

ΘΕΜΑΤΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Εργαστήριο Ευφών Επικοινωνιών και Δικτύων Ευρείας Ζώνης (ICBNet Lab), icbnet.ntua.gr
Εργαστήριο Μικροκυμάτων και Οπτικών Ινών (MFOL), mfol.ece.ntua.gr

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2025

Για περισσότερες πληροφορίες επικοινωνήστε στα:

- venieris@cs.ntua.gr (Καθ. Ι. Στ. Βενιέρης) για τα Θέματα 1-3,
- dkaklam@mail.ntua.gr (Καθ. Δ.-Θ. Κακλαμάνη) για τα Θέματα 4-10

και στα emails των αντίστοιχων ερευνητών.

1. Ενίσχυση της Αποδοτικότητας Κατανεμημένων Αρχιτεκτονικών Αλληλουχίας Βαθιών Νευρωνικών Δικτύων με την Προσαρμογή Πρόωρων Εξόδων

Η εξέλιξη των κινητών και IoT συσκευών τα τελευταία χρόνια έχει επιφέρει μια μεταβατική εποχή στον τομέα του υπολογισμού, με επίκεντρο τις παρυφές του δικτύου (edge). Με το μεγαλύτερο μέρος των δεδομένων να παράγεται στις παρυφές, υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για την τοπική επεξεργασία τους. Αυτό έχει προκαλέσει ενδιαφέρον για εκτέλεση συμπερασματολογίας (inference) μοντέλων βαθιάς μάθησης απευθείας στις συσκευές, ελαχιστοποιώντας την ανάγκη μεταφοράς και επεξεργασίας δεδομένων στο νέφος (cloud). Ωστόσο, αυτό το σενάριο απαιτεί την ανάπτυξη μοντέλων ειδικά προσαρμοσμένων στις υπολογιστικά περιορισμένες συσκευές, τα οποία έχουν μειωμένη ακρίβεια.

Για τη διατήρηση της ακρίβειας και την αποφόρτιση του υπολογιστικού φόρτου από τις συσκευές, έχει αναπτυχθεί η ιδέα της κατανεμημένης συμπερασματολογίας με υποβοήθηση από εξυπηρετητή (server), ο οποίος είναι τοποθετημένος στις παρυφές του δικτύου ώστε να βρίσκεται κοντά στις συσκευές. Μια διαδεδομένη κατανεμημένη αρχιτεκτονική είναι αυτή της αλληλουχίας (cascade) μοντέλων. Η αρχιτεκτονική αυτή βασίζεται στην ιδέα ότι το μεγαλύτερο μέρος των δεδομένων είναι απλά και μπορούν να επεξεργαστούν σωστά από ελαφριά μοντέλα με μειωμένο υπολογιστικό κόστος, ενώ τα πιο δύσκολα δείγματα μπορούν να προωθηθούν ώστε να επεξεργαστούν από ένα πιο περίπλοκο μοντέλο με αυξημένες υπολογιστικές ανάγκες, διατηρώντας έτσι υψηλή, state-of-the-art, ακρίβεια.

Μια άλλη στρατηγική που χρησιμοποιείται κατά κόρον όταν υπάρχει ανάγκη για αποδοτική συμπερασματολογία σε περιβάλλοντα με περιορισμένους υπολογιστικούς πόρους είναι αυτή των πρόωρων εξόδων. Κατά τη διάρκεια της συμπερασματολογίας, τοποθετούνται σε διάφορα σημεία του μοντέλου πρόωρες έξοδοι στις οποίες μπορεί το δείγμα να εξέλθει σταματώντας πρόωρα την επεξεργασία. Αυτή η στρατηγική, ομοίως με την αρχιτεκτονική της αλληλουχίας, βασίζεται στην αρχή ότι ορισμένα δείγματα είναι απλά και δεν χρειάζεται να επεξεργαστούν πλήρως από όλο το δίκτυο.

Στην προτεινόμενη διπλωματική εργασία στοχεύουμε στην επίτευξη της συνένωσης των δύο αυτών τεχνικών μέσα από την ανάπτυξη ενός συστήματος που θα εκμεταλλεύεται πλήρως τα προτερήματά τους με σκοπό την αρμονική και αποδοτική επεξεργασία των δειγμάτων καθώς και την διατήρηση υψηλής ακρίβειας. Η παρούσα διπλωματική εργασία θα ακολουθήσει τις εξής φάσεις: (α) εξερεύνηση και ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής της αλληλουχίας μοντέλων, (β) εξερεύνηση και προσαρμογή της τεχνικής των πρόωρων εξόδων σε βαθιά νευρωνικά δίκτυα, (γ) ανάπτυξη ιδεών για τη συνένωση των δύο μεθόδων, (δ) υλοποίηση της συνένωσης και ανάπτυξη του τελικού συστήματος, (ε) αξιολόγηση του συστήματος.

Λέξεις Κλειδιά: Νευρωνικά Δίκτυα, Βαθιά Μάθηση, Κατανεμημένη Συμπερασματολογία, Συνεργατικές Τεχνικές, Αλληλουχία Μοντέλων, Όραση Υπολογιστών, Συνελκτικά Δίκτυα, Πρόωρες Έξοδοι, Παρυφές Δικτύου.

Επιθυμητές Γνώσεις: Βασικές έννοιες μηχανικής και βαθιάς μάθησης, νευρωνικών δικτύων. Python. Βιβλιοθήκες μηχανικής/βαθιάς μάθησης (TensorFlow, PyTorch).

Υπεύθυνος Ερευνητής: Σωκράτης Νικολαΐδης, sokratisnikolaidis@mail.ntua.gr

2. Ανάπτυξη εφαρμογής για την αξιολόγηση διεργασιών παραγωγικής μάθησης σε κινητές συσκευές.

Τα τελευταία χρόνια, τα μοντέλα παραγωγικής μάθησης (generative learning) έχουν κατακτήσει το προσκήνιο της τεχνητής νοημοσύνης, με εφαρμογές που εκτείνονται από τη δημιουργία κειμένου και εικόνων μέχρι τη σύνθεση ήχου και την ανάπτυξη πολύπλοκων διαδραστικών συστημάτων. Η πρόοδος σε αρχιτεκτονικές όπως οι μετασχηματιστές (transformers) και τα μοντέλα διάχυσης (diffusion models), σε συνδυασμό με την ευρεία χρήση μεγάλων γλωσσικών μοντέλων (LLMs), έχει αναδείξει νέες δυνατότητες αλλά και νέες προκλήσεις, ειδικά όσον αφορά την υλοποίησή τους σε περιβάλλοντα με περιορισμένους πόρους.

Η μεταφορά αυτών των υπολογιστικά εντατικών μοντέλων σε κινητές συσκευές αποτελεί ένα κρίσιμο βήμα για την πραγματική αξιοποίηση των παραγωγικών δυνατοτήτων τους στην καθημερινότητα. Ωστόσο, η υψηλή πολυπλοκότητα των μοντέλων (μεγάλος αριθμός παραμέτρων, απαιτήσεις μνήμης και υπολογιστικής ισχύος) δημιουργεί σημαντικά εμπόδια για την εκτέλεση και αξιολόγησή τους σε τέτοιες πλατφόρμες. Η ανάγκη για αποδοτικές υλοποιήσεις, μέσω τεχνικών όπως η συμπίεση μοντέλων, η κβαντοποίηση, το pruning ή η αξιοποίηση επιταχυντών GPU/NPU σε κινητές συσκευές, είναι πιο επιτακτική από ποτέ.

