



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Σχεδιασμός και υλοποίηση εφαρμογών σε ετερογενή υπολογιστικά συστήματα

ΘΕΟΔΩΡΑ Ε. ΣΑΝΙΔΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Μηνάς Δασυγένης, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΜΕΛΗ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ

Δημήτριος Σούντρης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Σπυρίδων Νικολαΐδης, Καθηγητής Α.Π.Θ.

ΜΕΛΗ ΕΠΤΑΜΕΛΟΥΣ

Μαλαματή Λούτα, Καθηγήτρια Π.Δ.Μ.
Νικόλαος Πλόσκας, Αναπληρωτής Καθηγητής Π.Δ.Μ.
Μιχαήλ Δόσης, Καθηγητής Π.Δ.Μ.
Δημήτριος Καραμπατζάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής Δ.Π.Θ.

Επισκόπηση

- Ορισμός του ερευνητικού προβλήματος
- Κίνητρο διατριβής
- Ερευνητικά κενά και προκλήσεις
- Μεθοδολογία
- Μελέτες περίπτωσης και αποτελέσματα
- Συνεισφορές και συμπεράσματα
- Μελλοντικοί στόχοι
- Δημοσιεύσεις

Ορισμός του ερευνητικού προβλήματος

- Αποδοτικός σχεδιασμός και υλοποίηση των CNNs σε HCS με περιορισμένους πόρους
- Η αξιολόγηση των CNNs πρέπει να ενσωματώνει και το υπολογιστικό κόστος, όχι μόνο μετρικές ποιότητας
- Συμβατότητα μοντέλου με την υποδομή – στόχο

Κίνητρο διατριβής

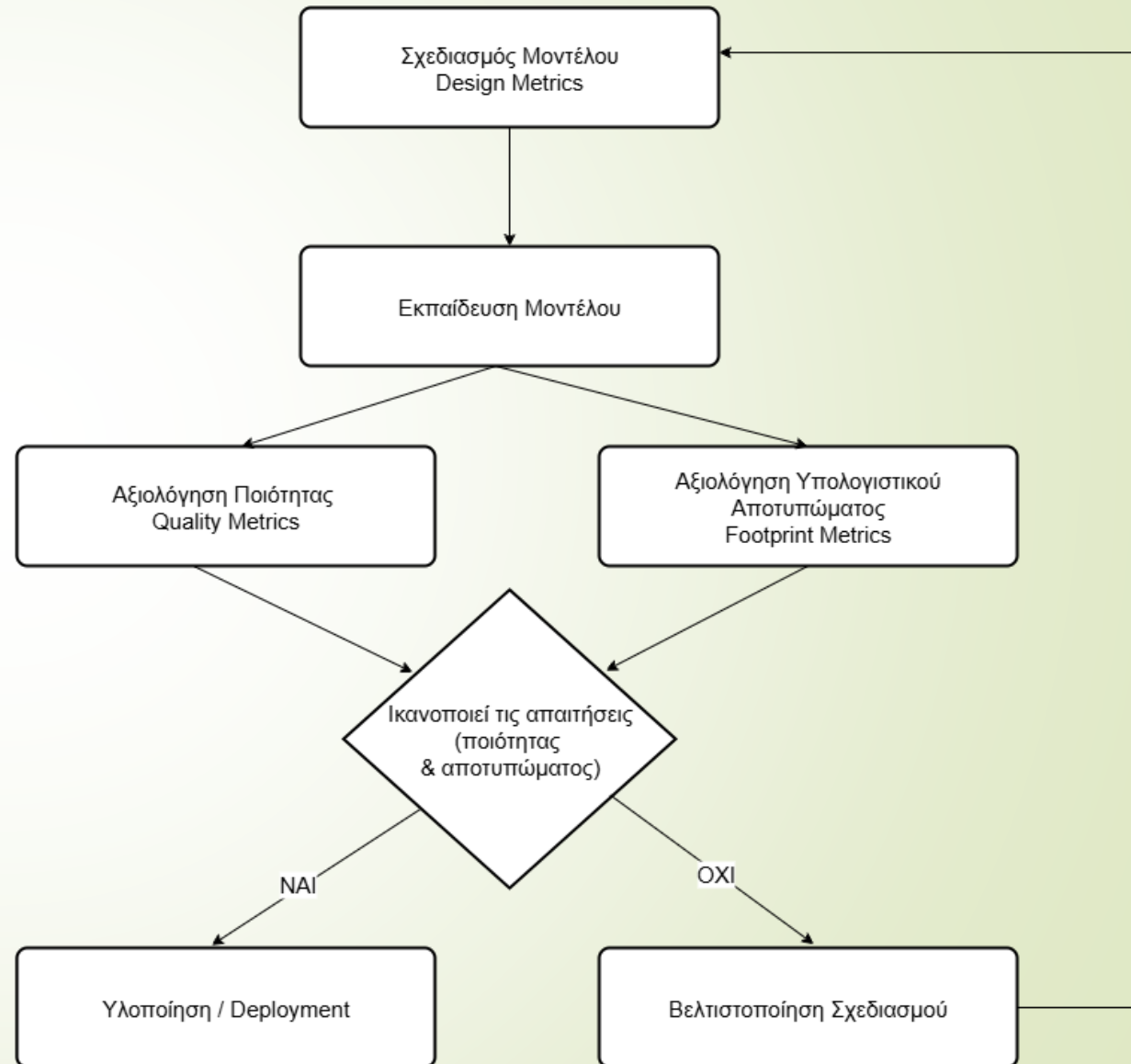
- Ραγδαία αύξηση απαιτητικών εφαρμογών DL σε HCS
- Ανάγκη για επιτάχυνση με ισορροπία ακρίβειας συμπερασμού – χρονικής καθυστέρησης – κατανάλωσης ισχύος
- Αξιοποίηση επιταχυντών υλικού:
 - GPUs → υψηλή παράλληλη επεξεργασία
 - FPGAs → παραμετροποίηση, χαμηλή κατανάλωση
 - SoMs → ετερογενείς επιταχυντές, χαμηλό αποτύπωμα

Ερευνητικά κενά και προκλήσεις

- Ανεπαρκείς πολυκριτηριακές μεθοδολογίες αξιολόγησης CNNs → εστίαση αποκλειστικά σε μετρικές ποιότητας
- Παράβλεψη υπολογιστικού κόστους, ενεργειακού αποτυπώματος και χρήση μνήμης → αρχιτεκτονικές μη συμβατές
- Ετερογένεια επιταχυντών (GPUs, FPGAs, SoMs) δυσχεραίνει τη βελτιστοποίηση → εξατομικευμένο σχεδιασμό ανά σύστημα

Μεθοδολογία

- Η μεθοδολογία οργανώνεται σε τρεις άξονες:
 - Μετρικές σχεδίασης
 - Μετρικές ποιότητας
 - Μετρικές υπολογιστικού αποτυπώματος
- Στόχος είναι ο βέλτιστος σχεδιασμός και η αποδοτική υλοποίηση εφαρμογών CNNs σε HCS



Μετρικές σχεδιασμού

- Αρχιτεκτονική μοντέλου:
 - Εξισορρόπηση βάθους και εύρους
 - Χαμηλής πολυπλοκότητας δομοστοιχεία
 - Συναρτήσεις ενεργοποίησης φιλικές προς το υλικό
- Τεχνικές βελτιστοποίησης:
 - Κβαντοποίηση
 - Κλάδεμα
 - Διαχείριση ανισορροπίας κλάσεων
- Συμβιβασμοί επιδόσεων:
 - Ακρίβεια έναντι χρονικής καθυστέρησης
 - Μέγεθος μοντέλου έναντι ρυθμαπόδοσης
- Ενεργειακός σχεδιασμός:
 - Ενέργεια ανά εξαγωγή συμπεράσματος
 - Περιορισμοί ισχύος

