



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΡΑΔΙΟΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Γνωμοδότηση περί της Αρχιτεκτονικής των Δικτύων Ασύρματης Πρόσβασης Κινητής Τηλεφωνίας

Ομ. Καθ. Ιωάννης Σάχαλος
Καθ. Νικόλαος Ουζούνογλου
Καθ. Αθανάσιος Κανάτας

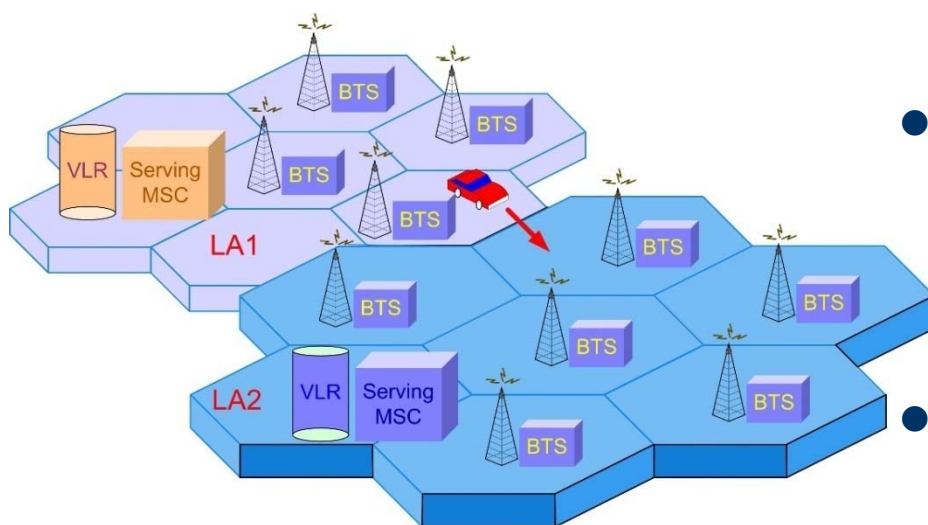
Οκτώβριος 2017

Δομή της Παρουσίασης

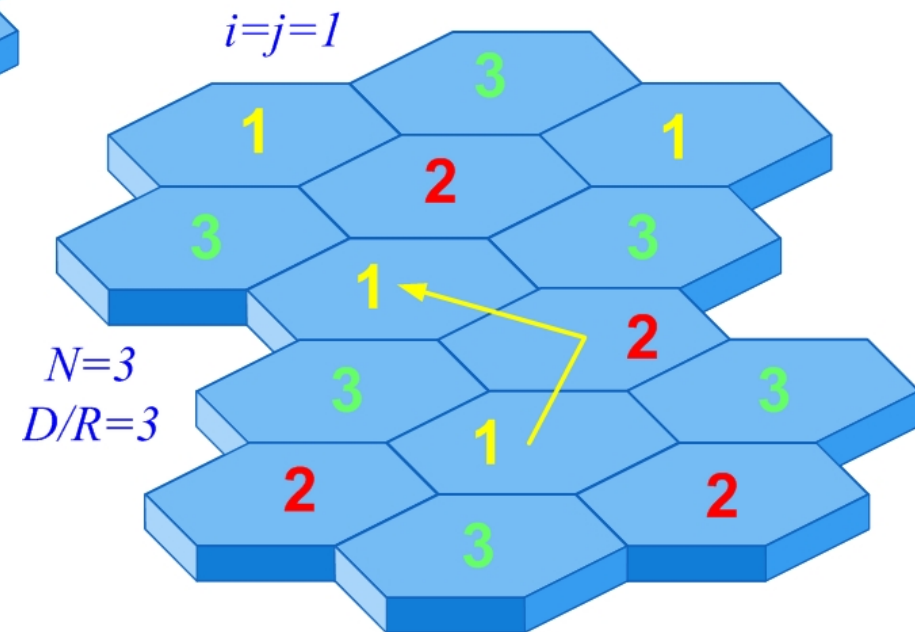
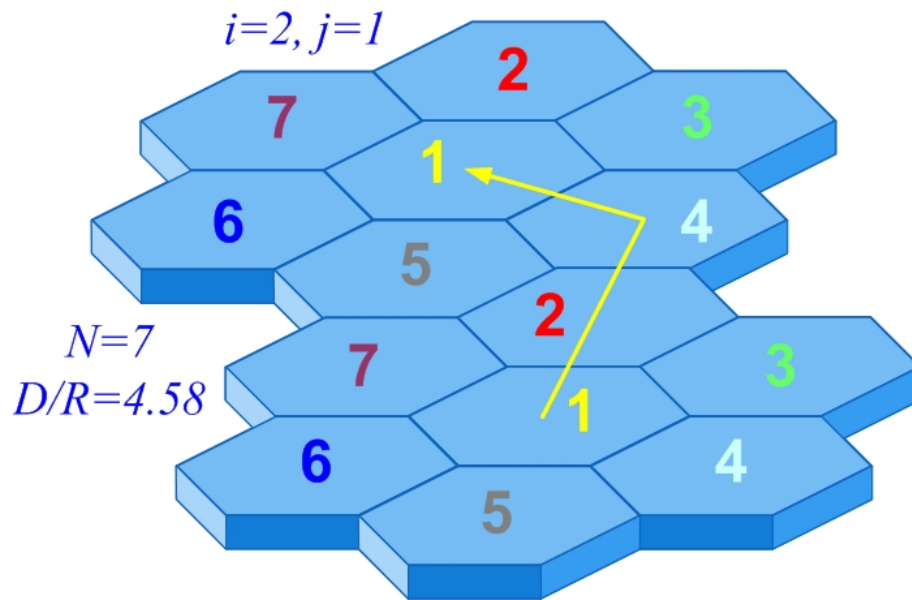
- ❑ Εξέλιξη των Κινητών Τηλεπικοινωνιών και η μετάβαση από τα δίκτυα 1G στα σύγχρονα δίκτυα 4G.
- ❑ Η πορεία προς τα δίκτυα του 2020 (5G): Απαιτήσεις και Προοπτικές.
- ❑ Η αρχιτεκτονική των Ετερογενών Δικτύων ως η βασική σχεδιαστική προσέγγιση των τρεχόντων και μελλοντικών ραδιο-δικτύων.
 - ❑ Οφέλη από την εισαγωγή επιπέδων small-cells
 - ❑ Αναγκαιότητα διατήρησης επιπέδου macro
 - ❑ Διεθνείς τάσεις στη στρατηγική εξέλιξης των δικτύων

Η Εξέλιξη των Κινητών Τηλεπικοινωνιών και η Μετάβαση στα Δίκτυα 4G

Η Αρχιτεκτονική Δομή των Κυψελωτών Δικτύων



- Τα ραδιο-δίκτυα σχεδιάζονται με βάση την «κυψελωτή» αρχιτεκτονική δομή.
- Κάθε κυψέλη εξυπηρετεί μέσω ενός Σ.Β. μία περιοχή ακτίνας από μερικά μέτρα έως δεκάδες χιλιόμετρα.
- Κάθε κυψέλη συνδέεται σε ένα κέντρο μεταγωγής, το οποίο διασυνδέει το ραδιο-δίκτυο με τα εξωτερικά δίκτυα φωνής & δεδομένων.



Η Εξέλιξη των Κινητών Τηλεπικοινωνιών

- Για περισσότερες από 3 δεκαετίες από την εισαγωγή των κινητών τηλεπικοινωνιών στη ζωή μας, οι τεχνολογικές εξελίξεις που έχουν σημειωθεί είναι ραγδαίες.
- Οι εξελίξεις αποτυπώνονται στις 4 γενιές συστημάτων (1G → 4G)
- Η **τυπική διάρκεια ανάπτυξης** (από την εκκίνηση της προτυποποίησης έως την πιλοτική εμπορική λειτουργία) μιας τεχνολογίας στον κλάδο των ασύρματων τηλεπικοινωνιών είναι μία **δεκαετία**.
- Κάθε νέο σύστημα εισάγεται παράλληλα με την ωρίμανση των προηγούμενων.
- Παράλληλη είναι και η εξέλιξη των συσκευών, οι οποίες καλούνται να ακολουθήσουν τις συνεχείς και ταχείες εξελίξεις των δικτύων. Τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα (smart-phones) αιχμής είναι συμβατά με όλες τις τεχνολογίες 2G,3G,4G και παρέχουν πλήθος υπηρεσιών.

