

# Σύγχρονα Δίκτυα και Διασύνδεση ΔτΠ

---

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

# Εξέλιξη Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας

**Δίκτυα 1G**, Μετάδοση αναλογικού σήματος φωνής

**Δίκτυα 2G**, Ψηφιακή μετάδοση φωνής και απλών δεδομένων, (<0.5 Mbps, Global System for Mobile Communications (GSM)/General Packet Radio Service (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+)

# Τρίτη Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας

---

- **Νέες υπηρεσίες και νέες απαιτήσεις**

- Η τηλεφωνική συνδιάλεξη συνυπάρχει με τη δυνατότητα πρόσβασης στο διαδίκτυο ή με τη δυνατότητα τηλεδιάσκεψης με μετάδοση εικόνας, ήχου και δεδομένων. Είναι γεγονός ότι τέτοιες εφαρμογές απαιτούν:

- Μέγιστη αξιοποίηση της διαθέσιμης χωρητικότητας
- Διαφοροποίηση ποιότητας εξυπηρέτησης (QoS)

- **Ασύμμετρη Φόρτιση**

- Ιδιαίτερα εφαρμογές που προέρχονται από το διαδίκτυο εισάγουν επιπλέον το στοιχείο τις ασύμμετρης φόρτισης του συστήματος με περισσότερο φορτίο στην κατερχόμενη ζεύξη (σταθμός βάσης - κινητό) από ότι στην ανερχόμενη ζεύξη (κινητό - σταθμός βάσης).

- **Αποτελεσματική Διαχείριση πόρων**

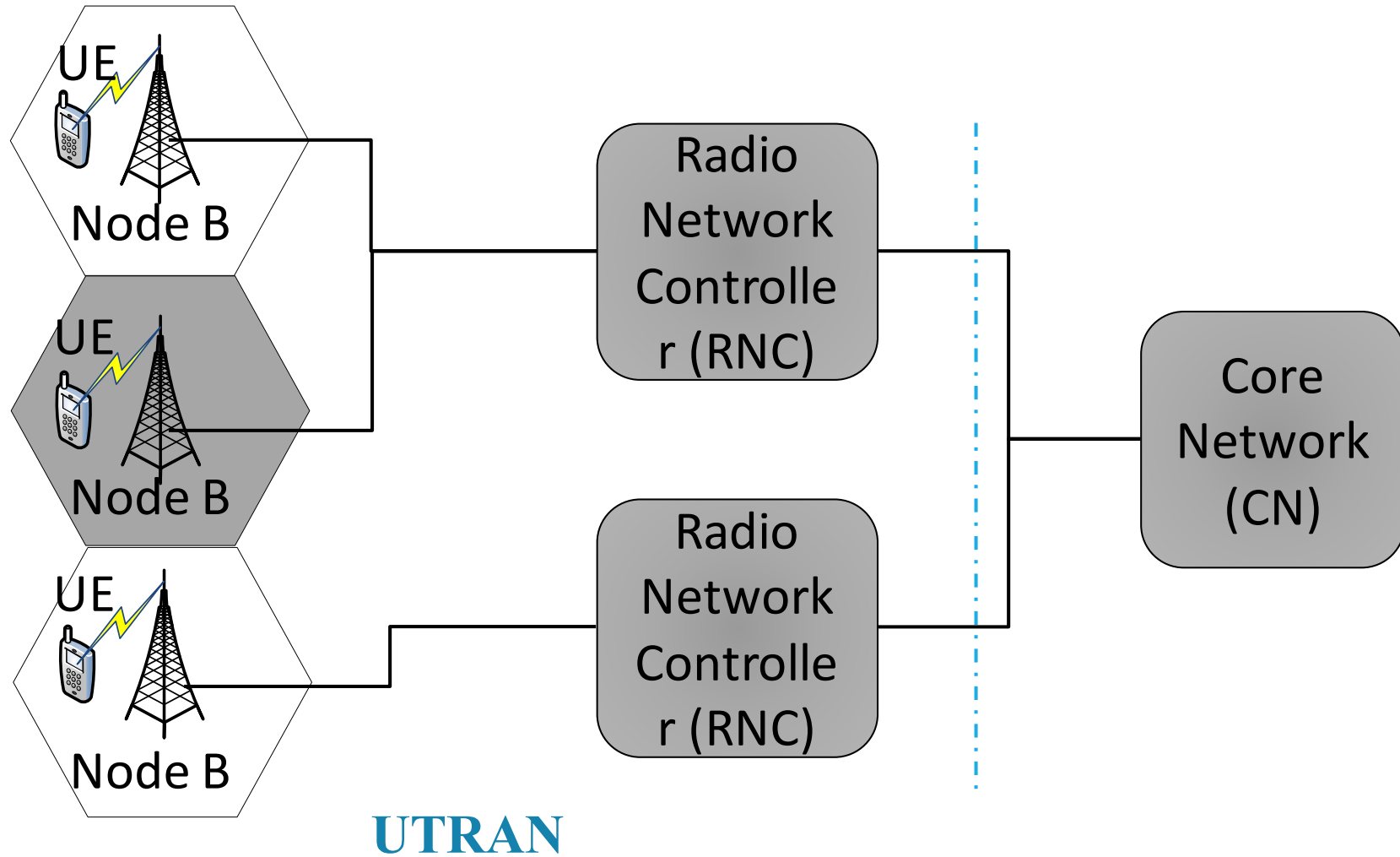
- Επομένως είναι σημαντική η αποτελεσματική διαχείριση των διαθέσιμων πόρων.

# UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access)

---

- **UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)**
  - Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (ETSI) πρότεινε το UMTS ως πρότυπο για τα συστήματα τρίτης γενιάς. Στο UMTS περιλαμβάνονται επίγεια και δορυφορικά συστήματα.
  - Τα τρία βασικά μέρη του επίγειου δικτύου είναι:
    - Το **βασικό δίκτυο κορμού (Core Network - CN)**,
      - περιλαμβάνει το σύνολο των λειτουργιών κεντρικής διαχείρισης του δικτύου (διαχείριση συνδρομητών, προσφερόμενων υπηρεσιών, κινητικότητας κ.τ.λ.) καθώς και τις αντίστοιχες βάσεις δεδομένων.

# Αρχιτεκτονική του UMTS



# Αρχιτεκτονική του UMTS

---

- Το **Δίκτυο Επίγειας Ασύρματης Πρόσβασης** (**UTRAN - UMTS Terrestrial Radio Access Network**) το οποίο συνδέει τους χρήστες με το δίκτυο κορμού
- και
- η πλευρά του **εξοπλισμού που ανήκει στους χρήστες** (**UE - User Equipment**).
- Το UTRAN αποτελείται από τους σταθμούς βάσης οι οποίοι αναφέρονται ως **Node-B** και οι οποίοι συνδέονται σε μονάδες ελέγχου (**Radio Network Controller - RNC**)

# 3G - Φάσμα συχνοτήτων στην Ευρώπη

Unpaired  
Spectrum

1900 -  
1920 MHz

Uplink  
1920 - 1980 MHz

Unpaired  
Spectrum

2010 -  
2025 MHz

Downlink  
2110- 2170 MHz

Paired Spectrum

- Το UTRA περιλαμβάνει τις εξής δύο καταστάσεις λειτουργίας:
  - **UTRAN FDD**: η ανερχόμενη και κατερχόμενη ζεύξη χρησιμοποιούν δυο διαφορετικές περιοχές του διαθέσιμου εύρους ζώνης (**Frequency Division Duplex - FDD**)
  - **UTRAN TDD**: χρησιμοποιείται μια ζώνη του φάσματος με πολύπλεξη στο πεδίο του χρόνου (**Time Division Duplex-TDD**)

# 3G - Φάσμα συχνοτήτων στην Ευρώπη

---

- Η αδειοδότηση των εταιριών κινητής τηλεφωνίας για την χρήση του διαθέσιμου φάσματος **δίνεται για πολλαπλάσια των 5 MHz.**
- Π.χ. **2x15 MHz paired spectrum (FDD)** ή **2x10 MHz paired spectrum συν 5 MHz unpaired spectrum (FDD + TDD)**



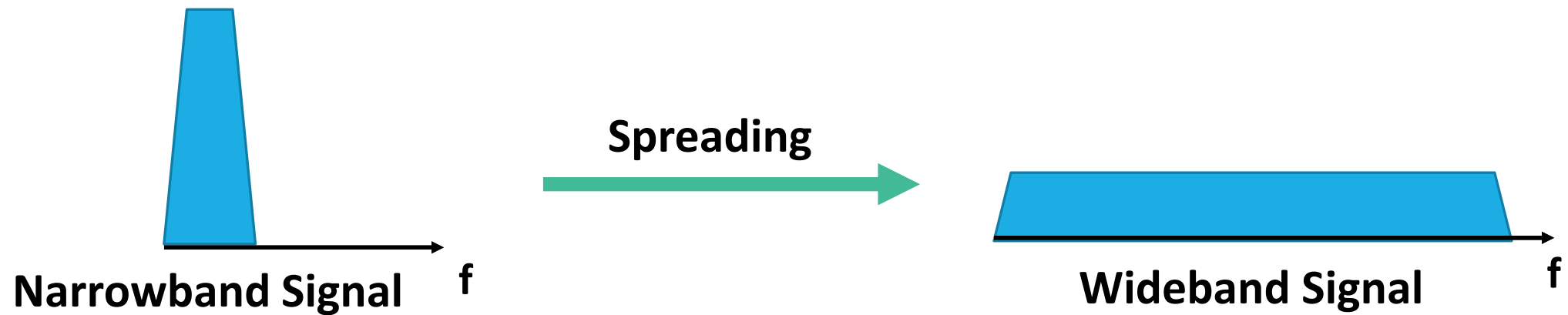
# Wideband DS - CDMA

---

- Η **πολύπλεξη των χρηστών** σε κάθε μια από τις ζεύξεις (ανοδική ή καθοδική) γίνεται με διασπορά του φάσματος του μεταδιδόμενου σήματος χρησιμοποιώντας **DS-CDMA (Direct Spread-Code Division Multiple Access)**.
- Κάθε bit του σήματος του χρήστη **πολλαπλασιάζεται με μια ψευδό τυχαία ακολουθία** διαφορετική για κάθε χρήστη (μετατροπή σε chips) .
- *Το αποτέλεσμα είναι η διασπορά του φάσματος του σήματος σε ολόκληρη την περιοχή του διαθέσιμου εύρους ζώνης.*