Μετρικές ποιότητας

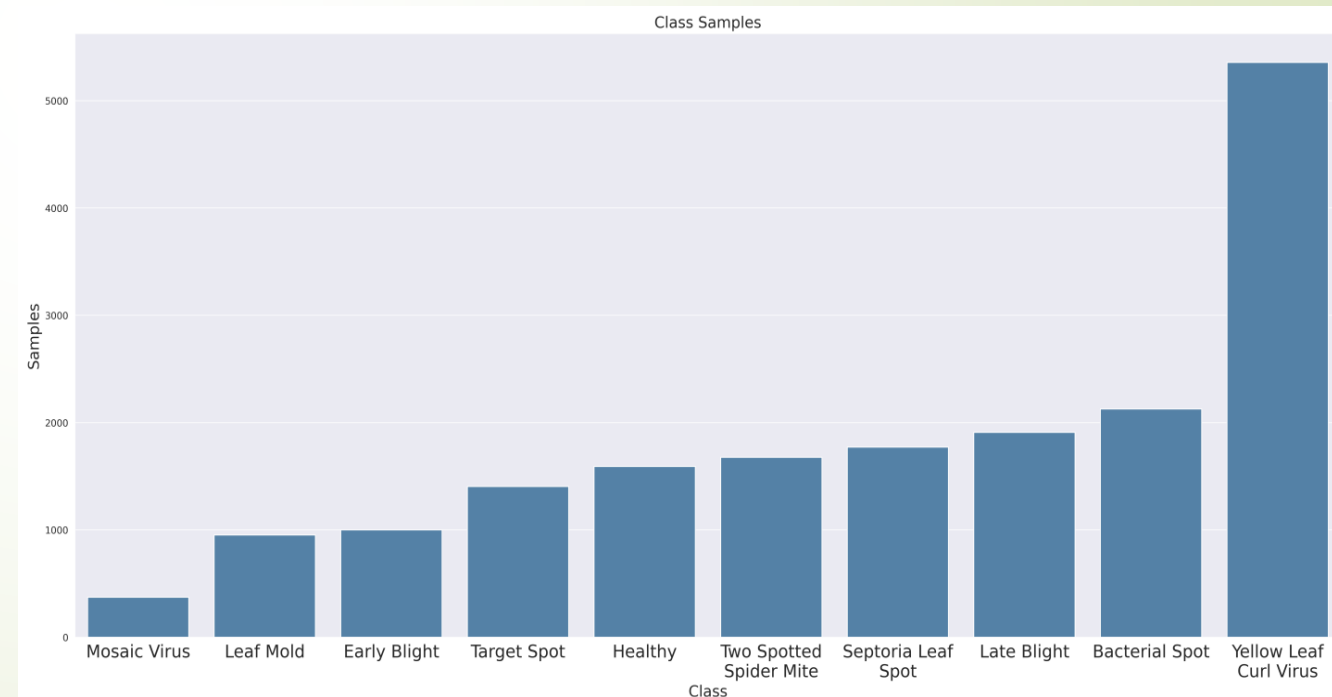
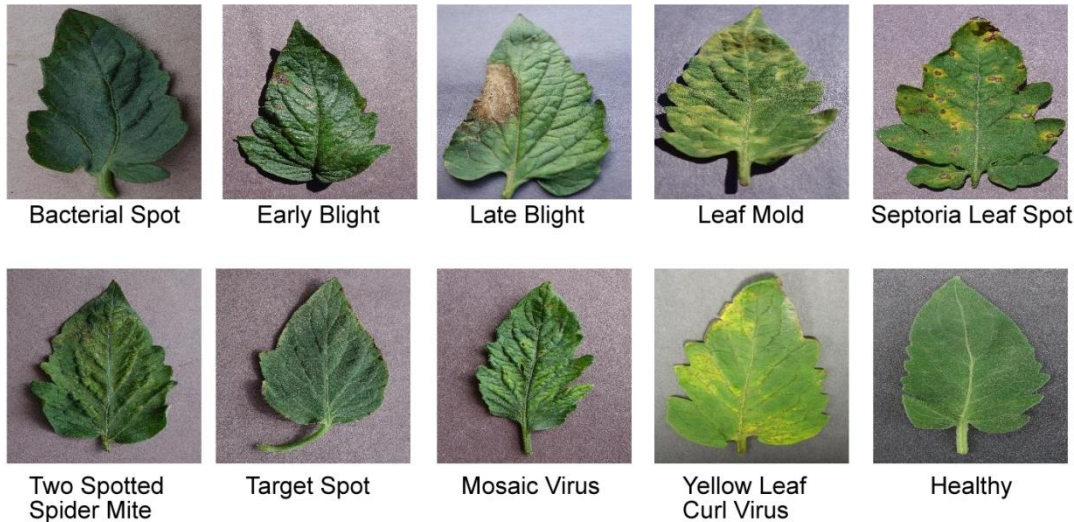
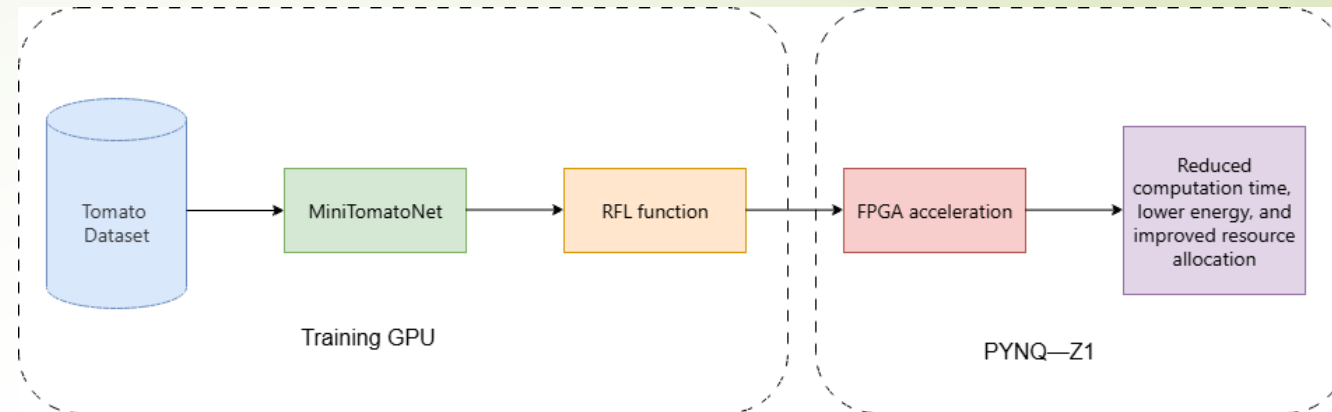
Μετρική	Ορισμός	Σημασία και χρήση
Accuracy	Λόγος ορθά ταξινομημένων δειγμάτων προς το σύνολο των δειγμάτων	Γενική ένδειξη της επίδοσης του μοντέλου Κατάλληλη όταν οι κλάσεις είναι ισορροπημένες
Precision	Λόγος των αληθινών θετικών προς το σύνολο των προβλέψεων που χαρακτηρίστηκαν ως θετικές	Χρήσιμη όταν τα ψευδώς θετικά έχουν υψηλό κόστος (π.χ. ιατρική διάγνωση που οδηγεί σε περιττές εξετάσεις)
Recall	Λόγος των αληθινών θετικών προς το σύνολο των πραγματικά θετικών περιπτώσεων	Κρίσιμη όταν τα ψευδώς αρνητικά είναι ανεπιθύμητα (π.χ. εντοπισμός καρκίνου)
F1—score	Αρμονικός μέσος του precision και του recall	Ισορροπημένη εκτίμηση επίδοσης Χρήσιμη σε περιβάλλοντα με ανισορροπία κλάσεων
AUC	Εμβαδόν κάτω από την καμπύλη ROC. Συνδυάζει ευαισθησία και ειδικότητα για όλα τα κατώφλια απόφασης	Κατάλληλη για συγκριτική αξιολόγηση μοντέλων, ανεξαρτήτως του επιλεγμένου κατωφλίου απόφασης

Μετρικές υπολογιστικού αποτυπώματος

- Φάση εκπαίδευσης:
 - Συνολικός αριθμός εποχών για τη σύγκλιση
 - Στρατηγικές επικύρωσης
 - Χρονική καθυστέρηση ανάδρομης διάδοσης
- Φάση εξαγωγής συμπερασμάτων:
 - Συνολικό μέγεθος μοντέλου στο δίσκο
 - Χρήση πόρων υλικού
 - Χρονική καθυστέρηση ευθείας διάδοσης
 - Ενεργειακή απόδοση ανά Watt
- Φάση εκπαίδευσης και εξαγωγής συμπερασμάτων:
 - Συνολικός αριθμός των παραμέτρων
 - Συνολικός αριθμός πράξεων κινητής υποδιαστολής
 - Χρήση μνήμης RAM

