

# Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

## Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

### Διπλωματικές Εργασίες 2021

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

#### Θέματα Διπλωματικών Εργασιών: 5G & Cloud Technologies

**Θεμα 1. Αξιοποίηση τεχνικών μηχανικής μάθησης για την αποτελεσματική αποθήκευση δεδομένων σε multi cloud και multi edge περιβάλλοντα.**

**Keywords:** Multi cloud, multi edge environments, distributed storage, Machine Learning, multi-objective optimization

Ο όγκος των δεδομένων προς αποθήκευση αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς. Η αποθήκευση των δεδομένων στο νέφος (cloud storage) προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά την κλιμακωση και τη διαθεσιμότητα. Όμως, ο τρόπος αποθήκευσης μπορεί να προκαλέσει προβλήματα που σχετίζονται με την ιδιωτικότητα και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων. Επιπλέον, ο χρόνος για την ανάκτηση τους μπορεί να είναι ιδιαίτερα επιβαρημένος στην περίπτωση η αποθήκευσή τους έχει γίνει μακριά από τον τελικό χρήστη. Για το λόγο αυτό, με την πάροδο του χρόνου και την αύξηση του όγκου των δεδομένων, επιλέγεται η αποθήκευση τους ολο και πιο κοντά στον τελικό χρήστη και έχει προκύψει το μοντέλο αποθήκευσης στα άκρα του δικτύου (edge storage). Ωστόσο, οι αποθηκευτικοί πόροι στα άκρα του δικτύου χαρακτηρίζονται από δυναμικότητα όσον αφορά τη διαθεσιμότητα και η επιλογή του τρόπου αποθήκευσης των δεδομένων πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή. Μια μεγάλη πρόκληση σε ένα τέτοιο περιβάλλον σχετίζεται με τον αποδοτικό, ως προς το κόστος, τη διαθεσιμότητα και τις απαιτήσεις των χρηστών, διαμοιρασμό των δεδομένων στην ιεραρχική edge-cloud υποδομή.

Στα πλαίσια της διπλωματικής θα αναπτυχθούν αλγόριθμοι με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης για την λήψη αποφάσεων σχετικά με την αποθήκευση των δεδομένων σε περιβάλλοντα πολλαπλών cloud και edge υποδομών βάση πολλαπλών κριτηρίων αποθήκευσης (latency, cost, privacy), των αναγκών των χρηστών και των χαρακτηριστικών των διαθέσιμων πόρων. Η ανάπτυξη των αλγορίθμων θα γίνει με τη χρήση Python/Matlab.

#### Σχετική βιβλιογραφία

- Wang, P., Zhao, C., Liu, W., Chen, Z., & Zhang, Z. (2020). Optimizing Data Placement for Cost Effective and High Available Multi-Cloud Storage.
- Pengwei Wang, Caihui Zhao, Yi Wei, Dong Wang, Zhaohui Zhang, An Adaptive Data Placement Architecture in Multicloud Environments

## **Θέμα 2. Δέσμευση πόρων για τη αποτελεσματική λειτουργία ασύρματων και οπτικών δικτύων (FiWi) για την παροχή υπηρεσιών από άκρο σε άκρο.**

**Keywords:** Cell planning, Fiber Wireless Networks, Network management, 5G Networks

Τα κινητά δίκτυα πέμπτης γενιάς (5G), στοχεύουν στην παροχή υπερ-υψηλής ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων με παράλληλη μείωση έως και 90% της ενέργειας που καταναλώνεται εξασφαλίζοντας παράλληλα μικρή καθυστέρηση στη μεταφορά των δεδομένων. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η σχεδίαση υποδομών υψηλής χωρητικότητας, που συνδυάζουν τις υπάρχουσες οπτικές και ασύρματες υποδομές. Βασικός στόχος είναι η παροχή διαφοροποιημένων υπηρεσιών, με παράλληλη αύξηση (έως 1000 φορές) της χωρητικότητας σε σύγκριση με τα 4G δίκτυα.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας θα αναπτυχθούν αλγόριθμοι σχεδίασης ετερογενών δικτύων που θα επιτρέπουν την πλήρη αξιοποίηση των υποδομών ασύρματων και οπτικών δικτύων, στοχεύοντας στην αύξηση της χρησιμοποίησης μιας τέτοιας υποδομής με παράλληλη μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται. Η ανάπτυξη των αλγορίθμων θα γίνει με τη χρήση του προγραμματιστικού περιβάλλοντος MATLAB και τα εργαλεία που αυτό προσφέρει.

