



ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ,
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ



ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σχεδίαση και Υλοποίηση Συστήματος Βαθιάς Μάθησης για την Ταξινόμηση Όγκων Μαστού από Εικόνες Υπερήχων και Ανάπτυξη Εφαρμογής υποστήριξης Ιατρικής Διάγνωσης

Φοιτητής: Κωνσταντίνος Παπαθανασίου

Επιβλέπων: Δρ. Μηνάς Δασυγένης

Αναπληρωτής Καθηγητής

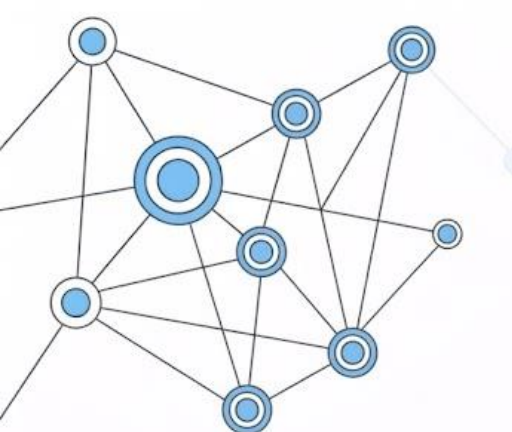
Ιούλιος 2026



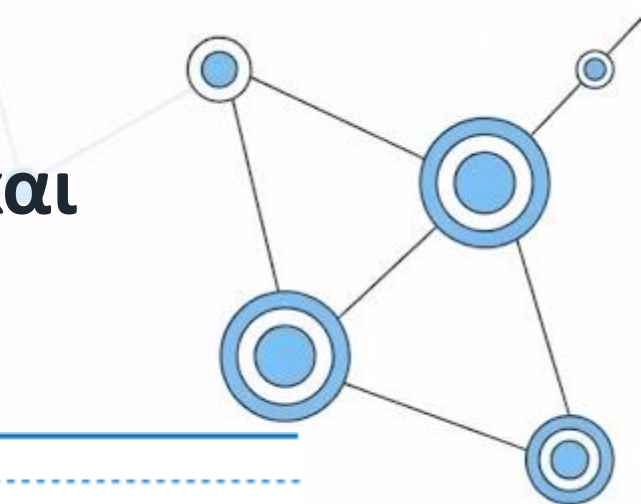
Περίγραμμα Παρουσίασης

1. **Το Πρόβλημα:** Η κλινική σημασία και οι σύγχρονες διαγνωστικές προκλήσεις.
2. **State-of-the-Art:** Οι υπάρχουσες λύσεις και οι υπολογιστικοί τους περιορισμοί.
3. **Προτεινόμενη Μεθοδολογία:** Ο στόχος της εργασίας και η επιλεγμένη αρχιτεκτονική.
4. **Αξιολόγηση & Αποτελέσματα:** Η πειραματική διαδικασία και οι τελικές μετρικές.
5. **Καινοτομία & Συμπεράσματα:** Η συνεισφορά της έρευνας και η συνολική αποτίμηση.





Το Πρόβλημα: Η ανάγκη για έγκαιρη και αξιόπιστη διάγνωση



- **Παγκόσμια Απειλή:** Ο καρκίνος του μαστού αποτελεί τη συχνότερη κακοήθεια στον γυναικείο πληθυσμό.
- **Υποκειμενικότητα Υπερήχου (BUS):** Κρίσιμο διαγνωστικό εργαλείο, αλλά με ισχυρή εξάρτηση από την εμπειρία του εκάστοτε ιατρού.
- **Διαγνωστικό Ρίσκο:** Υψηλός κίνδυνος για ψευδώς θετικά αποτελέσματα που οδηγούν σε άσκοπες περιττές βιοψίες.

