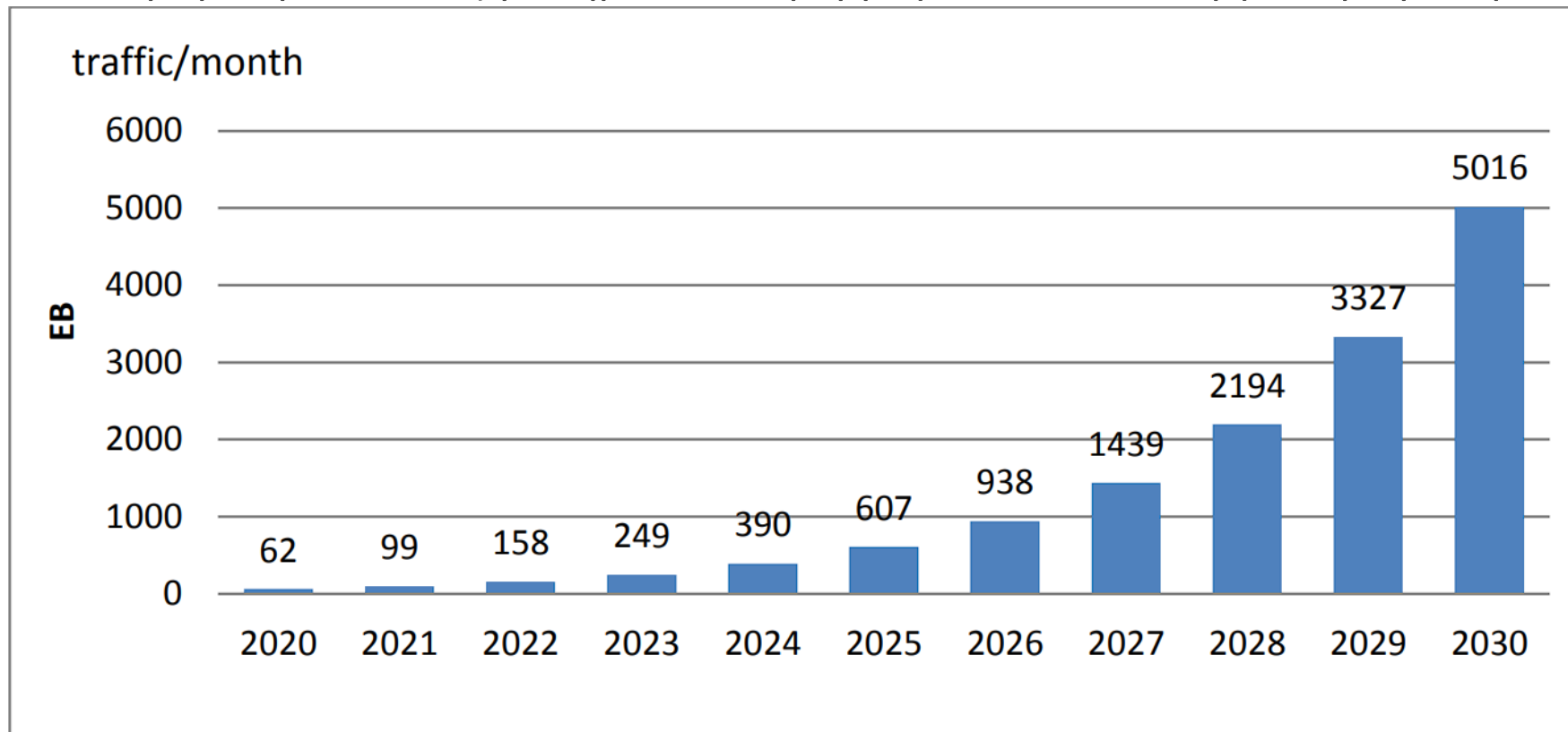


Σύγχρονα Δίκτυα και Διασύνδεση ΔτΠ

Σκουτας Δημητρης
Επίκουρος Καθηγητής
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών &
Επικοινωνιακών Συστημάτων
Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Προκλήσεις της κινητής τηλεφωνίας

- Η εισαγωγή του HSPA και γενικότερα της IP λογικής στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έδωσε ώθηση στην ανάπτυξη υπηρεσιών/εφαρμογών που λειτουργούν με βάση το πρωτόκολλο IP.



Source: Report ITU-R M.2370-0 (07/2015) IMT Traffic Estimates for the Years 2020 to 2030. Available online: <https://www.itu.int/pub/R-REP-M.2370>

Προκλήσεις της κινητής τηλεφωνίας

- Η μετάδοση δεδομένων από κινητές συσκευές σε παγκόσμια κλίμακα **αναμένεται να αυξηθεί περίπου 12 φορές το διάστημα από το 2024 έως το 2030**, περνώντας από τα **390 Exabytes ανά μήνα το 2024** στα **5016 Exabytes ανά μήνα το 2030**.
 - (1 EB=1εκατομμύριο terabytes=1δισεκατομμύριο gigabytes).
- Τα προϋπάρχοντα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (2G) δεν ήταν προσαρμοσμένα για την μετάδοση IP δεδομένων. Αντίθετα ήταν σχεδιασμένα κυρίως ως **δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος (circuit switched - CS)** και **για χαμηλού bitrate υπηρεσίες**.
- Όπως είδαμε στα προηγούμενα, μια πρώτη προσέγγιση στην ασύρματη ευρυζωνική μετάδοση δεδομένων έχουμε με τα δίκτυα 3G ενώ **στα δίκτυα 4G περνάμε καθαρά σε λογική IP (packet switched – PS)**.

Ο Δρόμος προς τα LTE (Long Term Evolution) / LTE-Advanced

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))

Πως προκύπτουν οι προδιαγραφές της 3GPP

Αρχικό στάδιο

- Διατύπωση του γενικού πλαισίου / απαιτήσεων που αφορά μια τεχνική προδιαγραφή

Ενδιάμεσο στάδιο

- Προσδιορισμός της αρχιτεκτονικής και των διαδικασιών

Τελικό στάδιο

- Ανάπτυξη πρωτοκόλλων επικοινωνίας και αντιμετώπιση σφαλμάτων

Πως προκύπτουν οι προδιαγραφές της 3GPP

• **TS** = Technical Specification -
Τεχνικές Προδιαγραφές

• **TR** = Technical Report Τεχνική
Αναφορά (Τεχνικές πληροφορίες)

Αριθμός Προδιαγραφής

Εκδόσεις

3GPP TS 36.211 V12.8.0 (2015-12)
Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA);
Physical channels and modulation (Release 12)

- *Release είναι η ομάδα προδιαγραφών που ανήκει το συγκεκριμένο TS. Ως release θεωρείται η στιγμή που η ανάπτυξη τους “παγώνει” προκειμένου να αποτελέσουν μια νέα σταθερή βάση για τις επόμενες βελτιώσεις.*
- Συνήθως το διάστημα μεταξύ νέων releases προδιαγραφών είναι περίπου ένα με δυο χρόνια.

