



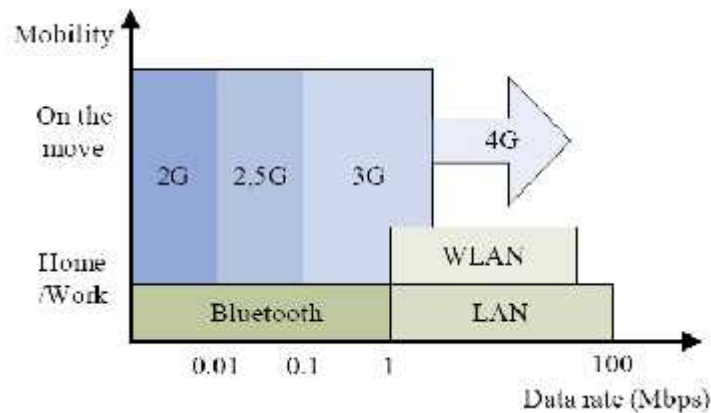
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

Πτυχιακή Εργασία

με θέμα:

***« Πρωτόκολλα Κινητής Τηλεφωνίας :
Από το GSM στα δίκτυα 4^{ης} Γενιάς »***



Σπουδαστής:

Μανώλης Ταμπουρατζής

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ. Αντωνιδάκης Μανώλης

Χανιά , Μάιος 2011

Συνοπτική Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση των βασικότερων πρωτοκόλλων κάθε «γενιάς» στην κινητή τηλεφωνία. Πιο αναλυτικά στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται ιστορικά στοιχεία και επιγραμματικά τα αρχικά πρωτόκολλα που χρησιμοποιήθηκαν.

Το δεύτερο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο κυρίως στο πανευρωπαϊκό πρότυπο κινητών επικοινωνιών GSM, το πιο γνωστό ψηφιακό σύστημα κινητών επικοινωνιών στον κόσμο. Στις ενότητες του, προηγείται μια σύντομη εισαγωγή στη δομή των δικτύων κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς και στη συνέχεια περιγράφεται λεπτομερώς η αρχιτεκτονική του GSM. Έπειτα, αναλύεται η διεπαφή αέρα Um. Συγκεκριμένα, αναφέρονται τα λειτουργικά χαρακτηριστικά και το διαθέσιμο ραδιοφάσμα στο GSM, αναλύεται η δομή της στοιχειώδους μορφής της ψηφιακής πληροφορίας (ριπή), εξετάζονται τα φυσικά και λογικά κανάλια που αποτελούν τους φορείς των διαφόρων τύπων μηνυμάτων ενώ τέλος το κεφάλαιο κλείνει με αναφορά στους εθνικούς και διεθνείς αριθμούς πιστοποίησης.

Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφει τις τεχνολογίες πρωτοκόλλων 2.5G Γενιάς χαρακτηριζόμενη και ως «μεταβατικής» με βασική αναφορά στο GPRS σύστημα καθώς και στη μετεξέλιξη του, το EDGE

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται περιγραφή των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων 3^{ης} «γενιάς» με κυρίαρχο το πρωτόκολλο UMTS καθώς και της παρεχόμενης Ποιότητας Υπηρεσίας (Quality of Service – QoS) σε 3G δίκτυα

Τέλος στο κεφάλαιο 5 αναλύεται το πρωτόκολλο WiMaX ως μια νέα ανταγωνιζόμενη Ασύρματη Τεχνολογία καθώς επίσης και η διασύνδεση της με τα υπάρχοντα δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών.

Summary of this work

The purpose of this study is the analysis of the main protocols each "generation" mobile phones. More specifically the first chapter presents historical data and epigramatika original protocols used.

The second chapter is devoted mainly to the pan-European mobile communications standard GSM, the most famous digital mobile communications system in the world in modules, preceded by a brief introduction to the structure of mobile networks to second generation and then details the architecture of GSM. Then analyzes the air interface Um. Specifically, indicate the operating characteristics and the available spectrum for GSM, analyzed the structure of the basic form of digital information (burst), examines the physical and logical channels are the bodies of various types of messages and finally the chapter ends with a reference to national and international certification numbers.

The third chapter describes the protocol technologies 2.5G Generation characterized as "transitional" in reference to the GPRS core system and the evolution of the EDGE.

Chapter 4 contains a description of telecommunication systems third "generation" dominated by the UMTS protocol and the provided QoS (Quality of Service - QoS) in 3G networks.

Finally in Chapter 5 explores the protocol WiMaX as new competing wireless technology as well as linking with existing mobile networks.

Ευχαριστίες

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή μου, κ. Μανώλη Αντωνιδάκη που από την αρχή των σπουδών μου, στάθηκε δίπλα μου σε ό,τι χρειάστηκα.

Ηράκλειο, 5 Μαΐου 2011

Μανώλης Γ. Ταμπουρατζής

Περιεχόμενα:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : « Εισαγωγή στην Κινητή Τηλεφωνία »

Ενότητα 1.1: Ιστορική Αναδρομή

Ενότητα 1.2: Η 0^η ΓΕΝΙΑ (0G)

Ενότητα 1.3: 1^η Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας

1.3.1: Το Πρωτόκολλο C-450

1.3.2: Το Πρωτόκολλο AMPS

1.3.3: Το Πρωτόκολλο TACS

1.3.4: Τα Πρωτόκολλα NMT

1.3.5: Τα Πρωτόκολλα NTT

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : « Κινητή Τηλεφωνία 2^{ης} Γενιάς »

Ενότητα 2.1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ (G.S.M.)

Ενότητα 2.2: ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

Ενότητα 2.3: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GSM

2.3.1 Υποσύστημα Σταθμού Βάσης (BSS) – Ραδιοδίκτυο

2.3.1.1 Σταθμός Βάσης (BTS)

2.3.1.2 Ελεγκτής Σταθμών Βάσης (BSC)

2.3.1.3 Κινητός Σταθμός (MS)

2.3.2 Υποσύστημα Δικτύου και Μεταγωγής.

2.3.2.1 Επιλογικό Μεταγωγικό Κέντρο (MSC)

2.3.2.2 Οικεία Βάση Δεδομένων (HLR)

2.3.2.3 Βάση Δεδομένων Επισκεπτών (VLR)

2.3.3 Υποσύστημα Λειτουργίας και Υποστήριξης (OMS)

Ενότητα 2.4: Η ΔΙΕΠΑΦΗ ΑΕΡΑ Um ΣΤΟ GSM

2.4.1 Λειτουργικά Χαρακτηριστικά της Um

2.4.2 Κωδικοποίηση Ομιλίας στο GSM

2.4.3 Μορφή και Τεχνικά Χαρακτηριστικά του Ψηφιακού Σήματος στο GSM

2.4.4 Οι Ριπές στο GSM

2.4.5 Ιεραρχική Δομή των Πλαισίων στη Διεπαφή Αέρα Um

2.4.6 Φυσικά και Λογικά Κανάλια

2.4.7 Κατηγορίες Καναλιών στο GSM

2.4.7.1 Κανάλια Επικοινωνίας ή Κίνησης

2.4.7.2 Κανάλια Ελέγχου

Ενότητα 2.5: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Ενότητα 2.6: ΕΘΝΙΚΟΙ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΑΡΙΘΜΟΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΟ GSM

2.6.1 Διεθνής Αριθμός Πιστοποίησης Κινητού Εξοπλισμού

2.6.2 Διεθνής Αριθμός Πιστοποίησης Κινητού Συνδρομητή

2.6.3 Αριθμός ISDN Κινητού Συνδρομητή

2.6.4 Αριθμός Περιοχής Κινητού Σταθμού

2.6.5 Αριθμός Πιστοποίησης Περιοχής Εντοπισμού

2.6.6 Προσωρινός Αριθμός Πιστοποίησης Κινητού Συνδρομητή

2.6.7 Τοπικός Αριθμός Πιστοποίησης Κινητού Συνδρομητή

2.6.8 Αριθμός Πιστοποίησης Κυψέλης

2.6.9 Κωδικός Πιστοποίησης Σταθμού Βάσης

2.6.10 Αριθμοί Πιστοποίησης Μεταγωγικών Κέντρων και Καταχωρητών Εντοπισμού Θέσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : « Κινητή Τηλεφωνία 2.5G –Μεταβατική»

Ενότητα 3.1 Γενική Υπηρεσία Ασυρμάτου Πακέτου (GPRS)

- 3.1.1 Κύρια χαρακτηριστικά για το χρήστη του GPRS
- 3.1.2 Πρόσβαση στις Υπηρεσίες
- 3.1.3 Κύρια δικτυακά χαρακτηριστικά του GPRS
- 3.1.4 Περιορισμοί του GPRS
- 3.1.5 Εφαρμογές για το GPRS
- 3.1.6 Αρχιτεκτονική Συστήματος
- 3.1.7 Υπηρεσίες

Ενότητα 3.2 Βελτιωμένοι ρυθμοί δεδομένων για την εξέλιξη του GSM – Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE) Εξέλιξη δεύτερης γενιάς στο UMTS/ IMT – 2000

- 3.2.1 Η οπτική γωνία της ασύρματης επικοινωνίας
- 3.2.2 Η τεχνολογία του EDGE
- 3.2.3 Τεχνικές δυνατότητες βελτίωσης των υπαρχόντων ασύρματων διασυνδέσεων
- 3.2.4 Βασικές παράμετροι της ασύρματης διασύνδεσης
- 3.2.5 Σχεδιασμός πρωτοκόλλου ασυρμάτου
- 3.2.6 EGPRS
- 3.2.7 ECSD
- 3.2.8 Τυπικές εφαρμογές των EGPRS και ECSD

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : « Κινητή Τηλεφωνία 3^{ης} Γενιάς και Υπηρεσίες »

Ενότητα 4.1 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

- 4.1.1 Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης Διαίρεσης Κώδικα (CDMA)
- 4.1.2 Στόχοι και Απαιτήσεις του UMTS
- 4.1.3 Νέες Υπηρεσίες & Εφαρμογές
- 4.1.4 Βασικά Χαρακτηριστικά του UMTS
- 4.1.5 Τεχνικές Αμφίδρομης Λειτουργίας (FDD – TDD)
- 4.1.6 Έλεγχος Ισχύος (Power Control)
- 4.1.7 Τεχνικές Μεταπομπής
- 4.1.8 High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)
- 4.1.9 Αρχιτεκτονική του δικτύου UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)

Ενότητα 4.2 Διαφορές δικτύων 2^{ης} και 3^{ης} Γενιάς

Ενότητα 4.3 Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service – QoS) ΣΕ 3G ΔΙΚΤΥΑ

- 4.3.1 Η Ποιότητα Υπηρεσίας από την οπτική του χρήστη
- 4.3.2 Ο Δίαυλος Υπηρεσιών UMTS
- 4.3.3 Λειτουργίες Διαχείρισης QoS

Ενότητα 4.4 ΤΑΞΕΙΣ QoS ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟ UMTS

- 4.4.1 Τάξεις QoS στο UMTS
 - 4.4.1.1 Τάξη Conversational
 - 4.4.1.2 Τάξη Streaming
 - 4.4.1.3 Τάξη Interactive
 - 4.4.1.4 Τάξη Backgroun
- 4.4.2 Σημαντικές Παράμετροι για το QoS
- 4.4.3 Παράμετροι QoS
 - 4.4.3.1 UMTS Bearer

- 4.4.3.2 *Radio Access Bearer*
- 4.4.3.3 *Παράμετροι Υπηρεσιών IU και CN Bearer*
- Ενότητα 4.5 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ QOS ΓΙΑ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ**
 - 4.5.1 *Φωνή (Voice/Rich Voice)*
 - 4.5.2 *Βίντεο-Τηλεφωνία (Video Telephony)*
 - 4.5.3 *Βίντεο-Συνδιάσκεψη (Video Conference)*
 - 4.5.4 *Multimedia Messaging Service (MMS)*
 - 4.5.5 *Εφαρμογές Ροής Πολυμέσων (Media Streaming Applications)*
 - 4.5.6 *Content Download*
 - 4.5.7 *Πρόσβαση στο Internet και Πλοήγηση*
 - 4.5.8 *Εταιρική Πρόσβαση (Corporate Access)*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο « WiMAX & Κινητές Επικοινωνίες - Δίκτυα 4^{ης} Γενιάς – Μελλοντικές Τάσεις»

- Ενότητα 5.1 ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ WiMAX - Εισαγωγή**
 - 5.1.2 *Ομάδες Εργασίας*
 - 5.1.2.1 *IEEE 802.16c*
 - 5.1.2.2 *IEEE 802.16a*
 - 5.1.2.3 *IEEE 802.16d*
 - 5.1.2.4 *IEEE 802.16-2004*
 - 5.1.2.5 *IEEE 802.16e ή IEEE 802.16-2005*
 - 5.1.3 *WiMAX Forum*
 - 5.1.4 *Τοπολογία Δικτύου*
 - 5.1.5 *MAC Επίπεδο*
 - 5.1.5.1 *Υποστρώματα σύγκλισης ειδικών υπηρεσιών*
 - 5.1.5.2 *Υπόστρωμα Κοινού Μέρους*
 - 5.1.5.3 *Υπόστρωμα Ιδιωτικότητας*
 - 5.1.5.4 *Υπόστρωμα Σύγκλισης Εκπομπής (Transmission Convergence)*
 - 5.1.6 *Φυσικό Επίπεδο*
 - 5.1.6.1 *Ζώνη 10-66 GHz*
 - 5.1.6.2 *Ζώνη 2-11 GHz*
 - 5.1.7 *Κινητό WiMAX IEEE 802.16e (Mobile WiMAX)*
 - 5.1.8 *Χρήσεις του WiMAX*
- Ενότητα 5.2 Διασυνεργασία WiMAX – UMTS**
 - 5.2.1 *Αρχιτεκτονική διασυνεργασίας*
 - 5.2. *Περιγραφή αρχιτεκτονικής*
 - 5.2 *Διαχείριση διεύθυνσης IP*
 - 5.2.4 *Διαδικασία μεταγωγής*
 - 5.2.5 *Μεταγωγή από WiMAX σε UTRAN*
 - 5.2.6 *Μεταγωγή από UTRA σε WiMAX*
- Ενότητα 5.3 Κινητές Επικοινωνίες 4ης Γενιάς (4G)**
 - Υψηλού Ύψους Πλατφόρμες (HAP, High Altitude Platforms)*
 - Οπτικές Συνδέσεις ελεύθερου χώρου (Free Space Optics)*
 - Πλέγματα ασύρματων δικτύων (Radio Mesh Networks)*
- Ενότητα 5.4 Οι «Ραδιο-τεχνολογίες B3G»**

Συνομογραφίες

Βιβλιογραφία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

« Εισαγωγή στην Κινητή Τηλεφωνία »

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Στα τέλη του 20^{ου} αιώνα άρχισε να έχει ραγδαία ανάπτυξη η ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων, οι οποίοι αγκάλιασαν αυτήν την τεχνολογία και την ώθησαν στην άνθιση που παρουσιάζει η κινητή επικοινωνία στις μέρες μας. Για την επικοινωνία των χρηστών χρησιμοποιούνται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που μπορούν να μεταδώσουν ένα σήμα σε μεγάλη απόσταση.

Οι ρίζες των κινητών τηλεφώνων εντοπίζονται ήδη από το δεύτερο μισό του 18ου αιώνα, όταν άρχισαν να ξεπηδούν τεχνολογίες κι εφευρέσεις όπως το τηλέφωνο, ο τηλεγράφος ή η ανακάλυψη και μελέτη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Τα ονόματα μεγάλων και πρωτοπόρων, όπως του Alexander Graham Bell, του Marconi, του Herz κι άλλων χαρακτήθηκαν μαζί με τις βάσεις της σύγχρονης εποχής στις τηλεπικοινωνίες. Είναι χαρακτηριστικό το ότι σχεδόν παράλληλα με την ανάπτυξη του τηλεφώνου, υπήρξε κι η ιδέα για ασύρματη τηλεπικοινωνία, αν και οι αντίστοιχες τεχνολογίες εμφανίστηκαν αρκετά αργότερα, όσον αφορά στον τομέα αυτόν.

Το κινητό τηλέφωνο συνδυάζει θα λέγαμε δύο βασικές τεχνολογίες. Είναι τηλέφωνο, ωστόσο το όλο σύστημα από πλευράς δικτύου θυμίζει ραδιόφωνο. Λειτουργεί, μιλώντας πιο απλά, σαν το ραδιόφωνο, όπου υπάρχουν σταθμοί – κεραίες που αναμεταδίδουν το σήμα, ώστε να βρίσκεται σε συνεχή σύνδεση η μονάδα – συσκευή κινητής τηλεφωνίας. Μάλιστα, πριν υπάρξει η κινητή τηλεφωνία, με την τελική σημασία της λέξης, τα ραδιοτηλέφωνα ήταν το καταλληλότερο σύστημα κινητής τηλεπικοινωνίας. Σε αυτήν την περίπτωση, υπήρχε ένας κεντρικός πομποδέκτης, μια μόνο κεραία σε κάθε πόλη, στην οποία υπήρχαν περίπου 25 διαθέσιμα κανάλια. Αυτό σήμαινε αυτομάτως πως χρειαζόταν ένας αρκετά ισχυρός πομπός, τόσος ώστε να είναι ικανός να εκπέμπει σε απόσταση περίπου 70 χιλιομέτρων, πράγμα που σήμαινε ότι δεν μπορούσε ο καθένας να χρησιμοποιήσει τα ραδιοτηλέφωνα, καθώς δεν υπήρχαν αρκετά κανάλια επικοινωνίας.

Με μια επιστροφή πίσω στις πρώτες σπίθες της τεχνολογικής αυτής επανάστασης, γυρίζουμε στον Alexander Graham Bell, ο οποίος επινόησε το τηλέφωνο, επιχειρώντας να ξεπεράσει τις δυνατότητες του τηλεγράφου. Ο τελευταίος αποτελούσε μια διάταξη που αναπτύχθηκε κι εξελίχθηκε κατά το 1838 από τον Morse (Samuel Finley Breese Morse, 1791-1872) και ήταν δυνατόν να μεταφέρει μόνο σήματα. Επιχειρώντας να μεταδώσει τη φωνή λοιπόν, ο Bell οδηγήθηκε στο τηλέφωνο, κατά το 1876. Επόμενος σημαντικός σταθμός ήταν το 1885, όταν ο Giuglielmo Marconi κατάφερε να απελευθερώσει από τα σύρματα την επικοινωνία, και πραγματοποίησε το 1901 μέσω ραδιοκυμάτων την αποστολή μηνύματος από την Αγγλία στη Αμερική, η πρώτη υπερατλαντική εκπομπή μηνύματος. Τα ίδια τα ραδιοκύματα έχουν τις ρίζες τους στο Nicola Tesla, ο

οποίος αναγνώρισε την ύπαρξή τους, που είναι η όλη βάση της ασύρματης τηλεπικοινωνίας.

Το 1903, οι Γερμανικές AEG και Siemens&Halske ιδρύουν την Deutsche Telefunken GmbH και σε συνεργασία με την Lorezn AG πραγματοποιούν την πρώτη εκπομπή ήχου και ομιλίας μόλις 3 χρόνια μετά. Όταν κι η Αμερικανική Τηλεφωνική και Τηλεγραφική Εταιρεία AT&T συνεργάστηκε το κατόρθωμα αυτό βελτιώθηκε, οδηγώντας στην πρώτη υπερατλαντική μετάδοση ήχου, από τις Η.Π.Α. στη Γαλλία.

Στην ιστορική αναδρομή που ακολουθεί μπορούμε να χωρίσουμε τον χρόνο σε γενιές όπου η κάθε μία έχει τα δικά της χαρακτηριστικά .

1.2Η 0^Η ΓΕΝΙΑ (0G)

Επισημώς μπορούμε να τοποθετήσουμε τη γένεση της κινητής τηλεφωνίας, όπως την αντιλαμβανόμαστε σήμερα, γύρω στα 1918, αν και μετά το δεύτερο μισό του 20ού αιώνα συνέβησαν οι πιο σημαντικές εξελίξεις. Είναι χαρακτηριστικό ότι εγκαταστάσεις κινητής τηλεφωνίας υπήρχαν σε τρένα. Συγκεκριμένα, μερικές πρώτες δοκιμές είχαν πραγματοποιηθεί στη Γερμανία, στην στρατιωτική γραμμή Βερολίνο– Zossen. Ύστερα, και σε ιδιωτική γραμμή που συνέδεε το Teltow, προάστιο του Βερολίνου, με την Saxony – Anhalt πόλη Lichterfelde. Πλέον, το 1926, κάθε ταχύ τρένο που εκτελούσε το δρομολόγιο Αμβούργο – Βερολίνο ήταν εξοπλισμένο με σύστημα κινητής τηλεφωνίας, ενώ από διάφορες στατιστικές προκύπτουν κατά μέσο όρο 40 τηλεφωνικές κλήσεις την ημέρα, κατά την περίοδο 1926-1927. Από την άλλη μεριά ο εξοπλισμός που υπήρχε στα τρένα ήταν τεράστιος σε διαστάσεις, ενώ και το κόστος χρήσης ήταν ανάλογα μεγάλο. Για να πραγματοποιήσει κάποιος μια κλήση, χρειαζόταν να χρησιμοποιήσει μια ειδική καμπίνα στο τρένο, με ένα συμβατικό σετ συσκευής τηλεφώνου. Στη συνέχεια, το σήμα μεταδιδόταν μέσω καλωδίων στην οροφή του τρένου, όπου υπήρχαν στερεωμένα διάφορα καλώδια. Κεραίες ύστερα μετέδιδαν το σήμα σε τηλεφωνικές γραμμές, οι οποίες βρίσκονταν διπλα στις σιδηροτροχιές. Ακολούθως, χειροκίνητοι διακόπτες μετέδιδαν τη σύνδεση στο σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο.

Τα πρώτα συστήματα κινητής τηλεφωνίας εξυπηρετούσαν πολύ λίγους χρήστες καθώς διέθεταν μικρό αριθμό καναλιών αλλά είχαν και πολύ μεγάλες απαιτήσεις σε ισχύ. Η ισχύς εκπομπής από το σταθμό βάσης μπορεί να ξεπερνούσε και τα 200 Watt!. Το πρώτο τέτοιο εγκατεστημένο σύστημα σε αυτοκίνητο ήταν το MTS (Mobile Telephone Service) και ακολούθησε το IMTS.

Στην Ευρώπη υπήρχε από το 1958 το German-A Network και από το 1972 η εξέλιξη του, το German-B Network, το οποίο κατάφερε να διπλασιάσει τους συνδρομητές. Χρησιμοποιούσε FM διαμόρφωση και δούλευε στις συχνότητες από 154 MHz ως 177 MHz .

Ο αναλογικός όπως λέγεται, αυτός ο τύπος δικτύων κινητής τηλεφωνίας άρχισε από τότε να εμφανίζεται κι επέζησε ως και τις αρχές περίπου της δεκαετίας του 90', όταν κι η ψηφιακή εποχή άρχισε να εδραιώνεται.

1.3: 1^η Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας (1G)

Στην 1η γενιά έχουμε τα αναλογικά δίκτυα. Χρονικά μπορούμε να την τοποθετήσουμε από τα τέλη της δεκαετίας του 70' μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 90'. Κοινό χαρακτηριστικό αυτής της γενιάς είναι ότι ο κάθε σταθμός βάσης κάλυπτε μια μεγάλη περιοχή (μπορεί και πάνω από 100 Km) και εξέπεμπε με μεγάλη ισχύ ανά κανάλι. Οι κινητοί σταθμοί (Mobile Station) έπρεπε και αυτοί να εκπέμπουν με μεγάλες ισχύς, άρα να έχουν μεγάλο όγκο. Για το λόγο αυτό ήταν συνήθως εγκατεστημένοι πάνω σε αυτοκίνητα. Ενδεικτικά αναφέρονται μερικά από τα δίκτυα – τεχνολογίες, της γενιάς αυτής: C-450, AMPS, TACS, NMT, NTT, SACS, RT MI, C-NET κ.α.Πιο συγκεκριμένα:

1.3.1: Το Πρωτόκολλο C-450

Το C-450 ή αλλιώς C-Network ήταν ένα από τα πρώτα κυψελοειδή δίκτυα και εντοπίζονταν στη Γερμανία, Πορτογαλία και Νότιο Αφρική. Αποτελούσε το πρώτο σύστημα με αλληλοεφαπτόμενες κυψέλες. Για πρώτη φορά μπορούσε ο χρήστης να μεταφέρεται από τη μια κυψέλη στην άλλη, χωρίς να διακόπτεται το σήμα του. (βλ. Κυψελοειδής Τεχνολογία). Για λόγους μειωμένης χωρητικότητας, το δίκτυο αυτό δεν κράτησε για μεγάλο χρονικό διάστημα. Κατά το 1993, το απόλυτο νούμερο χωρητικότητας έφτασε τους 850000 συνδρομητές.

1.3.2: Το Πρωτόκολλο AMPS

Το AMPS (Advanced Mobile Phone System) αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ από τα εργαστήρια Bell στα μέσα της δεκαετίας του 70' και δοκιμάστηκε για πρώτη φορά στο Σικάγο, το 1977. Ήταν κατάλληλο για τη μετάδοση φωνής, λειτουργούσε σε συχνότητες 800 MHz (συγκεκριμένα, στο εύρος των 824-894MHz), με τεχνολογία FDMA (Frequency Division Multiple Access), κι είχε πιο ευρύ φάσμα καναλιών μετάδοσης. Μια πιο εξελιγμένη έκδοση του AMPS αποτέλεσε λίγο αργότερα το NAMPS (Narrowband AMPS), το οποίο ενσωμάτωνε κάποια ψηφιακή τεχνολογία προκειμένου να επιτρέψει στο σύστημα να αυξήσει τη χωρητικότητά του. Έτσι, μπορούσε να έχει 3 φορές περισσότερες κλήσεις από το αρχικό AMPS. Το NAMPS χρησιμοποιούσε ψηφιακή τεχνολογία, αλλά κατά βάση ήταν αναλογικό.



Motorola DynaTAC 8000X AMPS κινητό τηλέφωνο

1.3.3: Το Πρωτόκολλο TACS

Το σύστημα αυτό αποτελούσε μια προσαρμογή του AMPS στα ευρωπαϊκά δεδομένα, όπου ο καταμερισμός των συχνοτήτων ήταν διαφορετικός. Λειτουργούσε στα 900MHz κι έκανε την εμφάνισή του το 80'. Υποστήριζε και διάφορες έξτρα υπηρεσίες, όπως πληροφορίες χρέωσης. Λίγο αργότερα, εξελίχθηκε στο ETACS και ακόμη στο NTACS, μια πιο περιορισμένης μπάντας έκδοση. Το ETACS πρόσφερε επιπλέον κανάλια, τα οποία δανείζονταν από στρατιωτικές συχνότητες.

| Βάση εκκίνησης TX | Τέλος (MHz) | Κινητό ξεκίνημα | Τέλος (MHz) | BAND |
|--------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|---------------------|
| 935 | 950 | 890 | 905 | TACS 600 κανάλια |
| 935 | 960 | 890 | 915 | TACS 1000 κανάλια |
| 917 | 950 | 872 | 905 | E-TACS 1320 κανάλια |

Πίνακας συχνοτήτων πρωτοκόλλου TACS

1.3.4: Το Πρωτόκολλο NMT

Το NMT (Nordic Mobile Telephone) αναπτύχθηκε το 1981 στη Σκανδιναβία, με σκοπό να προσφέρει υπηρεσίες περιαγωγής (roaming) στις χώρες αυτές, του Βορρά. Χρησιμοποιεί αναλογική τεχνολογία και μέθοδο πολλαπλής πρόσβασης FDMA. Λειτουργούσε σε συχνότητα 450MHz αλλά σύντομα εξελίχθηκε στο NMT900 το 1986.

1.3.5: Το Πρωτόκολλο NTT

Το NTT ήταν το πρώτο κυψελοειδές σύστημα που εγκαταστάθηκε στην Ιαπωνία, το 1979. Και αυτό, όπως και το NMT, λόγω ανεπάρκειας συχνοτήτων, έδωσε τη θέση του το 1988 σε ένα υψηλότερης χωρητικότητας σύστημα, το οποίο επέτρεπε στο σήμα να προχωρεί χωρίς να διακόπτεται η εκπομπή του, επίσης πρόσφερε πλήρη κάλυψη σε εθνικό επίπεδο, καθώς και περιαγωγή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

« Κινητή Τηλεφωνία 2^{ης} Γενιάς »

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ (G.S.M.)

Στις αρχές της δεκαετίας του '80, στην Ευρώπη λειτουργούσαν ταυτόχρονα αρκετά αναλογικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας, τα οποία εν πολλοίς βασίζονταν σε παρόμοια πρότυπα (π.χ. NMT 450), αλλά έτρεχαν σε διαφορετικές φέρουσες συχνότητες. Για να αποφευχθεί αυτή η έλλειψη συμβατότητας στα δεύτερης γενιάς πλήρως ψηφιοποιημένα συστήματα, συστάθηκε μία ειδική επιστημονική ομάδα αρμόδια για θέματα κινητών επικοινωνιών της Ευρωπαϊκής ένωσης, γνωστή με την ονομασία Groupe Special Mobile. Αυτό το σύστημα γρήγορα ονομάστηκε Global System for Mobile Communications (GSM), με την διαδικασία προτυποποίησής του να αποτελεί ευθύνη της ETSI. Στο γενικότερο πλαίσιο της εξέλιξης των συστημάτων κινητών επικοινωνιών, η πλήρης αναπτυξιακή διαδικασία του GSM αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης του 3GPP και έθεσε τις βάσεις για την έλευση των συστημάτων 3G.

Ο πρωταρχικός σκοπός του GSM ήταν να παρέχει ένα σύστημα κινητής τηλεφωνίας το οποίο θα επέτρεπε στους χρήστες του να περιάγονται σε όλη την Ευρώπη ενώ ταυτόχρονα θα είχαν πρόσβαση σε υπηρεσίες φωνής συμβατές με το ISDN και άλλα PSTN συστήματα.

Το GSM είναι ένα τυπικό σύστημα δεύτερης γενιάς που αντικαθιστά τα αναλογικά συστήματα, αλλά δεν παρέχει υψηλούς ρυθμούς δεδομένων παγκοσμίως, όπως συμβαίνει με τα συστήματα τρίτης γενιάς, όπως είναι για παράδειγμα το UMTS. Το GSM αρχικά

αναπτύχθηκε στην Ευρώπη χρησιμοποιώντας τη ζώνη των 900 MHz και ονομάστηκε GSM 900 για να ξεχωρίζει από τις μετέπειτα εκδόσεις του. Αυτές οι εκδόσεις περιλαμβάνουν το GSM στα 1800 MHz, επίσης γνωστό ως DCS (Digital Cellular System) 1800 και το GSM που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στις ΗΠΑ στα 1900 MHz, γνωστό ως PCS (Personal Communications Service) 1900.

Επίσης, ένα σύστημα GSM το οποίο έχει εισαχθεί σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες για την υλοποίηση των σιδηροδρομικών επικοινωνιών είναι το GSM – Rail (GSM – R, 2002). Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί διαφορετικές συχνότητες και προσφέρει αρκετές επιπλέον υπηρεσίες οι οποίες δεν είναι διαθέσιμες στο δημόσιο GSM δίκτυο.

Γενικά, το GSM ικανοποιεί τις εξής απαιτήσεις:

- ③ Καλή ποιότητα φωνής
- ③ Χαμηλό κόστος εξοπλισμού και υπηρεσιών
- ③ Υποστήριξη περιαγωγής (roaming)
- ③ Υποστήριξη νέων υπηρεσιών και ευκολιών
- ③ Αποδοτική χρησιμοποίηση του ραδιοφάσματος
- ③ Συμβατότητα με το ISDN

Τέλος, πρέπει να καταστεί σαφές από την αρχή του κεφαλαίου αυτού ότι το GSM έχει σχεδιαστεί κυρίως για υπηρεσίες φωνής και αυτό, ακόμα και σήμερα, αντιπροσωπεύει την κύρια χρήση του GSM συστήματος. Ωστόσο, όπως έχει αρχίσει ήδη να γίνεται φανερό στις μέρες μας, η ζυγαριά για τις μελλοντικές εφαρμογές των κινητών επικοινωνιών κλίνει περισσότερο προς τις υπηρεσίες δεδομένων, αποτελώντας έτσι περιοριστικό παράγοντα στην περαιτέρω ανάπτυξη του GSM.

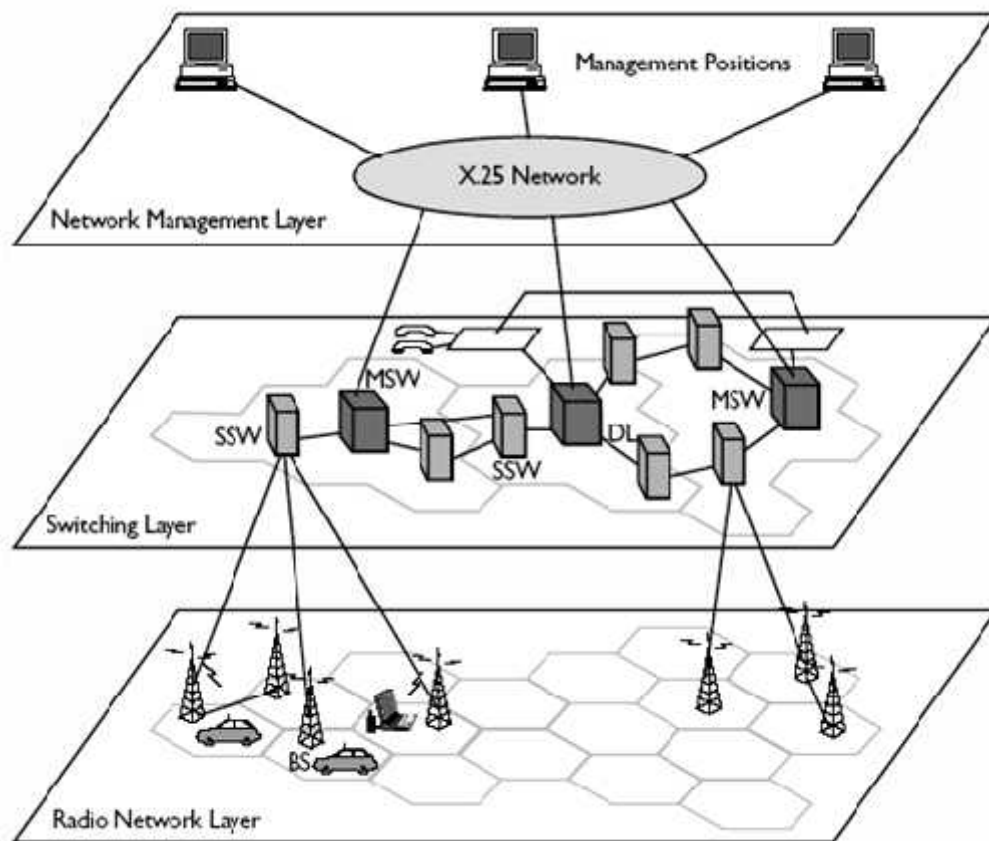
2.2 ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

Η κινητή τηλεφωνία είναι η εξέλιξη του σταθερού δικτύου τηλεφωνίας. Η βασική διαφορά είναι ότι ο συνδρομητής στην κινητή τηλεφωνία δεν βρίσκεται σε κάποια συγκεκριμένη θέση, αλλά κινείται συνεχώς στο χώρο. Αυτή η φαινομενικά μικρή διαφορά στην κατάσταση του συνδρομητή εισάγει ριζικές αλλαγές στην σχεδίαση του δικτύου, καθώς και στην συμπεριφορά του. Όπως θα δούμε και στην συνέχεια, η εισαγωγή εντελώς καινούργιων εννοιών και δομικών στοιχείων είναι υποχρεωτική.

Το πρόβλημα που προκύπτει κατά την σχεδίαση του δικτύου είναι πως μπορούμε να εντοπίσουμε τον κινητό συνδρομητή. Σε ένα σταθερό δίκτυο τηλεφωνίας όλες οι κλήσεις προς ένα συνδρομητή οδηγούνται στο ίδιο κάθε φορά κύκλωμα προς το σταθερό τηλέφωνο. Από αυτή την σκοπιά και η κλήση ενός κινητού συνδρομητή προς ένα συνδρομητή σταθερής τηλεφωνίας ελάχιστα διαφέρει από την αντίστοιχη κλήση μεταξύ συνδρομητών του σταθερού δικτύου (οι μικροδιαφορές εντοπίζονται στο ξεκίνημα της κλήσης από τον κινητό συνδρομητή). Όταν όμως η κλήση καταλήγει στον κινητό συνδρομητή, τότε το δίκτυο είναι υποχρεωμένο να γνωρίζει την θέση του ώστε να

προωθήσει την κλήση προς αυτόν. Για αυτόν τον λόγο χρειαζόμαστε ένα αριθμό από βάσεις δεδομένων (databases) οι οποίες να κρατούν στοιχεία και δεδομένα του κάθε συνδρομητή του, καθώς και όλων των συνδρομητών άλλων δικτύων που περιάγονται στο δίκτυο αυτό.

Η δομή ενός γενικού δικτύου κινητής τηλεφωνίας έχει την μορφή του Σχήματος 3.1. Όπως και στο σταθερό δίκτυο τηλεφωνίας χρειαζόμαστε ένα επιλογικό διακοπτικό κέντρο για να δέχεται την κλήση και να την προωθεί στην κατάλληλη όδευση (route) προς τον συνδρομητή. Αυτό το διακοπτικό κέντρο ονομάζεται MSC (**M**obile **S**witching **C**enter).



Σχήμα 2.1: Δομή γενικού δικτύου κινητής τηλεφωνίας

Οι κυρίες λειτουργίες του MSC είναι:

- **Έλεγχος κλήσης:** Βρίσκει την ταυτότητα του συνδρομητή, δρομολογεί την κλήση και τερματίζει την κλήση με το πέρας της συνομιλίας.
- **Χρέωση:** Μαζεύει όλη την πληροφορία σχετικά με την χρέωση μίας κλήσης, όπως τους αριθμούς του καλόντος και του καλούμενου, τον χρόνο και είδος ομιλίας και την μεταφορά του αρχείου χρέωσης στο κεντρο χρέωσης (Billing Center).
- **Έλεγχο κίνησης:** Κρατάει πληροφορία σχετικά με την θέση του συνδρομητή

- **Δεδομένα συνδρομητή:** Τα μόνιμα δεδομένα του συνδρομητή στην HLR και τα προσωρινά στην VLR .
- **Έλεγχο σηματοδότησης:** Διασύνδεση με το BSS και το σταθερό δίκτυο τηλεφωνίας PSTN
- **Εύρεση συνδρομητή:** Αναφέρεται στην εύρεση του συνδρομητή κατά την διάρκεια της διεκπεραίωσης μίας κλήσης.

Το MSC είναι κυριολεκτικά το κέντρο επικοινωνίας του δικτύου κινητής τηλεφωνίας με τον έξω κόσμο. Όλα τα δίκτυα τηλεφωνίας και τα δίκτυα δεδομένων (PSTN, PLMN, ISDN, B-ISDN) για να εισέλθουν στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας επικοινωνούν πρώτα με το MSC.

Ωστόσο, για να μπορέσει το MSC να προωθήσει την κλήση προς τον συνδρομητή, θα πρέπει το δίκτυο να έχει συνεχώς πληροφορία για τα στοιχεία και την θέση του συνδρομητή. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιείται η βάση δεδομένων HLR (**H**ome **L**ocation **R**egister). Σε αυτή την βάση δεδομένων καταγράφονται πληροφορίες που αφορούν αποκλειστικά τον συνδρομητή, τις υπηρεσίες στις οποίες είναι εγγεγραμμένος, την περιοχή που βρίσκεται (VLR address) και άλλες πληροφορίες που σχετίζονται με την κλήση. Κάθε φορά που ο συνδρομητής μετακινείται μέσα στο δίκτυο σε διαφορετικό MSC/VLR, το κινητό στέλνει πληροφορία στο δίκτυο για την νέα του θέση χωρίς ο συνδρομητής να καταλάβει τίποτα. Με αυτό τον τρόπο το δίκτυο γνωρίζει ανά πάσα στιγμή την θέση του συνδρομητή για να του δώσει την κλήση. Πρέπει να αναφερθεί ότι σε αυτή την βάση δεδομένων εγγράφονται μόνιμα όλοι οι συνδρομητές του δικτύου. Δηλαδή η HLR είναι το σημείο αναφοράς του δικτύου όπου μπορούμε ανά πάσα στιγμή να αναζητήσουμε πληροφορίες που αφορούν την ταυτότητα ενός συνδρομητή. Ένας συνδρομητής σβήνεται από την HLR **μόνο** αν σταματήσει την συνδρομή του.

Μία άλλη βάση δεδομένων είναι η VLR (**V**isitor **L**ocation **R**egister). Αυτή η βάση δεδομένων είναι αναπόσπαστο μέρος του MSC και περιέχει επίσης στοιχεία συνδρομητών. Η διαφορά με την HLR είναι ότι η VLR έχει πληροφορίες για τους συνδρομητές που είναι επισκέπτες στην περιοχή κάλυψης του συγκεκριμένου MSC/VLR. Αυτή η πληροφορία είναι χρήσιμη κατά την διάρκεια μιας κλήσης όπου πρέπει να εντοπίσουμε την θέση του συνδρομητή στο δίκτυο. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η εγγραφή των συνδρομητών στην VLR είναι προσωρινή, με την έννοια ότι όταν ο συνδρομητής φύγει από την περιοχή κάλυψης του MSC/VLR, η εγγραφή σβήνεται και ο συνδρομητής εγγράφεται στην VLR της περιοχής κάλυψης του καινούργιου MSC/VLR. Επομένως, οι εγγραφές σε αυτή τη βάση δεδομένων είναι δυναμικές, πράγμα που σημαίνει ότι καθόλη τη διάρκεια της ύπαρξης του συνδρομητή στο δίκτυο κάποια πεδία αλλάζουν δυναμικά. Η δυναμική αυτή ενημέρωση των πεδίων διενεργείται με λειτουργίες δικτύου οι οποίες αφορούν το NSS μέρος. Οι διαδικασίες αυτές βρίσκονται στο γενικότερο σύνολο λειτουργιών που αποκαλείται Mobility Management (M.M). Τέτοιες λειτουργίες είναι: ενημέρωση περιοχής εντοπισμού (Location Area Update), μεταγωγή κλήσεων (Handover inter MSC), πιστοποίηση (Authentication), IMSI Attach, paging, κτλ.

Ο συνδρομητής πρέπει να διασφαλίζεται από θέματα ασφαλείας. Επίσης πρέπει το δίκτυο να έχει την δυνατότητα πιστοποίησης ανά πάσα στιγμή της ταυτότητας του συνδρομητή. Αυτή την εργασία διεκπεραιώνει μία άλλη βάση δεδομένων, η AUC (**A**uthentication **C**entre). Αυτή η βάση δεδομένων χρησιμοποιεί αλγορίθμους για την πιστοποίηση της ταυτότητας ενός συνδρομητή καθώς και ένα είδος κρυπτογράφησης (ciphering) για την εξασφάλιση του απορρήτου της ομιλίας του συνδρομητή.

Για την προστασία της συσκευής του συνδρομητή από κλοπή, υπάρχει άλλη μία βάση δεδομένων, η EIR (**E**quipment **I**dentification **R**egister) όπου καταγράφεται ο κωδικός του τηλεφώνου που χρησιμοποιεί ο συνδρομητής. Σε περίπτωση αναφοράς κλοπής τηλεφώνου υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής του τηλεφώνου σε μια λίστα όπου δεν μπορούν να γίνουν κλήσεις, οπότε και η συσκευή είναι ουσιαστικά άχρηστη.

Το επόμενο ουσιαστικό δομικό στοιχείο ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας είναι ο ελεγκτής σταθμού βάσης ή αλλιώς BSC (**B**ase **S**tation **C**ontroller). Το BSC είναι ουσιαστικά ένα επιλογικό διακοπτικό κέντρο με λιγότερες αρμοδιότητες από το MSC, το οποίο έχει μία εξειδικευμένη λειτουργία δηλαδή τον έλεγχο του ασυρμάτου μέρους του δικτύου της κινητής τηλεφωνίας. Οι κυρίες λειτουργίες του BSC είναι οι ακόλουθες:

- **Έλεγχος του ραδιοδικτύου:** Δίνει τις σωστές παραμέτρους στα υπόλοιπα μέρη του ραδιοδικτύου φροντίζοντας για την σωστή λειτουργία τους.
- **Σύνδεση του κινητού με το MSC:** Φροντίζει την σωστή διασύνδεση του κινητού με το MSC ελέγχοντας όλα τα πρωτόκολλα επικοινωνίας.
- **Έλεγχος του σταθμού βάσης:** Ελέγχει τους σταθμούς βάσης BTS και συλλέγει όλα τα Alarms.
- **Έλεγχος του διακωδικοποιητή:** Ελέγχει τον διακωδικοποιητή Transcoder-TC και συλλέγει Alarms.
- **Συγχρονισμός:** Χρησιμοποιεί ιεραρχικό συγχρονισμό, δηλαδή το MSC συγχρονίζει το BSC και αυτό με την σειρά του συγχρονίζει τα BTS.
- **Σηματοδοσία:** Ασχολείται με την σηματοδοσία SS#7 που ερχεται από το MSC και με την σηματοδοσία που πηγαίνει προς τα BTS.
- **Έλεγχος κίνησης:** Συλλέγει στατιστικά στοιχεία που αφορούν την κίνηση στους σταθμούς βάσης και την επάρκεια σε χωρητικότητα των πομποδεκτών.

Το επόμενο δομικό στοιχείο του δικτύου είναι ο σταθμός βάσης ή αλλιώς BTS από τα αρχικά των λέξεων **B**ase **T**ransceiver **S**tation. Ο σταθμός βάσης είναι η διασύνδεση του κινητού με το υπόλοιπο δίκτυο. Ο σταθμός βάσης αποτελείται από έναν ελεγκτή και από πομποδέκτες. Οι ραδιοπαραμέτροι που έχει ο σταθμός βάσης έχουν σχέση με τα Handovers, με το Paging, με την ισχύ εκπομπής και με την ταυτότητά του.

Τέλος, έχουμε το κινητό το οποίο είναι η φυσική σύνδεση του συνδρομητή με το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Το κινητό τηλέφωνο περιέχει μια βάση δεδομένων η οποία ονομάζεται SIM card από τα αρχικά των λέξεων **S**ubscriber **I**dentify **M**odule. Αυτή η βάση δεδομένων είναι φορητή, δηλαδή μπορεί να εισαχθεί σε οποιοδήποτε τηλέφωνο και να μιλήσει ο συνδρομητής. Στο δίκτυο της κινητής τηλεφωνίας αυτή η προσωπική βάση

δεδομένων πιστοποιεί τον συνδρομητή. Περιέχει τον αριθμό του συνδρομητή IMSI, το κωδικό εισαγωγής στο δίκτυο PIN, μία λίστα των υπηρεσιών στις οποίες έχει εγγραφεί ο συνδρομητής, τα διαθέσιμα δίκτυα πρόσβασης καθώς και κωδικούς ταυτοποίησης Ki και απόκρυψης δεδομένων, ciphering, του συνδρομητή. Στο σημείο απόκρυψης δεδομένων και ταυτοποίησης συνεργάζεται στενά με την AUC όπως θα δούμε στην συνέχεια.

2.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GSM

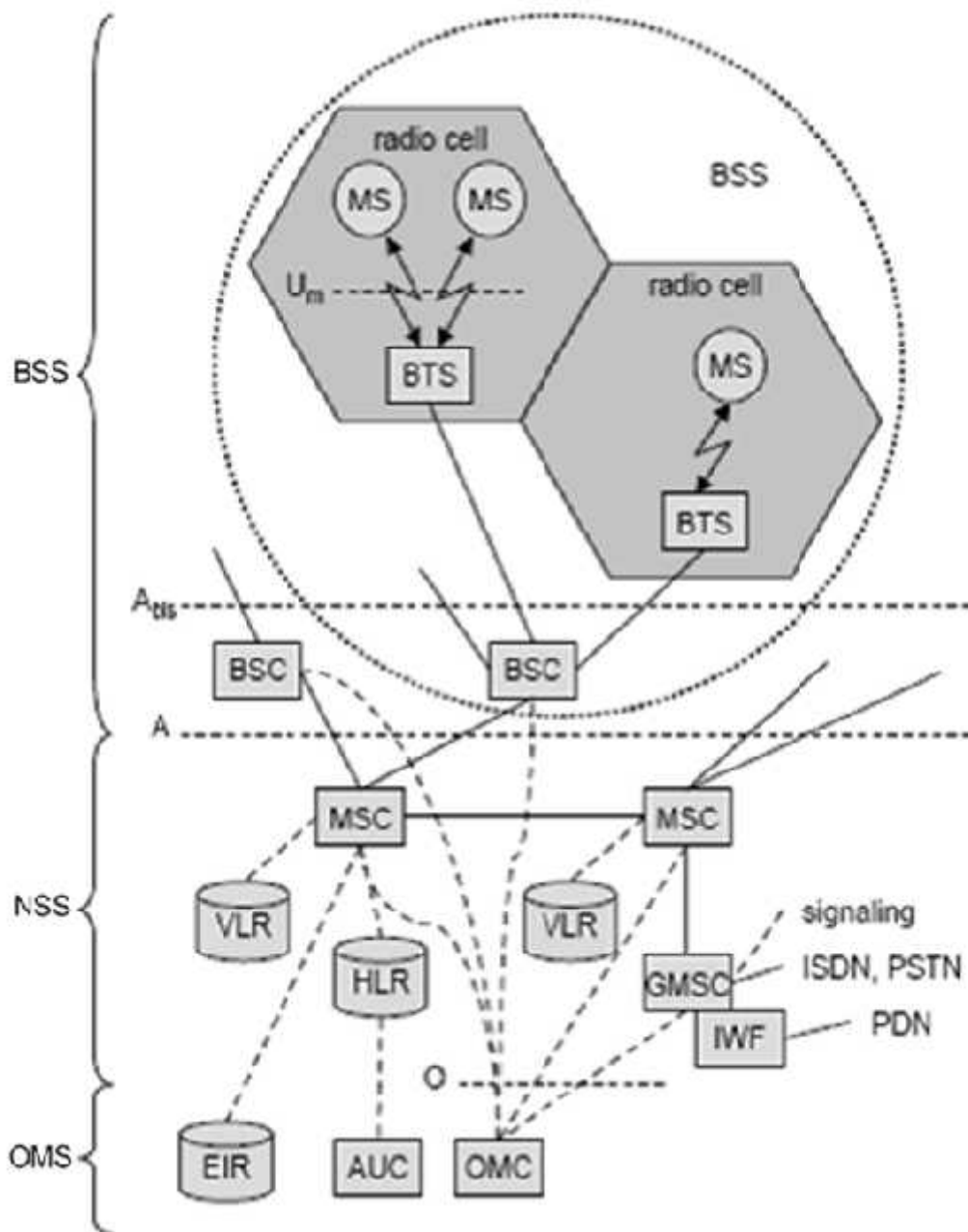
Το GSM, όπως όλα τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, είναι ιεραρχικά δομημένο με σύνθετη αρχιτεκτονική συστήματος, αποτελούμενο από υποσυστήματα, δομικά στοιχεία και διεπαφές.

Η δομή του GSM αποτελείται από τρία κύρια, διασυνδεδεμένα υποσυστήματα, τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους αλλά και με τους χρήστες κινητών σταθμών μέσω συγκεκριμένων διεπαφών δικτύου.

Τα υποσυστήματα που συνθέτουν το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας GSM είναι:

1. το **Υποσύστημα Σταθμού Βάσης** (*Base Station Subsystem – BSS*)
2. το **Υποσύστημα Δικτύου και Μεταγωγής** (*Network & Switching Subsystem – NSS*) και
3. το **Υποσύστημα Λειτουργίας και Υποστήριξης** (*Operation & Maintenance Subsystem – OMS*).

Ο **Κινητός Σταθμός** (*Mobile Station – MS*) αποτελεί και αυτός επίσης ένα υποσύστημα του δικτύου GSM, ωστόσο για λόγους διευκόλυνσης στη σχεδίαση της αρχιτεκτονικής του δικτύου, λαμβάνεται ως τμήμα του BSS. Ο εξοπλισμός και οι υπηρεσίες στο GSM είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να υποστηρίζουν ένα ή περισσότερα από τα παραπάνω κύρια υποσυστήματα. Στο Σχήμα 2.2 εικονίζεται η λειτουργική δομή ενός συστήματος GSM.



Σχήμα 2.2: Δομή δικτύου GSM

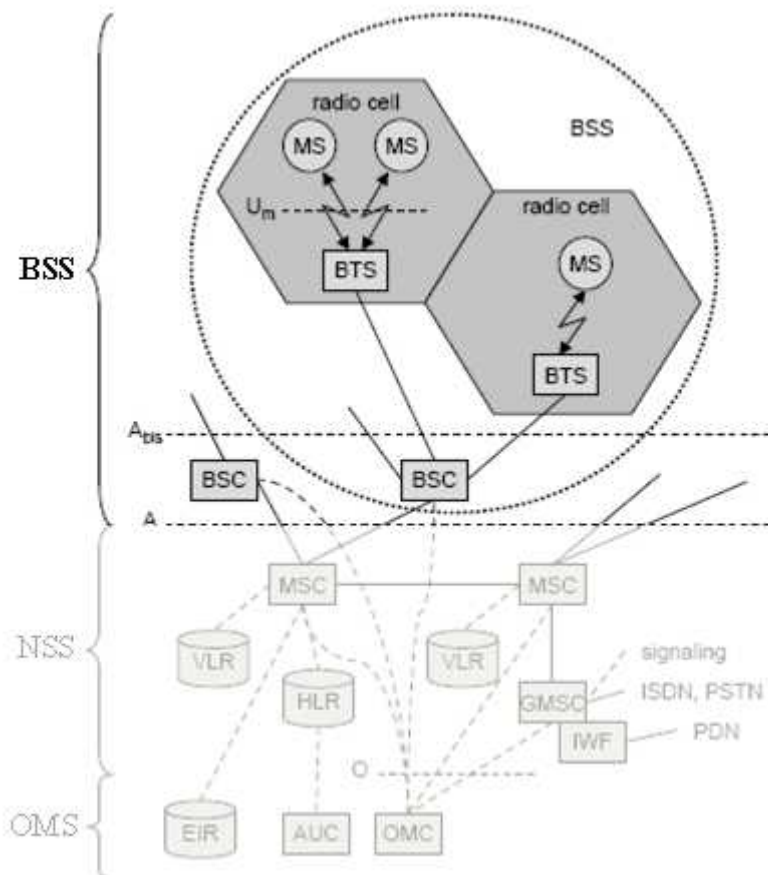
2.3.1 Υποσύστημα Σταθμού Βάσης (BSS) - Ραδιοδίκτυο

Το BSS καθορίζει τις διαδρομές ραδιομετάδοσης ανάμεσα στους κινητούς σταθμούς και το μεταγωγικό κέντρο MSC. Επίσης το BSS διαχειρίζεται τα πρωτόκολλα επικοινωνίας ανάμεσα στον κινητό σταθμό και τον σταθμό βάσης. Επομένως, το BSS αποτελεί το φυσικό μέσο σύνδεσης του κινητού σταθμού με τα υπόλοιπα υποσυστήματα του δικτύου και το οποίο εκτελεί όλες τις απαραίτητες λειτουργίες για να διατηρηθούν οι ραδιοσυνδέσεις με τον κινητό σταθμό - επεξεργασία σήματος, κωδικοποίηση-

αποκωδικοποίηση των δεδομένων κίνησης και σηματοδότησης, προσαρμογή του ρυθμού δεδομένων στο/από το ασύρματο τμήμα του δικτύου, κλπ.

Κάθε BSS απαρτίζεται από τον *ελεγκτή σταθμών βάσης* BSC (**B**ase **S**tation **C**ontroller), τους *σταθμούς βάσης πομποδεκτών* (**B**ase **S**tation **T**ransceivers), τους κινητούς σταθμούς και τις παραμέτρους του ραδιοδικτύου στον αέρα.

Το ακόλουθο Σχήμα δείχνει τα δομικά στοιχεία του BSS. Μία κυψέλη GSM εκτείνεται γύρω από την περιοχή ραδιοκάλυψης του σταθμού βάσης BTS. Ο BTS παρέχει τα ραδιοκάναλια για σηματοδότηση και κίνηση δεδομένων χρήστη σε αυτή την κυψέλη. Επομένως, ο BTS αποτελεί το τμήμα του δικτύου GSM που σχετίζεται με την διεπαφή αέρα Um. Πέρα από το υψίσυχο τμήμα (εξοπλισμός πομπού και δέκτη), ο BTS διαθέτει επίσης κάποια ελάχιστα δομικά στοιχεία για την επεξεργασία των σημάτων και των πρωτοκόλλων.

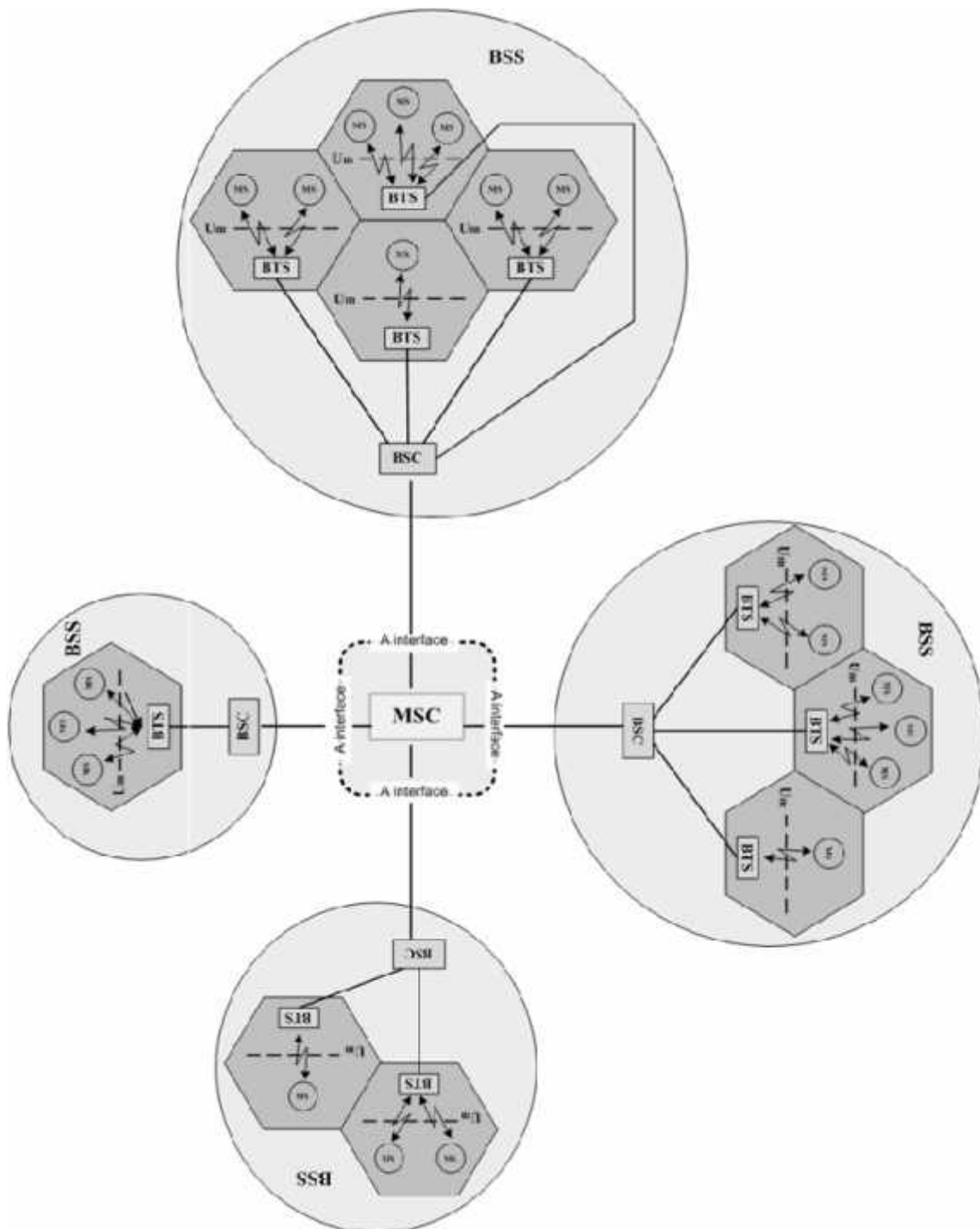


Σχήμα 2.3: Οργάνωση – Δομικά στοιχεία του BSS

Ένα δίκτυο GSM δύναται να διαθέτει περισσότερα από ένα BSS, διαμορφώνοντας έτσι το ασύρματο τμήμα του δικτύου ή *ραδιοδίκτυο* (*Radio Subsystem – RSS*) (Σχήμα 3.4). Το RSS αποτελείται από πολλά BSC, καθένα από τα οποία ελέγχει αρκετές εκατοντάδες σταθμών βάσης, και τα οποία συνδέονται σε ένα μοναδικό MSC.

Για να διατηρηθούν οι σταθμοί βάσης μικροί σε μέγεθος, ο ουσιαστικός έλεγχος και οι οντότητες των πρωτοκόλλων ευφυίας είναι τοποθετημένες στον ελεγκτή σταθμών βάσης BSC. Για παράδειγμα, το πρωτόκολλο μεταγωγής κλήσεων εκτελείται στον BSC. Ο BTS και ο BSC σχηματίζουν μαζί το BSS. Σε κάθε BTS εκχωρείται ένα σύνολο από τα διαθέσιμα ραδιοκανάλια.

Όπως θα δούμε στη συνέχεια, δύο είδη καναλιών διατίθενται στην διεπαφή αέρα: τα κανάλια ομιλίας και τα κανάλια σηματοδότησης. Τα κανάλια κίνησης υποδιαιρούνται περαιτέρω σε πλήρους – ρυθμού κανάλια και μισού – ρυθμού κανάλια. Για τα κανάλια κίνησης, το BSS περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες του επιπέδου 1 στο διαστρωματωμένο πρότυπο ανοιχτής διασύνδεσης OSI.



Σχήμα 2.4: Δομή ραδιοδικτύου στο GSM

2.3.1.1 Σταθμός Βάσης (BTS)

Ο BTS περιλαμβάνει όλο τον ράδιο-εξοπλισμό, τις κεραιές, οι οποίες συνήθως είναι προσαρτημένες πάνω σε έναν ιστό, τα συστήματα επεξεργασίας σήματος και τους απαραίτητους ενισχυτές για την εκπομπή των ράδιο-σημάτων. Ένας BTS μπορεί να υποστηρίξει λειτουργικά μία ή περισσότερες, εφόσον χρησιμοποιούνται κατευθυντικές κεραιές, ραδιοκυψέλες και συνδέεται, αφενός με τον κινητό σταθμό μέσω της διεπαφής αέρα (Air-Interface ή Um) και αφετέρου με τον BSC δια της διεπαφής Abis.

Η διεπαφή Um περιέχει όλους τους απαραίτητους μηχανισμούς για την ασύρματη μετάδοση (FDMA, TDMA πλαίσια, φυσικά κανάλια και ριπές πληροφορίας) ενώ η Abis διεπαφή απαρτίζεται από συνδέσεις των 16 ή 64 kbps. Η διεπαφή Abis μεταφέρει δεδομένα κίνησης και συντήρησης, ενώ από την αρμόδια επιτροπή σύστασης του GSM έχει καταστεί πρότυπο για όλους τους κατασκευαστές εξοπλισμού δικτύου GSM. Στην πράξη, το Abis παρουσιάζει σημαντικές διαφορές από κατασκευαστή σε κατασκευαστή αποτελώντας έτσι μοχλό πίεσης για τους φορείς υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας να χρησιμοποιούν τον ίδιο κατασκευαστή για εξοπλισμό BTS και BSC. Η εμβέλεια, η λειτουργική δηλαδή περιοχή μιας GSM ραδιοκυψέλης, κυμαίνεται από 1000 m έως 35 Km ανάλογα με το περιβάλλον της ραδιομετάδοσης αλλά επίσης και από την προσδοκώμενη κίνηση.

Κάποια από τα BTS ενδεχομένως να είναι εγκατεστημένα μέσα στο BSC, το οποίο είναι υπεύθυνο για την ορθή λειτουργία τους, τα περισσότερα όμως είναι τοποθετημένα μακριά από το BSC. Στη δεύτερη περίπτωση, το φυσικό στρώμα σύνδεσης υλοποιείται με μικροκυματική ζεύξη ή μισθωμένες γραμμές αποκλειστικής χρήσης (dedicated leased lines).

2.3.1.2 Ελεγκτής Σταθμών Βάσης (BSC)

Το BSC είναι υπεύθυνο για τη σωστή λειτουργία του ραδιοδικτύου. Συγκεκριμένα, ο ρόλος του BSC είναι να διαχειρίζεται τα BTS και να τα διασυνδέει με το MSC. Διατηρεί τις ραδιοσυχνότητες, χειρίζεται τις αιτήσεις για μεταπομπή κλήσεων (handovers – HO) από ένα BTS σε ένα άλλο μέσα στο ίδιο BSS, διεκπεραιώνει υπηρεσίες τηλεειδοποίησης από ή προς τον κινητό σταθμό, ελέγχει την στάθμη ισχύος των ραδιοσημάτων (power control) κ.α.. Το BSC πολυπλέκει τα ραδιοκανάλια πάνω στις συνδέσεις του σταθερού δικτύου στη διεπαφή A.

2.3.1.3 Κινητός Σταθμός (MS)

Ο κινητός σταθμός (ΚΣ) αποτελεί το φυσικό μέσο σύνδεσης του συνδρομητή με το δίκτυο. Ο ΚΣ αποτελείται από τον εξοπλισμό (υλικό και λογισμικό) ο οποίος είναι ανεξάρτητος από τον χρήστη, καθώς και τη μονάδα πιστοποίησης συνδρομητή SIM (Subscriber Identity Module).

Ένας κινητός σταθμός αναγνωρίζεται σε διεθνές επίπεδο μέσω ενός διεθνούς αριθμού πιστοποίησης κινητού εξοπλισμού IMEI (International Mobile Equipment Identity). Ο

συνδρομητής δικτύου GSM προσωποποιεί τη συσκευή με την εισαγωγή της κάρτας SIM, για παράδειγμα η χρέωση υπηρεσιών και η πιστοποίηση στηρίζονται στη SIM και όχι στη συσκευή. Οι μηχανισμοί που σχετίζονται με τη συσκευή, όπως η προστασία της συσκευής από κλοπή, χρησιμοποιούν τον αριθμό IMEI. Χωρίς την κάρτα SIM, μόνο κλήσεις εκτάκτου ανάγκης είναι εφικτές. Η SIM, στην πράξη, είναι μία βάση δεδομένων η οποία φυλάσσει δεδομένα που αφορούν τον συνδρομητή, περιέχει αριθμούς πιστοποίησης και πίνακες, όπως είναι ο τύπος της κάρτας (card type), ο σειριακός αριθμός (serial number), η λίστα υπηρεσιών στις οποίες είναι εγγεγραμμένος ο συνδρομητής, ο προσωπικός αριθμός πιστοποίησης PIN (Personal Identity Number), το κλειδί ξεμπλοκαρίσματος PUK (Personal Unblocking Key), το κλειδί πιστοποίησης Ki (Identity Key) και η διεθνής ταυτότητα κινητού συνδρομητή IMSI (International Mobile Subscriber Identity).

Ο ΚΣ αποθηκεύει δυναμικά δεδομένα για όσο χρόνο είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο GSM, όπως είναι το κλειδί κρυπτογράφησης ή «απόκρυψης» (ciphering key) και η πληροφορία που σχετίζεται με τη θέση του κινητού σταθμού στο δίκτυο. Η πληροφορία αυτή συντίθεται από τον προσωρινό αριθμό πιστοποίησης κινητού συνδρομητού TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) και τον αριθμό αναγνώρισης θέσης εντοπισμού LAI (Location Area Identity).

