

ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑ ΔΙΚΤΥΩΝ  
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ Τ.Ε.Ι. ΜΕΣΣΟΛΟΓΓΙΟΥ

**“Εξέλιξη Mobile Internet από τα 384Kbps στα  
42.4Mbps”**

ΣΙΑΡΚΟΣ ΦΙΛΙΠΠΟΣ

ΑΜ : 0153

ΕΞΑΜΗΝΟ : 17<sup>ο</sup>

Επιβλέπων Καθηγητής: ΛΟΥΒΡΟΣ ΣΠΥΡΟΣ

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	5
Abstract .....	6
1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.....	7
2 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΑ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ .....	8
2.1 Η 1η Γενιά Κινητών Δικτύων .....	8
2.1.1 Το πρότυπο AMPS .....	9
2.2 Η 2η Γενιά Κινητών Δικτύων .....	12
2.2.1 Πλεονεκτήματα .....	12
2.2.2 Μειονεκτήματα .....	13
2.2.3 Το πρότυπο GSM (Global System for Mobile communications) .....	14
2.2.4 Η υπηρεσία δεδομένων GPRS.....	18
2.3 Η Γενιά 2,5 Κινητών Δικτύων.....	20
2.4 Η 3η γενιά κινητών δικτύων.....	21
2.4.1 Ασύρματες υπηρεσίες φωνής και δεδομένων.....	21
2.4.2 UMTS: Η εξέλιξη του GSM.....	23
2.4.2 Το πρωτόκολλο CDMA2000 .....	25
3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΩΝ 4 <sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ (4G).....	27
3.1 Υπηρεσίες φωνής, δεδομένων, πολυμέσων .....	27
3.2 3GPP LONG TERM EVOLUTION .....	29
4 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ UMTS .....	31
4.1 Γενικά Χαρακτηριστικά.....	31
4.2 Η αρχιτεκτονική του UMTS .....	32

4.3	Η δομή του UTRAN.....	34
4.4	Core Network .....	35
4.5	Βασικές διεπαφές και αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων .....	37
4.5.1	Η Διεπαφή Uu.....	37
4.5.2	Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Uu.....	38
4.5.3	Η Διεπαφή Iub .....	39
4.5.4	Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iub .....	39
4.5.5	Η Διεπαφή Iur.....	40
4.5.6	Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iur .....	41
4.5.7	Η Διεπαφή Iu-PS.....	41
4.5.8	Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iu-PS .....	42
4.5.9	Οι Υπόλοιπες Διεπαφές.....	42
5	ΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΤΟΥ UTRAN .....	44
5.1	Λογικά Κανάλια .....	44
5.2	Κανάλια Μεταφοράς.....	44
6	HANDOVERS ΣΤΟ UMTS .....	46
6.1	Softer και Soft Handover .....	46
6.2	Οι δυνατές περιπτώσεις softer και soft handover .....	48
6.3	Hard Handover .....	49
6.4	Intersystem Handovers .....	50
7	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ.....	51
7.1	PMM και RRC μηχανισμοί.....	51
8	ΟΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ HSPA ΚΑΙ LTE.....	52
8.1	Προτυποποίηση και εμπορική διαθεση της hspa τεχνολογίας .....	53
8.2	High Speed Downlink Packet Access (Hsdpa).....	54
8.2.1	Διαμοιραζόμενο Κανάλι Μεταφοράς HS-DSCH .....	54
8.2.2	Adaptive Modulation and Coding (AMC) .....	56

8.2.3	Hybrid Automatic Repeat request (HARQ).....	57
8.2.4	Fast Scheduling.....	58
8.2.5	Διαχείριση Πόρων σε δίκτυα HSDPA.....	59
8.2.6	Handover Control .....	59
8.2.7	Fast Link Control.....	59
8.2.8	Admission Control .....	60
8.2.9	Congestion Control.....	60
8.2.10	Packet Scheduler .....	61
8.3	Αλγόριθμοι Δρομολόγησης Κίνησης .....	61
8.3.1	Δρομολογητής βασισμένος αποκλειστικά στην ποιότητα του καναλιού (C/I scheduler).....	62
8.3.2	Δρομολογητής Κατανομής Ισόποσου Χρόνου (Fair Time scheduler - FTiS)....	63
8.3.3	Δρομολογητής Κατανομής Ισόποσου Ρυθμού Διέλευσης (Fair Throughput scheduler - FThS) .....	63
8.3.4	Δρομολογητής κυκλικής εναλλαγής με προτεραιότητα (Priority Round Robin scheduler - PRR).....	63
8.3.5	Δρομολογητής Ποιότητας Υπηρεσίας (Quality of Service scheduler - QoS) .	64
9	HIGH SPEED UPLINK PACKET ACCESS (HSUPA).....	64
9.1	Βασικά Χαρακτηριστικά HSUPA Τεχνολογίας .....	65
9.2	Πλεονεκτήματα HSPA τεχνολογίας .....	67
9.3	Υπηρεσίες στην HSPA τεχνολογία .....	68
9.4	HSPA +: Γενικά χαρακτηριστικά .....	70
10	3GPP LONG TERM EVOLUTION (LTE).....	71
10.1	Απαιτήσεις για το LTE.....	72
10.2	Βασικές Τεχνικές Μετάδοσης Πληροφορίας στο LTE .....	73
10.3	Υπηρεσίες στο LTE .....	75
11	ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ MOBILE INTERNET .....	76
11.1	Βασικά εργαλεία – μορφή αποτελεσμάτων .....	76
11.2	Μετρήσεις στην περιοχή της Κατερίνης .....	78

11.3	Μετρήσεις στην περιοχή της Λάρισας.....	82
11.4	Μετρήσεις στην περιοχή της Αθήνας.....	86
	Βιβλιογραφία .....	93

## Περίληψη

Στην παρούσα εργασία καταρχήν γίνεται μια σύντομη αναφορά στην ιστορία των συστημάτων κινητών επικοινωνιών, ξεκινώντας από τα συστήματα πρώτης γενιάς και καταλήγοντας στα συστήματα 4<sup>ης</sup> γενιάς. Εν συνεχεία, παρουσιάζεται εκτενώς και αναλύεται το σύστημα UMTS που αποτελεί τη βάση των επικοινωνιών 4<sup>ης</sup> γενιάς. Περιγράφονται οι διαδικασίες που αφορούν στα handovers σε τέτοια συστήματα, και αναφέρονται όλα τα σημαντικά τους χαρακτηριστικά, τα προτερήματα αλλά και τα μειονεκτήματα.

Επιπλέον, γίνεται ξεχωριστή αναφορά στα συστήματα HSPA και LTE, και παρουσιάζονται όλα τα βασικά τους χαρακτηριστικά, οι διαδικασίες ελέγχου που υλοποιούνται και οι αλγόριθμοι κίνησης που σχετίζονται με τα πρωτόκολλα αυτά.

Τέλος, στο τελευταίο μέρος της εργασίας, γίνεται παρουσίαση μιας σειράς μετρήσεων σχετικά με έναν συγκεκριμένο πάροχο κινητής τηλεφωνίας. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν σε τρεις διαφορετικές πόλεις της Ελλάδος, και παρουσιάζονται συγκριτικές αναφορές.

## **Abstract**

This dissertation first includes a brief presentation of the history of wireless telecommunication systems, beginning from the 1<sup>st</sup> generation systems and leading to the systems of the 4<sup>th</sup> generation. Moreover, the UMTS system is thoroughly investigated, as it is the basic 4<sup>th</sup> generation system. The procedures of the handovers are analytically presented, as well as all their important characteristics, their advantages and their disadvantages.

In addition to that, there is a special presentation of the HSPA and LTE systems, and their basic characteristics are also presented, along with the control processes and the movement algorithms that are relevant to these protocols.

Finally, in the last part of the dissertation, there is a presentation of a series of measurements regarding a specific wireless communication company in Greece. The measurements were carried out in three different cities of Greece, and they are compared in the final chapter of the dissertation.

# 1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

## ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Η περιπέτεια της κινητής τηλεφωνίας ξεκίνησε αμέσως μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, με τις πρώτες προσπάθειες των Σουηδών, Φινλανδών και Αμερικανών. Όμως ως ληξιαρχική πράξη γέννησής της θεωρείται η 3η Απριλίου 1973.

Ήταν ένα μουντό ανοιξιάτικο πρωινό στη Νέα Υόρκη. Ο δόκτωρ Μάρτιν Κούπερ της Μοτορόλα, περπατώντας σ' ένα δρόμο της αμερικάνικης μεγαλούπολης ήξερε ότι έγραφε ιστορία. Στα δυο του χέρια κρατούσε μια συσκευή που έμοιαζε με φορητό ασύρματο. Είχε ύψος 25 εκατοστά και βάρος 900 γραμμάρια. Ήταν το πρώτο σύγχρονο κινητό τηλέφωνο με τον κωδικό MotorolaDynaTAC. Σχημάτισε τον αριθμό του βασικού ανταγωνιστή του, Τζόελ Ένγκελ, που δούλευε για λογαριασμό της BellLabs.

«Γεια σου Τζο, σου μιλάω από ένα αληθινό κινητό τηλέφωνο» του είπε. «Παρότι δεν είχαμε τις καλύτερες των σχέσεων, μου συμπεριφέρθηκε πολύ ευγενικά», δήλωσε αργότερα ο Κούπερ σε μια συνέντευξή του. Η Bell πήρε τη ρεβάνς το 1978, κατασκευάζοντας το πρώτο δοκιμαστικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, που ήταν αναγκαίο για την εξέλιξη και την εμπορική εκμετάλλευση του κινητού.

Το πρώτο αυτοματοποιημένο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας λειτούργησε στις αρχές της δεκαετίας του 80 στη Σκανδιναβία. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 80 τα κινητά τηλέφωνα ήταν ογκώδη για να μεταφέρονται στην τσέπη κι έτσι ήταν εγκατεστημένα κυρίως σε αυτοκίνητα. Το πρώτο κινητό που έλαβε άδεια έγκρισης ήταν το μοντέλο της Μοτορόλα DynaTAC8000X. Υπήρξε η ναυαρχίδα των λεγόμενων κινητών πρώτης γενιάς (1G).

Στην αρχή της δεκαετίας του 90 άρχισε η απογείωση των κινητών τηλεφώνων, με την ψηφιοποίηση δικτύων (GSM) και συσκευών. Τα κινητά έγιναν μικρότερα (100-200 γραμμάρια), χωρούσαν στην παλάμη και έμπαιναν έστω και με δυσκολία στην τσέπη του χρήστη τους. Πέρασαμε έτσι στα κινητά της δεύτερης γενιάς (2G) που παρείχαν και άλλες ευκολίες, όπως την αποστολή σύντομων γραπτών μηνυμάτων (SMS) και τη λήψη φωτογραφιών.



Στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα ήρθαν τα κινητά τρίτης γενιάς (3G), με τις απεριόριστες δυνατότητες των πολυμέσων. Σήμερα η διείσδυση του κινητού τηλεφώνου στον πλανήτη ξεπερνά το 30%, με αλματώδη άνοδο στις φτωχές χώρες του πλανήτη και κυρίως στην Αφρική. Στην Ελλάδα, συγκεκριμένα, η κινητή τηλεφωνία έκανε την εμφάνισή της το 1992.

## **2 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΑ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

### **2.1 Η 1η Γενιά Κινητών Δικτύων**

Το πρώτο σύστημα κινητής τηλεφωνίας εγκαταστάθηκε το 1946 στο Σεντ Λουίς. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιούσε ένα μόνο μεγάλο πομπό στην κορυφή ενός ψηλού κτιρίου και είχε ένα μόνο κανάλι, το οποίο χρησιμοποιείτο τόσο για αποστολή όσο και για λήψη. Για να μιλήσει ο χρήστης, έπρεπε να πατήσει ένα πλήκτρο το οποίο ενεργοποιούσε τον πομπό και απενεργοποιούσε το δέκτη. Τέτοια συστήματα, που είναι γνωστά ως συστήματα πίεσε για να μιλήσεις (push-to-talk systems), εγκαταστάθηκαν σε πολλές πόλεις από τα τέλη της δεκαετίας του 1950. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται συχνά στους ασυρμάτους CB, στα ραδιοταξί, καθώς και στα περιπολικά της αστυνομίας στις τηλεοπτικές σειρές.

Την δεκαετία του 1960 ακολούθησε η εγκατάσταση του Βελτιωμένου Συστήματος Κινητής Τηλεφωνίας γνωστού ως IMTS(Improved Mobile Telephone System) το οποίο επίσης χρησιμοποιούσε έναν πομπό υψηλής ισχύος (200 watt) στην κορυφή ενός λόφου. Σε αντίθεση με το προηγούμενο σύστημα είχε δύο συχνότητες — μία για αποστολή και μία για λήψη — έτσι δε χρειαζόταν πια το πλήκτρο “push to talk” Επειδή όλες οι εισερχόμενες επικοινωνίες από τα κινητά χρησιμοποιούσαν διαφορετικό κανάλι από τα εξερχόμενα σήματα, οι κινητοί χρήστες δεν μπορούσαν να ακούν ο ένας τον άλλον.

Το IMTS υποστήριζε 23 κανάλια, τα οποία εκτείνονταν από τα 150 MHz έως τα 450 MHz. Λόγω του μικρού πλήθους καναλιών, οι χρήστες έπρεπε συχνά να περιμένουν πολλή ώρα πριν ακούσουν τον τόνο επιλογής. Επιπλέον, λόγω της υψηλής ισχύος του πομπού στην κορυφή του λόφου, τυχόν γειτονικά συστήματα θα

έπρεπε να βρίσκονται αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά το ένα από το άλλο, ώστε να αποφεύγονται οι παρεμβολές. Γενικά, η περιορισμένη χωρητικότητα έκανε το σύστημα μη πρακτικό.

### **2.1.1 Το πρότυπο AMPS**

Το προηγμένο σύστημα κινητής τηλεφωνίας (AMPS) είναι το πρότυπο αναλογικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας που αναπτύχθηκε από τα εργαστήρια Bell, και που εισήχθη επίσημα στην Αμερική το 1983. Ήταν το αρχικό αναλογικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας στη Βόρεια Αμερική από τη δεκαετία του '80 μέχρι και το 2000, και είναι ακόμα ευρέως διαθέσιμο σήμερα, αν και η χρήση έχει μειωθεί αρκετά με την εισαγωγή των διάφορων ψηφιακών προτύπων.

Το AMPS είναι μια πρώτης γενιάς κυψελοειδής τεχνολογία που χρησιμοποιεί ξεχωριστές συχνότητες, ή "κανάλια", για κάθε συνομιλία. Επομένως απαιτεί ιδιαίτερο εύρος ζώνης για έναν μεγάλο αριθμό χρηστών. Γενικά, το AMPS είναι πολύ παρόμοιο με την παλαιότερη Βελτιωμένη Υπηρεσία Κινητής τηλεφωνίας "0G", αλλά χρησιμοποιεί περισσότερη υπολογιστική ισχύ προκειμένου να επιλεγθούν οι συχνότητες, να περάσει τις συνομιλίες στις γραμμές του PSTN, και να χειρίσει την οργάνωση τιμολόγησης και κλήσης.

Αυτό που χωρίζει πραγματικά το AMPS από τα παλαιότερα συστήματα είναι η λειτουργία οργάνωσης κλήσης "πίσω τελών". Στο AMPS, τα κέντρα κυψελών μπορούν με άνεση να ορίσουν τα κανάλια στα τηλέφωνα βασισμένα στη δύναμη σήματος, που επιτρέπει στην ίδια συχνότητα να επαναχρησιμοποιηθεί στις διάφορες θέσεις χωρίς παρέμβαση. Αυτό επέτρεψε σε έναν μεγαλύτερο αριθμό τηλεφώνων να υποστηριχθεί σε μια γεωγραφική περιοχή. Οι πρωτοπόροι του AMPS υιοθέτησαν τον όρο "κυψελοειδής" λόγω της χρήσης μικρών εξαγωνικών "κυψελών" μέσα σε ένα σύστημα.

Εμφάνιζε αδυναμίες όταν συγκρινόταν με τις σημερινές ψηφιακές τεχνολογίες. Δεδομένου ότι είναι αναλογικό πρότυπο, είναι πολύ ευαίσθητο στο θόρυβο και δεν έχει καμία προστασία από το να υποκλέψει κάποιος χρησιμοποιώντας έναν ανιχνευτή. Στη δεκαετία του '90, η "αντιγραφή" ήταν μια επιδημία που κόστισε εκατομμύρια δολάρια στις βιομηχανίες. Ένας αδίστακτος "πειρατής" με εξειδικευμένο εξοπλισμό μπορεί να υποκλέψει τον Ηλεκτρονικό Σειριακό Αριθμό

(ESN) ενός τηλεφώνου. Το ESN είναι ένα πακέτο στοιχείων που στέλνεται από το μικροτηλέφωνο στο κυψελοειδές σύστημα για λόγους τιμολόγησης. Το σύστημα επιτρέπει ή απαγορεύει τις κλήσεις ή τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα βασισμένο στο αρχείο του πελάτη του. Εάν ένα ESN υποκλέπτεται, θα μπορούσε έπειτα να αντιγραφεί σε ένα διαφορετικό τηλέφωνο και να χρησιμοποιηθεί σε άλλες περιοχές για την πραγματοποίηση κλήσεων χωρίς πληρωμή. Το πρόβλημα έγινε τόσο μεγάλο που μερικοί μεταφορείς απαίτησαν τη χρήση ενός PIN πριν κάνουν τις κλήσεις. Αν και η αντιγραφή είναι ακόμα δυνατή, ακόμη και με τις ψηφιακές τεχνολογίες, το κόστος της ασύρματης υπηρεσίας είναι τόσο χαμηλό που το πρόβλημα έχει εξαφανιστεί ουσιαστικά. Το AMPS έχει αντικατασταθεί από τα νεότερα ψηφιακά πρότυπα, όπως ψηφιακά AMPS, το GSM, και CDMA2000 που προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια και αυξημένες δυνατότητες.

Η κυψελοειδής υπηρεσία AMPS λειτουργεί στην κυψελοειδή ζώνη FM των 800 MHz. Το σύστημα AMPS χρησιμοποιεί 832 πλήρως αμφίδρομα κανάλια, με κάθε κανάλι να αποτελείται από ένα ζεύγος μονόδρομων καναλιών. Τα 416 κανάλια βρίσκονται στο εύρος από τα 824 έως τα 849 MHz για μετάδοση από τους φορητούς σταθμούς στις βάσεις και 416 κανάλια στο εύρος από τα 869 έως τα 894 MHz για μεταδόσεις από τις βάσεις στους κινητούς σταθμούς. Το καθένα από αυτά τα μονόδρομα κανάλια έχει εύρος 30 kHz. Έτσι, το AMPS χρησιμοποιεί Frequency Division Multiplex για το διαχωρισμό των καναλιών.

Κάθε περιοχή κυψελών θα χρησιμοποιήσει ένα υποσύνολο αυτών των καναλιών, και πρέπει να χρησιμοποιήσει ένα διαφορετικό σύνολο από τις γειτονικές κυψέλες για να αποφύγει την παρεμβολή. Αυτό μειώνει σημαντικά τον αριθμό καναλιών που είναι διαθέσιμα σε κάθε περιοχή στα πραγματικά συστήματα. Κάθε κανάλι AMPS έχει εύρος 30 kHz.

Κάθε κινητό τηλέφωνο στο AMPS έχει έναν 32μπιτο αριθμό σειράς και ένα 10ψήφιο αριθμό τηλεφώνου στη μνήμη PROM του. Ο αριθμός τηλεφώνου αναπαριστάνεται ως ένας τριψήφιος υπεραστικός κωδικός με 10 bit και ένας επταψήφιος αριθμός συνδρομητή με 24 bit. Όταν ενεργοποιείται το τηλέφωνο, αυτό ερευνά μια εκ των προτέρων προγραμματισμένη λίστα 21 καναλιών ελέγχου (control channels) για να βρει το πιο ισχυρό σήμα.

Στη συνέχεια το τηλέφωνο εκπέμπει τον 32μπιτο αριθμό σειράς του και τον 34μπιτο αριθμό τηλεφώνου του. Όπως συμβαίνει σε όλες τις πληροφορίες ελέγχου στο AMPS, αυτό το πακέτο στέλνεται πολλαπλές φορές σε ψηφιακή μορφή, μαζί με έναν κωδικό διόρθωσης σφαλμάτων, παρά το ότι τα ίδια τα κανάλια φωνής είναι αναλογικά.

Όταν ο σταθμός βάσης ακούσει αυτή την ανακοίνωση, ενημερώνει το MTSO, το οποίο καταγράφει την ύπαρξη του νέου του πελάτη και ενημερώνει επίσης τον οικείο MTSO του πελάτη για την τρέχουσα θέση του. Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας του, το κινητό τηλέφωνο επανεγγράφεται στην κυψέλη κάθε 15 λεπτά περίπου.

Για να κάνει μια κλήση, ο κινητός χρήστης ανοίγει το τηλέφωνο του, γράφει με το πληκτρολόγιο του τηλεφώνου τον αριθμό που θα κληθεί, και πατά το πλήκτρο ΑΠΟΣΤΟΛΗ (SENT). Το τηλέφωνο μεταδίδει τότε στο κανάλι πρόσβασης (accesschannel) τον καλούμενο αριθμό μαζί με την ταυτότητα του. Αν συμβεί εκεί μια διένεξη, το τηλέφωνο προσπαθεί ξανά αργότερα. Όταν ο σταθμός βάσης λάβει την αίτηση, ενημερώνει το MTSO. Αν ο καλών είναι πελάτης της εταιρείας του MTSO (ή μιας συνεργαζόμενης εταιρείας), το MTSO αναζητεί ένα αδρανές κανάλι για την κλήση. Αν βρεθεί κανάλι, ο αριθμός του καναλιού επιστρέφεται στο τηλέφωνο μέσω του καναλιού ελέγχου. Το κινητό τηλέφωνο περνά στη συνέχεια στο επιλεγμένο κανάλι φωνής και περιμένει μέχρι ο καλούμενος συνδρομητής να σηκώσει το τηλέφωνο.

Οι εισερχόμενες κλήσεις λειτουργούν διαφορετικά. Αρχικά όλα τα αδρανή τηλέφωνα παρακολουθούν συνεχώς το κανάλι ειδοποίησης (pagingchannel) για να εντοπίσουν τυχόν μηνύματα που απευθύνονται σε αυτά. Όταν γίνεται μια κλήση προς ένα κινητό τηλέφωνο (είτε από ένα σταθερό τηλέφωνο, είτε από ένα άλλο κινητό τηλέφωνο), στέλνεται ένα πακέτο στον οικείο MTSO του καλούμενου για να βρεθεί η θέση του. Στη συνέχεια στέλνεται ένα πακέτο στο σταθμό βάσης της τρέχουσας κυψέλης του κινητού, ο οποίος εκπέμπει στο κανάλι ειδοποίησης ένα μήνυμα της μορφής "Μονάδα 14, είσαι εκεί;" Το καλούμενο τηλέφωνο απαντά "Ναι" στο κανάλι πρόσβασης. Η βάση λέει κάτι της μορφής "Μονάδα 14, κλήση για σένα στο κανάλι 3". Στο σημείο αυτό, το καλούμενο τηλέφωνο περνά στο κανάλι 3 και αρχίζει να παράγει ήχους κλήσης.

## 2.2 Η 2η Γενιά Κινητών Δικτύων

Η κύρια διαφοροποίηση από τα προηγούμενα συστήματα κινητών τηλεφώνων, γνωστά ως πρώτης γενιάς 1G, είναι ότι τα ραδιοσήματα που χρησιμοποιούν τα δίκτυα πρώτης γενιάς είναι αναλογικά, ενώ τα δεύτερης γενιάς δίκτυα χρησιμοποιούν ψηφιακά. Και τα δύο συστήματα χρησιμοποιούν την ψηφιακή σηματοδότηση για να συνδέσουν τους ραδιοπύργους (που επικοινωνούν με τα μικροτηλέφωνα) με το υπόλοιπο τηλεφωνικό σύστημα. Η χρησιμοποίηση των ψηφιακών σημάτων μεταξύ των τηλεφώνων και των πύργων αυξάνει την ικανότητα των συστημάτων με δύο βασικούς τρόπους:

- Τα ψηφιακά δεδομένα φωνής μπορούν να συμπιεστούν και πολυπλεχθούν αποτελεσματικότερα από τις αναλογικές κωδικοποιήσεις φωνής μέσω της χρήσης διάφορων κωδικοποιητών και έτσι επιτρέπεται σε περισσότερες κλήσεις να συγκεντρώνονται στο ίδιο ποσό εύρους ζώνης.

- Τα ψηφιακά συστήματα σχεδιάστηκαν για να εκπέμπουν τα τηλέφωνα λιγότερη ραδιοδύναμη Αυτό σήμαινε ότι οι κυψέλες θα μπορούσαν να είναι μικρότερες, έτσι περισσότερες θα μπορούσαν να τοποθετηθούν στο ίδιο διάστημα. Αυτό επιτεύχθηκε επίσης επειδή οι πύργοι κυψελών και ο σχετικός εξοπλισμός έγιναν φθηνότερα.

### 2.2.1 Πλεονεκτήματα

Τα ψηφιακά συστήματα έγιναν κοινώς αποδεκτά από τους καταναλωτές για αρκετούς λόγους.

- Τα ραδιοσήματα χαμηλότερης δύναμης απαιτούν λιγότερη δύναμη μπαταριών, έτσι τα τηλέφωνα διαρκούν πολύ περισσότερο μεταξύ των φορτίσεων, και οι μπαταρίες μπορούν να είναι μικρότερες.

- Η ψηφιακή κωδικοποίηση φωνής επέτρεψε τον ψηφιακό έλεγχο λάθους έτσι μπόρεσε να αυξήσει την ποιότητα του υ χαμηλώνοντας το κατώτερο στρώμα θορύβου.

- Οι χαμηλότερες εκπομπές ισχύος βοήθησαν να μειωθούν οι επιπτώσεις στην υγεία.

- Η ολοκληρωτικά ψηφιακή μετάβαση επέτρεψε την εισαγωγή των ψηφιακών υπηρεσιών, όπως SMS και το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο.

Ένα βασικό ψηφιακό πλεονέκτημα που δεν αναφέρεται συχνά είναι ότι οι ψηφιακές κυψελοειδείς κλήσεις είναι πολύ πιο δύσκολο να υποκλαπούν με χρήση ραδιοανιχνευτών. Ενώ οι αλγόριθμοι ασφάλειας αποδειχθηκαν λιγότερο ασφαλείς με τη χρήση τους στο πέρασμα του χρόνου από ότι αρχικά διαφημιζόνταν, εντούτοις τα 2G τηλέφωνα προσφέρουν περισσότερη προστασία συγκρινόμενα με τα τηλέφωνα 1G τα οποία δεν έχουν καμία προστασία ενάντια στην υποκλοπή.

### **2.2.2 Μειονεκτήματα**

Τα μειονεκτήματα των συστημάτων δευτερης γενιάς, που δεν κοινοποιούνται συχνά και επαρκώς είναι:

- Στις λιγότερο πυκνοκατοικημένες περιοχές, το πιο αδύνατο ψηφιακό σήμα δεν θα είναι επαρκώς ισχυρό για να φθάσει σε μια κεραία κυψελών.

- Το αναλογικό σήμα έχει μια ομαλή καμπύλη αποσύνθεσης, ενώ το ψηφιακό έχει μια οδοντωτή καμπύλη οδοντωτή steppy. Αυτό μπορεί να είναι και ένα πλεονέκτημα και ένα μειονέκτημα. Υπό καλές προϋποθέσεις, το ψηφιακό θα προσφέρει καλύτερη ποιότητα ήχου. Όσο οι προϋποθέσεις χειροτερεύουν, το ψηφιακό θα αρχίσουν να αποτυγχάνει εντελώς, ματαιώνοντας κλήσεις ή αδυνατώντας να αποκαταστήσει σωστή επικοινωνία, ενώ το αναλογικό εξασθενεί πιο αργά, κρατώντας γενικά μια κλήση πιο μακροχρόνια και επιτρέποντας τουλάχιστον σε μερικές λέξεις να μεταδοθούν σωστά.

- Με τα αναλογικά συστήματα ήταν δυνατό να υπάρξουν δύο ή περισσότερα "κλωνοποιημένα" μικροτηλέφωνα που είχαν τον ίδιο τηλεφωνικό αριθμό. Αυτό δεν χρησιμοποιήθηκε ευρέως για ευνόητους λόγους παρανομίας. Ήταν, εντούτοις, μεγάλο πλεονεκτήμα σε πολλές νόμιμες καταστάσεις. Κάποιος θα μπορούσε να έχει ένα εφεδρικό μικροτηλέφωνο σε περίπτωση ζημίας ή απώλειας, ένα μόνιμα εγκατεστημένο μικροτηλέφωνο σε ένα αυτοκίνητο ή το μακρινό εργαστήριο, και τα λοιπά. Με τα ψηφιακά συστήματα, αυτό δεν είναι πλέον δυνατό.

Ενώ οι ψηφιακές κλήσεις τείνουν να είναι χωρίς παρασιτικό θόρυβο, η συμπίεση με απώλειες που χρησιμοποιείται από τους κωδικοποιητές παρουσιάζει το

εξής πρόβλημα: το εύρος του ήχου που μεταβιβάζουν μειώνεται. Θα ακούγεται λιγότερο η τονικότητα της φωνής κάποιου που μιλά σε ένα ψηφιακό τηλέφωνο, αλλά θα ακούγεται πιο καθαρά.

### **2.2.3 Το πρότυπο GSM (Global System for Mobile communications)**

Το Ευρωπαϊκό Τηλεπικοινωνιακό Συμβούλιο το 1982, άρχισε την μελέτη για την δημιουργία ενός κοινού Ευρωπαϊκού ψηφιακού συστήματος κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G) και τότε αυτό το σύστημα ονομάστηκε αρχικά GroupSpecialMobile (GSM). Το GSM είναι ένα κυψελοειδές ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G) κάνοντας χρήση ηλεκτρομαγνητικών σημάτων χρησιμοποιώντας την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα αριθμό καναλιών και την διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες για την μετάδοση σημάτων. Το 1989 η ευθύνη του GSM ανατέθηκε στο Ευρωπαϊκό Τηλεπικοινωνιακό Ινστιτούτο Προτύπων (ETSI) και το 1990 ανακοινώθηκε επίσημα για πρώτη φορά το πρότυπο και τα χαρακτηριστικά του GSM. Το 1991 λοιπόν άρχισε η εμπορική του διάθεση στην Ευρώπη, ενώ στην Ελλάδα το 1993 από την WIND (πρώην TIM η πρώην TELESTET). Το πρότυπο GSM δεν ήταν μόνο ένα Ευρωπαϊκό πρότυπο μόνο, αφού υιοθετήθηκε από πολλές άλλες χώρες των άλλων Ηπείρων, εκμεταλεύοντας διάφορες ζώνες συχνοτήτων.

#### **Ζώνες Συχνοτήτων**

##### **GSM 900**

Τα πρώτα δίκτυα GSM το 1990 άρχισαν να λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων των 900MHz. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) παραχώρησε ένα ζεύγος συχνοτήτων, από τα 890 έως τα 915 MHz και από τα 935 έως τα 960 MHz. Η πρώτη περιοχή χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του κινητού με τον σταθμό βάσης (Uplink), ενώ η δεύτερη για την επικοινωνία του σταθμού βάσης με το κινητό (downlink). Οι περιοχές(ζώνες) των 25MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 124 + (1 ελεύθερο) κανάλια συχνότητας και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200 KHz. Όλο αυτό το σύστημα ονομάστηκε GSM 900 ή StandardGSM.

## **GSM 1800**

Στη συνέχεια, το 1991, αναπτύχθηκε το DCS 1800 σύστημα, όπου διατηρείται η δομή ενός GSM 900 δικτύου αλλά χρησιμοποιούνται διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων, από τα 1710 έως τα 1785 MHz Uplink και από τα 1805 έως τα 1880 MHz Downlink. Οι περιοχές των 75MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 374+ (1 ελεύθερο) κανάλια και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200KHz. Αυτή η αλλαγή στην ζώνη συχνοτήτων έγινε διότι οι ζώνες του GSM 900 στην Ευρώπη ήταν πιασμένες από άλλους παροχής κινητής τηλεφωνίας. Όπως και στην χώρα μας σήμερα όλες οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν και τα δύο συστήματα(GSM 900/GSM 1800) στα δίκτυα τους αυξάνοντας αισθητά τη χωρητικότητά στα δίκτυα τους. Στα τέλη δεκαετίας του 1990 το GSMWorldAssociation αποφάσισε να μετονομάσει το DCS 1800 σε GSM 1800 για να φανεί η δυναμικότητα και η παγκοσμιότητα του GSM.

