1837-2027 190 ΧΡΟΝΙΑ

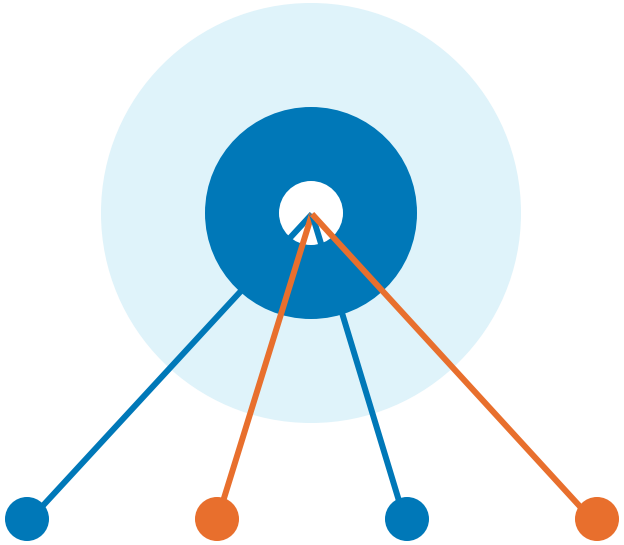
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν Πανεπιστήμιον Αθηνών

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν Πανεπιστήμιον Αθηνών
ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837

Μ301: Παλιές και νέες προκλήσεις στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών

Διάλεξη #1: Εισαγωγή και βασικές έννοιες



Σωκράτης Μπαρμπουνάκης
Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινιών ΕΚΠΑ
Χειμερινό εξάμηνο 2026-2027

Μια βιντεοκλήση μέσα στο τρένο



Μιλάτε με βίντεο με κάποιον φίλο ενώ το τρένο κινείται. Η εικόνα ξαφνικά "κολλάει", ο ήχος διακόπτεται.
Σε τι οφείλεται η υποβάθμιση της ποιότητας της υπηρεσίας;

- Το δίκτυο οφείλει να παρακολουθεί τη ραδιοζεύξη και να επιλέγει πότε χρειάζεται "handover".
- Η διαδρομή των πακέτων πρέπει να προσαρμόζεται χωρίς να χαθεί η συνεδρία της εφαρμογής.
- Η ποιότητα εξαρτάται ταυτόχρονα από συνθήκες και πόρους στην υποδομή ασύρματης πρόσβασης (radio access), στο δίκτυο μεταφοράς (transport), στο δίκτυο πυρήνα (core) καθώς και την υποδομή της εφαρμογής (edge / cloud).

Καλό σήμα σε ένα γεμάτο στάδιο

Χιλιάδες συσκευές βρίσκονται κοντά στην ίδια κεραία και ζητούν ταυτόχρονα πόρους, είτε στο downlink, είτε στο uplink για φωτογραφίες, video και live streaming.

Κάλυψη

Χωρητικότητα

Παρεμβολές

Η ένδειξη ισχυρού σήματος δεν εγγυάται διαθέσιμη χωρητικότητα. Το radio spectrum μοιράζεται και οι χρήστες ανταγωνίζονται για time-frequency resources.



Συνδεδεμένα AMRs σε μια βιομηχανική αποθήκη

Χιλιάδες συσκευές βρίσκονται κοντά στην ίδια κεραία και ζητούν ταυτόχρονα πόρους, είτε στο downlink, είτε στο uplink για φωτογραφίες, video και live streaming.

Κάλυψη

Χωρητικότητα

Διάδοση

Αξιοπιστία

Κινητικότητα



Τα μεταλλικά εμπόδια δημιουργούν shadowing και multipath, ενώ το AMR περνά μεταξύ cells.

Η υπηρεσία πρέπει να διατηρεί χαμηλό latency και μικρό packet loss κατά την κίνηση.

Διαδίκτυο των πραγμάτων

IoT σενάριο σε **κρίσιμη εγκατάσταση ύδρευσης/αντλιοστάσιο**, με αισθητήρες πίεσης, παροχής, στάθμης, ποιότητας νερού και διαρροών



Κάλυψη

Πυκνότητα συνδέσεων

Μπαταρία

Ενεργειακή απόδοση

Αξιοπιστία

Οι αισθητήρες μεταδίδουν συνήθως **μικρά πακέτα δεδομένων**, περιοδικά ή όταν ανιχνεύσουν κάποιο συμβάν.

Το δίκτυο πρέπει να προσφέρει βαθιά indoor κάλυψη και να υποστηρίζει **εκατοντάδες / χιλιάδες endpoints**, χωρίς συμφόρηση και με πολυετή διάρκεια μπαταρίας.

Τέσσερα σενάρια, διαφορετικά KPIs

1

Τρένο

mobility, coverage, handover interruption

2

Στάδιο

capacity, uplink load, interference

3

Ρομπότ

latency, reliability, local compute

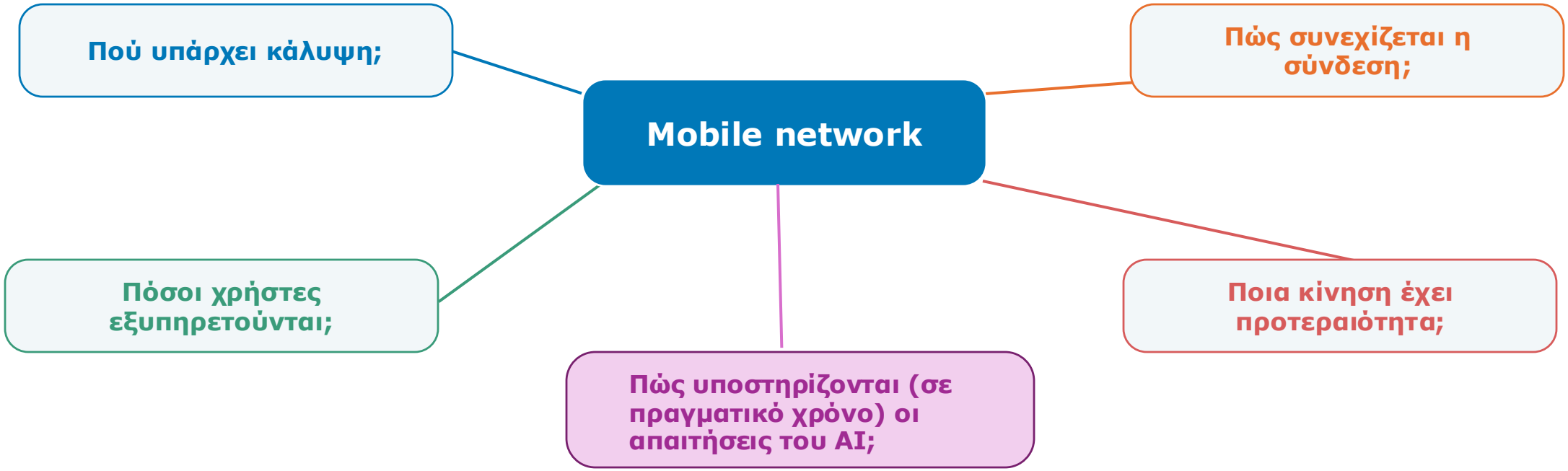
4

Αισθητήρες

battery life, coverage, connection density

Ο σκοπός του μαθήματος

Θα εστιάσουμε στις προκλήσεις των κινητών δικτύων επικοινωνίας και θα εξετάσουμε πώς ένα κινητό δίκτυο συνδέει συσκευές που κινούνται, μοιράζει περιορισμένους πόρους και υποστηρίζει υπηρεσίες με διαφορετικές απαιτήσεις.



Ποιες προκλήσεις θα μελετήσουμε;

1

Παλιές αλλά διαχρονικές προκλήσεις

Κάλυψη, παρεμβολές, περιορισμένο φάσμα, κινητικότητα και ανάγκη για μεγαλύτερη χωρητικότητα.

2

Νέες απαιτήσεις υπηρεσιών

Διαφορετικές εφαρμογές απαιτούν διαφορετικό latency, reliability, throughput, energy efficiency και Quality of Experience (QoE).

3

Αυξανόμενη πολυπλοκότητα του δικτύου

Heterogeneous RAN, cloud-native core, network slicing, edge computing και κατανεμημένη λειτουργία μεταξύ device, edge και cloud.

4

Ευφυή και αυτόνομα δίκτυα

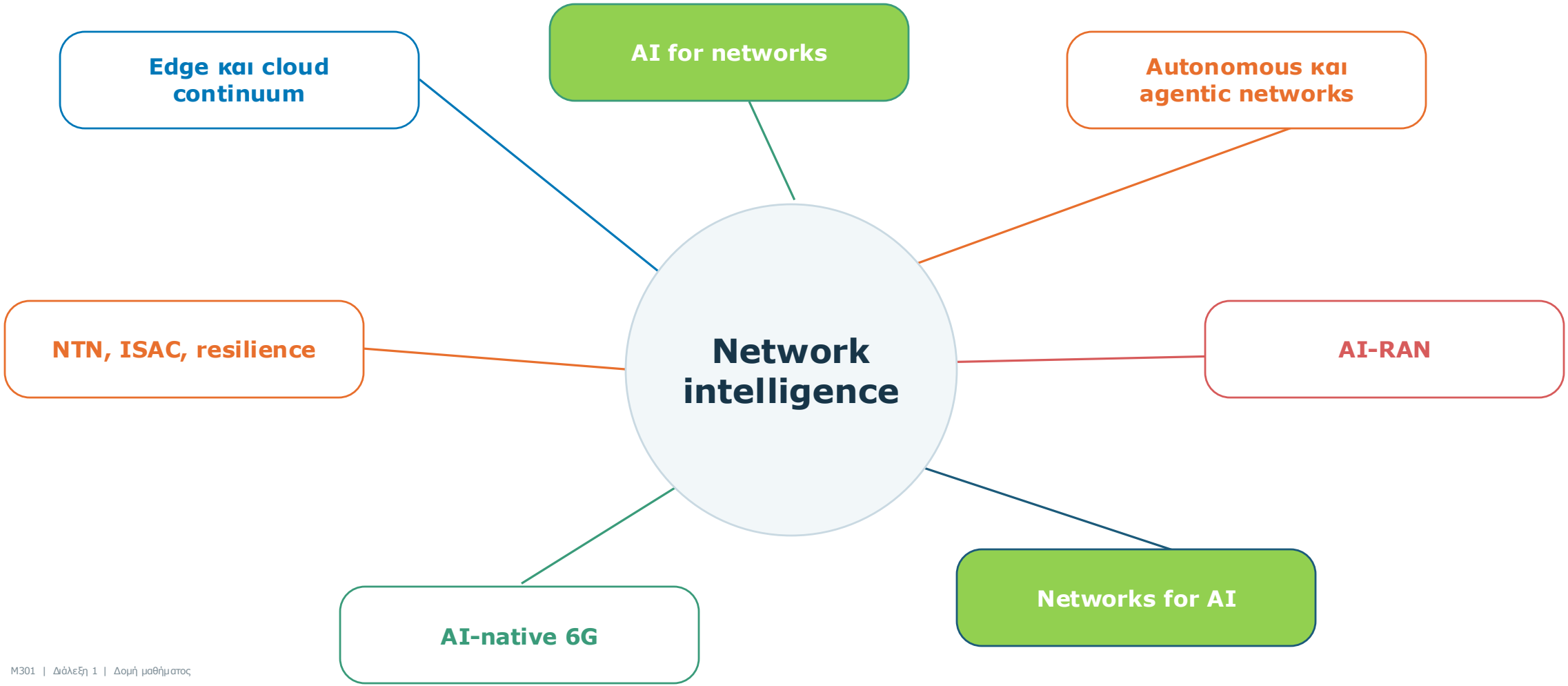
AI-assisted optimisation, AI-RAN, intent-based operation και autonomous networks, μαζί με ζητήματα trust, explainability και ανθρώπινου ελέγχου.

Η έμφαση βρίσκεται στη δικτυακή λογική, στη διαχείριση πόρων δικτύου και υπολογισμού, καθώς και στις αποφάσεις σχεδιασμού.

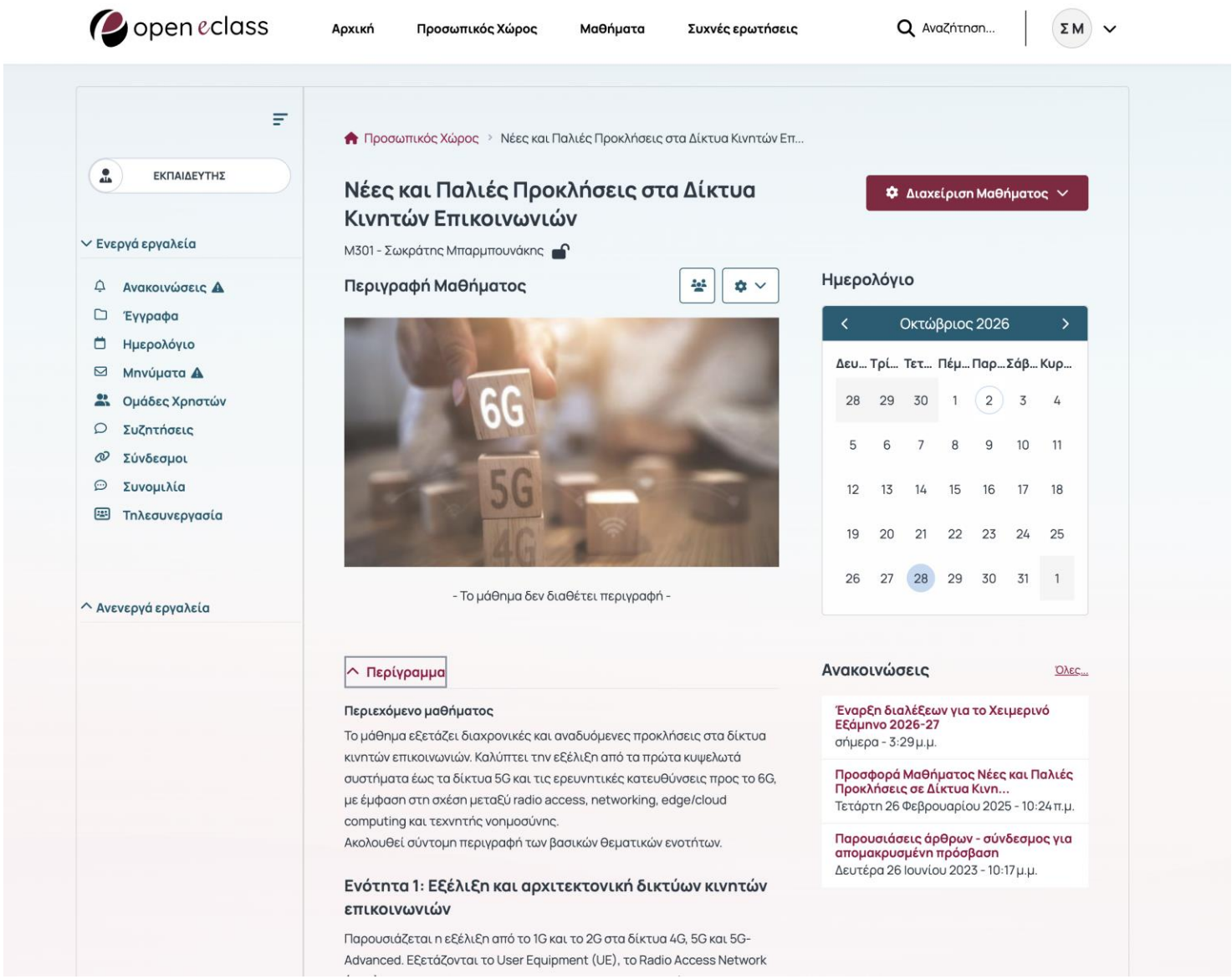
Κάποιες λεπτομέρειες που αφορούν το φυσικό επίπεδο θα χρησιμοποιούνται μόνο όταν είναι απαραίτητες για την κατανόηση.