Τυπικοί GSM 900 κινητοί σταθμοί παρουσιάζουν ισχύ εκπομπής μέχρι 2W ενώ στο GSM 1800 η ανώτατη εκπεμπόμενη ισχύς είναι το 1W, λόγω του μικρότερου μεγέθους των ραδιοκυψελών.

Ο κινητός σταθμός, εκτός από την τηλεφωνική διασύνδεση που προσφέρει, παρέχει στους χρήστες και άλλου είδους υπηρεσίες, πχ. προγραμματιζόμενες λειτουργίες, οπτική απεικόνιση δεδομένων και ακουστικές υπηρεσίες. Επιπρόσθετες διασυνδέσεις περιλαμβάνουν διεπαφές με H/Y (computer modems), IrDA ή Bluetooth. Σύγχρονοι κινητοί σταθμοί περιλαμβάνουν πολλές λειτουργίες που σχετίζονται με τον κατασκευαστή (κάμερα, ανιχνευτής αποτυπωμάτων, ημερολόγια, ηλεκτρονικά βιβλία διευθύνσεων, δυνατότητα email, προγράμματα περιήγησης στο internet, παιχνίδια, κ.α.).

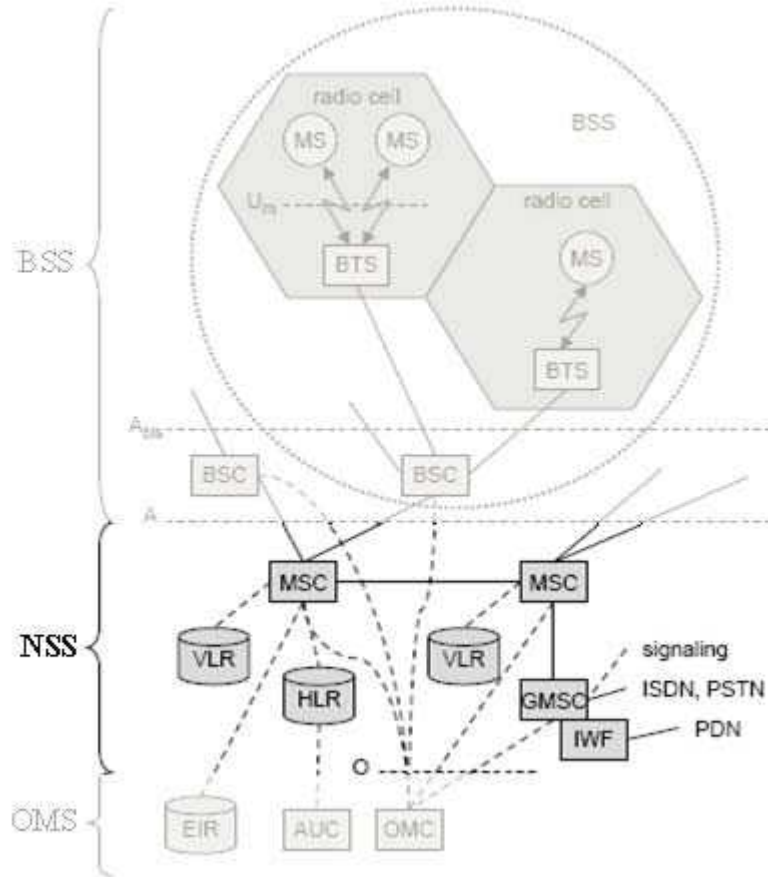
2.3.2 Υποσύστημα Δικτύου και Μεταγωγής (NSS)

Το NSS αποτελεί την «καρδιά» του συστήματος GSM. Ο ρόλος του είναι να διαχειρίζεται τις διακοπτικές λειτουργίες του συστήματος και να επιτρέπει στα MSC να επικοινωνούν με άλλα δίκτυα, όπως το PSTN και το ISDN.

Συγκεκριμένα, το NSS διασυνδέει το ασύρματο δίκτυο με τα σταθερά δημόσια δίκτυα, διεκπεραιώνει την μεταγωγή ανάμεσα σε διαφορετικά BSS, περιλαμβάνει λειτουργίες εντοπισμού θέσης των συνδρομητών διεθνώς και υποστηρίζει τις διαδικασίες χρέωσης, τιμολόγησης και περιαγωγής (roaming) μεταξύ διαφορετικών παρόχων στην ίδια ή σε διαφορετικές χώρες.

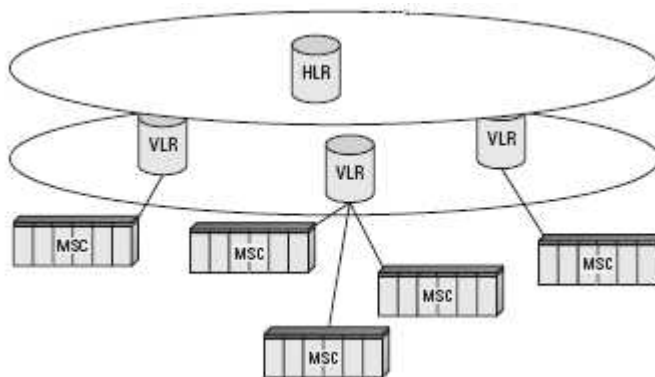
Το NSS αποτελείται από τα κέντρα μεταγωγής MSC και τις βάσεις δεδομένων HLR και VLR, οι οποίες αποθηκεύουν τα δεδομένα που απαιτούνται για τη δρομολόγηση των

κλήσεων και την παροχή υπηρεσιών.



Σχήμα 2.5: Δομή του NSS GSM δικτύου

Η ιεραρχική διασύνδεση των δομικών στοιχείων (HLR, VLR, MSC) του υποσυστήματος NSS αποτυπώνεται στο ακόλουθο Σχήμα.



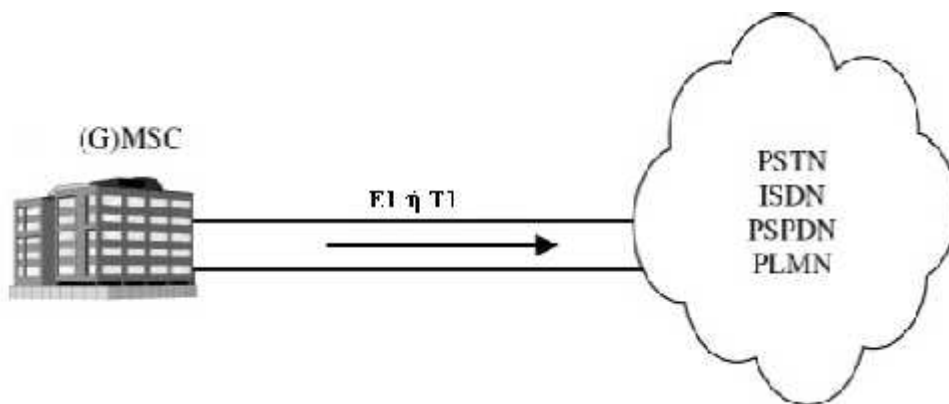
Σχήμα 2.6: Ιεραρχική διασύνδεση των δομικών στοιχείων του NSS

2.3.2.1 Επιλογικό Μεταγωγικό Κέντρο (MSC)

Το MSC αποτελεί την κεντρική μονάδα του NSS. Ο ρόλος του είναι να ελέγχει την τηλεπικοινωνιακή κίνηση και να αποκαθιστά τις συνδέσεις μεταξύ των BSC καθώς και να αλληλεπιδρά με άλλα MSC. Από τεχνική σκοπιά, το MSC είναι ένα υψηλής απόδοσης ψηφιακό ISDN μεταγωγικό κέντρο με τη διαφορά ότι το MSC λαμβάνει υπόψη την εκχώρηση και διαχείριση των ραδιοπόρων καθώς και την κινητικότητα των συνδρομητών. Για το λόγο αυτό, το MSC διαθέτει επιπρόσθετες λειτουργίες που αφορούν την καταγραφή της θέσης των συνδρομητών και την μεταγωγή της σύνδεσης, στην περίπτωση που ο συνδρομητής μεταβαίνει από BSS σε BSS.

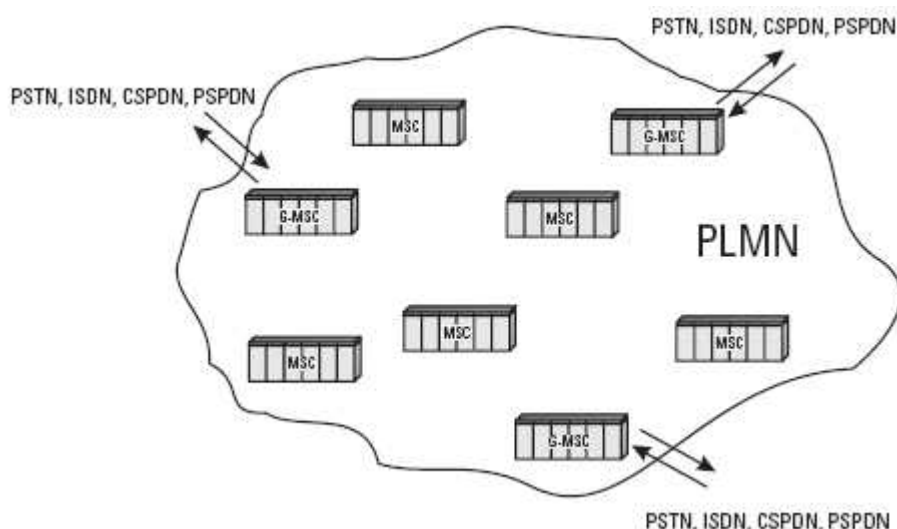
Ένα MSC χειρίζεται όλη τη σηματοδοσία που χρειάζεται για την αποκατάσταση, διατήρηση και τερματισμό της σύνδεσης και εναλλαγής των συνδέσεων σε άλλα MSC. Για αυτόν τον σκοπό, χρησιμοποιείται το σύστημα σηματοδοσία Νο 7 (SS#7)¹ το οποίο καλύπτει όλες τις πλευρές ελέγχου σηματοδοσίας στα ψηφιακά δίκτυα (αξιόπιστη δρομολόγηση και παροχή μηνυμάτων ελέγχου, αποκατάσταση – εποπτεία κλήσεων, κλπ.). Χαρακτηριστικό του SS#7 είναι η μεταβλητότητα των αριθμών κλήσης, οι χωρίς χρέωση τηλεφωνικές κλήσεις, η προώθηση κλήσεων και η τριμερή κλήση. Το MSC υλοποιεί επίσης όλες τις λειτουργίες που απαιτούνται για συμπληρωματικές υπηρεσίες όπως προώθηση κλήσεων, πολυμερής κλήση, ακύρωση χρέωσης, κλπ.

Ένα MSC το οποίο παρέχει την δυνατότητα διασύνδεσης με άλλα σταθερά δίκτυα (π.χ. ISDN, PSTN) αποτελεί τον διαύλο επικοινωνίας μεταξύ δύο δικτύων και καλείται GMSC (Gateway Mobile Switching Center) (Σχήμα 3.5). Συγκεκριμένα, το GMSC ανταλλάσσει δεδομένα φωνής και σηματοδοσίας μεταξύ σταθερού, δημόσιου δικτύου και δικτύου κινητών επικοινωνιών. Εάν ένα σταθερό δίκτυο δεν είναι δυνατόν να προωθήσει μια εισερχόμενη κλήση στο τοπικό MSC (π.χ. λόγω αδυναμίας να αντλήσει πληροφορία από την HLR), δρομολογεί την κλήση στο επόμενο GMSC. Αυτό με τη σειρά του αναζητά την πληροφορία δρομολόγησης από την HLR και δρομολογεί την σύνδεση στο τοπικό MSC στην περιοχή του οποίου βρίσκεται ο κινητός σταθμός.



Σχήμα 2.7: Διασύνδεση του GMSC με άλλο δίκτυο μέσω γραμμών PCM

Ένα Δημόσιο Τοπικό Δίκτυο (Public Land Mobile Network – PLMN) συνήθως διαθέτει ένα μόνο GMSC και περισσότερα από ένα MSC, καθένα από τα οποία είναι υπεύθυνο για ένα τμήμα της περιοχής υπηρεσιών. Γενικά, οι πάροχοι υπηρεσιών κινητών επικοινωνιών επιδιώκουν κάθε MSC σε ένα δίκτυο PLMN να έχει την δυνατότητα να λειτουργεί και ως GMSC. Στο ακόλουθο Σχήμα εικονίζεται ένα PLMN δίκτυο, το οποίο συγκροτείται από τρία GMSC και πέντε MSC.



Σχήμα 2.8: Δίκτυο PLMN με τρία GMSC και πέντε MSC

Οι συνδέσεις με άλλα δίκτυα κινητών επικοινωνιών ή διεθνή δίκτυα δρομολογούνται μέσω του κέντρου διεθνούς μεταγωγής (International Switching Center) της αντίστοιχης χώρας. Χρησιμοποιώντας επιπρόσθετες λειτουργίες διασύνδεσης IWF (InterWorking Functions), το MSC καθιστά εφικτή τη σύνδεση ενός PLMN με το δημόσιο δίκτυο δεδομένων (Public Data Network – PDN), όπως είναι π.χ. το X.25. Αυτή η λειτουργική διασύνδεση, IWF, εκτελεί ένα σύνολο από ενέργειες που εξαρτώνται από την υπηρεσία και το αντίστοιχο σταθερό δίκτυο. Η IWF χρειάζεται για να χαρτογραφήσει τα πρωτόκολλα του PLMN πάνω σε εκείνα των αντίστοιχων σταθερών δικτύων. Σε περιπτώσεις συμβατής υλοποίησης υπηρεσιών και στα δύο δίκτυα, η IWF δεν εκτελεί καμία λειτουργία.

Κλείνοντας την παράγραφο αυτή, μπορούμε να πούμε ότι το MSC παρέχει όλη την λειτουργικότητα που απαιτείται για τον χειρισμό του κινητού συνδρομητή, όπως καταχώρηση, πιστοποίηση αυθεντικότητας, ενημέρωση θέσης, μεταγωγές και δρομολόγηση κλήσεων σε περιάγοντες συνδρομητές

Οι κύριες λειτουργίες του MSC συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Τηλεειδοποίηση
- Εξασφάλιση της «φυσικής» συνέχειας των συνδέσεων για όλους τους ΚΣ στην περιοχή λειτουργίας του

- Δυναμική εκχώρηση πόρων
- Εγγραφή θέσης εντοπισμού
- Λειτουργίες διασύνδεσης
- Διαχείριση των μεταγωγών κλήσεων
- Χρέωση
- Επαναεκχώρηση των συχνοτήτων στους σταθμούς βάσης
- Κρυπτογράφηση
- Ανταλλαγή σηματοδοσίας
- Συγχρονισμός των BSS
- Πύλη διασύνδεσης με άλλα δίκτυα

2.3.2.2 Οικεία Βάση Δεδομένων (HLR)

Η HLR είναι η κεντρική και ταυτόχρονα η πιο σημαντική βάση δεδομένων στο GSM αποθηκεύει όλη την πληροφορία που σχετίζεται με τον συνδρομητή. Η πληροφορία αυτή διακρίνεται σε στατική και δυναμική.

Η στατική πληροφορία περιλαμβάνει δεδομένα εγγραφής του συνδρομητή στο δίκτυο όπως π.χ. τον αριθμό ISDN κινητού συνδρομητή (MSISDN), τις υπηρεσίες στις οποίες είναι εγγεγραμμένος ο συνδρομητής (π.χ. προώθηση κλήσεως, περιορισμοί στην περιαγωγή, GPRS) και τη διεθνή ταυτότητα κινητού συνδρομητή (IMSI). Η δυναμική πληροφορία είναι απαραίτητη λόγω της κινητικότητας του συνδρομητή και σχετίζεται με την τρέχουσα θέση του κινητού σταθμού (Location Area Identity – LAI), τον αριθμό περιαγωγής του κινητού σταθμού (Mobile Subscriber Roaming Number – MSRN) καθώς και με την βάση επισκεπτών VLR του εξυπηρετούντος MSC.

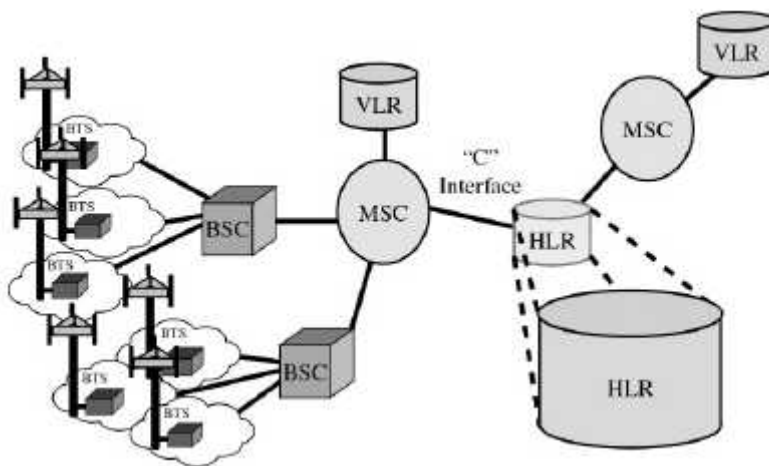
Όλα αυτά τα στοιχεία για κάθε συνδρομητή βρίσκονται αποθηκευμένα στη HLR που διαθέτει κάθε δίκτυο, η οποία επίσης υποστηρίζει τις διαδικασίες χρέωσης και τιμολόγησης. Οι HLR μπορούν να διαχειριστούν δεδομένα για αρκετά εκτομύρια πελατών και περιέχουν υψηλής ειδικευσης βάσεις δεδομένων οι οποίες είναι κατασκευασμένες για να υλοποιούν συγκεκριμένες, πραγματικού – χρόνου λειτουργίες, απαντώντας στις αιτήσεις για σύνδεση μέσα σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Γενικά, ισχύει ότι όσο πιο γρήγορη είναι η απόκριση από την βάση δεδομένων, τόσο πιο γρήγορα πραγματοποιείται η αποκατάσταση της σύνδεσης

Μόλις ένας κινητός σταθμός αφήσει την τρέχουσα θέση του, το πεδίο στην HLR που συγκρατεί την πληροφορία για την γεωγραφική θέση του συνδρομητή ενημερώνεται για την αλλαγή. Η ενημέρωση αυτή είναι απαραίτητη για τον εντοπισμό της θέσης ενός κινητού συνδρομητή στο διεθνές δίκτυο GSM.

Γενικά, υπάρχει μία μόνο HLR σε κάθε PLMN. Η οργάνωση αυτή εξαρτάται από τον αριθμό των συνδρομητών, την ικανότητα επεξεργασίας και αποθήκευσης που έχουν οι μεταγωγοί και τη δομή του δικτύου.

Πέρα από τις στατικές εγγραφές, όπως είναι οι συνδρομητικές υπηρεσίες, τα αποθηκευμένα δεδομένα περιέχουν επίσης ένα σύνδεσμο που καταδεικνύει την τρέχουσα θέση του κινητού σταθμού. Η HLR δεν ασκεί ελεγκτικό ρόλο στο MSC, αλλά λειτουργεί περισσότερο ως κεντρικός καταχωρητής.

Λόγω της ιδιαίτερης σημασίας που παρουσιάζει η HLR καθώς και η ευαισθησία της στα αποθηκευμένα δεδομένα, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη και να αντιμετωπίζεται κάθε παράγοντας που θα μπορούσε να διακόψει την εύρυθμη λειτουργία της HLR ή ακόμη και να προκαλέσει απώλεια των συνδρομητικών δεδομένων. Το ακόλουθο Σχήμα αποτυπώνει την δεσπόζουσα θέση που κατέχει η HLR μέσα στο NSS.



Σχήμα 2.9: Η θέση της HLR μέσα στο NSS

2.3.2.3 Βάση Δεδομένων Επισκεπτών (VLR)

Η VLR είναι ένας δυναμικός καταχωρητής που αποθηκεύει όλη την απαραίτητη πληροφορία που σχετίζεται με τους κινητούς σταθμούς, οι οποίοι βρίσκονται στην περιοχή υπηρεσιών του εξυπηρετούντος MSC (πχ. IMSI, MSISDN, HLR address). Η πληροφορία αυτή, η οποία προέρχεται και αποτελεί τμήμα της πληροφορίας που είναι αποθηκευμένη στην HLR, είναι αναγκαία για τον έλεγχο της κλήσης (Call Control – CC) και την παροχή συνδρομητικών υπηρεσιών για κάθε κινητό σταθμό που βρίσκεται στην περιοχή ευθύνης της VLR.

Κάθε VLR είναι υπεύθυνη για την γεωγραφική περιοχή υπηρεσιών ενός ή περισσότερων MSC. Οι κινητοί σταθμοί περιάγονται ελεύθερα και επομένως, ανάλογα με την τρέχουσα θέση τους, εγγράφονται σε μία από τις VLR του οικείου δικτύου ή σε κάποια VLR του επισκεπτόμενου δικτύου (εφόσον υπάρχει συμφωνία περιαγωγής μεταξύ των δύο παρόχων δικτύων κινητής τηλεφωνίας). Για το λόγο αυτό, όταν ένας κινητός σταθμός εισέρχεται σε νέα θέση εντοπισμού, ξεκινά η διαδικασία εγγραφής του στην αντίστοιχη VLR.

Το MSC, στην περιοχή ευθύνης του οποίου περιάγεται ο κινητός σταθμός, στέλνει στη VLR στοιχεία για την ταυτοποίηση και την τρέχουσα θέση του κινητού σταθμού, η οποία εν συνεχεία εγγράφει αυτά τα στοιχεία στους καταχωρητές της. Εάν είναι η πρώτη φορά

που ο κινητός σταθμός εγγράφεται στη συγκεκριμένη VLR, τα στοιχεία αυτά στέλνονται αμέσως στην HLR η οποία ενημερώνεται την τρέχουσα θέση του κινητού σταθμού. Αυτή η διαδικασία καθιστά δυνατή τη δρομολόγηση των εισερχόμενων κλήσεων προς τον κινητό σταθμό.

Για λόγους απλοποίησης της απαιτούμενης σηματοδότησης, οι περισσότεροι κατασκευαστές μεταγωγικού εξοπλισμού υλοποιούν μία VLR μαζί με ένα MSC. Έτσι, η ελεγχόμενη από το MSC γεωγραφική περιοχή συμπίπτει με εκείνη για την οποία υπεύθυνη είναι η VLR.

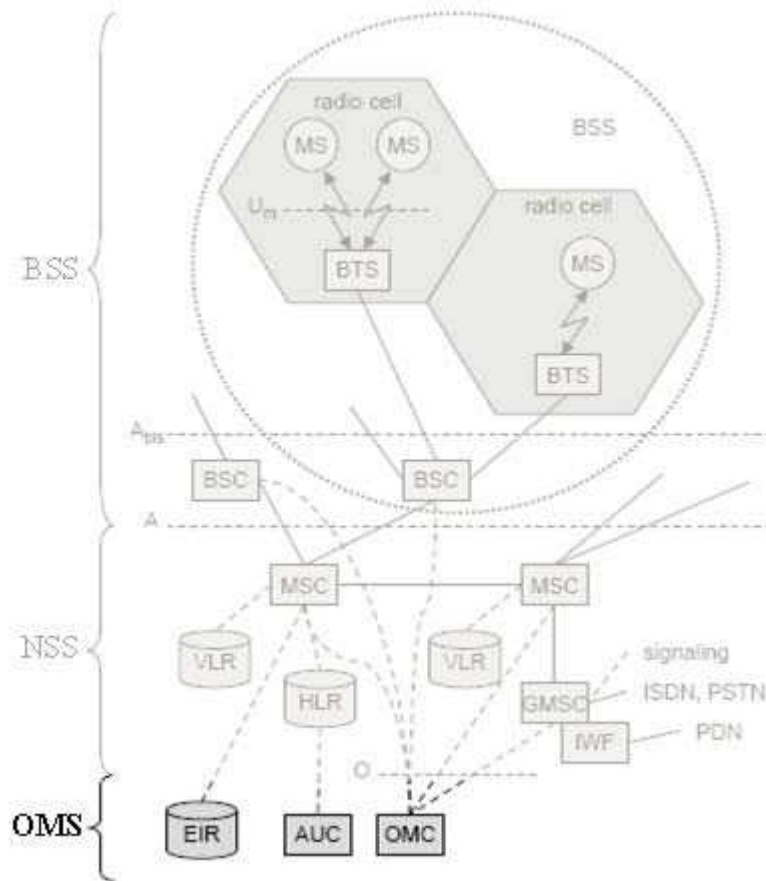
2.3.3 Υποσύστημα Λειτουργίας και Υποστήριξης (OMS)

Το υποσύστημα λειτουργίας και υποστήριξης του GSM, παρέχει τις απαραίτητες λειτουργίες για τον χειρισμό και συντήρηση του δικτύου. Μερικές από αυτές τις λειτουργίες είναι:

- Διαχείριση και εμπορική λειτουργία (χειρισμός) (συνδρομητές, end terminals, χρέωση, στατιστική)
- Διαχείριση ασφαλείας
- Διαμόρφωση δικτύου, χειρισμός, απόδοση διαχείρισης
- Εργασίες συντήρησης

Το OMS σχηματίζεται από δικά του δομικά στοιχεία αλλά έχει πρόσβαση και σε άλλες οντότητες μέσω του συστήματος σηματοδότησης Νο 7 (SS#7). Τα δομικά στοιχεία που συγκροτούν το OMS είναι τα κάτωθι:

- ③ Κέντρο Εποπτείας και Συντήρησης (Operation and Maintenance Center – OMC)
- ③ Κέντρο Πιστοποίησης (Authentication Center – AuC)
- ③ Κέντρο Πιστοποίησης Εξοπλισμού (Equipment Identity Register – EIR)



Σχήμα 2.10: Δομή του OMS σε δίκτυο GSM

2.4 Η ΔΙΕΠΑΦΗ ΑΕΡΑ U_m ΣΤΟ GSM

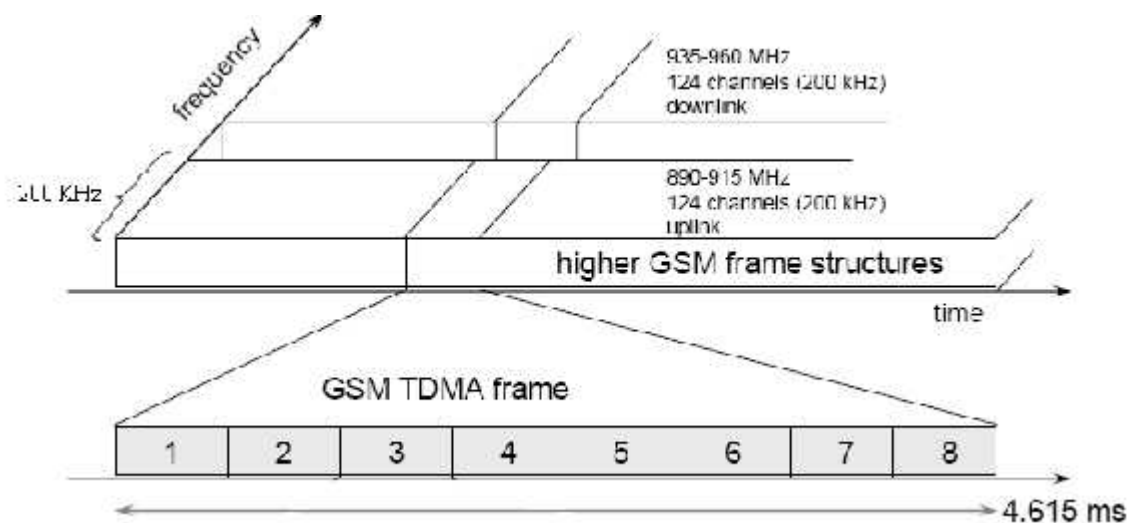
2.4.1 Λειτουργικά Χαρακτηριστικά της U_m

Το σύστημα GSM διαθέτει ένα δεδομένο εύρος ζώνης συχνοτήτων – γνωστό ως ραδιοπόροι του συστήματος – το οποίο χρησιμοποιείται για την παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών (Πίνακας 3.1). Στο πρώτο κεφάλαιο είδαμε ότι η γεωγραφική περιοχή υπηρεσιών ενός συστήματος κινητής τηλεφωνίας συντίθεται από ένα μεγάλο αριθμό ανεξάρτητων, γειτονικών κυψελωτών συγκροτημάτων (clusters). Σε κάθε τέτοιο συγκρότημα εκχωρείται ολόκληρο το διαθέσιμο ραδιοφάσμα του συστήματος, το οποίο κατανέμεται εν συνεχεία στις κυψέλες του συγκροτήματος για την υλοποίηση των ραδιοεπικοινωνιών μεταξύ των χρηστών – συνδρομητών με τους σταθμούς βάσης των κυψελών.

| | GSM 900 | GSM 1800 | GSM 1900 |
|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Uplink | 890 – 915 MHz | 1710 – 1785 MHz | 1850 – 1910 MHz |
| Downlink | 935 – 960 MHz | 1805 – 1880 MHz | 1930 – 1990 MHz |

Πίνακας 2.1: Ζώνες συχνοτήτων για τρεις εκδόσεις του GSM

Το GSM χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό πολυπλεξίας με επιμερισμό χρόνου (TDMA) και επιμερισμό συχνότητας (FDMA). Το διαθέσιμο ραδιοφάσμα του συστήματος διαμερίζεται σε επιμέρους συχνοτικά διαστήματα, τα ραδιοκανάλια. Κάθε ραδιοκάνάλι έχει συχνοτικό εύρος 200 KHz και αποτελεί την συχνότητα φέροντος του συστήματος. Στο πεδίο του χρόνου, κάθε ραδιοκάνάλι μπορεί να τεμαχιστεί σε επιμέρους χρονικά διαστήματα, τις χρονοθυρίδες (Time Slots – TS). Στο GSM, κάθε πλαίσιο που σχηματίζεται από οχτώ διαφορετικές χρονοθυρίδες καλείται TDMA πλαίσιο (Σχήμα 2.11). Είναι φανερό ότι οι χρονοθυρίδες παρουσιάζουν χρονική ολίσθηση μεταξύ τους ενώ κάθε μία εξ αυτών έχει συχνοτικό εύρος 200 KHz. Όπως θα δούμε στη συνέχεια, οι χρονοθυρίδες καλούνται φυσικά κανάλια καθώς είναι αυτές που μεταφέρουν την πληροφορία κίνησης, σηματοδότησης και συγχρονισμού.



Σχήμα 2.11: Ζώνες συχνοτήτων για τις τρεις εκδόσεις του GSM

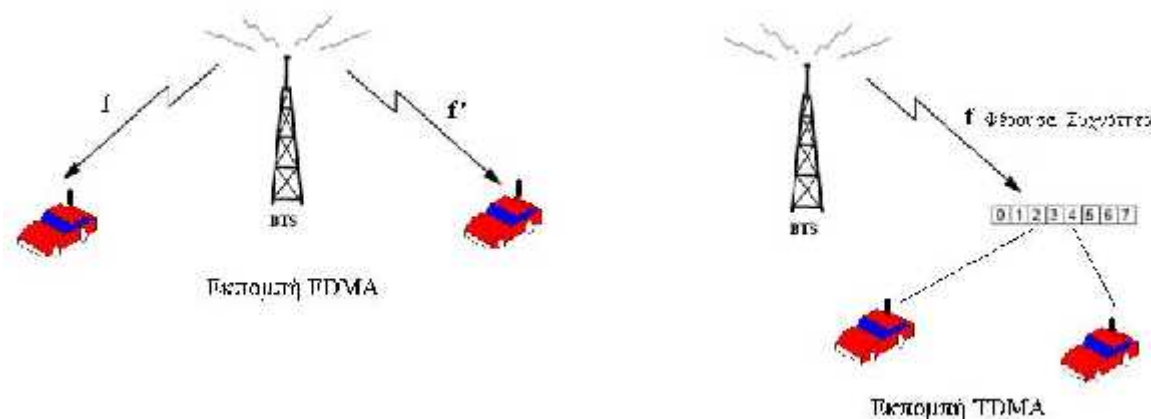
Η έννοια του uplink (άνω ζεύξη) είναι η επικοινωνία του κινητού σταθμού με τον σταθμό βάσης ενώ η έννοια του downlink (κάτω ζεύξη) είναι από τον σταθμό βάσης προς το κινητό. Η ταυτόχρονη χρήση της επικοινωνίας uplink και downlink κάνει εφικτή την ταυτόχρονη ομιλία και προς τις δύο κατευθύνσεις. Επομένως, οι φέρουσες συχνοτητες είναι πάντα δεσμευμένες ανά ζεύγη. Αυτού του είδους η επικοινωνία ονομάζεται αμφίδρομη (Duplex).

Για παράδειγμα, το GSM 900 διαθέτει 25 MHz στην uplink (890-915 MHz, εκπομπή κινητού σταθμού και λήψη σταθμού βάσης) και 25 MHz επίσης στη downlink (890-915 MHz, εκπομπή κινητού σταθμού και λήψη σταθμού βάσης). Δεδομένου ότι κάθε ραδιοκάνάλι έχει εύρος 200 KHz, εύκολα προκύπτει ότι το σύστημα αυτό διαθέτει 125 κανάλια στην άνω ζεύξη και 125 επίσης στην κάτω ζεύξη. Στην πραγματικότητα τα ραδιοκάνάλια είναι ελάχιστα λιγότερα, 124 για την ακρίβεια, διότι το πρώτο ραδιοκάνάλι θυσιάζεται για τον επαρκή συχνοτικό διαχωρισμό (guard space) ανάμεσα σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε TDMA πλαίσιο συγκροτείται από οχτώ χρονοθυρίδες, τότε το μέγιστο πλήθος των διαθέσιμων καναλιών ομιλίας στο GSM για μια γεωγραφική περιοχή είναι $124 \times 8 = 992$ κανάλια. Και σε αυτή την περίπτωση, τα κανάλια ομιλίας είναι λιγότερα και συγκεκριμένα είναι $992 - 124 \times 2 = 744$, καθώς σε κάθε TDMA πλαίσιο οι δύο πρώτες χρονοθυρίδες δεσμεύονται για μεταφορά πληροφορίας συγχρονισμού και σηματοδοσίας.

Ας δούμε στο σημείο αυτό πως διαφοροποιείται η εκπομπή των ψηφιακών σημάτων στο GSM από την μετάδοση στα αναλογικά συστήματα. Όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα, στην αναλογική ΚΤ (αριστερά) εφαρμόζεται μόνον η τεχνική FDMA και ο κάθε

κινητός σταθμός απαιτεί μια αποκλειστικά δική του συχνότητα f' ή f'' την οποία καταλαμβάνει όσο διαρκεί η κλήση. Για την ακρίβεια, κάθε κινητός σταθμός χρησιμοποιεί δύο συχνότητες επειδή η επικοινωνία είναι αμφίδρομη (duplex), μία για εκπομπή και μία για λήψη.



Σχήμα 2.12: Αρχή λειτουργίας αναλογικής (αριστερά) και ψηφιακής (δεξιά) κινητής τηλεφωνίας

Στο δεξιό μέρος του Σχήματος εμφανίζεται μια αντίστοιχη TDMA ψηφιακή εκπομπή σε συχνότητα f (ή ένα FDMA κανάλι εύρους 200 KHz). Το ψηφιακό σήμα αποτελείται τώρα από συρμούς 0 και 1 που μεταβιβάζονται από το ένα σημείο στο άλλο. Επάνω στο κάθε κανάλι μεταφέρονται ταυτόχρονα οκτώ χρονοθυρίδες, δηλαδή οκτώ διαφορετικές ομιλίες. Ο κάθε κινητός σταθμός συγχρονισμένος με τον σταθμό βάσης χρησιμοποιεί τη δική του χρονοθυρίδα, συνομιλεί την κατάλληλη στιγμή και σιωπά στις υπόλοιπες 7 χρονοθυρίδες. Όπως στην αναλογική κινητή τηλεφωνία, έτσι και εδώ υπάρχουν δύο συχνότητες, μία για την εκπομπή και μία για τη λήψη, οι οποίες μάλιστα διαφέρουν κατά 45 MHz.

Από τα παραπάνω δεν πρέπει να δημιουργείται η εσφαλμένη εντύπωση ότι με την TDMA εκπομπή η χωρητικότητα οκταπλασιάζεται. Ο διαχωρισμός των καναλιών στο αναλογικό σύστημα είναι μόνο 25 KHz ενώ στο GSM είναι 200 KHz. Οι οκτώ ταυτόχρονοι χρήστες σε κάθε κανάλι TDMA των 200KHz, ισοδυναμούν συνεπώς με οκτώ κανάλια FDMA των 25 KHz.

Παρόλα αυτά, με την ψηφιακή μετάδοση επιτυγχάνεται αύξηση της χωρητικότητας του διαθέσιμου ραδιοφάσματος από άλλη αιτία και συγκεκριμένα λόγω του ειδικού τρόπου που κωδικοποιείται η φωνή.

2.4.2 Κωδικοποίηση της Ομιλίας στο GSM

Όπως γνωρίζουμε, για να μετατραπεί ένα αναλογικό σήμα σε ψηφιακό, ο συνήθης ρυθμός δειγματοληψίας είναι 8000 δειγματα (samples) ανά δευτερόλεπτο. Με αυτή τη δειγματοληψία και λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε δείγμα αναπαρίσταται με 8 bits η ταχύτητα της κάθε PCM ομιλίας είναι 64 kbps. Για να μεταδοθούν λοιπόν οι οκτώ ομιλίες θα χρειαζόταν κανονικά ταχύτητα μετάδοσης $8 \times 64 \text{ kbps} = 512 \text{ kbps}$, γεγονός που

οδηγεί σε ασύμφορα μεγάλο εύρος ζώνης. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, χρειάζεται να μειωθεί ο ρυθμός δειγματοληψίας και να παραλειφθούν μερικά από τα δείγματα που λαμβάνονται. Αυτή είναι η ιδέα που υλοποιείται στην πράξη και στην κατεύθυνση αυτή βοηθάει το γεγονός ότι η ομιλία ως πληροφορία διαθέτει αρκετό βαθμό πλεονασμού μέσα της. Με τη μείωση του αριθμού των δειγμάτων, η ταχύτητα τελικά γίνεται μόνο 270 kbps (αντί 512 kbps) και για τις οκτώ ομιλιές.

Η απόρριψη ενός αριθμού δειγμάτων δείχνει να οδηγεί κατ' αρχήν σε μια σταδιακή μείωση της ποιότητας του εκπεμπόμενου λόγου και σε απώλεια πληροφορίας. Δεν συμβαίνει όμως κάτι τέτοιο επειδή στο δέκτη γίνεται πρόβλεψη και αναπαραγωγή της φωνής. Η σημερινή τεχνολογία επιτρέπει τον ικανοποιητικό ανασχηματισμό της αν ο ρυθμός διατηρείται στα 13 kbps και άνω. Αυτό επιτυγχάνεται με ανεπτυγμένη διάταξη ειδικά για το GSM που είναι γνωστή ως “κωδικοποιητής φωνής” (Voice Coder ή συντομότερα Vocoder). Ωστόσο, αν η μείωση των δειγμάτων κατέλθει και πέραν των 12 kbps, η υποβάθμιση που σημειώνεται είναι τόσο μεγάλη (ιδιαίτερα στη χροιά του ήχου), ώστε δεν είναι δυνατή πια η αναπαραγωγή του σήματος στο δέκτη.

Όπως σημειώσαμε, η πρόβλεψη κατά την αναπαραγωγή είναι δυνατή και βασίζεται στην αρχή ότι η φωνή δεν υφίσταται μεγάλες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια λίγων χιλιοστών του δευτερολέπτου. Από τα χαρακτηριστικά ενός δείγματος προκύπτουν έτσι αξιόπιστα συμπεράσματα και για τη μορφή του επόμενου δείγματος.

Όλα τα είδη αναπαραγωγής της κωδικοποιημένης ομιλίας είναι βασισμένα σε αλγόριθμους που αποσκοπούν στο να ελαχιστοποιήσουν την παραμόρφωση και να μεγιστοποιήσουν την ποιότητα της χροιάς του λαμβανόμενου ήχου, χρησιμοποιώντας το ελάχιστο πλήθος των αναγκαίων δυαδικών ψηφίων στην όλη διαδικασία. Εδώ θα πρέπει να πούμε ότι αν και η διαδικασία παραγωγής της φωνής είναι για όλους τους ανθρώπους ίδια, εν τούτοις ο τόνος και η χροιά διαφέρουν σημαντικά από γλώσσα σε γλώσσα και από διάλεκτο σε διάλεκτο. Ένας αλγόριθμος που αποδίδει άριστα αποτελέσματα π.χ. στη Γαλλική γλώσσα μπορεί να αποδειχθεί ανεπαρκής για την Ελληνική.

Ο κωδικοποιητής φωνής ή Vocoder βασίζεται στην απομίμηση της φωνητικής χορδής και την ανασύνθεση του λόγου. Δεν εκπέμπεται όλη η πληροφορία φωνής, αλλά μόνο τμήμα της. Με τη φωνή όμως διαβιβάζονται επιπλέον και οι παράμετροι της π.χ. η ταχύτητα που πρέπει να ακούγεται, οι συχνότητες που της λείπουν κλπ. Όπως φαίνεται στο προηγούμενο σχήμα, ο Vocoder έχει το πλεονέκτημα ότι αποδίδει ικανοποιητικά και σε πολύ χαμηλές ταχύτητες, μικρότερες ακόμη και από 3 kbps. Ο λαμβανόμενος ήχος είναι κατανοητός, αλλά εμφανίζει το μειονέκτημα ότι η φωνή είναι συνθετική, δεν έχει δηλαδή χροιά και δεν γίνεται αντιληπτό ποιος μιλάει.

Η αδυναμία του Vocoder συμπληρώνεται από τον κωδικοποιητή κυματομορφής (Waveform Coder) ο οποίος είναι η γνωστή PCM (Παλμοκωδική Διαμόρφωση). Με αυτή στέλνεται η πληροφορία για το σχήμα και τις ιδιότητες της κυματομορφής που μεταβιβάζεται η οποία είναι απαραίτητη κατά την αναπαραγωγή. Το κύριο μειονέκτημα του είναι οι μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης που χρειάζονται για να λειτουργήσει

ικανοποιητικά. Οι ταχύτητες αυτές είναι από 16 kbps και άνω, ενώ για μικρότερες ταχύτητες η ποιότητα που προσφέρει υποβαθμίζεται πολύ.

Στο GSM χρησιμοποιείται υβριδικός κωδικοποιητής γραμμικής πρόβλεψης² LPC (**L**inear **P**redictive **C**oder) με την ονομασία *Linear Predictive Coding – Long Term Prediction – Regular Pulse Excitation coder (LPC-LTP – RPE coder)* ή αλλιώς *Residually Excited Linear Predictive coder (RELP coder)* που είναι συνδυασμός κωδικοποιητή φωνής και κωδικοποιητή παλμικής διαμόρφωσης.

Η κωδικοποίηση εφαρμόζεται σε μικρά στιγμιότυπα ομιλίας διάρκειας 20 msec, κάθε ένα από τα οποία αντιπροσωπεύεται από 260 bits. Αυτά τα 260 bits περιλαμβάνουν την συχνότητα του σήματος των 20 msec μαζί με πληροφορίες του φίλτρου που θα φτιάξουμε στη λήψη ώστε να αναπαράγουμε την φωνή. Στη συνέχεια ακολουθεί ο κωδικοποιητής καναλιού ο οποίος υπάρχει για να αντισταθμίσει τα λάθη λόγω διάδοσης. Σε αυτό το στάδιο ο αριθμός των bits ανά 20 msec γίνεται 456 bits και ο ρυθμός μετάδοσης 22.8 kbps. Η αύξηση αυτή οφείλεται σε πρόσθεση bits για εύρεση και διόρθωση λαθών στη λήψη. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται δύο είδη κωδικών, οι Block κώδικες και οι Convolutional κώδικες. Στο GSM χρησιμοποιείται συνδυασμός των κωδικών block & convolutional. Πρώτα τα δεδομένα κωδικοποιούνται σαν blocks (260 bits, 20 msec) και ακολούθως κωδικοποιούνται με τον convolution κώδικα. Τα 260 bits κάθε block για να κωδικοποιηθούν χωρίζονται σε τρεις ομάδες.

Η πρώτη έχει 50 bits, η δεύτερη 132 bits και η τρίτη 78 bits. Τελικά, η εκπομπή δεν γίνεται με το ρυθμό αυτό, αλλά αυξάνεται στα 22.8 kbps. Η κατάταξη των 260 bits σε ομάδες, γίνεται ανάλογα με το πόσο σημαντικά είναι αυτά από άποψης πληροφορίας. Οι πρώτες δύο ομάδες περιέχουν τα 50 + 132 σημαντικά bits και η τελευταία τα 78 λιγότερο σημαντικά, όπως δείχνει το επόμενο διάγραμμα. Η αύξηση του ρυθμού από τα 13 kbps στα 22.8 kbps γίνεται με τα εξής τρία βήματα:

Βήμα 1^ο: Κατάταξη των bits, σε σημαντικά και σε λιγότερο σημαντικά.

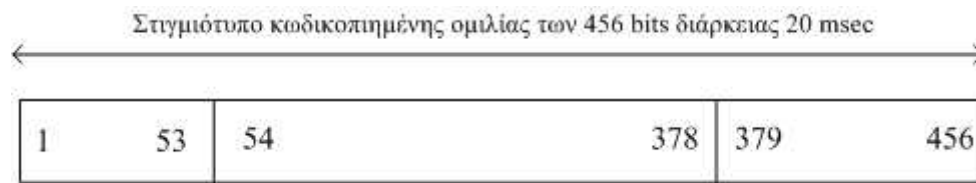


Στα σημαντικά δυαδικά ψηφία προστίθενται 3 bits ισοτιμίας για ανίχνευση λάθους και μετά ακολουθούν τα 132 bits, δηλαδή.

Βήμα 2^ο: Τρία bits ισοτιμίας για εντοπισμό λάθους.



Βήμα 3^ο: Στα 185 bits εφαρμόζεται ένας ημίρυθμος συνελκτικός (convolutional) κώδικας προστασίας με μισό δηλαδή ρυθμό $260/2$ που οδηγεί σε μετάδοση 378 bits για κάθε στιγμιότυπο κωδικοποιημένου λόγου διάρκειας 20 msec. Αν υπολογιστούν και τα 78 λιγότερο σημαντικά δυαδικά ψηφία, τότε όπως δείχνει και το επόμενο σχήμα μεταδίδονται τελικά 456 bits.

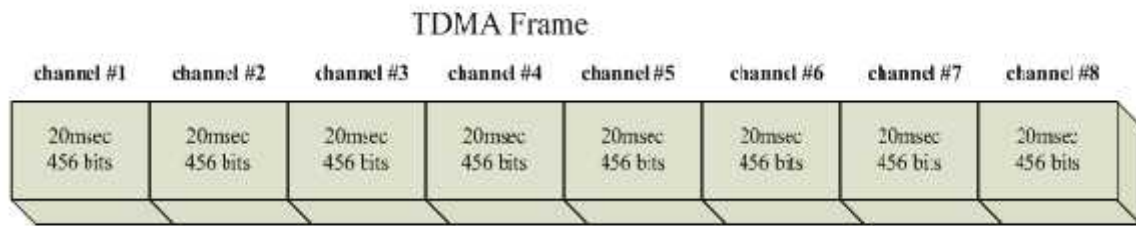


Με την προσθήκη δυαδικών ψηφίων διόρθωσης λάθους και τη συνελκτική κωδικοποίηση κάθε στιγμιότυπο λόγου φθάνει να εκπέμπεται με ρυθμό 456 bits/20 msec δηλαδή 22.8 kbps. Σε κάθε χρονοθυρίδα προστίθεται μία “εκπαιδευτική ακολουθία” (γνωστή και ως ακολουθία ισοστάθμισης) από 26 bits γνωστής μορφής και αλληλουχίας που χρησιμοποιείται από τον εξισωτή (equalizer) του δέκτη για τη σωστή αναπαραγωγή του σήματος. Επειδή η μορφή του καναλιού συνεχώς μεταβάλλεται, η εκπαιδευτική ακολουθία βρίσκεται στο μέσο της ριπής και την καλύπτει εξ ολοκλήρου.

Ακολουθεί το στάδιο της διαγώνιας διεμπλοκής (interleaving). Ο λόγος ύπαρξης αυτής της κωδικοποίησης είναι το γεγονός ότι συνήθως τα σφάλματα στα bits κατά την εκπομπή στον αέρα (διαλείψεις) συμβαίνουν σε ολόκληρες ριπές (bursts). Αντιθέτως, οι προηγούμενοι κώδικες διορθώνουν σφάλματα ενός μικρού αριθμού από bursts. Για τον λόγο αυτό, χωρίζουμε τα εκπεμπόμενα bits σε ομάδες και τα ανακατεύουμε πριν τα εκπέμψουμε. Στο GSM ο κωδικοποιητής φωνής παράγει 456 bits για κάθε 20 msec και υλοποιεί interleaving σε φόρμα των 8 frames των 57 bits το καθένα.

Μετά την εφαρμογή και της ενδιάμεσης διασποράς (διαγώνιας διεμπλοκής) των δυαδικών ψηφίων (interleaving), ο ρυθμός εκπομπής της ομιλίας καταλήγει στα 33.8 kbps. Το TDMA σήμα εκπέμπεται τελικά με ρυθμό 270 kbps ($33.8 \text{ kbps} \times 8 = 270 \text{ kbps}$) ανά χρονοθυρίδα (timeslot) περίπου.

Η δομή της ομιλίας είναι ένα πλαίσιο των 270 kbps, όπως φαίνεται στο ακόλουθο Σχήμα.



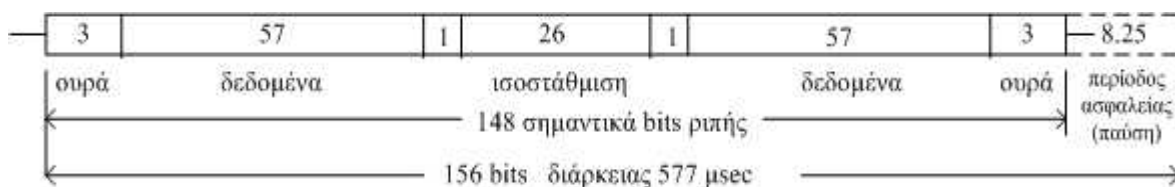
Σχήμα 2.13: Δομή πλαισίου ομιλίας

Όσον αφορά τον κωδικοποιητή φωνής, καταβάλλονται προσπάθειες και αναμένεται ότι στο μέλλον η κωδικοποίηση θα γίνεται με το μισό ρυθμό δηλαδή με 6.5 kbps. Αυτό θα έχει ως συνέπεια τον διπλάσιασμό της χωρητικότητας του συστήματος.

2.4.3 Μορφή και Τεχνικά Χαρακτηριστικά του Ψηφιακού Σήματος στο GSM

Ας εξετάσουμε τώρα τον τρόπο σχηματισμού της κάθε μιας από τις οκτώ χρονοθυρίδες. Όπως σημειώνεται στο επόμενο διάγραμμα, η στοιχειώδης μορφή ψηφιακής ομιλίας αποτελείται από 148 δυαδικά ψηφία (bits) χρήσιμης πληροφορίας. Η διάρκεια της όμως είναι 577μsec που αντιστοιχεί σε 156 δυαδικά ψηφία ($t=156 \text{ bits} \times 3.7\mu\text{sec}/\text{bits}$). Η δομή αυτή των χρονοθυρίδων λέγεται **κανονική ριπή (normal burst)**.

Η επιπλέον αύξηση αντιστοιχεί σε 8 bits περίπου (για την ακρίβεια 8.25 bits), τα οποία είναι ένα κενό διάστημα που προστίθεται στο άκρο της ριπής. Το κενό διάστημα αυτό καλείται περίοδος ασφαλείας (Guard Period – GP). Ο ρόλος του είναι η εξασφάλιση ανοχών στις αναπόφευκτες μικροολισθήσεις συγχρονισμού που οφείλονται στην κίνηση των συνδρομητών κατά τη διάρκεια της συνομιλίας.



Σχήμα 2.14: Στοιχειώδης δομή της ψηφιακής ομιλίας – κανονική ριπή

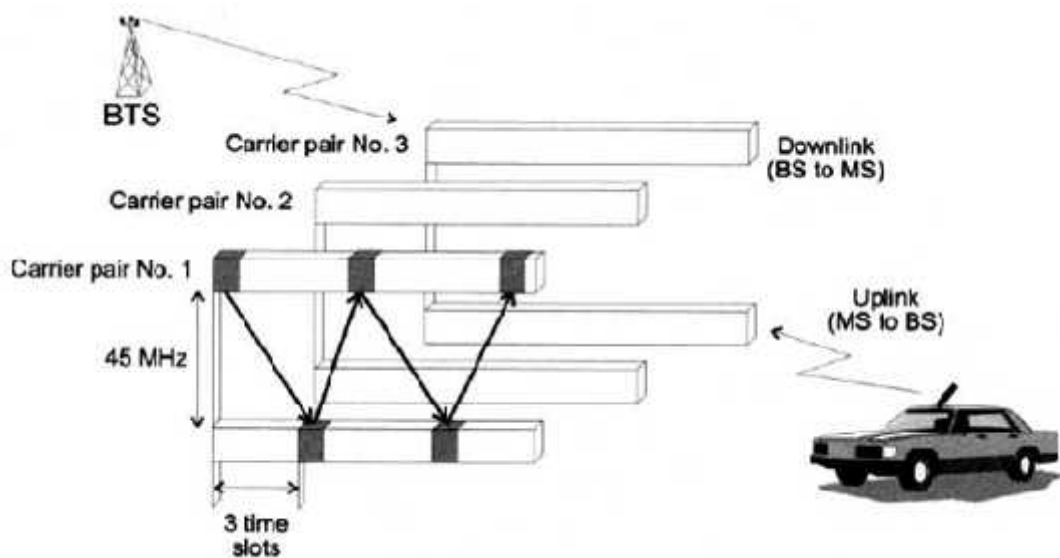
Στα δύο άκρα της ριπής υπάρχουν 3 bits σουράς με τιμή συνεχώς (0,0,0) που σκοπός τους είναι να διευκολύνουν τον αλγόριθμο του εξισωτή να διακρίνει την αρχή και το πέρας κάθε διαδοχικής χρονοθυρίδας. Η ριπή συνεπώς αποτελείται από δύο ομάδες με 57 κρυπτογραφημένα bits λόγου ή δεδομένων, τα οποία διαχωρίζονται από την εκπαιδευτική ακολουθία από ένα bit σημαία (bit flag)

Ας παρακολουθήσουμε τι συμβαίνει από την πλευρά του κινητού σταθμού. Αυτός στέλνει την πληροφορία του σε τέτοιο χρόνο ώστε όταν αυτή φτάσει στον σταθμό βάσης να βρίσκει την χρονική στιγμή της καταχωρημένης χρονοθυρίδας. Το κινητό σιωπά για τον υπόλοιπο χρόνο των 7 χρονοθυρίδων του TDMA πλαισίου. Οι χρονοθυρίδες αυτές αξιοποιούνται όμως κατ' άλλον τρόπο. Κάποιες από αυτές διατίθενται για μέτρηση – καταγραφή (monitoring) της λαμβανομένης στάθμης από το ΣΒ και από το περιβάλλον και ενώ οι υπόλοιπες για μεταγωγή λειτουργίας από τη μια μορφή στην άλλη.

Κατά την αντίστροφη πορεία, ο ΣΒ στέλνει μεταδίδει TDMA πλαίσια στο downlink. Οι κινητοί σταθμοί παρακολουθούν το downlink και συγχρονίζονται με τα TDMA πλαίσια. Επειδή κάθε τέτοιο πλαίσιο μεταφέρει πληροφορία για 8 διαφορετικούς συνδρομητές, ο ΚΣ είναι επίσης συγχρονισμένος στη χρονοθυρίδα που του αντιστοιχεί.

Η εκπομπή και λήψη είναι συγχρονισμένες με τον ΣΒ και σημειώνονται την κατάλληλη στιγμή ώστε να αποφεύγεται ανάμιξη τους με άλλες ομιλίες.

Οι τρεις λειτουργίες, εκπομπή, λήψη και μέτρηση γίνονται σε διαφορετικές φέρουσες συχνότητες. Η εκπομπή διαφέρει οπωσδήποτε κατά 45 MHz από τη λήψη ενώ η συχνότητα μέτρησης μπορεί να έχει μια οποιαδήποτε ενδιάμεση τιμή (Σχήμα).

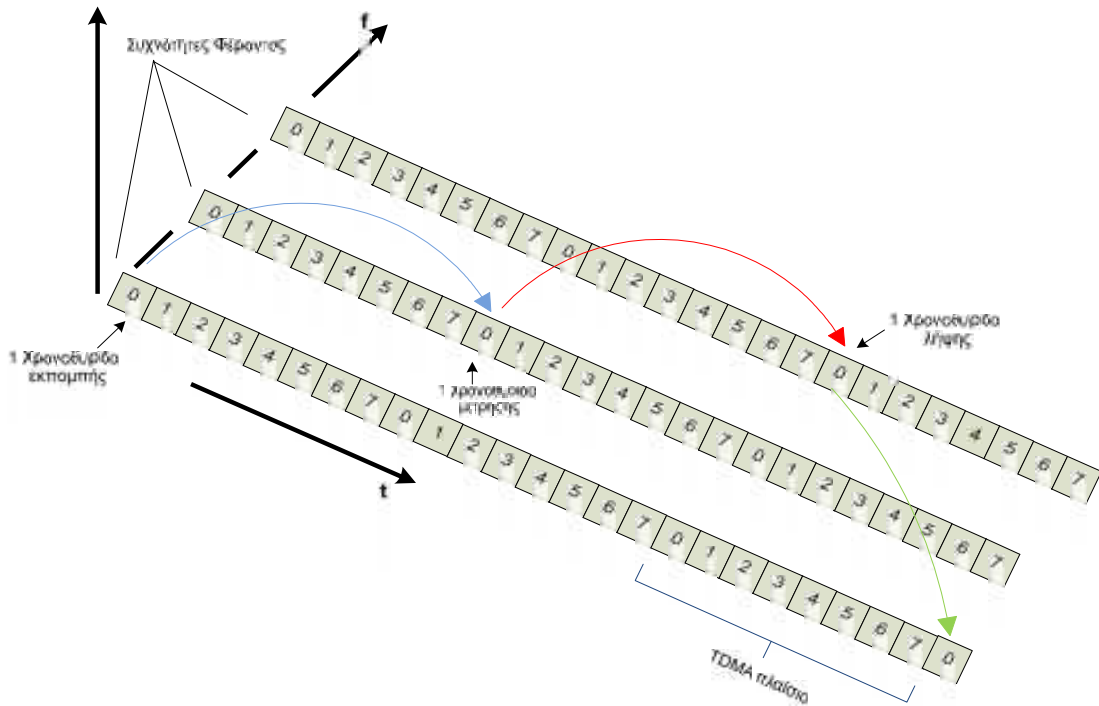


Σχήμα 2.15: Χρονική & Συχνοτική δομή των GSM καναλιών

Μια ακόμη λειτουργία είναι η “μεταπήδηση συχνότητας” (frequency hopping) η οποία επηρεάζει κυρίως τους αργά κινούμενους ΚΣ και πολύ λιγότερο όσους έχουν μεγάλες ταχύτητες. Αυτό συμβαίνει επειδή οι μηδενισμοί που οφείλονται στις πολλαπλές ανακλάσεις ασκούν επίδραση κυρίως επάνω σε μια μεμονωμένη ριπή ή σε συνεχόμενες ριπές. Με τη λειτουργία αυτή η εκπομπή, η λήψη και μέτρηση, “μεταπηδούν” σε διαφορετικές περιοχές του φάσματος τρεις φορές κάθε 4.6 msec. Έτσι οι μηδενισμοί αλλάζουν θέση από τη μια ριπή στην επόμενη και συνεπώς όσες έχουν μεγάλο ποσοστό σφάλματος απλώνονται περισσότερο στο χρόνο. Η μεταπήδηση συχνότητας αποτελεί εγγενές ιδίωμα του GSM, προαιρετική δυνατότητα για το ΣΒ αλλά υποχρεωτική για τον

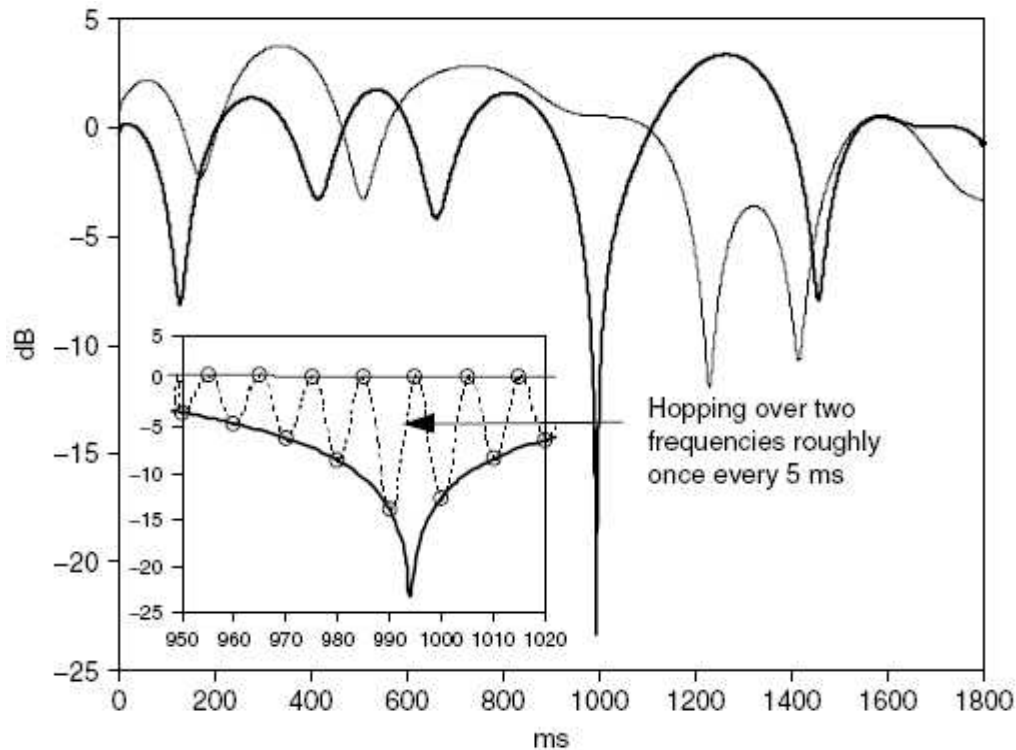
ΚΣ, προϋποθέτει συγχρονισμό των ΚΣ με τους ΣΒ και σημειώνεται 217 φορές ανά δευτερόλεπτο.

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η αρχή της μεταπήδησης συχνότητας σε ένα διάγραμμα χρόνου t και συχνότητας f για τις τρεις φέρουσες που αναφέραμε εκπομπή, λήψη, μέτρηση.



Σχήμα 2.16: Μεταπήδηση συχνότητας στη διεπαφή αέρα Um στο GSM

Με την μεταπήδηση συχνότητας, κατά πρώτον ελαττώνονται οι μηδενισμοί της στάθμης του σήματος λόγω πολλαπλών ανακλάσεων (διαλείψεις μικρής διάρκειας Rayleigh) σε αργά κινούμενο ΚΣ (Σχήμα) και δεύτερον, κατανέμεται ομαλότερα η ενδοκαναλική παρεμβολή ανάμεσα σε όλους τους ΚΣ.



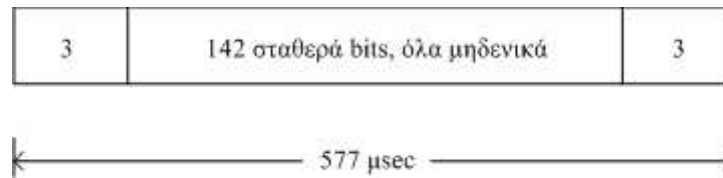
Σχήμα 2.17: Καταστολή των μηδενισμών στη στάθμη ισχύος με την τεχνική της μεταπήδησης συχνότητας

2.4.4 Ριπές

Η ριπή (burst) αποτελεί την στοιχειώδη μορφή πληροφορίας κατά τη διάρκεια μιας χρονοθυρίδας σε ένα κανάλι. Υπάρχουν πέντε διαφορετικά είδη ριπών στο GSM, ανάλογα με τον τύπο των διαφόρων καναλιών που υπάρχουν. Η πρώτη μορφή ριπής είναι αυτή που είδαμε πιο πάνω, η Κανονική Ριπή (Normal Burst - NB) αποτελούμενη από 148 χρήσιμα δυαδικά ψηφία (156 bits μαζί με την περίοδο ασφαλείας) και διάρκειας 577 msec. Οι υπόλοιπες μορφές ριπών είναι οι ακόλουθες:

③ Ριπή Διόρθωσης Συχνότητας (Frequency Correction Burst – FB)

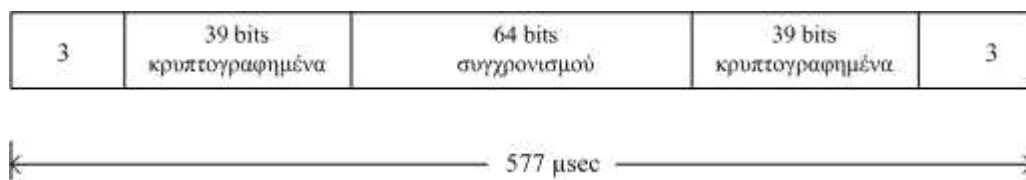
Χρησιμοποιείται για τη διόρθωση της συχνότητας του ΚΣ. Είναι μια αδιαμόρφωτη φέρουσα και οι επαναλήψεις της συνιστούν το λογικό κανάλι διόρθωσης συχνότητας (FCCH). Η διάρκεια της είναι επίσης 577 msec μαζί με την περίοδο ασφαλείας (Guard Period – GP) που διαθέτει και έχει τη μορφή του επόμενου σχήματος στο οποίο όμως δεν σημειώνεται η περίοδος ασφαλείας.



Σχήμα 2.18α: Δομή της ριπής διόρθωσης συχνότητας

③ **Ριπή Συγχρονισμού (Synchronization Burst – SB)**

Μεταφέρει μια αλληλουχία από bits συγχρονισμού του ΚΣ, τον αύξοντα αριθμό πλαισίου (frame) του TDMA καναλιού και την ταυτότητα BISC του ΣΒ. Η εκπομπή των ριπών αυτών δημιουργεί το κανάλι συγχρονισμού (SCH). Έχει και αυτή την ίδια διάρκεια, 577 msec, και η μορφή της είναι η ακόλουθη.



Σχήμα 2.18β: Δομή της ριπής συγχρονισμού

Ο αριθμός πλαισίου του TDMA καναλιού που μεταφέρεται μέσω της ριπής αυτής χρησιμεύει στη διαδικασία κρυπτογράφησης για την ασφάλεια επικοινωνίας επειδή ο αλγόριθμος που υπολογίζει την κλειδα κρυπτογράφησης K_c λαμβάνει ως παράμετρο εισόδου και τον αριθμό αυτό.

Το σχήμα αριθμοδότησης των πλαισίων είναι κυκλικό με περίοδο τρεις ώρες 28 λεπτά και 53 δευτερόλεπτα και θα περιγραφεί πιο κάτω. Από τη γνώση του αύξοντα αριθμού TDMA πλαισίου, ο ΚΣ γνωρίζει επίσης και το είδος του λογικού καναλιού που εκπέμπεται με το κανάλι ελέγχου στη χρονοθυρίδα 0. Το έργο της αριθμησης γίνεται στην ομάδα πομποδεκτών.

Ο κωδικός πιστοποίησης σταθμού βάσης BISC χρησιμοποιείται από τον ΚΣ για τον έλεγχο της ταυτότητας της ομάδας πομποδεκτών BTS όταν κάνει μετρήσεις στάθμης σήματος, ώστε να αποφεύγεται σύγχυση στη μέτρηση λόγω του φαινομένου συγγενούς καναλιού. Με τη γνώση του BSIC ο ΚΣ αντιλαμβάνεται επίσης πότε εισήλθε μέσα σε ένα νέο δίκτυο GSM.

