



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Ενότητα 9 : Δίκτυο UMTS

Δημοσθένης Βουγιούκας

Επίκουρος Καθηγητής

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Δομή της διάλεξης

4

- Στόχοι-Απαιτήσεις
- Υπηρεσίες
- Περιγραφή Τεχνολογιών - Βασικές Λειτουργίες
- Αρχιτεκτονική
- Air Interface - Φυσικό Στρώμα
- Πρωτόκολλα Ραδιοεπαφής

UMTS

5

Universal Mobile Telecommunication System - UMTS



Περιγραφή των βασικών αρχών WCDMA – UMTS

6

UMTS = Universal Mobile Telecommunications System

Είναι το Πανευρωπαϊκό πρότυπο για συστήματα κινητής τηλεφωνίας 3G (τρίτης γενιάς).

Ανήκει στο σχέδιο IMT2000 (International Mobile Telephony 2000), το οποίο έχει προτείνει η ITU (International Telecommunications Union) για την παγκόσμια παροχή υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας 3ης γενιάς.

WCDMA = Wideband Code Division Multiple Access

Είναι το σύστημα κοινής προδιαγραφής που προέκυψε από την διεθνή συνεργασία που καλείται 3GPP (3rd Generation Partnership Project) και υιοθετήθηκε από το UMTS.

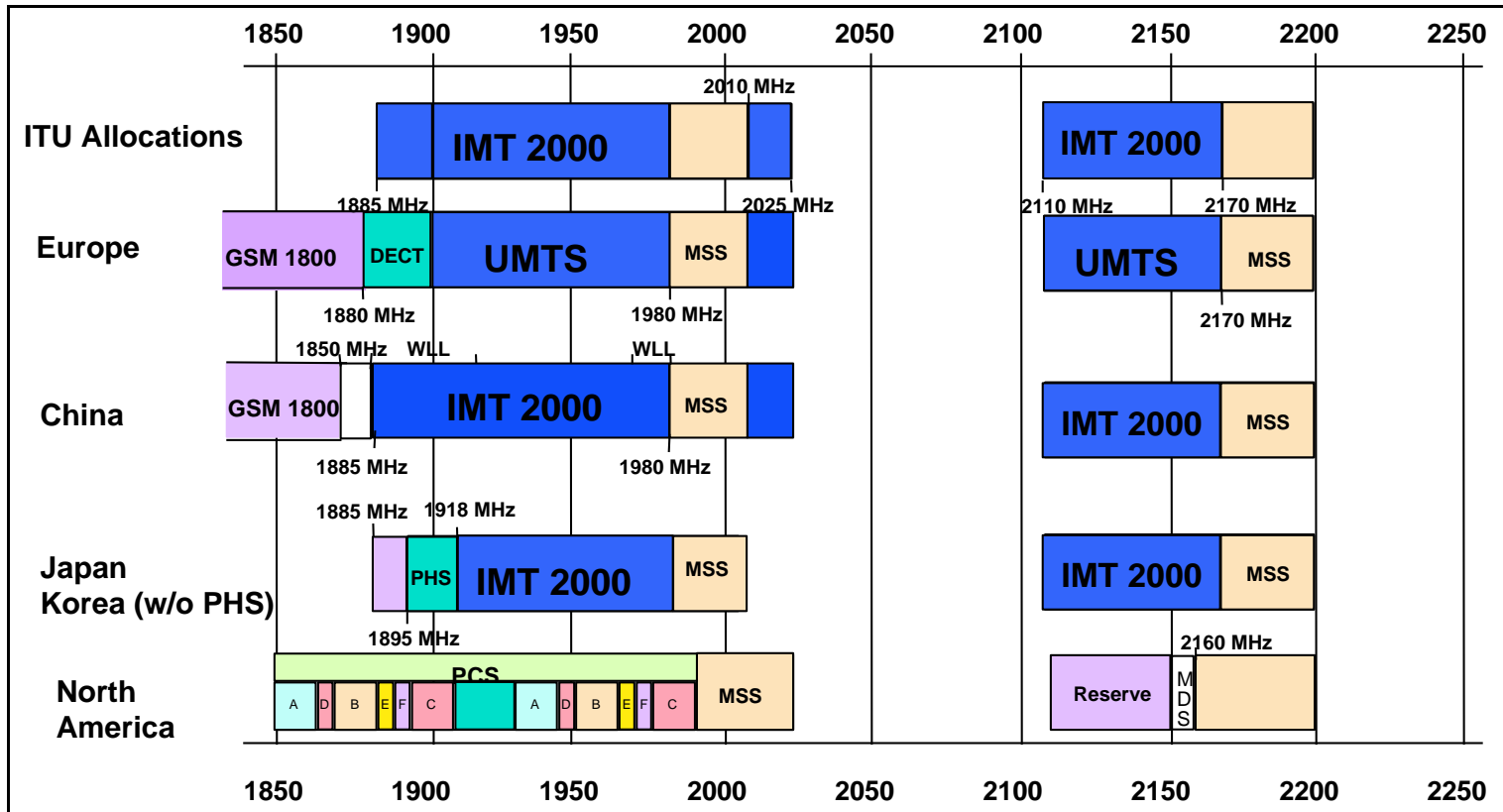
Βασικοί Στόχοι του UMTS

7

- Υψηλοί ρυθμοί δεδομένων, οι οποίοι θα έχουν δυνατότητα υποστήριξης εφαρμογών πολυμέσων και διαδικτύου
- Συμβατότητα με τα σημερινά συστήματα
- Σύγκλιση διαφορετικών τεχνολογιών
- Παγκόσμια παροχή υπηρεσιών
- Επίγεια και δορυφορική επικοινωνία
- Παροχή ευέλικτων και αδιάλειπτων υπηρεσιών
- Παροχή ευέλικτων και μικρών κινητών τερματικών με δυνατότητα ρύθμισης ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη
- Υψηλή ποιότητα υπηρεσιών
- Δυνατότητα περιαγωγής παγκοσμίως
- Ανεκτό κόστος υπηρεσιών

Απόδοση Συχνοτήτων για τα δίκτυα 3ης Γενιάς

8



Στην Ευρώπη:

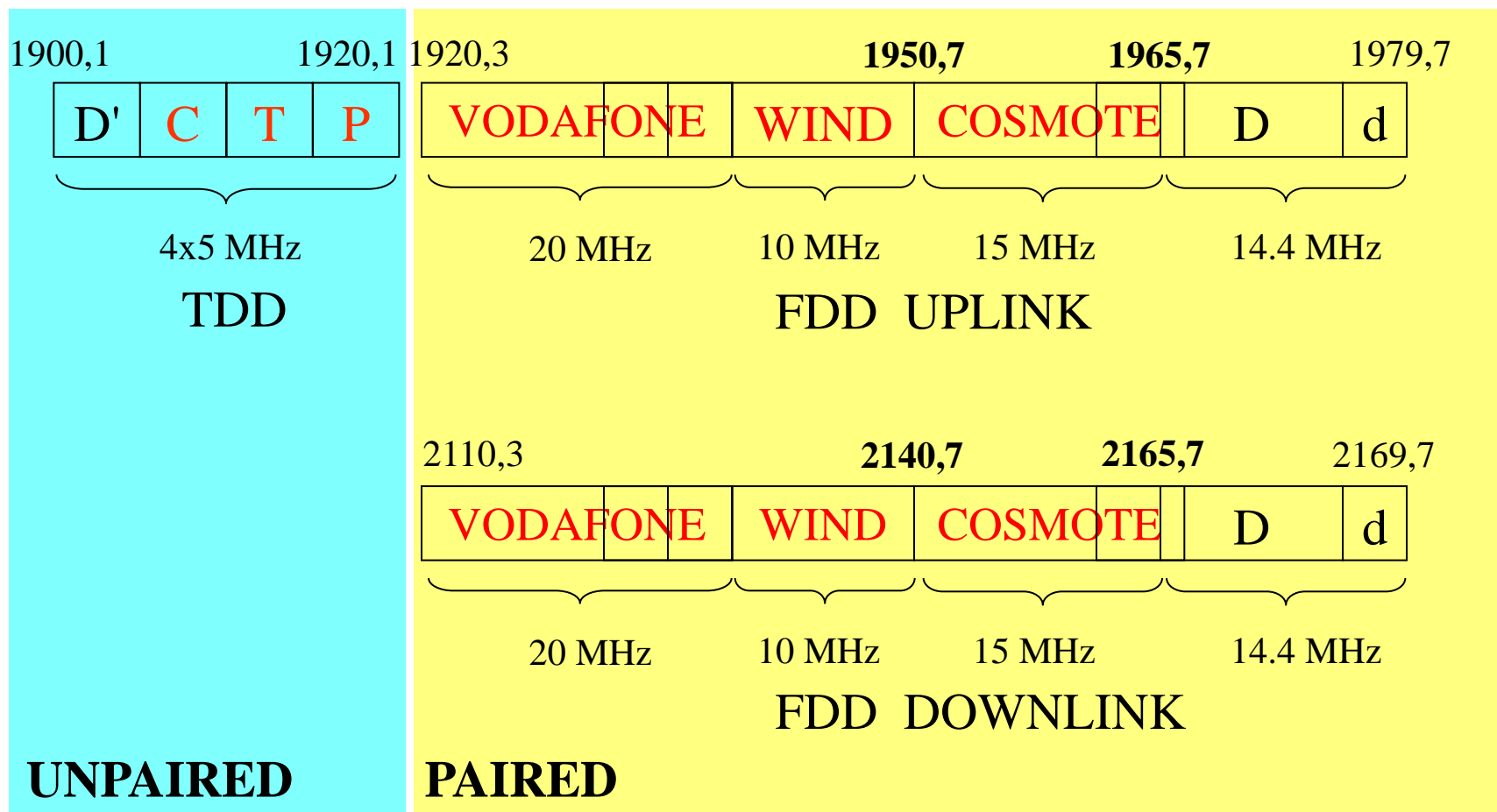
WCDMA FDD (2x60 MHz) 1920-1980 MHz uplink, 2110-2170 MHz downlink

WCDMA TDD (25 MHz) 1900-1920 MHz και 2020-2025 MHz

Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών

Το Φάσμα UMTS στην Ελλάδα

9



Βασικές Απαιτήσεις Δικτύων 3ης Γενιάς

10

- Ρυθμοί μετάδοσης μέχρι 2 Mbps
- Μεταβαλλόμενος ρυθμός μετάδοσης (BoD)
- Πολυπλεξία υπηρεσιών
- Μεταβαλλόμενες απαιτήσεις ως προς την καθυστέρηση
- Μεταβαλλόμενες απαιτήσεις ποιότητας (από 10% FER έως 10^{-6} BER)

Βασικές Απαιτήσεις Δικτύων 3ης Γενιάς

11

- Συνύπαρξη με τα συστήματα 2ης γενιάς
- Υποστήριξη μεταπομπών μεταξύ των συστημάτων 2ης και 3ης γενιάς
- Υποστήριξη ασύμμετρης τηλεπικοινωνιακής κίνησης στην άνω και στην κάτω ζεύξη
- Μεγάλη φασματική απόδοση
- Συνύπαρξη FDD και TDD συστημάτων

Νέες Υπηρεσίες και Εφαρμογές

12

- Διαδίκτυο
- e-shopping
- e-learning
- On-line εφημερίδες
- Location Based Services
- Εικονικό σχολείο
- On-line βιβλιοθήκη
- Τεχνική εκπαίδευση
- Εικονοτηλέφωνο (Video telephony)
- Εικονοδιάσκεψη (Video conference)
- Εικονικές τραπεζικές συναλλαγές
- ...

Κλάσεις Υπηρεσιών στο UMTS

13

- Υπάρχουν 4 κλάσεις υπηρεσιών
 - ▣ **Conversational Class** (very delay sensitive). Παραδείγματα υπηρεσιών είναι η φωνή, η video τηλεφωνία και τα video games.
 - ▣ **Streaming Class** (less delay sensitive). Το σημαντικό εδώ είναι η σύγχρονη μετάδοση των διαφορετικών μονάδων πληροφορίας π.χ. video και audio. Παράδειγμα είναι το video streaming on demand.
 - ▣ **Interactive Class**, π.χ. web-browsing, interactive games. Εδώ πιο σημαντική είναι η μετάδοση χωρίς σφάλματα (data integrity).
 - ▣ **Background Class** (χωρίς περιορισμούς στην καθυστέρηση), π.χ. e-mails. Και εδώ είναι σημαντική η μετάδοση χωρίς σφάλματα.

Ρυθμοί Μετάδοσης

14

- Μέχρι 144 kbps σε αγροτικές και ημιαστικές περιοχές, για υψηλές ταχύτητες (>100 km/h)
- Μέχρι 384 kbps σε αστικές περιοχές, για χαμηλές ταχύτητες (<100 km/h)
- Μέχρι 2 Mbps σε εσωτερικούς χώρους (στατικοί χρήστες)
- Δυνατότητα μεταβλητού ρυθμού μετάδοσης

Διαφορά στους Ρυθμούς Μετάδοσης

15

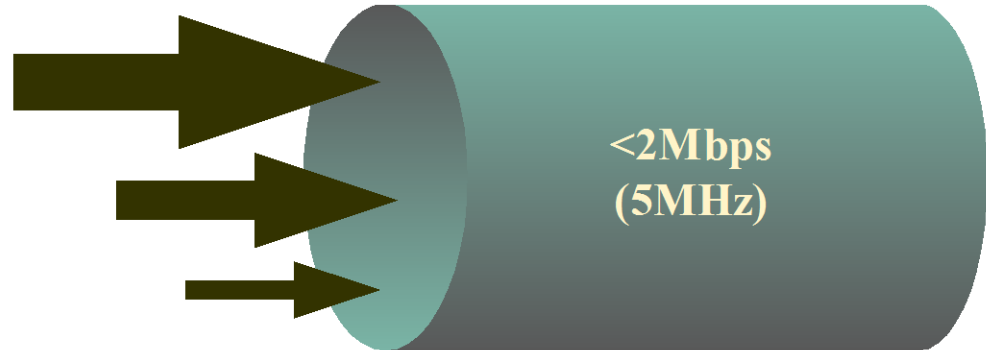
2G

Φωνή
Χαμηλοί
Ρυθμοί Μετάδοσης



3G

Εικόνες και
Video
Internet
Φωνή



Ενδεικτικές Ταχύτητες Υπηρεσιών στο UMTS

16

Service	Peak data rates (kbps)		Minimum data rates (kbps)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Circuit switched				
Voice	12.2	12.2	4.75	4.75
Video telephony	144	144	64	64
Packet switched				
Email delivery	384	384	0	0
Web browsing	64	384	16	96
Intranet	384	384	64	64
Monitoring & control	64	64	32	32

Βασικές Διαφορές UMTS και GSM

17

	UMTS	GSM
Ραδιοεπαφή	WCDMA	FDMA/TDMA
Απόσταση φερόντων	5 MHz	200 kHz
Συντελεστής επαναχρησιμοποίησης συχνότητας	1	1-18
Συχνότητα ελέγχου ισχύος	1500 Hz	~ 2 Hz

Υψηλά
bit rates

Φασματική
απόδοση

Βασικές Διαφορές UMTS και GSM

18

Αποδοτικά
πακέτα
δεδομένων

Χωρητικότητα
στο downlink

Χαμηλότερα
επίπεδα
ακτινοβολίας

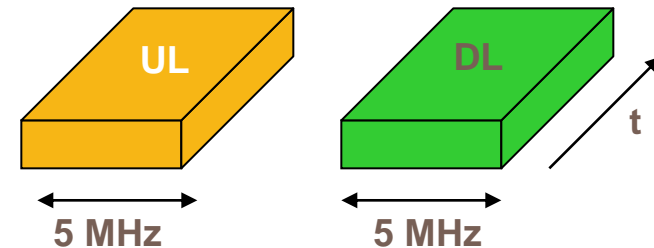
	UMTS	GSM
Πακέτα δεδομένων	Scheduling με βάση το τηλεπικοινωνιακό φορτίο	Scheduling χρονοσχισμών στο GPRS
Διαφορισιμότητα εκπομπής στην κάτω ζεύξη	Βελτιώνει τη χωρητικότητα της κάτω ζεύξης	Δεν υποστηρίζεται αλλά μπορεί να εφαρμοστεί
Ισχύς Εκπομπής Κινητού Σταθμού	21dBm (0,125W)	30dBm (1W) ή 27dBm (0,5W)
Φιλοσοφία Σχεδιασμού	Χωρητικότητα & κάλυψη	Χωρητικότητα

FDD και TDD

19

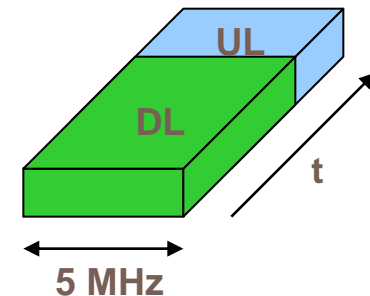
FDD (Frequency Division Duplex)

- Διαφορετικό εύρος συχνοτήτων για Uplink and Downlink
- Κάλυψη μεγάλων αποστάσεων
- Ενδείκνυται για συμμετρικές υπηρεσίες, π.χ. φωνή, εικονοτηλέφωνο
- Απαιτούνται ζεύγη συχνοτήτων
- Χρησιμοποιείται για το WCDMA
- Μέχρι 384 kbps σε μακροκυψέλες και μικροκυψέλες



TDD (Time Division Duplex)

- Uplink και Downlink σήματα μέσα στην ίδια ζώνη συχνοτήτων αλλά ξεχωριστά στο χρόνο
- Ενδείκνυται για ασύμμετρες υπηρεσίες, π.χ. web browsing
- Έξυπνη κατανομή συχνοτήτων
- Απαιτείται χρονικός συγχρονισμός
- Μέχρι 2 Mbps σε μικροκυψέλες και πικοκυψέλες



Κυριότεροι Παράμετροι του UMTS

20

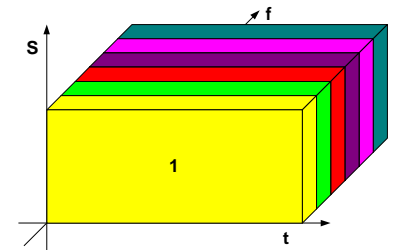
Μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης	DS-CDMA (Direct-sequence CDMA)
Μέθοδος Duplexing	FDD/TDD
Συγχρονισμός βάσης σταθμών	Ασύγχρονη Λειτουργία
Chip Rate	3,84 Mcps
Μήκος πλαισίου	10 ms
Υπηρεσία πολυπλεξίας	Πολλαπλές υπηρεσίες με διαφορετικές απαντήσεις ποιότητας υπηρεσίας πολυπλεγμένες σε μία σύνδεση.
Έννοια Multirate	Μεταβλητός συντελεστής διασποράς και πολυκωδικοποίησης
Φώραση	Σύγχρονη χρησιμοποίηση συμβόλων πιλότων ή κοινών πιλότων
Multiuser detection Έξυπνες κεραίες	Υποστηριζόμενο από την τυποποίηση, θεωρητικά στην εφαρμογή

