



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ**  
**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ**  
**ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

---

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**  
**ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (4G)**

---

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ : ΜΑΚΡΗΣ ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ**

**A.M.: 321/2002041**

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**  
**ΣΚΙΑΝΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ, Επίκουρος Καθηγητής**

**ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ ΣΑΜΟΥ 2007**

## **EXECUTIVE SUMMARY**

In the last decade, the explosive growth of mobile and wireless communications has brought a fundamental change to the design of wireless systems and networks. The demands on traditional voice-centric services have been quickly overtaken by data-centric applications. The circuit-switched end-to-end connection communication system and network design philosophy has been replaced by all-IP packet-switched connectionless architecture. The traditional layered architecture of wireless communication systems or networks has faced a great challenge from cross-layer optimized design. On the other hand, the advancement in microelectronics has made it possible to implement complex communication end-user terminal in a pocket-sized or a name card-sized handset, with sufficiently high intelligence to work adaptively to the changing environment (i.e. cognitive radio). At the same time, the data transmission rate through a wireless air-link has increased tremendously, from 9.6 kbps in 1995 (on GSM) to 2 Mbps in 2005 (on a WCDMA system), increasing by more than 200 times within this 10-year period. The international research community has targeted “Beyond-3G” or “4G” wireless systems and networks with a peak data transmission rate that can reach as high as 500 Mbps, as demonstrated in the field trials made in Japan by NTT DoCoMo. Even more ambitious 4G wireless systems and networks will provide a peak data transmission rate of approximately 1 Gbps. The great demands on the capacity and quality offered over wireless communication links have pushed us hard to innovate new design methodologies and concepts for wireless systems and networks.

In this work, we try to introduce all the main features which are related with the next generation wireless networks. The whole content is organised in three separated parts. The first part consists of three chapters in which are introduced the three more significant wireless technologies that are coming forth in the next generation era of wireless communications. The second part consists of three chapters, too. Here, we propose and evaluate the interconnection concepts in order to achieve the interworking capabilities of the heterogenous technologies that are presented in the first part. This is done by emphasising in the fields of QoS issues that we are most interested in. These issues are explained in detail in the third part of our work, where we demonstrate our results from the simulation that has been executed. More specifically, we try to analyze and accomplish a call admission control scheme between a UMTS and a WLAN system. The simulation results are demonstrated in a very clear way and at the end, after we have analyzed our conclusions, we propose some more ideas and concepts for further researching topics.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

EXECUTIVE SUMMARY.....	2
ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	7
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	8

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> - ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

1.1 Αντί προλόγου .....	9
1.2 Επισκόπηση διπλωματικής.....	10

## **ΜΕΡΟΣ 1<sup>ο</sup> - ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> - ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ UMTS**

2.1 Εισαγωγή - Ιστορική αναδρομή της κινητής κυψελοειδούς τηλεφωνίας .....	13
2.2 Χρησιμοποιούμενο φάσμα .....	14
2.3 Τεχνική κωδικοποίησης CDMA .....	15
2.4 Βασικές αρχές και δομή κυψελών .....	16
2.5 Αρχιτεκτονική του δικτύου UMTS .....	18
2.5.1 Το δίκτυο επίγειας ασύρματης πρόσβασης (UTRAN)	
2.5.2 Το δίκτυο κορμού (Core Network)	
2.5.3 Πρωτόκολλα σηματοδότησης και επιπέδου χρήστη εντός UMTS	
2.5.4 Πακέτα δεδομένων	
2.5.5 Έλεγχος ισχύος (power control)	
2.5.6 Διαδικασία Περιοδικής Κλήσεων (handover procedures)	
2.6 Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS) στα δίκτυα 3G.....	23
2.6.1 Εισαγωγή στην έννοια QoS στα 3G δίκτυα	
2.6.2 Λειτουργίες διαχείρισης QoS	
2.6.3 Τάξεις QoS στο UMTS	
2.7 QoS παράμετροι για συγκεκριμένες υπηρεσίες.....	27
2.7.1 Φωνή (conversational)	
2.7.2 Εφαρμογές ροής πολυμέσων (media streaming applications)	
2.7.3 Εφαρμογές μεταφόρτωσης αρχείων (content download)	
2.7.4 Πρόσβαση στο Internet και πλοήγηση (interactive)	
2.8 Επίλογος .....	32
2.9 Αναφορές.....	33

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> - ΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΤΟΠΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ WLAN**

3.1 Εισαγωγή – Ιστορική εξέλιξη των 802.11x – Αναφορά στο 802.16.....	34
3.2 Τεχνικές φυσικού επιπέδου στο 802.11.....	36
3.3 MAC αρχιτεκτονική .....	37

3.3.1 DCF – Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού	
3.3.2 PCF – Σημειακή Λειτουργία Συντονισμού	
3.3.3 Διαδικασία σύνδεσης σταθμού με το Σημείο Πρόσβασης (AP)	
3.3.4 Κατακερματισμός πακέτων	
3.3.5 Διαδικασία αλλαγής σύνδεσης σε άλλο Σημείο Πρόσβασης (AP)	
3.3.6 Εξοικονόμηση ενέργειας (power saving)	
<b>3.4 Μελέτη θεμάτων QoS στα WLAN.....</b>	<b>42</b>
3.4.1 Ανάγκη για ανάπτυξη QoS τεχνικών στα WLAN	
3.4.2 Τεχνικές QoS που αφορούν τη διαφοροποίηση των υπηρεσιών	
3.4.2.1 Τεχνικές που βασίζονται στη διαφοροποίηση υπηρεσιών σε κάθε σταθμό εργασίας	
3.4.2.2 Τεχνικές που βασίζονται στη διαφοροποίηση υπηρεσιών σε κάθε ουρά δεδομένων	
3.4.3 Τεχνικές QoS που αφορούν τον έλεγχο λαθών	
3.4.3.1 ARQ	
3.4.3.2 FEC	
3.4.3.3 Υβριδικό σχήμα FEC-ARQ	
<b>3.5 Μηχανισμοί QoS σύμφωνα με το πρότυπο 802.11e.....</b>	<b>50</b>
3.5.1 HCF	
3.5.1.1 Βελτιωμένη Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού - EDCF	
3.5.1.2 Ελεγχόμενη Πρόσβαση Καναλιού HCF - HCF controlled channel access	
3.5.2 Άμεσο Πρωτόκολλο Συνδέσεων -DLP	
3.5.3 Επιβεβαίωση Πλαισίων κατά ομάδες - Block acknowledgement	
<b>3.6 Επίλογος.....</b>	<b>53</b>
<b>3.7 Αναφορές.....</b>	<b>54</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> - ΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ WPAN**

<b>4.1</b> Εισαγωγή στα WPAN .....	<b>55</b>
<b>4.2</b> Αρχιτεκτονική Bluetooth .....	<b>56</b>
<b>4.3</b> Εφαρμογές και πιθανά σενάρια για το μέλλον .....	<b>58</b>
<b>4.4</b> Προκλήσεις και θέματα προς έρευνα για τα WPANs .....	<b>59</b>
<b>4.5</b> Το ασύρματο προσωπικό δίκτυο ευρείας ζώνης B-PAN .....	<b>60</b>
<b>4.6</b> WPANs vs WLANs .....	<b>61</b>
<b>4.7</b> Επίλογος.....	<b>62</b>
<b>4.8</b> Αναφορές.....	<b>62</b>

## **ΜΕΡΟΣ 2<sup>ο</sup> - ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ UMTS-WLAN ΚΑΙ ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΑ 4G ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> – ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ 4G – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ B3G**

<b>5.1</b> Γρήγορη ιστορική αναφορά – Πώς φτάσαμε στα B3G συστήματα.....	<b>64</b>
<b>5.2</b> Στόχοι των σχεδιαστών συστημάτων B3G –	

Οραματισμοί για το μέλλον .....	65
5.3 Φάσμα συχνοτήτων – Τι ισχύει σήμερα .....	65
5.4 Προτεινόμενες τεχνικές διαμόρφωσης για τα συστήματα B3G .....	66
5.5 Ενοποίηση υπαρχουσών τεχνολογιών .....	69
5.6 Ανάγκη για μεγαλύτερες ταχύτητες στη μετάδοση των δεδομένων .....	70
5.7 Επαναπροσαρμοστέες πλατφόρμες .....	71
5.8 Δικτύωση ad-hoc.....	73
5.9 Ο ρόλος των δορυφορικών συστημάτων στην B3G εποχή.....	74
5.10 Επίλογος.....	75
5.11 Αναφορές.....	76

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> - ΠΡΩΙΜΕΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ UMTS – WLAN**

6.1 Εισαγωγή – Πώς προέκυψε η ανάγκη για ενοποίηση.....	77
6.2 Συνοπτική παρουσίαση των πέντε προτεινόμενων αρχιτεκτονικών.....	78
6.3 Αρχιτεκτονική No.1 – Διασύνδεση μεταξύ του κόμβου SGSN και του AP του WLAN εξομοιώνοντας το RNC.....	79
6.4 Αρχιτεκτονική No.2 – Διασύνδεση μεταξύ του κόμβου GGSN και του AP του WLAN εξομοιώνοντας τον κόμβο SGSN.....	82
6.5 Αρχιτεκτονική No.3 – Διασύνδεση μεταξύ του UMTS και ενός VAP του WLAN.....	83
6.6 Αρχιτεκτονική No.4 – Διασύνδεση μεταξύ του UMTS και του WLAN μέσω μίας MG.....	85
6.7 Αρχιτεκτονική No.5 – Διασύνδεση μεταξύ του UMTS και του WLAN βασισμένη στο Mobile IP.....	87
6.8 Επίλογος.....	89
6.9 Αναφορές.....	89

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> - ΟΙ ΕΠΙΚΡΑΤΕΣΤΕΡΕΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ UMTS-WLAN ΣΗΜΕΡΑ**

7.1 Εισαγωγή.....	90
7.2 Tight-coupled αρχιτεκτονική.....	90
7.3 Loose-coupled αρχιτεκτονική.....	97
7.4 Hybrid-coupled αρχιτεκτονική.....	98
7.5 Επίλογος.....	101
7.6 Αναφορές.....	100

## **ΜΕΡΟΣ 3<sup>ο</sup> - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup> - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΕΩΝ**

<b>8.1</b> Εισαγωγή στην έννοια του ελέγχου αποδοχής κλήσεων.....	103
<b>8.2</b> Βασικά ανακύπτοντα θέματα για τα δίκτυα 4 <sup>ης</sup> γενιάς.....	104
8.2.1 Διάφοροι προτεινόμενοι αλγόριθμοι ελέγχου αποδοχής κλήσεων από τη διεθνή βιβλιογραφία .....	106
8.2.2 Λίγα λόγια για τον προτεινόμενο αλγόριθμο ελέγχου αποδοχής κλήσεων....	108
<b>8.3</b> Η μοντελοποίηση του συστήματος.....	109
8.3.1 Γενική περιγραφή του συστήματος	
8.3.2 Εφαρμοζόμενη αρχιτεκτονική ενοποίησης	
8.3.3 Τελικοί επιδιωκόμενοι στόχοι	
<b>8.4</b> Προδιαγραφές του προτεινόμενου αλγόριθμου ελέγχου αποδοχής κλήσεων (CAC)..	110
8.4.1 Περιγραφή των απαιτήσεων του συστήματος με βάση τον τύπο της παρεχόμενης υπηρεσίας	
8.4.2 Επιγραμματική αναφορά όλων των δυνατών καταστάσεων του συστήματος	
8.4.3 Ο αλγόριθμος εκχώρησης προτεραιότητας	
8.4.4 Διάγραμμα ροής του συστήματος	
<b>8.5</b> Αναλυτική περιγραφή των καταστάσεων του συστήματος.....	116
<b>8.6</b> Περιγραφή της υλοποίησης του συστήματος σε επίπεδο κώδικα.....	118
8.6.1 Παράμετροι εισόδου στο σύστημα	
8.6.2 Περιγραφή της event-driven προσομοίωσης	
8.6.3 Παράμετροι εξόδου από το σύστημα	
<b>8.7</b> Αναφορές.....	123

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup> - ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

<b>9.1</b> Οφέλη από την ενοποίηση των δύο ετερογενών δικτύων.....	124
<b>9.2</b> Σενάριο public transport.....	126
9.2.1 Περιγραφή του σεναρίου	
9.2.2 Πείραμα μείωσης αριθμού handoffs για φωνητικές κλήσεις	
<b>9.3</b> Σενάριο business – office.....	128
9.3.1 Περιγραφή του σεναρίου	
9.3.2 Πείραμα εκχώρησης μείζονος προτεραιότητας στις handoff κλήσεις δεδομένων	
<b>9.4</b> Σενάριο leisure - mall (εμπορικό).....	130
9.4.1 Περιγραφή του σεναρίου	
9.4.2 Πείραμα εκχώρησης μείζονος προτεραιότητας στις handoff βιντεοκλήσεις	
<b>ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ – ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....</b>	<b>135</b>

## ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Σχήμα 2.1</b> : Κατανομή των καναλιών στα πεδία συχνότητας και χρόνου για τις τεχνικές FDMA, TDMA και CDMA .....	16
<b>Σχήμα 2.2</b> : Η ιεραρχική κυψελοειδής δομή του UMTS.....	17
<b>Σχήμα 2.3</b> : Αρχιτεκτονική δικτύου UMTS.....	18
<b>Σχήμα 2.4</b> : Το Δίκτυο Επίγειας Ασύρματης Πρόσβασης (UTRAN).....	19
<b>Σχήμα 2.5</b> : Δομή και διασύνδεση κόμβων δικτύου UMTS.....	20
<b>Σχήμα 2.6</b> : Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων σε επίπεδο ελέγχου για το τμήμα PS.....	21
<b>Σχήμα 2.7</b> : Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων σε επίπεδο χρήστη για το τμήμα PS.....	22
<b>Σχήμα 3.1</b> : Συγκεντρωτικό σχήμα με όλα τα πρότυπα της ομάδας 802.11 της IEEE.....	35
<b>Σχήμα 3.2</b> : Η λειτουργία του CSMA/CA. Δεξιά περιγράφεται οπτικά η διαδικασία με την αποστολή των πλαισίων RTS και CTS.....	39
<b>Σχήμα 3.3</b> : Παράδειγμα σύνδεσης σε ένα BSS.....	40
<b>Σχήμα 3.4</b> : Μετάδοση με κατακερματισμό πακέτων.....	41
<b>Σχήμα 3.5</b> : Κατηγοριοποίηση των τεχνικών που βασίζονται στη διαφοροποίηση των υπηρεσιών.....	44
<b>Σχήμα 3.6</b> : Η Βελτιωμένη Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού – EDCF.....	51
<b>Σχήμα 4.1</b> : Συσκευές για WPAN εφαρμογές.....	56
<b>Σχήμα 4.2</b> : Διάφορες περιπτώσεις διασύνδεσης κόμβων.....	57
<b>Σχήμα 4.3</b> : Η επιθυμητή δικτυακή ενοποίηση του μέλλοντος.....	60
<b>Σχήμα 6.1</b> : Τα πέντε σημεία διασύνδεσης μεταξύ του UMTS και του WLAN.....	78
<b>Σχήμα 6.2</b> : Η Αρχιτεκτονική Νο. 1.....	79
<b>Σχήμα 6.3</b> : (αριστερά): η δομή της IWU, όντας μία οντότητα του UMTS, (δεξιά): η δομή της IWU, όντας μία οντότητα του WLAN.....	80
<b>Σχήμα 6.4</b> : Στοίβα πρωτοκόλλων σε μία κινητή διτροπική συσκευή.....	80
<b>Σχήμα 6.5</b> : Η Αρχιτεκτονική Νο.2.....	82
<b>Σχήμα 6.6</b> : Η Αρχιτεκτονική Νο. 3.....	83
<b>Σχήμα 6.7</b> : Στοίβα πρωτοκόλλων για τον κόμβο GGSN και για το Εικονικό Σημείο Πρόσβασης, (δεξιά) Στοίβα πρωτοκόλλων για τις κινητές συσκευές.....	84
<b>Σχήμα 6.8</b> : Η Αρχιτεκτονική Νο. 4.....	85
<b>Σχήμα 6.9</b> : Στοίβες πρωτοκόλλων για την κινητή συσκευή (MS) και για την πύλη κινητικότητας (MG).....	86
<b>Σχήμα 6.10</b> : Η Αρχιτεκτονική Νο. 5.....	87
<b>Σχήμα 6.11</b> : Το πρόβλημα της τριγωνικής δρομολόγησης (triangle routing).....	88
<b>Σχήμα 6.12</b> : Αντιμετώπιση του προβλήματος της τριγωνικής δρομολόγησης.....	89
<b>Σχήμα 7.1</b> : Tight-coupled αρχιτεκτονική.....	90
<b>Σχήμα 7.2</b> : Αρχιτεκτονική δομή πρωτοκόλλων στη μεριά της τερματικής συσκευής του χρήστη.....	91
<b>Σχήμα 7.3</b> : Περιγραφή της διαδικασίας ενεργοποίησης της τερματικής συσκευής με τα δύο δίκτυα.....	92
<b>Σχήμα 7.4</b> : Διαδικασία εξασφάλισης των απαιτούμενων πόρων.....	93
<b>Σχήμα 7.5</b> : Διαδικασίες διακίνησης της πληροφορίας που αφορά την κινητικότητα των χρηστών.....	94
<b>Σχήμα 7.6</b> : Διαδικασία μεταπομπής (handoff) από το UMTS προς το WLAN.....	96
<b>Σχήμα 7.7</b> : Διαδικασία μεταπομπής (handoff) από το WLAN προς το UMTS.....	96
<b>Σχήμα 7.8</b> : Loose-coupled αρχιτεκτονική.....	98

Σχήμα 7.9 : Hybrid-coupled αρχιτεκτονική.....	99
Σχήμα 8.1 : Ένα απλό μοντέλο του συστήματος.....	109
Σχήμα 8.2 : Ο αλγόριθμος εκχώρησης προτεραιότητας.....	114
Σχήμα 9.1 : Πιθανότητα αποκλεισμού φωνητικών κλήσεων.....	124
Σχήμα 9.2 : Πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων δεδομένων.....	125
Σχήμα 9.3 : Πιθανότητα αποκλεισμού βίντεοκλήσεων.....	125
Σχήμα 9.4 : Ποσοστό των φωνητικών κλήσεων που δεν έκαναν handoff από το UMTS προς το WLAN.....	126
Σχήμα 9.5 : Πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων δεδομένων.....	127
Σχήμα 9.6 : Πιθανότητα απότομου τερματισμού κλήσεων δεδομένων.....	129
Σχήμα 9.7 : Πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων δεδομένων.....	129
Σχήμα 9.8 : Πιθανότητα αποκλεισμού βιντεοκλήσεων.....	130
Σχήμα 9.9 : Πιθανότητα απότομου τερματισμού βιντεοκλήσεων.....	132
Σχήμα 9.10 : Πιθανότητα αποκλεισμού βιντεοκλήσεων.....	132
Σχήμα 9.11 : Πιθανότητα απότομου τερματισμού κλήσεων δεδομένων.....	133
Σχήμα 9.12 : Πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων δεδομένων.....	133
Σχήμα 9.13 : Πιθανότητα αποκλεισμού φωνητικών κλήσεων.....	134

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 : Καθορισμός παραμέτρων Φωνής.....	29
Πίνακας 2.2 : Καθορισμός παραμέτρων εφαρμογής streaming.....	30
Πίνακας 2.3 : Καθορισμός παραμέτρων της εφαρμογής Content Download.....	30
Πίνακας 2.4 : Καθορισμός παραμέτρων για την υπηρεσία Premium Level Internet Access.....	32
Πίνακας 3.1 : Ενδεικτικές παράμετροι λειτουργίας για τα σημαντικότερα πρότυπα 802.11.....	35
Πίνακας 3.2 : Οι κλάσεις προτεραιότητας της τεχνικής DC.....	45
Πίνακας 3.3 : Σύγκριση τεχνικών που βασίζονται στη διαφοροποίηση υπηρεσιών σε κάθε σταθμό εργασίας και βελτιώνουν τη λειτουργία DCF.....	46
Πίνακας 3.4 : Κατηγοριοποίηση μεταξύ των UPs και των ACs.....	51
Πίνακας 4.1 : Βασικά χαρακτηριστικά αρχιτεκτονικής Bluetooth.....	57
Πίνακας 4.2 : Τα 13 προφίλ του Bluetooth.....	58
Πίνακας 4.3 : Τεχνικά χαρακτηριστικά για τις διάφορων ειδών ασύρματες τεχνολογίες.....	61
Πίνακας 5.1 : Οι υπάρχουσες ασύρματες τεχνολογίες που πρόκειται να ενοποιηθούν.....	70
Πίνακας 8.1 : Προκλήσεις για το CAC στα 4G δίκτυα & συνοπτική περιγραφή τους.....	106



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 ΑΝΤΙ ΠΡΟΛΟΓΟΥ

Την τελευταία δεκαετία, η αλματώδης ανάπτυξη των κινητών και ασύρματων επικοινωνιών έχει επιφέρει θεμελιώδεις αλλαγές στο σχεδιασμό των ασύρματων συστημάτων και των ασύρματων δικτύων. Η μεγάλη ζήτηση για τις παραδοσιακές υπηρεσίες φωνής έχει ήδη ισοσταθμιστεί από τις εφαρμογές που ασχολούνται με τη μεταφορά δεδομένων. Η φιλοσοφία των συστημάτων κυκλωματομεταγωγής (circuit-switched) έχει αντικατασταθεί από αρχιτεκτονικές πακετομεταγωγής (packet-switched). Η παραδοσιακή αρχιτεκτονική διαστρωμάτωσης των ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών έχει να αντιμετωπίσει μια μεγάλη πρόκληση από ένα βελτιστοποιημένο σχεδιασμό που συνδυάζει στοιχεία από πολλά επίπεδα διαστρωμάτωσης (cross-layer design). Από την άλλη μεριά, η μεγάλη πρόοδος του τομέα της μικροηλεκτρονικής έχει καταστήσει δυνατή την υλοποίηση πολυσύνθετων τερματικών συσκευών πολύ μικρού μεγέθους ή επίσης πολύ μικρών τηλεφωνικών συσκευών υψηλής νοημοσύνης που λειτουργούν με έναν προσαρμοστικό τρόπο στο εκάστοτε μεταβαλλόμενο περιβάλλον (cognitive radios). Ακόμα, ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων μέσω ενός ασύρματου ραδιοδιαύλου έχει αυξηθεί κατά πολύ, από 9,6 kbps το 1995 (στο GSM) σε 2 Mbps το 2005 (σε ένα σύστημα WCDMA), σημειώνοντας μία αύξηση περίπου 200 φορές μέσα σε αυτά τα δέκα χρόνια. Η διεθνής ερευνητική κοινότητα έχει βάλει ως στόχο την υλοποίηση των αποκαλούμενων "πέρα από τα 3G" ή "4G" ασύρματων συστημάτων και των δικτύων των οποίων οι ρυθμοί μετάδοσης μπορεί να φθάνουν τα 500 Mbps. Ήδη στην Ιαπωνία η εταιρία NTT DoCoMo έχει κάνει τέτοιου είδους πειράματα. Ακόμη πιο αισιόδοξες προβλέψεις κάνουν λόγο για ρυθμούς μετάδοσης που αγγίζουν το 1 Gbps. Οι μεγάλες απαιτήσεις στην ποιότητα των προσφερόμενων υπηρεσιών από αυτού του είδους τα δίκτυα μας έχουν ωθήσει στην εισαγωγή νέων ιδεών και μεθοδολογιών που αφορούν το σχεδιασμό τους σε μία άλλη βάση.

Στην παρούσα διπλωματική, προσπαθούμε να εισάγουμε όλα τα βασικά θέματα που άπτονται των ασύρματων δικτύων της επόμενης γενιάς. Τα περιεχόμενα οργανώνονται σε τρία ξεχωριστά μέρη. Το πρώτο μέρος αποτελείται από τρία κεφάλαια στα οποία παρουσιάζονται οι τρεις κύριες ασύρματες τεχνολογίες που πρόκειται να παίξουν σημαντικό ρόλο στα δίκτυα τέταρτης γενιάς. Το δεύτερο μέρος αποτελείται επίσης από τρία κεφάλαια. Εδώ, παρουσιάζουμε και αξιολογούμε διάφορες ιδέες διασύνδεσης προκειμένου να εκμεταλλευτούμε τα συγκριτικά πλεονεκτήματα των ετερογενών τεχνολογιών που παρουσιάζονται στο πρώτο μέρος. Αυτό γίνεται δίνοντας έμφαση στα ζητήματα QoS που μας απασχολούν περισσότερο. Αυτά τα ζητήματα αναλύονται λεπτομερώς στο τρίτο και τελευταίο μέρος της διπλωματικής μας, όπου παρουσιάζουμε τα αποτελέσματά μας από την προσομοίωση που έχουμε εκπονήσει. Πιο συγκεκριμένα, προσπαθούμε να αναλύσουμε και να υλοποιήσουμε ένα πρόγραμμα ελέγχου αποδοχής κλήσεων μεταξύ ενός UMTS και ενός WLAN συστήματος. Τα αποτελέσματα της τελικής προσομοίωσης παρουσιάζονται και αναλύονται με έναν πολύ σαφή τρόπο και στο τέλος, αφού έχουμε αναλύσει τα συμπεράσματά μας, προτείνουμε κάποιες ιδέες για περισσότερη ερευνητική δραστηριότητα στο μέλλον.

## 1.2 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Στην αμέσως προηγούμενη παράγραφο, αναφέραμε εν μέρει τη δομή της παρούσας διπλωματικής. Εδώ, θα παρουσιάσουμε συνοπτικά κάθε κεφάλαιο ξεχωριστά, έτσι ώστε ο αναγνώστης να αποκτήσει μία συνολική άποψη όλων των επιμέρους θεμάτων, τα οποία πραγματεύεται η παρούσα εργασία.

Ξεκινώντας, το πρώτο μέρος παρουσιάζει τρεις βασικές αρχιτεκτονικές ασύρματων δικτύων. Πιο συγκεκριμένα, στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το δίκτυο UMTS, το πιο γνωστό και το πιο εξελιγμένο σύστημα για τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Είναι ουσιαστικά το επονομαζόμενο δίκτυο της τρίτης γενιάς. Στις πρώτες παραγράφους παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική δομή του δικτύου, καθώς επίσης και τα δομικά στοιχεία από τα οποία αυτό αποτελείται. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται κατά τις δύο τελευταίες παραγράφους στα θέματα QoS και πώς αυτά αντιμετωπίζονται βάσει του σχεδιασμού του δικτύου. Αυτό μόνο τυχαίο δεν είναι, καθώς το περιεχόμενο των παραγράφων 2.6 και 2.7 αποτελεί ουσιαστικά το θεωρητικό υπόβαθρο για την υλοποίηση της τελικής μας προσομοίωσης.

