



Προηγμένες Τεχνολογίες Κινητού Υπολογισμού

9^ο Εξάμηνο, Ροή T

Ι. Στ. Βενιέρης, Καθηγητής ΕΜΠ

Ε. Βαρβαρίγος, Καθηγητής ΕΜΠ

Δ.-Θ. Ι. Κακλαμάνη, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Α. Δ. Παναγόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ



ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Διαδικαστικά

- Παραδόσεις
 - Τετάρτη 11:45-14:30, Αίθουσα 007, Νέο Κτ. Ηλεκτρολόγων
- Αναπληρώσεις
 - Θα οριστούν βάσει διαθεσιμότητας ωρών
- Συγγράμματα
 - Σημειώσεις & εκτενείς διαφάνειες κατά τη διάρκεια του εξαμήνου
- Εξέταση μαθήματος
 - Τελική γραπτή εξέταση: 60%
 - Εργαστηριακές ασκήσεις: 40%



Διαδικαστικά

- Ανακοινώσεις - Εκπαιδευτικό Υλικό
 - Εγγραφείτε στο site του μαθήματος στο HELIOS
- Επικοινωνία
 - **Καθ. Ι. Στ. Βενιέρης**, venieris@cs.ntua.gr, 210-772-2551, Γραφείο 2.2.15, Παλαιό Κτ. Ηλεκτρολόγων, ICBNet Lab (0.1.2 & 0.1.3, Παλαιό Κτ. Ηλεκτρολόγων), icbnet.ntua.gr
 - **Καθ. Ε. Βαρβαρίγος**, vmanos@central.ntua.gr, 210-772-4731, Γραφείο Β.3.6, Νέο Κτ. Ηλεκτρολόγων
 - **Καθ. Δ.-Θ. Ι. Κακλαμάνη**, dkaklam@mail.ntua.gr, 210-772-2277, Γραφείο 2.1.25, Παλαιό Κτ. Ηλεκτρολόγων, ICBNet Lab (0.1.2 & 0.1.3, Παλαιό Κτ. Ηλεκτρολόγων), icbnet.ntua.gr
 - **Καθ. Α. Δ. Παναγόπουλος**, thpanag@ece.ntua.gr, 210-772-3842, Γραφείο 3.2.9, Παλαιό Κτ. Ηλεκτρολόγων



Κινητός Υπολογισμός - MIT*

- “We’re in the midst of a global transformation that’s catalysed by the rapid acceleration of digital technologies, including unprecedented access to **computation** and **data**, ... The scale and scope and pace of these advances are truly unprecedented in human history.”
- “The impact of these technologies is ubiquitous, ... with a wide range of **applications** from health care to transportation, finance, energy, manufacturing, and far beyond. ... The pace of innovation is accelerating dramatically.”
- "Within the next decade, many of us will be fully immersed in a **nomadic lifestyle** in which we will demand instant access to data and information for education, work and play, no matter where we are, ..."

* <https://news.mit.edu/2019/schwarzman-college-computing-conference-0228>

<https://news.mit.edu/2004/pervasive>

Κινητός Υπολογισμός - University of Washington*

- Χρήση υπολογιστών "**on the move**"
- “Η μεταφορά μιας υπολογιστικής διεργασίας από μια σταθερή τοποθεσία (normal fixed position) σε μια πιο δυναμική θέση (**more dynamic position**)”
- “Η εκτέλεση μιας υπολογιστικής διεργασίας κάπου όπου ήταν ανέφικτο να γίνει μέχρι τώρα”
- Ο Κινητός Υπολογισμός είναι μια «ομπρέλα» για την περιγραφή τεχνολογιών που δίνουν τη δυνατότητα πρόσβασης οποτεδήποτε και οπουδήποτε (**anytime and anywhere**)

Why Go Mobile?



anywhere/anytime connectivity

communications in areas without pre-existing infrastructure



mobility

Application enabler



* <https://courses.cs.washington.edu/courses/csep590a/06au/lectures>



Βασικοί Άξονες Κινητού Υπολογισμού

- Why **wireless**?
 - Ease of deployment
 - Cost effective
 - Mobility
 - Ubiquity
- Challenges of **mobility**
 - Battery powered
 - Limited spectrum
 - Range
 - Reliability
 - Security
- Modern **smartphones**
 - Small, powerful, lots of sensors
 - Applications, services, user experience
 - Cloud
 - Technology advances in processing, storage, camera, display, touchscreen, battery, etc.
- Distributed computation / **Mobile Edge Computing (MEC)**
 - Cloud
 - Edge
 - Fog



Mobile Internet και 5G - sepe.gr*

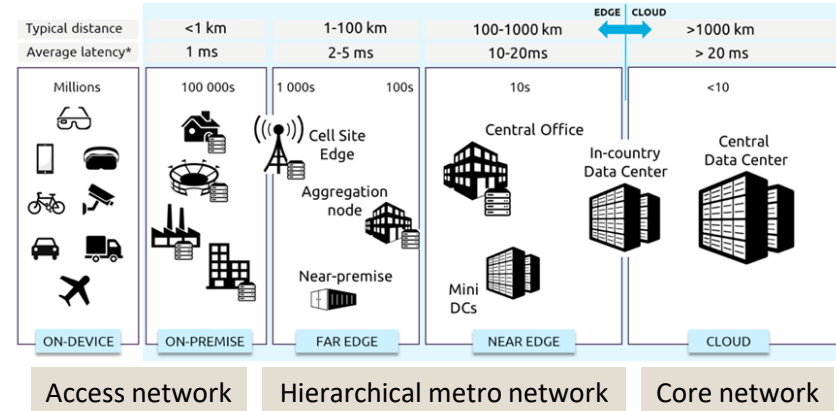
- Τέλη του **2021**
 - 5.4 δισεκατομμύρια άνθρωποι (το 68% του παγκόσμιου πληθυσμού) έκαναν χρήση **κινητού τηλεφώνου** (200 εκατομμύρια νέοι χρήστες το 2021)
 - Περισσότεροι από 4.3 δισεκατομμύρια πολίτες διεθνώς (το 55% του παγκόσμιου πληθυσμού) χρησιμοποιούσαν **mobile internet** (αύξηση κατά 28ο εκατομμύρια σε σύγκριση με το 2020)
- 3.5 δισεκατομμύρια πολίτες παγκοσμίως πραγματοποίησαν **βιντεοκλήσεις** μέσω κινητού το 2021
- Περισσότεροι από 2.5 δισεκατομμύρια πολίτες χρησιμοποίησαν το κινητό τους τηλέφωνο για να αποκτήσουν πρόσβαση σε **εκπαιδευτικές πληροφορίες**
- 2.1 δισεκατομμύρια πολίτες παγκοσμίως χρησιμοποίησαν το 2021 το τηλέφωνό τους με στόχο την παρακολούθηση και βελτίωση της **υγείας** τους

Το παράδειγμα του υπολογιστικού μοντέλου στα άκρα

□ Η αρχιτεκτονική υπολογιστικών πόρων στα άκρα αξιοποιεί τους πόρους στην «άκρη» του δικτύου για την αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων. Αυξάνει τη διαθεσιμότητα αποθηκευτικού χώρου και μειώνει την καθυστέρηση διάδοσης. Εξαρτάται από την τοπολογία του δικτύου και την τοποθεσία των υπολογιστικών πόρων.