Females

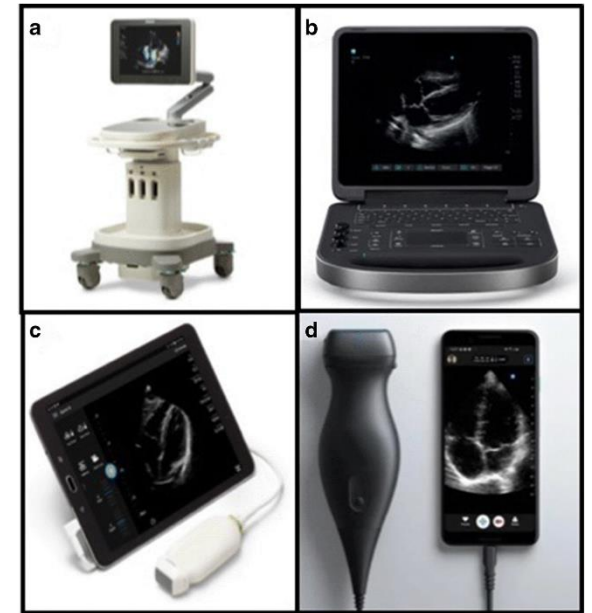


Breast	252,710	30%
Lung & bronchus	105,510	12%
Colon & rectum	64,010	8%
Uterine corpus	61,380	7%
Thyroid	42,470	5%
Melanoma of the skin	34,940	4%
Non-Hodgkin lymphoma	32,160	4%
Leukemia	25,840	3%
Pancreas	25,700	3%
Kidney & renal pelvis	23,380	3%
All Sites	852,630	100%



Κλινικές Προκλήσεις: Γιατί δεν επαρκούν τα συμβατικά συστήματα;

- **Το Παράδοξο του Deep Learning:** Υψηλή διαγνωστική ακρίβεια, αλλά υπολογιστικός όγκος "απαγορευτικός" για τον τυπικό κλινικό εξοπλισμό.
- **Η Άνοδος του POCUS:** Στροφή σε φορητούς, ευέλικτους υπερήχους, οι οποίοι όμως διαθέτουν πολύ περιορισμένη επεξεργαστική ισχύ.
- **Το Τεχνολογικό Χάσμα:** Αδυναμία τοπικής εκτέλεσης (Edge Computing) των σημερινών "βαριών" μοντέλων απευθείας στην κλίνη της ασθενούς.

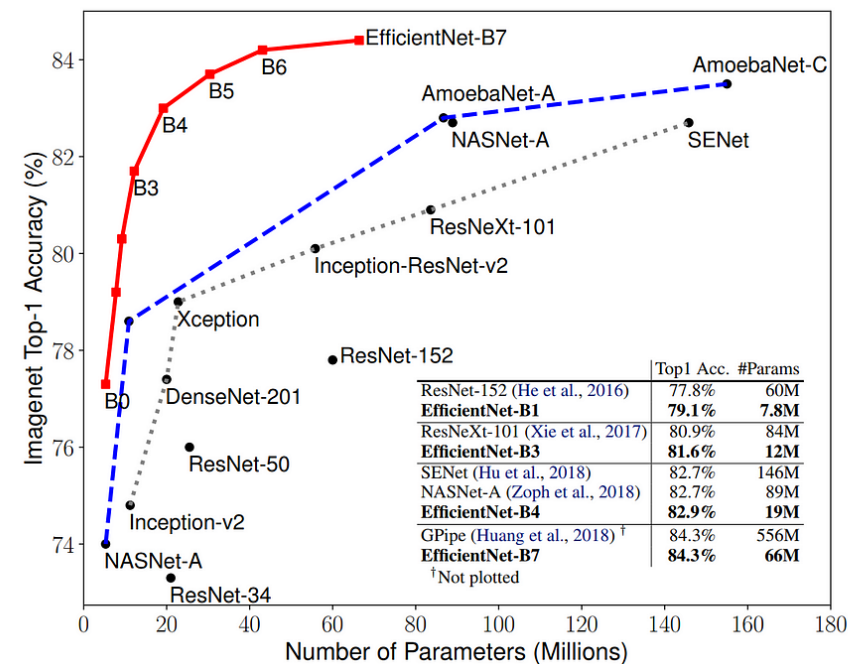


Τρέχουσα Κατάσταση (State-of-the-Art): Βαριές Αρχιτεκτονικές

- **Υπερβολική Πολυπλοκότητα Μοντέλων:** Η τρέχουσα βιβλιογραφία κυριαρχείται από ογκώδεις αρχιτεκτονικές (π.χ. ResNet, DenseNet), οι οποίες διαθέτουν δεκάδες εκατομμύρια εκπαιδεύσιμες παραμέτρους.
- **Αυξημένες Υπολογιστικές Απαιτήσεις:** Απαιτούν $\sim 25\text{M}$ παραμέτρους και ~ 4 GFLOPs για μία μόνο εικόνα, καθιστώντας την τοπική εκτέλεση σε κλινικό εξοπλισμό αδύνατη χωρίς ισχυρές GPUs και απαιτείται αδιάλειπτη σύνδεση σε υποδομές Cloud για την εξαγωγή της διάγνωσης.
- **Προβλήματα Καθυστερήσης (Latency) & Ασφάλειας:** Η μεταφορά των υπερηχογραφήμάτων μέσω διαδικτύου δημιουργεί καθυστερήσεις, ενώ εγείρει σοβαρούς κινδύνους για την ιδιωτικότητα των ευαίσθητων ιατρικών δεδομένων.

