



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Προηγμένα Συστήματα και Μέθοδοι στη Βιοϊατρική Τεχνολογία»

Ασαφής Επεξεργασία Εικόνας

ΚΑΡΑΤΣΑΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

Αριθμός Μητρώου: 2106

Επιβλέπων Καθηγητής

ΝΤΟΥΝΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

Αθήνα 06/06/2024



**UNIVERSITY OF WEST
ATTICA SCHOOL
DEPARTMENT BIOMEDICAL ENGINEERING**

Diploma Thesis

Fuzzy Image Processing

Karatsalos Christos

Registration Number:

2106

Supervisor

Anastasios Dounis

Athens, 06/06/24



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ**

Ασαφής Επεξεργασία Εικόνας

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή
Αναστάσιος Ντούνης, Μαρία Καλλέργη, Παναγιώτης Μουστάνης**

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

| A/a | ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ | ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ | ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ |
|------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | Αναστάσιος Ντούνης | Καθηγητής | |
| 2 | Μαρία Καλλέργη | Καθηγήτρια | |
| 3 | Παναγιώτης Μουστάνης | Αναπληρωτής Καθηγητής | |

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Καράτσαλος Χρήστος του Κωνσταντίνου με αριθμό μητρώου 2106 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Προηγμένα Συστήματα και Μέθοδοι στη Βιοϊατρική Τεχνολογία του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Ο Δηλών

Καράτσαλος Χρήστος



Ευχαριστίες:

Με την ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στον κ. Αναστάσιο Ντούνη για την υποστήριξη και καθοδήγηση που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Την κα Μαρία Καλλέργη που μου εμπιστεύτηκε το υλικό των μαστογραφιών που χρησιμοποιήθηκε, αλλά και για την ανεκτίμητη βοήθεια της.

Τέλος , θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την τεράστια υποστήριξη τους αλλά και τους συμφοιτητές μου για την αμοιβαία συνεργασία και στήριξη κατά τη διάρκεια αυτού του απαιτητικού ταξιδιού.

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Ευχαριστίες | 5 |
| Περιεχόμενα | 6 |
| Περίληψη | 7 |
| Abstract | 8 |
| Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή | 9 |
| Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση | 10 |
| Επισκόπηση τεχνικών | 13 |
| Προηγούμενες μελέτες/Ανασκόπηση βιβλιογραφίας | 17 |
| Κεφάλαιο 3: Συλλογή και Προεπεξεργασία Δεδομένων | 22 |
| Πηγή και Προεπεξεργασία Δεδομένων..... | 22 |
| Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία..... | 24 |
| Θεωρητικό υπόβαθρο..... | 24 |
| Περιγραφή αλγορίθμων | 25 |
| Περιγραφή Κώδικα | 31 |
| Κώδικας..... | 31 |
| Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα..... | 39 |
| Ανάλυση μεταξύ πάνω και κάτω τμήματος (αριστερού-δεξιού σε CC view)..... | 42 |
| Ανάλυση συσχέτισης μεταξύ ηλικίας και πυκνότητας μαστού | 46 |
| Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και Συστάσεις | 50 |
| Βιβλιογραφία..... | 52 |

Περίληψη

Η παρούσα διατριβή επικεντρώνεται στην εκτίμηση της πυκνότητας του μαστού μέσω μαστογραφιών, ένα κρίσιμο μέτρο ενημέρωσης και αναγνώρισης για τον κίνδυνο καρκίνου του μαστού. Εξετάζουμε τις διάφορες μεθόδους και εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των μαστογραφιών, συμπεριλαμβανομένων της σημειογραφίας, της ανάλυσης υφής, της τεχνητής νοημοσύνης, των υπερήχων και της διγραμμικής αντίθεσης. Επισημαίνουμε τη σημασία της ακριβούς ταξινόμησης των περιοχών με διαφορετική πυκνότητα και προτείνουμε αποτελεσματικές προσεγγίσεις για την ανίχνευση ανωμαλιών στο μαστό με χρήση αλγορίθμου fuzzy c-means με εφαρμογή πάνω στα ιστογράμματα των μαστογραφιών. Η έρευνά μας επισημαίνει τη σημαντική κλινική εφαρμογή των μεθόδων αυτών για τον έλεγχο του κινδύνου καρκίνου του μαστού και αναδεικνύει τη σημασία της πυκνότητας του μαστού στη διαγνωστική διαδικασία, επιτυγχάνοντας παράλληλα μεγάλη βελτίωση στην ταχύτητα, και μείωση των υπολογιστικών απαιτήσεων.

Λέξεις-κλειδιά: Μαστογραφία, Πυκνότητα Μαστού, Καρκίνος του Μαστού, Εκτίμηση Πυκνότητας, Ιατρική Εικόνα, Επεξεργασία Εικόνας.

Abstract

This dissertation focuses on the assessment of breast density through mammograms, a crucial metric for breast cancer risk evaluation and detection. Various methods and tools used in the analysis of mammographic images are explored, among them are pointillism, texture analysis, artificial intelligence, ultrasound, linear contrast and of course clustering algorithms. Emphasis is placed on the precise classification of areas with different densities, proposing effective approaches for detecting breast abnormalities using a fuzzy c-means algorithm applied to mammographic histograms instead of directly on the image itself, which is the method used in the literature. The research presented here underscores the significant clinical application of these methods for breast cancer risk assessment and highlights the importance of breast density in the diagnostic process, while achieving significant improvements in speed and computational efficiency.

Keywords: Mammography, Breast Density, Breast Cancer, Density Estimation, Medical Imaging, Image Processing.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Η επεξεργασία μαστογραφιών και η ανάλυση της πυκνότητας του στήθους αποτελούν έναν σημαντικό τομέα της ιατρικής εικόνας που έχει επιφέρει αξιοσημείωτες εξελίξεις στην πρόληψη, τη διάγνωση και την αντιμετώπιση του καρκίνου του μαστού. Η έγκαιρη διάγνωσή του αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την επιβίωση των ασθενών, καθώς, σύμφωνα με τα στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ), παραμένει μία από τις κυριότερες αιτίες θανάτου των γυναικών παγκοσμίως. Τα μαστογραφικά τεστ είναι ιατρικές εικόνες που παράγονται με τη χρήση ακτινοβολίας X και παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την εσωτερική δομή του μαστού. Η πυκνότητα του στήθους, που αντικατοπτρίζει τον αναλογικό αριθμό των ινών και των ιστών σε σχέση με τον λίπος, έχει επιβεβαιωθεί ως ένας σημαντικός προδιαθεσικός παράγοντας για την ανάπτυξη του νόσου. Γυναίκες με υψηλότερη πυκνότητα έχουν αυξημένο κίνδυνο να αναπτύξουν καρκίνο του μαστού σε σύγκριση με γυναίκες με χαμηλότερη πυκνότητα. Επομένως, η ακριβής αξιολόγηση της πυκνότητας είναι κρίσιμη για την πρόληψη και την πρόωρη ανίχνευση του καρκίνου του μαστού. Ωστόσο, η ακριβής αξιολόγηση της πυκνότητας απαιτεί εξειδικευμένες τεχνικές επεξεργασίας εικόνας και ανάλυσης. Οι υπολογιστικές μέθοδοι και η ασαφής λογική αποτελούν χρήσιμα εργαλεία για την επεξεργασία μαστογραφιών και την ανάλυση της πυκνότητας του στήθους με την ασαφή λογική να επιτρέπει την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας και της ασάφειας που μπορεί να παρουσιάζουν οι μαστογραφίες. Στα πλαίσια της εργασίας θα εξεταστεί η χρήση ασαφών μεθόδων στην ανάλυση της πυκνότητας του στήθους σε μαστογραφίες και θα διερευνηθούν τυχόν διαφορές στην πυκνότητα του στήθους σε δύο επίπεδα, το άνω και το κάτω μισό των μαστών. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να συντελέσει στη βελτίωση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των μετρήσεων της πυκνότητας του στήθους και στην αναγνώριση πρόωρων αλλαγών που δεν είναι εύκολα ανιχνεύσιμες με γυμνό μάτι, με τη χρήση ασαφών μεθόδων και να παράσχει βελτιωμένες μεθόδους για την αξιολόγηση του κινδύνου ανάπτυξης καρκίνου του μαστού σε γυναίκες. Αυτό θα αποτελέσει σημαντικό στοιχείο για την πρόληψη, την ανίχνευση του καρκίνου του μαστού σε πιο πρόωρο στάδιο και την αύξηση των πιθανοτήτων αποτελεσματικότητας της θεραπείας και επιβίωσης.

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Ο καρκίνος του μαστού είναι η πιο διαδεδομένη μορφή καρκίνου και η κύρια αιτία θανάτου από καρκίνο στις γυναίκες των δυτικών χωρών. Αυτό καθιστά φανερή την σημασία της έγκαιρης ανίχνευσης του καρκίνου αυτού, καθώς θα μειώσει τα ποσοστά θνησιμότητας. Κατά συνέπεια, αρκετές χώρες έχουν θεσπίσει εθνικές πρωτοβουλίες για τον έλεγχο του καρκίνου του μαστού, που περιλαμβάνουν τακτικές μαστογραφικές εξετάσεις για τις γυναίκες. Συνήθως, αυτή η διαδικασία ελέγχου απευθύνεται σε γυναίκες ηλικίας 50 έως 69 ετών, οι οποίες θεωρούνται οι πλέον κατάλληλες δημογραφικές ομάδες για να αποκομίσουν τα οφέλη αυτών των ελέγχων. Επιπλέον, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την έννοια του εξατομικευμένου, βασισμένου στον κίνδυνο, προσυμπτωματικού ελέγχου για τον καρκίνο του μαστού. Η προσέγγιση αυτή προσαρμόζει τις στρατηγικές προσυμπτωματικού ελέγχου με βάση τους παράγοντες κινδύνου των ατόμων για την ανάπτυξη καρκίνου του μαστού. Εκείνοι που θα κέρδιζαν περισσότερο από αυτή την εξατομικευμένη προσέγγιση προσυμπτωματικού ελέγχου είναι τα άτομα με πυκνό μαστογραφικό ιστό μαστού. Ειδικότερα, το 2022, η Ευρωπαϊκή Εταιρεία Απεικόνισης Μαστού (EUSOBI) συνέστησε τη συμπερίληψη της προσυμπτωματικής μαγνητικής τομογραφίας μαστού κάθε 2-4 χρόνια για γυναίκες ηλικίας 50-70 ετών με ιδιαίτερα πυκνούς μαστούς.

Ο πυκνός ιστός του μαστού αφορά συγκεκριμένα την παρουσία ακτινολογικά πυκνού, ινώδους και αδενικού ιστού εντός του μαστού, με το χαρακτηριστικό αυτό να έχει συνδεθεί με σημαντική μείωση της ευαισθησίας της μαστογραφίας και αυξημένο ποσοστό καρκίνου. Επιπλέον, η ύπαρξη πυκνού ιστού του μαστού φαίνεται να συνδέεται με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του μαστού σε σύγκριση με γυναίκες με λιγότερο πυκνό, λιπώδη ιστό του μαστού. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει σημαντική διακύμανση στις αναφερόμενες αυξήσεις του κινδύνου καρκίνου του μαστού, η οποία μπορεί να αποδοθεί στη χρήση διαφορετικών μεθόδων μέτρησης της πυκνότητας του μαστού στις διάφορες μελέτες. Οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν το σύστημα BI-RADS [1], τα κριτήρια Wolfe [2], την ταξινόμηση Tabár [2] και τις αυτοματοποιημένες ποσοτικές μετρήσεις πυκνότητας. Επιπλέον, προηγούμενες έρευνες σχετικά με τη σχέση μεταξύ της πυκνότητας του μαστού και του κινδύνου χρησιμοποίησαν κυρίως μαστογραφίες με φιλμ, οι οποίες έχουν αντικατασταθεί σε μεγάλο βαθμό από την ψηφιακή μαστογραφία. Επί του παρόντος, το πιο ευρέως υιοθετημένο εργαλείο για την κλινική ταξινόμηση της μαστογραφικής πυκνότητας είναι το Breast Imaging Reporting and Data Systems 5th edition (BI-RADS), το οποίο εισήχθη το 2013. Το σύστημα αυτό κατηγοριοποιεί την πυκνότητα του μαστού σε τέσσερις ομάδες, που εκτείνονται από εξαιρετικά λιπαρή έως διάσπαρτα λιπαρή, ετερογενή πυκνότητα και εξαιρετικά πυκνή, με την κατηγορία Β να είναι η πιο συχνή μεταξύ των γυναικών σε ηλικία προσυμπτωματικού ελέγχου για καρκίνο του μαστού. Παρ' όλα αυτά, λίγες μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει την πυκνότητα του μαστού της 5ης έκδοσης του BI-RADS [3] για την πρόβλεψη του κινδύνου καρκίνου του μαστού και λίγες έχουν διερευνήσει τον κίνδυνο καρκίνου του μαστού που αφορά γυναίκες με μέτρια πυκνό ιστό του μαστού σε σύγκριση με τις αντίστοιχες γυναίκες με μέση πυκνότητα. Οι γυναίκες με υψηλή μαστογραφική πυκνότητα (MD) αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις με πρώτη τη

μείωση της ευαισθησίας της προληπτικής μαστογραφίας και, δεύτερον, ανεξάρτητη αύξηση του κινδύνου ανάπτυξης καρκίνου του μαστού, ενώ, οι γυναίκες με πολύ πυκνούς μαστούς αντιμετωπίζουν υψηλότερο κίνδυνο ανάπτυξης καρκίνου του μαστού κατά τη διάρκεια της ζωής τους σε σύγκριση με εκείνες με λιγότερο πυκνό ιστό μαστού.

Πιο συγκεκριμένα, το Breast Imaging Reporting and Data Systems (BI-RADS) είναι ένα τυποποιημένο σύστημα ταξινόμησης που χρησιμοποιείται από τους ακτινολόγους για την αξιολόγηση και την αναφορά των αποτελεσμάτων των μελετών απεικόνισης του μαστού, κυρίως των μαστογραφικών εξετάσεων. Παρέχει ένα συνεπές και δομημένο τρόπο κατηγοριοποίησης και αναφοράς των αποτελεσμάτων της εξέτασης του μαστού, βοηθώντας στην πρόωμη ανίχνευση του καρκίνου του μαστού και στη διαχείριση της υγείας του μαστού.

Η ταξινόμηση BI-RADS αποτελείται από αρκετές κατηγορίες, η κάθε μία από τις οποίες υποδηλώνει διαφορετικά επίπεδα υποψίας για τον καρκίνο του μαστού:

1. Ατελής: Αυτή η κατηγορία εκχωρείται όταν απαιτείται περαιτέρω αξιολόγηση ή επιπλέον απεικόνιση για την εκτίμηση.
2. Αρνητικό: Αυτή η κατηγορία υποδηλώνει ότι δεν υπάρχουν ενδείξεις καρκίνου του μαστού και ο ιστός του μαστού φαίνεται εντελώς φυσιολογικός.
3. Καλοήθης: Σε αυτή την κατηγορία, τα ευρήματα είναι συμβατά με μια μη καρκινική κατάσταση. Συνήθως, ο ασθενής έχει ιστορικό καλοήθων όγκων.
4. Πιθανώς Καλοήθης: Αυτή η κατηγορία υποδηλώνει ότι υπάρχει χαμηλή υποψία καρκίνου, αλλά συνιστάται η συχνή παρακολούθηση πιθανών αλλαγών.
5. Υποψία: Αυτή η κατηγορία χωρίζεται σε υποκατηγορίες 4A, 4B και 4C, με κάθε υποκατηγορία υποδηλώνοντας αυξανόμενο βαθμό υποψίας για καρκίνο του μαστού. Συνήθως, προτείνεται περαιτέρω διαγνωστική αξιολόγηση, όπως βιοψία.
6. Υψηλή Υποψία: Αυτή η κατηγορία υποδηλώνει υψηλή υποψία για καρκίνο του μαστού, και συνιστάται η διενέργεια βιοψίας.
7. Καρκίνος που Επιβεβαιώθηκε με Βιοψία: Αυτή η κατηγορία ανατίθεται όταν έχει επιβεβαιωθεί η ύπαρξη καρκίνου του μαστού μέσω βιοψίας.

Με βάση τα παραπάνω, το σύστημα BI-RADS συμβάλλει στην διασφάλιση ότι οι αναφορές των μαστογραφικών εξετάσεων είναι τυποποιημένες και σαφείς, βοηθώντας τους επαγγελματίες υγείας να κατανοήσουν τα αποτελέσματα και να προτείνουν τις κατάλληλες συστάσεις για περαιτέρω αξιολόγηση ή θεραπεία.

Παρόλο που η μαστογραφία παραμένει η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την ανίχνευση του καρκίνου του μαστού, πρόσφατες μελέτες έχουν τονίσει τους περιορισμούς της, ιδίως σε γυναίκες με ιστό μαστού υψηλής πυκνότητας. Δεν μπορούν να ανιχνευθούν όλοι οι καρκίνοι με τις συνήθεις μαστογραφίες προσυμπτωματικού ελέγχου, καθώς η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από την πυκνότητα του ιστού του μαστού [4]. Σε μια

μαστογραφία προσυμπτωματικού ελέγχου, ο ακτινολογικά πυκνός ιστός εμφανίζεται λευκός, με αποτέλεσμα την έλλειψη αντίθεσης μεταξύ του καρκίνου και του πυκνού υποβάθρου του ιστού του μαστού, δυσκολεύοντας τη διάκριση μεταξύ τους και αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα τόσο ψευδώς θετικών όσο και ψευδώς αρνητικών αποτελεσμάτων στις ερμηνείες της μαστογραφίας. Τα ευρήματα πολλών μελετών υποστηρίζουν την άποψη ότι ο ιδιαίτερα πυκνός ιστός του μαστού μπορεί να εμποδίσει την έγκαιρη ανίχνευση καρκίνου από την μαστογραφία προσυμπτωματικού ελέγχου, καθιστώντας έτσι τα αποτελέσματα ασαφή για τις γυναίκες με ιστό μαστού υψηλής πυκνότητας [5].

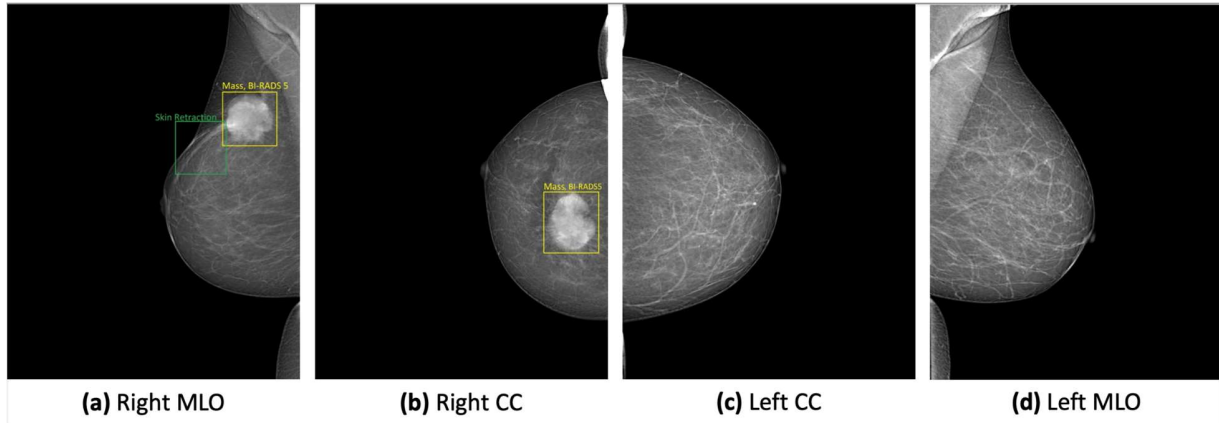
Η παρουσία πυκνού ιστού του μαστού αυξάνει σημαντικά τον κίνδυνο ανάπτυξης καρκίνου του μαστού. Ο Wolfe [6] ήταν ο πρώτος ερευνητής που παρατήρησε και δημοσίευσε τη συσχέτιση μεταξύ του πυκνού ιστού του μαστού και της εμφάνισης καρκίνου του μαστού. Έκτοτε, πολυάριθμες μελέτες έχουν επιβεβαιώσει αυτή τη θετική συσχέτιση μεταξύ της πυκνότητας του μαστού και του κινδύνου εμφάνισης καρκίνου. Σε μια μεγάλη ανάλυση που διεξήχθη από την McCormack [7], η οποία συνέκρινε την ποσοστιαία πυκνότητα και τη συχνότητα εμφάνισης καρκίνου του μαστού, διαπιστώθηκε ότι ο συνδυασμένος σχετικός κίνδυνος εμφάνισης καρκίνου του μαστού ήταν υψηλότερος για τις κατηγορίες MD 5-24% (επίπεδο 1), ακολουθούμενος από 25-49% (επίπεδο 2), 50-74% (επίπεδο 3) και $\geq 75\%$ (επίπεδο 4). Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν μια ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της αύξησης της πυκνότητας του μαστού και του αυξημένου κινδύνου εμφάνισης καρκίνου του μαστού. Επιπλέον, η εικασία του Boyd [8] και άλλων ερευνητών είναι ότι, λόγω αυτής της ισχυρής συσχέτισης, έως και το ένα τρίτο όλων των αναφερόμενων περιπτώσεων καρκίνου του μαστού θα μπορούσε να συνδεθεί με την παρουσία εξαιρετικά πυκνού ιστού του μαστού, με τους ακριβείς μηχανισμούς ωστόσο που κρύβονται πίσω από αυτή τη θετική συσχέτιση μεταξύ της MD και του κινδύνου καρκίνου του μαστού να μην έχουν ακόμη κατανοηθεί πλήρως.