□ Πλεονεκτήματα για τις εφαρμογές:

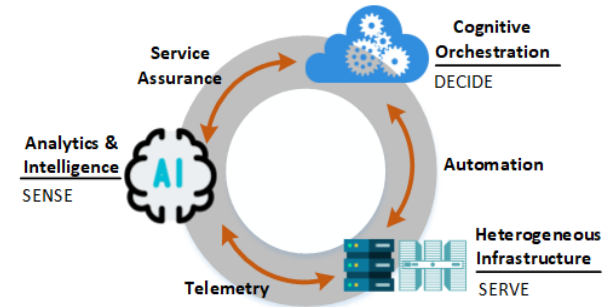
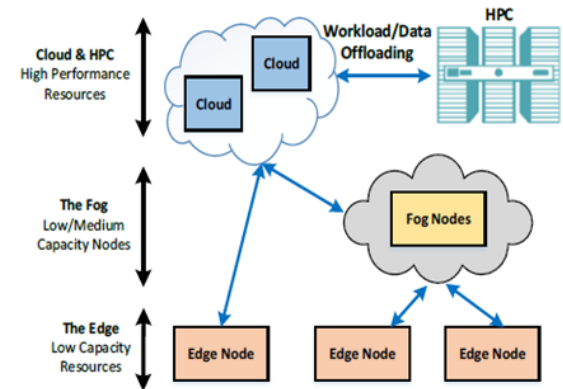
- Μειωμένη καθυστέρηση με μηδενική αντιληπτή από το χρήστη καθυστέρηση
- Μειωμένη κατανάλωση εύρους ζώνης
- Μειωμένη χρήση πόρων διακομιστή (server)
- Οικονομικά οφέλη



Τα δεδομένα προς επεξεργασία κινούνται ανάμεσα σε διαφορετικές συσκευές, από τα «άκρα» στο cloud και αντίστροφα. Αυτή η οριζόντια (ανάμεσα σε διαφορετικές συσκευές στα άκρα) και κάθετη (ανάμεσα στα «άκρα» και στο cloud) κίνηση απαιτεί την αποδοτική δέσμευση πόρων, κυρίως οπτικών, στα δίκτυα (i) πρόσβασης, (ii) μητροπολιτικά και (iii) κορμού.

Προκλήσεις

- Η ύπαρξη πολλαπλών τύπων πόρων στο edge/fog/cloud με ετερογενή χαρακτηριστικά:
 - CPUs, GPUs, Mini DC, RAM, κόμβοι αποθήκευσης, HPC
 - Συσκευές με επιτάχυνση υλικού (FPGAs, ASICS) και προσεγγιστικών υπολογισμών
- Οι απαιτήσεις των εφαρμογών και τα χαρακτηριστικά των πόρων αλλάζουν δυναμικά:
 - Συνδυασμός των μηχανισμών ενορχήστρωσης με έναν συνεχή έλεγχο κλειστού βρόχου
- Οι μηχανισμοί ενορχήστρωσης των πόρων πρέπει να επιτρέπουν την αποδοτική κίνηση των δεδομένων και τη δέσμευση των πόρων.
 - Απαιτούνται μηχανισμοί τηλεμετρίας για την υποστήριξη αυτής της λειτουργίας





Mobile Internet και 5G - [sepe.gr](https://www.sepe.gr)*

- **Συνδέσεις 5G**

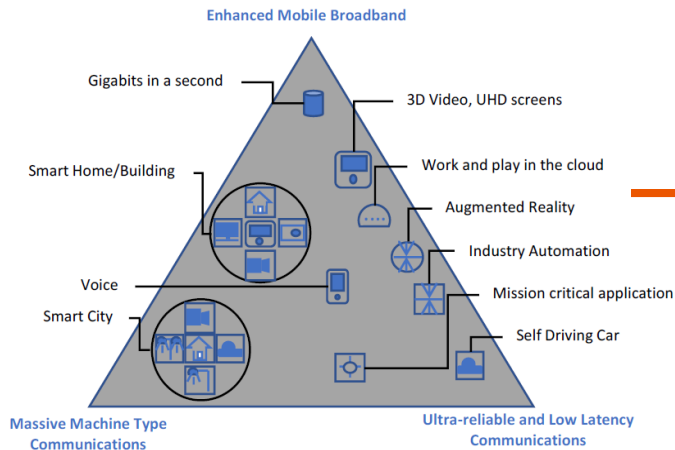
- Στα τέλη του 1^{ου} εξαμήνου του 2022 ξεπερνούν, παγκοσμίως, τα 810 εκατομμύρια (αύξηση κατά 112% σε σχέση με έναν χρόνο πριν)
- Αναμένεται να φτάσουν τα 5.9 δισεκατομμύρια μέχρι τα τέλη του 2027 (1 δισ. συνδέσεις 5G θα προστίθεται ετησίως μεταξύ 2023 και 2027)

- **Εμπορικά Δίκτυα 5G**

- 233 σήμερα
- Αναμένεται να φτάσουν τα 313 έως το τέλος του 2022 και τα 352 έως το τέλος του 2024

Ασύρματα Δίκτυα Νέας Γενιάς (5G/B5G)

5G Usage Scenarios*



- Έντονη κινητικότητα των τερματικών συσκευών και πυκνότητα συνδέσεων
- Ετερογενή περιβάλλοντα
- Ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service - QoS) και εμπειρίας (Quality of Experience - QoE)

**Ανάγκη για AI και
Κινητό Υπολογισμό**

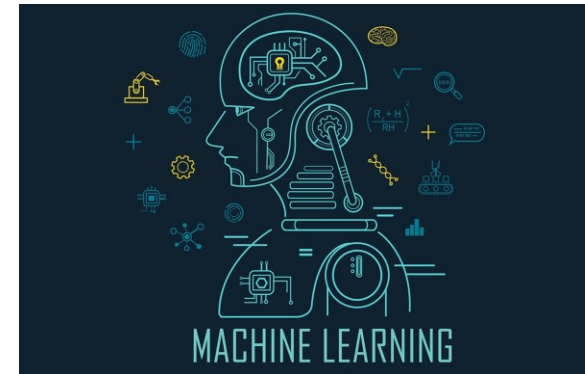


Τεχνητή Νοημοσύνη

- **MIT***: “The study of the computations that make it possible to perceive, reason, and act.”
- **Alan Turing**: “The science and engineering of making intelligent machines, especially intelligent computer programs.”
- Άλλοι γενικοί ορισμοί:
 - “A computerised system that exhibits behaviour that is commonly thought of as requiring intelligence.”
 - “The science of making machines do things that would require intelligence if done by man.”

Μηχανική Μάθηση

- Princeton^{*}
 - “In general, machine learning is about learning to do better in the future based on what was **experienced** in the past.”
 - Χαρακτηριστικά:
 - “Programming by example”
 - Βασισμένη στα δεδομένα
- MIT[†]
 - Πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης
 - “Η δυνατότητα μιας μηχανής να μιμείται την ανθρώπινη συμπεριφορά”
 - Επίλυση πολύπλοκων λειτουργιών προσομοιάζοντας τον τρόπο που τις αντιμετωπίζουν οι άνθρωποι