## **GSM 1900**

Στο GSM 1900 χρησιμοποιείται σε αρκετές χώρες της Αμερικής, διατηρείται και πάλι η δομή ενός GSM 900 δικτύου, αλλά χρησιμοποιούνται και εδώ διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων: Από τα 1850 έως τα 1910 MHz για Uplink και από τα 1930 έως τα 1990 MHz για Downlink. Οι περιοχές των 60MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 299+ (1 ελεύθερο) κανάλια συχνότητας και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200KHz. Στα τέλη δεκαετίας του 1990 το GSMWorldAssociation απεφάσισε να μετονομάσει το PCS 1900 που λεγότανε παλιότερα σε GSM 1900 για να φανεί η δυναμικότητα και η παγκοσμιότητα του GSM.

## **E-GSM • Extended-GSM 900 - Εκτεταμένηζώνη GSM**

Το E-GSM καθορίστηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ράδιο Επικοινωνιών στα τέλη της δεκαετίας του 1990 για να «αντικαταστήσει» το κλασικό GSM 900 διατηρώντας βέβαια την δομή του αυξάνοντας όμως τις περιοχές συχνοτήτων από 880 έως 915 MHz για Uplink και 925 έως 960 MHz Downlink. Έτσι επέτρεψε στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας να αυξήσουν τη χωρητικότητά τους και να καλύψουν τις ανάγκες από την αυξημένη κίνηση των πελατών τους.

## **Κυψελοειδής Δομή Δικτύου**

Η εμβέλεια ενός δικτύου GSM σε μία γεωγραφική περιοχή για να γίνει, η περιοχή αυτή διαμελίζεται σε μικρότερες περιοχές που λέγονται κυψέλες, οι οποίες



εφάπτονται μεταξύ τους με κάθε κυψέλη να έχει και ένα σταθμό βάσης(BaseStation), συνθέτοντας έτσι μια δομή κυψελών. Η δομή αυτή επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειάζεται για την απαιτούμενη κάλυψη της μιας περιοχής κάνοντας επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων. Με την μέθοδο αυτή αυξάνεται η χωρητικότητα του δικτύου αλλά πρέπει η ισχύς κάθε κυψέλης να είναι όση χρειάζεται ώστε να μην ξεπερνάει τα όρια της και να υπερχειλίζει άλλες κυψέλες της ίδιας δομής ενώ για να μην δημιουργείται ενδοκαναλική παρεμβολή σε γειτονικές κυψέλες η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να απέχουν επαρκή απόσταση οι κυψέλες μιας δομής που έχουν την ίδια συχνότητα με τις κυψέλες μιας άλλης δομής. Η ενδοκαναλική παρεμβολή μειώνεται όσο αυξάνει ο αριθμός των κυψελών της δομής. Η ακτίνα κάθε κυψέλης σε αραιοκατοικημένες περιοχές είναι έως και 35Km ενώ σε πυκνοκατοικημένες περιοχές δεν ξεπερνά τα 300 μέτρα

Σε περιοχές με πολύ μεγάλη ζήτηση χωρητικότητας δικτύου όπως σε αστικά κέντρα, οι σταθμοί βάσης υπερφορτώνονται και έτσι υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερη χωρητικότητα του δικτύου. Έτσι για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός γίνεται διάσπαση των υπάρχοντων κυψελών σε μικρότερες, ενώ γι' αυτές χρησιμοποιούνται κεραίες μικρότερης ισχύος (macrobs - micro- bs - picobs) όπως σε κτίρια, στο μετρό, Δημόσιους Οργανισμούς, οδικές αρτηρίες κτλ..

### **Αρχιτεκτονική**

Ένα GSM δίκτυο χωρίζεται σε 3 βασικά μέρη:

1. Τον Κινητό Σταθμό (Mobile Station): Έχει οπωσδήποτε πομπό-δέκτη, κεραία, οθόνη και την κάρτα SIM. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς εκπομπής στην Ευρώπη μιας κινητής μονάδας είναι στα 2 Watt ενώ σε Αυστραλία και Αμερική είναι 1,6W, οι τιμές αυτές καθορίστηκαν απο την Διεθνή Επιτροπή για την προστασία από τη μη ιονίζουσα ακτινοβολία.

2. Το Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (Base Station Subsystem): Το BSS διαχειρίζεται τις κλήσεις σε μια γεωγραφική περιοχή όπου καλύπτεται από ένα σύνολο κεραιών διαφόρων μεγεθών σε σειρά σαν αυτούς που βλέπουμε σε λόφους, ταράτσες πολυκατοικιών-εταιριών-σχολείων-οργανισμών κτλ. και κάθε τέτοια κεραία εξυπηρετεί και από μια κυψέλη. Το BSS χωρίζεται στο βασικό σταθμό πομπό-δέκτη

Base Transceiver Station (BTS) και στο βασικό σταθμό ελέγχου Base Station Controller (BSC).

- Το Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (BTS) φροντίζει την επικοινωνία μεταξύ του δικτύου GSM και του κινητού σταθμού. Ένα BTS μπορεί να ελέγχει μια ή περισσότερες κεραιές. Η ισχύς των κεραιών σε ένα BTS μπορεί είναι 40W έως 500W. Όταν ένας χρήστης A θέλει να πραγματοποιήσει μια κλήση σε έναν άλλο συνδρομητή B, ο σταθμός βάσης μεταβιβάζει το σήμα με το αίτημά του A για αναζήτηση και εντοπισμό του άλλου συνδρομητή B στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο της εταιρείας του A. Το κέντρο της εταιρείας εντοπίζει την κυψέλη στην οποία βρίσκεται ο B και στέλνει το σήμα στον πλησιέστερο σταθμό βάσης. Από εκεί, πάλι με τη χρήση των διαθέσιμων συχνοτήτων, στέλνεται το σήμα στο κινητό του B κι έτσι μπορεί να επικοινωνήσει μαζί του ο A. Το πεδίο μιας GSM κεραιάς ενός σταθμού βάσης ή κινητής μονάδας, είναι παλμικό με κανάλια διάρκειας 4,616 ή 9,232 msec το καθένα, που είναι χωρισμένα σε 8 ή 16 διαστήματα-χρονοθυρίδες, διάρκειας 0.577 msec η καθεμία ( $8 \times 0,577$  ή  $16 \times 0,577$ ). Κάθε χρήστης χρησιμοποιεί για μια τηλεφωνική κλήση από μια χρονοθυρίδα άρα ένα κανάλι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι και από 8 ή 16 συνδρομητές. Οι 8 ή 16 χρονοθυρίδες που χωρίζονται σε ένα κανάλι αποκαλούνται πλαίσιο TDMA ενώ κάθε χρονοθυρίδα αντιστοιχεί σε 156 bits.

- Το BSC (βασικός σταθμός ελέγχου) ελέγχει τα σήματα παίρνοντας τα από ένα ή περισσότερα BTS ενώ εκχωρεί και απελευθερώνει κανάλια. Τα σήματα που λαμβάνει τα κατευθύνει στο MSC- Mobile Switching Centre και όταν χρειάζεται μετατρέπει τα 16kbps φωνής που είναι στην κινητή τηλεφωνία σε 64kbps που χρησιμοποιείται στην σταθερή τηλεφωνία.(σχήμα)

3. Το Υποσύστημα Δικτύου μεταγωγής (NNS- Network Switching Subsystem) που αποτελείται από:

Το Κέντρο Διαμονής (Mobile Switching Center), είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση, τον έλεγχο και την δρομολόγηση εισερχόμενων/εξερχόμενων κλήσεων μεταξύ του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και ενός άλλου δικτύου ή άλλων. Όταν ένα MSC συνδέεται με ένα δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας θα πρέπει να δέχεται 64kbps φωνής. Όταν όμως ο MSC συνδέεται με ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας τότε θα πρέπει να γνωρίζει που βρίσκεται εκείνη τη δεδομένη χρονική στιγμή ο χρήστης, αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια καταχωρητών VLR (Visitor Locator Register),

Home Locator Register (HLR). Ο πάτριος καταχωρητής θέσης αναζήτησης ή τοπικά κέντρα εγγραφής-HLR έχει μια Βάση Δεδομένων που κρατά στοιχεία προφίλ ενός συνδρομητή και πληροφορίες για την τρέχουσα θέση του, κάθε τέτοιο κέντρο η εμβέλεια του είναι σε τοπικό επίπεδο. Έτσι π.χ. όταν ένας συνδρομητής από το Πέραμα το HLR του χρήστη είναι το "HLR Πέραμα", επίσης σε μια πιο πυκνοκατοικημένη περιοχή μπορεί να υπάρχουν περισσότερα από ένα τοπικά κέντρα εγγραφής πχ. το Περιστέρι. Ο καταχωρητής θέσης αναζήτησης επισκεπτών ή εικονικό κέντρο εγγραφής χρήστη (VLR): Όταν ο συνδρομητής βγει από τα όρια της τοπικής περιοχής που καλύπτει το HLR δηλαδή είναι πολύ μακριά από το σπίτι του τότε αναλαμβάνει τον χρήστη ο καταχωρητής θέσης αναζήτησης ή εικονικό κέντρο εγγραφής - VLR ο οποίος έχει μια βάση δεδομένων, ο οποίος συγκρατεί προσωρινά δεδομένα καθώς και την τρέχουσα θέση του, αναλαμβάνοντας τις κλήσεις του καλύτερα κατά τις ώρες αιχμής στο κέντρο της πόλης. Το κέντρο πιστοποίησης (Authentication Centre – AuC) ο ρόλος του οποίου έγκειται στη διαχείριση δεδομένων για την πιστοποίηση της ταυτότητας του χρήστη.

#### **2.2.4 Η υπηρεσία δεδομένων GPRS**

Το GeneralPacketRadioService (GPRS) είναι μια κινητή υπηρεσία δεδομένων διαθέσιμη στους χρήστες των κινητών τηλεφώνων GSM και IS-136. Παρέχει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων από 56 μέχρι 114 Kbps.

Η μεταφορά δεδομένων GPRS χρεώνεται τυπικά ανά kilobyte των μεταφερόμενων δεδομένων, ενώ η μετάδοση δεδομένων μέσω του παραδοσιακού circuitswitching τιμολογείται ανά λεπτό του χρόνου σύνδεσης, ανεξάρτητα από το εάν ο χρήστης έχει μεταφέρει πραγματικά τα δεδομένα ή αν βρισκόταν σε κατάσταση αναμονής. Το GPRS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις υπηρεσίες όπως το WirelessApplicationProtocol (WAP), το ShortMessageService (SMS), το MultimediaMessageService (mms), και για τις υπηρεσίες επικοινωνίας Διαδικτύου όπως η πρόσβαση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και World Wide Web.

Τα κυψελοειδή συστήματα δεύτερης γενιάς που συνδυάζονται με GPRS περιγράφονται συχνά ως "2.5G", δηλαδή μια τεχνολογία μεταξύ της δεύτερης και τρίτης γενιάς της κινητής τηλεφωνίας. Παρέχει μέτρια ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων, με τη χρησιμοποίηση TimeDivisionMultipleAccess (TDMA) καναλιών,

παραδείγματος χάριν το σύστημα GSM. Αρχικά υπήρξε κάποια σκέψη επέκτασης του GPRS για να καλύψει άλλα πρότυπα, αλλά αντ' αυτού εκείνα τα δίκτυα μετατρέπονται για να χρησιμοποιήσουν το πρότυπα GSM, έτσι ώστε το GSM να είναι το μόνο είδος δικτύου όπου χρησιμοποιείται το GPRS. Το GPRS είναι ενσωματωμένο στο GSM Release 97 και τις νεώτερες εκδόσεις. Τυποποιήθηκε αρχικά από το European Telecommunications Standards Institute (ETSI), αλλά τώρα είναι τυποποιημένο από το 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP).

### **Βασικά Στοιχεία**

Το WAP είναι μόνο μια πύλη που χρησιμοποιείται για να επιτυγχάνεται πρόσβαση στο Διαδίκτυο μέσω του κινητού τηλεφώνου και αντίστροφα. Συνήθως, τα δεδομένα GPRS τιμολογούνται ανά kilobyte των πληροφοριών, ενώ οι circuit-switched συνδέσεις στοιχείων τιμολογούνται ανά δευτερόλεπτο. Το τελευταίο είναι μη αποδοτικό επειδή ακόμα και όταν δεν μεταφέρεται κανένα δεδομένο, το εύρος ζώνης είναι μη διαθέσιμο σε άλλους δυνητικούς χρήστες.

Το GPRS υποστήριξε αρχικά (θεωρητικά) το πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP), το Point-to-Point Protocol (PPP) και τις συνδέσεις του X.25. Το τελευταίο έχει χρησιμοποιηθεί χαρακτηριστικά για τις εφαρμογές όπως τα ασύρματα τερματικά πληρωμής, αν και έχει αφαιρεθεί από τα πρότυπα. Το X.25 μπορεί ακόμα να βασιστεί στο PPP, ή ακόμα και IP, αλλά για να γίνει αυτό απαιτεί είτε έναν δρομολογητή για να εκτελέσει την ενθυλάκωση είτε εξοπλισμό κάποιας νοημοσύνης. Στην πράξη, όταν χρησιμοποιείται ο ενσωματωμένος mobile browser, χρησιμοποιείται το IPv4. Σε αυτόν τον τρόπο το PPP συχνά δεν υποστηρίζεται από τον mobile operator, ενώ το IPv6 δεν είναι ακόμα δημοφιλές. Αλλά εάν το κινητό χρησιμοποιείται ως modem στο συνδεδεμένο υπολογιστή, το PPP χρησιμοποιείται στη γραμμή IP στο τηλέφωνο. Αυτό επιτρέπει στο DHCP να ορίσει μια διεύθυνση IP και έπειτα τη χρήση του IPv4 δεδομένου ότι οι διευθύνσεις IP που χρησιμοποιούνται από τον κινητό εξοπλισμό τείνουν να είναι δυναμικές.

### **Κατηγορίες ικανότητας**

Class A

Μπορεί να συνδεθεί με την υπηρεσία GPRS και την υπηρεσία GSM (φωνή, SMS), χρησιμοποιώντας και τα δύο συγχρόνως. Τέτοιες συσκευές είναι διαθέσιμες σήμερα.

## Class B

Μπορεί να συνδεθεί με την υπηρεσία GPRS και την υπηρεσία GSM (φωνή, SMS), αλλά ,με χρήση μόνο του ενός ή άλλου κάθε φορά. Κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας GSM (κλήση φωνής ή SMS), η υπηρεσία GPRS αναστέλλεται, και επαναλαμβάνεται έπειτα αυτόματα αφότου έχει ολοκληρώσει η υπηρεσία GSM (κλήση φωνής ή SMS). Οι περισσότερες κινητές συσκευές GPRS είναι Class B.

## ClassC

Συνδέεται είτε με την υπηρεσία GPRS είτε με την υπηρεσία GSM (φωνή, SMS). Πρέπει να επιλέγεται χειροκίνητα μεταξύ της μιας ή άλλης υπηρεσίας.

## 2.3 Η Γενιά 2,5 Κινητών Δικτύων

Με τον όρο «γενιά 2,5 ή 2.5G» αναφερόμαστε στο ευρύτερο σύνολο των αναβαθμίσεων που έγιναν πάνω στα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς. Πολλές από αυτές τις αναβαθμίσεις παρέχουν σχεδόν τις ίδιες δυνατότητες με αυτές των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς. Παρόλο που η διαχωριστική γραμμή μεταξύ των κινητών δικτύων δεύτερης γενιάς και αυτών της γενιάς 2,5 είναι λεπτή, υπάρχουν ορισμένες τεχνολογίες οι οποίες χαρακτηρίζουν τη γενιά 2,5. Αυτές οι τεχνολογίες είναι: η High-Speed Circuit-Switched Data (HSCSD), η General Packet Radio Services (GPRS) και η Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE). Το μεγαλύτερο πρόβλημα που παρουσίασαν οι αρχικές μορφές του GSM ήταν οι χαμηλοί ρυθμοί μετάδοσης στον αέρα που περιορίζονταν στα 9,6 Kbps. Αργότερα, τέθηκαν οι προδιαγραφές για τα 14,4 Kbps παρόλο που δε χρησιμοποιήθηκαν ευρέως.

Η λύση που προτάθηκε ήταν η τεχνολογία HSCSD. Μέσω αυτής της τεχνολογίας ένας χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί, αντί μίας, περισσότερων χρονοσχημάτων (timeslots) για μία σύνδεση μεταφοράς δεδομένων. Συνεπώς, ο ρυθμός μετάδοσης για αυτόν το χρήστη είναι το γινόμενο των χρονοσχημάτων επί το ρυθμό μετάδοσης για μία χρονοσχημή. Η υλοποίηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι σχετικά απλή και φθηνή. Πρόσθετο λογισμικό χρειάζεται να υλοποιηθεί στα κέντρα καθώς και καινούριες φορητές συσκευές που θα υποστηρίζουν την τεχνολογία HSCSD. Το βασικότερο μειονέκτημα ήταν η χρήση μεταγωγής κυκλώματος. Αυτός ο τρόπος μεταγωγής είχε ως αποτέλεσμα τη σπατάλη πόρων του δικτύου αφού οι χρονοσχημές δεσμεύονταν ακόμα και όταν η χωρητικότητά τους δεν χρησιμοποιούνταν.

Η επόμενη λύση που προτάθηκε ήταν η τεχνολογία GPRS. Με αυτήν την τεχνολογία μπορούν να επιτευχθούν ρυθμοί μετάδοσης των 115 Kbps ή και ακόμα μεγαλύτεροι αν αγνοηθεί η διόρθωση σφαλμάτων. Αυτό που έχει μεγάλη σημασία είναι ότι η τεχνολογία GPRS χρησιμοποιεί τεχνολογία μεταγωγής πακέτου. Επομένως, δεσμεύει τους πόρους του δικτύου μόνο όταν υπάρχει ανάγκη για αποστολή/λήψη δεδομένων. Η υλοποίηση του GPRS είναι αρκετά πιο ακριβή από αυτή του HSCSD. Επίσης, το HSCSD συμπεριφέρεται με μεγαλύτερη συνέπεια σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

Παρόλα αυτά, η τεχνολογία GPRS προσφέρει πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες για την αποστολή δεδομένων μέσω των κινητών δικτύων. Είναι σίγουρο πλέον πως η αύξηση της κίνησης δεδομένων στα κινητά δίκτυα, καθιστά την GPRS τεχνολογία αναπόσπαστο στοιχείο ενός συστήματος κινητής τηλεφωνίας .

Τέλος, η τρίτη και τελευταία βελτίωση του GSM προκειμένου να εξελιχθεί σε ένα δίκτυο γενιάς 2,5 είναι η EDGE. Η βασική ιδέα πίσω από το EDGE είναι μία τεχνική διαμόρφωσης που ονομάζεται Eight-Phase Shift Keying (8-PSK) . Αυτή η τεχνική επηρεάζει μόνο το λογισμικό των σταθμών βάσης και προσφέρει έως και τριπλάσιο ρυθμό μετάδοσης από το βασικό ρυθμό μετάδοσης του GSM. Επιπλέον, μπορεί να συνυπάρξει με την τεχνική διαμόρφωσης Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) η οποία χρησιμοποιείται στη βασική μορφή του GSM.

## **2.4 Η 3η γενιά κινητών δικτύων**

### **2.4.1 Ασύρματες υπηρεσίες φωνής και δεδομένων**

Τα τελευταία χρόνια έχουν παρατηρηθεί ραγδαίες εξελίξεις στις τεχνολογίες κινητής και ασύρματης επικοινωνίας με κορυφαία αυτή της έναρξης λειτουργίας των δικτύων 3ης γενιάς (3G). Η νέα τεχνολογία UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) έρχεται να συμπληρώσει, να βελτιώσει και να επεκτείνει τις δυνατότητες επικοινωνίας των συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας. Τα δίκτυα 3G αναμένεται να βελτιώσουν τις ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες και να αλλάξουν το τοπίο της νέας ψηφιακής οικονομίας.

Ήδη οι υπηρεσίες φωνής και δεδομένων που προσφέρονται από τα δίκτυα GSM/GPRS (2G/2.5G) επεκτείνονται με νέες υπηρεσίες και εφαρμογές όπως:

εφαρμογές πολυμέσων, πλοήγηση σε ιστοσελίδες και μεταφορά δεδομένων. Αυτές οι αλλαγές έχουν επιφέρει μεγαλύτερη κίνηση δεδομένων για τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας, και ικανοποιούν τις απαιτήσεις για πληροφόρηση ή διασκέδαση πολλών χρηστών του Διαδικτύου. Παρόλα αυτά η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση νέων υπηρεσιών καθώς επίσης και χαρακτηριστικά που εκτιμούν οι χρήστες όπως αξία που τους προσφέρει, ευκολία χρήσης και κόστος χρήσης καθιστά αναγκαία τη μετάβαση σε ένα πιο εξελιγμένο δίκτυο ικανό να προσφέρει μια πλειάδα νέων υπηρεσιών. Η εμφάνιση της τεχνολογίας 3G παρουσιάζει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον αναφορικά με τις εφαρμογές που μπορούν να εκμεταλλευτούν τα προηγμένα χαρακτηριστικά της. Εφαρμογές όπως η επικοινωνία με εικόνα και ήχο ταυτόχρονα, το ηλεκτρονικό εμπόριο, η αποστολή μηνυμάτων πολυμέσων, υπηρεσίες πλοήγησης/εντοπισμού θέσης, η αποστολή και λήψη αρχείων δεδομένων, μουσικών κομματιών κλπ, η προσφορά περιεχομένου που προσαρμόζεται στα ενδιαφέροντα του κάθε χρήστη, η εκπομπή σε πραγματικό χρόνο ψηφιοποιημένων τηλεοπτικών προγραμμάτων είναι μερικά παραδείγματα.

Στο χώρο των επιχειρήσεων, η τεχνολογία 3G αναμένεται να επιφέρει μεγάλες αλλαγές καθώς προσφέρει αυξημένες δυνατότητες διαφήμισης και προσέλκυσης πελατών, ασφαλείς οικονομικές υπηρεσίες/συνδιαλλαγές, αναβαθμίζοντας έτσι τον τρόπο προώθησης προϊόντων στους τελικούς καταναλωτές. Η ταχύτητα, η αμεσότητα που προσφέρεται με την ανταλλαγή εικόνων ή video πρόσθετα από λεκτικές περιγραφές και η δυνατότητα αποστολής ψηφιακών δεδομένων και υπογραφών σαφώς δίνουν νέες δυνατότητες σε σχέση με τα δίκτυα 2ης γενιάς. Παραδείγματα επιχειρηματικών εφαρμογών αποτελούν:

- Προσδιορισμός θέσης – Πλοήγηση
- Προσωποποιημένα μηνύματα ήχου, βίντεο, εικόνας
- Τηλεδιάσκεψη (Video Conferencing)
- Online Ηλεκτρονικά Παιχνίδια
- Τηλεόραση&Ραδιόφωνο (Wireless Streaming Applications)
- Ομαδικές συνομιλίες (Chat & Dating)
- Μουσική- Τραγούδια (Music-Ringtones Downloads)
- Εικονοκλήση (Video call)

- Αποστολή Μηνυμάτων εμπλουτισμένων με εικόνα και ήχο (Multimedia Messaging)
- Τα αναμενόμενα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας 3G για τον καταναλωτή καθώς επίσης και για τις επιχειρήσεις περιλαμβάνουν τα εξής:
  - Μεγαλύτερες ταχύτητες για την αποστολή και λήψη δεδομένων
  - Εμπλουτισμό της επικοινωνίας με εικόνα και ήχο σε πραγματικό χρόνο
  - Προσωποποίηση και διευθέτηση του περιεχομένου σύμφωνα με το προφίλ του χρήστη
  - Αυξημένη ασφάλεια συναλλαγών
  - Ενημέρωση και στοχευμένη πληροφόρηση με τη βοήθεια μεθόδων εντοπισμού θέσης
  - Αμεσότητα στη πρόσβαση σε πληροφορία πλούσιου περιεχομένου

Με όλες αυτές τις ευκαιρίες που επιφέρει η τεχνολογία 3G, προκύπτουν διάφορα θέματα όπως η κατανόηση των αναγκών των χρηστών και η διερεύνηση των δυνατοτήτων που έχουν.

#### **2.4.2 UMTS: Η εξέλιξη του GSM**

Το UMTS, που χρησιμοποιεί το W- CDMA, υποστηρίζει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων έως 14,0 Mbit/s θεωρητικά (με HSDPA), αν και προς το παρόν οι χρήστες στα επεκταμένα δίκτυα μπορούν να έχουν ταχύτητα μεταφοράς μέχρι 384 Kbit/s για R99 τηλέφωνα, και 3,6 Mbit/s για τα τηλέφωνα HSDPA στη σύνδεση downlink. Αυτό είναι ακόμα πολύ μεγαλύτερο από τα 9,6 Kbit/s ενός GSM καναλιού δεδομένων και επομένως μπορεί και προσφέρει πρόσβαση στο World Wide Web και άλλες υπηρεσίες δεδομένων στις κινητές συσκευές.

Πρόδρομοι του 3G είναι τα 2G συστήματα κινητής τηλεφωνίας, όπως το GSM, IS- 95, PDC, PHS και άλλες 2G τεχνολογίες που επεκτείνονται σε διάφορες χώρες. Στην περίπτωση του GSM, υπάρχει μια πορεία εξέλιξης από το 2G, αποκαλούμενη GPRS, επίσης γνωστή ως 2.5G. Το GPRS υποστηρίζει μία πολύ καλύτερη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων (μέχρι ένα θεωρητικό μέγιστο 140,8



Kbit/s, αν και τα χαρακτηριστικά ποσοστά είναι πίο στενά σε 56 Kbit/s) και είναι packetswitched αντί για circuitswitched.Επεκτείνεται σε πολλές περιοχές όπου το GSM χρησιμοποιείται. Το E-GPRS ή EDGE, είναι μια περαιτέρω εξέλιξη του GPRS και είναι βασισμένο σε πίο σύγχρονους τρόπους κωδικοποίησης. Με το EDGE οι πραγματικές ταχύτητες μεταφοράς πακέτων κυμαίνονται στα 180 Kbit/s. Τα συστήματα EDGE αναφέρονται συχνά ως "συστήματα 2.75G".

Από το 2006, τα δίκτυα UMTS σε πολλές χώρες ήταν ή είναι στο στάδιο της αναβάθμισης με το High Speed Downlink Packet Access (HSDPA), μερικές φορές γνωστό ως 3.5G. Αυτήν την περίοδο, το HSDPA επιτρέπει ταχύτητες μεταφοράς downlink μέχρι 7,2 Mbit/s. Οι εργασίες προχωρούν επίσης στη βελτίωση της uplink ταχύτητας μεταφοράς με το High Speed Uplink Packet Access HSUPA. Μακροπρόθεσμα προβλέπεται το UMTS να αποκτήσει ταχύτητες 4G που φτάνουν τα 100 Mbit/s downlink και 50 Mbit/s uplink, χρησιμοποιώντας μια τεχνολογία διεπαφών αέρα επόμενης γενεάς που βασίζεται σε OFDM.

Το UMTS υποστηρίζει videoκλήσεις, download μουσικής και video, καθώς επίσης και live-TV . Το UMTS συνδυάζει το W-CDMA, το TD-CDMA, ή τις διεπαφές αέρα TD- SCDMA, τον Mobile Application Part (MAP) core του GSM και την οικογένεια κωδικοποιητών ομιλίας του GSM. Στη δημοφιλέστερη έκδοση UMTS στα κινητά τηλέφωνα, χρησιμοποιείται το W-CDMA χρησιμοποιείται αυτήν την περίοδο. Σημειώστε ότι άλλα ασύρματα πρότυπα χρησιμοποιούν το W-CDMA ως διεπαφή αέρα, συμπεριλαμβάνοντας και το FOMA.

Το UMTS πέρα από το W-CDMA χρησιμοποιεί ένα ζευγάρι καναλιών 5 MHz. Αντίθετα, το ανταγωνιστικό σύστημα CDMA2000 χρησιμοποιεί ένα ή περισσότερα αυθαίρετα κανάλια 1,25 MHz για κάθε κατεύθυνση της επικοινωνίας. Το UMTS και άλλα συστήματα W- CDMA επικρίνονται ευρέως για τη μεγάλη χρήση φάσματός τους, η οποία έχει καθυστερήσει την επέκταση στις χώρες που ενέργησαν σχετικά αργά να διαθέσουν νέες συχνότητα συγκεκριμένα για 3G υπηρεσίες (όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες). Οι συγκεκριμένες ζώνες συχνότητας που καθορίζονται αρχικά από τα πρότυπα UMTS είναι 1885-2025 MHz για το uplink και 2110-2200 MHz για το downlink. Στις ΗΠΑ, 1710-1755 MHz και 2110-2155 MHz θα χρησιμοποιηθούν αντ' αυτού, δεδομένου ότι η ζώνη των 1900 MHz ήταν ήδη χρησιμοποιημένη. Πρόσθετα, σε μερικές χώρες χειριστές UMTS χρησιμοποιούν τα 850 MHz και τα

1900 MHz (ανεξάρτητα, εννοώντας ότι uplink και downlink είναι μέσα στην ίδια ζώνη).

Για τους υπάρχοντες χειριστές GSM, είναι μια απλή αλλά δαπανηρή πορεία μεταβίβασης στο UMTS: ένα μεγάλο μέρος της υποδομής μοιράζεται με το GSM, αλλά το κόστος της απόκτησης νέων αδειών φάσματος και υπερκάλυψης του UMTS στους υπάρχουσες κεραίες μπορεί να είναι απαγορευτικά ακριβό.

#### **2.4.2 Το πρωτόκολλο CDMA2000**

Το CDMA2000 είναι ένα υβριδικό 2.5G/3G πρωτόκολλο των κινητών προτύπων τηλεπικοινωνιών που χρησιμοποιούν CDMA, ένα πολλαπλό σχέδιο πρόσβασης για τα ψηφιακά ραδιοκύματα, για την αποστολή φωνής, και δεδομένων μεταξύ των κινητών τηλεφώνων. Το CDMA2000 θεωρείται πρωτόκολλο 2.5G σε 1xRTT και ένα 3G πρωτόκολλο σε EVDO.

Το CodeDivisionMultipleAccess (CDMA) είναι μια κινητή ψηφιακή ραδιο τεχνολογία όπου τα κανάλια καθορίζονται με κώδικες (ακολουθίες PN). Το CDMA επιτρέπει πολλές ταυτόχρονες συσκευές αποστολής σημάτων στο ίδιο κανάλι συχνότητας, σε αντίθεση με το TimeDivisionMultipleAccess (TDMA), που χρησιμοποιείται στο GSM και το D-AMPS, και το FDMA, που χρησιμοποιείται σε AMPS. Δεδομένου ότι περισσότερα τηλέφωνα μπορούν να εξυπηρετηθούν από λιγότερες περιοχές κυψελών, τα πρότυπα που βασίζονται στο CDMA έχουν ένα σημαντικό οικονομικό πλεονέκτημα συγκριτικά με αυτά που βασίζονται σε TDMA ή FDMA.

Το CDMA2000 έχει μια σχετικά μακροχρόνια τεχνική ιστορία, και παραμένει συμβατό με τις παλαιότερες μεθόδους τηλεφωνίας CDMA (όπως cdmaOne) που αναπτύχθηκαν πρώτα από Qualcomm, μια εμπορική επιχείρηση, και κάτοχο αρκετών βασικών διεθνών διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας στην τεχνολογία. Τα CDMA2000 πρότυπα CDMA2000 1xRTT, CDMA2000 EV-DO, και CDMA2000 EV-DV είναι εγκεκριμένες ραδιο διεπαφές για την τυποποίηση του ITU, IMT-2000 και ένας άμεσος διάδοχος του 2G CDMA, IS-95 (cdmaOne). Το CDMA2000 τυποποιείται από το 3GPP2.