Η προτεινόμενη διπλωματική εργασία στοχεύει στην ανάπτυξη ενός πλαισίου αξιολόγησης παραγωγικών μοντέλων σε κινητές συσκευές. Το πλαίσιο αυτό θα επιτρέπει την εκτέλεση μοντέλων διαφορετικών κατηγοριών (LLMs, transformers, diffusion) πάνω σε κατάλληλα σύνολα δεδομένων, ενώ παράλληλα θα μετρά και θα συγκρίνει την απόδοσή τους με βάση κρίσιμες μετρικές: ακρίβεια αποτελέσματος, καθυστέρηση (latency), ρυθμό διέλευσης (throughput), κατανάλωση μνήμης και ενέργειας.

Η εργασία θα περιλαμβάνει τα εξής στάδια: (α) βιβλιογραφική μελέτη σε τεχνικές παραγωγικής μάθησης και υπάρχουσες υλοποιήσεις σε κινητές συσκευές, (β) επιλογή και προεπεξεργασία κατάλληλων συνόλων δεδομένων για την αξιολόγηση, (γ) μελέτη μεθόδων αποδοτικής εκτέλεσης (compression, quantization, pruning, hardware acceleration), (δ) ανάπτυξη του πλαισίου αξιολόγησης και υλοποίηση σε κινητές συσκευές, (ε) πειραματική αξιολόγηση σε διαφορετικά σενάρια και εξαγωγή συγκριτικών συμπερασμάτων.

Λέξεις Κλειδιά: *Νευρωνικά Δίκτυα, Βαθιά Μάθηση, Παραγωγική Μάθηση, Παραγωγή Κειμένου, Παραγωγή Εικόνων, Μετασχηματιστές, Μοντέλα Διάχυσης, Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα, Κινητός Υπολογισμός*

Επιθυμητές Γνώσεις: *Βασικές έννοιες μηχανικής και βαθιάς μάθησης, νευρωνικών δικτύων. Python. Βιβλιοθήκες μηχανικής/βαθιάς μάθησης (TensorFlow, PyTorch).*

Υπεύθυνος Ερευνητής: Σωκράτης Νικολαΐδης, sokratisnikolaidis@mail.ntua.gr

3. Ανάπτυξη εφαρμογής κατανεμημένων αρχιτεκτονικών αλληλουχίας για την ευέλικτη εκτέλεση διεργασιών όρασης υπολογιστών στις παρυφές

Η ραγδαία ανάπτυξη εφαρμογών όρασης υπολογιστών σε τομείς όπως η ρομποτική, τα αυτόνομα συστήματα και οι έξυπνες συσκευές έχει δημιουργήσει αυξημένες απαιτήσεις για αποδοτική εκτέλεση νευρωνικών δικτύων σε περιβάλλοντα με περιορισμένους υπολογιστικούς πόρους. Παράλληλα, η εντυπωσιακή πρόοδος των κινητών συσκευών έχει επιφέρει την τάση για μετατόπιση του υπολογιστικού φορτίου από το νέφος (cloud) προς τις παρυφές του δικτύου (edge), στοχεύοντας στη μείωση της καθυστέρησης και στην αύξηση της ιδιωτικότητας.

Μία ιδιαίτερα αποτελεσματική στρατηγική για τέτοιου είδους σενάρια είναι η αρχιτεκτονική αλληλουχίας (cascade), η οποία έχει ήδη μελετηθεί εκτενώς σε προβλήματα ταξινόμησης εικόνων. Στο πλαίσιο αυτό, ένα ελαφρύ μοντέλο εκτελείται τοπικά στη συσκευή και επεξεργάζεται το μεγαλύτερο ποσοστό “εύκολων” δειγμάτων, ενώ τα “δύσκολα” δείγματα προωθούνται σε ένα βαρύτερο μοντέλο που εκτελείται σε έναν εξυπηρετητή, διατηρώντας υψηλή ακρίβεια με μειωμένο υπολογιστικό κόστος.

Ωστόσο, η εφαρμογή της αρχιτεκτονικής αλληλουχίας σε πιο πολύπλοκες διεργασίες όρασης υπολογιστών, όπως image segmentation, object detection ή pose estimation, παραμένει σε μεγάλο βαθμό ανεξερεύνητη. Η υιοθέτηση της συγκεκριμένης στρατηγικής σε τέτοιες διεργασίες παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις, όπως η ανάγκη σχεδιασμού κατάλληλων κριτηρίων εμπιστοσύνης για την επιλογή του σημείου εκτέλεσης, η βελτιστοποίηση της επικοινωνίας μεταξύ συσκευής και εξυπηρετητή, καθώς και η διατήρηση

της ακρίβειας χωρίς σημαντικές απώλειες.

Η προτεινόμενη διπλωματική εργασία στοχεύει στην ανάπτυξη μιας εφαρμογής κατανεμημένων νευρωνικών δικτύων αλληλουχίας για διεργασίες όρασης υπολογιστών στις παρυφές. Η εφαρμογή θα επιτρέπει την εκτέλεση ελαφριών μοντέλων σε κινητές συσκευές και την επικοινωνία με έναν εξυπηρετητή που φιλοξενεί πιο σύνθετα μοντέλα, υποστηρίζοντας διαφορετικά είδη διεργασιών πέραν της ταξινόμησης.

Η διπλωματική εργασία θα περιλαμβάνει τα εξής στάδια: (α) βιβλιογραφική μελέτη σε αρχιτεκτονικές αλληλουχίας και εφαρμογές τους στην όραση υπολογιστών, (β) επιλογή κατάλληλων μοντέλων και συνόλων δεδομένων για segmentation, object detection και pose estimation κ.α., (γ) προσαρμογή των διεργασιών σε αρχιτεκτονική αλληλουχίας (δ) σχεδιασμός και ανάπτυξη της εφαρμογής που θα υλοποιεί την αρχιτεκτονική αλληλουχίας μέσα από την επικοινωνία συσκευής-εξυπηρετητή, (ε) πειραματική αξιολόγηση της εφαρμογής σε πραγματικά σενάρια, με μετρικές όπως η ακρίβεια, η καθυστέρηση και η αποδοτικότητα χρήσης πόρων.

Λέξεις Κλειδιά: Νευρωνικά Δίκτυα, Βαθιά Μάθηση, Κατανεμημένη Συμπερασματολογία, Συνεργατικές Τεχνικές, Αλληλουχία Μοντέλων, Όραση Υπολογιστών, Συνελικτικά Δίκτυα, Παρυφές Δικτύου, Κινητός Υπολογισμός

Επιθυμητές Γνώσεις: Βασικές έννοιες μηχανικής και βαθιάς μάθησης, νευρωνικών δικτύων. Python. Βιβλιοθήκες μηχανικής/βαθιάς μάθησης (TensorFlow, PyTorch).