Αλλά πως γίνεται η μαστογραφία στις γυναίκες; Κατά τη διαδικασία διάγνωσης, οι μαστογραφίες λαμβάνονται από διάφορες γωνίες και προβολές προκειμένου να διασφαλιστεί η ολοκληρωμένη εξέταση του μαστού. Δύο από τις πιο συνηθισμένες προβολές που χρησιμοποιούνται είναι η CC (Cranio-caudal) και η MLO (Mediolateral Oblique) view.

Η CC [9] view αντιστοιχεί σε μια προβολή όπου ο μαστός εξετάζεται από την κορυφή (cranio) προς τη βάση (caudal). Κατά τη λήψη της CC view, η γυναίκα βρίσκεται μπροστά από τη μηχανή μαστογραφίας, και ο μαστός της συμπιέζεται μεταξύ δύο πλακών για την απόκτηση της απαιτούμενης εικόνας. Η συγκεκριμένη προβολή αποτελεί ουσιώδες μέρος της ανίχνευσης και της καταγραφής πιθανών ανωμαλιών στον μαστό, οι οποίες ενδέχεται να μην είναι ορατές σε άλλες προβολές.

Αντίστοιχα, η MLO view [10] αποτελεί μια προβολή όπου ο μαστός εξετάζεται από τη μεσοπλάγια (mediolateral oblique) πλευρά. Κατά τη διάρκεια αυτής της προβολής, η γυναίκα τοποθετείται σε κατάλληλη θέση και κλίνεται προς τα πλάγια, επιτρέποντας την παρουσίαση του μαστού υπό διαφορετική γωνία. Η MLO view αποτελεί σημαντικό μέσο για την απόκτηση

πληροφοριών σχετικά με την πυκνότητα του μαστού, καθώς οι δομικές διαφορές μπορεί να είναι ορατές μόνο μέσω αυτής της προβολής.



Διαφορά μεταξύ MLO και CC views [11]

Στο πλαίσιο της εξέτασης της πυκνότητας του μαστού στο άνω ή κάτω μισό της αντίστοιχης προβολής, είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι η πυκνότητα του μαστού μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την τοποθεσία. Γενικά, η πυκνότητα στο άνω μισό του μαστού μπορεί να είναι διαφορετική από αυτήν στο κάτω μισό, με ενδεχόμενες ανωμαλίες, όπως όγκοι ή άλλες αλλαγές στην πυκνότητα, να εμφανίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές του μαστού, και, ως εκ τούτου, ο ακτινολόγος να πρέπει να εξετάσει προσεκτικά και τα δύο ημισφαίρια του μαστού προκειμένου να ανιχνεύσει τυχόν ανωμαλίες. Συνολικά, η αξιολόγηση της πυκνότητας σε διάφορες προβολές των μαστογραφιών αλλά και η κατάτμηση σε διαφορετικά κομμάτια, αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της διαγνωστικής διαδικασίας, καθώς επιτρέπει τον εντοπισμό προβλημάτων στον μαστό από διάφορες γωνίες και προβολές [12].

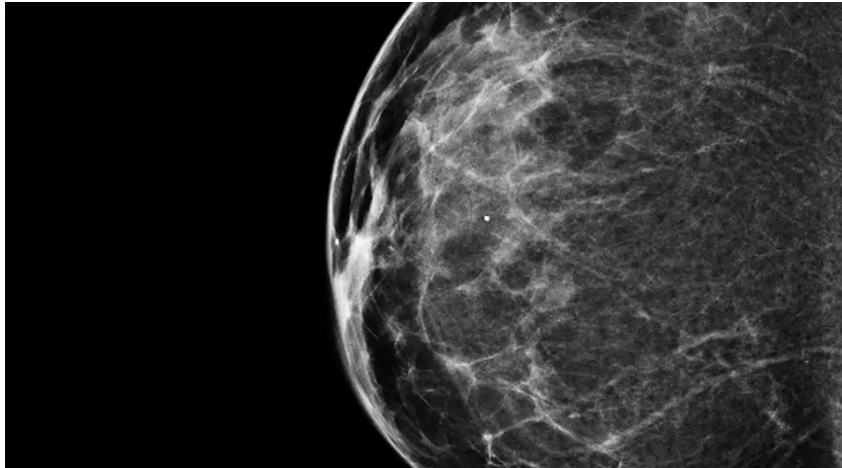
Επισκόπηση τεχνικών

Η τεχνική επεξεργασίας μαστογραφιών αποτελεί βασικό στάδιο στην αξιολόγηση της πυκνότητας του στήθους και την ανίχνευση τυχόν ανωμαλιών που μπορεί να υποδηλώνουν καρκίνο του μαστού. Στην πορεία της εξέλιξης της τεχνολογίας ιατρικών εικόνων, έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνικές και μέθοδοι για την επεξεργασία των μαστογραφιών.

Η επεξεργασία μαστογραφικών εικόνων και η αναγνώριση της πυκνότητας του μαστού αποτελούν κρίσιμα στάδια στον τομέα της μαστογραφίας, προκειμένου να προληφθούν, διαγνωστούν, και αντιμετωπιστούν προβλήματα υγείας του μαστού. Εκτός από το Fuzzy C-Means (FCM) που θα αναλυθεί παρακάτω, υπάρχουν και άλλες μέθοδοι και τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε αυτόν τον τομέα.

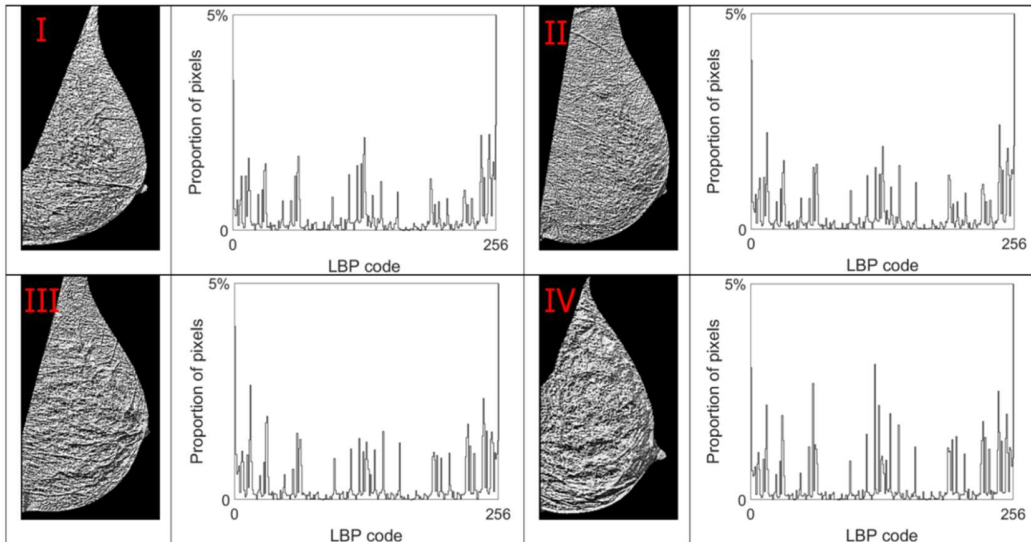
Αρχικά, η σημειογραφία αποτελεί μια εξειδικευμένη μέθοδο επεξεργασίας μαστογραφικών εικόνων, που βασίζεται στην λεπτομερή ανάλυση και σήμανση των διακυμάνσεων στην πυκνότητα του μαστού [13]. Η κύρια εφαρμογή της σημειογραφίας είναι ο εντοπισμός και η περιγραφή ανωμαλιών που ενδέχεται να υπάρχουν στον μαστό, όπως όγκοι ή άλλες αρχές

παθολογικής φύσης. Στη διαδικασία αυτή, οι ειδικοί αξιολογούν τις εικόνες με μεγάλη λεπτομέρεια, επισημαίνοντας τις περιοχές όπου παρατηρούνται αποκλίσεις στην πυκνότητα. Αυτές οι παρατηρήσεις μπορεί να περιλαμβάνουν τον εντοπισμό και την τοποθέτηση περιοχών ενδιαφέροντος, που αποτελούν πιθανές ανωμαλίες και με τη χρήση της σημειογραφίας, είναι δυνατή η πιο λεπτομερής αξιολόγηση του μαστού και η ανίχνευση πιθανών προβλημάτων υγείας.



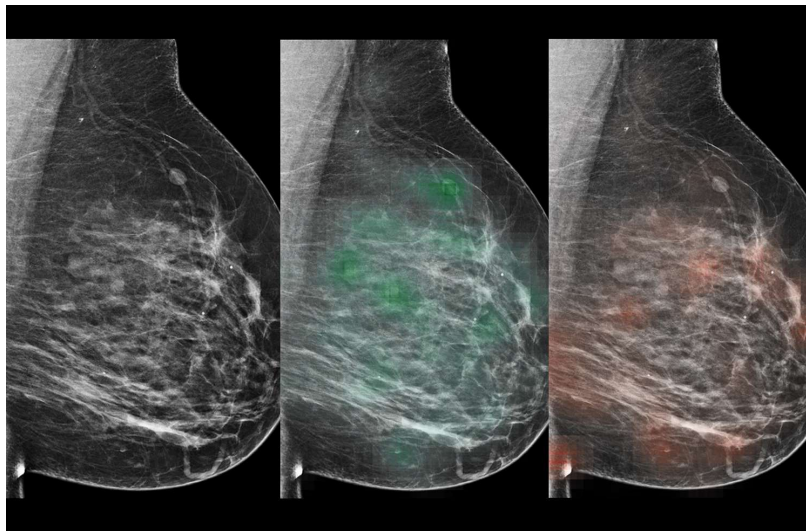
Μαστογραφία με χρήση σημειογραφίας

Η ανάλυση υφής [14] αποτελεί μια σημαντική μέθοδο επεξεργασίας μαστογραφικών εικόνων που επιτρέπει την εξαγωγή πολύτιμων πληροφοριών από τη δομή αυτών των εικόνων, με την βασική αρχή αυτής της μεθόδου να είναι η εστίαση στις υφιστάμενες δομικές διαφορές στον μαστό επιτρέποντας την αναγνώριση οποιασδήποτε υφιστάμενης ανωμαλίας με βάση αυτές τις διαφορές. Από τη στιγμή που οι υφιστάμενες δομικές διαφορές μπορεί να αντανάκλουν ανωμαλίες, όπως όγκους ή άλλες παθολογικές καταστάσεις στον μαστό, η ανάλυση υφής αποτελεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την ανίχνευση και την αξιολόγηση τέτοιων προβλημάτων υγείας, συμπληρώνοντας τις άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία μαστογραφιών και συμβάλλει στην πιο αξιόπιστη αξιολόγηση της υγείας του μαστού και την έγκαιρη διάγνωση παθήσεων.



Χρήση ανάλυσης υφής για επεξεργασία μαστογραφιών [15]

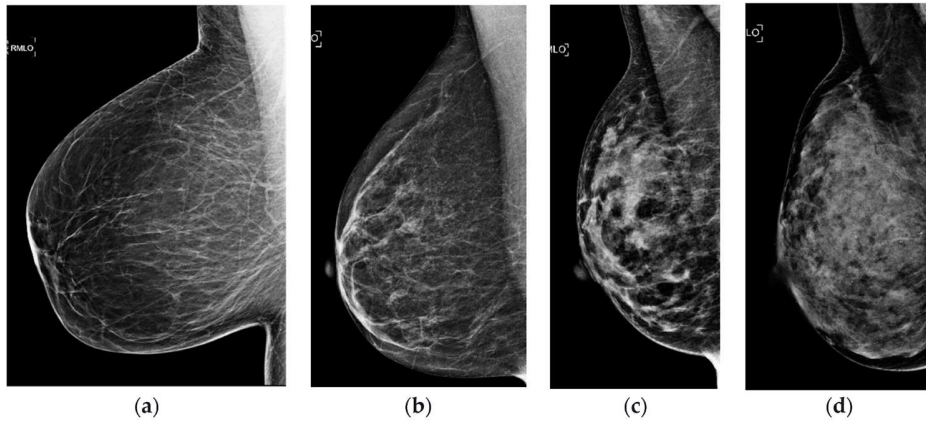
Η εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα της μαστογραφίας είναι σπουδαίο εργαλείο για την ανίχνευση ανωμαλιών στον μαστό [16]. Συγκεκριμένα, η χρήση τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης, όπως η χρήση νευρωνικών δικτύων, επιτρέπει την αναγνώριση μοτίβων και προτύπων στις μαστογραφίες, όπου τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να εκπαιδευτούν να αναγνωρίζουν τυχόν ανωμαλίες ή πυκνές περιοχές στις μαστογραφίες μέσα από την ανάλυση των προτύπων που παρουσιάζονται. Με την ανίχνευση αυτών των περιοχών, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να βοηθήσει στην πιο αξιόπιστη διάγνωση πιθανών παθήσεων ή ανωμαλιών στον μαστό.



Χρήση τεχνητής νοημοσύνης για επεξεργασία μαστογραφιών [17]

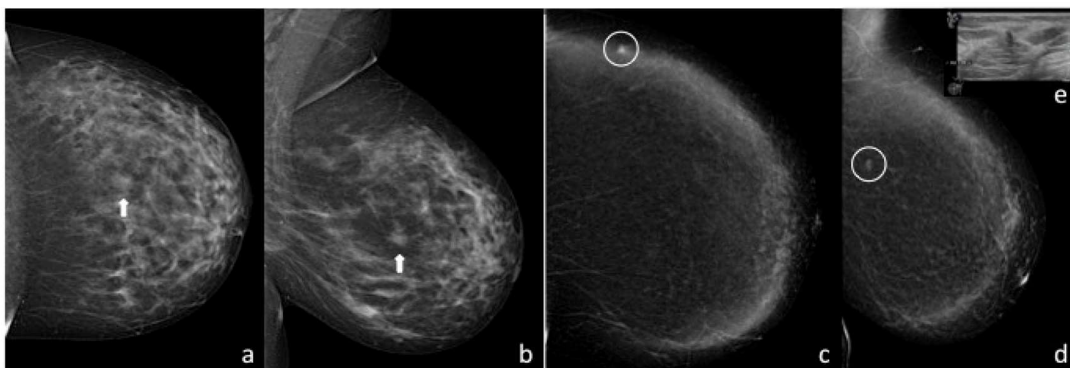
Οι υπέρηχοι αποτελούν μια σημαντική μέθοδο για τον έλεγχο της υγείας του μαστού. [18] Στην ιατρική πρακτική, χρησιμοποιούνται με σκοπό την αξιολόγηση της δομής των ιστών του μαστού και την ανίχνευση πιθανών ανωμαλιών, όπου οι υπέρηχοι λειτουργούν με την αποστολή

υπερηχητικών κυμάτων στο μαστό, τα οποία ανακλώνται από τους ιστούς του μαστού και επιστρέφουν πίσω στον αισθητήρα. Από τον τρόπο με τον οποίο ανακλώνται, μπορεί να παραχθεί μια εικόνα των ιστών, η οποία μπορεί να εξεταστεί από ειδικούς ιατρούς, εντοπίζοντας ανωμαλίες όπως κύστες, όγκους ή άλλες αλλαγές στη δομή των ιστών του μαστού. Αυτή η μέθοδος συμπληρώνει τις υπόλοιπες διαγνωστικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της υγείας του μαστού και αποτελεί έναν ακόμα πολύτιμο πόρο για την πρόληψη και τη διάγνωση πιθανών προβλημάτων στο μαστό.



Χρήση υπερήχων με εφαρμογή στις μαστογραφίες

Η διγραμμική αντίθεση [19] είναι μια τεχνική που επικεντρώνεται στον διαχωρισμό των διαφόρων περιοχών του μαστού με βάση την αντίθεση του χρώματος [20]. Κατά την εφαρμογή αυτής της τεχνικής, η εικόνα του μαστού αναλύεται ώστε να εντοπιστούν περιοχές όπου υπάρχουν σημαντικές διαφορές στη φωτεινότητα ή τον τόνο του χρώματος με αυτές τις διαφορές να σηματοδοτούν την ύπαρξη ανωμαλιών ή αλλαγών στο μαστό, όπως όγκων ή ασυνήθιστων δομικών χαρακτηριστικών. Ο στόχος της διγραμμικής αντίθεσης είναι να βοηθήσει στην αναγνώριση περιοχών που πιθανόν να απαιτούν περαιτέρω εξέταση και αξιολόγηση από ειδικούς ιατρούς. Και αυτή η τεχνική αποτελεί ένα ακόμα εργαλείο στον τομέα της μαστογραφίας που συμβάλλει στην πρόληψη και τη διάγνωση πιθανών προβλημάτων στον μαστό.



Χρήση τεχνικών διγραμμικής αντίθεσης

Συνολικά, αυτές οι μέθοδοι και τεχνικές συμπληρώνουν το FCM και επιτρέπουν στο ιατρικό προσωπικό να προβαίνει σε πιο αξιόπιστη και ακριβή ανάλυση των μαστογραφιών, βοηθώντας στην ανίχνευση και την παρακολούθηση πιθανών προβλημάτων υγείας του μαστού.

Η παρούσα επισκόπηση επικεντρώνεται κυρίως στις ασαφείς μεθόδους, οι οποίες αποτελούν μία εξαιρετικά υποσχόμενη προσέγγιση στην ανάλυση της ιατρικής εικόνας. Οι ασαφείς μέθοδοι είναι μια κατηγορία τεχνικών που χρησιμοποιούν την ασαφή λογική για να αντιμετωπίσουν την αβεβαιότητα και την ασάφεια που συνήθως συναντώνται στις ιατρικές εικόνες, όπως οι μαστογραφίες. Ο βασικός σκοπός των ασαφών μεθόδων είναι να διαχειριστούν την ανασφάλεια και την ασάφεια που προκύπτουν από την αναπαράσταση και την επεξεργασία των ιατρικών εικόνων, καθιστώντας την ανάλυση πιο σαφή και ακριβή.

Ορισμένα παραδείγματα μεθόδων και τεχνικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση της ιατρικής εικόνας, συμπεριλαμβανομένων των μαστογραφιών, είναι:

1. Ασαφής Κανόνας: Μια ασαφής μέθοδος που χρησιμοποιεί κανόνες και λογική ασάφειας για την κατηγοριοποίηση των περιοχών με διαφορετική πυκνότητα στις μαστογραφίες.
2. Ασαφής Συσταδοποίηση: Μια τεχνική που χρησιμοποιεί ασαφείς αλγόριθμους συσταδοποίησης για να αναγνωρίσει παρόμοιες περιοχές με παρόμοια πυκνότητα στις μαστογραφίες.
3. Ασαφής Φίλτρα: Ασαφείς μέθοδοι επεξεργασίας εικόνας που μπορούν να βελτιώσουν την αξιολόγηση της πυκνότητας και να ενισχύσουν τα χαρακτηριστικά που είναι σημαντικά για την ανίχνευση του καρκίνου.
4. Ασαφείς Μέθοδοι Ανίχνευσης Ανωμαλιών: Μέθοδοι που χρησιμοποιούν ασαφή λογική για την ανίχνευση τυχόν ανωμαλιών στις μαστογραφίες.
5. Ασαφείς Μέθοδοι Αξιολόγησης Πυκνότητας: Τεχνικές που χρησιμοποιούν ασαφή λογική για την ακριβέστερη μέτρηση και αξιολόγηση της πυκνότητας του στήθους σε μαστογραφίες.

Οι ασαφείς μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν στην ανάλυση της πυκνότητας του στήθους σε μαστογραφίες με διάφορους τρόπους. Μια από τις βασικές εφαρμογές είναι η αυτόματη αναγνώριση και κατάταξη των περιοχών με διαφορετική πυκνότητα. Επιπλέον, οι ασαφείς μέθοδοι μπορούν να βελτιώσουν την εκτίμηση της πυκνότητας και να ανιχνεύσουν μικρές αλλαγές που είναι δύσκολο να ανιχνευθούν με παραδοσιακές τεχνικές.