# Διασπορά του φάσματος

---

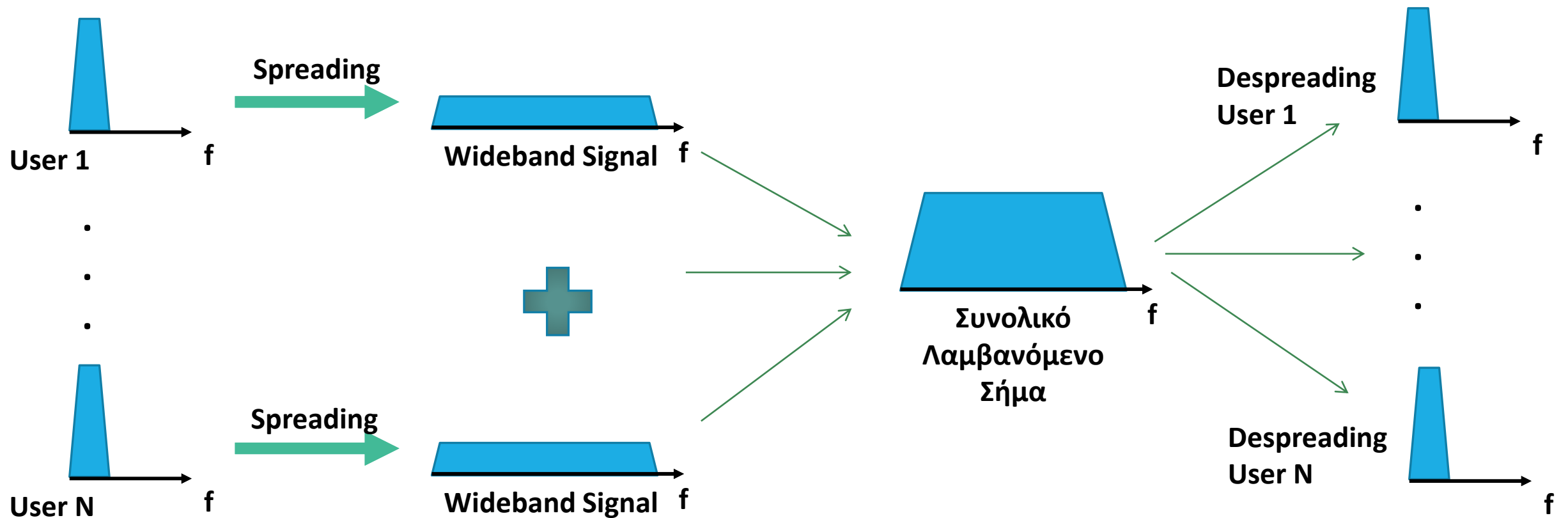


# Wideband DS - CDMA

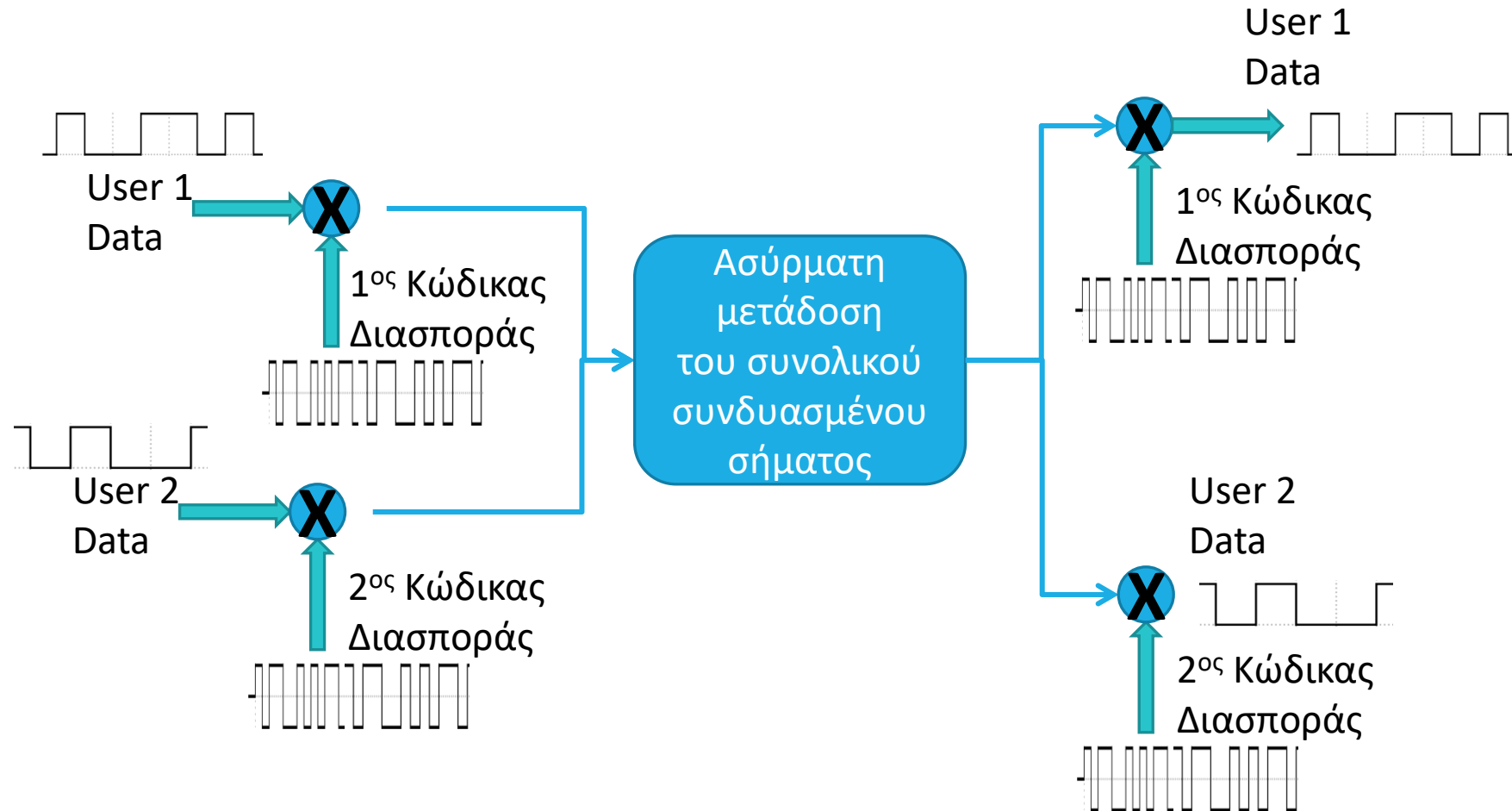
---

- Παράγοντας διασποράς (Spreading Factor - SF) ονομάζεται το μήκος της ψευδώς τυχαίας ακολουθίας.
- Τα σήματα όλων των χρηστών μεταδίδονται ταυτόχρονα με αποτέλεσμα κάθε δέκτης να λαμβάνει όχι μόνο το δικό του σήμα αλλά και όλα τα υπόλοιπα μεταδιδόμενα σήματα.
- Ο διαχωρισμός τους στο δέκτη γίνεται πολλαπλασιάζοντας με την αρχική, συγχρονισμένη, ψευδώς τυχαία ακολουθία η οποία χρησιμοποιήθηκε για την διασπορά τους.
- Η χρησιμοποίηση ορθογώνιων κωδικών έχει ως αποτέλεσμα να μηδενίζονται τα σήματα των υπόλοιπων χρηστών και να μένει μόνο το σήμα που προορίζεται για τον συγκεκριμένο χρήστη.

# Wideband DS - CDMA



# Wideband DS - CDMA



# Παράδειγμα CDMA

- Θεωρώ τρεις χρήστες **User1**, **User2**, **User3**, με δεδομένα και κώδικες διασποράς αντίστοιχα :

	Data	Spreading (Channelization) Code
<b>User 1</b>	01	0000
<b>User 2</b>	10	0011
<b>User 3</b>	11	0101

- Δείξτε την διαδικασία **α)** της διασποράς των σημάτων, **β)** της δημιουργίας του συνδιασμένου σήματος προς μετάδοση, **γ)** καθώς και την αναδημιουργία των αρχικών σημάτων στον δέκτη.

User 1	0000	1111
Spreading code	0000	0000
XOR	0000	1111

**User 1 Spread signal with 8 bits (chips): 00001111**

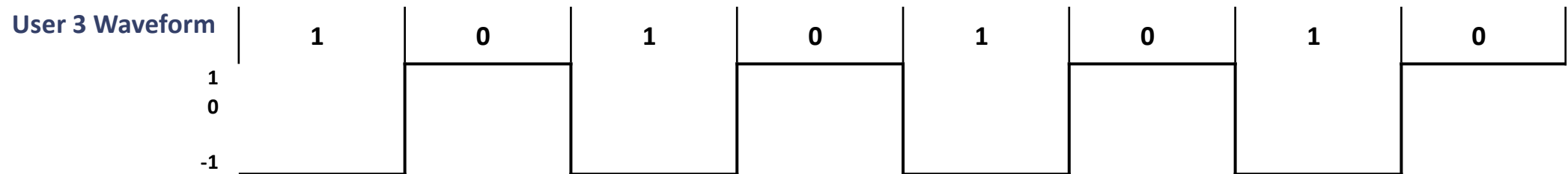
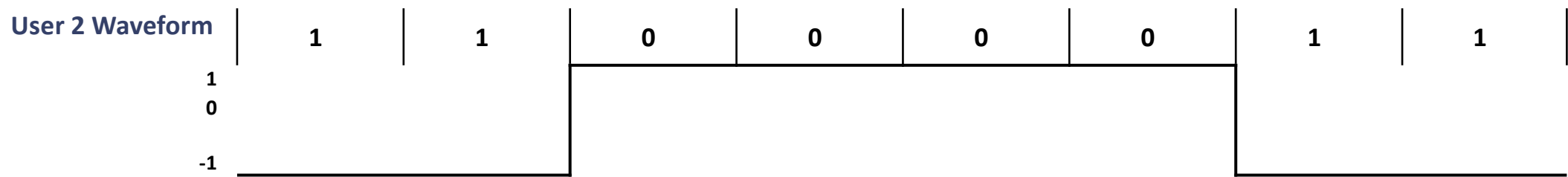
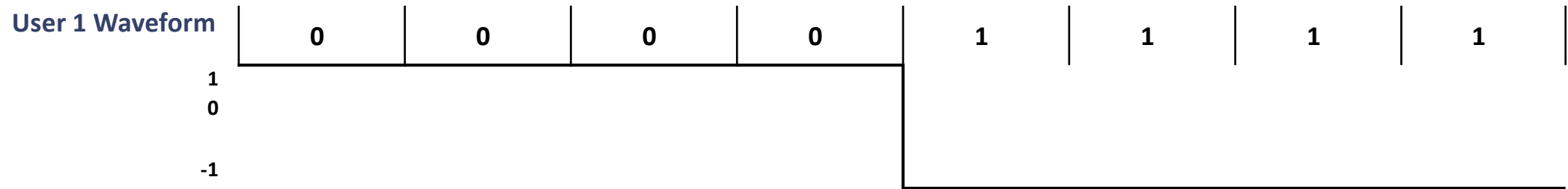
User 2	1111	0000
Spreading code	0011	0011
XOR	1100	0011

**User 2 Spread signal with 8 bits (chips): 11000011**

User 3	1111	1111
Spreading code	0101	0101
XOR	1010	1010

**User 3 Spread signal with 8 bits (chips): 10101010**

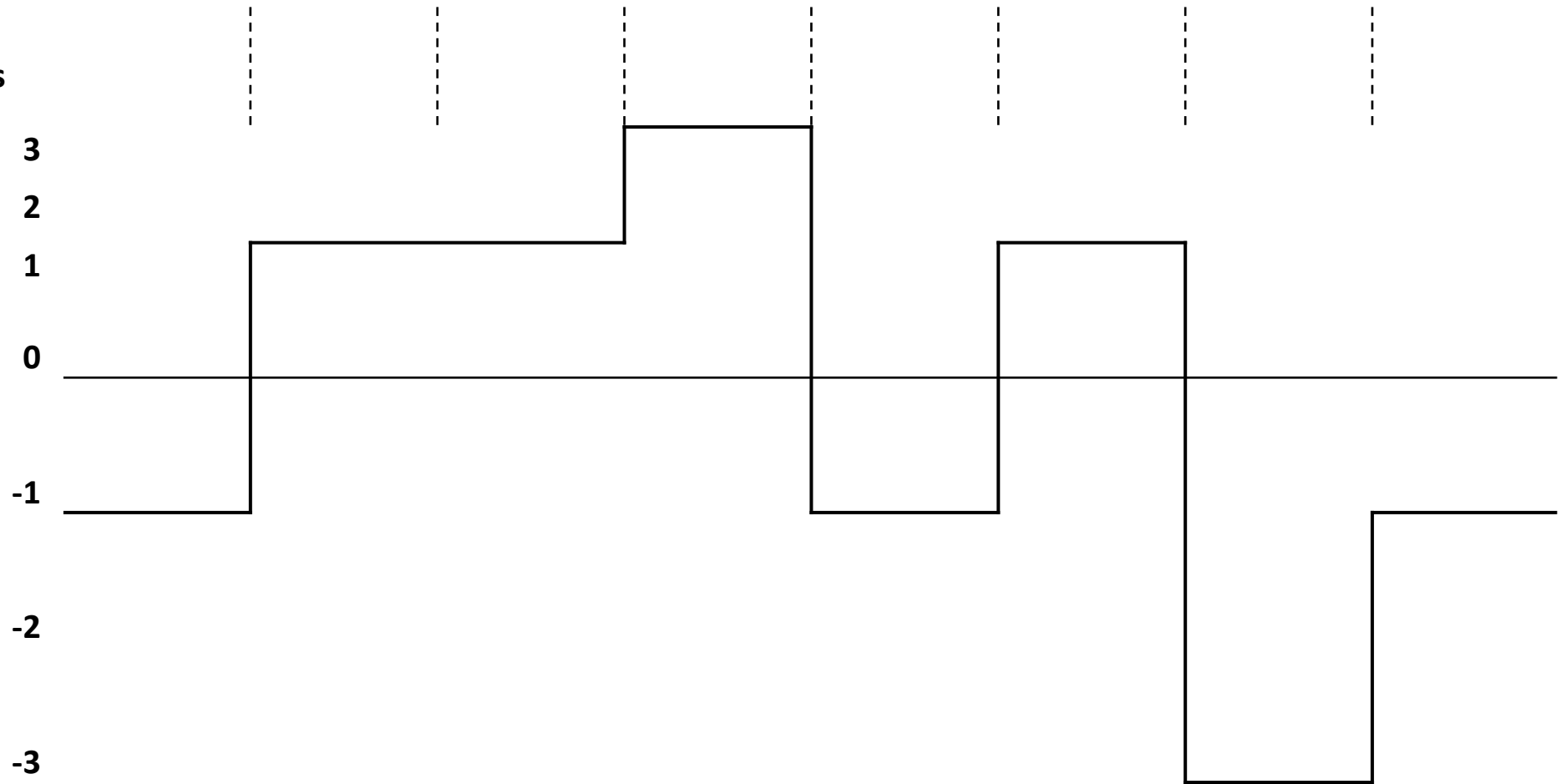
# Διασπορά (Data XOR Spreading Code)





# Τελικό συνδυασμένο σήμα

Combined waveforms



# Διαχωρισμός στον Δέκτη

Combined waveforms	-1	1	1	3	-1	1	-3	-1	
User 1									
Spreading Code (0000)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Multiply	-1	1	1	3	-1	1	-3	-1	
Averaged		4/4 = 1 Λογικό 0					-4/4 = -1 Λογικό 1		
Combined waveforms	-1	1	1	3	-1	1	-3	-1	
User 2									
Spreading Code (0011)	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	
Multiply	-1	1	-1	-3	-1	1	3	1	
Averaged		-4/4 = -1 Λογικό 1					4/4 = 1 Λογικό 0		
Combined waveforms	-1	1	1	3	-1	1	-3	-1	
User 3									
Spreading Code (0101)	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	
Multiply	-1	-1	1	-3	-1	-1	-3	1	
Averaged		-4/4 = -1 Λογικό 1					-4/4 = -1 Λογικό 1		

