

# ΘΕΜΑΤΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

<http://www.mfol.ece.ntua.gr>

[www.icbnet.ntua.gr](http://www.icbnet.ntua.gr)

**ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2021**

Για περισσότερες πληροφορίες επικοινωνήστε στα [dkaklam@mail.ntua.gr](mailto:dkaklam@mail.ntua.gr) (Καθ. Δ.-Θ. Κακλαμάνη, Θέματα 1-6), [venieris@cs.ntua.gr](mailto:venieris@cs.ntua.gr) (Καθ. Ι. Στ. Βενιέρης, Θέματα 7-10).

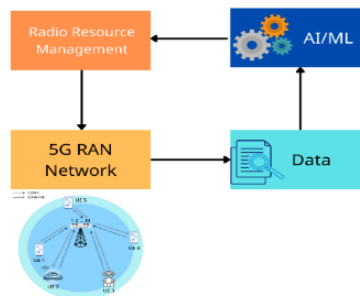
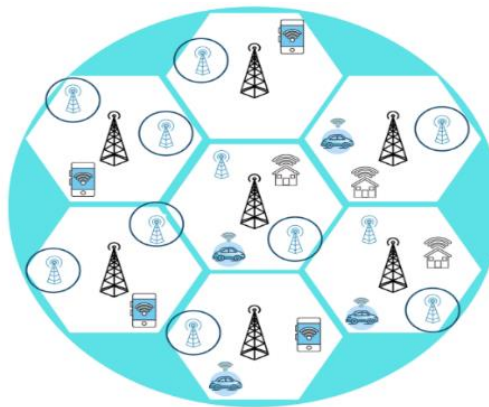
*1. Συγκριτική Μελέτη Αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης (ML) για τη Δυναμική Ανάθεση Ραδιοπόρων σε Κυψελωτά Δίκτυα Επόμενης Γενιάς (5G and Beyond). (1 Άτομο)*

Ο μεγάλος αριθμός χρηστών σε ασύρματα κυψελωτά δίκτυα, καθώς και οι ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις τους για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης με ελάχιστη καθυστέρηση, επιβάλλουν την ανάπτυξη προηγμένων τεχνικών πρόσβασης στο φυσικό μέσο και μετάδοσης δεδομένων. Στην κατεύθυνση αυτή, η προτυποποίηση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας 5<sup>ης</sup> γενιάς (5G) αναμένεται να συμβάλει, τόσο στην ικανοποίηση των παραπάνω απαιτήσεων, όσο και στην αύξηση της φασματικής απόδοσης των κυψελωτών συστημάτων.

Η μηχανική μάθηση (Machine Learning - ML), προτείνεται ως μια αποτελεσματική προσέγγιση σε πολυπαραμετρικά προβλήματα καθώς, αφενός βελτιστοποιεί την εύρεση λύσεων, αφετέρου μειώνει σημαντικά την υπολογιστική πολυπλοκότητα. Όσον αφορά στις ασύρματες επικοινωνίες και δίκτυα επόμενης γενιάς (5G and Beyond), οι ML αλγόριθμοι αναπτύσσονται εξίσου στο δίκτυο κορμού, στους σταθμούς βάσης (Base Stations/ Evolved Nodes B - BS/eNBs) και στο δίκτυο πρόσβασης.

Στόχος της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και αξιοποίηση βασικών ML αλγορίθμων σε υποδομές 5G. Η αποδοτικότερη και δυναμική κατανομή των ραδιοπόρων θα επιτυγχάνεται με βάση την κατηγοριοποίηση των παρεχόμενων υπηρεσιών, ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη και άλλες παραμέτρους (π.χ. την ισχύ κάτω ζεύξης).

Το πρώτο μέρος της διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνει μελέτη, τόσο του θεωρητικού υπόβαθρου των συστημάτων 5G, όσο και των σημαντικότερων χρησιμοποιούμενων αλγορίθμων στην κατανομή και αποδοτική διαχείριση ραδιοπόρων. Το δεύτερο μέρος περιλαμβάνει την εφαρμογή μεθόδων και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης σε μια ήδη υλοποιημένη 5G τοπολογία (ημι-στατικός προσομοιωτής επιπέδου ζεύξης), με αντικείμενο την αποδοτικότερη κατανομή των διαθέσιμων ραδιοπόρων. Εν τέλει, θα παρουσιαστεί μια συγκριτική αποτίμηση των χρησιμοποιούμενων ML μοντέλων, ώστε να επιλεγούν εκείνα με την καλύτερη επίδοση σύμφωνα με τη βελτιστοποίηση παραμέτρων του δικτύου (ρυθμός διέλευσης, αριθμός εξυπηρετούμενων χρηστών κ.α.).



**Απαραίτητες βασικές γνώσεις** Ασυρμάτων Ζεύξεων και Διάδοσης, Matlab ή Python.

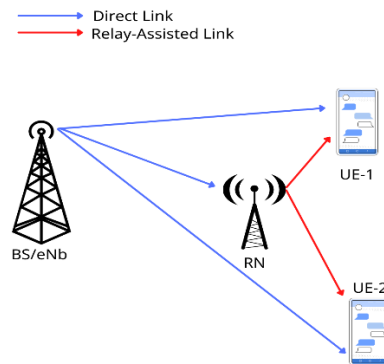
**Επιθυμητές γνώσεις** αρχών και αρχιτεκτονικών Μηχανικής Μάθησης.

