

Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Ασύρματα Δίκτυα Μικρής Κλίμακας και Χαμηλής
Ενεργειακής Κατανάλωσης

Το Διαδίκτυο των αντικειμένων (1)

2

- Το **Διαδίκτυο των αντικειμένων (Internet of Things - IoT)** είναι μια αναδυόμενη τεχνολογία που στοχεύει στην χρήση του διαδικτύου ως μια κοινή διεπαφή για την διασύνδεση φυσικών αντικειμένων.
- Ως αντικείμενα *εννοούμε*
 - *έξυπνες συσκευές οι οποίες αποκτούν, κυρίως μέσω της χρήσης αισθητήρων, πρόσβαση σε πληροφορία την οποία πρέπει να επικοινωνήσουν είτε προς τον άνθρωπο χρήστη είτε προς μια άλλη συσκευή (μηχανή) ενώ συχνά υπάρχει και η δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας με σκοπό την εκτέλεση εντολών* (π.χ. έξυπνο κλιματιστικό).

Το Διαδίκτυο των αντικειμένων (2)

3

- Έτσι στο νέο δικτυακό περιβάλλον μπορούμε να διακρίνουμε την επικοινωνία **μηχανής με μηχανή (Machine to Machine - M2M)**, **μηχανής με άνθρωπο (Machine to Human - M2H)** και φυσικά **ανθρώπου με άνθρωπο (H2H)**.
- Οι νέες αυτές δυνατότητες επικοινωνίας θα επηρεάσουν άμεσα διάφορες πτυχές της καθημερινής ζωής των ανθρώπων αλλά και της λειτουργίας των επιχειρήσεων.

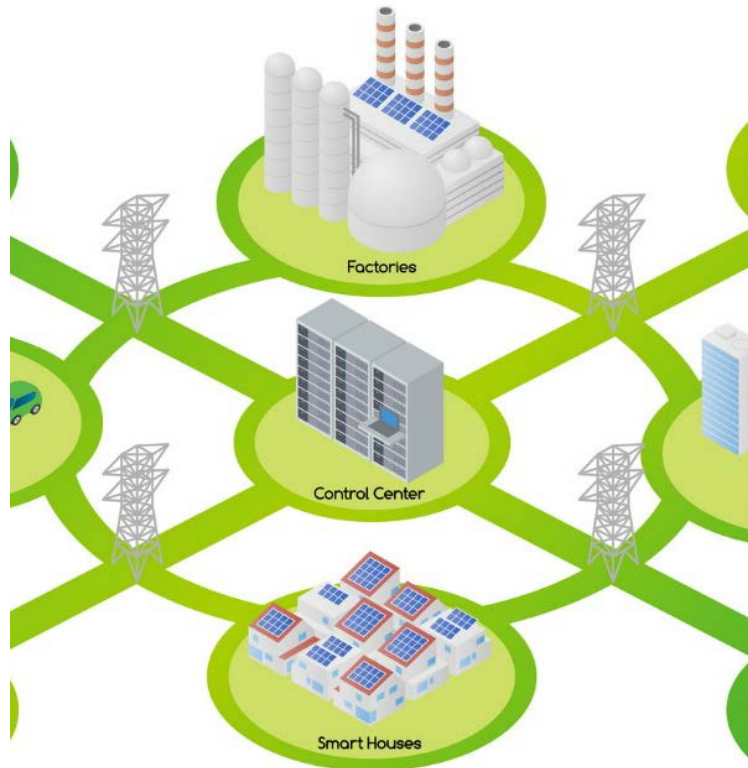


This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-SA

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (3)

4

Smart Grid



This Photo by Unknown Author is licensed under [CC BY-NC-ND](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

- Πιθανά σενάρια χρήσης του IoT είναι:
 - **έξυπνα κτίρια και κατ' επέκταση έξυπνες πόλεις** με συστήματα διαρκούς ενημέρωσης (κυκλοφορίας, μέσων μαζικής μεταφοράς, συστήματα έξυπνης χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας - **microgrids**),
 - **έξυπνα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας – smart grids,**

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (4)

5

- όπως και **συστήματα γεωργίας ακριβείας** ή **μελέτης περιβαλλοντικών δεικτών** και ορθολογικής χρήσης φυσικών πόρων.
- **Εφαρμογές υγείας**, όπως η **απομακρυσμένη παρακολούθηση ηλικιωμένων** ή **ασθενών με ειδικές ανάγκες** αλλά και η **απομακρυσμένη παροχή υπηρεσιών πρωτοβάθμιας φροντίδας σε δυσπρόσιτες περιοχές** είναι επίσης ιδιαίτερα σημαντικές και είναι πιθανό να παρέχουν κρίσιμα δεδομένα προς άμεση μετάδοση (alert).



This Photo by Unknown Author is licensed under [CC BY-SA-NC](#)

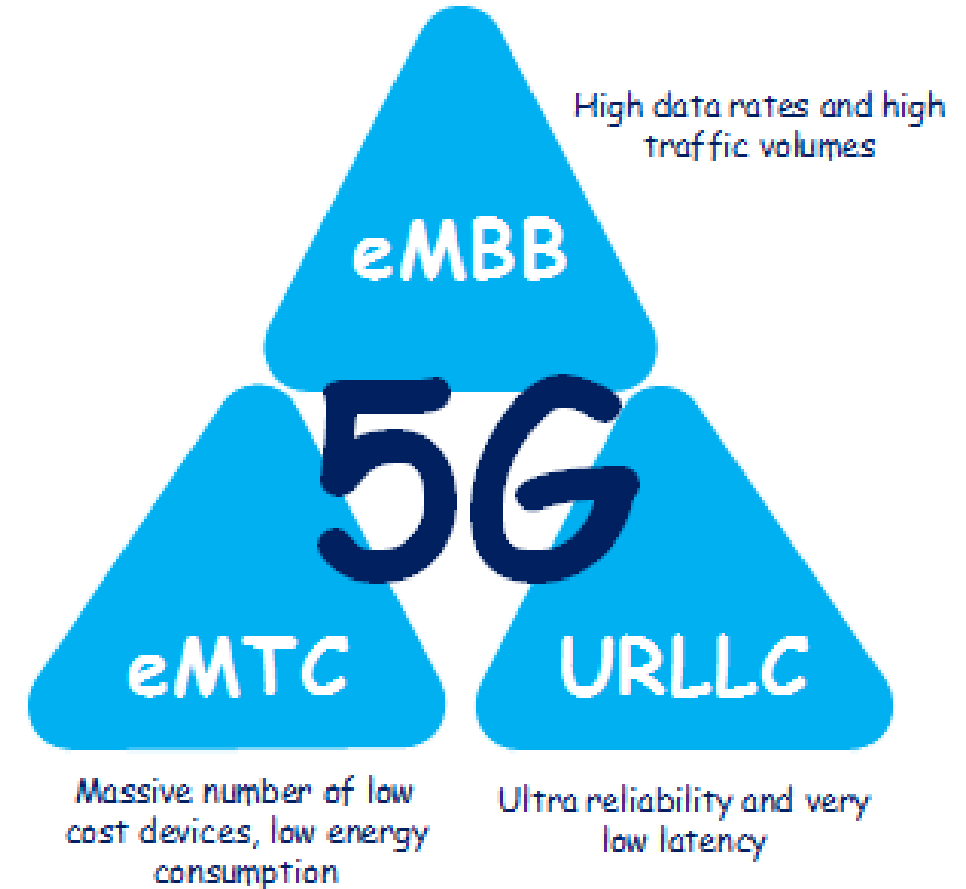


This Photo by Unknown Author is licensed under [CC BY-SA](#)

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (5)

6

- Τέτοιου είδους δεδομένα όπως και τα δεδομένα συσκευών του απτικού διαδικτύου (μετάδοση απτικής ανάδρασης) απαιτούν **μετάδοση υψηλής αξιοπιστίας και ασφάλειας με πολύ χαμηλή καθυστέρηση (URLLC)**.
- Η εφαρμογή των παραπάνω σε μεγάλη κλίμακα απαιτεί **εξοπλισμό χαμηλού κόστους** και με **χαμηλή κατανάλωση ενέργειας** έτσι ώστε να μπορούμε να πετύχουμε την βιώσιμη κάλυψη μιας ευρείας περιοχής.