Θεωρητικό Υπόβαθρο: Στροφή προς την Αποδοτική Τεχνητή Νοημοσύνη

- **Lightweight CNNs:** Αρχιτεκτονικές ειδικά σχεδιασμένες για τοπική εκτέλεση σε φορητές συσκευές (π.χ. MobileNetV2, EfficientNet).
- **Έξυπνες Συνελίξεις:** Αντικατάσταση των "βαριών" υπολογισμών με άκρως αποδοτικές πράξεις (depthwise separable convolutions).
- **Δραστική Συμπίεση:** Μείωση του μεγέθους των μοντέλων κατά 80-90%, διατηρώντας ταυτόχρονα την υψηλή ακρίβεια.



Κλινικό Υπόβαθρο: Το σύστημα αξιολόγησης BI-RADS

- **Παγκόσμιο Πρότυπο:** Το κυρίαρχο κλινικό σύστημα για την τυποποιημένη αξιολόγηση και κατηγοριοποίηση των αλλοιώσεων του μαστού.
- **Διαδική Ταξινόμηση:** Στρατηγική ομαδοποίηση των πολλαπλών κατηγοριών BI-RADS σε δύο ξεκάθαρες κλάσεις (Benign vs Malignant) για άμεση και στοχευμένη διαγνωστική υποστήριξη.

Category	Management	Likelihood of cancer
0 Need additional imaging or prior examinations	Recall for additional imaging and/or await prior examinations	n/a
1 Negative	Routine screening	Essentially 0%
2 Benign	Routine screening	Essentially 0%
3 Probably Benign	Short interval-follow-up (6 month) or continued	>0 % but ≤ 2%
4 Suspicious	Tissue diagnosis	4a. low suspicion for malignancy (>2% to ≤ 10%) 4b. moderate suspicion for malignancy (>10% to ≤ 50%) 4c. high suspicion for malignancy (>50% to <95%)
5 Highly suggestive of malignancy	Tissue diagnosis	≥ 95%
6 Known biopsy-proven	Surgical excision when clinical appropriate	n/a



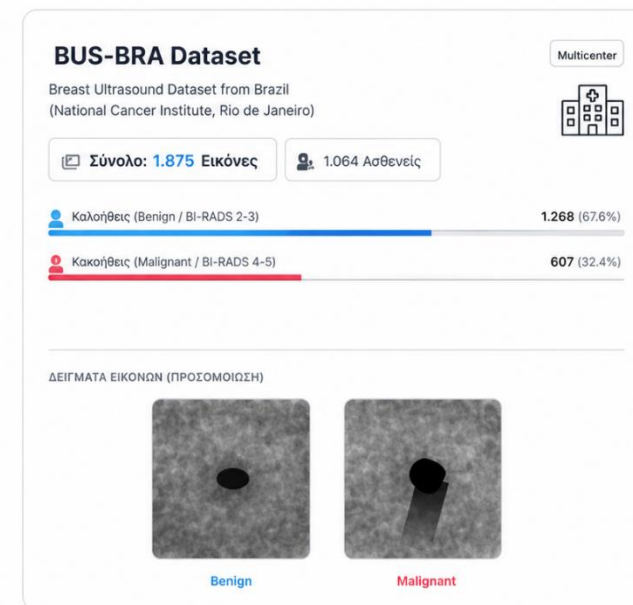
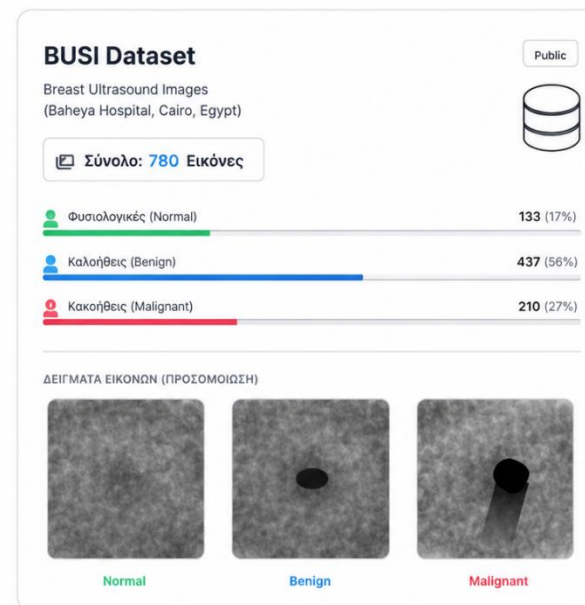
Στόχος: Ανάπτυξη ελαφρού και αυτόνομου CAD συστήματος