## 2. Επεκτασιμότητα Ετερογενών Δικτύων 5ης γενιάς (5G) με την Κατάλληλη Επιλογή Κόμβων Αναμετάδοσης (Relay Selection) και τη Χρήση MIMO Κεραιών στο Σταθμό Βάσης. (1 Άτομο)

Τα τελευταία χρόνια, ο τομέας των ασυρμάτων επικοινωνιών αναδεικνύεται ως ένας από τους πλέον ταχέως αναπτυσσόμενους. Η προτυποποίηση, υλοποίηση και καθιέρωση της 5ης γενιάς (5G) δικτύων αποτελεί πρόσφορο πεδίο έρευνας και πρακτικής εφαρμογής για μια πληθώρα άλλων τεχνολογιών, εφαρμογών και σεναρίων χρήσης. Ο μεγάλος αριθμός χρηστών και η ολοένα αυξανόμενη απαίτησή τους για υψηλούς ρυθμούς και ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service - QoS), επιβάλλουν την ανάπτυξη προηγμένων τεχνικών πρόσβασης στο φυσικό μέσο και μετάδοσης δεδομένων. Συνεπώς, η χρήση πολύ μεγάλου πλήθους κεραιών στο σταθμό βάσης (Massive Multiple Input Multiple Output – MIMO), η προσαρμοστική κωδικοποίηση (Adaptive Modulation Coding - AMC) και τα μοντέρνα σχήματα πολλαπλής πρόσβασης στο μέσο (όπως η μη-ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση (Non-Orthogonal Multiple Access - NOMA) αξιοποιούνται στο έπακρο.

Επιπλέον, η χρήση κόμβων αναμετάδοσης (Relay Nodes - RN) σε διάφορα σημεία της τοπολογίας στοχεύει στην εύκολη επεκτασιμότητα και διεύρυνση του δικτύου, χωρίς την εγκατάσταση επιπλέον σταθμών βάσης (Base Station - BS). Πιο συγκεκριμένα, η χρήση RN, συνδυαζόμενη με τις προαναφερθείσες τεχνολογίες, οδηγεί σε αυξημένη ενεργειακή και φασματική απόδοση, αλλά και στη δημιουργία πλήθους ασυσχέτιστων καναλιών, τα οποία μπορούν να διατεθούν σε διαφορετικές ομάδες χρηστών. Συνεπώς, ο αριθμός των εξυπηρετούμενων χρηστών και η περιοχή κάλυψης αυξάνονται, διατηρώντας τα επίπεδα QoS σταθερά. Στο πλαίσιο αυτό, υπάρχει έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον στην υλοποίηση αλγορίθμων για την κατάλληλη επιλογή RN ή BS σε 5G τοπολογίες για κάθε χρήστη, με στόχο τη βελτιστοποίηση παραμέτρων του δικτύου. Η Μηχανική Μάθηση (Machine Learning - ML) υπόσχεται ακόμα μεγαλύτερα οφέλη, χάρις στην ικανότητά της να επιλύει πολυπαραμετρικά προβλήματα, με ταυτόχρονη μείωση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας.

Στόχος της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η εκτενής μελέτη ενός συστήματος 5ης γενιάς με πλήθος σταθμών βάσης και RNs. Θα μελετηθούν διάφορες τεχνικές ως προς την επιλογή RN ή/και BS από τους χρήστες, συμπεριλαμβανομένων βασικών αλγορίθμων ML. Η διπλωματική εργασία θα περιλαμβάνει, τόσο ανασκόπηση του θεωρητικού υπόβαθρου της χρήσης RN σε ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς (5G και Beyond), όσο και υπολογιστική προσομοίωση πραγματικού σεναρίου 5G συστήματος, με έμφαση στη βελτιστοποίηση της επιλογής RN στην 5G τοπολογία αλλά και την κατανομή των διαθέσιμων ραδιοπόρων.



**Απαραίτητες βασικές γνώσεις** Κεραίων, Ασυρμάτων Ζεύξεων και Διάδοσης, Matlab.  
**Επιθυμητές γνώσεις** αρχών και αρχιτεκτονικών Μηχανικής Μάθησης.

### 3. Πλάνο Διαχείρισης Μη-Ορθογώνιων Πόρων σε Ετερογενή Κατανεμημένα massive MIMO Συστήματα. (1 Άτομο)

Οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης επιτρέπουν σε πολλούς χρήστες να χρησιμοποιούν τους ίδιους πόρους για τη λήψη πληθώρας υπηρεσιών. Οι προγενέστερες τεχνολογικές γενιές κυψελωτών δικτύων (1G-4G) χαρακτηρίζονται από την ορθογωνιότητα μεταξύ των σημάτων, κατανέμοντας τους διαθέσιμους πόρους (frequency, time, code, space) σε διαφορετικούς χρήστες. Η νέα τεχνολογική γενιά των ασύρματων δικτύων 5<sup>ης</sup> γενιάς (5G) αναμένεται να υποστηρίξει έναν ακόμη μεγαλύτερο αριθμό συνδέσεων διαφορετικών απαιτήσεων (ρυθμός μετάδοσης, καθυστέρηση) και γενικά να παρέχει υπηρεσίες σε δίκτυα εκατονταπλάσιας σχεδόν πυκνότητας σε σχέση με την 4G. Για να ικανοποιηθούν αυτού του είδους οι απαιτήσεις, τα 5G κυψελωτά δίκτυα υιοθετούν νέες τεχνολογίες, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί την τελευταία δεκαετία. Ανάμεσα σε αυτές τις τεχνολογίες συγκαταλέγεται και η μη-ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση (Non Orthogonal Multiple Access - NOMA).