③ **Ριπή Τυχαίας Πρόσβασης (Random Access Burst – RA)**

Η ριπή αυτή μεταφέρει την πληροφορία για ρύθμιση της προπορείας εκπομπής (timing advance) εκ μέρους του ΚΣ, όταν αυτός αποκαθιστά επαφή για πρώτη φορά με ένα νέο ΣΒ. Η προπορεία είναι απαραίτητη λειτουργία για την αντιμετώπιση των καθυστερήσεων (delays) εκπομπής από κινητούς που απέχουν αρκετά από το ΣΒ. Αν

ο ΚΣ δεν εκπέμπει με χρονική προπορεία τότε το σήμα αργεί να φθάσει στο ΣΒ και φθάνοντας μπορεί να συμπέσει με την επόμενη χρονοθυρίδα η οποία ως γνωστό ανήκει σε άλλο ΚΣ, με συνέπεια την διατάραξη της λήψης.

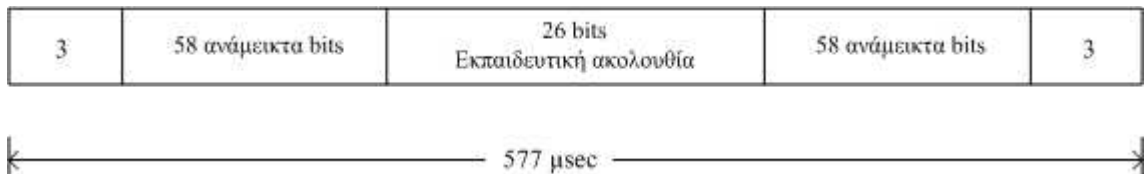
Η ριπή τυχαίας πρόσβασης έχει περίοδο ασφάλειας μεγαλύτερης διάρκειας, συγκεκριμένα 68 bits (για την ακρίβεια 68.25 bits), ώστε να παρέχεται η δυνατότητα ανοχής στην επαφή με το νεοεισελθόντα ΚΣ (ή με εκείνον που δεν έχει υποστεί μεταπομπή κλήσης) και δεν έχει ακόμη πληροφορίες για τη σωστή προπορεία που χρειάζεται.



Σχήμα 2.18γ: Δομή της ριπής τυχαίας πρόσβασης

③ **Ριπή χωρίς περιεχόμενο ή “βουβή” ριπή (Dummy Burst – DB)**

Στέλνεται από το ΣΒ, σε ορισμένες περιπτώσεις, χωρίς να μεταφέρει κανένα είδος πληροφορίας. Έχει την ίδια μορφή με την κανονική ριπή που είδαμε πιο πάνω.



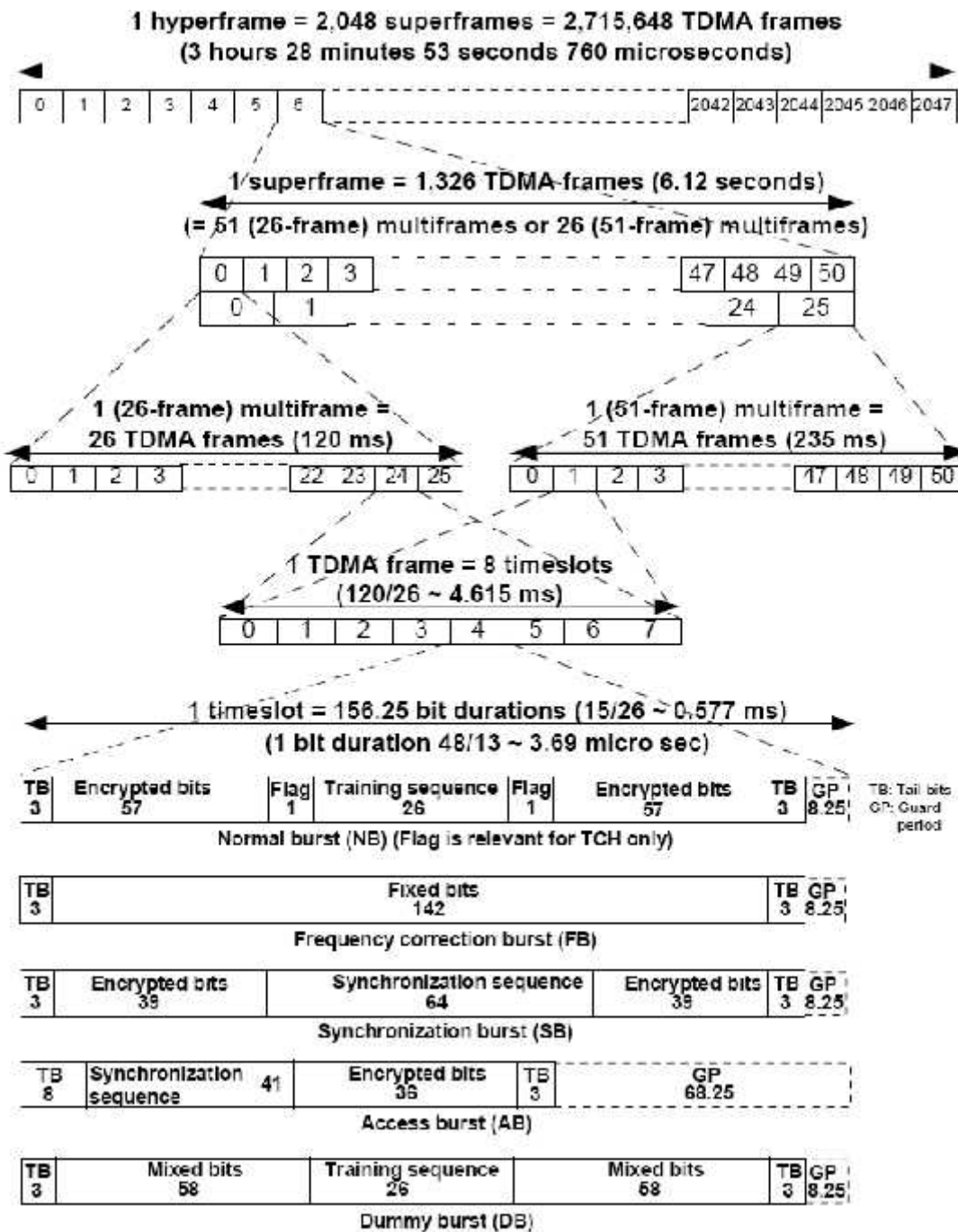
Σχήμα 2.18δ: Δομή της “βουβής” ριπής

2.4.5 Ιεραρχική Δομή των Πλαισίων στη Διεπαφή Αέρα Um

Όπως προκύπτει από την μέχρι τώρα περιγραφή, τα πλαίσια των οκτώ χρονοθυρίδων είναι ανάγκη να καταμετρούνται. Σε διάστημα 3 ωρών, 28 πρώτων λεπτών, 53 δευτερολέπτων και 760 χιλιοστών του δευτερολέπτου ολοκληρώνεται η μέτρηση κυκλικά ενός μεγίστου πλαισίου ή *αρχι-πλαίσιου (hyper-frame)*. Αυτό αποτελείται από 2048 μείζονα πλαίσια ή *υπερ-πλαίσια (super-frame)* δύο τύπων.

Όπως φαίνεται στο ακόλουθο Σχήμα 3.19, αν το super-frame ανήκει σε κανάλι κίνησης τότε αυτό συγκροτείται από 51 μικρότερα πλαίσια που ονομάζονται *πολύ-πλαίσια (multi-frames)*. Αν όμως ανήκει σε κανάλι ελέγχου τότε αντίστοιχα συγκροτείται από 26 multi-frames. Επειδή οι αριθμοί 51 και 26 δεν έχουν κονά μέτρα και δεν αλληλεπιδρούν, τα κανάλια κίνησης και τα κανάλια ελέγχου, μπορούν σε κάθε χρονική στιγμή να είναι ενεργοποιημένα ταυτόχρονα. Όπως δείχνει το σχήμα που ακολουθεί και μπορεί εύκολα

να υπολογισθεί, το κάθε υπερπλαίσιο έχει διάρκεια 6.12 sec και μεταφέρει 1.657.500 δυαδικά ψηφία.



Σχήμα 2.19: Ιεραρχική δομή των πλαισίων στην διεπαφή Um

Όπως βλέπουμε, σε χαμηλότερο επίπεδο υπάρχουν δύο είδη πολυ-πλαisiών:

- Το πολυ-πλαίσιο των 26 TDMA πλαισίων για τα κανάλια κίνησης που μεταφέρει 32.500 bits και έχει χρονική διάρκεια 120 msec. Το multiframe αυτό χρησιμοποιείται για να φέρει τα λογικά κανάλια TCH, SACCH και FACCH.

- **Το πολυπλαίσιο των 51 απλών TDMA πλαισίων** για τα κανάλια ελέγχου BCH και CCCH που μεταφέρει 63.750 bits και έχει χρονική διάρκεια 235.385 msec. Αυτό μεταφέρει τα λογικά κανάλια FCCH, SCH, BCCH, CCCH, SDCCH SACCH και CBCH. Η διάρκεια ενός πολυ-πλαισίου για κανάλια κίνησης είναι 120 msec και για κανάλια ελέγχου.

Η διάρκεια ενός TDMA πλαισίου είναι όπως γνωρίζουμε περίπου 4.6 msec (4.615msec για την ακρίβεια) και μεταφέρει οκτώ ομιλίες (χρονοθυρίδες) ή 1250 δυαδικά ψηφία. Στο τέλος του ανωτέρω Σχήματος σημειώνεται και μια χρονοθυρίδα, όπως τη γνωρίσαμε ήδη με τα 156 δυαδικά της ψηφία (για την ακρίβεια 156.25 επειδή η περίοδος ασφαλείας δεν είναι 8 bit αλλά 8.25) και χρονικής διάρκειας 577 msec.

2.4.6 Φυσικά και Λογικά Κανάλια

Μέχρι τώρα έχουμε αναφερθεί αρκετές φορές στα διάφορα φυσικά και λογικά κανάλια του GSM. Πριν προχωρήσουμε περαιτέρω στη μελέτη των μέσων αυτών επικοινωνίας, θα πρέπει πρώτα να δώσουμε έναν γενικό ορισμό. Με τον όρο κανάλι εννοούμε το μέσον δια του οποίου μεταφέρεται κάποια ποσότητα πληροφορίας από ένα σημείο σε κάποιο άλλο.

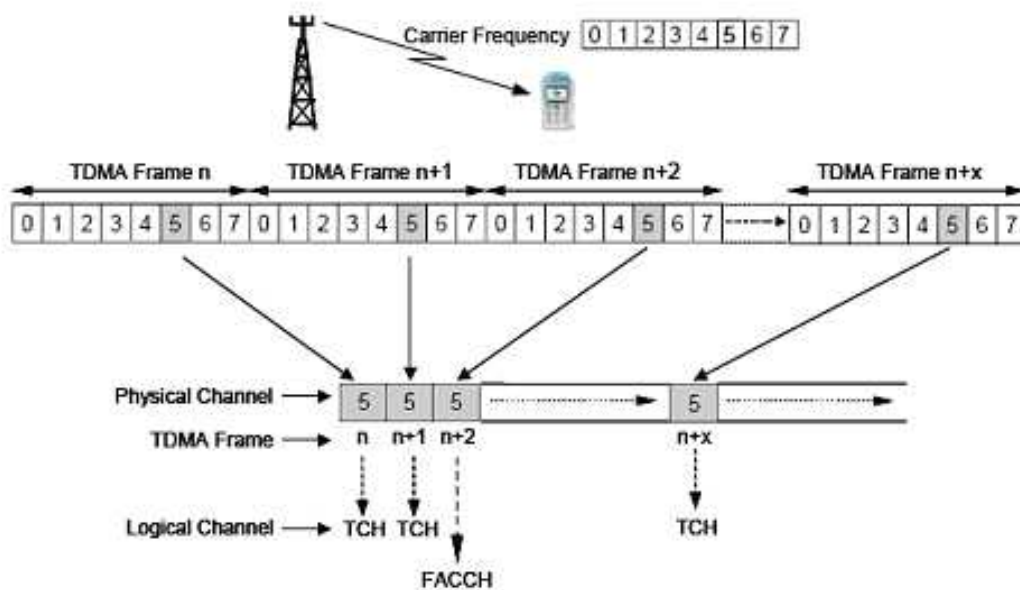
Η ταξινόμηση των καναλιών που ορίζονται στο GSM μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους.

1. Ανάλογα με την κατασκευή τους διακρίνονται γενικά σε,
 - κανάλια πολλαπλής πρόσβασης με επιμερισμό χρόνου (Time Division Multiple Access – TDMA).** Αποτελούνται από αλληλουχίες χρονοθυρίδων (timeslots) καθώς και διάφορες πηγές δεδομένων και ομιλίας. Για το είδος αυτό των λογικών καναλιών έχουμε ήδη μιλήσει ενώ για συγκεκριμένες μορφές του θα αναφερθούμε στη συνέχεια.
 - κανάλια πολλαπλής πρόσβασης με επιμερισμό συχνότητας (Frequency Division Multiple Access – FDMA)** που είναι φυσικά κανάλια και καταλαμβάνουν ένα συγκεκριμένο συχνοτικό εύρος.
2. Ανάλογα με τον τρόπο της σύνδεσης που επιτυγχάνεται με αυτά, διακρίνονται σε κανάλια σύνδεσης,
 - σημείο προς σημείο (point to point)** π.χ. από ένα σταθμό βάσης (ΣΒ) προς ένα κινητό σταθμό ή αντίστροφα και
 - σημείο προς πολλά σημεία (point to multi – point),** όπως στην περίπτωση ενός ΣΒ προς πολλούς κινητούς.
3. Ανάλογα με την κατεύθυνση που έχει η εκπομπή διακρίνονται σε κανάλια σύνδεσης,
 - προς τα άνω (uplink) ή αλλιώς «ανερχόμενη ζεύξη»,** αν η σύνδεση που πραγματοποιείται είναι από τον κινητό σταθμό προς το ΣΒ και

προς τα κάτω (downlink) ή αλλιώς «κατερχόμενη ζεύξη», αν η σύνδεση είναι από τον ΣΒ προς τον κινητό σταθμό.

4. Ανάλογα με την αποστολή τους διακρίνονται σε κανάλια, *κίνησης (Traffic Channels – TCH)* και *ελέγχου (Control Channels – CC)*

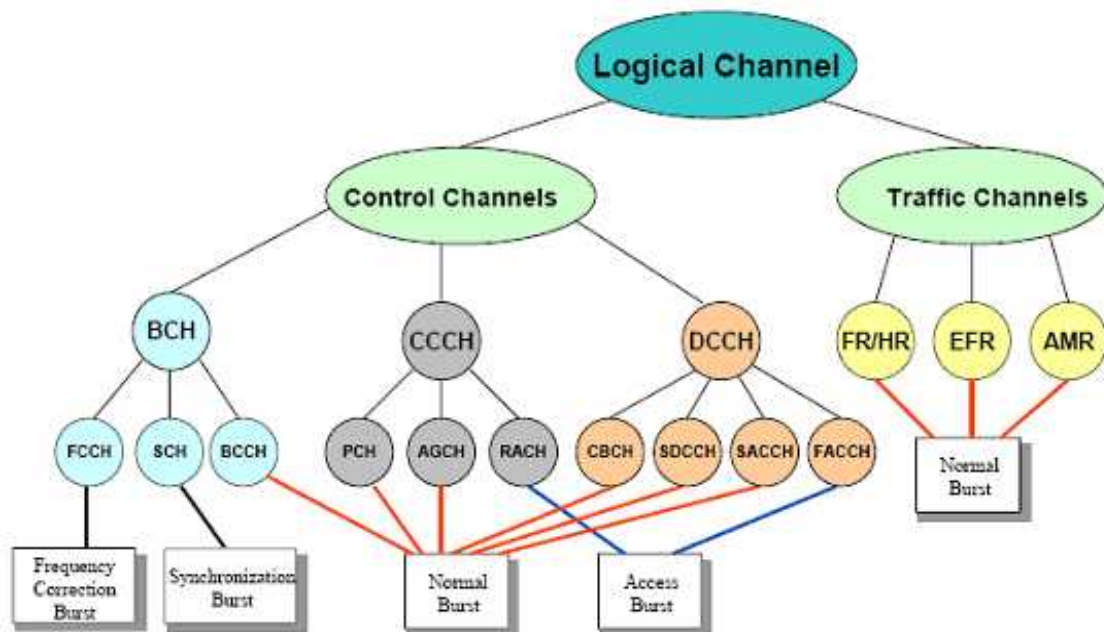
Σε προηγούμενη παράγραφο είδαμε ότι η πληροφορία στο GSM, είτε πρόκειται για ομιλία είτε για σηματοδότηση, χαρτογραφείται πάνω στις χρονοθυρίδες κάθε TDMA πλαισίου. Κάθε χρονοθυρίδα TDMA πλαισίου αποτελεί ένα φυσικό κανάλι (Σχήμα 3.20). Ένα φυσικό κανάλι μεταδίδει διαφορετικά μηνύματα, ανάλογα με τις πληροφορίες που πρόκειται να σταλούν. Αυτά τα μηνύματα μεταφέρονται από τα λογικά κανάλια.



Σχήμα 2.20: Παρουσίαση των φυσικών καναλιών στη διεπαφή αέρα Um

Τα λογικά κανάλια δεν υφίστανται ως φυσικές οντότητες (δεν διαθέτουν δηλαδή αποκλειστικά δικούς τους αγωγούς). Κανάλια, ονομάζονται απλώς και μόνο εκ του αποτελέσματος που έχουν να μεταφέρουν μηνύματα σε κάποιο προορισμό.

Πολλά είδη λογικών καναλιών υπάρχουν, κάθε ένα με σκοπό να φέρει ένα διαφορετικό μήνυμα προς ή από έναν ΚΣ. Όλες οι πληροφορίες προς/από έναν ΚΣ πρέπει να τροποποιηθούν κατάλληλα, έτσι ώστε η λαμβάνουσα συσκευή να μπορεί να καταλάβει την έννοια των διαφορετικών κομματιών σε ένα μήνυμα. Αυτό υλοποιείται μέσα από την στοιχειώδη μορφή της πληροφορίας κατά τη διάρκεια μιας χρονοθυρίδας σε ένα κανάλι, δηλαδή τις ριπές, οι οποίες αποτέλεσαν αντικείμενο μελέτης σε προηγούμενη παράγραφο. Η δομική συσχέτιση των λογικών καναλιών με τις ριπές αποτυπώνεται στο ακόλουθο Σχήμα 3.21.



Σχήμα 2.21: Ταξινόμηση των λογικών καναλιών

Κάθε τύπος πληροφοριών διαβιβάζεται μέσω του λογικού καναλιού του. Κάθε λογικό κανάλι χρησιμοποιείται για έναν συγκεκριμένο σκοπό όπως η σελιδοποίηση, η οργάνωση κλήσης και η ομιλία. Παραδείγματος χάριν, η ομιλία στέλνεται στο λογικό κανάλι γνωστό ως κανάλι κυκλοφορίας- Traffic Channel (TCH). Τα λογικά κανάλια χαρτογραφούνται επάνω στα φυσικά κανάλια.

Κάποια από τα λογικά κανάλια μεταφέρουν ομιλία και ονομάζονται κανάλια επικοινωνίας ή κίνησης (Traffic Channels – TCH) ενώ άλλα μεταφέρουν μόνον δεδομένα (όπως π.χ. το Slow Associated Control Channel - SACCH). Πιο κάτω θα εξετάσουμε τα είδη των λογικών καναλιών όπως ορίζονται στο GSM.

Ο τρόπος μετάδοσης της πληροφορίας στο GSM/GPRS παρουσιάζει αναλογίες με την αρχή μετάδοσης πακέτων (packet transmission) η οποία αποτελεί ευρύτερη εφαρμογή και δεν χρησιμοποιείται μόνο στην κινητή τηλεφωνία (KT). Σύμφωνα με την αρχή αυτή, το κάθε μήνυμα τεμαχίζεται και κομμάτια που ανήκουν στην ίδια ομιλία είναι δυνατόν να φθάσουν στον προορισμό τους ακολουθώντας διαφορετικές διαδρομές μέσα στο δίκτυο. Ο τρόπος αυτός μετάδοσης συνεπάγεται μια απεικόνιση (mapping) ενός αριθμού λογικών καναλιών σε κάθε φυσικό κανάλι.

Το κάθε ένα από τα μεταδιδόμενα πακέτα πληροφορίας συνίσταται από φυσικά κανάλια και τη διεύθυνση προς την οποία προορίζεται να φθάσει. Με τον τρόπο αυτό μετάδοσης επιτυγχάνεται η πλήρης αξιοποίηση του δικτύου.

2.4.7 Κατηγορίες Καναλιών στο GSM

Κάθε χρονική στιγμή, η επικοινωνία μεταξύ του σταθμού βάσης και ενός πλήθους κινητών σταθμών πραγματοποιείται με μια σειρά από λειτουργικά καναλιών, στα οποία οι

χρονοθυρίδες 0 και 1 (TS0 και TS1) διατίθενται συνεχώς για τη μεταφορά της σηματοδότησης και οι υπόλοιπες για ομιλία ή δεδομένα.

Το κάθε στιγμιότυπο είναι δυναμικό και μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου καθώς νέα κανάλια χρησιμοποιούνται και άλλων η λειτουργία διακόπτεται.

2.4.7.1 Κανάλια Επικοινωνίας ή Κίνησης (Traffic Channels – TCH)

Τα κανάλια επικοινωνίας ή κίνησης μεταφέρουν κωδικοποιημένη ομιλία ή δεδομένα των συνδρομητών χωρίς να μεταφέρουν πληροφορίες σηματοδότησης και συγχρονισμού. Η δομή μετάδοσης των καναλιών ομιλίας είναι η κανονική ριπή. Ανάλογα με τους ρυθμούς δεδομένων που μεταφέρουν χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

Το κανάλι B_m πλήρους ρυθμού (*full rate TCH*). Αυτό μπορεί να μεταφέρει πληροφορία ομιλίας ή δεδομένων του συνδρομητή με δυνατότητα διόρθωσης λαθών και ταχύτητα 22.8 kbps κωδικοποιημένης φωνής.

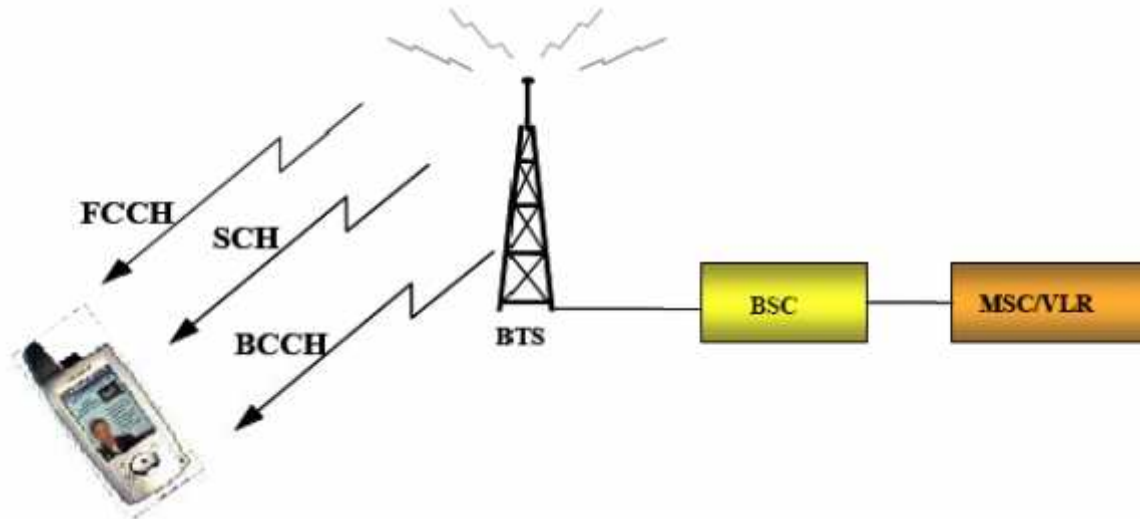
Το κανάλι L_m μισού ρυθμού (*half rate TCH*). Μεταφέρει ομιλία και δεδομένα αλλά με μικρότερους ρυθμούς από το B_m , συνήθως 11.4 kbps. Προς το παρόν μόνο ένα είδος L_m καναλιού έχει προσδιοριστεί. Οι ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων από το L_m θα μπορούν ακόμη να είναι 3.6 ή 6 kbps με δυνατότητα διόρθωσης λαθών.

Με βάση το είδος της πληροφορίας που μεταφέρεται, ομιλία ή δεδομένα, απαιτούνται διαφορετικά κανάλια.

2.4.7.2 Κανάλια Ελέγχου (Control Channels – CCH)

Τα κανάλια αυτά μεταφέρουν πληροφορία σηματοδότησης και συγχρονισμού. Χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

A. ΚΑΝΑΛΙΑ ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΚΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ (BROADCAST CHANNELS – BCH)



Τα **Κανάλια Εκπομπής (Broadcast Channels-BCH)** είναι όλα τύπου “ένα προς πολλά σημεία” (point to multi – point) και αποκαθιστούν κατερχόμενη ζεύξη (downlink). Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται ειδικότερα τα εξής:

1. **Κανάλι Διορθώσης Συχνότητας (Frequency Correction Channel – FCCH)**

Το κανάλι αυτό είναι αδιαμόρφωτο κανάλι το οποίο βοηθάει το κινητό να συγχρονιστεί στην συχνότητα του καναλιού. Για τον σκοπό αυτό, στα FCCH διαβιβάζονται ριπές που περιέχουν μόνο μηδενικά.

2. **Κανάλι Συγχρονισμού (Synchronization Channel – SCH)**

Το κανάλι αυτό μεταφέρει πληροφορία για τον συγχρονισμό του κινητού σταθμού στην χρονο-δομή (time-structure) της κυψέλης στην οποία βρίσκεται ώστε ο ΚΣ να εκπέμπει στην κατάλληλη χρονοθυρίδα. Επίσης μεταφέρεται πληροφορία για την πιστοποίηση του BTS που εποπτεύει την κλήση, δηλαδή αν ο BTS ανήκει στο δίκτυο GSM ή όχι. Συγκεκριμένα, το κανάλι αυτό περιέχει τον BSIC και τον αύξοντα αριθμό του TDMA πλαισίου.

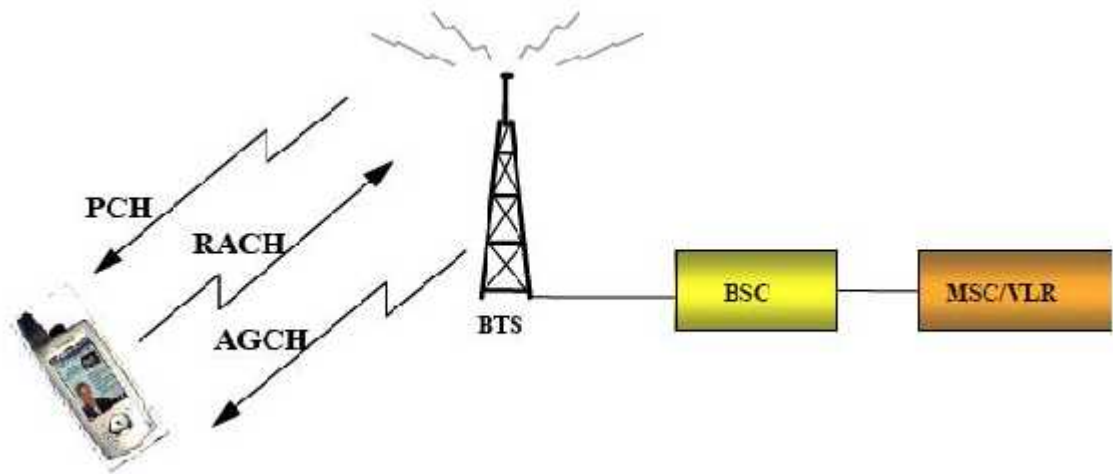
3. **Κανάλι Ελέγχου Εκπομπής (Broadcast Control Channel – BCCH)**

Ο ΚΣ πρέπει να λάβει κάποιες γενικές πληροφορίες σχετικά με την κυψέλη στην περιοχή υπηρεσιών της οποίας βρίσκεται προκειμένου να υλοποιηθεί η λειτουργική του συνδεση με το δίκτυο. Οι αναγκαίες πληροφορίες περιέχονται στο κανάλι ελέγχου ραδιοφωνικής μετάδοσης (BCCH- Broadcast Control Channel) και περιλαμβάνουν τον αριθμό πιστοποίησης της περιοχής εντοπισμού (LAI), τις συχνότητες που χρησιμοποιούνται στη συγκεκριμένη κυψέλη, το είδος της μεταπήδησης συχνότητας, για τον τρόπο που κατανέμονται τα λογικά κανάλια στο TDMA πλαίσιο καθώς και πληροφορίες σχετικά με τις γειτονικές κυψέλες (τις συχνότητες που χρησιμοποιούν, την στάθμη ισχύος των φέρουσων συχνοτήτων, κλπ.)

Ο ΚΣ χρησιμοποιεί τα κανάλια ραδιοφωνικής μετάδοσης για να συντονιστεί σε ένα BTS και εν συνεχεία να συγχρονιστεί με την δομή πλαισίων της κυψέλης στην οποία βρίσκεται. Λόγω ότι τα BTS δεν είναι συγχρονισμένα μεταξύ τους, κάθε φορά που

παραμένει ο ΚΣ σε μία άλλη κυψέλη, πρέπει να «ακούσει» τα FCCH, SCH, και BCCH στην νέα κυψέλη.

B. ΚΟΙΝΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ (COMMON CONTROL CHANNELS – CCCH)

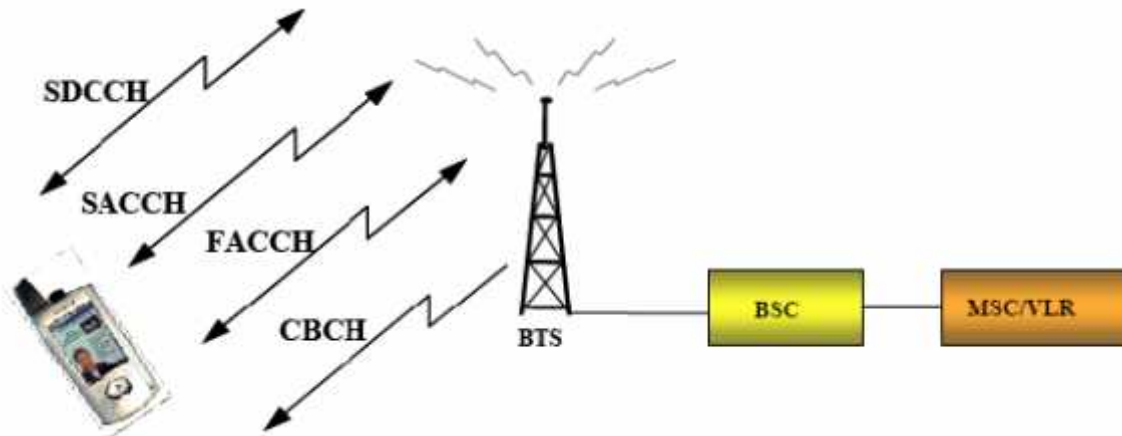


Κάποια από τα **Κοινά Κανάλια Ελέγχου** αποκαθιστούν σύνδεση προς τα κάτω (downlink) και άλλα προς τα άνω (uplink). Ως προς τον τρόπο σύνδεσης, μπορούν να είναι “σημείο προς σημείο” ή “σημείο προς πολλά σημεία”.

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν ειδικότερα τα εξής:

1. Το **Κανάλι Σελιδοποίησης (Paging Channel – PCH)**, που χρησιμεύει για να εντοπίζει τους κινητούς σταθμούς. Είναι τύπου ένα προς πολλά σημεία και διαβιβάζεται στο downlink.
2. Το **Κανάλι Τυχαίας πρόσβασης (Random Access Channel – RACH)**. Αυτό το κανάλι μεταδίδεται από τον ΚΣ προς τον ΣΒ, προκειμένου να του ορίσει ο τελευταίος ένα κανάλι SDCCH. Η αίτηση αυτή αποστέλλεται από τον κινητό σταθμό ως απάντηση στην τηλεειδοποίηση ή κατά την εγγραφή του. Είναι τύπου σημείο προς σημείο και αποκαθιστά σύνδεση προς τα άνω.
3. Το **Κανάλι Εκχώρησης Πρόσβασης (Access Grant Channel - AGCH)**. Μέσω αυτού ορίζεται από τον ΣΒ στον ΚΣ αυτοδύναμο κανάλι ελέγχου (SDCCH), ή κάποιο κανάλι κίνησης (TCH). Είναι τύπου σημείο προς σημείο και μεταδίδεται στο downlink.

Γ. ΑΦΙΕΡΩΜΕΝΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ (DEDICATED CONTROL CHANNELS – DCCH)



Τα **Αφιερωμένα Κανάλια Ελέγχου** χρησιμοποιούνται για διεκπεραίωση κλήσης, μεταγωγή και αποστολή μετρήσεων. Μεταδίδονται και στο Uplink και Downlink Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα ακόλουθα κανάλια,

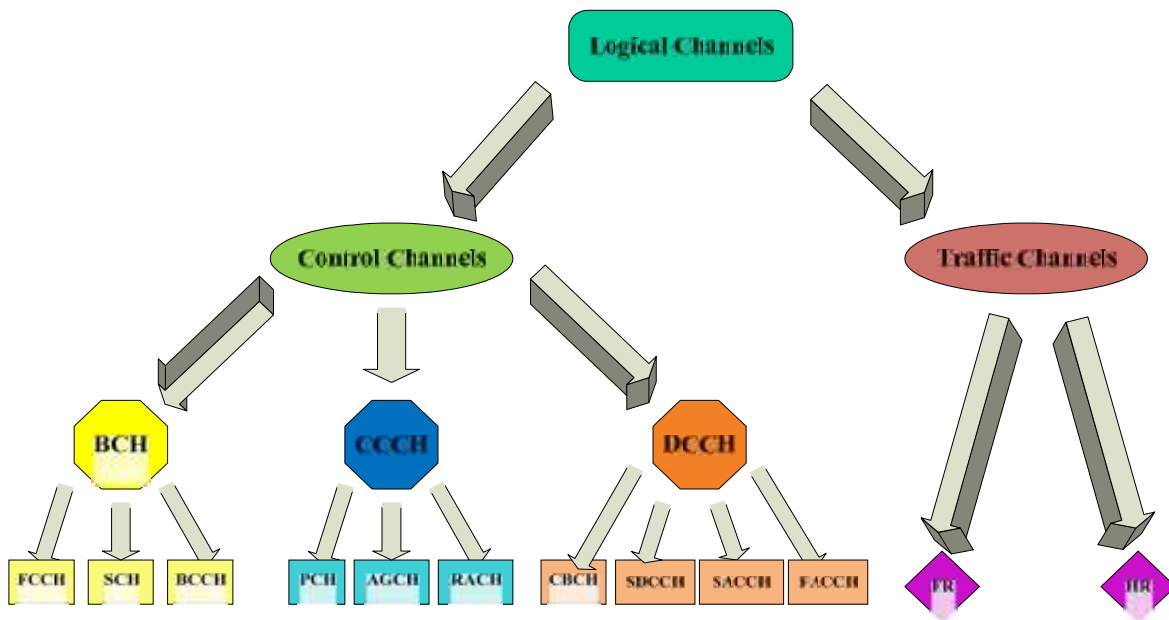
1. **Αυτοδύναμο Αποκλειστικό Κανάλι Ελέγχου (Stand Alone Dedicate Control Channel - SDCCH).** Αυτό χρησιμεύει για την ανταλλαγή σηματοδοσίας του συστήματος με τον κινητό σταθμό κατά την έναρξη αποκατάστασης της κλήσεως πριν ορισθεί ένα κανάλι κίνησης. Με αυτό γίνεται επίσης εγγραφή και πιστοποίηση του ΚΣ. Ως προς τον τύπο του είναι σημείο προς σημείο και ενώ η σύνδεση αποκαθίσταται προς τα άνω ή προς τα κάτω.
2. **Αργό Συσχετισμένο Κανάλι Ελέγχου (Slow Associated Control Channel – SACCH).** Το κανάλι αυτό είναι πάντοτε συσχετισμένο με κάθε κανάλι κίνησης (TCH) ή αυτοδύναμο κανάλι (SDCCH), δηλαδή αποστέλλεται πάντοτε στο ίδιο φυσικό κανάλι με τα TCH, SDCCH. Είναι συνεχούς ροής πληροφοριών με στοιχεία μετρήσεων του σήματος που λαμβάνονται από τον κινητό σταθμό στην παρούσα και σε γειτονικές κυψέλες. Τα στοιχεία που μεταφέρει είναι απαραίτητα για την μεταγωγή όταν η έναρξη της διαδικασίας γίνεται από την πλευρά του ΚΣ. Είναι τύπου σημείο προς σημείο και μεταδίδεται προς τα άνω ή προς τα κάτω.
3. **Ταχύ Συσχετισμένο Κανάλι Ελέγχου (Fast Associated Control Channel - FACCH).** Χρησιμοποιείται όταν κατά τη διάρκεια μετάδοσης ομιλίας χρειάζεται να γίνει ξαφνικά ανταλλαγή σημάτων με το σύστημα με ρυθμούς μεγαλύτερους από εκείνους που διαχειρίζεται το SACCH. Στην περίπτωση αυτή το FACCH καταλαμβάνει τη θέση ενός καναλιού κίνησης, δηλαδή δεσμεύει 20 msec ομιλίας, χωρίς ο συνδρομητής να αντιληφθεί την λεκτική διακοπή. Αιφνίδιες αυξημένες απαιτήσεις εμφανίζονται για παράδειγμα κατά την μεταπομπή κλήσης (handover).

Στο επόμενο παράδειγμα, περιγράφεται ένα χρονικό στιγμιότυπο με το ρόλο των καναλιών ελέγχου τα οποία μεταφέρονται με τη χρονοθυρίδα 0 (timeslot 0) πάνω στη φέρουσα συχνότητα:

- FCCH: Με αυτό συγχρονίζεται ο ΚΣ στην συχνότητα του καναλιού
- SCH: Ο ΚΣ διαβάζει τον αριθμό του TDMA πλαισίου και την ταυτότητα BSIC.
- BCCH: Ο ΚΣ παίρνει γενικές πληροφορίες για τη συγκεκριμένη κυψέλη στην οποία βρίσκεται.
- CCCH: Με αυτό ο ΚΣ δέχεται σήματα αναζήτησης και λαμβάνει ένα κανάλι SDCCH.

Η χρονοθυρίδα 0 σε μια άλλη κυψέλη έχει πάλι το ίδιο περιεχόμενο αλλά οι φέρουσες των δύο κυψελών δεν έχουν την ίδια συχνότητα.

Στον Σχήμα που ακολουθεί, με το οποίο ολοκληρώνεται η μελέτη μας πάνω στα λογικά κανάλια, παρουσιάζεται σχηματικά η κατάταξη τους στις διάφορες κατηγορίες με βάση τα όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω.



Σχήμα 2.22: Ταξινόμηση των λογικών καναλιών σε διάφορες κατηγορίες

2.5 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Μέχρι τώρα έχει περιγραφεί η έννοια των καναλιών που απαντώνται στο GSM, οι κατηγορίες που υπάρχουν καθώς και η δομή και ο ρόλος που διαδραματίζει κάθε ένα από αυτά στην προσπάθεια οργάνωσης και εγκατάστασης της επικοινωνίας μεταξύ του

σταθμού βάσης και του κινητού σταθμού. Ωστόσο, προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο συμπεριφέρεται ένας κινητός σταθμός GSM πάνω στη διεπαφή αέρα μέσα σε ένα δίκτυο, παρατίθενται οι παρακάτω πληροφορίες οι οποίες αποτελούν συνεκτικό κομμάτι μεταξύ της διαδικασίας συγχρονισμού μέσα στο δίκτυο, της διαδικασίας ενημέρωσης της περιοχής εντοπισμού και της διαδικασίας που λαμβάνει χώρα κατά την εγκατάσταση – τερματισμό μιας κλήσης.

a) Συγχρονισμός με το δίκτυο

Όταν ένας κινητός σταθμός τίθεται σε λειτουργία, καλείται να προσανατολιστεί μέσα στο δίκτυο. Αυτό υλοποιείται σε τρία βήματα. Πρώτα, συγχρονίζεται στη συχνότητα του καναλιού, μετά στο χρόνο και τελευταία διαβάσει τα δεδομένα του συστήματος και της κυψέλης στην οποία βρίσκεται. Οι λειτουργίες αυτές υλοποιούνται με το κανάλι BCCH. Η διαδικασία αυτή είναι καθαρά παθητική, δηλαδή έχει μία μόνο κατεύθυνση, την κατερχόμενη (downlink), χωρίς να ανταλλάσσονται μηνύματα μεταξύ κινητού σταθμού και σταθμού βάσης.

Η πρώτη εργασία που πρέπει να γίνει είναι να βρεθεί η συχνότητα στην οποία μεταδίδονται τα κανάλια FCCH, SCH και BCCH. Στο GSM, ο σταθμός βάσης πρέπει πάντα να εκπέμπει κάτι σε κάθε χρονοθυρίδα του βασικού καναλιού. Εάν αυτές οι χρονοθυρίδες δεν διατίθενται για επικοινωνία με άλλους κινητούς σταθμούς, ο σταθμός βάσης πρέπει να μεταδώσει τις προκαθορισμένες τεχνητές ή βουβές ριπές, που ειδικά ορίζονται για αυτό το σκοπό, στις αδρανείς χρονοθυρίδες του βασικού καναλιού. Εάν ο σταθμός βάσης επιφορτίζεται με την ευθύνη της εκπομπής του βασικού καναλιού, γεμίζει όλες τις χρονοθυρίδες του, τότε η πυκνότητα ισχύος για αυτή τη συχνότητα είναι υψηλότερη από οποιαδήποτε άλλη που εκχωρείται στην κυψέλη, η οποία πιθανόν να διαθέτει ελάχιστες από τις οκτώ συνολικά χρονοθυρίδες. Αυτή η ιδιόζουσα περίπτωση του σταθμού βάσης διευκολύνει τον κινητό σταθμό να εντοπίσει τη συχνότητα. Ο κινητός σταθμός απλά σαρώνει τα φυσικά κανάλια με τα υψηλότερα, φαινομενικά, επίπεδα ισχύος.

Αφότου ο ΚΣ εντοπίσει ένα από αυτά, στη συνέχεια αναζητά το FCCH. Το FCCH είναι εύκολο να βρεθεί από τη στιγμή που θα εντοπιστεί το βασικό κανάλι. Στη περίπτωση που το FCCH δεν είναι παρόν εξ αρχής και επομένως δεν έχει βρεθεί ένα κανάλι εκπομπής, τότε ο κινητός σταθμός συντονίζεται και ερευνά το κανάλι με την αμέσως επόμενη υψηλότερη στάθμη ισχύος. Αυτό επαναλαμβάνεται έως ότου βρεθεί ένα κανάλι FCCH.

Αφού συγχρονιστεί ο κινητός σταθμός με το σύστημα στο πεδίο της συχνότητας, εν συνεχεία εφαρμόζει την ίδια διαδικασία και στο χρονικό πεδίο ή στο πεδίο των δεδομένων. Ο κινητός χρησιμοποιεί το κανάλι SCH για αυτό το δεύτερο βήμα, αλλά έχοντας ήδη βρει το FCCH, γνωρίζει ότι στο επόμενο TDMA πλαίσιο ακολουθεί το κανάλι SCH. Από το SCH, ο κινητός λαμβάνει πληροφορία σχετικά με τον τρέχοντα αριθμό πλαισίου και την “εκπαιδευτική ακολουθία” της κυψέλης.

Με την πληροφορία αυτή να αποτυπώνεται στο SCH, το BCCH είναι ανοικτό βιβλίο για τον κινητό σταθμό, ο οποίος αντλεί πληροφορίες σχετικά την τοποθεσία της κυψέλης, ως να προσπελαστεί αυτό τον συγκεκριμένο σταθμό βάσης. Μέχρι αυτή τη στιγμή ο κινητός ακούει πολυάσχολα αλλά παθητικά. Όλα αυτά τα τρία στάδια συγχρονισμού, χρειάζονται περίπου μεταξύ 2 έως 5 δευτερόλεπτα για να υλοποιηθούν ενώ κάτω από συγκεκριμένες περιστάσεις μπορεί να χρειαστούν μέχρι και 20 δευτερόλεπτα. Το χρονικό αυτό διάστημα που απαιτείται εξαρτάται από τον σχεδιασμό του κινητού σταθμού και το είδος του, αν την τελευταία φορά που απενεργοποιήθηκε ήταν στη ίδια κυψέλη με αυτή που βρίσκεται τώρα, κ.α.. Όταν ο κινητός απενεργοποιείται αποθηκεύει κάποια πληροφορία σχετικά με την κυψέλη στην κάρτα SIM. Αυτή η πληροφορία περιλαμβάνει τη συχνότητα του καναλιού βάσης και την τοποθεσία της κυψέλης. Εάν ο κινητός ενεργοποιείται μέσα στην ίδια κυψέλη, ήδη γνωρίζει που να ψάξει για το κανάλι βάσης. Η διαδικασία συγχρονισμού υποτίθεται ότι είναι πολύ ταχύτερη.

b) Ενημέρωση Περιοχής Εντοπισμού Τοποθεσίας

Δύο διαφορετικές καταστάσεις προκαλούν τον κινητό σταθμό να εκκινήσει τη διαδικασία ενημέρωσης τοποθεσίας:

- Εφόσον επιβάλλεται από το δίκτυο
- Εάν ο ΚΣ μεταβαίνει σε μια νέα περιοχή εντοπισμού

Το δίκτυο δίνει εντολή στον κινητό σταθμό να εκτελέσει τη διαδικασία ενημέρωσης περιοχής εντοπισμού όταν αυτό τίθεται σε λειτουργία μετά από διάστημα απενεργοποίησης. Αυτό πραγματοποιείται με ένα σύνολο σημάτων στο σύστημα πληροφοριών που μεταδίδεται πάνω στο κανάλι BCCH.

2.6 ΕΘΝΙΚΟΙ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΑΡΙΘΜΟΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΟ GSM

Το GSM, όπως και τα υπόλοιπα κυψελωτά συστήματα δεύτερης γενιάς, εγκαινίασαν μια σημαντική καινοτομία στον τομέα των κινητών επικοινωνιών και συγκεκριμένα *την αποσυσχέτιση του χρήστη από τον κινητό εξοπλισμό*. Η ιδέα αυτή έδωσε έναν περισσότερο προσωπικό χαρακτήρα στα συστήματα αυτά, σηματοδοτώντας με τον τρόπο αυτό την εποχή των συστημάτων προσωπικών επικοινωνιών (Personal Communications Systems – PCS).

Πιο συγκεκριμένα, τα PCS διαχωρίζουν ρητά τον χρήστη από τον κινητό εξοπλισμό καθένας εκ των οποίων λαμβάνει την δική του, μοναδική διεθνώς, ταυτότητα προσδιορισμού. Η πιστοποίηση του χρήστη στο δίκτυο γίνεται μέσω μιας προσωπικής κάρτας συνδρομητή, γνωστή ως κάρτα SIM από τα αρχικά των λέξεων **S**ubscriber **I**dentify **M**odule. Η SIM έχει τη μορφή κάρτας τσιπ και είναι δυνατόν να μεταφερθεί μεταξύ κινητών σταθμών δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στον συνδρομητή να εγγραφεί στο τοπικά διαθέσιμο δίκτυο με την προσωπική του SIM από διαφορετικό κάθε φορά

κινητό σταθμό. Με άλλα λόγια, η SIM επιτρέπει τον διαχωρισμό ανάμεσα στην κινητικότητα του συνδρομητή και στην κινητικότητα του κινητού εξοπλισμού.

Επιπλέον διαχωρισμός γίνεται από το GSM μεταξύ της πιστοποίησης του συνδρομητή και του αριθμού κλήσης. Ο διαχωρισμός αυτός ανοίγει τον δρόμο για μελλοντικές υπηρεσίες όπου κάθε συνδρομητής θα μπορεί να καλείται προσωπικά ανεξάρτητα από το βαθμό προσέγγισης ή το είδος του δικτύου (π.χ. σταθερό, δημόσιο δίκτυο ή δορυφορική επικοινωνία). Παράλληλα, σε κάθε συνδρομητή GSM αντιστοιχεί ένας ή περισσότεροι αριθμοί ISDN.

Εκτός από τον αριθμό κλήσης και τις ταυτότητες προσδιοριστού για τον συνδρομητή και τον κινητό εξοπλισμό, διάφοροι άλλοι αριθμοί πιστοποίησης έχουν οριστεί. Αυτοί χρειάζονται για τη διαχείριση της κινητικότητας του συνδρομητή και για τον χαρακτηρισμό όλων των εναπομείναντων δομικών στοιχείων που εμπλέκονται στη διαδικασία αποκατάστασης των συνδέσεων. Οι πιο σημαντικοί αριθμοί πιστοποίησης είναι οι ακόλουθοι.

2.6.1 Διεθνής Αριθμός Πιστοποίησης Κινητού Εξοπλισμού (International Mobile Station Equipment Identity – IMEI)

Ο διεθνής αριθμός πιστοποίησης κινητού εξοπλισμού είναι ένα είδος σειριακού αριθμού και ο ρόλος του είναι να πιστοποιεί τον κινητό σταθμό ως συσκευή κατά μοναδικό τρόπο διεθνώς. Ο IMEI δίνεται από τον κατασκευαστή του κινητού εξοπλισμού και καταχωρείται από τον χειριστή του δικτύου στη βάση δεδομένων πιστοποίησης εξοπλισμού (EIR).

Η EIR, μέσω του IMEI, κατατάσσει κάθε κινητό σταθμό του οικείου δικτύου σε μία από τις λίστες που διατηρεί. Έτσι, το δίκτυο είναι σε θέση να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο κινητός εξοπλισμός, δηλαδή εάν έχει κλαπεί από τον κύριο κάτοχο του (μαύρη λίστα), είναι μη λειτουργικός ή το λογισμικό του είναι παλιό (γκρι λίστα) οπότε σε αυτές τις δύο περιπτώσεις το δίκτυο δύναται να αρνηθεί των υπηρεσιών που προσφέρει ή τέλος λειτουργεί κανονικά (λευκή λίστα) και λαμβάνει τις υπηρεσίες του δικτύου. Ο IMEI ζητείται από το δίκτυο συνήθως κατά την εγγραφή του συνδρομητή αλλά επίσης είναι δυνατόν να ζητείται ανά τακτικά χρονικά διαστήματα. Ο αριθμός αυτός αποτελείται από τρία μέρη και ένα εφεδρικό όπως φαίνεται ακολούθως στο σχήμα (Σχήμα 3.23).



Σχήμα 2.23: Δομή του IMEI

- ③ Ο Κωδικός Έγκρισης Τύπου (Type Approval Code - TAC) ορίζεται από ένα κεντρικό όργανο και αποτελείται από έξι ψηφία
- ③ Ο Κωδικός Τελικής Προσαρμογής (Final Assembly Code - FAC) προσδιορίζει τον τόπο που έγινε η τελική συναρμολόγηση της συσκευής και αποτελείται από δύο ψηφία
- ③ Ο Κωδικός Αριθμός Σειράς (Serial Number – SN) προσδιορίζει με έξι ψηφία τον αριθμό της συγκεκριμένης συσκευής λαμβανομένων υπόψη και των δύο προηγούμενων μερών TAC και FAC. Οι κατασκευαστές σημειώνουν τον αριθμό αυτό σειριακά σε κάθε μηχάνημα που παράγουν.
- ③ Ο Εφεδρικός (Spare – SP) αποτελείται από ένα ψηφίο.

Ο IMEI είναι επομένως η συνένωση $IMEI = TAC + FAC + SNR + SP$. Ο αριθμός αυτός δίνει ενδείξεις για τον κατασκευαστή του κινητού εξοπλισμού και την ημερομηνία παραγωγής του.

2.6.2 Διεθνής Αριθμός Πιστοποίησης Κινητού Συνδρομητή (International Mobile Subscriber Identity – IMSI)

Κατά την εγγραφή στον πάροχο υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας (π.χ. Cosmote, Vodafone, Wind, Q-Telecom), κάθε συνδρομητής λαμβάνει μία μοναδική για το δίκτυο ταυτότητα προσδιορισμού που λέγεται διεθνής αριθμός πιστοποίησης κινητού συνδρομητή (IMSI). Ο αριθμός αυτός αποθηκεύεται στη SIM και προσδιορίζει μόνο τον συνδρομητή και όχι τον κινητό σταθμό.

Ένας κινητός σταθμός με έγκυρο IMEI, είναι δυνατόν να λειτουργήσει μόνο εφόσον εισαχθεί στον κινητό εξοπλισμό η κάρτα SIM με έγκυρο IMSI, καθώς αυτός είναι ο μόνος τρόπος να γίνει σωστά η χρέωση του σχετιζόμενου συνδρομητή. Ο αριθμός αυτός δεν κοινοποιείται και κατά συνέπεια δεν είναι αυτός που επιλέγεται για την πραγματοποίηση μιας κλήσης προς έναν κινητό σταθμό. Η δομή του IMSI είναι η ακόλουθη.



Σχήμα 2.24: Δομή του IMSI

Όπως φαίνεται ο IMSI αποτελείται από τρία μέρη

1. *Κωδικός Χώρας για την ΚΤ (Mobile Country Code – MCC):* Το μέρος αυτό χαρακτηρίζει τη χώρα κατά τρόπο μοναδικό. Τον αριθμό αυτό ορίζει διεθνώς η CCITT με τη σύσταση E 164.
2. *Κωδικός Συγκεκριμένου Δικτύου ΚΤ (Mobile Network Code – MNC):* Ο αριθμός αυτός χαρακτηρίζει το οικείο δίκτυο ΚΤ που είναι εγγεγραμμένος ο συνδρομητής και αποτελεί αρμοδιότητα του τηλεπικοινωνιακού οργανισμού ή φορέα (παρόχου) υπηρεσιών ΚΤ.
3. *Αριθμός Πιστοποίησης Κινητού Συνδρομητή (Mobile Subscriber Identification Number – MSIN):* το μέρος αυτό είναι ο καθ' εαυτού προσωπικός αριθμός του συνδρομητή.

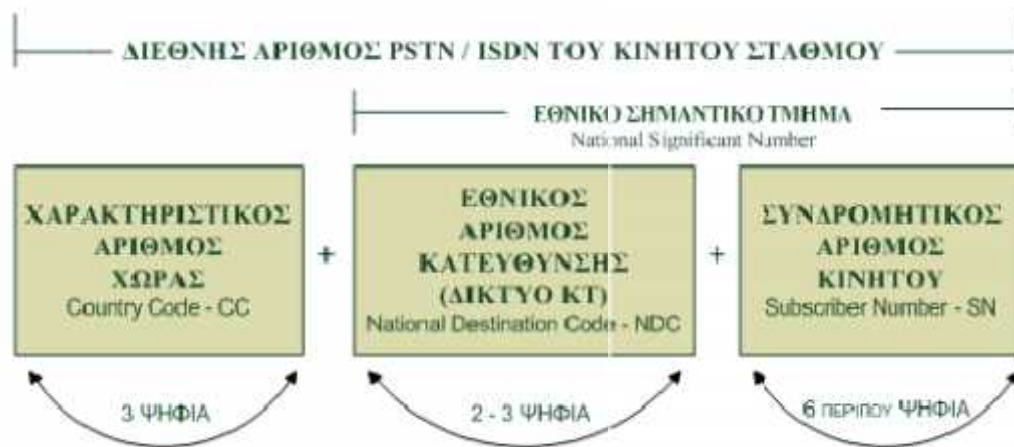
Ο IMSI είναι η σύνθεση $IMSI = MCC + MNC + MSIN$ και επομένως έχει μέγιστο εύρος 15 δεκαδικά ψηφία. Ενώ ο MCC ορίζεται διεθνώς απο την Διεθνή Συμβουλευτική Επιτροπή για την Τηλεγραφία και την Τηλεφωνία (CCITT), ο εθνικός αριθμός πιστοποίησης κινητού συνδρομητή, $NMSI = MNC + MSIN$, εκχωρείται από τον πάροχο του οικείου δικτύου

2.6.3 Αριθμός ISDN Κινητού Συνδρομητή (Mobile Subscriber ISDN Number – MSISDN)

Ο *αριθμός ISDN κινητού συνδρομητή (MSISDN)* χαρακτηρίζεται ως ο αριθμός που επιλέγεται προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια κλήση προς έναν κινητό σταθμό. Ο MSISDN παρέχεται στον συνδρομητή από τον πάροχο υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας μέσω της κάρτας SIM. Ανάλογα με την κάρτα SIM, είναι δυνατόν σε κάθε κινητό σταθμό να αντιστοιχούν περισσότεροι του ενός MSISDN. Με τον τρόπο αυτό διαχωρίζεται η ταυτότητα του συνδρομητή απο τον MSISDN. Ο διαχωρισμός αυτός, κατά κύριο λόγο, εξυπηρετεί στην προστασία της εμπιστευτικότητας του IMSI. Ο IMSI είναι αποθηκευμένος στην HLR και, σε αντίθεση με τον MSISDN, διατηρείται κρυφός από το κοινό. Όταν αντιστοιχούν πολλοί MSISDN σε μία SIM, ο συσχετισμός του MSISDN με τον IMSI είναι πολυ δύσκολος οπότε διασφαλίζεται η απόκρυψη του IMSI.

Επιπλέον, η ύπαρξη πολλών MSISDN σε μία μόνο SIM, εξυπηρετεί στην επιλογή διαφορετικών υπηρεσιών. Είναι δυνατόν κάθε αριθμός MSISDN ενός συνδρομητή να αντιστοιχεί σε διαφορετικό είδος υπηρεσιών (φωνή, δεδομένα, fax). Στην περίπτωση αυτή, οι πόροι που σχετίζονται με τις αντίστοιχες υπηρεσίες πρέπει να ενεργοποιηθούν τόσο στον κινητό σταθμό όσο και στο δίκτυο. Η εκάστοτε επιθυμητή υπηρεσία και οι πόροι που απαιτούνται για την υλοποίησή της πηγάζουν από τον MSISDN.

Ο MSISDN ακολουθεί το διεθνές πρότυπο αριθμοδότησης ISDN και έχει την ακόλουθη δομή:



Σχήμα 2.25: Δομή του MSISDN

- ③ *Κωδικός Χώρας (Country Code - CC):* Ο κωδικός CC τυποποιείται σύμφωνα με τη σύσταση TE.164 της ITU και έχει εύρος μέχρι 3 δεκαδικά ψηφία
- ③ *Κωδικός Κατεύθυνσης Δικτύου ΚΤ (National Destination Code – NDC):* Καθορίζεται από εθνικούς φορείς και ρυθμιστικές αρχές και έχει εύρος τυπικά 2 – 3 δεκαδικά ψηφία
- ③ *Συνδρομητικός Αριθμός Κινητού (Serial Number – SN):* Καθορίζεται επίσης από εθνικούς φορείς και ρυθμιστικές αρχές και έχει εύρος 10 δεκαδικά ψηφία το μέγιστο.

Υπάρχουν χώρες των οποίων ο CC αποτελείται από ένα, δύο ή τρία δεκαδικά ψηφία (π.χ. ο CC για τις ΗΠΑ είναι 1 για το Ηνωμένο Βασίλειο 44 και για την Φιλανδία 358) ενώ το μήκος των NDC και SN είναι μεταβλητό. Ο αριθμός του συνδρομητή είναι η συνένωση MSISDN = CC + NDC + SN και επομένως έχει μέγιστο εύρος 15 δεκαδικά ψηφία. Αποθηκεύεται κεντρικά στην HLR.

2.6.4 Αριθμός Περιαγωγής Κινητού Σταθμού (Mobile Station Roaming Number – MSRN)

Ο αριθμός περιαγωγής κινητού σταθμού είναι ένας αριθμός περιορισμένης χρονικής διάρκειας, ο οποίος εκχωρείται για την δρομολόγηση των εισερχόμενων κλήσεων προς έναν κινητό σταθμό όταν αυτός ταξιδεύει σε κάποιο «ξένο» δίκτυο. Κατόπιν εντολής της

HLR, παρέχεται από την τοπική VLR σε κάθε κινητό σταθμό που βρίσκεται σε μια διαφορετική, από άποψη αριθμοδότησης, περιοχή. Έτσι, στην περίπτωση μιας εισερχόμενης κλήσης, η HLR, μέσω του MSRN, κατευθύνει την κλήση στον σωστό ΚΣ. Ο MSRN είναι δυνατόν, κατόπιν αίτησης, να διαβιβαστεί από την HLR στο GMSC. Η δομή του MSRN είναι όμοια με αυτή του MSISDN και έχει ως ακολούθως:

- ③ *Κωδικός Χώρας* στην οποία βρίσκεται η βάση επίσκεψης VLR (*Country Code – CC*)
- ③ *Εθνικός Κωδικός Δικτύου Επίσκεψης* (*National Destination Code – NDC*)
- ③ *Συνδρομητικός Αριθμός Κινητού* (*Serial Number – SN*)

Οι αριθμοί CC και NDC εκχωρούνται από το δίκτυο επίσκεψης και εξαρτώνται από την τρέχουσα θέση του κινητού σταθμού ενώ ο αριθμός SN καθορίζεται από την τοπική VLR και είναι μοναδικός μέσα στο δίκτυο κινητών επικοινωνιών.

Ο MSRN εκχωρείται από την VLR με έναν από τους ακόλουθους δύο τρόπους:

- είτε κατά την εγγραφή του ΚΣ όταν αυτός εισέρχεται σε μια νέα περιοχή εντοπισμού ή
- κάθε φορά που το ζητάει η HLR προκειμένου να αποκαταστήσει τη σύνδεση για μια νέα εισερχόμενη κλήση προς τον ΚΣ.

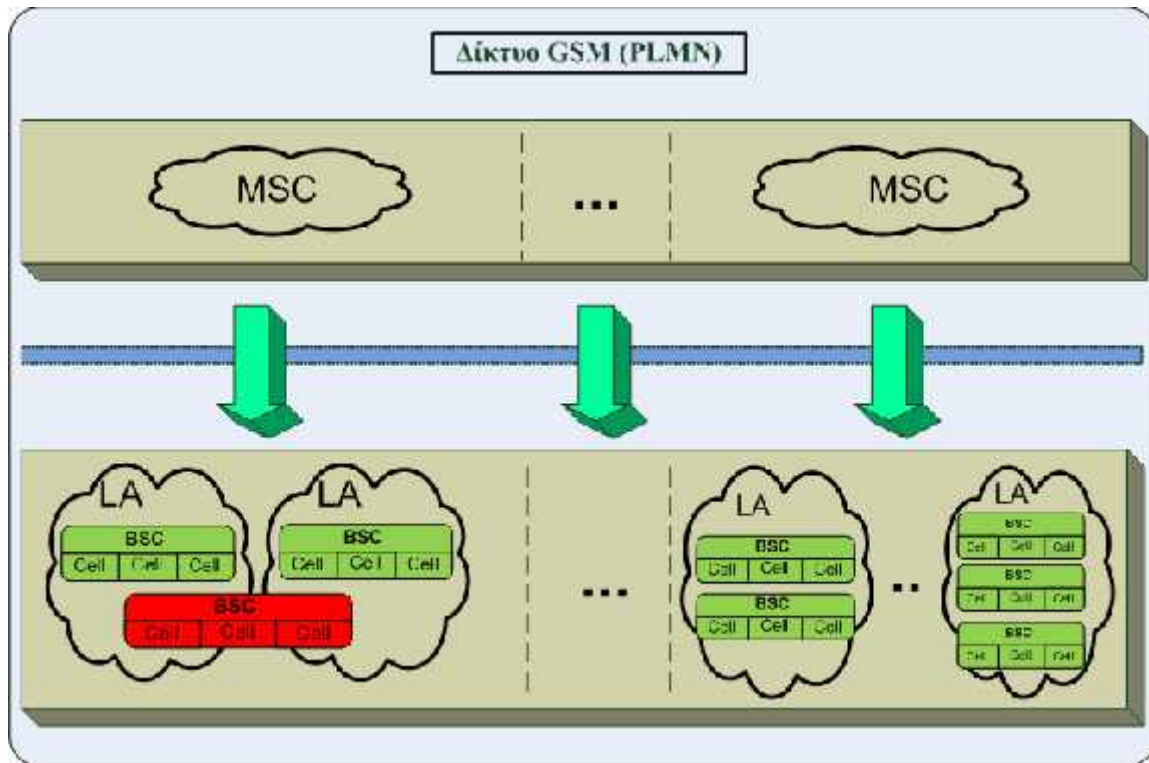
Στην πρώτη περίπτωση, ο MSRN διαβιβάζεται από την VLR στην HLR, όπου αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται για την δρομολόγηση των κλήσεων. Στην περίπτωση μιας εισερχόμενης κλήσης, ο MSRN αναζητείται πρώτα από την HLR και εν συνεχεία προσδιορίζεται ο MSC στην περιοχή ευθύνης του οποίου βρίσκεται ο ΚΣ. Επιπλέον πληροφορία σχετική με τον εντοπισμό του ΚΣ είναι δυνατόν να ληφθεί από την τοπική VLR.

Στη δεύτερη περίπτωση, ο MSRN δεν μπορεί να αποθηκευτεί στην HLR καθώς αυτός εκχωρείται την στιγμή της αποκατάστασης της κλήσης (call set up). Επομένως, η διεύθυνση της τρέχουσας VLR είναι αυτή που αποθηκεύεται στις βάσεις δεδομένων της HLR. Μόλις ζητηθεί από την HLR η πληροφορία δρομολόγησης, η ίδια η HLR ανατρέχει στις βάσεις δεδομένων της VLR, στην περιοχή ευθύνης της οποίας βρίσκεται ο καλούμενος ΚΣ, όπου χρησιμοποιεί ένα μοναδικό ζεύγος αριθμών πιστοποίησης συνδρομητή (IMSI και MSISDN) προκειμένου να της χορηγηθεί ένας έγκυρος αριθμός περιαγωγής MSRN για τον ΚΣ. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την περαιτέρω δρομολόγηση της κλήσης.

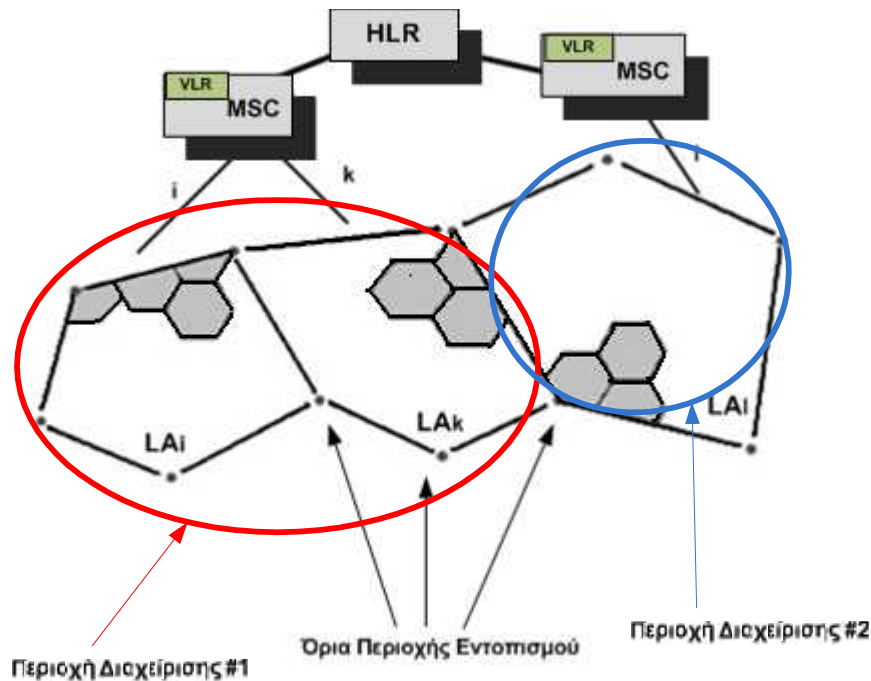
2.6.5 Αριθμός Πιστοποίησης Περιοχής Εντοπισμού (Location Area Identity – LAI)

Το Δημόσιο Τοπικό Δίκτυο Κινητής Τηλεφωνίας PLMN GSM αποτελείται ουσιαστικά από πολλές περιοχές διαχείρισης και ο έλεγχος – εποπτεία κάθε μίας εξ αυτών ανατίθεται σε ένα μόνο μεταγωγικό κέντρο MSC. Αντίστοιχα, κάθε περιοχή διαχείρισης οριοθετείται από μία τουλάχιστον περιοχή εντοπισμού (Location Area – LA). Το Σχήμα 3.26

απεικονίζει σε διάγραμμα μπλοκ τις περιοχές διαχείρισης και εντοπισμού ενώ το Σχήμα 2.27 αποτελεί μία ρεαλιστική απεικόνιση των περιοχών αυτών.