Τεχνική Πολλαπλής Πρόσβασης

21

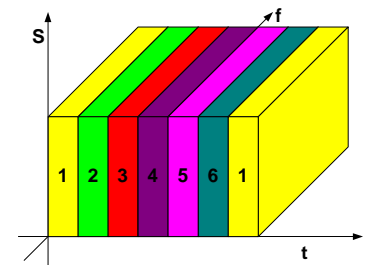
FDMA

- Διαφορετικός χρήστης στο πεδίο της συχνότητας



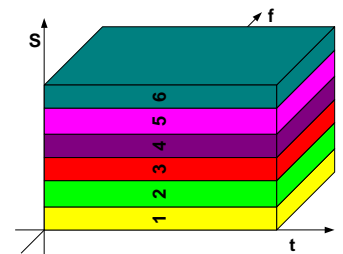
TDMA

- Διαφορετικός χρήστης στο πεδίο του χρόνου



CDMA

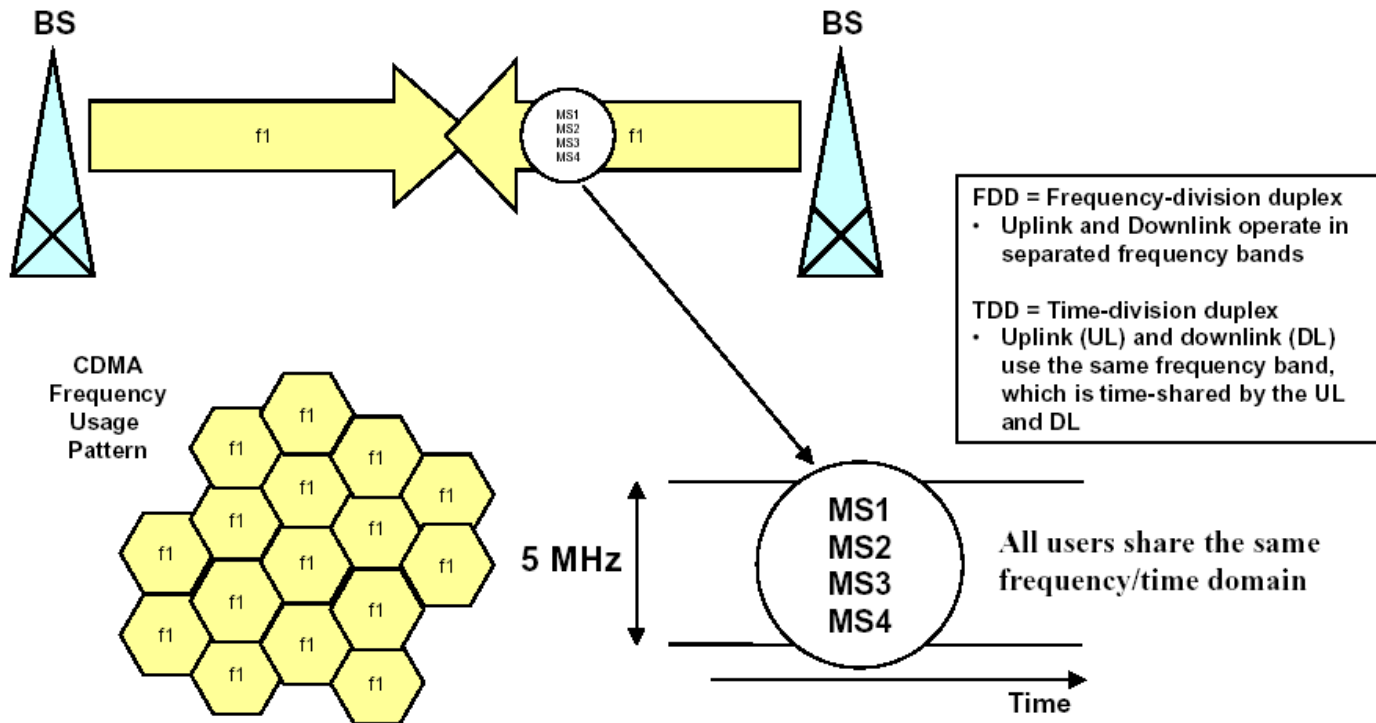
- Διαφορετικός χρήστης στο πεδίο του κώδικα (σήματος)
- Όλοι οι χρήστες εκπέμπουν δεδομένα την ίδια χρονική στιγμή και στην ίδια συχνότητα



Τεχνική CDMA

22

- Όλοι οι χρήστες μοιράζονται την ίδια συχνότητα
- Όλοι οι χρήστες έχουν πρόσβαση σε όλο το εύρος ζώνης ταυτόχρονα
- Οι χρήστες διαχωρίζονται με ορθογωνικούς κώδικες διασποράς



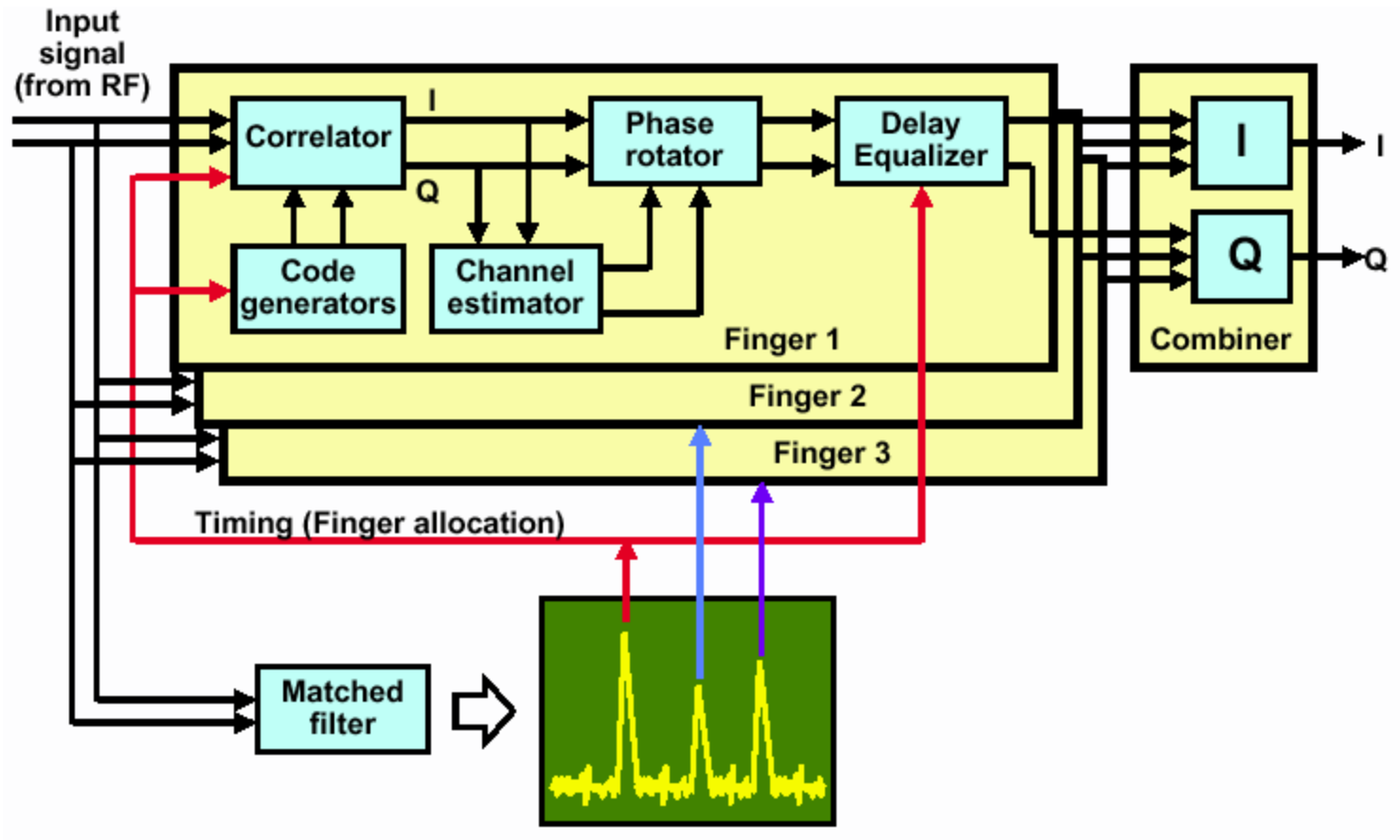
Οι συνέπειες του Multipath

23

- ❑ **Multipath delay:** Στο δέκτη εμφανίζονται είδωλα του ίδιου σήματος με διαφορετικά πλάτη και σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.
- ❑ Κάθε chip διαρκεί 0,26μs. Ο CDMA δέκτης μπορεί να ανακτήσει σήματα που απέχουν χρονικά τουλάχιστον 0,26μs => διαφορά μήκους διαδρομών multipath τουλάχιστον 78m.
- ❑ Σήματα που απέχουν χρονικά λιγότερο από 0,26μs, θεωρούνται από το δέκτη CDMA σαν παρεμβολή (θόρυβος).
- ❑ Multipath diversity ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιοχές urban.
- ❑ **Fast Fading:** Στα 2GHz το μήκος κύματος είναι ίσο με 15cm.
- ❑ Δύο είδωλα του ίδιου σήματος με διαφορά διαδρομής 7,5cm φθάνουν στην κεραία του δέκτη με διαφορά φάσης 180°, εξουδετερώνοντας το ένα το άλλο.
- ❑ Η διαφορά διαδρομής των 7,5cm αντιστοιχεί σε χρονική διαφορά 0,00025μs, η οποία είναι πολύ μικρότερη (fast) από τη διάρκεια του chip (0,26μs).
- ❑ Ο δέκτης CDMA απορρίπτει τις γρήγορες εναλλαγές σε φάση και πλάτος αντιμετωπίζοντας πιο αποτελεσματικά το fast fading.

Δέκτης RAKE

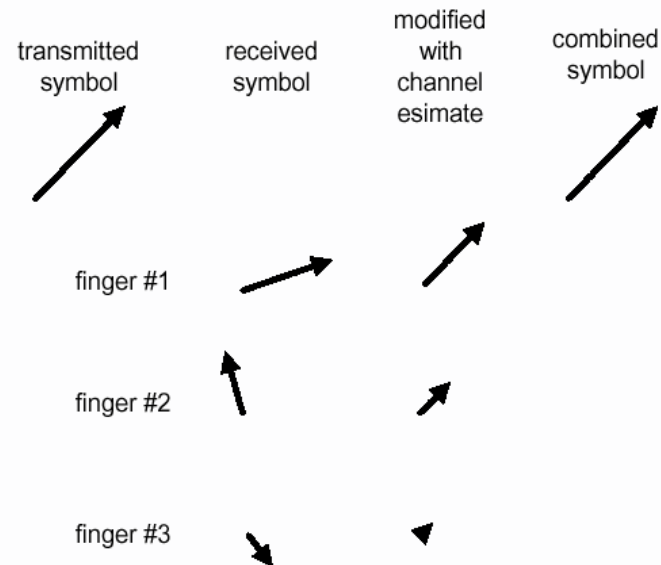
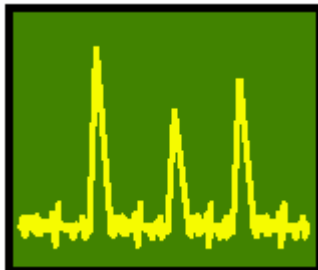
24



Maximal Ratio ("RAKE") Combining των συμβόλων

25

- Το κανάλι μπορεί να περιστρέψει το σήμα τόσο σε πλάτος όσο και σε φάση
- Τα QPSK σύμβολα μεταφέρουν πληροφορία στη φάση
- Η ενέργεια μοιράζεται σε πολλά fingers
- Η τεχνική του maximal ratio combining διορθώνει τις φάσεις του καναλιού

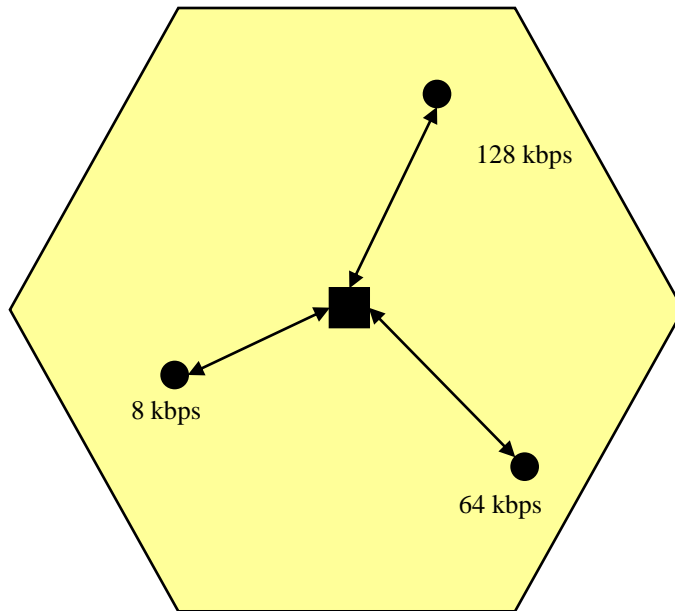


Εκμετάλλευση του Multipath

- Ο κώδικας του correlator συγχρονίζεται με κάθε multipath σήμα.
- Κάθε finger μπορεί να ανακτήσει σήματα με χρονική διαφορά τουλάχιστον 0,26μs.
- Το fast fading απορρίπτεται με τη βοήθεια ειδικών συμβόλων που παρέχουν μια εκτίμηση της στιγμιαίας κατάστασης του καναλιού (pilot symbols).
- Τα σήματα όλων των fingers συνδυάζονται σε μια κοινή έξοδο παρέχοντας multipath diversity.
- Ο δέκτης Rake δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης με περισσότερους από ένα σταθμούς βάσης.

Cell Breathing

27

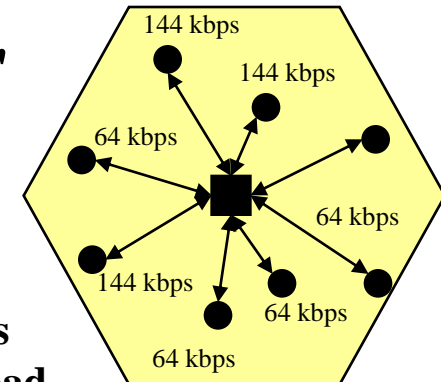


Low load 200 kbps (throughput)
=> large coverage

"Cell breathing"



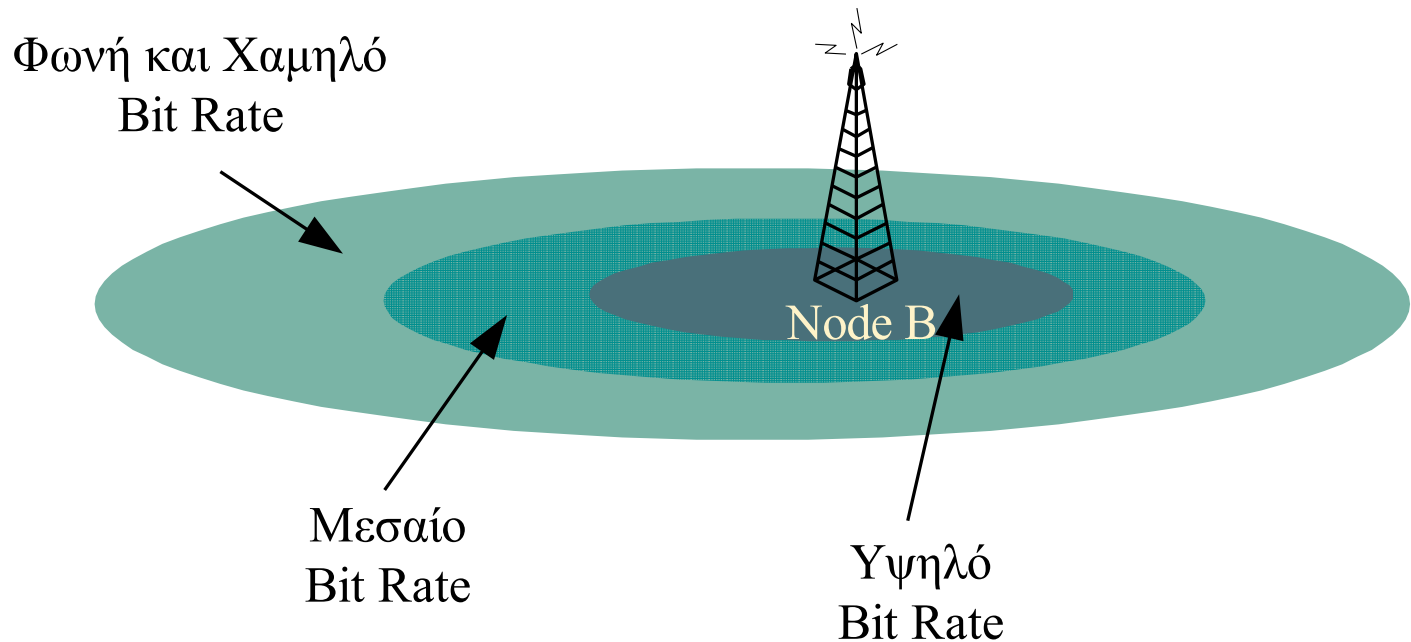
The size of cell varies according the traffic load



High load 800 kbps (throughput)
=> smaller coverage

Διαφορετική Κάλυψη για Διαφορετικές Υπηρεσίες

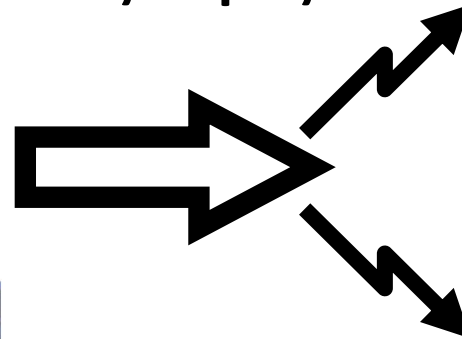
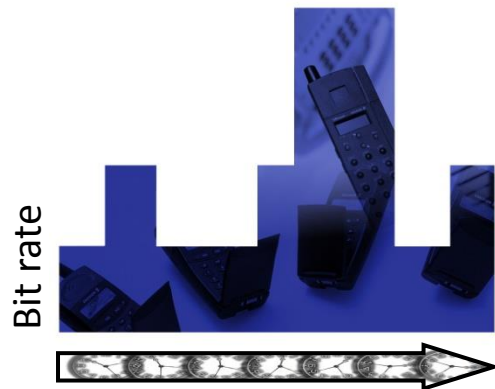
28



Ευελιξία του Ρυθμού Μετάδοσης

29

Αρχή μεταβλητότητας στο WCDMA :
**Η ισχύς είναι ο κοινός
διανεμημένος φυσικός πόρος**



Μεταβάλλοντας το
bit rate του χρήστη

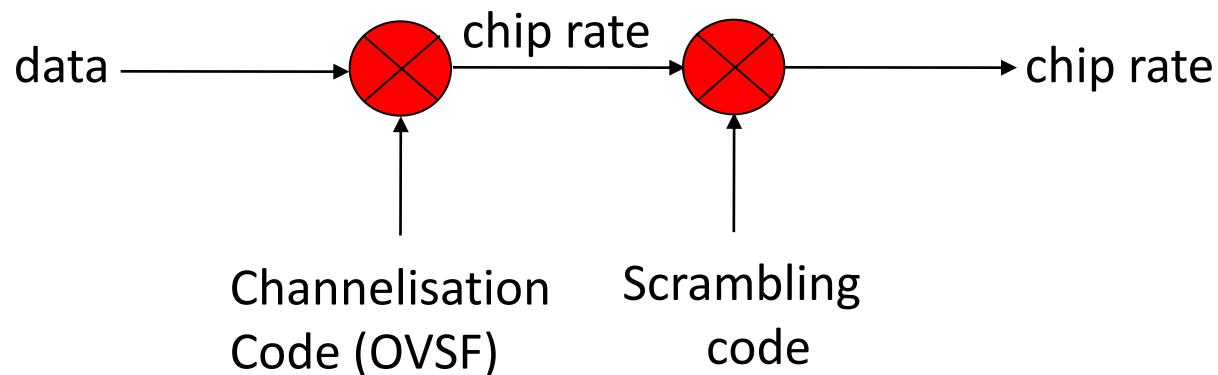
Μεταφράζεται
σε

- ♦ Μεταβολή του επιπέδου ισχύος
- ♦ Μεταβολή του spreading factor

Διαδικασία Διασποράς

- Αύξηση του εύρους ζώνης του σήματος
 - ▣ Channelisation
 - ▣ Scrambling

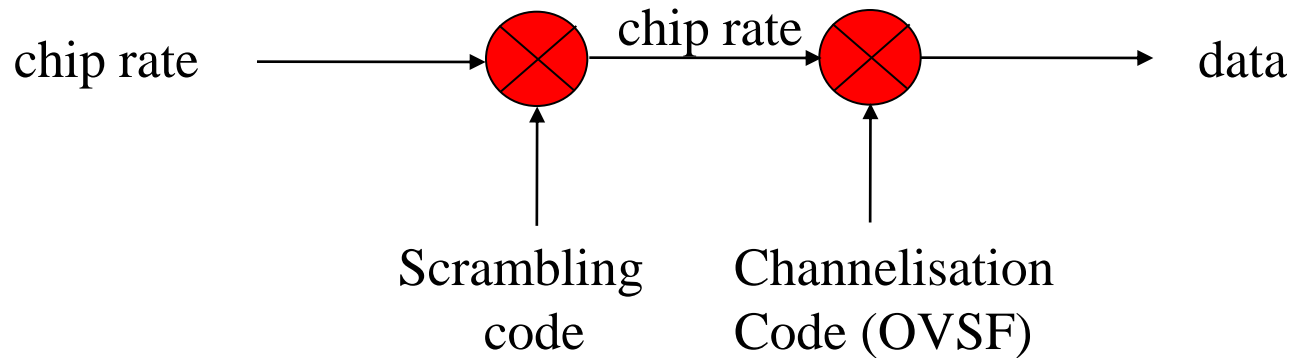
Το σύστημα WCDMA χρησιμοποιεί δύο ακολουθίες για την εξάπλωση των δεδομένων, οι οποίες συνδυάζονται με την τεχνική της υπέρθεσης (superposition), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, παράγοντας ένα ρυθμό (chip rate) της τάξης των 3,84Mcps.