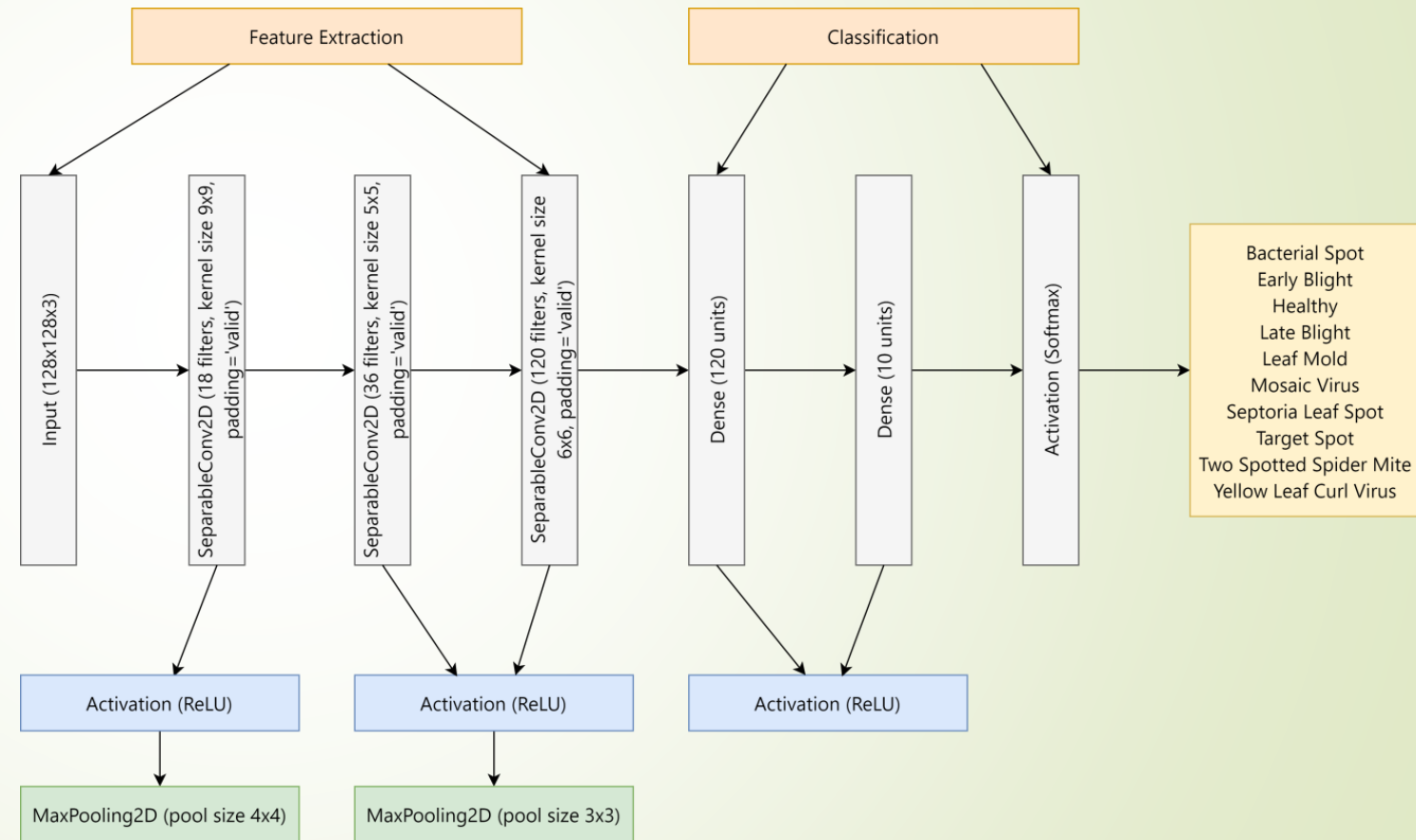
Σχεδιασμός και υλοποίηση επιτάχυνσης σε FPGA—SoC (1/6)

- Αναγνώριση ασθενειών φύλλων τομάτας
- 18.160 εικόνες
- 10 κατηγορίες
- Ετερογενή πλακέτα PYNQ-Z1



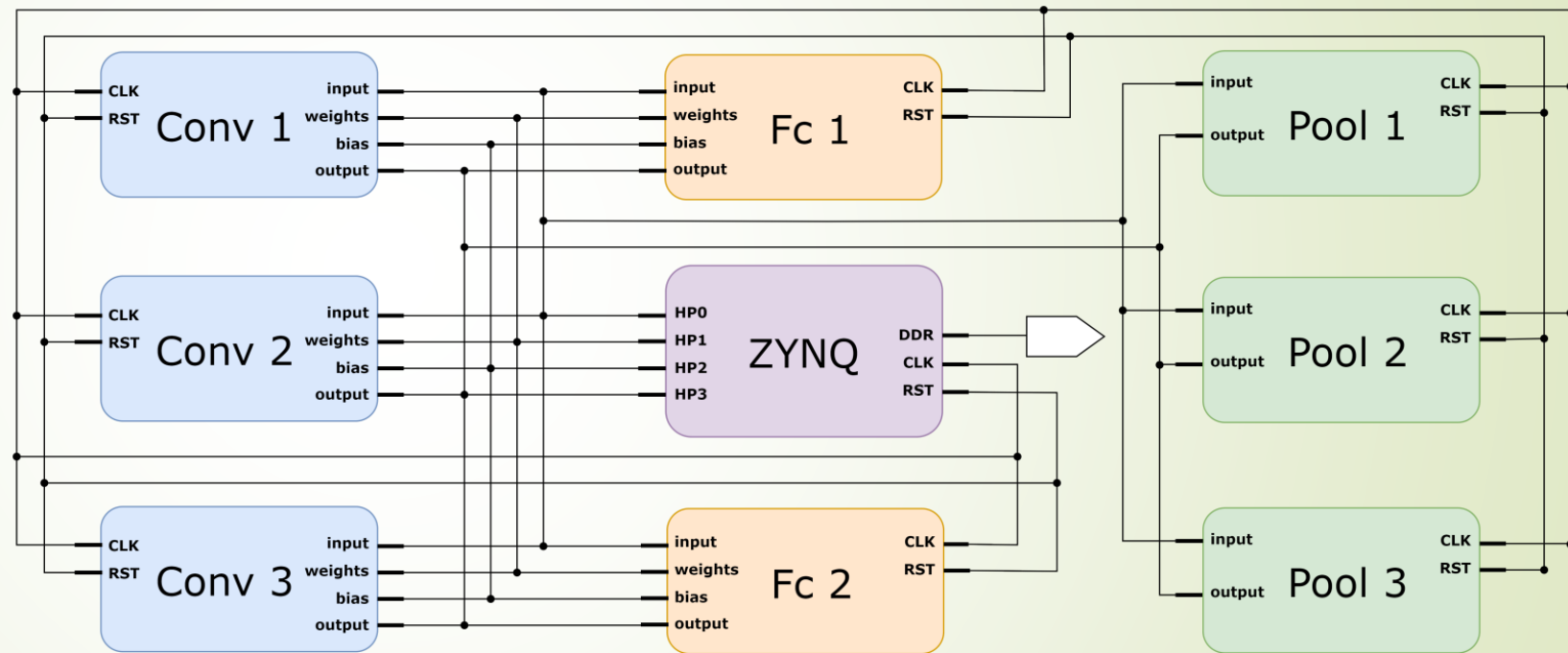
Σχεδιασμός και υλοποίηση επιτάχυνσης σε FPGA—SoC (2/6)

- 22.915 παράμετροι μοντέλου
- Συναρτήσεις απώλειας:
 - Cross-Entropy
 - Focal Loss
 - Reweighted Focal Loss



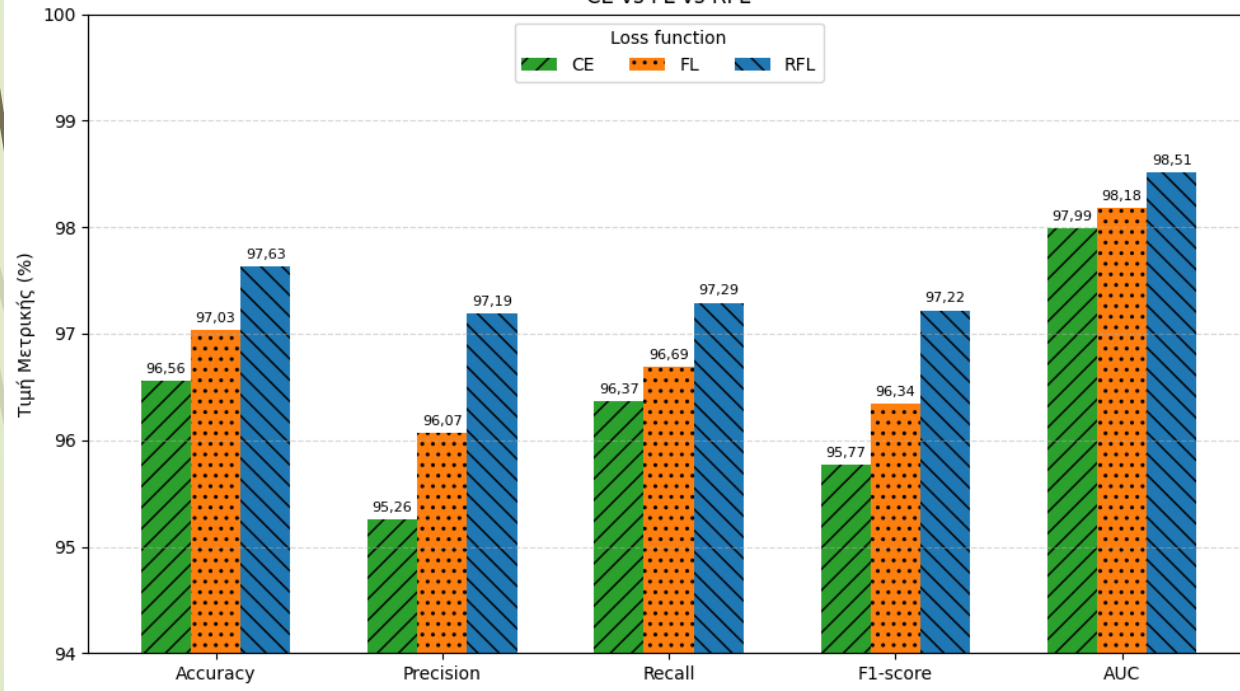
Σχεδιασμός και υλοποίηση επιτάχυνσης σε FPGA—SoC (3/6)

- Αρχιτεκτονική υλικού:
 - Αρθρωτά IP μπλοκ για κάθε επίπεδο
- Τεχνικές βελτιστοποίησης HLS:
 - Loop unrolling
 - Pipelining
 - Array partitioning
 - Loop flattening

