



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Ανάπτυξη Διαδικτυακής Βάσης Δεδομένων Μαστογραφικών
Ευρημάτων και Εικόνων για την Συνδυασμένη Αξιολόγηση
Ακτινολόγων και Μηχανών**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ζήνωνας Χ. Αντωνίου

Επιβλέπουσα : Κωνσταντίνα Σ. Νικήτα
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιανουάριος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Ανάπτυξη Διαδικτυακής Βάσης Δεδομένων Μαστογραφικών
Ευρημάτων και Εικόνων για την Συνδυασμένη Αξιολόγηση
Ακτινολόγων και Μηχανών**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ζήνωνας Χ. Αντωνίου

Επιβλέπουσα : Κωνσταντίνα Σ. Νικήτα
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14^η Ιανουαρίου 2010.

.....
Κ. Νικήτα
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Δ. Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γ. Ματσόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιανουάριος 2010

.....
Ζήνωνας Χ. Αντωνίου

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ζήνωνας Χ. Αντωνίου, 2010.

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 της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Έχουμε σχεδιάσει και υλοποιήσει μια διαδικτυακή βάση δεδομένων υπό την επωνυμία MIRaCLe DB (Mammography Image reading for Radiologists' and Computers' Learning Database) που αποτελεί ένα δυναμικό χώρο αποθήκευσης μαστογραφικών δεδομένων και εικόνων για την εκπαίδευση και την συνδυασμένη αξιολόγηση υπολογιστικών ταξινομητών και ακτινολόγων. Μέχρι στιγμής, έχουν συλλεχθεί 204 μαστογραφίες από 196 ασθενείς. Έχουν ταξινομηθεί ανάλογα με το είδος των αλλοιώσεων που εμφανίζουν, το είδος του ιστολογικού ευρήματος της βιοψίας, το είδος του μαστογραφικού ευρήματος και το αποτέλεσμα των υφιστάμενων υπολογιστικών ταξινομητών.

Ένας χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στη βάση δεδομένων σε δύο υπηρεσίες: (α) στην Αξιολόγηση Υπολογιστικών Ταξινομητών και (β) στην Εκπαίδευση και Αξιολόγηση Ακτινολόγων. Στην υπηρεσία Αξιολόγησης Υπολογιστικών Ταξινομητών, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα υποβολής ερωτημάτων στη βάση δεδομένων για την ανάκτηση περιπτώσεων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και συγκεκριμένη δυσκολία. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να αποθηκεύσει στον υπολογιστή του τις υπάρχουσες περιπτώσεις, προκειμένου να τις αξιολογήσει με ένα νέο υπολογιστικό ταξινομητή. Στην άλλη υπηρεσία, ο χρήστης (ακτινολόγος) μπορεί να εκπαιδευτεί σε πραγματικό χρόνο μέσω μιας σειράς παρουσιάσεων και επιπλέον μπορεί να αξιολογηθεί μέσω διαφόρων σεναρίων αξιολόγησης. Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης, ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί την εξεταζόμενη μαστογραφία μέσω ενός ψηφιακού μεγεθυντικού φακού, ή να αλλάξει τη φωτεινότητα ή/και την αντίθεσή της σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, για κάθε περίπτωση, ο χρήστης θα κληθεί να επιλέξει τη σωστή διάγνωση μέσα από μια λίστα, που αντιστοιχεί στα μαστογραφικά ευρήματα της εξεταζόμενης μαστογραφίας. Στο τέλος της αξιολόγησης, ο χρήστης θα λάβει την βαθμολογία του για να εκτιμήσει την διακριτική του απόδοση.

Επιπρόσθετα, στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζουμε μια μέθοδο για την ποσοτικοποίηση και τη μέτρηση της δυσκολίας της διάγνωσης των υπολογιστικών συστημάτων και των ακτινολόγων. Έχουμε αναπτύξει έναν δείκτη που ονομάζεται Δείκτης Δυσκολίας Διάγνωσης (IDD), ως δείκτη που μετρά την διαγνωστική απόδοση των υπολογιστικών συστημάτων και των ακτινολόγων, και που προσαρμόζεται δυναμικά από τα δεδομένα της MIRaCLe DB. Ένα από τα οφέλη του Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης είναι ότι μπορεί να καθορίσει ποιες περιπτώσεις είναι δύσκολο να διακριθούν ως καλοήθειες ή κακοήθειες από υπολογιστικά συστήματα ή/και ακτινολόγους. Αυτό το αποτέλεσμα αποτελεί μια πρόκληση για την έγκυρη αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των υπολογιστικών ταξινομητών, καθώς και των ακτινολόγων.

Η MIRaCLe DB είναι η πρώτη βάση δεδομένων που συνδυάζει μαστογραφικά δεδομένα και εικόνες για την εκπαίδευση και την αξιολόγηση τόσο των υπολογιστικών ταξινομητών, όσο και των ακτινολόγων. Η εν λόγω πλατφόρμα δίνει τη δυνατότητα εκτέλεσης αντικειμενικής συγκριτικής αξιολόγησης μεταξύ (i) αλγόριθμων ταξινόμησης, (ii) απόδοσης των ακτινολόγων και (iii) διακριτικής απόδοσης υπολογιστικών ταξινομητών και ιατρών.

Λέξεις κλειδιά: Μαστογραφία, Υποβοηθούμενη διάγνωση, Αξιολόγηση Ιατρών, Αξιολόγηση Υπολογιστικών Συστημάτων, Δείκτης Δυσκολίας Διάγνωσης.

ABSTRACT

We designed and implemented a web-accessible database entitled MIRaCLe DB (Mammography Image reading for Radiologists' and Computers' Learning Database), that composes a dynamic repository for machines and radiologists training and evaluation. Up to now, 204 mammograms have been collected from 196 patients; they have been classified according to the type of the lesions, the type of the biopsy finding, the type of the mammography finding and the available CADs performance.

A user can access the database in two modes: (a) for classification software evaluation and (b) for radiologists' education evaluation. In the mode for classification software evaluation, the user has the ability to query the database and retrieve cases with certain characteristics and certain difficulty. Also, there is the possibility to download the existing cases in order to facilitate the evaluation of a new classifier. In the other mode, the user (radiologist) can be trained in real time through a sequence of presentations and furthermore can be evaluated through different evaluating scenarios. At the duration of evaluation, the user can examine the mammography images through a web-based digital magnifier and process the corresponding image in real time. Moreover, for each case, the user will be asked to choose the correct diagnosis from a list that corresponds to the mammography image findings. At the end of the evaluation process, the user will get their score and esteem her/his diagnostic abilities.

Furthermore, we present a method to describe and quantify the difficulty in diagnostic performance of machines and humans (radiologists). We developed an index called Index of Difficulty in Diagnosis (IDD), as an evaluation index of human and machine diagnostic classification ability that can be dynamically adjusted by the results of a web-accessible mammographic image database dedicated to combined training and evaluation of radiologists and machines. One of the benefits of the IDD index is to determine which cases are difficult to discriminate as benign or malignant by machines and/or humans. This effect constitutes a challenge for the valid evaluation of the effectiveness of the software classifiers as well as that of the radiologists. Researchers will also benefit from being able to harness the clinical data and knowledge that are increasingly stored in computable forms ensuring the reusability of data.

MIRaCLe DB is the first database that combines the machine and human needs for training and evaluation in mammographic image reading. Such platform gives the possibility of performing objective benchmarking among (i) classification algorithms, (ii) radiologists performance and (iii) human-machine classification performance.

Keywords: Mammography, Computer-aided diagnosis, radiologist evaluation, machine evaluation, Index of Difficulty in Diagnosis.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μου στο Θεό και σε όλους τους ανθρώπους που συνετέλεσαν με οποιοδήποτε τρόπο στο να φέρω εις πέρας την παρούσα διπλωματική εργασία.

Ευχαριστώ πολύ την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου κα. Κωνσταντίνα Νικήτα, καθηγήτρια του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, για την ανάθεση, την στήριξη, την εμπιστοσύνη και τη βοήθειά της κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Ιδιαίτερα, ευχαριστώ από καρδιάς τον Δρ. Γιώργο Σπύρου, Ειδικό Λειτουργικό Επιστήμονα βαθμίδας Α' του Ιδρύματος ΙατροΒιολογικών Ερευνών της Ακαδημίας Αθηνών (ΙΙΒΕΑΑ) και προϊστάμενο του Τμήματος Πληροφορικής και Νέων Τεχνολογιών, για την ανιδιοτελή και αμέριστη βοήθεια κι εμπιστοσύνη του, καθώς και την άμεση ανταπόκρισή του σε κάθε δυσκολία. Η ενδελεχής καθοδήγησή του, οι παραινέσεις του και οι πολύτιμες συμβουλές του συνέβαλαν στην επιτυχή ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Παράλληλα, οι καίριες υποδείξεις του μου έδωσαν την ευκαιρία να διευρύνω τα ερευνητικά μου ενδιαφέροντα.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες Γιάννη Ανδρεάδη και Γεωργία Γιαννακοπούλου για την παροχή απαραίτητων πληροφοριών και δεδωμένων και τη σημαντική τους συμβολή τους στην αποπεράτωση της διπλωματικής εργασίας .

Τα πλούσια πνευματικά προσόντα και το ήθος των ανθρώπων αυτών, συνέβαλαν ουσιαστικά καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα όλα τα μέλη της οικογένειάς μου, που μου συμπαραστάθηκαν με κάθε δυνατό τρόπο κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Με την αγάπη τους, την υπομονή και το κουράγιο τους, μου προσέφεραν την απαραίτητη ηθική συμπαράσταση. Στον πατέρα μου Χαράλαμπο, στη μητέρα μου Μαρία και στα αδέρφια μου Παύλο και Άννα οφείλω ένα τεράστιο ευχαριστώ. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη νύφη μου Χριστίνα για την πολύτιμη βοήθειά της. Ακόμη, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τους φίλους μου για για την ενθάρρυνση και τη συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής αυτής.

Τέλος, οφείλω ένα εγκάρδιο ευχαριστώ στον πνευματικό μου, πατέρα Βασίλειο, που μου συμπαραστέκεται ανιδιοτελώς σ' αυτό ταξίδι της γνώσης και στηρίζει κάθε μου βήμα.

Αφιερώνω την διπλωματική μου εργασία στη γιαγιά μου Άννα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7
ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	12
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	15
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
1.1 Διαδικτυακές Βάσεις Δεδομένων	16
1.2 Στόχος της εργασίας	17
1.3 Τα περιεχόμενα της εργασίας	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	20
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	20
2.1 Μαστογραφία	22
2.2 Μαστογραφικά ευρήματα	24
2.2.1 Μάζα	25
2.2.2 Αποτιτανώσεις (ή Ασβεστώσεις).....	26
2.2.3 Διαταραχή της αρχιτεκτονικής	27
2.2.4 Συνοδά ευρήματα	28
2.2.5 Ειδικές περιπτώσεις	28
2.3 Κατηγοριοποίηση μαστογραφικών ευρημάτων κατά BI-RADS και η επικινδυνότητά τους.....	29
2.3.1 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της κατηγοριοποίησης κατά BI-RADS	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	32
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΗΣ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ	32
3.1 Περιγραφή υπολογιστικών συστημάτων υποβοηθούμενης διάγνωσης	33
3.1.1 Αρχιτεκτονική δομή υπολογιστικών συστημάτων υποβοηθούμενης διάγνωσης	33
3.1.1.1 Προεπεξεργασία	34
3.1.1.2 Κατάτμηση	34
3.1.1.3 Ανάλυση χαρακτηριστικών	35
3.1.1.4 Ταξινόμηση	37

3.2 Υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης στη μαστογραφία	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	41
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΗΣ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΙΠΠΟΚΡΑΤΗΣ-ΜΣΤ	41
4.1 Γενικά χαρακτηριστικά διαγνωστικού συστήματος «Ιπποκράτης-μστ»	41
4.2 Υλική υποδομή του «Ιπποκράτη-μστ»	42
4.3 Λειτουργίες του «Ιπποκράτη-μστ»	42
4.3.1 Ημερολογιακή αρχειοθέτηση και παρακολούθηση της ασθενούς	43
4.3.2 Ψηφιακά εργαλεία παρατήρησης για τη διευκόλυνση του ιατρού	44
4.3.3 Συγκριτική εποπτεία και εξέταση της επεξεργασμένης και της μη επεξεργασμένης εικόνας	45
4.3.4 Υπολογισμός και εκτίμηση της «επικινδυνότητας» κάθε μιας μικροαποτιτάνωσης	46
4.3.5 Εκτίμηση της επίδρασης της πολυμορφίας και της κατανομής της επικινδυνότητας των μικροαποτιτανώσεων	49
4.3.6 Αξιολόγηση της επικινδυνότητας συγκεκριμένου συμπλέγματος μικροαποτιτανώσεων	49
4.3.7 Επέκταση του διαγνωστικού αποτελέσματος με ενδεχόμενη παρέμβαση του ιατρού	50
4.3.8 Επέκταση της διάγνωσης λόγω πληροφοριών που αφορούν την ηλικία, το οικογενειακό ιατρικό ιστορικό, και άλλες ιατρικές εξετάσεις της ασθενούς	50
4.3.9 Τελική διάγνωση, καταγραφή και αποθήκευση των αποτελεσμάτων και των ιατρικών παρατηρήσεων	50
4.4 Εργαστηριακή αξιολόγηση του συστήματος	53
4.5 Πιλοτική εφαρμογή σε Νοσοκομείο	55
4.6 Σχεδιασμός «Εξυπνου» Συστήματος Αρχείου Ασθενών	55
4.7 Συμπεράσματα και γενικές παρατηρήσεις	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	59
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	59
5.1 Περιβάλλον Υλοποίησης Διαδικτυακής Βάσης Δεδομένων	59
5.1.1 Σύστημα Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων MySQL	59
5.1.2 Γλώσσα Προγραμματισμού PHP	61
5.1.3 Γλώσσα Προγραμματισμού JavaScript	61

5.1.4 Γλώσσα Μορφοποίησης Ιστοσελίδων Cascading Style Sheets (CSS)	62
5.1.5 Εξυπηρετητής Παγκόσμιου Ιστού Apache (HTTP Web Server)	63
5.2 Ανάπτυξη Διαδικτυακής Βάσης Δεδομένων	64
5.2.1 Κύκλος ζωής Λογισμικού	64
5.2.1.1 Προδιαγραφή απαιτήσεων	64
5.2.1.2 Σχεδίαση της αρχιτεκτονικής του συστήματος	65
5.2.1.3 Λεπτομερής σχεδίαση	65
5.2.1.4 Συγγραφή κώδικα και έλεγχος σε επίπεδο λειτουργικών μονάδων	66
5.2.1.5 Ενοποίηση και έλεγχος	67
5.2.1.6 Συντήρηση	68
5.3 Ασφάλεια και Πιστοποίηση Δεδομένων	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	69
ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	69
6.1 Πρόσβαση στη διαδικτυακή βάση δεδομένων MIRaCLe DB	69
6.2 Αξιολόγηση Υπολογιστικών Ταξινομητών	71
6.2.1 Λίστα Περιπτώσεων	71
6.2.2 Απλή Αναζήτηση	74
6.2.3 Σύνθετη Αναζήτηση	75
6.2.4 Λίστα Αξιολογημένων Ταξινομητών	76
6.2.5 Δείκτες Ακριβείας	78
6.2.6 Εισαγωγή νέων δεδομένων στη Λίστα Αξιολογημένων Ταξινομητών	78
6.3 Εκπαίδευση και Αξιολόγηση Ακτινολόγων	80
6.3.1 Εκπαίδευση Ακτινολόγων	80
6.3.2 Αξιολόγηση Ακτινολόγων	80
6.3.3 Λίστα Αξιολογημένων Ακτινολόγων	82
6.4 Σενάρια Χρήσης	83
6.4.1 Σενάριο χρήστης στην Απλή Αναζήτηση	83
6.5 Σύγκριση με ήδη υπάρχουσες διαδικτυακές βάσεις δεδομένων	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	90
ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΥΣΚΟΛΙΑΣ ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ	90
7.1 Ο Δείκτης Δυσκολίας Διάγνωσης ως μέθοδος αξιολόγησης	90
7.1.1 Μεθοδολογία	92
7.1.2 Σενάριο χρήσης	95
7.2 Σημασία του Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης	97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	98
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	98
8.1 Ανασκόπηση	98
8.2 Μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας	99
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	101

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1	Διάγραμμα ροής με όλα τα διαθέσιμα εργαλεία της MIRaCLe DB	18
Σχήμα 2	Ανατομία του μαστού DB	22
Σχήμα 3	Ψηφιακή απεικόνιση μαστογραφίας	24
Σχήμα 4	Σχήματα και όρια που χαρακτηρίζουν μια μάζα	25
Σχήμα 5	Καλοήθης μάζα και κακοήθης μάζα	26
Σχήμα 6	Καλοήθης και κακοήθης αποτιάνωση	27
Σχήμα 7	Μαστογραφία που εμφανίζει διαταραχή της αρχιτεκτονικής	28
Σχήμα 8	Εσολκή της θηλής	28
Σχήμα 9	Διαδικασία υποβοηθούμενης διάγνωσης στη μαστογραφία	40
Σχήμα 10	Σταθμός εργασίας του «Ιπποκράτη-μστ»	42
Σχήμα 11	Ψηφιακή αρχειοθέτηση του «Ιπποκράτη-μστ»	43
Σχήμα 12	Ψηφιακό αρχείο ασθενούς	44
Σχήμα 13	Ψηφιακός φακός του «Ιπποκράτη-μστ»	45
Σχήμα 14	Εξέταση επεξεργασμένης και μη επεξεργασμένης μαστογραφίας	46
Σχήμα 15	Μέθοδος 4 προβολών για την εκτίμηση της «επικινδυνότητας» κάθε μικροαποτιάνωσης	47
Σχήμα 16	Κλιμακωτή γραφική απεικόνιση του «βαθμού επικινδυνότητας» των μικροαποτιτανώσεων	48
Σχήμα 17	Γραφική παράσταση του «βαθμού επικινδυνότητας» των μικροαποτιτανώσεων	48
Σχήμα 18	Ρύθμιση διαγνωστικών παραμέτρων για επιτυχέστερη διαγνωστική ταξινόμηση της επικινδυνότητας των ξεχωριστών μικροασβεστώσεων	49
Σχήμα 19	Ψηφιακό σημειωματάριο στο ψηφιακό ιατρικό αρχείο του ασθενούς	51
Σχήμα 20	Διάγραμμα ροής του αλγόριθμου που ευθύνεται για τον εντοπισμό των μικροαποτιανώσεων	52
Σχήμα 21(α)	Διάγραμμα αποτελεσμάτων εργαστηριακών δοκιμών	53
Σχήμα 21(β)	Διάγραμμα αποτελεσμάτων εργαστηριακών δοκιμών	54
Σχήμα 22	Επισκόπηση της διαδικασίας της υποβοηθούμενης διάγνωσης	56
Σχήμα 23	Σχηματική αναπαράσταση του «Εξυπνου» Συστήματος Αρχείου Ασθενών	57
Σχήμα 24	Αρχή Λειτουργίας Εξυπηρετητή Παγκόσμιου Ιστού	63
Σχήμα 25	Σχεσιακό διάγραμμα της βάσης δεδομένων που υλοποιήσαμε	66
Σχήμα 26	Επαναληπτική διαδικασία σχεδίασης στο μοντέλο καταρράκτη	67

Σχήμα 27 Εγγραφή νέου χρήστη στην Αξιολόγηση Υπολογιστικών Ταξινομητών	70
Σχήμα 28 Περιπτώσεις ευρυμάτων μέσα από τη βάση δεδομένων που παρουσιάζονται υπό τη μορφή διαγραμμάτων	71
Σχήμα 29(α) Προεπιλεγμένη παρουσίαση πίνακα για το σύνολο των διαθέσιμων περιπτώσεων	72
Σχήμα 29(β) Πίνακας υπολογιστικών ταξινομητών για το σύνολο των διαθέσιμων περιπτώσεων	73
Σχήμα 30 Προβολή εικόνας της περιοχής ενδιαφέροντος του Ιπποκράτη	74
Σχήμα 31 Απλή Αναζήτηση	75
Σχήμα 32 Σύνθετη Αναζήτηση	76
Σχήμα 33 Λίστα Αξιολογημένων Ταξινομητών	77
Σχήμα 34 Αρχείο Περιγραφής Δεδομένων	77
Σχήμα 35 Δείκτες Ακριβείας	78
Σχήμα 36 Πρότυπο για την εισαγωγή νέων στοιχείων στη Λίστα Αξιολογημένων Ταξινομητών	79
Σχήμα 37 Ψηφιακή εκπαίδευση νέων ακτινολόγων	80
Σχήμα 38 Ψηφιακός μεγεθυντικός φακός	81
Σχήμα 39 Διαδικασία αξιολόγησης ακτινολόγων	82
Σχήμα 40 Διάγραμμα περιπτώσεων χρήσης στην Αξιολόγηση Υπολογιστικών Ταξινομητών	83
Σχήμα 41 Σενάριο χρήσης της Απλής Αναζήτησης	84
Σχήμα 42 Σενάριο χρήσης της Σύνθετης Αναζήτησης	86
Σχήμα 43 Ιεραρχική δομή των μεταδεδομένων της MIRaCLe DB	91
Σχήμα 44 Μέρος της λίστας που παρουσιάζει τις τιμές του Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης	91
Σχήμα 45 Οντολογικό εννοιολογικό πολυστρωματικό μοντέλο του Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης	92
Σχήμα 46 Διαδικασία υπολογισμού του Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης (IDD) για κάθε περίπτωση	95
Σχήμα 47 Διάγραμμα περιπτώσεων χρήσης του Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης	96

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Οδηγίες για την έγκαιρη διάγνωση του καρκίνου του μαστού	21
Πίνακας 2 Πλεονεκτήματα της ψηφιακής μαστογραφίας έναντι της συμβατικής	23
Πίνακας 3 Μειονεκτήματα της ψηφιακής μαστογραφίας έναντι της συμβατικής	24
Πίνακας 4 Λίστα τυπικών μορφολογικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων ξεχωριστών μικροαποτιτανώσεων και των συστάδων τους	36
Πίνακας 5 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της διαδικτυακής βάσης δεδομένων DDSM	87
Πίνακας 6 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της διαδικτυακής βάσης δεδομένων mini-MIAS	88
Πίνακας 7 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της διαδικτυακής βάσης δεδομένων AMDI	88

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization) [1], ο καρκίνος του μαστού αποτελεί παγκοσμίως τη δεύτερη κυριότερη αιτία θανάτου των γυναικών, ακολουθώντας τον καρκίνο των πνευμόνων. Συγκεκριμένα, το έτος 2004 παρατηρήθηκαν 519 χιλιάδες θάνατοι. Η εμφάνιση του καρκίνου του μαστού ποικίλει ανά τον κόσμο και είναι γενικά συχνότερος στις ανεπτυγμένες χώρες της Ευρώπης όπου επηρεάζει 1 στις 16 γυναίκες [2], της Βορείου Αμερικής και στην Αυστραλία. Λιγότερο συχνός είναι στις αναπτυσσόμενες χώρες της Ασίας και της Αφρικής [3]. Αν και η ασθένεια δεν αποτελεί γυναικεία αποκλειστικότητα, η πιθανότητα εμφάνισης στους άνδρες είναι εμφανώς μικρότερη, με ποσοστό που αγγίζει μόλις το 1% του ποσοστού που επηρεάζει τον γυναικείο πληθυσμό στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής [4].

Η παγκόσμια επιδημία του καρκίνου του μαστού έχει πολλούς αιτιολογικούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του οικογενειακού ιστορικού καθώς και του δυτικού τρόπου ζωής των ασθενών, όπου παρατηρείται κατανάλωση τροφών πλούσιων σε θερμίδες ενώ παράλληλα υπάρχει έλλειψη σωματικής δραστηριότητας [1]. Σημαντικούς παράγοντες για την ανάπτυξη καρκίνου του μαστού αποτελούν επίσης η ηλικία μιας ασθενούς, η πρώιμη εμμηνарχή, η καθυστερημένη εμμηνόπαυση και η απουσία θηλασμού. Συγκεκριμένα το 70% των περιπτώσεων που έχουν διαγνωστεί στην Αυστραλία, ανήκει σε γυναίκες 50 ετών και άνω. Ωστόσο, η εμφάνιση του καρκίνου του μαστού σε νεαρότερες ηλικίες ελλοχεύει μεγαλύτερο κίνδυνο, γιατί οι όγκοι τείνουν να είναι μεγαλύτεροι και πιο επιθετικοί, αυξάνοντας έτσι το ποσοστό θνησιμότητας των ασθενών αυτών [5].

Παρόλο που ο καρκίνος του μαστού παρουσιάζει υψηλά ποσοστά θνησιμότητας σε ασθενείς που έχει διαγνωστεί ότι πάσχουν από την ασθένεια, εντούτοις τα ποσοστά αυτά άρχισαν να παρουσιάζουν μια κάμψη στη Βόρεια Αμερική, τη Δυτική Ευρώπη και την Αυστραλία, κυρίως λόγω της έγκαιρης διάγνωσης και θεραπείας. Χαρακτηριστικά, το ποσοστό επιβίωσης, 5 χρόνια μετά την πρώτη διάγνωση, είναι είναι υψηλότερο από 75% στις ανεπτυγμένες χώρες [1].

Μια πρώτη διάγνωση για την παρουσία του καρκίνου του μαστού μπορεί να γίνει από την ίδια την ασθενή, όταν παρατηρήσει μια αλλοιωμένη υφή στο μαστό, όπως για παράδειγμα ένα μαλακό όγκο. Πέραν του 80% των περιπτώσεων έχουν ανιχνευθεί με αυτό τον τρόπο στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής [6]. Επίσης, σε μια ασθενή μπορεί να υπάρξουν και άλλα εμφανή συμπτώματα, όπως είναι η αλλαγή στο χρώμα και το σχήμα του μαστού ή το πρήξιμό του. Πέραν όμως της προσωπικής διάγνωσης, η πιο αποτελεσματική μέθοδος είναι η μαστογραφία, όπου αποτελεί την καλύτερη επιλογή διάγνωσης καρκίνου του μαστού σε πρώιμο στάδιο [7].

Παραδοσιακά οι μαστογραφίες διαβάζονται και ερμηνεύονται από τους ακτινολόγους. Παρόλ' αυτά με την πρόοδο της τεχνολογίας, οι μαστογραφίες έχουν πλέον ψηφιοποιηθεί. Συνάμα, έχουν αναπτυχθεί υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης

διάγνωσης (Computer-Aided Diagnosis systems – CADs). Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την αξιοπιστία της διάγνωσης των μαστογραφιών, προσφέροντας μια αξιόπιστη δεύτερη γνώμη στους ιατρούς, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου η διάγνωση των μαστογραφικών ευρημάτων είναι δυσδιάκριτη ένεκα διαφόρων παραγόντων [8-17].

Η έγκαιρη διάγνωση είναι η καλύτερη δυνατή άμυνα ενάντια στην ασθένεια αυτή, αφού διαδραματίζει βαρυσήμαντο ρόλο στην αύξηση του ποσοστού επιβίωσης των ασθενών, ενώ παράλληλα ελαττώνει το συναισθηματικό τους φορτίο.

1.1 Διαδικτυακές Βάσεις Δεδομένων

Στις μέρες μας, υπάρχει πληθώρα μαστογραφικών πληροφοριών μέσω του διαδικτύου. Επομένως, είναι απαραίτητη η ύπαρξη βάσεων δεδομένων μαστογραφικών εικόνων, που να προσφέρουν υψηλής ποιότητας δεδομένα με συνέπεια, ακεραιότητα και αξιοπιστία.

Οι διαδικτυακές βάσεις δεδομένων μαστογραφικών εικόνων μπορούν να φιλοξενήσουν χρήσιμα δεδομένα αναφοράς που σχετίζονται με τις αντίστοιχες εικόνες, με αποτέλεσμα να παρέχουν κοινούς ερευνητικούς πόρους στην ιατρική κοινότητα. Έτσι, δίνεται η ευχέρεια στους ιατρούς να λαμβάνουν πληροφορίες μέσα από ένα εύχρηστο γραφικό περιβάλλον, οποιαδήποτε στιγμή τις χρειαστούν. Με αυτό τον τρόπο, οι βάσεις δεδομένων παρέχουν τη δυνατότητα στους ιατρούς να βελτιώσουν τη διακριτική τους ικανότητα, παρατηρώντας τις διάφορες περιπτώσεις και συγκρίνοντάς τις με ενδεχόμενες περιπτώσεις που εξετάζουν. Τα δεδομένα που φιλοξενούνται στη βάση δεδομένων αποτελούν υλικό για τους ιατρούς αλλά παράλληλα και για τα υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης.

Προχωρώντας ένα βήμα παραπέρα, κάποιες βάσεις δεδομένων λόγω της φύσης της εργασίας των ιατρών, τους καλύπτουν κάποιες επιπλέον ανάγκες. Για παράδειγμα, τους παρέχουν πρόσβαση σε κάποια ψηφιακά εκπαιδευτικά εργαλεία για την επεξεργασία των μαστογραφικών εικόνων, διευκολύνοντας με αυτό τον τρόπο το έργο τους [18,19]. Επιπρόσθετα, οι βάσεις δεδομένων είναι σε θέση όχι μόνο να εκπαιδεύσουν τους ιατρούς αλλά και να τους αξιολογήσουν με βάση κάποια σενάρια αξιολόγησης διαβαθμισμένης δυσκολίας. Ένα ακόμη πλεονέκτημα των βάσεων αυτών, είναι η αξιολόγηση των υπολογιστικών ταξινομητών. Αυτό λειτουργεί προς όφελος τόσο των ερευνητών, που αναπτύσσουν και βελτιστοποιούν αλγόριθμους για την καλύτερη διάγνωση των μαστογραφικών εικόνων, όσο και των ίδιων των ασθενών, δίνοντάς τους ασφαλέστερες εκτιμήσεις.

Η παρούσα διπλωματική εργασία, αποτελεί ένα συνδυασμό των προαναφερθέντων υπηρεσιών. Η διαδικτυακή βάση δεδομένων αναφοράς μαστογραφικών ευρημάτων και εικόνων υπό την επωνυμία MIRaCle DB (Mammography Image reading for Radiologists' and Computers' Learning Database) σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε με σκοπό τη δυνατότητα αξιόπιστης αξιολόγησης της διαγνωστικής απόδοσης τόσο των υπολογιστικών ταξινομητών όσο και των ακτινολόγων.

1.2 Στόχος της εργασίας

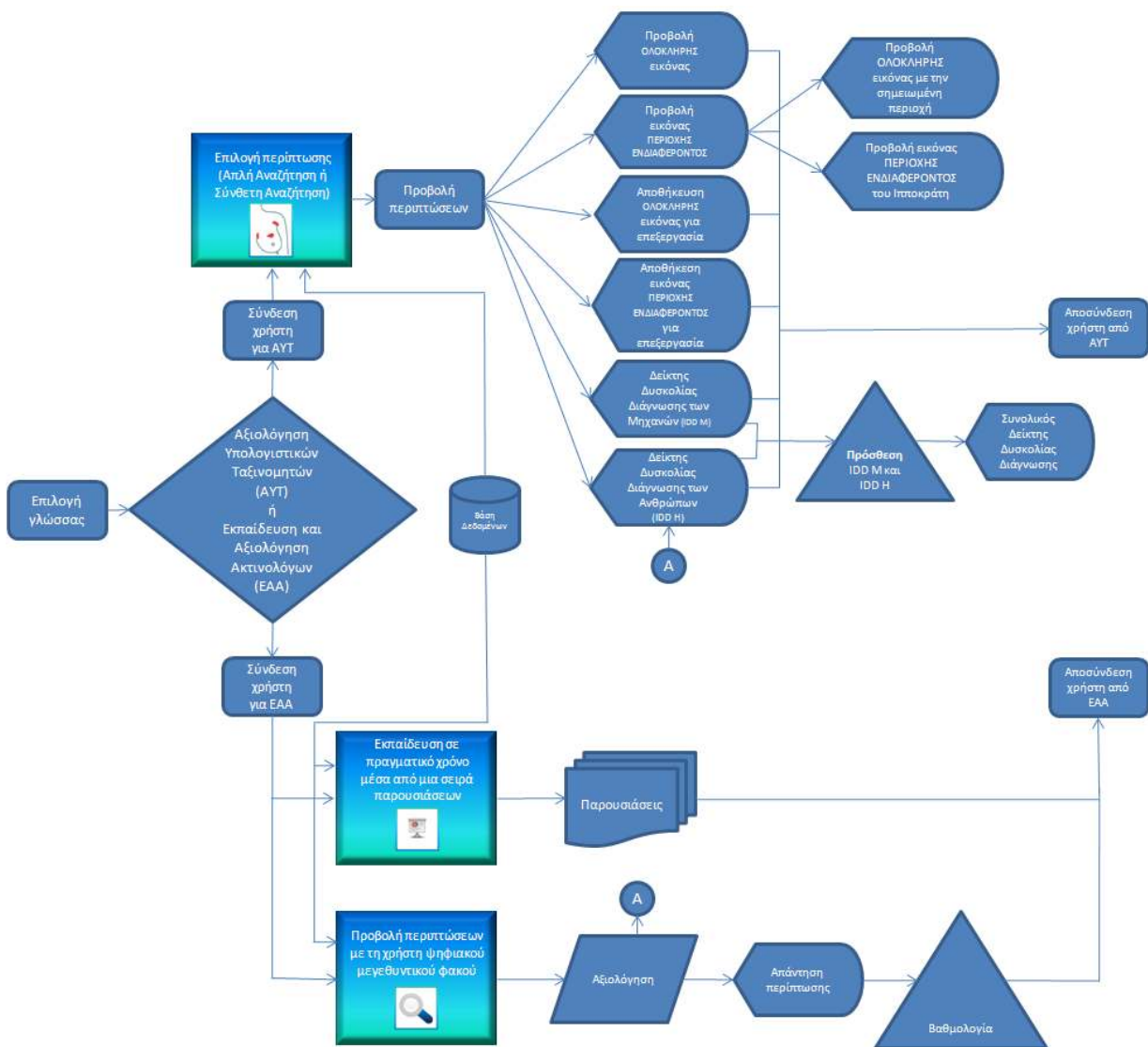
Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν ο σχεδιασμός και η υλοποίηση μιας διαδικτυακής βάσης δεδομένων αναφοράς μαστογραφικών εικόνων και δεδομένων που να αποσκοπεί στη αξιόπιστη αξιολόγηση της διαγνωστικής απόδοσης υπολογιστικών ταξινομητών και ιατρών.

Το γραφικό περιβάλλον της βάσης δεδομένων χωρίστηκε σε δυο ξεχωριστές ενότητες, για την αξιολόγηση υπολογιστικών ταξινομητών και για την εκπαίδευση και αξιολόγηση των ακτινολόγων αντίστοιχα. Παρόλο που οι δυο ενότητες φαίνονται στον χρήστη ως ξεχωριστές και ανεξάρτητες, στα θεμέλια της βάσης δεδομένων αυτές συνεργάζονται, δρώντας ως ανάδραση η μία για την άλλη.

Στην ενότητα της αξιολόγησης των υπολογιστικών ταξινομητών ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ανακτήσει και να δει όλες τις διαθέσιμες μαστογραφικές εικόνες με όλα τα δεδομένα τους καθώς είναι σε θέση να κάνει και διάφορες αναζητήσεις με συγκεκριμένες λέξεις κλειδιά, για πιο εξειδικευμένα αποτελέσματα. Στην επόμενη ενότητα, ο χρήστης μπορεί να παρακολουθήσει διαδικτυακά το διαθέσιμο εκπαιδευτικό υλικό και έπειτα να αξιολογήσει τις ικανότητές του μέσα από μια σειρά διαφορετικών σεναρίων αξιολόγησης.

Η καινοτομία που προσφέρει η MIRaCLe DB είναι ο δυναμικός συσχετισμός της αξιολόγησης τόσο των υπολογιστικών συστημάτων υποβοηθούμενης διάγνωσης όσο και των ακτινολόγων. Έχουμε αναπτύξει ένα δείκτη δυσκολίας διάγνωσης (Index of Difficulty in Diagnosis), ο οποίος ρυθμίζεται δυναμικά βάση των δεδομένων της βάσης δεδομένων. Ο δείκτης αυτός επιδιώκει να αποτελέσει κίνητρο τόσο για τους ερευνητές για να τη βελτίωση των μεθόδων και αλγορίθμων των υπολογιστικών ταξινομητών, όσο και των ιατρών για τη βελτίωση της διακριτικής τους ικανότητας.

Όλες τα διαθέσιμα εργαλεία που παρέχει η MIRaCLe DB φαίνονται αναλυτικά στο σχήμα 1.



Σχήμα 1 Διάγραμμα ροής με όλα τα διαθέσιμα εργαλεία της MIRaCLE DB

1.3 Τα περιεχόμενα της εργασίας

Στο Κεφάλαιο 2 της εργασίας παρουσιάζεται το ιατρικό υπόβαθρο σχετικά με τις μαστογραφίες, τα ευρήματά τους, τα κριτήρια κατηγοριοποίησής τους και οι επικινδυνότητά τους.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφονται τα υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης καθώς και τα πλεονεκτήματά τους έναντι της συμβατικής μαστογραφίας. Συνάμα παρουσιάζονται οι μέθοδοι αξιολόγησης της απόδοσής τους.

Ακολουθεί το κεφάλαιο 4, όπου παρουσιάζεται ο υπολογιστικός ταξινομητής Ιπποκράτης ΜΣΤ και οι διάφορες αξιολογήσεις που έχουν γίνει από αυτόν.

Στο κεφάλαιο 5 δίνεται το θεωρητικό υπόβαθρο της διαδικτυακής βάσης δεδομένων. Συγκεκριμένα αναφέρονται σχετικές πληροφορίες για το σχεδιασμό και την υλοποίηση της

βάσης δεδομένων με τη γλώσσα προγραμματισμού MySQL, πληροφορίες σχετικά με την υλοποίηση του γραφικού περιβάλλοντος με τη βοήθεια της γλώσσας PHP και πως τελικά γίνεται η σύνδεση τους μέσω του Apache web server. Επιπλέον, δίνονται πληροφορίες για κάποιες επιπρόσθετες λειτουργίες του γραφικού περιβάλλοντος που παρέχονται με τη βοήθεια της JavaScript. Ακολούθως, προσδιορίζεται η πορεία υλοποίησης της βάσης δεδομένων και συγκεκριμένα η συλλογή δεδομένων, η ομογενοποίηση, η παρατήρησή τους και η τελική αποδοχή τους. Ακόμη, παρατίθεται ο τρόπος σχεδιασμού του σχήματος της βάσης, ο ορισμός απαιτήσεων, ο σχεδιασμός του γραφικού περιβάλλοντος και τέλος οι πιλοτικές δοκιμές με ήδη ανεπτυγμένους υπολογιστικούς ταξινομητές στο εργαστήριο.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται αναλυτικά οι δύο ενότητες της βάσης δεδομένων και οι επιμέρους ιστοσελίδες τους μέσα στον κεντρικό υπολογιστή δικτύου (web server). Έπειτα, παραθέτουμε κάποια συγκεκριμένα παραδείγματα για την κατανόηση της χρήσης και της λειτουργίας της βάσης. Ακόμη, κάνουμε σύγκριση της βάσης μας με ήδη υπάρχουσες διαδικτυακές βάσεις, παρουσιάζοντας τις καινοτομίες, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά σε σχέση με αυτές.

Στο κεφάλαιο 7 γίνεται σύγκριση της αξιολόγησης των υπολογιστικών ταξινομητών και των ακτινολόγων. Παράλληλα, παρουσιάζεται το μαθηματικό υπόβαθρο και η σημασία του δείκτη δυσκολίας αξιολόγησης, που αποτελεί συνδιασμένη αξιολόγηση ακτινολόγων και υπολογιστικών ταξινομητών.

Τέλος, στο κεφάλαιο 8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του όλου εγχειρήματός μας και τυχόν θέματα που προέκυψαν από την αρχή της δημιουργίας της βάσης μέχρι και την αποπεράτωσή της. Ακολούθως, συζητούνται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εργασία μας και οι μελλοντικές κατευθύνσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Σύμφωνα με τα όσα αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η πρώιμη διάγνωση του καρκίνου του μαστού είναι πολύ σημαντική, γιατί τα ποσοστά ίασης της ασθένειας αυξάνουν. Εάν είχαμε τη δυνατότητα σύγκρισης δύο μαστογραφιών διαφορετικής χρονικής περιόδου, θα μπορούσαμε να αντιληφθούμε πως ένα μαστογραφικό εύρημα ελάχιστων χιλιοστομέτρων αυξάνεται με αργό ρυθμό, ώστε μετά από πάροδο δύο και τριών ετών να δώσει ένα ευκρινές εύρημα 1-2 εκατοστών. Με το σωστό προληπτικό προγραμματισμό, έχουμε την άνεση μετά από μια σωστή διάγνωση να αντιμετωπίσουμε την ασθένεια σε πρόωρο στάδιο. Διάφορες μέθοδοι απεικόνισης χρησιμοποιούνται από κοινού με τη μαστογραφία, για τη διάγνωση της ασθένειας [20]. Οι πλέον συνήθεις μέθοδοι που ακολουθούνται είναι η μαστογραφία, η υπερηχοτομογραφία, η μαγνητική τομογραφία, οι ραδιοϊσοτοπικές τεχνικές και οι επεμβατικές τεχνικές [21].

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO), οι απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται από μια απεικονιστική μέθοδο, είναι οι εξής:

- Απουσία κινδύνου στην υγεία του ασθενή
- Αναγνώριση του πρώιμου σταδίου
- Η πρώιμη θεραπεία πρέπει να είναι ευεργετική
- Η κατάλληλη εξέταση πρέπει να είναι διαθέσιμη
- Η δοκιμή πρέπει να είναι αποδεκτή
- Επαρκείς εγκαταστάσεις για τη διάγνωση και τη θεραπεία
- Η επανάληψη της απεικονιστικής θεραπείας απαιτείται όταν η ασθένεια έχει επίβουλη εισβολή
- Η φυσική και η ψυχολογική ζημιά στον ασθενή πρέπει να είναι μικρότερες απ' ό,τι το όφελος της ανίχνευσης
- Το κόστος της διαδικασίας να εξισοροπείται απ' τα πλεονεκτήματά της

Ωστόσο, καμία άλλη τεχνική δεν έχει ερευνηθεί τόσο εκτενώς ή έχει αποδειχθεί ως χρήσιμο εργαλείο διακριτικότητας, όπως η μαστογραφία [22]. Όπως έχουν δείξει διάφορες κλινικές δομικές, η απεικονιστική μαστογραφία μπορεί να μειώσει τη θνησιμότητα από τον καρκίνο του μαστού, από 20-39% σε γυναίκες 50 ετών και άνω [23].

Η βάση για τη διάγνωση του καρκίνου του μαστού, είναι η καλά τεκμηριωμένη παρατήρηση ότι η πρόγνωση του καρκίνου του μαστού εξαρτάται από το στάδιο της ασθένειας στο χρόνο της θεραπείας. Οι μικρότερες κακώσεις, δηλαδή αυτές που δεν δίνουν θετικό τον πρώτο λεμφαδένα της μασχάλης, παρουσιάζουν το υψηλότερο ποσοστό επιβίωσης [24].

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι οδηγίες της Αμερικανικής Αντικαρκινικής Εταιρείας για την έγκαιρη διάγνωση του καρκίνου του μαστού, που εξέδωσε το 2003 [25].