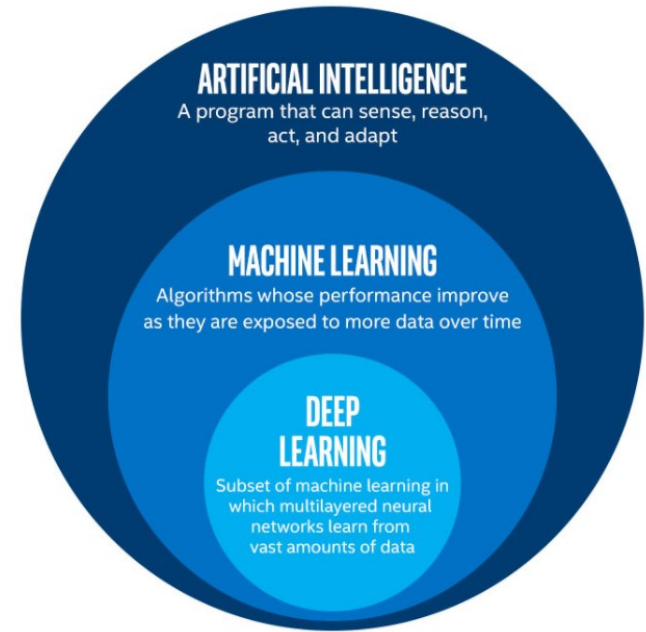
Πηγή: medium.com

^{*} <https://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall18/cos324/>

[†] <https://ocw.mit.edu/courses/6-867-machine-learning-fall-2006/resources/lec1/>

Βαθιά Μάθηση

- MIT*
 - “Hand engineered features are time consuming, brittle and not scalable in practice. Can we learn the **underlying features** directly from data?” → **Deep Neural Networks**
 - Enablers
 - Big Data (larger datasets, easier collection & storage)
 - Hardware (GPUs, parallelization)
 - Software (improved techniques, new models)



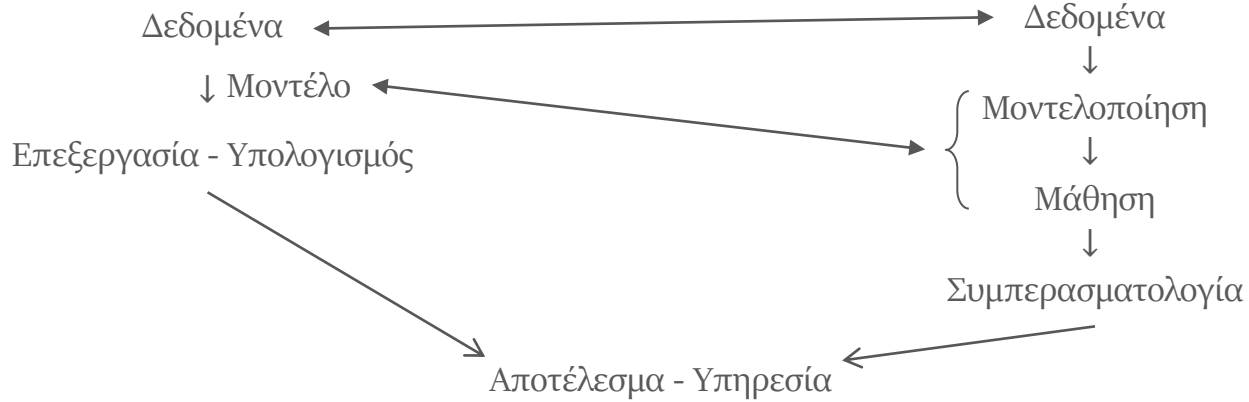
Πηγή: medium.com

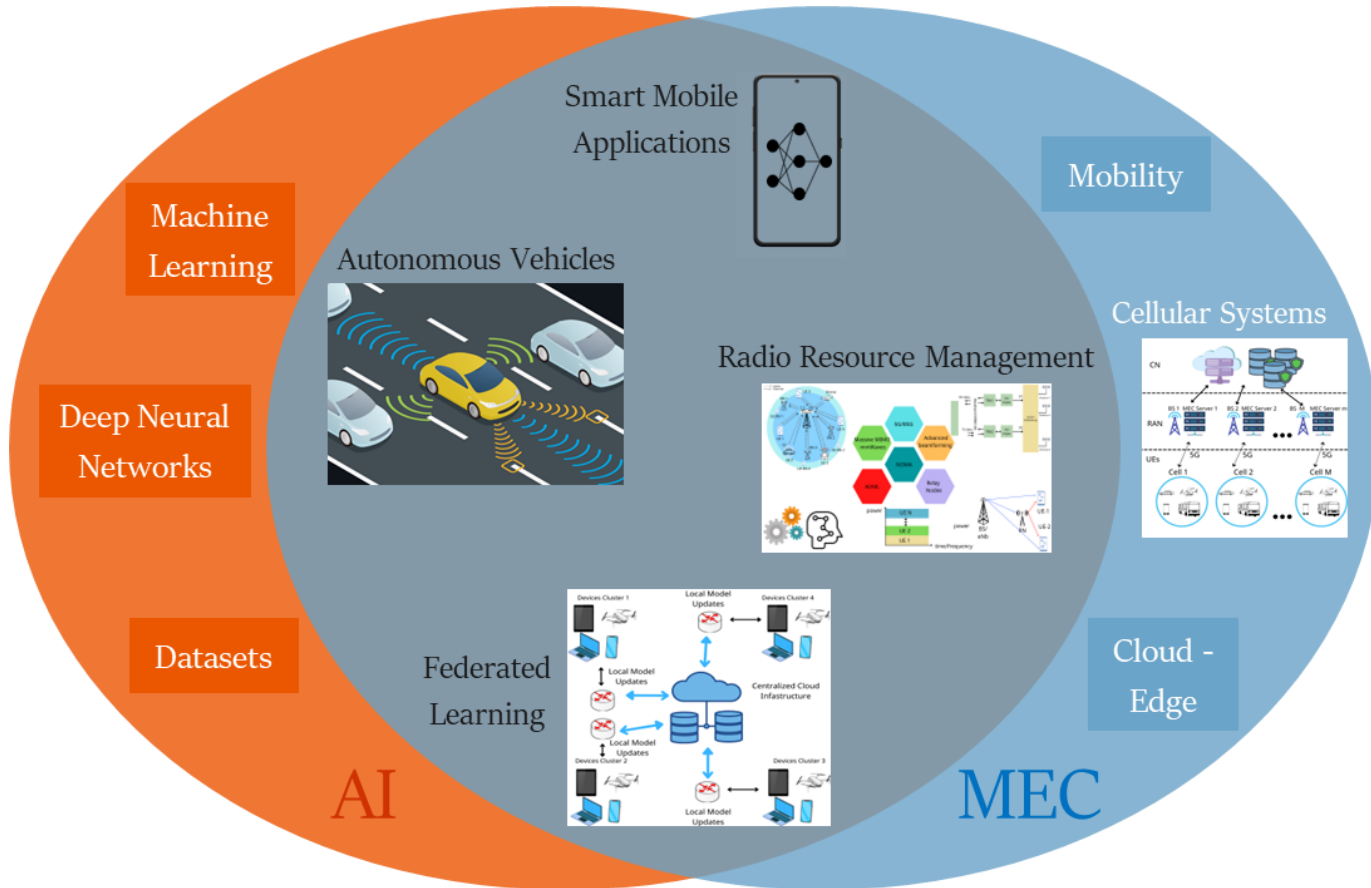
* 6.S191 course: Introduction to Deep Learning, <http://introtodeeplearning.com>

Βασική Ροή

Υπολογιστικού Συστήματος

Τεχνητής Νοημοσύνης







Γιατί ΑΙ και MEC;