Τα κύρια χαρακτηριστικά CDMA2000 είναι:

- **Μέγιστη απόδοση:** Η απόδοση του CDMA2000 από την άποψη των δεδομένων-ταχυτήτων, ικανότητα φωνής και καθυστερήσεις συνεχίζουν να ξεπερνούν στις εμπορικές επεκτάσεις άλλες συγκρίσιμες τεχνολογίες
- **Αποδοτική χρήση του φάσματος:** Οι τεχνολογίες CDMA2000 προσφέρουν την υψηλότερη απόδοση στη μετάδοση φωνής και δεδομένων χρησιμοποιώντας τη μικρότερη ποσότητα φάσματος, χαμηλώνοντας το κόστος της παράδοσης για τους χειριστές και παραδίδοντας αξιόπιστες υπηρεσίες για τους τελικούς χρήστες
- **Υποστηρίζει τις προηγμένες υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας:** Το CDMA2000 1xEV-DO επιτρέπει την παράδοση μιας ευρείας σειράς προηγμένων υπηρεσιών, όπως υψηλής απόδοσης VoIP, video-κλήσεις, μηνύματα πολυμέσων, onlineπαιχνίδια με πλουσιοπάροχα τρισδιάστατα γραφικά
- Οι All-IP - CDMA2000 τεχνολογίες είναι συμβατές με το IP και έτοιμες να υποστηρίξουν τη σύγκλιση δικτύων. Σήμερα, οι χειριστές CDMA2000 που έχουν επεκτείνει τις IP-based υπηρεσίες απολαμβάνουν περισσότερη ευελιξία και υψηλότερες αποδοτικότητες εύρους ζώνης, οι οποίες μεταφράζονται σε μεγαλύτερο έλεγχο και τη σημαντική μείωση κόστους
- **Επιλογή συσκευών:** Το CDMA2000 προσφέρει την ευρύτερη επιλογή των συσκευών και έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα δαπανών έναντι άλλων 3G τεχνολογιών για να ικανοποιήσει τις διαφορετικές ανάγκες αγοράς σε όλο τον κόσμο
- **Συνεχής πορεία εξέλιξης:** Το CDMA2000 έχει μια σταθερή και μακροπρόθεσμη πορεία εξέλιξης που στηρίζεται στην αρχή της backward and forward συμβατότητας, της in-band μετάβασης, και της υποστήριξης των διαμορφώσεων υβριδικών δικτύων
- **Ευελιξία:** Τα CDMA2000 συστήματα έχουν σχεδιαστεί για τις αστικές καθώς επίσης και απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές, για το σταθερό ασύρματο, ασύρματο τοπικό βρόχο (WLL), την περιορισμένη κινητικότητα και πλήρεις εφαρμογές mobility στις πολλαπλάσιες ζώνες φάσματος, συμπεριλαμβανομένων 450 MHz, 800 MHz, 1700 MHz, 1900Mhz και 2100 MHz

## 3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΩΝ 4<sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ (4G)

### 3.1 Υπηρεσίες φωνής, δεδομένων, πολυμέσων

Οι τεχνολογίες 4G αποτελούν τις νεότερες τεχνολογίες κινητής επικοινωνίας, που αναμένονται εμπορικά γύρω στο 2010 και θα παρέχουν τη δυνατότητα ασφαλών και αξιόπιστων «οικουμενικών» (ubiquitous, δηλ. παντού και πάντα διαθέσιμων) υπηρεσιών σε χρήστες περιορισμένης ή και μεγάλης κινητικότητας. Οι τεχνολογίες αυτές έχουν δύο βασικές συνιστώσες: τις «ραδιο-τεχνολογίες B3G» (ή τεχνολογίες μετάδοσης σήματος) και τις «υπηρεσίες B3G», δηλ. τις εφαρμογές που παρέχονται στον τελικό χρήστη (στο πλαίσιο του παρόντος άρθρου δεν θα αναφερθούμε στα χαρακτηριστικά των συσκευών από πλευράς user interface).

Οι «Ραδιο-τεχνολογίες B3G» αναμένεται να έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης από την 3G, με κορύφωση (peak) τα 20-200 Mbps.
- Καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος και μικρότερο κόστος ανά bit.
- Προσαρμογή φυσικής και λογικής πρόσβασης (physical & MAC interface) που ελέγχεται από λογισμικό (software controlled radios) και βελτιστοποιείται για IP κυκλοφορία, με χρήση του πρωτοκόλλου IPv6 (all IPv6 δίκτυα μεταφοράς) και εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσιών (QoS), που σχετίζονται με βέλτιστη χρήση του φάσματος και της μπαταρίας, ανάλογα με τα δεδομένα του δικτύου και τις απαιτήσεις του χρήστη.
  - Μικρότερες κυψέλες (cells), για την επίτευξη των ζητούμενων μεγαλύτερων ρυθμών μετάδοσης, για τον ίδιο πληθυσμό.
  - Υψηλότερες χρησιμοποιούμενες συχνότητες (μέχρι 5 GHz), με εύρος ζώνης ραδιοσυχνοτήτων (RF) ανά κανάλι 20~100 MHz.
  - Χρησιμοποίηση πολλαπλών κεραιών, τόσο στους σταθμούς βάσης όσο και στις κινητές συσκευές, με χρήση του πρωτοκόλλου ορθογώνιας πολυπλεξίας

συχνότητας, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), αλλά και άλλων μεθόδων.

- Εναρμονισμός του χρησιμοποιούμενου φάσματος σε παγκόσμια βάση (επιθυμητό).

Οι «Υπηρεσίες B3G» σχεδιάζονται με τα εξής επιθυμητά χαρακτηριστικά:

- Υποστήριξη ευρυζωνικότητας και πολυμεσικότητας (broadband, multimedia services).

- Υψηλή ασφάλεια (security) και σφαλματοανοχή (fault-tolerance) στις επικοινωνίες, προσαρμοζόμενη δυναμικά στις απαιτήσεις του κάθε δικτύου και του εκάστοτε χρήστη και σε συνδυασμό με τη βέλτιστη χρήση των πόρων (φάσμα, μπαταρία, QoS) της κινητής συσκευής.

- Συγκεκριμένα, εξατομικευμένα χαρακτηριστικά ασφάλειας και πιστοποιητικά ασφάλειας (security certificates) για κάθε παρεχόμενη υπηρεσία B3G και για κάθε κινητή συσκευή. Οποιαδήποτε πρόσβαση θα γίνεται μόνο εφόσον τα πιστοποιητικά πρόσβασης και των δύο πλευρών είναι αμοιβαία αποδεκτά (από τον πάροχο της υπηρεσίας και από τον χρήστη).

- Διασυνδεσιμότητα παντού, με πλήθος δικτύων (σταθερά, κινητά, ad-hoc) και διαφόρων παρόχων (ubiquitous connectivity), με τρόπο διαφανή για το χρήστη. Δηλ. καθώς ο χρήστης μετακινείται, ενώ π.χ. είναι συνδεδεμένος με το Internet ή συμμετέχει σε video-τηλεδιάσκεψη, θα μπορεί να αλλάζει δίκτυα (UMTS, WiFi, Bluetooth, κ.λπ.) και παρόχους, με τρόπο αυτόματο, χωρίς να διακόπτεται η σύνδεσή του (seamless handoffs) και ισορροπώντας βέλτιστα μεταξύ ασφάλειας, ποιότητας σύνδεσης (QoS) και κόστους της παρεχόμενης υπηρεσίας.

- Αυτόματη, έξυπνη και δυναμική διαπραγμάτευση όρων, κριτηρίων και συνθηκών πρόσβασης σε διάφορες υπηρεσίες και δίκτυα (service level agreements, SLA), μέσω «λογισμικών πρακτόρων» (software agents).

- Ανοιχτές αρχιτεκτονικές ανάπτυξης λογισμικού με επιθυμητή την παγκόσμια σύγκλιση σε κοινά standards (πρωτόκολλα και πλατφόρμες ανάπτυξης).

Ενδεικτικά αναφέρουμε ορισμένες τέτοιες μελλοντικές υπηρεσίες B3G:

- Συμμετοχή σε e-ψηφοφορίες και e-εκλογές με το κινητό τηλέφωνο (με ασφάλεια, αξιοπιστία και εμπιστευτικότητα).

- Συμμετοχή σε e-δημοσκοπήσεις και e-αξιολογήσεις (με τρόπο διακριτικό και επιλεκτικό).
- Ιατρική τηλε-παρακολούθηση ασθενών και ηλικιωμένων (με έμφαση στην εμπιστευτικότητα και αξιόπιστη μετάδοση των προσωπικών δεδομένων).
- Ανοικτή και εξ αποστάσεως τηλε-εκπαίδευση και τηλε-κατάρτιση (με διαχείριση πολυμεσικού υλικού από κινούμενους χρήστες (σπουδαστές, συμβούλους καθηγητές, δημιουργούς) και συνδρομητικό και ASP (Application Service Provider) μοντέλο παροχής των υπηρεσιών.
- Τηλε-εργασία και online τηλε-βοήθεια στην εργασία, με χρήση φορητών πολυμεσικών συσκευών.
- Δικτυακά, πολυμεσικά, ευρυζωνικά τηλε-παιχνίδια με παγκόσμια καταναμημένους κινούμενους χρήστες.
- Διαδραστική, επιλεκτική, κινητή τηλεόραση και video, όπου, το καθημερινό πρόγραμμα που θα παρακολουθεί ο χρήστης θα διαμορφώνεται ανάλογα με το προφίλ του και τις επιθυμίες του, σε πραγματικό χρόνο.

Ομως, για να γίνουν όσο το δυνατόν συντομότερα ζωντανή πραγματικότητα τα παραπάνω, είναι απαραίτητο οι σημερινές πολυμεσικές, ευρυζωνικές υπηρεσίες 3G να παρέχονται στο χρήστη με χαμηλό, σταθερό μηνιαίο κόστος (flat rate) και όχι με ογκοχρέωση ή χρονοχρέωση υψηλού κόστους. Σε ορισμένες χώρες της Ευρώπης αυτό έχει ήδη αρχίσει να γίνεται και η Ελλάδα οφείλει σύντομα να ακολουθήσει, για να μη χάσει και αυτό το «τρένο» της σύγχρονης τεχνολογίας.

### **3.2 3GPP LONG TERM EVOLUTION**

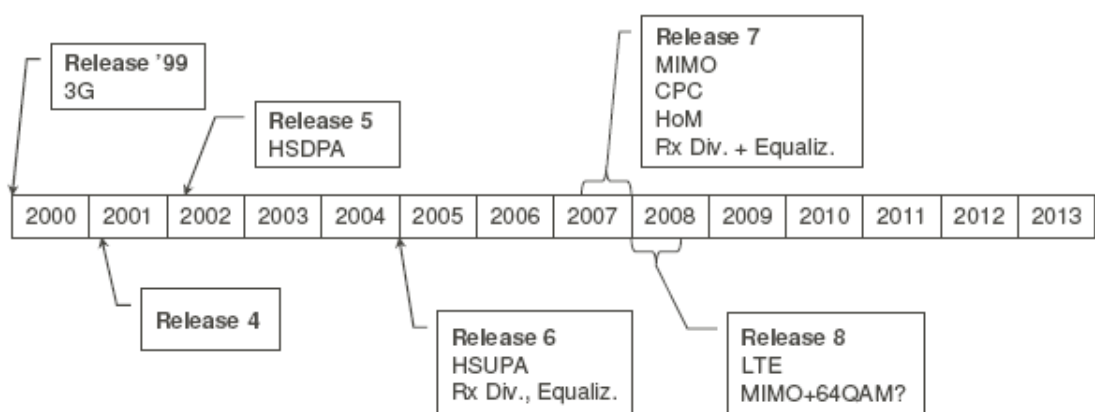
Παρά το γεγονός ότι οι τεχνολογίες HSPA και HSPA+, που οριοθετούν την «γενιά 3,5», αναμένονται να προσφέρουν τη δυνατότητα παροχής πληθώρας ευρυζωνικών υπηρεσιών, το 3GPP ήδη μελετά και επεξεργάζεται νέες τεχνολογίες που θα επικρατήσουν την αμέσως επόμενη δεκαετία στην αγορά των κινητών επικοινωνιών.

Το νέο αυτό project αποκαλείται 3GPP Long Term Evolution (LTE) και στοχεύει στην επίτευξη ακόμη υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης σε συνδυασμό με την αξιοποίηση μεγαλύτερου εύρος ζώνης. Κύρια προοπτική του LTE αποτελεί η

διασφάλιση της ανταγωνιστικότητας και η επικράτηση του προτύπου στο χρονικό ορίζοντα της επόμενης δεκαετίας.

Το LTE εστιάζει αποκλειστικά στη βελτιστοποίηση υποστήριξης και μετάδοσης εφαρμογών μεταγωγής πακέτων (packet-switched), όπως είναι οι πολυμεσικές εφαρμογές. Επίσης, θέτει πολύ υψηλούς και φιλόδοξους στόχους προκειμένου να ξεπεράσει τα όρια των 14.4 Mbps και 5.8 Mbps που επιτυγχάνονται στο HSDPA και HSUPA αντίστοιχα. Το πρότυπο υποστηρίζει κλιμακωτή χρήση φάσματος εύρους ζώνης της τάξης των 5, 10, 15 και 20 MHz. Επίσης, μπορεί να γίνει και χρήση εύρους ζώνης μικρότερου των 5 MHz (1.5 MHz και 2.5 MHz) για επιπλέον ευελιξία.

Επιπλέον, στοχεύει στην επίτευξη μέγιστων ρυθμών μετάδοσης της τάξης των 100 Mbps στον κατερχόμενο σύνδεσμο και 50 Mbps στον ανερχόμενο σύνδεσμο για εύρος ζώνης ίσο με 20 MHz. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι το «αντίπαλο» πρότυπο που ανταγωνίζεται το LTE είναι το Mobile WiMAX. Το LTE ήδη γνωρίζει έντονη ερευνητική δραστηριότητα και αναμένεται να λειτουργήσει στην αγορά σταδιακά, ξεκινώντας μέσα στο 2010. Συγκεντρωτικά, η χρονολογική εξέλιξη των 3GPP κυβελωτών προτύπων, ξεκινώντας από τα κινητά δίκτυα 3G έως και τα αντίστοιχα δίκτυα επόμενης γενιάς LTE, απεικονίζεται στην Εικόνα 1. Το πρότυπο 3G/UMTS υιοθετήθηκε αρχικά στην 3GPP Release '99 έκδοση, στην Release 5 πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή του HSDPA, στην Release 6 η εισαγωγή του HSUPA, ενώ μέσω της Release 7 φθάνουμε στο LTE που περιγράφεται και αναλύεται στην Release 8 και 9 του 3GPP.



**Εικόνα 1. Χρονολογική εξέλιξη κινητών δικτύων επόμενης γενιάς από το 3G έως το LTE**

## 4 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ UMTS

Το σύστημα Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) πρόκειται για το σύστημα τρίτης γενιάς που έχει επικρατήσει στην Ευρώπη και σταδιακά επεκτείνεται στη Βόρεια Αμερική με αποτέλεσμα η τρίτη γενιά κυβελωτών κινητών συστημάτων να τείνει να ταυτιστεί με αυτό το σύστημα. Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν τα χαρακτηριστικά, η δομή και η λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος στο οποίο θα εστιάσει κυρίως η παρούσα διπλωματική εργασία, ως κύριο εκπρόσωπο των τεχνολογιών τρίτης γενιάς. Επίσης στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί αναλυτικά η αρχιτεκτονική και οι λειτουργικότητες του συστήματος UMTS.

### 4.1 Γενικά Χαρακτηριστικά

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μετάβαση ενός δικτύου GSM σε ένα δίκτυο UMTS είναι ιδιαίτερα ομαλή. Αυτή η εξέλιξη είναι ακόμα απλούστερη αν στο δίκτυο GSM έχει ενσωματωθεί και η τεχνολογία GPRS. Τα συστήματα GSM σταδιακά ενσωμάτωσαν πολλά χαρακτηριστικά τα οποία είναι συμβατά με τις απαιτήσεις του UMTS. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τα βασικά χαρακτηριστικά του UMTS και εξετάζει το κατά πόσο υπάρχει συμβατότητα με τις λειτουργίες του GSM.

Όπως δείχνει ο Πίνακας 1, ένα δίκτυο GSM με όλες τις προσθήκες και τις βελτιώσεις προσεγγίζει ένα δίκτυο UMTS. Τα μόνα χαρακτηριστικά του UMTS τα οποία δεν καλύπτονται από ένα δίκτυο GSM οφείλονται στην πιο ευέλικτη διεπαφή CDMA που χρησιμοποιεί στον αέρα, η οποία μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονα διαφορετικούς τύπους φορέα. Επίσης, το UMTS μπορεί να υποστηρίξει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης που όμως δεν απέχουν πολύ από τους ρυθμούς μετάδοσης που υποστηρίζουν τα δίκτυα GSM της γενιάς 2,5.

#### **Χαρακτηριστικά του UMTS Συμβατότητα του GSM**

Μικρές και άνετες φορητές συσκευές Ναι

Οπουδήποτε και κάθε στιγμή (συμβατότητα με οικιακά ασύρματα δίκτυα) Ναι  
(picocells, GSM office)

Οπουδήποτε (συμβατότητα με δορυφορικά δίκτυα) Ναι

Διεσδυτικότητα σε κτίρια, υπόγεια κ.α. Ναι



Ομιλία υψηλής ποιότητας Ναι

Παγκόσμια περιαγωγή Ναι Υπηρεσίες νοήμονος δικτύου Ναι

Υπηρεσίες Δεδομένων Ναι (GPRS)

Υποστήριξη υψηλής πυκνότητας χρηστών Ναι (ιεραρχίες κυψελών)

Πολυμέσα, ψυχαγωγία Ναι (HSCSD)

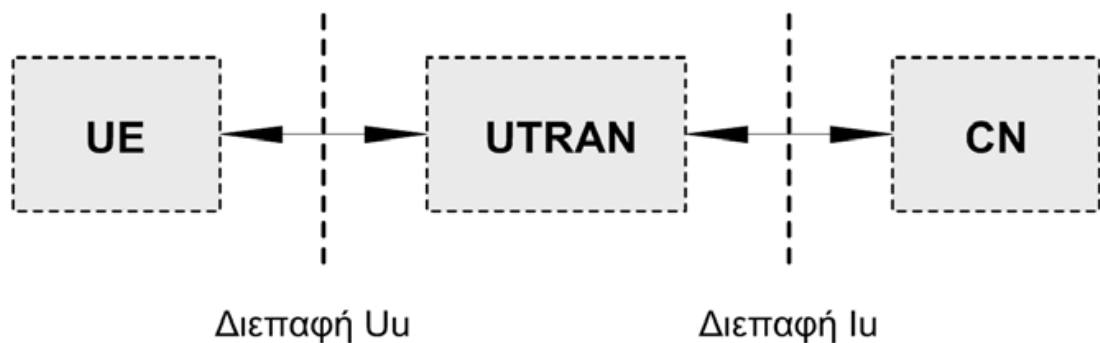
Εναλλαγή μεταξύ φορέων πραγματικού χρόνου και όχι Όχι

Υπηρεσίες ρυθμών μετάδοσης άνω των 200 Kbps Όχι

### Πίνακας 1. Τα χαρακτηριστικά του UMTS και η συμβατότητα του GSM

## 4.2 Η αρχιτεκτονική του UMTS

Η Εικόνα 2 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική του συστήματος UMTS σε υψηλό επίπεδο. Σε αυτό το κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας θα περιγραφούν όλες οι συνιστώσες που παρουσιάζονται στην Εικόνα 3, καθώς και οι μεταξύ τους διεπαφές.



Εικόνα 2. Η αρχιτεκτονική του UMTS σε υψηλό επίπεδο

### User Equipment

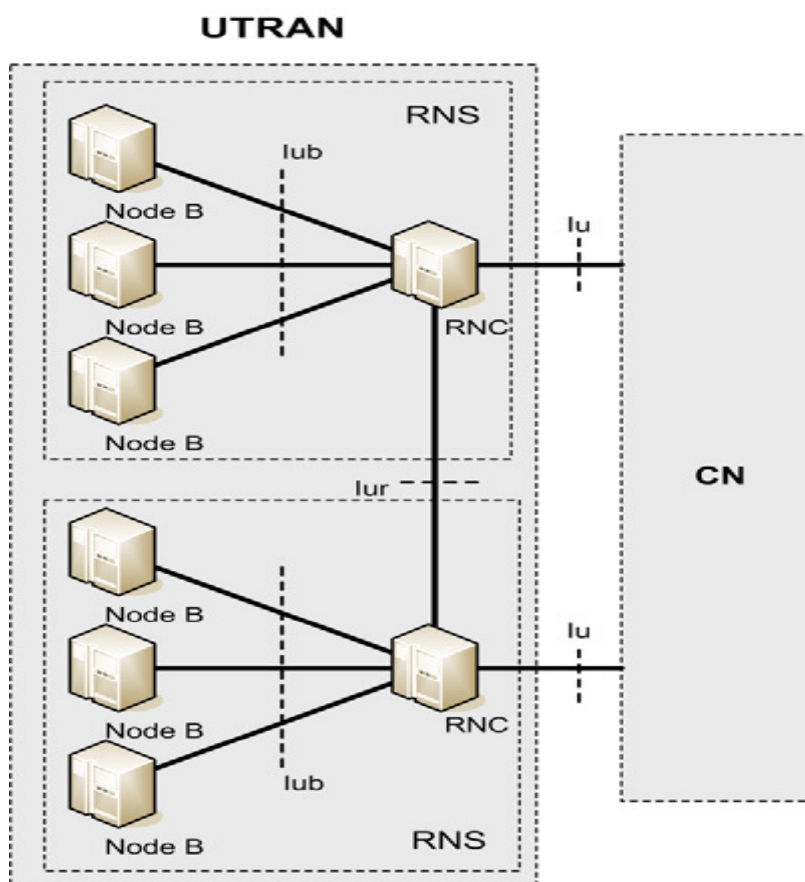
Ο όρος User Equipment (UE) θα λέγαμε ότι ταυτίζεται με την έννοια της φορητής συσκευής. Για παράδειγμα, UE μπορεί να αποτελέσει ένα κινητό τηλέφωνο, μία συσκευή Personal Digital Assistant (PDA) ή ένας φορητός υπολογιστής. Το UE είναι συνδεδεμένο με το UTRAN μέσω της διεπαφής Uu, η οποία είναι βασισμένη στην τεχνολογία WCDMA. Ένα UE μπορεί να συνδεθεί ταυτόχρονα με περισσότερες της μίας κυψέλης. Το UE αποτελείται από δύο τμήματα:

- Το Mobile Equipment: αποτελείται από το hardware της φορητής συσκευής. Ωστόσο, η συσκευή από μόνη της δε μπορεί να παρέχει καμία υπηρεσία.

- Την κάρτα USIM: πρόκειται για μία κάρτα η οποία περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες προκειμένου να είναι δυνατή η πρόσβαση στο δίκτυο UMTS και η ταυτοποίηση από αυτό. Η κάρτα USIM είναι μία κάρτα αντίστοιχη της κάρτας SIM των δικτύων GSM. Όμως, ενώ η χωρητικότητα μίας κάρτας SIM είναι 8 ή 32 Kbytes, η χωρητικότητα της κάρτας USIM είναι τέτοια ώστε να μπορεί να αποθηκεύει προσωπικά δεδομένα της τάξης των Mbytes.

### UMTS Terrestrial Radio Access Network

Το UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) είναι ένα νέο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης το οποίο είναι ειδικά σχεδιασμένο για το σύστημα UMTS. Διαχωρίζεται από το UE μέσω της διεπαφής Uu και από το Core Network (CN) μέσω της διεπαφής Iu. Η βασικότερη λειτουργία του UTRAN είναι η εποπτεία και η διαχείριση των ασύρματων πόρων του δικτύου. Η λειτουργία αυτή συμπεριλαμβάνει την ευθύνη για τον έλεγχο της ισχύος καθώς και την υποστήριξη και διαχείριση των handovers. Η Εικόνα 3 απεικονίζει τη δομή του UTRAN.



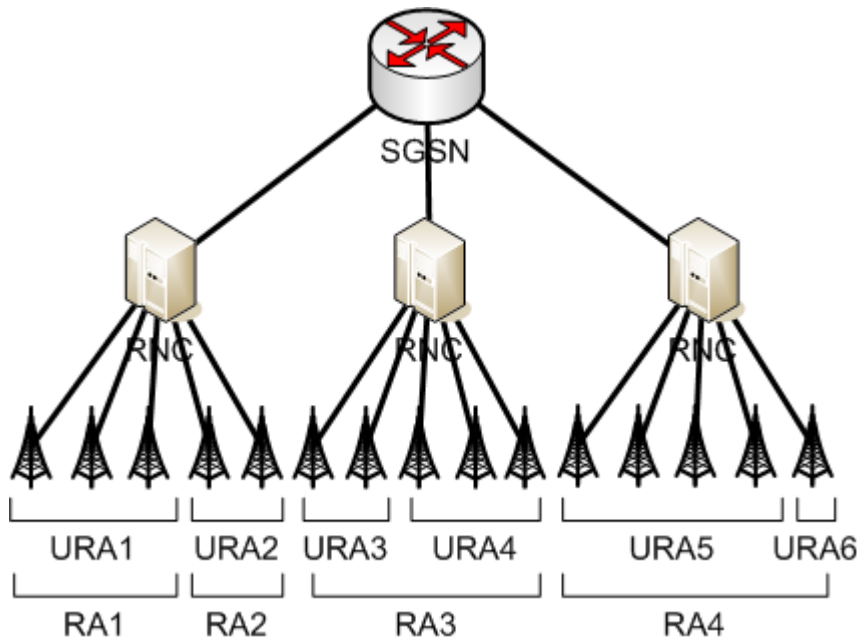
Εικόνα 3. Η δομή του UTRAN

Όπως φαίνεται από την Εικόνα 3, το δίκτυο UTRAN αποτελείται από τους Radio Network Controllers (RNCs) και τους Node Bs. Οι Node Bs είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο ενός ή περισσοτέρων κυψελών. Μία ομάδα από Node Bs συνδέεται, μέσω των διεπαφών Iub, με έναν κόμβο RNC. Ο Node B λειτουργεί στο επίπεδο φυσικού μέσου και δικτύου (μοντέλο OSI) και μεταφέρει δεδομένα προς τον RNC στον οποίο είναι συνδεδεμένος. Επιπλέον, κάνει μετρήσεις σχετικά με την ποιότητα και την ισχύ των ασύρματων συνδέσεων προς τα UEs και αποστέλλει αναφορές στον κόμβο RNC.

### 4.3 Η δομή του UTRAN

Κάθε κόμβος RNC ελέγχει έναν ή περισσότερους Node Bs. Ένας κόμβος RNC μαζί με τους συνδεδεμένους σε αυτόν Node Bs αποτελούν ένα Radio Network Subsystem (RNS). Ο RNC λαμβάνει τις πληροφορίες που συλλέγουν οι Node Bs του δικού του RNS και προσαρμόζει τις παραμέτρους του ασύρματου υποσυστήματος (subsystem). Μία τέτοια παράμετρος μπορεί να είναι η ισχύς του ασύρματου σήματος στο UE ή στον Node B. Επίσης, ο RNC είναι υπεύθυνος για την ανάθεση του κώδικα WCDMA που θα χρησιμοποιήσουν ο σταθμός βάσης (Node B) και ο χρήστης (UE) στη μεταξύ τους επικοινωνία, έτσι ώστε να μην υπάρξουν παρεμβολές από άλλους ασύρματους συνδέσμους. Τέλος, μία άλλη λειτουργία των κόμβων RNC είναι ο έλεγχος των handovers που λαμβάνουν χώρα μεταξύ διαφορετικών RNSs. Προκειμένου να υλοποιηθεί η συγκεκριμένη διαδικασία οι RNCs είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω της διεπαφής Iur (Εικόνα). Πρόκειται για μία διεπαφή η οποία είναι υλοποιημένη με δίκτυο Asynchronous Transfer Mode (ATM).

Όπως φαίνεται στην Εικόνα , ένας κόμβος RNC συνδέεται με το CN μέσω της διεπαφής Iu. Η συγκεκριμένη διεπαφή έχει δύο συνιστώσες: τη συνιστώσα Iu-Circuit Switched (Iu-CS) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος (π.χ. φωνή) και τη συνιστώσα Iu-Packet Switched (Iu-PS) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων (π.χ. υπηρεσίες δεδομένων). Στο UTRAN οι κυψέλες ομαδοποιούνται σε ομάδες κυψελών οι οποίες ονομάζονται Routing Areas (RAs). Επίσης, οι κυψέλες σε μια RA ομαδοποιούνται περαιτέρω σε UTRAN Registration Areas (URAs) όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.



**Εικόνα 4. RAs και URAs**

#### **4.4 Core Network**

Το CN είναι το δίκτυο κορμού του συστήματος UMTS. Είναι συνδεδεμένο με άλλα δίκτυα όπως τηλεφωνικά δίκτυα Public Telephone Switched Network (PSTN), δίκτυα δεδομένων Public Data Networks (PDNs) όπως το Internet καθώς και με άλλα κινητά δίκτυα. Το CN είναι υπεύθυνο για τη δρομολόγηση, την ταυτοποίηση, τον εντοπισμό των χρηστών καθώς και για άλλες πολλές βασικές λειτουργίες. Το CN διαιρείται σε δύο πεδία: το πεδίο μεταγωγής κυκλώματος (CS) και το πεδίο μεταγωγής πακέτων (PS). Ας σημειωθεί εδώ ότι στην παρούσα διπλωματική εργασία θα εστιάσουμε στο πεδίο PS.

Όσον αφορά το πεδίο CS, αυτό περιλαμβάνει τους εξής κόμβους:

- **Mobile Services Switching Center (MSC):** ο κόμβος MSC αποτελεί έναν κόμβο μεταγωγής ο οποίος δρομολογεί τα δεδομένα των υπηρεσιών μεταγωγής κυκλώματος εντός του δικτύου UMTS. Κάθε κόμβος MSC διαχειρίζεται πολλά RNCs τα οποία συνδέονται σε αυτόν μέσω της διεπαφής Iu-CS. Επίσης, είναι συνδεδεμένος με τις βάσεις δεδομένων του δικτύου όπως τη βάση δεδομένων Home Location Register (HLR) και τη Visitor Location Register (VLR). Τέλος, μία άλλη πολύ χρήσιμη λειτουργία του κόμβου MSC είναι η διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών για τις υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος.

- Gateway Mobile Services Switching Center (GMSC): Ο κόμβος GMSC είναι συνδεδεμένος με τους κόμβους MSC. Η λειτουργία του είναι να διασυνδέει το δίκτυο UMTS με άλλα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος όπως PSTN και ISDN.

- Visitor Location Register (VLR): Ο κόμβος VLR είναι μία βάση δεδομένων. Συνήθως κάθε VLR αντιστοιχεί σε έναν MSC. Η βάση VLR αποθηκεύει προσωρινή πληροφορία σχετικά με την ταυτοποίηση και την ασφάλεια καθώς και άλλες χρήσιμες πληροφορίες που σχετίζονται με όλους τους χρήστες που διαχειρίζεται κάθε δεδομένη στιγμή ο αντίστοιχος MSC. Η βάση VLR λαμβάνει την αρχική πληροφορία από τη βάση HLR και αναλαμβάνει να την ενημερώσει για τυχόν μεταβολές στα δεδομένα της. Όλες οι συναλλαγές μεταξύ VLR και HLR γίνονται μέσω ενός MSC. Όσον αφορά το πεδίο PS, αυτό αποτελείται από τους παρακάτω κόμβους. Αξίζει να επισημανθεί η αντιστοιχία που υπάρχει με τους κόμβους του πεδίου CS.

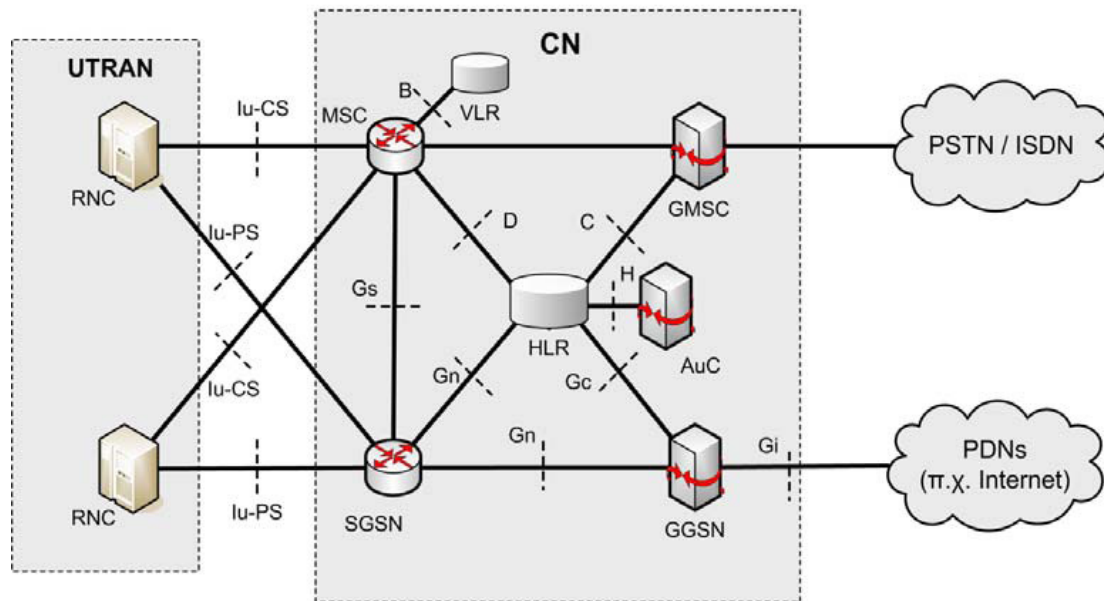
- Serving GPRS Support Node (SGSN): Ο SGSN αποτελεί τον αντίστοιχο κόμβο του MSC στο πεδίο CS. Αυτό σημαίνει ότι αναλαμβάνει τη δρομολόγηση δεδομένων των υπηρεσιών μεταγωγής πακέτων εντός του δικτύου UMTS. Επιπλέον, διαχειρίζεται τους κόμβους RNCs οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε αυτόν μέσω της διεπαφής Iu-PS. Επίσης, αλληλεπιδρά με βάσεις δεδομένων, όπως η βάση HLR. Τέλος, ο κόμβος SGSN είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών για τις υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων.