Το τρίτο κεφάλαιο μοιάζει πολύ με το κεφάλαιο 2. Αυτή τη φορά παρουσιάζουμε το ασύρματο τοπικό δίκτυο WLAN. Και πάλι οι πρώτες τρεις παράγραφοι μας εισάγουν στις βασικές έννοιες και τα δομικά στοιχεία αυτού του δικτύου, ενώ στις παραγράφους 3.4 και 3.5 γίνεται μία αρκετά εκτενή μελέτη για τα θέματα QoS στα WLAN, που και αυτά με τη σειρά τους αποτελούν την πρώτη ύλη και τη θεωρητική βάση για πολλά από τα θέματα που συζητιούνται στα άλλα δύο μέρη της εργασίας μας. Η ανάγνωση λοιπόν των κεφαλαίων 2 και 3 θεωρούμε ότι είναι πολύ σημαντική για την κατανόηση του τρίτου μέρους της διπλωματικής, στο οποίο ουσιαστικά προσπαθούμε να προσομοιώσουμε τη λειτουργία των δύο δικτύων με έναν πολύ συγκεκριμένο τρόπο.

Ολοκληρώνοντας το πρώτο μέρος, κρίνουμε απαραίτητο να παρουσιάσουμε και την τεχνολογία των ασύρματων προσωπικών δικτύων (WPAN). Στο τέταρτο κεφάλαιο λοιπόν, γίνεται μία συνοπτικότερη και πιο θεωρητική παρουσίαση των θεμάτων που άπτονται αυτής της τεχνολογίας. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρονται διάφορα θέματα προς έρευνα και μελλοντικά σενάρια αξιοποίησης συγκεκριμένων αρχιτεκτονικών (B-PAN). Ότι αναφέρεται σε αυτό το κεφάλαιο δεν πρόκειται να μας απασχολήσει περαιτέρω στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής. Παρόλα αυτά, η ανάγνωσή του θα βοηθήσει τον αναγνώστη να μπει ακόμα περισσότερο στη φιλοσοφία των δικτύων της επόμενης γενιάς και έτσι μόνο χάσιμο χρόνου δε μπορεί να θεωρηθεί το διάβασμά του.

Συνεχίζοντας, στο δεύτερο μέρος προσπαθούμε να αναλύσουμε θέματα και προβλήματα που έχουν να κάνουν καθαρά με τα ενοποιημένα συστήματα της τέταρτης γενιάς. Μάλιστα, παρουσιάζουμε συγκεκριμένες αρχιτεκτονικές ενοποίησης UMTS και WLAN και τέλος καταλήγουμε σε τρία συγκεκριμένα σενάρια, τα οποία μας δίνουν μία σαφή αίσθηση για τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η διαλειτουργικότητα των δύο δικτύων, αλλά και ποιο είναι το ευρύτερο πλαίσιο πάνω στο οποίο υλοποιούμε την προσομοίωσή μας στο τρίτο μέρος της διπλωματικής.

Στο πέμπτο κεφάλαιο λοιπόν, πέραν της εισαγωγικής παραγράφου, το υπόλοιπο κεφάλαιο αναφέρεται σε τεχνικά κυρίως θέματα. Πιο συγκεκριμένα, παραθέτονται κάποιες

νέες τεχνικές κωδικοποίησης που προτείνονται ειδικά για τα συστήματα της τέταρτης γενιάς. Ακόμα, οριοθετούμε ουσιαστικά το πλαίσιο γύρω από το οποίο κινούνται όλες οι ερευνητικές δραστηριότητες σήμερα αλλά και στο κοντινό μέλλον. Τέλος, γίνεται μία συνοπτική περιγραφή του ρόλου που καλούνται να παίξουν τα δορυφορικά συστήματα στην B3G εποχή.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται πέντε διαφορετικές αρχιτεκτονικές ενοποίησης UMTS-WLAN, έτσι όπως αυτές διαμορφώθηκαν κατά τα πρώτα στάδια της ερευνητικής δραστηριότητας γύρω από την περιοχή αυτή των δικτύων. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση κάθε φορά στους μηχανισμούς κατακόρυφης μεταπομπής των κλήσεων (vertical handovers), καθώς το συγκεκριμένο θέμα αποτελεί κομβικό σημείο της προσομοίωσης που παρουσιάζουμε στο τέλος.

Το έβδομο κεφάλαιο είναι και το τελευταίο του δεύτερου μέρους. Εδώ καταλήγουμε σε τρία, εντελώς διαφορετικά μεταξύ τους, σενάρια αρχιτεκτονικών ενοποίησης UMTS-WLAN. Αναδεικνύουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της καθεμίας, μένοντας πάντα επικεντρωμένοι στον αρχικό μας στόχο, δηλαδή την αναλυτική περιγραφή των θεμάτων που θα μας χρησιμεύσουν για την υλοποίηση της τελικής μας προσομοίωσης. Τελικά, συμπεραίνουμε ότι καμία αρχιτεκτονική δεν είναι τέλεια. Εντούτοις, καταλήγουμε σε μία, η οποία μας ικανοποιεί περισσότερο σε σχέση βέβαια με τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές της τελικής υλοποίησης.

Στο τρίτο και τελευταίο μέρος της διπλωματικής αναλύουμε εκτενώς τις προδιαγραφές του μοντέλου του συστήματος που πρόκειται να υλοποιήσουμε και παρουσιάζουμε τα τελικά αποτελέσματα των πειραμάτων μας.

Η πρώτη προαναφερθείσα εργασία βρίσκεται στο όγδοο κεφάλαιο. Εκεί βρίσκονται όλα τα στοιχεία που πιθανόν να ενδιαφέρουν περισσότερο τον αναγνώστη και αφορούν την βήμα προς βήμα υλοποίηση του μοντέλου μας. Δόθηκε μεγάλη έμφαση στη λεπτομερή και όσο το δυνατόν απλή περιγραφή των διαδικασιών που ακολουθήθηκαν, έτσι ώστε να είναι εύκολο σε οποιονδήποτε ενδιαφερόμενο να συλλέξει τα στοιχεία κάποιου μέρους της εργασίας.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλα τα πειραματικά αποτελέσματα συνοδευόμενα από τα ανάλογα διαγράμματα, που δίνουν μία απτή εικόνα στον αναγνώστη για το τι καταφέραμε να επιτύχουμε με τον προτεινόμενο αλγόριθμο ελέγχου αποδοχής κλήσεων.

Τέλος, η παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των μελλοντικών ερευνητικών ζητημάτων που σχετίζονται με το μοντέλο που υλοποιήσαμε και προτείνονται κάποιες νέες ιδέες και τεχνικές για την περαιτέρω βελτιστοποίηση του προτεινόμενου CAC αλγορίθμου.

# **ΜΕΡΟΣ 1<sup>ο</sup>**

## **ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ**

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> - ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ UMTS

## 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΟΥΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

Η μεγάλη επιτυχία των κινητών κυψελοειδών συστημάτων είναι πιθανώς ένα από τα πιο σημαντικά γεγονότα στην ιστορία της βιομηχανίας των τηλεπικοινωνιών κατά τη διάρκεια των τελευταίων 100 ετών. Οι ευκολίες που παρέχει η κινητή κυψελοειδής τηλεφωνία έχει κάνει τελικά ένα όνειρο πραγματικότητα: οι άνθρωποι μπορούν να έλθουν σε επαφή με οποιονδήποτε άλλον στη γη, οποιαδήποτε στιγμή και σε οποιαδήποτε τοποθεσία αυτοί βρίσκονται. Η σύγχρονη βιομηχανία μικροηλεκτρονικής έχει καταφέρει να παράγει κινητά τηλέφωνα τόσο μικρά που μπορούν να χωρέσουν σε μια τσέπη, να μπουν πάνω σε ένα περιδέραιο, ή ακόμα και να φορεθούν ως ρολόι. Στην πραγματικότητα, είναι δύσκολο να φανταστεί κανείς τη ζωή ενός σημερινού ανθρώπου εάν όλες οι κινητές κυψελοειδείς υπηρεσίες εξαφανίζονταν έστω και για λίγες μέρες.

Τα κινητά κυψελοειδή συστήματα έχουν αναπτυχθεί πάνω σε τρεις βασικές γενεές [1]. Οι υπηρεσίες των συστημάτων πρώτης γενεάς (1G) άρχισαν όταν εισήχθη για πρώτη φορά η τεχνολογία που βασιζόταν σε αναλογικά συστήματα στην πόλη του Σικάγου κατά τις αρχές της δεκαετίας του '80. Αυτό το αναλογικό κινητό κυψελοειδές σύστημα ονομάζεται επίσης προηγμένο κινητό σύστημα τηλεφωνικών συστημάτων (AMPS), το οποίο λειτούργησε στα 800 MHz και χρησιμοποιούσε 30kHz εύρος ζώνης κάτω από την τεχνική της πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας (FDMA). Τα κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα για όλα τα 1G συστήματα σε όλο τον κόσμο μπορούν να συνοψιστούν ως εξής: Κατ' αρχάς, λειτούργησαν με βάση την τεχνική FDMA, στην οποία όλα τα κανάλια φωνής χωρίζονται από τους διαφορετικούς φορείς συχνότητας με ένα σχετικά στενό εύρος ζώνης (συνήθως περίπου 30–50 kHz). Δεύτερον, βασίστηκαν στις αναλογικές τεχνολογίες μετάδοσης και επεξεργασίας. Τρίτον, κάθε σύστημα κάλυψε μόνο μια χώρα ή μια σχετικά μικρή περιοχή. Τέλος, η χωρητικότητα όλων εκείνων των κινητών κυψελοειδών συστημάτων πρώτης γενιάς ήταν μικρή εξαιτίας της χαμηλής αποδοτικότητας των τεχνικών που καθόριζαν την κατανομή του εύρους ζώνης.

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των κινητών κυψελοειδών συστημάτων πρώτης γενιάς παρακίνησαν την έρευνα και την ανάπτυξη των κινητών κυψελοειδών προτύπων δεύτερης γενιάς (2G), που άρχισαν κυρίως από δύο διαφορετικές ομάδες, μια στις Ηνωμένες Πολιτείες και η άλλη στην Ευρώπη. Τα συστήματα 2G που προτάθηκαν από τις Ηνωμένες Πολιτείες υιοθέτησαν δύο διαφορετικές μεθόδους, μία που οδηγούσε σε μία τεχνολογία που βασιζόταν στην πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου (TDMA), δηλαδή μία βελτιωμένη έκδοση του υπάρχοντος AMPS, που ονομάστηκε D-AMPS, και μία άλλη που χρησιμοποιούσε την τεχνική της πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα (CDMA), που ονομάστηκε πρότυπο IS-95. Το D-AMPS σχεδιάστηκε για να είναι συμβατό με την προηγούμενη αναλογική τεχνολογία AMPS, η οποία είχε επικρατήσει στις Ηνωμένες Πολιτείες. Από την άλλη πλευρά, τα πρότυπα IS-95 που προτάθηκαν από την Qualcomm Inc., είναι βασισμένο στην τεχνολογία CDMA και προσφέρει νέες πολυάριθμες ικανότητες που οι προηγούμενες τεχνολογίες πρόσβασης, όπως η TDMA και η FDMA, δε μπορούσαν ποτέ να έχουν. Κατά την ίδια σχεδόν περίοδο, η Ευρώπη πρότεινε το πρότυπο GSM, προκειμένου να υπάρχει ένα κοινό πρότυπο σε όλες τις μεγάλες ευρωπαϊκές χώρες κάτω από την εποπτεία του ευρωπαϊκού ιδρύματος προτύπων τηλεπικοινωνιών (ETSI). Το

σύστημα GSM χρησιμοποιεί τεχνολογία TDMA και μπορεί να λειτουργήσει σε τρεις διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων (800 MHz, 900 MHz και 1,8 GHz) σε όλο τον κόσμο. Οι πολύ διαφορετικές προσεγγίσεις μάρκετινγκ που χρησιμοποιούνται από την Ευρώπη κατέτασσαν το σύστημα GSM ως το δημοφιλέστερο ψηφιακό κινητό κυψελοειδές σύστημα στον κόσμο μέχρι πριν από λίγα χρόνια.

Η εξέλιξη των κινητών κυψελοειδών τηλεφωνικών συστημάτων δείχνει ότι οι Αμερικανοί πέτυχαν πολύ στην ανάπτυξη και την εφαρμογή του αναλογικού συστήματος πρώτης γενιάς AMPS, όχι μόνο στη Βόρεια Αμερική αλλά και σε πολλές άλλες περιοχές στον κόσμο. Αν και οι Ηνωμένες Πολιτείες ήταν ακόμα τεχνολογικά κυρίαρχες στα κινητά κυψελοειδή συστήματα της δεύτερης γενιάς, η Ευρώπη ήταν ο τελικός νικητής καθώς κατέλαβε τελικά το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς στο χώρο της κινητής τηλεφωνίας σε όλο τον κόσμο, κάτι το οποίο φαίνεται από τον παγκόσμιο αριθμό συνδρομητών συστημάτων GSM. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η Ευρώπη, που απολάμβανε ένα μεγάλο ποσοστό του οφέλους από την ανάπτυξη των συστημάτων δεύτερης γενιάς, δε βιαζόταν καθόλου να προχωρήσει την έρευνα για τα συστήματα κινητής επικοινωνίας τρίτης γενιάς (3G). Στο μεταξύ, η Ιαπωνία κατέλαβε μικρό μερίδιο στην παγκόσμια αγορά λόγω κυρίως των μακροχρόνιων συντηρητικών πολιτικών της. Η διακαής επιθυμία της Ιαπωνίας να προχωρήσει μαζί με την Ευρώπη στην ανάπτυξη των συστημάτων κινητής επικοινωνίας τρίτης γενιάς παρακινήθηκε επίσης από τον τεχνολογικό ανταγωνισμό της με την Κορέα. Με την οπτική της Ιαπωνίας θα ήταν απολύτως απαράδεκτο εάν επρόκειτο να καθυστερήσει σε σχέση με την Κορέα στην ανάπτυξη τεχνολογιών που βασίζονται στην τεχνική CDMA. Για αυτούς τους λόγους, πρέπει να αναγνωριστεί ότι η Ιαπωνία διαδραμάτισε ένα σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των τρεχόντων 3G προτύπων κινητής επικοινωνίας, ειδικά τα πρότυπα WCDMA που προτάθηκαν από το σύνδεσμο Ραδιοβιομηχανιών και Ραδιοεπιχειρήσεων (ARIB) της Ιαπωνίας και τα πρότυπα συστημάτων κινητών τηλεφώνων (UMTS) που προτάθηκαν από το ETSI.

Τελικά, το πρότυπο που έχει επικρατήσει παγκοσμίως σήμερα είναι το UMTS και είναι αυτό που θα χρησιμοποιήσουμε για να περιγράψουμε τα 3G συστήματα σε αυτό το κεφάλαιο της διπλωματικής μας. Ο σχεδιασμός του δικτύου UMTS 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 τρίτης 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.

## **2.2 ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΟ ΦΑΣΜΑ**

Η χρήση του φάσματος από τους λειτουργούς του δικτύου είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες 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 (bearer) να επιλέξει [2]:

- α) 2\*5 MHz : επιλογή που συνεπάγεται ένα και μόνο επίπεδο διαστρωμάτωσης στη συγκεκριμένη περιοχή.
- β) 2\*10 MHz : επιλογή που συνεπάγεται δυνατότητα για δύο επίπεδα διαστρωμάτωσης, παραδείγματος χάριν, 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.
- γ) 2\*15 MHz : επιλογή που επιτρέπει πλήρη διαστρωμάτωση τριών επιπέδων, η οποία είναι επιδέχεται τη συνύπαρξη macro, micro και pico κυψελών ή μεικτών σχημάτων με μία macro και δύο micro κυψέλες στην ίδια περιοχή.
- δ) 2\*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 ανάλογες δυνατότητες επιλογής :

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

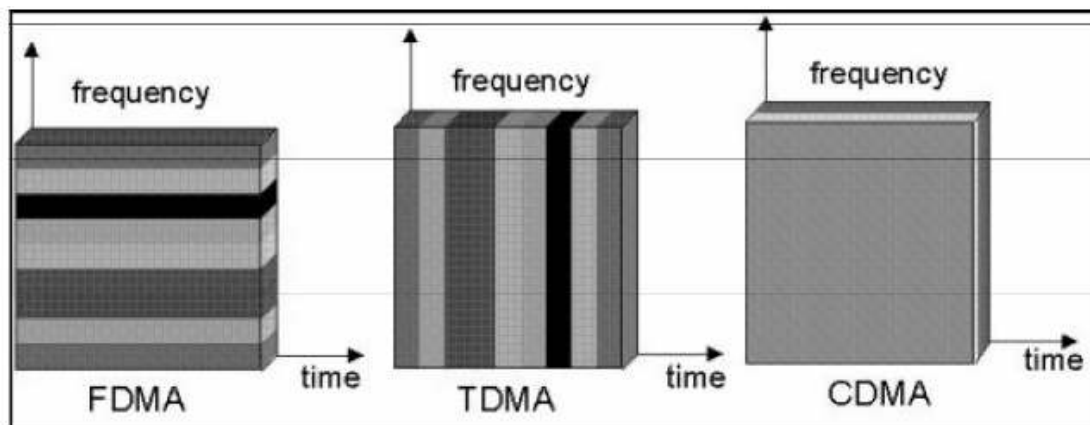
Όπως βλέπουμε στην περίπτωση της TDD δεν υπάρχει ανάγκη για δεύτερο κανάλι. Η επιλογή της λειτουργίας αυτής έχει να κάνει κυρίως με την αποτελεσματικότερη διαχείριση της ασύμμετρης κίνησης (uplink και downlink), η οποία ούτως ή άλλως θεωρείται δεδομένο ότι θα είναι η συνήθης περίπτωση. Με βάση λοιπόν τις προβλέψεις και τις υποθέσεις για τις ανάγκες της αγοράς, το UMTS Forum προτείνει τη χρήση ενός ζεύγους 2\*15 MHz και ενός μονού 5 MHz καναλιού, ως ελάχιστο προσφερόμενο φάσμα από τους παρόχους 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.

## 2.3 ΤΕΧΝΙΚΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ CDMA

Το Δίκτυο Επίγειας Ασύρματης Πρόσβασης UMTS (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 που εισάγει το ευρύ φάσμα. Τέτοιο σύστημα είναι και το CDMA πάνω στο οποίο βασίζεται το σύστημα UMTS που εξετάζουμε [1]. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται όλο το διατιθέμενο φάσμα για κάθε συνδιάλεξη, σε αντίθεση με τα συστήματα TDMA και τα

FDMA, όπου το διατιθέμενο εύρος ζώνης συχνοτήτων διαιρείται σε στενές περιοχές συχνοτήτων και κάθε κανάλι χρησιμοποιείται από μία ή περισσότερες συνδιαλέξεις.

Στα συστήματα CDMA, 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 αφορά τον ίδιο από τις υπόλοιπες. Θέλοντας να δώσουμε μία πιο παραστατική αναπαράσταση του τι ακριβώς συμβαίνει στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας για τα τρία είδη Πολλαπλής Πρόσβασης που αναφέραμε, παραθέτουμε το ακόλουθο σχήμα (σχήμα 2.1):



**Σχήμα 2.1 : Κατανομή των καναλιών στα πεδία συχνότητας και χρόνου για τις τεχνικές 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 κωδικών, οι οποίοι μάλιστα είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των DS συστημάτων είναι ο απλός σχεδιασμός του πομποδέκτη, η πολύ καλή αντιπαραεμβολική δράση, η δύσκολη ανίχνευση καθώς και η καλή συμπεριφορά απέναντι σε διάδοση πολλαπλών δρόμων. 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 FDD και TDD.

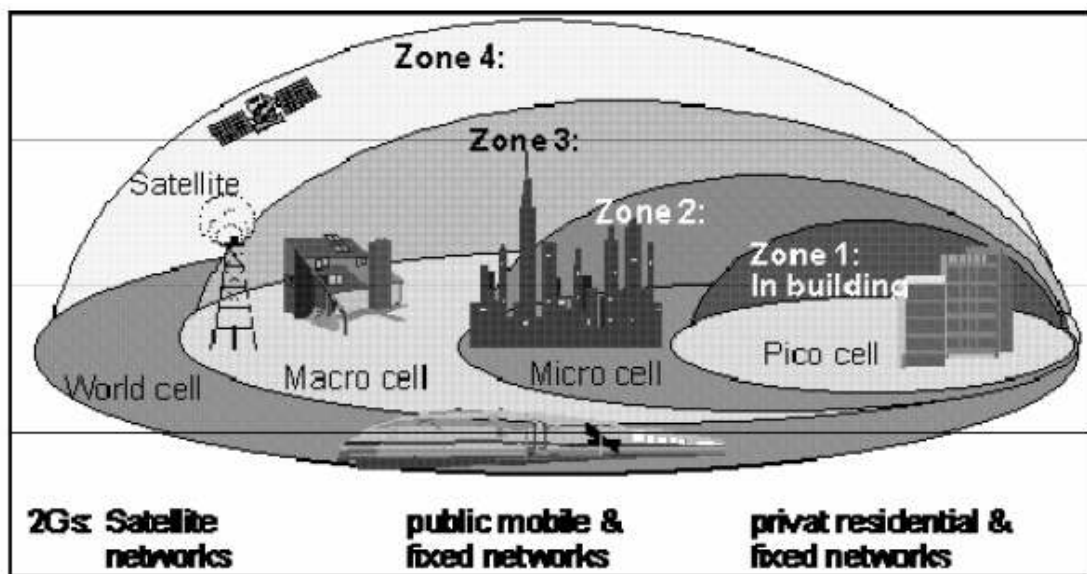
## **2.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΚΥΨΕΛΩΝ**

Το UMTS μπορεί να προσφέρει μια διαφορετική κάλυψη σε διαφορετικούς χρήστες. Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές ιεραρχικές δομές κυψελών UMTS που συνολικά περιλαμβάνουν (1) το picocell, το οποίο καλύπτει μόνο μικρές περιοχές όπως ένα δωμάτιο γραφείου, (2) το microcell, το οποίο μπορεί να καλύψει μια περιοχή αρκετών κτιρίων για να παρέχει τοπικές υπηρεσίες UMTS, (3) το macrocell, το οποίο μπορεί να καλύψει μια περιοχή ακτίνας μερικών χιλιομέτρων και τελικά (4) το global cell, το οποίο καλύπτεται



από τους δορυφόρους και είναι διαθέσιμο σε οποιαδήποτε τοποθεσία σε όλο τον κόσμο. Κάτω από μια τέτοια ιεραρχική δομή κυψελών, το UMTS μπορεί να παρέχει τις υπηρεσίες του στους χρήστες που βρίσκονται σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές πάνω στον πλανήτη [2,3,4,5].

Ως λογική συνέχεια των παραπάνω, 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 και προεκτείνεται με χρήση τόσο macro κυψελών 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 τις όποιες αλλαγές στο δίκτυο που χρησιμοποιεί μιας και θα το βλέπει σαν ένα ενιαίο σύνολο. Το παρακάτω σχήμα (σχήμα 2.2) συνοψίζει σε μία εικόνα όλα όσα αναφέραμε παραπάνω :



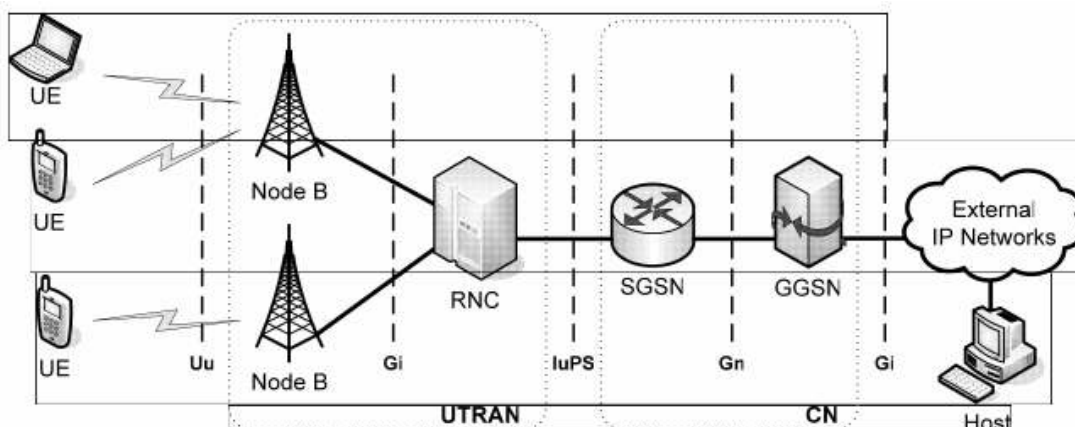
Σχήμα 2.2 : Η ιεραρχική κυψελοειδής δομή του UMTS [3]

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η επιτυχία και η γρήγορη αποδοχή του UMTS δικτύου, πρέπει να παρέχεται όσο το δυνατόν φιλικότερο προς το χρήστη περιβάλλον εργασίας και εφαρμογών, μία ιδέα που ονομάζεται Ιδεατό Οικιακό Περιβάλλον (VHE), στο οποίο να ενσωματώνονται οι τεχνολογικές καινοτομίες της Κοινωνίας της Πληροφορίας. Για αυτό το λόγο πρέπει το διατιθέμενο φάσμα να αξιοποιείται όσο το δυνατόν περισσότερο. 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 χάριν, κάτι που πιθανώς δεν είναι απαραίτητο έξω από αυτές. Με το σκεπτικό αυτό, η εξυπηρέτηση όλης της κίνησης μεταγωγής κυκλώματος υψηλών ρυθμών μπορεί να ανατίθεται στις pico κυψέλες, η κίνηση υψηλών ρυθμών (όχι τόσο όσο στην προηγούμενη περίπτωση) για χρήστες κινούμενους με χαμηλές ταχύτητες (πεζοί) μπορεί να ανατεθεί στις micro κυψέλες, ενώ η κίνηση υψηλών ρυθμών (ακόμη χαμηλότερων όμως σε σύγκριση με την προηγούμενη περίπτωση) για χρήστες κινούμενους με οχήματα μπορεί να ανατεθεί στις macro κυψέλες. Οι micro κυψέλες επειδή ακριβώς προορίζονται για να

καλύπτουν εξωτερικούς χώρους όπου όμως οι απαιτήσεις σε ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων θα είναι αυξημένοι, ειδικά σε αστικά περιβάλλοντα, ενδέχεται να μην έχουν εξαγωνική μορφή έτσι όπως την ξέρουμε, αλλά αντίθετα να έχουν μορφή φαραγγιού (canyon-like), ώστε να προσαρμόζονται στην τοπολογία των δρόμων και να καλύπτουν απόσταση μέχρι και μισού χιλιομέτρου.