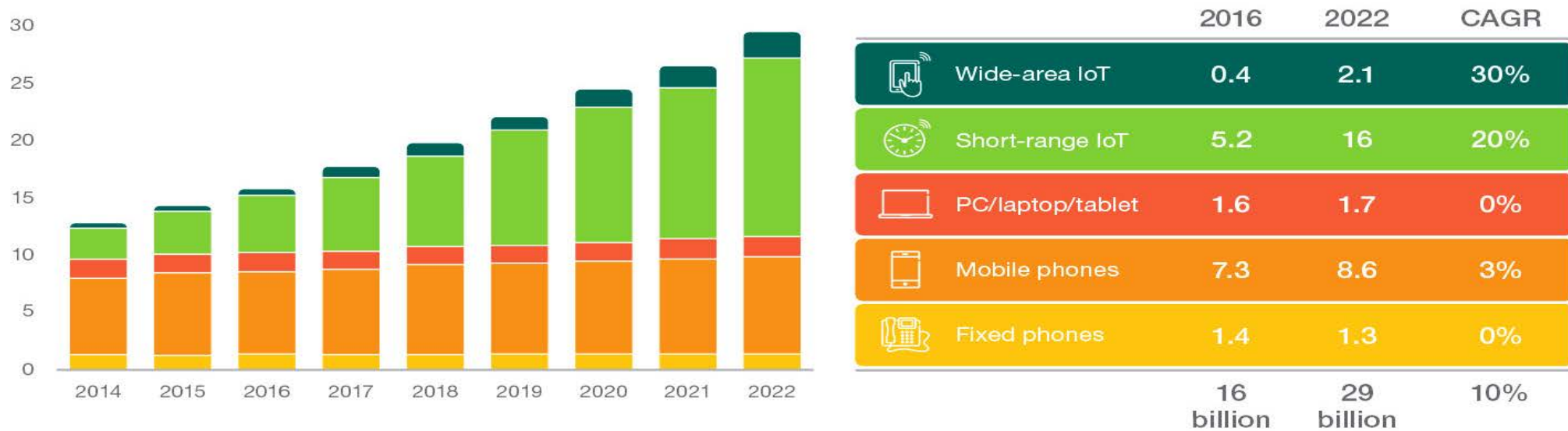


This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-SA

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (6)

7

- Επίσης, οι διάφορες εφαρμογές που γίνονται εφικτές με το IoT απαιτούν να εξασφαλιστεί η σύνδεση τους στο διαδίκτυο.
- Εκτιμάται ότι μέχρι το 2022 θα είναι συνδεδεμένες περίπου **28 δισεκατομμύρια έξυπνων συσκευών** σε όλο τον κόσμο.



Πηγή: <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/internet-of-things-forecast>

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (7)

8

- Προβλέπεται ακόμα ότι θα έχουμε 18 δισεκατομμύρια IoT συσκευές από τις οποίες περίπου 3,5 δισεκατομμύρια θα επικοινωνούν μέσω δικτύων ευρείας περιοχής (wide-area) ενώ το μεγαλύτερο μέρος, περίπου 14,5 δισεκατομμύρια θα επικοινωνεί μέσω δικτύων μικρής εμβέλειας - (short-range).
- Όταν πρόκειται για δίκτυα μικρής εμβέλειας ειδικά σε αστικές περιοχές μπορούν να χρησιμοποιηθούν γνωστές τεχνολογίες ή οι IoT παραλλαγές τους όπως IEEE 802.11ah (900Mhz), Bluetooth Low Energy, IEEE 802.15.4 (e.g. Zigbee), 6LoWPAN.



Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-SA



ZigBee[®]

Control your world

Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-SA

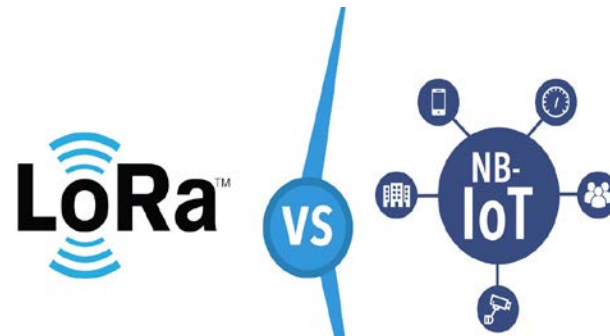
Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (8)

9

- Και στα **ευρείας περιοχής δίκτυα** όμως, αυτή τη στιγμή, το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς IoT βασίζεται σε ειδικά σχεδιασμένες δικτυακές τεχνολογίες όπως **LoRa**, **Sigfox**, **Weightless**.
- *Γιατί όμως αναπτύχθηκαν αυτές οι τεχνολογίες από την στιγμή που υπάρχει ευρεία ασύρματη κάλυψη μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας;*



This Photo by Unknown Author is licensed under [CC BY-SA](#)



This Photo by Unknown Author is licensed under [CC BY-SA](#)

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (9)

10



This Photo by Unknown Author is licensed under [CC BY-NC-ND](#)



This Photo by Unknown Author is licensed under [CC BY-SA](#)



This Photo by Unknown Author is licensed under [CC BY-SA](#)

- Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (3G, 4G) μπορούν να παρέχουν:
 - Πρόσβαση στο διαδίκτυο με ανάθεση πραγματικής IP διεύθυνσης στην συσκευή.
 - Λειτουργία σε αδειοδοτημένη περιοχή συχνοτήτων και επομένως με λιγότερες παρεμβολές.
 - Ενιαία τυποποίηση των συσκευών ανεξάρτητα της χώρας προέλευσης ή λειτουργίας.
 - Ασφάλεια στις μεταδόσεις με αυθεντικοποίηση της συσκευής και κρυπτογράφηση της ροής δεδομένων.

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (10)

11

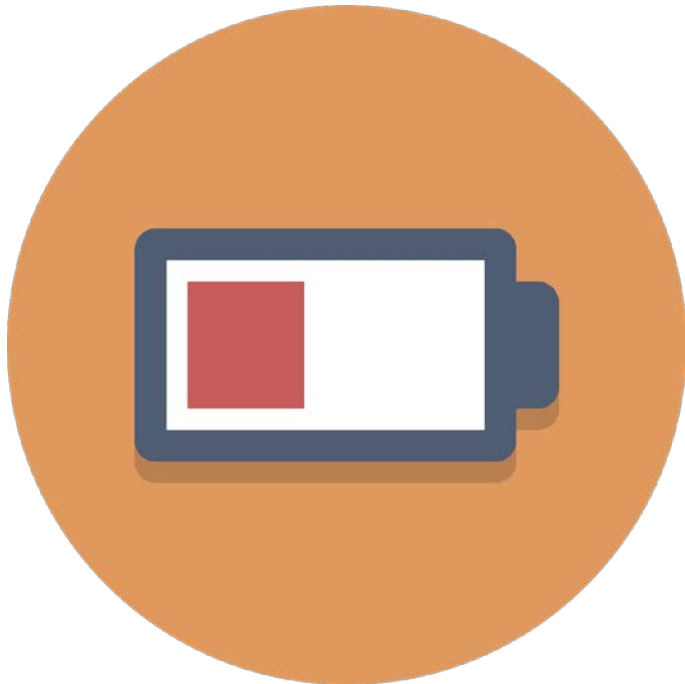


Photo by Unknown Author is licensed under [CC BY-NC](#)

- **Αλλά έχουν τα εξής μειονεκτήματα:**
- **Κόστος:** Απαιτούν συνδρομή σε έναν πάροχο κινητής τηλεφωνίας για την απόκτηση **SIM (subscriber identification module) κάρτας** και της δυνατότητας αποστολής και λήψης δεδομένων.
- **Αριθμοδότηση:** Επιπλέον ο πάροχος πρέπει να αντιστοιχήσει **έναν τηλεφωνικό αριθμό στην SIM κάρτα** και αυτό θα δημιουργούσε πρόβλημα στους παρόχους αν λάβουμε υπόψη την **αλματώδη ανάπτυξη της αγοράς IoT**.
 - Η προσέγγιση που χρησιμοποιείται είναι να έχουμε **ειδικό πρόθεμα για τους τηλεφωνικούς αριθμούς των IoT συσκευών** (π.χ. 020 στην Ιαπωνία) με τελικό στόχο η αναγνώριση να γίνεται μόνο μέσω **IP διεύθυνσης (IPv6)**.

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (11)

12



- **Ενεργειακή κατανάλωση:** Ειδικά σε περιβάλλοντα ευρείας κάλυψης οι **συσκευές IoT** είναι, στην γενική περίπτωση, **περιορισμένες σε πόρους** και χαρακτηρίζονται από **χαμηλές δυνατότητες** τόσο από άποψη **υπολογιστικής ισχύος** αλλά και **διαθέσιμης παροχής ενέργειας**.
- Επομένως ένα από τα θεμελιώδη ζητήματα για εφαρμογές IoT είναι η **υποστήριξη συσκευών με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας**.