Τα ετερογενή δίκτυα (Heterogenous Networks - HetNets) και οι massive (Massive Multiple Input Multiple Output – MIMO) κεραιές είναι οι άλλες δύο τεχνολογίες που δομούν τα αναδυόμενα 5G δίκτυα. Οι στοιχειοκεραίες μεγάλης κλίμακας αποτελούνται από δεκάδες/εκατοντάδες/χιλιάδες κεραιοστοιχεία στο σταθμό βάσης, αυξάνουν επιπλέον το πλήθος των εξυπηρετούμενων χρηστών, ενώ παράλληλα εξομαλύνουν τις ομοδιαυλικές παρεμβολές. Από την άλλη, τα ετερογενή δίκτυα ενσωματώνουν στη δομή τους μεγάλης πυκνότητας μικρές κυψέλες, με σκοπό τη δημιουργία κοντινότερων ζεύξεων «σταθμοί βάσης - χρήστης», καθώς και την αποφόρτιση των μεγαλύτερων κυψελών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της καταναλισκόμενης ισχύος, την αύξηση της χωρητικότητας και τη βελτίωση της χωρικής επαναχρησιμοποίησης της συχνότητας.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, αρχικά θα υπάρξει σχεδιασμός ενός υβριδικού ετερογενούς δικτύου πολλαπλών κυψελών (macro, pico) στοχαστικής γεωμετρίας. Δεδομένου ότι υπάρχει η δυνατότητα επικάλυψης της υψηλής ισχύος macro κυψέλης με χαμηλής ισχύος pico κυψέλες, (α) οι σταθμοί βάσης των macro κυψελών θα είναι εξοπλισμένοι με massive κεραιοστοιχεία, ενώ οι σταθμοί βάσης των pico κυψελών και οι συσκευές των τελικών χρηστών θα είναι εξοπλισμένοι με μία απλή κεραιά, (β) η σύνδεση των πολλαπλών χρηστών με τους pico σταθμούς βάσης θα πραγματοποιείται με μετάδοση NOMA, ενώ με τους macro σταθμούς βάσης στο ίδιο resource block (π.χ., time/frequency/code). Επίσης, στις κυψέλες υψηλής ισχύος θα υιοθετηθούν τεχνικές μετάδοσης και προεπεξεργασίας σήματος, ενώ στις κυψέλες χαμηλής ισχύος θα ενσωματωθούν και τεχνικές δίκαιης

κατανομής πόρων. Η επίδοση των τεχνικών αυτών θα μελετηθεί πολύπλευρα και θα αξιολογηθεί κατόπιν αμοιβαίας σύγκρισης. Η εργασία θα ολοκληρωθεί με την συνολική αποτίμηση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης.

**Απαραίτητες βασικές γνώσεις** Ασυρμάτων Ζεύξεων και Διάδοσης, Matlab.

#### 4. Ανίχνευση και Καταστολή Παρεμβολών σε P2P Ζεύξεις με Τεχνικές Διαμόρφωσης Δέσμης. (1 Άτομο)

Οι ασύρματες ζεύξεις «σημείο-προς-σημείο» [Point-to-Point, P2P] είναι ο ευκολότερος και αποδοτικότερος τρόπος υποστήριξης ασύρματης επικοινωνίας απομακρυσμένων σημείων, καθώς, αφενός αποφεύγεται η χρήση μισθωμένης γραμμής, καλωδίωσης και οπτικής ίνας, και αφετέρου επιτυγχάνεται η σύνδεση απομακρυσμένων σημείων με υψηλότερη ταχύτητα συγκριτικά με το παραδοσιακό WiFi. Τυπικά, σε αυτού του τύπου ασύρματες επικοινωνίες χρησιμοποιούνται κατευθυντικές κεραιές, των οποίων η ζεύξη εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Λόγου χάριν, η καθαρότητα της LoS [Line of Sight], το ύψος εγκατάστασης της κεραιάς, η συχνότητα λειτουργίας της και τα επίπεδα μεταδιδόμενης ισχύος, καθώς και το προφίλ του περιβάλλοντα χώρου μπορούν να καθορίσουν το μήκος της ζεύξης. Καθοριστικό ρόλο, επιπλέον, παίζουν και οι ομοδιαυλικές παρεμβολές, ειδικά σε περιπτώσεις (α) χωρών με χαλαρά ρυθμιστικά μέτρα αδειοδότησης φάσματος, (β) χωρών οι οποίες επιτρέπουν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων την ανάπτυξη μη-αδειοδοτημένων εφαρμογών [π.χ. WiFi6e], (γ) μη-αποδοτικού φασματικού συντονισμού μεταξύ ομοδιαυλικών τηλεπικοινωνιακών παρόχων [π.χ. frequency planning], κ.τ.λ.