Βασικοί πυλώνες του μαθήματος

RAN, Edge, Core fundamentals | **QoS και Resource Management** | **Mobility management** | **Softwarisation και slicing**



ΕΚΠΑ eClass


open eclass
Αρχική
Προσωπικός Χώρος
Μαθήματα
Συχνές ερωτήσεις
Αναζήτηση...
Σ Μ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΣ
Ενεργά εργαλεία
Ανακοινώσεις
Έγγραφα
Ημερολόγιο
Μηνύματα
Ομάδες Χρηστών
Συζητήσεις
Σύνδεσμοι
Συνομιλία
Τηλεσυνεργασία
Ανενεργά εργαλεία
Προσωπικός Χώρος › Νέες και Παλιές Προκλήσεις στα Δίκτυα Κινητών Επ...
Νέες και Παλιές Προκλήσεις στα Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών
Διαχείριση Μαθήματος
Μ301 - Σωκράτης Μπαρμπουνάκης
Περιγραφή Μαθήματος
6G
5G
4G
- Το μάθημα δεν διαθέτει περιγραφή -
Περίγραμμα
Περιεχόμενο μαθήματος
Το μάθημα εξετάζει διαχρονικές και αναδυόμενες προκλήσεις στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Καλύπτει την εξέλιξη από τα πρώτα κυψελωτά συστήματα έως τα δίκτυα 5G και τις ερευνητικές κατευθύνσεις προς το 6G, με έμφαση στη σχέση μεταξύ radio access, networking, edge/cloud computing και τεχνητής νοημοσύνης.
Ακολουθεί σύντομη περιγραφή των βασικών θεματικών ενοτήτων.
Ενότητα 1: Εξέλιξη και αρχιτεκτονική δικτύων κινητών επικοινωνιών
Παρουσιάζεται η εξέλιξη από το 1G και το 2G στα δίκτυα 4G, 5G και 5G-Advanced. Εξετάζονται το User Equipment (UE), το Radio Access Network
Ημερολόγιο
Οκτώβριος 2026
Δευ... Τρί... Τετ... Πέμ... Παρ... Σάβ... Κυρ...
28 29 30 1 2 3 4
5 6 7 8 9 10 11
12 13 14 15 16 17 18
19 20 21 22 23 24 25
26 27 28 29 30 31 1
Ανακοινώσεις
Όλες...
Έναρξη διαλέξεων για το Χειμερινό Εξάμηνο 2026-27
σήμερα - 3:29 μ.μ.
Προσφορά Μαθήματος Νέες και Παλιές Προκλήσεις σε Δίκτυα Κινη...
Τετάρτη 26 Φεβρουαρίου 2025 - 10:24 π.μ.
Παρουσιάσεις άρθρων - σύνδεσμος για απομακρυσμένη πρόσβαση
Δευτέρα 26 Ιουνίου 2023 - 10:17 μ.μ.

Βαθμολογία

Στοιχείο αξιολόγησης	Βαρύτητα
Τελική γραπτή εξέταση	60%
Τεχνικό project και παρουσίαση	40%

Παραδοτέα

- Τεχνική αναφορά 6–8 σελίδων (περιγραφή use case - φυσικός χώρος, επιχειρησιακό περιβάλλον, χρήστες, απαιτήσεις, κύριες σχεδιαστικές προκλήσεις, αρχιτεκτονική δικτύου, ...)
- Παρουσίαση 12–15 λεπτών
- Προφορική υποστήριξη και ερωτήσεις
- Βιβλιογραφία από standards, επιστημονικές δημοσιεύσεις και τεχνικές πηγές της βιομηχανίας

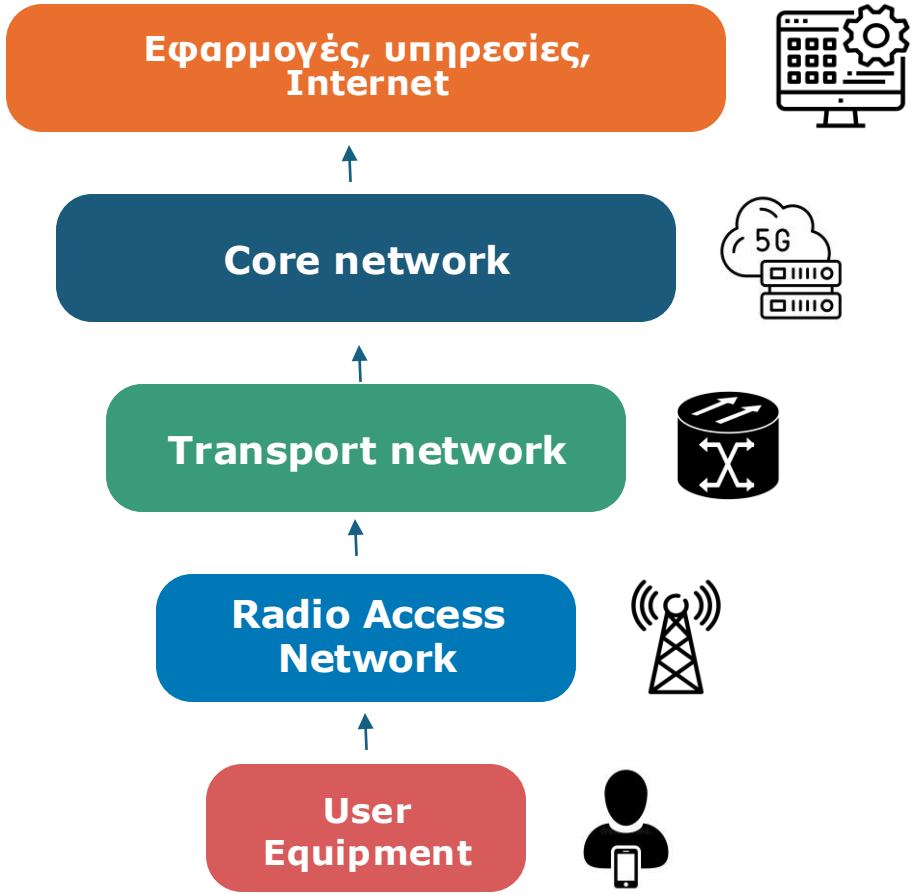
Project breakdown	**Στον τελικό βαθμό**
Τεχνική ορθότητα, ποιότητα πηγών, πηγές	**10%**
Ζωντανή παρουσίαση, υποστήριξη, ερωτήσεις	**30%**
Σύνολο project	**40%**

Τι είναι ένα δίκτυο κινητών επικοινωνιών;

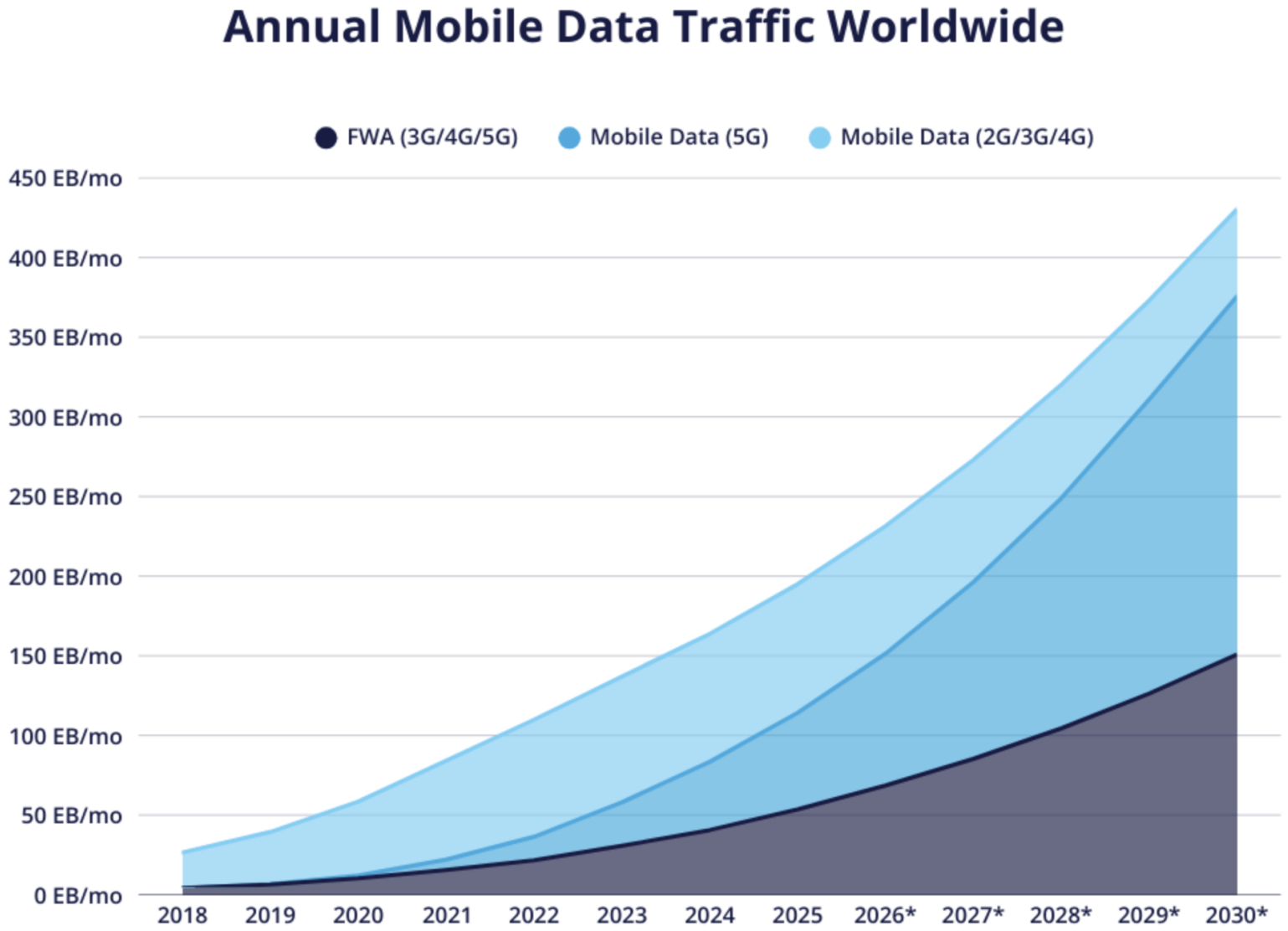
Είναι ένα σύστημα που επιτρέπει σε συσκευές να επικοινωνούν ενώ αλλάζουν θέση και συνθήκες ραδιοδιάδοσης.

Συνδυάζει ασύρματη πρόσβαση, ενσύρματη μεταφορά, λειτουργίες ελέγχου και πρόσβαση σε υπηρεσίες.

- Το mobile network δεν τελειώνει στην κεραία.
- Η εμπειρία προκύπτει από ολόκληρη την end-to-end διαδρομή.
- Η κινητικότητα απαιτεί συνεχή συντονισμό ανάμεσα στα υποσυστήματα.



Ετήσια χρήση δεδομένων κινητής παγκοσμίως



https://tridenstechnology.com/telecommunications-industry-statistics

Wireless - Mobile Network

Wireless network

Η μετάδοση γίνεται χωρίς καλώδιο. Οι συσκευές μπορεί να παραμένουν σταθερές, όπως ένας αισθητήρας ή ένα fixed wireless terminal, ή να κινούνται.



Κύριο ζήτημα: radio link

Wi-Fi (IEEE 802.11), Bluetooth, Zigbee/Thread (IEEE 802.15.4), UWB (IEEE 802.15.4z), Fixed WiMAX (IEEE 802.16d)

Mobile network

Το δίκτυο υποστηρίζει αλλαγή θέσης, cell selection, handover, paging ενώ διατηρεί πρόσβαση και sessions.