Long Term Evolution - 3GPP Rel. 8/9

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

Θεώρημα του Shannon και LTE

$$C \approx W \cdot n \cdot \log_2(1+SNR)$$

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

W Εύρος φάσματος

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

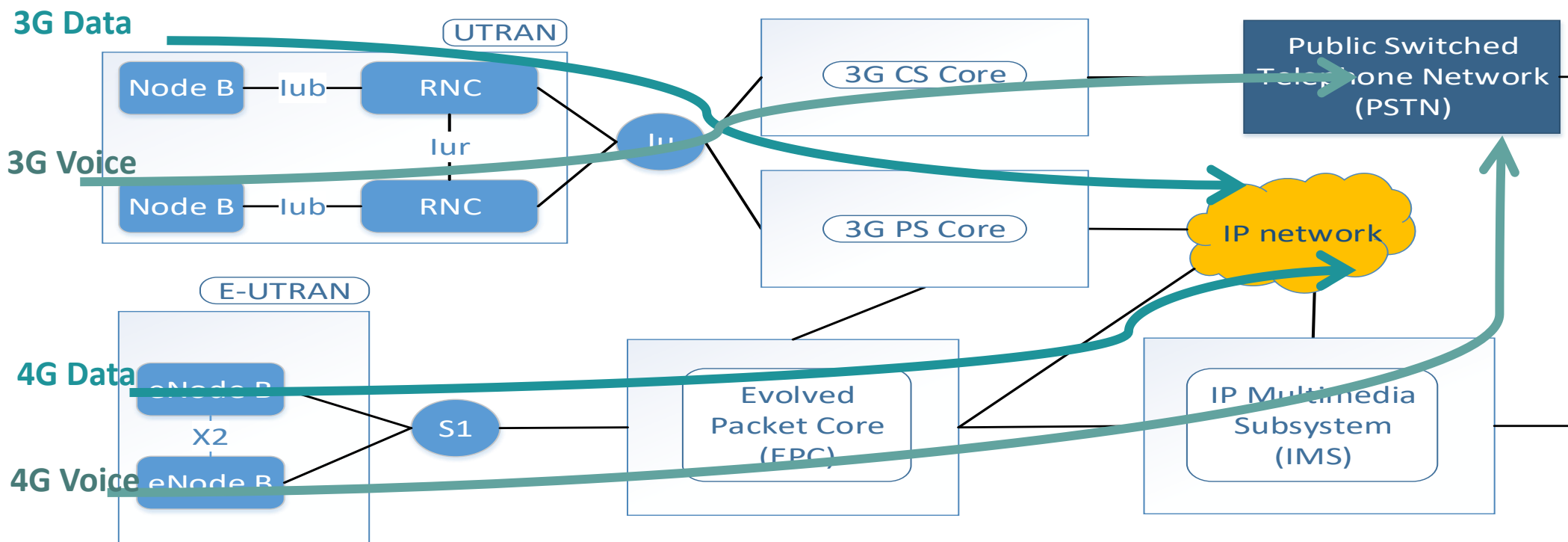
n Αριθμός κεραιών

- 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



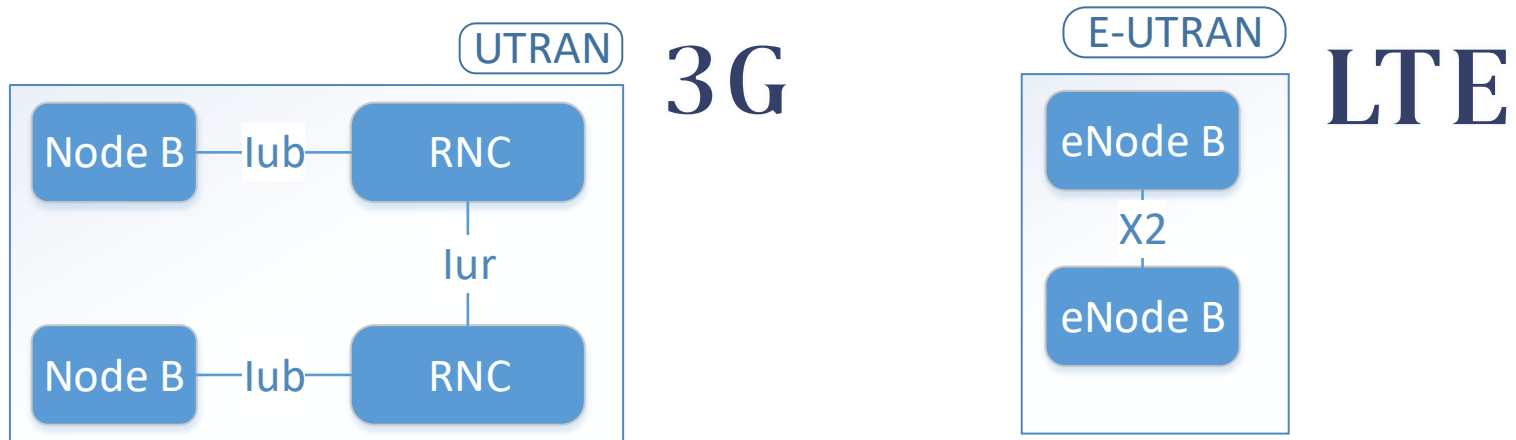
Το δίκτυο LTE όπως περιγράφεται στα πρότυπα της 3GPP(R8), καθορίζει τον τρόπο ασύρματης πρόσβασης των χρηστών στο δίκτυο κορμού, που τώρα βασίζεται αποκλειστικά στη μεταγωγή πακέτου και ονομάζεται Evolved Packet Core (EPC).

Διαφορές στην Αρχιτεκτονική 3G/4G

- Σε αυτό το απλοποιημένο σχήμα βλέπουμε ότι στα δίκτυα 3G, υπάρχουν **δυο ξεχωριστές διαδρομές** για τις εφαρμογές μεταγωγής κυκλώματος και για τις εφαρμογές μεταγωγής πακέτου αντίστοιχα.
- Στα δίκτυα αυτά η **διεύθυνση IP παρέχεται στο κινητό κάθε φορά που χρησιμοποιεί μια εφαρμογή μεταγωγής πακέτου** και μόνο για όσο χρονικό διάστημα την χρειάζεται. Η σταθερή όμως σύνδεση του κινητού με το δίκτυο εξακολουθεί να είναι η σύνδεση μεταγωγής κυκλώματος.
- Αντίθετα στο LTE βλέπουμε την “all IP” προσέγγιση όπου όλες οι εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένου της φωνής, είναι βασισμένες στο πρωτόκολλο IP. *Στα δίκτυα LTE η διεύθυνση IP παρέχεται στο κινητό για όσο χρονικό διάστημα αυτό λειτουργεί.*

Διαφορές στην Αρχιτεκτονική 3G/4G

- Στα δίκτυα **LTE** δεν υπάρχουν τοπικοί ελεγκτές (RNC) αλλά έχουμε απευθείας σύνδεση με το δίκτυο κορμού (EPC), μέσω της διεπαφής S1, χωρίς ιεραρχική δομή.
- Οι λειτουργίες των RNC έχουν περάσει στους εξελιγμένους πλέον NodeB (Evolved Node B – eNodeB) οι οποίοι *συνδέονται μεταξύ τους μέσω της διεπαφής X2*.



Διαφορές στην Αρχιτεκτονική 3G/4G

- Ο λόγος της μεταφοράς των λειτουργιών αυτών στους eNodeB είναι για να επιταχυνθεί ο χρόνος αποκατάστασης μιας σύνδεσης αλλά και για να μειωθεί ο χρόνος που απαιτείται για μια διαπομπή:
 - *απευθείας επικοινωνία μεταξύ των eNodeBs για την υλοποίηση μιας διαπομπής χωρίς ανάγκη επικοινωνίας μέσω του δικτύου κορμού.*
- Ένας επιπλέον λόγος είναι η επιτάχυνση στη λήψη αποφάσεων για την **χρονοδρομολόγηση πακέτων (packet scheduling)**. Η λογική αυτή βασίστηκε και στην εμπειρία που είχε αποκτηθεί από την λειτουργία του HSPA στα δίκτυα 3G.

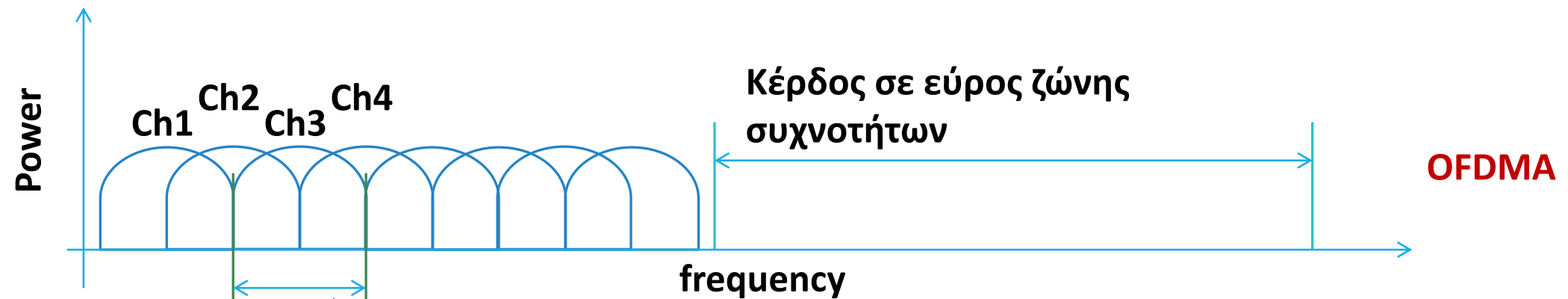
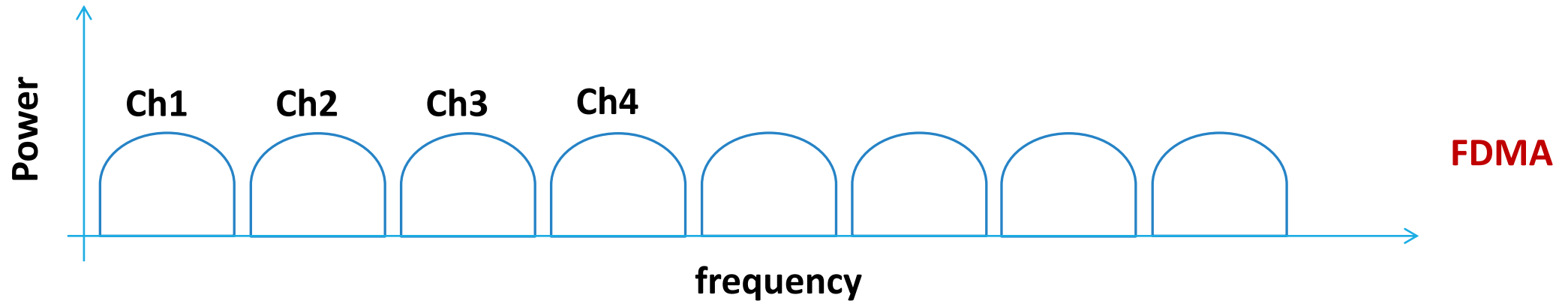
Διαφορές 3G/4G στο φυσικό επίπεδο

- Στα δίκτυα 3G χρησιμοποιούμε **CDMA (Code Division Multiple Access)** για να έχουμε ταυτόχρονη επικοινωνία πολλών χρηστών ταυτόχρονα με τον ίδιο σταθμό βάσης.
- Γίνεται χρήση **ορθογώνιων κωδικών διασποράς (OVSF codes)** για τον διαχωρισμό των διαφορετικών μεταδόσεων.
- Κάθε bit δεδομένων πολλαπλασιάζεται με τον κώδικα διασποράς και έτσι τελικά μεταδίδεται ένας μεγαλύτερος αριθμός από bits (chips) – επιτυγχάνοντας έτσι την διασπορά του σήματος.
- Με τον τρόπο αυτό εκμεταλλευόμαστε το κέρδος επεξεργασίας του CDMA αλλά μεταδίδουμε πολύ περισσότερα bits (chips) από τα πραγματικά bits δεδομένων με αποτέλεσμα την **μείωση της φασματικής απόδοσης**.

Διαφορές 3G/4G στο φυσικό επίπεδο

- Μια σημαντική αλλαγή στα δίκτυα LTE είναι η χρήση *πολύπλεξης OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - Ορθογώνια Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας)*
- η οποία σε συνδυασμό με υψηλού ρυθμού κωδικοποιήσεις (QPSK, 16QAM, 64QAM), μεγάλο εύρος ζώνης (έως 20 MHz) και χωρική πολύπλεξη μας επιτρέπει να επιτύχουμε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.
- Ποιο συγκεκριμένα τα δίκτυα LTE χρησιμοποιούν
 - Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) για την κατερχόμενη ζεύξη και
 - Single Carrier FDMA (SC-FDMA) για την ανερχόμενη ζεύξη.
- Οι ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στα συστήματα LTE είναι **από 1.4 MHz έως 20 MHz** ενώ υποστηρίζονται καταστάσεις λειτουργίας τόσο TDD όσο και FDD.