- Gateway GPRS Support Node (GGSN): Πρόκειται για έναν κόμβο αντίστοιχο του GMSC του πεδίου CS. Διασυνδέει τους κόμβους SGSNs με εξωτερικά δίκτυα μεταγωγής πακέτων όπως το X.25 και το Internet. Τέλος, υπάρχουν ορισμένοι κόμβοι του CN οι οποίοι είναι κοινοί, δηλαδή τους χρησιμοποιούν και τα δύο πεδία. Παρακάτω, αναφέρονται οι δύο σημαντικότεροι από αυτούς:

- Home Location Register (HLR): Πρόκειται για μία βάση δεδομένων η οποία αποθηκεύει δεδομένα των χρηστών τα οποία μένουν σχετικά σταθερά στο χρόνο. Αυτά τα δεδομένα είναι αναγνωριστικά, πληροφορίες για τις υπηρεσίες του δικτύου στις οποίες συμμετέχει ο συνδρομητής κ.α.

- Authentication Center (AuC): Αποτελεί έναν κόμβο που είναι συσχετισμένος με έναν HLR. Ο κόμβος αυτός αποθηκεύει πληροφορίες ταυτοποίησης και κρυπτογράφησης για τους συνδρομητές. Οι πληροφορίες αυτές φορτώνονται στον κόμβο κατά την έναρξη της συνδρομής από το χρήστη. Η Εικόνα δείχνει τη δομή του

CN. Εκτός από τους κόμβους που προαναφέρθηκαν, στην εικόνα αυτή σημειώνονται οι διεπαφές μεταξύ των κόμβων του CN

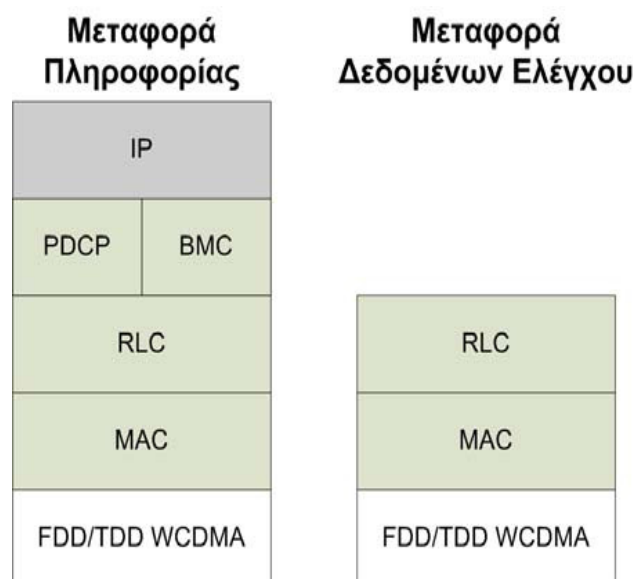


Εικόνα 5. Η δομή του CN

#### 4.5 Βασικές διεπαφές και αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν οι βασικότερες διεπαφές του δικτύου UMTS. Η ανάλυση που θα ακολουθήσει θα εστιαστεί στο πεδίο PS το οποίο είναι και το πεδίο που θα μας απασχολήσει από το σημείο αυτό και έπειτα.

##### 4.5.1 Η Διεπαφή Uu



Εικόνα 6. Διεπαφή Uu

Η ασύρματη διεπαφή είναι πάντοτε η πιο κρίσιμη διεπαφή κατά το σχεδιασμό των πρωτοκόλλων ενός κινητού δικτύου. Για το UMTS, η διεπαφή Uu μεταξύ του Node B και του UE, έχει υλοποιηθεί με την αρχιτεκτονική που απεικονίζεται στην Εικόνα 6. Όπως φαίνεται, έχουν προσδιορισθεί τα επίπεδα πρωτοκόλλων που αντιστοιχούν στο επίπεδο φυσικού μέσου, το επίπεδο ζεύξης δεδομένων καθώς και το επίπεδο δικτύου

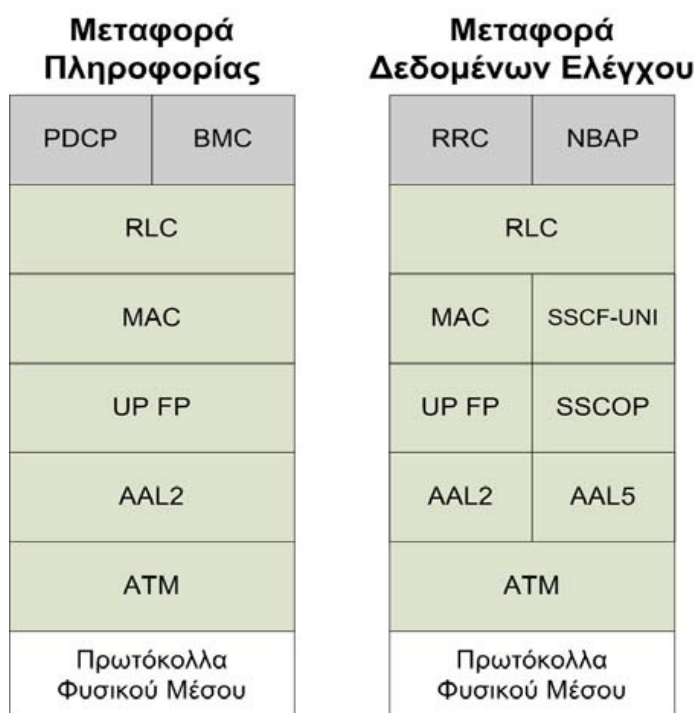
#### 4.5.2 Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Uu

Το επίπεδο φυσικού μέσου (1ο επίπεδο στο μοντέλο διασυνδέσεων OSI) είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση των δεδομένων μέσω της ασύρματης διεπαφής. Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 7, για το επίπεδο αυτό οι προδιαγραφές του UMTS καθορίζουν τη χρήση των τεχνολογιών FDD και TDD του WCDMA.

Όσον αφορά το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (2ο επίπεδο), αυτό περιέχει τέσσερα υπό-επίπεδα. Τα δύο πρώτα υπό-επίπεδα χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου αλλά και πληροφορίας. Το πρώτο υπό-επίπεδο χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο Medium Access Control (MAC) [14]. Το πρωτόκολλο MAC βρίσκεται αμέσως μετά το φυσικό επίπεδο. Χρησιμοποιεί λογικά κανάλια και τα αντιστοιχίζει σε κανάλια μεταφοράς για την επικοινωνία του φυσικού επιπέδου με τα υψηλότερα επίπεδα. Επίσης, το πρωτόκολλο αυτό διαχειρίζεται τις προτεραιότητες μεταξύ των UEs, όπως επίσης και τις προτεραιότητες μεταξύ των ροών δεδομένων που αφορούν ένα συγκεκριμένο UE. Άλλες λειτουργίες που εκτελεί το πρωτόκολλο MAC είναι ο έλεγχος των κινήσεων, η κρυπτογράφηση, η πολυπλεξία κ.α. Το δεύτερο πρωτόκολλο που συναντάμε στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων της διεπαφής Uu είναι το Radio Link Control (RLC). Το πρωτόκολλο αυτό είναι υπεύθυνο για την εγκατάσταση και παρακολούθηση της μεταφοράς δεδομένων καθώς και για τις ρυθμίσεις QoS. Τα επόμενα δύο πρωτόκολλα χρησιμοποιούνται μόνο για τη μεταφορά πληροφορίας και όχι για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου. Τα πρωτόκολλα αυτά είναι το Packet Data Convergence Protocol (PDCP) και το Broadcast Control (BMC) [15]. Το πρώτο είναι υπεύθυνο για τη μετατροπή των δεδομένων που παρέχουν τα πραγματικά πρωτόκολλα δεδομένων των πιο πάνω επιπέδων, σε ασύρματα πρωτόκολλα. Το PDCP προς το παρόν υποστηρίζει τα πρωτόκολλα IPv4 και IPv6 και μπορεί εύκολα να επεκταθεί προκειμένου να υποστηρίξει περισσότερα. Το πρωτόκολλο BMC είναι υπεύθυνο για τις υπηρεσίες broadcast και multicast μετάδοσης.

### 4.5.3 Η Διεπαφή Iub

Η διεπαφή Iub είναι αυτή που διασυνδέει τους κόμβους RNC με τους Node Bs. Η Εικόνα 7 δείχνει την ιεραρχία των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση της συγκεκριμένης διεπαφής [19]. Πρόκειται για μία διεπαφή η οποία είναι ενσύρματη και, κατά συνέπεια, το επίπεδο φυσικού μέσου μπορεί να υλοποιηθεί από πρωτόκολλα όπως το ETSI STM-1, STM-4, SONET STS-3c, ITU STS-1 κ.α. Πάνω από το επίπεδο αυτό, στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο ATM. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο το οποίο χρησιμοποιείται σε όλες τις ενσύρματες διεπαφές του δικτύου UMTS. Αυτό γιατί αποτελεί ένα πανίσχυρο πρωτόκολλο που μπορεί να χειρίζεται όλους τους τύπους κινήσεων. Για την ακρίβεια, το ATM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σύγχρονες αλλά και για ασύγχρονες κινήσεις όπως επίσης και για κινήσεις μεταγωγής πακέτων αλλά και κυκλώματος.



Εικόνα 7. Διεπαφή Iub

### 4.5.4 Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iub

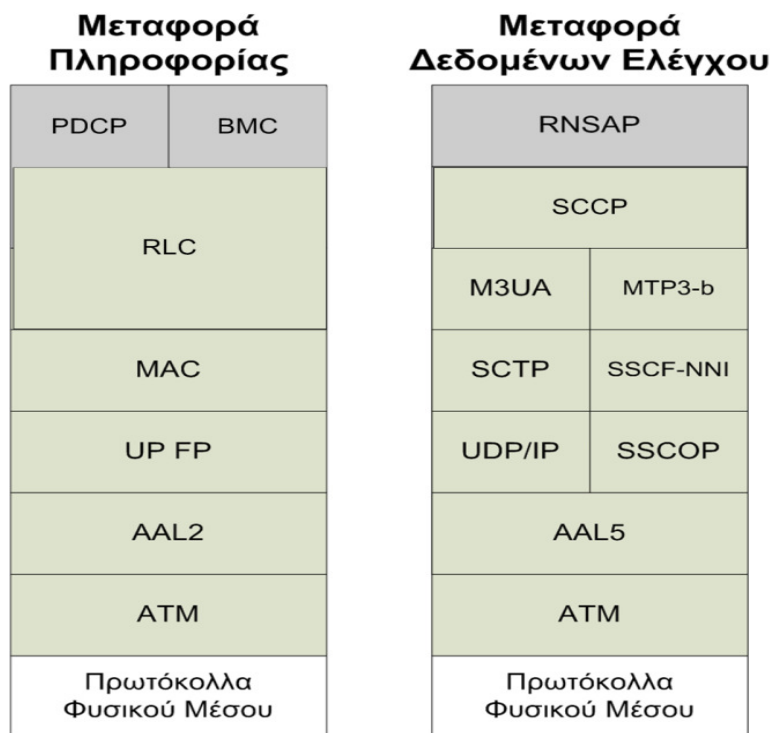
Όπως δείχνει η Εικόνα , πάνω από το επίπεδο του ATM χρησιμοποιούνται τα πρωτόκολλα ATM Adaptation Layer (AAL) 2 και 5. Το AAL2 χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου όπως επίσης και για τη μεταφορά πληροφορίας. Το AAL5 χρησιμοποιείται μόνο για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου. Τα πρωτόκολλα



αυτά αναλαμβάνουν την επεξεργασία των δεδομένων από τα υψηλότερα επίπεδα προκειμένου να μπορούν να μεταδοθούν από το επίπεδο ATM.

Στο αμέσως υψηλότερο υπό-επίπεδο συναντούμε δύο άλλα πρωτόκολλα. Πρόκειται για το User Plane Framing Protocol (UP FP) και Service Specific Connection Oriented Protocol (SSCOP). Το πρώτο πρωτόκολλο βρίσκεται πάνω από το AAL2 και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου αλλά και πληροφορίας. Αντίθετα, το πρωτόκολλο SSCOP τοποθετείται πάνω από το AAL5. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο που παρέχει αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων παράλληλα με συντήρηση της σύνδεσης και έλεγχο ροής. Η χρήση του στη διεπαφή Iub σχετίζεται με τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου. Όπως φαίνεται από την Εικόνα , στα ανώτερα υπό-επίπεδα του επιπέδου ζεύξης δεδομένων συναντούμε το πρωτόκολλο Service Specific Coordination Function for Support of Signaling at the User-Network Interface (SSCF-UNI) καθώς και τα ήδη γνωστά πρωτόκολλα MAC, RLC, RRC, και PDCP. Τέλος, το πρωτόκολλο Node B Application Part (NBAP) χρησιμοποιείται προκειμένου να δίνεται η δυνατότητα στον RNC να διαχειρίζεται κάθε Node B που έχει συνδεθεί σε αυτόν.

#### 4.5.5 Η Διεπαφή Iur



Εικόνα 8. Διεπαφή Iur

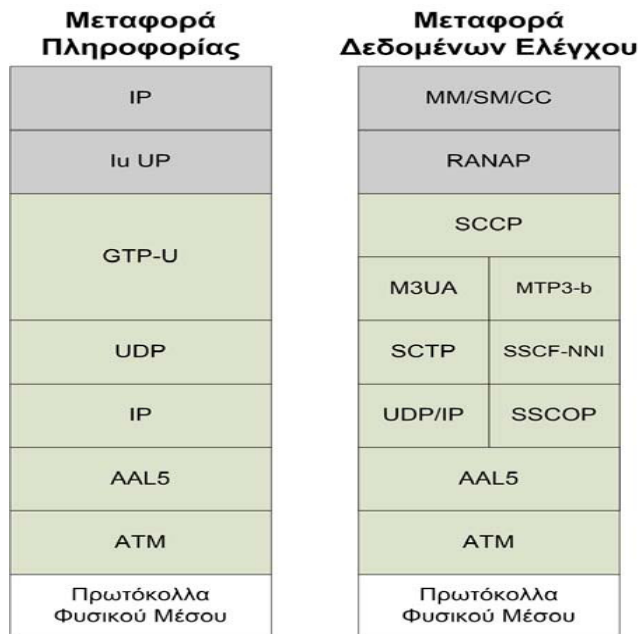
Η διεπαφή Iur διασυνδέει δύο RNCs. Πρόκειται για μία διεπαφή η οποία εισήχθη στα συστήματα UMTS, ενώ στα συστήματα GSM δεν υπήρχε άμεση σύνδεση μεταξύ των αντίστοιχων κόμβων. Χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου αλλά και πληροφορίας. Ειδικότερα, όσον αφορά τα δεδομένα ελέγχου, αυτά σχετίζονται με τη διαχείριση των ασύρματων πόρων καθώς και με τις διαδικασίες του handover και του SRNS relocation. Η ιεραρχία των πρωτοκόλλων που υλοποιούν τη διεπαφή Iur φαίνεται στην Εικόνα.

#### **4.5.6 Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iur**

Όπως φαίνεται από την Εικόνα , η ιεραρχία των πρωτοκόλλων για τη μεταφορά πληροφορίας δε διαφέρει από τη διεπαφή Iub. Όσον αφορά τα δεδομένα ελέγχου έχουμε τη χρήση αρκετών νέων πρωτοκόλλων σε σχέση με τις προηγούμενες διεπαφές. Καταρχήν, η Εικόνα 8 δείχνει ότι χρησιμοποιείται ο συνδυασμός Internet Protocol (IP) / User Datagram Protocol (UDP) ακριβώς πάνω από το επίπεδο του AAL5. Πρόκειται για την υλοποίηση του «IP over ATM» κατά την οποία η πληροφορία του IP καταμερίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να μεταδοθεί πάνω από το ATM. Επιπλέον, τα υπόλοιπα τέσσερα νέα πρωτόκολλα ελέγχου και σηματοδοσίας είναι: το Message Transfer Part Level 3 (MTP3-b) για τον έλεγχο της δρομολόγησης των μηνυμάτων, το MTP3 User Adaptation Layer (M3UA), το Signaling Connection Control Part (SCCP) και το Radio Network Sublayer Application Part (RNSAP). Ειδικότερα για το RNSAP, πρόκειται για ένα πρωτόκολλο το οποίο παρέχει όλες τις λειτουργίες για τη διαχείριση των ασύρματων πόρων, για τις μετρήσεις πάνω σε αυτούς και για την υποστήριξη των διαδικασιών του handover και SRNS relocation.

#### **4.5.7 Η Διεπαφή Iu-PS**

Η παρούσα παράγραφος παρουσιάζει την ιεραρχία των πρωτοκόλλων όσον αφορά τη διεπαφή Iu-PS. Η διεπαφή Iu-PS είναι, για το πεδίο PS, ο σύνδεσμος όχι μόνο των RNCs με τους κόμβους SGSN αλλά και μεταξύ των δύο δομικών στοιχείων του UMTS, του UTRAN και του CN. Το βασικότερο πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων ελέγχου που χρησιμοποιείται πάνω από αυτή τη διεπαφή είναι το Radio Access Network Application Part (RANAP) το οποίο απεικονίζεται μεταξύ των άλλων στην Εικόνα



**Εικόνα 9. Διεπαφή Iu-PS**

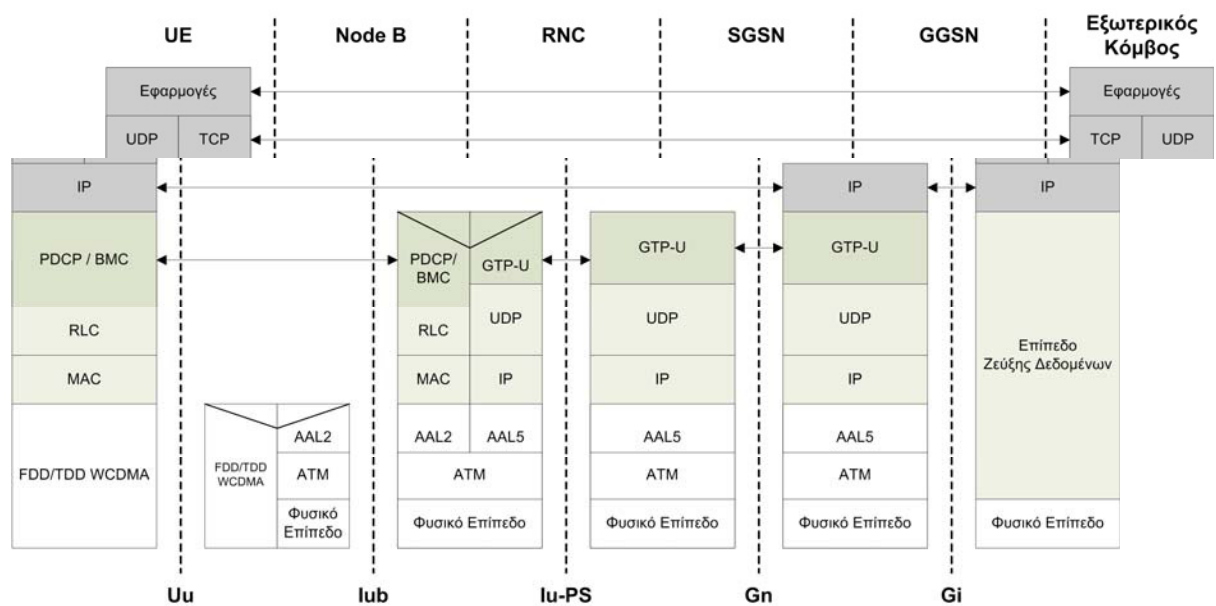
#### 4.5.8 Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iu-PS

Το RANAP είναι το πρωτόκολλο που εξασφαλίζει τη σηματοδότηση μεταξύ του UTRAN και του CN. Το πρωτόκολλο αυτό παρέχει υπηρεσίες που σχετίζονται με τη διαδικασία SRNS relocation, τη διαχείριση ροής και συμφόρησης της διεπαφής Iu-PS, τον εντοπισμό της θέσης κάθε UE καθώς και τη διαχείριση σφαλμάτων γενικότερα. Προκειμένου να μπορεί να εκτελεί τις πιο πάνω λειτουργίες διαχείρισης, το πρωτόκολλο RANAP διαθέτει και τις αντίστοιχες δυνατότητες για εποπτεία και αναφορά της κατάστασης του συστήματος. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθούν οι λειτουργίες κρυπτογράφησης που παρέχει το συγκεκριμένο πρωτόκολλο. Μέσω της διεπαφής Iu-PS ανταλλάσσονται οι πληροφορίες κρυπτογράφησης μεταξύ UTRAN και CN προκειμένου τα δεδομένα που ανταλλάσσονται να είναι προστατευμένα από τυχόν απόπειρα υποκλοπής.

#### 4.5.9 Οι Υπόλοιπες Διεπαφές

Οι υπόλοιπες διεπαφές του δικτύου UMTS περιλαμβάνουν τις επιμέρους διεπαφές του CN. Μεταξύ αυτών, οι πιο σημαντικές είναι: η διεπαφή Gn η οποία διασυνδέει τους κόμβους SGSN και GGSN καθώς και η Gi η οποία συνδέει τους κόμβους GGSN με τους εξωτερικούς κόμβους μεταγωγής πακέτων. Όσον αφορά τη διεπαφή Gi, αυτή αποτελεί τη σύνδεση μεταξύ του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και των εξωτερικών δικτύων μεταφοράς δεδομένων. Οι διεπαφές αυτές δεν έχουν κάτι

ιδιαίτερο στην αρχιτεκτονική των πρωτοκόλλων τους συγκριτικά με οποιοδήποτε ενσύρματο δίκτυο μεταφοράς δεδομένων. Για την ακρίβεια, χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο IP πάνω από το ATM, καθώς και πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων όπως το Transmission Control Protocol (TCP) και το UDP. Στο σημείο αυτό πρέπει να διαχωρίσουμε τα δύο επίπεδα IP που εμφανίζονται. Το χαμηλότερο επίπεδο IP αναφέρεται στη μεταφορά σηματοδότησης μεταξύ των κόμβων του συστήματος UMTS. Αντίθετα, το υψηλότερο αναφέρεται στη μεταφορά των δεδομένων για τις εφαρμογές του χρήστη. Για το λόγο αυτό, μόνο το υψηλότερο επίπεδο IP είναι ορατό στα εξωτερικά IP δίκτυα. Η Εικόνα 10 απεικονίζει τη συνολική αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων για τη μεταφορά πληροφορίας στο UMTS δίκτυο. Οι υπηρεσίες στις οποίες αντιστοιχεί η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική αφορούν στη μεταγωγή πακέτων, δηλαδή στο πεδίο PS του δικτύου. Οι συνδέσεις στο σχήμα απεικονίζονται με βέλη. Αυτό που έχει σημασία είναι η αποκατάσταση των συνδέσεων από άκρο σε άκρο, όπως φαίνονται στο πάνω μέρος της εικόνας. Οι συνδέσεις αυτές πρακτικά αποτελούνται από επιμέρους συνδέσεις μεταξύ των κόμβων του συστήματος, οι οποίες σημειώνονται με μικρότερα βέλη.



**Εικόνα 10. Η αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων για τη μεταφορά πληροφορίας**

## 5 ΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΤΟΥ UTRAN

Στο UTRAN υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι καναλιών: τα λογικά κανάλια, τα κανάλια μεταφοράς και τα φυσικά κανάλια. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται κάθε τύπος καναλιού και δίνονται ορισμένα παραδείγματα κατά περίπτωση.

### 5.1 Λογικά Κανάλια

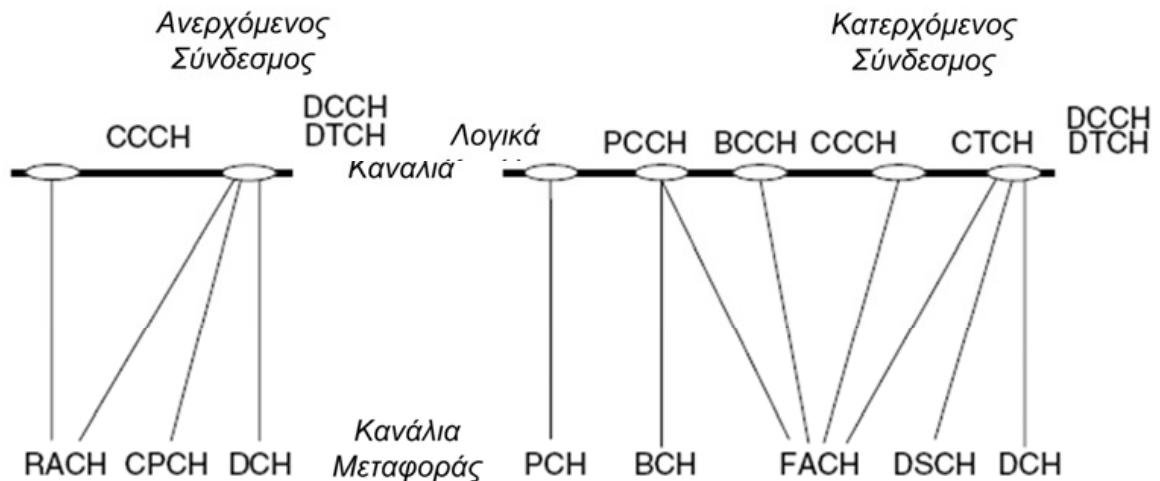
Οι υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων του πρωτοκόλλου MAC παρέχονται μέσω των λογικών καναλιών. Τα λογικά κανάλια είναι αυτά που προσδιορίζουν τον τύπο της πληροφορίας που μεταδίδεται. Χρησιμοποιούνται στη διεπαφή μεταξύ των επιπέδων RLC και MAC. Τα κανάλια αυτά μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες: τα κανάλια ελέγχου και τα κανάλια κίνησης. Στη συνέχεια, ένα κανάλι ελέγχου μπορεί να είναι είτε κοινό είτε αφιερωμένο. Κοινά λέγονται τα κανάλια point-to-multipoint, ενώ αφιερωμένα λέγονται τα κανάλια point-to-point, δηλαδή αυτά που χρησιμοποιούνται μόνο από ένα χρήστη.

### 5.2 Κανάλια Μεταφοράς

Τα κανάλια μεταφοράς είναι αυτά που προσδιορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θα μεταφερθούν τα δεδομένα από το επίπεδο φυσικού μέσου. Ουσιαστικά, τα κανάλια αυτά χρησιμοποιούνται στη διεπαφή που βρίσκεται μεταξύ του MAC πρωτοκόλλου και του αμέσως κατώτερου επιπέδου. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες καναλιών μεταφοράς: τα κοινά κανάλια (common channels), τα αφιερωμένα (dedicated) και τα διαμοιραζόμενα (shared). Τα κοινά κανάλια είναι κανάλια μονής κατεύθυνσης τα οποία χρησιμοποιούνται από όλους τους χρήστες σε μία κυψέλη. Τα σημαντικότερα από τα κανάλια αυτά είναι το Forward Access Channel (FACH) για τον κατερχόμενο σύνδεσμο και το Random Access Channel (RACH) για τον ανερχόμενο. Στην κατηγορία των διαμοιραζόμενων καναλιών ανήκει το Downlink Shared Channel (DSCH) καθώς και το High-Speed DSCH (HS-DSCH). Τα συγκεκριμένα κανάλια είναι πάντα συσχετισμένα με ένα αφιερωμένο κανάλι. Ειδικότερα, το HS-DSCH αποτελεί ένα κανάλι που υλοποιεί την τεχνολογία High-Speed Downlink Packet Access (HSPDA). Είναι ένα βελτιστοποιημένο κανάλι για ταχύτερη μετάδοση δεδομένων το οποίο ενσωματώνει έναν ευέλικτο μηχανισμό προσαρμογής του ρυθμού μετάδοσης. Από την άλλη πλευρά, στην κατηγορία του αφιερωμένου καναλιού ανήκει το Dedicated Channel (DCH) το οποίο είναι διπλής

κατεύθυνσης και δεσμεύεται για ένα μόνο χρήστη. Αυτό σημαίνει ότι αν ένα DCH δεσμευθεί είτε ως ανερχόμενος είτε ως κατερχόμενος σύνδεσμος, τότε πρέπει να δεσμευθεί και για την αντίθετη κατεύθυνση. Στην αντίθετη κατεύθυνση όμως, ο ρυθμός μετάδοσης μπορεί να διαφέρει.

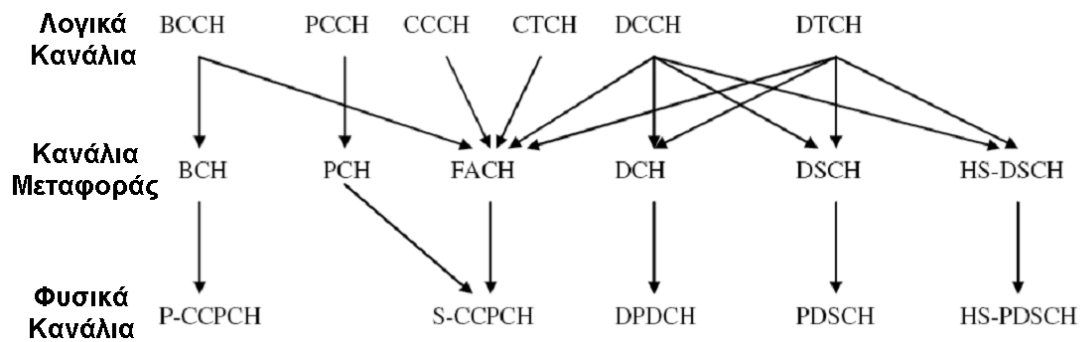
**Εικόνα 11. Τα κανάλια μεταφοράς του UTRAN**



**Η αντιστοιχία λογικών καναλιών σε κανάλια μεταφοράς**

**Φυσικά Κανάλια**

Τα φυσικά κανάλια είναι αυτά που προσδιορίζουν τα ακριβή χαρακτηριστικά του φυσικού μέσου. Αυτό γιατί αποτελούν τα κανάλια τα οποία χρησιμοποιούνται στο επίπεδο φυσικού μέσου της ασύρματης διεπαφής. Το φάσμα συχνοτήτων που διατίθεται σε αυτά τα κανάλια μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους. Στη λειτουργία FDD, οι ανερχόμενοι και οι κατερχόμενοι σύνδεσμοι έχουν το δικό τους κανάλι συχνοτήτων. Αντίθετα, στη λειτουργία TDD υπάρχει μόνο ένα κανάλι συχνοτήτων το οποίο χωρίζεται σε χρονοσχισμές. Στη συνέχεια οι χρονοσχισμές μοιράζονται στον ανερχόμενο και τον κατερχόμενο σύνδεσμο. Με βάση τον τρόπο διαχείρισης του φάσματος συχνοτήτων τα φυσικά κανάλια διαχωρίζονται σε FDD και TDD φυσικά κανάλια. Κάθε κατηγορία διαιρείται περαιτέρω σε άλλες δύο κατηγορίες ανάλογα με το αν το συγκεκριμένο φυσικό κανάλι χρησιμοποιείται στον ανερχόμενο ή στον κατερχόμενο σύνδεσμο. Στην Εικόνα 12 παρουσιάζεται η αντιστοιχία όλων των καναλιών του UMTS που χρησιμοποιούνται στην downlink κατεύθυνση.