# Orthogonal Variable Spreading Factor codes

---

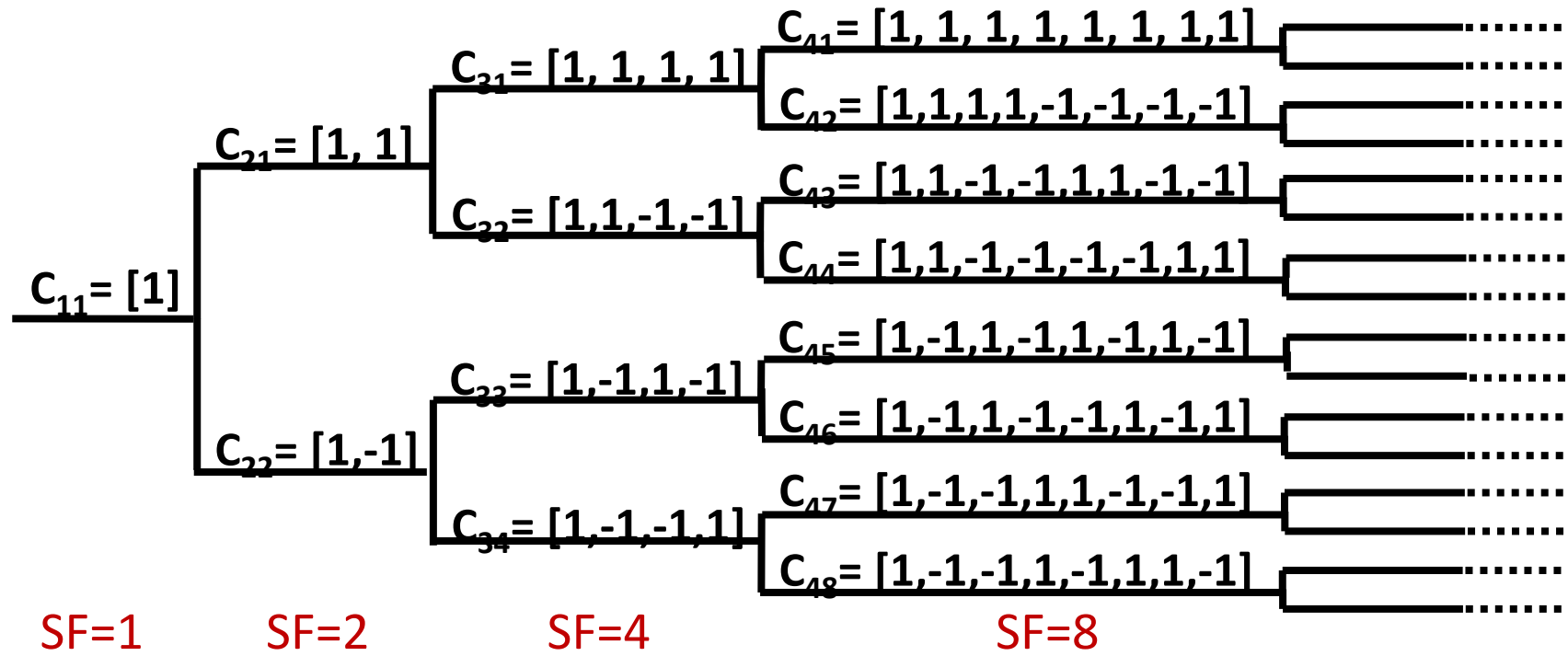
- Οι ψευδό τυχαίες ακολουθίες που χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό των καναλιών των χρηστών τόσο στην ανερχόμενη όσο και στην κατερχόμενη ζεύξη ονομάζονται

Ορθογώνιοι κώδικες μεταβλητού παράγοντα διασποράς  
(Orthogonal Variable Spreading Factor - OVSF)

- Οι κώδικες OVSF προσδιορίζονται από ένα δυαδικό δέντρο. Κάθε κώδικας  $C_{SF,n}$  χαρακτηρίζεται από τον παράγοντα διασποράς του  $SF$  και την θέση του  $n$  στο επίπεδο.

# Orthogonal Variable Spreading Factor codes

$$C_{k+1,2l-1} = [C_{kl}, C_{kl}] \quad \text{και} \quad C_{k+1,2l} = [C_{kl}, \overline{C_{kl}}]$$



*Αυξανόμενος παράγοντας διασποράς*  
*Μειούμενος ρυθμός μετάδοσης*

# Orthogonal Variable Spreading Factor codes

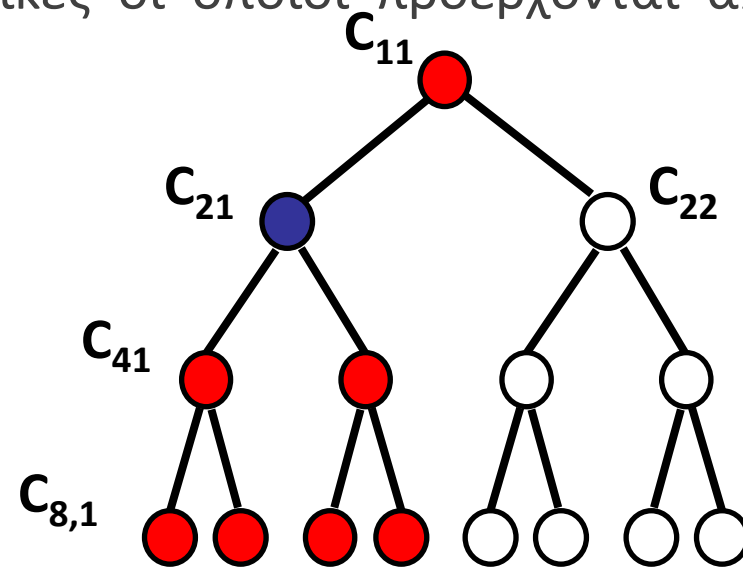
---

- Οι κώδικες του ίδιου επίπεδου έχουν τον ίδιο παράγοντα διασποράς SF.
- Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων:
  - Καθώς κινούμαστε από την ρίζα προς τη βάση του δέντρου ο υποστηριζόμενος ρυθμός μετάδοσης  $R_s$  υποδιπλασιάζεται σε κάθε επόμενο επίπεδο. Επομένως με τους OVSF κώδικες **επιτυγχάνουμε πολλαπλούς ρυθμούς**.
  - Μια σύνδεση δεν μπορεί να έχει οποιονδήποτε ρυθμό μετάδοσης άλλα μόνο ακέραια πολλαπλάσια (δυνάμεις του 2) του βασικού ρυθμού.
    - Ως βασικό ρυθμό ορίζουμε τον ρυθμό ο οποίος υποστηρίζεται από τα φύλλα του OVSF δέντρου κωδικών.

# Αρχή Της Ορθογωνικότητας

- Δυο κώδικες του δέντρου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα, σε διαφορετικές συνδέσεις, πάρα μόνο αν είναι μεταξύ τους ορθογώνιοι.
- Ένας κώδικας **δεν** είναι ορθογώνιος με όλους τους κώδικες από τους οποίους προέρχεται (προγόνους) και με όλους τους κώδικες οι οποίοι προέρχονται από αυτόν (απόγονοι).

- Σύμφωνα με την αρχή της ορθογωνικότητας: *Ένας κώδικας OVSF μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αν και μόνο αν, κανένας άλλος κώδικας στη διαδρομή από τον συγκεκριμένο κώδικα προς τη ρίζα του δέντρου ή στον κλάδο κάτω από αυτόν, δεν χρησιμοποιείται ταυτόχρονα στο ίδιο κελί.*



● Κατειλημμένος ● Φραγμένος ○ Ελεύθερος

# Κέρδος επεξεργασίας CDMA

- Ένα βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων διασποράς φάσματος είναι ότι **το πλάτος του ανακτημένου σήματος στο δέκτη αυξάνεται κατά έναν παράγοντα, ο οποίος ονομάζεται «κέρδος επεξεργασίας» ή “processing gain”  $G$** , το οποίο είναι ίσο με τον παράγοντα διασποράς (SF) του χρησιμοποιούμενου OVSF κώδικα.
- Επομένως ο λόγος SIR στον δέκτη  $i$  δίνεται από την σχέση:

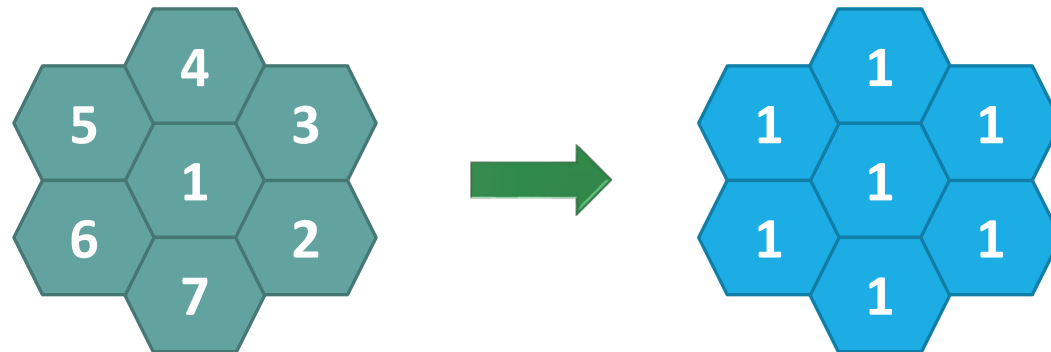
$$SIR_i = \frac{G_i P_{r,i}}{\sum_{j=1, j \neq s}^Z P_{ji} + (1 - \alpha) \cdot P_{s,i} + P_N}$$

- Όπου  $0 \leq \alpha \leq 1$  είναι ο **συντελεστής ορθογωνικότητας**,  $P_{ji}$  είναι η συνολική ισχύς που λαμβάνει ο χρήστης  $i$  από τον σταθμό βάσης  $j$ ,  $Z$  είναι ο αριθμός των γειτονικών σταθμών βάσης που παρεμβάλουν,  $s$  είναι ο σταθμός βάσης που εξυπηρετεί τον  $i$ ,  $P_r$  η λαμβανόμενη ωφέλιμη ισχύς από τον χρήστη  $i$ , και  $P_N$  είναι η ισχύς του θερμικού θορύβου.

# Scrambling

---

- Το κέρδος επεξεργασίας του CDMA **επιτρέπει την εκπομπή των σημάτων με πολύ μικρότερη ισχύ** σε σχέση με προηγούμενης γενιάς συστήματα κινητής τηλεφωνίας.
- Επομένως, η παρεμβολή μεταξύ διαφορετικών Σταθμών Βάσης είναι σχετικά πολύ μικρή και μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε **συντελεστή επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων ίσο με 1**.

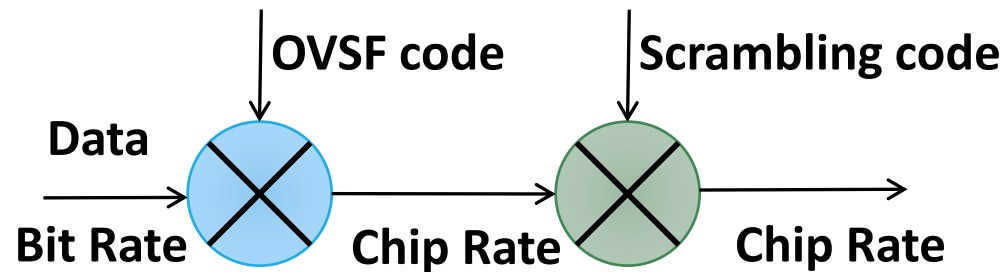




# Scrambling

---

- Επειδή όμως στην πράξη είναι δυνατόν να προκύψουν προβλήματα και προκειμένου να διαχωρίσουμε εύκολα σήματα από διαφορετικούς Σταθμούς Βάσης συχνά χρησιμοποιείται η τεχνική του Scrambling.
- Συμφώνα με την τεχνική αυτή το τελικό σήμα πριν την μετάδοση του πολλαπλασιάζεται επιπλέον με ένα κώδικα scrambling.



# Έλεγχος Ισχύος Εκπομπής

---

- Σημαντικό ρόλο επίσης στον έλεγχο των παρεμβολών και στην διατήρηση της ποιότητας του σήματος παίζει και ο αυστηρός έλεγχος της ισχύος εκπομπής τόσο στην ανερχόμενη όσο και στην κατερχόμενη ζεύξη.
- Έτσι μετά από την αρχική ανάθεση ισχύος εκπομπής σε μια σύνδεση εφαρμόζεται ένας κλειστός κύκλος ελέγχου ισχύος (**fast closed loop power control**) έτσι ώστε η τιμή του λόγου **SIR** να παραμένει πάνω από μια ελάχιστη επιτρεπτή τιμή ( **$SIR \geq SIR_{TARGET}$** ).

# Έλεγχος Ισχύος Εκπομπής

---

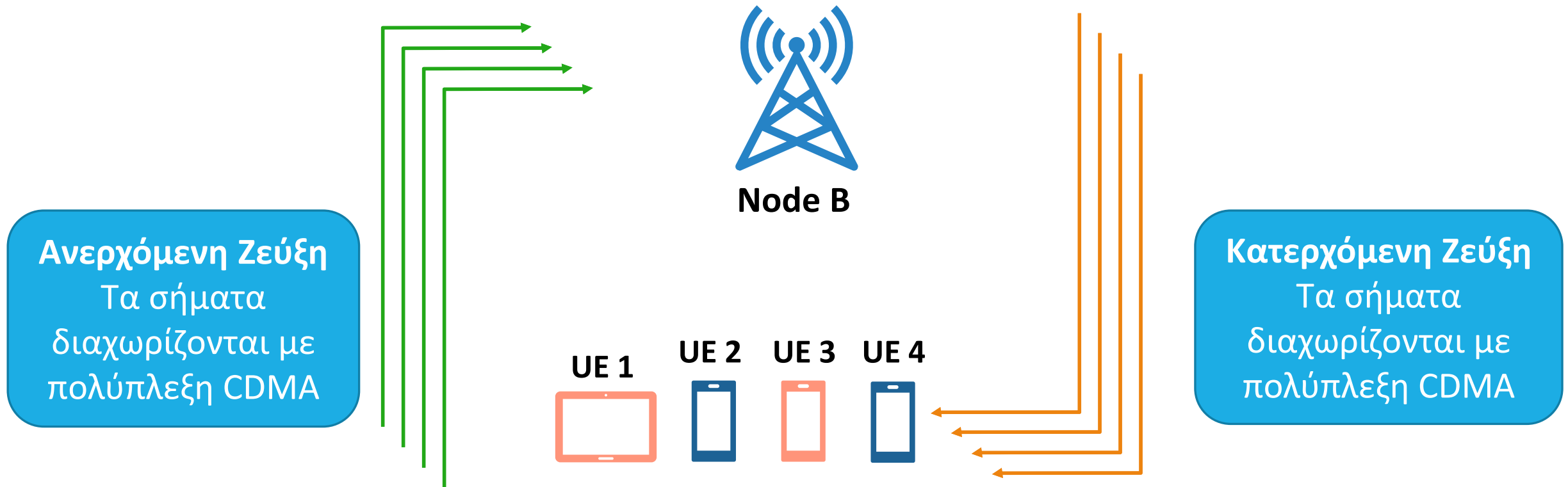
- Ο έλεγχος ισχύος γίνεται με συχνότητα **1,5 KHz**.
- Στην ανερχόμενη ζεύξη οι εντολές ελέγχου (TPC – Transmission Power Control) στέλνονται από τον Σταθμό Βάσης προς το κινητό το οποίο προσαρμόζει κάθε φορά την εκπεμπόμενη ισχύ του με βήματα μεγέθους **1, 2 και 3 dB**.
- Στην κατερχόμενη ζεύξη οι εντολές ελέγχου στέλνονται από τον κινητό προς τον Σταθμό Βάσης. Η ισχύς εκπομπής καθορίζεται στην συνέχεια από το δίκτυο ενώ το μέγεθος του βήματος του ελέγχου ισχύος μπορεί να πάρει τέσσερις τιμές: **0.5, 1, 1.5 ή 2 dB**.