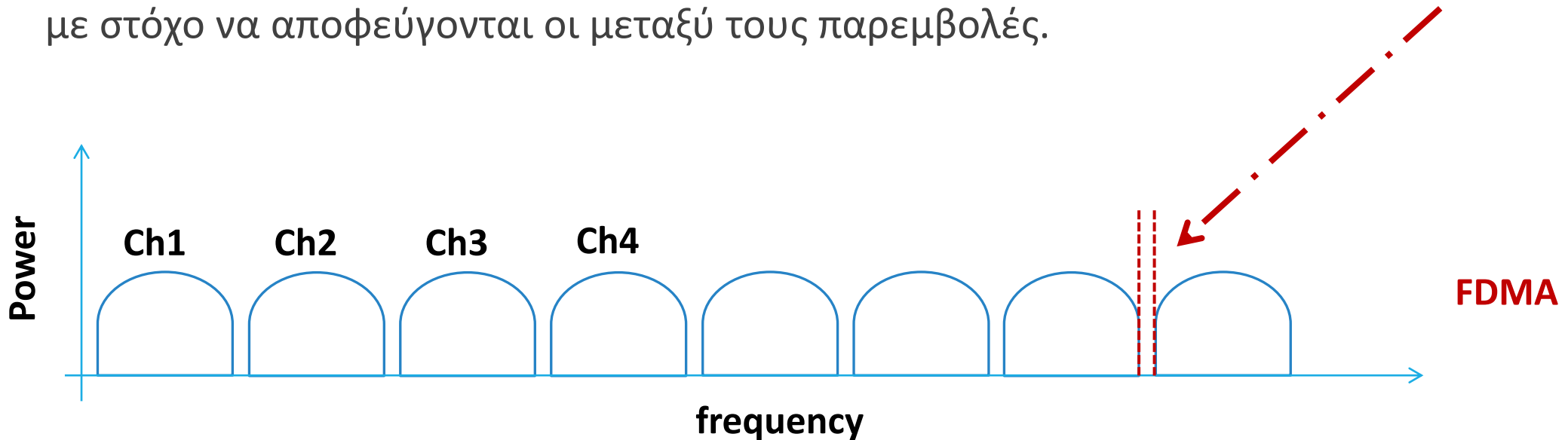
Σύγκριση FDMA και OFDMA



15 KHz Rel.8 ή **7.5 KHz** για MBMS (Multimedia Broadcast/Multicast Services) π.χ. Mobile TV

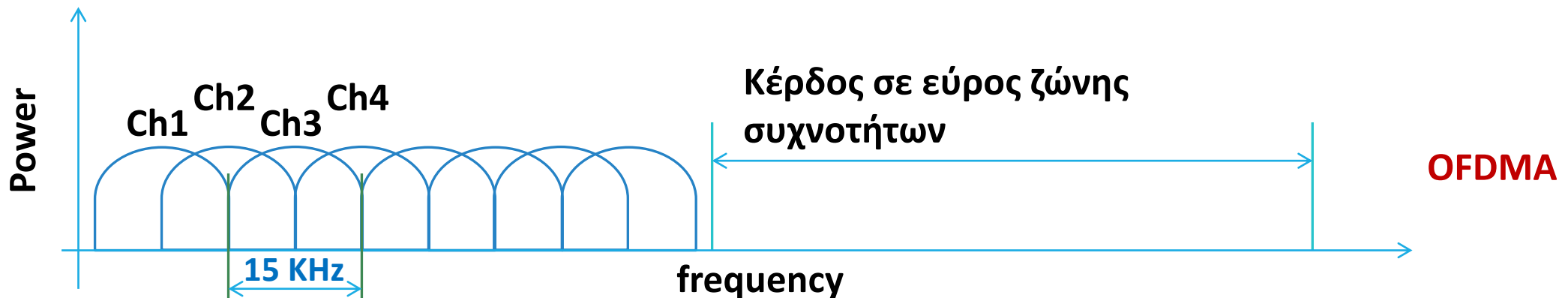
Σύγκριση FDMA και OFDMA

- Όπως φαίνεται στο προηγούμενο σχήμα στα κλασικά συστήματα FDMA οι φορείς είναι μακριά ο ένας από τον άλλο.
- Ανάμεσα στα κανάλια (διαύλους) παρεμβάλλονται κενά διαστήματα (guard bands) με στόχο να αποφεύγονται οι μεταξύ τους παρεμβολές.



Σύγκριση FDMA και OFDMA

- Αντίθετα στα συστήματα OFDMA οι φορείς είναι πυκνά τοποθετημένοι, κοντά ο ένας στον άλλο, μέσα στο διαθέσιμο φάσμα.
- Αυτό είναι δυνατό επειδή οι φορείς είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους, δηλαδή οι φέρουσες συχνότητες έχουν επιλεγεί έτσι ώστε *το μέγιστο ενός φορέα να εμφανίζεται εκεί που ο γειτονικός του φορέας είναι στο σημείο μηδέν. Αυτό είναι και το σημείο δειγματοληψίας του επιθυμητού φορέα.*

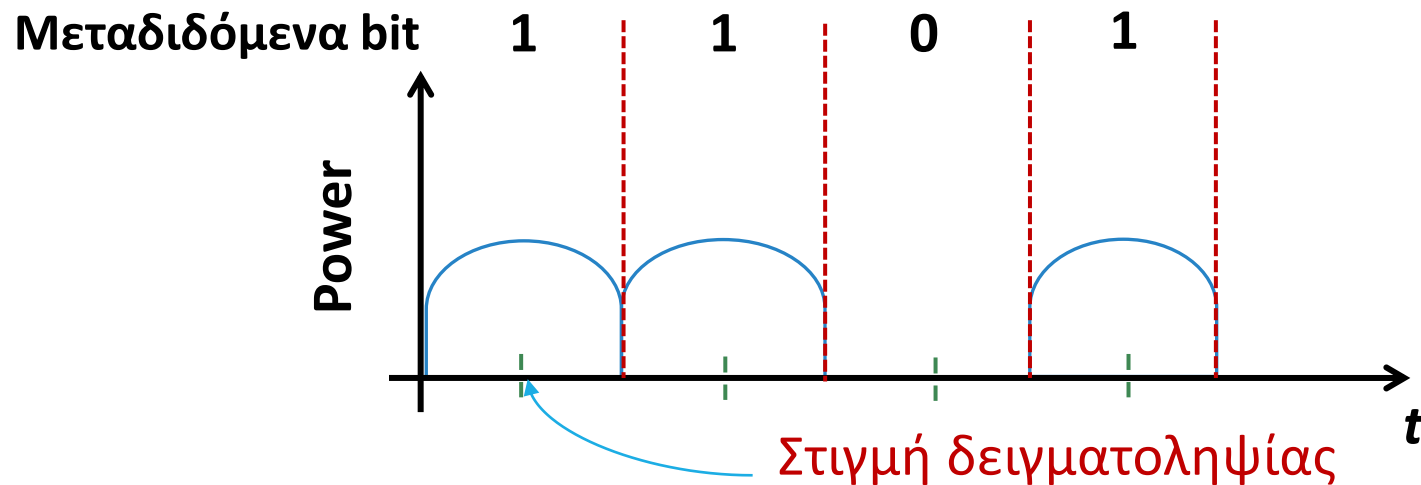


Σύγκριση FDMA και OFDMA

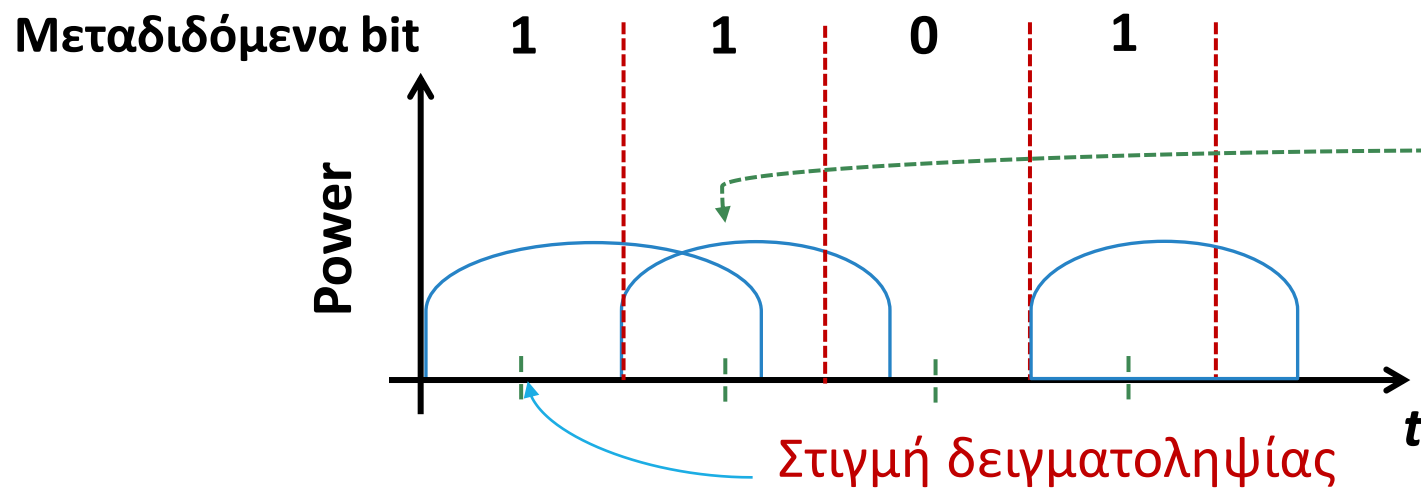
- Επομένως σε ένα OFDMA σύστημα έχουμε **βελτιωμένη φασματική απόδοση με πολύ καλύτερη χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης** σε σύγκριση με ένα τυπικό σύστημα FDMA.