Εκπομπή

Διαδικασία Αποδιασποράς

- Κατά τη διάρκεια της λήψης, οι ακολουθίες εφαρμόζονται με αντίστροφη σειρά για την ανάκτηση των δεδομένων.



Λήψη

Channelisation & Scrambling Codes

32

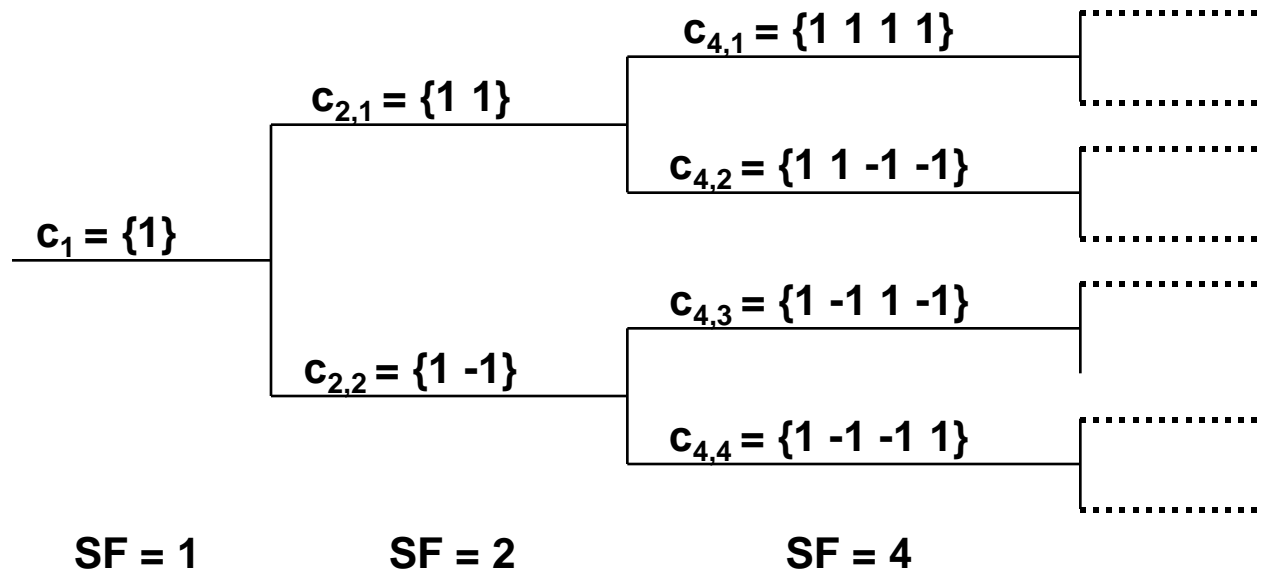
Short Codes


Long Codes

Channelisation Codes	Scrambling Codes
Διαχωρίζουν σήματα που προέρχονται από την ίδια πηγή	Διαχωρίζουν σήματα που προέρχονται από διαφορετικές πηγές
Στην άνω ζεύξη διαχωρίζουν τα κανάλια δεδομένων και ελέγχου (του ίδιου χρήστη)	Στην άνω ζεύξη διαχωρίζουν τους χρήστες
Στην κάτω ζεύξη διαχωρίζουν τις συνδέσεις σε διαφορετικούς χρήστες της ίδιας κυψέλης	Στην κάτω ζεύξη διαχωρίζουν τους τομείς
Αυξάνουν το εύρος ζώνης	Δεν επηρεάζουν το εύρος ζώνης

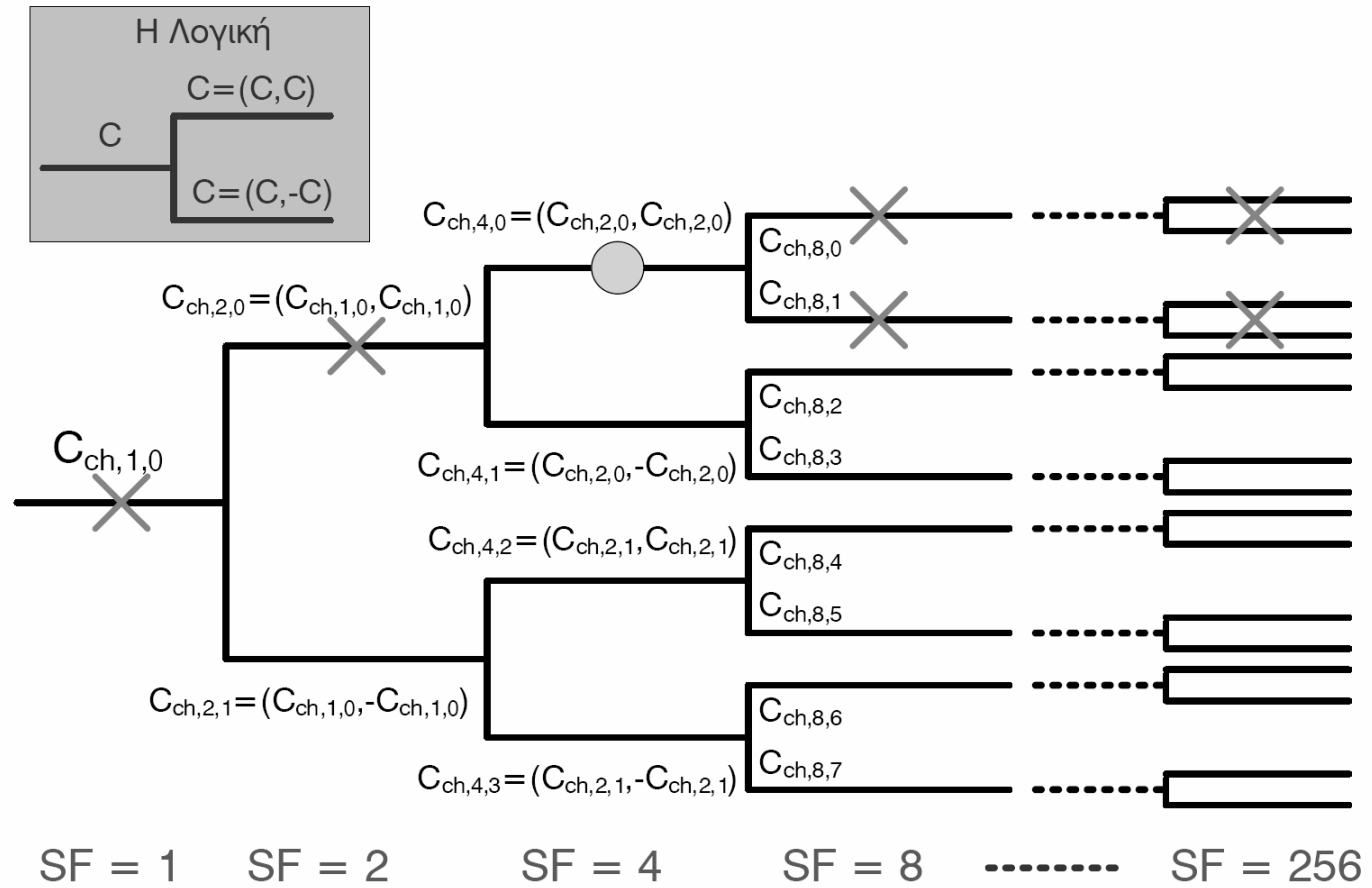
Orthogonal Variable Spreading Factor (OVSF) Codes

33



- Οι κώδικες OVSF διατηρούν την ορθογωνιότητα μεταξύ καναλιών με διαφορετικούς ρυθμούς και spreading factors.
- Περιορισμένος αριθμός κωδίκων
 - ▣ Υψηλότερος ρυθμός  λιγότεροι κώδικες

Orthogonal Variable Spreading Factor (OVSF) Codes



Orthogonal Variable Spreading Factor (OVSF) Codes

35

- Σχέση μεταξύ SF και ρυθμών μετάδοσης UL και DL

SF	Symbol Rate (Ksps)	Channel bit rate (Kbps) in UL	Channel bit rate (Kbps) in DL
512	7.5	-	15
256	15	15	30
128	30	30	60
64	60	60	120
32	120	120	240
16	240	240	480
8	480	480	960
4	960	960	1920

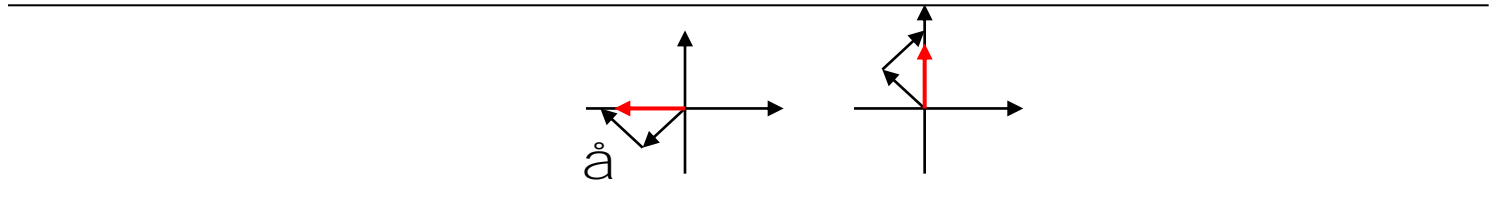
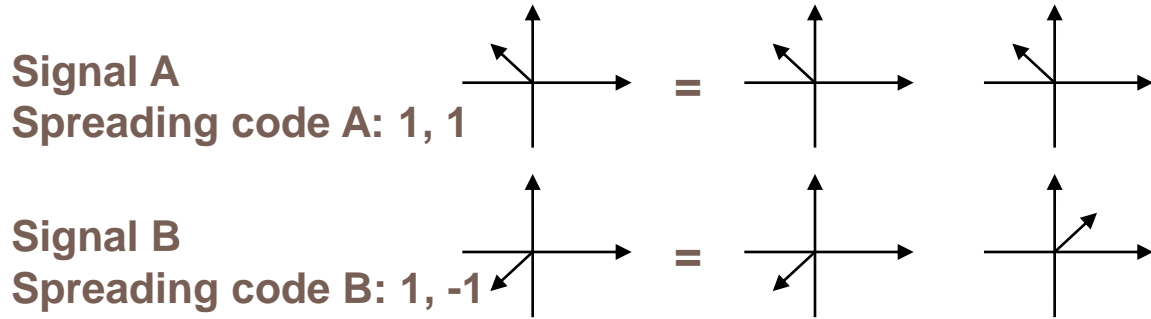
Scrambling Codes

36

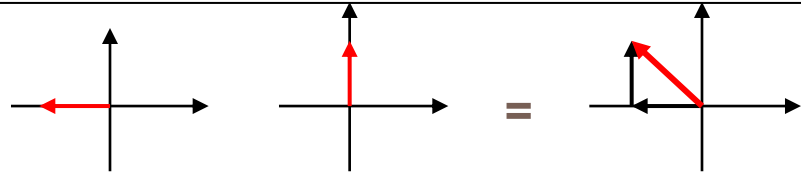
- Ονομάζονται ακολουθίες PN (pseudo-noise), διότι αν και περιοδικές, έχουν ιδιότητες τυχαίων ακολουθιών.
- Υπάρχουν long και short κώδικες scrambling.
 - Οι long κώδικες προέρχονται από ακολουθίες Gold με πολύ χαμηλή συσχέτιση (correlation), έτσι ώστε να είναι σχεδόν ορθογώνιοι (orthogonal).
 - Οι long κώδικες χρησιμοποιούνται στο **downlink** (ακολουθία Gold μήκους $2^{18}-1$ chips) και στο **uplink** (ακολουθία Gold μήκους $2^{25}-1$ chips).
 - Οι short κώδικες χρησιμοποιούνται μόνο στο **uplink**.
 - Έχουν μήκος 256 chips και προέρχονται από ακολουθίες που ονομάζονται S(2).
 - Επαναλαμβάνονται με συχνότητα 15.000 φορές το δευτερόλεπτο ($15.000 \times 256 = 3,84\text{Mcps}$).

Παράδειγμα

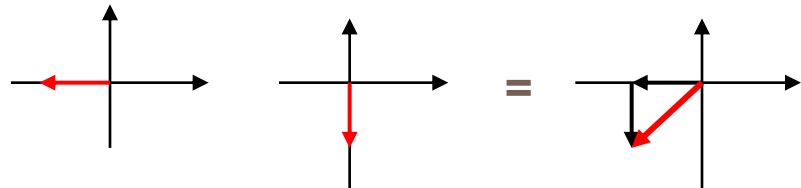
37



Decode Signal A
Spreading code A: 1, 1



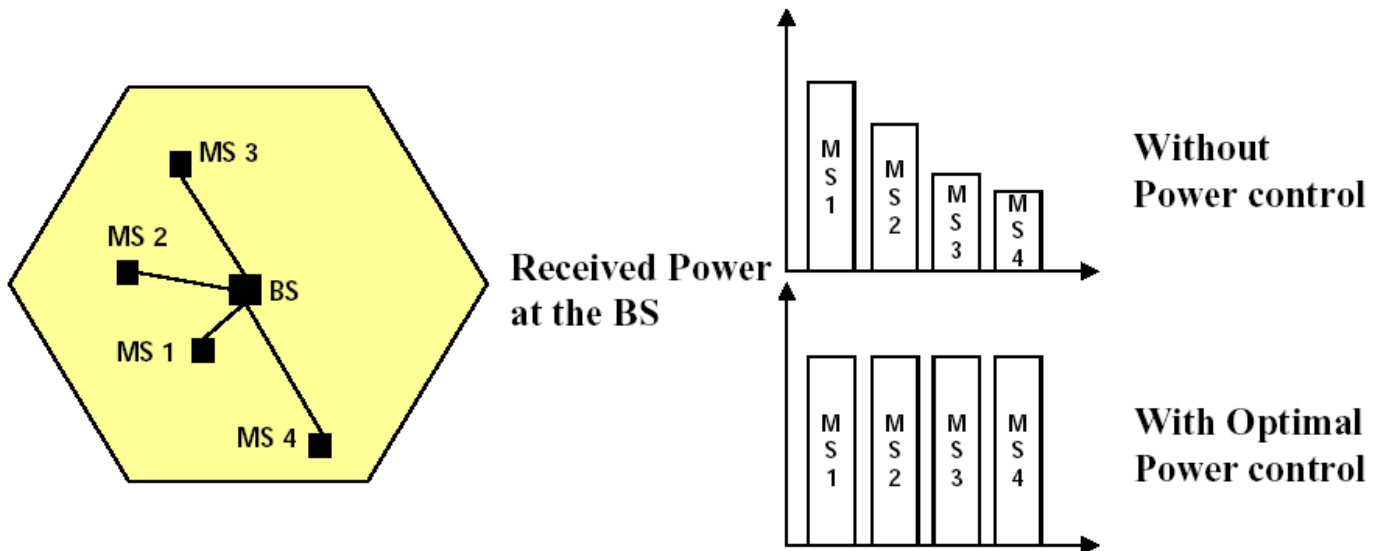
Decode Signal B
Spreading code B: 1, -1



Πρόβλημα Near-Far

38

- Χρήστες κοντά στον σταθμό βάσης δημιουργούν παρεμβολή σε απομακρυσμένους χρήστες καθιστώντας έτσι τη λήψη τους σχεδόν αδύνατη
- Η παρεμβολή στα όρια της κυψέλης επιδεινώνεται λόγω σημάτων από άλλους σταθμούς βάσης



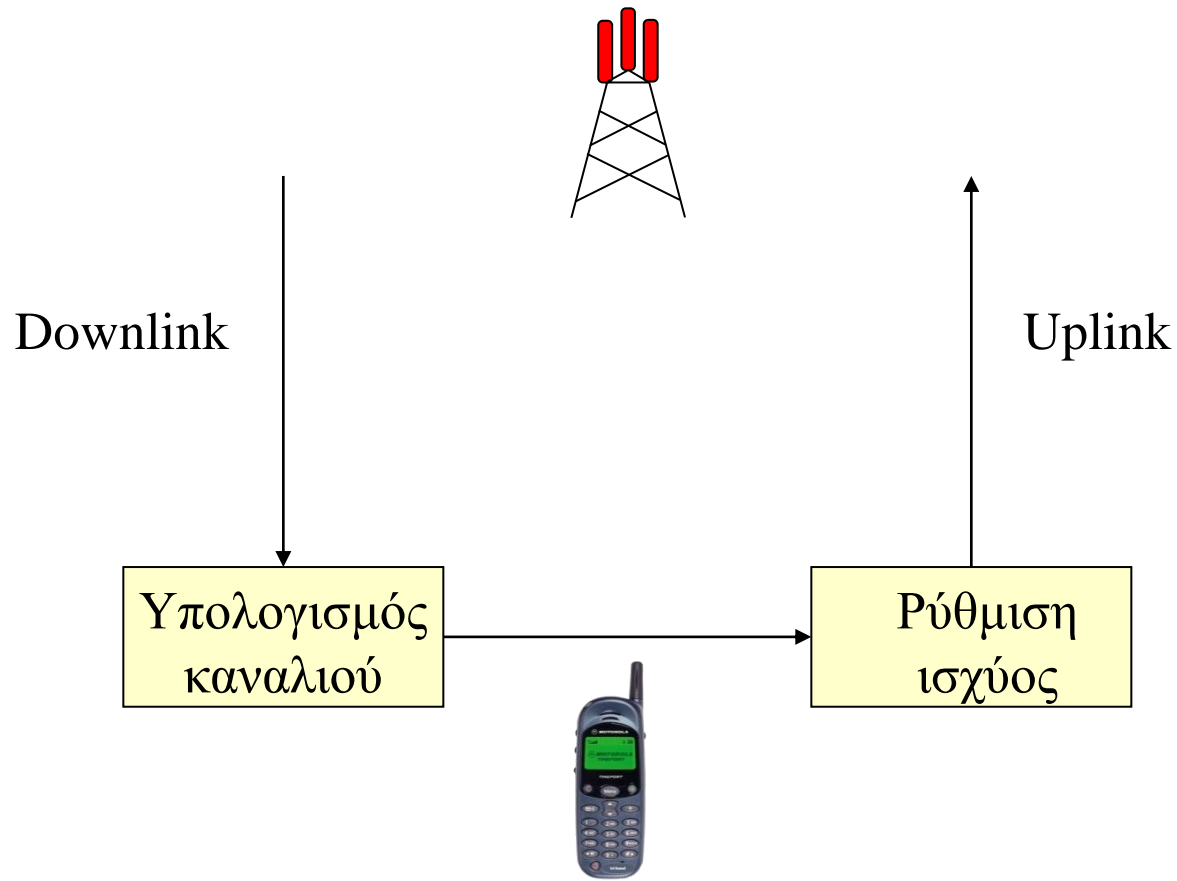
Έλεγχος Ισχύος (Power Control)

39

- Αντιμετωπίζει το φαινόμενο “Near-Far”
- Εξισορρόπηση της ισχύος των σημάτων διαφορετικών χρηστών
- Διατήρηση της ισχύος των BS στο ελάχιστο απαιτούμενο επίπεδο
- Αντισταθμίζει τις χρονικά μεταβαλλόμενες συνθήκες διάδοσης
- Ελαχιστοποιεί την παρεμβολή από άλλους χρήστες
- Αυξάνει την χωρητικότητα του συστήματος
- Αντιμετωπίζει τις διαλείψεις