Κύριο ζήτημα: continuity

GSM/EDGE, UMTS/HSPA, LTE/LTE-Advanced, 5G NR (3GPP), CDMA2000/EV-DO (3GPP2), Mobile WiMAX (IEEE 802.16e)

Είναι το ένα υποπερίπτωση του άλλου;

Η εξέλιξη των γενεών



1G	2G	3G	4G	5G	6G
Analog voice	**Digital voice και SMS**	**Mobile data**	**All-IP broadband**	**Flexible services**	**IMT-2030 research "AI-native"**
1980s	1990s	2000s	2010s	2020s	2030s

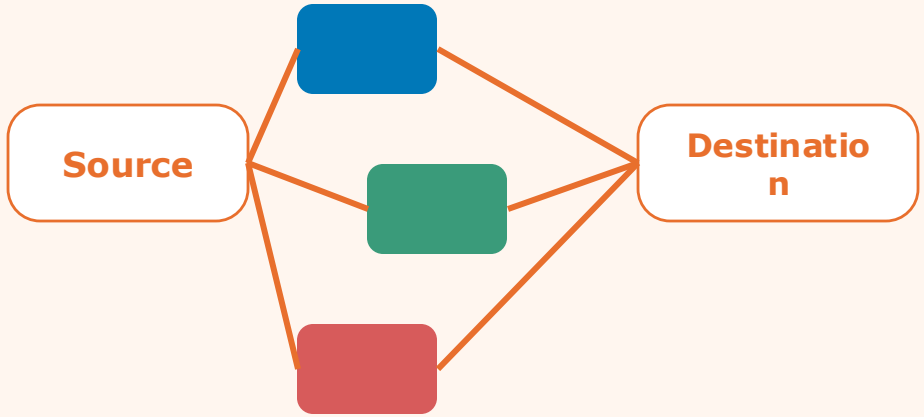
Circuit switching και packet switching

Circuit switching



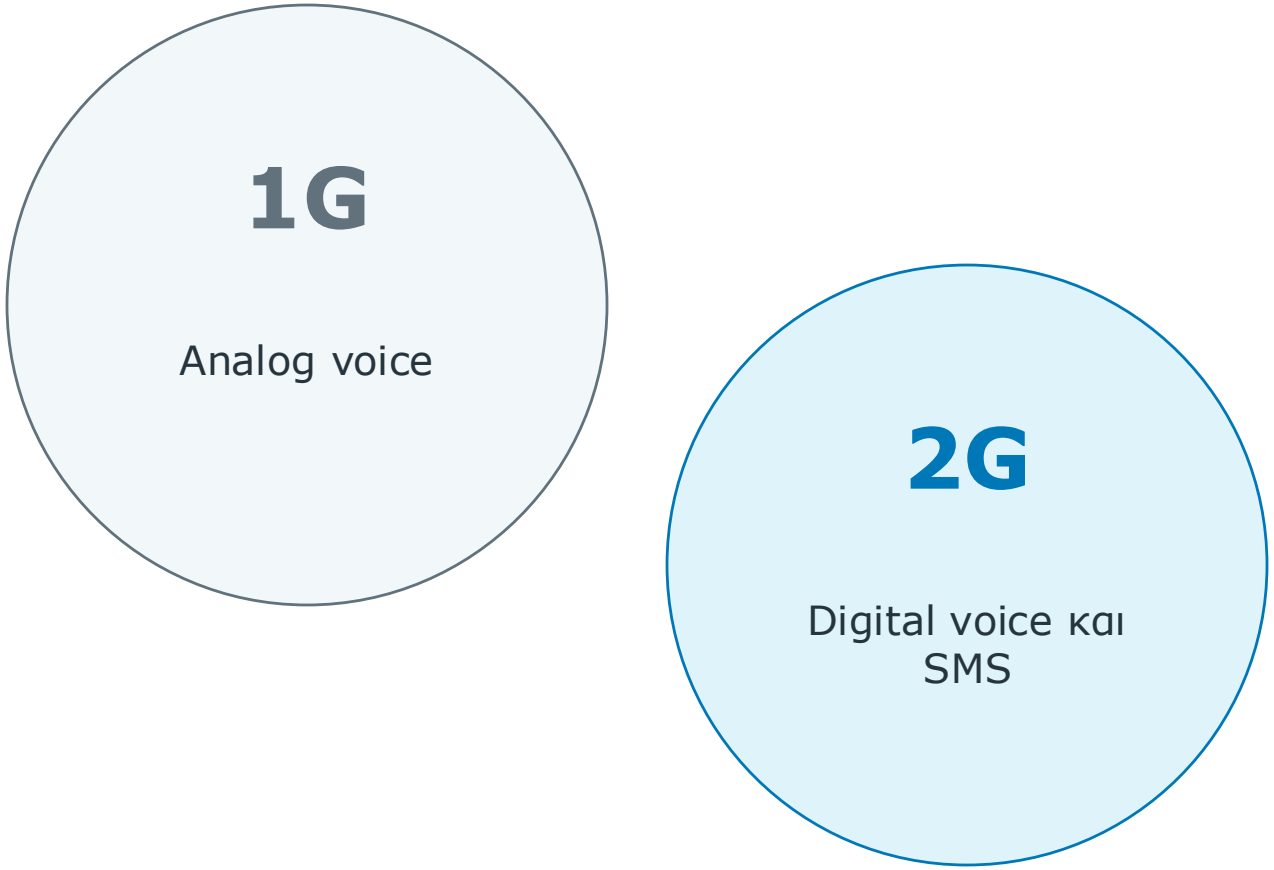
Δεσμευμένη λογική διαδρομή για τη διάρκεια της κλήσης

Packet switching



Τα packets μοιράζονται την υποδομή και μπορούν να ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές

1G και 2G: από την αναλογική στην ψηφιακή φωνή

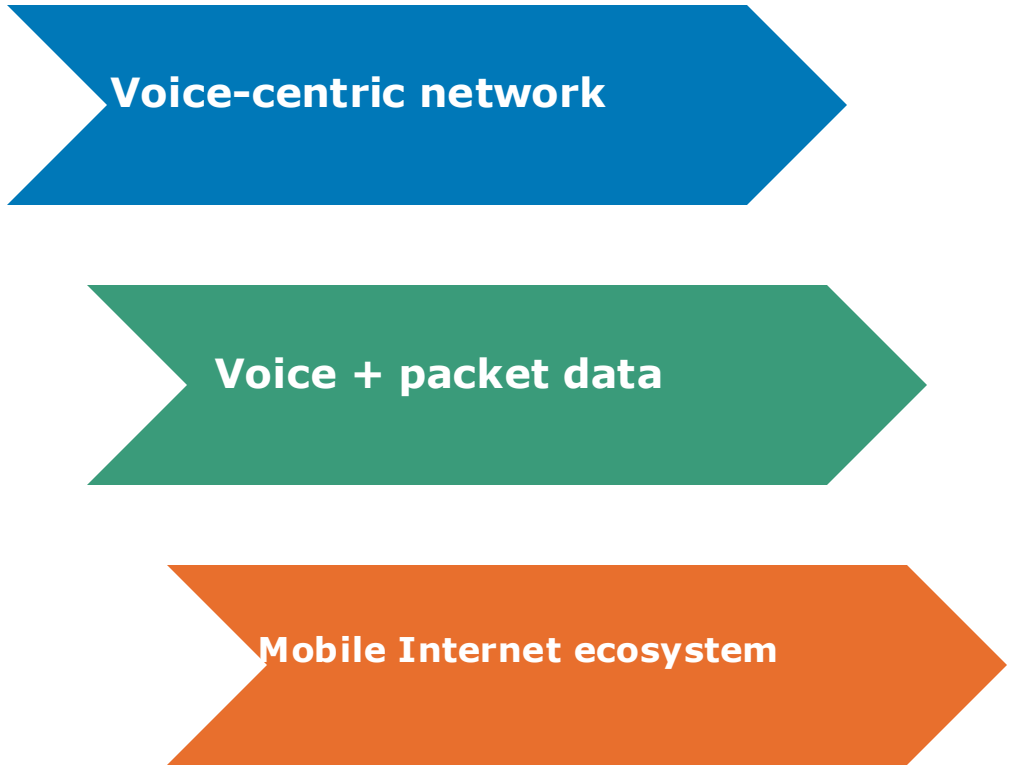


- Η ψηφιοποίηση βελτίωσε τη χωρητικότητα και επέτρεψε ισχυρότερη ασφάλεια.
- Το GSM εισήγαγε ευρεία περιαγωγή, SIM-based identity και standardized services.
- Η αρχιτεκτονική παρέμενε κυρίως προσανατολισμένη στη φωνή και στο circuit switching.

3G: το mobile Internet γίνεται βασική υπηρεσία

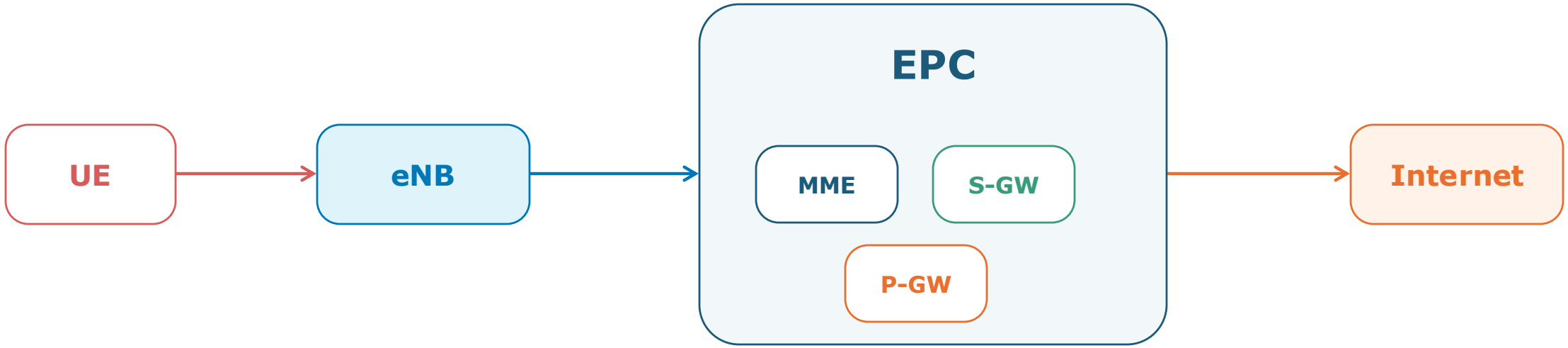
Το 3G επεκτείνει το δίκτυο από τη φωνή προς packet data. Η πρόσβαση στο Internet, το email και οι πρώτες mobile multimedia υπηρεσίες γίνονται μέρος της καθημερινής χρήσης.

- Η data traffic αυξάνεται και η εμπειρία εξαρτάται όλο και περισσότερο από packet-switched domains.
- Η μετάβαση δημιουργεί σύνθετες αρχιτεκτονικές όπου circuit και packet λειτουργίες συνυπάρχουν.
- Η ανάγκη για χαμηλότερο latency και μεγαλύτερη αποδοτικότητα οδηγεί προς LTE.



4G/LTE: ένα all-IP mobile broadband network

Το LTE σχεδιάστηκε γύρω από IP connectivity, υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης και απλούστερη packet architecture. Η φωνή μεταφέρεται ως υπηρεσία πάνω από IP μέσω VoLTE.



MME: Mobility Management Entity is the primary control-plane brain of the 4G LTE EPC network. It handles signaling between the mobile device and the core network, but does not carry actual user data

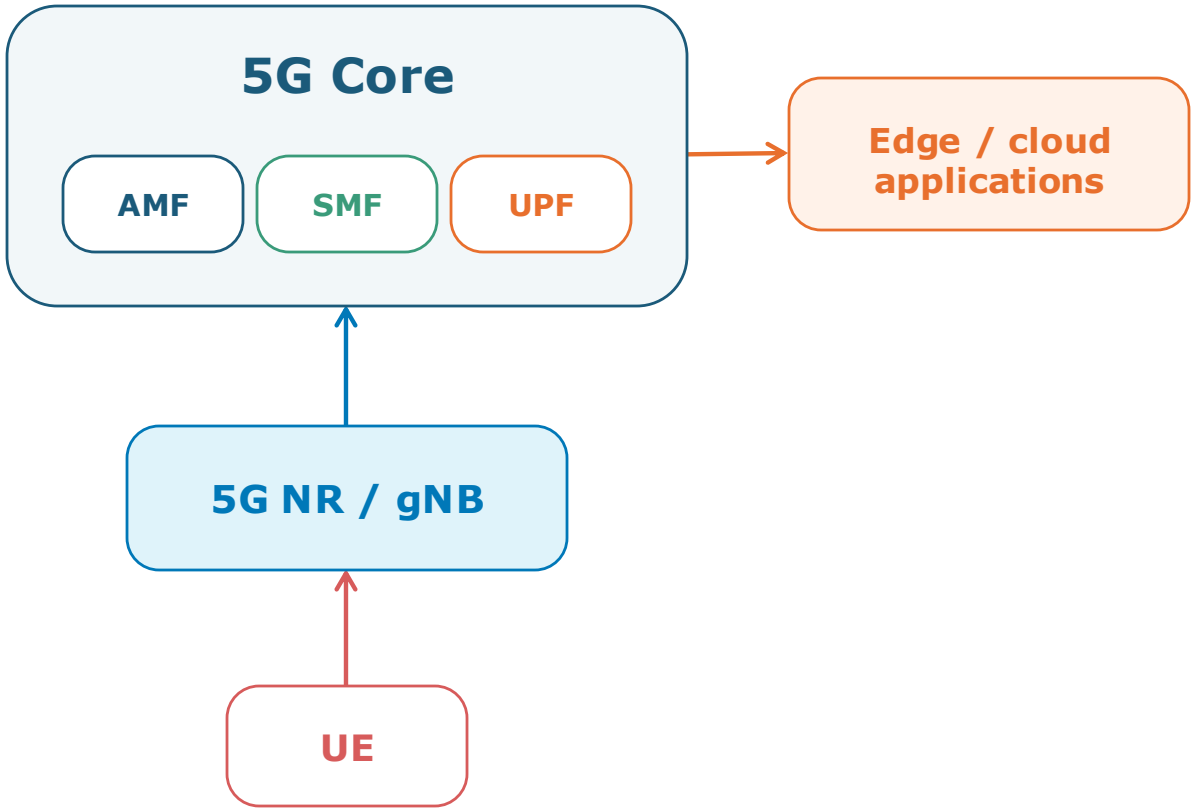
S-GW: Serving Gateway routes and forwards user data packets between the base station (eNodeB) and the packet data network gateway (PGW) in a 4G LTE network

P-GW: Packet Data Network Gateway (connects the mobile network to external packet data networks like the Internet)

