ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Δ Ι Π Λ Ω Μ Α Τ Ι Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α

ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ (ΜΔΕ)
"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ"

ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ 3ΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

ΙΓΓΛΕΣΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ
Α.Μ. 372

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
Χρήστος Μπούρας, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:
Παύλος Σπυράκης, Καθηγητής
Ιωάννης Γαροφαλάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής
Χρήστος Μπούρας, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΠΑΤΡΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2005

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της μετάδοσης δεδομένων πάνω από Κινητά Δίκτυα 3ης Γενιάς και συγκεκριμένα του δικτύου UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems). Την τελευταία δεκαετία τόσο η Κυψελωτή Κινητή Τηλεφωνία όσο και το Διαδίκτυο έχουν γνωρίσει τρομακτική εξάπλωση παγκοσμίως. Η ανάγκη του ανθρώπου για κινητικότητα από τη μια, και η ανάγκη για πρόσβαση σε πληροφορία και υπηρεσίες από την άλλη, οδήγησε στη σύγκλιση των δυο παραπάνω «κόσμων» μέσα από τα Κινητά Δίκτυα 3ης Γενιάς. Το δίκτυο UMTS, οδηγείται προς τη φιλοσοφία ενός all-IP δικτύου, που επιτρέπει πρόσβαση υψηλών ταχυτήτων στο Διαδίκτυο.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται αναλυτικά η αρχιτεκτονική και λειτουργική δομή του UMTS δίκτυο, ξεκινώντας από τα γενικά χαρακτηριστικά του, σε ότι αφορά το χρησιμοποιούμενο φάσμα, την αξιοποίηση του διατιθέμενου εύρους ζώνης και τη δομή των κυψελών του UMTS. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του δικτύου, με αναφορά στον εξοπλισμό του χρήστη, το Δίκτυο Επίγειας Ασύρματης Πρόσβασης (UTRAN) και το Δίκτυο Κορμού (Core Network), ενώ παρουσιάζονται και τα πρωτόκολλα σηματοδοσίας και επιπέδου χρήστη εντός του UMTS.

Στη συνέχεια η εργασία ασχολείται με το θέμα της παροχής Ποιότητας Υπηρεσίας (Quality of Service – QoS) στο δίκτυο UMTS. Παρουσιάζονται οι τάξεις QoS και τα χαρακτηριστικά τους στο UMTS, και οι παράμετροι που αυτές παίρνουν για συγκεκριμένες υπηρεσίες (φωνή, video, εφαρμογές ροής πολυμέσων κτλ.). Παράλληλα με την Ποιότητα Υπηρεσίας, παρουσιάζεται και η υπηρεσία MBMS (Multimedia Broadcast / Multicast Service) που έχει σχεδιαστεί για το UMTS δίκτυο και αναλύεται η δομή και ο τρόπος υλοποίησης των λειτουργιών της, οι διαδικασίες υπηρεσιών MBMS, οι παράμετροι που αυτή παίρνει και γίνεται και ανάλυση των επιμέρους λειτουργιών της.

Το δεύτερο μέρος της εργασίας αφορά την πειραματική αξιολόγηση του δικτύου UMTS στον εξομοιωτή ns-2, σε ότι αφορά τη μετάδοση διαφορετικών ειδών κίνησης και την αποτελεσματικότητα των διαφορετικών πρωτοκόλλων. Αρχικά περιγράφεται ο τρόπος παραγωγής κίνησης για τον εξομοιωτή και των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν προς την κατεύθυνση αυτή. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων για την απόδοση του πρωτοκόλλου TCP πάνω από το δίκτυο UMTS, και παρουσιάζονται τα προβλήματα που προκύπτουν στη χρήση του πρωτοκόλλου αυτού, κυρίως λόγο του υψηλού bit error rate που παρουσιάζεται στο ασύρματο κανάλι. Μελετώνται σενάρια χρήσης που χρησιμοποιούν τόσο UMTS DCH (Dedicated Channels), όσο και HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) μεταδόσεις. Με σκοπό τη μελέτη της μετάδοσης και πολυμεσικού περιεχομένου πάνω από το UMTS, έγιναν αντίστοιχα πειράματα στον εξομοιωτή και διαπιστώθηκε η δυνατότητα του UMTS να εγγυηθεί τις διαφορετικές απαιτήσεις αυτού του είδους κίνησης (κυρίως σε ότι αφορά την καθυστέρηση των πακέτων) και τη «φιλική» προς το TCP πρωτόκολλο συνύπαρξη στο δίκτυο.

Τέλος, στη διπλωματική αυτή εργασία προτείνεται ένα σχήμα, για την ανάπτυξη ενός συστήματος μετάδοσης πολυμεσικού περιεχομένου πάνω από UMTS, το οποίο λαμβάνει υπόψη του την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου και προσαρμόζει τη ροή των πολυμεσικών δεδομένων σε αυτή.

EXECUTIVE SUMMARY

The purpose of this dissertation is to study data transmission using Third Generation (3G) Mobile Networks and in particular using the Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS) network. Over the last decade, Cellular Mobile Telephony and Internet have spread rapidly worldwide. The need for mobility on the one side and on the other side the need for access to information and services, led to the convergence of the two worlds using Third Generation Mobile Networks. The UMTS network is slowly becoming an all-IP network that allows high speed data Internet connection.

This dissertation discusses the UMTS network's architectural and functional framework starting from the general characteristics of the available bandwidth and the UMTS cells' structure. The architectural design of the network is presented next with respect to the user's equipment, the Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) and the Core Network, followed by the signaling protocol and the user level within UMTS.

After that, the dissertation covers Quality of Service (QoS) issues while using the UMTS network. The two QoS groups are presented along with their UMTS characteristics, and certain parameters for specific services (such as voice, video, multimedia streaming applications, etc.). In addition, the Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) is discussed. MBMS is a service designed for the UMTS network and the procedure and services of its functionality are being analysed.

The second part of this dissertation deals with the experimental evaluation of the UMTS network in the ns-2 simulator, regarding the transmission of different types of traffic and the efficiency of the different protocols. The method of the traffic generation is being discussed at first, along with the implemented modules. Following that, the results from the experiments on TCP protocol performance over the UMTS air interface are being presented and some issues that raise up due to the high bit error rate that occur in the wireless channel are being discussed. In this case, we study the performance of both UMTS Dedicated Channels (DCH) and the High Speed Downlink Packet Access) transmissions. In order to study the transmission of multimedia content over the UMTS, some experiments took place, and showed that UMTS is able of guaranteeing the different requirements of this type of traffic, especially regarding the packets' time delays and the friendly behavior against the TCP protocol, when coexisting in the network traffic load.

Finally, this dissertation proposes a scheme for developing a multimedia content transmission system over UMTS, which takes into consideration the current state of the network and adapts the multimedia data stream to these conditions.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το κείμενο αυτό αποτελεί τη διπλωματική εργασία, που εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης «Επιστήμη και Τεχνολογία Υπολογιστών». Ο τίτλος της εργασίας είναι «Μετάδοση Δεδομένων σε Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών 3ης Γενιάς».

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της εργασίας αυτής, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά όσους με βοήθησαν, με συμβούλευσαν και μου συμπαρασταθήκαν όλο αυτό το διάστημα. Ο Καθηγητής μου Χρήστος Μπούρας, Αναπληρωτής Καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής και Επιστημονικός Υπεύθυνος της Ερευνητικής Μονάδας 6 του ΕΑΙΤΥ, υπήρξε ο σύμβουλος και δάσκαλός μου σε όλη τη διάρκεια ολοκλήρωσης των μεταπτυχιακών σπουδών μου. Θέλω να τον ευχαριστήσω θερμά για την καθοδήγηση και την επιμονή του για συστηματική δουλειά, η οποία θέλω να ελπίζω ότι έφερε αποτελέσματα.

Ομοίως, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τους Καθηγητές του ΤΜΗΥΠ για την τιμή που μου έκαναν να είναι μέλη της τριμελούς επιτροπής, τον Καθηγητή Παύλο Σπυράκη και τον Αναπληρωτή Καθηγητή Ιωάννη Γαροφαλάκη.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους και φίλους στην Ερευνητική Μονάδα 6 του ΕΑΙΤΥ και κυρίως τον φίλο Δημήτρη Πρίμπα και τον φίλο και συνεργάτη Αντώνη Αλεξίου, για την πολύτιμη βοήθεια τους κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον φίλο και «αδερφό» Δημήτρη Κιούση, με τον οποίο τα κοινά μας όνειρα και προβληματισμοί με έφεραν ως εδώ. Τελευταίους, αλλά όχι έσχατους, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, για την υπερπολύτιμη βοήθειά τους σε όλους τους τομείς.

Πάτρα, Ιούνιος 2005

Β.Ι.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ 17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ UMTS: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΔΟΜΗ 21

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ UMTS 23
2.1.1 Χρησιμοποιούμενο φάσμα 23
2.1.2 Αξιοποίηση Διατιθέμενου Εύρους Ζώνης 25
2.1.3 Δομή Κυψελών 27
2.1.4 USIM 29
2.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ UMTS 29
2.2.1 Εξοπλισμός του Χρήστη (User Equipment) 30
2.2.2 Το Δίκτυο Επίγειας Ασύρματης Πρόσβασης (UTRAN) 31
2.2.3 Το Δίκτυο Κορμού (Core Network) 32
2.3 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΧΡΗΣΤΗ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ UMTS .. 33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ (QOS) ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ 3G 37

3.1 QOS ΣΕ 3G ΔΙΚΤΥΑ 39
3.1.1 Η Ποιότητα Υπηρεσίας από την οπτική του χρήστη 40
3.1.2 Ο Δίαυλος Υπηρεσιών UMTS 41
3.1.3 Λειτουργίες Διαχείρισης QoS 42
3.2 ΤΑΞΕΙΣ QOS ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟ UMTS 45
3.2.1 Τάξεις QoS στο UMTS 45
3.2.1.1 Τάξη Conversational 45
3.2.1.2 Τάξη Streaming 46
3.2.1.3 Τάξη Interactive 46
3.2.1.4 Τάξη Background 47
3.2.2 Σημαντικές Παράμετροι για το QoS 47
3.2.3 Παράμετροι QoS 48
3.2.3.1 UMTS Bearer 48
3.2.3.2 Radio Access Bearer 51
3.2.3.3 Παράμετροι Υπηρεσιών IU και CN Bearer 53
3.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ QOS ΓΙΑ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ 54
3.3.1 Φωνή (Voice/Rich Voice) 55
3.3.2 Βίντεο-Τηλεφωνία (Video Telephony) 57
3.3.3 Βίντεο-Συνδιάσκεψη (Video Conference) 58
3.3.4 Multimedia Messaging Service (MMS) 59
3.3.5 Εφαρμογές Ροής Πολυμέσων (Media Streaming Applications) 60
3.3.6 Content Download 61
3.3.7 Πρόσβαση στο Internet και Πλοήγηση 62
3.3.8 Εταιρική Πρόσβαση (Corporate Access) 64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΥΠΗΡΕΣΙΑ MBMS (MULTIMEDIA BROADCAST / MULTICAST SERVICE) 67

4.1 Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ UMTS ΚΑΙ ΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΚΑΘΕ ΚΟΜΒΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ MBMS 69
4.1.1 BM-SC (Broadcast-Multicast Service Center) 70

4.1.2 Κινητά Τερματικά (User Equipment) ... 71
4.1.3 UTRAN/GERAN ... 71
4.1.4 SGSN ... 71
4.1.5 GGSN ... 71
4.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ MBMS ... 72
4.2.1 Η διαδικασία Διανομής πακέτων Πολλαπλών Προορισμών (Multicast Mode) 72
4.2.2 Η διαδικασία εκπομπής πακέτων ... 73
4.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ MBMS ... 74
4.3.1 MBMS UE Context ... 74
4.3.2 MBMS Bearer Context ... 75
4.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΥΝΟΔΩΝ ... 77
4.4.1 Διαδικασία Αίτησης Συμμετοχής (Join) ... 77
4.4.2 Εκκίνηση Συνόδου (Session Start) και Τερματισμός Συνόδου (Session Stop) 80
4.4.3 Διαδικασία Αίτησης Αποχώρησης (Leave) ... 81
4.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ... 83
4.5.1 Ενημέρωση Περιοχής Δρομολόγησης (Routing Area Update) ... 84
4.5.2 SRNS Relocation ... 85
4.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ... 87
4.6.1 Εγγραφή (Subscription) ... 88
4.6.2 Ανακοινώσεις Υπηρεσίας (Service Announcement) ... 88
4.6.3 MBMS Ειδοποίηση (Notification) ... 88
4.6.4 Μετάδοση Δεδομένων (Data Transfer) ... 89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ ... 91

5.1 Ο ΕΞΟΜΟΙΩΤΗΣ NS-2 ... 93
5.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ... 95
5.2.1 Το είδος και η δημιουργία της κίνησης ... 95
5.2.2 Foreground και Background κίνηση ... 97
5.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ ... 99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ TCP ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ UMTS 107

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ... 109
6.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΙΝΗΣΗΣ ΓΙΑ HTTP ΚΑΙ FTP ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ... 110
6.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ ... 111
6.3.1 Μετάδοση πάνω από DCHs ... 112
6.3.2 Μετάδοση HSPDA ... 113
6.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ... 114
6.4.1 Μετάδοση πάνω από DCHs ... 115
6.4.2 Μετάδοση HSPDA ... 121
6.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ... 124

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ UMTS ... 127

7.1 ΜΕΤΑΔΟΣΗ VIDEO ... 130
7.2 ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ ΣΕ MPEG-4 ΚΙΝΗΣΗ ... 131
7.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ ... 134
7.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ... 136
7.4.1 Μετάδοση MPEG-4 video χωρίς background κίνηση ... 136

7.4.2 Μετάδοση MPEG-4 video με την παρουσία πρόσθετης background κίνηση 139
7.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 140

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: DECISION FEEDBACK SCHEME ΓΙΑ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ UMTS 143

8.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΥ DFS 146
8.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ FEEDBACK ΚΑΙ ΑΠΟΦΑΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΡΥΘΜΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ 148
8.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ 149
8.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ 150
8.4.1 Μετάδοση streaming video και UDP κίνησης 150
8.4.2 Μετάδοση streaming video και UDP κίνησης 152
8.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 153

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 155

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΑΝΑΦΟΡΕΣ 159

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΠΛΑΝΗΤΗ 25
ΣΧΗΜΑ 2: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΣΤΑ ΠΕΔΙΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΥ ΓΙΑ FDMA, TDMA ΚΑΙ CDMA 26
ΣΧΗΜΑ 3: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΜΦΙΔΡΟΜΗΣΗΣ ΣΤΟ UMTS 27
ΣΧΗΜΑ 4: Η ΚΑΘΟΛΙΚΗ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΛΥΨΗ ΤΟΥ UMTS ΔΙΚΤΥΟΥ 27
ΣΧΗΜΑ 5: Η ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΚΥΨΕΛΩΤΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ UMTS ΔΙΚΤΥΟΥ 28
ΣΧΗΜΑ 6: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΟΥ UMTS 29
ΣΧΗΜΑ 7: ΤΟΜΕΙΣ / ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ UMTS ΔΙΚΤΥΟΥ 30
ΣΧΗΜΑ 8: ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΧΡΗΣΤΗ 31
ΣΧΗΜΑ 9: ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΠΙΓΕΙΑΣ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ (UTRAN) 31
ΣΧΗΜΑ 10: ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΚΟΜΒΩΝ UMTS ΔΙΚΤΥΟΥ 32
ΣΧΗΜΑ 11: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΤΜΗΜΑ PS 34
ΣΧΗΜΑ 12: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΧΡΗΣΤΗ ΓΙΑ ΤΟ ΤΜΗΜΑ PS 34
ΣΧΗΜΑ 13: ΔΥΝΑΤΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΥΝΟΔΩΝ 36
ΣΧΗΜΑ 14: Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ UMTS BEARER SERVICE 42
ΣΧΗΜΑ 15: ΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ QOS ΓΙΑ ΤΟ CONTROL PLANE 43
ΣΧΗΜΑ 16: ΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ QOS ΓΙΑ ΤΟ USER PLANE 44
ΣΧΗΜΑ 17: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΟΥ MBMS 70
ΣΧΗΜΑ 18: Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ (ΦΑΣΕΙΣ) ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ 72
ΣΧΗΜΑ 19: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ 73
ΣΧΗΜΑ 20: ΟΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ (ΦΑΣΕΙΣ) ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ 74
ΣΧΗΜΑ 21: ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΟΥ MBMS BEARER CONTEXT 76
ΣΧΗΜΑ 22: Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΙΤΗΣΗΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΣΕ ΥΠΗΡΕΣΙΑ 78
ΣΧΗΜΑ 23: Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΣΥΝΟΔΟΥ 80
ΣΧΗΜΑ 24: Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΥΝΟΔΟΥ 81
ΣΧΗΜΑ 25: Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΙΤΗΣΗΣ ΑΠΟΧΩΡΗΣΗΣ 82
ΣΧΗΜΑ 26: Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ 84
ΣΧΗΜΑ 27: Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ SRNS RELOCATION 86
ΣΧΗΜΑ 28: Η PARETO ΚΑΤΑΝΟΜΗ 96
ΣΧΗΜΑ 29: Η ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ 96
ΣΧΗΜΑ 30: Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ POISSON ΜΕ Λ=4 97
ΣΧΗΜΑ 31: ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΑΝΩ ΑΠΟ DCHS 112
ΣΧΗΜΑ 32: ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΑΝΩ ΑΠΟ HSDPA ΚΑΝΑΛΙ 114
ΣΧΗΜΑ 33: END-TO-END ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΠΑΚΕΤΩΝ ΣΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ DCHS 117
ΣΧΗΜΑ 34: ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΣΤΟ RAN ΓΙΑ ΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ DCHS 119
ΣΧΗΜΑ 35: THROUGHPUT ΣΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ LINK 121
ΣΧΗΜΑ 36: ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΠΑΚΕΤΩΝ ΓΙΑ HSDPA ΜΕΤΑΔΟΣΕΙΣ 122
ΣΧΗΜΑ 37: ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΣΤΟ RAN 123
ΣΧΗΜΑ 38: THROUGHPUT ΣΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ LINK 123
ΣΧΗΜΑ 39: ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΑΚΕΤΩΝ MPEG-4 132
ΣΧΗΜΑ 40: ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΧΗ ΚΑΘΕ ΠΑΚΕΤΟΥ 133
ΣΧΗΜΑ 41: PDF ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ IP ΠΑΚΕΤΩΝ 134
ΣΧΗΜΑ 42: ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ 135
ΣΧΗΜΑ 43: END-TO-END ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΓΙΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗ MPEG-4 VIDEO 136
ΣΧΗΜΑ 44: ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΣΤΟ RAN ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ VIDEO 137
ΣΧΗΜΑ 45: THROUGHPUT ΣΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ LINK (ΧΩΡΙΣ BACKGROUND ΚΙΝΗΣΗ) 137
ΣΧΗΜΑ 46: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ 138
ΣΧΗΜΑ 47: THROUGHPUT ΣΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ LINK (ΜΕ TCP BACKGROUND ΚΙΝΗΣΗ) 139
ΣΧΗΜΑ 48: ΣΥΝΟΛΙΚΟ THROUGHPUT ΣΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ LINK 140
ΣΧΗΜΑ 49: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ DECISION FEEDBACK SCHEME 146
ΣΧΗΜΑ 50: ΤΟ MEDIA STREAMING ΣΥΣΤΗΜΑ 150
ΣΧΗΜΑ 51: ΣΥΝΟΛΙΚΟ THROUGHPUT ΣΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ LINK ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 151
ΣΧΗΜΑ 52: ΣΥΝΟΛΙΚΟ THROUGHPUT ΣΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ LINK ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 153

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΟΙ ΤΑΞΕΙΣ QOS ΣΤΟ UMTS 47
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΕΓΓΕΓΡΑΜΜΕΝΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ APR ΣΤΟ HLR 50
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΟ UMTS BEARER 51
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΌΡΙΑ ΤΙΜΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΤΟΥ UMTS BEARER 51
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΟ RADIO ACCESS BEARER 53
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΌΡΙΑ ΤΙΜΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΤΟΥ RADIO ACCESS BEARER 53
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: AMR BIT-RATES 55
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: AMR BIT ALLOCATION 56
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ VOICE SERVICE 57
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ VIDEO TELEPHONY SERVICE 58
ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ MMS SERVICE 60
ΠΙΝΑΚΑΣ 12: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ STREAMING SERVICE 61
ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ CONTENT DOWNLOAD SERVICE 62
ΠΙΝΑΚΑΣ 14: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ BASIC LEVEL INTERNET ACCESS 63
ΠΙΝΑΚΑΣ 15: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ PREMIUM LEVEL INTERNET ACCESS 64
ΠΙΝΑΚΑΣ 16: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ CORPORATE ACCESS 65
ΠΙΝΑΚΑΣ 17: ΠΕΔΙΑ ΤΟΥ MBMS UE CONTEXT 75
ΠΙΝΑΚΑΣ 18: ΠΕΔΙΑ ΤΟΥ MBMS BEARER CONTEXT 76
ΠΙΝΑΚΑΣ 19: ΚΙΝΗΣΗ ΣΤΟ INTERNET 95
ΠΙΝΑΚΑΣ 20: ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΜΕ ΤΙΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΠΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΟΥΝ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ 98
ΠΙΝΑΚΑΣ 21: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ DCHS 112
ΠΙΝΑΚΑΣ 22: ΓΡΑΜΜΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ 113
ΠΙΝΑΚΑΣ 23: ΜΕΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ 123
ΠΙΝΑΚΑΣ 24: ΨΕΥΔΟ-ΚΩΔΙΚΑΣ ΓΙΑ ΤΟ DECISION FEEDBACK SCHEME 149

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της μετάδοσης δεδομένων πάνω από Κινητά Δίκτυα 3ης Γενιάς και συγκεκριμένα του δικτύου UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems).

Την τελευταία δεκαετία τόσο η Κυψελωτή Κινητή Τηλεφωνία όσο και το Διαδίκτυο έχουν γνωρίσει τρομακτική εξάπλωση παγκοσμίως. Το έτος 1999 συγκεκριμένα, το GSM δίκτυο (Global System for Mobile Communications) όσο και το Διαδίκτυο ξεπέρασαν τα διακόσια εκατομμύρια (200.000.000) εγγεγραμμένους χρήστες, παγκοσμίως, έκαστο. Η ανάγκη του ανθρώπου λοιπόν για κινητικότητα και ευελιξία από τη μία και για πρόσβαση σε υπηρεσίες και πληροφορίες από την άλλη, οδήγησε πολλούς να σκεφτούν τρόπους με τους οποίους θα μπορούσαν να συνδυάσουν και τα δύο αυτά ζητούμενα, που αργότερα πιθανώς θα αποτελέσουν απαίτηση των χρηστών των δύο αυτών παράλληλα αναπτυσσόμενων τομέων/κόσμων.

Ο οργανισμός ITU έχει σχεδιάσει το σύστημα IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000), κομμάτι του οποίου είναι το UMTS δίκτυο (Universal Mobile Telecommunications System) που αποτελεί την εξέλιξη του GSM και στόχο έχει να συγκεράσει τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη διάδοση του τελευταίου (και των κυψελωτών δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών δεύτερης γενιάς) με τις υπηρεσίες του διαδικτύου, όπως είναι το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, η πλοήγηση σε ηλεκτρονικές σελίδες, η τηλεδιάσκεψη, το ηλεκτρονικό εμπόριο, οι υπηρεσίες Πολυμέσων και όλες οι υπηρεσίες που προσφέρει η νέα τεχνολογία. Λέγοντας υπηρεσίες Πολυμέσων εννοούμε τις υπηρεσίες κατά τις οποίες έχουμε συνδυασμό πληροφοριών εικόνας, ήχου και κειμένου σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο ψηφιακό περιβάλλον. Έτσι, προκύπτει ένα σύστημα κινητής τηλεπικοινωνίας τρίτης γενιάς, για την προτυποποίηση του οποίου συνεργάζονται πολλοί διεθνείς οργανισμοί προτυποποίησης, με κύριο άξονα τις απαιτήσεις και της ανάγκες της αγοράς.

Η μεγάλη επιτυχία που σημείωσε το δίκτυο GSM και η απήχηση που βρήκε, είχε ως βάση την ανάγκη για επικοινωνία (φωνής) από οπουδήποτε, οποτεδήποτε και με οποιονδήποτε. Στο άμεσο μέλλον, προβλέπεται ότι τα ασύρματα δίκτυα κινητών επικοινωνιών ευρείας κάλυψης θα αντικαταστήσουν τα κλασσικά ενσύρματα δίκτυα και ότι τα πρώτα θα αποτελούν το βασικό μέσο για επικοινωνία φωνής. Παράλληλα, η μεγάλη διείσδυση του διαδικτύου στη ζωή του μέσου πολίτη των σύγχρονων αστικών κέντρων έκανε επιτακτική την ανάγκη για πρόσβαση σε αυτό επί καθημερινής βάσης και για χρονικό διάστημα που ποικίλλει αλλά που σε καμία περίπτωση δεν είναι αμελητέο. Με αυτά τα δεδομένα, τα συστήματα επικοινωνιών τρίτης γενιάς έχουν ως στόχο να προσφέρουν ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον που θα συνδυάζει σε μία επικοινωνιακή πλατφόρμα ένα προσωπικό (τελικά) για κάθε χρήστη «εργαλείο» με απεριόριστες δυνατότητες επικοινωνίας οποιασδήποτε μορφής.

Στην παρούσα εργασία στόχος ήταν η μελέτη της μεταφορά δεδομένων πάνω από το UMTS δίκτυο. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η δομή της εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 2, παρουσιάζονται τα γενικά χαρακτηριστικά του δικτύου UMTS. Γίνεται εκτενής αναφορά στο χρησιμοποιούμενο φάσμα, την αξιοποίηση του διατιθέμενου εύρους ζώνης και στη δομή των κυψελών του UMTS. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του δικτύου, με αναφορά στον εξοπλισμό του χρήστη, το Δίκτυο Επίγειας Ασύρματης Πρόσβασης (UTRAN) και το Δίκτυο Κορμού (Core

Network). Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα Πρωτόκολλα σηματοδοσίας και επιπέδου χρήστη, εντός του UMTS.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το θέμα της Ποιότητας Υπηρεσίας (Quality of Service – QoS) στο δίκτυο UMTS. Παρουσιάζονται οι τάξεις QoS και τα χαρακτηριστικά τους στο UMTS, και οι παράμετροι που αυτές παίρνουν για συγκεκριμένες υπηρεσίες (φωνή, video, εφαρμογές ροής πολυμέσων κτλ.).

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η υπηρεσία MBMS (Multimedia Broadcast / Multicast Service) και αναλύεται η δομή και ο τρόπος υλοποίησης των λειτουργιών της, οι διαδικασίες υπηρεσιών MBMS, οι παράμετροι που αυτή παίρνει και γίνεται και ανάλυση των λειτουργιών της.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται ο εξομοιωτής ns-2, στον οποίο υλοποιήθηκαν τα πειράματα που παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια. Αναλυτικότερα γίνεται αναφορά στην παραγωγή της κίνησης και μια ενδεικτική περιγραφή του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση των διαφορετικών μοντέλων.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα πειραμάτων για την απόδοση του πρωτοκόλλου TCP πάνω από το δίκτυο UMTS, και παρουσιάζονται τα προβλήματα που προκύπτουν σε αυτή τη χρήση.

Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζεται η εργασία που έγινε με σκοπό την αξιολόγηση της μετάδοσης πολυμεσικού περιεχομένου πάνω από το UMTS.

Στο Κεφάλαιο 8 παρουσιάζεται μια πρόταση για τη δημιουργία ενός συστήματος μετάδοσης πολυμεσικού περιεχομένου, το οποίο λαμβάνει υπόψη την κατάσταση του δικτύου και προσαρμόζει τη ροή των πολυμεσικών δεδομένων σε αυτή.

Τέλος στο Κεφάλαιο 9 παρουσιάζονται κάποια συμπεράσματα, καθώς και τα ανοιχτά θέματα που μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικής εργασίας.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα άρθρα που δημοσιεύτηκαν, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας σε διεθνή συνέδρια.

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΕ ΣΥΝΕΔΡΙΑ

"Multimedia Transmission over Third Generation Cellurar Networks", A. Alexiou, C. Bouras, V. Igglesis, 10th IFIP International Conference on Personal Wireless Communications - PWC'05, Colmar, France, August 25 - 27 2005, (to appear)

"A Decision Feedback Scheme for Multimedia Transmission Over 3G Mobile Networks", A. Alexiou, C. Bouras, V. Igglesis, The Second IEEE and IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN 2005), Dubai, United Arab Emirates - UAE, March 6 - 9 2005

"Performance Evaluation of TCP over UMTS Transport Channels", A. Alexiou, C. Bouras, V. Igglesis, 7th International Symposium on Communications Interworking - INTERWORKING 2004, Ottawa, Canada, November 29 - December 1 2004

"Performance Evaluation of UMTS for Mobile Internet Access", A. Alexiou, C. Bouras, V. Igglesis, 12th Annual Meeting of the IEEE/ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS 2004), Volendam, The Netherlands, October 5 - 7 2004, pp. 1 – 4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ UMTS: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΔΟΜΗ

ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ UMTS: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΔΟΜΗ

Ο σχεδιασμός του δικτύου UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) αποσκοπεί στο συγκερασμό των πλεονεκτημάτων των νέων τεχνολογιών και των ευκολιών που προσφέρει η κινητή τηλεφωνία, όπου δε μας ενδιαφέρει πλέον μόνο το κομμάτι της τηλεφωνίας (ως επικοινωνία φωνής) αλλά και αυτό των εφαρμογών πολυμέσων. Έτσι, για τα συστήματα τηλεπικοινωνιών 3ης γενιάς έχει τεθεί ως πρωταρχικός στόχος η αύξηση των δυνατοτήτων και της λειτουργικότητας των κινητών τερματικών του χρήστη, από τα οποία πλέον υπάρχει απαίτηση μεταξύ άλλων να παρέχουν πλούσιες σε ήχο και εικόνα εφαρμογές πολυμέσων. Η χρονική μετάβαση σε αυτή τη γενιά συστημάτων δε μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια ακόμα καθώς θα εξαρτηθεί από τις ανάγκες και τις απαιτήσεις της αγοράς, η οποία θα αντιμετωπιστεί ξεχωριστά για κάθε ήπειρο αν όχι και χώρα. Προϊόντα και υπηρεσίες 3G έκαναν την εμφάνισή τους στην Ελληνική αγορά τους τελευταίους μήνες από συγκεκριμένη εταιρεία, η διαθεσιμότητα όμως των υπηρεσιών είναι ακόμα περιορισμένη σε συγκεκριμένες περιοχές της χώρας.

Μιλώντας με τα έως τώρα δεδομένα, αν και έχουν γίνει σημαντικά βήματα προόδου στον τομέα των κινητών τηλεπικοινωνιών, υπάρχουν εμφανείς περιορισμοί στους εφικτούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και πληροφορίας, καθώς και στη δυνατότητα παροχής πολύπλοκων υπηρεσιών. Μια από τις πλέον καινοτόμες προτάσεις και παροχές του UMTS δικτύου προς τους χρήστες του είναι αυτή του Ιδεατού Οικείου Περιβάλλοντος (Virtual Home Environment, VHE). Πρόκειται για μια πλατφόρμα η οποία παρέχει μια πλειάδα δομικών στοιχείων και εργαλείων για τον ορισμό υπηρεσιών στους κομιστές και τους παρόχους, έτσι ώστε να μπορούν να επεκτείνουν τις ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες για να είναι συμβατές στο νέο περιβάλλον αλλά και να δημιουργήσουν εντελώς καινούριες. Με τον τρόπο αυτό επιχειρείται να παρέχεται στο κινητό τερματικό του χρήστη όλη η λειτουργικότητα και η προσωποποίηση στις υπηρεσίες που αυτός απολαμβάνει στο σπίτι ή στο χώρο εργασίας του, παράλληλα με την ικανότητα να κινείται.

Για τη συνολική δόμηση του UMTS δικτύου θα χρησιμοποιηθούν αρκετά στοιχεία από το Δίκτυο Κορμού (Core Network) του GSM phase 2+ (της σημερινής δηλαδή μορφής που αυτό έχει πάρει και η οποία θεωρούμε ότι ανήκει στο στάδιο 2+ όπου παρέχονται υπηρεσίες GPRS - General Packet Radio Services). Με αυτή τη θεώρηση οι σημερινοί πάροχοι κινητών τηλεπικοινωνιών αφενός προστατεύουν τις επενδύσεις τους στα συστήματα 2ης γενιάς που συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται και αφετέρου είναι σε θέση να ανταπεξέλθουν στο κόστος της μετάβασης προς την επόμενη γενιά συστημάτων [1].

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ UMTS

2.1.1 Χρησιμοποιούμενο φάσμα

Η χρήση του φάσματος από τους λειτουργούς του δικτύου είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την περαιτέρω εξέλιξη του UMTS. Πρέπει να διατίθεται

αρκετό φάσμα ώστε να καλύπτονται οι αυξημένες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης για την κίνηση που θα προκαλέσει η ανάπτυξη πολύπλοκων εφαρμογών ενώ η χρήση ζευγών συχνοτήτων για λειτουργία Frequency Division Duplex (FDD) θεωρείται επιβεβλημένη. Το εύρος του κάθε καναλιού προσδιορίζεται στα 5 MHz. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί κάποιος κομιστής να επιλέξει:

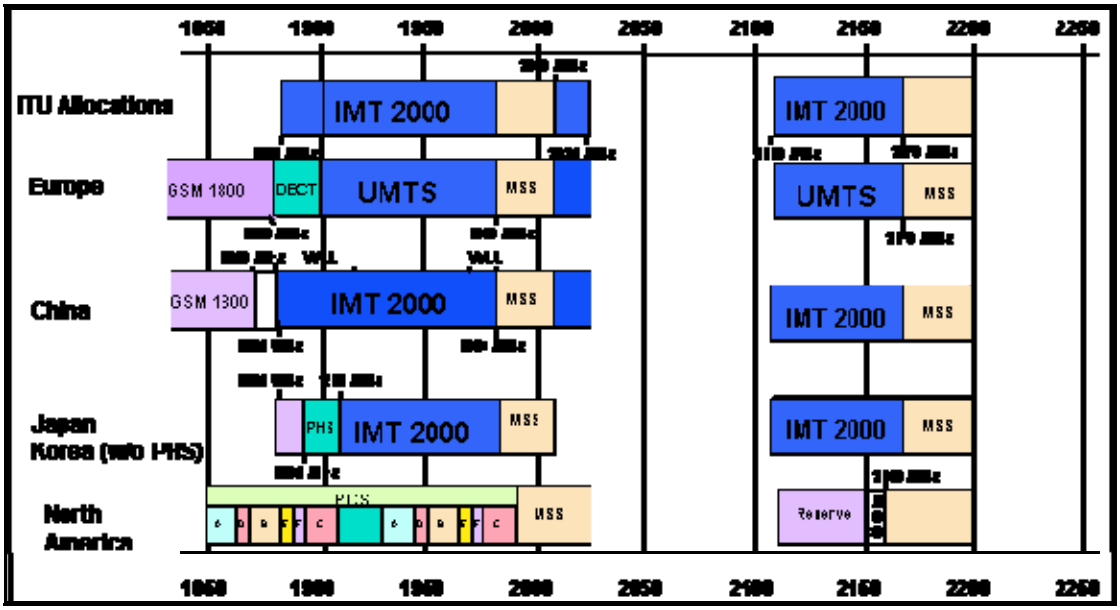
- 2 x 5 MHz : επιλογή που συνεπάγεται ένα και μόνο επίπεδο διαστρωμάτωσης στη συγκεκριμένη περιοχή.
- 2 x 10 MHz : επιλογή που συνεπάγεται δυνατότητα για δύο επίπεδα διαστρωμάτωσης, παραδείγματος χάρη, ένα κανάλι για τη macro κυψέλη και ένα για τη micro ή pico κυψέλη που μπορεί να τοποθετηθεί στην ίδια περιοχή, ανάλογα με τις ιδιαίτερες ανάγκες.
- 2 x 15 MHz : επιλογή που επιτρέπει πλήρη διαστρωμάτωση τριών επιπέδων, η οποία είναι και η προτεινόμενη από το UMTS Forum λύση καθώς επιδέχεται τη συνύπαρξη macro, micro και pico κυψελών ή μεικτών σχημάτων με μία macro και δύο micro κυψέλες στην ίδια περιοχή.
- 2 x 20 MHz : επιλογή που ενδείκνυται για συνθήκες αυξημένης ζήτησης καθώς προσφέρει πολλαπλές επιλογές.

Ταυτόχρονα με τα ζεύγη συχνοτήτων κάποιος κομιστής μπορεί να επιλέξει και τη λειτουργία Time Division Duplex (TDD) ειδικά για περιπτώσεις όπου έχουμε περιορισμένη κινητικότητα των χρηστών όπως για παράδειγμα σε εσωτερικούς χώρους. Και πάλι υπάρχουν δυνατότητες επιλογής:

- 1 x 5 MHz : επιλογή που μπορεί να προσφέρει επιπλέον λύσεις ειδικά σε περιπτώσεις ασύμμετρης κίνησης.
- 1 x 10 MHz : επιλογή που ενδείκνυται και πάλι για ασύμμετρη κίνηση αλλά σε ακόμα πιο απαιτητικές συνθήκες.

Όπως βλέπουμε στην περίπτωση της TDD δεν υπάρχει ανάγκη για δεύτερο κανάλι. Η επιλογή της λειτουργίας αυτής έχει να κάνει κυρίως με την αποτελεσματικότερη διαχείριση της ασύμμετρης κίνησης (πάνω και κάτω ζεύξη - uplink και downlink), η οποία ούτως ή άλλως θεωρείται δεδομένο ότι θα είναι η συνήθης περίπτωση. Με βάση λοιπόν τις προβλέψεις και τις υποθέσεις για τις ανάγκες της αγοράς, το UMTS Forum προτείνει τη χρήση ενός ζεύγους 2 x 15 MHz και ενός μονού 5 MHz καναλιού, ως ελάχιστο προσφερόμενο από τους παρόχους φάσμα, για την πρώτη φάση του δικτύου. Ανάλογα βέβαια με τις ιδιαίτερες συνθήκες για κάθε χώρα, αυτό πρέπει να τροποποιείται κατάλληλα.

Οι περιοχές του φάσματος που είναι διαθέσιμο για τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους κάθε χώρας καθορίζεται από την IMT-2000 και τους διεθνείς κανονισμούς της ITU. Για τις περιοχές όπου αναμένεται η μεγαλύτερη απήχηση του εν λόγω δικτύου, η κατανομή του φάσματος φαίνεται στο παρακάτω γράφημα (Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Κατανομή φάσματος για τις κυριότερες περιοχές του πλανήτη

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε από το σχήμα τόσο η Ευρώπη όσο και η Ιαπωνία έχουν επιλέξει να αφιερώσουν για το επίγειο κομμάτι του UMTS δικτύου (UMTS Terrestrial Radio Access Network – UTRAN):

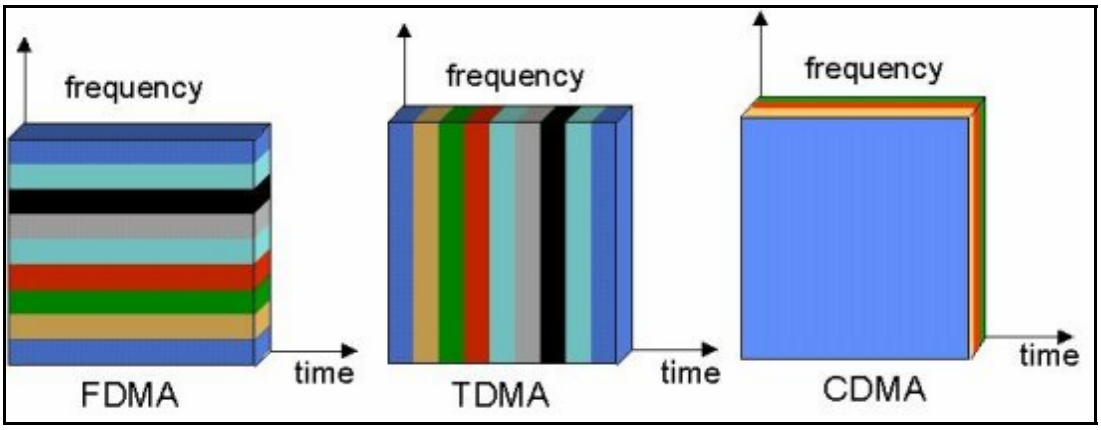
- για τη λειτουργία FDD:
  - την περιοχή συχνοτήτων από 1920 – 1980 MHz για την άνω ζεύξη (uplink).
  - την περιοχή συχνοτήτων από 2110 – 2170 MHz για την κάτω ζεύξη (downlink).
- για τη λειτουργία TDD:
  - την περιοχή συχνοτήτων 1900 – 1920 MHz για άνω και κάτω ζεύξη (uplink και downlink).
  - την περιοχή συχνοτήτων 2010 – 2025 MHz για άνω και κάτω ζεύξη (uplink και downlink).

Θα γίνει ωστόσο προσπάθεια από φορείς και κατασκευαστές παγκοσμίως να χρησιμοποιείται τουλάχιστον από κοινού κάποιο βασικό εύρος της ζώνης του φάσματος και ιδιαίτερα η περιοχή 1900 – 2025 MHz (για επίγειο και δορυφορικό δίκτυο) καθώς και η περιοχή 2110 – 2200 MHz (για επίγειο και δορυφορικό δίκτυο πάλι) [8].

2.1.2 Αξιοποίηση Διατιθέμενου Εύρους Ζώνης

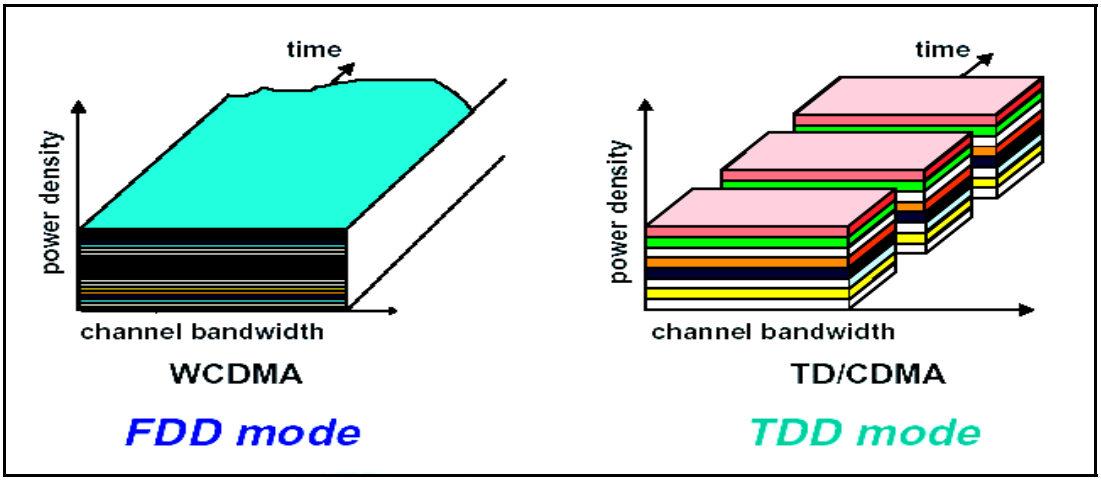
Το Δίκτυο Επίγειας Ασύρματης Πρόσβασης UMTS (UMTS Terrestrial Radio Access System – UTRA) πρέπει να υποστηρίζει λειτουργία για υψηλές απαιτήσεις φάσματος και ταυτόχρονα για ποικίλα χαρακτηριστικά σύνδεσης που θα κυμαίνονται από συνθήκες εσωτερικών χώρων με μικρή κινητικότητα των χρηστών έως εξωτερικούς χώρους όπου οι χρήστες θα κινούνται με την ταχύτητα των οχημάτων τους στους αυτοκινητόδρομους. Τα βασικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι σχεδιαστές των

συστημάτων κινητών επικοινωνιών είναι οι διακυμάνσεις λόγω διάδοσης πολλαπλών δρόμων (multipath fading) και η παρεμβολή από άλλους χρήστες σε ένα περιβάλλον επαναχρησιμοποίησης καναλιών. Αποδοτικά σε τέτοιου είδους συνθήκες είναι τα λεγόμενα συστήματα Διάχυτου Φάσματος, λόγω του διαφορισμού στη συχνότητα (frequency diversity) που εισάγει το ευρύ φάσμα. Τέτοιο σύστημα είναι και το CDMA (Code Division Multiple Access – Διαίρεσης Κώδικα) όπου χρησιμοποιείται όλο το διατιθέμενο φάσμα για κάθε συνδιάλεξη (όταν το αντικείμενό μας είναι η συνδιάλεξη), σε αντίθεση με τα συστήματα TDMA (Time Division Multiple Access – Διαίρεσης Χρόνου) και τα FDMA (Frequency Division Multiple Access – Διαίρεσης Συχνότητας) όπου το διατιθέμενο εύρος ζώνης συχνοτήτων διαιρείται σε στενές περιοχές συχνοτήτων (κανάλια) και κάθε κανάλι χρησιμοποιείται από μία ή περισσότερες συνδιαλέξεις. Στα συστήματα Πολλαπλής Προσπέλασης με Διαίρεση Κώδικα κάθε μετάδοση δεδομένων αντιστοιχεί σε ένα μοναδικό κωδικό, ο οποίος της επιτρέπει να διακρίνεται από πολλές άλλες που ταυτόχρονα εκπέμπονται στην ίδια περιοχή συχνοτήτων. Έτσι, εφόσον ο χρήστης που λαμβάνει έχει το σωστό κωδικό μπορεί να διακρίνει τη μετάδοση που τον αφορά από τις υπόλοιπες. Θέλοντας να δώσουμε μια πιο παραστατική αναπαράσταση του τι ακριβώς συμβαίνει στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας για τα τρία αυτά είδη Πολλαπλής Προσπέλασης, παραθέτουμε το ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Κατανομή των καναλιών στα πεδία Συχνότητας και Χρόνου για FDMA, TDMA και CDMA

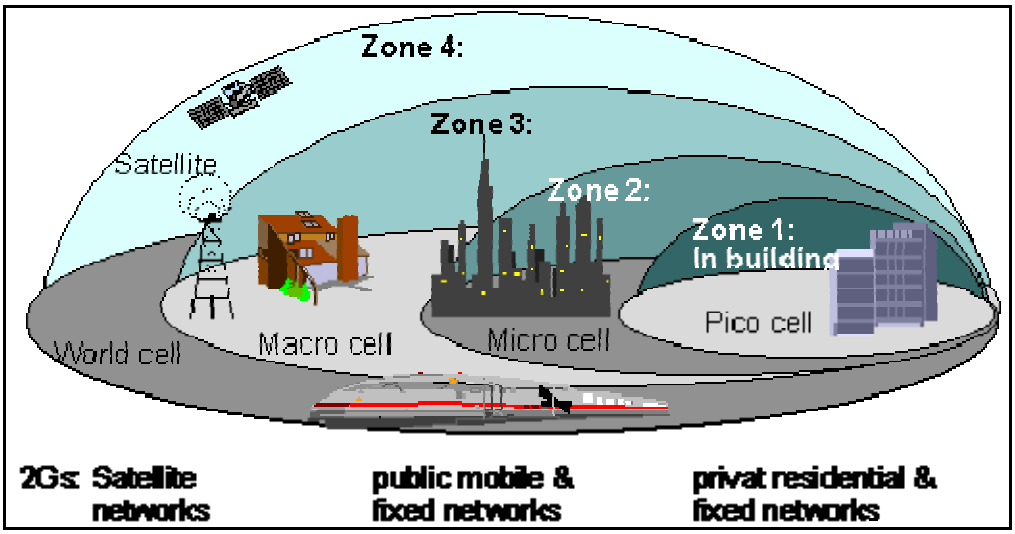
Για αυτά τα πλεονεκτήματά της η τεχνική CDMA ευρείας ζώνης (W-CDMA) έχει επιλεγεί για το επίγειο δίκτυο UMTS (UTRAN). Πρόκειται για ένα Direct Sequence (DS) CDMA σύστημα όπου τα δεδομένα του κάθε χρήστη πολλαπλασιάζονται με τα σχεδόν τυχαία bits των W-CDMA κωδίκων (channelisation codes), οι οποίοι μάλιστα είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των DS συστημάτων είναι ο απλός σχεδιασμός του πομποδέκτη, η πολύ καλή αντιπαρεμβολική δράση, η δύσκολη ανίχνευση καθώς και η καλή συμπεριφορά απέναντι σε διάδοση πολλαπλών δρόμων (multipath fading). Βέβαια υπάρχουν και μειονεκτήματα όπως είναι ο απαιτητικός και χρονοβόρος συγχρονισμός καθώς και η απαίτηση για γρήγορες γεννήτριες κώδικα. Στο UMTS χρησιμοποιούνται επιπλέον κώδικες για το συγχρονισμό και την περίπλεξη (scrambling). Τέλος η τεχνολογία W-CDMA υποστηρίζει και τις δύο λειτουργίες Αμφιδρόμησης (Duplexing) FDD και TDD. Ωστόσο για την TDD προτιμάται ενίοτε και ένα υβριδικό μοντέλο TD/CDMA. Συνεπώς οι τεχνικές αμφιδρόμησης στο UMTS φαίνονται στο Σχήμα 3 [1].



