε ένας δείκτης (*deiktis lumen l3*) ώστε τα αντικείμενα που ανήκουν στο υπεραντικείμενο “*lumen l2*” (*Existence of super objects lumen l2*) να επαναπροσδιοριστούν. Όπως έχει ήδη ειπωθεί ο αυλός από εικόνα σε εικόνα εμφανίζεται με διαφορετική φωτεινότητα, το εύρος της οποίας είναι μεγάλο 20-65. Στην μια εικόνα ο αυλός έχει μέσο όρο φωτεινότητας 65 ενώ στην άλλη εικόνα έχει 20. Το πρόβλημα που προέκυψε ήταν ότι είτε η αθηρωματική πλάκα που έχει χαμηλή φωτεινότητα κατηγοριοποιούταν ως αυλός. Έτσι δημιουργήθηκε και χρησιμοποιείται ο δείκτης (*deiktis lumen l3*), ο οποίος αποτελεί μια πιο αντικειμενική λύση. Ο μέσος όρος φωτεινότητας των υποαντικειμένων του αυλού “*lumen l2*” συγκρίνεται με την τιμή του πιθανού αυλού, όπως αυτός προέκυψε στο επίπεδο 2 και ενοποιήθηκε με *merge region*. Πιο αναλυτικά:

1. Δημιουργήθηκε ο δείκτης “*mean lumen l2*” που χαρακτηρίζει τα υποαντικείμενα του “*lumen l2*” βάσει του αντικείμενου της κατηγορίας “*lumen l2*” (*Relational Feature*). Συγκριμένα όλα τα υποαντικείμενα της κατηγορίας “*lumen l2*” που είχαν τιμή δείκτη ίση με το μέσο όρο φωτεινότητας του “*lumen l2*”.
2. Έπειτα ο δείκτης “*deiktis lumen l3*” προέκυψε ως εξής:

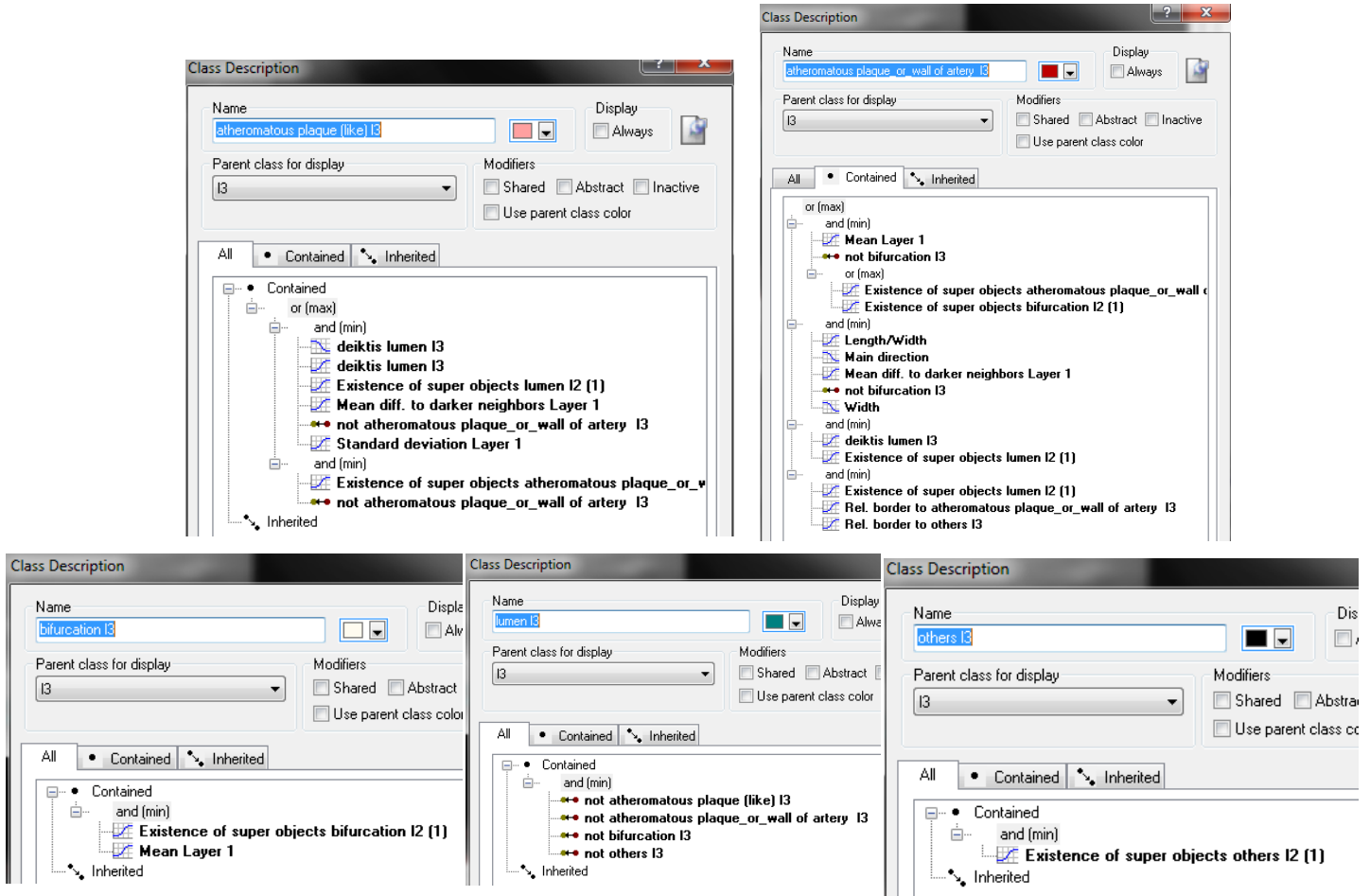
$$deiktis\ lumen\ l3 = \frac{Mean\ Layer\ 1}{mean\ lumen\ l2}$$

Οπότε όσα υποαντικείμενα του “*lumen l2*” έχουν τιμή μέσου όρου φωτεινότητας μεγαλύτερη από την διπλάσια φωτεινότητα του “*lumen l2*” ($deiktis\ lumen\ l3 > 1.995$) τότε ορίζονται ως αντικείμενα της κατηγορίας “*atheromatous plaque_or_wall of artery l3*”. Επίσης τέλος στην ίδια κατηγορία ταξινομούνται τα υποαντικείμενα του “*lumen l2*” που περιβάλλονται από “*atheromatous plaque_or_wall of artery l3*” (*Rel.*

Border to atheromatous plaque_or_wall of artery l3>0.75) και έχουν κοινό όριο με τους γειτονικούς ιστούς (*Rel. Border to others l3>0.105*).

- Στη νέα κατηγορία “*atheromatous plaque (like) l3*” θα ταξινομηθούν όσα αντικείμενα έχουν χαμηλή φωτεινότητα όμως εξαιτίας κάποιων χαρακτηριστικών δεν μπαίνουν στην κατηγορία “*lumen l3*”. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η πλάκες χαμηλής φωτεινότητας ή τα τμήματα χαμηλής φωτεινότητας των αθηρωματικών πλακών είναι πολύ δύσκολο να ξεχωρίσουν στις εικόνες της κλίμακας του γκρι. Η διπλωματική αυτή προσπάθησε μέσω φασματικών και τοπολογικών χαρακτηριστικών να κατατάξει τα στοιχεία χαμηλής φωτεινότητας σε αθηρωματική πλάκα ή σε αυλό. Έτσι σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται τα υποαντικείμενα του “*lumen l2*” τα οποία έχουν τιμή δείκτη “*deiktis lumen l3*” μεταξύ του 0.995 και 1.995, επίσης παρουσιάζουν τυπική απόκλιση φωτεινότητας μεγαλύτερη από 5.5 (*std>5.5*) και ξεχωρίζουν από τα γειτονικά σκοτεινότερα αντικείμενα (*Mean diff. to darker neighbors Layer 1 >18.5*). Επίσης, στην κατηγορία “*atheromatous plaque (like) l3*” ταξινομούνται τα αντικείμενα του επιπέδου 3 που υπάρχουν στο υπεραντικείμενο της “*atheromatous plaque_or_wall of artery l2*” και δεν κατηγοριοποιήθηκαν ως “*atheromatous plaque_or_wall of artery l3*”.
- Τέλος όσα αντικείμενα δεν ταξινομήθηκαν σε όλες τις προηγούμενες κατηγορίες ταξινομούνται ως “*lumen l3*”.













Οι ιδιότητες της κάθε κατηγορίας φαίνονται στην Εικόνα 3.116, οι συναρτήσεις συμμετοχής στους Πίνακα 3.4, 3.5 και 3.6 και το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στην Εικόνα 3.117. Παρατηρείται ότι το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του επιπέδου l3 είναι ικανοποιητικό καθώς ένα τμήμα της πλάκας που είχε χαμηλότερη φωτεινότητα ταξινομείται στην κατηγορία “*atheromatous plaque (like) l3*” και θα ελεγχθεί εάν είναι πλάκα στο επόμενο επίπεδο.





Εικόνα 3.116 Κανόνες Επιπέδου 3 Ανά Κατηγορία

Κατηγορία	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο Συνάρτησης	Δεξί Όριο Συνάρτησης
atheromatous plaque (like) I3	and <i>Existence of super objects atheromatous plaque_or_wall of artery I2</i>		0	1
	<i>not atheromatous plaque_or_wall of artery I3</i>	-	-	-
	and <i>deiktis lumen I3</i>		0.99	1
	<i>deiktis lumen I3</i>		1.99	2
	<i>Existence of super objects lumen I2</i>		0	1
	<i>Mean diff. to darker neighbors Layer 1</i>		18	19
	<i>Standard deviation</i>		5	6

Πίνακας 3.4 Συναρτήσεις Συμμετοχής Κανόνων της Κατηγορίας “atheromatous plaque (like) I3” Επιπέδου 3

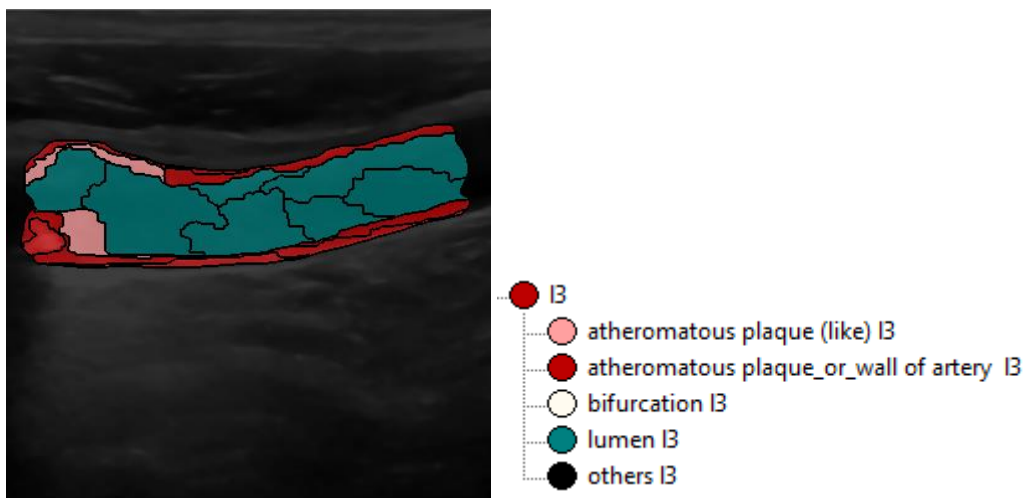
Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο Συνάρτησης	Δεξί Όριο Συνάρτησης
atheromatous plaque_or_wall of artery I3	and	Mean Layer 1		65	66
		Existence of super objects atheromatous plaque_or_wall of artery I2		0	1
		Existence of super objects bifurcation I2		0	1
	and	Length/Width		0.4	0.41
		Main direction		110	120
		Main direction		60	65
		Mean diff. to darker neighbors Layer 1		20	25
		not bifurcation I3	-	-	-
		Width		0.24	0.25
	and	deiktis lumen I3		1.99	2
		Existence of super objects lumen I2		0	1
	and	Rel. border to atheromatous plaque_or_wall of artery I3		0.7	0.8
		Rel. border to others I3		0.1	0.11

Πίνακας 3.5 Συναρτήσεις Συμμετοχής Κανόνων της Κατηγορίας “atheromatous plaque_or_wall of artery I3” Επιπέδου 3

Κατηγορία	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο Συνάρτησης	Δεξί Όριο Συνάρτησης
bifurcation I3	Existence of super objects bifurcation I2		0	1
	Mean Layer 1		104	105
lumen I3	not atheromatous plaque (like) I3	-	-	-
	not atheromatous plaque_or_wall of artery I3	-	-	-
	not bifurcation I3	-	-	-
	not others I3	-	-	-

others I3	Existence of super objects others I2		0	1
-----------	---	---	---	---

Πίνακας 3.6 Συναρτήσεις Συμμετοχής Κανόνων Υπόλοιπων Κατηγοριών Επιπέδου 3



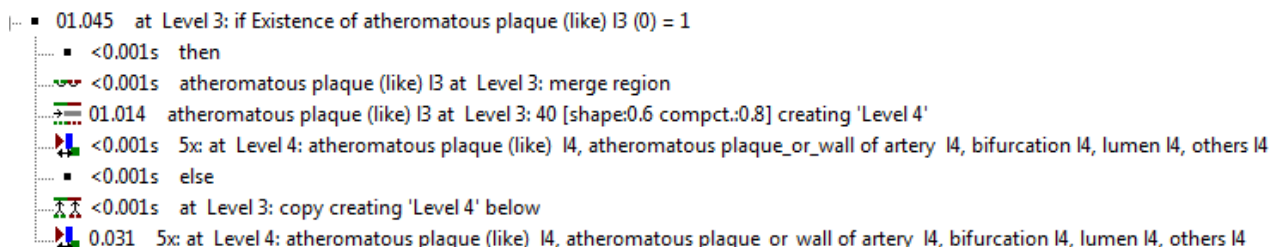
Εικόνα 3.117 Εικόνα Δεδομένων 1: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης Επιπέδου 3

Μετά την ταξινόμηση στο επίπεδο 3 γίνεται ένωση των αντικειμένων της κατηγορίας “*atheromatous plaque_or_wall of artery I3*” με τον αλγόριθμο *merge region*. Η πλάκα και το τοίχωμα θα πρέπει να έχουν κοινό όριο με τους γειτονικούς ιστούς ή την κατηγορία που ονομάσαμε συμβατικά διχασμό “*bifurcation*” ή με την κατηγορία “*atheromatous plaque_or_wall of artery I4*” (*Rel. border to others I4* / “*bifurcation I4*” / “*atheromatous plaque_or_wall of artery I4*”). Αυτά τα χαρακτηριστικά ελέγχονται στο επίπεδο 4 και για αυτόν τον λόγο έπρεπε να γίνει σε αυτή την φάση η ενοποίηση των αντικειμένων της κατηγορίας “*atheromatous plaque_or_wall of artery I3*”. Προφανώς στο επίπεδο 4 δεν γίνεται κατάτμηση στην υπερκατηγορία “*atheromatous plaque_or_wall of artery I3*”. Το πρόβλημα που είχε παρουσιαστεί και αποφασίστηκε η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι το γεγονός ότι σε μια εικόνα υπήρχε μια πολύ αυξημένη φωτεινότητα περιοχή εντός του αυλού η οποία δεν είχε κοινό όριο με “*atheromatous plaque_or_wall of artery I4*”. Αυτές οι περιοχές που περιβάλλονται από “*lumen I4*” ή από “*atheromatous plaque (like) I4*”, η οποία κατηγορία θα ταξινομηθεί ως “*lumen*”, είναι πολύ πιθανόν να είναι artifacts.

3.2.3.4 Κατάτμηση και Ταξινόμηση Επιπέδου 4

Ο κύριος σκοπός του Επιπέδου 4 (I4) είναι να επαναπροσδιοριστεί η κατηγορία “*atheromatous plaque (like) I3*” και τελικώς να αποφασιστεί εάν θα ενταχθεί στην κατηγορία “*atheromatous plaque_or_wall of artery I4*”. Ακόμα μπορεί να γίνουν επιπρόσθετες μικρές αλλαγές στην κατηγορία “*atheromatous plaque_or_wall of artery I4*”. Η κατάτμηση γίνεται, όμως, μόνο στην κατηγορία “*atheromatous plaque (like) I3*”. Πριν την κατάτμηση πρέπει να ελεγχθεί εάν υπάρχει η κατηγορία “*atheromatous plaque (like) I3*” καθώς εάν δεν υπάρχει δεν θα μπορέσουν να τρέξουν οι αλγόριθμοι που έπονται. Ο αλγόριθμος περιγράφεται ως εξής (Εικόνα 3.118):

- Εάν υπάρχουν αντικείμενα της κατηγορίας “*atheromatous plaque (like) I3*” γίνεται merge region της κατηγορίας και στην συνέχεια κατάτμηση και ταξινόμηση των κατηγοριών του επιπέδου 4
- Αλλιώς γίνεται copy image object level ώστε να δημιουργηθεί το επίπεδο 4 ως αντίγραφο του επιπέδου 3 και στην συνέχεια γίνεται η ταξινόμηση των κατηγοριών του επιπέδου 4.

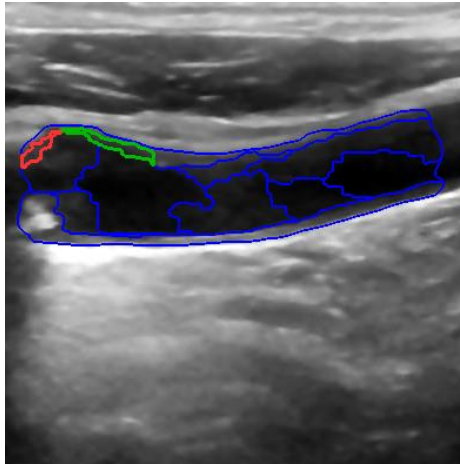


Εικόνα 3.118 Τρόπος Εκτέλεσης Κατάτμησης και Ταξινόμησης Επιπέδου 4

Στην κατάτμηση του “*atheromatous plaque (like) I3*” σχηματίστηκαν αντικείμενα συμπαγή και δόθηκε λίγο περισσότερη έμφαση στο σχήμα. Συγκεκριμένα οι παράμετροι που επιλέχθηκαν μετά από δοκιμές και απορρίψεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.7 και το αποτέλεσμα της κατάτμησης Εικόνα 3.119.

Επίπεδο	Scale Parameter	Shape	Compactness
4	40	0.6	0.8

Πίνακας 3.7 Παράμετροι Κατάτμησης Επιπέδου 4



**Εικόνα 3.119 Εικόνα Δεδομένων 1:
Αποτέλεσμα Κατάτμησης Επιπέδου 4
(ουσιαστικά το αποτέλεσμα της
κατάτμησης είναι τα αντικείμενα που
φαίνονται με κόκκινο και πράσινο
περίγραμμα)**

Τα αντικείμενα του επιπέδου 4 θα ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες: Άλλοι Ιστοί “*others l4*”, Αθηρωματική Πλάκα_ή_Τοίχωμα (*atheromatous plaque_or_wall of artery l4*), Αυλός (*lumen l4*) και Περιοχή Διχασμού (*bifurcation l4*) και Αθηρωματική Πλάκα (ενδεχόμενη) (*atheromatous plaque (like) l4*). Πιο αναλυτικά η λογική που ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα στο επίπεδο αυτό έχει ως εξής:

- Το αντικείμενο της κατηγορία “*others l4*” ταξινομείται ως αντικείμενο του υπεραντικειμένου της κατηγορίας “*others l3*” (*Existence of super objects others l3*).
- Τα αντικείμενα της κατηγορίας “*bifurcation l4*” ταξινομείται εύκολα ως αντικείμενα του υπεραντικειμένου της κατηγορίας “*bifurcation l3*” (*Existence of super objects bifurcation l3*).
- Τα υποαντικείμενα της κατηγορίας “*atheromatous plaque_or_wall of artery l3*” στο επίπεδο 4 τα οποία έχουν υποστεί ενοποίηση ελέγχονται εάν έχουν κοινό όριο (*Rel. Border to*) είτε με “*bifurcation l4*” είτε με “*others l4*” είτε με “*atheromatous plaque_or_wall of artery l4*” όπως ήδη έχει αναλυθεί στο τέλος του υποκεφαλαίου (3.2.5). Επίσης σε αυτή την κατηγορία θα συμπεριληφθούν αντικείμενα του υπεραντικειμένου “*atheromatous plaque (like) l3*”. Τα υποαντικείμενα αυτά

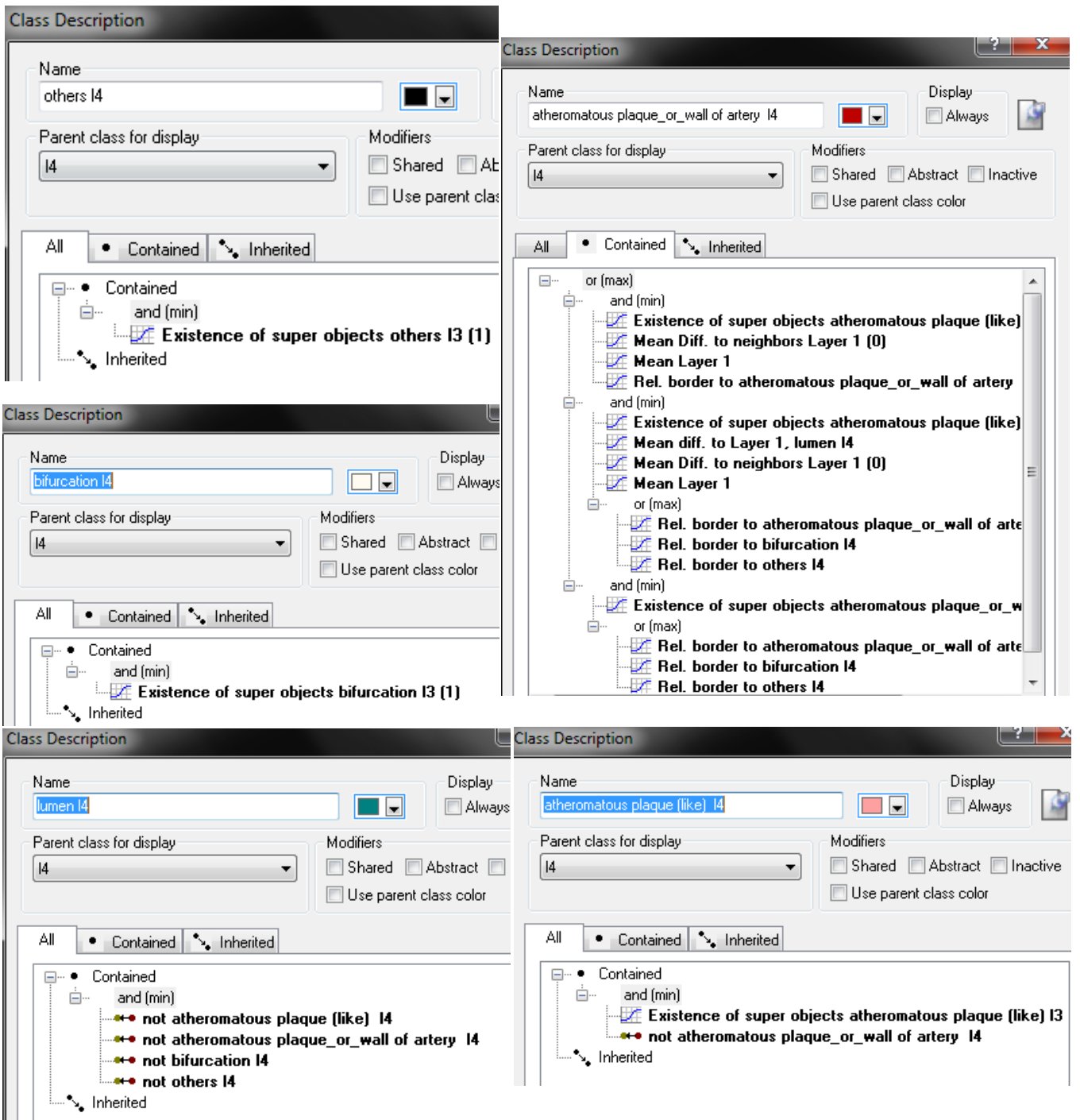
κατηγοριοποιούνται στην κατηγορία “*atheromatous plaque_or_wall of artery l4*” όταν:

1. Έχουν κοινό όριο (> 0.375) είτε με “*bifurcation l4*” είτε με “*atheromatous plaque_or_wall of artery l4*” είτε με “*others l4*” και
2. έχουν μέσο όρο φωτεινότητας μεγαλύτερο από 34.5 και
3. διαφέρουν από το μέσο όρο της φωτεινότητας της κατηγορίας “*lumen l4*” (*Mean diff. Layer 1, lumen l4* >13.5) και
4. διαφέρουν από το μέσο όρο φωτεινότητας των γειτονικών αντικειμένων το περισσότερο από -20.5 (*Mean diff. to neighbors* > -20.5).
















Στην κατηγορία “*atheromatous plaque_or_wall of artery l4*” εντάσσονται τα αντικείμενα του υπεραντικειμένου “*atheromatous plaque (like) l3*” τα οποία περιβάλλονται σε μεγάλο ποσοστού από “*atheromatous plaque_or_wall of artery l4*”, έχουν τιμή μέσου όρου φωτεινότητας μεγαλύτερη από 45 και διαφέρουν σε φωτεινότητα από τα γειτονικά αντικείμενα το λιγότερο -32.5 (*Mean diff. to neighbors Layer 1* >-32.5). Συνεπώς εκτός από τα ενοποιημένα αντικείμενα “*atheromatous plaque_or_wall of artery l3*” μπορεί να έχουν προκύψει και άλλα αντικείμενα της κατηγορίας “*atheromatous plaque_or_wall of artery l4*”. Επομένως εάν υπάρχει αντικείμενο της κατηγορία “*atheromatous plaque_or_wall of artery l3*” που να μην έχει κοινό όριο με “*others*” ή “*bifurcation*” αλλά να έχει κοινό όριο με “*atheromatous plaque_or_wall of artery l4*” τότε θα ενταχθεί και αυτό στην κατηγορία “*atheromatous plaque_or_wall of artery l4*”.

- Τα αντικείμενα της κατηγορίας “*atheromatous plaque (like) l4*” είναι όσα αντικείμενα είναι υποαντικείμενα της “*atheromatous plaque (like) l3*” και δεν ταξινομήθηκαν ως “*atheromatous plaque_or_wall of artery l4*”.
- Τέλος τα αντικείμενα που ταξινομούνται στην κατηγορία “*lumen l4*” είναι εκείνα που δεν ταξινομήθηκαν σε καμία από της παραπάνω κατηγορίες.



Οι ιδιότητες της κάθε κατηγορίας φαίνονται στην Εικόνα 3.120, οι συναρτήσεις συμμετοχής στον Πίνακα 3.8 και 3.9 ενώ το αποτέλεσμα της ταξινόμησης παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.121.



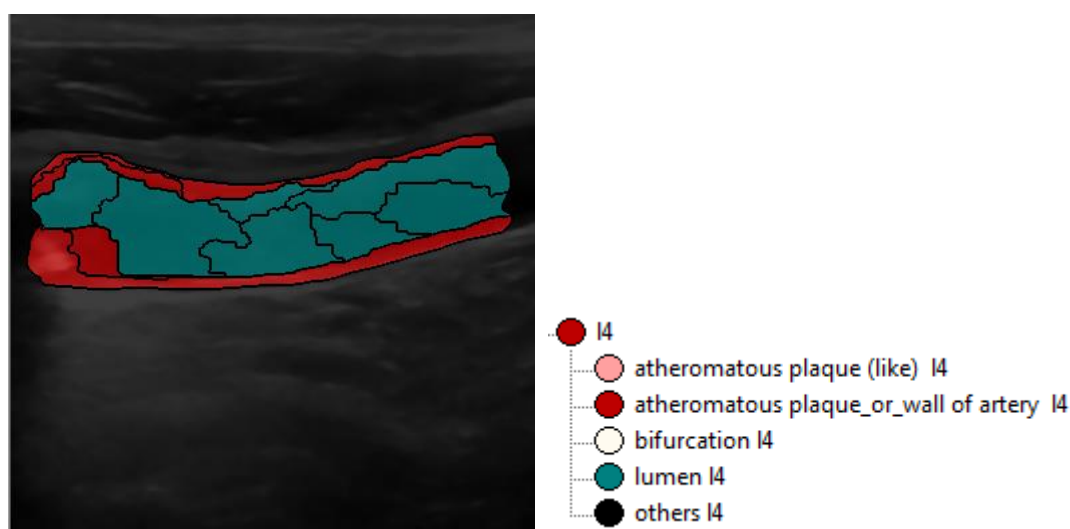
Εικόνα 3.120 Κανόνες Επιπέδου 4 Ανά Κατηγορία

Κατηγορία	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο Συνάρτησης	Δεξί Όριο Συνάρτησης
atheromatous plaque (like) I4	Existence of super objects atheromatous plaque (like) I3		0	1
	not atheromatous plaque_or_wall of artery I4	-	-	-
atheromatous plaque_or_wall of artery I4	and Existence of super objects atheromatous plaque_or_wall of artery I3		0	1
	Rel. border to others I4		0.1	0.11
	Rel. border to bifurcation I4		0.1	0.11
	Rel. border to atheromatous plaque_or_wall of artery I4		0.3	0.35
	and Existence of super objects atheromatous plaque (like) I3		0	1
	Mean diff. to Layer 1, lumen I4		12	15
	Mean diff. to neighbors Layer 1		-21	-20
	Mean Layer 1		34	35
	Rel. border to atheromatous plaque_or_wall of artery I4		0.35	0.4
	Rel. border to bifurcation I4		0.35	0.4
	Rel. border to others I4		0.35	0.4
	and Rel. border to atheromatous plaque_or_wall of artery I4		0.79	0.8
	Mean Layer 1		34	35
	Mean diff. to neighbors Layer 1		-35	-30

Πίνακας 3.8 Συναρτήσεις Συμμετοχής Κανόνων των Κατηγοριών “atheromatous plaque_or_wall of artery I4” και “atheromatous plaque (like) I4” Επιπέδου 4

Κατηγορία	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο Συνάρτησης	Δεξί Όριο Συνάρτησης
bifurcation I4	<i>Existence of super objects bifurcation I3</i>		0	1
lumen I4	<i>not atheromatous plaque (like) I4</i>	-	-	-
	<i>not atheromatous plaque_or_wall of artery I4</i>	-	-	-
	<i>not bifurcation I4</i>	-	-	-
	<i>not others I4</i>	-	-	-
others I4	<i>Existence of super objects others I3</i>		0	1

Πίνακας 3.9 Συναρτήσεις Συμμετοχής Κανόνων Υπόλοιπων Κατηγοριών Επιπέδου I4



Εικόνα 3.121 Εικόνα Δεδομένων 1: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης Επιπέδου 4

Στην συνέχεια γίνεται ενοποίηση (*merge region*) της κατηγορίας “*lumen I4*”, επειδή όλα τα αντικείμενα αυτής της κατηγορίας θα συνεχίσουν να είναι στην κατηγορία “*lumen*” στο επόμενο επίπεδο.

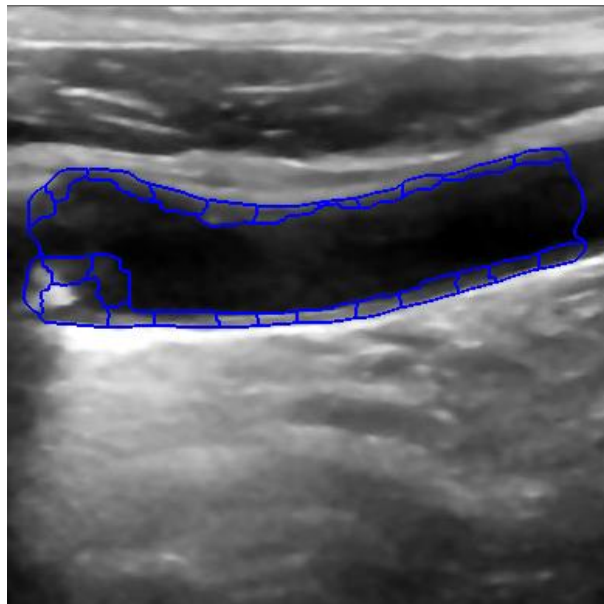
3.2.3.5 Κατάτμηση και Ταξινόμηση Επιπέδου 5

Στο επίπεδο αυτό (*I5*) βασικός σκοπός είναι να γίνει κατάτμηση της κατηγορίας “*atheromatous plaque_or_wall of artery I4*” τέτοια ώστε να γίνει διαχωρισμός της σε Τοίχωμα Φυσιολογικού Πάχους (*normal thickness of the carotid arterial wall I5*), Πάχυνση του Τοιχώματος (*thickening of the carotid arterial wall I5*) και

Αθηρωματική Πλάκα (*atheromatous plaque I5*). Στις υπόλοιπες κατηγορίες δεν γίνεται κατάτμηση. Για την υλοποίηση αυτού του σκοπού γίνεται *merge region* στην κατηγορία “*atheromatous plaque_or_wall of artery I4*” και μετά γίνεται κατάτμηση με έμφαση στο σχήμα έναντι του χρώματος και στα συμπαγή αντικείμενα έναντι της ομαλότητας των ορίων. Συγκεκριμένα οι τιμές των παραμέτρων ορίστηκαν και παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.10 και το αποτέλεσμα της κατάτμησης φαίνεται στην Εικόνα 1.122.

Επίπεδο	Scale Parameter	Shape	Compactness
5	30	0.9	0.9

Πίνακας 3.10 Παράμετροι Κατάτμησης Επιπέδου 5



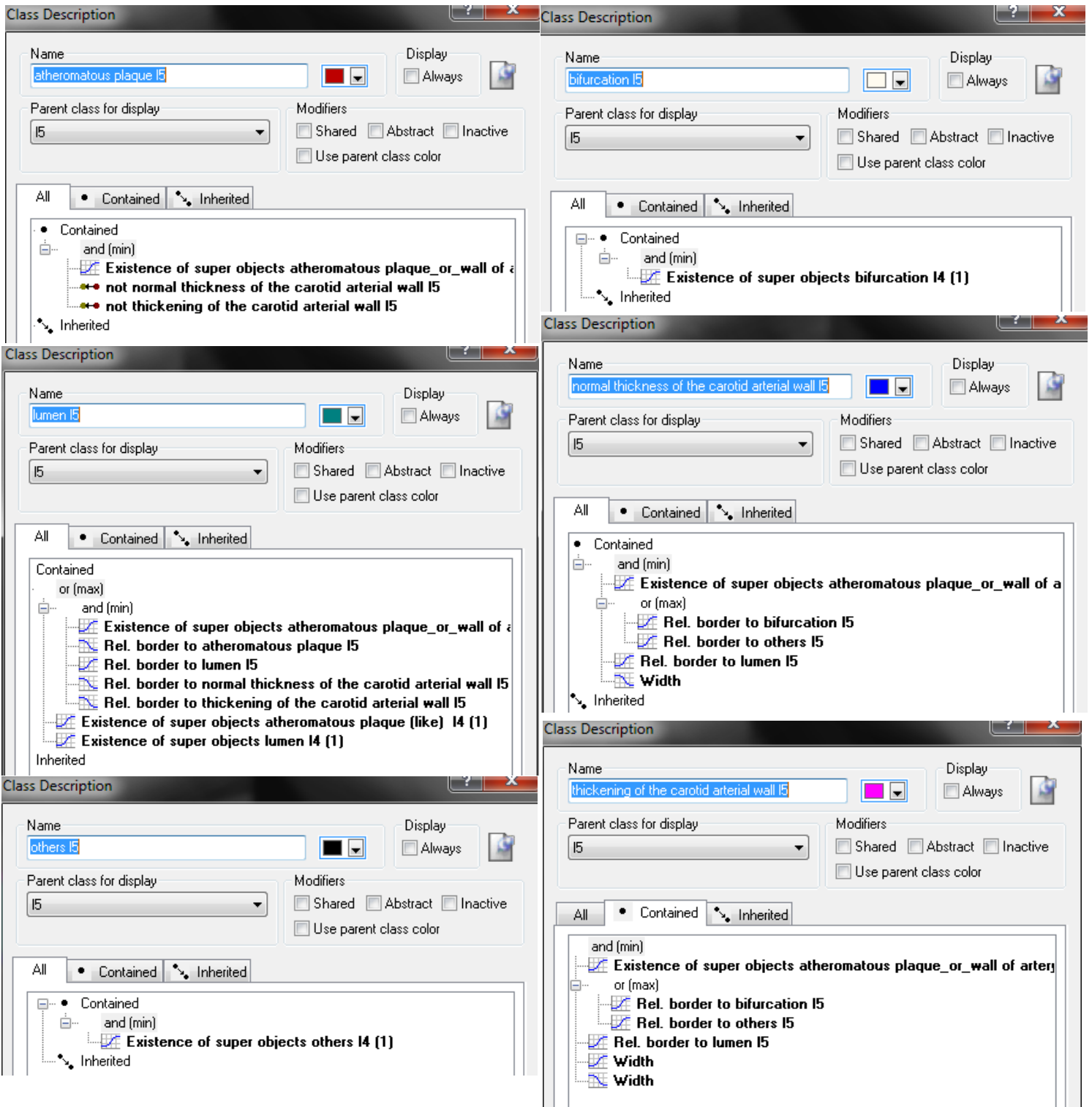
Εικόνα 3.122 Εικόνα Δεδομένων 1: Αποτέλεσμα Κατάτμησης Επιπέδου 5

Γενικότερα, στο σύνολο των εικόνων, παρατηρήθηκε ότι ο αλγόριθμος είχε αδυναμία στον σωστό υπολογισμό του πάχους του τοιχώματος. Συγκεκριμένα ο αλγόριθμος δίνει το πάχος ενός αντικειμένου ως πλάτος του ορθογωνίου που περικλείει το αντικείμενο. Για το λόγο αυτό υπάρχει μια υπερεκτίμηση του πάχους και έτσι για να λυθεί κάπως αυτό το πρόβλημα μετά από δοκιμές και απορρίψεις αποφασίστηκε η κατάτμηση να γίνει με παράμετρο κλίμακας 30 χωρίζοντας έτσι το τοίχωμα σε μικρά τμήματα.


















Στο επίπεδο 5 (*I5*), δημιουργήθηκαν οι εξής κατηγορίες: “*atheromatous plaque I5*”, “*bifurcation I5*”, “*lumen I5*”, “*normal thickness of the carotid arterial wall I5*”, “*others I5*” και “*thickening of the carotid arterial wall I5*”.

- Το αντικείμενο της κατηγορίας “*others I5*” προκύπτει ως το αντικείμενο του υπεραντικειμένου “*others I4*” (*Existence of super objects others I4*).
- Τα αντικείμενα της κατηγορίας “*bifurcation I5*” ταξινομείται ως υποαντικείμενο της κατηγορίας “*bifurcation I4*” (*Existence of super objects bifurcation I4*).
- Η κατηγορία “*normal thickness of the carotid arterial wall I5*” αποτελείται από τα αντικείμενα που ανήκουν στο υπεραντικείμενο “*atheromatous plaque_or_wall of artery I4*” και έχουν κοινό όριο είτε με το “*others I5*” είτε με το “*bifurcation I5*”, έχουν κοινό όριο με “*lumen I5*” και έχουν πάχος μικρότερο από 0.1005cm.
- Η κατηγορία “*thickening of the carotid arterial wall I5*” αποτελείται από τα αντικείμενα που ανήκουν στο υπεραντικείμενο “*atheromatous plaque_or_wall of artery I4*” και έχουν κοινό όριο είτε με το “*others I5*” είτε με το “*bifurcation I5*”, έχουν κοινό όριο με “*lumen I5*” και έχουν πάχος μεταξύ 0.1005-0.1495cm.
- Η κατηγορία “*atheromatous plaque I5*” είναι υποαντικείμενο της “*atheromatous plaque_or_wall of artery I4*” και δεν ταξινομείται στις κατηγορίες: “*thickening of the carotid arterial wall I5*”, “*normal thickness of the carotid arterial wall I5*”.
- Η κατηγορία “*lumen I5*” αποτελείται από τα υποαντικείμενα των κατηγοριών “*Existence of super objects lumen I4*” και “*Existence of super objects atheromatous plaque (like) I4*”. Επίσης σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται τα αντικείμενα της υπερκατηγορίας “*Existence of super objects atheromatous plaque_or_wall of artery I4*” τα οποία έχουν κοινό όριο με “*lumen I5*” (*Rel. border to lumen I5 >0.55*) και δεν έχουν κοινό όριο με τις κατηγορίες: “*thickening of the carotid arterial wall I5*”, “*normal thickness of the carotid arterial wall I5*”, “*atheromatous plaque I5*” και “*bifurcation I5*”.

Οι κανόνες της κάθε κατηγορίας που περιεγράφηκαν παραπάνω φαίνονται στην Εικόνα 3.123, οι συναρτήσεις συμμετοχής στον Πίνακα 3.11 και το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στην Εικόνα 3.124.