Τι κερδίζει το δίκτυο όταν η φωνή και τα δεδομένα χρησιμοποιούν κοινή IP υποδομή;

5G: νέα radio access και νέα αρχιτεκτονική υπηρεσιών

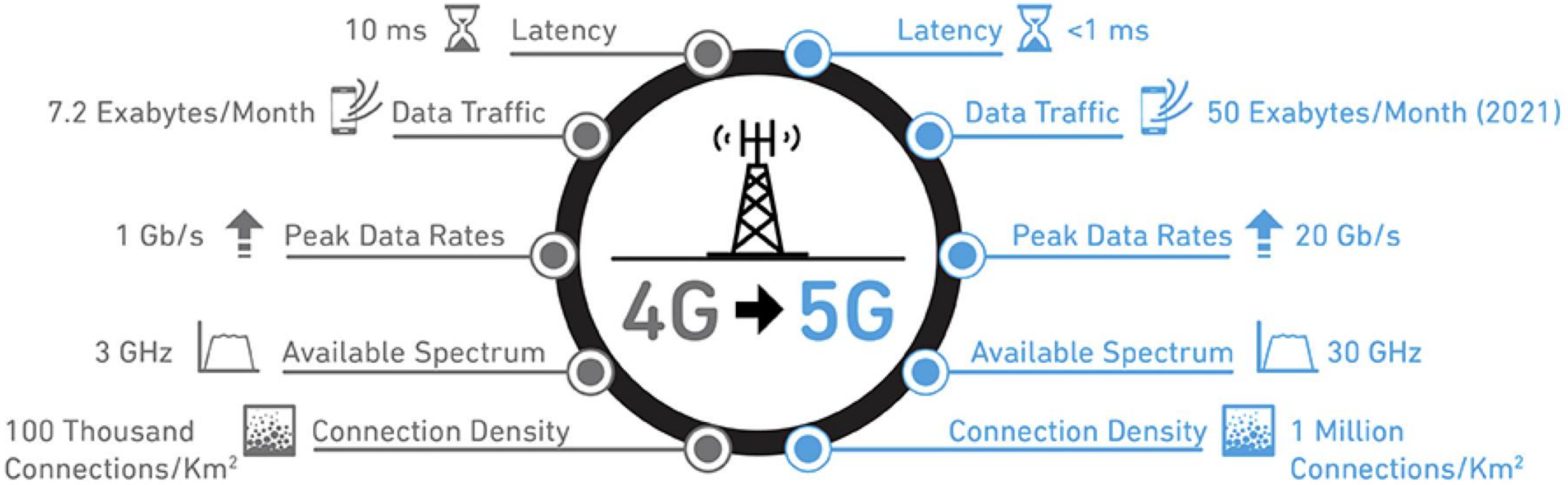
Το 5G συνδυάζει New Radio (NR) με 5G Core (5GC). Στόχος είναι η υποστήριξη διαφορετικών απαιτήσεων υπηρεσιών και η πιο ευέλικτη τοποθέτηση network functions.



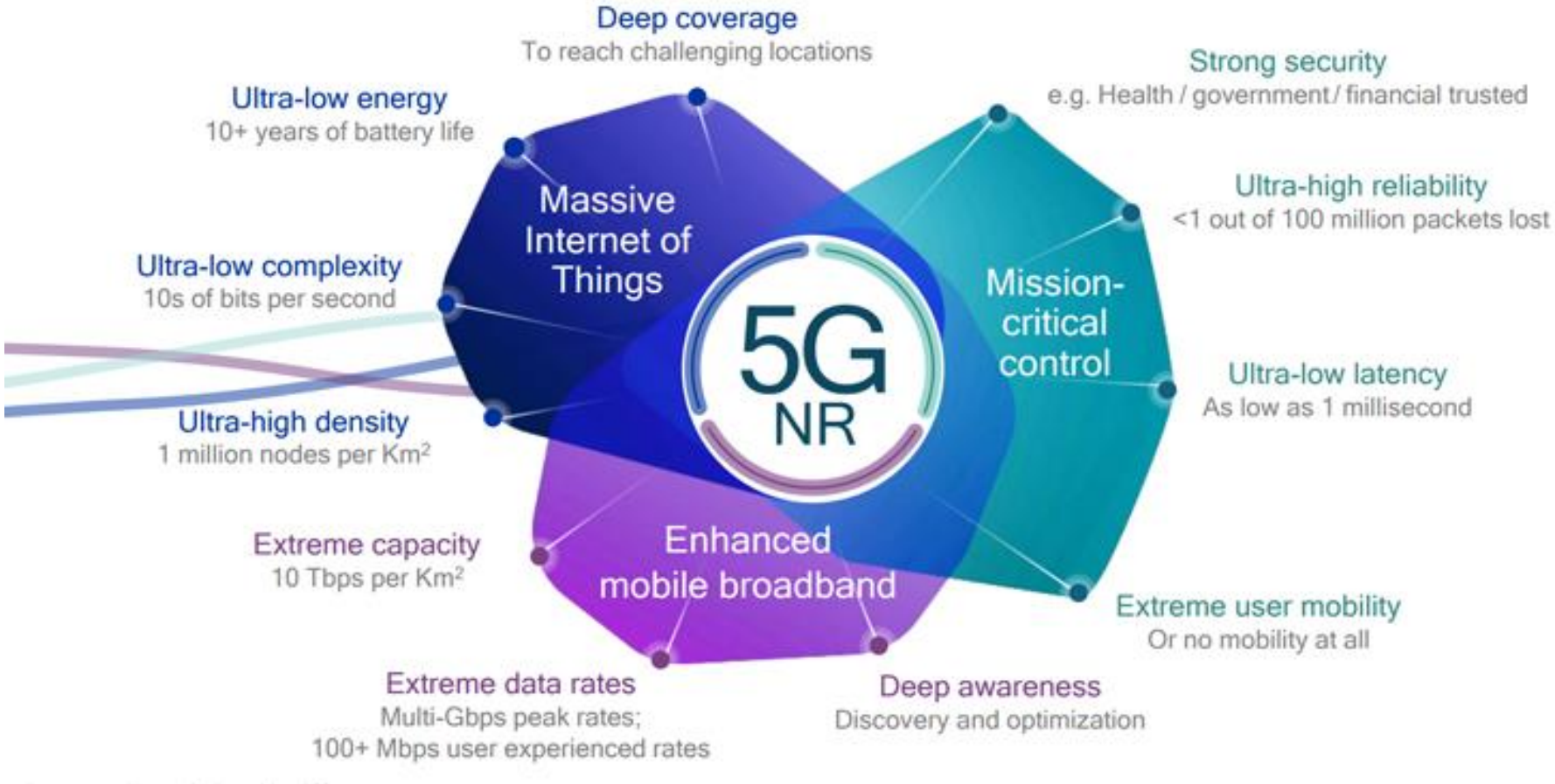
- AMF: Access and Mobility Management Function (ex. MME)
- SMF: Session Management Function (control aspects previously attributed to P-GW, S-GW)
- UPF: User Plane Function (ex P-GW, S-GW)

Ποια λειτουργία του 5G Core πρέπει να βρίσκεται κοντά στον χρήστη για χαμηλό user-plane latency;

4G vs 5G: Ενδεικτικές απαιτήσεις και KPIs

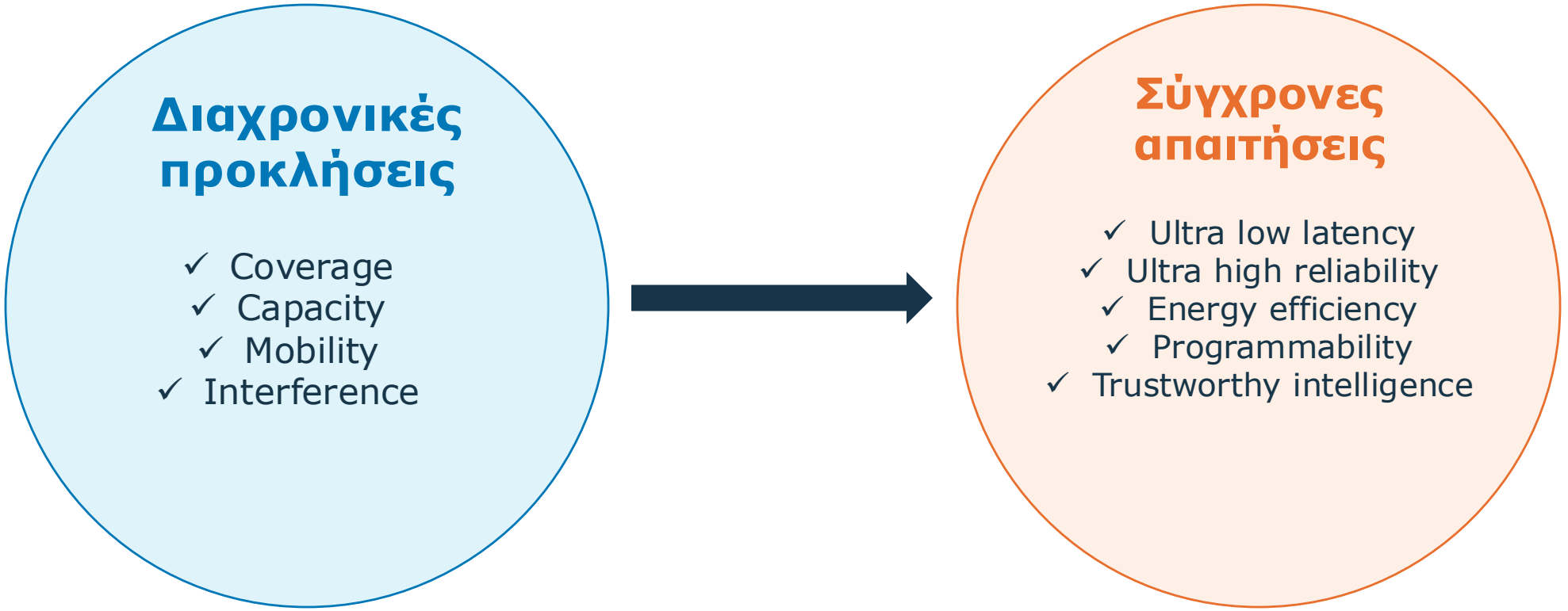


Οι τρεις βασικές οικογένειες υπηρεσιών του 5G

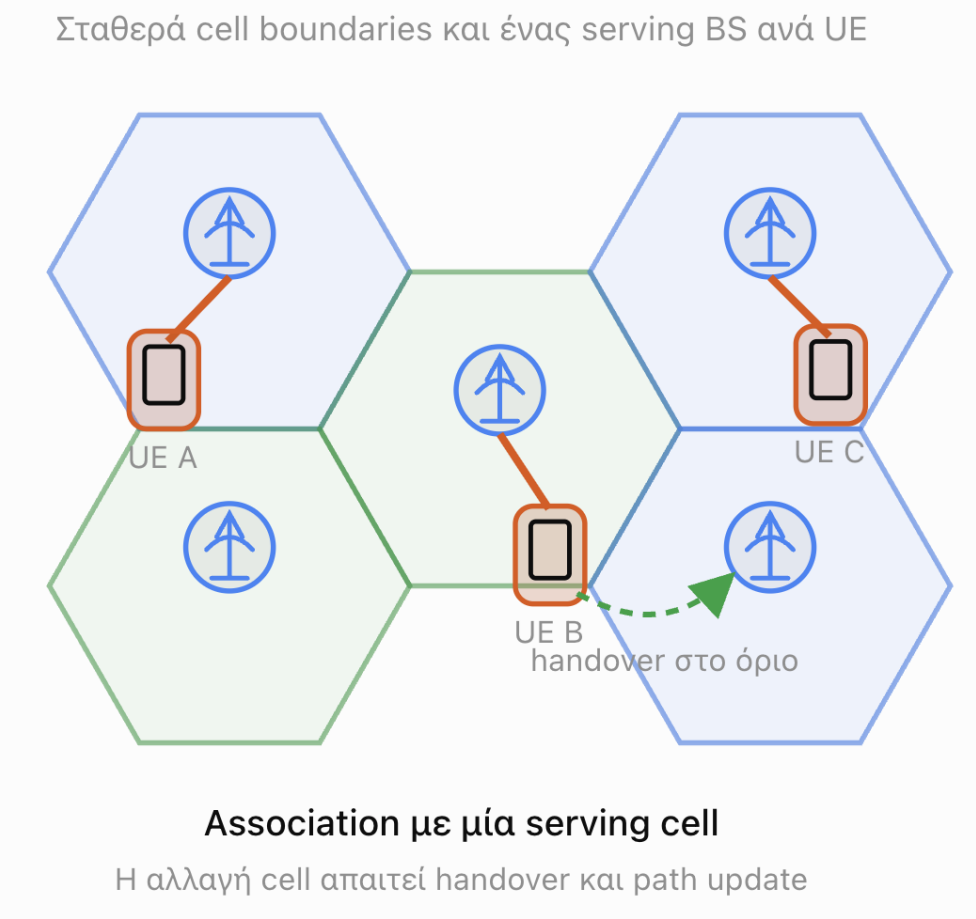


Source ResearchGate: https://www.researchgate.net/figure/Main-features-within-the-target-domains-of-5G-mobile-technology-14_fig2_333420549