Προηγούμενες μελέτες/Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

Προηγούμενες μελέτες που ασχολήθηκαν με τη μέτρηση της πυκνότητας του στήθους και τα αποτελέσματά τους αποτελούν σημαντικό μέρος του ερευνητικού πεδίου στον τομέα της μαστογραφίας. Αυτές οι προηγούμενες μελέτες παρέχουν το υπόβαθρο και τις γνώσεις που απαιτούνται για την καλύτερη κατανόηση της σημασίας της πυκνότητας του στήθους και την ανάπτυξη ασαφών μεθόδων για την ανάλυσή της. Συγκεκριμένα, οι προηγούμενες μελέτες

πραγματοποίησαν αναλύσεις πυκνότητας του στήθους σε μεγάλα δείγματα γυναικών που υποβλήθηκαν σε μαστογραφίες [21]. Οι ερευνητές εξέτασαν τις διαφορές στην πυκνότητα μεταξύ διαφορετικών ηλικιακών ομάδων, εθνοτικών ομάδων, και παραγόντων όπως το οικογενειακό ιστορικό του καρκίνου του μαστού [22][23]. Ορισμένα παραδείγματα προηγούμενων μελετών που ασχολήθηκαν με τη μέτρηση της πυκνότητας του στήθους και τα αποτελέσματά τους περιλαμβάνουν:

1. **Μελέτες πυκνότητας σε διαφορετικές ηλικιακές ομάδες:** Αρκετές μελέτες έχουν εξετάσει την εξέλιξη της πυκνότητας του στήθους με την ηλικία [24]. Έχει διαπιστωθεί ότι οι νεότερες γυναίκες τείνουν να έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα σε σύγκριση με τις μετεμμηνοπαυσιακές. Σε αυτόν τον τομέα της έρευνας έχουν αποδειχθεί αρκετά ενδιαφέροντα συμπεράσματα, με βάση τα παρακάτω. Η πυκνότητα του στήθους εμφανίζει μια ορισμένη διακύμανση με την πάροδο του χρόνου [25]. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μια τάση μείωσης της πυκνότητας με την αύξηση της ηλικίας με αποτέλεσμα νεότερες γυναίκες, συχνά πριν από τη μετεμμηνοπαυσιακή περίοδο, να έχουν τάση να εμφανίζουν μεγαλύτερες πυκνότητες στις μαστογραφίες τους σε σύγκριση με γυναίκες που έχουν μπει στην μετεμμηνοπαυσιακή φάση. Η αναφορά σε αυτήν τη διαφοροποίηση της πυκνότητας του στήθους με την ηλικία έχει σημαντική σημασία για την πρόληψη και τη διάγνωση του καρκίνου του μαστού καθώς οι αυξημένες πυκνότητες μπορεί να δυσκολεύουν την ανίχνευση ενδεχόμενων βλαβών στις μαστογραφίες [26], οι γυναίκες με μεγαλύτερη πυκνότητα στο στήθος τους ενδέχεται να χρειάζονται πιο εξειδικευμένες διαγνωστικές μεθόδους ή πιο συχνές ελέγχους. Η συστηματική μελέτη της πυκνότητας του στήθους σε διάφορες ηλικιακές ομάδες παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την εξέλιξη της ιατρικής εικόνας του μαστού κατά τη διάρκεια της ζωής των γυναικών και την επίδραση αυτής της εξέλιξης στην διάγνωση του καρκίνου του μαστού και είναι ένα θέμα που έχει ευρείες εφαρμογές στον τομέα της υγείας και της ιατρικής έρευνας [27].
2. **Μελέτες πυκνότητας και οικογενειακό ιστορικό καρκίνου:** Αναζητήσεις έχουν εστιάσει στον ρόλο της πυκνότητας του στήθους ως δείκτη κινδύνου για γυναίκες με οικογενειακό ιστορικό καρκίνου του μαστού [28]. Οι μελέτες αυτές έχουν αναδείξει ότι η υψηλή πυκνότητα μπορεί να συσχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο [29]. Σε αυτόν τον τομέα, ο στόχος είναι να διερευνηθεί πώς η πυκνότητα του στήθους μπορεί να συσχετίζεται με τον κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του μαστού, ιδίως σε γυναίκες με οικογενειακό ιστορικό καρκίνου. Σύμφωνα με αυτές τις μελέτες, η υψηλή πυκνότητα του στήθους μπορεί να αποτελεί έναν δείκτη κινδύνου για τις γυναίκες που έχουν οικογενειακό ιστορικό καρκίνου του μαστού υποδηλώνοντας ότι μπορεί να εκτίθενται σε αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης του νόσου, εάν παρουσιάζουν υψηλή πυκνότητα του στήθους [30].
3. **Συσχετίσεις με άλλους παράγοντες κινδύνου:** Προηγούμενες μελέτες έχουν εξετάσει τις συσχετίσεις μεταξύ της πυκνότητας του στήθους και άλλων παραγόντων κινδύνου, όπως το βάρος [31], τη διατροφή [32], και την άσκηση [33]. Οι ερευνητές έχουν εξετάσει τις δυναμικές συνδέσεις μεταξύ αυτών των παραγόντων και της πυκνότητας του στήθους, με

στόχο την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο αλληλεπιδρούν. Οι συσχετίσεις ανάμεσα σε αυτούς τους παράγοντες κινδύνου και την πυκνότητα του στήθους μπορούν να παρέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν τον κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του μαστού, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών προληπτικών και εκπαιδευτικών προγραμμάτων για την προστασία της γυναικείας υγείας και την πρόληψη του καρκίνου του μαστού.

4. **Μελέτες επικύρωσης μεθόδων μέτρησης:** Μελέτες έχουν επίσης πραγματοποιηθεί για να επιβεβαιώσουν την αξιοπιστία [34][35] και την ακρίβεια των μεθόδων μέτρησης της πυκνότητας του στήθους, περιλαμβανομένων των ασαφών μεθόδων [36]. Σε αυτές τις μελέτες, ο σκοπός είναι να επιβεβαιωθεί η αξιοπιστία και η ακρίβεια των μεθόδων μέτρησης που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της πυκνότητας του στήθους, περιλαμβάνοντας τόσο τις συμβατικές μεθόδους όσο και τις ασαφείς μεθόδους, όπως η Fuzzy Logic. Οι εν λόγω μελέτες εκτελούνται με σκοπό την αξιολόγηση της ακρίβειας των μετρήσεων πυκνότητας του στήθους, και την επιβεβαίωση ότι οι μέθοδοι ανταποκρίνονται στα επιστημονικά πρότυπα. Οι ερευνητές προσπαθούν να διαπιστώσουν εάν οι μέθοδοι είναι αξιόπιστες στην ανίχνευση μικρών αλλαγών στην πυκνότητα του στήθους, ειδικά όταν αυτές οι αλλαγές είναι δύσκολο να ανιχνευθούν με το ανθρώπινο μάτι [37]. Τα αποτελέσματα από αυτές τις μελέτες προσφέρουν βασικές πληροφορίες για την αξιοπιστία των μεθόδων μέτρησης της πυκνότητας του στήθους και βοηθούν στην βελτίωσή τους για την ακριβέστερη πρόληψη και διάγνωση του καρκίνου του μαστού.

Τα αποτελέσματα αυτών των μελετών έχουν αποδείξει τη σημασία της πυκνότητας του στήθους ως παράγοντα κινδύνου για τον καρκίνο του μαστού. Η ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας αναδεικνύει την ουσιαστική σχέση μεταξύ της πυκνότητας του στήθους και των παραγόντων κινδύνου για τον καρκίνο του μαστού. Η πυκνότητα του στήθους, που αναφέρεται στην ποσότητα του ιστού του μαστού που αποτελείται από αδένες και συνδετικό ιστό σε σχέση με το λίπος, έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί σημαντικό παράγοντα κινδύνου για την ανάπτυξη του καρκίνου του μαστού. Γυναίκες με υψηλότερη πυκνότητα έχουν αυξημένο κίνδυνο για την ανάπτυξη του νόσου [38]. Επιπλέον, η πυκνότητα του στήθους μπορεί να διαφέρει μεταξύ των διαφορετικών περιοχών του στήθους, όπως το άνω και το κάτω μισό, όπως επίσης μεταξύ γυναικών με διαφορετική ηλικία και εθνοτική καταγωγή. Αυτή η ποικιλομορφία καταδεικνύει την ανάγκη για ακριβείς και προηγμένες μεθόδους ανάλυσης της πυκνότητας του στήθους, όπως οι ασαφείς μέθοδοι που προτείνονται στην παρούσα διατριβή.

Αρκετές μελέτες και επιστημονικά συνέδρια έχουν επισημάνει την αυξημένη συχνότητα του καρκίνου του μαστού σε γυναίκες με υψηλότερη πυκνότητα του στήθους, με την πυκνότητα αυτή να είναι συνήθως πιο υψηλή σε νεότερες γυναίκες και μπορεί να μειώνεται με την πάροδο του χρόνου ή μετά την εμφάνιση της εμμηνόπαυσης. Παράλληλα, το οικογενειακό ιστορικό καρκίνου του μαστού επίσης αυξάνει τον κίνδυνο και συνδέεται συχνά με υψηλότερη πυκνότητα του στήθους. Επιπλέον, η πυκνότητα του στήθους δεν επηρεάζει μόνο τον κίνδυνο του καρκίνου του μαστού αλλά και την απόδοση των μαστογραφιών. Γυναίκες με πυκνότερο στήθος μπορεί να

έχουν δυσκολία στην ανίχνευση πιθανών βλαβών, καθιστώντας την ακριβή διάγνωση πιο προβληματική. Παρακάτω παρουσιάζονται συνέδρια που στοχεύουν πάνω στην ενημέρωση του κόσμου πάνω στον καρκίνο του μαστού, αλλά και εμπλουτίζουν ερευνητικά το πεδίο, για ταχύτερη διάγνωση και πιο αποτελεσματική αντιμετώπιση του καρκίνου αυτού.

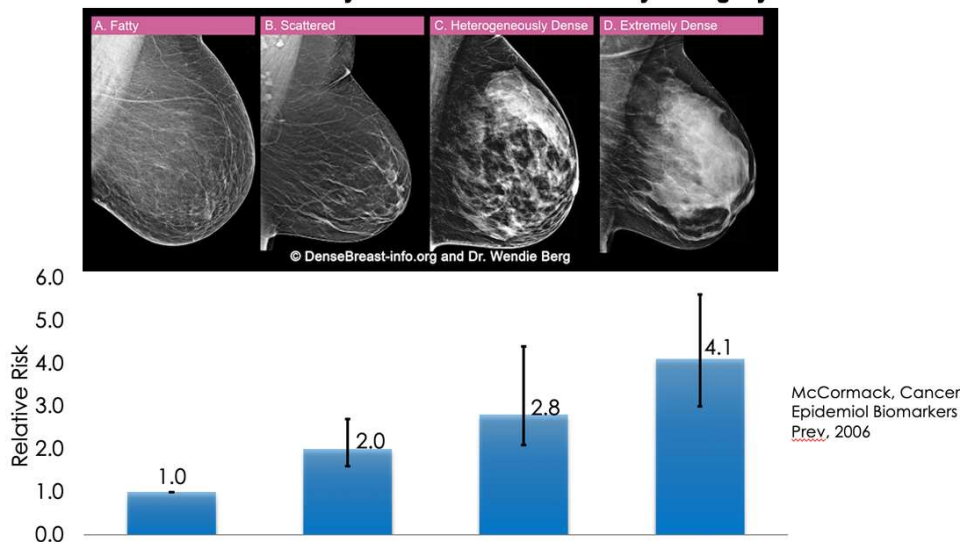
- ESMO Breast Cancer 2023 (May 2023)
- AACR Special Conference in Cancer Research: Advances in Breast Cancer Research
- San Antonio Breast Cancer Symposium (SABCS) (December 2022)
- European Cancer Congress (ECC) (November 2022)
- ASCO Annual Meeting (June 2022)

Οι προαναφερθείσες έρευνες και συνέδρια δείχνουν σημαντικές συσχετίσεις και πληροφορίες σχετικά με τη σχέση μεταξύ της πυκνότητας του στήθους και του καρκίνου του μαστού [39]. Συγκεκριμένα, αυτές οι έρευνες μας δείχνουν τα εξής:

1. Υψηλή πυκνότητα του στήθους και αυξημένος κίνδυνος καρκίνου: Πολλές ανεξάρτητες μελέτες έχουν βρει ότι οι γυναίκες με υψηλότερη πυκνότητα του στήθους έχουν αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του μαστού. Αυτό σημαίνει ότι ο βρόχος ιστών και αδένων στο στήθος μπορεί να συσχετίζεται με την ανάπτυξη του καρκίνου.
2. Συσχέτιση με ηλικία: Ορισμένες μελέτες έχουν δείξει ότι η επίδραση της πυκνότητας του στήθους στον κίνδυνο καρκίνου μπορεί να είναι ιδιαίτερα έντονη σε γυναίκες κάτω των 50 ετών. Αυτό υποδεικνύει τη σημασία της ηλικίας ως παράγοντα κινδύνου.
3. Σχέση με υποτύπους καρκίνου: Οι μελέτες έχουν αναδείξει συσχετίσεις μεταξύ της πυκνότητας του στήθους και του υποτύπου του καρκίνου του μαστού. Για παράδειγμα, η υψηλή πυκνότητα συνδέεται συχνά με τον ενδοκρινό τύπο του καρκίνου.

Αυτά τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν τη σημασία της πυκνότητας του στήθους ως παράγοντα κινδύνου για τον καρκίνο του μαστού. Ενδεχομένως, αυτό μπορεί να επηρεάζει την πρόληψη, τη διάγνωση, και τη θεραπεία του καρκίνου του μαστού, και επισημαίνει τη σημασία της συνεχούς έρευνας σε αυτόν τον τομέα.

Breast Cancer Risk by BI-RADS Breast Density Category



Συσχέτιση μεταξύ της πυκνότητας του στήθους και του κινδύνου για καρκίνο [40]

Παρά τα πολλά ευρήματα και τις επιστημονικές έρευνες που έχουν διεξαχθεί, υπάρχουν ακόμη κενά και ανοιχτά ερωτήματα που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση. Ένα από τα βασικά κενά στην έρευνα είναι η ακριβής κατανόηση του μηχανισμού με τον οποίο η πυκνότητα του στήθους συνδέεται με τον κίνδυνο καρκίνου του μαστού. Ενώ υπάρχουν ενδείξεις για συσχετίσεις, τα ακριβή αιτιολογικά μοντέλα και οι μηχανισμοί παραμένουν άγνωστα [41]. Η ανάπτυξη πιο λεπτομερών μελετών που εξετάζουν τους βιολογικούς διαδικαστικούς παράγοντες που σχετίζονται με την πυκνότητα του στήθους είναι απαραίτητη, ενώ η ποικιλία των μεθόδων μέτρησης της πυκνότητας του στήθους και η έλλειψη κοινών προτύπων μπορεί να δημιουργήσει σύγχυση και δυσκολίες στη σύγκριση των αποτελεσμάτων από διάφορες μελέτες. Αυτό απαιτεί την ανάπτυξη κατευθυντήριων γραμμών και την εναρμόνιση των μεθόδων μέτρησης, ενώ παράλληλα παρατηρείται έλλειψη εκτεταμένων πολυκεντρικών μελετών που να συμπεριλαμβάνουν μεγάλα δείγματα γυναικών από διάφορες περιοχές και εθνικότητες [42]. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα και γενικεύσιμα συμπεράσματα. Τέλος, η ανάπτυξη της τεχνολογίας στην ανάλυση και την επεξεργασία εικόνας μπορεί να επιτρέψει την ανάπτυξη πιο ακριβών μεθόδων μέτρησης της πυκνότητας του στήθους, απαιτώντας την ενίσχυση της έρευνας στον τομέα της ιατρικής εικόνας και της ψηφιακής επεξεργασίας.

Κεφάλαιο 3: Συλλογή και Προεπεξεργασία Δεδομένων

Η σωστή διαχείριση των δεδομένων αποτελεί βασικό βήμα για την επιτυχία και την αξιοπιστία μιας μελέτης. Στο πλαίσιο αυτού του κεφαλαίου, θα εξεταστεί η συλλογή και η προεπεξεργασία των δεδομένων για την ανάλυση της πυκνότητας του μαστού σε μαστογραφίες. Θα αναλυθεί η διαδικασία συλλογής δεδομένων και η προεπεξεργασία που απαιτείται για να μετατραπούν οι εικόνες μαστογραφιών σε μια μορφή που είναι κατάλληλη για την εκτέλεση της ανάλυσης [44] και τα βήματα που ακολουθούνται για τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων που περιλαμβάνει πληροφορίες για κάθε μαστογραφία, καθώς και οι τεχνικές προεπεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν για την κανονικοποίηση των εικόνων και την αφαίρεση τυχόν επιπέδων φόντου ή θορύβου.

Πηγή και Προεπεξεργασία Δεδομένων

Αρχικά, τα δεδομένα λήφθηκαν από την κα Καλλέργη που προέρχονταν από παλαιότερες έρευνές της. Προτού χρησιμοποιηθούν, διασφαλίστηκε ότι δεν απαιτείται κάποια έξτρα άδεια για τη χρήση τους και ότι δεν περιέχονται προσωπικά δεδομένα ασθενών [45]. Τα αρχεία δεδομένων ήταν σε μορφή εικόνας, και πριν την εκτέλεση της ανάλυσης χρησιμοποιήθηκε το ImageJ, μέσω του οποίου, αποκτήθηκε πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικές με κάθε μαστογραφία, πατώντας "Image -> Show Info.", για να είναι σίγουρο ότι δεν υπήρχαν προσωπικά δεδομένα στα metadata.

Κατά τη διαδικασία προεπεξεργασίας των εικόνων των μαστογραφιών, εφαρμόστηκαν αρκετά βήματα για τη βελτιστοποίηση των εικόνων και την εξαγωγή ακριβών μετρήσεων πυκνότητας. Ανάλογα με την κατάσταση των εικόνων, ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα προεπεξεργασίας:

1. **Κανονικοποίηση Εικόνων:** Όλες οι εικόνες μαστογραφιών κανονικοποιήθηκαν στην ίδια ανάλυση και φορμάτ εικόνας για να διευκολυνθεί η συγκρισιμότητα μεταξύ τους.
2. **Αφαίρεση Θορύβου:** Εάν υπήρχαν επίπεδα θορύβου στις εικόνες, εφαρμόστηκαν φίλτρα αφαίρεσης θορύβου για να βελτιώσουν την ποιότητα της εικόνας και να μειώσουν τυχόν παρεμβολές στη μέτρηση της πυκνότητας.
3. **Αφαίρεση Επιπέδων Φόντου:** Εάν οι εικόνες περιείχαν επίπεδα φόντου ή περιττά στοιχεία που δεν σχετίζονταν με το στήθος, αυτά αφαιρέθηκαν για να επιτευχθεί καλύτερη ορατότητα των δομών του στήθους.
4. **Ενίσχυση Αντίθεσης:** Σε ορισμένες περιπτώσεις, εφαρμόστηκαν τεχνικές ενίσχυσης αντίθεσης για να επιτραπεί καλύτερη οπτική αντίληψη των δομών του στήθους.

Αυτά τα βήματα προεπεξεργασίας διασφάλισαν ότι οι εικόνες ήταν έτοιμες για ακριβή μέτρηση της πυκνότητας του στήθους, εξαλείφοντας παρεμβολές και βελτιώνοντας την ποιότητα των δεδομένων προς ανάλυση.

Στη συνέχεια, κατά την επεξεργασία των δεδομένων για την εξαγωγή της πυκνότητας του μαστού, ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

1. **Κανονικοποίηση Εικόνων:** Κανονικοποιήθηκαν οι εικόνες σε προκαθορισμένη ανάλυση και φορμάτ εικόνας, εξασφαλίζοντας τη συμβατότητά τους και διευκολύνοντας την επεξεργασία.
2. **Αφαίρεση Θωρακικού Μυ:** Για να υπάρχει ακριβής μέτρηση της πυκνότητας του μαστού, αναπτύχθηκε αλγόριθμος που αφαιρεί το τμήμα του θωρακικού μυ που είναι εμφανής σε μερικές μαστογραφίες, με τρόπο γρήγορο και υπολογιστικά αποτελεσματικό.
3. **Υπολογισμός Πυκνότητας:** Χρησιμοποιήθηκαν αλγόριθμοι επεξεργασίας εικόνας για τον υπολογισμό της πυκνότητας του στήθους σε κάθε εικόνα. Αυτό περιλάμβανε την αναγνώριση των δομών του στήθους και τον υπολογισμό του ποσοστού πυκνότητας.
4. **Αποθήκευση Αποτελεσμάτων:** Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας αποθηκεύτηκαν σε βάση δεδομένων για μελλοντική ανάλυση.

Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργήθηκε ένα σύνολο δεδομένων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση της πυκνότητας του μαστού, διασφαλίζοντας την ακρίβεια και τη συνοχή των δεδομένων.

Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα περιγραφεί ο τρόπος με τον οποίο σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε η προτεινόμενη μεθοδολογία για την ανάλυση της πυκνότητας του μαστού στις μαστογραφίες. Θα παρουσιαστούν τα βήματα για την ανάλυση των εικόνων, την εξαγωγή των μετρήσεων πυκνότητας και τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, θα παρουσιαστούν οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύγκριση της πυκνότητας στο άνω και κάτω μέρος του στήθους, καθώς και την ανάλυση των αποτελεσμάτων ως προς τους παράγοντες κινδύνου του καρκίνου του μαστού. Επιπλέον, θα αναλυθεί η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την αναγνώριση πιθανών κενών ή αδυναμιών στην υφιστάμενη έρευνα και ο τρόπος με τον οποίο αντιμετωπίστηκαν αυτά τα κενά και οι αδυναμίες.