### **Σχετική βιβλιογραφία**

- E. Björnson and L. Sanguinetti, "Scalable Cell-Free Massive MIMO Systems," in IEEE Transactions on Communications
- J. Zhang, Y. Xiao, D. Song, L. Bai and Y. Ji, "Joint Wavelength, Antenna, and Radio Resource Block Allocation for Massive MIMO Enabled Beamforming in a TWDM-PON Based Fronthaul.

## **Θέμα 3. Δέσμευση πόρων για την εξυπηρέτηση cloud native εφαρμογών σε ετερογενείς edge, cloud, HPC υποδομές.**

**Keywords:** Cloud native, multiple clouds, edge, HPC, orchestration

Οι κεντροποιημένες υποδομές νέφους (cloud computing infrastructures) χειρίζονται τις περισσότερες από τις υπολογιστικές και αποθηκευτικές απαιτήσεις των σύγχρονων εφαρμογών, καθιστώντας έτσι την τεχνολογία cloud computing ως βασικό στοιχείο της σύγχρονης οικονομίας για την υλοποίηση νέων ψηφιακών υπηρεσιών. Οι υπολογιστικές υποδομές στα άκρα του δικτύου (edge computing infrastructures) προσφέρουν πόρους κοντά στα σημεία δημιουργίας και χρήσης των δεδομένων. Πρόσφατα άρχισαν να χρησιμοποιούνται εκτενώς προκειμένου να μειωθούν οι καθυστερήσεις μεταφοράς και ο όγκος των δεδομένων που μεταφέρονται από τους τελικούς χρήστες προς τις κεντρικές υποδομές. Τέλος, οι High-Performance Computing (HPC) υποδομές που βασίζονται σε υπερυπολογιστές υψηλών προδιαγραφών που προσφέρουν απόδοση πολύ υψηλότερη σε σχέση με τις παραδοσιακές φυσικές ή εικονικές υποδομές.

Παράλληλα τα τελευταία χρόνια έχουν εμφανιστεί μια σειρά από νέες τεχνολογίες και υπηρεσίες που προσπαθούν να αξιοποιήσουν τα πλεονεκτήματα που παρέχουν οι τρεις παραπάνω τύποι υπολογιστικών υποδομών. Όμως, οι διαθέσιμοι πόροι σε όλες αυτές τις υποδομές χαρακτηρίζονται από μεγάλη ετερογένεια ως προς τα χαρακτηριστικά και τις εφαρμογές που μπορούν να εκτελεστούν πιο αποδοτικά σε κάθε επιμέρους υποδομή. Παράλληλα, τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται μια σειρά από προσεγγιστικές τεχνικές (σε επίπεδο υλικού ή/και λογισμικού) με στόχο την περαιτέρω

μείωση του χρόνου εκτέλεσης θυσιάζοντας ωστόσο μέρος της ακρίβειας των υπολογισμών. Σε ένα τόσο ετερογενές και δυναμικό περιβάλλον, προκύπτει το πρόβλημα του κατακερματισμού και της αποδοτικής αξιοποίησης των διαθέσιμων πόρων.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής θα αναπτυχθούν αλγόριθμοι πολλαπλών κριτηρίων που θα αποτελούν μέρους ενός γενικότερου μηχανισμού που θα μπορεί να αναθέτει τις εφαρμογές σε οποιαδήποτε από τις διαθέσιμες edge,cloud και HPC εφαρμογές. Οι αλγόριθμοι θα στοχεύουν στην ικανοποίηση άλλων των προδιαγραφών των εφαρμογών με ταυτόχρονη βελτιστοποίηση της αξιοποίησης των διαθέσιμων πόρων, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη την τρέχουσα κατάσταση της υποδομής. Οι αλγόριθμοι θα αναπτυχθούν στην γλώσσα προγραμματισμού Python, με την αξιοποίηση των κατάλληλων βιβλιοθηκών.

Σχετική βιβλιογραφία

- CNCF Cloud Native  
Definition:<https://github.com/cncf/toc/blob/main/DEFINITION.md>
- Tomarchio, O., Calcaterra, D. & Modica, G.D. Cloud resource orchestration in the multi-cloud landscape: a systematic review of existing frameworks. J Cloud Comp 9, 49 (2020). <https://doi.org/10.1186/s13677-020-00194-7>
- Why the Kubernetes Scheduler Is Not Enough for Your AI Workloads  
<https://www.cncf.io/blog/2020/08/10/why-the-kubernetes-scheduler-is-not-enough-for-your-ai-workloads/>