Πίνακας 1 Οδηγίες για την έγκαιρη διάγνωση του καρκίνου του μαστού

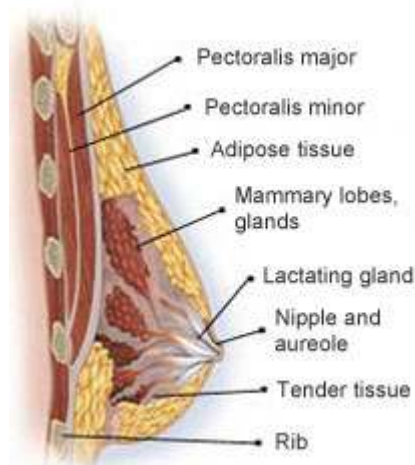
<p>Γυναίκες με Μέσο Κίνδυνο</p>	<p>Συνιστάται να κάνουν μαστογραφία στην ηλικία των 40. Για τις γυναίκες που βρίσκονται στη δεκαετία των 20 και των 30, συνιστάται η κλινική εξέταση των μαστών να είναι μέρος μιας περιοδικής εξέτασης υγείας, κατά προτίμηση τουλάχιστον κάθε τρία έτη. Οι γυναίκες στην ηλικία των 40 και άνω που δεν έχουν εμφανίσει συμπτώματα, πρέπει να συνεχίσουν να λαμβάνουν μια κλινική εξέταση των μαστών ως τμήμα μιας περιοδικής εξέτασης υγείας, κατά προτίμηση ετησίως.</p> <p>Αρχίζοντας στη δεκαετία των 20 τους, οι γυναίκες πρέπει να γνωρίζουν τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς που προσφέρει η αυτοεξέταση των μαστών τους. Η σημασία της έγκαιρης αναφοράς οποιονδήποτε συμπτωμάτων θα πρέπει να τονιστεί. Οι γυναίκες που επιλέγουν να κάνουν αυτοεξέταση, πρέπει να λάβουν οδηγίες και να αναθεωρούν την τεχνική τους σε κάθε περιοδική εξέταση της υγείας τους. Είναι αποδεκτό για τις γυναίκες να επιλέγουν να κάνουν ή να μην κάνουν αυτοεξέταση.</p> <p>Οι γυναίκες πρέπει να έχουν μια ευκαιρία να ενημερωθούν για τα οφέλη, τους περιορισμούς και τους πιθανούς κινδύνους που συνδέονται με τη συμβατική απεικονιστική μαστογραφία.</p>
<p>Ηλικιωμένες Γυναίκες</p>	<p>Οι αποφάσεις για την απεικονιστική μαστογραφία στις ηλικιωμένες γυναίκες πρέπει να εξατομικευθούν με την εξέταση των πιθανών οφελών και των κινδύνων της, στα πλαίσια της τρέχουσας κατάστασης της υγείας και της κατ' εκτίμηση υπολογιζόμενης διάρκειας ζωής της κάθε μιας. Εφ' όσον μια γυναίκα είναι καλά στην υγεία της και θα είναι υποψήφια για θεραπεία, πρέπει να συνεχίσει να κάνει μαστογραφία.</p>
<p>Γυναίκες με Αυξημένο Κίνδυνο</p>	<p>Οι γυναίκες με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του μαστού, πιθανώς να ωφεληθούν από πρόσθετες στρατηγικές απεικόνισης πέρα από εκείνες που έχουν προσφερθεί στις γυναίκες του μέσου κινδύνου, όπως είναι η άμεση μαστογραφία, οι τακτές επαναλήψεις της μαστογραφίας, ή η προσθήκη άλλων μεθόδων απεικόνισης πέραν της μαστογραφίας και της φυσικής εξέτασης, όπως είναι η απεικόνιση υπέρηχου ή μαγνητικής αντίληξης. Εντούτοις, τα μέχρι στιγμής διαθέσιμα στοιχεία είναι ανεπαρκή για να δικαιολογήσουν τις συστάσεις για οποιοδήποτε από αυτές τις προσεγγίσεις απεικόνισης.</p>

Για να ισχύουν βέβαια όλα αυτά, θα πρέπει η μαστογραφία να ερμηνεύεται όσο ακριβέστερα γίνεται από τον ακτινολόγο, γεγονός που απαιτεί μεγάλη προσοχή κατά την εξέταση της και αποκτάται με την εμπειρία.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η μέθοδος της μαστογραφίας, τα μαστογραφικά της ευρήματα καθώς η κατηγοριοποίησή τους και η επικινδυνότητά τους.

2.1 Μαστογραφία

Μαστογραφία, καλείται η ακτινογραφία του μαστού που γίνεται με ένα ειδικό μηχάνημα, που ονομάζεται μαστογράφος. Για τη λήψη της συμβατικής μαστογραφίας χρησιμοποιούνται ακτίνες X και αποτυπώνεται πάνω σε ένα φιλμ η εικόνα που δείχνει την εσωτερική δομή του μαστού. Η εκπομπή των ακτίνων X είναι ανώδυνη και δεν είναι επικίνδυνη για τον ασθενή, καθώς γίνεται σε μικρή δόση. Αυτό είναι εφικτό, διότι ο μαστός αποτελείται από λιπώδη ιστό ο οποίος είναι πιο διαπερατός απ' ό τι τα οστά. Στην λαμβανόμενη εικόνα της μαστογραφίας, με σκούρο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές του λιπώδους ιστού του μαστού και γενικά οι περιοχές που παρουσιάζουν χαμηλή πυκνότητα ιστού. Αντιθέτως, οι περιοχές που απεικονίζονται με ανοιχτό χρώμα αντιπροσωπεύουν τις περιοχές που χαρακτηρίζονται είτε από υψηλή πυκνότητα ιστού είτε παρουσιάζουν παθολογικές κακώσεις, όπως είναι οι όγκοι [26-27]. Στο σχήμα 2 απεικονίζεται η ανατομία του μαστού.



Σχήμα 2 Ανατομία του μαστού

Με την πάροδο του χρόνου και την ανάπτυξη της τεχνολογίας, έκανε την εμφάνισή της η ψηφιακή μαστογραφία, όπου πλέον οι εικόνες αποθηκεύονται σε ψηφιακή μορφή στον υπολογιστή. Η χρήση της ψηφιακής μαστογραφίας παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα έναντι της συμβατικής μαστογραφίας, όπως για παράδειγμα ο ακτινολόγος έχει την διαχείριση της εικόνας της μαστογραφίας ηλεκτρονικά και μπορεί να εστιάσει στην περιοχή ενδιαφέροντος με τη χρήση κάποιων ψηφιακών εργαλείων [28]. Παράλληλα, μπορεί πλέον να την αποστείλει σε κάποιο συνάδελφό του για να του δώσει μια δεύτερη γνώμη ή μπορεί να την αξιολογήσει με κάποιο υπολογιστικό ταξινομητή, όπως θα δούμε αργότερα σε επόμενο κεφάλαιο, για να πάρει μια δεύτερη διάγνωση.

Σήμερα οι μαστογραφίες λαμβάνονται για δύο λόγους, είτε για προληπτικούς είτε για διαγνωστικούς. Ο στόχος της προληπτικής μαστογραφίας είναι ο έγκαιρος εντοπισμός τυχόν κακώσεων, αλλοιώσεων ή ανωμαλιών του μαστού που ενδέχεται στο μέλλον να οδηγήσουν στον καρκίνο του μαστού, όταν ακόμα δεν γίνονται αντιληπτές από τον ίδιο τον ασθενή. Αντιθέτως, η διαγνωστική μαστογραφία στοχεύει στην διάγνωση και τον χαρακτηρισμό των όγκων οι οποίοι έχουν ήδη γίνει αντιληπτοί απ' τον ασθενή ή με κάποιο άλλο τρόπο. Μέσω της διαγνωστικής μαστογραφίας προσδιορίζεται το μέγεθος του όγκου και η ακριβής θέση του μέσα στο μαστό. Όταν στην εικόνα της μαστογραφίας εντοπιστεί κάποια κάκωση, δειγματοληπτείται ιστός από τη συγκεκριμένη περιοχή που την περιέχει, για να γίνει βιοψία και να ελεγχθεί αν πρόκειται για καρκίνο ή όχι. Επίσης, εάν βρεθεί κάποια ανωμαλία στη μαστογραφία, έχουμε τη δυνατότητα να κάνουμε συμπληρωματικές λήψεις όπως μεγέθυνση (μεγεθυντική μαστογραφία), ή υποπίεση (spot μαστογραφία) [21].

Όσο αξιόπιστη και διαδεδομένη είναι η μαστογραφία σαν απεικονιστική μέθοδος, εντούτοις παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα ως τεχνική. Η κυριότερη της αδυναμία είναι ότι παρουσιάζει μικρές διαφορές στην αντίθεση μεταξύ καρκινικών και υγιών ιστών, αφού ο πυκνός φυσιολογικός ιστός και ο παθολογικός ιστός συνήθως παρουσιάζουν περίπου ίδια εξασθένηση των ακτίνων που τους διαπερνούν και απεικονίζονται σχεδόν παρόμοια τόσο όσον αφορά στην ένταση τη φωτεινότητας όσο και στην υφή των περιοχών αυτών. Ακόμη, η κακή διακριτική ικανότητα, η χαμηλή αντίθεση και η ύπαρξη θορύβου, εμποδίζουν τη διαγνωστική αξιολόγηση των μικροασβεστώσεων. Τέλος, ένα σημαντικό ποσοστό από τις βιοψίες που συστήνονται μετά από μαστογραφία αποδुकνείται ότι δεν επρόκειτο πραγματικά για κακοήθεια [21]. Περισσότερες πληροφορίες για τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της ψηφιακής μαστογραφίας έναντι της συμβατικής, παρουσιάζονται στους πίνακες 2 και 3 αντίστοιχα [27].

Πίνακας 2 Πλεονεκτήματα της ψηφιακής μαστογραφίας έναντι της συμβατικής

Πλεονεκτήματα
<p>Πρωτεύοντα</p> <ul style="list-style-type: none">Αυξημένη αντίθεση εικόναςΕικόνες υψηλής ανάλυσηςΜεγαλύτερο μέγεθος εικόναςΔυνατότητα αλλαγής της αντίθεσης, της φωτεινότητας και του μεγέθους της επιλεγμένης περιοχής ή ολόκληρης της περιοχής εξέτασηςΧαμηλότερος ανιχνεύσιμος θόρυβος
<p>Δευτερεύοντα</p> <ul style="list-style-type: none">Αρχειοθέτηση και ανάκτηση εικόνωνΑνίχνευση και διάγνωση με τη βοήθεια Υπολογιστικών Ταξινομητών (CADs)

Μειονεκτήματα/Τεχνικές Δυσκολίες

Μειονεκτήματα

Μεγαλύτερος χρόνος έκθεσης
Δυσκολία στον προσδιορισμό της θέσης του μαστού

Τεχνικές Δυσκολίες

Σχεδιασμός αποδοτικού συστήματος
Πιο δαπανηρή διαδικασία

Το σχήμα 3 απεικονίζει μια ψηφιακή μαστογραφία.



Σχήμα 3 Ψηφιακή απεικόνιση μαστογραφίας

2.2 Μαστογραφικά ευρήματα

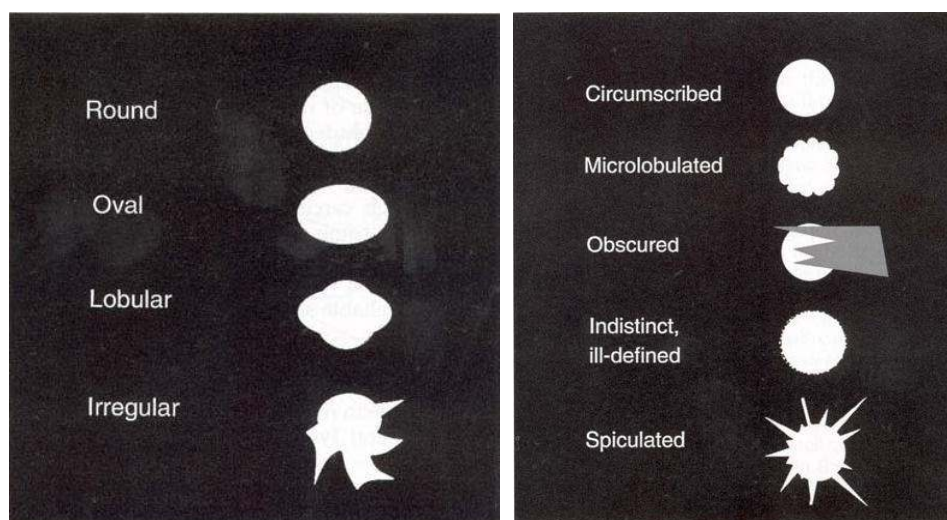
Η πρώιμη διάγνωση του καρκίνου του μαστού αποτελεί το σημαντικότερο βήμα για την ίασή του. Η δυνατότητα να προλάβουμε τη νόσο νωρίς στην κλινική της φάση, δηλαδή όταν υπάρχει ένα μικρό ψηλαφητό ογκίδιο, μια εσολκή του δέρματος ή της θηλής, ή ένα αιμορραγικό έκκριμα, επιτυγχάνεται με την αυτοεξέταση. Για να προλάβουμε όμως τη νόσο σε μια υποκλινική φάση, απαιτείται μια καλή μαστογραφία. Στην υποκλινική φάση της

νόσου, αναζητούμε συμπαγή αψηλάφητα ογκίδια, αποτιτανώσεις, ή ανωμαλία της αρχιτεκτονικής του μαστού, κακώσεις οι οποίες ενδεχομένως να μαρτυρούν την ύπαρξη καρκίνου του μαστού [20]. Ενδέχεται βέβαια να εμφανιστεί και συνδυασμός των πιο πάνω αλλοιώσεων.

Αρχικά, επιβάλλεται ο όσο το δυνατόν ακριβέστερος εντοπισμός των ευρημάτων στο μαζικό παρέγχυμα, που γίνεται κατά τεταρτημόριο του μαστού ωρολογιακά με σχολιασμό του βάθους στο οποίο βρίσκεται η αλλοίωση, δηλαδή την απόστασή της από τη θηλή του μαστού. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται όταν η αλλοίωση εντοπίζεται στο κεντρικό τμήμα του μαστού, την οπισθοθηλαία και τη μασχαλιαία χώρα [29]. Πιο κάτω ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή των ευρημάτων.

2.2.1 Μάζα

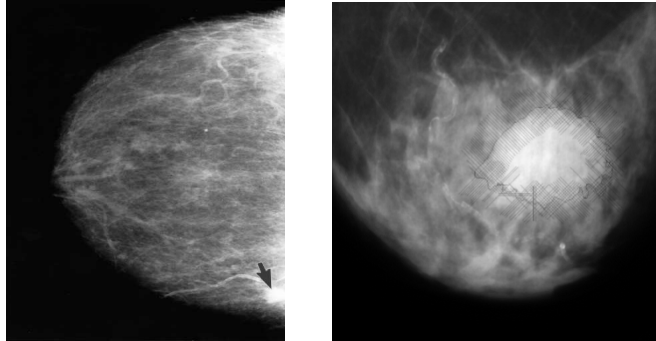
Ως μάζα αποκαλείται η χωροκατακτητική επεξεργασία (τρισδιάστατη δομή) που απεικονίζεται σε δύο τουλάχιστον μαστογραφικές προβολές. Εφ' όσον διαπιστώσουμε μάζα, θα πρέπει να τη χαρακτηρίσουμε περεταίρω ως προς το σχήμα, τα όρια και την πυκνότητά της. Το σχήμα μιας μάζας μπορεί να είναι στρογγυλό, ωοειδές, λοβωτό ή ανώμαλο, ενώ τα όριά της περιγράφονται ως περιγεγραμμένα, ομαλά, μικρολοβωτά, εν μέρει αποκρυπτόμενα από το παρακείμενο μαζικό παρέγχυμα, ασαφή καθώς και με προσεκβολές προς τους γύρω ιστούς. Η πυκνότητα της μάζας συγκρίνεται με αυτήν του αδενικού ιστού και χαρακτηρίζεται ως ίση, μικρότερη ή μεγαλύτερη. Στο σχήμα 4, παρουσιάζονται τα σχήματα και τα όρια που χαρακτηρίζουν μια μάζα αντίστοιχα.



Σχήμα 4 Σχήματα και όρια που χαρακτηρίζουν μια μάζα

Η μάζα μοιάζει συνήθως με την υγιή περιοχή υψηλής πυκνότητας, τόσο ως προς τη μορφολογία όσο και ως προς τη φωτεινότητά της. Συνεπώς, η ανίχνευσή της καθίσταται δύσκολη. Ωστόσο, κάποια χαρακτηριστικά της βοηθούν τους ακτινολόγους να εκτιμήσουν εάν πρόκειται για καλοήθεια ή κακοήθεια. Συνήθως η καλοήθεια έχει ευκρινές περίγραμμα, είναι συμπαγής και το σχήμα της είναι σχεδόν κυκλικό ή ελλειπτικό. Τουναντίον, η κακοήθης μάζα έχει ασαφές περίγραμμα, έχει ανομοιόμορφο σχήμα και η εξωτερική της επιφάνεια δύναται να παρουσιάζει ακτινικούς σχηματισμούς. Παρόλ' αυτά όμως, πιθανό

κάποια καλοήθεια να παρουσιάζει ασαφές περίγραμμα ή ακτινωτούς σχηματισμούς στην επιφάνειά της, με αποτέλεσμα να ταξινομηθεί σε λανθασμένη κατηγορία – «ψευδοθετική» (False Positive) [30]. Δηλαδή, ενώ πρόκειται για καλοήθεια, ταξινομείται ως κακοήθεια. Στο σχήμα 5, παρουσιάζονται μια καλοήθης μάζα και μια κακοήθης αντίστοιχα.



Σχήμα 5 Καλοήθης μάζα και κακοήθης μάζα

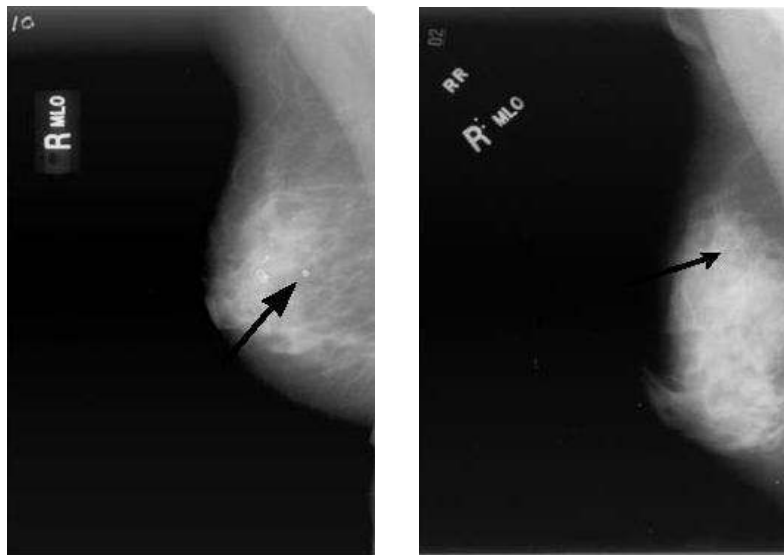
2.2.2 Αποτιτανώσεις (ή Ασβεστώσεις)

Οι αποτιτανώσεις είναι το πιο συχνά εμφανές μαστογραφικό εύρημα που παρατηρείται στις μαστογραφίες και ενδέχεται να εμφανίζεται οπουδήποτε μέσα στο μαστό. Οι αποτιτανώσεις χαρακτηρίζονται με γνώμονα τη μορφολογία τους και τον τρόπο διάταξής τους στο μαζικό παρέγχυμα. Διακρίνονται σε τυπικά καλοήθεις, τυπικά κακοήθεις και ενδιάμεσης μορφολογίας αποτιτανώσεις. Ανάλογα με το μέγεθός τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις μικροαποτιτανώσεις και τις μακροαποτιτανώσεις.

Οι μακροαποτιτανώσεις είναι χονδροειδή, διάσπαρτα άλατα ασβεστίου. Πρόκειται για άλατα που συνδέονται συνήθως με καλοήθεις συνθήκες και σπάνια απαιτούν βιοψία.

Οι μικροαποτιτανώσεις δύναται να εμφανίζονται μεμονομένες, σε συστάδες (clusters) ή να είναι ενσωματωμένες μέσα σε μία μάζα. Οι μεμονομένες αποτιτανώσεις έχουν μέγεθος που κυμάνεται από 0.1 έως 1.0 χιλιοστά και μέση διάμετρο περίπου 0.5 χιλιοστά. Μια συστάδα ορίζεται συνήθως από τουλάχιστον τρεις μικροαποτιτανώσεις σε περιοχή ενός τετραγωνικού εκατοστομέτρου (1 cm²). Οι συστάδες αποτελούν σημαντικές υποδείξεις στους ακτινολόγους για τον προσδιορισμό των ευρημάτων, σε ύποπτα ή μη. Ένα ποσοστό της τάξεως του 30-50% μη ψηλαφητών καρκίνων, ανιχνεύονται αρχικά λόγω της παρουσίας συστάδων μικροαποτιτανώσεων. Ομοίως, οι συστάδες είναι εμφανείς στην πλειοψηφία των πορογενών καρκινωμάτων των in situ καρκίνων (DCIS) [31].

Στο σχήμα 6 φαίνονται δύο μαστογραφίες, με καλοήθη αποτιτανώση και κακοήθη αποτιτανώση αντίστοιχα.



Σχήμα 6 Καλοήθης και κακοήθης αποτιτάνωση

Σύμφωνα με το λεξικό BI-RADS (βλέπε παράγραφο 2.3) οι μικροαποτιτανώσεις διακρίνονται στους εξής διαφορετικούς τύπους: καλοήθεις, ενδιάμεσες αποτιτανώσεις και αποτιτανώσεις με υψηλή πιθανότητα κακοήθειας. Για να ταξινομηθούν οι μικροαποτιτανώσεις, είναι απαραίτητο να αναλυθεί η μορφή, η πυκνότητα, αλλά και η διανομή τους μέσα στο στήθος, ειδικά στη θέση γύρω από την περιοχή των θηλών.

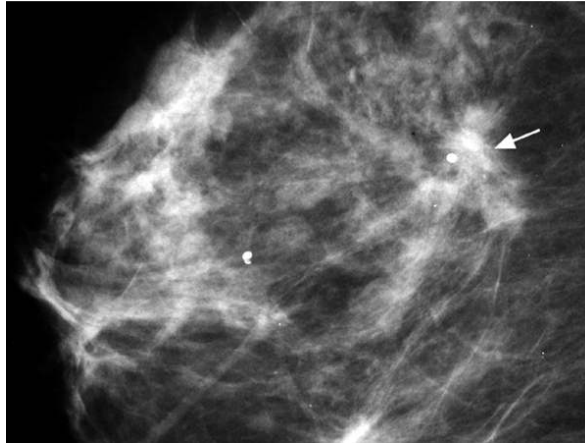
Μερικά παραδείγματα των πιο προαναφερθέντων τύπων που περιγράφονται στο λεξικό BI-RADS, είναι:

- Καλοήθεια: αποτιτανώσεις δέρματος, γαλακτώδεις αποτιτανώσεις, κ.λπ.
- Ενδιάμεσες αποτιτανώσεις: άμορφες αποτιτανώσεις.
- Αποτιτανώσεις με υψηλή πιθανότητα κακοήθειας: γραμμικές, διακλαδιμένες αποτιτανώσεις για τη μορφολογία

2.2.3 Διαταραχή της αρχιτεκτονικής

Σε αυτή την κατηγορία ευρημάτων, η κανονική δομή του μαστού είναι οπτικά διαστρελωμένη. Οι ανωμαλίες αυτές είναι ορατές ακόμη και όταν δεν είναι ορατός κάποιος όγκος.

Η διαταραχή της αρχιτεκτονικής μπορεί να είναι το μόνο σημάδι του καρκίνου του μαστού σε ένα μαστό με υψηλή πυκνότητα. Σε αυτή την περίπτωση, πρέπει να διερευνηθεί το παρέγχυμα για οποιαδήποτε αλλαγή του προσανατολισμού των στοιχείων του ή για τοπικό τράβηγμα του ιστού σε κάποια περιοχή. Ιδιαίτερης προσοχής χρήζουν περιπτώσεις όπως περιοχές με ακτινοσκιερό κέντρο ή εστιακή ασυμμετρία. Η παρουσία μονήρη διατεταμένου πόρου, συνήθως ωφείλεται σε καλοήθη αίτια. Στο σχήμα 7 βλέπουμε μια μαστογραφία που παρουσιάζει διαταραχή της αρχιτεκτονικής.

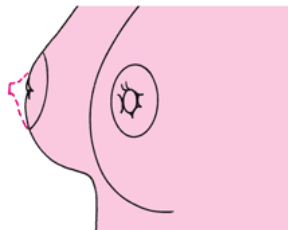


Σχήμα 7 Μαστογραφία που εμφανίζει διαταραχή της αρχιτεκτονικής

Η διαταραχή της αρχιτεκτονικής πρέπει να αξιολογηθεί περαιτέρω εκτός αν πρόκειται για ένα τεκμηριωμένο μετεγχειρητικό σημάδι.

2.2.4 Συνοδά ευρήματα

Σε μικρότερη κλίμακα παρατηρούνται και κάποια άλλα ευρήματα που πιθανόν να αποτελούν ένδειξη καρκίνου του μαστού και ονομάζονται συνοδά ευρήματα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν η εσολκή του δέρματος και της θηλής, η πάχυνση του δέρματος, οι δερματικές εστιακές βλάβες και οι μασχαλιαίοι λεμφαδένες [32]. Στο σχήμα 8, φαίνεται η εσολκή της θηλής.



Σχήμα 8 Εσολκή της θηλής

2.2.5 Ειδικές περιπτώσεις

Εκτός από της προαναφερθείσες αλλοιώσεις του μαστού, υπάρχουν και κάποιες άλλες περιπτώσεις που παρουσιάζονται πιο σπάνια. Αυτές είναι οι εξής:

- Ασύμμετρος μαζικός ιστός
- Τοπική επιπρόσθετη ή ασύμμετρη σκίαση
- Ενδομαζικός λεμφαδένας
- Μονήρης διατεταμένος πόρος χωρίς συνοδό ορώδη, οροαιματηρή ή αιματηρή ρύση θηλής

2.3 Κατηγοριοποίηση μαστογραφικών ευρημάτων κατά BI-RADS και η επικινδυνότητά τους

Η αναφορά και ταξινόμηση των μαστογραφικών ευρημάτων μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Μια πρώτη κατηγοριοποίηση γίνεται σύμφωνα με την ακριβή σύνθεση του στήθους ανάλογα με την πυκνότητά του. Σύμφωνα με αυτόν τον τρόπο ταξινόμησης, υπάρχουν οι εξής τέσσερις κατηγορίες [33]:

- Τύπου 1: λιπώδης μαστός (πυκνότητα ιστού μικρότερη από 10%)
- Τύπου 2: ινοαδένωμα (πυκνότητα ιστού 10-49%)
- Τύπου 3: ανομοιογενής πυκνότητα (πυκνότητα ιστού 49-90%)
- Τύπου 4: πυκνότητα και ανομοιογένεια (πυκνότητα μεγαλύτερη από 90%)

Η ακρίβεια της μαστογραφίας για να ανιχνεύσει τις ύποπτες ανωμαλίες, μειώνεται για τις κατηγορίες τύπου 3 και 4 [34].

Ακολούθως, τα μαστογραφικά ευρήματα πρέπει να περιέχουν και την περιγραφή όλων των καλοηθειών, ύποπτων ανωμαλιών ή κακοηθειών που εμφανίζονται στις μαστογραφίες. Αυτές οι ανωμαλίες κατηγοροποιούνται κατά BI-RADS (Breast Imaging-Reporting and Data System). Το λεξικό BI-RADS αποτελεί ένα εργαλείο που ορίστηκε για να μειώσει τη μεταβλητότητα μεταξύ των ακτινολόγων και χρησιμοποιείται σήμερα ευρέως στις πλείστες χώρες που χρησιμοποιούν τη μαστογραφία ως απεικονιστική μέθοδο για τον καρκίνο του μαστού. Αποτελεί ένα ενδιαφέρον εργαλείο για την εκπαίδευση των νέων ακτινολόγων. Το λεξικό αυτό προέκυψε από τη συνεργασία πολλών ομάδων που ασχολούνται με την υγεία, αλλά δημοσιεύτηκε και κατατέθηκε ως εμπορικό σήμα από το Αμερικάνικο Κολλέγιο Ακτινολογίας (American College of Radiology) [33].

Συνεπώς, τα μαστογραφικά ευρήματα κατατάσσονται στις εξής 7 κατηγορίες κατά BI-RADS:

- Κατηγορία 0 – Ανεπαρκής διερεύνηση: Σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητος ο έλεγχος και με άλλη απεικονιστική μέθοδο.
- Κατηγορία 1 – Αρνητική μαστογραφία: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι μαστογραφίες στις οποίες δεν παρουσιάζεται καμιά ανωμαλία. Συνίσταται επανέλεγχος μετά από 1 χρόνο.
- Κατηγορία 2 – Καλοήθη ευρήματα: Τα ευρήματα αυτά θεωρούνται ως μη καρκινικά, συνίσταται όμως επανέλεγχος μετά από 1 χρόνο.
- Κατηγορία 3 – Πιθανώς καλοήθη ευρήματα: Στην περίπτωση αυτή συνίσταται παρακολούθηση και ακτινολογικός επανέλεγχος μετά από 6 μήνες.

Ως πιθανώς καλοήθη ευρήματα θεωρούνται τα εξής:

- Μικροασβεστώσεις στρογγυλές ή ωοειδείς, συρρέουσες σε χώρο μικρότερο από το τεταρτημόριο του μαστού.
- Ένα ή περισσότερα αψηλάφητα, σαφώς αφοριζόμενα, στρογγυλά, ωοειδή ή ελαφρώς λοβωτά συμπαγή οζίδια.
- Περιοχές διαταραχής της αρχιτεκτονικής χωρίς πυκνό κέντρο, σε θέσεις προηγηθείσας βιοψίας ή χειρουργικής επεμβάσεως.

- Ο μονήρης διατεταμένος πόρος χωρίς συνοδό ορώδη, οροαιματηρή ή αιματηρή ρύση θηλής.
- Αψηλάφητη ασύμμετρη σκίαση, ορατή σε δύο ορθογωνιακές προβολές, χωρίς να σχηματίζεται μάζα ούτε να υπάρχει διαταραχή της αρχιτεκτονικής, με κοίλα προς τα έξω όρια.

Εναλλακτικά, στην κατηγορία αυτή μπορεί να προταθεί βιοψία αντί για παρακολούθηση σε γυναίκες έντονα ανήσυχες, εγκύους ή σε γυναίκες που για άλλους λόγους δεν μπορούν να ανταποκριθούν στο πρωτόκολλο παρακολούθησης (π.χ. διαμένουσες σε απομακρυσμένες περιοχές). Το πρωτόκολλο ακτινολογικής παρακολούθησης περιλαμβάνει: Μαστογραφικό έλεγχο μόνον του μαστού με το εν λόγω εύρημα μετά από 6 μήνες και αμφοτερόπλευρο μαστογραφικό έλεγχο μετά από 12, 24 και 36 μήνες από την αρχική μαστογραφία. Οι περισσότεροι καρκίνοι εκδηλώνονται στο τέλος του πρώτου έτους παρακολούθησης (47,2%), ενώ τα υπόλοιπα ποσοστά είναι: 16,7% για το πρώτο εξάμηνο, 19,4% για την διετία και 5,6% για την τριετία. Η κλινική εξέταση ενδιάμεσα απόκαλύπτει ένα επιπρόσθετο 5,6% μεταξύ 6 και 12 μηνών παρακολούθησης και επίσης ένα 5,6% μεταξύ 12 και 24 μηνών παρακολούθησης. Σταθερότητα των ευρημάτων κατά την παρακολούθηση για μία τριετία, οδηγεί τελικά στην κατάταξή τους στην Κατηγορία 2 (καλοήθη ευρήματα).

- Κατηγορία 4 – Ύποπτα για κακοήθεια ευρήματα: Παρατηρούνται ευρήματα που έχουν υψηλή πιθανότητα να είναι κακοήθη, γι' αυτό συνιστάται βιοψία.
- Κατηγορία 5 – Ενδεικτικά για κακοήθεια ευρήματα: Οι περιπτώσεις αυτές απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση και αντιμετώπιση, γιατί έχουν μεγάλη πιθανότητα να είναι καρκινώματα.
- Κατηγορία 6: Αυτή η κατηγορία προστέθηκε εκ των υστέρων και αφορά στην παρακολούθηση γνωστού καρκίνου είτε για την διατύπωση μιας δεύτερης γνώμης ως προς την θεραπευτική αντιμετώπιση της γνωστής νόσου, είτε για την παρακολούθηση της ανταπόκρισης στην χημειοθεραπεία πριν από το χειρουργείο [33].

Η συχνότητα του καρκινώματος στην Κατηγορία 5 είναι σημαντικά αυξημένη συγκριτικά με την Κατηγορία 4: 81%-97% έναντι 23%-34% [36-37]. Τα ευρήματα με την μεγαλύτερη θετική προγνωστική αξία για καρκίνο είναι:

- Το ανώμαλο σχήμα μιας μάζας και τα ασαφή με ακτινωτές προσεκβολές όριά της.
- Η γραμμοειδής μορφολογία των μικροαποτιτανώσεων σε συνδυασμό με τμηματική ή γραμμική διάταξη αυτών.

Ειδικότερα για την Κατηγορία 4, προτάθηκε πρόσφατα η περαιτέρω διάκρισή της σε 3 υποκατηγορίες ανάλογα με την αναμενόμενη πιθανότητα η βλάβη να αποδειχθεί τελικά όντως κακοήθης:

- Κατηγορία 4A – Χαμηλή πιθανότητα κακοήθειας: Αν το αποτέλεσμα της βιοψίας είναι αρνητικό, συνιστάται μαστογραφικός επανέλεγχος μετά από έξι μήνες.
- Κατηγορία 4B – Ενδιάμεση πιθανότητα κακοήθειας: Αν το αποτέλεσμα της βιοψίας είναι αρνητικό, τότε η επιλογή μεταξύ επανάληψης αυτής και παρακολούθησης

εξαρτάται από την συνεκτίμηση των ακτινολογικών και παθολογοανατομικών ευρημάτων.

- Κατηγορία 4C – Υψηλότερη πιθανότητα κακοήθειας αλλά όχι τόσο αυξημένη όπως στην Κατηγορία 5: Αν το αποτέλεσμα της βιοψίας είναι αρνητικό, αυτή πρέπει να επαναληφθεί.

Συνοψίζοντας, ενώ υφίστανται 7 κατηγορίες κατάταξης των ευρημάτων διατίθενται μόνον 4 τρόποι «αντιμετώπισής» τους [29]:

- Κατηγορία 0: Έλεγχος με άλλες απεικονιστικές μεθόδους
- Κατηγορίες 1 και 2: Ετήσιος μαστογραφικός έλεγχος
- Κατηγορία 3: Παρακολούθηση
- Κατηγορίες 4 και 5: Βιοψία

Η ταξινόμηση των μαστογραφικών ευρημάτων κατά BI-RADS έχει βασικά πλεονεκτήματα όπως:

- Η αύξηση της σαφήνειας της μαστογραφικής έκθεσης.
- Η βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ των διάφορων ιατρικών ειδικοτήτων που ασχολούνται με τις παθήσεις του μαστού.
- Η προώθηση της έρευνας.

2.3.1 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της κατηγοριοποίησης κατά BI-RADS

Το πρώτο πλεονέκτημα είναι ότι η κατηγοριοποίηση των μαστογραφικών ευρημάτων κατά BI-RADS υφίσταται. Ακόμα κι αν δεν αποτελεί την τέλεια μέθοδο, καθορίζει έναν οδηγό ερμηνείας για τις μαστογραφικές εικόνες, λιγότερο σχετικό με την υποκειμενικότητα του ακτινολόγου. Επιτρέπει επίσης μια ομογενοποίηση της γλώσσας μεταξύ των ακτινολόγων, αλλά και μεταξύ των ακτινολόγων και των ιατρών άλλων ειδικοτήτων. Υπάρχουν έτσι λιγότερες παρερμηνείες στις αναφορές που κάνουν για τα μαστογραφικά ευρήματα [37]. Συνεπώς, η ύπαρξη ενός καθορισμένου οδηγού διευκολύνει τη σύγκριση, η οποία είναι χρήσιμη στη μαστογραφία.

Αντιθέτως, η κατηγοριοποίηση κατά BI-RADS εμφανίζει και κάποιους περιορισμούς. Όπως κάθε άλλη μέθοδος ταξινόμησης, έτσι κι αυτή δεν είναι τέλεια. Μερικοί ακτινολόγοι συνηθίζουν να γράφουν τους δικούς τους όρους γιατί είναι επιφυλακτικοί απέναντι στην ακριβή ορολογία που τους έχει επιβληθεί από το λεξικό BI-RADS. Εντούτοις, αυτή η μέθοδος ταξινόμησης παραμένει μια ακτινολογική ταξινόμηση και έτσι δεν υπολογίζει κάποιους κλινικούς ή προγνωστικούς παράγοντες, οι οποίοι θα μπορούσαν να αλλάξουν κατηγορία σε μερικές μαστογραφίες [38]. Τέλος, αυτή η ταξινόμηση παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα παρατηρήσεων για εικόνες που είναι δυσκολότερο να ταξινομηθούν, ειδικά στις κατηγορίες BIRADS 3 και 4 [39-42].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΗΣ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ

Τα τελευταία χρόνια, πολλές ερευνητικές ομάδες έχουν εστιάσει το ενδιαφέρον τους στην ανάπτυξη υπολογιστικών συστημάτων τα οποία είναι σε θέση να αναλύουν διάφορους τύπους ιατρικών εικόνων και να εξάγουν χρήσιμες πληροφορίες για τους ιατρούς. Οι ιατρικές εικόνες προκύπτουν από μια ποικιλία μεθόδων και μηχανημάτων. Έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως πολλές υπολογιστικές διατάξεις για την ανάλυση ιατρικών σημάτων που απεικονίζονται σε μία διάσταση, όπως το Ηλεκτροκαρδιογράφημα (ECG) και το Ηλεκτρομυογράφημα (EMG). Εντούτοις, η πλειοψηφία των ιατρικών σημάτων απεικονίζεται σε δύο διαστάσεις. Για την αυτοποιημένη ανίχνευση των χαρακτηριστικών των ανωμαλιών των εικόνων αυτών, έχουν σχεδιαστεί διάφορα υπολογιστικά συστήματα που έχουν την ικανότητα να εξασφαλίζουν στους ιατρούς χρήσιμα δεδομένα. Τα συστήματα αυτά καλούνται συνήθως υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης ή υπολογιστικοί ταξινομητές (Computer-aided detection/diagnosis system - CAD).

Η διαδικασία ανίχνευσης με τη βοήθεια υπολογιστή δεν παρέχει ιατρική διάγνωση, αλλά ένα υπολογιστικό σύστημα αναπτύσσεται για να αναγνωρίζει παθολογικές ενδείξεις σε μια ιατρική εικόνα, εξάγοντας χαρακτηριστικά που συνδέονται άμεσα με τον τύπο και τα χαρακτηριστικά της ανωμαλίας ή της ασθένειας που ερευνάται. Εάν μια συγκεκριμένη περιοχή σε μια ακτινολογική εικόνα πληρεί τις απαιτήσεις, το υπολογιστικό σύστημα την αναγνωρίζει και δίνει τη δυνατότητα στον ακτινολόγο να την αναθεωρήσει για να βελτιώσει την ακρίβεια της διαδικασίας ανίχνευσης. Στην αντίπερα όχθη, ένα υπολογιστικό σύστημα διάγνωσης, που έχει τα ίδια ή και επιπρόσθετα χαρακτηριστικά γνωρίσματα, είναι σε θέση να αναγνωρίζει και να χαρακτηρίζει τη συγκεκριμένη περιοχή ανάλογα με την παθολογία της.

Ένα υπολογιστικό σύστημα υποβοηθούμενης διάγνωσης (CAD) ορίζεται ως ένας συνδυασμός τεχνικών επεξεργασίας εικόνας και ευφυών μεθόδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση της διακριτικής διαδικασίας, με αποτέλεσμα την αποδοτικότερη διακριτική ικανότητα. Το αποτέλεσμα που δίνει αυτό το υπολογιστικό σύστημα, βοηθάει τον ακτινολόγο να αναλύσει καλύτερα την εικόνα και να κάνει πιο εύκολα τη διάγνωσή του. Επιπρόσθετα, το υπολογιστικό σύστημα αυτό, μπορεί να επιστήσει την προσοχή του ακτινολόγου στην περιοχή όπου η πιθανότητα εμφάνισης της ασθένειας είναι μεγαλύτερη. Ένα υπολογιστικό σύστημα υποβοηθούμενης διάγνωσης παρέχει αναπαραγωγίσιμα και αρκετά ρεαλιστικά αποτελέσματα [43].

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα περιγράψουμε τα υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης και θα παρουσιάσουμε τα πλεονεκτήματά τους έναντι της συμβατικής μαστογραφίας. Ακολούθως, θα αναφέρουμε τις μεθόδους αξιολόγησης της επίδοσης των υπολογιστικών αυτών συστημάτων.

3.1 Περιγραφή υπολογιστικών συστημάτων υποβοηθούμενης διάγνωσης

Οι περισσότερες από τις αυτοματοποιημένες προσεγγίσεις των υπολογιστικών συστημάτων υποβοηθούμενης διάγνωσης περιλαμβάνουν διαδικασίες εξαγωγής χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Παρόλ' αυτά, έχουν περιγραφεί πολλές έρευνες ημιαυτοματοποιημένων προσεγγίσεων, όπου οι ακτινολόγοι εκτελούν με το χέρι τις διαδικασίες εξαγωγής χαρακτηριστικών γνωρισμάτων με τη βοήθεια διάφορων μεθόδων [44]. Τα υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με το σκοπό τους: (α) σ' αυτά που χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση των περιοχών της παθολογίας και (β) σ' αυτά που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των ευρημάτων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, τα οποία υποδηλώνουν την ιστολογία τους.

Ο ρόλος αυτών των υπολογιστικών συστημάτων είναι να βελτιώνουν την ευαισθησία (sensitivity) και την ειδικότητα (specificity) των διαγνωστικών διαδικασιών και όχι για να παίρνουν αποφάσεις για την κατάσταση της υγείας του ασθενούς.

Για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός αυτοματοποιημένου υπολογιστικού συστήματος υποβοηθούμενης διάγνωσης πρέπει να εξεταστούν διάφορα ζητήματα, συμπεριλαμβανομένων της ποιότητας των ψηφιακών εικόνων, της σειράς των βημάτων επεξεργασίας και της μεθοδολογίας της αξιολόγησης. Παλαιότερα, σε διάφορες μελέτες χρησιμοποιούσαν εικόνες αποτυπωμένες πάνω σε ειδικό φιλμ, οι οποίες είχαν προηγουμένως ψηφιοποιηθεί με τη χρήση ψηφιοποιητών υψηλής απόδοσης. Σήμερα όμως, λαμβάνονται άμεσα ψηφιακές ιατρικές εικόνες υψηλής ποιότητας απ' ευθείας από προηγμένα συστήματα απεικόνισης. Τα ιδιάζοντα χαρακτηριστικά των ψηφιοποιητών επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα της εικόνας. Στην περίπτωση των εικόνων που είναι αποτυπωμένες πάνω σε φιλμ, η μέγιστη οπτική πυκνότητα του φιλμ αποτελεί μία κρίσιμη παράμετρο για την ποιότητα της τελικής ψηφιακής εικόνας που θα προκύψει. Σε περιπτώσεις όπου το μέγιστο όριο της οπτικής πυκνότητας του φιλμ είναι περιορισμένο, είναι πιθανό να προκύψει θόρυβος κατά τη ψηφιοποίηση της εικόνας, που θα είναι ιδιαίτερα εμφανής στο φόντο (αέρας) της εικόνας. Η χρησιμοποίηση συστημάτων απεικόνισης πάνω σε φιλμ με υψηλότερες οπτικές πυκνότητες οδηγεί στη μείωση αυτού του θόρυβου που προκύπτει κατά τη ψηφιοποίηση.

3.1.1 Αρχιτεκτονική δομή υπολογιστικών συστημάτων υποβοηθούμενης διάγνωσης

Τα υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης βασίζονται πάνω σε τεχνικές της πληροφορικής, της επεξεργασίας εικόνων και της τεχνητής νοημοσύνης. Τα κύρια στάδια ενός τυπικού υπολογιστικού συστήματος CAD είναι:

- Προεπεξεργασία (preprocessing)
- Κατάτμηση (segmentation)
- Ανάλυση χαρακτηριστικών - εξαγωγή, επιλογή και επικύρωση (feature analysis – extraction, selection, and validation)
- Ταξινόμηση που χρησιμοποιείται για τη μείωση των περιπτώσεων που έχουν κατηγοριοποιηθεί λανθασμένα – «ψευδοθετικές» περιπτώσεις ή για τον

χαρακτηρισμό των ανωμαλιών (Classification utilized either to reduce false positives or to characterize abnormalities).