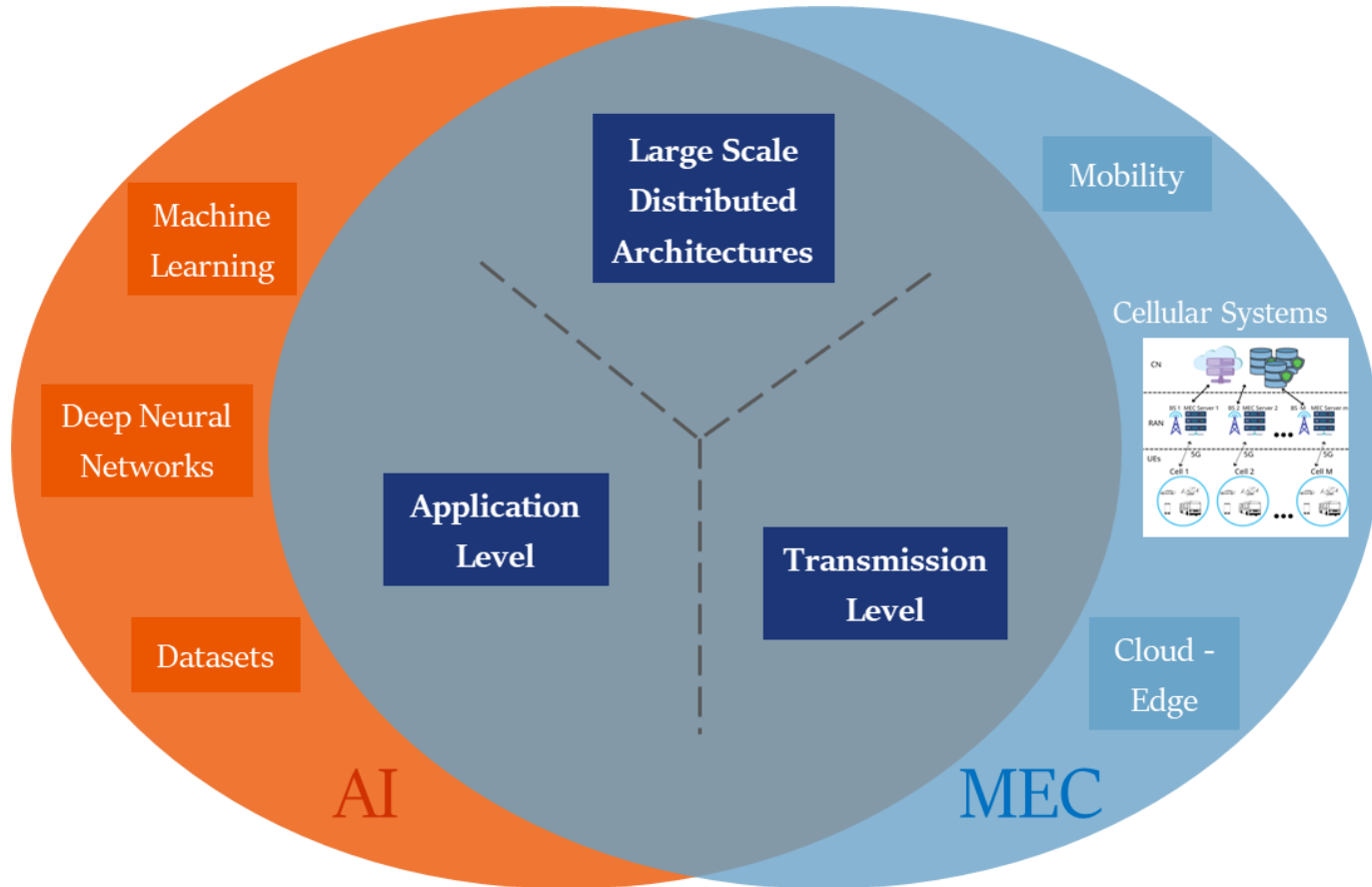
- Smart Mobile Applications
 - Enhanced User Experience (personalized experience by learning behavioural patterns)
 - Automated Operations: reduce manual work, automate mundane activities (e.g. app authentication)
 - Increased Efficiency: AI-powered mobile apps perform tasks faster than a human can, enable real-time processing, improve security, enhanced search
- Autonomous Vehicles
 - Greater Road Safety: avoiding crashes → saving money
 - Greater Independence and Accessibility (e.g. people with disabilities)
 - Reduced Congestion → environmental gains

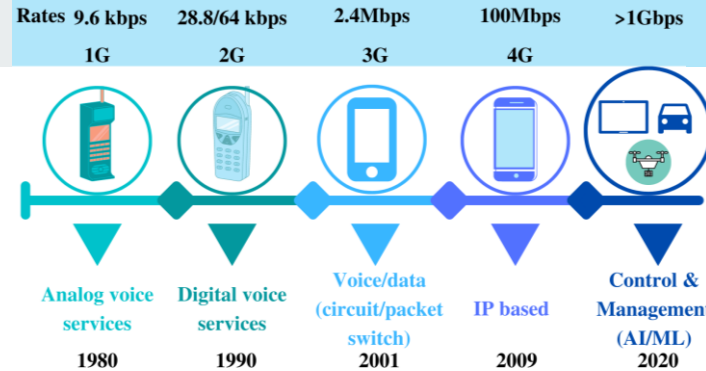


Γιατί ΑΙ και MEC;

- Wireless Communication - Radio Resource Management
 - 5G/B5B wireless networks enable new service categories (AR/VR, ultra HD video, naked eye 3D, IoT) and application scenarios (smart home, V2V communications, smart electricity, factory control)*
 - Increased traffic, user mobility patterns and multipath environments increase channel complexity
 - Big data, data mining and ML can propose real-time and easy-to-interpret solutions for conventional problems such as KPI forecast, frequency self-adaption, antenna and transmitting power, etc.
- Federated Learning
 - AI learns from the distributed MEC paradigm
 - Computational offloading towards the edge devices → “unlock” users’ data potential
 - Data privacy