#### **Θέμα 4. Αλγόριθμοι δέσμευσης πόρων για την εξυπηρέτηση cloud native εφαρμογών σε 5G υποδομές.**

**Keywords:** Cloud native, edge, Multiple-Access Edge Computing, 5G Networks, Virtual Network Embedding

Η ύπαρξη υπολογιστικών πόρων στα άκρα του δικτύου (edge computing) προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στην εξυπηρέτηση των αυστηρών και ετερογενών απαιτήσεων πολλών σύγχρονων εφαρμογών (IoT, Smart Factories, High-quality video, VR, etc). Οι edge υποδομές στοχεύουν να φέρουν πιο κοντά στους τελικούς χρήστες τα χαρακτηριστικά των cloud υποδομών με κύριο στόχο το συνδυασμό της αποτελεσματικής επεξεργασίας με χαμηλούς χρόνους απόκρισης. Όμως, οι διαθέσιμοι πόροι στις edge υποδομές χαρακτηρίζονται από μεγάλη ετερογένεια και περιορισμένες δυνατότητες σε σύγκριση με τις τυπικές cloud υποδομές. Παράλληλα, οι συγκεκριμένες υποδομές αποτελούν ένας από τους βασικότερους πυλώνες για την δημιουργία και υποστήριξη των σύγχρονων 5G υποδομών. Σε ένα τόσο ετερογενές και δυναμικό περιβάλλον, προκύπτει το πρόβλημα της απομόνωσης και μη αποδοτικής χρησιμοποίησης των ετερογενών edge πόρων.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής ως παραδείγματα εφαρμογών θα εξεταστούν σύγχρονες 5G εφαρμογές για την εξυπηρέτηση των οποίων απαιτείται η συντονισμένη ανάθεση υπολογιστικών πόρων τόσο για τις ίδιες τις εφαρμογές (MEC applications) όσο και για τις απαραίτητες 5G εικονικές δικτυακές λειτουργίες (5G Network Functions). Οι εικονικές δικτυακές λειτουργίες (Network Function Virtualization - NFV) έχουν προταθεί και χρησιμοποιούνται ως ένας απαιτητικός μηχανισμός που επιτρέπει στους παρόχους δικτυακών υπηρεσιών να διαχειρίζονται και να παρέχουν κατ' απαίτηση δικτυακές λειτουργίες μέσω λογισμικού.

Στόχος της εργασίας είναι η μελέτη μηχανισμών που θα υποστηρίζουν την βέλτιστη τοποθέτηση με δυναμικό και ευέλικτο τρόπο των επιμέρους δομικών τμημάτων (application functions) αυτών των εφαρμογών στους κατάλληλους edge πόρους λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τους περιορισμούς της υποδομής (δικτυακούς, επεξεργασίας και χώρου αποθήκευσης) και τις προδιαγραφές της εφαρμογής. Η ανάπτυξη των μηχανισμών θα στοχεύει στη βελτιστοποίηση της καθυστέρησης εξυπηρέτησης μέσω της κατάλληλης κατανομής των τμημάτων της εφαρμογής τόσο κάθετα (σε πόρους στα διαφορετικά επίπεδα των edge κόμβων) όσο και οριζόντια (σε διαφορετικούς κόμβους του ίδιου επιπέδου) στην υποδομή. Η ανάπτυξη των αλγορίθμων μπορεί να γίνει με χρήση του προγραμματιστικού περιβάλλοντος MATLAB ή Python και τα εργαλεία που αυτά προσφέρουν.

#### Σχετική βιβλιογραφία

- CNCF Cloud Native Definition: <https://github.com/cncf/toc/blob/main/DEFINITION.md>
- Qiang Duan, Intelligent and Autonomous Management in Cloud-Native Future Networks - A Survey on Related Standards from an Architectural Perspective, Future internet 2021, <https://doi.org/10.3390/fi13020042>
- S. Shah, M. Gregory, S. Li, Cloud-Native Network Slicing Using Software Defined Networking Based Multi-Access Edge Computing: A Survey, IEEE Access, January 2021, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3050155>

#### **Θέμα 5: Ανίχνευση επιθέσεων DDoS σε cloud/edge υποδομές με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης**