[This Photo](#) by Unknown Author is licensed under [CC BY-SA](#)

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (12)

13



[This Photo](#) by Unknown Author is licensed under [CC BY-SA](#)

- Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας είναι σχεδιασμένα να παρέχουν **ποιότητα εξυπηρέτησης** η οποία χρειάζεται **συνεχή επικοινωνία** με τις συσκευές όπως κατά τις παρακάτω διαδικασίες:
 - Περιοδικές **διαδικασίες ελέγχου θέσης και λειτουργίας** κινητών σε αδράνεια (paging),
 - **Διαδικασίες αλλαγής διαύλου επικοινωνίας** ή σταθμού βάσης (handover),
 - Περιοδικές **αναφορές ποιότητας καναλιού** (Channel State Information – CSI ή Channel Quality Indicator - CQI).
 - Περιοδικές **διαδικασίες προσαρμογής της διαμόρφωσης και της κωδικοποίησης** της μετάδοσης στις συνθήκες του καναλιού (Adaptive Modulation and Coding).

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (13)

- *Η συνεχής αυτή επικοινωνία καταναλώνει ενέργεια από την μπαταρία της ασύρματης συσκευής κάτι το οποίο δεν είναι απαραίτητο αν η συσκευή δεν κινείται και δεν χρειάζεται υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.*
- Έτσι αναπτύχθηκαν νέα πρότυπα κινητών επικοινωνιών που θα επιτρέψουν στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας να καλύψουν τα μειονεκτήματά τους και να αποκτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της αγοράς IoT.
- Η **3GPP** (**3rd Generation Partnership Project**) προχώρησε στην προτυποποίηση των παρακάτω δικτυακών τεχνολογιών :
 - **EC-GSM-IoT** (Extended Coverage GSM for the Internet of Things)
 - **NB-IoT** (Narrow-Band Internet of Things)
 - **LTE-M** (Long-Term Evolution for Machines)

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (14)

- **EC-GSM-IoT** (Extended Coverage GSM for the Internet of Things)
 - Βασίζεται στα υπάρχοντα δίκτυα GSM και μπορεί να υλοποιηθεί με αναβάθμιση λογισμικού. Εύρος ζώνης καναλιών **200kHz**.
- **NB-IoT** (Narrow-Band Internet of Things)
 - Το NB-IoT χρησιμοποιεί ένα υποσύνολο του προτύπου LTE και περιορίζει σημαντικά το χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης (**180kHz – 200kHz**).
- **LTE-M** (Long-Term Evolution for Machines)
 - Το LTE-M χρησιμοποιεί και αυτό ένα υποσύνολο του προτύπου LTE αλλά σε σχέση με το NB-IoT παρέχει υψηλότερο ρυθμό δεδομένων και μετάδοση φωνής, αλλά απαιτεί και μεγαλύτερο εύρος ζώνης (**1.4 MHz**)
- **Επομένως για να εξετάσουμε αυτές τις τεχνολογίες πρέπει πρώτα να δούμε την βάση τους που είναι τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας**

Βασικές αρχές δικτύων κινητής τηλεφωνίας

Δομή κελιού

17

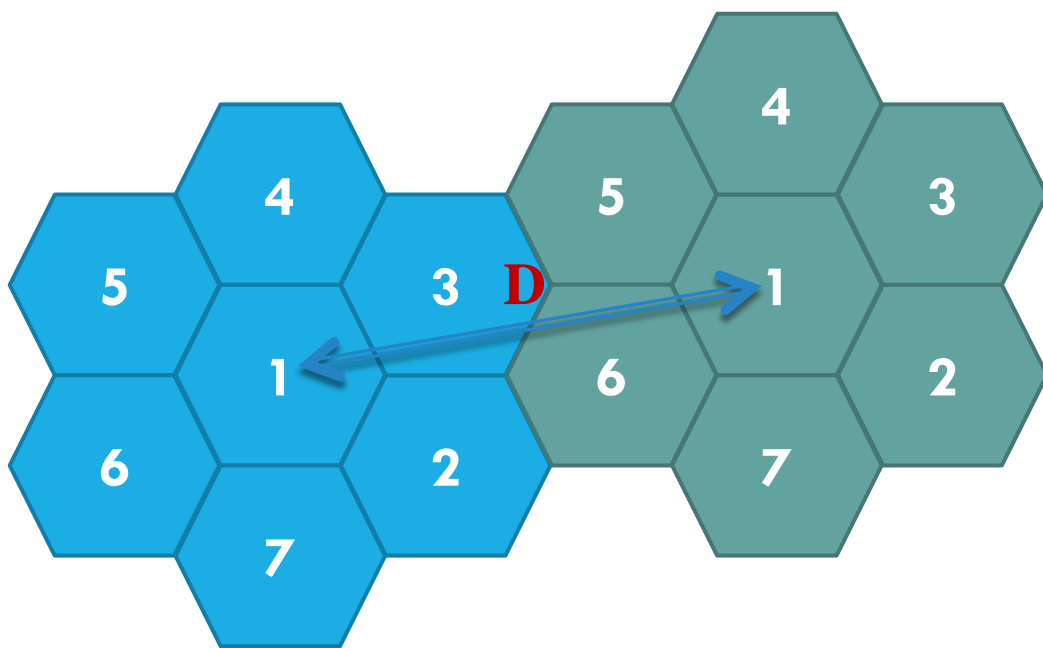
- Κάθε κελί έχει διαθέσιμους έναν σταθμό βάσης (**Base Station BS, Node B**) μέσω του οποίου συνδέονται οι χρήστες (**Mobile Terminal MT, User Equipment UE**) στο σύστημα.



- Σε κάθε κελί ανατίθεται ένα μέρος του συνόλου των διαύλων που είναι διαθέσιμοι για το σύστημα.
- Βασική προϋπόθεση, προκειμένου να αποφευχθούν φαινόμενα παρεμβολών, είναι να **κατανέμονται διαφορετικές ομάδες διαύλων σε γειτονικά κελιά.**

Ομάδα Επαναχρησιμοποίησης

18



- Το σύνολο των διαθέσιμων δίαυλων του συστήματος κατανέμονται σε μια μικρή σχετικά ομάδα κελιών η οποία χρησιμοποιεί διαφορετικές συχνότητες σε κάθε κυψέλη και ονομάζεται **ομάδα επαναχρησιμοποίησης** (reuse cluster)
- Η ομάδα αυτή μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για την κάλυψη ολόκληρης της ζητούμενης περιοχής.
- **Κελιά** στα οποία έχουν ανατεθεί οι ίδιοι ραδιοδίαυλοι (συχνότητες) ονομάζονται **ομοδιαυλικά** (co-channel cells)

Call Admission Control

19



- Σε ένα **κλασικό τηλεφωνικό σύστημα** θεωρούμε ότι δεν υπάρχει περίοδος αναμονής για τις εισερχόμενες κλήσεις και **ισχύει η σχέση του Erlang B**.
- Το σύστημα **Ελέγχου Αποδοχής νέων κλήσεων (Call Admission Control)** ελέγχει αν υπάρχει διαθέσιμο κανάλι (χωρητικότητα) και δέχεται ή όχι μια νέα κλήση.
- Σε συστήματα που οι **εισερχόμενες κλήσεις έχουν διαφορετικές απαιτήσεις** τότε πρέπει και το σύστημα αποδοχής κλήσεων να προσαρμοστεί έτσι ώστε να έχουν όλα τα είδη εισερχόμενων κλήσεων την ίδια πιθανότητα αποδοχής.
- Αυτό δεν είναι εύκολο καθώς κλήσεις με μεγάλες απαιτήσεις χωρητικότητας/πόρων εξυπηρετούνται δυσκολότερα από ότι κλήσεις μικρών απαιτήσεων.

Τηλεπικοινωνιακή κίνηση

20

- Οι ραδιοδίαυλοι κατανέμονται λαμβάνοντας υπόψη την τηλεπικοινωνιακή κίνηση σε κάθε κελί. **Ονομάζουμε προσφερόμενη τηλεπικοινωνιακή κίνηση το σύνολο των κλήσεων με μεταγωγή κυκλώματος που ζητούν να εξυπηρετηθούν.**
- Η τηλεπικοινωνιακή κίνηση χαρακτηρίζεται από:
 - Μέσο ρυθμό άφιξης των κλήσεων λ
 - Μέση διάρκεια των κλήσεων H (Holding time)
- Η συνολική προσφερόμενη κίνηση A είναι:
$$A = \lambda \cdot H$$
- Είναι καθαρός αριθμός χωρίς φυσική μονάδα αλλά συμβατικά του αποδίδουμε την μονάδα **Erlang**

Βαθμός εξυπηρέτησης

- Το προσφερόμενο φορτίο στο δίκτυο δεν παραμένει σταθερό αλλά αντίθετα **παρουσιάζει μέγιστα και ελάχιστα**.
- **Αυτό που ενδιαφέρει τον σχεδιαστή του συστήματος είναι η δυνατότητα του χρήστη να προσπελάσει το σύστημα την ώρα του μέγιστου προσφερόμενου φορτίου.**
- Έτσι, ονομάζουμε **Βαθμό Εξυπηρέτησης (Grade of Service-GoS)** τη μέγιστη αποδεκτή πιθανότητα μια κλήση να χαθεί ή να βρίσκεται σε ουρά αναμονής περισσότερο από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
- *Οι ράδιο-διαυλοι κατανέμονται στα κελιά έτσι ώστε να ικανοποιούν ένα προκαθορισμένο GoS για δεδομένο προσφερόμενο φορτίο.*