Παλιές προκλήσεις, νέες απαιτήσεις



Η παραδοσιακή προσέγγιση: η κυψελωτή αρχιτεκτονική



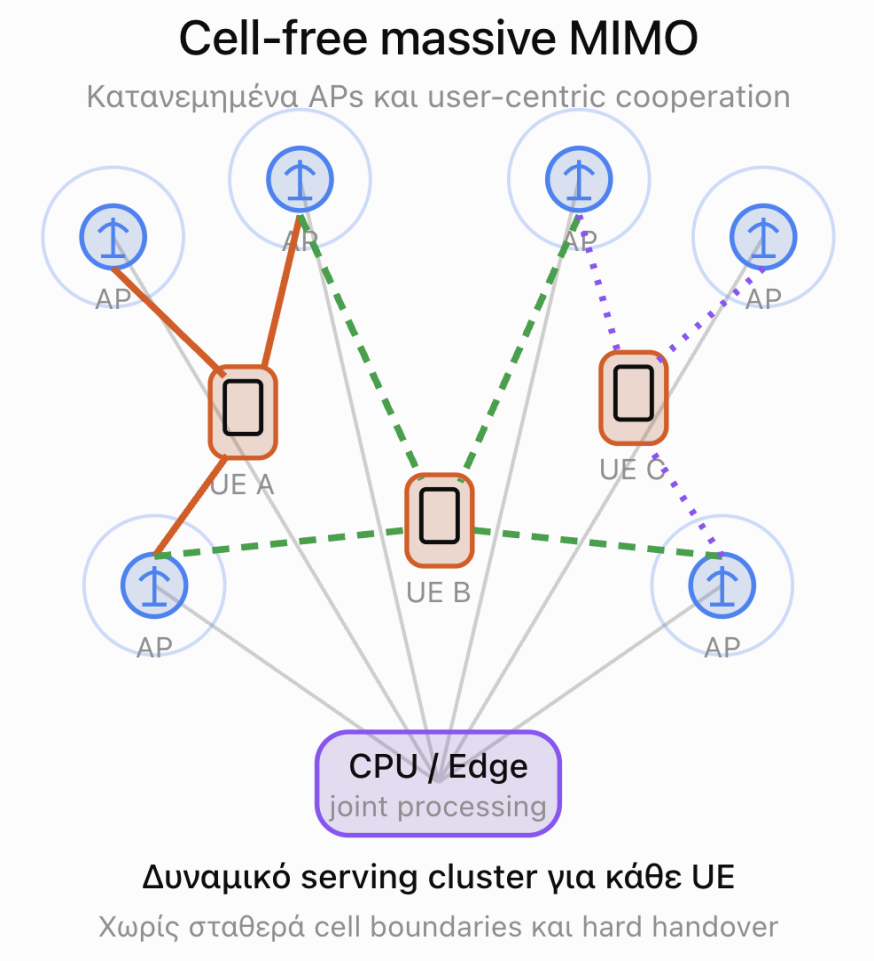
Μια μεγάλη περιοχή χωρίζεται σε κυψέλες (cells). Κάθε cell εξυπηρετείται από radio site και χρησιμοποιεί ελεγχόμενους πόρους φάσματος.

Η ίδια συχνότητα μπορεί να επαναχρησιμοποιείται σε αρκετή απόσταση.

- Μικρότερα cells αυξάνουν τη χωρητικότητα αλλά απαιτούν περισσότερα sites και handovers.
- Μεγαλύτερα cells καλύπτουν μεγαλύτερη περιοχή αλλά μοιράζουν τους πόρους σε περισσότερους χρήστες.
- Η γεωμετρία των cells είναι μοντέλο. Η πραγματική κάλυψη επηρεάζεται από το περιβάλλον.

Γιατί ένα δίκτυο δεν χρησιμοποιεί μία μόνο πολύ ισχυρή κεραία για ολόκληρη την πόλη;

Πέρα από την προσέγγιση του κυψελωτού δικτύου



Η συνεργασία οργανώνεται γύρω από τον χρήστη (user-centric) και μεταβάλλεται με τη θέση του.

- **Δεν υπάρχουν σταθερά cell boundaries**. Πολλά κατανεμημένα Access Points (APs) συνεργάζονται για την εξυπηρέτηση των χρηστών.
- Κάθε UE εξυπηρετείται από ένα δυναμικό **user-centric cluster** κοντινών APs, το οποίο μεταβάλλεται καθώς ο χρήστης κινείται.
- Η συνεργατική μετάδοση **μειώνει το cell-edge effect** και βελτιώνει την ομοιομορφία της υπηρεσίας, αλλά απαιτεί αποτελεσματικό fronthaul και **συγχρονισμό**
- Υψηλές απαιτήσεις σε computing resources

Η συσκευή: User Equipment

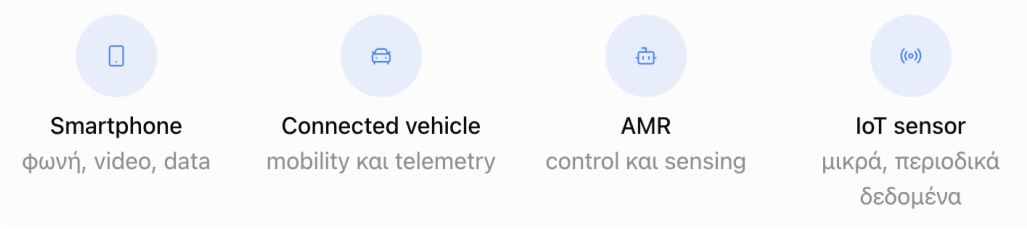
Applications
φωνή, video, messaging, telemetry, sensing και control

IP και transport
addressing, TCP/UDP και application traffic

RRC και NAS signaling
radio connection, registration, mobility και session control

Radio protocol stack
PDCP, RLC, MAC και PHY

Modem, antennas και SIM/eSIM
radio hardware, subscriber identity και credentials



Κοινός λειτουργικός ρόλος: UE

Αλληλεπίδραση με το δίκτυο

Cell discovery και selection
Εντοπίζει διαθέσιμα cells και επιλέγει κατάλληλη πρόσβαση.

Radio measurements
Μετρά RSRP, RSRQ και SINR και στέλνει measurement reports.

Registration και session
Αυθεντικοποιείται και αποκτά πρόσβαση στις υπηρεσίες του δικτύου.

User traffic
Στέλνει και λαμβάνει application data μέσω του user plane.

M301 | Διάλεξη 1 | Θεμελιώδεις έννοιες

Uplink και downlink

Uplink (UL) είναι η κατεύθυνση από το UE προς το δίκτυο.
Downlink (DL) είναι η κατεύθυνση από το δίκτυο προς το UE.
Οι δύο κατευθύνσεις συχνά έχουν διαφορετικό traffic profile και resource allocation.



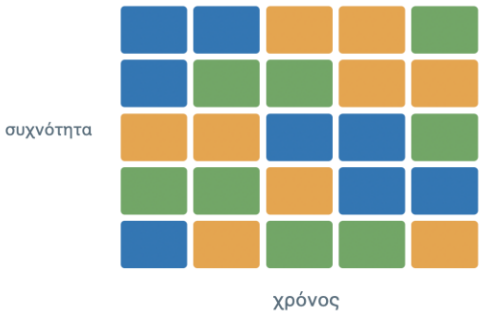
Το mobile traffic ήταν παραδοσιακά downlink-heavy.
Νέες AI και sensing εφαρμογές μπορούν να αυξήσουν το uplink share.

Φάσμα, πόροι και παρεμβολές

Το radio spectrum είναι **κοινός και πεπερασμένος πόρος.**

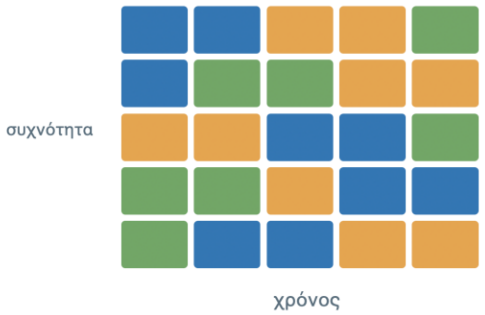
Ο scheduler κατανέμει Physical Resource Blocks (PRBs) στο time-frequency grid, ενώ οι γειτονικές μεταδόσεις μπορεί να προκαλούν interference.

Downlink CP-OFDM



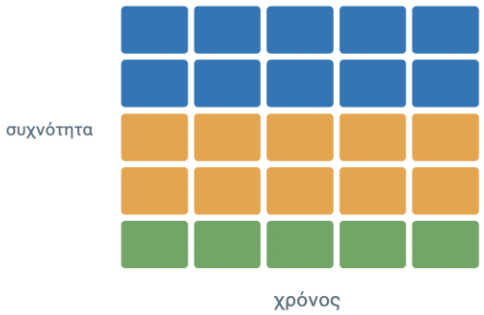
Ευέλικτη κατανομή πόρων και multi-layer MIMO

Uplink CP-OFDM

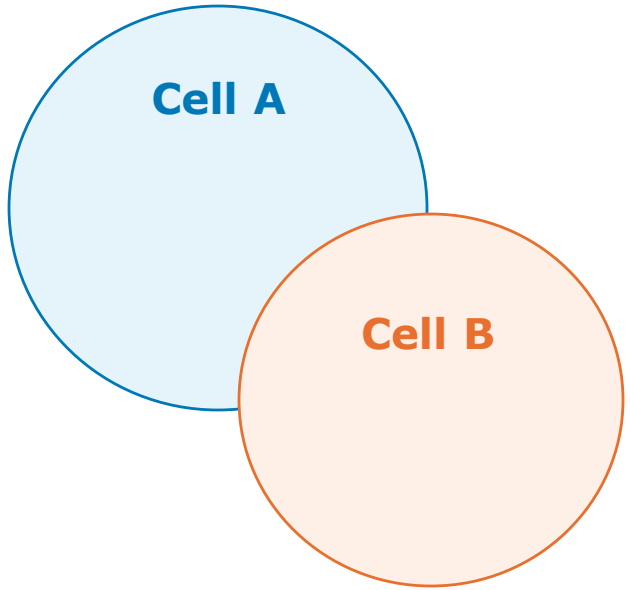


Υψηλό throughput και MIMO με υψηλότερο PAPR

Uplink DFT-s-OFDM



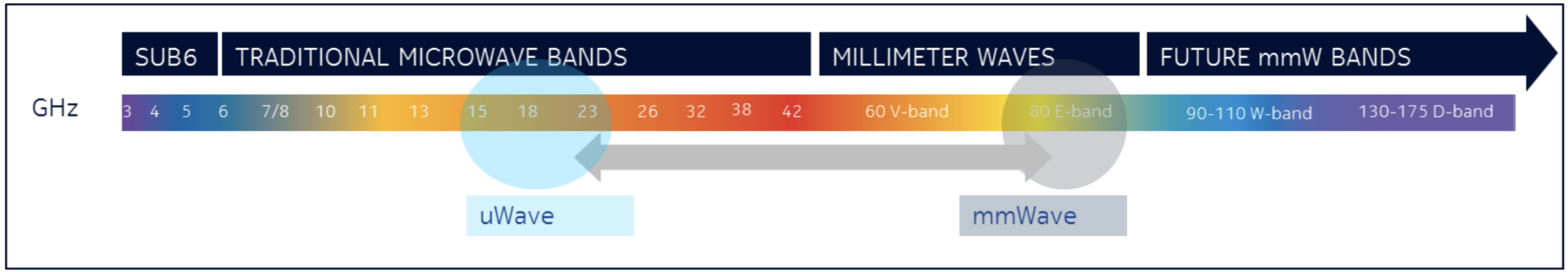
Contiguous PRBs και χαμηλότερο PAPR για καλύτερο coverage του UE



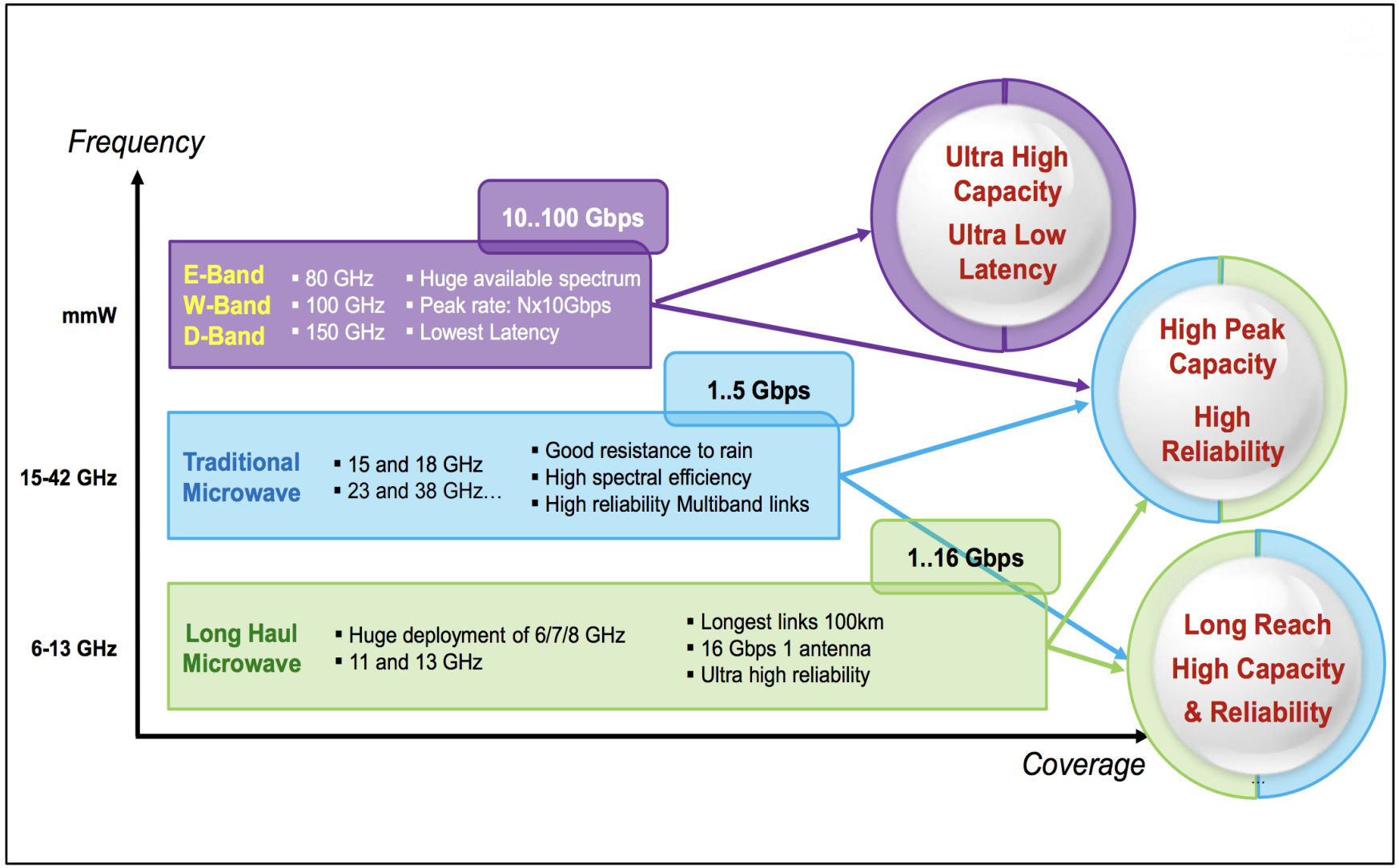
Overlap = πιθανό interference

5G frequency bands

- Συχνότητες μικρότερες από 13 GHz θεωρούνται κατά κύριο λόγο ανθεκτικές στην ένταση της βροχόπτωσης
- Συχνότητες άνω των 13 GHz επηρεάζονται όλο και περισσότερο από την εξασθένηση που προκαλείται από τη βροχή
- Ως αποτέλεσμα, υψηλότερες συχνότητες χρησιμοποιούνται για μικρότερες αποστάσεις