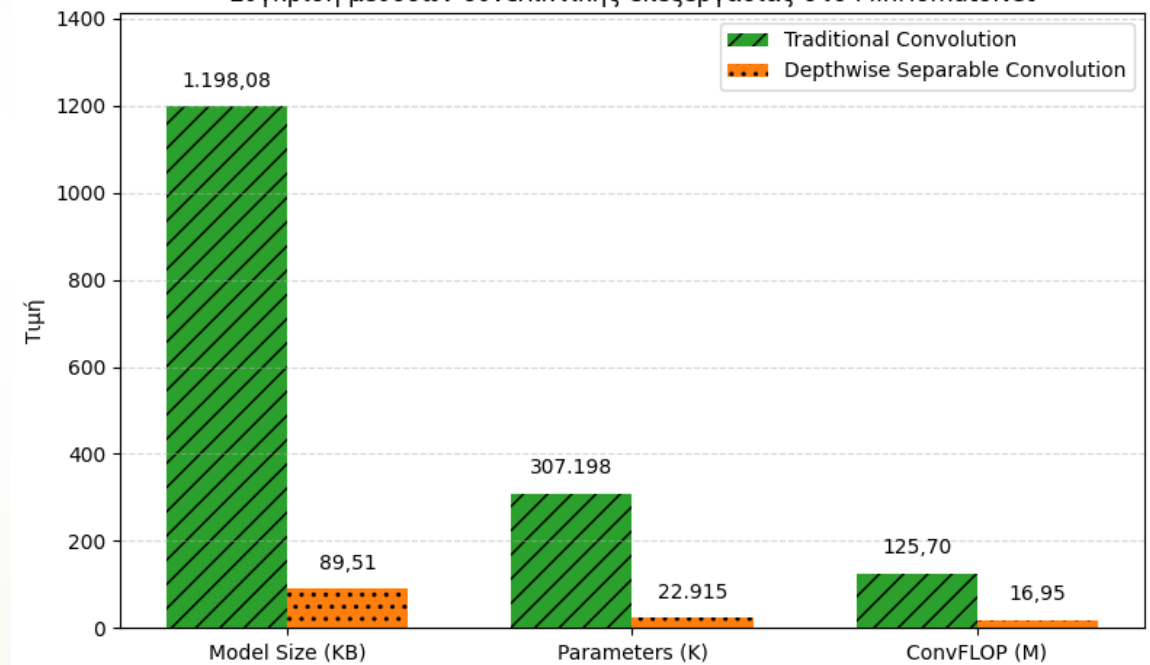


Σχεδιασμός και υλοποίηση επιτάχυνσης σε FPGA—SoC (4/6)

Μετρικές ποιότητας MiniTomatoNet
CE vs FL vs RFL

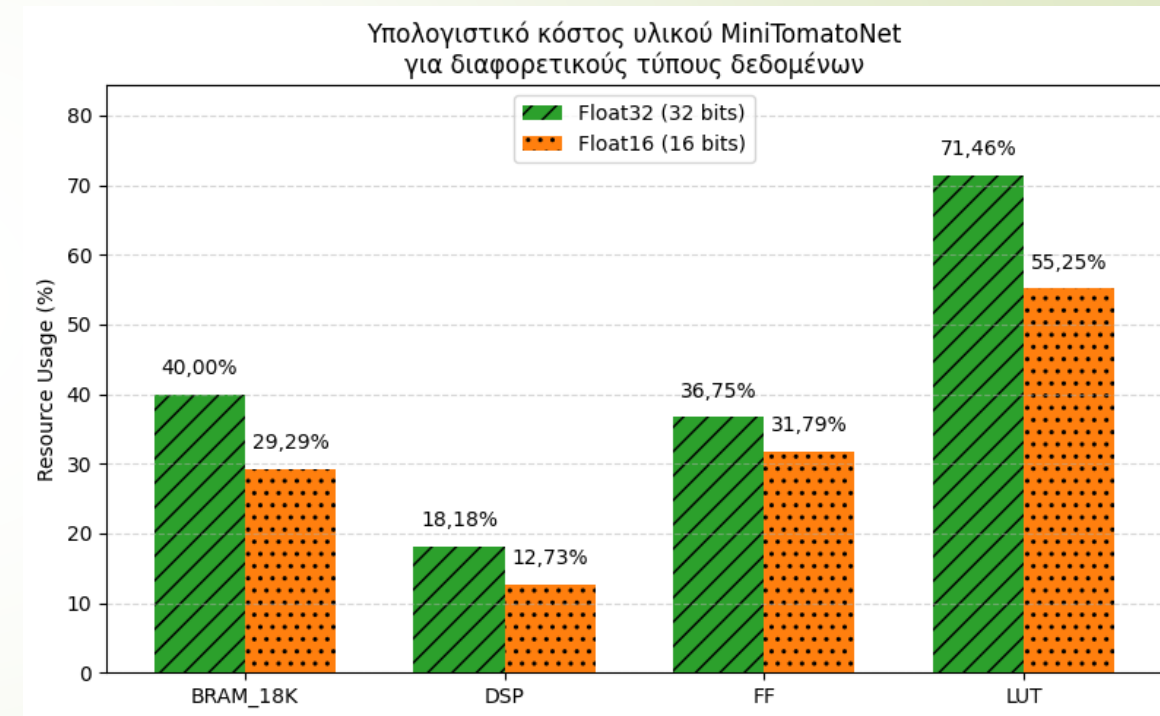


Σύγκριση μεθόδων συνελκτικής επεξεργασίας στο MiniTomatoNet



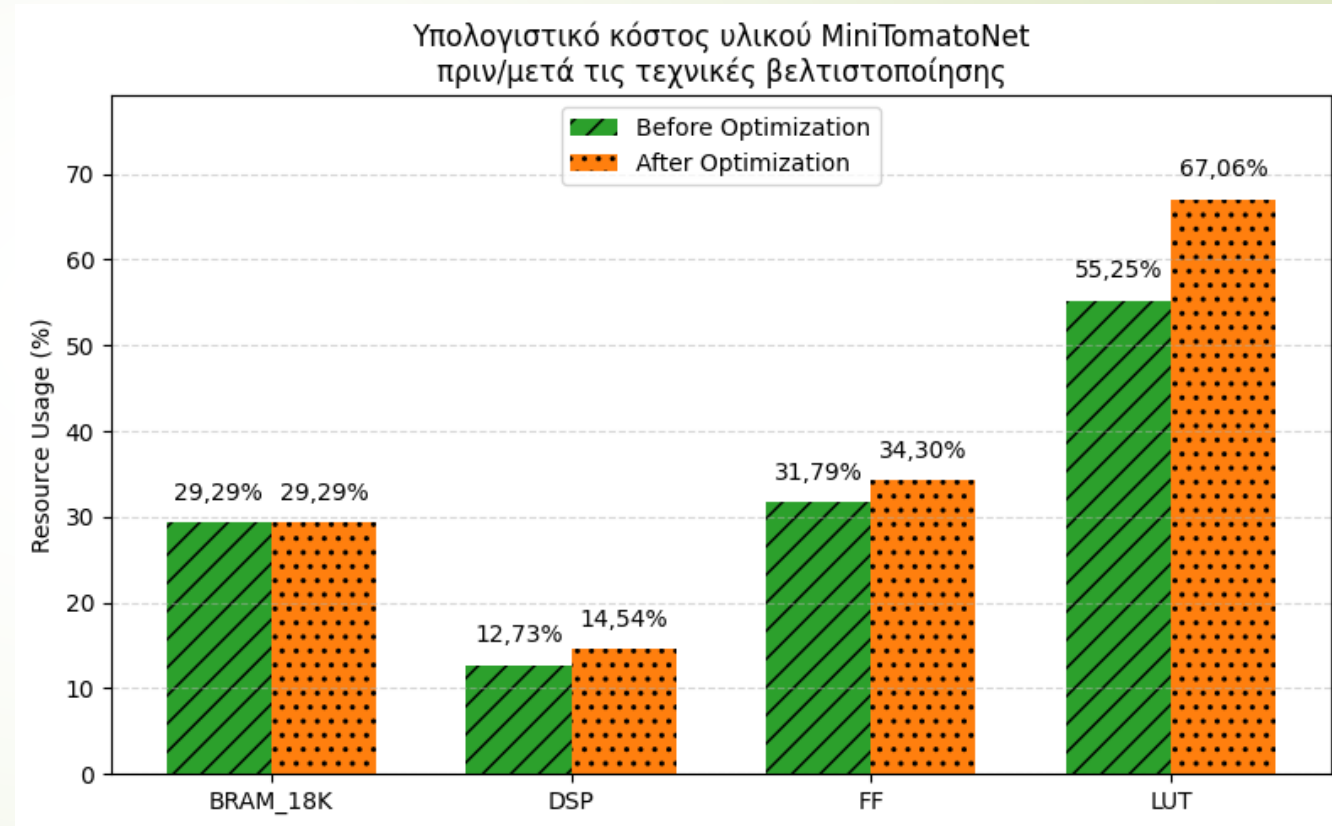
Σχεδιασμός και υλοποίηση επιτάχυνσης σε FPGA—SoC (5/6)