Erlang B

- Το μοντέλο **Erlang B** περιγράφει ένα σύστημα με **πεπερασμένο αριθμό διαύλων n , χωρίς ουρά αναμονής**.
- Η άφιξη των κλήσεων γίνεται κατά **Poisson** ενώ και οι χρόνοι αναχώρησης των κλήσεων είναι εκθετικά κατανομημένοι.
- Περιγράφεται δηλαδή ένα σύστημα **$M/M/n/n$** (*n εξυπηρετητές, n το πολύ πελάτες στο σύστημα*)
- Αποδεικνύεται ότι η πιθανότητα απόρριψης (blocking probability) δίνεται από τη σχέση:

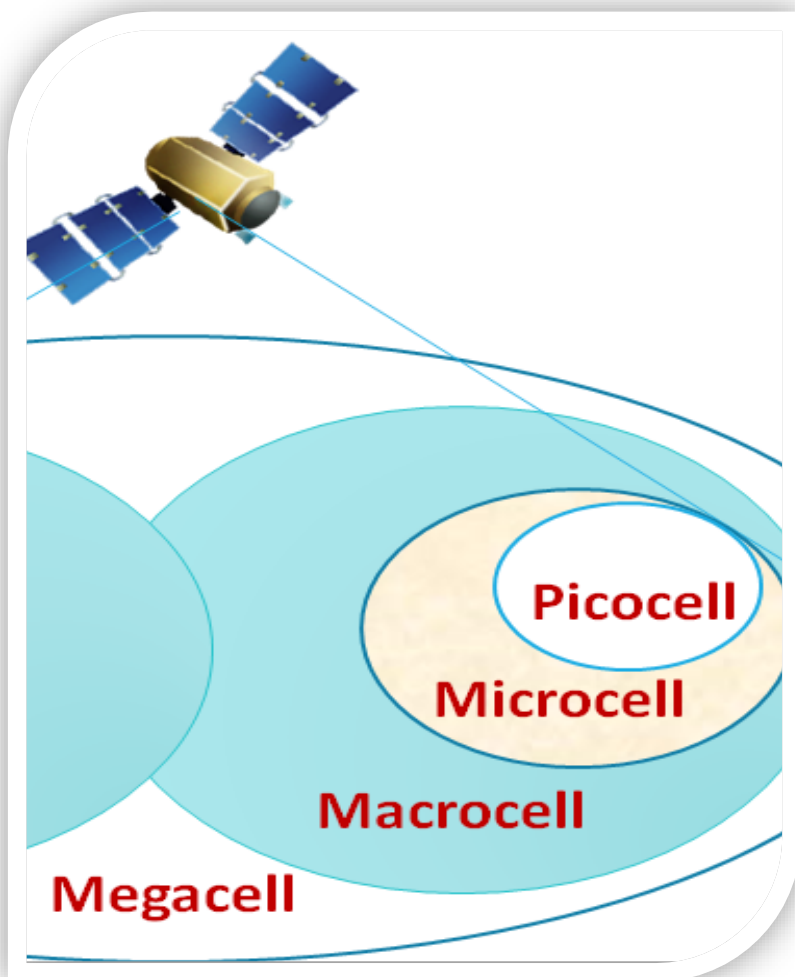
$$P_B(n, A) = \frac{A^n}{\sum_{k=0}^n \frac{A^k}{k!}}$$

Αλλαγή Ραδιοδιαύλου

- Η κίνηση του χρήστη σε ένα χώρο ο οποίος καλύπτεται από ένα αριθμό διαφορετικών κελιών ή τομέων προϋποθέτει την **ύπαρξη ενός μηχανισμού που θα κάνει αυτή την μετακίνηση να γίνεται με διαφανή τρόπο.**
- Αυτή η αυτόματη διαδικασία αλλαγής συχνότητας καθώς το κινητό περνάει από ένα κελί στο επόμενο ονομάζεται διακυψελική διαπομπή (**intercell handover – handoff**)
- Η διαπομπή μιας κλήσης σε διαφορετικό δίαυλο της ίδιας κυψέλης ο οποίος παρουσιάζει καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά ονομάζεται ενδοκυψελική διαπομπή (**intracell handoff - handover**)
- Τα στάδια μιας διαπομπής είναι:
 - **Εκτίμηση της ποιότητας της ζεύξης** - Έναρξη της διαδικασίας διαπομπής
 - **Απόδοση πόρων από το σύστημα**

Τύποι κελιών και περιοχή κάλυψης

24



- **Μεγακυψέλες (megacells)** Καλύπτουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές μέσω τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου.
- **Μακροκυψέλες (Macrocells)** Καλύπτουν περιοχές με ακτίνα μερικών δεκάδων χιλιομέτρων
- **Μικροκυψέλες (Microcells)** Καλύπτουν περιοχές με ακτίνα 1 -2 χιλιομέτρων.
- **Πικοκυψέλες (Picocells)** Καλύπτουν περιοχές με ακτίνα 100 – 200 μέτρα
- **Σταθμοί Βάσης Σπιτιών (Home Base Stations - Femtocells)** Καλύπτουν πολύ μικρές περιοχές με ακτίνα αντίστοιχη ενός Wi-Fi. Συνδέονται με το δίκτυο κορμού μέσω της DSL γραμμής του οικιακού χρήστη. Αναμένεται να έχουν σημαντικό ρόλο στην υποστήριξη IoT σε εσωτερικούς χώρους.

IEEE Εξέλιξη Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας

25

- **Δίκτυα 1G**, Μετάδοση αναλογικού σήματος φωνής.
- **Δίκτυα 2G**, Ψηφιακή μετάδοση φωνής και απλών δεδομένων, (<0.5 Mbps, GSM/GPRS)
- **Δίκτυα 3G**, Πρώτα ευρυζωνικά συστήματα με ψηφιακή μετάδοση δεδομένων (384 Kbps downlink, 128 Kbps uplink DCH /14 Mbps downlink, 5.7 Mbps uplink HSPA / 28 Mbps downlink, 11 Mbps uplink HSPA+)
- **Δίκτυα 4G**, Ευρυζωνική ψηφιακή μετάδοση δεδομένων (100Mbps downlink, 50 Mbps uplink, LTE 3GPP Rel. 8/9, 1Gbps downlink, 500 Mbps uplink, LTE - Advanced 3GPP Rel. 10/11/12/13/ 14 (ongoing))

Long Term Evolution - 3GPP Rel. 8/9/10

26

- Η έκδοση 8 (Rel. 8/9) των προτύπων της 3GPP παγιώθηκε το 2008 ώστε να αποτελέσει την βάση των πρώτων εμπορικών συστημάτων LTE.

Από το Rel. 10 και μετέπειτα διαμορφώνεται το LTE-Advanced όπου υπάρχει ανάγκη για ακόμα περισσότερη χωρητικότητα.

- Οι απαιτήσεις για το κομμάτι ασύρματης πρόσβασης του LTE είναι :
 - η χρησιμοποίηση του ασύρματου φάσματος με υψηλή αποδοτικότητα.
 - μαζί με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και χαμηλή καθυστέρηση.
 - Ένα ακόμα ζητούμενο είναι η ευελιξία στην χρησιμοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης συχνοτήτων.
- Στόχος είναι να αυξηθεί ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στην κατερχόμενη ζεύξη στα 3 Gbps και στην ανερχόμενη στα 1.5 Gbps και να επιτευχθεί υψηλότερη φασματική απόδοση περνώντας από τα 16bps/Hz του R8 στα 30 bps/Hz του R10.



Θεώρημα του Shannon και LTE

27

- Η χωρητικότητα **C** ενός ασύρματου συστήματος αυξάνει όταν:

$$C \approx W \cdot \log_2(1+nSNR)$$

W Εύρος φάσματος

- Χρησιμοποιούμε μεγαλύτερο εύρος φάσματος
- LTE: Έως **20 MHz**, σε FDD ή TDD κατάσταση λειτουργίας
- LTE – Advanced: **Carrier aggregation**

n Αριθμός κεραιών

- Χρησιμοποίηση προηγμένων τεχνικών πολλαπλών κεραιών για την δημιουργία χωρικά διαχωρισμένων μονοπατιών μετάδοσης δεδομένων, π.χ. **Beamforming** ή **4x4 MIMO**

SNR Ποιότητα σήματος/καναλιού

- Χρησιμοποίηση προηγμένων τεχνικών όπως δέκτες με **δυνατότητα ακύρωσης παρεμβολών**.