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η ανίχνευση ομοδιαυλικών παρεμβολών σε διάφορους τύπους τηλεπικοινωνιακών περιβαλλόντων [π.χ. αστικό, προαστιακό, ύπαιθρο] και η καταστολή τους στο μέτρο του δυνατού. Ο σπουδαστής καλείται να εργαστεί προς τέσσερις κύριες κατευθύνσεις:

(α) Έκτενη βιβλιογραφική έρευνα και εξοικείωση με υφιστάμενες τεχνικές ανίχνευσης και καταστολής ομοδιαυλικών παρεμβολών.

(β) Ανάπτυξη υπολογιστικού εργαλείου για τη διεξαγωγή ημι-στατικών προσομοιώσεων [π.χ. Link-level and System-level simulator].

(γ) Ενσωμάτωση βέλτιστων τεχνικών (γ.1) ανίχνευσης παρεμβολών, (γ.2) διαμόρφωσης δέσμης και (γ.3) προεπεξεργασίας σήματος.

(δ) Αξιολόγηση προτεινόμενων τεχνικών κατόπιν συνολικής αποτίμησης των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από το συγκεκριμένο περιβάλλον προσομοίωσης.

Ως προς το τελευταίο, προτείνεται ο σπουδαστής να εστιάσει, όχι μόνο στην υπολογιστική πολυπλοκότητα και την αποδοτικότητα των τεχνικών [ποσοστιαία ανίχνευση παρεμβολών, ποιότητα ζεύξης, κ.τ.λ.], αλλά και στον αντίκτυπο που θα έχει στη σχεδίαση και κατασκευή του σχετικού HW [hardware].

**Απαραίτητες βασικές γνώσεις** Κεραιών, Ασυρμάτων Επικοινωνιών. Ζεύξεων και Διάδοσης, Matlab.

#### 5. Σχεδίαση Φορητής Κεραιάς Φιλικής προς τον Τελικό Χρήστη για mmWaves Εφαρμογές. (1 Άτομο)

Οι κεραιές πολλαπλών κεραιοστοιχείων (Massive Multiple Input Multiple Output – MIMO) αποτελούν μία από τις βασικές τεχνολογίες στις χιλιοστομετρικές συχνότητες [mmWaves]. Οι ενσωμάτωση πολλών κεραιοστοιχείων τόσο στο σταθμό βάσης (τάξεως μερικών εκατοντάδων), όσο και στο κινητό τερματικό (τάξεως δεκάδας), αφενός προσδίδει στο δίκτυο νέες δυνατότητες και βελτιώνει υφιστάμενες, αφετέρου προτάσσει και αρκετές προκλήσεις. Για παράδειγμα, η ανάπτυξη πολλαπλών κεραιοστοιχείων εκατέρωθεν του ραδιοδιαύλου έχει ως αποτέλεσμα την εξάλειψη του ασυσχέτιστου θορύβου (uncorrelated noise) και των διαλείψεων μικρής κλίμακας (small-scale fading), τη βελτίωση της φασματικής (multiplexing gain, array gain) και ενεργειακής απόδοσης (beamforming on mobile subscribers and/or user equipment), την αύξηση αξιοπιστίας (large diversity gain), την εξομάλυνση παρεμβολών (subcarriers orthogonality, extremely narrow beamforming), τη χρήση απλών τεχνικών χρονοδρομολόγησης (simple scheduling schemes), τη μείωση του λανθάνοντα χρόνου (latency), την αύξηση της χωρητικότητας του καναλιού, την απεξάρτηση του πλήθους των εξυπηρετούμενων χρηστών από το μέγεθος της κυψέλης, κ.τ.λ. Από την άλλη, κάποιες από τις σημαντικότερες προκλήσεις που χρήζουν αντιμετώπισης είναι οι προσανατολισμένη παρεμβολή λόγω μη-ορθογωνιότητας των ακολουθιών εκπαίδευσης (pilot contamination), η υψηλή πολυπλοκότητα της επεξεργασίας σήματος (πολλαπλά κεραιοστοιχεία, πολλαπλοί χρήστες/συνδρομητές) σε hardware και σε υπολογιστικό επίπεδο, η ευαισθησία ευθυγράμμισης δέσμης, καθώς και η περαιτέρω διερεύνηση και χρήση Frequency-Division Duplexing (FDD) αλγόριθμων διόρθωσης για την επίτευξη αμοιβαιότητας καναλιού (channel reciprocity). Σημειώνεται, επίσης, ότι εξίσου σημαντική είναι και η ανάγκη εξομάλυνσης της αμοιβαίας σύζευξης των κεραιοστοιχείων, καθώς και της έκθεσης του ανθρώπου στις Η/Μ ακτινοβολίες αυτών των κεραιών.

Λαμβάνοντας υπόψη το τελευταίο, η διπλωματική αυτή εργασία βασίζεται σε δύο πυλώνες. Αρχικά, στη μελέτη, επίτευξη και βελτίωση της απομόνωσης των κεραιοστοιχείων στο τερματικό του χρήστη/συνδρομητή, όπου το φαινόμενο της αμοιβαίας σύζευξης των στοιχείων καθίσταται εντονότερο. Ο περιορισμός διαθέσιμου χώρου και το πολύ χαμηλό προφίλ των σύγχρονων κινητών συσκευών δεν αφήνει περιθώρια να αναπτυχθούν κεραιοστοιχεία μεγάλης κλίμακας με ικανοποιητική χωρική απομόνωση. Ο δεύτερος πυλώνας της διπλωματικής αφορά στη βελτίωση των επιπέδων έκθεσης του χρήστη σε Η/Μ ακτινοβολίες MIMO της συσκευής.