Σχήμα 3: Τεχνικές Αμφιδρόμησης στο UMTS

2.1.3 Δομή Κυψελών

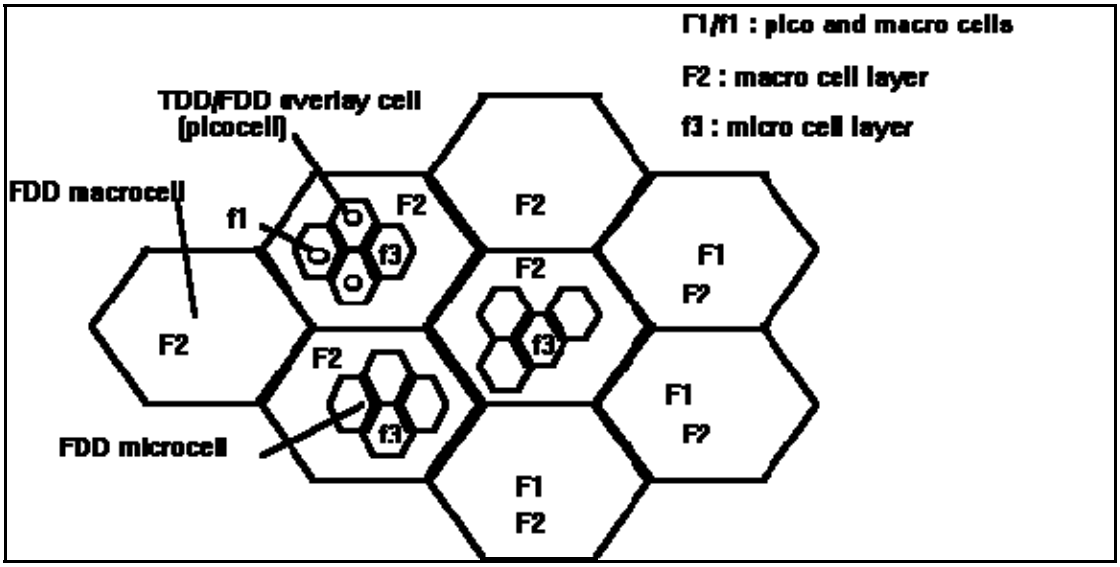
Το δίκτυο UMTS αποσκοπεί να γίνει ένα πραγματικά παγκόσμιο δίκτυο το οποίο να συνδυάζει στοιχεία με τοπική επίγεια εμβέλεια (σε επίπεδο κρατών) μαζί με δορυφόρους που θα καλύπτουν όλα τα πλάτη και μήκη του πλανήτη. Έχει ως βάση pico και micro κυψέλες για την κάλυψη των αναγκών σε αστικά περιβάλλοντα (περιορισμένης σχετικά έκτασης) και προεκτείνεται με χρήση τόσο macro κυψελών (που μπορεί να εξυπηρετούνται από στοιχεία του παρόντος συστήματος 2ης γενιάς) για ευρείες περιοχές, όσο και δορυφορικών κινητών δικτύων για την επίτευξη της καθολικότητας. Συνεπώς ο χρήστης μέσω περιαγωγής θα μπορεί να μετακινείται χωρίς να αντιλαμβάνεται (πρέπει να επιτευχθούν κατά το δυνατό μικρότερες διακοπές) τις όποιες αλλαγές στο δίκτυο που χρησιμοποιεί μιας και θα το βλέπει σαν ένα ενιαίο σύνολο. Για να έχουμε μια εικόνα των όσων εννοούμε, παρουσιάζουμε το Σχήμα 4:



Σχήμα 4: Η καθολική παγκόσμια κάλυψη του UMTS δικτύου

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η επιτυχία και η γρήγορη αποδοχή του UMTS δικτύου (στο δρόμο που χάραξε το GSM δίκτυο, προέκταση και βελτιστοποίηση του οποίου

πρέπει να θεωρείται), οι πάροχοι κινητών επικοινωνιών πρέπει να παρέχουν όσο το δυνατό φιλικότερο προς το χρήστη περιβάλλον εργασίας και εφαρμογών, μια ιδέα που ονομάζεται Ιδεατό Οικιακό Περιβάλλον (Virtual Home Environment - VHE), στο οποίο να ενσωματώνονται οι τεχνολογικές καινοτομίες της Κοινωνίας της Πληροφορίας. Για το σκοπό αυτό πρέπει το διατιθέμενο φάσμα να αξιοποιείται όσο το δυνατό περισσότερο. Πέρα από την οπτική γωνία των τεχνικών που μελετήσαμε στην προηγούμενη παράγραφο, υπάρχει και αυτή της Ιεραρχικής Κυψελωτής Δομής του δικτύου, με χρήση macro, micro και pico κυψελών, όπως έχουμε ήδη αναφέρει. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί κατά το σχεδιασμό όσον αφορά ποιες λειτουργίες και τεχνικές (FDD ή TDD) θα χρησιμοποιήσουμε σε κάθε κυψέλη. Υψηλές απαιτήσεις κίνησης μπορεί να απαιτούν διαστρωμάτωση τριών επιπέδων, για αστικές περιοχές παραδείγματος χάρη, κάτι που πιθανώς δεν είναι απαραίτητο έξω από αυτές. Με αυτό το σκεπτικό η εξυπηρέτηση όλης της κίνησης μεταγωγής κυκλώματος υψηλών ρυθμών μπορεί να ανατίθεται στις pico κυψέλες (οι οποίες σύμφωνα με τις τελευταίες εκτιμήσεις προορίζονται για κάλυψη εσωτερικών χώρων), η κίνηση υψηλών ρυθμών (όχι τόσο όσο στην αμέσως προηγούμενη περίπτωση όμως) για χρήστες κινούμενους με χαμηλές ταχύτητες (πεζοί) μπορεί να ανατεθεί στις micro κυψέλες ενώ η κίνηση υψηλών ρυθμών (ακόμα χαμηλότερων όμως σε σύγκριση με την προηγούμενη περίπτωση, για να είναι εφικτή και η εξυπηρέτηση) για χρήστες κινούμενους με οχήματα μπορεί να ανατεθεί στις macro κυψέλες. Παράδειγμα αυτής της λογικής σχεδίασης δίδεται στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 5).



Σχήμα 5: Η Ιεραρχική Κυψελωτή Δομή του UMTS δικτύου

Οι micro κυψέλες επειδή ακριβώς προορίζονται να καλύψουν εξωτερικούς χώρους όπου όμως οι απαιτήσεις σε ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων θα είναι αυξημένοι, ειδικά σε αστικά περιβάλλοντα, ενδέχεται να μην έχουν την εξαγωνική μορφή που παρουσιάζεται στο σχήμα αλλά αντίθετα να έχουν μορφή φαραγγιού (canyon-like) ώστε αν προσαρμόζονται στην τοπολογία των δρόμων και να καλύπτουν έκταση από 200 έως 400 μέτρα μήκος [1].

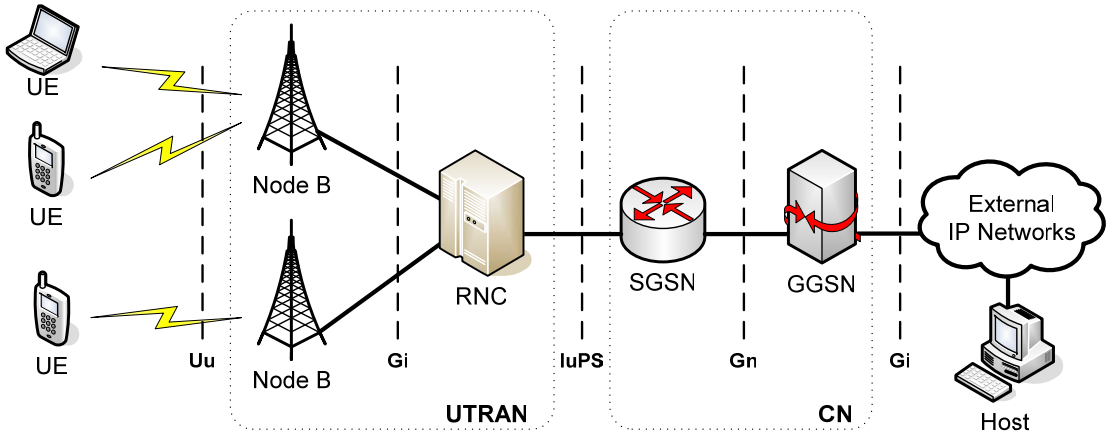
2.1.4 USIM

Μία σημαντική καινοτομία που εισήγαγε το GSM δίκτυο και που βοήθησε στην αποτελεσματική και εύρυθμη λειτουργία του ήταν οι κάρτες SIM (Subscriber Identity Module) ή αλλιώς Έξυπνες Κάρτες (Smart Cards) όπως συνηθίζεται να τις αποκαλούμε. Η χρήση τους επέτρεψε τη δυνατότητα για υψηλή ασφάλεια αλλά και για προσωποποίηση στο κινητό τερματικό του χρήστη. Έτσι καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, τα προσεχή χρόνια οπότε και θα αναπτυχθεί το UMTS δίκτυο, αναμένεται η βιομηχανία των καρτών αυτών να μπορεί να προσέρει κάρτες με μεγαλύτερη χωρητικότητα και αποθηκευτική ικανότητα, γρήγορες μονάδες επεξεργασίας, αυξημένες δυνατότητες κρυπτογράφησης και ταυτόχρονα λειτουργία από απόσταση (χωρίς να χρειάζεται δηλαδή να έρθει σε επαφή η κάρτα με τη συσκευή με την οποία θα συνεργαστεί και θα αλληλεπιδράσει). Οι νέες αυτές κάρτες που θα χρησιμοποιούνται στο UMTS δίκτυο θα ονομάζονται USIM (UMTS Subscriber Identity Module).

Με τον τρόπο αυτό θα είναι εφικτό οι χρήστες του δικτύου να διαθέτουν συσκευές που θα τους παρέχουν αυξημένη ασφάλεια στη μεταφορά των προσωπικών τους ηλεκτρονικών δεδομένων / στοιχείων, υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και επεξεργασίας των δεδομένων, δυνατότητες για οικονομικές συναλλαγές χωρίς να χρειάζεται να βγάλουν την κάρτα από το κινητό τερματικό ή το πορτοφόλι τους και ακόμα ασύρματη ανταλλαγή προσωπικών στοιχείων (παραδείγματος χάρη δακτυλικά αποτυπώματα, υπογραφές και κάθε είδους αρχεία) για ταυτοποίηση. Επιβάλλεται ωστόσο, όπως και αναμένεται να γίνει, η χρησιμοποίηση κοινών τεχνολογιών σε χαμηλό τουλάχιστον επίπεδο από όλους τους κατασκευαστές και τους παρόχους των υπηρεσιών αντίστοιχα, προκειμένου να μην υπάρχουν προβλήματα ασυμβατότητας καθώς ο χρήστης θα ταξιδεύει από χώρα σε χώρα και από ήπειρο σε ήπειρο.

2.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ UMTS

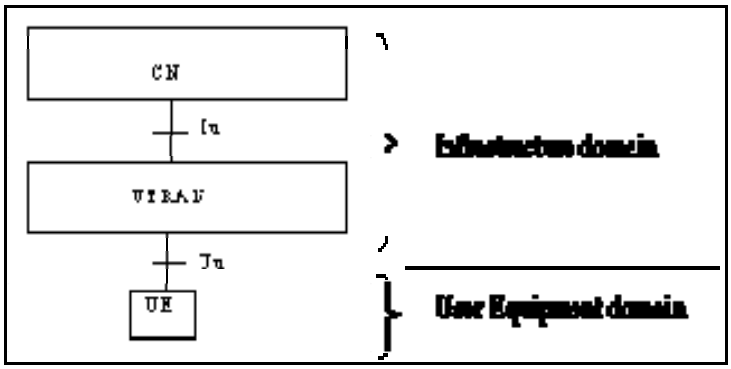
Η γενική αρχιτεκτονική του δικτύου UMTS φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 6: Αρχιτεκτονική δικτύου UMTS

Σε αυτή την ενότητα αρχικά θα παρουσιαστεί εν συντομία η αρχιτεκτονική δομή και σχεδίαση του δικτύου UMTS. Στο Σχήμα 7 που ακολουθεί, παρουσιάζονται

απλουστευμένα τα επίπεδα αυτού όπου διακρίνουμε τον τομέα του Εξοπλισμού του Χρήστη και τον τομέα Υποδομής του Δικτύου.

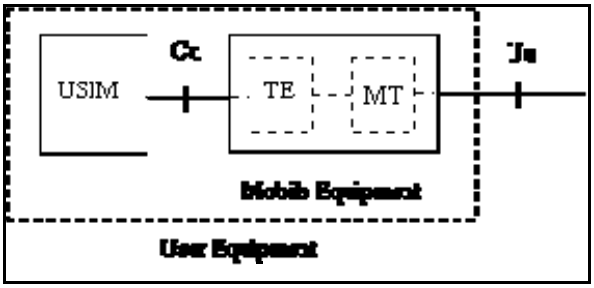


Σχήμα 7: Τομείς / Επίπεδα αρχιτεκτονικής UMTS δικτύου

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε και θα παρουσιάσουμε τον κάθε τομέα ξεχωριστά μαζί με τα επιμέρους συστατικά του, εξετάζοντας τη χρησιμότητα και τις λειτουργίες που επιτελούνται σε αυτόν. Να σημειώσουμε μόνο ότι λέγοντας Εξοπλισμό του Χρήστη εννοούμε τα κινητά τερματικά που αυτός χρησιμοποιεί προκειμένου να συνδεθεί στο δίκτυο UMTS και να λάβει τις προσφερόμενες υπηρεσίες όπως είναι η ομιλία, τα σύντομα γραπτά μηνύματα (SMS), η περιήγηση στον Παγκόσμιο Ιστό αλλά και πολλές άλλες που δεν έχουμε γνωρίσει στα πλαίσια του GSM και που πρόκειται να αναπτυχθούν στο νέο περιβάλλον των συστημάτων τηλεπικοινωνιών 3ης γενιάς. Ο Εξοπλισμός του Χρήστη πρέπει να διαθέτει την κατάλληλη τεχνολογία για την ασύρματη ζεύξη (που στο σχήμα παρουσιάζεται ως Uu) με τα σημεία πρόσβασης του δικτύου (UTRAN). Από την άλλη, λέγοντας Δίκτυο Κορμού (Core Network) και Δίκτυο Επίγειας Ασύρματης Πρόσβασης (UTRAN), που από κοινού αποτελούν την Υποδομή Δικτύου, εννοούμε τους φυσικούς κόμβους του δικτύου οι οποίοι εξυπηρετούν όλους τους τελικούς χρήστες και υποστηρίζουν τις προβλεπόμενες κατά περίσταση υπηρεσίες. Η ανάλυση που ακολουθεί εξετάζει τα επίπεδα αυτά με τη σειρά που αναφέρθηκαν, αρχίζοντας από το απλούστερο που είναι ο Εξοπλισμός του Χρήστη και ολοκληρώνοντας με το Δίκτυο Κορμού.

2.2.1 Εξοπλισμός του Χρήστη (User Equipment)

Ο Εξοπλισμός του Χρήστη περιλαμβάνει διάφορα επίπεδα εξοπλισμού καθώς πραγματοποιεί τις ασύρματες ζεύξεις με τα σημεία σύνδεσης του δικτύου (είναι υπεύθυνος για την ασύρματη επικοινωνία) και ελέγχει τις εφαρμογές λογισμικού που υλοποιεί το κινητό τερματικό. Ταυτόχρονα πρέπει να είναι συμβατός με περισσότερες από μία τεχνολογίες καθώς τουλάχιστον κατά τη μετάβαση από τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών της 2ης γενιάς (GSM) σε αυτά της 3ης (UMTS) επιβάλλεται να λειτουργεί σωστά και στα δύο είδη περιβάλλοντος. Επιπρόσθετα, υπάρχει ο περαιτέρω διαχωρισμός των συστατικών του τερματικού ανάμεσα στην κάρτα USIM και στον Εξοπλισμό Κινητής Επικοινωνίας (Mobile Equipment - ME), όπως φαίνεται στο Σχήμα 8, με κοινό σημείο αναφοράς και επικοινωνίας τη διεπαφή Cu.

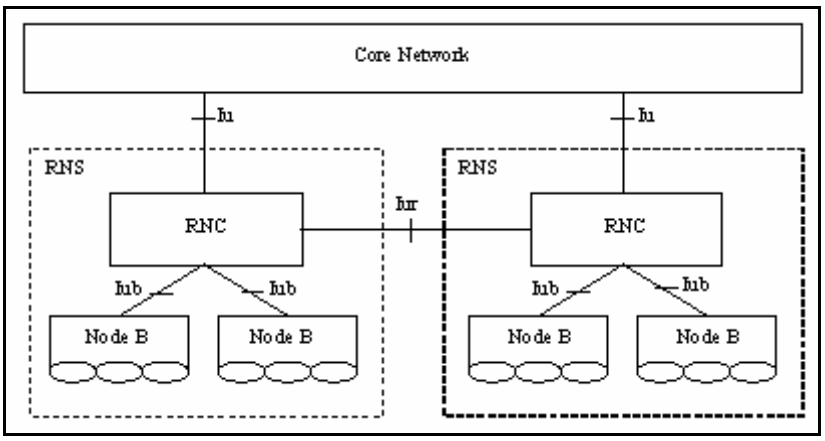


Σχήμα 8: Συστατικά Εξοπλισμού Χρήστη

Όπως έχει αναφερθεί ο Εξοπλισμός Κινητής Επικοινωνίας περιέχει τα απαραίτητα στοιχεία τόσο για την ασύρματη σύνδεση όσο και για τις εφαρμογές λογισμικού (όπως παραδείγματος χάρη το περιβάλλον για τη διασύνδεση με φορητό Ηλεκτρονικό Υπολογιστή). Το γεγονός αυτό φανερώνεται στο σχήμα με την ύπαρξη δύο ξεχωριστών οντοτήτων, της MT (Mobile Termination) που είναι υπεύθυνη για τις ζεύξεις και της TE (Terminal Equipment) που είναι υπεύθυνη για τις εφαρμογές [1].

2.2.2 Το Δίκτυο Επίγειας Ασύρματης Πρόσβασης (UTRAN)

Το UTRAN αποτελείται από ένα σύνολο RNS (Radio Network Subsystem), υποσυστημάτων ασύρματης πρόσβασης, κατ' αναλογία με τα BSS (Base Station System) που χρησιμοποιούνται σήμερα από το GSM. Πρόκειται για τα σημεία πρόσβασης των τελικών χρηστών προς το δίκτυο και είναι υπεύθυνα για την εγκατάσταση και τον τερματισμό των διαύλων τους οποίους χρησιμοποιούν τα κινητά τερματικά για να αλληλεπιδράσουν με το δίκτυο. Διαχειρίζονται δηλαδή τους ασύρματους πόρους του δικτύου και συνδέονται με το Δίκτυο Κορμού μέσω της διεπαφής Iu όπως φαίνεται στο Σχήμα 9 που ακολουθεί. Περιλαμβάνουν δε όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για τις μεταδόσεις και τις συνδέσεις όπως είναι αναμεταδότες, ελεγκτές κοκ.

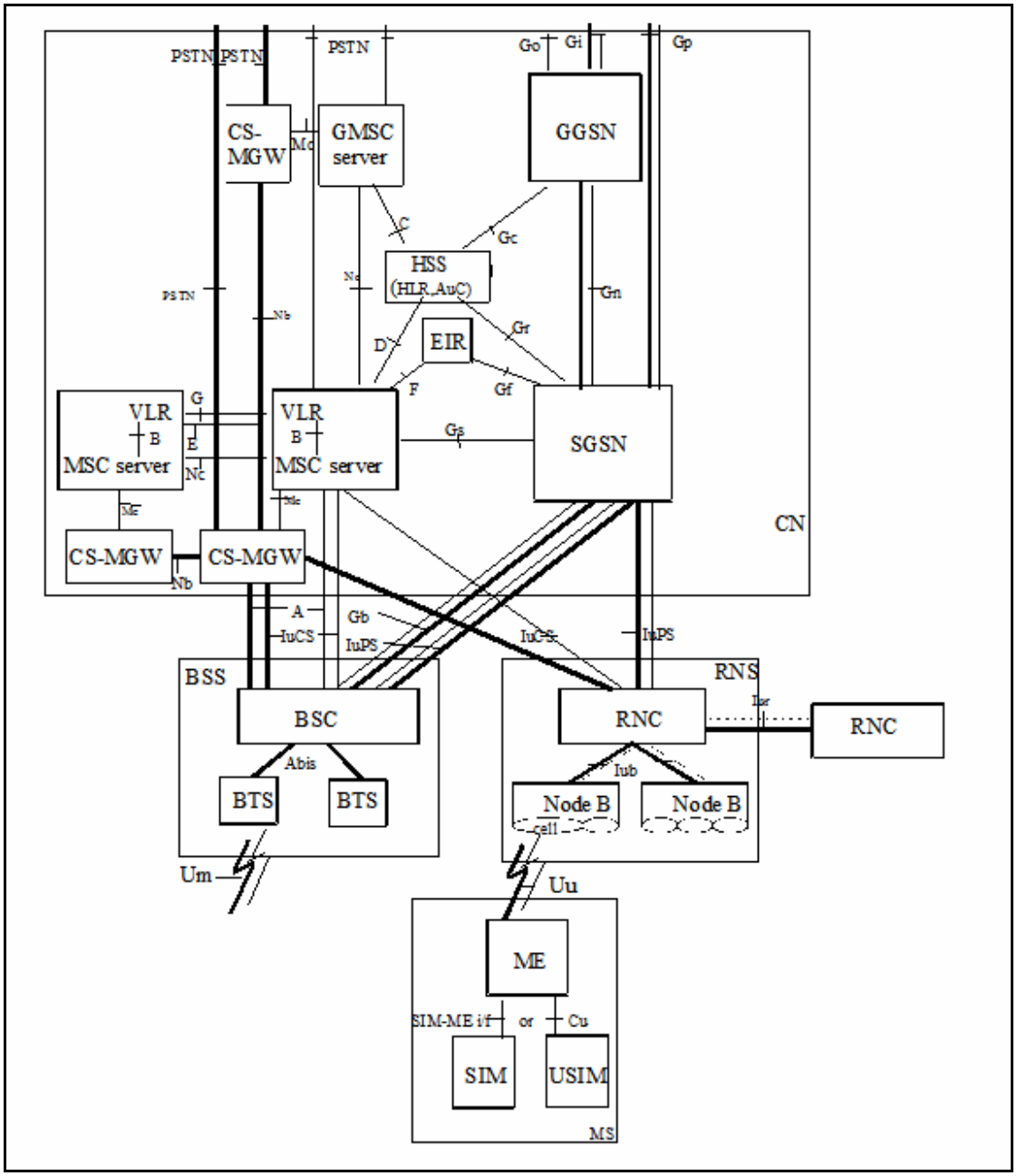


Σχήμα 9: Το Δίκτυο Επίγειας Ασύρματης Πρόσβασης (UTRAN)

Η σχέση που έχει κάθε χρήστης που συνδέεται στο δίκτυο, με το υποσύστημα RNS που τον εξυπηρετεί είναι ένα προς ένα, και ο σχετικός RNS ονομάζεται Serving RNS. Αυτός και μόνο είναι αρμόδιος για την εγκατάσταση και τη λήξη των συνδέσεων του χρήστη. Ωστόσο, συχνά είναι δυνατό κάποιο άλλο RNS να προσφέρει τους πόρους

που διαχειρίζεται στο κινητό τερματικό του χρήστη, σε περίπτωση που αυτός εισέλθει σε κυψέλη που εξυπηρετείται από το συγκεκριμένο υποσύστημα, το οποίο στην περίπτωση αυτή ονομάζεται Drift RNS [1].

2.2.3 Το Δίκτυο Κορμού (Core Network)



Σχήμα 10: Δομή και διασύνδεση κόμβων UMTS δικτύου

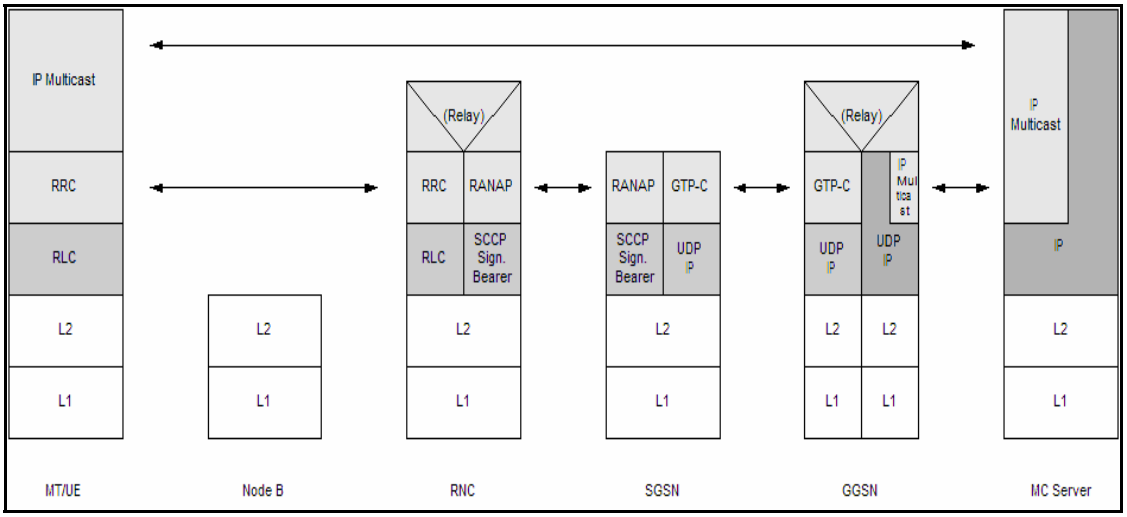
Το Δίκτυο Κορμού περιλαμβάνει τις οντότητες εκείνες που υποστηρίζουν και διασυνδέουν τα δομικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν μέχρι αυτό το σημείο. Στο Σχήμα 10, περιέχονται όλα τα βασικά συνθετικά του UMTS μαζί με τον τρόπο διασύνδεσής τους (διεπαφές), καταδεικνύοντας τις συνεργασίες που λαμβάνουν χώρα μεταξύ των οντοτήτων. Στο σχήμα αυτό, με τις έντονες γραμμές παρουσιάζονται οι διεπαφές / συνδέσεις που χρησιμοποιούνται για να εξυπηρετήσουν την κίνηση των

δεδομένων των χρηστών ενώ με τις αχνές γραμμές σημειώνονται οι συνδέσεις που χρησιμοποιούνται για σηματοδοσία. Επίσης, να επισημάνουμε ότι αν και παρουσιάζονται όλοι οι κόμβοι να είναι απευθείας συνδεδεμένοι, είναι πιθανό για τη διασύνδεση αυτή να χρησιμοποιείται κάποιο άλλο δίκτυο, όπως για παράδειγμα το SS7 ή το IP. Τα νέα στοιχεία που θα παρουσιαστούν σε αυτή την ενότητα φαίνονται στο πάνω μέρος του σχήματος και περιλαμβάνονται στο πλαίσιο CN. Οι λειτουργίες που καλούνται να εκπληρώσουν είναι η διαχείριση των πληροφοριών που σχετίζονται με τη θέση των χρηστών κάθε φορά, έλεγχο των λειτουργιών των υπολοίπων οντοτήτων του δικτύου καθώς και η περιαγωγή και ανάθεση της εξυπηρέτησης των χρηστών μέσω κατάλληλης σηματοδοσίας στους κόμβους. Στη συνέχεια θα αναλύσουμε τις σημαντικότερες από τις οντότητες του τομέα αυτού.

Οι οντότητες του Δικτύου Κορμού χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το είδος της κίνησης που εξυπηρετούν και διακρίνονται στα στοιχεία του τμήματος Μεταγωγής Κυκλώματος (Circuit Switched – CS) και του τμήματος Μεταγωγής Πακέτου (Packet Switched – PS). Υπάρχουν βέβαια και κάποιες οντότητες κοινές, ανεξαρτήτως τμήματος. Το τμήμα Μεταγωγής Κυκλώματος περιλαμβάνει τις οντότητες που υποστηρίζουν υπηρεσίες προσανατολισμένες «σε σύνδεση» (connection oriented ή αλλιώς υπηρεσίες που χρησιμοποιούν CS type of connection) που σημαίνει ότι οι πόροι του δικτύου δεσμεύονται κατά την εκκίνηση της σύνδεσης και της υπηρεσίας και απελευθερώνονται με το πέρας αυτής. Τέτοιες οντότητες είναι οι κόμβοι MSC, GMSC και VLR. Αντίθετα το τμήμα Μεταγωγής Πακέτου περιλαμβάνει τις οντότητες που υποστηρίζουν υπηρεσίες που χρησιμοποιούν PS type of connection, που δεν είναι δηλαδή προσανατολισμένες σε σύνδεση. Αυτό σημαίνει ότι ανεξάρτητα «πακέτα» ή αλλιώς ομάδες bits μεταφέρουν τμηματικά τις πληροφορίες και τα δεδομένα του χρήστη. Κάθε πακέτο μπορεί να δρομολογηθεί ανεξάρτητα από το άλλο και να χρησιμοποιήσει διαφορετικούς πόρους του συστήματος, ανάλογα με την κίνηση σε κάθε κόμβο κοκ. Τέτοιοι κόμβοι είναι οι GGSN και SGSN, ή γενικότερα οντότητες που υποστηρίζουν το GPRS. Πέραν των προαναφερθέντων κόμβων υπάρχουν όπως είπαμε και οι κοινές οντότητες, όπως είναι οι κόμβοι HSS (Home Subscriber Server), HLR (Home Location Register), και AuC (Authentication Centre). Ακολουθεί σύντομη περιγραφή του ρόλου κάθε ενός από αυτούς ξεκινώντας από τους κοινούς και συνεχίζοντας με αυτούς του CS τμήματος για να ολοκληρώσουμε με τους κόμβους του PS τμήματος [2].

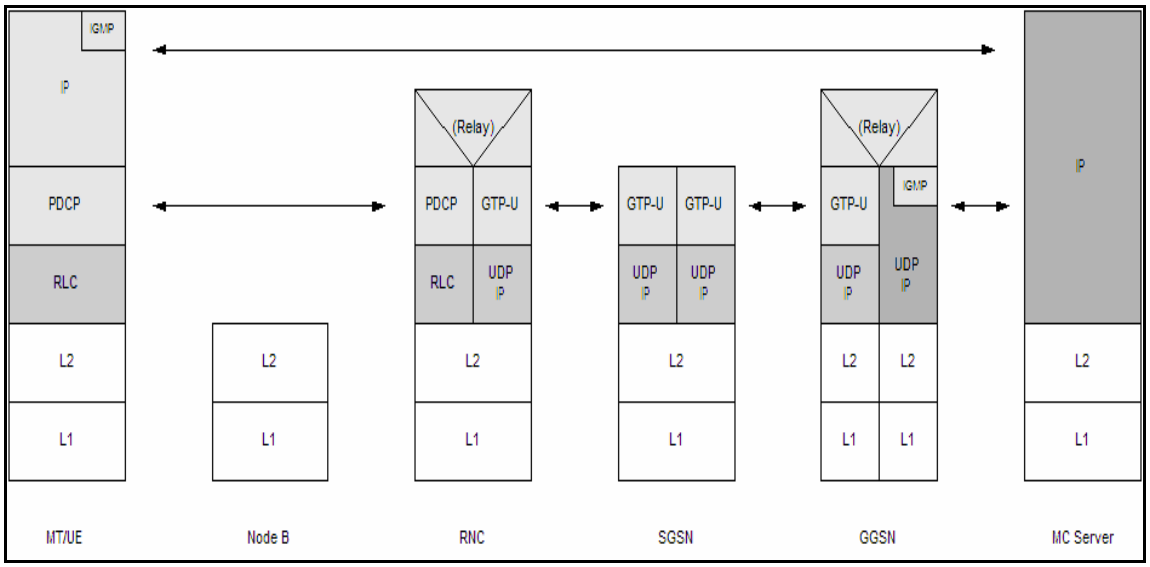
2.3 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΧΡΗΣΤΗ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ UMTS

Σε αυτή την παράγραφο θα παρουσιαστούν περιληπτικά τα πρωτόκολλα σηματοδοσίας και επιπέδου χρήστη που χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση συνδέσεων μεταξύ των κόμβων του δικτύου UMTS. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειώσουμε ότι το τελευταίο χρησιμοποιεί μία από τις ήδη ανεπτυγμένες τεχνολογίες ATM ή IP για τη μετάδοση των πακέτων ελέγχου και δεδομένων (control και data plane αντίστοιχα) στο ενσύρματο (σταθερό) κομμάτι του δικτύου. Η παρουσίαση που θα γίνει σε αυτή την παράγραφο δε θα καταπιαστεί με τον τρόπο που μεταδίδονται τα πακέτα και θα εστιάσουμε στα επίπεδα δικτύου και πάνω. Ακολουθούν δύο σχήματα (και) όπου παρουσιάζονται απλουστευμένες εκδόσεις της αρχιτεκτονικής πρωτοκόλλων που χρησιμοποιείται στο UMTS για τα επίπεδα ελέγχου και δεδομένων αντίστοιχα.



Σχήμα 11: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων σε επίπεδο ελέγχου για το τμήμα PS

Στο σχήμα που προηγείται όπως και στο σχήμα που ακολουθεί φαίνονται με βέλη οι συνδέσεις που εγκαθίστανται. Για τις υπηρεσίες που μας ενδιαφέρουν και που αφορούν μεταγωγή πακέτου, αυτό που έχει σημασία είναι να εγκατασταθούν οι συνδέσεις από άκρο σε άκρο, όπως φαίνονται με τα μεγάλα βέλη στο πάνω μέρος του κάθε σχήματος. Οι συνδέσεις αυτές στην πράξη αποτελούνται από επιμέρους μεταξύ των κόμβων του συστήματος, που σημειώνονται με μικρότερα βέλη. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.



Σχήμα 12: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων σε επίπεδο χρήστη για το τμήμα PS

Για την παρουσίαση αυτή θα ακολουθηθεί σειρά από κάτω προς τα πάνω όσον αφορά τα επίπεδα του δικτύου και τα χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα. Θα ήταν ωστόσο παράληψη να μην αναφερθεί ότι κάθε φορά που το κινητό τερματικό θέλει να ανταλλάξει μηνύματα σηματοδοσίας με το δίκτυο για μεταγωγή πακέτου, πρέπει να μεταβεί σε κατάσταση PMM-CONNECTED (από πλευράς Διαχείρισης Κινητικότητας – Mobility Management). Όταν η σύνδεση σηματοδοσίας με το δίκτυο διακοπεί το κινητό μεταβαίνει σε κατάσταση PMM-IDLE από όπου δύναται

περιοδικά να εκτελεί τη διαδικασία της ενημέρωσης της περιοχής δρομολόγησης (routing area update).

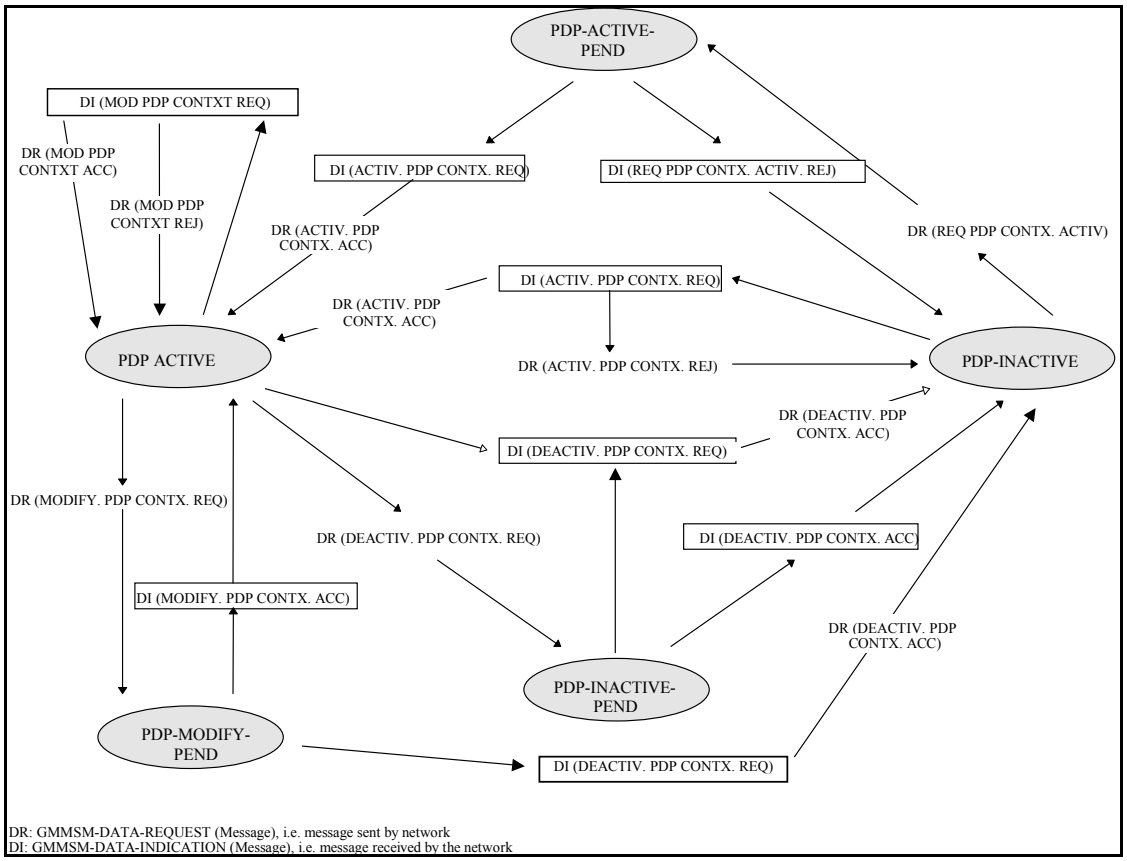
Σε επίπεδο σηματοδοσίας λοιπόν, αλλά και στο επίπεδο χρήστη, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο RLC (Radio Link Control) τόσο από την πλευρά του κινητού τερματικού όσο και από την πλευρά του κόμβου RNC το οποίο και υλοποιείται κατά κανόνα πάνω από το στρώμα ζεύξης για να προσδώσει την απαιτούμενη λειτουργικότητα σε αυτό (που για το UMTS είναι το WCDMA). Σε επίπεδο σηματοδοσίας το RLC χρησιμοποιείται από το πρωτόκολλο RRC ενώ σε επίπεδο χρήστη από το PDCP. Οι λειτουργίες που αναλαμβάνει κατά περίσταση και πάντα ανάλογα με τις «υποδείξεις» του αμέσως ανώτερου πρωτοκόλλου είναι αρκετές και οι σημαντικότερες από αυτές είναι η κατάτμηση και η επανένωση των πακέτων, η διόρθωση λαθών, η παράδοση κατά σειρά των πακέτων, ο εντοπισμός διπλών αντιτύπων, ο έλεγχος ροής, κ.α.

Για το επίπεδο σηματοδοσίας το πρωτόκολλο κλειδί για τη διαχείριση των πόρων, είναι το RRC (Radio Resource Control), για το UTRAN. Αυτό υλοποιείται μεταξύ των κινητών τερματικών και των RNC κόμβων και χρησιμοποιεί όπως έχουμε αναφέρει τις συνδέσεις και τα μηνύματα που του παρέχονται από το RLC. Για τη συνέχιση της σηματοδοσίας μεταξύ RNC και SGSN ή αλλιώς μεταξύ του UTRAN και του Δικτύου Κορμού (CN), χρησιμοποιείται το RANAP (Radio Access Network Application Protocol) με τέτοιο τρόπο ώστε η εξέλιξη των δύο τμημάτων του δικτύου να είναι ουσιαστικά ανεξάρτητη αλλά η επικοινωνία να παραμένει ικανοποιητική. Το πρωτόκολλο αυτό είναι κοινό τόσο για το τμήμα PS όσο και για το CS. Η συνεργασία του δε με το RRC είναι τέτοια που επιτρέπει ουσιαστικά τη σύνδεση του κινητού τερματικού με το CN. Προϋποθέτουμε ωστόσο ότι υπάρχει εγκατεστημένη η σύνδεση σηματοδοσίας στο παρακάτω επίπεδο, γεγονός για το οποίο φροντίζει το SCCP. Αν κάτι δε λειτουργεί καλά στο κάτω επίπεδο, το SCCP οφείλει να ενημερώσει το RANAP. Τέλος, για τις συνδέσεις σηματοδοσίας, η επικοινωνία των κόμβων SGSN με τους GGSN επιτυγχάνεται μέσω του πρωτοκόλλου GTP-C (GPRS Tunnelling Protocol for Control Plane). Αυτό επιτρέπει στον SGSN να συνδεθεί με τον GGSN και να προωθήσει τα πακέτα δεδομένων προ τους χρήστες. Επίσης, το πρωτόκολλο GTP-C χρησιμοποιείται και για την επικοινωνία μεταξύ δύο SGSNs προκειμένου να ανταλλάξουν πληροφορίες σχετικά με κάποιο χρήστη όταν αυτός αποφασίζει να αλλάξει περιοχή δρομολόγησης και να εισέλθει στη δικαιοδοσία κάποιου άλλου SGSN.

Από την άλλη, στο επίπεδο χρήστη, το πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί το RLC είναι το PDCP (Packet Data Convergence Protocol) το οποίο είναι σχεδιασμένο να κάνει τα πρωτόκολλα του WCDMA κατάλληλα για μεταφορά των πιο κοινών τύπων πακέτων πρωτοκόλλων δεδομένων των χρηστών, όπως είναι το TCP/IP. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η σύνδεση των κινητών τερματικών με τους κόμβους RNC. Η κύρια λειτουργία του είναι να συμπιέζει τα περιεχόμενα των επικεφαλίδων των πακέτων, τα οποία ασυμπίεστα θα σπαταλούσαν πολύτιμους πόρους του δικτύου. Τέλος, για τη σύνδεση του κινητού (του κόμβου RNC στην πραγματικότητα) με το δίκτυο κορμού και τους κόμβους SGSN και GGSN, δεδομένου ότι μεγάλο μέρος της κίνησης πακέτων χρηστών μέσω του δικτύου έχει να κάνει με το IP πρωτόκολλο, χρησιμοποιείται το GTP-U (GPRS Tunnelling Protocol for data User Plane). Αυτό, παρέχει μεταφορά δεδομένων χωρίς σύνδεση (connectionless) και συνεργάζεται πολύ καλά με το UDP πρωτόκολλο [3].

Κλείνοντας το κομμάτι των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται στο UMTS, σε επίπεδο σηματοδοσίας και χρήστη, κρίνεται σκόπιμο για λόγους πληρότητας να

παραθέσουμε το Σχήμα 13 το οποίο παρουσιάζει τις δυνατές καταστάσεις μιας Συνόδου και των διαδικασιών που υπαγορεύει η Διαχείριση Συνόδων στο UMTS. Η κατάσταση που παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι αυτή του PDP Active, οπότε και έχουμε ενεργοποιημένες συνδέσεις για κάποια υπηρεσία. Η αντίστοιχη διαδικασία της ενεργοποίησης μπορεί να εκκινήσει είτε από το κινητό τερματικό, είτε να την αιτηθεί το δίκτυο [4].



Σχήμα 13: Δυνατές καταστάσεις κατά τη Διαχείριση Συνόδων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ (QoS) ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ 3G

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ (QOS) ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ 3G

Με τον όρο Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service – QoS) αναφερόμαστε στη δυνατότητα του δικτύου να προσφέρει καλύτερες υπηρεσίες προς τους χρήστες, δηλαδή υπηρεσίες με εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης, αυξημένα χαρακτηριστικά για την ελαχιστοποίηση της απώλειας των δεδομένων, μικρό Jitter (διακύμανση καθυστέρησης) και ελεγχόμενη καθυστέρηση. Η Ποιότητα Υπηρεσίας παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο σε κάθε σύγχρονο δίκτυο. Από την οπτική γωνία του χρήστη, είναι φανερό ότι αυτός επιθυμεί από το δίκτυο όχι απλά να τον εξυπηρετεί, αλλά να τον εξυπηρετεί ανάλογα με τις δικές του απαιτήσεις.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας και για το διαχειριστή του δικτύου. Ένα δίκτυο 3G θα μεγιστοποιήσει το κέρδος του σε σχέση με ένα δίκτυο 2G εάν είναι σε θέση να προσφέρει QoS. Παρόλο που η κατασκευή ενός τέτοιου δικτύου είναι πολύ πιο δαπανηρή, τα οικονομικά οφέλη από την παροχή τέτοιων υπηρεσιών οι οποίες χωρίζονται με βάση το QoS, είναι περισσότερα. Επίσης η παροχή QoS είναι ένας ακόμα τρόπος απόσβεσης της επένδυσης του δικτύου, αφού επιτρέπει την βέλτιστη χρήση των πόρων του. Επιπλέον η παροχή Ποιότητας Υπηρεσίας επιτρέπει στα δίκτυα να προωθούν στην αγορά πολλά οικονομικά πακέτα έτσι ώστε να προσφέρουν στους χρήστες προσωποποιημένες υπηρεσίες, προσελκύοντας έτσι νέους πελάτες αφού καλύπτονται οι ανάγκες διαφορετικών χρηστών, σε αντίθεση με τα δίκτυα 2G.

3.1 QOS ΣΕ 3G ΔΙΚΤΥΑ

Σε αντίθεση με τα δίκτυα 2G όπου η μεταφορά φωνής ήταν ο κύριος λόγος για την δημιουργία και την ύπαρξη τους, τα δίκτυα τρίτης γενιάς έχουν επικεντρωθεί στην παράδοση δεδομένων στους χρήστες, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι υπάρχουν πολλές άλλες υπηρεσίες εκτός της μεταφοράς φωνής.

Στα δίκτυα 3G το δίκτυο κορμού αποτελείται από το CS κομμάτι που απαντάται και στα δίκτυα παλαιότερης γενιάς και από το PS κομμάτι. Η χρησιμοποίηση του κομματιού της μεταγωγής κυκλώματος παρέχει εγγυημένη Ποιότητα Υπηρεσίας αλλά έχει ως μεγάλο μειονέκτημα την δέσμευση πολλών πόρων. Κατά την διάρκεια μιας υπηρεσίας που τρέχει στο κομμάτι αυτό, δημιουργείται μια μόνιμη σύνδεση μέσα στο δίκτυο και έτσι η χωρητικότητα του δικτύου μειώνεται δραστικά, παρόλο που μπορεί η σύνδεση αυτή να μην χρησιμοποιείται πλήρως. Με άλλα λόγια μια μόνιμη σύνδεση δημιουργείται και παραμένει ενεργή καθ' όλη την διάρκεια της επιλεγμένης υπηρεσίας. Αυτό επιτρέπει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης αλλά όταν η εφαρμογή παραμένει σε κατάσταση αναμονής και δεν μεταφέρονται δεδομένα, η σύνδεση αυτή παραμένει ενεργή και δεν επιτρέπεται η χρήση της από κάποια άλλη υπηρεσία. Έτσι έχουμε μια σημαντική σπατάλη πόρων καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα ευέλικτης διαχείρισης τους.

Αυτή η σπατάλη πόρων αντιμετωπίζεται με την χρησιμοποίηση του κομματιού του δικτύου που βασίζεται στην μεταγωγή πακέτων, η οποία προσφέρει ευέλικτη διαχείριση πόρων. Εάν μια πηγή δεν εκπέμπει πακέτα για κάποιο χρονικό διάστημα, αυτό δεν επηρεάζει το δίκτυο, καθώς οι γραμμές μεταφοράς μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τις άλλες πηγές και έτσι η χρησιμοποίηση δικτύου παραμένει

υψηλή. Το κύριο μέλημα είναι η διαφύλαξη του QoS, το οποίο είναι σήμερα το βασικό πρόβλημα το οποίο πρέπει αν αντιμετωπίσουν οι μηχανικοί δικτύων.

Η μεταφορά φωνής είναι ακόμα η πιο σημαντική υπηρεσία, αλλά στο άμεσο μέλλον θα κυριαρχήσει η μεταφορά δεδομένων. Οι τηλεφωνικές χρήσεις θα αντικατασταθούν από την βίντεο-συνδιάσκεψη ή από την τηλεφωνία πάνω από το IP (Voice over IP/VoIP), η οποία ήδη παρουσιάζει μεγάλη ζήτηση και χρήση.

Ο κύριος σκοπός ενός διαχειριστή δικτύου UMTS είναι η επίτευξη του απ' άκρη σε άκρη QoS έτσι να παρέχονται στους χρήστες υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης, καλύτερη ποιότητα φωνής και καλύτερη κάλυψη και διαθεσιμότητα του δικτύου σε καταστάσεις συμφόρησης. Καθώς εμπλέκονται και πολλά άλλα δίκτυα (όπως για παράδειγμα το Internet), οι απ' άκρη σε άκρη συνδέσεις είναι αποτέλεσμα της σύνθεσης των συνδέσεων κάθε δικτύου που υπάρχουν μέσα στο τελικό μονοπάτι. Έτσι η δυσκολία έγκειται στο να συνδεθούν όλα αυτά τα ετερογενή δίκτυα , τα οποία βασίζονται σε διαφορετικά πρωτόκολλα και τεχνολογίες, σε ένα ενιαίο περιβάλλον υψηλής αποδόσεως. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η ύπαρξη μιας συνολικής πλατφόρμας η οποία θα υποστηρίζει και θα συνδυάζει όλες αυτές τις τεχνολογίες. Με την χρήση μιας τέτοια πλατφόρμας θα καταστεί δυνατή η διασύνδεση ετερογενών δικτύων σε μια διάταξη που θα αποφέρει το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα.

Το σημαντικότερο πρόβλημα για τις επιδόσεις ενός τέτοιου δικτύου είναι το ασύρματο κομμάτι. Η εύρεση λύσεων για αυτό είναι ένα πολύπλοκο θέμα πάνω στο οποίο γίνονται συνεχώς έρευνες. Έχοντας ως δεδομένο τη δυσκολία επίλυσης αυτού του προβλήματος, έχει επιλεχθεί ως πρώτη προτεραιότητα η βελτιστοποίηση ως προς την προσφορά Ποιότητας Υπηρεσίας στο δίκτυο κορμού, καθώς έτσι μπορούν να μετριασθούν με έναν έμμεσο τρόπο τα προβλήματα τα οποία παρουσιάζονται στο ασύρματο κομμάτι.

3.1.1 Η Ποιότητα Υπηρεσίας από την οπτική του χρήστη

Η Ποιότητα Υπηρεσίας, όπως ήδη ειπώθηκε, είναι σημαντική για το κάθε δίκτυο, αλλά αυτός που είναι ο τελικός επωφελούμενος είναι ο χρήστης, ο οποίος δεν ενδιαφέρεται για τις ενδιάμεσες χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες, παρά μόνον για τη συνεχή σύνδεση στο δίκτυο και τη χρήση των υπηρεσιών που επιθυμεί. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης δεν είναι ανεκτικός σε χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης ή στην απώλεια πακέτων πληροφορίας εάν το δίκτυο του έχει εγγυηθεί υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και ακεραιότητα δεδομένων.

Η πρώτη και κύρια ανάγκη ενός χρήστη είναι να μπορεί να συνδέεται ανά πάσα στιγμή στο δίκτυο. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο πρέπει να υπάρχει στο δίκτυο μεγάλη πιθανότητα για επιτυχής σύνδεση και πρέπει να υπάρχει γρήγορη πρόσβαση. Έτσι η πιθανότητα σύνδεσης θα πρέπει να είναι πάνω από 90% και ο χρόνος αναμονής για σύνδεση δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από μερικά δευτερόλεπτα.

Μια δεύτερη απαίτηση είναι να είναι το δίκτυο ικανό να διατηρεί ενεργή την σύνδεση κατά την ολική διάρκεια της κλήσης και να μην έχουμε φαινόμενα διακοπής επικοινωνίας. Αυτή η απαίτηση ικανοποιείται σε όλα τα επίγεια δίκτυα, αλλά στις κινητές τηλεπικοινωνίες υφίστανται πολλές δυσκολίες καθώς απαιτείται πλήρης γεωγραφική κάλυψη και μεγάλη χωρητικότητα σε κάθε κυψέλη.

Η ποιότητα της κλήσης είναι ακόμα μια απαίτηση του χρήστης, καθώς επιθυμεί η ποιότητα της φωνής να προσεγγίζει την πραγματική ποιότητα. Έτσι πρέπει να χρησιμοποιηθούν διάφοροι αλγόριθμοι συμπίεσης που θα μπορούν να ελαχιστοποιούν τον όγκο της πληροφορίας χωρίς όμως να αποκλίνουν σημαντικά από την πραγματική ποιότητα.

Όλες οι παραπάνω απαιτήσεις υπάρχουν όμως και στις υπηρεσίες δεδομένων και όχι μόνο σε φωνητικές υπηρεσίες. Η σημαντικότερη απαίτηση είναι συνήθως η μεγάλη ταχύτητα, ενώ ακολουθούν οι απαιτήσεις για λίγα λάθη και για μη απώλεια της πληροφορίας. Βέβαια ανάλογα με την υπηρεσία τίθενται και διαφορετικές απαιτήσεις και έτσι για παράδειγμα στην μεταφορά αρχείων θέλουμε ακεραιότητα δεδομένων, ενώ στην παροχή video επιζητούμε την μεγάλη ταχύτητα μεταφοράς.