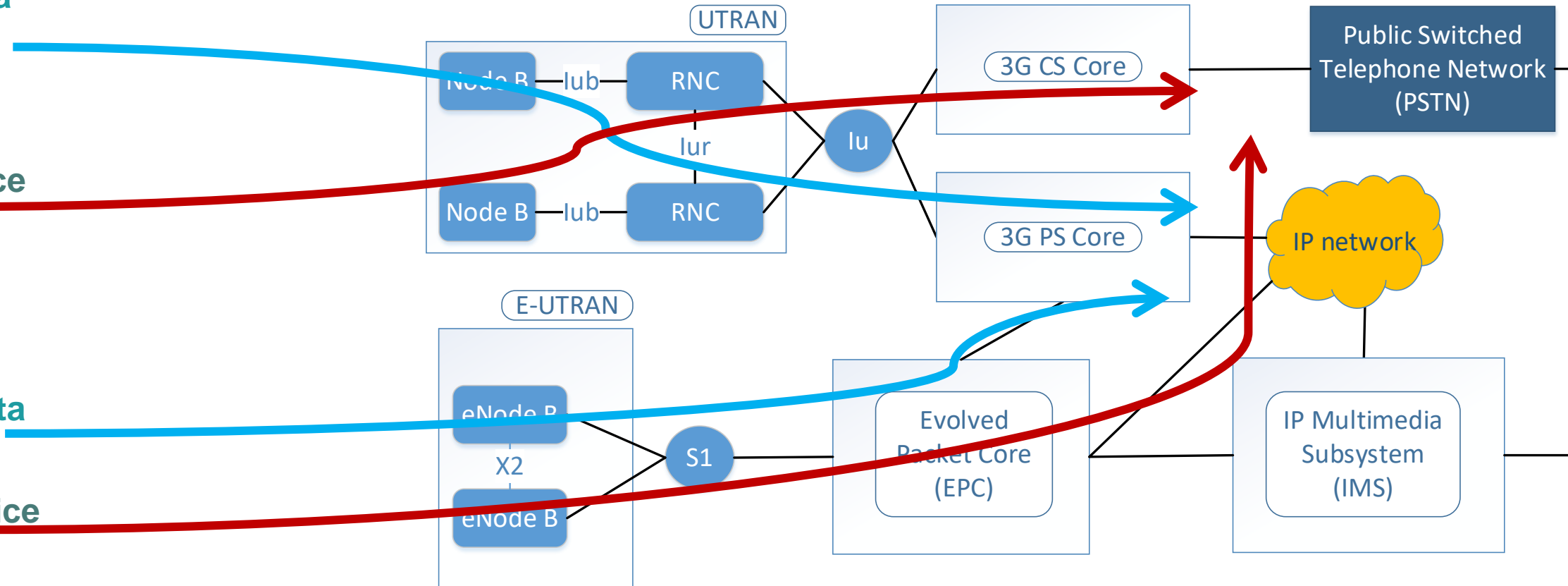
Διαφορές στην Αρχιτεκτονική 3G/4G

3G Data

3G Voice

4G Data

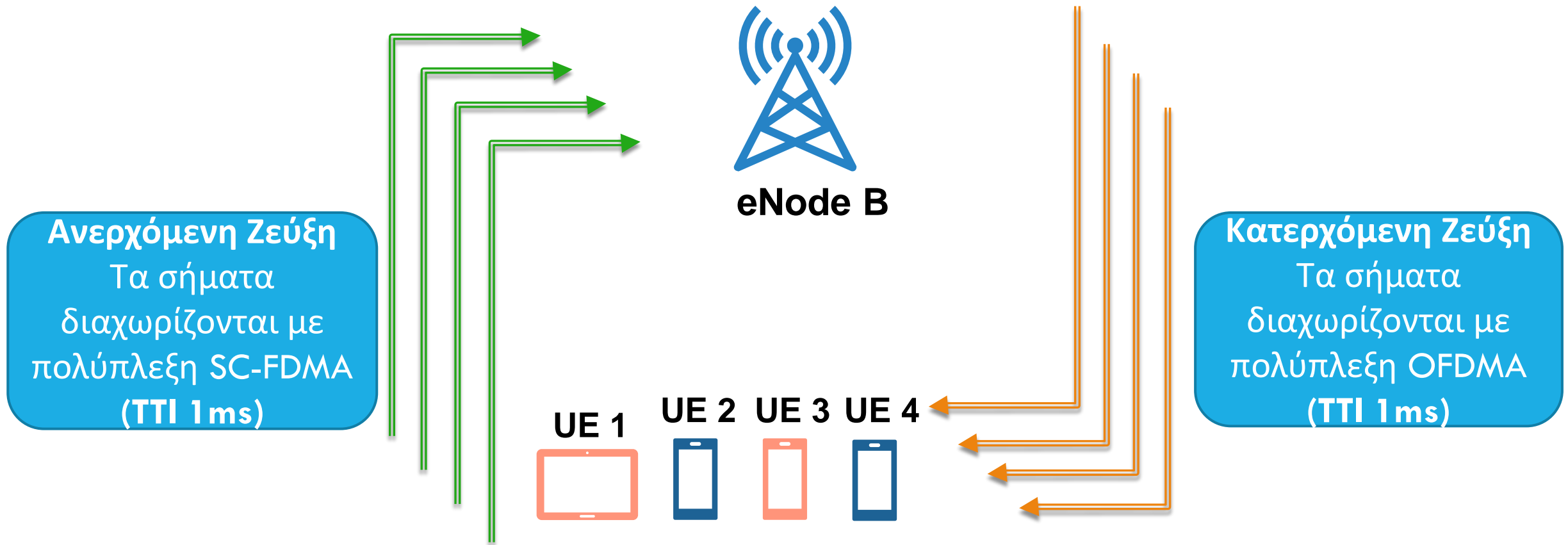
4G Voice



- Το δίκτυο LTE όπως περιγράφεται στα πρότυπα της 3GPP, καθορίζει τον τρόπο ασύρματης πρόσβασης των χρηστών στο δίκτυο κορμού, που τώρα βασίζεται αποκλειστικά στη μεταγωγή πακέτου και ονομάζεται Evolved Packet Core (EPC).

