

ΘΕΜΑΤΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

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

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2024

Για περισσότερες πληροφορίες επικοινωνήστε στα:

- dkaklam@mail.ntua.gr (Καθ. Δ.-Θ. Κακλαμάνη) για τα Θέματα 1-8
- venieris@cs.ntua.gr (Καθ. Ι. Στ. Βενιέρης) για τα Θέματα 9-14,

και στα emails των αντίστοιχων ερευνητών.

1. Βελτιστοποίηση Προβλημάτων Ανάθεσης Ραδιοπόρων σε Δίκτυα Επόμενης Γενιάς (Beyond 5G) χωρίς Κυψέλες (cell-free) με Συνεργατική Μάθηση (Federated Learning - FL)

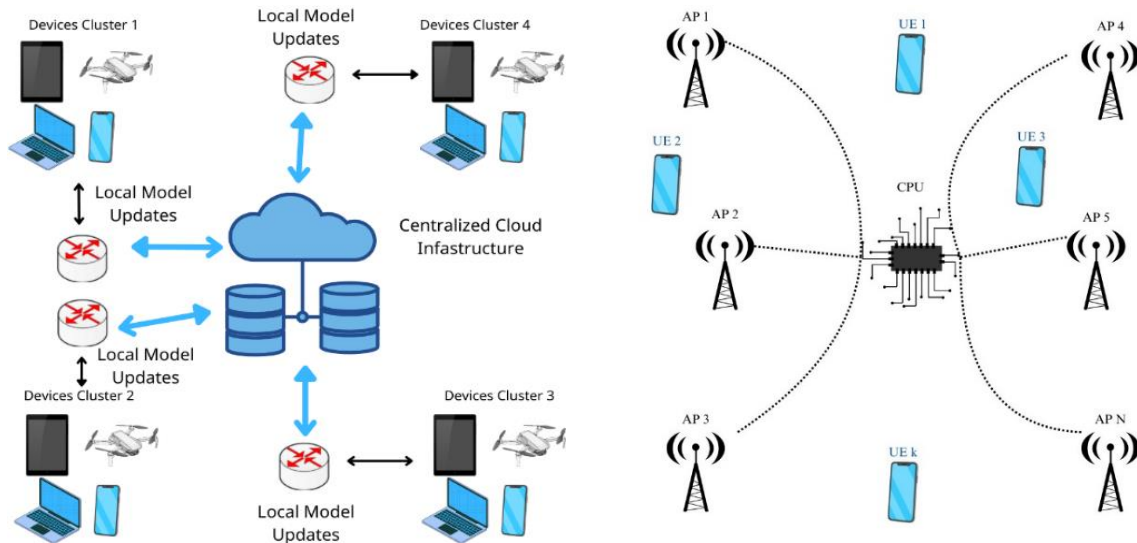
Ο ολοένα αυξανόμενος αριθμός διασυνδεδεμένων συσκευών σε δίκτυα νέας γενιάς (Beyond 5G, B5G/6G), η εξ' ορισμού ετερογένεια των δικτύων αυτών και οι αυξημένες απαιτήσεις τους για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, χαμηλή καθυστέρηση και εξασφαλισμένα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας και εμπειρίας (Quality of Service, QoS και Quality of Experience, QoE) επιβάλλουν την ανάπτυξη προηγμένων μεθόδων πρόσβασης στο φυσικό μέσο και αποδοτικών τεχνικών μετάδοσης δεδομένων. Τα δίκτυα B5G απαιτούν σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό τη χρησιμοποίηση μοντέρνων τεχνικών που είχαν προταθεί για πρώτη φορά στα δίκτυα 5G, όπως η προσαρμοστική κωδικοποίηση (adaptive modulation coding, AMC), τα προηγμένα σχήματα πολλαπλής πρόσβασης στο μέσο, όπως η μη-ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση (Non-Orthogonal Multiple Access, NOMA), η χρήση πολύ μεγάλου πλήθους κεραιών στο σταθμό βάσης (massive Multiple Input Multiple Output, mMIMO) και οι κόμβοι αναμετάδοσης (relay nodes, RNs).

Ωστόσο, μια καινοτόμος προσέγγιση που προτείνεται για τα δίκτυα B5G/6G είναι οι τοπολογίες χωρίς κυψέλες (cell-free topologies), οι οποίες συνδυάζονται αρμονικά και με την τεχνική του mMIMO. Οι cell-free τοπολογίες εισάγουν μια αρχιτεκτονική δικτύωσης που επιτρέπει την ομαλή και ενοποιημένη επικοινωνία μέσω μιας κατανεμημένης υποδομής μικρών κεραιών. Αντί να λειτουργούν αυτόνομα, αυτές οι κεραιές συνεργάζονται μέσω κοινοχρήστων πόρων και τεχνικών συντονισμού, όπως η συντονισμένη μετάδοση (Coordinated Multi-Point, CoMP) και η κοινή επεξεργασία σήματος, ώστε να βελτιώνουν την απόδοση σε περιβάλλοντα με υψηλή πυκνότητα χρηστών. Με την ενοποίηση της συνδεσιμότητας και την απουσία ορίων μεταξύ των κυψελών, οι cell-free τοπολογίες επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση της ποιότητας υπηρεσιών (QoS) και την ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης, καθιστώντας τις ιδανικές για εφαρμογές με απαιτήσεις χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής χωρητικότητας, όπως η εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα.