Επομένως, σε πρώτη φάση ο σπουδαστής καλείται να μοντελοποιήσει κεραία πολλαπλών θυρών σε mmWave συχνότητες και να αξιολογήσει τη συμπεριφορά της. Στη συνέχεια, αφού μελετηθεί η βιβλιογραφία που αφορά σε τεχνικές μείωσης της αμοιβαίας σύζευξης των κεραιοστοιχείων, θα ενσωματωθεί η καταλληλότερη στην αρχιτεκτονική της υφιστάμενης κεραίας και θα εκτιμηθεί η επίδρασή της στη συνολική της επίδοση. Η κεραία, τέλος, θα επικαιροποιηθεί και με δομές, οι οποίες θα έχουν διττό ρόλο: την επιπλέον βελτίωση της απομόνωσης των θυρών και την εξομάλυνση της Η/Μ ακτινοβολίας που εκπέμπεται προς την πλευρά του χρήστη. Η εργασία θα ολοκληρωθεί με την συνολική αποτίμηση των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από συγκεκριμένο περιβάλλον προσομοίωσης.

**Απαραίτητες βασικές γνώσεις** Κεραιών.

**Επιθυμητές γνώσεις** HFSS ή Open EMS (open source)

**6. Σχεδίαση Ισοσταθμισμένου Μικροκυματικού Ενισχυτή Χαμηλού Θορύβου στα 2.4 GHz. (1-2 Άτομα)**

Με τη βοήθεια τρανζίστορ υψηλής κινητικότητας ηλεκτρονίων (HEMT - High Electron Mobility Transistor), ζητείται να σχεδιαστεί ισοσταθμισμένος μικροκυματικός ενισχυτής χαμηλού θορύβου (LNA) σε υπόστρωμα ROGERS - συγκεκριμένου πάχους και ηλεκτρικών ιδιοτήτων - στα 2.4 GHz (ISM) βάσει του πρωτοκόλλου επικοινωνίας IEEE 802.11b.

Η διπλωματική εργασία οργανώνεται σε τρεις πυλώνες: (α) σχεδίαση συζεύκτη Lange, (β) σχεδίαση απλού ενισχυτή χαμηλού θορύβου και ευρείας ζώνης, (γ) ολοκλήρωση συστήματος ισοσταθμισμένου ενισχυτή χαμηλού θορύβου και ευρείας ζώνης.

Στον πρώτο πυλώνα, αφού μελετηθούν τα τετράθυρα δίκτυα ως προς τα χαρακτηριστικά τους και τις προϋποθέσεις που απαιτούνται για να συμπεριφέρονται ως συζεύκτες, θα σχεδιαστεί “3dB” συζεύκτης Lange μικροταινιακής τεχνολογίας με χαμηλές απώλειες και ευρείας ζώνης.

Στη συνέχεια (δεύτερος πυλώνας), θα προσομοιωθεί ενισχυτής χαμηλού θορύβου και πολλαπλών βαθμίδων. Αρχικά, για το τρανζίστορ που χρησιμοποιείται, θα πρέπει με τη βοήθεια του γραμμικού και μη-γραμμικού μοντέλου να βρεθούν τα πρώτα σημεία συμπίεσης. Έπειτα, για την κάθε βαθμίδα του ενισχυτή θα επιλεγεί το κατάλληλο σημείο πόλωσης, καθώς και τα αντίστοιχα κυκλώματα πόλωσης. Η πρώτη βαθμίδα απαιτείται να πολωθεί σε σημείο για χαμηλό θόρυβο, ενώ οι επόμενες να πολωθούν σε σημείο υψηλού κέρδους. Κατόπιν τούτου, ο ενισχυτής θα υλοποιηθεί με ιδανικές και μικροταινιακές γραμμές στα δικτυώματα προσαρμογής (είσοδου, ενδιάμεσο, εξόδου) και για τα δύο μοντέλα τρανζίστορ (γραμμικό, μη-γραμμικό). Ο συντονισμός και η επίδοση του απλού ενισχυτή στη ζητούμενη συχνότητα θα τεκμηριωθεί με τη βοήθεια των παραμέτρων σκέδασης, τους αντίστοιχους χάρτες Smith, τους λόγους στασίμων κυμάτων (VSWR), την ευστάθεια του συστήματος και του δείκτη θορύβου.

Τέλος (τρίτος πυλώνας), με τη βοήθεια των προϊόντων των δύο προηγούμενων πυλώνων, σχεδιάζεται η ισοσταθμισμένη τοπολογία του ενισχυτή χαμηλού θορύβου και ευρείας ζώνης. Η συμπεριφορά του ολοκληρωμένου συστήματος θα επιβεβαιωθεί από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, τα οποία συμπεριλαμβάνουν το ίδιο σετ παραμέτρων με το σετ της απλής τοπολογίας ενίσχυσης.