Επικοινωνία UE – eNode B

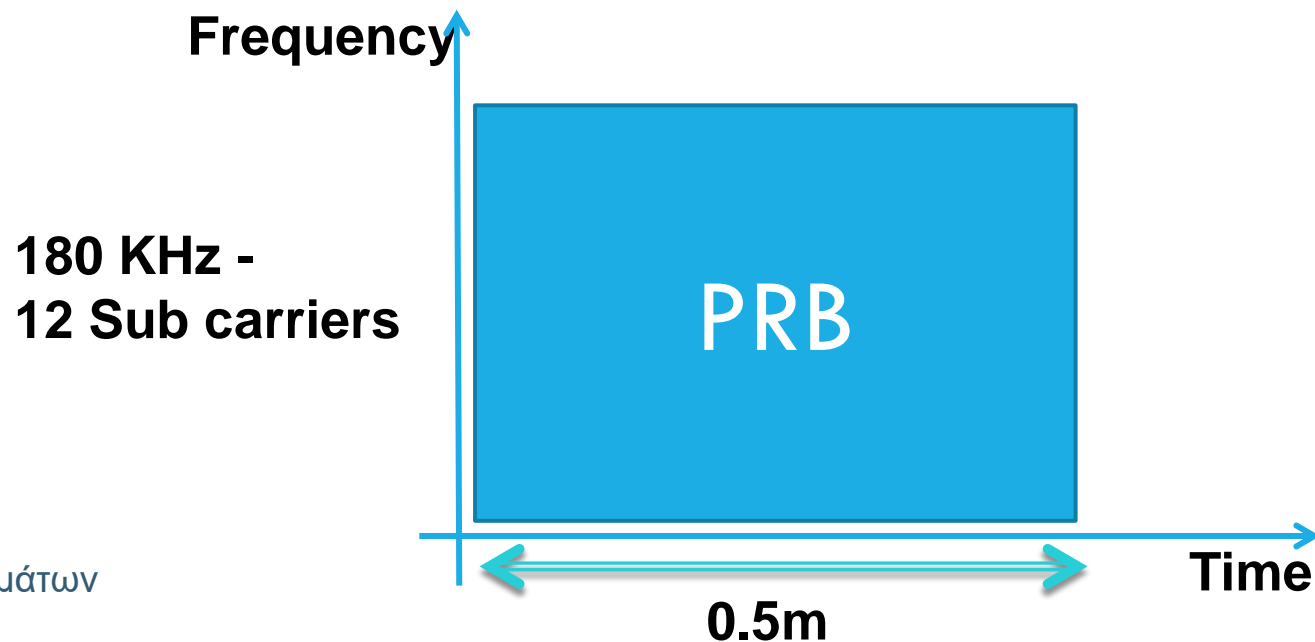
29



Φυσικό Επίπεδο

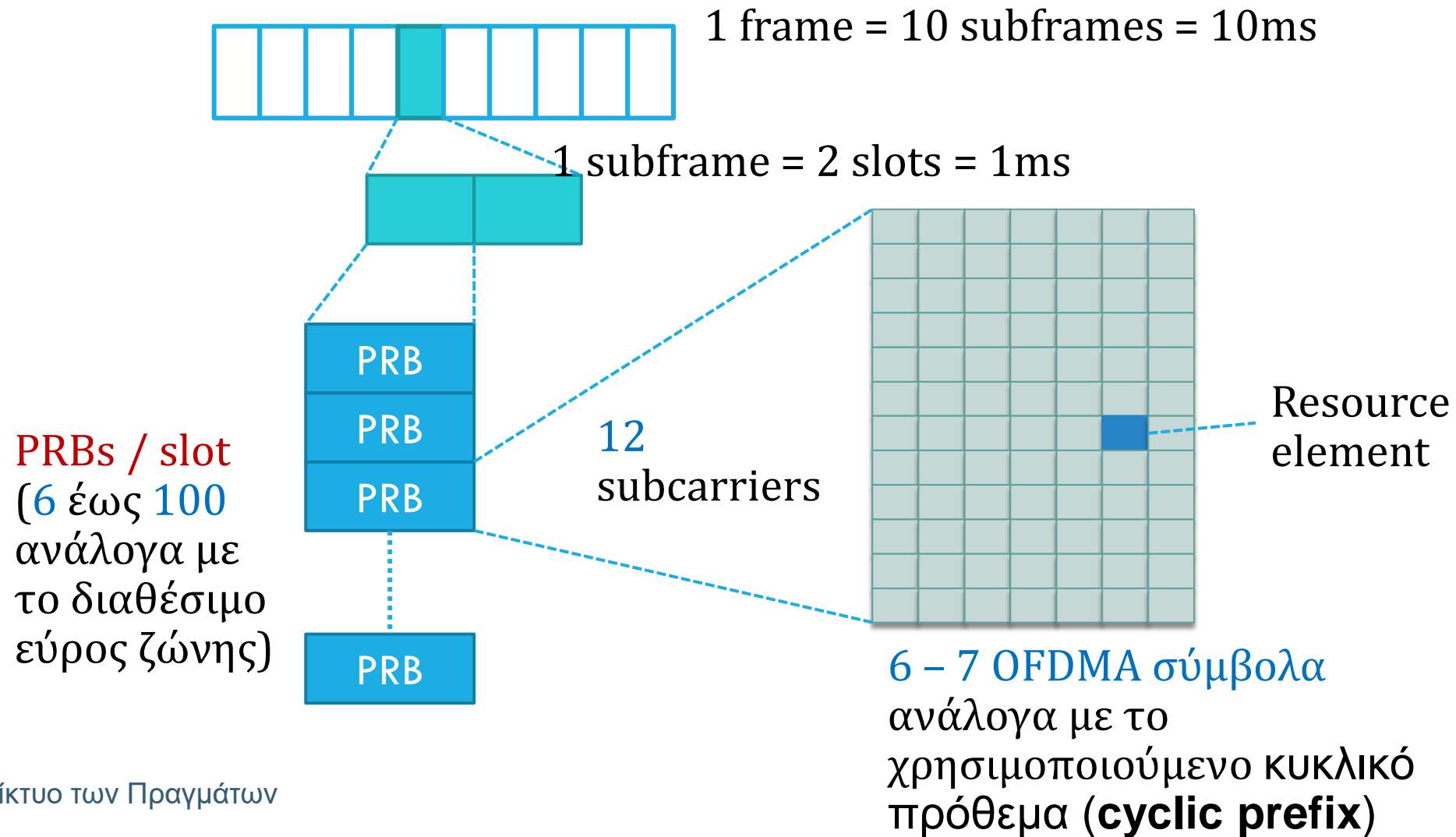
30

- Η βασική μονάδα μέτρησης των πόρων του συστήματος που ανατίθενται μέσω του χρονοδρομολογητή σε κάθε TTI στα κινητά (UEs) είναι το **μπλοκ φυσικών πόρων (Physical Resource Block - PRB)** των **12 υποφορέων (sub carriers)** που αντιστοιχούν σε **180 kHz (12x15 kHz εύρος των φορέων)** και για χρονικό διάστημα **0.5ms**.
- Πλέον το πλαίσιο δεδομένων δεν καθορίζεται μόνο στο πεδίο του χρόνου (TDMA) ή της συχνότητας (FDMA) αλλά ταυτόχρονα και στα δυο πεδία (συχνότητα και χρόνο).



Χρονοδρομολόγηση

31



Απαιτήσεις των επικοινωνιών M2M (2)

- **Μείωση κόστους:** Ένα έξυπνο κινητό τηλέφωνο έχει διάφορα ακριβά υποσυστήματα με αποτέλεσμα το κόστος των υποσυστημάτων επικοινωνίας να αποτελεί μόνο ένα μικρό μέρος της του κόστους της συνολικής συσκευής.
- Για τις επικοινωνίες όμως M2M, όπου οι συσκευές απλοί αισθητήρες (π.χ. καρδιακού ρυθμού) το κόστος των υποσυστημάτων επικοινωνίας πρέπει να μειωθεί δραστικά ώστε να είναι πρακτικά υλοποιήσιμες.
- **Η 3GPP έχει εξετάσει διάφορες τεχνικές μείωσης του κόστους όπως είναι:**
 - Η μείωση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας με μείωση του εύρους ζώνης της συσκευής ή των υποστηριζόμενων τρόπων μετάδοσης.
 - υποστήριξη μετάδοσης μονής κεραίας (αντί MIMO) και/η
 - υποστήριξη ημιαμφίδρομης (Half duplex) μετάδοσης όπου επιτρέπεται η επικοινωνία και στις δύο κατευθύνσεις, αλλά όχι ταυτόχρονα.

Απαιτήσεις των επικοινωνιών M2M (3)

- **Μειωμένη κατανάλωση ενέργειας:** Σε πολλές εφαρμογές αισθητήρων είναι επιθυμητό να χρησιμοποιούνται συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία για μεγάλα χρονικά διαστήματα που μπορεί να φτάνουν τα δέκα χρόνια.
- Για παράδειγμα, μια υπηρεσία παρακολούθησης ατμοσφαιρικών ρύπων θέλει να συλλέγει πληροφορίες από, **μη ευκολά προσβάσιμα, σημεία** με την χρήση κατάλληλων αισθητήρων/αναμεταδοτών.
- *Μετά την εγκατάσταση, οι αισθητήρες είναι επιθυμητό να μπορούν να λειτουργήσουν για πολλά χρόνια χωρίς την ανάγκη αλλαγής μπαταριών.*
- Σημαντική επίσης είναι και η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για τις φορητές συσκευές αισθητήρων (π.χ. μετρητής βημάτων, απόστασης) προκειμένου να είναι πρακτικότερη η χρησιμοποίησή τους (διαθέσιμες για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα).

Απαιτήσεις των επικοινωνιών M2M (4)

- **Ενίσχυση της δικτυακής κάλυψης:** Πολλές συσκευές που απευθύνονται σε εφαρμογές M2M ενδέχεται να έχουν μειωμένη ισχύ λήψης σήματος λόγω ακριβώς του τρόπου χρησιμοποίησής τους.
- Έτσι, συσκευές μέτρησης υγρασίας ή συσκευές παρακολούθησης/συναγερμού μπορεί να τοποθετηθούν σε **υπόγεια** κάτω από **πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος**, πράγμα που αυξάνει σημαντικά τις **απώλειες** ισχύος μεταξύ του πομπού και του δέκτη.
- Προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο στόχος πρέπει, υπό προϋποθέσεις, η επικοινωνία M2M να είναι δυνατή **σε επίπεδα 15 με 20dB χαμηλότερα** από ότι η επικοινωνία μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού τηλεφώνου.

Extended Coverage GSM for IoT



Extended Coverage GSM for IoT (1)

- Το **EC-GSM-IoT** λειτουργεί στην στενή ζώνη των **GSM** συστημάτων και μπορεί να υλοποιηθεί σε υπάρχοντα δίκτυα GSM μέσω **αναβάθμισης λογισμικού**.
- Τα μεταδιδόμενα δεδομένα του **EC-GSM-IoT** και των **GSM/GPRS** πολυπλέκονται.
- Προσφέρει **20 dB βελτίωση** της κάλυψης σε σχέση με την τυπική κάλυψη **GSM**.
- Χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων του **GSM** για την μετάδοση δεδομένων με διαμόρφωση **GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)**, υποστηρίζοντας μέγιστο ρυθμό μετάδοσης μηνυμάτων στα **70kbps (~350bps έως 70kbps)**.
- Υποστηρίζει **συσκευές χαμηλής πολυπλοκότητας** και **χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας** με **διάρκεια μπαταρίας έως 10 έτη** ενώ είναι κατάλληλο για περιβάλλοντα, με **δύσκολη λήψη** όπως υπόγεια ή απομακρυσμένες περιοχές.