3.1.1.1 Προεπεξεργασία

Στο παρόν στάδιο, τα λεπτά χαρακτηριστικά γνωρίσματα που μας ενδιαφέρουν ενισχύονται και τα ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά της εικόνας εξασθενούν. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας ενίσχυσης δίνουν μια καλύτερη περιγραφή των χαρακτηριστικών που μας ενδιαφέρουν, βελτιώνοντας κατά συνέπεια την ευαισθησία του συστήματος ανίχνευσης και οδηγώντας σε καλύτερη διακριτική ικανότητα. Στο στάδιο αυτό, ενισχύεται η αντίθεση στην περιοχή ενδιαφέροντος, λειαίνονται τα όρια των ανωμαλιών και καταστέλλεται ο θόρυβος. Πολλές μεθοδολογίες έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία βασισμένες σε τεχνικές της συμβατικής μαστογραφίας, σε αλγόριθμους σε επίπεδο περιοχών (region-based algorithms) και στην αύξηση της αρχικής εικόνας μέσω μετασχηματισμού σε ένα άλλο χώρο χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Μπορεί να επεξεργαστεί ολόκληρη ή ένα μέρος της εικόνας με τη ρύθμιση κάποιων αυξητικών παραμέτρων, για να προσαρμόσουν τα υπολογιστικά συστήματα την ιδιομορφία των διαφορετικών περιοχών της.

Μέθοδοι πολλαπλής διακριτικής ικανότητας (multiresolution) που βασίζονται στην ανάλυση μικρών κυματιδίων (wavelets), έχουν χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση των χαρακτηριστικών των μαστογραφικών εικόνων. Η ανάλυση πολλαπλών κλιμάκων (multiscale) της μαστογραφίας σε διάφορες υποζώνες (subband), δίνει το πλεονέκτημα σε κάθε υποζώνη να εξετάζεται ξεχωριστά με τη χρήση κλιμάκων. Συνεπώς, κάθε υποζώνη παρέχει πληροφορίες βασισμένες σε διαφορετική κλίμακα με αποτέλεσμα την αναπαράσταση των στοιχείων υψηλής ή χαμηλής συχνότητας σε ξεχωριστές εικόνες. Έτσι, ο θόρυβος ή οι συνιστώσες της εικόνας το ίδιου τύπου απεικονίζονται με υψηλή ανάλυση (μικρή κλίμακα), ενώ λεπτά στοιχεία με καθορισμένο μέγεθος ή οι μεγάλες μάζες απεικονίζονται με μέση ή χαμηλή ανάλυση (μεσαία ή χονδροειδής κλίμακα) αντίστοιχα. Ως εκ τούτου, τα σημαντικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα της εικόνας μπορούν να ενισχυθούν επιλεκτικά ή να υποβιβαστούν στα διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης. Επιπλέον, έχουν αναφερθεί προσαρμοστικές προσεγγίσεις στις τεχνικές αυξήσεων μικρών κυματιδίων, που εξασφαλίζουν την αποφυγή της χρησιμοποίησης των καθολικών παραμέτρων.

Επίσης, για την ενίσχυση της αντίθεσης των μικροαποτιτανώσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές ασαφούς λογικής (fuzzy-logic techniques). Τέλος, για την ενίσχυση των μαστογραφιών έχουν χρησιμοποιηθεί μέθοδοι βασισμένοι σε ντετερμινιστική κλασματική γεωμετρία.

3.1.1.2 Κατάτμηση

Στο στάδιο αυτό, η μαστογραφία διαχωρίζεται σε ξεχωριστά κομμάτια, με το καθένα να έχει παρόμοιες ιδιότητες. Το φόντο της εικόνας, η περιοχή του ιστού και ο μυς ή άλλες περιοχές μπορούν να διαχωριστούν επειδή μπορούν να χαρακτηριστούν από γενικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Επιπρόσθετα, πέρα από τη γενική κατηγοριοποίηση των

περιοχών της εικόνας, η διαδικασία κατάτμησης ενός συστήματος CAD μπορεί να αναγνωρίσει περιοχές που περιέχουν μικρές φωτεινές βούλες που εμφανίζονται σε ομάδες και που αντιστοιχούν σε πιθανές μικροαποτιτανώσεις και τις συστάδες τους. Η πολυπλοκότητα της διαδικασίας κατάτμησης εξαρτάται από την αρχική μαστογραφία και τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που πρέπει να ανιχνευθούν. Μια μαστογραφική εικόνα περιέχει πολλές περιοχές που έχουν διαφορετικούς συντελεστές εξασθένησης και διαφορετικές οπτικές πυκνότητες, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται διαφορετικές εντάσεις. Επιπλέον, λόγω του ότι η μαστογραφία είναι μια απεικόνιση στις δύο διαστάσεις ενός αντικειμένου τριών διαστάσεων, οι αλληλοεπικαλυπτόμενες περιοχές αναπτύσσουν ένα σύνθετο μωσαϊκό που αποτελείται από φωτεινές περιοχές και ενδέχεται να είναι ή να μην είναι ένα πραγματικό αντικείμενο. Συνεπώς, η υλοποίηση ενός και μόνο καθολικού καταωφλίου ή μιας ομάδας από προκαθορισμένα κατώφλια που καθορίζουν το φάσμα της έντασης δεν είναι μια αποτελεσματική διαδικασία. Ακόμη, η υλοποίηση ενός καθολικού καταωφλίου έντασης συνήθως αυξάνει τον αριθμό ή το μέγεθος της επιλεγμένης περιοχής εισάγοντας θόρυβο, γεγονός που καθιστά την όλη διαδικασία αναποτελεσματική, επειδή για την απομάκρυνση του θορύβου απαιτείται επιπλέον διεργασία. Σε κάθε περίπτωση πάντως, όταν επιτευχθεί μια πρώτη κατάτμηση, οι τεχνικές αυξανόμενης περιοχής (region-growing techniques) εφαρμόζουν εξειδικευμένα κριτήρια ομογενοποίησης και διαφοροποίησης για τον καθορισμό του πραγματικού μέγεθους και των αυστηρών ορίων της περιοχής κατάτμησης.

3.1.1.3 Ανάλυση χαρακτηριστικών

Διάφορα χαρακτηριστικά γνωρίσματα μπορούν να εξαχθούν για την ανάλυση των χαρακτηριστικών που κάνει ένα υπολογιστικό σύστημα υποβοηθούμενης διάγνωσης. Ένα αρχικό πρόβλημα είναι η επιλογή ενός αποτελεσματικού χαρακτηριστικού γνωρίσματος που έχει την ικανότητα να παρέχει ικανοποιητική περιγραφή της περιοχής που έχει κατατμηθεί. Οι αρχικές έρευνες χρησιμοποιούν χαρακτηριστικά γνωρίσματα όμοια με αυτά που χρησιμοποιούν οι ακτινολόγοι κατά τη διάρκεια της διάγνωσης τους. Παρόλ' αυτά όμως, υπάρχουν κι άλλα γνωρίσματα που παρέχουν σ' ένα υπολογιστικό ταξινομητή υψηλή διακριτική ικανότητα.

Στον πίνακα 3, παρουσιάζεται μια λίστα από τυπικά μορφολογικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα ξεχωριστών μικροαποτιτανώσεων και των συστάδων τους [45]. Όπου SD (standard deviation) τυπική απόκλιση.

Πίνακας 4 Λίστα τυπικών μορφολογικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων ξεχωριστών μικροαποτιτανώσεων και των συστάδων τους

Microcalcification (MC) Cluster Classification Features	Radiologists' Characterization Features
Number of MCs in cluster	Cluster elements (seperable/countable)
Cluster area	Cluster size
Mean MC area	MC size
SD of MC area	Shape of elements within cluster
Mean MC compactness	Shape of elements within cluster
Mean MC elongation	Shape of elements within cluster
SD of MC elongation	Shape of elements within cluster
SD of MC intensity	Density of calcifications
SD of MC background intensity	Density of calcifications
Mean contrast	Contrast of calcifications
Cluster eccentricity	Shape of cluster
Mean distance from cluster centroid	Calcification distribution
Neighboring with a larger cluster	Cluster distribution
Cluster entropy	Calcification distribution
Spreading of MCs in cluster	Calcification distribution
Cluster elongation	Cluster shape
Mean local MC background	Density of calcifications
Mean MC intensity	Density of calcifications
SD of MC compactness	Shape of elements within cluster
SD of distances from cluster centroid	Calcification distribution
Area of the cluster convex hull	Shape of cluster
Length of the cluster convex hull	Shape of cluster

Η χρήση μεγάλου αριθμού χαρακτηριστικών γνωρισμάτων δεν βελτιώνει την απόδοση της ταξινόμησης. Μάλιστα, η χρήση χαρακτηριστικών γνωρισμάτων χωρίς διακριτική δύναμη, αυξάνει την πολυπλοκότητα της διαδικασίας ταξινόμησης. Επιπρόσθετα, η πιθανότητα για λανθασμένη ταξινόμηση αυξάνεται όταν ο αριθμός των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων είναι πολύ μεγάλος. Πέραν αυτού, η μεταβλητότητα πρόβλεψης είναι μεγαλύτερη και ο ταξινομητής είναι ευαίσθητος σε παρεκτρεπόμενες τιμές (outliers). Τελικά, όσο περισσότερα είναι τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που περιλαμβάνονται σε έναν δεδομένο ταξινομητή, τόσο μεγαλύτερη είναι και η διάσταση ενός συνόλου εκπαίδευσης που απαιτείται για να παρέχει τον ίδιο βαθμό αξιοπιστίας [45].

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα ενός υπολογιστικού συστήματος υποβοηθούμενης διάγνωσης της μαστογραφίας, είναι η επιλογή ενός σταθερού συνόλου χαρακτηριστικών γνωρισμάτων καθώς και η μέθοδος ταξινόμησης που θα χρησιμοποιηθεί για να εξάγει περιοχές παθολογικού ενδιαφέροντος με το λιγότερο δυνατό αριθμό λανθασμένων εκτιμήσεων – «ψευδοθετικών» (false positives). Συνήθως, το κριτήριο για την επιλογή ενός αποτελεσματικού υποσυνόλου χαρακτηριστικών γνωρισμάτων είναι η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας για λανθασμένη ταξινόμηση (classification error). Εντούτοις, για τον έλεγχο ενός υποσυνόλου, πρέπει να επιλεγεί ένας ταξινομητής. Είναι σημαντικό να λάβουμε υπόψη μας ότι διαφορετικοί ταξινομητές και διαφορετικές μέθοδοι

για την εκτίμηση του λάθους, οδηγούν σε διαφορετικό υποσύνολο χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Η επιλογή των κατάλληλων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων βασίζεται σε παράγοντες που έχουν κάποια βαρύτητα και προτάθηκαν από τους ακτινολόγους ή σε αλγοριθμικές διαδικασίες που προσδιορίζουν τα πιο διακρίνοντα χαρακτηριστικά γνωρίσματα.

Ο χώρος των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων ενδέχεται να είναι ένας μεταβλητός χώρος, που έχει μικρότερη διάσταση απ' τον αρχικό, παρόλο που η διακριτική του δύναμη είναι μεγαλύτερη. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μέθοδο ανάλυσης κύριων τμημάτων (principal component analysis – PCA), που βασίζεται στην εξάλειψη χαρακτηριστικών γνωρισμάτων που συμβάλουν λιγότερο στην διακριτική δύναμη.

Εναλλακτικά, τα πιο διακρίνοντα χαρακτηριστικά γνωρίσματα μπορούν να επιλεγούν, μειώνοντας το σύνολο των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Αρκετές μέθοδοι έχουν προταθεί, όπως:

- Σταδιακή διακρίνουσα ανάλυση
- Διαδοχική εμπρόσθια επιλογή (Sequential Forward Selection) ή Διαδοχική οπισθοδρομική επιλογή (Sequential Backward Selection)
- Γενετικοί αλγόριθμοι (Genetic algorithms)

Η σταδιακή διακρίνουσα ανάλυση βασίζεται στην διαδοχική δοκιμή διαφορετικών υποσυνόλων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Ως πιο κατάλληλη επιλέγετε η ανάλυση της οποίας τα αποτελέσματα έχουν το μικρότερο ποσοστό σφάλματος. Η διαδοχική εμπρόσθια επιλογή είναι μια αυξητική διαδικασία αναζήτησης, όπου ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα προστίθεται κάθε φορά στο σύνολο των γνωρισμάτων. Σε κάθε στάδιο, το χαρακτηριστικό γνώρισμα που λαμβάνεται για να συμπεριληφθεί στο σύνολο των γνωρισμάτων, επιλέγεται από τα υπολειπόμενα χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Οι γενετικοί αλγόριθμοι έχουν χρησιμοποιηθεί για την επιλογή χαρακτηριστικών γνωρισμάτων για να βελτιώσουν την απόδοση του ταξινομητή (για εντοπισμό κακοήθους ή καλοήθους μάζας). Με τον ίδιο τρόπο, έχουν χρησιμοποιηθεί γενετικοί αλγόριθμοι για τη βελτιστοποίηση του συνόλου των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων για την κατηγοριοποίηση των μικροαποτιτανώσεων [43].

3.1.1.4 Ταξινόμηση

Η διάγνωση αποτελεί μια ολοκληρωμένη ιατρική διαδικασία η οποία αναγνωρίζει την παρουσία μιας ασθένειας από τις ενδείξεις της ή τα συμπτώματά της. Κατά τη διάρκεια της όλης διαδικασίας, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις διαφορικής διάγνωσης, είναι φανερό ότι υπάρχουν πολλαπλά διλήμματα για την απόρριψη ή την αποδοχή των πιθανών ασθενειών. Έτσι, ένα σύστημα ταξινόμησης είναι απαραίτητο στοιχείο ενός υπολογιστικού συστήματος υποβοηθούμενης διάγνωσης. Τα μοντέλα ταξινόμησης περιέχουν τεχνικές που ταξινομούν τις κακώσεις σύμφωνα με τους διαφορετικούς τύπους τους (αστροειδείς, περιεγχεραμμένες μάζες, ή αποτιτανώσεις) μέχρι τεχνικές που παράγουν δυαδική διάγνωση, που χαρακτηρίζουν τα ευρήματα ως κακοήθειες ή καλοήθειες.

Οι ταξινομητές που αξιοποιούνται στην περιοχή όπου έχουν ανιχνευθεί μικροαποτιτανώσεις, είναι εκείνοι που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες ιατρικές διαδικασίες ανάλυσης. Θα μπορούσαν να χωριστούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Συμβατικοί ταξινομητές (Conventional classifiers)
- Δίκτυα τεχνητής νοημοσύνης (Artificial neural networks)
- Συστήματα ασαφούς λογικής (Fuzzy-logic systems)
- Μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (Support-vector machines) [46]

Οι συμβατικοί ταξινομητές χωρίζονται επίσης στις εξής υποκατηγορίες:

- Συστήματα κανόνων (δέντρα αποφάσεων) – Rule-Based Systems (Decision Trees)
- Γραμμικοί και τετραγωνικοί ταξινομητές (Στατιστικοί) – Bayesian Quadratic and Linear Classifiers (Statistical)
- Μη παραμετρικοί - Nonparametric

3.2 Υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης στη μαστογραφία

Η μαστογραφία είναι ένα από τα πεδία της ακτινολογίας, όπου τα υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης έχουν ευρεία χρήση, επειδή η ζήτηση για την ακριβή και αποδοτική διάγνωση είναι υψηλή. Η παρουσία ανωμαλιών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, πιθανόν να υποδεικνύει την ύπαρξη ή τη μελλοντική ύπαρξη καρκινωμάτων. Η έγκαιρη διάγνωσή τους βελτιώνει την πρόγνωση της ασθένειας και συμβάnei στη μείωση της θνησιμότητας, όπως αναφέραμε και στο πρώτο κεφάλαιο.

Εντούτοις, η διαγνωστική διαδικασία περιπλέκεται με την υπέρθεση της ανατομικής δομής, των πολλαπλών ιστών, τον χαμηλό σηματοθορυβικό λόγο και τις παραλλαγές της παθολογίας. Συνεπώς, η ανάλυση των ιατρικών εικόνων είναι μια περιπεπλεγμένη διαδικασία και κάποιες παθολογικές ενδείξεις όπως οι μικρές ή χαμηλής αντίθεσης αποτιτανώσεις που πιθανόν να μην αναγνωρίζονται ή να ερμηνεύονται λάθος από τους ακτινολόγους. Από την άλλη πλευρά, οι κλινικές εφαρμογές απαιτούν επεξεργασία πραγματικού χρόνου και ακρίβεια στη διάγνωση. Σύμφωνα με αυτά τα υψηλά επίπεδα διαγνωστικής απόδοσης, έχουν σχεδιαστεί και αναπτυχθεί πολλά ευφυή συστήματα που αποτελούν αξιόπιστα αυτοματοποιημένα υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης (CAD).

Πριν κάνουν την εμφάνισή τους τα υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης (CAD), για την αξιόπιστη ερμηνεία των μαστογραφιών και τη μείωση του «ψευδοαρνητικού» (false negative) ποσοστού, ήταν απαιτούμενη η διπλή ανάγνωσή τους. Στη βιβλιογραφία [52,53] έχουν περιγραφεί πολλές μέθοδοι διπλής ανάγνωσης. Κάποιες σχεδιάστηκαν απλώς για την αύξηση της ανίχνευσης των ανωμαλιών, ενώ κάποιες άλλες συνδυάζαν και την προσπάθεια ρύθμισης του ποσοστού επανάληψης των μαστογραφιών. Οι ερευνητές αυτών των προαναφερθέντων μεθόδων [54] παρατήρησαν αύξηση στο ποσοστό ανίχνευσης του καρκίνου τουλάχιστον 15%, αλλά η πρακτικότητα και το κόστος αυτών των μεθόδων αποτελούν θέματα προς συζήτηση. Παρολ' αυτά, η διπλή ανάγνωση δεν υποστηρίζεται ως διαγνωστικό εργαλείο, επειδή χρειάζεται πολλούς πόρους. Κατά συνέπεια, απαιτούνται βελτιωμένες μέθοδοι για να βοηθήσουν τους ακτινολόγους στην

ερμηνεία της μαστογραφίας, γεγονός που οδήγησε στην ανάπτυξη των υπολογιστικών συστημάτων υποβοηθούμενης διάγνωσης.

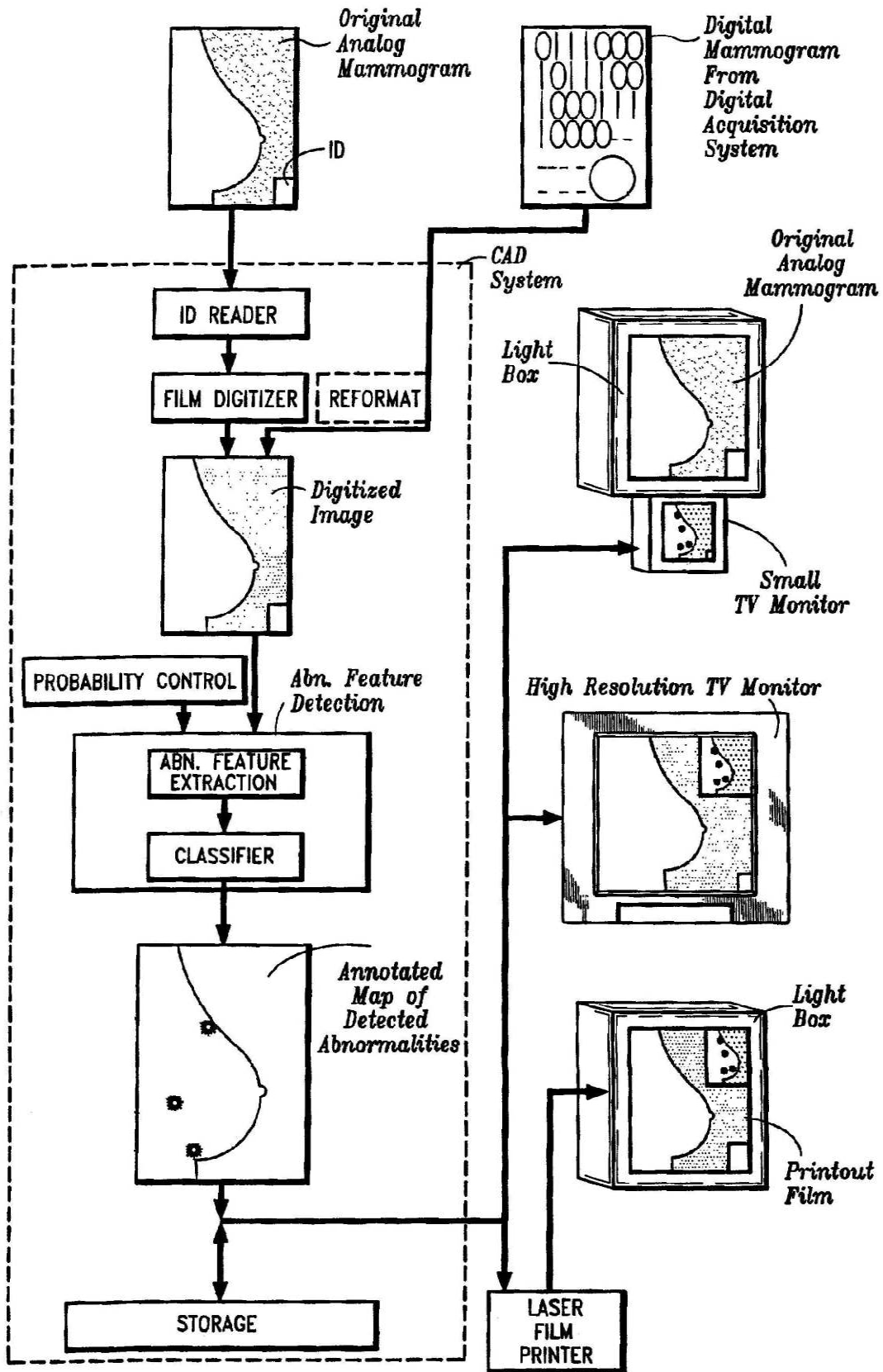
Η υποβοηθούμενη διάγνωση που παρέχει ένα υπολογιστικό σύστημα, έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει σημαντικά την απεικονιστική μαστογραφία. Ένα υπολογιστικό σύστημα μπορεί να βελτιώσει την ευαισθησία (sensitivity) της μαστογραφίας, καθορίζοντας τις καρκινικές της περιοχές [47,48]. Είναι όμως σημαντικό να αξιολογηθεί η απόδοση του συστήματος με μεταβλητές που συσχετίζονται με την πιθανότητα ότι ένας όγκος δε θα ληφθεί υπόψη κατά τη διάρκεια της μαστογραφικής ερμηνείας. Επιπλέον, όταν οι ερευνητές αξιολογήσουν την απόδοση του συστήματος με μεταβλητές που επηρεάζουν την πρόγνωση του ασθενούς, καθορίζουν την κλινική χρησιμότητα του υπολογιστικού συστήματος στην ενίσχυση της ευαισθησίας της μαστογραφίας.

Παρατηρώντας τα μαστογραφικά ευρήματα, ένας ακτινολόγος μπορεί να αγνοήσει μια ανωμαλία, που μπορεί να επηρεάσει την πρόγνωση μιας ασθενούς. Συγκεκριμένα, λεπτές μάζες και επιθητικά λοβιακά (lobular) καρκινώματα δύναται να αγνοηθούν. Τα επίπεδα απόδοσης των ακτινολόγων που διαβάζουν και ερμηνεύουν τις μαστογραφίες, ποικίλει ευρέως. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που πιθανόν να επηρεάζουν αυτή τη μεταβλητότητα. Μερικοί από αυτούς τους είναι η χαμηλή επίδραση του καρκίνου στους ιστούς μαστού, η δυσκολία προσδιορισμού των ύποπτων περιοχών που ενδεχομένως να είναι καλοήθειες στον περιβάλλοντα ιστό του στήθους και η κουραστική και επαναλαμβανόμενη διαδικασία ερμηνείας των μαστογραφιών [49-51].

Τα πορίσματα πολλών ερευνών που μελετούν την έγκαιρη διάγνωση του καρκίνου του μαστού με τη βοήθεια υπολογιστικών συστημάτων, δείχνουν τη δυνατότητα των συστημάτων αυτών να ανιχνεύουν τις μαστογραφικές ενδείξεις του καρκίνου και να μειώνουν το «ψευδοαρνητικό» (false negative) ποσοστό από 50%-70%. Ο Warren Burhenne και οι συνεργάτες του [47], με τη χρήση ενός υπολογιστικού συστήματος, ανέφεραν ότι ο συγκεκριμένος αυτός ταξινομητής αναγνώρισε με επιτυχία το 77% των «ψευδοαρνητικών» των ευρημάτων που είχαν αγνοηθεί σε προγενέστερες μαστογραφίες. Η χρήση του υπολογιστικού συστήματος υποβοηθούμενης διάγνωσης στην ερμηνευτική διαδικασία της μαστογραφίας, εύλογα εντείνει την ανησυχία ότι μπορεί να παρατηρηθεί αύξηση στο ποσοστό επανάληψης της μαστογραφίας από κάποιους ασθενείς και συνεπώς να αυξηθεί παράλληλα και ο αριθμός των βιοψιών [54].

Στην πράξη, το υπολογιστικό σύστημα υποβοηθούμενης διάγνωσης βοηθά τον ακτινολόγο να ανιχνεύσει τις εν δυνάμει ανησυχητικές περιοχές στις μαστογραφίες, αφότου αυτός έχει ήδη κάνει μια αρχική εξέταση [48,55,56]. Το υπολογιστικό αυτό σύστημα, επεξεργάζεται τις εικόνες και χρησιμοποιεί αλγόριθμους για να ανιχνεύσει τις πιθανές ανησυχητικές περιοχές. Εντοπίζει και τονίζει τις ενδεχομένως ύποπτες περιοχές όπως είναι οι μάζες, οι αποτιτανώσεις, οι αρχιτεκτονικές διαστρεβλώσεις και οι ασύμμετρες πυκνότητες. Με τις πληροφορίες που παρέχει το υπολογιστικό σύστημα, ο ακτινολόγος αποφασίζει εάν οι πραγματικές ανησυχητικές περιοχές είναι ή όχι παρούσες στις θέσεις που έδωσε το σύστημα. Η τελική διάγνωση αποτελεί προσόν του ακτινολόγου και όχι του υπολογιστικού συστήματος. Επομένως, ένα υπολογιστικό σύστημα υποβοηθούμενης διάγνωσης μπορεί να αντιμετωπισθεί ως ένας δεύτερος αναγνώστης που βοηθά τον ακτινολόγο να επιβεβαιώσει την παρουσία ύποπτων περιοχών ή να προσδιορίσει τις περιοχές αυτές που σε άλλη περίπτωση θα είχαν αγνοηθεί.

Στο σχηματικό διάγραμμα 9 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η διαδικασία υποβοηθούμενης διάγνωσης στη μαστογραφία [57].



Σχήμα 9 Διαδικασία υποβοηθούμενης διάγνωσης στη μαστογραφία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΗΣ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΙΠΠΟΚΡΑΤΗΣ-ΜΣΤ

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο, η οπτική εξέταση της μαστογραφικής απεικόνισης από έναν ακτινολόγο, για τον εντοπισμό και την ταξινόμηση μικροασβεστώσεων, παρεμποδίζεται από διάφορους παράγοντες. Για την υποστήριξη και την βελτίωση της διαγνωστικής διαδικασίας, αναπτύσσονται και παρέχονται ψηφιακά (computer based) εργαλεία και μέθοδοι ανάλυσης και διαγνωστικής κατηγοριοποίησης των μαστογραφικών απεικονίσεων. Ένα τέτοιο σύστημα ονομάζεται υπολογιστικό σύστημα υποβοηθούμενης διάγνωσης και μπορεί να αντιμετωπισθεί ως ένας δεύτερος αναγνώστης που βοηθά τον ακτινολόγο να επιβεβαιώσει την παρουσία ύποπτων περιοχών ή να προσδιορίσει τις περιοχές αυτές που σε άλλη περίπτωση θα είχαν αγνοηθεί. Το σύστημα παρέχει με αυτό τον τρόπο τη δυνατότητα στον ακτινολόγο να αυξήσει τη διαγνωστική του ικανότητα και ελαχιστοποιήσει τον αριθμό των λανθασμένων διαγνώσεων.

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούμε στο σύστημα υποβοηθούμενης διάγνωσης «Ιπποκράτης-Μαστού» που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Πληροφορικής της Ακαδημίας Αθηνών και έχει επιδείξει πολύ καλή συμπεριφορά τόσο σε εργαστηριακές δοκιμές όσο και κατά τη διάρκεια της πιλοτικής του αξιολόγησης στη Μονάδα Μαστού του Ιπποκρατείου Νοσοκομείου Αθηνών.

4.1 Γενικά χαρακτηριστικά διαγνωστικού συστήματος «Ιπποκράτης-μστ»

Το ψηφιακό διαγνωστικό σύστημα πρώιμης ανίχνευσης και ανάλυσης μικροαποτιτανώσεων του μαστού, με την ονομασία «Ιπποκράτης – μστ», αποσκοπεί στην βελτιωμένη πληθυσμιακή διαγνωστική παρακολούθηση (monitoring) των γυναικών. Ενισχύει την διαγνωστική διαδικασία προσφέροντας ψηφιακά εργαλεία παρατήρησης και επεξεργασίας της μαστογραφίας, ενώ παράλληλα επιτρέπει την βηματική αξιολόγηση της επικινδυνότητας των υπόπτων μικροαποτιτανώσεων. Ιδιαίτερως σημαντική είναι η παρεχόμενη δυνατότητα αξιοποίησης της τυχούσας εμπειρογνομosύνης, στην έκταση που υπάρχει, του χρήστη, ιδιαίτερως σχετικά με την τοποθεσία και την κατεύθυνση της ομάδας των ύποπτων μικροαποτιτανώσεων. Επιτρέπει επίσης, την προσμέτρηση και τον συμψηφισμό σημαντικών πληροφοριών σχετικά με την ηλικία, το οικογενειακό ιατρικό ιστορικό της ασθενούς και τυχούσες κλινικές ή εργαστηριακές εξετάσεις της ασθενούς. Ακόμη, προσφέρει την δυνατότητα ημερολογιακής καταγραφής και αποθήκευσης των σημαδεμένων μαστογραφιών μαζί με τις διαγνωστικές παρατηρήσεις του ιατρού, έτσι ώστε, σε κάθε διαγνωστική εξέταση, να δύναται ο εξεταστής-ιατρός να ανατρέξει στις προηγούμενες διαγνωστικές εξετάσεις, να οδηγηθεί στην αναζήτηση υπόπτων περιοχών του μαστού, και να συνυπολογίσει τα χρονικά αναπτυσσόμενα ευρήματα. Ολόκληρο το

διαγνωστικό αρχείο των προηγούμενων εξετάσεων της ασθενούς εγγράφεται σε οπτικό δίσκο (CD) και παραδίδεται στην εκάστοτε εξεταζόμενη γυναίκα για μελλοντική χρήση.

4.2 Υλική υποδομή του «Ιπποκράτη-μστ»

Ο σταθμός εργασίας του συστήματος «Ιπποκράτης-μστ» αποτελείται από ένα συμβατικό σύγχρονο υπολογιστή και εκτυπωτή, συνοδευόμενα από έναν καλής ποιότητας ψηφιοποιητή (scanner) μαστογραφικών απεικονίσεων. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής διαθέτει ικανοποιητική μνήμη, δύναμη επεξεργασίας και δυνατότητα αποθήκευσης για το χειρισμό εικόνων υψηλής ανάλυσης (Συστήνεται: τουλάχιστον 512 MB RAM, Pentium IV 2GHz, 80GB σκληρός δίσκος με 7200 περιστροφές/λεπτό). Διαθέτει επίσης, σύστημα καταγραφής δεδομένων σε φορητό οπτικό δίσκο (CD recorder) και συνδέεται με κατάλληλη οθόνη. Ο ψηφιοποιητής (scanner) μαστογραφικών απεικονίσεων πρέπει να έχει οπτική ανάλυση, τουλάχιστον 300 dpi (Συστήνεται: 600 dpi), πλατύ εύρος οπτικής πυκνότητας (Συστήνεται: 0.0 έως 3.5 O.D.), τουλάχιστον 12-bit έξοδο, να παρέχει γρήγορη σάρωση (Συστήνεται: τουλάχιστον 100 γραμμές/δεπτερόλεπτο) και τέλος να έχει ελάχιστη περιοχή σάρωσης μεγαλύτερη από 18 εκατοστά x 24 εκατοστά [58]. Όπως είναι προφανές, ένας τέτοιος επιτραπέζιος ή φορητός διαγνωστικός σταθμός θα μπορούσε να εγκατασταθεί με ευκολία και με σχετικά χαμηλό κόστος σε οποιοδήποτε ιατρείο, κλινική, νοσοκομείο, ή περιφερειακό ιατρικό κέντρο. Ο σταθμός εργασίας του «Ιπποκράτη-μστ» φαίνεται στο σχήμα 10 που ακολουθεί.



Σχήμα 10 Σταθμός εργασίας του «Ιπποκράτη-μστ»

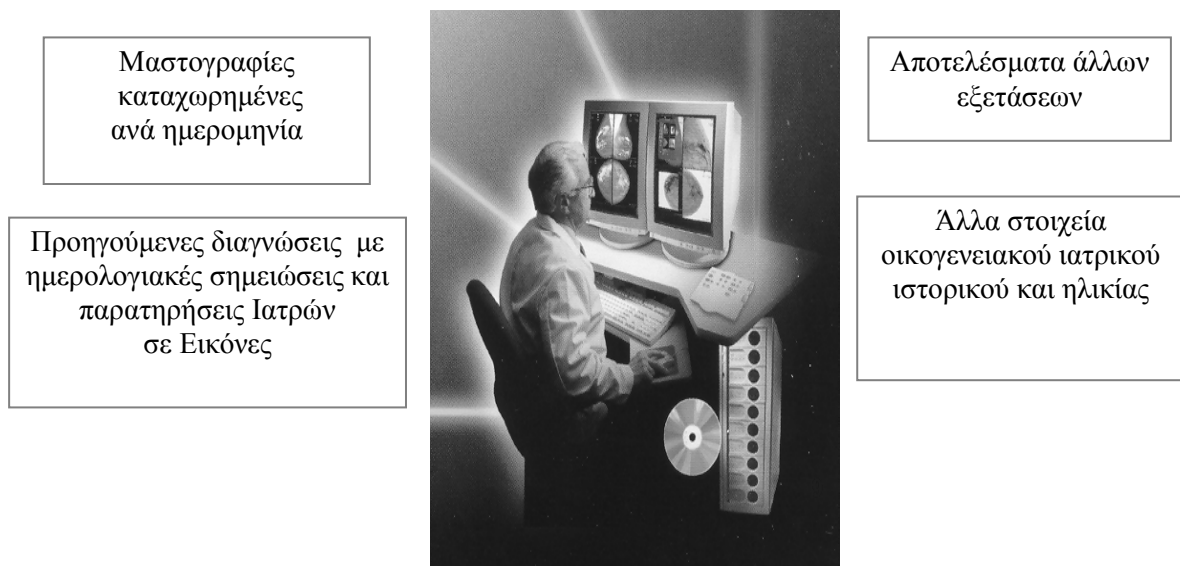
4.3 Λειτουργίες του «Ιπποκράτη-μστ»

Το «Ιπποκράτης – μστ» αποτελεί ένα ψηφιακό λογισμικό, χαμηλού κόστους, φιλικό προς τον χρήστη και σχεδιασμένο για να βοηθήσει τον ιατρό στην βελτίωση της

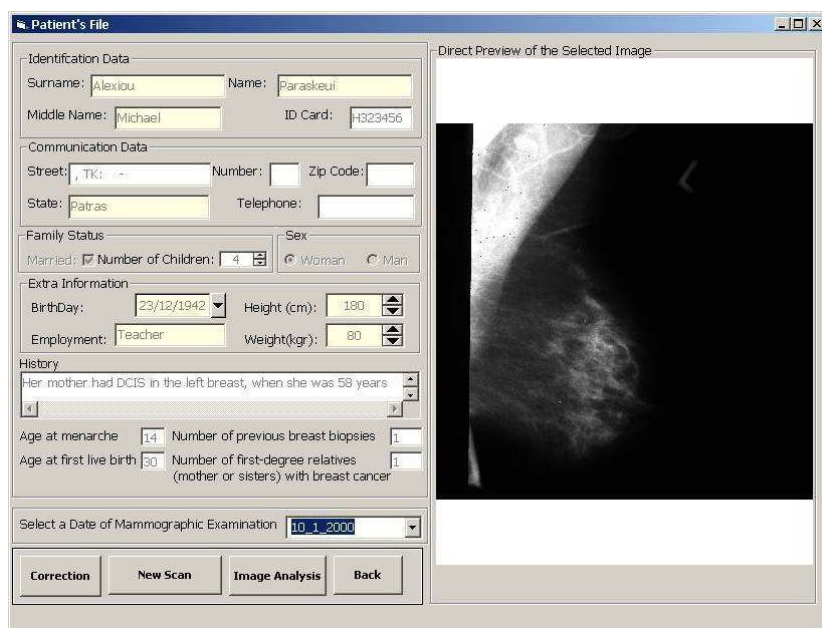
διαγνωστικής του απόδοσης. Χρησιμοποιεί υπολογιστική ψηφιακή ανάλυση της μαστογραφικής απεικόνισης και στοχεύει στην πρόωμη διάγνωση καρκινικών συμπλεγμάτων μικροαποτιτανώσεων. Οι λειτουργίες που παρέχει, περιγράφονται αναλυτικά στις παραγράφους που ακολουθούν.

4.3.1 Ημερολογιακή αρχειοθέτηση και παρακολούθηση της ασθενούς

Μέσω κατάλληλης ψηφιακής αρχειοθέτησης στον υπολογιστή του διαγνωστικού κέντρου και στον φορητό οπτικό δίσκο (CD), η ασθενής είναι σε θέση να έχει ολόκληρο το διαγνωστικό ιστορικό της εύκολα διαθέσιμο σε κάθε νέα της εξέταση. Στο διαγνωστικό αρχείο της ασθενούς, ο ιατρός έχει άμεσα στην διάθεσή του όλες τις προηγούμενες μαστογραφίες της ασθενούς, καταχωρημένες ανά ημερομηνία εξέτασης. Συνεπώς, είναι σε θέση να ενημερωθεί για τις διαγνωστικές σημειώσεις, τις επισημάνσεις και τα μαρκαρίσματα πάνω στις εικόνες των προηγούμενων ιατρών, έτσι ώστε να δύναται να συνυπολογίσει τις προηγούμενες διαγνωστικές πληροφορίες με την δική του διάγνωση. Στα σχήματα 11 και 12 φαίνονται η ψηφιακή αρχειοθέτηση και το ψηφιακό αρχείο της ασθενούς αντίστοιχα.



Σχήμα 11 Ψηφιακή αρχειοθέτηση του «Ιπποκράτη-μστ»



Σχήμα 12 Ψηφιακό αρχείο ασθενούς

4.3.2 Ψηφιακά εργαλεία παρατήρησης για τη διευκόλυνση του ιατρού

Για την διευκόλυνση της διαγνωστικής διαδικασίας και την βελτίωση της διαγνωστικής απόδοσης, ο ιατρός δύναται να εξετάσει τη μαστογραφία χρησιμοποιώντας ψηφιακά εργαλεία επεξεργασίας και ανάλυσης, τα οποία του παρέχει το σύστημα του «Ιπποκράτη – μστ». Τα εργαλεία επεξεργασίας της εικόνας, με κυρίαρχο στοιχείο τον «ψηφιακό φακό», μπορούν να εφαρμοστούν είτε σε ολόκληρη την εικόνα, ή σε επιλεγμένη περιοχή ενδιαφέροντος. Τα άλλα διαθέσιμα εργαλεία περιλαμβάνουν συνήθη μέσα επεξεργασίας και χειρισμού της εικόνας, όπως είναι η ισοστάθμιση του ιστογράμματος, η εξομάλυνση και ανάδειξη των ακμών, η μεγέθυνση της εικόνας και η αλλαγή της φωτεινότητας και της οπτικής αντίθεσης. Σε αυτά προστίθενται και ειδικά λογισμικά εργαλεία εντοπισμού και ανάδειξης των μικροασβεστάσεων. Ο εντοπισμός και η ανάδειξη των μικροασβεστάσεων γίνεται μέσω ενός αλγορίθμου βασισμένου σε τρεις επεξεργασίες των δεδομένων της εικόνας:

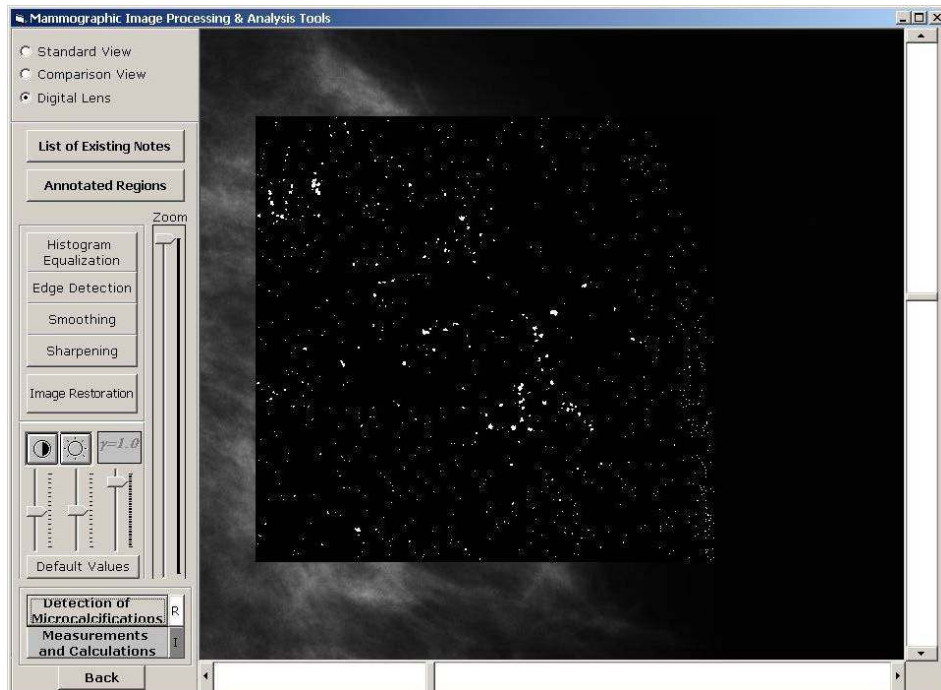
- (α) την εφαρμογή Υψίσυχνου Φίλτρου (High – Pass Filtering)
- (β) την Κανονικοποίηση των Διακυμάνσεων (Variance Normalization)
- (γ) την εφαρμογή Προσαρμοστικού Φίλτρου (Adaptive Filtering)

Παρόμοιες τεχνικές ανάδειξης έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία στην επεξεργασία ιατρικών, αλλά και αστρονομικών απεικονίσεων [59,60].

Με τα εργαλεία αυτά ενδυναμώνεται η οπτική εξέταση περιοχών της μαστογραφίας που είναι ιδιαίτερα φωτεινές ή ιδιαίτερα σκοτεινές, όπως συμβαίνει στην περιφέρεια του μαστού.

Με τη χρήση του «ψηφιακού φακού», ο ιατρός επιλέγει μια ορθογώνια περιοχή της μαστογραφίας, η οποία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Χρησιμοποιώντας τα εργαλεία εντοπισμού και ανάδειξης των μικροαποτιτανώσεων, επιτυγχάνει εκτενέστερο και

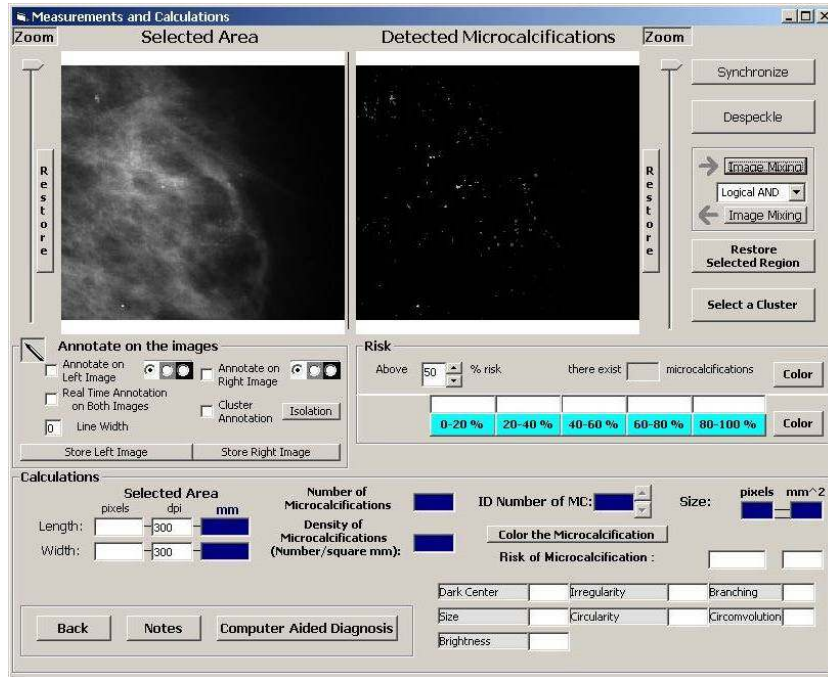
λεπτομερέστερο έλεγχο και αξιολόγηση της ύποπτης περιοχής. Το εργαλείο αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 13.