## 2.5 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ UMTS

Η γενική αρχιτεκτονική του δικτύου UMTS φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :

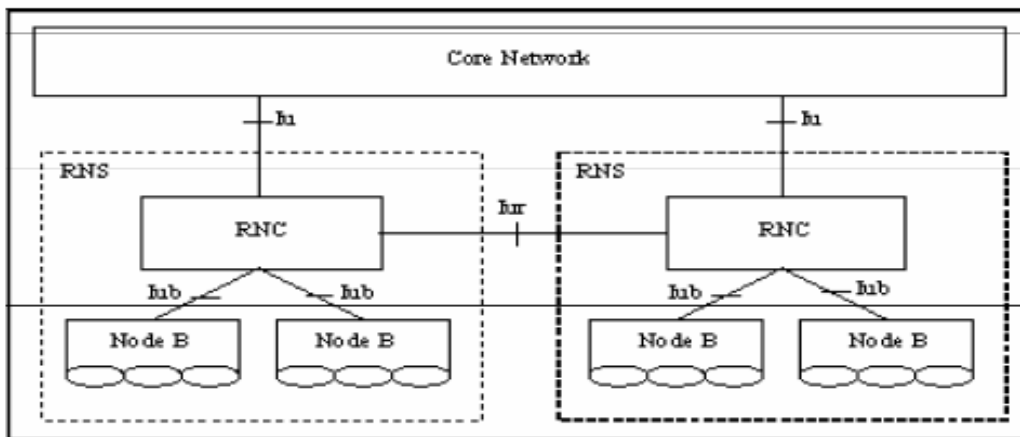


Σχήμα 2.3 : Αρχιτεκτονική δικτύου UMTS

Κρίνουμε απαραίτητο να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο ότι λέγοντας Εξοπλισμό Χρήστη (UE) εννοούμε τα κινητά τερματικά που αυτός χρησιμοποιεί προκειμένου να συνδεθεί στο δίκτυο UMTS και να λάβει τις υπηρεσίες που αυτό προσφέρει. Ο UE πρέπει να διαθέτει την κατάλληλη τεχνολογία για την ασύρματη ζεύξη (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 του δικτύου, εννοούμε τους φυσικούς κόμβους του δικτύου οι οποίοι εξυπηρετούν όλους τους τελικούς χρήστες και υποστηρίζουν τις προβλεπόμενες κατά περίπτωση υπηρεσίες.

### 2.5.1 Το Δίκτυο Επίγειας Ασύρματης Πρόσβασης (UTRAN)

Το UTRAN αποτελείται από ένα σύνολο RNS (Radio Network Subsystem), υποσυστημάτων ασύρματης πρόσβασης, κατ' αναλογία με τα BSS στα συστήματα 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 (Σχήμα 2.4). Περιλαμβάνουν δε όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για τις μεταδόσεις και τις συνδέσεις όπως είναι οι αναμεταδότες, ελεγκτές κ.ο.κ [2,3,6].

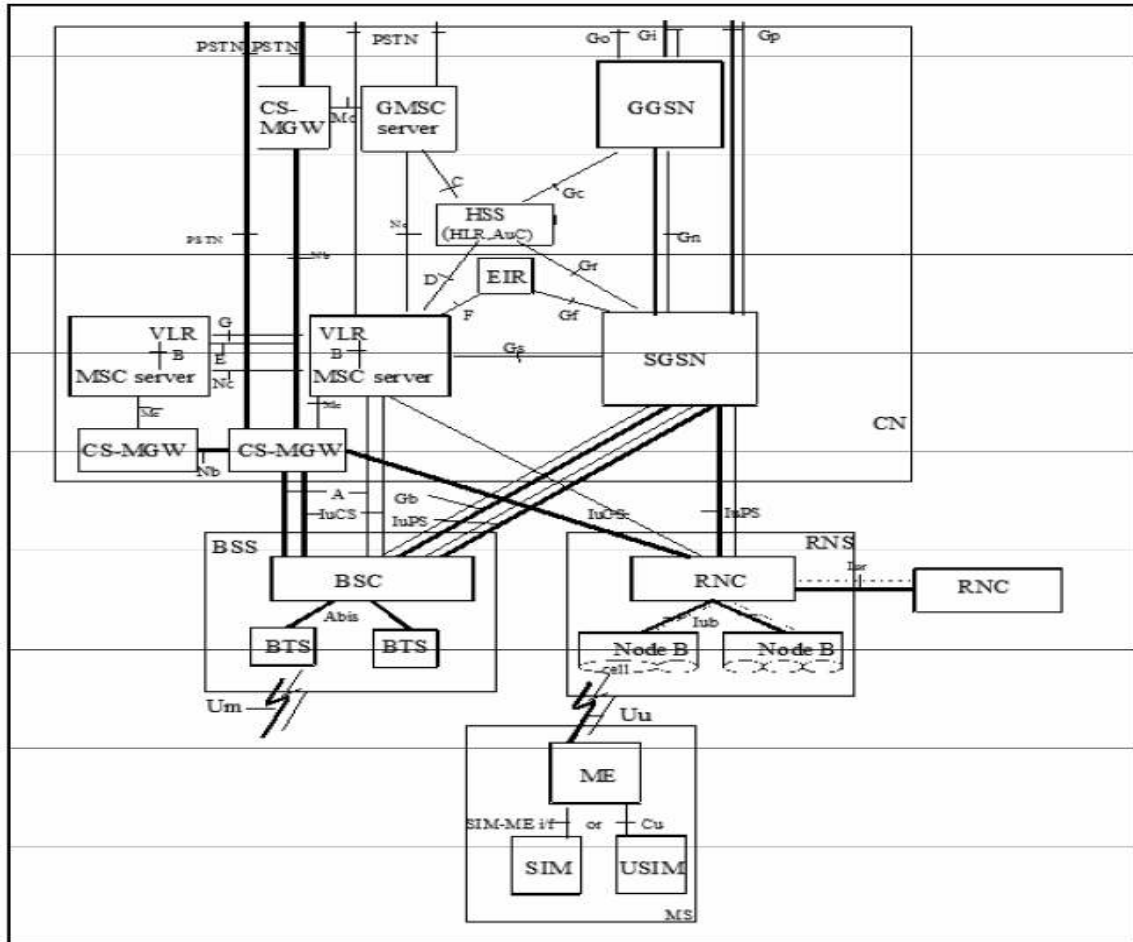


**Σχήμα 2.4 : Το Δίκτυο Επίγειας Ασύρματης Πρόσβασης (UTRAN) [2]**

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 δυνατόν 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.

## 2.5.2 Το Δίκτυο Κορμού (Core Network)

Το Δίκτυο Κορμού περιλαμβάνει τις οντότητες εκείνες που υποστηρίζουν και διασυνδέουν τα δομικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν μέχρι αυτό το σημείο. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2.5), περιέχονται όλα τα βασικά συνθετικά του UMTS μαζί με τον τρόπο διασύνδεσής τους (interfaces), 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 σηματοδότηση. Επίσης, σε αυτό το σημείο πρέπει 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 IP.

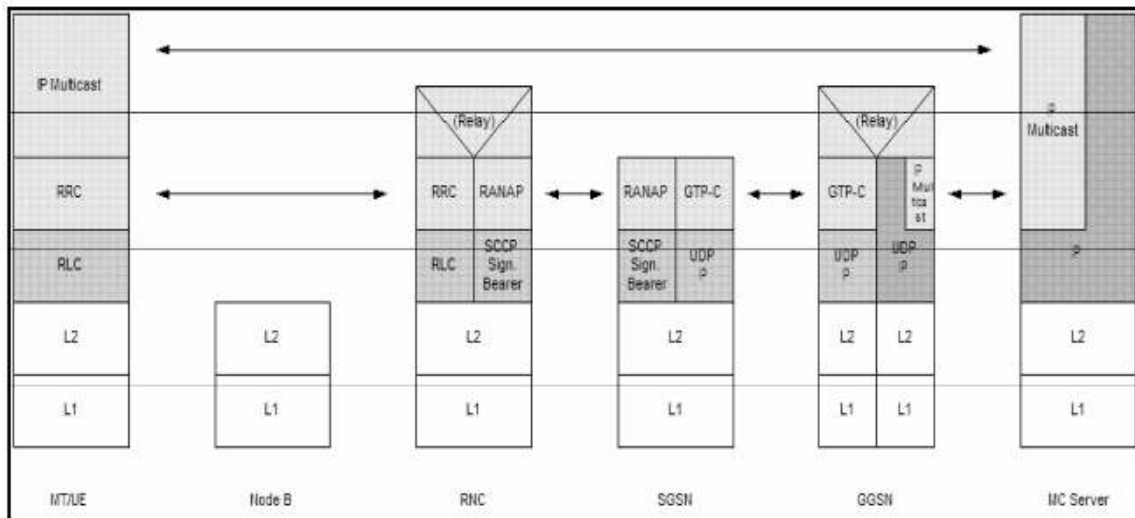


Σχήμα 2.5 : Δομή και διασύνδεση κόμβων δικτύου UMTS [2]

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 (CS) και του τμήματος Μεταγωγής Πακέτου (PS). Υπάρχουν βέβαια και κάποιες οντότητες κοινές, ανεξαρτήτως τμήματος. Το τμήμα CS περιλαμβάνει τις οντότητες που υποστηρίζουν υπηρεσίες προσανατολισμένες σε σύνδεση, κάτι 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 PS περιλαμβάνει τις οντότητες που υποστηρίζουν υπηρεσίες που χρησιμοποιούν PS type of connection, που δεν είναι δηλαδή προσανατολισμένες σε σύνδεση. Αυτό σημαίνει ότι ανεξάρτητα πακέτα 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 κ.ο.κ. 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) [2,6,7].

### 2.5.3 Πρωτόκολλα σηματοδότησης και επιπέδου χρήστη εντός UMTS

Η παρουσίαση που θα γίνει σε αυτή την παράγραφο δε θα καταπιαστεί με τον τρόπο που μεταδίδονται τα πακέτα και θα εστιάσουμε από το επίπεδο δικτύου και πάνω.



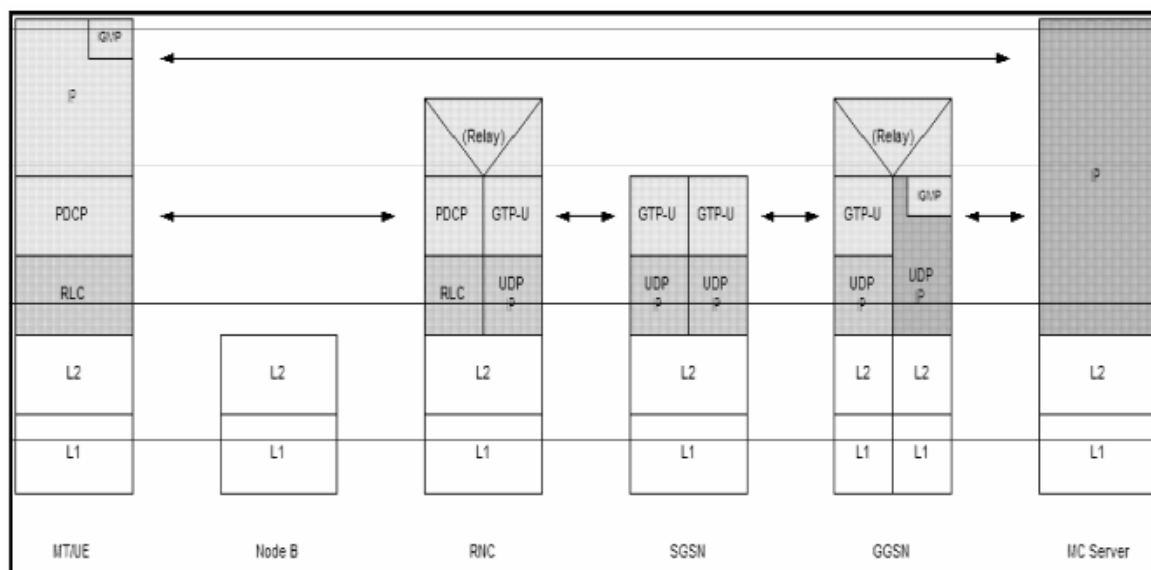
**Σχήμα 2.6 : Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων σε επίπεδο ελέγχου για το τμήμα PS**

Σε επίπεδο σηματοδοσίας, 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. Σε επίπεδο σηματοδοσίας, το RLC χρησιμοποιείται από το πρωτόκολλο RRC, ενώ σε επίπεδο χρήστη από το PDCP. Οι λειτουργίες που αναλαμβάνει κατά περίπτωση 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.ά. (Σχήμα 2.6)

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, χρησιμοποιείται το RANAP 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 πάντως 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. Αυτό επιτρέπει στον SGSN να συνδεθεί με τον GGSN και να προωθήσει τα πακέτα δεδομένων προς τους χρήστες. Επίσης, το 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. (Σχήμα 2.6)

Από την άλλη στο επίπεδο χρήστη (Σχήμα 2.7), το πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί το RLC είναι το PDCP, 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 συμπίεζει 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. Αυτό παρέχει μεταφορά δεδομένων χωρίς σύνδεση και συνεργάζεται πολύ καλά με το UDP πρωτόκολλο [3,6].



Σχήμα 2.7 : Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων σε επίπεδο χρήστη για το τμήμα PS

## 2.5.4 Πακέτα δεδομένων

Στα συστήματα WCDMA του δικτύου UMTS, οι εφαρμογές που βασίζονται στη μεταφορά δεδομένων αναμένονται να κυριαρχήσουν και να καταλάβουν το μεγαλύτερο όγκο της διακινούμενης κυκλοφορίας. Το κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της 3G τεχνολογίας είναι η ικανότητά της να υποστηρίξει την PS (packet-switched) κυκλοφορία των δεδομένων σε σύγκριση με τα συστήματα δεύτερης γενιάς που δεν υποστήριζαν αυτού του είδους τη λειτουργία. Η ανάγκη για ασύρματες υπηρεσίες που θα βασίζονται όλες στο πρωτόκολλο IP καθιστά αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα του συστήματος UMTS WCDMA ακόμα σημαντικότερο [3]. Αυτό είναι άλλωστε και το σημείο κλειδί για την ανάπτυξη των συστημάτων τέταρτης γενιάς, κάτι το οποίο είναι και το κύριο αντικείμενο έρευνας της παρούσας διπλωματικής. Στον PS τρόπο μετάδοσης των δεδομένων το φορτίο του δικτύου που προέρχεται από εφαρμογές δεδομένων είναι από τη φύση του ασυμμετρικό, με υψηλότερες ροές δεδομένων στην κατερχόμενη σύνδεση (downlink) παρά στην ανερχόμενη. Επιπλέον, οι αντίστροφες μεταδόσεις όλων των χρηστών σε μία κυψέλη μοιράζονται το ίδιο σύνολο κωδικών OVSF. Επομένως, η βέλτιστη χρησιμοποίηση των πόρων αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην κατερχόμενη σύνδεση.

### 2.5.5 Έλεγχος ισχύος (power control)

Αντίθετα από τις τεχνικές ελέγχου ενέργειας που χρησιμοποιούνται στο IS-95, το UMTS καθορίζει τρεις κύριους ανόμοιους μηχανισμούς ελέγχου ισχύος, δηλαδή (1) τον έλεγχο ισχύος ανοιχτού βρόγχου, (2) τον έλεγχο ισχύος εσωτερικού βρόγχου, και (3) τον έλεγχο ισχύος εξωτερικού βρόγχου. Ο έλεγχος ισχύος ανοιχτού βρόγχου ορίζεται ως η δυνατότητα της συσκευής του χρήστη (UE) να θέτει την ισχύ που παράγει κατά τη λειτουργία του σε μια συγκεκριμένη τιμή. Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της ισχύος των αρχικών ανερχόμενων και κατερχόμενων συνδέσεων όταν ένας UE προσπαθεί να πετύχει πρόσβαση στο δίκτυο. Ο έλεγχος ισχύος εσωτερικού βρόγχου στην ανερχόμενη σύνδεση ορίζεται ως η δυνατότητα της συσκευής του χρήστη να ρυθμίσει την εκπεμπόμενη ισχύ από τη συσκευή σύμφωνα με μια ή περισσότερες εντολές TPC που παραλαμβάνονται από την κατερχόμενη σύνδεση, έτσι ώστε να μην ξεπερνιέται ένα συγκεκριμένο νούμερο στο λόγο του σήματος προς την παρεμβολή (Signal-to-Interference Ration - SIR). Τέλος, ο έλεγχος ισχύος εξωτερικού βρόγχου χρησιμοποιείται για να διατηρήσει την ποιότητα της επικοινωνίας στο επίπεδο των απαιτήσεων ποιότητας των φορέων των παρεχόμενων υπηρεσιών, χρησιμοποιώντας μια όσο το δυνατόν χαμηλότερη ισχύ [3, 8].

### 2.5.6 Διαδικασία Περιαγωγής Κλήσεων (Handover procedures)

Η περιαγωγή που καθορίζεται στα πρότυπα UMTS, συνδέεται πάντα με τη διαδικασία επαναεπιλογής νέας κυψέλης, η οποία εμφανίζεται όταν ένας UE απομακρύνεται από μία κυψέλη και περιέρχεται υπό τον έλεγχο ενός άλλου Node B. Υπάρχουν τρεις τύποι περιαγωγών που διατυπώνονται στο UMTS: (1) οι Intrafrequency περιαγωγές, (2) οι Interfrequency περιαγωγές, και (3) οι InterRAT περιαγωγές. Η Intrafrequency περιαγωγή εμφανίζεται μεταξύ των κυψελών στην ίδια ραδιοσυχνότητα UMTS. Ο UE μπορεί να μετρήσει την ισχύ των σημάτων των άλλων κυψελών χωρίς να υπάρξει διακοπή της σύνδεσης με την τρέχουσα κυψέλη. Η Interfrequency περιαγωγή εμφανίζεται μεταξύ των κυψελών σε διαφορετικές ραδιοσυχνότητες UMTS. Για να μετρήσει την ισχύ των σημάτων μίας γειτονικής κυψέλης, ο UE πρέπει να αποσυντονιστεί από τη συχνότητα της τρέχουσας κυψέλης και να συντονιστεί στη συχνότητα της γειτονικής κυψέλης χωρίς φυσικά απώλεια των δεδομένων. Η InterRAT περιαγωγή εμφανίζεται μεταξύ των κυψελών σε διαφορετικές ραδιοσυχνότητες (π.χ. περιαγωγή σε μία κυψέλη GSM). Αυτή η διαδικασία απαιτεί σημαντικές επαναπαραμετροποιήσεις τόσο του υλικού όσο και του λογισμικού του UE και αποτελεί ταυτόχρονα και μία μεγάλη πρόκληση για τους σχεδιαστές των συστημάτων τέταρτης γενιάς, όπου οι περιαγωγές μεταξύ διαφορετικών συστημάτων και τεχνολογιών θα αποτελεί συχνό και συνηθισμένο φαινόμενο [3, 8].

## 2.6 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ (QoS) ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 3G

Με τον όρο Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service) αναφερόμαστε γενικά στη δυνατότητα του δικτύου να προσφέρει καλύτερες υπηρεσίες προς τους χρήστες, δηλαδή υπηρεσίες με εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων, αυξημένα χαρακτηριστικά για την ελαχιστοποίηση της απώλειας των δεδομένων, μικρή διακύμανση καθυστέρησης (jitter) και ελεγχόμενη καθυστέρηση. Η Ποιότητα Υπηρεσίας παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο σε κάθε σύγχρονο δίκτυο. Από την οπτική γωνία του χρήστη, είναι προφανές ότι

αυτός επιθυμεί από το δίκτυο όχι απλά να τον εξυπηρετεί, αλλά να τον εξυπηρετεί ανάλογα με τις δικές του απαιτήσεις.

### 2.6.1 Εισαγωγή στην έννοια QoS στα 3G δίκτυα

Σε αντίθεση με τα δίκτυα 2G όπου η μεταφορά φωνής ήταν ο κύριος λόγος για τη δημιουργία και την ύπαρξή τους, τα δίκτυα 3G έχουν επικεντρωθεί στην παράδοση δεδομένων στους χρήστες, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι υπάρχουν πολλές άλλες υπηρεσίες εκτός της μεταφοράς φωνής [5].

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 CS παρέχει εγγυημένη Ποιότητα Υπηρεσίας αλλά έχει ως μεγάλο μειονέκτημα τη δέσμευση πολλών πόρων. Κατά τη διάρκεια μιας υπηρεσίας που τρέχει στο κομμάτι αυτό, δημιουργείται μία μόνιμη σύνδεση μέσα στο δίκτυο και έτσι η χωρητικότητα του δικτύου μειώνεται δραστικά, παρόλο που μπορεί η σύνδεση αυτή να μη χρησιμοποιείται πλήρως. Με άλλα λόγια μία μόνιμη σύνδεση δημιουργείται και παραμένει ενεργή καθ' όλη τη διάρκεια της επιλεγμένης υπηρεσίας. Αυτό επιτρέπει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης αλλά όταν η εφαρμογή παραμένει σε κατάσταση αναμονής και δε μεταφέρονται δεδομένα, η σύνδεση αυτή παραμένει ενεργή και δεν επιτρέπεται η χρήση της από κάποια άλλη υπηρεσία. Έτσι έχουμε μία σημαντική σπατάλη πόρων καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα ευέλικτης διαχείρισής τους. Αυτή η σπατάλη πόρων αντιμετωπίζεται με τη χρησιμοποίηση του κομματιού του δικτύου που βασίζεται στη μεταγωγή πακέτων, η οποία προσφέρει ευέλικτη διαχείριση πόρων. Εάν μία 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.

Ο κύριος σκοπός ενός διαχειριστή δικτύου UMTS είναι η επίτευξη του απ' άκρη σε άκρη (end-to-end) QoS, έτσι ώστε 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, 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 μίας συνολικής πλατφόρμας, η οποία θα υποστηρίζει και θα συνδυάζει όλες αυτές τις τεχνολογίες. Με τη χρήση μίας τέτοιας πλατφόρμας θα καταστεί δυνατή η διασύνδεση ετερογενών δικτύων σε μία διάταξη που θα αποφέρει το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα.

Το σημαντικότερο πρόβλημα για τις επιδόσεις ενός τέτοιου δικτύου είναι το ασύρματο κομμάτι, το οποίο είναι και το βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής. Η εύρεση λύσεων για αυτό αποτελεί ένα αρκετά πολύπλοκο θέμα πάνω στο οποίο γίνονται όλο και περισσότερες επιστημονικές έρευνες τα τελευταία χρόνια.

Ολοκληρώνοντας την εισαγωγή μας στα θέματα QoS δε μπορούμε να μην αναφερθούμε στο πώς βλέπει ο απλός χρήστης την ποιότητα των υπηρεσιών που του παρέχονται. Ο χρήστης λοιπόν 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 δε θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από μερικά δευτερόλεπτα. Μία δεύτερη απαίτηση είναι να είναι το δίκτυο ικανό να διατηρεί ενεργή τη σύνδεση καθ' όλη τη διάρκεια της κλήσης και να μην έχουμε φαινόμενα διακοπής της 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 αποτελεί ακόμα μία απαίτηση του χρήστη, καθώς επιθυμεί η ποιότητα 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 στη μεταφορά αρχείων θέλουμε ακεραιότητα δεδομένων, ενώ στην παροχή βίντεο επιζητούμε τη μεγάλη ταχύτητα μεταφοράς.

Συνοψίζοντας, τέλος, όλα τα παραπάνω καταλήγουμε στη διαπίστωση ότι υπάρχουν έξι διαστάσεις, οι οποίες έχουν συμμετοχή στο πώς αντιλαμβάνεται ο τελικός χρήστης την προσφερόμενη Ποιότητα Υπηρεσίας. Αυτές είναι α) η διαθεσιμότητα των υπηρεσιών, β) η ικανοποιητική διέλευση των δεδομένων, γ) η καθυστέρηση, δ) το φαινόμενο jitter, ε) ο ρυθμός απωλειών πακέτων και στ) το ποσοστό λαθών.

## 2.6.2 Λειτουργίες διαχείρισης QoS

Οι λειτουργίες διαχείρισης του QoS είναι αυτές που επιτρέπουν σε ένα δίκτυο να προσφέρει διαφορετικά επίπεδα QoS έτσι ώστε να είναι δυνατή η δημιουργία, η αλλαγή και η διατήρηση των χαρακτηριστικών του QoS σε ένα δίκτυο. Αυτές οι λειτουργίες δεν είναι όμοιες για το Επίπεδο Διαχείρισης Χρήστη και για το Επίπεδο Διαχείρισης Ελέγχου [9].

Για το Επίπεδο Διαχείρισης Ελέγχου, αυτές είναι: α) ο διαχειριστής υπηρεσιών (Service Manager), β) η λειτουργία μετάφρασης (Translation Function), γ) ο έλεγχος αποδοχής/δυνατοτήτων (Admission/Capability Control) και δ) ο έλεγχος συνδρομής (Subscription Control). 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. Η Λειτουργία Μετάφρασης βρίσκεται στο UE καθώς και στο gateway. Ο βασικός σκοπός της είναι η μετατροπή των παραμέτρων QoS εξωτερικών δικτύων σε μία μορφή, η οποία να γίνεται κατανοητή από το δίκτυο UMTS και το αντίστροφο. Ο σκοπός του Ελέγχου Αποδοχής/Δυνατοτήτων 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 δέσμευσή τους. Αυτό γίνεται με το να παρακολουθεί συνεχώς το 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 και των ζητούμενων παραμέτρων QoS. Το

GGSN και το UTRAN ελέγχουν τοπικά εάν είναι δυνατή η υποστήριξη αυτών των παραμέτρων. Τέλος, η λειτουργία του Ελέγχου Συνδομής βρίσκεται στο SGSN και ελέγχει εάν ένας χρήστης έχει τη δυνατότητα να ζητήσει τα χαρακτηριστικά QoS που ζήτησε ή όχι, με βάση το συνδρομητικό πακέτο στο οποίο βρίσκεται.

Για το Επίπεδο Διαχείρισης Χρήστη οι αντίστοιχες λειτουργίες είναι οι εξής : α) Λειτουργία Αντιστοίχισης (Mapping Function), β) Λειτουργία Ταξινόμησης (Classification Function), γ) Διαχειριστής Πόρων (Resource Manager), και δ) Χειριστής Κίνησης (Traffic Conditioner). Η Λειτουργία Αντιστοίχισης αντιστοιχεί τα χαρακτηριστικά του QoS κάθε υπηρεσίας στα διαφορετικά χαρακτηριστικά των διαύλων. Η Λειτουργία Ταξινόμησης που υπάρχει στο gateway και στον UE, θέτει τις πληροφορίες που προέρχονται από εξωτερικά δίκτυα ή από τοπικούς διαύλους στους κατάλληλους διαύλους υπηρεσιών UMTS, σύμφωνα με τις απαιτήσεις QoS της κάθε πληροφορίας. Ο Διαχειριστής Πόρων εξετάζει εάν οι παράμετροι QoS που έχουν ζητηθεί από ένα περιεχόμενο PDP μπορούν να ικανοποιηθούν και δεσμεύει τους ανάλογους πόρους του δικτύου. Ο τοπικός έλεγχος των πόρων συμβαίνει σε κάθε στοιχείο του δικτύου, αλλά το RNC είναι υπεύθυνο για να διαχειρίζεται τους ασύρματους πόρους του δικτύου. Τέλος, 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, στη gateway και στο RNC.

### 2.6.3 Τάξεις QoS στο UMTS

Για να επιτευχθεί μία 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 : α) conversational, β) streaming, γ) interactive, και δ) 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 τη 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 (Bit Error Rate) και χρησιμοποιούνται κυρίως για εφαρμογές Internet. Αυτές που έχουν υψηλότερη προτεραιότητα είναι οι εφαρμογές της τάξης Interactive. Οι τάξεις αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κατηγορίες εφαρμογών, οι οποίες είναι : α) εφαρμογές πραγματικού χρόνου (Conversational & Streaming) και β) εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου (Interactive & Background) [8, 9, 10].