Resource	Float (32 bits)	Half (16 bits)	Available	Optimization (%)
BRAM_18K	112 (40%)	82 (29,29%)	280	26,79%
DSP	40 (18,18%)	28 (12,73%)	220	30%
FF	39.102 (36,75%)	33.824 (31,79%)	106.400	13,49%
LUT	38.012 (71,46%)	29.396 (55,25%)	53.200	22,65%



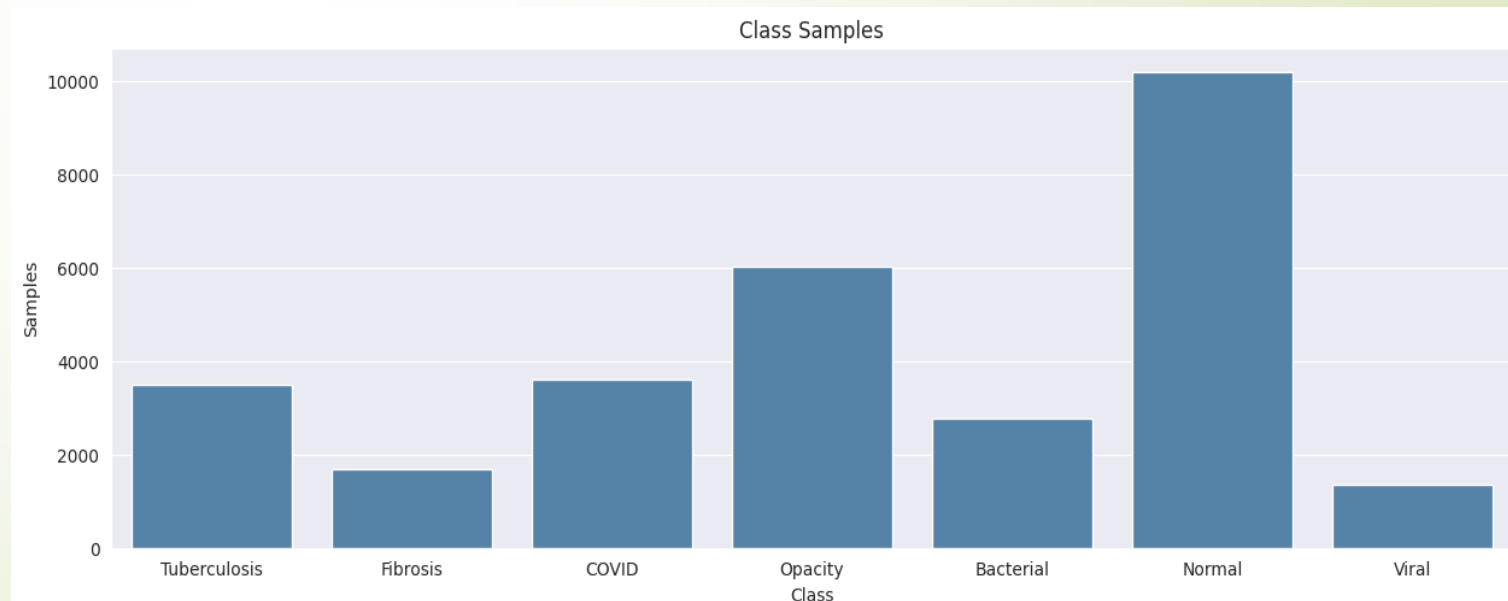
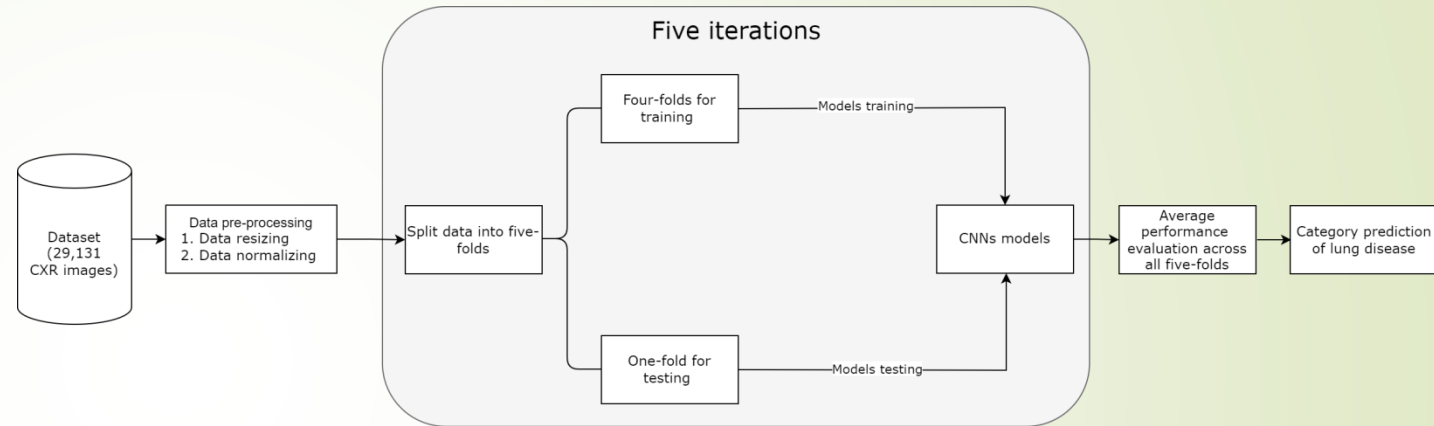
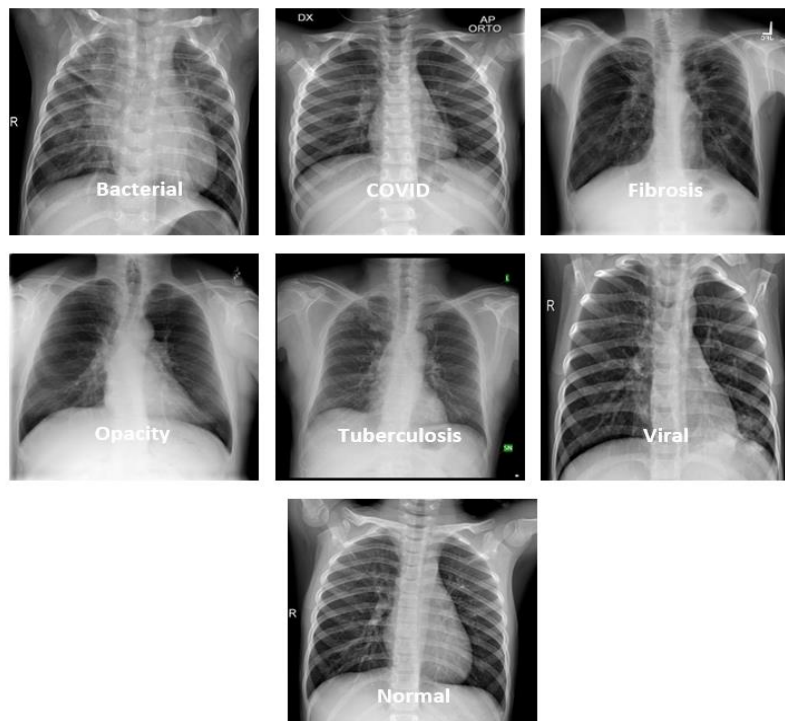
Σχεδιασμός και υλοποίηση επιτάχυνσης σε FPGA—SoC (6/6)

Resource	Before	After	Available
BRAM_18K	82 (29,29%)	82 (29,29%)	280
DSP	28 (12,73%)	32 (14,54%)	220
FF	33.824 (31,79%)	36.504 (34,30%)	106.400
LUT	29.396 (55,25%)	35.676 (67,06%)	53.200
Latency (M cycles)	8,42	1,84	—