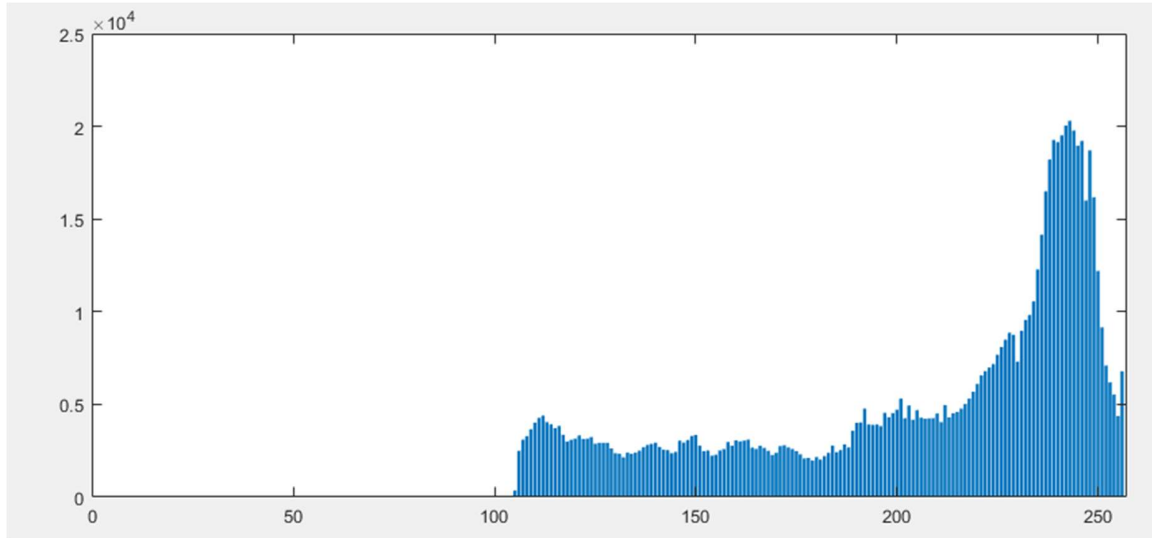
Θεωρητικό υπόβαθρο

Αρχικά θα αναλυθεί η θεωρία που θα χρησιμοποιηθεί για την λύση του παρόντος προβλήματος. Ένα ιστόγραμμα αποτελεί μια γραφική αναπαράσταση της συχνότητας εμφάνισης των διαφορετικών επιπέδων φωτεινότητας σε μια εικόνα. Συνήθως, το ιστόγραμμα κατασκευάζεται με βάση τις τιμές των εικονοστοιχείων σε μια εικόνα, με τα χαμηλότερα επίπεδα φωτεινότητας στο αριστερό άκρο και τα υψηλότερα στο δεξί άκρο του γραφήματος.

Το ιστόγραμμα παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την εκπροσώπηση των επιπέδων φωτεινότητας στην εικόνα. Συγκεκριμένα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για:

- Εκτίμηση του Φωτεινού Κβαντισμού: Από το ιστόγραμμα, μπορούμε να υπολογίσουμε το φωτεινό κβαντισμό, δηλαδή πόσα διαφορετικά επίπεδα φωτεινότητας χρησιμοποιούνται στην εικόνα. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για τη σωστή αναπαραγωγή και επεξεργασία της εικόνας.
- Βελτιστοποίηση της Εικόνας: Αναλύοντας το ιστόγραμμα, μπορούμε να προσδιορίσουμε ποιες περιοχές της εικόνας είναι υπερ-ή υπο-εκθεσμένες. Αυτό επιτρέπει την εφαρμογή βελτιώσεων, όπως τη ρύθμιση της φωτεινότητας και της αντίθεσης, για να βελτιώσουμε την οπτική ποιότητα της εικόνας.
- Ανίχνευση Ανωμαλιών: Αλλαγές στο ιστόγραμμα μπορεί να υποδείξουν προβλήματα στην εικόνα, όπως υπερεκθέσεις, υποεκθέσεις ή ανωμαλίες στη φωτεινότητα που ενδεχομένως να σχετίζονται με τεχνικά ζητήματα.

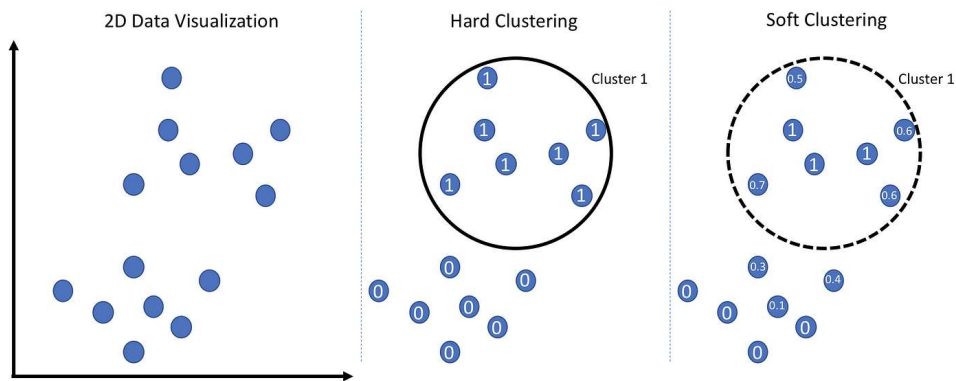
Στην επεξεργασία εικόνας, το ιστόγραμμα είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την κατανόηση και τη βελτιστοποίηση των εικόνων. Παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης της κατανομής της φωτεινότητας σε μια εικόνα, προσφέροντας σημαντικές πληροφορίες για την προσαρμογή και τη βελτιστοποίηση των εικόνων σε εφαρμογές επεξεργασίας εικόνας και αναγνώρισης προτύπων.



Παράδειγμα ιστογράμματος από ασθενή της έρευνας.

Περιγραφή αλγορίθμων

Για την ανάλυση της πυκνότητας του στήθους, χρησιμοποιήθηκαν ασαφείς μέθοδοι που επιτρέπουν την ακριβέστερη εξαγωγή πληροφοριών από τις μαστογραφίες. Αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν το Fuzzy C-Means (FCM) [46] και άλλες συναφείς τεχνικές που βασίζονται στη θεωρία των συστημάτων ασάφειας [47].



Αλγόριθμος c-means και fuzzy c-means [48]

Η μέθοδος Fuzzy C-Means (FCM) είναι ένας αλγόριθμος ομαδοποίησης που χρησιμοποιεί ασαφή σύνολα (fuzzy sets) για να ομαδοποιήσει δεδομένα σε διάφορες κατηγορίες με βάση την ομοιότητά τους. Η μέθοδος FCM είναι μια από τις πιο δημοφιλείς ασαφείς μεθόδους και έχει ευρεία εφαρμογή σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης εικόνων.

Οι βασικές αρχές της μεθόδου FCM είναι οι εξής:

1. **Ασαφής Ομαδοποίηση:** Στην ασαφή ομαδοποίηση, κάθε δείγμα ανήκει σε κάθε ομάδα με μια συγκεκριμένη μερίδα συμμετοχής. Αυτό σημαίνει ότι τα δείγματα μπορούν να ανήκουν σε περισσότερες από μία ομάδες με διαφορετικά ποσοστά συμμετοχής.
2. **Κέντρα Ομάδων:** Ο αλγόριθμος προσπαθεί να βρει τα κέντρα των ομάδων ή κατηγοριών στα οποία ανήκουν τα δείγματα. Κάθε κέντρο εκφράζει την τοποθεσία της κατηγορίας στο χώρο των δεδομένων.
3. **Αντικειμενική Συνάρτηση:** Ο αλγόριθμος προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει μια αντικειμενική συνάρτηση κόστους, η οποία μετρά τον βαθμό προσέγγισης των δειγμάτων στα κέντρα των ομάδων.

Στην πράξη, η μέθοδος FCM λειτουργεί ως εξής:

1. **Αρχικοποίηση:** Αρχικά, επιλέγονται τυχαία κέντρα για τις ομάδες.
2. **Υπολογισμός Μεριδών Συμμετοχής:** Για κάθε δείγμα, υπολογίζεται το ποσοστό συμμετοχής σε κάθε ομάδα, με βάση την απόστασή του από τα κέντρα των ομάδων.
3. **Ενημέρωση Κέντρων:** Τα κέντρα των ομάδων ενημερώνονται βάσει των ποσοστών συμμετοχής των δειγμάτων.
4. **Επανάληψη:** Οι παραπάνω βήματα επαναλαμβάνονται μέχρι να συγκλίνει ο αλγόριθμος, δηλαδή να μην υπάρχει σημαντική αλλαγή στα ποσοστά συμμετοχής και στα κέντρα των ομάδων.

Η μέθοδος FCM [49] είναι χρήσιμη στην περίπτωση δεδομένων που δεν είναι απόλυτα κατηγοριοποιημένα και όταν πρέπει να ληφθεί υπόψη η αβεβαιότητα και η ασάφεια στην ομαδοποίηση. Στη μελέτη της πυκνότητας του στήθους, αυτή η μέθοδος μπορεί να βοηθήσει στην ακριβέστερη και αξιόπιστη ανάλυση των μαστογραφικών εικόνων.

Παρακάτω θα αναλυθεί το πως δουλεύει η μέθοδος Fuzzy C-Means. Η βασική ιδέα είναι να επιτρέψει σε κάθε δείγμα να ανήκει εν μέρει σε κάθε ομάδα, με πιθανότητες μέλους που κυμαίνονται από 0 έως 1. Η διαδικασία του FCM εκτελείται βήμα-βήμα σύμφωνα με τα παρακάτω.

Αρχικοποίηση: Στο πλαίσιο της μεθόδου Fuzzy C-Means, η αρχικοποίηση αποτελεί το πρώτο βήμα της διαδικασίας. Κατά την αρχικοποίηση, ακολουθούνται τα εξής βήματα:

- Επιλογή τυχαίων τιμών για τα κέντρα των ομάδων (centroids): Αρχικά, επιλέγονται τυχαίες τιμές για τα κέντρα των ομάδων. Αυτά τα κέντρα αντιπροσωπεύουν τις εκτιμήσεις μας για τη θέση των κέντρων των διαφόρων ομάδων που θέλουμε να ανακαλύψουμε στα δεδομένα [50].
- Επιλογή παραμέτρου "fuzziness" (ή επίπεδου "ασάφειας") m [51]: Η παράμετρος m αντιπροσωπεύει το επίπεδο "ασάφειας" στον υπολογισμό της ασαφούς συμμετοχής των σημείων στις ομάδες. Συνήθως, η τιμή της m περιορίζεται σε έναν αριθμό μεταξύ 1 και 2.

Αυτή η παράμετρος επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο η μέθοδος αντιμετωπίζει την ασάφεια κατά την ομαδοποίηση των σημείων.

Με την ολοκλήρωση του βήματος αρχικοποίησης, έχουν δημιουργηθεί οι αρχικές εκτιμήσεις για τα κέντρα των ομάδων και έχουμε καθορίσει το επίπεδο "ασάφειας" που θα εφαρμόσουμε στη διαδικασία της Fuzzy C-Means.

Υπολογισμός Πιθανοτήτων Συμμετοχής: Σε αυτό το στάδιο, γίνεται υπολογισμός της πιθανότητας του κάθε δείγματος να ανήκει σε κάθε μία από τις διαθέσιμες ομάδες (από 1 έως c) στο πλαίσιο της μεθόδου Fuzzy C-Means. Ο υπολογισμός αυτός διενεργείται με βάση την απόσταση του δείγματος από τα κέντρα των ομάδων και χρησιμοποιεί μια συνάρτηση απόστασης, συνήθως την τετραγωνική ευκλείδεια απόσταση.

Πιο συγκεκριμένα:

- Για κάθε δείγμα: Κάθε δείγμα που αναλύεται, υπόκειται στον υπολογισμό των πιθανοτήτων συμμετοχής του σε κάθε μία από τις διαθέσιμες ομάδες.
- Απόσταση από τα κέντρα ομάδας: Η πιθανότητα συμμετοχής υπολογίζεται με βάση την απόσταση του δείγματος από τα κέντρα των ομάδων. Για παράδειγμα, χρησιμοποιείται συνήθως η τετραγωνική ευκλείδεια απόσταση, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλες μετρικές απόστασης ανάλογα με την εφαρμογή.

Η εκτίμηση του βαθμού πιθανότητας κάθε δείγματος να ανήκει σε κάθε μία από τις ομάδες γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την απόστασή του από τα κέντρα των ομάδων. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό βήμα στη διαδικασία της Fuzzy C-Means για την ανάθεση δειγμάτων σε ομάδες με ασάφεια.

Ενημέρωση Κέντρων Ομάδας: Υπολογίζονται τα νέα κέντρα ομάδας χρησιμοποιώντας τις πιθανότητες συμμετοχής των δειγμάτων. Αυτό γίνεται μεταξύ άλλων χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^N u_{ik}^m \cdot y_k}{\sum_{k=1}^N u_{ik}^m}$$

όπου v_i είναι το νέο κέντρο της ομάδας i , u_{ik} είναι η πιθανότητα συμμετοχής του δείγματος k στην ομάδα i , m είναι η παράμετρος "fuzziness," και y_k είναι το δείγμα k .

Συγκεκριμένα, στο βήμα Ενημέρωση Κέντρων Ομάδας αρχικά, υπολογίζονται τα νέα κέντρα για κάθε ομάδα, όπου αντιστοιχούν στα σημεία του χώρου χαρακτηριστικών που έχουν τη μέγιστη πιθανότητα συμμετοχής σε αυτή την ομάδα. Μετά τον υπολογισμό των νέων κέντρων, τα προηγούμενα κέντρα αντικαθίστανται από τα νέα, επιτρέποντας την ανανέωση της θέσης τους στον χώρο των χαρακτηριστικών. Τέλος, ο αλγόριθμος FCM συνεχίζει με τα ανανεωμένα κέντρα ομάδας και τις ενημερωμένες πιθανότητες συμμετοχής. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται

μέχρι να συγκλίνει, δηλαδή να μην υπάρχει σημαντική αλλαγή στις θέσεις των κέντρων ομάδας ή στις πιθανότητες συμμετοχής. Καθώς επαναλαμβάνεται το βήμα ενημέρωσης κέντρων, τα κέντρα συγκλίνουν προς τις πιο αντιπροσωπευτικές θέσεις, βελτιώνοντας την ποιότητα της ομαδοποίησης.

Η επανάληψη στον αλγόριθμο Fuzzy C-Means (FCM) αποτελεί κρίσιμο βήμα που επιτρέπει τη σύγκλιση του αλγορίθμου και τη βελτίωση της ποιότητας της ομαδοποίησης. Κατά το βήμα της Ενημέρωσης Κέντρων Ομάδας, υπολογίζονται οι νέες θέσεις των κέντρων ομάδας και χρησιμοποιώντας αυτές τις νέες θέσεις, υπολογίζονται οι νέες πιθανότητες συμμετοχής των δειγμάτων σε κάθε ομάδα. Αυτές οι πιθανότητες αντικαθιστούν τις προηγούμενες και με τις νέες πιθανότητες συμμετοχής και τις ανανεωμένες θέσεις κέντρων, ο αλγόριθμος FCM ξεκινά μια νέα επανάληψη. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για έναν ορισμένο αριθμό επαναλήψεων ή μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση, που σημαίνει ότι δεν υπάρχει σημαντική αλλαγή στις θέσεις των κέντρων ομάδας ή στις πιθανότητες συμμετοχής. Αυτό το βήμα της επανάληψης επιτρέπει στον αλγόριθμο να συγκλίνει και να βελτιώσει σταδιακά την ομαδοποίηση των δεδομένων. Καθώς επαναλαμβάνεται, οι πιθανότητες συμμετοχής προσεγγίζουν την πραγματική συμμετοχή των δειγμάτων σε κάθε ομάδα, και τα κέντρα συγκλίνουν στις πιο αντιπροσωπευτικές θέσεις.

Η διαδικασία τερματισμού στον αλγόριθμο Fuzzy C-Means (FCM) είναι απαραίτητη για να διασφαλίσουμε ότι η σημαντική εργασία του αλγορίθμου έχει ολοκληρωθεί και ότι έχει συγκλίνει σε μια ικανοποιητική λύση. Παρακάτω αναλύεται η διαδικασία τερματισμού βήμα προς βήμα:

- Σύγκλιση των Κέντρων: Οι θέσεις των κέντρων των ομάδων ελέγχονται από τον αλγόριθμο για σύγκλιση. Η σύγκλιση σημαίνει ότι δεν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές στις θέσεις των κέντρων. Αυτό συμβαίνει όταν οι νέες θέσεις των κέντρων είναι πολύ κοντά στις προηγούμενες και όταν ο αλγόριθμος αναγνωρίσει αυτήν τη σύγκλιση, τερματίζει.
- Προκαθορισμένος Αριθμός Επαναλήψεων: Εάν ο αλγόριθμος δεν συγκλίνει μετά από έναν προκαθορισμένο αριθμό επαναλήψεων, τότε τερματίζει ανεξάρτητα από το αν έχει συγκλίνει. Αυτός ο προκαθορισμένος αριθμός επαναλήψεων είναι μια προδιαγεγραμμένη ποσότητα που καθορίζεται προκαταρκτικά και μπορεί να είναι χρήσιμη για τον έλεγχο της διάρκειας εκτέλεσης του αλγορίθμου.

Ο συνδυασμός αυτών των δύο συνθηκών τερματισμού εξασφαλίζει ότι ο αλγόριθμος FCM θα τερματίσει είτε όταν έχει βρει μια σταθερή λύση είτε όταν έχει ολοκληρώσει έναν προκαθορισμένο αριθμό επαναλήψεων. Αυτό εξασφαλίζει ότι ο αλγόριθμος είναι αποδοτικός και αξιόπιστος στον προσδιορισμό των ομάδων στα δεδομένα.

Η μέθοδος FCM επιτρέπει την ομαδοποίηση δεδομένων σε ασαφείς, επιμέρους ομάδες, και χρησιμοποιείται ευρέως στην επεξεργασία εικόνων, μηχανική μάθηση, και πολλές άλλες εφαρμογές όπου απαιτείται η ομαδοποίηση δεδομένων με ασάφεια.

Υπάρχουν και άλλες ασαφείς μέθοδοι που χρησιμοποιούν παρόμοιες αρχές, όπως η ασαφής λογική (fuzzy logic) και η ασαφής τεκμηρίωση (fuzzy evidence). Αυτές οι τεχνικές επιτρέπουν την αντιμετώπιση περιπτώσεων όπου η αβεβαιότητα και η ασάφεια είναι κύρια χαρακτηριστικά

στην ανάλυση της πυκνότητας του στήθους. Αυτές οι μέθοδοι αποτελούν ισχυρά εργαλεία για την προσαρμογή της ανάλυσης στη φύση των μαστογραφικών δεδομένων και την εξαγωγή σημαντικών πληροφοριών σχετικά με την υγεία του στήθους.

Η ασαφής λογική, γνωστή και ως Fuzzy Logic, είναι ένας αναλυτικός προγραμματισμός που χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει την αβεβαιότητα και την ασάφεια σε συστήματα και διαδικασίες. Η κλασική λογική, όπως η δυαδική λογική (binary logic) [52], αντιμετωπίζει τις προτάσεις ως είτε αληθείς (1) είτε ψευδείς (0), χωρίς καμία ενδιάμεση κατάσταση. Στην ασαφή λογική, αντίθετα, οι προτάσεις αντιμετωπίζονται με έναν συνεχή αριθμό που αντιπροσωπεύει το βαθμό αληθείας τους. Αυτό σημαίνει ότι μια πρόταση μπορεί να είναι "λίγο αληθής" (0.7) ή "αρκετά αληθής" (0.9), και όχι μόνο "αληθής" (1) ή "ψευδής" (0). Η ασαφής λογική χρησιμοποιεί τις ασαφείς μεταβλητές και τους ασαφείς κανόνες για να εκφράσει αναλυτικά και ακριβέστερα τη γνώση που διαθέτουμε σχετικά με ένα πρόβλημα. Αυτό επιτρέπει την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας και της ασάφειας στην λήψη αποφάσεων.

Τέλος, η ασαφής τεκμηρίωση, γνωστή και ως Fuzzy Evidence ή Fuzzy Dempster-Shafer Theory, είναι ένα μαθηματικό πλαίσιο που χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας και της ασάφειας στην λήψη αποφάσεων σε περιβάλλοντα όπου η πληροφορία μπορεί να είναι ασαφής ή ανακριβής. Η θεωρία Dempster-Shafer [53][54] αποτελεί τη βάση της ασαφούς τεκμηρίωσης και προέκυψε από τον Glenn Shafer τη δεκαετία του 1970.