Σχήμα 13 Ψηφιακός φακός του «Ιπποκράτη-μστ»

4.3.3 Συγκριτική εποπτεία και εξέταση της επεξεργασμένης και της μη επεξεργασμένης εικόνας

Μετά από την επεξεργασία και την ανάδειξη των μικροαποτιτανώσεων της ενδεδειγμένης περιοχής, ο ιατρός εξετάζει την επεξεργασμένη εικόνα με τις αναδεδειγμένες μικροασβεστώσεις δίπλα-δίπλα με τη μη επεξεργασμένη εικόνα, έχοντας υπό την εποπτεία του την πλήρη τοπολογική αντιστοίχιση. Αυτή η αντιστοίχιση διατηρείται ακόμα και όταν ο ιατρός μεγεθύνει οποιαδήποτε από τις δύο εικόνες, όπως επιδεικνύεται στο σχήμα 14. Στην ίδια εικόνα φαίνεται η δυνατότητα απάλειψης των απομονωμένων στιγμάτων από την επεξεργασμένη εικόνα με τις αναδεδειγμένες μικροασβεστώσεις, καθώς και η δυνατότητα απεικόνισής τους στην πραγματική χρωματική κλίμακα του γκρι, όπως εμφανίζονται στην αρχική μαστογραφία.

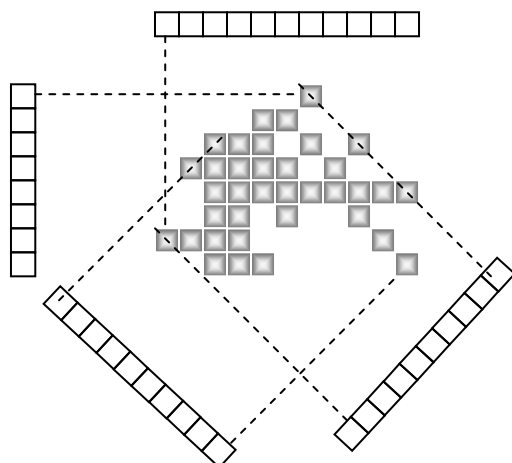


Σχήμα 14 Εξέταση επεξεργασμένης και μη επεξεργασμένης μαστογραφίας

4.3.4 Υπολογισμός και εκτίμηση της «επικινδυνότητας» κάθε μιας μικροαποτιτάνωσης

Στην συνέχεια, ο χρήστης δύναται να επιλέξει μια ορθογώνια περιοχή μέσα στο παράθυρο των αναδεδειγμένων μικροασβεστώσεων και να ζητήσει ανάλυση και εκτίμηση της «επικινδυνότητας» εκάστης μικροαποτιτάνωσης εντός του πλαισίου διερεύνησης, με βάση την κριτική αξιολόγηση των εξής επτά συγκεκριμένων ιδιοτήτων¹ που χαρακτηρίζουν ύποπτες καρκινικές μικροασβεστώσεις: (i) Μέγεθος, (ii) Κυκλικότητα, (iii) Ύπαρξη Υπόπυκνου Κέντρου, (iv) Επίπεδο Φωτεινότητας, (v) Ανωμαλία σχήματος, (vi) Ύπαρξη αποφύσεων και διακλαδώσεων και (vii) Ύπαρξη περιελίξεων. Στα περισσότερα μορφολογικά χαρακτηριστικά εφαρμόστηκε μία «μέθοδος 4 προβολών», η οποία αναπτύχθηκε Εργαστήριο Πληροφορικής της Ακαδημίας Αθηνών, ειδικά για τις αναλύσεις αυτές. Όπως φαίνεται στο σχήμα 15, ο σχετικός αλγόριθμος «φωτογραφίζει» το είδωλο εκάστης μικροασβεστώσεως στο επίπεδό της από τέσσερις διαφορετικές οπτικές γωνίες και επεξεργάζεται συνδυαστικά τις παρατηρούμενες μεταβολές εκάστης προβολής. Η ποσοτική εκτίμηση των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων κάθε μιας μικροαποτιτάνωσης υπολογίζεται σε αντίστοιχες σχετικές κανονικοποιημένες κλίμακες.

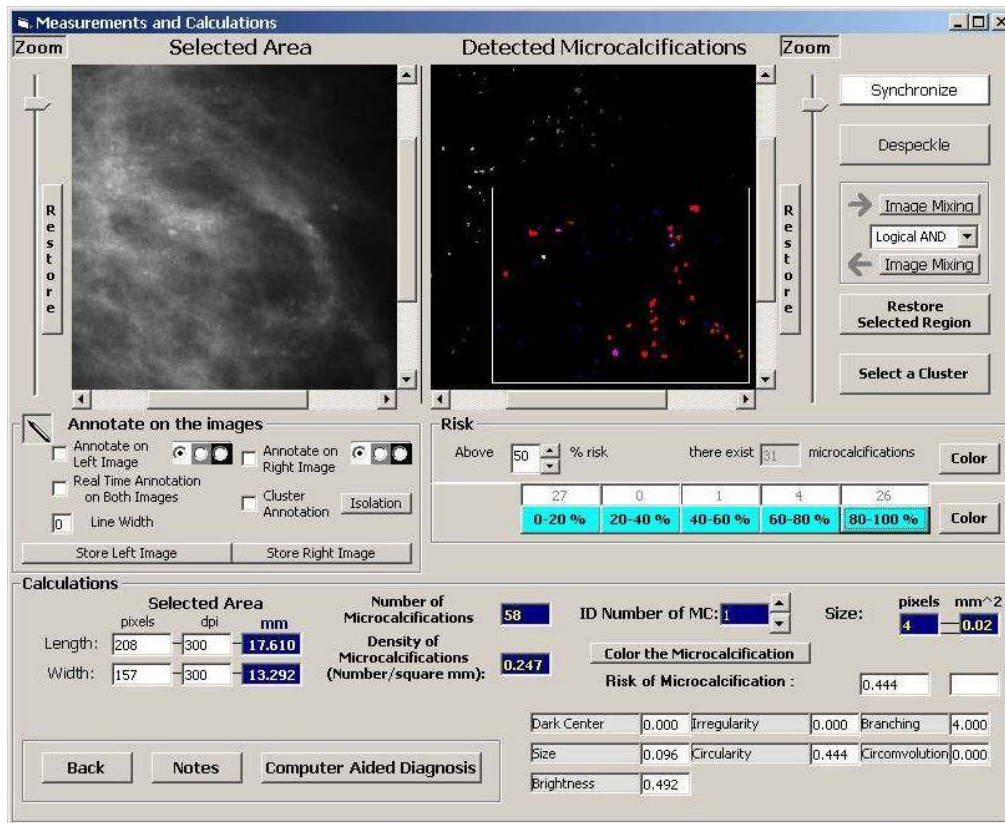
¹ Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των μικροαποτιτάνωσεων επελέγησαν μετά από συγκριτική έρευνα της πλέον πρόσφατης βιβλιογραφίας επί του θέματος αυτού



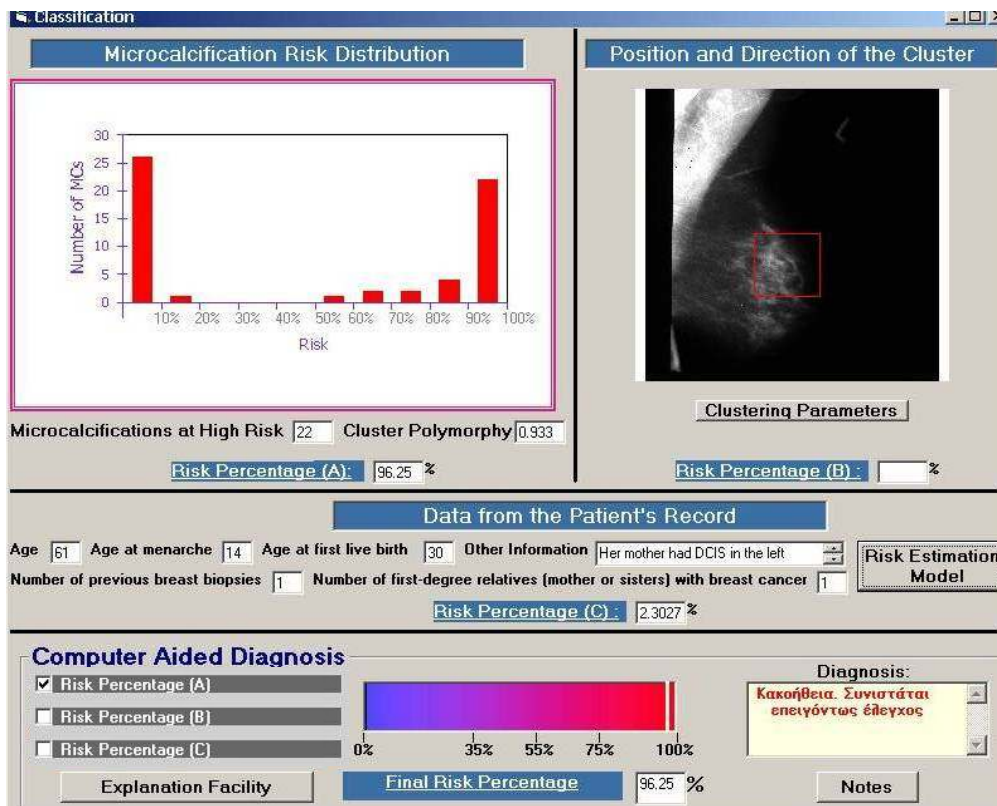
Σχήμα 15 Μέθοδος 4 προβολών για την εκτίμηση της «επικινδυνότητας» κάθε μικροασπιτιάνωσης

Σύμφωνα με την προαναφερθείσα διαδικασία, το λογισμικό του «Ιπποκράτη – μστ» υπολογίζει και ταξινομεί τον «βαθμό επικινδυνότητας» κάθε μιας μικροασβέστωσης σε μια από τις πέντε υποδιαιρέσεις της κλίμακας από 0% μέχρι 100%, σε διαβαθμίσεις των 20%, και παρέχει στον χρήστη τις αντίστοιχες εκτιμήσεις με αριθμούς, καθώς και με παραστατικό διάγραμμα, για εύκολη και συγκριτική αξιολόγηση. Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων, όπως αυτή παρουσιάζεται στα σχήματα 16 και 17, παρέχει στον ιατρό την ευχέρεια της συγκριτικής εποπτείας των αποτελεσμάτων, όπως επιδεικνύεται στην κλίμακα του σχήματος 16 και στο διάγραμμα του σχήματος 17. Επίσης, η αντιστοίχιση διαφορετικών χρωμάτων, από το κυανούν μέχρι το ερυθρό, για την επισήμανση των διαφορετικών υποδιαιρέσεων επικινδυνότητας, παρέχει ευκολότερη οπτική θεώρηση της συνολικής διαγνωστικής ετυμηγορίας.

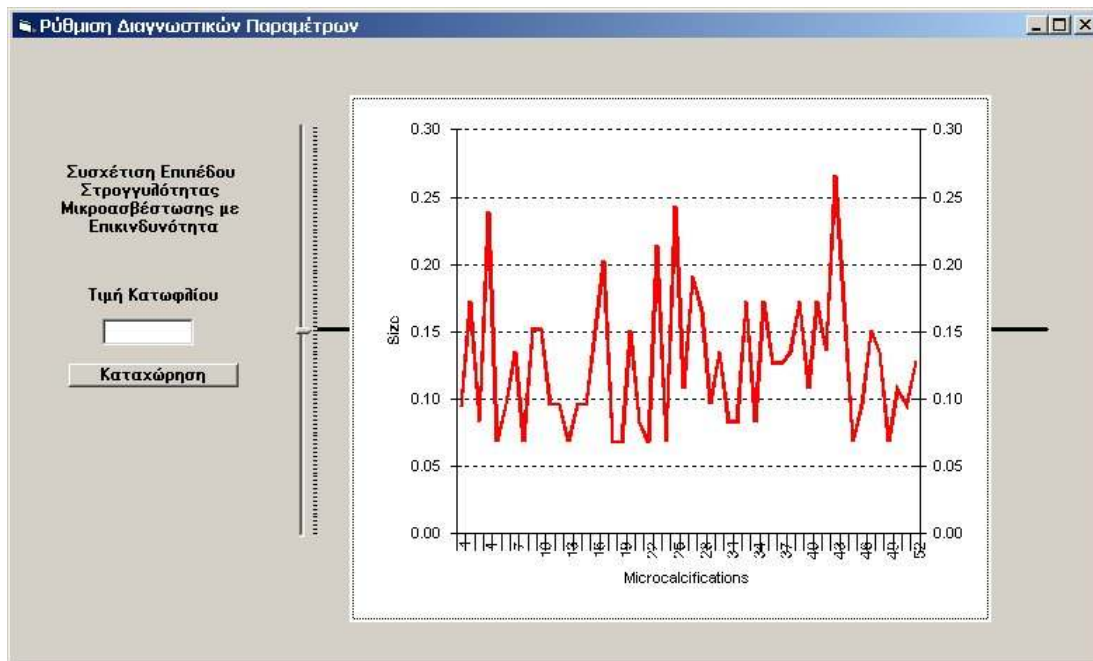
Αξίζει να σημειωθεί ότι το σύστημα «Ιπποκράτης – μστ» δίνει στον ιατρό τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει την ενδεχόμενη ανεπτυγμένη διαγνωστική εμπειρία του, ή την εξειδικευμένη γνώση του, έτσι ώστε να επιτευχθεί επιτυχέστερη διαγνωστική ταξινόμηση της επικινδυνότητας των ξεχωριστών μικροασβεστώσεων, ακόμα και σε αυτό το πρώτο στάδιο. Αυτό γίνεται με τη δυνατότητα, η οποία παρέχεται στον ιατρό να παρατηρήσει τις κατανομές των τιμών των επτά προαναφερθέντων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων, να ενημερωθεί για την τρέχουσα τιμή κατωφλίου επικινδυνότητας που εφαρμόζεται για την κάθε μια από αυτές και ακολούθως να προσαρμόσει την τιμή του κατωφλίου αξιοποιώντας έτσι τις ειδικές γνώσεις του και την εμπειρική πραγματογνωμοσύνη του, όπως παρατηρούμε στο σχήμα 18 (δίδεται: “risk percentage (A)”).



Σχήμα 16 Κλιμακωτή γραφική απεικόνιση του «βαθμού επικινδυνότητας» των μικροαποτιτανώσεων



Σχήμα 17 Γραφική παράσταση του «βαθμού επικινδυνότητας» των μικροαποτιτανώσεων



Σχήμα 18 Ρύθμιση διαγνωστικών παραμέτρων για επιτυχέστερη διαγνωστική ταξινόμηση της επικινδυνότητας των ξεχωριστών μικροασβεστώσεων

4.3.5 Εκτίμηση της επίδρασης της πολυμορφίας και της κατανομής της επικινδυνότητας των μικροαποτιτανώσεων

Η αμέσως επόμενη φάση διάγνωσης, είναι αυτή που λαμβάνει υπόψη τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά μιας επιλεγμένης ορθογώνιας περιοχής διερεύνησης, μέσα στην οποία υπάρχει κάποια ύποπτη, τοπολογικά κατανομημένη, ομάδα μικροασβεστώσεων. Συγκεκριμένα, εξετάζονται και αξιολογούνται η «πολυμορφία» των μικροασβεστώσεων της περιοχής και ο αριθμός των μικροασβεστώσεων μέσα στην περιοχή, οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί ως πολύ επικίνδυνες στην προηγούμενη φάση της αξιολόγησης των ξεχωριστών μικροαποτιτανώσεων (σχήμα 17 – δεξιό μέρος του διαγράμματος). Με βάση εμπειρικά κριτήρια και ένα συνδυαστικό αλγόριθμο, το λογισμικό του συστήματος παρέχει μια συνολική διάγνωση ως προς την επικινδυνότητα ολοκλήρης της επιλεγμένης ορθογώνιας περιοχής διερεύνησης, η οποία καταγράφεται και απεικονίζεται γραφικά, όπως επιδεικνύεται στην εικόνα 17.

4.3.6 Αξιολόγηση της επικινδυνότητας συγκεκριμένου συμπλέγματος μικροαποτιτανώσεων

Προσφέρεται η δυνατότητα στον ιατρό να εστιάσει την διάγνωση σε ένα συγκεκριμένο ύποπτο «σύμπλεγμα» ή «σμήνος» μικροαποτιτανώσεων, το οποίο σημαδεύει με την βοήθεια «ηλεκτρονικού μολυβιού». Τότε, οι διαγνωστικές διαδικασίες, οι υπολογισμοί και τα διαγράμματα που περιγράφηκαν στις παραγράφους 4.3.1 έως 4.3.5, μπορούν να επαναληφθούν για το συγκεκριμένο σμήνος. Έτσι, επιτυγχάνεται επανεκτίμηση της επικινδυνότητας για την συγκεκριμένη και σημαδεμένη περιοχή, προάγοντας την διαγνωστική ακρίβεια και τις δυνατότητες εντοπισμού και διαγνωστικής αξιολόγησης ύποπτων περιοχών και συμπλεγμάτων.

4.3.7 Επέκταση του διαγνωστικού αποτελέσματος με ενδεχόμενη παρέμβαση του ιατρού

Στο σημείο αυτό, παρέχεται στον ιατρό η δυνατότητα να αξιοποιήσει την ικανότητα που μπορεί να έχει ως προς την εκτίμηση ενός συντελεστή επικινδυνότητας, ο οποίος να απορρέει από τον οπτικό προσδιορισμό της θέσης και της κατεύθυνσης του εξεταζόμενου συμπλέγματος μικροαποτιτανώσεων. Παρεμβαίνοντας ο ιατρός στο διαγνωστικό δελτίο που επιδεικνύεται στο σχήμα 16 (κάτω αριστερά και πάνω δεξιά), μπορεί να αναβαθμίσει το μέχρι εκείνη τη στιγμή διαγνωστικό αποτέλεσμα, εισάγοντας στην συγκεκριμένη θέση του διαγνωστικού δελτίου (εισάγεται: “risk percentage (B)”) έναν δικό του πολλαπλασιαστή επικινδυνότητας, ο οποίος θα αντιστοιχεί στην προσωπική του εκτίμηση της αυξημένης επικινδυνότητας λόγω της θέσης και της κατεύθυνσης του συμπλέγματος των μικροασβεστώσεων.

4.3.8 Επέκταση της διάγνωσης λόγω πληροφοριών που αφορούν την ηλικία, το οικογενειακό ιατρικό ιστορικό, και άλλες ιατρικές εξετάσεις της ασθενούς

Το διαγνωστικό αποτέλεσμα, το οποίο έχει σχηματιστεί μέχρι το σημείο αυτό, μπορεί να αναβαθμιστεί με τον συνυπολογισμό των σχετικών πληροφοριών που αναφέρονται στην ηλικία, το ιατρικό ιστορικό της οικογένειας, και τυχόν άλλα ιατρικά κλινικά ή εργαστηριακά στοιχεία. Παρέχεται στον ιατρό η δυνατότητα να παρέμβει στην διαγνωστική διαδικασία εκτίμησης της επικινδυνότητας και να αναβαθμίσει το αποτέλεσμα εισάγοντας ένα εμπειρικό συντελεστή (σχήμα 17: εισάγεται: “risk percentage (C)), περίπου όπως στην περίπτωση του συνυπολογισμού της επικινδυνότητας που μπορεί να οφείλεται στην θέση και την κατεύθυνση ενός συγκεκριμένου συμπλέγματος μικροαποτιτανώσεων (παράγραφος 4.3.7 και σχήμα 17: εισάγεται: “risk percentage (B)). Στην ενέργεια αυτή, δίδεται στον ιατρό η δυνατότητα να συμβουλευθεί τις συστάσεις που παρέχονται από την εφαρμογή των σχετικών πληροφοριών περί ηλικίας και ιατρικού ιστορικού της οικογένειας στο μαθηματικό «μοντέλο Gail» [61,62], το οποίο έχει προγραμματισθεί και ενσωματωθεί στον «Ιπποκράτη – μστ» για την περίπτωση αυτή (σχήμα 17: δίδεται / εισάγεται: «risk percentage (C)).

4.3.9 Τελική διάγνωση, καταγραφή και αποθήκευση των αποτελεσμάτων και των ιατρικών παρατηρήσεων

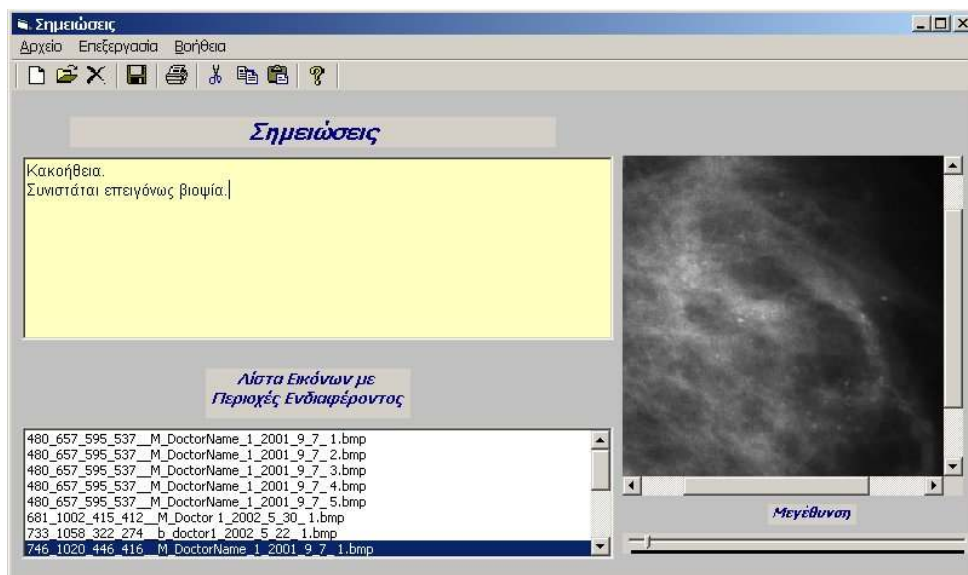
Τα ενδιάμεσα διαγνωστικά αποτελέσματα, καθώς και το τελικό διαγνωστικό αποτέλεσμα του συστήματος «Ιπποκράτης – μστ» παρέχονται στον ιατρό συμβουλευτικά και μόνο. Πρέπει να γίνει ξεκάθαρο ότι ο χρήστης έχει τον ουσιαστικό έλεγχο της διαγνωστικής διαδικασίας, και έχει την αποκλειστική επιλογή και ευθύνη της χρησιμοποίησης των αποτελεσμάτων του συστήματος, ώστε να δύναται να εκμεταλλευθεί στο μέγιστο δυνατό βαθμό τα δυνατά οφέλη από τα υπολογιστικά αποτελέσματα του συστήματος. Όταν και εάν ο ιατρός θελήσει να παρεκκλίνει από την αυτόματη διάγνωση που του παρέχει το σύστημα ώστε να εισάγει τις προσωπικές του εκτιμήσεις που απορρέουν

από την εμπειρία, την ειδικότητα και την πραγματογνωμοσύνη του, τότε αναλαμβάνει και την σχετική ευθύνη αυτής της παρέμβασης. Σε κάθε περίπτωση η τελική διάγνωση και η ευθύνη για τις περαιτέρω ιατρικές ενέργειες, αποτελούν αναφαίρετο δικαίωμα, υποχρέωση και ευθύνη του ιατρού.

Το τελικό διαγνωστικό αποτέλεσμα, με το οποίο το σύστημα συμβουλεύει τον ιατρό για την επικινδυνότητα της συγκεκριμένης περιοχής της μαστογραφίας, παρέχεται στον ιατρό ως “final risk percentage” («τελικό ποσοστό επικινδυνότητας») στο κάτω μέρος του σχήματος 17. Αυτό το τελικό ποσοστό επικινδυνότητας εμφανίζεται και παραστατικά με μια λευκή κάθετη γραμμή επάνω σε ένα συνεχές χρωματικό διάγραμμα από το μπλε (καλοήθεια) προς το ερυθρό (κακοήθεια) στο κάτω μέρος του σχήματος 17. Όπως είναι εμφανές, η χρωματική κατανομή της επικινδυνότητας διαιρείται σε τέσσερις ζώνες:

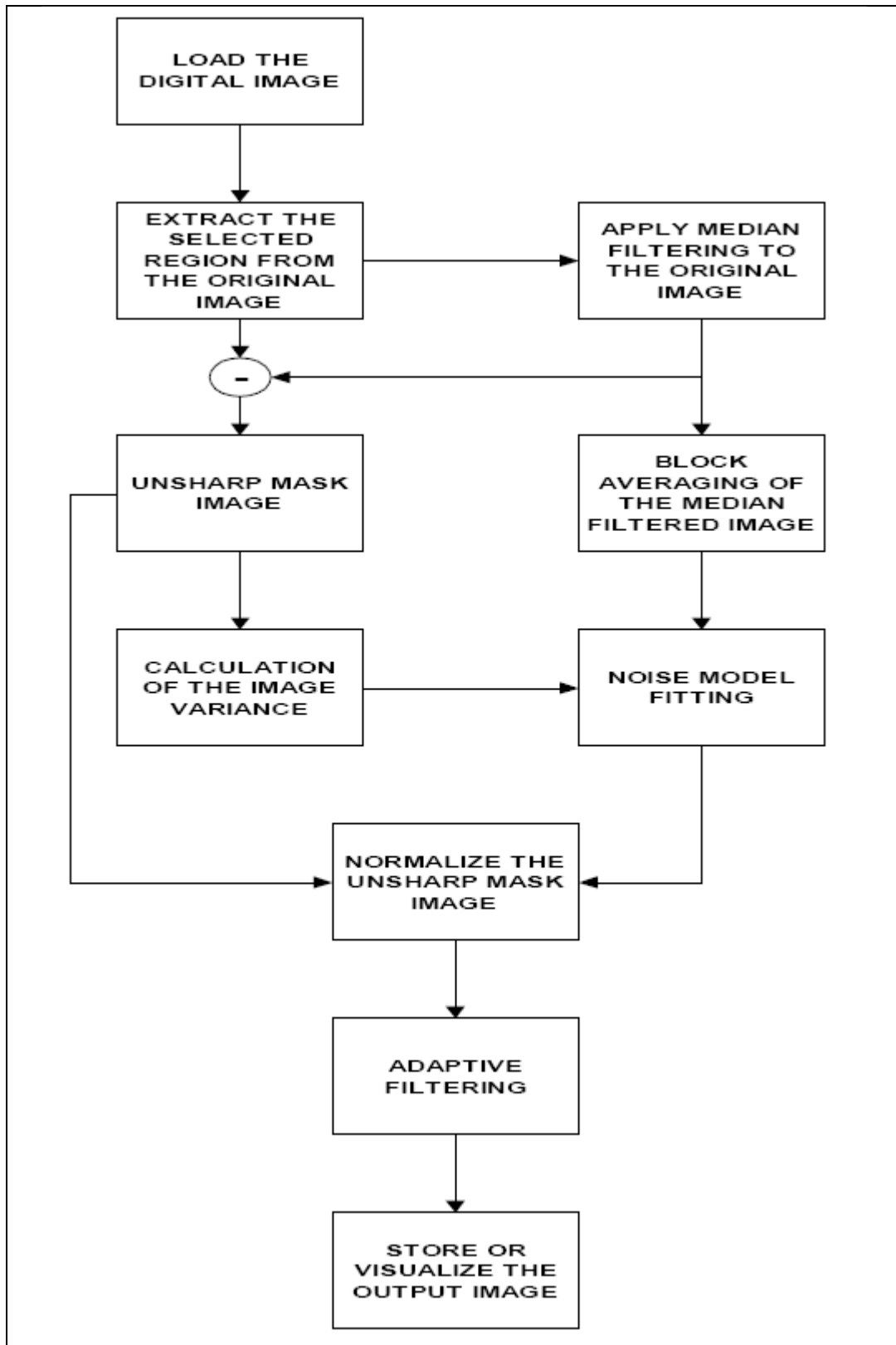
- (i) 0% - 35% (καλοήθεια με βεβαιότητα, αποτρέπεται η βιοψία)
- (ii) 35%-55% (καλοήθεια με αμφιβολίες, παραπέμπεται για βιοψία, ιδιαιτέρως αν συμπαρομαρτούν και άλλες ενοχοποιητικές ενδείξεις),
- (iii) 55%-75% (κακοήθεια με αμφιβολίες, παραπέμπεται για βιοψία)
- (iv) 75% - 100% (κακοήθεια με βεβαιότητα, παραπέμπεται για βιοψία)

Στην συνέχεια, ο ιατρός μπορεί να καταγράψει και να αποθηκεύσει μαζί με τις αντίστοιχες επεξεργασμένες και σημαδεμένες εικόνες, τις σχετικές διαγνωστικές παρατηρήσεις του στο ειδικό «σημειωματάριο», το οποίο είναι στην διάθεσή του. Αυτό το δελτίο των σημειώσεων και σχετικών εικόνων, μαζί με την ημερολογιακή αναφορά και το όνομα του ιατρού, εντάσσεται και αποθηκεύεται αυτομάτως στο ψηφιακό αρχείο του εξεταζόμενου ατόμου, όπως επιδεικνύεται στο σχήμα 19. Το ιατρικό αρχείο του ατόμου είναι άμεσα και με ευκολία διαθέσιμο στην παρακολούθηση και την επόμενη ιατρική διαγνωστική εξέταση.



Σχήμα 19 Ψηφιακό σημειωματάριο στο ψηφιακό ιατρικό αρχείο του ασθενούς

Ένα διάγραμμα ροής με τον αλγόριθμο που εντοπίζει τις αποτιτανώσεις, παρουσιάζεται στο σχήμα 20 [58].



Σχήμα 20 Διάγραμμα ροής του αλγόριθμου που ερθύνεται για τον εντοπισμό των μικροαποτιτανώσεων

4.4 Εργαστηριακή αξιολόγηση του συστήματος

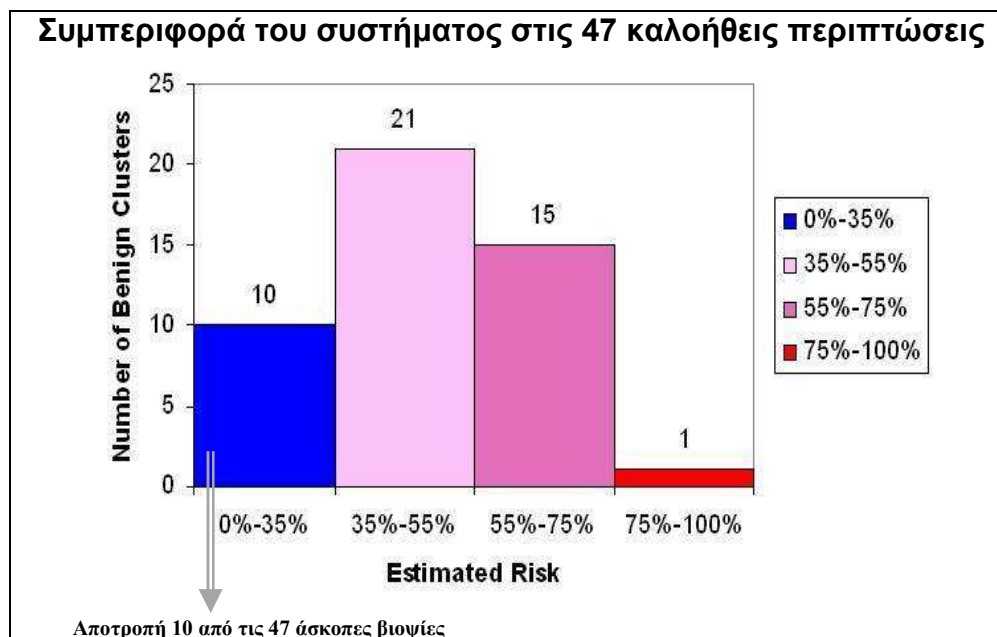
Το διαγνωστικό σύστημα «Ιπποκράτης – μστ», όπως έχει αναπτυχθεί μέχρι τώρα, υποβλήθηκε σε μια σειρά εργαστηριακών αξιολογήσεων. Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών και της στατιστικής αξιολόγησης μέχρι σήμερα έχουν βασιστεί σε ποικιλία μαστογραφιών που καλύπτουν μια ευρεία ποικιλία περιπτώσεων, και όλες συνοδεύονται από ενδεικνυόμενες βιοψίες σε συγκεκριμένες ύποπτες περιοχές της μαστογραφίας, και από τα σχετικά σχόλια και σημειώσεις των ειδικών ιατρών.

Το σύνολο των δειγμάτων της εργαστηριακής αξιολόγησης περιλαμβάνει 71 μαστογραφίες με μικροαποτιτανώσεις που περιέχουν 74 συμπλέγματα μικροασβεστώσεων με αντίστοιχες βιοψίες. Στο σύνολο αυτό υπάρχουν 22 κακοήθειες περιπτώσεις, 47 καλοήθειες περιπτώσεις και 5 περιπτώσεις ατυπίας.

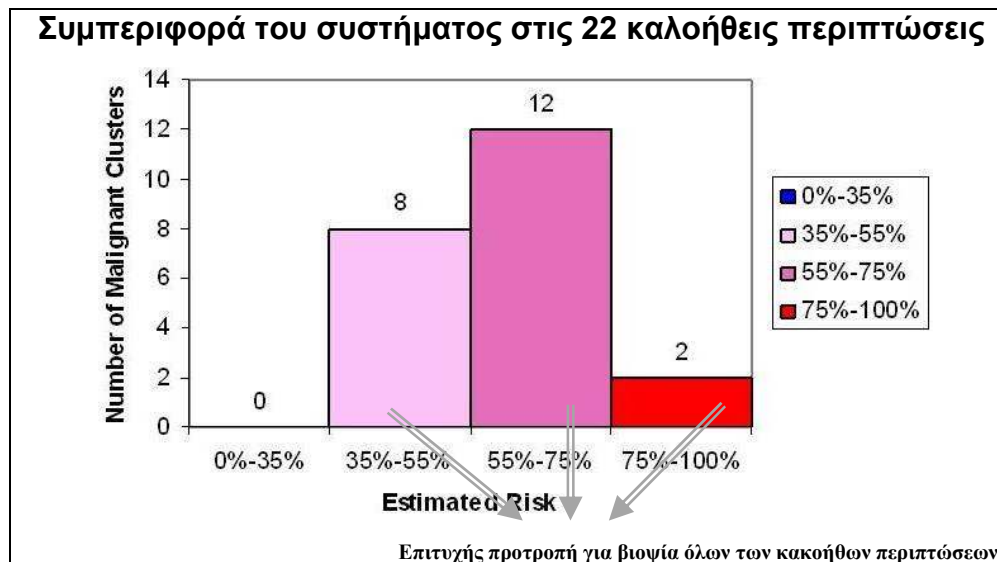
Για την κατηγοριοποίηση των μικροασβεστώσεων από το σύστημα, χρησιμοποιήθηκαν οι τέσσερις ζώνες επικινδυνότητας, οι οποίες σημειώνονται στο χρωματικό διάγραμμα που επιδεικνύεται στο κάτω μέρος του σχήματος 16, και περιγράφονται στην προηγούμενη παράγραφο 4.3.9:

- η ζώνη επικινδυνότητας από 0% έως 35% (σαφής καλοήθεια : αποτρέπεται η βιοψία)
- η ζώνη επικινδυνότητας από 35% έως 55% (καλοήθεια με αμφιβολίες : συνιστάται βιοψία)
- η ζώνη επικινδυνότητας από 55% έως 75% (κακοήθεια με αμφιβολίες : συνιστάται βιοψία)
- η ζώνη επικινδυνότητας από 75% έως 100% (σαφής κακοήθεια: συνιστάται επείγοντως βιοψία)

Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών δίδονται με διαγράμματα στα σχήματα 21(α) και 21(β), ώστε να διευκολύνουν την περιεκτική αξιολόγηση του συστήματος.



Σχήμα 21(α) Διάγραμμα αποτελεσμάτων εργαστηριακών δοκιμών



Σχήμα 21(β) Διάγραμμα αποτελεσμάτων εργαστηριακών δοκιμών

Η συμπεριφορά του συστήματος στις 5 περιπτώσεις ατυπίας ήταν προτροπή για βιοψία, συμβαδίζοντας με τη γνώμη των ειδικών ιατρών.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι τα παραπάνω αποτελέσματα έχουν εξαχθεί χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τις δυνατότητες του συστήματος να εκτιμήσει την επικινδυνότητα της εκάστοτε επιλεγμένης ορθογώνιας περιοχής, χωρίς τις επιτρεπόμενες παρεμβολές των ειδικών ιατρών που θα μπορούσαν να βελτιώσουν την διαγνωστική απόδοση του συστήματος.

Πρέπει να παρατηρηθεί εδώ, πως ενδεχομένως για ένα μικρό ποσοστό των περιπτώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, το αποτέλεσμα της βιοψίας να μην σχετίζεται άμεσα με την παρουσία μικροαποτιτανώσεων στην εξεταζόμενη περιοχή. Παρόμοιες περιπτώσεις δειγμάτων εργαστηριακών αξιολογήσεων, όπου ο ιατρός οδηγείται σε εντολή βιοψίας από ενοχοποιητικές ενδείξεις άλλες από την ύπαρξη υπόπτων μικροαποτιτανώσεων στην εξεταζόμενη περιοχή της μαστογραφίας, μπορεί να οδηγήσουν σε απόκλιση την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος.

Τέτοιες περιπτώσεις, και άλλες παρόμοιες, δείχνουν παραστατικά τους περιορισμούς του συστήματος και τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα του ανθρώπινου παράγοντα. Για παράδειγμα, το σύστημα περιορίζεται από το να δύναται να συγκρίνει και να αξιολογεί συνυπολογίζοντας τις διαγνωστικές εκτιμήσεις που απορρέουν από την εξέταση της εικόνας της συγκεκριμένης περιοχής που παρέχεται και στις δύο όψεις της ακτινογραφικής λήψης της μαστογραφίας (την «πλαγία» και την «κάθετο»). Όπως είναι αναμενόμενο, το σύστημα μειονεκτεί έναντι των ανθρωπίνων αντιληπτικών και συνδυαστικών ικανοτήτων του ιατρού. Η χρησιμότητα του συστήματος περιορίζεται στο να παρέχει εργαλεία διαχείρισης και λεπτομερούς εξέτασης της ακτινογραφίας, και στο να συμβουλεύει τον ιατρό με διαγνωστικές εκτιμήσεις, τις οποίες και να δικαιολογεί επαρκώς.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα πρόσφατης μελέτης του Εργαστηρίου Πληροφορικής της Ακαδημίας Αθηνών [63], το σύστημα «Ιπποκράτης-μστ» ανιχνεύει περίπου έξι φορές περισσότερες μικροαποτιτανώσεις υψηλού κινδύνου μέσα στις ανώμαλες περιοχές ενδιαφέροντος παρά στις τυχαίες περιοχές. Επίσης, ο μέσος αριθμός όλων των μικροαποτιτανώσεων που ανιχνεύονται ανά τετραγωνικό εκατοστό, είναι σημαντικά

υψηλότερος στις περιοχές ενδιαφέροντος από εκείνων που ανιχνεύονται στις τυχαία επιλεγμένες περιοχές των μαστογραφιών.

4.5 Πιλοτική εφαρμογή σε Νοσοκομείο

Το σύστημα υπολογιστικής υποβοήθησης της πρώιμης διάγνωσης για τον καρκίνο του μαστού «Ιπποκράτης-μστ», έχει ήδη εγκατασταθεί και δοκιμάζεται στην κλινική πράξη, προσφέροντας τις υπηρεσίες του στην «Πανεπιστημιακή Μονάδα Μαστού» του Ιπποκράτειου Νοσοκομείου.

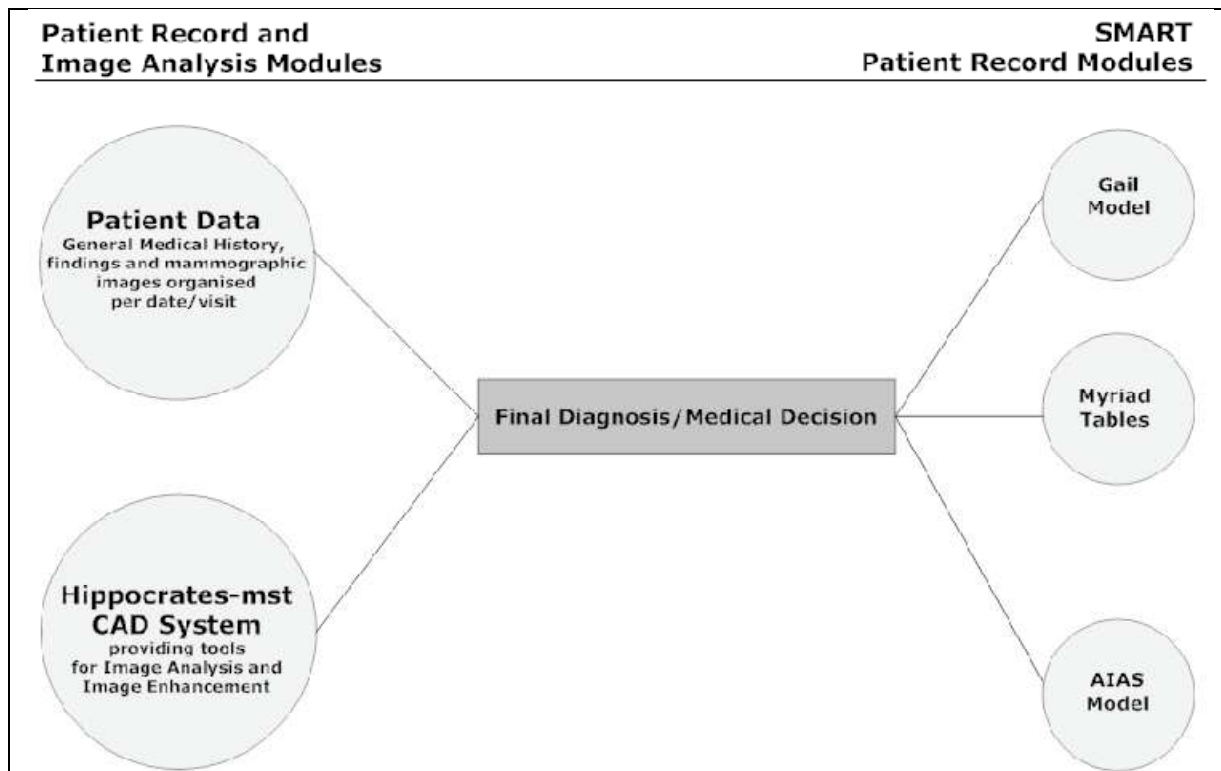
Τα μέχρι στιγμής αποτελέσματα της πιλοτικής δοκιμής του «Ιπποκράτης-μστ» και της προσαρμογής στην ιατρική διαγνωστική διαδικασία, είναι πολύ θετικά όπως φαίνεται και από τις δηλώσεις του κ. Γ. Ζωγράφου, Αναπληρωτή Καθηγητή της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών και Διευθυντή της Μονάδας Μαστού του Ιπποκράτειου Νοσοκομείου Αθηνών: «Στην Πανεπιστημιακή Μονάδα Μαστού του Ιπποκράτειου Νοσοκομείου Αθηνών, ο «Ιπποκράτης-μστ» αποτελεί το πρώτο εγκαταστημένο πρότυπο υπολογιστικό σύστημα υποβοήθησης της διάγνωσης καρκίνου του μαστού».

Το σύστημα έχει ενταχθεί πλήρως στην καθημερινή κλινική πρακτική της Μονάδας Μαστού και ύστερα από χρήση σε ικανό αριθμό περιπτώσεων αποδुकνείται ότι αποτελεί ισχυρό βοήθημα για την έμπειρη ομάδα ιατρών της Μονάδας.

Η απόδοση του συστήματος κρίνεται πολύ καλή, ενώ έχει ιδιαίτερη αξία στην καθημερινή κλινική πράξη και ενισχύει την άποψη του γιατρού, παρέχοντας ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα για κάθε υπό εξέταση περιοχή.