Εικόνα 12. Αντιστοίχιση καναλιών για την downlink κατεύθυνση

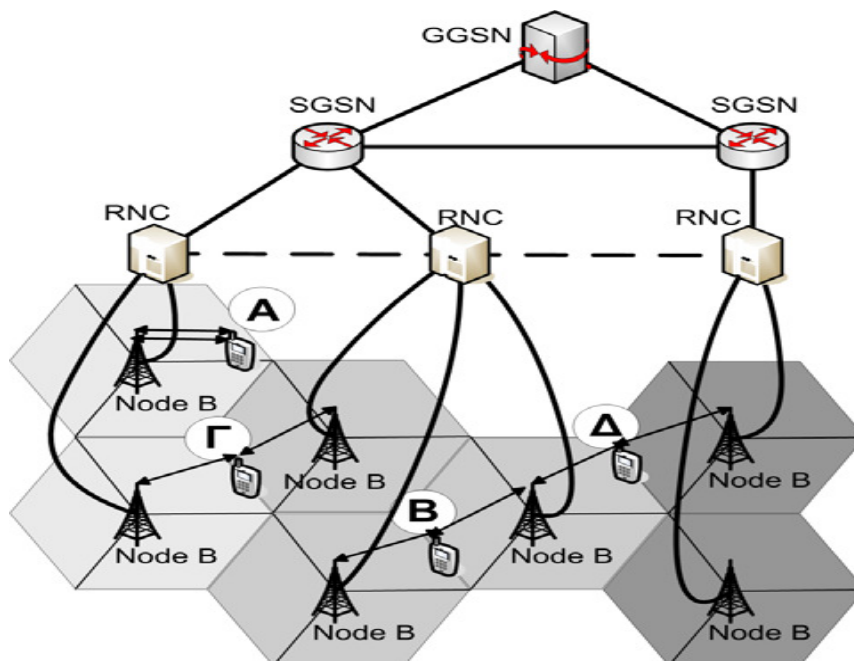
## 6 HANOVERS ΣΤΟ UMTS

Όπως είναι γνωστό, τα κινητά τηλέφωνα μπορούν να διατηρούν τις συνδέσεις τους καθώς κινούνται από μία κυψέλη σε μία άλλη. Αυτή η διαδικασία η οποία μεταφέρει τη σύνδεση από τον ένα Node B στον άλλο, λέγεται handover. Τα handovers στο CDMA (συστήματα UMTS) διαφέρουν κατά πολύ από τα handovers στο TDMA (συστήματα GSM). Αυτό γιατί στο UMTS, αντίθετα με το GSM, όλα τα UEs χρησιμοποιούν διαρκώς το ίδιο φάσμα συχνοτήτων. Στις επόμενες παραγράφους θα αναλυθούν οι βασικοί τύποι handover.

### 6.1 Softer και Soft Handover

Κατά τη διάρκεια ενός soft handover, το UE είναι συνδεδεμένο ταυτόχρονα σε περισσότερους από έναν Node Bs. Για την ακρίβεια, δέχεται τις μεταδόσεις δύο ή περισσότερων Node Bs. Επειδή οι μεταδόσεις αυτές γίνονται στην ίδια συχνότητα, ένα UE τις αντιλαμβάνεται σαν αλληλοσυμπληρούμενα τμήματα της ίδιας πληροφορίας. Το μόνο που διαφέρει σε κάθε τμήμα είναι ο κώδικας διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται σε κάθε μετάδοση. Όταν η σύνδεση με έναν από τους Node Bs δεν είναι απαραίτητη, η αντίστοιχη σύνδεση μπορεί να εγκαταλειφθεί. Το softer handover είναι ένα handover μεταξύ δύο τομέων της ίδιας κυψέλης. Η περίπτωση A στην Εικόνα 13 απεικονίζει ένα softer handover. Από την πλευρά του UE, το softer handover είναι μία άλλη περίπτωση soft handover. Από την πλευρά του κινητού δικτύου, πρόκειται για μία εσωτερική διαδικασία του εμπλεκόμενου Node B. Ο κόμβος RNC που ελέγχει τον Node B δε συμμετέχει στη διαδικασία, με αποτέλεσμα την οικονομία στη δέσμευση της χωρητικότητας της διεπαφής Iub [45]. Η διαδικασία του soft handover εκτελείται στα όρια μεταξύ των κυψελών. Με τη διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται η αδιάλειπτη παροχή της υπηρεσίας, αφού η ένταση του σήματος που

λαμβάνει το UE είναι μεγαλύτερη από αυτή που θα λάμβανε αν χρησιμοποιούνταν μόνο ένας ασύρματος σύνδεσμος. Χωρίς τη χρήση του soft handover ο Node B θα έπρεπε να μεταδίδει με μεγαλύτερη ένταση προκειμένου να φτάσει το UE. Το γεγονός αυτό, θα προκαλούσε αύξηση της παρεμβολής [42]. Προκειμένου η χρήση των soft handovers να γίνεται με αποδοτικότητα, το δίκτυο διαθέτει ένα μηχανισμό ο οποίος κάνει τη διαχείριση των handovers. Για το σκοπό αυτό γίνονται μετρήσεις στις ανερχόμενες συνδέσεις, ενώ για τις κατερχόμενες συνδέσεις τα αποτελέσματα λαμβάνονται από τα UEs. Οι εμπλεκόμενες κυψέλες διαχωρίζονται σε τρία σύνολα: το active set, το monitored set και το detected set. Σε κάθε σύνολο αντιστοιχούν κάποιες απαιτήσεις ως προς τις μετρήσεις που του γίνονται. Το active set περιέχει τους Node Bs που αναμειγνύονται σε ένα soft handover με ένα UE. Όταν η ένταση του σήματος ενός Node B ξεπερνά κάποιο κατώφλι, ο συγκεκριμένος Node B προστίθεται στο active set. Φυσικά υπάρχει αντίστοιχο κατώφλι για την απόρριψη ενός Node B. Το monitored set περιέχει κυψέλες που συνορεύουν με την κυψέλη στο οποίο βρίσκεται το UE, και οι οποίες είναι υποψήφιες για handover. Φυσικά από το monitored set εξαιρούνται οι Node Bs που έχουν ήδη προστεθεί στο active set, αν υπάρχει. Το UE πρέπει να παρακολουθεί την ένταση του σήματος από τους Node Bs του monitored set σύμφωνα με κάποιους κανόνες. Τέλος, το detected set περιέχει όλους τους Node Bs από τους οποίους το UE λαμβάνει σήμα, και οι οποίοι δε συνορεύουν με την κυψέλη στην οποία βρίσκεται το UE τη συγκεκριμένη στιγμή.



**Εικόνα 13. Handover**



## 6.2 Οι δυνατές περιπτώσεις softer και soft handover

Ανάλογα με το πού βρίσκεται τοπολογικά ο νέος Node B σε σχέση με τον αρχικό, υπάρχουν οι εξής τύποι soft handover:

- **Inter-Node B/intra-RNS handover:** Αυτός ο τύπος handover εκτελείται όταν το UE μετακινείται από μία κυψέλη ενός Node B σε μία κυψέλη άλλου Node B ο οποίος ανήκει στο ίδιο RNS με τον αρχικό.

- **Inter-Node B/inter-RNS/intra-SGSN:** Σε αυτή την περίπτωση το UE μετακινείται από μία κυψέλη ενός Node B στην κυψέλη ενός άλλου Node B ο οποίος ανήκει σε διαφορετικό RNS σε σχέση με τον αρχικό. Συνεπώς, οι Node Bs ελέγχονται από διαφορετικούς RNCs οι οποίοι όμως συνδέονται με τον ίδιο SGSN.

- **Inter-Node B/inter-RNS/inter-SGSN:** Σε αυτή την περίπτωση το UE μετακινείται από μία κυψέλη ενός Node B στην κυψέλη ενός άλλου Node B ο οποίος ανήκει σε διαφορετικό RNS σε σχέση με τον αρχικό. Επιπλέον, οι αντίστοιχοι RNCs συνδέονται με διαφορετικούς SGSNs.

Ένα σημείο που αξίζει να αναφερθεί στη συγκεκριμένη περίπτωση αφορά στις περιπτώσεις που ένα inter-RNS handover λαμβάνει χώρα. Ο σκοπός του soft handover είναι να απαλλάξει τις διεπαφές Iu-PS καθώς και αυτές του CN από την αποστολή της ίδιας πληροφορίας. Επίσης, ένας άλλος στόχος του soft handover είναι να απαλλάξει το CN από τη συμμετοχή του στη διαδικασία του handover, κάτι το οποίο ίσχυε στα συστήματα GSM. Για το σκοπό αυτό, στην περίπτωση που ένα inter-RNS handover εκτελείται, ο αρχικός RNC είναι ο μόνος RNC που διατηρεί σύνδεση με το CN. Ο συγκεκριμένος RNC ονομάζεται Serving RNC (SRNC) και είναι ο κόμβος που μεταδίδει τα δεδομένα της κίνησης προς το UE, στους υπόλοιπους RNC. Οι υπόλοιποι RNCs ονομάζονται Drift RNCs (DRNCs). Η προώθηση των δεδομένων από τον SRNC προς τους DRNCs γίνεται μέσω της διεπαφής Iur. Η διεπαφή αυτή χρησιμοποιείται για πρώτη φορά στα συστήματα UMTS, όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο που περιγράφει τη διεπαφή Iur. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των softer και soft handovers σε ένα UMTS δίκτυο είναι πολλά. Το σημαντικότερο είναι ότι η ποιότητα της επικοινωνίας διατηρείται υψηλή αφού το UE λαμβάνει ταυτόχρονα την ίδια πληροφορία από περισσότερες της μίας κεραιές. Επιπλέον, δεν υπάρχουν διακοπές στην επικοινωνία, λόγω του τερματισμού της σύνδεσης με μία κεραία. Αντίθετα, η μετάβαση από τη μία κυψέλη στην άλλη γίνεται ομαλά, αφού το

UE διατηρεί σύνδεση με τουλάχιστον μία κεραία σε όλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι τα ίδια δεδομένα φτάνουν στο UE δύο ή περισσότερες φορές, με αποτέλεσμα ο έλεγχος λάθους να είναι απλός και να μην χρειάζεται αναμετάδοση των πακέτων. Με αυτόν τον τρόπο περιορίζεται το overhead που προσδίδει η υψηλή συχνότητα λαθών και γίνεται οικονομία στους ενεργειακούς πόρους του δικτύου αλλά και του UE. Ένας άλλος παράγοντας που συντελεί στην οικονομία ενέργειας είναι το γεγονός ότι υπάρχουν περισσότερες κεραίες που μεταδίδουν στο ίδιο UE, κάθε κεραία μπορεί να διατηρεί ένα σχετικά χαμηλό επίπεδο έντασης του σήματος. Αντίθετα, αν ήταν η μοναδική κεραία που συνδέεται με το απομακρυσμένο UE, τότε θα έπρεπε να μεταδίδει με υψηλή ένταση, με αποτέλεσμα να κάνει παρεμβολές και να βλάπτει την υγεία του πληθυσμού. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τεχνική του soft handover απαλείφει το φαινόμενο ping-pong. Κατά το φαινόμενο αυτό, ένα UE που βρίσκεται ανάμεσα από δύο κεραίες συνδέεται εναλλάξ πότε με τη μία και πότε με την άλλη, μειώνοντας κατά πολύ την ποιότητα της επικοινωνίας του. Το μοναδικό μειονέκτημα των softer και soft handover είναι ότι είναι πολύπλοκες διαδικασίες που απαιτούν μεγάλο κόστος υλοποίησης. Αυτό γιατί απαιτείται η προσθήκη στους κόμβους του UTRAN, όχι μόνο επιπλέον λογισμικού, αλλά και υλικού. Επιπλέον, ανάλογες μετατροπές πρέπει να γίνουν και στον εξοπλισμό του χρήστη (UE).

### **6.3 Hard Handover**

Το hard handover είναι η τεχνική που ακολουθείται στα συστήματα GSM. Κατά τη διάρκεια ενός hard handover, η ασύρματη συχνότητα που χρησιμοποιεί το UE αλλάζει. Πιο συγκεκριμένα, το UE παύει να χρησιμοποιεί την αρχική συχνότητα, στη συνέχεια μετακινείται σε διαφορετική συχνότητα και ξεκινά να λειτουργεί στη συχνότητα αυτή. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένα κενό επικοινωνίας μεταξύ του UE και του κινητού δικτύου.

Στα συστήματα CDMA, το hard handover είναι δύσκολο στην υλοποίηση. Αυτό γιατί δε χρησιμοποιούνται χρονοσχιμές, επομένως, κάθε UE δέχεται και μεταδίδει ασύρματη πληροφορία σε όλη τη διάρκεια του χρόνου. Γι' αυτό το λόγο δεν υπάρχουν ελεύθερες χρονοσχιμές προκειμένου το UE να κάνει μετρήσεις σε άλλη συχνότητα. Επειδή όμως αυτές οι μετρήσεις είναι απαραίτητες για την εκτέλεση του hard handover, το δίκτυο δε μπορεί να κάνει σωστή εκτίμηση της κυψέλης η

οποία είναι καταλληλότερη για σύνδεση με το UE. Κατά συνέπεια, τα hard handovers χρησιμοποιούνται όταν, για κάποιο λόγο, η συχνότητα λειτουργίας του UE πρέπει να αλλάξει ή όταν δεν υπάρχει διεπαφή Iur μεταξύ δύο RNCs ώστε να μπορεί να εκτελεστεί ένα soft handover. Πάντως, είναι γεγονός ότι η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις.

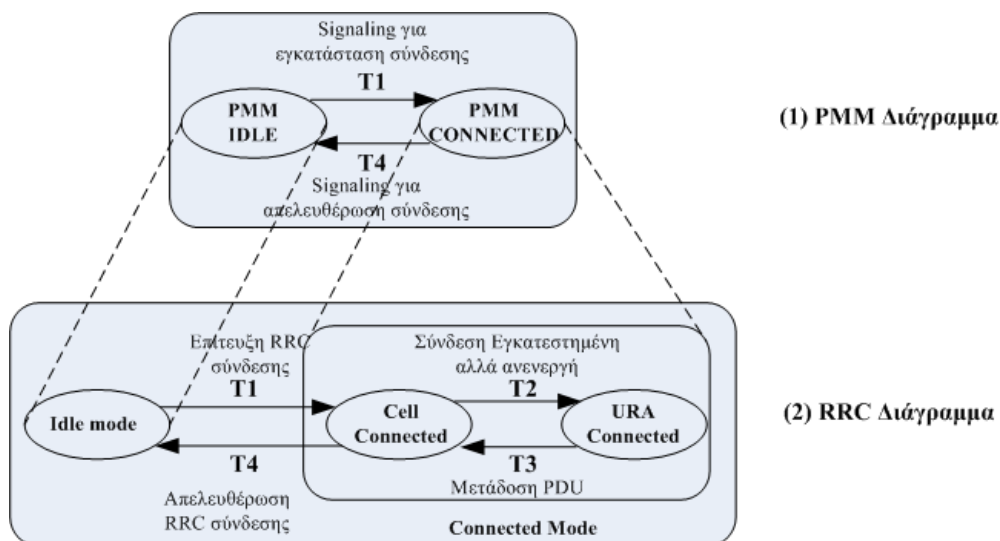
## 6.4 Intersystem Handovers

Τα intersystem handovers είναι handovers μεταξύ δύο διαφορετικών τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης. Προς το παρόν, το 3GPP έχει θέσει τις προδιαγραφές για intersystem handovers μεταξύ συστημάτων GSM και UMTS. Κατά συνέπεια, υπάρχουν δύο τύποι intersystem handover: το handover από UMTS σε GSM και το handover από GSM σε UMTS. Η υποστήριξη της διαδικασίας αυτής είναι απαραίτητη διότι, για τα δίκτυα UMTS, δεν αναμένεται να έχουν μεγάλη περιοχή κάλυψης σύντομα. Επομένως, οι χρήστες των δικτύων UMTS θα εξυπηρετούνται σε μεγάλο βαθμό από δίκτυα πρόσβασης του GSM. Προκειμένου να είναι δυνατή η πραγματοποίηση ενός intersystem handover, θα πρέπει να υπάρχει ένα UE που υποστηρίζει και τα δύο συστήματα.

Τα intersystem handovers αποτελούν διαδικασίες οι οποίες είναι εξαιρετικά πολύπλοκες, επειδή κατά τη διάρκειά τους δημιουργούνται πολλά και δύσκολα προβλήματα. Το πρώτο πρόβλημα που δημιουργείται είναι το πώς το UE θα γνωρίζει τη συχνότητα εκπομπής της νέας κυψέλης (για ένα handover προς το GSM) ή τον κώδικα που χρησιμοποιεί η κυψέλη του UTRAN. Η λύση που προτάθηκε από το 3GPP και υιοθετήθηκε από τη βιομηχανία ήταν η αποστολή αυτής της πληροφορίας από την αρχική κυψέλη. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ο υπολογισμός της έντασης του σήματος στις υποψήφιες κυψέλες προκειμένου να επιλεγθεί το κατάλληλο για το intersystem handover. Για το σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο δέκτες στο UE ή να δημιουργηθούν κάποιες χρονοσχισμές, προκειμένου να γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις. Τέλος, ένα άλλο πρόβλημα είναι η ραγδαία μείωση του ρυθμού μετάδοσης στην περίπτωση του handover από UMTS προς GSM. Είναι δυνατό να συμβεί το ενδεχόμενο ένας χρήστης ενώ λαμβάνει δεδομένα από το UTRAN με ρυθμό που προσεγγίζει τα 2 Mbps, μετά την πραγματοποίηση του handover να λαμβάνει μόνο ένα μικρό ποσοστό από τον αρχικό ρυθμό.

## 7 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ

Η διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών στο UMTS γίνεται από δύο διαδικασίες/μηχανισμούς οι οποίοι ονομάζονται Mobility Management (MM) και Radio Resource Control (RRC) (Εικόνα 14). Ο μηχανισμός Packet MM (PMM) διαχειρίζεται την κινητικότητα των χρηστών στο επίπεδο του CN ενώ ο μηχανισμός RRC στο επίπεδο του UTRAN. Πρέπει να τονίσουμε ότι οι παραπάνω μηχανισμοί ισχύουν για την PS λειτουργία του UMTS δικτύου στην οποία και επικεντρώνεται η παρούσα διπλωματική εργασία. Κάθε κινητός χρήστης μπορεί να βρίσκεται σύμφωνα με το μηχανισμό PMM σε δύο διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας: PMM idle και PMM connected. Αντίθετα, ο κινητός χρήστης όσον αφορά το μηχανισμό RRC μπορεί να βρίσκεται σε μια από τις παρακάτω καταστάσεις: RRC idle, RRC cell connected και RRC URA connected. Περισσότερα για τους δύο παραπάνω μηχανισμούς μπορείτε να βρείτε στις αναφορές .



Εικόνα 14. PMM και RRC διαγράμματα

### 7.1 PMM και RRC μηχανισμοί

Όταν δεν υπάρχει μετάδοση δεδομένων μεταξύ του CN και του κινητού χρήστη (UE), ο χρήστης βρίσκεται στην κατάσταση PMM idle και RRC idle (Εικόνα 14). Σε αυτή την περίπτωση το UTRAN δεν έχει καμιά πληροφορία για το συγκεκριμένο UE ενώ ο μόνος κόμβος που διαθέτει πληροφορίες για το συγκεκριμένο UE είναι ο κόμβος SGSN (RA level tracking). Κατά τη διαδικασία ενεργοποίησης μιας PS σύνδεσης μεταξύ του UE και του SGSN (PS Signaling), ο

κινητός χρήστης μεταβαίνει στην κατάσταση PMM connected (περίπτωση T1 στην Εικόνα 14 (1)). Αμέσως μετά λαμβάνει χώρα η εγκατάσταση της σύνδεσης για τη μετάδοση των δεδομένων μεταξύ του UE και RNC στο επίπεδο του UTRAN και ο κινητός χρήστης μεταβαίνει στην κατάσταση RRC cell connected (περίπτωση T1 στην Εικόνα 14 (2)). Σε αυτή την περίπτωση ο κόμβος RNC διαθέτει όλες τις πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση και τη θέση του συγκεκριμένου UE. Μόνο σε αυτή την κατάσταση (PMM connected/RRC cell connected) μπορούν να μεταφερθούν δεδομένα στον κινητό χρήστη.

Αν ο χρήστης ενώ βρίσκεται στην κατάσταση PMM connected/RRC cell connected σταματήσει να λαμβάνει ή να στέλνει δεδομένα για ένα χρονικό διάστημα η RRC κατάστασή του αλλάζει από cell connected σε URA connected (περίπτωση T2 στην Εικόνα 14 (2)). Και σε αυτή την περίπτωση ο κόμβος RNC διαθέτει όλες τις πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση και τη θέση του συγκεκριμένου UE. Αν μετά από αυτό το χρονικό διάστημα ο χρήστης στείλει ή λάβει εκ νέου δεδομένα η RRC κατάστασή του αλλάζει σε cell connected (περίπτωση T3 στην Εικόνα 15 (2)). Επιπρόσθετα, αν ο χρήστης βρίσκεται στην κατάσταση PMM connected/RRC URA connected και μετά το πέρας ενός χρονικού διαστήματος εξακολουθεί να μη στέλνει ή δέχεται δεδομένα η σύνδεσή του με το UTRAN διακόπτεται και μεταβαίνει στην κατάσταση PMM connected/RRC idle αρχικά (περίπτωση T4 στην Εικόνα 15 (2)) και τελικά μεταβαίνει στην κατάσταση PMM idle/RRC idle (περίπτωση T4 στην Εικόνα 14).

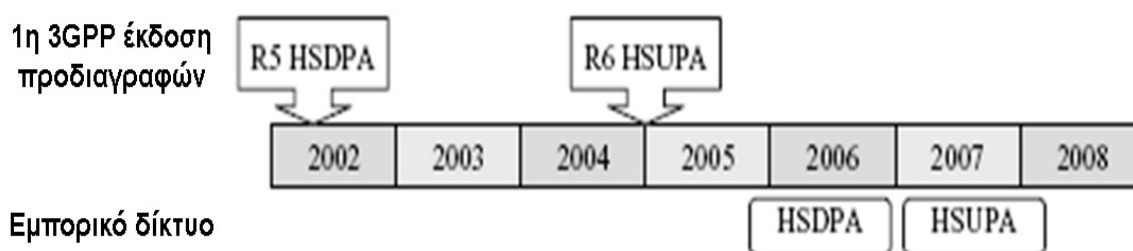
## **8 ΟΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ HSPA ΚΑΙ LTE**

Η σημαντικότερη πρόκληση που αντιμετωπίζει σήμερα η παγκόσμια αγορά κινητών τηλεπικοινωνιών είναι η παροχή νέων, ελκυστικών και διαδραστικών υπηρεσιών προς τους τελικούς χρήστες. Η τεχνολογία High Speed Packet Access (HSPA) αποτελεί τη φυσιολογική εξέλιξη του WCDMA προς αυτή την κατεύθυνση, η οποία πολλές φορές συναντάται και ως 3.5G ή 3G+, προκειμένου να δηλώσει την αναβάθμιση του UMTS και ήδη έχει υιοθετηθεί από πολλά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ανά τον κόσμο. Ουσιαστικά, το HSPA αποτελεί μία σημαντική αναβάθμιση των UMTS δικτύων προσφέροντας υψηλότερο εύρος ζώνης στους κινητούς χρήστες και αυξημένη χωρητικότητα για τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους με αποτέλεσμα την παροχή υπηρεσιών και εφαρμογών αυξημένης

διαδραστικότητας. Η ορολογία HSPA αναφέρεται σε μία γενικότερη έννοια που υιοθετήθηκε από το UMTS Forum προκειμένου να τονίσει τις αναβαθμίσεις του UMTS Radio Interface στις εκδόσεις 5 και 6 του 3GPP στάνταρ. Η συμβολή της HSPA τεχνολογίας, προσεγγίζει μόνο το δίκτυο πρόσβασης, δηλαδή το UTRAN, χωρίς να επεμβαίνει καθόλου στη δομή και τη λειτουργικότητα του Core Network του UMTS. Πιο συγκεκριμένα, το HSPA αναφέρεται σε βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν τόσο στον κατερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, μέσω του High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) όσο και στον ανερχόμενο, μέσω του High Speed Uplink Packet Access (HSUPA).

## 8.1 Προτυποποίηση και εμπορική διάθεση της HSPA τεχνολογίας

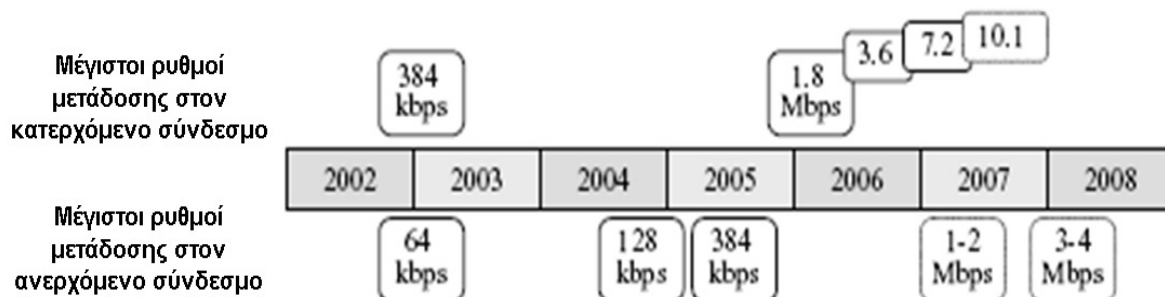
Όπως προαναφέρθηκε, το HSPA αποτελείται από δύο διακριτές, επιμέρους τεχνολογίες, τις HSDPA και HSUPA για τον κατερχόμενο και τον ανερχόμενο σύνδεσμο αντίστοιχα.. Η τεχνολογία HSDPA, προτάθηκε στην έκδοση 5 του 3GPP στάνταρ, το Μάρτιο του 2002. Παράλληλα, η τεχνολογία HSUPA προτυποποιήθηκε αρχικά στην έκδοση 6 του 3GPP στάνταρ, το Δεκέμβριο του 2004. Η πρώτη εμπορική διάθεση του HSDPA πραγματοποιήθηκε κατά το τέλος του 2005, ενώ του HSUPA το στη διάρκεια του 2007. Η Εικόνα 15 απεικονίζει γραφικά την πορεία προτυποποίησης και εμπορικής διάθεσης των HSDPA και HSUPA τεχνολογιών .



**Εικόνα 15. Πορεία προτυποποίησης και εμπορικής διάθεσης των HSDPA και HSUPA τεχνολογιών**

Η σημαντικότητα της τεχνολογίας HSPA γίνεται εύκολα αντιληπτή αν αναλογιστεί κανείς την ιδιαίτερη αναβάθμιση που αυτή παρέχει, κυρίως στον κατερχόμενο σύνδεσμο, αφού μέσω του HSDPA υποστηρίζονται ρυθμοί μετάδοσης θεωρητικά έως και 14,4 Mbps ανά χρήστη, σύμφωνα με τις αρχικές προδιαγραφές. Στην πραγματικότητα, ωστόσο, σε πρώτο στάδιο ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων έφθανε τα 1.8 Mbps, ενώ κατά τη διάρκεια των ετών 2006 και 2007 οι ρυθμοί αυτοί

αυξήθηκαν σταδιακά στα 3.6 Mbps και 7.2 Mbps. Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων του HSDPA αναμένεται να αγγίξει (και να ξεπεράσει κατά πολύ) τα 10Mbps τα αμέσως επόμενα έτη.



**Εικόνα 16. Εξέλιξη των ρυθμών μετάδοσης των HSDPA και HSUPA τεχνολογιών**

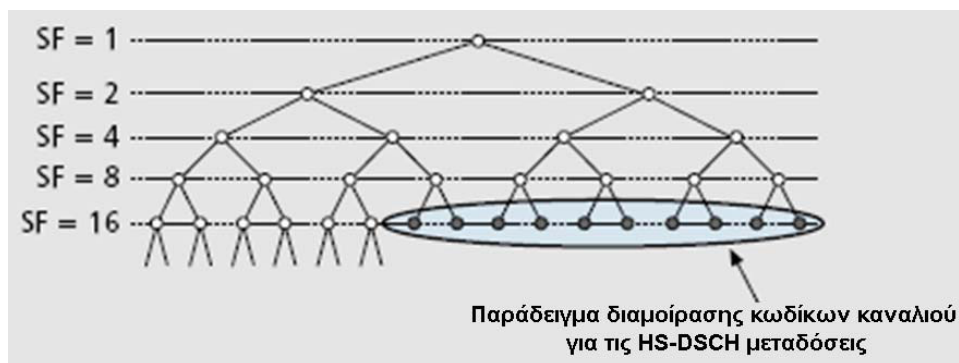
## 8.2 High Speed Downlink Packet Access (Hsdpa)

Η τεχνολογία HSDPA αναπτύχθηκε με σκοπό την αποδοτικότερη χρήση των πόρων του συστήματος UMTS, κυρίως όσον αφορά στη χρήση τους για εξυπηρέτηση υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων, και την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες. Βασίζεται στο σχήμα πρόσβασης WCDMA, χρησιμοποιεί το σχήμα αμφιδρόμησης FDD και λειτουργεί στην μπάντα IMT-2000 (1,9-2,1GHz) με εύρος ζώνης 5MHz. Η χωρητικότητα ενός δικτύου HSDPA εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό από παράγοντες- παραμέτρους τεχνικής υλοποίησης όπως, η αποκλειστική χρήση ενός δεύτερου carrier των 5MHz ή από κοινού με την υφιστάμενη τεχνολογία UMTS, και η επιλογή συγκεκριμένης υλοποίησης από τις προτυποποιημένες εναλλακτικές (δηλαδή η υλοποίηση HSDPA με 5, 10 ή 15 κώδικες).

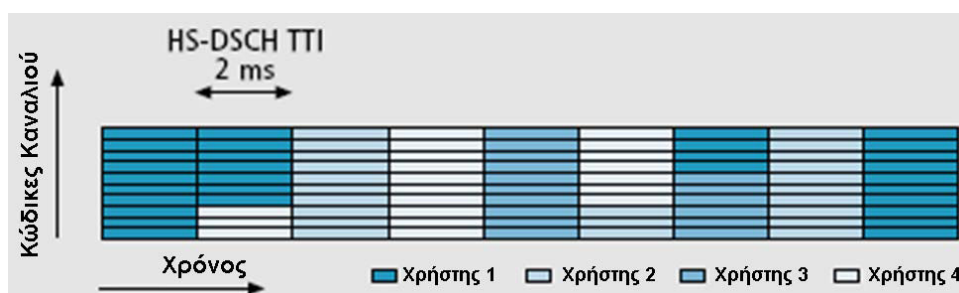
### 8.2.1 Διαμοιραζόμενο Κανάλι Μεταφοράς HS-DSCH

Μέσω του HSDPA, το UMTS δίκτυο επεκτείνεται με μία σειρά νέων, αναβαθμισμένων καναλιών μεταφοράς και ελέγχου. Το κυριότερο κανάλι, ωστόσο, είναι το High Speed-Downlink Shared Channel (HS-DSCH) διαμοιραζόμενο κανάλι μεταφοράς. Η χρήση του διαμοιραζόμενου αυτού καναλιού (shared channel), συνίσταται στο ότι οι κώδικες καναλιού και η ισχύς εκπομπής σε μια κυψέλη θεωρούνται μια κοινή πηγή που μοιράζεται δυναμικά μεταξύ των χρηστών στο πεδίο του χρόνου και του κώδικα (βλ. Εικόνα 17 και Εικόνα 18). Οι διαθέσιμοι κώδικες για

το HS-DSCH είναι 15, ενώ η κατανομή των διαμοιραζόμενων πόρων πραγματοποιείται κάθε 2ms (TTI = 2ms) [41]. Η χωρητικότητα μιας κυψέλης διαμοιράζεται στους χρήστες ανάλογα με τη διαχείριση των χρηστών (user prioritization, προγραμματισμός (scheduling): Round- Robin, Proportional Fair, κοκ.), το προφίλ της ζεύξης τους (HSDPA ή Release '99 users, voice users), τις δυνατότητες κάθε κινητής συσκευής, τις συνθήκες του ραδιοδιαύλου της ζεύξης κάθε χρήστη καθώς και άλλους παράγοντες. Οι ρυθμοί μετάδοσης που μπορούν να επιτευχθούν μέσω του HS-DSCH είναι της τάξης των 1.8 Mbps, 3,6 Mbps, 7,2 Mbps μέχρι και 14,4 Mbps για το downlink. Στην πραγματικότητα, το HSDPA διπλασιάζει τη χωρητικότητα της ασύρματης διεπαφής και παρέχει σχεδόν δεκαπλάσιους ρυθμούς μετάδοσης συγκριτικά με το UMTS. Η αυξημένη απόδοση του HS-DSCH βασίζεται κατά κύριο λόγο σε τεχνικές όπως το Adaptive Modulation and Coding (AMC), στη χρήση μικρότερου Transmission Time Interval (TTI) ίσο με 2 ms (σε αντίθεση με τα 10-80 ms του UMTS), στην υποστήριξη Hybrid Automatic Repeat request (HARQ) καθώς και στη χρήση γρήγορης δρομολόγησης (fast scheduling). Οι παραπάνω τεχνικές περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.