Στα βασικά σημεία, η ασαφής τεκμηρίωση λειτουργεί ως εξής:

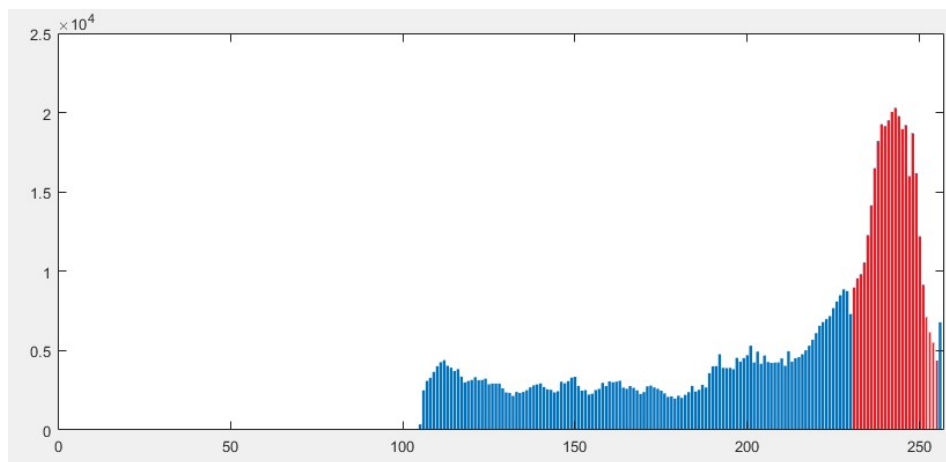
1. **Σύνολα Πιθανοτήτων:** Αντί να χρησιμοποιεί πιθανότητες, η ασαφής τεκμηρίωση χρησιμοποιεί ασαφή σύνολα για να περιγράψει την αβεβαιότητα. Κάθε ασαφές σύνολο αντιπροσωπεύει το βαθμό πιθανότητας ότι μια συγκεκριμένη κατάσταση είναι αληθής.
2. **Σύνολα Πιστοποιητικών:** Κάθε ασαφές σύνολο πιθανοτήτων συσχετίζεται με ένα σύνολο πιστοποιητικών, τα οποία αντιπροσωπεύουν το βαθμό επιστημονικής πίστης σε μια κατάσταση. Αυτά τα πιστοποιητικά καθορίζουν πώς η πληροφορία συσχετίζεται με τις διάφορες καταστάσεις.
3. **Ανακάλυψη Αβεβαιότητας:** Η ασαφής τεκμηρίωση επιτρέπει την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας και της ασάφειας στα δεδομένα, καθιστώντας εφικτή την ενσωμάτωση αντιφατικών ή ασαφών πληροφοριών στην διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Η ασαφής τεκμηρίωση είναι χρήσιμη σε περιβάλλοντα όπου η πληροφορία είναι ασαφής, ανακριβής ή ανεπαρκής. Εφαρμόζεται σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένων της τεχνητής νοημοσύνης, της ρομποτικής, της ιατρικής διάγνωσης, και της αναγνώρισης προτύπων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Fuzzy C-Means (FCM) ως βασικό εργαλείο για την ανάλυση και τον υπολογισμό της πυκνότητας του μαστού από μαστογραφίες. Ο αλγόριθμος FCM αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο στον χώρο της ασαφούς λογικής και της ασαφούς ομαδοποίησης δεδομένων. Ο FCM αναδεικνύεται ως ο κατάλληλος αλγόριθμος για την επεξεργασία των μαστογραφικών εικόνων λόγω της ικανότητάς του να λαμβάνει υπόψη

την ασάφεια και την αβεβαιότητα που συνήθως συνοδεύουν τέτοια είδη ιατρικής εικόνας. Ο αλγόριθμος FCM επιτρέπει την ακριβή ομαδοποίηση των δεδομένων με βάση την ασάφεια και την αβεβαιότητα που σχετίζεται με την μέτρηση της πυκνότητας του μαστού. Η χρήση του αλγορίθμου FCM στην παρούσα εργασία επιτρέπει την προσεκτική ανάλυση των μαστογραφικών εικόνων, προσφέροντας σημαντική στατιστική πληροφορία για την πυκνότητα του μαστού σε διάφορες περιοχές του. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την κατανόηση και την περαιτέρω εξέταση της σχέσης μεταξύ της πυκνότητας του μαστού και του καρκίνου του μαστού, καθώς και για την ανάπτυξη πιο ακριβών διαγνωστικών εργαλείων και προσεγγίσεων για την πρόληψη και την ανίχνευση του καρκίνου του μαστού.

Ο αλγόριθμος FCM (Fuzzy C-Means) εκτελέστηκε στο ιστόγραμμα της εικόνας καθώς αυτή η προσέγγιση έχει αποδειχθεί αποδοτική και πρακτική. Καταρχάς, το ιστόγραμμα μιας εικόνας [55] αντιπροσωπεύει την κατανομή της φωτεινότητας των pixels σε μια διάσταση. Αυτή η αναπαράσταση του εικονικού περιεχομένου σε έναν διάστατο χώρο είναι σημαντική για την ανάλυση της εικόνας, καθώς επιτρέπει την εφαρμογή του αλγορίθμου FCM μεγάλης ταχύτητας. Η επεξεργασία ενός 1-διάστατου ιστογράμματος είναι σημαντικά πιο γρήγορη σε σχέση με την ανάλυση μιας διδιάστατης εικόνας, που περιέχει πολλά pixels και απαιτεί σημαντικούς υπολογιστικούς πόρους. Επιπλέον, η επεξεργασία του ιστογράμματος ως 1-διάστατου διάνυσματος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην ανίχνευση των κοιλωμάτων που αντιπροσωπεύουν το πυκνό ιστό στο μαστό. Οι πυκνοί ιστοί παρουσιάζουν συχνά κυρτές μορφές και κυκλικές δομές, και αυτές οι μορφές μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στον αλγόριθμο FCM που εφαρμόζεται σε 2 διαστάσεις. Επομένως, χρησιμοποιώντας το ιστόγραμμα ως ένα 1-διάστατο διάνυσμα, αποφεύγουμε τα προβλήματα της αναγνώρισης των πυκνών ιστών, παρέχοντας μια αποτελεσματική λύση για τον αντίστοιχο χώρο αναζήτησης του αλγορίθμου FCM.



Ιστόγραμμα όπου φαίνονται οι δύο ομάδες που ορίστηκαν από τον αλγόριθμο FCM στο ιστόγραμμα της ασθενούς 1.

Περιγραφή Κώδικα

Ο αλγόριθμος που επιλύει το πρόβλημα που έχουμε περιγράψει, αναπτύχθηκε στο περιβάλλον Matlab. Αρχικά διαβάζει μία μία τις εικόνες και τις αποθηκεύει σε έναν πίνακα τρισδιάστατο, την μία φωτογραφία πάνω στην άλλη. Έπειτα αποθηκεύει τον πίνακα αυτόν, για να μην χρειάζεται κάθε φορά να διαβάζει τις φωτογραφίες ξεχωριστά. Ακολούθως εκτελείται normalization πάνω στις 16bit-ες εικόνες, με αποτέλεσμα να έχουμε στο φόντο 0 και το πιο φωτεινό σημείο να ισούται με 65536. Θα μπορούσαμε να κάνουμε ιστόγραμμα με την εικόνα των 16bit αλλά αυτό θα ήταν πολύ απαιτητικό υπολογιστικά. Έναντι αυτού μετατράπηκαν όλες οι εικόνες σε 8bit μετά την κανονικοποίηση για να συνεχιστεί η επεξεργασία στο κομμάτι 0-255. Μετά από αυτό το βήμα βρέθηκε το ιστόγραμμα της κάθε εικόνας, και αφαιρέθηκε το μηδέν, καθώς αυτό αποτελεί το background της μαστογραφίας όπως προαναφέρθηκε, και δεν μας ενδιαφέρει στον υπολογισμό της πυκνότητας του μαστού. Οι περιοχές που πρέπει να κατηγοριοποιηθούν είναι δύο, ο μαλακός/λιπώδης ιστός και ο πυκνός ιστός, συνεπώς στην χρήση των fuzzy c-means έχουμε μόνο 2 κέντρα καθώς έχουμε δύο κλάσεις, με την κατηγοριοποίηση να γίνεται πάνω στο ιστόγραμμα. Καθώς η συνάρτηση συμμετοχής είναι αναλογική, βρίσκουμε το ελάχιστο μέγιστο των δυο συναρτήσεων, το οποίο ταυτίζεται με το σημείο τομής των δύο ασαφών περιοχών, και θέτουμε threshold στο σημείο αυτό. Ακολούθως μέσα στο ιστόγραμμα μετράμε τον αριθμό των εικονοστοιχείων που ανήκουν σε κάθε κλάση καθώς αφού τα εικονοστοιχεία είναι ίδια σε όλη την έκταση της εικόνας, αντιπροσωπεύουν και την επιφάνεια πάνω στην τομή, που αντιστοιχεί σε κάθε είδος ιστού. Τέλος υπολογίζουμε το λόγο του ινώδη ιστού (που αντιπροσωπεύεται με πιο ανοιχτά χρώματα στην μαστογραφία), σε σχέση με το σύνολο του ιστού που φαίνεται. Το αποτέλεσμα αυτό αποθηκεύεται σε πίνακα με 100 κελιά και προχωράμε στην επόμενη μαστογραφία.

Κώδικας

```
clear
clc
% % run once to make the image matrix-----
% n = 0;
% m = 0;
% numImages = 100; % Total number of images
%
% % Initializing the 3D matrix to store all the images
% imageMatrix = [];
%
% % Looping through all the images
% for i = 1:numImages
% % Create the filename for each image
% filename = sprintf('IM%d.dcm', i);
%
% info = dicominfo(filename); % Get image info
% img = dicomread(info); % Read the image data
%
% if n == 0 && m == 0
% [n, m] = size(img);
% imageMatrix = zeros(n, m, numImages, 'uint16');
% else
% img = imresize(img, [n, m]);
% end
```

```

%
% imageMatrix(:,:,i) = img;
% end
%
% save('imageMatrix.mat', 'imageMatrix'); %saves the matrix for future
%
% % end of making of image matrix-----
[n,m]=size(imageMatrix(:,:,1));
% Density Calculation -----
index_matrix=zeros(100,2);
Density=zeros(100,1);
Density_upper=zeros(100,1);
Density_lower=zeros(100,1);
VisualImages=zeros(n,m,3,100);
for k=1:100

    Image=imageMatrix(:,:,k);

    %normalize the 16bit image
    im_min=min(min(Image));
    Image_norm(:,:,)=Image(:,:,)-im_min;

    im_max=max(max(Image_norm));
    factor=65535/im_max;

    Image_norm(:,:,)=round(Image_norm(:,:,)*factor);

    % imshow(Image_norm, []); %disp the image

    uint8Image = im2uint8(Image_norm); % mapping 16bit image to 8bit image thus
making the computations more efficient

    %imwrite(uint8Image, 'testimage.png');

    filtered_mammogram = medfilt2(uint8Image);

    % Apply a threshold to binarize the image
    binary_mammogram = imbinarize(filtered_mammogram);

    % Identify the pectoral muscle region
    pectoral_muscle_region = bwconncomp(binary_mammogram);

    % Mark the pixels of the pectoral muscle region with a different value
    marked_mammogram = binary_mammogram;
    marked_mammogram(pectoral_muscle_region.PixelIdxList{1}) = 255;

    index_left=0;
    index_right=0;
    for i=10:m-10
        if binary_mammogram(1,i)==1 && binary_mammogram(1,i+1)==0
            index_left = i;
        end
    end

    for i=10:m-10
        if binary_mammogram(1,i)==0 && binary_mammogram(1,i+1)==1

```



```

        index_right = i;
    end
end

if index_left > 10
    index = round(0.9 * index_left);
    for i = 1:n
        for j = 1:m
            if j < round(index * ((0.9 * n - i) / n))
                uint8Image(i, j) = 0;
                binary_mammogram(i, j) = 0;
            end
        end
    end
    index_right = 0;
end

if index_right > 10
    index = round(index_right / 0.9);
    for i = 1:n
        for j = 1:m
            if j > round(index * ((n / 0.9 + i) / n))
                uint8Image(i, j) = 0;
                binary_mammogram(i, j) = 0;
            end
        end
    end
end

% ----- skew image to be upright -----

if index_right * index_left ~= 0
    % Define the center of rotation
    centerOfRotation = [1914, 2294]; % Replace x_center and y_center with the
coordinates of the center

    rotationAngle = 45;

    % Define the point to bring vertical to the center
    pointToVerticalize = [index, 1]; % Replace x_point and y_point with the
coordinates of the point

    % Compute the translation to align the specified point with the center of
rotation
    translationVector = centerOfRotation - pointToVerticalize;

    % Perform the rotation
    rotatedImage = imrotate(uint8Image, rotationAngle, 'crop');

    % Translate the rotated image to align the specified point with the center of
rotation
    uint8Image = imtranslate(rotatedImage, translationVector);
end

if index_right * index_left ~= 0

```

```

    % Define the center of rotation
    centerOfRotation = [1, 2294]; % Replace x_center and y_center with the
coordinates of the center

    rotationAngle = 45;

    % Define the point to bring vertical to the center
    pointToVerticalize = [index, 1]; % Replace x_point and y_point with the
coordinates of the point

    % Compute the translation to align the specified point with the center of
rotation
    translationVector = centerOfRotation - pointToVerticalize;

    % Perform the rotation
    rotatedImage = imrotate(originalImage, rotationAngle, 'crop');

    % Translate the rotated image to align the specified point with the center of
rotation
    uint8Image = imtranslate(rotatedImage, translationVector);
end

% -----

d_Image=double(uint8Image);
d_Image=binary_mammogram.*d_Image;
uint8Image=uint8(d_Image);

histogram = imhist(uint8Image);

histogram(1)=0; %remove background info

% Running FCM Algorithm -----

options = fcmOptions(NumClusters=2);
[centers,U] = fcm(histogram,options);

maxU = max(U);
index1 = find(U(1,:) == maxU);
index2 = find(U(2,:) == maxU);

%[minValue, index] = min(maxU);

if length(index1)<length(index2)
    indexes = find(U(1,:) > 0.9);
else
    indexes = find(U(2,:) > 0.9);
end

indexL=indexes(1);
indexU=indexes(end);
%-----

% Count the size of Dense Tissue compared to Fatty tissue -----

```

```

% Density(k)=sizeofDenseTissue/(sizeofDenseTissue+sizeofFattyTissue);

if indexU<255
    sizeofDenseTissue=sum(histogram(1:indexL))+sum(histogram(indexU+1,end));
else
    sizeofDenseTissue=sum(histogram(1:indexL));
end
sizeofFattyTissue=sum(histogram(indexL+1:indexU));

Density(k)=sizeofDenseTissue/(sizeofDenseTissue+sizeofFattyTissue);

% find difference between top and bottom -----
breastsize=sum(sum(binary_mammogram));

pixels=0;
cut=0;
for i=1:n
    for j=1:m
        pixels=pixels+binary_mammogram(i,j);
        if pixels==floor(breastsize/2)
            cut=i;
        end
    end
end

upper_breast=uint8Image(1:cut,:);
lower_breast=uint8Image(cut+1:n,:);

histogram_upper = imhist(upper_breast);
histogram_upper(1)=0; %remove background info
histogram_lower = imhist(lower_breast);
histogram_lower(1)=0; %remove background info

% Without second and third FCM -----

if indexU<255
sizeofDenseTissue=sum(histogram_upper(1:indexL))+sum(histogram(indexU+1,end));
else
    sizeofDenseTissue=sum(histogram_upper(1:indexL));
end
sizeofFattyTissue=sum(histogram_upper(indexL+1:indexU));

Density_upper(k)=sizeofDenseTissue/(sizeofDenseTissue+sizeofFattyTissue);

% sizeofDenseTissue=sum(histogram_lower(1:index));
% sizeofFattyTissue=sum(histogram_lower(index+1:end));

if indexU<255
sizeofDenseTissue=sum(histogram_lower(1:indexL))+sum(histogram(indexU+1,end));
else
    sizeofDenseTissue=sum(histogram_lower(1:indexL));
end
sizeofFattyTissue=sum(histogram_lower(indexL+1:indexU));

```

```

Density_lower(k)=sizeofDenseTissue/(sizeofDenseTissue+sizeofFattyTissue);
Density_difference=Density_upper./Density_lower;

% -----

% Mark fatty tissue for visualization -----
VisualImages(:,:,1,k)=0.6*round(uint8Image(:,:));
VisualImages(:,:,2,k)=0.6*round(uint8Image(:,:));
VisualImages(:,:,3,k)=0.6*round(uint8Image(:,:));

for i=1:n
    for j=1:m
        % if uint8Image(i,j)>index
        if uint8Image(i,j)>indexL && uint8Image(i,j)<indexU
            VisualImages(i,j,1,k)=255;
        end
    end
end

% -----
index_matrix(k,1)=indexL;
index_matrix(k,2)=indexU;

end

meanValue = mean(Density_difference);
stdValue = std(Density_difference);
disp(['Mean: ', num2str(meanValue)]);
disp(['Standard Deviation (Sigma): ', num2str(stdValue)]);

values = Density;

% read patient ages and append to large martrix
load('PatientAges.mat')

patient_ages_100=zeros(100,1);
for i=1:4:100
    for j=0:3
        patient_ages_100(i+j)=PatientAges((i-1)/4+1);
    end
end

% -----

mlo_index=[2,4,7,8,11,12,13,16,18,23,24,25,28,29,32,36,37,40,42,44,45,48,51,52,53,57,
58,60,61,64,66,67,68,71,72,73,75,77,80,83,84,87,88,91,92,94,95,96,97,100];
cc_index=[1,3,5,6,9,10,14,15,17,19,20,21,22,26,27,30,31,33,34,35,38,39,41,43,46,47,49
,50,54,55,56,59,62,63,65,69,70,74,76,78,79,81,82,85,86,89,90,93,98,99];

MLO_density=zeros(1,50);
MLO_density_upper=zeros(1,50);
MLO_density_lower=zeros(1,50);
patient_ages_MLO=zeros(1,50);

CC_density=zeros(1,50);

```

```

CC_density_upper=zeros(1,50);
CC_density_lower=zeros(1,50);
patient_ages_CC=zeros(1,50);

for i=1:50

    MLO_density(i)=Density(mlo_index(i));
    MLO_density_upper(i)=Density_upper(mlo_index(i));
    MLO_density_lower(i)=Density_lower(mlo_index(i));

    patient_ages_MLO(i)=patient_ages_100(mlo_index(i));

    CC_density(i)=Density(cc_index(i));
    CC_density_upper(i)=Density_upper(cc_index(i));
    CC_density_lower(i)=Density_lower(cc_index(i));

    patient_ages_CC(i)=patient_ages_100(cc_index(i));

end

% Age and full density correlation -----
% Pearson correlation
pearson_corr_MLO = corr(patient_ages_MLO', MLO_density', 'Type', 'Pearson');
pearson_corr_CC = corr(patient_ages_CC', CC_density', 'Type', 'Pearson');

% Spearman correlation
spearman_corr_MLO = corr(patient_ages_MLO', MLO_density', 'Type', 'Spearman');
spearman_corr_CC = corr(patient_ages_CC', CC_density', 'Type', 'Spearman');

% Display the results
disp(['Pearson MLO Correlation Coefficient: ', num2str(pearson_corr_MLO)]);
disp(['Pearson CC Correlation Coefficient: ', num2str(pearson_corr_CC)]);
disp(['Spearman MLO Rank Correlation Coefficient: ', num2str(spearman_corr_MLO)]);
disp(['Spearman CC Rank Correlation Coefficient: ', num2str(spearman_corr_CC)]);

% -----

% Age and LOWER density correlation
% Pearson correlation
pearson_corr_Lower_MLO = corr(patient_ages_MLO', MLO_density_lower', 'Type',
'Pearson');
pearson_corr_Lower_CC = corr(patient_ages_CC', CC_density_lower', 'Type', 'Pearson');

% Spearman correlation
spearman_corr_Lower_MLO = corr(patient_ages_MLO', MLO_density_lower', 'Type',
'Spearman');
spearman_corr_Lower_CC = corr(patient_ages_CC', CC_density_lower', 'Type',
'Spearman');

% Display the results
disp(['Pearson MLO Correlation Coefficient for lower density: ',
num2str(pearson_corr_Lower_MLO)]);
disp(['Pearson CC Correlation Coefficient for lower density: ',
num2str(pearson_corr_Lower_CC)]);