Extended Coverage GSM for IoT (2)

38

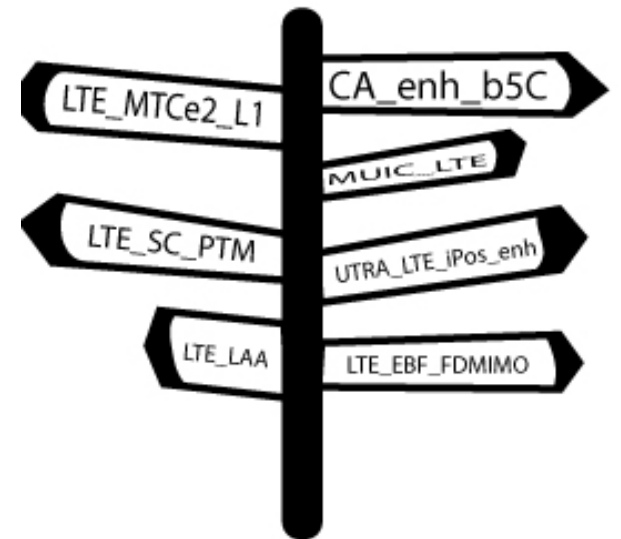
- Άλλα χαρακτηριστικά:
 - ▣ **Υποστήριξη SMS και δεδομένων**, αλλά όχι μετάδοση φωνής.
 - ▣ Μεγαλύτερο κύκλο **ασυνεχούς λήψης (DRX)** σε σχέση με το GSM (μέχρι ~ 52 λεπτά)
 - ▣ **Μείωση της παρακολούθησης των γειτονικών κελιών** με στόχο την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.
 - ▣ **Βελτιώσεις ασφάλειας** σε σχέση με τα συστήματα 2G
 - ▣ Προαιρετική **υποστήριξη κινητικότητας μεταξύ GSM και EC-GSM**

LTE-M

Εισαγωγικά

40

- Στην ενότητα αυτή θα κάνουμε μια επισκόπηση των χαρακτηριστικών που συμπεριλήφθηκαν στο **Release 13 των τυποποιήσεων της 3GPP** προκειμένου να υποστηριχθούν επικοινωνίες τύπου M2M.
- Στις αλλαγές αυτές συμπεριλαμβάνονται **τροποποιήσεις στο φυσικό επίπεδο**, **νέες διαδικασίες στο επίπεδο MAC** καθώς και **νέες δικτυακές αρχιτεκτονικές** προκειμένου να καταστεί δυνατή η εξέλιξη των δικτύων LTE σε **δίκτυα IoT** ευρείας κάλυψης και χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.



Πηγή <https://www.3gpp.org>

Enhanced Machine-Type Communication

- Το **eMTC (enhanced machine-type communication)** της **Release 13** εισάγει ένα σύνολο χαρακτηριστικών για το φυσικό επίπεδο που στοχεύουν
 - στη μείωση του κόστους και της κατανάλωσης ενέργειας των IoT συσκευών αλλά και
 - στην **επέκταση της κάλυψης**,
 - ενώ παράλληλα **επαναχρησιμοποιούνται** οι περισσότερες από τις διαδικασίες του φυσικού στρώματος του **LTE**.
- Επομένως μια IoT συσκευή που υποστηρίζει το eMTC μπορεί να λειτουργήσει στην περιοχή κάλυψης οποιουδήποτε σταθμού βάσης (eNB) του δικτύου LTE-A εφόσον αυτός έχει διαμορφωθεί να υποστηρίζει επικοινωνίες τύπου eMTC. Παράλληλα ο ίδιος σταθμός μπορεί να εξυπηρετεί και κλασικές LTE κινητές συσκευές.
- **Αυτό επιτρέπει την ανάπτυξη του eMTC μόνο με μια ενημέρωση λογισμικού της υπάρχουσας υποδομής.**

Λειτουργία στενής ζώνης (1)

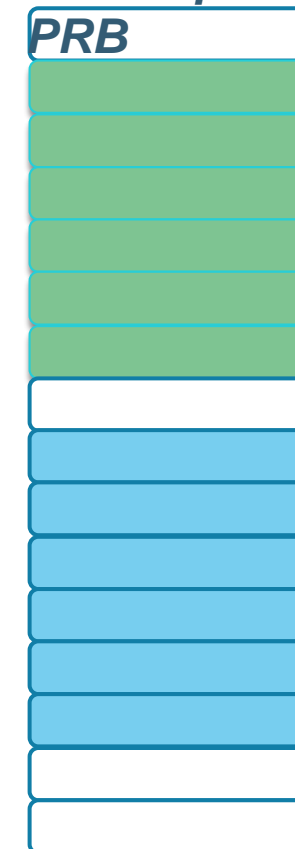
- **Λειτουργία στενής ζώνης:** Η υποστήριξη ευρυζωνικής ασύρματης επικοινωνίας αυξάνει το κόστος και την κατανάλωση ενέργειας μιας LTE-A κινητής συσκευής.
- Αντίθετα μια eMTC συσκευή λειτουργεί σε στενή ζώνη μετάδοσης για τη μετάδοση και τη λήψη δεδομένων και το μέγιστο του εύρος ζώνης καναλιού μειώνεται σε **1,08 MHz** ή **6 LTE PRBs (6x180 KHz)**.
- Αυτό το εύρος ζώνης έχει επιλεγεί για να επιτρέψει στο eMTC UE να ακολουθήσει *τις ίδιες διαδικασίες πρόσβασης και αναζήτησης κυψέλης όπως και οι κλασικές LTE συσκευές*, οι οποίες χρησιμοποιούν **τα παρακάτω κανάλια τα οποία καταλαμβάνουν έξι PRB:**
 - το αφιερωμένο κανάλι συγχρονισμού (**Synchronization Channel-SCH**),
 - το φυσικό κανάλι εκπομπής (**Physical Broadcast Channel - PBCH**) και το
 - κανάλι τυχαίας πρόσβασης (**Physical Random Access Channel - PRACH**).

Λειτουργία στενής ζώνης (2)

43

- Μια eMTC συσκευή μπορεί να εξυπηρετηθεί από ένα σταθμό βάσης ο οποίος λειτουργεί σε πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης, εφόσον τα φυσικά κανάλια και τα σήματα που μεταδίδονται ή λαμβάνονται από την συσκευή έχουν εύρος 1,08 MHz.
- Έτσι στο Release 13 ορίζεται ως στενή ζώνη ένα προκαθορισμένο σύνολο έξι συνεχόμενων PRBs στα οποία μπορεί να λειτουργήσει ένα eMTC κινητό.
- Τα περισσότερα από τα κανάλια του Release 12 LTE μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν μόνο περιορίζοντας τους πόρους τους ώστε να λειτουργούν μέσα σε μια στενή ζώνη.

Διαθέσιμα



6 PRBs για την
μετάδοση δεδομένων
χρήστη και δεδομένων
ελέγχου

6 PRBs διαδικασίες
πρόσβασης και
αναζήτησης κυψέλης
(SCH, PBCH, PRACH)

Μείωση Κόστους

44

- **Χαμηλό Κόστος και Απλοποιημένη Λειτουργία:** μονή κεραία λήψης, το μειωμένο μέγεθος buffer, μειωμένος μέγιστος ρυθμός μετάδοσης (1 Mb/s) και ημι-αμφίδρομη λειτουργία.
- Ακόμα καθορίζονται νέα χαρακτηριστικά για την περαιτέρω μείωση του κόστους των eMTC UE, όπως:
 - **μείωση των υποστηριζόμενων τρόπων μετάδοσης** (μείωση πολυπλοκότητας),
 - **Περιορισμός του αριθμού των τυφλών αποκωδικοποιήσεων** (blind decoding) του καναλιού ελέγχου PDCCH (Physical Downlink Control Channel).
 - **Blind decoding:** ανίχνευση και αποκωδικοποίηση σήματος χωρίς προηγούμενη γνώση της θέσης του σε ένα υποπλαίσιο. Απαιτείται για την λήψη πληροφοριών (σχετικά με την ανάθεση πόρων) από το κανάλι PDCCH. Καταναλώνει υπολογιστικούς και ενεργειακούς πόρους καθώς απαιτεί από την συσκευή να ελέγξει πολλαπλά κανάλια PDCCHs σε κάθε subframe πρώτου ανακαλύψει το σωστό κανάλι.
 - Δεν υποστηρίζεται ταυτόχρονη λήψη **unicast** και **broadcast** δεδομένων.