**Εικόνα 17. Διαμοίραση κωδίκων καναλιού για το HS-DSCH**



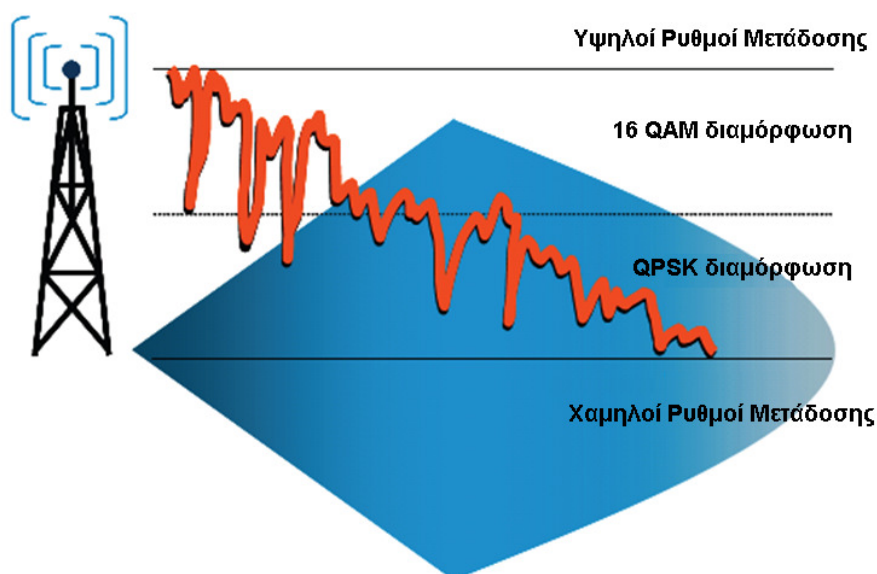
**Εικόνα 18. Διαμοίραση πόρων στο πεδίο του χρόνου για το HS-DSCH**



Εκτός, όμως, από τη σημαντική αύξηση του ρυθμού μεταφοράς των δεδομένων, το HSDPA βελτιστοποιεί τη φασματική απόδοση (spectral efficiency) των συχνοτήτων, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται το μέγιστο δυνατό throughput και κατά συνέπεια να αυξάνεται η χωρητικότητα των δικτύων όσον αφορά την εξυπηρέτηση χρηστών, που επιχειρούν την πρόσβαση σε υπηρεσίες δεδομένων. Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα του HSDPA έναντι των υπολοίπων τεχνολογιών, είναι η χαμηλή καθυστέρηση (low latency), η οποία κυμαίνεται μεταξύ 100 και 200 χιλιοστών του δευτερολέπτου.

### 8.2.2 Adaptive Modulation and Coding (AMC)

Η μέγιστη δυνατή απόδοση που επιτυγχάνει το HS-DSSCH οφείλεται σε ένα μεγάλο βαθμό στη χρήση προσαρμοζόμενης διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (adaptive modulation and coding). Ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο κανάλι και ειδικότερα ανάλογα με την στιγμιαία τιμή του σηματοπαρεμβολικού λόγου, χρησιμοποιείται το κατάλληλο σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης δεδομένων.



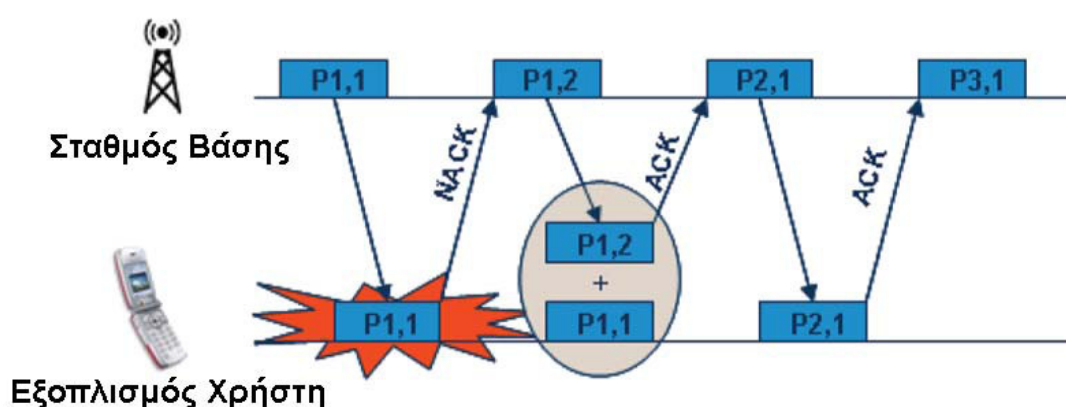
**Εικόνα 19. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων καθορίζεται από τις στιγμιαίες συνθήκες καναλιού στην 64 QAM διαμόρφωση, για την μεγιστοποίηση του ρυθμού μετάδοσης τουκατερχόμενου συνδέσμου.**

Η QPSK διαμόρφωση χρησιμοποιεί 2 bits/σύμβολο ενώ η 16 QAM και η 64 QAM διαμόρφωση 4 και 6 bits/σύμβολο αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, η higher order διαμόρφωση, όπως η 16 QAM, μπορεί να επιφέρει καλύτερη αξιοποίηση του

διαθέσιμου εύρους ζώνης συγκριτικά με την QPSK διαμόρφωση. Παράλληλα, όμως, η 16 QAM διαμόρφωση απαιτεί υψηλότερο λόγοσήματος προς θόρυβο. Κατά συνέπεια, όταν οι συνθήκες καναλιού είναι καλές ευνοείται η χρήση 16 QAM διαμόρφωσης, ενώ στην αντίθετη περίπτωση γίνεται χρήση της QPSK διαμόρφωσης. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι μπορεί να γίνει χρήση 64-QAM διαμόρφωσης όταν επικρατούν βέλτιστες συνθήκες καναλιού. Η ιδιαιτερότητα αυτή της χρήσης πολλαπλών σχημάτων διαμόρφωσης δικαιολογεί το γεγονός ότι το HS-DSCH είναι μάλλον rate-controlled και όχι power-controlled κανάλι μεταφοράς, αφού ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων καθορίζεται από τις στιγμιαίες συνθήκες κάθε φορά και κατά συνέπεια στο αντίστοιχο επιλεγόμενο σχήμα διαμόρφωσης.

### 8.2.3 Hybrid Automatic Repeat request (HARQ)

Η τεχνική fast hybrid Automatic Repeat Request που εφαρμόζεται στο HS-DSCH, επιτυγχάνει τη μείωση του χρόνου επαναμετάδοσης των χαμένων πακέτων/δεδομένων. Τα δεδομένα διατηρούνται σε καταχωρητή στο σταθμό βάσης (Node B). Αν για κάποιο πακέτο το κινητό τερματικό δεν αποστείλει επιβεβαίωση ορθής παράδοσης (acknowledgment, ACK), το πακέτο θεωρείται χαμένο. Σε αυτήν την περίπτωση τα δεδομένα επανεκπέμπονται από τον σταθμό βάσης και ο χρήστης συνδυάζει όλα τα μπλοκ δεδομένων από προηγούμενες λήψεις (soft combining), αυξάνοντας έτσι τις πιθανότητες να αποκωδικοποιήσει επιτυχώς το μήνυμα. Κατά συνέπεια, έχουμε μειωμένη καθυστέρηση μετάδοσης (round trip delay) και βελτιωμένη απόδοση. Σχηματικά, η Εικόνα 20 απεικονίζει τη διαδικασία επαναμετάδοσης χαμένων Δεδομένων.

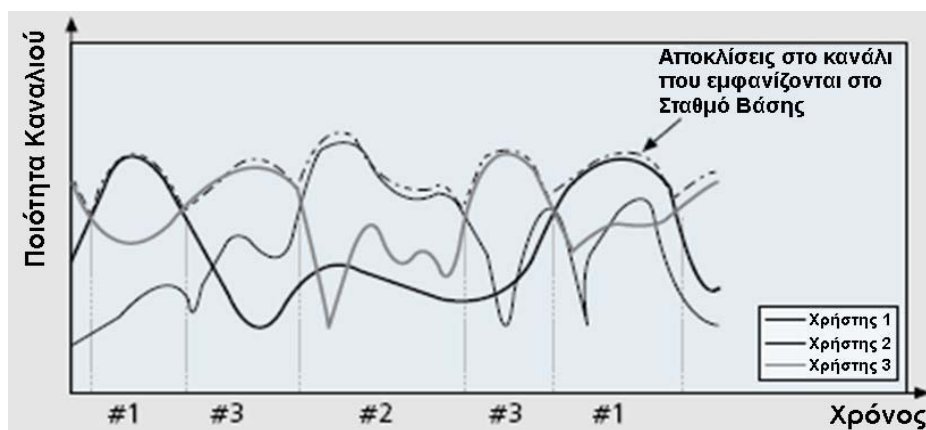


Εικόνα 20. HARQ - Διαδικασία επαναμετάδοσης χαμένων δεδομένων

## 8.2.4 Fast Scheduling

Σημαντικό ρόλο στην επίτευξη υψηλής απόδοσης του HSDPA δικτύου διαδραματίζει η επιλογή του κατάλληλου αλγόριθμου δρομολόγησης (scheduler), ιδιαίτερα σε ένα δίκτυο με υψηλό φόρτο εργασίας. Το HS-DSCH βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην τεχνική ταχείας δρομολόγησης κίνησης (fast scheduling). Ο αλγόριθμος fast scheduling αποφασίζει σε κάθε TTI (δηλαδή κάθε 2ms), σε συνεργασία με το AMC, σε ποιόν/ποιους χρήστη/χρήστες θα αποστείλει πακέτα δεδομένων. Σημειώνεται ότι μπορεί να επιτευχθεί μεγάλη χωρητικότητα όταν χρησιμοποιηθεί η λεγόμενη «channel-dependent» δρομολόγηση. Σε αυτή την περίπτωση, λόγω της μεγάλης διαφοροποίησης των συνθηκών σε μία κυψέλη, υπάρχει σχεδόν πάντα ένας χρήστης του οποίου η ποιότητα καναλιού είναι βέλτιστη. Το κέρδος που προκύπτει από τη μετάδοση δεδομένων σε χρήστες με ιδανικές συνθήκες αποκαλείται macrodiversity gain και το κέρδος είναι μεγαλύτερο όσο περισσότεροι είναι οι εξυπηρετούμενοι χρήστες. Συνεπώς, σε αντίθεση με τις παραδοσιακή αντίληψη ότι το fading είναι ένα ανεπιθύμητο φαινόμενο και πρέπει να αντιμετωπίζεται, στο HSDPA το fading είναι άκρως επιθυμητό και πρέπει να αξιοποιείται. Το γεγονός αυτό μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό από την Εικόνα 21.

Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή ανακύπτει το ζήτημα της δικαιοσύνης ανάμεσα στους χρήστες, καθώς ενθαρρύνεται η μετάδοση σε χρήστες με ευνοϊκές συνθήκες, έτσι ώστε να αυξάνεται η συνολική χωρητικότητα του δικτύου. Κάθε αλγόριθμος δρομολόγησης κίνησης αξιολογεί με διαφορετική βαρύτητα τα παραπάνω δεδομένα και κινείται ανάμεσα στην επίτευξη υψηλής απόδοσης για το δίκτυο και στη δικαιοσύνη ανάμεσα στους χρήστες.



Εικόνα 21. Δρομολόγηση χρηστών με ευνοϊκές συνθήκες για αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου

### 8.2.5 Διαχείριση Πόρων σε δίκτυα HSDPA

Σε ένα δίκτυο HSDPA είναι πολύ σημαντικό να γίνεται αποτελεσματική διαχείριση των διαθέσιμων τηλεπικοινωνιακών πόρων. Για αυτό τον σκοπό υπάρχουν ειδικοί αλγόριθμοι οι οποίοι αποκαλούνται Αλγόριθμοι Διαχείρισης Ραδιοπόρων (Radio Resource Management algorithms - RRM algorithms). Οι RRM αλγόριθμοι εξασφαλίζουν την αποδοτική λειτουργία του HSDPA δικτύου, διαχειριζόμενοι:

- Τον έλεγχο των handover (handover control).
- Τον αλγόριθμο επιλογής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (AMC).
- Τον έλεγχο της πρόσβασης (admission control).
- Τον έλεγχο του φορτίου (load control) και της συμφόρησης (congestion control) .
- Την λειτουργία του δρομολογητή πακέτων (packet scheduler).

### 8.2.6 Handover Control

Οι RRM αλγόριθμοι στο HSDPA επιτρέπουν μόνο hard handover (handover ανάμεσα σε δύο κυψέλες) και intersystem handover (handover ανάμεσα σε δύο συστήματα). Το soft handover (ταυτόχρονη σύνδεση σε δύο γειτονικές κυψέλες) δεν υποστηρίζεται και έχει αντικατασταθεί από την Ταχεία Επιλογή Κυψέλης (Fast Cell Selection -FCS). Αν και υπάρχει η δυνατότητα το ενεργό σύνολο (active set) ενός κινητού τερματικού χρήστη να έχει πολλές κυψέλες, εν τούτοις μόνο μία εκπέμπει προς το κινητό τερματικό κάθε φορά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των παρεμβολών και την αύξηση της απόδοσης του δικτύου. Υπάρχουν δύο υλοποιήσεις του αλγόριθμου ταχείας επιλογής κυψέλης (FCS). Η πρώτη είναι η intra-Node B FCS και η δεύτερη η inter-Node B FCS. Στην intra-Node B για μετάδοση δεδομένων μπορούν να επιλεγούν κυψέλες μόνο από ένα σταθμό βάσης στο ενεργό σετ του κινητού τερματικού. Αντίθετα, στην inter-Node B για μετάδοση δεδομένων μπορεί να επιλεγεί οποιαδήποτε κυψέλη στο ενεργό σετ του κινητού τερματικού.

### 8.2.7 Fast Link Control

Ο ταχύς έλεγχος ισχύος (fast power control) έχει αντικατασταθεί στο HSDPA από τον αλγόριθμο προσαρμογής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (AMC). Αφού το HS-DSCH εκπέμπει με σταθερή ισχύ κατά την διάρκεια της μετάδοσης, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κατάλληλη διαμόρφωση και κωδικοποίηση για την μεγιστοποίηση

της απόδοσης της προς τα κάτω ζεύξης. Η επιλογή της σωστής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης γίνεται με βάση τις συνθήκες που επικρατούν κάθε δεδομένη χρονική στιγμή στο κανάλι για κάθε χρήστη. Η απόφαση αυτή λαμβάνεται σε κάθε μεσοδιάστημα μεταξύ δυο διαδοχικών εκπομπών (Transmission Time Interval-TTI). Το TTI έχει ελάχιστη τιμή ίση με τη διάρκεια μιας χρονοσχιμής (slot - 0.67 msec) αλλά η τιμή που χρησιμοποιείται συνήθως είναι 2 ms (3 slots). Οι παράμετροι που οδηγούν στην σωστή επιλογή διαμόρφωσης και κωδικοποίησης είναι:

- Οι μετρήσεις που αναφέρει το κινητό τερματικό.
- Η στιγμιαία ισχύς του συσχετιζόμενου (associated) διαύλου DPCCH.
- Η προκαθορισμένη ποιότητα για κάθε τύπο υπηρεσίας.
- Το μέγεθος του καταχωρητή (buffer) κάθε session.

### **8.2.8 Admission Control**

Η οντότητα ελέγχου πρόσβασης (admission controller) του δικτύου είναι υπεύθυνη για την αποδοχή ή απόρριψη μιας νέας αίτησης για σύνδεση στο δίκτυο (admission request). Υπάρχουν δύο βασικά είδη συνόδων: οι σύνοδοι πραγματικού χρόνου (real time), όπως είναι οι video κλήσεις, και οι σύνοδοι μη πραγματικού χρόνου (non real time), όπως είναι οι web browsing σύνοδοι. Στις συνόδους μη πραγματικού χρόνου, το φορτίο μπορεί να ελεγχθεί και να μειωθεί εφόσον απαιτείται. Αντίθετα στις συνόδους πραγματικού χρόνου δεν μπορούμε να ελέγξουμε απεριόριστα το φορτίο, αφού υπάρχει ένα ελάχιστο όριο στο προσφερόμενο bit rate (guaranteed minimum bit rate). Όταν ένας χρήστης πραγματικού χρόνου ζητήσει να συνδεθεί στο δίκτυο, η οντότητα ελέγχου πρόσβασης οφείλει να ελέγξει αν μπορεί να υποστηριχθεί από το δίκτυο το απαιτούμενο bit rate, έστω και αν χρειαστεί να μειωθεί το φορτίο των χρηστών μη πραγματικού χρόνου. Επιπλέον, η οντότητα ελέγχου πρόσβασης εκτελεί την εγκατάσταση μιας νέας συνόδου, συμφωνώντας με τον χρήστη για τις παραμέτρους της νέας σύνδεσης.

### **8.2.9 Congestion Control**

Οι αλγόριθμοι διαχείρισης ραδιοπόρων (RRM) πρέπει να λαμβάνουν όλα τα απαραίτητα μέτρα ώστε να μην υπάρχει συμφόρηση στο δίκτυο. Αυτό το επιτυγχάνουν εκτελώντας έλεγχο φορτίου (load control) και έλεγχο συμφόρησης (congestion control). Εφόσον λειτουργεί σωστά ο έλεγχος αποδοχής κλήσης

(admission control) και έχει επιλεγθεί ο κατάλληλος δρομολογητής, το δίκτυο σπάνια εισέρχεται σε κατάσταση συμφόρησης. Ωστόσο, αν υπάρξει συμφόρηση, το δίκτυο πρέπει να επανέλθει με γρήγορο και σταθερό ρυθμό σε μία πιο ευσταθή κατάσταση λειτουργίας, εκτελώντας έλεγχο φορτίου. Οφείλουμε να σημειώσουμε ότι στα πλαίσια αυτού του ελέγχου υπολογίζουμε και μεταβάλλουμε μόνο το φορτίο των χρηστών μη πραγματικού χρόνου, αφού μόνο αυτό μπορούμε να ελέγξουμε. Ακόμα, ο αλγόριθμος ελέγχου φορτίου έχει ένα πλήθος επιλογών για να επιτύχει αποσυμφόρηση, όπως μεταγωγές σε άλλα δίκτυα (handover) και ο βίαιος τερματισμός κάποιων κλήσεων (call drop).

### **8.2.10 Packet Scheduler**

Τέλος οι αλγόριθμοι διαχείρισης ραδιοπόρων ελέγχουν την λειτουργία του δρομολογητή πακέτων. Το HSDPA εκτελεί ταχεία δρομολόγηση (fast scheduling) με σκοπό την μείωση των νεκρών χρόνων στο δίκτυο και την μεγιστοποίηση του ρυθμού διέλευσης. Η δρομολόγηση γίνεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην ασύρματη διεπαφή. Χαρακτηριστικά παραδείγματα δρομολογητών αποτελούν ο δρομολογητής μέγιστου σηματοπαρεμβολικού λόγου (MAX C/I, ο διάυλος αποδίδεται στον χρήστη με τον καλύτερο σηματοπαρεμβολικό λόγο), ο δρομολογητής δίκαιου χρόνου (fair time, ο διάυλος αποδίδεται κυκλικά σε όλους τους χρήστες με την σειρά) και ο δρομολογητής δίκαιης απόδοσης (fair throughput, όλοι οι χρήστες έχουν κατά το δυνατό ίσο ρυθμό διέλευσης). Ο επιλεγμένος δρομολογητής συνδέεται στενά με τον ελεγκτή φορτίου (load controller), αφού είναι επιφορτισμένος στην πραγματικότητα με την διαχείριση του φορτίου όλων των κλήσεων.

## **8.3 Αλγόριθμοι Δρομολόγησης Κίνησης**

Η επιλογή του σωστού αλγορίθμου δρομολόγησης κίνησης είναι ζήτημα θεμελιώδους σημασίας για ένα δίκτυο HSDPA - UMTS καθώς επηρεάζει σημαντικά την απόδοσή του. Το HSDPA χρησιμοποιεί αλγορίθμους ταχείας δρομολόγησης (fast scheduling), ώστε να επιτυγχάνει τη μέγιστη δυνατή ρυθμοαπόδοση (throughput) με βάση την στιγμιαία κατάσταση του δικτύου. Η δρομολόγηση πραγματοποιείται στην οντότητα MAC - HSDPA του Node B, δηλαδή όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην ασύρματη διεπαφή (air interface). Η χρονική κλίμακα στην οποία λαμβάνει αποφάσεις ο δρομολογητής είναι ίση προς 2 msec και καλείται TTI (Transmission Time Interval). Σε κάθε TTI ο δρομολογητής λαμβάνει αποφάσεις για τον

καταμερισμό των πόρων του δικτύου (συγκεκριμένα των καναλιών μεταφοράς) στους χρήστες. Ως πόροι του δικτύου στην περίπτωση που μελετάμε θεωρούνται οι κώδικες (codes) και οι χρονοθυρίδες (TTIs). Η μέθοδος υλοποίησης του δρομολογητή κίνησης επηρεάζει ένα σύνολο στοιχείων του δικτύου, όπως την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας, την ρυθμοαπόδοση, το ποσοστό χρησιμοποίησης του δικτύου, το κατά πόσο το σύστημα είναι δίκαιο ή όχι κτλ. Ουσιαστικά ο κάθε δρομολογητής ανταλλάσσει ένα μέρος της δικαιοσύνης (fairness) του δικτύου για χάρη της αυξημένης ρυθμοαπόδοσης. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως γενικά, αντί όλοι οι χρήστες να επιτυγχάνουν τον ίδιο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων (data rate), ο δρομολογητής δείχνει μία προτίμηση (ισχυρή ή ασθενή) στους χρήστες που μπορούν να πετύχουν μεγαλύτερο data rate από τους υπόλοιπους.

### **8.3.1 Δρομολογητής βασισμένος αποκλειστικά στην ποιότητα του καναλιού (C/I scheduler)**

Ο αλγόριθμος C/I (C over I) είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αλγορίθμου που θυσιάζει πλήρως τη δικαιοσύνη του δικτύου ως προς την απόδοση πόρων, ώστε να επιτευχθεί ο μέγιστος δυνατός ρυθμός διέλευσης πακέτων ανά κυψέλη (cell throughput). Είναι αυτονόητο ότι οι χρήστες που έχουν υψηλότερο C/I, μπορούν να επιτύχουν και υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης (data rates). Το σκεπτικό του αλγορίθμου είναι απλό: σε κάθε TTI κατατάσσουμε τους χρήστες σε φθίνουσα σειρά με βάση το C/I που αναφέρουν στο δίκτυο. Κατόπιν δίνουμε προτεραιότητα για μετάδοση δεδομένων στους χρήστες που βρίσκονται στην κορυφή της λίστας. Οι χρήστες αυτοί έχουν προφανώς τον καλύτερο λόγο σήματος προς παρεμβολή και επομένως είναι αυτοί που θα πετύχουν το υψηλότερο data rate. Σε κάθε TTI εξυπηρετείται ο χρήστης με το μεγαλύτερο C/I έως ότου να αδειάσει ο buffer του ή να χρησιμοποιήσει όλους τους πόρους του δικτύου. Όταν τελειώσει ο πρώτος χρήστης, αν έχουν απομείνει πόροι εκχωρούνται στον δεύτερο της λίστας κ.ο.κ. Ο αλγόριθμος αυτός δίνει ιδιαίτερα υψηλή ρυθμοαπόδοση. Γενικά, τα τερματικά που βρίσκονται κοντά στο κέντρο της κυψέλης έχουν καλύτερο σηματοπαρεμβολικό λόγο από αυτά που βρίσκονται πιο μακριά (πάντως μόνο η απόσταση από το κέντρο της κυψέλης δεν είναι ασφαλές κριτήριο για την σύγκριση δύο C/I, καθώς ο σηματοπαρεμβολικός λόγος επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες όπως το fast fading και το shadowing). Με τον δρομολογητή C/I διακινδυνεύουμε την φίμωση των

χρηστών που βρίσκονται στα άκρα της περιοχής κάλυψης της κυψέλης, εξαιτίας του πολύ χαμηλού σηματοπαρεμβολικού τους λόγου.

### **8.3.2 Δρομολογητής Κατανομής Ισόποσου Χρόνου (Fair Time scheduler - FTiS)**

Ο δρομολογητής FTiS διατηρεί μία ισορροπία ανάμεσα στην προσπάθεια για μία δίκαιη κατανομή των πόρων στους χρήστες και στην επιδίωξη για υψηλό ρυθμό διέλευσης. Οι πόροι του δικτύου μοιράζονται στους χρήστες εναλλάξ. Ουσιαστικά πρόκειται για έναν αλγόριθμο που εξυπηρετεί τους χρήστες κυκλικά. Σε όλους τους χρήστες κατανέμονται η ίδια ισχύς και ίσα χρονικά διαστήματα αποστολής δεδομένων. Επομένως τα τερματικά εμφανίζουν τελικά διαφορετικά data rates, αφού οι χρήστες με υψηλότερο C/I μπορούν να πετύχουν καλύτερες ταχύτητες μετάδοσης υπό τις ίδιες προϋποθέσεις. Ο δρομολογητής FTiS μπορεί να υλοποιηθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι να μοιράζονται οι πόροι του δικτύου στους χρήστες στο ίδιο TTI. Ο δεύτερος τρόπος είναι να αποδίδονται οι πόροι του δικτύου σε έναν χρήστη ανά TTI. Στο αμέσως επόμενο TTI ο επόμενος χρήστης της λίστας καταλαμβάνει και χρησιμοποιεί όλους τους διαθέσιμους πόρους. Από πλευράς απόδοσης ο αλγόριθμος αυτός βρίσκεται ενδιάμεσα στον C/I και στον FThS.

### **8.3.3 Δρομολογητής Κατανομής Ισόποσου Ρυθμού Διέλευσης (Fair Throughput scheduler - FThS)**

Ο αλγόριθμος FThS έχει ως στόχο έχει την δίκαιη κατανομή των πόρων του δικτύου ανάμεσα στους χρήστες. Από μία οπτική γωνία θα μπορούσαμε να τον δούμε ως τον αντίστροφο του αλγορίθμου C/I. Ο αλγόριθμος FThS προσπαθεί να πετύχει ίσο data rate για όλα τα κινητά τερματικά. Υπάρχουν δύο δυνατότητες υλοποίησης: βραχυπρόθεσμη ικανοποίηση του στόχου (σε κάθε TTI) ή μακροπρόθεσμη (από 20 έως 100 msec, δηλαδή ανά 10 έως 50 TTI). Στους χρήστες με το χειρότερο C/I αποδίδονται περισσότεροι πόροι από το σύστημα, ώστε να καταφέρουν να επιτύχουν ίδιο data rate με τους χρήστες με καλύτερο C/I. Ο αλγόριθμος αυτός, αν και διατηρεί την δικαιοσύνη (fairness) στο δίκτυο, εν τούτοις δίνει μειωμένο throughput.

### **8.3.4 Δρομολογητής κυκλικής εναλλαγής με προτεραιότητα (Priority Round Robin scheduler - PRR)**

Ο αλγόριθμος PRR έχει ως στόχο να δίνει προτεραιότητα στις video και mpeg συνόδους. Οι πόροι του συστήματος κατανέμονται με έναν αλγόριθμο κυκλικής εναλλαγής στους χρήστες πραγματικού χρόνου (real time users: mpeg και video).



Εφόσον οι buffers αυτών των συνόδων αδειάσουν, οι πόροι που έχουν απομείνει κατανέμονται επίσης με αλγόριθμο κυκλικής εναλλαγής στους υπόλοιπους χρήστες (non real time users - web browsing). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε την άμεση εξυπηρέτηση των τερματικών που εκτελούν συνόδους πραγματικού χρόνου και έχουν συνήθως μεγαλύτερες απαιτήσεις σε bit rate.

### **8.3.5 Δρομολογητής Ποιότητας Υπηρεσίας (Quality of Service scheduler - QoSS)**

Ο αλγόριθμος QoSS αποδίδει τους πόρους του συστήματος στους χρήστες, ορίζοντας σε κάθε TTI σειρά προτεραιότητας για κάθε έναν από αυτούς. Οι χρήστες καταλαμβάνουν τους πόρους ανάλογα με τον αριθμό προτεραιότητάς τους. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δρομολόγησης είναι πλήρως παραμετροποιήσιμος, αφού οι προτεραιότητες υπολογίζονται με βάση ένας πλήθος μεταβλητών, οι οποίες υπεισέρχονται στην εξίσωση υπολογισμού με βάρη. Οι σημαντικές μεταβλητές έχουν μεγάλα βάρη και επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα, ενώ οι υπόλοιπες μεταβλητές επιφέρουν μικρότερες αλλαγές που στόχο έχουν την ορθότερη βαθμονόμηση του συστήματος.

## **9 HIGH SPEED UPLINK PACKET ACCESS (HSUPA)**

Η τεχνολογία HSUPA βασίζεται στο σχήμα πρόσβασης WCDMA, χρησιμοποιεί το σχήμα αμφιδρόμησης FDD και λειτουργεί στην μπάντα IMT-2000 με εύρος ζώνης 5MHz. Η τεχνολογία HSUPA αποτελεί το ανάλογο της τεχνολογίας HSDPA στην ανερχόμενη ζεύξη, επομένως κατ' αντιστοιχία, η χωρητικότητα ενός δικτύου HSUPA εξαρτάται από αντίστοιχους παράγοντες όπως στην περίπτωση του HSDPA. Στην πραγματικότητα, το HSUPA, το οποίο εναλλακτικά αποκαλείται και Enhanced Dedicated Channel (E-DCH), περιγράφει τα πρότυπα μιας ιδιαίτερα αποδοτικής μεθόδου για την αποστολή πληροφοριών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των συσκευών τρίτης γενιάς. Η χρήση του HSUPA θα επιτρέψει την πρόσβαση σε «συμμετρικές» εφαρμογές υψηλής ταχύτητας, όπως υπηρεσίες Voice over Internet Protocol (VoIP) και interactive multimedia, παρέχοντας υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων στο uplink και την περαιτέρω μείωση της καθυστέρησης. Ο συνδυασμός των δύο τεχνολογιών, HSDPA και HSUPA, επιτρέπει την πλήρη αξιοποίηση των υποδομών τρίτης γενιάς των δικτύων κινητής τηλεφωνίας.

Ο πρωταρχικός στόχος εισαγωγής του HSUPA στο 3GPP standard ήταν να αυξήσει την κάλυψη και το συνολικό throughput και ταυτόχρονα να μειώσει τις συνολικές καθυστερήσεις στον ανερχόμενο σύνδεσμο. Τα σημεία κλειδιά για την επιτυχία του HSUPA ήταν η εισαγωγή ενός νέου αφιερωμένου καναλιού στον ανερχόμενο σύνδεσμο με αυξημένη λειτουργικότητα και απόδοση, η χρήση HARQ και το fast scheduling, όπως και στην περίπτωση του HSDPA. Η υλοποίηση του συστήματος στηρίζεται στην υλοποίηση ενός βελτιωμένου αφιερωμένου καναλιού για την ανερχόμενη ζεύξη (E-DCH), ενώ η δυνατότητα ενός χρήστη να μεταδώσει δεδομένα στην ανερχόμενη ζεύξη εξαρτάται από τη διαχείριση των χρηστών (user prioritization, user profile: HSUPA, Release '99 users, voice users, κοκ.). Το HSUPA σύστημα μπορεί να προσφέρει μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στην ανερχόμενη ζεύξη (UL) μέχρι και 5,76 Mbps. Όπως προαναφέρθηκε, η τεχνολογία HSUPA προτυποποιήθηκε αρχικά στην έκδοση 6 του 3GPP στάνταρ, το Δεκέμβριο του 2004. Σε αυτή καθορίστηκε ως μέγιστη θεωρητική ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων κατά την ανοδική ζεύξη τα 5,76Mbps, ενώ κατά τη διάρκεια επιδείξεων της συγκεκριμένης τεχνολογίας έχουν πρακτικά πραγματοποιηθεί μεταφορές δεδομένων με ρυθμούς μεταφοράς που φθάνουν τα 1,4 Mbps.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια επισκόπηση της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται, ο αντίκτυπος για τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύου και το όφελος για τους τελικούς χρήστες. Αναλυτικότερα, νέες υπηρεσίες βασισμένες στο IP Multimedia Subsystem (IMS) είναι πιθανό να επωφεληθούν από τους υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και τις μειωμένες καθυστερήσεις που προσφέρουν τα HSDPA και HSUPA.