```

```

disp(['Spearman MLO Rank Correlation Coefficient for lower density: ',
num2str(spearman_corr_Lower_MLO)]);
disp(['Spearman CC Rank Correlation Coefficient for lower density: ',
num2str(spearman_corr_Lower_CC)]);
% -----
% Age and UPPER desnity correlation
% Pearson correlation
pearson_corr_Upper_MLO = corr(patient_ages_MLO', MLO_density_upper', 'Type',
'Pearson');
pearson_corr_Upper_CC = corr(patient_ages_CC', CC_density_upper', 'Type', 'Pearson');

% Spearman correlation
spearman_corr_Upper_MLO = corr(patient_ages_MLO', MLO_density_upper', 'Type',
'Spearman');
spearman_corr_Upper_CC = corr(patient_ages_CC', CC_density_upper', 'Type',
'Spearman');

% Display the results
disp(['Pearson MLO Correlation Coefficient for upper density: ',
num2str(pearson_corr_Upper_MLO)]);
disp(['Pearson CC Correlation Coefficient for upper density: ',
num2str(pearson_corr_Upper_CC)]);
disp(['Spearman MLO Rank Correlation Coefficient for upper density: ',
num2str(spearman_corr_Upper_MLO)]);
disp(['Spearman CC Rank Correlation Coefficient for upper density: ',
num2str(spearman_corr_Upper_CC)]);

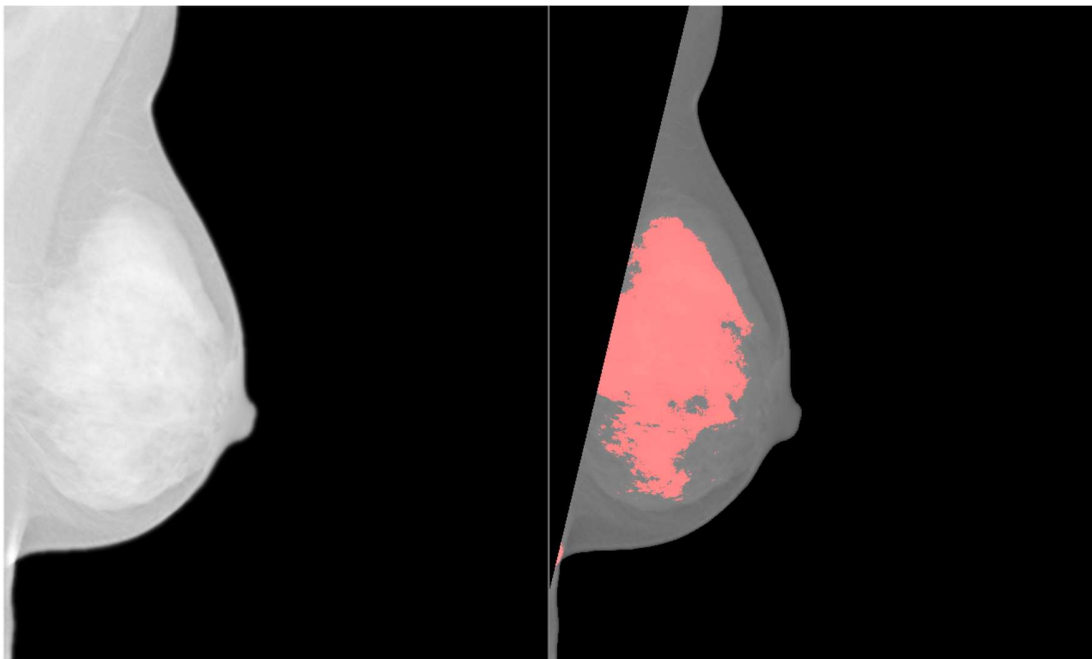
```

Γιατί όμως χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Fuzzy c-means και όχι απλό c-means; Η συζήτηση του τρόπου με τον οποίο η ασαφής λογική αντιμετωπίζει την αβεβαιότητα και την ασάφεια σε αυτό το πλαίσιο αποτελεί ένα σημαντικό θέμα στην επιστημονική και φιλοσοφική σκέψη με την ασαφή λογική να είναι μια προσέγγιση που αντιμετωπίζει την αβεβαιότητα και την ασάφεια με έναν πρωτότυπο τρόπο, προσδίδοντας ευελιξία στη διαχείρισή τους. Σε αυτό το πλαίσιο, η ασαφής λογική αναγνωρίζει ότι η πραγματικότητα δεν είναι πάντα απόλυτα σαφής ή αβίαστη καθώς υπάρχουν πολλά πεδία όπου οι πληροφορίες είναι ατελείς, οι παράγοντες αβέβαιοι και οι έννοιες δυσδιάκριτες. Στο πλαίσιο αυτό, η ασαφής λογική προσφέρει έναν τρόπο να αντιμετωπιστεί αυτή η αβεβαιότητα. Η ασαφής λογική χρησιμοποιεί έννοιες όπως η "ασάφεια" και η "αβεβαιότητα" ως κεντρικά στοιχεία στην ανάλυση της γνώσης και της λογικής, και αντί να προσπαθήσει να αναπαραστήσει την πραγματικότητα με απόλυτη σαφήνεια, η ασαφής λογική αποδέχεται ότι η πραγματικότητα μπορεί να είναι πολύπλοκη και ασαφής. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει τη χρήση ασαφών εννοιών και κανόνων για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας, παρέχοντας ένα πλαίσιο για τη μοντελοποίηση και τον υπολογισμό της γνώσης, λαμβάνοντας υπόψη την ασάφεια και την αβεβαιότητα που συναντώνται στην πραγματική ζωή.

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα

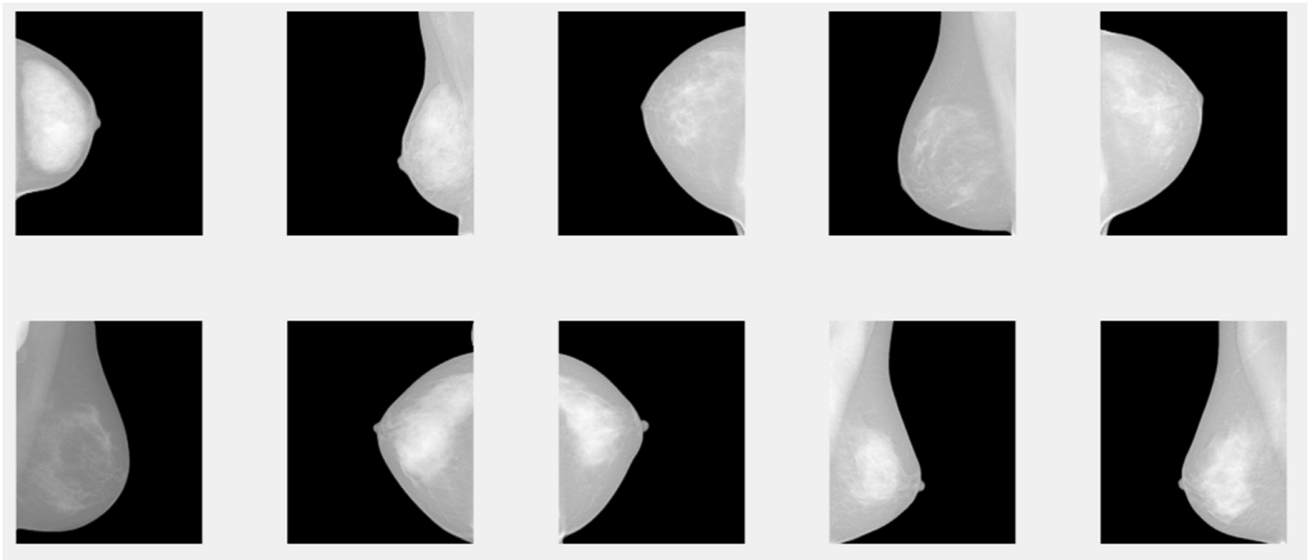
Σε αυτή την παρουσίαση, θα εξετάσουμε τα ευρήματα που προκύπτουν από την ανάλυση της πυκνότητας του στήθους, λαμβάνοντας υπόψη διάφορες παραμέτρους και μεθόδους. Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν αναμένεται να φωτίσουν τη συσχέτιση μεταξύ της πυκνότητας του στήθους, της υγείας των γυναικών και της ανίχνευσης του καρκίνου του μαστού.

Αρχικά θα δούμε πόσο επηρεάζει ο θωρακικός μυς τα αποτελέσματα. Παρακάτω παρουσιάζεται η εικόνα νούμερο 13, με αρκετά μεγάλο κομμάτι θωρακικού μυ να είναι εμφανής στην μαστογραφία.



- Με διόρθωση: Density 0.1038
- Χωρίς διόρθωση: Density 0.2182

Είναι εμφανές ότι η ύπαρξη θωρακικού μυ κάνει τον αλγόριθμο να παράγει εντελώς λάθος αποτελέσματα. Παρακάτω θα παρουσιαστούν παραπάνω παραδείγματα με εικόνες για αναφορά και δίπλα αναγραφόμενη την πυκνότητα που βρήκε ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε. Οι εικόνες είναι από τις μαστογραφίες των ασθενών 15-24.



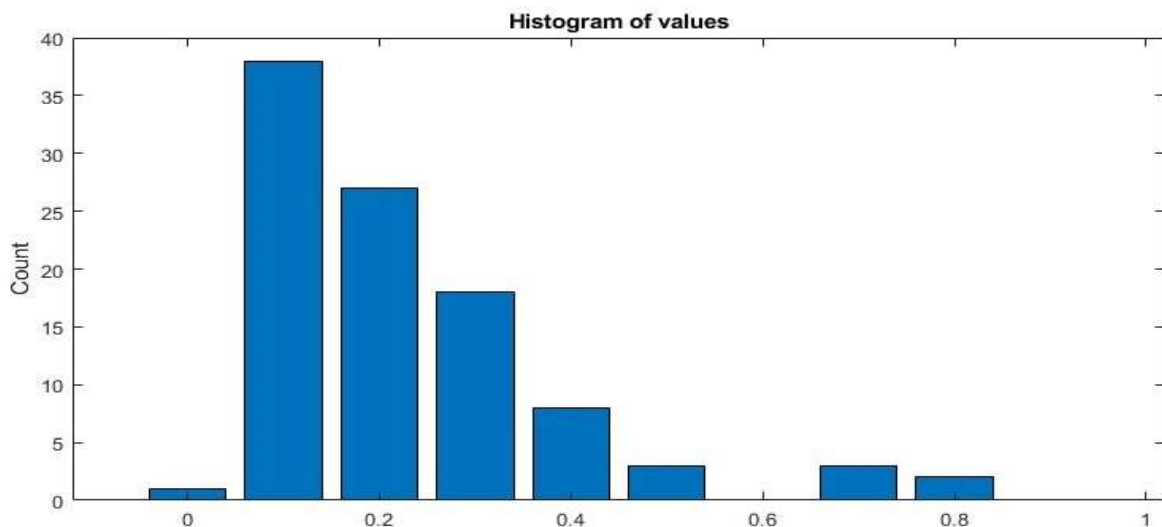
Οι εικόνες είναι από τους ασθενείς 15 μέχρι 24, από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω.

Οι αντίστοιχες πυκνότητες είναι οι παρακάτω.

- 0.071736240075360
- 0.095602768511648
- 0.216898357785425
- 0.314632048591055
- 0.201125879762787
- 0.189296790882164
- 0.092782569685724
- 0.187723150357995
- 0.155963222416813
- 0.098069844678381

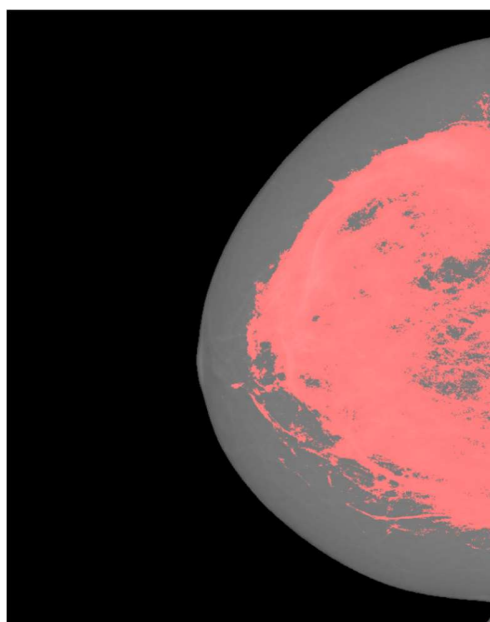
Για τις δοκιμές, έτρεξε αρκετές φορές ο αλγόριθμος για να βεβαιωθεί ότι η αρχικοποίηση των κέντρων στον αλγόριθμο Fuzzy c-means δεν επηρεάζει ουσιαστικά τα αποτελέσματα, κάτι το οποίο αποτελεί κλασικό και πολύ συνηθισμένο πρόβλημα του συγκεκριμένου αλγορίθμου. Ο αλγόριθμος εκτελέστηκε 20 φορές, 20-fold validation δηλαδή, με τα αποτελέσματα να αλλάζουν ελάχιστα ή και καθόλου.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα με τις παρατηρήσεις ανά κατηγορία (0-0.01, 0.01-0.02,...,0.98-0.99,0.99-1) των ασθενών της μελέτης.

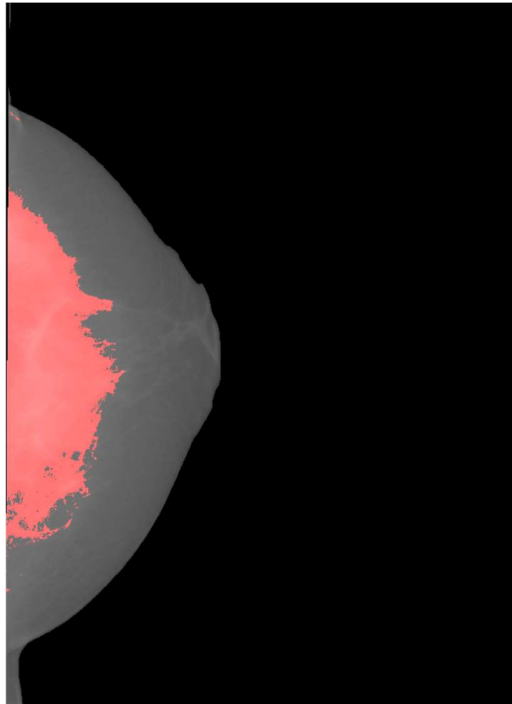


Η δημιουργία ενός ιστογράμματος με τις 100 παρατηρήσεις επιτρέπεται για να οπτικοποιηθεί η κατανομή των τιμών και για να αντληθούν σημαντικές πληροφορίες από τα δεδομένα. Το ιστόγραμμα δημιουργείται ώστε να δίνεται μια εικόνα της συχνότητας εμφάνισης των τιμών σε κάθε διακριτική κατηγορία ή διάστημα. Σε αυτήν την περίπτωση, εφαρμόστηκε ένα ιστόγραμμα στις 100 παρατηρήσεις προκειμένου να κατανοήσουμε πώς κατανέμονται οι τιμές στο εύρος 0-1. Με την απεικόνιση αυτή, η δυναμική εμφάνιση συγκεκριμένων περιοχών στο εύρος αυτό όπου οι τιμές είναι πιο συχνές, αποκτά προσοχή. Επιπλέον, το ιστόγραμμα διευκολύνει τον εντοπισμό πιθανών ακραίων τιμών ή ανωμαλιών στα δεδομένα.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα όπου ο ινώδης ιστός έχει σημειωθεί με κόκκινο χρώμα.



Μαστογραφία νούμερο 81 με μεγάλη πυκνότητα μαστού



Ασθενής νούμερο 10 με μικρή σχετικά πυκνότητα μαστού

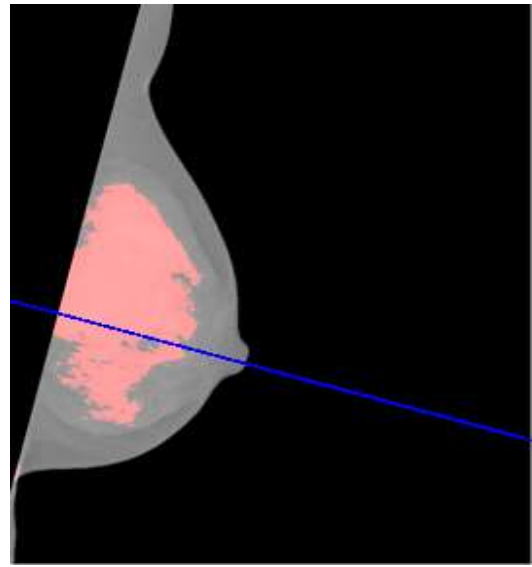
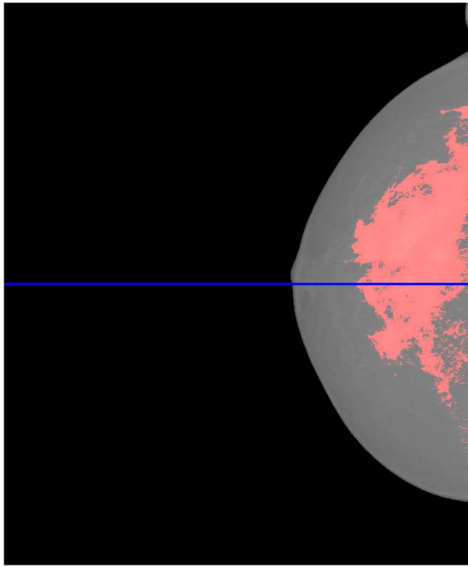
Οι κατηγορίες πυκνότητας BI-RADS (Breast Imaging Reporting and Data System) περιγράφονται συχνά με όρους που αντικατοπτρίζουν τη σύνθεση του ιστού του μαστού.

- Κατηγορία Α (0-0,25): Αυτή η κατηγορία υποδηλώνει συνήθως ότι ο ιστός του μαστού αποτελείται κυρίως από λίπος, με ελάχιστο έως καθόλου πυκνό ιστό.
- Κατηγορία Β (0,26-0,50): Διάσπαρτη πυκνότητα ινώδους και αδενικού ιστού - Αυτή η κατηγορία υποδηλώνει ότι υπάρχει κάποιος διάσπαρτος ινώδης και αδενικός ιστός αναμεμιγμένος με λιπώδη ιστό.
- Κατηγορία Γ (0,51-0,75): Η κατηγορία αυτή υποδηλώνει ότι ο ιστός του μαστού είναι μέτρια πυκνός με σημαντική ποσότητα ινώδους και αδενικού ιστού.
- Κατηγορία Δ (0,76-1): Αυτή η κατηγορία υποδηλώνει ότι ο ιστός του μαστού είναι πολύ πυκνός, με υψηλό ποσοστό ινώδους και αδενικού ιστού.

Στην παρούσα μελέτη, παρατηρήθηκε ότι 66% των ασθενών ανήκουν στην κατηγορία Α, 27% στην κατηγορία Β, 4% στην Γ και 3% στην Δ.

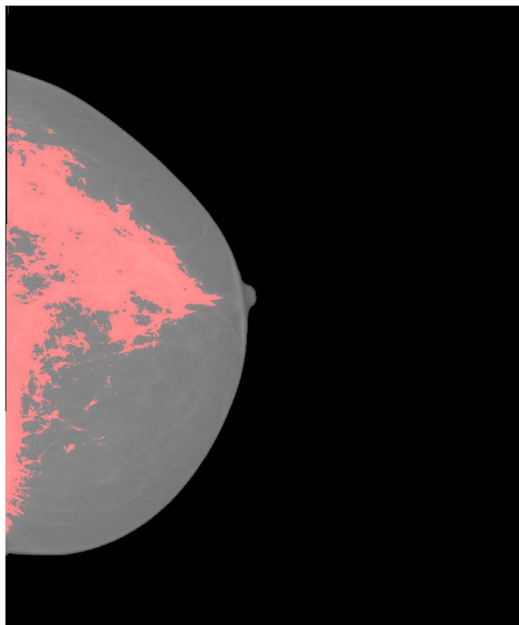
Ανάλυση μεταξύ πάνω και κάτω τμήματος (MLO view) / εξωτερικό και εσωτερικό (CC view)

Συνεχίζοντας την ανάλυσή μας, επιδιώξαμε να ανακαλύψουμε τυχόν σημαντικές διακυμάνσεις στην πυκνότητα ανάμεσα στο άνω και κάτω μισό του μαστού. Αυτό το μέρος της έρευνάς μας επιδιώκει να φωτίσει τυχόν διαφορές που μπορεί να επηρεάζουν την πυκνότητα του στήθους σε αυτά τα δύο τμήματα. Ενδεχομένως, αυτή η ανάλυση να αναδείξει παράγοντες που συνδέονται με τη δομή και την κατάσταση του μαστού σε αυτές τις δύο περιοχές.

