

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Διπλωματικές Εργασίες 2025

Καθηγητής Εμμανουήλ Βαρβαρίγος (vmanos@mail.ntua.gr)

6G δίκτυα και Edge/Cloud τεχνολογίες

Θέμα 1: Ευφυής και αυτόνομη διαχείριση container/unikernel images για βελτιστοποιημένη απόδοση σε 6G περιβάλλοντα

Keywords: 6G networks, edge-cloud continuum, orchestration

Η εργασία στοχεύει στην ανάπτυξη ενός αυτόνομου και προσαρμοστικού μηχανισμού διαχείρισης container/unikernels images για κατανεμημένες 6G υποδομές, όπου οι εφαρμογές πρέπει να εκτελούνται με ελάχιστη καθυστέρηση και υψηλή αξιοπιστία. Το προτεινόμενο σύστημα θα βασίζεται σε τρεις άξονες: (i) τοπική αποθήκευση και caching container/unikernel images κοντά στο σημείο εκτέλεσης, (ii) κατανεμημένα image registries με κοινόχρηστο S3-compatible storage layer, και (iii) αυτόματη policy-based διανομή μέσω ευφυών αλγορίθμων ενορχήστρωσης.

Στα πλαίσια της διπλωματικής ο φοιτητής/η φοιτήτρια θα ερευνήσει και θα υλοποιήσει αλγορίθμους predictive prefetching βασισμένους σε πολιτικές κατανομής και συνδυασμό caching και deduplication, ώστε να αποφεύγεται η επαναλαμβανόμενη λήψη images και να μειώνεται σημαντικά η καθυστέρηση cold start. Παράλληλα, θα αξιολογήσει την προσέγγιση σε κινητά ή περιοδικά αποσυνδεδεμένα edge nodes (π.χ. οχήματα, drones).

Σχετική βιβλιογραφία

- CNCF Distribution Registry: <https://distribution.github.io/distribution>
- MinIO high-performance, S3-compatible object storage solution: <https://github.com/minio/minio>
- OCI Specifications: <https://github.com/opencontainers/distribution-spec>
- Muhammad Waseem, et. al “Containerization in Multi-Cloud Environment: Roles, Strategies, Challenges, and Solutions for Effective Implementation” <https://arxiv.org/pdf/2403.12980>
- Soeren Becker, et. al. “EdgePier: P2P-based Container Image Distribution in Edge Computing Environments”, <https://arxiv.org/pdf/2109.12983>

Θέμα 2: Αυτόνομη και βασισμένη σε πολιτικές (policy-based) κατανομή container/unikernel images για βελτιστοποιημένη απόδοση cold start σε 6G περιβάλλοντα

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός ευφυούς μηχανισμού διαχείρισης και διανομής container/unikernel images σε κατανεμημένα και ετερογενή υπολογιστικά περιβάλλοντα edge-cloud. Στα σύγχρονα συστήματα, κάθε containerized εφαρμογή

κατεβάζει τα απαραίτητα images απευθείας από κεντρικά registries, προκαλώντας περιττή κυκλοφορία δικτύου, αυξημένο χρόνο εκκίνησης (cold start latency) και αυξημένη κατανάλωση αποθηκευτικού χώρου κυρίως για edge πόρους. Η εργασία θα εξετάσει την ανάπτυξη ενός αυτοματοποιημένου και policy-based πλαισίου, που θα είναι σε θέση να διανέμει δυναμικά και με βάση τις ορισμένες πολιτικές τα διάφορα images, να τα αποθηκεύει τοπικά και να τα ανανεώνει δυναμικά σε ένα πλήθος από κατανεμημένα registries. Οι πολιτικές θα ορίζονται από τους διαχειριστές το συστήματος και θα καθορίζουν μεταξύ άλλο το επίπεδο caching, διανομής, και προφόρτωσης (prefetching).