**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 τη χρήση αυτού και θα έχει τη μορφή του Voice over IP (VoIP) ή ακόμα της βιντεο-συνδιάσκεψης. Καθώς από τη φύση τους τέτοιες εφαρμογές είναι εφαρμογές πραγματικού χρόνου, οι χρόνοι μετάδοσης θα πρέπει να είναι μικροί. Εάν δε συμβαίνει αυτό δε θα είμαστε σε θέση να έχουμε μία πραγματική συνομιλία. Επίσης, οι διάφορες ροές δεδομένων θα πρέπει να είναι χρονικά συσχετισμένες και συγχρονισμένες. Οι μεγάλοι χρόνοι καθυστέρησης δεν είναι αποδεκτοί σε αυτήν την τάξη, καθώς κάτι τέτοιο θα σήμαινε δραματική υποβάθμιση της ποιότητας, η οποία δεν είναι αποδεκτή από τους

τελικούς χρήστες. Συνοψίζοντας, οι κύριοι στόχοι της τάξης αυτής είναι η διασφάλιση του χρονικού συσχετισμού μεταξύ των ροών δεδομένων και η εγγύηση της χαμηλής καθυστέρησης.

**Τάξη Streaming** : Η τάξη αυτή αντιστοιχεί σε ροές δεδομένων πραγματικού χρόνου, όπως είναι οι ροές ήχου και βίντεο. Για παράδειγμα αναφέρεται σε εφαρμογές όπως η ακρόαση μουσικής μέσω δικτύου ή η παρακολούθηση 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 πάγωμά της (pause) και η αναπαραγωγή της. Έτσι δεν έχουμε μεγάλη ζήτηση για χαμηλή καθυστέρηση, παρόλο που αυτή είναι πάντοτε επιθυμητή. Για μία εφαρμογή όπως είναι η παρακολούθηση μίας ταινίας, μία ροή μπορεί να συμπεριλαμβάνει διάφορα στοιχεία, καθώς είναι δυνατή η χρήση διαφορετικών υποροών 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. Συμπερασματικά λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι ο κύριος σκοπός μίας τέτοιας τάξης είναι η εξασφάλιση της χρονικής συσχέτισης μεταξύ των οντοτήτων μίας ροής.

**Τάξη Interactive** : Στην τάξη αυτή 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 τη βάση δεδομένων ενός άλλου μηχανήματος. Οι κύριες ενέργειες βασίζονται στις ερωταποκρίσεις και έτσι οι χρόνοι μετάδοσης θα πρέπει να είναι σύντομοι. Όταν γίνεται μία 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 και η διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων.

**Τάξη Background** : Σε αυτήν την τάξη ανήκουν εφαρμογές μεταφοράς δεδομένων όπως είναι το e-mail, το FTP, το SMS, το MMS κλπ. Η μοναδική απαίτηση της τάξης αυτής είναι η διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων, καθώς όλες οι άλλες παράμετροι δεν είναι σημαντικές.

## 2.7 QoS ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ 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. Στις αμέσως επόμενες παραγράφους επιχειρείται μία ανάλυση των απαιτούμενων παραμέτρων για τις υπηρεσίες αυτές. Μπορούμε να πούμε ότι ο καθορισμός των παραμέτρων RAB είναι μία σημαντική πράξη για το δίκτυο, καθώς είναι ένα χρήσιμο εργαλείο που παρέχει τις απαραίτητες γραμμές

πάνω στις οποίες μπορεί να κινηθεί το δίκτυο για τον καθορισμό των παραμέτρων των υπηρεσιών. Οι παράμετροι αυτές θα μας βοηθήσουν και στην τελική προσομοίωση που θα πραγματοποιήσουμε στα πλαίσια της διπλωματικής. Άλλωστε δεν είναι τυχαία επιλεγμένες οι τέσσερις υπηρεσίες που θα παρουσιαστούν και είναι οι εξής : α) Φωνή (Voice), β) Εφαρμογές Ροής Πολυμέσων (Media Streaming Applications), γ) Εφαρμογές μεταφόρτωσης αρχείων (Content Download) και δ) Πρόσβαση στο Internet και Πλοήγηση [11].

### 2.7.1 Φωνή (Conversational)

Η φωνή στα δίκτυα δεύτερης γενιάς μεταφέρεται με τη χρήση της μεταγωγής κυκλώματος. Αυτό μπορεί να συνεχιστεί και στα δίκτυα 3G, αλλά καθώς μεταβαίνουμε στην εποχή του καθολικού IP (all-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 στη μετάδοση των φωνητικών πακέτων.

Πολλά από αυτά τα προβλήματα λύνονται ήδη με τη χρησιμοποίηση του IPv6. 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 του φαινομένου jitter. Ο κωδικοποιητής φωνής που έχει επιλεγεί από την 3GPP για το UMTS είναι ο AMR (Adaptive Multirate). Ο ρυθμός κωδικοποίησης μπορεί να διαφέρει μεταξύ 4.75 και 12.2 kbps, 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 στη συχνότητα δειγματοληψίας των 8 kHz και είναι ήδη ιδιαίτερα δημοφιλής στις εφαρμογές VoIP.

Σε μία από τις τελευταίες εκδόσεις της 3GPP εισάγεται 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 kbps. Για την εξασφάλιση χαμηλής καθυστέρησης, τα PDUs που έχουν φωνητικά δεδομένα λαμβάνουν μία υψηλότερη προτεραιότητα. Το επιθυμητό όριο καθυστέρησης για τη φωνή είναι τα 150 ms. Παρόλα αυτά καθυστερήσεις μέχρι τα 400 ms θεωρούνται αποδεκτές παρά το σχετικά μεγάλο υποβιβασμό της ποιότητας. Το jitter θα πρέπει να είναι λιγότερο από 1 ms και η χρήση ενός buffer είναι απαραίτητη. Η απώλεια πληροφορίας θα πρέπει να είναι λιγότερη από 3%. Μία τυπική τιμή BER (Bit Error Rate) για τη φωνή είναι το 0.00001.

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 2.1) δίνει τις διάφορες παραμέτρους για την υπηρεσία φωνής :

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

Πίνακας 2.1 : Καθορισμός παραμέτρων Φωνής

## 2.7.2 Εφαρμογές ροής πολυμέσων (media streaming applications)

Υπό τον όρο εφαρμογή ροής πολυμέσων εννοούμε εφαρμογές όπως βίντεο, ήχος και μουσική, τις οποίες μπορεί να τις επιλέξει ένας χρήστης ώστε να τις απολαύσει με τη χρήση του τερματικού του. Όλες αυτές ανήκουν στην τάξη Streaming και η αλληλεπίδραση είναι περιορισμένη, καθώς ο χρήστης μπορεί να επιλέξει λιγότερες εντολές, οι οποίες είναι απαραίτητες μόνο για την αναπαραγωγή της υπηρεσίας. Ένα βασικό χαρακτηριστικό είναι ότι η κάθε εφαρμογή έχει τις δικές της παραμέτρους. Οι κυριότερες ομοιότητες εντοπίζονται στους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, τη μικρή καθυστέρηση και το ελάχιστο jitter, το οποίο απαιτούν αυτές οι εφαρμογές. Η καθυστέρηση εξαρτάται από το συνολικό μέγεθος μίας 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.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.2) δίνεται ένα τυπικό παράδειγμα των παραμέτρων μιας τέτοιας υπηρεσίας :

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

Πίνακας 2.2 : Καθορισμός παραμέτρων εφαρμογής streaming

### 2.7.3 Εφαρμογές μεταφόρτωσης αρχείων (content download)

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 2.3 : Καθορισμός παραμέτρων της εφαρμογής Content Download

Ο όρος Content Download αναφέρεται σε υπηρεσίες ροής αλλά η κύρια διαφορά έγκειται στο ότι υφίσταται η δυνατότητα για αποθήκευση της υπηρεσίας, έτσι ώστε αυτή να μπορεί να αναπαραχθεί στη συνέχεια κατά βούληση σε τοπικό επίπεδο. Έτσι λοιπόν αυτή η υπηρεσία ξεφεύγει από τα όρια της τάξης Streaming και ανήκει στην τάξη Background. Το κύριο μέλημα είναι η ακεραιότητα της πληροφορίας και όχι η καθυστέρηση και έτσι είναι δυνατή η θυσία περισσότερου χρόνου μεταφοράς προς όφελος της ποιότητας. Αυτές οι εφαρμογές μπορούν 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, ο εγγυημένος ρυθμός μετάδοσης είναι τα 64 Kbps, δηλαδή η ταχύτητα του ISDN. Με βάση όμως τους υπάρχοντες πόρους του δικτύου και φυσικά το QoS προφίλ του κάθε συνδρομητή, αυτός μπορεί να φθάσει τα 2 Mbps ή ακόμα και παραπάνω. Στον προηγούμενο πίνακα (Πίνακας 2.3) δίνονται επιγραμματικά οι διάφορες παράμετροι και για αυτού του είδους τις υπηρεσίες.

#### **2.7.4 Πρόσβαση στο Internet και πλοήγηση (interactive)**

Καθώς η ζήτηση για πρόσβαση στο Internet γνωρίζει μία διαρκής αύξηση, αυτή η υπηρεσία δε θα μπορούσε να απουσιάζει από το UMTS. Η πλοήγηση στο Web 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 δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα 4-5 sec για κάθε σελίδα που θα έχει συνολικό μέγεθος 10 KB. Εξαιτίας της μεγάλης ζήτησης αυτής της υπηρεσίας έχουν καθοριστεί δύο διαφορετικοί τύποι υπηρεσιών. Ο ένας είναι η βασική υπηρεσία (basic service) και ο άλλος είναι η premium υπηρεσία. Αυτοί οι δύο τύποι μπορούν να συνυπάρχουν με τα υπάρχοντα προφίλ QoS, χωρίς να τα παρακάμπτουν όσον αφορά τις άλλες υπηρεσίες.

Η βασική υπηρεσία κάνει χρήση ρυθμών μετάδοσης που δεν είναι χαμηλότεροι από αυτούς του ISDN, που λειτουργεί στα 64 Kbps. Η ταχύτητα αυτή κρίνεται σχετικά χαμηλή με τα σημερινά δεδομένα, αλλά είναι αποδεκτή ως το κατώτερο εγγυημένο όριο. Οι μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης εξαρτώνται αποκλειστικά από τον πάροχο και σήμερα φτάνουν ή και ξεπερνούν τα 256 Kbps. Η υπηρεσία Premium Internet Access & Browsing εγγυάται υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης, αφού άλλωστε αυτό αποτελεί την κύρια διαφορά με τη βασική υπηρεσία. Οι ταχύτητες αυτές αρχίζουν από τα 512 Kbps και φτάνουν σήμερα τα 2 Mbps, ταχύτητες δηλαδή που είναι εφάμιλλες με τις υψηλές ταχύτητες που επιτυγχάνονται από σταθερά δίκτυα με χρήση τεχνολογιών όπως το DSL. Παρόλα αυτά δεν πρέπει να παραβλέπουμε το γεγονός ότι οι υψηλοί αυτοί ρυθμοί δε μπορούν να υφίστανται πάντα εξαιτίας πολλών λόγων, όπως η ύπαρξη καναλιών με θόρυβο, η εξάντληση πόρων κ.ο.κ.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.4) παραθέτουμε επιγραμματικά τις διάφορες παραμέτρους μόνο για την premium 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 2.4 : Καθορισμός παραμέτρων για την υπηρεσία Premium Level Internet Access**

## 2.8 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Συνοψίζοντας όλα αυτά που αναφέρθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο, μπορούμε να καταλήξουμε στη διαπίστωση ότι τα δίκτυα τρίτης γενιάς σχεδιάστηκαν προσεκτικά, έτσι ώστε να πληρούν όσο το δυνατόν περισσότερες προδιαγραφές που επιβάλλουν οι σημερινές ανάγκες του ανθρώπου για επικοινωνία και για ανταλλαγή δεδομένων.

Είναι προφανές στον αναγνώστη ότι αφιερώθηκε αρκετό μέρος της διπλωματικής στην ανάλυση της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Αυτό μόνο τυχαία δεν έγινε, καθώς αναμένεται πολλές από τις αρχές και τις εφαρμογές του 3G να εφαρμοστούν και στα επερχόμενα δίκτυα 4G, των οποίων η διερεύνηση είναι ο κύριος στόχος της όλης παρούσας εργασίας. Μάλιστα, πολλοί ερευνητές σήμερα θεωρούν ότι η ενοποίηση δύο ή περισσότερων ετερογενών συστημάτων προϋποθέτει την ύπαρξη ενός συστήματος 3G.

Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε πως μόνο στα 3G συστήματα έχουν διερευνηθεί τόσο πολύ θέματα QoS, που αφορούν και μελλοντικές εφαρμογές. Πολλά από τα θέματα που αναλύθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο και ιδιαίτερα οι δύο τελευταίες παράγραφοι πρόκειται να χρησιμοποιηθούν και να αξιοποιηθούν στην τελική προσομοίωση που θα πραγματοποιηθεί στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής.



## 2.9 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Robert Wood, **Next Generation Network Services**, Cisco Press, 2006, (Κεφάλαιο 9 – Cellular mobility basics).
- [2] R. Morawek, H. Oczelik, **UMTS Basic Network Architecture**, 2000.
- [3] Hsiao-Hwa Chen, Mohsen Guizani, **Next Generation Wireless Systems and Networks**, John Wiley & Sons Ltd., 2006, (Κεφάλαιο 3, σελ. 158-189).
- [4] International Engineering Consortium. “Cellular Communications.”  
[http://www.iec.org/online/tutorials/cell\\_comm](http://www.iec.org/online/tutorials/cell_comm)
- [5] [www.umtsworld.com/technology/](http://www.umtsworld.com/technology/)
- [6] ETSI, The ETSI UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA) ITU-R RTT Candidate Submission, January 29, 1998.
- [7] 3GPP TS 23.101 V.6.0.0., “**General UMTS Architecture**”, 2004.
- [8] Juha Korhonen, **Introduction to 3G Mobile Communications (2<sup>nd</sup> Edition)**, Artech House Inc., 2003, (Κεφάλαιο 2, σελ. 32-38 και Κεφάλαιο 13, σελ. 402-405).
- [9] 3GPP TS 23.107 v.6.4.0., “**Quality of Service concept and architecture**”, 2006.
- [10] Mooi Choo Chuah, Qinqing Zhang, **Design and Performance of 3G Wireless Networks and Wireless LANs**, Springer Science + Business Media Inc., 2006, (Κεφάλαιο 3, σελ. 40-47).
- [11] Harri Holma, Antti Toskala, **WCDMA for UMTS (3<sup>rd</sup> Edition)**, John Wiley & Sons Ltd., 2004, (Κεφάλαιο 2, σελ. 23-26).

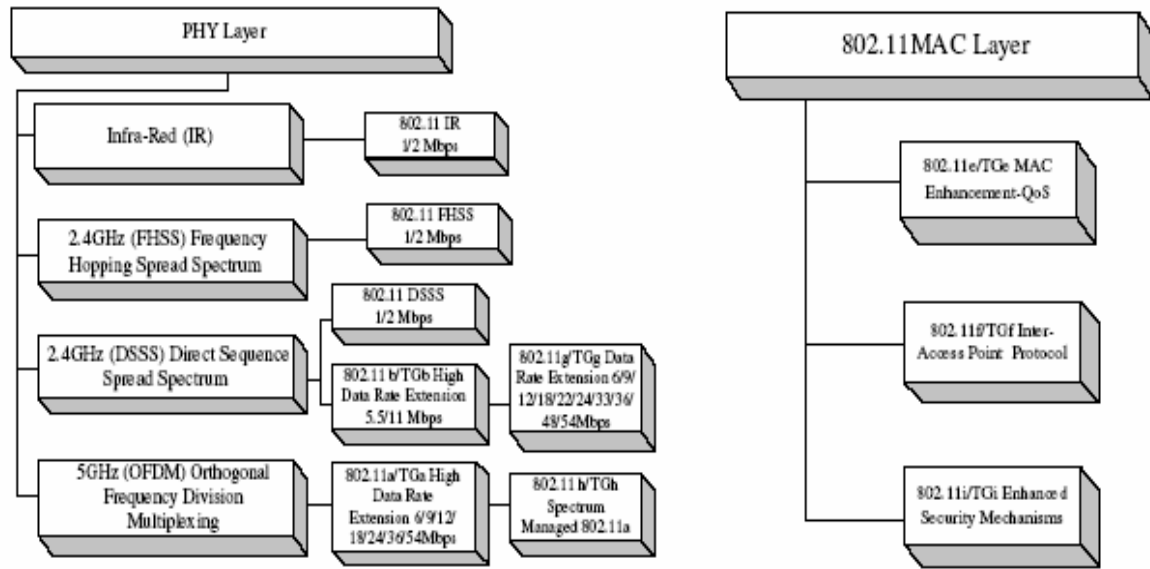
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> – ΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΤΟΠΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ WLAN

## 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ 802.11x – ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΟ 802.16

Το πρότυπο 802.11 της IEEE για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες ασύρματες τεχνολογίες σε όλο τον κόσμο και είναι πολύ πιθανό να διαδραματίσει ένα σημαντικό ρόλο στα ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας της επόμενης γενιάς. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας είναι η απλότητα, η ευελιξία και το σχετικά μικρό κόστος της. Αυτή η τεχνολογία παρέχει στους ανθρώπους ένα εκτεταμένο περιβάλλον επικοινωνίας στα γραφεία, τα νοσοκομεία, τις πανεπιστημιούπολεις, τα εργοστάσια, τους αερολιμένες, τα χρηματιστήρια, τα εμπορικά κέντρα κ.λ.π. Ταυτόχρονα, οι εφαρμογές πολυμέσων γνωρίζουν μεγάλη άνθηση στις μέρες μας. Οι άνθρωποι απαιτούν να λαμβάνουν τις υπηρεσίες βίντεο, ήχου, φωνής και περιήγησης στο Διαδίκτυο ακόμα και όταν κινούνται στα γραφεία τους ή περιηγούνται γύρω από πανεπιστημιούπολεις ή εμπορικά κέντρα. Εντούτοις, οι εφαρμογές πολυμέσων απαιτούν κάποια ποιότητα στις προσφερόμενες υπηρεσίες τους (QoS) όπως το εγγυημένο εύρος ζώνης, η καθυστέρηση, το φαινόμενο jitter και το μικρό ποσοστό των λανθασμένων πακέτων. Η εγγύηση αυτών των απαιτήσεων QoS στα 802.11 WLANs αποτελεί μία μεγάλη πρόκληση λόγω της μη ύπαρξης συγκεκριμένων λειτουργιών στο επίπεδο MAC που να έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να παρέχουν υπηρεσίες QoS, αλλά και λόγω των θορυβωδών και μεταβλητών φυσικών χαρακτηριστικών του φυσικού επιπέδου (PHY).

Το πρότυπο 802.11 για τα WLAN καλύπτει το επίπεδο MAC και το φυσικό επίπεδο (PHY) του προτύπου αναφοράς δικτύων διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων (OSI). Το σχήμα 3.1 παρουσιάζει σχεδόν όλες τις δραστηριότητες τυποποίησης που έχουν πραγματοποιηθεί από την ομάδα 802.11 της IEEE στα δύο αυτά στρώματα που αναφέραμε (PHY – MAC). Το 1997, η IEEE εισήγαγε τρία είδη επιλογών για το φυσικό επίπεδο, τα οποία είναι μια ζώνη βάσης υπέρυθρων (IR) PHY, μία φασματική εξάπλωση με αναπήδηση συχνότητας (FHSS) και μία φασματική εξάπλωση άμεσης ακολουθίας στοιχείων (DSSS). Όλες αυτές οι επιλογές μπορούν να υποστηρίξουν ταχύτητες μετάδοσης από 1 έως και 2 Mbps. Το 1999, η IEEE καθόρισε δύο επεκτάσεις που επέτρεπαν υψηλότερες ταχύτητες: το πρότυπο 802.11b που λειτουργεί στα 2.4 GHz, μπορεί να υποστηρίξει ταχύτητες μέχρι και 11 Mbps και είναι βασισμένο στην τεχνολογία DSSS και το πρότυπο 802.11a που λειτουργεί στα 5GHz, μπορεί να υποστηρίξει ταχύτητες μέχρι και 54Mbps, και είναι βασισμένο στην ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας (OFDM τεχνολογία). Επίσης, το πρότυπο 802.11g πήρε την τελική μορφή του το 2004. Αυτό με τη σειρά του επεκτείνει το φυσικό επίπεδο του 802.11b έτσι ώστε να μπορούν να επιτευχθούν ταχύτητες της τάξεως των 54 Mbps στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz. Επιπλέον, το πρόσφατο (2003) 802.11h θα ενισχύσει το 802.11a με την προσθήκη των εσωτερικών και υπαίθριων κανονισμών για τις άδειες στη ζώνη των 5GHz στο χώρο της Ευρώπης. Στο επίπεδο MAC, το πρότυπο 802.11e αποτελεί την πρώτη προσπάθεια έτσι ώστε να ενισχυθεί η απόδοση του WLAN σε θέματα QoS. Επίσης υπάρχουν και μερικά άλλα

πρότυπα, τα οποία δε θα μας απασχολήσουν καθόλου στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μας (802.11f, 802.11i κ.ά) [1].



**Σχήμα 3.1 :** Συγκεντρωτικό σχήμα με όλα τα πρότυπα της ομάδας 802.11 της IEEE [1]

IEEE Standard	Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης (Mbps)	Throughput (Mbps)	Κανάλια	Χωρητικότητα Σημείου Πρόσβασης (Mbps)
802.11b	11	6	3	18
802.11g	54	22	3	66
802.11a	54	25	12	300
802.11h	54	25	24	600

**Πίνακας 3.1 :** Ενδεικτικές παράμετροι λειτουργίας για τα σημαντικότερα πρότυπα 802.11 [2]

Το 802.16a είναι ένα σχετικά νέο πρότυπο που είναι επίσης γνωστό ως WMAN. Στο χώρο της βιομηχανίας τα συναφή προϊόντα και οι υπηρεσίες αναφέρονται ως WiMAX. Το ασύρματο πρότυπο δικτύωσης 802.16a προσφέρει την υπηρεσία της ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης σε μεγαλύτερες περιοχές και το εύρος ζώνης που διατίθεται ξεπερνά κατά πολύ τις αντίστοιχες τιμές των προτύπων 802.11. Το 802.16a στοχεύει να λειτουργεί στις συχνότητες από 10 έως 66 GHz, αλλά και μέχρι τις συχνότητες της τάξης των 211 GHz δεχόμενο βέβαια τις απαραίτητες βελτιώσεις και τροποποιήσεις. Μια παραλλαγή του προτύπου αυτού, που ονομάζεται 802.16e, προτυποποιείται για να επιτρέψει σε έναν ενιαίο σταθμό βάσης να υποστηρίξει και τους σταθερούς και τους κινητούς χρήστες, και δείχνει να κερδίζει πολύ γρήγορα την αγορά όσον αφορά τους φορείς παροχής υπηρεσιών. Αξίζει να σημειωθεί πάντως ότι γίνονται συνεχώς βελτιώσεις στα ήδη υπάρχοντα πρότυπα, ειδικά από το 2005 και μετά.

Η τεχνολογία αυτή υποστηρίζει την προσαρμοστική διαμόρφωση, ισορροπώντας αποτελεσματικά διαφορετικές ροές δεδομένων και ποιότητα ασύρματων συνδέσεων. Το αρχικό πρότυπο θα χρησιμοποιήσει τις τεχνικές FDD και TDD, οι οποίες έχουν αναλυθεί εκτενώς στο αμέσως προηγούμενο κεφάλαιο. Τα πρότυπα 802.16a και 802.16e θα χρησιμοποιήσουν πιθανώς την τεχνική OFDM, η οποία παρουσιάζεται εκτενώς στο δεύτερο μέρος της διπλωματικής.

Το πρότυπο WiMAX στοχεύει κατά μέσο όρο στα 70 Mbps μέχρι μια απόσταση της τάξης των 50 χιλιομέτρων από έναν ενιαίο σταθμό βάσης. Αυτή η μεγαλύτερη κάλυψη και το αυξανόμενο εύρος ζώνης θα είναι πολύ ελκυστικό για τους φορείς παροχής υπηρεσιών, και έτσι αναμένεται να υπάρξει μεγάλο επενδυτικό ενδιαφέρον σε αυτόν τον τομέα τα αμέσως επόμενα χρόνια. Με αυτής της τάξης την κάλυψη και το εύρος ζώνης, τα WiMAX ταξινομούνται ως ασύρματα δίκτυα μητροπολιτικής περιοχής (WMANs). Ως WMAN, η τεχνολογία τελευταίου μιλίου (last-mile technology) υπόσχεται ότι θα συνδέσει τα WiMAX με τα δίκτυα WI-FI (στις τελευταίες μερικές εκατοντάδες μέτρων), όπως παραδείγματος χάριν με τα σημεία πρόσβασης 802.11x στην επιχείρηση που δουλεύουμε ή ακόμα και στο σπίτι μας. Τα οφέλη από μία τέτοιου είδους διασύνδεση (ενοποίηση) είναι πολλαπλά και προφανή, αν και αναλύονται και αυτά κατά το δεύτερο μέρος της διπλωματικής (Κεφάλαιο 5) [2].

## 3.2 Τεχνικές φυσικού επιπέδου στο 802.11

Τον Ιούνιο του 1997, η IEEE εξέδωσε το 802.11 ως το πρώτο διεθνές πρότυπο για τα WLANs. Το αρχικό πρότυπο λοιπόν υιοθέτησε τρεις τεχνικές φυσικού επιπέδου: α) την τεχνική Diffused Infrared, η οποία δε χρησιμοποιείται πια, β) τη φασματική εξάπλωση με αναπήδηση συχνότητας (FHSS), και γ) τη φασματική εξάπλωση άμεσης ακολουθίας στοιχείων (DSSS) [2, 3, 4].

**FHSS** : Το πρότυπο 802.11b χρησιμοποιεί την FHSS ως μία από τις δύο τεχνικές για το φυσικό επίπεδο. Η FHSS είναι ανάλογη με τις FM ραδιομεταδόσεις όπου ένα σήμα επιβάλλεται σε ένα φορέα περιορισμένης ζώνης συχνοτήτων, αλλά σε αυτήν την περίπτωση το σήμα μπορεί να αλλάζει συχνότητα. Η FHSS περιορίζεται γενικά στα 2 Mbps όσον αφορά τη ροή των δεδομένων αλλά το εύρος ζώνης μπορεί να αυξηθεί μέχρι 24 Mbps με το σχεδιασμό πολλαπλών σημείων πρόσβασης (APs) μέσα στο τοπικό δίκτυο. Επίσης, η τεχνική αυτή έχει μια περιορισμένη εμβέλεια έναντι άλλων τεχνικών διαμόρφωσης. Για αυτό το λόγο, η FHSS είναι πρώτιστα μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται για κλειστούς και εν πάσει περιπτώσει περιορισμένους χώρους και έτσι θεωρείται ότι θα καταστεί κατά πάσα πιθανότητα άχρηστη στις επεκτάσεις Wi-Fi που προσπαθούν να πετύχουν ταχύτητες πολύ υψηλότερες από 11 Mbps.