Η μηχανική μάθηση (machine learning, ML) υπόσχεται ακόμα μεγαλύτερα οφέλη, χάρις στην ικανότητά της να επιλύει πολυπαραμετρικά προβλήματα, με ταυτόχρονη μείωση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας. Ωστόσο, οι κλασικές ML τεχνικές δεν συνεκτιμούν την εισαγωγή μεγάλης υπολογιστικής πολυπλοκότητας λόγω της πολυπαραμετρικής φύσης των προβλημάτων ανάθεσης ραδιοπόρων (radio resource management, RRM) σε B5G συστήματα. Η συνεργατική μάθηση (federated learning, FL) είναι μια ML τεχνική, η οποία εκτελεί ML εργασίες (εκπαίδευση, εκτέλεση τμημάτων αλγορίθμων) σε πολλαπλές αποκεντρωμένες δικτυακές τοποθεσίες (συσκευές, εξυπηρετητές), σε κάθε μία από τις οποίες διατηρούνται τοπικά δεδομένα (local datasets). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο διαμοιρασμός του υπολογιστικού φόρτου όσον αφορά τα RRM προβλήματα σε B5G/6G δίκτυα.

Στόχος της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και αξιοποίηση FL αλγορίθμων σε cell-free τοπολογίες B5G/6G για την αποδοτικότερη και δυναμική αντιμετώπιση RRM προβλημάτων (όπως η κατανομή υποφερόντων σε χρήστες, η τοποθέτηση και επιλογή RN κ.ά.). Κύριες μετρικές απόδοσης των παραπάνω αλγορίθμων θα αποτελέσουν η ενεργειακή και φασματική αποδοτικότητα (Energy Efficiency, EE και Spectral Efficiency, SE).

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνει, αρχικά, μελέτη τόσο του θεωρητικού υπόβαθρου των cell-free B5G συστημάτων, όσο και των βασικών αρχών και τεχνικών FL. Εν συνέχεια, ο σπουδαστής θα εφαρμόσει μεθόδους και αλγορίθμους FL, παραμετροποιώντας B5G/6G προσομοιωτές επιπέδου ζεύξης, οι οποίοι έχουν ήδη υλοποιηθεί στο εργαστήριο. Η διπλωματική εργασία θα ολοκληρωθεί με τη συγκριτική αποτίμηση των χρησιμοποιούμενων παραλλαγών των FL μοντέλων, καθώς με σύγκριση αυτών με ένα σύστημα αναφοράς χωρίς χρήση ML.



Λέξεις Κλειδιά: B5G, Βαθιά Μάθηση, Συνεργατική Μάθηση, Ανάθεση Ραδιοπόρων (RRM), cell-free τοπολογίες, 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. Ιωάννης Μπαρτσιώκας, giannismpartsiokas@mail.ntua.gr, Μαρία-Λαμπρινή Μπαρτσιώκα

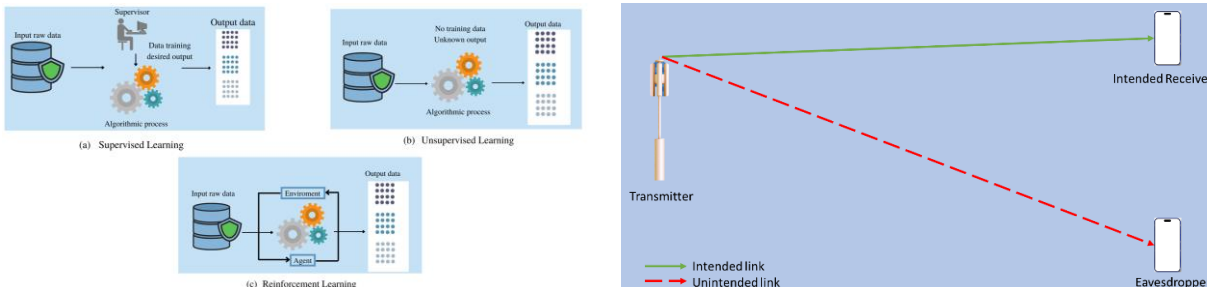
2. Βελτιστοποίηση Τεχνικών Ασφάλειας Φυσικού Στρώματος (Physical Layer Security) μέσω Τεχνικών Βαθιάς και Συνεργατικής Μάθησης (Deep Learning – DL, Federated Learning – FL) σε Ετερογενή Δίκτυα Επόμενης Γενιάς (Beyond 5G)

Η γεωμετρική αύξηση του αριθμού των ταυτόχρονων ενεργών χρηστών σε ασύρματα δίκτυα νέας γενιάς (Beyond 5G, B5G/6G), σε συνδυασμό με τις αυξανόμενες απαιτήσεις για υψηλές ταχύτητες μετάδοσης και ελάχιστη καθυστέρηση, καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη προηγμένων μεθόδων πρόσβασης στο φυσικό μέσο και αποδοτικών τεχνικών μετάδοσης δεδομένων. Αυτό αποσκοπεί στη διασφάλιση της ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service, QoS) και της εμπειρίας χρήστη (Quality of Experience, QoE), καθώς και στην αύξηση της φασματικής απόδοσης των B5G συστημάτων.