Σχήμα 2.26: Διάγραμμα μπλοκ των περιοχών διαχείρισης και εντοπισμού σε δίκτυο PLMN GSM



Σχήμα 2.27: Ρεαλιστική απεικόνιση των περιοχών διαχείρισης και εντοπισμού σε δίκτυο PLMN GSM

Κάθε περιοχή εντοπισμού σε ένα δίκτυο PLMN έχει τη δική της ταυτότητα προσδιορισμού που λέγεται αριθμός πιστοποίησης περιοχής εντοπισμού (Location Area Identifier –LAI). Ο LAI είναι ορισμένος κατά μοναδικό τρόπο διεθνώς, ιεραρχικά δομημένος και σχηματίζεται από δύο επιμέρους τμήματα, το διεθνές τυποποιημένο τμήμα και το τμήμα που εξαρτάται από τον πάροχο υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας.

Το δίκτυο προκειμένου να εντοπίσει την κυψέλη, στην γεωγραφική περιοχή υπηρεσιών της οποίας βρίσκεται ο κινητός σταθμός, ακολουθεί ένα σύστημα αριθμοδότησης σύμφωνα με το οποίο σε κάθε κυψέλη εκχωρείται ο LAI.

Ο LAI συντίθεται από τα ακόλουθα μέρη:

- ③ Κωδικός Χώρας (Country Code - CC) με εύρος 3 δεκαδικά ψηφία. Ο αριθμός αυτός τυποποιείται σύμφωνα με τη σύσταση TE.164 της ITU.
- ③ Κωδικός Συγκεκριμένου Δικτύου Κινητής Τηλεφωνίας (Mobile Network Code – MNC) με εύρος 2 δεκαδικά ψηφία. Ο αριθμός αυτός χαρακτηρίζει το οικείο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας που είναι εγγεγραμμένος ο συνδρομητής και αποτελεί αρμοδιότητα του τηλεπικοινωνιακού οργανισμού και φορέα υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας.
- ③ Κωδικός Περιοχής Εντοπισμού (Location Area Code – LAC) με εύρος 5 δεκαδικά ψηφία το μέγιστο ή δύο 8 bit αριθμοί το μέγιστο, κωδικοποιημένοι στο δεκαεξαδικό σύστημα ($LAC < FFFF_{hex}$).

Ο LAI μεταδίδεται τακτικά από τον σταθμό βάσης πάνω στο λογικό κανάλι ελέγχου μετάδοσης (BCCH). Επομένως κάθε κυψέλη ταυτοποιείται κατά μοναδικό τρόπο πάνω

στο ραδιοκανάλι καθώς ανήκει σε μια περιοχή εντοπισμού (LA), και κάθε ΚΣ μπορεί να προσδιορίσει την τρέχουσα θέση του μέσω του LAI. Δηλαδή, ο LAI είναι το σημείο αναφοράς μέσω του οποίου οι ΚΣ προσανατολίζονται μέσα στο δίκτυο. Εάν ο LAI ο μεταβάλλεται, τότε ο ΚΣ ειδοποιεί για αυτή την αλλαγή θέσης εντοπισμού και ζητάει την ενημέρωση του πεδίου πληροφορίας εντοπισμού στην VLR και HLR (location update). Η σπουδαιότητα για τα δίκτυα GSM είναι ότι ο ΚΣ από μόνος του, και όχι το δίκτυο, είναι υπεύθυνος για την εποπτεία των τοπικών συνθηκών λήψης σήματος και επομένως μπορεί να επιλέξει τον σταθμό βάσης τον οποίο λαμβάνει καλύτερα και να εγγραφεί στην τοπική VLR. Ο LAI ζητείται από την VLR εάν η σύνδεση για μια εισερχόμενη κλήση έχει δρομολογηθεί στον τρέχοντα μεταγωγικό κόμβο MSC χρησιμοποιώντας τον MSRN. Αυτό καθορίζει την ακριβή θέση του κινητού σταθμού ο οποίος, εν συνεχεία, μπορεί να τηλεειδοποιηθεί. Όταν ο ΚΣ απαντάει, η ακριβής περιοχή εντοπισμού και επομένως ο σταθμός βάσης γίνονται γνωστά. Αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υλοποιηθεί η μεταγωγή της κλήσης όπου κρίνεται απαραίτητο.

2.6.6 Αριθμός Πιστοποίησης Προσωρινού Κινητού Συνδρομητή (Temporary Mobile Subscriber Identity – TMSI)

Για να διαφωτιστεί το απόρρητο του IMSI (δηλαδή για να αποφεύγεται η συχνή εκπομπή του), το σύστημα μπορεί να ορίσει έναν *προσωρινό αριθμό πιστοποίησης κινητού συνδρομητή TMSI*. Συγκεκριμένα, η τοπική VLR εκχωρεί στον κινητό συνδρομητή έναν TMSI ο οποίος έχει περιορισμένη χρονική διάρκεια και μόνο τοπική σημασία εντός της γεωγραφικής περιοχής εξυπηρέτησης της VLR.

Η σύνθεση του IMSI καθορίζεται από κάθε οργανισμό ή πάροχο και έχει μέγιστο εύρος το οποίο δεν ξεπερνάει τα τέσσερα bytes. Η VLR πριν διαθέσει έναν TMSI, οφείλει πρώτα να πιστοποιήσει τον συνδρομητή και αυτό γίνεται αναγκαστικά με την αρχική εκπομπή του IMSI. Ο κινητός σταθμός αποθηκεύει τον TMSI στην κάρτα SIM, ενώ από την πλευρά του δικτύου ο TMSI αποθηκεύεται μόνο στην VLR και δεν αποστέλλεται στην HLR.

2.6.7 Τοπικός Αριθμός Πιστοποίησης Κινητού Συνδρομητή (Local Mobile Subscriber Identity – LMSI)

Η VLR δύναται να εκχωρήσει ένα επιπλέον κλειδί αναζήτησης σε κάθε κινητό σταθμό μέσα στην περιοχή ευθύνης της. Το κλειδί αυτό είναι ο *τοπικός αριθμός πιστοποίησης κινητού συνδρομητή LMSI*. Ο LMSI εκχωρείται όταν ο κινητός σταθμός εγγράφεται στη VLR και εν συνεχεία προωθείται στην HLR όπου και αποθηκεύεται. Ο LMSI δεν χρησιμοποιείται περαιτέρω από την HLR, αλλά κάθε φορά που στέλνονται μηνύματα στην VLR για έναν κινητό σταθμό, ο LMSI του συγκεκριμένου κινητού σταθμού προστίθεται, έτσι ώστε η VLR να μπορεί να χρησιμοποιήσει το κλειδί σύντομης αναζήτησης για συναλλαγές που αφορούν τον συγκεκριμένο κινητό σταθμό. Αυτό το είδος επιπρόσθετης πιστοποίησης χρησιμοποιείται μόνο όταν ο MSRN είναι πρόσφατα εκχωρημένος με μία κλήση. Σε αυτή την περίπτωση, η γρήγορη επεξεργασία είναι πολύ σημαντική για να πετύχουμε ταχείς χρόνους στην αποκατάσταση της σύνδεσης. Όπως ακριβώς ο TMSI, έτσι και ο LMSI εκχωρείται με ένα συγκεκριμένο τρόπο που εξαρτάται

από τον πάροχο και είναι μοναδικός μέσα στην περιοχή υπηρεσιών της VLR. Ένας LMSI συντίθεται από τέσσερα bytes.

2.6.8 Αριθμός Πιστοποίησης Κυψέλης (Cell Identifier – CI)

Μέσα σε μια περιοχή εντοπισμού, κάθε κυψέλη είναι μοναδικά προσδιορισμένη με έναν αριθμό πιστοποίησης κυψέλης CI, από τα αρχικά των λέξεων **C**ell **I**dentifier, ο οποίος έχει μέγιστο εύρος 2x8 bits. Ο CI μαζί με τον LAI σχηματίζουν τον παγκόσμιο αριθμό πιστοποίησης κυψέλης GCI (**G**lobal **C**ell **I**dentifier, $GCI=LAI+CI$), ο οποίος είναι ορισμένος κατά μοναδικό τρόπο διεθνώς.

2.6.9 Κωδικός Πιστοποίησης Σταθμού Βάσης (Base Station Identity Code– BSIC)

Οι σταθμοί βάσης για να διακρίνονται από τους γειτονικούς τους, λαμβάνουν ένα μοναδικό κωδικό πιστοποίησης σταθμού βάσης BSIC, ο οποίος αποτελείται από τα κάτωθι δύο συνθετικά μέρη:

- τον *Κωδικό Χρώματος Δικτύου (Network Color Code – NCC)* και
- τον *Κωδικό Χρώματος Σταθμού Βάσης (Base Station Color Code – BCC)*

Ο BSIC μεταδίδεται περιοδικά από το σταθμό βάσης πάνω σε ένα λογικό κανάλι εκπομπής, το *κανάλι συγχρονισμού (SCH)*. Γειτονικά PLMN πρέπει να έχουν διαφορετικούς κωδικούς χρώματος.

2.6.10 Αριθμοί Πιστοποίησης Μεταγωγικών Κέντρων και Καταχωρητών Εντοπισμού Θέσης (Identification of MSC and Location registers)

Τα κέντρα μεταγωγής MSC και οι καταχωρητές εντοπισμού θέσης (HLR και VLR) προσεγγίζονται μέσω διαφορετικών αριθμών ISDN. Επιπλέον, τα δομικά αυτά στοιχεία, συνήθως διαθέτουν έναν κωδικό σηματοδοσίας σημείου (Signaling Code Point – SCP) μέσα στο PLMN δίκτυο, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιεί για την προσπέλαση αυτών κατά μοναδικό τρόπο μέσα στο δίκτυο συστήματος σηματοδοσίας No 7.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

« Κινητή Τηλεφωνία 2.5G – Μεταβατική »

Το 1996, το ETSI αποφάσισε να ενισχύσει περαιτέρω το GSM με ετήσιες διατάξεις φάσης 2+, που ενσωματώνουν δυνατότητες τρίτης γενιάς.

Οι διατάξεις της φάσης 2+, έχουν εισάγει σημαντικά χαρακτηριστικά τρίτης γενιάς όπως υπηρεσίες έξυπνου δικτύου (Intelligent Network – IN), με Προσαρμοζόμενη Εφαρμογή για Κινητή Επαυξημένη Λογική (Customized Application for Mobile Enhanced Logic – CAMEL), βελτιωμένη συμπίεση / αποσυμπίεση ομιλίας (COmpression / DECompression – CODEC), Επαυξημένο Πλήρη Ρυθμό (Enhanced Full Rate – EFR) και Προσαρμοστικό Πολλαπλό Ρυθμό (Adaptive Multirate –AMR), υπηρεσίες δεδομένων υψηλού ρυθμού και νέες αρχές μετάδοσης με Δεδομένα Μεταγωγής Κυκλώματος Υψηλής Ταχύτητας (High - Speed Circuit – Switched Data – HSCSD), Γενική Υπηρεσία Ασύρματου Πακέτου (General Packet Radio Service – GPRS) και Επαυξημένοι ρυθμοί Δεδομένων για Εξέλιξη του GSM (Enhanced Data rates for GSM Evolution – EDGE. Το UMTS είναι ένα διάδοχο πρότυπο της τρίτης γενιάς του GSM, που είναι προς τα κάτω συμβατό με το GSM, χρησιμοποιώντας τον επαυξημένο πυρήνα δικτύου της φάσης 2+ του GSM.

9.2.1. Γενική Υπηρεσία Ασύρματου Πακέτου (GPRS)

Έχει προβλεφθεί ότι η τάση που παρατηρείται στα σταθερά δίκτυα – όπου η μεταφορά δεδομένων ξεπερνά σε όγκο τη μεταφορά φωνής – θα εμφανιστεί και στα ασύρματα δίκτυα. Αυτή η μετάβαση αναμενόταν στα σταθερά δίκτυα, περίπου στο 2000. Η μετάβαση στα ασύρματα δίκτυα, θα ακολουθήσει σύντομα. Εν τούτοις, μία πρόκληση που οφείλεται σ' αυτήν την τάση, είναι ότι οι παρούσες ασύρματες υποδομές πρέπει να εξελιχθούν, ώστε να αντεπεξέλθουν στην προβλεπόμενη κυκλοφορία δεδομένων, ενώ ταυτόχρονα να μεταφέρουν φωνητική κυκλοφορία με αποδοτικό και ταχύ τρόπο.

Οι διαφορετικές προσεγγίσεις στα ασύρματα συστήματα τρίτης γενιάς, έγιναν με την πρόθεση να απευθυνθούν στην πρόκληση της ενσωμάτωσης και μείξης φωνής και δεδομένων. Εν τούτοις, η πολυπλοκότητα των νέων τεχνολογιών, έχει καθυστερήσει την ανάπτυξη και την ευρεία διάδοσή τους. Για παράδειγμα, οι διεθνείς βιομηχανικοί οργανισμοί τυποποίησης, δεν μπόρεσαν να αποδεχτούν όλα τα απαιτούμενα πρότυπα. Ειδήσεις σχετικά με αποδεκτά πρωτότυπα συστημάτων τρίτης γενιάς εμφανίζονται, ειδικά από την Κορέα και την Ιαπωνία, αλλά κανένα σύστημα ή δίκτυο τρίτης γενιάς δεν έχει αναπτυχθεί ακόμα.

Για να ελαττωθεί η συνέπεια της καθυστέρησης στην υλοποίηση των ασυρμάτων συστημάτων τρίτης γενιάς, το GPRS εισάγεται ως ενδιάμεσο βήμα για την αποδοτική μετάδοση δεδομένων υψηλής ταχύτητας πάνω από τις παρούσες υποδομές GSM και TDMA. Η σηματοδότηση και η διακίνηση δεδομένων του GPRS δεν γίνεται μέσω του δικτύου GSM. Το GSM χρησιμοποιείται απλά για εύρεση σε πίνακες, στις βάσεις δεδομένων των καταχωρητών τοποθεσίας, των προφίλ χρήστη. Το GPRS χρησιμοποιεί 1 έως 8 σχισμές χρόνου σε ασύρματο κανάλι, που μπορούν να μοιράζονται σε πολλαπλούς χρήστες. Μετατρέπει τα δεδομένα χρήστη σε πακέτα και

τα μεταφέρει πάνω από Δημόσια Επίγεια Κινητά Δίκτυα (PLMN), χρησιμοποιώντας έναν κορμό IP. Από εκεί, διασυνδέεται με άλλα Δημόσια Δίκτυα Δεδομένων (PDN), συμπεριλαμβανομένου και του Διαδικτύου. Ως αποτέλεσμα, το GPRS δύναται να προσφέρει ταχύτητες από 14400 – 115000 bps, που επιτρέπουν άνετη πρόσβαση στο διαδίκτυο με τη χρήση ασύρματων συσκευών. Το πεδίο υποστηριζόμενων ευρών ζώνης που προσφέρεται, επιτρέπει μικρή «εκρηκτική» κυκλοφορία, όπως ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και περιήγηση στον παγκόσμιο ιστό, όπως και μετακίνηση μεγάλων όγκων δεδομένων. Επιπροσθέτως, επειδή υποστηρίζεται ποιότητα υπηρεσίας, οι παροχείς μπορούν να παρέχουν επιλεκτικά υπηρεσίες στους χρήστες. Τέλος, επειδή το GPRS έχει γρήγορη εγκατάσταση σύνδεσης, ο χρήστης έχει την εντύπωση ότι είναι πάντα συνδεδεμένος, για συνεχή λειτουργία.

Κύρια χαρακτηριστικά για το χρήστη του GPRS

Ταχύτητα

Όπως προαναφέρθηκε, το GPRS προσφέρει αρκετά μεγάλη ταχύτητα στους χρήστες του. Συγκριτικά με τα σταθερά δίκτυα, προσφέρει περίπου τρεις φορές μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης, ενώ συγκριτικά με τα ασύρματα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος πάνω στο GSM, είναι περίπου δέκα φορές ταχύτερας. Επιτρέποντας πιο γρήγορη, άμεση και αποδοτική μετάδοση δεδομένων, το GPRS ενδέχεται να είναι μία φτηνότερη υπηρεσία δεδομένων, συγκριτικά με το SMS και τα δεδομένα μεταγωγής κυκλώματος.

Αμεσότητα

Η αμεσότητα αποτελεί ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα του GPRS (αλλά και του SMS). Η αμεσότητα είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό για χρονικά κρίσιμες εφαρμογές, όπως απομακρυσμένη έγκριση πιστωτικής κάρτας, όπου θα ήταν μη αποδεκτό το να αναμένει ο πελάτης, ακόμα κι αν η αναμονή περιοριζόταν σε 30 δευτερόλεπτα.

Νέες, καλύτερες εφαρμογές

Το GPRS διευκολύνει διάφορες νέες εφαρμογές που παλαιότερα δεν ήταν διαθέσιμες στα δίκτυα GSM, λόγω των περιορισμών ταχύτητας στα Δεδομένα Μεταγωγής Κυκλώματος (9.6 kbps) και το μήκος μηνύματος των 160 χαρακτήρων του SMS. Το GPRS καθιστά δυνατή τη χρήση όλων των διαδικτυακών εφαρμογών που είναι συνηθισμένες στα επιτραπέζια συστήματα υπολογιστών, από την περιήγηση, μέχρι τη συνομιλία (chat). Άλλες νέες εφαρμογές συμπεριλαμβάνουν τη μεταφορά αρχείων και την οικιακή αυτοματοποίηση – τη δυνατότητα απομακρυσμένης χρήσης οικιακών συσκευών και μηχανημάτων.

Πρόσβαση στις Υπηρεσίες

Για τη χρήση του GPRS, χρειάζονται οπωσδήποτε τα παρακάτω:

- Ένα κινητό τηλέφωνο ή τερματικό που υποστηρίζει GPRS (τα υπάρχοντα τηλέφωνα GSM δεν το υποστηρίζουν)
- Μία συνδρομή σε δίκτυο κινητής τηλεφωνίας που υποστηρίζει GPRS
- Η χρήση του GPRS πρέπει να ενεργοποιηθεί για τον συγκεκριμένο χρήστη. Αυτόματη πρόσβαση στο GPRS μπορεί να είναι επιτρεπτή από κάποιους διαχειριστές δικτύων κινητής τηλεφωνίας, ενώ άλλοι μπορεί να την επιτρέπουν ως επιρόσθετη παροχή.

-
- Γνώση του πώς να σταλεί ή / και να ληφθεί πληροφορία GPRS χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο μοντέλο κινητού τηλεφώνου που ο χρήστης κατέχει, συμπεριλαμβανομένων και των ρυθμίσεων υλικού / λογισμικού (αυτό δημιουργεί και την απαίτηση για υπηρεσία εξυπηρέτησης πελατών).
 - Μία διεύθυνση για λήψη / αποστολή πληροφορίας μέσω του GPRS. Ενώ στο SMS αυτή συνήθως ήταν ο αριθμός ενός άλλου κινητού τηλεφώνου, στην περίπτωση του GPRS, είναι πολύ πιθανό να είναι μία διαδικτυακή διεύθυνση, αφού το GPRS σχεδιάστηκε για να κάνει το διαδίκτυο πλήρως διαθέσιμο στους χρήστες κινητών για πρώτη φορά. Εξ' αρχής, οι χρήστες GPRS μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση σε ιστοσελίδες ή σε άλλες διαδικτυακές εφαρμογές.

Κύρια δικτυακά χαρακτηριστικά του GPRS

Μεταγωγή πακέτου

Το GPRS επικαλύπτει το υπάρχον GSM δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος, με μία διεπαφή βασισμένη σε πακέτο. Έτσι, δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα να χρησιμοποιήσει μία υπηρεσία δεδομένων βασισμένη σε πακέτα. Η συμπλήρωση μίας αρχιτεκτονικής δικτύου βασισμένης σε μεταγωγή κυκλώματος με μεταγωγή πακέτου, είναι αρκετά σημαντική αναβάθμιση. Εν τούτοις, το πρότυπο του GPRS δίνεται με αρκετά κομψό τρόπο, απαιτώντας από τους διαχειριστές δικτύων να τοποθετήσουν μόνο δύο κόμβους υποδομής και να κάνουν μία αναβάθμιση λογισμικού σε κάποια άλλα στοιχεία του δικτύου.

Αποδοτικότητα φάσματος

Η μεταγωγή πακέτου, συνεπάγεται ότι οι πόροι του συστήματος χρησιμοποιούνται μόνο όταν οι χρήστες στέλνουν ή δέχονται δεδομένα. Αντί να αφιερώνεται ένα ασύρματο κανάλι σε κάποιον χρήστη, για μία σταθερή χρονική περίοδο, οι διαθέσιμοι πόροι μπορούν να μοιραστούν σε πολλούς χρήστες ταυτόχρονα. Αυτή η αποδοτική χρήση των πόρων, συνεπάγεται ότι μεγάλοι αριθμοί χρηστών του GPRS μπορούν να χρησιμοποιήσουν το ίδιο εύρος ζώνης και να εξυπηρετηθούν από μία μοναδική κυψέλη. Ο πραγματικός αριθμός των χρηστών που μπορούν να εξυπηρετηθούν, εξαρτάται από τον τύπο της εφαρμογής που χρησιμοποιείται και από την ποσότητα δεδομένων που μεταφέρεται. Λόγω της αποδοτικότητας φάσματος του GPRS, υπάρχει λιγότερη ανάγκη για τη διατήρηση κενής χωρητικότητας που χρησιμοποιείται στις ώρες αιχμής. Έτσι, το GPRS, παρέχει στους διαχειριστές δικτύων τη δυνατότητα να μεγιστοποιήσουν τη χρήση των πόρων του δικτύου τους με έναν δυναμικό και ευέλικτο τρόπο.

Το GPRS αναμένεται να βελτιώσει την μέγιστη χωρητικότητα στο χρόνο ενός δικτύου GSM, εφ' όσον ταυτόχρονα:

- Διανέμει τους πόρους πιο αποδοτικά, υποστηρίζοντας εικονική συνδεσιμότητα.
- Μεταφέρει κυκλοφορία που διακινείται μέσω Δεδομένων Μεταγωγής Κυκλώματος στο GPRS, και μειώνει το φόρτο του κέντρου SMS και του καναλιού σηματοδότησης, μεταφέροντας κάποια κυκλοφορία η οποία διακινείται μέσω SMS στο GPRS, χρησιμοποιώντας τη διασύνδεση GPRS / SMS, που υποστηρίζεται από τα πρότυπα του GPRS.

Γνωρίζει το Διαδίκτυο

Για πρώτη φορά, το GPRS επιτρέπει την λειτουργία των κινητών στο Διαδίκτυο, επιτρέποντας τη διαδικτύωση του Διαδικτύου και του νέου δικτύου GPRS. Κάθε υπηρεσία που χρησιμοποιείται σήμερα στο Διαδίκτυο, θα είναι διαθέσιμη στον ίδιο βαθμό στα κινητά τηλέφωνα, μέσω του GPRS.

Εφ' όσον το GPRS λειτουργεί με τα ίδια πρωτόκολλα με το Διαδίκτυο, μπορεί να θεωρηθεί ως υποδίκτυό του. Αυτό σημαίνει, ότι υπάρχει η δυνατότητα κάθε τερματικό GPRS να έχει τη δική του διεύθυνση IP και να είναι προσβάσιμο με αυτόν τον τρόπο.

Υποστηρίζει TDMA και GSM

Θα πρέπει να τονιστεί ότι το GPRS δεν είναι σχεδιασμένο μόνο για να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας που βασίζονται στο GSM. Το πρότυπο IS – 136 TDMA, δημοφιλές στην Αμερικανική ήπειρο, επίσης θα υποστηρίζει το GPRS. Αυτό γίνεται σε συνέπεια μίας συμφωνίας που έγινε στις αρχές του 1999, ώστε να ακολουθηθεί η ίδια οδός εξέλιξης προς τα συστήματα τρίτης γενιάς, η οποία έγινε από τις βιομηχανικές ομάδες που υποστηρίζουν τους δύο τύπους δικτύων.

Περιορισμοί του GPRS

Μειωμένη χωρητικότητα κυψελών για όλους τους χρήστες

Το GPRS έχει αντίκτυπο στην υπάρχουσα χωρητικότητα κυψελών του δικτύου. Υπάρχουν περιορισμένοι πόροι που να μπορούν να αφιερωθούν σε διαφορετικές χρήσεις. Για παράδειγμα, οι φωνητικές κλήσεις και οι κλήσεις GPRS, χρησιμοποιούν και οι δύο τους ίδιους δικτυακούς πόρους. Η έκταση του αντίκτυπου, εξαρτάται από τον αριθμό των χρονικών σχισμών, αν υπάρχουν, που δεσμεύονται για αποκλειστική χρήση του GPRS. Εν τούτοις, το GPRS διαχειρίζεται δυναμικά την διανομή καναλιών και επιτρέπει μείωση στο φόρτο του καναλιού σηματοδοσίας σε ώρες αιχμής, στέλνοντας μικρά μηνύματα πάνω από κανάλια GPRS.

Αποτέλεσμα: Ανάγκη για το SMS, ως συμπληρωματικό φορέα που χρησιμοποιεί διαφορετικό τύπο πόρων.

Οι πραγματικές ταχύτητες είναι πολύ μικρότερες

Η επίτευξη του θεωρητικού μέγιστου ρυθμού μετάδοσης του GPRS, θα απαιτούσε από έναν και μόνο χρήστη να κατέχει και τις 8 χρονικές σχισμές, χωρίς προστασία από σφάλματα. Φυσικά, είναι μάλλον απίθανο ότι ένας διαχειριστής δικτύου θα επιτρέψει ένας χρήστης να χρησιμοποιήσει και τις 8 σχισμές. Επιπροσθέτως, τα πρώτα τερματικά GPRS, αναμένεται να έχουν πολύ περιορισμένες δυνατότητες, υποστηρίζοντας μέχρι 3 σχισμές χρόνου. Έτσι, το εύρος ζώνης που θα είναι πραγματικά διαθέσιμο, θα είναι σημαντικά περιορισμένο. Για αυτούς τους λόγους, οι θεωρητικές μέγιστες τιμές, θα πρέπει να ελεγχθούν με βάση τους περιορισμούς στα δίκτυα και στα τερματικά. Η πραγματικότητα είναι ότι τα κινητά δίκτυα είναι πάντα πιο πιθανό να έχουν χαμηλότερες ταχύτητες από τα σταθερά.

Αποτέλεσμα: Οι σχετικά υψηλές ταχύτητες δεδομένων στα κινητά τηλέφωνα, μπορεί να μην είναι διαθέσιμες στους χρήστες, μέχρι την εισαγωγή του EDGE ή του UMTS.

Η υποστήριξη του τερματισμού GPRS, δεν είναι επιβεβαιωμένη

Ως αυτή τη στιγμή, δεν έχει υπάρξει επιβεβαίωση από τους παροχείς συσκευών, ότι κλήσεις GPRS τερματιζόμενες σε κινητό (λήψη κλήσεων GPRS στο κινητό

τηλέφωνο), θα υποστηρίζονται από τα αρχικά τερματικά. Η διαθεσιμότητα αυτού του χαρακτηριστικού, είναι ένα καίριο ερώτημα, με κρίσιμο αντίκτυπο σε θέματα όπως η μεταφορά εφαρμογών από άλλους φορείς στο GPRS.

Αποτέλεσμα: Η χρηστικότητα και ως συνέπεια και η βιωσιμότητα του GPRS, απειλείται.

Μη βέλτιστη κωδικοποίηση

Το GPRS βασίζεται σε μία κωδικοποίηση που καλείται GSMK. Το EDGE βασίζεται σε έναν νέο τρόπο κωδικοποίησης, ονομαζόμενο 8 PSK, ο οποίος επιτρέπει ακόμα μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Ο 8 PSK, θα χρησιμοποιηθεί επίσης για το δίκτυο UMTS, οπότε οι διαχειριστές δικτύων θα πρέπει κάποια στιγμή να τον εισάγουν, ώστε να μπορέσουν να μεταβούν στα συστήματα τρίτης γενιάς.

Αποτέλεσμα: Ανάγκη για το EDGE.

Καθυστερήσεις μεταφοράς

Τα πακέτα του GPRS στέλνονται σε διάφορες κατευθύνσεις για να φτάσουν στον ίδιο προορισμό. Αυτό εμπεριέχει τη δυνατότητα για ένα ή περισσότερα πακέτα να χαθούν ή να υποστούν βλάβη κατά τη διάρκεια της μετάδοσης. Τα πρότυπα του GPRS αναγνωρίζουν αυτήν την πιθανότητα και εμπεριέχουν στρατηγικές αναμετάδοσης και ακεραιότητας δεδομένων. Εν τούτοις, ως αποτέλεσμα, μπορεί να συμβούν καθυστερήσεις μετάδοσης. Έτσι, για εφαρμογές όπως μετάδοση βίντεο, μία μέθοδος ταχείας μετάδοσης δεδομένων με μεταγωγή κυκλώματος, όπως το HSCSD, είναι πιο κατάλληλη.

Αποτέλεσμα: Ανάγκη για HSCSD

Όχι αποθήκευση και προώθηση

Ενώ η μηχανή αποθήκευσης και προώθησης είναι η καρδιά του κέντρου SMS και κύριο χαρακτηριστικό της υπηρεσίας SMS, δεν υπάρχει κάτι αντίστοιχο στο GPRS, εκτός από την ενσωμάτωση διασύνδεσης μεταξύ SMS και GPRS.

Αποτέλεσμα: Ανάγκη για SMS

Εφαρμογές για το GPRS

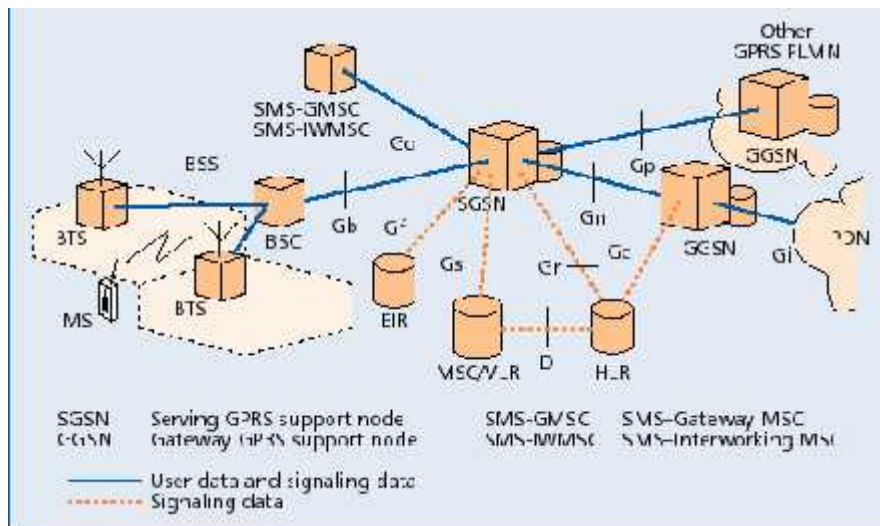
Ένα ευρύ πεδίο εμπορικών και καταναλωτικών εφαρμογών είναι διαθέσιμες για τις υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας. Οι ακόλουθες, είναι οι πλέον κατάλληλες για το GPRS.

- Υπηρεσίες συζήτησης μέσω κειμένου (chat)
- Πληροφορία σε οπτική μορφή και σε μορφή κειμένου
- Σταθερές εικόνες
- Κινούμενες εικόνες
- Περιήγηση στον Παγκόσμιο Ιστό
- Διαμοίραση κειμένου / συνεργασία
- Ήχος υψηλής ποιότητας
- Αποστολή εξωτερικών υπαλλήλων σε εργασίες
- Εταιρικό Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο

- Διαδικτυακό Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο
- Απομακρυσμένη πρόσβαση σε τοπικά δίκτυα
- Μεταφορά αρχείων
- Αυτοματοποίηση Κατοικίας

Αρχιτεκτονική Συστήματος

Με σκοπό την ενσωμάτωση του GPRS στην υπάρχουσα αρχιτεκτονική του GSM, μία νέα κλάση κόμβων δικτύου, οι οποίοι καλούνται «Κόμβοι Υποστήριξης GPRS (GSN)», εισάγεται. Οι GSN είναι υπεύθυνοι για την παράδοση και δρομολόγηση των πακέτων δεδομένων, μεταξύ των κινητών σταθμών και των εξωτερικών δικτύων μεταγωγής πακέτων δεδομένων (PDN). Η αρχιτεκτονική φαίνεται στην Εικόνα 88.



Η αρχιτεκτονική του GPRS

Ένας υπηρετών GSN (SGSN), είναι υπεύθυνος για την μεταφορά των πακέτων δεδομένων, από και προς τους κινητούς σταθμούς που βρίσκονται στην περιοχή υπηρεσίας του. Οι εργασίες του συμπεριλαμβάνουν δρομολόγηση και μεταφορά πακέτων, έλεγχο κινητικότητας (προσάρτηση / αποπροσάρτηση και διαχείριση τοποθεσίας), διαχείριση λογικού συνδέσμου και λειτουργίες επιβεβαίωσης ταυτότητας και χρέωσης. Ο καταχωρητής τοποθεσίας του SGSN καταχωρεί πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία (τρέχουσα κυψέλη, τρέχων VLR) και τα προφίλ χρηστών (IMSI, διευθύνσεις που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο δεδομένων πακέτων), όλων των χρηστών που έχουν καταχωρηθεί σε αυτό το SGSN.

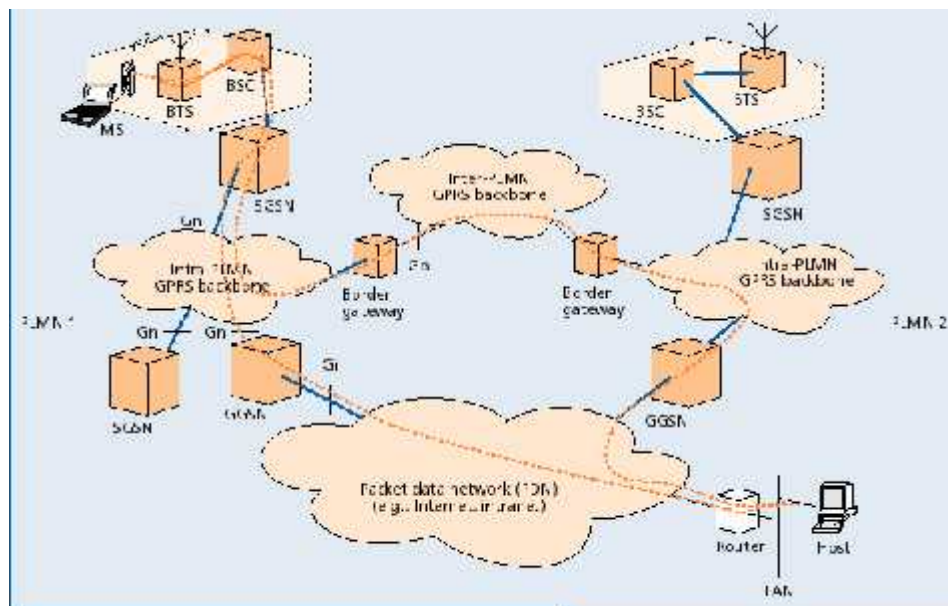
Ένας GSN πύλης (GGSN), λειτουργεί ως διασύνδεση μεταξύ του κορμού του δικτύου GPRS και των εξωτερικών δικτύων δεδομένων πακέτων. Μετατρέπει τα πακέτα GPRS που προέρχονται από το SGSN σε πακέτα του κατάλληλου πρωτοκόλλου (PDP), για παράδειγμα X.25 ή IP και τα μεταδίδει στο κατάλληλο δίκτυο δεδομένων. Προς την αντίθετη κατεύθυνση, οι PDP διευθύνσεις των εισερχομένων πακέτων, μετατρέπονται στη GSM διεύθυνση του χρήστη στον οποίον προορίζονται. Τα επαναδιευθυνσιοδοτημένα πακέτα, αποστέλλονται στο υπεύθυνο SGSN. Για αυτό το σκοπό, το GGSN αποθηκεύει την τρέχουσα διεύθυνση SGSN και το προφίλ του χρήστη, στον καταχωρητή τοποθεσίας. Το GGSN εκτελεί επίσης λειτουργίες

επιβεβαίωσης ταυτότητας και χρέωσης. Γενικά, υπάρχει μία σχέση πολλά – προς – πολλά, μεταξύ των SGSN και των GGSN: Ένα GGSN είναι η διασύνδεση με τα εξωτερικά δίκτυα για πολλά SGSN, ενώ ένα SGSN μπορεί να δρομολογήσει τα πακέτα του μέσω πολλών GGSN, για να τα στείλει σε διαφορετικά δίκτυα.

Στην Εικόνα 88, φαίνονται επίσης και οι διασυνδέσεις μεταξύ των νέων κόμβων και του δικτύου GSM, σύμφωνα με τον ορισμό τους από την ETSI. Η διασύνδεση Gb, ενώνει το BSC με το SGSN. Μέσω των διασυνδέσεων Gn και Gp, δεδομένα χρήστη και σηματοδοσίας, μεταδίδονται μεταξύ των GSN. Η διασύνδεση Gn θα χρησιμοποιηθεί εάν το SGSN και το GGSN βρίσκονται στο ίδιο PLMN, ενώ στην αντίθετη περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί η Gp. Όλα τα GSN συνδέονται μέσω ενός δικτύου κορμού GPRS, βασισμένου στο IP. Μέσα στον κορμό, τα GSN ενθυλακώνουν τα πακέτα PDN και τα μεταδίδουν χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο σήραγγας GTP του GPRS. Υπάρχουν δύο είδη κορμών GPRS:

- Δίκτυα κορμού μέσα στα PLMN, τα οποία συνδέουν τα GSN του ίδιου PLMN και έτσι αποτελούν ιδιωτικά IP δίκτυα του παροχέα δικτύου GPRS.
- Δίκτυα κορμού μεταξύ PLMN, τα οποία συνδέουν GSN από διαφορετικά PLMN. Μία συμφωνία περιπλάνησης μεταξύ των δύο παροχέων δικτύων GPRS, είναι απαραίτητη για την εγκατάσταση αυτού του κορμού.

Στην Εικόνα 89, φαίνονται δύο δίκτυα κορμού μέσα σε διαφορετικά PLMN, που συνδέονται με ένα δίκτυο κορμού μεταξύ PLMN. Οι πύλες μεταξύ των PLMN και του εξωτερικού κορμού μεταξύ PLMN, λέγονται συνοριακές πύλες. Μεταξύ άλλων, εκτελούν λειτουργίες ασφαλείας, για να προστατεύσουν τους ιδιωτικούς εσωτερικούς κορμούς, από επιθέσεις και μη εξουσιοδοτημένους χρήστες. Το εικονογραφημένο παράδειγμα δρομολόγησης, θα εξηγηθεί πιο κάτω.



Διασύνδεση με δίκτυα κορμού

Οι διασυνδέσεις Gn και Gp, ορίζονται επίσης και μεταξύ δύο SGSN. Αυτό επιτρέπει σε δύο SGSN να ανταλλάξουν προφίλ χρήστη, όταν ένας κινητός σταθμός μετακινηθεί από την περιοχή του ενός SGSN σε αυτή του άλλου. Μέσω της

διασύνδεσης Gf, το SGSN μπορεί να ερωτήσει το IMEI ενός κινητού σταθμού ο οποίος επιχειρεί να καταχωρηθεί στο δίκτυο. Η διασύνδεση Gi συνδέει το PLMN με εξωτερικά δημόσια ή ιδιωτικά PDN, όπως το Διαδίκτυο, ή εταιρικά δίκτυα. Διασυνδέσεις για δίκτυα IP (v4 και v6) και X.25, υποστηρίζονται. Το HLR αποθηκεύει το προφίλ χρήστη, την παρούσα διεύθυνση του SGSN και τις διευθύνσεις PDP για κάθε χρήστη GPRS στο PLMN. Η διασύνδεση Gr, χρησιμοποιείται για να ανταλλαχθεί αυτή η πληροφορία μεταξύ HLR και SGSN. Για παράδειγμα, το SGSN ενημερώνει το HLR για την παρούσα τοποθεσία του κινητού. Όταν το κινητό καταχωρηθεί σε νέο SGSN, το HLR θα αποστείλει το προφίλ χρήστη στο νέο SGSN. Το μονοπάτι σηματοδότησης μεταξύ GGSN και HLR (διασύνδεση Ge), μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το GGSN για να ζητήσει την τοποθεσία και το προφίλ ενός χρήστη, ώστε να ενημερώσει τον καταχωρητή τοποθεσίας του. Επιπροσθέτως, τα MSC και VLR, μπορούν να επεκταθούν με λειτουργίες και καταχωρήσεις, που επιτρέπουν αποδοτικό συντονισμό μεταξύ υπηρεσιών μεταγωγής πακέτου (GPRS) και μεταγωγής κυκλώματος (συμβατικό GSM). Παραδείγματα αυτού είναι συνδυασμένες GPRS και μη GPRS ενημερώσεις τοποθεσίας και συνδυασμένες διαδικασίες σύνδεσης. Επιπροσθέτως, αιτήσεις τηλεειδοποίησης κλήσεων μεταγωγής κυκλώματος GSM, μπορούν να γίνουν μέσω του SGSN. Γι' αυτό το σκοπό, η διασύνδεση Gs, συνδέει τις βάσεις δεδομένων των SGSN και MSC/VLR. Για την ανταλλαγή μηνυμάτων της υπηρεσίας SMS μέσω GPRS, η διασύνδεση Gd ορίζεται. Διασυνδέει την πύλη SMS MSC, (SMS-GMSC), με το SGSN.

Υπηρεσίες

Υπηρεσίες φορέα και Συμπληρωματικές Υπηρεσίες

Οι υπηρεσίες φορέα του GPRS, προσφέρουν άκρο – προς – άκρο μεταφορά δεδομένων μεταγωγής πακέτου. Υπάρχουν δύο είδη: Η υπηρεσία σημείου – προς – σημείο (PTP) και η υπηρεσία σημείου – προς – πολλαπλά σημεία (PTM). Η τελευταία θα γίνει διαθέσιμη σε μελλοντικές εκδόσεις του GPRS.

Η υπηρεσία PTP, προσφέρει μεταφορά πακέτων δεδομένων μεταξύ δύο χρηστών. Διατίθεται σε κατάσταση με σύνδεση (PTP-CONS), για παράδειγμα για το X.25 και χωρίς σύνδεση (PTP-CLNS), για παράδειγμα για το IP. Η υπηρεσία PTM, προσφέρει μεταφορά πακέτων από έναν σε πολλούς χρήστες. Υπάρχουν δύο είδη υπηρεσιών PTM:

Με χρήση της υπηρεσίας εκπομπής προς πολλούς (Multicast, PTM-M), πακέτα δεδομένων εκπέμπονται σε μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Ένας προσδιοριστής ομάδας, ορίζει εάν τα πακέτα προορίζονται για όλους τους χρήστες ή για ομάδα χρηστών.

Χρησιμοποιώντας την υπηρεσία κλήσης ομάδας (PTM-G), πακέτα δεδομένων λαμβάνουν τη διεύθυνση μίας ομάδας χρηστών (ομάδα PTM) και αποστέλλονται στις γεωγραφικές περιοχές όπου βρίσκονται τα μέλη της ομάδας.

Είναι επίσης πιθανή η αποστολή μηνυμάτων SMS μέσω GPRS. Επιπροσθέτως, σχεδιάζεται η υλοποίηση συμπληρωματικών υπηρεσιών, όπως άνευ όρων προώθηση κλήσεων (CFU), προώθηση κλήσεων όταν ο συνδρομητής είναι μη προσβάσιμος (CFNRc) και κλειστή ομάδα χρηστών (CUG).

Επίσης, ένας παροχέας υπηρεσιών GPRS, μπορεί να προσφέρει συμπληρωματικές, μη – προτυποποιηθείσες υπηρεσίες, όπως πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων, υπηρεσίες

μηνυμάτων και υπηρεσίες τηλε – δράσης, όπως επιβεβαίωση αριθμού πιστωτικής κάρτας, ηλεκτρονικά συστήματα εποπτείας και παρακολούθησης και άλλες.

Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS)

Οι απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας για τις τυπικές εφαρμογές μεταγωγής πακέτων στην κινητή τηλεφωνία, ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό. Έτσι, η υποστήριξη διαφορετικών κλάσεων ποιότητας υπηρεσίας, είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό. Το GPRS επιτρέπει τον καθορισμό προφίλ QoS με βάση τις παραμέτρους: Ακολουθία εξυπηρέτησης, αξιοπιστία, καθυστέρηση και όγκος έργου (throughput).

- Η ακολουθία εξυπηρέτησης είναι η προτεραιότητα μίας εξυπηρέτησης σε σχέση με μία άλλη. Υπάρχουν τρία είδη προτεραιότητας: Υψηλή, κανονική και χαμηλή.
- Η αξιοπιστία υποδεικνύει τα χαρακτηριστικά μετάδοσης που απαιτούνται από μία εφαρμογή: Τρεις κλάσεις αξιοπιστίας ορίζονται, που εγγυώνται ορισμένες μέγιστες τιμές για την πιθανότητα απώλειας, διπλασιασμού, αλλοίωσης της σειράς και βλάβης (μη ανιχνεύσιμο σφάλμα) πακέτων.
- Οι παράμετροι καθυστέρησης, ορίζουν μέγιστες τιμές για τη μέση καθυστέρηση και την καθυστέρηση του 95%. Η τελευταία, είναι η μέγιστη εγγυημένη καθυστέρηση για το 95% των μεταφορών. Η καθυστέρηση ορίζεται ως η απ' άκρο σε άκρο καθυστέρηση μεταξύ δύο επικοινωνούντων κινητών σταθμών, ή μεταξύ ενός κινητού σταθμού και της διασύνδεσης Gi προς ένα εξωτερικό δίκτυο πακέτων. Αυτή συμπεριλαμβάνει όλες τις καθυστερήσεις εντός του δικτύου GPRS, αλλά όχι τις καθυστερήσεις εκτός αυτού.
- Ο όγκος έργου, καθορίζει το μέγιστο ρυθμό bits καθώς και το μέσο ρυθμό.

Χρησιμοποιώντας αυτές τις κλάσεις, προφίλ ποιότητας υπηρεσίας μπορούν να γίνουν αντικείμενο διαπραγμάτευσης μεταξύ του χρήστη και του δικτύου για κάθε σύνοδο, ανάλογα με την υπάρχουσα ζήτηση για ποιότητα υπηρεσίας και τους διαθέσιμους πόρους του δικτύου. Η χρέωση της υπηρεσίας, βασίζεται τότε στον όγκο της μεταδιδόμενης πληροφορίας, τον τύπο της υπηρεσίας και το επιλεγμένο προφίλ ποιότητας.

Ταυτόχρονη χρήση Υπηρεσιών Μεταγωγής Πακέτου και Υπηρεσιών Μεταγωγής Κυκλώματος.

Σε ένα δίκτυο GSM/GPRS, συμβατικές υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος (ομιλία, δεδομένα, SMS) και υπηρεσίες GPRS, μπορούν να χρησιμοποιηθούν παράλληλα. Τρεις κλάσεις κινητών σταθμών ορίζονται:

- Ένας σταθμός κλάσης A, υποστηρίζει ταυτόχρονη χρήση συμβατικών υπηρεσιών GSM και υπηρεσιών GPRS
- Ένας σταθμός κλάσης B, μπορεί να καταχωρηθεί στο δίκτυο με δυνατότητα χρήσης και των δύο υπηρεσιών, αλλά σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή, μπορεί να χρησιμοποιεί μόνο τη μία εκ των δύο υπηρεσιών
- Ένας σταθμός κλάσης C, μπορεί να προσαρτηθεί στο δίκτυο είτε για χρήση συμβατικού GSM, είτε για χρήση GPRS. Ταυτόχρονη προσάρτηση και για τις δύο υπηρεσίες δεν είναι δυνατή, με τη μόνη εξαίρεση των μηνυμάτων SMS, που μπορούν να αποστέλλονται οποτεδήποτε.

3.2.2. Βελτιωμένοι ρυθμοί δεδομένων για την εξέλιξη του GSM – Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE)

Είναι γενικά αποδεκτό ότι η κύρια μορφή κυκλοφορίας στα κινητά δίκτυα στο μέλλον, θα είναι η κυκλοφορία δεδομένων, η οποία έχει ήδη αρχίσει να υποσκελίζει την κυκλοφορία φωνής. Με σκοπό τη δυνατότητα χρήσης προηγμένων εφαρμογών και υπηρεσιών, οι οποίες απαιτούν συνήθως μεγάλο εύρος ζώνης και πολυμεσικές δυνατότητες, η τρίτη γενιά συστημάτων κινητής τηλεφωνίας, βρίσκεται υπό ανάπτυξη. Για να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ δεύτερης και τρίτης γενιάς και να μειωθούν οι συνέπειες της καθυστέρησης εισαγωγής συστημάτων τρίτης γενιάς, οι τεχνολογίες GPRS και HSCSD εισήχθησαν, προσφέροντας κάποιες από τις δυνατότητες της τρίτης γενιάς, με βάση την υπάρχουσα υποδομή. Το EDGE, είναι μία τεχνολογία που ουσιαστικά αναβαθμίζει το GSM και τις GPRS και HSCSD, χτίζοντας πάνω στην υπάρχουσα βάση του GSM. Έτσι, δεν χρειάζεται νέα δικτυακά στοιχεία. Επίσης, παρέχει τη δυνατότητα αξιοποίησης των υπαρχουσών ζωνών συχνοτήτων με μεγαλύτερη αποδοτικότητα και χωρίς την ανάγκη για άδεια χρήσης άλλων ζωνών, που τα συστήματα τρίτης γενιάς απαιτούν. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί του UMTS, ή ακόμα και σε συνδυασμό με αυτό, χρησιμοποιώντας για παράδειγμα το UMTS σε υψηλού φόρτου αστικές περιοχές και το EDGE σε αγροτικές περιοχές.

Εξέλιξη δεύτερης γενιάς στο UMTS/ IMT – 2000

Η υποστήριξη επικοινωνίας δεδομένων στα συστήματα δεύτερης γενιάς, βελτιώνεται με ταχύτετους ρυθμούς. Όμως, δεδομένου ότι και το HSCSD και το GPRS βασίζονται σε κωδικοποίηση GMSK, ακόμα και με χρήση πολλών χρονικών σχισμών, πολύ υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων δεν είναι δυνατοί.

Η οπτική γωνία της ασύρματης επικοινωνίας

Από την πλευρά της ασύρματης πρόσβασης, η προσθήκη δυνατοτήτων τρίτης γενιάς στα παρόντα συστήματα, σημαίνει κυρίως την υποστήριξη ακόμα υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης. Πιθανά σενάρια βασίζονται στην διαθεσιμότητα φάσματος για το διαχειριστή δικτύου. Ανάλογα με την κατάσταση του φάσματος, δύο διαφορετικά σενάρια μετάβασης πρέπει να υποστηριχθούν:

- Αναδιάρθρωση των υπαρχουσών ζωνών συχνοτήτων και
- Νέες ή τροποποιημένες ζώνες συχνοτήτων

Για να υποστηριχθούν τα διαφορετικά σενάρια φάσματος, δύο βασικά κατασκευαστικά στοιχεία έχουν ανιχνευθεί:

- Το EDGE χρησιμοποιεί υψηλού επιπέδου κωδικοποίηση σε TDMA 200 kHz και είναι βασισμένο σε άμεσα συνδεδεμένο εξοπλισμό αναμεταδοτών, επιτρέποντας την εξέλιξη υπαρχόντων ευρών ζώνης σε μικρά τμήματα του φάσματος.
- Το UMTS είναι ένα νέο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης, που βασίζεται σε WCDMA 5 Mhz και βελτιστοποιημένο για αποδοτική υποστήριξη υπηρεσιών τρίτης γενιάς. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε νέα και σε υπάρχοντα φάσματα.

Η τεχνολογία του EDGE

Τεχνικά, το EDGE είναι κυρίως μία βελτίωση πάνω στην ασύρματη διασύνδεση, αλλά πιο γενικά μπορεί να θεωρηθεί ως σύλληψη συστήματος που επιτρέπει στα GSM και TDMA/136 να προσφέρουν ένα σύνολο νέων φορέων ασύρματης πρόσβασης στους δικτυακούς πυρήνες τους.

Τεχνικές δυνατότητες βελτίωσης των υπάρχοντων ασύρματων διασυνδέσεων

Ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό ενός συστήματος κινητής τηλεφωνίας, είναι ότι διαφορετικοί χρήστες τείνουν να έχουν διαφορετικές ποιότητες καναλιών, σε λόγο σήματος – προς – παρεμβολή, λόγω διαφορών στην απόσταση από την σταθμό βάσης, τις παρεμβολές και την ελάττωση της ισχύος του σήματος. Παρ' όλες τις προσπάθειες που έχουν καταβληθεί για τον έλεγχο της ποιότητας καναλιού μέσω ελέγχου ισχύος, τυπικά θα υπάρχει μία κατανομή της ποιότητας καναλιού μέσα στο σύστημα, για παράδειγμα σύμφωνα με την Εικόνα 90 (αριστερά). Μία παραδοσιακή υπηρεσία όπως η ομιλία, απαιτεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας, κάτω απ' το οποίο η υπηρεσία είναι μη αποδεκτή, ενώ πάνω από αυτό, η υπηρεσία είναι καλή, ανεξάρτητα από τις διακυμάνσεις της ποιότητας. Έτσι, ο διαχειριστής του δικτύου πρέπει να φροντίσει ώστε ελάχιστοι χρήστες να έχουν κακή ποιότητα καναλιού. Δυστυχώς, αυτό οδηγεί στο σύννηθες φαινόμενο ένα μεγάλο ποσοστό χρηστών να έχουν τέλεια ποιότητα υπηρεσίας, την οποία δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν.

Το EDGE είναι σχεδιασμένο να βελτιώσει την κατάσταση, χρησιμοποιώντας έλεγχο ποιότητας συνδέσμου. Αυτός προσαρμόζει την προστασία δεδομένων στην ποιότητα του καναλιού, επιτυγχάνοντας βέλτιστο ρυθμό δεδομένων σε όλα τα κανάλια. Η αρχή φαίνεται στην Εικόνα 90 (δεξιά), δείχνοντας ποιότητα χρήστη σε όρους ρυθμού δεδομένων με EDGE και GPRS, σε συνάρτηση με την ποιότητα του καναλιού. Για να πετύχει αυτά τα χαρακτηριστικά, το EDGE πρέπει να εισάγει ρυθμούς μετάδοσης με αρκετά υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης από αυτούς των GSM και TDMA/136. Αυτός είναι κι ο λόγος για την εισαγωγή του πυρήνα της ιδέας του EDGE, της κωδικοποίησης 8PSK.

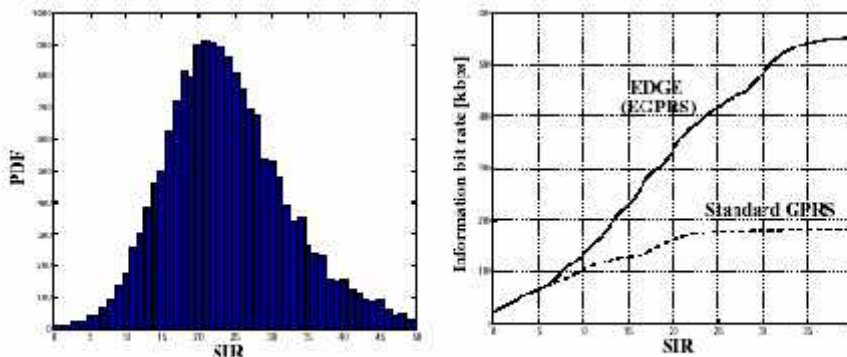


Figure 1. A typical channel quality distribution (left), and the perceived user quality in terms of bit rate for EDGE and standard GPRS assuming an 8-slot terminal (right).

Λόγος σήματος προς παρεμβολή

Βασικές παράμετροι της ασύρματης διασύνδεσης

Η ασύρματη διασύνδεση του EDGE, είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να διευκολύνει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων από αυτούς που μπορούν να επιτευχθούν στα υπάρχοντα συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Με σκοπό την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, το 8PSK, μία γραμμική κωδικοποίηση υψηλού επιπέδου έχει εισαχθεί. Το 8PSK επιλέχτηκε, διότι προσφέρει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, μεγάλη αποδοτικότητα φάσματος και μέτρια πολυπλοκότητα υλοποίησης. Η κωδικοποίηση GMSK όπως ορίζεται στο GSM, αποτελεί επίσης μέρος της σύλληψης του EDGE. Ο ρυθμός συμβόλων είναι 271 ksps και για τις δύο κωδικοποιήσεις, οδηγώντας σε μεικτούς ρυθμούς δεδομένων ανά χρονική σχισμή, 22.8 kbps και 69.2 kbps για το GMSK και το 8PSK αντίστοιχα. Το σχήμα του παλμού 8PSK είναι γραμμικοποιημένο GMSK, επιτρέποντάς του να χωρά στη φασματική μάσκα τη GSM. Πολλές παράμετροι του φυσικού μέσου, συμπίπτουν με αυτές του GSM.

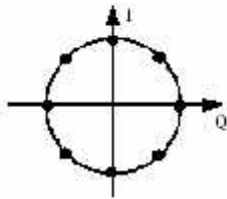


Figure 2. 8PSK modulation signal constellation in the IQ plane.

8PSK διάταξη

Σχεδιασμός πρωτοκόλλου ασυρμάτου

Η στρατηγική του πρωτοκόλλου ασυρμάτου για το EDGE, είναι η επαναχρησιμοποίηση πρωτοκόλλων των GSM και GPRS όταν αυτό είναι δυνατό, ελαχιστοποιώντας έτσι την ανάγκη για υλοποίηση νέων πρωτοκόλλων. Εν τούτοις, λόγω των υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης και των νέων εξελίξεων στον τομέα των ασύρματων πρωτοκόλλων, κάποια πρωτόκολλα αλλάζουν για βελτιστοποίηση της απόδοσης. Η σύλληψη EDGE συμπεριλαμβάνει έναν τρόπο λειτουργίας μεταγωγής πακέτου και έναν τρόπο λειτουργίας μεταγωγής κυκλώματος, που ονομάζονται βελτιωμένο GPRS (EGPRS) και βελτιωμένα δεδομένα μεταγωγής κυκλώματος (Enhanced Circuit Switched Data – ECSD), αντίστοιχα.

EGPRS

Λόγω των υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης και της ανάγκης για προσαρμογή της προστασίας δεδομένων στην ποιότητα του καναλιού, το πρωτόκολλο RLC του EDGE, διαφέρει ελαφρώς από το αντίστοιχο του GPRS. Οι κύριες αλλαγές σχετίζονται με τις βελτιώσεις στο σχήμα ελέγχου ποιότητας συνδέσμου. Παραδείγματα τεχνικών ελέγχου ποιότητας συνδέσμου, είναι η προσαρμογή συνδέσμου (link adaptation) και ο αυξητικός πλεονασμός (incremental redundancy).

Ένα σχήμα προσαρμογής συνδέσμου, εκτιμά σε κανονικά διαστήματα την ποιότητα του συνδέσμου και ελέγχει ως συνέπεια την πιο κατάλληλη κωδικοποίηση, επιτυγχάνοντας υψηλότερους ρυθμούς. Σε ένα σχήμα αυξητικού πλεονασμού, η πληροφορία στέλνεται με πολύ λίγη κωδικοποίηση, επιτυγχάνοντας μεγάλο ρυθμό

δεδομένων αν η αποκωδικοποίηση είναι απ' ευθείας επιτυχής. Εάν αυτή αποτύχει, επιπρόσθετα κωδικοποιημένα bits αποστέλλονται (πλεονασμός), έως η αποκωδικοποίηση να επιτύχει. Όσο περισσότερα στοιχεία στέλνονται, τόσο μικρότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης και τόσο μεγαλύτερη η καθυστέρηση.

Το EGPRS υποστηρίζει μία μέθοδο που αποτελεί συνδυασμό των δύο παραπάνω μεθόδων. Τα πλεονεκτήματά της, είναι ο συνδυασμός της σταθερότητας και του υψηλού throughput της λειτουργίας αυξητικού πλεονασμού με τις χαμηλότερες καθυστερήσεις και απαιτήσεις μνήμης της προσαρμογής συνδέσμου. Σχήματα κωδικοποίησης φαίνονται στην Εικόνα 92.

| Channel name | Code Rate | Modulation | Radio Interface rate per time slot |
|--------------|-----------|------------|------------------------------------|
| CS-1 | 0.48 | GMSK | 11.7 kbps |
| CS-2 | 0.64 | GMSK | 14.5 kbps |
| CS-3 | 0.73 | GMSK | 15.7 kbps |
| CS-4 | 1 | GMSK | 22.8 kbps |
| PCS-1 | 0.33 | 8PSK | 22.8 kbps |
| PCS-2 | 0.50 | 8PSK | 34.3 kbps |
| PCS-3 | 0.6 | 8PSK | 41.25 kbps |
| PCS-4 | 0.75 | 8PSK | 51.6 kbps |
| PCS-5 | 0.83 | 8PSK | 57.35 kbps |
| PCS-6 | 1 | 8PSK | 69.7 kbps |

Table 1 Channel coding schemes for EDGE packet switched transmission (EGPRS). The first four are those of standard GPRS, while the last six use 8PSK modulation.

Σχήματα κωδικοποίησης

ECSD

Στον τρόπο λειτουργίας ECSD, ο σκοπός είναι να διατηρηθούν τα υπάρχοντα πρωτόκολλα του GSM κατά το δυνατόν ανέπαφα. Τρία νέα 8PSK σχήματα κωδικοποίησης καναλιών ορίζονται παράλληλα με τα τέσσερα ήδη υπάρχοντα του GSM. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 93, ο ρυθμός μετάδοσης ποικίλλει από 3.6 – 38.8 kbps ανά χρονική σχισμή.

Για αδιαφανή μετάδοση, η υπόθεση είναι ότι το πρωτόκολλο ασυρμάτου συνδέσμου του GSM χρησιμοποιείται.

| Channel name | Code Rate | Modulation | Radio Interface rate per time slot |
|-------------------|-----------|------------|------------------------------------|
| TCS-F2.4 | 0.16 | GMSK | 3.5 kbps |
| TCS-F4.8 | 0.26 | GMSK | 6.5 kbps |
| TCS-F9.6 | 0.53 | GMSK | 12.5 kbps |
| TCS-F14.4 | 0.64 | GMSK | 14.5 kbps |
| ECSD TCS-1 (NT+T) | 0.47 | 8PSK | 25 kbps |
| ECSD TCS-2 (T) | 0.46 | 8PSK | 32 kbps |
| ECSD TCS-3 (NT) | 0.56 | 8PSK | 38.8 kbps |

Table 2 Channel coding schemes for EDGE circuit switched transmission (ECSD). The first four are those of standard GSM, while the last three use 8PSK modulation.

Νέα σχήματα 8PSK

Τυπικές εφαρμογές των EGPRS και ECSD

Ορισμένες τυπικές εφαρμογές των EGPRS και ECSD, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

| EGPRS | ECSD |
|--|--|
| On line ηλεκτρονικό ταχυδρομείο Παγκόσμιος Ιστός Βελτιωμένα μικρά μηνύματα Ασύρματη εικονογραφία με στιγμιαίες εικόνες Υπηρεσίες βίντεο Διαμοιρασμός κειμένων και πληροφοριών Παρακολούθηση/ Εποπτεία Φωνή πάνω από το Διαδίκτυο Εκπομπή | «Κατέβασμα» και «ανέβασμα» ηλεκτρονικού ταχυδρομείου Κινητή πρόσβαση υψηλής ταχύτητας σε τοπικά δίκτυα, με εξασφαλισμένο εύρος ζώνης Μεταφορά αρχείων Κάθετες εφαρμογές, όπως πληροφορίες πωλήσεων τύπου δέσμης, ή μεταφορά εγγράφων Εφαρμογές πραγματικού χρόνου που απαιτούν σταθερό ρυθμό δεδομένων και καθυστέρηση μετάδοσης Κρίσιμη χρονικά ασύρματη εικονογράφιση Κινητή βιντεοτηλεφωνία Βίντεο επί τη απαιτήσει Ρεύμα ζωντανού βίντεο |

Πίνακας 5. Τυπικές εφαρμογές EGPRS και ECSD

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

« Κινητή Τηλεφωνία 3^{ης} Γενιάς και Υπηρεσίες »

4 ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ 3^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ

Η μετάβαση από τα κυψελωτά συστήματα 1^{ης} γενιάς σε εκείνα της 2^{ης} γενιάς σηματοδεύτηκε από την εισαγωγή των ψηφιακών τεχνικών, που έδωσαν τη δυνατότητα παροχής υπηρεσιών φωνής σε μεγάλους πληθυσμούς και μεγάλες γεωγραφικές εκτάσεις, λόγω της πολύ καλής ποιότητας της φωνητικής υπηρεσίας. Η δυνατότητα όμως υποστήριξης υπηρεσιών δεδομένων είναι περιορισμένη στα συστήματα 2^{ης} γενιάς και η ανάγκη για παροχή υπηρεσιών με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, ώστε να μεταδίδονται εικόνες υψηλής ποιότητας και βίντεο πραγματικού χρόνου ή να παρέχεται πρόσβαση στο διαδίκτυο με υψηλές ταχύτητες, οδήγησε στη σχεδίαση των συστημάτων 3^{ης} γενιάς.

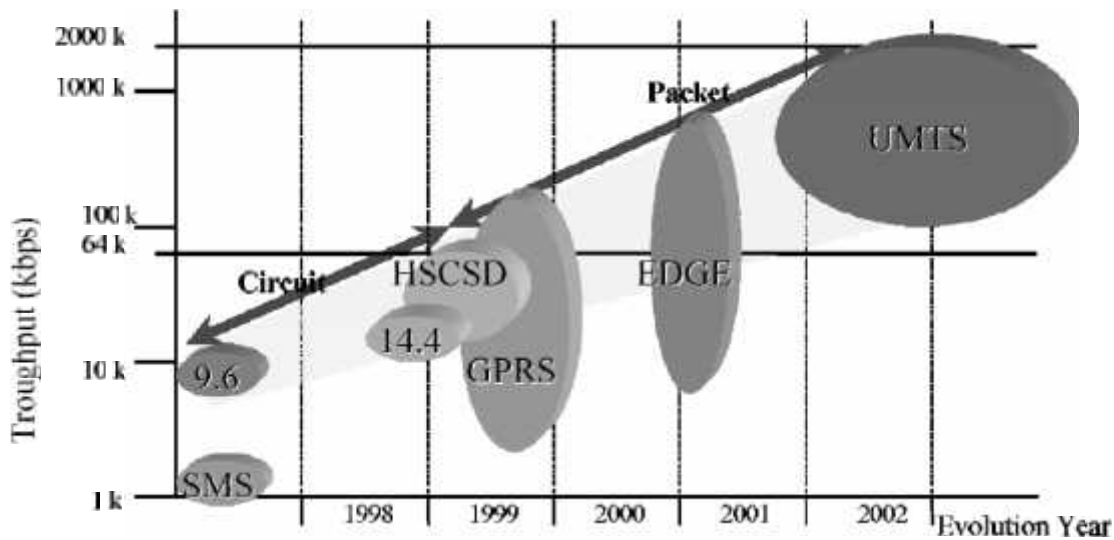
Η εξέλιξη των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων σε παγκόσμιο επίπεδο είναι ραγδαία. Η βιομηχανία κινητών τηλεπικοινωνιών σε όλο τον κόσμο έχει πλέον ορίσει τον δρόμο προς τα δίκτυα 3^{ης} και 4^{ης} γενιάς. Οι παροχείς υπηρεσιών επενδύουν στον σχεδιασμό δικτύων ικανών να παρέχουν ασύρματες επικοινωνίες με υψηλό εύρος ζώνης. Φορητοί προσωπικοί υπολογιστές εκτός από φωνή και δεδομένα θα είναι δυνατόν να παρέχουν ένα σύνολο από ολοκληρωμένες ασύρματες υπηρεσίες, όπως υπηρεσίες βίντεο και πολυμέσων, πρόσβαση στο διαδίκτυο και γενικά υπηρεσίες απαιτητικές σε εύρος ζώνης.