- **Ανάπτυξη Ελαφρών Αρχιτεκτονικών (Lightweight CNNs):** Σχεδιασμός και εκτενής συγκριτική αξιολόγηση νευρωνικών δικτύων εξαιρετικά χαμηλής πολυπλοκότητας, βελτιστοποιημένων για λειτουργία σε περιβάλλοντα περιορισμένων υπολογιστικών πόρων.
 - **Αυτόνομη Τοπική Εκτέλεση (On-Device/Edge):** Υλοποίηση μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας ικανής να εκτελείται αποκλειστικά στην ίδια τη συσκευή, μηδενίζοντας τις καθυστερήσεις και διασφαλίζοντας την απόλυτη ιδιωτικότητα των ιατρικών δεδομένων.
 - **Στοχευμένη Βελτιστοποίηση Ακρίβειας:** Εφαρμογή προηγμένων τεχνικών προ-επεξεργασίας (όπως η στρατηγική απομόνωσης ROI), καταφέροντας την κατακόρυφη αύξηση της διαγνωστικής αξιοπιστίας με μηδενική επιβάρυνση στον αριθμό των παραμέτρων.
- 

Τα Δεδομένα: Δύο βάσεις συνόλων (BUSI & BUS-BRA)

- **Dataset BUSI:** Χρήση του καθιερωμένου δημόσιου συνόλου ως βασικό μέτρο σύγκρισης (baseline) των πειραμάτων.
- **Dataset BUS-BRA:** Ανεξάρτητη δοκιμή σε ένα δεύτερο, πολυκεντρικό σύνολο δεδομένων, χαρακτηριζόμενο από υψηλή κλινική πολυπλοκότητα.
- **Αξιολόγηση γενίκευσης:** Διακριτή (ξεχωριστή) αξιολόγηση του συστήματος στις δύο διαφορετικές βάσεις, επιβεβαιώνοντας την αξιοπιστία και τη σταθερότά του σε ποικίλες ρεαλιστικές συνθήκες.

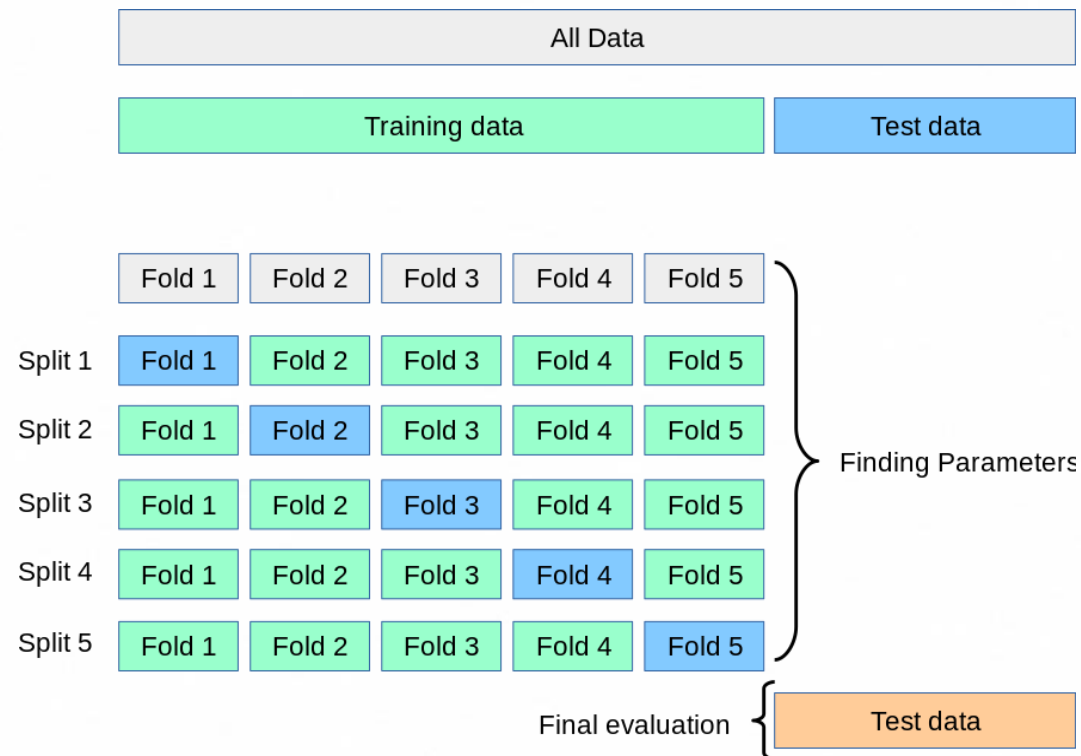
Δεδομένα Υπερηχογραφίας Μαστού (BUS) που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση του συστήματος