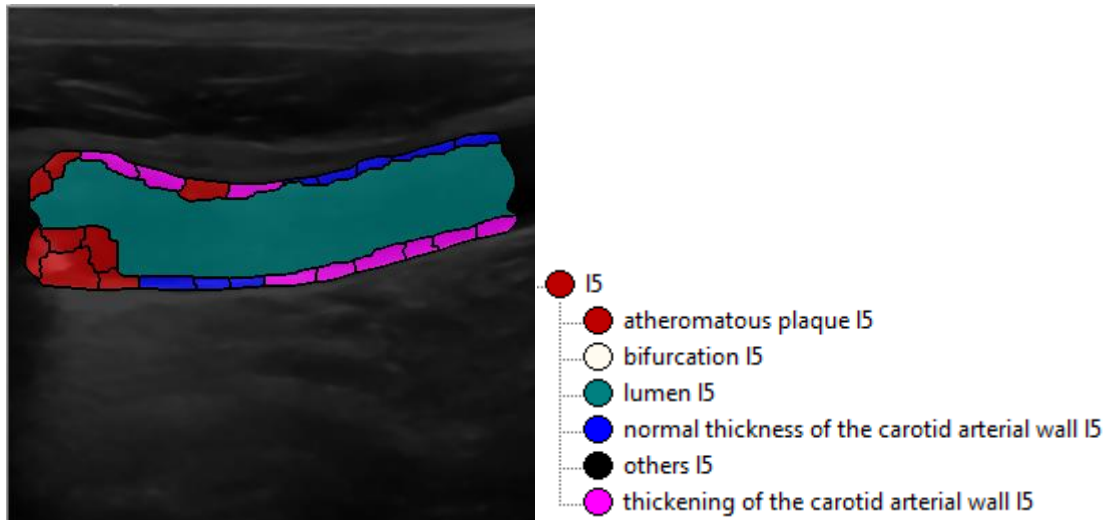


Εικόνα 3.123 Κανόνες Επιπέδου 5 Ανά Κατηγορία

Κατηγορία	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο Συνάρτησης	Δεξί Όριο Συνάρτησης
atheromatous plaque I5	<i>Existence of super objects atheromatous plaque_or_wall of artery I4</i>		0	1
	not thickening of the carotid arterial wall I5	-	-	-
	not normal thickness of the carotid arterial wall I5	-	-	-
bifurcation I4	<i>Existence of super objects bifurcation I4</i>		0	1
lumen I4	<i>Existence of super objects atheromatous plaque_or_wall of artery I4</i>		0	1
	<i>Rel. border to lumen I5</i>		0.5	0.6
	<i>Rel. border to atheromatous plaque I5</i>		0	0.01
	<i>Rel. border to normal thickness of the carotid arterial wall I5</i>		0	0.01
	<i>Rel. border to thickening of the carotid arterial wall I5</i>		0	0.01
	<i>Existence of super objects lumen I4</i>		0	1
	<i>Existence of super objects atheromatous plaque (like) I4</i>		0	1
others I4	<i>Existence of super objects others I4</i>		0	1
normal thickness of the carotid arterial wall I5	<i>Existence of super objects atheromatous plaque_or_wall of artery I4</i>		0	1
	<i>Rel. border to others I5</i>		0	0.01
	<i>Rel. border to bifurcation I5</i>		0	0.01
	<i>Rel. border to lumen I5</i>		0	0.01
	<i>Width (cm)</i>		0.1	0.101
thickening of the carotid arterial wall I5	<i>Existence of super objects atheromatous plaque_or_wall of artery I4</i>		0	1
	<i>Rel. border to others I5</i>		0	0.01

	<i>Rel. border to bifurcation I5</i>		0	0.01
	<i>Rel. border to lumen I5</i>		0	0.01
	<i>Width(cm)</i>		0.149	0.15
			0.10	0.101

Πίνακας 3.11 Συναρτήσεις Συμμετοχής Κανόνων των Κατηγοριών Επιπέδου 5



Εικόνα 3.124 Εικόνα Δεδομένων 1: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης Επιπέδου 5

Σε αυτό το σημείο γίνεται ενοποίηση (merge region) της κατηγορίας “*atheromatous plaque I5*” ώστε να ταξινομηθεί η κάθε πλάκα στο επίπεδο 7. Επίσης ενοποιούνται όλες οι υπόλοιπες κατηγορίες καθώς δεν θα επαναπροσδιοριστούν.

3.2.3.6 Κατάτμηση και Ταξινόμηση Επιπέδου 6

Σε αυτό το επίπεδο θα γίνει ανάλυση της σύστασης της πλάκας. Όπως αναλύθηκε στο υποκεφάλαιο 2.3.2 η σύσταση της πλάκας σχετίζεται με την φωτεινότητα που εμφανίζεται η πλάκα στον υπέρηχο. Επομένως στην κατηγορία “*atheromatous plaque I5*” γίνεται κατάτμηση με έμφαση στο χρώμα και δημιουργούνται αντικείμενα κοντά στο μέγεθος του pixel και επιλέχθηκε να δημιουργούνται συμπαγή αντικείμενα (Πίνακα 3.12).

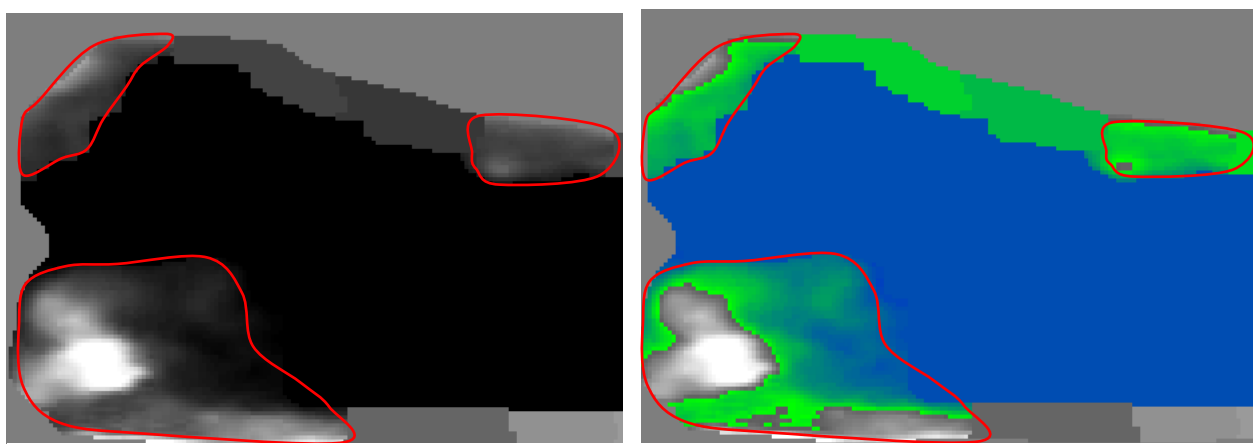
Επίπεδο	Scale Parameter	Shape	Compactness
6	1	0.1	0.9

Πίνακας 3.12 Παράμετροι Κατάτμησης Επιπέδου 6

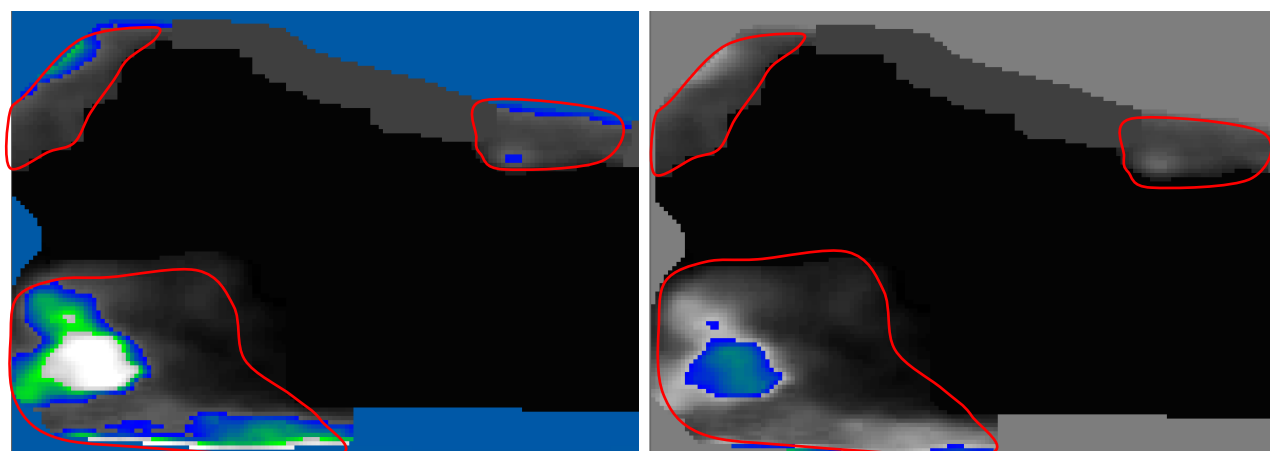
Από προφορική συνεννόηση με τον κ. Αντωνίου θεωρήθηκαν τρεις κατηγορίες σύστασης :

1. Χαμηλής Φωτεινότητας (*cholesterol*)
2. Μέσης Φωτεινότητας (*mixed substance*)
3. Υψηλής Φωτεινότητας (*calcification*)

Για να βρεθούν τα όρια των τιμών των τριών κατηγοριών έγιναν δοκιμές ώστε να περιγράφονται όσο το δυνατόν καλύτερα οι περιοχές αυτές. Παρακάτω στις Εικόνες 3.125 και 3.126, που προέκυψαν από το γραφικό εργαλείο (Feature View), φαίνονται τα κατώφλια που τελικώς επιλέχθηκαν για την κάθε κατηγορία και ποιες περιοχές ταξινομήθηκαν στην κάθε κατηγορία. Επιλέχθηκε αυτός ο τρόπος παρουσίασης επειδή διακρίνονται καλύτερα οι περιοχές που επιλέχθηκαν για κάθε κατηγορίας.



Εικόνα 3.125 Κατάτμηση Επιπέδου 6 για τις Τρείς Πλάκες (κόκκινα περιγράμματα) (αριστερά), Feature View για Κατηγορία Χαμηλής Φωτεινότητας $0 < \text{Mean Layer 1} < 90.5$ (δεξιά)

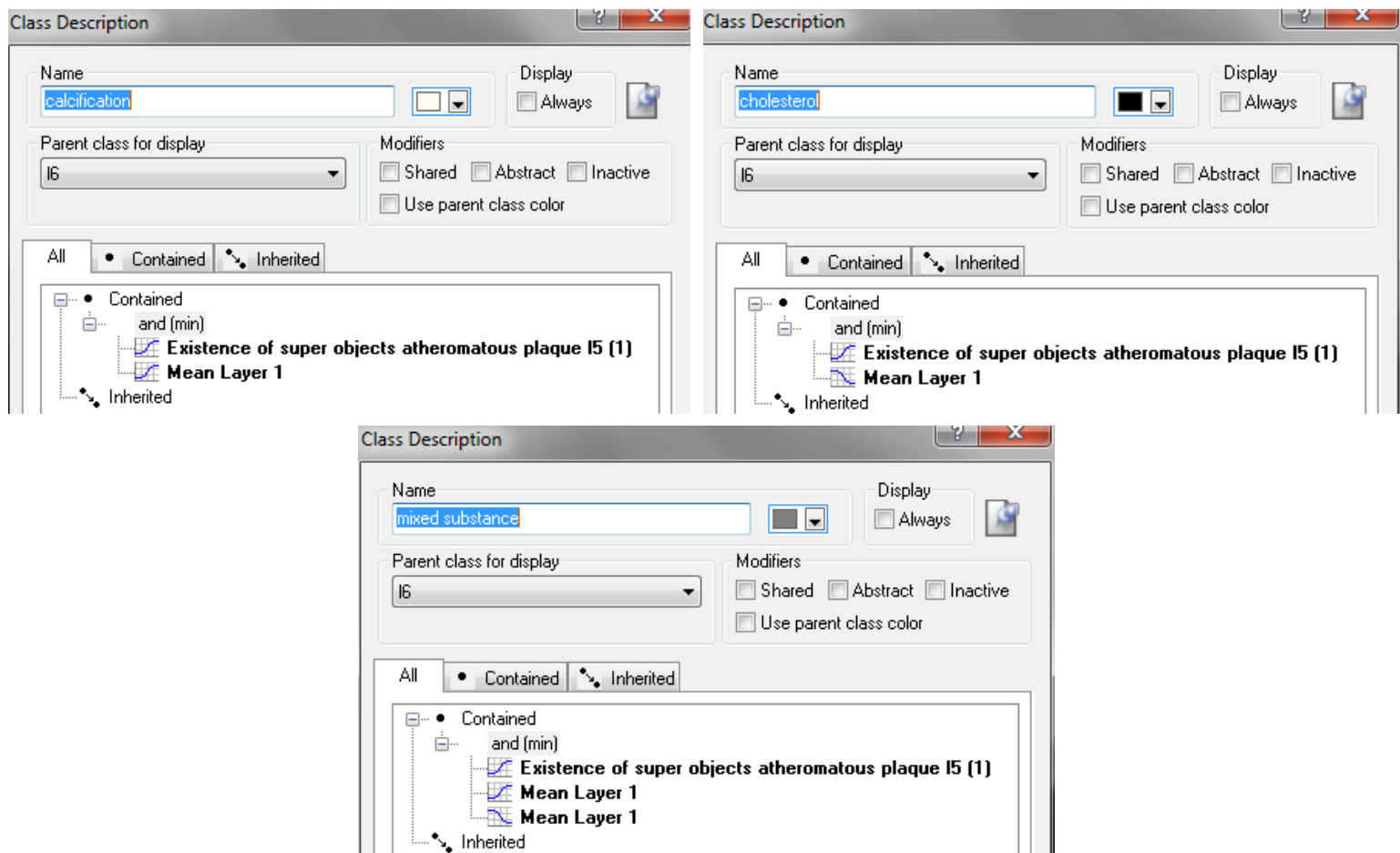


Εικόνα 3.126 Feature View για Κατηγορία Μεσαίας Φωτεινότητας $90.5 < \text{Mean Layer 1} < 140.5$ (αριστερά), Feature View για Κατηγορία Υψηλής Φωτεινότητας $140.5 < \text{Mean Layer 1} < 255$








Η ταξινόμηση των αντικειμένων του επιπέδου 6 ταξινομούνται ως εξής:

- Τα υποαντικείμενα του υπεραντικειμένου “*atheromatous plaque I5*” που έχουν τιμή φωτεινότητας μικρότερη από 90.5 ταξινομούνται στην κατηγορία “*cholesterol*”.
- Τα υποαντικείμενα του υπεραντικειμένου “*atheromatous plaque I5*” που έχουν τιμή φωτεινότητας μεγαλύτερη από 90.5 και μικρότερη από 140.5 ταξινομούνται στην κατηγορία “*mixed substance*”.
- Τα υποαντικείμενα του υπεραντικειμένου “*atheromatous plaque I5*” που έχουν τιμή φωτεινότητας μικρότερη από 140.5 ταξινομούνται στην κατηγορία “*calcification*”.

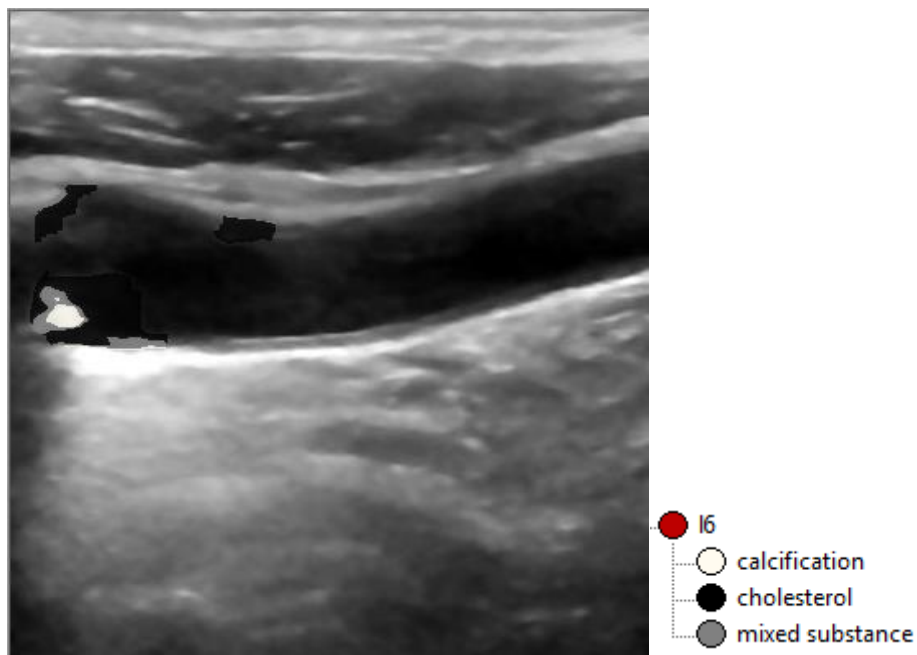
Οι κανόνες της κάθε κατηγορίας που περιεγράφηκαν παραπάνω φαίνονται στην Εικόνα 3.127, οι συναρτήσεις συμμετοχής στον Πίνακα 3.13 και το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στην Εικόνα 3.128.



Εικόνα 3.127 Κανόνες Επιπέδου 6 ανά Κατηγορία

Κατηγορία	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο Συνάρτησης	Δεξί Όριο Συνάρτησης
cholesterol	<i>Existence of super objects atheromatous plaque I5</i>		0	1
	Mean Layer 1		90	91
mixed substance	<i>Existence of super objects atheromatous plaque I5</i>		0	1
	Mean Layer 1		90	91
	Mean Layer 1		140	141
calcification	<i>Existence of super objects atheromatous plaque I5</i>		0	1
	Mean Layer 1		140	141

Πίνακας 3.13 Συναρτήσεις Συμμετοχής Κανόνων Επιπέδου 6



Εικόνα 3.128 Εικόνα Δεδομένων 1: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης Επιπέδου 6

3.2.3.7 Ταξινόμηση Επιπέδου 7

Για το επίπεδο αυτό (17) δεν έγινε κατάτμηση. Γίνεται copy image object level του επιπέδου 5 στο οποίο έχει γίνει ενοποίηση (merge region) της κατηγορίας “*atheromatous plaque I5*”. Έπειτα γίνεται ταξινόμηση την αθηρωματικής πλάκας “*atheromatous plaque I5*” σε τρεις κατηγορίες : *Type 1*, *Type 2*, *Type 3*.

Για να γίνει η ταξινόμηση αυτή χρησιμοποιήθηκαν τα εξής στοιχεία:

- Σύμφωνα με προφορική συνεννόηση με τον γιατρό η πλάκα τύπου 1 (*Type 1*) είναι χαμηλής φωτεινότητας, η πλάκα τύπου 2 (*Type 2*) έχει calcification <50% και η πλάκα τύπου 3 (*Type 3*) έχει calcification > 50%.
- Η οπτική αξιολόγηση συνεπάγεται την ταξινόμηση των πλακών στον τύπο 1 (υποηχοϊκή, φωτεινότητα ίση με αυτή του αίματος), τύπο 2 (ισοηχητική, φωτεινότητας ίσης με την περιεξωχιτωνική (periadventitial) περιοχή) ή τύπο 3 (υπερηχογενής, φωτεινότητας μεγαλύτερη από την περιεξωχιτωνική περιοχή) το οποίο προτείνεται από τον Polak (Polak, Shemanski, O'Leary, & al., 1998).

Για να γίνει η ταξινόμηση στο επίπεδο 7 έπρεπε να δημιουργηθούν τρεις δείκτες:

$$1. \text{percentage_of_calcification} = \frac{\text{Area of sub objects calcification}}{\text{Area of atheromatous plaque I5}} * 100$$

$$2. \text{percentage_of_cholesterol} = \frac{\text{Area of sub objects cholesterol}}{\text{Area of atheromatous plaque I5}} * 100$$

$$3. \text{percentage_of_mixed_substance} = \frac{\text{Area of sub objects mixed substance}}{\text{Area of atheromatous plaque I5}} * 100$$

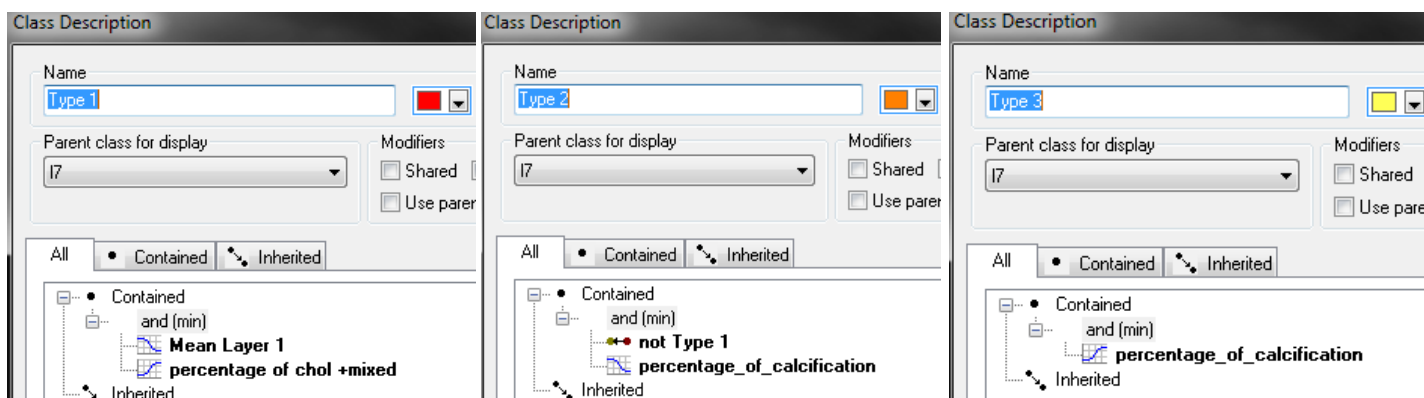
Βάσει των παραπάνω αποφασίστηκε να οριστούν οι κατηγορίες στο επίπεδο 7 ως εξής:

- Η κατηγορία "*Type 1*" ορίστηκε ως κάθε αντικείμενο της "*atheromatous plaque I5*" που έχει σχετικά χαμηλή φωτεινότητα (Mean Layer 1) μικρότερη από 87.5 (με μεγάλη ασάφεια στο όριο) και άθροισμα του ποσοστού της "*cholesterol*" και της "*mixed substance*" είναι μεγαλύτερο από 90.5%.





$\text{percentage of chol+mixed} = \text{percentage_of_cholesterol} + \text{percentage_of_mixed_substance} > 90$

- Η κατηγορία "*Type 2*" ορίστηκε ως κάθε αντικείμενο της "*atheromatous plaque I5*" που έχει ποσοστό "*calcification*" μικρότερο από 49.5% και δεν είναι κατηγορία "*Type 1*".
- Η κατηγορία "*Type 3*" ορίστηκε ως κάθε αντικείμενο της "*atheromatous plaque I5*" που έχει ποσοστό "*calcification*" περισσότερο από 49.5%.

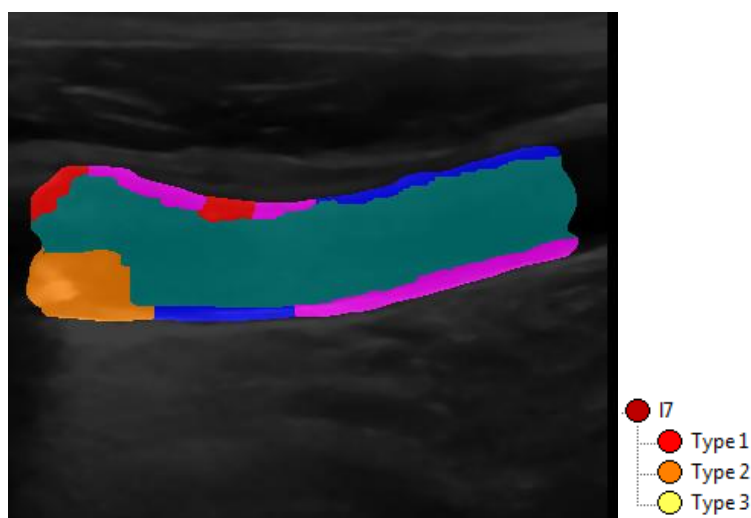
Οι κανόνες της κάθε κατηγορίας που περιεγράφηκαν παραπάνω φαίνονται στην Εικόνα 3.129, οι συναρτήσεις συμμετοχής στον Πίνακα 3.14 και το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στην Εικόνα 3.130.



Εικόνα 3.129 Κανόνες Επιπέδου 7 ανά Κατηγορία

Κατηγορία	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο Συνάρτησης	Δεξί Όριο Συνάρτησης
Type 1	Mean Layer 1		85	90
	percentage of chol+mixed		90	91
Type 2	percentage of calcification		49	50
	not Type 1			
Type 3	percentage of calcification		49	50

Πίνακας 3.14 Συναρτήσεις Συμμετοχής Κανόνων Επιπέδου 7

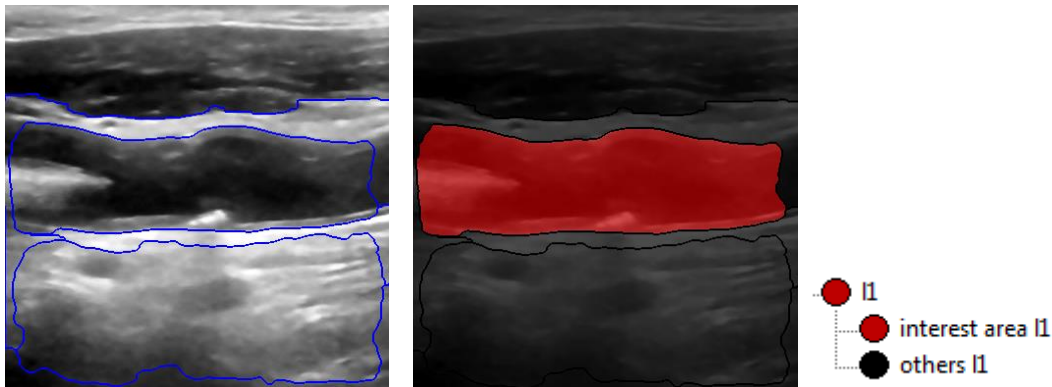


Εικόνα 3.130 Εικόνα Δεδομένων 1: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης Επιπέδου 7

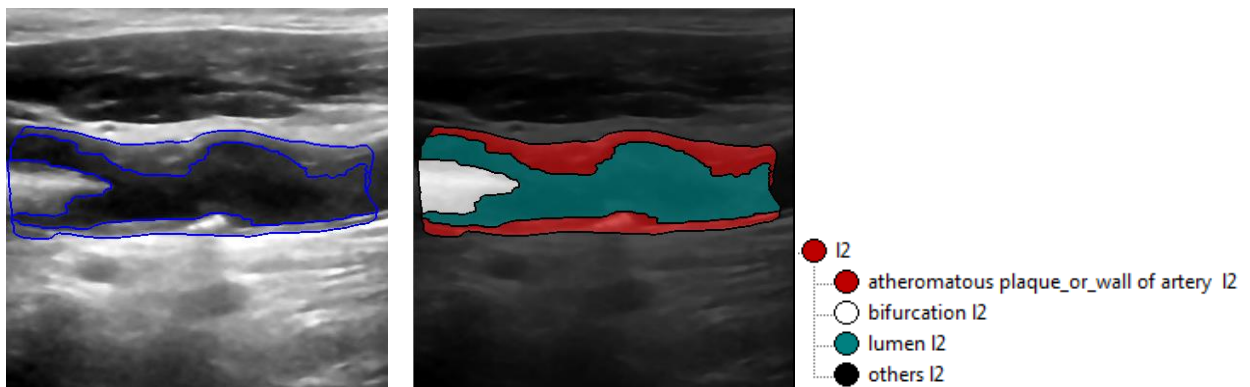
3.2.4 Αποτελέσματα Υλοποίησης Αντικειμενοστρεφούς Ανάλυσης των Υπόλοιπων Εικόνων

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης, που περιγράφηκε παραπάνω, για τις υπόλοιπες εικόνες. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι ίδιες.

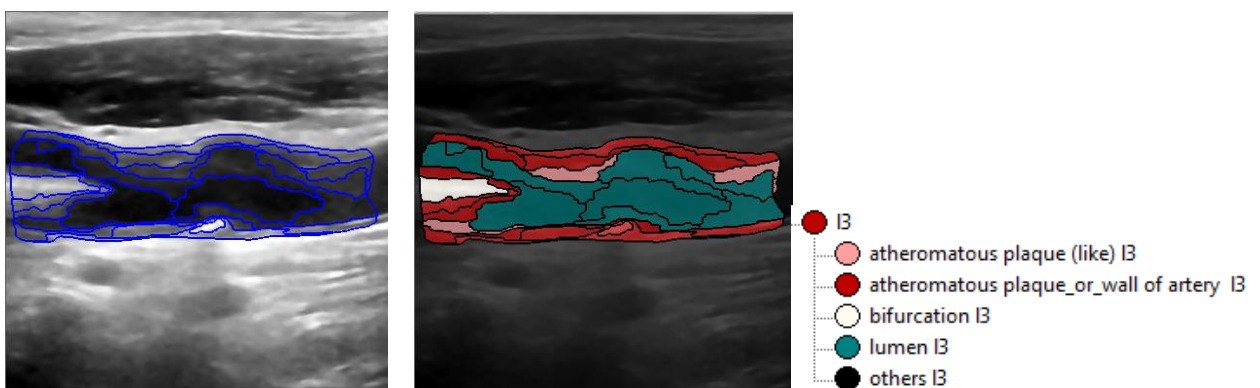
Εικόνα Δεδομένων 2



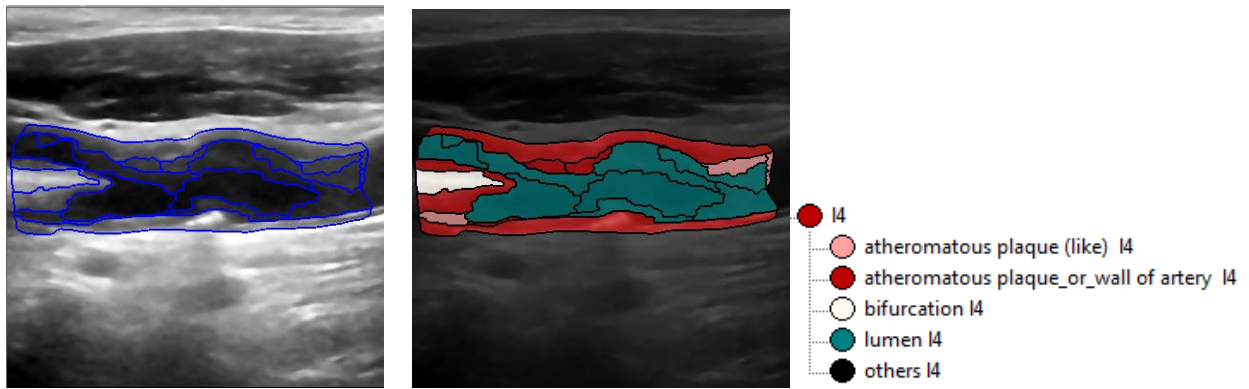
Εικόνα 3.131 Εικόνα Δεδομένων 2: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 1



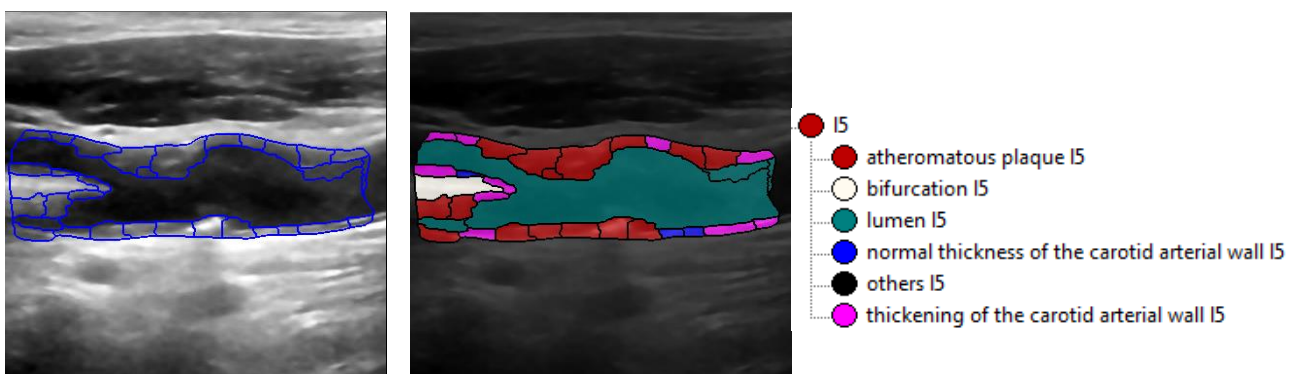
Εικόνα 3.132 Εικόνα Δεδομένων 2: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 2



Εικόνα 3.133 Εικόνα Δεδομένων 2: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 3

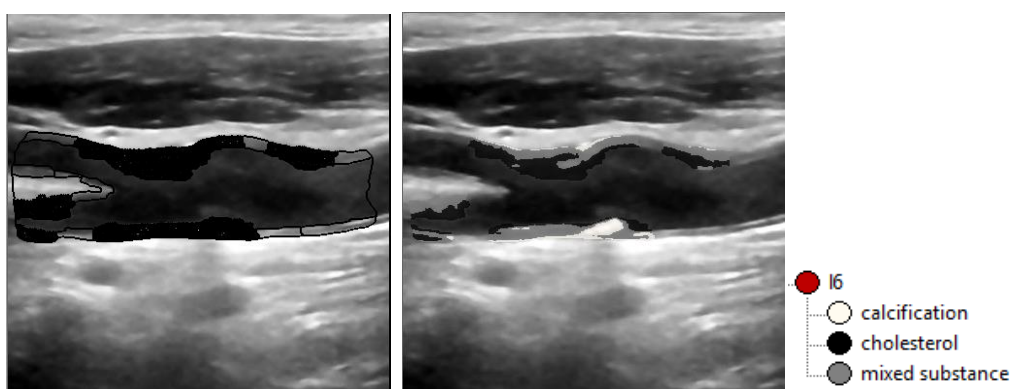


Εικόνα 3.134 Εικόνα Δεδομένων 2: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 4

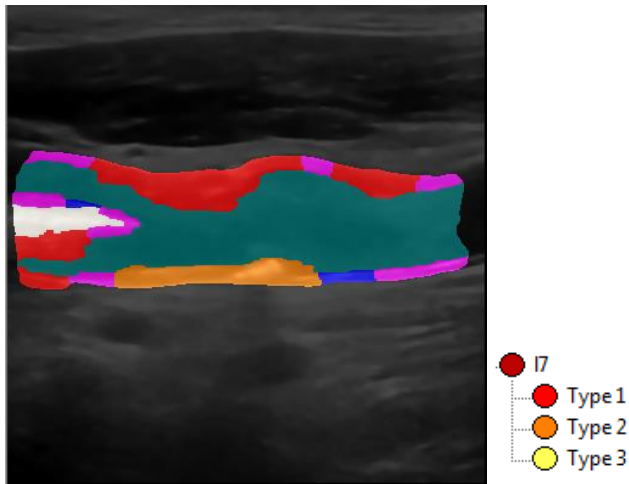


Εικόνα 3.135 Εικόνα Δεδομένων 2: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 5

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του επιπέδου 5 είναι ικανοποιητικό. Οι πλάκες περιγράφονται αρκετά καλά στο σύνολό τους. Μόνο στην περιοχή του διχασμού έχει ταξινομηθεί ως πλάκα ένα τμήμα που δεν είναι.

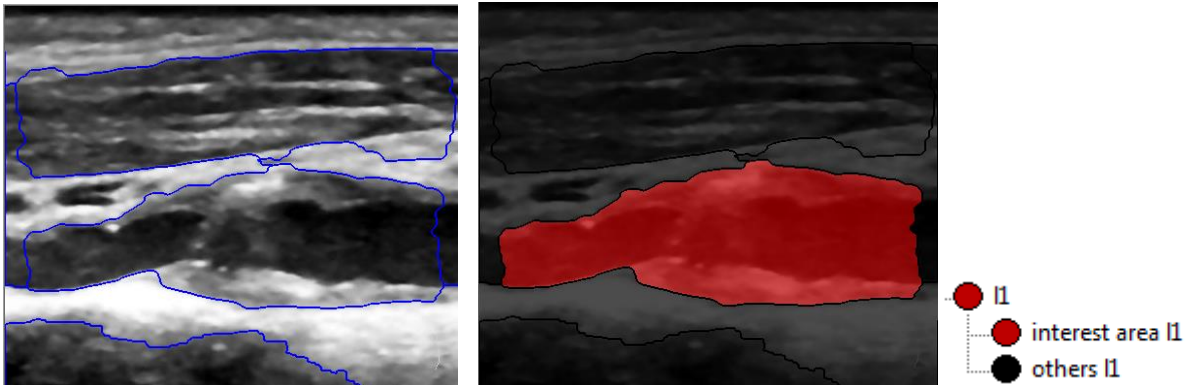


Εικόνα 3.136 Εικόνα Δεδομένων 2: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 6

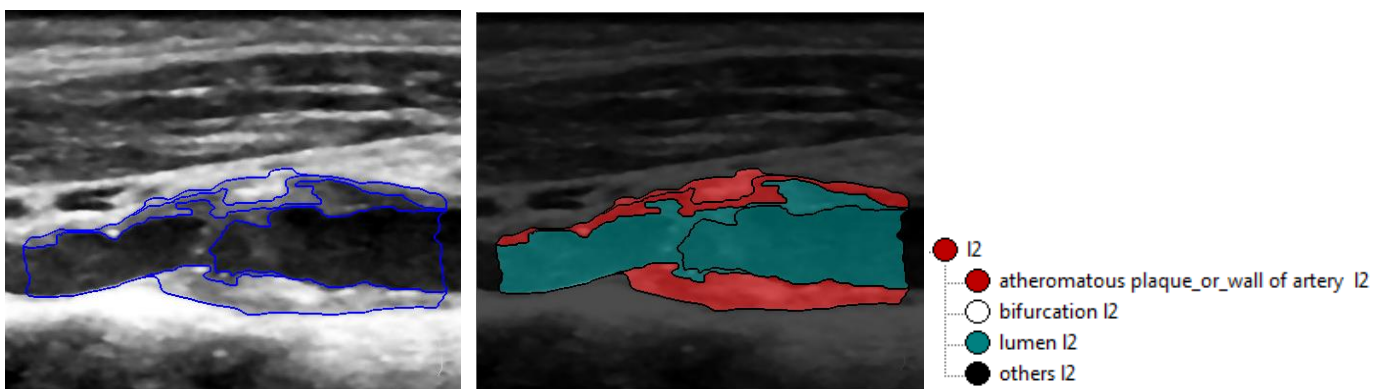


Εικόνα 3.137 Εικόνα Δεδομένων 2: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης Επιπέδου 7

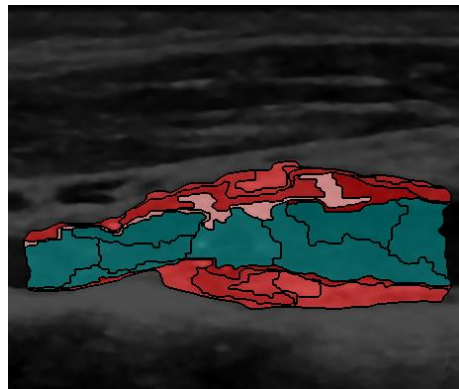
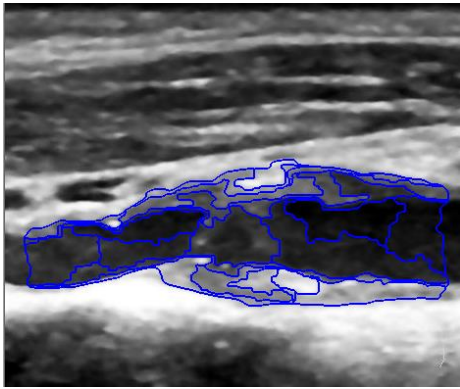
Εικόνα Δεδομένων 3



Εικόνα 3.138 Εικόνα Δεδομένων 3: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 1

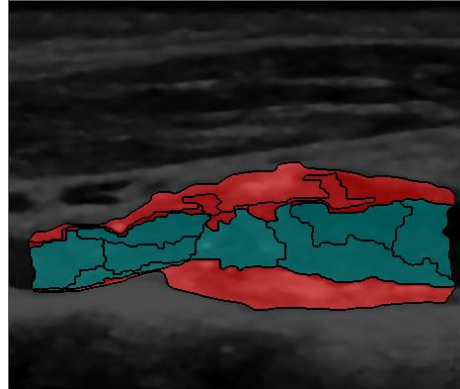
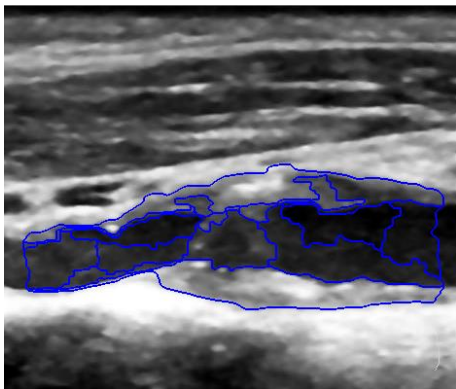


Εικόνα 3.139 Εικόνα Δεδομένων 3: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 2



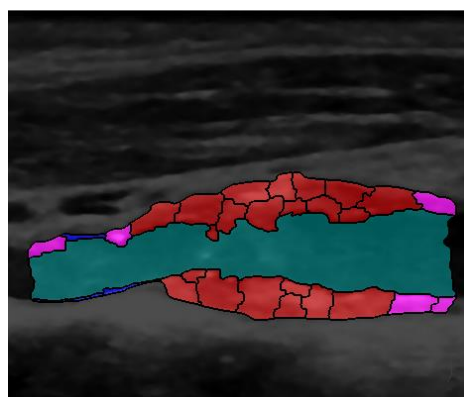
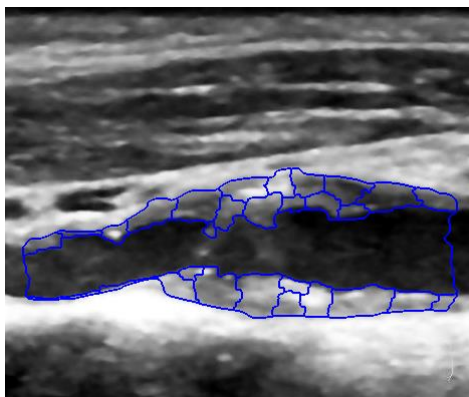
- I3
- atheromatous plaque (like) I3
- atheromatous plaque_or_wall of artery I3
- bifurcation I3
- lumen I3
- others I3

Εικόνα 3.140 Εικόνα Δεδομένων 3: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 3



- I4
- atheromatous plaque (like) I4
- atheromatous plaque_or_wall of artery I4
- bifurcation I4
- lumen I4
- others I4

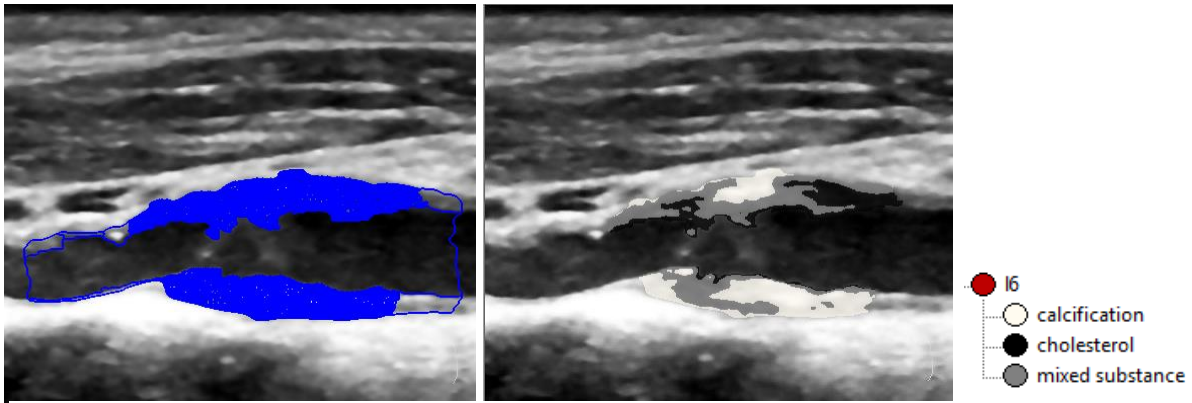
Εικόνα 3.141 Εικόνα Δεδομένων 3: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 4



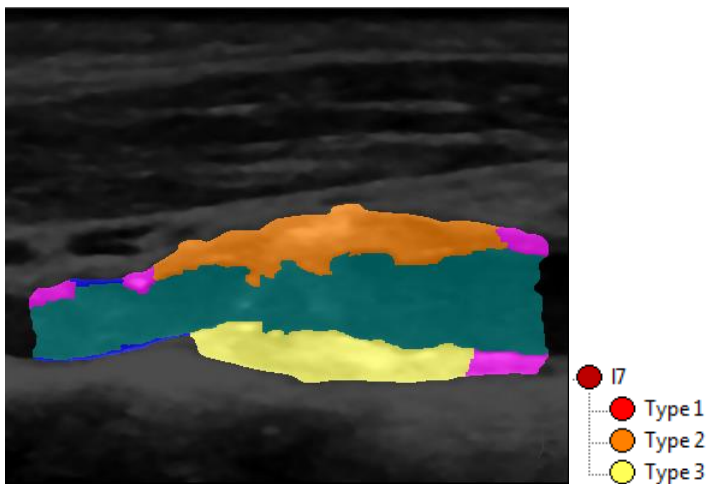
- I5
- atheromatous plaque I5
- bifurcation I5
- lumen I5
- normal thickness of the carotid arterial wall I5
- others I5
- thickening of the carotid arterial wall I5

Εικόνα 3.142 Εικόνα Δεδομένων 3: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 5

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του επιπέδου 5 είναι ικανοποιητικό. Οι πλάκες περιγράφονται καλά στο σύνολό τους. Μια περιοχή στο κέντρο στη οποία υπάρχει υπόνοια πλάκας ταξινομείται σαν αυλός.