Συνοψίζοντας, υπάρχουν έξι διαστάσεις οι οποίες έχουν συμμετοχή στο πώς αντιλαμβάνεται ο τελικός χρήστης την προσφερόμενη Ποιότητα Υπηρεσίας. Αυτές είναι:

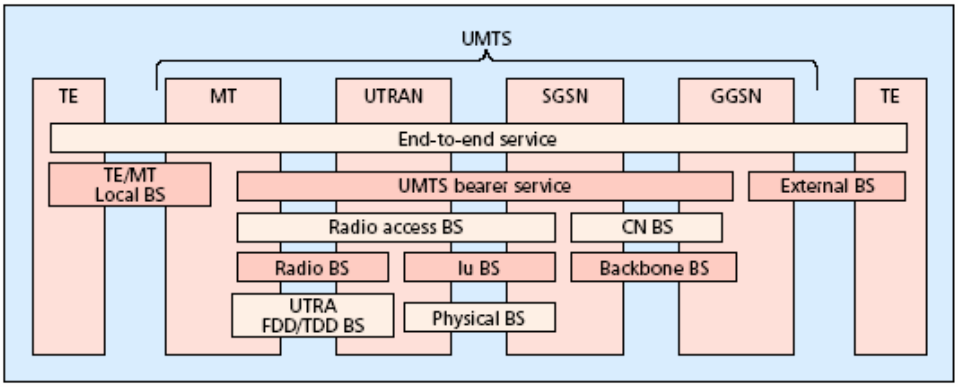
- Διαθεσιμότητα Υπηρεσιών
- Ικανοποιητική Διέλευση Δεδομένων
- Καθυστέρηση
- Jitter
- Ρυθμός Απωλειών Πακέτων
- Ρυθμός Λαθών

3.1.2 Ο Δίαυλος Υπηρεσιών UMTS

Σε ένα δίκτυο UMTS ο χρήστης ή η κάθε εφαρμογή έχει την δυνατότητα να διαπραγματευτεί τα χαρακτηριστικά του καναλιού που θα χρησιμοποιηθεί για να γίνει η μεταφορά των δεδομένων.

Οι διαφορετικές παράμετροι που αντιστοιχούν στις εφαρμογές που απολαμβάνει ο χρήστης είναι αυτές που διαμορφώνουν και τον τιμολογιακό κατάλογο, όπου λογικά η καλύτερη ποιότητα αντιστοιχεί στην μεγαλύτερη τιμή. Αυτές οι παράμετροι δεν αναφέρονται μόνο στην εφαρμογή αλλά και στο ίδιο το δίκτυο που διεκπεραιώνει την σύνδεση και είναι βασικά αυτές που διαμορφώνουν την Ποιότητα Υπηρεσίας.

Για να είναι πιο ευέλικτοι οι μηχανισμοί μέσα σε ένα δίκτυο UMTS έχει αναπτυχθεί μια αρχιτεκτονική πολλαπλών στρωμάτων για τους διάφορους διαύλους. Στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται αυτή η αρχιτεκτονική. Για την επίτευξη end-to-end QoS πρέπει να ληφθούν όλοι οι δίαυλοι υπόψη. Ο κύριος όμως δίαυλος είναι ο δίαυλος UMTS Bearer Service, ο οποίος είναι στην ουσία το άθροισμα των άλλων διαύλων στο επίγειο δίκτυο.



Σχήμα 14: Η αρχιτεκτονική του UMTS Bearer Service

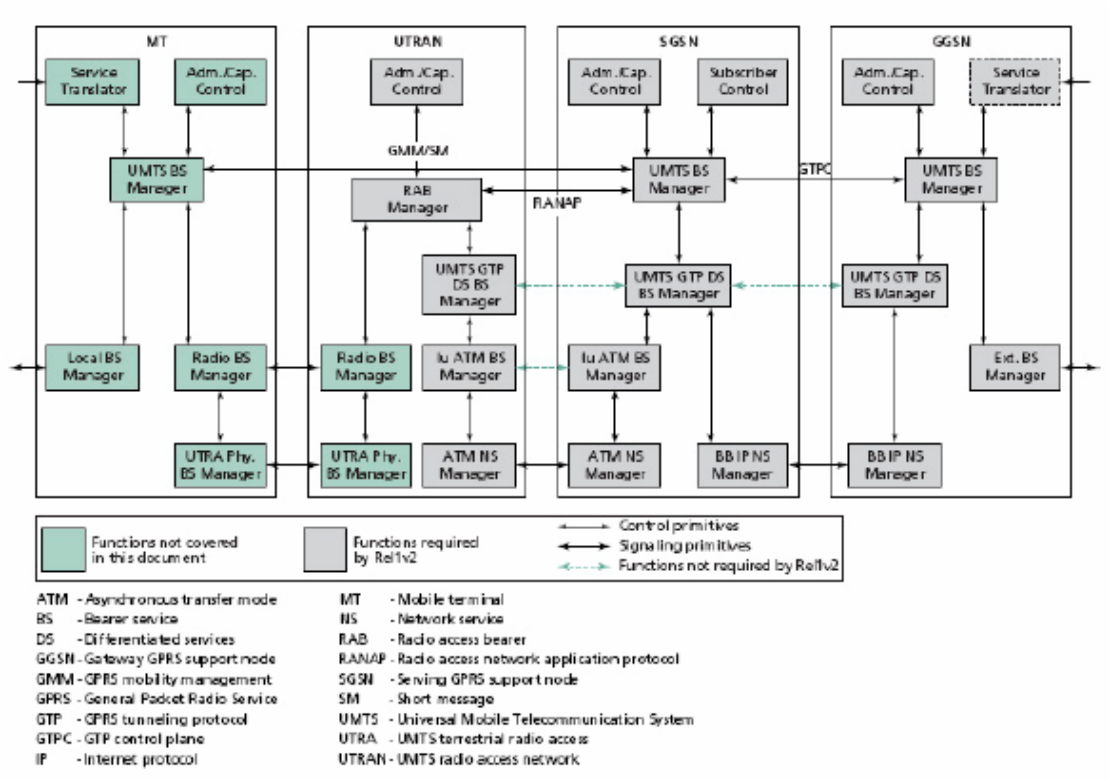
3.1.3 Λειτουργίες Διαχείρισης QoS

Οι λειτουργίες διαχείρισης του QoS είναι αυτές που επιτρέπουν σε ένα δίκτυο να προσφέρει διαφορετικά επίπεδα QoS ώστε να είναι δυνατή η δημιουργία, η αλλαγή και η διατήρηση των χαρακτηριστικών του QoS σε έναν δίαυλο. Αυτές οι λειτουργίες δεν είναι όμοιες για το Επίπεδο Διαχείρισης Χρήστη και για το Επίπεδο Διαχείρισης Ελέγχου.

Για το Επίπεδο Διαχείρισης Ελέγχου, αυτές είναι:

- Ο διαχειριστής Υπηρεσιών (Service Manager)
- Η Λειτουργία Μετάφρασης (Translation Function)
- Ο Έλεγχος Αποδοχής / Δυνατοτήτων (Admission/Capability Control)
- Ο Έλεγχος Συνδρομής (Subscription Control)

Σε ένα δίκτυο UMTS, ο κάθε κόμβος υποστηρίζει αυτές τις λειτουργίες και το παρακάτω σχήμα (Σχήμα 15) παρουσιάζει την αναπαράσταση των λειτουργιών του Επιπέδου Διαχείρισης Ελέγχου σε κάθε κόμβο του δικτύου.



Σχήμα 15: Οι λειτουργίες διαχείρισης του QoS για το Control Plane

Διαχειριστής Υπηρεσιών – Service Manager

Ο Διαχειριστής Υπηρεσιών είναι υπεύθυνος για να παρέχει όλες τις λειτουργίες διαχείρισης του QoS στο Επίπεδο Διαχείρισης Χρήστη με τις απαραίτητες παραμέτρους και βρίσκεται στο UE.

Λειτουργία Μετάφρασης – Translation Function

Η Λειτουργία Μετάφρασης βρίσκεται στο UE καθώς και στο gateway. Ο βασικός σκοπός της είναι η μετατροπή των παραμέτρων QoS εξωτερικών δικτύων σε μια μορφή η οποία να γίνεται κατανοητή από το δίκτυο UMTS, και το ανάστροφο.

Έλεγχος Αποδοχής / Δυνατοτήτων – Admission / Capability Control

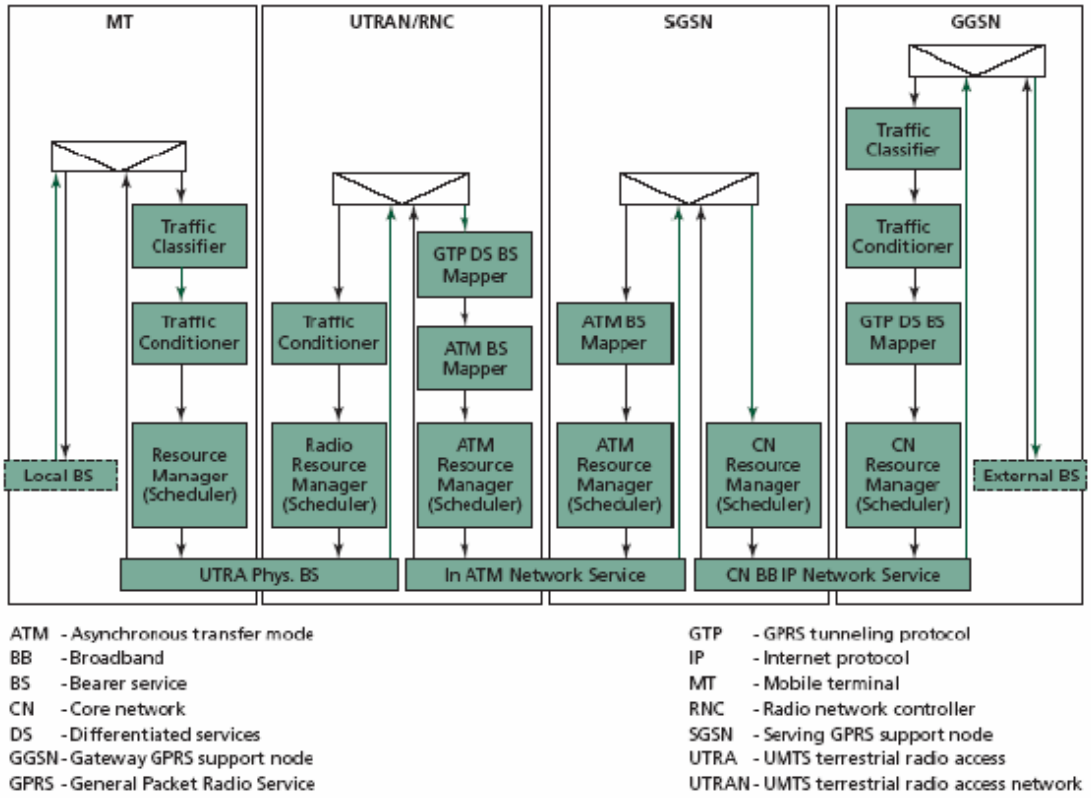
Ο σκοπός αυτού του ελέγχου είναι να υπολογίζει τους απαιτούμενους από το δίκτυο πόρους για την παροχή του ζητούμενου QoS και να αποφασίζει εάν αυτές είναι διαθέσιμες ώστε να προχωρήσει στη δέσμευση τους. Αυτό γίνεται με το να παρακολουθεί συνεχώς τον φόρτο του δικτύου. Ο έλεγχος αποδοχής γίνεται στο SGSN αλλά και τοπικά σε άλλα στοιχεία του δικτύου, όπως είναι το GGSN και το RNC. Ο Ελεγκτής Αποδοχής στο SGSN έχει την ευθύνη για την αποδοχή και την απόρριψη των μηνυμάτων ενεργοποίησης PDP (PDP context activation) και των ζητούμενων παραμέτρων QoS. Το GGSN και το UTRAN ελέγχουν τοπικά εάν είναι δυνατή η υποστήριξη αυτών των παραμέτρων.

Έλεγχος Συνδρομής - Subscription Control

Η λειτουργία αυτή βρίσκεται στο SGSN και ελέγχει εάν ένας χρήστης έχει την δυνατότητα να ζητήσει τα χαρακτηριστικά QoS που ζήτησε ή όχι, με βάση το συνδρομητικό πακέτο στο οποίο βρίσκεται. Για το Επίπεδο Διαχείρισης Χρήστη οι παρακάτω λειτουργίες πρέπει να υποστηρίζονται:

- Λειτουργία Αντιστοίχησης (Mapping Function)
- Λειτουργία Ταξινόμησης (Classification Function)
- Διαχειριστής Πόρων (Resource Manager)
- Χείριστης Κίνησης (Traffic Conditioner)

Αυτές περιγράφονται στην παρακάτω εικόνα:



Σχήμα 16: Οι λειτουργίες διαχείρισης του QoS για το User Plane

Λειτουργία Αντιστοίχησης - Mapping Function

Η Λειτουργία Αντιστοίχησης αντιστοιχεί τα χαρακτηριστικά του QoS κάθε υπηρεσίας στα διαφορετικά χαρακτηριστικά των διαύλων.

Λειτουργία Ταξινόμησης - Classification Function

Η Λειτουργία Ταξινόμησης που υπάρχει στο gateway και στον UE, θέτει της πληροφορίες που προέρχονται από εξωτερικά δίκτυα ή από τοπικούς διαύλους στους κατάλληλους διαύλους υπηρεσιών UMTS, σύμφωνα με τις απαιτήσεις QoS της κάθε πληροφορίας.

Διαχειριστής Πόρων - Resource Manager

Ο Διαχειριστής Πόρων εξετάζει εάν οι παράμετροι QoS που έχουν ζητηθεί από ένα περιεχόμενο PDP μπορούν να ικανοποιηθούν και δεσμεύει τους ανάλογους όρους του δικτύου. Ο τοπικός έλεγχος πόρων συμβαίνει σε κάθε στοιχεί του δικτύου, αλλά το RNC είναι υπεύθυνο για να διαχειρίζεσαι τους ασύρματους πόρους του δικτύου.

Χειριστής Κίνησης - Traffic Conditioner

Ο Χειριστής Κίνησης προσαρμόζει την κίνηση των δεδομένων των χρηστών ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του QoS που έχουν οι σχετικοί δίαυλοι UMTS. Αυτή η λειτουργία υπάρχει στο UE, στην gateway και στο RNC.

3.2 ΤΑΞΕΙΣ QOS ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟ UMTS

3.2.1 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)

3.2.1.1 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

3.2.1.2 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.

3.2.1.3 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

3.2.1.4 Τάξη Background

Σε αυτήν την τάξη ανήκουν εφαρμογές μεταφοράς δεδομένων όπως είναι το Email, οι μεταφορές FTP, το SMS, toMMS, 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	Παράδειγμα	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

3.2.2 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.

3.2.3 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 δίαυλο UMTS, διαφορετικές στον Radio Access Bearer (RAB) και διαφορετικές στον Radio Bearer (RB), καθώς τα δεδομένα τυγχάνουν διαφορετικής αντιμετώπισης σε κάθε κομμάτι του δικτύου.

3.2.3.1 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 δίαυλο, σε σχέση με αυτά άλλων διαύλων, έτσι ώστε το UTRAN να είναι σε θέσει 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 διαύλους UMTS. Έτσι όταν γίνεται ο Έλεγχος Εισόδου σε περιπτώσεις μη επαρκών πόρων, τότε με βάση αυτή την παράμετρο οι πιο σημαντικοί δίαυλοι 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 διαύλους, 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 διαύλους 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 δίαυλο. 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 πρωταρχικώς 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*10-8	4*10-3, 10-5, 6*10-8
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

3.2.3.2 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	<=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*10-8	4*10-3, 10-5, 6*10-8
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

3.2.3.3 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 θα

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 αντιστοίχηση των διαφορετικών τάξεων υπηρεσιών μεταξύ αυτών τον τεχνολογιών.

3.3 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 επενδύσει 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)

3.3.1 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 επιλεχθεί 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 kbits/s	6.70 kbits/s
	10.2 kbits/s	5.90 kbits/s
	7.95 kbits/s	5.15 kbits/s
	7.40 kbits/s	4.75 kbits/s
Half-rate	7.95 kbits/s	5.90 kbits/s
	7.40 kbits/s	5.15 kbits/s
	6.70 kbits/s	4.75 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	$7*10^{-3}$ 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

3.3.2 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

3.3.3 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 kbbs for CS 128 kbps for PS
Maximum bit rate for downlink	768 kbps
Guaranteed bit rate for uplink	64 kbbs for CS 128 kbps for PS
Maximum bit rate for uplink	768 kbps
Residual BER	10^{-4}
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

3.3.4 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 ύπαρξη 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

3.3.5 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 χρηστής 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 λιγοστές 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^{-5}
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

3.3.6 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 ι 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

3.3.7 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

3.3.8 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. Ό 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:

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 kbps for PS
Maximum bit rate for downlink	384 kbps
Guaranteed bit rate for uplink	64 kbbs for CS
Maximum bit rate for uplink	64 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 16: Καθορισμός Παραμέτρων για την υπηρεσία Corporate Access

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΥΠΗΡΕΣΙΑ MBMS (MULTIMEDIA BROADCAST / MULTICAST SERVICE)

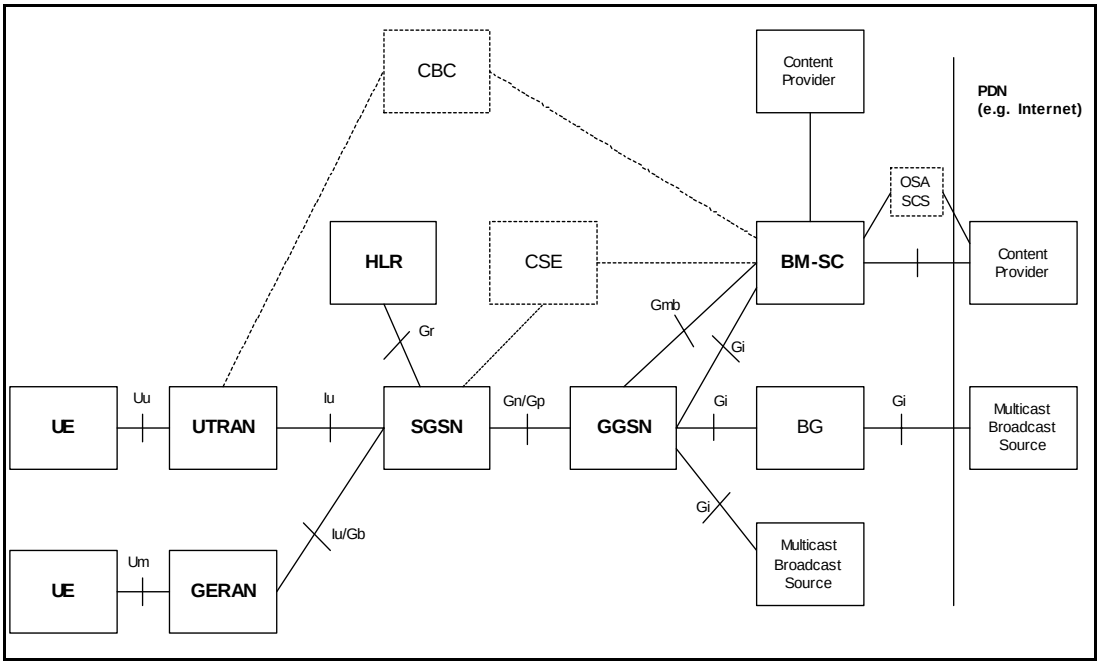
Η ΥΠΗΡΕΣΙΑ MBMS (MULTIMEDIA BROADCAST / MULTICAST SERVICE)

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η υπηρεσία MBMS. Η υπηρεσία αυτή είναι μία από τις πιθανότερες προς υλοποίηση προτάσεις της 3GPP σχετικά με την παροχή και την υποστήριξη των Υπηρεσιών Εκπομπής και Διανομής Πολυμέσων (Multimedia Broadcast / Multicast Service) στο UMTS δίκτυο. Έχουν προταθεί κι άλλες υλοποιήσεις αρκετές εκ των οποίων δεν έχουν πολύ σημαντικές διαφορές με την παρούσα υπηρεσία. Είναι σημαντικό λοιπόν να αναφερθεί και να τονιστεί ότι κάποιες από τις μεθόδους που παρουσιάζονται δεν έχουν ολοκληρωθεί ακόμα και βρίσκονται στο στάδιο της εξέλιξης. Η διάσταση που δίνει στην υπηρεσία η διανομή πολλαπλών προορισμών (multicast) έχει οδηγήσει στην υιοθέτηση διαφορετικής φιλοσοφίας από αυτή που ακολουθείται για τις επικοινωνίες σημείου προς σημείο, καθώς απαιτείται συγχρονισμός των κόμβων που εμπλέκονται στην όλη διαδικασία, μια απαίτηση που είναι εγγενής άλλωστε σε κάθε δίκτυο που παρέχει υπηρεσίες Πολυμέσων, όπως αναφέραμε στην εισαγωγή. Η κυριότερη διαφορά σε σχέση με τις συνδέσεις σημείου προς σημείου έχει να κάνει με την ίδια τη φύση των συνδέσεων καθώς – σε αντιστοιχία με τις διαδικασίες του Διαδικτύου – το κάθε τερματικό γνωστοποιεί την επιθυμία του να λαμβάνει μηνύματα πολλαπλών προορισμών μόνο στον τοπικό δρομολογητή – κόμβο με τον οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένο. Από εκεί και πέρα είναι στη δικαιοδοσία του δικτύου κορμού να τροποποιήσει με τέτοιο τρόπο το δέντρο διανομής που εκτείνεται προκειμένου να συμπεριλάβει και το δρομολογητή του τερματικού και να παραδώσει σωστά την υπηρεσία. Επιπρόσθετα σε ένα δίκτυο όπως το UMTS το οποίο πρέπει να παρέχει μηχανισμούς διασφάλισης της Ποιότητας Υπηρεσιών (QoS) όπως και τα περισσότερα δίκτυα κινητών ή ασύρματων επικοινωνιών, σε αντίθεση με το Διαδίκτυο το οποίο βασίζεται στην «καλύτερη προσπάθεια» (best effort) , πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την απαιτούμενη δέσμευση των πόρων στους εμπλεκόμενους κόμβους κατά τη διάρκεια των συνόδων της κάθε υπηρεσίας, μέσω κατάλληλων μηνυμάτων σηματοδοσίας και όχι απλά παρακολουθώντας την κίνηση των δεδομένων των χρηστών.

Στην ακόλουθη παράγραφο θα δώσουμε κάποια στοιχεία για τις λειτουργίες που πρέπει να εκτελεί ο κάθε κόμβος προκειμένου να υποστηρίζεται η παροχή των παραπάνω υπηρεσιών. Οι κόμβοι είναι αυτοί που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

4.1 Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ UMTS ΚΑΙ ΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΚΑΘΕ ΚΟΜΒΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ MBMS

Παραθέτουμε το Σχήμα 17 όπου παρουσιάζονται οι λειτουργικές οντότητες του UMTS οι οποίες θα κληθούν να υποστηρίξουν την υπηρεσία MBMS.



Σχήμα 17: Αρχιτεκτονική αναφοράς για υποστήριξη του MBMS

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε το ρόλο των σημαντικότερων οντοτήτων:

4.1.1 BM-SC (Broadcast-Multicast Service Center)

Ο κόμβος αυτός είναι υπεύθυνος για την πρόβλεψη και την παράδοση των υπηρεσιών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σημείο εισόδου για να μεταδίδει, να προγραμματίζει και να εγκαθιστά τις απαραίτητες συνδέσεις, για τη σωστή παράδοση του περιεχομένου των MBMS μεταδόσεων. Επίσης πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει και να ταυτοποιεί τρίτους παρόχους υπηρεσιών (εκτός UMTS δικτύου) και να τους εξουσιοδοτεί προκειμένου να μεταδίδουν δεδομένα της υπηρεσίας MBMS. Πρέπει ταυτόχρονα να εγγυάται την ακεραιότητα των δεδομένων που παρέχονται καθώς και να κρατά αρχεία με τις χρεώσεις για τις μεταδόσεις των παρόχων.

Από την άλλη πρέπει να είναι σε θέση να πληροφορεί τον GGSN κόμβο σχετικά με παραμέτρους της μεταφοράς όπως είναι η ποιότητα των υπηρεσιών καθώς και η περιοχή διανομής. Επίσης θα πρέπει αν δεσμεύει τους απαραίτητους πόρους λίγο πριν τη μετάδοση των συνόδων καθώς και να τους αποδεσμεύει λίγο μετά το τέλος της. Στις αρμοδιότητες του εντάσσεται και η ορθή μετάδοση των πακέτων, που συνεπάγεται την ανίχνευση και τη διόρθωση των λαθών που προκύπτουν κατά τη μετάδοση.

Τέλος ο κόμβος αυτός πρέπει να προσφέρει και ανακοινώσεις σχετικά με την κάθε παρεχόμενη υπηρεσία. Αυτό σημαίνει να πληροφορεί τον κάθε εγγεγραμμένο ή μη χρήστη της υπηρεσίας σχετικά με το περιεχόμενό της και τη μορφή της (παραδείγματος χάρη τον τύπο/κωδικοποίηση του ήχου και της εικόνας που θα μεταδοθεί) καθώς και σχετικά με τις συνόδους της υπηρεσίας (παραδείγματος χάρη την ώρα των μεταδόσεων, την ταυτότητα και τη διεύθυνση της υπηρεσίας πολλαπλών προορισμών κ.ο.κ.) [5].

4.1.2 Κινητά Τερματικά (User Equipment)

Τα κινητά τερματικά πρέπει να υποστηρίζουν μεθόδους για την ενεργοποίηση / απενεργοποίηση της συμμετοχής τους σε κάποια υπηρεσία MBMS. Από τη στιγμή που θα ενεργοποιείται η κάθε υπηρεσία δε χρειάζεται ξεχωριστή δήλωση του χρήστη για την επιθυμία του να λαμβάνει μηνύματα των προσεχών συνόδων ενώ θα πρέπει να ειδοποιείται για την εκκίνηση των συνόδων αυτών. Θα πρέπει επίσης να υποστηρίζονται μέθοδοι ασφαλείας όπως θα ορίζονται από το MBMS καθώς και η ταυτόχρονη λήψη υπηρεσιών οι οποίες θα λειτουργούν ανεξάρτητα η μία από την άλλη.

4.1.3 UTRAN/GERAN

Οι κόμβοι αυτοί είναι υπεύθυνοι για την παράδοση των MBMS μηνυμάτων (δεδομένων) εκπομπής ή διανομής (πολλαπλών προορισμών) στην προβλεπόμενη περιοχή δρομολόγησης. Θα πρέπει να είναι σε θέση να αξιολογούν ανάλογα με την υπηρεσία MBMS δεδομένα σχετικά με τη μετάδοση και ανάλογα τον αριθμό των χρηστών σε κάποια περιοχή, παραδείγματος χάρη, να επιλέγεται ο κατάλληλος δίαυλος. Επίσης οι κόμβοι αυτοί πρέπει να είναι σε θέση να εξυπηρετούν μεταδόσεις από το δίκτυο κορμού που ξεκινούν και τερματίζουν ανά περιόδους καθώς και να δέχονται μηνύματα δεδομένων από το δίκτυο κορμού που πρέπει να διανεμηθούν σε πολλαπλούς χρήστες. Ταυτόχρονα μόνο ένα μικρό ποσοστό απωλειών θα δικαιολογείται για της περιπτώσεις κινητικότητας των χρηστών που έχουν ως αποτέλεσμα την αλλαγή των σημείων συνδέσεων με το δίκτυο (ακόμα και κόμβων RNC/BSC) [5].

4.1.4 SGSN

Ο ρόλος του SGSN στην αρχιτεκτονική του MBMS είναι να εκτελεί ανεξάρτητα από κάθε χρήστη διαδικασίες ελέγχου του δικτύου προκειμένου να υποστηρίζει και να παραδίδει τις παραδόσεις στο RAN / GERAN. Πρέπει επίσης να προβλέπονται οι διαδικασίες εκείνες που θα υποστηρίξουν την κινητικότητα των χρηστών μέσα στον ίδιο αλλά και ανάμεσα σε διαφορετικούς SGSN κόμβους. Ταυτόχρονα θα πρέπει να είναι σε θέση αυτός να παρακολουθεί και να χρεώνει ανάλογα, τη συμμετοχή του κάθε χρήστη σε κάθε υπηρεσία. Τέλος θα πρέπει να είναι σε θέση , ύστερα από την κατάλληλη σηματοδοσία από τον GGSN να δημιουργεί και αντίστοιχα να παύει δυναμικά συνδέσεις που αφορούν την παράδοση κάποιας υπηρεσίας σε πολλαπλούς παραλήπτες και προς τους κόμβους που τους εξυπηρετούν [5].

4.1.5 GGSN

Ο ρόλος του κόμβου GGSN είναι να λειτουργεί ως σημείο σύνδεσης για την IP multicast κίνηση δεδομένων, κάτι ανάλογο δηλαδή του multicast router που υπάρχει στο Διαδίκτυο. Κατόπιν ειδοποίησης από τον BM-SC πρέπει να είναι σε θέση να δημιουργήσει τις συνδέσεις για τη μεταφορά δεδομένων προς το χρήστη για κάποια εκπομπή ή σύνοδο πολλαπλών προορισμών. Η κίνηση των μηνυμάτων πολλαπλών προορισμών πρέπει να μεταφέρεται προς τους κόμβους SGSN εκείνους που εξυπηρετούν χρήστες οι οποίοι συμμετέχουν σε κάποια ομάδα για κάποια υπηρεσία.

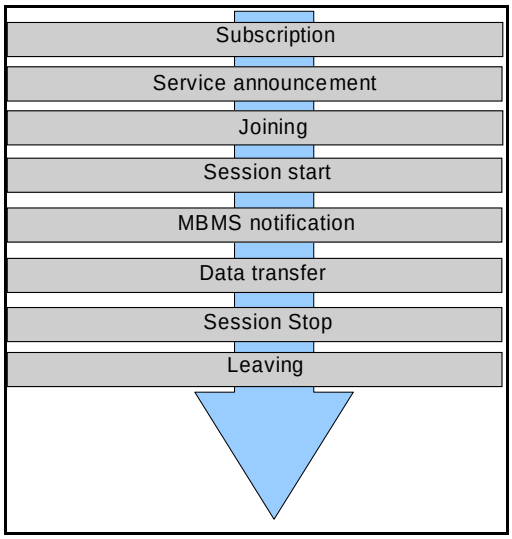
Πρέπει λοιπόν να μπορεί να δέχεται IP multicast κίνηση είτε από τον BM-SC είτε από άλλες πηγές δεδομένων και να δρομολογεί τα δεδομένα αυτά προς τις κατευθύνσεις εκείνες όπου αυτά αναμένονται (και πιθανώς μέσω συνδέσεων που έχουν εγκατασταθεί για το σκοπό αυτό). Άλλες απαραίτητες λειτουργίες είναι η συλλογή πληροφοριών για τη χρέωση καθώς και διαπραγματεύσεις σχετικά με πόρους του δικτύου για την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας κάθε φορά [5].

4.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ MBMS

Σε αρκετά από τα σχεδιαγράμματα που δίδονται σε αυτή την παράγραφο, αλλά και σε ακόλουθες, έχει επιλεχθεί ένας τρόπος παρουσίασης όπου η περιγραφή των οντοτήτων αυτού δίδεται στα Αγγλικά, το νόημα των οποίων αναλύεται σε επεξηγηματικό κείμενο που έπεται, κάθε φορά.

4.2.1 Η διαδικασία Διανομής πακέτων Πολλαπλών Προορισμών (Multicast Mode)

Στη συνέχεια παραθέτουμε ένα σχεδιάγραμμα (Σχήμα 18), το παρατίθεται όπως έχει δημοσιευθεί από τη 3GPP (και για το λόγο αυτό έχει διατηρηθεί η Αγγλική γλώσσα) όπου περιγράφεται η διαδικασία που εκτελείται για την παροχή μιας υπηρεσίας Διανομής. Όπως θα δούμε οι απαιτούμενες ενέργειες επιγραμματικά είναι η εγγραφή (Subscription), η ανακοίνωση για την υπηρεσία (Service Announcement), η αίτηση συμμετοχής (Joining), η εκκίνηση συνόδου (Session Start), η MBMS ειδοποίηση (notification), η μεταφορά των δεδομένων (Data transfer), ο τερματισμός της συνόδου (Session Stop) και η αίτηση αποχώρησης (Leaving).

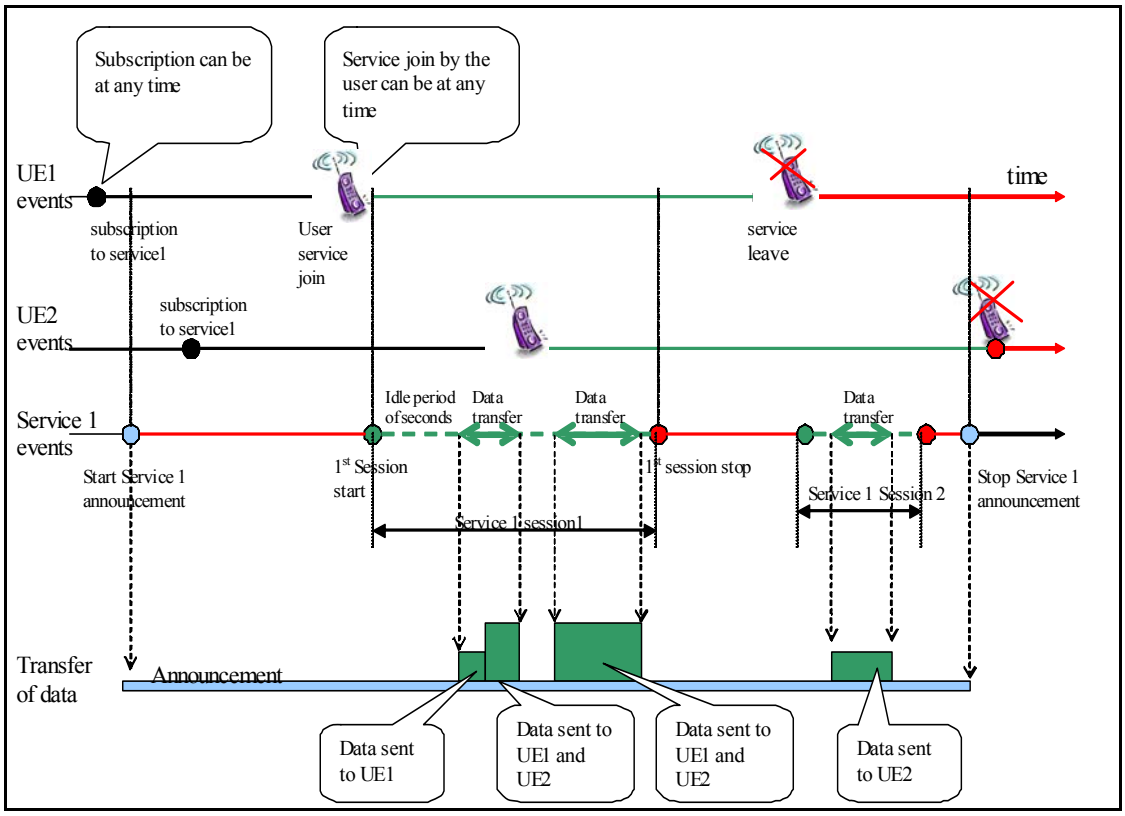


Σχήμα 18: Η διαδικασία (φάσεις) της υπηρεσίας Διανομής

Να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο ότι οι ενέργειες εγγραφή, αίτηση συμμετοχής και αίτηση αποχώρησης, μπορούν να εκτελεστούν ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες και μάλιστα παράλληλα με αυτές, και συντελούνται για κάθε χρήστη ξεχωριστά. Ενδέχεται επίσης κάποιες φάσεις να επαναληφθούν, όπως παραδείγματος χάρη η εκκίνηση και αντίστοιχα ο τερματισμός των συνόδων καθώς και η ειδοποίηση

MBMS, ανάλογα με τον όγκο της πληροφορίας και των δεδομένων που μεταδίδονται ανά περίσταση.

Η χρονική αλληλουχία που μπορούν πιθανώς να έχουν οι παραπάνω ενέργειες δίδεται στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 19), το οποίο μας υποδεικνύει κάποιο αναμενόμενο χρονοδιάγραμμα και τις δυνατότητες που έχει ο χρήστης σχετικά με τη συμμετοχή του και τη λήψη μηνυμάτων δεδομένων πολλαπλών προορισμών.



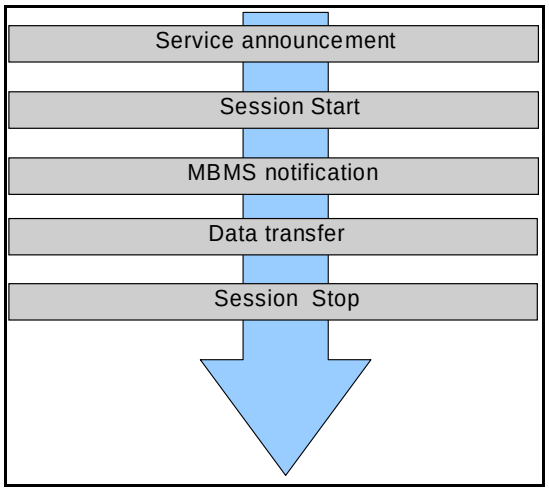
Σχήμα 19: Παράδειγμα χρονοδιαγράμματος διαδικασιών Διανομής

Όπως παρατηρούμε ο κάθε χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει την εγγραφή του οποιαδήποτε στιγμή αλλά σε κάθε περίπτωση πριν την αίτηση Συμμετοχής καθώς σε διαφορετική περίπτωση δε θα του επιτραπεί η τελευταία. Επιπρόσθετα, από τη στιγμή που πραγματοποιηθεί η εγγραφή, και πάλι ο χρήστης μπορεί να ενεργοποιήσει τη συμμετοχή του οποιαδήποτε στιγμή σε σχέση με τις συνόδους της κάθε υπηρεσίας και ανάλογα αν τη στιγμή της ενεργοποίησης κάποια σύνοδος είναι ενεργή (υπάρχει δηλαδή μετάδοση δεδομένων), ο χρήστης λαμβάνει κανονικά τα δεδομένα, διαφορετικά αυτό συμβαίνει κατά την εκκίνηση της αμέσως επόμενης συνόδου για τη συγκεκριμένη υπηρεσία, και χωρίς να απαιτείται κάποια άλλη δήλωση από το χρήστη για να λάβει τα μηνύματα δεδομένων. Οι απαιτούμενες ενέργειες της διαδικασίας θα αναλυθούν διεξοδικά σε επόμενη παράγραφο.

4.2.2 Η διαδικασία εκπομπής πακέτων

Η διαδικασία εκπομπής πακέτων, όπως διαπιστώνουμε και από το Σχήμα 20, είναι ένα υποσύνολο της διαδικασίας διανομής πολλαπλών προορισμών καθώς απευθύνεται στο σύνολο των χρηστών και ως εκ τούτου δεν απαιτείται ούτε εγγραφή ούτε αίτηση συμμετοχής και κατ' επέκταση αποχώρησης. Για το λόγο αυτό οι

εμπλεκόμενες ενέργειες δε θα αναλυθούν ξεχωριστά αλλά θα ισχύει ό,τι και για την υπηρεσία της Διανομής.



Σχήμα 20: Οι διαδικασίες (φάσεις) της υπηρεσίας

Οι παράμετροι που χρησιμοποιεί το MBMS είναι δύο: το MBMS UE Context (περιεχόμενο χρήστη) και το MBMS Bearer Context (περιεχόμενο σύνδεσης). Οι μετέπειτα αναφορές σε αυτά τα δύο στοιχεία θα γίνονται με χρήση του Αγγλικού όρου, ως επί το πλείστον. Όλες οι οντότητες που εμπλέκονται στην υποστήριξη των υπηρεσιών MBMS διατηρούν αυτού του είδους παραμέτρους για κάθε ενεργή υπηρεσία.

4.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ MBMS

Οι παράμετροι που χρησιμοποιεί το MBMS είναι δύο: το MBMS UE Context (περιεχόμενο χρήστη) και το MBMS Bearer Context (περιεχόμενο σύνδεσης). Οι μετέπειτα αναφορές σε αυτά τα δύο στοιχεία θα γίνονται με χρήση του Αγγλικού όρου, ως επί το πλείστον. Όλες οι οντότητες που εμπλέκονται στην υποστήριξη των υπηρεσιών MBMS διατηρούν αυτού του είδους παραμέτρους για κάθε ενεργή υπηρεσία.

4.3.1 MBMS UE Context

Το περιεχόμενο του MBMS UE διατηρεί πληροφορίες που έχουν να κάνουν άμεσα με κάθε χρήστη της υπηρεσίας και για κάθε MBMS Bearer (σύνδεση, τα στοιχεία της οποίας θα αναλυθούν στην επόμενη παράγραφο) ξεχωριστά. Ένα τέτοιο στοιχείο δημιουργείται τόσο στο τερματικό του χρήστη όσο και στους κόμβους SGSN και GGSN κάθε φορά που ένας χρήστης κάνει αίτηση Συμμετοχής για κάποια MBMS Bearer. Επίσης δημιουργείται σε κάποιο SGSN στην περίπτωση που κάποιος χρήστης μεταφερθεί λόγω κινητικότητας στη δική του δικαιοδοσία, από έναν άλλο SGSN. Υπάρχει από ένα τέτοιο στοιχείο για κάθε MBMS Bearer στο οποίο ο χρήστης έχει κάνει αίτηση Συμμετοχής. Τα πεδία αυτού του στοιχείου παρουσιάζει ο Πίνακας 17 (ο πίνακας παρατίθεται όπως δημοσιεύθηκε από τη 3GPP και περιέχει ακρωνύμια και τη σημασία τους, των οποίων και ακολουθεί η επεξήγηση):

Parameter	Description	UE	SGSN	GGSN	RNC	BM-SC
IP multicast address	IP multicast address identifying an MBMS bearer that the UE has joined.	X	X	X	FFS	FFS
APN	Access Point Name on which this IP multicast address is defined.	X	X	X		
TMGI	Temporary Mobile Group Identity allocated to the MBMS bearer.	X	X	FFS		
Linked NSAPI	NSAPI of the PDP context used by the UE to carry IGMP/MLD signalling.	X	X	X		
FFS	FFS					

Πίνακας 17: Πεδία του MBMS UE Context

IP Multicast Address: Πρόκειται για την IP διεύθυνση πολλαπλών προορισμών που χαρακτηρίζει το MBMS Bearer (σύνδεση ή αλλιώς ομάδα) στην οποία ο εν λόγω χρήστης έχει κάνει αίτηση συμμετοχής (για κάθε ομάδα που συμμετέχει ο χρήστης δημιουργείται και διαφορετικό MBMS UE Context, όπως προείπαμε).

APN: Το σημείο πρόσβασης όπου αυτή η IP διεύθυνση αντιστοιχεί.

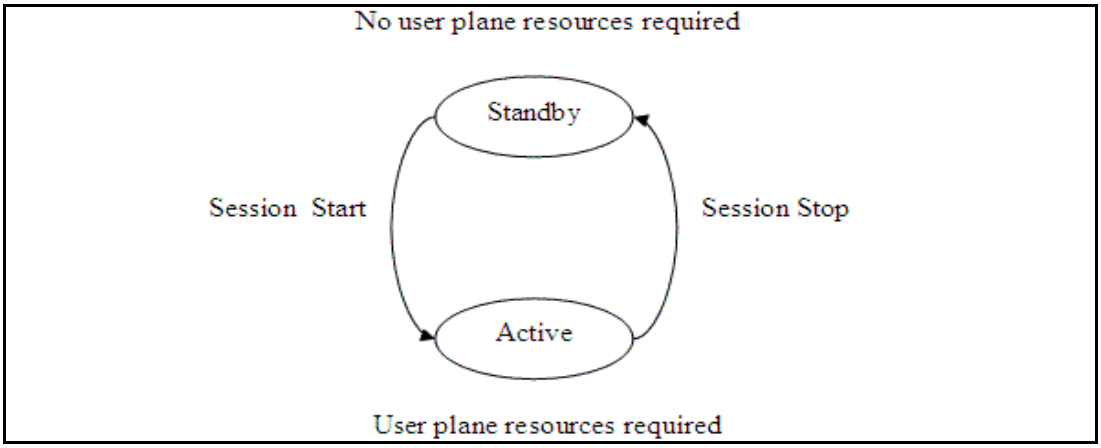
TMGI: Προσωρινό αναγνωριστικό ομάδας που έχει αποδοθεί στη συγκεκριμένη MBMS Bearer.

Linked NSAPI: Πρόκειται για τη σύνδεση σηματοδοσίας που χρησιμοποιείται για το συγκεκριμένο MBMS Context από το κινητό τερματικό.

FFS (For Further Study): Σημαίνει ότι δεν έχει αποφασιστεί ακόμα και χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση.

4.3.2 MBMS Bearer Context

Το στοιχείο αυτό συχνά αναφέρεται ως MBMS Service Context στα πλαίσια του RAN και γενικά περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που περιγράφουν κάθε εγκατεστημένη σύνδεση για κάθε υπηρεσία και δημιουργείται σε κάθε κόμβο του δικτύου όπου εμπλέκεται κατά τη μεταφορά των δεδομένων, της κάθε υπηρεσίας. Έτσι, δημιουργία τέτοιων στοιχείων λαμβάνει χώρα στους κόμβους SGSN και GGSN κάθε φορά που δημιουργείται το πρώτο MBMS UE Context ή κάθε φορά που κάποιος από τους κατώτερους ιεραρχικά κόμβους (στο ιδεατό μονοπάτι μέχρι το κινητό τερματικό) το ζητήσει. Το εν λόγω στοιχείο προσδιορίζεται στατικά στον BM-SC. Από τη στιγμή που δημιουργείται το MBMS Bearer έχει δύο δυνατές καταστάσεις αντικατοπτρίζοντας εάν δεδομένη κάθε φορά υπηρεσία είναι ενεργή ή σε αναμονή, ή αλλιώς εάν υπάρχει μεταφορά δεδομένων ή όχι. Για την περίπτωση που η υπηρεσία είναι ενεργή, χρειάζεται η δέσμευση πόρων προκειμένου όλοι οι ενδιαφερόμενοι χρήστες να λάβουν την υπηρεσία, καθ' όλη τη διάρκεια της συνόδου. Στην αντίθετη περίπτωση που η υπηρεσία είναι σε αναμονή δεν υπάρχει μετάδοση δεδομένων και άρα δέσμευση πόρων (για το σκοπό αυτό, πάντα, αφού οι συνδέσεις σηματοδοσίας είναι εγκατεστημένες -ακόμα και αν δεν υπάρχει μεταφορά μηνυμάτων, από τη στιγμή που ο χρήστης συμμετέχει στην υπηρεσία).



Σχήμα 21: Μοντέλο καταστάσεων του MBMS Bearer Context

Τα πεδία του στοιχείου παρουσιάζει ο Πίνακας 18 που ακολουθεί. Όπως παρατηρούμε υπάρχουν κάποια πεδία που είναι όμοια με αυτά του αντίστοιχου στοιχείου του χρήστη, τα οποία διατηρούν το νόημά τους και ως εκ τούτου δε θα αναλυθούν ξανά. Για τα υπόλοιπα στοιχεία παραθέτουμε μια σύντομη επεξήγηση.

Parameter	Description	RAN	SGSN	GGSN	BM-SC
IP multicast address	IP multicast address identifying the MBMS bearer described by this MBMS Bearer Context.	X	X	X	X
APN	Access Point Name on which this IP multicast address is defined.	X	X	X	FFS
TMGI	Temporary Mobile Group Identity allocated to the MBMS bearer.	X	X	FFS	FFS
State	State of activity of the MBMS bearer ('standby' or 'active')	FFS	X	X	X
QoS	Quality of Service required for the MBMS bearer.	X	X	X	X
MBMS Service Area	Area over which the MBMS service has to be distributed.	X	X	X	X
List of downstream nodes	List of downstream nodes that have requested the MBMS bearer and to which notifications and MBMS data have to be forwarded.		X	X	X
Number of UEs[1)] (FFS)	Number of UEs hosted by the node that have joined the multicast service.	FFS	X	X	FFS
FFS	FFS				

Πίνακας 18: Πεδία του MBMS Bearer Context

State: Αποθηκεύει την κατάσταση της εν λόγω σύνδεσης όπως αυτή παρουσιάστηκε στο προηγούμενο Σχήμα 21.

QoS: Ανάλογα με τη σύνδεση καθορίζεται ποιο είναι το απαιτούμενο επίπεδο της ποιότητας για αυτή την υπηρεσία.

MBMS Service Area: Η περιοχή (όπως διαμορφώνεται από τους εμπλεκόμενους κόμβους-χρήστες) στην οποία πρέπει να παραδοθεί η συγκεκριμένη υπηρεσία.

List of DownStreamNodes: Οι κατώτεροι ιεραρχικά κόμβοι σε σχέση με αυτόν στον οποίο ανήκει το στοιχείο, που πρέπει να λάβουν τα απαραίτητα μηνύματα ελέγχου και δεδομένων για την ομάδα αυτή.

Number of UEs: Αποθηκεύεται ο αριθμός των χρηστών που συνολικά εξυπηρετεί ο συγκεκριμένος κόμβος σε σχέση με την υπηρεσία [5].

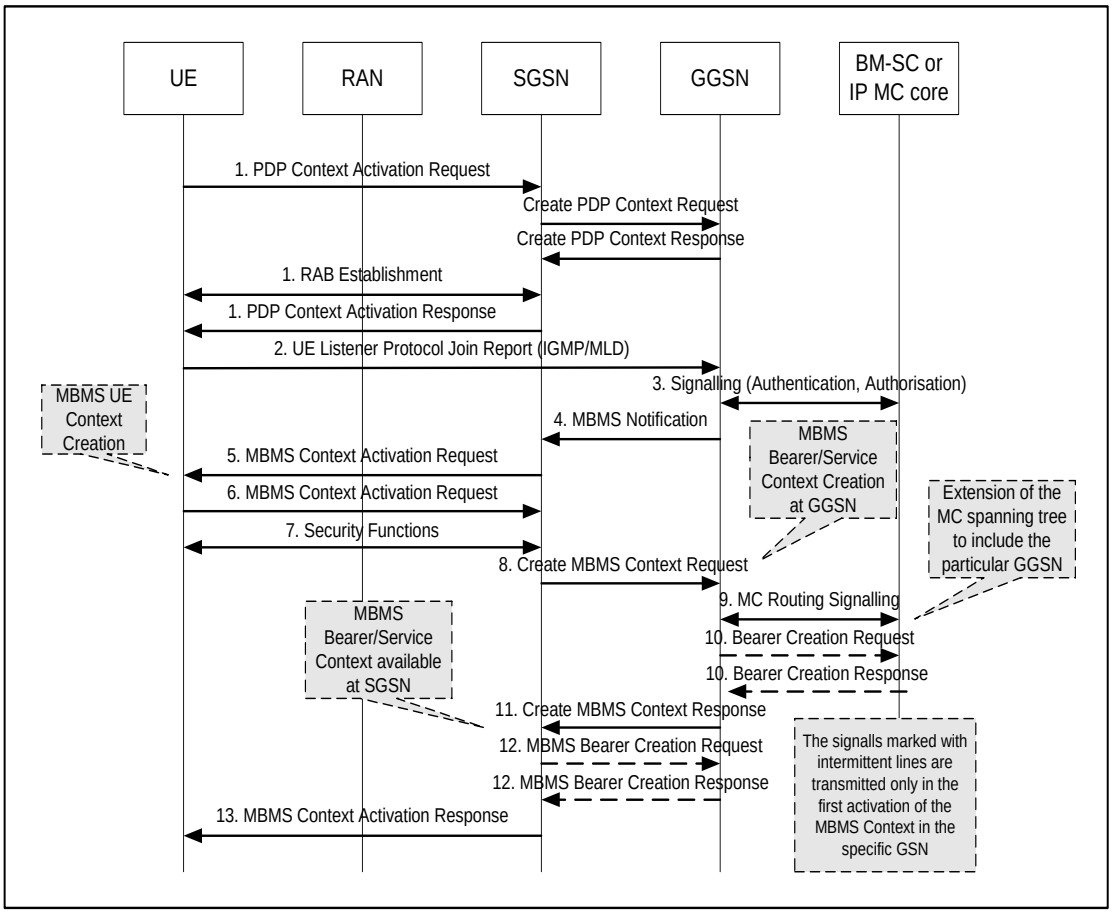
4.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΥΝΟΔΩΝ

Στην ενότητα αυτή θα αναλυθούν κατά σειρά οι διαδικασίες για τη Συμμετοχή (Join) σε και την Αποχώρηση (Leave) από κάποια υπηρεσία / ομάδα πολλαπλών προορισμών καθώς και για την Εκκίνηση (Start) και τον Τερματισμό (Stop) κάποιας Συνόδου (Session) δεδομένης υπηρεσίας, στην οποία ο χρήστης θεωρούμε πως έχει δικαίωμα να συμμετάσχει ή να λάβει αντίστοιχα.