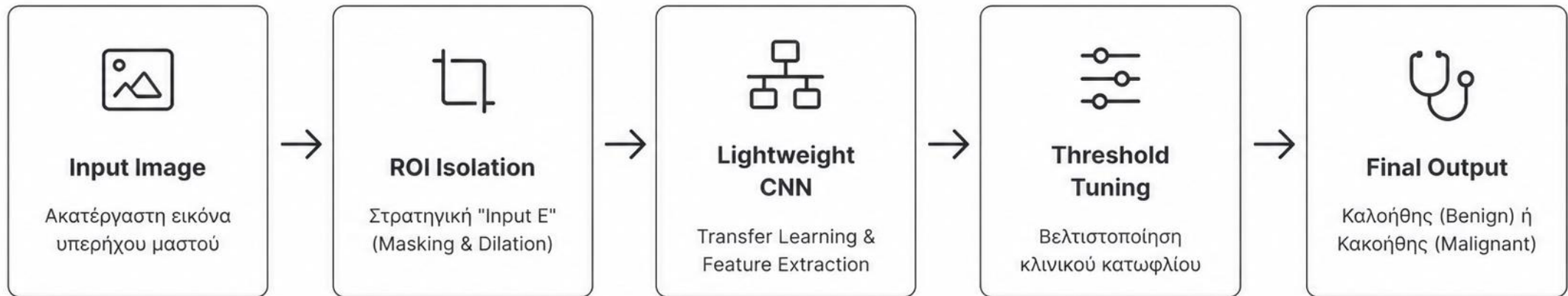
Διαδικασία Εκπαίδευσης: Διασφάλιση αξιοπιστίας μέσω 5-Fold CV

- **Stratified Group 5-Fold CV:** Στρωματοποιημένη διασταυρούμενη επικύρωση 5-πτυχών, ομαδοποιημένη ανά ασθενή.
- **Αποτροπή Data Leakage:** Αυστηρός διαχωρισμός για την πλήρη αποφυγή διαρροής δεδομένων μεταξύ συνόλων εκπαίδευσης και δοκιμής.

Παράμετρος Εκπαίδευσης	Τιμή
Image Size	224 x 224 pixels
Data Augmentation	Οριζόντια Αναστροφή (Horizontal Flip), Περιστροφή (Rotation 30°)
Batch Size	32
Optimizer	Adam
Learning Rate	10^{-5}
Epochs	60 (με Early Stopping βάσει AUC)