Open Loop Power Control

40



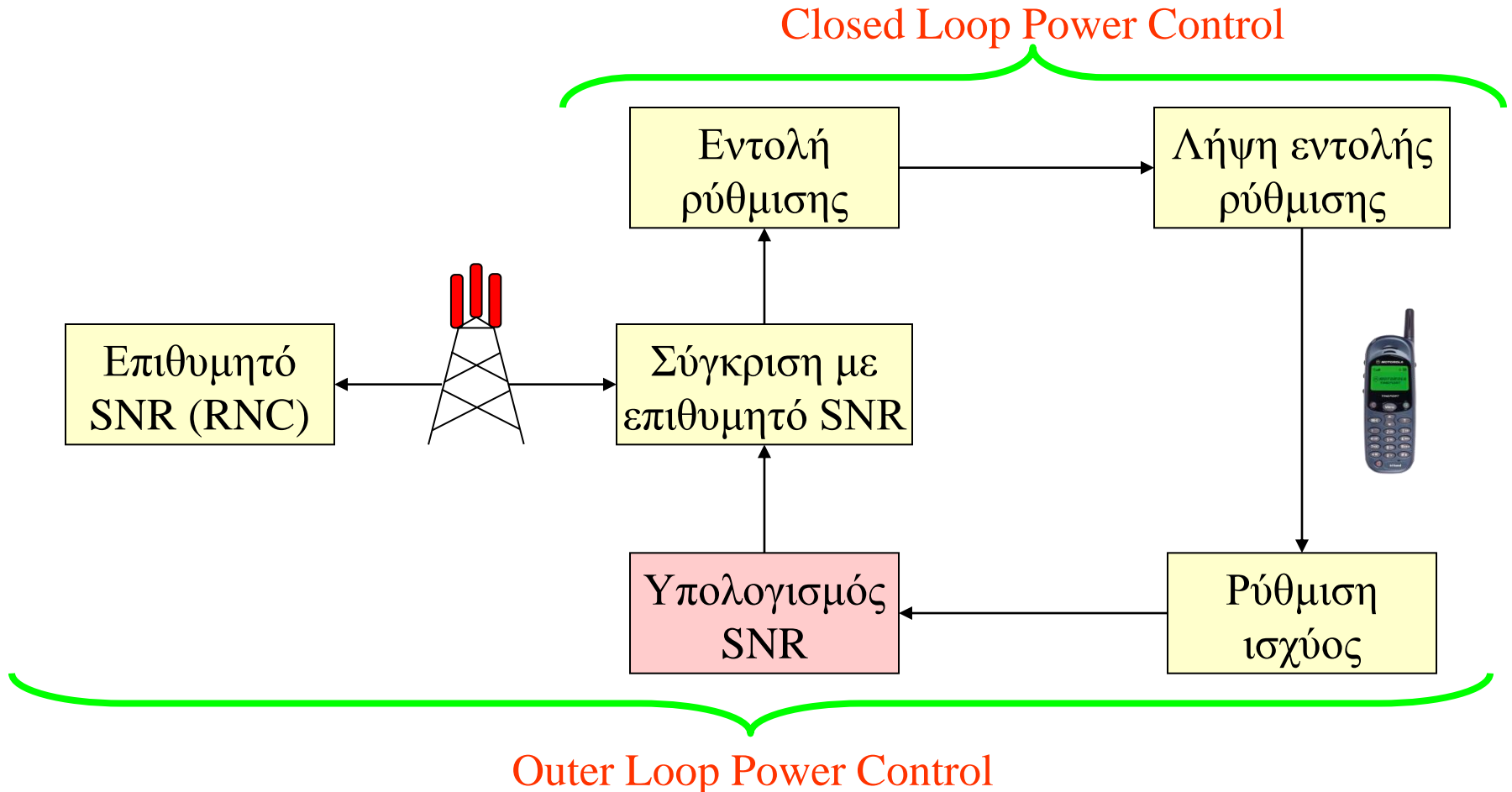
Open Loop Power Control

41

- Το τερματικό υπολογίζει τα χαρακτηριστικά του downlink και ρυθμίζει την ισχύ εκπομπής του, υποθέτοντας ότι θα είναι τα ίδια στο uplink.
- FDD downlink και uplink απέχουν 90MHz => περιορισμένη αποτελεσματικότητα.
- Open Loop Power Control χρησιμοποιείται μόνον όταν το τερματικό επιχειρεί σύνδεση με το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης.
- Αφού επιτευχθεί σύνδεση, χρησιμοποιείται αποκλειστικά το closed loop power control για τον έλεγχο ισχύος της εκπομπής του κινητού.

Closed & Outer Loop Power Control

42



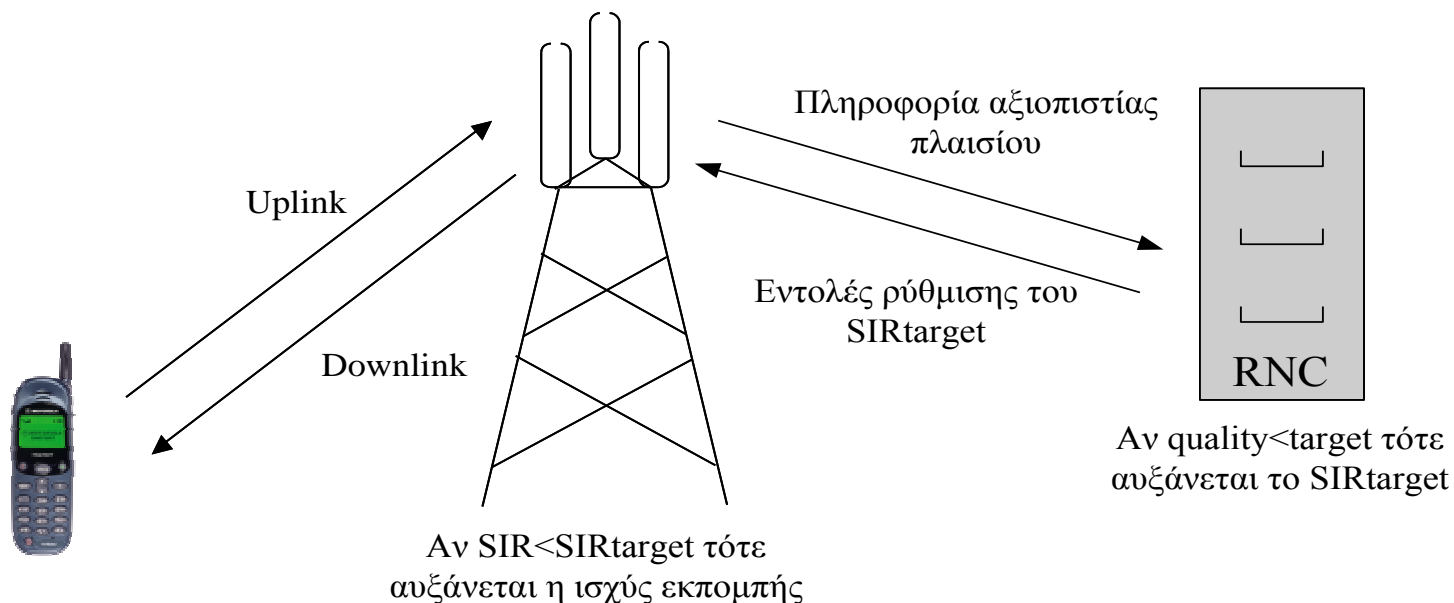
Closed Loop Power Control

- Ο δέκτης (Rake) του σταθμού βάσης πραγματοποιεί δειγματοληπτικό έλεγχο της λαμβανόμενης ισχύος 1.500 φορές το δευτερόλεπτο (Fast Closed Loop Power Control).
- Το λαμβανόμενο SNR (Signal to Noise Ratio) συγκρίνεται με το επιθυμητό SNR, που εξαρτάται από τη θέση και τον τύπο του σταθμού βάσης.
- Το τερματικό ρυθμίζει την ισχύ του σε βήματα που κυμαίνονται από 0,25dB έως 1,5dB.
- Ο ρυθμός επανάληψης της διαδικασίας Closed Loop Power Control (1.500rps) είναι πιο γρήγορος από τις αυξομειώσεις που οφείλονται στο path loss και στο fading (multipath).

Outer Loop Power Control

44

- Ρύθμιση της τιμής κατωφλίου SIR δεδομένης της απαιτούμενης ποιότητας (FER/BER/BLER)
- Αντισταθμίζει τις μεταβολές του περιβάλλοντος

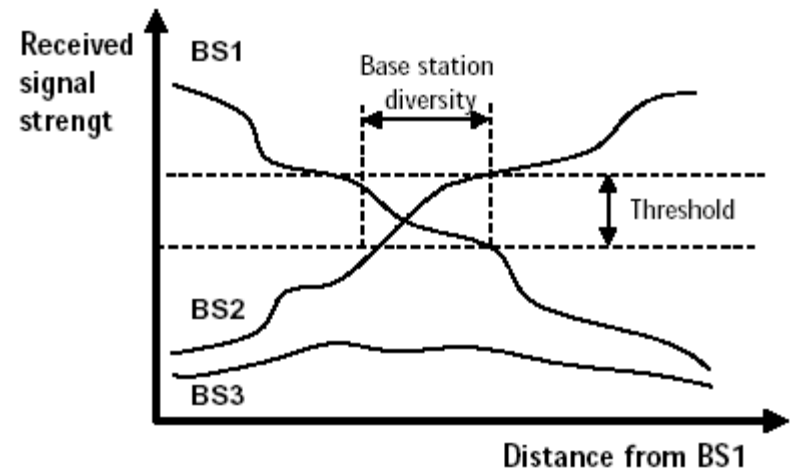


Handovers

45

- Η διαδικασία κατά την οποία η διαχείριση μιας ζεύξης μεταφέρεται:

- σε ένα γειτονικό σταθμό βάσης
- σε ένα γειτονικό τομέα
- σε μια διαφορετική συχνότητα
- σε ένα διαφορετικό σύστημα

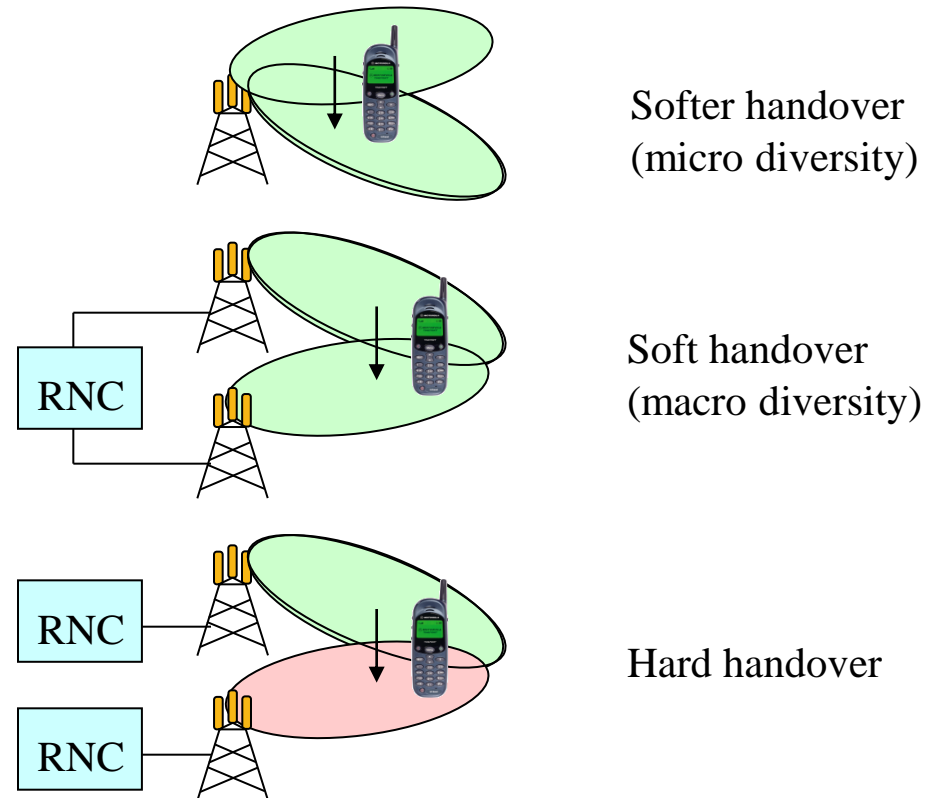


- Επιλογή της ραδιοζεύξης με τα καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά (επίπεδο σήματος πάνω από μια ορισμένη τιμή κατωφλίου)

Handovers

46

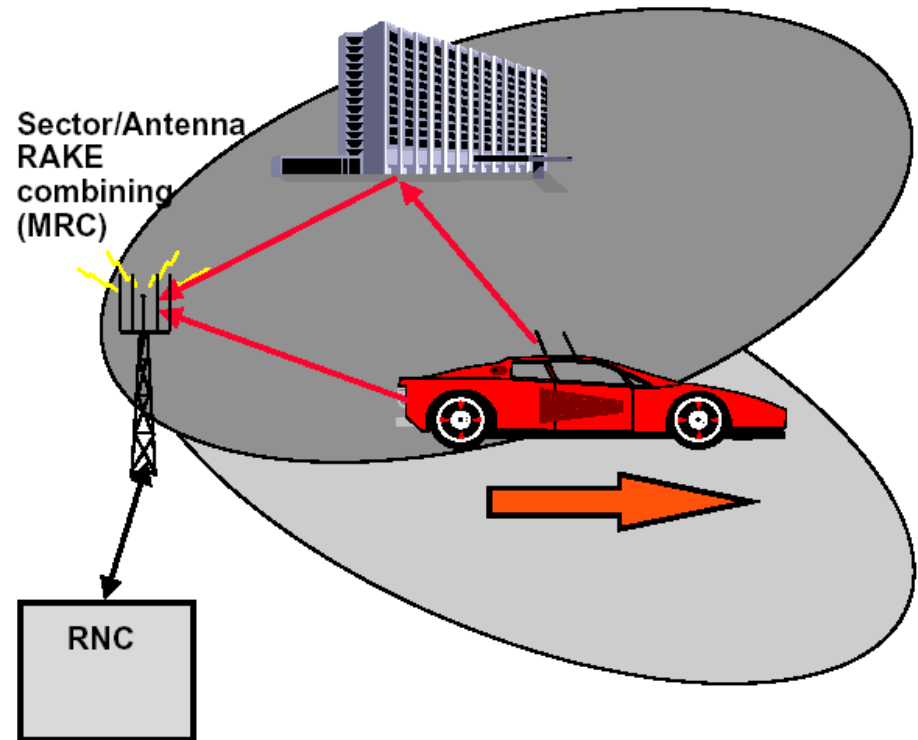
- Intra-system handovers
 - ▣ Intra-frequency handovers
 - Μεταπομπή μεταξύ διαφορετικών τομέων του ίδιου σταθμού βάσης (Softer)
 - Μεταπομπή μεταξύ διαφορετικών σταθμών βάσης (Soft)
 - ▣ Inter-frequency handovers
- Inter-system handovers
 - ▣ Μεταπομπή μεταξύ WCDMA και GSM
 - ▣ Μεταπομπή μεταξύ WCDMA FDD και TDD



Softer Handover

47

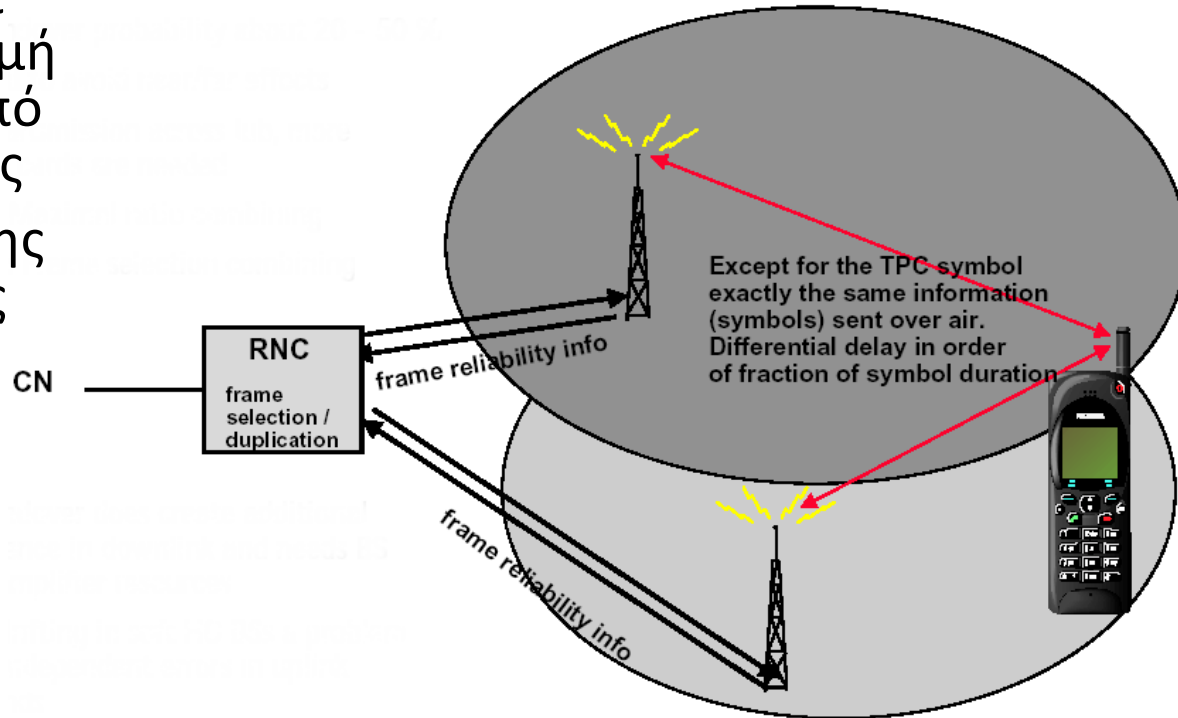
- Πιθανότητα softer handover 5-15%
- Ο MS βρίσκεται στην επικαλυπτόμενη περιοχή δύο γειτονικών τομέων ενός σταθμού βάσης
- Η επικοινωνία μεταξύ MS και BS γίνεται μέσω δύο ταυτόχρονων ραδιοξεύσεων
- Διαφορετικοί τομείς έχουν διαφορετικούς scrambling κώδικες



Soft Handover

48

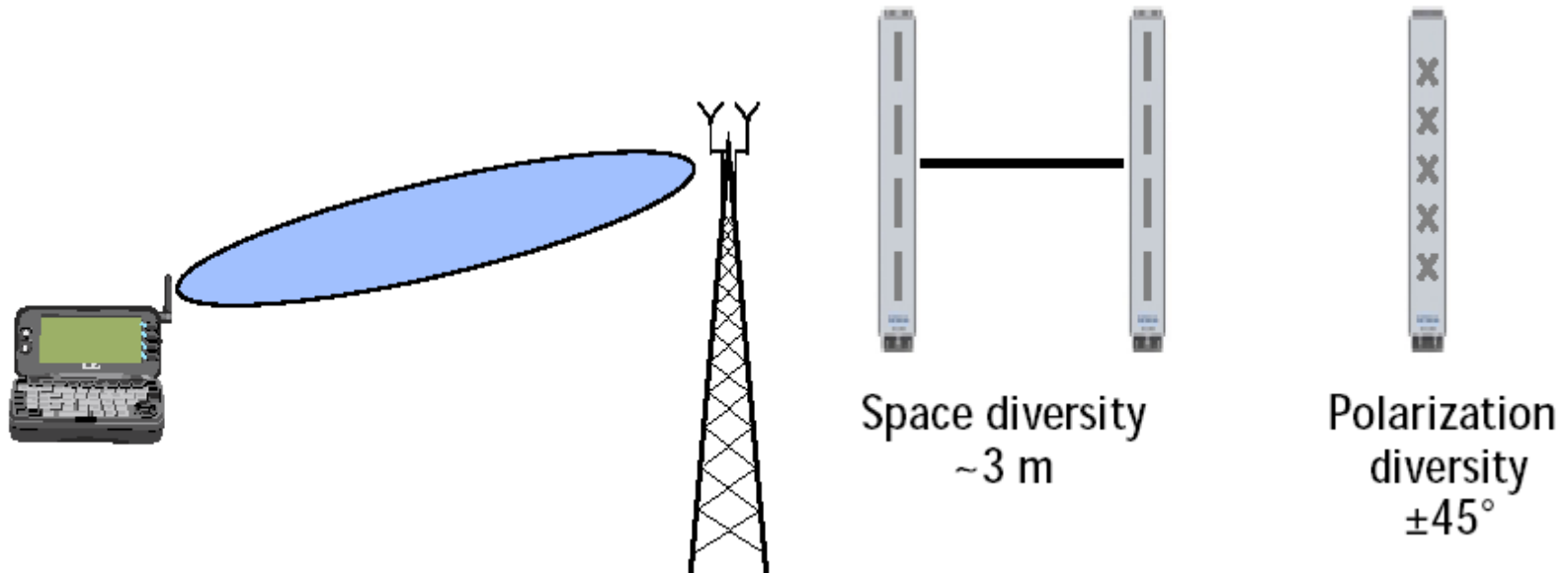
- Πιθανότητα soft handover 20-50%
- Ο χρήστης συνδέεται την ίδια χρονική στιγμή με περισσότερους από έναν σταθμούς βάσης
- Επιλογή της καλύτερης εκδοχής του σήματος του χρήστη από το δίκτυο (διαφορισιμότητα)



Antenna Diversity

49

- Το ίδιο σήμα εκπέμπεται ή λαμβάνεται μέσω περισσότερων από μία κεραίες
- Χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση των γρήγορων διαλείψεων