**DSSS** : Μια άλλη τεχνική του φυσικού επιπέδου καλείται DSSS. Αναπτύχθηκε πρώτα από τις στρατιωτικές δυνάμεις των ΗΠΑ, έχοντας τη φήμη μίας ασφαλούς ασύρματης τεχνολογίας, η οποία διαμορφώνει ή αλλάζει ένα ραδιοσήμα σε ένα ψευδοτυχαίο διάστημα, έτσι ώστε αυτό να διακρίνεται εύκολα από ένα σήμα θορύβου. Για να παρέχουν μεγαλύτερη ασφάλεια, οι τεχνικές κρυπτογράφησης χρησιμοποιούνται συχνά μαζί με τις τεχνολογίες DSSS.

**OFDM** : Η τεχνική OFDM έχει τη δυνατότητα εφαρμογής όχι μόνο στις ασύρματες κινητές συσκευές όπως τα κινητά τηλέφωνα, αλλά και σε ασύρματα LANs. Στην πραγματικότητα, η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται έτσι ώστε να επιτευχθούν ταχύτητες υψηλότερες των 11 Mbps. Η έρευνα γύρω από την OFDM οδηγεί τους ερευνητές στο συμπέρασμα ότι μπορούν να επιτευχθούν άνετα ταχύτητες της τάξης των 108 Mbps, χρησιμοποιώντας μόνο τη συγκεκριμένη τεχνική.

### 3.3 MAC ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

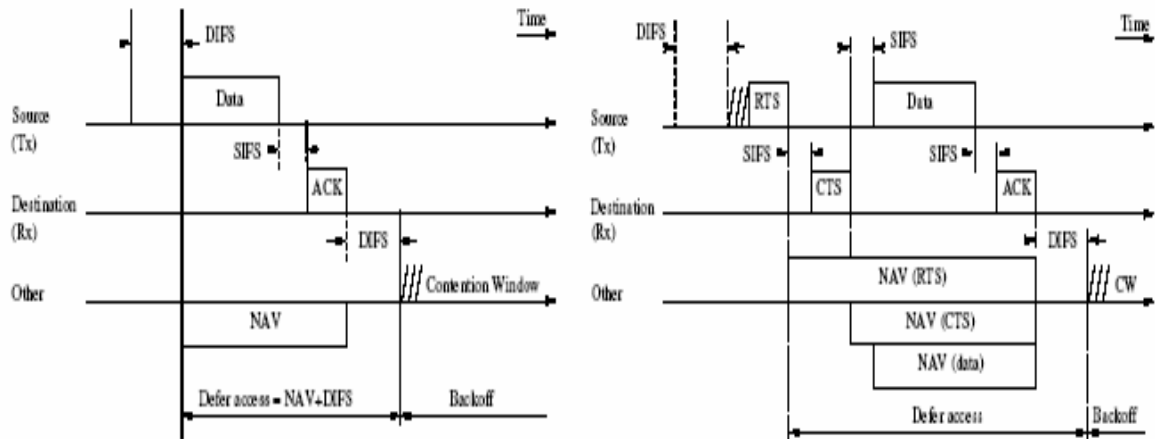
Το επίπεδο MAC του προτύπου 802.11 καθορίζει δύο λειτουργίες συντονισμού πρόσβασης του φυσικού μέσου, τη βασική Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού (DCF) και την προαιρετική Σημειακή Λειτουργία Συντονισμού (PCF). Το 802.11 μπορεί να υποστηρίξει δύο τύπους μεταδόσεων : τον ασύγχρονο και το σύγχρονο. Η ασύγχρονη μετάδοση παρέχεται από τη λειτουργία DCF, της οποίας η εφαρμογή είναι υποχρεωτική σε όλους τους σταθμούς βάσης (STAs). Η σύγχρονη μετάδοση παρέχεται από τη λειτουργία PCF που εφαρμόζει βασικά τη μέθοδο της περιόδευσης προς όλους τους σταθμούς, από τους οποίους συλλέγονται πληροφορίες ανά τακτά χρονικά διαστήματα που αφορούν τις προθέσεις του καθενός σταθμού για μετάδοση δεδομένων. Αντίθετα με τη DCF, η PCF δεν είναι υποχρεωτική. Αυτό συμβαίνει διότι η υλοποίηση σε επίπεδο hardware της συγκεκριμένης λειτουργίας κρίθηκε ότι είναι πάρα πολύ σύνθετη. Επιπλέον, η ίδια η PCF στηρίζεται στην ασύγχρονη υπηρεσία που παρέχεται από την DCF. Όπως καθορίζεται στο πρότυπο, μια ομάδα σταθμών βάσης που συντονίζονται από τις λειτουργίες DCF και/ή PCF καλείται Basic Service Set (BSS). Η περιοχή που καλύπτεται από το BSS είναι γνωστή ως Βασική Περιοχή Υπηρεσιών (BSA), η οποία είναι παρόμοια με μία κυψέλη σε ένα κυψελοειδές κινητό δίκτυο 3G. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι για να στηθεί ένα ασύρματο δίκτυο 802.11: η λύση ad-hoc και η λύση μίας κεντροκοποιημένης υποδομής. Στη λύση ad-hoc, οι κινητοί σταθμοί μπορούν να επικοινωνήσουν άμεσα ο ένας με το άλλον για να διαμορφώσουν ένα ανεξάρτητο BSS (IBSS) χωρίς να υπάρχει ενσύρματη σύνδεση με οποιοδήποτε δίκτυο κορμού. Αντίθετα στην κεντροκοποιημένη υποδομή, οι κινητοί σταθμοί μπορούν να επικοινωνήσουν με το δίκτυο κορμού μέσω μίας γέφυρας που βρίσκεται στο σημείο πρόσβασης (AP). Εδώ αξίζει να σημειώσουμε ότι η DCF μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στις δύο περιπτώσεις, ενώ η PCF χρησιμοποιείται μόνο στη δεύτερη λύση [1, 5].

#### 3.3.1 DCF – Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού

Η DCF βασίζει τη λειτουργία της πάνω στο γνωστό πρωτόκολλο αποφυγής σύγκρουσης CSMA/CA. Πιο συγκεκριμένα, ένας σταθμός βάσης πρέπει να ανιχνεύσει το φυσικό μέσο πριν αρχίσει μια μετάδοση πακέτων. Στο CSMA/CA χρησιμοποιείται ανίχνευση τόσο του φυσικού όσο και του εικονικού καναλιού. Στην πρώτη μέθοδο, όταν ένας σταθμός θέλει να μεταδώσει ανιχνεύει το κανάλι. Αν είναι αδρανές, αρχίζει να μεταδίδει. Καθώς μεταδίδει δεν ανιχνεύει το κανάλι, αλλά στέλνει ολόκληρο το πλαίσιό του, το οποίο μπορεί βέβαια να καταστραφεί στον παραλήπτη λόγω των εκεί τοπικών παρεμβολών. Αν το κανάλι είναι απασχολημένο, ο αποστολέας αναβάλλει τη μετάδοση μέχρι το κανάλι να γίνει αδρανές, και τότε αρχίζει να μεταδίδει. Αν συμβεί μία σύγκρουση, οι σταθμοί που συγκρούστηκαν αναμένουν ένα τυχαίο χρονικό διάστημα,

χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο δυαδικής εκθετικής οπισθοχώρησης και ξαναδοκιμάζουν αργότερα.

Η δεύτερη μέθοδος λειτουργίας του CSMA/CA μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ένα σταθμό βάσης για να ενημερώσει όλους τους άλλους σταθμούς που βρίσκονται στο ίδιο BSS για το πόσο χρονικό διάστημα το κανάλι θα διατηρηθεί κατειλημένο για να μεταδώσει τα πλαίσια που θέλει. Για αυτόν το σκοπό, ο αποστολέας μπορεί να θέσει ένα πεδίο χρονικής διάρκειας (duration field) στη MAC επικεφαλίδα των πλαισίων που αποστέλλονται, ή στα πλαίσια ελέγχου RTS (RequestToSend) και CTS (ClearToSend). Κατόπιν, οι άλλοι σταθμοί βάσης μπορούν να αναπροσαρμόσουν τα τοπικά χρονόμετρα τους των διανυσμάτων κατανομής δικτύων (NAVs), έτσι ώστε αυτά να υποδεικνύουν τη ζητούμενη χρονική διάρκεια. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2, εάν ένα πακέτο φθάσει σε μια κενή σειρά αναμονής και το μέσο έχει βρεθεί ανενεργό για ένα χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από ένα Διάστημα DCF Μεταξύ των Πλαισίων (DIFS), ο σταθμός που επιθυμεί να μεταδώσει, μπορεί να διαβιβάσει το πακέτο αμέσως. Εν τω μεταξύ, οι άλλοι σταθμοί αναβάλλουν τη μετάδοσή τους, καθώς ρυθμίζουν τους NAVs τους, και αμέσως μετά από αυτό ο αλγόριθμος δυαδικής εκθετικής οπισθοχώρησης αρχίζει να τρέχει. Στα πλαίσια αυτής της διαδικασίας, ο σταθμός υπολογίζει ένα τυχαίο χρονικό διάστημα, που ονομάζεται Backoff Timer, και επιλέγεται από το παράθυρο ανταγωνισμού (Contention Window):  $\text{Backoff Timer} = \text{rand}[0, \text{CW}] * \text{slot time}$ , όπου  $\text{CW}_{\min} < \text{CW} < \text{CW}_{\max}$  και το slot time εξαρτάται από τον τύπο του φυσικού επιπέδου. Το χρονόμετρο backoff μειώνεται μόνο όταν το μέσο είναι ανενεργό, ενώ σταματάει όταν διαβιβάζεται ένα πλαίσιο από έναν άλλο σταθμό βάσης. Κάθε φορά που το μέσο γίνεται ανενεργό, ο σταθμός περιμένει για ένα χρονικό διάστημα ίσο με DIFS και μειώνει συνεχώς το χρονόμετρο backoff. Μόλις το χρονόμετρο backoff λήξει, ο σταθμός αποκτά την εξουσιοδότηση για να έχει πρόσβαση στο μέσο. Προφανώς, το φαινόμενο της σύγκρουσης εμφανίζεται εάν δύο ή περισσότεροι σταθμοί αρχίσουν τη μετάδοσή τους ταυτόχρονα. Αντίθετα με ένα ενσύρματο δίκτυο, η ανίχνευση συγκρούσεων σε ένα ασύρματο περιβάλλον είναι αδύνατη εξαιτίας των σημαντικών διαφορών που υπάρχουν στα επίπεδα ενέργειας που καταναλώνονται από τον πομπό και το δέκτη κατά τη μετάδοση και την παραλαβή ενός πλαισίου αντίστοιχα. Για αυτό το λόγο, χρησιμοποιείται μια θετική διαβεβαίωση λήψης για να ειδοποιήσει τον αποστολέα ότι το διαβιβασθέν πλαίσιο έχει παραληφθεί επιτυχώς (Σχήμα 3.2). Εάν η διαβεβαίωση λήψης δεν παραληφθεί, ο αποστολέας υποθέτει ότι το διαβιβασθέν πλαίσιο συγκρούστηκε με κάποιο άλλο, και έτσι σχεδιάζει μια νέα μετάδοση τρέχοντας και πάλι τον αλγόριθμο της δυαδικής εκθετικής οπισθοχώρησης. Για να μειώσουμε την πιθανότητα των συγκρούσεων, μετά από κάθε ανεπιτυχή προσπάθεια μετάδοσης, το Contention Window διπλασιάζεται έως ότου η τιμή αυτή φθάσει μια προκαθορισμένη μέγιστη τιμή, που την ονομάζουμε  $\text{CW}_{\max}$ . Μετά από κάθε επιτυχή μετάδοση, το CW επαναρυθμίζεται σε μια σταθερή ελάχιστη τιμή  $\text{CW}_{\min}$  [4, 5, 6].



**Σχήμα 3.2 : Στα αριστερά απεικονίζεται η λειτουργία του CSMA/CA. Δεξιά περιγράφεται οπτικά η διαδικασία με την αποστολή των πλαισίων RTS και CTS [1]**

Σε αυτό το επίπεδο του 802.11 έχουμε να αντιμετωπίσουμε και το πρόβλημα του κρυφού σταθμού. Οι κρυφοί σταθμοί είναι σταθμοί όπου ο δέκτης μπορεί να ακούσει αλλά που δεν μπορούν να ανιχνευθούν από άλλους αποστολείς. Συνεπώς, τα πακέτα από τους αποστολείς αυτούς συγκρούονται στον ίδιο δέκτη. Προκειμένου να λυθεί αυτό το πρόβλημα, εισάγεται μία τεχνική που βασίζεται και αυτή στην αποστολή RTS/CTS πακέτων. Η πηγή στέλνει ένα σύντομο πλαίσιο RTS (20 bytes) πριν από κάθε μετάδοση πλαισίων δεδομένων (Σχήμα 3.2 δεξιά), και ο δέκτης απαντά με ένα πλαίσιο CTS (14 bytes) σε περίπτωση που είναι έτοιμος να λάβει πακέτα. Μόλις η πηγή λάβει το πλαίσιο CTS, αρχίζει να μεταδίδει το πλαίσιο της. Έτσι, όλοι οι άλλοι σταθμοί που ακούν ένα RTS, ένα CTS ή ένα πλαίσιο δεδομένων μέσα στο BSS μπορούν να ενημερώσουν τα Διαγράμματα Εκχώρησης των Δικτύων (NAVs) τους, και με αυτόν τον τρόπο δε θα αρχίσουν τις μεταδόσεις πριν τα αντίστοιχα χρονόμετρα που υπάρχουν φτάσουν στην τιμή 0.

### 3.3.2 PCF – Σημειακή Λειτουργία Συντονισμού

Όλα τα παραπάνω ισχύουν για την κατάσταση λειτουργίας DCF του 802.11. Σε αυτήν την κατάσταση λειτουργίας δεν υπάρχει κεντρικός έλεγχος και οι σταθμοί ανταγωνίζονται για το κανάλι, όπως ακριβώς γίνεται και στα ενσύρματα τοπικά δίκτυα, όπως είναι το Ethernet. Η άλλη επιτρεπόμενη κατάσταση λειτουργίας είναι η PCF, την οποία θα αναλύσουμε συνοπτικά σε αυτήν την παράγραφο. Στην PCF λοιπόν, ο σταθμός βάσης χρησιμοποιεί περιόδευση (polling scheme) για τους άλλους σταθμούς, ρωτώντας τους αν έχουν κάποια πλαίσια για αποστολή. Αφού στη λειτουργία PCF η σειρά μετάδοσης ελέγχεται πλήρως από το σταθμό βάσης, δε συμβαίνουν ποτέ συγκρούσεις. Το πρότυπο προδιαγράφει το μηχανισμό περιόδευσης αλλά όχι και την αντίστοιχη συχνότητα, τη σειρά, ή ακόμα και το αν όλοι οι σταθμοί θα πρέπει να λαμβάνουν την ίδια εξυπηρέτηση.

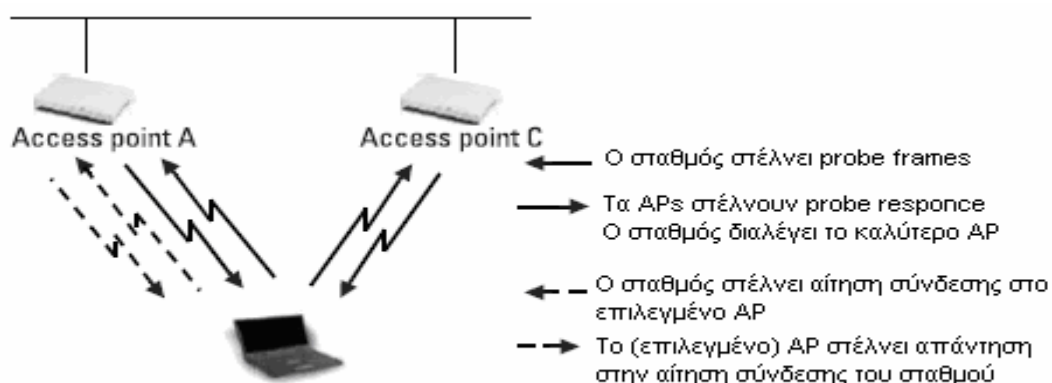
Ο βασικός μηχανισμός είναι να εκπέμπει ο σταθμός βάσης περιοδικά ένα πλαίσιο φάρου (beacon frame), με συχνότητα 10 έως 100 φορές ανά δευτερόλεπτο. Το πλαίσιο φάρου περιέχει παραμέτρους του συστήματος, όπως τις ακολουθίες μετάβασης συχνοτήτων και τους χρόνους παραμονής, πληροφορίες συγχρονισμού ρολογιού, κ.λ.π. Προσκαλεί επίσης τους νέους σταθμούς να εγγραφούν στην υπηρεσία περιόδευσης. Αφού

έναν σταθμό γραφτεί στην υπηρεσία περιόδευσης για ένα συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης, ουσιαστικά λαμβάνει ένα εγγυημένο ποσοστό του εύρους ζώνης, κάνοντας έτσι εφικτή την παροχή εγγυήσεων ποιότητας υπηρεσιών [7].

### 3.3.3 Διαδικασία σύνδεσης σταθμού με το Σημείο Πρόσβασης (AP)

Προτού επιτραπεί σε ένα σταθμό βάσης να στείλει ένα πλαίσιο δεδομένων μέσω ενός Σημείου Πρόσβασης (AP), πρέπει αρχικά να συνδεθεί με το AP. Αυτή η διαδικασία απαιτείται είτε με το που τίθεται σε λειτουργία ένας σταθμός, είτε καθώς ένας σταθμός εισέρχεται σε μια περιοχή BSS. Ο κάθε σταθμός πρέπει να πάρει τις πληροφορίες από το AP (ή από τους υπόλοιπους γειτονικούς σταθμούς, όταν μιλάμε για αρχιτεκτονική ad-hoc) που θα τον βοηθήσουν να συγχρονιστεί. Για την απόκτηση αυτών των πληροφοριών συγχρονισμού, ο σταθμός ανιχνεύει όλα τα κανάλια με έναν από τους δύο ακόλουθους τρόπους : α) Παθητική ανίχνευση (passive scan), κατά την οποία ο σταθμός ψάχνει για τα πλαίσια φάρων (beacon frames), έτσι ώστε να συλλέξει τις πληροφορίες συγχρονισμού και για να καταλάβει εάν αυτά τα πλαίσια προέρχονται από μια κεντροποιημένη υποδομή BSS ή από ένα IBSS, β) Ενεργητική ανίχνευση, κατά την οποία ο σταθμός μεταδίδει πλαίσια διερεύνησης (probe frames) και περιμένει για ένα αντίστοιχο πλαίσιο απάντησης από τα BSSs που βρίσκονται στην περιοχή του.

Γενικά, τα πλαίσια φάρου και τα πλαίσια διερεύνησης περιέχουν τις πληροφορίες για να εισάγουν ένα σταθμό μέσα σε ένα ήδη υπάρχον δίκτυο. Έπειτα ο σταθμός επιλέγει το BSS που επιθυμεί, στέλνει ένα μήνυμα με το οποίο ζητά σύνδεση (αυτό γίνεται με τη συμπλήρωση ενός κατάλληλου πεδίου στην MAC επικεφαλίδα) με το επιλεγμένο BSS και περιμένει για ένα αντίστοιχο πλαίσιο απάντησης. Εάν δεν υπάρχει ένα BSS που να ικανοποιεί τα αιτήματά του, ένας σταθμός μπορεί να αρχίσει μία νέα διαδικασία δημιουργώντας ένα IBSS με τα χαρακτηριστικά που επιθυμεί. Το σχήμα 3.3 παρουσιάζει εν συντομία τις διαδικασίες που αναφέρονται παραπάνω. Άλλες δύο διαδικασίες μπορούν επίσης να λάβουν χώρα: η επανασύνδεση (reassociation) και η αποσύνδεση (disassociation). Η διαδικασία της επανασύνδεσης εφαρμόζεται όταν ένας σταθμός επιθυμεί να κινηθεί από ένα AP προς ένα άλλο ή εάν ένας σταθμός θέλει να αλλάξει τα χαρακτηριστικά της σύνδεσης ενώ παραμένει συνδεδεμένος στο ίδιο AP. Η διαδικασία της αποσύνδεσης ενεργοποιείται όταν μια υπάρχουσα σύνδεση πρόκειται να ολοκληρωθεί [8].



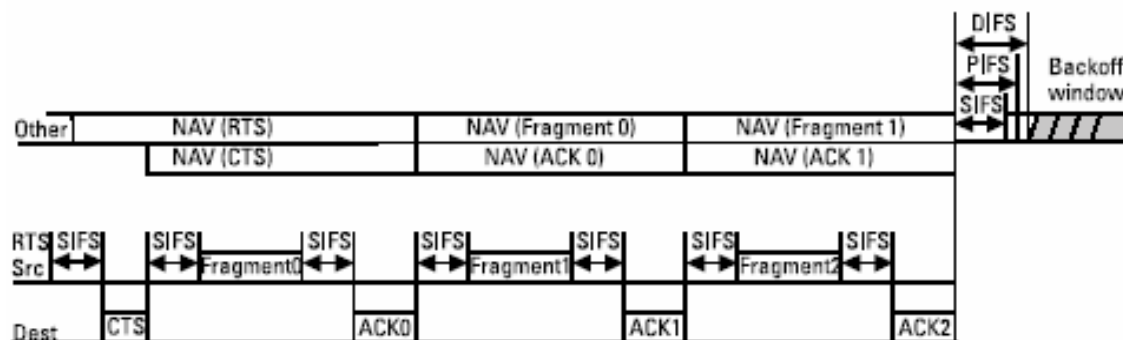
Σχήμα 3.3 : Παράδειγμα σύνδεσης σε ένα BSS [8]



### 3.3.4 Κατακερματισμός πακέτων

Ένα συμπέρασμα στο οποίο μπορούμε να καταλήξουμε από όλα όσα αναλύσαμε κατά την περιγραφή της λειτουργίας του επιπέδου MAC είναι ότι αν ένα πλαίσιο είναι πολύ μεγάλο έχει πολύ μικρή πιθανότητα να φτάσει ορθά και μάλλον θα χρειαστεί να αναμεταδοθεί. Για να αντιμετωπιστεί λοιπόν το πρόβλημα των θορυβωδών καναλιών, το 802.11 επιτρέπει στα πλαίσια να τεμαχίζονται σε μικρότερα θραύσματα (fragments), το καθένα από τα οποία έχει το δικό του άθροισμα ελέγχου. Τα θραύσματα αριθμούνται και επιβεβαιώνονται χωριστά μέσω ενός πρωτοκόλλου παύσης και αναμονής (δηλαδή, ο αποστολέας δε μπορεί να μεταδώσει το θραύσμα k+1 μέχρι να λάβει την επιβεβαίωση για το θραύσμα k). Αφού γίνει κατάληψη του καναλιού με τα σήματα RTS και CTS, μπορούν να σταλούν πολλά θραύσματα στη σειρά.

Ο κατακερματισμός των πακέτων αυξάνει τη διεκπεραιωτική ικανότητα, αφού περιορίζει τις αναμεταδόσεις στα λανθασμένα θραύσματα, αντί σε ολόκληρα τα πλαίσια. Το μέγεθος των θραυσμάτων δεν καθορίζεται από το πρότυπο αλλά είναι παράμετρος κάθε BSS, οπότε μπορεί να προσαρμόζεται από το σταθμό βάσης. Ο μηχανισμός του NAV διατηρεί τους άλλους σταθμούς σιωπηλούς μόνο μέχρι την επόμενη επιβεβαίωση (Σχήμα 3.4) [7, 8].



Σχήμα 3.4 : Μετάδοση με κατακερματισμό πακέτων [8]

### 3.3.5 Διαδικασία αλλαγής σύνδεσης σε άλλο Σημείο Πρόσβασης (AP)

Ο σταθμός βάσης μπορεί να αλλάξει το BSS όπου είναι συνδεδεμένος, χρησιμοποιώντας την ενεργητική ή την παθητική διαδικασία ανίχνευσης και επανασύνδεσης. Στην πραγματικότητα, ενόσω ένας σταθμός είναι συνδεδεμένος με ένα συγκεκριμένο BSS, μπορεί να αποφασίσει ότι η ποιότητα της σύνδεσης είναι κακή, έτσι ανιχνεύει το μέσο στην προσπάθειά του για αναζήτηση μιας πιο αξιόπιστης σύνδεσης. Εάν η αναζήτηση είναι επιτυχής, μπορεί να αποφασίσει να στείλει μία αίτηση σύνδεσης σε ένα νέο AP και να ακολουθήσει τη διαδικασία που περιγράψαμε και λίγο πιο πριν [8].

### 3.3.6 Εξοικονόμηση ενέργειας (power saving)

Ο χρόνος ζωής των μπαταριών είναι ένα μόνιμο πρόβλημα στις φορητές ασύρματες συσκευές, έτσι το 802.11 δίνει αρκετή σημασία στο ζήτημα της διαχείρισης ισχύος.

Συγκεκριμένα, ο σταθμός βάσης μπορεί να κατευθύνει έναν κινητό σταθμό, έτσι ώστε να μεταπέσει σε κατάσταση νάρκης μέχρι να τον αφυπνίσει ρητά ο σταθμός βάσης ή ο χρήστης. Όταν, όμως, ζητά από ένα σταθμό να μεταπέσει σε κατάσταση νάρκης, ο σταθμός βάσης έχει την ευθύνη να αποθηκεύει προσωρινά τα πλαίσια που προορίζονται για το σταθμό όσο αυτός βρίσκεται σε νάρκη. Τα πλαίσια αυτά μπορούν να παραληφθούν αργότερα [7, 8].

### 3.4 ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΜΑΤΩΝ QoS ΣΤΑ WLAN

Οι ασύρματες συνδέσεις έχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως το υψηλό ποσοστό απώλειας πληροφορίας, το υψηλό ποσοστό απώλειας ολόκληρων πακέτων, τη μεγάλη καθυστέρηση πακέτων, το φαινόμενο jitter κ.ά. Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά των ασύρματων συνδέσεων δεν είναι σταθερά και ποικίλλουν ανάλογα με την τοποθεσία και το χρόνο. Η κινητικότητα των χρηστών μπορεί να προκαλέσει την αλλαγή του μονοπατιού (end-to-end path change) μέσω του οποίου διακινούνται τα δεδομένα. Οι χρήστες αναμένουν να λάβουν την ίδια ποιότητα υπηρεσιών έστω και αν αυτοί αλλάζουν θέση συχνά και πολύ γρήγορα. Αυτό σημαίνει ότι το νέο μονοπάτι που δημιουργείται κάθε φορά πρέπει επίσης να υποστηρίζει την ύπαρξη QoS, και τα προβλήματα προκύπτουν όταν το νέο αυτό μονοπάτι δε μπορεί να υποστηρίξει τέτοιου είδους απαιτήσεις.