4.1 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

Το UMTS αποτελεί το πανευρωπαϊκό πρότυπο για τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας 3^{ης} γενιάς και ανήκει στο σχέδιο IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000), το οποίο έχει προτείνει η ITU (International Telecommunications Union) για την παγκόσμια παροχή υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας 3^{ης} γενιάς. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-1, το UMTS αποτελεί την εξέλιξη των ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών.

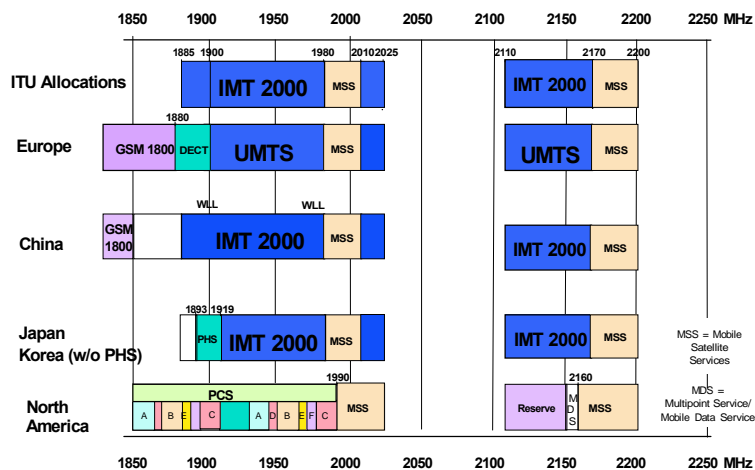
Το WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) είναι ένα DS-SS (Direct-Sequence Code Division Multiple Access) σύστημα ευρείας ζώνης και αποτελεί τη ραδιοεπαφή του συστήματος UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) όπως προέκυψε από την διεθνή συνεργασία που καλείται 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Το WCDMA υποστηρίζει δύο βασικές μεθόδους λειτουργίας οι οποίες ονομάζονται Frequency Division Duplex (FDD) και Time Division Duplex (TDD)

Βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων 3^{ης} γενιάς είναι η υποστήριξη εφαρμογών πολυμέσων και η δυνατότητα πρόσβασης σε πληροφορίες και υπηρεσίες από δημόσια ή ιδιωτικά δίκτυα με πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Οι ρυθμοί μετάδοσης που αναμένεται να υποστηρίζονται είναι μέχρι 144 kbps σε αγροτικές και ημιαστικές περιοχές για υψηλές ταχύτητες (>100 km/h), μέχρι 384 kbps σε αστικές περιοχές για χαμηλές ταχύτητες (<100 km/h) και μέχρι 2 Mbps σε εσωτερικούς χώρους για στατικούς χρήστες. Υπάρχει επίσης δυνατότητα μεταβλητού ρυθμού μετάδοσης.



Σχήμα 4-1: Εξέλιξη των ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών

Οι συχνότητες που αποδόθηκαν από το WARC'92 για τα συστήματα 3^{ης} γενιάς είναι διαφορετικές για κάθε περιοχή, λόγω των συχνοτήτων που είχαν ήδη καταλάβει τα συστήματα 2^{ης} γενιάς. Στο Σχήμα 3-2, φαίνονται οι αντίστοιχες ζώνες συχνοτήτων στις ΗΠΑ, την Ευρώπη, την Ιαπωνία και την Κορέα. Συγκεκριμένα, για την Ευρώπη, για FDD συστήματα αποδίδονται 2*60 MHz στις μπάντες από 1920-1980 για την άνω ζεύξη και από 2110-2170 για την κάτω ζεύξη. Για TDD συστήματα, με υποχρέωση έκδοσης άδειας, αποδίδονται 25 MHz στις μπάντες από 1900-1920 και από 2020-2025 και για TDD συστήματα, χωρίς αδειοδότηση (SPA – Self Provided Applications), 10 MHz στην μπάντα από 2010-2020 MHz.



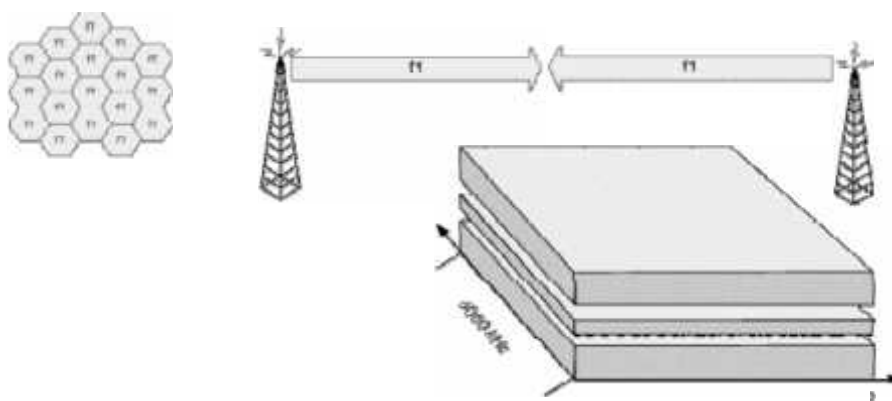
Σχήμα 4-2: Ζώνες Συχνοτήτων για τα Συστήματα 3^{ης} Γενιάς

4.1.1 Τεχνική Πολλαπλής Πρόσβασης Διαίρεσης Κώδικα (CDMA)

Τα συστήματα πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης κώδικα (Code Division Multiple Access-CDMA) είναι μια επέκταση των συστημάτων διασποράς φάσματος ευθείας ακολουθίας (DS-SS) και διασποράς φάσματος μεταπήδησης συχνότητας (FH-SS) και προσφέρουν υπηρεσίες πολλαπλής πρόσβασης (σε αναλογία με τα συστήματα πολλαπλής προσπέλασης διαίρεσης χρόνου - TDMA και πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης συχνότητας - FDMA).

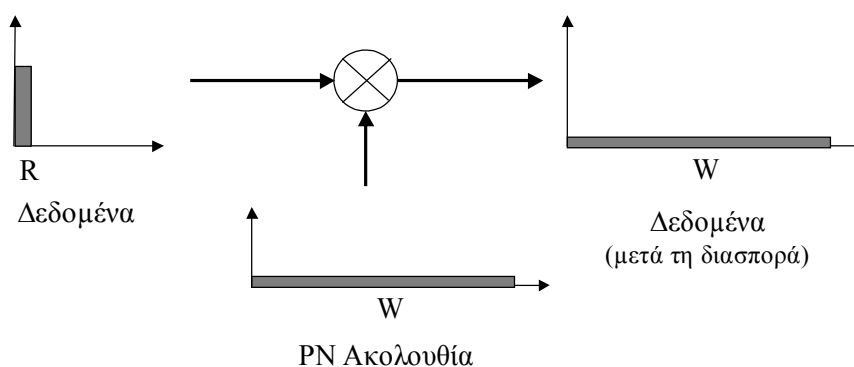
Σ' ένα FDMA σύστημα, κάθε χρήστης μεταδίδει σε ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων, με αποτέλεσμα το φάσμα των συχνοτήτων να χωρίζεται σε διαφορετικά κανάλια. Τα σήματα των διαφόρων χρηστών φιλτράρονται και διαμορφώνονται σε μια συχνότητα f_c ενός συγκεκριμένου καναλιού. Με αυτόν τον τρόπο πολλοί χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν την ίδια χρονική στιγμή το φάσμα συχνοτήτων. Σε ένα TDMA σύστημα, σε κάθε χρήστη αναλογεί ένα διαφορετικό χρονικό παράθυρο (time slot) στο οποίο μπορεί να μεταδώσει, με αποτέλεσμα η διαίρεση να γίνεται στο πεδίο του χρόνου.

Κατά τη λειτουργία του συστήματος CDMA η επικοινωνία μεταξύ των χρηστών γίνεται ταυτόχρονα στην ίδια περιοχή συχνότητας και επιπλέον κάθε χρήστης καταλαμβάνει διαρκώς όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης (Σχήμα 4-3).

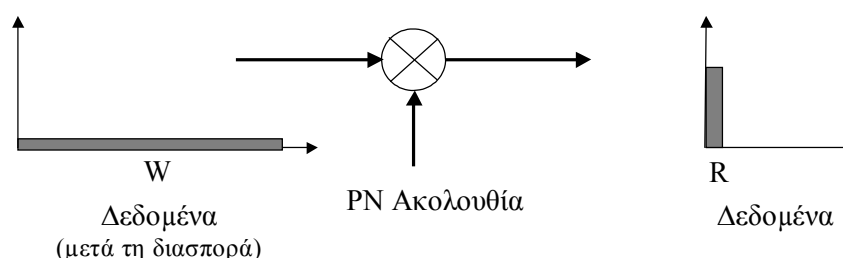


Σχήμα 4-3: Σύστημα πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης κώδικα

Το στενής ζώνης σήμα πληροφορίας πολλαπλασιάζεται με ένα σήμα πολύ μεγάλου εύρους ζώνης, που ονομάζεται σήμα εξάπλωσης (spreading signal). Το σήμα εξάπλωσης είναι μια κωδική ακολουθία ψευδοθορύβου, η οποία έχει ρυθμό chip που είναι τάξεις μεγέθους μεγαλύτερος από το ρυθμό δεδομένων του σήματος πληροφορίας. Αντί για απευθείας μετάδοση του σήματος δεδομένων, το σήμα διαμορφώνεται από μια μοναδική κωδική ακολουθία και έχει ανατεθεί σε αυτόν το χρήστη. Με αυτήν τη διαμόρφωση, το σήμα εξαπλώνεται σε ένα μεγαλύτερο εύρος ζώνης από εκείνο που απαιτείται για τη μετάδοση του πακέτου δεδομένων (διασπορά - Σχήμα 3-4). Στην πλευρά του δέκτη χρησιμοποιείται μια κωδική ακολουθία προσαρμογής για την επανασυμπίεση του εύρους ζώνης και τη λήψη των αρχικών δεδομένων (αποδιασπορά - Σχήμα 3-5). Με αυτήν τη διαδικασία εξάπλωσης και επανασυμπίεσης, όλες οι άλλες ταυτόχρονες μεταδόσεις στο δίαυλο θα δρουν σαν πρόσθετη παρεμβολή στο επιθυμητό σήμα και μπορούν να απομακρυνθούν εντελώς, εάν οι κώδικες είναι ορθογώνιοι. Εάν υπάρχουν αρκετοί δέκτες στο σταθμό βάσης, είναι δυνατό να έχουμε πολλαπλές επιτυχείς λήψεις.



Σχήμα 3-4: Διαδικασία διασποράς στο πεδίο της συχνότητας



Σχήμα 4-5: Διαδικασία αποδιασποράς στο πεδίο της συχνότητας

Με βάση τα χαρακτηριστικά ενός σήματος με απλωμένο φάσμα, τα συστήματα CDMA μπορούν να διακριθούν σε: CDMA Ευθείας Ακολουθίας (Direct Sequence CDMA, DS/CDMA), CDMA με πήδημα Συχνότητας (Frequency Hopping CDMA, FH/CDMA), και CDMA με Πήδημα Χρόνου (Time Hopping CDMA, TH/CDMA). Στα συστήματα DS/CDMA κάθε χρήστη καταλαμβάνει ολόκληρο το εύρος ζώνης ταυτόχρονα με ένα μοναδικό κώδικα DS. Με τον κώδικα αυτό εξαπλώνεται η μεταδιδόμενη ακολουθία δεδομένων στον πομπό και με τον ίδιο κώδικα επανασυμπιέζεται στο δέκτη. Στο σύστημα FH/CDMA ή TH/CDMA, ανατίθεται σε κάθε χρήστη ένα μοναδικό σχέδιο FH ή TH αντίστοιχα, και οι χρήστες μεταπηδούν στη συχνότητα ή στο χρόνο. Το FH/CDMA (TH/CDMA) μοιάζει με το FDMA (TDMA) μέσα σε κάθε πήδημα. Το FH/CDMA μπορεί περαιτέρω να διακριθεί σε γρήγορο και αργό FH/CDMA σύμφωνα με τη συχνότητα μεταπήδησης. Φυσικά όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα μεταπήδησης, τόσο καλύτερη είναι η επίδοση και τόσο ακριβότερο το σύστημα.

Με καλά σχεδιασμένο μηχανισμό διόρθωσης σφαλμάτων, τα ταυτόχρονα μεταδιδόμενα πακέτα που συγκρούονται μπορούν να ληφθούν επιτυχώς.

4.1.2 Στόχοι και Απαιτήσεις του UMTS

Οι βασικοί στόχοι του UMTS είναι η συμβατότητα με τα σημερινά συστήματα και κυρίως το GSM, ώστε να είναι δυνατή η ανάπτυξη και η επέκτασή τους με το ελάχιστο δυνατό κόστος, η υψηλή ποιότητα υπηρεσιών, το μικρό μέγεθος τερματικών για παγκόσμια χρήση, η υποστήριξη εφαρμογών πολυμέσων, η επίγεια και δορυφορική επικοινωνία αλλά και το ανεκτό κόστος των υπηρεσιών με χρεώσεις στα επίπεδα των σημερινών αλλά και πιο χαμηλές, αν είναι δυνατόν.

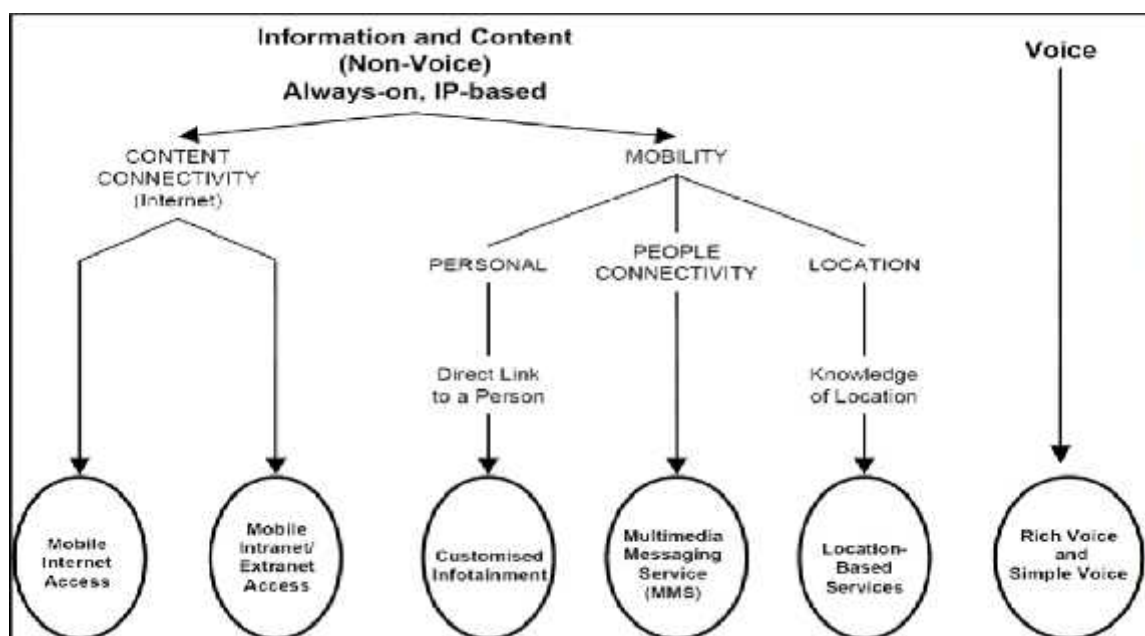
Οι βασικές απαιτήσεις των δικτύων 3ης γενιάς είναι: ρυθμοί μετάδοσης μέχρι 2 Mbps, μεταβαλλόμενος ρυθμός μετάδοσης κατά τη διάρκεια μιας κλήσης, πολυπλεξία υπηρεσιών, μεταβαλλόμενες απαιτήσεις όσον αφορά την καθυστέρηση και την ποιότητα (από 10% FER

έως 10^{-6} BER), συνύπαρξη με τα συστήματα 2ης γενιάς, υποστήριξη μεταπομπών μεταξύ των συστημάτων 2ης και 3ης γενιάς, υποστήριξη ασύμμετρης τηλεπικοινωνιακής κίνησης στην άνω και στην κάτω ζεύξη, μεγάλη φασματική απόδοση, και συνύπαρξη FDD και TDD συστημάτων.

4.1.3 Νέες Υπηρεσίες & Εφαρμογές

Ο καθορισμός των υπηρεσιών που μπορούσε να προσφέρει στο παρελθόν η κινητή τηλεφωνία ήταν τετριμμένος. Μια απλή διάκριση μεταξύ των υπηρεσιών φωνής και των υπηρεσιών δεδομένων ήταν αρκετή. Στον κόσμο των δικτύων 3^{ης} γενιάς, τα πράγματα είναι πολύ διαφορετικά. Έξι κατηγορίες υπηρεσιών αντιπροσωπεύουν πλέον την πλειοψηφία της ζήτησης για υπηρεσίες 3^{ης} γενιάς για τα επόμενα πέντε χρόνια. Οι έξι αυτές κατηγορίες υπηρεσιών καθορίζονται από τους χρήστες και επιδιώκουν να απεικονίσουν τις ανάγκες της αγοράς.

Οι υπηρεσίες 3^{ης} γενιάς διακρίνονται σε έξι κατηγορίες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-6 που ακολουθεί:



Σχήμα 4-6: Κατηγορίες υπηρεσιών 3^{ης} γενιάς

Πέρα από τη φωνή που έχει κυριαρχήσει στον κόσμο των κινητών τηλεπικοινωνιών μέχρι σήμερα, τα δίκτυα 3^{ης} γενιάς θα αποτελέσουν ένα *always-on* περιβάλλον δεδομένων. Η δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο οποιαδήποτε στιγμή και από οποιοδήποτε μέρος αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό των δικτύων 3^{ης} γενιάς. Οι χρήστες είναι σε θέση να προσθέσουν την κινητικότητα στην καθημερινή τους “σταθερή” εμπειρία με το διαδίκτυο, δεδομένου της υπηρεσίας *Mobile Internet Access*, για τον χώρο της αστικής αγοράς και *Mobile Intranet/Extranet Access* για τον χώρο της επιχειρησιακής αγοράς.

Η κινητικότητα, ωστόσο, δεν είναι το μοναδικό όφελος που προσφέρουν τα κυψελωτά δίκτυα. Τα κυψελωτά δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών έχουν δύο ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που τα διακρίνουν από τα σταθερά δίκτυα. Το κινητό τερματικό συνδέεται περισσότερο με τον άνθρωπο παρά με τη θέση, και το δίκτυο γνωρίζει πάντα την τρέχουσα θέση του τερματικού. Αυτά είναι δύο ισχυρά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, ιδιαίτερα όσον αφορά το περιβάλλον των πολυμέσων.

Η σύνδεση του τερματικού με τον άνθρωπο επιτρέπει την παροχή μίας ολοκληρωμένης σειράς υπηρεσιών βασισμένες στο διαδίκτυο (Internet-based services) οι οποίες προσαρμόζονται στις ανάγκες του χρήστη και παρέχονται μέσω κινητών τερματικών. Τέτοιου είδους υπηρεσίες ανήκουν στην κατηγορία των υπηρεσιών **Customised Infotainment** και αποτελούν σημαντική ευκαιρία για έναν παροχέα υπηρεσιών 3^{ης} γενιάς.

Η σύνδεση του τερματικού με τον άνθρωπο δημιουργεί επίσης την ευκαιρία για υπηρεσίες μηνυμάτων μεταξύ κλειστών ομάδων χρηστών ή και συγκεκριμένων κοινοτήτων με κοινά χαρακτηριστικά. Η δραματική αύξηση της κίνησης σε υπηρεσίες μηνυμάτων (SMS) στα δίκτυα 2^{ης} γενιάς, επιδεικνύουν την μεγάλη ζήτηση για τη δυνατότητα μία τέτοιας υπηρεσίας μηνυμάτων. Το *always-on* χαρακτηριστικό των δικτύων 3^{ης} γενιάς επιτρέπει τη δυνατότητα του instant messaging και η διαθεσιμότητα υψηλών ρυθμών προσθέτουν τη δυνατότητα εικόνας και βίντεο για να δημιουργηθεί έτσι η υπηρεσία **Multimedia Messaging Service**.

Η γνώση της τρέχουσας θέσης του κινητού τερματικού (το οποίο μπορεί να συνδέεται με τον άνθρωπο ή τον υπολογιστή) οδηγεί στην κατηγορία των **Location-Based Services**. Και πάλι, ο συνδυασμός του *always-on* με τη δυνατότητα πολυμέσων που είναι διαθέσιμα με τα δίκτυα 3^{ης} γενιάς, προσθέτουν μια νέα διάσταση στην κατηγορία αυτή.

Η φωνή θα συνεχίσει αναπόφευκτα να αποτελεί μια σημαντική υπηρεσία του περιβάλλοντος των δικτύων 3^{ης} γενιάς. Οι υψηλοί ρυθμοί επιτρέπουν πλέον την δυνατότητα βίντεο στις παραδοσιακές υπηρεσίες φωνής (βίντεο κλήση). Επιπλέον, το IP περιβάλλον των δικτύων 3^{ης} γενιάς επιτρέπει τη δυνατότητα επικοινωνιών πολυμέσων μέσα από την υπηρεσία **Rich Voice**.

Μερικές από τις νέες υπηρεσίες και εφαρμογές που προσφέρονται από το UMTS και ανήκουν στις παραπάνω κατηγορίες είναι οι ακόλουθες:

- Διαδίκτυο
- Interactive shopping
- On-line εφημερίδες
- Υπηρεσίες εντοπισμού θέσης (Location Based Services)
- Εικονικό σχολείο
- On-line βιβλιοθήκη
- Τεχνική εκπαίδευση
- Βίντεο
- Διαδραστικά παιχνίδια
- Υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης
- Κινητό γραφείο
- Τηλεϊατρική
- Άμεση γραμμή βοήθειας
- Βίντεο τηλέφωνο (Video telephony)
- Βίντεο συνδιάσκεψη (Video conference)
- Τραπεζικές συναλλαγές
- Τιμολόγηση πραγματικού χρόνου
- Έκδοση εισιτηρίων

4.1.4 Βασικά Χαρακτηριστικά του UMTS

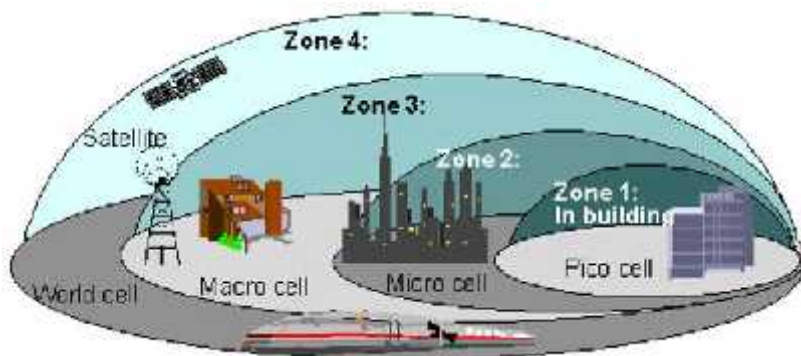
Ορισμένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του WCDMA – UMTS είναι τα ακόλουθα:

⊙ *Εύρος Ζώνης*

Το εύρος ζώνης ενός φέροντος είναι 5 MHz. Οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή αυτή για το εύρος ζώνης είναι αρκετοί. Αρχικά, οι ρυθμοί των 144 και 384 kbps, που είναι και οι κύριοι στόχοι των συστημάτων 3^{ης} γενιάς, επιτυγχάνονται εντός του εύρους ζώνης των 5 MHz με ικανοποιητική χωρητικότητα. Ακόμα και ο μέγιστος ρυθμός των 2 Mbps μπορεί να εξασφαλιστεί κάτω από περιορισμένες συνθήκες. Η έλλειψη διαθέσιμου φάσματος έχει σαν αποτέλεσμα την ελάχιστη δυνατή κατανομή φάσματος, ειδικότερα στην περίπτωση που το σύστημα θα αναπτυχθεί με βάση τις ήδη υπάρχουσες ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται από τα συστήματα 2^{ης} γενιάς. Τέλος, ένα βασικό πλεονέκτημα του μεγάλου αυτού εύρους ζώνης έναντι μικρότερων είναι η δυνατότητα διαχωρισμού περισσότερων πολυδιαδρομικών συνιστωσών (multipaths), αυξάνοντας τη διαφορισμότητα (diversity) και βελτιώνοντας την επίδοση του συστήματος.

⊙ *Ιεραρχικά Κυψελωτά Επίπεδα (Hierarchical Cell Layers - HCS)*

Το WCDMA υποστηρίζει τη δομή των ιεραρχικών κυψελωτών επιπέδων. Η δομή αυτή χαρακτηρίζει ένα σύστημα όπου τουλάχιστον δύο διαφορετικά είδη κυψελών λειτουργούν η μία πάνω στην άλλη. Η κάλυψη ενός συστήματος τρίτης γενιάς περιλαμβάνει κάθε τύπο περιβάλλοντος. Εσωτερικοί και εξωτερικοί χώροι (indoor, outdoor), αστικές, ημιαστικές και αγροτικές περιοχές (urban, suburban, rural) καλύπτονται με διαφορετικές τοπολογίες δικτύου όπου χρησιμοποιούνται συνδυασμοί διαφορετικών ειδών κυψελών (μακροκυψέλες, μικροκυψέλες και πικοκυψέλες), όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-7 που ακολουθεί. Οι πικοκυψέλες καλύπτουν περιοχές ακτίνας μερικών δεκάδων μέτρων (εσωτερικοί χώροι), οι μικροκυψέλες μερικών εκατοντάδων μέτρων και οι μακροκυψέλες ενός χιλιομέτρου ή παραπάνω.

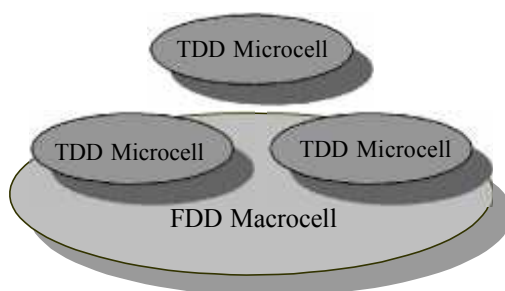


Σχήμα 4-7: Κάλυψη συστήματος 3^{ης} γενιάς

Τα διαφορετικά είδη κυψελών είναι απαραίτητα για διαφορετικές απαιτήσεις. Οι μεγάλες κυψέλες εγγυώνται συνεχή κάλυψη ενώ οι μικρές κυψέλες είναι απαραίτητες για καλή φασματική απόδοση και μεγάλη χωρητικότητα. Οι μικρές κυψέλες χρησιμοποιούνται από τεμαχικά μικρής κινητικότητας και μεγάλης χωρητικότητας ενώ οι μεγάλες κυψέλες εξυπηρετούν τεμαχικά μεγάλης κινητικότητας και μικρής χωρητικότητας.

Για την κάλυψη μιας μακροκυψέλης συνηθίζεται η χρήση της τεχνικής FDD, ενώ η TDD χρησιμοποιείται περισσότερο σε πικοκυψέλες και μικροκυψέλες. Οι δύο αυτές τεχνικές χρησιμοποιούνται επίσης σε συνδυασμό για την αντιμετώπιση περιοχών με αυξημένη

τηλεπικοινωνιακή κίνηση, τα λεγόμενα “hot spots”. Περιοχές όπου οι απαιτήσεις σε υπηρεσίες υψηλών ρυθμών μετάδοσης θα είναι αυξημένες αποτελούν οι πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές. Τοποθετώντας TDD μικροκυψέλες πάνω από μια FDD μακροκυψέλη, (Σχήμα 3-8), επιτυγχάνεται μέγιστη κάλυψη σε συνδυασμό με την εξυπηρέτηση περισσότερης κίνησης και κατά συνέπεια την αύξηση της χωρητικότητας. Αν η χρήση της τεχνικής TDD δεν είναι δυνατή, τότε για την κάλυψη μιας πυκνοκατοικημένης αστικής περιοχής απαιτούνται περισσότερες και πυκνότερες FDD μικροκυψέλες και/ή επιπλέον φέρουσες συχνότητες.



Σχήμα 4-8: Συνδυασμός FDD και TDD

Επιπρόσθετα, πολλές από τις νέες υπηρεσίες που μπορεί να προσφέρει ένα σύστημα 3^{ης} γενιάς χαρακτηρίζονται από την ασυμμετρία των ρυθμών στις δύο ζεύξεις. Δεδομένου ότι η τεχνική FDD απαιτεί 2x5 MHz ενώ η TDD 1x5 MHz, ενδείκνυται η χρήση TDD σε μικρές αστικές περιοχές όπου κυριαρχεί η ζήτηση ασύμμετρων υπηρεσιών.

⊙ Απόσταση Μεταξύ Διαδοχικών Φερόντων (Carrier Spacing)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, μεγαλύτερη χωρητικότητα μπορεί να επιτευχθεί από τον κάθε παροχέα υπηρεσιών (operator) αναπτύσσοντας πολλά φέροντα σήματα εύρους 5 MHz, με τη μορφή των ιεραρχικών κυψελωτών επιπέδων. Η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών αυτών φερόντων (carrier spacing) μπορεί να είναι από 4.4 έως 5 MHz με βήμα 200 kHz. Η απόσταση επιλέγεται με στόχο την διασφάλιση της κατάλληλης προστασίας γειτονικών καναλιών ανάλογα με τα σενάρια παρεμβολών. Η απόσταση μεταξύ διαδοχικών φερόντων διαφορετικών παροχέων μπορεί να είναι μεγαλύτερη για την αποφυγή των μεταξύ τους παρεμβολών

⊙ Διάρκεια Πλαισίου (Frame Length)

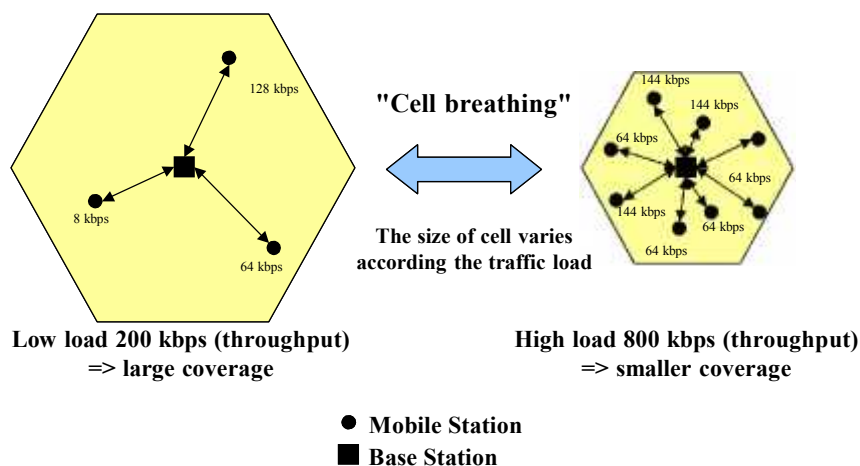
Η διάρκεια του πλαισίου εξαρτάται από τις απαιτήσεις των υπηρεσιών (φωνή, δεδομένα, κ.τ.λ.) καθώς και την επιθυμητή απόδοση. Για την επίτευξη καλής απόδοσης σε ένα ραδιοδιάλυτο διαλείψων (fading channel) θα πρέπει η διάρκεια του πλαισίου να είναι αρκετά μεγάλη αλλά να μην ξεπερνά την απαίτηση καθυστέρησης διάδοσης (transmission delay requirement) κάθε υπηρεσίας. Το μήκος πλαισίου που χρησιμοποιείται στο WCDMA είναι 10 ms.

⊙ Κωδικοποίηση Ραδιοδιάυλου

Διαφορετικές τεχνικές κωδικοποίησης μπορούν να εφαρμοστούν ανάλογα με τις απαιτήσεις καθυστέρησης και του ρυθμού λανθασμένων bits (BER) για διαφορετικές υπηρεσίες. Συνελικτικοί κώδικες με ρυθμό 1/3 και 1/2 και μήκος περιορισμού (constraint length) 9 εφαρμόζονται για υπηρεσίες με απαιτήσεις BER της τάξεως του 10^{-3} . Οι τεχνικές αυτές είναι συνήθως αποδοτικές σε βάρος του εύρους ζώνης ή του ρυθμού μετάδοσης. Για υπηρεσίες με μεγαλύτερες απαιτήσεις BER της τάξεως του 10^{-6} και λιγότερο αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης, χρησιμοποιούνται συνελικτικοί κώδικες σε συνδυασμό με εξωτερικούς (outer) Reed-Solomon κώδικες (ρυθμού της τάξης των 4/5) και εξωτερικό διασκορπισμό (outer interleaving). Για μεγαλύτερους ρυθμούς και υπηρεσίες υψηλής ποιότητας μπορούν να εφαρμοστούν Turbo κώδικες.

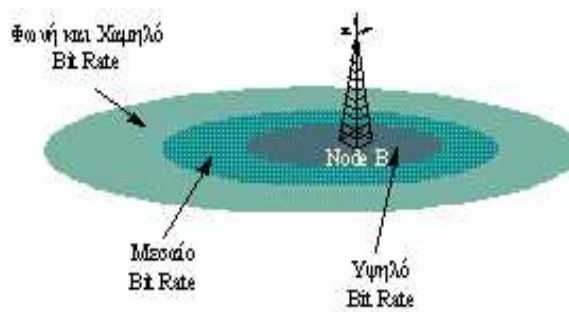
⊙ Cell Breathing

Ένα βασικό χαρακτηριστικό του UMTS είναι η αλληλεπίδραση της χωρητικότητας με την κάλυψη, γεγονός που οφείλεται ουσιαστικά στην παρεμβολή πολλαπλής πρόσβασης (MAI). Όταν ο αριθμός των ενεργών χρηστών αυξάνεται, τότε αυξάνεται και το φορτίο της κυψέλης, τότε αυξάνεται και η παρεμβολή περιορίζοντας την χωρητικότητα του συστήματος και μειώνοντας την περιοχή κάλυψης. Όταν δηλαδή ο αριθμός των χρηστών μεγαλώνει αρκετά, η ποιότητα υπηρεσίας αυτών που βρίσκονται στα όρια της κυψέλης υποβαθμίζεται σημαντικά με αποτέλεσμα την απόρριψη της κλήσης και κατά συνέπεια τη μείωση της περιοχής κάλυψης (Σχήμα 3-9). Στη συνέχεια όμως, μετά την απόρριψη των κλήσεων, η παρεμβολή για τους εναπομείναντες χρήστες μειώνεται και η περιοχή κάλυψης μεγαλώνει ξανά. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί στην αυξομειώση της περιοχής κάλυψης μιας κυψέλης και περιγράφεται από τον όρο "cell breathing". Η αλληλεξάρτηση μεταξύ χωρητικότητας και κάλυψης οδηγεί στην από κοινού αντιμετώπιση των απαιτήσεων για κάλυψη και χωρητικότητα κατά τη σχεδίαση.



Σχήμα 4-9: Το μέγεθος της κυψέλης δεν είναι σταθερό και μεταβάλλεται ανάλογα με το φορτίο (Cell Breathing)

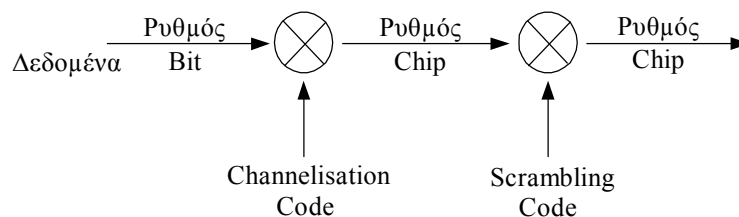
Επίσης, η κάλυψη υπηρεσιών διαφορετικών ρυθμών μετάδοσης δεν είναι όμοια και ο υποστηριζόμενος ρυθμός μειώνεται με την αύξηση της απόστασης. Αυτό φαίνεται χαρακτηριστικά στο Σχήμα 4-10:



Σχήμα 4-10 : Μείωση του ρυθμού μετάδοσης με την απόσταση

⊙ **Διαδικασία Διασποράς και Scrambling**

Στο WCDMA, για την εξάπλωση των δεδομένων χρησιμοποιούνται δύο ακολουθίες οι οποίες συνδυάζονται με την τεχνική της υπέρθεσης (superposition), όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-11, παράγοντας ένα ρυθμό chip της τάξης των 3,84 Mcps. Και οι δύο ακολουθίες έχουν τον ίδιο ρυθμό (3,84 Mcps). Κατά τη διάρκεια της λήψης, οι ακολουθίες εφαρμόζονται με αντίστροφη σειρά για την ανάκτηση των δεδομένων.



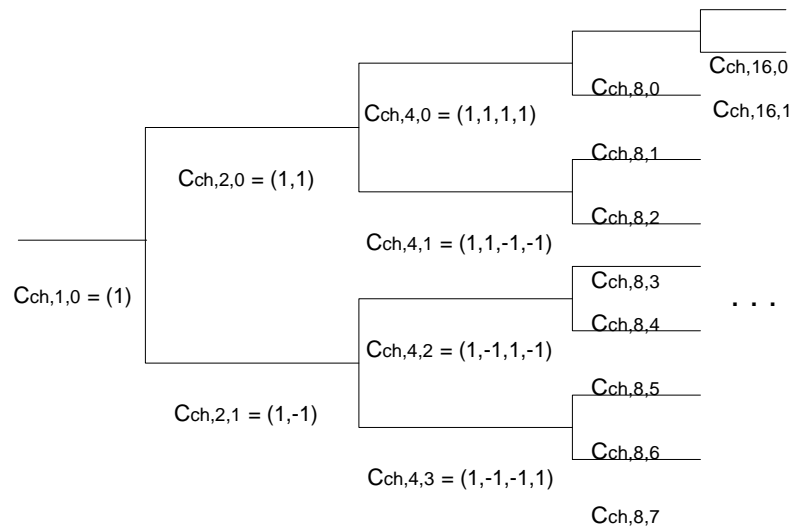
Σχήμα 4-11: Εκπομπή – Διαδικασία Διασποράς

Οι δύο κώδικες που χρησιμοποιούνται για τη διαδικασία της διασποράς στο WCDMA ονομάζονται κώδικες διαυλοποίησης (channelisation codes) και scrambling κώδικες:

⊙ **Κώδικες Διαυλοποίησης (Channelisation Codes)**

Οι κώδικες διαυλοποίησης χρησιμοποιούνται για να διαχωρίζουν τις διαφορετικές εκπομπές από την ίδια πηγή. Στην άνω ζεύξη, η πηγή είναι το τερματικό και χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό των καναλιών (δεδομένα, έλεγχος, σηματοδότηση), ενώ στην κάτω ζεύξη η πηγή είναι ο σταθμός βάσης και χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό των συνδέσεων με διαφορετικούς χρήστες στην ίδια κυψέλη.

Η διασπορά της πληροφορίας γίνεται με τον πολλαπλασιασμό του σήματος πληροφορίας με ένα κώδικα διαυλοποίησης που έχει ρυθμό 3,84 Mcps. Ο λόγος του ρυθμού του κώδικα προς τον ρυθμό του σήματος πληροφορίας ορίζει τον συντελεστή διασποράς (Spreading Factor – SF). Το σύνολο των κωδικών διαυλοποίησης που είναι διαθέσιμοι στο UTRA καθορίζεται από το δέντρο χρησιμοποίησης ορθογωνικών κωδικών μεταβλητών συντελεστών διασποράς (Orthogonal Variable Spreading Factor – OVVSF) το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 4-12.



Σχήμα 4-12: Orthogonal Variable Spreading Factor Tree

Οι κώδικες στο δέντρο περιγράφονται με τη μορφή $C_{ch,SF,k}$, όπου SF είναι ο συντελεστής διασποράς του κώδικα και k ο αριθμός του ($0 \leq k \leq SF-1$). Κάθε επίπεδο του δέντρου περιέχει κώδικες διαυλοποίησης μήκους SF, που αντιστοιχούν σε συντελεστή διασποράς SF.

Σημειώνεται ότι δεν είναι όλοι οι κώδικες στο δέντρο ορθογώνιοι και για το λόγο αυτό υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί στην χρήση τους. Ένας κώδικας είναι ορθογώνιος μόνο με τους κώδικες που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο του δέντρου. Η ιδιότητα αυτή θέτει ένα βασικό περιορισμό στον αριθμό των κωδικών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξυπηρέτηση χρηστών με δεδομένες απαιτήσεις ρυθμού μετάδοσης. Για ένα συντελεστή διασποράς SF, ο μέγιστος αριθμός των ορθογωνικών κωδικών είναι SF. Εάν για παράδειγμα όλοι οι χρήστες πρόκειται να λάβουν δεδομένα με ρυθμό 960kbps, ο συντελεστής διασποράς πρέπει να είναι $SF=3,84/0,96=4$, οπότε η κυψέλη μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 4 χρήστες, χρησιμοποιώντας 4 ορθογώνιους κώδικες. Εάν τα δεδομένα που πρόκειται να λάβουν οι χρήστες είναι διαφορετικού ρυθμού, χρησιμοποιείται διαφορετικός συντελεστής διασποράς για κάθε χρήστη.

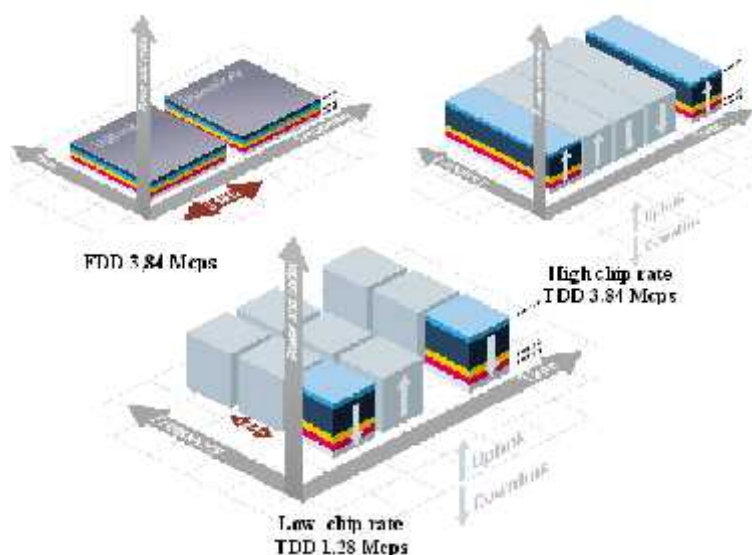
⊙ **Scrambling Κώδικες**

Οι scrambling κώδικες χρησιμοποιούνται για να διαχωρίζουν τους χρήστες ή τους σταθμούς βάσης μεταξύ τους. Εφαρμόζονται στο σήμα μετά την διασπορά με αποτέλεσμα να μην αλλάζουν το εύρος ζώνης του σήματος και απλά να διαχωρίζουν τα σήματα που προέρχονται από διαφορετικές πηγές. Με τη διαδικασία αυτή (scrambling), η διασπορά μπορεί να γίνεται με τον ίδιο κώδικα διαυλοποίησης για πολλούς χρήστες και να είναι δυνατός στη συνέχεια ο διαχωρισμός τους. Συγκεκριμένα, στην άνω ζεύξη χρησιμοποιούνται για να διαχωρίζουν τον ένα χρήστη από τον άλλο και υπάρχουν εκατομμύρια διαφορετικοί κώδικες. Στην κάτω ζεύξη, χρησιμοποιούνται για να διαχωρίζουν τους σταθμούς βάσης μεταξύ τους καθώς και για προστασία από παρεμβολές από τους γειτονικούς σταθμούς βάσης. Υπάρχουν 512 διαθέσιμοι κώδικες.

4.1.5 Τεχνικές Αμφίδρομης Λειτουργίας (FDD – TDD)

Το WCDMA υποστηρίζει δύο βασικές μεθόδους λειτουργίας: Frequency Division Duplex (FDD) και Time Division Duplex (TDD). Η WCDMA FDD χρησιμοποιεί 3,84 Mcps ακολουθία διασποράς, χρησιμοποιώντας εύρος 5 MHz. Για την τεχνική TDD υπάρχουν δύο εναλλακτικές. Η υψηλού ρυθμού TDD με 3,84 Mcps ακολουθία διασποράς και 5 MHz εύρος ζώνης, που καλείται και WCDMA TDD, και η χαμηλού ρυθμού TDD με 1,28 Mcps και 1,66 MHz εύρος ζώνης. Οι διαφορές των δύο εναλλακτικών TDD δεν περιορίζονται στο ρυθμό της ακολουθίας διασποράς και στο αντίστοιχο εύρος ζώνης που καταλαμβάνουν, αλλά έχουν και διαφορετική δομή πλαισίου. Το WCDMA TDD έχει εναρμονιστεί με το WCDMA FDD ώστε να διευκολυνθεί η υλοποίηση τερματικών διπλού τρόπου λειτουργίας, αλλά και η ανάπτυξη δικτύων FDD/TDD από τον ίδιο παροχέα υπηρεσιών. Οι αρχές λειτουργίας των TDD και FDD φαίνονται στο Σχήμα 3-13.

Η βασική διαφορά τους έγκειται στη συχνότητα λειτουργίας. Στα FDD συστήματα οι δύο δίαυλοι, άνω και κάτω ζεύξης, χρησιμοποιούν διαφορετική συχνότητα (όπως στο GSM) ενώ στο TDD χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα αλλά γειτονικές χρονοσχισμές (όπως στο DECT). Γενικά χρησιμοποιούμε FDD συστήματα σε περιπτώσεις όπου θέλουμε κάλυψη μεγάλων αποστάσεων και συμμετρικές υπηρεσίες, ίσους δηλαδή ρυθμούς στην άνω και στην κάτω ζεύξη. Ρυθμοί μέχρι και 384 Mbps σε μακροκυψέλες και μικροκυψέλες είναι δυνατοί. Με την τεχνική WCDMA FDD, απαιτείται η χρήση διπλέκτη στον κινητό σταθμό. Η απόσταση των συχνοτήτων εκπομπής και λήψης είναι σταθερή σε όλο το σύστημα ανεξαρτήτως του φέροντος που χρησιμοποιείται και είναι 190 MHz. Χρήστες του ίδιου φέροντος είναι διακριτοί λόγω του διαφορετικού κώδικα CDMA που χρησιμοποιούν.



Σχήμα 4-13: Αρχές Λειτουργίας TDD και FDD στο WCDMA

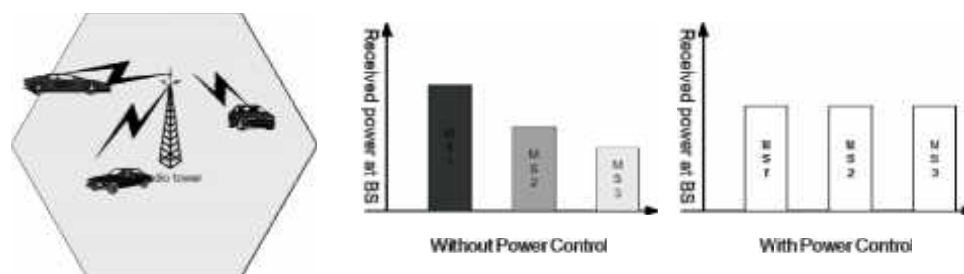
Τα TDD συστήματα μπορούν να υποστηρίξουν μεγάλη τηλεπικοινωνιακή κίνηση και ασύμμετρες υπηρεσίες με ρυθμούς οι οποίοι μπορούν να φτάσουν μέχρι και 2 Mbps σε μικροκυψέλες και πικοκυψέλες. Αν το χρονικό διάστημα μεταξύ εκπομπής και λήψης είναι μικρό, τότε ο χρήστης εκλαμβάνει την επικοινωνία ταυτόχρονη. Παρόλα αυτά υπάρχει μια χρονική καθυστέρηση μεταξύ των δύο κατευθύνσεων επικοινωνίας. Τα εναρμονισμένα χαρακτηριστικά των δύο τεχνικών WCDMA φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4-1 :Εναρμονισμένα χαρακτηριστικά των τεχνικών WCDMA

| | UTRA TDD | UTRA FDD |
|--------------------------------------|---|--|
| Multiple access method | TDMA, CDMA (inherent FDMA) | CDMA (inherent FDMA) |
| Duplex method | TDD | FDD |
| Channel spacing | 5 MHz (nominal) | |
| Carrier chip rate | 3.84 Mcps | |
| Time slot structure | 15 slots / frame | |
| Frame length | 10 ms | |
| Multirate concept | Multicode, multislot and orthogonal variable spreading factor (OVSF) | Multicode and OVSF |
| Forward error correction (FEC) codes | Convolutional coding $R=1/2$ or $1/3$ constraint length $K= 9$, turbo coding (8-state PCCC $R= 1/3$) or service specific coding | |
| Interleaving | Inter-frame interleaving (10, 20, 40 and 80 ms) | |
| Modulation | QPSK | |
| Burst types | 3 types: traffic bursts, random access and synchronization burst | Not applicable (DTX time mask defined) |
| Detection | Coherent, based on midamble | Coherent, based on pilot symbols |
| Dedicated channel power control | Uplink: open loop; 100 Hz or 200 Hz Downlink: closed loop; rate \leq 800 Hz | Fast closed loop Rate = 1500 Hz |
| Intra-frequency handover | Hard handover | Soft handover |
| Inter-frequency handover | Hard handover | |
| Channel allocation | Slow and fast DCA supported | No DCA required |
| Intra-cell interference cancellation | Support for joint detection | Support for advanced receivers at base station |
| Spreading factor | 1, 2, 4, 8, 16 | 4 ... 512 |

4.1.6 Έλεγχος Ισχύος (Power Control)

Στο WCDMA η επικοινωνία μεταξύ των χρηστών γίνεται ταυτόχρονα στην ίδια περιοχή συχνότητας και επιπλέον κάθε χρήστης καταλαμβάνει διαρκώς όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Επομένως ένας χρήστης κοντά στο σταθμό βάσης θα δημιουργεί συνεχώς μεγάλη παρεμβολή σε απομακρυσμένους χρήστες, καθιστώντας έτσι τη λήψη τους σχεδόν αδύνατη. Ταυτόχρονα, η παρεμβολή στα όρια της κυψέλης επιδεινώνεται λόγω σημάτων από άλλους σταθμούς βάσης. Το φαινόμενο αυτό είναι το λεγόμενο φαινόμενο “near - far” και αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στο WCDMA. Για την αντιμετώπισή του ακολουθείται η μέθοδος ελέγχου ισχύος (power control), σύμφωνα με την οποία επιδιώκεται τα σήματα όλων των κινητών σταθμών, ανεξάρτητα από την απόσταση, να λαμβάνονται από τον σταθμό βάσης με την ίδια μέση ισχύ, (Σχήμα 3-14).



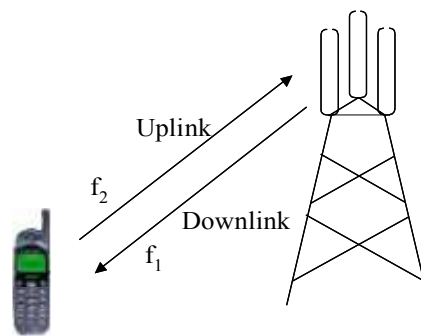
Σχήμα 4-14: Έλεγχος Ισχύος

Σε αντίθεση με την άνω ζεύξη, στην κάτω ζεύξη όλα τα σήματα διαδίδονται μέσω του ίδιου καναλιού και κατά συνέπεια λαμβάνονται με την ίδια ισχύ από τους κινητούς σταθμούς. Επομένως, δεν υφίσταται το πρόβλημα αυτό στην κάτω ζεύξη. Επιπλέον, ο έλεγχος ισχύος αντισταθμίζει τις χρονικά μεταβαλλόμενες συνθήκες διάδοσης, ελαχιστοποιεί την παρεμβολή από άλλους χρήστες, αυξάνει την χωρητικότητα του συστήματος και αντιμετωπίζει τις διαλείψεις.

Υπάρχουν τρία είδη ελέγχου ισχύος:

⊙ Έλεγχος Ισχύος Ανοικτού Βρόχου (Open Loop Power Control)

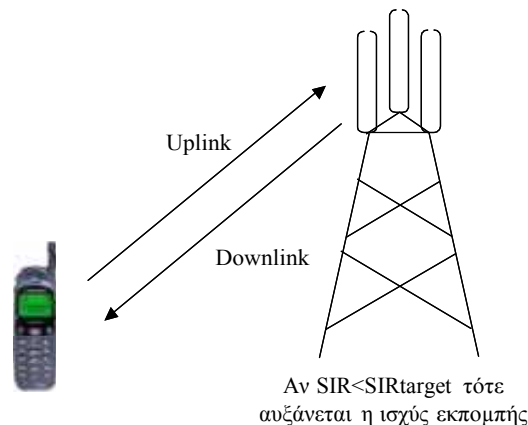
Με τον έλεγχο ισχύος ανοικτού βρόχου (Σχήμα 3-15) γίνεται μια εκτίμηση των απωλειών διάδοσης μέσω ενός ραδιοφάρου (beacon signal) που εκπέμπεται από το σταθμό βάσης και ανάλογα προσαρμόζεται η ισχύς εκπομπής από τους κινητούς σταθμούς. Δεδομένου ότι οι γρήγορες διαλείψεις στην άνω και την κάτω ζεύξη είναι ουσιαστικά ασυσχέτιστες μεταξύ τους, λόγω της μεγάλης απόστασης αυτών στο φάσμα των συχνοτήτων (στο WCDMA FDD), η μέθοδος ανοικτού βρόχου είναι σχετικά ανακριβής γιατί η ρύθμιση της ισχύος εκπομπής πραγματοποιείται με βάση τα χαρακτηριστικά της κάτω ζεύξης. Βρίσκει όμως εφαρμογή στην αρχική ρύθμιση της ισχύος, κατά την εκκίνηση της σύνδεσης.



Σχήμα 4-15: Έλεγχος ισχύος ανοικτού βρόχου

© Έλεγχος Ισχύος Κλειστού Βρόχου (Closed Loop Power Control)

Στον έλεγχο ισχύος κλειστού βρόχου (Σχήμα 3-16) στην άνω ζεύξη, ο σταθμός βάσης κάνει συχνές εκτιμήσεις του λαμβανόμενου λόγου σήματος προς παρεμβολή (SIR) και το συγκρίνει με μια τιμή κατωφλίου SIR. Αν το μετρούμενο SIR είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο από την τιμή κατωφλίου, τότε ο σταθμός βάσης στέλνει εντολή στον κινητό σταθμό να ελαττώσει ή να αυξήσει την ισχύ του αντίστοιχα (με βήμα από 0,25 dB έως 0,5 dB). Η διαδικασία αυτή εκτελείται με ρυθμό 1500 φορές το δευτερόλεπτο (1.5 kHz - fast closed loop power control) για κάθε κινητό σταθμό και είναι επομένως πιο γρήγορη από οποιαδήποτε σημαντική αλλαγή μπορεί να συμβεί στις απώλειες και ταχύτερη από τον ρυθμό των γρήγορων διαλείψεων τύπου Rayleigh για χαμηλές ή και μέτριες ταχύτητες κινητών. Στις μεγάλες ταχύτητες (>100km/h), ο γρήγορος έλεγχος ισχύος κλειστού βρόχου δεν προλαβαίνει να ακολουθήσει τις μεταβολές των γρήγορων διαλείψεων και τότε απαιτείται η χρήση άλλων τεχνικών (π.χ. διαφορική λήψη στο δέκτη) για την αντιστάθμιση των μεταβολών της λαμβανόμενης ισχύος και τη διατήρηση της επιθυμητής ποιότητας επικοινωνίας.

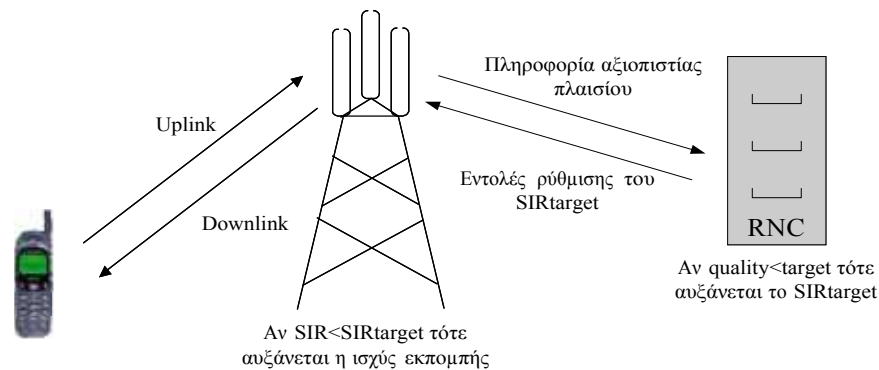


Σχήμα 4-16: Έλεγχος Ισχύος Κλειστού Βρόχου

Στην κάτω ζεύξη, ο σταθμός βάσης μειώνει περιοδικά την ισχύ εκπομπής προς τον κινητό σταθμό. Ο κινητός σταθμός μετράει το ρυθμό λανθασμένων πλαισίων (FER) και αν αυτός ξεπερνά ένα προκαθορισμένο όριο, τυπικά 1%, ζητά από τον σταθμό βάσης επιπρόσθετη ισχύ. Η διαδικασία αυτή εκτελείται κάθε 15 με 20 ms (slow closed loop power control).

⊙ **Έλεγχος Ισχύος Εξωτερικού Βρόχου (Outer Loop Power Control)**

Ο έλεγχος ισχύος εξωτερικού βρόχου (Σχήμα 3-17) ρυθμίζει το SIR που έχει οριστεί σαν τιμή κατωφλίου στον σταθμό βάσης ανάλογα με τις ανάγκες της ραδιοζεύξης και στοχεύει σε σταθερή ποιότητα η οποία ορίζεται από μια συγκεκριμένη τιμή κατωφλίου BER, FER ή BLER. Αν διαπιστωθεί κάποια υποβάθμιση στην ποιότητα εκπομπής τότε ο ελεγκτής του ραδιοδικτύου (Radio Network Controller – RNC) στέλνει εντολή στον σταθμό βάσης να αυξήσει την τιμή κατωφλίου SIR. Με τον τρόπο αυτό αντισταθμίζονται οι ενδεχόμενες μεταβολές του περιβάλλοντος.



Σχήμα 4-17: Έλεγχος Ισχύος Εξωτερικού Βρόχου

3.1.7 Τεχνικές Μεταπομπής

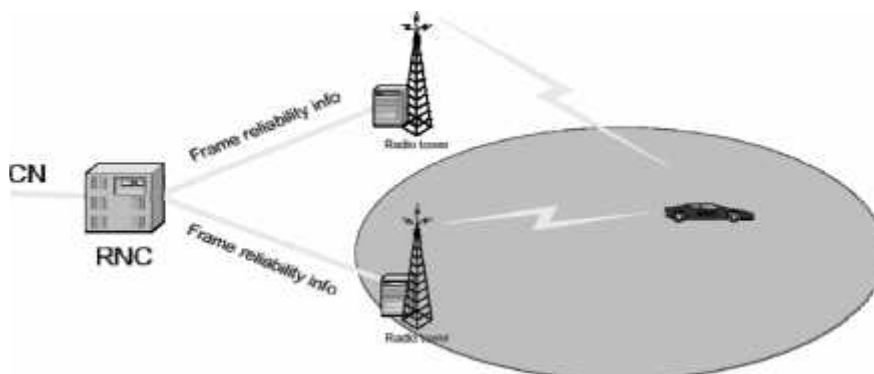
Σημαντικό θέμα στα συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών σήμερα είναι οι μεταπομπές. Με τον όρο μεταπομπή καλούμε τη διαδικασία κατά την οποία η διαχείριση μιας ζεύξης μεταφέρεται σε ένα γειτονικό σταθμό βάσης, σε ένα γειτονικό τομέα του ίδιου σταθμού βάσης, σε μια διαφορετική συχνότητα ή ακόμα και σε ένα διαφορετικό σύστημα και γίνεται η επιλογή εκείνης της ραδιοζεύξης με τα καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά (επίπεδο σήματος, δηλαδή, πάνω από μια ορισμένη τιμή κατωφλίου). Ωστόσο, ο κάθε χρήστης επιθυμεί να κινείται σε μεγάλες περιοχές χωρίς να διακόπτεται ή να παρενοχλείται η κλήση του. Επομένως, θα πρέπει σε κάθε περίπτωση η διαδικασία της μεταπομπής να γίνεται κατά τρόπο μη αντιληπτό από το χρήστη.

Διακρίνουμε τις μεταπομπές σε:

- ⊙ Μεταπομπές μέσα στο ίδιο σύστημα (Intra-system handovers)
 - ⊙ Μεταπομπές στην ίδια συχνότητα (Intra-frequency handovers)
 - ⊕ Μεταπομπές μεταξύ διαφορετικών τομέων του ίδιου σταθμού βάσης: *Softer*
 - ⊕ Μεταπομπές μεταξύ διαφορετικών σταθμών βάσης: *Soft, Hard*
 - ⊙ Μεταπομπές σε διαφορετική συχνότητα (Inter-frequency handovers): *Hard*
- ⊙ Μεταπομπές μεταξύ διαφορετικών συστημάτων (Inter-system handovers)
 - ⊙ Μεταπομπή μεταξύ WCDMA και GSM: *Hard*
 - ⊙ Μεταπομπή μεταξύ WCDMA FDD και TDD: *Hard*

Στους *soft* αλγόριθμους (Σχήμα 3-18), ο χρήστης συνδέεται την ίδια χρονική στιγμή με περισσότερους από έναν σταθμούς βάσης, οι οποίοι ελέγχονται από τον ίδιο ελεγκτή ραδιοδικτύου (RNC). Έχουμε, δηλαδή, διατήρηση ταυτόχρονων ραδιοζεύξεων και μία από

αυτές διακόπτεται μόνο όταν το επίπεδο σήματος βρίσκεται κάτω από μια ορισμένη τιμή κατωφλίου. Με την αξιολόγηση της ποιότητας της ζεύξης ενός χρήστη από πολλούς σταθμούς βάσης είναι δυνατή η επιλογή της καλύτερης εκδοχής του σήματος του χρήστη από το δίκτυο, προσφέροντας έτσι μια μορφή διαφορισιμότητας. Είναι εμφανής η ανάγκη για τόσους βρόχους ελέγχου ισχύος για κάθε σύνδεση, όσοι είναι οι σταθμοί βάσης που συμμετέχουν στη μεταπομπή, κυρίως βέβαια δύο.



Σχήμα 4-18: Μεταπομπή τύπου Soft

Οι *softer* αλγόριθμοι (Σχήμα 3-19), αναφέρονται στην περίπτωση όπου ο κινητός σταθμός βρίσκεται στην επικαλυπτόμενη περιοχή δύο γειτονικών τομέων του ίδιου σταθμού βάσης και η επικοινωνία μεταξύ τους γίνεται μέσω δύο ταυτόχρονων ραδιοζεύξεων (μία για κάθε διαφορετικό τομέα). Στην κατεύθυνση της κάτω ζεύξης ο κινητός σταθμός λαμβάνει δύο διαφορετικά σήματα, με διαφορετικό κώδικα, και στην κατεύθυνση της άνω ζεύξης οι τομείς λαμβάνουν δύο διαφορετικές εκδοχές του εκπεμπόμενου σήματος από τον κινητό σταθμό, δίνοντας τη δυνατότητα στο δίκτυο να αποφασίσει για τον τομέα που θα εξυπηρετήσει το χρήστη. Είναι προφανές ότι στους *softer* αλγόριθμους απαιτείται μόνο ένας βρόχος ελέγχου ισχύος.



Σχήμα 4-19: Μεταπομπή τύπου Softer

Στους *hard* αλγόριθμους η μεταπομπή πραγματοποιείται μεταξύ διαφορετικών σταθμών βάσης οι οποίοι ελέγχονται από διαφορετικό ελεγκτή ραδιοδικτύου, μεταξύ διαφορετικών συχνοτήτων για την μεταφορά μιας κλήσης από ένα WCDMA φέρον σε κάποιο άλλο, ή μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Η ραδιοζεύξη με τον παλιό σταθμό βάσης διακόπτεται ταυτόχρονα με την εγκατάσταση της νέας ραδιοζεύξης. Οι μεταπομπές μεταξύ διαφορετικών συστημάτων που μπορεί να είναι για παράδειγμα μεταξύ WCDMA και GSM αλλά και μεταξύ WCDMA FDD και TDD, χρησιμεύουν κυρίως για την βελτίωση της

κάλυψης του δικτύου, ενώ οι μεταπομπές μεταξύ διαφορετικών φερόντων εξυπηρετούν πρωτίστως θέματα χωρητικότητας και ρύθμισης φορτίου.

4.1.8 High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)

Οι βασικές απαιτήσεις που τίθενται από τα συστήματα 3^{ης} γενιάς ικανοποιούνται πλήρως μέσω της ραδιοεπαφής WCDMA. Υποστηρίζονται ρυθμοί μετάδοσης μέχρι 384 kbps για την κάλυψη περιοχών μεγάλης ακτίνας και 2 Mbps για την κάλυψη εσωτερικών χώρων ή περιοχών μικρής ακτίνας. Οι ρυθμοί αυτοί μπορούν να επιτευχθούν σε συνδέσεις μεταγωγής κυκλώματος (circuit-switched connections) και μεταγωγής πακέτου (packet-switched connections) αντίστοιχα. Ωστόσο, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι μελλοντικά αυξανόμενες απαιτήσεις των υπηρεσιών μεταγωγής πακέτου, έχουν γίνει μελέτες για την εξέλιξη της ραδιοεπαφής WCDMA πέρα από τις απαιτήσεις των συστημάτων 3^{ης} γενιάς. Το πρώτο βήμα προς την εξέλιξη αυτή είναι η εισαγωγή της τεχνολογίας High Speed Downlink Packet Access (HSDPA).

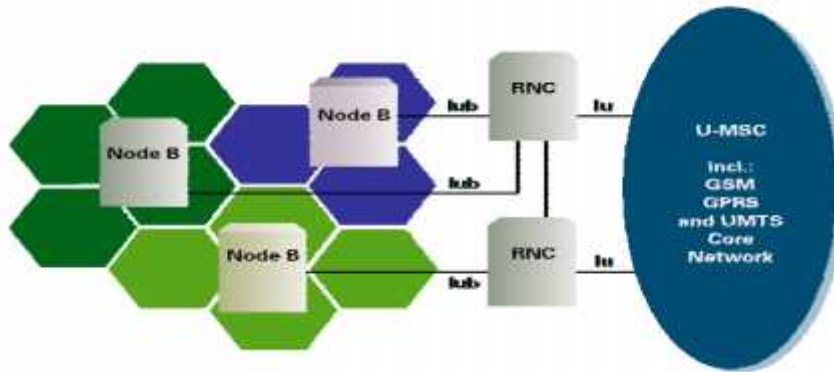
Σύμφωνα με αυτή θα είναι δυνατή η επίτευξη ρυθμών ως και 10 Mbps συνολικά στην κάτω ζεύξη σε ένα κοινό-μοιραζόμενο κανάλι για υπηρεσίες μεταγωγής πακέτου. Για το σκοπό αυτό ενσωματώνονται στο UMTS νέες τεχνικές οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα τη βελτίωση των δυνατοτήτων του WCDMA όσον αφορά την καθυστέρηση διάδοσης και τη χωρητικότητα.