4.6 Σχεδιασμός «Έξυπνου» Συστήματος Αρχείου Ασθενών

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως στο παρόν κεφάλαιο, η ύπαρξη ενός ψηφιακού συστήματος αρχείου για τις ασθενείς με καρκίνο του μαστού, αποτελεί ένα ισχυρό όπλο στα χέρια των ιατρών για τη σωστή ιατρική περίθαλψή τους. Σύμφωνα με ένα σύστημα που υλοποιήθηκε από το Εργαστήριο Πληροφορικής της Ακαδημίας Αθηνών [64], ο γιατρός έχει τη δυνατότητα να ανακτήσει μέσω ενός τοπικού δικτύου (LAN) ή μέσω του διαδικτύου, όλο το ιατρικό ιστορικό ενός ασθενή, συνοδευόμενο με τις μαστογραφικές του εικόνες, προκειμένου να το συμβουλευθεί και να λάβει μια εμπεριστατωμένη απόφαση για την περίθαλψη της ασθενούς. Το σύστημα αυτό συνδυάζει το υπολογιστικό σύστημα υποβοηθούμενης διάγνωσης «Ιπποκράτης-μστ» με μια ολοκληρωμένη υλοποίηση επιδημιολογικών προτύπων του καρκίνου του μαστού. Ένα σχηματικό διάγραμμα που δείχνει την όλη διαδικασία, φαίνεται στο σχήμα 22.



Σχήμα 22 Επισκόπηση της διαδικασίας της υποβοηθούμενης διάγνωσης

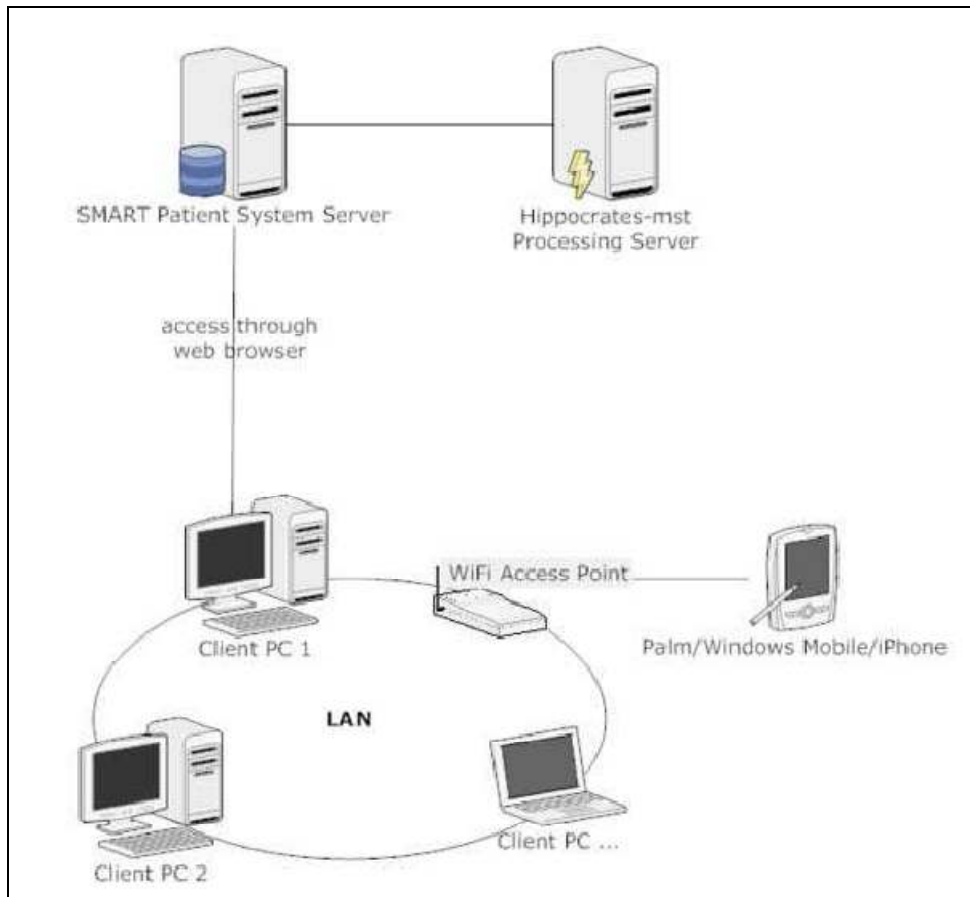
Στα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του συστήματος αυτού, περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων τα εξής:

- Πλήρες αρχείο ασθενών με όλα τα χαρακτηριστικά τους: Αποθήκευση ιατρικού ιστορικού, λειτουργίες αναζήτησης και ενημέρωσης ανά ημερομηνία της εξέτασης/επίσκεψης. Το αρχείο ασθενών περιέχει όλα τα ιατρικά στοιχεία του ασθενή συνδεδεμένα με τις μαστογραφίες τους, όλα σε ψηφιακή μορφή.
- Υπολογιστικό Σύστημα Υποβοηθούμενης Διάγνωσης που χρησιμοποιεί το λογισμικό «Ιπποκράτης-μστ» για την ανάλυση των εικόνων, ένα καλά τεκμηριωμένο σύστημα που μπορεί να παρέχει εργαλεία για την αύξηση της ανίχνευσης των μικροαποπιτανώσεων στη μαστογραφική εικόνα.
- Προσιτή λειτουργία με όλους τους φυλλομετρητές (web browsers) (Internet Explorer, Mozilla Firefox, Opera κ.λπ.).
- Παραμετρική αναζήτηση σε όλα τα πεδία του αρχείου, με τη χρήση πολλαπλών κριτηρίων.
- Λειτουργία «Εξυπνου» Αρχείου Ασθενή: Υλοποίηση γνωστών επιδημιολογικών προτύπων του καρκίνου του μαστού όπως το μοντέλο Gail [61] και οι πίνακες Myriads [65], όπως επίσης και του προτύπου που αναπτύσσεται αυτή την περίοδο και ρυθμίζεται βασιζόμενο στην ανάλυση 1.178 ασθενών, γνωστό ως πρότυπο AIAS. Η εφαρμογή από αυτών των προτύπων στο αρχείο του ασθενή, επιτρέπει τον αυτόματο υπολογισμό των ποσοστών κινδύνου, μόλις ο ιατρός συμπληρώσει τα απαραίτητα πεδία στο αρχείο του εκάστοτε ασθενούς.
- Συμβατότητα με όλα τα λειτουργικά συστήματα: Η αρχιτεκτονική του διαδικτύου, επιτρέπει στο σύστημα να λειτουργεί ανεξάρτητα από το λειτουργικό σύστημα του πελάτη. Ακόμα και φορητές συσκευές που χρησιμοποιούν φυλλομετρητές, μπορούν να έχουν πρόσβαση σε όλα τα δεδομένα του συστήματος. Το σύστημα έχει

δοκιμαστεί και λειτουργεί σωστά σε φορητές συσκευές με λειτουργικό σύστημα Windows Mobile καθώς και στο κινητό τηλέφωνο iPhone της Apple.

- Γραφική αναπαράσταση του κινδύνου ανάπτυξης καρκίνου του μαστού ανάλογα με την ηλικία της ασθενούς.

Η σχηματική αναπαράσταση του «Εξυπνου» Συστήματος Αρχείου Ασθενών, φαίνεται στο σχήμα 23.



Σχήμα 23 Σχηματική αναπαράσταση του «Εξυπνου» Συστήματος Αρχείου Ασθενών

Η ασφάλεια των ιατρικών δεδομένων είναι υψίστης σημασίας, δεδομένου ότι αποτελούν προσωπικά δεδομένα των ασθενών. Ο χρήστης (ιατρός) εισέρχεται στο σύστημα μόνο με τον προσωπικό του κωδικό και έχει πρόσβαση μόνο στους ασθενείς στους οποίους έχει δηλώσει προηγουμένως στο σύστημα. Κανένα αρχείο δεν είναι προσπελάσιμο χωρίς πιστοποιημένη σύνδεση του χρήστη.

Με τη βοήθεια του «έξυπνου» αυτού συστήματος, οι ακτινολόγοι έχουν άμεση πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο, εάν η υπό εξέταση περίπτωση είναι υψηλού κινδύνου ή όχι. Στο άμεσο μέλλον δύναται να εφαρμοστεί το συγκεκριμένο σύστημα σε εθνικό επίπεδο, προκειμένου να συλλεχθούν στοιχεία από όλη την Ελλάδα, που μπορεί αργότερα να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία του Εθνικού Μητρώου Καρκίνου του Μαστού (EMKM). Το EMKM θα επιτελεί έργο συσσώρευσης δεδομένων μαστογραφικών εξετάσεων και βιοψιών, με βάση διάφορα ιατρικά και επιδημιολογικά κριτήρια και θα παρέχει πολύτιμη υποστήριξη για επιδημιολογικές και εκπαιδευτικές εφαρμογές, και για έγκυρη ενημέρωση των ειδικών ιατρών και των πολιτών.

4.7 Συμπεράσματα και γενικές παρατηρήσεις

Από την περιγραφή του συστήματος «Ιπποκράτης-μστ» και από την εργαστηριακή του αξιολόγηση, προκύπτει ότι το παρόν σύστημα δύναται να συμβάλλει στην καλύτερη πρόωμη διάγνωση του καρκίνου του μαστού, η οποία μπορεί να προκύψει από την ανίχνευση μικροαποτιτανώσεων σε μαστογραφίες και στην διαγνωστική αξιολόγησή τους. Παρέχει εργαλεία ηλεκτρονικής και ψηφιακής διαχείρισης, και εξέτασης του συχνά ακαθόριστου και συγκεχυμένου ιστολογικού περιβάλλοντος των μικροασβεστώσεων, ισχυροποιώντας έτσι την οπτική ιατρική εξέταση και αξιοποιώντας την γνώση και τις σχετικές εμπειρίες του ιατρού. Επιπλέον, το σύστημα φαίνεται ότι μπορεί να συμβάλλει στην καλύτερη διάγνωση, παρέχοντας στον ιατρό ιδιαίτερα χρήσιμες και κρίσιμες διαγνωστικές πληροφορίες και επεξηγήσεις.

Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών καταδεικνύουν ότι το σύστημα παρουσιάζει πολύ μεγάλη ευαισθησία, αλλά και ότι περιορίζεται και από σχετικά χαμηλή ειδικότητα. Με σκοπό την βελτίωση της αποδόσεως του συστήματος όσον αφορά στην ειδικότητα, προγραμματίζεται η περαιτέρω διερεύνηση και βελτίωση των σχετικών μαθηματικών αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία των δεδομένων, στον ορισμό των ειδικών κριτηρίων, και στην ταξινόμηση των διαγνωστικών αποτελεσμάτων.

Στον ερευνητικό προγραμματισμό, διερευνάται η δυνατότητα εντοπισμού και ταξινόμησης και άλλων μαστογραφικών ευρημάτων, όπως π.χ. τον εντοπισμό «μαζών». Ιδιαίτερης σημασίας είναι και η δυνατότητα σύγκρισης και συνδυαστικής αξιολόγησης των διαγνωστικών δεδομένων και αποτελεσμάτων, τα οποία απορρέουν από την διαγνωστική επεξεργασία της μαστογραφίας από τον «Ιπποκράτη-μστ», με δεδομένα από άλλες τεχνικές ιατρικής απεικόνισης (π.χ. εικόνες υπερήχων) για τον ίδιο ασθενή, και από συναρτώμενες διαγνωστικές μεθόδους.

Είναι σαφές ότι η μεθοδολογία του «Ιπποκράτη-μστ» και οι αλγόριθμοι επεξεργασίας των δεδομένων είναι εφαρμόσιμα και σε άλλες ιατρικές απεικονιστικές αναλύσεις.

Λόγω του ιδιαίτερα χαμηλού κόστους υλοποίησης και της εύκολης χρησιμοποίησης, οι προοπτικές εφαρμογής του προτεινόμενου ψηφιακού συστήματος περιλαμβάνουν την μαζική πληθυσμιακή εξέταση, υποστηριζόμενη από την διάθεση του δικτύου τηλεϊατρικής. Η μαστογραφική παρακολούθηση των γυναικών σε ευρεία κλίμακα, με σκοπό την παροχή προληπτικής διάγνωσης του καρκίνου του μαστού, είναι υψίστης οικονομικής και κοινωνικής σημασίας.

Επίσης, είναι μεγάλης σημασίας για την ιατρική εκπαίδευση η ειδική σχεδίαση του συστήματος «Ιπποκράτης-μστ» και η εφαρμογή του ως εκπαιδευτικό εργαλείο των φοιτητών της Ιατρικής Σχολής και των μετεκπαιδευόμενων ιατρών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στόχος της παρούσας διπλωματική εργασίας, ήταν ο σχεδιασμός και η υλοποίηση μιας διαδικτυακής βάσης δεδομένων αναφοράς μαστογραφικών εικόνων και δεδομένων, που να αποσκοπεί στη αξιόπιστη αξιολόγηση της διαγνωστικής απόδοσης υπολογιστικών ταξινομητών και ιατρών.

Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση της διαδικτυακής βάσης δεδομένων MIRaCLe DB, ακολούθησαν την σχεδιαστική πλατφόρμα LAMP. Πρόκειται για ένα δωρεάν πακέτο εφαρμογών που αποτελείται από λογισμικό ανοικτού κώδικα (open-source). Το ακρωνύμιο LAMP συστάθηκε από τον Michael Kunze για ένα άρθρο ενός γερμανικού περιοδικού για υπολογιστές και προκύπτει από τα αρχικά των λέξεων Linux, Apache HTTP Server, MySQL και PHP. Αυτά, αποτελούν και τα κύρια συστατικά για τη δημιουργία ενός κεντρικού υπολογιστή δικτύου (web server). Αν και οι αρχικοί δημιουργοί αυτών των προγραμμάτων δεν τα σχεδίασαν για να συνεργαστούν συγκεκριμένα το ένα με το άλλο, εντούτοις, η φιλοσοφία ανάπτυξής τους και τα εργαλεία τους συνεργάζονται μεταξύ τους. Ο συνδυασμός λογισμικών έχει γίνει ιδιαίτερα δημοφιλής, λόγω του ότι δεν κοστίζει καθόλου, είναι ανοικτού κώδικα και επομένως εύκολα προσαρμόσιμος. Επίσης, το λογισμικό αυτό διατίθεται στις περισσότερες τρέχουσες διανομές Linux. Όταν τα προγράμματα λογισμικού συνδυάζονται, προσφέρουν πληθώρα πακέτων και λύσεων στους διακομιστές εφαρμογών (application servers). Υπό αυτή τη μορφή, τα πακέτα λογισμικού απαιτούν ένα ελάχιστο σύνολο αποθηκευτικού κόστους εγκατάστασης για αρχικούς χρήστες και μπορούν να επεκταθούν ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε χρήστη [66].

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί αναπτύσσονται και αναλύονται τα συστατικά του πακέτου εφαρμογής LAMP, ο τρόπος σύνδεσής τους καθώς και η πορεία ανάπτυξης και υλοποίησης της διαδικτυακής βάσης δεδομένων.

5.1 Περιβάλλον Υλοποίησης Διαδικτυακής Βάσης Δεδομένων

5.1.1 Σύστημα Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων MySQL

Ένα σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (database-management system – DBMS) είναι ένα σύνολο από σχετιζόμενα δεδομένα και ένα σύνολο από προγράμματα για πρόσβαση σε αυτά τα δεδομένα.

Τα συστήματα βάσεων δεδομένων σχεδιάζονται για να χειρίζονται μεγάλα τμήματα πληροφοριών. Η διαχείριση των δεδομένων περιλαμβάνει τόσο τον ορισμό των δομών για την αποθήκευση των πληροφοριών, όσο και την παροχή μηχανισμών για το χειρισμό των πληροφοριών αυτών. Επιπλέον, τα συστήματα βάσεων δεδομένων πρέπει να διασφαλίζουν την ασφάλεια των πληροφοριών που αποθηκεύονται, ειδικά όταν τα δεδομένα δεν είναι προσβάσιμα προς όλους τους χρήστες ή περιέχουν ευαίσθητα δεδομένα όπως προσωπικά στοιχεία.

Με την επανάσταση του διαδικτύου στα τέλη της δεκαετίας του 1990, αυξήθηκε η άμεση πρόσβαση του χρήστη στις βάσεις δεδομένων. Η πρόσβαση σε μια τοποθεσία του παγκόσμιου ιστού, δίνει την ικανότητα στον χρήστη να ανακαλέσει πληροφορίες που τον αφορούν μέσα από μια βάση δεδομένων. Αν και το περιβάλλον του χρήστη κρύβει τις λεπτομέρειες της πρόσβασης σε μια βάση δεδομένων, και οι περισσότεροι χρήστες δεν ξέρουν ότι συνδιαλέγονται με μια βάση δεδομένων, η πρόσβαση σ' αυτήν αποτελεί πλέον απαραίτητο μέρος της καθημερινής μας ζωής [67].

Μια βάση δεδομένων αποτελείται από έναν ή περισσότερους πίνακες. Ο κάθε πίνακας περιέχει μία ή περισσότερες στήλες (columns), όπου η κάθε στήλη περιέχει ένα συγκεκριμένο είδος δεδομένων. Για κάθε εγγραφή, υπάρχει μια γραμμή στον πίνακα.

Για την υλοποίηση της βάσης δεδομένων, χρησιμοποιήσαμε τον MySQL Server 5.0 που διατίθεται δωρεάν. Για δική μας ευκολία, χρησιμοποιήσαμε το εργαλείο MySQL Query Browser για τη δημιουργία της βάσης μέσα από ένα εύχρηστο γραφικό περιβάλλον (graphical user interface). Με τη χρήση του εργαλείου αυτού, που παρέχεται επίσης δωρεάν, αποφύγαμε την διεπαφή γραμμής εντολών (command line), που είναι κάπως δύσχρηστη, αφού σ' αυτήν ο χρήστης γράφει τις εντολές κατά γραμμή. Επίσης, το εργαλείο αυτό μας επιτρέπει να αποθηκεύουμε όλες τις εντολές που έχουμε γράψει για τη δημιουργία των στοιχείων της βάσης. Επιπλέον, με το πάτημα ενός κουμπιού έχουμε διαθέσιμα στην οθόνη μας τα αποτελέσματα μιας αναζήτησης δεδομένων μέσα στη βάση.

Στη δική μας εφαρμογή, η βάση δεδομένων περιέχει μαστογραφίες και πληροφορίες που τις συνοδεύουν (μεταδεδομένα). Λόγω του ότι τα δεδομένα που εισήχθησαν στη βάση δεδομένων είναι γραμμένα στην ελληνική και την αγγλική γλώσσα, χρησιμοποιήσαμε κωδικοποίηση (encoding) utf8.

Θα ήταν σημαντικό να αναφέρουμε, ότι οι μαστογραφίες δεν αποθηκεύονται ως εικόνες μέσα στη βάση δεδομένων, λόγω του μεγάλου μεγέθους της συμπίεσης (compression) τους, αλλά στον κεντρικό υπολογιστή. Με βάση κάποια χαρακτηριστικά που είναι αποθηκευμένα στη βάση, γίνεται ο συσχετισμός μιας μαστογραφίας με τις πληροφορίες που αντιστοιχούν σ' αυτή. Οι πληροφορίες που σχετίζονται με μια μαστογραφία είναι ο αύξων αριθμός της, ο φορέας απ' όπου έχει ληφθεί η συγκεκριμένη μαστογραφία, ο μαστός (δεξιός ή αριστερός), το αποτέλεσμα της βιοψίας και η κατηγοριοποίησή του, ο αριθμός BI-RADS που έχει δοθεί από κάποιο ειδικό ακτινολόγο και το μαστογραφικό εύρημα. Επίσης, συμπεριλαμβάνεται ο αύξων αριθμός εξέτασης της μαστογραφίας από τον «Ιπποκράτη-μστ», το αποτέλεσμα που έχει δώσει ο «Ιπποκράτης-μστ», καθώς και οι διαστάσεις της περιοχής ενδιαφέροντος (Region Of Interest) πάνω στη μαστογραφία. Τα δεδομένα αυτά αρχικά ήταν αποθηκευμένα μέσα σε ένα αρχείο excel. Η MySQL μπορεί να δεχθεί δεδομένα από ένα CSV αρχείο, συνεπώς μετατρέψαμε το αρχείο της μορφής *.xls, σε αρχείο της μορφής *.csv με κωδικοποίηση utf.

5.1.2 Γλώσσα Προγραμματισμού PHP

Η PHP είναι μια γλώσσα προγραμματισμού, για τη δημιουργία ιστοσελίδων (web page) με δυναμικό περιεχόμενο. Αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες γλώσσες προγραμματισμού και παράλληλα μία από τις πιο εύχρηστες. Στη σημερινή της μορφή, υποστηρίζεται φανατικά από μια τεράστια κοινότητα χρηστών και προγραμματιστών και είναι εφαρμόσιμη στα περισσότερα λειτουργικά συστήματα.

Πρόκειται μια server side scripting γλώσσα προγραμματισμού, δηλαδή ο κώδικας της πρώτα μεταγλωττίζεται στον διακομιστή (server), που γράφεται συνήθως πλαισιωμένη από HTML κώδικα, για μορφοποίηση των αποτελεσμάτων. Αντίθετα από μια συνηθισμένη HTML σελίδα, η σελίδα PHP δεν στέλνεται άμεσα σε έναν πελάτη (client), αντ' αυτού πρώτα αναλύεται και μετά αποστέλλεται το παραγόμενο αποτέλεσμα. Τα στοιχεία HTML στον πηγαίο κώδικα μένουν ως έχουν, αλλά ο PHP κώδικας ερμηνεύεται και εκτελείται. Ο κώδικας PHP μπορεί να θέσει ερωτήματα σε βάσεις δεδομένων, να εμφανίσει εικόνες, να διαβάσει και να γράψει αρχεία, να συνδεθεί με απομακρυσμένους υπολογιστές, κ.ο.κ. Σε γενικές γραμμές, οι δυνατότητες που μας δίνει είναι απεριόριστες. Πέραν αυτών, η PHP υποστηρίζει πολλές λειτουργίες (functions) και ακόμη περισσότερες με τη χρήση επεκτάσεων.

Η γλώσσα PHP αναλύει μόνο τον κώδικα μέσα στους οριοθέτες της. Τίποτα έξω από αυτούς δεν υποβάλλεται σε επεξεργασία, αλλά προβάλλεται κατευθείαν υπό τη μορφή κειμένου στον φυλλομετρητή. Οι πιο κοινοί οριοθέτες είναι «<?php» για να ανοίξουν και «?>» για να κλείσουν τα τμήματα του PHP κώδικα.

Ένα αρχείο με κώδικα PHP θα πρέπει να έχει την κατάλληλη επέκταση (π.χ. *.php, *.php4, *.phtml κ.ά.). Η ενσωμάτωση κώδικα σε ένα αρχείο επέκτασης “.html” δεν θα λειτουργήσει και θα εμφανίσει στον φυλλομετρητή (browser) τον κώδικα χωρίς καμία επεξεργασία, εκτός αν έχει γίνει η κατάλληλη ρύθμιση στα MIME types του διακομιστή. Επίσης, ακόμη κι όταν ένα αρχείο έχει την επέκταση .php, θα πρέπει ο διακομιστής να είναι ρυθμισμένος για να επεξεργάζεται κώδικα PHP.

Στην εφαρμογή που υλοποιήσαμε, χρησιμοποιήσαμε κώδικα PHP για τη δημιουργία των ιστοσελίδων και τη σύνδεση τους με την βάση δεδομένων που βρίσκεται στο παρασκήνιο, για να είναι σε θέση ο χρήστης να θέτει ερωτήματα στη βάση δεδομένων και να λαμβάνει τις πληροφορίες που επιθυμεί.

5.1.3 Γλώσσα Προγραμματισμού JavaScript

Η JavaScript είναι γλώσσα προγραμματισμού, που σχεδιάστηκε για να προσθέτει διαδραστικότητα σε HTML σελίδες. Όπως και η PHP, η Javascript έχει βασιστεί όσον αφορά τον τρόπο σύνταξης του κώδικά της στη γλώσσα προγραμματισμού C, με την οποία παρουσιάζει πολλές ομοιότητες. Όμως, ενώ η PHP είναι μια server side γλώσσα προγραμματισμού, η Javascript είναι client side. Αυτό σημαίνει ότι, η επεξεργασία του κώδικα Javascript και η παραγωγή του τελικού περιεχομένου HTML δεν πραγματοποιείται στον διακομιστή (server), αλλά στο πρόγραμμα περιήγησης ή αλλιώς στον φυλλομετρητή

των επισκεπτών (web browser). Αυτή η διαφορά έχει και πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα για καθεμιά από τις δύο γλώσσες. Συγκεκριμένα, η Javascript δεν έχει καμία απαίτηση από πλευράς δυνατοτήτων του διακομιστή για να εκτελεστεί, όπως επεξεργαστική ισχύ ή συμβατό λογισμικό διακομιστή, αλλά βασίζεται στις δυνατότητες του φυλλομετρητή των επισκεπτών.

Επίσης, η JavaScript έχει τη δυνατότητα να ενσωματώνεται σε στατικές σελίδες HTML. Παρόλ' αυτά, οι δυνατότητές της είναι σημαντικά μικρότερες από αυτές της PHP και δεν παρέχει συνδεσιμότητα με βάσεις δεδομένων.

Λόγω του ότι η JavaScript είναι μια γλώσσα δεσμών ενεργειών πλευράς προγράμματος πελάτη, η λειτουργικότητά της τίθεται σε εφαρμογή από μια ενέργεια, το συμβάν, που προκαλείται από τον χρήστη, όπως το άνοιγμα ενός παραθύρου στον φυλλομετρητή ή η απόθεση του δείκτη του ποντικιού επάνω σε μια εικόνα.

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήσαμε κώδικα JavaScript για τη δημιουργία του ψηφιακού μεγεθυντικού φακού για τις μαστογραφίες, καθώς και για τη δημιουργία αναδυόμενων παράθυρων (pop-up) στον φυλλομετρητή, για διευκόλυνση των χρηστών κατά την περιήγηση στο γραφικό περιβάλλον της βάσης δεδομένων.

5.1.4 Γλώσσα Μορφοποίησης Ιστοσελίδων Cascading Style Sheets (CSS)

Η Cascading Style Sheets (CSS) είναι μια γλώσσα μορφοποίησης ιστοσελίδων που δημιουργήθηκε από το W3C, και καθορίζει το πως θα εμφανίζονται τα στοιχεία της HTML.

Οι ιδιότητες που μπορούμε να ρυθμίσουμε με την CSS είναι οι εξής:

- Επιλογή του φόντου με τη χρήση χρώματος ή εικόνας.
- Ρύθμιση του κειμένου με επιλογή γραμματοσειράς, μεγέθους, χρώματος, κατεύθυνσης και στοίχισης των χαρακτήρων.
- Καθορισμός του πλάτους και του χρώματος των ορίων και του μεγέθους των περιθωρίων.
- Δημιουργία μοντέρνων πινάκων με τη χρήση εικόνων.

Με την CSS μπορούμε να δημιουργήσουμε επίσης, μια κλάση ιδιοτήτων με συγκεκριμένη ονομασία, όπου μπορούμε να την καλούμε όποτε τη χρειαστούμε, για να μην επαναλαμβάνουμε κάθε φορά τις ίδιες εντολές. Αυτό μοιάζει σαν λειτουργία (function) στις γλώσσες προγραμματισμού, μόνο που στην προκειμένη περίπτωση το αποτέλεσμα της θα είναι οπτικό, για την αισθητική της παρουσίασης των ιστοσελίδων.

Στην εφαρμογή μας, χρησιμοποιήσαμε την γλώσσα CSS για τη φόρμα παρουσίασης των ιστοσελίδων (template), καθώς επίσης και για την παρουσίαση των πινάκων, έτσι ώστε να έχουν μια πιο μοντέρνα αισθητική, απ' ό,τι οι κλασσικοί πίνακες που ορίζονται στην HTML.

5.1.5 Εξυπηρετητής Παγκόσμιου Ιστού Apache (HTTP Web Server)

Ο Apache αναγνωρίζεται γενικά ως ο πιο δημοφιλής εξυπηρετητής παγκόσμιου ιστού (web server) και έπαιξε βασικό ρόλο στην αρχική ανάπτυξη του παγκόσμιου ιστού (World Wide Web). Πρόκειται για ένα ελεύθερο λογισμικό, που αρχικά σχεδιάστηκε για κεντρικούς υπολογιστές με λειτουργικό σύστημα UNIX και αργότερα εφαρμόστηκε σε κεντρικούς υπολογιστές με Windows και άλλα λειτουργικά συστήματα.

Κεντρικός υπολογιστής ή αλλιώς εξυπηρετητής ή διακομιστής, είναι ο υπολογιστής που παρέχει διάφορες υπηρεσίες σε υπολογιστές πελατών στον παγκόσμιο ιστό. Σε σχέση με τους κοινούς υπολογιστές, είναι πιο αναβαθμισμένος όσον αφορά το λογισμικό του και τον υλικό του εξοπλισμό.

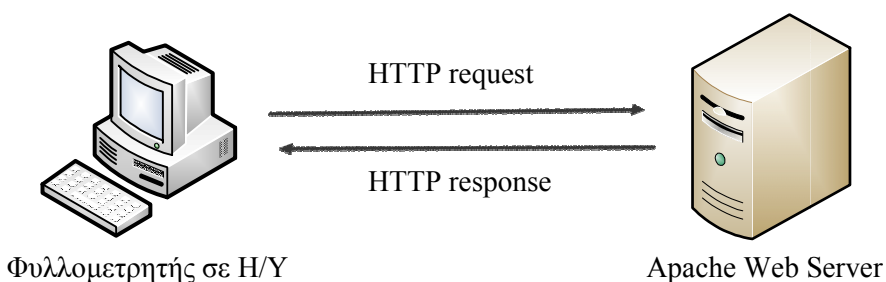
Από την πλευρά των χρηστών, ο ιστός αποτελείται από μια απέραντη συλλογή ιστοσελίδων. Όταν ο χρήστης επιλέξει μια ιστοσελίδα, ο φυλλομετρητής ακολουθεί την διεύθυνσή της (hyperlink) για να βρει και να εμφανίσει τη συγκεκριμένη ιστοσελίδα.

Ο Apache υποστηρίζει πολλά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, αρκετά από τα οποία υλοποιούνται με την επέκταση του πυρήνα του. Αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα, περιλαμβάνουν από την υποστήριξη server side γλωσσών προγραμματισμού μέχρι και σχήματα πιστοποίησης χρηστών (authentication schemes).

Κυρίως, ο Apache χρησιμοποιείται για να εξυπηρετεί στατικές και δυναμικές ιστοσελίδες στον παγκόσμιο ιστό. Πολλές εφαρμογές του ιστού, σχεδιάζονται ανάλογα με το περιβάλλον και τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που ο Apache παρέχει.

Όπως αναφέραμε και στην αρχή του κεφαλαίου, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση της διαδικτυακής βάσης δεδομένων MIRaCLE DB ακολούθησαν την σχεδιαστική πλατφόρμα LAMP, ένα δωρεάν πακέτο εφαρμογών που αποτελείται από λογισμικό ανοικτού κώδικα (open-source). Το ακρωνύμιο LAMP προκύπτει από τα αρχικά των λέξεων Linux, Apache HTTP Server, MySQL και PHP. Αυτά αποτελούν και τα κύρια συστατικά για τη δημιουργία ενός κεντρικού υπολογιστή δικτύου (web server).

Με τη βοήθεια του Apache HTTP Server, η PHP έχει την ικανότητα να συνδέεται με την βάση δεδομένων που υλοποιήσαμε, για την ανάκτηση των πληροφοριών που ζητά ο χρήστης, μέσω του φιλικού γραφικού περιβάλλοντος που σχεδιάσαμε. Αρχικά, η βάση σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε σε ένα δοκιμαστικό κεντρικό υπολογιστή, μέχρι να γίνουν οι απαραίτητες πιλοτικές δοκιμές και αξιολογήσεις και ακολούθως έγινε διαθέσιμη στον παγκόσμιο ιστό.



Σχήμα 24 Αρχή Λειτουργίας Εξυπηρετητή Παγκόσμιου Ιστού

Ο χρήστης μπορεί να έχει εύκολη πρόσβαση στη βάση δεδομένων MIRaCLE DB μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή που έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο. Η βάση δεδομένων είναι διαθέσιμη στον ιστότοπο:

- <http://bioserver-1.bioacademy.gr/MedServer/MIRaCLE>

5.2 Ανάπτυξη Διαδικτυακής Βάσης Δεδομένων

Ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η υλοποίηση της διαδικτυακής βάσης δεδομένων, αποτελεί ένα έργο που αποπερατώθηκε με την πολύτιμη αρωγή πολλών ανθρώπων και φορέων. Το αποτέλεσμα που προέκυψε, οφείλεται σε συλλογική εργασία για ένα κοινό στόχο, για την έγκαιρη διάγνωση του καρκίνου του μαστού και τη μείωση της θνησιμότητας από την ασθένεια αυτή.

5.2.1 Κύκλος ζωής Λογισμικού

Για την ανάπτυξη του λογισμικού μας, τα δύο κύρια συμβαλλόμενα μέρη, είναι οι χρήστες που θα χρησιμοποιήσουν το προϊόν και ο σχεδιαστής που παρέχει το προϊόν. Στην περίπτωση μας, το σύστημά μας απευθύνεται σε χρήστες οι οποίοι είναι είτε ακτινολόγοι είτε ερευνητές. Ο κύκλος ζωής του λογισμικού, ακολούθησε το μοντέλο του καταρράκτη, τα στάδια του οποίου παριστάνονται με τη μορφή μιας γραμμικής ακολουθίας, σαν καταρράκτης που οδηγεί το ένα στο άλλο. Όμως, όπως θα γίνει αντιληπτό παρακάτω, ακολουθήσαμε ένα επαναληπτικό μοντέλο του καταρράκτη.

5.2.1.1 Προδιαγραφή απαιτήσεων

Η αρχική δραστηριότητά μας ήταν ο καθορισμός των απαιτήσεων και η σύνταξη μιας προδιαγραφής απαιτήσεων (requirements specification): συνεργαστήκαμε μαζί με ακτινολόγους για να δημιουργήσουμε μια περιγραφή του τί αναμένεται να παρέχει το υπό ανάπτυξη σύστημα.

Σε πρώτο στάδιο, μια ομάδα ακτινολόγων συνεργαζόμενων με την Ακαδημία Αθηνών συνέλεξε από τα νοσοκομεία τις μαστογραφίες μαζί με τις αντίστοιχες πληροφορίες που τις πλαισιώνουν (metadata), όπως το αποτέλεσμα της βιοψίας, την κατηγοριοποίηση κατά BI-RADS και το μαστογραφικό εύρημα. Λόγω του ότι τα νοσοκομεία δεν δίνουν εύκολα τέτοιο υλικό γιατί ουσιαστικά πρόκειται για ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα, στην παρούσα φάση η βάση δεδομένων φιλοξενεί 204 μαστογραφίες από 196 ασθενείς, μόνο από ένα Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο. Φιλοδοξία όμως της Ακαδημίας Αθηνών, αποτελεί η φιλοξενία μεγαλύτερου αριθμού περιπτώσεων σε συνεργασία με άλλα ιδρύματα.

Όλες οι υποψήφιες περιπτώσεις που δύναται να συμπεριληφθούν στη βάση δεδομένων, πέρασαν μέσω μιας διαδικασίας φιλτραρίσματος, για να επιτύχουν υψηλό επίπεδο ποιότητας, συνέπειας και ακεραιότητας. Όλες οι μαστογραφίες πρέπει να συνοδεύονται από τις αντίστοιχες πληροφορίες τους. Αφού η ομάδα των ακτινολόγων παρατήρησε και ομογενοποίησε τα δεδομένα, έπειτα επέλεξε τις μαστογραφίες που έχουν καλή ποιότητα εικόνας και που συνήθως παρουσίαζαν κάποιες αλλοιώσεις. Αυτό, έγινε για να ταξινομηθούν τα δεδομένα, καθώς επίσης και να βοηθήσουν τους ακτινολόγους ή τα υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης να βελτιώσουν τη διακριτική τους ικανότητα σ' αυτές τις ανωμαλίες. Ακολούθως, οι μαστογραφίες επεξεργάστηκαν από τα υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης και αυτά προσδιόρισαν την περιοχή ενδιαφέροντος, που παρουσιάζει τις αλλοιώσεις, με βάση τα χαρακτηριστικά της εικόνας, όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο 3. Οι διαστάσεις αυτές των περιοχών ενδιαφέροντος, αποθηκεύτηκαν μαζί με όλες τις συνοδές πληροφορίες, για την κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

5.2.1.2 Σχεδίαση της αρχιτεκτονικής του συστήματος

Αφού τα δεδομένα υπέστησαν την τελική τους επεξεργασία και προσδιορίστηκε η χρήσιμη πληροφορία που θα εισαχθεί στη βάση, κάναμε μια υψηλού επιπέδου αποσύνθεση του συστήματος σε επιμέρους συστατικά. Η εκτέλεση αυτής της αποσύνθεσης, είναι ο στόχος της αρχιτεκτονικής του συστήματος. Η αρχιτεκτονική της σχεδίασης δεν ασχολείται μόνο με την λειτουργική αποσύνθεση του συστήματος, αλλά καθορίζει επίσης ποια συστατικά θα παρέχουν ποιες υπηρεσίες. Στην παρούσα φάση, περιγράψαμε και τις εξαρτήσεις που υπάρχουν μεταξύ των συστατικών.

5.2.1.3 Λεπτομερής σχεδίαση

Η σχεδίαση της αρχιτεκτονικής κατέληξε σε μια αποσύνθεση της περιγραφής του συστήματος, η οποία επέτρεψε την ανάπτυξη των μεμονομένων συστατικών ξεχωριστά.

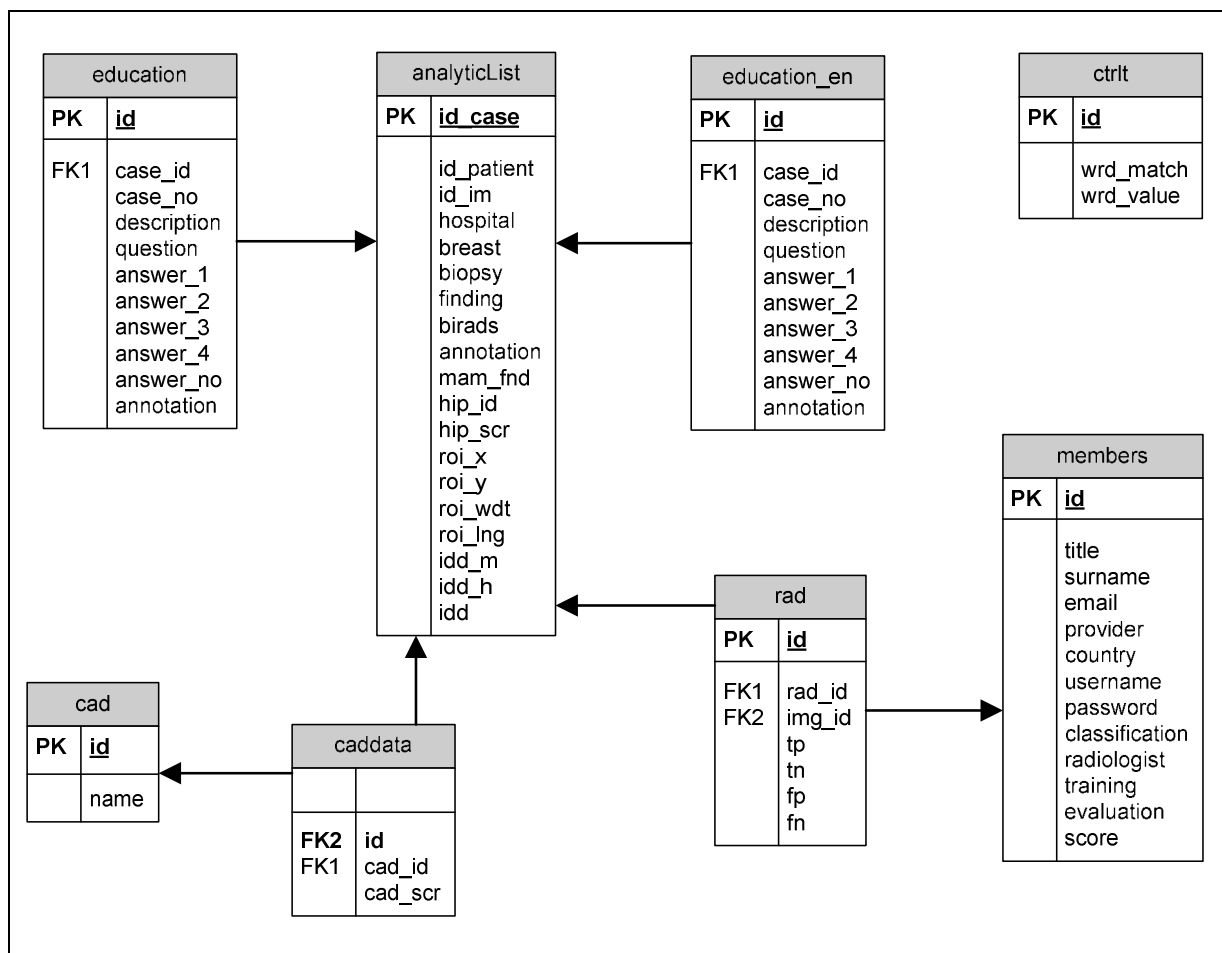
Ακολούθως, σχεδιάσαμε το σχήμα της βάσης. Το σχήμα της βάσης σχεδιάστηκε με την πρόεπουσα προσοχή, ώστε να παρέχει ασφάλεια στα δεδομένα. Λόγω ηθικών περιορισμών, όλες οι προσωπικές πληροφορίες, όπως το ονοματεπώνυμο των ασθενών, αποκλείονται από τη βάση δεδομένων.

Η σχεσιακή βάση δεδομένων αποτελείται από ένα σύνολο από πίνακες που συνδέονται μεταξύ τους, ώστε ο κάθε πίνακας να περιέχει αλληλένδετες πληροφορίες, χωρίς να παρουσιάζονται διπλότυπα. Αυτό προσδίδει αποδοτικότητα στο μοντέλο, και δίνει τις απαντήσεις στα ερωτήματα του εκάστοτε χρήστη, άμεσα, χωρίς καθυστέρηση.

Συνολικά, δημιουργήσαμε επτά πίνακες. Ο πίνακας members περιέχει όλους τους εγγεγραμμένους χρήστες που έχουν πρόσβαση στο περιεχόμενο της βάσης δεδομένων. Ο πίνακας analyticList περιέχει όλες τις περιπτώσεις με της αντίστοιχες πληροφορίες που τις συνοδεύουν, όπως τον φορέα απ' όπου έχουν παρθεί, τον τύπο του μαστού (δεξιός ή αριστερός), το αποτέλεσμα της βιοψίας, το ιστολογικό εύρημα, τον κωδικό BI-RADS που

έχει δοθεί από ένα εμπειρογνώμονα ιατρό ακτινολόγο, το μαστογραφικό εύρημα και τις διαστάσεις της περιοχής ενδιαφέροντος. Επιπρόσθετα, περιέχει τον Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης, που θα παρουσιάσουμε και θα αναλύσουμε στο κεφάλαιο 7, σε τρία επίπεδα πληροφορίας. Οι πίνακες education και education_en περιέχουν τις ερωτήσεις και τις απαντήσεις για την αξιολόγηση των νέων ακτινολόγων, στην ελληνική και στην αγγλική γλώσσα αντίστοιχα. Επιπλέον, ο πίνακας rad συσχετίζει τους χρήστες που έχουν εγγραφεί στην υπηρεσία εκπαίδευσης και αξιολόγησης ακτινολόγων και παράλληλα αποθηκεύει τις απαντήσεις που δίνουν όταν αυτοί αξιολογηθούν. Ακόμη, οι πίνακες cad και caddata περιέχουν τα ονόματα και τα αποτελέσματα των υπολογιστικών ταξινομητών αντίστοιχα, που έχουν καταχωρηθεί στη βάση. Τέλος, ο πίνακας ctrlt συσχετίζει τη λέξη «αποτιτάνωση» με τη λέξη «ασβέστωση», για την ορθή αναζήτηση των δεδομένων από τον χρήστη.

Μια αναπαράσταση των δεδομένων που φιλοξενούνται στη βάση δεδομένων, παρουσιάζεσαι στο σχεσιακό διάγραμμα του σχήματος 25.