Αντικείμενο της εργασίας θα είναι ο σχεδιασμός ενός τέτοιου πλαισίου χρησιμοποιώντας διαθέσιμες open-source τεχνολογίες καθώς και η υλοποίηση ενός βασικού proof-of-concept συστήματος βασισμένο σε πολλαπλά τοπικά registry frontends (CNCF Distribution project) με S3-compatible backends (π.χ. MinIO), των οποίων η λειτουργία θα καθορίζεται από έξυπνες πολιτικές διανομής και εξισορρόπησης. Το σύστημα θα δοκιμαστεί σε περιβάλλον πολλαπλών clusters (multi-cluster edge), με στόχο τη μείωση του χρόνου cold start, την ελαχιστοποίηση διπλών λήψεων και τη βελτιστοποίηση αποθήκευσης.

Σχετική βιβλιογραφία

- A. Kretsis et. al. "EMPYREAN: Trustworthy, Cognitive and AI-driven Collaborative Associations of IoT Devices and Edge Resources for Data Processing", 33rd International Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing (HPDC 24), 3-7 June 2024, Pisa, Italy
- Knative: <https://knative.dev>
- CNCF Distribution Registry: <https://distribution.github.io/distribution>
- MinIO high-performance, S3-compatible object storage solution: <https://github.com/minio/minio>
- OCI Specifications: <https://github.com/opencontainers/distribution-spec>

Θέμα 3: Ελεγχόμενοι και Αξιόπιστοι Μηχανισμοί Ενορχήστρωσης μεταξύ Πολλαπλών Aggregators με την χρήση DLT τεχνολογιών.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η σχεδίαση και ανάπτυξη μηχανισμών ενορχήστρωσης με δυνατότητα ελέγχου και πιστοποίησης (auditable orchestration) μεταξύ πολλαπλών Aggregators σε καθεστώς multi-agent λειτουργίας, με τη χρήση Distributed Ledger Technologies (DLTs). Σε υπερ-κατανεμημένα και ενοποιημένα edge-cloud περιβάλλοντα (federated edge-cloud), όπου οι αποφάσεις ενορχήστρωσης και ο κύκλος διαχείρισης των εργασιών εκτείνονται σε πολλαπλούς, ετερογενείς τομείς (Associations), απαιτείται ένας αξιόπιστος και αδιάβλητος μηχανισμός συντονισμού. Η εργασία θα μελετήσει πώς τα DLTs (όπως Hyperledger Fabric ή IOTA) μπορούν να αποτελέσουν βασικό επίπεδο εμπιστοσύνης για τη συνεργασία μεταξύ Aggregators, εξασφαλίζοντας διαφάνεια, ασφάλεια και ανθεκτικότητα. Η προτεινόμενη υλοποίηση θα αξιοποιεί έξυπνα συμβόλαια (smart contracts) για: (i) αξιόπιστη λήψη αποφάσεων μεταξύ Aggregators χωρίς την ανάγκη κεντρικού συντονιστή, (ii) ασφαλή συντονισμό πολλαπλών agents, και (iii) ανάκτηση κατάστασης και ιστορικού ενορχήστρωσης από το DLT σε περιπτώσεις σφαλμάτων ή μετακίνησης κόμβων.

Αντικείμενο της εργασίας θα είναι ο σχεδιασμός ενός τέτοιου πλαισίου χρησιμοποιώντας διαθέσιμες open-source τεχνολογίες καθώς και η υλοποίηση ενός βασικού proof-of-concept multi-agent control plane, το οποίο θα συνδέεται με πολλαπλούς Aggregators και θα επιτρέπει αυτόνομη, διαφανή και επαληθεύσιμη λειτουργία.