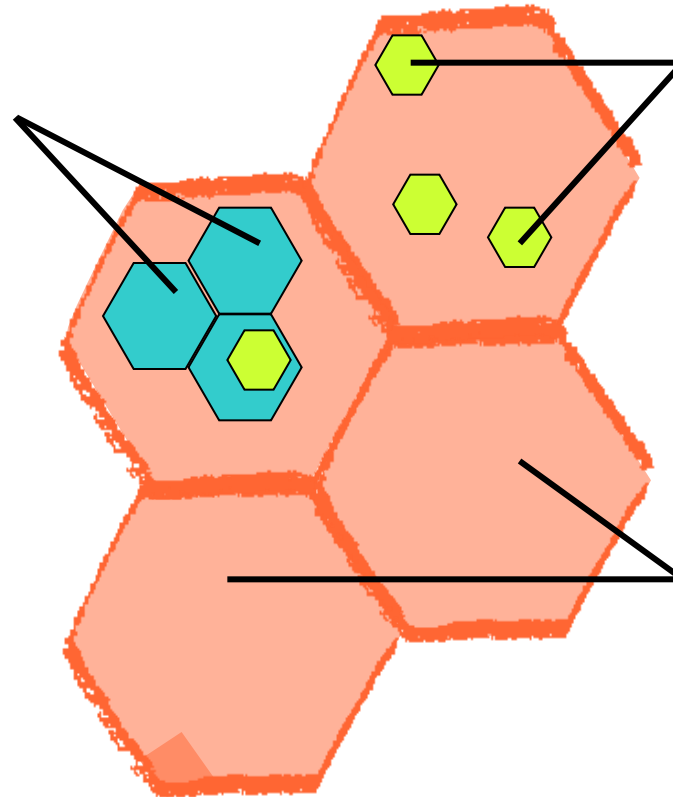
Ιεραρχική Δομή Κυψελών

50

Micro Cell

Range: some 50 – 300 m

- ☐ Hot spots
- ☐ Medium mobility (> 10 km/h)
- ☐ Up to 384 kbps



'Indoor' Pico Cell

Range: some 10 m

- ☐ Office / Home environment
- ☐ Low mobility (< 10 km/h)
- ☐ Up to 2 Mbps

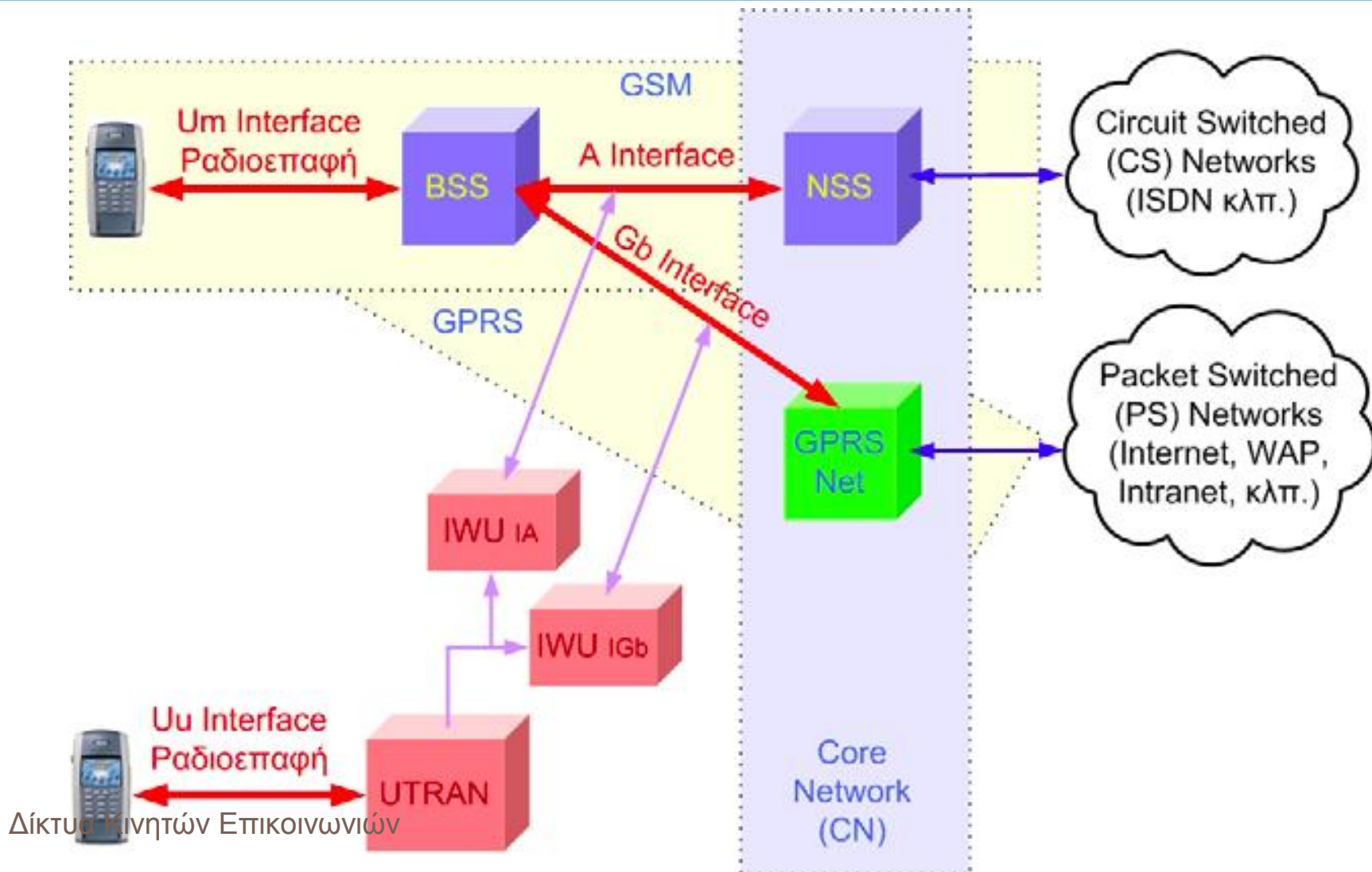
Macro Cell

Range: 350 m up to 20 km (outdoor)

- ☐ Suburban / rural
- ☐ High mobility (vehicle speed)
- ☐ Approximately 144 kbps

Μετάβαση από 2G σε 2.5G & 3G

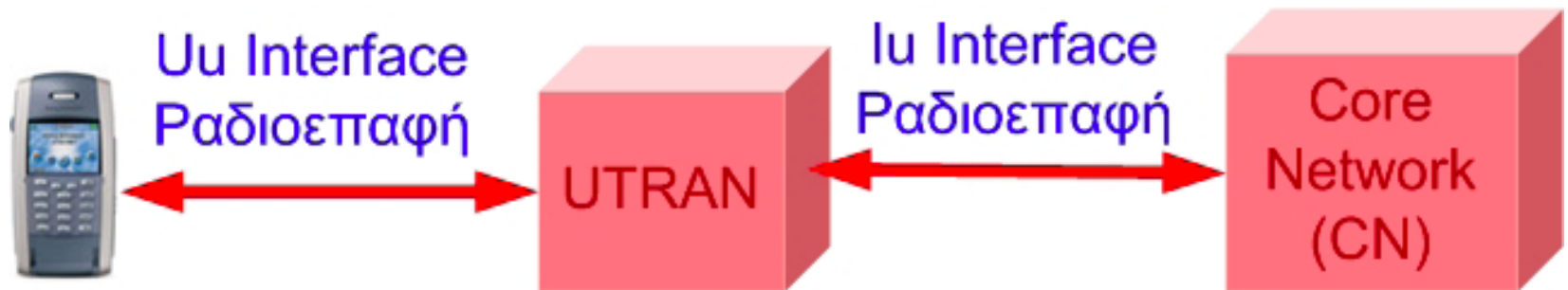
51



Δομή Δικτύου UMTS

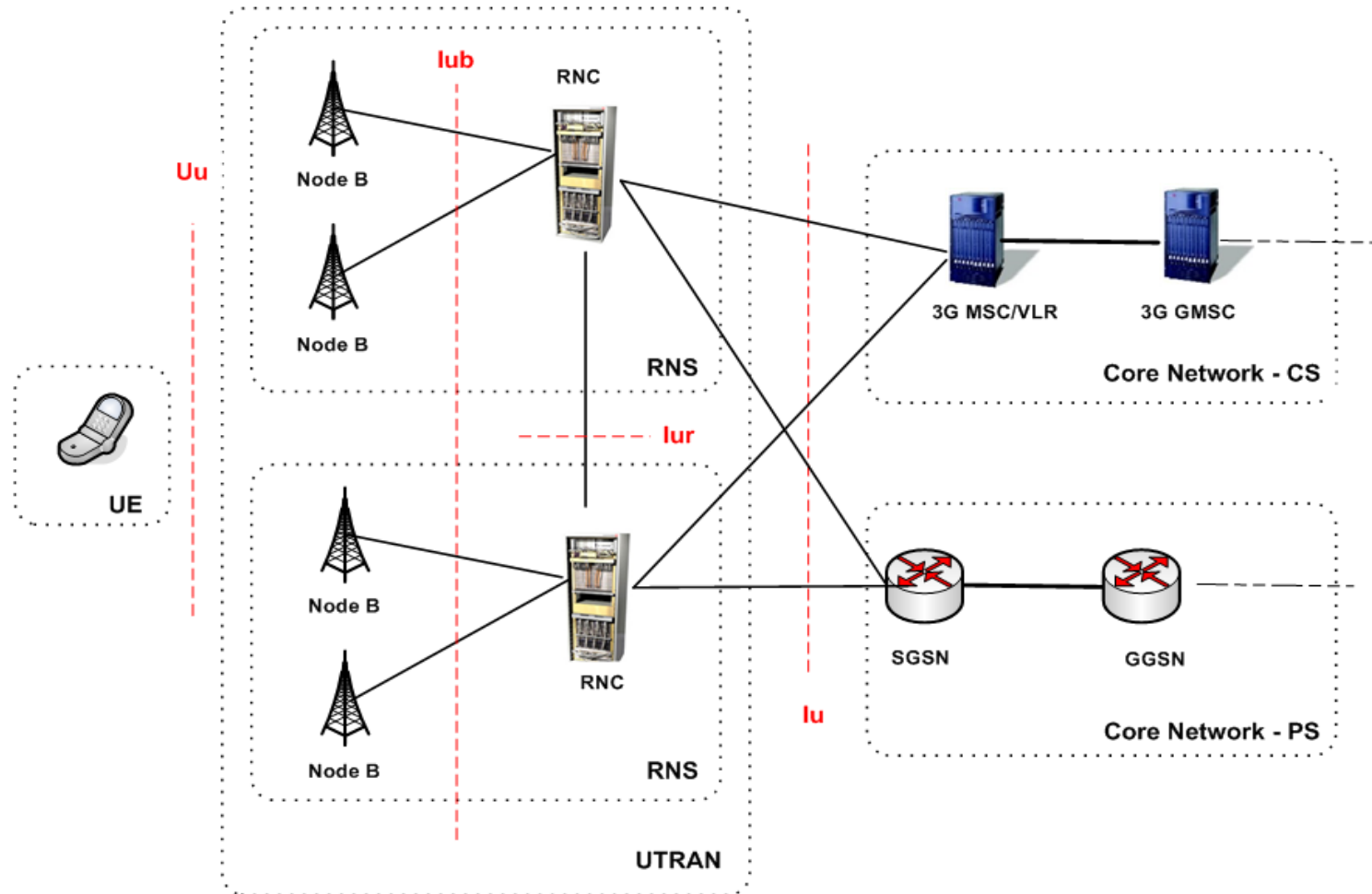
52

- Το UMTS αποτελείται από
 - ▣ το **Δίκτυο Κορμού CN** (Core Network) που είναι υπεύθυνο για τις συνδέσεις στο UMTS και
 - ▣ το **Δίκτυο Ραδιοπρόσβασης UTRAN** (Universal Terrestrial Radio Access Network), που προσφέρει τη ραδιοεπαφή U_r , στο τερματικό UE (User Equipment).



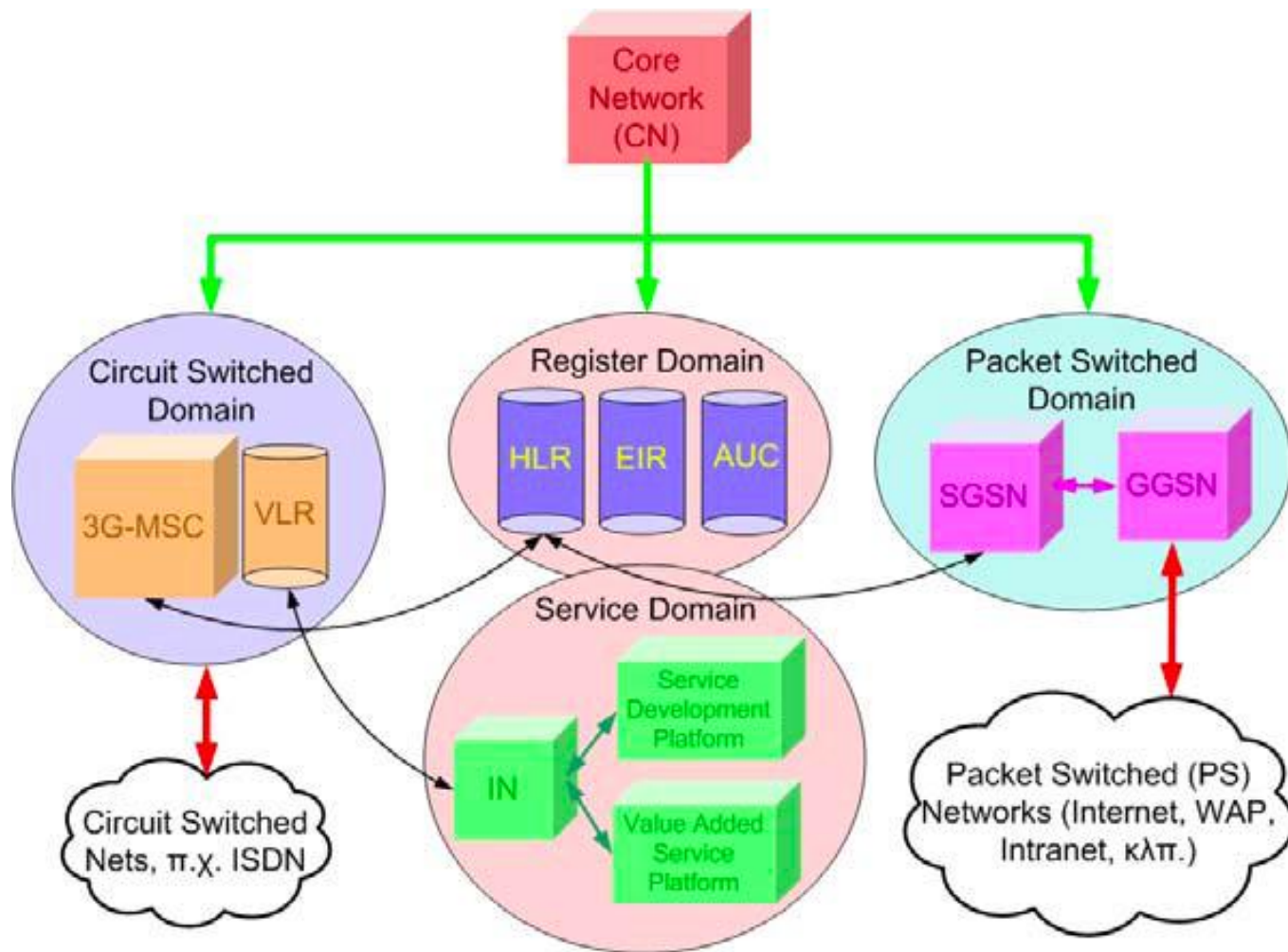
Αρχιτεκτονική του UMTS

53



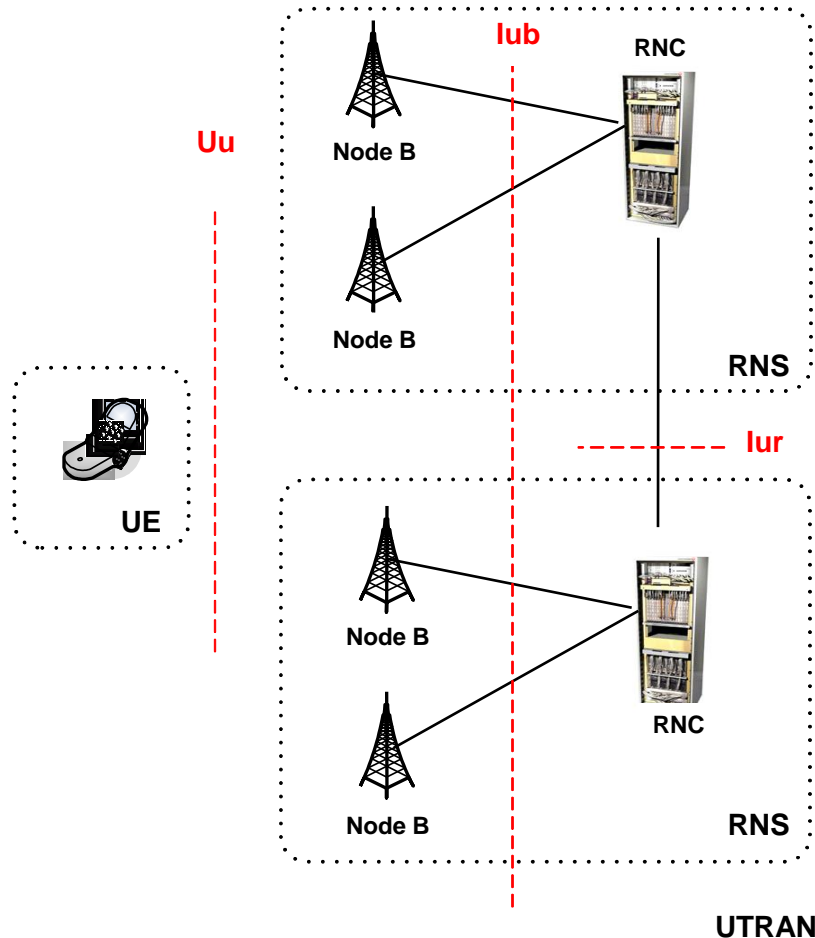
Δίκτυο Κορμού UMTS (R99)

54



Αρχιτεκτονική του UTRAN

55



- UE – User Equipment
- Node B
- RNC – Radio Network Controller
- UTRAN – UMTS Terrestrial Radio Access Network

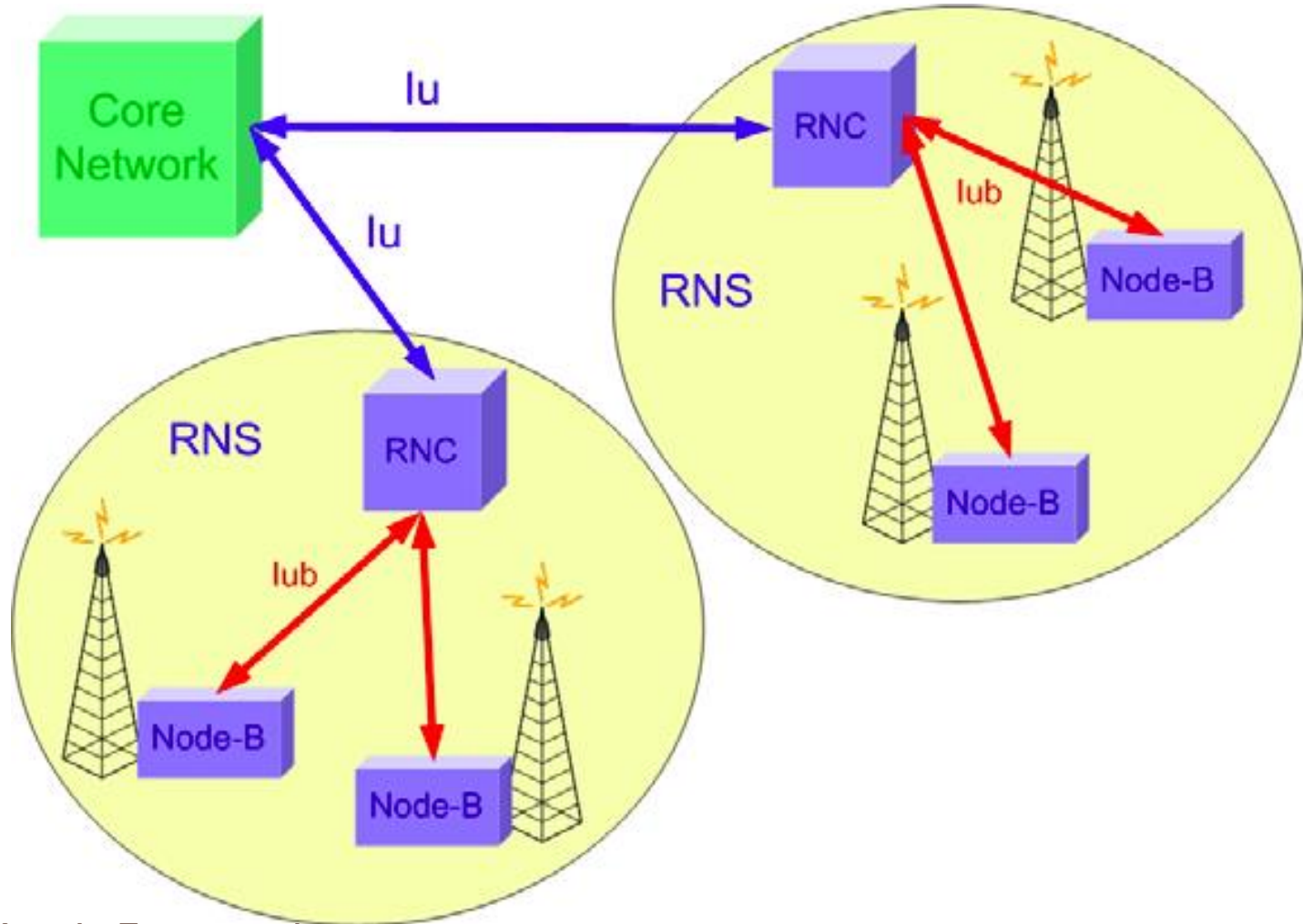
Αρχιτεκτονική του UTRAN

56

- Το UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network) είναι παρόμοιο με το BSS του GSM.
- Αποτελείται από τα στοιχεία του δικτύου που είναι υπεύθυνα για το Radio Resource Management (RRM).
- Το UTRAN αποτελείται από πολλά Radio Network Subsystems (RNS), τα οποία συνδέονται με το CN με το Iu interface. Κάθε RNS διαχειρίζεται τους ραδιοπόρους των συνδέσεών του.
- Αποτελείται από ένα Radio Network Controller (RNC), που είναι παρόμοιο με το BSC του GSM, και από ένα ή περισσότερα Node Bs, τα οποία είναι παρόμοια με τους σταθμούς βάσης BS του GSM.
- Η σύνδεση του RNC με το Node B γίνεται με το Iub interface.