Η Εξέλιξη από τα Δίκτυα 1G στα Σύγχρονα Δίκτυα 4G+

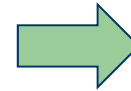
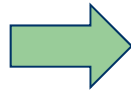
Γενιά	Υπηρεσίες	Τεχνολογίες/Καινοτομίες/Δυνατότητες	Δίκτυα
1G	Φωνή	Αναλογική Μετάδοση, Πολλαπλή Πρόσβαση FDMA	AMPS, TACS
2G	Φωνή	Ψηφιακές Επικοινωνίες, Πολλαπλή Πρόσβαση FDMA, TDMA, CDMA	GSM, CDMA
2.5G	Δεδομένα	Μεταγωγή Πακέτων, Ταχύτητες έως και 384 kbps.	GPRS, EDGE
3G	Φωνή, Πολυμέσα	Πολλαπλή πρόσβαση CDMA, Αύξηση Χωρητικότητας και Βελτίωση Ποιότητας μετάδοσης φωνής/βίντεο	WCDMA-UMTS, CDMA2000
3.5G	Δεδομένα	Μεταγωγή Πακέτων, ταχύτητες 1-10 Mbps	HSPA, WiMAX
4G, 4G+	Δεδομένα	Πλήρης αρχιτεκτονική IP, Πολλαπλή πρόσβαση OFDMA. Τεχνολογίες MIMO. Ταχύτητες δεκάδων έως και εκατοντάδων Mbps. Υπηρεσίες φωνής μέσω του δικτύου δεδομένων (VoIP)	LTE, LTE-A



Τα Ραδιο-Δίκτυα 4G-LTE (1/3)

Προτυποποίηση – Εμπορική Ανάπτυξη

- Η 1^η προτυποποίηση 4G (3GPP Rel.8) ολοκληρώθηκε το 2008.
- Έκτοτε έχουν προκύψει 6 αναβαθμίσεις του προτύπου (Rel. 9 έως 14), με βασικότερες τις:
 - LTE-A (Rel.10), η οποία ολοκληρώθηκε το 2010.
 - LTE-A Pro (Rel.13), η οποία ολοκληρώθηκε το Μάρτιο του 2016.
- Το πρώτο εμπορικό δίκτυο 4G λειτούργησε στη Στοκχόλμη το 2009.
- Σήμερα λειτουργούν σχεδόν
 - 644 εμπορικά δίκτυα LTE σε περισσότερες από 200 χώρες παγκοσμίως.
 - 100 εμπορικά δίκτυα LTE-A σε περισσότερες από 50 χώρες παγκοσμίως.

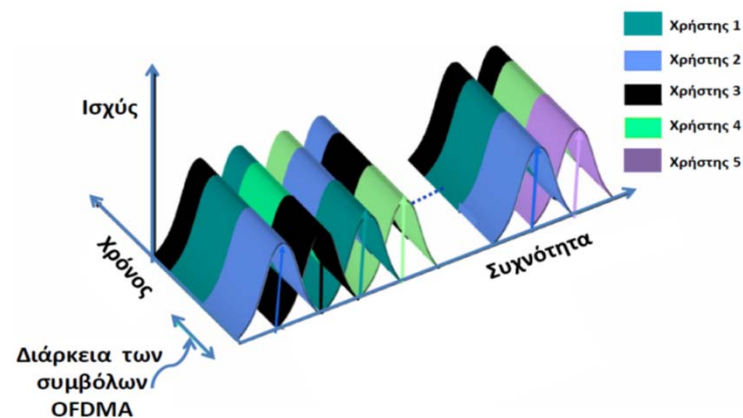


Τα Ραδιο-Δίκτυα 4G-LTE (2/3)

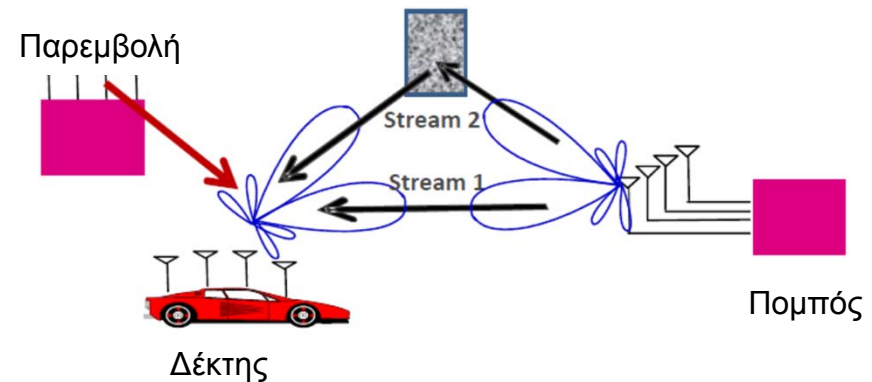
Οι βασικές τεχνολογίες

- ❑ Τεχνικές OFDM/OFDMA στην κάτω ζεύξη, SC-FDMA στην άνω ζεύξη.
- ❑ Προσαρμοστική διαμόρφωση/κωδικοποίηση και χρονο-προγραμματισμός τηλεπικοινωνιακής κίνησης.
- ❑ Συντονισμός δια-κυψελικής παρεμβολής ICIC.
- ❑ Χρήση τεχνικών MIMO (πολυπλεξία, διαφορισμός, beamforming).
- ❑ Υποστήριξη Multicasting & Broadcasting.
- ❑ Συνάθροιση φερόντων (carrier aggregation).

OFDMA



MIMO



Τα Ραδιο-Δίκτυα 4G-LTE (3/3)

Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά Ασύρματης Διεπαφής 4G

Τεχνική	Ανάλυση
Μέθοδος αμφιδρόμησης	FDD, TDD, half-duplex FDD
Κωδικοποίηση διαύλου	Turbo Code
Μέγιστη ταχύτητα κινητού	350 km/h
Εύρος διαύλου (MHz)	1.4, 3, 5, 10, 15, 20
Διαμόρφωση	UL: QPSK, 16QAM, 64QAM(optional)
	DL: QPSK, 16QAM, 64QAM
Μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης	UL: SC-FDMA (50Mbps @ 20MHz)
	DL: OFDMA (>100Mbps+ @ 20MHz)
Τεχνικές πολλαπλών κεραιών	UL: Μέχρι 1 επίπεδο δεδομένων ανά UE και MU-MIMO
	DL: Μέχρι 4 επίπεδα δεδομένων ανά UE και MU-MIMO
Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης	UL: 75Mbps (@ 20MHz)
	DL: 150Mbps (UE Category 4, 2x2 MIMO, @ 20MHz) DL: 300Mbps (UE category 5, 4x4 MIMO @ 20MHz)
Ακτίνα κυψέλης	5 - 100km (η απόδοση του συστήματος μειώνεται μετά τα 30km)
Λανθάνουσα καθυστέρηση (latency) τελικού χρήστη	< 10ms

Ταχύτητες Δικτύων Δεδομένων 2G/3G/4G

Γενιά		Τεχνολογία	Μέγιστος Ρυθμός Download	Τυπικός Ρυθμός Download
2G	G	GPRS	0,1 Mbps	<0,1 Mbps
	E	EDGE	0,3 Mbps	0,1 Mbps
3G	3G	3G (Basic)	0,3 Mbps	0,1 Mbps
	H	HSPA	7,2 Mbps	1,5 Mbps
	H+	HSPA+	21 Mbps	4 Mbps
	H+	DC-HSPA+	42 Mbps	8 Mbps
4G	4G	LTE	100 Mbps	15 Mbps
	4G+	LTE-A	300 Mbps	45 Mbps

× 1000



Η Εξέλιξη των Δικτύων Κινητών Τηλεπικοινωνιών

Το σημερινό τοπίο στα δίκτυα περιγράφεται από την ακόλουθη κατάσταση:

- Οι υποδομές **2G** και **3G** είναι πλέον ώριμες.
 - Παρέχουν επίπεδα κάλυψης πλησίον του 100%
 - Εξασφαλίζουν άκρως ικανοποιητικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας για εφαρμογές φωνής & δεδομένων.
- Οι υποδομές **4G** αναπτύσσονται με γοργούς ρυθμούς,
 - Παρέχουν έως και 1000 φορές υψηλότερες ταχύτητες ασύρματης πρόσβασης στο internet σε σχέση με τα πρώτα δίκτυα δεδομένων 2G-GPRS.
 - Τα δίκτυα 4G και **4G+** υποστηρίζουν ταχύτητες που ξεπερνούν τα 300 Mbps (download) και 50 Mbps (upload).
 - Σύντομα αναμένεται η υποστήριξη φωνής μέσω του δικτύου δεδομένων (VoLTE), ίσως και ViLTE.