Σχετική βιβλιογραφία

- S. A. Boamah, et. al “A Survey for Blockchain-Enabled Resource Management in Edge Networks”, <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10967521>
- Adam Zahir. et. al “Blockchain-Driven Federation for Distributed Edge Systems: Design and Experimental Validation” <https://arxiv.org/html/2509.24846v1>
- Dinh C. Nguyen, et. al. “Federated Learning Meets Blockchain in Edge Computing: Opportunities and Challenges”, <https://arxiv.org/pdf/2104.01776>
- Hyperledger Fabric: <https://www.hyperledger.org/use/fabric>
- Hyperledger Aries: <https://www.hyperledger.org/use/aries>

Θέμα 4: Adjustable Robust Optimization για latency-aware τοποθέτηση workloads σε 3-tier edge–cloud (near edge / far edge / cloud)

Keywords: 6G networks, edge–cloud continuum, robust optimization, adjustable (affine) decision rules, latency-aware placement, SLA

Σκοπός είναι η ανάπτυξη μοντέλου και αλγορίθμου Adjustable Robust Optimization (ARO) για την τοποθέτηση πολλών workloads (μικροϋπηρεσίες/VMs) σε υπολογιστικούς κόμβους ενός τριεπίπεδου δικτύου (near edge, far edge, cloud). Κάθε workload ζητά CPU, RAM και I/O, όμως αυτές οι ανάγκες δεν είναι ακριβώς γνωστές· ξέρουμε μόνο μια ονομαστική τιμή και το πόσο μπορεί να αυξηθεί προς τα πάνω. Ο μηχανισμός που θα αναπτυχθεί θα πρέπει να (i) μην ξεπερνά τις χωρητικότητες των κόμβων ακόμα κι αν μερικά workloads ζητήσουν παραπάνω πόρους από το αναμενόμενο, (ii) μειώνει το συνολικό κόστος (υπολογιστικό, δικτυακό/backhaul, ενέργεια), και (iii) τηρεί τα SLA/latency, δηλαδή διαλέγει μόνο κόμβους που «πιάνουν» τον μέγιστο επιτρεπτό χρόνο απόκρισης. Αντικείμενο της εργασίας θα είναι η ανάπτυξη ενός μηχανισμού Robust Optimization με «προϋπολογισμό αβεβαιότητας» που θα προστατεύει από το χειρότερο (αλλά ρεαλιστικό) σενάριο, υποθέτοντας ότι ένα συγκεκριμένο πλήθος από workloads θα ανέβουν ταυτόχρονα πάνω από τη βάση τους.

Σχετική βιβλιογραφία

- Gorissen, B. L., Yanikoglu, I., and den Hertog, D., “A Practical Guide to Robust Optimization,” <https://arxiv.org/abs/1501.02634>
- Bertsimas, D., and Thiele, A., “Robust and Data-Driven Optimization,” in *Tutorials in Operations Research*, INFORMS, 2006, pp. 95–122. doi:10.1287/educ.1063.0022.
- Wang, X., and Jia, W., “Optimizing Edge AI: A Comprehensive Survey on Data, Model, and System Strategies,” arXiv:2501.03265, 2025.

Θέμα 5: Φρουρούμενη Αποδοχή (Guarded Admission) για έλεγχο tail latency (p99/p95) σε συνθήκες εκρηκτικής κίνησης