Αρχιτεκτονική του UTRAN

57



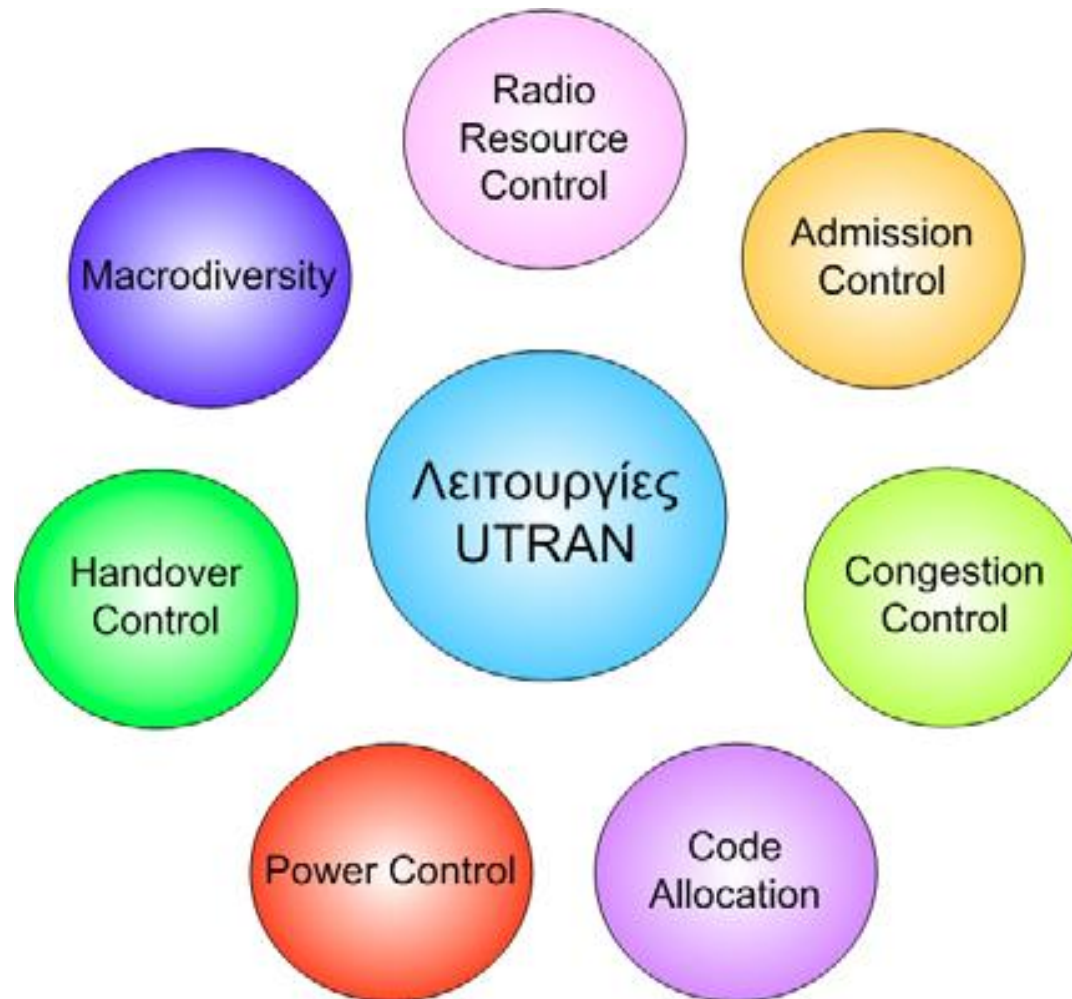
Διεπαφές του UTRAN

58

- **Uu**
 - Air interface
- **Iub**
 - Χρησιμεύει στη σύνδεση του RNC με τους σταθμούς βάσης.
 - Διαχειρίζεται τη σηματοδότηση που έχει σχέση με τους σταθμούς βάσης.
 - Χρησιμεύει στη δημιουργία των ζεύξεων με τα τερματικά.
 - Διαχειρίζεται αποκλειστικά και κοινά κανάλια.
 - Διαχειρίζεται το softer handover.
- **Iur**
 - Χρησιμεύει στη διασύνδεση των RNC.
 - Διαχειρίζεται τις ραδιοζεύξεις του RNS (Radio Network Subsystem) με την πραγματοποίηση μετρήσεων.
 - Διαχειρίζεται την ενεργοποίηση των ζεύξεων δεδομένων μέσω του σταθμού βάσης.
 - Διαχειρίζεται το soft handover.
 - Διαχειρίζεται την κίνηση των καναλιών CCH (Common Channel).

Λειτουργίες του UTRAN

59



Λειτουργίες του UTRAN

60

- **Πρόσβαση στο Δίκτυο (system access):** Εκπέμπει πληροφορία σχετική με το δίκτυο, η οποία επιτρέπει στα τερματικά να προετοιμαστούν για πρόσβαση στο δίκτυο και έλεγχο εισόδου (admission control).
- **Κινητικότητα (mobility):** Οι λειτουργίες κινητικότητας περιλαμβάνουν τα handovers, τη μετάθεση των RNCs, την ενημέρωση για την περιοχή εγγραφής URA (UTRAN Registration Area) και την ενημέρωση κυψέλης (cell update). Το τερματικό μπορεί να εντοπιστεί σε επίπεδο URA ή σε επίπεδο κυψέλης.
- **Κρυπτογράφηση ραδιοκαναλιού (ciphering):** Πραγματοποιείται στο τερματικό και στο SRNC (Serving RNC) στα επίπεδα RLC και MAC. Στο GSM μόνο το air interface κρυπτογραφείται.

Λειτουργίες του UTRAN

61

- **Διαχείριση ραδιομέσων (radio resources management) και Έλεγχος:** Οι παραπάνω λειτουργίες χρησιμεύουν στην ενεργοποίηση, στον έλεγχο, στη διατήρηση και στην απενεργοποίηση των απαραίτητων ραδιομέσων. Στα παραπάνω συμπεριλαμβάνονται η διάθεση και ο έλεγχος των κωδικών. Οι παραπάνω λειτουργίες περιλαμβάνουν:
 - Μετρήσεις ποιότητας ραδιοδικτύου με τη βοήθεια του τερματικού. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η παρεμβολή, αφού η RF ισχύς ρυθμίζεται στα επιθυμητά επίπεδα για τον απαιτούμενο βαθμό ποιότητας.
 - Έλεγχος ραδιοφορέα (radio bearer control): Περιλαμβάνει την ενεργοποίηση και την απενεργοποίηση της κλήσης.

Λειτουργίες του UTRAN

62

- Παροχή και έλεγχος πρωτοκόλλων.
- Ρύθμιση και έλεγχος της ισχύος RF.
- Κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση ραδιοκαναλιών.
- Εντοπισμός και διαχείριση τυχαίας πρόσβασης (random access).
- Διανομή των μηνυμάτων του στρώματος μη πρόσβασης στο δίκτυο κορμού.
- Macro diversity (soft handover). Ο έλεγχος στάθμης ισχύος επαναλαμβάνεται κάθε 10 - 80 ms.

Λειτουργίες του Node B

63

- Παρέχει τα ραδιομέσα για την επικοινωνία των τερματικών με το δίκτυο.
- Κωδικοποιεί και αποκωδικοποιεί τα κανάλια σύμφωνα με τη μέθοδο WCDMA.
- Πραγματοποιεί έλεγχο λαθών FEC (Forward Error Correction).
- Διαμορφώνει και αποδιαμορφώνει τα σήματα με τη μέθοδο QPSK.
- Πραγματοποιεί μετρήσεις στάθμης σήματος και ποιότητας.
- Ελέγχει την ισχύ εκπομπής για μείωση της παρεμβολής, ενημερώνοντας το τερματικό να ρυθμίσει την ισχύ του

Λειτουργίες του Node B

64

- Υποστηρίζει τα soft και softer handovers.
- Πραγματοποιεί μετρήσεις FER (Frame Error Rate).
- Πραγματοποιεί προσαρμογή ρυθμού (rate adaptation) για την εξυπηρέτηση των υπηρεσιών.
- Τυπικά εξυπηρετεί το πολύ τρεις κυψέλες και δύο φέρουσες.
- Υπάρχει δυνατότητα εξυπηρέτησης έξι κυψελών και τριών φερουσών ανά Node B.

Λειτουργίες του RNC

65

- Ισοδύναμο σε γενικές γραμμές με το BSC, αλλά με λειτουργίες και του MSC.
- Διαχείριση ραδιομέσων με τη διάθεση της απαραίτητης χωρητικότητας για μεταφορά δεδομένων και υποστήριξη σηματοδότησης για ενεργοποίηση κλήσης.
- Διάθεση κωδικών channelisation (OVSF).
- Έλεγχος ποιότητας υπηρεσιών QoS (Quality of Service).
- Σύνδεση με το δίκτυο κορμού μέσω της διεπαφής IuPS και IuCS για την παροχή υπηρεσιών, εφαρμογών και σύνδεση με το διαδίκτυο, καθώς επίσης και με εξωτερικά δίκτυα.
- Η διεπαφή Iub (Node B - RNC) επιτρέπει τη χρήση σταθμών βάσης και RNC διαφορετικών προμηθευτών.

Λειτουργίες του RNC

- Handover ανάμεσα σε κυψέλες του ίδιου σταθμού βάσης (softer).
- Handover ανάμεσα σε κυψέλες διαφορετικών σταθμών βάσης (soft).
- Handover ανάμεσα σε κυψέλες διαφορετικών σταθμών βάσης που εξυπηρετούν διαφορετικές φέρουσες UMTS (hard).
- Handover ανάμεσα σε κυψέλες διαφορετικών σταθμών βάσης που εξυπηρετούν διαφορετικά δίκτυα UMTS - GSM (hard).
- Η διεπαφή Iur επιτρέπει την πραγματοποίηση των handovers αποκλειστικά στο UTRAN (χωρίς τη μεσολάβηση του MSC).
- Διαχείριση ελέγχου ισχύος RF εκπομπής για τους σταθμούς βάσης και για τα τερματικά.

Τύποι RNC

- Ανάλογα με τη χρήση του RNC από ένα συγκεκριμένο τερματικό, υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι. Ένα RNC μπορεί να λειτουργεί με διαφορετικούς τύπους για διαφορετικά τερματικά. Οι τύποι RNC είναι οι εξής:
 - **Controlling RNC (CRNC):** Αυτός ο τύπος περιγράφει τη λειτουργία του RNC που ελέγχει το σταθμό βάσης, στον οποίο το κινητό είναι σταθμευμένο (camped) σε κατάσταση ηρεμίας (idle). Οι λειτουργίες του CRNC είναι οι παρακάτω:
 - Αντιστοιχεί ένα σε κάθε τερματικό.
 - Ελέγχει το φορτίο της κυψέλης και τη διάθεση των κωδικών.
 - Εκπέμπει πληροφορία σχετικά με το δίκτυο στα τερματικά που βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας.

Τύποι RNC

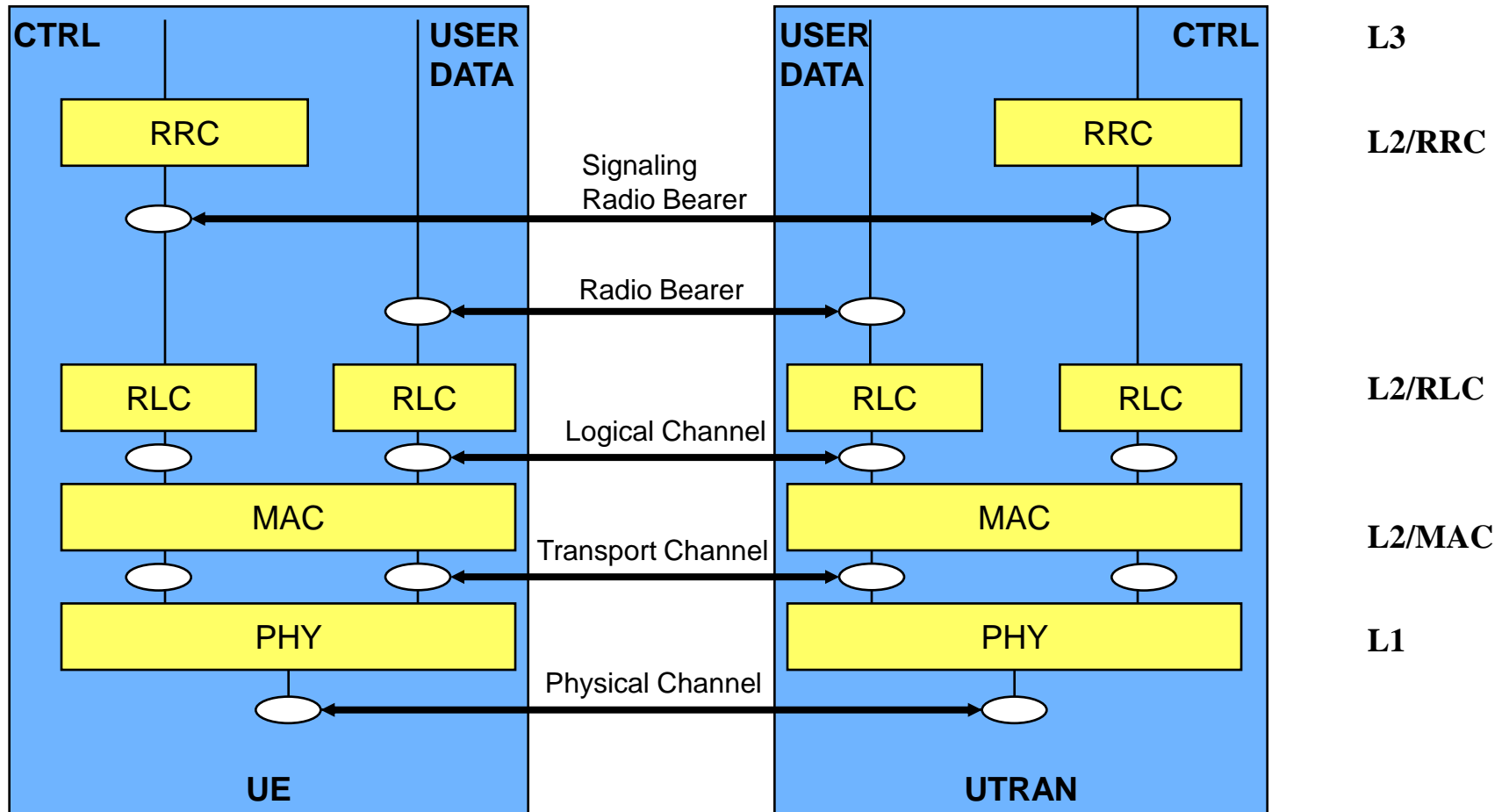
- **Serving RNC (SRNC):** Σε περίπτωση που το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση σύνδεσης RRC (Radio Resource Control - πρωτόκολλο ενεργοποίησης σύνδεσης), εξυπηρετείται από το SRNC. Οι λειτουργίες του SRNC είναι οι παρακάτω:
 - Επεξεργασία της πληροφορίας στο layer 2 (RLC, MAC) προς και από το radio interface (το layer 1 αποτελεί το φυσικό στρώμα και παρέχεται από το Node B).
 - Ελέγχει τις αποφάσεις για handover.
 - Πραγματοποιεί έλεγχο ισχύος Outer loop power control.
 - Αντιστοιχεί ένα σε κάθε τερματικό.

Τύποι RNC

- **Drift RNC (DRNC):** Στην περίπτωση του soft handover ο επιπλέον σταθμός βάσης μπορεί να είναι συνδεδεμένος σε διαφορετικό RNC, που ονομάζεται DRNC. Οι βασικές λειτουργίες του DRNC είναι οι παρακάτω:
 - Αντιστοιχούν 0, 1 ή περισσότερα DRNCs ανά τερματικό.
 - Χρησιμοποιείται στο soft handover.
 - Δεν πραγματοποιεί καμία επεξεργασία της πληροφορίας στο layer 2 προς και από το radio interface, εκτός εάν το τερματικό χρησιμοποιεί κοινό κανάλι μεταφοράς.

Αρχιτεκτονική του Πρωτοκόλλου Ραδιοεπαφής

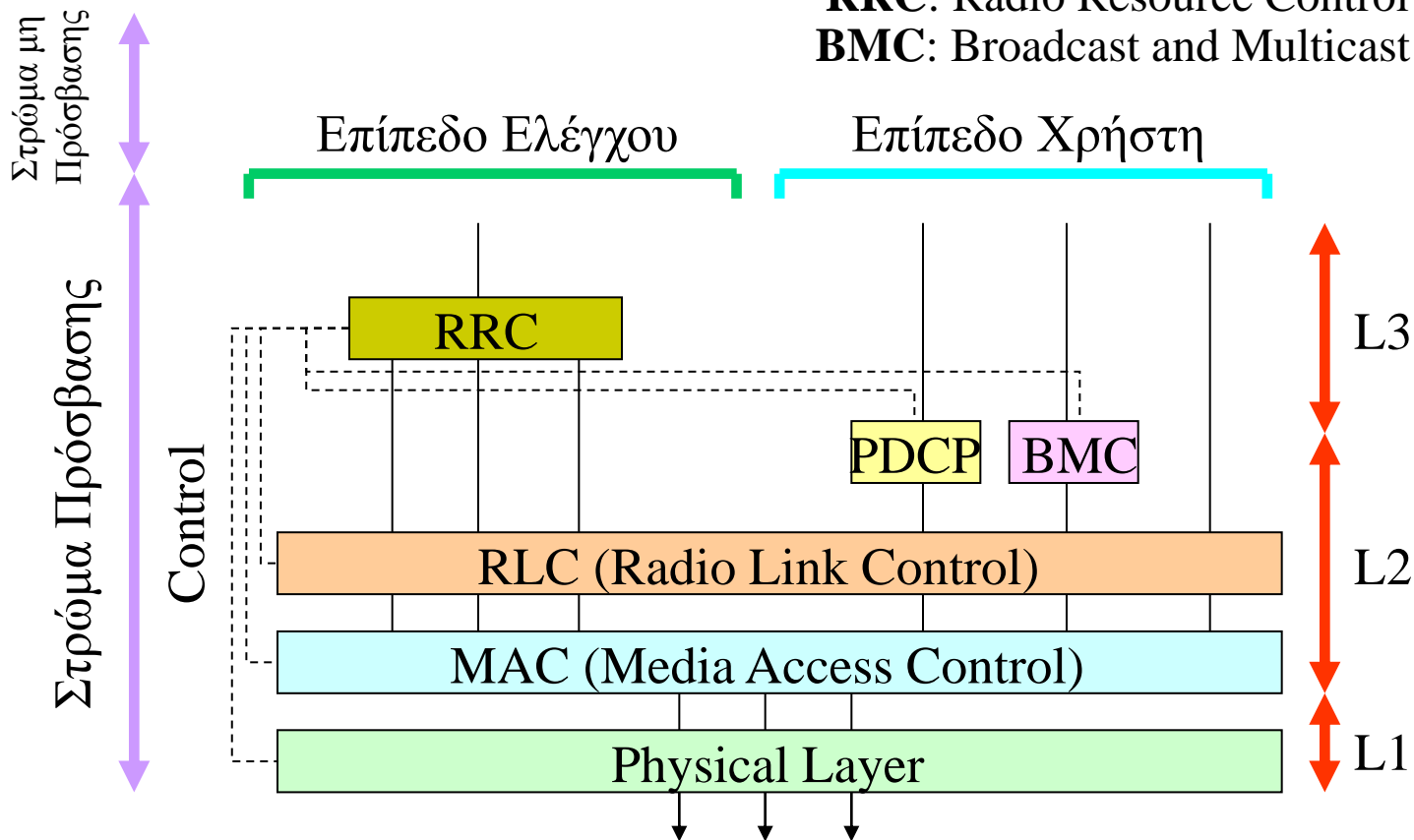
70



Πρωτόκολλο Ραδιοεπαφής

71

PDCP: Packet Data Convergence Protocol
RRC: Radio Resource Control
BMC: Broadcast and Multicast Control



Πρωτόκολλο Ραδιοεπαφής

72

- Τα πρωτόκολλα MAC και RLC καθορίζουν την ομαλή ροή της πληροφορίας μέσω της φυσικής ζεύξης που ακολουθεί.
- Το πρωτόκολλο PDCP υποστηρίζει την πρόσβαση πακέτων δεδομένων, ενώ το BMC υποστηρίζει υπηρεσίες πολυεκπομπής (multicast).
- Το πρωτόκολλο RRC καθορίζει την ενεργοποίηση και διακοπή των συνδέσεων ελέγχοντας όλα τα υπόλοιπα πρωτόκολλα.