Διασυμβολική παρεμβολή και OFDMA

- Ως αποτέλεσμα της πολυδιαδρομικής διάδοσης μπορεί να προκληθεί **επιμήκυνση της διάρκειας των συμβόλων**.
- Ουσιαστικά η επιμήκυνση προκύπτει από την **υπέρθεση πολλαπλών αντιγράφων του ίδιου συμβόλου** το οποίο φτάνει στον δέκτη μέσα από διαφορετικές διαδρομές και επομένως διαφορετική καθυστέρηση.
- Έτσι οδηγούμαστε στην επικάλυψη διαδοχικών σύμβολων ή αλλιώς **διασυμβολική παρεμβολή (Inter Symbol Interference – ISI)** με αποτέλεσμα να προκαλούνται **σφάλματα στην αποκωδικοποίηση των μεταδιδόμενων συμβόλων**.



Χωρίς διασυμβολική παρεμβολή (ISI)



Με διασυμβολική παρεμβολή (ISI)

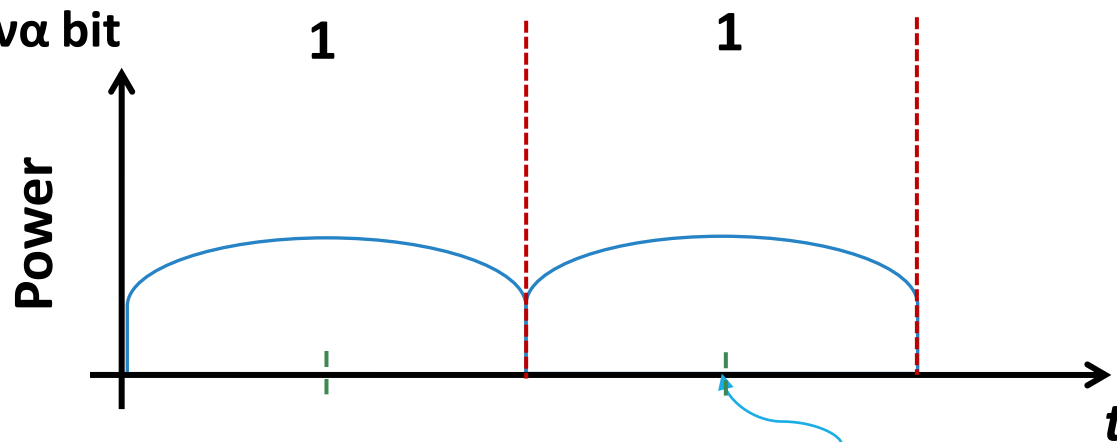
Ένα σύμβολο παρεμβάλλει στο επόμενο εξαιτίας των χρονικά μετατοπισμένων αντιγράφων του σήματος που φτάνουν στο δέκτη

LTE-Downlink (OFDMA)

Διασυμβολική παρεμβολή

- Η **λογική του OFDMA** είναι να σπάσει το πρόβλημα της μιας μετάδοσης με ένα φορέα σε υψηλό ρυθμό σε μια συνδυασμένη μετάδοση από πολλούς υποφορείς (**subcarriers**) όπου ο καθένας έχει στενό φάσμα και υποστηρίζει ένα μικρό σχετικά ρυθμό μετάδοσης.
- Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μεταδίδονται **σύμβολα με μεγάλη περίοδο** κάτι που μειώνει σημαντικά την επίδραση της **διασυμβολικής παρεμβολής (Inter-Symbol Interference – ISI)** που οφείλεται σε καθυστερήσεις λόγω **πολυδιαδρομικής (multipath) διάδοσης**.

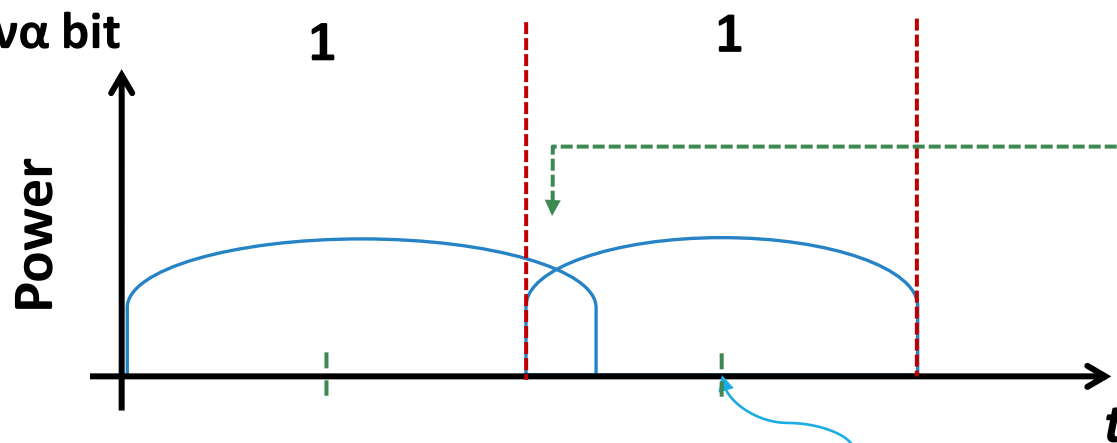
Μεταδιδόμενα bit



Χωρίς διασυμβολική παρεμβολή (ISI)

Στιγμή δειγματοληψίας

Μεταδιδόμενα bit



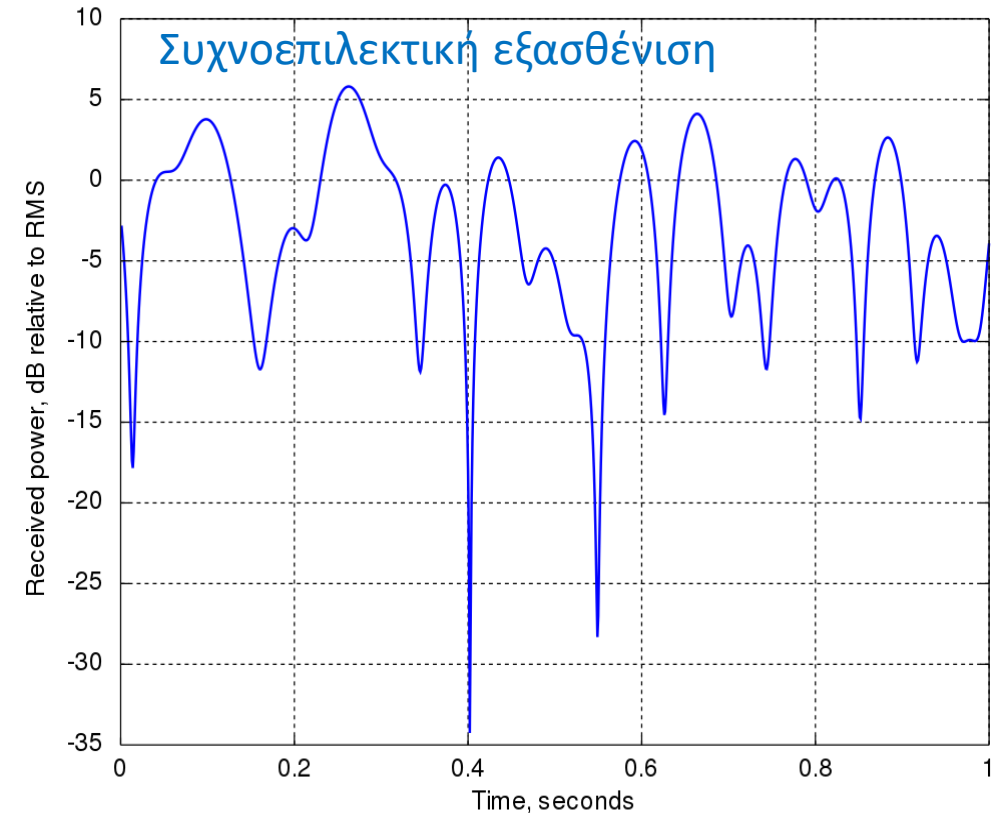
Με διασυμβολική παρεμβολή (ISI)

*Μεγαλώνοντας την περίοδο του
συμβόλου μειώνεται η επίδραση της
διασυμβολικής παρεμβολής*

Στιγμή δειγματοληψίας

LTE-Downlink (OFDMA)- Συχνοεπιλεκτική εξασθένιση

- Όταν μεταδίδουμε σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων (π.χ. 5MHz στα 3G ευρυζωνικά συστήματα) **δεν αντιμετωπίζουν όλες οι συχνότητες την ίδια εξασθένιση (συχνοεπιλεκτική εξασθένιση)** πράγμα που επηρεάζει την ποιότητα λήψης.
- Η δυνατότητα στο OFDMA να ελέγχουμε την ισχύ κάθε υποφορέα ξεχωριστά μας δίνει **μεγάλες δυνατότητες στον έλεγχο της συχνοεπιλεκτικής εξασθένισης (frequency selective fading)** του συνολικού μεταδιδόμενου σήματος.



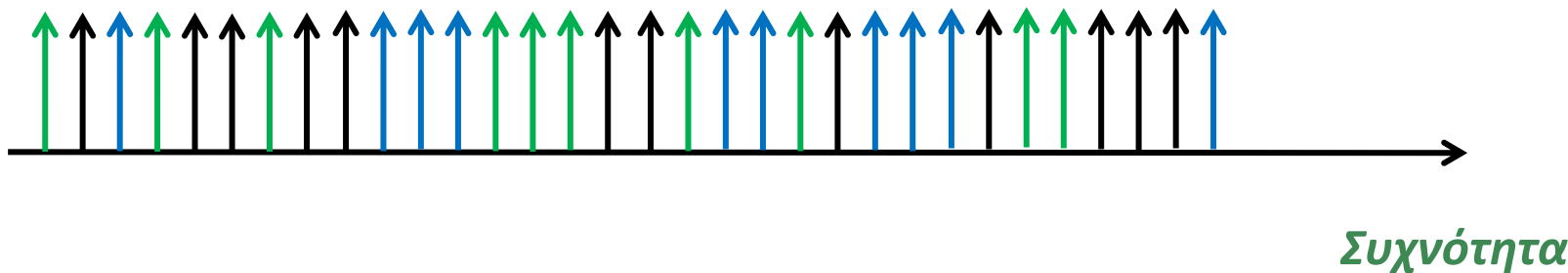
This Photo by Unknown Author is licensed under [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

LTE-Downlink (OFDMA)

- Οι πολλαπλοί (υπο)φορείς του OFDMA συστήματος δεν ανατίθενται αποκλειστικά σε συγκεκριμένους χρήστες αλλά μπορούν να **μοιράζονται δυναμικά** σε όλους τους χρήστες (*μοίρασμα στο πεδίο της συχνότητας αλλά και του χρόνου*).