5G frequency bands



Τύποι περιοχών ανάπτυξης

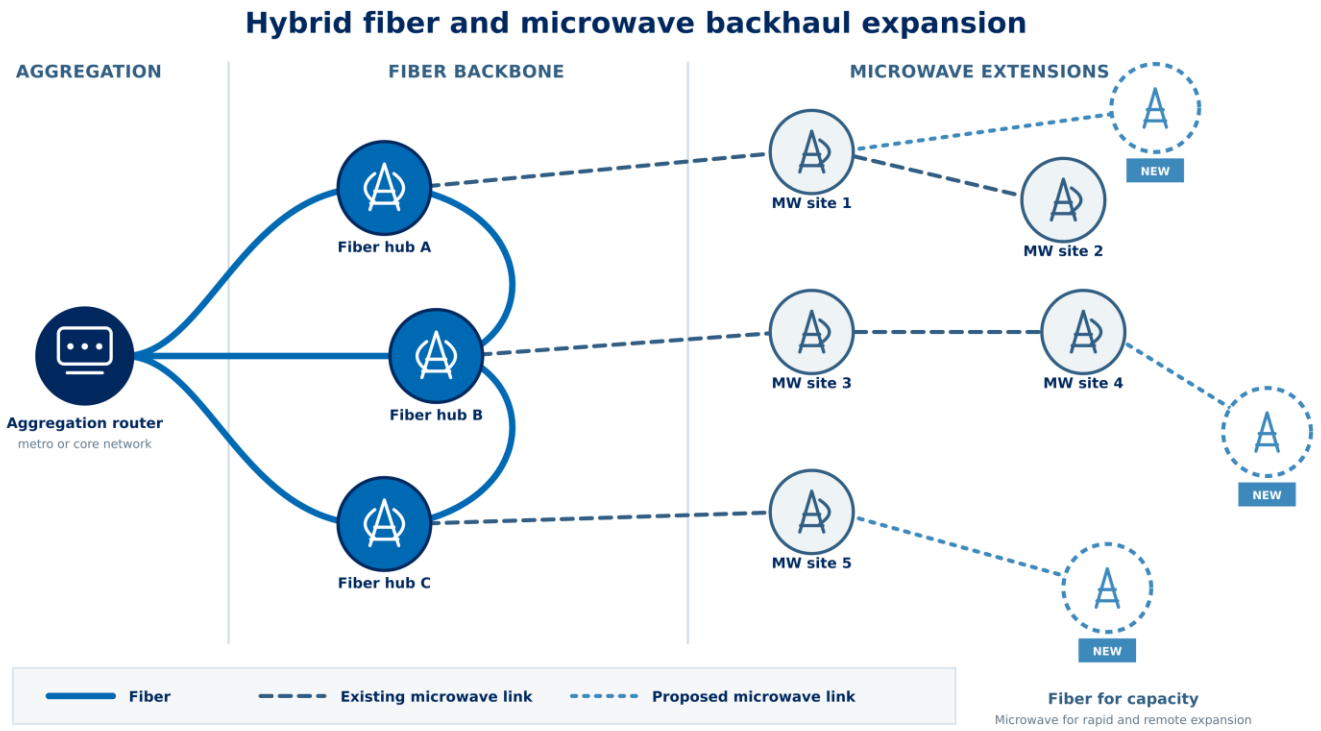
Site Type	Mobile spectrum and type	Cell type	Backhaul Capacity
Dense Urban	• LTE up to 50 MHz • 5G 200 MHz 16L MIMO ~4GHz • 5G ≥ 400 MHz 16L MIMO ~30GHz	Macro-cell: ~4GHz *and* ~30GHz Small-cell: ~4GHz *or* ~30GHz	>10 Gbps
Urban	• LTE up to 50 MHz • 5G 100 MHz 8L MIMO ~4GHz • 5G 200 MHz 8L MIMO ~30GHz	Macro-cell: ~4GHz Small-cell: ~4GHz *or* ~30GHz	<10 Gbps
Sub Urban	• LTE up to 50 MHz • 5G 100 MHz 8L MIMO ~4GHz	Macro-cell	<4 Gbps
Rural	• LTE up to 50 MHz • 5G 50 MHz 4L MIMO ~2GHz • 5G 20 MHz 4L MIMO ~700MHz	Macro-cell	<2 Gbps

Τύποι περιοχών ανάπτυξης

- **Πυκνά αστικά και αστικά περιβάλλοντα:** Το βάθος του MW/mmWave δικτύου τείνει να είναι **1–1,5 δικτυακά άλματα (hops) από το σημείο παρουσίας οπτικής ίνας (fibre PoP)**.

- **Προαστιακά περιβάλλοντα:** Παρατηρείται η ίδια τάση, αλλά το μέσο βάθος του MW/mmWave δικτύου προσεγγίζει τα **1,5–2 hops από το fibre PoP**.

- **Αγροτικές περιοχές:** Αναμένεται μεγαλύτερη διαφοροποίηση λόγω των διαφορετικών γεωγραφικών συνθηκών. Το μέσο βάθος του δικτύου εκτιμάται ότι θα προσεγγίζει τα **2,5 hops από το fibre PoP**.



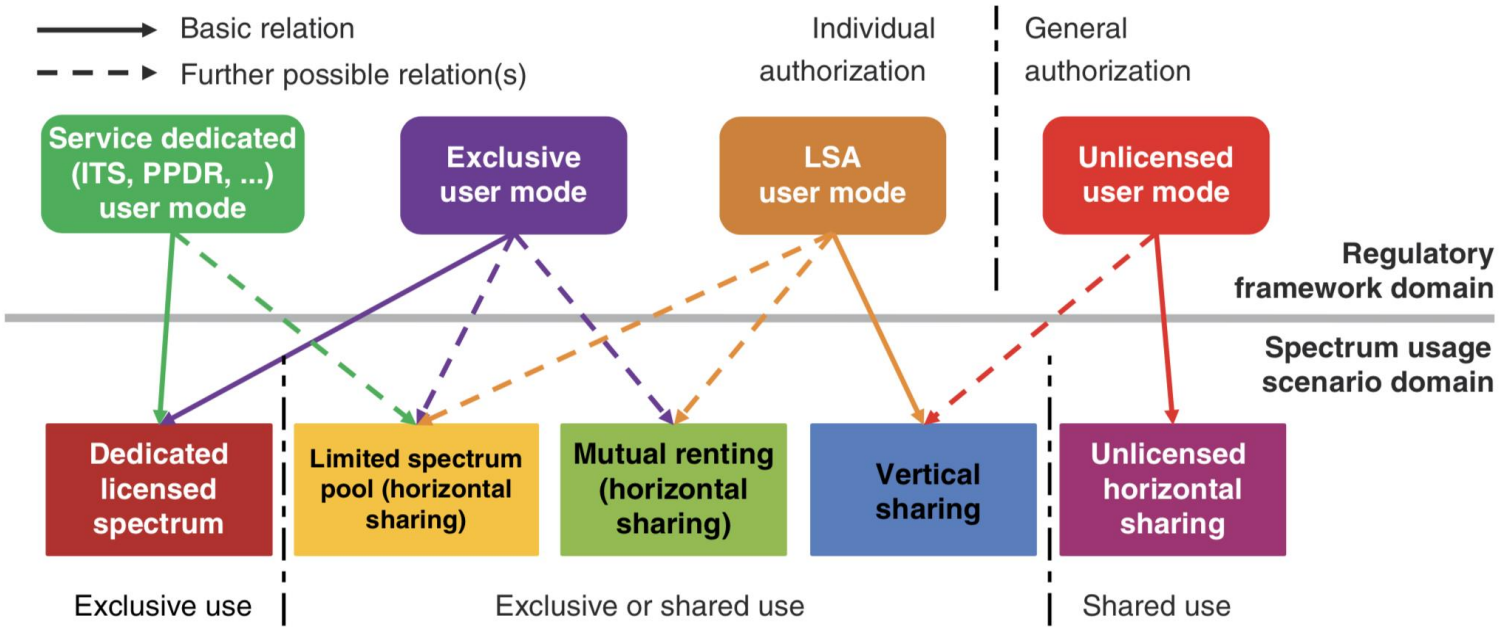
Αδειοδότηση και επιλογές χρήσης φάσματος για το 5G

Individual authorization
Η αρμόδια αρχή παραχωρεί συγκεκριμένο δικαίωμα χρήσης σε συγκεκριμένο φορέα.

- **Service-dedicated user mode:** φάσμα δεσμευμένο για συγκεκριμένη κατηγορία υπηρεσιών, όπως ITS (Intelligent Transportation Systems) ή PPDR.
- **Exclusive user mode:** ένας operator έχει αποκλειστικό δικαίωμα χρήσης συγκεκριμένων συχνοτήτων.
- **LSA user mode:** ένας περιορισμένος αριθμός πρόσθετων χρηστών αποκτά ελεγχόμενη πρόσβαση σε φάσμα που χρησιμοποιεί ήδη ένας κύριος χρήστης.

General authorization
Δεν παραχωρείται αποκλειστικό δικαίωμα σε συγκεκριμένο operator. Όποιος τηρεί τους γενικούς τεχνικούς κανόνες μπορεί να χρησιμοποιεί τη ζώνη.

- **Unlicensed user mode:** χρήση μη αδειοδοτημένου φάσματος, όπως συμβαίνει με το Wi-Fi και το 5G NR-U.



Προσοχή!
Οι όροι **limited spectrum pool** και **mutual renting** δεν αποτελούν βασικές, τυποποιημένες κατηγορίες του 3GPP. Περιγράφουν πιθανά μοντέλα διαμοιρασμού ή εμπορικές συμφωνίες.

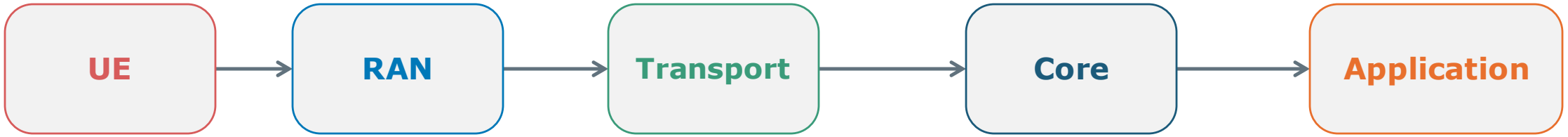
Επίσης, **unlicensed δεν σημαίνει χωρίς κανόνες**. Δεν απαιτείται ατομικό δικαίωμα χρήσης, αλλά εφαρμόζονται τεχνικοί περιορισμοί για ισχύ, παρεμβολές και πρόσβαση στο κανάλι. Το 3GPP έχει πράγματι προδιαγράψει λειτουργία 5G NR σε μη αδειοδοτημένο φάσμα μέσω του NR-U.

Η αρχιτεκτονική σε τέσσερα domains

Applications και data networks	Υπηρεσίες, Internet, enterprise platforms
Core network	Access, mobility, sessions, policy και user-plane routing
Transport network	Fronthaul (RU-DU), midhaul (DU-CU), backhaul (CU-Core) και IP connectivity
Radio Access Network	Cells, gNBs, radio resources και measurements

Το UE συνδέεται στο RAN. Το RAN χρησιμοποιεί transport για να φτάσει στο core.
Το core επιλέγει πώς η κίνηση θα φτάσει στην υπηρεσία.

Η συνολική διαδρομή προς την υπηρεσία



Radio link

Backhaul / transport

Data network

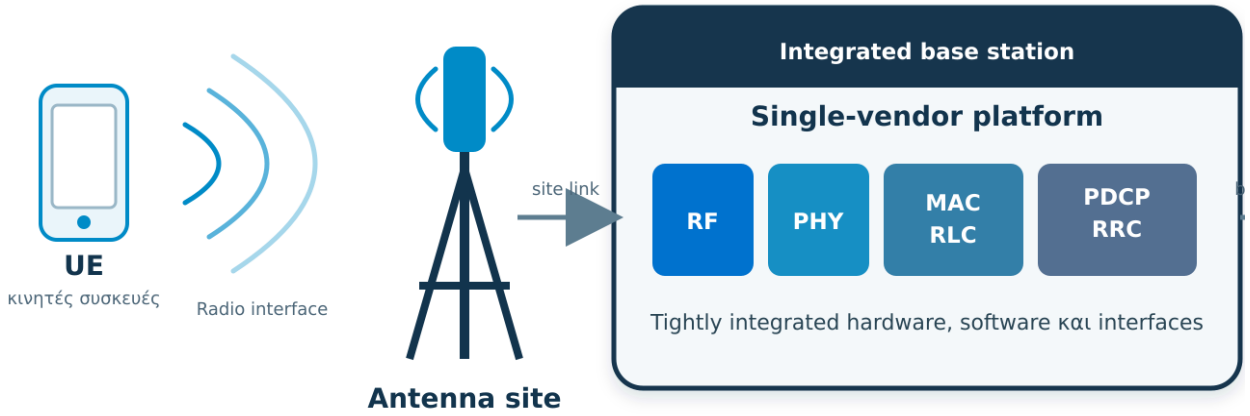
- Κάθε domain προσθέτει latency, capacity limits και πιθανά σημεία βλάβης.
- Η υπηρεσία χρειάζεται end-to-end coordination, όχι μόνο καλή ραδιοκάλυψη.
- Η διάγνωση προβλημάτων απαιτεί να γνωρίζουμε σε ποιο domain βρίσκεται το bottleneck.