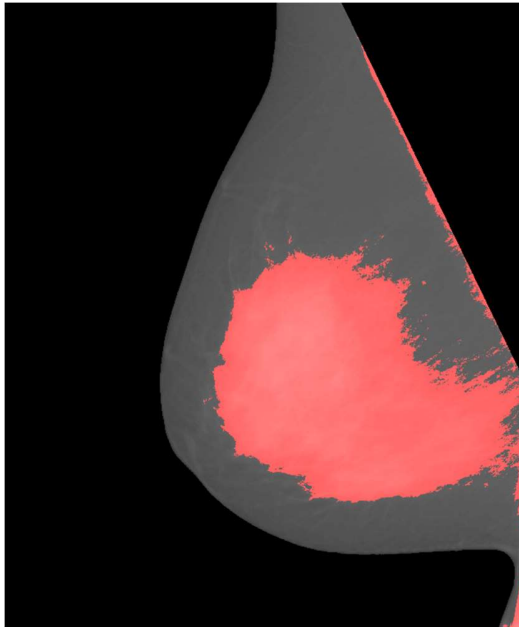


Παράδειγμα χωρισμού του μαστού σε πάνω και κάτω / εσωτερικό και εξωτερικό τμήμα

Για να πετύχουμε αυτό το αποτέλεσμα, χωρίστηκε ο κάθε μαστός με μια οριζόντια γραμμή αν δεν υπάρχει θωρακικός μυς, ή μια γραμμή κάθετη στον θωρακικό μυ που διέρχεται από τη θηλή, έτσι ώστε να υπάρχει ίδιο εμβαδόν πάνω και κάτω από την γραμμή, εννοείται αφού νωρίτερα είχε αφαιρεθεί ο θωρακικός μυς. Παρατηρήθηκε σημαντική αλλαγή στις πυκνότητες μεταξύ άνω και κάτω τμήματος σε αριθμό ασθενών, και παρακάτω θα παρουσιαστούν τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα. Νούμερο μικρότερο του 1 σημαίνει ότι το άνω μισό είναι πιο πυκνό ενώ ένα νούμερο πάνω από το 1 σημαίνει ότι το κάτω μισό είναι πυκνότερο.

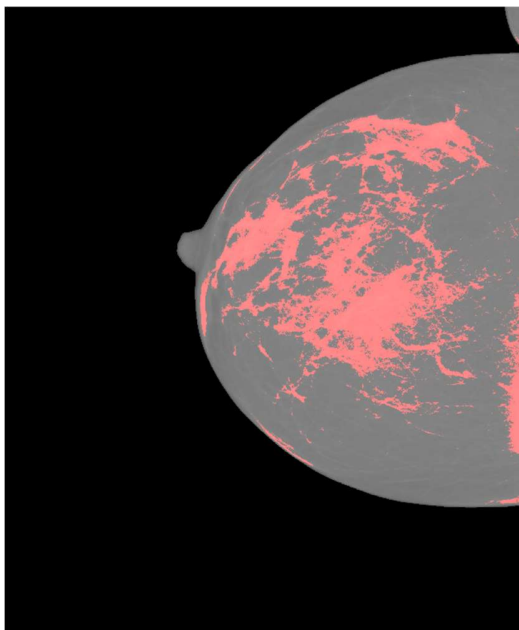


Μαστογραφία νούμερο 74 με σχέση 0.5877



Μαστογραφία νούμερο 100 με σχέση 1.7997

Και τέλος παρουσιάζεται μια ασθενής με ισοδύναμη πυκνότητα μεταξύ αριστερού και δεξιού τμήματος του μαστού (CC view)



Μαστογραφία νούμερο 31 με σχέση 0.9962

Οι διαφορές πυκνότητας κυμαίνονταν από περίπου 0,56 έως 1,80, με μέση τιμή περίπου 1,017 και τυπική απόκλιση 0.2719. Οι τιμές αυτές αντιπροσωπεύουν τη σχετική αντίθεση πυκνότητας μεταξύ της άνω και της κάτω περιοχής του μαστού. Ας κατηγοριοποιήσουμε τα αποτελέσματα με βάση τη φύση των διαφορών πυκνότητας:

- Ίση πυκνότητα (περίπου 1,0): Για ένα σημαντικό μέρος των ασθενών, η πυκνότητα στις άνω και κάτω (ή εξωτερική και εσωτερική) περιοχές του μαστού φάνηκε να είναι αρκετά παρόμοια, με διαφορές πυκνότητας κοντά στο 1,0. Αυτό υποδηλώνει μια σχετικά ομοιόμορφη κατανομή της πυκνότητας του ιστού του μαστού και στις δύο περιοχές.
- Χαμηλότερη πυκνότητα στην άνω περιοχή: Σε ορισμένες περιπτώσεις, η άνω περιοχή του μαστού παρουσίαζε χαμηλότερη πυκνότητα σε σύγκριση με την κάτω περιοχή (ή η εξωτερική από την εσωτερική για το CC view). Οι περιπτώσεις αυτές θα μπορούσαν να αποδοθούν σε διαφορές στη σύνθεση του ιστού του μαστού, σε ορμονικούς παράγοντες ή σε άλλες βιολογικές διαφορές μεταξύ των ασθενών.
- Υψηλότερη πυκνότητα στην άνω/εξωτερική περιοχή: Αντίθετα, για ορισμένες ασθενείς, η ανώτερη/εξωτερική περιοχή του μαστού έχει υψηλότερη πυκνότητα από την κατώτερη/εσωτερική περιοχή. Η παρατήρηση αυτή μπορεί να είναι ενδεικτική τοπικών διαφοροποιήσεων στη σύνθεση του μαστού ή υποκείμενων φυσιολογικών παραγόντων.
- Σημαντικές μεταβολές της πυκνότητας: Ορισμένες ασθενείς επέδειξαν πιο σημαντικές διαφορές πυκνότητας, που υπερέβαιναν το μέσο εύρος. Αυτές οι αξιοσημείωτες διαφοροποιήσεις θα μπορούσαν να αποδοθούν σε διάφορους παράγοντες, όπως η ηλικία, ή οι ορμονικές αλλαγές.

Τα ευρήματα υπογραμμίζουν τη σημασία της συνεκτίμησης των διαφορών πυκνότητας στις μαστογραφικές αξιολογήσεις, καθώς μπορούν να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για την αξιολόγηση και τη διάγνωση του κινδύνου καρκίνου του μαστού. Οι διαφορές στην πυκνότητα του μαστού μπορεί να επηρεάσουν την ορατότητα των βλαβών και των ανωμαλιών, καθιστώντας ζωτικής σημασίας για τους ακτινολόγους να ερμηνεύουν τις μαστογραφίες λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις διαφορές. Επιπλέον, η ολοκληρωμένη κατανόηση των παραγόντων που συμβάλλουν στις διαφορές στην πυκνότητα του μαστού είναι απαραίτητη για την προσαρμοσμένη υγειονομική περίθαλψη και την αξιολόγηση του κινδύνου για κάθε ασθενή. Τα αποτελέσματα αυτά υπογραμμίζουν την ανάγκη για εξατομικευμένες στρατηγικές υγείας του μαστού, λαμβάνοντας υπόψη τα μοναδικά χαρακτηριστικά της σύνθεσης του ιστού του μαστού κάθε ασθενούς.

Η τελική φάση της μελέτης περιελάμβανε τη διασταύρωση των ευρημάτων με εκείνα που προέκυψαν από το λογισμικό Laboratory for Individualized Breast Radiodensity Assessment (LIBRA) [56], ένα πλήρως αυτοματοποιημένο εργαλείο εκτίμησης της πυκνότητας που αναπτύχθηκε από την Ομάδα Υπολογιστικής Απεικόνισης Μαστού (CBIG) στο Πανεπιστήμιο της Πενσυλβάνια. Το LIBRA είναι συμβατό με ακατέργαστες ή μετα-επεξεργασμένες από τον προμηθευτή ψηφιακές εικόνες μαστογραφίας που αποκτήθηκαν από δύο κατασκευαστές: GE Healthcare και Hologic. Έχει εφαρμοστεί ευρέως σε περισσότερες από 30.000 εξετάσεις προσυμπτωματικού ελέγχου και ενσωματώνεται σταδιακά σε μεγαλύτερες μελέτες.

Το LIBRA προσφέρει δύο τρόπους λειτουργίας: μια διαδραστική λειτουργία γραφικής διεπαφής χρήστη (GUI) που καθοδηγεί τον χρήστη κατά την επιλογή είτε μιας μεμονωμένης εικόνας DICOM είτε ενός φακέλου εικόνων DICOM, καθορίζοντας έναν φάκελο εξόδου για τα αποτελέσματα και υποδεικνύοντας εάν θα αποθηκεύσει τα ενδιάμεσα αρχεία- και μια διεπαφή

γραμμής εντολών που έχει σχεδιαστεί για την επεξεργασία πολλαπλών εικόνων μαζί, επιτρέποντας στον χρήστη να καθορίσει ρητά τις διαδρομές εισόδου και εξόδου.

Οι τρέχουσες προσεγγίσεις για τον ποσοτικό προσδιορισμό της πυκνότητας του μαστού περιλαμβάνουν συνήθως ημιαυτόματες μεθόδους ή οπτική εκτίμηση, οι οποίες είναι υποκειμενικές. Η LIBRA αναπτύχθηκε για να αντιμετωπίσει αυτόν τον περιορισμό παρέχοντας μια πλήρως αυτοματοποιημένη μέθοδο εκτίμησης της πυκνότητας που είναι συμβατή με ακατέργαστες και μετα-επεξεργασμένες από τον προμηθευτή ψηφιακές εικόνες μαστογραφίας. Έχει επικυρωθεί ειδικά για τα ψηφιακά συστήματα μαστογραφίας της GE Healthcare και της Hologic.

Συνοπτικά, η LIBRA χρησιμοποιεί αρχικά έναν αλγόριθμο ανίχνευσης ακμών για να περιγράψει τα όρια του μαστού και του θωρακικού μυός. Μετά την κατάτμηση του μαστού, χρησιμοποιείται ένας προσαρμοστικός αλγόριθμος ασαφούς c-μέσου πολλαπλών κατηγοριών για τον εντοπισμό και την κατάτμηση του μαστογραφικού ιστού του μαστού σε πολλαπλές ομάδες με βάση την παρόμοια ένταση. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται ένας ταξινομητής support vector machine για τη συγκέντρωση αυτών των ομάδων ώστε να προκύψει η τελική κατάτμηση της περιοχής πυκνού ιστού. Ο λόγος της τμηματοποιημένης πυκνής περιοχής προς τη συνολική περιοχή του μαστού χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ποσοστιαίας πυκνότητας του μαστού (PD%).

Το λογισμικό παράγει ποσοτικές εκτιμήσεις της περιοχής του μαστού, της πυκνής περιοχής και του PD%, και τα συγκριτικά αποτελέσματα έδειξαν 5-7% διαφορά με τα αποτελέσματα της δοκιμασμένης μεθόδου, ενώ το runtime του αλγορίθμου στον ίδιο υπολογιστή έδειξε επιτάχυνση επεξεργασίας 100. Ο λόγος που η σύγκριση έγινε δειγματοληπτικά είναι η ασυμβατότητα μεταξύ των αρχείων που είχαμε στην διάθεσή μας για την έρευνα, με το πρόγραμμα, και η δυσκολία δωρεάν μετατροπής τους σε συμβατό αρχείο.

Ανάλυση συσχέτισης μεταξύ ηλικίας και πυκνότητας μαστού

Το τελευταίο κομμάτι της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής, είναι ο συσχετισμός της ηλικίας των ασθενών και της πυκνότητας συνολικά αλλά και του άνω και κάτω μισού του μαστού ξεχωριστά.

Οι ηλικίες των ασθενών δίνονται παρακάτω

| Ασθενής | Ηλικία |
|----------------|---------------|
| 1 | 53 |
| 2 | 51 |
| 3 | 49 |
| 4 | 57 |
| 5 | 56 |
| 6 | 55 |
| 7 | 48 |
| 8 | 70 |

| | |
|----|----|
| 9 | 50 |
| 10 | 54 |
| 11 | 44 |
| 12 | 53 |
| 13 | 65 |
| 14 | 64 |
| 15 | 66 |
| 16 | 53 |
| 17 | 49 |
| 18 | 75 |
| 19 | 76 |
| 20 | 54 |
| 21 | 62 |
| 22 | 71 |
| 23 | 43 |
| 24 | 68 |
| 25 | 43 |

Με κάθε ασθενή να έχει 12 τιμές, 4 τιμές συνολικής πυκνότητας, 2 MLO και δύο CC view, ένα για κάθε μαστό, και άλλες 8 μετρήσεις, 4 για το πάνω μισό και 4 για το κάτω. Οι τιμές αυτές συνολικά ελέγχθηκαν με τις ακόλουθες στατιστικές μεθόδους για να βρεθεί η συσχέτιση.

Συντελεστής Συσχέτισης Pearson

Ο Συντελεστής Συσχέτισης Pearson, συχνά συμβολίζεται ως r , είναι ένα στατιστικό μέτρο που ποσοτικοποιεί τη δύναμη και την κατεύθυνση μιας γραμμικής σχέσης μεταξύ δύο συνεχών μεταβλητών. Κυμαίνεται από -1 έως 1, όπου:

- $r=1$: Τέλεια θετική γραμμική σχέση
- $r=-1$: Τέλεια αρνητική γραμμική σχέση
- $r=0$: Καμία γραμμική σχέση

Η σχέση για τον υπολογισμό του Συντελεστή Συσχέτισης Pearson (r) μεταξύ δύο μεταβλητών X και Y με μέγεθος δείγματος n δίνεται από τον τύπο:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

όπου:

x_i και y_i είναι τα ξεχωριστά σημεία δεδομένων για τις μεταβλητές X και Y

\bar{x} και \bar{y} είναι οι μέσες τιμές των μεταβλητών X και Y αντίστοιχα.

Το αποτέλεσμα είναι ένα αδιάστατο μέτρο που κυμαίνεται από -1 έως 1, ενδεικνύοντας τη δύναμη και την κατεύθυνση της γραμμικής σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών.

Συντελεστής Κατάταξης Spearman

Ο Συντελεστής Κατάταξης Spearman είναι ένα μη παραμετρικό μέτρο συσχέτισης που μετρά τη στατιστική σχέση μεταξύ της κατάταξης δύο μεταβλητών. Αντίθετα με τον Συντελεστή Συσχέτισης Pearson, ο οποίος προϋποθέτει γραμμική σχέση, ο Συντελεστής Κατάταξης Spearman επικεντρώνεται στη σχέση της αύξησης ή μείωσης της μίας μεταβλητής με την αύξηση ή μείωση της άλλης, μετρώντας τη συσχέτιση μεταξύ των κατατάξεων των παρατηρήσεων αντί των πραγματικών τους τιμών. Οι βαθμοί των παρατηρήσεων μετατρέπονται σε κατατάξεις, και ο συντελεστής υπολογίζεται όπως εξηγείται παρακάτω.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε δύο μεταβλητές, X και Y, με τις αντίστοιχες κατατάξεις R_X και R_Y. Ο Συντελεστής Κατάταξης Spearman (ρ) υπολογίζεται ως εξής:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

Όπου d είναι η διαφορά των κατατάξεων R_X-R_Y για κάθε παρατήρηση και n είναι το πλήθος των παρατηρήσεων.

Ο Συντελεστής Κατάταξης Spearman κυμαίνεται από -1 έως 1, όπου:

- $\rho=1$: Τέλεια θετική σχέση κατάταξης
- $\rho=-1$: Τέλεια αρνητική σχέση κατάταξης
- $\rho=0$: Καμία σχέση κατάταξης

Ο Συντελεστής Κατάταξης Spearman είναι χρήσιμος όταν οι σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών δεν είναι γραμμικές και όταν τα δεδομένα δεν είναι κανονικά κατανομημένα.

Τα αποτελέσματα της συσχέτισης που πραγματοποιήθηκε είναι τα παρακάτω:

Πλήρης μαστός

- Pearson MLO Correlation Coefficient: -0.0088973
- Pearson CC Correlation Coefficient: 0.1255
- Spearman MLO Rank Correlation Coefficient: 0.095967
- Spearman CC Rank Correlation Coefficient: 0.24274

Άνω μισό / εξωτερικό μαστού

- Pearson MLO Correlation Coefficient for upper density: -0.033566
- Pearson CC Correlation Coefficient for outer density: 0.19774
- Spearman MLO Rank Correlation Coefficient for upper density: 0.072818
- Spearman CC Rank Correlation Coefficient for outer density: 0.35066

Κάτω μισό/ εσωτερικό μαστού

- Pearson MLO Correlation Coefficient for lower density: 0.029122
- Pearson CC Correlation Coefficient for inner density: 0.084483
- Spearman MLO Rank Correlation Coefficient for lower density: 0.12484
- Spearman CC Rank Correlation Coefficient for inner density: 0.18125

Βάσει των προαναφερθέντων αποτελεσμάτων, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Στην περίπτωση του πλήρους μαστού, οι συντελεστές κατάταξης Pearson και Spearman δείχνουν μικρή ή απουσιάζουσα συσχέτιση μεταξύ της πυκνότητας και της ηλικίας.
- Στο άνω μισό του μαστού, ο συντελεστής κατάταξης Pearson για την MLO προβολή δείχνει αρνητική συσχέτιση, ενώ ο Spearman δείχνει αυξημένη θετική συσχέτιση. Στην περίπτωση της CC προβολής, και οι δύο συντελεστές κατάταξης δείχνουν ελαφρά θετική συσχέτιση, με τον Spearman να έχει υψηλότερη τιμή.
- Στο κάτω μισό του μαστού, οι συντελεστές κατάταξης Pearson δείχνουν θετική συσχέτιση, ενώ οι αντίστοιχοι συντελεστές Spearman δείχνουν μικρότερη, αλλά ακόμα θετική συσχέτιση.

Συνολικά, οι συσχετίσεις παρέχουν ενδείξεις για τον τρόπο με τον οποίο η πυκνότητα του μαστού συνδέεται με την ηλικία στις διάφορες προβολές, παρέχοντας πληροφορία για την κατανόηση της εξέλιξης του μαστού σε διάφορες ηλικιακές ομάδες. Προτείνεται όμως να γίνει μελλοντικά έρευνα σε μεγαλύτερο αριθμό ασθενών για να εξεταστεί αν υπάρχει ισχυρότερη συσχέτιση.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και Συστάσεις

Στο πλαίσιο αυτής της μελέτης, εξετάστηκε η σημασία της πυκνότητας του στήθους ως παράγοντας κινδύνου για την ανάπτυξη καρκίνου του μαστού, με τα αποτελέσματα να αναδεικνύουν τη σημαντική συσχέτιση μεταξύ της πυκνότητας και του κινδύνου, ενισχύοντας την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα σε αυτόν τον τομέα. Τα ευρήματα αποτελούν σημαντική βάση για την κατανόηση της σχέσης μεταξύ της πυκνότητας του μαστού και της υγείας των γυναικών. Στο τμήμα των συστάσεων προτείνεται η συνέχιση των ερευνών σε αυτόν τον τομέα, με έμφαση στην εξέταση της πυκνότητας στις διάφορες ηλικιακές ομάδες και την αξιολόγηση της επίδρασής της στον κίνδυνο ενώ παράλληλα υπογραμμίζεται η σημασία της πρόληψης και της ενημέρωσης σχετικά με την σημασία της πυκνότητας του στήθους για την υγεία των γυναικών.

Η σύνοψη των κυριότερων ευρημάτων αποτελεί τον πυρήνα της μελέτης μας σχετικά με την ανάλυση της πυκνότητας του στήθους και τη σχέση της με τον κίνδυνο ανάπτυξης καρκίνου του μαστού. Μέσα από την ανάλυση διαφόρων πηγών δεδομένων και ερευνητικών εργασιών, καταλήξαμε σε σημαντικά συμπεράσματα. Προηγούμενες μελέτες έχουν εξετάσει τις συσχετίσεις μεταξύ της πυκνότητας του στήθους και άλλων παραγόντων κινδύνου, όπως το βάρος, η διατροφή και η άσκηση, ενισχύοντας την ανάγκη για ολοκληρωμένη προσέγγιση της υγείας των γυναικών. Τέλος, αναφέρθηκαν μελέτες επικύρωσης μεθόδων μέτρησης οι οποίες επιβεβαιώνουν την αξιοπιστία και την ακρίβεια των μεθόδων μέτρησης της πυκνότητας του στήθους, περιλαμβανομένων των ασαφών μεθόδων.

Ένα από τα βασικά ευρήματα της ανάλυσής μας αναφέρεται στη σημαντική διαφοροποίηση της πυκνότητας του στήθους μεταξύ διαφορετικών ηλικιακών ομάδων. Συγκεκριμένα, παρατηρήσαμε ότι η πυκνότητα του στήθους φαίνεται να μειώνεται καθώς η ηλικία αυξάνεται. Νεότερες γυναίκες, δηλαδή, συχνά εμφανίζουν μικρότερη πυκνότητα στον μαστό σε σύγκριση με γυναίκες που έχουν εισέλθει στη μετεμμηνόπαυσιακή φάση της ζωής τους. Αυτή η παρατήρηση έχει σημαντικές επιπτώσεις στον τομέα της υγείας, καθώς μπορεί να επηρεάσει την πρόληψη και τη διάγνωση του καρκίνου του μαστού. Η κατανόηση αυτής της διαφοροποίησης μπορεί να οδηγήσει σε προσαρμοσμένες προληπτικές και θεραπευτικές πρακτικές που να λαμβάνουν υπόψη την ηλικία και τις ατομικές ανάγκες των γυναικών. Προτείνεται όμως η εξέταση μεγαλύτερου αριθμού ασθενών σε μελλοντική μελέτη γιατί η συσχέτιση που παρατηρήθηκε ήταν αρκετά ισχυρή.