Η διπλωματική εργασία θα ολοκληρωθεί με τη συνολική αποτίμηση των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από συγκεκριμένο περιβάλλον προσομοίωσης και αφού ολοκληρωθεί επαρκής κύκλος παραμετροποίηση-προσομοίωση-βελτιστοποίηση.

**Απαραίτητες βασικές γνώσεις** Μικροκυμάτων και Τηλεπικοινωνιακής Ηλεκτρονικής.

**Επιθυμητές γνώσεις** Keysight ADS

### *7. Κατανεμημένο Σύστημα Συμπερασματολογίας με Ευέλικτες Διασυνδέσεις Ζευγών Νευρωνικών Δικτύων - Distributed Inference System with Flexible Neural Network Pair Interconnections (1-2 άτομα)*

Η εκτέλεση νευρωνικών δικτύων στο πλαίσιο έξυπνων κινητών εφαρμογών, όπως εφαρμογές κατηγοριοποίησης εικόνας, αυτόματης λεκτικής περιγραφής εικόνας και αναγνώρισης ομιλίας, εμπεριέχει δύο βασικές προσεγγίσεις: (α) τοπικά, χρησιμοποιώντας τους περιορισμένους υπολογιστικούς πόρους της κινητής συσκευής του χρήστη, ή (β) στο υπολογιστικό νέφος ή στην άκρη του δικτύου με την υποβοήθηση ενός ισχυρού εξυπηρετητή. Μία πρόσφατη νέα μέθοδος εκτέλεσης νευρωνικών δικτύων είναι τα υβριδικά/κατανεμημένα συστήματα, τα οποία καθιστούν ικανή την επιλεκτική εκτέλεση είτε στην κινητή συσκευή είτε στον εξυπηρετητή.

Ένα κύριο χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτής της κατηγορίας είναι η δυνατότητα χρήσης διαφορετικών μοντέλων (νευρωνικών δικτύων) ανάλογα με τη συσκευή εκτέλεσης: στον μεν εξυπηρετητή, ένα μοντέλο με αυξημένες απαιτήσεις μνήμης και υπολογισμών, αλλά με υψηλή ορθότητα/ακρίβεια, ενώ στη δε κινητή συσκευή, ένα μικρότερο μοντέλο με μειωμένες υπολογιστικές ανάγκες, αλλά και με χαμηλότερη ακρίβεια. Για την επίτευξη ισορροπίας μεταξύ ακρίβειας και ταχείας απόκρισης, υπάρχουν συστήματα υιοθετούν διαφορετικές προσεγγίσεις διασύνδεσης των δύο

μοντέλων, π.χ. επιλεκτική επανεπεξεργασία ενός δείγματος εισόδου από το μοντέλο του εξυπηρετητή ή επιλεκτική επεξεργασία από ένα μόνο μοντέλο βάσει ενός κριτηρίου. Παρά το ευρύ φάσμα επιλογών διασύνδεσης, τα υπάρχοντα συστήματα αυτής της κατηγορίας επιλέγουν μία διάταξη μεταξύ των δύο μοντέλων, η οποία παραμένει σταθερή για ολόκληρο τον κύκλο ζωής του συστήματος. Αυτή η προσέγγιση έχει ως αποτέλεσμα την περιορισμένη ευελιξία και προσαρμοστική ικανότητα του τελικού συστήματος, ειδικά σε περιπτώσεις όπου οι απαιτήσεις απόδοσης, καθώς και η διαθεσιμότητα υπολογιστικών πόρων, αλλάζουν δυναμικά.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σχεδίαση και ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου καταναμεμένου συστήματος συμπερασματολογίας, το οποίο θα παρέχει ευελιξία ως προς τη διασύνδεση των δύο μοντέλων και τη στρατηγική εκτέλεσης τους. Το τελικό σύστημα θα παρέχει την υψηλή προσαρμοστικότητα και ευελιξία που απαιτείται από τα σύγχρονα και ταχέως εξελισσόμενα συστήματα συμπερασματολογίας.

Η ροή της εργασίας μπορεί να συνοψιστεί στα ακόλουθα βήματα: (α) έρευνα βιβλιογραφίας σχετικά με διαφορετικές διασυνδέσεις ενός ζεύγους νευρωνικών δικτύων, (β) σχεδίαση μιας σπονδυλωτής αρχιτεκτονικής με σαφείς παραμέτρους ρύθμισης, (γ) ανάπτυξη των συνιστώντων μερών λογισμικού του συστήματος και (δ) μέτρηση και αξιολόγηση της απόδοσης του καταναμεμένου συστήματος κατά τη χρήση διαφορετικών διατάξεων και ζευγών νευρωνικών δικτύων.

**Απαραίτητες βασικές γνώσεις:** Python, Android mobile app development (Java), Deep Learning frameworks (TensorFlow).

### **8. Ακολουθιακά Μοντέλα σε Καταναμεμένα Συστήματα Βαθιάς Μάθησης για Εφαρμογές Κινητών Συσκευών - Sequence-to-sequence Models in Distributed Deep Learning Systems for Mobile Applications (1 Άτομο)**

Τα τελευταία χρόνια, η ταχεία ανάπτυξη των κινητών συσκευών σε συνδυασμό με την εξαιρετική επίδοση των βαθιών νευρωνικών δικτύων στην επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων (κατηγοριοποίηση εικόνας, εντοπισμός αντικειμένων, αναγνώριση φωνής, μοντελοποίηση κειμένου) έχουν δημιουργήσει την ανάγκη για ευφυείς εφαρμογές (smart mobile apps) που σέβονται την ιδιωτικότητα του χρήστη και παρέχουν την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας.