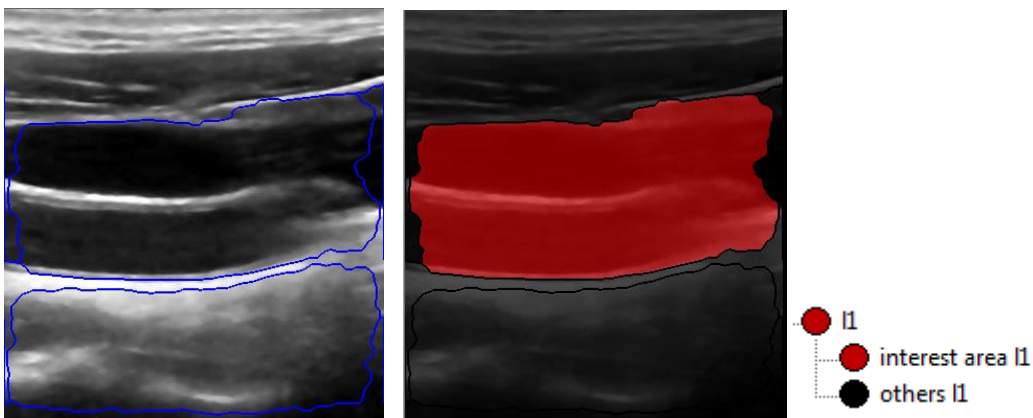


Εικόνα 3.143 Εικόνα Δεδομένων 3: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 6

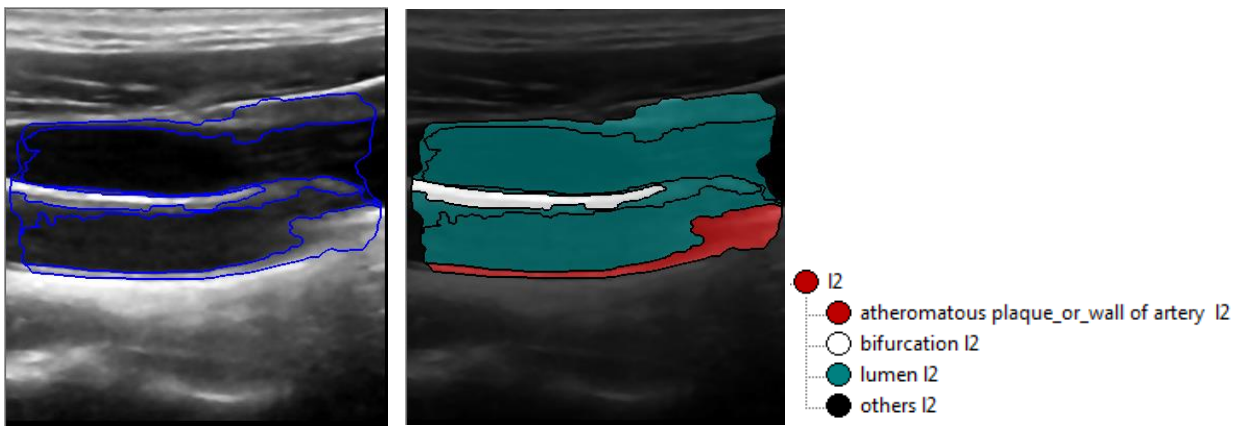


Εικόνα 3.144 Εικόνα Δεδομένων 3: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης Επιπέδου 7

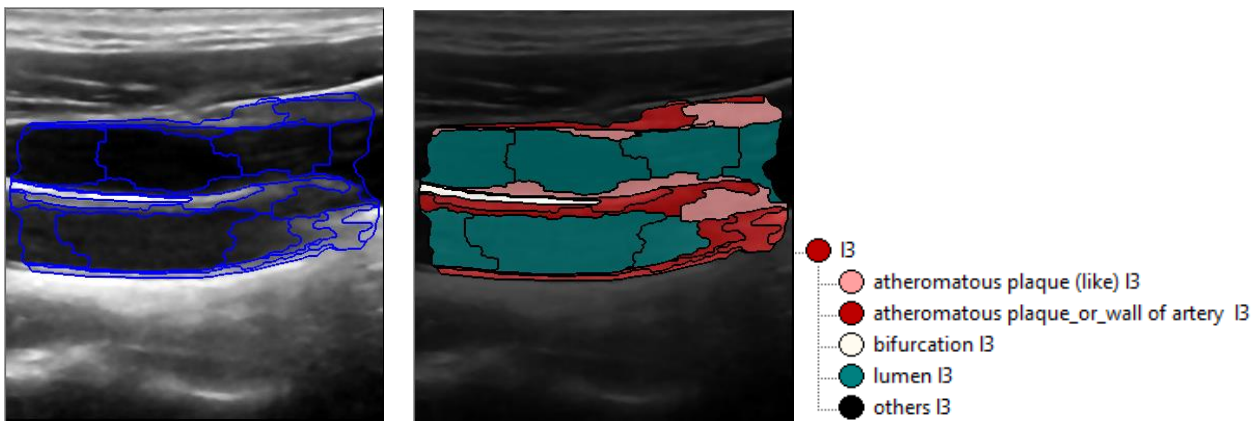
Εικόνα Δεδομένων 4



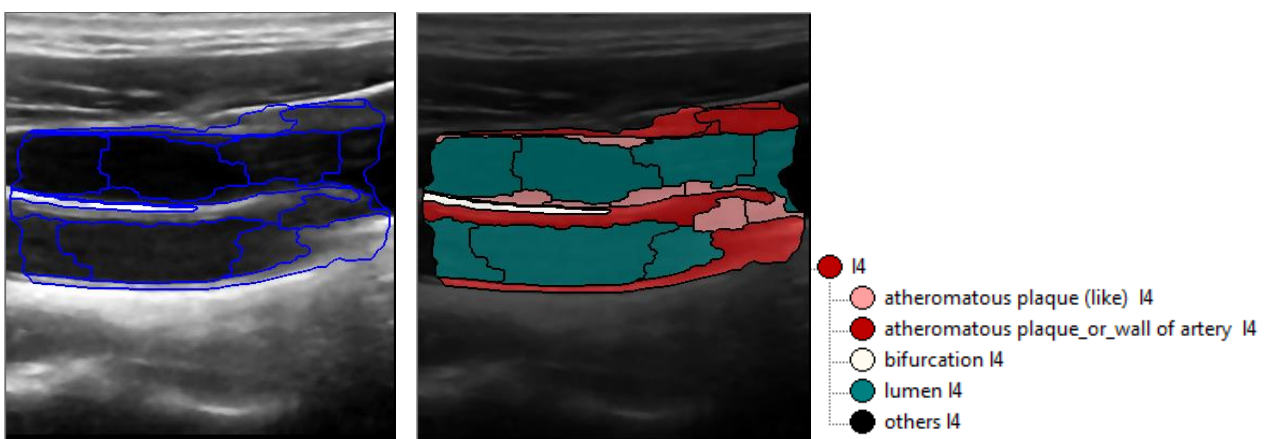
Εικόνα 3.145 Εικόνα Δεδομένων 4: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 1



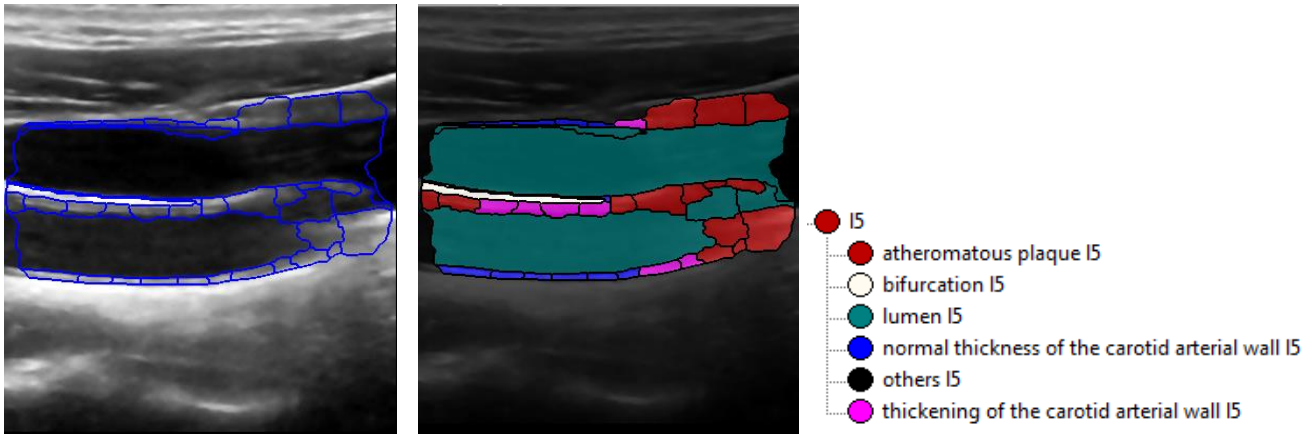
Εικόνα 3.146 Εικόνα Δεδομένων 4: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 2



Εικόνα 3.147 Εικόνα Δεδομένων 4: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 3

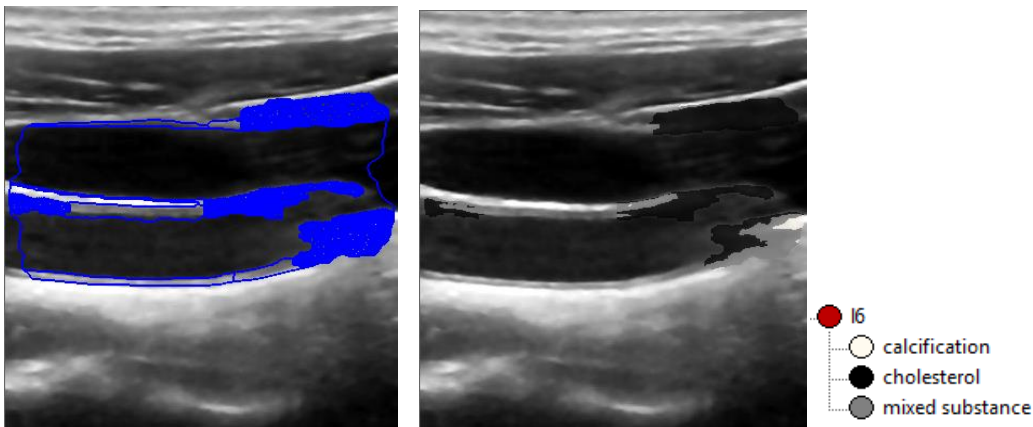


Εικόνα 3.148 Εικόνα Δεδομένων 4: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 4

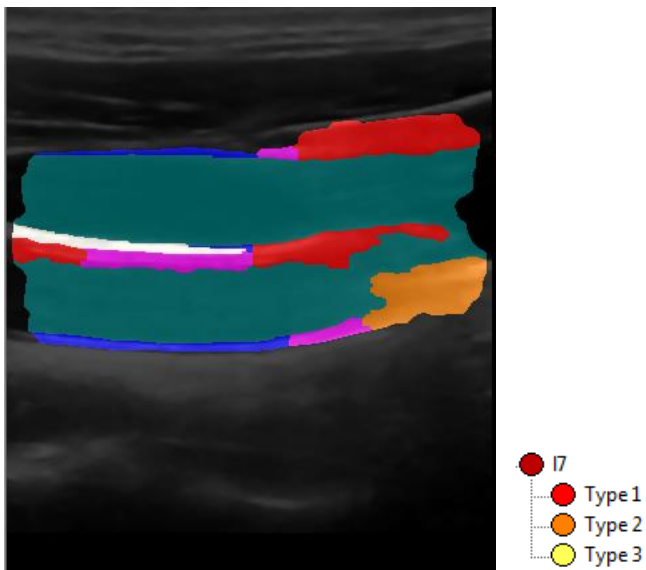


Εικόνα 3.149 Εικόνα Δεδομένων 4: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 5

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του επιπέδου 5 δεν είναι καλό. Αρχικά δεν περιγράφεται σωστά η περιοχή του διχασμού καθώς μεγάλη περιοχή της έχει ταξινομηθεί ως πλάκα. Επίσης η πλάκα που φαίνεται πάνω δεξιά στην εικόνα είναι περιοχή γειτονικών ιστών και το σφάλμα αυτό προκύπτει εξαιτίας του αλγόριθμου εξαγωγής της καρωτίδας. Τέλος η πλάκα που εμφανίζεται κάτω δεξιά της εικόνας είναι artifacts καθώς έχει επιβεβαιωθεί από γιατρό.

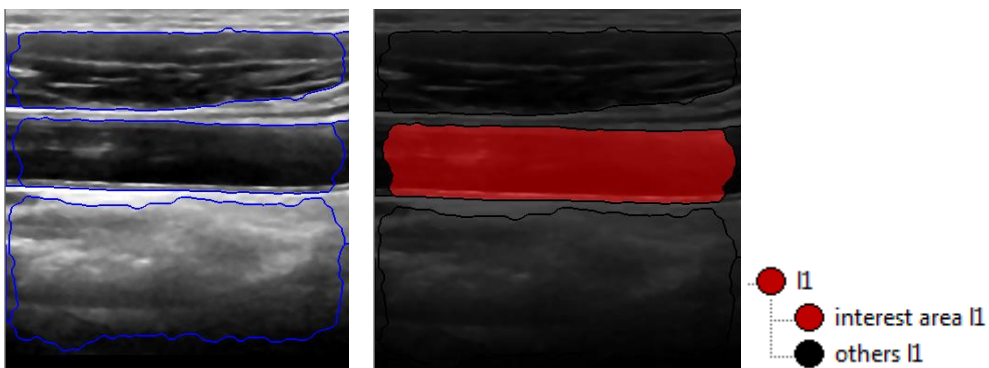


Εικόνα 3.150 Εικόνα Δεδομένων 4: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 6

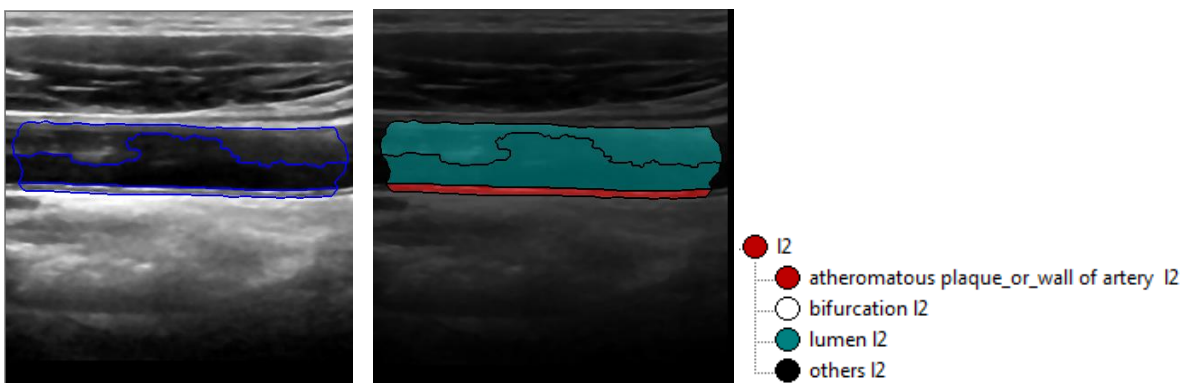


Εικόνα 3.151 Εικόνα Δεδομένων 4: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης Επιπέδου 7

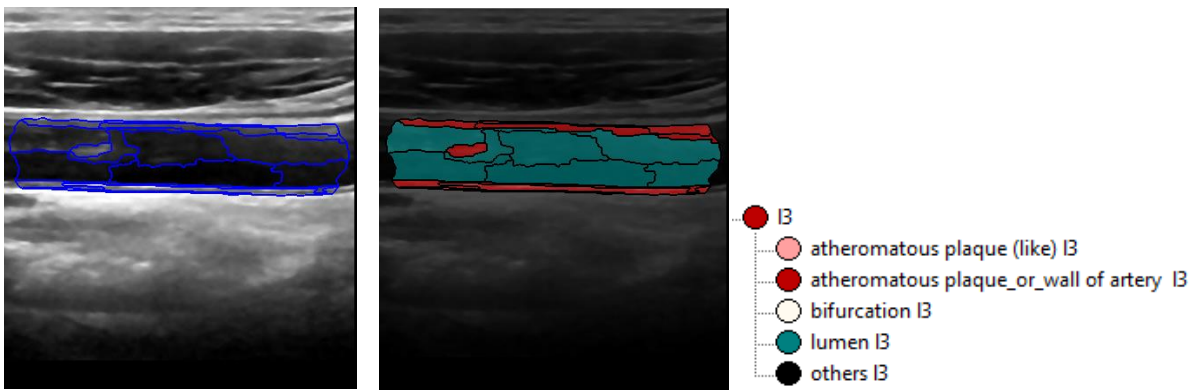
Εικόνα Δεδομένων 5



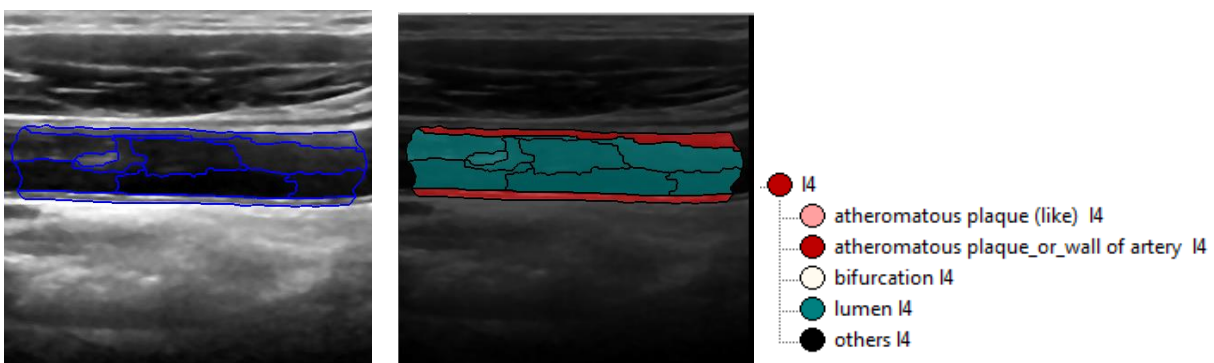
Εικόνα 3.152 Εικόνα Δεδομένων 5: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 1



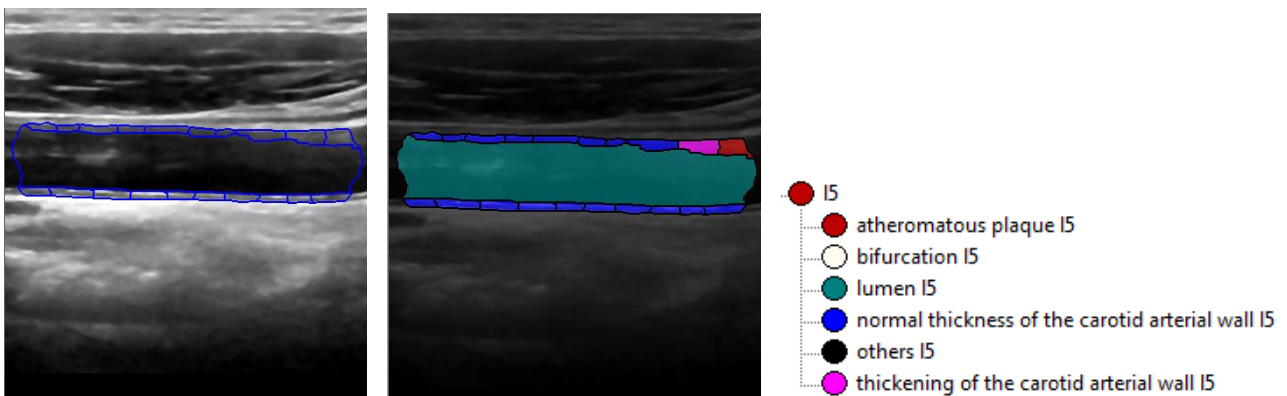
Εικόνα 3.153 Εικόνα Δεδομένων 5: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 2



Εικόνα 3.154 Εικόνα Δεδομένων 5: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 3

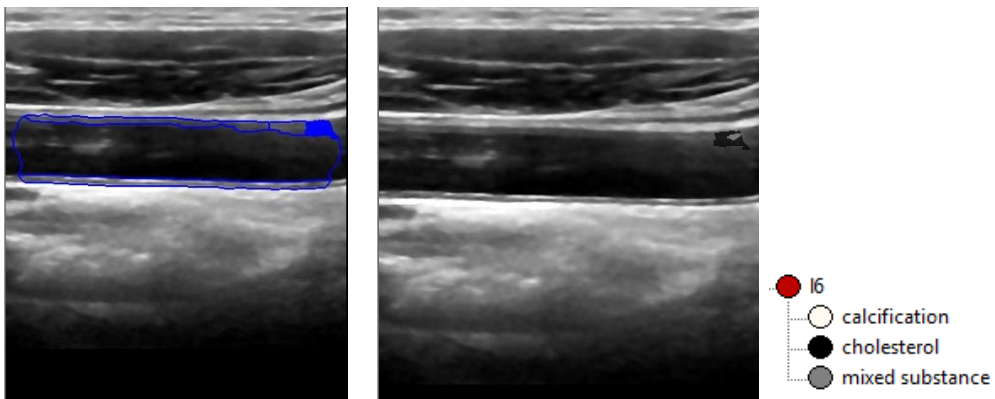


Εικόνα 3.155 Εικόνα Δεδομένων 5: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 4

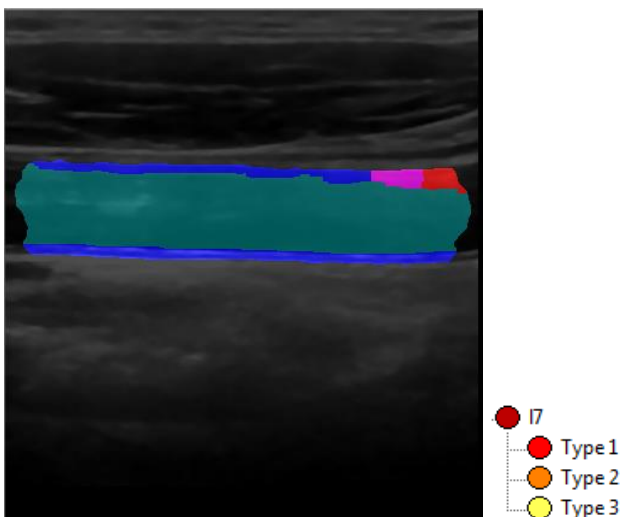


Εικόνα 3.156 Εικόνα Δεδομένων 5: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 5

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του επιπέδου 5 είναι ικανοποιητικό. Γενικά το τοίχωμα της αρτηρίας που απεικονίζεται στο πάνω μέρος της εικόνας είναι ασαφές. Όπως προφορικά έχει ειπωθεί από τον γιατρό δεν λαμβάνεται υπόψιν αυτή η απεικόνιση του τοιχώματος αλλά η μέτρηση του πάχους του τοιχώματος γίνεται στην απεικόνιση του αυλού που βρίσκεται στο κάτω μέρος της εικόνας. Η αυξημένης φωτεινότητας περιοχή εντός του αυλού έχει ταξινομηθεί σωστά ως αυλός.

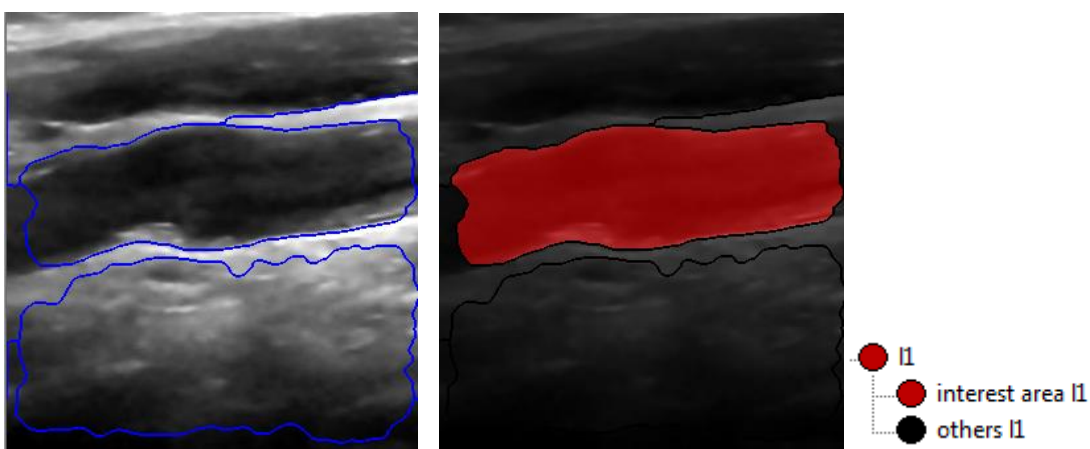


Εικόνα 3.157 Εικόνα Δεδομένων 5: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 6

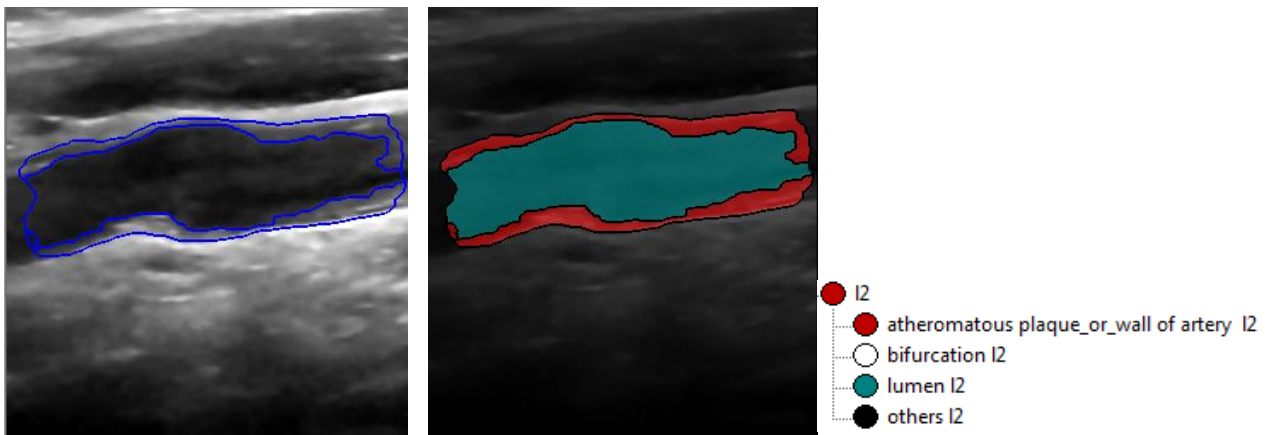


Εικόνα 3.158 Εικόνα Δεδομένων 5: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης Επιπέδου 7

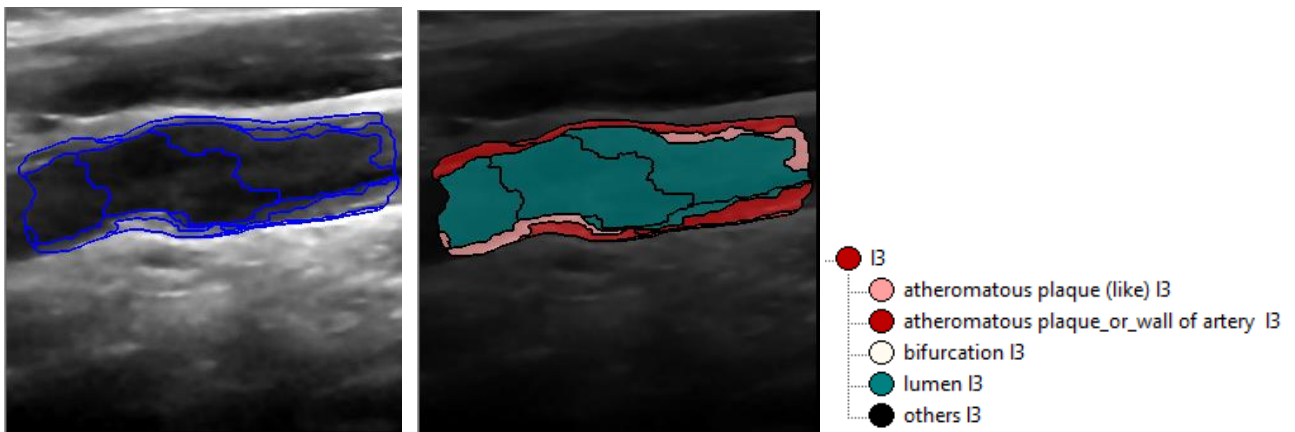
Εικόνα Δεδομένων 6



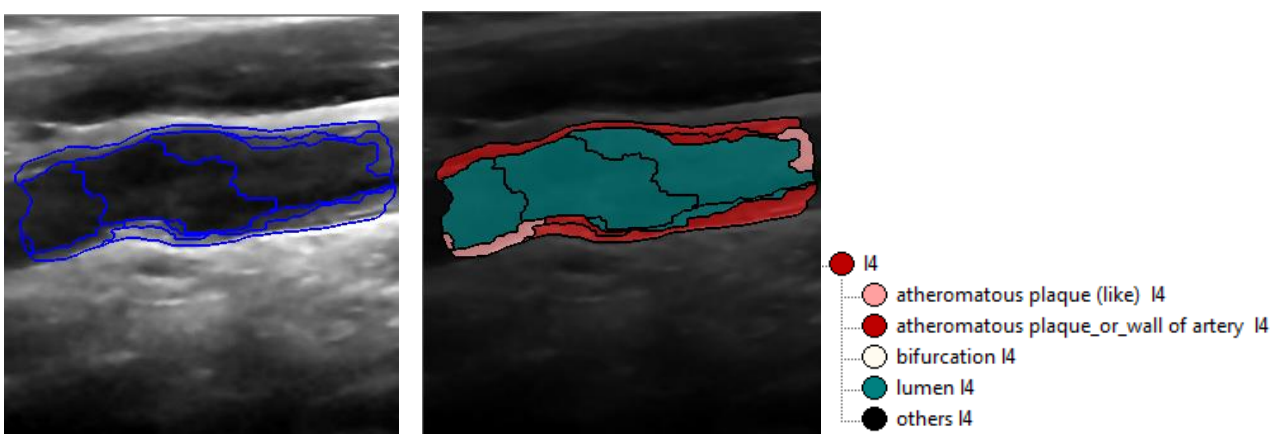
Εικόνα 3.159 Εικόνα Δεδομένων 6: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 1



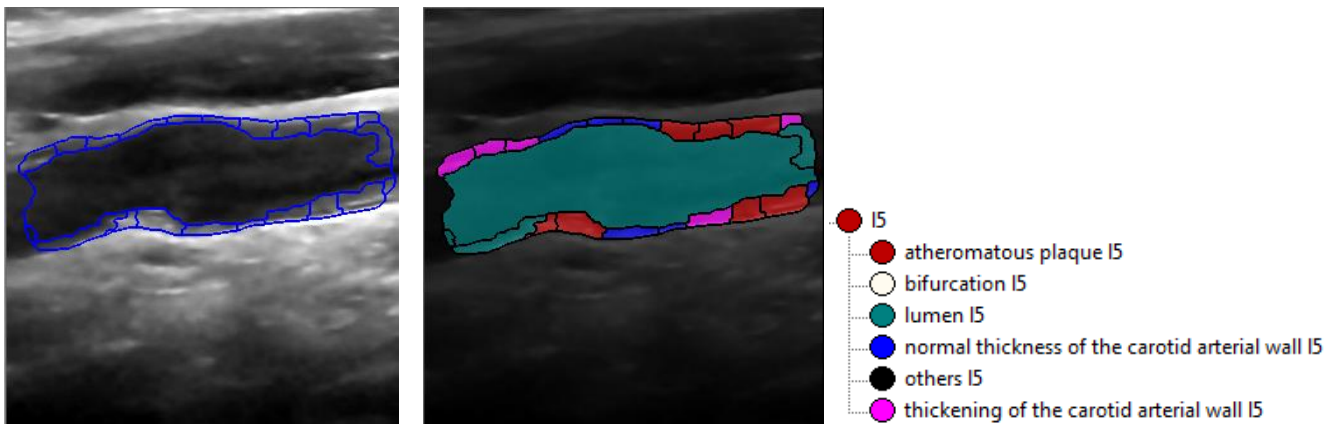
Εικόνα 3.160 Εικόνα Δεδομένων 6: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 2



Εικόνα 3.161 Εικόνα Δεδομένων 6: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 3

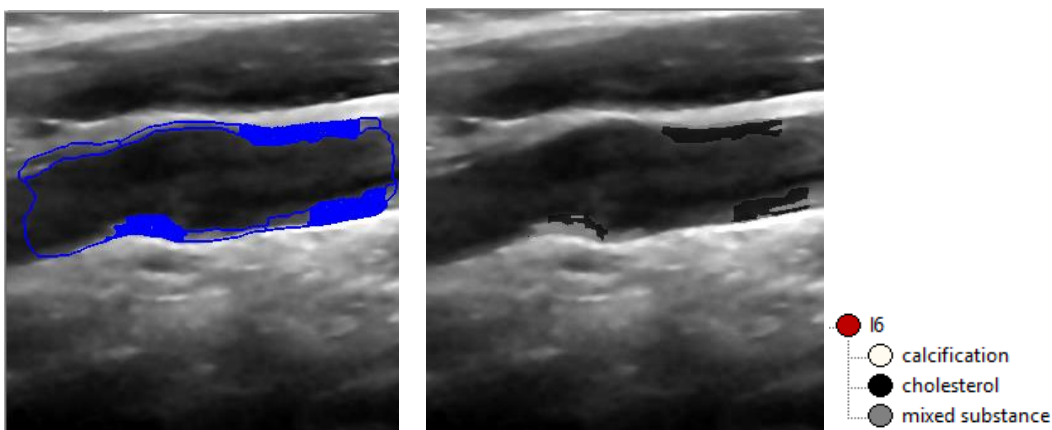


Εικόνα 3.162 Εικόνα Δεδομένων 6: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 4

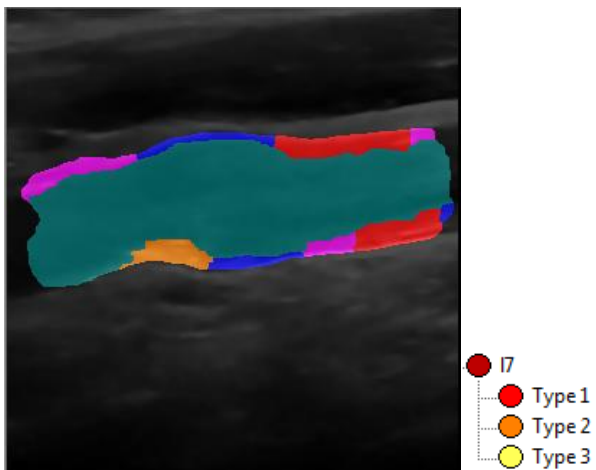


Εικόνα 3.163 Εικόνα Δεδομένων 6: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 5

Η πλάκα που ζητήθηκε να εντοπιστεί από τον γιατρό εντοπίστηκε στην ταξινόμηση του επιπέδου 5. Πρόβλημα υπάρχει καθώς σε μια περιοχή που έχει ταξινομηθεί ως πλάκα κάτω δεξιά της εικόνας. Αυτή η περιοχή είναι εσφαλμένα μεγάλη σε πάχος, εξαιτίας των artifacts, και στην πραγματικότητα υπάρχει μόνο το τοίχωμα της αρτηρίας.