Είναι αλήθεια ότι τα WLAN δεν έχουν σχεδιαστεί με προδιαγραφές τέτοιες που θα τους επιτρέπουν να καλύπτουν τις διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών για εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι εμνευστές της κύριας λειτουργίας DCF, που εφαρμόζεται υποχρεωτικά, είχαν άλλες προτεραιότητες που πλέον τείνουν να αποδειχθούν ξεπερασμένες. Η DCF λοιπόν, μπορεί μόνο να υποστηρίξει υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας (Best-effort services), και όχι οποιεσδήποτε εγγυήσεις που άπτονται των θεμάτων QoS. Χαρακτηριστικά, οι χρονικά φραγμένες υπηρεσίες (time-bounded) όπως η υπηρεσία VoIP ή η τηλεδιάσκεψη απαιτούν ένα συγκεκριμένο εύρος ζώνης, καθυστέρηση και jitter, αλλά έχουν τη δυνατότητα να ανέχονται μερικές απώλειες των δεδομένων. Εντούτοις, στην DCF, όλοι οι σταθμοί βάσης σε ένα BSS ανταγωνίζονται για τους πόρους και για το ασύρματο κανάλι με τις ίδιες προτεραιότητες [1].

#### 3.4.1 Ανάγκη για ανάπτυξη QoS τεχνικών στα WLAN

Όπως είναι φυσικό, τα ζητήματα QoS στο ενσύρματο τοπικό δίκτυο (LAN) είναι παραμελημένα διότι το εύρος ζώνης είναι αρκετά υψηλό (της τάξεως των μερικών Gbps). Εντούτοις, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) έχουν μερικά ευδιάκριτα χαρακτηριστικά γνωρίσματα : το υψηλό ποσοστό λανθασμένων πακέτων, την υψηλή καθυστέρηση και το σχετικά χαμηλό εύρος ζώνης. Τα χαρακτηριστικά του ασύρματου καναλιού δυσκολεύουν σε μεγάλο βαθμό τις προσπάθειες που γίνονται για επίτευξη όσο το δυνατόν πιο υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης των δεδομένων. Το ποσοστό λάθους στο φυσικό επίπεδο του 802.11 προτύπου είναι τρεις τάξεις μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ισχύον ποσοστό για τα ενσύρματα LAN. Επιπλέον, τα υψηλά ποσοστά συγκρούσεων και οι συχνές αναμεταδόσεις προκαλούν απρόβλεπτες καθυστερήσεις και επαναλαμβανόμενα φαινόμενα jitter, τα οποία υποβιβάζουν την ποιότητα της real-time φωνής και της μετάδοσης βίντεο.

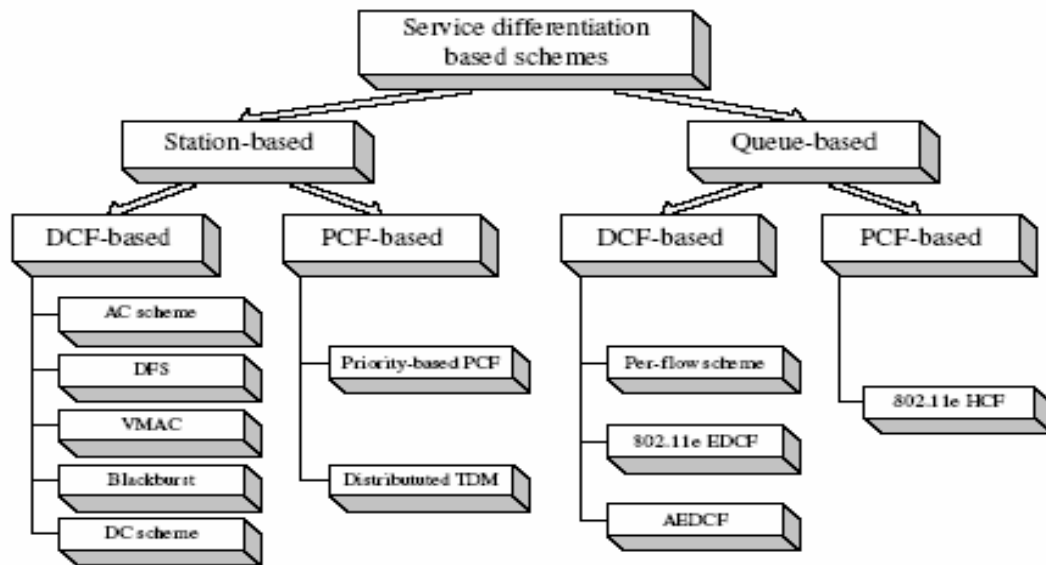
Υπάρχουν δύο κύριες αρχιτεκτονικές προσεγγίσεις για να προσθέσουν υποστηρικτικές υπηρεσίες QoS στο Διαδίκτυο: οι ενοποιημένες υπηρεσίες (IntServ) και οι διαφοροποιημένες υπηρεσίες (DiffServ). Η IntServ αρχιτεκτονική παρέχει εγγυήσεις υπηρεσιών στις μεμονωμένες ροές δεδομένων. Απαιτεί ένα module σε κάθε δρομολογητή κατά μήκος του μονοπατιού που δεσμεύει τους πόρους που χρειάζονται. Το πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής αυτής είναι ότι μπορεί να επιτευχθεί η επιδιωκόμενη καλή ποιότητα των υπηρεσιών σε μία ή περισσότερες ροές, αφού δεσμεύονται οι πόροι που χρειάζονται κατά μήκος του μονοπατιού. Έχει όμως και ένα μειονέκτημα. Απαιτεί εκ των προτέρων διευθέτηση για την εγκαθίδρυση κάθε ροής, και αυτό δεν κλιμακώνεται καλά όταν υπάρχουν χιλιάδες ή εκατομμύρια ροές. Επιπλέον, διατηρεί μία εσωτερική κατάσταση ανά ροή στους δρομολογητές, γεγονός που τους κάνει ευάλωτους σε περίπτωση κατάρρευσης των δρομολογητών. Τέλος, οι αλλαγές που απαιτούνται στον κώδικα των δρομολογητών είναι σημαντικές και περιλαμβάνουν περίπλοκες ανταλλαγές από δρομολογητή σε δρομολογητή για την εγκαθίδρυση των ροών.

Οι διαφοροποιημένες υπηρεσίες (DiffServ) μπορεί να παρέχονται από ένα σύνολο δρομολογητών, οι οποίοι σχηματίζουν μία διαχειριστική περιοχή. Η διαχειριστική αρχή ορίζει ένα σύνολο τάξεων υπηρεσιών με αντίστοιχους κανόνες προώθησης. Στην περιοχή του παραλήπτη, τα πακέτα ταξινομούνται σε ροές, και οι ροές αυτές ρυθμίζονται, δηλαδή μαρκάρονται και σχηματοποιούνται ανάλογα. Κατ' αυτό τον τρόπο, πετυχαίνουμε μία απλούστερη, αποδοτικότερη και ταυτόχρονα το ίδιο αποτελεσματική ποιότητα στις προσφερόμενες υπηρεσίες [7].

Παρόλα αυτά μέχρι σήμερα, η DiffServ αρχιτεκτονική δεν έχει επεκταθεί ευρέως, κυρίως επειδή είναι δύσκολο να χαρτογραφηθούν τα πολλά και διαφορετικά υποδίκτυα που μπορούν να υπάρχουν σε δίκτυα όπως τα 802.11 WLAN. Μια από τις βασικές ιδέες είναι να καθιερωθεί η IntServ, χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα την DiffServ σε επιλεγμένα τμήματα των δικτύων. Με αυτή τη λογική έχουν προταθεί αρκετές ιδέες (schemes), από τις οποίες τις σημαντικότερες αναφέρουμε στις παρακάτω υποπαραγράφους.

### **3.4.2 Τεχνικές QoS που αφορούν τη διαφοροποίηση των υπηρεσιών**

Καταρχήν, η βελτίωση της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσιών (QoS) μπορεί να υποστηριχθεί με την προσθήκη της αρχιτεκτονικής διαφοροποίησης υπηρεσιών στο επίπεδο MAC, όπως άλλωστε αναφέραμε και παραπάνω. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την τροποποίηση των παραμέτρων που καθορίζουν πώς ένας σταθμός βάσης ή μια ροή πρέπει να έχει πρόσβαση στο ασύρματο μέσο. Οι μέχρι τώρα προτεινόμενες ιδέες που βασίζονται στη διαφοροποίηση των υπηρεσιών μπορούν να ταξινομηθούν με πολλά και διαφορετικά κριτήρια. Το σχήμα 3.5 παρουσιάζει μία αρκετά καλή κατηγοριοποίηση των διαφόρων ιδεών. Εμείς θα προσπαθήσουμε στις δύο επόμενες υποπαραγράφους να αναφέρουμε τα προτεινόμενα μοντέλα χωρίζοντάς τα σε δύο κύριες κατηγορίες, τις τεχνικές που βασίζονται στη διαφοροποίηση υπηρεσιών σε κάθε σταθμό εργασίας και τις τεχνικές που βασίζονται στη διαφοροποίηση υπηρεσιών σε κάθε ουρά δεδομένων [9].



Σχήμα 3.5 : Κατηγοριοποίηση των τεχνικών που βασίζονται στη διαφοροποίηση των υπηρεσιών [1]

### 3.4.2.1 Τεχνικές που βασίζονται στη διαφοροποίηση υπηρεσιών σε κάθε σταθμό εργασίας (station-based)

**AC scheme** : Αυτή η ιδέα προτάθηκε από τους Aad και Castelluccia, οι οποίοι στην εργασία τους προτείνουν τρεις επιμέρους τεχνικές. Πρώτον εισάγεται η Λειτουργία της Διαφορετικής Αύξησης Backoff (Different Backoff Increase Function). Σε αυτήν τη λειτουργία κάθε επίπεδο προτεραιότητας πρέπει να έχει μία διαφορετική συνάρτηση που να προσδιορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα αυξάνεται το CW. Πιο συγκεκριμένα, ορίζοντας ένα μικρό παράθυρο (Contention Window) στους σταθμούς εκείνους που επιθυμούμε να έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα εξασφαλίζουμε κατά μία μεγάλη πιθανότητα, ότι αυτοί είναι πολύ πιθανότερο να έχουν πρόσβαση στο κανάλι σε σχέση με τους ανταγωνιστές γειτονικούς σταθμούς που επιθυμούμε να έχουν χαμηλότερη προτεραιότητα. Δεύτερον, εισάγεται η ιδέα της μεταβλητότητας του χρονικού διαστήματος DIFS. Δηλαδή, κάθε σταθμός έχει διαφορετικό DIFS, ανάλογα με το ποιο επίπεδο προτεραιότητας επιθυμούμε να τον κατατάξουμε. Τρίτον, εισάγεται η έννοια της μεταβλητότητας στο μέγιστο μέγεθος των πλαισίων που μεταδίδει ο κάθε σταθμός, με σκοπό όπως και παραπάνω την εισαγωγή της έννοιας της προτεραιότητας στους σταθμούς. Όπως εύκολα μπορεί να καταλάβει κάποιος γνώστης του αντικειμένου, το μειονέκτημα της τεχνικής AC έγκειται στο γεγονός ότι πολλές φορές οι σταθμοί χαμηλής προτεραιότητας πρέπει να περιμένουν δυσανάλογα πολύ διάστημα μέχρι να μεταδώσουν, ενώ δεν είναι λίγες οι φορές που καθώς κλιμακώνεται αυτή η τεχνική, αυτού του είδους οι σταθμοί είναι καταδικασμένοι να μην μεταδώσουν ποτέ, αφού περιμένουν το άδειασμα των ουρών των ροών με υψηλή προτεραιότητα [1].

**DFS scheme**: Σε μία προσπάθεια να εισαχθεί μία τεχνική που λαμβάνει υπόψην της τόσο την έννοια της προτεραιότητας όσο και την έννοια της δίκαιης κατανομής των πόρων του δικτύου, ο Vaidya και οι συνεργάτες του προτείνουν μία ιδέα πρόσβασης των σταθμών στο ασύρματο μέσο που ονομάστηκε Κατανομημένος και Δίκαιος Προγραμματισμός (Distributed Fair Scheduling - DFS). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί τις ιδέες της self-

clocked δίκαιης αναμονής (SCFQ) σε μία ασύρματη περιοχή. Στην DFS, η διαδικασία backoff αρχίζει να τρέχει πριν διαβιβαστεί ένα πλαίσιο. Αντίθετα με ό,τι συμβαίνει στη λειτουργία DCF του 802.11 προτύπου, το backoff διάστημα υπολογίζεται ως μία συνάρτηση του μεγέθους των πακέτων και των βαρών που έχουμε δώσει σε καθένα από τους σταθμούς του δικτύου. Η συνάρτηση αυτή μπορεί να πάρει πολλές μορφές (γραμμική, εκθετική κλπ). Σίγουρα η τεχνική αυτή είναι πιο δίκαιη από την AC, αλλά έχει το μειονέκτημα ότι η πολυπλοκότητα υλοποίησής της είναι τόσο μεγάλη που της έχει στερήσει το δικαίωμα να γίνει ευρέως γνωστή [9].

**VMAC scheme:** Ακολουθώντας τις βασικές αρχές της DCF λειτουργίας, ο Campbell και οι συνεργάτες του προτείνουν μια πλήρως κατανεμημένη εκτίμηση της ποιότητας των υπηρεσιών, μία συνεχή παρακολούθηση του καναλιού, και μια προσέγγιση ελέγχου αποδοχής για την υποστήριξη της διαφοροποίησης των υπηρεσιών. Ένας εικονικός αλγόριθμος MAC (VMAC) παρακολουθεί το ασύρματο κανάλι και υπολογίζει τοπικά τα επίπεδα της ποιότητας των υπηρεσιών που μπορούν να επιτευχθούν. Η τεχνική VMAC υπολογίζει διάφορα στατιστικά του MAC επιπέδου που έχουν να κάνουν με την ποιότητα υπηρεσιών όπως η καθυστέρηση, το jitter, η σύγκρουση και η απώλεια πακέτων. Το μειονέκτημα και αυτής της τεχνικής είναι η μεγάλη πολυπλοκότητα που αναπτύσσεται λόγω της διαδραστικής επικοινωνίας που έχουν το επίπεδο εφαρμογών με το επίπεδο MAC [1].

**Blackburst scheme:** Πρόκειται για μία τεχνική που προτείνουν ο Sobriho με τον Krishnakumar. Ο βασικός στόχος του Blackburst αλγορίθμου είναι να ελαχιστοποιηθεί η καθυστέρηση της κυκλοφορίας πραγματικού χρόνου. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων δείχνουν ότι ο αλγόριθμος Blackburst μπορεί να υποστηρίξει περισσότερους πραγματικού χρόνου κόμβους σε σχέση με το γνωστό πρωτόκολλο CSMA/CA, κυρίως λόγω της απουσίας των πολλαπλών συγκρούσεων. Από την άποψη της καθυστέρησης, ο Blackburst προσφέρει πολύ χαμηλή καθυστέρηση και αντίστοιχα χαμηλό jitter, ακόμη και όταν η κυκλοφορία αυξάνει σε μεγάλο βαθμό. Το βασικό μειονέκτημα του Blackburst είναι ότι απαιτεί συνεχή διαστήματα πρόσβασης στο μέσο για την κυκλοφορία που έχει αυξημένη προτεραιότητα. Αν δε συμβαίνει αυτό η αποδοτικότητα της συγκεκριμένης τεχνικής μειώνεται αρκετά [9].

**DC scheme:** Οι Deng και Chang προτείνουν μία τεχνική διαφοροποιημένων υπηρεσιών, η οποία απαιτεί ελάχιστες τροποποιήσεις σε σχέση με το βασικό DCF του 802.11 προτύπου. Η τεχνική DC χρησιμοποιεί δύο παραμέτρους του επιπέδου MAC του 802.11. Αυτές οι δύο παράμετροι είναι το διάστημα backoff και τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα IFS μεταξύ κάθε μίας μετάδοσης δεδομένων. Κατά συνέπεια, ο χρόνος backoff διαιρείται σε δύο μέρη και κάθε διάστημα του χρόνου συνδυάζεται με δύο διαφορετικά IFS χρονικά διαστήματα PIFS και DIFS, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.2).

Priority	IFS	Backoff algorithm
0	DIFS	$B = 2^{2+i}/2 + \lfloor rd \times 2^{2+i}/2 \rfloor$
1	DIFS	$B = \lfloor rd \times 2^{2+i}/2 \rfloor$
2	PIFS	$B = 2^{2+i}/2 + \lfloor rd \times 2^{2+i}/2 \rfloor$
3	PIFS	$B = \lfloor rd \times 2^{2+i}/2 \rfloor$

Πίνακας 3.2 : Οι κλάσεις προτεραιότητας της τεχνικής DC

Οι πέντε τεχνικές που παρουσιάσαμε παραπάνω προσπαθούν ουσιαστικά να βελτιώσουν τη λειτουργία DCF. Υπάρχουν ωστόσο άλλες δύο τεχνικές, οι οποίες προσπαθούν να βελτιώσουν την PCF λειτουργία και παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω. Ο πίνακας που ακολουθεί (Πίνακας 3.3) συνοψίζει όλα τα βασικά σημεία των πέντε προηγούμενων τεχνικών.

ΤΕΧΝΙΚΗ	ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
AC	Η διαφοροποίηση βασίζεται στην Different Backoff Increase Function, στο διάστημα DIFS και στο μέγιστο μέγεθος πλαισίου.	Επιτυγχάνεται καλό επίπεδο διαφοροποίησης των υπηρεσιών.	Αποδίδει καλά με ροές UDP, αλλά όχι το ίδιο καλά με ροές TCP.
DFS	Ορίζεται ένας δίκαιος αλγόριθμος ανάλογα με το μέγεθος του πακέτου και το βάρος της ροής.	Επιτυγχάνεται δικαιοσύνη και βελτιώνεται η αποδοτικότητα των ροών με υψηλή προτεραιότητα.	Η πολυπλοκότητα υλοποίησης είναι μεγάλη.
VMAC	Εισάγεται ένα εικονικό επίπεδο MAC που υπολογίζει τα διάφορα στατιστικά που έχουν σχέση με το QoS.	Λαμβάνονται υπόψιν οι συνθήκες που επικρατούν στο ασύρματο μέσο.	Υπάρχει μεγάλη πολυπλοκότητα εξαιτίας της διάδρασης του επιπέδου MAC με το επίπεδο των εφαρμογών.
BLACK-BURST	Χρησιμοποιείται μία ειδική χρονική περίοδος στα πλαίσια του αλγορίθμου. Υποδεικνύει το χρόνο που ο σταθμός περιμένει μέχρι να αποκτήσει πρόσβαση στο κανάλι.	Ελαχιστοποιείται η καθυστέρηση της real-time κυκλοφορίας. Επιτυγχάνεται συγχρονισμός μεταξύ των ροών υψηλής προτεραιότητας.	Εάν οι δύο απαιτήσεις στις ροές υψηλής προτεραιότητας δε μπορούν να επιτευχθούν, η αποδοτικότητα μειώνεται αισθητά.
DC	Το διάστημα backoff χωρίζεται σε δύο μέρη. Έπειτα συνδυάζεται με δύο IFSSs, απ' όπου προκύπτουν 4 τάξεις προτεραιότητας.	Επιτυγχάνεται καλό επίπεδο διαφοροποίησης των υπηρεσιών, ειδικά για τις ροές υψηλής προτεραιότητας.	Οι ροές χαμηλής προτεραιότητας λιμοκτονούν, εάν δεν υπάρχουν ροές υψηλής προτεραιότητας.

**Πίνακας 3.3 : Σύγκριση των τεχνικών που βασίζονται στη διαφοροποίηση υπηρεσιών σε κάθε σταθμό εργασίας και βελτιώνουν τη λειτουργία DCF [1].**

**Priority-based PCF :** Η ιδέα αυτή αποτελεί ουσιαστικά μία επέκταση της λειτουργίας PCF. Αντί για τη χρησιμοποίηση ενός round-robin αλγορίθμου, χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος που ουσιαστικά δίνει διαφορετικές προτεραιότητες στους σταθμούς βάσης.

**Distributed TDMA :** Αυτή η τεχνική δεν αλλάζει τα βασικά σημεία λειτουργίας της PCF, αλλά ορίζει χρονικές σχισμές (time slots) σαν αυτές που χρησιμοποιούνται στην τεχνική κωδικοποίησης TDMA και ταυτόχρονα καθορίζει σε ποια χρονική σχισμή θα μεταδώσει ο κάθε σταθμός.

### 3.4.2.2 Τεχνικές που βασίζονται στη διαφοροποίηση υπηρεσιών σε κάθε ουρά δεδομένων

Το κίνητρο για να αναπτύξουμε τεχνικές που βασίζονται στη διαφοροποίηση υπηρεσιών σε κάθε ουρά δεδομένων προκύπτει από τις ακόλουθες δύο παρατηρήσεις : στις τεχνικές των οποίων η ανάλυση προηγήθηκε, όταν διάφοροι αποστολείς TCP με διαφορετικές προτεραιότητες ανταλλάσσουν δεδομένα με τον ίδιο δέκτη, όλοι λαμβάνουν τις επιβεβαιώσεις (TCP ACKs) με την ίδια προτεραιότητα. Αυτό τείνει να μειώσει την επιθυμητή διαφοροποίηση των υπηρεσιών. Επίσης, εάν ο κοινός δέκτης είναι αργός, η παρατηρηθείσα σχετική προτεραιότητα μειώνεται επίσης. Επιπλέον, το αποτέλεσμα της διαφοροποίησης μπορεί επίσης να μειωθεί εάν ένας αποστολέας στέλνει δύο ροές σε δύο δέκτες.

Οι προτεινόμενες τεχνικές που βρίσκονται σε αυτήν την κατηγορία είναι οι εξής : Per-flow scheme, EDCF, AEDCF και η HCF. Οι περισσότερες από αυτές τις τεχνικές έχουν ήδη προτυποποιηθεί και ξεφεύγουν από τα όρια μίας τεχνικής που προτείνεται από μία μικρή ομάδα ανεξάρτητων ερευνητών. Κρίνεται λοιπόν σκόπιμο να αναλυθούν στην επόμενη παράγραφο (3.5), έτσι ώστε να υπάρχει μία καλύτερη εικόνα στον αναγνώστη για το τι ακριβώς έχει ήδη προτυποποιηθεί μέχρι σήμερα στα πλαίσια της έρευνας για την εξασφάλιση υψηλής ποιότητας υπηρεσιών (QoS) στα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN).

### 3.4.3 Τεχνικές QoS που αφορούν τον έλεγχο λαθών

Οι βελτιώσεις σε θέματα που αφορούν την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών μπορούν επίσης να επιτευχθούν από κάποιες βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν σε επίπεδο ελέγχου λαθών. Στην αρχιτεκτονική του Διαδικτύου, η διατερματική (end-to-end) αξιοπιστία πρέπει να παρέχεται εξ ολοκλήρου από τους τερματικούς κόμβους. Το Διαδίκτυο μπορεί περιστασιακά να απορρίψει τα πακέτα ή να τα αλλοιώσει ή να αλλάξει τη σειρά με την οποία αρχικά μεταδόθηκαν. Έτσι, το πρωτόκολλο μεταφοράς (π.χ., TCP) ή η ίδια η εφαρμογή (π.χ. εάν το UDP χρησιμοποιείται ως πρωτόκολλο μεταφοράς) πρέπει να διορθώσει αυτά τα λάθη στον τερματικό υπολογιστή. Η επανόρθωση λαθών κατά τη διαδρομή δικαιολογείται μόνο με τη δικαιολογία ότι μπορεί να ενισχύσει τη γενική αποδοτικότητα του δικτύου. Εντούτοις, μερικά υποδίκτυα όπως τα ασύρματα απαιτούν μηχανισμούς αποκατάστασης λαθών στο επίπεδο του δικτύου έτσι ώστε να βελτιωθεί η αποδοτικότητα. Αυτού του είδους οι βελτιώσεις πρέπει να είναι λιγότερες και πολύ προσεκτικές. Παραδείγματος χάριν, οι ασύρματες συνδέσεις απαιτούν την αποκατάσταση των λαθών τόσο στο επίπεδο δικτύου (δηλαδή στο 802.2 LLC) όσο και στο επίπεδο MAC. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες τεχνικών αποκατάστασης λαθών: η Αυτόματη Αίτηση Επανάληψης (Automatic Repeat reQuest - ARQ) και η Χωρίς Επαλήθευση Διόρθωση Σφάλματος (Forward Error Correction - FEC) [1].

#### 3.4.3.1 Αυτόματη Αίτηση Επανάληψης - ARQ

Το ARQ είναι ένα πρωτόκολλο ελέγχου λαθών, το οποίο είναι σε μεγάλο του μέρος υλοποιημένο στα επίπεδα δικτύου και μεταφοράς. Είναι αποδοτικό για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα όταν η καθυστέρηση πλήρους διαδρομής (round trip delay) είναι μικρή, αλλά μπορεί να προκαλέσει μεγάλες καθυστερήσεις όταν εισάγονται πολλές αναμεταδόσεις σε μια αργή σύνδεση.

**ARQ Παύσης και Αναμονής (SW-ARQ) :** Το SW-ARQ είναι μια απλή και πολύ αποδοτική τεχνική για τις μεταδόσεις δεδομένων. Βασικά, στο SW-ARQ, ένας αποστολέας διαβιβάζει ένα πακέτο και περιμένει έπειτα την απάντηση. Ο παραλήπτης στέλνει μια επιβεβαίωση (Ack) για κάθε πακέτο που λαμβάνει σωστά. Εάν δεν υπάρχει καμία απάντηση μετά από ένα συγκεκριμένο χρόνο (time out), ο αποστολέας αναμεταδίδει το πακέτο. Υπό κανονικές συνθήκες, ο αποστολέας λαμβάνει μία επιβεβαίωση για τα δεδομένα που απέστειλε και αρχίζει έπειτα τη μετάδοση του επόμενου πακέτου. Ο αποστολέας μπορεί να πρέπει να περιμένει αρκετό χρόνο για αυτήν την απάντηση. Ενώ περιμένει, ο αποστολέας δεν έχει τη δυνατότητα να στείλει ένα άλλο πακέτο. Στην πραγματικότητα, ο υπάρχων μηχανισμός του επιπέδου MAC του 802.11 προτύπου χρησιμοποιεί αυτόν το μηχανισμό ελέγχου λαθών επειδή είναι αποδοτικότερος και απλούστερος από τον FEC, που αναλύεται στην επόμενη υποπαράγραφο.

**ARQ Επιλεκτικής Επανάληψης (SR-ARQ) :** Αντίθετα με το SW-ARQ, κατά τη χρησιμοποίηση του SR-ARQ, τα πακέτα μεταδίδονται συνεχώς από το επίπεδο DLC (Data Control Layer). Ο παραλήπτης επιβεβαιώνει κάθε επιτυχώς λαμβανόμενο πακέτο. Εάν μία επιβεβαίωση δεν παραλαμβάνεται για ένα πακέτο μετά από τη λήξη ενός χρονικού διαστήματος (time out), το πακέτο αναμεταδίδεται. Μόλις αναμεταδοθεί ένα πακέτο, ο αποστολέας επαναλαμβάνει τη μετάδοση των πακέτων με την ίδια σειρά που τα έστειλε και πριν. Αξίζει να σημειώσουμε ότι με το μηχανισμό SW-ARQ, σπαταλιέται πολύς χρόνος για την αναμονή των διαδοχικών επιβεβαιώσεων. Από την άλλη, όταν χρησιμοποιείται το SR-ARQ, τα πακέτα διαβιβάζονται συνεχώς. Στην πραγματικότητα, τα πακέτα μπορούν να γίνουν αποδεκτά από τη μεριά του παραλήπτη χωρίς να βρίσκονται απαραίτητα στην ίδια σειρά με την οποία μεταδόθηκαν. Ως εκ τούτου, μία ακολουθία πακέτων που παραλαμβάνονται πρέπει να αποθηκευθούν και να επανατοποθετηθούν στη σωστή σειρά προτού να μπορέσουν να παραδοθούν στο επίπεδο εφαρμογής. Καταλήγοντας, μπορούμε να πούμε ότι το SR-ARQ είναι η πιο αποδοτική τεχνική για την ελαχιστοποίηση της διατεματικής (end-to-end) καθυστέρησης. Παρόλα αυτά, αποτελεί έναν αρκετά πολύπλοκο μηχανισμό αποκατάστασης λαθών.