Κανάλια

73

- Τα **λογικά κανάλια** καθορίζουν το είδος της πληροφορίας που θα χρησιμοποιηθεί από το κανάλι. Ορίζονται έτσι ώστε να αποστέλλουν τον τύπο της πληροφορίας που απαιτείται για επικοινωνία με άλλα στρώματα.
- Τα **κανάλια μεταφοράς** καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η εκπομπή των δεδομένων στο air interface.
- Τα **φυσικά κανάλια** χρησιμοποιούνται για την εκπομπή της πληροφορίας. Στο σύστημα WCDMA τα φυσικά κανάλια διαφοροποιούνται με τους κώδικες channelisation codes

Λογικά Κανάλια

74

- Χωρίζονται σε **Traffic Channels** για το επίπεδο χρήστη και **Control Channels** για το επίπεδο ελέγχου (FDD, TDD) .
- Για το επίπεδο χρήστη υπάρχουν δύο **Logical Traffic Channels**:
 - ▣ **CTCH** (Common Traffic Channel): Χρησιμοποιείται μόνο στο downlink για point-to-multipoint επικοινωνία - ταυτόχρονη αποστολή πληροφορίας σε μεγάλο αριθμό τερματικών.
 - ▣ **DTCH** (Dedicated Traffic Channel): Χρησιμοποιείται στο uplink και downlink για point-to-point μεταφορά πληροφορίας σε ένα τερματικό αποκλειστικά.

Λογικά Κανάλια

- Για το επίπεδο ελέγχου υπάρχουν τέσσερα **Logical Control Channels**:
 - **BCCH** (Broadcast Control Channel): Μόνο στο downlink. Χρησιμοποιείται για τη μετάδοση πληροφορίας ελέγχου και σηματοδότησης. Μεταφέρεται από το φυσικό κανάλι PCCPCH (Primary Common Control Physical Channel) που χρησιμοποιεί τον ίδιο κώδικα channelisation code για όλες τις κυψέλες. Μπορεί να αποκωδικοποιηθεί από οποιοδήποτε κινητό.
 - **PCCH** (Paging Control Channel): Μόνο στο downlink. Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό του κινητού.
 - **CCCH** (Common Control Channel): Uplink και downlink. Χρησιμοποιείται για μετάδοση πληροφορίας ελέγχου ανάμεσα στο δίκτυο και σε ένα πλήθος κινητών (point-to-multipoint).
 - **DCCH** (Dedicated Control Channel): Uplink και downlink. Χρησιμοποιείται για μετάδοση πληροφορίας ελέγχου ανάμεσα στο δίκτυο και σε ένα κινητό αποκλειστικά (point-to-point).

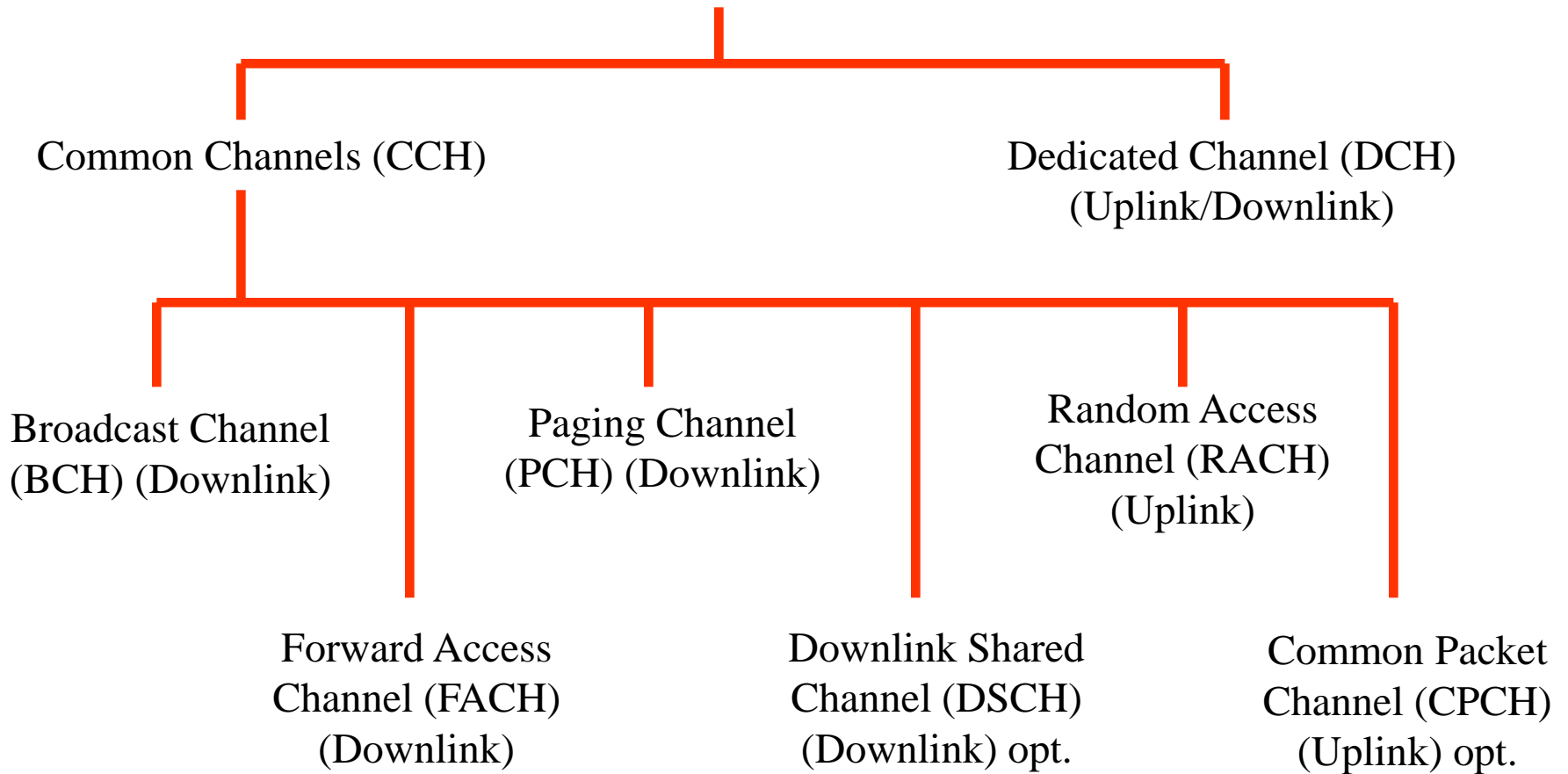
Κανάλια Μεταφοράς

76

- Χωρίζονται σε αποκλειστικά κανάλια **DCH** (**Dedicated Transport Channels**) και κοινά κανάλια **CCH** (**Common Transport Channels**).
- Υπάρχει μόνο ένα αποκλειστικό κανάλι μεταφοράς DCH, που χρησιμοποιείται για ζεύξεις point-to-point ανάμεσα στο UTRAN και στο κινητό στο uplink και στο downlink.
- Μεταφέρει πληροφορία που προέρχεται από τα υψηλότερα layers και απευθύνεται σε συγκεκριμένο χρήστη (fast closed loop power control, εκπομπή σε συγκεκριμένο τμήμα της κυψέλης με smart antennas, soft handover).

Κανάλια Μεταφοράς

77



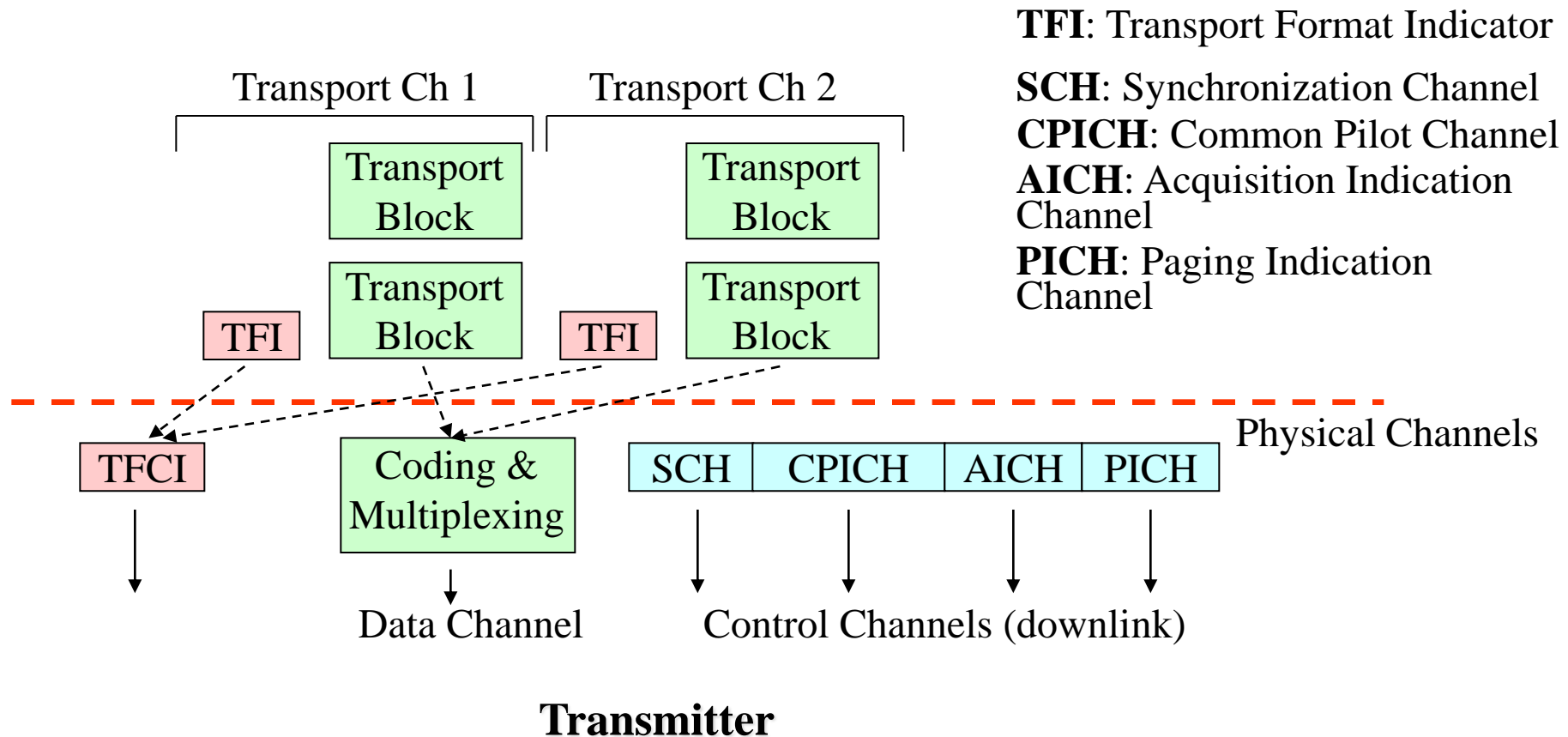
Φυσικά Κανάλια

78

- Είναι τα κανάλια τα οποία εκπέμπονται απ' ευθείας.
- Συνδυάζουν πολυπλεξία και κωδικοποίηση.
- Κώδικες Orthogonal channelisation (OVSF) χρησιμοποιούνται για τη διαφοροποίηση των καναλιών.
- Η κωδικοποίηση χρησιμεύει και στην εξάπλωση (spreading).
- Υπάρχουν φυσικά κανάλια που δεν χρησιμοποιούνται στο TDD.
- Υπάρχουν κανάλια που εισάγονται από το physical layer και δεν αποτελούν απεικόνιση προηγούμενων layers.

Φυσικά Κανάλια

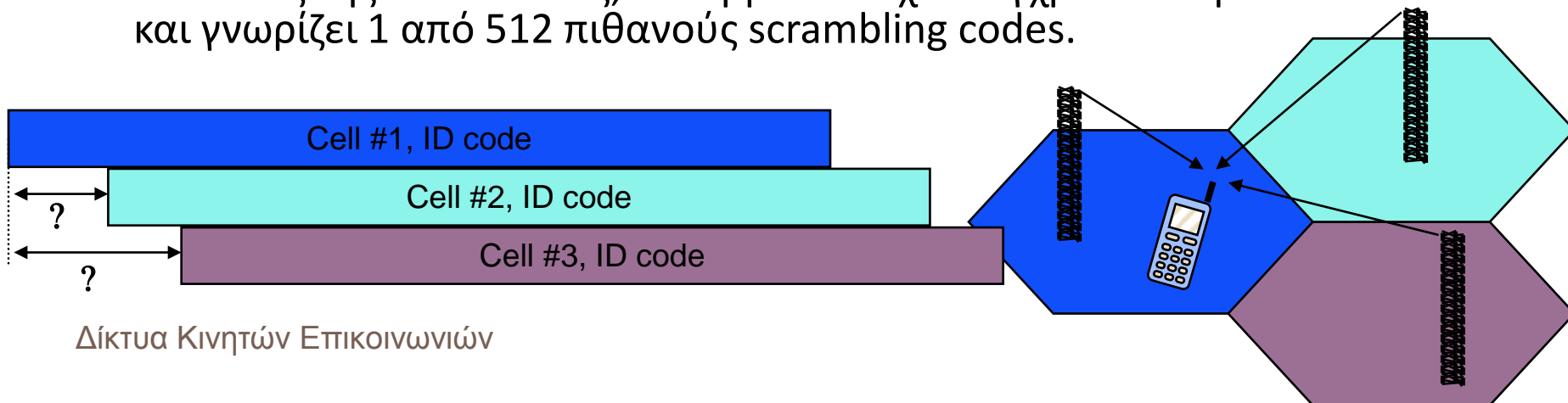
79



Διαδικασία Cell Search

80

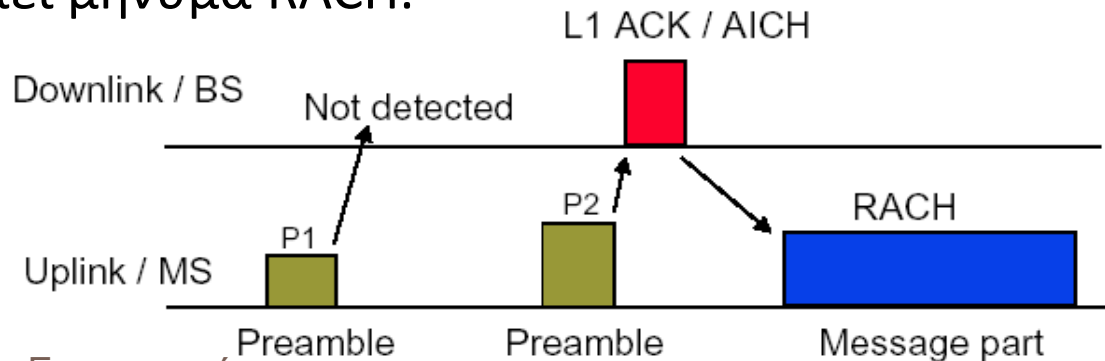
- Το τερματικό αρχίζει έρευνα του P-SCH για την ανάγνωση του “primary sync word”, που αποτελείται από 256 chips και είναι κοινό για όλες τις κυψέλες. Η ανάγνωσή του σημαίνει ότι το τερματικό έχει συγχρονιστεί με το δίκτυο.
- Στη συνέχεια το τερματικό αρχίζει έρευνα του S-CCPCH για την ανάγνωση 1 από 64 πιθανές “secondary sync words”. Η ανάγνωσή του σημαίνει ότι το τερματικό γνωρίζει το “code group”.
- Στη συνέχεια το τερματικό αρχίζει έρευνα για την ανάγνωση 1 από 8 πιθανούς “primary scrambling codes”, που αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο code group.
- Στο τέλος της διαδικασίας, το τερματικό έχει συγχρονιστεί με το δίκτυο και γνωρίζει 1 από 512 πιθανούς scrambling codes.



Διαδικασία Random Access

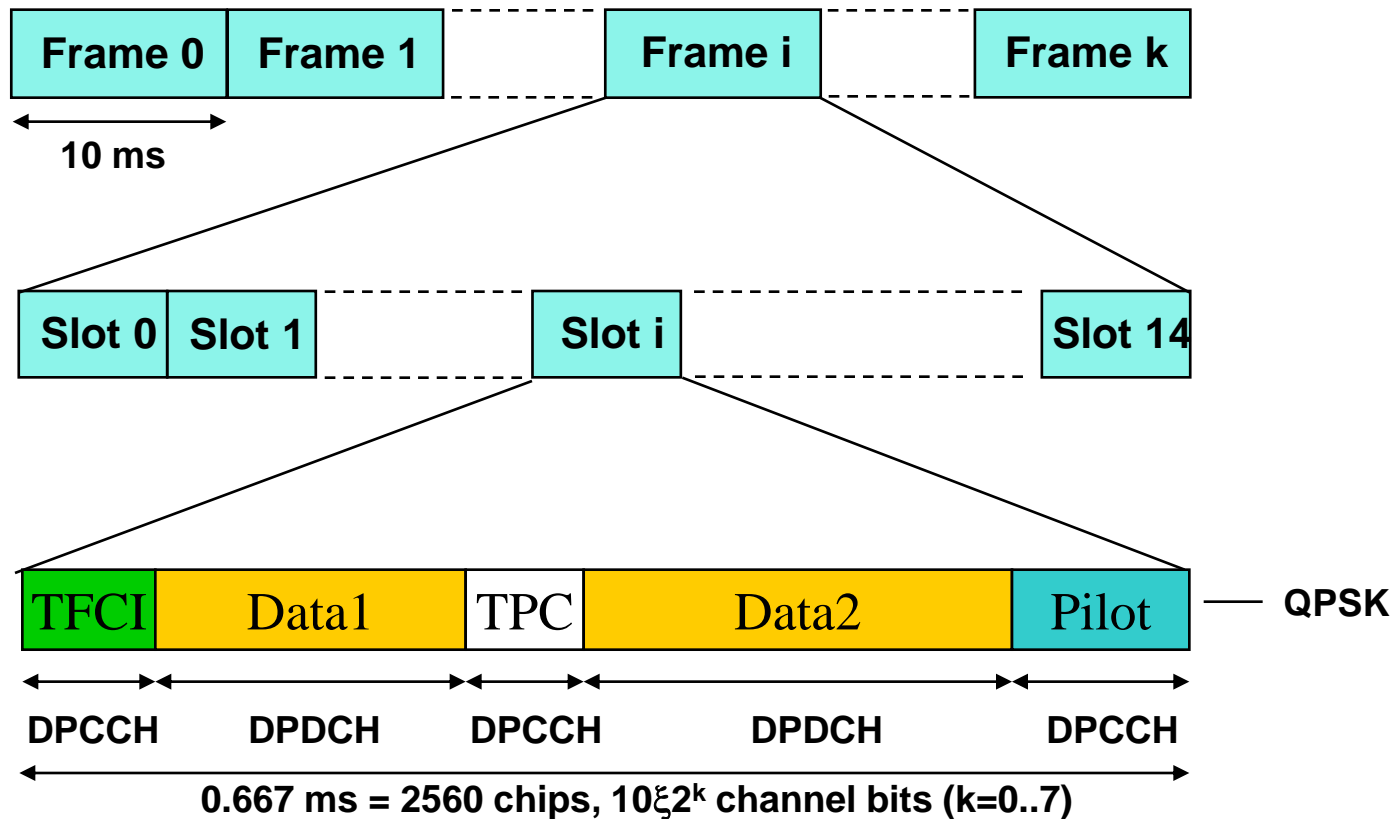
81

- Το τερματικό αποκωδικοποιεί το κανάλι BCH από το οποίο ενημερώνεται για τα κανάλια RACH.
- Επιλέγει τυχαίο κανάλι RACH.
- Αποκωδικοποιεί το κανάλι πιλότο CPICH και έτσι ενημερώνεται για την ισχύ εκπομπής που πρέπει να χρησιμοποιήσει.
- Εκπέμπει προοίμιο (preamble) για 1ms.
- Λαμβάνει και αποκωδικοποιεί το κανάλι AICH από το οποίο ενημερώνεται για τη λήψη του προοιμίου. Σε διαφορετική περίπτωση αυξάνει την ισχύ εκπομπής του κατά 1dB.
- Εκπέμπει μήνυμα RACH.