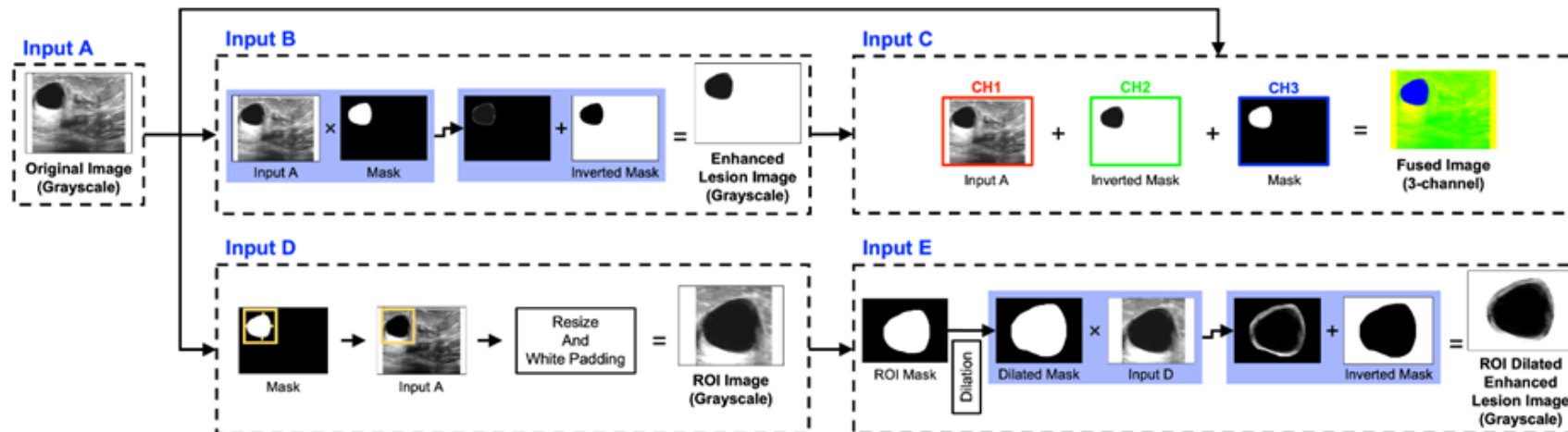


Αρχιτεκτονική του Συστήματος



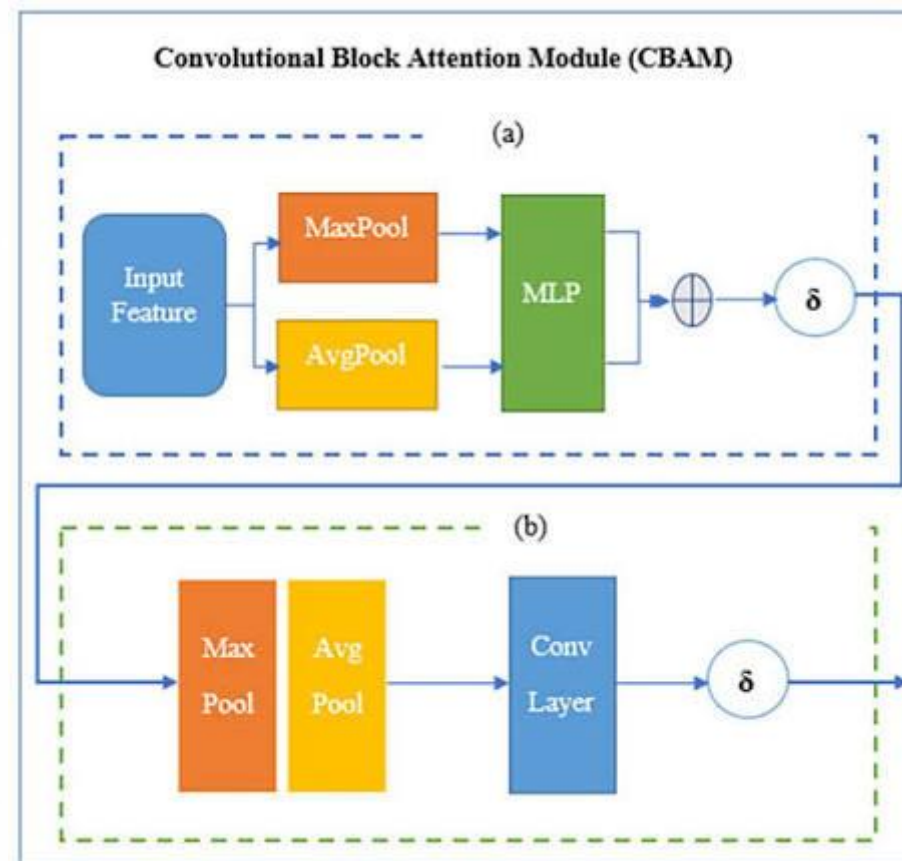
Στρατηγική Προ-επεξεργασίας: Απομόνωση της Περιοχής Ενδιαφέροντος (ROI)

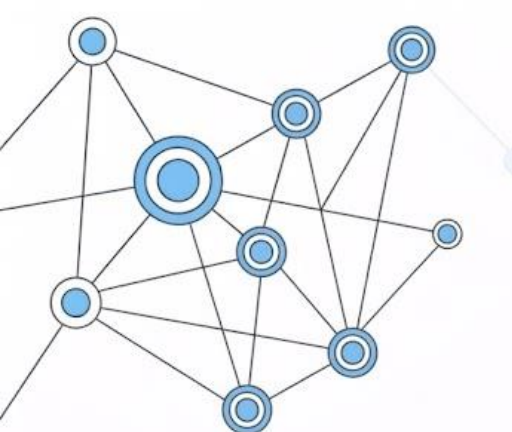
- Στρατηγική "Input E": Αξιοποίηση των масών τμηματοποίησης για την ακριβή απομόνωση της περιοχής ενδιαφέροντος (ROI).
- Μορφολογική Διαστολή (Dilation): Στοχευμένη διεύρυνση της μάσκας για να συμπεριληφθεί η κλινικά κρίσιμη «άλως» (border zone) της βλάβης.
- Καταστολή Οπτικού Θορύβου: Πλήρης απόκρυψη του φόντου, εξαναγκάζοντας το δίκτυο να εστιάσει αποκλειστικά στα διαγνωστικά χαρακτηριστικά του όγκου.