# Λογικά Κανάλια της Κατερχόμενη Ζεύξης

---

- Στην κατερχόμενη ζεύξη του UTRAN υπάρχουν τρεις τύποι καναλιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση δεδομένων:
- Τα κοινά κανάλια (**Common Channels**)
  - Είναι κατάλληλα για την μετάδοση μικρής ποσότητας δεδομένων όπως δεδομένα σηματοδότησης.
- **Αφιερωμένο κανάλι κατερχόμενης ζεύξης (Downlink Dedicated Channel - DCH)**
  - Τα αφιερωμένα κανάλια έχουν σταθερό ρυθμό μετάδοσης και παράγοντα διασποράς σε όλη τη διάρκεια μιας σύνδεσης.
- **Το υψηλής ταχύτητας διαμοιραζόμενο κανάλι της κατερχόμενης ζεύξης (High Speed - DSCH)**
  - Το HS-DSCH δίνει τη δυνατότητα σε μια σύνδεση να μεταβάλλει τον ρυθμό της κάθε 2ms.

# Επικοινωνία UE – Node B



Αφιερωμένα κανάλια

---

# Αφιερωμένο κανάλι

---

- Το αφιερωμένο κανάλι της κατερχόμενης ζεύξης **έχει σταθερό ρυθμό μετάδοσης σε όλη τη διάρκεια μιας σύνδεσης**. Η μετάδοση μεταβλητού ρυθμού μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους:
  - Ασυνεχής μετάδοση (**Discontinuous Transmission - DTX**)
  - **Με την επανάληψη ορισμένων bits** για την συμπλήρωση του μεταδιδόμενου πλαισίου.
- Είναι προφανές ότι η χρήση αφιερωμένων καναλιών για την μετάδοση υπηρεσιών μεταβλητού ρυθμού οδηγεί σε μειωμένη αξιοποίηση της χωρητικότητας του συστήματος.
- *Επομένως ένα αφιερωμένο κανάλι είναι κυρίως κατάλληλο για τη μετάδοση υπηρεσιών σταθερού ρυθμού ή για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου με μικρή ανοχή στην καθυστέρηση.*

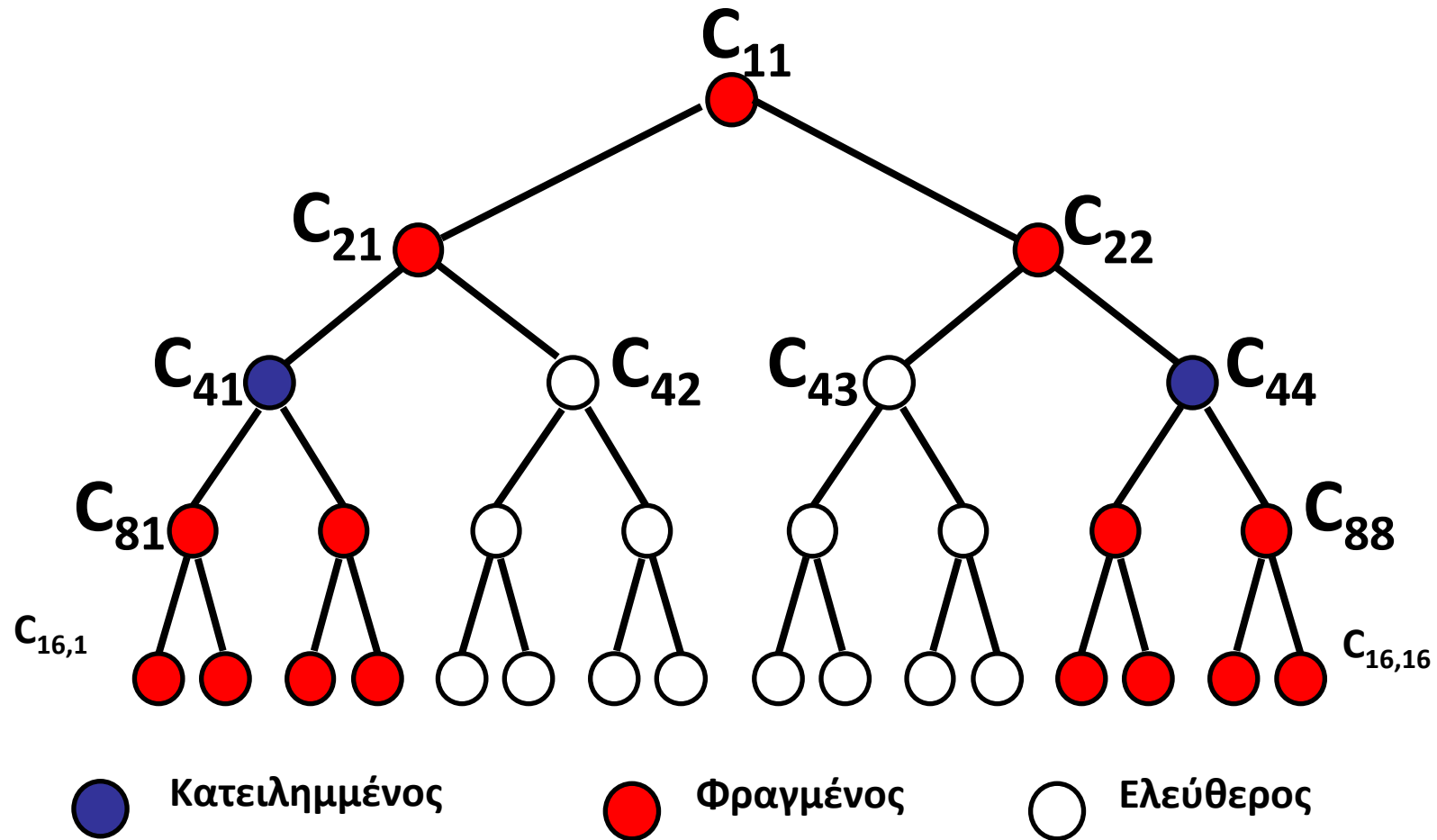
# Φραγή κώδικα

---

- Ένα σημαντικό πρόβλημα το οποίο περιορίζει την αξιοποίηση της διαθέσιμης χωρητικότητας στα OVSF-CDMA συστήματα είναι το φαινόμενο φραγής OVSF κώδικα (code blocking) το οποίο μπορεί να οριστεί ως εξής:
  - *Ως φραγή κώδικα ονομάζουμε το φαινόμενο κατά το οποίο το σύστημα δεν μπορεί να εξυπηρετήσει μια εισερχόμενη κλήση παρόλο που υπάρχει διαθέσιμη η απαιτούμενη χωρητικότητα.*
- Το φαινόμενο της φραγής κώδικα προκαλεί την αύξηση του ποσοστού αποκλεισμού των εισερχόμενων κλήσεων ιδιαίτερα εκείνων που ζητούν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.



# Παράδειγμα Φραγής Κώδικα



Παρόλο ότι η συνολική διαθέσιμη χωρητικότητα είναι **8R**, μια εισερχόμενη κλήση που ζητά **8R** δεν θα γίνει δεκτή.

# Διαδικασία ανάθεσης κώδικα

*Το φαινόμενο της φραγής κώδικα προκύπτει από τη διασπορά των κατειλημμένων κωδικών πάνω στο δέντρο η οποία οδηγεί στον κατακερματισμό της χωρητικότητας του συστήματος.*

Οι αιτίες του φαινομένου αυτού είναι:

- Η λανθασμένη ανάθεση των OVSF κωδικών κατά την άφιξη των κλήσεων.
- Η στατιστική φύση της διαδικασίας αναχώρησης των κλήσεων η οποία δεν μπορεί να προβλεφθεί.

Τα πιθανά αντίμετρα για την αποτροπή της εμφάνισης αυτού του φαινομένου φραγής κώδικα είναι:

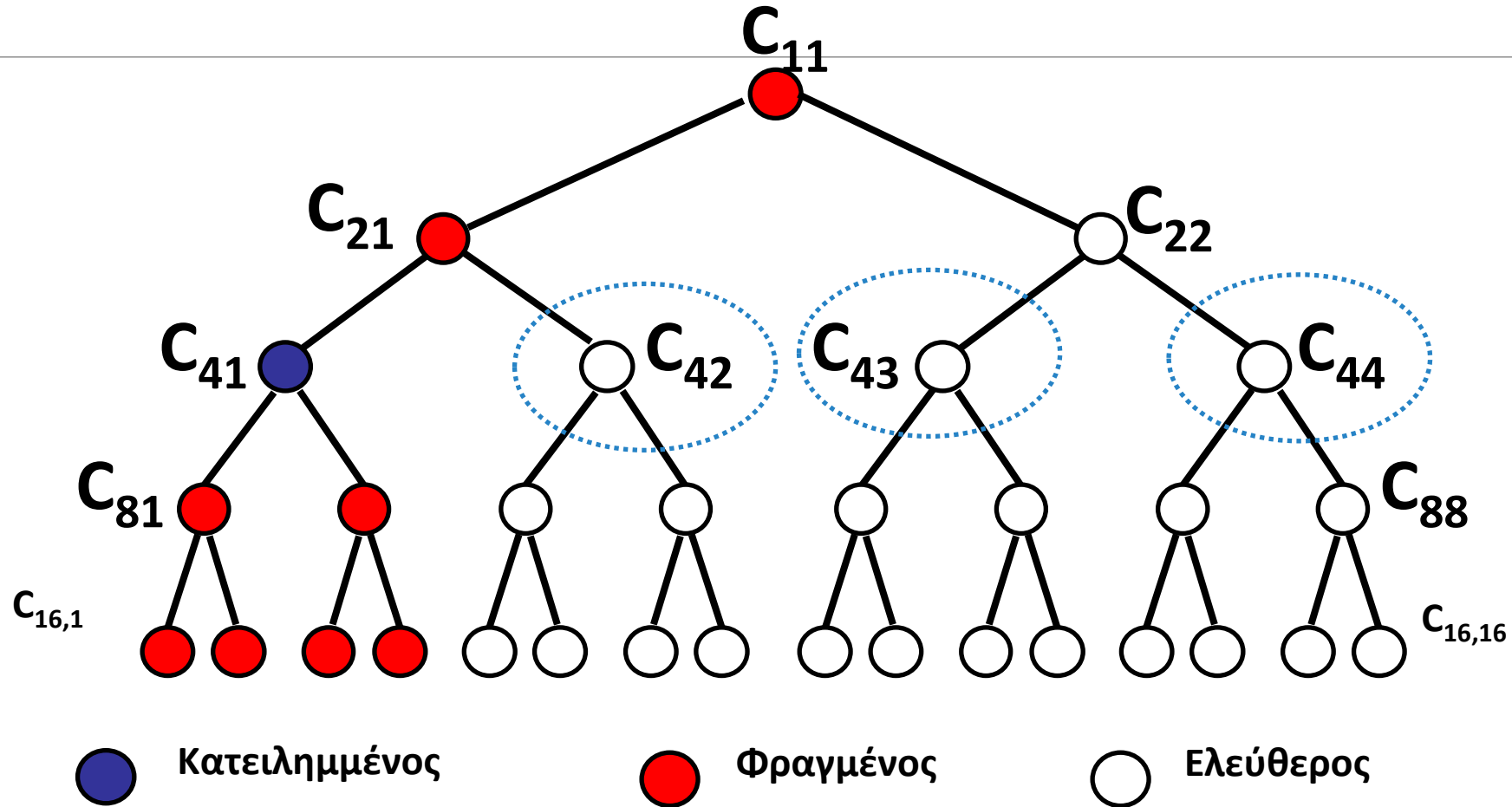
- Έξυπνη επιλογή μεταξύ των πιθανών υποψηφίων κωδικών για κάθε εισερχόμενη κλήση έτσι ώστε να μην τεμαχίζεται περισσότερο η χωρητικότητα του συστήματος.
- Ανακατανομή των κωδικών των ενεργών κλήσεων, όταν αυτό είναι απαραίτητο, για την απελευθέρωση κωδικών υψηλότερων επιπέδων.
- Δέσμευση των διαθέσιμων πόρων για συγκεκριμένη χρήση.

# Σχήματα ανάθεσης κωδικών

---

- Κατά την είσοδο μιας νέας κλήσης στο σύστημα η ανάθεση ενός OVSF κώδικα μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους:
- **Τυχαία επιλογή** μεταξύ όλων των υποψήφιων κωδικών.
- **Διατεταγμένη επιλογή** OVSF κωδικών ξεκινώντας από την δεξιά ή αριστερή πλευρά του δέντρου.
- **Crowded-first-space**. Επιλέγεται εκείνος ο υποψήφιος κώδικας, του οποίου το αμέσως ανώτερο υποδέντρο θα έχει τη λιγότερη ελεύθερη χωρητικότητα μετά από την ανάθεση. Σε περίπτωση ισοπαλίας η αναζήτηση συνεχίζεται ένα επίπεδο προς τα πάνω, έως ότου επιλυθεί.
- **Fewer Codes Blocked FCB**. Κατά την άφιξη μιας νέας κλήσης επιλέγουμε ανάμεσα στους υποψήφιους κωδικούς εκείνον του οποίου αριθμός των προγόνων που θα φραχθούν από μια πιθανή ανάθεση, είναι ο μικρότερος. Σε περίπτωση ισοπαλίας μεταξύ δυο ή περισσότερων κωδικών η ανάθεση γίνεται διατεταγμένα, δηλαδή επιλέγεται μεταξύ των ισόπαλων κωδικών ο πρώτος από δεξιά (ή αριστερά).