Οι βασικές τεχνικές που μελετώνται για την υποστήριξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης βασίζονται, μεταξύ των άλλων, στην ταχεία προσαρμογή των παραμέτρων μετάδοσης σύμφωνα με τις χρονικά μεταβαλλόμενες συνθήκες του διαύλου. Οι αντίστοιχες λειτουργίες όπως η γρήγορη προσαρμογή της ζεύξης (fast link adaptation) και ο γρήγορος προγραμματισμός (fast scheduling) πρέπει να βρίσκονται κοντά στη ραδιοεπαφή, κατά προτίμηση στο Node B. Αυτό βέβαια έρχεται σε αντίθεση με την τρέχουσα αρχιτεκτονική του WCDMA, όπου για παράδειγμα, ο προγραμματισμός και η επιλογή του σχήματος μετάδοσης (transport format) πραγματοποιούνται στον RNC. Επομένως, για το HSDPA, ορισμένες λειτουργίες προτείνεται να μετακινηθούν από τον RNC στο Node B. Οι επιπρόσθετες αυτές λειτουργίες (στο Node B) δεν αντικαθιστούν τον RNC, απλά λειτουργούν συμπληρωματικά, εξασφαλίζοντας έτσι ένα αξιόπιστο κανάλι που υποστηρίζει υψηλούς ρυθμούς δεδομένων.

Η τεχνολογία HSDPA εισάγει ένα καινούριο κανάλι μεταφοράς, το HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel), για να χρησιμοποιηθεί κυρίως για “απαιτητικά” πακέτα δεδομένων αλλά και για την υποστήριξη των τεχνικών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Όλοι οι HSDPA χρήστες, μοιράζονται το ίδιο HS-DSCH κανάλι τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο του κώδικα.

Σε αρχικό στάδιο βρίσκονται επίσης μελέτες για την χρήση αποκλειστικών καναλιών μεταφοράς για την βελτίωση της επίδοσης στην άνω ζεύξη με ταχύτητες έως και 5,8Mbps, με την εισαγωγή της τεχνολογίας High Speed Uplink Packet Access (HSUPA).

4.1.9 Αρχιτεκτονική του δικτύου UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)

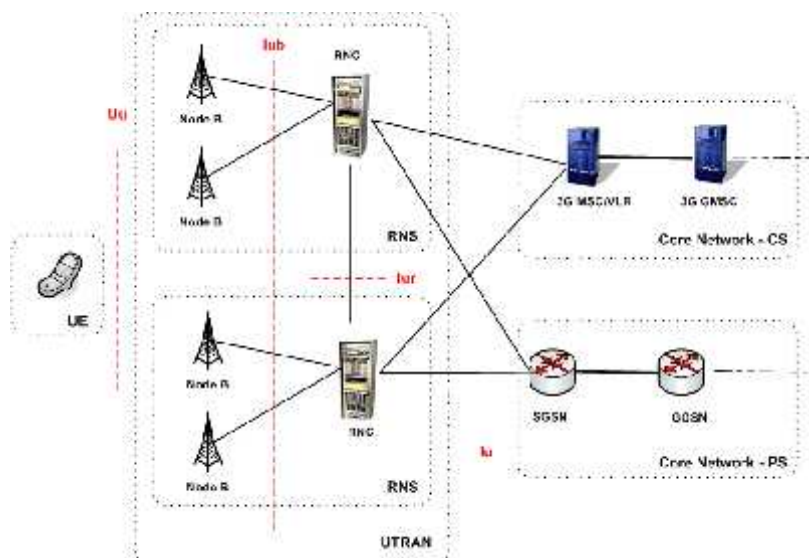


Σχήμα 4-20: Αρχιτεκτονική του UMTS

Το UTRAN αποτελεί το δίκτυο ραδιοπρόσβασης των δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών 3^{ης} γενιάς. Χειρίζεται όλες τις λειτουργίες της ραδιοεπαφής και παρεμβάλλεται μεταξύ του κινητού σταθμού (User Equipment – UE) και του δικτύου κορμού (Core Network – CN).

Αποτελείται από ένα σύνολο υποσυστημάτων ραδιοδικτύου (Radio Network Subsystems – RNS), τα οποία αποτελούν τα σημεία πρόσβασης στο δίκτυο UMTS (Σχήμα 3-20). Το υποσύστημα του ραδιοδικτύου δεσμεύει ή αποδεσμεύει τους συγκεκριμένους εκείνους πόρους του ραδιοδιαύλου που είναι απαραίτητοι για την σύνδεση μεταξύ του τερματικού (UE) και του δικτύου (UTRAN). Κάθε RNS αποτελείται από έναν ελεγκτή ραδιοδικτύου (Radio Network Controller – RNC) και έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης (Node B). Το RNS συνδέεται με το UE μέσω της διεπαφής Uu, ενώ με το δίκτυο κορμού μέσω της διεπαφής Iu.

Η αρχιτεκτονική του UTRAN φαίνεται στο Σχήμα 4-21.



Σχήμα 4-21: Αρχιτεκτονική του UTRAN

Η πρώτη οντότητα είναι το κινητό τερματικό (**UE**), που αποτελείται από (α) τον κινητό εξοπλισμό (Mobile Equipment), δηλαδή το τερματικό που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με το δίκτυο ραδιοπρόσβασης, και (β) μία έξυπνη κάρτα (USIM) η οποία περιλαμβάνει την ταυτότητα του χρήστη, πληροφορίες για τον χρήστη, κλειδιά κωδικοποίησης για την επικοινωνία και εκτελεί αλγορίθμους πιστοποίησης (authentication) του συνδρομητή.

Η δεύτερη οντότητα είναι το δίκτυο ραδιοπρόσβασης (**UTRAN**) το οποίο αποτελείται από (α) το σταθμό βάσης (**Node B**) και (β) τον ελεγκτή ραδιο-δικτύου (**RNC**). Ο RNC είναι υπεύθυνος για τον χειρισμό των ραδιοπόρων του UTRAN, ενώ παράλληλα διαχειρίζεται την επικοινωνία προς και από το δίκτυο κορμού (CN).

Η τρίτη και τελευταία οντότητα είναι το δίκτυο κορμού (**CN**) που αποτελείται από (α) τον κόμβο **SGSN** (Serving GPRS Support Node) ο οποίος είναι υπεύθυνος για την παροχή υπηρεσιών πακέτου (Packet Switched) προς το κινητό τερματικό, (β) τον κόμβο **GGSN** (Gateway GPRS Support Node), ο οποίος αποτελεί την πύλη εξόδου του δικτύου UMTS προς εξωτερικά δίκτυα. (γ) τον κόμβο 3G MSC/VLR και (δ) τον κόμβο 3G GMSC/VLR. Οι δύο τελευταίοι αποτελούν το Circuit Switched domain του UMTS.

Η επικοινωνία μεταξύ των οντοτήτων που περιγράφηκαν παραπάνω, καθορίζεται από μία σειρά διεπαφών, οι κυριότερες από τις οποίες είναι:

- ③ **Uu**: Μέσω αυτής το κινητό τερματικό αποκτά πρόσβαση προς το σταθερό τμήμα του συστήματος. Είναι ουσιαστικά η ραδιοεπαφή WCDMA.
- ③ **Iub**: Συνδέει το σταθμό βάσης με τον ελεγκτή ραδιοδικτύου.
- ③ **Iu**: Συνδέει το δίκτυο ραδιοπρόσβασης με το δίκτυο κορμού.
- ③ **Iur**: Συνδέει τους ελεγκτές ραδιοδικτύου, επιτρέποντας τη μεταπομπή μεταξύ τους.

Τα βασικά δομικά στοιχεία του δικτύου, είναι ο Node B και ο RNC:

④ **Node B**

Ο σταθμός βάσης, Node B, είναι ένας λογικός κόμβος υπεύθυνος για την εκπομπή και τη λήψη σε μία ή περισσότερες κυψέλες. Μπορεί να λαμβάνει και να εκπέμπει σήματα είτε σε διαφορετικές συχνότητες (FDD) είτε στην ίδια συχνότητα με πολυπλεξία χρόνου (TDD). Έχει επίσης τη δυνατότητα να υποστηρίζει και τους δύο αυτούς τρόπους λειτουργίας. Η βασική λειτουργικότητα του Node B είναι η επεξεργασία του σήματος (δηλαδή, κωδικοποίηση διαύλου, διασπορά, κτλ) πριν τη μετάδοσή του στο ραδιοδιάλυο ή μετά τη λήψη του από αυτόν. Υλοποιεί, επιπλέον βασικούς αλγορίθμους διαχείρισης πόρων, όπως ο έλεγχος ισχύος. Ο Node B συνδέεται με τον κινητό σταθμό (UE) μέσω της διεπαφής Uu και με τον ελεγκτή ραδιοδικτύου (RNC) με τη διεπαφή Iub.

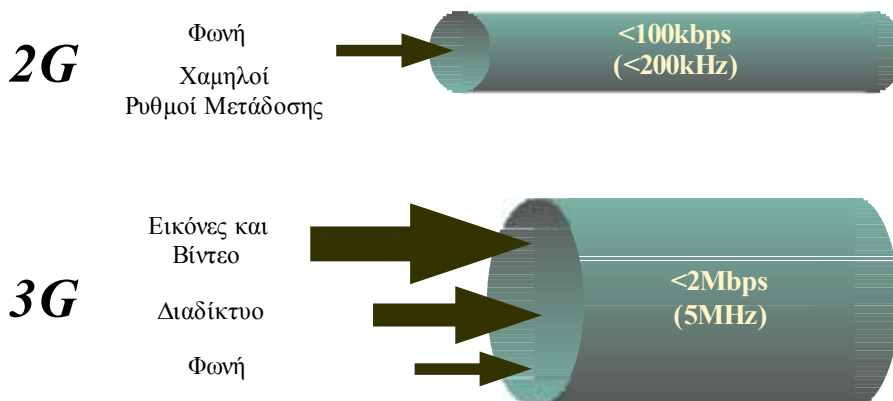
④ **RNC**

Ο ελεγκτής ραδιοδικτύου (RNC) είναι ένας λογικός κόμβος στο υποσύστημα ραδιοδικτύου (Radio Network Subsystem – RNS) που ελέγχει τη χρήση των διαθέσιμων πόρων του ραδιοδιαύλου στο πεδίο της υπευθυνότητάς του, δηλαδή στους Node Bs που ανήκουν στο RNS του. Ο RNC είναι το σημείο όπου το δίκτυο κορμού έχει πρόσβαση στις υπηρεσίες που του παρέχει το δίκτυο ραδιοπρόσβασης. Ο RNC συνδέεται με το δίκτυο κορμού (CN) μέσω της διεπαφής Iu και με τον Node B με τη διεπαφή Iub. Διαφορετικά RNCs συνδέονται μεταξύ τους μέσω της διεπαφής Iur.

Στην άνω ζεύξη του WCDMA συστήματος, κάθε ενεργός χρήστης μεταδίδει ένα ή περισσότερα αποκλειστικά φυσικά κανάλια δεδομένων (Dedicated Physical Data Channel – DPDCH) και ένα αποκλειστικό φυσικό κανάλι ελέγχου (Dedicated Physical Control Channel – DPCCH). Το DPDCH χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων και σε κάθε μετάδοση (άνω ζεύξη) μπορούν να υπάρχουν έως έξι DPDCHs. Ο συντελεστής διασποράς κυμαίνεται μεταξύ 4 και 256. Το DPCCH μεταφέρει πληροφορία ελέγχου όπως pilot bits, τα οποία χρησιμοποιούνται για εκτίμηση του ραδιοδιαύλου στο RAKE δέκτη, εντολές για τον έλεγχο ισχύος, πληροφορίες ανάδρασης κλπ. Υπάρχει μόνο ένα DPCCH σε κάθε μετάδοση (άνω ζεύξη) και ο συντελεστής διασποράς του είναι πάντα 256. Τα DPDCH και DPCCH στην άνω ζεύξη μεταδίδονται συγχρόνως και είναι πολυπλεγμένα με I/Q κωδικοποίηση. Ο ρυθμός δεδομένων κάθε χρήστη μεταβάλλεται είτε αλλάζοντας τον συντελεστή διασποράς του DPDCH και/ή χρησιμοποιώντας πολλαπλά DPDCHs.

4.2 Διαφορές δικτύων 2^{ης} και 3^{ης} Γενιάς

Μέχρι στιγμής τα δίκτυα 2ης γενιάς υποστηρίζουν φωνή και χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης μέχρι 100kbps σε ένα εύρος διαύλου 200 kHz, ενώ τα δίκτυα 3ης γενιάς εκτός από φωνή υποστηρίζουν και υπηρεσίες διαδικτύου, εικόνες και βίντεο με ρυθμούς που φτάνουν μέχρι τα 2 Mbps σε ένα εύρος διαύλου ίσο με 5 MHz.



Σχήμα 4-22: Διαφορές δικτύων 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς

Η βασικότερη διαφορά του UMTS και του GSM είναι η τεχνολογία ραδιοπρόσβασης. Στο UMTS χρησιμοποιείται το WCDMA ενώ στο GSM έχουμε συνδυασμένη χρήση FDMA/TDMA. Η απόσταση μεταξύ των φερόντων είναι 5 MHz σε αντίθεση με τα 200 kHz στο GSM. Ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης συχνότητας είναι 1, δηλαδή σε κάθε κυψέλη χρησιμοποιείται η ίδια συχνότητα, οπότε και έχουμε υψηλή φασματική απόδοση.

Στο UMTS χρησιμοποιείται διαφορισιμότητα εκπομπής στην κάτω ζεύξη με αποτέλεσμα την αύξηση της χωρητικότητας. Η ισχύς εκπομπής του κινητού σταθμού έχει μειωθεί αισθητά (1/8) και είναι 0,125W έναντι του ενός και μισού W στο GSM. Και τέλος, η φιλοσοφία σχεδιασμού είναι πολύ διαφορετική. Στο GSM βασίζεται στην χωρητικότητα ενώ στο UMTS απαιτείται η συνδυασμένη αντιμετώπιση χωρητικότητας και κάλυψης (λόγω της μεταβλητότητας των παραμέτρων του συστήματος). Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται συνοπτικά οι κυριότερες διαφορές των δικτύων 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς:

Πίνακας 4-2: UMTS - GSM

| | UMTS | GSM |
|--|---|---|
| Ραδιοεπαφή | WCDMA | FDMA/TDMA |
| Απόσταση φερόντων | 5 MHz | 200 kHz |
| Συντελεστής επαναχρησιμοποίησης συχνότητας | 1 | 1-18 |
| Συχνότητα ελέγχου ισχύος | 1500 Hz | ≤ 2 Hz |
| Ρυθμός μετάδοσης | < 2 Mbps | < 100 kbps |
| Πακέτα δεδομένων | Scheduling με βάση το τηλεπικοινωνιακό φορτίο | Scheduling χρονοσχισμών στο GPRS |
| Διαφορισιμότητα εκπομπής στην κάτω ζεύξη | Βελτιώνει τη χωρητικότητα της κάτω ζεύξης | Δεν υποστηρίζεται αλλά μπορεί να εφαρμοστεί |
| Ισχύς Εκπομπής Κινητού Σταθμού | 21dBm (0,125W) | 30dBm (1W) ή 27dBm (0,5W) |
| Φιλοσοφία Σχεδιασμού | Χωρητικότητα & κάλυψη | Χωρητικότητα |

4.2 ΤΑΞΕΙΣ QOS ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟ UMTS

4.2.1 Τάξεις QoS στο UMTS

Για να επιτευχθεί μια ευέλικτη κατηγοριοποίηση εφαρμογών και υπηρεσιών, έχουν δημιουργηθεί ορισμένες κλάσεις QoS οι οποίες βασίζονται στα χαρακτηριστικά των εφαρμογών και των υπηρεσιών αυτών.

Στο UMTS οι υπηρεσίες διαχωρίζονται σε τέσσερις τάξεις οι οποίες είναι οι εξής:

- Conversational
- Streaming
- Interactive
- Background

Κάθε κατηγορία ορίζει πόσο ευαίσθητη στην καθυστέρηση είναι η κάθε εφαρμογή που ανήκει σε κάποια τάξη. Οι εφαρμογές της τάξης Conversational, όπως είναι η φωνή, είναι πιο ευαίσθητες στην καθυστέρηση σε σχέση με εφαρμογές της τάξης Background. Οι τάξεις Conversational και Streaming είναι και οι δύο υπεύθυνες για την μεταφορά real-time πληροφορίας, αλλά πιο ευαίσθητη στην καθυστέρηση είναι η Conversational. Αντίθετα, οι τάξεις Interactive και Background έχουν ως κύριο σκοπό την ακεραιότητα των δεδομένων. Όντας λιγότερο ευαίσθητες στην καθυστέρηση, κατέχουν ένα καλύτερο BER και χρησιμοποιούνται κυρίως για εφαρμογές Internet όπως είναι η πλοήγηση στο Web, το E-Mail, το FTP καθώς και πολλές άλλες γνωστές εφαρμογές. Αυτές που έχουν υψηλότερη προτεραιότητα είναι οι εφαρμογές της τάξης Interactive. Οι τάξεις αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κατηγορίες εφαρμογών οι οποίες είναι:

- Εφαρμογές Πραγματικού Χρόνου (Conversational & Streaming)
- Εφαρμογές μη Πραγματικού Χρόνου (Interactive & Background)

4.2.1.1 Τάξη Conversational

Η τάξη αυτή απαντάται σήμερα στην απλή τηλεφωνία. Καθώς όμως οδηγούμαστε σε ένα περιβάλλον με ένα μόνο πρωτόκολλο, ακόμα και η τηλεφωνία θα διεξάγεται με την χρήση αυτού και έτσι θα έχει την μορφή του Voice over IP (VoIP) ή ακόμα και

τις βίντεο-συνδιάσκεψης. Καθώς από την φύση τους τέτοιες εφαρμογές είναι εφαρμογές πραγματικού χρόνου, οι χρόνοι μετάδοσης θα πρέπει να είναι μικροί. Εάν δεν συμβαίνει αυτό δεν θα είμαστε σε θέση να έχουμε μια πραγματική συνομιλία. Επίσης οι διάφορες ροές δεδομένων (όπως είναι για παράδειγμα η ροή του ήχου και της εικόνας) θα πρέπει να είναι χρονικά συσχετισμένες και να είναι συγχρονισμένες. Οι μεγάλοι χρόνοι καθυστερήσεις δεν είναι αποδεκτοί σε αυτή την τάξη, καθώς κάτι τέτοιο θα σήμαινε δραματική υποβάθμιση της ποιότητας, η οποία δεν είναι αποδεκτή από τους τελικούς χρήστες. Στην πραγματικότητα, η καθυστέρηση θα πρέπει να είναι πολύ πιο μικρή από αυτή της τάξης Interactive.

Συνοψίζοντας, οι κύριοι στόχοι αυτής της τάξης είναι:

- Η διασφάλιση του χρονικού συσχετισμού μεταξύ των ροών δεδομένων
- Η εγγύηση χαμηλής καθυστέρησης

4.2.1.2 Τάξη Streaming

Η τάξη Streaming αντιστοιχεί σε ροές δεδομένων πραγματικού χρόνου, όπως είναι οι ροές ήχου ή βίντεο. Για παράδειγμα αναφέρεται σε εφαρμογές όπως η ακρόαση μουσικής μέσω δικτύου ή η παρακολούθηση μια ταινίας. Η ροή των δεδομένων είναι αυτή από έναν εξυπηρετητή προς ένα χρήστη που έχει ζητήσει την αντίστοιχη υπηρεσία. Έτσι η επικοινωνία είναι σχεδόν μονόδρομη καθώς έχουμε ελάχιστη αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο τελικών άκρων. Στην πράξη ο εξυπηρετητής στέλνει τα δεδομένα και ο χρήστης προβαίνει σε ελάχιστες ενέργειες όπως είναι η απλή επιλογή της υπηρεσίας, το «πάγωμα» της και η αναπαραγωγή της. Έτσι δεν έχουμε μεγάλη ζήτηση για χαμηλή καθυστέρηση, παρόλο που αυτή είναι πάντοτε επιθυμητή. Για μια εφαρμογή όπως είναι η παρακολούθηση μιας ταινίας, μία ροή μπορεί να συμπεριλαμβάνει διάφορα στοιχεία, καθώς είναι δυνατή η χρήση διαφορετικών υπό-ροών ώστε να μεταφερθούν χωριστά ο ήχος, η εικόνα και οι υπότιτλοι. Για να επιτευχθεί όμως η ορθή αναπαραγωγή στον τελικό παραλήπτη πρέπει να υπάρξει συγχρονισμός όλων αυτών των στοιχείων και έτσι δημιουργείται η ανάγκη για χρονική συσχέτιση μεταξύ των ροών. Έτσι ο κύριος σκοπός μια τέτοιας τάξης είναι:

- Η εξασφάλιση της χρονικής συσχέτισης μεταξύ των οντοτήτων μιας ροής.

4.2.1.3 Τάξη Interactive

Στην τάξη αυτές ανήκουν όλες εκείνες οι εφαρμογές που απαιτούν αλληλεπίδραση μεταξύ του εξυπηρετητή και του χρήστη, όπως είναι η πλοήγηση στο Web ή διάφορες On-Line συναλλαγές. Επίσης περιλαμβάνει και εφαρμογές όπου υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ μηχανών, όπως για παράδειγμα η διαρκής ανανέωση στοιχείων από την βάση δεδομένων ενός άλλου μηχανήματος. Οι κύριες ενέργειες βασίζονται στον μηχανισμό ερωτώ-αποκρίσεων, και έτσι οι χρόνοι μετάδοσης θα πρέπει να είναι σύντομοι. Όταν γίνεται μια αίτηση ένα χρονόμετρο τίθεται σε λειτουργία και περιμένει την απάντηση. Έτσι όσο μικρότερος είναι ο χρόνος αυτός, τόσο καλύτερη είναι η προσφερόμενη ποιότητα. Επίσης αυτή η τάξη διασφαλίζει την ακεραιότητα των δεδομένων. Συνοψίζοντας, τα κύρια χαρακτηριστικά QoS της τάξης αυτής είναι:

- Η εγγύηση μικρών χρόνων μεταξύ της ερώτησης και της απόκρισης
- Η διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων

4.2.1.4 Τάξη Background

Σε αυτήν την τάξη ανήκουν εφαρμογές μεταφοράς δεδομένων όπως είναι το Email, οι μεταφορές FTP, το SMS, τοMMS, κτλ. Η μοναδική απαίτηση της τάξης αυτής είναι η διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων, καθώς όλες οι άλλες παράμετροι δεν είναι σημαντικές. Έτσι ο κύριο χαρακτηριστικό της είναι:

- Η διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων

| Class # | Τάξη Κίνησης | Περιγραφή Τάξης | Παραδειγμα | Σχετικές Απαιτήσεις QoS |
|---------|----------------|---|-------------------------------------|---|
| 1 | Conversational | - Διασφάλιση χρονικής συσχέτισης μεταξύ των οντοτήτων μιας ροής - Βασισμένο στην αντίληψη του χρήστη - Πραγματικός Χρόνος | Voice over IP Video conferencing | - Χαμηλό jitter - Χαμηλή καθυστέρηση |
| 2 | Streaming | - Διασφάλιση χρονικής συσχέτισης μεταξύ των οντοτήτων μιας ροής - Πραγματικός Χρόνος | Real-time video | - Χαμηλό Jitter |
| 3 | Interactive | - Καθορισμένα Όρια Απόκρισης - Διασφάλιση ακεραιότητας δεδομένων | Web browsing Database retrieval | - Χαμηλή καθυστέρηση Roundtrip - Χαμηλό BER |
| 4 | Background | - Διασφάλιση ακεραιότητας δεδομένων | Email File transfer | - Χαμηλό BER |

Πίνακας 1: Οι τάξεις QoS στο UMTS

4.2.2 Σημαντικές Παράμετροι για το QoS

Οι πιο σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν τον χρήστη, ο οποίος είναι ο κριτής του προσφερόμενου QoS, είναι η καθυστέρηση, το jitter και η απώλεια των δεδομένων. Αυτές οι παράμετροι, μαζί με άλλες όπως είναι ο εγγυημένος ρυθμός μετάδοσης, ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης κτλ, είναι αυτές που διαφοροποιούν τις τάξεις QoS και καθορίζουν τα διαφορετικά προφίλ QoS που προσφέρουν τα δίκτυα. Παρακάτω ακολουθεί μια μικρή περιγραφή των παραμέτρων αυτών.

Καθυστέρηση (Delay)

Η παράμετρος αυτή είναι ο χρόνος μεταξύ μιας ενέργειας του χρήστη και του αποτελέσματος αυτού. Οι χαμηλοί χρόνοι καθυστέρησης σημαίνουν υψηλές ταχύτητες συναλλαγής ενώ οι μεγάλες καθυστερήσεις υπάρχουν κυρίως σε μεταφορές δεδομένων, στις οποίες δεν μας ενδιαφέρει η ταχεία μεταφορά.

Jitter

Το Jitter είναι επίσης γνωστό ως διασπορά καθυστερήσεις. Περιγράφει τους μεταβλητούς χρόνους άφιξης των πακέτων στον παραλήπτη, πράγμα που είναι ιδιαίτερο ενοχλητικό για ορισμένες υπηρεσίες πραγματικού χρόνου και καταπολεμάται με την χρήση τεχνικών buffering techniques, οι οποίες εξαλείφουν το φαινόμενο αυτό.

Απώλεια Πληροφορίας (Information loss)

Με τον όρο αυτό περιγράφεται το ποσοστό των δεδομένων που δεν παραδίνεται ή που παραδίνεται έχοντας όμως σφάλματα. Υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι που προσπαθούν να διορθώσουν τα προβλήματα απώλειας δεδομένων, αλλά αυτό δεν είναι πάντα εφικτό. Εφαρμογές όπως η μεταφορά αρχείων απαιτούν μηδενική απώλεια δεδομένων, ενώ άλλες όπως για παράδειγμα η μετάδοση βίντεο, είναι ανεκτικές μέχρι κάποιο σημείο.

4.2.3 Παράμετροι QoS

Οι παράμετροι που είναι σημαντικές για την end-to-end Ποιότητα Υπηρεσίας σε ένα δίκτυο 3G συναντιούνται σε περισσότερους του ενός διαύλου. Έτσι η κάθε εφαρμογή έχει διαφορετικές παραμέτρους στον διάυλο UMTS, διαφορετικές στον Radio Access Bearer (RAB) και διαφορετικές στον Radio Bearer (RB), καθώς τα δεδομένα τυγχάνουν διαφορετικής αντιμετώπισης σε κάθε κομμάτι του δικτύου.

4.2.3.1 UMTS Bearer

Οι Παράμετροι Υπηρεσιών UMTS Bearer είναι οι εξής:

Traffic class (class)

Περιέχει την τάξη στην οποία ανήκει η εφαρμογή (conversational, streaming, interactive, background)

Maximum bit rate (kbps)

Η παράμετρος αυτή δείχνει τον μέγιστο δυνητικό ρυθμό μετάδοσης και λαμβάνεται υπ' όψιν για την δέσμευση των πόρων του δικτύου. Θέτει ένα άνω όριο ταχύτητας, το οποίο απαγορεύεται να υπερβεί η εφαρμογή.

Guaranteed bit rate (kbps)

Το κάτω όριο όσον αφορά τον ρυθμό μετάδοσης και είναι πολύ σημαντική παράμετρος όσον αφορά τον μηχανισμό Ελέγχου Αποδοχής κλήσεων, καθώς μπορεί να βρεθεί αμέσως εάν υπάρχουν στο δίκτυο οι ελάχιστοι απαιτούμενοι πόροι για την ζητούμενη υπηρεσία.

Delivery Order (y/n)

Καθορίζει εάν επιτρέπεται ή όχι η παράδοση πακέτων με τυχαία σειρά.

Maximum SDU size (octets)

Καθορίζει το μέγιστο μέγεθος του SDU, το οποίο λαμβάνεται υπ' όψιν στον Έλεγχο Αποδοχής.

SDU format information (bits)

Το πιθανό μέγεθος των SDUs που θα μεταδοθούν από το UMTS.

SDU error ratio

Καθορίζει το όριο για τα λανθασμένα SDUs. Αυτή η παράμετρος χρησιμοποιείται από τα πρωτόκολλα και τους μηχανισμούς διορθώσεις λαθών, ώστε να επιτευχθεί το απαιτούμενο BER για τις ζητούμενες υπηρεσίες

Residual bit error rate

Υποδεικνύει τον ρυθμό μη ανιχνεύσιμων λαθών στα παραδομένα SDUs.

Delivery of erroneous SDUs (y/n/-)

Αυτή η παράμετρος καθορίζει εάν επιτρέπεται ή όχι η παράδοση SDUs που περιέχουν λάθη. Με την χρήση αυτής της παραμέτρου καθορίζεται εάν μια υπηρεσία απαιτεί να γίνεται έλεγχος λαθών και το εάν είναι ανεκτική ή όχι στην απώλεια πληροφορίας.

Transfer delay (ms)

Η παράμετρος αυτή καθορίζει την καθυστέρηση για το 95% της συνολικής καθυστέρησης των παραδομένων SDUs κατά την διάρκεια μιας κλήσης. Με την βοήθεια αυτής της παραμέτρου το UTRAN μπορεί να καθορίσει το πώς θα μεταφερθούν τα δεδομένα ώστε να είναι μέσα στα αποδεκτά όρια καθυστέρησης.

Traffic handling priority

Καθορίζει την προτεραιότητα των SDUs μιας υπηρεσίας που ανήκει σε ένα διάλυο, σε σχέση με αυτά άλλων διαλύων, έτσι ώστε το UTRAN να είναι σε θέση να γνωρίζει το πώς πρέπει να γίνει ο χειρισμός της κίνησης. Αυτή η παράμετρος είναι πάρα πολύ σημαντική όσον αφορά το QoS καθώς μπορεί να διαφοροποιεί τους διάφορους χρήστες με βάση τα διαφορετικά προφίλ QoS.

Allocation/Retention Priority

Καθορίζει την σχετική σημαντικότητα σε σχέση με τους άλλους διαλύτες UMTS. Έτσι όταν γίνεται ο Έλεγχος Εισόδου σε περιπτώσεις μη επαρκών πόρων, τότε με βάση αυτή την παράμετρο οι πιο σημαντικοί διάλυοι έχουν προτεραιότητα. Η δημιουργία διαφορετικών προφίλ με βάση την συνδρομή έχει σημαντικό ρόλο όσον αφορά την παράμετρο αυτή, καθώς όπως είναι φυσικό οι χρήστες με περισσότερα δικαιώματα τοποθετούνται σε διαλύτες, οι οποίοι έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα σε σχέση με τους άλλους. Η παράμετρος ARP βασίζεται στο συνδρομητικό συμβόλαιο του χρήστη και δεν είναι διαπραγματεύσιμη από την τερματική συσκευή. Οι παράμετροι ARP είναι διαφορετικές στους διαλύτες UMTS σε σχέση με το RAB. Έτσι οι συνοριακοί κόμβοι του δικτύου κορμού, δηλαδή το MSC και το SGSN, πρέπει να παρέχουν αντιστοίχιση μεταξύ των παραμέτρων ARP και των προτεραιοτήτων των χρηστών.

| ARP Subscription Parameters | Specification |
|-----------------------------|--|
| CS ARP | 1 (highest priority) 2 3 (lowest priority) |
| PS ARP | 1 (highest priority) 2 3 (lowest priority) |

Πίνακας 2: Εγγεγραμμένη παράμετρος APR στο HLR

Σημαντικές Παράμετροι για κάθε Τάξη είναι οι εξής:

Τάξη Conversational class

Η τάξη Conversation θεωρείται ως μία μη εκρηκτική τάξη. Το Maximum bit rate καθορίζει το άνω όριο του ρυθμού μετάδοσης των SDUs στο δίκτυο UMTS. Παρ' όλ' αυτά ο ρυθμός μετάδοσης δεν είναι υποχρεωμένος να υπερβαίνει το guaranteed bit rate. Η παράμετρος transfer delay είναι πολύ σημαντική για την τάξη αυτή, το ίδιο και η SDU format information. Εάν η τελευταία δεν δίνεται, τότε τα SDUs είναι μεταβλητού μεγέθους με ανώτατο όριο αυτό που καθορίζεται από την παράμετρο Maximum SDU size. Οι άλλες παράμετροι, όπως το SDU error ratio, το Residual bit error ratio και το Delivery of erroneous SDUs καθορίζουν τις απαιτήσεις της εφαρμογής για μια αποδεκτή ποιότητα.

Τάξη Streaming class

Το Maximum bit rate και το guaranteed bit rate έχουν το ίδιο νόημα όπως και στην τάξη conversational και χρησιμοποιούνται για δέσμευση πόρων στο δίκτυο UMTS. Η τάξη αυτή είναι και αυτή μη εκρηκτική και υπάρχει και εδώ η παράμετρος transfer delay. Οι άλλες παράμετροι που είναι παρούσες και στην τάξη conversational είναι και εδώ παρούσες και το maximum SDU size είναι αναγκαίο, αλλά στην περίπτωση σταθερών σε μέγεθος SDUs, η παράμετρος SDU format information θα δώσει το ακριβές μέγεθος των SDUs. Άλλοι παράμετροι όπως το SDU error ratio, το Residual bit error ratio και το Delivery of erroneous SDUs καθορίζουν τις απαιτήσεις όσον αφορά την απώλεια πληροφορίας.

Τάξη Interactive class

Για τον περιορισμό της ταχύτητας των εφαρμογών είναι απαραίτητη η παράμετρος maximum bit rate. Η παροχή διαφορετικών εκδόσεων QoS ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των χρηστών, απαιτεί από τους παροχείς υπηρεσιών την δημιουργία πολλών συνδυασμών παραμέτρων ώστε να βρεθούν οι κατάλληλοι για τον κάθε διάλογο. Αυτό μπορεί να γίνει με χρήση παραμέτρων όπως είναι το guaranteed bit rate, το transfer delay, το packet loss κτλ. Επειδή αυτή η λύση εμπεριέχει μεγάλη πολυπλοκότητα χρησιμοποιείται η παράμετρος traffic handling priority. Όπως ειπώθηκε προηγουμένως η εξασφάλιση της ακεραιότητας της πληροφορίας είναι πρωταρχικός στόχος και έτσι οι παράμετροι που έχουν μεγάλη σημασία είναι το SDU error ratio, το Residual bit error ratio και το Delivery of erroneous SDUs.

Τάξη Background

Για μια ακόμα φορά η παράμετρος maximum bit rate είναι αναγκαία ώστε να περιορίζεται η ταχύτητα και να μην έχουμε αλόγιστη δέσμευση πόρων. Επειδή η τάξη αυτή δεν ενδιαφέρεται παρά μόνο για την μετάδοση πληροφοριών χωρίς λάθη, οι μόνες άλλες παράμετροι που είναι αναγκαίες είναι το SDU error ratio, το Residual bit error ratio και το Delivery of erroneous SDUs.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται μια συγκεντρωτική όψη των παραμέτρων ανά τάξη:

| Traffic Class | Conversational | Streaming | Interactive | Background |
|-------------------------------|----------------|-----------|-------------|------------|
| Maximum bit rate | X | X | X | X |
| Delivery order | X | X | X | X |
| Maximum SDU size | X | X | X | X |
| SDU format info | X | X | | |
| SDU error ratio | X | X | X | X |
| Residual bit error ratio | X | X | X | X |
| Delivery of erroneous SDUs | X | X | X | X |
| Transfer delay | X | X | | |
| Guaranteed bit rate | X | X | | |
| Traffic handling priority | | | X | |
| Allocation/Retention priority | X | X | X | X |

Πίνακας 3: Παράμετροι για το UMTS Bearer

| Traffic class | Conversational | Streaming | Interactive | Background |
|-------------------------------|---|--|--|--|
| Maximum bit rate (kbps) | < 2048 | < 2048 | < 2048 - overhead | < 2048 - overhead |
| Delivery order | Yes/No | Yes/No | Yes/No | Yes/No |
| Maximum SDU size (octets) | <=1500 or 1502 | <=1500 or 1502 | <= 500 or 1502 | <=1500 or 1502 |
| SDU format information | | | | |
| Delivery of erroneous SDUs | Yes/No/- | Yes/No/- | Yes/No/- | Yes/No/- |
| Residual BER | 5*10 ⁻² , 10 ⁻² , 5*10 ⁻³ , 10 ⁻³ , 10 ⁻⁴ , 10 ⁻⁶ | 5*10 ⁻² , 10 ⁻² , 5*10 ⁻³ , 10 ⁻³ , 10 ⁻⁴ , 10 ⁻⁵ , 10 ⁻⁶ | 4*10 ⁻³ , 10 ⁻⁵ , 6*10 ⁻⁶ | 4*10 ⁻³ , 10 ⁻⁵ , 6*10 ⁻⁶ |
| SDU error ratio | 10 ⁻² , 7*10 ⁻³ , 10 ⁻³ , 10 ⁻⁴ , 10 ⁻⁵ | 10 ⁻¹ , 10 ⁻² , 7*10 ⁻³ , 10 ⁻³ , 10 ⁻⁴ , 10 ⁻⁵ | 10 ⁻³ , 10 ⁻⁴ , 10 ⁻⁶ | 10 ⁻³ , 10 ⁻⁴ , 10 ⁻⁶ |
| Transfer delay (ms) | 100 – maximum value | 250 – maximum value | | |
| Guaranteed bit rate (kbps) | < 2048 | < 2048 | | |
| Traffic handling priority | | | 1,2,3 | |
| Allocation/Retention priority | 1,2,3 | 1,2,3 | 1,2,3 | 1,2,3 |

Πίνακας 4: Όρια τιμών παραμέτρων για της υπηρεσίες του UMTS Bearer

4.2.3.2 Radio Access Bearer

Οι Παράμετροι Υπηρεσιών του Radio Access Bearer είναι ίδιοι με αυτούς για το UMTS Bearer. Επιπρόσθετα υπάρχει και η εξής παράμετρος:

Source Statistics Descriptor (“speech”/“unknown”)

Αυτή η παράμετρος καθορίζει τον τύπο των δεδομένων που μεταφέρεται στα SDUs. Επειδή η φωνή έχει μια πάρα πολύ γνωστή στατιστική συμπεριφορά, εάν το δίκτυο είναι σε θέση να γνωρίζει ότι τα δεδομένα που μεταφέρονται είναι φωνή, τότε μπορεί να υπολογιστεί το κέρδος πολυπλεξίας το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τον Έλεγχο Εισόδου στο ασύρματο κομμάτι του δικτύου.

Σημαντικές Παράμετροι για κάθε Τάξη είναι οι εξής:

Τάξη Conversational

Με την χρήση του source statistics descriptor το UTRAN είναι σε θέση να υπολογίσει το κέρδος πολυπλεξίας στο ασύρματο κομμάτι και αν το χρησιμοποιήσει στον Έλεγχο Εισόδου. Το Maximum bit rate καθορίζει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης, καθώς το guaranteed bit rate θέτει το κατώτατο όριο. Παράμετροι όπως το SDU error ratio, το Residual bit error ratio και το Delivery of erroneous SDUs καθορίζουν τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής για τον ρυθμό λαθών. Με την χρήση αυτών των παραμέτρων, το UTRAN μπορεί να παρέχει έλεγχο λαθών ή όχι, ανάλογα με το αίτημα της εφαρμογής και αυτό μπορεί να γίνει σε διάφορα επίπεδα των ροών, ώστε να έχουμε μια άνιση προστασία λαθών σε κάθε RAB και έτσι να προσφέρεται διαφορετικό QoS ανάλογα με τον πελάτη. Στην περίπτωση αυτή είναι απαραίτητη και η παράμετρος SDU format information καθώς τα δεδομένα υπάρχουν σε άνισα SDUs στις ροές και έτσι μπορεί να βρεθεί ποια SDUs ανήκουν σε ποιο χρήστη.

Τάξη Streaming

Ακριβώς όπως στην τάξη conversational, εάν το RAB μεταφέρει φωνή, τότε η παράμετρος source statistics descriptor χρησιμοποιείται από το UTRAN για τον υπολογισμό του κέρδος πολυπλεξίας. Το Maximum και το guaranteed bit rate έχουν το ίδιο νόημα που έχουν και στην τάξη conversational και επιδεικνύουν το πώς πρέπει να χειριστεί κανείς τον ρυθμό μετάδοσης και το πώς πρέπει να αντιστοιχούν στα διάφορα SDUs που αναφέρονται από την παράμετρο SDU format information. Παράμετροι όπως είναι το SDU error ratio, το Residual bit error ratio και το Delivery of erroneous SDUs καθορίζουν τις απαιτήσεις για την απώλεια πληροφορίας και δίνουν στο UTRAN την ικανότητα να παρέχει έλεγχο λαθών ένα το επιθυμεί η εφαρμογή αλλά και άνισο χειρισμό της προστασίας δεδομένων στο RAB.

Τάξη Interactive

Για να επιτευχθεί η ο περιορισμός της ταχύτητας μεταφοράς για τις εφαρμογές είναι απαραίτητη η παράμετρος maximum bit rate. Επίσης για την δυνατότητα προσφοράς διαφορετικών εκδόσεων QoS και για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των διαφορετικών προφίλ QoS μπορούν να γίνουν πολλοί συνδυασμοί με βάση παραμέτρους όπως είναι το guaranteed bit rate, το transfer delay, το packet loss κτλ, όμως λόγω τις μεγάλης πολυπλοκότητας χρησιμοποιείται η παράμετρος traffic handling priority. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η διατήρηση της ακεραιότητας της πληροφορίας είναι κάτι πάρα πολύ σημαντικό και έτσι η παρουσία των παραμέτρων SDU error ratio, Residual bit error ratio και Delivery of erroneous SDUs είναι απαραίτητη.

Τάξη Background

Η παράμετρος maximum bit rate χρησιμοποιείται ακόμα μια φορά για τον προορισμό του μεγίστου ρυθμού μετάδοσης. Επίσης υποχρεωτική είναι η παρουσία των παραμέτρων SDU error ratio, Residual bit error ratio και Delivery of erroneous SDUs καθώς το κύριο μέλημα των υπηρεσιών που ανήκουν στην τάξη αυτή είναι η διατήρηση της ακεραιότητας της πληροφορίας.

Όλες αυτές οι παράμετροι φαίνονται συγκεντρωτικά στον επόμενο πίνακα:

| Traffic Class | Conversational | Streaming | Interactive | Background |
|-------------------------------|----------------|-----------|-------------|------------|
| Maximum bit rate | X | X | X | X |
| Delivery order | X | X | X | X |
| Maximum SDU size | X | X | X | X |
| SDU format info | X | X | | |
| SDU error ratio | X | X | X | X |
| Residual bit error ratio | X | X | X | X |
| Delivery of erroneous SDUs | X | X | X | X |
| Transfer delay | X | X | | |
| Guaranteed bit rate | X | X | | |
| Traffic handling priority | X | | X | |
| Allocation/Retention priority | X | X | X | X |

Πίνακας 5: Παράμετροι για το Radio Access Bearer

| Traffic class | Conversational | Streaming | Interactive | Background |
|-------------------------------|---|--|--|--|
| Maximum bit rate (kbps) | < 2048 | < 2048 | < 2048 - overhead | < 2048 - overhead |
| Delivery order | Yes/No | Yes/No | Yes/No | Yes/No |
| Maximum SDU size (octets) | <= 1500 or 1502 | <= 1500 or 1502 | <= 500 or 1502 | <= 500 or 1502 |
| SDU format information | | | | |
| Delivery of erroneous SDUs | Yes/No/- | Yes/No/- | Yes/No/- | Yes/No/- |
| Residual BER | 5*10 ⁻² , 10 ⁻² , 5*10 ⁻³ , 10 ⁻³ , 10 ⁻⁴ , 10 ⁻⁶ | 5*10 ⁻² , 10 ⁻² , 5*10 ⁻³ , 10 ⁻³ , 10 ⁻⁴ , 10 ⁻⁵ , 10 ⁻⁶ | 4*10 ⁻³ , 10 ⁻⁵ , 6*10 ⁻⁸ | 4*10 ⁻³ , 10 ⁻⁵ , 6*10 ⁻³ |
| SDU error ratio | 10 ⁻² , 7*10 ⁻³ , 10 ⁻³ , 10 ⁻⁴ , 10 ⁻⁵ | 10 ⁻¹ , 10 ⁻² , 7*10 ⁻³ , 10 ⁻³ , 10 ⁻⁴ , 10 ⁻⁵ | 10 ⁻³ , 10 ⁻⁴ , 10 ⁻⁶ | 10 ⁻³ , 10 ⁻⁴ , 10 ⁻⁶ |
| Transfer delay (ms) | 80 – maximum value | 100 – maximum value | | |
| Guaranteed bit rate (kbps) | < 2048 | < 2048 | | |
| Traffic handling priority | | | 1,2,3 | |
| Allocation/Retention priority | 1,2,3 | 1,2,3 | 1,2,3 | 1,2,3 |
| Source statistics descriptor | Speech/unknown | Speech/unknown | | |

Πίνακας 6: Όρια τιμών παραμέτρων για της υπηρεσίες του Radio Access Bearer

4.2.3.3 Παράμετροι Υπηρεσιών IU και CN Bearer

Το Iu Bearer μαζί με τον φυσικό δίαυλο είναι υπεύθυνο για την μεταφορά των δεδομένων μεταξύ του CN και του UTRAN. Εάν έχει γίνει επιλογή του IP, τότε θ

χρησιμοποιηθεί το σχήμα με τις Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες. Εάν έχει επιλεγεί το ATM, τότε η συνεργασία με τις υπηρεσίες IP θα βασιστεί πάλι στην αρχή του DiffServ. Για να διασφαλιστεί το end-to-end QoS, θα πρέπει να γίνει μια αντιστοίχιση των διαφορετικών τάξεων υπηρεσιών μεταξύ αυτών των τεχνολογιών.

4.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ QOS ΓΙΑ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

Για να είναι σε θέση κανείς να ερευνήσει τις παραμέτρους που παρέχουν Ποιότητα Υπηρεσίας σε ένα δίκτυο UMTS θα πρέπει να επικεντρωθεί σε ορισμένες συγκεκριμένες υπηρεσίες οι οποίες θεωρούνται ως βασικές. Το πλήθος των υπηρεσιών που θα προσφερθούν με την έναρξη του 3G θα είναι περιορισμένο, αλλά οι υπηρεσίες αυτές αναμένεται να γνωρίσουν μεγάλη επιτυχία και θα είναι οι προπομποί για τις επόμενες υπηρεσίες. Έτσι λοιπόν μια ανάλυση των παραμέτρων αυτών των υπηρεσιών είναι απαραίτητη.

Στις παρακάτω παραγράφους επιχειρείται μια ανάλυση των απαιτούμενων παραμέτρων για τις υπηρεσίες αυτές. Οι παράμετροι που παραθέτονται λαμβάνουν τις καθορισμένες τιμές οι οποίες θα προσφέρουν ένα αποδεκτό επίπεδο ποιότητας χωρίς να εξαντλούν τους πόρους του δικτύου. Όπως είναι φυσικό, στο μέλλον οι τιμές αυτές των παραμέτρων ενδέχεται να αλλάξουν, καθώς οι επενδύσεις στην δικτυακή υποδομή θα αυξήσουν την δυνατότητα του δικτύου και έτσι θα είναι δυνατή η προσφορά καλύτερης ποιότητας.

Η διάκριση των χρηστών σε διαφορετικά QoS προφίλ θέτει τα άνω όρια των παραμέτρων σε κάθε υπηρεσία. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο εγγυημένος και ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεν θα είναι ο ίδιος για όλους του συνδρομητές, καθώς μία τέτοια πράξη έρχεται σε αντίθεση με την φιλοσοφία της κατηγοριοποίησης των χρηστών με βάση την οικονομική του συνδρομή. Όμως η διάκριση αυτή και ο αντίστοιχος καθορισμός των παραμέτρων RAB είναι μια πολύπλοκη διαδικασία για το δίκτυο η οποία είναι όμως αναγκαία. Σε έναν τέτοιο καθορισμό θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν και οι δυνατότητες του δικτύου αλλά και οι πόροι του.

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι ο καθορισμός των παραμέτρων RAB είναι μια σημαντική πράξη για το δίκτυο καθώς είναι ένα χρήσιμο εργαλείο που παρέχει τις απαραίτητες γραμμές πάνω στις οποίες θα πρέπει να κινηθεί το δίκτυο για τον καθορισμό των παραμέτρων των μελλοντικών υπηρεσιών. Έτσι στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζεται ένας τέτοιος καθορισμός για κάθε υπηρεσία, ο οποίος μπορεί να ληφθεί υπ' όψιν κατά την διάρκεια του μελλοντικού καθορισμού παραμέτρων. Συγκεκριμένα αναφέρονται οι παράμετροι για τις εξής υπηρεσίες:

- Φωνή (Voice / Rich Voice)
- Βίντεο-Τηλεφωνία (Video Telephony)
- Βίντεο-Συνδιάσκεψη (Video Conference)
- Multimedia Messaging Service
- Εφαρμογές Ροής Πολυμέσων (Media Streaming Applications)
- Content Download
- Πρόσβαση στο Internet και Πλοήγηση
- Εταιρική Πρόσβαση (Corporate Access)

4.3.1 Φωνή (Voice/Rich Voice)

Η φωνή στα σημερινά 2G δίκτυα μεταφέρεται με την χρήση τη μεταγωγής κυκλώματος. Αυτό μπορεί να συνεχιστεί στα μελλοντικά δίκτυα 3G αλλά καθώς μεταβαίνουμε στην εποχή του καθολικού IP θα κυριαρχήσει η μεταγωγή πακέτου και η φωνή θα προσφέρεται πάνω από το IP (VoIP). Αυτή η λύση προσφέρει μείωση των εξόδων τόσο για τους παροχείς όσο και για τους χρήστες όμως μέχρι σήμερα υπάρχουν αρκετά ακόμη προβλήματα τα οποία σχετίζονται κυρίως με την ποιότητα της φωνής και την καθυστέρηση στην μετάδοση των φωνητικών πακέτων.

Πολλά από αυτά τα προβλήματα θα λυθούν με την χρησιμοποίηση του επερχόμενου IPv6, όμως μέχρι τότε θα πρέπει να γίνουν πολλά ώστε να καθιερωθεί το VoIP ως η επικρατέστερη μέθοδος μεταφοράς φωνής. Η φωνητική υπηρεσία ανήκει όπως είναι φυσικό στην τάξη Conversational και θα πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις που θέτει η τάξη αυτή και είναι η χαμηλή καθυστέρηση και η ελάχιστη έως μηδαμινή εμφάνιση jitter. Ο κωδικοποιητής φωνής που έχει επιλεγεί από την 3GPP για το UMTS είναι ο AMR (Adaptive MultiRate). Ο ρυθμός κωδικοποίησης μπορεί να διαφέρει μεταξύ 4.75 και 12.2 kbit/s, ο οποίος είναι ο ρυθμός του GSM-EFR. Η υποστήριξη πολλαπλών ρυθμών τον χαρακτηρίζει ως multirate AMR. Ο κωδικοποιητής αυτός λειτουργεί με frames των 20 ms frames στην συχνότητα δειγματοληψίας των 8kHz και εκτιμάται ότι θα είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στις εφαρμογές VoIP. Σε σχέση με τους παλαιότερους κωδικοποιητές GSM οι οποίοι λειτουργούσαν σε έναν σταθερό ρυθμό με ένα σταθερό επίπεδο προστασίας λαθών, ο AMR, ο οποίος έχει ένα εντελώς νέο τρόπο κωδικοποίησης σε σχέση με αυτούς που υπάρχουν στο GSM, μπορεί να προσαρμόζεται στις συνθήκες της τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Το ότι είναι βαθμωτός είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα και έτσι διευκολύνεται η συνεργασία με τα υπάρχοντα 2G δίκτυα, καθώς ο AMR μπορεί να λάβει τον ρυθμό λειτουργίας κάθε συστήματος πολύ γρήγορα. Η λειτουργία στον πλήρη ρυθμό χρησιμοποιείται όταν υπάρχουν κανάλια με ελάχιστα λάθη ενώ η λειτουργία στον μέσο ρυθμό χρησιμοποιείται ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα του δικτύου σε μία περιοχή. Οι επόμενοι πίνακες δείχνουν τους διαθέσιμους ρυθμούς και το πόσα bit εμπεριέχονται σε κάθε frame σε κάθε ρυθμό.

| Channel | bit-rate | |
|-----------|----------|---------|
| Full-rate | 12.2 | 6.70 |
| | kbits/s | kbits/s |
| | 10.2 | 5.90 |
| | kbits/s | kbits/s |
| | 7.95 | 5.15 |
| | kbits/s | kbits/s |
| Half-rate | 7.40 | 4.75 |
| | kbits/s | kbits/s |
| | 7.95 | 5.90 |
| | kbits/s | kbits/s |
| | 7.40 | 5.15 |
| | kbits/s | kbits/s |
| | 6.70 | 4.75 |
| | kbits/s | kbits/s |

Πίνακας 7: AMR bit-rates

| Mode | Bits per frame |
|-------------|----------------|
| 12.2 kbit/s | 244 |
| 10.2 kbit/s | 204 |
| 7.95 kbit/s | 159 |
| 7.40 kbit/s | 148 |
| 6.70 kbit/s | 134 |
| 5.90 kbit/s | 118 |
| 5.15 kbit/s | 103 |
| 4.75 kbit/s | 95 |

Πίνακας 8: AMR bit allocation

Το AMR υποστηρίζει επίσης την μη συνεχόμενη μετάδοση (DTX). Με βάση το στατιστικό γεγονός ότι κάθε δρόμος μετάδοσης χρησιμοποιείται μόνο κατά το 50% του συνολικού χρόνου μετάδοσης, η χρήση του DTX παρέχει πολλά οφέλη, όπως είναι η μεγιστοποίηση του χρόνου ζωής της μπαταρίας του UE αλλά και καλύτερη χρήση του ασύρματου φάσματος. Η χρήση του DTX απαιτεί την ύπαρξη ορισμένων λειτουργιών όπως είναι η Ανίχνευση Φωνητικής Ενέργειας (Voice Activity Detection/VAD) και το Comfort Noise. Η είσοδος του VAD είναι ένα πλήθος παραμέτρων που υπολογίζεται από τον κωδικοποιητή. Ανά 20ms το σύστημα ελέγχει και αποφασίζει εάν το κάθε frame περιέχει ή όχι φωνή. Το Comfort Noise είναι μια λειτουργία όπου ο θόρυβος από το background υπολογίζεται και οι παράμετροί του κωδικοποιούνται κατάλληλα ώστε να αποκωδικοποιηθούν στον παραλήπτη.

Επιπλέον ο AMR περιέχει λειτουργίες αντικατάστασης των χαμένων frames, έτσι ώστε το κάθε frame που χάνετε να αντικαθιστάται από ένα άλλο που δημιουργείται μέσω πρόγνωσης βασισμένης στις πληροφορίες που περιέχουν τα προηγούμενα frames. Στην περίπτωση που έχουμε απώλειες πολλών frames, χρησιμοποιείται μια τεχνική σιγής.

Στην Release 5 υπάρχει ένας προηγμένος AMR που ονομάζεται AMR-WB (Wideband AMR) και παρέχει καλύτερη ποιότητα φωνής επειδή χρησιμοποιεί διπλάσιο ρυθμό δειγματοληψίας και λειτουργεί σε ρυθμούς που φτάνουν μέχρι τα 23.85 kbit/s. Η φωνή μεταφέρεται από το CS με την χρήση του AAL2. Όμως σε περιπτώσεις που έχουμε την φωνή σε πακέτα εξαιτίας εφαρμογών όπως είναι η Internet Telephony, τότε χρησιμοποιείται το PS κομμάτι του δικτύου και η μεταφορά γίνεται με την χρήση του AAL5. Για την εξασφάλιση χαμηλής καθυστέρησης, τα PDUs που έχουν φωνητικά δεδομένα λαμβάνουν μια υψηλότερη προτεραιότητα. Το επιθυμητό όριο καθυστέρησης για την φωνή είναι τα 150ms. Παρ' όλ' αυτά καθυστερήσεις μέχρι τα 400ms θεωρούνται αποδεκτές παρά τον σχετικό μεγάλο υποβιβασμό της ποιότητας. Το jitter θα πρέπει να είναι λιγότερο από 1ms και η χρήση ενός buffer είναι απαραίτητη. Η απώλεια πληροφορίας θα πρέπει να είναι λιγότερη από 3%. Μια τυπική τιμή BER για την φωνή είναι το 10⁻⁴. Για την διατήρηση χαμηλής καθυστέρησης κάθε SDU περιέχει ένα πεδίο που ονομάζεται source statistics descriptor και λαμβάνει την τιμή "speech" εάν έχουμε την μετάδοση φωνής. Εξαιτίας της καλά γνωστής στατιστικής συμπεριφοράς της φωνής, το UTRAN είναι σε θέση να υπολογίσει το κέρδος πολυπλεξίας ώστε να χρησιμοποιηθεί στον Έλεγχο Εισόδου για το ασύρματο κομμάτι.

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις παραμέτρους RAB για αυτή την υπηρεσία:

| QoS parameter | Parameter value |
|----------------------------------|---|
| Delivery of erroneous SDUs | Yes |
| Delivery order | Yes |
| Traffic class | Conversational class |
| Maximum SDU size | 1500 bytes |
| Guaranteed bit rate for downlink | 13 kbps 4 kbps for older codecs |
| Maximum bit rate for downlink | 24 kbps |
| Guaranteed bit rate for uplink | 13 kbps 4 kbps for older codecs |
| Maximum bit rate for uplink | 24 kbps |
| Residual BER | 10^{-5} |
| SDU error ratio | $7 \cdot 10^{-3}$ or less for AMR-NB and AMR-WB 10^{-4} for the rest |
| Traffic handling priority | Based on QoS Profile |
| Transfer delay | 150 ms AMR (NB and WB) Maximum 400ms |
| SDU format information | Not Used |
| Allocation / Retention priority | Based on QoS Profile |
| Source Statistics Descriptor | Speech |

Πίνακας 9: Καθορισμός Παραμέτρων voice service

4.3.2 Βίντεο-Τηλεφωνία (Video Telephony)

Όπως και η φωνή, έτσι και αυτή η υπηρεσία ανήκει στην τάξη Conversational. Και πάλι έχουμε μια επικοινωνία μεταξύ δύο άκρων, αλλά αυτή την φορά υπάρχει και παρουσία κινούμενης εικόνας. Κατά την έναρξη της υπηρεσίας αυτής θα γίνεται χρήση του πρωτοκόλλου H.324M. Αυτό αποτελεί την εξέλιξη του H.324 το οποίο είχε σχεδιαστεί για την πολυμεσική τηλεφωνία σε δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος που λειτουργούσαν σε χαμηλούς ρυθμούς (64 kbit/s). Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο εκδόσεων είναι η χρησιμοποίηση του AMR codec, ο οποίος δεν υπήρχε στο παρελθόν και δημιουργούσε διάφορα προβλήματα καθώς η φωνή έπρεπε να αλλάξει bit rate ώστε να μεταδοθεί σωστά. Η υπηρεσία αυτή θα είναι διαθέσιμη στο CS κομμάτι του δικτύου και θα χρησιμοποιούνται συνδέσεις χαμηλού ρυθμού 64 kbit/s για την μεταφορά των δεδομένων. Για μια καλή ποιότητα η καθυστέρηση θα πρέπει να είναι μικρότερη από 150ms. Η μέγιστη όμως καθυστέρηση έχει καθοριστεί στα 400ms και έτσι οποιαδήποτε τιμή μικρότερη από αυτή θεωρείται ως αποδεκτή. Η εικόνα και ο ήχος θα πρέπει να συγχρονίζονται μέσα σε ορισμένα όρια ώστε να επιτυγχάνεται το “lip-synch”, αλλιώς το αποτέλεσμα θα είναι ενοχλητικό στον τελικό χρήστη ο οποίος τελικά θα προτιμήσει την χρήση της απλής τηλεφωνίας. Το όριο αυτό καθορίζεται στα 100ms. Επίσης, καθώς το ανθρώπινο μάτι είναι ανεκτικό σε κάποιες μικρές απώλειες, επιτρέπεται η απώλεια δεδομένων να φτάνει το 1% της συνολικής πληροφορίας, οπότε BER είναι ίσο με 10^{-4} .

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις παραμέτρους RAB για αυτή την υπηρεσία:

| QoS parameter | Parameter value |
|----------------------------------|-------------------------|
| Delivery of erroneous SDUs | Yes |
| Delivery order | Yes |
| Traffic class | Conversational class |
| Maximum SDU size | 1500 bytes |
| Guaranteed bit rate for downlink | 64 kbps |
| Maximum bit rate for downlink | 384 kbps |
| Guaranteed bit rate for uplink | 64 kbps |
| Maximum bit rate for uplink | 384 kbps |
| Residual BER | 10^{-4} |
| SDU error ratio | 10^{-3} |
| Traffic handling priority | Based on QoS Profile |
| Transfer delay | 100 ms Maximum 400ms |
| SDU format information | Not Used |
| Allocation / Retention priority | Based on QoS Profile |
| Source Statistics Descriptor | Unknown |

Πίνακας 10: Καθορισμός Παραμέτρων video telephony service

4.3.3 Βίντεο-Συνδιάσκεψη (Video Conference)

Η βίντεο-συνδιάσκεψη είναι στην ουσία μια υπηρεσία βίντεο-τηλεφωνίας όπου εμπλέκονται περισσότεροι από δύο χρήστες και μπορούν να έχουν όλοι μαζί ταυτόχρονα μια επικοινωνία. Η υπηρεσία αυτή ανήκει στην τάξη Streaming και έχει παρόμοιες απαιτήσεις με αυτές της βίντεο-τηλεφωνίας. Η καθυστέρηση δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα 200ms. Στην αρχή η υπηρεσία αυτή θα προσφέρεται από το PS κομμάτι στα 128kbps αλλά και από το CS στα 64kbps. Οι αυξημένοι ρυθμοί μετάδοσης είναι απαραίτητοι καθώς ένα χρήστης θα δέχεται πλέον πολλές ροές καθώς στην συνδιάσκεψη θα μετέχουν περισσότεροι των δύο χρηστών. Ικανοποιώντας τις παραπάνω απαιτήσεις η ποιότητα μιας τέτοιας υπηρεσίας θεωρείται ως ικανοποιητική. Βέβαια οι παραπάνω ρυθμοί μετάδοσης είναι σχετικά χαμηλοί και αυτοί που προτείνονται από τους διάφορους οργανισμούς είναι μεταξύ των 384 και 768 kbps. Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι μπορεί να υπάρχει μια ασυμμετρία μεταξύ του uplink και του downlink, καθώς τα δεδομένα που θα στέλνονται από τον ένα χρήστη θα είναι σαφώς λιγότερα από αυτά που θα λαμβάνει ο ίδιος χρήστης.

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις παραμέτρους RAB για αυτή την υπηρεσία:

| QoS parameter | Parameter value |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| Delivery of erroneous SDUs | Yes |
| Delivery order | Yes |
| Traffic class | Streaming class |
| Maximum SDU size | |
| Guaranteed bit rate for downlink | 64 kbps for CS 128 kbps for PS |
| Maximum bit rate for downlink | 768 kbps |
| Guaranteed bit rate for uplink | 64 kbps for CS 128 kbps for PS |
| Maximum bit rate for uplink | 768 kbps |
| Residual BER | 10^{-1} |
| SDU error ratio | 10^{-3} |
| Traffic handling priority | Based on QoS Profile |
| Transfer delay | 200 ms |
| SDU format information | Not Used |
| Allocation / Retention priority | Based on QoS Profile |
| Source Statistics Descriptor | Unknown |

Καθορισμός Παραμέτρων video conference service

4.3.4 Multimedia Messaging Service (MMS)

Το Multimedia Messaging Service αποτελεί εξέλιξη της γνωστής υπηρεσίας SMS/EMS και υπάρχει ήδη στην αγορά. Η προσφορά αυτής της υπηρεσίας απαιτεί την ύπαρξη δικτύου 2.5G όπου η μεταφορά δεδομένων γίνεται μέσω της τεχνολογίας GPRS. Το MMS είναι ένα μήνυμα που αποστέλλεται μεταξύ δύο χρηστών το οποίο μπορεί να συνδυάζει κείμενο, εικόνα, ήχο αλλά ακόμα και βίντεο. Η τάση στην σύγχρονη αγορά των κινητών τερματικών είναι η διάθεση τηλεφώνων με ενσωματωμένες κάμερες και με έγχρωμες οθόνες. Αυτό το γεγονός έχει δράσει θετικά όσον αφορά την υπηρεσία του MMS και ο καθένας πλέον επιθυμεί να κάνει χρήση αυτής της υπηρεσίας, έχοντας ένα τερματικό που θα του προσφέρει αυτές τις δυνατότητες. Η υπηρεσία αυτή είναι μια μονόδρομη μεταφορά δεδομένων στην οποία δεν υπάρχει καμία πράξη αλληλεπίδρασης. Η καθυστέρηση μπορεί να είναι μεγάλη και εξαρτάται από το μέγεθος του μηνύματος, αλλά το κύριο μέλημα είναι για μηδενική απώλεια δεδομένων. Έτσι λοιπόν η υπηρεσία αυτή ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις που θέτει η τάξη Background και άρα ανήκει σε αυτή. Επίσης η ύπαρξη καθυστέρησης την κατηγοριοποιεί ως μια υπηρεσίας που δεν χρήζει υψηλής προτεραιότητας και έτσι χρησιμοποιείται η τεχνική Best Effort για την παράδοση της πληροφορίας. Οι ρυθμοί μετάδοσης μπορεί να είναι χαμηλοί μέχρι τα 4kbps και ο μέγιστος δυνατός ρυθμός μετάδοσης συνίσταται να είναι τα 64 kbps ώστε να μειωθεί η πιθανότητα να υπάρξει υπερφόρτωση του δικτύου. Έχοντας υπ' όψιν το σχετικά μικρό μέγεθος των μηνυμάτων MMS messages, βλέπουμε ότι τέτοιοι ρυθμοί μετάδοσης είναι αρκετοί για την μετάδοση της πληροφορίας με μικρές καθυστερήσεις.