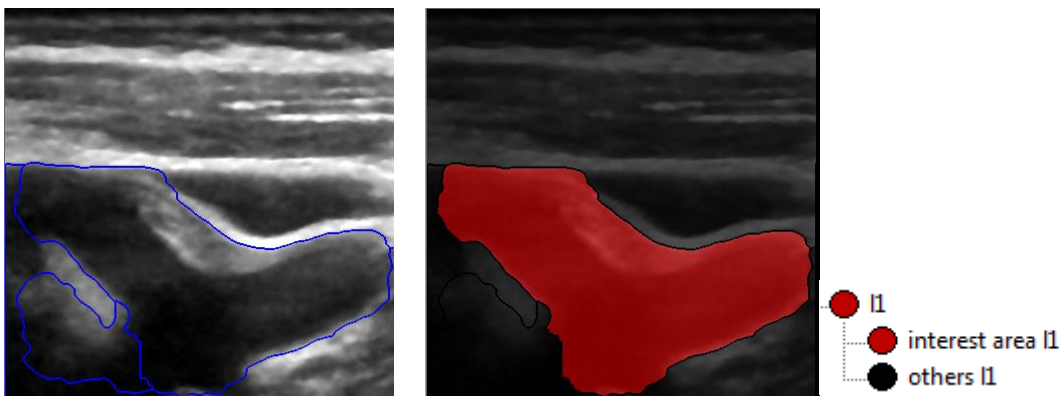


Εικόνα 3.164 Εικόνα Δεδομένων 6: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 6

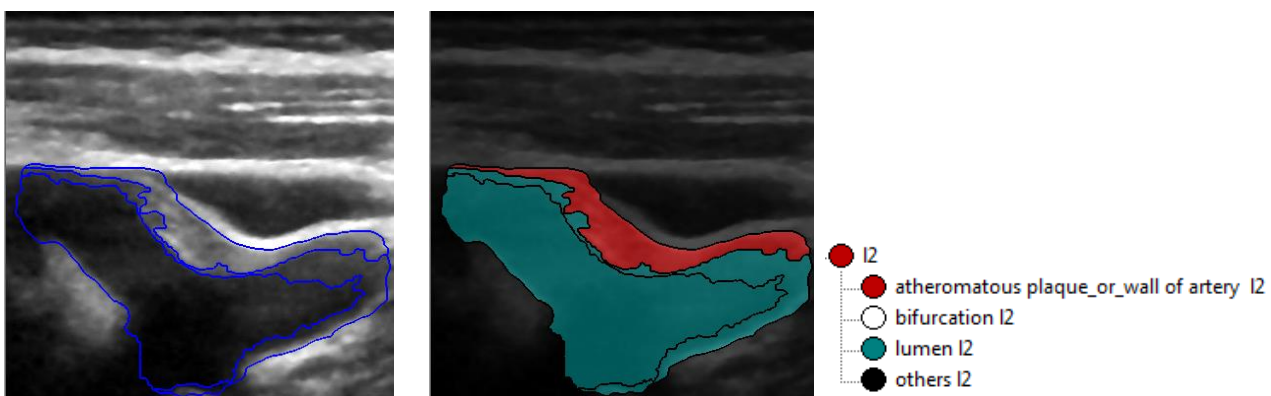


Εικόνα 3.165 Εικόνα Δεδομένων 6: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης Επιπέδου 7

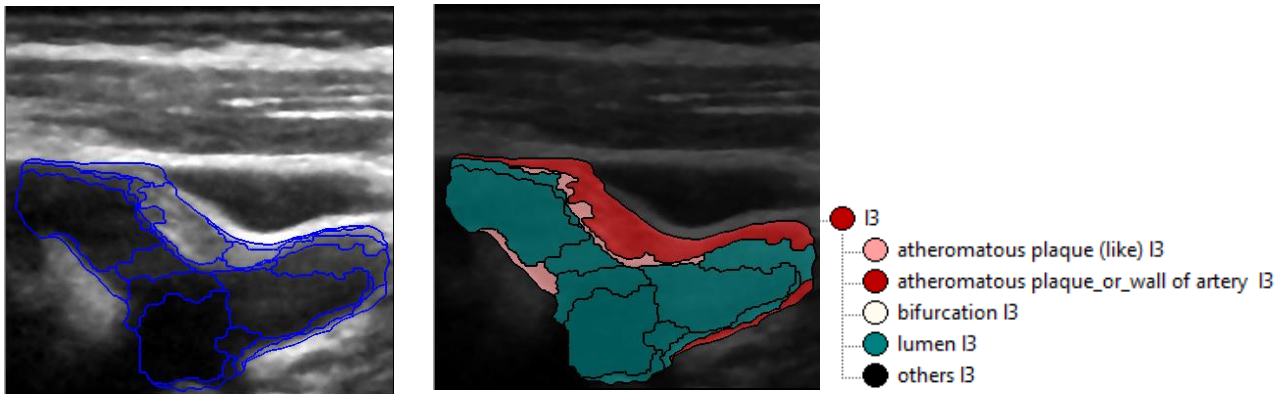
Εικόνα Δεδομένων 7



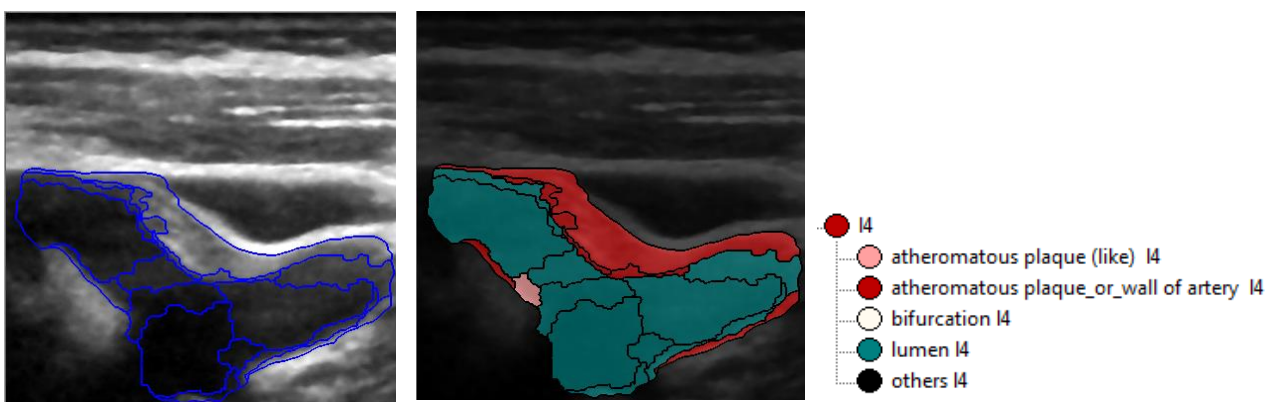
Εικόνα 3.166 Εικόνα Δεδομένων 7: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 1



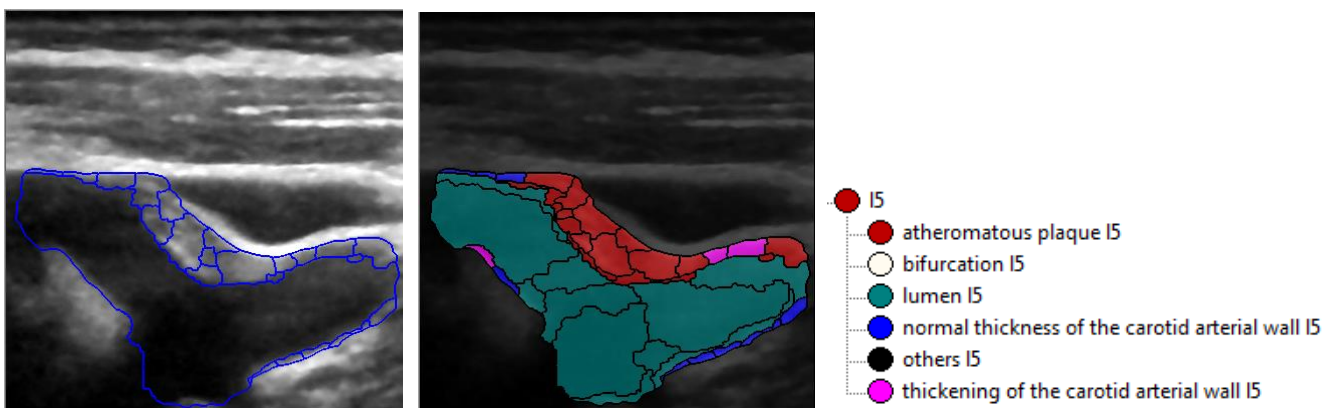
Εικόνα 3.167 Εικόνα Δεδομένων 7: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 2



Εικόνα 3.168 Εικόνα Δεδομένων 7: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 3

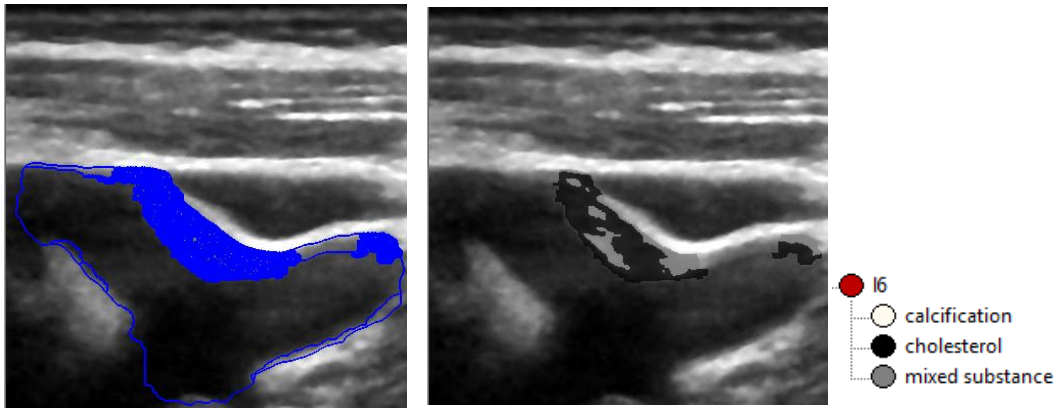


Εικόνα 3.169 Εικόνα Δεδομένων 7: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 4

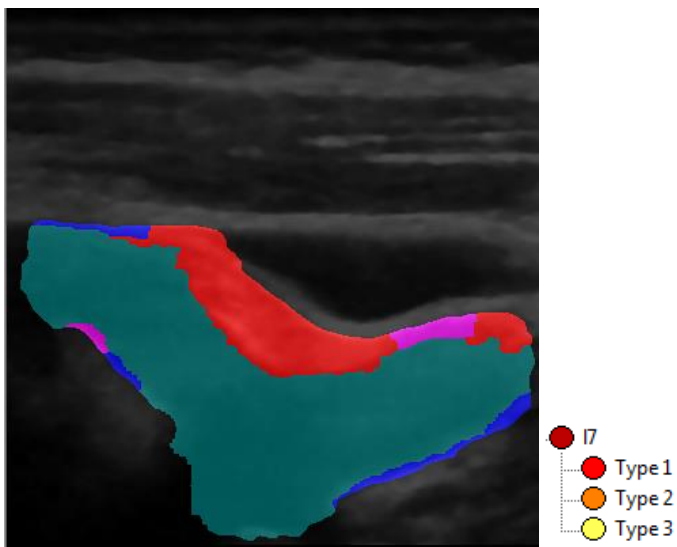


Εικόνα 3.170 Εικόνα Δεδομένων 7: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 5

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του επιπέδου 5 είναι καλό με μικρές αποκλίσεις από την πραγματικότητα. Αξίζει να αναφερθεί ότι η μεγάλη κεντρική πλάκα έχει ταξινομηθεί σωστά. Ένα μικρό μέρος αυτής έχει ταξινομηθεί λάθος ως πλάκα καθώς είναι γειτονικός ιστός. Το λάθος αυτό προέκυψε εξαιτίας του αλγορίθμου εξαγωγής της καρωτίδας και έχει υπογραμμιστεί στο υποκεφάλαιο 3.1.4.

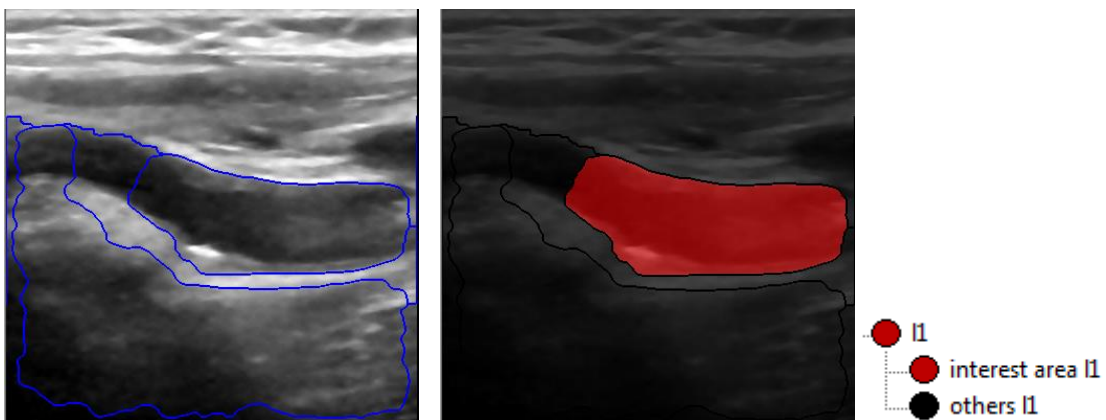


Εικόνα 3.171 Εικόνα Δεδομένων 7: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 6



Εικόνα 3.172 Εικόνα Δεδομένων 7: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης Επιπέδου 7

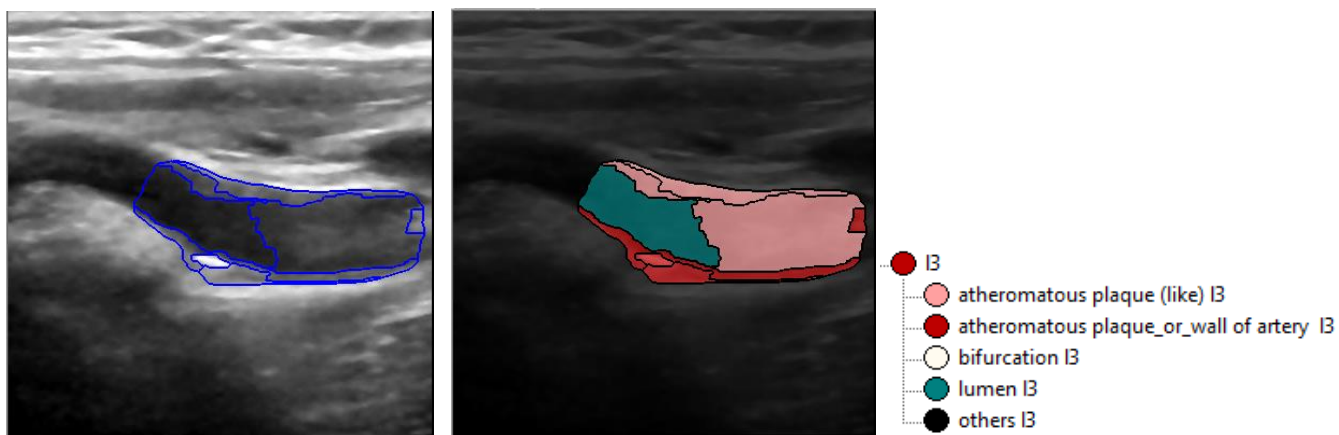
Εικόνα Δεδομένων 8



Εικόνα 3.173 Εικόνα Δεδομένων 8: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 1



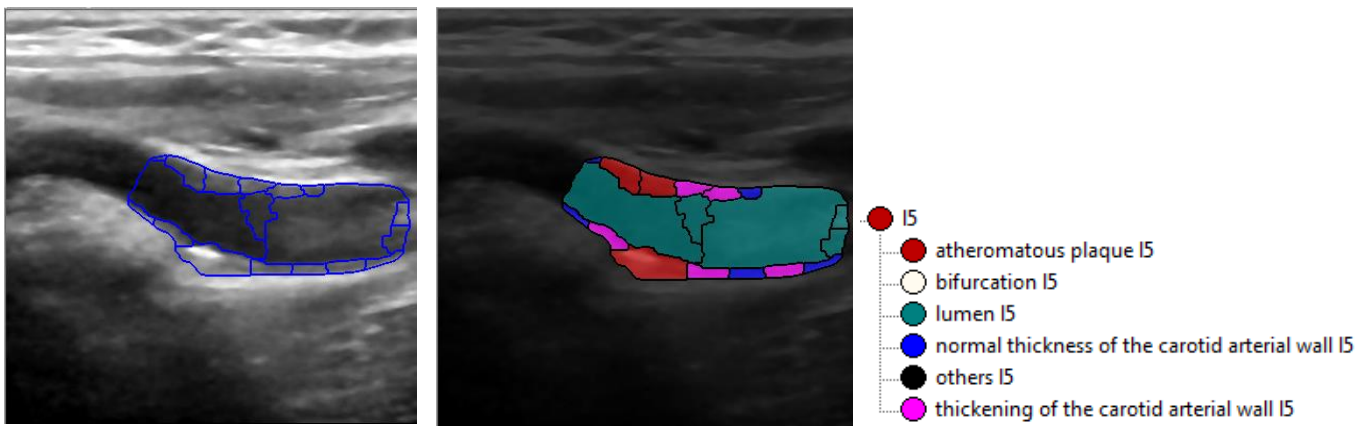
Εικόνα 3.174 Εικόνα Δεδομένων 8: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 2



Εικόνα 3.175 Εικόνα Δεδομένων 8: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 3

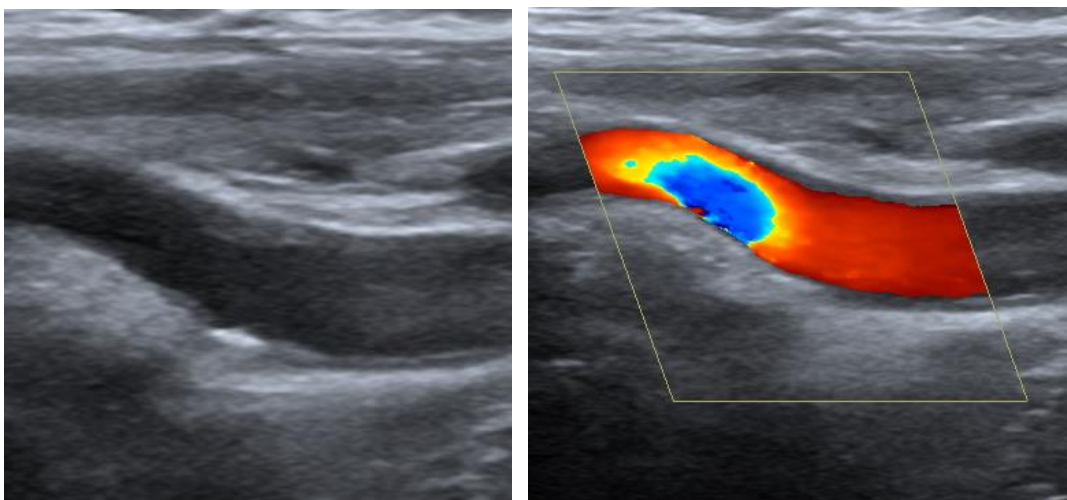


Εικόνα 3.176 Εικόνα Δεδομένων 8: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 4

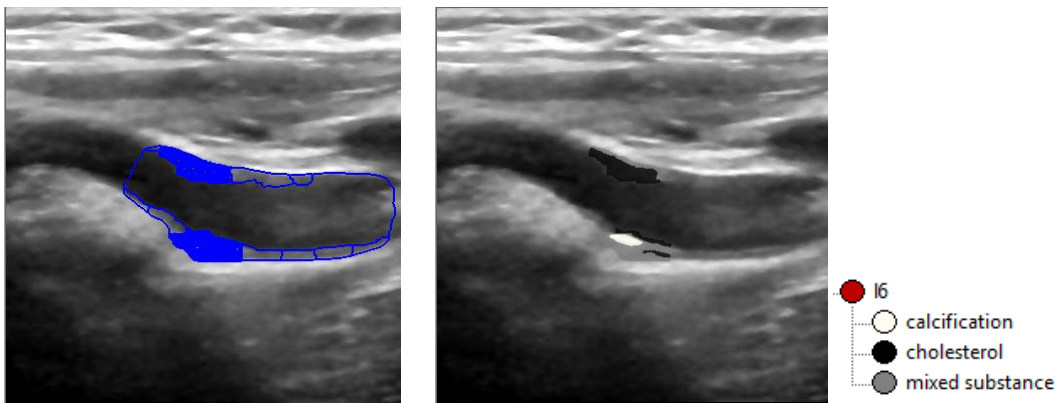


Εικόνα 3.177 Εικόνα Δεδομένων 8: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 5

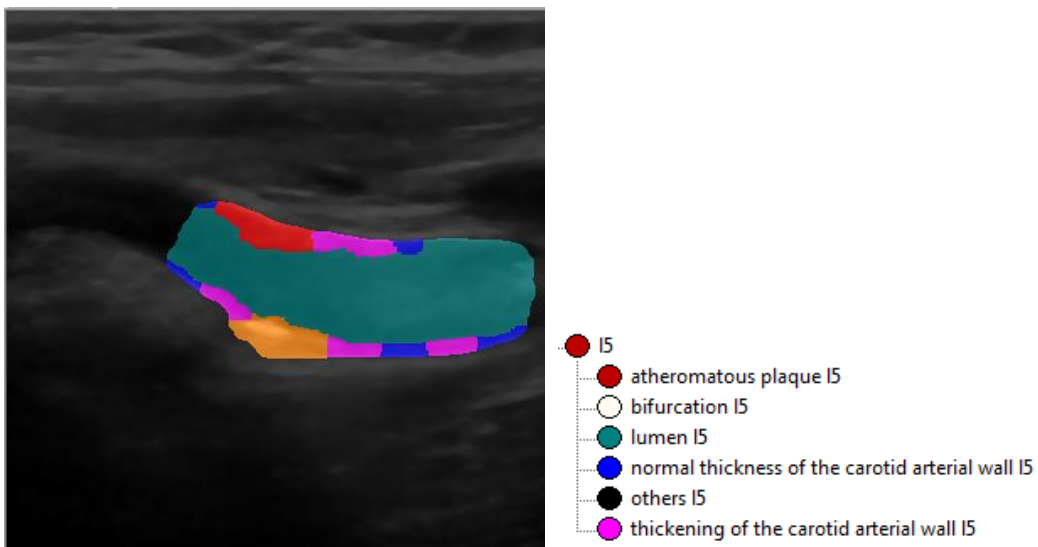
Η ταξινόμηση του επιπέδου 5 είναι πολύ καλή παρόλα αυτά η πλάκα που εντοπίστηκε προς το επάνω μέρος της εικόνας είναι artifacts με βάση την εικόνα doppler (Εικόνα 3.178) καθώς στην περιοχή εκείνη φαίνεται να υπάρχει το τοίχωμα αλλά όχι τόσο παχύ όσο η σκιά που φαίνεται στην Αρχική Εικόνα (αριστερά) και η οποία ταξινομήθηκε ως πλάκα κατά το ένα μέρος της.



Εικόνα 3.178 Εικόνα Δεδομένων 8: Αρχική Εικόνα (αριστερά), Έγχρωμη Απεικόνιση Doppler (δεξιά)

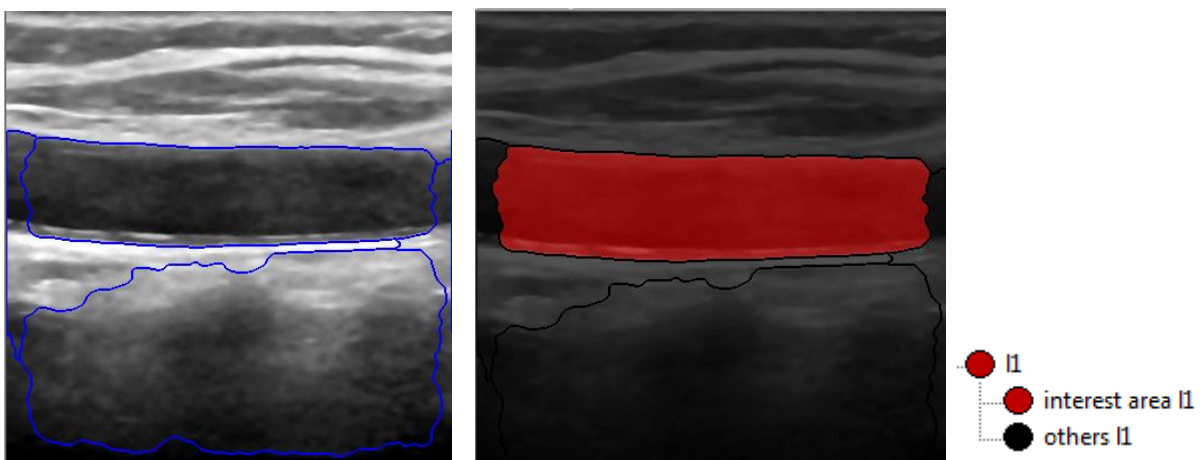


Εικόνα 3.179 Εικόνα Δεδομένων 8: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 6

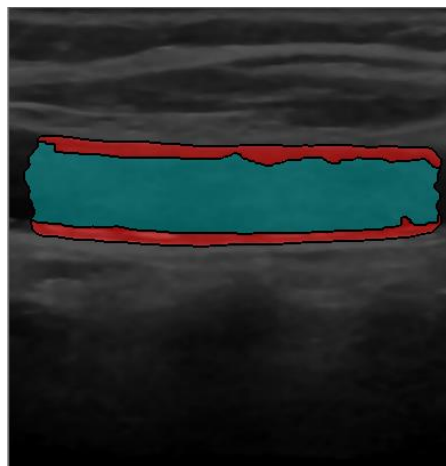
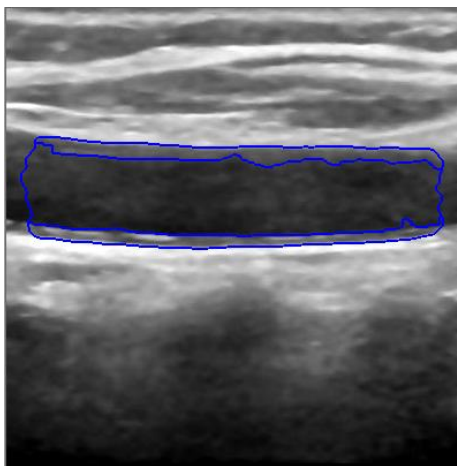


Εικόνα 3.180 Εικόνα Δεδομένων 8: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης Επιπέδου 7

Εικόνα Δεδομένων 9

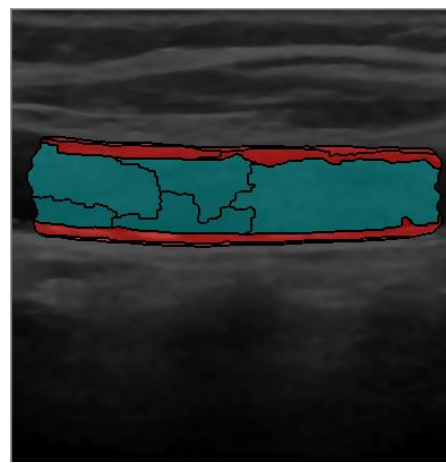
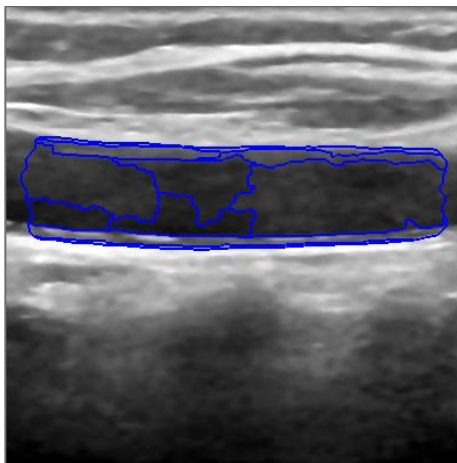


Εικόνα 3.181 Εικόνα Δεδομένων 9: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 1



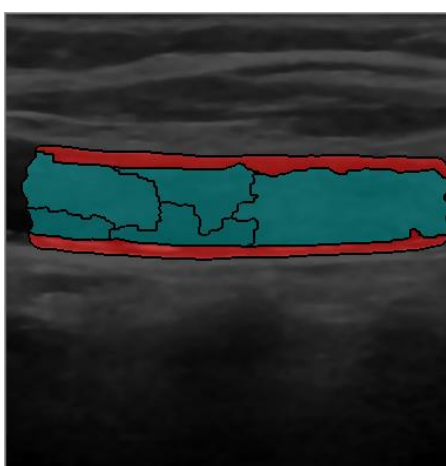
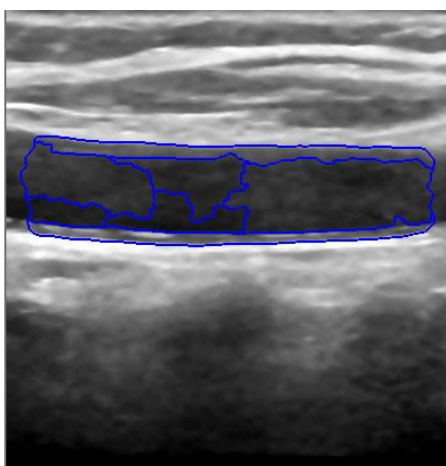
- I2
- atheromatous plaque_or_wall of artery I2
- bifurcation I2
- lumen I2
- others I2

Εικόνα 3.182 Εικόνα Δεδομένων 9: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 2



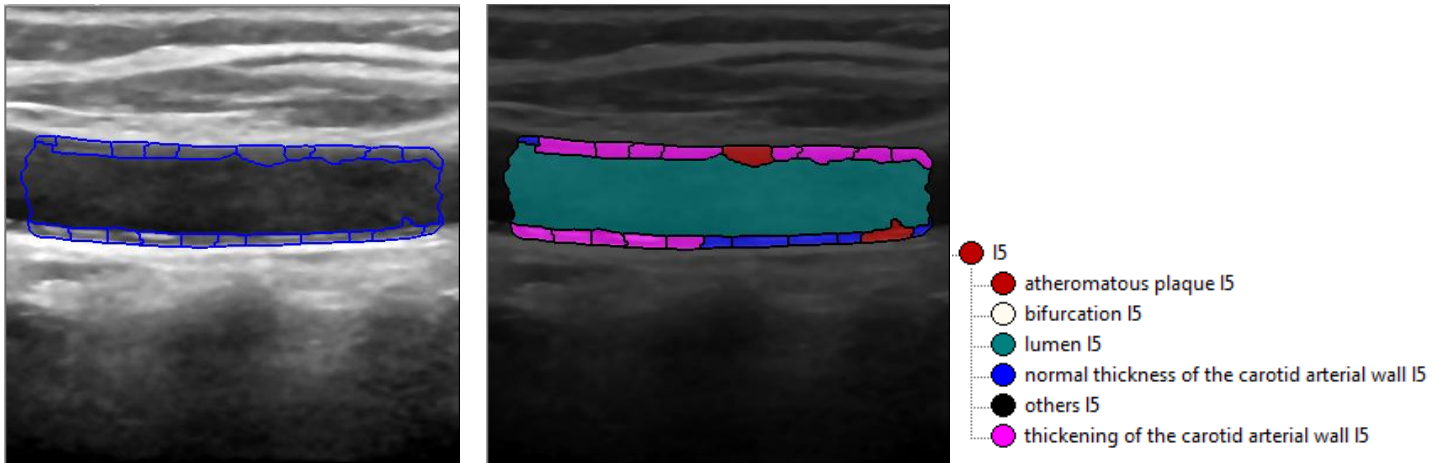
- I3
- atheromatous plaque (like) I3
- atheromatous plaque_or_wall of artery I3
- bifurcation I3
- lumen I3
- others I3

Εικόνα 3.183 Εικόνα Δεδομένων 9: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 3



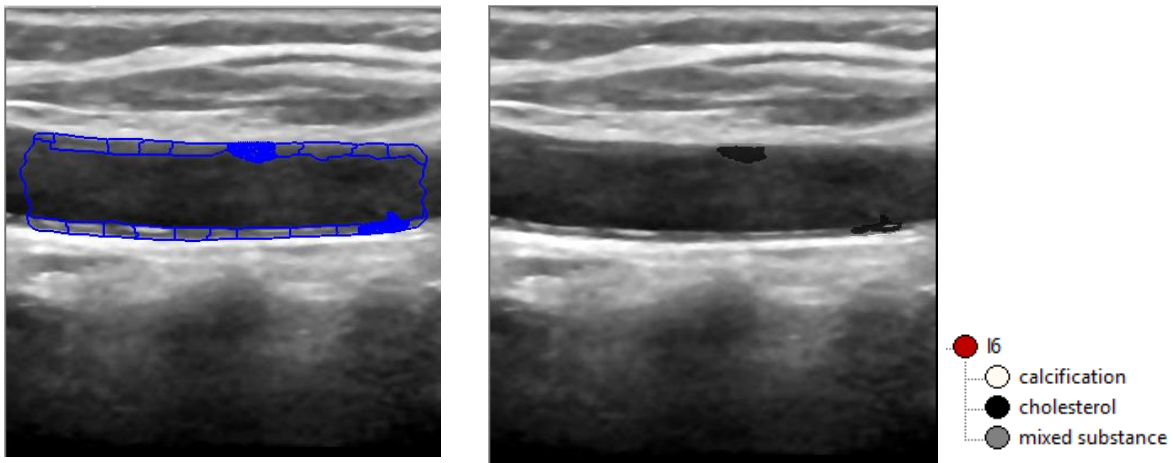
- I4
- atheromatous plaque (like) I4
- atheromatous plaque_or_wall of artery I4
- bifurcation I4
- lumen I4
- others I4

Εικόνα 3.184 Εικόνα Δεδομένων 9: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 4

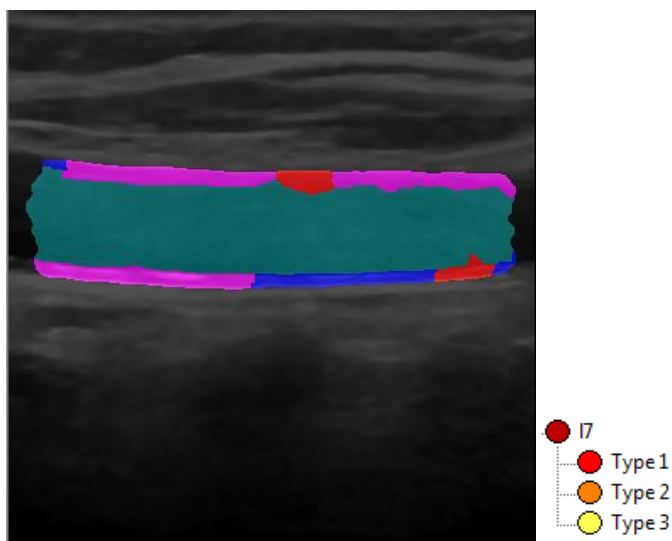


Εικόνα 3.185 Εικόνα Δεδομένων 9: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 5

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του επιπέδου 5 είναι καλό. Όμως το κάτω αντικείμενο που έχει ταξινομηθεί ως πλάκα δεν είναι πλάκα.

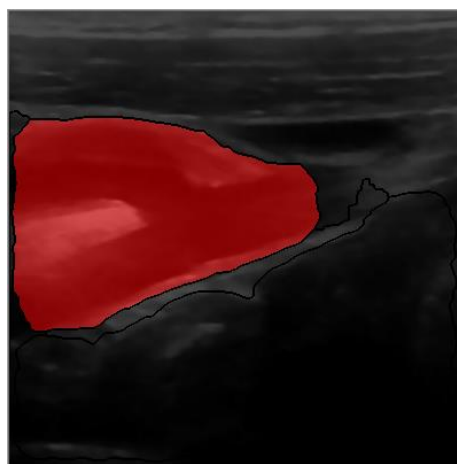
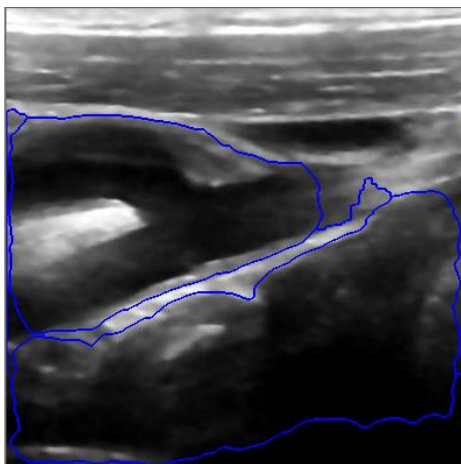


Εικόνα 3.186 Εικόνα Δεδομένων 9: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 6



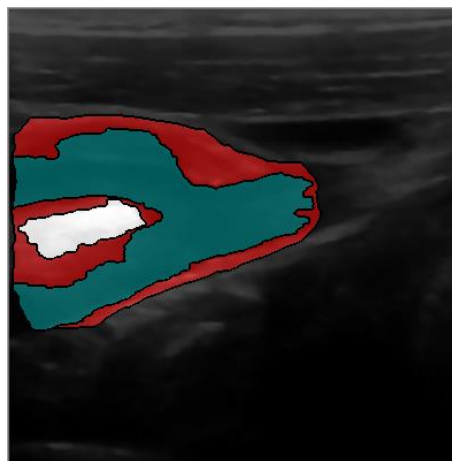
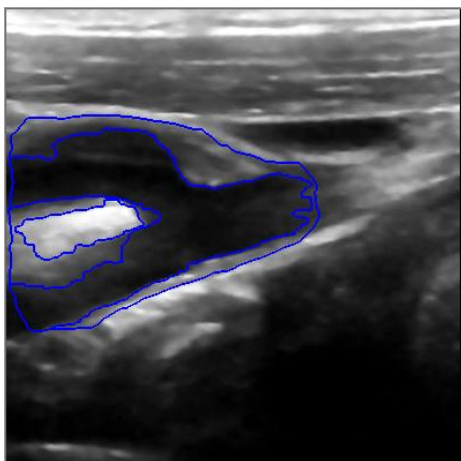
Εικόνα 3.187 Εικόνα Δεδομένων 9: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης Επιπέδου 7

Εικόνα Δεδομένων 10



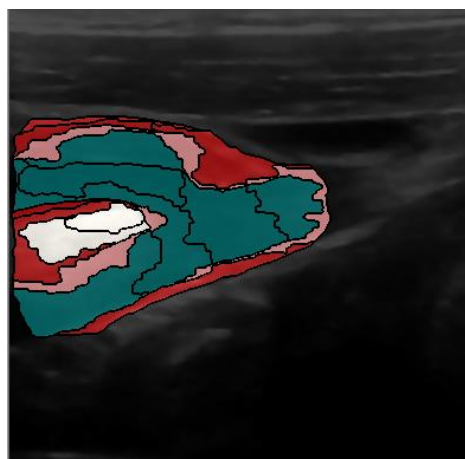
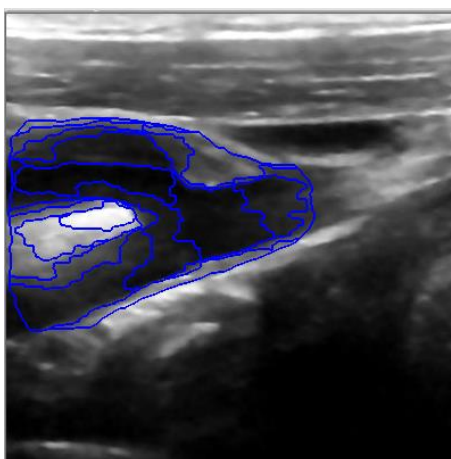
- I1
- interest area I1
- others I1

Εικόνα 3.188 Εικόνα Δεδομένων 10: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 1



- I2
- atheromatous plaque_or_wall of artery I2
- bifurcation I2
- lumen I2
- others I2

Εικόνα 3.189 Εικόνα Δεδομένων 10: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 2



- I3
- atheromatous plaque (like) I3
- atheromatous plaque_or_wall of artery I3
- bifurcation I3
- lumen I3
- others I3

Εικόνα 3.190 Εικόνα Δεδομένων 10: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 3

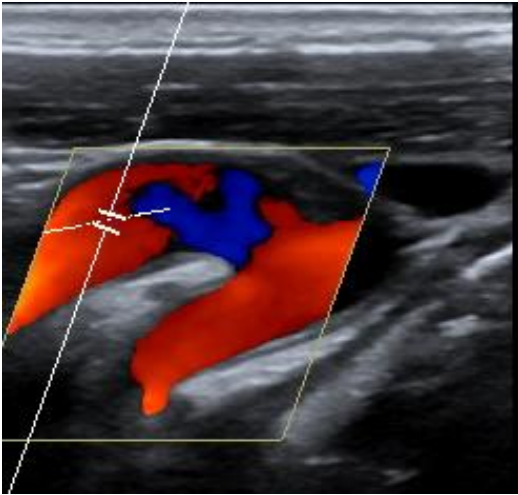


Εικόνα 3.191 Εικόνα Δεδομένων 10: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 4

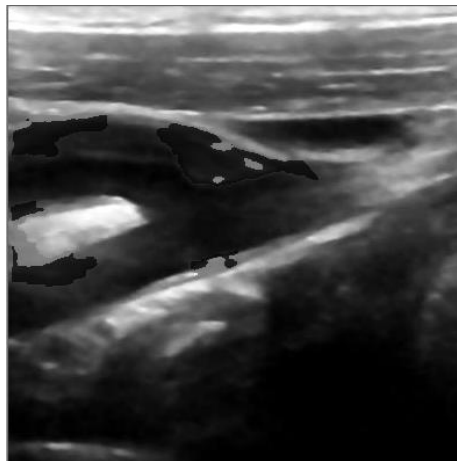
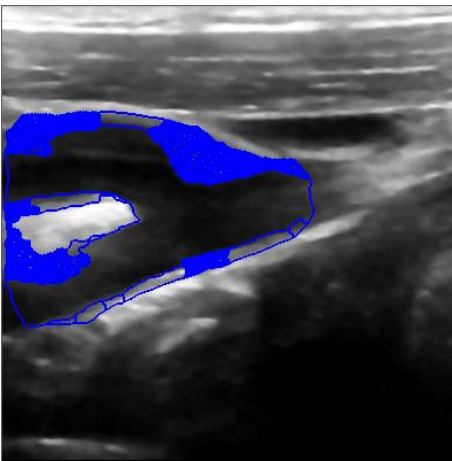


Εικόνα 3.192 Εικόνα Δεδομένων 10: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 5

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του επιπέδου 5 είναι μετρίως καλό. Τα αντικείμενα που έχουν ταξινομηθεί ως πλάκα στην περιοχή του διχασμού της κοινής καρωτίδας είναι λανθασμένα ταξινομημένα σε αυτή την κατηγορία καθώς μερικά είναι συνέχεια της κατηγορίας “bifurcation” και εκείνα που είναι στο κάτω μέρος είναι artifacts, όπως υποδηλώνεται από την εικόνα doppler και από την διάγνωση του γιατρού. Επίσης η πλάκα που εμφανίζεται πάνω αριστερά της εικόνα σε μεγάλο ποσοστό είναι artifacts σύμφωνα με την εικόνα doppler (Εικόνα 3.193) .