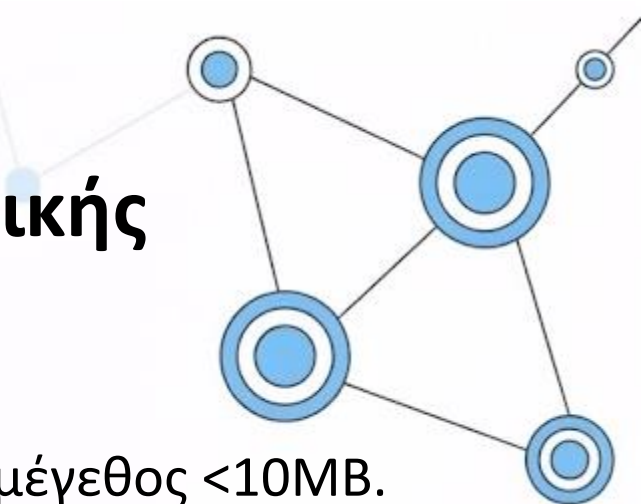
Πειραματική Βελτίωση: Ενσωμάτωση Μηχανισμού Προσοχής CBAM

- **Σημείο Ενσωμάτωσης:** Τοποθέτηση του CBAM αμέσως μετά την έξοδο του βασικού κορμού (feature extractor) του MobileNetV2 και πριν το Global Average Pooling (GAP).
- **Σκοπιμότητα Επιλογής:** Σε αυτό το βάθος, οι χάρτες χαρακτηριστικών (feature maps) περιέχουν την πιο πλούσια σημασιολογική πληροφορία. Το δίκτυο "μαθαίνει" να εστιάζει στις κρίσιμες δομές του όγκου πριν την τελική ταξινόμηση.
- **Πρακτικό Όφελος:** Αύξηση της συνολικής διαγνωστικής ακρίβειας και του AUC, διατηρώντας ταυτόχρονα το μοντέλο εξαιρετικά ελαφρύ (~2,8M παράμετροι).



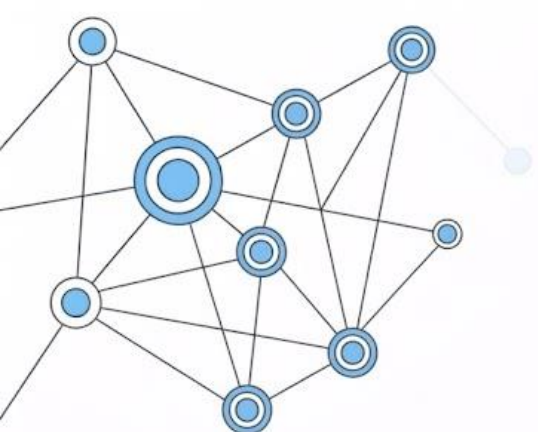


Κριτήρια Επιλογής Βασικής Αρχιτεκτονικής



- **Χαμηλότερο Υπολογιστικό Κόστος:** ~50% λιγότερες παράμετροι & μέγεθος <10MB.
- **Μέγιστη Ταχύτητα:** Μόλις 0,613 GFLOPs, ιδανικό για Edge Hardware.
- **Κορυφαία Διαγνωστική Ακρίβεια:** Υψηλότερες επιδόσεις (Baseline) και στα δύο Datasets.
- **Η Ιδανική Βάση:** Το απαραίτητο "headroom" για την προσθήκη του CBAM.

Αρχιτεκτονική	Αριθμός Παραμέτρων	Μέγεθος Μοντέλου	Υπολογιστικό Κόστος (GFLOPs)	Ακρίβεια Baseline (BUSI BUS-BRA)
MobileNetV2	~2,4 Εκατομμύρια	9,80 MB	0,613	97,95% 89,49%
EfficientNetB0	~4,2 Εκατομμύρια	16,88 MB	0,801	97,56% 88,27%
NASNetMobile	~4,4 Εκατομμύρια	19,42 MB	1,146	97,05% 86,40%



Αξιολόγηση στο Σύνολο BUSI: Εξαιρετική διαγνωστική ακρίβεια

- **Κυρίαρχη Επίδοση:** Σχεδόν τέλεια ταξινόμηση από το MobileNetV2 στο dataset BUSI.
- **Κορυφαίες Μετρικές:** Εξαιρετικά υψηλή διαγνωστική ικανότητα (97,95% Accuracy, 0,9974 AUC).
- **Ισορροπημένη Διάγνωση:** Σταθερή αναγνώριση (υψηλό F1-Score) τόσο σε καλοήθεις όσο και σε κακοήθεις βλάβες.



Metric / Class	Value / Precision
Optimal Threshold	0,5000
AUC	0,9974
Accuracy	0,9795

Class	Precision	Recall	F1-Score	Support
Benign/Normal	0,9911	0,9807	0,9859	570,0
Malignant	0,9491	0,9762	0,9624	210,0
Macro Avg	0,9701	0,9784	0,9742	780,0
Weighted Avg	0,9798	0,9795	0,9796	780,0

Αξιολόγηση στο Σύνολο BUS-BRA: Δοκιμή σε απαιτητικά δεδομένα

- **Ισχυρή Γενίκευση:** Αξιόπιστη απόδοση στο απαιτητικό, πολυ-κεντρικό dataset BUS-BRA.
- **Υψηλές Μετρικές:** Ισχυρή διαγνωστική ικανότητα (89,49% Accuracy, 0,9387 AUC).
- **Σταθερή Συμπεριφορά:** Διατήρηση υψηλών F1-Scores παρά την αυξημένη δυσκολία των εικόνων.