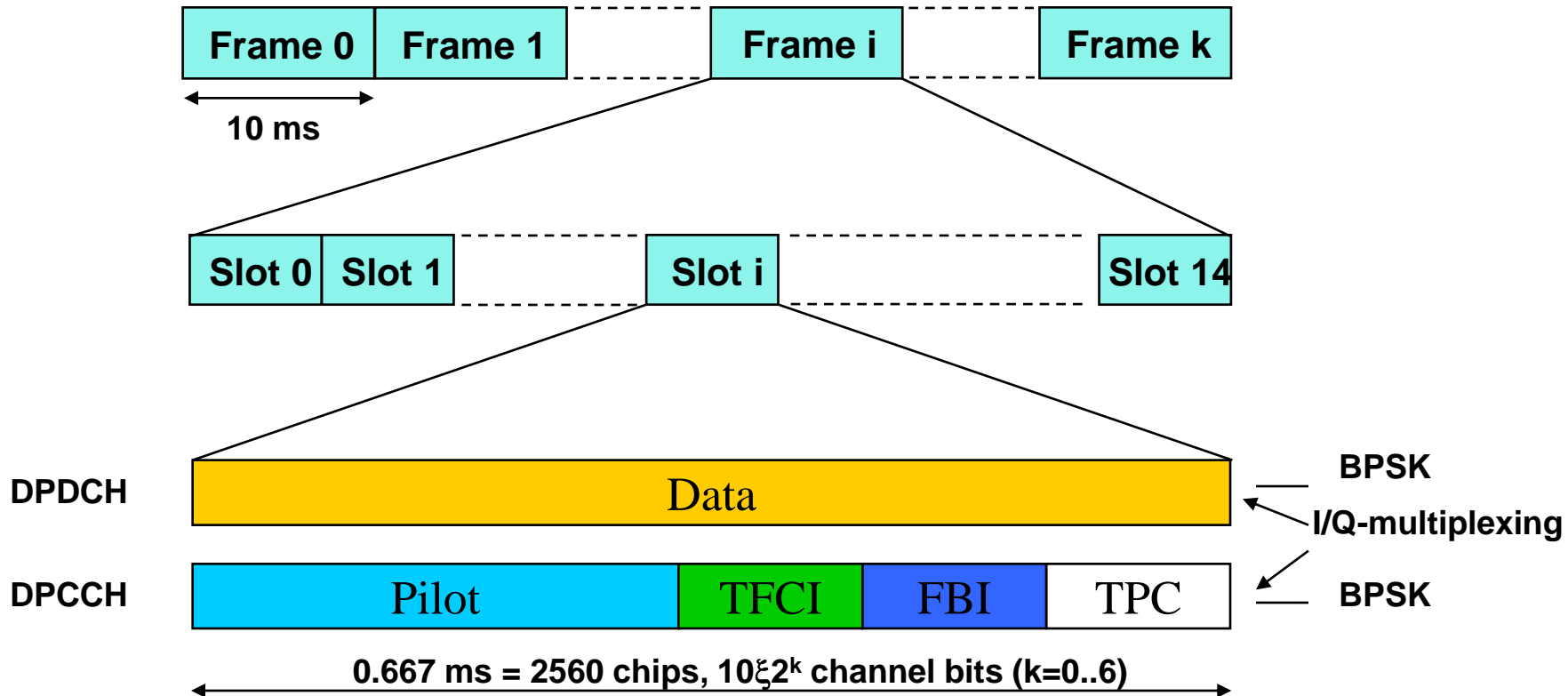
Downlink Dedicated Physical Channel

82



Uplink Dedicated Physical Channel

83



TFCI - Transport Format Combination Indicator
TPC - Transmitter Power Control
FBI - Feedback Information
BPSK - Binary Phase Shift Keying

Ρυθμοί Δεδομένων στο Downlink DPDCH

Spreading Factor	Channel Symbol rate (kcps)	Channel Bit rate (kbps)	DPDCH channel Bit rate range (kbps)	Max user data rate with 1/2 rate coding	
512	7,5	15	3-6	1-3	
256	15	30	12-24	6-12	Half Rate Speech
128	30	60	42-51	20-24	Full Rate Speech
64	60	120	90	45	
32	120	240	210	105	
16	240	480	432	215	144 kbps
8	480	960	912	456	384 kbps
4	960	1920	1872	936	
4 with 3 parallel codes	2880	5760	5616	2300	2 Mbps

- ♦ Ο αριθμός των κωδικών orthogonal channelisation (OVSF) = Spreading Factor
- ♦ Η μέγιστη διεκπεραιωτικότητα (throughput) σε 1 scrambling κώδικα ~ 2,5 Mbps ή 100 full rate χρήστες φωνής

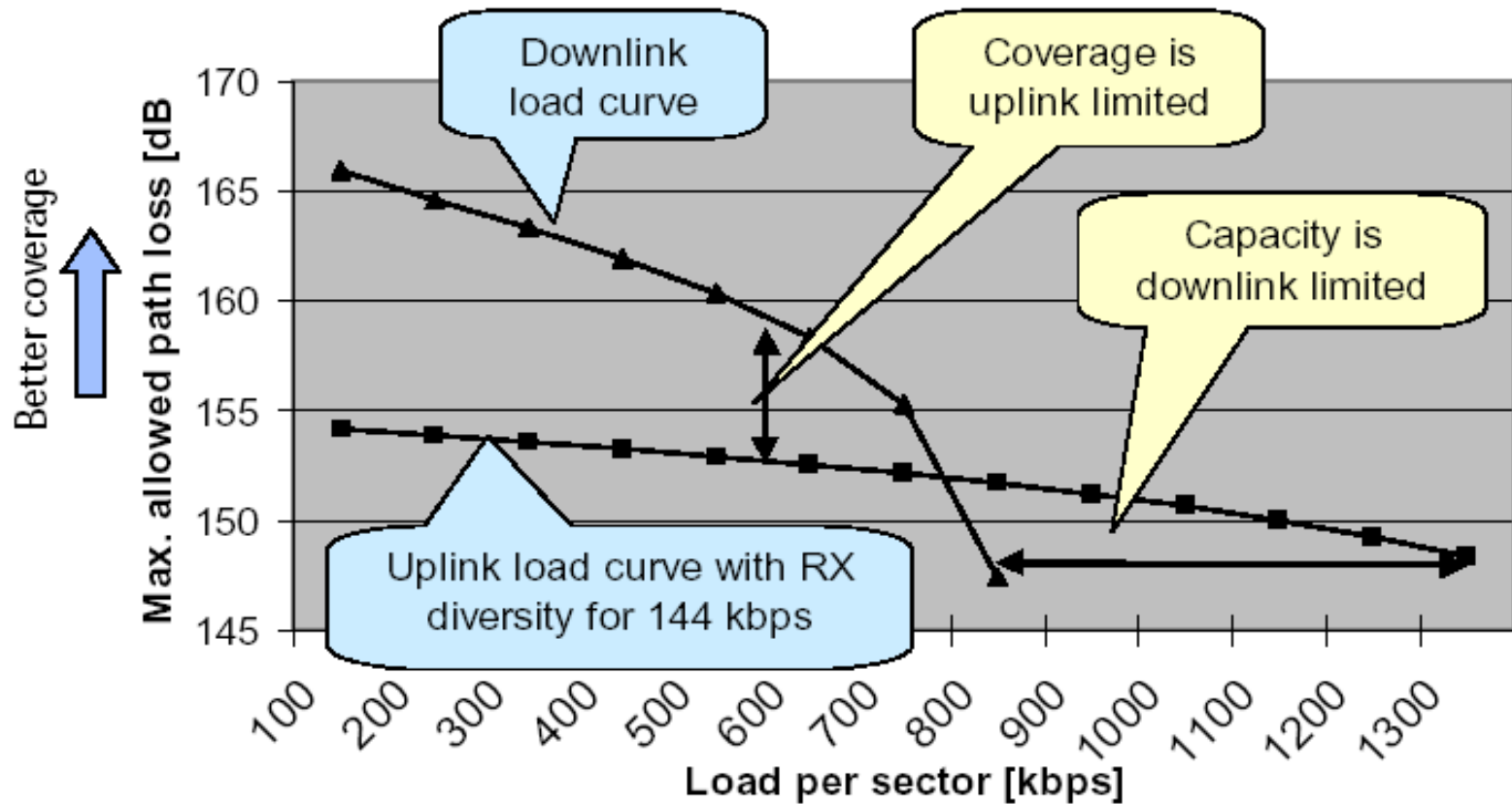
Ρυθμοί Δεδομένων στο Uplink DPDCH

85

Spreading Factor	Channel Bit rate (kbps)	Max user data rate with 1/2 rate coding (kbps)
256	15	7,5
128	30	15
64	600	30
32	120	60
16	240	120
8	480	240
4	960	480
4 with 6 parallel codes	5760	2300

Εξισορρόπηση Κάλυψης / Χωρητικότητας σε Μακροκυψέλες

86



GSM Co-siting

87

	GSM900 / speech	GSM1800 / speech	WCDMA / speech	WCDMA / 144 kbps	WCDMA / 384 kbps
Mobile transmission power	33 dBm	30 dBm	21 dBm	21 dBm	21 dBm
Receiver sensitivity ¹	-110 dBm	-110 dBm	-124 dBm	-117 dBm	-113 dBm
Interference margin ²	1.0 dB	0.0 dB	2.0 dB	2.0 dB	2.0 dB
Fast fading margin ³	2.0 dB	2.0 dB	2.0 dB	2.0 dB	2.0 dB
Base station antenna gain ⁴	16.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi
Body loss ⁵	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	—	—
Mobile antenna gain ⁶	0.0 dBi	0.0 dBi	0.0 dBi	2.0 dBi	2.0 dBi
Relative gain from lower frequency compared to UMTS frequency ⁷	11.0 dB	1.0 dB	—	—	—
Maximum path loss	164.0 dB	154.0 dB	156.0 dB SRC : 158.5 dB	154.0 dB SRC: 156.5 dB	150.0 dB SRC : 152.5 dB

¹WCDMA sensitivity assumes 4.0 dB base station noise figure and E_b/N_0 of 5.0 dB for 12.2 kbps speech, 1.5 dB for 144 kbps and 1.0 dB for 384 kbps data. GSM sensitivity is assumed to be -110 dBm with receive antenna diversity.

²The WCDMA interference margin corresponds to 37% loading of the pole capacity. An interference margin of 1.0 dB is reserved for GSM900 because the small amount of spectrum in 900 MHz does not allow large reuse factors.

³The fast fading margin for WCDMA includes the macro diversity gain against fast fading.

⁴The antenna gain assumes three-sector configuration in both GSM and WCDMA.

⁵The body loss accounts for the loss when the terminal is close to the user's head.

⁶A 2.0 dBi antenna gain is assumed for the data terminal.

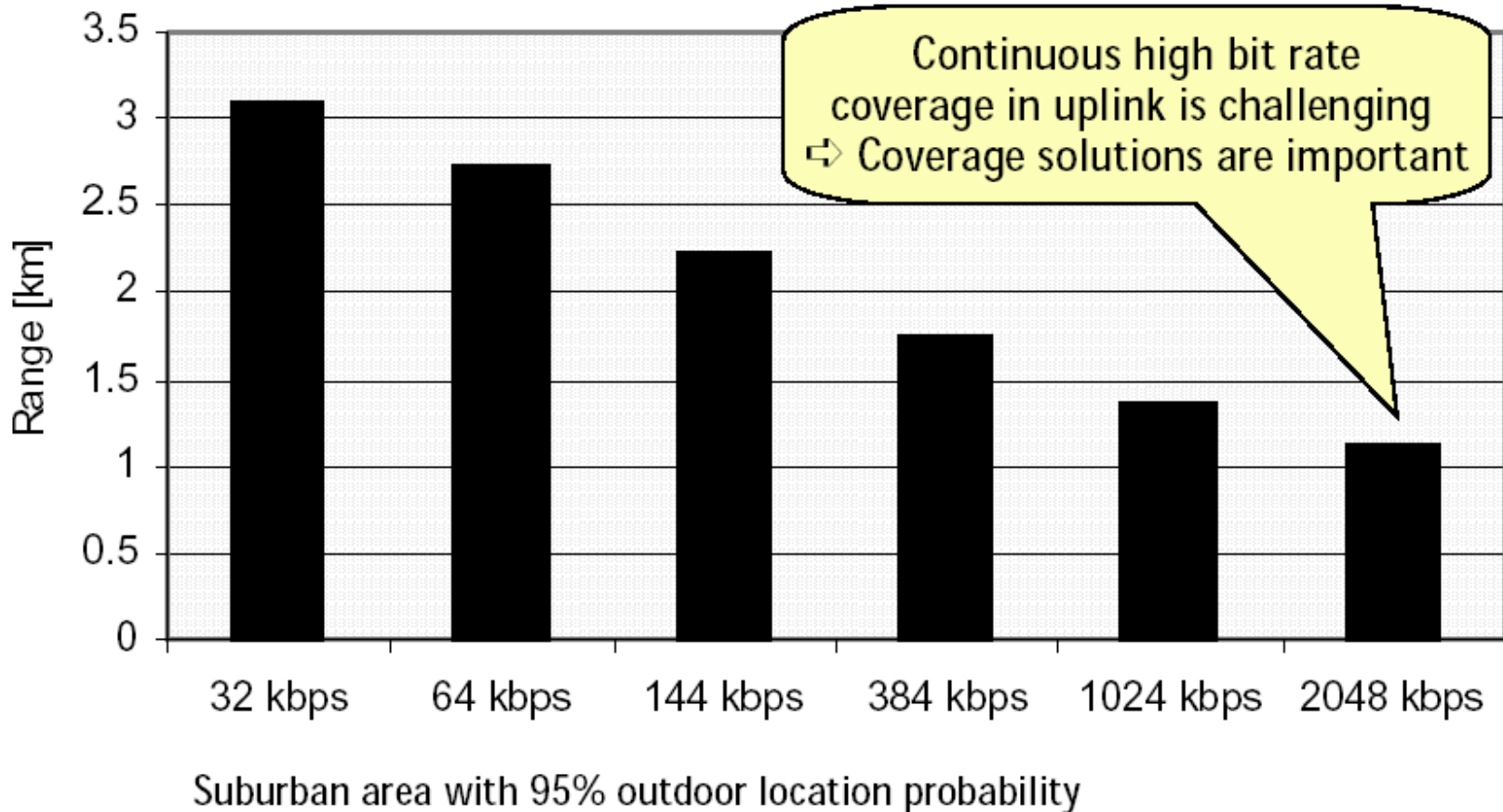
⁷The attenuation in 900 MHz is assumed to be 11.0 dB lower than in UMTS band and in GSM1800 band 1.0 dB lower than in UMTS band.

144 kbps full coverage with GSM1800 sites

Downlink coverage of high bit rates is better than uplink coverage

Κάλυψη Uplink για διαφορετικούς ρυθμούς δεδομένων

88



Χωρητικότητα σε Περιβάλλοντα Macro vs. Micro

89

- Packet data throughput, calculated with CDMA capacity formulas

Assumptions		
	Macro cell	Micro cell
Downlink orthogonality	0.6	0.95
Other-to-own cell interference ratio i	0.65	0.2
Uplink E_b/N_0	1.5 dB	1.5 dB
Uplink loading	60%	60%
Downlink E_b/N_0	5.5 dB	8.0 dB
Downlink loading	80%	80%

Micro cell: higher orthogonality

Micro: higher isolation between cells

Results		
	Macro cell	Micro cell
Uplink	1040 kbps	1430 kbps
Downlink	660 kbps	1440 kbps

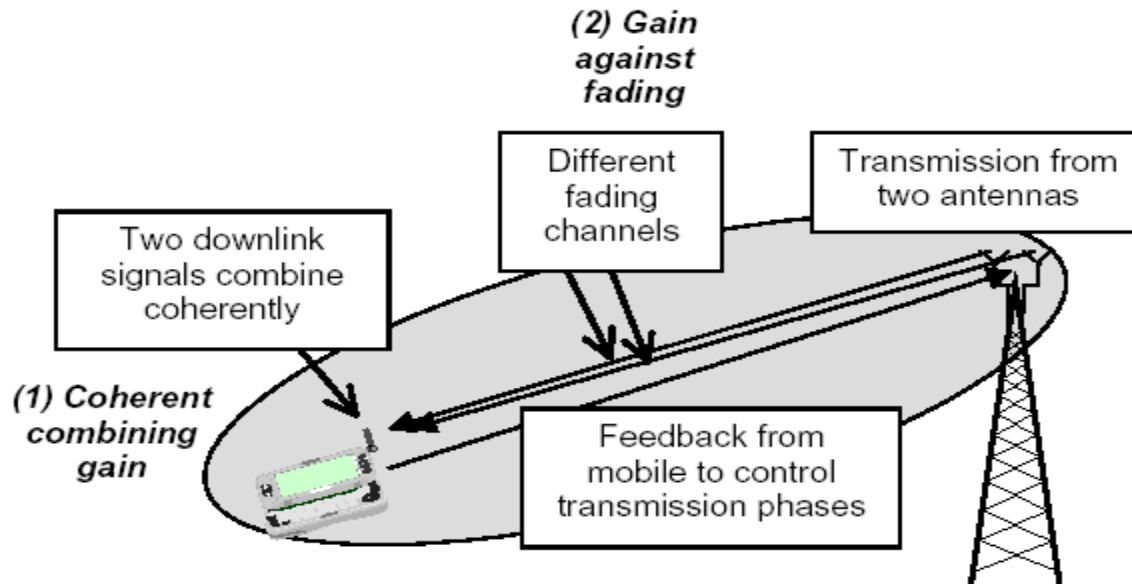
These figures without transmit diversity

- Downlink capacity is more sensitive to the environment because of orthogonal codes (other cell interference affects more downlink)

Χωρητικότητα στο Downlink

90

- Μεγαλύτερη ανάγκη σε χωρητικότητα στο downlink από το uplink
 - ▣ Απαιτήσεις ασύμμετρης χωρητικότητας, με τάση στο downlink
- Ελαχιστοποίηση της πολυπλοκότητας του τερματικού
 - ▣ Διαφορισμό δέκτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σταθμό βάσης, χωρίς να είναι εφικτό στο κινητό
- Διαφορισμό πομπού χρησιμοποιεί το WCDMA



Βασικές Απαιτήσεις για το Σχεδιασμό Δικτύου

91

- Χωρητικότητα
 - ▣ Αντιμετώπιση των απαιτήσεων χωρητικότητας με αποδεκτό blocking/delay.
- Κάλυψη
 - ▣ Επίτευξη της απαιτούμενης κάλυψης με καθορισμένη χρονική πιθανότητα και πιθανότητα θέσης
- Ποιότητα
 - ▣ Πρόσδοση καλή ποιότητα υπηρεσιών συνδεόμενη με την κάλυψη και την χωρητικότητα
- Κόστος
 - ▣ Μείωση του συνολικού κόστους του δικτύου

Διαδικασία Ανάπτυξης Δικτύου

92



Διαστασιολόγηση Δικτύου

93



Σχεδιασμός Δικτύου

94