Η εκτέλεση νευρωνικών δικτύων στα πλαίσια τέτοιων εφαρμογών εμπεριέχει δύο βασικές προσεγγίσεις: (α) τοπικά, χρησιμοποιώντας τους περιορισμένους υπολογιστικούς πόρους της κινητής συσκευής του χρήστη, ή (β) στο υπολογιστικό νέφος ή στην άκρη του δικτύου με την υποβοήθηση ενός ισχυρού εξυπηρετητή. Αν επιλεγεί η τοπική εκτέλεση, τότε το βασικό μειονέκτημα είναι ότι οι πόροι της κινητής συσκευής μπορεί να μην είναι πάντοτε επαρκείς και επομένως να μην μπορεί να διατηρηθεί η ποιότητα υπηρεσίας. Αντίθετα, με την απομακρυσμένη εκτέλεση, η επιπρόσθετη καθυστέρηση που εισάγεται λόγω της μεταφοράς των δεδομένων μπορεί να είναι απαγορευτική για την εύρυθμη λειτουργία της εφαρμογής. Μια λύση στα παραπάνω ζητήματα είναι η επιλεκτική καταναμεμένη εκτέλεση ανάλογα με τις συνθήκες και τα δυναμικά χαρακτηριστικά τόσο του απομακρυσμένου εξυπηρετητή και της κινητής συσκευής, όσο και της σύνδεσης μεταξύ τους.

Από τη μελέτη που έχει γίνει γύρω από αρχιτεκτονικές Βαθιάς Μάθησης τα τελευταία χρόνια, εξαιρετικά ενδιαφέρουσες είναι οι αρχιτεκτονικές μοντέλων κωδικοποιητή - αποκωδικοποιητή (encoder-decoder models), ή πιο γενικά τα ακολουθιακά μοντέλα (sequence-to-sequence models). Τέτοια μοντέλα χρησιμοποιούνται ευρέως για Μετάφραση (Machine Translation), Λεκτική Περιγραφή Εικόνων ή Βίντεο (Image or Video Captioning), Ανάλυση Συναισθήματος (Sentiment Analysis), κ.α. Για παράδειγμα, στη Λεκτική Περιγραφή Εικόνων συνήθως χρησιμοποιείται ως κωδικοποιητής ένα συνελκτικό νευρωνικό

δίκτυο για την εξαγωγή χαρακτηριστικών από το δείγμα εισόδου και ως αποκωδικοποιητής ένα αναδρομικό νευρωνικό δίκτυο που χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά για την εξαγωγή της λεζάντας.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μοντελοποίηση και ανάπτυξη ενός πλαισίου (framework), το οποίο λαμβάνοντας υπόψη τα δυναμικά χαρακτηριστικά του συστήματος, μετρικές και στόχους επίδοσης θα αποφασίζει για το σημείο εκτέλεσης ενός ακολουθιακού μοντέλου. Οι πιο απλές περιπτώσεις είναι το μοντέλο να εκτελεστεί είτε τοπικά, είτε απομακρυσμένα, αλλά Σε περίπτωση που δεν ενδείκνυται η εκτέλεση ολόκληρου του μοντέλου είτε στη συσκευή, είτε στον εξυπηρετητή, τότε τα δύο σημεία μπορεί ακόμη και να μοιράζονται τους υπολογισμούς.

**Απαραίτητες γνώσεις** προγραμματισμού (π.χ. Python, Java).

**Επιθυμητές γνώσεις:** Android mobile app development, REST API development, Deep Learning frameworks (TensorFlow, TFLite).

*9. Μελέτη και Αξιολόγηση της Απόδοσης Μεθόδων Συμπίεσης Βαθιών Νευρωνικών Δικτύων - Study and Evaluation of the Performance of Deep Neural Network Compression Methods (1 Άτομο)*

Τα τελευταία χρόνια, η ταχεία ανάπτυξη των κινητών συσκευών σε συνδυασμό με την εξαιρετική επίδοση των βαθιών νευρωνικών δικτύων στην επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων (κατηγοριοποίηση εικόνας, εντοπισμός αντικειμένων, αναγνώριση φωνής, μοντελοποίηση κειμένου) έχουν δημιουργήσει την ανάγκη για ευφυείς εφαρμογές (smart mobile apps) που σέβονται την ιδιωτικότητα του χρήστη και παρέχουν την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας.

Συγκριτικά με την εκτέλεση βαθιών νευρωνικών δικτύων σε έναν απομακρυσμένο εξυπηρετητή, η τοπική εκτέλεση στην κινητή συσκευή του χρήστη δεν προσθέτει επιπρόσθετη καθυστέρηση, διασφαλίζει την ιδιωτικότητα των δεδομένων κι επίσης δεν απαιτεί σύνδεση στο διαδίκτυο. Ωστόσο, τα state-of-the-art νευρωνικά δίκτυα που πετυχαίνουν σήμερα υψηλές ακρίβειες στις διάφορες διεργασίες Βαθιάς Μάθησης είναι απαιτητικά από άποψη υπολογιστικής ισχύος και μνήμης, επομένως οι τοπικοί πόροι της κινητής συσκευής μπορεί να μην είναι πάντοτε επαρκείς.