Keywords: guarded admission, tail latency, SLO aware admission control

Η εισερχόμενη κίνηση σε συστήματα μικροϋπηρεσιών είναι συχνά εκρηκτική (bursty), γεγονός που οδηγεί σε διόγκωση των ουρών και σε υπέρβαση των SLOs ως προς το tail latency (π.χ. p99/p95). Ο μηχανισμός Φρουρούμενης Αποδοχής (Guarded Admission) λειτουργεί σε διακριτά χρονικά διαστήματα (epochs, π.χ. 200–1000 ms) και εφαρμόζει προγνωστικό έλεγχο: παρακολουθεί την τρέχουσα κατάσταση του συστήματος (μήκος ουράς, ρυθμούς άφιξης/εξυπηρέτησης, πρόσφατους δείκτες p95/p99, εκτιμήσεις κατανομής χρόνων εξυπηρέτησης), προβλέπει τον p99 του επόμενου epoch και, όταν εκτιμάται κίνδυνος παραβίασης του SLO, ρυθμίζει την αποδοχή νέων αιτημάτων. Η ρύθμιση αυτή υλοποιείται με συνδυασμό (α) πλήρους αποδοχής όταν οι προβλέψεις είναι εντός ορίων, (β) στοχευμένης αναβολής (defer) μέρους των αιτημάτων με μικρό χρονικό όριο (TTL) ώστε να απορροφώνται τα βραχύβια bursts, και (γ) ελεγχόμενης απόρριψης (shedding) χαμηλότερης προτεραιότητας αιτημάτων όταν η αναβολή δεν επαρκεί. Ο μηχανισμός ενσωματώνει κανόνες δικαιοσύνης και αποφυγής λιμοκτονίας (anti-starvation) ανά κλάση υπηρεσίας και διατηρεί διαφάνεια πολιτικής (τεκμηριωμένοι κανόνες, ιχνηλασιμότητα αποφάσεων), με στόχο τη συστηματική προστασία του tail latency και τη σταθερότητα της απόδοσης υπό μεταβαλλόμενα φορτία.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να αναπτυχθεί και να αξιολογηθεί ένας μηχανισμός Φρουρούμενης Αποδοχής (Guarded Admission) με προγνωστικό έλεγχο, ο οποίος σε διακριτά χρονικά διαστήματα (epochs) εκτιμά τον επόμενο p99/p95 με βάση ζωντανές μετρήσεις (μήκος ουράς, ρυθμοί άφιξης/εξυπηρέτησης, πρόσφατα quantiles), και ρυθμίζει δυναμικά την αποδοχή αιτημάτων.

Σχετική βιβλιογραφία

- J. Dean and L. A. Barroso, “The Tail at Scale,” Communications of the ACM, vol. 56, no. 2, pp. 74–80, 2013. doi:10.1145/2408776.2408794.
- Dunning, T., “Computing Extremely Accurate Quantiles Using t-Digests,” <https://arxiv.org/abs/1902.04023>

Θέμα 6: Δανεισμός πόρων μεταξύ associations/slices με πρόβλεψη και RL για διατήρηση SLOs και έλεγχο tail latency

Keywords: elastic resource borrowing, SLO aware slicing, tail latency control

Σε πολυμισθωτικά περιβάλλοντα edge–cloud/6G, πολλαπλά associations/slices μοιράζονται έναν ελαστικό κοινόχρηστο «pool» πόρων (CPU, RAM, I/O, backhaul). Κάθε slice διαθέτει μια βασική δέσμευση χωρητικότητας αλλά μπορεί, όταν η ζήτηση αυξάνεται, να αιτηθεί πρόσθετους πόρους μέσω δανεισμού δπροκειμένου να διατηρηθούν τα SLOs, ιδίως ως προς το tail latency (p95/p99). Το κεντρικό πρόβλημα προκύπτει όταν πολλοί ταυτόχρονα ζητούν δάνειο: η απροσεκτη ανακατανομή πόρων μπορεί να μεταφέρει την πίεση από ένα slice σε άλλα και να οδηγήσει σε παραβιάσεις SLO με χρονική υστέρηση. Απαιτείται, συνεπώς, ένας μηχανισμός που συνυπολογίζει την παρούσα κατάσταση και τη

βραχυπρόθεσμη εξέλιξη της ζήτησης, ώστε οι αποφάσεις δανεισμού να είναι ασφαλείς και προγνωστικά τεκμηριωμένες.