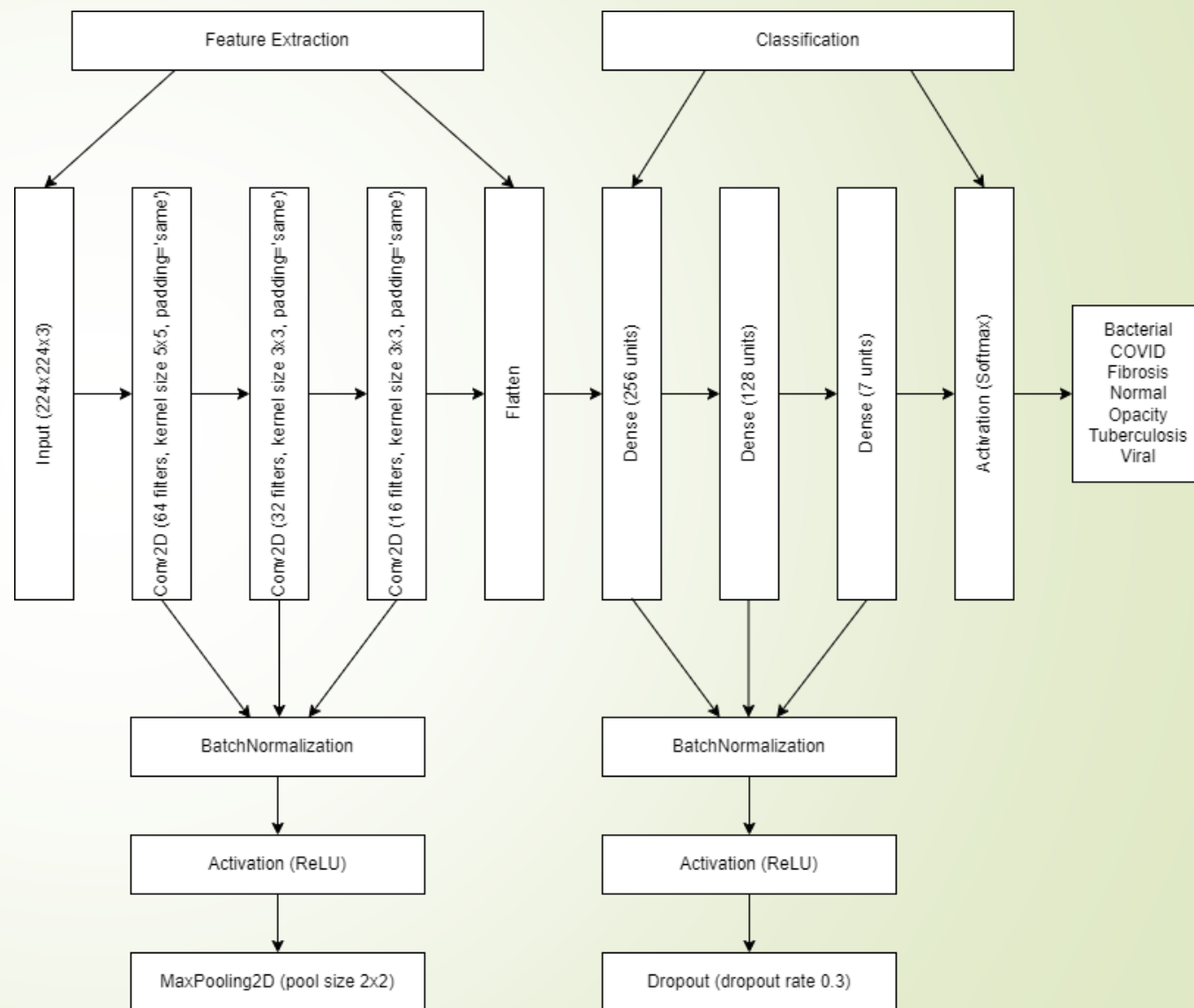
Σχεδιασμός και υλοποίηση επιτάχυνσης σε SoM (1/6)

- Αναγνώριση πνευμονικών παθήσεων από ακτινογραφίες θώρακα
- 29.130 εικόνες
- 7 κατηγορίες
- Ετερογενή πλακέτα Jetson AGX Xavier



Σχεδιασμός και υλοποίηση επιτάχυνσης σε SoM (2/6)

- 3.275.255 παράμετροι μοντέλου
- Πενταπλή διασταυρούμενη επικύρωση
- Συναρτήσεις απώλειας:
 - Cross-Entropy
 - Focal Loss
- Αξιολογήθηκαν έξι προεκπαιδευμένα CNNs:
 - ResNet50
 - NASNetMobile
 - Xception
 - MobileNetV2
 - DenseNet121
 - ViT—B/16

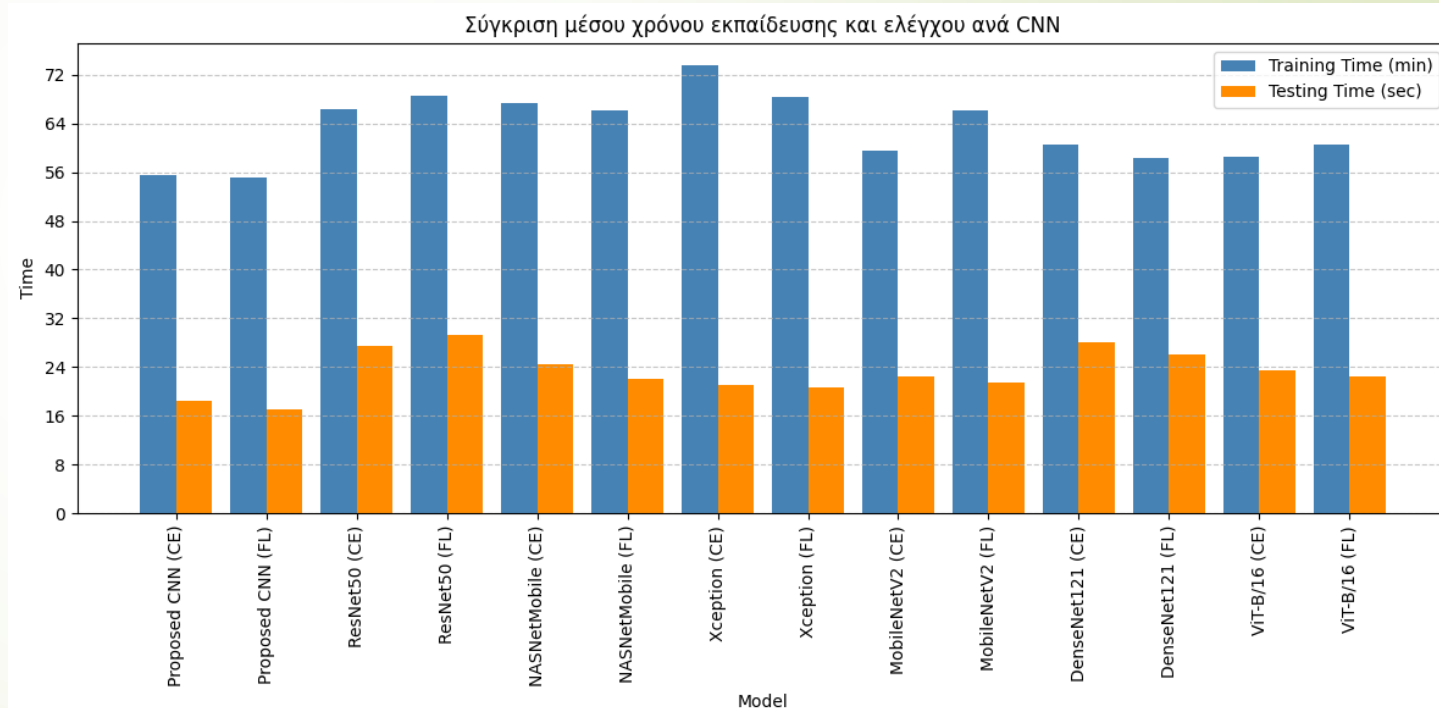


Σχεδιασμός και υλοποίηση επιτάχυνσης σε SoM (3/6)

Model	Total Params	Trainable Params	Non—Trainable Params	Memory (MB)	Giga flop
Proposed lightweight CNN	3.275.255	3.274.263	992	12,49	3,745
ResNet50	49.313.415	25.724.935	23.588.480	98,13	8,043
NASNetMobile	17.551.771	13.281.287	4.270.484	50,66	6,604
Xception	46.587.183	25.724.935	20.862.248	98,13	8,493
MobileNetV2	18.349.895	16.091.143	2.258.752	61,38	5,679
DenseNet121	19.918.151	12.879.879	7.038.272	49,13	4,689
ViT—B/16	90.032.647	4.233.223	85.799.424	16,15	5,853

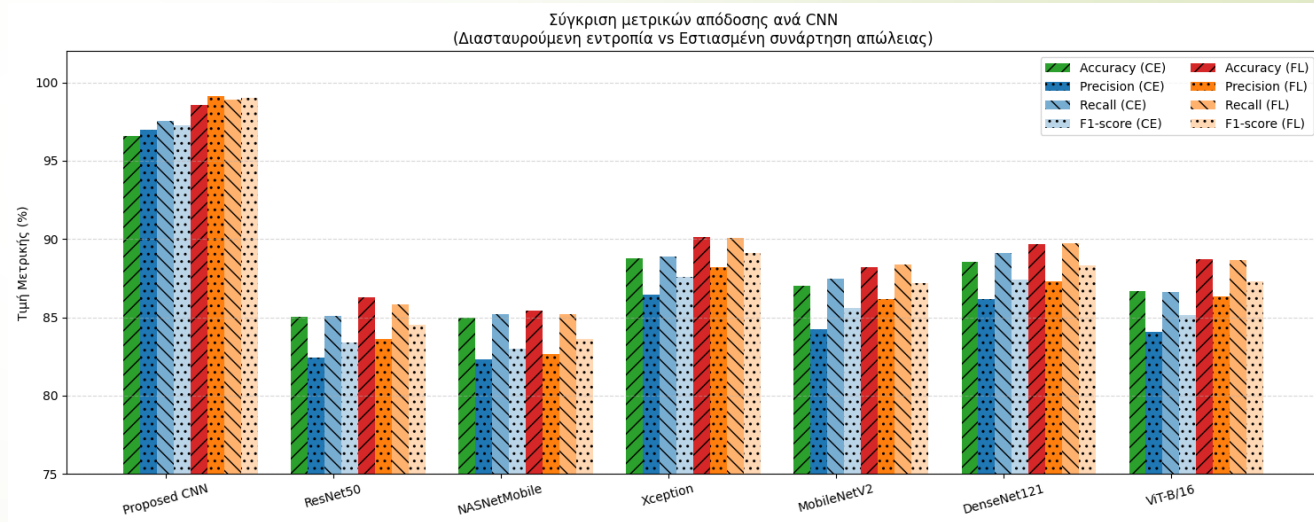
Σχεδιασμός και υλοποίηση επιτάχυνσης σε SoM (4/6)