Υπεύθυνος Ερευνητής: Σωκράτης Νικολαΐδης, sokratisnikolaidis@mail.ntua.gr

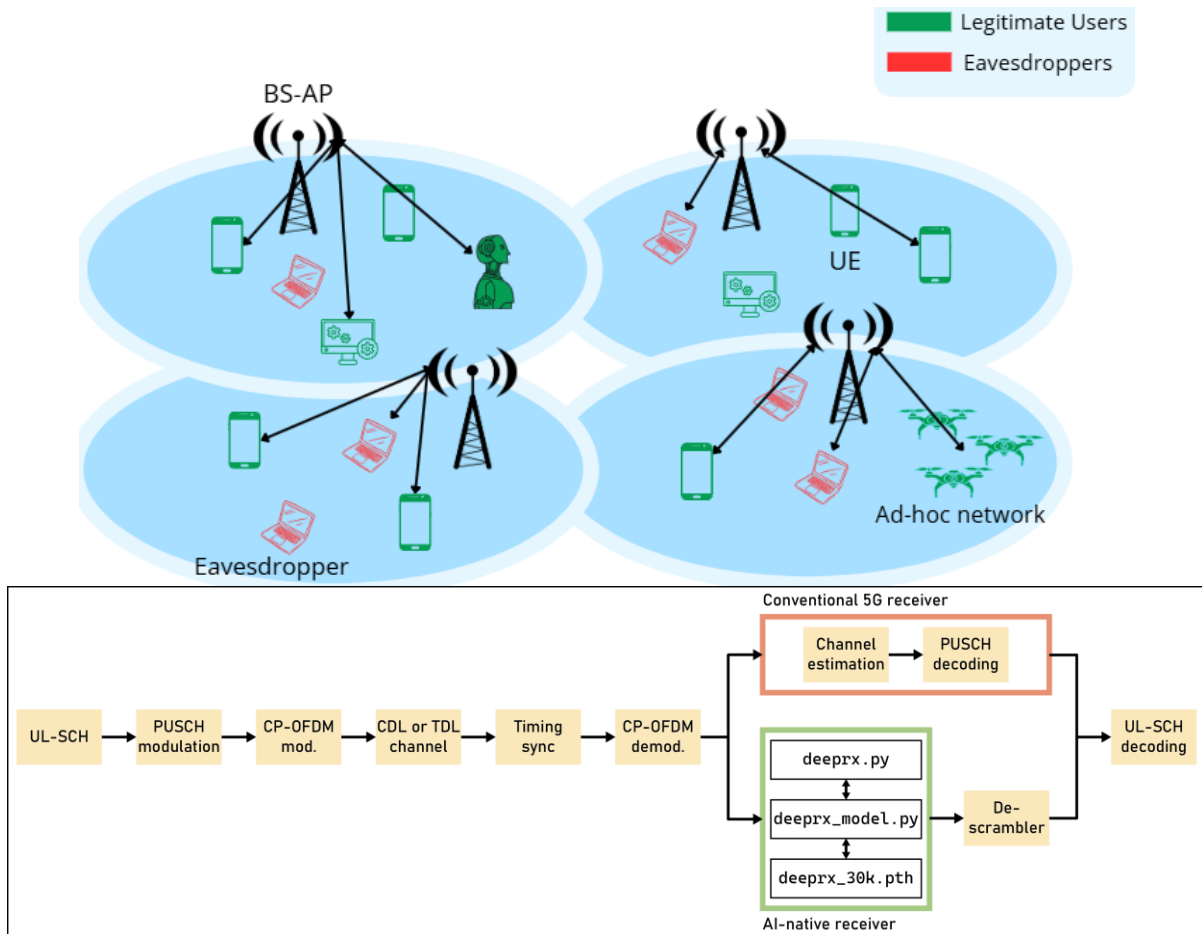
4. Ενίσχυση της Ασφάλειας Φυσικού Επιπέδου (Physical Layer Security) με χρήση AI-Native Δεκτών για Ανίχνευση Ωτακουστών (Eavesdroppers) σε συστήματα έκτης γενιάς (6G)

Η ταχεία μετάβαση σε δίκτυα επόμενης γενιάς (Beyond 5G (B5G) και 6G) συνοδεύεται από νέες προκλήσεις στον σχεδιασμό ευφών δεκτών ικανών να υποστηρίζουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, χαμηλή καθυστέρηση και αυξημένη αξιοπιστία. Στο πλαίσιο αυτό, οι AI-native δέκτες —δέκτες που ενσωματώνουν αλγορίθμους βαθιάς μάθησης (deep learning - DL) απευθείας στη διαδικασία επεξεργασίας σήματος— αναδεικνύονται σε βασικό δομικό στοιχείο των 6G υποδομών. Οι δέκτες αυτοί μπορούν να προσαρμόζονται δυναμικά στις συνθήκες του καναλιού, βελτιώνοντας την απόδοση αποκωδικοποίησης και μειώνοντας το υπολογιστικό κόστος.

Ένα άλλο ζήτημα που αποτελεί μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις στα δίκτυα B5G/6G είναι η ασφάλεια φυσικού επιπέδου (Physical Layer Security – PLS). Η ασύρματη φύση των επικοινωνιών καθιστά τις μεταδόσεις ευάλωτες σε ωτακουστές (eavesdroppers), επιθέσεις υποκλοπής δεδομένων και παραποίηση πακέτων, αυξάνοντας την ανάγκη για προηγμένες τεχνικές ανίχνευσης απειλών και διασφάλισης της εμπιστευτικότητας. Η ενσωμάτωση τεχνικών DL σε AI-native δέκτες δίνει τη δυνατότητα να υλοποιηθούν έξυπνα συστήματα που όχι μόνο βελτιώνουν την απόδοση αποκωδικοποίησης, αλλά και εντοπίζουν δυναμικά την ύπαρξη ωτακουστών στο φυσικό επίπεδο.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και ανάπτυξη αλγορίθμων DL σε υποδομές B5G/6G για την ανάπτυξη προηγμένων τεχνικών λήψης πληροφορίας που υπόκεινται στις αρχές της PLS. Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνει, αρχικά, μελέτη τόσο του θεωρητικού υπόβαθρου του φυσικού επιπέδου των σύγχρονων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, όσο και των αρχών και αλγορίθμων DL. Στο πλαίσιο αυτό, ο φοιτητής θα αξιοποιήσει υπάρχοντα προσομοιωτή, τον οποίο θα εμπλουτίσει ώστε να υποστηρίζει κανάλια ωτακουστών. Στη συνέχεια, θα παραχθούν τα κατάλληλα σύνολα δεδομένων (datasets) από την προσομοίωση. Αυτά θα χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι σε ήδη υλοποιημένους AI-native δέκτες, τους οποίους ο φοιτητής θα κληθεί να επεκτείνει με μοντέλα DL για PLS.

Απώτερος σκοπός είναι η ταυτόχρονη βελτιστοποιημένη αποκωδικοποίηση σημάτων και ανίχνευση eavesdroppers στο φυσικό επίπεδο. Η τελική αξιολόγηση θα γίνει με χρήση μετρικών μηχανικής μάθησης (π.χ. accuracy, F1-score, ROC-AUC) αλλά και μετρικών φυσικού επιπέδου (π.χ. throughput, secrecy capacity, quality of security – QoSec).



Λέξεις Κλειδιά: B5G, 6G, AI-native Δέκτες, Ασφάλεια Φυσικού Επιπέδου (PLS), Βαθιά Μάθηση, Ανίχνευση Ωτακουστών, Αποκωδικοποίηση, Φασματική Αποδοτικότητα (SE).

Απαραίτητες Γνώσεις: Βασικές γνώσεις κινητών επικοινωνιών. Βασικές γνώσεις Python.

Επιθυμητές Γνώσεις: Αρχές και αρχιτεκτονικές Μηχανικής Μάθησης. MATLAB. Python βιβλιοθήκες (Keras/TensorFlow).