– Υποφορείς χρήστη 1

– Υποφορείς χρήστη 2



LTE - Uplink (SC-FDMA)

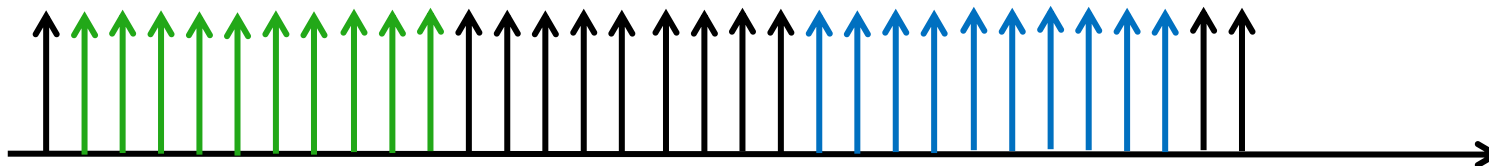
- Πέρα από τα θετικές πλευρές της χρήσης του OFDMA η λύση αυτή
 - οδηγεί σε υψηλό Peak-to-Average Power Ratio (PAPR) και
 - Προϋποθέτει τη χρησιμοποίηση ενισχυτών με υψηλές απαιτήσεις ως προς την γραμμική τους συμπεριφορά, ειδικά σε υψηλά επίπεδα ισχύος και αυτό έχει ως αποτέλεσμα μεγάλο κόστος.
- Επειδή αυτά τα χαρακτηριστικά θα οδηγούσαν στη δημιουργία πολύ ακριβών κινητών συσκευών με μεγάλη κατανάλωση ενέργειας (μπαταρία), στην ανερχόμενη ζεύξη υιοθετήθηκε η λύση του SC-FDMA.

LTE - Uplink (SC-FDMA)

- Το **SC-FDMA** ενώ χρησιμοποιεί και αυτή υποφορείς οι τελευταίοι ομαδοποιούνται και χρησιμοποιούνται για να μεταδώσουν τα δεδομένα του ίδιου χρήστη παράλληλα προσομοιάζοντας έτσι την χρησιμοποίηση ενός μόνο φορέα (SC) και αυτό οδηγεί σε σήματα με χαμηλό PAPR.