Radio Access Network: η πρόσβαση του χρήστη στο κινητό δίκτυο

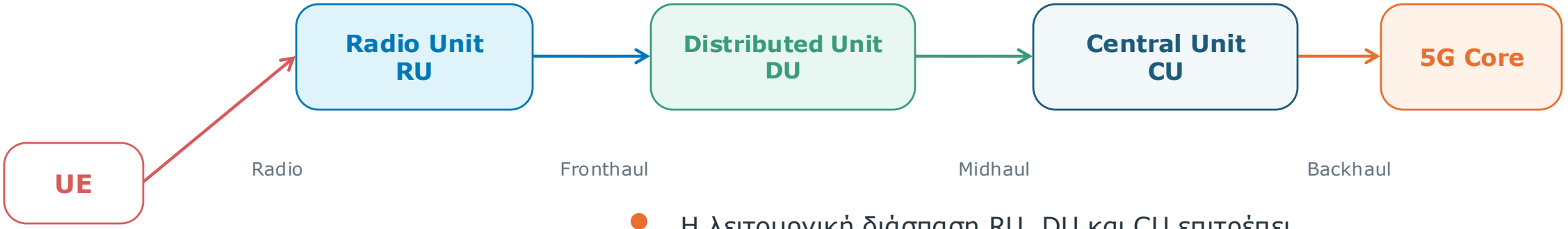
Το Radio Access Network (RAN) συνδέει τις κινητές συσκευές με το Mobile Core μέσω της ασύρματης διεπαφής. Περιλαμβάνει τις κεραίες και το radio equipment, τις λειτουργίες επεξεργασίας του σήματος και τη σύνδεση προς το υπόλοιπο δίκτυο.

Το RAN είναι υπεύθυνο για:

- τη μετάδοση και λήψη του radio signal
- την κατανομή spectrum και radio resources
- το modulation, coding και MIMO processing
- το scheduling των χρηστών
- την προσαρμογή στις συνθήκες του radio channel
- την υποστήριξη mobility και handover

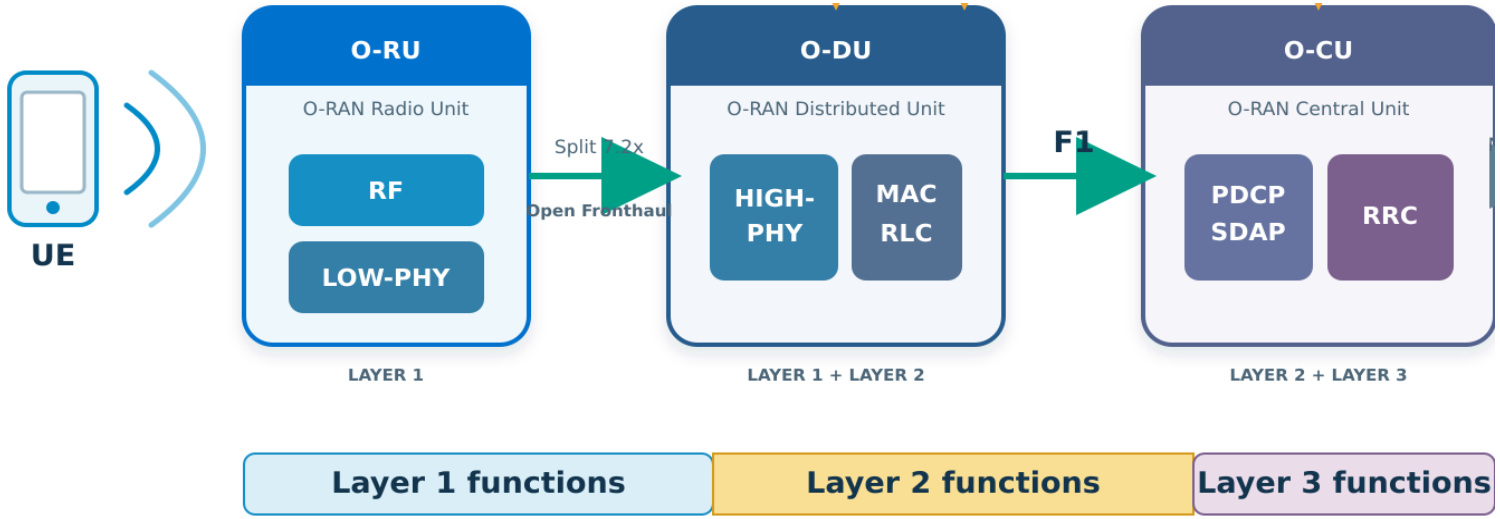


Από το integrated RAN στο O-RAN



- Η λειτουργική διάσπαση RU, DU και CU επιτρέπει διαφορετικά deployment models.

- Το πόσο κεντρικοποιείται το RAN επηρεάζει latency, transport requirements και coordination.



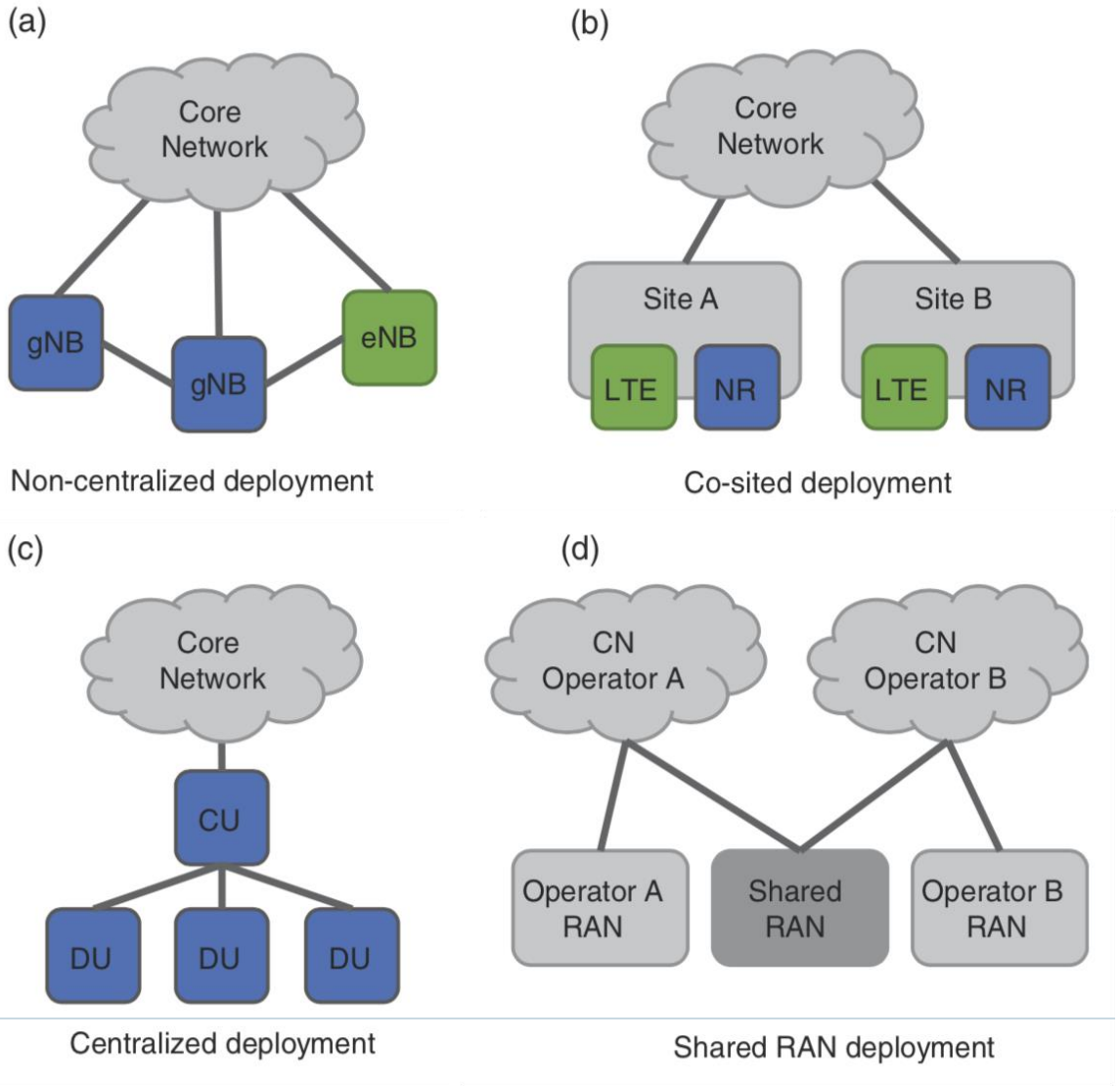
Αρχιτεκτονικές 5G RAN

(α) Μη κεντρικοποιημένη ανάπτυξη: ολόκληρη η στοίβα πρωτοκόλλων υποστηρίζεται από έναν gNB. Η ανάπτυξη μπορεί να αφορά δημόσια ή εταιρικά δίκτυα και ο gNB μπορεί να συνδέεται με άλλους gNBs ή/και με (e)LTE eNBs.

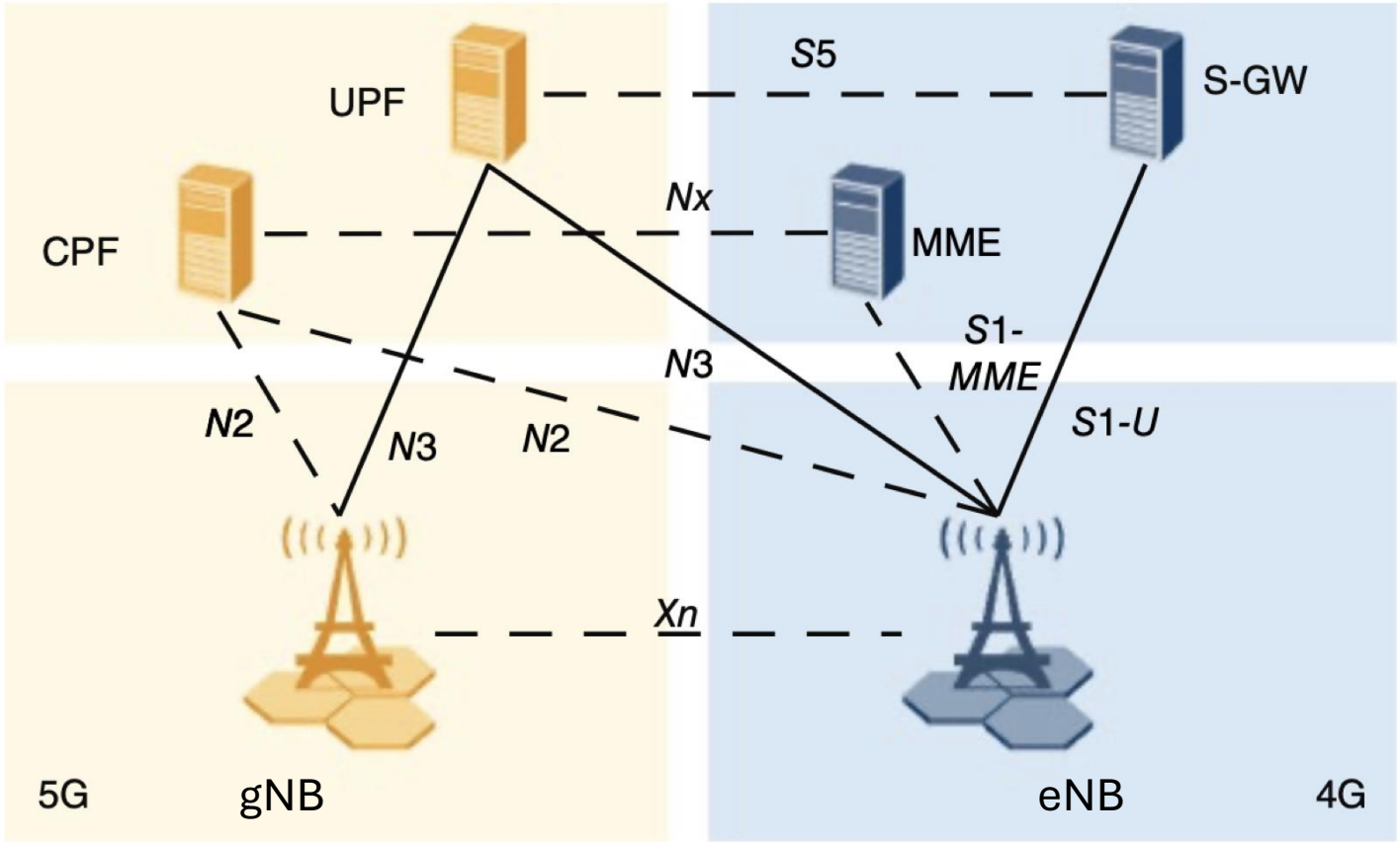
(b) **Συνεγκατεστημένη ανάπτυξη**: οι λειτουργίες του NR βρίσκονται στην ίδια τοποθεσία με τις λειτουργίες του (e)LTE, είτε ως τμήματα του ίδιου σταθμού βάσης είτε ως διαφορετικοί σταθμοί βάσης στο ίδιο site.

(c) **Κεντρικοποιημένη ανάπτυξη**: τα ανώτερα επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλων του NR εκτελούνται κεντρικά στις Central Units (CUs), με διαφορετικές επιλογές λειτουργικού διαχωρισμού μεταξύ των CUs και των Distributed Units (DUs).