Metric / Class	Value / Precision
Optimal Threshold	0,5000
AUC	0,9387
Accuracy	0,8949

Class	Precision	Recall	F1-Score	Support
Benign	0,9207	0,9243	0,9225	1268,0
Malignant	0,8405	0,8336	0,8371	607,0
Macro Avg	0,8806	0,8789	0,8798	1875,0
Weighted Avg	0,8947	0,8949	0,8948	1875,0

Η επίδραση του Μηχανισμού CBAM: Στοχευμένη ενίσχυση

Dataset BUSI

Metric / Class	Value / Precision			
Optimal Threshold	0,5000			
AUC	0,9977			
Accuracy	0,9885			
Class	Precision	Recall	F1-Score	Support
Benign	0,9947	0,9895	0,9921	570,0
Malignant	0,9718	0,9857	0,9787	210,0
Macro Avg	0,9833	0,9876	0,9854	780,0
Weighted Avg	0,9885	0,9885	0,9885	780,0

Dataset BAS-BRA

Metric / Class	Value / Precision			
Optimal Threshold	0,5000			
AUC	0,9373			
Accuracy	0,8960			
Class	Precision	Recall	F1-Score	Support
Benign	0,9214	0,9251	0,9233	1268,0
Malignant	0,8422	0,8353	0,8387	607,0
Macro Avg	0,8818	0,8802	0,8810	1875,0
Weighted Avg	0,8958	0,8960	0,8959	1875,0

Συγκριτικό Πλεονέκτημα & Καινοτομία έναντι της Βιβλιογραφίας

Target Hardware (POCUS): Σχεδιασμένο για φορητές συσκευές υπερήχων (π.χ. handheld scanners, tablets) με περιορισμένους υπολογιστικούς πόρους.

Αυτόνομη Λειτουργία (Edge): Τοπική εκτέλεση (On-Device) χωρίς ανάγκη Cloud, διασφαλίζοντας μηδενική καθυστέρηση και πλήρη ιδιωτικότητα δεδομένων.

Inference Performance: 77.16ms (12.96 FPS) σε CPU (χωρίς GPU/NPU). Ικανοποιητική απόδοση, με πρόβλεψη για <50ms μέσω κατάλληλης επιτάχυνσης (π.χ. TensorRT, TFLite).

Αρχιτεκτονική	Αριθμός Παραμέτρων	Μέγεθος Μοντέλου	Υπολογιστικό Κόστος (GFLOPs)
MobileNetV2 + CBAM (Προτεινόμενο)	~2,8 Εκατομμύρια	11,40 MB	0,615
ResNet-50 (Βαρύ Μοντέλο Αναφοράς)	~25,6 Εκατομμύρια	~98,00 MB	~4,100

Συμπεράσματα

1. **Ισχύς Προ-επεξεργασίας:** Η στοχευμένη προσέγγιση μειώνει δραστικά την ανάγκη για πολύπλοκα και "βαριά" δίκτυα.
2. **Κορυφαία Απόδοση:** Επίτευξη εξαιρετικά υψηλής ακρίβειας (έως 98,85%) με ανεπαίσθητο υπολογιστικό κόστος.
3. **Κλινική Εφαρμοσιμότητα:** Τα Lightweight CNNs αποδεικνύονται απόλυτα ρεαλιστική και αξιόπιστη λύση για τη φορητή υπερηχογραφία.
4. **Επιστημονική Διάχυση:** Τμήμα των ερευνητικών αποτελεσμάτων έχει υποβληθεί για κρίση στο διεθνές συνέδριο SEEDA-CECNSM 2026 (Ιούνιος 2026).



Μελλοντικές Κατευθύνσεις

- **Αυτόματη Τμηματοποίηση (Segmentation):** Αυτόματος εντοπισμός του ROI σε πραγματικό χρόνο, χωρίς ανάγκη χειροκίνητων μασκών.
- **Αξιολόγηση σε Edge Hardware:** Απευθείας ενσωμάτωση (deployment) και δοκιμή σε φορητές ιατρικές συσκευές.
- **Πολυτροπική Ανάλυση (Multimodal AI):** Συνδυασμός υπερήχου με κλινικό ιστορικό (π.χ. ηλικία, γονίδια) για απόλυτα εξατομικευμένη διάγνωση.