Ωστόσο, η ασύρματη μετάδοση καθιστά το μέσο προσβάσιμο τόσο σε εξουσιοδοτημένους όσο και σε μη εξουσιοδοτημένους χρήστες, γεγονός που καθιστά τις ασύρματες μεταδόσεις πιο ευάλωτες σε επιθέσεις ασφαλείας σε σύγκριση με τις ενσύρματες. Δεδομένου ότι οι χρήστες —είτε οικιακοί, είτε εταιρικοί, είτε κρατικοί— εξαρτώνται από τα ασύρματα δίκτυα για τη μετάδοση σημαντικών και ιδιωτικών πληροφοριών (όπως τραπεζικές συναλλαγές, πληρωμές λογαριασμών, είσοδος σε διαδικτυακές πλατφόρμες κ.ά.), η ασφάλεια των ασύρματων επικοινωνιών (Physical Layer Security - PLS) αναδεικνύεται σε κρίσιμη προτεραιότητα, με πολλές προκλήσεις σε τοπολογίες B5G/6G. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να αντιμετωπίσει ζητήματα όπως η ανίχνευση ωτακουστών (eavesdroppers), η απώλεια ακεραιότητας δεδομένων, οι υποκλοπές, οι παρεμβολές, η είσοδος ψευδών ή τροποποιημένων μηνυμάτων και η κατασπατάληση πόρων.

Η μηχανική μάθηση (machine learning, ML) έχει αποδειχθεί μια αποτελεσματική λύση για τη βελτιστοποίηση απόκρισης σε πολυπαραμετρικά προβλήματα, μειώνοντας συγχρόνως σημαντικά την υπολογιστική πολυπλοκότητα. Ωστόσο, στο πεδίο των ασυρμάτων επικοινωνιών με έμφαση στο δίκτυο πρόσβασης, η ύπαρξη πολλαπλών διασυνδεδεμένων συσκευών και η πολυπλοκότητα του καναλιού μετάδοσης δυσχεραίνουν ακόμα περισσότερο το πρόβλημα της διασφάλισης του απορρήτου των επικοινωνιών σε περιβάλλοντα πολλαπλής πρόσβασης. Συνεπώς, η βαθιά μάθηση (deep learning, DL) και η συνεργατική μάθηση (federated learning, FL) προτείνονται ως οι αποτελεσματικότερες κατηγορίες ML αλγορίθμων για προβλήματα PLS. Η συνεργατική μάθηση, ειδικά, αναδεικνύεται ως μια καινοτόμος προσέγγιση στην εκπαίδευση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης στο πλαίσιο των B5G/6G δικτύων, επιτρέποντας την κατανομημένη εκπαίδευση μοντέλων χωρίς τη μεταφορά ευαίσθητων δεδομένων σε κεντρικούς διακομιστές. Αυτή η μέθοδος διασφαλίζει την ιδιωτικότητα και την ασφάλεια των χρηστών, επιτρέποντας στους διασυνδεδεμένους κόμβους του δικτύου να συνεργάζονται στην εκπαίδευση αλγορίθμων με βάση τοπικά δεδομένα. Στο περιβάλλον των 6G, όπου οι εφαρμογές απαιτούν υψηλή διαλειτουργικότητα και προσαρμοστικότητα, το FL συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της ποιότητας υπηρεσίας (QoS) και της εμπειρίας χρήστη (QoE) μέσω της αναβάθμισης των αλγορίθμων σε πραγματικό χρόνο, προσαρμόζοντας τις λειτουργίες τους στις τοπικές συνθήκες και τις ανάγκες των χρηστών. Επιπλέον, η εφαρμογή του FL μπορεί να συμβάλει στη μείωση της κατανάλωσης πόρων και της καθυστέρησης, ενισχύοντας τη συνολική απόδοση των δικτύων 6G.

Στόχος της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και αξιοποίηση DL/FL αλγορίθμων σε υποδομές B5G/6G για την ανάπτυξη προηγμένων σχημάτων PLS. Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνει, αρχικά, μελέτη τόσο του θεωρητικού υπόβαθρου του φυσικού επιπέδου των συστημάτων B5G/6G, των αρχών και αλγορίθμων DL/FL όσο και των χρησιμοποιούμενων σχημάτων PLS. Στη συνέχεια, ο σπουδαστής θα εφαρμόσει αυτές τις μεθόδους χρησιμοποιώντας κατάλληλα σύνολα δεδομένων (datasets). Η διπλωματική εργασία θα ολοκληρωθεί με τη συγκριτική αποτίμηση των χρησιμοποιούμενων παραλλαγών των DL/FL μοντέλων για PLS. Θα χρησιμοποιηθούν τόσο ML μετρικές όπως (accuracy, RMSE, F1-score, κ.λπ.) όσο και δικτυακές μετρικές ασφαλείας (Secrecy throughput, Secrecy capacity, Quality of Security/QoSec, κ.λπ.).