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις παραμέτρους RAB για αυτή την υπηρεσία:

| QoS parameter | Parameter value |
|----------------------------------|----------------------|
| Delivery of erroneous SDUs | No |
| Delivery order | No |
| Traffic class | Background class |
| Maximum SDU size | 1500 bytes |
| Guaranteed bit rate for downlink | 4 kbps |
| Maximum bit rate for downlink | 64 kbps |
| Guaranteed bit rate for uplink | 4 kbps |
| Maximum bit rate for uplink | 64 kbps |
| Residual BER | 10^{-7} |
| SDU error ratio | 10^{-6} |
| Traffic handling priority | Best Effort |
| Transfer delay | Some seconds |
| SDU format information | Not Used |
| Allocation / Retention priority | Based on QoS Profile |
| Source Statistics Descriptor | Unknown |

Πίνακας 11: Καθορισμός Παραμέτρων MMS service

4.3.5 Εφαρμογές Ροής Πολυμέσων (Media Streaming Applications)

Υπό τον όρο εφαρμογή ροής πολυμέσων εννοούμε εφαρμογές όπως βίντεο, ήχος και μουσική, τις οποίες μπορεί να τις επιλέξει ένας χρήστης ώστε να τις απολαύσει με την χρήση του τερματικού του. Όλες αυτές ανήκουν στην τάξη Streaming και η αλληλεπίδραση είναι περιορισμένη, καθώς ο χρήστης μπορεί να επιλέξει λιγότερες εντολές, οι οποίες είναι απαραίτητες μόνο για την αναπαραγωγή της υπηρεσίας. Ένα βασικό χαρακτηριστικό είναι ότι η κάθε εφαρμογή έχει τις δικές της παραμέτρους. Οι κυριότερες ομοιότητες εντοπίζονται στους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, την μικρή καθυστέρηση και το ελάχιστο jitter το οποίο απαιτούν αυτές οι εφαρμογές. Η καθυστέρηση εξαρτάται από το συνολικό μέγεθος μιας εφαρμογής και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης ώστε να ελαχιστοποιείται. Επίσης το jitter μπορεί να ελεγχθεί με την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων στους buffers. Όσον αφορά την απώλεια πληροφορίας, αυτή μπορεί να υπάρχει αλλά σε μικρό βαθμό. Αυτό συμβαίνει επειδή οι ανθρώπινες αισθήσεις όπως η όραση και η ακοή δεν είναι σε θέση να αντιληφθούν μικρά λάθη και έτσι επιτρέπεται η ελάχιστη απώλεια πληροφορίας. Το προφίλ QoS του κάθε χρήστη παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, καθώς οι χρήστες με περισσότερα προνόμια θα μπορούν να κάνουν χρήση τέτοιων υπηρεσιών σε πολύ μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης. Έτσι λοιπόν υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί παραμέτρων, καθώς αυτοί δεν εξαρτώνται μόνο από την εκάστοτε εφαρμογή αλλά και από το QoS προφίλ του κάθε χρήστη. Παρακάτω δίνεται ένα τυπικό παράδειγμα των παραμέτρων μιας τέτοιας υπηρεσίας.

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις παραμέτρους RAB για αυτή την υπηρεσία:

| QoS parameter | Parameter value |
|----------------------------------|----------------------|
| Delivery of erroneous SDUs | Yes |
| Delivery order | Yes |
| Traffic class | Streaming class |
| Maximum SDU size | 1500 bytes |
| Guaranteed bit rate for downlink | 64 kbps |
| Maximum bit rate for downlink | 2048 kbps |
| Guaranteed bit rate for uplink | 64 kbps |
| Maximum bit rate for uplink | 2048 kbps |
| Residual BER | 10^{-6} |
| SDU error ratio | 10^{-3} |
| Traffic handling priority | Based on QoS Profile |
| Transfer delay | 200 ms |
| SDU format information | Not Used |
| Allocation / Retention priority | Based on QoS Profile |
| Source Statistics Descriptor | Unknown |

Πίνακας 12: Καθορισμός Παραμέτρων streaming service

4.3.6 Content Download

Ο όρος Content Download αναφέρεται σε υπηρεσίες ροής αλλά η κύρια διαφορά έγκειται στο ότι υφίσταται η δυνατότητα για αποθήκευση της υπηρεσίας ώστε αυτή να μπορεί να αναπαραχθεί στην συνέχεια κατά βούληση σε τοπικό επίπεδο. Έτσι λοιπόν αυτή η υπηρεσία ξεφεύγει από τα όρια της τάξης Streaming και ανήκει στην τάξη Background. Το κύριο μέλημα είναι η ακεραιότητα της πληροφορίας και όχι η καθυστέρηση και έτσι είναι δυνατή η θυσία περισσότερου χρόνου μεταφοράς προς όφελος της ποιότητας. Αυτές οι μεταφορές μπορεί να γίνουν με χρήση του πρωτοκόλλου FTP. Έτσι λοιπόν ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την επιθυμητή ποιότητα και σύμφωνα με το QoS προφίλ του θα αρχίσει η μεταφορά η οποία μπορεί να είναι είτε αργή είτε γρήγορη. Για μία τέτοια υπηρεσία η ο εγγυημένος ρυθμός μετάδοσης είναι τα 64kbps, δηλαδή η ταχύτητα του ISDN. Με βάση όμως τους υπάρχοντες πόρους του δικτύου και φυσικά το QoS προφίλ του κάθε συνδρομητή, αυτός μπορεί να φτάσει μέχρι τα 2Mbps. Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις παραμέτρους RAB για αυτή την υπηρεσία:

| QoS parameter | Parameter value |
|---------------------------------|----------------------|
| Delivery of erroneous SDUs | No |
| Delivery order | No |
| Traffic class | Background class |
| Maximum SDU size | 1500 bytes |
| Minimum bit rate for downlink | 64 kbps |
| Maximum bit rate for downlink | 2000 kbps |
| Guaranteed bit rate for uplink | 64 kbps |
| Maximum bit rate for uplink | 2000 kbps |
| Residual BER | 10^{-7} |
| SDU error ratio | 10^{-6} |
| Traffic handling priority | Based on QoS Profile |
| Transfer delay | 200 ms |
| SDU format information | Not Used |
| Allocation / Retention priority | Based on QoS Profile |
| Source Statistics Descriptor | Unknown |

Πίνακας 13: Καθορισμός Παραμέτρων content download service

4.3.7 Πρόσβαση στο Internet και Πλοήγηση

Καθώς η ζήτηση για πρόσβαση στο Internet γνωρίζει μια διαρκής αύξηση, αυτή η υπηρεσία δεν θα μπορούσε να απουσιάζει από το UMTS. Η πλοήγηση στο Web (η οποία είναι η κυρίαρχη εφαρμογή του Internet) ανήκει στην τάξη Interactive, καθώς η ύπαρξη αλληλεπίδρασης είναι αναγκαία. Για την παρουσίαση των διαφόρων ιστοσελίδων είναι απαραίτητη η μηδενική απώλεια πληροφορίας και ο χρόνος καθυστέρησης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 4 sec για κάθε σελίδα που θα έχει συνολικό όγκο 10 KB. Εξαιτίας της μεγάλης ζήτησης αυτής της υπηρεσίας έχουν καθοριστεί δύο διαφορετικοί τύποι που θα δοθούν στο κοινό. Ο ένας είναι η βασική υπηρεσία (basic service) (basic) και ο άλλος είναι η εξαιρετική υπηρεσία (premium service). Αυτοί οι δύο τύποι μπορούν να συνυπάρχουν με τα υπάρχοντα προφίλ QoS, χωρίς να τα παρακάμπτουν όσον αφορά τις άλλες υπηρεσίες. Ένας χρήσης με χαμηλό QoS θα μπορεί να επιλέγει την επιλογή premium εάν τον ενδιαφέρει η πλοήγηση στον ιστό και έτσι θα αποκτάει μεγαλύτερη προτεραιότητα από ένα χρήστη ανώτερου προφίλ που θα έχει επιλέξει τον βασικό τύπο σύνδεσης. Έτσι έχουμε μια διάκριση δύο επιπέδων όσον αφορά την υπηρεσία αυτή. Η βασική υπηρεσία θα κάνει χρήση ρυθμών μετάδοσης που δεν θα είναι χαμηλότεροι από αυτούς του ISDN ή του GPRS, τα οποία λειτουργούν στα 64 Kbps. Η ταχύτητα αυτή είναι σχετικά χαμηλή αλλά είναι αποδεκτή ως το κατώτερο εγγυημένο όριο. Οι μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης εξαρτιούνται από τον πάροχο, αλλά για την βασική υπηρεσία ρυθμοί της τάξης των 256 kbps κρίνονται ως ικανοποιητικοί.

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις παραμέτρους RAB για αυτή την υπηρεσία:

| QoS parameter | Parameter value |
|----------------------------------|----------------------|
| Delivery of erroneous SDUs | No |
| Delivery order | No |
| Traffic class | Interactive class |
| Maximum SDU size | 1500 bytes |
| Guaranteed bit rate for downlink | 64 kbps |
| Maximum bit rate for downlink | 256 kbps |
| Guaranteed bit rate for uplink | 64 kbps |
| Maximum bit rate for uplink | 256 kbps |
| Residual BER | 10^{-7} |
| SDU error ratio | 10^{-6} |
| Traffic handling priority | Based on QoS Profile |
| Transfer delay | <4 sec /page |
| SDU format information | Not Used |
| Allocation / Retention priority | Based on QoS Profile |
| Source Statistics Descriptor | Unknown |

Πίνακας 14: Καθορισμός Παραμέτρων για την υπηρεσία Basic Level Internet Access

Έχοντας περιγράψει τις γενικές αρχές της βασικής υπηρεσίας πρόσβασης στο Internet, περιμένει κανείς η εξαιρετική υπηρεσία να διαφοροποιείται μόνο ως προς τους ρυθμούς μετάδοσης οι οποίοι θα πρέπει να είναι υψηλότεροι. Και αυτό ακριβώς συμβαίνει. Η υπηρεσία Premium Internet Access & Browsing εγγυάται υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης που θα αρχίζουν από τα 256 kbps. Αυτοί οι ρυθμοί θα μπορούν να φτάνουν μέχρι τα 2 Mbps, ταχύτητα που είναι εφάμιλλη με τις υψηλές ταχύτητες που επιτυγχάνονται από σταθερά δίκτυα με χρήση τεχνολογιών όπως το DSL. Όμως οι υψηλοί αυτοί ρυθμοί δεν μπορούν να υπάρχουν πάντα εξαιτίας πολλών λόγων, όπως η ύπαρξη καναλιών με θόρυβο, η εξάντληση των πόρων κτλ. Επιπλέον υπάρχει και σε αυτή την περίπτωση ασύμμετρος χαρακτήρας μεταξύ των δύο διαύλων μετάδοσης καθώς το uplink τις περισσότερες φορές χρειάζεται μικρότερο εύρος ζώνης από το downlink, καθώς τα εισερχόμενα δεδομένα είναι πολύ περισσότερα από τα εξερχόμενα. Ο εγγυημένος ρυθμός μετάδοσης του uplink θα είναι τα 128 Kbps ενώ το άνω όριο έχει καθοριστεί στα 256 Kbps. Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις παραμέτρους RAB για αυτή την υπηρεσία:

| QoS parameter | Parameter value |
|----------------------------------|----------------------|
| Delivery of erroneous SDUs | No |
| Delivery order | No |
| Traffic class | Interactive class |
| Maximum SDU size | 1500 bytes |
| Guaranteed bit rate for downlink | 256 kbps |
| Maximum bit rate for downlink | 2048 kbps |
| Guaranteed bit rate for uplink | 128 kbps |
| Maximum bit rate for uplink | 256 kbps |
| Residual BER | 10^{-7} |
| SDU error ratio | 10^{-6} |
| Traffic handling priority | Based on QoS Profile |
| Transfer delay | 200 ms |
| SDU format information | Not Used |
| Allocation / Retention priority | Based on QoS Profile |
| Source Statistics Descriptor | Unknown |

Πίνακας 15: Καθορισμός Παραμέτρων για την υπηρεσία Premium Level Internet Access

4.3.8 Εταιρική Πρόσβαση (Corporate Access)

Μια ακόμη υπηρεσία με υψηλό δυναμικό είναι η εταιρική πρόσβαση σε υψηλές ταχύτητες. Αυτή η παρεχόμενη από το 3G υπηρεσία είναι πολύ σημαντική καθώς δίνει την δυνατότητα σε στελέχη επιχειρήσεων να έχουν πρόσβαση στο εταιρικό τους δίκτυο σε οποιοδήποτε σημείο και εάν βρίσκονται με απλή χρήση των κινητών τερματικών ή και φορητών υπολογιστών οι οποίοι θα είναι συνδεδεμένοι με κάποιο 3G κινητό τηλέφωνο. Μια τέτοια εταιρική σύνδεση θα πρέπει να είναι ασφαλής, καθώς είναι πιθανό τα δεδομένα που θα ανταλλαχθούν να είναι εντελώς εμπιστευτικά και θα πρέπει να προστατεύονται από πιθανούς εισβολείς. Η υπηρεσία αυτή θα χρησιμοποιεί το PS κομμάτι του δικτύου και η ταχύτητα του downlink θα είναι 384kbit/s. Το uplink θα είναι ασύμμετρο ως προς το downlink και θα έχει ελάχιστη ταχύτητα τα 64kbit/s. Ο λόγος για αυτή την διάκριση είναι ότι σύμφωνα με τα στατιστικά, ένας χρήστης χρησιμοποιεί πολύ περισσότερο το downlink κανάλι και με έναν τέτοιο διαχωρισμό επιτυγχάνεται η απελευθέρωση σημαντικών για το δίκτυο πόρων και το ελεύθερο εύρος ζώνης μπορεί να αποδοθεί σε άλλους χρήστες χωρίς έτσι να αλλοιώνεται ο χαρακτήρας του QoS του δικτύου. Σε μια πιθανή περίπτωση συμφόρησης ο συνδρομητής που θα χρησιμοποιεί μια τέτοια υπηρεσία θα αντιμετωπίσει δυσκολίες. Για να αποφευχθεί αυτό, η υπηρεσία αυτή μπορεί να διατεθεί και από το CS κομμάτι του δικτύου με εγγυημένο QoS και σταθερούς ρυθμούς μετάδοσης για το uplink και το downlink που θα είναι ίσοι με 64kbit/s. Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή η υπηρεσία δεν επιτρέπει την απώλεια πληροφορίας.

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις παραμέτρους RAB για αυτή την υπηρεσία:

Μανώλης Ταμπουρατζής, Τμήμα Ηλεκτρονικής, Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ

| QoS parameter | Parameter value |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| Delivery of erroneous SDUs | No |
| Delivery order | No |
| Traffic class | Interactive class |
| Maximum SDU size | 1500 bytes |
| Guaranteed bit rate for downlink | 64 kbbs for CS 384 kbbs for PS |
| Maximum bit rate for downlink | 384 kbbs |
| Guaranteed bit rate for uplink | 64 kbbs for CS |
| Maximum bit rate for uplink | 64 kbbs |
| Residual BER | 10^{-7} |
| SDU error ratio | 10^{-6} |
| Traffic handling priority | Based on QoS Profile |
| Transfer delay | 200 ms |
| SDU format information | Not Used |
| Allocation / Retention priority | Based on QoS Profile |
| Source Statistics Descriptor | Unknown |

Πίνακας 16: Καθορισμός Παραμέτρων για την υπηρεσία Corporate Acces

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

« WiMAX & Κινητές Επικοινωνίες - Δίκτυα 4^{ης} Γενιάς – Μελλοντικές Τάσεις »

ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ WiMAX – Εισαγωγή

Το 2001 η IEEE υιοθέτησε το πρότυπο 802.16 γνωστό και σαν WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Σκοπός της ομάδας εργασίας ήταν η προτυποποίηση μιας τεχνολογίας η οποία θα επέτρεπε την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση (με σταθερούς ρυθμούς) στο τελευταίο μίλι, αντικαθιστώντας τις Ψηφιακές Γραμμές Συνδρομητή (DSL) και τις Καλωδιακές υλοποιήσεις (Cable). Όπως συμβαίνει με τα πρότυπα της σειράς 802 για ασύρματα τοπικά δίκτυα, έτσι και το 802.16, που ανήκει στην κατηγορία των Ασύρματων Μητροπολιτικών Δικτύων (Wireless Metropolitan Area Networks - WMAN), καθορίζει μια οικογένεια προτύπων με επιλογές για συγκεκριμένες ρυθμίσεις.

Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο, το Ασύρματο Μητροπολιτικό Δίκτυο, μπορεί να προσφέρει πρόσβαση στο δίκτυο, σε σπίτια και επιχειρήσεις μέσω κεραιών οι οποίες επικοινωνούν με κεντρικούς Σταθμούς Βάσης. Εντός των κτιρίων οι υπολογιστές μπορούν να έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο συνδεδεμένοι σε δίκτυο Ethernet 802.2 ή ασύρματο δίκτυο Wi-Fi 802.11. Παρ' όλα αυτά, το πρότυπο έχει σαφείς προδιαγραφές και για άμεση σύνδεση ενός χρήστη με το δίκτυο κορμού, μέσω κάρτας η οποία θα αρχίσει να ενσωματώνεται και στους καινούργιους φορητούς υπολογιστές.

Η δημιουργία του Wi-MAX, δίνει μια εναλλακτική λύση στον τρόπο σύνδεσης με το δίκτυο. Επειδή τα ασύρματα συστήματα έχουν τη δυνατότητα μεγαλύτερης κάλυψης χωρίς μεγάλα κόστη τοποθέτησης, υπόσχονται μεγαλύτερη εξάπλωση του Διαδικτύου και πρόσβαση περισσότερων ανθρώπων σε αυτό.

5.1. Ομάδες Εργασίας

Τα πρώτα πρότυπα που δημιουργήθηκαν από τις ομάδες εργασίας 802.16, σχεδιάστηκαν με κοινές προδιαγραφές όσον αφορά το MAC επίπεδο, αλλά με προδιαγραφές για το Φυσικό Επίπεδο (PHY) που εξαρτώνται από τη χρήση του φάσματος.

5.1.1 IEEE 802.16c

Στην αρχική του έκδοση το πρότυπο IEEE 802.16-2001 λειτουργούσε στην ζώνη συχνοτήτων 10-66 GHz, όπου παγκοσμίως είναι διαθέσιμες αρκετές συχνότητες. Όμως το μικρό μήκος κύματος που χρησιμοποιείται εισάγει προβλήματα στη μετάδοση.

Συγκεκριμένα, η επικοινωνία μεταξύ δύο σταθμών επιτυγχάνεται μόνο όταν οι σταθμοί αυτοί βρίσκονται σε συνθήκες οπτικής επαφής (Line of Sight). Επιπλέον οι συνδέσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν είναι μόνο σημείο-προς-σημείο.

5.1.2 IEEE 802.16a

Η ανάγκη για επικοινωνία μεταξύ σταθμών που δεν βρίσκονται σε οπτική επαφή ήταν το κίνητρο για τη δημιουργία του υποπρότυπου IEEE 802.16a. Το υποπρότυπο αυτό, λειτουργεί στις συχνότητες από 2-11 GHz όπου είναι δυνατή η δημιουργία συνδέσεων χωρίς οπτική επαφή πομπού - δέκτη. Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα για συνδέσεις σημείου-προς-πολλαπλά σημεία και για δημιουργία αρχιτεκτονικής πλέγματος συνδέοντας τους Σταθμούς Βάσης μεταξύ τους.

5.1.3 IEEE 802.16d

Καθώς η πολυπλοκότητα των εφαρμογών που διαδίδονται πάνω από ένα ασύρματο δίκτυο ολοένα και αυξάνει, η ποιότητα υπηρεσίας πάνω από τέτοια δίκτυα γίνεται ένας πολύ καθοριστικός παράγοντας για την ποιότητα της επικοινωνίας. Για παράδειγμα, η μετάδοση βίντεο σε πραγματικό χρόνο απαιτεί από το δίκτυο συνθήκες πολύ χαμηλής καθυστέρησης μετάδοσης. Για αυτό το λόγο, προκειμένου να ικανοποιηθεί η ανάγκη για ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service, QoS) ορίστηκε το υποπρότυπο IEEE 802.16d.

5.1.4 IEEE 802.16-2004

Η ένωση των υποπρότυπων IEEE 802.16 a, c, d όρισε το πρότυπο IEEE 802.16-2004 το οποίο περιγράφει τη συνολική λειτουργικότητα των επιμέρους υποπρότυπων που προαναφέρθηκαν για συχνότητες λειτουργίας 2-66 GHz.

Το πρότυπο IEEE 802.16-2004 ορίζει την επικοινωνία χρηστών οι οποίοι βρίσκονται μέσα σε ένα κελί το οποίο καλύπτεται από ένα σταθμό βάσης. Όταν κάποιος χρήστης κινηθεί σε περιοχή που βρίσκεται εκτός περιοχής κάλυψης του σταθμού βάσης η σύνδεση χάνεται.

5.1.5 IEEE 802.16e ή IEEE 802.16-2005

Το υποπρότυπο IEEE 802.16e εισάγει και περιγράφει την έννοια της κινητικότητας των χρηστών από ένα Σταθμό Βάσης σε άλλο (mobile WiMAX). Στο υποπρότυπο αυτό ορίζεται ότι ένας κινητός χρήστης μπορεί να συνεχίσει να εξυπηρετείται από το δίκτυο ακόμα και αν κινείται με ταχύτητες οι οποίες προσεγγίζουν θεωρητικά τα 120 Km/h.

5.2. WiMAX Forum

Η καθιέρωση προτύπων είναι κρίσιμη για τη μαζική υιοθέτηση μιας δεδομένης τεχνολογίας. Παρόλα αυτά από μόνη της δεν είναι αρκετή. Τα πρότυπα 802.11b WLAN επικυρώθηκαν το 1999, εντούτοις δεν έφθασαν στη μαζική υιοθέτηση μέχρι την εισαγωγή της Wi-Fi Alliance, η οποία επικύρωσε τη διαλειτουργικότητα του εξοπλισμού, ο οποίος άρχισε να γίνεται διαθέσιμος το 2001. Προκειμένου να εγγυηθεί η διαλειτουργικότητα στα ασύρματα συστήματα ευρείας ζώνης, το WiMAX Forum στρέφεται στην καθιέρωση ενός μοναδικού υποσυνόλου των βασικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων, που ομαδοποιούνται σε αυτά που αναφέρονται ως "προφίλ συστήματος" και που όλος ο εξοπλισμός πρέπει να τα ικανοποιεί. Αυτά τα προφίλ παράλληλα με μια συνεχή διαδικασία ελέγχου πρωτοκόλλων θα καθιερώσουν ένα παγκοσμίως διαλειτουργικό πρωτόκολλο, επιτρέποντας στους εξοπλισμούς διαφόρων προμηθευτών να λειτουργούν αρμονικά.



Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..1: Το λογότυπο του WiMAX Forum Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.

Χαρακτηριστικά ένα τέτοιο πρωτόκολλο έχει καταλήξει ότι στις ΗΠΑ, το κυριότερο κομμάτι του φάσματος που θα αποδοθεί στις υλοποιήσεις WiMAX είναι στα 2.5GHz, ενώ στην Ευρώπη στα 3.5GHz. Η διαμόρφωση που θα χρησιμοποιείται είναι η 256-FTT OFDM.

5.3. Τοπολογία Δικτύου

Στην τοπολογία των δικτύων WiMAX, συναντάμε έννοιες γνωστές και από τη δομή των δικτύων Wi-Fi.

- **Σταθμός Βάσης:**

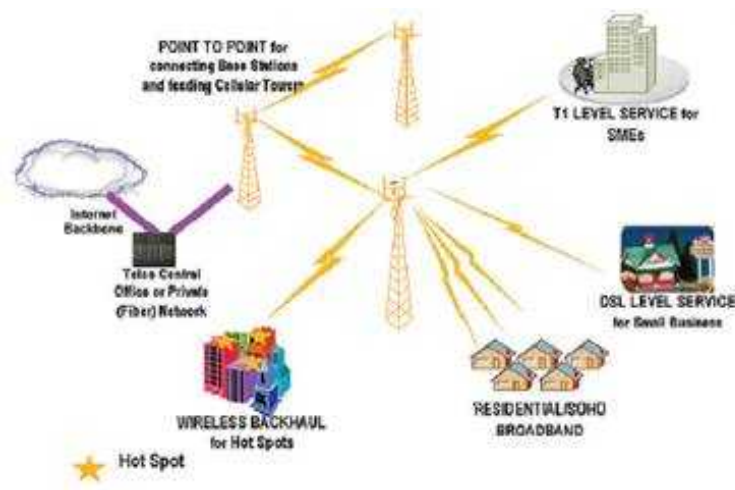
Ο σταθμός βάσης, είναι μια κεραία WiMAX που δρομολογεί την κίνηση από και προς το Διαδίκτυο και μεταφέρει τα δεδομένα με ασύρματο τρόπο στους χρήστες. Δύο σταθμοί βάσης μπορούν να επικοινωνούν με σύνδεση σημείου-προς-σημείο (point-to-point) μεταξύ τους και πολλοί μαζί να δημιουργήσουν ένα δίκτυο (mesh) για κάλυψη πολύ μεγάλων περιοχών με ασύρματη πρόσβαση. Χαρακτηριστικά, ένας σταθμός βάσης μπορεί να καλύψει ακτίνα μέχρι 50 χλμ σε συνδέσεις σημείου-προς-σημείο. Οποιοσδήποτε ασύρματος κόμβος μέσα στην περιοχή κάλυψης θα είναι σε θέση να έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο.

- **Δέκτης:**

Μανώλης Ταμπουρατζής, Τμήμα Ηλεκτρονικής, Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ

Κάθε σταθμός βάσης, επικοινωνεί με πολλούς δέκτες WiMAX σε συνδέσεις σημείου-προς-πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint) και τους παρέχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Ο δέκτης και η κεραία θα μπορούσαν να είναι ένα αυτόνομο κιβώτιο ή μια κάρτα μνήμης PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association) που βρίσκεται στο φορητό ή τον επιτραπέζιο υπολογιστή. Η πρόσβαση στο σταθμό βάσης WiMAX είναι παρόμοια με την πρόσβαση ενός ασύρματου σημείου πρόσβασης σε ένα δίκτυο WiFi, αλλά η κάλυψη είναι μεγαλύτερη.

Η τοπολογία αυτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..2: **Δίκτυο WiMAX** Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.

5.4. MAC Επίπεδο

Το WiMAX σχεδιάστηκε κατά βάση ώστε να καλύπτει κυρίως σημείο-προς-πολλαπλά σημεία συνδέσεις (Point-to-Multipoint), χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για σημείο-προς-σημείο συνδέσεις (point-to-point). Καλύπτει την ανάγκη για πολύ υψηλές ταχύτητες από και προς τους συνδρομητές. Οι αλγόριθμοι πρόσβασης και κατοχύρωσης του εύρους ζώνης πρέπει να προσαρμοστούν έτσι ώστε να εξυπηρετούν εκατοντάδες τερματικά ανά κανάλι. Οι υπηρεσίες που χρησιμοποιούν οι χρήστες, διαφέρουν στη μορφή τους και περιλαμβάνουν κίνηση με TDM διαμόρφωση, όπως η φωνή και το βίντεο, συνδέσεις IP και πακέτα VoIP. Για να μπορεί να υποστηρίξει αυτές τις υπηρεσίες το MAC επίπεδο, πρέπει να δέχεται και σταθερούς και εκρηκτικούς ρυθμούς μετάδοσης. Επιπλέον, αυτές οι υπηρεσίες πρέπει να κατοχυρώσουν και την αντίστοιχη Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS). Έτσι το 802.16 MAC επίπεδο,

προσφέρει μεγάλο εύρος τύπων υπηρεσιών ανάλογων των ATM υπηρεσιών, όπως και των νεότερων Εγγυημένου Ρυθμού Πλαισίου (Guaranteed Frame Rate, GFR).

Υπάρχουν τρία υποεπίπεδα που σχηματίζουν το MAC επίπεδο. Το πρώτο και υψηλότερο είναι το **Υπόστρωμα Σύγκλισης Ειδικών Υπηρεσιών** (MAC Service Specific Convergence Sublayer), το οποίο είναι υπεύθυνο για την αντιστοίχιση των υπηρεσιών προς και από τις συνδέσεις του MAC του Wi-MAX, ακριβώς από κάτω βρίσκεται το **MAC Υπόστρωμα Κοινού Μέρους** (MAC Common Part Sublayer), το οποίο είναι υπεύθυνο για λειτουργίες όπως η πακετοποίηση και η κατάτμηση των δεδομένων, οι αιτήσεις αναμετάδοσης και η Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS) και το πιο χαμηλό υπόστρωμα είναι το **Υπόστρωμα Ιδιωτικότητας** (MAC Privacy Sublayer), το οποίο ευθύνεται για την αυθεντικοποίηση, την κρυπτογράφηση και την ανταλλαγή κλειδιών ασφαλείας.

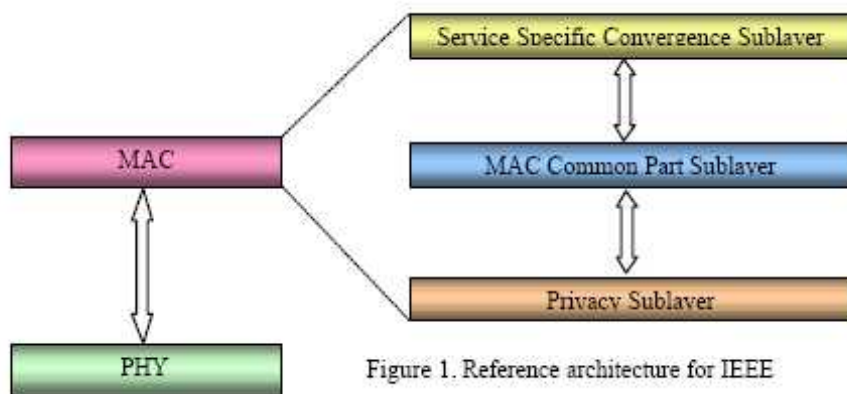


Figure 1. Reference architecture for IEEE

Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..3: **Αρχιτεκτονική του MAC και PHY επιπέδων του IEEE 802.16** Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι λειτουργίες που πραγματοποιούνται σε αυτά τα τρία υποεπίπεδα.

5.4.1 Υποστρώματα σύγκλισης ειδικών υπηρεσιών

Το πρότυπο WiMAX ορίζει δύο ειδικών υπηρεσιών γενικά υποστρώματα σύγκλισης για την αντιστοίχιση υπηρεσιών προς και από τις συνδέσεις του MAC του WiMAX:

- Το υπόστρωμα σύγκλισης ATM είναι για υπηρεσίες ATM.
- Το υπόστρωμα σύγκλισης πακέτου ορίζεται για την αντιστοίχιση υπηρεσιών πακέτου όπως Internet Protocol version 4 ή 6 (IPv4, IPv6), Ethernet, και VLAN (Virtual Local Area Network).

Η κύρια λειτουργία του υποστρώματος είναι η ένταξη των SDU (Service Data Units) στη

σωστή σύνδεση MAC, η διαφύλαξη ή ενεργοποίηση QoS, και η ενεργοποίηση της κατανομής εύρους ζώνης. Τα SDU είναι οι μονάδες που ανταλλάσσονται μεταξύ δύο γειτονικών στρωμάτων πρωτοκόλλων. Είναι οι μονάδες δεδομένων που λαμβάνονται στην καθοδική κατεύθυνση από το προηγούμενο υψηλότερο στρώμα και οι μονάδες δεδομένων που αποστέλλονται κατά την ανοδική κατεύθυνση στο επόμενο υψηλότερο στρώμα. Η αντιστοίχιση παίρνει διάφορες μορφές, ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας. Εκτός από αυτές τις βασικές λειτουργίες, τα υποστρώματα σύγκλισης πραγματοποιούν πολύπλοκες λειτουργίες, όπως καταστολή κεφαλίδας ωφέλιμου φορτίου και ανακατασκευή, για την βελτίωση της εναέριας αποτελεσματικότητας.

5.4.2 Υπόστρωμα Κοινού Μέρους

Αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία συνδέσεων. Υπάρχουν οι συνδέσεις για αρχική πρόσβαση βάσει συναγωνισμών, συνδέσεις για εκπομπή σε όλους τους σταθμούς στο DL καθώς και για τη σηματοδότηση εκπομπής σταθμοσκόπησης βάσει συναγωνισμού των ευρυζωνικών αναγκών των σταθμών συνδρομητών. Επιπλέον συνδέσεις δεσμεύονται για πολυεκπομπή (multicast) σταθμοσκόπησης βάσει συναγωνισμών.

Το επίπεδο αυτό είναι επίσης υπεύθυνο για την Ποιότητα των Υπηρεσιών και για την αναμετάδοση πακέτων όταν υπάρχουν λάθη.

- **Πρόσβαση στο Μέσο με TDM/TDMA**

Το IEEE 802.16 MAC επίπεδο είναι σημαντικά διαφορετικό από αυτό του IEEE 802.11 Wi-Fi. Στο Wi-Fi όσοι σταθμοί συνδρομητών επιθυμούν να στείλουν δεδομένα στο μέσο πρόσβασης, ανταγωνίζονται για την προσοχή του Σταθμού Βάσης με τυχαίο τρόπο. Αυτό μπορεί να αναγκάσει τους απομακρυσμένους κόμβους από το ΣΒ να διακόπτονται επανειλημμένα από τους λιγότερο ευαίσθητους και πιο κοντινούς κόμβους, μειώνοντας έτσι κατά πολύ την απόδοσή τους. Και αυτό κάνει τις υπηρεσίες, όπως το VoIP ή το IPTV, που εξαρτώνται από ένα καθορισμένο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας (QoS), να μη διατίθενται για ένα μεγάλο αριθμό χρηστών.

Αντίθετα, στο 802.16 MAC επίπεδο ο σταθμός του συνδρομητή πρέπει μόνο να ανταγωνιστεί μία φορά για την αρχική είσοδο μέσα στο δίκτυο. Στη συνέχεια τού διατίθεται μια αποκλειστική χρονική θυρίδα από το σταθμό βάσης, που σημαίνει ότι οι άλλοι συνδρομητές δεν μπορούν να τη χρησιμοποιήσουν αλλά περιμένουν εκ περιτροπής τη σειρά τους. Το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί TDM ροές για τη μεταφορά δεδομένων στους χρήστες (downlink), ενώ χρησιμοποιεί TDMA ροές για τη μεταφορά δεδομένων στους ΣΒ (uplink). Αυτός ο αλγόριθμος σχεδιασμού είναι σταθερός σε συνθήκες υπερφόρτωσης και σε μεγάλο αριθμό συνδρομητών

(αντίθετα από το 802.11). Είναι επίσης πολύ πιο αποδοτικό στη χρήση του φάσματος. Η χρήση του αλγόριθμου TDM για την πρόσβαση στο μέσο, επιτρέπει χαμηλού κόστους υλοποιήσεις στις οποίες είναι δυνατό να συνδεθούν εκατοντάδες ή και περισσότεροι χρήστες. Ο κάθε χρήστης έχει μια αποκλειστική χρονοθυρίδα με αποτέλεσμα να μπορεί να απολάυσει υπηρεσίες με υψηλή ποιότητα.

- **Ποιότητα Υπηρεσίας**

Το πρότυπο IEEE 802.16 παρέχει υψηλού επιπέδου ποιότητα υπηρεσίας (QoS). Το επίπεδο MAC του προτύπου είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει στους χρήστες, όταν οι ίδιοι το επιθυμούν, εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης και ταυτόχρονα κίνηση μέγιστης προσπάθειας σε χρήστες που καλύπτονται από τον ίδιο ΣΒ, κάτι που το πρότυπο IEEE 802.11 δεν μπορούσε να εξασφαλίσει. Δηλαδή, αν υποθέσουμε ότι δύο χρήστες καλύπτονται από το ΣΒ, είναι δυνατό ο ένας χρήστης να έχει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας και ο δεύτερος χρήστης να δέχεται και να στέλνει απλή IP κίνηση μέγιστης προσπάθειας κάτι που με το πρότυπο 802.11 δεν ήταν δυνατό. Δηλαδή χρήστες που βρισκόταν στην κάλυψη ενός Σημείου Πρόσβασης είχαν την ίδια ποιότητα υπηρεσίας.

Υπάρχουν τεσσάρων ειδών υπηρεσίες και οι αντίστοιχοι μηχανισμοί τους που διαχειρίζονται το παρεχόμενο εύρος ζώνης, ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη.

Υπηρεσίες Αυτόκλητης Αίτησης (Unsolicited Grant Services) – Οι UGS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη σταθερού ρυθμού μετάδοσης (Constant Bit Rate), όπως εξομοίωση T1/E1 και VoIP χωρίς καταστολή σιωπής.

Υπηρεσίες Σταθμοσκόπησης πραγματικού χρόνου (Real-Time Polling Services) – Οι rtPS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη υπηρεσιών πραγματικού χρόνου που παράγουν μεταβλητού μεγέθους πακέτα δεδομένων, όπως βίντεο MPEG ή VoIP με περιοδική καταστολή σιωπής.

Υπηρεσίες Σταθμοσκόπησης μη πραγματικού χρόνου (Non-Real-Time Polling Services) – Οι nrtPS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη υπηρεσιών μη πραγματικού χρόνου που απαιτούν μεταβλητό μέγεθος δεδομένων.

Υπηρεσίες Καλύτερης Προσπάθειας (Best Effort Services) – Οι BE υπηρεσίες παρέχονται τυπικά από το Διαδίκτυο σήμερα για πλοήγηση (web surfing).

- **Αυτόματη Έκκληση Αναμετάδοσης (Automatic Retransmission request, ARQ)**

Με τη μέθοδο αυτή, τα λάθη που μπορεί να εισήχθησαν από τα ανώτερα επίπεδα κρύβονται και τα λανθασμένα πακέτα επανεκπέμπονται, βελτιώνοντας την από άκρο-σε-άκρο απόδοση του συστήματος.

- **Χρήση προσαρμοστικής διαμόρφωσης και κωδίκων διόρθωσης σφαλμάτων**

Με χρήση συγκεκριμένων τρόπων διαμόρφωσης και εφαρμογή κωδίκων σφαλμάτων, όπως θα περιγράψουμε και στο φυσικό επίπεδο, αυξάνεται η χωρητικότητα του κάθε καναλιού αφού αποδίδονται ο μέγιστος αριθμός bit ανά δευτερόλεπτο σε κάθε χρήστη. Έτσι δημιουργούνται αποτελεσματικές ζεύξεις για την καλύτερα μεταφορά των δεδομένων.

- **Αυτόματος Έλεγχος Ισχύος (Automatic Power Control)**

Ο έλεγχος της ισχύος που εκπέμπει κάθε σταθμός βάσης, επιτρέπει τη δημιουργία κυψελοειδούς αρχιτεκτονικής, όπου ο κάθε σταθμός βάσης θα ελαχιστοποιεί τις παρεμβολές που προκαλεί σε γειτονικούς ΣΒ.

5.4.3 Υπόστρωμα Ιδιωτικότητας

- **Ασφάλεια και Κρυπτογράφηση**

Την ασφαλή μετάδοση των δεδομένων στο WiMAX αναλαμβάνει ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης DES (Data Encryption Standard, Πρότυπο Κρυπτογράφησης Δεδομένων) και συγκεκριμένα μια παραλλαγή του αλγορίθμου, ο Triple DES. Το DES αναπτύχθηκε το 1970 από το Αμερικανικό Εθνικό Γραφείο Προτύπων. Η βασική ιδέα ήταν η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου κρυπτογράφησης που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί (και να βελτιωθεί) από διάφορες εταιρείες ή οργανισμούς. Το DES ανήκει στην οικογένεια των συμμετρικών αλγορίθμων και κάνει χρήση κλειδιών με μήκος 56 bit. Ο "κλασικός" αλγόριθμος DES είναι πλέον ξεπερασμένος, αφού με τη χρήση ενός σύγχρονου υπολογιστή μπορεί να παραβιαστεί σχετικά εύκολα. Στο μεταξύ, εφαρμόζοντας διάφορες τεχνικές επάνω στο

DES, μπορούμε να αυξήσουμε σημαντικά την ασφάλειά του. Με τη μέθοδο Triple - DES, για παράδειγμα, το μήνυμα κωδικοποιείται τρεις φορές, με τρία διαφορετικά κλειδιά, προστατεύοντας κατά ικανοποιητικό βαθμό την ιδιωτικότητα του χρήστη.

| Χαρακτηριστικό | Πλεονεκτήματα |
|--|---|
| Χρήση TDM/TDMA | Αποδοτικότητα εύρους ζώνης (Bandwidth efficiency) |
| Υποστήριξη μέχρι και 100 χρηστών ανά Base Station | Ικανότητα να καλύπτουν αξιόπιστα παθητικές εφαρμογές <ul style="list-style-type: none"> Μικρή καθυστέρηση για υπηρεσίες όπως TDM Voice, VoIP Αποδοτική μετάδοση VBR κίνησης |
| Υποστήριξη QoS | |
| Υποστήριξη ARQ (Automatic Repeat Request) | Βελτίωση της από άκρο σε άκρο απόδοσης του συστήματος |
| Χρήση παραμορφωτικής διαμόρφωσης και κωδίκων διόρθωσης σφαλμάτων | Αποδοτικότερες ζεύξεις με μέγιστο αριθμό bits/sec σε κάθε χρήστη |
| Χρήση Triple DES για ασφάλεια | Προστασία δεδομένων |
| Automatic Power Control | Δυνατότητα για δημιουργία κωφελοειδών αρχιτεκτονικών |

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά του επιπέδου MAC του προτύπου IEEE 802.16a Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.

5.5. Υπόστρωμα Σύγκλισης Εκπομπής (Transmission Convergence)

Μεταξύ του PHY και του MAC υπάρχει ένα υπόστρωμα TC. Αυτό το στρώμα μετασχηματίζει MAC PDU μεταβλητού μήκους σε σταθερού μήκους μπλοκ FEC (συν πιθανώς ένα βραχύτερο μπλοκ στο τέλος κάθε αποστολής). Το στρώμα TC έχει μια PDU με τέτοιο μέγεθος που να ταιριάζει στο FEC μπλοκ που τρεχόντως γεμίζεται. Αρχίζει με ένα δείκτη που υποδεικνύει που αρχίζει η επόμενη κεφαλίδα MAC PDU εντός του FEC μπλοκ. Η μορφοποίηση του TC PDU επιτρέπει επανασυγχρονισμό στο επόμενο MAC PDU στην περίπτωση που το προηγούμενο FEC μπλοκ είχε αμετάκλητα σφάλματα.

5.6. Φυσικό Επίπεδο

5.6.1 Ζώνη 10-66 GHz

- **Αμφίδρομη επικοινωνία με διαίρεση χρόνου και διαίρεση συχνότητας (TDD και FDD)**

Η πρώτη έκδοση του προτύπου 802.16 αφορούσε, όπως προαναφέραμε, συνδέσεις οπτικής επαφής στις ζώνες υψηλών συχνοτήτων. Υπό αυτές τις συνθήκες η διαμόρφωση μονού φέροντος ήταν η εύκολη επιλογή για το σχήμα διαμόρφωσης, όμως κάποια σχεδιαστικά προβλήματα παρέμεναν ακόμη. Λόγω της σημείου-προς-πολλαπλά σημεία αρχιτεκτονικής, ο ΣΒ εκτέμπει TDM σήματα, όπου κάθε χρονοθυρίδα αποδίδεται σε ένα χρήστη. Από την άλλη πλευρά ο χρήστης στέλνει στον ΣΒ TDMA σήματα. Για να γίνει αμφίδρομη η

μετάδοση σχεδιάστηκε ένα σύστημα που μπορούσε να υποστηρίξει αμφίδρομη μετάδοση με διαίρεση χρόνου (Time Division Duplexing) και αμφόδρομη μετάδοση διαίρεσης συχνότητας (Frequency Division Duplexing). Με την πρώτη μέθοδο η άνω και η κάτω ζεύξη μοιράζονται ένα κανάλι αλλά μεταδίδουν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, ενώ με τη δεύτερη μέθοδο, οι δύο ζεύξεις χρησιμοποιούν διαφορετικά κανάλια και μπορούν να μεταδώσουν και ταυτόχρονα. Αυτός ο σχεδιασμός δίνει τη δυνατότητα στο σχεδιαστή να χρησιμοποιήσει το επιθυμητό σχήμα διαμόρφωσης, ανάλογα με τις συνθήκες διαχείρισης φάσματος της κάθε χώρας.

- **Μέγεθος καναλιού**

Το μέγεθος του καναλιού στο πρώτο πρότυπο, ήταν τα 20 ή 25MHz τυπικά για τις ΗΠΑ και τα 28MHz για την Ευρώπη.

5.6.2 Ζώνη 2-11 GHz

Η κυριότερη διαφορά ανάμεσα στις δύο ζώνες συχνοτήτων, είναι η υποστήριξη στη ζώνη 2-11 GHz, των συνδέσεων μη οπτικής επαφής (NLOS). Για το λόγο αυτό γίναν κάποιες αλλαγές στο Φυσικό Στρώμα του προτύπου 802.16a, που θα επιτρέψουν την αποτελεσματικότερη χρήση του φάσματος και την ανοχή στις απώλειες πολλαπλών δρόμων που επικρατούν σε αυτές τις συνθήκες.

- **Σχήματα διαμόρφωσης**

Τρεις νέες προδιαγραφές φυσικού επιπέδου δημιουργήθηκαν.

1. Ένας καινούργιος τρόπος διαμόρφωσης μονού φέροντος.
2. Διαμόρφωση 256 – FFT OFDM. Η πρόσβαση γίνεται με TDMA και είναι το σχήμα που έχει καθιερωθεί από το WiMAX Forum, που είναι υπεύθυνο για τη διαλειτουργικότητα και την εξάπλωση της τεχνολογίας WiMAX παγκοσμίως. Η διαμόρφωση OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), είναι μια πολύ ανθεκτική διαμόρφωση σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιόδευσης ειδικότερα στις συχνότητες πάνω των 2 GHz που το πρότυπο χρησιμοποιεί.
3. Διαμόρφωση 2048 – FFT OFDMA. Σε αυτό το σύστημα, η πολλαπλή πρόσβαση παρέχεται με την απόδοση ενός υποσυνόλου των πολλαπλών φερόντων σε μεμονωμένους δέκτες.

Τα σπουδαιότερα από τα πλεονεκτήματα χρήσης του OFDM είναι ότι καταρχάς η OFDM αντιμετωπίζει αποτελεσματικά τις απώλειες πολλαπλών δρόμων (multipath fading) ενώ η πολυπλοκότητα ενός OFDM συστήματος είναι αισθητά μικρότερη από ένα σύστημα μονής φέρουσας (SC) με χρήση ισοσταθμιστή, ο οποίος θα αναλάμβανε το ίδιο έργο. Ακόμα, σε συστήματα όπου οι δίαυλοι μετάδοσης μεταβάλλονται πολύ αργά σε σχέση με τη συχνότητα

μετάδοσης των δεδομένων είναι εφικτή η αύξηση της χωρητικότητας με την ανάλογη προσαρμογή της συχνότητας δεδομένων ανά υποφέρουσα σε σχέση πάντα και με

το λόγο σήματος προς θόρυβο για το συγκεκριμένο κανάλι (SNR). Τέλος, η OFDM είναι εξαιρετικά ανθεκτική στην παρεμβολή στενού φάσματος διότι τέτοιου είδους παρεμβολή επηρεάζει μόνο ένα μικρό ποσοστό των υποφερουσών.

- **Έξυπνες Κεραίες**

Λόγω των απαιτήσεων διάδοσης, υποστηρίζεται από το επίπεδο ζεύξης δεδομένων για τη μετάδοση των δεδομένων, η χρήση προηγμένων συστημάτων κεραιών. Αυτές οι κεραιές, που ονομάζονται και «έξυπνες κεραιές», είναι κατευθυντικές και εξασφαλίζουν υψηλό κέρδος ισχύος και μεγαλύτερη κάλυψη περιοχών. Έχουν επίσης τη δυνατότητα να καταστέλνουν τις παρεμβολές από γειτονικά συστήματα και γι' αυτούς τους λόγους θεωρείται η πιο αξιόπιστη μελλοντική λύση, η οποία θα επιτρέψει την αναχρησιμοποίηση συχνοτήτων και θα αυξήσει τις δυνατότητες των Wi-MAX δικτύων.

- **Προσαρμοστική Διαμόρφωση**

Προσαρμόζει τη ποιότητα διαβάθμισης της ζεύξης ενώ προσφέρει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης (bits/sec) σε κάθε χρήστη. Οι διαμορφώσεις αυτές χρησιμοποιούνται μαζί με την OFDM διαμόρφωση για μεγαλύτερη αποδοτικότητα του διαύλου. Ενδεικτικά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα οι ρυθμοί που επιτυγχάνονται, λαμβάνοντας υπόψιν και τα διαφορετικά σχήματα κωδικοποίησης για έλεγχο λαθών που χρησιμοποιούνται.

| Modulation | FEC Coding Rate | Uncoded Burst Rate (Mbps) | End to End Ethernet Throughput (Mbps) |
|------------|-----------------|---------------------------|---------------------------------------|
| BPSK | $\frac{1}{4}$ | 6 | 3.7 |
| BPSK | $\frac{1}{2}$ | 9 | 5.6 |
| QPSK | $\frac{1}{2}$ | 12 | 11.4 |
| QPSK | $\frac{3}{4}$ | 18 | 17 |
| 16QAM | $\frac{1}{2}$ | 24 | 22.4 |
| 16QAM | $\frac{3}{4}$ | 36 | 33 |
| 64QAM | $\frac{2}{3}$ | 48 | 43.2 |
| 64QAM | $\frac{3}{4}$ | 54 | 48.1 |

Πίνακας 2: Ρυθμοί Μετάδοσης στα δίκτυα Wi-MAX Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.

Βλέπουμε ότι οι θεωρητικές ταχύτητες που μπορούν να επιτευχθούν είναι περί τα 70 Mbps στον αέρα ενώ η πραγματική ταχύτητα στο Ethernet υπολογίζεται στα 50 Mbps. Οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν ξεπερνούν τα 50 Km σε συνθήκες οπτικής επαφής και μπορούν να
Μανώλης Ταμπουρατζής, Τμήμα Ηλεκτρονικής, Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ

φτάσουν μέχρι τα 70 Km. Συνήθεις διαμορφώσεις είναι η 64 QAM η οποία μπορεί να εξασφαλίσει και τη μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης, αλλά σε κοντινές αποστάσεις από τον Σταθμό Βάσης, ενώ η 16 QAM και η QPSK μπορούν να εξασφαλίσουν μεγάλη κάλυψη του συστήματος, σε χαμηλότερες όμως ταχύτητες.

- **Χρήση μεταβλητού μεγέθους καναλιού**

Ενώ όλα τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που απαριθμούνται ανωτέρω είναι απαραίτητες απαιτήσεις για τη βασική υπαίθρια λειτουργία Ευρυζωνικής Ασύρματης Πρόσβασης, τα ευέλικτα μεγέθη των χρησιμοποιούμενων καναλιών είναι απαραίτητα εάν το πρότυπο θέλει να καθιερωθεί παγκοσμίως. Κι αυτό γιατί οι ρυθμιστικές αρχές της κάθε χώρας μπορεί να ορίζουν διαφορετικό τρόπο χρήσης του φάσματος σε συγκεκριμένες περιοχές, και κατά συνέπεια το μέγεθος των χρησιμοποιούμενων καναλιών, μπορεί να ποικίλει από χώρα σε χώρα. Στην περίπτωση που το φάσμα απαιτεί άδεια χρήσης και ένας χειριστής πρέπει να πληρώσει για κάθε MHz που του χορηγείται, είναι επιτακτικό το σύστημα να λειτουργεί εντός όλου του διατιθέμενου φάσματος και να παρέχει την ευελιξία επιλογής του καναλιού. Κατά συνέπεια εάν σε ένα χειριστή χορηγηθεί και πληρώσει για 14MHz, δεν θα θέλει ένα σύστημα που έχει κανάλια των 6MHz, που σπαταλούν 2MHz του φάσματος. Θα θέλει ένα σύστημα που μπορεί να χρησιμοποιήσει κανάλια των 7MHz, 3.5MHz ή ακόμα και 1.75MHz για τη μέγιστη προσαρμοστικότητα. Το πρότυπο ορίζει ότι τα κανάλια μπορούν να κυμαίνονται από 1.75MHz έως και 20MHz, ανάλογα με τις απαιτήσεις.

| Χαρακτηριστικά | Πλεονεκτήματα |
|--|---|
| Χρήση OFDM με 256 φέρουσες | Επικοινωνία LOS και NLOS |
| Χρήση προσαρμοστικής διαμόρφωσης και κωδικών διόρθωσης σφαλμάτων | Αποτελεσματικές ζεύξεις με μέγιστο αριθμό bits/sec σε κάθε χρήστη |
| Υποστήριξη TDD και FDD | Ικανοποιεί τις συνθήκες διαχείρισης φάσματος κάθε χώρας |
| Μεταβλητό εύρος ζώνης καναλιού (3.5 MHz , 5MHz , 10MHz) | Δυνατότητα λειτουργίας σε πολλές ζώνες συχνοτήτων ανάλογα με τον κανονισμό κάθε χώρας |
| Υποστήριξη εξυπνων κεραιών | Εξασφαλίζεται υψηλό κέρδος ισχύος |

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά του επιπέδου PHY του προτύπου IEEE 802.16a Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.

5.7. Κινητό WiMAX IEEE 802.16e (Mobile WiMAX)

Το κινητό WiMAX είναι μια ευρυζωνική ασύρματη λύση που επιτρέπει τη σύγκλιση των κινητών και των σταθερών ευρυζωνικών δικτύων μέσω μιας κοινής τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης Ευρείας Περιοχής και μιας ευέλικτης δικτυακής αρχιτεκτονικής. Το κινητό WiMAX, υιοθετεί την Ορθογωνική Διάρθρωση Συχνότητας Πολλαπλής Πρόσβασης (OFDMA) για βελτιωμένη απόδοση στην πολυδιόδευση που εμφανίζεται στα περιβάλλοντα μη οπτικής επαφής (NLOS). Η Επεκτάσιμη OFDMA (Scalable OFDMA) εισήχθη επίσης στο υποπρότυπο IEEE 802.16e, για να υποστηρίξει τα διαφορετικά εύρη ζώνης καναλιών από 1.25 έως 20 MHz. Αρχικά το κινητό WiMAX θα λειτουργεί στα 2.3, 2.5, 3.3 και 3.4-3.8 GHz. Η υποστήριξη

περισσότερων ζωνών θα προστεθεί ανάλογα με τη ζήτηση της αγοράς. Το WiMAX Forum, υπολογίζει ότι τα πρώτα προϊόντα με την πιστοποίηση του Mobile WiMAX θα κυκλοφορήσουν το δεύτερο εξάμηνο του 2006 και το πρώτο τετράμηνο του 2007. Πολλοί σκέφτονται ότι με τη χρήση του SOFDMA, το 802.16-2005 θα περιθωριοποιήσει το 802.16-2004 πρότυπο, που χρησιμοποιεί 256 OFDM. Εντούτοις, αρκετοί κατασκευαστές σχεδιάζουν τη μετάβαση από την παλαιότερη έκδοση των προτύπων, στο πιο ισχυρό σχέδιο διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται στο κινητό WiMAX. Οι κατασκευαστές εργάζονται μέσω του φόρουμ WiMAX για να επιτύχουν τη συμβατότητα μεταξύ των παρόμοιων προφίλ συστημάτων.

Το SOFDMA θα είναι καλύτερο του 256 OFDM για συνδέσεις μη οπτικής πετυχαίνοντας τα εξής:

- Βελτίωση της κάλυψης μη οπτικής επαφής με τη χρησιμοποίηση των προηγμένων σχεδίων ποικιλομορφίας κεραιών, και των υβριδικών-Εκκλήσεων Αυτόματης Αναμετάδοσης (hARQ)
- Αυξανόμενο κέρδος συστήματος μέσω της πυκνότερης κατανομής του φάσματος, και βελτίωση της κάλυψης εσωτερικών χώρων
- Εισαγωγή των υψηλής απόδοσης τεχνικών κωδικοποίησης όπως η Τούρμπο Κωδικοποίηση και ο Μικρής Πυκνότητας Έλεγχος Ισοτιμίας (Low Density Parity Check, LDPC), ενισχύοντας την ασφάλεια και την απόδοση των συνδέσεων μη οπτικής επαφής.
- Η εισαγωγή των υποκαναλιών στην προς τα κάτω μετάδοση, θα επιτρέπει στους διαχειριστές να ανταλλάξουν το εύρος κάλυψης με την χωρητικότητα του καναλιού ή αντίστροφα

- Βελτίωση της κάλυψης με την εισαγωγή των προσαρμοστικών συστημάτων κεραιών (Adaptive Antenna Systems, AAS) και των συστημάτων πολλαπλής εισόδου πολλαπλής εξόδου (Multiple Input Multiple Output, MIMO)
- Εξάλειψη των εξαρτήσεων από το εύρος ζώνης των καναλιών χάρη στα κενά διαστήματα των υποφερόντων, που επιτρέπουν την ίση απόδοση κάτω από οποιοδήποτε εύρος καναλιών RF (1.25-14 MHz)
- Ο ενισχυμένος γρήγορος αλγόριθμος μετασχηματισμού Φουριέ (FFT) μπορεί να ανεχτεί μεγαλύτερες καθυστερήσεις, αυξάνοντας την ανοχή στις παρεμβολές λόγω πολλαπλών δρόμων.

Τα SOFDMA και OFDMA256 δεν είναι συμβατά κι έτσι ο περισσότερος εξοπλισμός θα πρέπει να αντικατασταθεί. Εντούτοις, μερικοί κατασκευαστές προσπαθούν να παρέχουν

μια πορεία μετάβασης για τον παλαιότερο εξοπλισμό στο SOFDMA που θα διευκόλυνε τη μετάβαση εκείνων των δικτύων που έχουν κάνει ήδη επένδυση στο OFDMA256.

Η υποστήριξη των μεταπομπών είναι μια άλλη κρίσιμη προσθήκη στην τροποποίηση 802.16e για την κινητή πρόσβαση. Η δυνατότητα να διατηρηθεί μια σύνδεση κινούμενη στα σύνορα κυψελών, είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την κινητικότητα και θα περιληφθεί ως απαίτηση στο προφίλ των συστημάτων 802.16e. Στο πρότυπο 802.16-2004 αν και προβλέπεται η ικανότητα μεταπομπής, στα σχεδιαζόμενα προφίλ η υποστήριξη δεν είναι απαραίτητη.

Το πρότυπο 802.16e WiMAX θα υποστηρίξει διαφορετικούς τύπους μεταπομπής, που κυμαίνονται από σκληρούς (hard) έως μαλακούς (soft) και η επιλογή τους αφήνεται στον διαχειριστή. Οι σκληρές μεταπομπές χρησιμοποιούν έναν τύπο κόψιμο-πριν από την-επανασύνδεση. Σ' αυτήν την περίπτωση η συσκευή των χρηστών συνδέεται με έναν μόνο σταθμό βάσης οποιαδήποτε στιγμή, πράγμα που καθιστά το σύστημα πιο απλό στην υλοποίηση αλλά εισάγει μια μικρή αδράνεια στη σύνδεση του συνδρομητή, μέχρι να συνδεθεί στον νέο σταθμό.

Οι μαλακές μεταπομπές είναι παρόμοιες με εκείνες που χρησιμοποιούνται σε μερικά κυψελοειδή δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και επιτρέπουν στη συσκευή των χρηστών να διατηρούν τη σύνδεση σε έναν σταθμό βάσης έως ότου συνδεθούν με έναν νέο (τύπος σύνδεση-πριν από-κόψιμο), μειώνοντας κατά συνέπεια την αδράνεια στη σύνδεση. Έτσι, ενώ εφαρμογές όπως η φωνή μέσω Διαδικτύου (VoIP) ή τα παιχνίδια επωφελούνται πολύ από τις μαλακές μεταπομπές, οι σκληρές μεταπομπές είναι ικανοποιητικές για τις υπηρεσίες δεδομένων. Τα

Επίπεδα Υπηρεσίας (QoS) καθώς και οι Συμφωνίες Επιπέδων Υπηρεσιών (Service Level Agreement, SLA) διατηρούνται κατά τη διάρκεια των μεταπομπών.

Οι δυνατότητες περιαγωγής στους παρόχους υπηρεσιών μπορούν να εφαρμοστούν και στα δύο πρότυπα 802.16-2004 και 802.16e WiMAX, αλλά είναι ιδιαίτερα πολύτιμοι για τη φορητή και την κινητή πρόσβαση. Το φόρουμ WiMAX δε σκοπεύει να συμπεριλάβει τις απαιτήσεις περιαγωγής στο 802.16e προφίλ συστήματος, καθώς θεωρεί ότι είναι μια υπηρεσία πίο υψηλού επιπέδου και υπερβαίνει το σκοπό του προγράμματος πιστοποίησης, το οποίο εστιάζει στα στρώματα PHY και MAC. Η ομάδα εργασίας των παρόχων υπηρεσιών καθώς και η ομάδα εργασίας δικτύων εντός του φόρουμ WiMAX εργάζονται προς τον προσδιορισμό των λειτουργικών απαιτήσεων για μια πλατφόρμα περιαγωγής.

5.8. Χρήσεις του WiMAX

Λόγω των μεγάλων αποστάσεων που καλύπτει και ταυτόχρονα τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που μπορεί να παρέχει, το πρότυπο WiMAX βρίσκει πολλές εφαρμογές, λύνοντας σημαντικά προβλήματα που απασχολούσαν του τεχνικούς δικτύων σήμερα. Τρεις είναι οι βασικότερες χρήσεις του:

Δίκτυο κορμού στα κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Η εισαγωγή του προτύπου αυτού αναμένεται να μειώσει σημαντικά το κόστος εξάπλωσης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας μιας και αποτελεί μια οικονομικότερη πρόταση, αν συγκριθεί με την οπτική ίνα. Εξασφαλίζει ταυτόχρονα αξιοπιστία και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που απαιτούν τα δίκτυα κορμού των κινητών δικτύων επικοινωνιών.

Broadband on Demand. Παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης κάνοντας εφικτή τη χρήση της τεχνολογίας σε μεγάλες αποστάσεις για εφαρμογές πραγματικού χρόνου κάτι που με το πρότυπο IEEE 802.11 δεν ήταν εφικτό.

Παρέχει κάλυψη σε περιοχές που είναι αδύνατο τα καλυφθούν με χρήση χαλκού ή οπτικής ίνας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συμπλήρωμα δικτύων οπτικών ινών σε τμήματα του εδάφους στα οποία το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης δικτύων οπτικών ινών είναι απαγορευτικό.

5.2 Διασυνεργασία WiMAX – UMTS

Σκοπός της αρχιτεκτονικής δικτύων NGNA (Next Generation Network Architecture) είναι να υπάρξει η ικανότητα ασύρματης πρόσβασης από παντού και ανά πάσα στιγμή και η οποία θα παρέχει τις αυτόματες μεταγωγές (handover) για τις κινητές συσκευές που συνδυάζουν διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης εντός των ετερογενών δικτύων. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική διασυνεργασίας του WiMAX με το UMTS βάσει των προτύπων 3GPP και η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλή καθυστέρηση μεταγωγής και απώλειας πακέτων.

Το στρώμα MAC του WiMAX είναι σημαντικά διαφορετικό από αυτό του 802.11. Στο WiFi, το MAC χρησιμοποιεί πρόσβαση βάσει συναγωνισμών - όλοι οι σταθμοί συνδρομητών που επιθυμούν να επικοινωνήσουν με ένα σημείο πρόσβασης, συναγωνίζονται για την προσοχή του σε τυχαία βάση. Αυτό μπορεί να αναγκάσει τους απόμακρους από το AP κόμβους να διακόπτονται επανειλημμένα από τους λιγότερο ευαίσθητους, πιο κοντινούς κόμβους, μειώνοντας πολύ τη ρυθμοαπόδοσή τους. Αντιθέτως, στο 802.16 MAC ο σταθμός συνδρομητή πρέπει να συναγωνιστεί μόνο μία φορά, για την αρχική του είσοδο μέσα στο δίκτυο. Μετά από αυτό, διατίθεται μια χρονοθυρίδα από το σταθμό βάσης. Η χρονοθυρίδα μπορεί να διευρυνθεί ή να περιοριστεί, αλλά παραμένει ορισμένη στο συνδρομητή, με την έννοια ότι άλλοι συνδρομητές δεν μπορούν να την χρησιμοποιήσουν αλλά περιμένουν τη σειρά τους εκ περιτροπής. Αυτός ο αλγόριθμος προγραμματισμού είναι ανθεκτικός στην υπερφόρτωση και το μεγάλο αριθμό εγγραφών σε αντίθεση με το 802.11. Επίσης χαρακτηρίζεται από πολύ μεγαλύτερη αποδοτικότητα εύρους ζώνης. Ο αλγόριθμος επιτρέπει επίσης στο σταθμό βάσης να ελέγχει την ποιότητα της υπηρεσίας, με την εξισορρόπηση των αναθέσεων με βάση τις ανάγκες των σταθμών συνδρομητών.

Μια πρόσφατη προσθήκη στο πρότυπο WiMAX είναι εν εξελίξει και θα προσθέσει πλήρη ικανότητα δικτύωσης πλέγματος (mesh networking) καθιστώντας τους κόμβους WiMAX ικανούς να λειτουργούν ταυτόχρονα σε διαμόρφωση σταθμού συνδρομητή και σταθμού βάσης. Αυτό θα θολώσει την αρχική διάκριση και θα επιτρέπει την ευρεία υιοθέτηση του πλέγματος δικτύου που βασίζεται στο WiMAX. Το αρχικό πρότυπο IEEE 802.16, ορίζει εύρος από 10 έως 66GHz. Αργότερα προστέθηκε πρόβλεψη υποστήριξης για συχνότητες από 2 έως 11GHz, του οποίου τα περισσότερα τμήματα είναι χωρίς άδεια διεθνώς και μόνο πολύ λίγα από αυτά απαιτούν ακόμα κρατικές άδειες. Το ενδιαφέρον των περισσότερων επιχειρήσεων θα είναι πιθανώς στο κομμάτι αυτό, καθώς δεν απαιτεί αδειοδοτημένες συχνότητες. Οι προδιαγραφές του WiMAX υπερνικούν πολλούς από τους περιορισμούς του

Wi-Fi, με την παροχή αυξημένου εύρους ζώνης και ισχυρότερης κρυπτογράφησης.

Οι παρούσες τεχνολογίες διαφοροποιούνται αρκετά όσον αφορά τα εύρη ζώνης, τις τεχνολογίες πρόσβασης στο μέσο, τους μηχανισμούς ασφάλειας, κλπ. Μια υποσχόμενη εξέλιξη είναι ο συνδυασμός των υπαρχόντων διαφορετικών ασύρματων τεχνολογιών ώστε να προσφέρεται πρόσβαση σε κινητές υπηρεσίες από οποιοδήποτε μέρος και ανά πάσα στιγμή. Μια κινητή συσκευή με πολλαπλές διεπαφές ασύρματων δικτύων μπορεί να αλλάζει τη σύνδεση μεταξύ των διαθέσιμων σημείων προσβάσεως υλοποιώντας διαφορετικές τεχνολογίες.

Το UMTS παρέχει υψηλή κινητικότητα με κάλυψη ευρείας περιοχής και υποστηρίζει από χαμηλούς έως μέτριους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Ωστόσο, οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων του UMTS δεν είναι αρκετοί για απαιτητικές εφαρμογές δεδομένων ενώ παράλληλα οι χρεώσεις είναι υψηλές. Η ιδέα για ενσωμάτωση UMTS με WLAN, η οποία επωφελείται από τον υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και το χαμηλό κόστος του WLAN, έχει προσελκύσει την ερευνητική κοινότητα και τους οργανισμούς προτυποποίησης τα τελευταία χρόνια. Σχετικά προσφάτως, το WiMAX παρέχοντας τις προδιαγραφές μιας ασύρματης διεπαφής σταθερών, φορητών, και κινητών ευρυζωνικών ασύρματων δικτύων πρόσβασης, έχει δώσει λύση στο πρόβλημα του τελευταίου μιλίου. Το κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται στο mobile WiMAX το οποίο λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 2,5-3,5 GHz και υποστηρίζει μέγιστη κινητικότητα 100 km/h. Έχουν γίνει πάμπολλες συζητήσεις για το αν το UMTS και το WiMAX είναι ανταγωνιστικές ή συμπληρωματικές τεχνολογίες. Υποθέτοντας λοιπόν τη φιλική συνύπαρξη μπορούμε να θεωρήσουμε μια προσέγγιση διασυνεργασίας UMTS-WiMAX για την καλύτερη αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων και των δύο τεχνολογιών και την εξάλειψη των έκαστων ελαττωμάτων. Οι πάροχοι μπορούν να φτιάξουν ένα χαμηλού κόστους και υψηλής ταχύτητας δίκτυο WiMAX για να καλύψουν τα hot zones που είτε είναι επεκτάσεις του UMTS ή διασυνεργάσιμα με το UMTS ώστε να μεγιστοποιήσουν την αξιοποίηση ήδη εγκατεστημένων υποδομών. Δηλαδή, αναφορικά με τη γεωγραφική κάλυψη και το QoS, το WiMAX μπορεί να συμπληρώσει το UMTS.