**ARQ με Οπισθοχώρηση κατά N (GBN-ARQ) :** Όταν χρησιμοποιείται το GBN-ARQ, τα πακέτα διαβιβάζονται συνεχώς όπως ακριβώς και στο SR -ARQ. Εντούτοις, ο παραλήπτης δέχεται τα πακέτα μόνο αν αυτά φτάνουν σε αυτόν με την ίδια σειρά με την οποία έχουν διαβιβαστεί από το άλλο άκρο. Τα πακέτα που παραλαμβάνονται και δε βρίσκονται στη σωστή σειρά απορρίπτονται και φυσικά δεν επιβεβαιώνονται. Είναι σημαντικό να παρατηρηθεί ότι το GBN-ARQ προσπαθεί να συνδυάσει πλεονεκτήματα των δύο μηχανισμών, των οποίων η ανάλυση προηγήθηκε παραπάνω.

### 3.4.3.2 Χωρίς Επαλήθευση Διόρθωση Σφάλματος - FEC

Ο μηχανισμός FEC περιλαμβάνει την προσθήκη των περιττών bits που βοηθούν στην προσπάθεια ανάκτησης των λανθασμένων bits. Έχει προταθεί για τις πραγματικού χρόνου εφαρμογές λόγω των αυστηρών απαιτήσεων καθυστέρησης και της μη αξιόπιστης φύσης των πολυμεσικών ροών. Εντούτοις, ο FEC έχει το μειονέκτημα ότι φορτώνει το δίκτυα με άχρηστα δεδομένα, στην περίπτωση βέβαια που δεν υπάρχουν λάθη στις ροές δεδομένων. Με το ARQ, ο παραλήπτης ζητά επαναμετάδοση των πακέτων όταν ανιχνεύει ένα λάθος, αλλά έτσι οδηγούμαστε σε μεταβλητές καθυστερήσεις που δε μπορούν να γίνουν αποδεκτές για τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Οι τεχνικές που χρησιμοποιεί ο



μηχανισμός FEC βοηθούν στη διατήρηση της ομοιογενούς ρυθμοαπόδοσης και της επιθυμητής χρονικής καθυστέρησης. Εντούτοις, το ποσοστό λάθους κατά τη διαδικασία της αποκωδικοποίησης αυξάνεται πολύ γρήγορα με την αύξηση του ποσοστού των λαθών των δεδομένων που μεταδίδονται. Έτσι, όταν τα μεταδιδόμενα δεδομένα έχουν πολλά λάθη, τότε απαιτείται ένας μεγάλος κώδικας FEC, κάτι βέβαια που έχει αρνητικές συνέπειες στην αποδοτικότητα του μηχανισμού.

Οι μηχανισμοί FEC και ARQ δεν είναι από μόνοι τους πολύ αποδοτικοί και μάλιστα δε μπορούν να αντιμετωπίσουν ο καθένας ξεχωριστά τα ομολογουμένως μεγάλα προβλήματα που παρουσιάζονται στο ασύρματο κανάλι WLAN. Προκειμένου να αμβλυνθούν τα μεμονωμένα μειονεκτήματά τους, έχουν αναπτυχθεί οι υβριδικοί μηχανισμοί FEC-ARQ. Στην επόμενη υποπαράγραφο παρουσιάζουμε δύο είδη αυτών των υβριδικών μηχανισμών ελέγχου λαθών.

### 3.4.3.3 Υβριδικό σχήμα FEC-ARQ

**Type-I Hybrid FEC-ARQ :** Ο Τύπος-I Υβριδικού FEC-ARQ χρησιμοποιεί τα λεγόμενα parity bits για την ανίχνευση και τη διόρθωση λαθών σε κάθε πακέτο. Εάν ο αριθμός λανθασμένων bits σε ένα λαμβανόμενο πακέτο είναι μέσα στην ικανότητα διορθώσεων λαθών του κώδικα, τα λάθη διορθώνονται αμέσως. Εάν ανιχνευθεί ένα πακέτο που δε διορθώνεται, το πακέτο απορρίπτεται και ζητείται η αναμετάδοσή του. Στο μηχανισμό αυτό, η πληροφορία μπορεί να ανακτηθεί από κάθε διαβιβασθέν πακέτο. Η διαδικασία έχει ως εξής : ο αποστολέας αναμεταδίδει την ίδια κωδικολέξη (codeword). Όταν η κωδικολέξη παραλαμβάνεται, ο αποκωδικοποιητής προσπαθεί να διορθώσει τα λάθη σύμφωνα με τις δυνατότητές του. Εάν το πακέτο φθάσει και δε μπορεί να διορθωθεί, ο δέκτης απορρίπτει τη λαμβανόμενη κωδικολέξη και ζητείται πάλι μια αναμετάδοση. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου παραληφθεί επιτυχώς το πακέτο ή φτάσουμε σε ένα συγκεκριμένο μέγιστο όριο αναμεταδόσεων. Το κύριο μειονέκτημα του Τύπου-I Υβριδικού FEC-ARQ είναι ότι τα πακέτα απορρίπτονται από τον αποκωδικοποιητή ακόμα κι αν περιέχουν κάποιες χρήσιμες πληροφορίες.

**Type-II Hybrid FEC-ARQ :** Στον Τύπο-II Υβριδικού FEC-ARQ, το πακέτο που δε μπορεί να διορθωθεί, αντί να απορριφθεί, αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση. Στην περίπτωση που ένα πακέτο δε μπορεί να αποκωδικοποιηθεί επιτυχώς στον προορισμό, ο παραλήπτης ζητά αναμετάδοση και χρησιμοποιεί το πακέτο που έχει αποθηκεύσει για να βοηθήσει τον επεξεργαστή του αποκωδικοποιητή να διορθώσει τα ανιχνευμένα λάθη. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου μπορέσει να αποκωδικοποιηθεί επιτυχώς το πακέτο.

Οι δύο τελευταίοι μηχανισμοί κρίνονται ως ιδιαίτερα ικανοποιητικοί από όλες τις πλευρές και αναμένεται αυτοί ή παραλλαγές τους να χρησιμοποιηθούν για τη σχεδίαση και την ανάπτυξη των συστημάτων τέταρτης γενιάς, κάτι το οποίο μας ενδιαφέρει πάρα πολύ στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής.

## **3.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ QoS ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.11e**

Υπάρχουν πολλά θέματα που αφορούν την παροχή ποιότητας υπηρεσιών σε ένα WLAN στο πρότυπο 802.11e. Σε αυτήν την παράγραφο, θα περιγράψουμε εν συντομία τρία από αυτά: την Υβριδική Λειτουργία Συντονισμού (HCF), το Άμεσο Πρωτόκολλο Συνδέσεων (DLP) και την Επιβεβαίωση Φραγμών (Block Acknowledgement) [10].

### **3.5.1 Υβριδική Λειτουργία Συντονισμού - HCF**

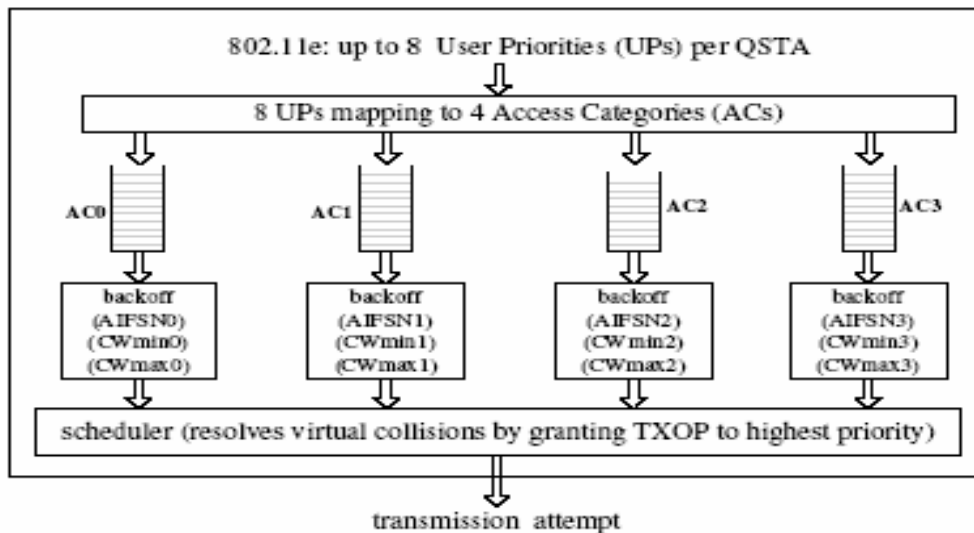
Προκειμένου να υποστηριχθούν και οι δύο προσεγγίσεις QoS (IntServ και DiffServ) στο πρότυπο 802.11 για τα WLAN, το 802.11e έχει καθορίσει ένα νέο μηχανισμό, που ονομάζεται Υβριδική Λειτουργία Συντονισμού (HCF). Η HCF αποτελείται από δύο μεθόδους προσπέλασης: τη διαμαχοπαγή πρόσβαση στο κανάλι (EDCF) και τους μηχανισμούς ελεγχόμενης πρόσβασης στο κανάλι [9, 10, 11]. Οι μέθοδοι αυτές αναλύονται στις υποπαραγράφους 3.5.1.1 και 3.5.1.2.

Ένα κύριο χαρακτηριστικό της HCF είναι ότι εισάγονται τέσσερις κατηγορίες ουρών πρόσβασης (Access Category - AC) και οκτώ ουρές ροής δεδομένων (Traffic Stream - TS) στο επίπεδο MAC. Όταν ένα πλαίσιο φθάνει στο επίπεδο MAC, μαρκάρεται με ένα αναγνωριστικό προτεραιότητας κυκλοφορίας (TID) σύμφωνα με τις απαιτήσεις QoS που έχει, το οποίο μπορεί να πάρει τιμές από 0 έως 15. Τα πλαίσια με τιμές TID από 0 έως 7 κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις ουρές AC, χρησιμοποιώντας τον κανόνα πρόσβασης EDCF. Από την άλλη μεριά, τα πλαίσια με τιμές TID από 8 έως 15 κατηγοριοποιούνται σε οκτώ ουρές TS, χρησιμοποιώντας τον κανόνα πρόσβασης της ελεγχόμενης πρόσβασης του καναλιού HCF. Ο λόγος που χωρίζουμε τις ουρές TS από τις αντίστοιχες AC είναι για να υποστηριχθεί αυστηρή παραμετροθετημένη (parameterized) ποιότητα υπηρεσιών στις ουρές TS και αντίστοιχα QoS με βάση την προτεραιότητα στις ουρές AC.

Ένα άλλο κύριο χαρακτηριστικό της HCF είναι η έννοια της πιθανότητας μετάδοσης (TXOP), που είναι το επιτρεπόμενο χρονικό διάστημα για ένα συγκεκριμένο σταθμό ώστε να διαβιβάσει τα πακέτα. Κατά τη διάρκεια του TXOP, μπορεί να υπάρξει μια σειρά πλαισίων που διαβιβάζονται από ένα σταθμό βάσης ανά χρονικό διάστημα ίσο με SIFS.

#### **3.5.1.1 Βελτιωμένη Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού - EDCF**

Η EDCF έχει σχεδιαστεί για την υποστήριξη της ποιότητας των υπηρεσιών που βασίζεται στην προτεραιότητα. Το σχήμα 3.6 δείχνει ότι στην EDCF, κάθε σταθμός που υποστηρίζει μηχανισμούς QoS (QSTA) έχει 4 ουρές (ACs), για να υποστηρίξει 8 προτεραιότητες χρηστών (UPs) όπως ορίζεται στο πρότυπο 802.1D. Επομένως, ένα ή περισσότερα UPs κατηγοριοποιούνται στην ίδια ουρά AC (Πίνακας 3.4).



**Σχήμα 3.6 : Η Βελτιωμένη Καταναμημένη Λειτουργία Συντονισμού – EDCA [1]**

Στην EDCA, δύο κύριες μέθοδοι εισάγονται για να υποστηρίξουν τη διαφοροποίηση των υπηρεσιών: Η πρώτη είναι η χρησιμοποίηση διαφορετικών διαστημάτων (IFS) για διαφορετικές ACs. Εδώ εισάγεται το Αυθαίρετο Διάστημα (AIFS) που χρησιμοποιείται αντί του διαστήματος DIFS της λειτουργίας DCF. Το AIFS υπολογίζεται ως εξής :  $AIFS [AC] = AIFSN [AC] * SlotTime + SIFS$ , όπου η αρχική (default) τιμή του AIFSN ορίζεται ως 1 ή 2.

UP, User Priority (Same as 802.1D)	802.1D Designation	802.11e AC (Access Category)	Service type
2	Not defined	0	Best Effort
1	Background (BK)	0	Best Effort
0	Best Effort (BE)	0	Best Effort
3	Excellent Effort (EE)	1	Video Probe
4	Controlled Load (CL)	2	Video
5	VI (Video <100ms latency and jitter)	2	Video
6	VO (Voice <10ms latency and jitter)	3	Voice
7	Network Control (NC)	3	Voice

**Πίνακας 3.4 : Κατηγοριοποίηση μεταξύ των UPs και των ACs [1]**

Η δεύτερη μέθοδος συνίσταται στην παραχώρηση διαφορετικών μεγεθών παραθύρων (CW) σε διάφορες ουρές (ACs). Η παραχώρηση ενός μικρού CW σε μία AC με υψηλή προτεραιότητα εξασφαλίζει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, η συγκεκριμένη AC είναι σε θέση να διαβιβάσει τα πακέτα της πριν από μία άλλη AC με χαμηλότερη προτεραιότητα. Εάν οι μετρητές backoff δύο ή περισσότερων ACs σε έναν QSTA φτάσουν στο μηδέν ταυτόχρονα, ένας χρονοπρογραμματιστής μέσα στον QSTA θα αποφύγει την εικονική σύγκρουση παραχωρώντας την TXOP στην ουρά με την υψηλότερη προτεραιότητα. Συγχρόνως, οι άλλες ACs, που έχουν υποστεί σύγκρουση, θα εισαχθούν σε μια διαδικασία backoff και θα διπλασιάσουν τα μεγέθη των παραθύρων τους (CW), σαν να έχει συμβεί μία εξωτερική σύγκρουση. Κατ' αυτό τον τρόπο, η EDCA βελτιώνει την απόδοση της συμβατής DCF κάτω από συνθήκες συμφόρησης.

### 3.5.1.2 Ελεγχόμενη Πρόσβαση Καναλιού HCF - HCF controlled channel access

Ο μηχανισμός ελεγχόμενης πρόσβασης καναλιού HCF έχει σχεδιαστεί για την υποστήριξη της παραμετροθετημένης (parameterized) ποιότητας των υπηρεσιών, η οποία συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της PCF και της DCF λειτουργίας. Σε αυτό το μηχανισμό λοιπόν, η εγγύηση QoS είναι βασισμένη στη διαπραγμάτευση των προδιαγραφών κυκλοφορίας (TSPEC) μεταξύ του Σημείου Πρόσβασης (QAP) και των σταθμών βάσης (QSTA). Προτού διαβιβαστεί οποιοδήποτε πλαίσιο που απαιτεί την παραμετροθετημένη QoS, καθιερώνεται μια εικονική σύνδεση που λέγεται κυκλοφοριακή ροή (TS). Προκειμένου να ιδρυθεί μία TS, ένα σύνολο παραμέτρων TSPEC (όπως ο μέσος ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων, το μέγεθος των πλαισίων, η καθυστέρηση, κλπ.) ανταλλάσσεται μεταξύ του QAP και των αντίστοιχων σταθμών. Με βάση αυτές τις παραμέτρους TSPEC, ο χρονοπρογραμματιστής του QAP υπολογίζει τη διάρκεια των TXOP για κάθε σταθμό, και τους τις παραχωρεί. Κατόπιν ο χρονοπρογραμματιστής σε κάθε QSTA παραχωρεί την TXOP για διάφορες ουρές TS σύμφωνα με τη σειρά προτεραιότητας. Ένας απλός εκ περιτροπής (round-robin) χρονοπρογραμματιστής προτείνεται στο πρότυπο 802.11e.

### 3.5.2 Άμεσο Πρωτόκολλο Συνδέσεων -DLP

Το αρχικό πρότυπο 802.11 δεν επιτρέπει σε ένα σταθμό να διαβιβάζει άμεσα πλαίσια σε ένα άλλο γειτονικό σταθμό εντός της περιοχής BSS : Όλα τα πλαίσια που ανταλλάσσονται μεταξύ δύο σταθμών πρέπει να περάσουν πρώτα από το Σημείο Πρόσβασης (AP). Από την άλλη μεριά, στο πρότυπο 802.11e, το Άμεσο Πρωτόκολλο Συνδέσεων (DLP) εισάγεται στους QSTAs, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η εγκαθίδρυση συνδέσεων μεταξύ δύο σταθμών, που επιτρέπει την άμεση επικοινωνία μεταξύ τους. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, ο μηχανισμός αυτός προσφέρει σημαντικά στην αύξηση της χρησιμοποίησης του δικτύου. Με το DLP, ο αποστολέας στέλνει αρχικά ένα άμεσο μήνυμα αίτησης σύνδεσης, που περιλαμβάνει αρκετές χρήσιμες πληροφορίες για τον παραλήπτη, οι οποίες μεταβιβάζονται σε αυτόν μέσω του QAP. Μόλις ο παραλήπτης επιβεβαιώσει τη λήψη του αιτήματος σύνδεσης, εγκαθιδρύεται η άμεση σύνδεση μεταξύ δύο QSTAs.

### 3.5.3 Επιβεβαίωση Πλαισίων κατά Ομάδες - Block acknowledgement

Στο πρότυπο 802.11e, εισάγεται ένας νέος μηχανισμός που μοιάζει με τον SR-ARQ και ονομάζεται Επιβεβαίωση Πλαισίων κατά Ομάδες (BlockAck). Σε αυτόν το μηχανισμό, μια ομάδα πλαισίων μπορεί να διαβιβαστεί μία προς μία ανά τακτά χρονικά διαστήματα ίσα με SIFS. Κατόπιν, ένα ενιαίο πλαίσιο BlockAck στέλνεται πίσω στον αποστολέα για να τον ενημερώσει πόσα πακέτα έχουν παραληφθεί σωστά. Είναι και πάλι προφανές ότι αυτός ο μηχανισμός μπορεί να βελτιώσει τη χρησιμοποίηση του ασύρματου δικτύου.

### 3.6 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Κλείνοντας αυτό το κεφάλαιο μπορούμε να καταλήξουμε σε μερικά σημαντικά συμπεράσματα, τα οποία θα μας χρησιμεύσουν ιδιαίτερα στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής.

Το πρώτο κύριο σημείο είναι ότι τα WLAN αναμένεται να παίξουν πρωταγωνιστικό ρόλο στα δίκτυα τέταρτης γενιάς, σε συνεργασία φυσικά με τα δίκτυα 3G, τα οποία αναλύθηκαν στο αμέσως προηγούμενο κεφάλαιο. Ήδη η 3GPP έχει βγάλει μερικά πρότυπα, τα οποία επικεντρώνονται στην αποκλειστική διασύνδεση μεταξύ των δύο αυτών δικτύων. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι δε μπορούν να υπάρξουν και άλλες ιδέες, γι' αυτό άλλωστε και στην παρούσα διπλωματική αφιερώνεται ένα ακόμα κεφάλαιο που αφορά τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα WPAN, ενώ υπάρχουν και άλλες αναφορές για τα WMAN και για τα δορυφορικά συστήματα σε σχέση πάντα με τον τρόπο που όλα αυτά θα μπορέσουν να ενοποιηθούν σε μία ενιαία 4G πλατφόρμα.

Ένα δεύτερο σημείο που αξίζει να επισημάνουμε είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των WLAN. Το κύριο πλεονέκτημά τους, που μας ενδιαφέρει στα πλαίσια της 4G πραγματικότητας είναι ότι προσφέρουν σημαντικά μεγαλύτερο εύρος ζώνης σε σχέση με τα δίκτυα 3G. Το κύριο μειονέκτημά τους είναι ότι δε μπορούν να υποστηρίξουν σχεδόν καθόλου τα θέματα που έχουν να κάνουν με την κινητικότητα (mobility) των χρηστών, θέματα στα οποία διαπρέπουν τα 3G δίκτυα.

Τέλος, ίσως το σημαντικότερο σημείο, το οποίο και θα μας απασχολήσει περισσότερο, είναι η μη ύπαρξη και τόσο καλής προτυποποίησης σε θέματα QoS. Σε αντίθεση με το δίκτυο UMTS, όπου είχε γίνει μία οργανωμένη προσπάθεια από την αρχή της σχεδίασης, έτσι ώστε να υπάρχουν οι προδιαγραφές παροχής καλής ποιότητας υπηρεσιών στους τελικούς χρήστες, οι αρχικοί σχεδιαστές των WLAN είχαν διαφορετικές προτεραιότητες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει μία σύγχυση ως προς τους μηχανισμούς QoS που πρέπει να χρησιμοποιούνται. Γι' αυτό το λόγο άλλωστε αφιερώσαμε σημαντικό χώρο για τη συνοπτική περιγραφή όλων των μηχανισμών και των ιδεών που έχουν προταθεί τα τελευταία χρόνια από διάφορους ερευνητές. Μόλις πριν από δύο χρόνια (2005) εμφανίστηκε το πρότυπο 802.11e, αλλά ακόμα το τοπίο δεν είναι ιδιαίτερα ξεκάθαρο.

### 3.7 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Qiang Ni, Lamia Romdhani, Thierry Turetletti, **A Survey of QoS Enhancements for IEEE 802.11 Wireless LAN**, Journal of Wireless Communications and Mobile Computing, Wiley 2004 : Volume 4, Issue 5 : pp. 547-566.
- [2] Robert Wood, **Next Generation Network Services**, Cisco Press, 2006, (Κεφάλαιο 9 – Wireless LANs).
- [3] Hsiao-Hwa Chen, Mohsen Guizani, **Next Generation Wireless Systems and Networks**, John Wiley & Sons Ltd., 2006, (Κεφάλαιο 4, σελ. 219-220).
- [4] Mooi Choo Chuah, Qinqing Zhang, **Design and Performance of 3G Wireless Networks and Wireless LANs**, Springer Science + Business Media Inc., 2006, (Κεφάλαιο 10, σελ. 257-267 και Κεφάλαιο 11, σελ. 279-297).
- [5] Nedeltchev, Plamen. "**Wireless Local Area Networks and the 802.11 Standard**" March 31, 2001. Δικτυακός τόπος : <http://www.cisco.com/warp/public/784/packet/jul01/pdfs/whitepaper.pdf>
- [6] IEEE Standard 802.11b, Part 11: **Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band**, 1999.
- [7] Andrew S. Tanenbaum, **Δίκτυα Υπολογιστών (4<sup>η</sup> Έκδοση)**, 2003, (Κεφάλαιο 4, σελ. 346-358 και Κεφάλαιο 5, σελ. 464-484).
- [8] Ramjee Prasad, Luis Munoz, **WLANs and WPANs towards 4G Wireless**, Artech House Inc., 2003, (Κεφάλαιο 4, σελ. 110-115).
- [9] Drabu, Yasir, A Survey of QoS Techniques in 802.11, Δικτυακός τόπος : <http://www.cs.kent.edu/~ydrabu/research/wmac/mac.pdf>
- [10] IEEE Standard 802.11e, Part 11: **Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements**, 2005.
- [11] Ramjee Prasad, **OFDM for Wireless Communication Systems**, Artech House Inc., 2004, (Κεφάλαιο 2, σελ. 33-36).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> – ΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ WPAN

## 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ WPAN

Τα WPANs είναι ασύρματα δίκτυα μικρής και πολύ μικρής εμβέλειας, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ διαφόρων συσκευών που βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους. Τα WPANs χρησιμοποιούνται για να αντικαταστήσουν τα καλώδια μεταξύ των υπολογιστών και των περιφερειακών μονάδων τους, αλλά και για να διευκολύνουν την καθημερινή ζωή του ανθρώπου, τόσο όσον αφορά την ψυχαγωγία του όσο και στις καθημερινές επαγγελματικές του ανάγκες. Προβλέπεται ότι οι συσκευές PDA, τα τηλέφωνα, τα lap-tops και οποιαδήποτε άλλη συσκευή (διάφοροι ανιχνευτές, κάμερες, στυλό) που χρησιμοποιεί την τεχνολογία WPAN θα ξεπεράσουν κατά πολύ σε ποσότητα τους υπολογιστές που είναι συνδεδεμένοι στο Διαδίκτυο μέσα στα επόμενα χρόνια. Η ομάδα 802 της IEEE έχει αντιληφθεί εδώ και πολλά χρόνια τη σημαντικότητα της ανάπτυξης μίας τεχνολογίας μικρής εμβέλειας και γι' αυτόν το λόγο όρισε την επωνομαζόμενη ομάδα 802.15 για να αναλάβει την ευθύνη της προτυποποίησης. Σήμερα, η έρευνα για τα WPAN καλύπτει μια πολύ ευρεία περιοχή, που αρχίζει από τεχνικά ζητήματα όπως ο αυτόματος σχηματισμός των δικτύων ή των ζητημάτων ασφάλειας και συνεχίζεται σε όλα τα υπόλοιπα επίπεδα φτάνοντας μέχρι και το επίπεδο των εφαρμογών. Αναμένουμε ότι η διαθεσιμότητα μιας φτηνής και περιορισμένης εμβέλειας ασύρματη τεχνολογία θα τροφοδοτήσει περαιτέρω την έρευνα και την ανάπτυξη θεμάτων και εφαρμογών που έχουν σχέση με τα WPAN [1].

Το κεφάλαιο αυτό διαφέρει κατά πολύ με τα δύο προηγούμενα. Η μεγαλύτερη διαφορά αφορά στο μέγεθος του κεφαλαίου, το οποίο είναι πολύ μικρότερο. Ως εκ τούτου η ανάλυση της τεχνολογίας των ασύρματων προσωπικών δικτύων είναι πολύ πιο επιφανειακή. Αυτό συμβαίνει γιατί στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, μας ενδιαφέρει κυρίως η διασύνδεση των δικτύων UMTS και WLAN. Βέβαια, κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη και του παρόντος κεφαλαίου, καθώς δε θα μπορούσε να λείπει η τεχνολογία των WPAN από τη διερεύνηση των δικτύων τέταρτης γενιάς. Άλλωστε κανείς δε μπορεί να πει με σιγουριά για το τι μας επιφυλάσσει το μέλλον στο χώρο των τηλεπικοινωνιών και πιο συγκεκριμένα στην έρευνα για τη διασύνδεση όλων των υπάρχουσών ετερογενών ασύρματων τεχνολογιών.