# Παράδειγμα ανάθεσης

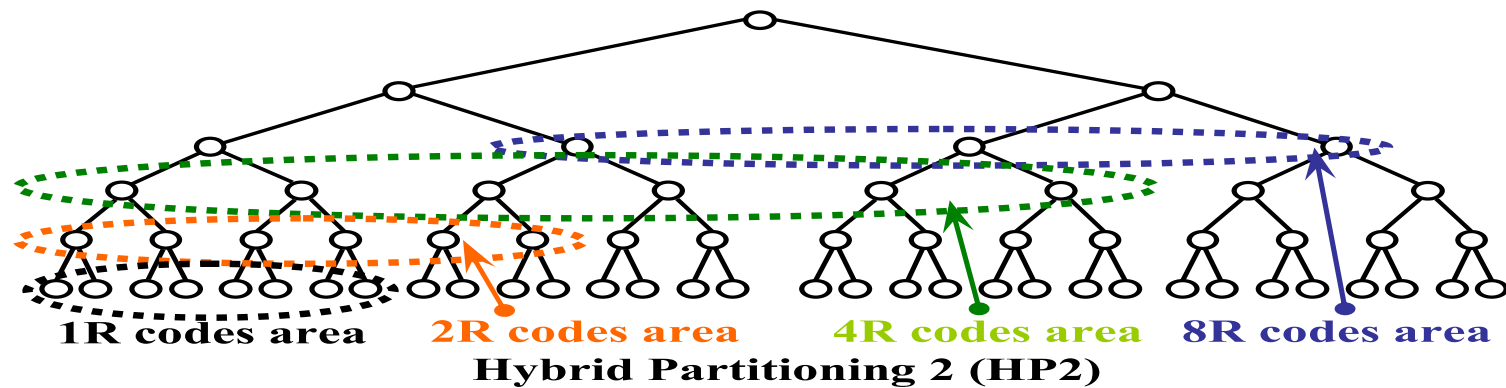
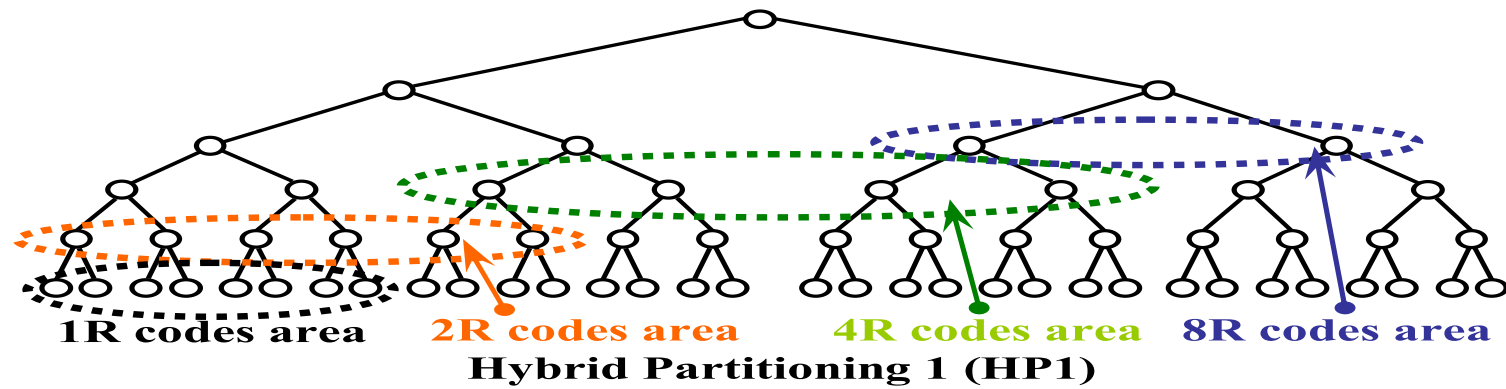
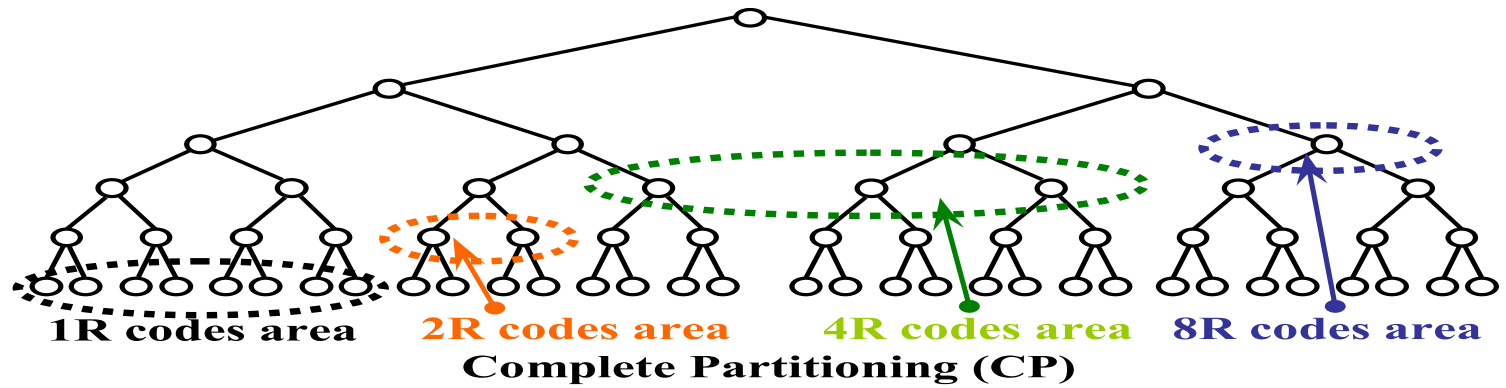


Μια εισερχόμενη κλήση που ζητά **4R** θα γίνει δεκτή στον κώδικα  $C_{42}$  με βάση το κριτήριο **FCB**.

# Σχήματα δέσμευσης κωδικών

---

- Μπορούμε να διακρίνουμε τρεις στρατηγικές για την δέσμευση των OVSF κωδικών:
  - **Πλήρης διανομή (Complete sharing - CS)**. Σε αυτή τη στρατηγική κάθε εισερχόμενη κλήση μπορεί να έχει πρόσβαση σε οποιοδήποτε ελεύθερο κώδικα σύμφωνα βέβαια με τις απαιτήσεις της σε ρυθμό και έχοντας πάντα υπόψη τον περιορισμό της ορθογωνικότητας.
  - **Πλήρης διαχωρισμός (Complete partitioning - CP)**. Σε αυτή τη στρατηγική οι κλήσεις διαφορετικού ρυθμού έχουν πρόσβαση σε διαφορετικές μη-επικαλυπτόμενες περιοχές του δέντρου κωδικών.
  - **Υβριδικός διαχωρισμός (Hybrid partitioning - HP)**. Οι στρατηγικές HP βρίσκονται μεταξύ των δύο ακραίων στρατηγικών CS και CP. Στόχος των HP είναι να συνδυάσουν τα πλεονεκτήματα και να μετριάσουν τα μειονεκτήματα των στρατηγικών CS και CP πετυχαίνοντας το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.



# Συμπεράσματα

Όπως σε κάθε δίκτυο το οποίο υποστηρίζει πολλαπλές υπηρεσίες, έτσι και στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών τρίτης και επόμενων γενεών οι κλήσεις με διαφορετικές απαιτήσεις ρυθμού μετάδοσης αντιμετωπίζονται διαφορετικά από το σύστημα.

Για τον σκοπό αυτό μπορούμε να υιοθετήσουμε υβριδικά σχήματα δέσμευσης OVSF κωδικών με στόχο να ελαχιστοποιήσουμε την μέγιστη πιθανότητα αποκλεισμού μιας εισερχόμενης κλήσης και ταυτόχρονα να παρέχουμε δικαιότερη αντιμετώπιση των κλήσεων ανεξάρτητα από τον ζητούμενο ρυθμό μετάδοσης.

Επιπλέον, τα υβριδικά σχήματα μπορούν να "απορροφήσουν" μικρές μεταβολές του φορτίου κάτι που δεν μπορούν να κάνουν σχήματα πλήρους διανομής (CP).

Τέλος, χάρη στο μικρό μέγεθος του δέντρου κωδικών και τον περιορισμένο αριθμό διαφορετικών ρυθμών μετάδοσης, η διαδικασία του βέλτιστου διαχωρισμού είναι σχετικά γρήγορη και μπορεί να εφαρμοστεί δυναμικά εάν η κατανομή του φορτίου του συστήματος μεταβληθεί σημαντικά.

# Χρονοδρομολογητες σε Διαμοιραζόμενα Κανάλια

---



# High Speed Packet Access (HSPA)

---

- Το High Speed Packet Access (HSPA) αποτελείται από τα
  - High-Speed Downlink Packet Access (HSDPA) και
  - High-Speed Uplink Packet Access (HSUPA)
- Η υλοποίηση των πρώτων εμπορικών δικτύων HSDPA άρχισε στα τέλη του 2005.
- Η εφαρμογή του HSPA είναι σχετικά απλή δεδομένου ότι χρησιμοποιεί δομικά στοιχεία των ήδη εγκατεστημένων WCDMA δικτύων.

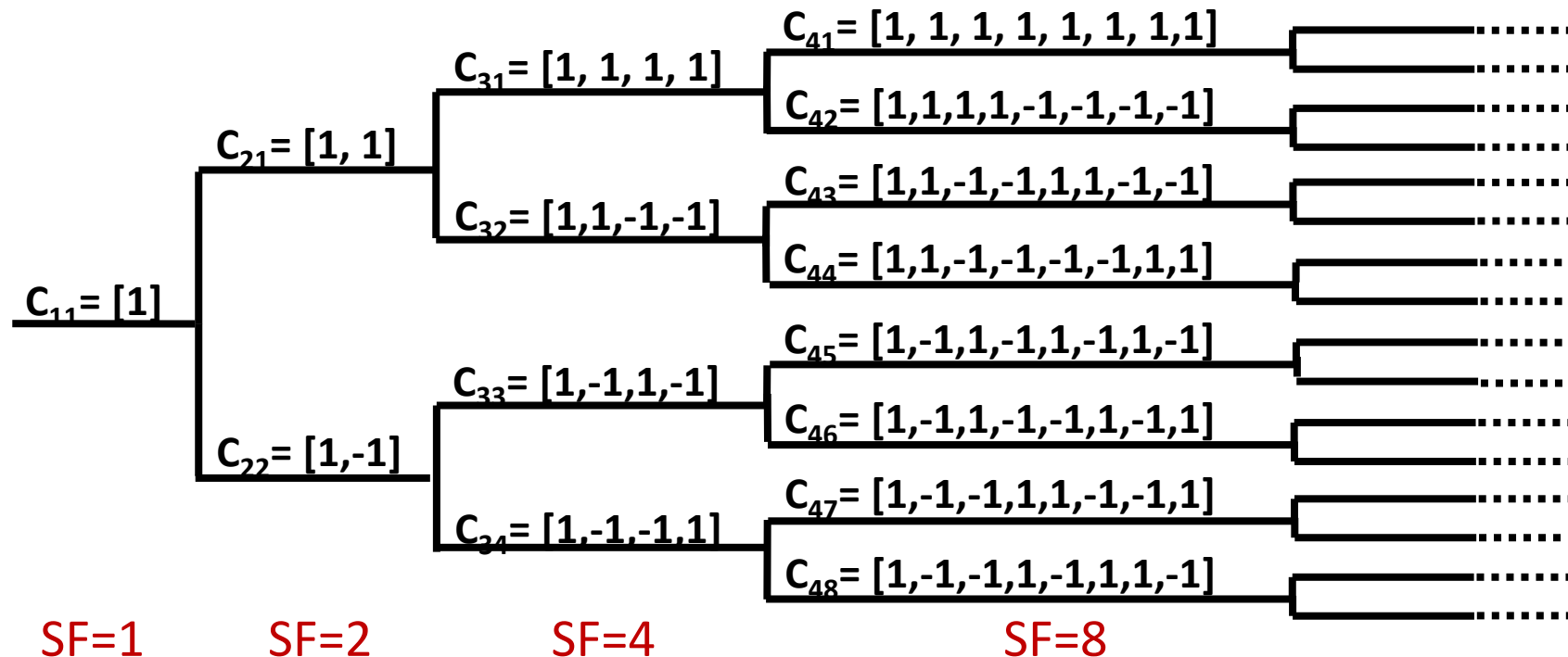
# High-Speed Downlink Packet Access

---

- Το **HSDPA (HS-DSCH)** είναι μια βελτιωμένη έκδοση του DSCH η οποία εισάγει νέα χαρακτηριστικά:
  - Μικρό μέγεθος πλαισίων (frames) μετάδοσης. Το μεσοδιάστημα εκπομπής του HS-DSCH (**Transmission Time Interval - TTI**) έχει διάρκεια **2ms** και αποτελείται από **3 χρονικές σχισμές (time slots)**.
  - Λειτουργία **Multi-code**. Κάθε χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει 5, 10 η 15 OVSF κώδικες ανάλογα με τις δυνατότητες του κινητού τερματικού (UE).
  - **Adaptive Modulation and Coding (AMC)**.
  - **Fast Scheduling and Hybrid-Automatic Repeat-reQuest (HARQ)**.