Υπεύθυνοι Ερευνητές: Μαρία-Λαμπρινή Μπαρτσιώκα bartsioamarilina@mail.ntua.gr, Δρ. Ιωάννης Μπαρτσιώκας, giannismpartsioakas@mail.ntua.gr

5. Βελτιστοποίηση Εκτίμησης Καναλιού σε OTFS Συστήματα υψηλής κινητικότητας έκτης γενιάς (6G) με τεχνικές Συνεργατικής Μάθησης (Federated Learning – FL)

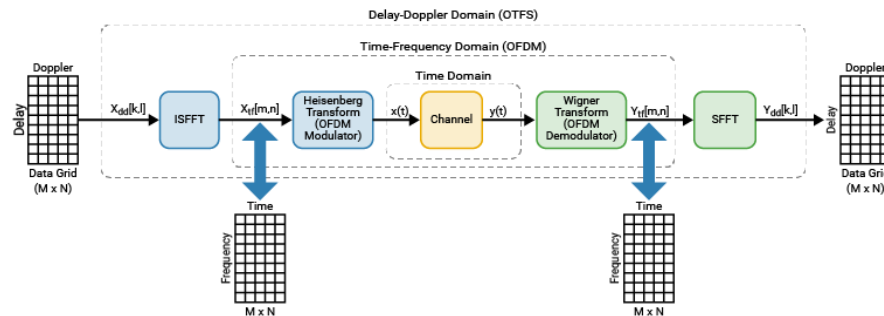
Η Ορθογώνια Πολυπλεξία στο Πεδίο Χρόνου-Συχνότητας (Orthogonal Time Frequency Space) αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη τεχνική διαμόρφωσης για δίκτυα Beyond 5G (B5G) και 6G, καθώς προσφέρει ανθεκτικότητα σε υψηλή κινητικότητα και κανάλια με έντονες διαλείψεις (time-varying channels). Ωστόσο, η εκτίμηση καναλιού (channel estimation) σε τέτοια περιβάλλοντα παραμένει ιδιαίτερα απαιτητική, καθώς οι παραδοσιακές τεχνικές (π.χ. Least Squares, MMSE) παρουσιάζουν μειωμένη ακρίβεια σε σενάρια που χαρακτηρίζονται από υψηλά επίπεδα φαινομένου Doppler.

Η χρήση βαθιάς μάθησης (deep learning - DL) μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την εκτίμηση καναλιού σε OTFS συστήματα, αλλά η ανάγκη για μεγάλα σύνολα δεδομένων (datasets) περιορίζει την εφαρμοσιμότητα σε πραγματικές συνθήκες. Σε αυτό το πλαίσιο, η συνεργατική μάθηση (Federated Learning - FL) προσφέρει λύσεις που επιτρέπουν σε διαφορετικούς χρήστες/τερματικές συσκευές (User Equipments - UEs) να εκπαιδεύουν από κοινού μοντέλα DL, χωρίς να απαιτείται συγκέντρωση των τοπικών τους δεδομένων σε έναν κεντρικό διακομιστή (server). Έτσι, συνδυάζεται η ισχύς της από κοινού εκπαίδευσης με την προστασία της ιδιωτικότητας και τη μείωση της ανάγκης για συγκεντρωτική συλλογή δεδομένων.

Στόχος της διπλωματικής είναι η ανάπτυξη και μελέτη μεθόδων Συνεργατικής Βαθιάς Μάθησης (Federated Deep Learning) για εκτίμηση καναλιού (channel estimation) σε 6G συστήματα που βασίζονται στην OTFS διαμόρφωση. Ο φοιτητής θα χρησιμοποιήσει υπάρχοντα προσομοιωτή υλοποιημένο σε MATLAB για OTFS, τον οποίο θα επεκτείνει ώστε να παράγει σύνολα δεδομένων (datasets) για διαφορετικά σενάρια καταστάσεων καναλιών (υψηλή κινητικότητα, διαφορετικά Doppler spreads, delay profiles). Στη συνέχεια, θα υλοποιηθούν DL μοντέλα για channel estimation σε Python, τα οποία και θα ενσωματωθούν σε FL σενάρια (π.χ. με τοπικούς clients που μιμούνται UEs). Η τελική αξιολόγηση θα περιλαμβάνει τη συγκριτική αξιολόγηση:

- παραδοσιακών μεθόδων εκτίμησης καναλιού,
- μεθόδων κεντριοποιημένης (centralized) DL,
- μεθόδων federated DL.

Τέλος, θα χρησιμοποιηθούν τόσο μετρικές μηχανικής μάθησης (π.χ. accuracy, F1-score, ROC-AUC) αλλά και μετρικές φυσικού επιπέδου (π.χ. throughput, secrecy capacity, quality of security – QoSec).



Λέξεις Κλειδιά: OTFS, B5G/6G, Channel Estimation, Deep Learning, Federated Learning, High Mobility, Doppler Channels.

Απαραίτητες Γνώσεις: Βασικές γνώσεις τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, Γνώσεις Python.

Επιθυμητές Γνώσεις: Αρχές και αρχιτεκτονικές Μηχανικής Μάθησης. MATLAB. Python βιβλιοθήκες (Keras/TensorFlow).

Υπεύθυνοι Ερευνητές: Δρ. Ιωάννης Μπαρτσιώκας, giannismpartsioskas@mail.ntua.gr, Μαρία-Ασμπρινή Μπαρτσιώκα

6. Αξιοποίηση Τεχνικών Βαθιάς Μάθησης για Ενίσχυση της Ασφάλειας Φυσικού Επιπέδου σε Συστήματα B5G/6G που βασίζονται σε Μη-Ορθογώνια Πολλαπλή Πρόσβαση (NOMA)

Οι τεχνολογίες των μη-συμβατικών massive MIMO δικτυακών αρχιτεκτονικών (Cell-Free massive MIMO – CF mMIMO), καθώς και της μη-ορθογωνικής πολλαπλής πρόσβασης (NOMA) συμβάλουν μαζί και με άλλες τεχνολογίες αφενός στην τεχνολογική μετεξέλιξη των ασύρματων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων και αφετέρου στην μετάβαση στην Beyond 5G (B5G) και 6G εποχή. Συνδυαστικά, μπορούν να ικανοποιήσουν τις αυστηρές απαιτήσεις για υψηλότερη φασματική αποδοτικότητα (Spectral Efficiency – SE), ευρύτερη κάλυψη, μεγαλύτερη χωρητικότητα και υψηλότερη ενεργειακή απόδοση.