4.4.1 Διαδικασία Αίτησης Συμμετοχής (Join)

Πρόκειται για μια σειρά ενεργειών και ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ των εμπλεκόμενων κόμβων που απαρτίζουν το ιδεατό μονοπάτι μεταξύ κάθε κινητού τερματικού / χρήστη και κάθε πηγής / παρόχου κάποιας υπηρεσίας, για την οποία ο χρήστης ενδιαφέρεται, που λαμβάνει χώρα προκειμένου να γνωστοποιηθεί το ενδιαφέρον αυτό του χρήστη και να εξασφαλιστεί η ορθή και απρόσκοπτη παροχή της υπηρεσίας προς αυτόν. Διαγραμματικά τα βήματα που απαιτούνται, σύμφωνα τουλάχιστον με τις προτάσεις της 3GPP, παρουσιάζονται στο Σχήμα 22 που ακολουθεί και όπου έχει διατηρηθεί ο χαρακτηρισμός / ονομασία που έχει αποδοθεί από αυτή για κάθε ένα ξεχωριστά. Στη συνέχεια αναλύεται η λειτουργία που πραγματικά συντελείται σε κάθε βήμα της διαδικασίας.

Η διαδικασία για τη Συμμετοχή σε κάποια υπηρεσία / ομάδα πολλαπλών προορισμών αποτελείται από δύο κύρια επιμέρους στάδια. Πρώτα ο χρήστης πληροφορεί το δίκτυο για την επιθυμία του να συμμετέχει σε κάποια υπηρεσία την οποία προσδιορίζει κατάλληλα μέσω, παραδείγματος χάρη, της IP διεύθυνσης πολλαπλών προορισμών που αυτή χρησιμοποιεί. Έπειτα, το δίκτυο αναλαμβάνει να δημιουργήσει ή να ενημερώσει κατάλληλα (αν ήδη έχει δημιουργηθεί) τη σχετική οντότητα MBMS Bearer, που αναλύθηκε προηγουμένως, για τη δεδομένη υπηρεσία σε όλους τους ενδιάμεσους κόμβους που εξυπηρετούν και υποστηρίζουν τις ανάγκες του χρήστη. Σε αυτό το σημείο να διευκρινίσουμε ότι η ενημέρωση γίνεται για κάθε χρήστη χωριστά ώστε να γίνει γνωστό στο δίκτυο πως ένας καινούριος χρήστης που ενδιαφέρεται για την εν λόγω υπηρεσία έχει προστεθεί.



Σχήμα 22: Η διαδικασία Αίτησης Συμμετοχής σε υπηρεσία

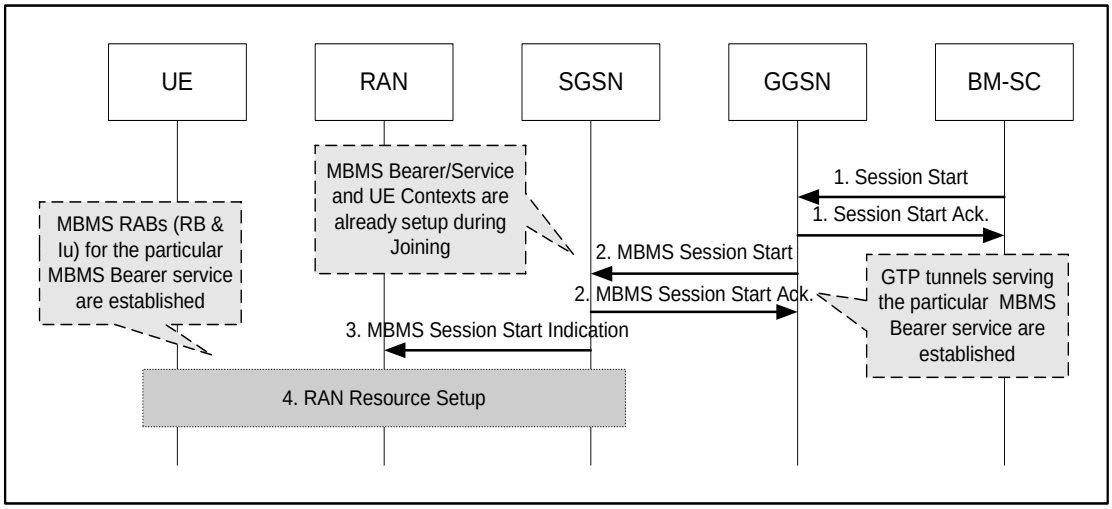
Τα μηνύματα που ανταλλάσσονται συνεπώς είναι τα ακόλουθα (ο αριθμός στην αρχή κάθε γραμμής εκφράζει ταυτόχρονα και την αντιστοιχία με τα μηνύματα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 22, ενώ τα βέλη υποδεικνύουν μεταξύ ποιων κόμβων / οντοτήτων ανταλλάσσονται τα μηνύματα και ως εκ τούτου δε θα γίνεται περαιτέρω αναφορά):

1. Δημιουργία αμφίδρομης σύνδεσης σημείου προς σημείο προκειμένου να ανταλλάσσονται τα μηνύματα σηματοδοσίας για την υπηρεσία / ομάδα πολλαπλών προορισμών που ενδιαφέρει το χρήστη (παραδείγματος χάρη τα μηνύματα του πρωτοκόλλου IGMP – Queries και Reports – όπως παρουσιάστηκαν στο πρώτο κεφάλαιο). Η αίτηση για αυτού του είδους σύνδεση φτάνει μέχρι τον αρμόδιο GGSN κόμβο ενώ ακολουθείται η διαδικασία που προσδιορίζεται από το πρωτόκολλο PDP για Context Activation (συνοπτική αναφορά του οποίου υπάρχει στο δεύτερο κεφάλαιο).
2. Αίτηση Συμμετοχής (Join Report) αποστέλλεται προς τον GGSN ώστε να γνωστοποιηθεί το ενδιαφέρον του χρήστη να λάβει μηνύματα πολλαπλών προορισμών από κάποια υπηρεσία, η οποία καθορίζεται από την IP multicast διεύθυνση που εμπεριέχεται στην αίτηση.
3. Τα κατάλληλα μηνύματα μεταξύ GGSN και BM-SC ανταλλάσσονται για τον έλεγχο του δικαιώματος του χρήστη να λάβει τη ζητούμενη υπηρεσία.

4. Ο GGSN κόμβος ενημερώνει τον SGSN για την αίτηση σχετικά με την MBMS υπηρεσία που συνοδεύεται και προσδιορίζεται από τα πεδία IP Multicast service και APN.
5. Ο SGSN κόμβος στέλνει μήνυμα – αίτηση ενεργοποίησης MBMS Context όπου να προσδιορίζονται τα πεδία IP Multicast service, APN και Linked NSAPI από το κινητό τερματικό με το τελευταίο να έχει το ρόλο του συσχετισμού του PDP context που αφορά τη σηματοδοσία και δημιουργήθηκε κατά το πρώτο βήμα, όπου μέσω του οποίου στάλθηκε το μήνυμα συμμετοχής.
6. Το κινητό τερματικό δημιουργεί το MBMS UE context (που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο) και απαντά με τα στοιχεία που ζητήθηκαν από τον SGSN. Η IP Multicast διεύθυνση αποτελεί το αναγνωριστικό για την υπηρεσία που θέλει να λάβει ο χρήστης ενώ η APN πιθανώς προσδιορίζει τον GGSN που θα εξυπηρετήσει το κινητό, καθώς μια υπηρεσία μπορεί να την εξυπηρετεί είτε ένας είτε περισσότεροι GGSN.
7. Σε αυτό το σημείο γίνονται διάφοροι έλεγχοι ασφαλείας που ποικίλουν ανάλογα την υπηρεσία και τις ιδιαίτερες συνθήκες κάθε φορά.
8. Ο SGSN δημιουργεί ένα MBMS UE context και στέλνει μήνυμα Αίτησης Δημιουργίας MBMS Context προς τον κατάλληλο GGSN με τα στοιχεία IP Multicast address και APN. Δεν έχει διευκρινιστεί και αποφασιστεί ακόμα αν θα γίνονται από τον SGSN έλεγχοι για την εγγραφή του χρήστη στην εν λόγω υπηρεσία ή αυτό θα γίνεται από άλλη οντότητα του δικτύου.
9. Η σηματοδοσία μεταξύ του GGSN και του MB-SC είναι ακόμα προς έρευνα. Και πάλι δεν έχει αποφασιστεί εάν θα τελούνται από τον GGSN έλεγχοι για την εγγραφή του χρήστη σε κάποια υπηρεσία ή άλλα παρόμοια στοιχεία, ή αυτό θα το αναλάβει κάποια άλλη οντότητα του δικτύου.
10. Εάν ο GGSN δε διαθέτει ήδη τις πληροφορίες για το MBMS Bearer context που αφορά τη δεδομένη υπηρεσία, τότε αποστέλλει το σχετικό μήνυμα αίτηση προς τον BM-SC. Στη συνέχεια ο τελευταίος απαντά με τα στοιχεία που του ζητήθηκαν και προσθέτει τον εν λόγω GGSN στη σχετική λίστα με τους προς τα κάτω κόμβους που λαμβάνουν την υπηρεσία, που διατηρεί, ώστε να του αποσταλούν τα μηνύματα σηματοδοσίας όταν χρειαστεί.
11. Ο GGSN κόμβος δημιουργεί το MBMS UE context και απαντά στον SGSN με το κατάλληλο μήνυμα.
12. Σε αντιστοιχία με προηγουμένως, εάν ο SGSN δε διατηρεί το σχετικό με την υπηρεσία MBMS Bearer context ζητά τα στοιχεία από τον GGSN. Ο τελευταίος παρέχει στον πρώτο τις κατάλληλες πληροφορίες και την πρόσθετη στη σχετική για την υπηρεσία λίστα με τους κατώτερους ιεραρχικά κόμβους, που διατηρεί.
13. Ο SGSN απαντά στην αρχική αίτηση του κινητού τερματικού για αποδοχή ενεργοποίησης της MBMS υπηρεσίας [5].

4.4.2 Εκκίνηση Συνόδου (Session Start) και Τερματισμός Συνόδου (Session Stop)

Η Εκκίνηση Συνόδου είναι το σημείο όπου ο BM-SC είναι έτοιμος να αποστείλει μηνύματα δεδομένων ή αλλιώς μηνύματα πολλαπλών προορισμών για κάποια Σύνοδο. Η λειτουργία αυτή είναι ανεξάρτητη από την εγγραφή και τη συμμετοχή των χρηστών. Ταυτόχρονα αποτελεί το ερέθισμα για τη δέσμευση των κατάλληλων πόρων από το δίκτυο για τη μετάδοση των δεδομένων της MBMS υπηρεσίας. Επίσης δίδεται ειδοποίηση προς τους ενδιαφερόμενους χρήστες για την επικείμενη εκκίνηση μετάδοση δεδομένων της υπηρεσίας. Στο σημείο αυτό οι εμπλεκόμενοι GGSNs και SGSNs πληροφορούνται για κάποιες παραμέτρους της υπηρεσίας όπως η ποιότητα υπηρεσίας (QoS) και η περιοχή κάλυψης της υπηρεσίας (Multicast Area), ενώ ενημερώνονται και οι RNC κόμβοι που εξυπηρετούν ενδιαφερόμενους χρήστες. Στο Σχήμα 23παρουσιάζονται τα σχετικά μηνύματα που ανταλλάσσονται σε αυτό το στάδιο.



Σχήμα 23: Η διαδικασία Εκκίνησης Συνόδου

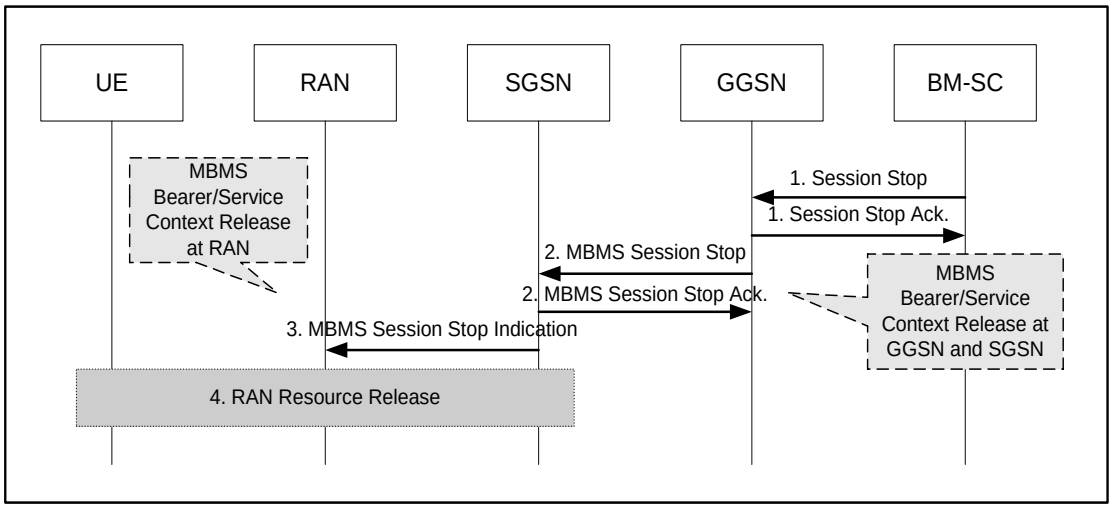
Τα μηνύματα που παρουσιάζονται έχουν το ακόλουθο νόημα:

1. Ο BM-SC στέλνει μήνυμα Εκκίνησης Συνόδου προς τους GGSN κόμβους που προηγουμένως έχουν εκφράσει σχετικό ενδιαφέρον (και που άρα συμπεριλαμβάνονται στη λίστα με τους προς τα κάτω κόμβους της υπηρεσίας) για να υποδηλώσει την προσεχή αποστολή μηνυμάτων δεδομένων της υπηρεσίας. Ταυτόχρονα τους ενημερώνει για κάποιες παραμέτρους της υπηρεσίας όπως το QoS και η Multicast Area.
2. Ο GGSN αποθηκεύει τις παραμέτρους της Συνόδου που έλαβε στο MBMS Bearer context και στέλνει στους ενδιαφερόμενους SGSN ένα αντίστοιχο μήνυμα Εκκίνησης Συνόδου. Ο SGSN απαντά με ένα μήνυμα ανταπόκρισης και ενημερώνει τον GGSN για το πεδίο TEID που αφορά το κανάλι που πρέπει να χρησιμοποιήσει ο τελευταίος για να στείλει τα μηνύματα δεδομένων που προορίζονται για τους χρήστες.
3. Σε αντιστοιχία ο SGSN στέλνει μήνυμα Εκκίνησης Συνόδου προς τους RNC κόμβους που εξυπηρετούν ενδιαφερόμενους χρήστες, όπου

συμπεριλαμβάνονται οι παράμετροι της μετάδοσης. Το ακριβές περιεχόμενο του μηνύματος και οι ενέργειες του RNC είναι υπό έρευνα.

4. Ο RNC αποθηκεύει τις παραμέτρους της συνόδου και το RAN δεσμεύει τους απαιτούμενους πόρους για τη μετάδοση των δεδομένων της υπηρεσίας προς κινητά τερματικά που συμμετέχουν σε αυτή [5].

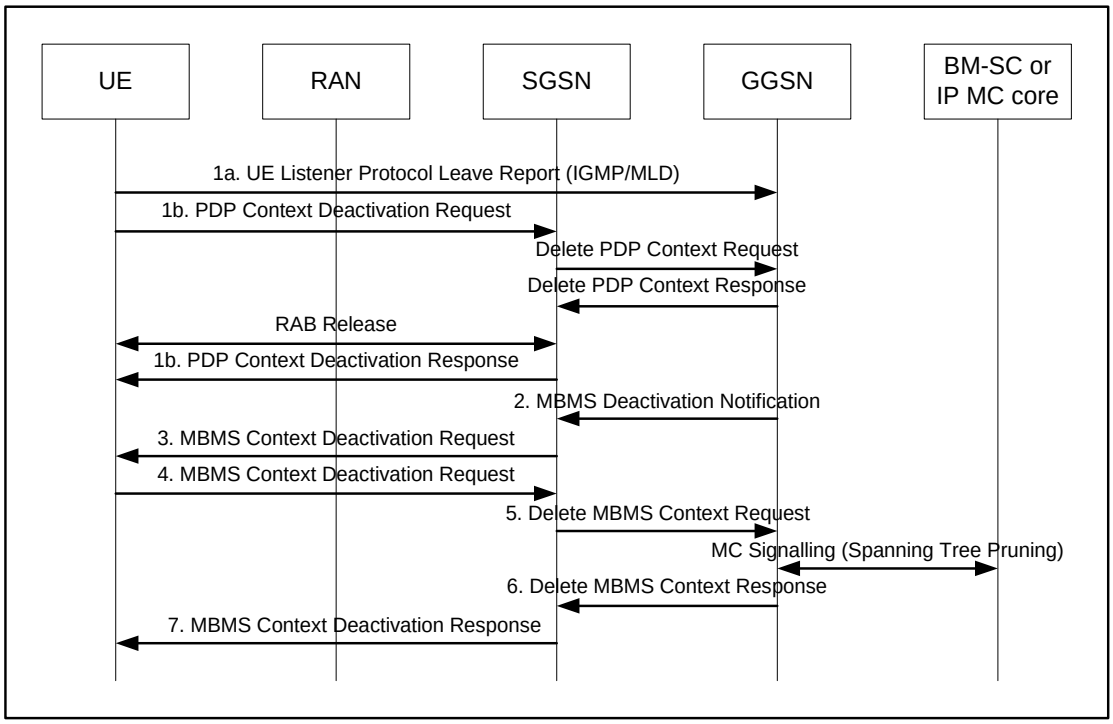
Ο Τερματισμός Συνόδου είναι διαδικασία ακριβώς ανάλογη της εκκίνησης Συνόδου με τη μόνη διαφορά ότι το μήνυμα που αποστέλλεται ειδοποιεί για την προσκείμενη λήξη της μετάδοσης δεδομένων για την υπηρεσία που συνεπάγεται ότι αντί για δέσμευση πόρων στο δίκτυο, θα ακολουθήσει αποδέσμευση των ήδη δεσμευμένων. Συνεπώς δεν κρίνεται σκόπιμο να αναλύσουμε τη διαδικασία αυτή παρά μόνο παραθέτουμε το σχετικό Σχήμα 24, όπου οι ομοιότητες με την προαναφερθείσα διαδικασία γίνονται εμφανείς.



Σχήμα 24: Η διαδικασία Τερματισμού Συνόδου

4.4.3 Διαδικασία Αίτησης Αποχώρησης (Leave)

Η διαδικασία Αίτησης Αποχώρησης λαμβάνει χώρα κάθε φορά που ένας χρήστης ο οποίος ήδη συμμετέχει (έχει προηγηθεί δηλαδή επιτυχημένη Αίτηση Συμμετοχής) σε κάποια υπηρεσία θελήσει να αποχωρήσει από αυτή και άρα να σταματήσει να λαμβάνει μηνύματα δεδομένων που προέρχονται από αυτή. Μέχρι τη στιγμή της συγγραφής της παρούσας εργασίας, δεν έχει προταθεί και καθοριστεί ο τρόπος με τον οποίο αυτό θα γίνεται, σε αντίθεση με τη διαδικασία Αίτησης Συμμετοχής. Στηριζόμενοι ωστόσο στις προτάσεις για την τελευταία θα επιχειρήσουμε μια προσέγγιση που αποτελείται από βήματα ανάλογα με αυτά που μελετήσαμε κατά την τελευταία, μιας και αυτό που επιθυμούμε είναι το αντίθετο και συμπληρωματικό αποτέλεσμα. Για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται, παρατίθεται το ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 25). Σε αυτό παρατηρούμε την ύπαρξη δύο ανεξάρτητων σταδίων όπου αρχικά γίνεται γνωστή στο δίκτυο η πρόθεση του χρήστη να αποχωρήσει από κάποια υπηρεσία και έπειτα αυτό αναλαμβάνει να ενημερώσει όλους τους εμπλεκόμενους κόμβους που εξυπηρετούν το χρήστη, για την τροποποίηση του MBMS Context που αφορά τη δεδομένη υπηρεσία.



Σχήμα 25: Η διαδικασία Αίτησης Αποχώρησης

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα, υπάρχουν δύο εκδοχές σχετικά με τη γνωστοποίηση της αποχώρησης του χρήστη από κάποια υπηρεσία, οι οποίες δηλώνονται και διαχωρίζονται από τα διακριτικά α και β μπροστά από τα αντίστοιχα μηνύματα. Εν συντομία ο ρόλος των μηνυμάτων που λαμβάνουν χώρα είναι ο ακόλουθος:

1. Ο χρήστης ανακοινώνει στο δίκτυο την πρόθεσή του να αποχωρήσει από κάποια υπηρεσία. Οι τρόποι με τους οποίους αυτό μπορεί να γίνει είναι οι εξής δύο:
    i. Αποστέλλοντας ένα μήνυμα του πρωτοκόλλου IGMP / MLD που δηλώνει Αποχώρηση (Membership Leave Report), μέσω της σύνδεσης σηματοδοσίας που χρησιμοποιείται για τη συγκεκριμένη υπηρεσία (και η οποία ενεργοποιήθηκε κατά τη διαδικασία της Αίτησης Συμμετοχής).
    ii. Κάνοντας απεγκατάσταση με κατάλληλη εντολή τη σύνδεση σημείου προς σημείο που χρησιμοποιείται για τη σηματοδοσία της εν λόγω υπηρεσίας. Οι ανώτεροι ιεραρχικά κόμβοι και δη ο GGSN θα πρέπει να ερμηνεύσουν αυτή την κίνηση ως Αίτηση Αποχώρησης, όμοια δηλαδή με την προηγούμενη περίπτωση. Αντίστοιχα πρέπει να πραγματοποιηθεί και η απενεργοποίηση του PDP context.
2. Ο GGSN που είναι ο αρμόδιος να επεξεργαστεί το μήνυμα Αποχώρησης του χρήστη, ενημερώνει τον SGSN, για την πρόθεση αυτή του τελευταίου, ώστε να τον αφαιρέσει από την οντότητα MBMS Bearer Context της υπηρεσίας το χρήστη και να αποσυνδέσει το MBMS UE Context αυτού από την πρώτη.
3. Προκειμένου να γίνει το παραπάνω, ο SGSN στέλνει στο κινητό τερματικό του χρήστη μήνυμα με το οποίο ζητά ως απάντηση ένα μήνυμα Αίτησης Απενεργοποίησης του MBMS Context, με τα στοιχεία της υπηρεσίας από την οποία ζητείται αποχώρηση.

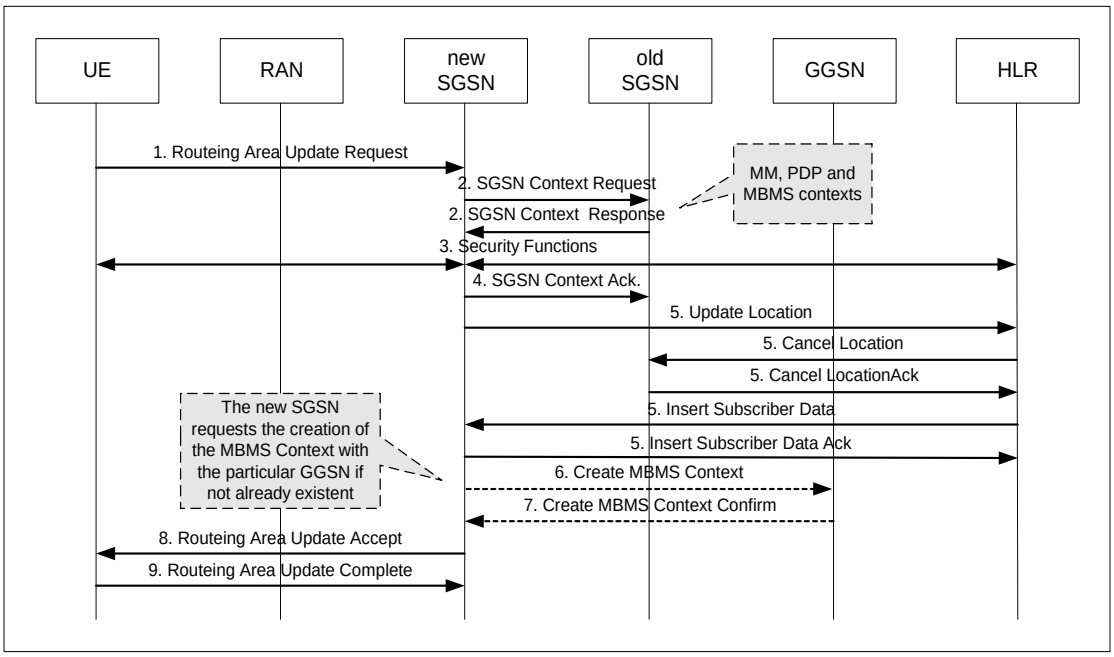
4. Ο χρήστης (αλλιώς UE, όπως ονομάζεται στο σχήμα) αποστέλλει το ζητούμενο μήνυμα Απενεργοποίησης του MBMS Context προς τον SGSN, ο οποίος τον διαγράφει από τη σχετική λίστα με τους συμμετέχοντες για τη συγκεκριμένη υπηρεσία / ομάδα πολλαπλών προορισμών που προσδιορίζεται.
5. Ο SGSN προωθεί το μήνυμα Απενεργοποίησης του εν λόγω χρήστη προς τον GGSN για να πράξει και ο τελευταίος τα δέοντα. Αν ο χρήστης που αποχωρεί είναι ο τελευταίος που συμμετέχει στην υπηρεσία, ο GGSN μπορεί να επικοινωνήσει με τον BM-SC ώστε να αιτηθεί τη συρρίκνωση / τροποποίηση του δέντρου με τους συμμετέχοντες κόμβους στην υπηρεσία πολλαπλών προορισμών (ακόμα και κατά τη διάρκεια της Συνόδου, ώστε να σταματήσει η λήψη δεδομένων αν κάτι τέτοιο υποστηρίζεται από το χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο, αλλιώς με τη λήξη της).
6. Σε αντιστοιχία, ανάλογο μήνυμα στέλνεται προς τον GGSN ώστε να πραγματοποιηθεί η διαγραφή του χρήστη και συγκεκριμένα του MBMS UE context από την υπηρεσία και το MBMS Service Context. Αν ο χρήστης που διαγράφεται από το εν λόγω MBMS Bearer είναι ο τελευταίος που εξυπηρετείται από τον κόμβο αυτό, τότε οι πόροι που είναι δεσμευμένοι από το RAN πρέπει να απελευθερωθούν. Αυτό μπορεί να έχει να κάνει είτε με τον RNC μόνο που εξυπηρετεί το κινητό τερματικό, είτε και με τον αντίστοιχο SGSN.
7. Τέλος ένα μήνυμα απάντησης επιστρέφεται προς το κινητό τερματικό που ενημερώνει για την κατάληξη της Αίτησης Απενεργοποίησης του MBMS Context.

4.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Σε αυτή την παράγραφο αναλύονται οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα καθώς το κινητό τερματικό μετακινείται και πιθανώς αλλάζει σημείο πρόσβασης προς το δίκτυο, είτε σε επίπεδο RNC, είτε σε επίπεδο SGSN, στα πλαίσια της Διαχείρισης Κινητικότητας του χρήστη. Η τελευταία περίπτωση παρουσιάζει περισσότερο ενδιαφέρον και θα αναλυθεί καθώς η πρώτη είναι απλά μια υποπερίπτωσή της όπου ένα μέρος μόνο των ενεργειών πραγματοποιείται. Περίπτωση όπου να παρατηρείται αλλαγή GGSN κόμβου για κάποια υπηρεσία που λαμβάνει το κινητό, δεν προβλέπεται καθώς έχει επιλεγεί να μην πραγματοποιείται κάτι τέτοιο ακόμα και αν το κινητό τερματικό προκύψει να εξυπηρετείται από κυψέλη η οποία είναι στη δικαιοδοσία διαφορετικού GGSN. Αυτή η πρακτική έχει το πλεονέκτημα ότι δε χρειάζεται ποτέ να τροποποιείται (σε περιπτώσεις μετακίνησης των χρηστών) το δέντρο των κόμβων που συμμετέχουν στη μετάδοση των ροών πληροφορίας της κάθε ομάδας πολλαπλών προορισμών. Επίσης, αφού ο κόμβος GGSN διατηρείται σταθερός, δεν υπάρχει ανάγκη ώστε να ξαναγίνει αίτηση συμμετοχής σε κάποια υπηρεσία. Από την άλλη υπάρχει το μειονέκτημα ότι η λύση αυτή δεν ευνοεί τη βέλτιστη διαχείριση των πόρων του δικτύου καθώς η κίνηση για τη δεδομένη υπηρεσία θα εξυπηρετείται πάντα από τον κόμβο όπου αρχικά έγινε η ενεργοποίηση αυτής, ανεξάρτητα από τη μετακίνηση του κινητού και τη συνολική κίνηση των κόμβων του δικτύου όπου τοιουτοτρόπως σε ορισμένους είναι πιθανό να υπάρχει συμφόρηση και σε άλλους υπο-χρησιμοποίηση.

4.5.1 Ενημέρωση Περιοχής Δρομολόγησης (Routing Area Update)

Η διαδικασία της Ενημέρωσης της Περιοχής Δρομολόγησης (Routing Area Update) εκτελείται κάθε φορά που κάποιο κινητό τερματικό μετακινείται και εισέρχεται σε κάποια περιοχή που εξυπηρετείται από διαφορετικούς κόμβους (πρόκειται δηλαδή για διαφορετική περιοχή δρομολόγησης), ανεξάρτητα αν τη δεδομένη χρονική στιγμή υπάρχει μεταφορά δεδομένων για κάποια από τις υπηρεσίες που συμμετέχει ο χρήστης ή όχι. Στην πρώτη περίπτωση απλά προηγείται η διαδικασία που περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο και ονομάζεται SRNS Relocation. Η τελευταία εκτελείται όταν το κινητό τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση PMM-CONNECTED ενώ η διαδικασία που εξετάζουμε εκτελείται όταν αυτό βρίσκεται σε κατάσταση PMM-IDLE. Διαγραμματικά, τα μηνύματα που ανταλλάσσονται από τους εμπλεκόμενους κόμβους είναι αυτά που παρουσιάζονται στο Σχήμα 26.



Σχήμα 26: Η διαδικασία Ενημέρωσης της Περιοχής Δρομολόγησης

Τα μηνύματα που ανταλλάσσονται έχουν την ακόλουθη σημασία:

1. Το κινητό τερματικό όταν ανιχνεύει πως έχει εισέλθει σε νέα Περιοχή Δρομολόγησης (διαφορετική ως προς την προηγούμενη που την εξυπηρετεί διαφορετικός SGSN) στέλνει μήνυμα Αίτησης Ενημέρωσης της Περιοχής Δρομολόγησης προς το νέο κόμβο SGSN ώστε να ενημερωθεί σχετικά με τις πληροφορίες διαχείρισης συνόδων και κινητικότητας που αφορούν το κινητό αυτό.
2. Ο νέος SGSN επικοινωνεί με τον παλιό προκειμένου να λάβει τα συγκεκριμένα MM (Mobility Management), PDP και MBMS Bearer Contexts στοιχεία που σχετίζονται με το συγκεκριμένο κινητό.
3. Εκτελούνται οι προβλεπόμενες και απαιτούμενες διαδικασίες σχετικά με την ταυτοποίηση και τα δικαιώματα του κινητού.

4. Ο καινούριος SGSN κόμβος ειδοποιεί τον παλιό σχετικά με την παραλαβή των παραπάνω πληροφοριών.
5. Η οντότητα HLR (της οποίας ο ρόλος έχει περιγραφεί στο προηγούμενο κεφάλαιο) του UMTS δικτύου πληροφορείται για τη νέα θέση και κατ' επέκταση τη νέα Περιοχή Δρομολόγησης στην οποία βρίσκεται πλέον το κινητό που έχει στη δικαιοδοσία της. Ταυτόχρονα ο παλιός κόμβος SGSN ειδοποιείται να διαγράψει το κινητό από τα αρχεία με τα εξυπηρετούμενα τερματικά ενώ ο νέος λαμβάνει κάποια στοιχεία από τον HLR που αφορούν τον εν λόγω χρήστη.
6. Σε περίπτωση που ο νέος SGSN δεν παρέχει ήδη κάποια υπηρεσία MBMS στα κινητά που εξυπηρετεί, στην οποία ωστόσο το κινητό που προστέθηκε συμμετέχει, (αν δηλαδή δεν έχει ενεργοποιημένο το σχετικό MBMS Bearer Context) τότε (και μόνο τότε) επικοινωνεί με τον GGSN κόμβο που προσδιορίζεται για την υπηρεσία αυτή και ζητά τη δημιουργία και εγκατάσταση του εν λόγω MBMS Bearer Context.
7. Ο GGSN απαντά και επιβεβαιώνει τη δημιουργία του MBMS Context στο νέο SGSN κόμβο.
8. Ο νέος SGSN στέλνει προς το κινητό τερματικό μήνυμα Αποδοχής για την επιτυχή ενημέρωση της Περιοχής Δρομολόγησης.
9. Το κινητό επιβεβαιώνει την ολοκλήρωση της Ενημέρωσης της Περιοχής Δρομολόγησης.

Όπως είναι προφανές και έχει ήδη αναφερθεί, σε περίπτωση που δεν αλλάζει ο SGSN κόμβος που εξυπηρετεί κάποιο κινητό, δεν υπάρχει λόγος για Ενημέρωση της Περιοχής Δρομολόγησης αφού δεν υπάρχει ανάγκη για ανταλλαγή και λήψη στοιχείων από τον HLR.

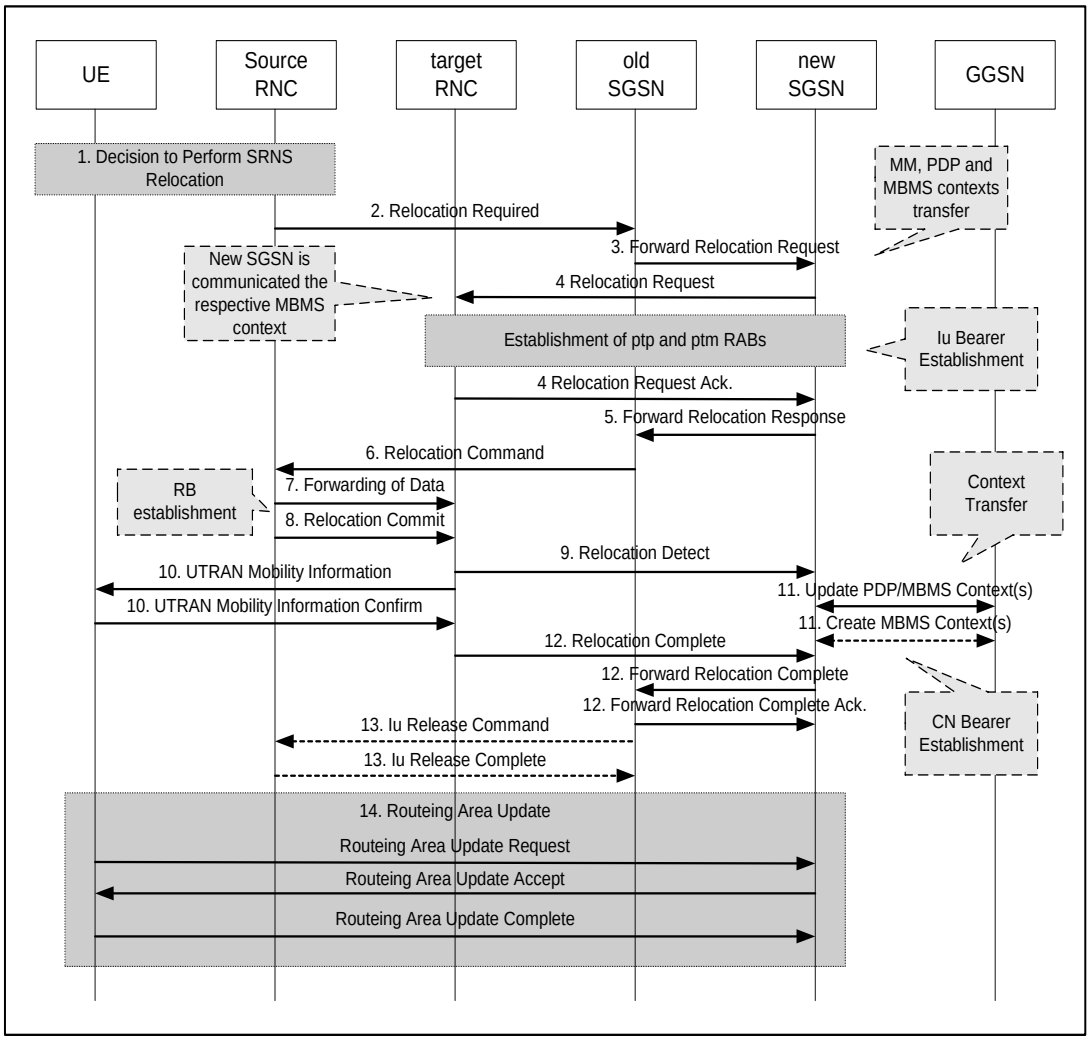
4.5.2 SRNS Relocation

Η διαδικασία αυτή, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, συμπληρώνει και ολοκληρώνει αυτή της Ενημέρωσης της Περιοχής Δρομολόγησης καλύπτοντας την περίπτωση όπου είναι ενεργή κάποια υπηρεσία και μεταφορά δεδομένων βρίσκεται σε εξέλιξη, κατά τη διάρκεια της μετακίνησης του κινητού τερματικού σε μια νέα Περιοχή Δρομολόγησης. Όπως έχει σημειωθεί λοιπόν, για να εκτελεστεί η διαδικασία του SRNS Relocation , το κινητό τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση PMM-CONNECTED και έχει ενεργοποιημένες τουλάχιστον μια σύνδεση σημείου προς σημείο και σημείου προς πολλαπλά σημεία. Στο Σχήμα 27 παρουσιάζονται κατά σειρά τα βήματα που ακολουθούνται.

4. Ο νέος SGSN κόμβος ενημερώνει τον κατάλληλο RNC που πρόκειται να δεχθεί το χρήστη και που θα αναλάβει την εξυπηρέτησή του. Ταυτόχρονα εγκαθίστανται και οι συνδέσεις σημείου προς σημείου καθώς και σημείου προς πολλαπλά σημεία που απαιτούνται για τη σηματοδοσία και τη μεταφορά των δεδομένων της υπηρεσίας (ή υπηρεσιών) που συμμετέχει ο χρήστης.
5. Ο νέος SGSN ενημερώνει τον παλιό σχετικά με την Επανατοποθέτηση του κινητού.
6. Ο παλιός SGSN προωθεί την εντολή για επανατοποθέτηση στον RNC που είχε μέχρι πρότινος την ευθύνη γα την εξυπηρέτηση του κινητού, το οποίο πλέον βρίσκεται στην ευθύνη του καινούριο RNC και SGSN αντίστοιχα.
7. Τα μηνύματα αυτά δεν έχουν ξεκαθαριστεί ακόμα τι ενέργειες ακριβώς θα προκαλούν και με ποιο τρόπο, αλλά αυτό που θα εξασφαλίζουν είναι η ομαλή και χωρίς απώλειες μεταφορά των δεδομένων της υπηρεσίας προς το κινητό, κατά τη μεταβατική περίοδο που αυτό περνά από τη δικαιοδοσία της παλιάς Περιοχής Δρομολόγησης σε αυτή της νέας.
8. Ολοκληρώνεται η συμμετοχή του παλιού RNC κόμβου στην παροχή της υπηρεσίας προς το κινητό και το νέο RNC κόμβο αντίστοιχα.
9. Ο νέος RNC κόμβος δηλώνει στον SGSN που τον εξυπηρετεί ότι έχει ανιχνεύσει το κινητό τερματικό και είναι σε θέση να το εξυπηρετεί.
10. Μεταφέρονται από το νέο RNC κόμβο προς το κινητό (το οποίο με τη σειρά του επιβεβαιώνει) πληροφορίες σχετικά με τις ιδιαίτερες παραμέτρους του UTRAN κομματιού του δικτύου στη συγκεκριμένη περιοχή.
11. Ο νέος SGSN κόμβος έχει αναλάβει πλέον (ουσιαστικά αυτό έχει συμβεί από το βήμα 4 αλλά σε αυτό το σημείο έχουμε την τυπική ολοκλήρωση της διαδικασίας και γι' αυτό τοποθετήθηκε εδώ η εν λόγω ενέργεια) ολοκληρωτικά την εξυπηρέτηση του κινητού τερματικού και έχει την υποχρέωση να ενημερώσει κατάλληλα τον GGSN κόμβο που προσφέρει την υπηρεσία για τη σχετική αλλαγή των κόμβων που εξυπηρετούν το συγκεκριμένο χρήστη.
12. Παράλληλα με το βήμα 11 και μετά την ολοκλήρωση του βήματος 10, ο νέος RNC κόμβος ειδοποιείται την ολοκλήρωση της Επανατοποθέτησης του κινητού. Η ολοκλήρωση αυτή γνωστοποιείται και στον παλιό SGSN κόμβο, ο οποίος οφείλει να απαντήσει ότι έλαβε γνώση της.
13. Ο τελευταίος δίνει εντολή στον παλιό RNC να αποδεσμεύσει τους πόρους που κρατούσε για την εξυπηρέτηση του κινητού και γενικότερα για την υπηρεσία, στην περίπτωση που το κινητό που μόλις αποχώρησε ήταν το μόνο (τελευταίο) ενδιαφερόμενο για την υπηρεσία αυτή στη δεδομένη περιοχή που εξυπηρετεί ο RNC. Το βήμα ολοκληρώνεται με την απάντηση του RNC κόμβου προς τον SGSN.
14. Ακολουθεί σε αυτό το σημείο η Ενημέρωση της Περιοχής Δρομολόγησης, όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

4.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ

Όπως διαπιστώνουμε με τη συμπλήρωση της ανάλυσης των κυριότερων σταδίων που απαρτίζουν τη διαδικασία της Διανομής κάποιας υπηρεσίας, όπως αυτή αναλύθηκε σε



Σχήμα 27: Η διαδικασία SRNS Relocation

Τα μηνύματα που παρουσιάζονται στο προηγούμενο σχήμα αναλύονται ως εξής:

1. Το κινητό τερματικό ανιχνεύει την είσοδό του σε νέα Περιοχή Δρομολόγησης καθώς είναι σε κατάσταση PMM-CONNECTED και ενημερώνει τον κόμβο RNC που μέχρι πρότινος το εξυπηρετούσε για την αναγκαιότητα να πραγματοποιηθεί η διαδικασία SRNS Relocation.

2. Ο κόμβος RNC που έλαβε το μήνυμα για την SRNS Relocation ενημερώνει τον SGSN κόμβο που τον εξυπηρετεί, μαζί με την πληροφορία για τη νέα Περιοχή Δρομολόγησης στην οποία εισχωρεί το κινητό.

3. Ο παλιός SGSN κόμβος επικοινωνεί με το νέο προκειμένου να αιτηθεί την είσοδο και Επανατοποθέτηση του κινητού τερματικού. Ανταλλάσσονται πληροφορίες σχετικά με τα στοιχεία MM ,PDP και MBMS Contexts, που αφορούν το συγκεκριμένο τερματικό. Προφανώς αν ο νέος κόμβος δεν εξυπηρετεί κόμβους που να ενδιαφέρονται για κάποιες από τις υπηρεσίες όπου ο προστιθέμενος χρήστης συμμετέχει, φροντίζει να επικοινωνήσει με τον GGSN που προσδιορίζεται για κάθε υπηρεσία και να λάβει τα απαιτούμενα στοιχεία (MBMS Contexts).

προηγούμενη παράγραφο του παρόντος κεφαλαίου, και που εξετάστηκαν στα πλαίσια της διαχείρισης Συνόδων και Κινητικότητας, για το UMTS δίκτυο, δεν έγινε ανάλυση κάποιων επιμέρους λειτουργιών όπως είναι η Εγγραφή (Subscription), οι Ανακοινώσεις για την Υπηρεσία (Service Announcement), η MBMS Ειδοποίηση (MBMS Notification) καθώς και η Μεταφορά Δεδομένων (Data Transfer). Αυτές θα εξετάσουμε περιληπτικά στην παρούσα παράγραφο.

4.6.1 Εγγραφή (Subscription)

Πρόκειται για τη διαδικασία όπου ο χρήστης αποφασίζει ότι θέλει να του παρέχεται η δυνατότητα να λαμβάνει κατά βούληση δεδομένα και μηνύματα μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας και επικοινωνεί με τον πάροχο της υπηρεσίας προκειμένου να συμφωνήσει τους όρους και τις συνθήκες της «συνδρομής» του. Λέγοντας συνδρομή, εννοούμε ένα συμβόλαιο κατά κάποιο τρόπο που συνδέει και ορίζει τη σχέση του παρόχου της υπηρεσίας με τον ενδιαφερόμενο χρήστη. Ο πάροχος αποθηκεύει τις παραμέτρους της συμφωνίας του με το συνδρομητή ώστε όταν ο τελευταίος ζητήσει από το δίκτυο να λάβει τη συμφωνηθείσα υπηρεσία, τα στοιχεία αυτά να προσπελαύνονται, να ελέγχονται και να εξουσιοδοτείται (και άρα να εξυπηρετείται) ο χρήστης (παραδείγματος χάρη στη διάρκεια της Αίτησης Συμμετοχής στην υπηρεσία) ή όχι.

4.6.2 Ανακοινώσεις Υπηρεσίας (Service Announcement)

Οι ανακοινώσεις κάθε υπηρεσίας έχουν σκοπό να κατατοπίζουν τους χρήστες για το εύρος (και την ποικιλία) των παρεχόμενων υπηρεσιών (για κάθε υπηρεσία ξεχωριστά, είτε οι πάροχοι είναι μέρος του δικτύου είτε δεν ανήκουν σε αυτό) και απευθύνονται τόσο σε εγγεγραμμένους όσο και σε μη εγγεγραμμένους χρήστες, με σκοπό την ενημέρωση των πρώτων αλλά και την προσθήκη των τελευταίων. Οι ανακοινώσεις αυτές μπορεί να περιέχουν πληροφορίες είτε σχετικά με τα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας, είτε με παραμέτρους της (όπως τα χρονικά σημεία εκκίνησης των συνόδων της), είτε με τρόπους εγγραφής και ενεργοποίησής της. Οι τρόποι που αυτές οι πληροφορίες είναι δυνατό να παρέχονται στους χρήστες ποικίλουν και μπορεί να είναι είτε μέσω SMS και WAP, είτε μέσω ανοιχτής μετάδοσης (MBMS Broadcast) διαφημίσεων για τις υπηρεσίες πολλαπλών προορισμών (MBMS Multicast Services), είτε μέσω διευθύνσεων στον ιστό (Web URL) είτε ακόμα μέσω μετάδοσης σε μεμονωμένες κυψέλες (Cell Broadcast Service).

4.6.3 MBMS Ειδοποίηση (Notification)

Σύμφωνα με τις προτάσεις της 3GPP πρόκειται για τη λειτουργία εκείνη όπου ο χρήστης ενημερώνεται για την προσεχή εκκίνηση της εκπομπής δεδομένων σχετικών με την υπηρεσία στην οποία συμμετέχει (έχει προηγηθεί δηλαδή αίτηση συμμετοχής - Join - από την πλευρά του χρήστη). Σε περίπτωση βέβαια που η διαδικασία της Μεταφοράς Δεδομένων (που αναλύεται στη συνέχεια) εμπεριέχει σηματοδοσία που προετοιμάζει και ειδοποιεί το χρήστη για την επερχόμενη μεταφορά των δεδομένων, που ξεκινά με τη διαδικασία της Εκκίνησης Συνόδου (Session Start), πιθανώς το παρόν στάδιο να είναι περιττό. Η ειδοποίηση πρέπει να διαδίδεται και να διανέμεται σε όλους τους κόμβους κατά μήκος του ιδεατού μονοπατιού από τον GGSN μέχρι τον

τελικό χρήστη που λαμβάνει την υπηρεσία. Το ίδιο ισχύει εάν η ειδοποίηση αυτή είναι μέρος της σηματοδοσίας για την Εκκίνηση Συνόδου που ξεκινά με την έλευση του πρώτου πακέτου δεδομένων στον GGSN κόμβο ή τον BM-SC.