# Orthogonal Variable Spreading Factor codes

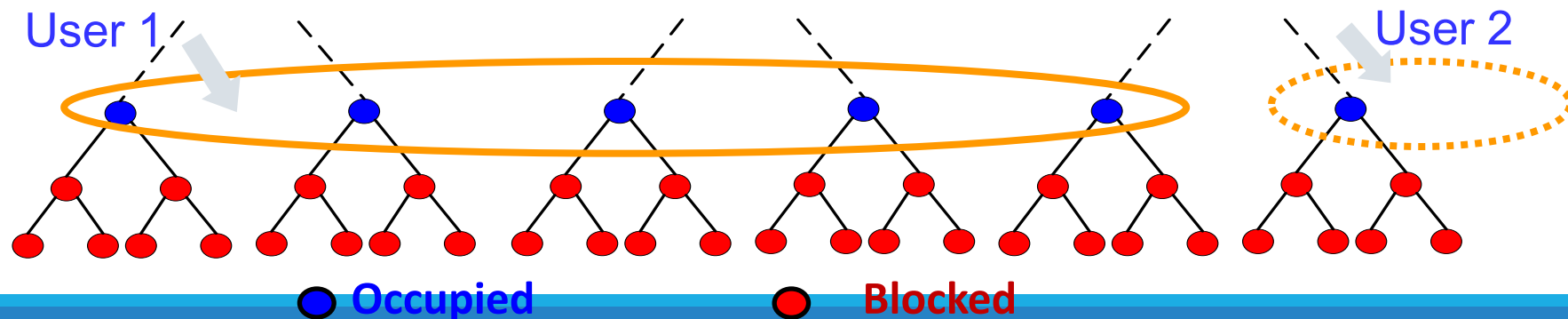
$$C_{k+1,2l-1} = [C_{kl}, C_{kl}] \quad \text{και} \quad C_{k+1,2l} = [C_{kl}, -C_{kl}]$$



Αυξανόμενος παράγοντας διασποράς  
 Μειούμενος ρυθμός μετάδοσης

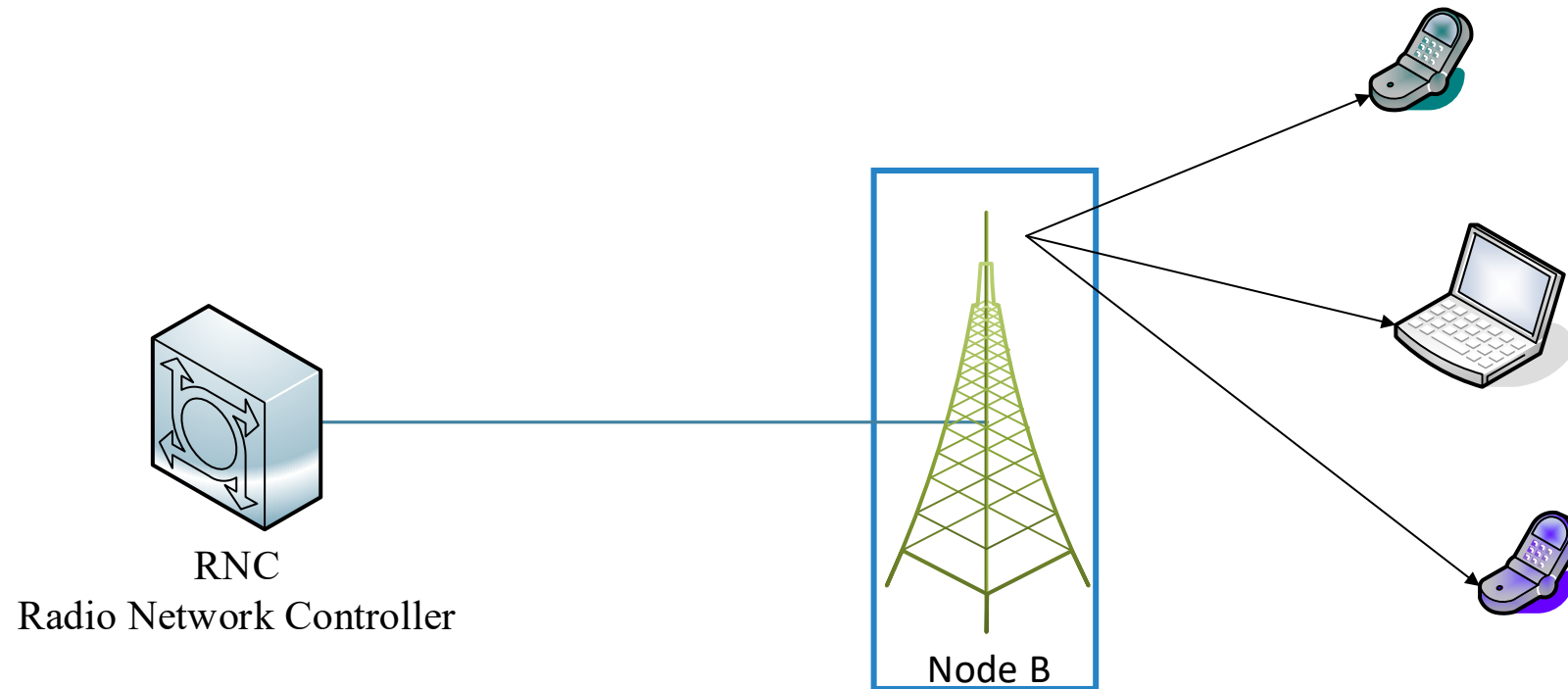
# HSDPA Channel Structure

- Δεν χρησιμοποιείται μεταβλητός παράγοντας διασποράς.
- Οι χρησιμοποιούμενοι OVSF κώδικες είναι το πολύ 15, έχουν σταθερό SF (16) και ανήκουν στον ίδιο κλάδο του δέντρου κωδικών.
- Επομένως σε κάθε TTI το HSDPA μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 3 χρήστες σε καθένα από τους οποίους έχουν ανατεθεί 5 OVSF κώδικες.
- Έτσι το HSDPA μπορεί να υποστηρίξει ρυθμούς μετάδοσης έως 14 Mbps downlink (Single Cell, No MIMO) και 28 Mbps downlink HSPA+ (Dual Cell, MIMO).



# High-Speed Downlink Packet Access

Προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση, μηχανισμοί όπως η [χρονοδρομολόγηση \(Packet scheduling\)](#) και το [HARQ](#) έχουν μεταφερθεί από το RNC στο Node B.

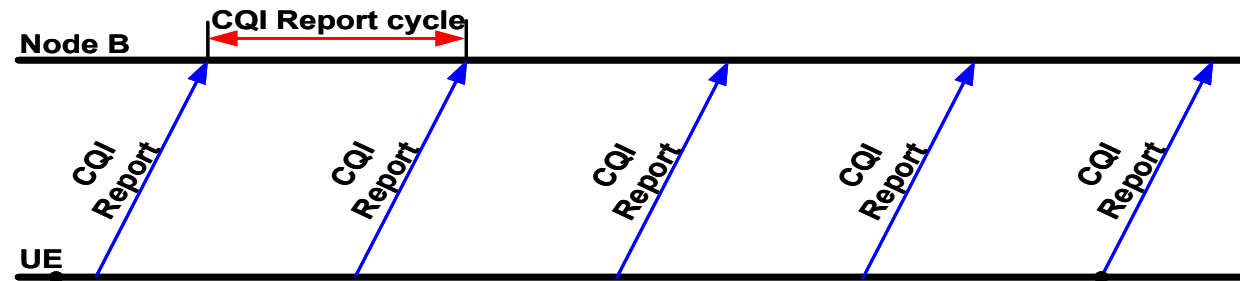


# Adaptive Modulation and Coding

---

# HS-DSCH Χρονοδρομολόγηση Πακέτων

- Ο χρονοδρομολογητής παρακολουθεί την κατάσταση του κάθε καναλιού UE μέσω των **Αναφορών Δείκτη Ποιότητας Καναλιού (Channel Quality Indicator – CQI)**. Οι αναφορές CQI στέλνονται από το UE προς τον Node B περιοδικά (π.χ. σε κάθε TTI).



- Με βάση τις αναφορές CQI πρέπει να ληφθεί απόφαση για την **αύξηση ή μείωση της εκπεμπόμενης ισχύος**, τον **αριθμό των OVSF κωδικών** που θα χρησιμοποιηθούν, το **είδος της ψηφιακής διαμόρφωσης** και τον **ρυθμό κωδικοποίησης** έτσι ώστε να επιτύχουμε την **επιθυμητή τιμή του ρυθμού μετάδοσης**.

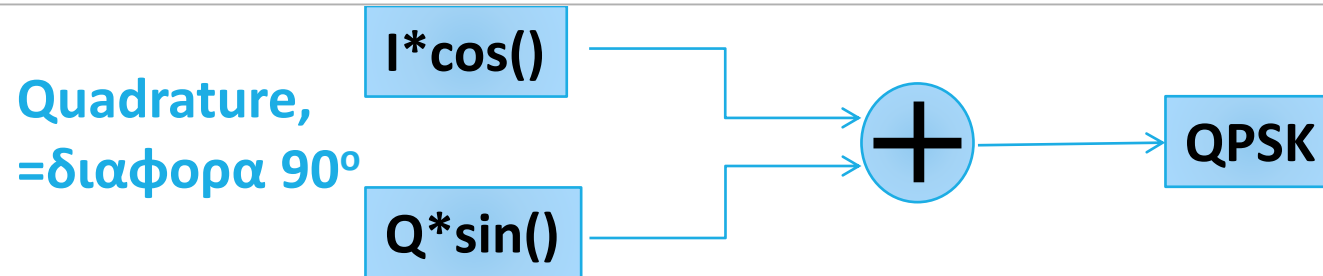
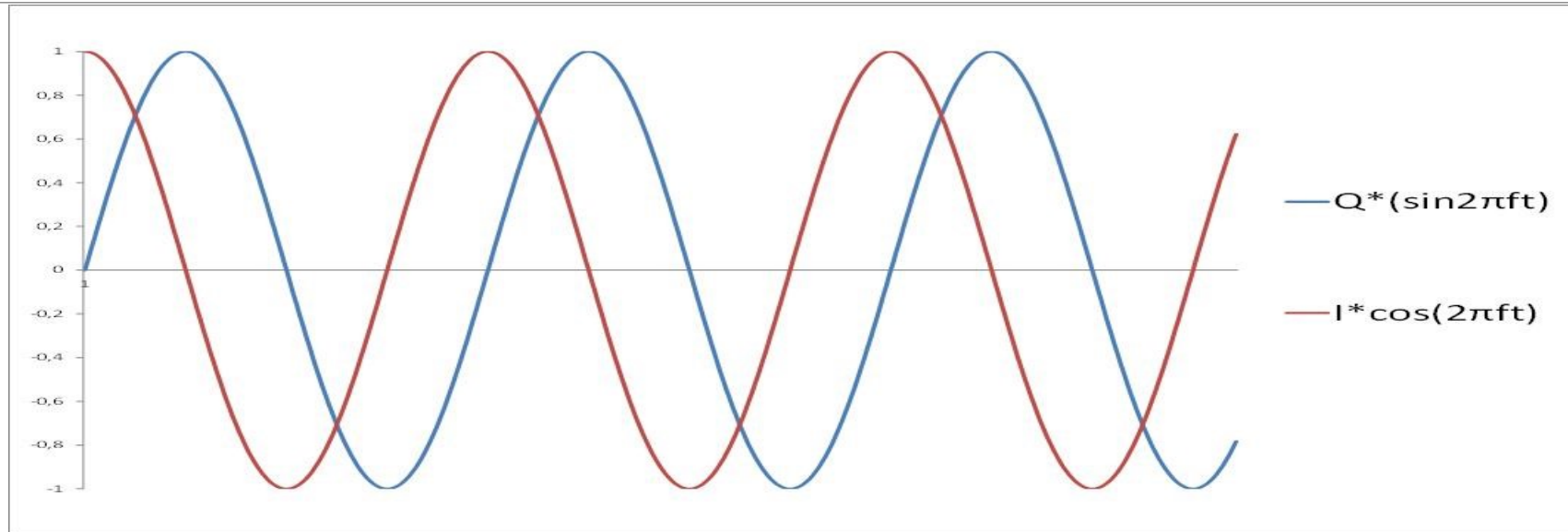
# Link Adaptation (Step 1 : Modulation)

---

- Η προσαρμογή στο ασύρματο κανάλι (Link adaptation) πραγματοποιείται σε κάθε πλαίσιο (2ms).
- Ο τύπος διαμόρφωσης του **ψηφιακού σήματος** μπορεί να επιλεγεί μεταξύ QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying) για κανάλια με χαμηλό SIR και 16-QAM ή 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation) για κανάλια με υψηλή τιμή του λόγου SIR.
- Η QPSK, έχοντας τέσσερις καταστάσεις μπορεί να κωδικοποιήσει **δυο bit ανά σύμβολο** ενώ η **16-QAM** έχοντας δεκαέξι καταστάσεις μπορεί να κωδικοποιήσει **τέσσερα bit ανά σύμβολο**. Ακόμα περισσότερο η 64-QAM έχοντας 64 καταστάσεις μπορεί να κωδικοποιήσει **έξι bit ανά σύμβολο**.