Model	Average training time for 30 epoch (min)	Average total testing time (sec)
Proposed lightweight CNN (CE)	55,56	18,42
Proposed lightweight CNN (FL)	55,15	17,14
ResNet50 (CE)	66,34	27,48
ResNet50 (FL)	68,57	29,36
NASNetMobile (CE)	67,27	24,38
NASNetMobile (FL)	66,08	22,12
Xception (CE)	73,52	21,08
Xception (FL)	68,34	20,59
MobileNetV2 (CE)	59,48	22,53
MobileNetV2 (FL)	66,24	21,48
DenseNet121 (CE)	60,54	28,04
DenseNet121 (FL)	58,37	26,14
ViT—B/16 (CE)	58,54	23,43
ViT—B/16 (FL)	60,47	22,52



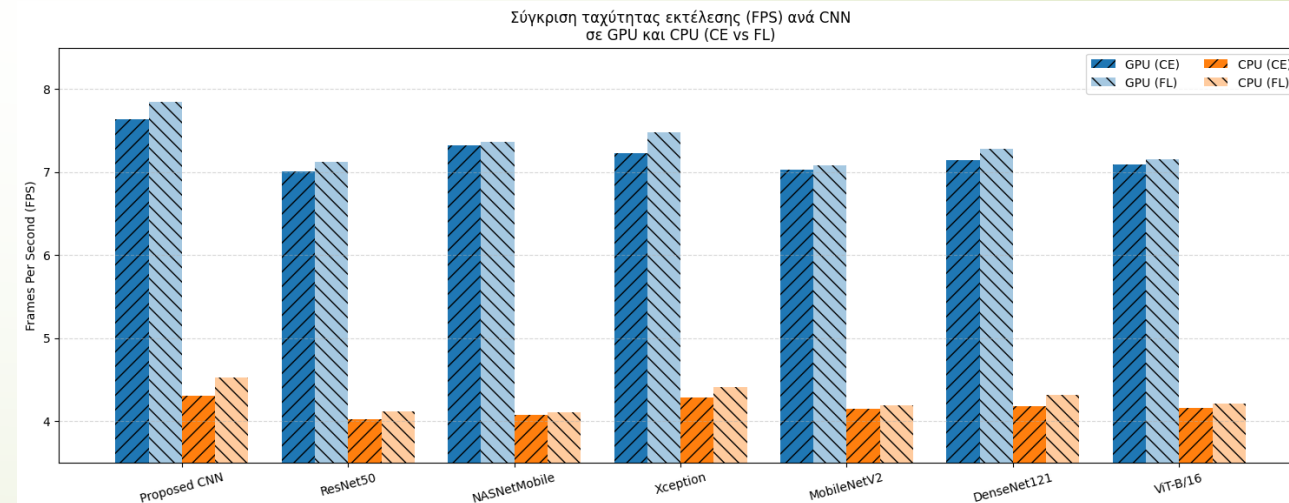
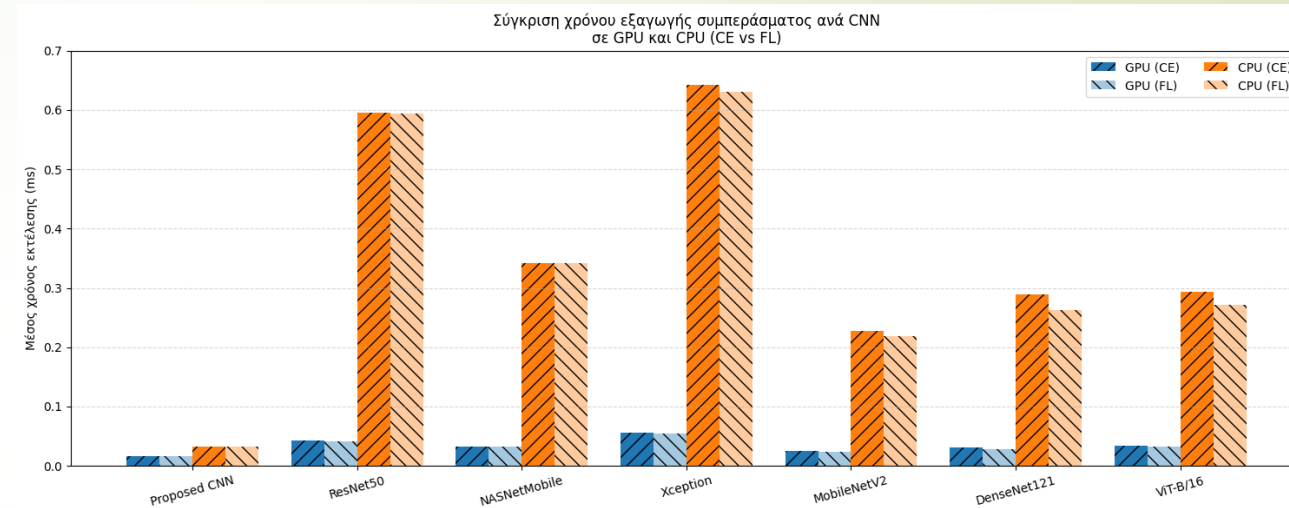
Σχεδιασμός και υλοποίηση επιτάχυνσης σε SoM (5/6)

Model	Average accuracy (%)	Average precision (%)	Average recall (%)	Average F1—score (%)
Proposed lightweight CNN (CE)	96,57	96,97	97,53	97,23
Proposed lightweight CNN (FL)	98,56	99,10	98,91	99,01
ResNet50 (CE)	85,05	82,44	85,11	83,40
ResNet50 (FL)	86,25	83,64	85,82	84,51
NASNetMobile (CE)	84,98	82,34	85,22	83,01
NASNetMobile (FL)	85,43	82,67	85,20	83,63
Xception (CE)	88,79	86,47	88,89	87,58
Xception (FL)	90,11	88,21	90,08	89,10
MobileNetV2 (CE)	87,01	84,25	87,44	85,60
MobileNetV2 (FL)	88,19	86,18	88,37	87,18
DenseNet121 (CE)	88,54	86,18	89,08	87,41
DenseNet121 (FL)	89,69	87,29	89,74	88,34
ViT—B/16 (CE)	86,65	84,05	86,61	85,13
ViT—B/16 (FL)	88,69	86,31	88,66	87,32



Σχεδιασμός και υλοποίηση επιτάχυνσης σε SoM (6/6)

Model	Average inference time on GPU (ms)	FPS on GPU	Average inference time on CPU (ms)	FPS on CPU
Proposed lightweight CNN (CE)	0,0169	7,64	0,0328	4,31
Proposed lightweight CNN (FL)	0,0165	7,85	0,0322	4,53
ResNet50 (CE)	0,0424	7,01	0,5949	4,03
ResNet50 (FL)	0,0414	7,12	0,5935	4,12
NASNetMobile (CE)	0,0327	7,32	0,3424	4,08
NASNetMobile (FL)	0,0321	7,37	0,3421	4,11
Xception (CE)	0,0564	7,23	0,6424	4,29
Xception (FL)	0,0542	7,48	0,6302	4,41
MobileNetV2 (CE)	0,0249	7,03	0,2278	4,15
MobileNetV2 (FL)	0,0236	7,08	0,2184	4,19
DenseNet121 (CE)	0,0306	7,15	0,2890	4,18
DenseNet121 (FL)	0,0282	7,28	0,2624	4,32
ViT-B/16 (CE)	0,0342	7,09	0,2932	4,16
ViT-B/16 (FL)	0,0326	7,16	0,2708	4,21



Συνεισφορές και συμπεράσματα

- Μελετήθηκε σε βάθος η επιτάχυνση & η υλοποίηση εφαρμογών CNN σε HCS
- Αναπτύχθηκε ολοκληρωμένη μεθοδολογία με τρεις πυλώνες:
 - Μετρικές σχεδίασης
 - Μετρικές ποιότητας
 - Μετρικές υπολογιστικού αποτυπώματος
- Πολυδιάστατο πλαίσιο αξιολόγησης που συνδέει τις ανάγκες της εφαρμογής με τους περιορισμούς του συστήματος
- Αποδείχθηκε η αποτελεσματική επιτάχυνση CNNs σε FPGA-SoC και SoM :
 - FPGA-SoC: Εξαιρετική επιτάχυνση συμπερασμού, χαμηλή ισχύς, ιδανικό για αυστηρούς περιορισμούς ενέργειας → πολυπλοκότητα ανάπτυξης, περιορισμένοι πόροι
 - SoM: Υψηλή απόδοση & ώριμο οικοσύστημα λογισμικού, γρήγορη ανάπτυξη, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας → υψηλότερη κατανάλωση σε σχέση με FPGA