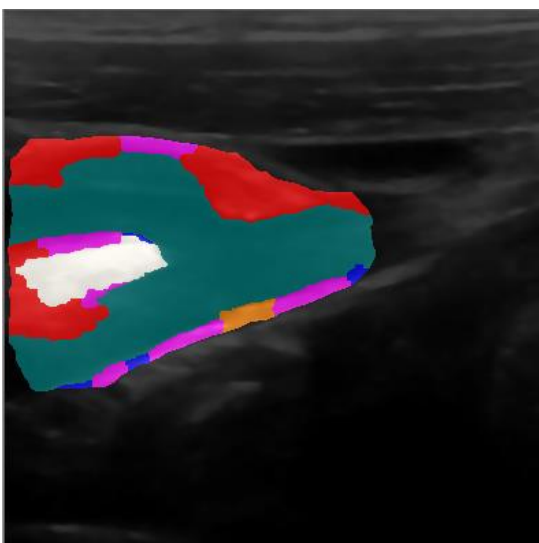


Εικόνα 3.193 Εικόνα Δεδομένων 10: Έγχρωμη Απεικόνιση Doppler



- l6
- calcification
- cholesterol
- mixed substance

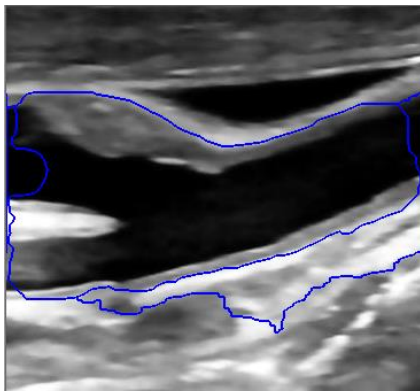
Εικόνα 3.194 Εικόνα Δεδομένων 10: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 6



- l7
- Type 1
- Type 2
- Type 3

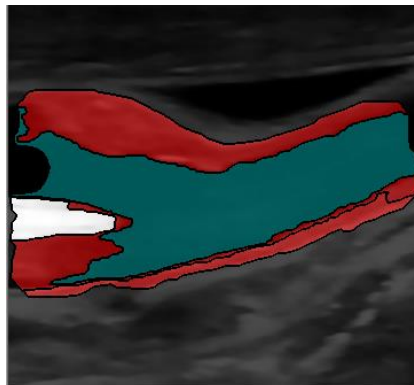
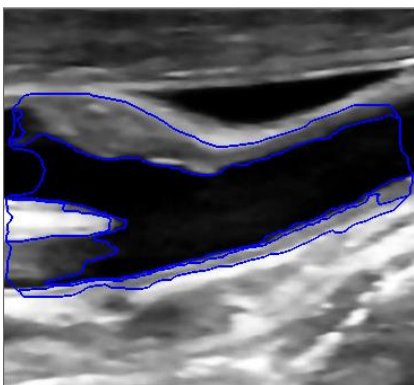
Εικόνα 3.195 Εικόνα Δεδομένων 10: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης Επιπέδου 7

Εικόνα Δεδομένων 11



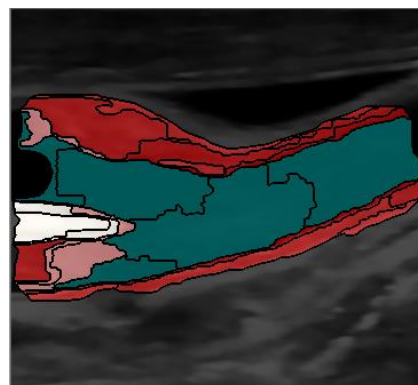
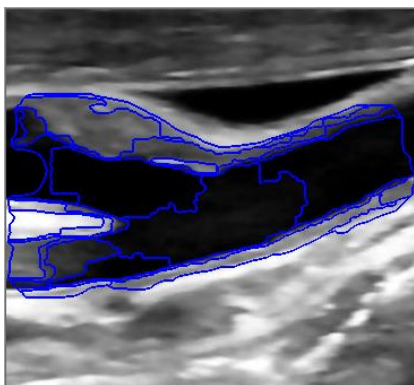
- I1
- interest area I1
- others I1

Εικόνα 3.196 Εικόνα Δεδομένων 11: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 1



- I2
- atheromatous plaque_or_wall of artery I2
- bifurcation I2
- lumen I2
- others I2

Εικόνα 3.197 Εικόνα Δεδομένων 11: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 2



- I3
- atheromatous plaque (like) I3
- atheromatous plaque_or_wall of artery I3
- bifurcation I3
- lumen I3
- others I3

Εικόνα 3.198 Εικόνα Δεδομένων 11: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 3

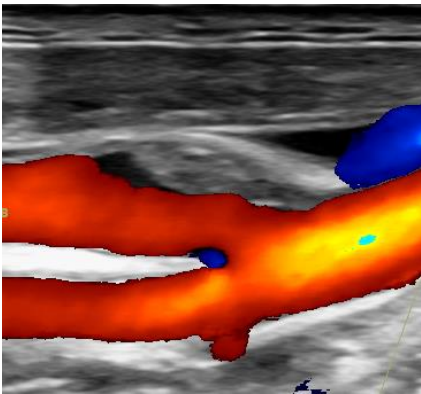


Εικόνα 3.199 Εικόνα Δεδομένων 11: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 4

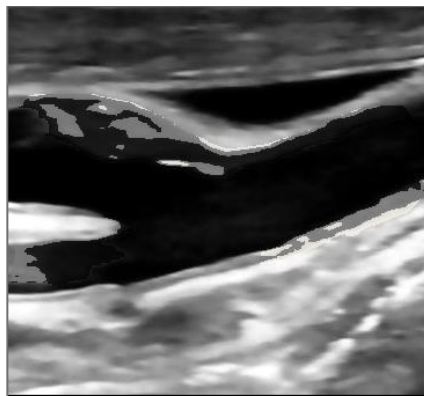
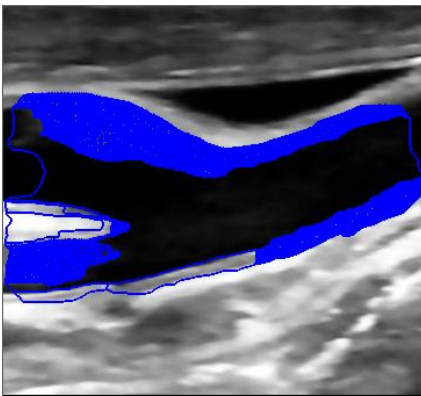


Εικόνα 3.200 Εικόνα Δεδομένων 11: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 5

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του επιπέδου 5 είναι καλό. Όμως τα αντικείμενα που έχουν ταξινομηθεί ως πλάκα στην περιοχή του διχασμού της κοινής καρωτίδας είναι λανθασμένα ταξινομημένα σε αυτή την κατηγορία είναι θόρυβος (artifacts), σύμφωνα με την εικόνα doppler (Εικόνα3.201), όπου παρατηρείται κανονική ροή. Επίσης η πλάκα που βρίσκεται κάτω δεξιά της εικόνας ταξινόμησης του επιπέδου 5 πρόκειται για τοίχωμα σίγουρα μικρότερου πάχους το οποίο οφείλεται σε σφάλμα από τον αλγόριθμο εξαγωγής των πιθανών περιοχών καρωτίδας. Υπάρχει δηλαδή μια μικρή απόκλιση από την πραγματικότητα η οποία μεταφράζεται σε αυξημένο πάχος και επομένως σε ένδειξη αθηρωματικής πλάκας.

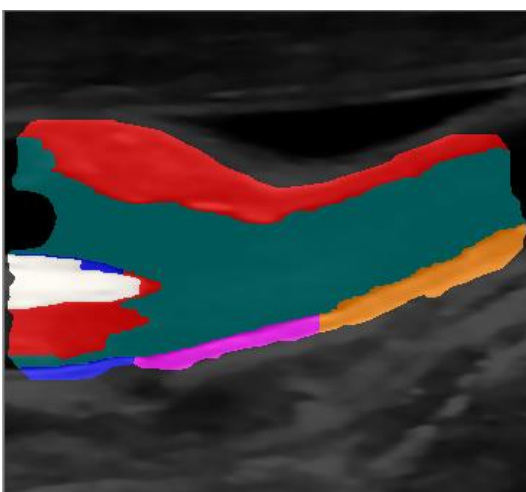


Εικόνα 3.201 Εικόνα Δεδομένων 11:
Έγχρωμη Απεικόνιση Doppler



- I6
- calcification
- cholesterol
- mixed substance

Εικόνα 3.202 Εικόνα Δεδομένων 11: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά)
και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 6



- I7
- Type 1
- Type 2
- Type 3

Εικόνα 3.203 Εικόνα Δεδομένων 11: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης Επιπέδου 7

4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

«Μια ταξινόμηση δεν έχει ολοκληρωθεί, μέχρι να εκτιμηθεί η ακρίβεια της» (Αργιαλάς Δ. , 1998). Επομένως σε αυτό το κεφάλαιο θα αξιολογηθούν η μέθοδος και τα αποτελέσματα της.

Η αξιολόγηση της ασαφούς βάσης γίνεται ως προς την:

- ✓ σταθερότητα και αξιοπιστία της ταξινόμησης με τα εργαλεία του λογισμικού “Classification Stability” και “Best Classification Result”
- ✓ τα αποτελέσματα της ταξινόμησης

Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης θα περιέχουν πιθανά σφάλματα από την ίδια την ταξινόμηση αλλά από τον αλγόριθμο εξαγωγής των πιθανών περιοχών καρωτίδας. Η αξιολόγηση, δηλαδή, των αποτελεσμάτων θα γίνει συνολικά.

Για την αξιολόγηση σταθερότητας και αξιοπιστίας της ταξινόμησης επιλέχθηκαν οι εικόνες που ήταν αρκετά διαφορετικές μεταξύ τους.

Το αποτέλεσμα των αξιολογήσεων “Classification Stability” και “Best Classification Result” απεικονίζεται γραφικά και αριθμητικά. Γραφικώς, τα αντικείμενα που απεικονίζονται με πράσινο είναι αυτά που ταξινομήθηκαν με τη μικρότερη αμφισβήτηση ενώ αντίθετα όσα απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα έχουν μεγαλύτερη.

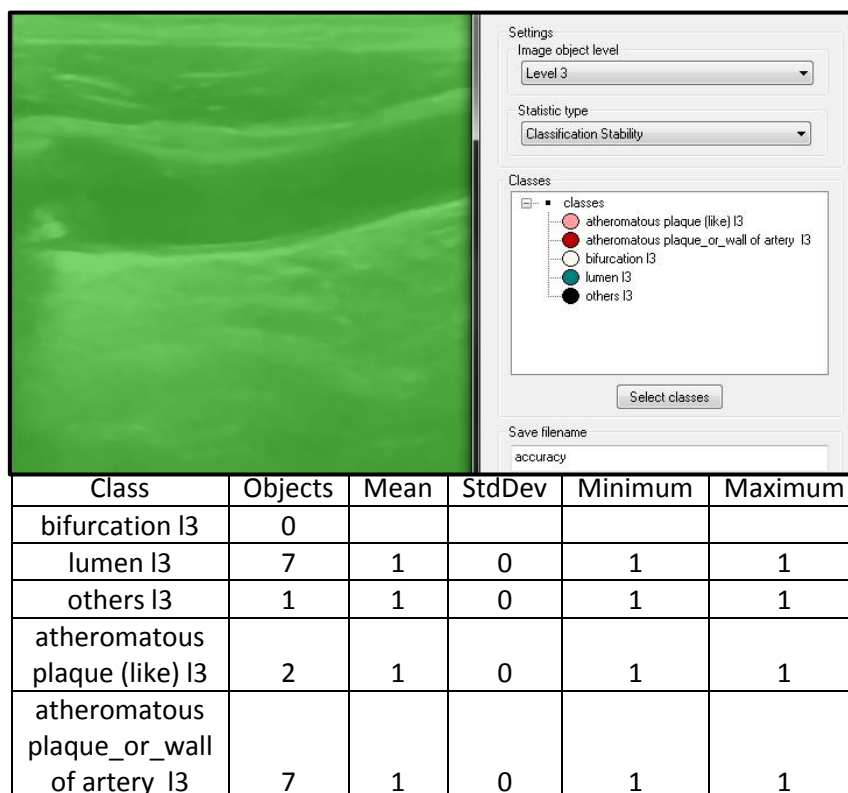
4.1 Αξιολόγηση Σταθερότητας της Ταξινόμησης “Classification Stability”

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, κάθε αντικείμενο ταξινομείται μέσω ασαφούς λογικής, δηλαδή για έναν αντικείμενο υπολογίζεται ο βαθμός συμμετοχής του σε περισσότερες από μια κατηγορίες και τελικώς ταξινομείται στην «καλύτερη» κατηγορία, δηλαδή εκείνη με το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής. Έτσι η μέθοδος που εφαρμόστηκε για την αξιολόγηση της ευστάθειας της ταξινόμησης (Classification Stability) υπολογίζει την διαφορά των βαθμών συμμετοχής ενός αντικειμένου για την πρώτη και την δεύτερη «καλύτερη» κατηγορία. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται το μέγεθος της σύγχυσης των κατηγοριών και επομένως ο βαθμός ευστάθειας της ταξινόμησης.

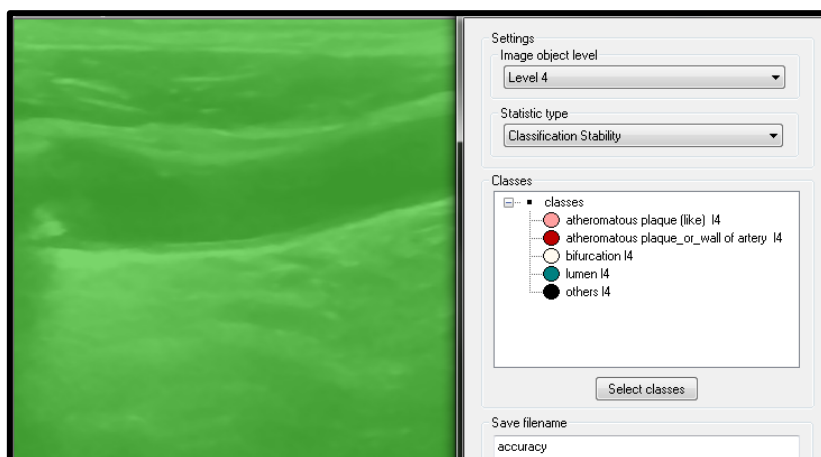
Στο επίπεδο 3 και 4, οι κατηγορίες προκύπτουν από αρκετούς κανόνες και υπάρχουν πολλές κατηγορίες, άρα υπάρχει μεγαλύτερος «κίνδυνος σύγχυσης». Σε αυτά τα επίπεδα δηλαδή που έγινε προσπάθεια διαχωρισμού του αυλού από την πλάκα.

Εικόνα Δεδομένων 1

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Εικόνας 4.1, παρατηρείται σταθερότητα για όλες τις κατηγορίες του επιπέδου 3 της Εικόνας Δεδομένων 1, καθώς η μέση τιμή διαφοράς των βαθμών συμμετοχής ενός αντικειμένου της πρώτης από την δεύτερη «καλύτερη» κατηγορία είναι η μέγιστη (1 ± 0). Γραφικά η σταθερότητα των κατηγοριών απεικονίζεται με το πράσινο χρώμα στην εικόνα. Εάν υπήρχε αστάθεια σε μια κατηγορία τότε αυτή θα παρουσιαζόταν με κόκκινο χρώμα. Στο επίπεδο 4, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.2, οι κατηγορίες έχουν μέγιστη σταθερότητα εκτός της κατηγορίας “atheromatous plaque_or_wall of artery I4”. Τα αντικείμενα της κατηγορίας αυτής έχουν μέση τιμή διαφοράς των βαθμών συμμετοχής από την δεύτερη «καλύτερη» κατηγορία, 0.957, ενώ η μικρότερη τιμή της διαφοράς είναι 0.743. Άρα η ταξινόμηση στο επίπεδο 3 και 4 για την εικόνα αυτή έγινε με υψηλή ευστάθεια.



Εικόνα 4.1 Εικόνα Δεδομένων 1: Γραφικό και Αριθμητικό Αποτέλεσμα Μεθόδου Αξιολόγησης Σταθερότητας Ταξινόμησης στο Επίπεδο 3



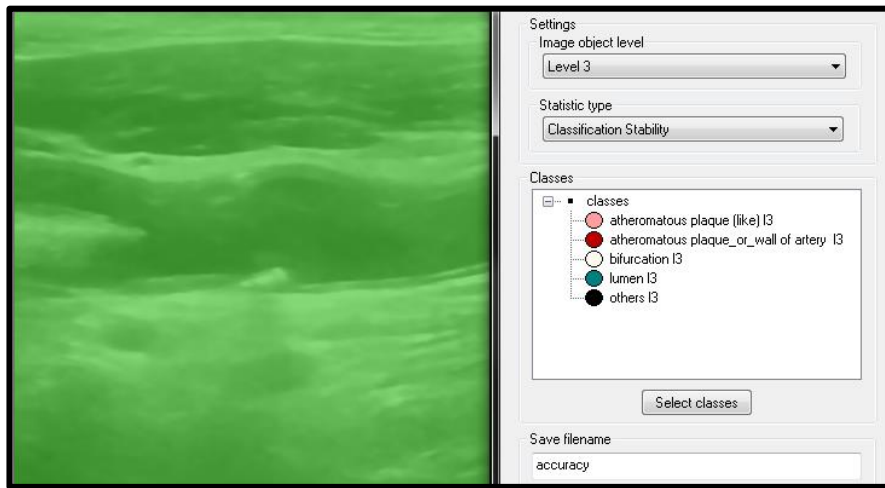
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
bifurcation I4	0				
lumen I4	7	1	0	1	1
atheromatous plaque_or_wall of artery I4	6	0.957236	0.095623	0.743416	1
others I4	1	1	0	1	1
atheromatous plaque (like) I4	0				

Εικόνα 4.2 Εικόνα Δεδομένων 1: Γραφικό και Αριθμητικό Αποτέλεσμα Μεθόδου Αξιολόγησης Σταθερότητας Ταξινόμησης στο Επίπεδο 4

Εικόνα Δεδομένων 2

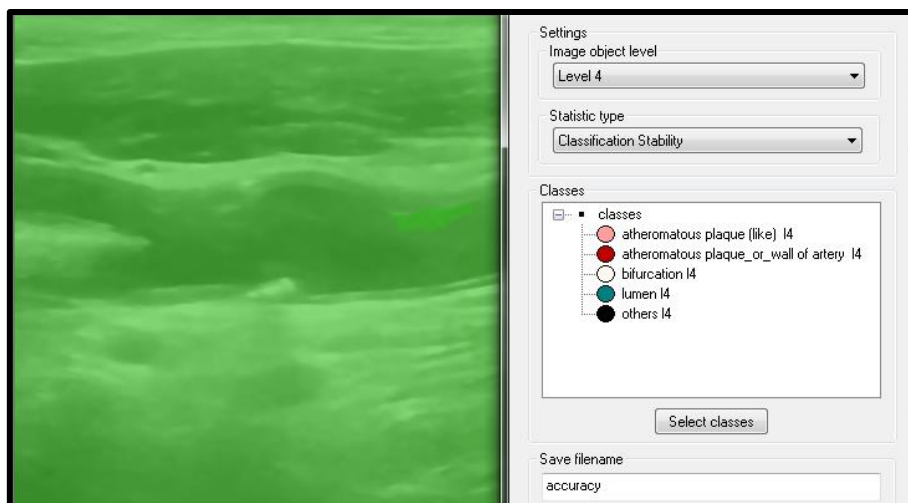
Στην Εικόνα 4.3 παρατηρείται ότι η κλάση της “atheromatous plaque (like)” παρουσιάζει μεγαλύτερη αστάθεια σε σχέση με τις υπόλοιπες κατηγορίες που έχουν πλήρη ευστάθεια. Τα αντικείμενα της κατηγορίας αυτής στο επίπεδο 3 έχουν μέση τιμή της διαφοράς του βαθμού συμμετοχής της πρώτης καλύτερης με της δεύτερης «καλύτερης» κατηγορίας $89.3\% \pm 15.1\%$. Η ταξινόμηση έχει υψηλή ευστάθεια.

Στο επίπεδο 4, η διαφορά είναι στο $78.1\% \pm 30.9\%$ (Εικόνα 4.4). Πρέπει να τονιστεί ότι υπάρχει ένα αντικείμενο που ταξινομήθηκε στην κατηγορία “atheromatous plaque (like) I4” και είχε διαφορά 34.4% (ζωηρό πράσινο) το οποίο σημαίνει ότι είναι το λιγότερο σταθερό αντικείμενο. Παρόλα αυτά η ταξινόμηση στο επίπεδο 4 θεωρείται σταθερή.



Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
bifurcation I3	1	1	0	1	1
lumen I3	8	1	0	1	1
others I3	1	1	0	1	1
atheromatous plaque (like) I3	3	0.89333	0.150854	0.68	1
atheromatous plaque_or_wall of artery I3	12	1	0	1	1

Εικόνα 4.3 Εικόνα Δεδομένων 2: Γραφικό και Αριθμητικό Αποτέλεσμα Μεθόδου Αξιολόγησης Σταθερότητας Ταξινόμησης στο Επίπεδο 3



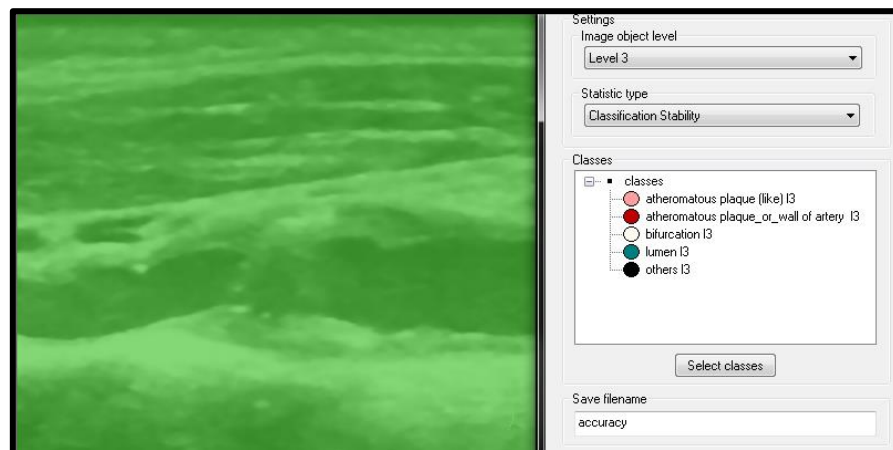
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
bifurcation I4	1	1	0	1	1
lumen I4	8	1	0	1	1
atheromatous plaque_or_wall of artery I4	6	1	0	1	1
others I4	1	1	0	1	1
atheromatous plaque (like) I4	3	0.781323	0.309256	0.344	1

Εικόνα 4.4 Εικόνα Δεδομένων 2: Γραφικό και Αριθμητικό Αποτέλεσμα Μεθόδου Αξιολόγησης Σταθερότητας Ταξινόμησης στο Επίπεδο 4

Εικόνα Δεδομένων 3

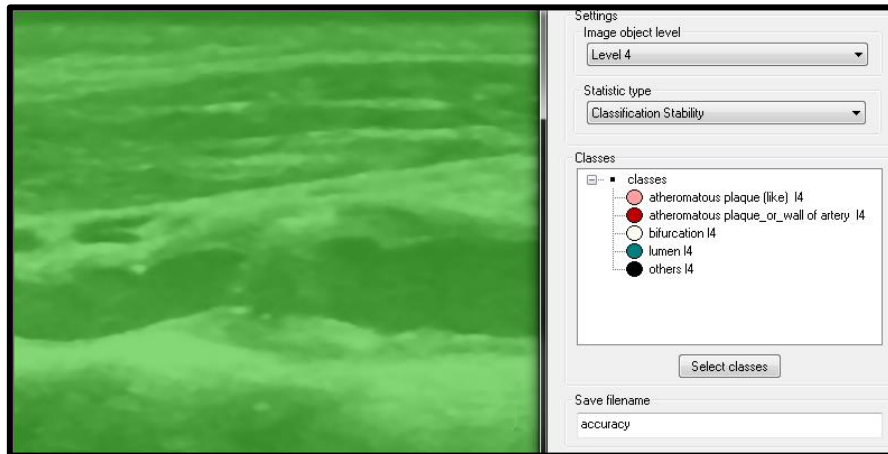
Στο επίπεδο 3, τα αντικείμενα των κατηγοριών “*atheromatous plaque (like) I3*” και “*atheromatous plaque_or_wall of artery I3*” δεν έχουν πλήρη ευστάθεια όπως οι υπόλοιπες κατηγορίες του επιπέδου όμως υπάρχει σταθερότητα καθώς έχουν μέση τιμή διαφοράς 0.804 και 0.961 αντίστοιχα (Εικόνα 4.5).

Στο επίπεδο 4, η κατηγορία χωρίς πλήρη ευστάθεια είναι “*atheromatous plaque_or_wall of artery I4*” με μέση τιμή 0.975 και την μικρότερη τιμή 0.779 (Εικόνα 4.6). Γενικά στα δύο επίπεδα παρατηρείται σταθερότητα στην ταξινόμηση.



Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
bifurcation I3	0				
lumen I3	8	1	0	1	1
others I3	1	1	0	1	1
atheromatous plaque (like) I3	2	0.804745	0.195255	0.609491	1
atheromatous plaque_or_wall of artery I3	15	0.961333	0.144677	0.42	1

Εικόνα 4.5 Εικόνα Δεδομένων 3: Γραφικό και Αριθμητικό Αποτέλεσμα Μεθόδου Αξιολόγησης Σταθερότητας Ταξινόμησης στο Επίπεδο 3



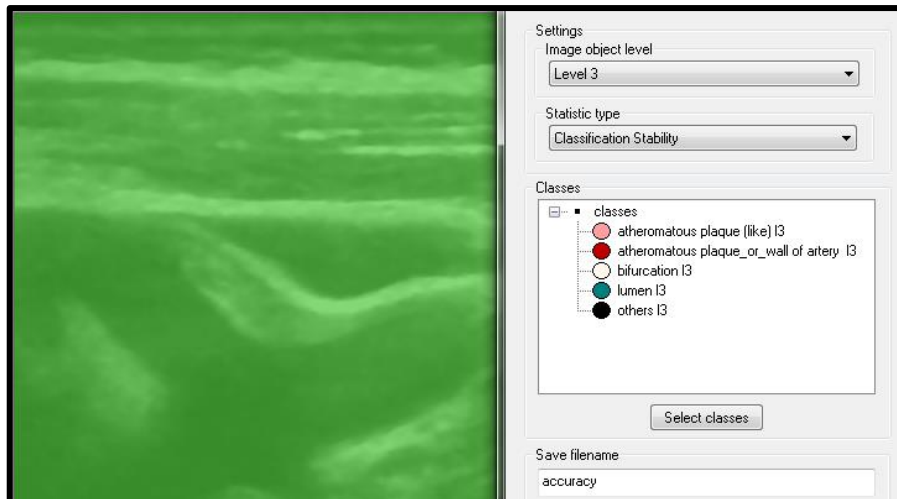
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
bifurcation I4	0				
lumen I4	8	1	0	1	1
atheromatous plaque_or_wall of artery I4	9	0.975205	0.069377	0.779	1
others I4	1	1	0	1	1
atheromatous plaque (like) I4	0				

Εικόνα 4.6 Εικόνα Δεδομένων 3: Γραφικό και Αριθμητικό Αποτέλεσμα Μεθόδου Αξιολόγησης Σταθερότητας Ταξινόμησης στο Επίπεδο 4

Εικόνα Δεδομένων 8

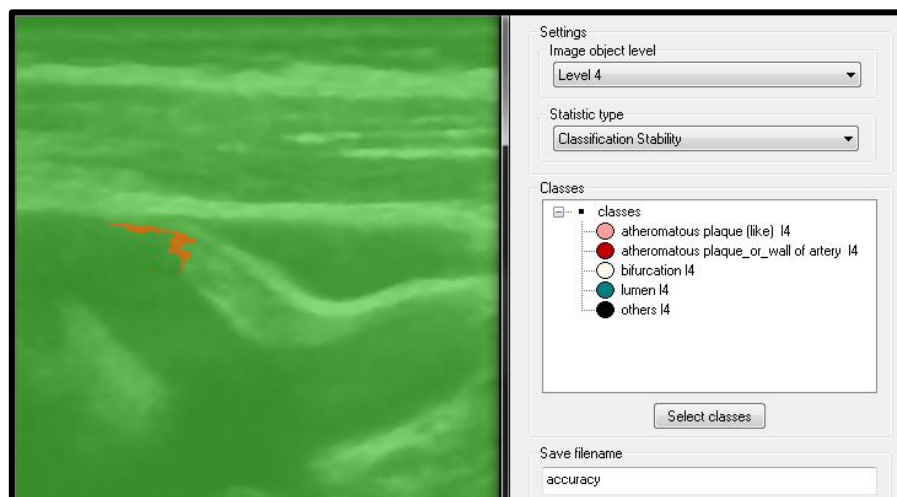
Στην Εικόνα 4.7, παρατηρείται ότι στο επίπεδο 3 όλες οι κατηγορίες έχουν την μέγιστη ευστάθεια ενώ αντικείμενο της κατηγορίας “atheromatous plaque (like)” ταξινομείται με ποσοστό 62.4% στην κατηγορία αυτή σε σχέση με την δεύτερη καλύτερη κατηγορία του.

Στο επίπεδο 4 υπάρχει ένα αντικείμενο που ταξινομήθηκε στην κατηγορία “atheromatous plaque_or_wall of artery I4” ενώ η διαφορά του βαθμού συμμετοχής του πολύ μικρή (0.051), το οποίο σημαίνει ότι το αντικείμενο είναι πολύ κοντά στο να ταξινομηθεί και στην δεύτερη καλύτερη κατηγορία (Εικόνα 4.8). Γραφικά το αντικείμενο αυτό απεικονίζεται με πορτοκαλί χρώμα και έχει χαμηλή ευστάθεια δηλαδή θα μπορούσε να είχε ταξινομηθεί και σε κάποια άλλη κατηγορία.



Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
bifurcation I3	0				
lumen I3	10	0.979665	0.061004	0.796653	1
others I3	1	1	0	1	1
atheromatous plaque (like) I3	2	0.811898	0.188102	0.623796	1
atheromatous plaque_or_wall of artery I3	6	1	0	1	1

Εικόνα 4.7 Εικόνα 8: Γραφικό και Αριθμητικό Αποτέλεσμα Μεθόδου Αξιολόγησης Σταθερότητας Ταξινόμησης στο Επίπεδο 3



Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
bifurcation I4	0				
lumen I4	11	1	0	1	1
atheromatous plaque_or_wall of artery I4	6	0.8644509	0.332	0.051156	1
others I4	1	1	0	1	1
atheromatous plaque (like) I4	0				

Εικόνα 4.8 Εικόνα 8: Γραφικό και Αριθμητικό Αποτέλεσμα Μεθόδου Αξιολόγησης Σταθερότητας Ταξινόμησης στο Επίπεδο 4

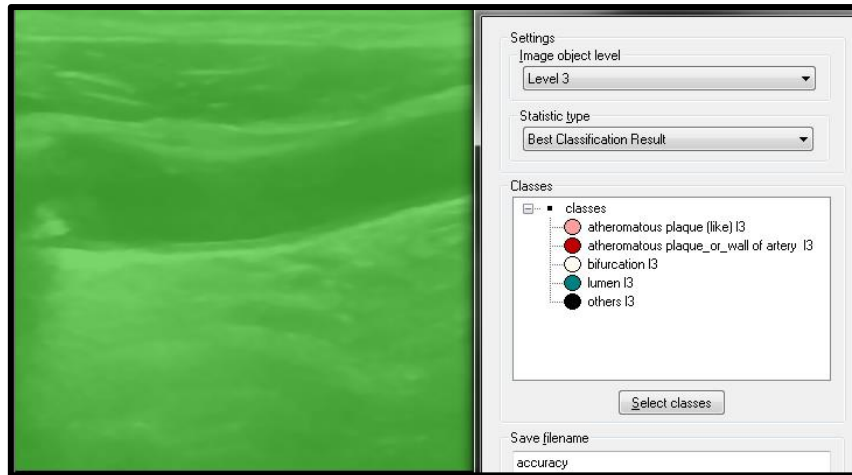
4.2 Αξιολόγηση Βάσει του Καλύτερου Αποτελέσματος Ταξινόμησης “Best Classification Result”

Στην συγκεκριμένη αξιολόγηση θα αναδειχθούν για κάθε αντικείμενο οι υψηλότερες τιμές συμμετοχής. Ουσιαστικά θα αναπαρασταθεί, γραφικώς και αριθμητικώς, για κάθε αντικείμενο οι βαθμοί συμμετοχής τους. Αριθμητικά, καταγράφονται η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή των βαθμών συμμετοχής όλων των αντικειμένων. Το εύρος τιμών είναι και πάλι από 0-1, με το 1 να αντιπροσωπεύει τον μέγιστο βαθμό συμμετοχής και το 0 τον ελάχιστο.

Εικόνα Δεδομένων 1

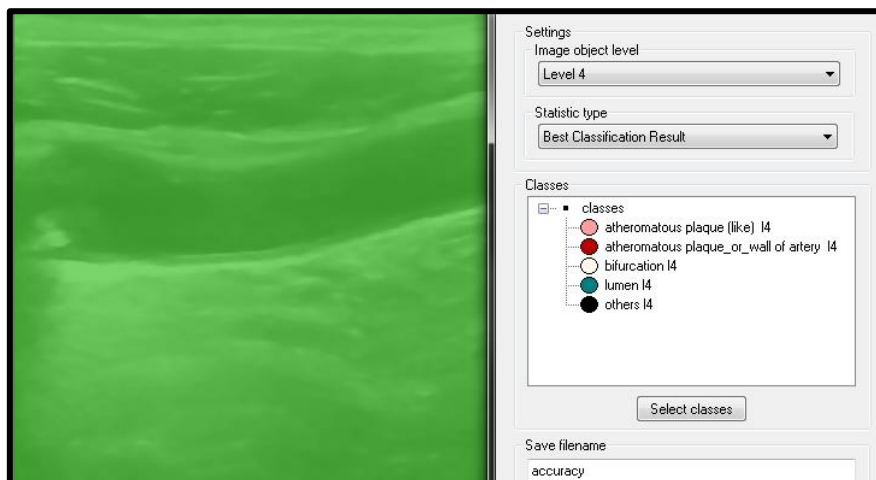
Παρατηρείται ότι, στο επίπεδο 3, οι βαθμοί συμμετοχής όλων των αντικειμένων είναι μέγιστοι (Εικόνα 4.9). Επομένως συνδυάζοντας το αποτέλεσμα αυτό με το αποτέλεσμα της αξιολόγησης “Classification Stability” για το συγκεκριμένο επίπεδο και την συγκεκριμένη εικόνα συνάγεται το συμπέρασμα της ευσταθούς και αξιόπιστης ταξινόμησης.

Στο επίπεδο 4, όπως παρατηρείται στην Εικόνα 4.10, υπάρχει ένας ελαφρώς μειωμένος αλλά πολύ ισχυρός βαθμός συμμετοχής σχετικά με την κατηγορία “atheromatous plaque_or_wall of artery I4”. Υπάρχει τουλάχιστον ένα αντικείμενο με βαθμό συμμετοχής 98% και τουλάχιστον ένα αντικείμενο με τον μικρότερο βαθμό συμμετοχής που είναι στο 87%. Ο βαθμός αυτός είναι υψηλός και παρατηρώντας τους αριθμούς που προέκυψαν από την αξιολόγηση “Classification Stability” συμπεραίνεται ότι η αξιολόγηση αυτής της ταξινόμησης στο επίπεδο 4 είναι σταθερή και αξιόπιστη.



Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
bifurcation I3	0				
lumen I3	7	1	0	1	1
others I3	1	1	0	1	1
atheromatous plaque (like) I3	2	1	0	1	1
atheromatous plaque_or_wall of artery I3	7	1	0	1	1

Εικόνα 4.9 Εικόνα 1: Γραφικό και Αριθμητικό Αποτέλεσμα Μεθόδου Αξιολόγησης Σταθερότητας Ταξινόμησης στο Επίπεδο 3



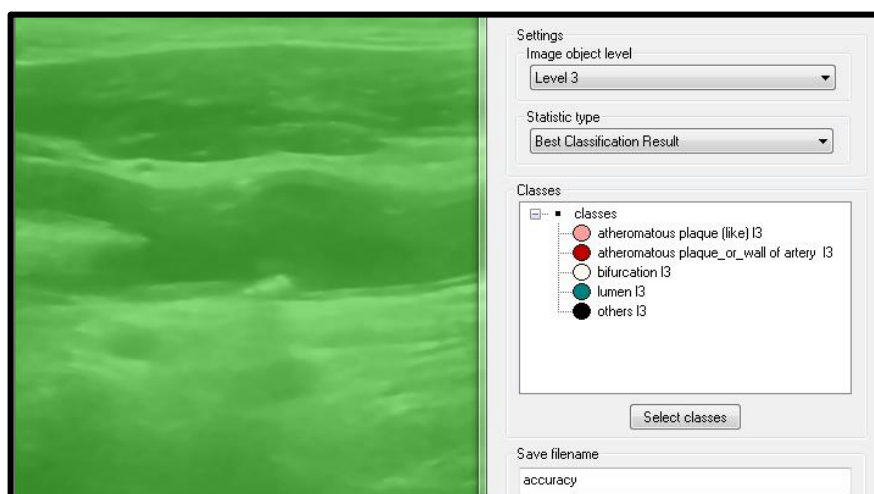
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
bifurcation I4	0				
lumen I4	7	1	0	1	1
atheromatous plaque_or_wall of artery I4	6	0.978618	0.047812	0.871708	1
others I4	1	1	0	1	1
atheromatous plaque (like) I4	0				

Εικόνα 4.10 Εικόνα 1: Γραφικό και Αριθμητικό Αποτέλεσμα Μεθόδου Αξιολόγησης Σταθερότητας Ταξινόμησης στο Επίπεδο 4

Εικόνα Δεδομένων 2

Παρατηρείται ότι, στο επίπεδο 3, οι βαθμοί συμμετοχής όλων των αντικειμένων είναι μέγιστοι (Εικόνα 4.11) εκτός από τα αντικείμενα της “atheromatous plaque (like) I3” τα οποία έχουν βαθμό συμμετοχής κατά μέση τιμή ίσο με 0.947 με μικρό βαθμό τυπικής απόκλισης. Άρα γενικά είναι τα αντικείμενα ταξινομούνται σε αυτή την κατηγορία με μεγάλο βαθμό συμμετοχής. Επομένως συνδυάζοντας το αποτέλεσμα αυτό με το αποτέλεσμα της αξιολόγησης “Classification Stability” για το συγκεκριμένο επίπεδο και την συγκεκριμένη εικόνα συνάγεται το συμπέρασμα της ευσταθούς και αξιόπιστης ταξινόμησης.

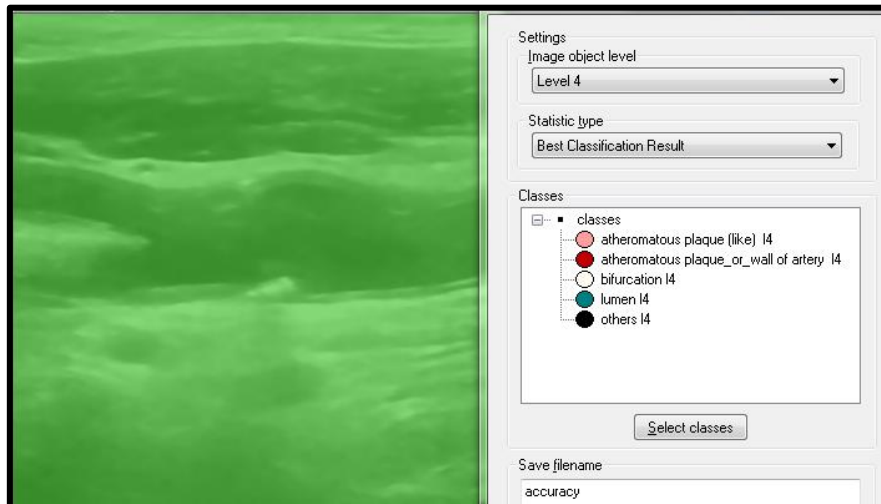
Στο επίπεδο 4, όπως παρατηρείται στην Εικόνα 4.12, υπάρχει ένας ελαφρώς μειωμένος αλλά πολύ ισχυρός βαθμός συμμετοχής σχετικά με την κατηγορία “atheromatous plaque_or_wall of artery I4”. Υπάρχει τουλάχιστον ένα αντικείμενο με τον μικρότερο βαθμό συμμετοχής που είναι στο 67%. Ο βαθμός αυτός είναι αρκετά υψηλός και παρατηρώντας τους αριθμούς που προέκυψαν από την αξιολόγηση “Classification Stability” συμπεραίνεται ότι στην συγκεκριμένη εικόνα η αξιολόγηση της ταξινόμησης στο επίπεδο 4 είναι σταθερή και αξιόπιστη.



Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
bifurcation I3	1	1	0	1	1
lumen I3	8	1	0	1	1
others I3	1	1	0	1	1
atheromatous plaque (like) I3	3	0.946665	0.075427	0.839995	1

atheromatous plaque_or_wall of artery I3	12	1	0	1	1
--	----	---	---	---	---

Εικόνα 4.11 Εικόνα 2: Γραφικό και Αριθμητικό Αποτέλεσμα Μεθόδου Αξιολόγησης Σταθερότητας Ταξινόμησης στο Επίπεδο 3



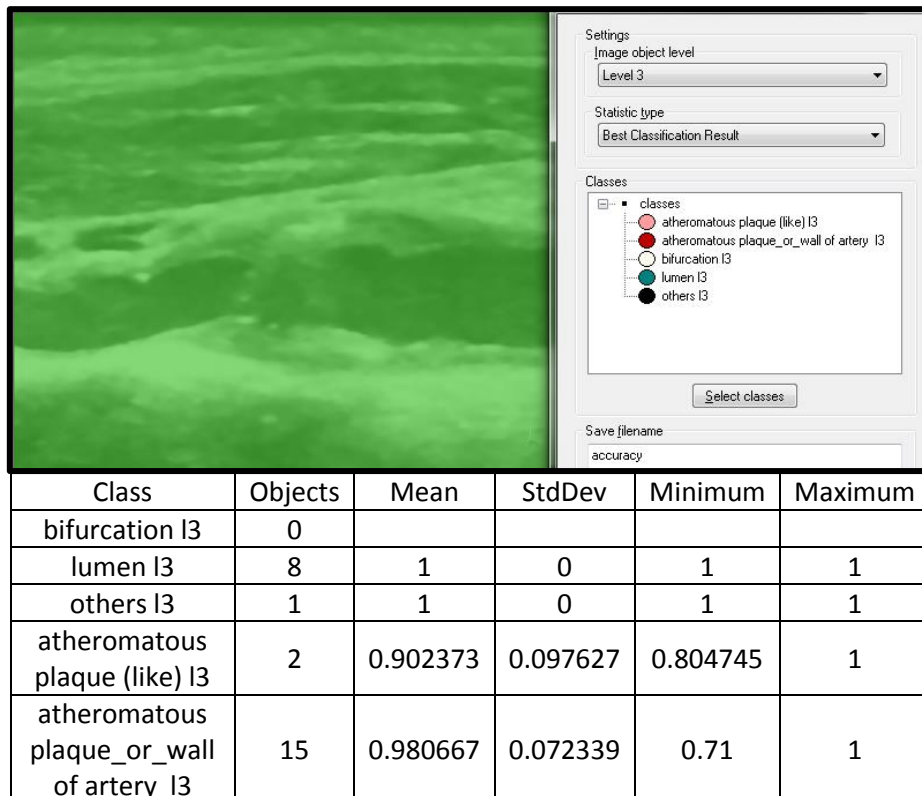
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
bifurcation I4	1	1	0	1	1
lumen I4	8	1	0	1	1
atheromatous plaque_or_wall of artery I4	6	1	0	1	1
others I4	1	1	0	1	1
atheromatous plaque (like) I4	3	0.890661	0.154628	0.671984	1

Εικόνα 4.12 Εικόνα 2: Γραφικό και Αριθμητικό Αποτέλεσμα Μεθόδου Αξιολόγησης Σταθερότητας Ταξινόμησης στο Επίπεδο 4

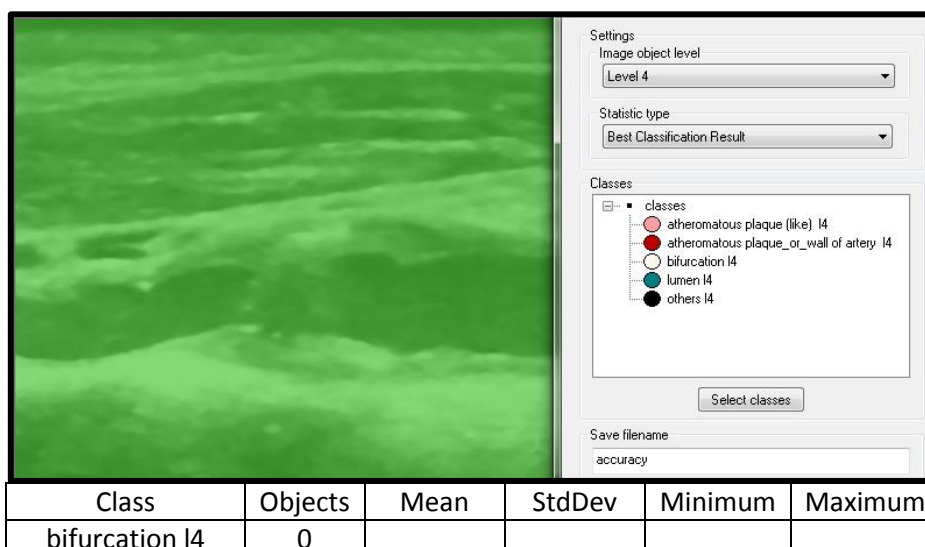
Εικόνα Δεδομένων 3

Παρατηρείται ότι, στο επίπεδο 3, οι βαθμοί συμμετοχής για τις κατηγορίες “atheromatous plaque (like) I3” και “atheromatous plaque_or_wall of artery I3” έχουν μέση τιμή ίση με 0.90 και 0.98 αντίστοιχα και μικρό βαθμό τυπικής απόκλισης (Εικόνα 4.13). Άρα γενικά είναι τα αντικείμενα ταξινομούνται σε αυτή την κατηγορία με μεγάλο βαθμό συμμετοχής. Επομένως συνδυάζοντας το αποτέλεσμα αυτό με το αποτέλεσμα της αξιολόγησης “Classification Stability” για το συγκεκριμένο επίπεδο και την συγκεκριμένη εικόνα συνάγεται το συμπέρασμα της αρκετά ευσταθούς και αξιόπιστης ταξινόμησης.

Στο επίπεδο 4, όπως παρατηρείται στην Εικόνα 4.14, υπάρχει ένας ελαφρώς μειωμένος αλλά πολύ ισχυρός βαθμός συμμετοχής σχετικά με την κατηγορία “atheromatous plaque_or_wall of artery I4”. Υπάρχει τουλάχιστον ένα αντικείμενο με τον μικρότερο βαθμό συμμετοχής που είναι στο 89%. Ο βαθμός αυτός είναι υψηλός και παρατηρώντας τους αριθμούς που προέκυψαν από την αξιολόγηση “Classification Stability” συμπεραίνεται ότι η αξιολόγηση αυτής της ταξινόμησης στο επίπεδο 4 είναι σταθερή και αξιόπιστη.



Εικόνα 4.13 Εικόνα 3: Γραφικό και Αριθμητικό Αποτέλεσμα Μεθόδου Αξιολόγησης Σταθερότητας Ταξινόμησης στο Επίπεδο 3



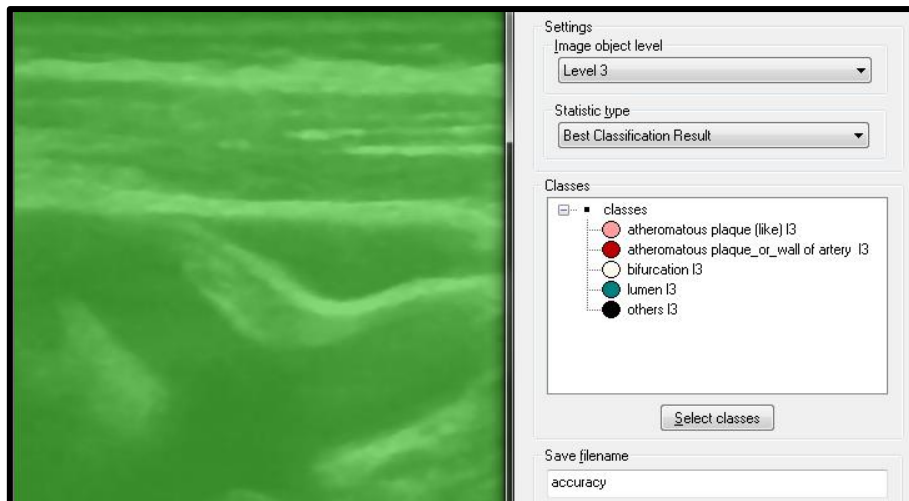
lumen I4	8	1	0	1	1
atheromatous plaque_or_wall of artery I4	9	0.987483	0.034651	0.889494	1
others I4	1	1	0	1	1
atheromatous plaque (like) I4	0				

Εικόνα 4.14 Εικόνα 3: Γραφικό και Αριθμητικό Αποτέλεσμα Μεθόδου Αξιολόγησης Σταθερότητας Ταξινόμησης στο Επίπεδο 4

Εικόνα Δεδομένων 8

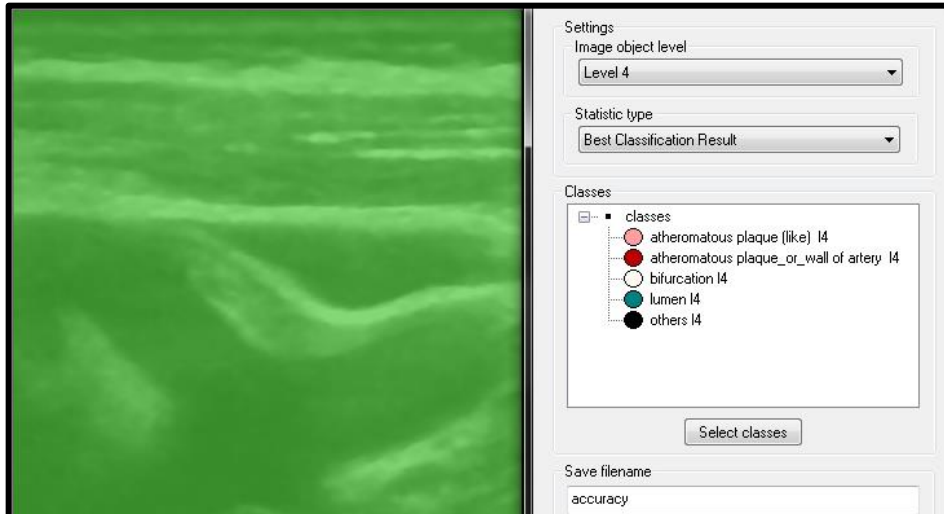
Παρατηρείται ότι, στο επίπεδο 3, οι βαθμοί συμμετοχής των αντικειμένων των κατηγοριών “atheromatous plaque (like) I3” και “lumen I3” έχουν μέσο όρο βαθμού συμμετοχής 0.90 και 0.99 αντίστοιχα με μικρό βαθμό τυπική απόκλισης (Εικόνα 4.15). Άρα γενικά τα αντικείμενα ταξινομούνται σε αυτές τις κατηγορίες με μεγάλο βαθμό συμμετοχής. Επομένως συνδυάζοντας το αποτέλεσμα αυτό με το αποτέλεσμα της αξιολόγησης “Classification Stability” για το συγκεκριμένο επίπεδο και την συγκεκριμένη εικόνα συνάγεται το συμπέρασμα μιας ευσταθούς και αξιόπιστης ταξινόμησης.

Στο επίπεδο 4, όπως παρατηρείται στην Εικόνα 4.16, τα αντικείμενα της κατηγορίας “atheromatous plaque_or_wall of artery I4” έχουν βαθμό συμμετοχή (0.93). Ένα τουλάχιστον αντικείμενο της κατηγορίας αυτής έχει τον μικρότερο βαθμό συμμετοχής (0.52) και τα αντικείμενα για όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες έχουν μέγιστο βαθμό συμμετοχής. Ο βαθμός αυτός είναι μέτριος και παρατηρώντας τους αριθμούς που προέκυψαν από την αξιολόγηση “Classification Stability” συμπεραίνεται ότι η αξιολόγηση αυτής της ταξινόμησης στο επίπεδο 4 είναι σταθερή και αξιόπιστη γενικά αλλά υπάρχει ένα αντικείμενο της κατηγορίας “atheromatous plaque_or_wall of artery I4” το οποίο είναι ασταθές.



Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
bifurcation I3	0				
lumen I3	10	0.989833	0.030502	0.898327	1
others I3	1	1	0	1	1
atheromatous plaque (like) I3	2	0.905949	0.094051	0.811898	1
atheromatous plaque_or_wall of artery I3	6	1	0	1	1

Εικόνα 4.15 Εικόνα 8: Γραφικό και Αριθμητικό Αποτέλεσμα Μεθόδου Αξιολόγησης Σταθερότητας Ταξινόμησης στο Επίπεδο 3



Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
bifurcation I4	0				
lumen I4	10	1	0	1	1
atheromatous plaque_or_wall of artery I4	7	0.9322254	0.166	0.5255781	1
others I4	1	1	0	1	1
atheromatous plaque (like) I4	1	1	0	1	1

Εικόνα 4.16 Εικόνα 8: Γραφικό και Αριθμητικό Αποτέλεσμα Μεθόδου Αξιολόγησης Σταθερότητας Ταξινόμησης στο Επίπεδο 4

4.3 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων μέσω Εικόνων Αναφοράς

Ο στόχος του συγκεκριμένου υποκεφαλαίου είναι να γίνει αξιολόγηση των αποτελεσμάτων με την χρήση Εικόνων Αναφοράς. Οι κατηγορίες που θα αξιολογηθούν είναι οι εξής :

1. Αυλός (lumen) ,
2. Γειτονικοί ιστοί (others),
3. Αθηρωματική πλάκα ή τοίχωμα αρτηρίας (atheromatous plaque_or_wall of artery)
4. Διχασμός (bifurcation)

Ουσιαστικά, είναι οι κατηγορίες όπως προέκυψαν στο επίπεδο 4 χωρίς την κατηγορία “ atheromatous plaque (like) I4” καθώς τα αντικείμενα της τελικά ταξινομούνται εξολοκλήρου στην κατηγορία “lumen I5”. Επιλέχθηκε να γίνει η αξιολόγηση με δείκτες σε αυτές τις κατηγορίες και όχι στις κατηγορίες που προέκυψαν από το επίπεδο 5 επειδή έπρεπε να δοθούν πολλές λεπτομέρειες σχετικά με το πάχος των τοιχωμάτων οι οποίες απαιτούσαν χρόνο από τον ακτινολόγο- γιατρό. Ουσιαστικά, οι τιμές των δεικτών εάν γινόταν οι αξιολόγηση στο επίπεδο 5 δεν θα ήταν άξια λόγου. Αρχικά, η αξιολόγηση στο πάχος του τοιχώματος θα απαιτούσε μετρήσεις του πάχους κατά μήκος των τοιχωμάτων την στιγμή που λήφθηκαν οι εικόνες. Ακόμα κάποιες μικρές πλάκες που εύρισκε ο αλγόριθμος δεν επιβεβαιώνονται εύκολα από τις εικόνες doppler εκ των υστέρων και θα έπρεπε να σημειωνόταν την ώρα που γινόταν ο υπέρηχος. Έτσι το επίπεδο 5 θα αξιολογηθεί ποιοτικά στο επόμενο υποκεφάλαιο ως προς το εάν εντοπίστηκε η πλάκα στην οποία επικεντρώθηκε ο γιατρός.

Οι εικόνες αναφοράς δημιουργήθηκαν με βάση τις εικόνες υπερήχου τόνων του γκρι σε συνδυασμό με τις εικόνες doppler και τις ερωτήσεις που τέθηκαν κατά τις προφορικές συναντήσεις με τον ακτινολόγο. Οι εικόνες που προέκυψαν από την ταξινόμηση μετατράπηκαν σε εικόνες με συγκεκριμένους τόνους για κάθε κατηγορία αντίστοιχους με τους τόνους των εικόνων αναφοράς. Επίσης τα δύο αυτά είδη εικόνων κόπηκαν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο για απλοποίηση. Πιο συγκεκριμένα στις εικόνες αναφοράς και στις εικόνες ταξινόμησης που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση:

- Ο αυλός (lumen) , εμφανίζεται με άσπρο χρώμα
- Οι γειτονικοί ιστοί (others), εμφανίζονται με μαύρο χρώμα

- Η αθηρωματική πλάκα ή τοίχωμα αρτηρίας (atheromatous plaque_or_wall of artery), εμφανίζεται με σκούρο τόνο του γκρι
- Ο διχασμός (bifurcation), εμφανίζεται με ανοιχτό τόνο του γκρι

Η αξιολόγηση μεταξύ των δύο εικόνων (εικόνα ταξινόμησης – εικόνα αναφοράς) έγινε με βάση τους δείκτες πληρότητας (*completeness*), ορθότητας (*correctness*) και ποιότητας (*quality*) (Wiedemann, Heipke, Mayer, & Hinz, 1998).

Πριν υπολογιστούν οι δείκτες υπολογίστηκαν τα εξής στοιχεία:

- **True Positives [TP]** είναι τα εικονοστοιχεία όπου ο αλγόριθμος έχει σωστά ανιχνεύσει αντικείμενο, δηλαδή υπάρχει αντικείμενο και στην εικόνα αναφοράς,
- **False Positives [FP]** είναι τα εικονοστοιχεία όπου ο αλγόριθμος εσφαλμένα εντοπίζει αντικείμενο ενώ δεν υπάρχει αντίστοιχο αντικείμενο στην εικόνα αναφοράς,
- **False Negatives [FN]** είναι τα εικονοστοιχεία όπου ο αλγόριθμος δεν κατάφερε να εντοπίσει κανένα αντικείμενο ή μεταβολή ενώ υπάρχει αντίστοιχο αντικείμενο μεταβολή στην εικόνα αναφοράς.

Βάσει των παραπάνω υπολογίζονται οι εξής δείκτες για κάθε Εικόνα Δεδομένων:

$$1. \text{Completeness} = \frac{TP}{TP+FN}$$

$$2. \text{Correctness} = \frac{TP}{TP+FP}$$

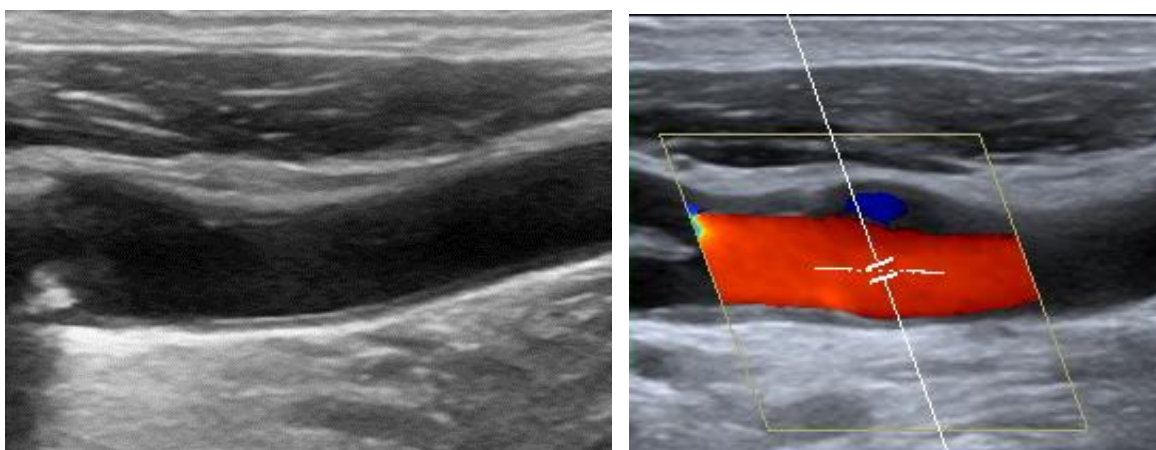
$$3. \text{Quality} = \frac{TP}{TP+FP+FN}$$

Η *πληρότητα* προσδιορίζει το ποσοστό των δεδομένων ελέγχου (ground truth) που έχουν ανιχνευθεί από τον αλγόριθμο. Η *ορθότητα* το ποσοστό των δεδομένων ελέγχου που έχουν ανιχνευθεί σωστά από τον αλγόριθμο και η *ολική ποιότητα* προσδιορίζει ένα γενικευμένο δείκτη που συνδυάζει τις μετρήσεις για την πληρότητα και την ορθότητα των αποτελεσμάτων.

Εικόνα Δεδομένων 1

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1, η ταξινόμηση στην Εικόνα Δεδομένων 1 (Εικόνα 4.18) έχει υψηλή πληρότητα, ορθότητα και συνολική ποιότητα, σε ποσοστά μεγαλύτερα από 90% για τις κατηγορίες “others” και “lumen”. Η κατηγορία “atheromatous plaque_or_wall of artery” ταξινομείται με υψηλή πληρότητα

(96%) ενώ έχει χαμηλότερα ποσοστά ορθότητας και ποιότητας (73% και 71% αντίστοιχα). Αυτό σημαίνει ότι ο αλγόριθμος εντόπισε αντικείμενα της κατηγορίας “atheromatous plaque_or_wall of artery” τα οποία δεν υπάρχουν στην εικόνα αναφοράς. Άρα υπάρχει σφάλμα συμπερίληψης. Ουσιαστικά το αποτέλεσμα αυτό προκύπτει επειδή, στην εικόνα αναφοράς, το αντικείμενο της κατηγορίας “atheromatous plaque_or_wall of artery”, που δημιουργήθηκε, περιορίστηκε σε αυτό που ήταν σίγουρα “atheromatous plaque_or_wall of artery” και όχι σε σκούρες περιοχές που πιθανόν να ήταν. Στο πάνω μέρος το τοίχωμα στην Εικόνα Δεδομένων 1 εμφανίζεται με μεγάλη ασάφεια και η αντίστοιχη εικόνα doppler δεν είναι ακριβώς στο ίδιο σημείο τραβηγμένη. Στην Εικόνα 4.17 παρατηρείται η δυσκολία να βρεθούν κοινά σημεία ώστε να γίνει σύγκριση και να δημιουργηθεί η εικόνα αναφοράς.



Εικόνα 4.17 Εικόνα Δεδομένων 1: Αρχική Εικόνα (αριστερά), Έγχρωμη Απεικόνιση Doppler (δεξιά)



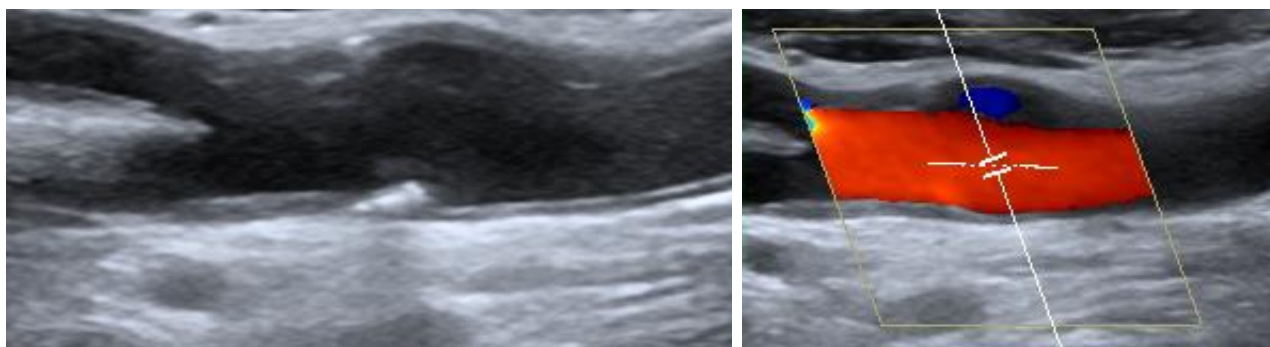
Εικόνα 4.18 Εικόνα Δεδομένων 1: Εικόνα Ταξινόμησης (πάνω), Εικόνα Αναφοράς (κάτω)

<i>Δείκτης/ Κατηγορία</i>	<i>others</i>	<i>lumen</i>	<i>atheromatous plaque_or_wall of artery</i>	<i>bifurcation</i>
Completeness(%)	97	90	96	-
Correctness(%)	97	99	73	-
Quality(%)	95	90	71	-

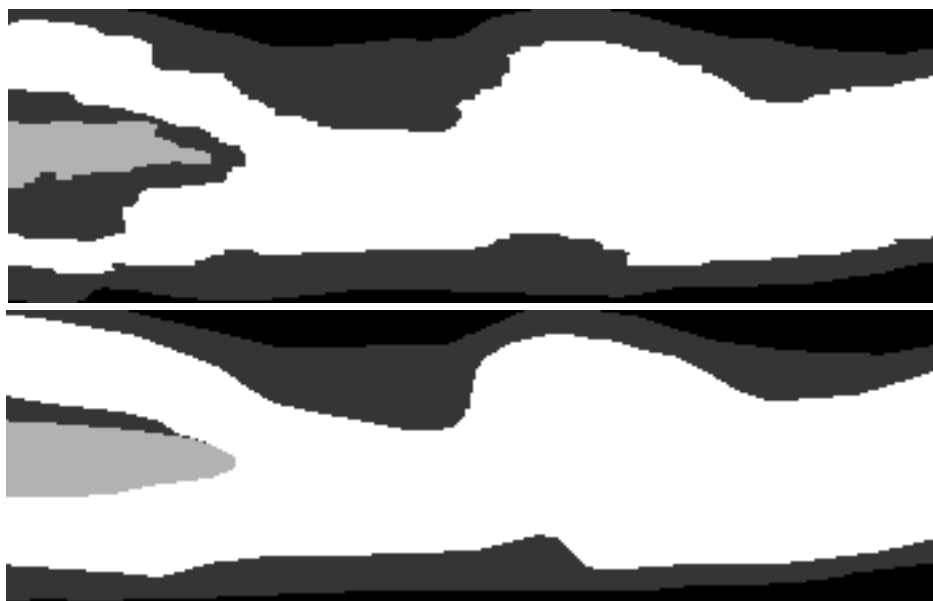
Πίνακας 4.1 Εικόνα Δεδομένων 1: Δείκτες Αξιολόγησης

Εικόνα Δεδομένων 2

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.2, η ταξινόμηση στην Εικόνα Δεδομένων 2 (Εικόνα 4.20) έχει υψηλή πληρότητα, ορθότητα και συνολική ποιότητα, σε ποσοστά μεγαλύτερα από 86% για τις κατηγορίες “others” και “lumen”. Η κατηγορία “atheromatous plaque_or_wall of artery” ταξινομείται με υψηλή πληρότητα (97%) ενώ έχει χαμηλότερα ποσοστά ορθότητας και ποιότητας (72% και 70% αντίστοιχα). Αυτό σημαίνει ότι ο αλγόριθμος εντόπισε αντικείμενα της κατηγορίας “atheromatous plaque_or_wall of artery” τα οποία δεν ανήκουν στην πραγματικότητα σε αυτή την κατηγορία. Σχετικά με την κατηγορία “bifurcation” έχει πληρότητα 63% και άρα υπάρχουν τμήματα της συγκεκριμένης κατηγορίας που δεν έχουν εντοπιστεί από τον αλγόριθμο. Το ποσοστό της συνολικής ποιότητας είναι 61%. Στην Εικόνα Δεδομένων 2 φαίνεται το σημείο διχασμού στην άκρη της εικόνας. Όπως παρατηρείται στην Εικόνα 4.19 δίπλα στην κατηγορία “bifurcation” υπήρχε περιοχή που έμοιαζε με πλάκα όμως σύμφωνα με τις παρατηρήσεις του γιατρού δεν ήταν πλάκα. Εξαιτίας αυτού ο δείκτης ορθότητας της κατηγορίας “atheromatous plaque_or_wall of artery” έχει τιμή 72%.



Εικόνα 4.19 Εικόνα Δεδομένων 2: Αρχική Εικόνα (αριστερά), Έγχρωμη Απεικόνιση Doppler (δεξιά)



Εικόνα 4.20 Εικόνα Δεδομένων 2: Εικόνα Ταξινόμησης (πάνω), Εικόνα Αναφοράς (κάτω)

Δείκτης/ Κατηγορία	others	lumen	atheromatous plaque_or_wall of artery	bifurcation
Completeness(%)	88	89	97	63
Correctness(%)	97	99	72	95
Quality(%)	86	89	70	61

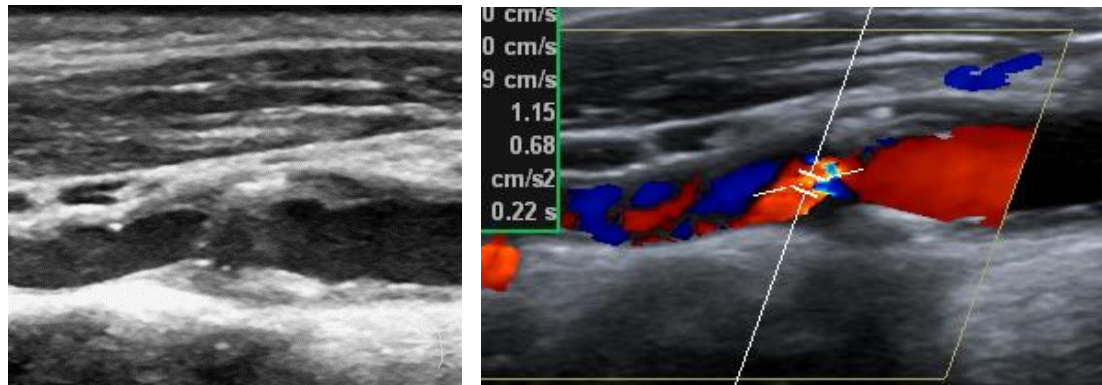
Πίνακας 4.2 Εικόνα Δεδομένων 2: Δείκτες Αξιολόγησης

Εικόνα Δεδομένων 3

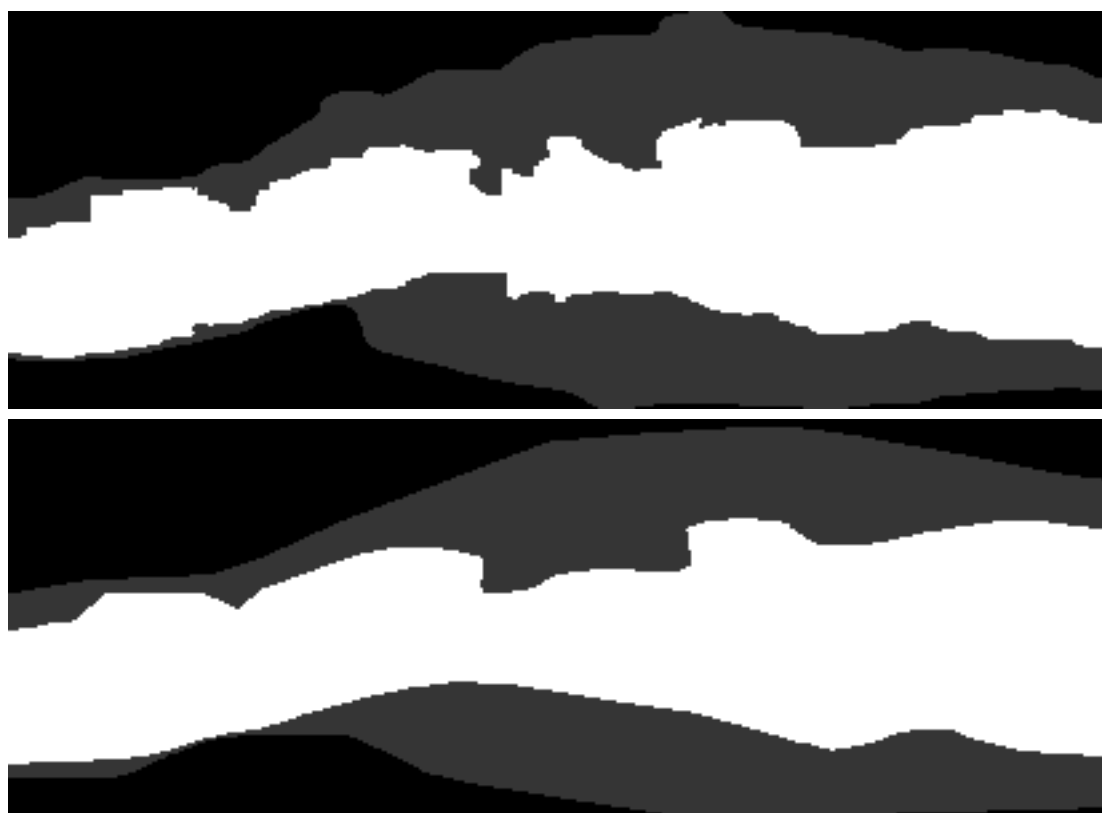
Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.3, η ταξινόμηση στην Εικόνα Δεδομένων 3 (Εικόνα 4.22) έχει υψηλή πληρότητα, ορθότητα και συνολική ποιότητα, σε ποσοστά μεγαλύτερα από 87% για τις κατηγορίες “others” και “lumen”. Η κατηγορία “atheromatous plaque_or_wall of artery” ταξινομείται με υψηλή πληρότητα (89%) και ορθότητα (91%) ενώ έχει χαμηλότερο ποσοστό στην συνολική ποιότητα (81%). Γενικά υπάρχει μικρό σφάλμα παράλειψης (ορθότητα 89%) το οποίο οφείλεται στις χαμηλές τιμές φωτεινότητας της πλάκας στα όρια μεταξύ του αυλού με αποτέλεσμα να μοιάζουν με την περιοχή του αυλού.

Η Εικόνα Δεδομένων 3 αποτελεί πολύ δύσκολη περίπτωση καθώς άλλο φαίνεται στην εικόνα τόνων του γκρι και άλλο είναι η πραγματικότητα που φαίνεται στο

Doppler (Εικόνα 4.21). Συγκεκριμένα εντός της αρτηρίας υπάρχει μια περιοχή που φαίνεται σαν να είναι πλάκα όμως στην πραγματικότητα δεν είναι. Τελικά αυτή η περιοχή χαρακτηρίστηκε σωστά από τον αλγόριθμο, όμως δείχνει την δυσκολία των εικόνων υπερήχου και καθιστά απαραίτητο την εφαρμογή της διαδικασίας σε πολύ περισσότερες εικόνες ώστε με μικρές διορθώσεις να είναι όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστη.



Εικόνα 4.21 Εικόνα Δεδομένων 3: Αρχική Εικόνα (αριστερά), Έγχρωμη Απεικόνιση Doppler (δεξιά)



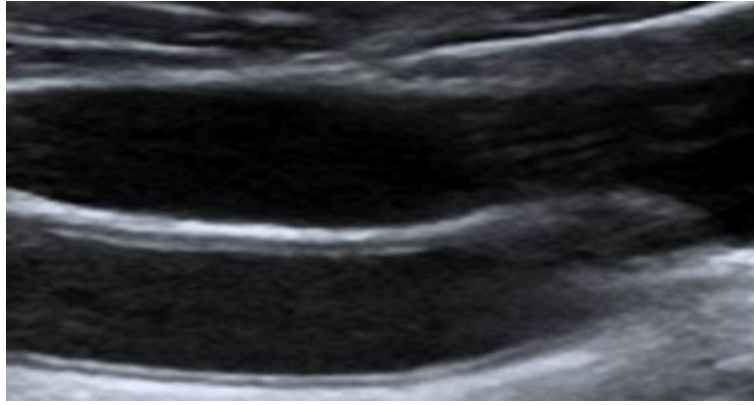
Εικόνα 4.22 Εικόνα Δεδομένων 3: Εικόνα Ταξινόμησης (πάνω), Εικόνα Αναφοράς (κάτω)

<i>Δείκτης/ Κατηγορία</i>	<i>others</i>	<i>lumen</i>	<i>atheromatous plaque_or_wall of artery</i>	<i>bifurcation</i>
<i>Completeness(%)</i>	96	95	89	-
<i>Correctness(%)</i>	90	97	91	-
<i>Quality(%)</i>	87	92	81	-

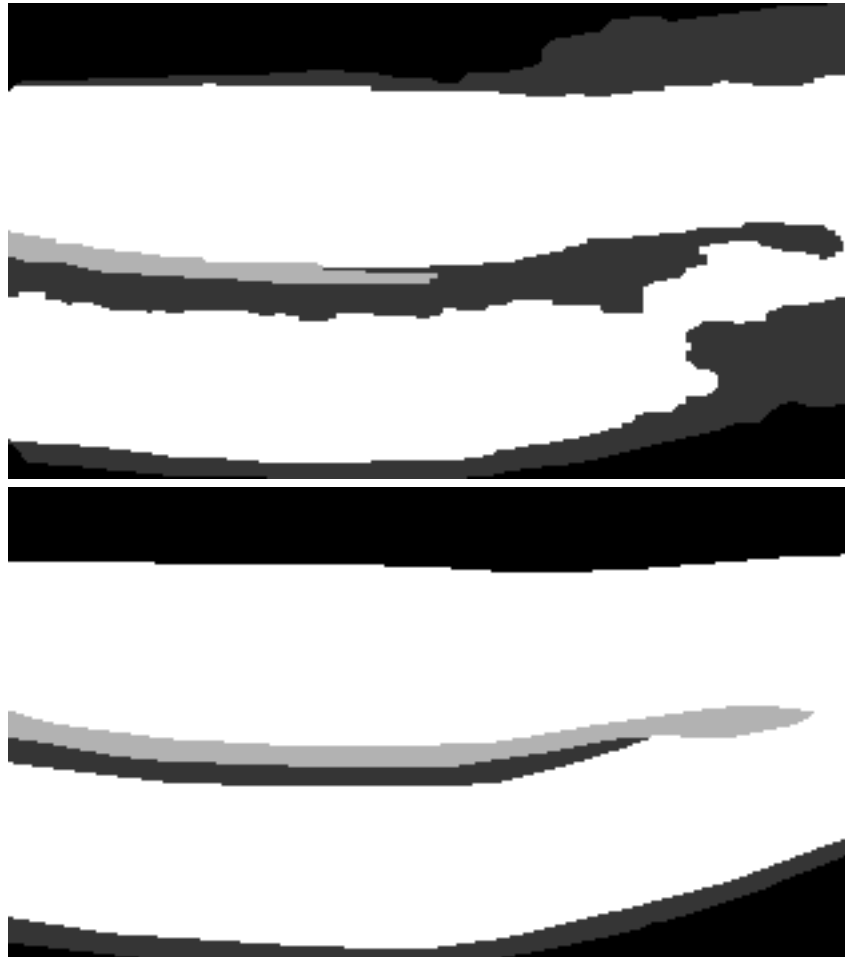
Πίνακας 4.3 Εικόνα Δεδομένων 3: Δείκτες Αξιολόγησης

Εικόνα Δεδομένων 4

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.4, η ταξινόμηση στην Εικόνα Δεδομένων 4 (Εικόνα 4.24) έχει υψηλή πληρότητα, ορθότητα και συνολική ποιότητα, σε ποσοστά μεγαλύτερα από 88% για την κατηγορία “lumen”. Η κατηγορία “atheromatous plaque_or_wall of artery” ταξινομείται με υψηλή πληρότητα (95%) το οποίο σημαίνει ότι ο αλγόριθμος εντόπισε σε πολύ μεγάλο ποσοστό τις περιοχές που υπήρχε αυτή η κατηγορία. Ενώ έχει χαμηλά ποσοστά ορθότητας και ποιότητας (31% και 30% αντίστοιχα) το οποίο σημαίνει ότι ο αλγόριθμος εντόπισε αντικείμενα της κατηγορίας “atheromatous plaque_or_wall of artery” τα οποία δεν ανήκουν στην πραγματικότητα σε αυτή την κατηγορία. Σχετικά με την κατηγορία “bifurcation” έχει χαμηλή πληρότητα (44%) και άρα υπάρχουν αρκετά τμήματα της συγκεκριμένης κατηγορίας που δεν έχουν εντοπιστεί από τον αλγόριθμο. Το ποσοστό της συνολικής ποιότητας είναι 43%. Επίσης το ποσοστό πληρότητας της κατηγορίας “others” είναι 70% το οποίο σφάλμα προέρχεται από τον αλγόριθμο εξαγωγής πιθανών περιοχών καρωτίδας. Το ποσοστό αυτό σημαίνει ότι ο αλγόριθμος δεν εντόπισε το 30% της κατηγορίας αυτής. Το ποσοστό της ορθότητας της κατηγορίας είναι μεγάλο (97%) άρα όσα ταξινομήθηκαν σε αυτήν την κατηγορίας είναι ορθώς ταξινομημένα ενώ το ποσοστό της συνολικής ποιότητας ανέρχεται στο 43%. Η χαμηλή πληρότητα του “bifurcation” οφείλεται στο γεγονός ότι το “bifurcation” από ένα σημείο και έπειτα ταξινομήθηκε ως “atheromatous plaque_or_wall of artery” επειδή υπήρχε δυσκολία στο να γίνει ο διαχωρισμός του από την κατηγορία αυτή καθώς εμφανίζεται με χαμηλότερη φωτεινότητα από ότι συνήθως (Εικόνα 4.23). Άρα εξαιτίας αυτού επίσης οφείλεται κατά ένα μεγάλο ποσοστό και η χαμηλή ορθότητα της “atheromatous plaque_or_wall of artery”.