Η προτεινόμενη προσέγγιση ενσωματώνει πρόβλεψη απαιτήσεων ανά slice στον χρονικό ορίζοντα, εκτιμώντας τον πρόσθετο πόρο που απαιτείται για να παραμείνει το SLO εντός ορίων. Με βάση αυτές τις εκτιμήσεις υπολογίζεται ο διαθέσιμος χώρος σε κάθε slice και προκύπτει μια πολιτική ασφαλούς «πίεσης» προς slices με χαμηλό κίνδυνο μελλοντικής παραβίασης, δηλαδή, από ποια slices είναι σκόπιμο να αντληθούν προσωρινά πόροι χωρίς να προκληθούν δικές τους υπερβάσεις λίγο αργότερα. Σκοπός της διπλωματικής είναι ο σχεδιασμός, η υλοποίηση και η ολοκληρωμένη αξιολόγηση του παραπάνω μηχανισμού. Η αποτίμηση θα γίνει έναντι ισχυρών baseline (στατικές μετοχές, water-filling, myopic heuristics) με μετρικές συμμόρφωσης σε SLO, p95/p99 latency, ρυθμό blocking, κόστος επανακατανομών και δείκτες δικαιοσύνης, επιδεικνύοντας τα οφέλη της συνδυαστικής χρήσης πρόβλεψης και RL στην ασφάλεια και αποδοτικότητα του δανεισμού πόρων.

Σχετική βιβλιογραφία

- Caballero, P., de Veciana, G., Banchs, A., and Perez-Costa, X., "Optimizing Network Slicing via Virtual Resource Pool Partitioning," <https://users.ece.utexas.edu/~gustavo/papers/CDB19b.pdf>
- Raftopoulos, R., Schembra, G., D'Oro, S., and Melodia, T., "DRL-based Latency-Aware Network Slicing in O-RAN with Time-Varying SLAs," <https://arxiv.org/abs/2401.05042>

Θέμα 7: Service Migration σε MEC υποδομές με κινητικότητα χρηστών

Keywords: Mobile Edge Computing, Workload Migration, Edge-Cloud Orchestration

Σύγχρονες κινητές εφαρμογές (AR/VR, gaming, real-time analytics) βασίζονται σε edge servers για χαμηλή καθυστέρηση καθώς οι χρήστες μετακινούνται. Το migration μιας συνεδρίας ή μικροϋπηρεσίας μεταξύ edge κόμβων εισάγει καθυστερήσεις/κόστος και ενίοτε περιορισμούς λόγω της συνύπαρξης διαφορετικών παρόχων. Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας αυτής θα σχεδιαστεί και θα αξιολογηθεί μια διαφανής πολιτική migration που αποφασίζει πότε πρέπει να γίνει μετακίνηση και σε ποιο edge site, με βάση σήματα κινητικότητας, χωρητικότητας και τιμολόγησης.

Στα πλαίσια της παρούσα διπλωματικής θα υλοποιηθεί μικρός προσομοιωτής για τη μοντελοποίηση κινητικότητας χρηστών, δικτυακών/υπολογιστικών καθυστερήσεων και κόστους migration, και θα εξεταστούν ρεαλιστικά σενάρια (διαφορετικές ταχύτητες, συμφόρηση, μεταβαλλόμενες τιμές). Το αποτέλεσμα θα είναι σαφής αποτίμηση των συμβιβασμών μεταξύ QoS (latency, deadlines), συχνότητας migrations και κόστους, μαζί με πρακτικές οδηγίες για το πότε ένα migration ωφελεί ή βλάπτει.

Σχετική βιβλιογραφία

- Wei Qin, Haiming Chen, Lei Wang, Yinshui Xia, Alfredo Nascita, Antonio Pescapè, MCOTM: Mobility-aware computation offloading and task migration for edge computing in industrial IoT, Future Generation Computer Systems, Volume 151, 2024, Pages 232-241, ISSN 0167-739X, <https://doi.org/10.1016/j.future.2023.10.004>.

- T. Kim, M. Al-Tarazi, J.-W. Lin, and W. Choi, "Optimal container migration for mobile edge computing: Algorithm, system design and implementation," IEEE Access, vol. 9, pp. 158 074–158 090, 2021.
- W. Zhang, J. Luo, L. Chen and J. Liu, "A Trajectory Prediction-Based and Dependency-Aware Container Migration for Mobile Edge Computing," in IEEE Transactions on Services Computing, vol. 16, no. 5, pp. 3168-3181, Sept.-Oct. 2023, doi: 10.1109/TSC.2023.3290023.