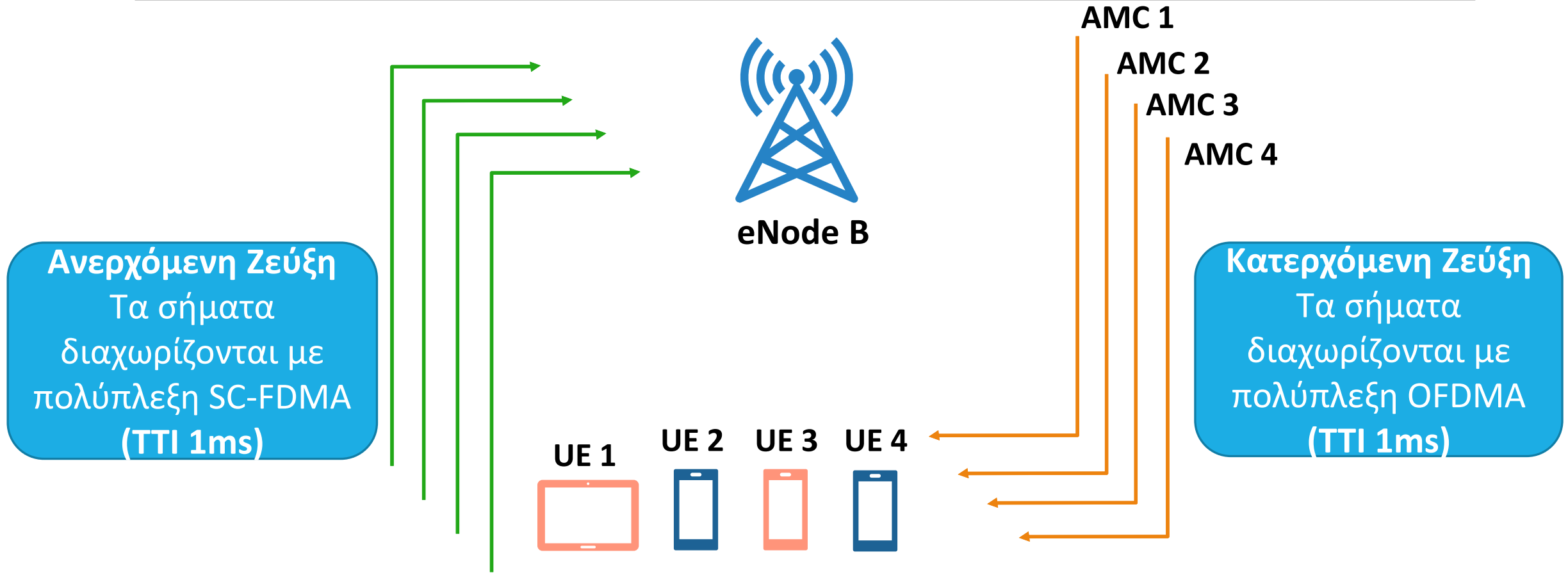
– Υποφορείς χρήστη 1

– Υποφορείς χρήστη 2



Συχνότητα

Επικοινωνία UE – eNode B

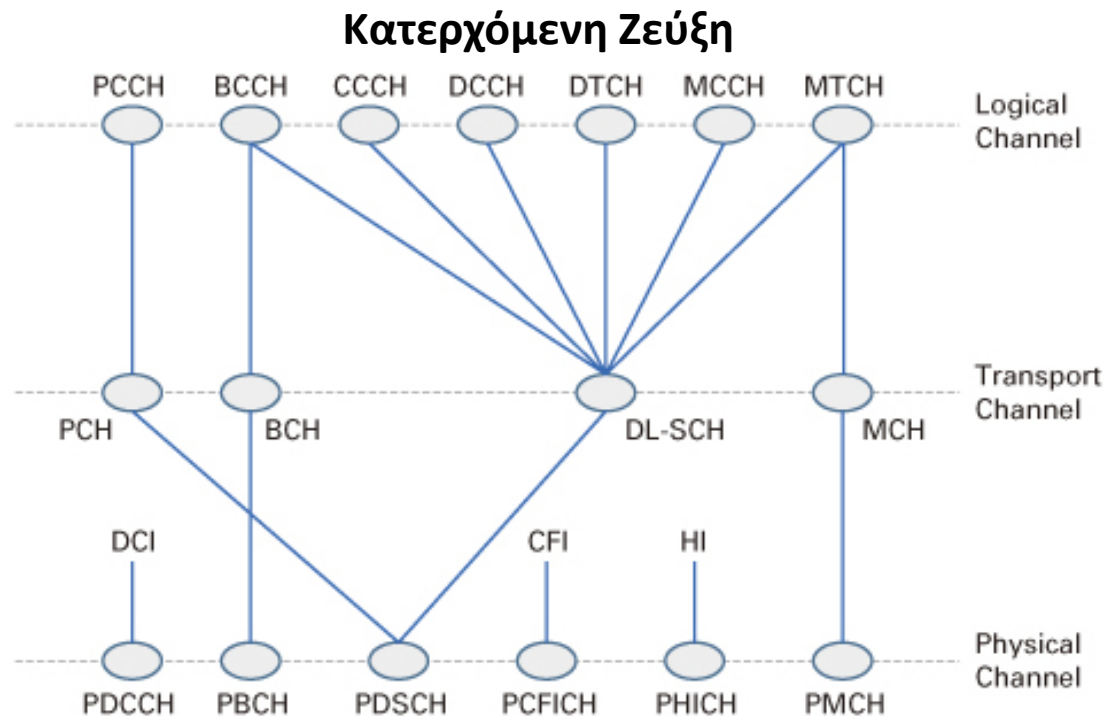


LTE Κανάλια

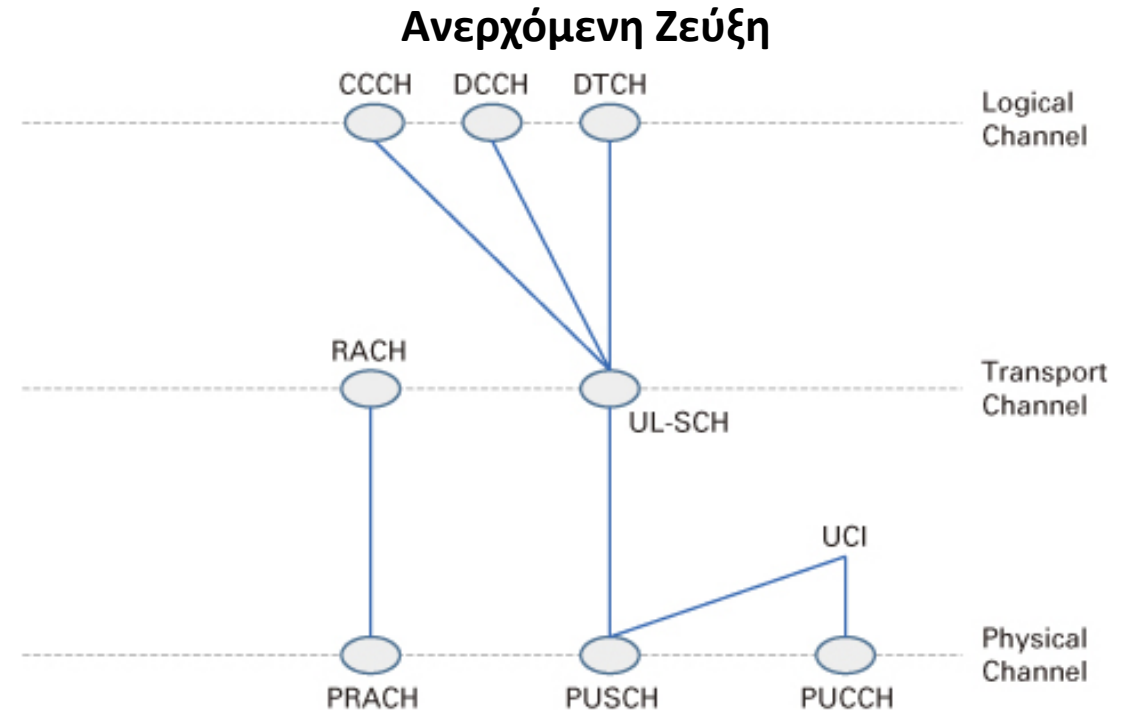
Κανάλια μετάδοσης

- Σε γενικές γραμμές τα κανάλια του LTE χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες που αντιστοιχούν σε **διαφορετικά επίπεδα του δικτυακού σχεδιασμού**:
 - **Λογικά κανάλια**: Διαχωρίζονται με βάση το είδος της προσφερόμενης υπηρεσίας σε επίπεδο MAC.
 - **Κανάλια μεταφοράς**: Τα κανάλια μεταφοράς καθορίζουν ποια χαρακτηριστικά πρέπει να έχει η μεταφορά των δεδομένων στο φυσικό επίπεδο.
 - **Φυσικά κανάλια**: Το κανάλια στο φυσικό επίπεδο στα οποία στέλνονται τα δεδομένα χρήστη ή τα δεδομένα ελέγχου.
- Ουσιαστικά έχουμε αντιστοίχιση από των **Λογικών καναλιών σε Κανάλια μεταφοράς** και στην συνέχεια σε **Φυσικά κανάλια** ακολουθώντας ένα σχεδιασμό σε επίπεδα όπως παρακάτω:

Αντιστοίχιση Καναλιών



<http://www.techplayon.com/wp-content/uploads/2017/08/Chan1.png>



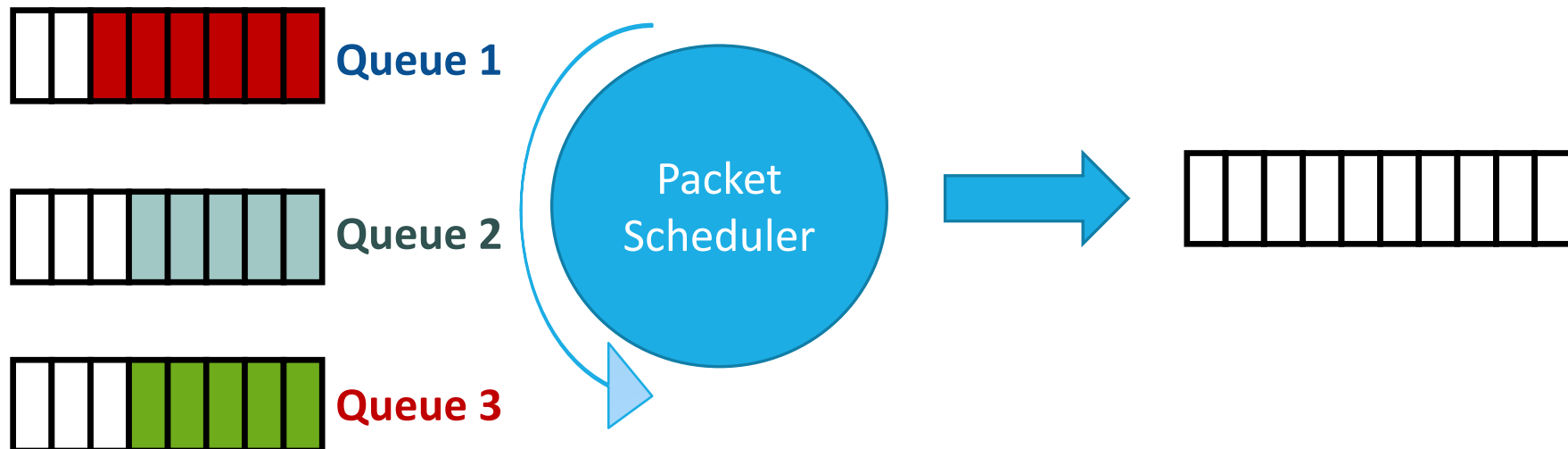
<http://www.techplayon.com/wp-content/uploads/2017/08/chan2.png>

Χρονοδρομολόγηση

PACKET SCHEDULING

Χρονοδρομολόγηση

- Δεδομένου ότι το **Transmission Time Interval (TTI)** έχει οριστεί στο **1 ms** καταλαβαίνουμε ότι οι γρήγορες αποφάσεις του χρονοδρομολογητή είναι απαραίτητες προκειμένου να μπορέσουμε να επιτύχουμε την **αποδοτική** **χρησιμοποίηση των ασύρματων πόρων**.

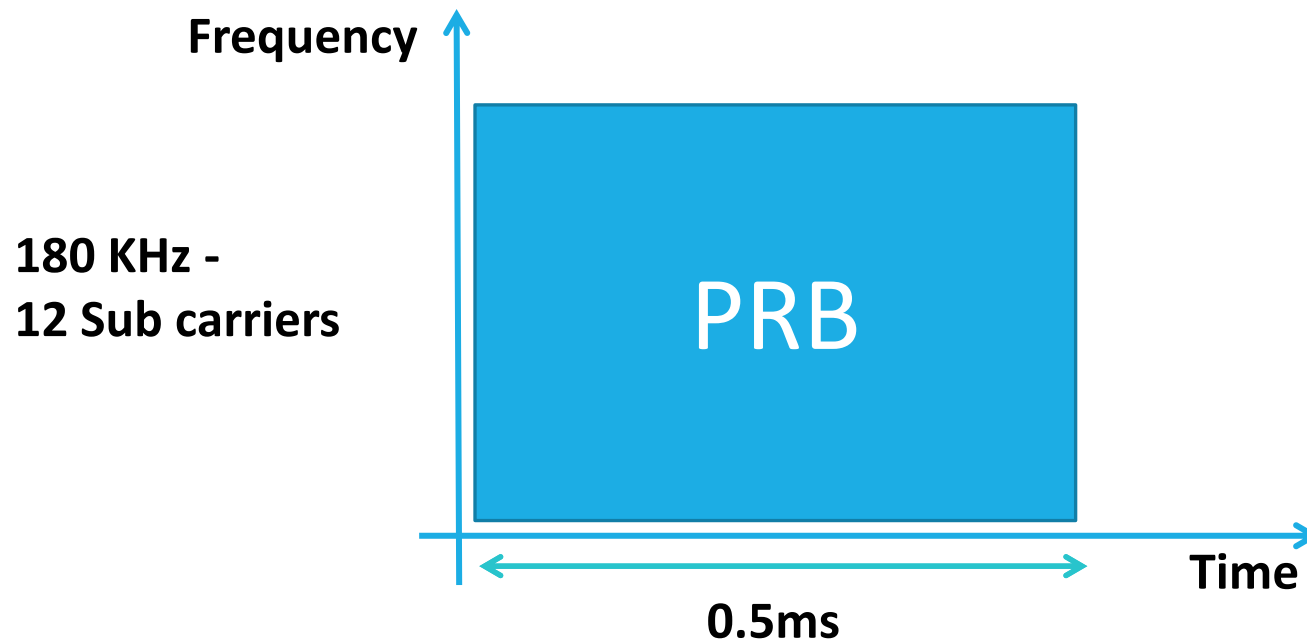


Χρονοδρομολόγηση

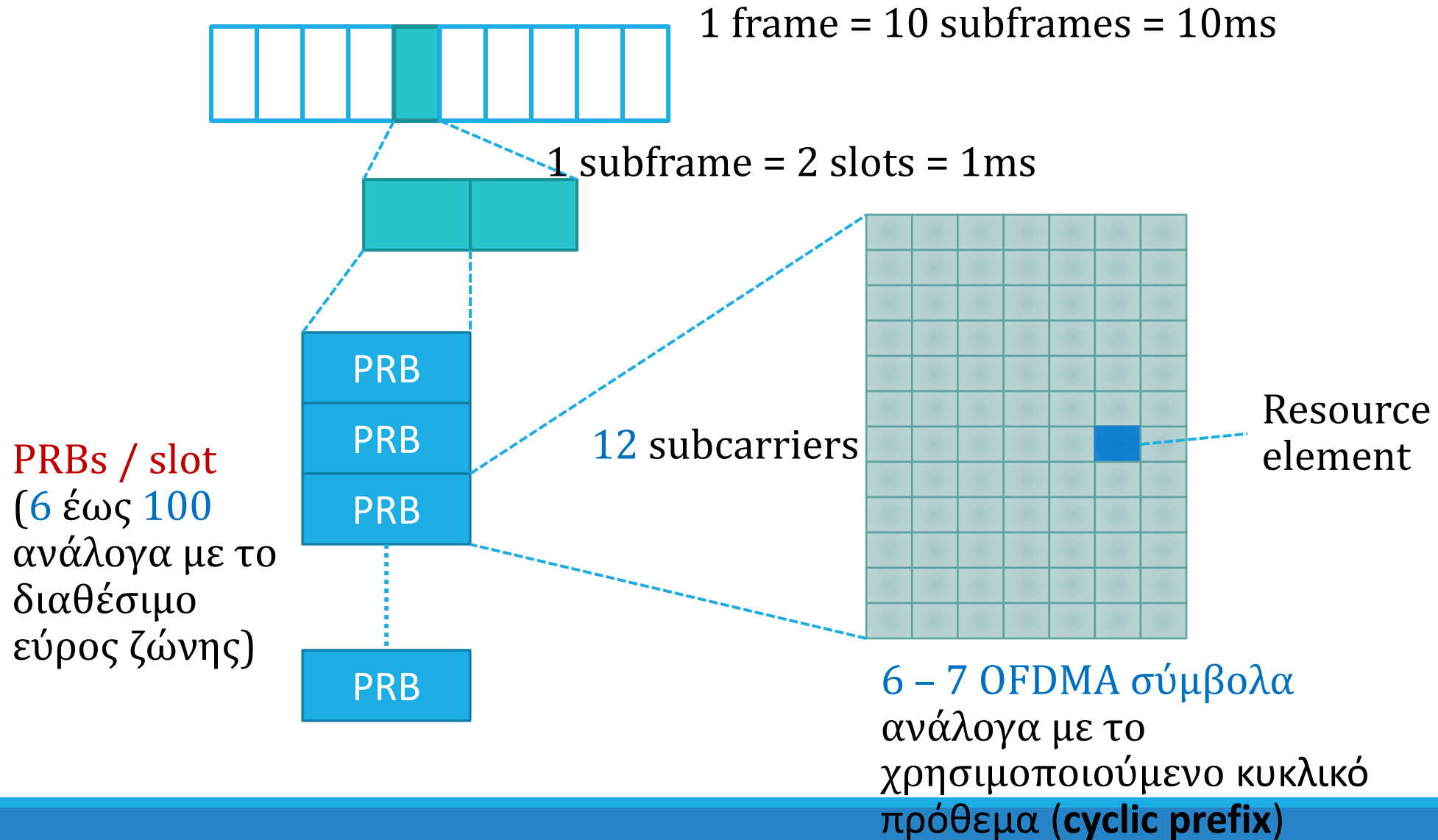
- Σε κάθε TTI ο χρονοδρομολογητής πρέπει:
 - Να βάλει σε μια **σειρά προτεραιότητας** τις απαιτήσεις των χρηστών σε ρυθμό μετάδοσης **με βάση το ζητούμενο QoS** (Real time, Streaming, Interactive, Background services).
 - Να λάβει υπόψη την **αναφορά του UE** για την κατάσταση του ασύρματου καναλιού, έτσι ώστε να μπορέσει να **προσαρμόσει αντίστοιχα την διαμόρφωση και την κωδικοποίηση (Adaptive Modulation and Coding)**.
 - **Να ενημερώσει** τα κινητά για τους πόρους που τους διατίθενται για το επόμενο TTI.