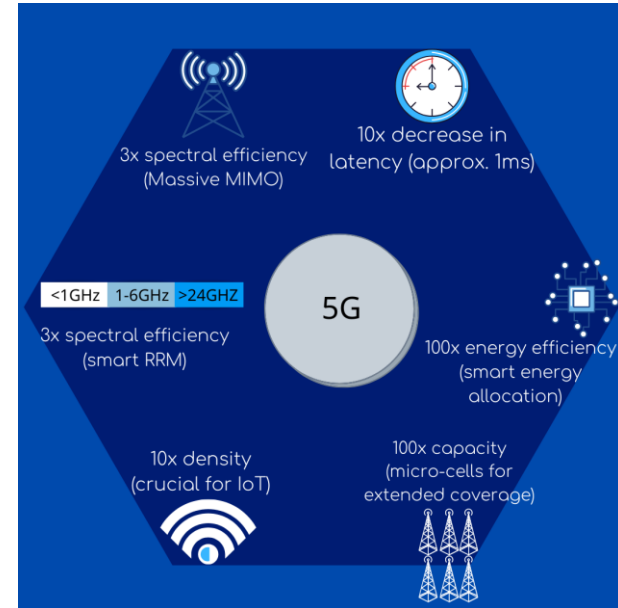
* <https://tinyurl.com/3f4w83ry>





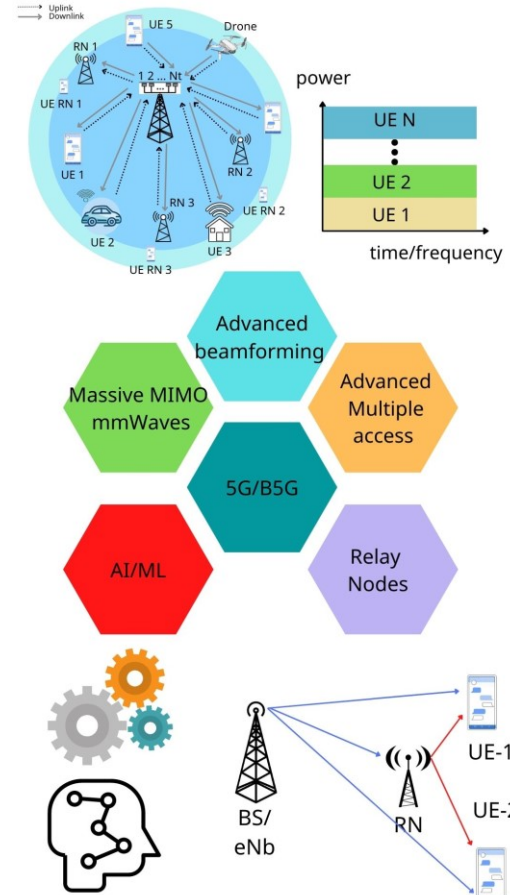
Επίπεδο Μετάδοσης

- Κυβελωτά Δίκτυα Ασυρμάτων Επικοινωνιών Νέας Γενιάς (5G/B5G)
 - Υποστήριξη Υψηλού Ρυθμού Διέλευσης (Throughput)
 - Πολλές Ταυτόχρονα Διασυνδεδεμένες Συσκευές → Πυκνότητα Συνδέσεων, Ετερογενή Περιβάλλοντα
 - Έντονη Κινητικότητα Τερματικών Συσκευών
 - Διαφορετικές Απαιτήσεις Χρηστών → Απαίτηση για Διατήρηση Υψηλών Επιπέδων Ποιότητας Υπηρεσίας (Quality of Service - QoS) και Ποιότητας Εμπειρίας (Quality of Experience - QoE)
 - Υπηρεσίες: Ασύρματη/Κινητή Επικοινωνία Ενισχυμένης Ευρυζωνικότητας (eMBB), Ultra-Reliable-Low-Latency communications (URLLC), M2M Επικοινωνία, Internet of Things (IoT)



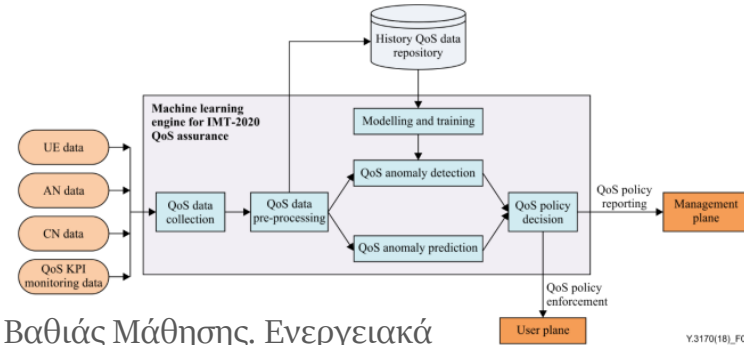
Επίπεδο Μετάδοσης

- Ανάθεση Ραδιοπόρων (Radio Resource Management – RRM)
 - Κατανομή Χρηστών και Υποφερόντων, Διαχείριση Ισχύος και Καταναλισκόμενης Ενέργειας
 - Πολυπαραμετρικό Πρόβλημα → της κατηγορίας NP-Hard
 - Γεωγραφικές Παράμετροι (θέσεις τερματικών, απόσταση τερματικού – σταθμού βάσης)
 - Παράμετροι Καναλιού (αριθμός κυψελών, πλήθος κεραιών εκπομπής/λήψης, μέγιστη ισχύς ανά κυψέλη)
 - Κλασσικές Προσεγγίσεις → Υποβέλτιστες Λύσεις → Ανάγκη για Μηχανική Μάθηση και Κατανεμημένη Επεξεργασία



Επίπεδο Μετάδοσης

- Ετερογενή Δίκτυα: Μεγιστοποίηση Ρυθμού Διέλευσης με Τεχνικές Βαθιάς Μάθησης. Ενεργειακά Αποδοτικός Έλεγχος Ισχύος. Πρόβλεψη Κίνησης σε Κελί.
- Ευφυή Συστήματα Μεταφορών: Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης για Προβλέψεις σε Εφαρμογές ITS (πρόβλεψη κίνησης, χρόνου ταξιδιού, πληρότητας διαδρομής) και Προβλήματα Ανάθεσης Ραδιοπόρων
- Γνωστικά Ραδιοδίκτυα: Ανίχνευση Φάσματος μέσω Μηχανικής και Βαθιάς Μάθησης. Διαχείριση Φάσματος με χρήση Συνεργατικής Μάθησης
- Εκτίμηση Καναλιού σε Δορυφορικά και Επίγεια Συστήματα: Αυτόματη Κατηγοριοποίηση π.χ. Διαμόρφωσης
- ITU-T Y.3170: Machine Learning in Future Networks including IMT-2020 (use cases, architectural framework, data handling)



Y.3170(18)_F01

Επίπεδο Εφαρμογών

- Τερματικό: «Οποιαδήποτε ηλεκτρονική συσκευή παράγει, μεταδίδει ή/και επεξεργάζεται δεδομένα και είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά μιας υπηρεσίας ή εφαρμογής στον τελικό χρήστη»
 - Smartphones, Tablets, Wearables, Ψηφιακοί βοηθοί, Μικροελεγκτές, Αυτόνομα οχήματα, κ.α.
 - Hardware: Αισθητήρες, Μονάδες επεξεργασίας, κ.α.
- Εφαρμογές: Όραση Υπολογιστών, Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας, Υγεία, Εικονική και Επαυξημένη Πραγματικότητα, κ.α.
 - Εφαρμογές εκπαίδευσης / συμπερασματολογίας



Πηγή: electrochem.org



Επίπεδο Εφαρμογών

- Κατανεμημένη Τεχνητή Νοημοσύνη: Μεταφορά των υπολογισμών ΑΙ από τα κέντρα δεδομένων προς τη μεριά των χρηστών, δηλαδή τη μεριά όπου παράγονται σήμερα τα περισσότερα δεδομένα
- Διατύπωση Προβλήματος
 - Πολυπλοκότητα μοντέλων και ποικιλομορφία αρχιτεκτονικών
 - Περιορισμένοι πόροι και ετερογένεια σε επίπεδο κινητών συσκευών
 - Διαφορετικές απαιτήσεις σε επίπεδο εφαρμογών
- Αυτόνομα vs. Υβριδικά Συστήματα ΑΙ
 - Προκλήσεις, Λύσεις, Τεχνικές