Σχήμα 25 Σχεσιακό διάγραμμα της βάσης δεδομένων που υλοποιήσαμε

5.2.1.4 Συγγραφή κώδικα και έλεγχος σε επίπεδο λειτουργικών μονάδων

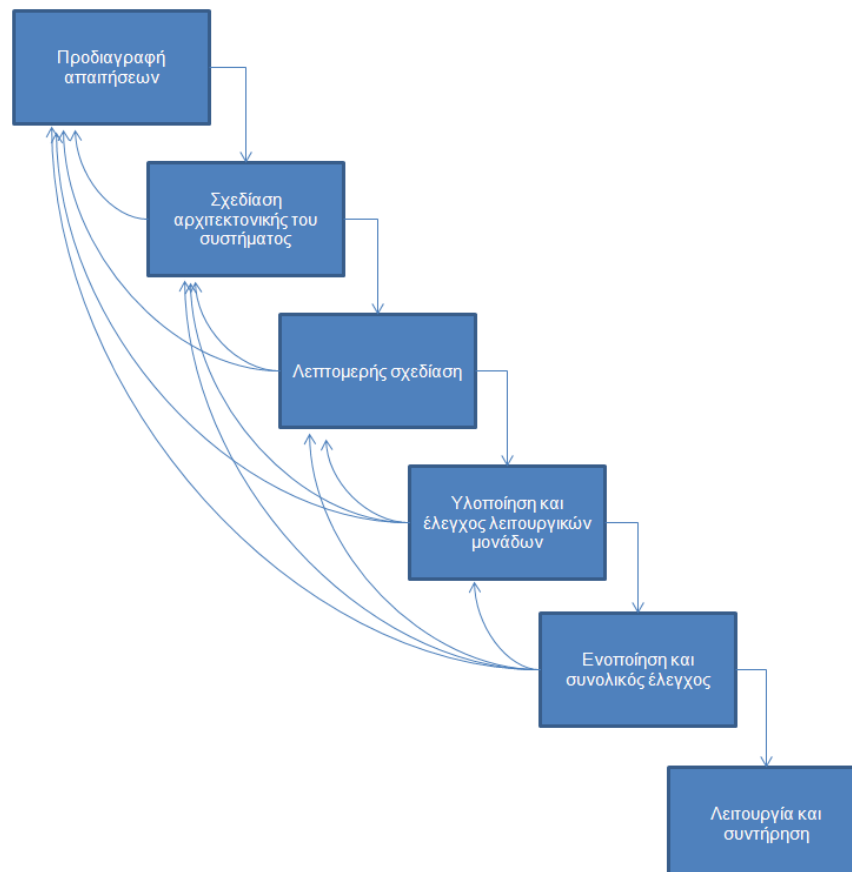
Η λεπτομερής σχεδίαση ενός συστατικού του συστήματος έγινε με τέτοια μορφή, ώστε να είναι δυνατή η υλοποίησή του με κάποια (εκτελέσιμη) γλώσσα προγραμματισμού, συγκεκριμένα την PHP.

Ακολούθως, ορίσαμε τις απαιτήσεις ενός φιλικού προς το χρήστη γραφικού περιβάλλοντος, με τη βοήθεια ιατρών, βασισμένες στην κλινική ροή της εργασίας τους, για να είναι το σύστημα λειτουργικό στους χρήστες-ιατρούς και να τους παρέχει εύκολα και απλά τα δεδομένα που χρειάζονται. Αυτό αποτελεί το κλειδί για την πλήρη αποδοχή και εξάπλωση του συστήματος. Το σύστημα και οι λειτουργίες που παρέχει, αναλύονται στο κεφάλαιο 6.

5.2.1.5 Ενοποίηση και έλεγχος

Αφού υλοποιήσαμε το σύστημα της βάσης δεδομένων, εκτελέσαμε ελέγχους για να διασφαλίσουμε τη σωστή λειτουργία των συστατικών του και την αποδεκτή χρήση των πόρων, όπως για παράδειγμα το χρονικό διάστημα της φόρτωσης των μαστογραφικών εικόνων. Στο παρόν στάδιο, εκτελέστηκαν κάποιες πιλοτικές δοκιμές του συστήματος από μια ομάδα ακτινολόγων, για να επισημάνουμε τυχόν λάθη ή παραλείψεις καθώς επίσης και για να διαπιστώσουμε αν το σύστημα ικανοποιεί τις απαιτήσεις τους.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι σε κάθε δραστηριότητα του κύκλου ζωής του λογισμικού, η διαδικασία σχεδίασης ήταν επαναληπτική όπως φαίνεται και στο σχήμα 26. Αυτό σημαίνει ότι, η δουλειά που γινόταν σε μια δραστηριότητα σχεδίασης επηρέαζε και τη δουλειά που έγινε ή επρόκειτο να γίνει σε μεταγενέστερη δραστηριότητα του κύκλου ζωής. Αυτό γινόταν σύμφωνα με τις απαιτήσεις του χρήστη-ιατρού που δημιουργούνταν σε κάθε βήμα υλοποίησης, όσο αυτή προχωρούσε.



Σχήμα 26 Επαναληπτική διαδικασία σχεδίασης στο μοντέλο καταρράκτη

5.2.1.6 Συντήρηση

Μετά την ολοκλήρωση του λογισμικού και την παράδοσή του στους χρήστες, όλες οι εργασίες που γίνονται στο σύστημα εντάσσονται στην κατηγορία της συντήρησης. Η διαδικασία της συντήρησης περιλαμβάνει τη διόρθωση τυχόν σφαλμάτων του συστήματος τα οποία ανακαλύφθηκαν εκ των υστέρων, καθώς και την προσαρμογή/βελτίωση των υπηρεσιών του συστήματος, ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις οι οποίες δεν έγιναν αντιληπτές στα προγενέστερα στάδια της ανάπτυξης.

5.3 Ασφάλεια και Πιστοποίηση Δεδομένων

Τα δεδομένα που αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων, πρέπει να προστατεύονται από τη μη πιστοποιημένη πρόσβαση και την κατά λάθος καταστροφή ή αλλαγή. Η απόλυτη προστασία της βάσης δεδομένων από κακόβουλη χρήση δεν είναι δυνατή. Εντούτοις, μπορούν να παρθούν κάποια μέτρα ασφαλείας σε διάφορα επίπεδα.

Στο επίπεδο του συστήματος της βάσης δεδομένων, οι χρήστες πιστοποιούνται για πρόσβαση μόνο σε ένα περιορισμένο τμήμα της βάσης. Οι χρήστες επιτρέπεται να δίνουν ερωτήματα, αλλά απαγορεύεται να τροποποιούν δεδομένα. Επιπλέον, κατά τη δημιουργία του γραφικού περιβάλλοντος στη γλώσσα PHP, χρησιμοποιήσαμε κάποιες λειτουργίες (functions), οι οποίες αφαιρούν όλους τους ενδεχομένως επικίνδυνους χαρακτήρες από τη συμβολοακολουθία του ερωτήματος που θέτουν οι χρήστες και επιστρέφουν την «καθαρή» ερώτηση που θα εισαχθεί στη βάση για να γίνει η αναζήτηση. Ακόμη, οι λειτουργίες αυτές δεν επιτρέπουν το φώλιασμα των ερωτήσεων, ούτε την εκτέλεση των πολλαπλών ερωτήσεων σε μια κλήση λειτουργίας.

Στο επίπεδο του λειτουργικού συστήματος, το σύστημα απαιτεί κωδικούς πρόσβασης για τον έλεγχο της ταυτότητάς του χρήστη, πριν αποκτήσει πρόσβαση στα δεδομένα της βάσης δεδομένων. Λόγω της ευαισθησίας των προσωπικών δεδομένων των χρηστών, ο κωδικός που δηλώνει ο χρήστης με την εγγραφή του, αποθηκεύεται σε κρυπτογραφημένη μορφή, με την τεχνική του αλγορίθμου MD5 (Message-Digest algorithm 5). Τα κρυπτογραφημένα δεδομένα δεν είναι δυνατόν να διαβαστούν, εκτός και αν ο αναγνώστης ξέρει πως να τα αποκρυπτογραφήσει.

Η μόνη μορφή πιστοποίησης που παρέχεται στον χρήστη, είναι οι πιστοποίηση ανάγνωσης των δεδομένων. Οι πιστοποιήσεις τροποποίησης που αφορούν την εισαγωγή, ενημέρωση ή διαγραφή δεδομένων, δεν επιτρέπονται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Όπως αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, επιλέξαμε να αποθηκεύσουμε τα δεδομένα μας σε μια σχεσιακή βάση δεδομένων, προκειμένου οι πληροφορίες οι οποίες διαχειρίζονται από το σύστημα να είναι αποθηκευμένες με αποδοτικό τρόπο και σε εκμεταλλεύσιμη μορφή από τις επιμέρους ιστοσελίδες και εφαρμογές του συστήματος. Για τον ίδιο λόγο, τα αντίγραφα των εικόνων είναι αποθηκευμένα σε ειδικούς φακέλους μέσα στον κεντρικό υπολογιστή (web server).

Στο κεφάλαιο αυτό, θα περιγράψουμε τις επιμέρους ιστοσελίδες μέσα στον κεντρικό υπολογιστή που βρίσκεται στην Ακαδημία Αθηνών και θα παρουσιάσουμε τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στις ιστοσελίδες αυτές. Η βάση δεδομένων οργανώνεται και παρουσιάζεται στις ακόλουθες ενότητες:

1. Αξιολόγηση Υπολογιστικών Ταξινομητών
2. Εκπαίδευση και Αξιολόγηση Ακτινολόγων

6.1 Πρόσβαση στη διαδικτυακή βάση δεδομένων MIRaCLe DB

Όταν ο χρήστης πληκτρολογήσει στον φυλλομετρητή (browser) του υπολογιστή του την διεύθυνση του ιστοτόπου που φιλοξενεί τη βάση δεδομένων MIRaCLe DB, θα κληθεί πρώτα να επιλέξει τη γλώσσα που επιθυμεί, μεταξύ ελληνικών και αγγλικών. Ακολούθως, θα μεταφερθεί στην αρχική σελίδα της βάσης. Αν δεν είναι ήδη εγγεγραμμένος χρήστης σε κάποια από τις δύο παρεχόμενες υπηρεσίες, θα πρέπει να εγγραφεί σε μία από αυτές για να αποκτήσει πρόσβαση σ' αυτή. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να εγγραφεί δωρεάν στις εξής δύο υπηρεσίες:

1. Αξιολόγηση Υπολογιστικών Ταξινομητών
2. Εκπαίδευση και Αξιολόγηση Ακτινολόγων

Κατά τη διαδικασία της εγγραφής του στην Αξιολόγηση Υπολογιστικών Ταξινομητών, θα κληθεί να συμπληρώσει κάποια προσωπικά δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στο σχήμα 27. Αντίστοιχα, κατά τη διαδικασία της εγγραφής του στην Εκπαίδευση και Αξιολόγηση Ακτινολόγων, θα κληθεί να συμπληρώσει πάλι κάποια προσωπικά δεδομένα, τα ίδια όπως αυτά που φαίνονται στο σχήμα 27. Στο σημείο αυτό, είναι σημαντικό να αναφέρουμε, ότι εάν κάποιος χρήστης επιθυμεί να ξαναεγγραφεί στην ίδια υπηρεσία που έχει ήδη εγγραφεί ή να εγγραφεί και στις δύο υπηρεσίες με τα ίδια προσωπικά δεδομένα, θα πρέπει να δηλώσει διαφορετικό ψευδώνυμο και κωδικό σε κάθε περίπτωση.

Στην Αξιολόγηση Υπολογιστικών Ταξινομητών, οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν όλες τις λειτουργίες που φαίνονται στο μενού επιλογών. Αρχικά, μπορούν να δουν μία λίστα με όλες τις περιπτώσεις που είναι αποθηκευμένες στη βάση δεδομένων ή να εκτελέσουν μια Απλή ή Σύνθετη Αναζήτηση, θέτοντας κάποια κριτήρια. Ακολούθως, μπορούν να δουν τη Λίστα Αξιολογημένων Ταξινομητών που βρίσκονται στη βάση μαζί με τα χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα ή μπορούν να δουν τους Δείκτες Ακρίβειας των Ταξινομητών αυτών. Τέλος, οι χρήστες έχουν την ικανότητα, αφού αποθηκεύσουν στον υπολογιστή τους κάποιες μαστογραφίες και τις αξιολογήσουν χρησιμοποιώντας Υπολογιστικούς Ταξινομητές που έχουν αναπτύξει στα εργαστήριά τους, να ανατροφοδοτήσουν τα αποτελέσματά τους στη βάση μας μέσω ενός συγκεκριμένου προτύπου που μπορούν κατεβάσουν από την ιστοσελίδα μας. Το συγκεκριμένο πρότυπο, μπορούν να το αποστείλουν συμπληρωμένο στο Ίδρυμα Ιατροβιολογικών Ερευνών της Ακαδημίας Αθηνών μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.

Στην Εκπαίδευση και Αξιολόγηση Ακτινολόγων, οι χρήστες, κυρίως οι νέοι ακτινολόγοι, έχουν την δυνατότητα να εκπαιδευτούν σε πραγματικό χρόνο μέσω μιας σειράς παρουσιάσεων που έχουν δημιουργηθεί από ειδικούς ακτινολόγους. Επιπρόσθετα, οι χρήστες μπορούν να αξιολογηθούν μέσα από μια σειρά ερωτήσεων και να εκτιμήσουν τη διακριτική τους ικανότητα. Τέλος, μπορούν να δουν τη Λίστα Αξιολογημένων Ακτινολόγων μαζί με τα χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα.

The screenshot shows a web browser window with the following content:

- Browser Title:** MIRaCLE DB - Mozilla Firefox
- Address Bar:** http://localhost/MedServer/MIRaCLE/gr/register_cias.php
- Page Header:** MIRaCLE DB Mammography Image reading for Radiologists' and Computers' Learning Database
- Navigation:** Welcome to MIRaCLE DB, Αρχική σελίδα, Αξιολόγηση Υπολογιστικών Ταξινομητών, Εκπαίδευση και Αξιολόγηση Ακτινολόγων, Επικοινωνία
- Main Content:**
 - ΜΕΝΟΥ ΕΠΙΛΟΓΩΝ**
 - Σύνδεση χρήστη**
 - Ψευδώνυμο:
 - Κωδικός:
 - Σύνδεση
 - Νέοι χρήστες**
 - Παρακαλώ εγγραφείτε πιο κάτω διατείν.
 - Εγγραφή στην Αξιολόγηση Υπολογιστικών Συστημάτων
 - Εγγραφή στην Εκπαίδευση και Αξιολόγηση Ακτινολόγων
 - Εγγραφή νέου χρήστη στην Αξιολόγηση Υπολογιστικών Ταξινομητών**
 - Παρακαλώ συμπληρώστε όλα τα πεδία.
 - * Τα πεδία 'Ψευδώνυμο', 'Κωδικός' και 'Επιλογή κωδικού' συμπληρώστε τα με λατινικούς χαρακτήρες
 - Form fields:
 - Τίτλος: Mr.
 - Όνομα:
 - Επώνυμο:
 - E-mail:
 - Φορέας:
 - Χώρα: Select Country
 - Ψευδώνυμο*:
 - Κωδικός*:
 - Επιλογή κωδικού*:
 - Buttons: Υποβολή, Καθαρισμός

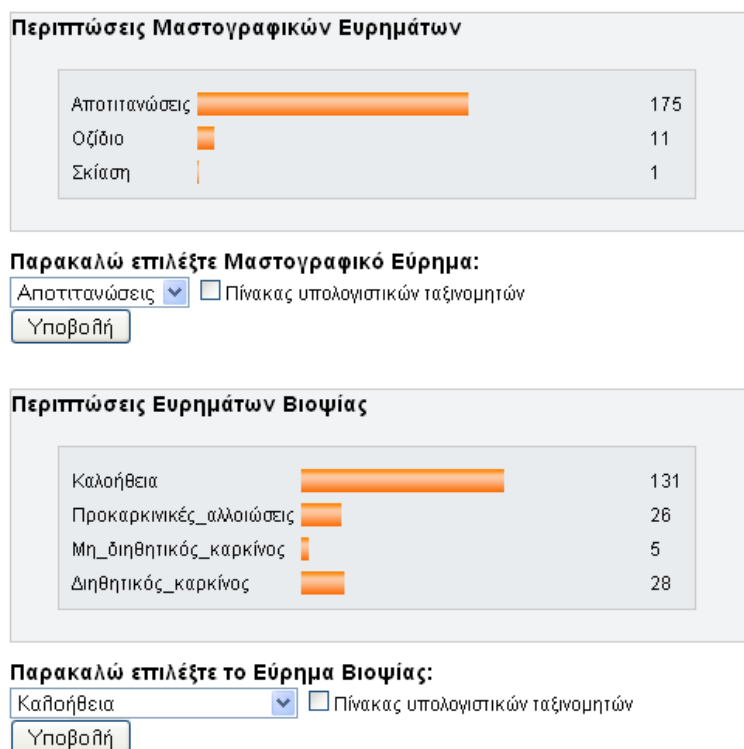
Σχήμα 27 Εγγραφή νέου χρήστη στην Αξιολόγηση Υπολογιστικών Ταξινομητών

6.2 Αξιολόγηση Υπολογιστικών Ταξινομητών

Καθώς ο χρήστης έχει συνδεθεί στην υπηρεσία Αξιολόγησης Υπολογιστικών Ταξινομητών, έχει τη δυνατότητα να περιηγηθεί σε όλες τις διαθέσιμες λειτουργίες της. Στις παραγράφους που ακολουθούν, θα αναλύσουμε τις λειτουργίες αυτές.

6.2.1 Λίστα Περιπτώσεων

Στην ενότητα αυτή, οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να δουν τα στατιστικά κάποιων περιπτώσεων υπό τη μορφή διαγραμμάτων ή να δουν το σύνολο των διαθέσιμων περιπτώσεων υπό τη μορφή λίστας με όλες τις πληροφορίες που της συνοδεύουν, τα λεγόμενα μεταδεδομένα (metadata). Οι περιπτώσεις που παρουσιάζονται υπό τη μορφή διαγραμμάτων, είναι τα μαστογραφικά ευρήματα και τα ευρήματα της βιοψίας, όπως μπορούμε να δούμε και στο σχήμα 28.



Σχήμα 28 Περιπτώσεις ευρημάτων μέσα από τη βάση δεδομένων που παρουσιάζονται υπό τη μορφή διαγραμμάτων

Για το κάθε εύρημα που παρουσιάζεται στο διάγραμμα, ο χρήστης έχει την ικανότητα να επιλέξει να δει όλες τις περιπτώσεις που το αφορούν, συνοδευόμενες με τα μεταδεδομένα τους. Ακόμη, για την κάθε περίπτωση ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να δει τα αποτελέσματα σε δύο μορφές πινάκων. Η προεπιλεγμένη παρουσίαση πίνακα, περιλαμβάνει πληροφορίες όπως, ο φορέας από όπου έχει ληφθεί η συγκεκριμένη περίπτωση, το είδος του μαστού (δεξιός ή αριστερός), τα αποτελέσματα της βιοψίας, τα ιστολογικά ευρήματα, ο κωδικός BI-RADS, τα μαστογραφικά ευρήματα, τον Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης σε τρία

επίπεδα πληροφορίας που εξηγούμε σε επόμενο κεφάλαιο, και ολόκληρη τη μαστογραφία καθώς και την περιοχή ενδιαφέροντος (Region Of Interest image) σε σμίκρυνση. Η δεύτερη μορφή του πίνακα, ο πίνακας υπολογιστικών ταξινομητών, περιλαμβάνει πληροφορίες που ενδιαφέρουν τους υπολογιστικούς ταξινομητές, όπως τις διαστάσεις της εικόνας της περιοχής ενδιαφέροντος και τα αποτελέσματα που δίνουν οι διάφοροι υπολογιστικοί ταξινομητές που είναι καταχωρημένοι στη βάση.

Σύνολο περιπτώσεων

Πίνακας υπολογιστικών ταξινομητών

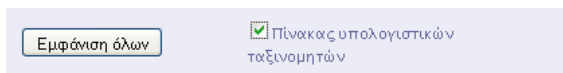
Σύνολο περιπτώσεων
Προεπιλεγμένη παρουσίαση πίνακα

ID	Φορέας	Μικτός	Βιοψία	Ιστολογικό εύρημα	BIRADS	Μαστογραφικό εύρημα	IDD M	IDD H	IDD	Μαστογραφία
1	Ιπποκράτειο		ινοκυτικές μεταβολές, θέσεις κυστικής διάταξης, αποκρινούς μετάπλασης και ελαφράς επιθηλίωσης πόρων, εστίες αδένης εν μέρει σκληρυντικού τύπου και εναποθέσεις αλάτων ασβεστίου	καλοήθεια	3	αποτιτανώσεις	0.000	0.000	0.000	 <p>Αποθηκεύστε την ΟΛΟΚΛΗΡΗ εικόνα</p> <p>Δεν είναι διαθέσιμη η εικόνα της ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ</p>
2	Ιπποκράτειο	αριστερό	ζινκα	καλοήθεια	3	μικροαποτιτανώσεις	1.000	0.000	1.000	 <p>Αποθηκεύστε την ΟΛΟΚΛΗΡΗ εικόνα</p>  <p>Αποθηκεύστε την εικόνα της ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ</p>
3	Ιπποκράτειο	αριστερό	ινοκυτική μαστοπάθεια, ατροφικό και ασβεστοποιημένο ινοαδένωμα	καλοήθεια	4A	μικροαποτιτανώσεις	1.000	0.000	1.000	 <p>Αποθηκεύστε την ΟΛΟΚΛΗΡΗ εικόνα</p>  <p>Αποθηκεύστε την εικόνα της ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ</p>

Σχήμα 29(α) Προεπιλεγμένη παρουσίαση πίνακα για το σύνολο των διαθέσιμων περιπτώσεων

Πέραν των περιπτώσεων υπό τη μορφή διαγραμμάτων, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να δει το σύνολο των περιπτώσεων υπό τη μορφή λίστας. Όπως και στις

προηγούμενες περιπτώσεις, ο χρήστης μπορεί να δει τα αποτελέσματα στην προεπιλεγμένη παρουσίαση πίνακα ή στον πίνακα υπολογιστικών ταξινομητών. Στο σχήμα 29(α) βλέπουμε το σύνολο των διαθέσιμων περιπτώσεων, υπό τη μορφή λίστας, στην προεπιλεγμένη παρουσίαση πίνακα, και στο σχήμα 29(β) στον πίνακα υπολογιστικών ταξινομητών.



Σύνολο περιπτώσεων

Παρουσίαση πίνακα υπολογιστικών ταξινομητών

ID	Βιοψία	BIRADS	Ιστολογικό εύρημα	ROI_X	ROI_Y	ROI_Πλάτος	ROI_Μήκος	HIP-MST
1	ινοκυστικές μεταβολές, θέσεις κυστικής διάταξης, αποκρινούς μετάπλασης και ελαφράς επιθηλίωσης πόρων, εστίες αδένωσης εν μέρει σκληρυντικού τύπου και εναποθέσεις αλάτων ασβεστίου	3	καλοήθεια					P
2	ικκα	3	καλοήθεια	670	1226	55	45	N
3	ινοκυστική μαστοπάθεια, ατροφικό και ασβεστοποιημένο ινοαδένωμα	4A	καλοήθεια	334	1705	87	115	N
4	ινοκυστική μαστοπάθεια, μέτρια-σοβαρή υπερπλασία επιθηλίου πόρων	3	καλοήθεια	789	995	307	406	P
5	βλενοκήλη του μαστού συνοδευόμενη από εστιακή άτυπη υπερπλασία των πόρων		προκαρκινικές αλλοιώσεις υψηλού κινδύνου					P
6	ινοκυστική νόσος	4B	καλοήθεια	423	982	150	141	P
7	ίνοση-απλή επιθηλίωση-αδένωση-φλεγμονώδης διήθηση	3	καλοήθεια	591	1666	92	119	N
8	εστίες αδένωσης τυφλών πόρων	3	καλοήθεια					N
9	ικκα - μικροαδενώματα - ADH	4A	προκαρκινικές αλλοιώσεις υψηλού κινδύνου	1598	2018	71	75	N
10	ικκα	3	καλοήθεια	197	980	130	98	N
11		3						P
12	ινοαδένωμα	3	καλοήθεια	148	1403	141	84	P
13	ικκα-SCA	3	καλοήθεια	1574	2408	51	65	N
14	ADH-ικκα	3	προκαρκινικές αλλοιώσεις υψηλού κινδύνου					N
15	αλλοιώσεις ινοκυστικής μαστοπάθειας, εστίες λοβιακής νεοπλασίας μαστού		καλοήθεια					P
16	ώρμος λιπώδους ιστός και αυξημένο ινώδες υπόστρωμα με αιμοραγική διαπότιση	4A	καλοήθεια	876	2062	146	87	P
17	in situ πορογενές αδenoκαρκίνωμα, σκληρυντική αδένωση	4B	καρκίνωμα - μη διηθητικός καρκίνος					
18	DCIS	4	καρκίνωμα - μη διηθητικός καρκίνος	166	1240	182	131	P

Σχήμα 29(β) Πίνακας υπολογιστικών ταξινομητών για το σύνολο των διαθέσιμων περιπτώσεων


Στην προεπιλεγμένη παρουσίαση πίνακα, οι χρήστες, πέραν του ότι μπορούν να δουν ολόκληρη την εικόνα ή την εικόνα της περιοχής ενδιαφέροντος για την κάθε περίπτωση, επιπλέον, έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύσουν αυτές τις εικόνες στον υπολογιστή τους, για περαιτέρω επεξεργασία, υπό τη συμπίεση tiff, που προσδίδει τη βέλτιστη ανάλυση εικόνας.

Ωσαύτως, οι χρήστες μπορούν να πατήσουν με το δείκτη του ποντικού πάνω στις εικόνες που παρουσιάζονται στην προεπιλεγμένη παρουσίαση πίνακα, για να τις δουν στο πραγματικό τους μέγεθος. Κάθε μαστογραφία, συνοδεύεται με όλες τις πληροφορίες που την αφορούν.

Αν ο χρήστης επιλέξει να δει την εικόνα που δείχνει την περιοχή ενδιαφέροντος μιας μαστογραφίας, μπορεί περαιτέρω να δει ολόκληρη την εικόνα της μαστογραφίας με σημειωμένη περιοχή ενδιαφέροντος, ή μπορεί να δει την εικόνα της περιοχής ενδιαφέροντος του Ιπποκράτη, όπως φαίνεται στο σχήμα 30. Επιπλέον, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αποθηκεύσει στον υπολογιστή του αυτές τις δύο εικόνες.

MIRaCLe DB - Μαστογραφία

Εικόνα περιοχής ενδιαφέροντος του Ιπποκράτη με id: 4



Πληροφορίες μαστογραφίας

Μαστός	Βιοψική/ιστολογικό εύρημα	Ιστολογικό εύρημα	Μαστογραφικό εύρημα	BIRADS	IDD M	IDD H	IDD
δεξιός	ινοκυστική μαστοπάθεια, μέτρια-σοβαρή υπερπλασία επιθηλίου πόρων	κολοβήθεια	αποτιμονώσεις	3	0.000	0.000	0.000

Περισσότερες επιλογές

Προβολή ΟΛΟΚΛΗΡΗΣ εικόνας με τη σημειωμένη περιοχή [Αποθήκευση](#)

Προβολή εικόνας ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ του Ιπποκράτη [Αποθήκευση](#)

Προηγούμενη σελίδα

Σχήμα 30 Προβολή εικόνας της περιοχής ενδιαφέροντος του Ιπποκράτη

6.2.2 Απλή Αναζήτηση

Η λειτουργία αυτή, δίνει την ικανότητα στον χρήστη να εκτελεί ξεχωριστές αναζητήσεις στη βάση δεδομένων, για όλες τις διαθέσιμες περιπτώσεις. Η αναζήτηση αυτή περιλαμβάνει, όπως φαίνονται και στο σχήμα 31, τις εξής επιλογές:

- Αναζήτηση στα μαστογραφικά ευρήματα
- Αναζήτηση στα αποτελέσματα στις βιοψίας
- Αναζήτηση στα ιστολογικά ευρήματα, μέσα από μια λίστα περιπτώσεων
- Αναζήτηση με βάση τον κωδικό BI-RADS

- Αναζήτηση με βάση τα αποτελέσματα ενός απ' τους διαθέσιμους υπολογιστικούς ταξινομητές.

Απλή Αναζήτηση

Αναζήτηση στα μαστογραφικά ευρήματα	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Πίνακας υπολογιστικών ταξινομητών	<input type="button" value="Υποβολή"/>	<input type="button" value="Καθαρισμός"/>
Αναζήτηση στα αποτελέσματα της βιοψίας/ιστολογικά ευρήματα	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Πίνακας υπολογιστικών ταξινομητών	<input type="button" value="Υποβολή"/>	<input type="button" value="Καθαρισμός"/>
Αναζήτηση στα ιστολογικά ευρήματα	<input type="text" value="—Επιλέξτε ένα—"/>	<input type="checkbox"/> Πίνακας υπολογιστικών ταξινομητών	<input type="button" value="Υποβολή"/>	<input type="button" value="Καθαρισμός"/>
BIRADS	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Πίνακας υπολογιστικών ταξινομητών	<input type="button" value="Υποβολή"/>	<input type="button" value="Καθαρισμός"/>
Αναζήτηση με βάση το αποτέλεσμα του CAD	<input type="text" value="—Επιλέξτε ένα—"/>	<input type="text" value="—Επιλέξτε ένα—"/>	<input type="button" value="Υποβολή"/>	<input type="button" value="Καθαρισμός"/>

Σχήμα 31 Απλή Αναζήτηση

Η αναζήτηση γίνεται με ξεχωριστές λέξεις κλειδιά για την κάθε περίπτωση. Η Απλή Αναζήτηση, υλοποιήθηκε για να βοηθήσει τους ακτινολόγους να λαμβάνουν γρήγορα, εύκολα και απλά πληροφορίες που είναι παρεμφερείς με την περίπτωση που δύναται να εξετάζουν μια δεδομένη στιγμή. Η λειτουργία αυτή, θα καλύψει τις ανάγκες των ακτινολόγων που δουλεύουν σε επαρχιακά νοσοκομεία και δεν έχουν άμεση πρόσβαση σε αρχεία μαστογραφίας.

6.2.3 Σύνθετη Αναζήτηση

Η Σύνθετη Αναζήτηση αποτελεί ένα αξιόλογο εργαλείο της MIRaCLe DB, που δίνει τη δυνατότητα τους χρήστες να εκτελέσουν σύνθετες αναζητήσεις και να ανακτήσουν ένα ειδικό αποτέλεσμα, με συγκεκριμένα κριτήρια που οι ίδιοι έχουν θέσει. Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν από δύο έως και τέσσερα χαρακτηριστικά για την αναζήτησή τους. Στην ιστοσελίδα της Σύνθετης Αναζήτησης, δίνεται ένα συγκεκριμένο παράδειγμα του εργαλείου, για να διευκολύνει τη χρήση του από τους χρήστες-ιατρούς που δεν είναι εξοικειωμένοι με το εργαλείο αυτό. Τα πεδία αναζήτησης φαίνονται στο σχήμα 32. Η χρησιμότητα της Σύνθετης Αναζήτησης, θα δοθεί με συγκεκριμένα παραδείγματα σε επόμενη παράγραφο του κεφαλαίου αυτού.

Σύνθετη Αναζήτηση

1. Βιοψία/Ιστολογικό εύρημα	<input type="checkbox"/> NOT	<input type="text"/>
2. Ιστολογικό εύρημα	<input type="checkbox"/> NOT	<input type="text" value="Επιλέξτε ένα"/>
3. Μαστογραφικό εύρημα	<input type="checkbox"/> NOT	<input type="text"/>
4. BIRADS	<input type="checkbox"/> NOT	<input type="text"/>
5. Υπολογιστικός ταξινομητής	<input type="text" value="Επιλέξτε ένα"/>	Αποτέλεσμα: <input type="text" value="Επιλέξτε ένα"/>
6. Δείκτης Δυσκολίας Διάγνωσης	<input type="text" value="Επιλέξτε ένα"/>	<input type="radio"/> >= <input type="radio"/> <= <input type="text"/>

OR AND OR AND

Πίνακας υπολογιστικών ταξινομητών

Παράδειγμα:

Πατήστε εδώ για να δείτε ένα υπόδειγμα Σύνθετης Αναζήτησης

Σχήμα 32 Σύνθετη Αναζήτηση

6.2.4 Λίστα Αξιολογημένων Ταξινομητών

Ακολούθως, στη Λίστα Αξιολογημένων Ταξινομητών οι χρήστες μπορούν να παρατηρήσουν τα αποτελέσματα των υπολογιστικών ταξινομητών που βρίσκονται στη βάση. Σε αυτή την ενότητα, οι χρήστες μπορούν να συγκρίνουν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των υπολογιστικών ταξινομητών, όπως είναι η ευαισθησία (sensitivity) και η ειδικότητα (specificity).

Η ευαισθησία φανερώνει το ποσοστό των ορθά αξιολογημένων κακοηθειών επί του συνόλου των μαστογραφιών από τον εκάστοτε υπολογιστικό ταξινομητή, ενώ η ειδικότητα δείχνει πόσες από τις καλοήθειες περιπτώσεις επί του συνόλου των μαστογραφιών αξιολογήθηκαν ως αθώες, όπως άλλωστε έπρεπε, από τον εκάστοτε υπολογιστικό ταξινομητή.


- a) Specificity = $TN / (TN + FP)$
- b) Sensitivity = $TP / (TP + FN)$

Όπου:

- True Positive (TP): είναι ο αριθμός περιπτώσεων που διαγνώστηκαν σωστά ως κακοήθειες.
- False Positive (FP): είναι ο αριθμός των καλοήθων περιπτώσεων που διαγνώστηκαν λανθασμένα ως κακοήθειες.
- True Negative (TN): είναι ο αριθμός των καλοήθων περιπτώσεων που διαγνώστηκαν σωστά ως καλοήθειες.
- False Negative (FN): είναι ο αριθμός των κακοήθων περιπτώσεων που διαγνώστηκαν λανθασμένα ως καλοήθειες.

Με βάση τα μεγέθη αυτά, την ευαισθησία και την ειδικότητα, εξετάζεται η αξιοπιστία του κάθε υπολογιστικού ταξινομητή. Στην ιδανική περίπτωση, όπου ο ταξινομητής παρουσιάζει απόλυτη επιτυχία στην κατηγοριοποίηση άγνωστων μαστογραφιών, τα παραπάνω μεγέθη ισούνται με ένα.

Στο σχήμα 33, φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αξιολογημένων ταξινομητών.

Όνομα ταξινομητή	TP	TN	FP	FN	Sensitivity	Specificity	Αρχείο Περιγραφής Δεδομένων
HIP-MST	48	36	86	6	88.888888888889	29.508196721311	 Αποθήκευση

Σχήμα 33 Λίστα Αξιολογημένων Ταξινομητών

Επιπρόσθετα, στην ενότητα αυτή ο χρήστης μπορεί να αποθηκεύσει το αρχείο περιγραφής δεδομένων, όπως φαίνεται στο σχήμα 34. Αυτό, περιέχει της πληροφορίες που αφορούν την εκάστοτε αξιολόγηση, όπως την ημερομηνία διεξαγωγής της, το όνομα του υπολογιστικού ταξινομητή, τον συνολικό αριθμό των περιπτώσεων που αξιολόγησε, καθώς και τον αύξοντα αριθμό της κάθε περίπτωσης. Ακόμη, συμπεριλαμβάνει τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, όπως παρουσιάζονται στην λίστα.





MIRaCle DB

Λίστα Αξιολογημένων Ταξινομητών

Ημερομηνία: 13 Αυγούστου 2009

Όνομα Υπολογιστικού Ταξινομητή: Ιπποκράτης – ΜΣΤ

Αριθμός περιπτώσεων: 176

ID περιπτώσεων: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204

True Positive: 48
True Negative: 36
False Positive: 86
False Negative: 6

Sensitivity: 88.888888888889
Specificity: 29.508196721311

Σχήμα 34 Αρχείο Περιγραφής Δεδομένων

6.2.5 Δείκτες Ακριβείας

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται οι Δείκτες Ακριβείας των ταξινομητών που έχουν καταχωρηθεί στη βάση δεδομένων, υπολογιστικών ταξινομητών και ακτινολόγων. Ο δείκτης ακριβείας αποτελεί έναν δείκτη ποιότητας δυαδικής ταξινόμησης. Επιστρέφει μια τιμή μεταξύ 0 και 2. Ο συντελεστής 2 αντιπροσωπεύει μία τέλεια πρόγνωση, ο συντελεστής 1 μία μέτρια τυχαία πρόβλεψη και τέλος ο συντελεστής 0 αντιπροσωπεύει μία αντίστροφη πρόβλεψη. Ο μαθηματικός τύπος για τον υπολογισμό του συγκεκριμένου Δείκτη Ακριβείας (Index of Accuracy – IA), περιγράφεται στο κεφάλαιο 7. Στο σχήμα 35, φαίνεται ο τρόπος παρουσίασης του δείκτη ακριβείας.

ID	Ταξινομητής	Δείκτης Ακριβείας
1	HIP-MST	1.1990438576903

Σχήμα 35 Δείκτες Ακριβείας

6.2.6 Εισαγωγή νέων δεδομένων στη Λίστα Αξιολογημένων Ταξινομητών

Η MIRaCLe DB, παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη, ερευνητή της πληροφορικής, να αποθηκεύσει όσες περιπτώσεις επιθυμεί στον υπολογιστή του. Ακολούθως, ο ερευνητής αυτός μπορεί να τις εξετάσει στον υπολογιστικό ταξινομητή του, με τον αλγόριθμο που έχει αναπτύξει στο εργαστήριό του. Έπειτα, μπορεί να ανατροφοδοτήσει τη βάση δεδομένων μας με τα αποτελέσματα που έλαβε από την αξιολόγησή του, μέσω ενός συγκεκριμένου προτύπου, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 36, που μπορεί να κατεβάσει από την συγκεκριμένη ιστοσελίδα. Αφού το συμπληρώσει, μπορεί να το αποστείλει μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, στο Ιατροβιολογικό Εργαστήριο της Ακαδημίας Αθηνών, για να ελεγχθούν τα αποτελέσματα και έπειτα να εισαχθούν στη βάση. Τα αποτελέσματα που εισάγονται στη βάση δεδομένων, βοηθούν στον υπολογισμό του Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης, όπως θα αναφέρουμε στο κεφάλαιο 7.



MIRaCle DB

✚ Εισαγωγή νέων στοιχείων στη Λίστα Αξιολογημένων Ταξινομητών

Τίτλος:
 Επώνυμο:
 Όνομα:
 Ηλεκτρονική διεύθυνση (e-mail):
 Φορέας:
 Όνομα Υπολογιστικού Ταξινομητή:
 Ημερομηνία:

Οδηγίες:

Αφού έχετε αποθηκεύσει στον υπολογιστή σας κάποιες περιπτώσεις από τη βάση δεδομένων και ακολούθως αφού τις έχετε εξετάσει στον υπολογιστικό σας ταξινομητή με τον αλγόριθμο που έχετε αναπτύξει, παρακαλώ συμπληρώστε τον πιο κάτω πίνακα για την κάθε περίπτωση, τον κωδικό της αριθμό (ID) και το αποτέλεσμα που προέκυψε. Το αποτέλεσμα πρέπει να είναι της μορφής: P (Positive) αν αναγνωρίζει τη μαστογραφία ως κακοήθεια ή N (Negative) αν αναγνωρίζει τη μαστογραφία ως καλοήθεια.

Για περαιτέρω πληροφορίες, παρακαλώ επικοινωνήστε μαζί μας μέσω e-mail, στην ηλεκτρονική μας διεύθυνση: info@infoacademy.gr

Ευχαριστούμε για τη συμμετοχή σας!

ID Number	Αποτέλεσμα Υπολογιστικού Ταξινομητή
Παράδειγμα: 1	P

Σχήμα 36 Πρότυπο για την εισαγωγή νέων στοιχείων στη Λίστα Αξιολογημένων Ταξινομητών

Για την κάθε περίπτωση που αξιολόγησε, ο χρήστης πρέπει να συμπληρώσει τον αύξοντα αριθμό της (ID) και το αποτέλεσμα που προέκυψε από τον αλγόριθμο που χρησιμοποίησε στον Υπολογιστικό του Ταξινομητή. Το αποτέλεσμα πρέπει να είναι της μορφής: P (Positive) εάν εκτιμάει τη μαστογραφία ως κακοήθεια και N (Negative) εάν εκτιμάει τη μαστογραφία ως καλοήθεια.

Η λειτουργία αυτή της εισαγωγής νέων στοιχείων στη Λίστα Αξιολογημένων Ταξινομητών, θα μας βοηθήσει να επιτύχουμε τους δύο στόχους που έχουμε θέσει:

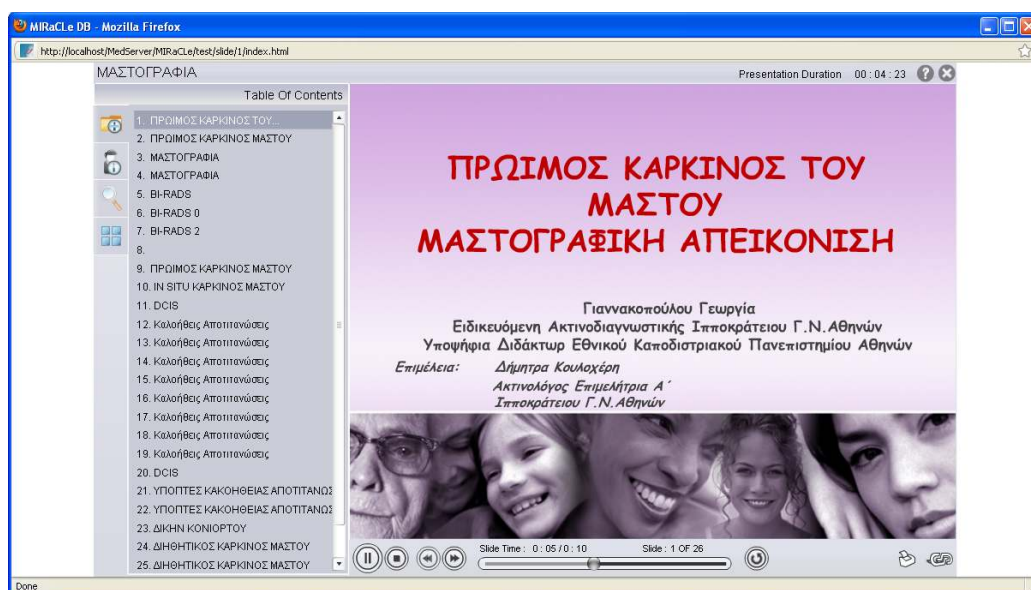
1. Να ωθήσουμε τους ερευνητές να βελτιώσουν τη διακριτική απόδοση των αλγορίθμων και των μεθόδων των υπολογιστικών συστημάτων υποβοηθούμενης διάγνωσης που έχουν υλοποιήσει, υπό την έννοια της ευγενούς άμιλλας.
2. Να εμπλουτίσουμε το περιεχόμενο της βάσης δεδομένων που υλοποιήσαμε και να την κρατήσουμε ενημερωμένη.

6.3 Εκπαίδευση και Αξιολόγηση Ακτινολόγων

Καθώς ο χρήστης έχει συνδεθεί στην υπηρεσία Εκπαίδευσης και Αξιολόγησης Ακτινολόγων, έχει τη δυνατότητα να περιηγηθεί σε όλες τις διαθέσιμες λειτουργίες της. Στις παραγράφους που ακολουθούν, θα αναλύσουμε τις λειτουργίες αυτές.

6.3.1 Εκπαίδευση Ακτινολόγων

Στην ενότητα αυτή, οι νέοι ακτινολόγοι έχουν την ικανότητα να εκπαιδευτούν πάνω σε θέματα που αφορούν τον καρκίνο του μαστού, σε πραγματικό χρόνο, μέσα από μια σειρά παρουσιάσεων που έχουν δημιουργηθεί ειδικά για τη MIRaCLe DB από ειδικούς ακτινολόγους. Στόχος της παρούσας ενότητας, αποτελεί η βελτίωση της διακριτικής απόδοσης των νέων ακτινολόγων, μέσα από την ψηφιακή ηλεκτρονική εκμάθηση. Ο εκάστοτε χρήστης, μπορεί να επαναλάβει τη διαδικασία εκμάθησης για την καλύτερη αφομοίωση του περιεχομένου, οποιαδήποτε στιγμή το επιθυμεί, σε όποιο μέρος κι αν βρίσκεται, φτάνει να έχει στη διάθεσή του έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή με πρόσβαση στον παγκόσμιο ιστό. Στο σχήμα 37, φαίνεται ο τρόπος παρουσίασης της εκπαίδευσης των ακτινολόγων, μέσα από ένα αναδυόμενο παράθυρο (pop-up window), στον φυλλομετρητή του χρήστη.