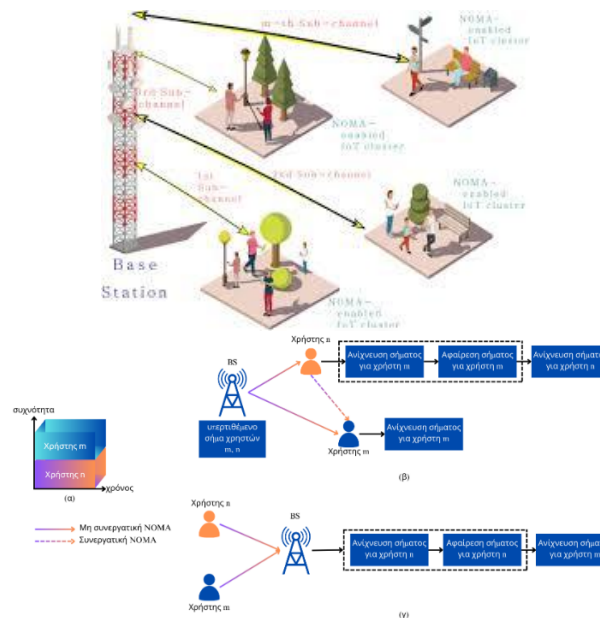
Η αξιοποίηση, ωστόσο, των δυνατοτήτων τους αποτελεί πρόκληση για την επιστημονική κοινότητα, καθώς υποβαθμίζονται από τις αδυναμίες που παρουσιάζουν. Λόγου χάριν, απαιτείται η ακριβής γνώση του ραδιοδιαύλου (Channel State Information – CSI), της οποίας η εκτίμηση (Channel Estimation - CE) μέσω συμβατικών μεθόδων (π.χ. MMSE, LS) στερείται σημαντικής ακρίβειας ιδιαίτερα σε πολυχρηστικά σενάρια (multi-user scenarios) όπου υπάρχει έντονος διαυλικός θόρυβος (channel noise) και παρεμβολές χρηστών (user interference). Από την άλλη, η συμβατική NOMA, η οποία αξιοποιεί διαμόρφωση παλμού OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), είναι ευάλωτη τόσο σε ακούσιες (un-intentional interference), όσο και σε εκούσιες παρεμβολές (intentional interference) λόγω της κοινής χρήσης των πόρων. Στην περίπτωση, ειδικότερα, των εκούσιων παρεμβολών διακυβεύεται η ασφάλεια του φυσικού επιπέδου (Physical Layer Security - PLS), καθώς το σύστημα καθίσταται πιο ευάλωτο σε επιθέσεις υποκλοπής.

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) και ειδικότερα η Βαθιά Μάθηση (Deep Learning – DL) μπορούν -και

βιβλιογραφικά αποδεδειγμένα- να καθορίσουν αφενός την σοφή αξιοποίηση διαθέσιμων πόρων και υποδομών (π.χ. φάσμα, ισχύς, κεραιοστοιχεία) , και αφετέρου την ενίσχυση της PLS στα προαναφερθέντα συστήματα ακόμη και στα χειρότερα δυνατά σενάρια (worst case scenario). Ενδεικτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν DL μοντέλα για:

- Βέλτιστη κατανομή ισχύος (Power Allocation) με ταυτόχρονη μεγιστοποίηση SE και Secrecy Capacity.
- Μείωση του υπολογιστικού φόρτου λόγω βέλτιστης επιλογής κεραιοστοιχείων (Antenna Selection) σε αρχιτεκτονικές MIMO και mMIMO.
- Δυναμική ανίχνευση ωτακουστών Eavesdroppers (συμπεριλαμβανομένων και των un-intentional Interferers) στο φυσικό επίπεδο.
- Ανάπτυξη AI-native δεκτών με δυνατότητα ασφαλούς αποκωδικοποίησης σήματος υπό NOMA.

Στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η ανάπτυξη DL τεχνικών για την ασφάλεια φυσικού επιπέδου σε B5G/6G συστήματα NOMA. Το πρώτο μέρος της εργασίας περιλαμβάνει τόσο τη μελέτη της πρόσφατης ερευνητικής δραστηριότητας στα πεδία της NOMA, της PLS και του DL, όσο και την εξοικείωση με υφιστάμενους προσομοιωτές του εργαστηρίου (σε MATLAB/Python). Στη συνέχεια, θα γίνει επέκταση αυτών των προσομοιωτών με νέες λειτουργίες/τεχνολογίες και αναπαραγωγή των συμφωνημένων σεναρίων καναλιών με στόχο την παραγωγή ποιοτικών συνόλων δεδομένων (datasets). Έπειτα θα αναπτυχθούν και εκπαιδευτούν DL μοντέλα τα οποία θα αξιοποιηθούν στην επέκταση υφιστάμενων AI-native δεκτών με δυνατότητες PLS. Τέλος, η αποτελεσματικότητα των μοντέλων αυτών θα αξιολογηθεί βάσει [α] των βασικών δεικτών επίδοσης μηχανικής μάθησης (ML Key Performance Indicator – ML KPIs) όπως λ.χ. accuracy, F1-score, ROC-AUC, και [β] με KPIs φυσικού επιπέδου (PHY KPIs) όπως λ.χ. throughput, secrecy capacity, energy efficiency. Η εργασία θα ολοκληρωθεί κατόπιν ανάλυσης των αποτελεσμάτων, συνολικής αποτίμησης αυτών και της συμπερίληψης προτάσεων για διερευνητική επέκταση της παρούσης προσπάθειας.



Λέξεις Κλειδιά: System Engineering, worst-case scenario, Cell-Free mMIMO, NOMA, B5G/6G, AI-native Δέκτες, Deep Learning, Resources Allocation, Ανίχνευση Ωτακουστών, Antenna Selection, Physical Layer Security (PLS), Φασματική Αποδοτικότητα (SE).

Απαραίτητες Γνώσεις: Βασικές γνώσεις Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων, Γνώσεις Python.

Επιθυμητές Γνώσεις: Αρχές και Αρχιτεκτονικές Μηχανικής Μάθησης. MATLAB. Python βιβλιοθήκες (Keras/TensorFlow).

Υπεύθυνοι Ερευνητές: Δρ. Μαρία Σεϊμένη, mseimeni@icbnet.ece.ntua.gr, Δρ. Ιωάννης Μπαρτσιώκας, giannismpartsioskas@mail.ntua.gr, Μαρία-Λαμπρινή Μπαρτσιώκα

7. Ενεργειακά Αποδοτική Κατανομή Πόρων σε Ασύρματα Δίκτυα Υποβοηθούμενα από Στοιβαγμένες Έξυπνες Μεταεπιφάνειες με Χρήση Ενισχυτικής Μάθησης

Οι τεχνολογίες 5^{ης} γενιάς (5G) έχουν αναμφίβολα φέρει σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές κινητών δικτύων, αλλά αντιμετωπίζουν και ορισμένα πρακτικά ζητήματα, όπως είναι η κατανάλωση ενέργειας, το κόστος υλικού και η εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας. Παρά την πρόταση των αναδιαμορφώσιμων έξυπνων επιφανειών (reconfigurable intelligent surfaces, RIS) για διάφορα σενάρια επικοινωνίας λόγω των πολυάριθμων πλεονεκτημάτων τους, η πλειονότητα των υφιστάμενων εργασιών έχει επικεντρωθεί σε δομές μεταεπιφάνειας μονής στρώσης (single-layer metasurface), οι οποίες παρουσιάζουν περιορισμούς στη διαχείριση δέσμης. Επίσης, η διαμόρφωση ενός επιπέδου του συμβατικού RIS και οι περιορισμοί υλικού ενός επιπέδου δεν μπορούν να καταστείλουν τις παρεμβολές μεταξύ των χρηστών. Αυτά τα κενά οδήγησαν στην έννοια της στοιβαγμένης έξυπνης μεταεπιφάνειας (stacked intelligent metasurface, SIM), η οποία συνοδεύεται από αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με ένα συμβατικό RIS μονού επιπέδου. Σε αυτό το πλαίσιο έχει προταθεί ένας πομποδέκτης που βασίζεται σε SIM για επικοινωνία MIMO από σημείο σε σημείο, όπου δύο SIM τοποθετήθηκαν στον πομπό και το δέκτη με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (EM) να διαδίδονται μέσω αυτών χωρίς τη χρήση ψηφιακού υλικού.