Χρονοδρομολόγηση

- 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**.



Χρονοδρομολόγηση



Χρονοδρομολόγηση

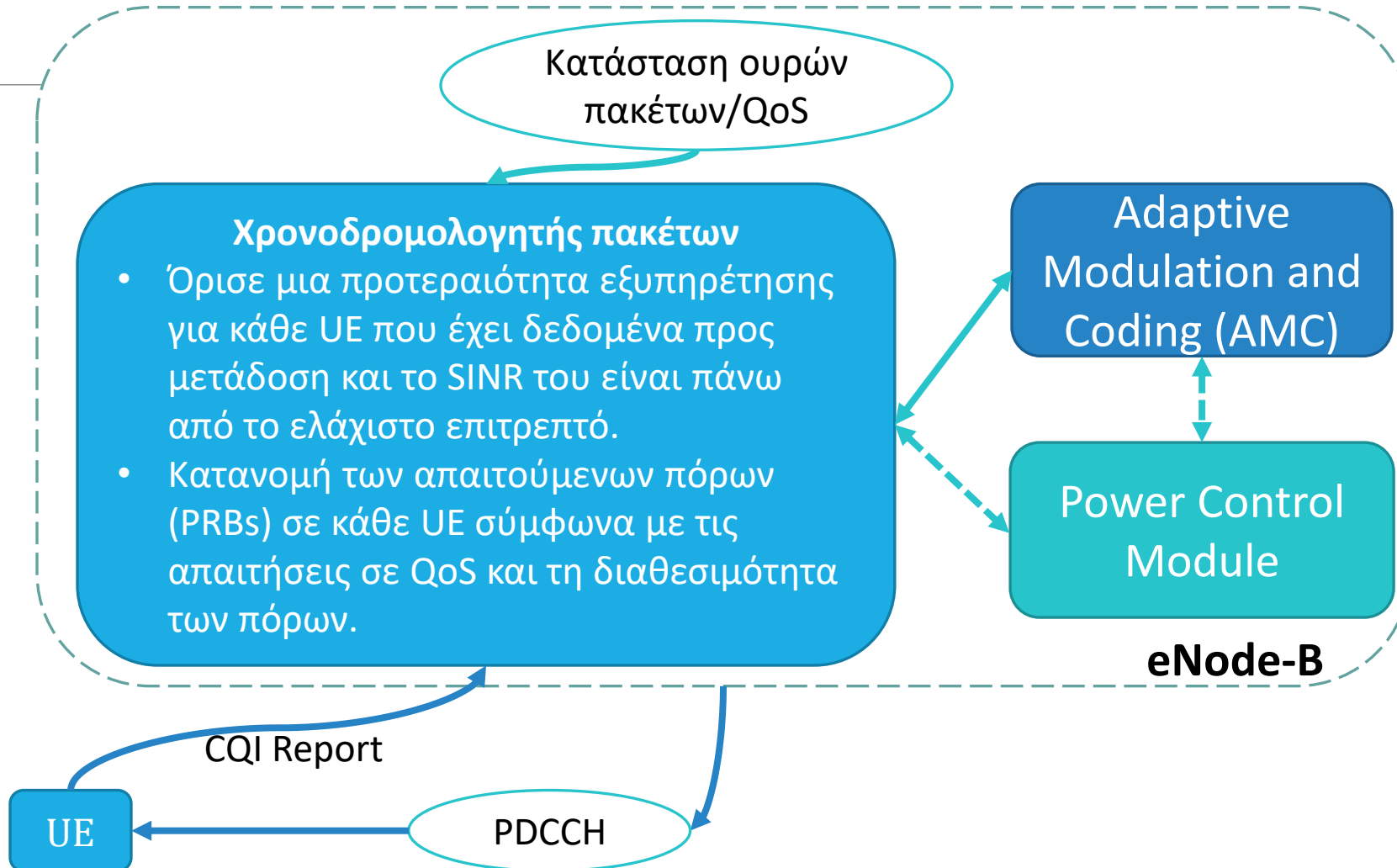
Διαθέσιμο εύρος ζώνης (MHz)	1.4	3	5.0	10.0	15.0	20.0
Εύρος ζώνης υποφορέων (kHz)	15					
Physical resource block (PRB)	180 kHz					
Αριθμός διαθέσιμων PRB ανά slot	6	15	25	50	75	100

- Επομένως σε κάθε **TTI** ο χρονοδρομολογητής μπορεί να αναθέσει **12** έως **200 PRBs** ανάλογα με το διαθέσιμο φάσμα.
- Η minimum ανάθεση σε ένα χρήστη είναι **1 Scheduling Block (SB)=2PRBs**.

Χρονοδρομολόγηση

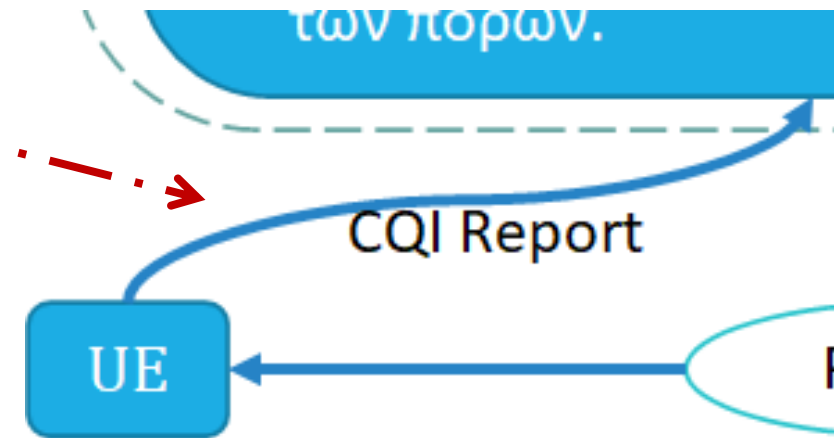
- Σε κάθε PRB έχω 6 ή 7 διαθέσιμα OFDMA σύμβολα ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο κυκλικό πρόθεμα (**cyclic prefix**).
 - Η πρόσθεση ενός προθέματος σε κάθε σύμβολο γίνεται ως ένα επιπλέον μέτρο αντιμετώπισης της διασυμβολικής παρεμβολής.
- Σε κάθε PRB μπορεί να χρησιμοποιηθεί διαφορετική διαμόρφωση ανάλογα με την κατάσταση του καναλιού του χρήστη: QPSK 2 bits ανά σύμβολο, 16QAM 4 bits ανά σύμβολο, 64QAM 6 bits ανά σύμβολο.
- Επομένως 1 PRB μπορεί να αντιστοιχεί σε διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης για διαφορετικούς χρήστες ανάλογα με το **SINR** τους.

Απλοποιημένο μοντέλο χρονοδρομολογητή κατερχόμενης ζεύξης.