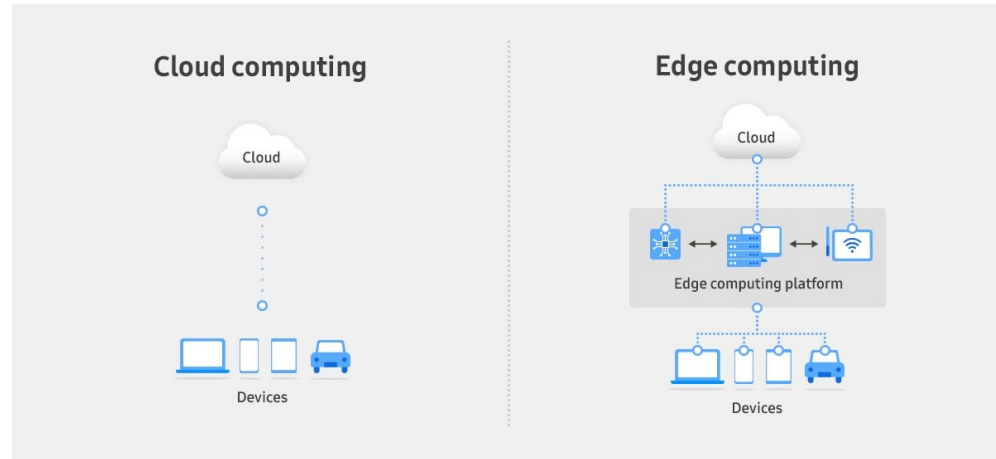


Κατανεμημένες Αρχιτεκτονικές Μεγάλης Κλίμακας

- Εφαρμογή Τεχνικών ML σε Υποδομές Νέφους (Cloud) / στις Παρυφές του Δικτύου (Edge) / σε Ευφυή Τερματικά (Terminals): Κλασική Υπολογιστική, Υπολογιστική Πλέγματος, Νέφους, Ομίχλης
- Ενορχήστρωση Πόρων σε Συστήματα 5G: Πλατφόρμα MANO, Συναρτήσεις Εικονικών Δικτύων (VNF), Τοποθέτηση VNF, Πλατφόρμες Παρακολούθησης, ML στην Ενορχήστρωση Πόρων
- Κοινή Ανάθεση Υπολογιστικών και Δικτυακών Πόρων για Κατανεμημένη ML σε Συνεχείς Υποδομές Cloud / Edge: Διατύπωση Προβλήματος, ILP, Αλγόριθμος RRM, Approximate Dynamic Programming, Διατύπωση Προσέγγισης ML

Κατανεμημένες Αρχιτεκτονικές Μεγάλης Κλίμακας

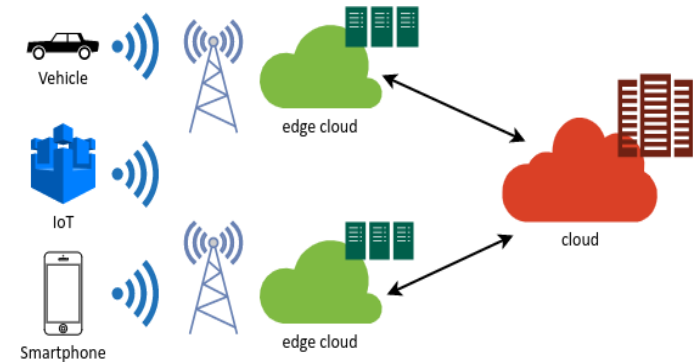
- Ασφαλής Κατανεμημένη Αποθήκευση σε Υποδομές Cloud / Edge: Κατανεμημένες Λειτουργίες Αποθήκευσης, Κωδικοποίηση για Αποθήκευση, Εισαγωγή Χρηστών και Προεπεξεργασία, Διατύπωση Προβλήματος Γραμμικού Προγραμματισμού Μεικτού Ακεραίου, Πολιτική Διάθεσης
- Μηχανική Μάθηση στην Τομογραφία Δικτύου: Ορισμοί, Μέθοδοι Krigging, Γράφοι Γνώσης, και ML



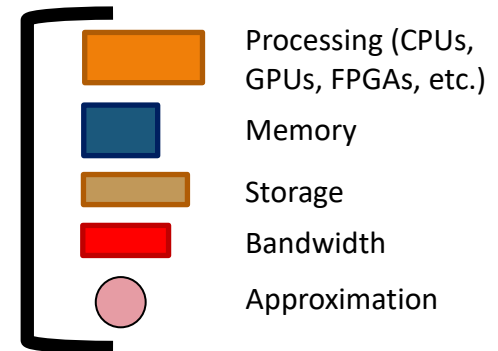
Πηγή: semiconductor.samsung.com

Κατανεμημένη δέσμευση πόρων

- ❑ Συσκευές προωθούν τα δεδομένα στα άκρα και στο cloud προς επεξεργασία.
 - Μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύς, παραλληλοποίηση, περιορισμοί κατανάλωσης ενέργειας
- ❑ Οι πόροι στα «άκρα» του δικτύου είναι περιορισμένοι σε αντίθεση με τους άφθονους cloud πόρους.
- ❑ Πόροι διαφορετικών χαρακτηριστικών στα άκρα και στο cloud (επιτάχυνση υλικού, διαφορετικό κόστος, κ.λπ.).
- ❑ ILP μοντελοποίηση
- ❑ Ο στόχος είναι η δέσμευση των κατάλληλων υπολογιστικών και δικτυακών πόρων λαμβάνοντας υπόψη μια πληθώρα παραμέτρων βελτιστοποίησης (κόστος, τύπος επεξεργασίας, ασφάλεια).