Ο έλεγχος ισχύος είναι κρίσιμος για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας στα δίκτυα 6G. Στην κάτω ζεύξη (downlink), η αποτελεσματική διαχείριση της ισχύος που αποστέλλεται από τον σταθμό βάσης στις συσκευές είναι απαραίτητη για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, διατηρώντας παράλληλα υψηλή ποιότητα υπηρεσίας (QoS). Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να επιτύχει ενεργειακά αποδοτικό έλεγχο ισχύος κάτω ζεύξης στα δίκτυα 6^{ης} γενιάς (6G), με την εφαρμογή αλγορίθμου ενισχυτικής μάθησης. Ας αναλύσουμε τα βασικά σημεία της εργασίας και τις τεχνικές προκλήσεις που περιλαμβάνει:

1. **Μη Κυρτό Πρόβλημα Βελτιστοποίησης:** Το πρόβλημα βελτιστοποίησης που αντιμετωπίζει η εργασία δεν είναι κυρτό, κάτι που σημαίνει ότι δεν έχει εύκολη μαθηματική λύση μέσω παραδοσιακών μεθόδων βελτιστοποίησης. Αυτό καθιστά απαραίτητη τη χρήση πιο σύνθετων τεχνικών, όπως αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, που μπορούν να βρουν υποβέλτιστες ή βέλτιστες λύσεις μέσω αλληλεπιδράσεων με το περιβάλλον.
2. **Ενισχυτική Μάθηση:** Οι αλγόριθμοι ενισχυτικής μάθησης (reinforcement learning, RL) επιλύουν προβλήματα μέσω της αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον. Στην προκειμένη περίπτωση, ο αλγόριθμος θα τρέχει κεντρικά στον σταθμό βάσης, λαμβάνοντας πληροφορίες από το ασύρματο περιβάλλον και προσαρμόζοντας τις ενέργειές του (όπως τη διαχείριση ισχύος) προκειμένου να βελτιώσει την απόδοσή του.
3. **Συνελκτικό Νευρωνικό Δίκτυο (CNN):** Το CNN είναι ένας τύπος νευρωνικού δικτύου που είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός στην αναγνώριση προτύπων και εξαγωγή χαρακτηριστικών από δεδομένα, όπως εικόνες ή σήματα. Εδώ χρησιμοποιείται για να εξάγει μια μη γραμμική σχέση μεταξύ των λαμβανόμενων πιλοτικών σημάτων και των δεδομένων του καναλιού, με στόχο τη βελτίωση της ακρίβειας στην εκτίμηση των καναλιών.
4. **Συγκριτική Αξιολόγηση:** Η απόδοση του σχεδιαζόμενου αλγορίθμου θα συγκριθεί με υφιστάμενες λύσεις από τη βιβλιογραφία, οι οποίες μπορεί να είναι υποβέλτιστες λύσεις. Αυτή η συγκριτική ανάλυση θα παρέχει πληροφορίες σχετικά με το αν η προτεινόμενη μέθοδος είναι πιο αποτελεσματική από τις υπάρχουσες λύσεις όσον αφορά την ενεργειακή αποδοτικότητα και την ποιότητα υπηρεσίας.

Λέξεις Κλειδιά: B5G, Στοιβαγμένες Έξυπνες Μεταεπιφάνειες, Βαθιά Μάθηση, Συνεργατική Μάθηση, Συνελκτικά Νευρωνικά Δίκτυα (CNN), Ανάθεση Ραδιοπόρων (RRM), Ενεργειακή Αποδοτικότητα (EE), Φασματική Αποδοτικότητα (SE)

Απαραίτητες Γνώσεις: Βασικές γνώσεις κινητών επικοινωνιών. Βασικές γνώσεις Python.

Επιθυμητές Γνώσεις: Αρχές και αρχιτεκτονικές Μηχανικής Μάθησης. MATLAB. Python βιβλιοθήκες (Keras/TensorFlow).

Υπεύθυνοι Ερευνητές: Δρ. Αναστάσιος Παπαζαφειρόπουλος, apapazafeiropoulos@mail.ntua.gr, Δρ.

8. Βαθιά Μάθηση για Μεγάλες Στοιβαγμένες Έξυπνες Μεταεπιφάνειες σε mm-Wave MIMO Συστήματα

Οι τεχνολογίες 5^{ης} γενιάς (5G) έχουν αναμφίβολα φέρει σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές κινητών δικτύων, αλλά αντιμετωπίζουν και ορισμένα πρακτικά ζητήματα, όπως είναι η κατανάλωση ενέργειας, το κόστος υλικού και η εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας. Παρά την πρόταση των αναδιαμορφώσιμων έξυπνων επιφανειών (reconfigurable intelligent surfaces, RIS) για διάφορα σενάρια επικοινωνίας λόγω των πολυάριθμων πλεονεκτημάτων τους, η πλειονότητα των υφιστάμενων εργασιών έχει επικεντρωθεί σε δομές μεταεπιφάνειας μονής στρώσης (single-layer metasurface), οι οποίες παρουσιάζουν περιορισμούς στη διαχείριση δέσμης. Επίσης, η διαμόρφωση ενός επιπέδου του συμβατικού RIS και οι περιορισμοί υλικού ενός επιπέδου δεν μπορούν να καταστείλουν τις παρεμβολές μεταξύ των χρηστών. Αυτά τα κενά οδήγησαν στην έννοια της στοιβαγμένης έξυπνης μεταεπιφάνειας (stacked intelligent metasurface, SIM), η οποία συνοδεύεται από αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με ένα συμβατικό RIS μονού επιπέδου. Σε αυτό το πλαίσιο έχει προταθεί ένας πομποδέκτης που βασίζεται σε SIM για επικοινωνία MIMO από σημείο σε σημείο, όπου δύο SIM τοποθετήθηκαν στον πομπό και το δέκτη με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (EM) να διαδίδονται μέσω αυτών χωρίς τη χρήση ψηφιακού υλικού.

Μία από τις κύριες προκλήσεις στα ασύρματα δίκτυα που υποστηρίζονται από SIM είναι ότι η πολυπλοκότητα της εκτίμησης καναλιών είναι υψηλή λόγω του μεγάλου αριθμού στοιχείων SIM. Για να μειωθεί η πολυπλοκότητα, οι τεχνικές βαθιάς μάθησης (deep learning, DL) μπορούν να βοηθήσουν. Εκπαιδύοντας ένα δίκτυο DL με διαφορετικά χαρακτηριστικά καναλιού, αυτό μπορεί να προσαρμοστεί στις αλλαγές στο περιβάλλον, όπως οι κινήσεις του χρήστη, και να παρέχει ισχυρή απόδοση. Πρότινος, τα μεταδιδόμενα σύμβολα εκτιμώντουσαν χωρίς εκτίμηση καναλιού. Αυτή η προσέγγιση εξαρτάται από τα σύμβολα, δηλαδή, όταν αλλάζει ο τύπος διαμόρφωσης, το δίκτυο σε βάθος δεν μπορεί να αναγνωρίσει τα σύμβολα και απαιτεί περαιτέρω εκπαίδευση.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να μελετήσει τεχνικές DL για την εκτίμηση καναλιών σε ένα σενάριο με συστήματα MIMO (Multiple Input Multiple Output) με τεχνολογία mm-Wave (χιλιοστομετρικών κυμάτων) και υποβοήθηση με SIM. Ας αναλύσουμε τα βασικά σημεία της εργασίας και τις τεχνικές προκλήσεις που περιλαμβάνει:

1. Εκτίμηση Καναλιών σε MIMO Συστήματα: Η εκτίμηση των καναλιών είναι μια κρίσιμη διαδικασία στα συστήματα MIMO, όπου οι πολλαπλές κεραίες επιτρέπουν τη μετάδοση και λήψη δεδομένων ταυτόχρονα, αυξάνοντας την απόδοση του συστήματος.
2. mm-Wave Συστήματα: Η χρήση των mm-Wave είναι μια τεχνολογία που υπόσχεται πολύ υψηλές ταχύτητες δεδομένων, αλλά αντιμετωπίζει προκλήσεις στη διάδοση του σήματος λόγω παρεμβολών και φυσικών εμποδίων. Επίσης, απαιτεί ακριβό υλικό στον σταθμό βάσης. Η υποβοήθηση από SIM είναι μια τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια οικονομικά αποδοτική λύση.
3. Προσέγγιση Βαθιάς Μάθησης (DL): Η χρήση της DL προσφέρει ένα τρόπο για τη βελτίωση της εκτίμησης των καναλιών μέσω της ανάλυσης των λαμβανόμενων σημάτων. Το προτεινόμενο πλαίσιο βαθιάς μάθησης θα εφαρμόσει ένα συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (CNN) για την εκτίμηση του καναλιού.
4. Συγκριτική Αξιολόγηση: Η απόδοση του σχεδιαζόμενου αλγορίθμου θα συγκριθεί με υφιστάμενες λύσεις από τη βιβλιογραφία, οι οποίες μπορεί να είναι υποβέλτιστες λύσεις. Αυτή η συγκριτική ανάλυση θα παρέχει πληροφορίες σχετικά με το αν η προτεινόμενη μέθοδος είναι πιο αποτελεσματική από τις υπάρχουσες λύσεις όσον αφορά την ενεργειακή αποδοτικότητα και την ποιότητα υπηρεσίας.

Λέξεις Κλειδιά: B5G, Στοιβαγμένες Έξυπνες Μεταεπιφάνειες, Χιλιοστομετρικές Επικοινωνίες, mMIMO Συστήματα, Βαθιά Μάθηση, Ανάθεση Ραδιοπόρων (RRM), Ενεργειακή Αποδοτικότητα (EE), Φασματική Αποδοτικότητα (SE)

Απαραίτητες Γνώσεις: Βασικές γνώσεις κινητών επικοινωνιών. Βασικές γνώσεις Python.

Επιθυμητές Γνώσεις: Αρχές και αρχιτεκτονικές Μηχανικής Μάθησης. MATLAB. Python βιβλιοθήκες

(Keras/TensorFlow).

Υπεύθυνοι Ερευνητές: Δρ. Αναστάσιος Παπαζαφειρόπουλος, apapazafeiropoulos@mail.ntua.gr, Δρ. Ιωάννης Μπαρτσιώκας, giannismpartsioakas@mail.ntua.gr

9. Μελέτη Επίδρασης των Συνθηκών Γήρανσης Καναλιού στην Απόδοση Κατερχόμενης Ζεύξης σε Ασύρματα Δίκτυα Υποβοηθούμενα από Στοιβαγμένες Έξυπνες Μεταεπιφάνειες

Οι τεχνολογίες 5^{ης} γενιάς (5G) έχουν αναμφίβολα φέρει σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές κινητών δικτύων, αλλά αντιμετωπίζουν και ορισμένα πρακτικά ζητήματα όπως είναι η κατανάλωση ενέργειας, το κόστος υλικού και η εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας. Παρά την πρόταση των αναδιαμορφώσιμων έξυπνων επιφανειών (reconfigurable intelligent surfaces, RIS) για διάφορα σενάρια επικοινωνίας λόγω των πολυάριθμων πλεονεκτημάτων τους, η πλειονότητα των υφιστάμενων εργασιών έχει επικεντρωθεί σε δομές μεταεπιφάνειας μονής στρώσης (single-layer metasurface), οι οποίες παρουσιάζουν περιορισμούς στη διαχείριση δέσμης. Επίσης, η διαμόρφωση ενός επιπέδου του συμβατικού RIS και οι περιορισμοί υλικού ενός επιπέδου δεν μπορούν να καταστείλουν τις παρεμβολές μεταξύ των χρηστών. Αυτά τα κενά οδήγησαν στην έννοια της στοιβαγμένης έξυπνης μεταεπιφάνειας (stacked intelligent metasurface, SIM), η οποία συνοδεύεται από αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με ένα συμβατικό RIS μονού επιπέδου. Συγκεκριμένα, έχει προταθεί ένας πομποδέκτης που βασίζεται σε SIM για επικοινωνία MIMO από σημείο σε σημείο, όπου δύο SIM τοποθετήθηκαν στον πομπό και το δέκτη με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (EM) να διαδίδονται μέσω αυτών χωρίς τη χρήση ψηφιακού υλικού.

Ταυτόχρονα, αναγνωρίζοντας την ανάγκη για μια ρεαλιστική μελέτη ασυρμάτων συστημάτων, είναι απαραίτητη η μελέτη ενός φαινομένου που καλείται γήρανση του καναλιού (channel aging). Αυτό το φαινόμενο περιγράφει την αναντιστοιχία που εμφανίζεται μεταξύ του τρέχοντος και του εκτιμώμενου καναλιού λόγω της σχετικής κίνησης μεταξύ των χρηστών και των κεραιών BS εκτός από τυχόν καθυστερήσεις επεξεργασίας. Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να μελετήσει την κάτω ζεύξη στα δίκτυα 6^{ης} γενιάς (6G) υποβοηθούμενα από στοιβαγμένες έξυπνες μεταεπιφάνειες υπό την επίδραση της γήρανσης του καναλιού. Ας αναλύσουμε τα βασικά σημεία της εργασίας:

1. Μοντέλα Συστήματος Σήματος και Επίδρασεις Κινητικότητας: Παρουσίαση των μοντέλων σήματος που αντιπροσωπεύουν τις επιπτώσεις της κινητικότητας του χρήστη, παρέχοντας έναν πληρέστερο χαρακτηρισμό της γήρανσης του καναλιού.
2. Ανάλυση Μετάδοσης Κάτω Ζεύξης: Ανάλυση της μετάδοσης κάτω ζεύξης με έμφαση στο λαμβανόμενο σήμα, τους εφαρμοζόμενους προκωδικοποιητές και τον επιτευξίμο ρυθμό του χρήστη.
3. Λόγος Σήματος προς Θόρυβο και Παρεμβολές (SNIR): Εξαγωγή της έκφρασης για τον λόγο σήματος προς θόρυβο και παρεμβολές στην κάτω ζεύξη, καθώς και διερεύνηση ορισμένων απλουστευμένων περιπτώσεων.
4. Αριθμητικά Αποτελέσματα και Συμπεριφορά Γήρανσης Καναλιού: Παρουσίαση αριθμητικών αποτελεσμάτων που επικυρώνουν τα αναλυτικά ευρήματα και φωτίζουν τη συμπεριφορά της γήρανσης του καναλιού σε διάφορα σενάρια κινητικότητας.

Λέξεις Κλειδιά: B5G, Στοιβαγμένες Έξυπνες Μεταεπιφάνειες, Χιλιοστομετρικές Επικοινωνίες, mMIMO Συστήματα, Βαθιά Μάθηση, Γήρανση Καναλιού, Κάτω Ζεύξη, Ανάθεση Ραδιοπόρων (RRM)

Απαραίτητες Γνώσεις: Βασικές γνώσεις κινητών επικοινωνιών. Βασικές γνώσεις Python.