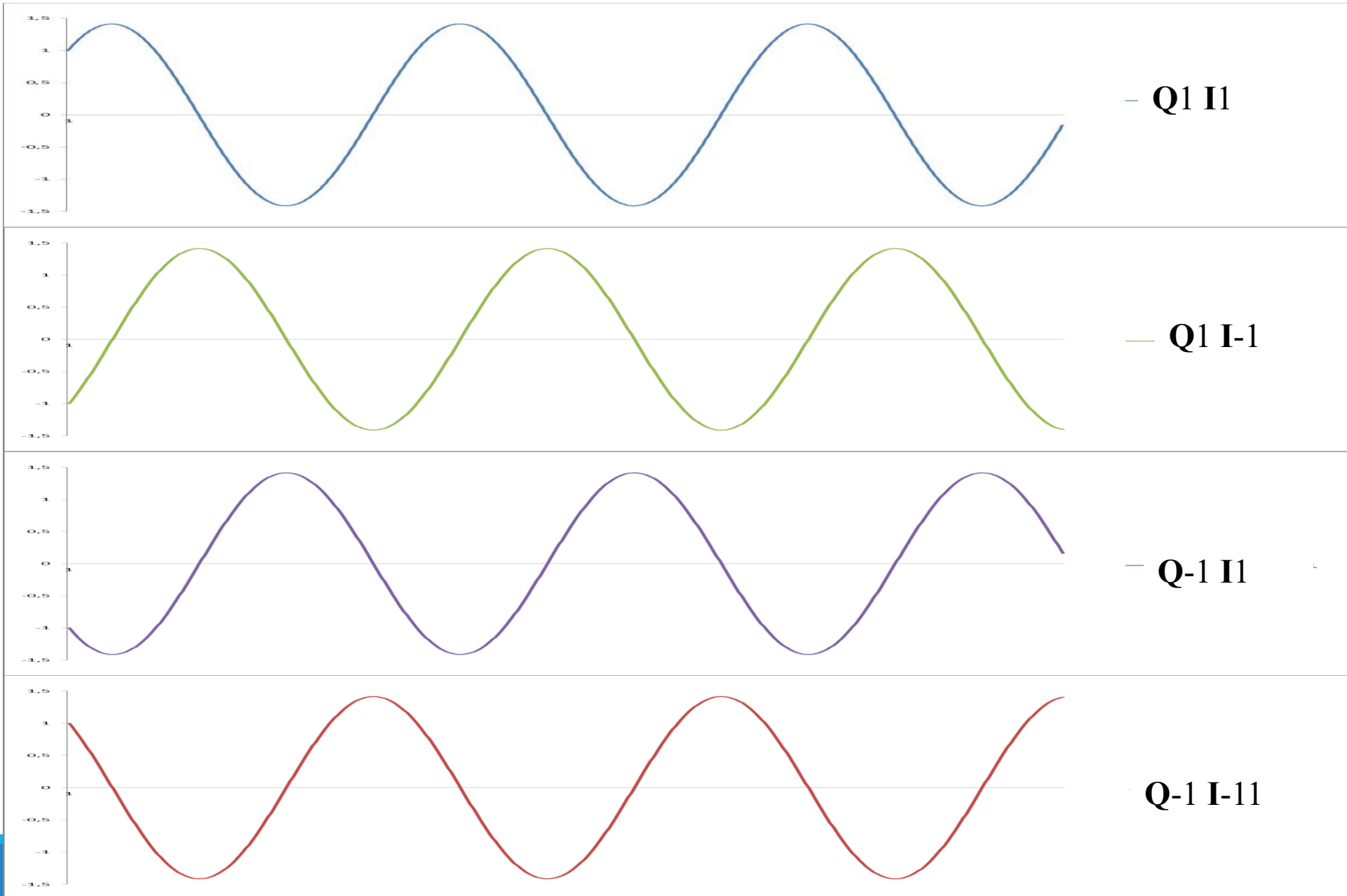


# Ψηφιακές Διαμορφώσεις Παράδειγμα: QPSK



Μεταβάλλοντας κατάλληλά τα **I** και **Q** παίρνω ένα σήμα του οποίου η φάση μπορεί να πάρει διάφορες τιμές:

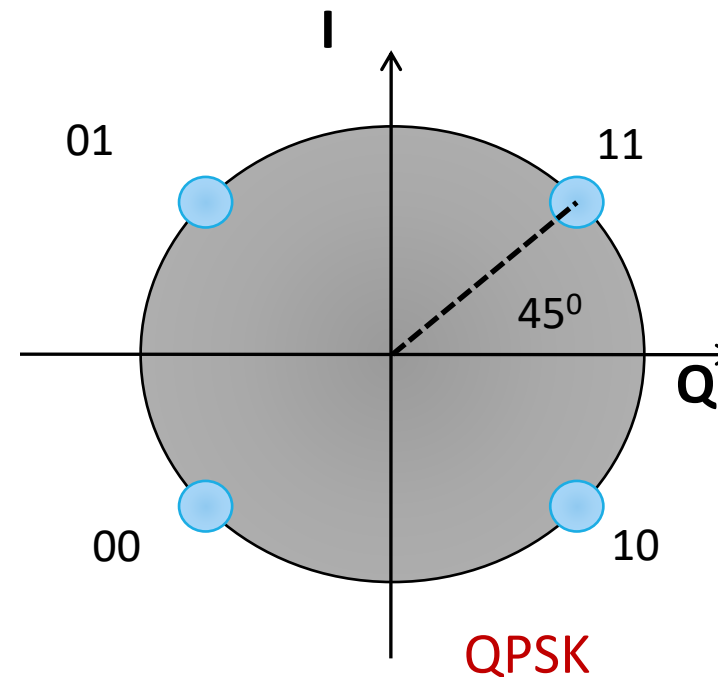
# Ψηφιακές Διαμορφώσεις Παράδειγμα: QPSK



# Ψηφιακές Διαμορφώσεις Παράδειγμα: QPSK

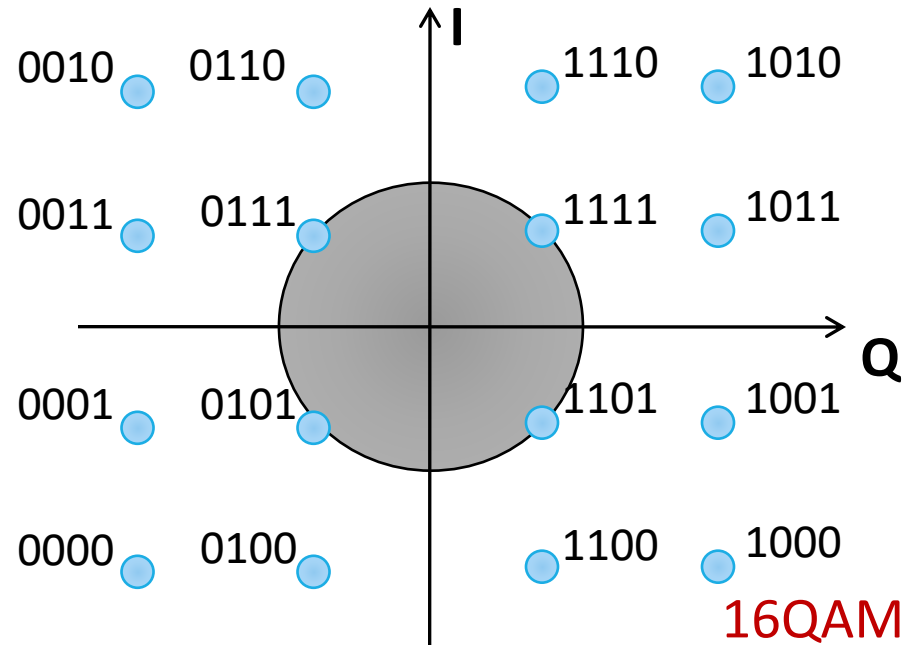
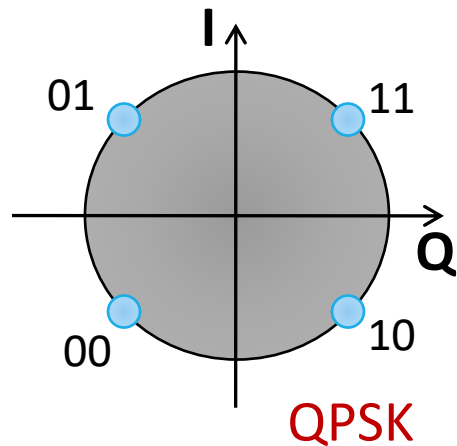
- οι οποίες για την περίπτωση της QPSK είναι:

Φάση	Δεδομένα
45 μοίρες	Λογικό 11
135 μοίρες	Λογικό 01
225 μοίρες	Λογικό 00
315 μοίρες	Λογικό 10



# Ψηφιακές Διαμορφώσεις

- Επομένως με την **16-QAM** ο ρυθμός μετάδοσης **διπλασιάζεται** σε σχέση με την **QPSK** ενώ με την **64-QAM** ο ρυθμός μετάδοσης **τριπλασιάζεται**.



## Link Adaptation (Step 2 : FEC)

---

- Στην συνέχεια πρέπει να επιλέγει ο ρυθμός κωδικοποίησης του Forward Error Correction (FEC) σε συνάρτηση με τον επιθυμητό λόγο SIR.
- Εάν για κάθε  $k$  bits του εισερχόμενου σήματος στον κωδικοποιητή προκύπτουν στην έξοδο  $n$  bits, τότε ο λόγος  $n/k$  ονομάζεται ρυθμός κωδικοποίησης (code rate)  $r$ .
- Ο ρυθμός κωδικοποίησης του μηχανισμού FEC είναι μια ουσιώδης παράμετρος καθώς αυξάνοντας τον ρυθμό κωδικοποίησης μειώνουμε τον ρυθμό εμφάνισης σφαλμάτων (Bit Error Rate - BER) για δεδομένο λόγο SINR.
- Ωστόσο, η αύξηση του ρυθμού κωδικοποίησης του FEC οδηγεί και σε μείωση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων.

# Hybrid Automatic Repeat Request

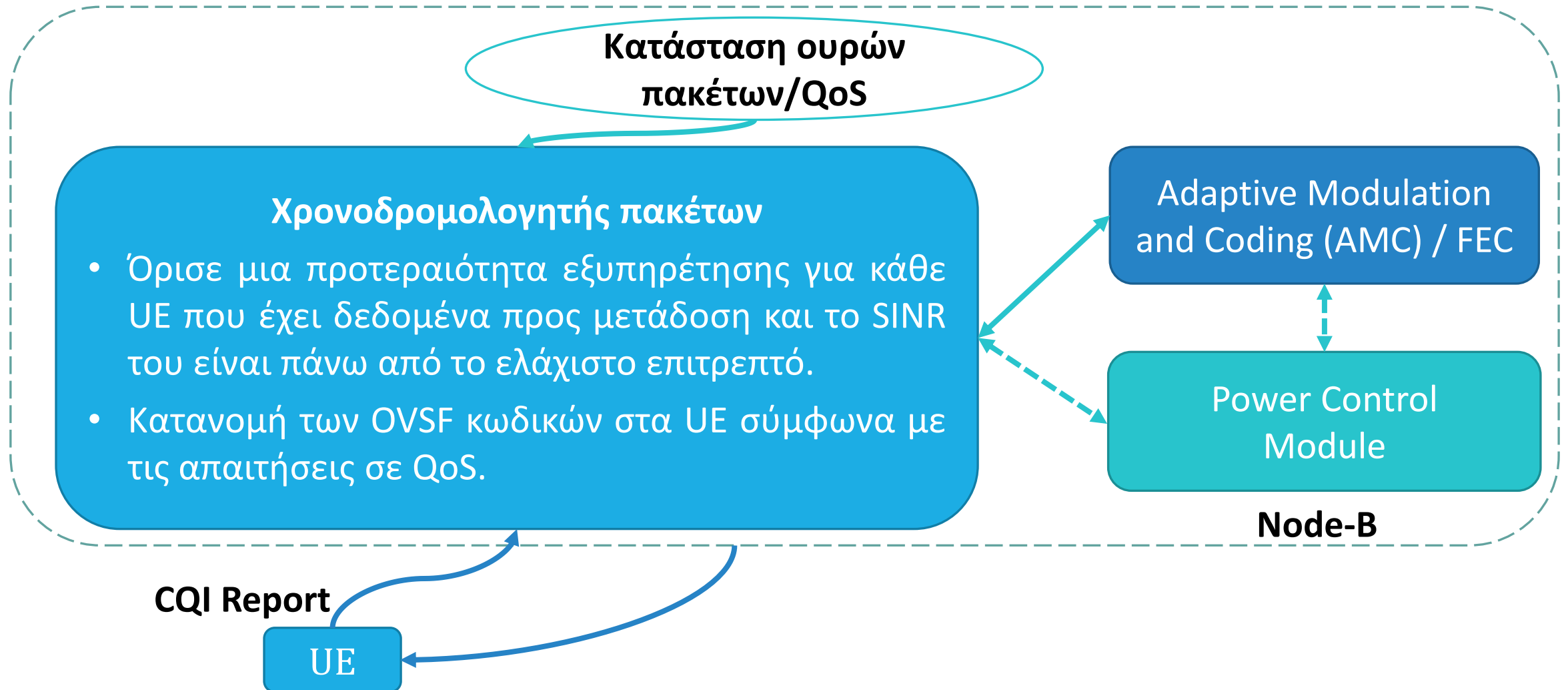
---

- Ο μηχανισμός του **HARQ** βρίσκεται στο Node B επιτρέποντας την γρήγορη επανα-μετάδοση των πακέτων που έχουν λάθη.
- Με βάση τον μηχανισμό αυτό το UE **δεν απορρίπτει τα δεδομένα που προέρχονται από ανεπιτυχείς μεταδόσεις πακέτων** αλλά αντίθετα χρησιμοποιεί τα δεδομένα αυτά προκειμένου να αυξήσει την πιθανότητα επιτυχημένης αποκωδικοποίησης των πακέτων που επανα-μεταδίδονται.
- Από την άλλη πλευρά, το μειονέκτημα αυτού του μηχανισμού είναι ότι **απαιτεί περισσότερη χωρητικότητα στο κινητό** προκειμένου να έχει την δυνατότητα να αποθηκεύει τις ανεπιτυχείς μεταδόσεις πακέτων.

# Χρονοδρομολογητές

---

# Απλοποιημένο μοντέλο χρονοδρομολογητή πακέτων κατερχόμενης ζεύξης.





# Κατηγορίες χρονοδρομολογητών

---

- Πέρα από τους κλασικές (και μη αποδοτικές στην γενική περίπτωση) αρχές του **Max C/I** και του **ισόχρονου διαμερισμού του καναλιού** υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες χρονοδρομολογητών:
  - Οι *Rate based packet schedulers* επικεντρώνονται στην παροχή ενός εγγυημένου εύρους ζώνης (bandwidth) σε κάθε εξυπηρετούμενη σύνδεση.
  - Οι *Delay driven packet schedulers* είναι σχεδιασμένοι για να προσφέρουν καλύτερη απόδοση όσον αφορά την καθυστέρηση των πακέτων αλλά και διαφοροποίηση των υπηρεσιών με βάση την καθυστέρηση (delay differentiation).

# Κλασικοί Χρονοδρομολογητές

---

- Max C/I
  - Με βάση αυτή την αρχή χρονοδρομολόγησης η διαθέσιμη χωρητικότητα προσφέρεται σε **εκείνον τον χρήστη που έχει την καλύτερη ποιότητα καναλιού**.
  - Προφανώς έτσι επιτυγχάνεται το **καλύτερο δυνατό throughput (ρυθμοαπόδοση)** αλλά **αδικούνται** οι χρήστες που έχουν **χαμηλή ποιότητα καναλιού**.
- Ισόχρονος διαμερισμός του καναλιού
  - Όλοι οι χρήστες χρησιμοποιούν το ασύρματο κανάλι **για ίσα χρονικά διαστήματα**.
  - Ο διαμοιρασμός γίνεται με **δίκαιο τρόπο** αλλά η **απόδοση μειώνεται σημαντικά**

# *Rate based packet schedulers*

---

# Generalized Processor Sharing

---

- Ο αλγόριθμος χρονοδρομολόγησης GPS αναπτύχθηκε για ενσύρματα συστήματα και σύμφωνα με αυτόν σε κάθε σύνδεση (από ένα σύνολο  $N$  συνδέσεων) ανατίθεται ένας θετικός πραγματικός αριθμός (βάρος)  $\phi$ .