Λέξεις Κλειδιά: B5G, Ασφάλεια Φυσικού Στρώματος (PLS), Βαθιά Μάθηση, Συνεργατική Μάθηση, Ad-hoc δίκτυα, 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. Ιωάννης Μπαρτσιώκας, giannismpartsiokas@mail.ntua.gr, Μαρία-Λαμπρινή Μπαρτσιώκα

3. 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. Ιωάννης Μπαρτσιώκας, giannismpartsioskas@mail.ntua.gr

4. 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. Εκπαιδευοντας 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 εκτιμούντουσαν 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 κεραιές 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

5. Προκωδικοποίηση για Συστήματα MIMO Πολλών Χρηστών με Μεγάλες Στοιβαγμένες Έξυπνες Μεταεπιφάνειες: Μια Προσέγγιση Βαθιάς 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. 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.

Σε συστήματα πολλαπλών εισόδων-πολλαπλών εξόδων (MIMO) πολλαπλών χρηστών στη mm-Wave περιοχή (χιλιοστομετρικών κυμάτων), η υβριδική προκωδικοποίηση είναι ένα κρίσιμο έργο για τη μείωση της πολυπλοκότητας και του κόστους, επιτυγχάνοντας παράλληλα επαρκή αθροιστικό ρυθμό. Προηγούμενες εργασίες για την υβριδική προκωδικοποίηση βασίζονταν συνήθως σε βελτιστοποίηση ή απαιτητικές (greedy) προσεγγίσεις. Αυτές οι μέθοδοι είτε παρέχουν μεγαλύτερη πολυπλοκότητα είτε έχουν υποβέλτιστη απόδοση. Επιπλέον, η απόδοση αυτών των μεθόδων βασίζεται κυρίως στην ποιότητα των δεδομένων του καναλιού.

Η παρούσα διπλωματική εργασία καλείται να παράσχει ένα πλαίσιο βαθιάς μάθησης (deep learning, DL) για τη βελτίωση της απόδοσης και την παροχή μικρότερου χρόνου υπολογισμού σε σύγκριση με τις συμβατικές τεχνικές. Στην πραγματικότητα, θα σχεδιαστεί ένα συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (CNN-MIMO) που δέχεται ως είσοδο μια ατελή μήτρα καναλιού και δίνει τον αναλογικό προκωδικοποιητή και συνδυαστές στην έξοδο. 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 κεραιές 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 στο 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 των δύο τύπων 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, χιλιοστομετρικές επικοινωνίες, mMIMO συστήματα, Βαθιά Μάθηση, Εκτίμηση Καναλιού, Προκωδικοποίηση 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

6. 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 Επιδράσεις 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 επιτεύξιμο 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

7. 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, πολλαπλής πρόσβασης 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

8. Πλάνο Διαχείρισης Μη-Ορθογώνιων Πόρων σε Ετερογενή Κατανεμημένα massive MIMO Συστήματα

Οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης επιτρέπουν σε πολλούς τελικούς 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 τελικούς χρήστες. Η νέα τεχνολογική γενιά των ασύρματων δικτύων 5ης γενιάς (5G) αναμένεται να υποστηρίξει έναν ακόμη μεγαλύτερο αριθμό συνδέσεων διαφορετικών απαιτήσεων (throughput, latency) 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. Μεταξύ αυτών συγκαταλέγεται η μη-ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση (Non Orthogonal Multiple Access - NOMA). Η NOMA μπορεί να συνδυαστεί εύκολα και με άλλες υφιστάμενες αλλά και νέες τεχνολογίες, όπως αυτές των πολλαπλών κεραιοστοιχείων μεγάλης κλίμακας (massive MIMO) και των επικοινωνιών χιλιοστομετρικής μετάδοσης (mmWave), με στόχο την αύξηση της απόδοσης του συστήματος γενικότερα.

Συγκεκριμένα, οι κεραιοστοιχείες μεγάλης κλίμακας οι οποίες αποτελούνται από δεκάδες εκατοντάδες/χιλιάδες κεραιοστοιχεία στο σταθμό βάσης, αυξάνουν το πλήθος των εξυπηρετούμενων χρηστών και εξομαλύνουν τις H/M ομοδιαλυτικές παρεμβολές. Από την άλλη, τα ετερογενή δίκτυα (HetNets) ενσωματώνουν στη δομή τους μεγάλης πυκνότητας μικρές κυψέλες, με σκοπό τη δημιουργία κοντινότερων ζεύξεων σταθμού βάσης - χρήστη, 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 συχνοτήτων.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, αρχικά θα σχεδιαστεί ένα υβριδικό ετερογενές δίκτυο 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 MIMO κεραιοστοιχεία, ενώ οι σταθμοί βάσης των pico κυψελών και οι συσκευές των τελικών χρηστών θα είναι εξοπλισμένοι με μία απλή κεραία, (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.

Λέξεις Κλειδιά: B5G, Μη-ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση (NOMA), χιλιοστομετρικές επικοινωνίες, mMIMO συστήματα, 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. Μαρία Σεϊμένη, mseimeni@icbnet.ece.ntua.gr

9. Εξερεύνηση Μεθόδων Εξαγωγής Χαρακτηριστικών για Δικτυακά Δεδομένα

Καθώς οι δικτυακές υποδομές συνεχίζουν να αυξάνονται σε κλίμακα και πολυπλοκότητα, ο όγκος και η ποικιλομορφία των δεδομένων που παράγονται από την κίνηση πακέτων IP παρουσιάζει ευκαιρίες και προκλήσεις για ανάλυση. Η μηχανική μάθηση (machine learning, ML) έχει γίνει ένα ισχυρό εργαλείο για την αντιμετώπιση διαφόρων δικτυακών διεργασιών, όπως η ανίχνευση εισβολών, η ταξινόμηση της κίνησης και ο εντοπισμός ανωμαλιών. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα των μοντέλων ML εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση. Η προεπεξεργασία των δικτυακών δεδομένων είναι ένα κρίσιμο βήμα που περιλαμβάνει τη μετατροπή της ακατέργαστης κίνησης πακέτων IP σε μια μορφή κατάλληλη για μοντέλα ML.