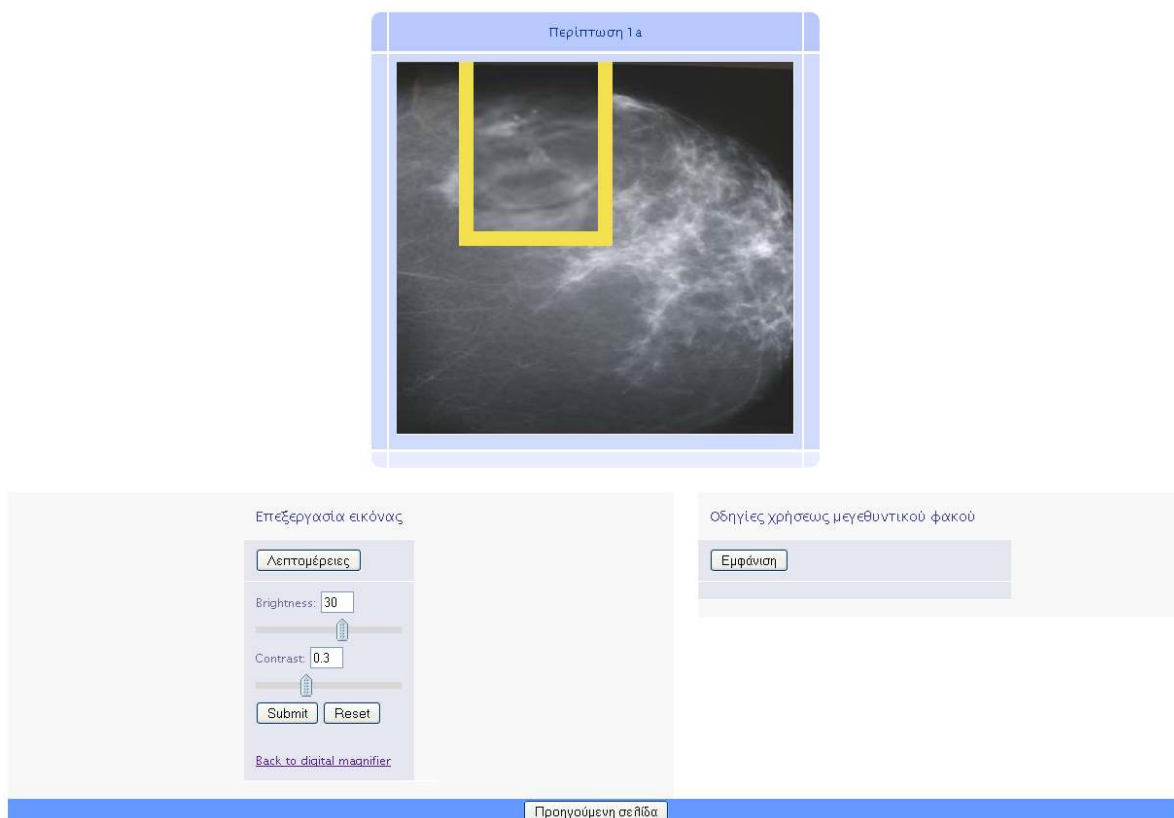
Σχήμα 37 Ψηφιακή εκπαίδευση νέων ακτινολόγων

6.3.2 Αξιολόγηση Ακτινολόγων

Μια άλλη αξιόλογη λειτουργία που διατίθεται από την MIRaCLe DB, είναι η εκπαίδευση των ακτινολόγων. Εδώ, οι ακτινολόγοι έχουν την δυνατότητα να αξιολογηθούν μέσω διαφορετικών σεναρίων, που έχουν δημιουργηθεί ειδικά για τη MIRaCLe DB από ειδικούς ακτινολόγους.

Για την κάθε περίπτωση που αξιολογείται ο ακτινολόγος, έχει την ικανότητα παρατηρήσει τη μαστογραφική εικόνα με τη βοήθεια του ψηφιακού μεγεθυντικού φακού. Το ισχυρό αυτό εργαλείο, βοηθάει τον ακτινολόγο να εστιάσει την προσοχή του στις περιοχές της μαστογραφίας όπου υπάρχουν εμφανή ευρήματα. Μπορεί να μεγεθύνει την συγκεκριμένη περιοχή και να εξετάσει την αλλοίωση, όπως φαίνεται στο σχήμα 38.

MIRaCLe DB - Ψηφιακός μεγεθυντικός φακός



Σχήμα 38 Ψηφιακός μεγεθυντικός φακός

Πέραν αυτού, ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί την εικόνα, αλλάζοντας την φωτεινότητα ή την αντίθεσή της. Η επεξεργασία αυτή, κάνει πιο εμφανή στον χρήστη τα όποια μαστογραφικά ευρήματα ή αλλοιώσεις υπάρχουν, βοηθώντας τον να κάνει καλύτερη εκτίμηση της διάγνωσης του και να απαντήσει σωστά στα ερωτήματα που αντιστοιχούν στη συγκεκριμένη μαστογραφία. Η διαδραστικότητα που παρέχει στον εκάστοτε χρήστη το εργαλείο αυτό, αναπτύσσει τον ενθουσιασμό του βοηθώντας τον να βελτιώσει διακριτικές του δεξιότητες ,μέσα από ένα ενδιαφέρον γραφικό περιβάλλον.

Στην ενότητα αυτή, για κάθε ερώτηση, ο χρήστης θα κληθεί να επιλέξει την σωστή διάγνωση μέσα από μια λίστα τεσσάρων επιλογών, που ανταποκρίνεται στα μαστογραφικά ευρήματα της συγκεκριμένης μαστογραφίας. Έπειτα, αφού υποβάλει την απάντησή του, θα λάβει άμεσα τη σωστή απάντηση και την μέχρι στιγμής βαθμολογία του. Στο σχήμα 39, παρουσιάζεται η διαδικασία αξιολόγησης των ακτινολόγων.

The screenshot shows the MIRaCLe DB web application. The header features the logo and the title "MIRaCLe DB: Mammography Image reading for Radiologists' and Computers' Learning Database". The navigation bar includes "Welcome Mr. Admin", "Αρχική σελίδα", "Αξιολόγηση Υπολογιστικών Ταξνομητών", "Εκπαίδευση και Αξιολόγηση Ακτινολόγων", and "Επικοινωνία". The left sidebar contains a "ΜΕΝΟΥ ΕΠΙΛΟΓΩΝ" section with options like "Επιλογές", "Εκπαίδευση", "Αξιολόγηση", "Λίστα Αξιολογημένων Ακτινολόγων", and "Αποσύνδεση", along with a "Σύνδεση χρήστη" section. The main content area is titled "Αξιολόγηση Ακτινολόγων" and includes a "Χρήσιμο εργαλείο:" section, a "Πιθανές απαντήσεις:" section with radio buttons for BIRADS 2, 3, 4, and 5, a "Σωστή απάντηση:" section showing BIRADS 4 as the correct answer, and a "Σχολιασμός:" section with a comment about a false-positive diagnosis.

Σχήμα 39 Διαδικασία αξιολόγησης ακτινολόγων

Με το πέρας της διαδικασίας αξιολόγησης, ο χρήστης θα λάβει την τελική του βαθμολογία. Με βάση αυτή, ο χρήστης θα είναι σε θέση να αξιολογήσει τη διακριτική του απόδοση. Η βαθμολογία του κάθε χρήστη καταχωρείται στη βάση δεδομένων, για τη δημιουργία στατιστικών καθώς και για τον υπολογισμό του Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι, ο κάθε χρήστης μπορεί να αξιολογηθεί μόνο μια φορά με τον ίδιο λογαριασμό. Εάν επιθυμεί να αξιολογηθεί ξανά, θα πρέπει να εγγραφεί ξανά στη συγκεκριμένη υπηρεσία, δίνοντας τα ίδια προσωπικά στοιχεία, αλλά διαφορετικό ψευδώνυμο και διαφορετικό κωδικό.

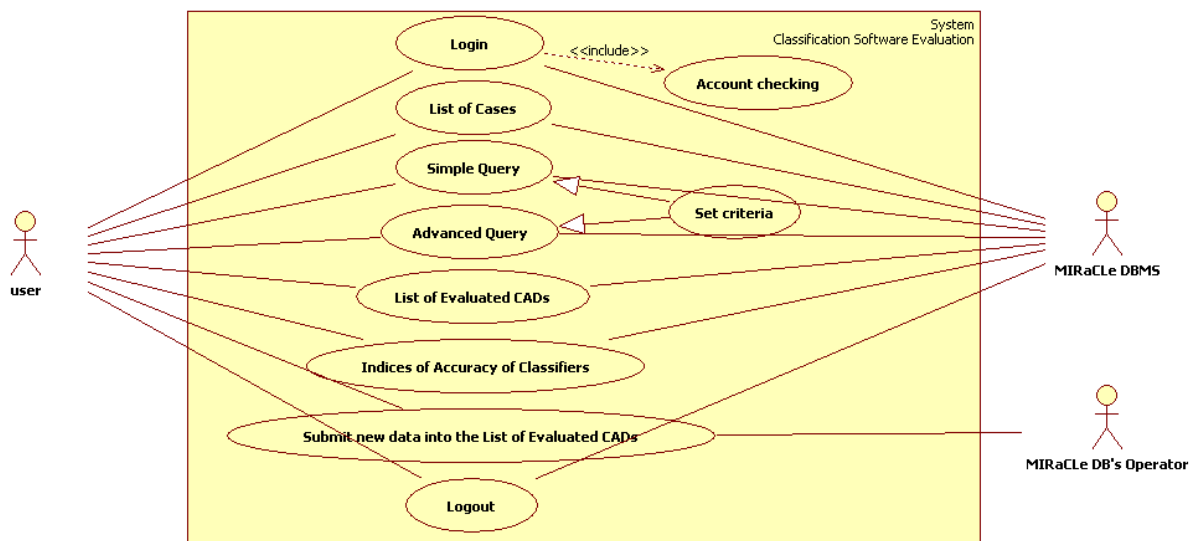
6.3.3 Λίστα Αξιολογημένων Ακτινολόγων

Τέλος, στη Λίστα Αξιολογημένων Ακτινολόγων οι χρήστες παρατηρούν τα αποτελέσματα των ακτινολόγων που έχουν αξιολογηθεί. Σε αυτή την ενότητα, οι χρήστες μπορούν να συγκρίνουν παρατηρήσουν γνωρίσματα την ευαισθησία (sensitivity) και την ειδικότητα (specificity) των αξιολογημένων ακτινολόγων, που υπολογίζονται όπως αναφέραμε στην παράγραφο 6.2.4.

6.4 Σενάρια Χρήσης

Στην παράγραφο αυτή, θα περιγράψουμε κάποια παραδείγματα, μέσα από διάφορα σενάρια χρήσης στην Αξιολόγηση Υπολογιστικών Ταξινομητών, για την περαιτέρω κατανόηση των λειτουργιών και των δυνατοτήτων που παρέχει η MIRaCLE DB.

Στο σχήμα 40, φαίνονται όλες οι διαθέσιμες λειτουργίες που παρέχει η υπηρεσία Αξιολόγησης Υπολογιστικών Ταξινομητών, σε ένα διάγραμμα περιπτώσεων χρήσης με τη βοήθεια της Ενοποιημένης Γλώσσας Μοντελοποίησης (UML).



Σχήμα 40 Διάγραμμα περιπτώσεων χρήσης στην Αξιολόγηση Υπολογιστικών Ταξινομητών

6.4.1 Σενάριο χρήστης στην Απλή Αναζήτηση

Το πρώτο σενάριο χρήσης που θα παρουσιάσουμε, αφορά στην Απλή Αναζήτηση, όπου ο χρήστης μπορεί να κάνει αναζητήσεις με μία συγκεκριμένη λέξη κλειδί.

Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι κάποιος ακτινολόγος που βρίσκεται σε μια απομακρυσμένη επαρχιακή ή νησιώτικη περιοχή και δεν έχει πρόσβαση σε κάποιο αρχείο από μαστογραφίες, εξετάζει μια μαστογραφία που παρουσιάζει κάποια αλλοίωση, αλλά δεν είναι απόλυτα σίγουρος εάν πρόκειται για μάζα (οζίδιο) ή για αποτιτάνωση και το σχήμα της δεν μπορεί να καθορίσει ακριβώς για ποια απ' τις δύο περιπτώσεις πρόκειται ή αν είναι συνδυασμός και των δύο. Στην προκειμένη περίπτωση, χρησιμοποιώντας την Απλή Αναζήτηση, μπορεί να θέσει ως λέξη κλειδί «αποτιταν» στα μαστογραφικά ευρήματα και να ανακτήσει όλες τις διαθέσιμες περιπτώσεις της βάσης δεδομένων που παρουσιάζουν αποτιτανώσεις. Λαμβάνοντας τα αποτελέσματα αυτά, ο χρήστης είναι σε θέση να αξιολογήσει τις περιπτώσεις αυτές, να παρατηρήσει τις πληροφορίες που συνοδεύουν και να τις συγκρίνει με την περίπτωση που εξετάζει. Σε άλλη περίπτωση, ως λέξη κλειδί για την αναζήτηση, ο ακτινολόγος μπορεί να θέσει τη λέξη «οζίδιο» και να συγκρίνει τις ανακτώμενες περιπτώσεις πάλι με την περίπτωση που εξετάσει. Χρησιμοποιώντας το εργαλείο αυτό, ο χρήστης-ακτινολόγος μπορεί να παρατηρήσει και να αξιολογήσει τις ήδη

υπάρχουσες περιπτώσεις μέσα από τη βάση δεδομένων και κατόπιν να δώσει μια καλύτερη εκτίμηση για την μαστογραφία που καλείται να εξετάσει.

Το ίδιο σενάριο χρήσης, μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας τη Λίστα Περιπτώσεων, επιλέγοντας μέσα από το διάγραμμα τις περιπτώσεις των μαστογραφικών ευρημάτων, που προηγουμένως είχε θέσει ως λέξεις κλειδιά.

Ένα άλλο σενάριο χρήσης του εργαλείου της Απλής Αναζήτησης, αποτελεί το κάτωθι. Ένας χρήστης, ερευνητής της πληροφορικής, επιθυμεί να δει αν τα αποτελέσματα του υπολογιστικού ταξινομητή υποηθηόμενης διάγνωσης που έχει αναπτύξει και εφαρμόσει πάνω στις μαστογραφίες της βάσης δεδομένων συμφωνούν με τα αποτελέσματα της βιοψίας ή όχι.

Λέξη κλειδί για την αναζήτηση στα αποτελέσματα του υπολογιστικού ταξινομητή HIP-MST: 'Positive'

ID	Βιοψία/Ιστολογικό εύρημα	BIRADS	Ιστολογικό εύρημα	ROI_X	ROI_Y	ROI_Πλάτος	ROI_Μήκος	HIP-MST
1	ινοκυτταρικές μεταβολές, θέσεις κυστικής διάταξης, αποκρινούς μετάπλασης και ελαφράς επιθηλίωσης πόρων, εστίες αδένωσης εν μέρει σκληρυντικού τύπου και ενκαποθέσεις κλάτων ασβεστίου	3	καλοήθεια					P
4	ινοκυτταρική μαστοπάθεια, μέτρια-σοβαρή υπερπλασία επιθηλίου πόρων	3	καλοήθεια	789	995	307	406	P
5	βλενοκήλη του μαστού συνοδευόμενη από εστιακή άτυπη υπερπλασία των πόρων		προκαρκινικές αλλοιώσεις υψηλού κινδύνου					P
6	ινοκυτταρική νόσος	4B	καλοήθεια	423	982	150	141	P
11		3						P
12	ινοαδένωμα	3	καλοήθεια	148	1403	141	84	P
15	αλλοιώσεις ινοκυτταρικής μαστοπάθειας, εστίες λοβιακής νεοπλασίας μαστού		καλοήθεια					P
16	ώρμος λιπώδης ιστός και αυξημένο ινώδες υπόστρωμα με αμορφακή διακρίση	4A	καλοήθεια	876	2062	146	87	P
18	DCIS	4	καρκίνωμα - μη διηθητικός καρκίνος	166	1240	182	131	P
19	δήθηση από πορογενές αδενοκαρκίνωμα μαστού, ιστολογικού βαθμού κακοήθειας II. Συνυπάρχουν εστίες μη διηθητικού πορογενούς αδενοκαρκινώματος μαστού φλεγμονώδους ηθμοειδούς και συμπαγούς τύπου, υψηλού πυρηνικού grade με κεντρική νέκρωση και μικροαβεστώσεις.	3	καρκίνωμα - μη διηθητικός καρκίνος					P
20	βλενοκήλη	3	καλοήθεια	650	1656	163	96	P
21	ινοκυτταρική μαστοπάθεια	3	καλοήθεια	274	1108	210	199	P
23	ινκκ	3	καλοήθεια	654	920	145	119	P
24	ινκκ-ADH	4B	προκαρκινικές αλλοιώσεις υψηλού κινδύνου	393	717	310	229	P

Σχήμα 41 Σενάριο χρήσης της Απλής Αναζήτησης

Σ' αυτή την περίπτωση, ο χρήστης θα εφαρμόσει αναζήτηση με βάση το αποτέλεσμα του CAD. Ως λέξεις κλειδιά θα επιλέξει πρώτα το όνομα του υπολογιστικού ταξινομητή, μέσα από τη λίστα επιλογών, και ακολούθως θα επιλέξει το αποτέλεσμα που έχει δώσει ο ταξινομητής αυτός, όπου για παράδειγμα θα θέσει «P» για το ποιες περιπτώσεις έχει αξιολογήσει ως θετικές. Το αποτέλεσμα της αναζήτησης αυτής θα του δείξει εάν ο συγκεκριμένος υπολογιστικός ταξινομητής που έχει αναπτύξει ο ίδιος, αξιολογεί σωστά τις καρκινικές αλλοιώσεις ως θετικές (κακοήθειες). Το αποτέλεσμα της αναζήτησης αυτής παρουσιάζεται στο σχήμα 41.

Όπως παρατηρούμε, σε κάποιες περιπτώσεις το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου υπολογιστικού ταξινομητή δεν αντιστοιχεί με το ιστολογικό εύρημα της βιοψίας. Αυτό συμφωνεί με την ευαισθησία (sensitivity) του συγκεκριμένου υπολογιστικού ταξινομητή, όπως φαίνεται και στο σχήμα 33, όπου μέσα στις αξιολογημένες ως θετικές περιπτώσεις (κακοήθειες) υπάρχουν και αρνητικές (καλοήθειες).

Προχωρώντας, το τρίτο σενάριο χρήσης που θα περιγράψουμε, αφορά στην Σύνθετη Αναζήτηση, όπου, όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 6.2.3 αποτελεί ένα αξιόλογο εργαλείο της MIRaCLE DB, που δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να εκτελέσουν σύνθετες αναζητήσεις και να ανακτήσουν ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα, με συγκεκριμένα κριτήρια που οι ίδιοι έχουν θέσει.

Για παράδειγμα, ένας χρήστης μπορεί να ανακτήσει όλες τις περιπτώσεις, που ενώ είναι καλοήθειες, διαγνώστηκαν ως BI-RADS 3 και ένας συγκεκριμένος υπολογιστικός ταξινομητής υποβοηθούμενης διάγνωσης έδωσε θετικό αποτέλεσμα. Για να το πετύχει αυτό, στο πεδίο Ιστολογικό εύρημα επιλέγει ως λέξη κλειδί «Καλοήθεια» μέσα από τη λίστα επιλογών, στο πεδίο BI-RADS θέτει ως λέξη κλειδί τον αριθμό «3» και στο πεδίο υπολογιστικός ταξινομητής επιλέγει το όνομα του υπολογιστικού ταξινομητή μέσα από τη λίστα με τους διαθέσιμους υπολογιστικούς ταξινομητές, στην προκειμένη περίπτωση «HIP-MST», και ακολούθως στο αποτέλεσμά του επιλέγει τη λέξη κλειδί «P». Έπειτα, συμπληρώνει την προτεραιότητα των λέξεων κλειδιών μέσα στην αναζήτηση και επιλέγει να δει τα αποτελέσματα στον πίνακα υπολογιστικών ταξινομητών, όπως φαίνεται και στο σχήμα 40.

Σύμφωνα με τα όσα αναφέραμε στο κεφάλαιο 2, ως BI-RADS 3 χαρακτηρίζονται από τους ακτινολόγους τα πιθανώς καλοήγη ευρήματα. Συνεπώς, το αποτέλεσμα της άνωθεν αναζήτησης, θα δείξει στους ακτινολόγους ποιες περιπτώσεις ενώ παρουσιάζουν καλοήθειες, διαγνώστηκαν σωστά από τους ακτινολόγους ενώ αξιολογήθηκαν λανθασμένα από τον συγκεκριμένο υπολογιστικό ταξινομητή. Το αποτέλεσμα που λαμβάνει ο χρήστης, φαίνεται επίσης στο σχήμα 42. Το αποτέλεσμα αυτό, θα βοηθήσει τους ερευνητές να επικεντρωθούν στα μαστογραφικά ευρήματα των περιπτώσεων αυτών, για να βελτιώσουν τους αλγόριθμους και τις μεθόδους που έχουν υλοποιήσει.

Ένα άλλο σενάριο χρήσης, παρεμφερές με το πιο πάνω είναι το επόμενο. Ο χρήστης μπορεί να ανακτήσει όλες τις περιπτώσεις, που ενώ είναι καλοήθειες, διαγνώστηκαν ως BI-RADS 4B και ένας συγκεκριμένος υπολογιστικός ταξινομητής υποβοηθούμενης διάγνωσης έδωσε αρνητικό αποτέλεσμα. Για να το πετύχει αυτό ο χρήστης, στο πεδίο Ιστολογικό εύρημα επιλέγει ως λέξη κλειδί «Καλοήθεια» μέσα από τη λίστα επιλογών, στο πεδίο BI-RADS θέτει ως λέξη κλειδί τον αριθμό «4B» και στο πεδίο υπολογιστικός ταξινομητής επιλέγει το όνομα του υπολογιστικού ταξινομητή μέσα από τη λίστα με τους διαθέσιμους υπολογιστικούς ταξινομητές, στην προκειμένη περίπτωση «HIP-MST», και ακολούθως στο αποτέλεσμά του επιλέγει τη λέξη κλειδί «N». Έπειτα, συμπληρώνει την προτεραιότητα των λέξεων κλειδιών μέσα στην αναζήτηση όπως προηγουμένως και επιλέγει να δει τα αποτελέσματα στον πίνακα υπολογιστικών ταξινομητών.

Σύνθετη Αναζήτηση

1. Βιοψία/Ιστολογικό εύρημα	<input type="checkbox"/> NOT	<input type="text"/>
2. Ιστολογικό εύρημα	<input type="checkbox"/> NOT	καλοήθεια
3. Μαστογραφικό εύρημα	<input type="checkbox"/> NOT	<input type="text"/>
4. BIRADS	<input type="checkbox"/> NOT	3
5. Υπολογιστικός ταξινομητής: HIP-MST	Αποτέλεσμα:	Positive
6. Δείκτης Δυσκολίας Διάγνωσης: —Επιλέξτε ένα—	<input type="radio"/> >=	<input type="radio"/> <=

(2)	<input type="radio"/> OR	(4)	<input type="radio"/> OR	(5)	<input type="radio"/> OR
	<input checked="" type="radio"/> AND		<input checked="" type="radio"/> AND		<input type="radio"/> AND

Πίνακας υπολογιστικών ταξινομητών

Παράδειγμα:

Πατήστε εδώ για να δείτε ένα υπόδειγμα Σύνθετης Αναζήτησης

Η επιλογή σας είναι η εξής:
(2 AND 4) AND (5)

Παρουσίαση πίνακα υπολογιστικών ταξινομητών

ID	Βιοψία/Ιστολογικό εύρημα	BIRADS	Ιστολογικό εύρημα	ROI_X	ROI_Y	ROI_Πλάτος	ROI_Μήκος	HIP-MST
1	ινοκυτταρικές μεταβολές, θέσεις κυστικής διάταξης, αποκρινούς μετάπλασης και ελαφράς επιηλίωσης πόρων, εστίες αδένωσης εν μέρει σκληρυντικού τύπου και ενοποθέσεις ολότων ασβεστίου	3	καλοήθεια					P
4	ινοκυτταρική μαστοπάθεια, μέτρια-σοβαρή υπερπλασία επιθηλίου πόρων	3	καλοήθεια	789	995	307	406	P
12	ινοαδένωμα	3	καλοήθεια	148	1403	141	84	P
20	βλεννοκήλη	3	καλοήθεια	650	1656	163	96	P
21	ινοκυτταρική μαστοπάθεια	3	καλοήθεια	274	1108	210	199	P
23	ινοκκ	3	καλοήθεια	654	920	145	119	P
28	πορολοβιακές μονάδες, μικρή εστία λιπονέκρωσης, μικρή εστία φεγοκυτταρικής φλεγμονώδους αντίδρασης έναντι Ξένου σώματος	3	καλοήθεια	1504	1686	160	119	P
36	ινοαδενωματώδης μαστοπάθεια, ινοαδενωματώδεις πυρήνες, περιπορώδης μαστίτιδα	3	καλοήθεια	411	1229	85	149	P
48	μετρίου βαθμού αλλοιώσεις ινοκυτταρικής μαστοπάθειας, ήπια απλή υπερπλασία του επιθηλίου των πόρων, μικρό φαγοκυκίωμα	3	καλοήθεια	66	1499	193	166	P
55	SCA-αδένωση-κυστική διάταξη αδενοκυψέλων	3	καλοήθεια	223	968	223	334	P
62	ινοεπιθηλιακό νεόπλασμα του μαστού, εστίες αδένωσης τυφλών πόρων, εστία σκληρυντικής αδένωσης, εστίες απλής υπερπλασίας επιθηλίου πόρων, εστίες καλοήθη φυλλοειδή όγκου	3	καλοήθεια	13	557	102	144	P
63	ινοκκ-αποκρινής μετάπλαση-απλή επιηλίωση-αδένωση	3	καλοήθεια	726	1302	304	220	P
66	ινοκκ	3	καλοήθεια	518	1883	49	66	P

Σχήμα 42 Σενάριο χρήσης της Σύνθετης Αναζήτησης

Σύμφωνα με τα όσα αναφέραμε στο κεφάλαιο 2, ως BI-RADS 4B χαρακτηρίζεται από τους ακτινολόγους η ενδιάμεση πιθανότητα κακοήθειας. Συνεπώς, το αποτέλεσμα της άνωθεν αναζήτησης, θα δείξει στους ακτινολόγους ποιες περιπτώσεις ενώ παρουσιάζουν καλοήθειες, αξιολογήθηκαν σωστά από τον συγκεκριμένο υπολογιστικό ταξινομητή, ενώ

διαγνώστηκαν λανθασμένα από τους ακτινολόγους. Το αποτέλεσμα αυτό, θα βοηθήσει τους ακτινολόγους να επικεντρωθούν στα μαστογραφικά ευρήματα των περιπτώσεων αυτών, για να βελτιώσουν την διακριτική τους απόδοση.

6.5 Σύγκριση με ήδη υπάρχουσες διαδικτυακές βάσεις δεδομένων

Το σύστημα της MIRaCLe DB έχει σχεδιαστεί με βάση την κλινική ροή εργασίας των ιατρών και τις ανάγκες δεδομένων για την αξιόπιστη αξιολόγηση της διαγνωστικής απόδοσης υπολογιστικών ταξινομητών και ιατρών. Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του συστήματος, λάβαμε υπόψην μας τα δεδομένα, τα εργαλεία και τα γνωρίσματα που προσφέρουν οι ήδη υπάρχουσες διαδικτυακές βάσεις δεδομένων.

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των υφιστάμενων διαδικτυακών βάσεων δεδομένων, παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Πίνακας 5 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της διαδικτυακής βάσης δεδομένων DDSM [68]

DDSM: Digital Database for Screening Mammography

Πλεονεκτήματα

- ✓ Φιλοξενεί πολλές περιπτώσεις από διάφορα ιδρύματα
 - Η βάση δεδομένων περιέχει περίπου 2.500 μελέτες. Κάθε μελέτη περιλαμβάνει δύο εικόνες από κάθε μαστό, μαζί με κάποιες συναφείς πληροφορίες για τον ασθενή (ηλικία κατά το χρόνο της μελέτης, βαθμολόγηση πυκνότητας του μαστού, βαθμολόγηση λεπτότητας για ανωμαλίες, περιγραφή των ανωμαλιών) και κάποιες πληροφορίες για την εικόνα (ψηφιοποιητής, χωρική διακριτική ικανότητα, κλπ). Οι εικόνες που περιέχουν ύποπτες περιοχές σχετίζονται με rixel-επιπέδου "αλήθειας εδάφους" (ground truth) πληροφορίες σχετικά με τις θέσεις και τους τύπους των ύποπτων περιοχών.
- ✓ Αξιόπιστη αποθήκη μαστογραφικών εικόνων για την ερευνητική κοινότητα

Μειονεκτήματα

- ✗ Συμπίεση εικόνας σε πρότυπο JPEG
 - Τα αρχεία εικόνας είναι συμπιεσμένα χρησιμοποιώντας ένα πρότυπο χωρίς απώλειες, που ονομάστηκε "JPEG χωρίς απώλειες". Δυστυχώς όμως για τους χρήστες της συγκεκριμένης βάσης δεδομένων, ένα διαφορετικό πρότυπο JPEG με απώλειες προέκυψε που πλέον υποστηρίζεται ευρέως (π.χ. από το Photoshop και Matlab), με αποτέλεσμα οι μαστογραφίες να στερούνται πολύτιμης πληροφορίας.

Πίνακας 6 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της διαδικτυακής βάσης δεδομένων mini-MIAS [69]

The mini Mammographic Image Analysis Society Digital Mammogram Database

Μειονεκτήματα

- ✘ Μειονεκτήματα Φιλοξενεί μόνο μαστογραφικές εικόνες χωρίς κάποιες άλλες πληροφορίες να τις συνοδεύουν
- ✘ Έχει υλοποιηθεί το 2003 και έκτοτε το περιεχόμενό της δεν έχει ανανεωθεί ή συμπληρωθεί
- ✘ Η συμπίεση των μαστογραφικών εικόνων ακολουθεί το πρότυπο PGM που δεν είναι ευρέως διαδεδομένο

Πίνακας 7 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της διαδικτυακής βάσης δεδομένων AMDI [70]

AMDI: Indexed Atlas of Digital Mammograms

Πλεονεκτήματα

- ✓ Σχεδιάστηκε για να περιλαμβάνει περιπτώσεις από όλες τις διαθέσιμες μαστογραφικές απεικονίσεις, ακτινολογικά ευρήματα, διάγνωση που αποδεικνύεται με βιοψία, κλινικό ιστορικό του ασθενούς, καθώς και πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο ζωής του ασθενούς
- ✓ Φιλοξενεί τέσσερις όψεις μαστογραφικών εικόνων για κάθε περίπτωση
 - Δύο όψεις για τον κάθε μαστό (κρανιουραία λήψη [cranio-caudal] και μεσοπλάγια [medio-lateral oblique]).
- ✓ Παρέχει σύστημα ηλεκτρονικής μάθησης για τους ακτινολόγους
 - Σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε με τη χρήση web υπηρεσιών για να βοηθήσει τους φοιτητές ιατρικής στην ερμηνεία των μαστογραφειών και στη διάγνωση του καρκίνου του μαστού.

Μειονέκτημα

- ✘ Η διαδικτυακή βάση δεδομένων και οι παρεχόμενες υπηρεσίες της δεν είναι διαθέσιμες σε όλους, παρά μόνο σε εξουσιοδοτημένους χρήστες.

Μελετώντας αυτά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, θελήσαμε να αναπτύξουμε μια νέα πλατφόρμα αφιερωμένη στην απεικονιστική μαστογραφία που να συνδυάζει κατάλληλα

δεδομένα για την αξιολόγηση υπολογιστικών συστημάτων υποβοηθούμενης διάγνωσης και ανθρώπων.

Η καινοτομία που προσφέρει η MIRaCLe DB είναι η δυναμική συσχέτιση της αξιολόγησης των υπολογιστικών συστημάτων υποβοηθούμενης διάγνωσης και των ακτινολόγων. Αυτό το επιτύχαμε, αναπτύσσοντας το Δείκτη Διάγνωσης Δυσκολίας που παρουσιάζουμε και περιγράφουμε στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΥΣΚΟΛΙΑΣ ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ

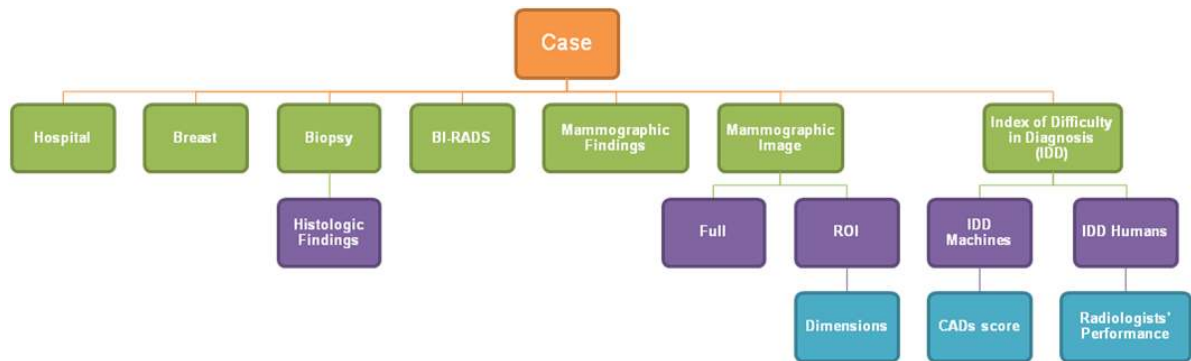
Σύμφωνα με τα όσα έχουμε ήδη αναφέρει στα προηγούμενα κεφάλαια, τα επίπεδα αποδόσεων μεταξύ ακτινολόγων που διαβάζουν και ερμηνεύουν τις μαστογραφίες, ποικίλουν ευρέως. Αρκετοί παράγοντες μπορεί να ευθύνονται για αυτή τη μεταβλητότητα. Αυτοί περιλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται, στη χαμηλή συχνότητα εμφάνισης του καρκίνου του μαστού, στη δυσκολία εντοπισμού ύποπτων περιοχών στον περιβάλλοντα ιστό του μαστού και στο κουραστικό και κάπως επαναλαμβανόμενο χαρακτήρα του έργου της ανάγνωσης των μαστογραφιών. Γι' αυτό, σήμερα έχουν αναπτυχθεί υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης (CAD systems), για να βοηθήσουν τους ακτινολόγους να καθορίσουν αν μια αναγνωρισθείσα ύποπτη περιοχή είναι πιθανό να αντιπροσωπεύει ένα καλοήγη ή κακοήγη εύρημα.

Σύμφωνα με έρευνα των M.J. Ulissey et al. [9], όταν συνέκριναν τις επιδόσεις των ακτινολόγων με ή χωρίς τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων υποβοηθούμενης διάγνωσης, παρατήρησαν (α) αύξηση του ποσοστού ανάκλησης από 6,5% σε 7,7%, (β) μη μεταβολή της θετικής πρόγνωσης για βιοψία σε 38%, (γ) 19,5% αύξηση του αριθμού των καρκίνων που ανιχνεύθηκαν, και (δ) αύξηση του ποσοστού των κακοηθειών που ανιχνεύθηκαν σε πρώιμο στάδιο από 73% σε 78%.

Το έργο της βελτίωσης της διακριτικής ικανότητας σε μαστογραφικές εικόνες από υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης και ακτινολόγους ξεχωριστά, είναι δύσκολο να αντιμετωπιστεί με ικανοποιητικό τρόπο. Κατά συνέπεια, έχουμε αναπτύξει μια δυναμική συσχέτιση της αξιολόγησης των υπολογιστικών ταξινομητών και των ακτινολόγων. Τη δυναμική αυτή συσχέτιση ονομάσαμε Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης (Index of Difficulty in Diagnosis - IDD) και παρουσιάζουμε τη μεθοδολογία, τη λειτουργία και τη χρησιμότητά του στις παραγράφους που ακολουθούν.

7.1 Ο Δείκτης Δυσκολίας Διάγνωσης ως μέθοδος αξιολόγησης

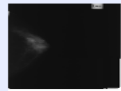
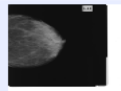

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η διαδικτυακή βάση δεδομένων υπό την επωνυμία MIRaCLe DB, αποτελεί μια ασφαλή βάση δεδομένων για την αποθήκευση και ανάκτηση μαστογραφικών εικόνων και μεταδεδομένων. Τα μεταδεδομένα συνδυάζουν στοιχεία κατάλληλα για την αξιολόγηση τόσο των υπολογιστικών συστημάτων όσο και των ακτινολόγων. Η ιεραρχική τους δομή, όπως απεικονίζεται στο σχήμα 43, βοηθάει στη απόκτηση γνώσης από τον χρήστη με τη βοήθεια ενός οντολογικού εννοιολογικού μοντέλου. Το μοντέλο αυτό επιταχύνει τις διαδικασίες ανάκτησης δεδομένων και αυξάνει την ανταγωνιστικότητα στην έρευνα, διότι όλα τα δεδομένα φιλοξενούνται στην ίδια πλατφόρμα.



Σχήμα 43 Ιεραρχική δομή των μεταδεδομένων της MIRaCLe DB

Ο χρήστης της MIRaCLe DB έχει τη δυνατότητα να περιηγηθεί στις διαθέσιμες περιπτώσεις, με βάση τη δυσκολία διάγνωσης τους από τους υπολογιστικούς ταξινομητές και την απόδοση των ακτινολόγων σε κάθε περίπτωση. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης, ο οποίος προσαρμόζεται δυναμικά από τα αποτελέσματα του βάσης δεδομένων, από την αξιολόγηση των υπολογιστικών ταξινομητών και των ακτινολόγων. Ο δείκτης αυτός στηρίζεται σ' ένα οντολογικό εννοιολογικό μοντέλο και παρέχει ένα πλαίσιο για την κοινή χρήση ακριβούς έννοιας της δυσκολίας στη διάγνωση μαστογραφικών εικόνων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αξιολόγησης τους. Στόχος του Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης είναι να καθορίσει ποιες περιπτώσεις είναι δύσκολο προσδιοριστούν ως καλοήθειες ή κακοήθειες από υπολογιστικούς ταξινομητές ή/και ακτινολόγους. Αυτό αποτελεί μια πρόκληση για την έγκυρη αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των υπολογιστικών ταξινομητών, καθώς και των ακτινολόγων.

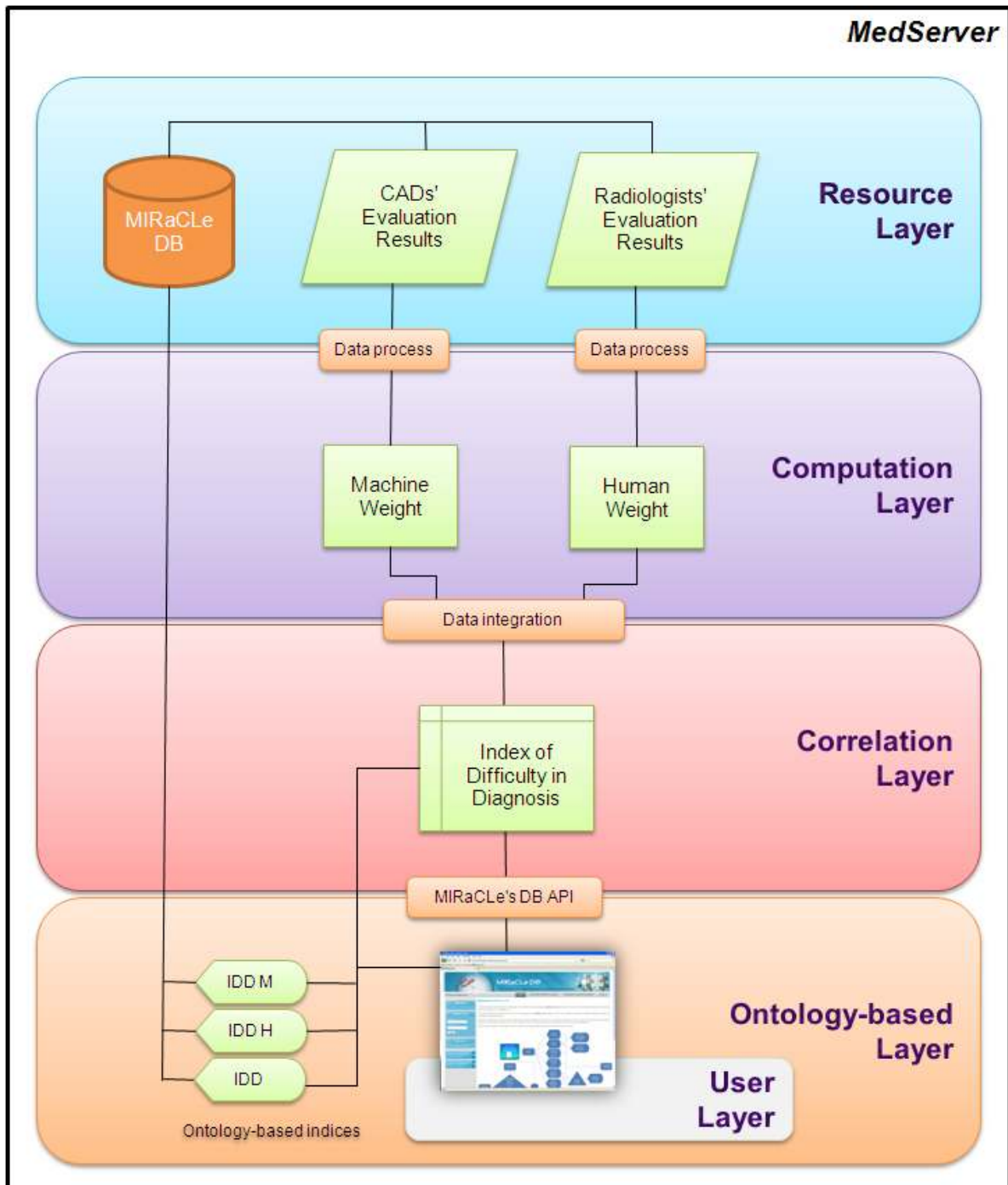
Ο Δείκτης Δυσκολίας Διάγνωσης για την κάθε περίπτωση, παρουσιάζεται σε τρία επίπεδα πληροφορίας, για τα υπολογιστικά συστήματα, για τους ακτινολόγους και για την συσχέτιση αυτών των δύο αντίστοιχα. Τα αποτελέσματά τους συμπεριλαμβάνονται μαζί με τα υπόλοιπα μεταδεδομένα στην λίστα με τα στατιστικά στοιχεία για την κάθε περίπτωση. Μέρος της λίστας αυτής, φαίνεται στο σχήμα 44.

IDD M	IDD H	IDD	Mammogram Image
0.000	1.000	0.635	 Download FULL image ROI image doesn't exist
1.000	1.000	1.000	 Download FULL image  Download ROI image

Σχήμα 44 Μέρος της λίστας που παρουσιάζει τις τιμές του Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης

7.1.1 Μεθοδολογία

Ο Δείκτης Διάγνωσης Δυσκολίας (IDD) σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε με τη βοήθεια ενός οντολογικού εννοιολογικού πολυστρωματικού μοντέλου, που παρουσιάζεται στο σχήμα 45.



Σχήμα 45 Οντολογικό εννοιολογικό πολυστρωματικό μοντέλο του Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης

Ο MedServer είναι ένας δημόσιος (public) διακομιστής στο Ίδρυμα Ιατροβιολογικών Ερευνών της Ακαδημίας Αθηνών, που αποθηκεύει όλα τα δεδομένα της MIRaCLe DB.

Το στρώμα των πόρων (Resource Layer) έχει πρόσβαση σε δεδομένα από δύο ετερογενείς πηγές, στα αποτελέσματα της αξιολόγησης των υπολογιστικών ταξινομητών και στα αποτελέσματα της αξιολόγησης των ακτινολόγων πάνω σε μαστογραφίες που είναι αποθηκευμένες στη βάση δεδομένων. Η απόδοση των υπολογιστικών ταξινομητών και των ακτινολόγων, καθορίζεται από τα στατιστικά μέτρα ευαισθησία (sensitivity) και ειδικότητα (specificity), που ορίσαμε στο κεφάλαιο 6.

Η χρήση ενός αποτελεσματικού αλγόριθμου υπολογιστικού συστήματος υποβοηθούμενης διάγνωσης (CAD) μπορεί να αυξήσει την ευαισθησία των ακτινολόγων και να βοηθήσει τους νέους ακτινολόγους να ανιχνεύουν και να αναγνωρίζουν ύποπτες αλλοιώσεις στα μαστογραφικά ευρήματα [71].