Narrowband Internet of Things (NB-IoT)



Narrowband Internet of Things

- Μια ακόμα τεχνολογία που συμπεριλήφθηκε στο 3GPP Release 13, και η οποία επιτρέπει περαιτέρω **μείωση του εύρους ζώνης στα 180 kHz** είναι το **Narrowband Internet of Things (NB-IoT)**.
- Αυτό το εύρος ζώνης **επιτρέπει την περαιτέρω μείωση της πολυπλοκότητας** της συσκευής με παράλληλη **βέβαια μείωση της μέγιστης ταχύτητας μετάδοσης** δεδομένων (περίπου **50 kb/s** για την ανερχόμενη ζεύξη και **30 kb/s** για την κατερχόμενη ζεύξη).
- Επιπλέον, οι NB-IoT συσκευές υποστηρίζουν μόνο **περιορισμένη κινητικότητα με δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του φάσματος GSM ή LTE**, ενώ το eMTC μπορεί να καλύψει εφαρμογές με υψηλότερες απαιτήσεις ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων και κινητικότητας.

Σενάρια εφαρμογής του NB-IoT (1)

47

- Σε αντίθεση με το eMTC, το οποίο λειτουργεί πάντοτε εντός ενός του LTE φάσματος, το NB-IoT έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει **τρία διαφορετικά σενάρια υλοποίησης**:
- **Λειτουργία εντός ζώνης (In-Band)**: Παρόμοια με το eMTC, το NB-IoT μπορεί να αναπτυχθεί μέσα σε ένα ευρυζωνικό σύστημα LTE. Σε αυτή την περίπτωση, η στενή ζώνη αποτελείται από ένα PRB (180 kHz). Η ισχύς μετάδοσης στο eNB μοιράζεται μεταξύ LTE και NB-IoT.



Σενάρια εφαρμογής του NB-IoT (2)

48

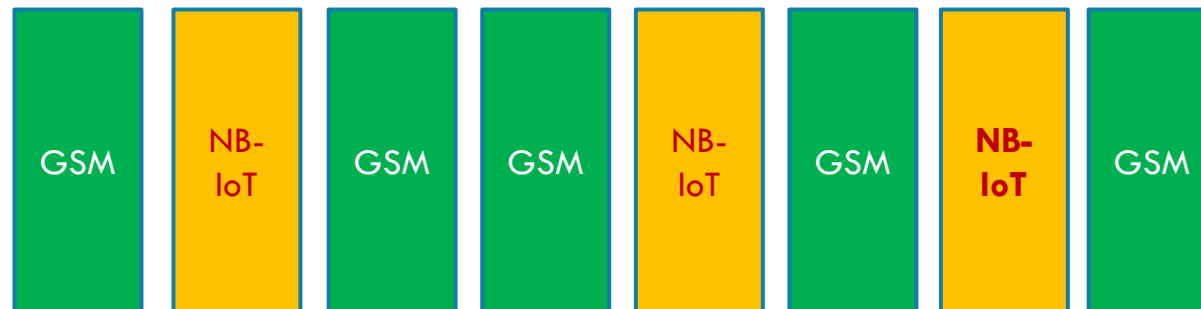
- **Λειτουργία Guard-Band:** Σε αυτήν την περίπτωση, ένα κελί NB-IoT είναι τοποθετημένο μαζί με ένα κελί LTE (π.χ. εξυπηρετούνται από το ίδιο eNB), αλλά το κανάλι NB-IoT τοποθετείται σε μια ζώνη ασφαλείας (**Guard-Band**).
- Σε λειτουργία **Guard-Band**, η κατερχόμενη ζεύξη του NB-IoT μπορεί να **μοιράζεται τον ίδιο ενισχυτή ισχύος με το κανάλι LTE** και έτσι να **μοιράζονται και την εκπεμπόμενη ισχύ.**



Σενάρια εφαρμογής του NB-IoT (3)

49

- **Αυτόνομη λειτουργία (Standalone):** Το NB-IoT μπορεί επίσης να αναπτυχθεί σε **αυτόνομο φάσμα 200 kHz**, για παράδειγμα, επαναχρησιμοποιώντας έναν ή περισσότερους φορείς **GSM**.
- Στην αυτόνομη λειτουργία, όλη η ισχύς μετάδοσης στον σταθμό βάσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το NB-IoT, **αυξάνοντας έτσι την κάλυψη αυτών των κυψελών** σε σχέση με την λειτουργία εντός της ζώνης του LTE.



Μέχρι τώρα Ανάπτυξη

50



- Τον Μάρτιο του 2019 η **GSA (Global Mobile Suppliers Association)** είχε ανακοινώσει ότι:
 - **149** πάροχοι σε **69** χώρες επενδύουν σε μία ή και στις δύο τεχνολογίες **NB-IoT** και **LTE-M**.
 - **102** από αυτούς σε **52** χώρες είχαν αναπτύξει τουλάχιστον μία από τις τεχνολογίες **NB-IoT** ή **LTE-M**
 - **22** χώρες έχουν αναπτύξει και τις δυο τεχνολογίες (**NB-IoT** και **LTE-M**) στα δίκτυα τους.



	eMTC (LTE Cat M1)	NB-IOT	EC-GSM-IoT
Deployment	In-band LTE	In-band & Guard-band LTE, standalone	In-band GSM
Coverage*	155.7 dB	164 dB for standalone, FFS others	164 dB, with 33dBm power class 154 dB, with 23dBm power class
Downlink	OFDMA, 15 KHz tone spacing, Turbo Code, 16 QAM, 1 Rx	OFDMA, 15 KHz tone spacing, 1 Rx	TDMA/FDMA, GMSK and 8PSK (optional), 1 Rx
Uplink	SC-FDMA, 15 KHz tone spacing Turbo code, 16 QAM	Single tone, 15 KHz and 3.75 KHz spacing SC-FDMA, 15 KHz tone spacing, Turbo code	TDMA/FDMA, GMSK and 8PSK (optional)
Bandwidth	1.08 MHz	180 KHz	200kHz per channel. Typical system bandwidth of 2.4MHz [smaller bandwidth down to 600 kHz being studied within Rel-13]
Peak rate (DL/UL)	1 Mbps for DL and UL	DL: ~50 kbps UL: ~50 for multi-tone, ~20 kbps for single tone	For DL and UL (using 4 timeslots): ~70 kbps (GMSK), ~240kbps (8PSK)
Duplexing	FD & HD (type B), FDD & TDD	HD (type B), FDD	HD, FDD
Power saving	PSM, ext. I-DRX, C-DRX	PSM, ext. I-DRX, C-DRX	PSM, ext. I-DRX
Power class	23 dBm, 20 dBm	23 dBm, others TBD	33 dBm, 23 dBm

Αναφορές

1. Ratasuk, Rapeepat, Nitin Mangalvedhe, Zhilan Xiong, Michel Robert, and David Bhatoolaul. "Enhancements of narrowband IoT in 3GPP Rel-14 and Rel-15" In 2017 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN), pp. 60-65. IEEE, 2017.
2. Høglund, Andreas, Xingqin Lin, Olof Liberg, Ali Behravan, Emre A. Yavuz, Martin Van Der Zee, Yutao Sui, Tuomas Tirronen, Antti Ratilainen, and David Eriksson. "Overview of 3GPP release 14 enhanced NB-IoT" *IEEE Network* 31, no. 6 (2017): 16-22.
3. 3GPP TR 45.820, "Cellular System Support for Ultra-Low Complexity and Low Throughput Internet of Things (CIoT)" v. 13.1.0, Nov. 2015; <http://www.3gpp.org>
4. Abbasi, Mahmoud. "NB-IoT Small Cell: A 3GPP Perspective." arXiv preprint arXiv:1910.00677 (2019).
5. Rico-Alvarino, Alberto, Madhavan Vajapeyam, Hao Xu, Xiaofeng Wang, Yufei Blankenship, Johan Bergman, Tuomas Tirronen, and Emre Yavuz. "An overview of 3GPP enhancements on machine to machine communications." *IEEE Communications Magazine* 54, no. 6 (2016): 14-21.
6. Routray, Sudhir K., and K. P. Sharmila. "Green initiatives in IoT." In *2017 Third International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB)*, pp. 454-457. IEEE, 2017.
7. 3GPP TS 36.306, "E-UTRA, UE Radio Access Capabilities (Release 12, v. 12.7.0)," 2015.
8. 3GPP TS 23.682, "Architecture Enhancements to Facilitate Communications with Packet Data Networks and Applications (Release 12, v. 12.4.0)," 2015.
9. 3GPP TS 36.213 version 12.3.0 Release 12, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Physical layer procedures" 2014.
10. <https://gsacom.com/paper/global-narrowband-iot-lte-m-networks-march-2019/>
11. Sami TABBANE, "IoT Standards Part II: 3GPP Standards" Training on PLANNING INTERNET OF THINGS (IoT) NETWORKS 25 – 28 September 2018, Bandung – Indonesia