4.6.4 Μετάδοση Δεδομένων (Data Transfer)

Σε αυτή τα φάση λαμβάνει χώρα η μεταφορά δεδομένων για την κάθε MBMS υπηρεσία όπου ο χρήστης έχει κάνει αίτηση συμμετοχής και άρα έχουν ενεργοποιηθεί τα αντίστοιχα MBMS Bearers. Είναι πιθανό η έλευση του πρώτου πακέτου δεδομένων της ομάδας πολλαπλών προορισμών στον GGSN να είναι αυτή που θα σηματοδοτήσει τη διαδικασία Εκκίνησης Συνόδου, έτσι όπως περιγράφθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, για το δίκτυο UMTS.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ

5.1 Ο ΕΞΟΜΟΙΩΤΗΣ NS-2

Βασικό εργαλείο στην πραγμάτωση της διπλωματικής αυτής αποτέλεσε ο εξομοιωτής NS-2. Το εργαλείο αυτό είναι ένα open source σύστημα το οποίο δημιουργήθηκε στο πανεπιστήμιο του Berkeley και χρησιμοποιείται σήμερα ευρέως από την επιστημονική κοινότητα. Έχουν παρουσιαστεί πολλές εκδόσεις του συγκεκριμένου συστήματος, η συγκεκριμένη που χρησιμοποιήθηκε ήταν η ns2.26, στην οποία και αναπτύχθηκε το UMTS που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

Ο εξομοιωτής αυτός διατίθεται ελεύθερα από το [28], όπου είναι διαθέσιμες πολλές εκδόσεις του για διαφορετικές λειτουργικές πλατφόρμες. Συγκεκριμένα σε αυτή την περίπτωση ο ns λειτούργησε σε περιβάλλον Mandrake Linux 10, όπου η διαδικασία εγκατάστασης και σωστής λειτουργίας του είναι απλή. Επίσης, ο εξομοιωτής αυτός δεν λειτούργησε αυτόνομα, αλλά σαν ένα ολοκληρωμένο πακέτο, το ns-allinone-2.26. Το πακέτο αυτό περιέχει εκτός βέβαια από τον ίδιο τον εξομοιωτή και μια σειρά από άλλα πακέτα, μερικά από τα οποία είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του και ορισμένα απλώς υποστηρικτικά. Το σύστημα του εξομοιωτή είναι υλοποιημένο σε γλώσσα C++, και χρησιμοποιεί την γλώσσα OTcl σαν διεπαφή λήψης εντολών. Με άλλα λόγια κατανοεί τη γλώσσα OTcl, στην οποία γράφονται τα προγράμματα που περιγράφουν τα πειράματα που επιθυμεί ο χρήστης να εκτελέσει στον εξομοιωτή. Το πακέτο της OTcl περιέχεται βέβαια στο συνολικό πακέτο του ns-allinone-2.26, όπου περιλαμβάνονται επίσης και τα ακόλουθα πακέτα:

- Το πακέτο nam. Ο ρόλος του πακέτου αυτού είναι υποστηρικτικός στη λειτουργία του εξομοιωτή και δίνει τη δυνατότητα γραφικής αναπαράστασης της τοπολογίας και λειτουργίας του δικτύου.
- Επίσης περιλαμβάνεται το πακέτο xgraph όπου επίσης έχει δευτερεύουσας σημασίας λειτουργία και δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να μπορεί να αναπαριστά γραφικά διάφορα δεδομένα εξόδου.
- Ένα άλλο πακέτο που περιλαμβάνεται στο γενικό πακέτο ns-allinone-2.26 είναι το πακέτο perl, όπου έχει βασική σημασία και επιτρέπει στο χρήστη να μπορεί να εκτελεί προγράμματα της γλώσσας αυτής.
- Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι περιλαμβάνεται επίσης και το πακέτο gt-itm όπου είναι ένας μηχανισμός παραγωγής τοπολογιών δικτύου αυτόματα. Συγκεκριμένα το υποσύστημα αυτό παρέχει πολλές δυνατότητες για τον τρόπο παραγωγής μιας τοπολογίας και συγκεκριμένα μπορεί να παράγει είτε τυχαίες είτε τοπολογίες με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Βέβαια πρέπει να τονιστεί ότι η λειτουργία του πακέτου αυτού παρουσιάζει ελλείψεις και προβλήματα, όπως ότι δεν υποστηρίζει στην παραγωγή της τοπολογίας τη χρήση διαφορετικού τύπου ουράς εκτός από FIFO.

Αφού καταγράφθηκαν συνοπτικά τα πακέτα που περιέχει το συνολικό πακέτο ns-allinone-2.26 που χρησιμοποιήθηκε, θα επικεντρωθεί στη συνέχεια η προσοχή μας στον εξομοιωτή. Ο τρόπος που λειτουργεί είναι αρκετά απλός, δέχεται σαν είσοδο αρχεία Tcl, τα οποία κατανοεί και τα εκτελεί. Η έξοδος που παράγει μπορεί να έχει

ποικίλες μορφές αφού υποστηρίζει όπως είδαμε παραπάνω ακόμη και γραφική αναπαράσταση του δικτύου. Η συνηθέστερη έξοδος που παράγει είναι αρχεία που περιγράφουν πλήρως την κίνηση σε ένα ορισμένο link ή την κατάσταση μια ουράς. Τα αρχεία αυτά εν συνεχεία μπορεί να δεχτούν περαιτέρω επεξεργασία και να αποτυπώσουν ή αν υπολογίσουν συγκεκριμένες ποσότητες που ενδιαφέρουν το χρήστη όπως για παράδειγμα το throughput που επιτυγχάνει ένα συγκεκριμένο είδος κίνησης ή η καθυστέρηση που είχε ένα πακέτο πληροφορίας από την πηγή στον προορισμό. Ακόμη, εκτός από τα αρχεία που περιγράφηκαν παραπάνω μπορεί να παράγει και συνολικά αρχεία για όλη τη διάρκεια του πειράματος που περιγράφουν κάθε πακέτο που παρήχθη, τη διαδρομή που ακολούθησε, πότε εισήλθε και πότε εξήλθε από κάθε ουρά κλπ. Ολοκληρώνοντας αυτό το τμήμα πρέπει να τονιστεί ότι γενικά η έξοδος του εξομοιωτή μπορεί να παράγει όποια πληροφορία επιθυμεί ο χρήστης, ενδεχομένως με περαιτέρω επεξεργασία κάποιες φορές.

Στη συνέχεια παρουσιάζει ενδιαφέρον και πρέπει να αναφερθεί ο τρόπος που δομούνται τα προγράμματα σε Tcl και τα εκτελεί ο ns. Αρχικά η δομή των προγραμμάτων επιβάλει να δημιουργείται η τοπολογία του δικτύου, ορίζοντας τους κόμβους που θα υπάρχουν και τις διασυνδέσεις μεταξύ τους. Επίσης στο σημείο αυτό πρέπει να περιγραφούν οι ουρές στα links και να οριστούν οι αντίστοιχοι παράμετροι κάθε φορά. Αφού πλέον δημιουργηθεί η τοπολογία στόχο αποτελεί η δημιουργία των πηγών παραγωγής πληροφορίας. Ο τρόπος που μια πηγή δημιουργείται και παράγει πακέτα είναι σχετικά απλός και αποτελείται αρχικά από τη δημιουργία ενός agent που συνδέεται σε ένα κόμβο. (κάθε κόμβος μπορεί να δεχτεί πολλούς agents). Στη συνέχεια δημιουργείται μια πηγή η οποία συνδέεται πάνω σε έναν agent, όπου ένας agent αντιστοιχεί σε μια μόνο πηγή και αντίστροφα. Οι βασικοί τύποι agent που υπάρχουν είναι 2 και είναι οι TCP agent και οι UDP agent. Οι πρώτοι όπως προδίδει και το όνομά τους χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο TCP και οι δεύτεροι αντίστοιχα το πρωτόκολλο UDP. Αντίστοιχα τα διάφορα είδη πηγών παραγωγής πακέτων είναι όλα υλοποιημένα στην κλάση Application και είναι τα ακόλουθα:

- FTP, σε αυτό το είδος παράγονται είτε συγκεκριμένος αριθμός πακέτων είτε κίνηση για συγκεκριμένο χρόνο.
- Telnet, στην περίπτωση αυτή η παραγωγή πακέτων καθορίζεται από εκθετική κατανομή.
- Παράλληλα υπάρχουν άλλα 4 είδη πηγών που έχουν υλοποιηθεί σε μια κλάση Traffic Generation που είναι υλοποιημένη κάτω από την κλάση Application. Τα είδη αυτά είναι:
    - Εκθετική ON/OFF όπου η παραγωγή πληροφορίας ακολουθεί την εκθετική κατανομή. Σε αυτή την περίπτωση ορίζονται σαν παράμετροι το ποσοστό του χρόνου παραγωγής πληροφορίας και μη παραγωγής, ο ρυθμός αποστολής και το μέγεθος των πακέτων.
    - Pareto On/OFF, είναι όμοια με την προηγούμενη με μόνη διαφορά ότι η παραγωγή πακέτων ακολουθεί αυτή τη φορά την Pareto κατανομή. Οι παράμετροι που ορίζονται είναι όμοιοι με πριν.
    - CBR, είναι μια τρίτη μέθοδος όπου παράγει περιοδικά πακέτα πληροφορίας με συγκεκριμένο ρυθμό που ορίζεται ως παράμετρος. Ταυτόχρονα παράμετρο αποτελεί και το μέγεθος των πακέτων.

- Τέλος υπάρχει και η μέθοδος του TrafficTrace όπου διαβάζει στοιχεία από ένα αρχείο trace και παράγει την κίνηση.

- Το τελευταίο είδος είναι η HTTP κίνηση που βρίσκεται κάτω από την κλάση Application και αποτελείται από 3 ουσιαστικά Applications (Client, Server, Cache). Οι συνδέσεις που μπορεί να γίνουν είναι μεταξύ client-server, client-cache και server-cache. Ο τρόπος αποστολής αιτήσεων και η παραγωγή πλέον αντίστοιχων απαντήσεων καθορίζεται από μια άλλη κλάση που ονομάζεται Pagepool και διαθέτει 4 διαφορετικούς τύπους.

Συνοψίζοντας το σύστημα αυτό του εξομοιωτή ns αποτελεί ένα open source σύστημα, ιδιαίτερα εύχρηστο που χρησιμοποιείται ευρέως στην επιστημονική κοινότητα. Οι χρήσεις που έχει είναι πολλαπλές αφού είναι ένας εξομοιωτής δικτύων γενικού σκοπού και υποστηρίζει πολλαπλά είδη δικτύων όπως δορυφορικά και κινητά δίκτυα.

5.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΙΝΗΣΗΣ

5.2.1 Το είδος και η δημιουργία της κίνησης

Στην πραγματικότητα, όπως τονίσαμε, η συνολική κίνηση στο διαδίκτυο αποτελεί σύνθεση πολλών ειδών κίνησης. Στο θέμα αυτό έχουν πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες όπου έχουν οδηγήσει σε συμπεράσματα για τα κυρίαρχα είδη κίνησης στο διαδίκτυο καθώς και σε ποσοστά επί της εκατό των πακέτων που αντιστοιχούν στο κάθε είδος της κίνησης. Τα κυρίαρχα είδη της είναι τα ακόλουθα: FTP, WWW, Telnet, SMTP κλπ.

Multimedia	Dynamic www	Static www	Ftp - telnet	Email-news	Other
14%	28%	15%	12%	17%	14%

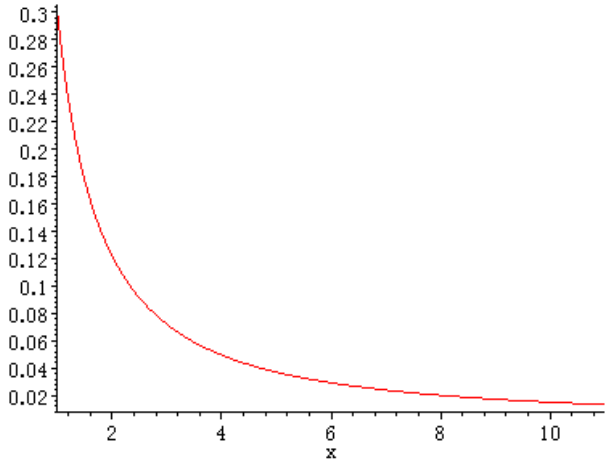
Πίνακας 19: Κίνηση στο Internet

Προκειμένου τα πειράματά να είναι ορθά και αξιόπιστα πρέπει στη διαδικασία της προσομοίωσης να προσεγγιστεί σωστά η κίνηση που θα εισαχθεί στο δίκτυο. Δηλαδή πρέπει στο δίκτυο να υπάρχει το είδος της κίνησης που θα μελετείται κάθε φορά (foreground traffic) καθώς και η υπόλοιπη κίνηση στο δίκτυο (background traffic).

Οι μέθοδοι παραγωγής κίνησης που αναφέρονται γενικά στην βιβλιογραφία περιγράφονται παρακάτω:

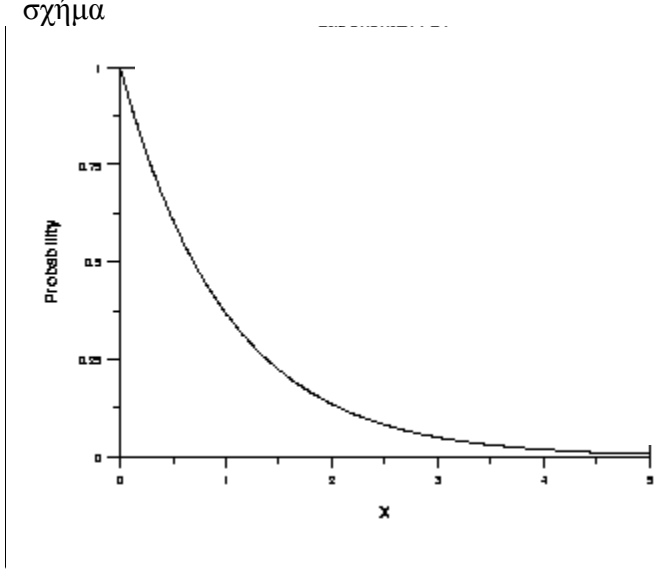
- Το απλό μοντέλο ON/OFF όπου έχει περιόδους ON και OFF κατανεμημένες με κάποιο είδος κατανομής και σταθερό ρυθμό μετάδοσης κατά τη διάρκεια των ON περιόδων. Το μοντέλο αυτό περιγράφεται πλήρως από μια τριάδα <R, b, p> με τα μεγέθη: R, b και p αναπαριστούν αντίστοιχα το ρυθμό μετάδοσης όταν η πηγή είναι ενεργή, τη μέση διάρκεια μιας ενεργής περιόδου και το κλάσμα του χρόνου που η πηγή είναι ενεργή (active). Συμπερασματικά, στην περίπτωση του ON/OFF μοντέλου έχουμε ουσιαστικά παραγωγή ροών (flow generation). Οι κατανομές τις οποίες μπορούν να ακολουθούν οι εναλλαγές των περιόδων είναι οι ακόλουθες:

- Εναλλαγές περιόδων ακολουθώντας την κατανομή Pareto. Η Pareto κατανομή έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f(x) = ab^a / x^{a+1}$ για $x \geq b$ και το α αποτελεί παράμετρο. Η μορφή της γραφικής παράστασής της είναι η ακόλουθη



Σχήμα 28: Η Pareto κατανομή

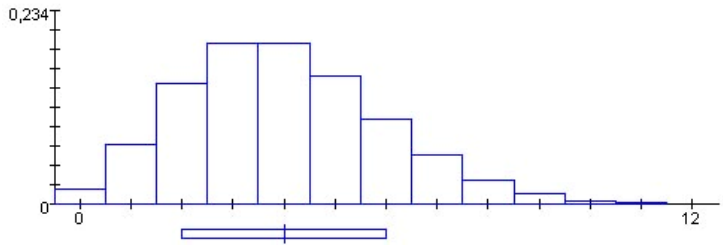
- Η δεύτερη περίπτωση είναι οι εναλλαγές περιόδων να ακολουθούν την εκθετική κατανομή που έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f(t) = re^{-rt}$, $t \geq 0$. Η μορφή της εκθετικής συνάρτησης φαίνεται στο επόμενο σχήμα



Σχήμα 29: Η εκθετική κατανομή

- Η τελευταία περίπτωση είναι οι εναλλαγές περιόδων να ακολουθούν την κανονική κατανομή $f(x) = \exp[-(x - \mu)^2 / (2\sigma^2)] / [(2\pi)^{1/2}\sigma]$,με x in R. Αυτή είναι και η λιγότερη χρησιμοποιούμενη μέθοδος.

- Η δεύτερη περίπτωση είναι να έχουμε κίνηση στο δίκτυο όπου οι αφίξεις πακέτων ακολουθούν την Poisson κατανομή με ρυθμό λ. Η κατανομή Poisson είναι πολύ συνηθισμένη στην αναπαράσταση της κίνησης σε δίκτυα (περιγράφοντας αφίξεις πακέτων) και έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας f(x) = e−λ (λ)k / k! για k = 0, 1, ... όπου το λ είναι παράμετρος και δηλώνει το ρυθμό άφιξης.



Σχήμα 30: Η κατανομή Poisson με λ=4

Ένα άλλο μοντέλο που περιγράφεται στη βιβλιογραφία είναι μια πηγή που παράγει περιοδικά πακέτα σταθερού μήκους. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι ο δεύτερος και τρίτος τρόπος αναφέρονται σε παραγωγή πακέτων (packet generation).

Μια επιπλέον μέθοδος traffic generation είναι η αποστολή αρχείων video όπου πλέον με τη μέθοδο αυτή, χρησιμοποιούμε στο πείραμα traces από video, είτε ένα είτε σύνθεση (aggregate) πολλών. Τα χαρακτηριστικά της κίνησης που παράγεται είναι ετερογενή καθώς περιέχει σημεία με καταιγισμούς αλλά και σημεία με λιγότερη «πληροφορία».

Τέλος, μια μέθοδος παραγωγής κίνησης είναι η χρήση self-similar traffic generators. Έχει παρατηρηθεί ότι σε συνενώσεις ροών (aggregates) η κίνηση πακέτων στο δίκτυο παρουσιάζει μια ομοιομορφία και φαίνεται να επαναλαμβάνεται με ομοιότυπο τρόπο (δηλαδή κατά τακτά χρονικά διαστήματα). Η ομοιότητα αυτή προσεγγίζεται με μια μεταβλητή που καλείται Hurst parameter και υποδηλώνει το βαθμό ομοιότητας (degree of self-similarity). Η παράμετρος αυτή παίρνει τιμές στο διάστημα [0.5, 1] και όταν η τιμή της πλησιάζει το 1 τότε λέμε ότι η κίνηση παρουσιάζει υψηλό βαθμό ομοιότητας. Οι γεννήτριες αυτές αποτελούν πολύ καλό μοντέλο για τις αφίξεις πακέτων συνενώσεων ροών (aggregates) www κίνησης ενώ επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή background κίνησης στο δίκτυο. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι κίνηση με χαρακτηριστικά self-similar μπορούμε να παράγουμε και με συνενώσεις ροών που παράγονται με το ON/OFF μοντέλο όπου οι εναλλαγές περιόδων βασίζονται στην Pareto κατανομή. Επίσης δίνεται η σχέση H=(3-α)/2 που συσχετίζει πλέον την Hurst παράμετρο της self-similar κίνησης με την παράμετρο α της Pareto κατανομής ενώ αναφέρονται και 2 μέθοδοι εκτίμησης (υπολογισμού) της παραμέτρου Hurst.

5.2.2 Foreground και Background κίνηση

Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί μια προσπάθεια κατηγοριοποίησης των μεθόδων αυτών ως προς το είδος της κίνησης που μοντελοποιούν. Αρχικά πρέπει να προσδιοριστούν οι παραπάνω όροι, όπου σαν background κίνηση σε ένα δίκτυο καλούμε την κίνηση που εξυπηρετείται από ένα δίκτυο και δεν απαιτεί συγκεκριμένη ποιότητα εξυπηρέτησης. Αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό στο σύνολο της κίνησης ενός δικτύου. Αντίθετα με τον όρο foreground κίνηση καλείται η κίνηση που ζητά συγκεκριμένες εγγυήσεις ποιότητας εξυπηρέτησης. Ξεκινώντας με την παραγωγή background κίνησης εξάγεται το συμπέρασμα ότι υπάρχουν 2 δυνατές επιλογές, η πρώτη αφορά τη χρησιμοποίηση traces και η δεύτερη την παραγωγή της κίνησης. Η παραγωγή της κίνησης επίσης μπορεί να γίνει με 2 τρόπους: είτε συνθέτοντας την κίνηση από τις διάφορες εφαρμογές όπου κάθε εφαρμογή είναι ένα ποσοστό της συνολικής κίνησης είτε χρησιμοποιώντας μηχανισμούς παραγωγής self-similar

κίνησης. Στην περίπτωση της σύνθεσης της κίνησης από τις εφαρμογές, σε κάθε εφαρμογή είτε παράγουμε την κίνηση με κάποιο μοντέλο ακολουθώντας μια συγκεκριμένη κατανομή (Πίνακας 20), είτε χρησιμοποιούμε traces. Επικεντρώνοντας, στη συνέχεια στην foreground κίνηση, παρατηρούμε ότι αυτή μπορεί είτε να παραχθεί είτε να χρησιμοποιηθούν traces. Η συνηθέστερη μέθοδος είναι να χρησιμοποιείται κάποιο trace από video ή audio, όμως ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε να μοντελοποιηθεί και να χρησιμοποιηθεί σαν foreground κίνηση, κίνηση που αντιστοιχεί σε real time εφαρμογές (όπως κίνηση που αντιστοιχεί για παράδειγμα σε video conference). Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι για την παραγωγή self-similar κίνησης που προσεγγίζει data traces πραγματικού χρόνου και μία από αυτές είναι από τη σύνθεση ροών από πολλές ανεξάρτητες ON/OFF πηγές.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η αντιστοιχία των παραπάνω μεθόδων με τις εφαρμογές και τα χαρακτηριστικά τους που προσομοιώνουν καλύτερα σύμφωνα με την βιβλιογραφία [12]. Στον παρακάτω πίνακας φαίνεται μια τέτοια εμπειρική αντιστοιχία. Επίσης πρέπει να τονίσουμε ότι αναφέρονται σε sessions (συνενώσεις ροών) που τοποθετούνται σε μια λίστα και εισέρχονται στο δίκτυο.

Application	**Inter-arrival**	**Duration**	**Data**
Telnet	Exponential	Log-normal	Pareto
Www	Exponential	Log-normal	Self-similar
Ftp	Exponential	Log-normal	Pareto
Smtp	Exponential/ *Poisson*	Log-normal	Log-normal/*Pareto*

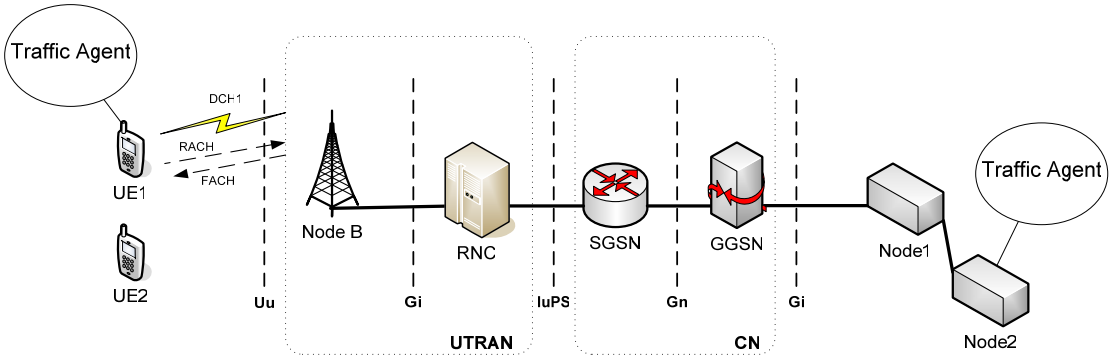
Πίνακας 20: Αντιστοιχία των εφαρμογών με τις κατανομές που μοντελοποιούν την κίνηση

Εκτός από τις εμπειρικές προσεγγίσεις για τις κατανομές στις διάφορες εφαρμογές έχουν γίνει και μελέτες που σε ορισμένα σημεία διαφοροποιούνται από τις πρώτες (φαίνονται στον πίνακα με πλάγια γράμματα). Στην πρώτη στήλη η έννοια inter-arrival περιγράφει το χρόνο μεταξύ διαδοχικών sessions και ακολουθεί την εκθετική κατανομή, με μόνη εξαίρεση την SMTP κίνηση που μπορεί υπό προϋποθέσεις να ακολουθεί και την Poisson. Στη δεύτερη στήλη με τον όρο duration εννοείται η διάρκεια των sessions όπου χαρακτηρίζεται από την log-normal κατανομή. Η κατανομή αυτή έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f(x) = \exp\{-[\ln(x) - \mu]2 / (2\sigma2)] / [x (2\pi)1/2 \sigma]$ για $x > 0$ όπου τα μ και σ είναι παράμετροι. Τέλος η παραγωγή πακέτων δεδομένων μοντελοποιείται διαφορετικά για κάθε εφαρμογή όπως φαίνεται στην τελευταία στήλη του πίνακα όπου όμως εκτός από τους εμπειρικούς κανόνες έχει τεκμηριωθεί από μελέτες [12] ότι στην περίπτωση των πρωτοκόλλων FTP και SMTP, η διαδικασία άφιξης πακέτων περιέχει καταιγισμούς με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται Pareto κατανομή για την μοντελοποίησή της.

Επίσης στα κείμενα [13],[14] αναφέρονται συγκεκριμένες τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται σε κάθε κατανομή για την προσομοίωση κίνησης και χρησιμοποιήθηκαν σε κάποιες μελέτες. Για παράδειγμα, αναφέρεται ότι στην Pareto κατανομή, σε προσομοιώσεις που έχουν γίνει, ο συντελεστής α είχε την τιμή $\alpha=1.4$ ενώ σε άλλες μελέτες $\alpha=1.9$. Από τη βιβλιογραφία επίσης προκύπτει ότι για κίνηση με χαρακτηριστικά self-similar η τιμή της παραμέτρου α πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2($1<\alpha<2$).

5.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ

Στην παρούσα παράγραφο θα γίνει περιγραφή του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των πειραμάτων που παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια. Στο Σχήμα 31 παρουσιάζεται το γενικό μοντέλο εξομοίωσης πάνω στο οποίο βασίστηκαν τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν.



Σχήμα 31: Γενικό μοντέλο εξομοίωσης

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί ενδεικτικά ένα αρχείο που τρέχει στον εξομοιωτή ns-2 και το οποίο περιγράφει το παραπάνω μοντέλο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 31. Στο παρακάτω αρχείο ορίζεται το παραπάνω δίκτυο και εγκαθίσταται σύνδεση μεταξύ των traffic agents που βρίσκονται στο τερματικό του χρήστη (UE1) και σε έναν εξωτερικό κόμβο (Node 2).

Στη συνέχεια παρατίθεται ο κώδικας με τις απαραίτητες επεξηγήσεις.

```
global ns
remove-all-packet-headers
add-packet-header MPEG4 MAC_HS RLC LL Mac RTP TCP IP Common Flags
set ns [new Simulator]
set f [open out.tr w]
proc finish {} {
    global ns
    global f
    $ns flush-trace
    close $f
    puts " Simulation ended."
    exit 0
}

$ns node-config -UmtsNodeType rnc

# Node address is 0.
```

```
set rnc [$ns create-Umtsnode]
```

Στο παραπάνω μέρος του κώδικα δημιουργείται η οντότητα του κόμβου Radio Network Controller.

```
$ns node-config -UmtsNodeType bs \
            -downlinkBW 32kbs \
            -downlinkTTI 10ms \
            -uplinkBW 32kbs \
            -uplinkTTI 10ms

# Node address is 1.
set bs [$ns create-Umtsnode]
```

Εδώ δημιουργήθηκαν ο σταθμός βάσης Node B, τα κανάλια FACH και RACH που είναι υπεύθυνα για την uplink και downlink σύνδεση αντίστοιχα, ενώ γίνεται και ο ορισμός του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων για καθένα από αυτά, καθώς και τα Transmission Time Intervals.

```
$ns setup-Iub $bs $rnc 622Mbit 622Mbit 15ms 15ms DummyDropTail 2000
```

Σε αυτή τη γραμμή κώδικα δημιουργείται η Iub διεπαφή (παρουσιάζεται στο Σχήμα 31), ορίζεται ο ρυθμός μετάδοσης ανά κατεύθυνση (622 Mbit), η μέση καθυστέρηση (15 msec), ο τύπος της ουράς, και το μέγεθός της.

```
$ns node-config -UmtsNodeType ue \
            -baseStation $bs \
            -radioNetworkController $rnc
```

Εδώ δημιουργούνται οι κόμβοι που αποτελούν τον τερματικό εξοπλισμό των χρηστών (User Equipment), και γίνεται η αντιστοίχηση αυτών σε σταθμούς βάσης και Radio Network Controllers.

```
# Node address for ue1 and ue2 is 2 and 3, respectively.
set ue1 [$ns create-Umtsnode]
set ue2 [$ns create-Umtsnode]
```

Εδώ γίνεται ο ορισμός των συγκεκριμένων οντοτήτων UE που χρησιμοποιούνται σε κάθε εξομοίωση.

```
# Node address for sgsn0 and ggsn0 is 4 and 5, respectively.
set sgsn0 [$ns node]
set ggsn0 [$ns node]
```

Εδώ γίνεται ο ορισμός των κόμβων SGSN και GGSN.

```
# Node address for node1 and node2 is 6 and 7, respectively.
set node1 [$ns node]
set node2 [$ns node]
```

Ορισμός των εξωτερικών κόμβων.

```
$ns duplex-link $rnc $sgsn0 622Mbit 0.4ms DropTail 1000
$ns duplex-link $sgsn0 $ggsn0 622MBit 10ms DropTail 1000
$ns duplex-link $ggsn0 $node1 10MBit 15ms DropTail 1000
$ns duplex-link $node1 $node2 10MBit 35ms DropTail 1000
```

Στο μέρος αυτό του κώδικα, παρουσιάζονται τα links (σύνδεσμοι), μεταξύ όλων των κόμβων που έχουν οριστεί. Αναλυτικά ορίζεται ο ρυθμός μετάδοσης, η καθυστέρηση, το τύπος της ουράς, και το μέγεθος αυτής.

```
$rnc add-gateway $sgsn0
```

Εδώ γίνεται αντιστοίχηση του RNC σε ένα SGSN.

```
set tcp0 [new Agent/TCP]
$tcp0 set packetSize_ 210
$tcp0 set fid_ 0
```

Εδώ δημιουργείται ο TCP Agent, ορίζεται το μέγεθος πακέτου 210 καθώς επίσης και το flow id 0.

```
$ns attach-agent $node2 $tcp0
```

Εδώ αντιστοιχίζονται οι traffic agents με τους αντίστοιχους κόμβους του δικτύου, πάνω στους οποίους βρίσκονται τοποθετημένοι.

```
set sink0 [new Agent/TCPSink]
$sink0 set fid_ 0
$ns attach-agent $ue1 $sink0
```

Εδώ δημιουργείται η οντότητα του traffic agent και γίνεται η αντιστοίχησή του στον αποδέκτη (receiver).

```
##### Orismos Kinisis
#sets the start time of the experiment
set START_TIME 50.0
#sets the stop time of the experiment
set STOP_TIME 100.0
```

```
#sets the rate of TCP sources
set rate_TCP 12500
#set the rate of UDP sources
set rate_UDP 100000

#ON period -burst size (sec)
set MBS_SMTP 0.05
#OFF period (sec)
set MIT_SMTP 0.01
#packet size in B
set MPS_SMTP 1500

#mean number of sinks
set MNS_SMTP 5

#mean number of bytes per trasmission
set MNB_SMTP 50000
#variance of number of bytes per trasmission
set VAR_MNB_SMTP 10000

#time between transmissions
set MIAT_SMTP 2.0
#pareto shape
set SHAPE_SMTP 1.5

set rveplus_SMTP [new RandomVariable/Exponential]
$rveplus_SMTP set avg_ $MIAT_SMTP

set rveSINKSMTP [new RandomVariable/Exponential]
$rveSINKSMTP set avg_ $MNS_SMTP
set UDPpktsize 1500
set TCPpktsize 1500
set TCPwindow [expr round((2*2000000*0.035)/(8*$TCPpktsize))]

set MDT_SMTP [expr (($MNB_SMTP*8*1000)/($rate_UDP))]
set VAR_SMTP [expr ($VAR_MNB_SMTP*8*1000)/$rate_UDP]
set M_SMTP [expr ["Lognormal_m" $MDT_SMTP $VAR_SMTP]]
set Sigma_2_SMTP [expr ["Lognormal_s2" $MDT_SMTP $VAR_SMTP]]

#####SMTP
```

```
proc smtp_traffic {source_node sink_node START_TIME duration_TIME_SMTP finish_time flowid tcp_rate udp_rate TCPwindow} {
	global ns rvuTCPUDP PER_TCP MBS_SMTP MPS_SMTP MIT_SMTP SHAPE_SMTP UDPpktsize rveplus_SMTP rvupacket_size ue1 node2 f STOP_TIME dch0

	set time $START_TIME
	set time2 $finish_time
		set SMTP_UDP_agent [new Agent/TCP]

		$ns attach-agent $source_node $SMTP_UDP_agent
		$SMTP_UDP_agent set packetSize_ $UDPpktsize
		$SMTP_UDP_agent set fid_ 1
		set SMTP_UDP_sink [new Agent/TCPSink]

		$ns attach-agent $sink_node $SMTP_UDP_sink
#		set pkt [$rvupacket_size(1) value]
#		if {$pkt <= 0.02} {
#			set pktsize 40
#		} elseif {$pkt<=0.30} {
#			set pktsize 552
#		} else {
			set pktsize 1500
#		}
		set SMTP_UDP_source [new Application/Traffic/Pareto smtp $pktsize]
		$SMTP_UDP_source attach-agent $SMTP_UDP_agent
		$SMTP_UDP_source set burst_time_ $MBS_SMTP
		$SMTP_UDP_source set idle_time_ $MIT_SMTP
		$SMTP_UDP_source set rate_ $udp_rate
		$SMTP_UDP_source set shape_ $SHAPE_SMTP
		$ns connect $SMTP_UDP_agent $SMTP_UDP_sink

		$ns attach-dch $ue1 $SMTP_UDP_agent $dch0
		while {$time <$finish_time} {
			set fin_time [expr $time+$duration_TIME_SMTP/1000]
			$ns at $time "$SMTP_UDP_source start"
			$ns at $fin_time "$SMTP_UDP_source stop"
			set time [expr $fin_time+[$rveplus_SMTP value]]
		}
```

```
            $ns at [expr $STOP_TIME] "$ns detach-agent $source_node
$SMTP_UDP_agent"

            $ns at [expr $STOP_TIME] "$ns detach-agent $sink_node
$SMTP_UDP_sink"
#           $ns at [expr $STOP_TIME] "delete $SMTP_UDP_sink"
#           $ns at [expr $STOP_TIME] "delete $SMTP_UDP_agent"
            $ue1 trace-inlink-tcp $f 2
}
```

Στις παραπάνω γραμμές κώδικα, ορίζεται με λεπτομέρεια το είδος της SMTP κίνησης που θα χρησιμοποιηθεί στα πειράματα.

```
$traffic attach-agent $tcp0
```

Εδώ γίνεται η αντιστοίχηση της κίνησης του agent με το πρωτόκολλο TCP το οποίο θα αποτελεί την κίνησή του.

```
$ns connect $tcp0 $sink0
```

Εδώ γίνεται συγχρονισμό του traffic agent του αποστολέα (sender), με τον traffic agent του αποδέκτη (receiver).

```
$ns node-config -llType UMTS/RLC/AM \
            -downlinkBW 2000kbs \
            -uplinkBW 384kbs \
            -downlinkTTI 10ms \
            -uplinkTTI 10ms
```

Ορισμός του DCH καναλιού μεταφοράς, με τα χαρακτηριστικά που αυτό έχει (downlink και uplink ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, καθώς και των downlink και uplink Transmission Time Intervals).

```
set dch0 [$ns create-dch $ue1 $sink0]
```

Αντιστοίχηση του καναλιού DCH στον τερματικό εξοπλισμό του χρήστη (UE1), από το οποίο θα περνά η κίνηση που δημιουργήθηκε παραπάνω.

```
#$ue1 trace-inlink $f 1
#$bs trace-outlink $f 1

# per UE
$ue1 trace-inlink-tcp $f 2
```

Εδώ γίνεται η παρακολούθηση (trace) των πακέτων που μετακινούνται στο συγκεκριμένο link.

```
$ns at 0.0 "$traffic start"
$ns at 200.0 "$traffic stop"
$ns at 205.401 "finish"
```

Προγραμματισμός για το χρόνο που θα τρέξει η εξομοίωση (δημιουργία scheduler).

```
puts " Simulation is running ... please wait ..."
$ns run
```

Με τον τρόπο αυτό τρέχει η εξομοίωση.

Σκοπός της παραπάνω περιγραφής ήταν να δειχθεί ο τρόπος που δημιουργήθηκαν οι εξομοιώσεις που θα περιγραφούν αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια. Ο πλήρης κώδικας που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα είναι διαθέσιμος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ TCP ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ UMTS

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ TCP ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ UMTS

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το UMTS είναι ένα κυψελωτό δίκτυο Τρίτης Γενιάς το οποίο επιτρέπει ασύρματη πρόσβαση υψηλών ταχυτήτων στο Διαδίκτυο. Μπορεί να παρέχει ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων από 64 kb/s μέχρι και 2 Mb/s σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Σκοπός του είναι να παρέχει πρόσβαση σε υπάρχουσες Διαδικτυακές υπηρεσίες, καθώς και να παρέχει συγκεκριμένες υπηρεσίες του UMTS δικτύου, παρέχοντας ένα πλουσιότερο συνόλου πολυμεσικών υπηρεσιών. Είναι γνωστό ότι το πρωτόκολλο TCP δεν αποδίδει αποτελεσματικά σε ασύρματες συνδέσεις όπου το bit error rate είναι ιδιαίτερα υψηλό. Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετηθεί η απόδοση του TCP πάνω από τα UMTS Dedicated Channels (DCHs), με διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων (bit rates) και Transmission Time Intervals (TTIs), ενώ παρουσιάζεται και κάποια πειραματικά αποτελέσματα για τη μετάδοση μέσω UMTS High Speed Downlink Packet Access (HSDPA).

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το UMTS αποτελώντας την Τρίτη Γενιά ασύρματων κυψελωτών δικτύων έχει ως στόχο την παροχή πρόσβασης σε δεδομένα με υψηλές ταχύτητες, μαζί με ταυτόχρονη δυνατότητα φωνητικών κλήσεων [6]. Εξάλλου η ασύρματη μεταφορά δεδομένων είναι ένα από τα πιο σημαντικά ανοικτά θέματα στις ασύρματες τηλεπικοινωνίες και φυσικά η κυριότερη πρόκληση για τα πρότυπα της επόμενης γενιάς, μιας και το UMTS έχει σχεδιαστεί για να καλύπτει τις ανάγκες για την κίνηση δεδομένων.

Σε αντίθεση με τα δίκτυα 2^{ης} γενιάς, το UMTS παρέχει ποικιλία υπηρεσιών και ρυθμών μετάδοσης δεδομένων, τα οποία μπορούν να φθάσουν και την τάξη των 2Mb/s σε περιβάλλοντα εσωτερικών χώρων ή εξωτερικών χώρων μικρών cells, ή 384 Kb/s για την κάλυψη ευρείας περιοχής. Επίσης με τον ίδιο τρόπο, λόγω της μεθόδου μεταγωγής πακέτου που χρησιμοποιεί το UMTS επιτρέπεται στον τελικό χρηστή και η πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Γενικά το UMTS έχει σχεδιαστεί για να προσφέρει πληθώρα υπηρεσιών, με τη δυνατότητα κινητής επικοινωνίας οπουδήποτε και οποτεδήποτε, μέσα από πολλές διαφορετικές εφαρμογές που τρέχουν στα τερματικά των χρηστών. Η διαδικασία αυτή κατ' ουσία επεκτείνει και προσθέτει νέες υπηρεσίες στους χρήστες της κινητής, προσεγγίζοντας τις υπηρεσίες που παρέχονται σε χρήστες «σταθερών» δικτύων.

Ως γνωστό, οι πλέον δημοφιλής και συχνά χρησιμοποιούμενες Διαδικτυακές εφαρμογές βασίζονται στα γνωστά μας πρωτόκολλα όπως Hyper Text Transfer Protocol (HTTP), το File Transfer Protocol (FTP), τις υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου κτλ. Οι εφαρμογές και υπηρεσίες αυτές βασίζονται ως γνωστό στο Transmission Control Protocol και Internet Protocol (TCP/IP), το οποίο δίνει τη δυνατότητα αξιόπιστης μεταφοράς δεδομένων μεταξύ ετερογενών δικτύων. Το πρωτόκολλο IP δρομολογεί δεδομένα από τον αποστολέα στον παραλήπτη δια μέσου ενός δικτύου διασυνδεδεμένων δρομολογητών, ενώ το TCP παρέχει μια αξιόπιστη end-to-end (από άκρο σε άκρο) σύνδεση μεταφοράς δεδομένων. Οι ασύρματες επικοινωνίες χρησιμοποιούν πολλά από τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται και στις ενσύρματες συνδέσεις, όπως π.χ. το TCP. Παρ' όλα αυτά, το TCP δεν έχει την

ίδια απόδοση στο σε ασύρματα περιβάλλοντα, όπου το bit error rate είναι αρκετά υψηλότερο. Διαφορετικές ασύρματες τεχνολογίες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, και λίγα από αυτά που είναι κοινά μπορούν να παραμετροποιηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουν κάποια επίδραση στην απόδοση του TCP.

Το υψηλό bit error rate είναι ο πλέον σημαντικός παράγοντας ο οποίος περιορίζει τη χρήση της ασύρματης σύνδεσης, συνεπώς η πρόκληση για τις ασύρματες επικοινωνίες είναι η ελαχιστοποίηση του BER (bit error rate). Παρ' όλα αυτά η κατασκευή δικτύων με πολύ χαμηλό BER είναι ιδιαιτέρως ακριβή, καθώς τα υψηλότερα επίπεδα του δικτύου θα πρέπει να μην αντιλαμβάνονται τα δεδομένα που «χάνονται» εξαιτίας του υψηλού BER. Σε αυτό το σημείο οι επαναμεταδόσεις πάνω από το ασύρματο δίκτυο μπορούν να εξαφανίσουν τις απώλειες, αλλά με τον τρόπο αυτό αυξάνουν την καθυστέρηση (delay). Αν στην ασύρματη σύνδεση παρουσιαστεί σφάλμα, τα δεδομένα θα αποσταλούν ξανά και συνεπώς θα υπάρξει καθυστέρηση. Η καθυστέρηση αυτή ποικίλλει εξ' αιτίας των επαναμεταδόσεων που συμβαίνουν από τα πακέτα που χάνονται. Η καθυστέρηση αυτή μπορεί να έχει επιπτώσεις στα πρωτόκολλα των υψηλότερων επιπέδων, αν αυτά είναι εξαρτημένα από την καθυστέρηση του link. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων δείχνουν ότι το TCP πάνω από UMTS συμπεριφέρεται καλά σε χαμηλότερους ρυθμούς δεδομένων, δηλαδή σε 64 και 144 Kbps, αλλά σε υψηλότερες ταχύτητες η απόδοση μελώνεται σημαντικά [7].

Σε αυτή την ενότητα εξετάζουμε την απόδοση του TCP πάνω από τα UMTS Dedicated Channels (DCH), και παρουσιάζουμε πειραματικά αποτελέσματα για τις μεταδόσεις High Speed Downlink Packet Access του UMTS. Προς την κατεύθυνση αυτή, πρώτα αξιολογείται η απόδοση του TCP για σταθερή Constant Bit Rate (CBR) κίνηση πάνω από Dedicated Channels, για διαφορετικές ταχύτητες downloading link και TTIs. Το σενάριο που παρουσιάζεται αποτελείται από έναν χρήστη συνδεδεμένο σε ένα DCH με downlink data rate 64 Kbps, και 20 ms TTI. Τα πειράματα επαναλήφθηκαν για DCHs με downlink bit rates 128, 384 και 2000 Kbps με 10 και 20 ms TTIs. Επιπλέον, μελετήθηκε η απόδοση του TCP για HSDPA μεταδόσεις. Το μοντέλο εξομοίωσης αποτελείται από 4 τελικούς χρήστες, οι οποίοι συνδέονται σε ένα HS-DSCH. Οι χρήστες βρίσκονται σε αποστάσεις 300 και 500 m από το node B, σε ένα Rayleigh fading environment. Για την εξομοίωση της κίνησης, τρέχουν τέσσερις διαφορετικές εφαρμογές από έναν εξωτερικό κόμβο για μια περίοδο 500 sec.

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε κάποια μοντέλα κίνησης που εξομοιώνουν καλύτερα τη φωνή, και τις κινήσεις HTTP και FTP, τα κύρια χαρακτηριστικά του μοντέλου εξομοίωσης και τα αποτελέσματα των πειραμάτων με τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτά.

6.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΙΝΗΣΗΣ ΓΙΑ HTTP ΚΑΙ FTP ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η Τρίτη Γενιά της κινητής τηλεφωνίας εισάγει νέα χαρακτηριστικά με διαφορετικές απαιτήσεις. Η υποστήριξη Ποιότητας Υπηρεσίας (Quality of Service – QoS) και υψηλών ταχυτήτων επικοινωνία δεδομένων, εισάγουν στην κινητή τηλεφωνία εφαρμογές από τον «κόσμο» του Internet και των πολυμέσων. Για να ελεγχθεί η απόδοση τέτοιων νέων εφαρμογών είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα 'παραμετροποιήσιμο' μοντέλο κίνησης το οποίο θα μπορεί να εξομοιώσει την κίνηση που προέρχεται από τις εφαρμογές αυτές [8]. Υπάρχουν 4 διαφορετικές πηγές

κίνησης στο UMTS. Πηγές κίνησης Conversational, Block, Streaming και Multimedia. Σε αυτή την ενότητα θα γίνει αναφορά στις δυο πρώτες.

Η κίνηση conversational είναι κυρίως η κίνηση φωνής. Η κίνηση αυτή περιγράφεται ικανοποιητικά ως Constant Bit Rate κίνηση. Στην εργασία αυτή θα αξιολογήσουμε την απόδοση CBR κίνησης στο UMTS με διαφορετικά χαρακτηριστικά ταχυτήτων από 8 μέχρι 120 Kbps. Η κίνηση block αποτελεί κατά βάση www κίνηση και γενικότερα non real-time κίνηση, όπως FTP. Στην ενότητα αυτή θεωρούμε το TCP ως το πρωτόκολλο μεταφοράς, με μέγεθος πακέτων 210 bytes. Όμοια στην περίπτωση λήψης ιστοσελίδων από το Διαδίκτυο, η κάθε σελίδα αποτελείται από διαφορετικά αντικείμενα τα οποία αποστέλλονται ξεχωριστά το κάθε ένα. Με τον τρόπο αυτό είναι πιθανό ο φυλλομετρητής (web browser), να μπορεί να δείξει μια σελίδα ακόμα και αν δεν έχει ολοκληρωθεί εντελώς η λήψη της.

Η μοντελοποίηση κίνησης δεδομένων στο Διαδίκτυο δεν είναι μια απλή διαδικασία και δεν μπορεί να συγκριθεί με τα δίκτυα τηλεφωνίας. Υπάρχουν πολλών ειδών κινήσεις πολυμεσικών δεδομένων από ένα μεγάλο σύνολο εφαρμογών, συνεπώς η ύπαρξη ενός και μόνου μοντέλου στο οποίο θα αντιπροσωπεύονται τα χαρακτηριστικά όλων των κινήσεων είναι μια σημαντική ερευνητική εργασία. Λαμβάνοντας υπόψη την εκθετική αύξηση της κίνησης δεδομένων στα δίκτυα πληροφοριών και την αναγκαιότητα του σχεδιασμού αυτών των συστημάτων με τη χρήση ακριβών και μοντέλων κίνησης, δεν υπάρχουν πολλά αξιόπιστα διαθέσιμα μοντέλα. Μια γενική περιγραφή των μοντέλων αυτών παρουσιάζεται στη συνέχεια.

Οι συνδέσεις δεδομένων στο Internet παρουσιάζονται ως bursty, με το βασικό μέγεθος του burst να περιγράφεται από μια Pareto κατανομή:

$$P_r[burst_size > s] = \left(\frac{k}{s}\right)^{\beta},$$

όπου k είναι το ελάχιστο μέγεθος και $1 < \beta \leq 2$ (για κίνηση στο Διαδίκτυο όπως www και ftp) [9].

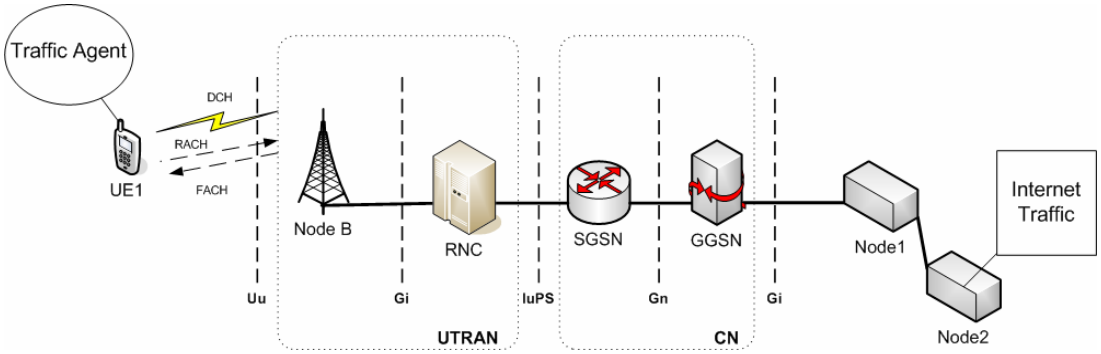
6.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του μοντέλου που αναπτύχθηκε με τη χρήση του εξομοιωτή ns-2 simulator. Με αυτόν, έγινε η εξέταση της απόδοσης του TCP σε περιβάλλον: α) UMTS Dedicated Channels (DCH) με διαφορετικά downlink bit rates και TTIs και β) UMTS High Speed Downlink Shared Channels. Η απόδοση του TCP αξιολογείται για HTTP και FTP κίνηση με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Επίσης, γίνεται αξιολόγηση του TCP με παραδοσιακά μοντέλα κίνησης όπως με κίνηση σταθερού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων στην εξομοίωση, έγιναν οι ακόλουθες μετρήσεις:

- **End-to-End Packet Delay**: Είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από την αποστολή ενός πακέτου κίνησης στο δίκτυο, μέχρι την ορθή παραλαβή του πακέτο από τον δέκτη.
- **Delay στο RAN**: Είναι ο χρόνος που χρειάζεται για κάθε πακέτο για να «μεταβεί» από το RNC στον εξοπλισμό του τελικού χρήστη UE.
- **Throughput στο Ασύρματο Link**: Είναι τα bits που μεταφέρονται από τον τελικό χρήστη UE στη μονάδα του χρόνου (και μετρώνται σε bits/sec).

6.3.1 Μετάδοση πάνω από DCHs

Το σενάριο που παρουσιάζεται αποτελείται από ένα UMTS radio cell (μια κυψέλη) η οποία καλύπτεται από τον σταθμό βάσης (node B), ο οποίος με τη σειρά του συνδέεται στον ελεγκτή RNC. Ο εξοπλισμός του τελικού χρήστη συνδέεται σε ένα DCH όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 32.



Σχήμα 32: Μοντέλο εξομοίωσης για τη μετάδοση πάνω από DCHs

Στην εξομοίωση αυτή χρησιμοποιείται DCH για τη μετάδοση πακέτων δεδομένων. Το DCH είναι ένα bi-directional (δυο κατευθύνσεων) κανάλι το οποίο δεσμεύεται μόνο από έναν χρήστη. Τα κανάλια είναι το Forward Access Channel (RACH) στο downlink και το Random Access Channel στο uplink, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 32. Δεδομένα μεταφέρονται από τον Κόμβο 2 (Node 2) προς το χρήστη 1 (UE1). Αυτό σημαίνει ότι τα μόνα δεδομένα που μεταφέρονται από το uplink κανάλι είναι τα acknowledgements του TCP.

Dedicated channels – DCHs				
	Uplink		Downlink	
	bit rate (Kbps)	TTI (ms)	bit rate (Kbps)	TTI (ms)
DCH1	64	20	64	20
DCH2	64	20	128	20
DCH3	64	20	384	10
DCH4	384	10	2000	10

Πίνακας 21: Χαρακτηριστικά των DCHs

Θεωρούμε την κίνηση σταθερής μετάδοσης δεδομένων Constant Bit Rate με ρυθμό μετάδοσης 120 Kbps και μέγεθος πακέτου 210 bytes ως background κίνηση στο σύστημα. Για να αξιολογήσουμε την απόδοση του TCP πάνω από το UMTS air interface εγκαθιστούμε 4 DCHs με διαφορετικά downlink bit rates και TTIs. Τα χαρακτηριστικά των καναλιών DCHs παρουσιάζει ο Πίνακας 21. Σε κάθε εξομοίωση ο τελικός χρήστης UE συνδέεται σε ένα DCH για 200 sec. Το «ενσύρματο» μέρος του μοντέλου εξομοίωσης αποτελείται από τον σταθμό βάσης (Node B) και τα στοιχεία του επίγειου δικτύου: RNS, SGSN, GGSN και 2 σταθερούς εξωτερικούς κόμβους

όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 32. Τα χαρακτηριστικά των γραμμών σύνδεσης μεταξύ τους παρουσιάζει ο Πίνακας 22.