Τα δικτυακά δεδομένα, που συνήθως αποτελούνται από καταγραφές κίνησης πακέτων IP, παρουσιάζουν πολλές προκλήσεις για τα μοντέλα μηχανικής μάθησης, όπως υψηλή διαστατικότητα, θόρυβο και την απαίτηση για επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η διπλωματική εργασία στοχεύει να διερευνήσει διαφορετικές μεθόδους προεπεξεργασίας για κίνηση πακέτων IP, εστιάζοντας τόσο σε χειρωνακτικές τεχνικές εξαγωγής χαρακτηριστικών όσο και σε τεχνικές αυτόματης εξαγωγής χαρακτηριστικών. Ο απώτερος στόχος είναι να καθοριστούν οι βέλτιστες πρακτικές για την προετοιμασία δικτυακών δεδομένων με τρόπο που να βελτιώνει την απόδοση των μοντέλων ML σε διάφορες διεργασίες που σχετίζονται με τα δίκτυα. Οι πρωταρχικοί στόχοι αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι:

- 1. Εξερεύνηση Μεθόδων Χειρωνακτικής Εξαγωγής Χαρακτηριστικών:** Κοινά χαρακτηριστικά που προέρχονται από την κίνηση πακέτων IP είναι η διάρκεια ροής, το μέγεθος των πακέτων και οι χρόνοι μεταξύ των αφίξεων. Ποια από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι κατάλληλα για ποια δικτυακά προβλήματα (π.χ. ανίχνευση εισβολής, ταξινόμηση κυκλοφορίας);
- 2. Αξιολόγηση Αυτόματης Εξαγωγής Χαρακτηριστικών:** Προσεγγίσεις που βασίζονται στη βαθιά μάθηση και αφήνουν το δίκτυο να αποφασίσει ποια χαρακτηριστικά είναι κατάλληλα για τη διεργασία ενδιαφέροντος. Ποιες οι δυνατότητες εφαρμογής και η αποτελεσματικότητά τους για δικτυακά δεδομένα;
- 3. Εξαγωγή Χαρακτηριστικών σε Πραγματικό Χρόνο:** Με ποιους τρόπους αλλάζει η διαδικασία εξαγωγής χαρακτηριστικών όταν πρέπει να γίνεται με την ελάχιστη καθυστέρηση;

Η ροή εργασιών της προτεινόμενης διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνει τις ακόλουθες βασικές φάσεις. Πρώτα, θα διεξαχθεί αναλυτική βιβλιογραφική ανασκόπηση για τον εντοπισμό και τη συγκέντρωση των υπάρχουσών μεθόδων εξαγωγής χαρακτηριστικών για δικτυακά δεδομένα. Στη συνέχεια, αυτές οι μέθοδοι αλλά και νέες θα εφαρμοστούν σε διάφορα σύνολα δεδομένων για την αξιολόγησή τους ως προς την αντιστάθμιση απόδοσης - καθυστέρησης στις επιλεγμένες διεργασίες.

Λέξεις Κλειδιά: Δίκτυα Υπολογιστών, Επίπεδο Δικτύου, Πακέτα IP, Εξαγωγή Χαρακτηριστικών, Προεπεξεργασία Δεδομένων, Κατηγοριοποίηση Δικτυακής Κίνησης

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

Υπεύθυνος Ερευνητής: Ιωάννης Πανόπουλος, ioannispanop@mail.ntua.gr

10. Καινοτόμες Τεχνικές Αυτο-επιβλεπόμενης Μάθησης για Δικτυακά Δεδομένα

Η αυτό-επιβλεπόμενη μάθηση (self-supervised learning, SLL) είναι ένα παράδειγμα που επιτρέπει στα μοντέλα να μαθαίνουν αναπαραστάσεις από δεδομένα χωρίς ετικέτες διατυπώνοντας βοηθητικές εργασίες, γνωστές ως διεργασίες προσχήματος (pretext tasks). Αυτές οι διεργασίες δημιουργούν ετικέτες ή στόχους από τα ίδια τα δεδομένα, επιτρέποντας στα μοντέλα να μαθαίνουν χρήσιμα χαρακτηριστικά χωρίς να απαιτείται ανθρώπινος σχολιασμός. Στους τομείς της όρασης υπολογιστών και της επεξεργασίας φυσικής γλώσσας, οι διεργασίες προσχήματος έχουν υιοθετηθεί ευρέως και έχουν αποδειχθεί άκρως αποτελεσματικές. Για παράδειγμα, στην όραση υπολογιστών, διεργασίες όπως η αποκατάσταση εικόνων (image inpainting) και η πρόβλεψη της περιστροφής (rotation prediction) επέτρεψαν στα μοντέλα να συλλάβουν χωρικές ιεραρχίες και οπτική σημασιολογία. Στην επεξεργασία φυσικής γλώσσας, η μοντελοποίηση γλώσσας με χρήση μασκών (masked language modeling) και η πρόβλεψη επόμενης πρότασης (next sentence prediction) έχουν διευκολύνει την εκμάθηση αναπαραστάσεων λέξεων με βάση τα συμφραζόμενα, οδηγώντας σε σημαντικές εξελίξεις στην κατανόηση της γλώσσας.