Μελλοντικοί στόχοι

- Διερεύνηση αυτοματοποιημένης προσέγγισης εξερεύνησης χώρου σχεδίασης
- Διερεύνηση αρχιτεκτονικών μικτής ακρίβειας
- Διεύρυνση ενεργειακά αποδοτικών προσεγγίσεων εκπαίδευσης και εξαγωγής αποτελεσμάτων
- Διεύρυνση σε πολυτροπικές τεχνικές DL

Δημοσιεύσεις - Περιοδικά

- [Π1] **Sanida, T.**, & Dasygenis, M. (2024). *MiniTomatoNet: A lightweight CNN for tomato leaf disease recognition on heterogeneous FPGA-SoC*. The Journal of Supercomputing, 80(15), 21837–21866. (Scimago Q2)
- [Π2] **Sanida, T.**, & Dasygenis, M. (2024). *A novel lightweight CNN for chest X-ray-based lung disease identification on heterogeneous embedded system*. Applied Intelligence, 54(6), 4756–4780. (Scimago Q2)
- [Π3] **Sanida, T.**, Sanida, M. V., Sideris, A., & Dasygenis, M. (2024). *Optimizing Lung Condition Categorization through a Deep Learning Approach to Chest X-ray Image Analysis*. BioMedInformatics, 4(3), 2002–2021. (Scimago Q2)
- [Π4] **Sanida, T.**, Sanida, M. V., Sideris, A., & Dasygenis, M. (2024). *Enhancing Pulmonary Diagnosis in Chest X-rays through Generative AI Techniques*. J, 7(3), 302–318.
- [Π5] **Sanida, T.**, Sideris, A., Sanida, M. V., & Dasygenis, M. (2023). *Tomato leaf disease identification via two-stage transfer learning approach*. Smart Agricultural Technology, 5, 100275. (Scimago Q1)
- [Π6] **Sanida, T.**, Tabakis, I. M., Sanida, M. V., Sideris, A., & Dasygenis, M. (2023). *A robust hybrid deep convolutional neural network for COVID-19 disease identification from chest X-ray images*. Information, 14(6), 310. (Scimago Q2)
- [Π7] **Sanida, T.**, Tsiktsiris, D., Sideris, A., & Dasygenis, M. (2022). *A heterogeneous implementation for plant disease identification using deep learning*. Multimedia Tools and Applications, 81(11), 15041–15059. (Scimago Q1)
- [Π8] **Sanida, T.**, Sideris, A., Tsiktsiris, D., & Dasygenis, M. (2022). *Lightweight neural network for COVID-19 detection from chest X-ray images implemented on an embedded system*. Technologies, 10(2), 37.
- [Π9] Sideris, A., **Sanida, T.**, & Dasygenis, M. (2024). *Hardware acceleration design of the SHA-3 for high throughput and low area on FPGA*. Journal of Cryptographic Engineering, 14(2), 193-205. (Scimago Q2)
- [Π10] Sanida, M. V., **Sanida, T.**, Sideris, A., & Dasygenis, M. (2024). *An advanced deep learning framework for multi-class diagnosis from chest X-ray images*. J, 7(1), 48-71.
- [Π11] Sideris, A., **Sanida, T.**, & Dasygenis, M. (2023). *A novel hardware architecture for enhancing the keccak hash function in fpga devices*. Information, 14(9), 475. (Scimago Q2)
- [Π12] Sanida, M. V., **Sanida, T.**, Sideris, A., & Dasygenis, M. (2023). *An efficient hybrid CNN classification model for tomato crop disease*. Technologies, 11(1), 10. (Scimago Q1)
- [Π13] Sideris, A., **Sanida, T.**, Tsiktsiris, D., & Dasygenis, M. (2022). *Acceleration of Image Processing with SHA-3 (Keccak) Algorithm using FPGA*. J. Eng. Res. Sci, 1, 20-28.
- [Π14] Sideris, A., **Sanida, T.**, & Dasygenis, M. (2020). *High throughput implementation of the keccak hash function using the nios-ii processor*. Technologies, 8(1), 15.

Δημοσιεύσεις - Συνέδρια

- [Σ1] **Sanida, T.**, Sideris, A., Sanida, M. V., Dossis, M., & Dasygenis, M. (2024, September). Accelerating CNNs for Pneumonia Disease Diagnosis via Heterogeneous FPGA Systems. In 2024 9th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM) (pp. 159-162). IEEE.
- [Σ2] **Sanida, T.**, Sideris, A., Sanida, M. V., Dossis, M., & Dasygenis, M. (2023, November). An Efficiency CNN Solution for Olive Disease Management Through FPGA. In 2023 8th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM) (pp. 1-4). IEEE.
- [Σ3] **Sanida, T.**, Sanida, M. V., Sideris, A., Dossis, M., & Dasygenis, M. (2023, November). Efficient categorization of pneumonia diagnosis using low-power embedded devices. In 2023 8th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM) (pp. 1-4). IEEE.
- [Σ4] **Sanida, T.**, Sideris, A., Sanida, M. V., Dossis, M., & Dasygenis, M. (2023, November). Acceleration of GANs for Potato Crop Disease Identification via FPGA. In 2023 8th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM) (pp. 1-4). IEEE.
- [Σ5] **Sanida, T.**, Sanida, M. V., Sideris, A., & Dasygenis, M. (2023, June). A lightweight CNN model for tomato crop diseases on heterogeneous embedded system. In 2023 12th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST) (pp. 1-4). IEEE.
- [Σ6] **Sanida, T.**, Sideris, A., Chatzisavvas, A., Dossis, M., & Dasygenis, M. (2022, September). Radiography images with transfer learning on embedded system. In 2022 7th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM) (pp. 1-4). IEEE.
- [Σ7] **Sanida, T.**, Tsiktisiris, D., Sideris, A., & Dasygenis, M. (2021, July). A heterogeneous lightweight network for plant disease classification. In 2021 10th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST) (pp. 1-4). IEEE.
- [Σ8] Sanida, M. V., **Sanida, T.**, Sideris, A., Dossis, M., & Dasygenis, M. (2024, September). Fake News Detection Approach Using Hybrid Deep Learning Framework. In 2024 9th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM) (pp. 81-84). IEEE.
- [Σ9] Chatzisavvas, A., **Sanida, T.**, Dossis, M., & Dasygenis, M. (2024, September). Improving Efficiency in Agricultural UGVs Through Enhanced Pathfinding Techniques. In 2024 9th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM) (pp. 179-182). IEEE.
- [Σ10] Sideris, A., **Sanida, T.**, Sanida, M. V., Dossis, M., & Dasygenis, M. (2023, November). Accelerate processing of image with the keccak-512 algorithm on cryptoprocessor. In 2023 8th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM) (pp. 1-4). IEEE.
- [Σ11] Sideris, A., **Sanida, T.**, Chatzisavvas, A., Dossis, M., & Dasygenis, M. (2022, September). High throughput of image processing with keccak algorithm using microprocessor on fpga. In 2022 7th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM) (pp. 1-4). IEEE.
- [Σ12] Sideris, A., **Sanida, T.**, Tsiktisiris, D., & Dasygenis, M. (2022). Image hashing based on sha-3 implemented on fpga. In *Recent Advances in Manufacturing Modelling and Optimization: Select Proceedings of RAM 2021* (pp. 521-530). Singapore: Springer Nature Singapore.
- [Σ13] Tsiktisiris, D., **Sanida, T.**, Sideris, A., & Dasygenis, M. (2022). Accelerated defective product inspection on the edge using deep learning. In *Recent Advances in Manufacturing Modelling and Optimization: Select Proceedings of RAM 2021* (pp. 185-191). Singapore: Springer Nature Singapore.
- [Σ14] Sideris, A., **Sanida, T.**, & Dasygenis, M. (2020, December). High throughput pipelined implementation of the SHA-3 cryptoprocessor. In *2020 32nd International Conference on Microelectronics (ICM)* (pp. 1-4). IEEE.
- [Σ15] **Sanida, T.**, Sideris, A., & Dasygenis, M. (2020, September). Accelerating the AES algorithm using opencl. In *2020 9th International conference on modern circuits and systems technologies (MOCAST)* (pp. 1-4). IEEE.
- [Σ16] **Sanida, T.**, Sideris, A., & Dasygenis, M. (2020, September). A heterogeneous implementation of the Sobel edge detection filter using OpenCL. In *2020 9th International conference on modern circuits and systems technologies (MOCAST)* (pp. 1-4). IEEE.
- [Σ17] Sideris, A., **Sanida, T.**, & Dasygenis, M. (2019, November). Hardware acceleration of the aes algorithm using nios-ii processor. In *2019 Panhellenic Conference on Electronics & Telecommunications (PACET)* (pp. 1-5). IEEE.
- [Σ18] Sideris, A., **Sanida, T.**, & Dasygenis, M. (2019, May). Hardware acceleration of SHA-256 algorithm using NIOS-II processor. In *2019 8th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST)* (pp. 1-4). IEEE.

Ευχαριστώ για την προσοχή σας