From	To	Bandwidth	Av. Delay
Node 2	Node1	10Mbit	35ms
Node 1	GGSN	10Mbit	15ms
GGSN	SGSN	622Mbit	10ms
SGSN	RNC	622Mbit	1ms
RNC	Node B	622Mbit	15ms
Average Total Delay Through the Wired Part of the Model:			76ms

Πίνακας 22: Γραμμές συνδέσεων μεταξύ των κόμβων

6.3.2 Μετάδοση HSPDA

Η τεχνολογία High Speed Downlink Packet Access (HSDPA), υποστηρίζει την εισαγωγή υπηρεσιών υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων ενώ θα δώσει τη δυνατότητα για αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου, με ταυτόχρονη μείωση των επενδύσεων των εταιρειών σε υποδομές. Παρέχει τη δυνατότητα κοινών διαμοιραζόμενων καναλιών για διαφορετικούς χρήστες, γεγονός που εγγυάται την αποτελεσματική χρήση των καναλιών σε ότι αφορά την κίνηση πακέτων, ενώ είναι πιο οικονομικές οι υλοποιήσεις για τους χρήστες σε σχέση με τα dedicated channels [6].

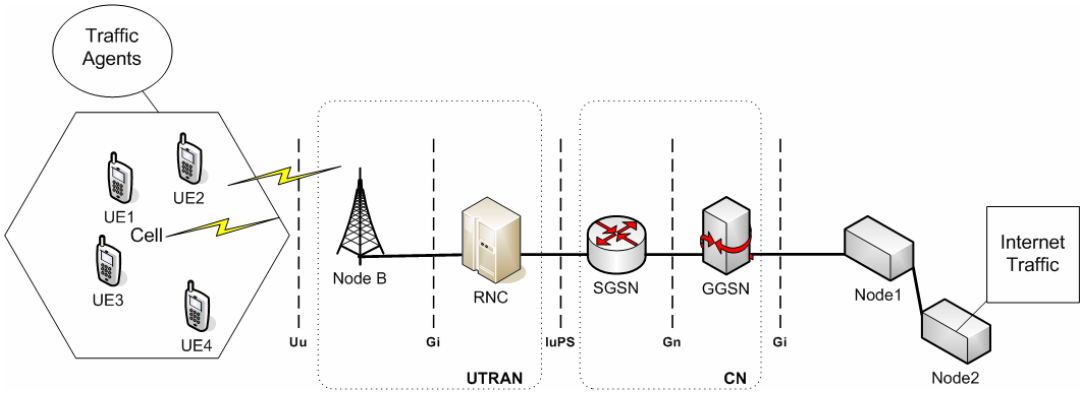
Μέσα από το HSDPA είναι πιθανή η προσέγγιση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων με ταχύτητες που θα αγγίζουν τα 10 Mbps (το μέγιστο θεωρητικό εύρος ζώνης που μπορεί να επιτευχθεί είναι 14,4 Mbps). Το HSDPA χρησιμοποιεί τα ακόλουθα κανάλια [10]:

- High Speed Physical Downlink Shared Channel (HS-PDSCH): Μεταφέρει πακέτα δεδομένων με Spreading Factor (SF) = 16, QPSK/16QAM, ελεγχόμενης λειτουργίας από το σταθμό βάσης (Node B), μέχρι και 15 συνδέσεις HS-PDSCHs ανά κυψέλη και aggregated ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μέχρι 14,4 Mbps ανά κυψέλη.
- High Speed Shared Control Channel (HS-SCCH): Downlink κανάλι, το οποίο μεταφέρει πληροφορία σηματοδοσίας (signalling), έχει SF=128, QPSK, ελεγχόμενο από το σταθμό βάσης (Node B), και με αριθμό μέχρι 32 HS-SCCHs ανά κυψέλη.
- High Speed Dedicated Physical Control Channel (HS-DPCCH): Uplink κανάλι, το οποίο μεταφέρει πληροφορία σηματοδοσίας (signalling), SF=256, QPSK, καταλήγει στο Node B.

Τα κανάλια HS-PDSCH, HS-SCCH and HS-DPCCH χρησιμοποιούν Transmission Time Interval (TTI) 2 ms. Το διάστημα αυτό ονομάζεται επίσης ‘sub frame’ (υπο-πλαίσιο).

Το σενάριο που παρουσιάζουμε αποτελείται από μια κυψέλη HSDPA του UMTS, η οποία καλύπτεται από έναν σταθμό βάσης που συνδέεται με έναν RNC. Το μοντέλο εξομοίωσης αποτελείται από 4 χρήστες (UEs) που συνδέονται σε ένα κανάλι HS-

DSCH. Οι χρήστες βρίσκονται σε απόσταση 300 και 500 m από το node B σε ένα Rayleigh fading περιβάλλον (το μοντέλο βασίζεται στην αρχιτεκτονική που ήδη παρουσιάσαμε σε προηγούμενη παράγραφο και παρουσιάζεται στο Σχήμα 33).



Σχήμα 33: Μοντέλο εξομοίωσης για τη μετάδοση πάνω από HSDPA κανάλι

Πιο συγκεκριμένα, οι χρήστες 1 και 3 (UE1 και UE3) βρίσκονται σε απόσταση 300 m από το node B, ενώ οι UE2 και UE4 σε απόσταση 500 m. Θεωρούμε δύο εφαρμογές κίνησης ως background στο σύστημα: α) FTP και β) CBR πηγή κίνησης. Στα παραπάνω σενάρια οι clients τοποθετούνται στους ενσύρματους κόμβους. Το ενσύρματο κομμάτι αποτελείται από έναν Node B, έναν RNC, ένα SGSN και ένα GGSN και 2 σταθερούς εξωτερικούς κόμβους (Σχήμα 33). Τα χαρακτηριστικά των συνδέσεων μεταξύ τους παρουσιάζει ο Πίνακας 22. Σε αυτόν είναι ορατή και η μέση καθυστέρηση (average delay) στο ενσύρματο μέρος του δικτύου, η οποία είναι 76 msec.

Οι χρήστες συνδέονται σε ένα HS-DSCH κανάλι για 500 sec. Η χρονική αυτή περίοδος χωρίζεται στα ακόλουθα χρονικά διαστήματα:

- **Διάστημα 1**: [0, 150sec]. Κίνηση FTP με μέγεθος πακέτου 210 bytes που δημιουργείται στον κόμβο 2 και κατευθύνεται στον UE1 (300 m από το node B).
- **Διάστημα 2**: [150, 300sec]. FTP κίνηση με μέγεθος πακέτου 210 bytes, από το node 2 προς τον UE2 (500 m από το node B).
- **Διάστημα 3**: [300, 400sec]. Κίνηση CBR με μέγεθος πακέτου 210 bytes και ρυθμό μετάδοσης 20 kbps που δημιουργείται από τον κόμβο 2 (node 2) και κατευθύνεται UE3 (300m από το node B).
- **Διάστημα 4**: [400, 500sec]. Κίνηση CBR με μέγεθος πακέτου 210 bytes και ρυθμό μετάδοσης 8 kbps που δημιουργείται στο node 2 προς το UE4 (500m από το node B).

Για κάθε χρονικό διάστημα υπολογίζεται η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση πακέτων (end-to-end packet delay), η καθυστέρηση στο RAN και το throughput στο ασύρματο link. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην επόμενη παράγραφο.

6.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

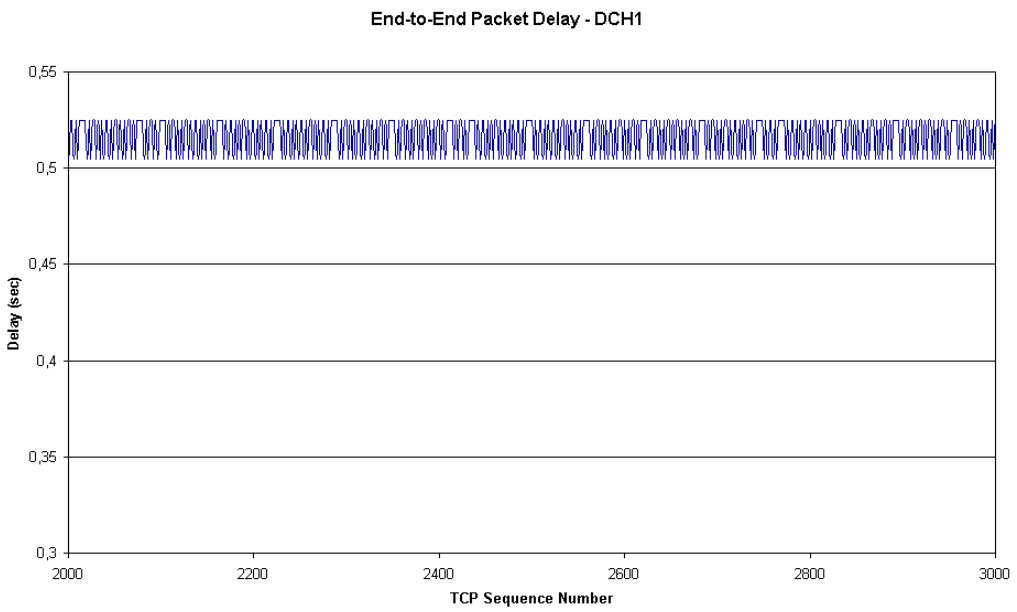
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα σε σχέση με την απόδοση του TCP πρωτοκόλλου πάνω από το UMTS air interface. Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, οι παράμετροι που ενδιαφέρουν για τη μελέτη της

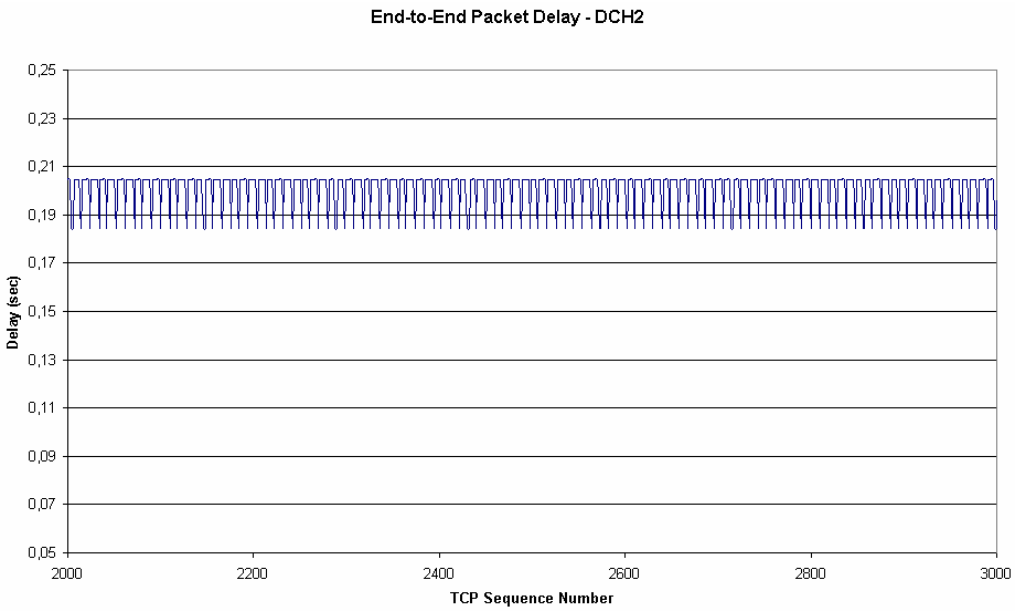
απόδοσης είναι η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση πακέτων (end-to-end packet delay), η καθυστέρηση στο RAN και το throughput στο ασύρματο link.

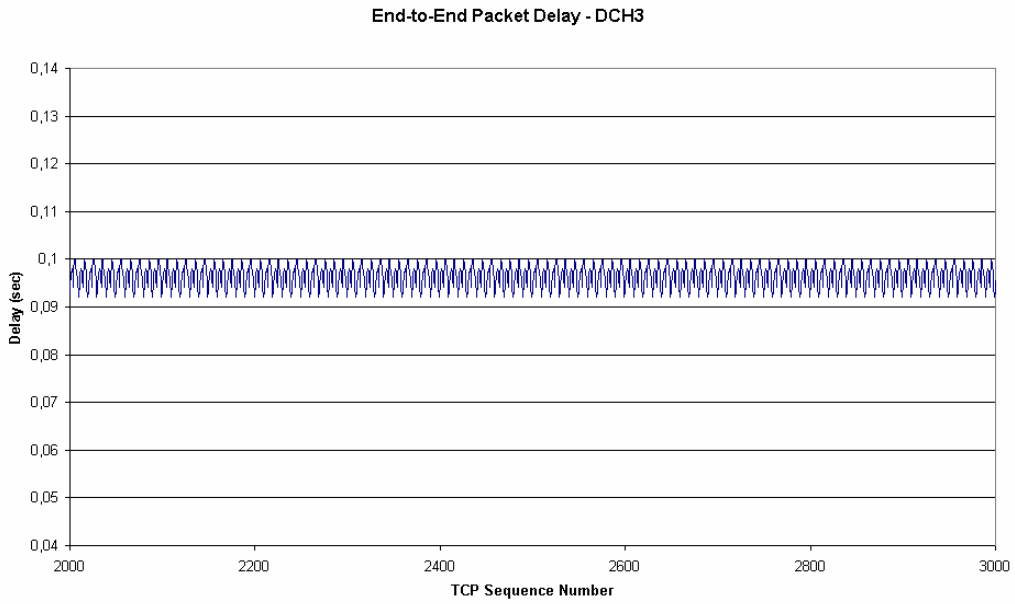
6.4.1 Μετάδοση πάνω από DCHs

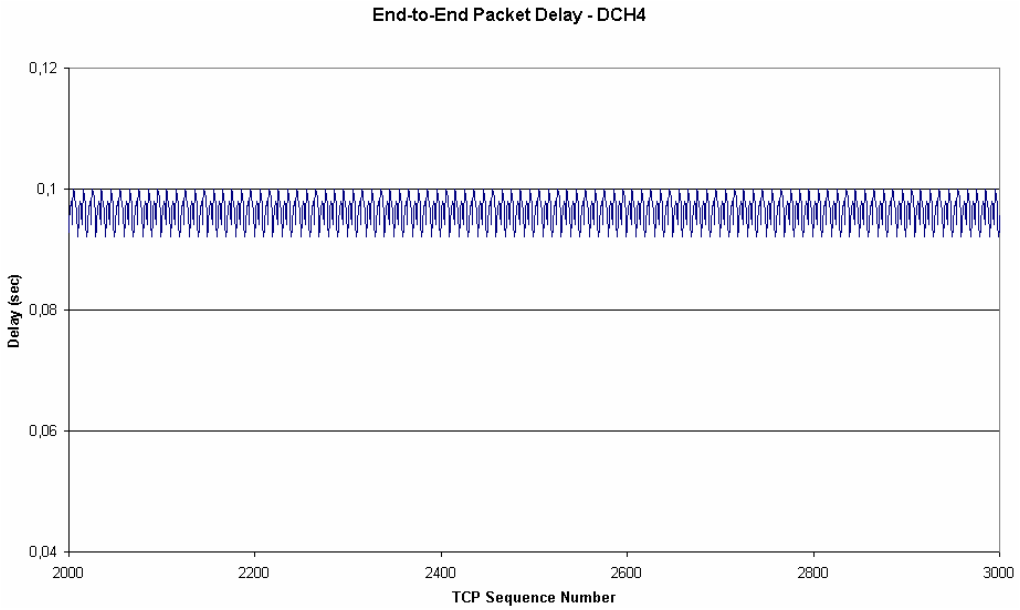
Στις γραφικές παραστάσεις που απεικονίζονται στο Σχήμα 34 φαίνεται η end-to-end καθυστέρηση πακέτων για τη μετάδοση πάνω από dedicated channels, με βάση τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει ο Πίνακας 21. Ο άξονας Χ αποτυπώνει την ακολουθία των TCP πακέτων (TCP Sequence number), ενώ ο άξονας Υ την καθυστέρηση των πακέτων σε sec (packet delay). Είναι προφανές ότι καθώς ο ρυθμός μετάδοσης στο DCH κανάλι αυξάνεται, η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση των πακέτων ελαττώνεται. Για παράδειγμα, για το DCH1 με downlink ρυθμό μετάδοσης 64 Kbps, η μέση καθυστέρηση πακέτου είναι 0.51 sec, ενώ για το DCH4 με downlink ρυθμό μετάδοσης 2000 Kbps η μέση καθυστέρηση είναι 96 msec.

Καθώς τα πακέτα φεύγουν από το RNC και φτάνουν στο Node B, μπαίνουν στην «ουρά» έτσι ώστε να κατατμηθούν σε πακέτα μικρότερου μεγέθους. Κάθε PDCP PDU πακέτο (μεγέθους 210 bytes) χωρίζεται σε πολλαπλά RLC PDUs συγκεκριμένου μεγέθους. Κάθε ένα από αυτά, χωράει σε ένα transport block με σκοπό να μεταδοθεί πάνω από το ασύρματο link. Στην εξομοίωσή μας το μέγεθος κάθε PDU είναι 40 bytes.




End-to-End Packet Delay - DCH2
Delay (sec)
0,25
0,23
0,21
0,19
0,17
0,15
0,13
0,11
0,09
0,07
0,05
2000
2200
2400
2600
2800
3000
TCP Sequence Number


End-to-End Packet Delay - DCH3
Delay (sec)
0,14
0,13
0,12
0,11
0,1
0,09
0,08
0,07
0,06
0,05
0,04
2000
2200
2400
2600
2800
3000
TCP Sequence Number

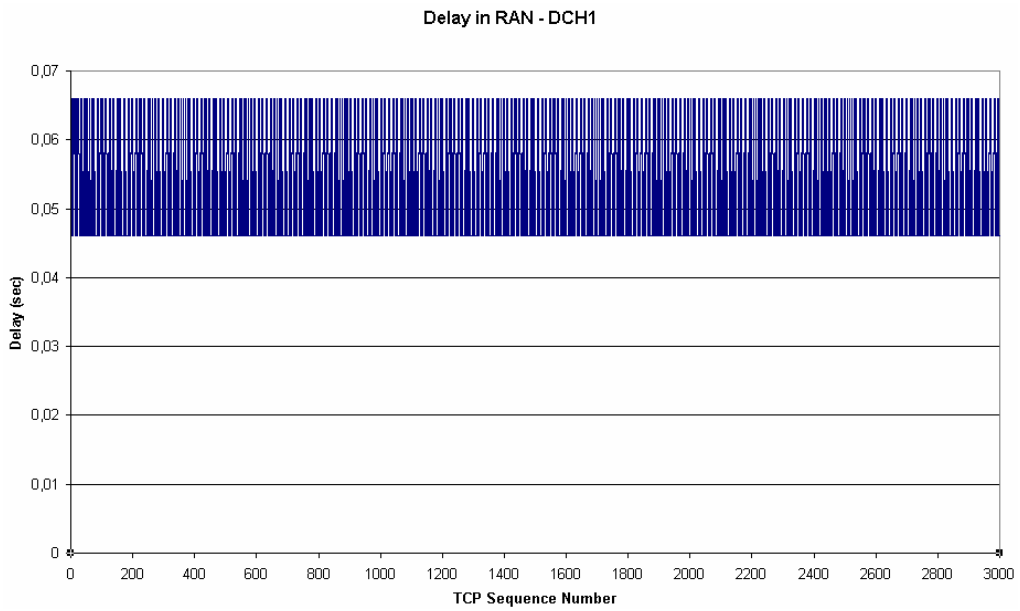


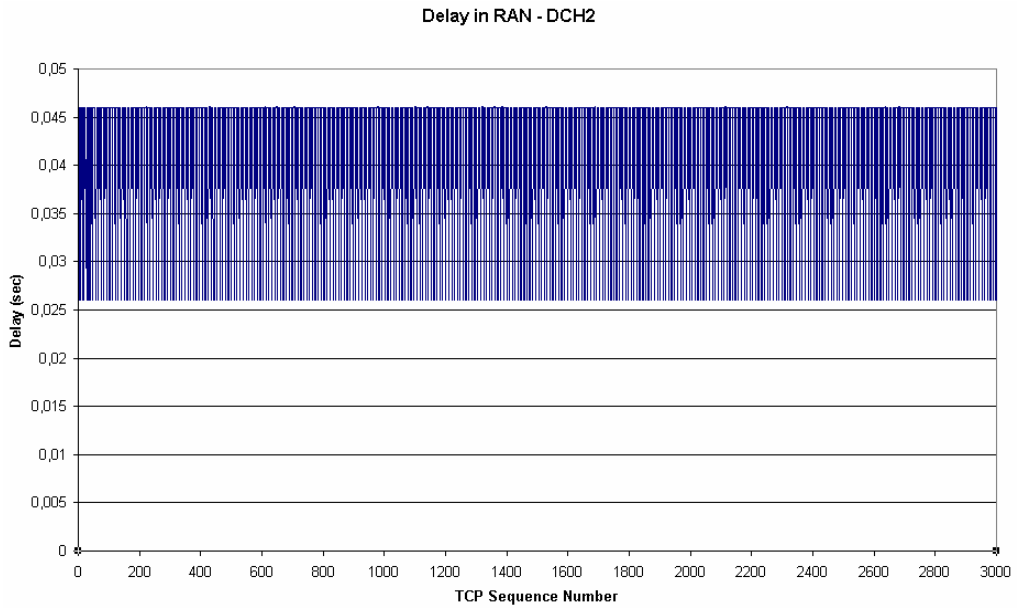
Σχήμα 34: End-to-end καθυστέρηση πακέτων στα κανάλια DCHs

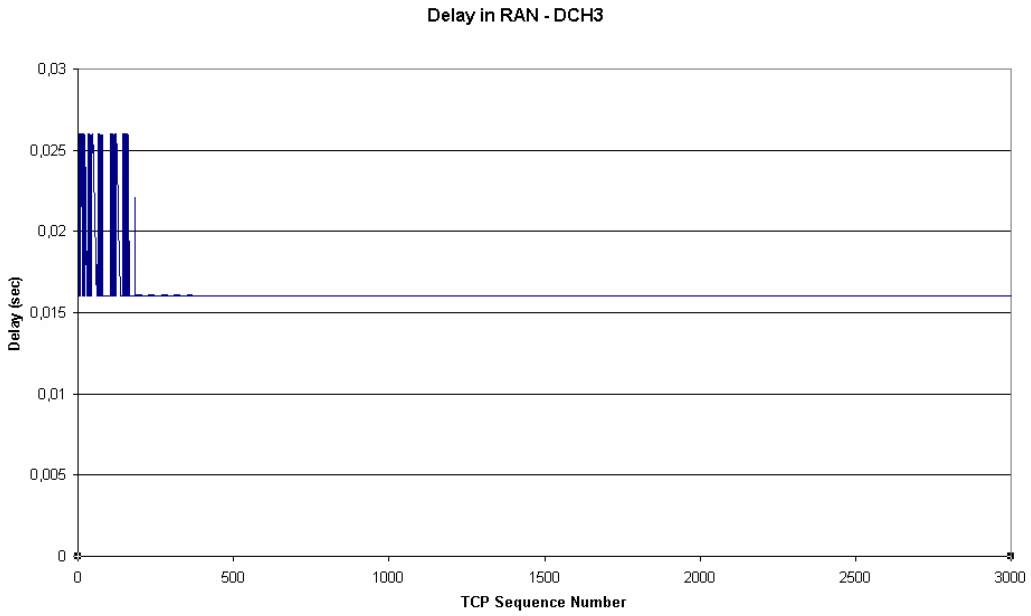
Λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέση καθυστέρηση των πακέτων στο ενσύρματο κομμάτι είναι 76 msec (Πίνακας 22), μπορεί να γίνει εκτίμηση της καθυστέρησης στο Radio Access Network (RAN), η οποία για το DCH για παράδειγμα είναι:

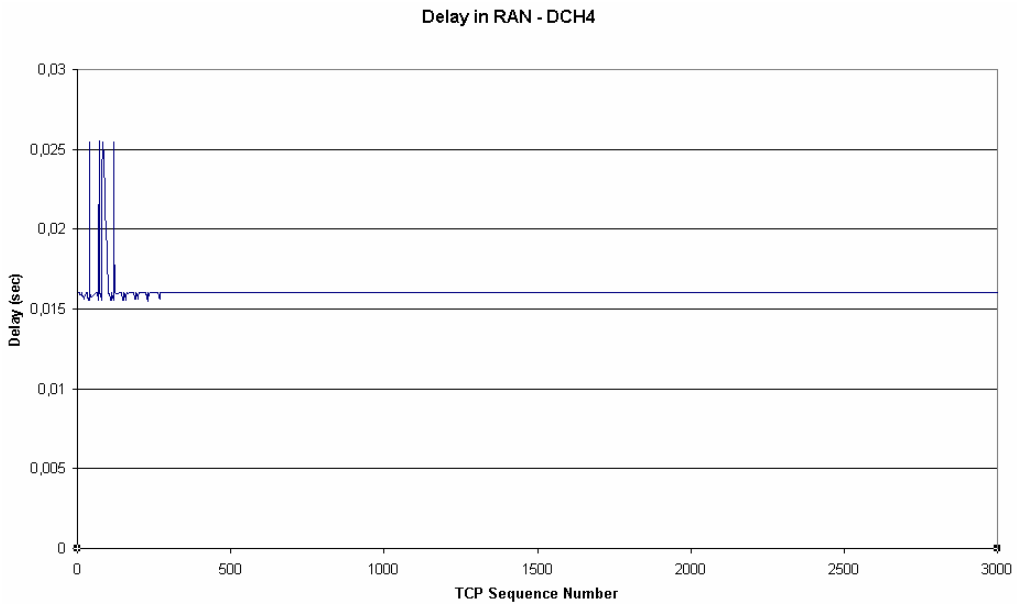
$$\text{Delay in RAN} = \text{delay}_{\text{end-to-end}} - \text{delay in wired network} =$$
$$= (96 - 76)\ \text{ms} = 20\text{msec}$$

Οι γραφικές παραστάσεις στο Σχήμα 35 δείχνουν ότι την καθυστέρηση για τα διαφορετικά DCHs. Σύμφωνα λοιπόν με αυτό, η μέση καθυστέρηση στο RAN για το DCH4 είναι 16 msec, η οποία βρίσκεται πολύ κοντά στην παραπάνω εμπειρική εκτίμηση που έγινε.



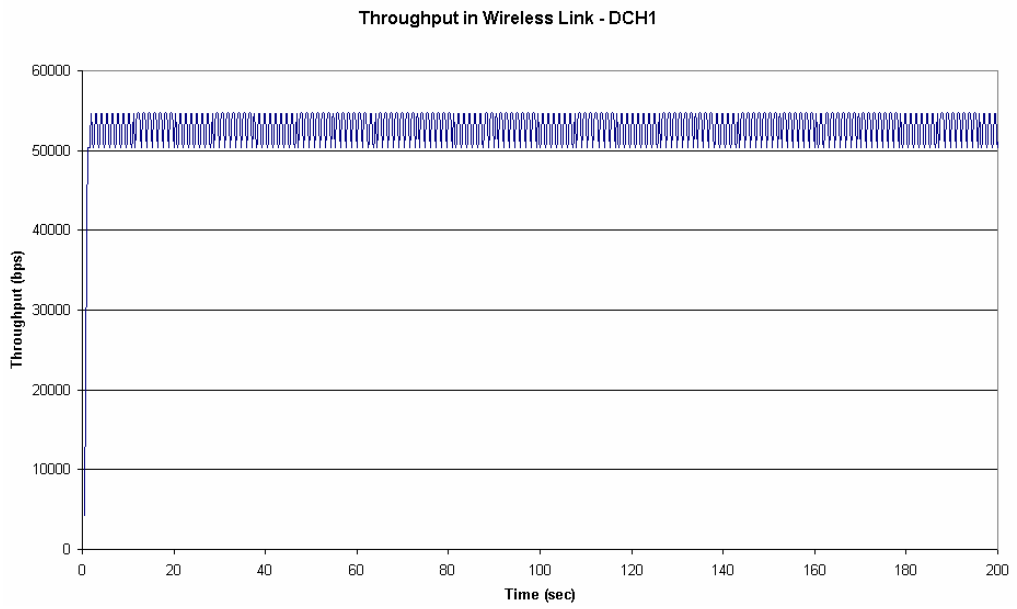

Delay in RAN - DCH2
Delay (sec)
0,05
0,045
0,04
0,035
0,03
0,025
0,02
0,015
0,01
0,005
0
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
2200
2400
2600
2800
3000
TCP Sequence Number

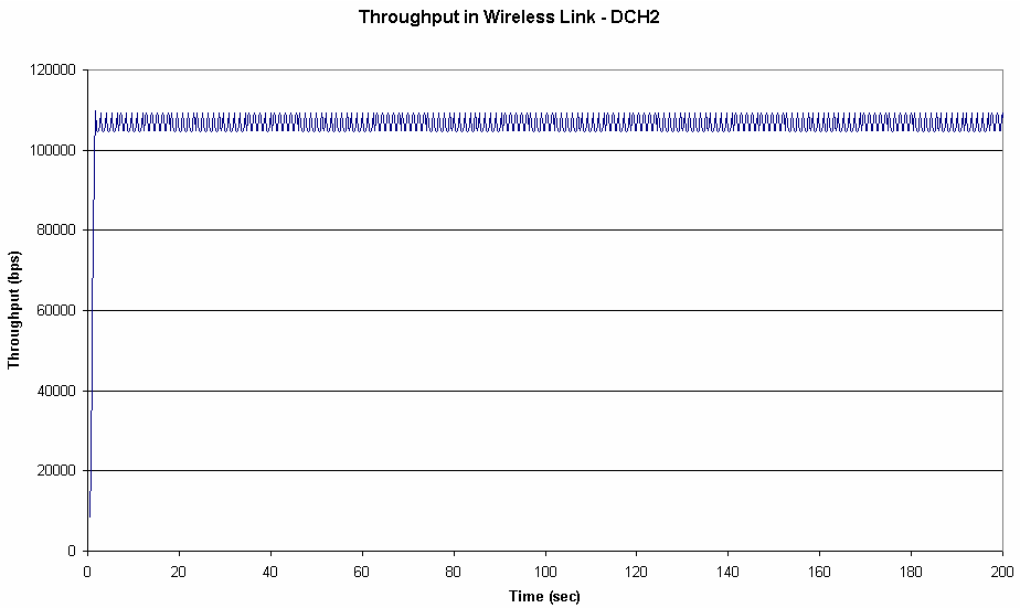

Delay in RAN - DCH3
Delay (sec)
0,03
0,025
0,02
0,015
0,01
0,005
0
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
TCP Sequence Number

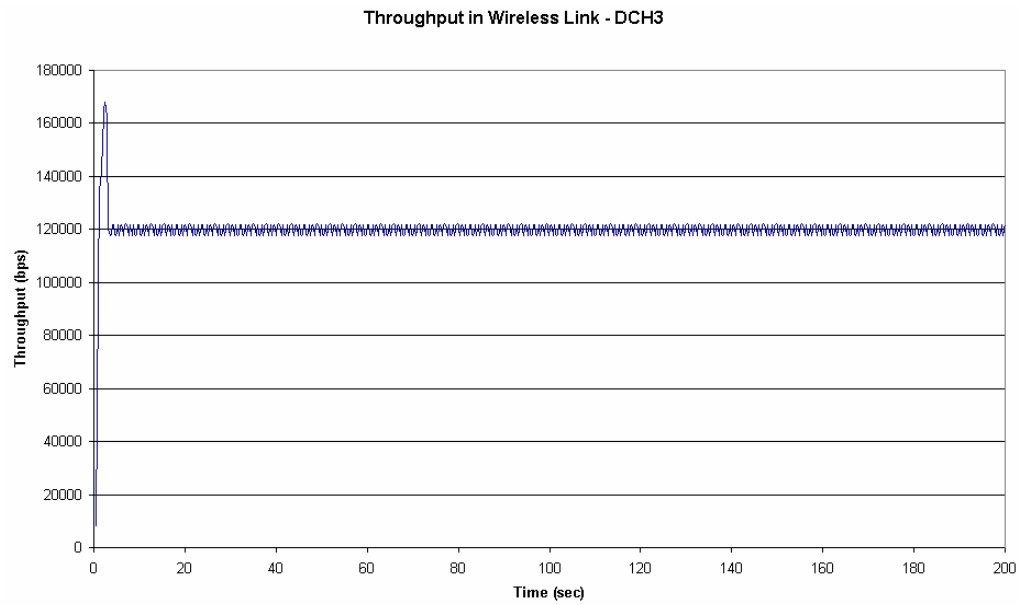


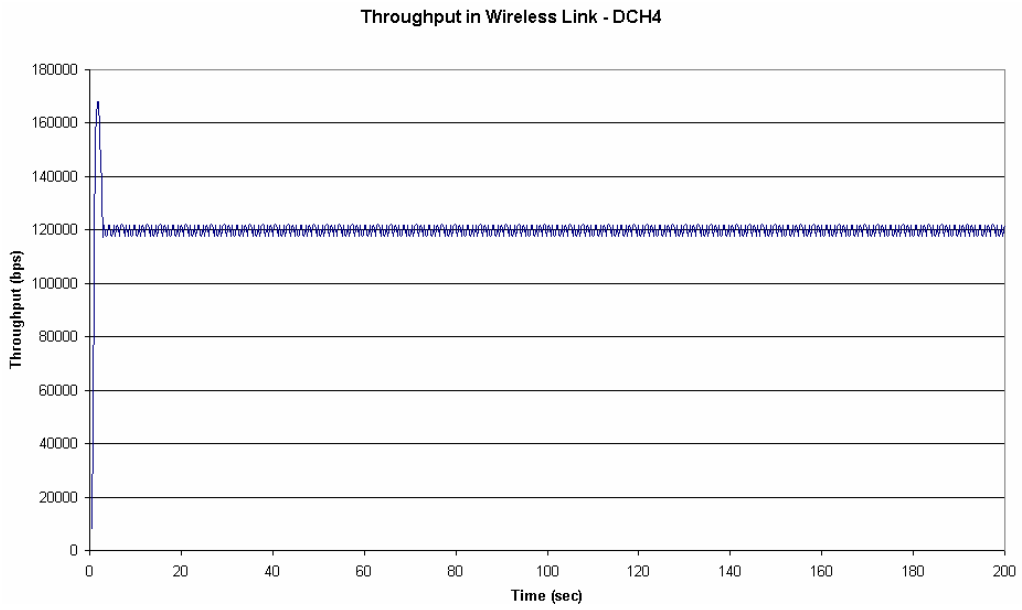
Σχήμα 35: Καθυστέρηση στο RAN για τα κανάλια DCHs

Στη συνέχεια το Σχήμα 36, παρουσιάζεται το throughput στο ασύρματο link για κάθε DCH κανάλι. Ο άξονας Y αντιπροσωπεύει το throughput σε kbps, ενώ ο άξονας X το χρόνο. Για ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων downlink των DCHs κάτω των 120 kbps (αναφερόμαστε στο ρυθμό μετάδοσης της background κίνησης), όπως συμβαίνει στα DCH1 και DCH2, το throughput στο ασύρματο link είναι αρκετά χαμηλότερο από την ονομαστική τιμή. Επιπλέον, για τα γρηγορότερα DCH κανάλια (DCH3 και DCH4) το throughput στο ασύρματο link είναι πολύ κοντά στην ονομαστική τιμή, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 36.




Throughput in Wireless Link - DCH2
Throughput (bps)
120000
100000
80000
60000
40000
20000
0
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
Time (sec)


Throughput in Wireless Link - DCH3
Throughput (bps)
180000
160000
140000
120000
100000
80000
60000
40000
20000
0
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
Time (sec)



Σχήμα 36: Throughput στο ασύρματο link

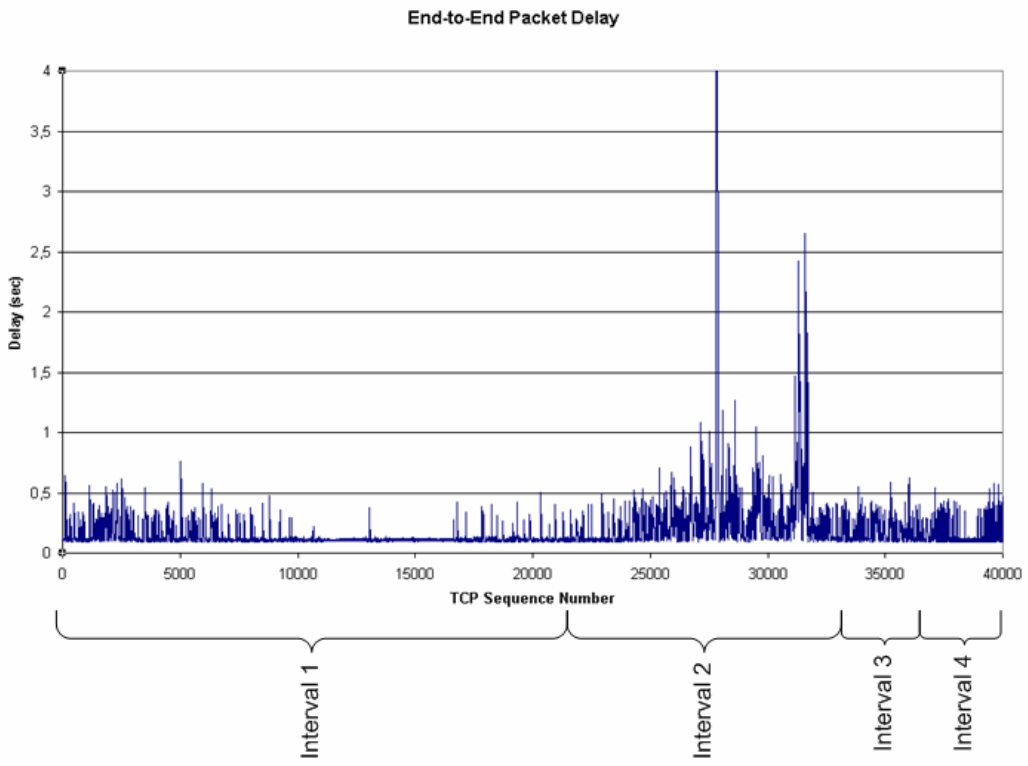
Μια προφανής παρατήρηση μελετώντας το Σχήμα 34 και το Σχήμα 35 είναι ότι η καθυστέρηση (delay) μειώνεται, όσο αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης του downlink DCH. Στα κανάλια DCH με χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, ο σταθμός βάσης (node B) δεν μπορεί να εξυπηρετήσει ένα μεγάλο αριθμό πακέτων που καταφθάνουν, με αποτέλεσμα κάποια πακέτα να χάνονται και να πρέπει να επανα-μεταδοθούν. Κατά συνέπεια η καθυστέρηση των πακέτων στο ενσύρματο μέρος αυξάνεται. Για παράδειγμα στο Σχήμα 34, παρατηρούμε ότι η end-to-end καθυστέρηση των πακέτων για το DCH1 είναι αρκετά υψηλή, της τάξης των 0,51 sec. Επιπλέον, για το ίδιο DCH κανάλι, η μέση καθυστέρηση για το RAN δίκτυο σύμφωνα και με το Σχήμα 35, είναι 52 msec.

Μια παρόμοια παρατήρηση προκύπτει από το ίδιο DCH κανάλι, αν αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης της background κίνησης. Σε αυτή την περίπτωση, τόσο η end-to-end καθυστέρηση των πακέτων, όσο και η καθυστέρηση στο RAN δίκτυο, αυξάνονται. Καθώς αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων της background κίνησης, φθάνουν σε ένα χρονικό διάστημα στον RNC περισσότερα πακέτα από αυτά που μπορεί να εξυπηρετήσει στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα μεγαλύτερους χρόνους αναμονής στις ουρές, καθώς και απώλειες πακέτων. Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 36. Ο downlink ρυθμός μετάδοσης του DCH1 είναι 64 Kbps ενώ ο ρυθμός μετάδοσης της background κίνησης είναι 120 Kbps. Η εξομοίωση δείχνει ότι το throughput στο ασύρματο link του DCH1 είναι περίπου 52 Kbps, το οποίο είναι πολύ μικρό σε σχέση με τα 120 Kbps της background κίνησης.

6.4.2 Μετάδοση HSPDA

Τα αποτελέσματα του simulation παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα. Στο Σχήμα 37, ο άξονας Y αποτυπώνει την end-to-end καθυστέρηση των πακέτων και ο άξονας X δείχνει τον αύξοντα αριθμό των πακέτων. Όπως φαίνεται, κάποια πακέτα παρουσιάζουν μεγαλύτερη καθυστέρηση σε σχέση με άλλα, και κάποια πακέτα χάνονται. Η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση είναι ο χρόνος που απαιτείται για να μεταφερθεί ένα πακέτο από τον αποστολέα στον παραλήπτη, συμπεριλαμβανομένης

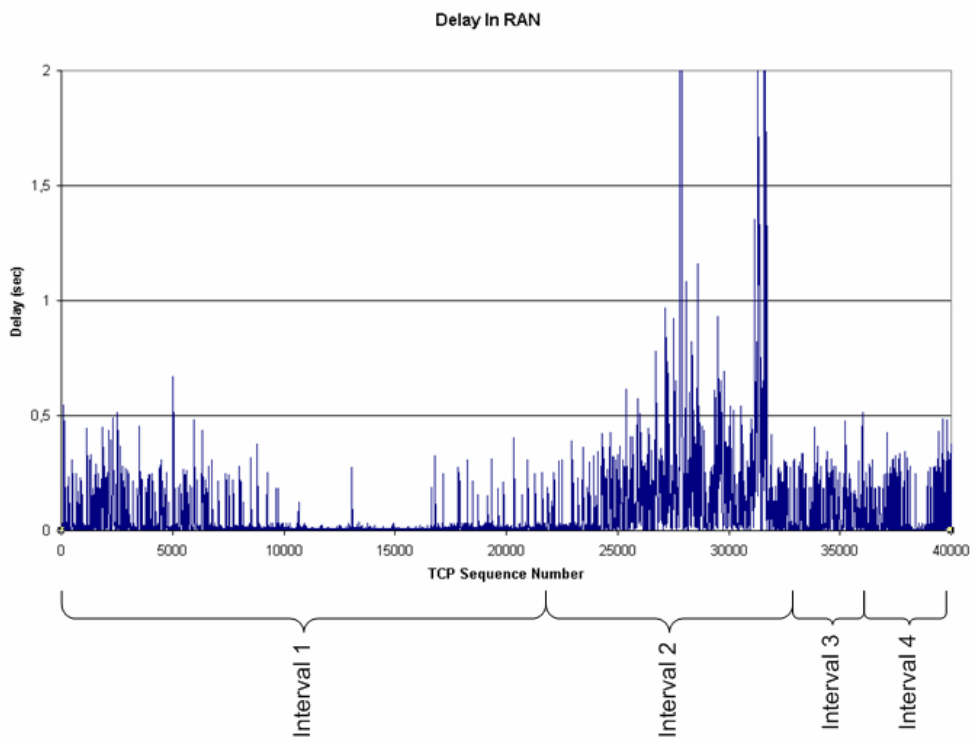
της καθυστέρησης μετάδοσης του μέσου και την καθυστέρηση λόγω παραμονής σε ουρές. Οι διαφοροποιήσεις στις ελάχιστες τιμές είναι απλά μια ένδειξη του γεγονότος ότι οι διαφορετικοί χρήστες UE έχουν διαφορετικές αποστάσεις από το σταθμό βάσης node B, και η καθυστέρηση μετάδοσης στον αέρα είναι εξαρτώμενη από την απόσταση. Αν χωρίσουμε το μοντέλο εξομοίωσης στο σταθερό και στο ασύρματο κομμάτι του δικτύου, παρατηρούμε ότι στο ενσύρματο κομμάτι του δικτύου οι καθυστερήσεις έχουν πολύ μικρό jitter, σχεδόν ίδιο για όλα τα πακέτα. Αυτό που συμβάλει λοιπόν περισσότερο στην διασπορά της από άκρου σε άκρου καθυστέρησης είναι το ασύρματο κομμάτι του δικτύου.



Σχήμα 37: Καθυστέρηση πακέτων για HSDPA μεταδόσεις

Η καθυστέρηση των πακέτων στο UMTS (στο δίκτυο CN και στο UTRAN), σε συνδυασμό με το Internet θεωρείται ότι είναι τουλάχιστον 150 msec για non real time υπηρεσίες [11]. Από αυτά, τα 60 msec είναι η καθυστέρηση στο Internet, και τα υπόλοιπα είναι στο δίκτυο UMTS. Η καθυστέρηση στο UMTS στη συνέχεια οφείλεται στην καθυστέρηση λόγω του core δικτύου (20 msec) και στην καθυστέρηση στο ασύρματο δίκτυο.

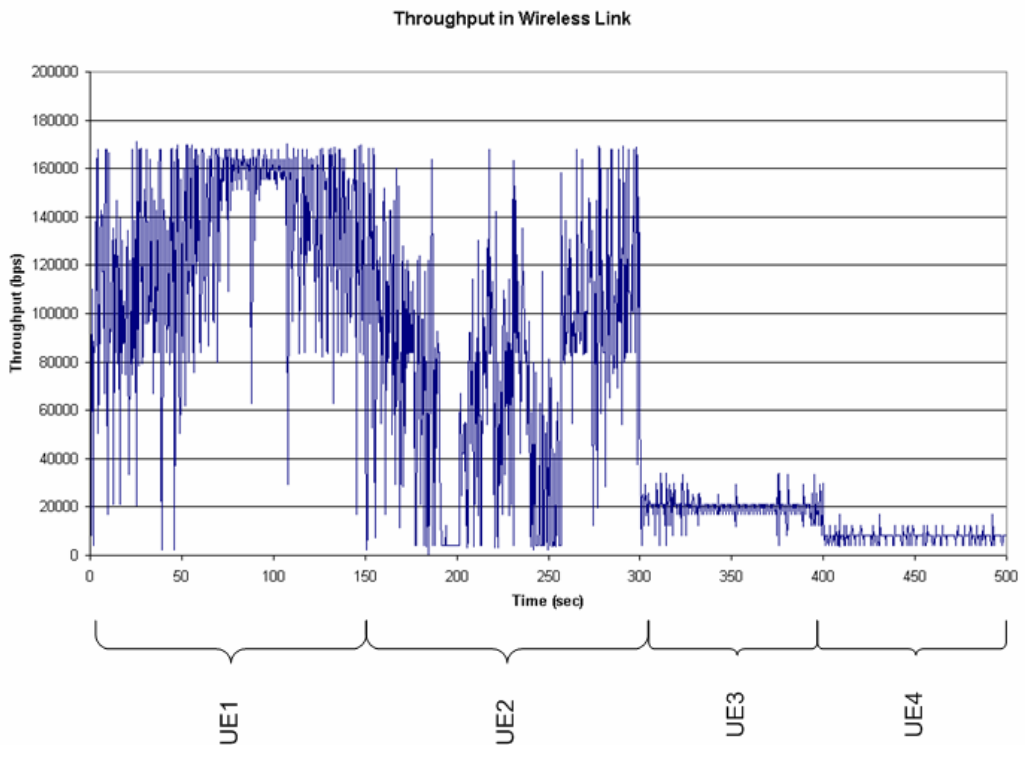
Στο Σχήμα 38, φαίνεται η καθυστέρηση από τον RNC μέχρι το τερματικό του χρήστη (RAN δίκτυο). Καθώς τα πακέτα φεύγουν από τον RNC και φθάνουν στο σταθμό βάσης (node B) και μπαίνουν σε μια ουρά για να κατατμηθούν σε πακέτα μικρότερου μεγέθους. Για την εξομοίωσή μας το μέγεθος της ουράς είναι 2000.



Σχήμα 38: Καθυστέρηση στο RAN

UEs	1	2	3	4
Average Delay (sec)	0.1392	0.326	0.1285	0.1463

Πίνακας 23: Μέση καθυστέρηση



Σχήμα 39: Throughput στο ασύρματο link

Ο Πίνακας 23 παρουσιάζει τη μέση καθυστέρηση για κάθε τερματικό χρήστη. Επίσης στο Σχήμα 35, παρουσιάζει το throughput στο ασύρματο link για κάθε UE. Ο άξονας X δείχνει τη διάρκεια της εξομοίωσης, ενώ ο άξονας Y δείχνει το throughput σε bits/sec. Η κίνηση στο ασύρματο κανάλι των 64 Kbps downlink (UE1 και UE2) δημιουργεί ανεπαρκή αποτελέσματα σε ότι αφορά τη χρήση του ασύρματου link. Αυτό συμβαίνει γιατί ο ρυθμός μετάδοσης της κίνησης είναι μεγαλύτερος από την κίνηση που μπορεί να εξυπηρετήσει το κανάλι. Παρόλα αυτά, τα ασύρματα κυψελωτά δίκτυα συνήθως παρουσιάζουν καθυστερήσεις οι οποίες ξεπερνούν τις τυπικές τιμές round-trip χρόνων, που μπορεί να οδηγήσουν σε πολλά timeouts που οδηγούν σε μη απαραίτητες επαναμεταδόσεις και μείωση του ρυθμού μετάδοσης του TCP του αποστολέα. Κατά συνέπεια, περισσότερες όχι απαραίτητες επανα-μεταδόσεις χρειάζονται, και συνεπώς το throughput του TCP μειώνεται. Προηγούμενες έρευνες δείχνουν ότι αυξάνοντας το TCP παράθυρο μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά η απόδοση του TCP για FTP κίνηση σε ασύρματα κυψελωτά δίκτυα [15]. Επιπρόσθετα, σε ρυθμούς μετάδοσης κίνησης χαμηλότερους από τον downlink ρυθμό μετάδοσης του HS-DSCH (UE3 και UE4), παρατηρείται ότι και στους 2 χρήστες προσεγγίζεται η ονομαστική τιμή της background κίνησης, που είναι 20 και 8 Kbps αντίστοιχα.

6.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται στην αξιολόγηση του UMTS air interface με τη χρήση εξομοίωσης. Παρουσιάστηκαν κάποια αποτελέσματα για την απόδοση του UMTS για διαφορετικούς τύπους κίνησης. Οι παράμετροι της απόδοσης είναι η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση πακέτου, η καθυστέρηση στο ασύρματο δίκτυο, και το throughput στο ασύρματο link. Θεωρούμε 2 τύπους καναλιών μεταφοράς τα Dedicated Channels και τα High Speed Downlink Shared Channels. Η απόδοση του TCP πάνω από UMTS αξιολογείται για δυο βασικά μοντέλα κίνησης FTP και CBR κίνησης. Σε ότι αφορά τη μετάδοση δεδομένων πάνω από DCH, έγιναν πειράματα με τέσσερα DCHs με διαφορετικά χαρακτηριστικά σε ότι αφορά ρυθμούς μετάδοσης downlink και transmission time interval. Με τη βοήθεια των DCHs μπορεί να επιτευχθεί υψηλή χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης και υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στον τελικό χρήστη. Διαφορετικές εφαρμογές μπορούν να συνδεθούν στο ίδιο DCH κανάλι, για μεμονωμένους χρήστες όμως. Για τις μεταδόσεις High Speed Downlink Packet Access, χρησιμοποιήθηκε μοντέλο εξομοίωσης από 4 τελικούς χρήστες που συνδέονται σε ένα HS-DSCH. Τα πειράματα δείχνουν ότι σε εφαρμογές κίνησης, με χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, το HS-DSCH μπορεί να εξυπηρετήσει ένα μεγάλο αριθμό ταυτόχρονων χρηστών.