Παρά τις σημαντικές προόδους στην αυτό-επιβλεπόμενη μάθηση, η εφαρμογή της σε δικτυακά δεδομένα παραμένει σχετικά ανεξερεύνητη. Τα μοναδικά χαρακτηριστικά της δικτυακής κίνησης, όπως η χρονική μεταβλητότητα, τα μοτίβα ροών και η υψηλή διαστατικότητα, παρουσιάζουν προκλήσεις και ευκαιρίες για την SSL. Επιπλέον, η σπανιότητα των επισημασμένων δικτυακών συνόλων δεδομένων τονίζει περαιτέρω την ανάγκη για αυτό-επιβλεπόμενες προσεγγίσεις που μπορούν να χρησιμοποιήσουν αποτελεσματικά δεδομένα χωρίς ετικέτες. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει επιτακτική ανάγκη να προσαρμοστούν

οι υπάρχουσες διεργασίες προσχήματος ή να αναπτυχθούν νέες, ειδικά για δικτυακά δεδομένα, ώστε να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά ο πλούτος των πληροφοριών που περιέχονται σε αυτά.

Η ροή εργασιών της προτεινόμενης διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνει τις ακόλουθες βασικές φάσεις. Πρώτα, θα διεξαχθεί αναλυτική βιβλιογραφική ανασκόπηση για τον εντοπισμό υπαρχουσών διεργασιών προσχήματος και την αξιολόγηση της συνάφειάς τους με δικτυακά δεδομένα. Έπειτα, θα προταθούν διάφορες νέες διεργασίες προσχήματος με βάση τα χαρακτηριστικά της δικτυακής κίνησης, οι οποίες θα εφαρμοστούν σε μια σειρά από μη επισημασμένα σύνολα δεδομένων για την εκπαίδευση των αυτό-επιβλεπόμενων μοντέλων. Στη συνέχεια, τα μοντέλα θα προσαρμοστούν σε επισημασμένα υποσύνολα για συγκεκριμένες διεργασίες ταξινόμησης και, τελικά, η απόδοσή τους θα χρησιμεύσει ως ένδειξη της αποτελεσματικότητας των προτεινόμενων διεργασιών προσχήματος.

Λέξεις Κλειδιά: Δίκτυα Υπολογιστών, Κατηγοριοποίηση Δικτυακής Κίνησης, Επίπεδο Δικτύου, Πακέτα IP, Αυτό-επιβλεπόμενη Μάθηση, Διεργασίες Προσχήματος

Επιθυμητές Γνώσεις: Βασικές έννοιες δικτύων, μηχανικής και βαθιάς μάθησης, εκπαίδευσης νευρωνικών δικτύων, προεπεξεργασίας δεδομένων, αυτό-επιβλεπόμενης μάθησης. Python. Βιβλιοθήκες μηχανικής/βαθιάς μάθησης (TensorFlow, PyTorch).

Υπεύθυνος Ερευνητής: Ιωάννης Πανόπουλος, ioannispanop@mail.ntua.gr

11. Βελτίωση της Απόδοσης των Συστημάτων Ανίχνευσης Εισβολών με την Εφαρμογή Συσταδοποίησης στην Καλοήθη Κλάση

Τα συστήματα ανίχνευσης εισβολών (intrusion detection systems, IDS) διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διαφύλαξη των δικτύων, διαχωρίζοντας μεταξύ της καλοήθους (benign) κίνησης και της κακόβουλης (malicious) δραστηριότητας. Στα τυπικά σύνολα δεδομένων IDS, οι κακόβουλες επιθέσεις αντιπροσωπεύονται από πολλαπλές καλά καθορισμένες κλάσεις, ενώ η καλοήθης κίνηση αντιμετωπίζεται συνήθως ως μία κλάση. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη ακρίβεια αναγνώρισης, καθώς παραβλέπει τη φυσική μεταβλητότητα που υπάρχει στην καλοήθη δικτυακή κίνηση, η οποία θα μπορούσε να προέρχεται από διαφορετικές πηγές, να παρουσιάζει διαφορετικά μοτίβα και να έχει ως αποτέλεσμα διαφορετικούς τύπους καλοήθους δραστηριότητας.