## **9.1 Βασικά Χαρακτηριστικά HSUPA Τεχνολογίας**

Σταχυολογώντας, τα βασικότερα χαρακτηριστικά του HSUPA είναι τα ακόλουθα:

- Υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων, μικρότερες χρονικές καθυστερήσεις, πιο αποδοτική χρήση του φάσματος
- Νέο σύστημα προγραμματισμού στο Node B
- HSUPA τερματικά που υποστηρίζουν HSDPA

- Κανάλια παρόμοια με το HSDPA, αλλά χρησιμοποιούν ένα ειδικό, μη διαμοιραζόμενο κανάλι

- Σε αντίθεση με το HSDPA, δεν χρησιμοποιείται το Adaptive Modulation

- Έξι κατηγορίες για το HSUPA σε αντίθεση με τις δώδεκα για το HSDPA. Όπως με το HSDPA, το HSUPA έχει στόχο να αυξήσει την χωρητικότητα μειώνοντας ταυτόχρονα τις καθυστερήσεις. Μια σειρά από βελτιώσεις που έχουν εισαχθεί για να επιτευχθεί αυτό, συμπεριλαμβανομένου και ενός ειδικού uplink καναλιού μεταφοράς (E-DCH), το οποίο λειτουργεί σε συνδυασμό με ένα νέο μηχανισμό προγραμματισμού που βρίσκεται στον κόμβο Β. Όπως με το HSDPA, το HARQ και η χρήση TTI ίσου με 2ms χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν την ταχύτητα του uplink καναλιού. Προσοχή έχει δοθεί στα πρότυπα για τον περιορισμό της πολυπλοκότητας του uplink καναλιού, εξασφαλίζοντας ότι οι πρακτικές εφαρμογές είναι δυνατές. Επίσης, οι βασικότερες αλλαγές στο φυσικό επίπεδο εντοπίζονται στην εισαγωγή ενός ενισχυμένου uplink καναλιού, του E-DCH, ενώ παράλληλα διατηρείται και το κανάλι DCH της Release '99 έκδοσης του 3GPP. Οι ιδιότητες του E-DCH καναλιού μεταφοράς είναι:

- Νέα φυσικά κανάλια: E-DPDCH και E-DPCCH. Πιλοτικά σύμβολα που ανακτώνται από το E-DPCCH χρησιμοποιούνται από τον δέκτη για να βοηθήσουν την αποκωδικοποίηση του E-DPDCH, το οποίο μεταφέρει το EDCH κανάλι μεταφοράς δεδομένων.

- Το E-DPCCH επίσης μεταφέρει το E-TFCI (E-DCH πρότυπο μεταφοράς με συνδυασμό δείκτη), το RSN (retransmission sequence number) και «ένα χαρούμενο» bit, το οποίο χρησιμοποιείται για να δηλώσει αν ο UE είναι ικανοποιημένος με τους πόρους που χορηγούνται.

- Ταχύτητες δεδομένων έως και 5.76Mbps μπορεί να επιτευχθούν με διαφοροποίηση του Spreading Factor και του αριθμού των κωδικών που χρησιμοποιούνται στα κανάλια. • Τόσο 2ms όσο και 10ms TTI είναι διαθέσιμα σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Ένα 2ms TTI επιτρέπει αποδοτικότερο ελέγχου και μεταφορά ενός προσαρμοσμένου μεγέθους block.

- Ένα μπλοκ μεταφορών αποστέλλεται ανά TTI

Σημειώνεται ότι υπάρχει μόνο ένα E-DCH ανά UE, και ότι το DCH περιορίζεται σε 64Kbps όποτε το E-DCH εκκινεί. Σε αντίθεση με το HSDPA, το

HSUPA δεν κάνει χρήση της προσαρμοστικής διαμόρφωσης κωδικοποίησης. Για να υποστηριχθεί το ενισχυμένο uplink κανάλι, εισάγονται τρία νέα downlink κανάλια σηματοδότησης:

- E-HICH - E-DCH HARQ κανάλι δεικτοδότησης. Αυτό το downlink κανάλι φυσικού επιπέδου χρησιμοποιείται από το HARQ για να βεβαιώνει τις E-DCH μεταδόσεις από τον UE.

- E-AGCH - E-DCH Absolute Grant Channel. Αυτό το διαμοιραζόμενο downlink κανάλι φυσικού επιπέδου χρησιμοποιείται για να υποδείξει στον UE πόσα δεδομένα μπορούν να σταλούν στο uplink κανάλι επιτρέποντας να προσδιορίσει το E-DCH TFC (Traffic Format Combination) και τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ.

- E-RGCH - E-DCH Relative Grant Channel. Αυτό το διαμοιραζόμενο downlink κανάλι φυσικού επιπέδου χρησιμοποιείται για να αυξήσει ή να μειώσει τους πόρους του uplink καναλιού σε σύγκριση με αυτούς που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν. Για να καταστεί το uplink κανάλι ανθεκτικό σε λάθη σήματος, μπορεί να ζητηθεί από τον κόμβο Node B αναμετάδοση ελαττωματικών πακέτων, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο HARQ. Αυτός ο μηχανισμός 'stop and wait' στηρίζεται σε βεβαιώσεις/αρνητικές βεβαιώσεις, οι οποίες ανατροφοδοτούν τον UE σχετικά με το νέο E-HICH κανάλι. Το πρωτόκολλο αυτό, που βρίσκεται στο Node B και όχι στο RNC, μπορεί να εξασφαλίσει ταχεία ανάκτηση των χαμένων ή κατεστραμμένων πακέτων.

## 9.2 Πλεονεκτήματα HSPA τεχνολογίας

Ανάμεσα στα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της HSPA τεχνολογίας συγκαταλέγονται τα ακόλουθα:

- **αυξημένες ταχύτητες για τους τελικούς χρήστες.** Με τη χρήση του HSDPA στον κατερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, οι χρήστες μπορούν να λαμβάνουν υπηρεσίες με ρυθμό μετάδοσης θεωρητικά έως και 14,4 Mbps. Παρόλα αυτά, για την επίτευξη αυτής της ταχύτητας απαιτούνται ιδιαίτερα ευνοϊκές συνθήκες, με αποτέλεσμα οι εφικτοί ρυθμοί μετάδοσης να προσεγγίζουν τα 3,6 Mbps. Ακόμα και αυτή η ταχύτητα, ωστόσο, κρίνεται ιδιαίτερα υψηλή συγκριτικά με τα 384 Kbps που παρέχει το παραδοσιακό UMTS. Γίνεται εύκολα αντιληπτό, λοιπόν, ότι επιτυγχάνεται μία αύξηση σχεδόν 10-πλάσια στο συνολικό throughput. Περαιτέρω αύξηση του

ρυθμού μετάδοσης στο HSDPA μπορεί να επιτευχθεί με χρήση τεχνικών όπως το Multiple Input-Multiple Output (MIMO).

- **αυξημένη διαδραστικότητα των υπηρεσιών.** Η υψηλή διαδραστικότητα των υπηρεσιών που παρέχονται μέσω του HSPA οφείλεται κατά κύριο λόγο στον περιορισμό των καθυστερήσεων και στη μικρή round trip καθυστέρηση (της τάξης των 60 ms). Κατά συνέπεια, μπορούν να υποστηριχθούν υπηρεσίες video ή και multi-user gaming με αυξημένη απόδοση σε πραγματικό χρόνο.

- **υψηλή χωρητικότητα του δικτύου προς όφελος κυρίως των παρόχων.** Με τη χρήση της τεχνολογίας HSPA γίνεται πιο αποδοτική εκμετάλλευση του φάσματος στο δίκτυο πρόσβασης. Μάλιστα, η βελτίωση είναι τόσο σημαντική αφού μελέτες αποδεικνύουν ότι η χωρητικότητα στο εύρος ζώνης των 5 MHz του UMTS γίνεται 5 φορές μεγαλύτερη με την αναβάθμιση στην HSDPA τεχνολογία. Η μείωση των καθυστερήσεων μετάδοσης παράλληλα με τις αυξημένες πλέον ταχύτητες μετάδοσης στο ασύρματο μέσο μεταφράζονται στην δυνατότητα παροχής μίας μεγάλης γκάμας πολυμεσικών εφαρμογών. Αναλυτικότερα, οι υπηρεσίες που μπορούν να μεταδοθούν μέσω της τεχνολογίας HSPA περιγράφονται στην επόμενη ενότητα.

### 9.3 Υπηρεσίες στην HSPA τεχνολογία

Όπως γίνεται κατανοητό από τις παραπάνω ενότητες, οι δύο τεχνολογίες HSDPA και HSUPA αλληλοσυμπληρώνονται ώστε να βελτιώσουν την προσφερόμενη ποιότητα υπηρεσίας για εφαρμογές με απαιτήσεις σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και μειωμένο latency τόσο στην κατερχόμενη όσο και στην ανερχόμενη ζεύξη. Κατά συνέπεια, οι κινητοί χρήστες έχουν πλέον την ικανότητα να απολαμβάνουν υπηρεσίες που μέχρι τώρα παρέχονταν μόνο σε χρήστες με ενσύρματη ευρυζωνική σύνδεση. Ειδικότερα, μετά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης των τεχνολογιών HSDPA και HSUPA, οι δύο τεχνολογίες αναμένεται να αποτελέσουν και πρακτικά – εκτός από θεωρητικά- ένα σύστημα το HSPA το οποίο θα επιτρέπει την ευρυζωνική πρόσβαση σε κινητούς χρήστες με ταχύτητες της τάξης των 14,4Mbps στην κατερχόμενη και 5,76Mbps στην ανερχόμενη ζεύξη και σημαντικά μικρότερο latency συγκριτικά με το UMTS. Πιο συγκεκριμένα, οι κατηγορίες υπηρεσιών που μπορούν να υποστηριχθούν είναι κυρίως:

- Βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort)

- Παρασκηνίου (Background)
- Διαδραστικές (Interactive) και
- Ροοθήκευσης (Streaming).

Οι υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort), και παρασκηνίου (Background), βελτιώνονται κυρίως μέσω της τεχνολογίας HSDPA, ενώ οι διαδραστικές υπηρεσίες οι οποίες απαιτούν εκτός από υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και χαμηλό latency τόσο στην ανερχόμενη όσο και στην κατερχόμενη ζεύξη βελτιώνονται κυρίως μέσω της τεχνολογίας HSUPA. Μερικά παραδείγματα ψηφιακών εφαρμογών και ψηφιακού περιεχομένου τα οποία μπορούν να υποστηριχθούν μέσω της τεχνολογίας HSDPA/HSUPA είναι:

- Πλοήγηση στο ψηφιακό περιεχόμενο του διαδικτύου (Internet, downloads) και δυνατότητα τοπικής αποθήκευσή του (download), ανεξάρτητα από τον τύπο του - θέαση και αποθήκευση στατικού περιεχομένου, αρχείων κειμένου, πολυμεσικού περιεχομένου (multimedia downloads, video clips) κοκ.

- Υπηρεσίες μεταφοράς/διαμοιρασμού αρχείων οποιουδήποτε ψηφιακού τύπου περιεχομένου (file sharing/ftp, P2P, remote surveillance, βίντεο κατ' απαίτηση (VoD), video/MP3 streaming)

- Υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (κατάλληλο για αποστολή (HSUPA)/λήψη (HSDPA) μεγάλων επισυναπτόμενων αρχείων)

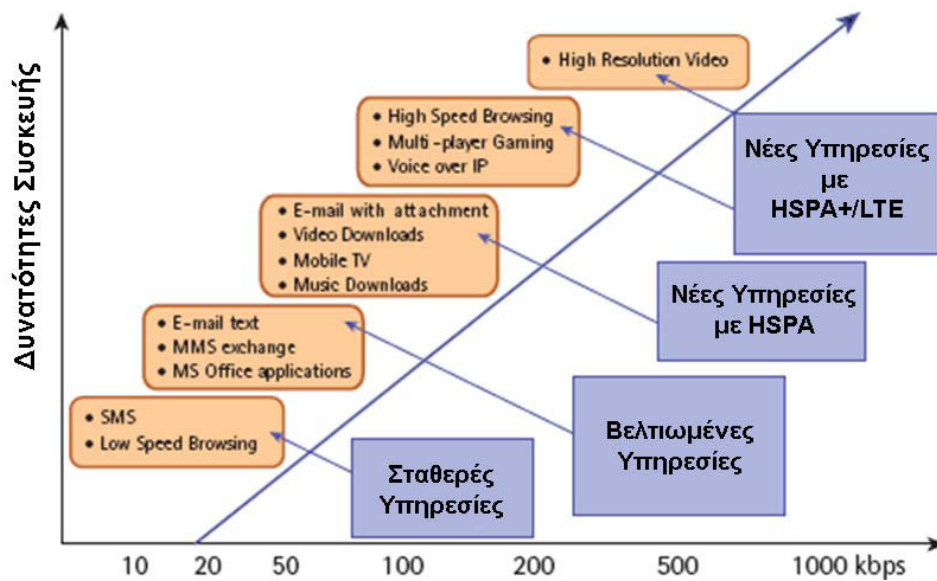
- Υπηρεσίες τοπικών δικτύων (Intranet)

- Video telephony και video conferencing για κινητούς χρήστες

- Αποστολή/Λήψη απλών και πολυμεσικών μηνυμάτων (instant messaging, SMS, MMS, video /audio MMS)

- Διαδραστικέςεφαρμογές (π.χ. online/interactive gaming, televoting)

Σχηματικά, η επίδραση της HSPA τεχνολογίας στις προσφερόμενες υπηρεσίες προς τους κινητούς χρήστες απεικονίζονται στην Εικόνα 22.



Εικόνα 22. Υπηρεσίες με τη χρήση HSPA τεχνολογίας

#### 9.4 HSPA +: Γενικά χαρακτηριστικά

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ήδη μελετώνται περαιτέρω δυνατότητες αναβάθμισης της ίδιας της HSPA τεχνολογίας από το 3GPP, κατά κύριο λόγο προς τον τομέα της βελτιστοποίησης του ασύρματου μέσου μετάδοσης. Όλες αυτές οι προσπάθειες αναβάθμισης προσδιορίζονται από την ορολογία HSPA+. Η τεχνολογία HSPA+ είναι ουσιαστικά μια εξέλιξη του συστήματος HSPA και αποτελεί μέρος της έκδοσης 7 (Release 7) της 3GPP. Αναπτύχθηκε με σκοπό:

- την αποδοτικότερη χρήση των πόρων του συστήματος HSPA, κυρίως στο δίκτυο κορμού μέσω της πλήρους διανομής υπηρεσιών μέσω του packet-switched (PS) τομέα, βελτιώνοντας ταυτόχρονα την ποιότητα των υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων,
- την περαιτέρω αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες,
- την αποτελεσματική μείωση του latency.

Οι βασικές προσεγγίσεις προς την κατεύθυνση αυτή είναι η χρήση της τεχνολογίας MIMO και η χρήση 64 QAM κωδικοποίησης. Η MIMO τεχνική απαιτεί επιπρόσθετες κεραιές λήψης (συστοιχία κεραιών) καθώς και επιπλέον κεραιές μετάδοσης στους σταθμούς βάσης. Παράλληλα, η εφαρμογή 64 QAM κωδικοποίησης

αναμένεται να αυξήσει σημαντικά τους ρυθμούς μετάδοσης υπό την προϋπόθεση ότι επικρατούν πολύ καλές συνθήκες μετάδοσης. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία αυτή αναμένεται να προσφέρει μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 28Mbps για την κατερχόμενη ζεύξη και των 11,5Mbps για την ανερχόμενη ζεύξη στα 5MHz εύρους ζώνης (χρησιμοποιώντας 2x2 MIMO σχήμα και διαμόρφωση 16QAM). Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης για την κάτω ζεύξη μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 42Mbps ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της υλοποίησης (χρήση υψηλότερης τάξης διαμόρφωση 64QAM). Όπως προαναφέρθηκε, η τεχνολογία HSPA+ αναπτύχθηκε με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων, και την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες, επιτρέποντας την υποστήριξη και ανάπτυξη ενός μεγάλου συνόλου ψηφιακών υπηρεσιών. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία HSPA+ δεν φαίνεται να εισάγει κάποια καινούργια «Killer Application», καθώς ουσιαστικά παρέχει βελτιωμένη ποιότητα (υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, μικρότερο latency) για τις υπηρεσίες που υποστηρίζονται από την τεχνολογία HSPA. Ωστόσο, δύναται επιπρόσθετα να υποστηρίξει:

- Διαδραστικές υπηρεσίες, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι υπηρεσίες διαδικτυακών αγορών (on-line shopping (π.χ., αγορών CD ή καταφόρτωσης ήχων κλήσης κατά τη διάρκεια ευρυεκπομπής ενός μουσικού video clip)), τηλεψηφοφορίες, αποστολή μηνυμάτων, φωνητικών κλήσεων, κ.α.

- Διαδραστικά παιχνίδια (multiplayer interactive/ online gaming)

- Προσωποποιημένες υπηρεσίες/εφαρμογές, όπως για παράδειγμα η διαμόρφωση προγραμμάτων με εμπλουτισμένο ψηφιακό περιεχόμενο –καιρός, νέα, σαπουνόπερες, μουσική, κοκ.– βασισμένα στο προφίλ του κάθε χρήστη

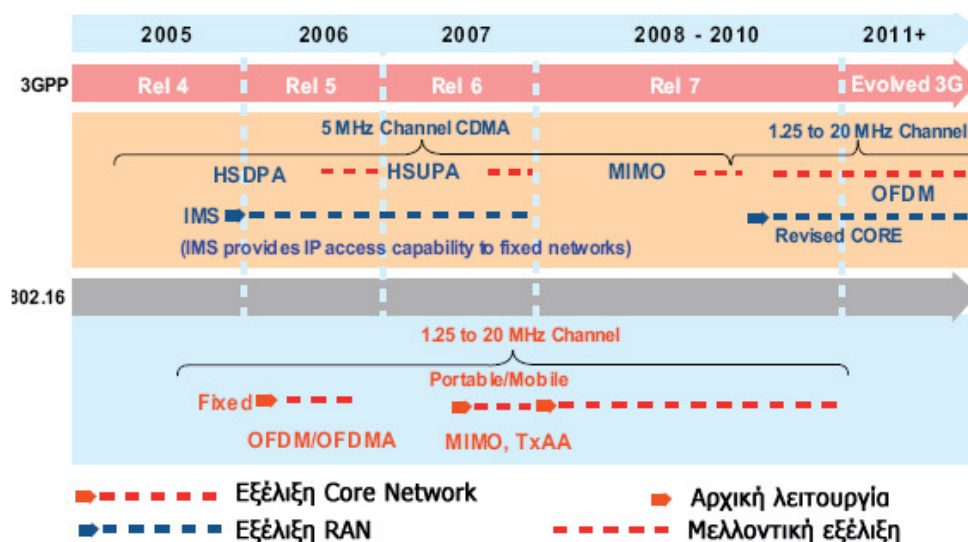
Η τεχνολογία HSPA+ μέσω της αξιοποίησης της τεχνολογίας MBMS δύναται επιπρόσθετα να εξυπηρετήσει και υπηρεσίες πολυεκπομπής.

## **10 3GPP LONG TERM EVOLUTION (LTE)**

Παρά το γεγονός ότι οι τεχνολογίες HSPA και HSPA+ αναμένονται να προσφέρουν τη δυνατότητα παροχής πληθώρας ευρυζωνικών υπηρεσιών, το 3GPP ήδη μελετά και επεξεργάζεται νέες τεχνολογίες που θα επικρατήσουν την αμέσως



επόμενη δεκαετία στην αγορά των κινητών επικοινωνιών. Το νέο αυτό project αποκαλείται Long Term Evolution (LTE) και στοχεύει στην επίτευξη ακόμη υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης σε συνδυασμό με την αξιοποίηση μεγαλύτερου εύρους ζώνης. Κύρια προοπτική του LTE αποτελεί η διασφάλιση της ανταγωνιστικότητας και η επικράτηση του προτύπου στο χρονικό ορίζοντα της επόμενης δεκαετίας. Η φάση προτυποποίησης του LTE βρίσκεται ήδη σε εξέλιξη και αποτελεί μέρος της έκδοσης 8 (Release 8) του 3GPP standard . Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι το «αντίπαλο» πρότυπο που ανταγωνίζεται το LTE είναι το Mobile WiMAX. Το LTE ήδη γνωρίζει έντονη ερευνητική δραστηριότητα και αναμένεται να λειτουργήσει στην αγορά σταδιακά, ξεκινώντας γύρω στο 2010. Γραφικά, η χρονική εξέλιξη των δύο ανταγωνιστικών προτύπων (3GPP και 802.16) απεικονίζεται στην Εικόνα 23.



Εικόνα 23. Η εξέλιξη των κινητών ευρυζωνικών standards LTE και WiMAX

## 10.1 Απαιτήσεις για το LTE

Το LTE εστιάζει αποκλειστικά στη βελτιστοποίηση υποστήριξης και μετάδοσης packet-switched εφαρμογών, όπως είναι οι πολυμεσικές εφαρμογές. Επίσης, θέτει πολύ υψηλούς και φιλόδοξους στόχους προκειμένου να ξεπεράσει τα όρια των 14.4 Mbps και 5.8 Mbps που επιτυγχάνονται στο HSDPA και HSUPA αντίστοιχα. Οι βασικότερες απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί το πρότυπο LTE σταχυολογούνται στη συνέχεια :

- **Εύρος Ζώνης:** Κλιμακωτή χρήση φάσματος εύρους ζώνης της τάξης των 5, 10, 15 και 20 MHz. Επίσης, μπορεί να γίνει και χρήση εύρους ζώνης μικρότερου των 5 MHz (1.5 MHz και 2.5 MHz) για επιπλέον ευελιξία.

- **Ρυθμοί Μετάδοσης:** Επίτευξη μέγιστων ρυθμών μετάδοσης της τάξης των 100 Mbps στον κατερχόμενο σύνδεσμο και 50 Mbps στον ανερχόμενο σύνδεσμο για εύρος ζώνης ίσο με 20 MHz.

- **Mode Λειτουργίας:** Λειτουργία του LTE τόσο σε FDD όσο και TDD mode.

- **Throughput:** Επίτευξη 3-4 φορές μεγαλύτερου μέσου throughput χρήστη ανά MHz στον κατερχόμενο σύνδεσμο και αντίστοιχα 2-3 φορές μεγαλύτερου για τον ανερχόμενο σύνδεσμο συγκριτικά με τις εκδόσεις 6 και 7 του 3GPP στάνταρ (HSDPA και HSUPA).

- **Αποδοτικότητα φάσματος:** Επίτευξη 2-3 φορές μεγαλύτερης αποδοτικότητας φάσματος σε σχέση με την έκδοση 6 του 3GPP στάνταρ (HSDPA).

- **Καθυστέρηση:** Σημαντική μείωση της round-trip καθυστέρησης από το χρήστη έως το σταθμό βάσης στα 5ms-10ms.

- **Κινητικότητα:** Δυνατότητα βέλτιστης λειτουργίας του συστήματος για χαμηλές ταχύτητες κίνησης των χρηστών (0-15 χλμ/ώρα) καθώς και δυνατότητα υποστήριξης χρηστών που κινούνται σε πολύ υψηλές ταχύτητες.

- **Διαλειτουργικότητα:** Δυνατότητα ταυτόχρονης λειτουργίας με μη-3GPP πρότυπα επικοινωνιών καθώς και με τα υπάρχοντα UTRAN/GERAN συστήματα κινητών επικοινωνιών. Επίσης, υποστήριξη δυνατότητας handover από και προς τα συστήματα αυτά.

- **Ποιότητα Υπηρεσίας:** Υποστήριξη από άκρο σε άκρο ποιότητας υπηρεσίας (QoS), για την υποστήριξη απαιτητικών σε QoS υπηρεσιών όπως είναι οι VoIP εφαρμογές.

## 10.2 Βασικές Τεχνικές Μετάδοσης Πληροφορίας στο LTE

Για την επίτευξη των παραπάνω απαιτήσεων είναι προφανές ότι το LTE πρέπει να βασιστεί σε βέλτιστες τεχνολογίες μετάδοσης πληροφορίας στο ασύρματο τμήμα του δικτύου πρόσβασης. Μία από τις κύριες τεχνολογίες αυτές που υιοθετεί το LTE είναι το OFDM. Κύριος λόγος υιοθέτησης του OFDM ως μοντέλου

διαμόρφωσης για το LTE είναι η μεγάλη αντοχή που επιδεικνύει σε περιβάλλοντα εξασθένισης σήματος και παρεμβολών. Ειδικότερα, για την περίπτωση της μετάδοσης δεδομένων στον κατερχόμενο σύνδεσμο, η OFDM τεχνολογία διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο, και είναι αυτή που προτείνεται από το 3GPP ως η πλέον κατάλληλη τεχνική. Η OFDM αποτελεί μία εξ'ολοκλήρου ψηφιακή προσέγγιση πολυπλεξίας πληροφορίας, η οποία κάνει χρήση του Fast Fourier Transform (FFT) για να διαχωρίσει το σήμα σε μικρού εύρου ζώνησεπικαλυπτόμενα κανάλια. Τα κανάλια αυτά χαρακτηρίζονται από την κοινή ιδιότητα της μεταξύ τους ορθογωνιότητας, γεγονός που οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση φάσματος. Παράλληλα, για τον ανερχόμενο σύνδεσμο, στο LTE προτείνεται η χρήση της τεχνολογίας Single Carrier OFDM (SC-OFDM). Στο σημείο αυτό, το LTE διαφοροποιείται από το πρότυπο WiMAX, το οποίο χρησιμοποιεί την OFDMA τεχνική για τον ανερχόμενο σύνδεσμο. Η OFDMA τεχνική, παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματά της, μπορεί να αποβεί ανασταλτικός παράγοντας για τη μπαταρία των κινητών συσκευών των χρηστών, καθώς απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ισχύος. Για το λόγο αυτό, στο LTE υιοθετείται η SC-OFDM τεχνική. Η SC-OFDM τεχνική παρουσιάζει ιδιαίτερα καλή απόδοση, αφού έχει και πολύ υψηλό λόγο Peak-to-Average Ratio (PAR) σήματος. Ο λόγος PAR είναι πολύ κρίσιμη μετρική για το uplink, και σχετίζεται άμεσα με την κατανάλωση ισχύος. Επιπλέον, η SC-OFDM τεχνική επιτρέπει υψηλή απόδοση και μικρή πολυπλοκότητα υλοποίησης της κεραίας του σταθμού βάσης. Εν γένει, η SC-OFDM τεχνική επιφέρει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης στο uplink, κυρίως όταν ο χρήστης βρίσκεται κοντά στο σταθμό βάσης. Τέλος, μια ακόμη τεχνολογία που υπόσχεται ακόμη μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, αυξημένη κάλυψη δικτύου και χωρητικότητα στο LTE είναι η MIMO τεχνική. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία MIMO συνίσταται στην ύπαρξη πολλαπλών κεραιών (κεραιοσυστημάτων) τόσο στον πομπό-σταθμό βάσης όσο και στο δέκτη-συσκευή του χρήστη. Για την περίπτωση του LTE, σε πρώτη φάση η ύπαρξη MIMO κεραιοσυστημάτων 2x2 (δύο κεραίες στο σταθμό βάσης και δύο κεραίες στη συσκευή του χρήστη) θεωρείται απαραίτητο στοιχείο για την επίτευξη υψηλής απόδοσης. Σε μεταγενέστερη φάση ανάπτυξης είναι δυνατόν να γίνει χρήση συστημάτων MIMO 4x4. Στο MIMO διακρίνουμε δύο διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας. Το Spatial Multiplexing (στο οποίο η πληροφορία διαχωρίζεται σε stream τα οποία μεταδίδονται ταυτόχρονα σε διαφορετικές κεραίες) και το Transmit Diversity.

### 10.3 Υπηρεσίες στο LTE

Η τεχνολογία LTE επιτρέπει τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων, και την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες. Μέσω της εξέλιξης της τεχνολογίας MBMS σε enhanced MBMS επιτρέπει και την παροχή υπηρεσιών ευρυεκπομπής ψηφιακού περιεχομένου, ταυτόχρονα με τις υπηρεσίες δεδομένων, πιο αποδοτικά και με περισσότερες δυνατότητες όσον αφορά στη χωρητικότητα και στον αριθμό των προσφερόμενων καναλιών ευρυεκπομπής. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία LTE ουσιαστικά παρέχει βελτιωμένη ποιότητα (υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, μικρότερο latency) για τις υπηρεσίες που υποστηρίζονται από την τεχνολογία HSPA+, και δύναται επιπρόσθετα να υποστηρίξει μέσω της τεχνολογίας enhanced MBMS:

- Μετάδοση υψηλής ποιότητας περιεχομένου σε πραγματικό χρόνο – Υπηρεσίες ροοθήκευσης ήχου και εικόνας (Video and Audio stream services): τηλεόραση, ραδιόφωνο. Το μεταδιδόμενο περιεχόμενο μπορεί να μεταφέρεται σε πραγματικό χρόνο ή να είναι αποθηκευμένο και να αναμεταδίδεται, και

- Υπηρεσίες παρεχόμενες/διαφοροποιούμενες ανά εντοπισμένη περιοχή εξυπηρέτησης (Localized services) - δυνατότητα συνδυασμού εθνικών και τοπικών προγραμμάτων τηλεόρασης ή άλλου περιεχομένου ευρυεκπομπής ανά γεωγραφική περιοχή, ευρυεκπομπή τουριστικού περιεχομένου (video-clips, διαφημίσεις) με πληροφορίες για φεστιβάλ, εστιατόρια, ξενοδοχεία, μουσεία κ.ο.κ.

## 11 ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ MOBILE INTERNET

Σαν πειραματικό μέρος της εργασίας αυτής, θα παρουσιαστούν κάποιες μετρήσεις που έχουν γίνει αναφορικά με τα δίκτυα της Cosmote, τόσο για UMTS όσο και για GSM.

Οι μετρήσεις αυτές αφορούν τρεις περιοχές της Ελλάδος:

- Κατερίνη
- Λάρισα
- Αθήνα

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών. Αρχικά όμως, δίνονται κάποιες βασικές πληροφορίες σχετικά με τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν και την μορφή των αποτελεσμάτων που θα παρουσιαστούν.

### 11.1 Βασικά εργαλεία – μορφή αποτελεσμάτων

Για τις μετρήσεις που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε το field test της Nokia για κινητό symbian s60 3rd edition και το πρόγραμμα celltrack.

Με τη βοήθεια του παραπάνω λογισμικού, είναι δυνατόν να ληφθούν αποτελέσματα σχετικά με τα παρακάτω:

- κωδικός LAI, που δείχνει το δίκτυο στο οποίο είναι συνδεδεμένο το τηλέφωνο
- κωδικός LAC που είναι της περιοχής στην οποία γίνεται η μέτρηση.
- Cellid που δίνει πληροφορία σχετικά με τον κωδικό της κυψέλης που είναι συνδεδεμένη η συσκευή καθώς και για τη συχνότητα στην οποία είναι συνδεδεμένη (900 MHz για άλλους παρόχους, 1800 MHz για την Cosmote).
- Freqch. Πρόκειται για το κανάλι στο οποίο είναι συνδεδεμένη η συσκευή, και περιέχει και πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της

συσκευής (παραδείγματος χάριν, η ένδειξη CCCH δείχνει ότι η συσκευή είναι σε κατάσταση αναμονής. Σε περίπτωση που στην περιοχή υπήρχε εκπομπή κυψέλης η ένδειξη του συστήματος θα ήταν CBCH).