Ακολουθώντας, στο στρώμα υπολογισμών (Computation Layer), υπολογίζουμε ένα δείκτη ακριβείας για τους υπολογιστικούς ταξινομητές και αντίστοιχα έναν για τους ακτινολόγους. Σαν δείκτη μας, επιλέξαμε τον Δείκτη Συσχέτισης Matthews (Matthews Correlation Coefficient) [72]. Ο Συντελεστής Συσχέτισης Matthews αποτελεί ένα μέτρο ποιότητας δυαδικών (δύο τάξεων) ταξινομήσεων, για τη μηχανική εκμάθηση. Ο μαθηματικός τύπος του συντελεστή αυτού είναι ο πιο κάτω.

$$MCC = \frac{TP*TN-FP*FN}{\sqrt{(TP+FP)(TP+FN)(TN+FP)(TN+FN)}} \quad (1)$$

Ο συντελεστής αυτός θεωρείται γενικά ως ένα ισορροπημένο μέτρο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και αν οι κατηγορίες της ταξινόμησης είναι πολύ διαφορετικά μεγέθη. Κανονικά, ο Συντελεστής Συσχέτισης Matthews επιστρέφει μια τιμή μεταξύ -1 και 1, αλλά για πρακτικούς λόγους χρησιμοποιούμε το μετατοπισμένο Συντελεστή Συσχέτισης Matthews, ως δείκτη ακριβείας (Index of Accuracy – IA).

$$IA = MCC + 1, IA_j \in [0,2] \quad (2)$$

Ο συντελεστής με τιμή 2 αποτελεί μία καλή πρόγνωση, με τιμή 1 μία κατά μέσο όρο τυχαία πρόβλεψη και με τιμή 0 μία αντίστροφη πρόβλεψη.

Ως εκ τούτου, για το σύνολο των αξιολογημένων υπολογιστικών ταξινομητών, έχουμε τον δείκτη ακριβείας των υπολογιστικών ταξινομητών (IA Machines):

$$IA_M = \sum_{j=1}^N IA_j \quad (3)$$

Αντίστοιχα, για το σύνολο των αξιολογημένων ακτινολόγων μέσα από το σύστημα αξιολόγησης που προσφέρει η MIRaCLe DB, έχουμε τον δείκτη ακριβείας των ακτινολόγων (IA Humans):

$$IA_H = \sum_{j=1}^M IA_j \quad (4)$$

Επομένως, εάν έχουμε στο σύνολο N υπολογιστικούς ταξινομητές και M ακτινολόγους, υπολογίζουμε το δείκτη ακριβείας για κάθε υπολογιστικό

ταξινομητή/ακτινολόγο (i), με τον τρόπο που περιγράψαμε πιο πάνω. Ο συνδυασμός, δηλαδή το άθροισμα αυτών των επιμέρους δεικτών (3) και (4), αποτελεί τον συνολικό δείκτη ακριβείας.

$$IA_{TOTAL} = IA_M + IA_H \quad (5)$$

Έπειτα, προσαρμόζονται δυναμικά τα αντίστοιχα βάρη των ακτινολόγων και των υπολογιστικών ταξινομητών, με βάση τα αποτελέσματα της MIRaCLe DB. Ο υπολογισμός τους προκύπτει από τις παρακάτω εξισώσεις αντίστοιχα.

$$W_H = \frac{IA_H}{IA_{TOTAL}} \quad (6)$$

$$W_M = \frac{IA_M}{IA_{TOTAL}} \quad (7)$$

Όπως μπορούμε εύκολα να αντιληφθούμε, το άθροισμά τους ισοδυναμεί με μονάδα.

$$W_H + W_M = 1 \quad (8)$$

Αν λάβουμε υπόψη μας το σύνολο των ακτινολόγων και των υπολογιστικών ταξινομητών, προκύπτουν αντίστοιχα οι πιο κάτω εξισώσεις:

$$W_H = \frac{\sum AI_{j,H}}{\sum IA_{j,H} + \sum IA_{j,M}} \quad (9)$$

$$W_M = \frac{\sum AI_{j,M}}{\sum IA_{j,H} + \sum IA_{j,M}} \quad (10)$$

Στη συνέχεια, στο στρώμα συσχέτισης (Correlation Layer), για κάθε περίπτωση (μαστογραφία) υπολογίζουμε τον Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης (IDD), με την ενσωμάτωση των αντίστοιχων δεικτών υπολογιστικών ταξινομητών και ακτινολόγων.

$$IDD = \frac{W_H * IDD_H + W_M * IDD_M}{W_H + W_M} \quad (11)$$

Έτσι, για τους ακτινολόγους έχουμε:

$$IDD_H = \frac{\text{Αριθμός ακτινολόγων που έδωσαν θετικό αποτέλεσμα γι' αυτή τη συγκεκριμένη μαστογραφία}}{\text{Αριθμός ακτινολόγων που εξέτασαν τη συγκεκριμένη μαστογραφία}} \quad (12)$$

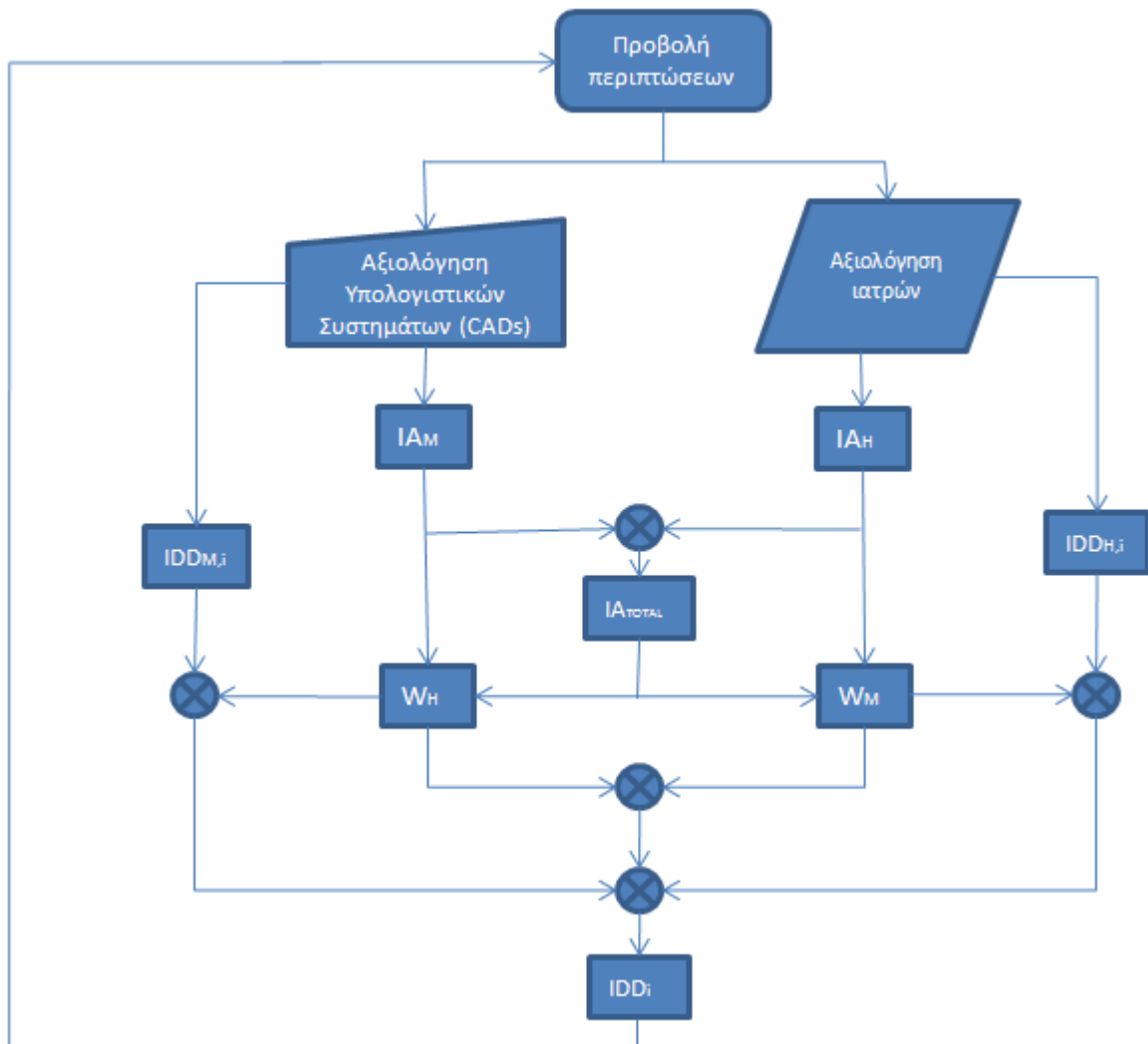
Αντίστοιχα, για τους υπολογιστικούς ταξινομητές έχουμε:

$$IDD_M = \frac{\text{Αριθμός υπολογιστικών ταξινομητών που έδωσαν θετικό αποτέλεσμα γι' αυτή τη συγκεκριμένη μαστογραφία}}{\text{Αριθμός υπολογιστικών ταξινομητών που εξέτασαν τη συγκεκριμένη μαστογραφία}} \quad (13)$$

Ως αποτέλεσμα, έχουμε τον συνολικό Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης (IDD) για κάθε περίπτωση, ο οποίος προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$IDD_i = [(W_H * IDD_{H,i}) + (W_M * IDD_{M,i})] / (W_H + W_M) \quad (14)$$

Στο σχήμα 46 κατωτέρω, μπορούμε να παρατηρήσουμε την προαναφερθείσα διαδικασία για κάθε περίπτωση (μαστογραφία) (i).

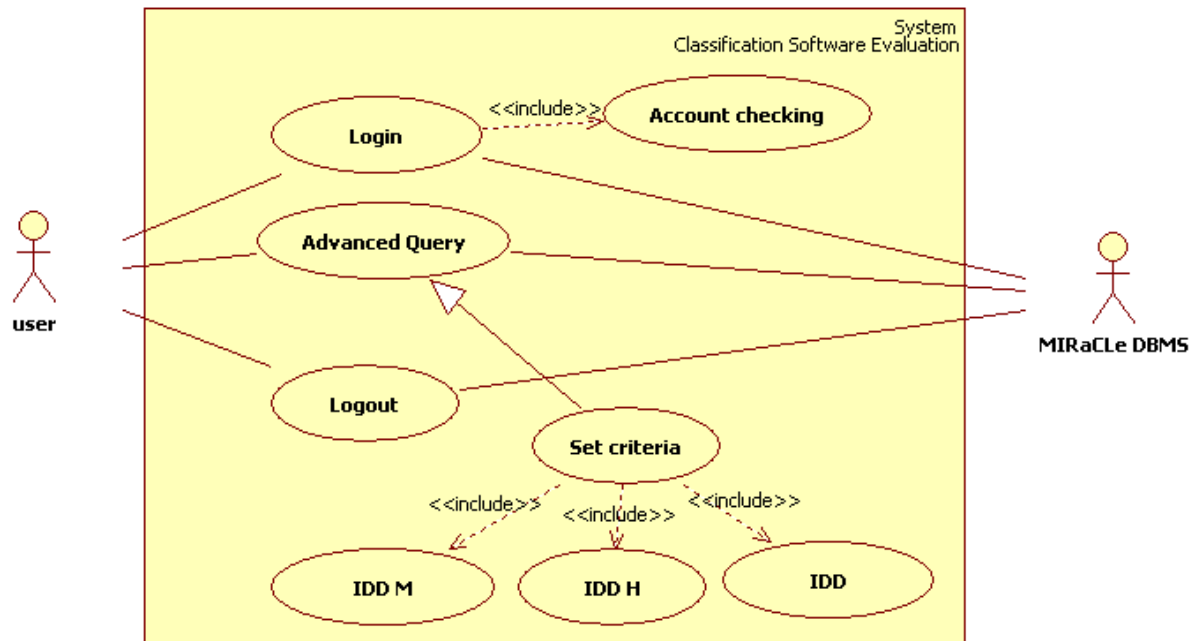


Σχήμα 46 Διαδικασία υπολογισμού του Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης (IDD) για κάθε περίπτωση

7.1.2 Σενάριο χρήσης

Στο σχήμα 47, φαίνονται τα πιθανά σενάρια που μπορεί να εκτελέσει ο χρήστης, θέτοντας κριτήρια στις αναζητήσεις του κάποιες τιμές για τον Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης. Ο Δείκτης Δυσκολίας Διάγνωσης, προσφέρεται σε τρία επίπεδα πληροφορίας και ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει αναζητήσεις σε όποιο επίπεδο από τα τρία επιθυμεί. Στο σημείο αυτό, πρέπει να αναφέρουμε ότι ο Δείκτης Δυσκολίας Διάγνωσης παίρνει τιμές από 0.000 έως 1.000. Τιμή ίση με 0.000 ισοδυναμεί με λανθασμένη εκτίμηση όλων των

ταξινομητών, υπολογιστικών ταξινομητών και ακτινολόγων, για μια συγκεκριμένη περίπτωση και τιμή ίση με 1.000 σημαίνει ορθή εκτίμηση.



Σχήμα 47 Διάγραμμα περιπτώσεων χρήσης του Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης

Το πρώτο σενάριο χρήσης που θα παρουσιάσουμε, αφορά τον Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης για τα υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης (IDD M).

Ας υποθέσουμε ότι ένας ερευνητής της πληροφορικής επιθυμεί να εξετάσει τις μαστογραφικές εικόνες που περιέχονται στη βάση δεδομένων, για να αξιολογήσει τον αλγόριθμο του υπολογιστικού ταξινομητή που έχει αναπτύξει στο εργαστήριό του, αλλά θέλει να δοκιμάσει τον αλγόριθμό του μόνο σε κάποιες μεμονομένες μαστογραφίες. Τότε, μπορεί να εκτελέσει την εξής Σύνθετη Αναζήτηση: Να ανακτήσει όλες τις περιπτώσεις που ενώ είναι καλοήθειες, ο Δείκτης Διάγνωσης Δυσκολίας για τους υπολογιστικούς ταξινομητές (IDD M) έχει χαμηλό ποσοστό, για παράδειγμα μικρότερο από 0.300. Το αποτέλεσμα του ερωτήματος αυτού, θα επιστρέψει στον ερευνητή όλες τις περιπτώσεις που αξιολογήθηκαν από υπολογιστικούς ταξινομητές και αυτοί έδωσαν λανθασμένες εκτιμήσεις. Ο ερευνητής πλέον, μπορεί να αποθηκεύσει στον υπολογιστή του τις συγκεκριμένες μαστογραφίες, ούτως ώστε να τις αξιολογήσει με τον δικό του υπολογιστικό ταξινομητή, επικεντρώνοντας την προσοχή και το ενδιαφέρον του στα μαστογραφικά ευρήματα που είναι δυσδιάκριτα ή δύναται να μεπρδέψουν τους ακτινολόγους.

Ένα δεύτερο σενάριο χρήσης του Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης αποτελεί το πιο κάτω. Ένας χρήστης-ακτινολόγος, μπορεί να ανακτήσει όλες τις περιπτώσεις που ενώ είναι καλοήθειες, έχουν διαγνωσθεί ως BI-RADS 4B και ο Δείκτης Δυσκολίας Διάγνωσης για τους υπολογιστικούς ταξινομητές έχει υψηλό ποσοστό, για παράδειγμα μεγαλύτερο από 0.800. Με αυτό το ερώτημα, ο χρήστης θα ανακτήσει όλες τις περιπτώσεις που έχουν εκτιμηθεί λανθασμένα τόσο απ' τους ειδικούς ακτινολόγους, ενώ οι υπολογιστικοί ταξινομητές που αξιολόγησαν τις συγκεκριμένες περιπτώσεις έδωσαν ως επί το πλείστον θετικό αποτέλεσμα. Στην περίπτωση αυτή, οι υπολογιστικοί ταξινομητές ως δεύτεροι εκτιμητές, βοηθούν το έργο των ακτινολόγων, γιατί τους ωθούν να εστιάσουν την προσοχή

τους στις ύποπτες περιοχές. Έτσι, δεν θα παραπέμπουν καλοήθη ευρήματα για βιοψία, ούτε θα επιβαρύνουν την ψυχολογία των ασθενών.

7.2 Σημασία του Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης

Όπως έχουμε αναφέρει και στην αρχή του κεφαλαίου, το έργο της βελτίωσης της διακριτικής ικανότητας σε μαστογραφικές εικόνες από υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης και ακτινολόγους ξεχωριστά, είναι δύσκολο να αντιμετωπιστεί με ικανοποιητικό τρόπο. Γι' αυτό, αναπτύξαμε μια δυναμική συσχέτιση της αξιολόγησης των υπολογιστικών ταξινομητών και των ακτινολόγων, καλώντας την Δείκτη Δυσκολίας Διάγνωσης. Ο δείκτης αυτός είναι διαθέσιμος σε τρία επίπεδα πληροφορίας.

Ο Δείκτης Δυσκολίας Διάγνωσης για τα υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης (IDD M) μας δείχνει ποιες από τις περιπτώσεις που περιέχονται στη βάση δεδομένων MIRaCLe DB είναι δύσκολο να εκτιμηθούν σωστά απ' τους υπολογιστικούς ταξινομητές. Μεμονωμένα, ο δείκτης αυτός έχει ως στόχο να πληροφορήσει τους ερευνητές της πληροφορικής ποιες από τις διαθέσιμες περιπτώσεις είναι δύσκολο να εκτιμηθούν ως καλοήθεις ή κακοήθεις και να τους ωθήσει να βελτιώσουν τους αλγορίθμους τους, κάνοντάς τους πιο ευαίσθητους σε αλλοιώσεις που είναι δυσδιάκριτες.

Ο Δείκτης Δυσκολίας Διάγνωσης για τα ακτινολόγους (IDD H) μας δείχνει ποιες από τις περιπτώσεις που περιέχονται στη βάση δεδομένων MIRaCLe DB είναι δύσκολο να εκτιμηθούν σωστά απ' τους ακτινολόγους. Μεμονωμένα, ο δείκτης αυτός έχει ως στόχο να πληροφορήσει τους ακτινολόγους ποιες από τις διαθέσιμες περιπτώσεις είναι δύσκολο να εκτιμηθούν ως καλοήθεις ή κακοήθεις και να τους ωθήσει να εστιάσουν το ενδιαφέρον τους σε δυσδιάκριτες αλλοιώσεις.

Με συσχέτιση των δύο δεικτών που αναφέραμε, προκύπτει ο συνολικός Δείκτης Διάγνωσης Δυσκολίας (IDD). Ο συνολικός αυτός δείκτης, συγχωνεύει τα χαρακτηριστικά των συστατικών του στοιχείων και δίνει μια συνολική εικόνα για τη δυσκολία διάγνωσης των περιπτώσεων που φιλοξενούνται στη βάση δεδομένων.

Ο Δείκτης Δυσκολίας Διάγνωσης φιλοδοξεί να αποτελέσει κίνητρο τόσο για τους ερευνητές της πληροφορικής, για να εφαρμόσουν περισσότερο αποτελεσματικούς και καινοτόμους αλγόριθμους στα υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης (CADs), όσο και για τους ακτινολόγους για να βελτιώσουν την διακριτική τους απόδοση. Συνέπεια αυτών, θα είναι η διάγνωση του καρκίνου του μαστού σε ακόμη πιο πρώιμο στάδιο[73].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

8.1 Ανασκόπηση

Για την αποπεράτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας, αρχικά σχεδιάσαμε και έπειτα υλοποιήσαμε μια διαδικτυακή βάση δεδομένων αναφοράς μαστογραφικών εικόνων και δεδομένων, που αποσκοπεί στην αξιόπιστη αξιολόγηση της διαγνωστικής απόδοσης τόσο των υπολογιστικών συστημάτων υποβοηθούμενης διάγνωσης όσο και των ακτινολόγων.

Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του συστήματος, λάβαμε υπόψη μας τα δεδομένα, τα εργαλεία και τα γνωρίσματα που προσφέρουν οι ήδη υπάρχουσες διαδικτυακές βάσεις δεδομένων. Αφού τα μελετήσαμε, αναπτύξαμε την MIRaCLe DB (Mammography Image reading for Radiologists' and Computers' Learning Database), προσδίδοντάς της κάποια επιπλέον καινοτόμα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και εργαλεία, καθιστώντας την έτσι ανταγωνιστική έναντι των υφιστάμενων βάσεων δεδομένων.

Κατά τη διάρκεια της υλοποίησης του συστήματός μας, συναντήσαμε και αντιμετωπίσαμε θέματα σχετικά με τον τρόπο παρουσίασης των δεδομένων μας και την ασφάλεια αυτών. Για παράδειγμα, όλες οι εικόνες που είναι αποθηκευμένες στον κεντρικό υπολογιστή έχουν συμπίεση tiff, που προσδίδει τη βέλτιστη ανάλυση εικόνας. Εικόνες όμως που έχουν αυτή τη συμπίεση, δεν εμφανίζονται στον φυλλομετρητή μας (browser). Συνεπώς, για να παρουσιάσουμε τις εικόνες αυτές στον φυλλομετρητή, τις μετατρέψαμε σε bmp εικόνες υψηλής ανάλυσης. Παράλληλα, με τη χρήση διαφόρων σχεδιαστικών μεθόδων, παρουσιάζουμε το σύνολο των δεδομένων σε ένα φιλικό και εύχρηστο γραφικό περιβάλλον προς τον χρήστη. Αυτό αποτελεί το κλειδί για την πλήρη αποδοχή και εξάπλωση του συστήματος. Επιπρόσθετα, με την χρήση λειτουργιών (function), καταφέραμε να αυξήσουμε τα μέτρα ασφαλείας των ευαίσθητων δεδομένων.

Δύο κατηγορίες χρηστών μπορούν να προσεγγίσουν τη διαδικτυακή βάση δεδομένων και να επωφεληθούν των πληροφοριών και των εργαλείων που παρέχει. Η πρώτη κατηγορία, είναι οι νέοι ιατροί (ακτινολόγοι), όπου έχουν τη δυνατότητα να εκπαιδευτούν σε πραγματικό χρόνο και να αξιολογήσουν την διακριτική τους απόδοση μέσα από διάφορα σενάρια αξιολόγησης. Η διαδραστικότητα που παρέχει στον εκάστοτε χρήστη η υπηρεσία αυτή, αναπτύσσει τον ενθουσιασμό του βοηθώντας τον να βελτιώσει διακριτικές του δεξιότητες μέσα από ένα ενδιαφέρον γραφικό περιβάλλον. Η δεύτερη κατηγορία είναι οι ερευνητές της πληροφορικής και επιστήμονες που ζητούν δεδομένα για τους υπολογιστικούς ταξινομητές που έχουν αναπτύξει. Όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο 3, ένα υπολογιστικό σύστημα υποβοηθούμενης διάγνωσης μπορεί να αντιμετωπισθεί ως ένας

δεύτερος αναγνώστης που βοηθά τον ακτινολόγο να επιβεβαιώσει την παρουσία ύποπτων περιοχών ή να προσδιορίσει τις περιοχές αυτές που σε άλλη περίπτωση θα είχαν αγνοηθεί.

Ένα υπολογιστικό σύστημα υποβοηθούμενης διάγνωσης με την ονομασία «Ιπποκράτης-μστ», έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Πληροφορικής της Ακαδημίας Αθηνών. Από την περιγραφή του συστήματος αυτού στο κεφάλαιο 4 αλλά και από την εργαστηριακή του αξιολόγηση, προκύπτει ότι το σύστημα δύναται να συμβάλλει στην καλύτερη πρώιμη διάγνωση του καρκίνου του μαστού, η οποία μπορεί να προκύψει από την ανίχνευση μικροαποτιτανώσεων σε μαστογραφίες και στην διαγνωστική αξιολόγησή τους. Επιπλέον, το σύστημα φαίνεται ότι μπορεί να συμβάλει στην καλύτερη διάγνωση, παρέχοντας στον ιατρό ιδιαίτερα χρήσιμες και κρίσιμες διαγνωστικές πληροφορίες και επεξηγήσεις.

Παράλληλα, η βάση δεδομένων μπορεί να εξυπηρετήσει ιατρούς που χρειάζονται ένα ελεύθερα προσβάσιμο αρχείο μαστογραφικών δεδομένων, ως αρωγό για καλύτερη διακριτική απόδοση αλλοιώσεων στις μαστογραφίες που δύναται να εξετάζουν.

Παρατηρώντας ότι δεν υπάρχει κάποιος δείκτης απόδοσης μαστογραφικής απόδοσης υπολογιστικών συστημάτων ή ιατρών, υλοποιήσαμε στη MIRaCLe DB ένα δείκτη δυσκολίας μαστογραφικής διάγνωσης. Ο δείκτης αυτός καλείται Δείκτης Δυσκολίας Διάγνωσης (Index of Difficulty in Diagnosis). Ο Δείκτης Δυσκολίας Διάγνωσης για την κάθε περίπτωση (μαστογραφία), παρουσιάζεται σε τρία επίπεδα πληροφoρίας, για τα υπολογιστικά συστήματα, για τους ακτινολόγους και για την συσχέτιση αυτών των δύο αντίστοιχα ο συνολικός δείκτης. Ο δείκτης αυτός αποτελεί κίνητρο τόσο για τους ερευνητές της πληροφορικής, για να εφαρμόσουν περισσότερο αποτελεσματικούς και καινοτόμους αλγόριθμους στα υπολογιστικά συστήματα υποβοηθούμενης διάγνωσης (CADs), όσο και για τους ακτινολόγους για να βελτιώσουν την διακριτική τους απόδοση.

8.2 Μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας

Με το πέρας αυτής της διπλωματικής εργασίας, κοινοποιούμε και παρουσιάζουμε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαδικτυακής βάσης δεδομένων μαστογραφικών εικόνων και δεδομένων, έτοιμο να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στις προσπάθειες για την έγκαιρη διάγνωση του καρκίνου του μαστού.

Οδηγούμενοι προς την κατεύθυνση αυτή, η MIRaCLe DB επιθυμεί να φιλοξενήσει δεδομένα και εικόνες και από άλλες απεικονιστικές μεθόδους, συγκρίνοντας τα χαρακτηριστικά και την απόδοσή τους. Συνεπώς, στο μέλλον η MIRaCLe DB θα είναι σε θέση να παρέχει στους ερευνητές της πληροφορικής και επιστήμονες, πληθώρα μαστογραφικών δεδομένων και εικόνων, βοηθώντας τους έτσι να βελτιώσουν τη διακριτική ικανότητα και αξιοπιστία των υπολογιστικών συστημάτων υποβοηθούμενης διάγνωσης (CADs).

Αφού θεμελιώσαμε ένα σύστημα με καινοτόμες λειτουργίες, στόχος μας πλέον είναι να το πάρουμε ακόμα ένα βήμα παραπέρα, ανεβάζοντας τον πήχη της αξιοπιστίας του. Όπως ήδη αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, νέοι ακτινολόγοι έχουν την δυνατότητα μέσα από το σύστημά μας, να αξιολογηθούν μέσω διαφορετικών σεναρίων που έχουν

δημιουργηθεί ειδικά για τη MIRaCLe DB με την συνδρομή ομάδας ακτινολόγων συνεργαζόμενων με την Ακαδημία Αθηνών. Μελλοντικά, με την ενδεδειγμένη ανανέωση και βελτίωση των σεναρίων αξιολόγησης, επιθυμούμε να συνεισφέρουμε στη Συνεχιζόμενη Ιατρική Εκπαίδευση (ΣΙΕ) των ακτινολόγων.

Πρώτο μας μέλημα προς αυτή την κατεύθυνση, αποτελεί η παροχή προς τους ιατρούς ενός ολοκληρωμένου πακέτου ψηφιακής εκπαίδευσης. Το πακέτο αυτό θα περιλαμβάνει μια σειρά από πλήρη και έγκυρα σεναρία εκπαίδευσης, με όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τον καρκίνο του μαστού. Φιλοδοξούμε να προσφέρουμε μια διαδικασία συνεχούς και διά βίου επανεκπαίδευσης, και συνεχούς βελτίωσης των ικανοτήτων και δεξιοτήτων των ακτινολόγων, για να είναι σε θέση να παρέχουν τη μέγιστη ιατρική φροντίδα στον γενικό πληθυσμό, με θετικό αντίκτυπο στην έγκαιρη διάγνωση του καρκίνου του μαστού.

Ακολουθώντας την τάση αυτή, σε μεταγενέστερο στάδιο θα εργαστούμε για να παρέχουμε έναν αξιόπιστο τρόπο πιστοποίησης προς τους ακτινολόγους. Επ' αυτού, θα καθοριστεί συστήμα βαθμολόγησης με διδακτικές μονάδες (credits). Η πιστοποίηση αυτή θα περιλαμβάνει και τη βαθμολογία που πέτυχε ο εκάστοτε εξεταζόμενος στα διάφορα σεναρία αξιολόγησης της MIRaCLe DB, δίνοντάς του με αυτό τον τρόπο ένα μέτρο της διακριτικής του ικανότητας. Επίσης, η πιστοποίηση αυτή θα μπορεί να συμπεριληφθεί στο βιογραφικό του ακτινολόγου, ως αναγνωρισμένη πιστοποίηση αξιοπιστίας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. World Health Organization, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/en/index.html>
2. World Health Organization, http://www.euro.who.int/reproductivehealth/areas/20071101_6
3. Bernard W. Stewart, Paul Kleihues, World Cancer Report 2003, World Health Organization.
4. What Are the Key Statistics About Breast Cancer in Men?, American Cancer Society, http://www.cancer.org/docroot/CRI/content/CRI_2_4_1X_What_are_the_key_statistics_for_male_breast_cancer_28.asp
5. Early Detection of Breast Cancer, National Breast and Ovarian Cancer Centre, August 2004.
6. Breast Cancer, The Merk Manual of Medical Information.
7. Eric J. Feuer, Lap-Ming Wun, Catherine C. Boring, W. Dana Flanders, Marilyn J. Timmel, Tony Tong, The lifetime risk of developing breast cancer, Journal of the National Cancer Institute 1993; 85(11):892-7.
8. Joseph Y. Lo, Marios Gavrielides, Mia K. Markey, Jonathan L. Jesneck, Computer-aided classification of breast microcalcification clusters: Merging of features from image processing and radiologists, Proceedings of SPIE 2003; 5032:882-9.
9. Timothy W. Freer, Michael J. Ulissey, Screening Mammography with Computer-aided Detection: Prospective Study of 12,860 Patients in a Community Breast Center, Radiology 2001; 22:781-6.
10. Bin Zheng, Lara A. Hardesty, William R. Poller, Jules H. Sumkin, Sara Golla, Mammography with Computer-aided Detection: Reproducibility Assessment - Initial Experience, Radiology 2003; 228:58-62.
11. Yulei Jiang, Robert M. Nishikawa, Robert A. Schmidt, Charles E. Metz, Maryellen L. Giger, Kunio Doi, Improving Breast Cancer Diagnosis with Computer-aided Diagnosis, Acad Radiol 1999; 6:22-33.
12. Pasquale Deloglu, Maria Evelina Fantacci, Alessandro Preite Martinez, Alessandra Retico, Arnaldo Stefanini, Alessandro Tata, A scalable system for microcalcification cluster automated detection in a distributed mammographic database, Nuclear Science Symposium Conference Record, Vol. 3, October 2005.
13. Adele Lauria, GPCALMA: Implementation in Italian hospitals of a computer aided detection system for breast lesions by mammography examination, Physica Medica, 2009; 25:58-72.
14. Ikhlas Abdel-Qader, Fadi Abu-Amara, A Computer-Aided Diagnosis System for Breast Cancer Using Independent Component Analysis and Fuzzy Classifier, Modeling and Simulation in Engineering 2008;2008.
15. Mia K. Markey, Joseph Y. Lo, Georgia D. Tourassi, Carey E. Floyd Jr., Self-organizing map for cluster analysis of a breast cancer database, Artificial Intelligence in Medicine, 2003; 27:113-27.
16. Adele Lauria, M. Evelina Fantacci, Ubaldo Bottigli, Pasquale Delogu, Francesco Fauci, Bruno Golosio, P.L. Indovina, G. Luca Masala, Piernicola Oliva, Rosa Palmiero, Giuseppe Raso, Simone Stumbo, Sabina Tangaro, Diagnostic performance of radiologists with and without different CAD systems for mammography, Proceedings of SPIE 2003; 5034:244-8.

17. S. M. Astley, F. J. Gilbert, Computer-aided detection in mammography, *Clinical Radiology* 2004; 59:390-9.
18. Marios Skevofilakas, Stavroula G. Mougiakakou, Konstantia Zarkogianni, Erika Aslanoglou, Sotiris A. Pavlopoulos, Andiani Vazeou, Christos S. Bartsocas, and Konstantina S. Nikita, A Communication and Information Technology Infrastructure for Real Time Monitoring and Management of Type 1 Diabetes Patients, *Engineering in Medicine and Biology Conference 2007*, Lyon, August 2007.
19. Stavroula G. Mougiakakou, Andriani Vazeou, Marios Skevofilakas, Dimitra Iliopoulou, Konstantia Zarkogianni, Aikaterini Prountzou, Sotiris Pavlopoulos, Christos Bartsocas, and Konstantina S. Nikita, "A Web Based Information System for the Advanced Management of Type 1 Diabetes Patients", 8th Annual Diabetes Technology Meeting, Bethesda, USA, 2008.
20. Σταμάτης Βασίλαρος, Πρόληψη, πρόγνωση και θεραπεία του καρκίνου του μαστού, 2008.
21. Γραφείο Ερεύνης της Επιστήμης της Πληροφορικής και της Ηλεκτρονικής, Ακαδημία Αθηνών, www.infoacademy.gr
22. M Reddy, Ros Given-Wilson, Screening for breast cancer, *Women's Health Medicine* 2006; 3(1): 22-7.
23. Karla Kerlikowske, Deborah Grandy, Suzan M. Rubin, Christian Sandrock, Virginia L. Ernster, Efficacy of Screening Mammography, A Meta-analysis, *J Am Med Assoc* 1995; 273:149-54.
24. Stephen A. Feig, Mammographic Screening: An Historical Perspective, *Seminars in Roentgenology* 1993; 28(3):193-203.
25. Robert A. Smith, Debbie Saslow, Kimberly Andrews Sawyer, Wylie Burke, Mary E. Costanza, W. Phil Evans, III, Roger S. Foster, Jr., Edward Hendrick, Harmon J. Eyre and Steven Sener, CA, *A Cancer Journal for Clinicians*, CA Cancer J Clin 2003; 53:141-69, <http://caonline.amcancersoc.org/cgi/content/full/53/3/141>
26. C. Studholme, D.L.G. Hill, D.J. Hawkes, An overlap invariant entropy measure of 3D medical image alignment, *Pattern Recognition* 1999; 32:71-86, http://eecs.vanderbilt.edu/Courses/CS359/other_links/papers/studholme_NMI_1999.pdf
27. Olga Pawluczyk, Bindu J. Augustine, Martin J. Yaffe, Dan Rico, Jiwei Yang, and Gordon E. Mawdsley, A volumetric method for estimation of breast density on digitized screen-film mammograms, *Medical Physics* 2003; 30(3):352-64.
28. Stephen A. Feig and Martin J. Yaffe, *Current Status of Digital Mammography*, 1996.
29. Μ. Γ. Σκυλακάκης, Current classification of mammographic findings (bi-rads criteria), *Archives of Hellenic Medicine* 2007; 24:280-3.
30. Gulta Rahbar, Angela C. Sie, Gail C. Hansen, Jeffrey S. Prince, Michelle L. Melany, Handel E. Reynolds, Valerie P. Jackson, James W. Sayre, and Lawrence W. Bassett, Benign versus Malignant Solid Breast Masses: US Differentiation *Radiology* 1999; 21(3):889-94.
31. Monika Shinde, Computer Aided Diagnosis In Digital Mammography: Classification Of Mass And Normal Tissue, Master thesis, 2003, http://etd.fcla.edu/SF/SFE0000119/Thesis_Final_Version.pdf
32. J. D'Orsi, and Daniel B. Kopans, Mammographic feature analysis, *Seminars in Roentgenology* 1993; 28(4):204-30.
33. Corinne Balleyguier, Salma Ayadi, Kim Van Nguyen, Daniel Vanel, Clarisse Dromain, and Robert Sigal, BIRADS(TM) classification in mammography, *European Journal of Radiology* 2007; 61:192-4.

34. Leconte I, Feger C, Galant C, et al., Mammography and subsequent whole-breast sonography of nonpalpable breast cancers: the importance of radiologic breast density, *American Journal of Roentgenology* 2003; 180:1675-9.
35. Caplan LS, Blackman D, Nadel M, Monticciolo DL, Coding mammograms using the classification 'probably benign' finding, short interval follow-up suggested, *American Journal of Roentgenology* 1999; 172:339-42.
36. Lacquement MA, Mitchell D, Hollingsworth AB, Positive predictive value of the Breast Imaging reporting and Data System, *J Am Coll Surg* 1999; 189:34-40.
37. Orel SG, Kay N, Reynolds C, Sullivan DC, BI-RADS categorization as a predictor of malignancy, *Radiology* 1999; 211:845-50.
38. Mendez A, Cabanillas F, Echenique M, Malekshamran K, Perez I, Ramos E., Evaluation of Breast Imaging Reporting and Data System Category 3 mammograms and the use of stereotactic vacuum-assisted breast biopsy in a nonacademic community practice, *Cancer* 2004; 100:710-4.
39. Baker JA, Kornguth PJ, Floyd Jr CE, Breast imaging reporting and data system standardized mammography lexicon: observer variability in lesion description, *American Journal of Roentgenology* 1996, 166:773-8.
40. Obenauer S, Hermann KP, Grabbe E, Applications and literature review of the BI-RADS classification, *European Journal of Radiology* 2005; 15:1027-36.
41. Pijnappel RM, Peeters PH, Hendriks JH, Mali WP., Reproducibility of mammographic classifications for non-palpable suspect lesions with microcalcifications, *British Journal of Radiology* 2004; 77:312-14.
42. Berg WA, Campassi C, Langenberg P, Sexton MJ, Breast Imaging Reporting and Data System: inter- and intraobserver variability in feature analysis and final assessment, *American Journal of Roentgenology* 2000, 174:1769-77.
43. Lena Costaridou, *Medical Image Analysis Methods*, Taylor and Francis Group, 2005.
44. Bin Zheng, Yuan-Hsiang Chang, Walter F. Good and David Gur, Adequacy testing of training set sample sizes in the development of a computer-assisted diagnosis scheme, *Acad Radiol* 1997; 4:497-502.
45. Matthew A. Kupinski and Maryellen L. Giger, Feature selection with limited datasets, *Medical Physics* 1999; 26(10).
46. Ιωάννης Ι. Ανδρεάδης, Σχεδιασμός και Υλοποίηση Σχήματος Ταξινόμησης για τη Διάγνωση του Καρκίνου του Μαστού, Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2006.
47. Linda J. Warren Burhenne, Susan A. Wood, Carl J. D'Orsi, Stephen A. Feig, Daniel B. Kopans, Kathryn F. O'Shaughnessy, Edward A. Sickles, Laszlo Tabar, Carl J. Vyborny, and Ronald A. Castellino, Potential Contribution of Computer-aided Detection to the sensitivity of Screening Mammography, *Radiology* 2000; 215:554-62.
48. Rachel F. Brem, Janet Baum, Mary Lechner, Stuart Kaplan, Stuart Souders, L. Gill Naul, and Jeff Hoffmeister, Improvement in Sensitivity of Screening Mammography with Computer-Aided Detection: A Multiinstitutional Trial, *AJR* 200; 181:687-93.
49. Sickles EA, Wolverton DE, and Dee KE., Performance parameters for screening and diagnostic mammography: specialist and general radiologists, *Radiology* 2002; 224:861-9.
50. Elmore JG, Wells CK, Lee CH, Howard DH, and Feinstein AR., Variability in radiologists' interpretations of mammograms, *New England Journal of Medicine* 1999; 331:1493-9.
51. Beam CA, Conant EF, and Sickles EA., Association of volume and volume - independent factors with accuracy in screening mammogram interpretation, *Journal of the National Cancer Institute* 2003; 95:282-90.

52. Thurfjell EL, Lernevall KA, and Taube AAS., Benefit of independent double reading in a population-based mammography screening program, *Radiology* 1994; 191:241–4.
53. Anttinen I, Pamilo M, Soiva M, and Roiha M, Double reading of mammography screening films: one radiologist or two?, *Clinical Radiology* 1993; 48:414–21.
54. Hendee WR, Beam C, and Hendrick E., Proposition: all mammograms should be double-read, *Medical Physics* 1999; 26:115–8.
55. Brem RF, and Schoonjans JM, Radiologist detection of microcalcifications with and without computer-aided detection: a comparative study, *Clinical Radiology* 2001; 56:150–4.
56. M.T. Skevofilakas, K.S. Nikita, P.H. Templeleksi, K.N. Birbas, I.G. Kaklamanos, and G.N. Bonatsos, A decision support system for breast cancer treatment based on data mining technologies and clinical practice guidelines, 27th Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society, Shanghai, September 2005.
57. Wang SP, Patent Application Publication, June 2002.
58. G. Spyrou, S. Kapsimalakou A. Frigas K. Koufopoulos S. Vassilaros P. Ligomenides "Hippocrates-mst": A prototype for Computer-Aided Microcalcification Analysis and Risk Assessment for Breast Cancer, *Medical & Biological Engineering & Computing* 2006, 44(11):1007-15.
59. Karssemeijer N, Adaptive noise equalization and recognition of microcalcification clusters in mammograms, *Int. J. Patt. Rec. & Im. Analysis* 1993; 7.
60. Lorenz H, Richter G M, Capaccioli M and Longo G, Adaptive filtering in astronomical image processing. I. Basic considerations and examples, *Astron. Astrophys.* 1993; 277: 321.
61. Gail MH, Brinton LA, Byar DP, Corle DK, Green SB, Schairer C, and Mulvihill JJ, Projecting individualized probabilities of developing breast cancer for white females who are being examined annually, *J Natl Cancer Inst.* 1989; 81(24):1879-86.
62. Gail MH, and Costantino JP, Validating and improving models for projecting the absolute risk of breast cancer, *J Natl Cancer Inst.* 2001; 93(5):334-5.
63. Antonios Frigas, George Spyrou, Panos Ligomenides, Marianna Diomidous, and John Mantas, Investigating the Classification Robustness of a Computer Aided Diagnosis System Using Mammographic Images, *Acta Informatica Medica* 2009; 17(2):64-6.
64. Antonis Frigas, George Spyrou , Argyro Antaraki , Elisabeth Patiraki, Konstantinos Koufopoulos, John Mantas, and Panos Ligomenides, Design of a ‘Smart’ Patient Record System for Mammography Patients, *Stud Health Technol Inform.* 2009; 50:130-4.
65. Frank, T.S., Deffenbaugh, A.M., Reid, J.E., Hulick, M., Ward, B.E., Lingenfelter, B., Gumpper, K.L., Scholl, T., Tavtigian, S.V., Pruss, D.R., and Critchfield, G.C., Clinical characteristics of individuals with germline mutations in BRCA1 and BRCA2: Analysis of 10,000 individuals, *Journal of Clinical Oncology* 2002; 20:1480.
66. Dale Dougherty, LAMP: The Open Source Web Platform, 2001, <http://onlamp.com/pub/a/onlamp/2001/01/25/lamp.html>
67. Silberschatz A., Korth H.F., Sudarsham S., Συστήματα Βάσεων Δεδομένων, Τέταρτη έκδοση, 3^η Ελληνική Επανεκδοση, Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, 2007.
68. DDSM, University of South Florida Digital Mammography Home Page, <http://marathon.csee.usf.edu/Mammography/Database.html>
69. The mini-MIAS database of mammograms, <http://peipa.essex.ac.uk/info/mias.html>
70. Indexed Atlas of Digital Mammograms, <http://www.lcc.ufu.br/amdi/index.php?menu=2>
71. Balleyguier C, Kinkel K, Fermanian J, Malan S, Djen G, Taourel P, Helenon O, Computer-aided detection (CAD) in mammography: Does it help the junior or the senior radiologist?, *European Journal of Radiology* 2005; 54:90-6.

72. Baldi P, Brunak S, Chauvin Y, Andersen CA, Nielsen H, Assessing the accuracy of prediction algorithms for classification: an overview, *Bioinformatics* 2000; 16:412–24.
73. Ikeda D, Birdwell R, O'Shaughnessy K, Sickles E, Brenner R, Analysis of 172 subtle findings on prior normal mammograms in women with breast cancer detected at follow-up screening; *Radiology* 2003; 226:494–503.