Ένας τρόπος προσπέρασης των παραπάνω ζητημάτων είναι η συμπίεση (ή βελτιστοποίηση) νευρωνικών δικτύων, μέσω της οποίας γίνεται επεξεργασία στις τιμές των παραμέτρων ενός δικτύου με στόχο τη μείωση του μεγέθους του και την πιο γρήγορη εκτέλεσή του. Κάποιες από τις πιο γνωστές μεθόδους συμπίεσης είναι η κβαντοποίηση (quantization), το κλάδεμα (pruning) και η ομαδοποίηση (clustering). Παρόλο που οι προαναφερθείσες μέθοδοι πετυχαίνουν σε πολύ καλό βαθμό τον σκοπό τους, έρχονται με μια μικρή πτώση στην ακρίβεια των μοντέλων.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι (α) η μελέτη των υπαρχουσών μεθόδων συμπίεσης νευρωνικών δικτύων και (β) η εφαρμογή τους σε μια συλλογή από διαφορετικές αρχιτεκτονικές νευρωνικών δικτύων με στόχο τη συγκριτική αξιολόγησή τους ως προς την επιτάχυνση, το αποτύπωμα μνήμης και την πτώση ακρίβειας.

**Απαραίτητες γνώσεις** προγραμματισμού (π.χ. Python, Java).

**Επιθυμητές γνώσεις:** Android mobile app development, Deep Learning frameworks (TensorFlow, TFLite).

*10. Ανάπτυξη Εφαρμογής για τη Διάταξη και Αξιολόγηση Πολλαπλών Βαθιών Νευρωνικών Δικτύων σε Κινητές Συσκευές - Application Development for the Layout and Evaluation of Multiple Deep Neural Networks (multi-DNN) Execution in Mobile Devices (1 Άτομο)*



Τα τελευταία χρόνια, η ταχεία ανάπτυξη των κινητών συσκευών σε συνδυασμό με την εξαιρετική επίδοση των βαθιών νευρωνικών δικτύων (DNNs) στην επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων (κατηγοριοποίηση εικόνας, εντοπισμός αντικειμένων, αναγνώριση φωνής, μοντελοποίηση κειμένου) έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη ευφυών εφαρμογών (smart mobile apps) που σέβονται την ιδιωτικότητα του χρήστη και παρέχουν την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας.

Με τον αυξανόμενο ρυθμό διαθεσιμότητας εφαρμογών που βασίζονται σε Βαθιά Μάθηση, οι κινητές συσκευές καλούνται να εκτελέσουν πολλαπλά νευρωνικά δίκτυα ταυτόχρονα, καταλήγοντας σε ένα multi-DNN σύστημα. Χαρακτηριστικές εκφάνσεις multi-DNN συστημάτων αποτελούν είτε η ταυτόχρονη εκτέλεση ανεξάρτητων εφαρμογών, όπως δύο εφαρμογές αναγνώρισης φωνής και οπτικής αναγνώρισης άγχους, είτε εφαρμογές που χρησιμοποιούν πολλαπλά διασυνδεδεμένα μοντέλα, όπως ένα μοντέλο για τον εντοπισμό προσώπων, ακολουθούμενο από ένα μοντέλο για την ταυτοποίηση του κάθε εντοπισμένου προσώπου.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη ραγδαία αύξηση των υπολογιστικών απαιτήσεων, ενώ καλεί προς μία ενδεχόμενη μελλοντική αναθεώρηση των αλγορίθμων χρονοδρομολόγησης, καθώς και άλλων τεχνικών βελτιστοποίησης, για την πιο αποδοτική χρήση των πόρων της συσκευής κατά την επεξεργασία πολλαπλών νευρωνικών δικτύων. Παρόλα αυτά, καίρια ερωτήματα, που αφορούν τις επιπτώσεις της παράλληλης εκτέλεσης πολλαπλών νευρωνικών μοντέλων πάνω στην απόδοση της εκάστοτε εφαρμογής, παραμένουν αναπάντητα.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας εφαρμογής η οποία θα εκτελεί, μετράει και αξιολογεί την απόδοση multi-DNN συστημάτων σε κινητές συσκευές, και η σχετική ανάλυση και εξαγωγή συμπερασμάτων. Απαραίτητα χαρακτηριστικά της εφαρμογής αποτελούν η μεταφερσιμότητα σε ετερογενείς κινητές συσκευές (π.χ. με διαφορετικούς επεξεργαστές, υπολογιστική ισχύ, χωρητικότητα μνήμης, κ.α.), η κλιμακωσιμότητα ως προς τον αριθμό νευρωνικών δικτύων και ο υπολογισμός πολλαπλών μετρικών απόδοσης (π.χ. χρόνος απόκρισης, διαπερατότητα, αποτύπωμα μνήμης).

**Απαραίτητες βασικές γνώσεις:** Python, Android mobile app development (Java), Deep Learning frameworks (TensorFlow).