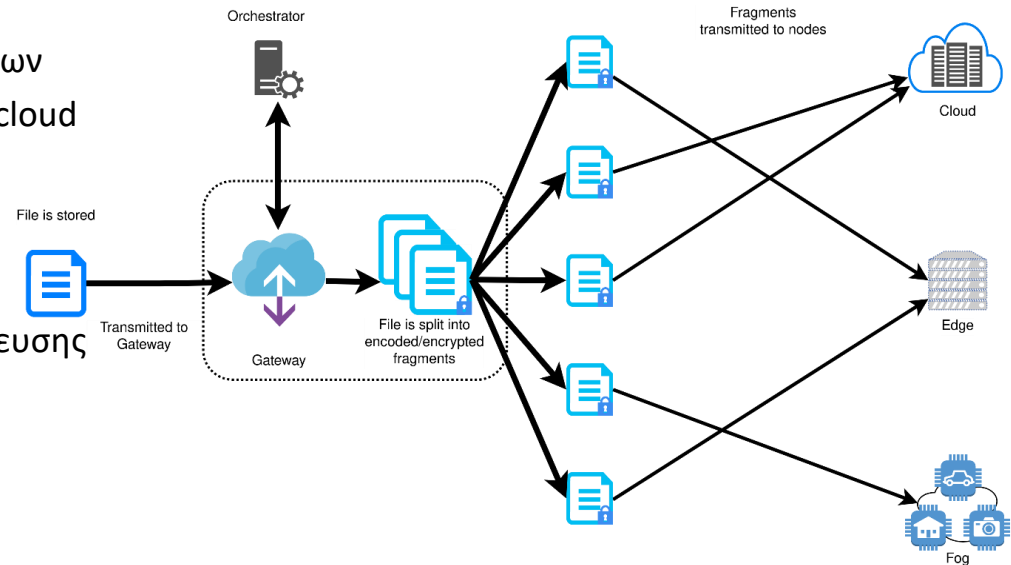


Resources



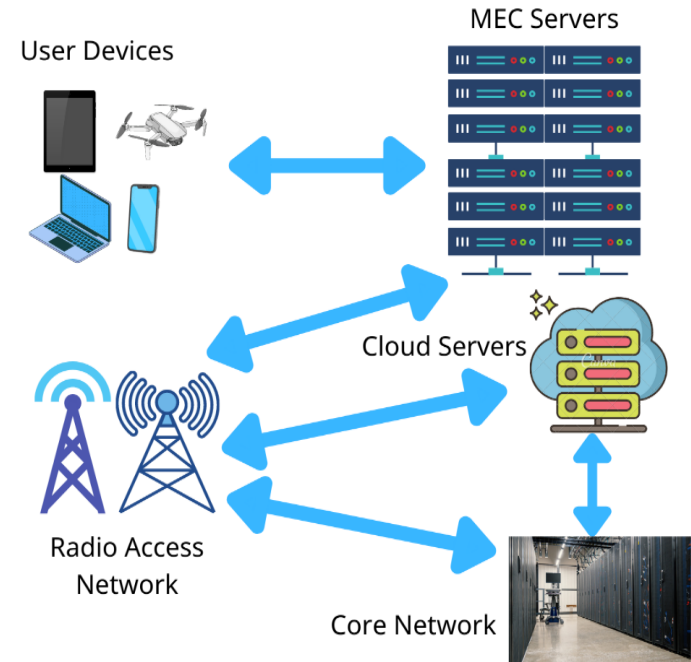
Αποκεντρωμένη αποθήκευση

- **Πρόκληση:** Η ικανοποίηση των αναγκών αποθήκευσης/ανάκτησης των χρηστών συνδυάζοντας κατάλληλα πόρους στα «άκρα» με cloud → Μείωση καθυστέρησης αποθήκευσης/ανάκτησης, μείωση κόστους, αύξηση διαθεσιμότητας αρχείων
- Διαφορετικοί τύποι κόμβων
 - Gateway για την επεξεργασία των αρχείων
 - Αποθηκευτικοί πόροι στα άκρα και στο cloud
- Χαρακτηριστικά των cloud πόρων
 - Μεγάλη διαθεσιμότητα
 - Μεγάλη χωρητικότητα
 - Μικρότερο κόστος ανά μονάδα αποθήκευσης
 - Αυξημένη καθυστέρηση μεταφοράς
- Πόροι στα «άκρα»
 - Περιορισμένη χωρητικότητα
 - Χαμηλότερη καθυστέρηση
 - Γενικά αναξιόπιστοι, με διαθεσιμότητα που αλλάζει δυναμικά



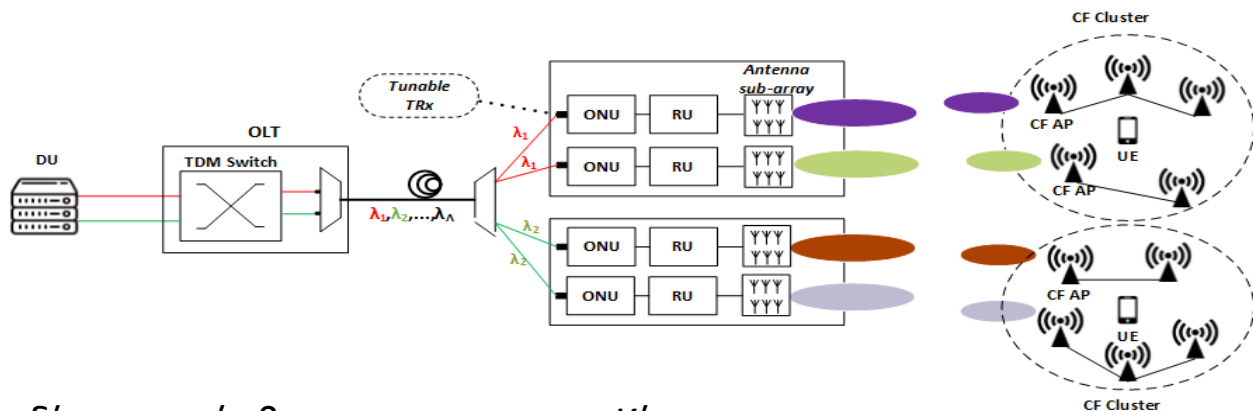
Mobile Edge Computing για B5G κινητά δίκτυα

- Όταν τα κινητά δίκτυα χρησιμοποιούν τους υπολογιστικούς πόρους των άκρων, οδηγούμαστε σε:
 - χαμηλότερη καθυστέρηση, αυξημένη αποδοτικότητα και ασφάλεια, μειωμένη συμφόρηση δικτύου
- Σημαντικά οφέλη για περιπτώσεις χρήσης όπως αυτόνομα οχήματα, βιντεοπαιχνίδια, και στην υποστήριξη IoT.
- Στα B5G δίκτυα πρόσβασης γίνεται χρήση τεχνικών εικονικοποίησης και αξιοποίησης των υπολογιστικών πόρων στα «άκρα»:
 - VRAN, ORAN



Δίκτυα χωρίς κυψέλες έχουν προταθεί ως μία λύση για τα κινητά δίκτυα 6^{ης} γενιάς. Η λειτουργία τους βασίζεται στην συνεργατική επεξεργασία σήματος από ένα σύνολο κεραιών.

Δέσμευση οπτικών και ασύρματων (FiWi) πόρων



□ Ασύρματο δίκτυο πρόσβασης:

- Σημεία πρόσβασης που λειτουργούν σύμφωνα με το Cell Free μοντέλο
- mMIMO BS εξυπηρετούν τις ανάγκες των Σημείων Πρόσβασης

□ Οπτικό δίκτυο μεταφοράς

- TDM PON

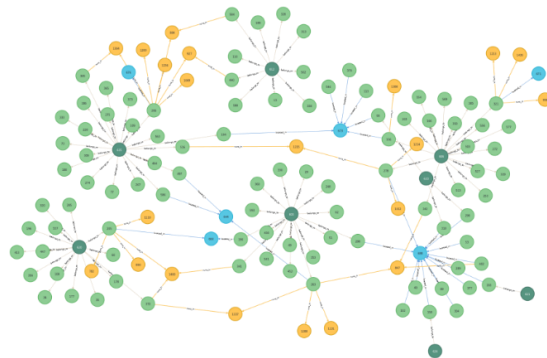
□ Υπολογιστικοί πόροι στα άκρα

□ Κίνητρα

- Χρήστες εξυπηρετούνται από ένα υποσύνολο Σημείων Πρόσβασης
- Το σύνολο των Σημείων Πρόσβασης αλλάζει δυναμικά για κάθε χρήστη βάσει των αναγκών του και της θέσης του
- Η Fronthaul κίνηση εξαρτάται από το πλήθος των κεραιών και το επίπεδο συνεργασίας
- Αλγόριθμοι για την επεξεργασία της Fronthaul κίνησης

Μηχανισμοί ανίχνευσης συμβάντων Μηχανικής Μάθησης

- ❑ Ο αλγόριθμος ML λαμβάνει ένα δείγμα που αντιστοιχεί στη συνολική κατάσταση του συστήματος (κόμβοι εφαρμογών και υποδομής). Κάθε κόμβος χαρακτηρίζεται από ένα διάνυσμα (CPU, RAM, αποθήκευση, χρησιμοποίηση εύρους ζώνης, κ.λπ.).
- ❑ Συνεπώς η κατάσταση του συστήματος είναι ένας γράφος N κόμβων/συνδέσμων, όπου κάθε κόμβος/σύνδεσμος χαρακτηρίζεται από ένα διάνυσμα k παραμέτρων.
- ❑ Οι αλγόριθμοι ML παίρνουν διανύσματα ως είσοδο.
- ❑ Η ένωση των διανυσμάτων των κόμβων/συνδέσμων σε ένα διάνυσμα διάστασης kN , προκαλεί απώλεια της πληροφορίας της τοπολογίας (που είναι κρίσιμης σημασίας) και επίσης τα διανύσματα έχουν μεγάλο μέγεθος.
- ❑ Λύση: Τεχνικές ενσωμάτωσης γράφων





Στόχος του Μαθήματος

- Σκοπός του μαθήματος είναι ο σπουδαστής να αποκτήσει μια σφαιρική αντίληψη της ενοποιημένης χρήσης και διαχείρισης των υπολογιστικών, τηλεπικοινωνιακών, αποθηκευτικών και άλλων πόρων σε περιβάλλοντα κινητού υπολογισμού.
- Έμφαση θα δοθεί σε προηγμένες αλγοριθμικές μεθόδους διαχείρισης, βασισμένες κυρίως σε κατανομημένα επεξεργασία και Μηχανική - Βαθιά Μάθηση.