Θέμα 8: Ενορχήστρωση σε Resource Federations πολλαπλών παρόχων με χρήση μεθόδων Θεωρίας Παιγνίων/Πολλαπλών Πρακτόρων

Keywords: Edge-Cloud Continuum, Multi-Agent Systems, Resource Federations

Σε Federations πολλών παρόχων, οι χρήστες μπορούν να αιτηθούν να εξυπηρετηθούν από διαφορετικές περιοχές/στρώματα (near edge, far edge, cloud) και τύπους instances με διαφορετικά κόστη και επιδόσεις. Τιμές και χωρητικότητες μεταβάλλονται στον χρόνο, και οι ενορχηστρωτές πρέπει να ισορροπούν ποιότητα υπηρεσίας (latency/throughput) με οικονομικό αποτέλεσμα (έσοδο έναντι λειτουργικού κόστους).

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής θα σχεδιαστεί ένας ελαφρύς μηχανισμός ενορχήστρωσης που, για κάθε αίτημα χρήστη, επιλέγει τοποθέτηση (περιοχή/στρώμα, τύπος instance) υπό περιορισμούς χωρητικότητας, καθυστέρησης και προϋπολογισμού, και θα τον συγκρίνει με απλούς κανόνες (π.χ. ελαχιστοποίηση καθυστέρησης ή κόστους). Ο μηχανισμός θα λαμβάνει υπόψιν δυναμικά φαινόμενα και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πολλαπλών πρακτόρων (Federations) που δραστηριοποιούνται στην υποδομή.

Σχετική βιβλιογραφία

- U. Awada and J. Zhang, "Edge Federation: A Dependency-Aware Multi-Task Dispatching and Co-location in Federated Edge Container-Instances," 2020 IEEE International Conference on Edge Computing (EDGE), Beijing, China, 2020, pp. 91-98, doi: 10.1109/EDGE50951.2020.00021.
- F. You, X. Yuan, W. Ni and A. Jamalipour, "Privacy-Preserving Multi-Agent Deep Reinforcement Learning for Effective Resource Auction in Multi-Access Edge Computing," in IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking, vol. 11, no. 3, pp. 1887-1901, June 2025, doi: 10.1109/TCCN.2024.3499342.
- H. T. Malazi and S. Clarke, "Distributed Service Placement and Workload Orchestration in a Multi-access Edge Computing Environment," 2021 IEEE International Conference on Services Computing (SCC), Chicago, IL, USA, 2021, pp. 241-251, doi: 10.1109/SCC53864.2021.00037.

Θέμα: Data-Driven AP Clustering) για User-Centric Cell-Free Massive MIMO

Keywords: Cell-free massive MIMO (CF-mMIMO), User-centric AP clustering, Data-driven adaptive control

Στα cell-free massive MIMO (CF-mMIMO) καταργούνται τα κλασικά όρια κελιών: πολλά κατανεμημένα access points (APs) συνεργάζονται για να εξυπηρετήσουν κάθε χρήστη. Κρίσιμο είναι να αποφασίζεται ποια APs συνεργάζονται για ποιον χρήστη και πώς αυτή η συνεργασία προσαρμόζεται όταν αλλάζουν η κίνηση, οι παρεμβολές ή οι διαθέσιμοι πόροι. Οι στατικές πολιτικές είναι απλές αλλά συχνά αναποτελεσματικές, ενώ οι πλήρως βέλτιστες λύσεις δύσκολα κλιμακώνονται σε μεγάλα και δυναμικά δίκτυα. Η προτεινόμενη εργασία εξετάζει data-driven προσεγγίσεις που μαθαίνουν από τα πραγματικά δεδομένα λειτουργίας και ενημερώνουν δυναμικά τα clusters, αντί να βασίζονται σε άκαμπτους κανόνες. Θα υλοποιηθεί αρθρωτό περιβάλλον προσομοίωσης με ενιαία διεπαφή για ελεγκτές, θα δοθούν benchmarks (greedy αλγόριθμοι), και θα ενσωματωθεί τουλάχιστον μία προσαρμοστική, data-driven μέθοδος. Η αξιολόγηση θα καλύψει ποικίλα σενάρια, ώστε να αναδεικνύονται οι συμβιβασμοί μεταξύ απόδοσης, αποδοτικότητας και ανθεκτικότητας.