Η πορεία προς τα δίκτυα του 2020 (5G): Απαιτήσεις και Προοπτικές

Η Επόμενη Γενιά (5G)

- Το όραμα της ΕΥ είναι σε δέκα χρόνια οι τομείς telecom και IT να ενοποιηθούν σε μια κοινή υποδομή πολύ υψηλής χωρητικότητας.
- Η εξασφάλιση ευελιξίας και επεκτασιμότητας απαιτεί «εικονικές» (virtualised) λειτουργίες δικτύου υλοποιούμενες σε γενικού σκοπού, προγραμματιζόμενου και υψηλής επίδοσης υλικό (hardware), που θα παρέχει τους πόρους για μεταφορά, δρομολόγηση, αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων.
- Τα 5G δίκτυα θα ολοκληρώσουν τηλεπικοινωνιακούς, υπολογιστικούς και αποθηκευτικούς πόρους σε μια **προγραμματιζόμενη ενοποιημένη υποδομή**, που θα επιτρέπει τη βέλτιστη χρήση των κατανεμημένων πόρων.

Η Επόμενη Γενιά (5G)

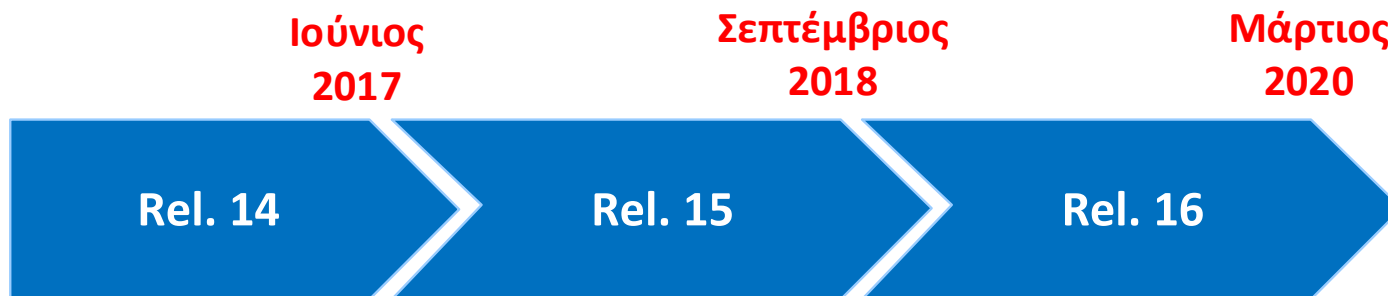
- Software and Service centric transformation
 - Telecoms → Multiple stakeholders
 - Bit pipe → Enabling platform
 - Phones → Things
 - Procedures → Services
 - Protocols → APIs
 - Dedicated Hardware → Orchestrated Resources
 - Network Function → Virtualized Software Instances
 - Network → Slice



Η Επόμενη Γενιά (5G)

Η επόμενη γενιά (**5G**) κάνει ήδη τα πρώτα βήματά της

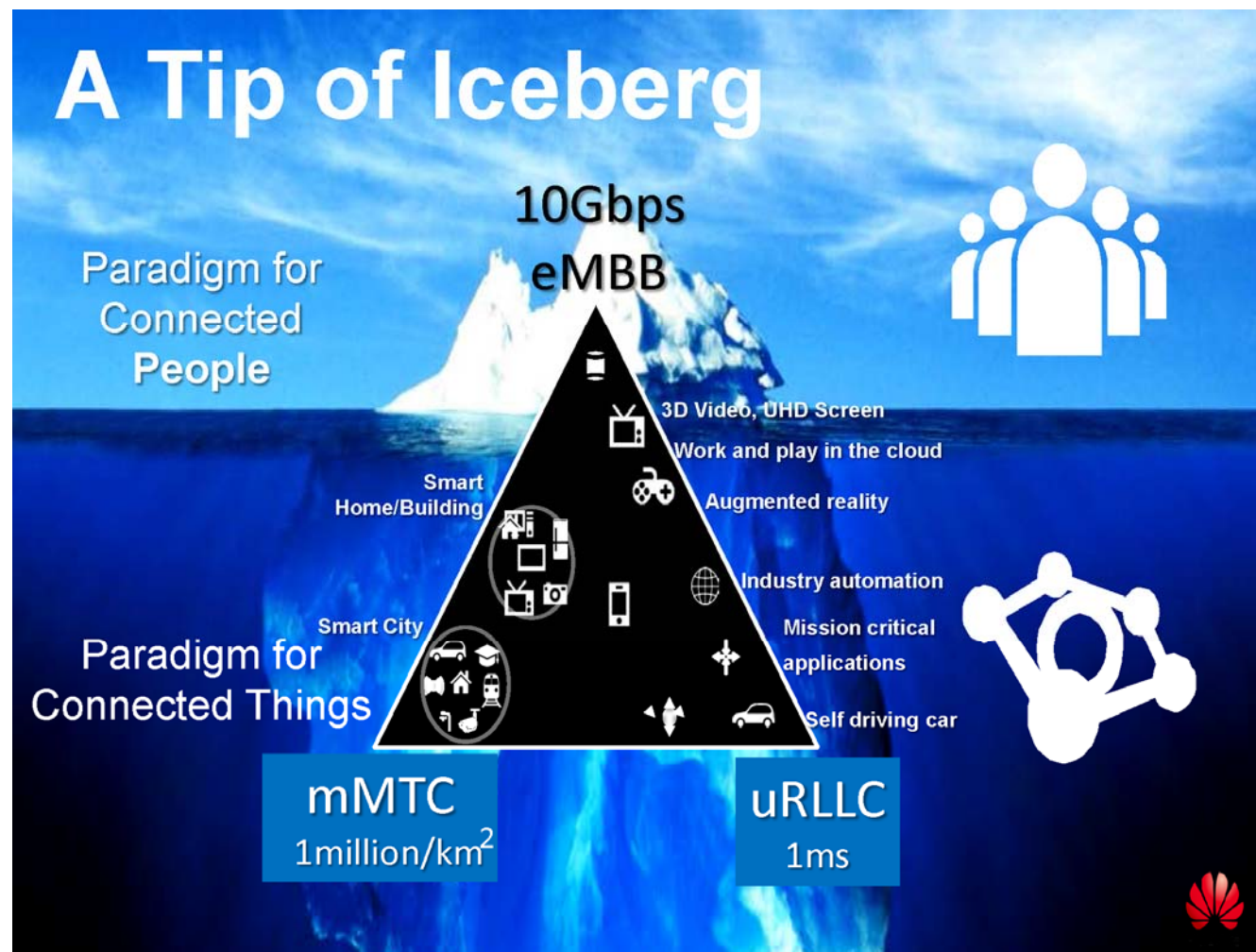
- Σχεδιάζεται να παρέχονται ταχύτητες πρόσβασης 100 φορές υψηλότερες από τα σημερινά συστήματα αιχμής.
- Ήδη από τον Μάρτιο του 2017, εκδόθηκαν από τον 3GPP οι πρώτες μελέτες της Έκδοσης 14, η οποία αποτελεί την πρώτη έκδοση που ασχολείται συστηματικά με την 5G.
- Η πορεία της προτυποποίησης του 5G φαίνεται στο σχήμα



- Η 1^η ευρεία πιλοτική λειτουργία τοποθετείται για το 2020 (Ολυμπιακοί Αγώνες Τόκιο).