**Keywords:** 5G, cloud, edge, Distributed Denial of Service

Η έλευση των δικτύων 5G και η ανάπτυξη και εξέλιξη των cloud και edge υποδομών θα αλλάξουν άρδην τις προσφερόμενες υπηρεσίες και την δημοτικότητά τους. Σε αυτό το περιβάλλον, το θέμα της ασφάλειας και της διαθεσιμότητας των υπηρεσιών είναι πολύ σημαντικό. Οι επιθέσεις Distributed Denial of Service (DDoS) ήταν και είναι σημαντική απειλή για τις δικτυακές υποδομές. Με την εξέλιξη των δικτύων οι πιθανές επιπτώσεις αυτών των επιθέσεων αναμένεται να είναι ακόμα πιο σημαντικές. Η νέα αρχιτεκτονική των edge και cloud υποδομών θέτει νέες προκλήσεις στην αντιμετώπισή τους. Παράλληλα, οι τεχνικές μηχανικής μάθησης έχουν γνωρίσει σημαντική άνθιση τα τελευταία χρόνια, λόγω και της ευρείας διαθεσιμότητας των δεδομένων για την εκπαίδευσή τους. Ένας από τους τομείς που μπορούν να βρουν εφαρμογή είναι η ανίχνευση και εντοπισμός των DDoS επιθέσεων.

Σε αυτή τη διπλωματική θα μελετηθεί καταρχάς το γενικό υπόβαθρο των DDoS επιθέσεων καθώς και οι προκλήσεις των DDoS στις edge και cloud υποδομές. Ακολούθως θα μελετηθούν τεχνικές μηχανικής μάθησης και ποιες από αυτές μπορούν να εφαρμοστούν για την ανίχνευση και τον εντοπισμό DDoS επιθέσεων. Τέλος θα γίνει εκτίμηση της ακρίβειας των τεχνικών με βάση πραγματικά και ρεαλιστικά δεδομένα δικτύου.

Επιθυμητές Γνώσεις: Δίκτυα επικοινωνιών, Python, Μηχανική μάθηση

#### Σχετική βιβλιογραφία

- O. Osanaiye, K-K. Choo, M. Dlodlo, "Distributed denial of service (DDoS) resilience in cloud: Review and conceptual cloud DDoS mitigation framework," Journal of Network and Computer Applications, Volume 67, 2016.

- J.H. Corrêa, P.M. Ciarelli, M.R.N. Ribeiro, et al, "ML-Based DDoS Detection and Identification Using Native Cloud Telemetry Macroscopic Monitoring," Journal of Network and Systems Management, Volume 29, Article 13, 2021.

## **Θέμα 6: Ανίχνευση ανωμαλιών σε cloud υποδομές με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης**

Keywords: Anomaly detection, Machine Learning, cloud infrastructures

Η αλματώδης εξέλιξη των δικτύων επικοινωνιών και των ταχυτήτων που αυτά προσφέρουν έχουν καταστήσει πολύ δημοφιλείς τις υπηρεσίες που προσφέρονται στο cloud (υπολογιστικό νέφος). Έτσι η αδιάληπτη παροχή υπηρεσιών είναι πολύ σημαντική, αφού ακόμα και μία μικρή σχετικά χρονικά διακοπή μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα σε έναν πολύ μεγάλο αριθμό χρηστών. Για αυτό το λόγο η ανίχνευση ανωμαλιών στις cloud υποδομές είναι ένα πολύ ενεργό ερευνητικό πεδίο. Με την εξέλιξη των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, έχουν εμφανιστεί αρκετοί αλγόριθμοι οι οποίοι μπορούν να προσφέρουν γρήγορη επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων.

Στόχος αυτής της διπλωματικής είναι αρχικά να μελετηθούν οι διαφορετικοί τύποι ανωμαλιών που μπορεί να εμφανιστούν στο cloud. Ακολούθως θα ερευνηθούν οι διάφοροι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης που υπάρχουν και ποιοι από αυτούς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση ανωμαλιών. Τέλος θα γίνει αξιολόγηση της απόδοσης των αλγορίθμων σε πραγματικά δεδομένα δικτύου.

Επιθυμητές Γνώσεις: Δίκτυα επικοινωνιών, Python, Μηχανική μάθηση

Σχετική βιβλιογραφία

- T. Hagemann, K. Katsarou, "A Systematic Review on Anomaly Detection for Cloud Computing Environments," 3rd Artificial Intelligence and Cloud Computing Conference, 2020.
- M. Rabbani, Y. Li Wang, R. Khoshkangini, H. Jelodar, R. Zhao, P. Hu, "A hybrid machine learning approach for malicious behaviour detection and recognition in cloud computing," Journal of Network and Computer Applications, Volume 151, 2020.
- Z. Chkirbene, A. Erbad, R. Hamila, A. Gouissem, A. Mohamed, M. Hamdi, "Machine Learning Based Cloud Computing Anomalies Detection," IEEE Network, Volume 34, Issue 6, 2020.