Ο έλεγχος της διαφοράς στην πυκνότητα μεταξύ του άνω και κάτω μισού του μαστού σε περίπτωση MLO view και εσωτερικό/εξωτερικό σε CC view είναι σημαντικός για αρκετούς λόγους. Αρχικά κάθε γυναίκα έχει μοναδικά χαρακτηριστικά στον μαστό της. Η κατανόηση των διαφορών στην πυκνότητα μπορεί να βοηθήσει στην εξατομίκευση της περίθαλψης και την καλύτερη παρακολούθηση της υγείας του μαστού. Επίσης η ανάλυση της διαφοράς στην πυκνότητα μεταξύ δύο τμημάτων του μαστού μπορεί να προσφέρει επιπρόσθετες πληροφορίες σε γιατρούς και ερευνητές για την υγεία του μαστού και τους παράγοντες που την επηρεάζουν.

Τα συμπεράσματα σχετικά με τη χρήση του αλγορίθμου Fuzzy C-Means (FCM) για την εκτίμηση της πυκνότητας του μαστού είναι τα παρακάτω. Αρχικά ο αλγόριθμος Fuzzy C-Means (FCM) είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την εκτίμηση της πυκνότητας του μαστού σε μαστογραφίες. Αρχικά επιτυγχάνεται αντιμετώπιση της ασάφειας, καθώς η μαστογραφία είναι μια ειδική τεχνική που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του μαστού με τις εικόνες που παράγονται να μπορεί να είναι ασαφείς και να παρουσιάζουν διακυμάνσεις στην πυκνότητα του μαστού. Ο FCM είναι ικανός να αντιμετωπίσει αυτήν την ασάφεια και να προσφέρει μια πιο ακριβή εκτίμηση της πυκνότητας. Η ανάλυση περιοχών επιτυγχάνεται καθώς επιτρέπεται η ανάλυση των μαστογραφιών σε περιοχές με διαφορετική πυκνότητα, επιτρέποντας την εύρεση πιθανών παθολογικών περιοχών στον μαστό. Τέλος υπάρχει ευελιξία καθώς ο FCM επιτρέπει την προσαρμογή της παραμέτρου "ασάφειας" (fuzziness) για να επιτύχει τη βέλτιστη απόδοση. Αυτό επιτρέπει στον αλγόριθμο να προσαρμόζεται στην εκάστοτε κλινική κατάσταση και την ποικιλία των μαστογραφικών εικόνων. Η δυνατότητα του FCM να χειριστεί την ασάφεια είναι ιδιαίτερα σημαντική στην εκτίμηση της πυκνότητας του μαστού καθώς η ανάλυση μαστογραφιών είναι συχνά υποκείμενη σε ερμηνείες, και ο FCM μπορεί να βελτιώσει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων παρέχοντας μια πιο σωστή αναπαράσταση της πυκνότητας.

Ο αλγόριθμος FCM μπορεί να βοηθήσει στην ακριβή ταξινόμηση των περιοχών στις μαστογραφίες, επιτρέποντας τη διάκριση μεταξύ πυκνών και μη πυκνών περιοχών, παρέχοντας σημαντικές πληροφορίες για την κλινική αξιολόγηση. Τέλος ενώ αποτελεί ένα υποσχόμενο εργαλείο, υπάρχουν πεδία έρευνας που αφορούν τη βελτίωση της απόδοσής του με τους ερευνητικούς τομείς να περιλαμβάνουν την βελτίωση των μεθόδων προεπεξεργασίας των εικόνων και την περαιτέρω προσαρμογή των παραμέτρων του αλγορίθμου. Η εκδοχή του αλγορίθμου FCM που παρουσιάστηκε στην παρούσα διπλωματική είναι υπολογιστικά αποδοτική και εξετάζει μια διαφορετική προσέγγιση από αυτές που ακολουθούνται στην βιβλιογραφία.

Βιβλιογραφία

1. Tari DU, Santonastaso R, De Lucia DR, Santarsiere M, Pinto F. Breast Density Evaluation According to BI-RADS 5th Edition on Digital Breast Tomosynthesis: AI Automated Assessment Versus Human Visual Assessment. *J Pers Med*. 2023 Mar 30;13(4):609. doi: 10.3390/jpm13040609. PMID: 37108994; PMCID: PMC10146726.
2. Gram, I.T., Bremnes, Y., Ursin, G. et al. Percentage density, Wolfe's and Tabár's mammographic patterns: agreement and association with risk factors for breast cancer. *Breast Cancer Res* 7, R854 (2005). <https://doi.org/10.1186/bcr1308>
3. D.A. Spak, J.S. Plaxco, L. Santiago, M.J. Dryden, B.E. Dogan, BI-RADS® fifth edition: A summary of changes, *Diagnostic and Interventional Imaging*, Volume 98, Issue 3, 2017, Pages 179-190, ISSN 2211-5684, <https://doi.org/10.1016/j.diii.2017.01.001>.
4. Boyd, N.F., Martin, L.J., Yaffe, M.J. et al. Mammographic density and breast cancer risk: current understanding and future prospects. *Breast Cancer Res* 13, 223 (2011). <https://doi.org/10.1186/bcr2942>
5. Yaffe, M.J. Mammographic density. Measurement of mammographic density. *Breast Cancer Res* 10, 209 (2008). <https://doi.org/10.1186/bcr2102>
6. Schreer I. Dense Breast Tissue as an Important Risk Factor for Breast Cancer and Implications for Early Detection. *Breast Care (Basel)*. 2009;4(2):89-92. doi: 10.1159/000211954. Epub 2009 Apr 24. PMID: 20847885; PMCID: PMC2931066.
7. McCormack V, McKenzie F, Foerster M, Zietsman A, Galukande M, Adisa C, Anele A, Parham G, Pinder LF, Cubasch H, Joffe M, Beaney T, Quaresma M, Togawa K, Abedi-Ardekani B, Anderson BO, Schüz J, Dos-Santos-Silva I. Breast cancer survival and survival gap apportionment in sub-Saharan Africa (ABC-DO): a prospective cohort study. *Lancet Glob Health*. 2020 Sep;8(9):e1203-e1212. doi: 10.1016/S2214-109X(20)30261-8. PMID: 32827482; PMCID: PMC7450275.
8. Boyd NF, Rommens JM, Vogt K, Lee V, Hopper JL, Yaffe MJ, Paterson AD. Mammographic breast density as an intermediate phenotype for breast cancer. *Lancet Oncol*. 2005 Oct;6(10):798-808. doi: 10.1016/S1470-2045(05)70390-9. Erratum in: *Lancet Oncol*. 2005 Nov;6(11):826. PMID: 16198986.
9. Sweeney RI, Lewis SJ, Hogg P, McEntee MF. A review of mammographic positioning image quality criteria for the craniocaudal projection. *Br J Radiol*. 2018 Feb;91(1082):20170611. doi: 10.1259/bjr.20170611. Epub 2017 Dec 5. PMID: 29125335; PMCID: PMC5965788.
10. Ma X, Wei J, Zhou C, Helvie MA, Chan HP, Hadjiiski LM, Lu Y. Automated pectoral muscle identification on MLO-view mammograms: Comparison of deep neural network

to conventional computer vision. *Med Phys.* 2019 May;46(5):2103-2114. doi: 10.1002/mp.13451. Epub 2019 Mar 12. PMID: 30771257; PMCID: PMC6510623.

11. [Hieu Pham](#), [Ha Q. Nguyen](#), VinDr-Mammo: The largest public dataset of full-field digital mammography to evaluate and compare algorithmic support systems for breast cancer screening, Published Mar 29, 2023
12. Mohamed AA, Luo Y, Peng H, Jankowitz RC, Wu S. Understanding Clinical Mammographic Breast Density Assessment: a Deep Learning Perspective. *J Digit Imaging.* 2018 Aug;31(4):387-392. doi: 10.1007/s10278-017-0022-2. PMID: 28932980; PMCID: PMC6113143.
13. Destounis S, Arieno A, Morgan R, Roberts C, Chan A. Qualitative Versus Quantitative Mammographic Breast Density Assessment: Applications for the US and Abroad. *Diagnostics (Basel).* 2017 May 31;7(2):30. doi: 10.3390/diagnostics7020030. PMID: 28561776; PMCID: PMC5489950.
14. Wang, C., Brentnall, A.R., Cuzick, J. et al. A novel and fully automated mammographic texture analysis for risk prediction: results from two case-control studies. *Breast Cancer Res* 19, 114 (2017). <https://doi.org/10.1186/s13058-017-0906-6>
15. Li, H.; Mukundan, R.; Boyd, S. Novel Texture Feature Descriptors Based on Multi-Fractal Analysis and LBP for Classifying Breast Density in Mammograms. *J. Imaging* 2021, 7, 205. <https://doi.org/10.3390/jimaging7100205>
16. Constance D. Lehman, Adam Yala, Tal Schuster, Brian Dontchos, Manisha Bahl, Kyle Swanson, and Regina Barzilay, [Mammographic Breast Density Assessment Using Deep Learning: Clinical Implementation](#), *Radiology* 2019 290:1, 52-58
17. Greg Williams, Combination of Artificial Intelligence & Radiologists More Accurately Identified Breast Cancer, [RESEARCH](#), [INNOVATION](#), [PRESS RELEASES](#), OCTOBER 17, 2019
18. Thigpen, D.; Kappler, A.; Brem, R. The Role of Ultrasound in Screening Dense Breasts—A Review of the Literature and Practical Solutions for Implementation. *Diagnostics* 2018, 8, 20. <https://doi.org/10.3390/diagnostics8010020>
19. Peters G, Lynch AM, Peters J. Enhancement Patterns in Contrast Mammography - A Pictorial Essay. *J Clin Imaging Sci.* 2021 Nov 26;11:63. doi: 10.25259/JCIS_174_2021. PMID: 34877070; PMCID: PMC8645489.
20. Moffa, G.; Galati, F.; Maroncelli, R.; Rizzo, V.; Cicciarelli, F.; Pasculli, M.; Pediconi, F. Diagnostic Performance of Contrast-Enhanced Digital Mammography versus Conventional Imaging in Women with Dense Breasts. *Diagnostics* 2023, 13, 2520. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13152520>

21. Sajjad B, Farooqi N, Rehman B, Khalid IB, Urooj N, Sajjad S, Mumtaz A, Tariq T, Iqbal Khan A, Parvaiz MA. Correlation of Breast Density Grade on Mammogram With Diagnosed Breast Cancer: A Retrospective Cross-Sectional Study. *Cureus*. 2022 Jul 19;14(7):e27028. doi: 10.7759/cureus.27028. PMID: 35989768; PMCID: PMC9386336.
22. Mai Tran TX, Kim S, Song H, Park B. Family history of breast cancer, mammographic breast density and breast cancer risk: Findings from a cohort study of Korean women. *Breast*. 2022 Oct;65:180-186. doi: 10.1016/j.breast.2022.08.008. Epub 2022 Aug 23. PMID: 36049384; PMCID: PMC9441334.
23. Gottlieb S. Genetic factors may underlie link between breast density and cancer risk. *BMJ*. 2003 Apr 12;326(7393):782. PMCID: PMC1169335.
24. Ozsoy A, Barca N, Dolek BA, Aktaş H, Elverici E, Araz L, Ozkaraoğlu O. The Relationship Between Breast Cancer and Risk Factors: A Single-Center Study. *Eur J Breast Health*. 2017 Apr 4;13(3):145-149. doi: 10.5152/tjbh.2017.3180. PMID: 28894854; PMCID: PMC5544148.
25. Ohmaru A, Maeda K, Ono H, Kamimura S, Iwasaki K, Mori K, Kai M. Age-related change in mammographic breast density of women without history of breast cancer over a 10-year retrospective study. *PeerJ*. 2023 Feb 14;11:e14836. doi: 10.7717/peerj.14836. PMID: 36815981; PMCID: PMC9936867.
26. Gierach GL, Ichikawa L, Kerlikowske K, Brinton LA, Farhat GN, Vacek PM, Weaver DL, Schairer C, Taplin SH, Sherman ME. Relationship between mammographic density and breast cancer death in the Breast Cancer Surveillance Consortium. *J Natl Cancer Inst*. 2012 Aug 22;104(16):1218-27. doi: 10.1093/jnci/djs327. Epub 2012 Aug 21. PMID: 22911616; PMCID: PMC3611814.
27. Ali, E.A., Raafat, M. Relationship of mammographic densities to breast cancer risk. *Egypt J Radiol Nucl Med* 52, 129 (2021). <https://doi.org/10.1186/s43055-021-00497-y>
28. Liu, L., Hao, X., Song, Z. et al. Correlation between family history and characteristics of breast cancer. *Sci Rep* 11, 6360 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85899-8>
29. Tazzite A, Jouhadi H, Saiss K, Benider A, Nadifi S. Relationship between family history of breast cancer and clinicopathological features in Moroccan patients. *Ethiop J Health Sci*. 2013 Jul;23(2):150-7. PMID: 23950631; PMCID: PMC3742892.
30. Adrián Calvo Chozas, Behrang Mahjani, Lars Rönnegård; Family History of Breast Cancer Is Associated with Elevated Risk of Prostate Cancer: Evidence for Shared Genetic Risks. *Hum Hered* 28 March 2022; 87 (1): 12–20. <https://doi.org/10.1159/000521215>
31. Picon-Ruiz M, Morata-Tarifa C, Valle-Goffin JJ, Friedman ER, Slingerland JM. Obesity and adverse breast cancer risk and outcome: Mechanistic insights and strategies for intervention. *CA Cancer J Clin*. 2017 Sep;67(5):378-397. doi: 10.3322/caac.21405. Epub 2017 Aug 1. PMID: 28763097; PMCID: PMC5591063.

32. Kotepui M. Diet and risk of breast cancer. *Contemp Oncol (Pozn)*. 2016;20(1):13-9. doi: 10.5114/wo.2014.40560. Epub 2016 Mar 16. PMID: 27095934; PMCID: PMC4829739.
33. Lynch BM, Neilson HK, Friedenreich CM. Physical activity and breast cancer prevention. *Recent Results Cancer Res*. 2011;186:13-42. doi: 10.1007/978-3-642-04231-7_2. PMID: 21113759.
34. Linsell L, Forbes LJ, Burgess C, Kapari M, Thurnham A, Ramirez AJ. Validation of a measurement tool to assess awareness of breast cancer. *Eur J Cancer*. 2010 May;46(8):1374-81. doi: 10.1016/j.ejca.2010.02.034. Epub 2010 Mar 23. PMID: 20335018.
35. Allman R, Mu Y, Dite GS, Spaeth E, Hopper JL, Rosner BA. Validation of a breast cancer risk prediction model based on the key risk factors: family history, mammographic density and polygenic risk. *Breast Cancer Res Treat*. 2023 Apr;198(2):335-347. doi: 10.1007/s10549-022-06834-7. Epub 2023 Feb 7. PMID: 36749458; PMCID: PMC10020257.
36. Hasan, M.M., Shil, P.C. (2022). Breast Cancer Diagnosis System Using Fuzzy Logic and Android Application. In: Gandhi, T.K., Konar, D., Sen, B., Sharma, K. (eds) *Advanced Computational Paradigms and Hybrid Intelligent Computing . Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1373. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4369-9_52
37. Idris NF, Ismail MA. Breast cancer disease classification using fuzzy-ID3 algorithm with FUZZYDBD method: automatic fuzzy database definition. *PeerJ Comput Sci*. 2021 May 4;7:e427. doi: 10.7717/peerj-cs.427. PMID: 34013024; PMCID: PMC8114800.
38. Bodewes FTH, van Asselt AA, Dorrius MD, Greuter MJW, de Bock GH. Mammographic breast density and the risk of breast cancer: A systematic review and meta-analysis. *Breast*. 2022 Dec;66:62-68. doi: 10.1016/j.breast.2022.09.007. Epub 2022 Sep 26. PMID: 36183671; PMCID: PMC9530665.
39. Habel, L.A., Alexeeff, S.E., Achacoso, N. et al. Examination of fully automated mammographic density measures using LIBRA and breast cancer risk in a cohort of 21,000 non-Hispanic white women. *Breast Cancer Res* 25, 92 (2023). <https://doi.org/10.1186/s13058-023-01685-6>
40. Duffy SW, Morrish OWE, Allgood PC, Black R, Gillan MGC, Willsher P, Cooke J, Duncan KA, Michell MJ, Dobson HM, Maroni R, Lim YY, Purushothaman HN, Suaris T, Astley SM, Young KC, Tucker L, Gilbert FJ. Mammographic density and breast cancer risk in breast screening assessment cases and women with a family history of breast cancer. *Eur J Cancer*. 2018 Jan;88:48-56. doi: 10.1016/j.ejca.2017.10.022. Epub 2017 Nov 27. PMID: 29190506; PMCID: PMC5768323.

41. Unger-Saldaña K. Challenges to the early diagnosis and treatment of breast cancer in developing countries. *World J Clin Oncol*. 2014 Aug 10;5(3):465-77. doi: 10.5306/wjco.v5.i3.465. PMID: 25114860; PMCID: PMC4127616.
42. Lei S, Zheng R, Zhang S, Wang S, Chen R, Sun K, Zeng H, Zhou J, Wei W. Global patterns of breast cancer incidence and mortality: A population-based cancer registry data analysis from 2000 to 2020. *Cancer Commun (Lond)*. 2021 Nov;41(11):1183-1194. doi: 10.1002/cac2.12207. Epub 2021 Aug 16. PMID: 34399040; PMCID: PMC8626596.
43. L, Fagerberg G, Duffy SW, Day NE. The Swedish two county trial of mammographic screening for breast cancer: recent results and calculation of benefit. *J Epidemiol Community Health*. 1989 Jun;43(2):107-14. doi: 10.1136/jech.43.2.107. PMID: 2512366; PMCID: PMC1052811.
44. Alshammari, M.M.; Almuhanha, A.; Alhiyafi, J. Mammography Image-Based Diagnosis of Breast Cancer Using Machine Learning: A Pilot Study. *Sensors* 2022, 22, 203. <https://doi.org/10.3390/s22010203>
45. Mee B, Kirwan M, Clarke N, Tanaka A, Manaloto L, Halpin E, Gibbons U, Cullen A, McGarrigle S, Connolly EM, Bennett K, Gaffney E, Flanagan C, Tier L, Flavin R, McElvaney NG. What GDPR and the Health Research Regulations (HRRs) mean for Ireland: a research perspective. *Ir J Med Sci*. 2021 May;190(2):505-514. doi: 10.1007/s11845-020-02330-3. Epub 2020 Jul 29. PMID: 32728834; PMCID: PMC8049920.
46. Krasnov, D.; Davis, D.; Malott, K.; Chen, Y.; Shi, X.; Wong, A. Fuzzy C-Means Clustering: A Review of Applications in Breast Cancer Detection. *Entropy* 2023, 25, 1021. <https://doi.org/10.3390/e25071021>
47. Krasnov D, Davis D, Malott K, Chen Y, Shi X, Wong A. Fuzzy C-Means Clustering: A Review of Applications in Breast Cancer Detection. *Entropy (Basel)*. 2023 Jul 4;25(7):1021. doi: 10.3390/e25071021. PMID: 37509968; PMCID: PMC10378562.
48. [Yufeng](#), Fuzzy C-Means Clustering with Python, Towards Data Science 2021
49. Bezdek, James & Ehrlich, Robert & Full, William. (1984). FCM—the Fuzzy C-Means clustering-algorithm. *Computers & Geosciences*. 10. 191-203. 10.1016/0098-3004(84)90020-7.
50. Seyed Emadedin Hashemi, Fatemeh Gholian-Jouybari, Mostafa Hajiaghahi-Keshteli, A fuzzy C-means algorithm for optimizing data clustering, *Expert Systems with Applications*, Volume 227, 2023, 120377, ISSN 0957-4174, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120377>.
51. Kaur, Sarneet and Sharma, Ashok and Singh, Parveen, Performance Analysis of Fuzzy C-means (FCM) and Possibilistic C-means Algorithm (PCM) for Protein Sequence Clustering (April 26, 2021). *Proceedings of the International Conference on Innovative*

Computing & Communication (ICICC) 2021, Available at SSRN:

<https://ssrn.com/abstract=3834105> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3834105>

52. Popescu-Bodorin, Nicolaie & State, Luminita. (2011). Cognitive Binary Logic - The Natural Unified Formal Theory of Propositional Binary Logic.
53. Dempster, A. P. (1967). "[Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping](#)". The Annals of Mathematical Statistics. 38 (2): 325–339. [doi:10.1214/aoms/1177698950](https://doi.org/10.1214/aoms/1177698950).
54. Shafer, Glenn; A Mathematical Theory of Evidence, Princeton University Press, 1976, [ISBN 0-608-02508-9](#)
55. Nuzzo, R.L. (2019), Histograms: A Useful Data Analysis Visualization. Journal of Injury, Function and Rehabilitation, 11: 309-312. <https://doi.org/10.1002/pmrj.12145>
56. Laboratory for Individualized Breast Radiodensity Assessment, [Section for Biomedical Image Analysis \(SBIA\)](#)