Η Εξέλιξη προς την 5η γενιά (5G) (2020-2030): Σενάρια & Απαιτήσεις



Πηγή: HUAWEI Technologies



Γνωμοδότηση περί της Αρχιτεκτονικής των Δικτύων Ασύρματης
Πρόσβασης Κινητής Τηλεφωνίας

Οκτώβριος 2017

Η Εξέλιξη προς την 5η γενιά (5G) (2020-2030): Σενάρια & Απαιτήσεις

Πιθανά Σενάρια Λειτουργίας

Broadband access in dense areas PERVERSIVE VIDEO 	Broadband access everywhere 50+ MBPS EVERYWHERE 	Higher user mobility HIGH SPEED TRAIN 	Massive Internet of Things SENSOR NETWORKS 
Extreme real-time communications TACTILE INTERNET 	Lifeline communications NATURAL DISASTER 	Ultra-reliable communications E-HEALTH SERVICES 	Broadcast-like services BROADCAST SERVICES 

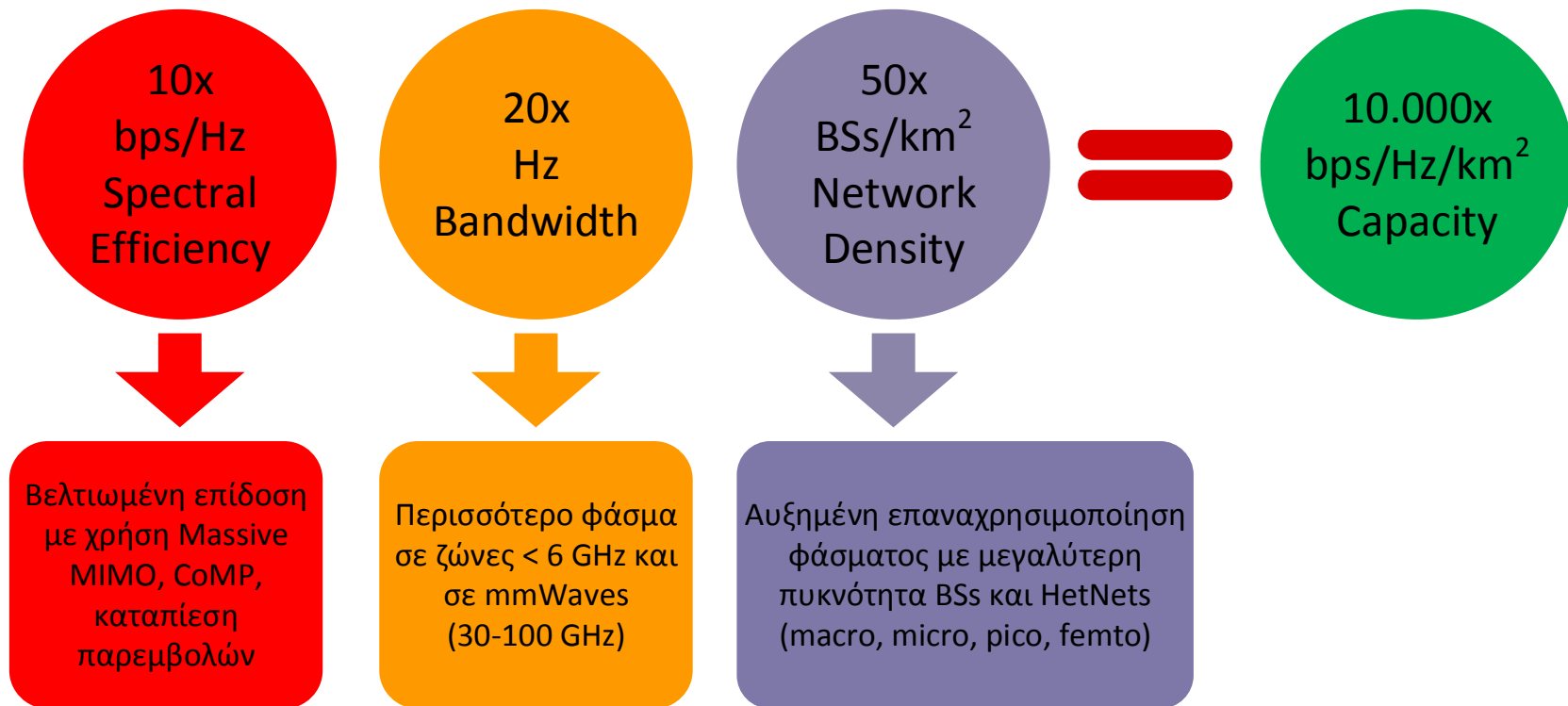
Πηγή: NGMN Alliance, 5G White Paper

Απαιτήσεις

- Μέσος ρυθμός μετάδοσης 300-500Mbps & max >10Gbps.
- Χρόνος αντίδρασης (latency) < 1ms.
- 100% κάλυψη.
- 1000 φορές μείωση κατανάλωσης ενέργειας.
- Υψηλή αξιοπιστία (99.999%).
- 30× πυκνότητα συσκευών.
- 10-100× περισσότερες συνδεδεμένες συσκευές.
- Υψηλότερα επίπεδα ασφάλειας επικοινωνίας.

Η Εξέλιξη προς την 5η γενιά (5G) (2020-2030): Η Πρόκληση «10.000x»

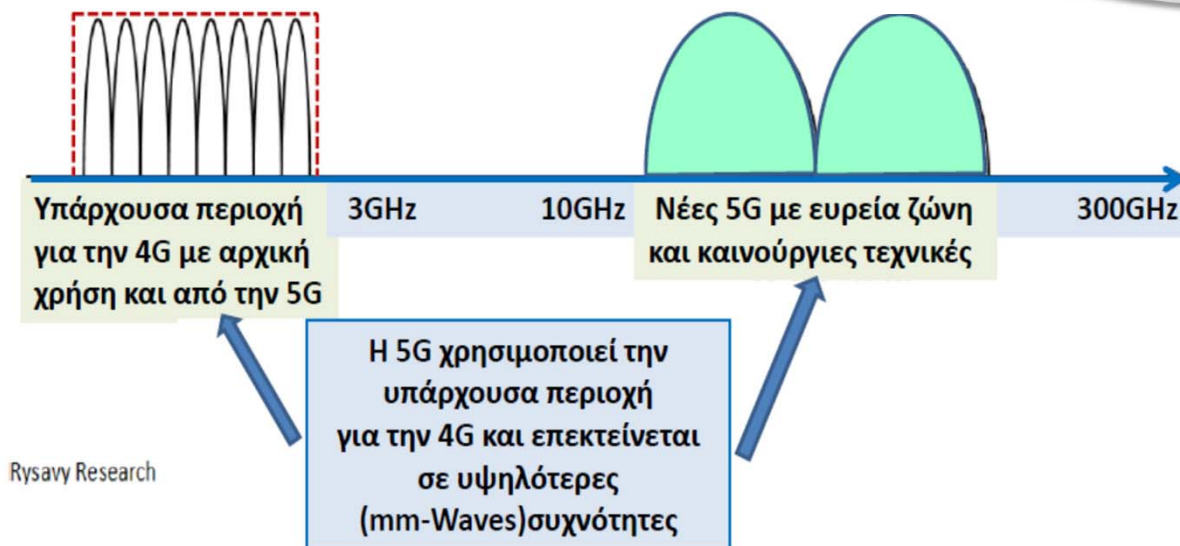
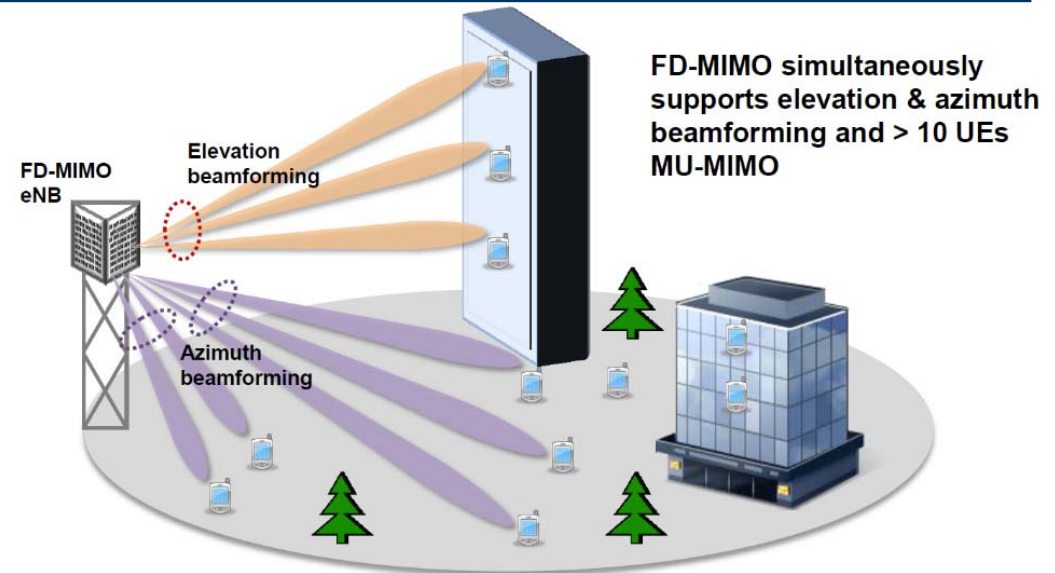
- Η ζήτηση για τηλεπικοινωνιακή κίνηση δεδομένων (mobile data) διπλασιάζεται -κατά προσέγγιση- κάθε χρόνο
- Σε βάθος δεκαετίας, θα απαιτηθούν 10.000 φορές υψηλότεροι όγκοι τηλεπικοινωνιακών φορτίων (bits/sec/Hz/km²)