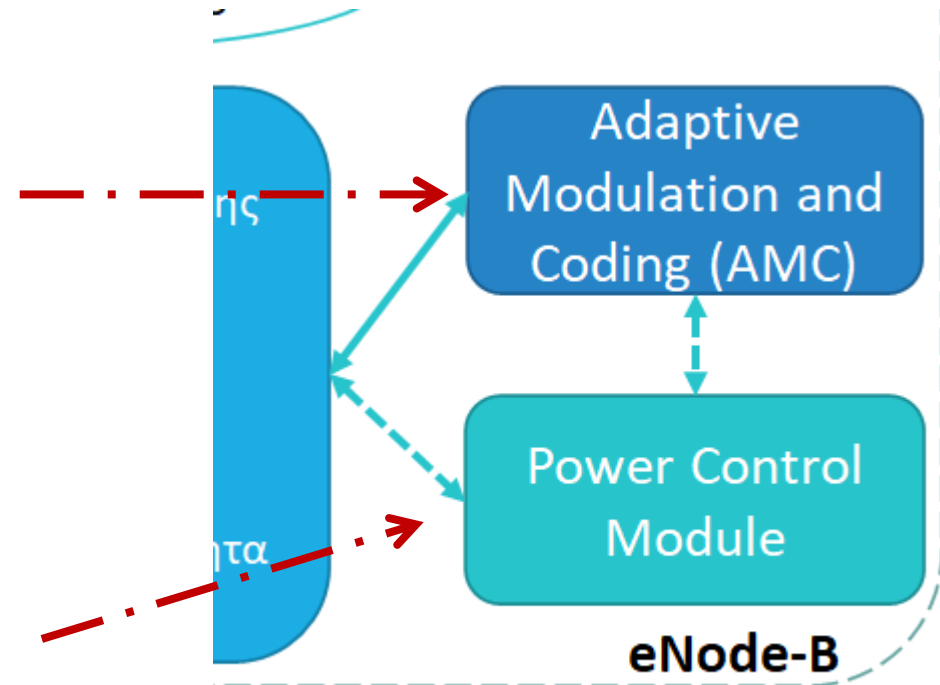
Χρονοδρομολογηση στο LTE

- Ο **χρονοδρομολογητής πακέτων** στο **eNodeB** χρησιμοποιεί τις **αναφορές CQI** για να αποκλείσει συνδέσεις που βρίσκονται σε **outage** ($SINR < \text{ελάχιστο επιτρεπτό για μετάδοση}$).
- Για όλες τις υπόλοιπες συνδέσεις που έχουν δεδομένα προς μετάδοση ορίζεται μια **προτεραιότητα εξυπηρέτησης**.



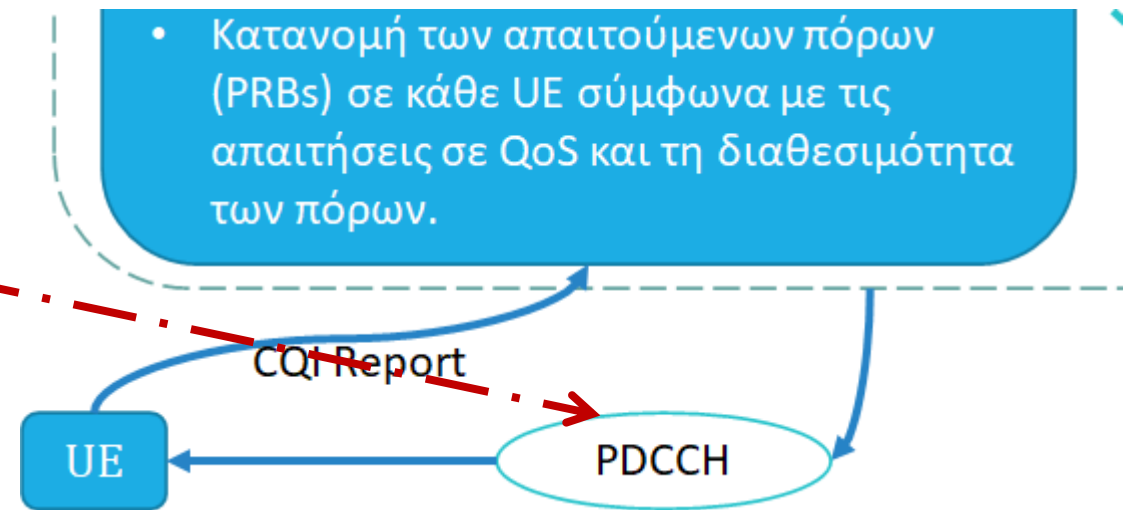
Χρονοδρομολογηση στο LTE

- Στη συνέχεια κατανέμονται οι φυσικοί πόροι (PRBs):
 - Η μονάδα AMC επιλέγει το καλύτερο σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετάδοση δεδομένων.
 - Εδώ μπορούμε να προσθέσουμε πιθανές αλληλεπιδράσεις με την μονάδα ελέγχου ισχύος. (Αυξημένη ισχύς εκπομπής -> καλύτερος ρυθμός μετάδοσης)



Χρονοδρομολογηση στο LTE

- Οι πληροφορίες σχετικά με τα εκχωρημένα PRBs και την κωδικοποίηση αποστέλλονται στα UE μέσω του PDCCH (Physical Downlink Control Channel).
- Τέλος, το UE λαμβάνει τα δεδομένα (για το τρέχον TTI) μέσω του PDSCH (Physical Downlink Shared Channel).



Διαφοροποίηση υπηρεσιών στο LTE με βάση τον QoS Class Identifier (QCI)

QCI	Resource Type	Priority Level	Packet Delay Budget	Packet Error Loss Rate	Example Services
1	GBR	2	100 ms	10^{-2}	Conversational Voice
2	GBR	4	150 ms	10^{-3}	Conversational Video (Live Streaming)
3	GBR	3	50 ms	10^{-3}	Real Time Gaming
4	GBR	5	300 ms	10^{-6}	Non-Conversational Video (Buffered Streaming)

Διαφοροποίηση υπηρεσιών στο LTE με βάση τον QoS Class Identifier (QCI)

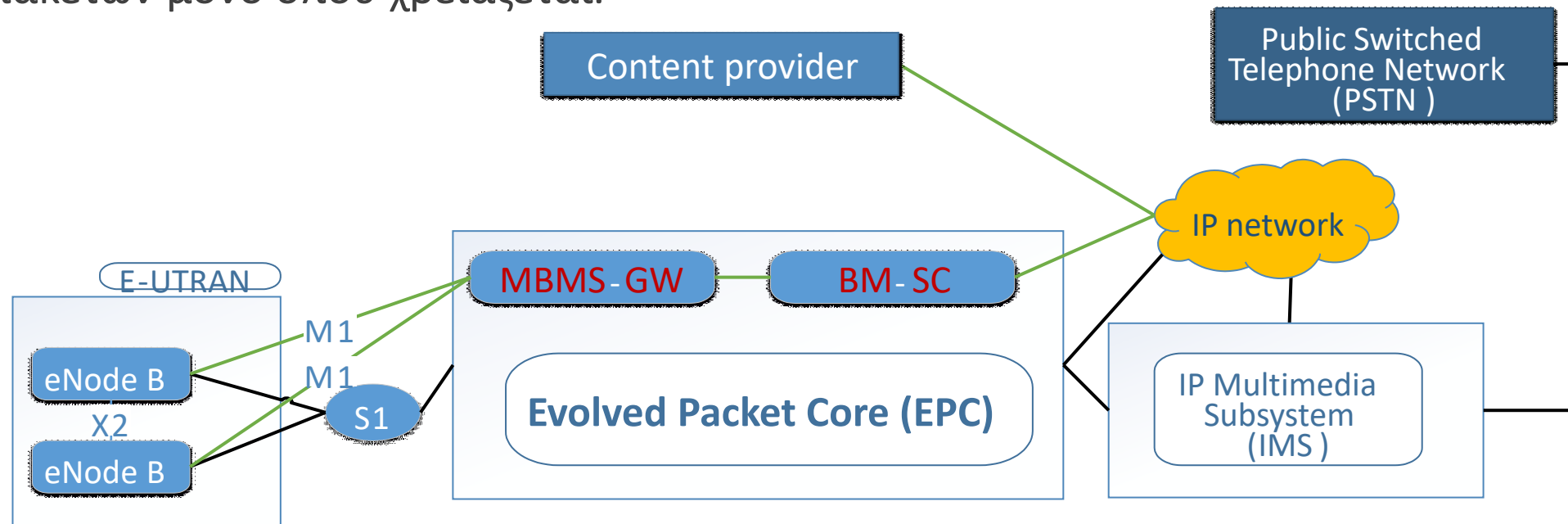
QCI	Resource Type	Priority Level	Packet Delay Budget	Packet Error Loss Rate	Example Services
5	Non-GBR	1	100 ms	10^{-6}	IP Multimedia Subsystem (IMS) Signalling
6	Non-GBR	6	300 ms	10^{-6}	Video (Buffered Streaming) TCP-based (e.g., www, e-mail, chat, ftp)
7	Non-GBR	7	100 ms	10^{-3}	Voice, Video (Live Streaming) Interactive Gaming
8	Non-GBR	8	300 ms	10^{-6}	Video (Buffered Streaming) TCP-based (e.g., www, e-mail, chat, ftp, p2p file
9	Non-GBR	9			e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, etc.)

MBMS και HeNB

- Τέλος, στην R9 προστέθηκαν ακόμα η λειτουργία **Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS)** και η δυνατότητα του **Home eNB (HeNB)**.
- Μέσω της υπηρεσίας MBMS μπορεί να γίνει **εκπομπή πληροφορίας (broadcast)** σε όλους τους χρήστες ή **πολυεκπομπή (multicast)** σε ένα συγκεκριμένο κλειστό group χρηστών.
 - Έτσι μπορούν να μεταδοθούν για παράδειγμα διαφημίσεις ή τηλεοπτικό/ραδιοφωνικό σήμα.
- Τα **δυο βασικά στοιχεία** που προστίθενται στο LTE δίκτυο για να υλοποιήσουν την MBMS είναι το **Broadcast Multicast Service Center (BM-SC)** και η **MBMS-GW**.

Multimedia Broadcast Multicast Service

- Το **BM-SC** παραλαμβάνει τα προς μετάδοση δεδομένα. Δίνει την δυνατότητα για **unicast επαναμεταδόσεις δεδομένων** που δεν έχουν ληφθεί σωστά και λαμβάνει αναφορές **QoE (Quality of Experience)** από τους χρήστες.
- Η **MBMS-GW** προωθεί, μέσω της διεπαφής **M1**, τις ροές δεδομένων στους **eNBs** χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο **IP-multicast** έτσι ώστε να γίνεται αντιγραφή των πακέτων μόνο όπου χρειάζεται.



Home eNB (HeNB)

- Η εισαγωγή των **HeNBs** έγινε για να βελτιωθεί η κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους και προορίζεται για χρήση σε **μικρές κυψέλες (femtocells)**.
- Εγκαθίστανται οπουδήποτε από τον χρήστη χωρίς να αποτελούν μέρος της σχεδίασης του δικτύου και έχουν **απευθείας σύνδεση με τον EPC μέσω του Διαδικτύου**.