- Σε κάθε περίοδο χρονοδρομολόγησης κάθε σύνδεση, εφόσον έχει πακέτα προς μετάδοση, λαμβάνει ένα εγγυημένο ρυθμό  $g$  (ως κομμάτι της διαθέσιμης χωρητικότητας  $C$ ):

$$g_i = \frac{\phi_i}{\sum_{j=1}^N \phi_j} C$$

- Εάν τα βάρη έχουν επιλεγεί έτσι ώστε ο μέσος ρυθμός  $r_i$  με τον οποίο φτάνουν τα πακέτα σε μια σύνδεση να είναι ίσος με το προσφερόμενο ρυθμό  $g_i$  τότε ο GPS μπορεί να προσφέρει εγγυημένη απόδοση.

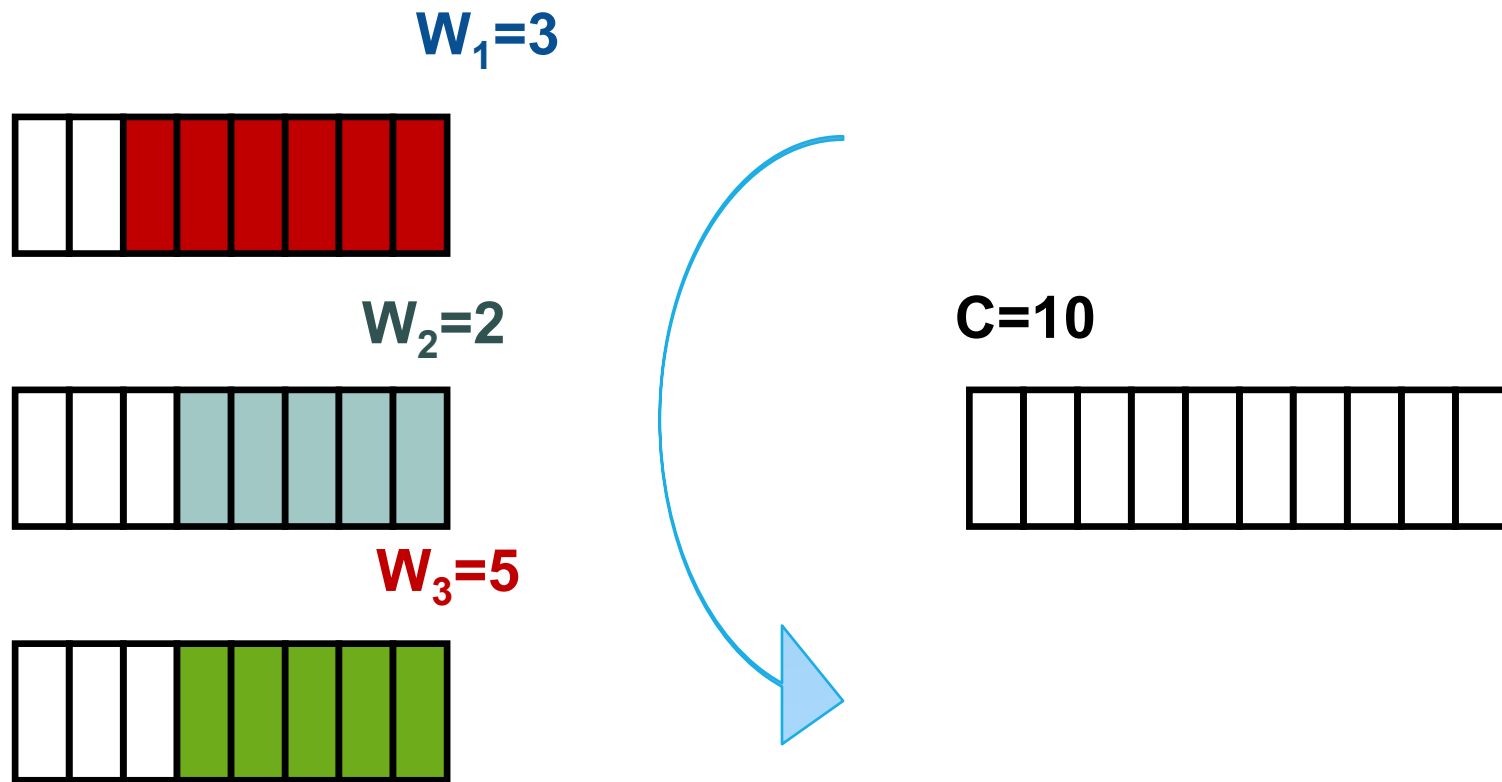
# Weighted Round Robin

---

- Ωστόσο, ο GPS δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην πράξη δεδομένου ότι είναι ένας **ιδεατός αλγόριθμος** ο οποίος προϋποθέτει ότι τα **μεταδιδόμενα δεδομένα μπορούν να διαιρεθούν σε οποιοδήποτε κλάσμα**.
- Η λύση είναι **να προσομοιώσουμε την λειτουργία** του GPS.
- Ο **Weighted Round Robin** αποτελεί την απλούστερη προσέγγιση του GPS.
- Αντί της μετάδοσης μιας αυθαίρετης ποσότητας δεδομένων από κάθε (μη-κενή) ουρά ο **Weighted Round Robin μεταδίδει ένα αριθμό πακέτων**.
- Ο **αριθμός των πακέτων που μεταδίδονται είναι ανάλογος με το βάρος της κάθε ουράς**.

# Weighted Round Robin

---



Αν το μέγεθος του πακέτου είναι μεταβλητό;

# Packet by Packet GPS (PGPS)

---

- Η λύση για το πρόβλημα του μεταβλητού μεγέθους των πακέτων δίνεται από τον αλγόριθμο Packet by Packet GPS (PGPS) γνωστό επίσης και ως Weighted Fair Queuing (WFQ).
- Ο PGPS όπως και ο WFQ προσομοιώνει την λειτουργία του GPS.
- Σε κάθε άφιξη ενός πακέτου υπολογίζεται ο χρόνος αναχώρησης του με βάση τον αλγόριθμο GPS (θεωρώντας ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί).
- Στη συνέχεια, τα πακέτα εξυπηρετούνται κατά αύξουσα σειρά των χρόνων αναχώρησής τους.
- Με τον τρόπο αυτό ο PGPS αντιμετωπίζει καλύτερα από τον WFQ το πρόβλημα του μεταβλητού μεγέθους των πακέτων.

# Ασύρματο Περιβάλλον

---

- Σε ασύρματο περιβάλλον **μια σύνδεση μπορεί να μην είναι σε θέση να μεταδώσει για ένα αυθαίρετο διάστημα**. Ο PGPS δεν έχει σχεδιαστεί για να αντιμετωπίσει αυτό το πρόβλημα.
- Έτσι, αναπτύχθηκε η κατηγορία των χρονοδρομολογητών **Wireless Fair Queuing (WFQ)** οι οποία περιλαμβάνει ενδεικτικά τους:
  - Idealized Wireless Fair Queuing algorithm (IWFQ), Wireless Packet Scheduling (WPS), Channel-condition Independent Fair Queuing algorithm (CIF-Q), Server Based Fairness Approach (SBFA), Wireless Fair Service algorithm (WFS)
- Όλοι αυτοί οι αλγόριθμοι έχουν την ίδια βασική δομή: *Προσομοιώνουν την λειτουργία του GPS σε ένα περιβάλλον χωρίς σφάλματα και την χρησιμοποιούν ως σημείο αναφοράς για την πραγματική ανάθεση χωρητικότητας.*



# *Delay driven packet schedulers*

---

# Earliest Due Date

---

- Αντίθετα με τον GPS, ο αλγόριθμος **Earliest Due Date (EDD)** ο οποίος ονομάζεται και **Earliest Deadline First** προσφέρει διαφοροποίηση εξυπηρέτησης με βάση την καθυστέρηση των πακέτων.
- Με βάση τον **EDD** κάθε εισερχόμενο πακέτο μιας σύνδεσης  $i$  συνδέεται με **μια προθεσμία (deadline)**  $(t_a + D_{T,i})$ , όπου  $t_a$  είναι **ο χρόνος άφιξης του πακέτου** και  $D_{T,i}$  είναι το **άνω όριο της καθυστέρησης** που μπορεί να ανεχτεί το πακέτο.
- Στην συνέχεια τα πακέτα εξυπηρετούνται με βάση τον χρόνο προθεσμία τους. **Πακέτα που λήγουν σε μικρότερο χρόνο εξυπηρετούνται με μεγαλύτερη προτεραιότητα.**
- Σε ασύρματο περιβάλλον ο EDD πρέπει να προσαρμοστεί στην **μεταβλητή χωρητικότητα του ασύρματου καναλιού**. Ο **Feasible-EDD** είναι μια παραλλαγή του EDD για ασύρματο περιβάλλον. Ο **FEDD** εξυπηρετεί τα πακέτα με την μικρότερη προθεσμία μόνο για εκείνες τις συνδέσεις για τις οποίες το ασύρματο κανάλι βρίσκεται σε καλή κατάσταση.

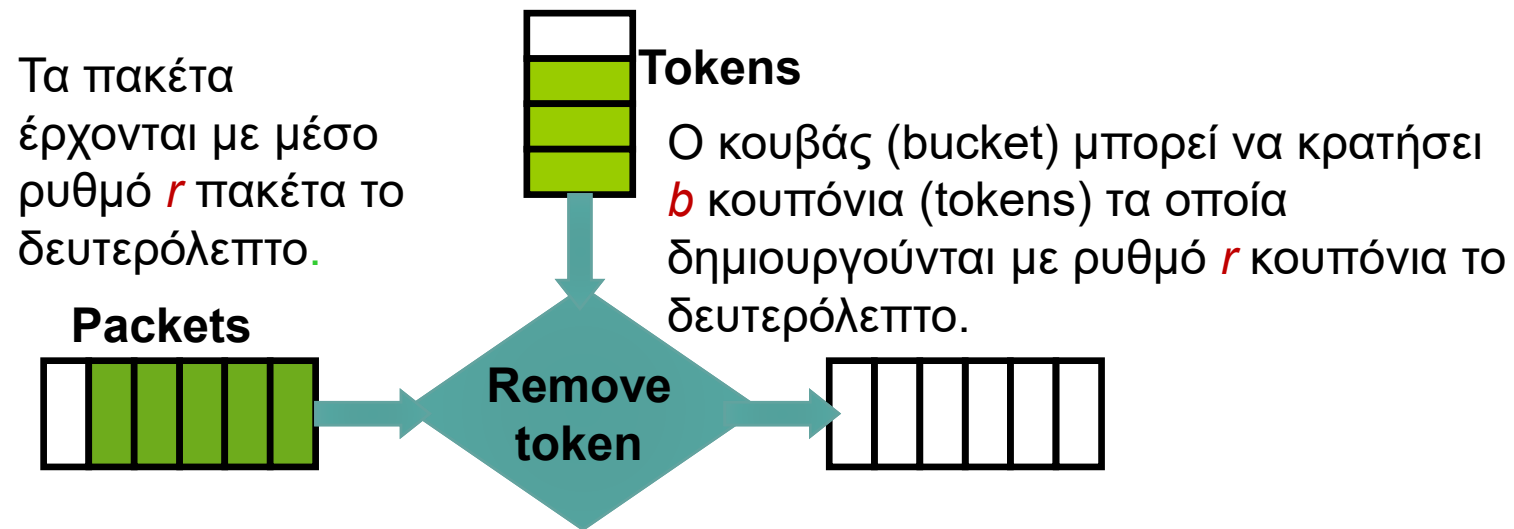
# Συμπεράσματα

---

- Οι **Rate based schedulers** μοιράζουν το εύρος ζώνης δίκαια μεταξύ όλων των συνδέσεων ανεξάρτητα από το αν αυτές περιορίζονται από **leaky bucket** ή όχι.
- Οι **Rate based schedulers** δεν μπορούν να παρέχουν **διαφοροποίηση εξυπηρέτησης (QoS differentiation)** με βάση την ευαισθησία στην καθυστέρηση της κάθε υπηρεσίας.
- Οι **Delay driven schedulers** αντίθετα παρέχουν **διαφοροποίηση εξυπηρέτησης (QoS differentiation)** με βάση την ευαισθησία στην καθυστέρηση της κάθε υπηρεσίας.
- Οι **Delay driven schedulers** **χρειάζονται έναν τρόπο (leaky bucket)** για να περιορίσουν τις ροές δεδομένων στα χαρακτηριστικά τα οποία είχαν συμφωνηθεί κατά την αποκατάσταση της σύνδεσης.

# Leaky bucket.

Πρέπει δηλαδή να μπορούν να ελέγξουν χρήστες που δεν συμπεριφέρονται σωστά (**misbehaving users**) και ζητούν εκ των υστέρων μεγαλύτερη χωρητικότητα από αυτή που είχαν ζητήσει αρχικά.



# Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της 3GPP **οι διάφορες εφαρμογές και υπηρεσίες μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες ποιότητας εξυπηρέτησης (QoS):**

**Conversational  
(voice)**

**Streaming  
(streaming  
video)**

**Interactive  
(web  
browsing)**

**Background  
(email)**

Ο κύριος παράγοντας διαφοροποίησης ανάμεσα σε αυτές τις κατηγορίες είναι ο βαθμός ευαισθησίας στην καθυστέρηση.

Επομένως **ο χρονοδρομολογητής που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα σύστημα HSPA πρέπει να μπορεί να προσφέρει διαφοροποίηση εξυπηρέτησης με βάση την καθυστέρηση.**