Η Εξέλιξη προς την 5η γενιά (5G) (2020-2030): Τεχνολογικές Προοπτικές

Η Τεχνολογία Massive MIMO

(Πηγή: “Full-Dimension MIMO: Status and Challenges in Design and Implementation”)



Το φάσμα στα δίκτυα 5G



Ετερογενή Δίκτυα:
Η βασική σχεδιαστική προσέγγιση των τρεχόντων και
μελλοντικών ραδιο-δικτύων

Η Παρούσα Αρχιτεκτονική και οι Τάσεις (1/3):

Ετερογενή Δίκτυα Πολλαπλών Ραδιο-τεχνολογιών (“Multi-RAT Network”)

Υπηρεσίες	Τεχνολογίες
Υπηρεσίες φωνής	Μέσω 2G (GSM) και 3G (UMTS) Επίπεδα κάλυψης $\approx 100\%$. Υψηλό επίπεδο ωριμότητας. Επενδύσεις στις υποδομές για σχεδόν 20 χρόνια.
Υπηρεσίες δεδομένων χαμηλών απαιτήσεων	Μέσω (κυρίως) 2.5G-GPRS. Αφορούν εφαρμογές όπως συστήματα αισθητήρων, διαχείρισης στόλου οχημάτων.
Υπηρεσίες δεδομένων υψηλών απαιτήσεων	Μέσω 3.5G (HSPA), 4G (LTE) και 4G+ (LTE-A). Αφορούν εφαρμογές επικοινωνίας και πρόσβασης στο διαδίκτυο. Ταχύτητες 3.5G $\approx 1-10$ Mbps, 4G $\approx 10 - 100$ Mbps 4G+ ≈ 300 Mbps

- Συμπερασματικά, οι επιμέρους τεχνολογίες δρουν συνδυαστικά και συνεργατικά:
 - Επικεντρώνοντας σε ένα συγκεκριμένο τομέα/πεδίο υπηρεσιών.
 - Αξιοποιώντας τις επενδύσεις σε υποδομές ραδιο-πρόσβασης.



Η Παρούσα Αρχιτεκτονική και οι Τάσεις (2/3):

Ετερογενή Δίκτυα Πολλαπλών Ιεραρχικών Επιπέδων (“Multi-Tier”)

Ιεραρχικό Επίπεδο	Χαρακτηριστικά	Στόχευση
Macro	Ακτίνα κάλυψης: 500 m – 10 km Ισχύς Εκπομπής: Έως μερικές δεκάδες Watt Τοποθέτηση: Σε ειδικές κατασκευές σε εξωτερικό χώρο (radio towers/masts)	Παροχή ευρείας γεωγραφικής & πληθυσμιακής κάλυψης.
Στοχευμένες Κυψέλες Μικρής Εμβέλειας (Small-Cells)		
Micro	Ακτίνα κάλυψης: 150 – 200m Ισχύς Εκπομπής: 1 – 10W Τοποθέτηση: Σε εξωτερικό χώρο	Περιοχές δημοσίου ενδιαφέροντος (στάδια, πάρκα). Καλύπτουν και εσωτερικούς χώρους.
Pico	Ακτίνα κάλυψης: Μερικές δεκάδες μέτρα Ισχύς Εκπομπής: Έως 1 W, τυπικά 250 mW Τοποθέτηση: Σε εσωτερικό χώρο	Απαιτητικοί χώροι ή χώροι δημοσίου ενδιαφέροντος, όπως πολυ-όροφες εγκαταστάσεις, σταθμοί τραίνων κλπ.
Femto	Ακτίνα κάλυψης: Μερικές δεκάδες μέτρα Ισχύς Εκπομπής: Έως 100 mW Τοποθέτηση: Σε εσωτερικό χώρο	Οικιακοί χώροι βάσει «κλειστού» μοντέλου πρόσβασης.

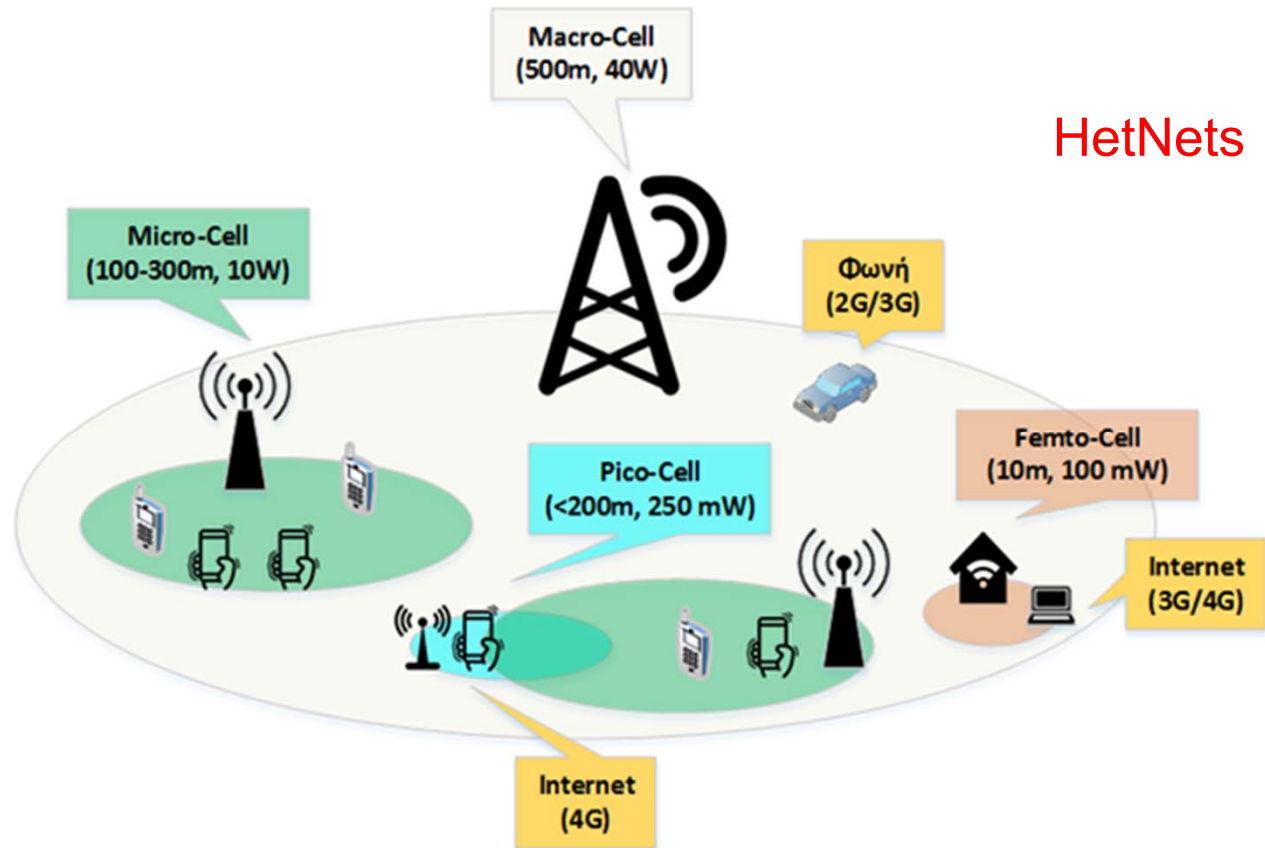
Συμπερασματικά, τα επιμέρους ιεραρχικά επίπεδα δρουν συνδυαστικά και συνεργατικά:

- Επικεντρώνοντας σε διαφορετικά προφίλ κάλυψης και τηλεπικοινωνιακής ζήτησης.
- Αξιοποιώντας τις συνεχείς επενδύσεις σε εναλλακτικές υποδομές ραδιο-πρόσβασης.