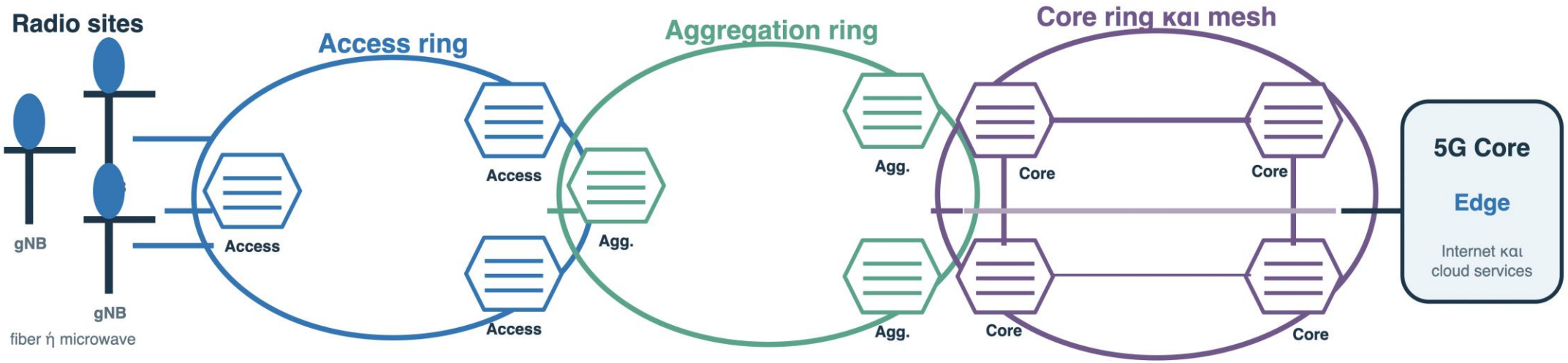
(d) **Ανάπτυξη με διαμοιραζόμενο RAN**: πολλοί mobile network operators διατηρούν ξεχωριστά CNs, αλλά χρησιμοποιούν από κοινού υποδομή RAN, φάσμα ή radio resources.



Απλοποιημένο 5G – 4G interworking



Transport network: από το RAN προς Core και Edge

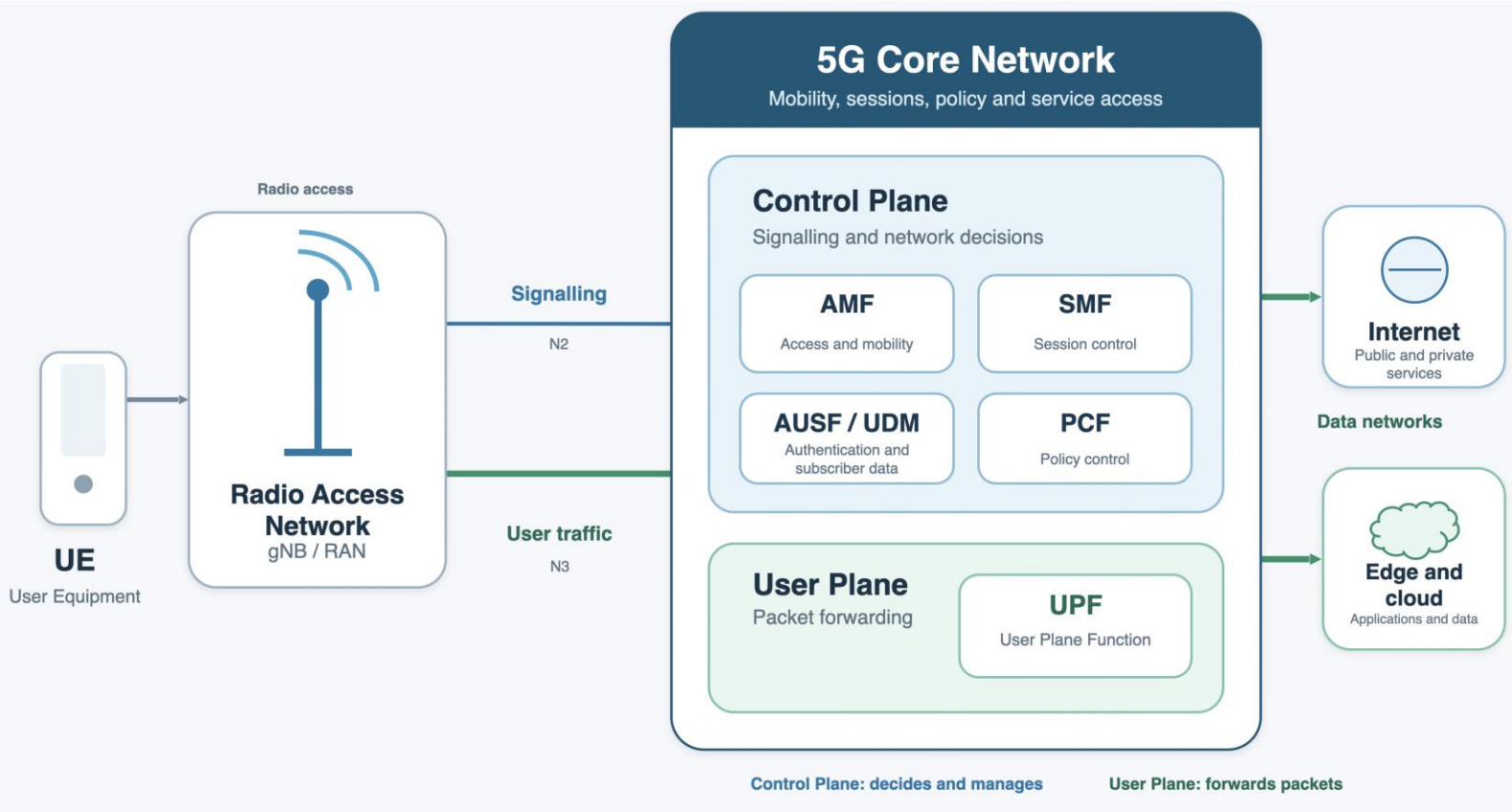


Η ακριβής θέση fronthaul, midhaul και backhaul εξαρτάται από το functional split και τη θέση RU, DU και CU.

Access: ~ 10-20 km	Aggregation: ~ 40-80 km	Core: 80 km και άνω

- Capacity
- Latency και jitter
- Synchronization
- Resilience και QoS

Core: οι λειτουργίες που οργανώνουν τη σύνδεση

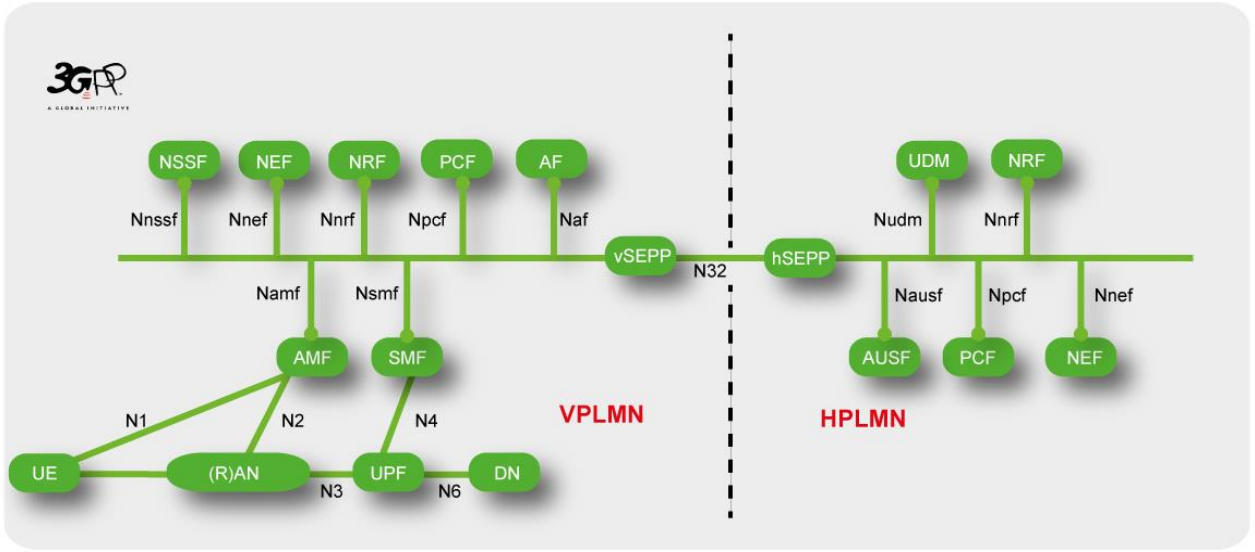


Κάποιες απο τις κύριες Core Network Functions:

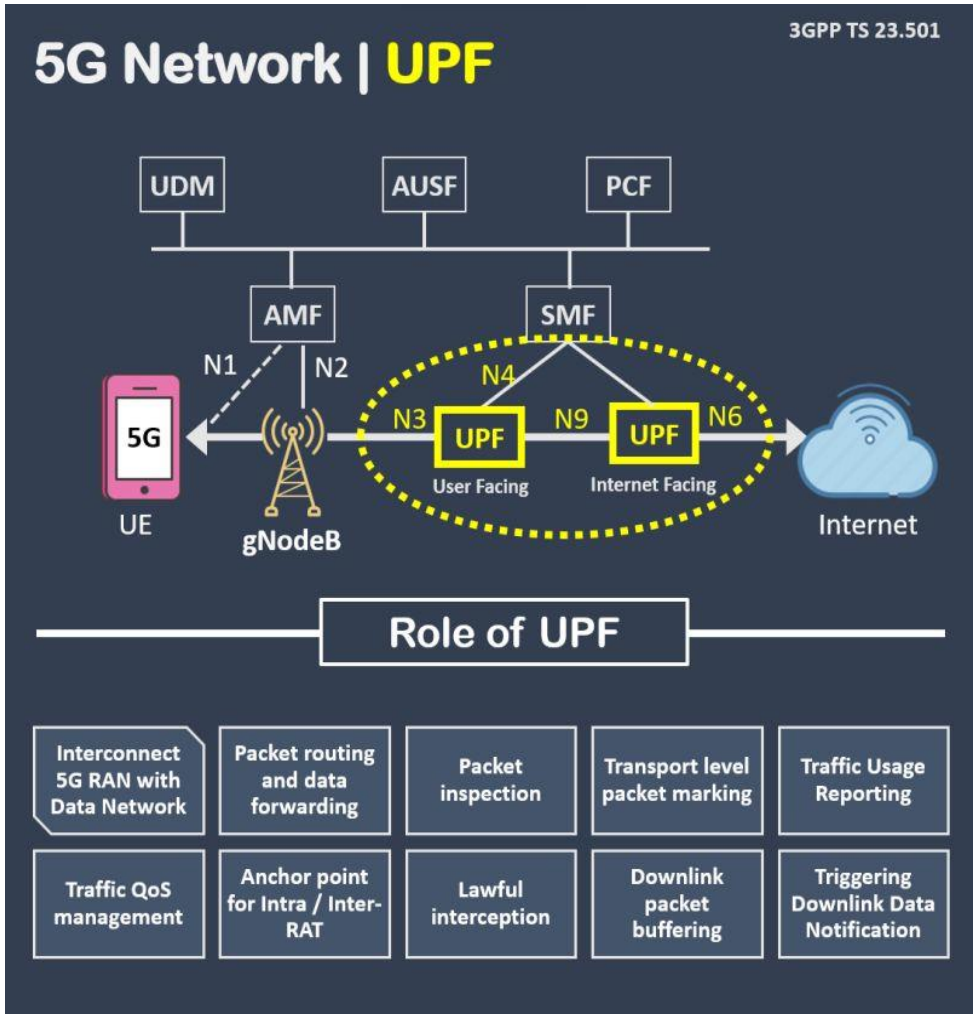
- **AMF:** διαχειρίζεται την πρόσβαση των συσκευών, το registration και τη mobility.
- **SMF:** δημιουργεί και διαχειρίζεται τα data sessions των χρηστών.
- **AUSF και UDM:** υποστηρίζουν το authentication και διατηρούν τα στοιχεία και τα profiles των συνδρομητών.
- **PCF:** καθορίζει τις πολιτικές πρόσβασης, QoS και χρέωσης που εφαρμόζει το δίκτυο.
- **UPF (user plane):** προωθεί τα πακέτα δεδομένων προς τα κατάλληλα data networks και services.

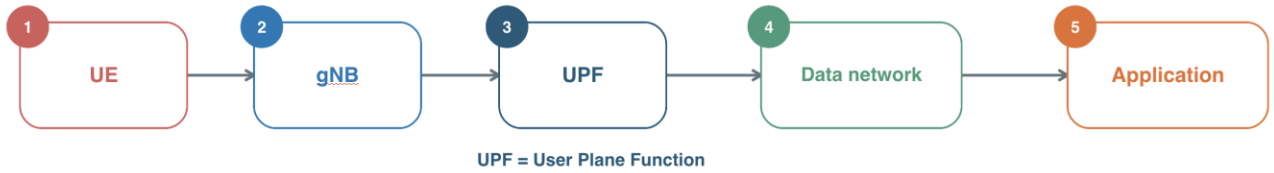
Core Network SBA: Service-based Architecture

- ✓ Σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές, η αρχιτεκτονική του συστήματος 5G της 3GPP είναι βασισμένη σε υπηρεσίες (Service-based).
- ✓ Αυτό σημαίνει ότι, όπου κρίνεται σκόπιμο, τα στοιχεία της αρχιτεκτονικής ορίζονται ως λειτουργίες δικτύου (network functions) που παρέχουν τις υπηρεσίες τους μέσω διεπαφών ενός κοινού πλαισίου σε οποιεσδήποτε λειτουργίες δικτύου επιτρέπεται να κάνουν χρήση των εν λόγω παρεχόμενων υπηρεσιών.
- ✓ Οι λειτουργίες αποθετηρίου δικτύου (Network Repository Function) επιτρέπουν σε κάθε λειτουργία δικτύου να εντοπίζει τις υπηρεσίες που προσφέρονται από άλλες λειτουργίες δικτύου.
- ✓ Αυτό το μοντέλο προσφέρει αρθρωτότητα, επαναχρησιμοποιήσιμοτητα και αυτοτέλεια των λειτουργιών δικτύου



User plane: Η διαδρομή ενός πακέτου προς την εφαρμογή





Η IP κίνηση ταξιδεύει μέσω radio bearer και transport tunnels μέχρι το UPF.

Από εκεί δρομολογείται προς το data network και την εφαρμογή.

Η επιστροφή ακολουθεί την αντίστροφη κατεύθυνση.