Στις εξομοιώσεις που παρουσιάστηκαν το πρωτόκολλο TCP βρίσκεται από άκρη σε άκρη συμπεριλαμβανομένης και της ασύρματης ζεύξης. Αποδεικνύεται λοιπόν, ότι η λύση αυτή είναι εφαρμόσιμη για έναν κινούμενο χρήστη, αλλά η απόδοση μειώνεται καθώς οι μηχανισμοί του TCP δεν εγγυώνται Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS) των ασύρματων στοιχείων του UMTS σε θέματα καθυστέρησης και throughput. Αν τα πακέτα χάνονται στο δίκτυο, το TCP πρωτόκολλο υποθέτει ότι υπάρχει συμφόρηση (congestion) στο δίκτυο. Ως συνέπεια, οι TCP επανα-μεταδόσεις μειώνουν το μέγεθος του παραθύρου, το οποίο και έχει ως αποτέλεσμα μικρότερο throughput. Πολύ υψηλές καθυστερήσεις και μικρό throughput οδηγούν σε μη ικανοποίηση του τελικού χρήστη. Πρέπει να αναφερθεί ότι στις παραπάνω εξομοιώσεις το core δίκτυο θεωρείται ότι είναι ένα IP δίκτυο, συνεπώς η συνολική απόδοση μπορεί να γίνει

ακόμα χειρότερη, μιας και το TCP, ως end-to-end πρωτόκολλο, θα παρουσιάζει επιπρόσθετη καθυστέρηση και συμφόρηση στο core δίκτυο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ UMTS

ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ UMTS

Η μεταφορά πολυμεσικών δεδομένων και μάλιστα σε πραγματικό χρόνο, αποτελεί πια το μέλλον των ασύρματων επικοινωνιών δεδομένων, δημιουργώντας ένα μεγάλο αριθμό απαιτήσεων τόσο στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, όσο και στα συστήματα επικοινωνίας δεδομένων. Το κύριο χαρακτηριστικό της μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων πραγματικού χρόνου, είναι ότι οι συσχετίσεις του χρόνου μεταξύ των οντοτήτων πληροφορίας (πακέτα) μέσα σε μια ροή, πρέπει να διατηρούνται, παρόλο που δεν υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις σε χαμηλή καθυστέρηση μετάδοσης. Στην παράγραφο αυτή θα μελετήσουμε μέσα από συγκεκριμένα πειράματα τη μετάδοση video πάνω από κινητά δίκτυα 3^{ης} Γενιάς. Πιο συγκεκριμένα, θα αξιολογήσουμε την απόδοση των UMTS Dedicated Channels (DCHs) για τη μετάδοση video με κωδικοποίηση MPEG-4 στην downlink κατεύθυνση, ελέγχοντας παράλληλα και πόσο έρχεται σε «σύγκρουση» η μετάδοση video με την Internet κίνηση που εφαρμόζεται στο air interface του UMTS.

Το bandwidth είναι φυσικά ο πιο πολύτιμος και ο πλέον περιορισμένος πόρος για το UMTS, όπως και για κάθε ασύρματο σύστημα επικοινωνίας. Οι εφαρμογές video, σε κάθε μορφή τους παράγουν μεγάλου όγκου δεδομένα, με αποτέλεσμα το video να μεταδίδεται σε συμπιεσμένη μορφή, έτσι ώστε να ελαττώνονται οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων. Η MPEG-4 κωδικοποίηση, είναι το πρότυπο που φαίνεται να κερδίζει έδαφος, μιας και αποτελεί ένα σχήμα που χρησιμοποιείται ευρέως για κάθε τύπο εφαρμογών video [16].

Οι εφαρμογές video πραγματικού χρόνου απαιτούν όλα τα πακέτα να φθάνουν στον παραλήπτη στη σωστή τους χρονολογική σειρά. Αν χαθούν πακέτα, ο συγχρονισμός μεταξύ του κωδικοποιητή (encoder) και του αποκωδικοποιητή (decoder) χάνεται, και μεταδίδονται λάθη μέσα από το κωδικοποιημένο video για αρκετό χρονικό διάστημα. Αν τα πακέτα καθυστερήσουν για σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα, γίνονται άχρηστα για τον αποκωδικοποιητή (decoder), και αγνοούνται ως άχρηστα πλέον. Η απώλεια πακέτων και το οπτικό αποτέλεσμα στην εικόνα που αντιλαμβάνεται ο χρήστης είναι ιδιαίτερα σημαντική σε predictive coding συστήματα, όπως το MPEG-4. Το αρνητικό αποτέλεσμα από την απώλεια πακέτων μπορεί να ελαττωθεί, χωρίς όμως να εξαφανιστεί, με την εισαγωγή μεθόδων προστασίας από λάθη (error protection) στη ροή του video.

Είναι θεμελιώδες για ένα ασύρματο δίκτυο να έχει έναν αποτελεσματικό αλγόριθμο κατανομής εύρου ζώνης (bandwidth allocation), έτσι ώστε ο «κινητός» χρήστης να μπορεί να απολαμβάνει ταυτόχρονα εφαρμογές με video πραγματικού χρόνου και εφαρμογές Internet όπως HTTP ή SMTP. Έτσι όταν ένα τερματικό κατεβάζει streaming video, πρέπει να υπάρχει διαθέσιμο εύρος ζώνης κάθε στιγμή, για οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή που μπορεί ο χρήστης να θέλει να χρησιμοποιήσει. Επιπλέον όταν δυο διαφορετικές εφαρμογές τρέχουν ταυτόχρονα, το δίκτυο θα πρέπει να εγγυάται ότι δεν υπάρχει περίπτωση κάποια από τις εφαρμογές αυτές να δρα εις βάρος της άλλης, παίρνοντας όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι διαδικτυακές εφαρμογές χρησιμοποιούν ως επί το πλείστον το TCP πρωτόκολλο, ενώ οι εφαρμογές video UDP, το δίκτυο θα πρέπει να εγγυάται ότι το UDP δεν θα «κυριαρχεί» εις βάρος της TCP κίνησης, δηλαδή θα υπάρχει διαθέσιμο bandwidth και για τις διαδικτυακές εφαρμογές.

Στα πειράματα που παρατίθενται σκοπός είναι να εξεταστεί η απόδοση των UMTS Dedicated Channels για τη μετάδοση video MPEG-4 πραγματικού χρόνου, και να διαπιστωθεί κατά πόσο η μετάδοση video πραγματικού χρόνου πάνω από το UMTS δίκτυο είναι εφικτή και ειδικά σε συνδυασμό με HTTP κίνηση.

Τα αποτελέσματα της μελέτης της μετάδοσης MPEG-4 σε ασύρματα δίκτυα δείχνουν ότι η ποιότητα του video μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά προστατεύοντας τα δεδομένα υψηλής προτεραιότητας κατά τη διάρκεια της μετάδοσης [17].

7.1 ΜΕΤΑΔΟΣΗ VIDEO

Τα δύο πιο σημαντικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν για τη μετάδοση video πάνω από UMTS είναι η μη αξιοπιστία της ασύρματης ζεύξης ου link και οι απαιτήσεις στην καθυστέρηση. Σε ότι αφορά την αναξιοπιστία του link, τα ασύρματα κανάλια έχουν γενικά υψηλότερα επίπεδα θορύβου καθώς επίσης και small-scale (multipath) και large-scale (shadowing) fading [18], γεγονός το οποίο μπορεί να επιφέρει σημαντικά προβλήματα στην ποιότητα του video. Το video πραγματικού χρόνου έχει επίσης πολύ αυστηρές απαιτήσεις αναφορικά με την καθυστέρηση. Έτσι αν τα πακέτα video φθάνουν καθυστερημένα το video δεν μπορεί να αναπαραχθεί ομαλά [19]. Η κωδικοποίηση MPEG-4 είναι ικανή να υποστηρίξει και αλληλεπιδραστικό περιεχόμενο που βασίζεται σε video, αλλά και συμβατικό streaming video. Αυτό παρέχεται από τη δυνατότητα και αποτελεσματικότητα που δίνει ο νέος τύπος κωδικοποίησης οπτικών δεδομένων που προέρχονται από τα Οπτικά Αντικείμενα (Visual Objects). Αυτό που θέλουμε να μελετήσουμε σε αυτή την παράγραφο, είναι η αξιολόγηση της απόδοσης της μετάδοσης MPEG-4 video πάνω από το UMTS δίκτυο και να τη συγκρίνουμε με τα αντίστοιχα μοντέλα της θεωρίας ουρών που μελετούν τη μετάδοση video πάνω από ζεύξεις ασύρματων καναλιών, λαμβάνοντας υπόψη τη μη αξιοπιστία του ασύρματου καναλιού και τις QoS απαιτήσεις των video εφαρμογών, όπως οι περιορισμοί στην καθυστέρηση.

Η MPEG-4 κωδικοποίηση βασίζεται σε δυο προσεγγίσεις για να συμπιέζει τις ροές video: τη μέθοδο spatial redundancies (βρίσκει ομοιότητες μεταξύ γειτονικών περιοχών της εικόνας) και με τη μέθοδο temporal redundancies (ομοιότητες μεταξύ του μέλλοντος και του παρελθόντος μιας εικόνας). Ο αλγόριθμος συμπίεσης λειτουργεί σε κάθε frame (καρέ) και χωρίζει κάθε frame σε μικρότερα blocks. Τα μικρότερα αυτά κομμάτια, βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα της συμπίεσης, αλλά αυξάνουν το χρόνο διαχείρισης και συνήθως οδηγούν σε μεγαλύτερους χρόνους κωδικοποίησης.

Σε ότι αφορά τη μείωση του χώρου τα spatial redundancies γίνονται από τον JPEG (Joint Picture Experts Group) αλγόριθμο. Το σύνηθες trade-off μεταξύ της αποτελεσματικότητας της συμπίεσης και της ποιότητας, είναι η προσαρμοστική αυξομείωση του ρυθμού μετάδοσης bit, σύμφωνα με την επιθυμητή ποιότητα.

Σε ότι αφορά τις χρονικές ελαττώσεις, αυτές παρατηρούνται σε frames που παρουσιάζουν το ίδιο ή παρόμοιο περιεχόμενο. Έτσι μόνο οι αλλαγές μεταξύ αυτών των frames χρειάζεται να αποθηκεύονται, γεγονός που είναι πολύ πιο αποτελεσματικό από μια καθαρή spatial συμπίεση. Η κίνηση κωδικοποιείται από διανύσματα κίνησης τα οποία περιγράφουν ποιο περιεχόμενο κάθε block είναι πιο όμοιο με το συγκεκριμένο. Δυστυχώς η συμπίεση που χρησιμοποιεί temporal redundancies παρουσιάζει συσσώρευση λαθών πρόβλεψης. Αυτά γίνονται ορατά μετά από αρκετά

frames και έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην οπτική εικόνα που αντιλαμβάνεται ο χρήστης.

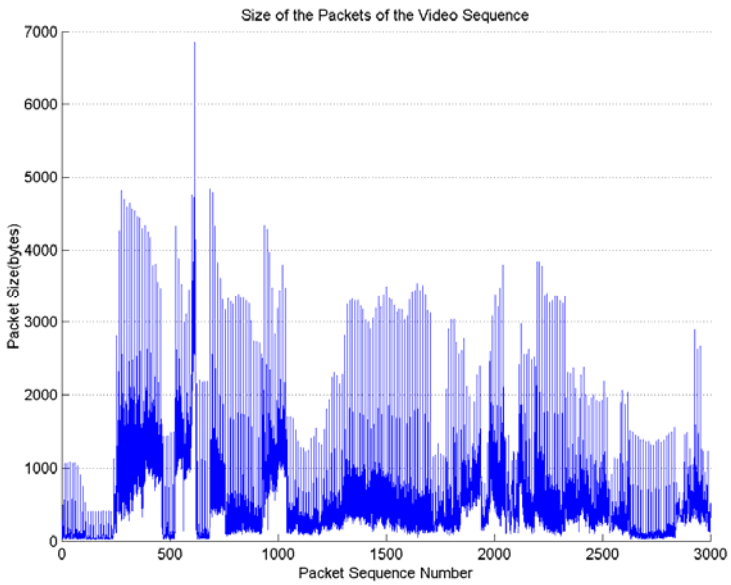
Για την αντιμετώπιση αυτού του θέματος, η MPEG κωδικοποίηση ορίζει 3 ειδών frames, που είναι τα εξής:

- Intra frames (I-frames), τα οποία δημιουργούνται και συμπιέζονται μόνο με τη χρήση spatial redundancies και δεν αναφέρονται σε κάποιο προηγούμενο frame
- Predictive frames (P-frames), τα οποία επιτρέπουν συμπίεση με βάση το χρόνο, αλλά μόνο αναφορικά με προηγούμενα frames
- Bidirectional frames (B-frames), τα οποία μπορούν να αναφέρονται και σε μελλοντικά frames

Έτσι μια ακολουθία από frames μοιάζει ως εξής: IBBPBBP. Το MPEG πρότυπο δεν καθορίζει κάτω ή άνω όριο I-, P- ή B-frames. Όμως, τα I-frames παίζουν το ρόλο των σημείων επαναφοράς (σε συνδυασμό και με την σημασία τους για την γενική ποιότητα που αντιλαμβάνεται ο χρήστης) και συχνά τοποθετούνται σε συχνότητα ένα ανά δευτερόλεπτο. Η απώλεια ενός I-frame σημαίνει αυτόματα ότι τα επόμενα P-frames καθίστανται άχρηστα. Ένα τελικό βήμα επεξεργασίας της εικόνας εφαρμόζει έναν κοινό lossless Huffman αλγόριθμο στην υπάρχουσα ροή δεδομένων με σκοπό να τη συμπιέσει περαιτέρω.

7.2 ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ ΣΕ MPEG-4 ΚΙΝΗΣΗ

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζεται ένα αναλυτικό μοντέλο για τον υπολογισμό του χρόνου που απαιτείται για κάθε πακέτο μιας δοσμένης video ακολουθίας για να μετακινηθεί από τον Radio Network Controller μέχρι τον τερματικό εξοπλισμό του κινητού χρήστη. Σύμφωνα με το video trace που χρησιμοποιήθηκε [20], τα πακέτα της ακολουθίας video δεν έχουν σταθερό μέγεθος. Το μέγεθος των MPEG-4 πακέτων τα οποία μεταδίδονται πάνω από το air interface του UMTS παρουσιάζεται στο Σχήμα 40.



Σχήμα 40: Μέγεθος πακέτων MPEG-4

Η ακολουθία video είναι σε format QCIF (176 x 144 pixels) σε PAL frame rate με ρυθμό 25 καρέ το δευτερόλεπτο. Στο Σχήμα 40, ο άξονας Y συμβολίζει το μέγεθος των πακέτων σε bytes, ενώ ο άξονας X δείχνει τον αριθμό της ακολουθίας των πακέτων. Το μέσο μέγεθος του πακέτου είναι 758 bytes. Η παραπάνω κίνηση video θα χρησιμοποιηθεί στα πειράματα που θα γίνουν στις παρακάτω παραγράφους.

Θεωρώντας τη μετάδοση video από έναν σταθερό κόμβο στο internet προς έναν κινητό χρήστη (Σχήμα 43), καθώς τα πακέτα φεύγουν από τον RNC και φθάνουν στο σταθμό βάσης (node B), μπαίνουν στην ουρά με σκοπό να κατατμηθούν σε πακέτα μικρότερου μεγέθους. Κάθε PDCP PDU τεμαχίζεται σε πολλαπλά RLC PDUs σταθερού μεγέθους. Κάθε μια από τις μονάδες PDU χωράει σε ένα transport block με σκοπό να μεταδοθεί ασύρματα. Το μέγεθος των RLC PDUs είναι 40 bytes [21].

Βασισμένοι στην ανάλυση για το Downlink σε κάθε RLC PDU που μεταδίδεται πάνω από την ασύρματη ζεύξη [21], ο RNC λαμβάνει αναφορά της κατάστασης για το χρήστη 68 msec μετά τη μετάδοση. Προς της αντίθετη κατεύθυνση ο uplink χρόνος TTI είναι σχεδόν διπλάσιος από την κατεύθυνση downlink, ο χρήστης UE λαμβάνει αναφορά κατάστασης 40 msec μετά τη μετάδοση.

Σκοπός μας είναι να υπολογίσουμε τον ελάχιστο χρόνο εξυπηρέτησης της MPEG-4 video κίνησης που χρησιμοποιείται στην εξομοίωση. Ο χρόνος αυτός είναι συγκρίσιμος με την καθυστέρηση στο Radio Access Network (ο χρόνος που απαιτείται για να μεταφερθεί ένα πακέτο από τον RNC στον εξοπλισμό του χρήστη – UE). Ο χρόνος αυτός υπολογίζεται ως εξής:

Ο αριθμός των RLC PDUs στους οποίους χωρίζεται ένα IP πακέτο, είναι:

$$N_{PDU} = \frac{Packet_size(bytes)}{40bytes}$$

Ο μέγιστος αριθμός των RLC PDUs που μπορούν να μεταδοθούν μέσα σε στο χρόνο TTI είναι:

$$L_{\max} = 8$$

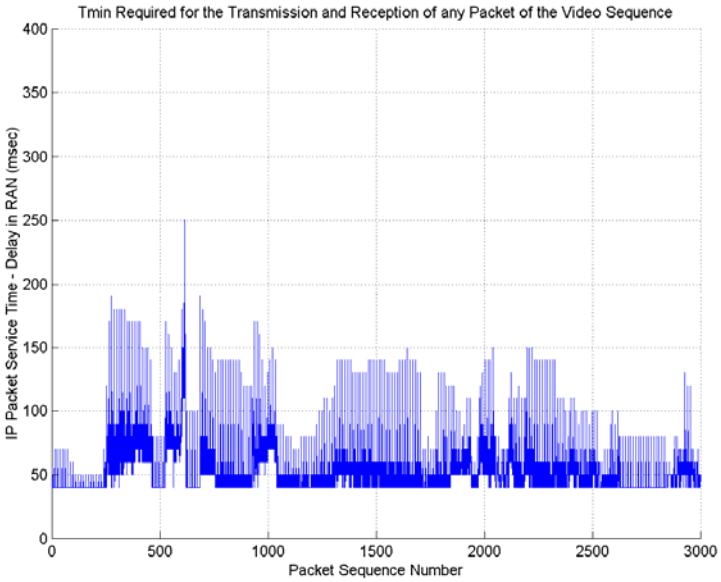
Συνεπώς ο αριθμός των TTIs για τη μεταφορά ενός πακέτου είναι:

$$N_{TTI} = \frac{N_{PDU}}{L_{\max}}$$

Καθώς ο χρόνος TTI στο downlink είναι 10 msec, ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για κάθε μετάδοση και αποδοχή ενός ολόκληρου πακέτου, είναι:

$$T_{\min} = 40ms + \lceil N_{TTI} - 1 \rceil \cdot 10$$

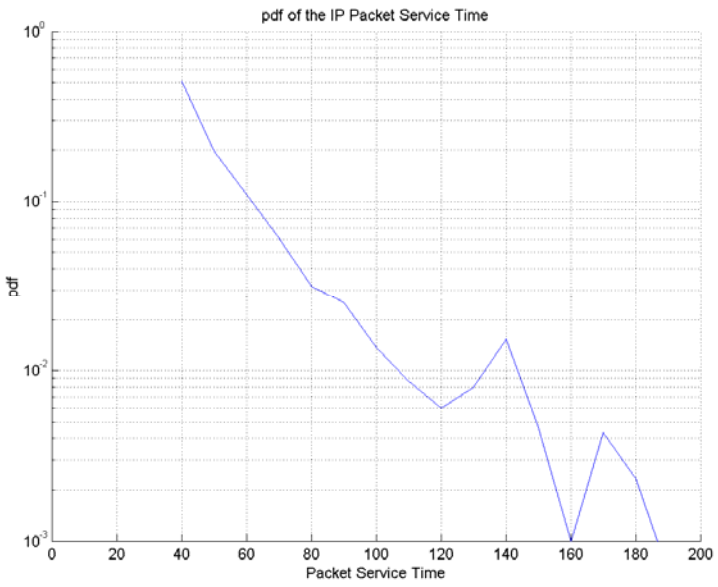
Για την κίνηση MPEG-4 video που χρησιμοποιούμε στην εξομοίωση, ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για τη μετάδοση και αποδοχή κάθε πακέτου παρουσιάζεται στο Σχήμα 41. Ο άξονας των Y δείχνει το χρόνο εξυπηρέτησης των πακέτων σε msec, ενώ ο άξονας των X παρουσιάζει τον αριθμό ακολουθίας των πακέτων. Συγκεκριμένα, ο χρόνος εξυπηρέτησης των πακέτων αναπαριστά την καθυστέρηση στο Radio Access Network, που είναι ο χρόνος που απαιτείται για ένα πακέτο να κατευθυνθεί από τον RNC στον εξοπλισμό του χρήστη (UE).



Σχήμα 41: Ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος για τη μετάδοση και αποδοχή κάθε πακέτου

Επιπλέον, στο Σχήμα 42, παρουσιάζεται η pdf (συνάρτηση κατανομής πυκνότητας πιθανότητας) του ελάχιστου χρόνου που απαιτείται για τη μετάδοση και αποδοχή κάθε πακέτου της ακολουθίας video που μεταδίδεται. Ο άξονας X παρουσιάζει το χρόνο εξυπηρέτησης των πακέτων, ενώ ο άξονας Y παρουσιάζει την pdf. Καθώς όλα τα IP πακέτα δεν έχουν σταθερό μέγεθος, ο ελάχιστος χρόνος διαφοροποιείται έχοντας μέγιστο στο T_{min} = 40 *m*sec με τιμή *pdf* = 0,5087. Αυτό σημαίνει ότι το 50,87% των πακέτων έχουν ελάχιστη καθυστέρηση στο RAN δίκτυο 40 msec κατά προσέγγιση. Ο μέσος ελάχιστος χρόνος είναι: T_{min} is 54,39 msec.

Η τιμή αυτή για το μέσο χρόνο εξυπηρέτησης των πακέτων είναι χαμηλή. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι η πλειοψηφία των πακέτων που φτάνουν στον κινητό χρήστη χαρακτηρίζονται από χαμηλή καθυστέρηση και συνεπώς μπορούν εύκολα να μεταδοθούν πάνω από το UMTS air interface χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα στην ποιότητα του video που αντιλαμβάνεται ο κινητός χρήστης.



Σχήμα 42: pdf του χρόνου εξυπηρέτησης των IP πακέτων

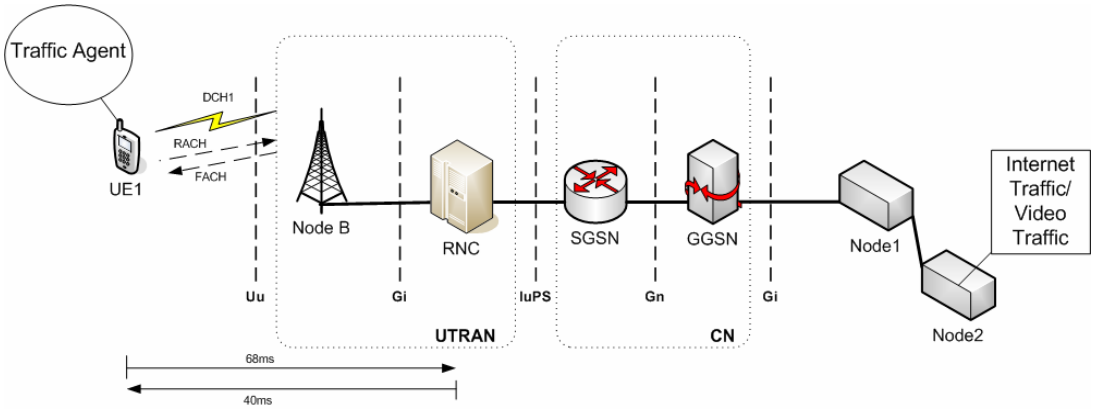
7.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του μοντέλου εξομοίωσης που αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας τον εξομοιωτή ns-2. Αυτόοπου εξετάζεται είναι η απόδοση των UMTS Dedicated Channels (DCHs) για τη μετάδοση video σε πραγματικό χρόνο. Η απόδοση των DCHs αξιολογείται για MPEG-4 κίνηση με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Επιπλέον, για τη διερεύνηση της απόδοσης των DCHs, προστέθηκε και background κίνηση στο σύστημα, με εφαρμογές HTTP και SMTP. Κατά τη διάρκεια των εξομοιώσεων έγιναν οι ακόλουθες μετρήσεις:

- **End-to-End Packet Delay**: Είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από την αποστολή ενός πακέτου κίνησης στο δίκτυο, μέχρι την ορθή παραλαβή του από το δέκτη.
- **Delay στο RAN**: Είναι ο χρόνος που χρειάζεται για κάθε πακέτο για να κατευθυνθεί από το RNC στον εξοπλισμό του τελικού χρήστη UE.
- **Throughput στο Ασύρματο Wireless Link**: Είναι τα bits που μεταφέρονται από τον τελικό χρήστη UE στη μονάδα του χρόνου (σε bits/sec).

Το σενάριο που παρουσιάζεται αποτελείται από μια UMTS κυψέλη που καλύπτεται από το σταθμό βάσης node B και συνδέεται σε έναν RNC. Το μοντέλο εξομοίωσης αποτελείται από τον τερματικό εξοπλισμό του χρήστη (UE) που συνδέεται σε ένα DCH κανάλι όπως φαίνεται και στο Σχήμα 43. Το μοντέλο αυτό βασίζεται στην αρχιτεκτονική του UMTS.

Στην εξομοίωση αυτή χρησιμοποιούνται τα DCH για τη μετάδοση δεδομένων σε πακέτα. Τα DCH κανάλια είναι bi-directional και δεσμεύονται από έναν και μόνο χρήστη. Το συνήθη κανάλια που χρησιμοποιούνται είναι τα Forward Access Channels (FACH) στο downlink και τα Random Access Channels (RACH) στο uplink, όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 43. Στα πειράματα χρησιμοποιούμε ένα κανάλι DCH 384 Kbit στο downlink, και 128 Kbit στην uplink κατεύθυνση. Οι χρόνοι TTI είναι 10 msec και 20 msec στην downlink και uplink κατεύθυνση αντίστοιχα.



Σχήμα 43: Το μοντέλο εξομοίωσης

Για να αξιολογηθεί η απόδοση του UMTS για την μετάδοση video πραγματικού χρόνου θεωρούμε το ακόλουθο μοντέλο κίνησης:

- Μια ροή video MPEG-4 πραγματικού χρόνου δημιοθργείται στον κόμβο 2 και μέσα από το DCH (στο downlink) κατευθύνεται προς το UE1 με UDP ως transport πρωτόκολλο (foreground κίνηση).
- Κίνηση HTTP και SMTP δημιουργείται στον κόμβο 2 και κατευθύνεται προς το UE1 με το TCP ως transport πρωτόκολλο (background κίνηση).

Για την υλοποίηση ενός πιο ρεαλιστικού σεναρίου, προστέθηκε επιπλέον (background) κίνηση στο σύστημα, με εφαρμογές HTTP και SMTP που είχαν κατεύθυνση από τον κόμβο 2 προς τον UE1. Οι εφαρμογές αυτές τρέχουν μαζί με τις εφαρμογές video streaming και χρησιμοποιούν το TCP ως transport πρωτόκολλο. Επιπλέον, η κίνηση αυτή στο σύστημα έχει τη λογική της διερεύνησης του αν και κατά πόσο η μετάδοση MPEG-4 video μέσα από τα DCH κανάλια είναι «φιλική» ως προς το πρωτόκολλο TCP.

Κάθε μια από τις εφαρμογές HTTP και SMTP, δημιουργούν την αντίστοιχη κίνηση, ορίζοντας το πρωτόκολλο που θα χρησιμοποιούν (TCP ή UDP) και το μέγεθος των παραγόμενων πακέτων, δημιουργώντας τον κατάλληλο agent στον οποίο εγκαθίσταται η πηγή κίνησης, και ο οποίος εγκαθίσταται σε ένα εξωτερικό κόμβο και συγκεκριμένα στον κόμβο 2, όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 43. Τόσο η HTTP όσο και η SMTP κίνηση, ακολουθούν μια Pareto κατανομή.

Στην εξομοίωση που παρουσιάζουμε, πραγματοποιούνται δυο πειράματα:

1. Μετάδοση κίνησης MPEG-4 video μέσω UDP, χωρίς επιπρόσθετη background κίνηση. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, παρατηρείται η απόδοση των εφαρμογών video πραγματικού χρόνου μέσα από UMTS DCH κανάλια. Η διάρκεια του πειράματος είναι 200 sec. Με αυτό διερευνάται αν η μετάδοση MPEG-4 video πραγματικού χρόνου είναι δυνατόν να ικανοποιήσει τον κινητό χρήστη.
2. Μετάδοση streaming video και TCP κίνησης ταυτόχρονα στο ίδιο κανάλι. Σε αυτό το πείραμα, εξετάζεται τη συμπεριφορά των εφαρμογών streaming video απέναντι στην TCP κίνηση του UMTS. Η TCP κίνηση, ως ιδιαίτερα δημοφιλής λόγω του πλήθους των εφαρμογών που τη χρησιμοποιούν, όπως το world wide web. Η διάρκεια του πειράματος είναι 200 sec. Η περίοδος αυτή χωρίζεται στα ακόλουθα διαστήματα:

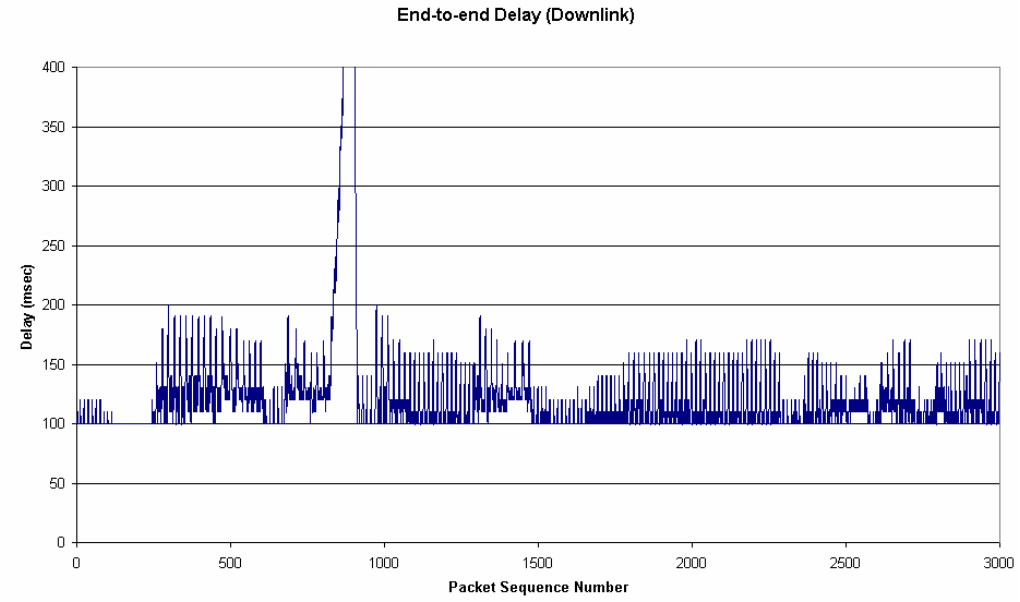
- **Διάστημα 1** [0, 200sec]: MPEG-4 video κίνηση που δημιουργείται στο node 2 και κατευθύνεται προς το UE1.
- **Διάστημα 2** [50, 100sec]: SMTP κίνηση που δημιουργείται στο node 2 και κατευθύνεται προς το UE1.
- **Διάστημα 3** [100, 150sec]: HTTP κίνηση που δημιουργείται στο node 2 και κατευθύνεται προς το UE1.

7.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην παράγραφο αυτή περιγράφονται τα αποτελέσματα σε ότι αφορά την απόδοση μετάδοσης video πραγματικού χρόνου πάνω από UMTS DCH κανάλια. Όπως ήδη αναφέρθηκε οι παράμετροι που εξετάζονται είναι η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση, η καθυστέρηση στο RAN δίκτυο και το throughput στο ασύρματο link. Αρχικά, παρουσιάζονται οι παράμετροι για τη μέτρηση της απόδοσης για τη μετάδοση MPEG-4 video πάνω από τα UMTS DCHs, και στη συνέχεια παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα για τη μετάδοση MPEG-4 video κίνησης που συνυπάρχει με internet TCP κίνηση.

7.4.1 Μετάδοση MPEG-4 video χωρίς background κίνηση

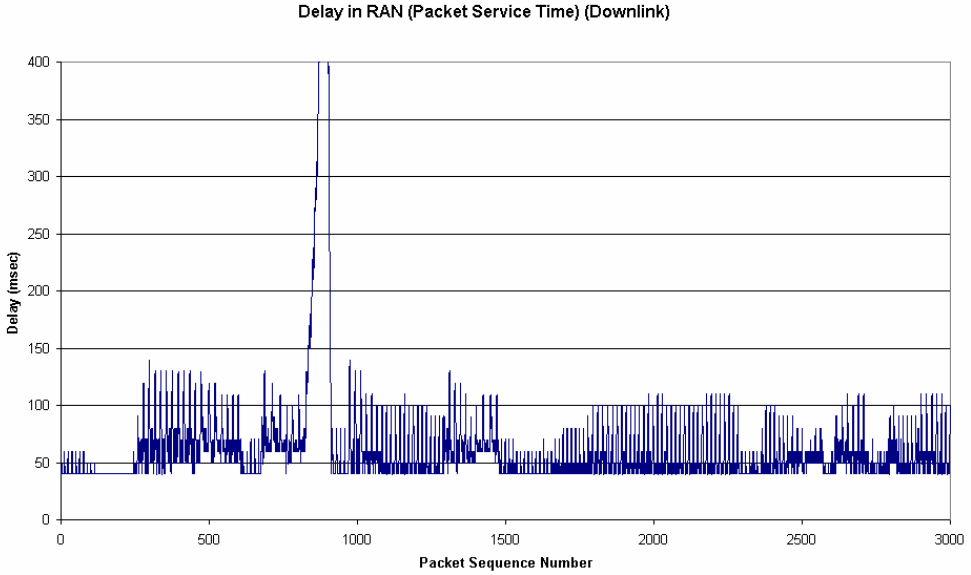
Στο Σχήμα 44, παρουσιάζεται η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση για τη μετάδοση MPEG-4 video πάνω από dedicated channels. Ο άξονας X δείχνει τον αριθμό του πακέτου στην ακολουθία, ενώ ο άξονας Y δείχνει την end-to-end καθυστέρηση σε msec. Στην εξομοίωση που παρουσιάζεται, η μέση end-to-end καθυστέρηση είναι 121,89 msec.



Σχήμα 44: End-to-end καθυστέρηση για μετάδοση MPEG-4 video

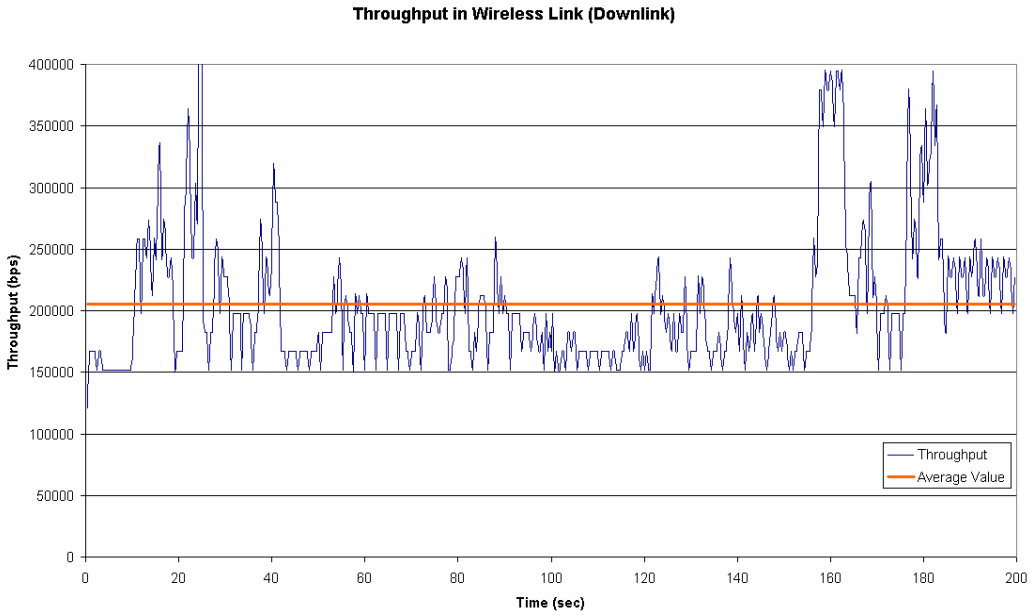
Επιπλέον, το Σχήμα 45 παρουσιάζει την καθυστέρηση στο RAN δίκτυο. Παρουσιάζει δηλαδή τον χρόνο εξυπηρέτησης των πακέτων ο οποίος έχει ήδη υπολογιστεί με

αναλυτικό τρόπο σε προηγούμενη παράγραφο. Ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης των πακέτων στην εξομοίωση έχει την τιμή 61,7 msec, ενώ ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης των πακέτων που υπολογίστηκε στην Παράγραφο 7.2 ήταν 54,39 msec. Όπως δείχνει και το Σχήμα 44 και το Σχήμα 45, γύρω από το πακέτο με sequence number 800, παρατηρούνται delay spikes. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι τα πακέτα αυτά έχουν πολύ μεγάλο μέγεθος, συγκριτικά με τα υπόλοιπα, και για το λόγο αυτό μεγάλος αριθμός από TTIs απαιτούνται για τη μετάδοση των πακέτων αυτών.



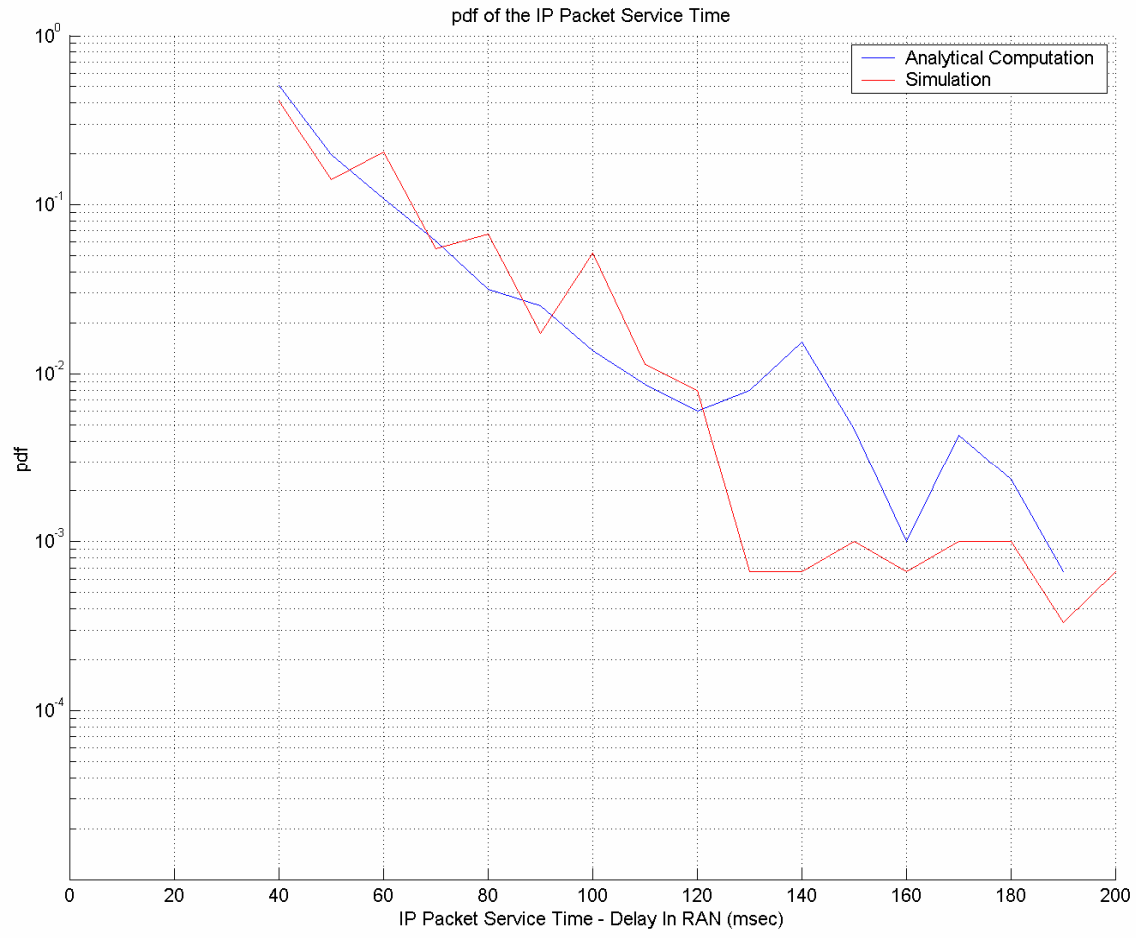
Σχήμα 45: Καθυστέρηση στο RAN για τη μετάδοση video

Το throughput στο ασύρματο link παρουσιάζεται στο Σχήμα 46. Ο άξονας των Y παρουσιάζει το throughput σε bps, ενώ ο άξονας των X δείχνει τη διάρκεια της εξομοίωσης. Η κόκκινη γραμμή αποτυπώνει το μέσο throughput στο ασύρματο link. Το μέσο throughput έχει τιμή 205 Kbps, ενώ ο downlink ρυθμός μετάδοσης δεδομένων για το dedicated channel είναι 384 Kbps.



Σχήμα 46: Throughput στο ασύρματο link (χωρίς background κίνηση)

Το Σχήμα 47 παρουσιάζει μια σύγκριση των pdf (συναρτήσεις κατανομής πυκνότητας πιθανότητας) για τους χρόνους εξυπηρέτησης των πακέτων, τόσο για τον αναλυτικό υπολογισμό (που παρουσιάστηκε στην Παράγραφο 7.2), όσο και για τα πειραματικά αποτελέσματα. Η κόκκινη γραμμή αναπαριστά τα πειραματικά αποτελέσματα, ενώ η μπλε γραμμή αποτυπώνει τα αποτελέσματα του αναλυτικού υπολογισμού. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 47, τα πειραματικά αποτελέσματα είναι πολύ κοντά στα αποτελέσματα που υπολογίστηκαν θεωρητικά. Επιπλέον, στο ίδιο σχήμα, φαίνεται ότι όλα τα πακέτα επιτυγχάνουν χρόνο εξυπηρέτησης χαμηλότερο των 80 msec, και μόνο ένας μικρός αριθμός πακέτων παρουσιάζει service time πάνω από 100 msec. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η πλειονότητα των πακέτων που φθάνουν στον κινητό χρήστη χαρακτηρίζονται από χαμηλή καθυστέρηση και συνεπώς, η ποιότητα του video που βλέπει ο χρήστης στο τερματικό του είναι ικανοποιητική σε σύγκριση με την κίνηση που αρχικά στάλθηκε από τον πομπό.



Σχήμα 47: Σύγκριση μεταξύ Αναλυτικού υπολογισμού και Αποτελεσμάτων εξομοίωσης

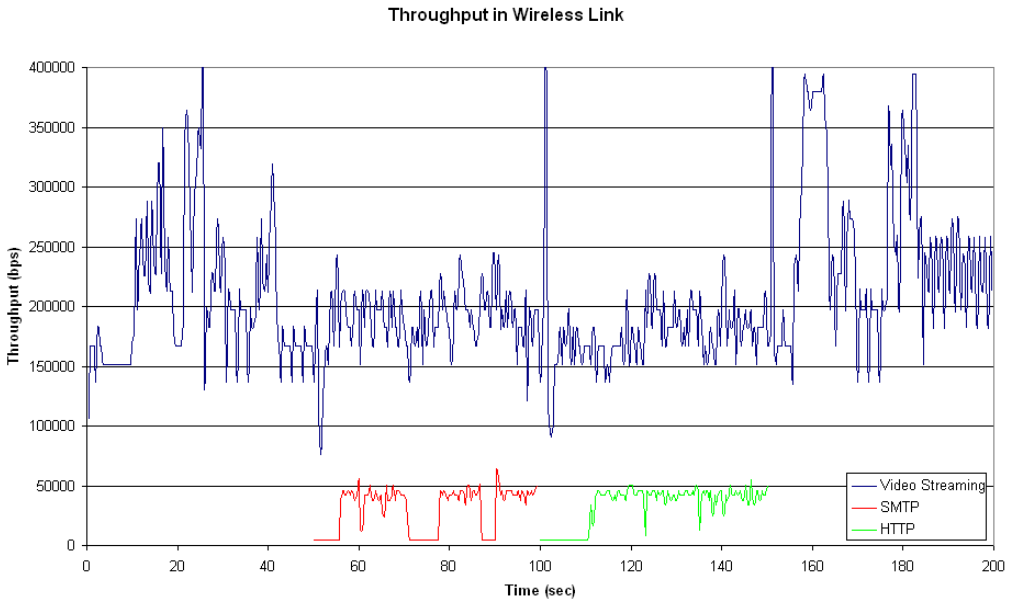
Μια προφανής παρατήρηση που προκύπτει από το Σχήμα 47 είναι ότι στο χρόνο εξυπηρέτησης πακέτου 140 msec τα αναλυτικά και τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν να διαφέρουν σημαντικά. Γνωρίζοντας όμως ότι στον άξονα των Y στο Σχήμα 47 η κλίμακα είναι λογαριθμική, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η παραπάνω απόκλιση δεν είναι τόσο κρίσιμη όπως αποτυπώνεται στο σχήμα. Για παράδειγμα, η pdf συνάρτηση κατανομής πυκνότητας πιθανότητας των πακέτων που έχουν χρόνο εξυπηρέτησης 140 msec είναι στην αναλυτική προσέγγιση περίπου το 1%, ενώ στα

πειραματικά αποτελέσματα αυτή βρέθηκε να είναι 0,1%. Συνεπώς, θεωρώντας το συνολικό αριθμό των πακέτων που φθάνουν στο τερματικό του χρήστη (περίπου 3000), τα αναλυτικά αποτελέσματα δείχνουν ότι περίπου 30 από αυτά έχουν χρόνο εξυπηρέτησης 140 msec σε σύγκριση με τα πειραματικά αποτελέσματα που εμφανίζουν 3 πακέτα με τον παραπάνω χρόνο εξυπηρέτησης.

7.4.2 Μετάδοση MPEG-4 video με την παρουσία πρόσθετης background κίνηση

Στο Σχήμα 48 παρουσιάζεται το throughput στο ασύρματο link κατά τη διάρκεια μετάδοσης του MPEG-4 video πάνω από τα dedicated channels..Ο άξονας των Y δείχνει το throughput (σε bps) και ο άξονας X το χρόνο. Στο σχήμα αυτό φαίνονται 3 στοιχεία:

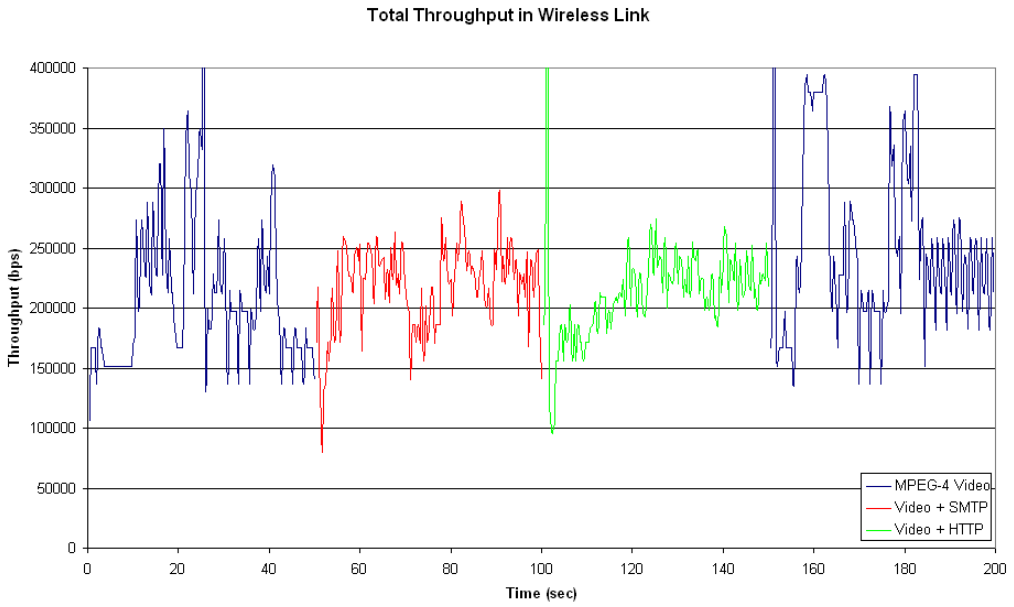
- Το throughput της ροής video (μπλε γραμμή)
- Το throughput της SMTP κίνησης που ακολουθεί pareto κατανομή (κόκκινη γραμμή)
- Το throughput της HTTP κίνησης (πράσινη γραμμή)



Σχήμα 48: Throughput στο ασύρματο link (με TCP background κίνηση)

Το μέγιστο throughput της SMTP και της HTTP κίνησης είναι 50 Kbps. Το Σχήμα 49 δείχνει το συνολικό throughput στο Ασύρματο link, το οποίο είναι το άθροισμα της κίνησης video και SMTP στο πρώτο χρονικό διάστημα (από το 50° μέχρι το 100° sec), και το άθροισμα της video και HTTP κίνησης κατά τη διάρκεια του δεύτερου χρονικού διαστήματος (από το 100° μέχρι το 150° sec). Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 49 το συνολικό throughput στο ασύρματο link είναι πάντα χαμηλότερο από την ονομαστική τιμή του ρυθμού downlink των DCH καναλιών που είναι 384 Kbps.

Λαμβάνοντας υπόψη την από άκρο σε άκρο καθυστέρηση (end-to-end delay) και την καθυστέρηση στο RAN δίκτυο, η παρουσία της επιπρόσθετης background TCP κίνησης δημιουργεί αποτελέσματα όμοια με αυτά που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο και πιο συγκεκριμένα στο Σχήμα 44 και στο Σχήμα 45.



Σχήμα 49: Συνολικό throughput στο ασύρματο link

7.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών, αναπτύσσεται παράλληλα και η ζήτηση για υπηρεσίες πολυμέσων. Η δε ανάπτυξη του Internet φέρνει μεγάλη ζήτηση και στην παροχή πολυμεσικών υπηρεσιών πάνω από IP δίκτυα. Η ανάπτυξη των προτύπων στο UMTS βρίσκεται σε μια φάση έντονων μελετών.

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάστηκαν εξομοιώσεις που αφορούν την αξιολόγηση των δυνατοτήτων του UMTS air interface. Παρουσιάστηκαν αποτελέσματα για την απόδοση του UMTS για διαφορετικούς τύπους κίνησης, συμπεριλαμβανομένων MPEG-4 video, HTTP και SMTP. Οι παράμετροι που εξετάστηκαν ήταν η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, η καθυστέρηση στο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (RAN) και το throughput στο ασύρματο link. Για την εξομοίωση, χρησιμοποιήθηκαν τα DCH dedicated channels ως τα κανάλια μεταφοράς.