Η Παρούσα Αρχιτεκτονική και οι Τάσεις (3/3):

Ετερογενή Δίκτυα Πολλαπλών Ραδιο-Τεχνολογιών & Ιεραρχικών Επιπέδων



Αναπαράσταση ενός Ετερογενούς Δικτύου που εμπεριέχει πολλαπλές ραδιο-τεχνολογίες (2G, 3G, 4G), πολλαπλά ιεραρχικά επίπεδα (Macro, Micro, Pico, Femto), αναπτύσσεται σε ετερογενή περιβάλλοντα (εξωτερικούς, εσωτερικούς χώρους) και παρέχει πλήθος διαφορετικών υπηρεσιών (φωνής, δεδομένων/internet). Για κάθε τύπο κόμβου πρόσβασης παρέχεται η ενδεικτική ακτίνα κάλυψης και η τυπική ισχύς εκπομπής.

Αναγκαιότητα & Οφέλη της Αρχιτεκτονικής Πολλαπλών Ιεραρχικών Επιπέδων “HetNet” (1/5)

Λόγοι που καθιστούν αναγκαία την ενσωμάτωση μικρο-κυψελών (small-cells) σε μακρο-κυψελωτές υποδομές

- 1) Κάλυψη ζωνών/σημείων που έχουν πρόβλημα (“coverage hole”).
- 2) Αντιμετώπιση προβλημάτων υποβάθμισης ποιότητας σήματος στα όρια των κυψελών (“cell-edge problem”).
- 3) Ελάφρυνση τηλεπικοινωνιακού φορτίου του επιπέδου macro σε ζωτικά σημεία υψηλής ζήτησης (“offloading”).
- 4) Βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης του δικτύου (“energy efficiency optimization”).
- 5) Υποστήριξη νέων υπηρεσιών που θα προσφέρονται από τεράστιο πληθυσμό μικρών συσκευών και αισθητήρων.



Αναγκαιότητα & Οφέλη της Αρχιτεκτονικής Πολλαπλών Ιεραρχικών Επιπέδων “HetNet” (2/5)

Αντιμετώπιση κενών κάλυψης και του προβλήματος “cell-edge”



Ελάφρυνση (“offloading”) τηλεπικοινωνιακού φορτίου σε σημεία υψηλής ζήτησης.

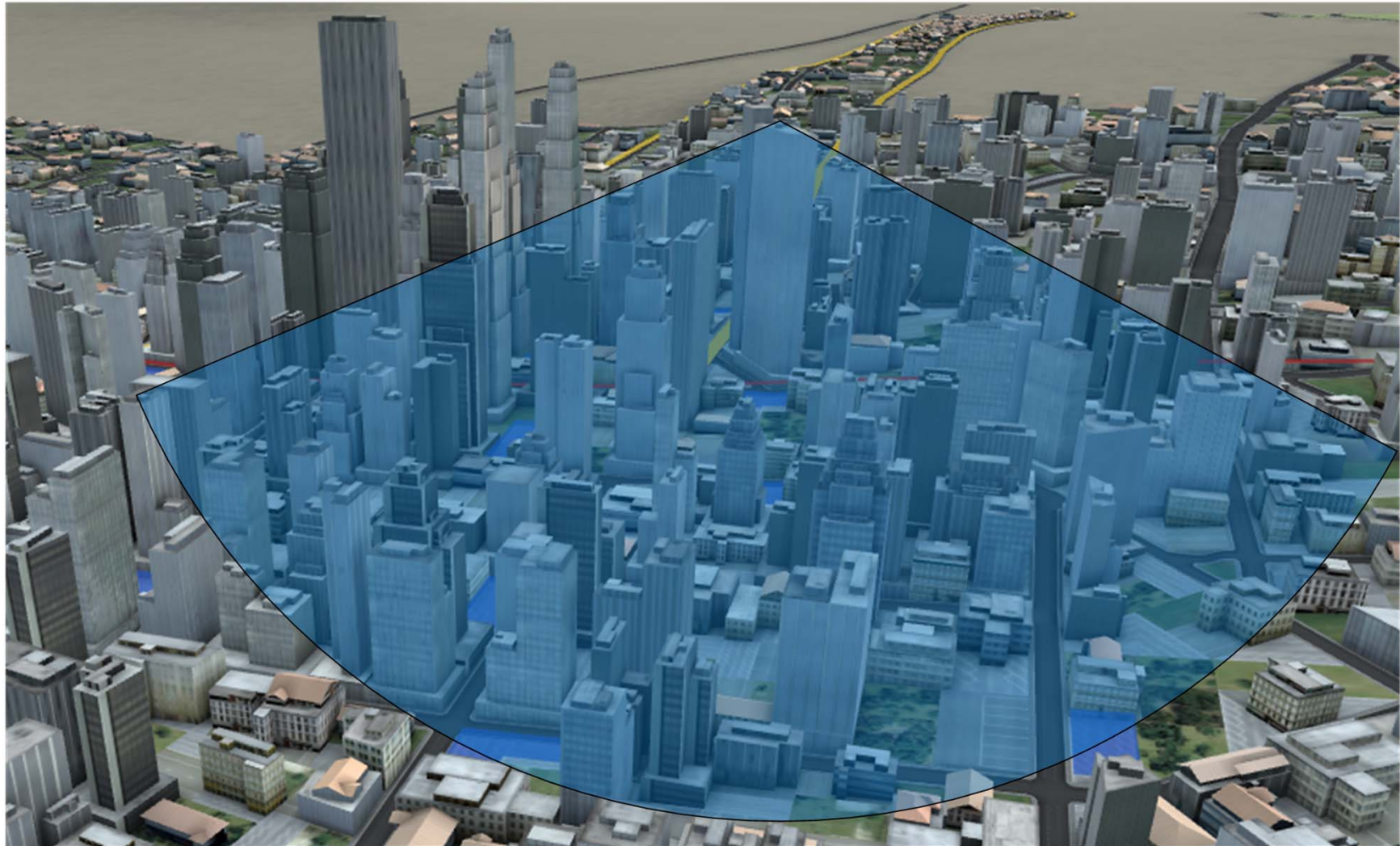


Αναγκαιότητα & Οφέλη της Αρχιτεκτονικής Πολλαπλών Ιεραρχικών Επιπέδων “HetNet” (3/5)

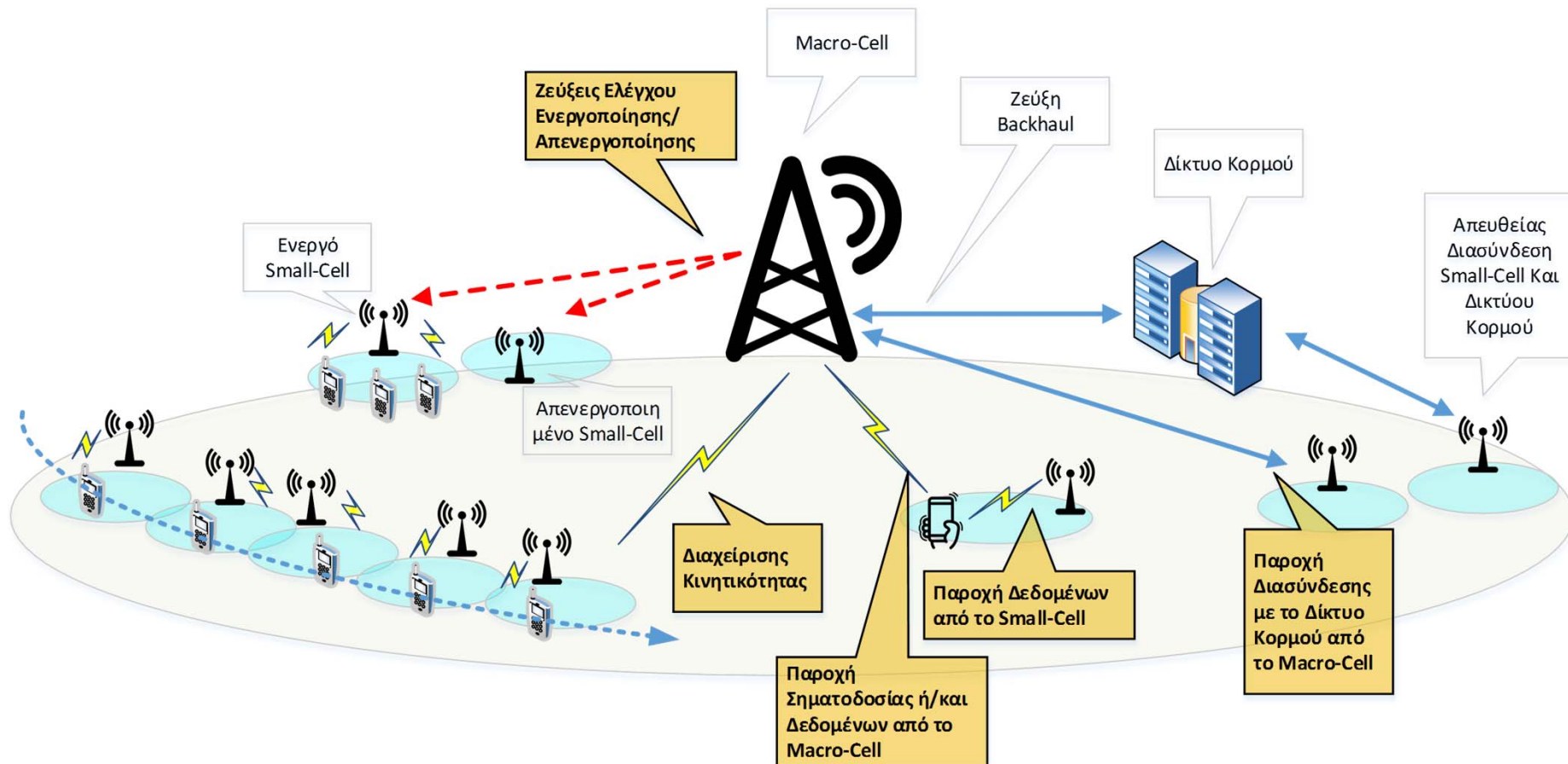
Αναγκαιότητα διατήρησης μακρο-κυψελών (macro-cells)