- RxI/RQ: Σε αυτό το πεδίο φαίνεται η ισχύς του σήματος της εκάστοτε συσκευής. Όσο πιο μεγάλο είναι τόσο καλύτερη ποιότητα σήματος έχουμε.
- Tx/Ta: Πρόκειται για δεδομένα που σχετίζονται με παραμέτρους κατά την διάρκεια της κλήσης.
- Gat/Edge: Είναι το πεδίο που δείχνει την διαθέσιμη σύνδεση για την συσκευή. Για παράδειγμα, η ένδειξη G δείχνει πως υπάρχει διαθέσιμη σύνδεση gprs.
- BTSTEST: Πρόκειται για ένα πεδίο μέσα από το οποίο είναι δυνατόν να μπουν χειροκίνητα διάφορα κανάλια και να ελεγχθούν από την συσκευή.
- TxPw: Είναι το πεδίο που δείχνει την ισχύ την οποία εκπέμπει το κανάλι
- Ta: Το πεδίο αυτό δείχνει την απόσταση της συσκευής από την κεραία, με διακριτές τιμές. Η τιμή 0 αντιστοιχεί σε απόσταση από 0 – 550 μέτρα από την κεραία. Αντίθετα, η τιμή 1 αντιστοιχεί σε απόσταση μεταξύ 550 – 1100 μέτρα. κ.τ.λ.

Πέρα από τα παραπάνω, το συγκεκριμένο λογισμικό δίνει τη δυνατότητα να παρέχεται πληροφορία και για όλα τα γειτονικά κανάλια με την ισχύ του σήματος τους.

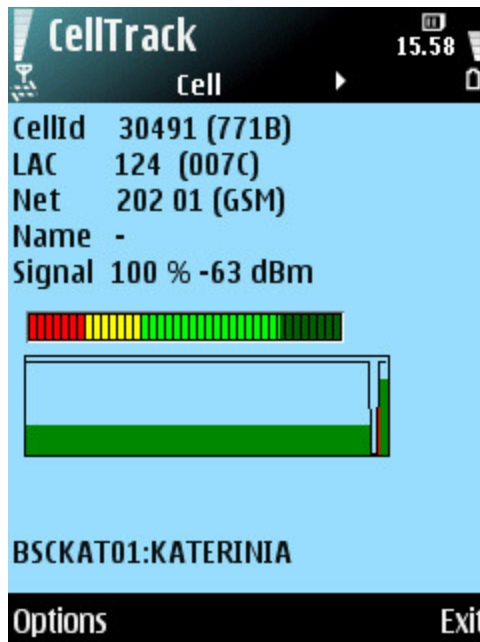
Τέλος, είναι δυνατόν να λαμβάνονται τα cell id, lac, net, name (το οποίο αν μας παρείχε το δίκτυο την πληροφορία κυψέλης) και την ισχύ του σήματος με διάγραμμα.



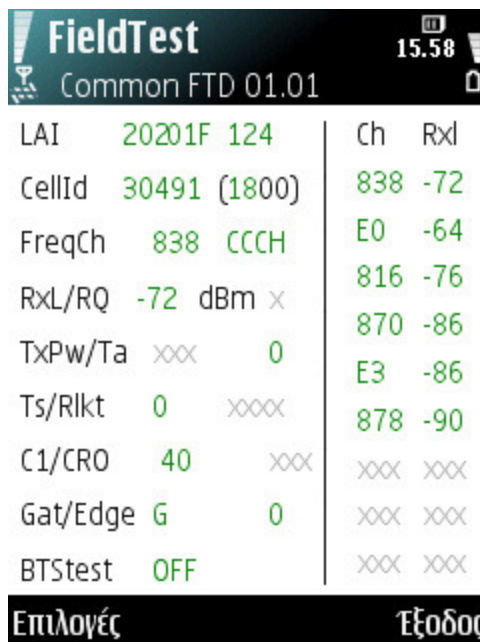
		συνδεδεμένοι και ότι είμαστε συνδεδεμένοι σε κανάλι των 1800Mhz.
Freqch	838	το κανάλι που είμαστε συνδεδεμένοι και
	CCCH	είμαστε σε κατάσταση αναμονής
RxI/RQ	-72	είναι η ισχύς του σήματος μας. Όσο πιο μεγάλο είναι τόσο καλύτερη ποιότητα σήματος έχουμε. Η μέτρηση είναι σε dB
Tx/Ta		
Gat/Edge	G	έχουμε διαθέσιμη σύνδεση gprs
BTSTEST	OFF	
TxPw	0	ισχύς που εκπέμπει το κανάλι
Ta	0	0 – 550 μέτρα απόσταση από την κεραία

Αντίστοιχα, οι επόμενες εικόνες δείχνουν την απόκριση του λογισμικού για την συγκεκριμένη μέτρηση.





Εικόνα 24. Μετρήσεις Κατερίνη, 1<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού



Εικόνα 25. Μετρήσεις Κατερίνη, 2<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού

FieldTest		15.58
Common FTD 01.02		
CellId	30491 (1800)	Ch Rxl
FreqCh	838 CCCH	838 -72
RxLevel	-72 dBm	E0 -65
EDGEsupport	0	816 -81
GPRSattach	G	E3 -84
TS DL/UL	x + x	870 -88
GPRS CS	x ↓ x ↑	763 -90
EDGE MCS	x ↓ x ↑	xxx xxx
BTS test	OFF	xxx xxx

Επιλογές Έξοδος

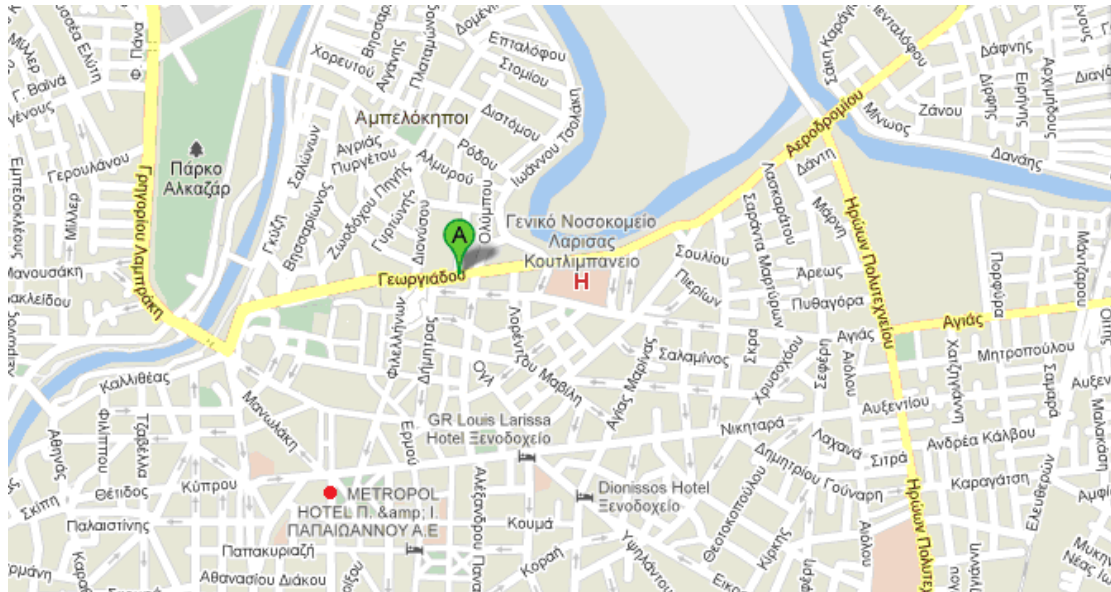
Εικόνα 26. Μετρήσεις Κατερίνη, 3<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού

FieldTest		15.58
Common FTD 01.03		
CGI	20201F 124 30491 (1800)	
	CH: C1: RX: C2: LA Prio	
S	838 38 -72 38	
N1	E0 44 -67 30 N	
N2	816 29 -82 29 N	
N3	E3 29 -82 15 N	
N4	763 22 -89 22 N	
N5	870 21 -90 21 N	
N6	xxx xxx xxx xxx	
N7	xxx xxx xxx xxx	
N8	xxx xxx xxx xxx	
	BTS test OFF	

Επιλογές Έξοδος

Εικόνα 27. Μετρήσεις Κατερίνη, 4<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού

### 11.3 Μετρήσεις στην περιοχή της Λάρισας



**Εικόνα 28. Χάρτης της περιοχής στην οποία έγιναν οι μετρήσεις, στην πόλη της Κατερίνης.**

Στην Εικόνα 28, φαίνεται το σημείο στις περιοχές της Λάρισας στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια. Πρόκειται για το σημείο όπου βρίσκονται τα ΚΤΕΛ της Λάρισας.

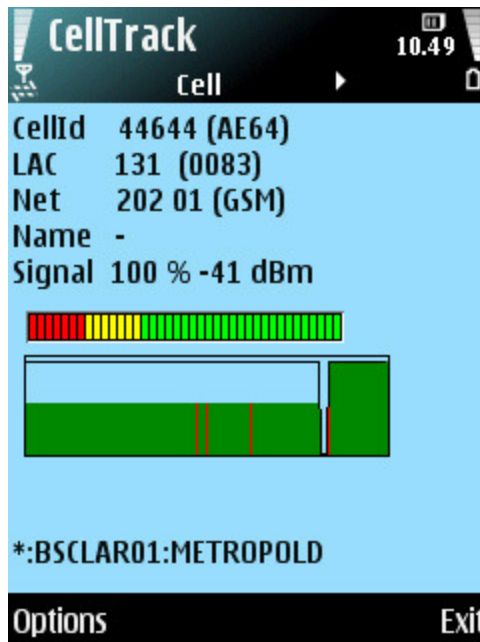
Στον πίνακα που ακολουθεί, συνοψίζονται τα σημαντικότερα αποτελέσματα των μετρήσεων για κάθε πεδίο και η σημασία του.

**Πίνακας 3: Σύνοψη αποτελεσμάτων μετρήσεων στην περιοχή της Λάρισας**

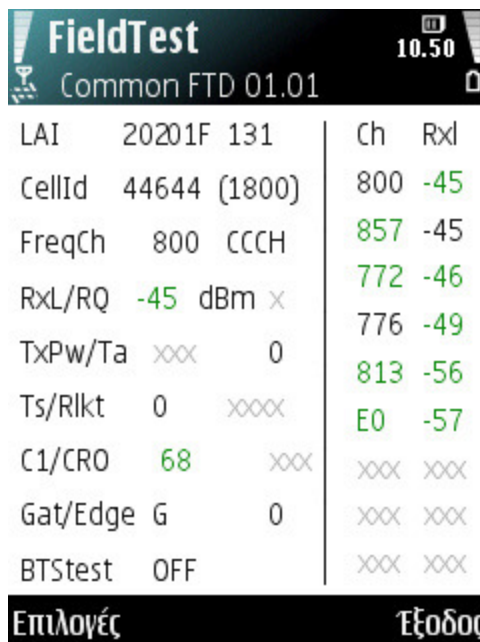
Δείκτης	Ένδειξη	Σημασία
LAI	20201F	ότι είμαστε συνδεδεμένοι στο δίκτυο της Cosmote
LAC	124131	είναι της περιοχής
Cellid	44644	είναι ο κωδικός της κυψέλης που είμαστε συνδεδεμένοι και ότι

		είμαστε συνδεδεμένοι σε κανάλι των 1800Mhz.
Freqch	800	το κανάλι που είμαστε συνδεδεμένοι και
	CCCH	είμαστε σε κατάσταση αναμονής
RxI/RQ	-45	είναι η ισχύς του σήματος μας. Όσο πιο μεγάλο είναι τόσο καλύτερη ποιότητα σήματος έχουμε. Η μέτρηση είναι σε dB
Tx/Ta		
Gat/Edge	G	έχουμε διαθέσιμη σύνδεση gprs
BTSTEST	OFF	
TxPw	0	ισχύς που εκπέμπει το κανάλι
Ta	0	0 – 550 μέτρα απόσταση από την κεραία

Αντίστοιχα, οι επόμενες εικόνες δείχνουν την απόκριση του λογισμικού για την συγκεκριμένη μέτρηση.



Εικόνα 29. Μετρήσεις Λάρισα, 1<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού



Εικόνα 30. Μετρήσεις Λάρισα, 2<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού

FieldTest		10.50	
Common FTD 01.02			
CellId	44644 (1800)	Ch	Rxl
FreqCh	800 CCCH	800	-46
RxLevel	-46 dBm	857	-44
EDGEsupport	0	772	-45
GPRSattach	G	776	-50
TS DL/UL	x + x	E0	-57
GPRS CS	x ↓ x ↑	813	-59
EDGE MCS	x ↓ x ↑	xxx	xxx
BTS test	OFF	xxx	xxx

Επιλογές Έξοδος

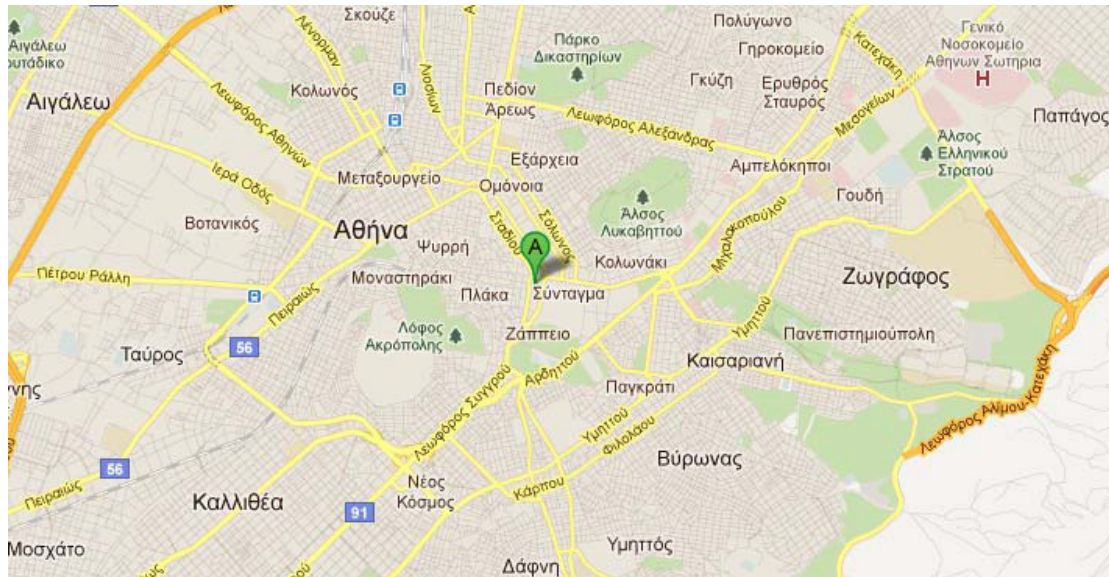
Εικόνα 31. Μετρήσεις Λάρισα, 3<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού

FieldTest		10.50	
Common FTD 01.03			
CGI	20201F 131 44644 (1800)		
	CH: C1: RX: C2: LA Prio		
S	800 64 -51 64		
N1	857 67 -44 67	N	
N2	772 66 -46 66	N	
N3	776 61 -51 77	N	
N4	E0 54 -59 40	N	
N5	763 49 -62 49	N	
N6	xxx xxx xxx xxx		
N7	xxx xxx xxx xxx		
N8	xxx xxx xxx xxx		
	BTS test OFF		

Επιλογές Έξοδος

Εικόνα 32. Μετρήσεις Λάρισα, 4<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού

## 11.4 Μετρήσεις στην περιοχή της Αθήνας



**Εικόνα 33.** Χάρτης της περιοχής στην οποία έγιναν οι μετρήσεις, στην πόλη της Αθήνας.

Στην Εικόνα 33, φαίνεται το σημείο στις περιοχές της Αθήνας στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια. Πρόκειται για σημείο στην πλατεία Συντάγματος

Στον πίνακα που ακολουθεί, συνοψίζονται τα σημαντικότερα αποτελέσματα των μετρήσεων για κάθε πεδίο και η σημασία του.

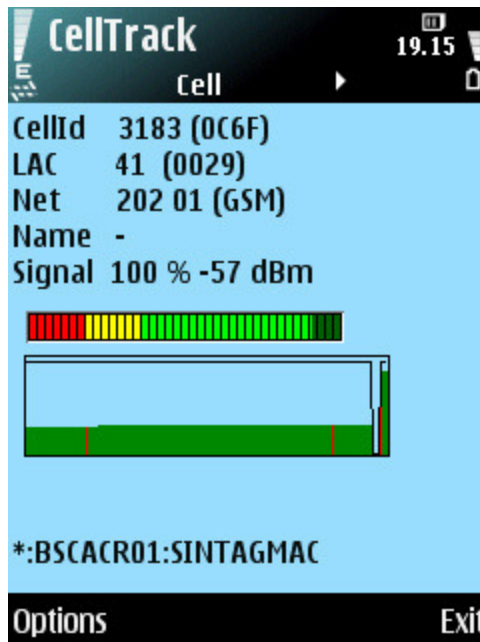
**Πίνακας 4:** Σύνοψη αποτελεσμάτων μετρήσεων στην περιοχή της Λάρισας

Δείκτης	Ένδειξη	Σημασία
LAI	20201F	ότι είμαστε συνδεδεμένοι στο δίκτυο της Cosmote
LAC	41	είναι της περιοχής
Cellid	3183	είναι ο κωδικός της κυψέλης που είμαστε συνδεδεμένοι και ότι

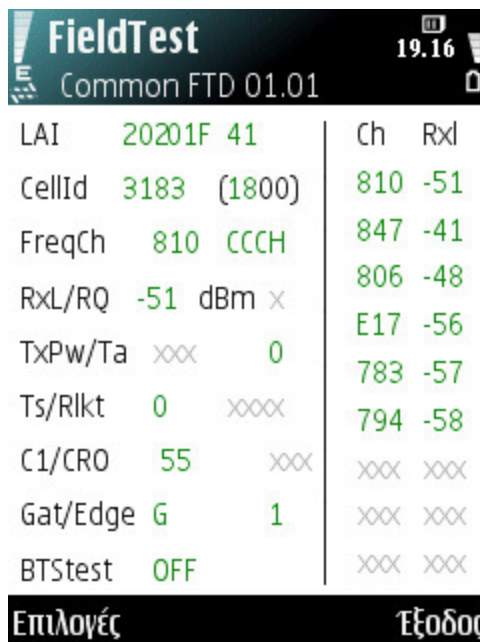
		είμαστε συνδεδεμένοι σε κανάλι των 1800Mhz.
Freqch	810	το κανάλι που είμαστε συνδεδεμένοι και
	CCCH	είμαστε σε κατάσταση αναμονής
RxI/RQ	-51	είναι η ισχύς του σήματος μας. Όσο πιο μεγάλο είναι τόσο καλύτερη ποιότητα σήματος έχουμε. Η μέτρηση είναι σε dB
Tx/Ta		
Gat/Edge	G	έχουμε διαθέσιμη σύνδεση gprs
BTSTEST	OFF	
TxPw	0	ισχύς που εκπέμπει το κανάλι
Ta	0	0 – 550 μέτρα απόσταση από την κεραία

Αντίστοιχα, οι επόμενες εικόνες δείχνουν την απόκριση του λογισμικού για την συγκεκριμένη μέτρηση.





Εικόνα 34. Μετρήσεις Αθήνα, 1<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού



Εικόνα 35. Μετρήσεις Αθήνα, 2<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού

FieldTest				19.16	
Common FTD 01.02					
CellId	3183	(1800)	Ch	Rxl	
FreqCh	810	CCCH	810	-49	
RxLevel	-49	dBm	847	-42	
EDGEsupport	1		806	-48	
GPRSattach	G		794	-57	
TS DL/UL	x	+ x	783	-57	
GPRS CS	x	↓ x	E17	-58	
EDGE MCS	x	↓ x	xxx	xxx	
BTS test	OFF		xxx	xxx	
Επιλογές			Έξοδος		

Εικόνα 36. Μετρήσεις Αθήνα, 3<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού

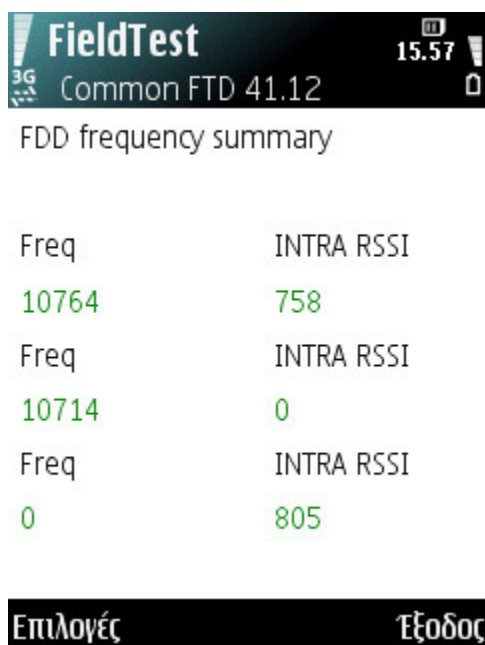
FieldTest				19.16	
Common FTD 01.03					
CGI	20201F	41	3183	(1800)	
	CH:	C1:	RX:	C2:	LA Prio
S	810	61	-55	61	
N1	847	69	-42	27	N
N2	806	63	-48	21	N
N3	794	54	-55	54	N
N4	783	54	-58	20	N
N5	E17	53	-59	39	N
N6	xxx	xxx	xxx	xxx	
N7	xxx	xxx	xxx	xxx	
N8	xxx	xxx	xxx	xxx	
BTS test				OFF	
Επιλογές			Έξοδος		

Εικόνα 37. Μετρήσεις Αθήνα, 4<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού

Για την περιοχή της Αθήνας έγιναν και κάποιες επιλέον μετρήσεις, που παρουσιάζονται στις επόμενες εικόνες.



Εικόνα 38. Μετρήσεις Αθήνα, 5<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού



Εικόνα 39. Μετρήσεις Αθήνα, 6<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού

FieldTest		
Common FTD 41.11		10.50
FDD ranking summary		
Freq1	BS1	System
10764	259	W
Freq2	BS2	System
10764	32	W
Freq3	BS3	System
0	0	-
Freq4	BS4	System
0	0	-
Επιλογές		Έξοδος

Εικόνα 40. Μετρήσεις Αθήνα, 7<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού

FieldTest	
Common FTD 41.12	
FDD frequency summary	
Freq	INTRA RSSI
10764	497
Freq	INTRA RSSI
0	544
Freq	INTRA RSSI
0	555
Επιλογές	
Έξοδος	

Εικόνα 41. Μετρήσεις Αθήνα, 8<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού

FieldTest		
3G	Common FTD 41.11	19.15
FDD ranking summary		
Freq1	BS1	System
10764	504	W
Freq2	BS2	System
10764	385	W
Freq3	BS3	System
10764	117	W
Freq4	BS4	System
10764	109	W
Επιλογές		Έξοδος

Εικόνα 42. Μετρήσεις Αθήνα, 9<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού

FieldTest	
3G	Common FTD 41.12
FDD frequency summary	
Freq	INTRA RSSI
10764	556
Freq	INTRA RSSI
0	616
Freq	INTRA RSSI
0	849
Επιλογές	
Έξοδος	

Εικόνα 43. Μετρήσεις Αθήνα, 10<sup>η</sup> εικόνα λογισμικού

## Βιβλιογραφία

### *Αναφορές*

- [1] 3GPP TR 23.846. (2003). *Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Stage 2*. Version 6.1.0.
- [2] 3GPP TR 25.858. (2002). *Physical layer aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access*. Version 5.0.0.
- [3] 3GPP TR 25.942. (2008). *Radio Frequency (RF) system scenarios*. Version 8.0.0.
- [4] 3GPP TR 30.03U. (1998). *Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS*. Version 3.2.0.
- [5] 3GPP TR 101.102. (1998). *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS*. Version 3.2.0.
- [6] 3GPP TS 22.146. (2008). *Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Stage 1*. Version 9.0.0.
- [7] 3GPP TS 22.246. (2008). *Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) user services; Stage 1*. Version 8.5.0.
- [8] 3GPP TS 23.002. (2009). *Network architecture*. Version 9.0.0.
- [9] 3GPP TS 23.009. (2009). *Handover procedures*. Version 8.1.0.
- [10] 3GPP TS 23.060. (2009). *General Packet Radio Service (GPRS); Service description; Stage 2*. Version 9.1.1.
- [11] 3GPP TS 23.246. (2009). *Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and functional description*. Version 9.1.0.
- [12] 3GPP TS 25.301. (2009). *Radio interface protocol architecture*. Version 8.5.0.
- [13] 3GPP TS 25.308. (2009). *High Speed Downlink Packet Access (HSDPA); Overall description; Stage 2*. Version 9.0.0.
- [14] 3GPP TS 25.321. (2009). *Medium Access Control (MAC) protocol specification*. Version 8.6.0.
- [15] 3GPP TS 25.322. (2009). *Radio Link Control (RLC) protocol specification*. Version 8.5.0.

- [16] 3GPP TS 25.331. (2009). *Radio Resource Control (RRC); Protocol specification*. Version 8.7.0.
- [17] 3GPP TS 25.346. (2009). *Introduction of the Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) in the Radio Access Network (RAN); Stage 2*. Version 8.3.0.
- [18] 3GPP TS 25.413. (2009). *UTRAN Iu interface Radio Access Network Application Part (RANAP) signalling*. Version 8.3.0.
- [19] 3GPP TS 25.423. (2009). *UTRAN Iur interface Radio Network Subsystem Application Part (RNSAP) signalling*. Version 8.5.0.
- [20] 3GPP TS 25.803. (2005). *S-CCPCH performance for Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS)*. Version 6.0.0.
- [21] 3GPP TS 33.246. (2009). *3G Security; Security of Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS)*. Version 8.4.0.
- [22] 3GPP TSG-RAN WGx#29 R1-021325. (2002). *Comparison of DSCH and FACH for MBMS*.
- [23] Alexiou, A., Bouras, C., & Igglesis, V. (2004). *Performance Evaluation of UMTS for Mobile Internet Access*. In Proceedings of 12th Annual Meeting of the IEEE/ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS 2004), Volendam, The Netherlands, pp. 615 – 618.
- [24] Alexiou, A., Bouras, C., & Igglesis, V. (2004). *Performance Evaluation of TCP over UMTS Transport Channels*. In Proceedings of 7th International Symposium on Communications Interworking (INTERWORKING 2004), Ottawa, Canada.
- [25] Boni, A., Launay, E., Mienville, T., & Stuckmann P. (2004). *Multimedia Broadcast Multicast Service - Technology Overview and Service Aspects*. In Proceedings of 5th IEE International Conference on 3G Mobile Communication Technologies (3G 2004), London, UK, pp. 634-638.
- [26] Cai, J., & Goodman, D. (1997). *General Packet Radio Service in GSM*. IEEE Communications Magazine, pp. 122-131.
- [27] Christophorou, C., & Pitsillides, A. (2006). *MBMS Handover Control for Efficient Multicasting in IP-Based 3G Mobile Networks*. In Proceedings of 2006 IEEE Int. Conference of Communications (ICC 2006), Istanbul, Turkey, pp. 2112- 2117.
- [28] Eylert, B. (2005). *The Mobile Multimedia Business: Requirements and Solutions*. John Wiley & Sons.

- [29] Ho, J., & Akyildiz, I. (1996). *Local anchor scheme for reducing signaling costs in personal communications networks*. IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 4, no. 5, pp. 709-725.
- [30] Holma, H., & Toskala, A. (2006). *HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications*. John Wiley & Sons.
- [31] Holma, H., & Toskala, A. (2007). *WCDMA for UMTS: HSPA Evolution and LTE*. 4th edition, John Wiley & Sons.
- [32] Ivancovic, T. (2005). *Support of Multimedia Broadcast/Multicast Service in UMTS Networks*. In Proceedings of 8th International Conference on Telecommunications (ConTEL 2005), Zagreb, Croatia, pp. 91-98.
- [33] Korhonen, J. (2003). *Introduction to 3G Mobile Communications*. 2nd edition, Artech House.
- [34] Lescuyer, P., & Lucidarme, T. (2008). *Evolved Packet System (EPS): The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS*. John Wiley & Sons.
- [35] Lin Y. (2001). *A multicast mechanism for mobile networks*. IEEE Communication Letters, vol. 5, no. 11, pp. 450-452.
- [36] Malkowski, C. (2003). *UTRAN Enhancements for Multicast*. In Proceedings of HyWiN workshop, Turin, Italy.
- [37] Nilsson, M. (1999). *Third Generation Radio Access Standards*. Ericsson Review, No. 3.
- [38] Nokia Telecommunications, white paper. (1999). *Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)*. Available at: <http://www.nokia.com/>.
- [39] Nortel. (2005). *GSM-UMTS Network Evolution Positioning Paper*.
- [40] Ogunbenkun, J., & Mendjeli, A. (2003). *MBMS service provision and its challenges*. In Proceedings of 4th International Conference on 3G Mobile Communication Technologies (3G 2003), London, UK, pp. 128 -133.
- [41] Parkvall, S., Englund, E., Lundevall, M., & Torsner, J. (2006). *Evolving 3G Mobile Systems: Broadband and Broadcast Services in WCDMA*. IEEE Communications Magazine, vol. 44, no. 2, pp. 30-36.
- [42] Perez-Romero, J., Sallent, O., Agusti, R., & Diaz-Guerra, M. (2005). *Radio Resource Management Strategies in UMTS*. John Wiley & Sons.
- [43] Rummler, R., Chung, Y., & Aghvami, H. (2005). *Modeling and Analysis of an Efficient Multicast Mechanism for UMTS*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 54, no. 1, pp. 350-365.



[44] Sesia, S., Toufik, I., & Baker, M. (2009). *LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice*. John Wiley & Sons.

[45] Spaniol, O. (2003). *Mobility Management in UMTS*. Datacommunication & Distributed Systems.

[46] Third Generation Partnership Project - 3GPP (<http://www.3gpp.org>).

[47] UMTS Forum (<http://www.ums-forum.org/>).

[48] Yang, S., & Lin, Y. (2003). *Performance evaluation of location management in UMTS*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 52, no. 6, pp. 1603- 1615.

[49] Βαρβαρίγος, Ε., & Μπερμπερίδης, Κ. (2004). *Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών*, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις. Πανεπιστήμιο Πατρών.

### ***Λοιπή Βιβλιογραφία***

Andrew S. Tanenbaum, “Δίκτυα Υπολογιστών”, 4<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος

Convergence technologies for 3G networks (Jeffrey Bannister, Paul Mather, Sebastian Coope)

GPRS and 3G wireless applications (Wiley John)

Broadband Wireless Mobile 3G and beyond (Wiley John)

International Telecommunications (October 2005 Horizon House Publications)

Introduction to 3G Mobile Communications, Second Edition by Juha Korhonen

3G Wireless Networks by Daniel Collins and Clint Smith

Next Generation Mobile Systems: 3G & Beyond by Minoru Etoh

The 3G IP Multimedia Subsystem (IMS): Merging the Internet and the Cellular

Worlds, Second Edition by Gonzalo Camarillo and Miguel-Angel Garcia-

Martin Beyond-3G Networking by Nicolas Demassieux, Director Paris Lab

E-business forum: “Κινητές και ασύρματες εφαρμογές στις μεταφορές και στην εφοδιαστική (Μρ Γιώργος Γιαγλής, Μρ Ιωάννης Μίνης)

(ebook) Wiley - IP for 3G - Networking Technologies for Mobile Communication (Dave Wisely, Philip Eardle.pdf

[Comms] Artech.House - Introduction to 3G Mobile Communications 2ed.pdf

Convergence Technologies for 3G Networks - IP, UMTS, EGPRS and ATM.pdf

Deploying 2.5G and 3G Technologies and Services in GSM-UMTS and CDMA Networks (Cisco - 2003).pdf

Design and Performance of 3G Wireless Networks and Wireless LANs (Springer 2006).pdf

John Wiley&Sons GSM & UMTS The Creation of Global Mobile Communication.pdf

John Wiley & Sons - GsmGprsAnd Edge Performance Evolution Towards 3G Umts Ebook.pdf

Telco - 3G Wireless Network Architecture UmtsVs Cdma2000.pdf

Telecom - Convergence Technologies for 3G Networks - IP, UMTS, EGPRS and ATM.pdf

W-CDMA and cdma2000 for 3G Mobile Networks.pdf

### ***Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις***

<http://ru6.cti.gr/bouras/ddx.php>

[www.comsol.gr](http://www.comsol.gr)

[www.telecommagazine.com](http://www.telecommagazine.com)

<<http://www.3g.co.uk/>><http://www.3g.co.uk>

<<http://www.darwinmag.com/learn/curve/column.html?ArticleID=182>>

<http://www.darwinmag.com/learn/curve/column.html?ArticleID=182> – ‘What is 3G Technology?’ article

<<http://www.three-g.net/>><http://www.three-g.net>

<<http://www.wirelessdevnet.com/>><http://www.wirelessdevnet.com/>

<<http://www.3g-generation.com/>><http://www.3g-generation.com>

<http://www.3gpp.org/>

<http://a9.com/3G?src=amz>

<http://a9.com/3G?src=amz>

<http://www.umtsworld.com/technology/overview.htm>