Εικόνα 4.23 Εικόνα Δεδομένων 4: Αρχική Εικόνα



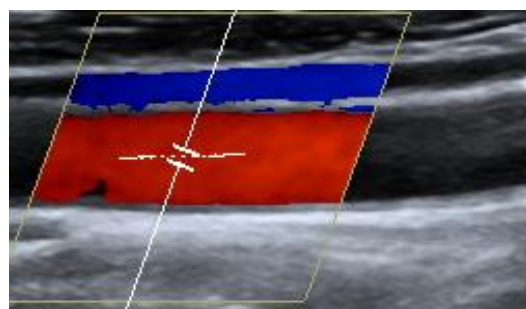
Εικόνα 4.24 Εικόνα Δεδομένων 4: Εικόνα Ταξινόμησης (πάνω), Εικόνα Αναφοράς (κάτω)

<i>Δείκτης/ Κατηγορία</i>	<i>others</i>	<i>lumen</i>	<i>atheromatous plaque_or_wall of artery</i>	<i>bifurcation</i>
Completeness(%)	70	89	95	44
Correctness(%)	98	99	31	97
Quality(%)	69	88	30	43

Πίνακας 4.4 Εικόνα Δεδομένων 4: Δείκτες Αξιολόγησης

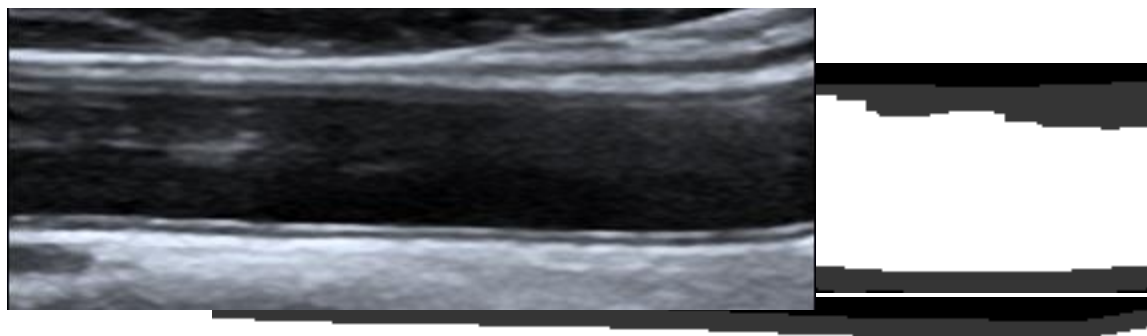
Εικόνα Δεδομένων 5

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.5, η ταξινόμηση στην Εικόνα Δεδομένων 5 (Εικόνα 4.26) έχει υψηλή πληρότητα, ορθότητα και συνολική ποιότητα, σε ποσοστά μεγαλύτερα από 82% για τις κατηγορίες “others” και “lumen”. Η κατηγορία “atheromatous plaque_or_wall of artery” ταξινομείται με υψηλή πληρότητα (95%) ενώ έχει χαμηλότερα ποσοστά ορθότητας και ποιότητας (79% και 75%



Εικόνα 4.25 Εικόνα Δεδομένων 5: Αρχική Εικόνα (αριστερά), Έγχρωμη Απεικόνιση Doppler (δεξιά)

αντίστοιχα). Αυτό συμβαίνει επειδή ο πάνω δεξιά της εικόνας υπάρχει λίγος θόρυβος ο οποίος τελικά μεταφράστηκε ως αθηρωματική πλάκα Εικόνα 4.25.



Εικόνα 4.26 Εικόνα Δεδομένων 5: Εικόνα Ταξινόμησης (πάνω), Εικόνα Αναφοράς (κάτω)

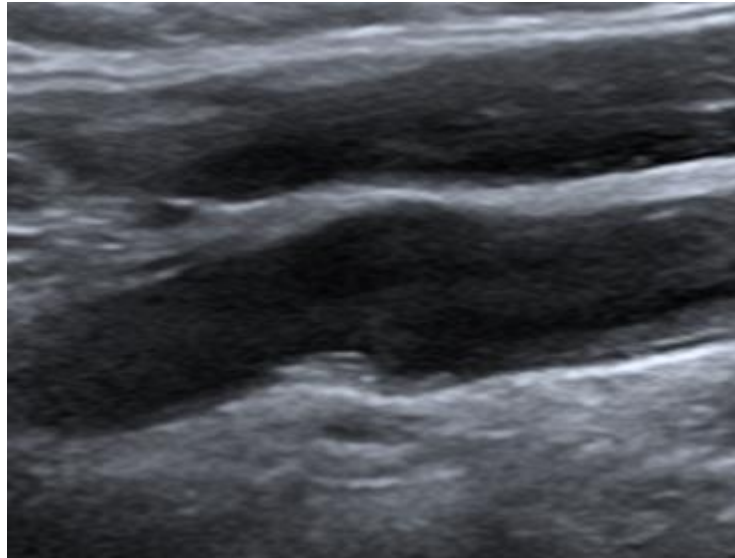
<i>Δείκτης/ Κατηγορία</i>	<i>others</i>	<i>lumen</i>	<i>atheromatous plaque_or_wall of artery</i>	<i>bifurcation</i>
Completeness	86	96	95	-
Correctness	95	99	79	-
Quality	82	95	75	-

Πίνακας 4.5 Εικόνα Δεδομένων 5: Δείκτες Αξιολόγησης

Εικόνα Δεδομένων 6

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.6, η ταξινόμηση στην Εικόνα Δεδομένων 6 (Εικόνα 4.28) έχει υψηλή πληρότητα, ορθότητα και συνολική ποιότητα, σε ποσοστά μεγαλύτερα από 85% για τις κατηγορίες “others” και “lumen”. Η κατηγορία “atheromatous plaque_or_wall of artery” ταξινομείται με πληρότητα 82% ενώ έχει ποσοστό ορθότητας 51% και επομένως χαμηλή συνολική ποιότητα 46%. Ο αλγόριθμος εντόπισε περισσότερα αντικείμενα που τα ταξινόμησε στην κατηγορία αυτή από εκείνα που ήταν στην πραγματικότητα. Αυτό συμβαίνει επειδή υπάρχουν αρκετά artifacts κοντά στο τοίχωμα στο κάτω μέρος της

εικόνας και επίσης υπάρχει και μια περιοχή που έπρεπε να συμπεριληφθεί στην κατηγορία “others” (Εικόνα 4.27).



Εικόνα 4.27 Εικόνα Δεδομένων 6: Αρχική Εικόνα



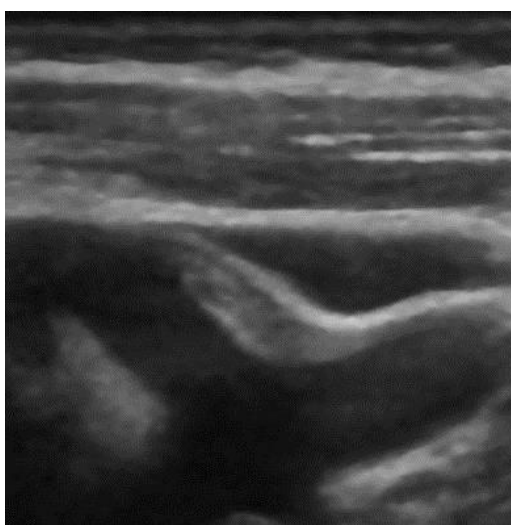
Εικόνα 4.28 Εικόνα Δεδομένων 6: Εικόνα Ταξινόμησης (πάνω), Εικόνα Αναφοράς (κάτω)

Δείκτης/ Κατηγορία	others	lumen	atheromatous plaque_or_wall of artery	bifurcation
Completeness (%)	86	92	82	-
Correctness(%)	98	97	51	-
Quality(%)	85	89	46	-

Πίνακας 4.6 Εικόνα Δεδομένων 6: Δείκτες Αξιολόγησης

Εικόνα Δεδομένων 7

Στην Εικόνα Δεδομένων 7 δεν έχουν μεγάλη αξία τα αποτελέσματα των κατηγοριών “others” και “lumen” επειδή είναι μια εικόνα που δεν υπήρχαν σαφή όρια της αρτηρίας και τα όρια που εξήχθησαν από τον αλγόριθμο στο κάτω αριστερό μέρος είναι λίγο τυχαία. Τα αντίστοιχα όρια της εικόνας αναφοράς είναι πάλι τυχαία. Οπότε θα γίνει αξιολόγηση με τις τιμές των δεικτών της κατηγορίας “atheromatous plaque_or_wall of artery”. Η κατηγορία αυτή έχει πληρότητα 84% και λίγο χαμηλότερη ορθότητα 71%. Συνολικά, η ποιότητα της ταξινόμησης της κατηγορίας ανέρχεται στο 62% (Πίνακας 4.7). Το γεγονός της χαμηλής ορθότητας (σφάλμα συμπερίληψης) οφείλεται σε λίγα artifacts που υπάρχουν στην άκρη της εικόνας (δεξιά) και στο ότι τα τοιχώματα δεν περιγράφονται καλά στην αρχική εικόνα και σε κάποια σημεία υπάρχει σύγχυση αυτών με τον αυλό, δηλαδή δεν ξεχωρίζουν εύκολα όπως παρατηρείται στην Εικόνα 4.29.



Εικόνα 4.29 Εικόνα Δεδομένων 8: Αρχική Εικόνα



Εικόνα 4.30 Εικόνα Δεδομένων 7: Εικόνα Ταξινόμησης (πάνω),
Εικόνα Αναφοράς (κάτω)

Δείκτης/ Κατηγορία	Εικόνα Αναφοράς (κάτω)			
	<i>others</i>	<i>lumen</i>	<i>αθηροματώσιος plaque_or_wall of artery</i>	<i>bifurcation</i>
Completeness (%)	86	94	84	-
Correctness(%)	99	82	71	-
Quality(%)	85	78	62	-

Πίνακας 4.7 Εικόνα Δεδομένων 7: Δείκτες Αξιολόγησης

Εικόνα Δεδομένων 8

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.8, η ταξινόμηση στην Εικόνα Δεδομένων 8 (Εικόνα 4.31) έχει υψηλή πληρότητα, ορθότητα και συνολική ποιότητα, σε ποσοστά μεγαλύτερα από 83% για τις κατηγορίες “others” και “lumen”. Η κατηγορία “atheromatous plaque_or_wall of artery” ταξινομείται με υψηλή πληρότητα 92% ενώ έχει ποσοστό ορθότητας 45% και επομένως χαμηλή συνολική ποιότητα 43%. Ο αλγόριθμος εντόπισε περισσότερα αντικείμενα που τα ταξινόμησε στην κατηγορία αυτή από εκείνα που ήταν στην πραγματικότητα. Αυτό οφείλεται στο

γεγονός ότι η μεγαλύτερη περιοχή της κατηγορίας “atheromatous plaque_or_wall of artery” που βρίσκεται στο πάνω μέρος της εικόνας σύμφωνα με την έγχρωμη απεικόνιση doppler δεν έπρεπε να ενταχθεί σε αυτή την κατηγορία αλλά στην κατηγορία “lumen” , όπως έχει ήδη αναφερθεί στην σελίδα 145 .



Εικόνα 4.31 Εικόνα Δεδομένων 8: Εικόνα Ταξινόμησης (πάνω), Εικόνα Αναφοράς (κάτω)

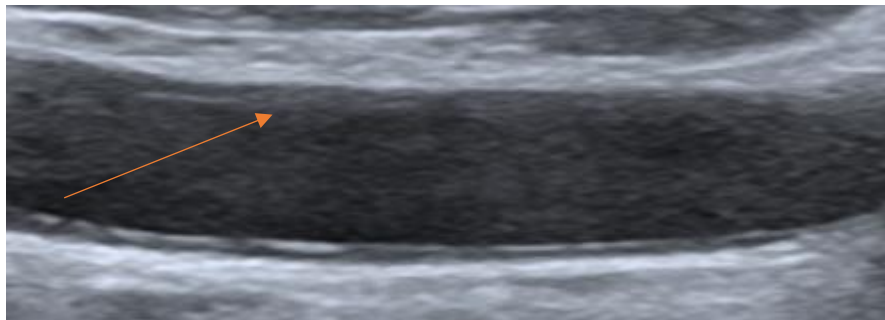
Δείκτης/ Κατηγορία	others	lumen	atheromatous plaque_or_wall of artery	bifurcation
Completeness (%)	90	84	92	-
Correctness(%)	98	98	45	-
Quality(%)	88	83	43	-

Πίνακας 4.8 Εικόνα Δεδομένων 8: Δείκτες Αξιολόγησης

Εικόνα Δεδομένων 9

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.9, η ταξινόμηση στην Εικόνα Δεδομένων 9 (Εικόνα 4.33) έχει υψηλή πληρότητα, ορθότητα και συνολική ποιότητα, σε ποσοστά μεγαλύτερα από 81% για τις κατηγορίες “others” και “lumen”. Η κατηγορία “atheromatous plaque_or_wall of artery” ταξινομείται με υψηλή πληρότητα 91% ενώ έχει ποσοστό ορθότητας 68% και επομένως χαμηλότερη συνολική ποιότητα 64%. Ο αλγόριθμος εντόπισε δηλαδή περισσότερα αντικείμενα που τα

ταξινόμησε στην κατηγορία αυτή από εκείνα που ήταν στην πραγματικότητα. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ασάφεια του τοιχώματος όπως αυτό απεικονίζεται στο πάνω μέρος της εικόνας (Εικόνα 4.32-βέλος).



Εικόνα 4.32 Εικόνα Δεδομένων 9: Αρχική Εικόνα



Εικόνα 4.33 Εικόνα Δεδομένων 9: Εικόνα Ταξινόμησης (πάνω), Εικόνα Αναφοράς (κάτω)

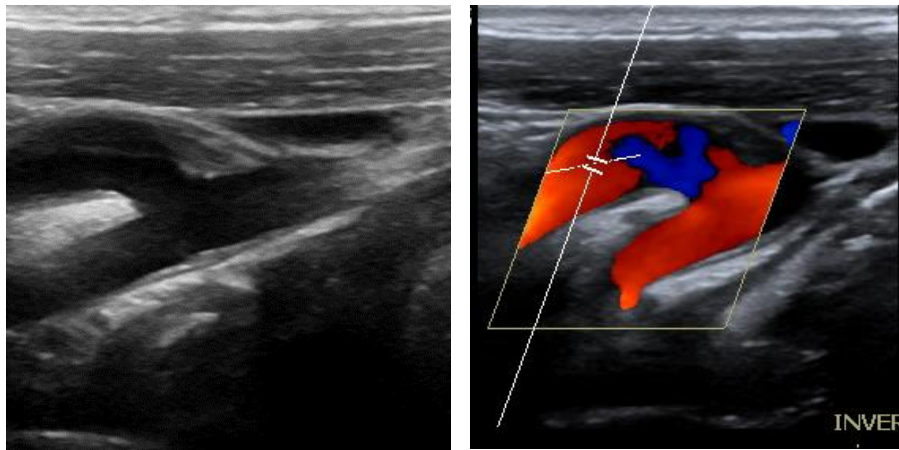
Δείκτης/ Κατηγορία	others	lumen	atheromatous plaque_or_wall of artery	bifurcation
Completeness (%)	87	92	91	-
Correctness (%)	92	99	68	-
Quality (%)	81	91	64	-

Πίνακας 4.9 Εικόνα Δεδομένων 9: Δείκτες Αξιολόγησης

Εικόνα Δεδομένων 10

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.10, η ταξινόμηση στην Εικόνα Δεδομένων 10 (Εικόνα 4.35) έχει υψηλή πληρότητα, ορθότητα και συνολική ποιότητα, σε ποσοστά μεγαλύτερα από 85% για τις κατηγορίες “others” και “lumen”. Η κατηγορία “atheromatous plaque_or_wall of artery” ταξινομείται με υψηλή πληρότητα

92% ενώ έχει ποσοστό ορθότητας 58% και επομένως μέτρια συνολική ποιότητα 56%. Ο αλγόριθμος εντόπισε περισσότερα αντικείμενα που τα ταξινόμησε στην κατηγορία αυτή από εκείνα που ήταν στην πραγματικότητα. Σχετικά με την κατηγορία “bifurcation” ο αλγόριθμος είχε υψηλή ορθότητα και πληρότητα με ποσοστά που ανέρχονταν στο 95% και 87% αντίστοιχα. Ουσιαστικά το χαμηλό ποσοστό ορθότητας της κατηγορίας “atheromatous plaque_or_wall of artery” έγκειται στο γεγονός ότι υπήρχαν περιοχές, που έμοιαζαν με πλάκα όμως ήταν θόρυβος, όπως στην περιοχή που εφάπτεται με το “bifurcation” προς το κάτω μέρος της εικόνας (Εικόνα 4.34). Επίσης μικρό τμήμα του “bifurcation” ταξινομήθηκε εσφαλμένα ως “atheromatous plaque_or_wall of artery” εξαιτίας της χαμηλότερης φωτεινότητας του.



Εικόνα 4.34 Εικόνα Δεδομένων 10: Αρχική Εικόνα (αριστερά), Έγχρωμη Απεικόνιση Doppler (δεξιά)





Εικόνα 4.35 Εικόνα Δεδομένων 10: Εικόνα Ταξινόμησης (πάνω), Εικόνα Αναφοράς (κάτω)

Δείκτης/ Κατηγορία	<i>others</i>	<i>lumen</i>	<i>atheromatous plaque_or_wall of artery</i>	<i>bifurcation</i>
Completeness (%)	93	86	92	87
Correctness(%)	98	98	58	95
Quality(%)	91	85	56	83

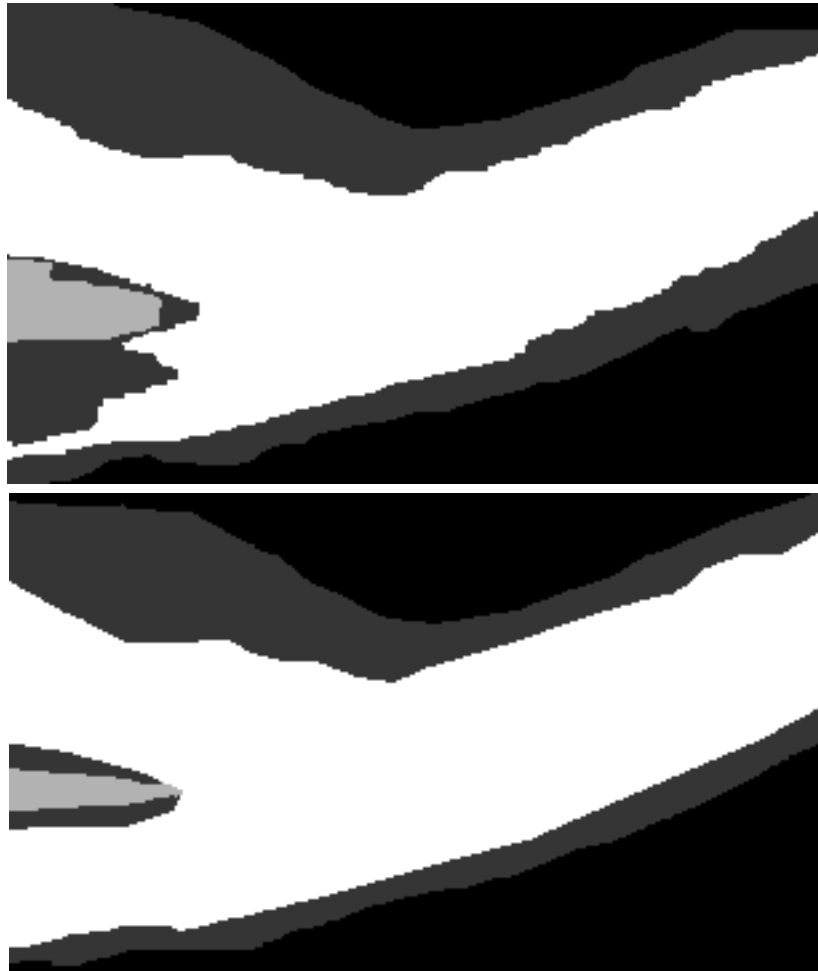
Πίνακας
4.10
Εικόνα

Δεδομένων 10: Δείκτες Αξιολόγησης

Εικόνα Δεδομένων 11

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.11, η ταξινόμηση στην Εικόνα Δεδομένων 10 (Εικόνα 4.36) έχει υψηλή πληρότητα, ορθότητα και συνολική ποιότητα, σε ποσοστά μεγαλύτερα από 89% για τις κατηγορίες “others” και “lumen”. Η κατηγορία “atheromatous plaque_or_wall of artery” ταξινομείται με υψηλή πληρότητα 92% ενώ έχει ποσοστό ορθότητας 72% και επομένως συνολική ποιότητα 68%. Ο αλγόριθμος εντόπισε περισσότερα αντικείμενα που τα ταξινόμησε στην κατηγορία αυτή από εκείνα που υπήρχαν στην πραγματικότητα. Σχετικά με την κατηγορία “bifurcation” ο αλγόριθμος είχε υψηλή πληρότητα και χαμηλή πληρότητα με ποσοστά που ανέρχονταν στο 96% και 53% αντίστοιχα. Το ποσοστό 72% ορθότητας της “atheromatous plaque_or_wall of artery” οφείλεται στο γεγονός μικρού σφάλματος του αλγορίθμου εξαγωγής της καρωτίδας το οποίο οδηγεί σε σφάλμα συμπερίληψης. Επίσης οφείλεται στην περιοχή που εφάπτεται με το “bifurcation” προς το κάτω μέρος της εικόνας και

η οποία είναι artifact όμως εσφαλμένα ταξινομείται ως “atheromatous plaque_or_wall of artery”.



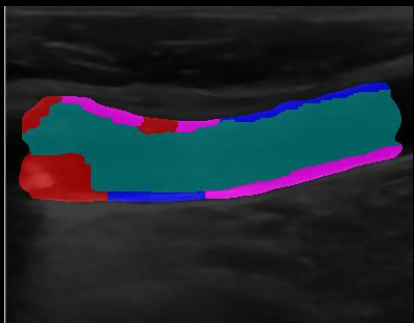
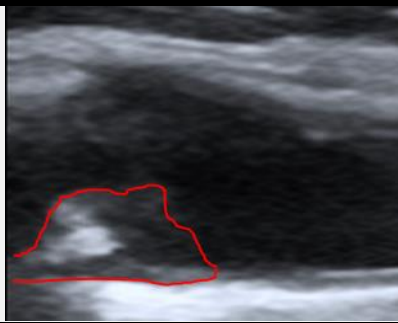
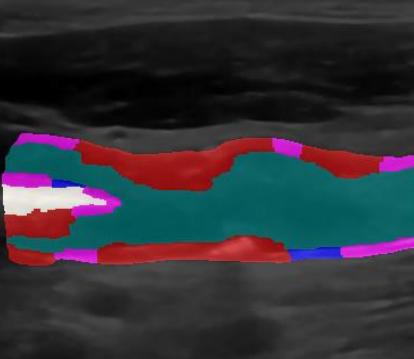
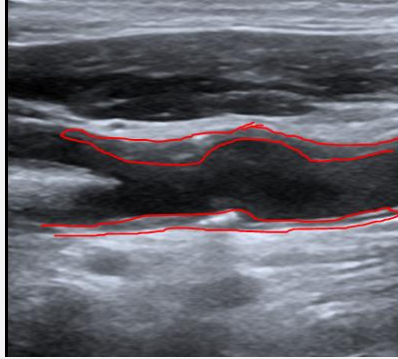
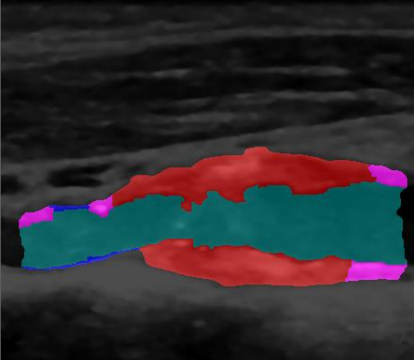
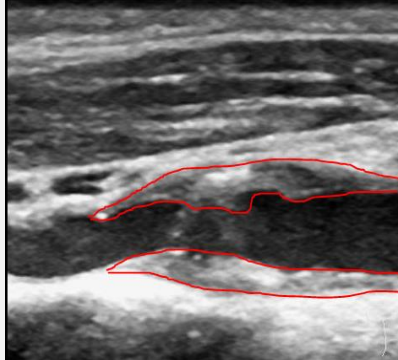
Εικόνα 4.36 Εικόνα Δεδομένων 11: Εικόνα Ταξινόμησης (πάνω), Εικόνα Αναφοράς (κάτω)

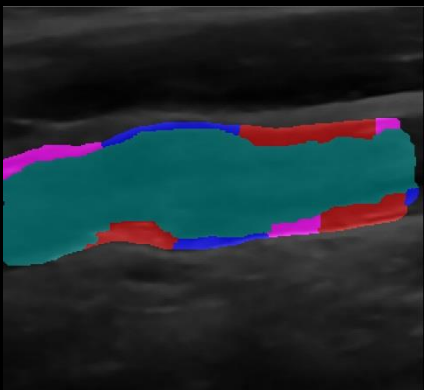
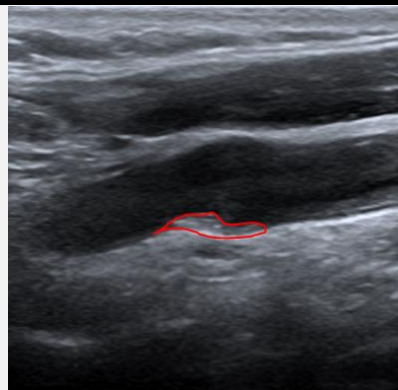
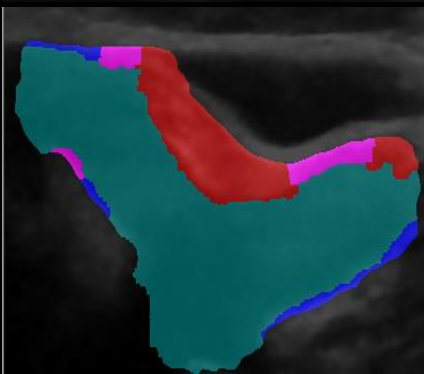
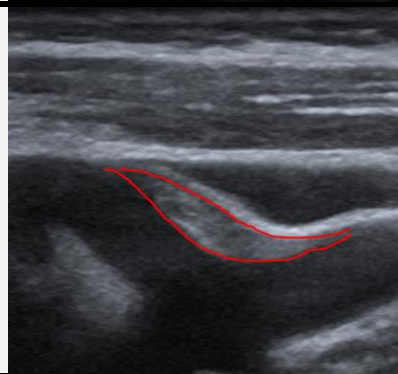
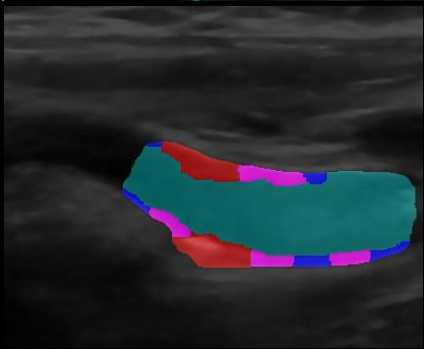
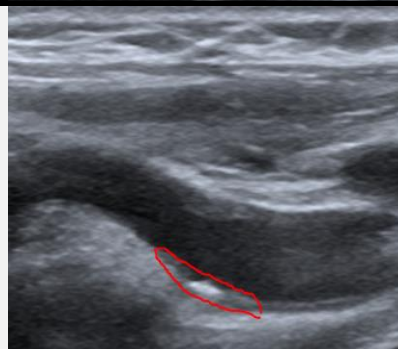
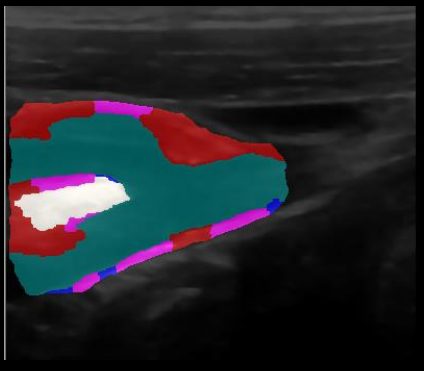
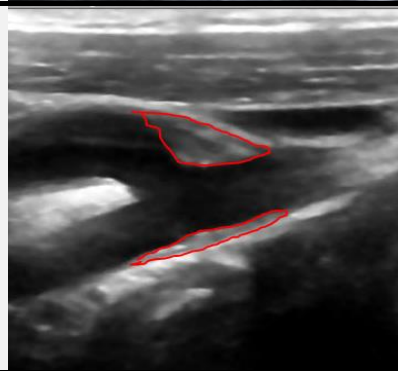
Δείκτης/ Κατηγορία	others	lumen	atheromatous plaque_or_wall of artery	bifurcation
Completeness (%)	91	89	92	96
Correctness (%)	98	99	72	53
Quality (%)	89	89	68	51

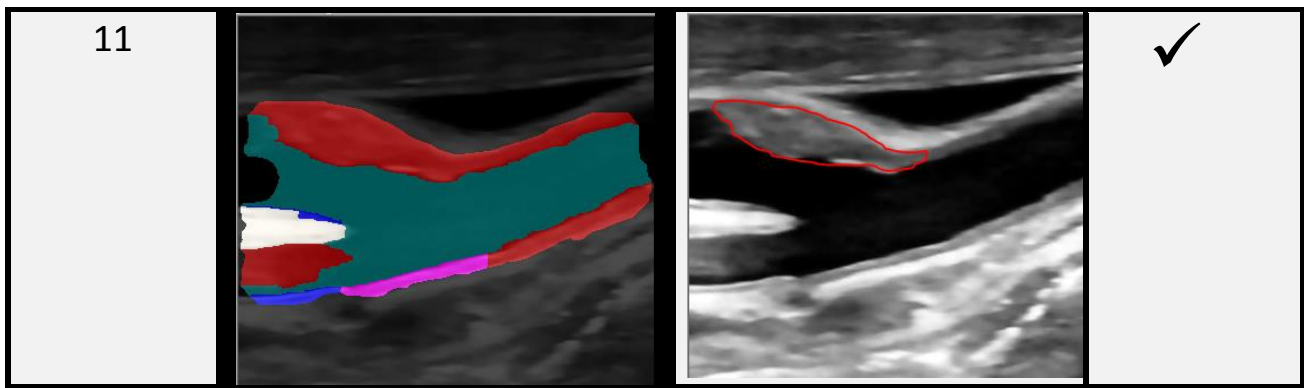
Πίνακας 4.11 Εικόνα Δεδομένων 11: Δείκτες Αξιολόγησης

4.4 Ποιοτική Αξιολόγηση του Εντοπισμού Αθηρωματικής Πλάκας

Στο εδάφιο αυτό παρουσιάζεται ποιοτικά η αξιολόγηση του επιπέδου 5. Ουσιαστικά ελέγχεται εάν οι αθηρωματικές πλάκες που είχαν ιατρικό ενδιαφέρον εντοπίστηκαν τελικά και χαρακτηρίστηκαν ως πλάκες στο επίπεδο αυτό. Στο επίπεδο 5 οι αθηρωματικές πλάκες συμβολίζονται με κόκκινο χρώμα και επομένως παρακάτω (Πίνακας 4.12) ελέγχεται εάν η πλάκα του υποδείγματος του γιατρού υπάρχει στην εικόνα ταξινόμησης με κόκκινο χρώμα ή τουλάχιστον έχει ροζ χρώμα το οποίο αντιστοιχεί σε παχυμένο τοίχωμα.

Εικόνα Δεδομένω ν	Εικόνες Ταξινόμησης Επιπέδου 5	Υπόδειγμα Γιατρού Πλάκας Ενδιαφέροντος	Ποιοτική Αξιολόγησ η
1			✓
2			✓
3			✓

6			✓
7			✓
8			✓
10			✓

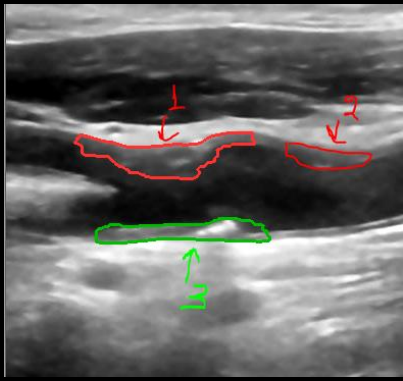
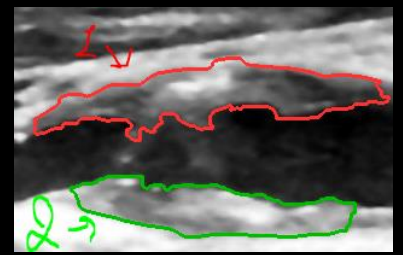

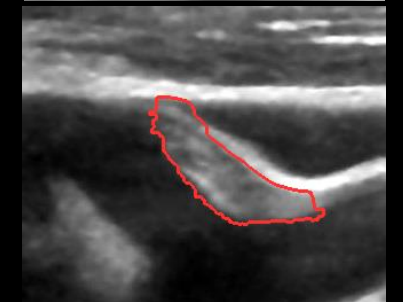

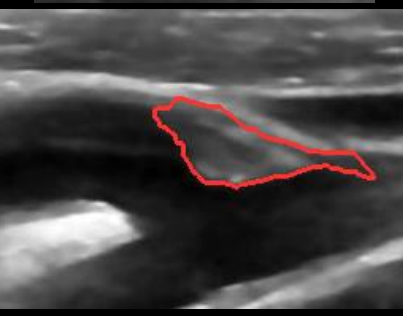


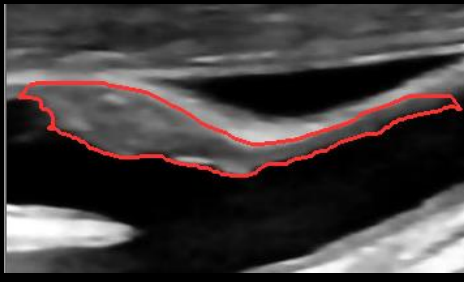
Πίνακας 4.12 Ποιοτική Αξιολόγηση Επιπέδου Ταξινόμησης 5

4.5 Αξιολόγηση του Χαρακτηρισμού της Αθηρωματικής Πλάκας

Στο υποκεφάλαιο αυτό, έγινε μια συνολική αξιολόγηση των επιπέδων 6 και 7 στα οποία αναλύεται η σύσταση της πλάκας και χαρακτηρίζεται η πλάκα σε σχέση με την σύστασή της. Επομένως οι τύποι των αθηρωματικών πλακών με ιατρικό ενδιαφέρον, οι οποίοι εξήχθησαν στο επίπεδο 7, ελέγχθηκαν από τους ειδικούς ώστε να γίνει επιβεβαίωση ή απόρριψη των αποτελεσμάτων. Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.13 ο τύπος των αθηρωματικών πλακών προσδιορίστηκε σωστά από την ταξινόμηση σε 10 από τις 11 πλάκες. Το σφάλμα οφείλεται στο γεγονός ότι δεν εντοπίστηκαν οι περιοχές των αποτιτανώσεων (calcifications). Γενικά η ταξινόμηση της σύστασης και του χαρακτηρισμού των πλακών απαιτούν περαιτέρω εφαρμογή και σε άλλες εικόνες ώστε να βρεθούν πιο σαφή όρια των ιδιοτήτων των κατηγοριών.

ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΠΛΑΚΑ ΠΡΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ	ΤΥΠΟΣ ΠΛΑΚΑΣ ΟΠΩΣ ΠΡΟΕΚΥΨΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ (ΤΥΠΟΣ 1, ΤΥΠΟΣ 2, ΤΥΠΟΣ 3)	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΓΙΑΤΡΟ
1		Τύπος 2	✓

2		<p>1^η πλάκα: Τύπος 1</p> <p>2^η πλάκα: Τύπος 1</p> <p>3^η πλάκα: Τύπος 2</p>	<p>1^η πλάκα: ✓</p> <p>2^η πλάκα: ✓</p> <p>3^η πλάκα: ✓</p>
3		<p>1^η πλάκα: Τύπος 2</p> <p>2^η πλάκα: Τύπος 3</p>	<p>1^η πλάκα: ✓</p> <p>2^η πλάκα: ✓</p>
6		<p>Τύπος 2</p>	<p>✓</p>
7		<p>Τύπος 1</p>	<p>Τύπος 2</p>
8		<p>Τύπος 2</p>	<p>✓</p>
10		<p>Τύπος 1</p>	<p>✓</p>

11		Τύπος 1	✓
----	---	---------	---

Πίνακας 4.13 Αποτελέσματα Αξιολόγησης του Τύπου της Πλάκας

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

5.1 Συμπεράσματα

Ο στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής είναι η εξαγωγή της αθηρωματικής πλάκας και ο χαρακτηρισμός της ανάλογα με την σύσταση της. Για την επίτευξη του στόχου, λοιπόν, έγινε επεξεργασία των εικόνων υπερήχου για την εξαγωγή της καρωτίδας και στην συνέχεια αντικειμενοστρεφής ανάλυσης για τον εντοπισμό και χαρακτηρισμό των αθηρωματικών πλακών.

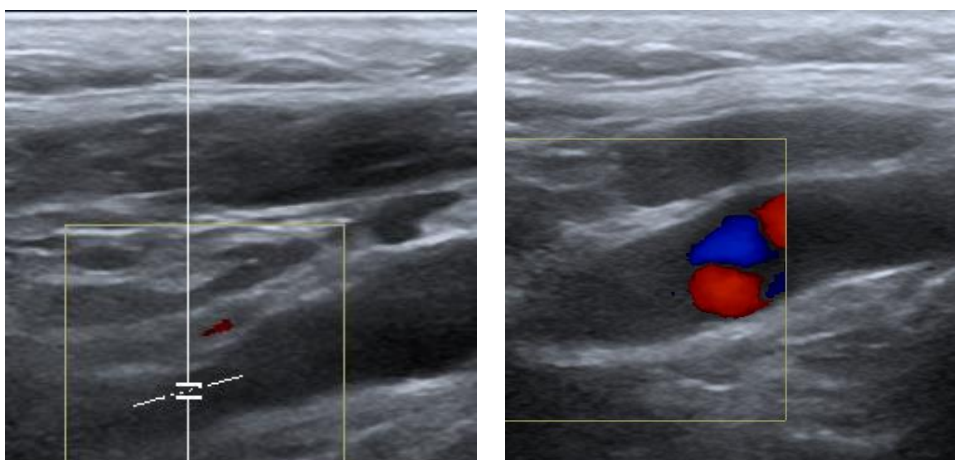
Ο αλγόριθμος εξαγωγής των πιθανών περιοχών καρωτίδας είχε συνολικά πολύ καλά αποτελέσματα σε όλες τις εικόνες. Περιοχές του έξω χιτώνα της αρτηρίας που εμφανίζονταν με μεσαία φωτεινότητα δεν εντοπίζονται από τον αλγόριθμο με αποτέλεσμα αυτές οι περιοχές στην συνέχεια να ταξινομούνται ως αθηρωματική πλάκα ή τοίχωμα. Γενικά τέτοιου είδους σφάλματα εντοπίστηκαν σε λίγες περιπτώσεις και οι περιοχές σφάλματος προέκυπταν ήταν μικρές. Το μέγιστο σφάλμα του αλγορίθμου παρατηρήθηκε στην Εικόνα Δεδομένων 4.

Σχετικά με την αντικειμενοστρεφή ανάλυση, υλοποιήθηκαν 7 επίπεδα κατάτμησης και ταξινόμησης ώστε να γίνει εντοπισμός και χαρακτηρισμός της αθηρωματικής πλάκας στις 12 εικόνες δεδομένων. Γενικά οι εικόνες ήταν τραβηγμένες από τουλάχιστον 3 διαφορετικά σημεία της καρωτίδας και επίσης υπήρχαν εικόνες που είχαν πλάκα και άλλες που δεν είχαν έτσι ώστε να προσαρμοστεί ο αλγόριθμος σε διαφορετικές περιπτώσεις.

Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης γενικότερα κρίνονται ικανοποιητικά. Όλες οι πλάκες ιατρικού ενδιαφέροντος εντοπίστηκαν και καμία δεν ταξινομήθηκε ως αυλός κάτι που είναι πολύ σημαντικό. Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι τα σφάλματα παράλειψης ήταν πολύ μικρά, δηλαδή υπήρχε μεγάλη πληρότητα στον εντοπισμό κατηγορίας “atheromatous plaque_or_wall of artery” ενώ τα

σφάλματα συμπερίληψης ήταν πιο μεγάλα και οι τιμές τους ποικίλαν ανάλογα με την εικόνα. Επίσης τα αποτελέσματα της ταξινόμησης για την υψηλής φωτεινότητας περιοχή που είναι ενδιάμεσα από την έσω και την έξω αρτηρία και η οποία συμβατικώς ονομάστηκε “bifurcation” έχουν λιγότερο καλά αποτελέσματα. Το γεγονός αυτό οφείλεται επειδή το βασικό χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής σε σχέση με την γύρω περιοχή της (τοιχώμα ή πλάκα) είναι η υψηλή φωτεινότητα. Τέλος η ταξινόμηση που χαρακτήρισε τις πλάκες σε τύπους 1, 2 και 3 είχε πολύ καλά αποτελέσματα όμως είναι απαραίτητο να εξεταστούν περισσότερες περιπτώσεις πλακών καθώς τα όρια που τέθηκαν στις ιδιότητες των κατηγοριών είναι ασαφή και δεν στηρίζονται σε ιατρικούς κανόνες.

Σε αυτό το σημείο τονίζεται ότι υπάρχουν περιπτώσεις αθηρωματικών πλακών που δεν διαφέρουν από τον αυλό. Αυτές δεν μπορούν προφανώς να εντοπιστούν με ένα τέτοιο αλγόριθμο που κατά κύριο λόγο βασίζεται στην φωτεινότητα, την υφή, στις διαφορές φωτεινότητας με τα γειτονικά αντικείμενα και τις τοπολογικές σχέσεις των δημιουργούμενων αντικειμένων. Μελέτες που βασίζονται σε άλλα χαρακτηριστικά όπως είναι η κίνηση του αρτηριακού τοιχώματος μπορεί να έχουν καλύτερα αποτελέσματα (2.6 Μελέτη Προσέγγισης Εργασιών Συναφούς Θέματος). Στην Εικόνα 5.1, που δόθηκε από τον κ. Αντωνίου παρατηρείται ότι στην εικόνα τόνων του γκρι δεν φαίνεται να υπάρχει πλάκα παρόλα αυτά η έγχρωμη απεικόνιση doppler αναδεικνύει την ύπαρξη πλάκας καθώς και το ότι η ροή του αίματος σταματάει από ένα σημείο και έπειτα. Σύμφωνα με την διάγνωση του γιατρού η αρτηρία έχει υποστεί θρόμβωση.