Επιθυμητές Γνώσεις: Αρχές και αρχιτεκτονικές Μηχανικής Μάθησης. MATLAB. Python βιβλιοθήκες (Keras/TensorFlow).

Υπεύθυνοι Ερευνητές: Δρ. Αναστάσιος Παπαζαφειρόπουλος, apapazafeiropoulos@mail.ntua.gr, Δρ. Ιωάννης Μπαρτσιώκας, giannismpartsioakas@mail.ntua.gr

10. Μελέτη της Τεχνικής Πολλαπλής Πρόσβασης με Διαίρεση Ρυθμού στην Απόδοση Κατερχόμενης Ζεύξης σε Ασύρματα Δίκτυα Υποβοηθούμενα από Στοιβαγμένες Έξυπνες Μεταεπιφάνειες

Οι τεχνολογίες 5^{ης} γενιάς (5G) έχουν αναμφίβολα φέρει σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές κινητών δικτύων, αλλά αντιμετωπίζουν και ορισμένα πρακτικά ζητήματα όπως είναι η κατανάλωση ενέργειας, το κόστος υλικού και η εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας. Παρά την πρόταση των αναδιαμορφώσιμων έξυπνων επιφανειών (reconfigurable intelligent surfaces, RIS) για διάφορα σενάρια επικοινωνίας λόγω των πολυάριθμων πλεονεκτημάτων τους, η πλειονότητα των υφιστάμενων εργασιών έχει επικεντρωθεί σε δομές μεταεπιφάνειας μονής στρώσης (single-layer metasurface), οι οποίες παρουσιάζουν περιορισμούς στη διαχείριση δέσμης. Επίσης, η διαμόρφωση ενός επιπέδου του συμβατικού RIS και οι περιορισμοί υλικού ενός επιπέδου δεν μπορούν να καταστείλουν τις παρεμβολές μεταξύ των χρηστών. Αυτά τα κενά οδήγησαν στην έννοια της στοιβαγμένης έξυπνης μεταεπιφάνειας (stacked intelligent metasurface, SIM), η οποία συνοδεύεται από αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με ένα συμβατικό RIS μονού επιπέδου. Συγκεκριμένα, έχει προταθεί ένας πομποδέκτης που βασίζεται σε SIM για επικοινωνία MIMO από σημείο σε σημείο, όπου δύο SIM τοποθετήθηκαν στον πομπό και το δέκτη με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (EM) να διαδίδονται μέσω αυτών χωρίς τη χρήση ψηφιακού υλικού.

Ταυτόχρονα, οι τεχνικές μη ορθογωνικής πολλαπλής πρόσβασης (Non-Orthogonal Multiple Access, NOMA) βρίσκουν εφαρμογή στα δίκτυα 5^{ης} γενιάς. Μέσω της διαίρεσης των χρηστών με βάση την ισχύ, πολλαπλοί χρήστες μπορούν να εξυπηρετούνται ταυτόχρονα στην ίδια χρονική στιγμή και συχνότητα, αξιοποιώντας πιο αποτελεσματικά το διαθέσιμο φάσμα σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους ορθογωνικής πολλαπλής πρόσβασης. Παρόλα αυτά, απαιτείται οι χρήστες να αποκωδικοποιούν τα παρεμβλλόμενα σήματα από άλλους χρήστες, γεγονός που αυξάνει την υπολογιστική πολυπλοκότητα της επεξεργασίας σήματος. Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης στα δίκτυα 6^{ης} γενιάς, εξετάζεται η χρήση της τεχνικής πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση ρυθμού (Rate-Splitting Multiple Access, RSMA). Σε αυτήν την τεχνική, το μήνυμα που αποστέλλεται στους χρήστες χωρίζεται σε κοινό και ιδιωτικό μέρος. Το κοινό μήνυμα αποκωδικοποιείται από όλους τους χρήστες, ενώ το ιδιωτικό αποκωδικοποιείται μόνο από τον παραλήπτη του. Για να λάβουν το κοινό μήνυμα, οι χρήστες πρώτα αποκωδικοποιούν την παρεμβολή από άλλους χρήστες, ενώ κατά την αποκωδικοποίηση του ιδιωτικού τους μηνύματος θεωρούν τις παρεμβολές ως θόρυβο. Έτσι, η προσαρμογή της αναλογίας μεταξύ κοινών και ιδιωτικών μηνυμάτων μπορεί να ρυθμίσει την υπολογιστική πολυπλοκότητα και την απόδοση του ρυθμού δεδομένων. Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να μελετήσει την κάτω ζεύξη στα δίκτυα 6^{ης} γενιάς υποβοηθούμενα από στοιβαγμένες έξυπνες μεταεπιφάνειες κάνοντας χρήση της τεχνικής πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση ρυθμού. Ας αναλύσουμε τα βασικά σημεία της εργασίας:

1. Μοντέλα Σήματος με Τεχνική RSMA: Παρουσίαση των μοντέλων συστήματος σήματος που λαμβάνουν υπόψη την τεχνική RSMA (Rate-Splitting Multiple Access).
2. Λόγος Σήματος προς Θόρυβο και Παρεμβολές (SNIR) για Ιδιωτικά και Κοινά Σήματα: Εξαγωγή της έκφρασης του λόγου σήματος προς θόρυβο και παρεμβολές (SNIR) για τα ιδιωτικά και κοινά μέρη του σήματος, με δυνατότητα υπολογισμού της αθροιστικής φασματικής απόδοσης, καθώς και παρουσίαση της αντίστοιχης έκφρασης χωρίς την εφαρμογή RSMA.
3. Βελτιστοποίηση Φασματικής Απόδοσης μέσω Μετατοπίσεων Φάσης του SIM: Βελτιστοποίηση της αθροιστικής φασματικής απόδοσης σε σχέση με τις μετατοπίσεις φάσης του SIM.
4. Αριθμητικά Αποτελέσματα και Απόδοση RSMA σε Δίκτυα με Έξυπνες Μεταεπιφάνειες: Παρουσίαση αριθμητικών αποτελεσμάτων που επικυρώνουν τα αναλυτικά ευρήματα και φωτίζουν την απόδοση της τεχνικής RSMA σε δίκτυα υποβοηθούμενα από στοιβαγμένες έξυπνες μεταεπιφάνειες.

Λέξεις Κλειδιά: B5G, Στοιβαγμένες Έξυπνες Μεταεπιφάνειες, Χιλιοστομετρικές Επικοινωνίες, mMIMO Συστήματα, Βαθιά Μάθηση, Πολλαπλή Πρόσβαση Με Διαίρεση Ρυθμού (RSMA), Ανάθεση Ραδιοπόρων (RRM)

Απαραίτητες Γνώσεις: Βασικές γνώσεις κινητών επικοινωνιών. Βασικές γνώσεις Python.

Επιθυμητές Γνώσεις: Αρχές και αρχιτεκτονικές Μηχανικής Μάθησης. MATLAB. Python βιβλιοθήκες (Keras/TensorFlow).

Υπεύθυνοι Ερευνητές: Δρ. Αναστάσιος Παπαζαφειρόπουλος, apapazafeiropoulos@mail.ntua.gr, Δρ. Ιωάννης Μπαρτσιώκας, giannismpartsioskas@mail.ntua.gr