Συμπερασματικά, η χρήση TCP και UDP πρωτοκόλλων στο σύστημα, έδειξε ότι το σενάριο συνύπαρξης στο ίδιο κανάλι TCP κίνησης και video στο UMTS, είναι εφαρμόσιμο. Παρόλα αυτά παρουσιάζονται κάποια προβλήματα όταν ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης φτάνει το downlink φράγμα του καναλιού, με αποτέλεσμα πακέτα να χάνονται. Αν τα πακέτα αυτά είναι TCP πακέτα, αυτά επανα-μεταδίδονται, σε περίπτωση όμως που είναι UDP πακέτα που προέρχονται από την κίνηση video, τότε υπάρχουν προβλήματα συγχρονισμού μεταξύ του πομπού και της ακολουθίας video στον κινητό χρήστη. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι αναγκαίο ο αποστολέας να προσαρμόζει το ρυθμό μετάδοσης που βασίζεται στις τρέχουσες συνθήκες του δικτύου. Ένας τέτοιος μηχανισμός παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

Πρέπει να αναφερθεί ότι τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται δεν συμπεριλαμβάνουν διαφοροποιήσεις που προκύπτουν από το core δίκτυο, το οποίο στις εξομοιώσεις θεωρείται ως ένα IP δίκτυο. Συνεπώς, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η ολική απόδοση μπορεί να χειροτερεύσει μιας και το TCP, ως end-to-end

πρωτόκολλο θα παρουσιάζει επιπρόσθετες καθυστερήσεις και συμφόρηση στο δίκτυο κορμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: DECISION FEEDBACK SCHEME ΓΙΑ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ UMTS

DECISION FEEDBACK SCHEME ΓΙΑ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ UMTS

Το UMTS αποτελεί το δρόμο προς ένα μελλοντικό ασύρματο all-IP δίκτυο. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται πως το UMTS μπορεί να υποστηρίξει πολυμεσικές IP υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, μιας και οι υπηρεσίες αυτές πρόκειται να οδηγήσουν στην υιοθέτηση ασύρματων all-IP δικτύων. Η μετάδοση πολυμέσων σε πραγματικό χρόνο αποτελεί καινοτόμο εφαρμογή στην επικοινωνία ασύρματων δεδομένων, δημιουργώντας πλειάδα απαιτήσεων τόσο στα τηλεπικοινωνιακά όσο και στα πληροφοριακά συστήματα. Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζουμε ένα «αναδραστικό» σύστημα λήψης αποφάσεων (decision feedback scheme), το οποίο βασίζεται σε πρωτόκολλα πραγματικού χρόνου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετάδοση video πάνω από τα κανάλια μεταφοράς του UMTS. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί έναν μηχανισμό ελέγχου συμφόρησης, φιλικό προς τον κινητό χρήστη, για να ελέγξει το ρυθμό μετάδοσης της ακολουθίας video πραγματικού χρόνου. Επιπλέον στο κεφάλαιο αυτό αξιολογείται ο παραπάνω μηχανισμός μέσα από έναν αριθμό πειραμάτων. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων αυτών δείχνουμε τη «φιλική» συμπεριφορά του μηχανισμού προς τις ροές δεδομένων TCP και UDP, οι οποίες συνυπάρχουν στο ίδιο κανάλι κατά τη μετάδοση και πολυμεσικών δεδομένων.

Είναι θεμελιώδες για ένα ασύρματο δίκτυο να έχει έναν αποτελεσματικό αλγόριθμο κατανομής του εύρους ζώνης, έτσι ώστε οι «κινητοί» χρήστες να απολαμβάνουν συγχρόνως πολυμεσικές εφαρμογές (video πραγματικού χρόνου) ταυτόχρονα με Internet εφαρμογές. Επιπλέον, θα πρέπει για τις εφαρμογές που τρέχουν παράλληλα, το δίκτυο να εγγυάται ότι δεν θα υπερισχύει κάποια, μονοπωλώντας το διαθέσιμο bandwidth.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε έναν μηχανισμό για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της κατάστασης του δικτύου του UMTS air interface, και τον υπολογισμό του κατάλληλου ρυθμού μετάδοσης των πολυμεσικών δεδομένων. Ο μηχανισμός, που ονομάζεται Decision Feedback Scheme, χρησιμοποιεί ένα σύστημα ελέγχου συμφόρησης για τον έλεγχο της μετάδοσης του video.

Μελετώντας μια σύνοψη της μετάδοσης video πάνω από ασύρματα κανάλια [22], μπορούμε να βρούμε τεχνικές που προτείνονται για adaptive streaming αρχιτεκτονικές [23], που βασίζονται σε πρωτόκολλα πραγματικού χρόνου. Ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιείται για unicast και multicast μετάδοση πολυμεσικού περιεχομένου πάνω από ετερογενή δίκτυα, όπως το Internet. Επίσης η τεχνική Adaptive Media Playout [24] είναι μια νέα τεχνική που επιτρέπει σε streaming πολυμεσικό περιεχόμενο, χωρίς την εμπλοκή του εξυπηρετητή, να ελέγχει το ρυθμό με τον οποίο λαμβάνονται τα δεδομένα. Μια ακόμα τεχνολογία για συστήματα μετάδοσης πολυμεσικού περιεχομένου έχει προταθεί, η οποία ορίζει τον τρόπο με τον οποίο δεσμεύονται πόροι μεταξύ των πακέτων [25]. Η τεχνική αυτή παρέχει ένα ευέλικτο πλαίσιο που επιτρέπει rate-distortion optimized (RaDio) packet scheduling. Σε αυτή, το σύστημα διανέμει χρόνο και εύρος ζώνης, καθώς προσαρμόζεται στις εκάστοτε συνθήκες του καναλιού. Η συγκεκριμένη μετάδοση μπορεί να υποστηριχθεί αν το πολυμεσικό περιεχόμενο έχει κωδικοποιηθεί εκ των προτέρων με τις

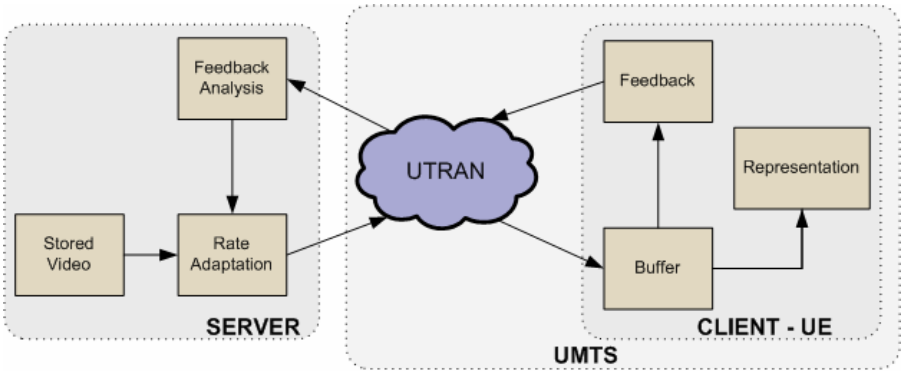
απαιτούμενες εξαρτήσεις μεταξύ των πακέτων, που θα υιοθετηθούν από το κανάλι (channel adaptive packet dependency control) [26].

Αν και αυτές οι channel-adaptive τεχνικές παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα για streaming video πάνω από ετερογενή δίκτυα, απαιτούν σημαντικές διαφοροποιήσεις στον client του χρήστη ή / και στον streaming server. Για το λόγο αυτό, το παρόν κεφάλαιο επικεντρώνεται σε λύσεις για τη μετάδοση video πάνω από τα κανάλια μετάδοσης του UMTS, οι οποίες θα απαιτούν τις ελάχιστες δυνατές ρυθμίσεις και μόνον από την πλευρά του εξυπηρετητή, παρέχοντας όμως βεβαιωμένη και εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας (QoS). Ο στόχος είναι να δημιουργηθεί ένα decision feedback scheme το οποίο θα επικεντρώνεται στην ασύρματη μετάδοση video.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η αρχιτεκτονική του Decision Feedback Scheme, ο μηχανισμός που ρυθμίζει τη μετάδοση της ροής video και κάποια πειραματικά αποτελέσματα.

8.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΥ DFS

Η αρχιτεκτονική που προτείνεται για την ανάπτυξη του Decision Feedback Scheme βασίζεται στο μοντέλο πελάτη – εξυπηρετητή (client – server). Η αρχιτεκτονική αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 50.



Σχήμα 50: Αρχιτεκτονική του Decision Feedback Scheme

Το σχήμα αυτό αποτελείται από τα modules του client και του server. Σε ότι αφορά τον εξυπηρετητή (server), αυτός χωρίζεται στα εξής μέρη:

1. **Feedback Analysis**: Αυτό το κομμάτι είναι υπεύθυνο για την ανάλυση των πληροφοριών που λαμβάνονται ως feedback από τον client. Αναλύει τις πληροφορίες αυτές, και υιοθετεί το ρυθμό μετάδοσης της ακολουθίας video σύμφωνα με τις υπάρχουσες συνθήκες του δικτύου.
2. **Stored Video**: Είναι το κομμάτι που έχει αποθηκεμένη την ακολουθία video και φυσικά αποτελείται από ένα σύνολο σκληρών δίσκων. Στα πειράματα που παρουσιάζονται, το video ακολουθεί το πρότυπο H.263 της ITU, το οποίο εμφανίζει πλέον αρκετά συχνή χρήση, ειδικά σε ασύρματα δίκτυα, όπως και το UMTS.
3. **Rate Adaptation**: Το κομμάτι αυτό ρυθμίζει το ρυθμό μετάδοσης εκπομπής του video, σύμφωνα με τις πληροφορίες που έχει επεξεργαστεί και έχει παράγει το Feedback Analysis.

Ο client του συστήματος (δηλαδή ο κινητός χρήστης), αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:

1. **Buffer**: Η χρήση ενδιάμεσης μνήμης στην πλευρά του client είναι ιδιαίτερα σημαντική. Ο client αποθηκεύει τα δεδομένα που λαμβάνει από το δίκτυο πριν την αναπαράσταση του video από τον τερματικό εξοπλισμό του κινητού χρήστη. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η αναπαράσταση του video στο τερματικό του χρήστη ξεκινάει μόνο όταν η απαιτούμενη πληροφορία έχει αποθηκευτεί στον buffer του client.
2. **Feedback**: Αυτό το μέρος του client είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση της αναπαράστασης της video ακολουθίας, και τη μετάδοση των μετρικών του ρυθμού μετάδοσης που ο τελικός χρήστης αποστέλλει προς τον εξυπηρετητή.
3. **Representation**: Είναι το κομμάτι που αναλαμβάνει την απεικόνιση της ακολουθίας video στο τερματικό του κινητού χρήστη.

Πολλά υπάρχοντα ενσύρματα ή ασύρματα δίκτυα δεν μπορούν να παρέχουν εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίες (QoS), είτε λόγω συμφόρησης, είτε λόγω του γεγονότος ότι δεν μπορούν να αποφευχθούν παροδικοί πολύ υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης λαθών κατά τη διάρκεια περιόδων fading. Εξαιτίας των απαιτήσεων για περιορισμένη καθυστέρηση και της εξαιρετικά μεγάλης «ευαισθησίας» των συμπιεσμένων ροών video, ένα αποτελεσματικό πολυμεσικό σύστημα μετάδοσης θα πρέπει να ενσωματώνει την αλληλεπίδραση με το δίκτυο, τα χαμηλότερα επίπεδα αυτού, και τις εμπλεκόμενες εφαρμογές. Αφενός το δίκτυο θα πρέπει να είναι ικανό να εξυπηρετήσει τις ανάγκες των εφαρμογών, και αφετέρου οι εφαρμογές να έχουν γνώση των συνθηκών που επικρατούν στο δίκτυο. Αξιόπιστα πρωτόκολλα μεταφοράς, όπως το TCP, μπορούν να ανακάμψουν από την απώλεια πακέτων χρησιμοποιώντας acknowledgements και επανα-μεταδόσεις. Παρόλα αυτά, η καθυστέρηση είναι γενικά πολύ μεγάλη για πολυμεσικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπου τα πακέτα που έρχονται καθυστερημένα θεωρούνται ως χαμένα. Συνήθως οι πολυμεσικές εφαρμογές χρησιμοποιούν το UDP πρωτόκολλο, το οποίο παρέχει μη αξιόπιστη παράδοση πακέτων. Στο UDP το επίπεδο εφαρμογής (application layer) είναι υπεύθυνο για την ακεραιότητα των δεδομένων, καθορίζοντας τα πακέτα στη σωστή σειρά, ελέγχοντας τα χαμένα πακέτα, καθώς και την εφαρμογή ελέγχου ροής (flow control).

Επιπλέον, οι εφαρμογές video πραγματικού χρόνου απαιτούν από όλα τα πακέτα να φθάνουν με χρονολογική σειρά, μιας και η απώλεια πακέτων σημαίνει διακοπή του συγχρονισμού μεταξύ κωδικοποιητή και αποκωδικοποιητή, και τα σφάλματα μεταδίδονται στο εικονιζόμενο video. Αν τα πακέτα καθυστερήσουν πολύ, αυτόματα γίνονται άχρηστα για τον αποκωδικοποιητή, και θεωρούνται χαμένα.

Στην προσέγγιση που παρουσιάζεται, χρησιμοποιείται το UDP για τη μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων και TCP για τη μετάδοση πληροφοριών ελέγχου. Το UDP χρησιμοποιείται συχνά σε πολυμεσικές εφαρμογές, μιας και η διόρθωση λαθών και οι επανα-μεταδόσεις δημιουργούν μη αποδεκτές χρονικές καθυστερήσεις στην ακολουθία του video.

Το πρότυπο H.263 είναι ένα πρότυπο κωδικοποίησης video χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, που στοχεύει στην παροχή αλληλεπιδραστικού video για Internet και κινητές συνδέσεις.

Η συμπιεσμένη ροή video που λαμβάνεται από το H.263 και παρόμοιες κωδικοποιήσεις, παρουσιάζει κάποια χαρακτηριστικά, τα οποία είναι κρίσιμα για τον

αποτελεσματικό σχεδιασμό ασύρματων συστημάτων που προσανατολίζονται στη μεταφορά video. Μεταξύ αυτών, είναι η διαφοροποίηση στο ρυθμό μετάδοσης, τα αποτελέσματα από τα λάθη στη μετάδοση και στα διαφορετικά μέρη της ροής, και την ευαισθησία στην καθυστέρηση [27].

8.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ FEEDBACK ΚΑΙ ΑΠΟΦΑΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΡΥΘΜΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζουμε λεπτομερώς τη λειτουργία του feedback analysis μέρους του συστήματος, όπως αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 50. Το block αυτό του συστήματος είναι υπεύθυνο για την ανάλυση των feedback πληροφοριών που λαμβάνονται από τον κινητό χρήστη και αφορούν την ποιότητα μετάδοσης των δεδομένων. Το εύρος ζώνης είναι ο πλέον περιορισμένος πόρος στο UMTS και σε κάθε ασύρματο δίκτυο. Για το λόγο αυτό, είναι εξαιρετικής σημασίας η πλέον αποτελεσματική χρήση του πόρου αυτού. Οι εφαρμογές video παράγουν μεγάλο όγκο πληροφορίας. Έχοντας υπόψη ότι το μέγιστο διαθέσιμο εύρος ζώνης στο UMTS για τα dedicated channels είναι 2 Mbps, η ποιότητα του video που αναπαρίσταται στον τερματικό εξοπλισμό του χρήστη εξαρτάται από τις απώλειες πακέτων και την καθυστέρηση. Μια ακόμα ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την ποιότητα του video είναι η παρουσία άλλων ροών που συνυπάρχουν στο ίδιο κανάλι.

Στην προσέγγισή μας, ορίζεται ένα ανώτατο όριο για το εύρος ζώνης που μπορεί η streaming εφαρμογή να δεσμεύσει από το κανάλι μεταφοράς. Ο περιορισμός αυτός επιτρέπει στη μετάδοση video να χρησιμοποιεί μέχρι *a%* του μέγιστου διαθέσιμου εύρους ζώνης του καναλιού μεταφοράς. Συνεπώς, οι υπόλοιπες ροές δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιήσουν το *(100-a)%* του εύρους ζώνης του καναλιού. Αν το εύρος ζώνης της streaming εφαρμογής φτάσει το ανώτερο όριο ή αν το συνολικό bandwidth που μεταδίδεται από τις streaming εφαρμογές φτάσει το μέγιστο bandwidth του καναλιού, τότε το δίκτυο πρέπει να προσαρμόσει το ρυθμό μετάδοσης της ακολουθίας video σε μια χαμηλότερη τιμή, έτσι ώστε να αποφευχθεί η συμφόρηση στο δίκτυο. Για παράδειγμα, θεωρώντας ένα dedicated channel με downlink εύρος ζώνης 384 Kbps και δυο διαφορετικές εφαρμογές να συνυπάρχουν στο ίδιο κανάλι (streaming video και μια TCP ροή), το video δεν θα πρέπει να έχει ρυθμό μετάδοσης μεγαλύτερο του *384*a%*. Η παράμετρος *a* εξαρτάται βασικά από τις ανάγκες του κινητού χρήστη και από τις τρέχουσες συνθήκες του δικτύου. Όταν δίνεται προτεραιότητα στην ακολουθία video η παράμετρος *a* τείνει στο 100%. Αντίστοιχα όταν δίνεται προτεραιότητα στις υπόλοιπες ροές, η παράμετρος *a* τείνει στο 0. Οι μετρήσεις του εύρους ζώνης που κάθε εφαρμογή δεσμεύει και το throughput κάθε εφαρμογής που μεταδίδεται στο κανάλι μεταφοράς βασίζονται σε πληροφορία πραγματικού χρόνου που διακινείται μεταξύ του κινητού χρήστη και του εξυπηρετητή, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 50.

Ο Πίνακας 24 περιγράφει τον ψευδο-κώδικα του decision feedback scheme που παρουσιάστηκε.

Ο κινητός χρήστης ανά περιοδικά χρονικά διαστήματα στέλνει TCP αναφορές στον εξυπηρετητή πολυμέσων (media server), ο οποίος περιέχει πληροφορίες για το τρέχων throughput στο ασύρματο link κατά τη διάρκεια της μετάδοσης των πολυμεσικών δεδομένων μεταξύ του εξυπηρετητή και του κινητού χρήστη. Το module για την feedback ανάλυση εξάγει το throughput από την TCP αναφορά και το περνά μέσα από ειδικό φίλτρο. Η χρήση αυτού του φίλτρου είναι ιδιαίτερα κρίσιμη

για τη λειτουργία του Decision Feedback Scheme με σκοπό να αποφύγει λανθασμένες εκτιμήσεις για την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου.

```
Define a%;
Assign (System Available Bandwidth * a%) to the streaming multimedia application;
IF [New Requested Bandwidth Bi < (100-a)* System Available Bandwidth]
    Assign Bi;
ELSE
    Adjust transmission rate of the video sequence to a lower value;
    Assign Bi;
IF [New Requested Bandwidth Bj < (100-a)* System Available Bandwidth-Bi]
    Assign Bj;
ELSE
    Adjust transmission rate of the video sequence to a lower value;
    Assign Bj;
WHILE (Bi OR Bj stop)
    IF (Available Bandwidth * a%) is free
        Adjust transmission rate of the video sequence to a higher value;
    ELSE
        CONTINUE;
```

Πίνακας 24: Ψευδο-κώδικας για το Decision Feedback Scheme

Το δίκτυο χαρακτηρίζεται από τρεις πιθανές καταστάσεις:

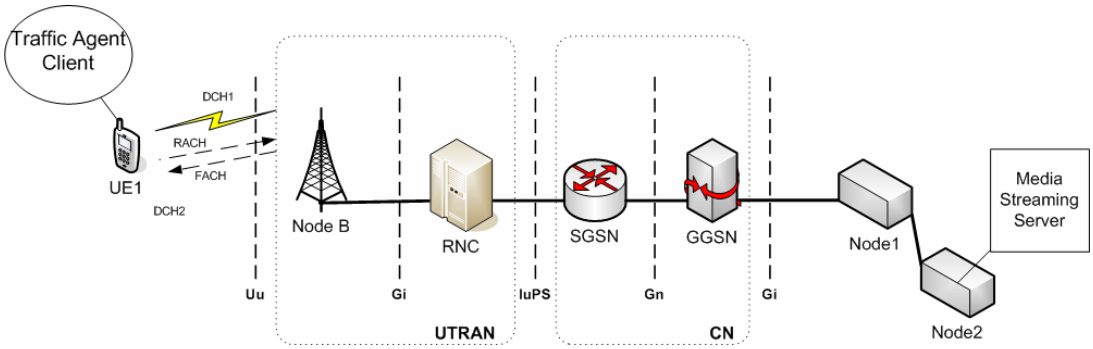
- **Κατάσταση συμφόρησης**: Όταν το throughput των πολυμεσικών εφαρμογών φθάνει το *a%* του διαθέσιμου εύρους ζώνης του καναλιού ή το συνολικό throughput φτάνει την ταχύτητα downlink του dedicated channel. Σε αυτή την περίπτωση ο ρυθμός μετάδοσης των πολυμεσικών δεδομένων πρέπει να μειωθεί.
- **Κατάσταση φόρτου**: Σε αυτή την κατάσταση η ποιότητα μετάδοσης είναι ικανοποιητική και δεν απαιτούνται αλλαγές στο ρυθμό μετάδοσης των πολυμεσικών δεδομένων.
- **Κατάσταση άδειου δικτύου**: Το throughput είναι μικρό και οι ροές στο κανάλι εξυπηρετούνται πολύ καλά. Σε αυτή την περίπτωση ο ρυθμός μετάδοσης των πολυμεσικών δεδομένων πρέπει να αυξηθεί.

Το φίλτρο λειτουργεί ως εξής: αν το 60% των εκτιμώμενων τιμών throughput, σε μια περίοδο 5 sec, δείχνουν ότι το σύστημα είναι σε συμφόρηση ή παρουσιάζεται άδειο το δίκτυο, το feedback analysis block προχωράει στη μείωση ή την αύξηση, αντίστοιχα, του ρυθμού μετάδοσης των πολυμεσικών δεδομένων.

8.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του μοντέλου εξομοίωσης που αναπτύχθηκε με τη χρήση του εξομοιωτή ns-2 [28]. Θεωρούμε λοιπόν την παρακάτω αρχιτεκτονική που αποτελείται από έναν εξυπηρετητή

μετάδοσης πολυμέσων (streaming media server), το κανάλι μεταφοράς και τον streaming client. Τα παραπάνω αποτυπώνονται στο Σχήμα 51.



Σχήμα 51: Το media streaming σύστημα

Το σενάριο αυτό αποτελείται από την UMTS κυψέλη που καλύπτεται από το σταθμό βάσης Node-B ο οποίος είναι συνδεδεμένος σε έναν RNC. Το μοντέλο περιλαμβάνει τον τερματικό εξοπλισμό του χρήστη (UE), ο οποίος συνδέεται σε ένα DCH, όπως φαίνεται στο Σχήμα 51. Στις εξομοιώσεις χρησιμοποιούνται DCH κανάλια 384 Kbps στο downlink και 128 Kbps στην uplink κατεύθυνση. Τα TTIs είναι 10 msec και 20 msec στις downlink και uplink κατευθύνσεις, αντίστοιχα. Σε ότι αφορά την ακολουθία video, αυτή είναι κωδικοποιημένοι κατά το ITU-H.263 σε QCIF format (176x144 pixels) σε PAL frame rate με 25 καρέ ανά δευτερόλεπτο. Οι ακολουθίες video έχουν προκύψει από το [29].

Για να αναλυθεί η συμπεριφορά του Decision Feedback Scheme παρουσιάζουμε μια σειρά από πειράματα:

1. Μετάδοση adaptive video και UDP κίνησης: Κατά τη διάρκεια αυτού του πειράματος, ερευνάται η συμπεριφορά του Decision Feedback Scheme έναντι της UDP κίνησης.
2. Μετάδοση adaptive video και TCP κίνησης συγχρόνως: Κατά τη διάρκεια αυτού του πειράματος, ερευνάται η συμπεριφορά του Decision Feedback Scheme έναντι της TCP κίνησης. Η TCP κίνηση είναι σημαντική επειδή είναι η κίνηση που παράγουν δημοφιλείς εφαρμογές, όπως το web (HTTP) και η FTP κίνηση.

8.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

Στην παράγραφο αυτή περιγράφονται τα πειραματικά αποτελέσματα σε ότι αφορά την απόδοση και τη συμπεριφορά του Decision Feedback Scheme. Κατά τη διάρκεια αυτών των πειραμάτων εξετάζεται η συμπεριφορά του μηχανισμού των TCP και UDP data streams που συνυπάρχουν με ροές video στο ίδιο κανάλι μεταφοράς.

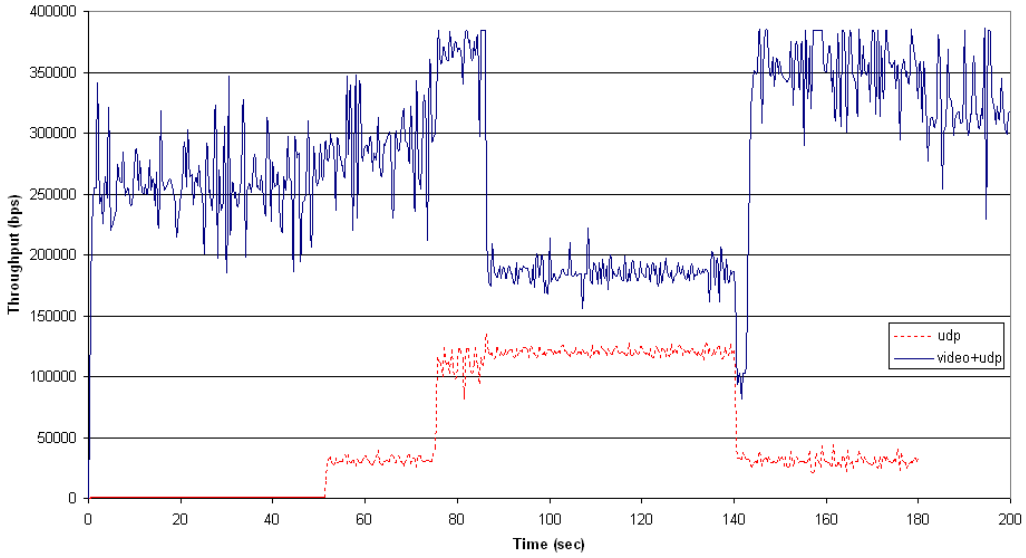
8.4.1 Μετάδοση streaming video και UDP κίνησης

Σε αυτό το πείραμα, μεταδίδεται συγχρόνως μια video εφαρμογή μαζί με UDP κίνηση. Αρχικά μεταδίδεται μόνο video με ρυθμό μετάδοσης 256 Kbps μέσα από το dedicated channel. Μετά από 50 sec μεταδίδεται εκτός από το video και UDP κίνηση. Όταν ολοκληρωθεί η μετάδοση της UDP κίνησης, το video εξακολουθεί για 30 sec

ακόμα. Ο συνολικός χρόνος της εξομοίωσης είναι 200 sec. Η περίοδος αυτή χωρίζεται στα εξής διαστήματα:

- **Διάστημα 1** [0, 200 sec]: Η video κίνηση (H.263) δημιουργείται στον κόμβο 2 και κατευθύνεται προς τον χρήστη 1.
- **Διάστημα 2** [50, 170 sec]: UDP κίνηση σταθερού ρυθμού μετάδοσης (CBR) δημιουργείται στον κόμβο 2 και κατευθύνεται προς τον UE1. Ο ρυθμός μετάδοσης της κίνησης είναι 30 Kbps στα διαστήματα [50, 75 sec] και [140, 170 sec], και 120 Kbps στο διάστημα [75, 140 sec].

Το Σχήμα 52 αποτυπώνει το συνολικό throughput στο ασύρματο link. Ο άξονας των Y παρουσιάζει το throughput σε bps, ενώ ο άξονας των X παρουσιάζει το χρόνο και τη διάρκεια της εξομοίωσης. Η μπλε γραμμή παρουσιάζει το συνολικό throughput στο ασύρματο link (video + UDP), ενώ η κόκκινη γραμμή παρουσιάζει το throughput της UDP κίνησης.



Σχήμα 52: Συνολικό throughput στο ασύρματο link κατά τη διάρκεια του πρώτου πειράματος

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων η παράμετρος *a* ορίστηκε στο 66,7% και ο downlink ρυθμός μετάδοσης του DCH καναλιού είναι 384 Kbps. Η συνθήκη αυτή περιορίζει το ρυθμό μετάδοσης του video να είναι όχι πάνω από 256 Kbps, ενώ οι υπόλοιπες ροές στο κανάλι δεν μπορούν να μεταδοθούν με ρυθμό μεγαλύτερο από 128 Kbps.

Αρχικά η μετάδοση της video ακολουθίας είναι 256 Kbps. Μετά από 50 sec της έναρξης μετάδοσης, ξεκινά η μετάδοση CBR UDP κίνησης με ρυθμό μετάδοσης 30 Kbps. Για τα επόμενα 25 sec το συνολικό throughput στο ασύρματο κανάλι αυξάνεται, χωρίς όμως να παρουσιάζονται προβλήματα στο σύστημα μιας και η αναλογία video προς UDP κίνησης είναι 256 προς 30. Κατά το 75° δευτερόλεπτο, αυξάνουμε το ρυθμό μετάδοσης της UDP κίνησης από 30 σε 120 Kbps. Στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, δημιουργείται συμφόρηση στο δίκτυο, μιας και το συνολικό throughput στο ασύρματο κανάλι φθάνει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης των DCH καναλιών και η αναλογία video προς UDP κίνησης γίνεται 2 προς 1. Κατά συνέπεια το Feedback Scheme, για να συνεχίσει να υποστηρίζει την UDP κίνηση, αποφασίζει να μειώσει το ρυθμό μετάδοσης του video στα 64 Kbps. Μέχρι το 140°

δευτερόλεπτο, όταν η UDP κίνηση μειώνεται στα 30 Kbps, το κανάλι μεταφοράς εξυπηρετεί 2 ροές με αναλογία 64 προς 120. Στο σημείο αυτό το Feedback Scheme αποφασίζει να αυξήσει το ρυθμό μετάδοσης της ακολουθίας video μιας και ο ρυθμός μετάδοσης της UDP κίνησης είναι και πάλι πολύ χαμηλός και το κανάλι μεταφοράς έχει αρκετό διαθέσιμο bandwidth για να εξυπηρετήσει τις 2 ροές. Τελικά, στο 170° δευτερόλεπτο η UDP κίνηση σταματά και η μόνη ροή στο ασύρματο δίκτυο είναι η video ακολουθία.

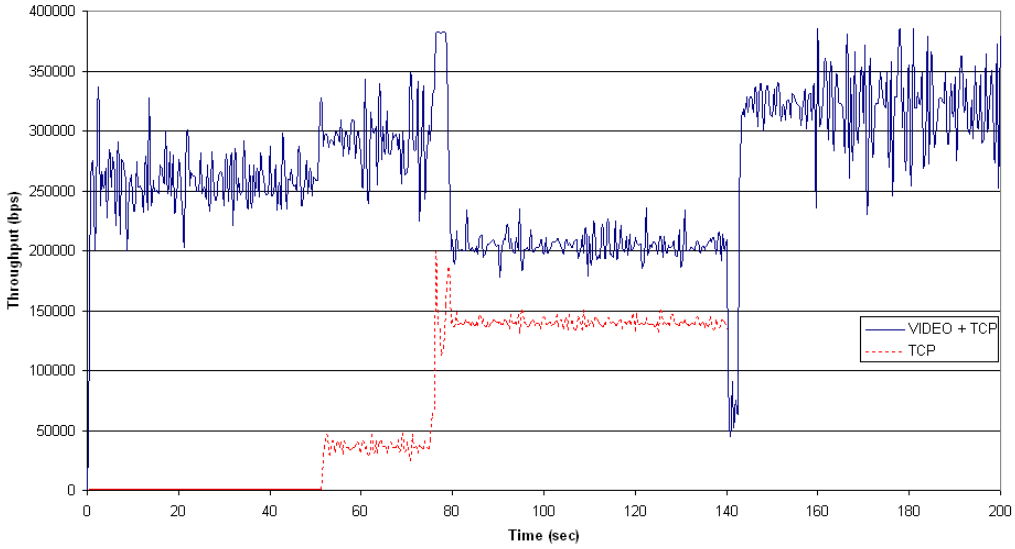
Από το Σχήμα 52 είναι προφανές ότι το Decision Feedback Scheme λειτουργεί αποτελεσματικά σε μεικτές συνθήκες κίνησης. Επιπλέον, με τη χρήση αυτού του σχήματος, η μετάδοση video φαίνεται να παρουσιάζει φιλική συμπεριφορά προς κάθε άλλη UDP κίνηση που συνυπάρχει στο κανάλι μεταφοράς.

8.4.2 Μετάδοση streaming video και UDP κίνησης

Σε αυτό το πείραμα, μεταδίδεται συγχρόνως εφαρμογές video και TCP κίνηση στο ίδιο κανάλι. Αρχικά μεταδίδεται video στα 256 Kbps μέσα από το dedicated channel. Μετά από 50 sec, μεταδίδεται από το κανάλι και για χρόνο 90 sec, εκτός από το streaming video και TCP κίνηση. Μετά το τέλος μετάδοσης της TCP κίνησης η μετάδοση του video συνεχίζεται για ακόμα 60 sec. Η συνολική διάρκεια της εξομοίωσης είναι συνεπώς 200 sec. Η περίοδος αυτή χωρίζεται στα εξής διαστήματα που ήδη προαναφέρθηκαν:

- **Διάστημα 1** [0, 200 sec]: Η video κίνηση (H.263) δημιουργείται στον κόμβο 2 και κατευθύνεται προς τον χρήστη 1.
- **Διάστημα 2** [50, 140 sec]: TCP κίνηση σταθερού ρυθμού μετάδοσης (CBR) δημιουργείται στον κόμβο 2 και κατευθύνεται προς τον UE1. Ο ρυθμός μετάδοσης της κίνησης είναι 30 Kbps στα διαστήματα [50, 75 sec] και 120 Kbps στο διάστημα [75, 140 sec].

Το Σχήμα 53 αποτυπώνει το συνολικό throughput στο ασύρματο link. Η μπλε γραμμή δείχνει το συνολικό throughput στο ασύρματο link (video + TCP), ενώ η κόκκινη γραμμή δείχνει το throughput της TCP κίνησης.



Σχήμα 53: Συνολικό throughput στο ασύρματο link κατά τη διάρκεια του δεύτερου πειράματος

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων η παράμετρος *a* ορίστηκε στο 66,7% και ο downlink ρυθμός μετάδοσης του DCH καναλιού είναι 384 Kbps. Η συνθήκη αυτή περιορίζει το ρυθμό μετάδοσης του video να είναι όχι πάνω από 256 Kbps, ενώ οι υπόλοιπες ροές στο κανάλι δεν μπορούν να μεταδοθούν με ρυθμό μεγαλύτερο από 128 Kbps.

Αρχικά η μετάδοση της video ακολουθίας είναι 256 Kbps. Μετά από 50 sec της έναρξης μετάδοσης, ξεκινά η μετάδοση CBR TCP κίνησης με ρυθμό μετάδοσης 30 Kbps. Για τα επόμενα 25 sec το συνολικό throughput στο ασύρματο κανάλι αυξάνεται, χωρίς όμως να παρουσιάζονται προβλήματα στο σύστημα μιας και η αναλογία video προς TCP κίνησης είναι 256 προς 30. Κατά το 75° δευτερόλεπτο, αυξάνουμε το ρυθμό μετάδοσης της TCP κίνησης από 30 σε 120 Kbps. Στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, δημιουργείται συμφόρηση στο δίκτυο, μιας και το συνολικό throughput στο ασύρματο κανάλι φθάνει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης των DCH καναλιών και η αναλογία video προς TCP κίνησης γίνεται 2 προς 1. Κατά συνέπεια το Feedback Scheme, για να συνεχίσει να υποστηρίζει την TCP κίνηση, αποφασίζει να μειώσει το ρυθμό μετάδοσης του video στα 64 Kbps. Μετά το 140° το Feedback Scheme αποφασίζει να αυξήσει το ρυθμό μετάδοσης της ακολουθίας video μιας και η TCP κίνηση σταματά να μεταδίδει δεδομένα.

Από το Σχήμα 53 είναι προφανές ότι το Decision Feedback Scheme λειτουργεί αποτελεσματικά σε μεικτές συνθήκες κίνησης. Επιπλέον, με τη χρήση αυτού του σχήματος, η μετάδοση video φαίνεται να παρουσιάζει φιλική συμπεριφορά προς την TCP κίνηση που συνυπάρχει στο κανάλι μεταφοράς.

8.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε η αρχιτεκτονική και η υλοποίηση ενός Decision Feedback Scheme που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση πολυμεσικού περιεχομένου πάνω από τα κανάλια μεταφοράς του UMTS. Ο σχεδιασμός του συστήματος επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη ενός μηχανισμού για την παρακολούθηση της

κατάστασης του δικτύου και την εκτίμηση του κατάλληλου ρυθμού μετάδοσης για τη μετάδοση των πολυμεσικών δεδομένων.

Μέσα από τα πειράματα που παρουσιάστηκαν φάνηκε ότι το Decision Feedback Scheme λειτουργεί αποτελεσματικά σε μεικτές συνθήκες κίνησης, δείχνοντας φιλική συμπεριφορά τόσο προς άλλες UDP ροές κίνησης, όσο και TCP ροών κίνησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στη διπλωματική αυτή εργασία μελετήθηκε η μετάδοση δεδομένων πάνω από το δίκτυο UMTS. Στα 4 πρώτα κεφάλαια παρουσιάστηκε το θεωρητικό υπόβαθρο και έγινε η αναλυτική περιγραφή συγκεκριμένων λειτουργιών του UMTS. Στη συνέχεια έγινε η περιγραφή του εξομοιωτή με τον οποίο έγιναν τα πειράματα που ακολούθησαν, και έγινε περιγραφή του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε.

Σε ότι αφορά τη μετάδοση TCP δεδομένων, έγιναν πειράματα σε τέσσερα DCHs με διαφορετικά χαρακτηριστικά σε ότι αφορά ρυθμούς μετάδοσης downlink και transmission time interval. Με τη βοήθεια των DCHs μπορεί να επιτευχθεί υψηλή χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης και υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στον τελικό χρήστη. Διαφορετικές εφαρμογές μπορούν να συνδεθούν στο ίδιο DCH κανάλι, για μεμονωμένους χρήστες όμως. Για τις μεταδόσεις High Speed Downlink Packet Access, χρησιμοποιήθηκε μοντέλο εξομοίωσης από 4 τελικούς χρήστες που συνδέονται σε ένα HS-DSCH. Τα πειράματα δείχνουν ότι σε εφαρμογές κίνησης, με χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, το HS-DSCH μπορεί να εξυπηρετήσει ένα μεγάλο αριθμό ταυτόχρονων χρηστών. Στις εξομοιώσεις που παρουσιάστηκαν το πρωτόκολλο TCP βρίσκεται από άκρη σε άκρη συμπεριλαμβανομένης και της ασύρματης ζεύξης. Αποδεικνύεται λοιπόν, ότι η λύση αυτή είναι εφαρμόσιμη για έναν κινούμενο χρήστη, αλλά η απόδοση μειώνεται καθώς οι μηχανισμοί του TCP δεν εγγυώνται Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS) των ασύρματων στοιχείων του UMTS σε θέματα καθυστέρησης και throughput. Αν τα πακέτα χάνονται στο δίκτυο, το TCP πρωτόκολλο υποθέτει ότι υπάρχει συμφόρηση (congestion) στο δίκτυο. Ως συνέπεια, οι TCP επανα-μεταδόσεις μειώνουν το μέγεθος του παραθύρου, το οποίο και έχει ως αποτέλεσμα μικρότερο throughput. Πολύ υψηλές καθυστερήσεις και μικρό throughput οδηγούν σε μη ικανοποίηση του τελικού χρήστη. Η συνολική απόδοση δε, μπορεί να γίνει ακόμα χειρότερη, μιας και το TCP, ως end-to-end πρωτόκολλο, θα παρουσιάζει επιπρόσθετη καθυστέρηση και συμφόρηση στο core δίκτυο.

Σχετικά με τη μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων πάνω από UMTS, πρέπει να αναφερθεί ότι η χρήση TCP και UDP πρωτοκόλλων στο σύστημα, έδειξε ότι το σενάριο συνύπαρξης στο ίδιο κανάλι TCP κίνησης και video στο UMTS, είναι εφαρμόσιμο. Παρόλα αυτά παρουσιάζονται κάποια προβλήματα όταν ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης φτάνει το downlink φράγμα του καναλιού, με αποτέλεσμα πακέτα να χάνονται. Αν τα πακέτα αυτά είναι TCP πακέτα, αυτά επανα-μεταδίδονται, σε περίπτωση όμως που είναι UDP πακέτα που προέρχονται από την κίνηση video, τότε υπάρχουν προβλήματα συγχρονισμού μεταξύ του πομπού και της ακολουθίας video στον κινητό χρήστη. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι αναγκαίο ο αποστολέας να προσαρμόζει το ρυθμό μετάδοσης που βασίζεται στις τρέχουσες συνθήκες του δικτύου. Εξάλλου, η συνολική απόδοση μπορεί να χειροτερεύσει μιας και το TCP, ως end-to-end πρωτόκολλο θα παρουσιάζει επιπρόσθετες καθυστερήσεις και συμφόρηση στο δίκτυο κορμού.

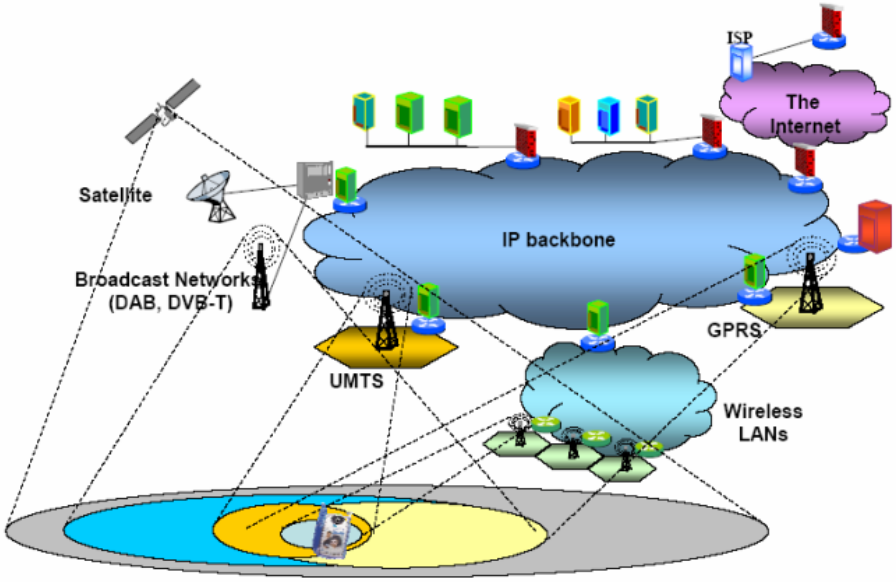
Τέλος, παρουσιάστηκε η αρχιτεκτονική και η υλοποίηση ενός Decision Feedback Scheme που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετάδοση πολυμεσικού περιεχομένου πάνω από τα κανάλια μεταφοράς του UMTS. Ο σχεδιασμός αυτού του συστήματος επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη ενός μηχανισμού για την παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου και την εκτίμηση του κατάλληλου ρυθμού μετάδοσης για τη μετάδοση των πολυμεσικών δεδομένων. Μέσα από τα πειράματα που υλοποιήθηκαν

φάνηκε ότι αυτό το Decision Feedback Scheme μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά σε μεικτές συνθήκες κίνησης, δείχνοντας φιλική συμπεριφορά τόσο προς άλλες UDP ροές κίνησης, όσο και TCP ροών κίνησης.

Η μελλοντική εργασία που μπορεί να ακολουθήσει την παρούσα δουλειά είναι καταρχήν η χρήση του RTP / RTCP πρωτοκόλλου, πάνω από το UDP, σε ότι αφορά τη μετάδοση πολυμεσικού δεδομένου και την ποιότητά της. Το RTCP πρωτόκολλο, χρησιμοποιεί αναφορές στον αποστολέα και το δέκτη, παρουσιάζοντας πολύ σημαντικές πληροφορίες που είναι κρίσιμες κατά τη διάρκεια μετάδοσης των δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη μηχανισμών που μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση του συστήματος συνολικά.

Μια ακόμα μελλοντική εργασία, μπορεί να είναι η μελέτη της απόδοσης των HSDPA μεταδόσεων. Το HSDPA υποστηρίζει υπηρεσίες υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, ελαχιστοποιώντας τις επενδύσεις των τηλεπικοινωνιακών εταιρειών, μιας και σε αυτό εισάγονται τα shared channels, που εγγυώνται ότι οι πόροι του καναλιού θα χρησιμοποιηθούν με τον πλέον αποτελεσματικό τρόπο.

Τα ανοιχτά θέματα που υπάρχουν στο πεδίο των Κινητών Δικτύων 3^{ης} Γενιάς είναι πολλά. Από τα βασικά θέματα που αφορούν τις υλοποιήσεις των δικτύων που απολαμβάνουμε πλέον ως χρήστες και στη χώρα μας, είναι η υλοποίησης της κινητικότητας των χρηστών μεταξύ των κυψελών σε ένα ολοκληρωμένο UMTS σύστημα. Επειδή όμως το επόμενο χρονικά «σχήμα» έχει ήδη προταθεί, καθίσταται με τον καιρό σαφές, ότι τα Κινητά Δίκτυα 4^{ης} Γενιάς, αποτελούν το μέλλον, υλοποιώντας ένα All-ip δίκτυο (όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 54). Η ενοποίηση όλων των υπαρχόντων δικτύων παγκοσμίως, είναι σίγουρο πως θα φέρει μια νέα επανάσταση για τον «κινητό» χρήστη, αλλά και γενικότερα για τα ποσοστά διείσδυσης στο Διαδίκτυο.



Σχήμα 54: All IP δίκτυα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] R. Morawek, H. Oczelik, "UMTS Basic Network Architecture"

[2] 3GPP TS 23002 v. 5.7.0 "Network Architecture"

[3] Heikki Kaaranen, Ari Ahtiainen, Lauri Laitinen, Siamak Naghian, Valtteri Niemi, "UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services"

[4] 3GPP TS 24008 v. 5.6.0 "Core Network Protocols"

[5] 3GPP TS 23246 v. 1.0.0 "Multimedia Broadcast/Multicast Service Architecture and Functional Description"

[6] H. Holma and A. Toskala, WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications, John Wiley & Sons, 2001.

[7] M. Meyer, J. Sachs, Performance Evaluation of a TCP Proxy in WCDMA Networks, IEEE Wireless Communications, October 2003, pp. 70-79.

[8] P. Kavallaris, Traffic Modeling for Mobile Multimedia Networks, IST Mobile and Wireless Communications Summit 2002, Thessaloniki, Greece.

[9] A. Jamalipour, The Wireless Mobile Internet: Architectures, Protocols and Services, John Wiley & Sons, 2003.

[10] Alcatel Telecommunication Review, 3G Evolution Towards High Speed Downlink Packet Access, 4th Quarter 2003/ 1st Quarter 2004, available at http://cnscenter.future.co.kr/rsc-center/vendor-wp/a-b.html.

[11] 3GPP, Delay Budget within the Access Stratum, TS 25.853, March 2001.

[12] Workload Generation for ns Simulations of Wide Area Networks and the Internet, M. Yuksel, B. Sikdar, K.S. Vastola, B. Szymanski

[13] Measurement-Based Admission Control with Aggregate Traffic Envelopes Jingyu Qiu and Edward W. Knightly, Member, IEEE

[14] Simple Performance Models of Differentiated Services Schemes for the Internet Martin May, Jean-Chrysostome Bolot, Alain Jean-Marie, Christopher Diet

[15] F. Xin, A. Jamalipour, Analysis of the Effect of Delay Spike and Initial Congestion Window Size on TCP Performance in Wireless Cellular Networks, SPECTS 2004, July 25-29, 2004, San Jose, California.

[16] Y. Iraqi, and R. Boutaba, "A Dynamic Bandwidth Allocation Algorithm for MPEG Video Sources in Wireless Network", DialM99, 1999, pp. 86-92.

[17] J. Zhao, C. Kok, and I. Ahmad, "MPEG-4 Video Transmission over Wireless Networks: A Link Level Performance Study", Wireless Networks, Kluwer Academic Publishers, 2004, pp. 133-146.

[18] B. Sklar, "Raleigh fading channels in mobile digital communication systems, Part I: characterization", IEEE Communications Magazine, July 1997 pp. 90-100.

[19] D.P. Wu, Y.T. Hou, and Y.-Q. Zhang, "Scalable video coding and transport over broadband wireless networks, Proceedings of IEEE, January 2001.

[20] F. Fitzek, and M. Reisslein, “MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation”, IEEE Network, Nov.-Dec. 2001, pp. 40-54.

[21] 3GPP TS 34.108: “3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group RAN; Delay Budget within the Access Stratum (Release 1999)”.

[22] T. Stockhammer, H. Jenkac and G. Kuhn “Streaming Video Over Variable Bit-Rate Wireless Channels”, IEEE TRANSACTIONS ON MULTIMEDIA, VOL. 6, NO. 2, APRIL 2004.

[23] C. Bouras and A. Gkamas, “Multimedia transmission with adaptive QoS based on real-time protocols”, INTERNATIONAL JOURNAL OF COMMUNICATION SYSTEMS, vol. 16, pp 225-248, 2003 John Wiley and Sons.

[24] E. G. Steinbach, N. Färber, and B. Girod, “Adaptive play-out for low latency video streaming ,” in Proc. Int. Conf. Image Processing (ICIP-01), Thessaloniki, Greece, Oct. 2001.

[25] P. A. Chou and Z. Miao, “Rate-distortion optimized streaming of packetized media,” Microsoft Research Tech. Rep. MSR-TR-2001–35, Feb. 2001.

[26] Y. J. Liang and B. Girod, “Rate-distortion optimized low-latency video streaming using channel-adaptive bitstream assembly ,” in Proc. IEEE Int. Conf. Multimedia and Expo (ICME-2002), Lausanne, Switzerland, Aug. 2002.

[27] C. Iskander and P. Mathiopoulos, Online Smoothing of VBR H.263 Video for the CDMA200 akd IS-95B Uplinks, IEEE Transactions on Multimedia, Vol. 6, No. 4, August 2004

[28] The NS-2 Simulator, available at http://www.isi.edu/nsnam/ns

[29] F. Fitzek, and M. Reisslein, “MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation”, IEEE Network, Nov.-Dec. 2001, pp. 40-54

[30] A. Alexiou, C. Bouras, V. Igglesis, "A Decision Feedback Scheme for Multimedia Transmission Over 3G Mobile Networks", The Second IEEE and IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN 2005), Dubai, United Arab Emirates - UAE, March 6 - 9 2005

[31] A. Alexiou, C. Bouras, V. Igglesis, "Multimedia Transmission over Third Generation Cellurar Networks", 10th IFIP International Conference on Personal Wireless Communications - PWC’05, Colmar, France, August 25 - 27 2005, (to appear)

[32] A. Alexiou, C. Bouras, V. Igglesis, "Performance Evaluation of TCP over UMTS Transport Channels", 7th International Symposium on Communications Interworking - INTERWORKING 2004, Ottawa, Canada, November 29 - December 1 2004

[33] A. Alexiou, C. Bouras, V. Igglesis, "Performance Evaluation of UMTS for Mobile Internet Access", 12th Annual Meeting of the IEEE/ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS 2004), Volendam, The Netherlands, October 5 - 7 2004, pp. 1 - 4