Περιεχόμενα - Ενότητες

- Κινητός Υπολογισμός
 - Αρχιτεκτονική
 - Cloud - Edge - Fog
 - Συστατικά Στοιχεία
 - Επικοινωνία - Υλικό - Λογισμικό Συσκευών
 - Πλεονεκτήματα
 - Προκλήσεις
 - Εφαρμογές
 - Αξιολόγηση Επίδοσης



Περιεχόμενα - Ενότητες

- Τεχνητή Νοημοσύνη
 - Μηχανική Μάθηση
 - Είδη Μάθησης
 - Ροή Εργασιών
 - Αλγόριθμοι
 - Βαθιά Μάθηση
 - Εκπαίδευση Βαθιών Νευρωνικών Δικτύων
 - Κατηγορίες και Αρχιτεκτονικές Μοντέλων



Περιεχόμενα - Ενότητες

- Ανάθεση Ραδιοπόρων με Χρήση Αλγορίθμων ML σε Κυψελωτά Συστήματα
 - Κυψελωτά Συστήματα
 - Δίκτυα 5G
 - Βασικές Έννοιες
 - Κλασικές Προσεγγίσεις Ανάθεσης Ραδιοπόρων
 - Μηχανική Μάθηση για Ανάθεση Ραδιοπόρων σε Δίκτυα 5G/B5G
 - Επιβλεπόμενη, Μη Επιβλεπόμενη, Βαθιά και Ενισχυτική Μάθηση για Ανάθεση Ραδιοπόρων
 - Επιλογή Μοντέλου/Κατηγορίας ML ανά RRM Υποπρόβλημα
 - Ανοιχτά Θέματα, Μελλοντικές Κατευθύνσεις



Περιεχόμενα - Ενότητες

- Ανάθεση Ραδιοπόρων με Χρήση Αλγορίθμων ML σε Γνωστικά Ραδιοδίκτυα και Συστήματα Μεταφορών
 - Τεχνικές Βαθιάς και Συνεργατικής Μάθησης
 - Πρόβλεψη Κίνησης, Χρόνου Ταξιδιού, Πληρότητας Διαδρομής για Εφαρμογές ITS
 - Ανίχνευση και Διαχείριση Φάσματος
 - Εκτίμηση Καναλιού σε Δορυφορικά και Επίγεια Συστήματα
 - Αυτόματη Κατηγοριοποίηση π.χ. Διαμόρφωσης
 - ITU-T Y.3170: Machine learning in future networks including IMT-2020 (use cases, architectural framework, data handling)




Περιεχόμενα - Ενότητες

- Ευφυείς Εφαρμογές - Κατανεμημένη Τεχνητή Νοημοσύνη
 - Τερματικά
 - Εφαρμογές
 - Εκπαίδευση έναντι Συμπερασματολογίας
 - Αυτόνομα Συστήματα AI
 - Προκλήσεις
 - Λύσεις
 - Υβριδικά Συστήματα AI
 - Αποφόρτιση



Περιεχόμενα - Ενότητες

- Κατανεμημένες Αρχιτεκτονικές Μεγάλης Κλίμακας
 - Εφαρμογή Τεχνικών ML σε Υποδομές Νέφους / στις Παρυφές του Δικτύου / σε Ευφυή Τερματικά
 - Ενορχήστρωση Πόρων σε Συστήματα 5G (Πλατφόρμα MANO, Συναρτήσεις Εικονικών Δικτύων και Τοποθέτηση, Πλατφόρμες Παρακολούθησης, ML στην Ενορχήστρωση Πόρων)
 - Κοινή Ανάθεση Υπολογιστικών και Δικτυακών Πόρων για Κατανεμημένη ML σε Συνεχείς Υποδομές Νέφους / στις Παρυφές του Δικτύου
 - Ασφαλής Κατανεμημένη Αποθήκευση σε Υποδομές Νέφους / στις Παρυφές του Δικτύου (Κατανεμημένες Λειτουργίες Αποθήκευσης, Κωδικοποίηση για Αποθήκευση, Εισαγωγή Χρηστών και Προ-επεξεργασία, Διατύπωση Προβλήματος Γραμμικού Προγραμματισμού Μεικτού Ακεραίου, Προσεγγιστικός Δυναμικός Προγραμματισμός, Πολιτική Διάθεσης)
 - Μηχανική Μάθηση στην Τομογραφία Δικτύου (Ορισμοί, Μέθοδοι Krigging, Γράφοι Γνώσης, και ML)



Εργαστήριο - Διαδικαστικά

- Δύο Εργαστηριακές Ασκήσεις
 - Διεξαγωγή σε ομάδες των 2 ατόμων
 - Παράδοση κώδικα, αναφορών στο HELIOS
- 1^η Άσκηση
 - Επικοινωνία: amctlab1@icbnet.ntua.gr - Ιωάννης Μπαρτσιώκας, Υ.Δ. ΣΗΜΜΥ, giannismpartsiokas@mail.ntua.gr
 - Γλώσσες / Βιβλιοθήκες: Python / TensorFlow, NumPy, SciPy, Scikit-Learn, Pandas
- 2^η Άσκηση
 - Επικοινωνία: amctlab2@icbnet.ntua.gr - Ιωάννης Πανόπουλος, Υ.Δ. ΣΗΜΜΥ, ioannispanop@mail.ntua.gr
 - Γλώσσες / Βιβλιοθήκες: Python, Java (Android Studio) / TensorFlow, TFLite
 - Συσκευή Android (έκδοσης 8.1 και άνω)



Εργαστήριο

- **1^η Άσκηση:** Εκπαίδευση και Εκτέλεση Αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης για την Πρόβλεψη του Ρυθμού Διέλευσης σε Δίκτυα 5G
 - Πρόβλημα: • Ανάθεση Ραδιοπόρων
 - Αποδοτική πρόβλεψη των διαθέσιμων πόρων για κάθε επόμενο timeslot
 - Στόχος: Εξαγωγή μετρικών ML και δικτύου, αξιολόγηση - σύγκριση αλγορίθμων ML, εξαγωγή συμπερασμάτων
 - Σύνολα Δεδομένων: • Περιέχουν γεωγραφικά χαρακτηριστικά και χαρακτηριστικά καναλιού
 - Έχουν παραχθεί με χρήση προσομοιωτών που αναπτύχθηκαν στο εργαστήριο



Εργαστήριο

- **2^η Άσκηση:** Εφαρμογή Τεχνικών Συμπίεσης Βαθιών Νευρωνικών Δικτύων και Εκτέλεση Συμπερασματολογίας σε Λογισμικό Android
 - Πρόβλημα: • Έξυπνες εφαρμογές σε κινητές συσκευές
 - Παραδοσιακά μοντέλα Βαθιάς Μάθησης → υπερβολικά πολύπλοκα
 - Συμπίεση → μειώνει την πολυπλοκότητα και τον χρόνο εκτέλεσης, αλλά και την ακρίβεια
 - Συμβατότητα με τις διάφορες μονάδες επεξεργασίας
 - Στόχος: Μετρώντας την ακρίβεια, το μέγεθος και τον χρόνο εκτέλεσης, θα μπορέσουν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα κάθε μοντέλου συναρτήσει της μεθόδου συμπίεσης και της μονάδας επεξεργασίας
 - Use case: Εφαρμογή «Έξυπνη Κάμερα», μοντέλα κατηγοριοποίησης και κατάτμησης εικόνας