- 1) Κάλυψη περιοχών/κτηρίων, που δεν είναι δυνατόν να καλυφθούν από small-cells.
- 2) Υποστήριξη κινητικότητας των χρηστών (“mobility optimization”).
- 3) Μεγιστοποίηση της χωρητικότητας των small-cell μέσω απλοποιημένου σχεδιασμού της ραδιο-διεπαφής (“lean carrier”).
- 4) Συντονισμένη διαχείριση ιεραρχικών επιπέδων (“coordinated operation of small-cells”).
- 5) Παροχή οπίσθιας ζεύξης στα small-cells από macro (“backhauling”).
- 6) Συνάθροιση πόρων από πολλαπλούς κόμβους ραδιο-πρόσβασης (“carrier aggregation/multi-layer connectivity”).

Αναγκαιότητα & Οφέλη της Αρχιτεκτονικής Πολλαπλών Ιεραρχικών Επιπέδων “HetNet” (4/5)



Αναγκαιότητα & Οφέλη της Αρχιτεκτονικής Πολλαπλών Ιεραρχικών Επιπέδων “HetNet” (5/5)



Σενάρια διαλειτουργικότητας ετερογενών δικτύων *HetNets Macro/Small-Cell*.
Σε πορτοκαλί πλαίσιο παραθέτουμε τους τρόπους αλληλεπίδρασης
Macro & Small-Cell



Γνωμοδότηση περί της Αρχιτεκτονικής των Δικτύων Ασύρματης
Πρόσβασης Κινητής Τηλεφωνίας

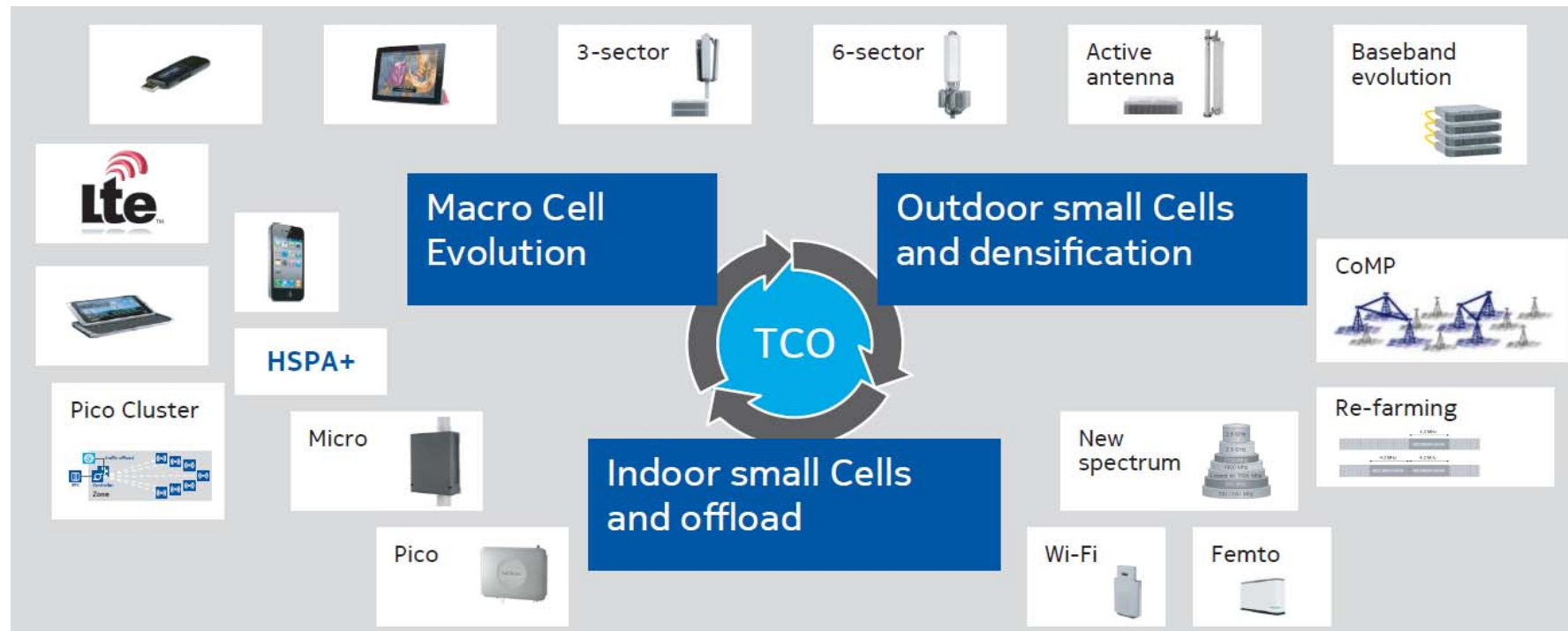
Οκτώβριος 2017

Στρατηγικές Εξέλιξης της Αρχιτεκτονικής των Ραδιοδικτύων για την Επόμενη Δεκαετία

Οι στρατηγικές εξέλιξης των υπαρχουσών υποδομών ραδιο-πρόσβασης, βασίζονται στο υπόδειγμα των ετερογενών δικτύων, και συγκεκριμένα στους ακόλουθους άξονες:

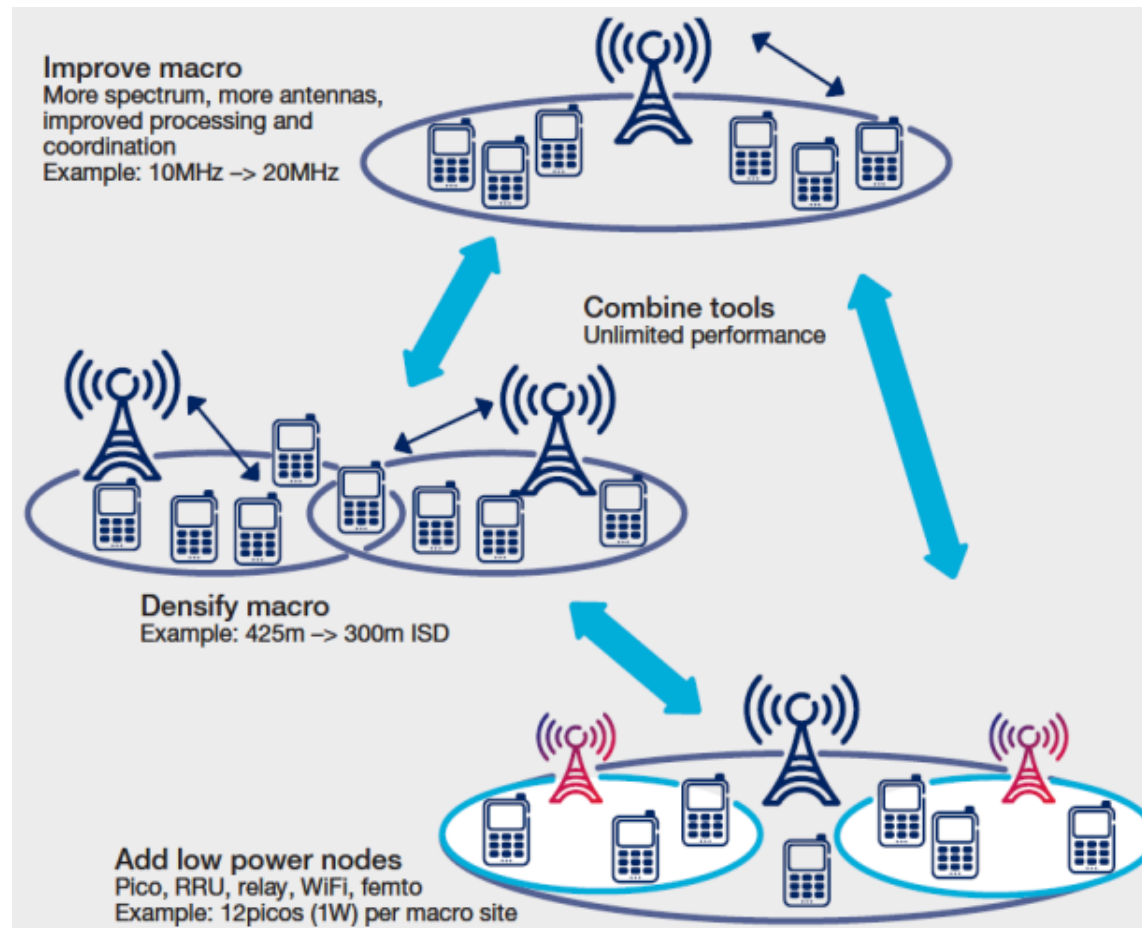
- 1) Στη **συνύπαρξη** των **τεχνολογιών** 2G (GSM), 3G/3.5G (WCDMA/HSPA), 4G (LTE) και 4G+ (LTE-A, LTE-A Pro) και εισαγωγή των 5G.
- 2) **Βελτίωση** των δυνατοτήτων που παρέχει η υποδομή **macro**, μέσω της ενσωμάτωσης τεχνολογιών επεξεργασίας πολλαπλών κεραιο-συστημάτων και της υποστήριξης νέων φερουσών (διαύλων).
- 3) **Πύκνωση** της υποδομής **macro** για την αντιμετώπιση προβλημάτων κάλυψης/παρεμβολής και την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου.
- 4) **Ενσωμάτωση** κόμβων **small-cells** σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους για την ελάφρυνση του ιεραρχικού επιπέδου **macro** και την «στοχευμένη» κάλυψη γεωγραφικών ζωνών υψηλής ζήτησης φορτίου.

Διεθνείς Πρακτικές Ανάπτυξης & Εξέλιξης Υποδομών Δικτύων Δεδομένων : Τυπικά Παραδείγματα (1/3)



Πηγή: Nokia, "Deployment Strategies for Heterogeneous Networks," Industry White Paper, 2015.

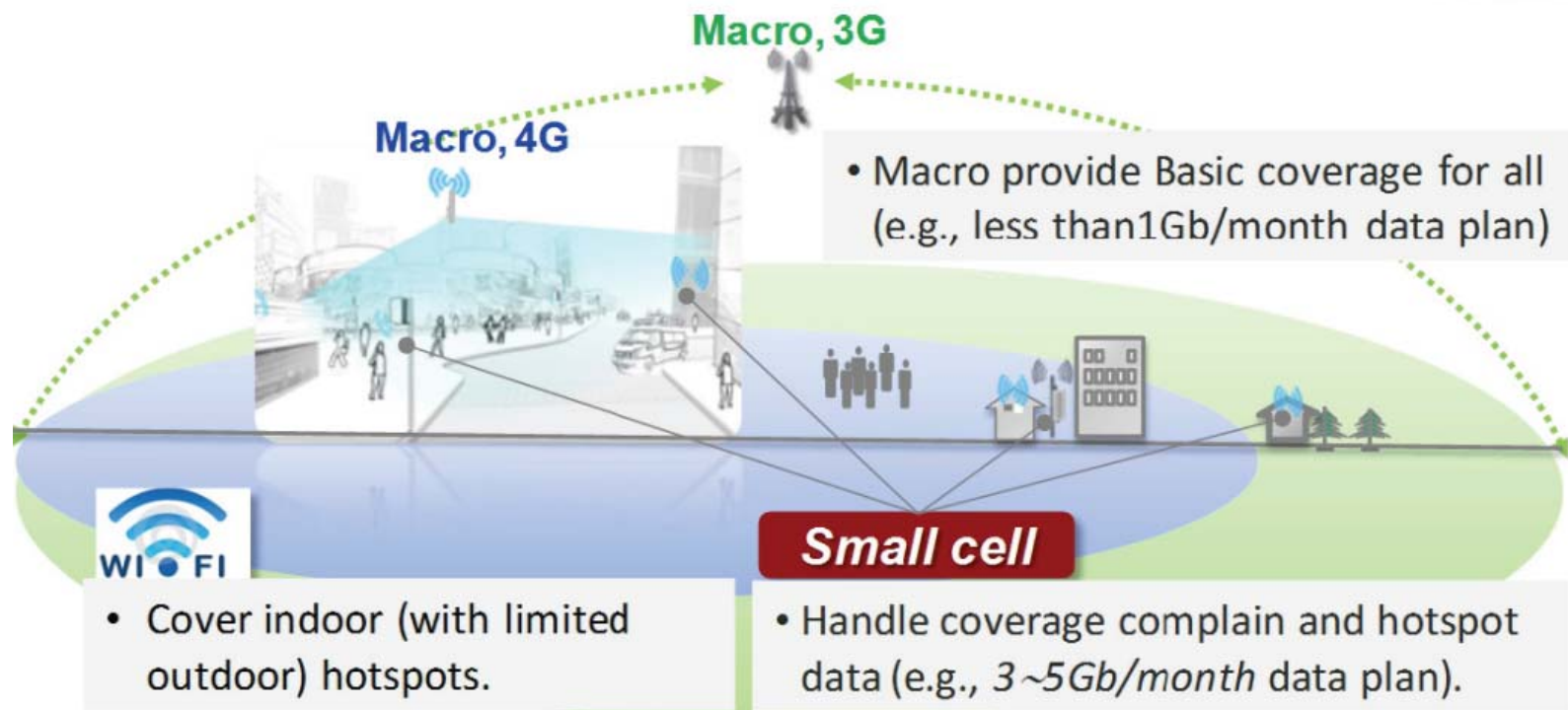
Διεθνείς Πρακτικές Ανάπτυξης & Εξέλιξης Υποδομών Δικτύων Δεδομένων : Τυπικά Παραδείγματα (2/3)



Πηγή: S. Landstrom, et al, "Heterogeneous Networks – Increasing Cellular Capacity", Ericsson Review Journal, 2011.

Διεθνείς Πρακτικές Ανάπτυξης & Εξέλιξης Υποδομών Δικτύων Δεδομένων : Τυπικά Παραδείγματα (3/3)

- High ARPU users require Seamless user experience in terms of 3Cs (**C**overage, **C**apacity and **C**apability)



Πηγή: Huawei, “Small Cells, Big Opportunities,” Industry White Paper, 2014.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

**Η διατήρηση του ιεραρχικού επιπέδου macro,
η συνύπαρξη πολλαπλών ιεραρχικών επιπέδων macro,
micro, pico, femto, και
η πύκνωση των κόμβων πρόσβασης,
συνιστούν την κυρίαρχη προσέγγιση για την ομαλή
λειτουργία και περαιτέρω εξέλιξη των κινητών
τηλεπικοινωνιών από
αναπτυξιακής, τεχνολογικής, κοινωνικής και οικονομικής
πλευράς.**

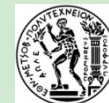


Ευχαριστώ

Οκτώβριος 2017



**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΡΑΔΙΟΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**