Σχετική βιβλιογραφία

- Björnson, E., & Sanguinetti, L., “Scalable Cell-Free Massive MIMO Systems,” <https://arxiv.org/abs/1908.03119>
- Rodrigues, D., Kontos, G., Makris, P., & Varvarigos, E., “Energy-Efficient and User-Centric AP Clustering in Cell-Free Massive MIMO Networks,” https://www.researchgate.net/publication/394435615_Energy-Efficient_and_User-Centric_AP_Clustering_in_Cell-free_Massive_MIMO_Networks
- Ikami, A., et al., “Distributed DRL with Multiple Learners for AP Clustering in Large-Scale Cell-Free Massive MIMO,” <https://ieeetvc.org/vtc2024spring/DATA/PID2024002529.pdf>

Θέμα: Κατανομή Πόρων με Πρόβλεψη Κινητικότητας (Mobility-Aware Proactive Resource Allocation) σε Cell-Free Massive MIMO

Keywords: cell free MIMO, proactive, reactive resource allocation

Στα δίκτυα cell-free massive MIMO (CF-mMIMO) οι χρήστες κινούνται και το ραδιοκανάλι αλλάζει συνεχώς. Αν αναπροσαρμόζουμε πολύ συχνά τις ρυθμίσεις (π.χ. ποια APs εξυπηρετούν κάθε χρήστη), αποσταθεροποιείται το σύστημα. Αν αντιδρούμε πολύ αργά, πέφτει η απόδοση (ρυθμαπόδοση, καθυστέρηση, αξιοπιστία). Η proactive κατανομή πόρων στοχεύει να προβλέπει απλές τάσεις κίνησης/καναλιού και να προσαρμόζει έγκαιρα τις αποφάσεις, πριν εμφανιστεί υποβάθμιση ποιότητας.

Στόχος είναι η δημιουργία ενός μηχανισμού που συνδυάζει μοντελοποίηση κινητικότητας με κατανομή πόρων σε CF-mMIMO. Θα υλοποιηθούν και θα συγκριθούν: (i) reactive στρατηγικές που προσαρμόζουν πόρους μόνο όταν ανιχνεύεται πρόβλημα, και (ii) proactive στρατηγικές που χρησιμοποιούν απλούς κανόνες, μοντέλα κινητικότητας ή/και ελαφρούς προβλεπτές για να δράσουν νωρίτερα.

Η αξιολόγηση θα καλύψει σενάρια με διαφορετικές ταχύτητες και πυκνότητες χρηστών και επίπεδα κίνησης, με δείκτες όπως ρυθμαπόδοση, καθυστέρηση, σταθερότητα, καθώς και λειτουργικό κόστος (ενέργεια, signaling, συχνότητα/όγκος αναδιαμορφώσεων).

Σχετική βιβλιογραφία

- Björnson, E., & Sanguinetti, L., “Scalable Cell-Free Massive MIMO Systems,” <https://arxiv.org/abs/1908.03119>
- Zaher, M., Björnson, E., & Petrova, M., “Soft Handover Procedures in mmWave Cell-Free Massive MIMO Networks,” *IEEE Trans. Wireless Communications*, 23(6):6124–6138, 2024. DOI: 10.1109/TWC.2023.3330199. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10316237>