Εικόνα 5.1 Παράδειγμα Εικόνας με Πλάκα που δεν ανιχνεύεται από τον Αλγόριθμο: Εικόνα Τόνων του Γκρι (αριστερά), Έγχρωμη Απεικόνιση Doppler (δεξιά)

5.2 Προοπτικές

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω:

1. Στο επίπεδο της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης με εφαρμογή της διαδικασίας σε περισσότερες εικόνες ώστε να βελτιωθεί η ασαφής βάση γνώσης. Προφανώς λόγω του είδους των εικόνων (εικόνες με πολύ θόρυβο) πάντα θα υπάρχουν σφάλματα συμπερίληψης.
2. Ενδιαφέρον θα ήταν να αξιοποιηθούν οι εικόνες doppler στην διαδικασία της ανάλυσης καθώς αποτελούν πολύ βασικό κριτήριο για την ύπαρξη ή μη της αθηρωματικής πλάκας.
3. Για κάθε περίπτωση ασθενούς θα μπορούσαν να γίνουν πολλαπλές λήψεις και να υπάρχει μια πιο πλήρης ανάλυση σχετικά με την σύσταση μεγάλων αθηρωματικών πλακών οι οποίες δεν μπορούν να χαρακτηριστούν μόνο από μια τομή.
4. Τέλος θα ήταν ενδιαφέρον να μελετηθεί η εξέλιξη της αθηρωματικής πλάκας στο χρόνο.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Baatz, M., Benz, U., Dehghani, S., Heynen, M., Höltje, A., Hofmann, P., . . . Willhauck, G. (2001). *Definiens Imaging eCognition User Guide*. München, Germany.
- Caselles, V., Kimmel, R., & Sapiro, G. (1997). Geodesic active contours. *International Journal of Computer Vision*. Volume 22, Issue 1, pp. 61-79.
- Dougherty, G. (2009). Image analysis. In *Digital Image Processing for Medical Applications* (pp. 273-377). California State University, Channel Islands: Cambridge University Press.
- European Heart Network. (2017, 2 15). *European Cardiovascular Disease Statistics 2017 edition*. Retrieved from <http://www.ehnheart.org/>: <http://www.ehnheart.org/component/downloads/downloads/2452>

- Frangi, A., Niessen, W., Vincken, K., & Viergever, M. (1998). Multiscale vessel enhancement filtering. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention—MICCAI'98. Springer Berlin Heidelberg*, pp. 130-137.
- Gray, H. (1918). The Arteries of the Head and Neck. In *Anatomy of the Human Body* (pp. 549-574). PHILADELPHIA AND NEW YORK: LEA & FEBIGER.
- Gruetter, R. (2017). <https://www.edx.org/>. Ανάκτηση 7 31, 2017, από <https://courses.edx.org/courses/course-v1:EPFLx+FndBioImgx+1T2017/course/>
- incardiology.gr. (2017, 7 25). Retrieved from http://www.incardiology.gr/pathiseis_stefaniaia/stefaniaia_plaka.html
- Kaiming, H., Jian, S., & Xiaoou, T. (2013, 6). Guided Image Filtering. *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, VOL. 35, NO. 6*, σσ. 1397-1409.
- Kovesi, P. (2000). Ανάκτηση 9 14, 2017, από <http://www.peterkovesi.com/matlabfns/Spatial/anisodiff.m>
- McGill, H. (1984). George Lyman Duff memorial lecture. Persistent problems in the pathogenesis of atherosclerosis. *Arteriosclerosis* , σσ. 4(5):443-451.
- Molinari, F., Zeng, G., & Suri, J. (2010). A state of the art review on intima-media thickness (IMT) measurement and wall segmentation techniques for carotid ultrasound.
- Nicolaidēs, A., Beach, K., Kyriacou, E., & Pattichis, C. (2012). In *Ultrasound and Carotid Bifurcation Atherosclerosis* (pp. 27-39). London: Springer-Verlag London.
- Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Trans. Sys., Man., Cyber. VOL. SMC-9, NO. 1*, pp. 62–66.
- Perona, P., & Malik, J. (1990, 7). Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp. 629-639.

- Polak, J., Shemanski, L., O'Leary, D., & al., e. (1998). Hypoechoic plaque at US of the carotid artery: an independent risk factor for incident stroke in adults 65 years or older. *Radiology*, pp. 649–654.
- Polat, K., Kara, S., & Latifoglu, F. G. (2007, 5). Pattern Detection of Atherosclerosis from Carotid Artery Doppler Signals using Fuzzy Weighted Pre-Processing and Least Square Support Vector Machine (LSSVM). *Annals of Biomedical Engineering*, Vol. 35, No. 5,, σσ. 724-732.
- Spence, D. (2006). Technology Insight: ultrasound measurement of carotid plaque—patient management, genetic research, and therapy evaluation. *Nature Clinical Practice Neurology*, pp. 611-619. Retrieved 8 4, 2017, from http://www.nature.com/nrneurol/journal/v2/n11/fig_tab/ncpneuro0324_F1.html?foxtrotcallback=true].
- Stoitsis, J., Valavanis, I., Mougiakakou, S., Golemati, S., Nikita, A., & Nikita, K. (2006, 9 28). Computer aided diagnosis based on medical image processing and artificial intelligence methods. Retrieved 20 8, 2017, from www.sciencedirect.com
- Stradness, J. D. (1993). Extracranial arterial disease. In *Duplex scanning in Vascular Disorders. Second Edition* (pp. 113-158). New York: Raven.
- Tuttle, J., Nachreiner, R., Bhuller, A., Condict, K., Connors, B., & Herring, B. (2001). Shear level influences resistance artery remodeling: wall dimensions, cell density, and eNOS expression. *Am J Physiol*, p. 281:H1380.
- Wal, A. C., & Becker, A. E. (1999). Review, Atherosclerotic plaque rupture – pathologic basis of plaque stability and instability. *Cardiovascular Research* 41, pp. 334–344.
- Weickert, J. (2008). *Anisotropic Diffusion in Image Processing*. Retrieved 8 24, 2017, from <http://www.mia.uni-saarland.de/weickert/Papers/book.pdf>
- Wiedemann, C., Heipke, C., Mayer, H., & Hinz, S. (1998). Automatic Extraction and Evaluation of Road Networks from MOMS-2P Imagery. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. (30) 3/1, pp. 285-291.

- Αργιαλάς, Δ. (1998). *Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Αργιαλάς, Δ. (1999). *Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνων. Στο Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Ασιμομήτης, Γ. (2015). *Ανάπτυξη συστήματος υποστήριξης διάγνωσης καρωτιδικής αθηρωμάτωσης μέσω ταξινόμησης ασβεστοποιημένων και μη ασβεστοποιημένων πλακών – ολοκληρωμένη διαδικτυακή πλατφόρμα*. Αθήνα: Διπλωματική Εργασία.Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Γκέκας, Χ. (2012). *Έκφραση της Απολιποπρωτεΐνης J στην αθηρωματική πλάκα ασθενών με στένωση καρωτίδων*. Αθήνα: Διδακτορική Διατριβή.Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Δημητριάδης, Χ. (2009). *Παθογένεια της Αθηροσκλήρωσης. Στο Μελέτη της Παθογένειας και της Εξέλιξης των Αθηρωματικών Αγγειακών Αλλοιώσεων σε Ουραιμικούς Ασθενείς* (σσ. 22-28). Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Καραϊσκος, Π. (2015). *Υπέρηχοι* . Ανάκτηση 7 31, 2017, από <https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/MED926/%CE%9A%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%99%CE%A3%CE%9A%CE%9F%CE%A3%20%CE%A0%CE%91%CE%9D%CE%A4%CE%95%CE%9B%CE%97%CE%A3/%CE%9A%CE%B5%CF%86%CE%AC%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF%2015%20%CF%85%CF%80%CE%AD%CF%81%CE%B7%CF%87%C>
- Κατρίτσης, Ε., & Κελέκης, Δ. (2007). *Το Κυκλοφορικό Σύστημα. Στο Στοιχεία Ανατομίας* (σ. 66).
- Κατσαρού, Ζ. (2014, 3 12). Ανάκτηση από www1.med.auth.gr/depts/bpp/lessons/2013-2014/Katsarou_12-3-2014.pdf
- Λύρα-Γεωργοσοπούλου, Μ. (2009, 5 26). *Έγχρωμη Απεικόνιση Doppler*. Ανάκτηση 8 5, 2017, από <https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/MED382/%CE%95%CE%93%CE%A7%CE%A1%CE%A9%CE%9C%CE%97%20%CE%91%CE%A0%CE%95%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%9D%CE%99%CE%A3%CE%97%20DOPPLER>

- Μπουφέα, Α. (2014). *Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Αυτόματου Εντοπισμού της Αθηρωματικής Πλάκας σε Εικόνες Υπερήχων του Αρτηριακού Τοιχώματος*. Αθήνα: Διπλωματική Εργασία.Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Οικονόμου, Ι., Σαραφόπουλος, Α., Χρυσογονίδης, Ι., Χαριτάντη, Α., Δεσάνης, Ε., Παντολέων, Α., & Δημητριάδης, Α. (2013, Ιούλιος - Σεπτέμβριος). Συσχέτιση των Αλλοιώσεων των Καρωτίδων. *Ελληνική Ακτινολογία, Τόμος 44, Τεύχος 3*, σσ. 147-161.
- Ορφανουδάκης, Σ., & Μαριάς, Κ. (2003-2004, Σεπτέμβρης-Φεβρουάριος). *Σημειώσεις ΙΙΙ: Βασικές αρχές υπέρηχων*. Ανάκτηση 8 6, 2017, από <http://www.csd.uoc.gr/~hy571/NOTES/ultrasound.pdf>
- Σαραφόπουλος, Α. (2012). Απεικονιστική Διερεύνηση της Αθηρωματικής Νόσου των Καρωτίδων με Έγχρωμο Doppler Υπερηχογράφημα σε Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Τσιβγούλης, Γ. (2014, 10 14). *Αγγειακά Εγκεφαλικά Επεισόδια*. Ανάκτηση από <https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/MED742/%CE%91%CE%95%CE%95%20%CE%A4%CE%A3%CE%99%CE%92%CE%93%CE%9F%CE%A5%CE%9B%CE%97%CE%A3.pdf>

7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

7.1 Παράμετροι Αλγορίθμου Εξαγωγής Καρωτιδικής Αρτηρίας

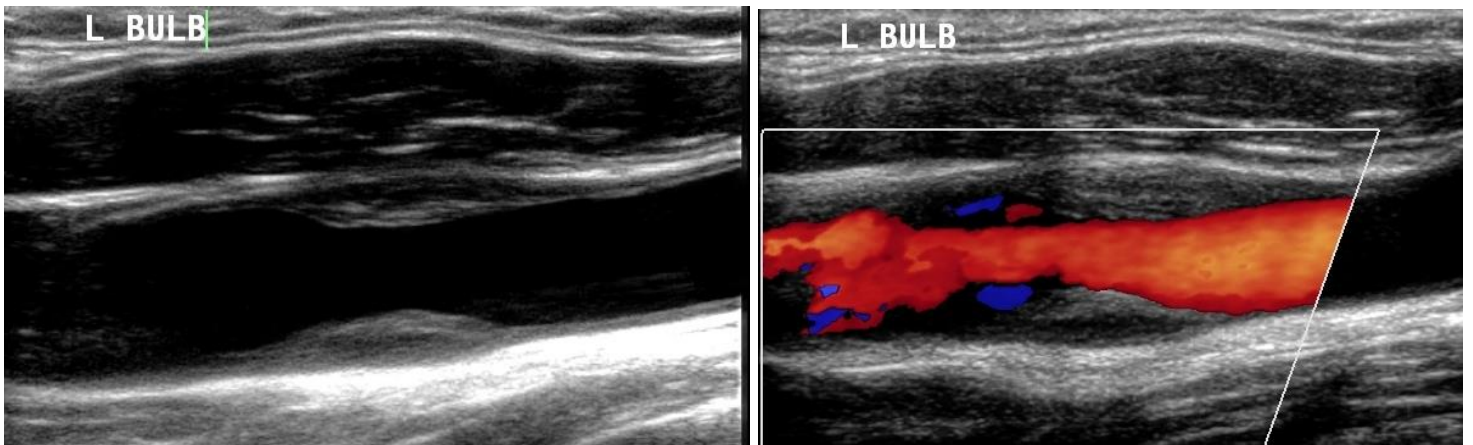
Σε αυτό το εδάφιο παρουσιάζονται αναλυτικά σε μορφή πίνακα (Πίνακας 7.1) όλες οι τιμές των παραμέτρων του αλγορίθμου εξαγωγής πιθανών περιοχών καρωτίδας όπως αυτοί χρησιμοποιήθηκαν για κάθε εικόνα.

BinaryArtery parameters	gauss	fibermetric1	fibermetric2	threshold	bwareaopen1	close1	open1	actcontour1	open2	bwarea2	dilation	actcontour2	open3
Αριθμός Εικόνας Δεδομένων													
1	50	40	5	(threshold_otsu's method) +0.2	1000	20	30	100	30	20000	4	200	5
2	50	30	5	(threshold_otsu's method) +0.3	1200	20	30	100	30	35000	5	200	5
3	50	60	6	(threshold_otsu's method) +0.3	1500	15	25	100	30	30000	3	200	6
4	50	60	5	(threshold_otsu's method) +0.2	5900	20	30	100	35	30000	7	200	7
5	50	30	5	(threshold_otsu's method) +0.2	1200	20	30	100	30	10000	5	200	5
6	50	40	5	(threshold_otsu's method) +0.2	1000	20	30	100	30	20000	6	150	5
7	50	40	5	(threshold_otsu's method) +0.2	1000	20	30	100	30	30000	6	200	5
8	50	40	5	(threshold_otsu's method) +0.2	1000	20	30	100	30	20000	5	200	5
9	50	40	5	(threshold_otsu's method) +0.2	1000	20	30	100	30	30000	5	200	5
10	50	60	5	(threshold_otsu's method)	4800	20	20	100	30	32000	8	200	5
11	50	50	5	(threshold_otsu's method) +0.2	2300	20	20	100	30	32000	8	200	5
12	50	50	5	(threshold_otsu's method) +0.2	2000	20	35	100	35	50000	3	200	5

Πίνακας 7.1 Παράμετροι Αλγορίθμου Εξαγωγής Πιθανών Περιοχών Καρτιδας

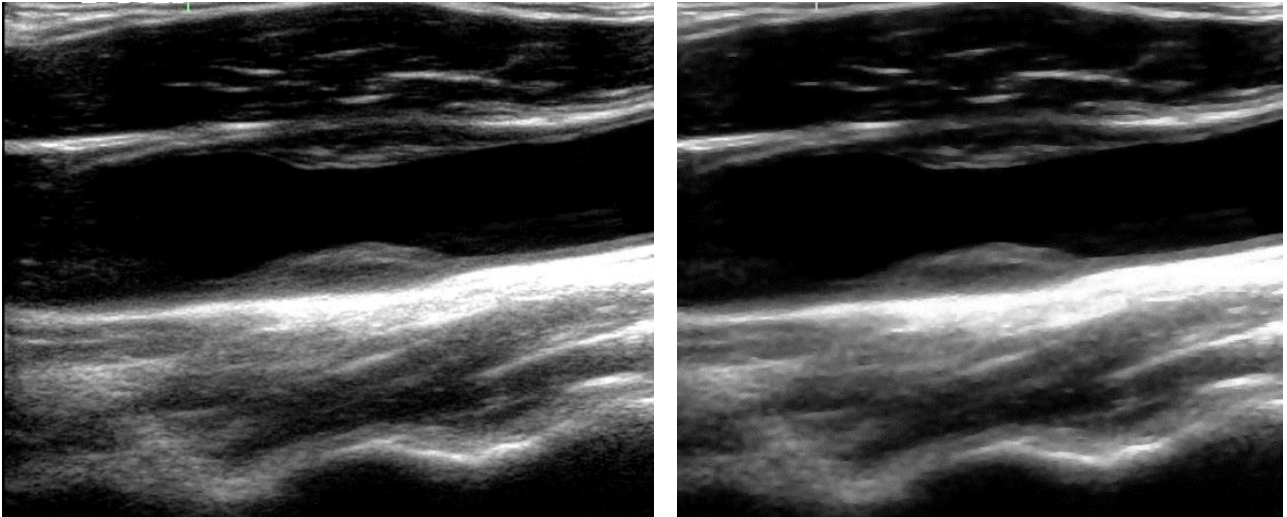
7.2 Επεξεργασία Νέας Εικόνας Δεδομένων (Εικόνα Δεδομένων 12)

Στο υποκεφάλαιο αυτό του παραρτήματος παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα που είχε η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία σε μια εικόνα (Εικόνα 7.1) που παραχωρήθηκε από τον Δρ. Βόρκα Γεώργιο, Ακτινολόγο.

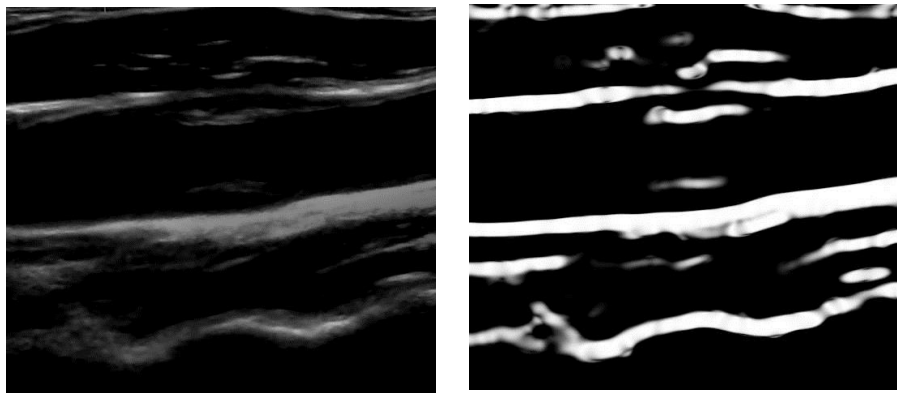


Εικόνα 7.1 Εικόνα Δεδομένων 12: Αρχική Εικόνα (αριστερά), Αντίστοιχη Εικόνα με Έγχρωμο Doppler (δεξιά)

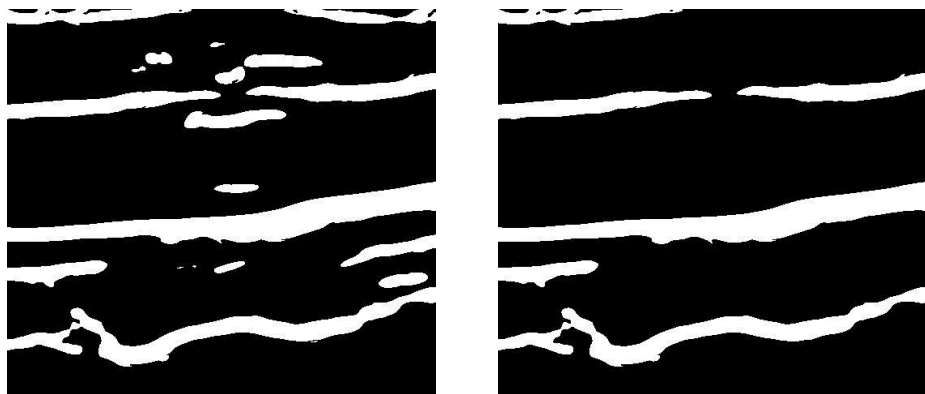
Οι τιμές των παραμέτρων, που χρησιμοποιήθηκαν στον αλγόριθμό εξαγωγής πιθανών περιοχών καρωτίδας, έχουν καταγραφεί προηγουμένως στον Πίνακα 7.1. Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου αυτού παρουσιάζονται στις Εικόνα 7.2 - Εικόνα 7.9. Επίσης στην ασαφή βάση γνώσης γίνονται κάποιες αλλαγές στα όρια των συναρτήσεων συμμετοχής και οι οποίες αναφέρονται αναλυτικά. Οι εικόνες που αφορούν την εφαρμογή την ασαφούς βάσης γνώσης είναι Εικόνα 7.10 - 7.18.



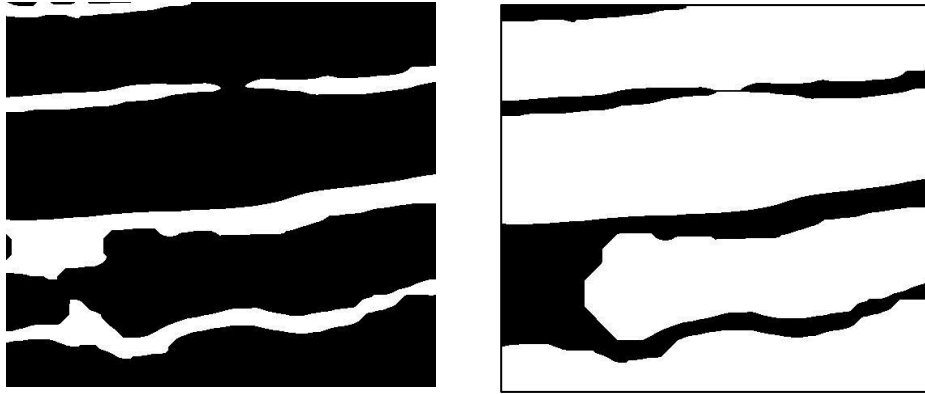
Εικόνα 7.2 Εικόνα Δεδομένων 12: Αρχική Εικόνα (αριστερά) ,
Εφαρμογή Καθοδηγούμενου Φίλτρου (δεξιά)



Εικόνα 7.3 Εικόνα Δεδομένων 12: Εικόνα που προέκυψε από την αφαίρεση της αρχικής εικόνας που είναι φιλτραρισμένη με Gaussian Filter από την φιλτραρισμένη με Guided Filter (αριστερά), Εφαρμογή Φίλτρου Ενίσχυσης Επιμηκών Αντικείμενων (δεξιά)



Εικόνα 7.4 Εικόνα Δεδομένων 12: Κατωφλίωση (αριστερά), Αφαίρεση Μικρών Αντικείμενων (δεξιά)



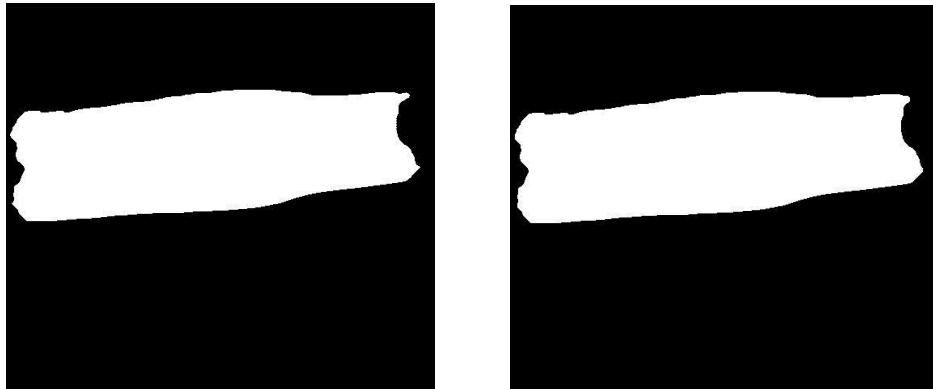
Εικόνα 7.5 Εικόνα Δεδομένων 12: Μορφολογικό Κλείσιμο (αριστερά), Αντιστροφή Δυαδικής Εικόνας και Πρώτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



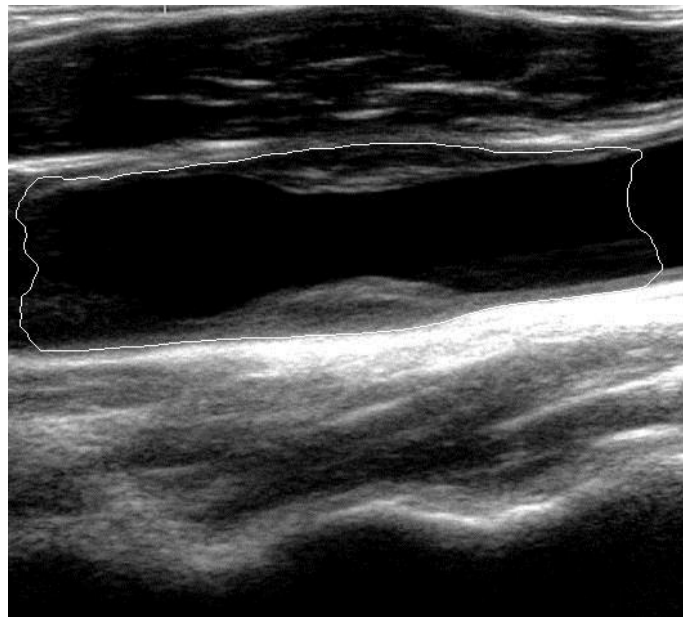
Εικόνα 7.6 Εικόνα Δεδομένων 12: Πρώτη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Δεύτερη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος (δεξιά)



Εικόνα 7.7 Εικόνα Δεδομένων 12: Αφαίρεση Αντικειμένου Μικρότερου από την Αρτηρία (αριστερά), Εφαρμογή Διαστολής (δεξιά)



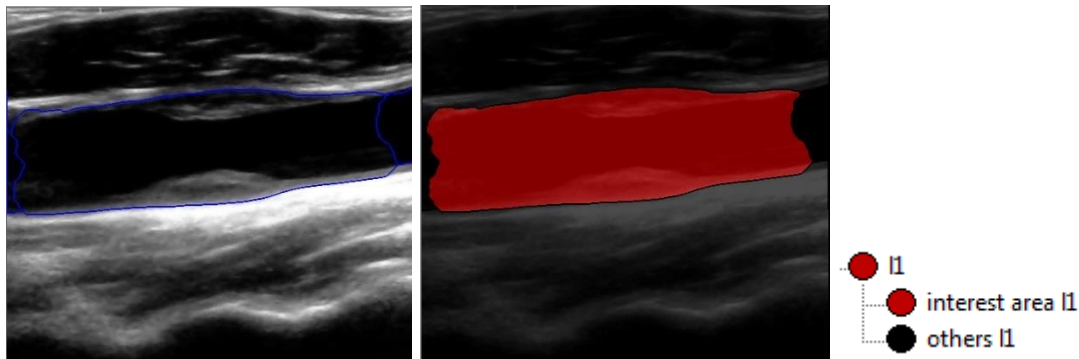
Εικόνα 7.8 Εικόνα Δεδομένων 12: Δεύτερη Εφαρμογή Ενεργών Περιγραμμάτων (αριστερά), Τρίτη Εφαρμογή Μορφολογικού Ανοίγματος - Τελική Δυαδική Εικόνα (δεξιά)



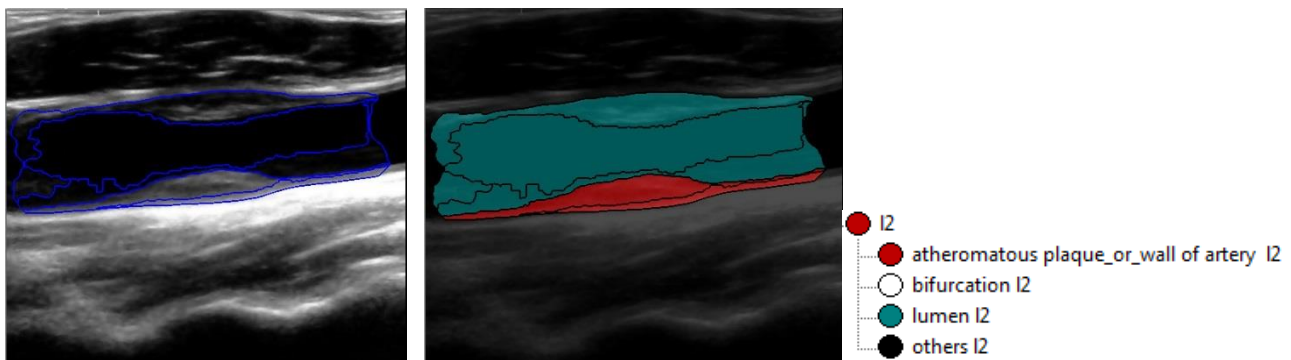
Εικόνα 7.9 Εικόνα Δεδομένων 12: Αρχική Εικόνα με Όρια της Δυαδικής Εικόνας

Αυτή η εικόνα, που είναι από διαφορετικό μηχάνημα υπερήχου, παρατηρήθηκε ότι παρουσιάζει διαφορετικό εύρος τιμών μέσου όρου φωτεινότητας του αυλού. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές φωτεινότητας του αυλού πλέον ήταν από 1 έως το πολύ 10. Αντί να γίνει κανονικοποίηση της εικόνας με τις υπόλοιπες εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή, έγιναν αλλαγές σε κάποια όρια συναρτήσεων συμμετοχής. Τα χαρακτηριστικά των κατηγοριών παρέμειναν ίδια. Οι αλλαγές αυτές σχετίζονταν με τις τιμές του μέσου όρου

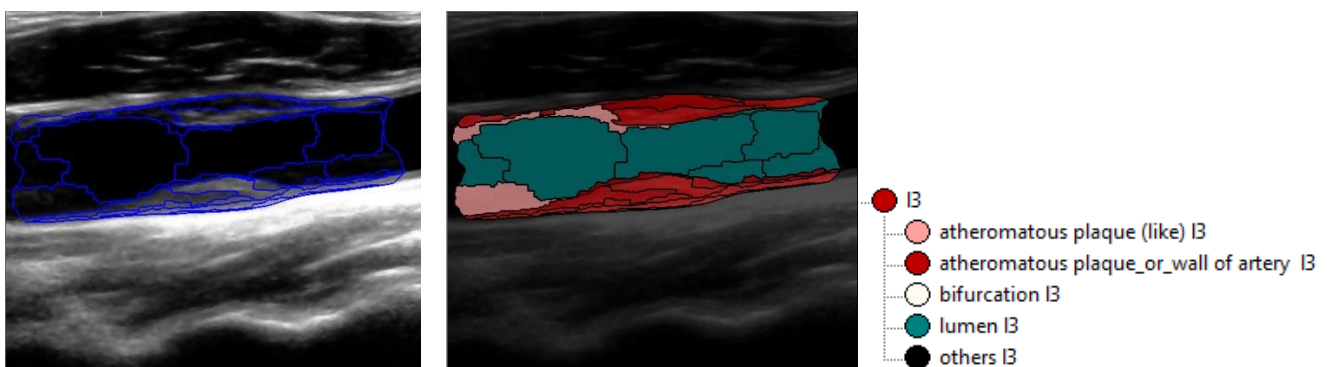
φωτεινότητας και τις διαφορές των μέσων όρων. Συγκεκριμένα έγιναν αλλαγές της τάξης των 10-20 μονάδων φωτεινότητας.



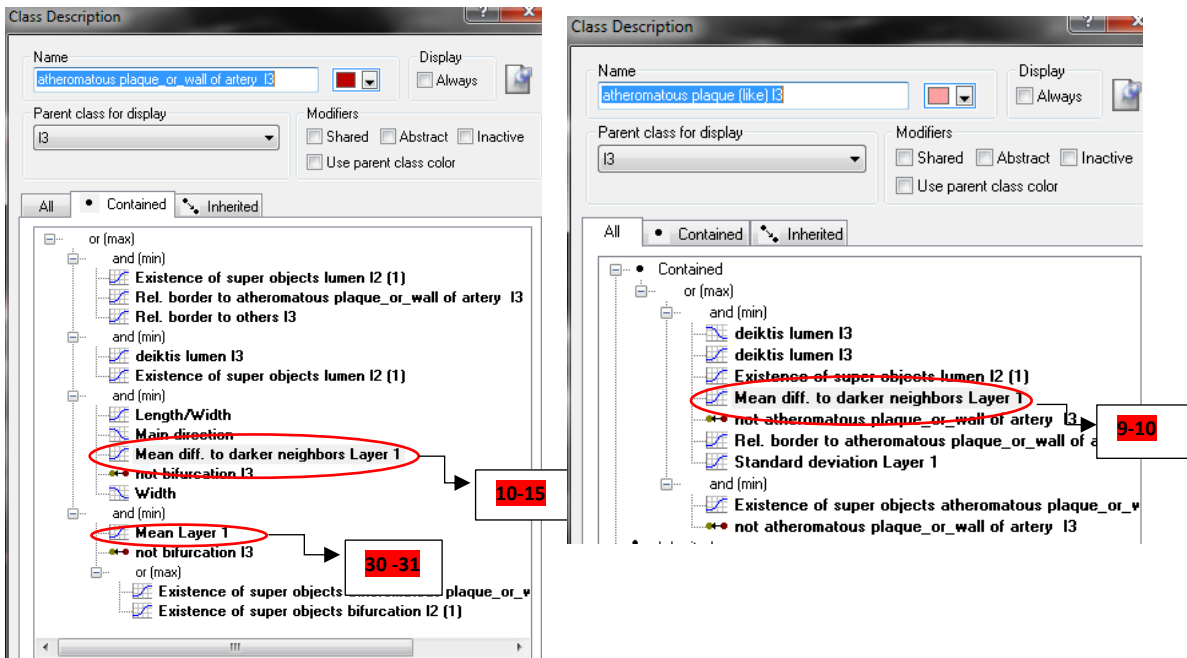
Εικόνα 7.10 Εικόνα Δεδομένων 12: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 1



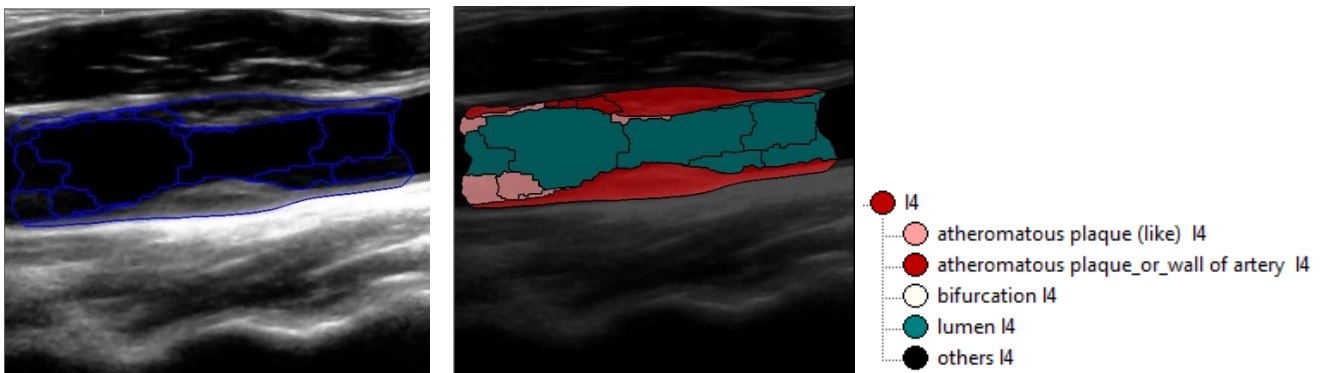
Εικόνα 7.11 Εικόνα Δεδομένων 12: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 2



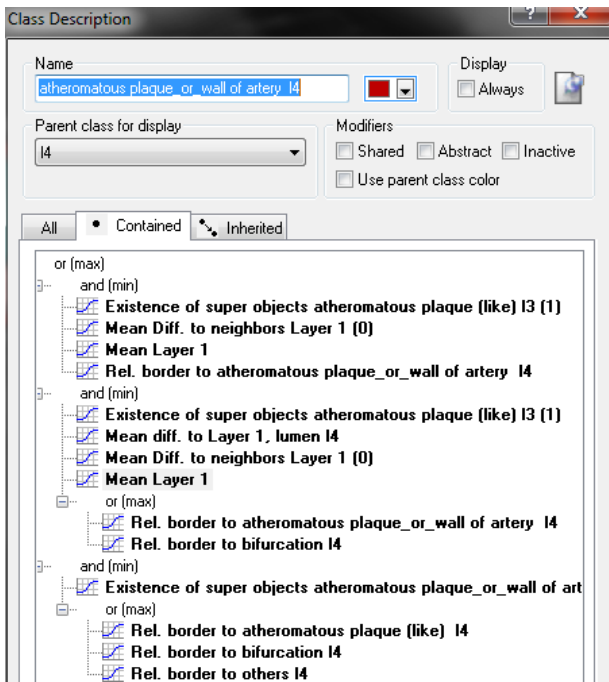
Εικόνα 7.12 Εικόνα Δεδομένων 12: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 3



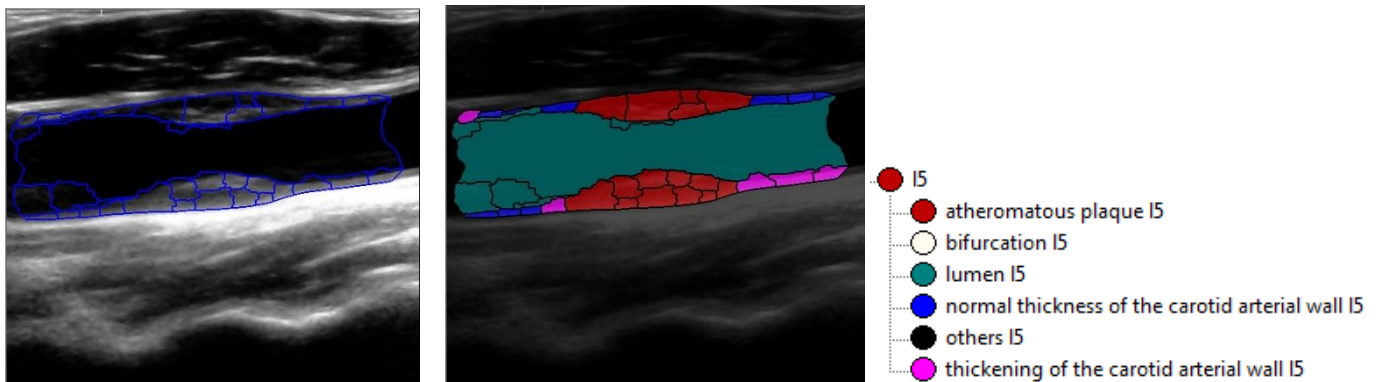
Εικόνα 7.14 Εικόνα Δεδομένων 12: Οι Αλλαγές των Ορίων των Κατηγοριών Επίπεδο 3



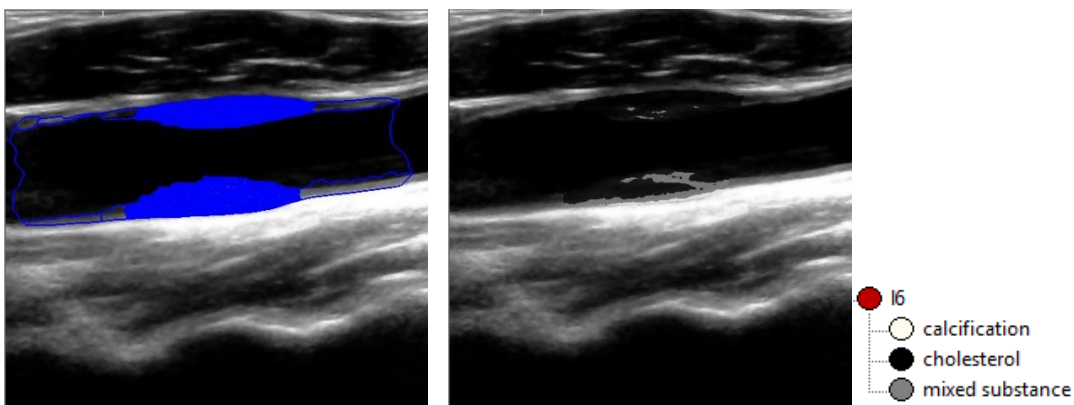
Εικόνα 7.13 Εικόνα Δεδομένων 12: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 4



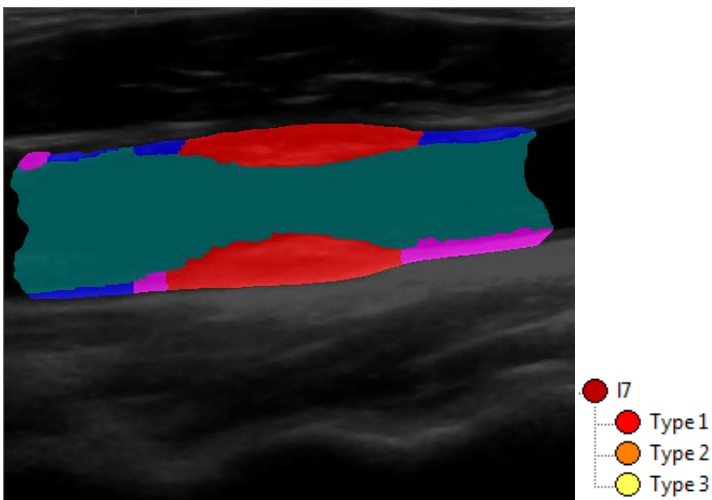
Εικόνα 7.15 Εικόνα Δεδομένων 12: Οι Αλλαγές των Ορίων των Κατηγοριών Επίπεδο 4



Εικόνα 7.16 Εικόνα Δεδομένων 12: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 5



Εικόνα 7.17 Εικόνα Δεδομένων 12: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 6



Εικόνα 7.18 Εικόνα Δεδομένων 12: Αποτέλεσμα Κατάτμησης (αριστερά) και Ταξινόμησης (δεξιά) Επιπέδου 7

Γενικά, αποτέλεσμα της ταξινόμησης ως προς των εντοπισμό των πλακών έχει επιτευχθεί. Το αρνητικό είναι ότι η κατηγορία “thickening of carotid arterial wall I5” είναι μεγαλύτερη από όσο είναι πραγματικά κυρίως στο κάτω δεξιά τμήμα της. Σχετικά με την σύσταση της, αφού δεν έχει καθόλου περιοχές με αποτιτανώσεις (τοπικές ασβεστώσεις) όπως φαίνεται στο επίπεδο 6, κατηγοριοποιήθηκε ως Τύπος 1, το οποίο αποτέλεσμα είναι πολύ πιθανό.