Η διασυνεργασία μεταξύ 3GPP και WiMAX είναι υπό μελέτη από το WiMAX Forum και προς το παρόν δεν εξετάζεται η πραγματική μεταγωγή μεταξύ των δύο συστημάτων: βασίζεται στην επαναχρησιμοποίηση του μοντέλου διασυνεργασίας 3GPP-WLAN που έχει προταθεί από το 3GPP. Μέχρι στιγμής δεν έχει γίνει πλήρης ορισμός και αναφορά για την αρχιτεκτονική διασυνεργασίας μεταξύ WiMAX και UMTS. Στη συνέχεια θα εξεταστεί μια πιθανή αρχιτεκτονική η οποία επιτρέπει κινητικότητα και παροχή συνεχούς υπηρεσίας κατά τη διάρκεια της μεταγωγής μεταξύ αυτών των δύο αναδυόμενων τεχνολογιών πρόσβασης.

Η ιδέα διασυνεργασίας δύο ή περισσότερων δικτύων πρόσβασης για την παροχή υπηρεσιών σε κινητούς χρήστες σε οποιοδήποτε μέρος και ανά πάσα στιγμή έχει τεθεί ήδη σε εφαρμογή. Υπάρχει πληθώρα ερευνών αλλά και εφαρμογών που επικεντρώνονται σε θέματα διασυνεργασίας μεταξύ WLAN και κινητών δικτύων. Στη σχετική βιβλιογραφία για ετερογενή δίκτυα μπορούμε να βρούμε προτάσεις χρήσης ενός τερματικού με δυνατότητα διπλής επικοινωνίας η οποία επιτρέπει στο χρήστη να αλλάζει τη σύνδεση από το ένα ασύρματο δίκτυο πρόσβασης στο άλλο χωρίς απώλεια πακέτων. Η ιδέα είναι να υπάρχουν δύο διαφορετικές ασύρματες διεπαφές ταυτόχρονα ενεργές στην ίδια συσκευή. Ωστόσο, το να έχουμε πολλαπλές ενεργές διεπαφές μπορεί να αποτελέσει την αιτία αύξησης της καταναλισκόμενης ενέργειας στην κινητή συσκευή με αποτέλεσμα την ελάττωση του χρόνου ζωής της συσκευής. Γι αυτό είναι καλύτερα να είναι ενεργή μια ασύρματη διεπαφή κάθε φορά.

Η διασυνεργασία UMTS-WLAN εξετάζεται επί του παρόντος από το 3GPP. Μέχρι τώρα, το WLAN λειτουργεί κυρίως ως επέκταση του δικτύου πρόσβασης 3GPP. Η πραγματική μεταγωγή μεταξύ των συστημάτων ήταν εκτός αρμοδιότητας στο τελευταίο Release 6. Εν τω μεταξύ, η τεχνολογία UMA (Unlicensed Mobile Access), η οποία σκοπό έχει τη διαφανή μετάβαση επικοινωνίας μεταξύ του 2G και του δημοσίου ή ιδιωτικού μη αδειοδοτημένου ασύρματου δικτύου όπως WiFi, Bluetooth, έχει θεωρηθεί από το 3GPP ως πρότυπο.

Συνοψίζοντας τα δρώμενα περί διασυνεργασίας μεταξύ WLAN και κινητών δικτύων 3G, υπάρχουν δύο αρχιτεκτονικές προσέγγισης της διασυνεργασίας: σφιχτής σύζευξης (tight coupling) και χαλαρής σύζευξης (loose coupling).

Tight Coupling: Στην περίπτωση αυτή τα δύο δίκτυα ενσωματώνονται στο επίπεδο Radio Access Network (RAN) – Core Network (CN). Με άλλα λόγια, επιτυγχάνεται η συνεργασία δύο διαφορετικών ασύρματων τεχνολογιών πρόσβασης με ένα μόνο Core Network. Αξίζει να σημειωθεί ότι χρειάζεται επιπλέον προτυποποίηση σε σχέση με το Loose Coupling αφού πρέπει να οριστεί η διεπαφή διασύνδεσης του WLAN με τον κόμβο του Core Network. Στην περίπτωση αυτή ο πάροχος υπηρεσιών είναι ο αποκλειστικός κάτοχος και λειτουργός του δικτύου WLAN. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα είναι ότι επαναχρησιμοποιούνται οι βασικές υποδομές των κινητών τεχνολογιών (cellular) και άρα αποφεύγεται η ανάγκη ξεχωριστών συστημάτων αυθεντικοποίησης και τιμολόγησης ενώ παράλληλα δίνεται πρόσβαση σε μηνύματα SMS και MMS.

Loose Coupling: Προσφέρει μια κοινή διεπαφή για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των

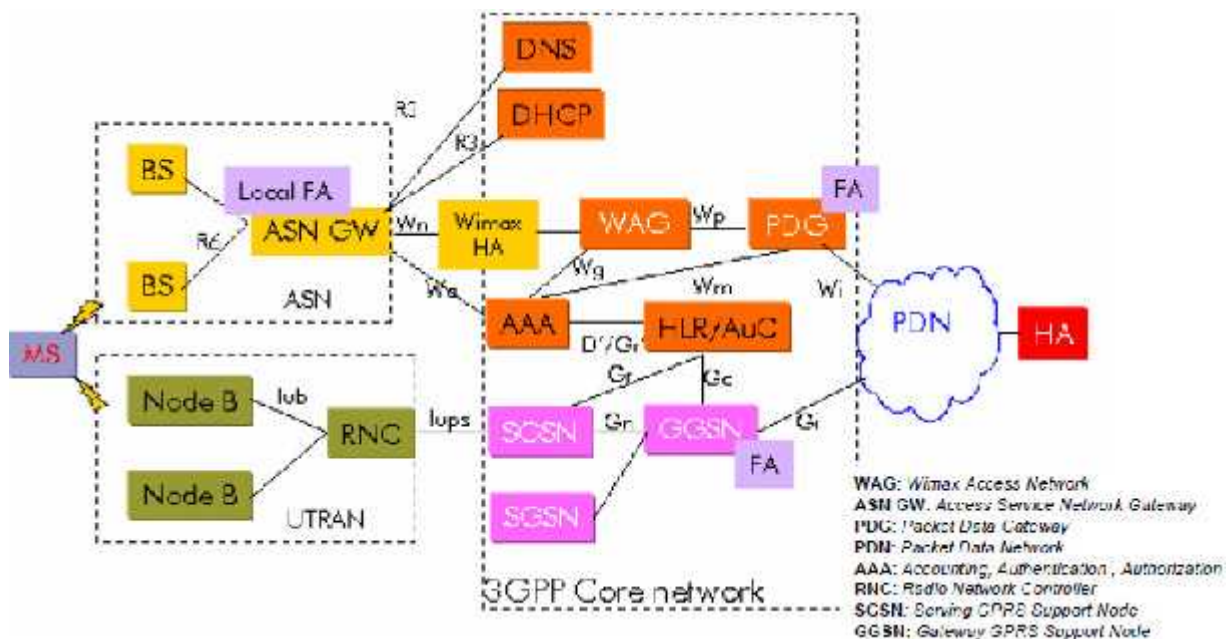
δικτύων. Τα δύο δίκτυα πρόσβασης δεν έχουν τίποτα κοινό, αλλά τα Core Networks συνδέονται μεταξύ τους. Δηλαδή, το WLAN χρησιμοποιεί τη βάση δεδομένων του 3G για πρόσβαση και αυθεντικοποίηση. Η υποστήριξη για διαχείριση κινητικότητας σ' αυτή την αρχιτεκτονική είναι εφικτή με τη χρήση Mobile IP. Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι επιτρέπει την εύκολη περιαγωγή μεταξύ των διαφόρων ανεξάρτητων κινητών και WLAN δικτύων σε περιβάλλοντα πολλών παρόχων υπηρεσιών.

5.2.1 Αρχιτεκτονική διασυνεργασίας

Περιγραφή αρχιτεκτονικής

Πρώτα, θα δοθεί μια περιγραφή των διαφορών μεταξύ διασυνεργασίας UMTS-WLAN και διασυνεργασίας UMTS-WiMAX. Σε περιοχές hot-spot το WLAN σχηματίζει τις μικρο-κυψέλες εντός μακρο-κυψελών UMTS. Η κινητικότητα μεταξύ UMTS και WLAN παραπέμπεται στην πλήρως επικαλυπτόμενη μεταγωγή. Κατά συνέπεια, ο απαιτούμενος χρόνος για μεταγωγή από σύνδεση UMTS σε WLAN σε ανεκτό επίπεδο. Επιπλέον, όταν το κινητό είναι συνδεδεμένο στο WLAN, μπορεί να διατηρήσει ταυτόχρονα το PDP (Packet Data Protocol) πλαίσιο εφαρμογής του UMTS ώστε να επανασυνδεθεί αμέσως στο UMTS χωρίς την ανάγκη επανα-ενεργοποίησης του PDP πλαισίου εφαρμογής (PDP context). Αντιθέτως, η κινητικότητα μεταξύ UMTS και WiMAX παραπέμπεται σε μερικώς επικαλυπτόμενη μεταγωγή αφού η κάλυψη WiMAX συμφωνεί με την περιοχή κάλυψης του UMTS. Επομένως, η μεταγωγή θα πρέπει να γίνεται αρκετά γρήγορα ώστε να διατηρείται η σύνδεση ειδικά όταν η ταχύτητα του κινητού τερματικού είναι υψηλή.

Για να γίνει εφικτή η κινητικότητα μεταξύ των δύο δικτύων πρόσβασης UMTS και WiMAX, προτείνεται μια συγκεκριμένη λύση υπό τις ακόλουθες συνθήκες: ελάχιστη αλλαγή της υπάρχουσας δικτυακής υποδομής αυτών των δύο τεχνολογιών και επιτεύξιμη επίλυση στο βραχυπρόθεσμο μέλλον. Χρησιμοποιώντας το IP ως κοινό πρωτόκολλο διασύνδεσης, το κινητό μπορεί να συνδέεται απρόσκοπτα σε πολλαπλά δίκτυα αγνοώντας τις ετερογένειες των δικτύων πρόσβασης. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μηχανισμό IP ο οποίος αποκρύπτει τις ετερογένειες τεχνολογιών κατωτέρων επιπέδων. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική για διασυνεργασία UMTS-WiMAX, απεικονιζόμενη στην Εικόνα Γ.1, βασίζεται σε μοντέλα αρχιτεκτονικής διασυνεργασίας των προτύπων 3GPP.



Εικόνα
Γ.4

Ο κινητός συνδρομητής (Mobile Subscriber, MS) είναι ένα κινητός κόμβος ο οποίος δύναται να επικοινωνεί και με το δίκτυο UMTS και με το δίκτυο WiMAX. Ωστόσο, συνδέεται με ένα δίκτυο κάθε φορά. Άρα, η μεταγωγή μεταξύ UMTS-WiMAX πρέπει να είναι η σκληρή μεταγωγή (hard handover). Σ' αυτόν τον τύπο μεταγωγής όλες οι παλιές ασύρματες ζεύξεις στο User Equipment αφαιρούνται πριν εγκαθιδρυθούν οι νέες. Hard Handover χρησιμοποιείται όταν κατά τη μεταγωγή απαιτείται αλλαγή της φέρουσας συχνότητας.

Το δίκτυο πρόσβασης WiMAX (WiMAX Access Network) παρέχει στον MS τις υπηρεσίες πρόσβασης στο WiMAX. Η κινητικότητα εντός του δικτύου WiMAX διαχειρίζεται από το WiMAX Home Agent (HA) το οποίο βρίσκεται μεταξύ της δικτυακής πύλης ASN (Access Service Network) και του WAG (WLAN Access Gateway). Το WiMAX AN δεν περιλαμβάνεται απαραίτητως στο 3GPP δίκτυο κορμού (core network) ώστε να κρατήσει την ανεξαρτησία του από το σύστημα 3GPP. Οι Foreign Agents (FA) που βρίσκονται στην ASN Gateway θεωρούνται ως οι τοπικοί FA στην αρχιτεκτονική διασυνεργασίας. Το WiMAX AN συνδέεται στο δίκτυο UMTS μέσω της WAG και στον εξυπηρετητή 3GPP AAA για τη διαδικασία αυθεντικοποίησης WiMAX. Η WAG είναι μια δικτυακή πύλη μέσω της οποίας δρομολογούνται τα δεδομένα από/προς το WiMAX AN για την παροχή υπηρεσιών 3GPP στον MS. Οι λειτουργίες της WAG περιλαμβάνουν αναγκαστική δρομολόγηση πακέτων μέσω PDG, επιτέλεση χρέωσης και φιλτράρισμα πακέτων. Οι κύριες λειτουργίες του PDG είναι η δρομολόγηση των πακέτων που λαμβάνονται από/στέλνονται στο PDN από/προς τον

MS και επιτέλεση των λειτουργιών του FA.

Η κινητικότητα εντός του δικτύου UMTS διαχειρίζεται από το δικό του μηχανισμό κινητικότητας και τις λειτουργίες FA που υλοποιούνται στο GGSN. Για να γίνει εφικτή η κάθετη μεταγωγή (vertical handover) μεταξύ αυτών των δύο τεχνολογιών ο HA τοποθετείται στο PDN και διαχειρίζεται τους FA και του WiMAX και του UMTS.

5.2.2 Διαχείριση διεύθυνσης IP

Στο δίκτυο WiMAX, κάθε φορά που το κινητό αλλάζει την ASN δικτυακή πύλη του, αποκτά μια νέα τοπική διεύθυνση IP μέσω του εξυπηρετητή DHCP. Η δικτυακή πύλη ASN μπορεί να πληροφορηθεί αυτή τη νέα τοπική διεύθυνση IP και επίσης να ζητήσει από τον εξυπηρετητή DHCP του WiMAX HA εφόσον παίζει το ρόλο του εντολοδόχου αναμετάδοσης DHCP κατά τη διαδικασία ανακάλυψης του DHCP. Τότε η δικτυακή πύλη ASN ενημερώνει τον υπηρετούντα BS με τη νέα τοπική διεύθυνση IP του MS και στέλνει την καταχώρηση MIP (Mobile IP) στον WiMAX HA. Για τη μεταφορά των IP πακέτων μεταξύ WiMAX HA και FA μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια IP-σε-IP γενική σήραγγα όπως το GRE (Generic Rounding Encapsulation).

Κάθε φορά που το κινητό αλλάζει τη σύνδεση στο δίκτυο UMTS, αρχικοποιεί τη διαδικασία ενεργοποίησης του PDP context. Καμία διεύθυνση IP δεν κατανέμεται στον MS στην ενεργοποίηση του PDP context. Η απομακρυσμένη διεύθυνση που παρέχεται από τον HA ή μια εξωτερική οντότητα στο PDN θα κρατηθεί αναλλοίωτη και θα γίνει γνωστή στο GGSN μέσω του PDP context. Η απομακρυσμένη διεύθυνση IP είναι μια καθολική διεύθυνση κατοικίας που χρησιμοποιείται ως διεύθυνση για το εξωτερικό δίκτυο και τον αντίστοιχο κόμβο. Μπορεί να είναι μια στατική διεύθυνση ή μια δυναμική διεύθυνση αποκτώμενη από τον HA ή μια άλλη εξωτερική οντότητα όταν το κινητό συνδέεται για πρώτη φορά στο δίκτυο, ανακαλύπτει και καταχωρείται με τον HA. Τότε το PDN/GGSN είναι υπεύθυνο για την αναμετάδοση της απομακρυσμένης διεύθυνσης IP του MS στον MS.

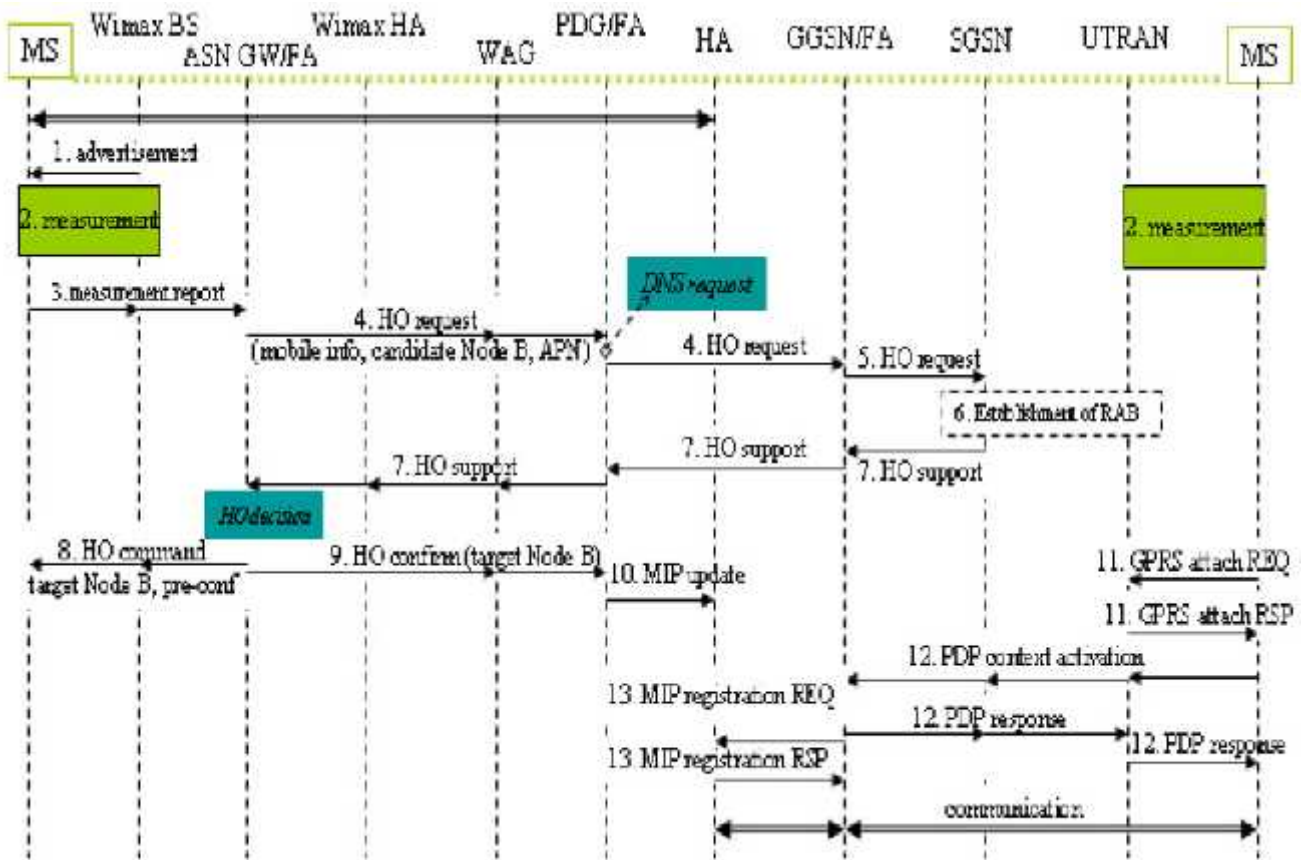
5.2.3 Διαδικασία μεταγωγής

Για να μειωθεί ο χρόνος διακοπής κατά τη διάρκεια της μεταγωγής, χρησιμοποιείται μια διαδικασία προωστικής μεταγωγής. Τουτέστιν, πριν φύγει από το τρέχον δίκτυο, το κινητό ετοιμάζει μια νέα προσάρτηση στο επιθυμητό δίκτυο. Για να μειωθεί η απώλεια πακέτων κατά τη διάρκεια της μεταγωγής, ο παλιός FA ειδοποιεί τον HA για την κίνηση του MS έτσι ώστε ο HA να αποθηκεύσει προσωρινά τα πακέτα και να τα προωθήσει στον MS μόλις ο HA

λάβει την MIP ενημέρωση από τον MS.

5.2.4 Μεταγωγή από δίκτυο πρόσβασης WiMAX στο UTRAN

Πριν αρχικοποιηθεί η μεταγωγή, το κινητό συνδέεται στις υπηρεσίες 3GPP μέσω του δικτύου πρόσβασης WiMAX. Όταν ο MS εισέρχεται σε μια επικαλυπτόμενη ζώνη, μπορεί να μετρήσει την ποιότητα του σήματος από γειτονικές κυψέλες UMTS. Αν τηρούνται οι συνθήκες ενεργοποίησης για κάθετες μεταγωγές (vertical handover), τότε αποφασίζεται η μεταγωγή. Το επιθυμητό UTRAN θα ειδοποιηθεί την επικείμενη μεταγωγή από το δίκτυο WiMAX μέσω του μηνύματος αίτησης HO το οποίο δρομολογείται μέσω του βασικού δικτύου (core network). Ο MS θα επιτελέσει την διαδικασία σύναψης GPRS (GPRS attachment procedure) με το UTRAN. Τα πλαίσια διαχείρισης κινητικότητας δημιουργούνται στον MS και στο SGSN. Η καταχώρηση MIP (MIP registration) μεταξύ HA και του νέου GGSN/FA μπορεί να ενημερωθεί αφού ενεργοποιηθεί το PDP context μεταξύ GGSN και MS. Οι λεπτομέρειες της διαδικασίας μεταγωγής από μια κυψέλη WiMAX σε μια κυψέλη UMTS απεικονίζεται στην Εικόνα Γ.2.



Εικόνα Γ.5 (Σχέδιο μεταγωγής από WiMAX σε UTRAN)

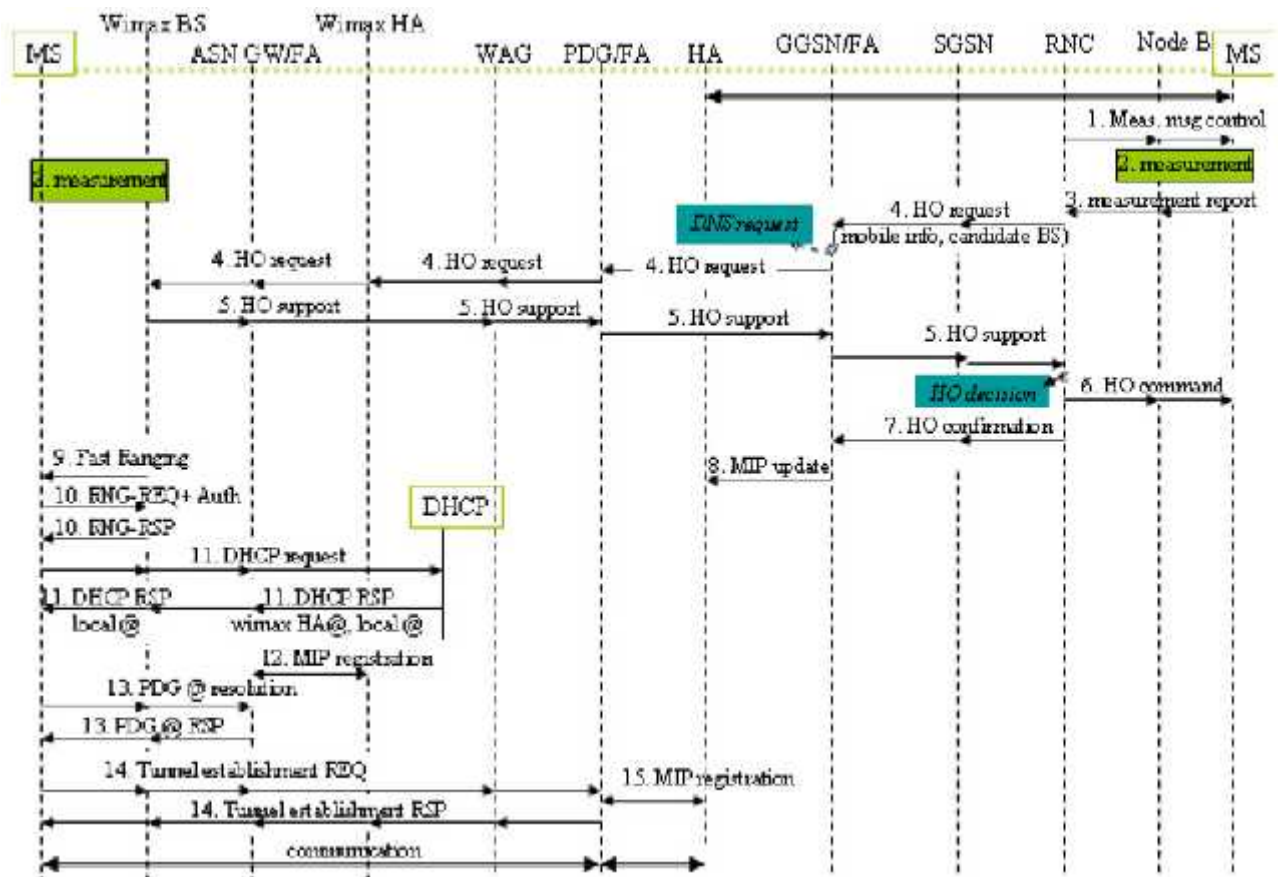
1. Ο WiMAX BS στέλνει περιοδικά το μήνυμα διαφήμισης τοπολογίας (topology advertisement message) για να ενημερώσει τον MS για τους γειτονικούς WiMAX BS και NodeB. Εναλλακτικώς, ο MS μπορεί να σαρώσει διαφορετικά κανάλια για να βρει τη γειτονική τοπολογία. Ωστόσο, αυτό δεν αποτελεί την καλύτερη λύση. Στην παρούσα ανάλυση υποθέτουμε ότι υπάρχει πλήρης συνεργασία μεταξύ των παρόχων UMTS και WiMAX. Επομένως, ο UMTS NodeB μπορεί να εκπέμπει στον MS τις πληροφορίες της γειτονικής κυψέλης WiMAX και αντιστρόφως.
2. Βάσει της διαφήμισης τοπολογίας, ο MS επιτελεί διαδικασίες συγχρονισμού και μετρήσεων. Τη μέτρηση μεταξύ των συστημάτων μπορεί να προκαλέσει κάποιο γεγονός όπως η υποβάθμιση της τρέχουσας ποιότητας σήματος ή η ανάγκη μεταγωγής μεταξύ τεχνολογιών πρόσβασης για την υποστήριξη μεγαλύτερων απαιτήσεων QoS ή χαμηλότερου κόστους. Αφού το WiMAX λειτουργεί με TDD, κατά τη χρονική διάρκεια του πλαισίου κατερχόμενης ζεύξης, μόνο μερικά σύμβολα OFDM απευθύνονται στο κινητό. Αναλόγως, ο υπολειπόμενος χρόνος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση σημάτων γειτονικών κυψελών. Ας σημειωθεί ότι για να επιτευχθεί η μέτρηση σε μια κυψέλη UMTS, οι πληροφορίες όπως κώδικας περιπλοκής (scrambling code), συχνότητα φέροντος, ...θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στα μηνύματα διαφήμισης.
3. Μετά το βήμα της μέτρησης, το κινητό θα στείλει την αναφορά μέτρησης στον WiMAX BS. Η αναφορά πρέπει να περιέχει το επίπεδο ποιότητας σήματος κάθε υποψήφιας κυψέλης UMTS.
4. Ο WiMAX BS αρχίζει τη διαδικασία μεταγωγής ειδοποιώντας το πιθανό στόχο UMTS μέσω μηνύματος αιτήσεως μεταγωγής (HO request). Η δικτυακή πύλη PDG θα διεξάγει μια αίτηση DNS για να μάθει τις διευθύνσεις των GGSN τα οποία εξυπηρετούν το τρέχον APN (Access Point Name) του MS. Η δικτυακή πύλη PDG τότε επιλέγει ένα GGSN από τη λίστα αποτελεσμάτων από τη φάση αίτησης DNS και στέλνει την αίτηση μεταγωγής (HO) στο επιλεγμένο. Αν η δικτυακή πύλη PDG δε λάβει κάποια απάντηση από το GGSN για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, θα επιλέξει ένα άλλο GGSN από τη λίστα και θα ξαναστείλει το μήνυμα αίτησης HO.
5. Τότε το GGSN στέλνει το μήνυμα αίτησης HO στα SGSN τα οποία εξυπηρετούν τα αναγραφόμενα NodeB. Για να είναι εφικτή η ανάκληση της διεύθυνσης του SGSN που εξυπηρετεί ένα συγκεκριμένο NodeB, υποθέτουμε ότι ο εξυπηρετητής DNS ή η βάση δεδομένων HLR (Home Location Register) αποθηκεύει αυτές τις πληροφορίες δρομολόγησης.

6. Το επιθυμητό δίκτυο RAN εγκαθιδρύει κομιστικούς πόρους, συμπεριλαμβανομένων ασύρματων πόρων, για τον MS. Αυτό το βήμα σκοπό έχει να ελέγξει αν τα υποψήφια UMTS NodeB μπορούν να δεχτούν τη μεταγωγή του MS με το απαιτούμενο QoS.
7. Το NodeB το οποίο υποστηρίζει τη μεταγωγή του MS θα στείλει ένα μήνυμα υποστήριξης HO στη δικτυακή πύλη ASN η οποία περιέχει τη λειτουργία απόφασης μεταγωγής.
8. Όταν η δικτυακή πύλη ASN λαμβάνει μηνύματα υποστήριξης HO, επιλέγει την καλύτερη επιθυμητή κυψέλη UMTS και μετά επιστρέφει τον έλεγχο της μεταγωγής (HO command) στον MS. Αυτό το μήνυμα πρέπει να περιέχει το προτεινόμενο επιθυμητό NodeB και όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες για το στήσιμο μιας νέας σύνδεσης. Η παραπάνω ανταλλαγή μπορεί να απαιτεί μεγάλη ποσότητα πληροφοριών και να προσθέτει περισσότερη καθυστέρηση στη μεταγωγή, επομένως προτιμάται η χρήση ενός προ-ρυθμισμένου μηχανισμού. Σημαίνει ότι μόνο ένα αριθμός αναφοράς που αντιστοιχεί σε ένα προκαθορισμένο σύνολο παραμέτρων UTRAN εισάγεται στο HO command. Ο MS θα πρέπει να μεταφορτώσει τις προκαθορισμένες ασύρματες ρυθμίσεις από πριν. Κατά τη διάρκεια αυτής της προσωρινής σύνδεσης, ο MS μπορεί να κάνει τις κατάλληλες ρυθμίσεις για τη σύνδεση.
9. Αμέσως μετά η δικτυακή πύλη ASN στέλνει την επιβεβαίωση μεταγωγής η οποία περιλαμβάνει το αναγνωριστικό του επιθυμητού NodeB στον PDG/FA. Οι δεσμευμένοι πόροι στο δίκτυο τότε θα αφεθούν ελεύθεροι.
10. Μόλις ληφθεί το μήνυμα επιβεβαίωσης μεταγωγής, ο PDG/FA θα στείλει ένα μήνυμα ενημέρωσης MIP στον HA για να τον ενημερώσει την κίνηση του MS. Ο HA τότε σταματά να στέλνει τα πακέτα στον MS μέσω αυτού του PDG/FA και αποθηκεύει προσωρινά τα εισερχόμενα πακέτα μέχρι να λάβει την ενημέρωση MIP από το επιθυμητό δίκτυο UMTS.
11. Ο MS επιτελεί τη διαδικασία σύναψης GPRS (GPRS attachment procedure) στο δίκτυο UTRAN. Η διαδικασία αυτή αποτελείται από πρόσβαση στο SGSN, αυθεντικοποίηση με τον εξυπηρετητή AAA και ενημέρωση της τοποθεσίας.
12. Μετά την επιτυχή έκβαση αυτής της διαδικασίας, ο MS αρχίζει την ενεργοποίηση πλαισίου PDP (PDP context activation) μέσω της οποίας ο MS ενημερώνει την απομακρυσμένη διεύθυνση IP (global home address) του στο GGSN.
13. Αφού εγκαθιδρυθεί η σύνδεση μεταξύ ενός νέου GGSN/FA και MS, ο GGSN/FA θα κάνει την καταχώρηση MIP με τον HA περιλαμβάνοντας την απομακρυσμένη διεύθυνση IP του MS και τη διεύθυνση care-of-address (διεύθυνση του GGSN/FA). Τότε τα

δεδομένα θα εκπεμφθούν στον MS μέσω του νέου NodeB και η διαδικασία μεταγωγής έχει ολοκληρωθεί.

5.2.5 Μεταγωγή από UTRAN σε δίκτυο πρόσβασης WiMAX

Πριν αρχικοποιηθεί η μεταγωγή, ο MS βρίσκεται στο δίκτυο UMTS. Όταν ο MS κινείται σε μια επικαλυπτόμενη ζώνη, μπορεί να μετρήσει την ποιότητα του σήματος από τους γειτονικούς WiMAX BS. Όταν το δίκτυο αποφασίσει μεταγωγή στο WiMAX, ο MS θα στήσει τη σύνδεση με το WiMAX δίκτυο πρόσβασης, θα κάνει την αυθεντικοποίηση και την ενημέρωση του MIP registration, κλπ. Το σχέδιο μεταγωγής από μια κυψέλη UMTS σε μια WiMAX απεικονίζεται στην Εικόνα Γ.3



Εικόνα Γ.6 (Σχέδιο μεταγωγής από UTRAN σε WiMAX)

1. Η διεπαφή UTRAN είναι υπεύθυνη για την ανίχνευση της ανάγκης μεταγωγής και την αρχικοποίηση της διαδικασίας μέτρησης μεταξύ των συστημάτων στέλνοντας το μήνυμα ελέγχου μέτρησης στον MS. Αυτό το μήνυμα περιέχει τις πληροφορίες της γειτονικής κυψέλης WiMAX, κλπ.
2. Ενώ ο MS έχει μια τεκταινόμενη επικοινωνία σε FDD τρόπο λειτουργίας, για να κάνει τη

μέτρηση στις γειτονικές κυψέλες WiMAX, πρέπει να εισέλθει στον συμπιεσμένο τρόπο λειτουργίας. Εδώ να σημειωθεί πως η μέτρηση στην κυψέλη WiMAX γίνεται στο προοίμιο κάθε πλαισίου WiMAX.

3. Μετά την περίοδο μέτρησης, ο MS στέλνει την αναφορά μέτρησης στο δίκτυο. Η αναφορά πρέπει να περιέχει τις παραμέτρους που υποδεικνύουν το επίπεδο ποιότητας του σήματος των γειτονικών WiMAX BS.
4. Το RNC (Radio Network Controller) αρχικοποιεί τη διαδικασία μεταγωγής ειδοποιώντας τους πιθανούς επιθυμητούς WiMAX BS στους οποίους είναι πιθανό να μεταχθεί το κινητό. Το μήνυμα αίτησης HO (Handover) συμπεριλαμβανομένου του APN του MS, τα αναγνωριστικά των υποψήφιων BS, το απαιτούμενο QoS των τρεχουσών εφαρμογών του MS, κλπ, θα σταλούν στο GGSN. Το GGSN κάνει αίτηση DNS για να μάθει τις διευθύνσεις των δικτυακών πυλών PDG οι οποίες εξυπηρετούν το τρέχον APN του MS. Το GGSN επιλέγει μια δικτυακή πύλη PDG στη λίστα αποτελεσμάτων και της στέλνει το μήνυμα αίτησης HO. Αν το GGSN δε λάβει απόκριση από τη δικτυακή πύλη PDG μετά από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, θα στείλει την αίτηση HO σε μια άλλη δικτυακή πύλη PDG της λίστας. Το μήνυμα αίτησης HO θα εκπεμφθεί τότε στους πιθανούς WiMAX BS βάσει των πληροφοριών δρομολόγησης της PDG. Αυτό το βήμα σκοπό έχει να ελέγξει αν ο επιθυμητός WiMAX BS μπορεί να δεχτεί τον μεταγόμενο MS με το απαιτούμενο QoS.
5. Οι WiMAX BS οι οποίοι υποστηρίζουν τη μεταγωγή του MS θα επιστρέψουν ένα μήνυμα υποστήριξης HO στο RNC.
6. Το RNC θα επιλέξει τον καλύτερο επιθυμητό WiMAX BS μεταξύ των υποστηριζόμενων BS και τότε στέλνει το HO command στον MS. Αυτό το μήνυμα περιλαμβάνει όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες για το στήσιμο της σύνδεσης με τον επιλεγμένο WiMAX BS.
7. Ακριβώς μετά από αυτό το RNC στέλνει την επιβεβαίωση HO (HO confirmation). Τότε το κινητό αποσυνδέεται από το δίκτυο UMTS και αρχίζει το στήσιμο της σύνδεσης με τον WiMAX BS.
8. Με τη λήψη της επιβεβαίωσης μεταγωγής, ο GGSN/FA στέλνει ένα μήνυμα MIP update στον HA για να τον ειδοποιήσει για την κίνηση του MS. Τότε ο HA σταματά να στέλνει τα πακέτα στον MS μέσω του GGSN/FA και αποθηκεύει προσωρινά τα εισερχόμενα πακέτα μέχρι να λάβει το MIP update από το δίκτυο WiMAX.
9. Βάσει των πληροφοριών που περιέχονται στο μήνυμα HO request, ο WiMAX BS μπορεί να παρέχει στον MS μια μη-συναγωνισμού (non-contention) ευκαιρία αρχικής εμβέλειας τοποθετώντας ένα Fast_Ranging_Information_Element στο UL-MAP. Αυτή η πληροφορία

- θα διευκολύνει τον MS στο στήσιμο της σύνδεσης με το RAN. Αν όχι, ο MS πρέπει να διεξάγει τη φυσιολογική διαδικασία εμβέλειας η οποία είναι περισσότερο χρονοβόρα.
10. Ο MS αρχικοποιεί το στήσιμο της σύνδεσης ανταλλάσσοντας μηνύματα RNG-REQ και RNG-RSP με τον επιθυμητό WiMAX BS. Οι λεπτομέρειες της εισόδου στο δίκτυο περιγράφονται στο [7].
 11. Στο δίκτυο πρόσβασης WiMAX (WiMAX AN), ο MS θα στείλει μια αίτηση DHCP για να αποκτήσει νέα τοπική διεύθυνση IP. Σε αυτό το σενάριο, περιγράφεται μια διαδικασία εκχώρησης διεύθυνσης βάσει μηχανισμού IPv4. Αν χρησιμοποιείται IPv6 η τοπική διεύθυνση μπορεί να εκχωρηθεί με τον μηχανισμό Stateless Address Auto configuration χωρίς την παρουσία του εξυπηρετητή DHCP. Μέσω αυτής της διαδικασίας η δικτυακή πύλη ASN θα μάθει επίσης τη διεύθυνση του WiMAX HA ο οποίος χρησιμεύει για την καταχώρηση MIP (MIP registration) του επόμενου βήματος.
 12. Ο MS προχωρεί στην MIP registration για να συσχετίσει την τοπική του διεύθυνση με τη διεύθυνση care-of-address.
 13. Ο MS θα κάνει επίλυση DNS για διεύθυνση PDG. Ο MS χρησιμοποιεί το APN για να υποδείξει την υπηρεσία δικτύου που θέλει να αποκτήσει πρόσβαση. Η αίτηση DNS θα αναμεταδοθεί στη δικτυακή πύλη ASN η οποία με τη σειρά της αναμεταδίδει την αίτηση στον εξυπηρετητή DNS. Ο MS θα επιλέξει μια κατάλληλη PDG ανάμεσα από τη λίστα των PDG που δίνονται στην απόκριση DNS. Εδώ να σημειωθεί ότι η επιλεγμένη PDG εδώ μπορεί να είναι διαφορετική από τη PDG που επιλέχθηκε από το GGSN κατά τη διάρκεια του βήματος αίτησης/υποστήριξης HO (HO request/support).
 14. Τότε ο MS εγκαθιδρύει μια σήραγγα από άκρο σε άκρο με την επιλεγμένη PDG χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο IKEv2. Μέσω αυτής της διαδικασίας, ο MS θα ενημερώσει την PDG την τοπική και απομακρυσμένη διεύθυνση IP του. Κάθε φορά που το κινητό αλλάζει το ASN δικτύό του, αποκτά μια νέα τοπική διεύθυνση IP και επομένως μια νέα σήραγγα θα πρέπει να ρυθμιστεί κατάλληλα. Σχετικά με την κινητικότητα μεταξύ δικτύων WiMAX, ο χρόνος που απαιτείται για το στήσιμο μιας νέας σήραγγας IPsec όταν αλλάζει το ASN μπορεί να είναι πολύ μεγάλος και να μην επιτυγχάνεται απρόσκοπτη κινητικότητα. Για να επιταχυνθεί αυτού του είδους η μετάθεση σήραγγας IPsec, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το μηχανισμό MOBIKE τον οποίο εισηγείται το IETF.
 15. Η PDG επιτελεί τη διαδικασία MIP registration με τον HA μόλις ειδοποιηθεί με την απομακρυσμένη διεύθυνση IP του MS. Τα πακέτα δεδομένων θα μεταδοθούν στον MS μέσω του WiMAX AN. Η διαδικασία μεταγωγής έχει ολοκληρωθεί

Σύγκριση μεταξύ ασύρματων τεχνολογιών

| Standard | Family | Primary Use | Radio Tech | Downlink (Mbps) | Uplink (Mbps) | Notes |
|-------------------------|---------------|-----------------|-------------|-----------------|---------------|---|
| 802.16e | WiMAX | Mobile Internet | MIMO-SOFDMA | 70 | 70 | Quoted speeds only achievable at very short ranges, more practically 10 Mbps at 10 km. |
| HIPERMAN | HIPERMAN | Mobile Internet | OFDM | 56.9 | 56.9 | |
| WiBro | WiBro | Mobile Internet | OFDMA | 50 | 50 | Mobile range (900 m) |
| iBurst | iBurst 802.20 | Mobile Internet | HC-SDMA | 64 | 64 | 3-12 km |
| UMTS W-CDMA HSDPA+HSUPA | UMTS/3GSM | Mobile phone | CDMA/FDD | .384 14.4 | .384 5.76 | HSDPA widely deployed. Typical downlink rates today 1-2Mbps, ~200kbps uplink; future downlink up to 28.8Mbps. |
| UMTS-TDD | UMTS/3GSM | Mobile Internet | CDMA/TDD | 16 | 16 | Reported speeds according to IPWireless using 16QAM modulation similar to HSDPA+HSUPA |

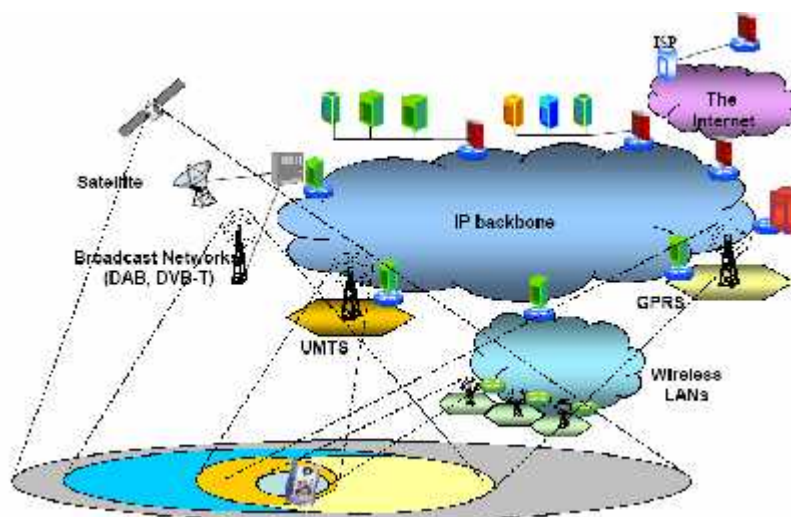
| | | | | | | |
|--|-----------|-----------------|----------------------------|----------------------|----------------------|--|
| LTE UMTS | UMTS/4GSM | General 4G | OFDMA/MIMO/SC-FDMA (HSOPA) | >100 | >50 | Still in development |
| 1xRTT | CDMA2000 | Mobile phone | CDMA | 0.144 | 0.144 | Obsoleted by EV-DO |
| EV-DO 1x Rev. 0 EV-DO 1x Rev.A EV-DO Rev.B | CDMA2000 | Mobile Internet | CDMA/FDD | 2.45 3.1 4.9xN | 0.15 1.8 1.8xN | Rev B note: N is the number of 1.25 MHz chunks of spectrum used. Not yet deployed. |

5.3. Κινητές Επικοινωνίες 4ης Γενιάς (4G)

Οι τεχνολογίες κινητών επικοινωνιών τέταρτης γενιάς (4G) θα είναι ο διάδοχος της τεχνολογίας πρόσβασης τρίτης γενιάς (3G), που συναντάμε σήμερα. Το 4G στοχεύει να παράσχει στο τερματικό των χρηστών εύρη ζώνης πολλών Megabit ακόμα και όταν αυτοί είναι σε κίνηση, με χρήση διαφόρων εναλλακτικών τεχνολογιών.

Τα δίκτυα 4^{ης} Γενιάς είναι σε στάδιο μελέτης ακόμη και φαίνεται να έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον αρκετών εταιρειών, ιδιαίτερα στην Ιαπωνία, όπου ορισμένες επιχειρήσεις έχουν εξαγγείλει την ανάπτυξη δικτύων 4G μέχρι το 2010, στα οποία οι χρήστες θα απολαμβάνουν ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων μέχρι 100 Mbps καθώς κινούνται και μέχρι 1 Gbps ώντας ακίνητοι. Πιστεύεται πως, αν και ούτε σήμερα χρησιμοποιούνται πλήρως οι δυνατότητες του 3G, η ύπαρξη μιας τόσο γρήγορης πλατφόρμας μεταφοράς δεδομένων θα δημιουργήσει νέες υπηρεσίες που θα εκμεταλλεύονται αυτές τις δυνατότητες.

Τα δίκτυα αυτά βασίζονται στην ιδέα της καθολικής διασύνδεσης διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης και της δυνατότητας μεταπομπής από το ένα δίκτυο στο άλλο χωρίς διακοπές στην επικοινωνία. Αυτές οι τεχνολογίες πρόσβασης μπορεί να είναι το Wi-Fi, το Wi-MAX, το UMTS, το EDGE, οι δορυφορικές επικοινωνίες ή οποιαδήποτε άλλη μελλοντική ασύρματη τεχνολογία.



Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..4: **Το όραμα των δικτύων 4G**

5.3. Υψηλού Ύψους Πλατφόρμες (HAP, High Altitude Platforms)

Μία υψηλού ύψους πλατφόρμα, ή HAP, είναι ένας τηλεκατευθυνόμενος εναέριος φορέας (Σχήμα 5.2) που παραμένει σχετικά στάσιμος σε υψηλό ύψος από τη γη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις επικοινωνίες, για πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών, για έλεγχο της οδικής κυκλοφορίας αλλά και για την παροχή ευρυζωνικού περιεχομένου. Λόγω της σχετικά μικρής απόστασής τους από τη γη σε σχέση με τους δορυφόρους (20 χλμ έναντι μέχρι 40.000 χλμ) θα μπορούσαν ακόμη και να χρησιμοποιηθούν για την παροχή κινητών τηλεπικοινωνιών, χωρίς την ανάγκη για κεραίες βασισμένες στο έδαφος και χωρίς τις μεγάλες καθυστερήσεις που εισάγονται στις δορυφορικές επικοινωνίες.



Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..5: **Zeppelin που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πλατφόρμα υψηλού ύψους**

Όσον αφορά την ευρυζωνική πρόσβαση, οι πλατφόρμες αυτές μπορούν να καταστούν πολύ δελεαστικές για τις τηλεπικοινωνιακές εταιρίες, σε μία περίοδο που το ελεύθερο προς διάθεση φάσμα αρχίζει να περιορίζεται. Οι πλατφόρμες αυτές μπορούν να επικοινωνούν με μία ζώνη 200 MHz στις συχνότητες 47-48 GHz ή/και στα 28 GHz, που τους έχουν καταχωρηθεί. Σ' αυτές τις χιλιοστο-κυματικές ζώνες που υπάρχει η απαίτηση για σύνδεση οπτικής επαφής μεταξύ του πελάτη και του σταθμού βάσης, η ανάπτυξη υποδομών σε επίγειο περιβάλλον θα ήταν ασύμφορη και για περιβαλλοντικούς και για οικονομικούς λόγους, αφού το δίκτυο με τους σταθμούς βάσης θα έπρεπε να είναι πολύ πυκνό. Αντίθετα το δίκτυο HAP είναι μια λύση πολύ ικανοποιητική για αυτούς τους περιορισμούς αφού μία μόνο πλατφόρμα μπορεί να καλύψει και να παρέχει υπηρεσίες σε μία μεγάλη περιοχή.

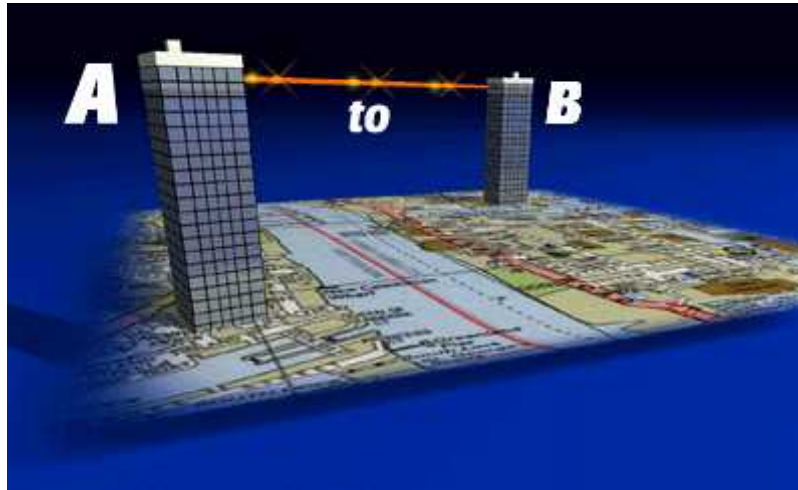
Ο ρυθμός μετάδοσης που μπορούν να επιτύχουν οι πλατφόρμες υψηλού ύψους είναι τουλάχιστον 2 Mbps διαθέσιμα στον πελάτη. Για την ακόμα πιο γρήγορη μεταβίβαση των δεδομένων είναι απαραίτητη η χρήση κατευθυντικών κεραιών και στην πλευρά του χρήστη

και επάνω στην πλατφόρμα, έτσι ώστε να επιτυγχάνονται ταχύτητες μέχρι και 40 Mbps. Μια ιδέα επίσης είναι η χρήση πολλών κεραιών επάνω στην πλατφόρμα για τη δημιουργία κυψελωτών δικτύων στη γη και κάλυψη μεγάλων περιοχών, με δυνατότητα μεταπομπής μεταξύ των κυψελών.

5.3. Οπτικές Συνδέσεις ελεύθερου χώρου (Free Space Optics)

Οι οπτικές συνδέσεις ελεύθερου χώρου (FSO) είναι μια τεχνολογία τηλεπικοινωνιών που χρησιμοποιεί το φως για να μεταδώσει δεδομένα ανάμεσα σε δύο σημεία. Η τεχνολογία αυτή είναι χρήσιμη όταν η φυσική σύνδεση του σημείου εκπομπής με το σημείο λήψης είναι δύσκολη, παραδείγματος χάριν σε πόλεις όπου η τοποθέτηση οπτικών ινών είναι ακριβή. Οι οπτικές συνδέσεις χρησιμοποιούνται επίσης στις επικοινωνίες μεταξύ διαστημικών σκαφών, δεδομένου ότι έξω από την ατμόσφαιρα δεν υπάρχουν παραμορφώσεις του σήματος. Οι οπτικές συνδέσεις χρησιμοποιούν συνήθως υπέρυθρες ακτίνες λέιζερ. Με τις ακτίνες αυτές πραγματοποιείται μια πολύ απλή μορφή οπτικών επικοινωνιών ελεύθερου χώρου.

Οι ρυθμοί μετάδοσης που μπορούν να επιτευχθούν αγγίζουν τα 2.5 Gbps για τη μετάδοση δεδομένων, φωνής και βίντεο ταυτόχρονα σε συνθήκες οπτικής επαφής. Ένα πολύ χαρακτηριστικό σημείο αυτής της τεχνολογίας είναι ότι δεν χρειάζεται καμία άδεια για τη χρήση του φάσματος στις συχνότητες που χρησιμοποιεί, χαρακτηριστικό ιδιαίτερα δελεαστικό για όσες εταιρείες θέλουν να επενδύσουν στη συγκεκριμένη τεχνολογία. Οι αποστάσεις που καλύπτονται είναι της τάξης των 4 χλμ, ενώ σε ιδιαίτερες περιπτώσεις μπορούν να φτάσουν και τα 10 χλμ (στρατιωτικές εφαρμογές). Οι αποστάσεις και οι ρυθμοί μετάδοσης πάντως εξαρτώνται ιδιαίτερα από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.



Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..6: **Οπτική σύνδεση μεταξύ δύο σημείων** Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.

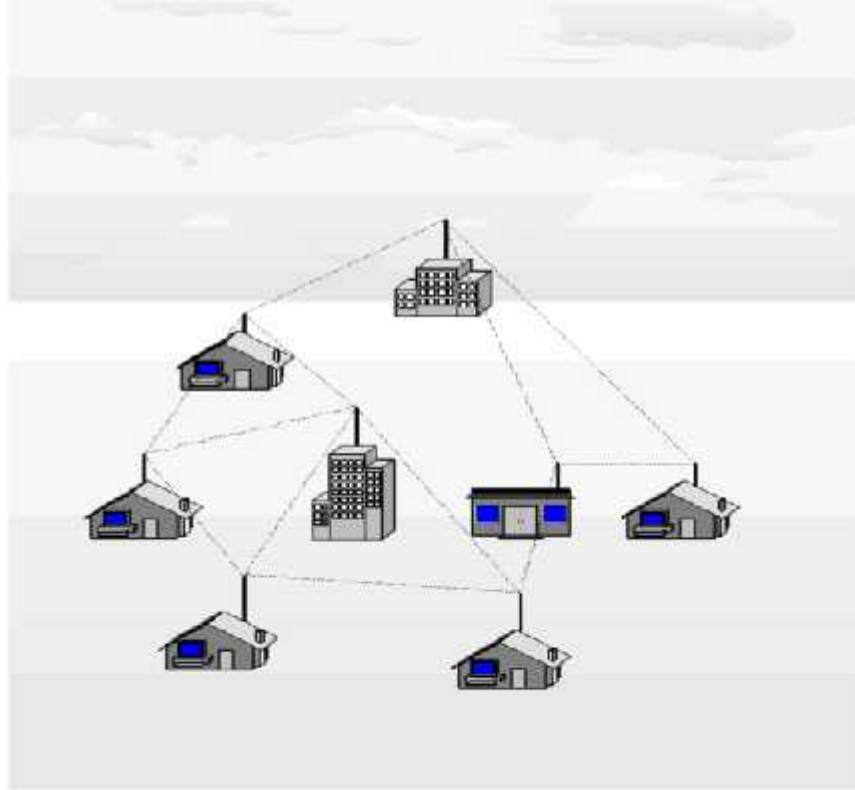
Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει αυτή η τεχνολογία είναι πολλά. Καταρχάς η δημιουργία της σύνδεσης γίνεται πολύ γρήγορα. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως δεν απαιτείται άδεια χρήσης του φάσματος, καθώς λειτουργεί σε ελεύθερες ζώνες (license free). Παρέχει υψηλή ασφάλεια στη μετάδοση και υψηλούς ρυθμούς μεταβίβασης δεδομένων. Οι παρεμβολές από το χιόνι και τη βροχή είναι μικρές σε σχέση με άλλες τεχνολογίες. Επιτρέπει αμφίδρομες επικοινωνίες και δεν εισάγονται σημαντικές παρεμβολές. Επομένως όλα αυτά δείχνουν ότι αυτή η τεχνολογία μπορεί να αξιοποιηθεί όλο και περισσότερο στο μέλλον για γρήγηρη μεταφορά δεδομένων.

5.3. Πλέγματα ασύρματων δικτύων (Radio Mesh Networks)

Τα πλέγματα ασύρματων δικτύων είναι ένα δίκτυο πλέγματος που υλοποιείται πάνω από ασύρματα τοπικά δίκτυα (LAN).

Αυτός ο τύπος υποδομής Διαδικτύου είναι αποκεντρωτικός, σχετικά ανέξοδος, και πολύ αξιόπιστος και ελαστικός, καθώς κάθε κόμβος μεταδίδει μόνο μέχρι τον επόμενο κόμβο. Οι κόμβοι ενεργούν ως επαναλήπτες για να διαβιβάσουν δεδομένα από γειτονικούς κόμβους σε άλλους που βρίσκονται πάρα πολύ μακριά, με συνέπεια ένα δίκτυο να μπορεί να επεκταθεί σε μεγάλες αποστάσεις, ειδικά πάνω από τραχείς ή δύσκολες εκτάσεις. Τα δίκτυα πλέγματος είναι επίσης εξαιρετικά αξιόπιστα, καθώς κάθε κόμβος συνδέεται με περισσότερους από έναν κόμβο. Έτσι εάν ένας κόμβος αποκοπεί από το δίκτυο, λόγω ζημιάς του υλικού ή οποιουδήποτε άλλου λόγου, οι γείτονές του βρίσκουν απλά μια άλλη

διαδρομή. Μεγαλύτερη χωρητικότητα μπορεί να επιτευχθεί με απλή πρόσθεση περισσότερων κόμβων. Τα δίκτυα πλέγματος μπορούν να περιλαμβάνουν είτε σταθερές είτε κινητές συσκευές που τοποθετούνται εντός συγκεκριμένων αποστάσεων μεταξύ τους.



Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..7: **Δίκτυο πλέγματος**
Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.

Η αρχή λειτουργίας αυτών των δικτύων είναι παρόμοια με τον τρόπο που μεταδίδονται τα πακέτα στο καλωδιακό Διαδίκτυο - τα δεδομένα από κόμβο σε κόμβο μέχρι να φτάσουν σε έναν δεδομένο προορισμό. Οι δυναμικές ικανότητες δρομολόγησης που περιλαμβάνονται σε κάθε κόμβο επιτρέπουν αυτό να συμβαίνει. Για να εφαρμοστούν αυτές οι ικανότητες δρομολόγησης, κάθε κόμβος πρέπει να διαβιβάσει τις πληροφορίες δρομολόγησής του σε κάθε κόμβο με τον οποίο είναι συνδεδεμένος, "σχεδόν σε πραγματικό χρόνο". Κάθε κόμβος καθορίζει έπειτα τι να κάνει με τα δεδομένα που λαμβάνει - είτε τα μεταδίδει προς τον επόμενο είτε τα κρατάει. Ο αλγόριθμος δρομολόγησης που χρησιμοποιείται πρέπει να προσπαθεί πάντα να εξασφαλίσει ότι τα δεδομένα ακολουθούν την πιο κατάλληλη (γρηγορότερη) διαδρομή για να φτάσουν στον προορισμό τους.

Η επιλογή της ράδιο-τεχνολογίας για τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος είναι κρίσιμη. Σε ένα παραδοσιακό ασύρματο δίκτυο όπου τα τερματικά συνδέονται με ένα μοναδικό σημείο πρόσβασης, κάθε τερματικό πρέπει να μοιραστεί ένα σταθερό κομμάτι του εύρους ζώνης. Με την τεχνολογία πλέγματος και τις προσαρμοστικές ιδιότητες που παρέχονται, τα τερματικά του δικτύου πλέγματος θα συνδεθούν μόνο με άλλα τερματικά που είναι σε μια καθορισμένη σειρά. Το πλεονέκτημα είναι ότι, όσο περισσότερα τερματικά συνδέονται στο δίκτυο τόσο περισσότερο εύρος ζώνης διατίθεται, με δεδομένο ότι ο αριθμός των ενδιάμεσων νόμβων κρατιέται χαμηλός.

Για να αποτραπεί η αυξανόμενη κίνηση μέσω άλλων κόμβων και να ακυρωθούν τα πλεονεκτήματα των πολλαπλών πομποδεκτών εντός του δικτύου, ένας χαρακτηριστικός τύπος αρχιτεκτονικής για ένα κινητό δίκτυο πλέγματος περιλαμβάνει και αρκετούς σταθερούς σταθμούς βάσης που λειτουργούν σαν πύλες σε υπηρεσίες, στο Διαδίκτυο και σε άλλους σταθερούς σταθμούς βάσης και μέρος της κίνησης δρομολογείται μέσω αυτών. Αυτή η παροχή, ουσιαστικά, εύρους ζώνης που προσφέρουν οι σταθμοί βάσης πρέπει να είναι ουσιαστική ώστε το δίκτυο να λειτουργήσει αποτελεσματικά. Εντούτοις, ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα των ασύρματων δικτύων πλέγματος είναι ο πάροχος του δικτύου αρκεί να προσφέρει μια ελάχιστη υποδομή σταθμών βάσεων, και μετά επιτρέπει στους χρήστες να επεκτείνουν οι ίδιοι το δίκτυο.

Δεδομένου ότι αυτή η ασύρματη υποδομή Διαδικτύου έχει τη δυνατότητα να είναι πολύ φτηνότερη από τις παραδοσιακές υποδομές, πολλές ομάδες ασύρματων κοινοτήτων δικτύων δημιουργούν ήδη τα ασύρματα δίκτυα πλέγματός τους και προσφέρουν σύνδεση με το Διαδίκτυο στους χρήστες τους.

5.4 Οι «Ραδιο-τεχνολογίες B3G»

Οι ιδέες κι οι προτάσεις διαδέχονται η μια τη άλλη, κι οι τεχνολογίες εξελίσσονται. Οι τεχνολογίες 4G αποτελούν τις νεότερες τεχνολογίες κινητής επικοινωνίας, που αναμένονται εμπορικά γύρω στο 2015 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:

1. Τις «ραδιο-τεχνολογίες B3G» (ή τεχνολογίες μετάδοσης σήματος)
2. Τις «υπηρεσίες B3G», δηλ. τις εφαρμογές που παρέχονται στον τελικό χρήστη

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 ραδιοσυχνότητων (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.

Συντομογραφίες

| | |
|---------------|---|
| 3G | Third Generation |
| 3GPP | Third Generation Partnership Project |
| AC | Admission Control |
| ACK | Acknowledgement |
| ACR | Absolute Category Rating |
| AM | AcknowledgedMode |
| ANOVA | Analysis of Variance |
| ARQ | Automatic Repeat reQuest |
| BDP | Bandwidth Delay Product |
| CCR | Comparison Category Rating |
| CDF | Cumulative Distribution Function |
| CDMA | Code DivisionMultiple Access |
| C/I | Carrier to Interference ratio |
| CN | Core Network |
| CRC | Cyclic Redundancy Check |
| CS | Circuit Switched |
| CTIF | Center for TeleInFrastruktur |
| DCH | Dedicated Channel |
| DCR | Degradation Category Rating |
| DCH | Dedicated Channel |
| DCR | Degradation Category Rating |
| DL | Down Link |
| DLL | Data Link Layer |
| DS | Direct Sequence |
| DSACK | Duplicate SACK |
| E2E | End to End |
| EDGE | Enhanced Data Rates for Global Evolution |
| EUTRAN | Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network |
| FACE | Future Adaptive Communication Environment |
| FACH | Forward Access Channel |
| FAK | Forward Acknowledgement |
| FEC | Forward Error Correction |
| FER | Frame Erasure Rate |
| FIN | Finalise |
| FRTO | Forward RTO Recovery |
| FTP | File Transfer Protocol |
| GGSN | Gateway GPRS Support Node |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| GSM | Global System for Mobile communications. |
| H-ARQ | Hybrid ARQ |

| | |
|--------------|--|
| HC | Handover Control |
| HSDPA | High Speed Downlink Packet Access |
| HSPA | High Speed Packet Access |
| HSUPA | High Speed Uplink Packet Access |
| IETF | Internet Engineering Task Force |
| IP | Internet Protocol |
| ITU | International Telecommunication Union |
| Kbps | Kilo bits per second |
| KHz | Kilo Hertz |
| LC | Load Control |
| LLC | Logical Link Control |
| MAC | Medium Access Control |
| Mbps | Mega bits per second |
| MMS | Multimedia Messaging |
| MSS | Maximum Segment Size |
| MTU | Maximum Transmission Unit |
| NACK | Negative Acknowledgement |
| NodeB | Base station |
| NRT | Non Real Time |
| OSI | Open Systems Interconnection |
| PC | Power Control |
| PDCP | Packet Data Convergence Protocol |
| PDU | Protocol Data Unit |
| PHY | Physical |
| POSH | Perceived Quality of Service in Heterogeneous networks |
| PS | Packet Scheduling |
| PS | Packet Switched |
| QoS | Quality of Service |
| RACH | Random Access Channel |
| RLC | Radio Link Control |
| RNC | Radio Network Controller |
| RNS | Radio Network Sub-system |
| RRC | Radio Resource Control |
| RRM | Radio Resource Management |
| RT | Real Time |
| RTO | Retransmission Time Out |
| RTT | Round Trip Time |
| SACK | Selective Acknowledgement |
| SCC | Successful Completion Criteria |
| SCTP | Stream Control Transmission Protocol |
| SDU | Service Data Unit |
| SIP | Session Initiation Protocol |
| SLA | Service Level Agreement |
| SMS | Short Message Service |
| SN | Sequence Number |
| SNR | Signal to Noise Ratio |
| SR | Selective Repeat |

| | |
|--------------|--|
| SRTT | Smoothed RTT |
| SYN | Synchronisation |
| TCP | Transmission Control Protocol |
| TM | Transparent Mode |
| TTI | Transmission Time Interval |
| UE | User Equipment |
| UL | Up Link |
| UM | Unacknowledged Mode |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunications System |
| UTRAN | UMTS Terrestrial Radio Access Network |
| VoIP | Voice over IP |
| WCDMA | Wideband CDMA |
| WLAN | Wireless Local Area Network |

Βιβλιογραφία

- [1] W. Honcharenko, H. L. Bertoni, J. L. Dailing, “Mechanisms Governing Propagation Between Different Floors in Buildings”, IEEE Trans., on Antennas and Propagation, Vol. 41, No. 6, June 1993.
- [2] W. Honcharenko, H. L. Bertoni, J. L. Dailing, J. Qian, H. D. Yee, “Mechanisms Governing UHF Propagation on Single Floors in Modern Office Buildings”, IEEE Trans., on Vehicular Technology, Vol. 41, No. 4, November 1992.
- [3] S. Y. Seidel, T. S. Rappaport, “914MHz Path Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings”, IEEE Trans., on Antennas and Propagation, Vol. 40, No. 2, February 1992.
- [4] ETSI, GSM Specification Series 01.02–1.06, “GSM Overview, Glossary, Abbreviations, Service Phases.”
- [5] ETSI, GSM Specification Series 02.01–2.88, “GSM Services and Features.”
- [6] ETSI, GSM Specification Series 03.01–3.88, “GSM Functions, Architecture, Numbering and Addressing Procedures.”
- [7] Asha Mehrotra, “GSM System Engineering”, Artech House, 1997.
- [8] Δημοσθένης Σούλης, “Το Πανερωπαϊκό Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας G.S.M. και η Εφαρμογή του στην Ελλάδα”, Αθήνα – Μάρτιος 1992.
- [9] Μ. Θεολόγου, “Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών”, εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2002.
- [10] William Webb, "Understanding Cellular Radio", Artech House Inc., 1998.
- [11] T. Ojanperä, R. Prasad, “Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications”, Artech House Publisher, 1998.

- [12] H. Holma, A. Toskala, “WCDMA for UMTS”, Willey, 2000.
- [13] 3G TS 25.401, “UTRAN Overall Description”, (v4.0.0, 2001-03).
- [14] 3GPP TS 25.950, “UTRA High Speed Downlink Packet Access”, v4.0.0, 2001-03.
- [15] 3GPP TS 25.848, “Physical layer aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access”, v4.0.0, 2001-03.
- [16] S. Parkvall, E. Dahlman, P. Frenger, P. Beming, M. Persson, “The Evolution of WCDMA Towards Higher Speed Downlink Packet Data Access”.
- [17] <http://www.arrows-ist.upc.es/publicationsdeliverables.htm>
- [18] <http://en.wikipedia.org/>
- [19]
- <http://www.encyclopedia.com/>
- [20] www.orbit-lab.org/
- [21] www.agilent.com/
- [22] <http://www.webopedia.com/>