Η προτεινόμενη διπλωματική εργασία στοχεύει στην εφαρμογή αλγορίθμων συσταδοποίησης (clustering) στην καλοήθη κλάση ενός συνόλου δεδομένων ανίχνευσης εισβολών για τον εντοπισμό διακριτών υποομάδων, οι οποίες θα αντιπροσωπεύουν διαφορετικούς τύπους καλοήθους συμπεριφοράς, επιτρέποντας πιο λεπτομερή εκπαίδευση των μοντέλων IDS. Αυτή η προσέγγιση βασίζεται στην ιδέα ότι η καλοήθης κίνηση, όπως και η κακόβουλη, είναι ετερογενής και ότι αυτή η ετερογένεια μπορεί να αξιοποιηθεί για τη βελτίωση της απόδοσης των μοντέλων μηχανικής μάθησης. Η υπόθεση είναι ότι η συσταδοποίηση της καλοήθους κίνησης θα βελτιώσει την κατανόηση του IDS για την καλοήθη κίνηση και κατά συνέπεια την απόδοσή του, οδηγώντας σε πιο ακριβή διαφοροποίηση μεταξύ κανονικών και κακόβουλων δικτυακών δραστηριοτήτων. Οι πρωταρχικοί στόχοι αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι:

1. Εφαρμογή μεθόδων συσταδοποίησης (όπως k-means, DBSCAN, ιεραρχική ομαδοποίηση κ.ά.) στην καλοήθη κλάση συνόλων δεδομένων IDS για τον προσδιορισμό υποομάδων που αντιπροσωπεύουν διαφορετικούς τύπους καλοήθους κίνησης.
2. Διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο η ενσωμάτωση καλοηθών συστάδων ως υποκατηγορίες βελτιώνει την ακρίβεια και την ευρωστία των μοντέλων IDS που βασίζονται στη μηχανική μάθηση.
3. Ανάλυση των ψευδώς θετικών δειγμάτων, μια σημαντική πρόκληση στα συστήματα IDS, πριν και μετά την εφαρμογή της συσταδοποίησης.

Η ροή εργασιών της προτεινόμενης διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνει τις ακόλουθες βασικές φάσεις. Πρώτα, θα διεξαχθεί αναλυτική βιβλιογραφική ανασκόπηση για τη μελέτη των υπαρχουσών μεθόδων συσταδοποίησης και την αξιολόγηση της συνάφειάς τους με δικτυακά δεδομένα. Στη συνέχεια, διάφοροι μέθοδοι θα εφαρμοστούν σε έναν αριθμό από σύνολα δεδομένων για την επαύξηση της καλοήθους κλάσης και, τέλος, διάφορα μοντέλα θα εκπαιδευτούν με το αρχικό και το επαυξημένο σύνολο δεδομένων για την αξιολόγηση της απόδοσης της συσταδοποίησης και την εύρεση της κατάλληλης μεθόδου και τρόπου εφαρμογής.

Λέξεις Κλειδιά: Δίκτυα Υπολογιστών, Επίπεδο Δικτύου, Πακέτα IP, Σύστημα Ανίχνευσης Εισβολών, Κατηγοριοποίηση Δικτυακής Κίνησης, Συσταδοποίηση

Επιθυμητές Γνώσεις: Βασικές έννοιες δικτύων, ασφάλειας δικτύων, μηχανικής και βαθιάς μάθησης, εκπαίδευσης νευρωνικών δικτύων, προεπεξεργασίας δεδομένων, μη επιβλεπόμενης μάθησης, συσταδοποίησης. Python. Βιβλιοθήκες μηχανικής/βαθιάς μάθησης (TensorFlow, PyTorch).

Υπεύθυνος Ερευνητής: Ιωάννης Πανόπουλος, ioannispanop@mail.ntua.gr

12. Σχεδίαση Συστήματος Ανίχνευσης Εισβολών για τον Εντοπισμό Νέων Απειλών

Καθώς οι επιθέσεις στον κυβερνοχώρο αυξάνονται σε πολυπλοκότητα και συχνότητα, τα συστήματα ανίχνευσης εισβολών (intrusion detection systems, IDS) έχουν γίνει κρίσιμα για την ασφάλεια των δικτυακών υποδομών. Ενώ οι παραδοσιακές λύσεις IDS βασίζονται σε μεθόδους ανίχνευσης που αναγνωρίζουν γνωστά μοτίβα επίθεσης, είναι συχνά αναποτελεσματικές έναντι νέων, άγνωστων απειλών. Για να αντιμετωπιστεί αυτός ο περιορισμός, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρήση της μηχανικής μάθησης, ιδιαίτερα της βαθιάς μάθησης, για την ανίχνευση τέτοιων δειγμάτων, που ονομάζονται εκτός κατανομής (out of distribution, OOD), υποδεικνύοντας επιθέσεις που διαφέρουν από εκείνες στις οποίες το σύστημα έχει αρχικά εκπαιδευτεί.

Τα συστήματα ανίχνευσης εισβολών εκπαιδεύονται σε μεγάλα σύνολα δεδομένων που περιέχουν δείγματα δικτυακής κίνησης, τόσο καλοήθους (benign) όσο και κακόβουλης (malicious). Ωστόσο, αυτά τα συστήματα συνήθως δυσκολεύονται όταν αντιμετωπίζουν νέους τύπους επιθέσεων που δεν ήταν μέρος των δεδομένων εκπαίδευσης τους, γνωστά ως δείγματα OOD. Η πρόκληση του εντοπισμού τέτοιων επιθέσεων έγκειται στον εντοπισμό ανώμαλων μοτίβων στη δικτυακή κίνηση που είναι ενδεικτικά μιας πιθανής απειλής, αλλά δεν ταιριάζουν στα χαρακτηριστικά των γνωστών επιθέσεων.

Αυτή η διπλωματική εργασία στοχεύει στην ανάπτυξη ενός IDS βασισμένου στη βαθιά μάθηση, το οποίο θα μπορεί (α) να εντοπίζει επιθέσεις τόσο εντός όσο και εκτός κατανομής σε δικτυακή κίνηση σε πραγματικό χρόνο, και (β) να παρέχει ένα ποσοστό της αβεβαιότητας των προβλέψεων του μοντέλου για την επισήμανση πιθανών δειγμάτων OOD. Η ροή εργασιών της προτεινόμενης διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνει τις ακόλουθες βασικές φάσεις. Πρώτα, θα διεξαχθεί αναλυτική βιβλιογραφική ανασκόπηση για τη μελέτη των υπάρχουσών μεθόδων ανίχνευσης δειγμάτων OOD και την αξιολόγησή της δυνατότητας εφαρμογής τους σε δικτυακά δεδομένα. Στη συνέχεια, θα προταθούν νέες μέθοδοι ανίχνευσης νέων επιθέσεων και θα εφαρμοστούν σε διάφορα σύνολα δεδομένων για την αξιολόγηση της απόδοσής τους ως προς την ακρίβεια ανίχνευσης και την αποτελεσματικότητά τους.

Λέξεις Κλειδιά: Δίκτυα Υπολογιστών, Επίπεδο Δικτύου, Πακέτα IP, Σύστημα Ανίχνευσης Εισβολών, Κατηγοριοποίηση Δικτυακής Κίνησης, Εντοπισμός Νέων Απειλών, Δείγματα εκτός Κατανομής

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

Υπεύθυνος Ερευνητής: Ιωάννης Πανόπουλος, ioannispanop@mail.ntua.gr

13. Ανάπτυξη Προσαρμοσμένου Συστήματος Κατανομής Μηχανικής Μάθησης για Εκφόρτωση Δεδομένων στις Παρυφές του Δικτύου

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 κινητών συσκευών (smart mobile applications) 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, και (β) στο υπολογιστικό νέφος ή στις παρυφές του δικτύου (edge) 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 καταναεμημένη εκτέλεση ανάλογα με τις συνθήκες και τα δυναμικά χαρακτηριστικά τόσο του απομακρυσμένου εξυπηρετητή και της κινητής συσκευής, όσο και της σύνδεσης μεταξύ τους.

Η αρχιτεκτονική της αποφόρτισης (offloading) κάνει χρήση της τεχνικής της τομής μοντέλων, όπου γίνεται μερική εκτέλεση του μοντέλου στη συσκευή και προώθηση των ενδιάμεσων χαρακτηριστικών στον εξυπηρετητή ώστε να ολοκληρωθεί η επεξεργασία τους. Η τεχνική αυτή παρουσιάζει πολλές δυναμικές προκλήσεις, όπως η επιλογή του βέλτιστου σημείου τομής ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες και ανάγκες του χρήστη, ή ο βέλτιστος τρόπος συμπίεσης και κωδικοποίησης των ενδιάμεσων χαρακτηριστικών. Μια καινοτόμα προσέγγιση που μπορεί να αποφέρει βελτιωμένη απόδοση είναι η χρήση ενός προσαρμοσμένου δικτύου στην πλευρά της κινητής συσκευής, το οποίο είναι πιο ελαφρύ και αποδοτικό από το αρχικό, ενώ στοχεύει να μιμηθεί την παραγωγή των ενδιάμεσων χαρακτηριστικών του διατηρώντας έτσι υψηλή ακρίβεια. Για την ανάπτυξη του προσαρμοσμένου δικτύου γίνεται χρήση της τεχνικής απόσταξης γνώσης (knowledge distillation).

Η προτεινόμενη διπλωματική εργασία περιλαμβάνει τις ακόλουθες φάσεις: (α) ανάπτυξη και αξιολόγηση στρατηγικών τομής μοντέλων για την αποδοτική εκτέλεση εφαρμογών βαθιάς μάθησης, (β) ανάπτυξη του προσαρμοσμένου μοντέλου με στόχο τη μείωση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας και διατήρηση της ακρίβειας, (γ) αξιολόγηση του συστήματος σε ποικίλα σενάρια.

Λέξεις Κλειδιά: *Νευρωνικά Δίκτυα, Βαθιά Μάθηση, Καταναεμημένη Συμπερασματολογία, Συνεργατικές Τεχνικές, Εκφόρτωση, Όραση Υπολογιστών, Συνελκτικά Δίκτυα, Απόσταξη Γνώσης, Παρυφές Δικτύου*

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

Υπεύθυνος Ερευνητής: *Σωκράτης Νικολαΐδης, sokratismkolaidis@mail.ntua.gr*

14. Ενίσχυση της Αποδοτικότητας Καταναεμημένων 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 καταναεμημένης συμπερασματολογίας με υποβοήθηση από εξυπηρετητή (server), ο οποίος είναι τοποθετημένος στις παρυφές του δικτύου ώστε να βρίσκεται κοντά στις συσκευές. Μια διαδεδομένη καταναεμημένη 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 προτερήματα 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, Συνελικτικά Δίκτυα, Πρόωρες Έξοδοι, Παρυφές Δικτύου*

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

Επιστημονικός Υπεύθυνος/Επικοινωνία: Σωκράτης Νικολαΐδης, sokratisnikolaidis@mail.ntua.gr