Για όλους τους παραπάνω λόγους στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε κυρίως με τις προκλήσεις του μέλλοντος και θα αφιερώσουμε λιγότερο χρόνο και χώρο στη διεξοδική ανάλυση της κατάστασης που επικρατεί τα τελευταία χρόνια. Στόχος μας είναι η ανάδειξη και η διερεύνηση των προκλήσεων του μέλλοντος που αφορούν τα WPAN.

Κλείνοντας αυτή τη μικρή εισαγωγή, παραθέτουμε ενδεικτικά τις συσκευές που χρησιμοποιούν την τεχνολογία WPAN σήμερα (Σχήμα 4.1).



**Σχήμα 4.1 : Συσκευές για WPAN εφαρμογές [2]**

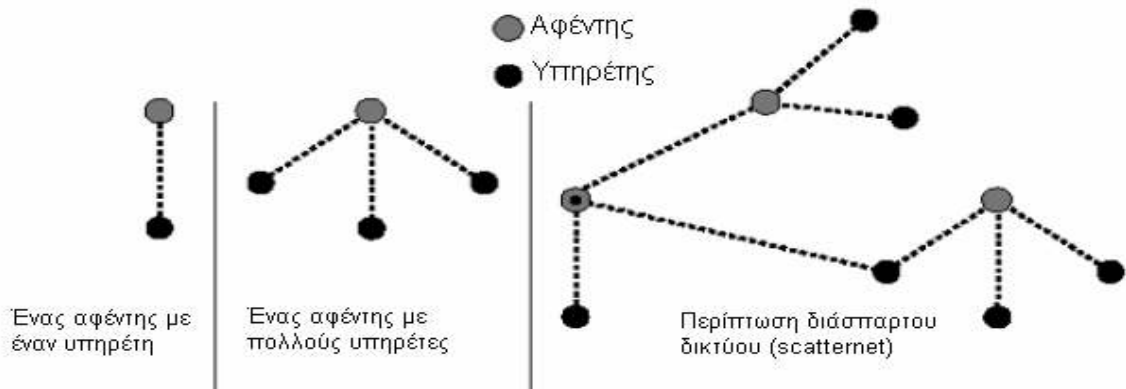
## **4.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ BLUETOOTH**

Η βασική μονάδα ενός συστήματος Bluetooth είναι ένα μικροσκοπικό δίκτυο (piconet), το οποίο αποτελείται από έναν κόμβο αφέντη (master) και μέχρι και επτά ενεργούς κόμβους υπηρέτη (slaves) μέσα σε μία απόσταση δέκα μέτρων. Πολλαπλά μικροσκοπικά δίκτυα μπορούν να συνυπάρχουν στον ίδιο χώρο, ενώ μπορούν να είναι και συνδεδεμένα μέσω ενός κόμβου γέφυρας. Ένα διασυνδεδεμένο σύνολο μικροσκοπικών δικτύων ονομάζεται διάσπαρτο δίκτυο (scatternet).

Εκτός από τους επτά ενεργούς κόμβους υπηρέτη του μικροσκοπικού δικτύου, μπορούν να υπάρχουν μέχρι και 255 σταθμευμένοι (parked) κόμβοι στο δίκτυο. Οι κόμβοι αυτοί είναι συσκευές τις οποίες ο αφέντης έχει φέρει σε κατάσταση χαμηλής ισχύος, έτσι ώστε να μειώσει την κατανάλωση των μπαταριών τους. Στη σταθμευμένη κατάσταση, η συσκευή δε μπορεί να κάνει τίποτα άλλο από το να αποκρίνεται σε ένα σήμα ενεργοποίησης ή σε ένα σήμα φάρου (beacon frame) από τον αφέντη. Αξίζει να ανφέρουμε πάντως ότι υπάρχουν και δύο ενδιάμεσες καταστάσεις ισχύος, η δέσμευση (hold) και η αντίχνευση (sniff).

Η αιτία για αυτήν τη σχεδίαση αφέντη-υπηρέτη είναι ότι οι σχεδιαστές ήθελαν να διευκολύνουν την υλοποίηση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων Bluetooth με κόστος μικρότερο από €5. Μία συνέπεια αυτής της απόφασης είναι ότι οι υπηρέτες είναι σχετικά «χαζοί», αφού ουσιαστικά κάνουν οτιδήποτε τους λέει ο αφέντης τους. Ουσιαστικά, το μικροσκοπικό δίκτυο είναι ένα συγκεντρωτικό σύστημα TDM, με τον κύριο να ελέγχει το ρολόι και να καθορίζει ποια συσκευή θα επικοινωνήσει σε ποια χρονική υποδοχή (time slot). Όλες οι επικοινωνίες πραγματοποιούνται ανάμεσα στον αφέντη και τον υπηρέτη. Δεν είναι εφικτή η άμεση επικοινωνία από υπηρέτη σε υπηρέτη [3].





**Σχήμα 4.2 : Διάφορες περιπτώσεις διασύνδεσης κόμβων [2]**

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 4.1) παρουσιάζει περιεκτικότερα τα τρία βασικά χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής Bluetooth :

Φάσμα συχνοτήτων	2.4 GHz
Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης	1 Mbps
Τεχνική κωδικοποίησης	TDMA/FDMA-TDD

**Πίνακας 4.1 : Βασικά χαρακτηριστικά αρχιτεκτονικής Bluetooth [2]**

Τα περισσότερα πρωτόκολλα δικτύου απλώς παρέχουν κανάλια ανάμεσα σε οντότητες που επικοινωνούν, αφήνοντας τους σχεδιαστές των εφαρμογών να αποφασίσουν για ποιο σκοπό θέλουν να χρησιμοποιήσουν τα κανάλια αυτά. Για παράδειγμα, το 802.11 δεν προσδιορίζει κατά πόσον οι χρήστες θα πρέπει να χρησιμοποιούν τους φορητούς υπολογιστές τους για να διαβάζουν ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, να περιηγούνται στον Ιστό, ή να κάνουν κάτι άλλο. Αντιθέτως, οι προδιαγραφές της έκδοσης 1.1 του Bluetooth κατονομάζουν 13 συγκεκριμένες εφαρμογές, οι οποίες υποστηρίζονται και παρέχουν διαφορετικές στοίβες πρωτοκόλλων για την κάθε μία. Οι 13 εφαρμογές, που ονομάζονται προφίλ (profiles) φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.2). Από αυτόν τον πίνακα, μπορούμε να καταλάβουμε εν συντομία τους στόχους της ομάδας του Bluetooth.

Όνομα	Περιγραφή
Γενική πρόσβαση	Διαδικασίες διαχείρισης του link
Ανακάλυψη υπηρεσιών	Πρωτόκολλο για την ανακάλυψη των προσφερόμενων υπηρεσιών
Σειριακή θύρα	Αντικατάσταση ενός καλωδίου σειριακής θύρας
Γενική ανταλλαγή αντικειμένων	Καθορίζει τη σχέση πελάτη-διακομιστή για τη μετακίνηση αντικειμένων
Πρόσβαση σε LAN	Πρωτόκολλο ανάμεσα σε έναν κινητό υπολογιστή και ένα σταθερό LAN
Τηλεφωνική δικτύωση	Επιτρέπει σε έναν κινητό υπολογιστή να καλεί

	μέσω κινητού τηλεφώνου
Φαξ	Επιτρέπει σε μία κινητή μηχανή φαξ να μιλάει σε ένα κινητό τηλέφωνο
Ασύρματη τηλεφωνία	Συνδέει ένα ακουστικό κεφαλής με τον τοπικό του σταθμό βάσης
Ενδοσυνεννόηση	Ψηφιακή Ενδοσυνεννόηση
Ακουστικό κεφαλής	Επιτρέπει τη φωνητική επικοινωνία χωρίς χέρια
Ωθηση αντικειμένων	Παρέχει μία μέθοδο ανταλλαγής απλών αντικειμένων
Μεταφορά αρχείων	Παρέχει μία πιο γενική βοηθητική λειτουργία μεταφοράς αρχείων
Συγχρονισμός	Επιτρέπει σε μία συσκευή PDA να συγχρονίζεται με έναν άλλον υπολογιστή

**Πίνακας 4.2 : Τα 13 προφίλ του Bluetooth [3]**

### **4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ**

Οι σχεδιαστές των WPAN αναζητούν συνεχώς απαντήσεις σε διάφορων ειδών προβλήματα και προκλήσεις του μέλλοντος, που θα μετατρέψουν την υπάρχουσα τεχνολογία σε ένα σύστημα που θα έχει ως κύριο σκοπό του την εξυπηρέτηση των αναγκών ενός μέσου ανθρώπου στο εγγύς μέλλον. Πολλά διαφορετικά σενάρια της καθημερινής ζωής μπορούν να παρουσιαστούν, τα οποία έχουν να κάνουν κυρίως με: α) Προσωπικές υπηρεσίες, β) Επαγγελματικές υπηρεσίες, και γ) Υπηρεσίες που αφορούν την ψυχαγωγία.

Οι προσωπικές υπηρεσίες περιλαμβάνουν ιατρικές τηλεπαρακολουθήσεις, καθώς επίσης και διάφορες εφαρμογές ελέγχου που αναμένεται να λαμβάνουν χώρα στα αποκαλούμενα έξυπνα σπίτια (smart homes) του μέλλοντος. Οι γιατροί του μέλλοντος θα μπορούν να παρακολουθούν συνεχώς την κατάσταση της υγείας των ασθενών τους σε οποιαδήποτε στιγμή, αλλά και ανεξάρτητα από το που βρίσκονται οι τελευταίοι. Αυτό αναμένεται να είναι πολύ ευεργετικό για άτομα ηλικιωμένα ή με ειδικές ανάγκες, τα οποία δεν έχουν τη δυνατότητα να προσέρχονται συνεχώς τα νοσοκομεία ή τα ιδιωτικά ιατρεία. Το ίδιο ισχύει και για τα άτομα της υπαίθρου και γενικά των πολύ απομακρυσμένων περιοχών, τα οποία με βάση αυτό το σενάριο δεν πρόκειται να νιώθουν πια απομονωμένοι. Επίσης, οι άνθρωποι του πολύ κοντινού μέλλοντος θα μπορούν να απολαμβάνουν ακόμη περισσότερες και πιο προηγμένες υπηρεσίες μέσα στο ίδιο τους το σπίτι βάσει των πολλών οικιακών συσκευών που αναμένεται να χρησιμοποιούν την τεχνολογία WPAN.

Ανάμεσα στις διάφορες προτεινόμενες εφαρμογές των WPAN για τον επαγγελματικό χώρο συγκαταλέγονται ο περιβαλλοντικός έλεγχος στους χώρους εργασίας, ο έλεγχος ταυτότητας των εργαζομένων και πολλά άλλα. Πιο συγκεκριμένα λοιπόν θα υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της θερμοκρασίας, της ατμοσφαιρικής πίεσης καθώς και της ποιότητας του αέρα που αναπνέουν οι εργαζόμενοι. Επίσης, θα μπορεί να ελέγχεται αυτόματα η διαδικασία παραγωγής και οι υπεύθυνοι να λαμβάνουν άμεσα γνώση των προβλημάτων που προκύπτουν.

Οι υπηρεσίες του μέλλοντος που θα αφορούν τον ψυχαγωγικό τομέα μπορούν να είναι η δυνατότητα παρακολούθησης υψηλής ποιότητας βίντεο στα τραίνα, τα πλοία και τα αεροπλάνα, η ανάκτηση πληροφοριών μέσω προσωπικών συσκευών κ.ά [2].

Θα μπορούσαν να αφιερωθούν πολύ περισσότερες σελίδες που θα ανέλυαν τις διάφορων ειδών εφαρμογές που αναφέρθηκαν παραπάνω επιγραμματικά. Η ουσία πάντως είναι μία : οι μελλοντικές υπηρεσίες που μπορούν να μας προσφέρουν τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα είναι πάρα πολλές και μερικές από αυτές δεν έχουν ακόμα επινοηθεί ακόμα και από τους ίδιους τους σχεδιαστές των συστημάτων WPAN.

#### **4.4 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΑ WPANs**

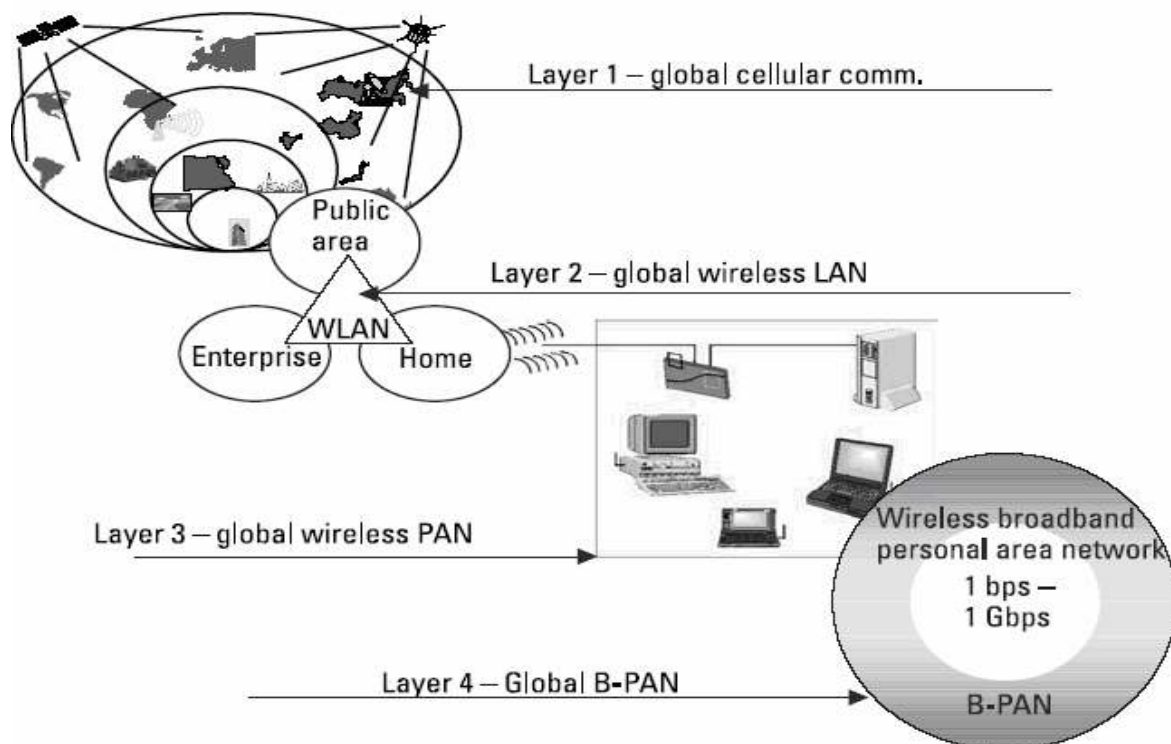
Η τεχνολογία WPAN πρέπει να αναπτύξει τις εφαρμογές της σε μια δυναμική κατανομημένη πλατφόρμα και να παρέχει κατανομημένο έλεγχο των πόρων σύμφωνα με τις βασικές αρχές του QoS. Επίσης, πρέπει να αναπτύξει τερματικά χαμηλής ισχύος και χαμηλού κόστους, τα οποία πάνω από όλα θα έχουν τη δυνατότητα να δέχονται δυναμικές επαναπροσαρμογές. Μία συσκευή WPAN πρέπει να μπορεί να καταλαβαίνει ανά πάσα στιγμή σε ποιο δικτυακό περιβάλλον βρίσκεται, έτσι ώστε να μετακινείται από το ένα είδος δικτύου στο άλλο χωρίς ο τελικός χρήστης να αντιλαμβάνεται την οποιαδήποτε διαφορά στην ποιότητα των υπηρεσιών που λαμβάνει. Για να επιτύχει τους στόχους του, το WPAN πρέπει να αντιμετωπίσει σημαντικά ζητήματα, όπως: α) Θέματα εξοικονόμησης ενέργειας και αποδοτικότητας του χρησιμοποιούμενου φάσματος συχνοτήτων, β) Ακριβής ορισμός των πιθανών φυσικών επιπέδων και των όσο το δυνατόν αποδοτικότερων τεχνικών πρόσβασης, γ) Δυνατότητες δικτύωσης ad-hoc, δ) Θέματα ανερχόμενων μεσοσπικτικών αρχιτεκτονικών, ε) Διάφορα προηγμένα θέματα ασφάλειας, στ) Ανθρωποκεντρικά ζητήματα, που αφορούν τη βελτίωση της καθημερινής ζωής του ανθρώπου κ.ο.κ [4].

Οι δραστηριότητες προτυποποίησης που έχουν να κάνουν με το WPAN συνεχίζονται μέσα στις διάφορες ερευνητικές ομάδες που συγκροτούνται κατά καιρούς από την ομάδα 802.15 της IEEE [5]. Ο κύριος στόχος αυτών των ομάδων είναι η βελτίωση της καθημερινής ζωής των ανθρώπων, γι' αυτό το λόγο άλλωστε διαφέρουν και από τα άλλα υπάρχοντα πρότυπα ασύρματων δικτύων. Παρόλα αυτά υπάρχουν πάρα πολλές απαιτήσεις που δεν έχουν εκπληρωθεί και απαιτείται η ανάπτυξη ενός νέου συστήματος, το οποίο θα μπορεί να υποστηρίξει ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης. Το νέο πρότυπο που βρίσκεται ήδη στα σκαριά της σχεδίασης θα ονομαστεί B-PAN (Ευρυζωνικό PAN) και θα είναι σε θέση να υποστηρίξει ταχύτητες μετάδοσης μέχρι και 1 Gbps (σύμφωνα με τις πιο αισιόδοξες προβλέψεις). Είναι προφανές ότι το B-PAN θα μπορέσει να καλύψει τις ανάγκες ακόμα και των πιο απαιτητικών χρηστών του μέλλοντος.

## 4.5 ΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΥΡΕΙΑΣ ΖΩΝΗΣ B-PAN

Το B-PAN αναμένεται να ολοκληρώσει το όραμα όσων ερευνητών μιλούσαν πριν από πολλά χρόνια για ένα δικτυακό περιβάλλον όπου όλα τα είδη δικτύων θα ήταν ενοποιημένα και θα μπορούσαν να επικοινωνούν μεταξύ τους. Σύμφωνα πάντα λοιπόν με τις σκέψεις του σήμερα (γιατί κανένας δε μπορεί να προδικάσει το μέλλον, ειδικά στον τομέα των τηλεπικοινωνιών), η κατάσταση, μέσα σε λίγα χρόνια από τώρα, θα μοιάζει πάρα πολύ με την κατάσταση που περιγράφεται στο σχήμα 4.3. Πιο συγκεκριμένα, αναμένεται να υπάρχουν τέσσερα επίπεδα δικτύωσης. Στο πρώτο επίπεδο, βρίσκουμε το B-PAN, το οποίο θα καλύπτει τις ανάγκες των χρηστών σε μία πάρα πολύ μικρή εμβέλεια. Στο δεύτερο επίπεδο θα υπάρχουν τα γνωστά μας PAN, στο τρίτο τα WLAN και τέλος η κινητή κυβελοειδής τηλεφωνία αναμένεται να καλύπτει το σύνολο του πλανήτη με τη βοήθεια βέβαια των δορυφορικών συστημάτων.

Το B-PAN λοιπόν αναμένεται να λειτουργεί σε πολύ υψηλές συχνότητες (της τάξεως των 60 GHz) υποστηρίζοντας ανάλογα υψηλές ταχύτητες μετάδοσης (έως και 1 Gbps). Επίσης αναμένεται να υλοποιήσει νέες τεχνολογίες, όπως είναι η UWB, η υποστήριξη φωνής πάνω από το B-PAN (Voice-Over B-PAN) και η τεχνική MIMO. Ακόμα ιδιαίτερη σημασία θα δοθεί στην εγγύηση της παροχής όσο το δυνατόν καλύτερων υπηρεσιών (QoS). Θα καθοριστούν διαφορετικές μέθοδοι πρόσβασης και διεπαφές εφαρμογών και το όλο σύστημα θα υποστηρίζεται από διάσπαρτα ευφυή τερματικά πολλαπλής πρόσβασης, μέσω των οποίων κάποιος θα μπορεί να μιλάει, να στέλνει μηνύματα και να ανακτά διαφόρων ειδών πληροφορίες. Το B-PAN ανήκει στην οικογένεια των ασύρματων δικτύων που εμφανίζεται να είναι μια από τις πολλά υποσχόμενες αρχιτεκτονικές, η οποία αν βέβαια προτυποποιηθεί σύμφωνα με τις σημερινές προδιαγραφές θα ανοίξει νέους δρόμους στον τομέα των τηλεπικοινωνιών [2].



Σχήμα 4.3 : Η επιθυμητή δικτυακή ενοποίηση του μέλλοντος [2]

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.3) φαίνονται οι διαφορές των τεχνολογιών που εξετάσαμε μέχρι στιγμής βάσει κάποιων γενικών κύριων χαρακτηριστικών τους :

<b>Χαρακτηριστικά</b>	<b>UTRAN</b>	<b>WLAN</b>	<b>Bluetooth</b>	<b>PAN</b>	<b>B-PAN</b>
<b>Ρυθμός μετάδοσης</b>	Μέχρι 2 Mbps	5.1-54 Mbps	Μέχρι 721 Kbps	Μέχρι 10 Mbps	Μέχρι 1 Gbps
<b>Τεχνική πρόσβασης</b>	W-CDMA	OFDM	DS ή FH	OFDM	OFDM/DS-CDMA/SHF-CDMA
<b>Ακτίνα κυψέλης</b>	30m-20km	50-300m	0.1-10m	Λίγα μέτρα	Λίγα μέτρα
<b>Κινητικότητα</b>	Υψηλή	Χαμηλή	Πολύ χαμηλή	Πολύ χαμηλή	Πολύ χαμηλή
<b>Προτυποποίηση</b>	1999	2000	1999	2004	2012
<b>Ζώνη Συχνότητας</b>	2 GHz	5 GHz	2.4 GHz	5/10 GHz	60 GHz

**Πίνακας 4.3 : Τεχνικά χαρακτηριστικά για τις διαφόρων ειδών ασύρματες τεχνολογίες [2]**

## 4.6 WPANs VS WLANs

Λαμβάνοντας υπόψιν μας τη γρήγορη ανάπτυξη και διάδοση των προτύπων WLAN κατά τη διάρκεια των πρόσφατων ετών, είναι φυσικό να προκύπτει το ακόλουθο ερώτημα : γιατί υπάρχει έρευνα για τα WPANs όταν υπάρχει ήδη μια απτή απόδειξη ότι τα WLAN μπορούν να πετύχουν σχεδόν τα πάντα στο χώρο των ασύρματων επικοινωνιών; Πράγματι, με μία πρώτη ματιά, κάποιος μπορεί να ισχυριστεί ότι πολλές από τις λειτουργίες των WPAN υλοποιούνται και στα WLAN και επομένως η ύπαρξη των πρώτων είναι ουσιαστικά μη αποδοτική, αν όχι άχρηστη. Παρόλα αυτά, υπάρχουν μερικές σημαντικές διαφορές μεταξύ των WLANs και των WPANs, που αξίζει να αναφέρουμε σε αυτό το σημείο.

Οι τεχνολογίες WPAN δίνουν έμφαση στο χαμηλότερο κόστος και τη μικρή κατανάλωση ενέργειας, συνήθως εις βάρος της εμβέλειας του σήματος και της μέγιστης ταχύτητας μετάδοσης των δεδομένων. Οι τεχνολογίες WLAN δίνουν έμφαση στην επίτευξη όσο το δυνατόν υψηλότερων ταχυτήτων μετάδοσης και τη μεγαλύτερη εμβέλεια του σήματος εις βάρος φυσικά του κόστους και της κατανάλωσης ενέργειας. Πιο χαρακτηριστικά, τα WLANs παρέχουν τις ασύρματες συνδέσεις από τους φορητούς υπολογιστές στο ενσύρματο τοπικό δίκτυο (LAN) μέσω των σημείων πρόσβασης (Access Points). Μέχρι σήμερα, το πρότυπο 802.11b έχει κερδίσει ευρέως και πολύ γρήγορα την αγορά, όντας το πιο αναγνωρίσιμο πρότυπο WLAN. Αν και κάθε τεχνολογία βελτιστοποιείται με βάση το είδος των εφαρμογών που επιθυμεί να υλοποιήσει, κανένα αυστηρό όριο δεν ορίζει πώς και πότε οι διάφορες συσκευές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις τεχνολογίες WPAN ή WLAN. Πιο συγκεκριμένα, και οι δύο τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μεταφορά δεδομένων ή φωνής στο Διαδίκτυο, με τις ασύρματες τεχνολογίες WLAN να είναι γενικά καταλληλότερες για τα lap-top και τις τεχνολογίες WPAN να είναι καταλληλότερες για τα κινητά τηλέφωνα και όλες τις διάφορες άλλες μικρές φορητές ηλεκτρονικές συσκευές (βλ. Σχήμα 4.1). Ένα προβληματικό θέμα για τα πρότυπα 802.11b και 802.15 είναι το ζήτημα της συνύπαρξής τους επειδή και τα δύο λειτουργούν στην ίδια περιοχή συχνοτήτων. Έτσι, παρατηρείται το φαινόμενο ότι όταν χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα, η μία τεχνολογία να υποβιβάζει την απόδοση της άλλης. Το πρόβλημα αυτό λύθηκε βέβαια με την ανάπτυξη των νέων προτύπων 802.11, όπως το 802.11a, αλλά αυτό δε σημαίνει πως έχει πάψει να υφίσταται μέχρι και σήμερα [2].

## 4.7 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Είναι αλήθεια πως τα τελευταία τρία χρόνια παρατηρείται μία στροφή της ερευνητικής κοινότητας των δικτύων 4G προς την ενοποίηση των δικτύων UMTS και WLAN. Άλλωστε ήδη έχουν αρχίσει να εκδίδονται και διάφορα πρότυπα από την 3GPP. Τα WPAN δείχνουν να έχουν ελαφρώς παραγκωνιστεί, παρόλο που αρχικές εκτιμήσεις τα προηγούμενα χρόνια έδειχναν ακριβώς το αντίθετο. Αυτό ίσως εξηγείται, καθώς προτεραιότητα για τους ερευνητές αποτελεί η εξασφάλιση όσο των δυνατών υψηλότερων ταχυτήτων μετάδοσης των δεδομένων κάτι που φέρνει τα WLAN στην πρώτη γραμμή της ερευνητικής δραστηριότητας.

Παρόλα αυτά, όμως, είναι ανάγκη να σκεφτόμαστε ακόμα πιο μακριά από το άμεσο μέλλον, στο οποίο ο ρόλος των WPAN θα είναι πολύ σημαντικότερος. Άλλωστε ο στόχος των ενοποιημένων συστημάτων 4G, που συνοψίζεται στο σχήμα 4.3, δε δείχνει να βρίσκεται στο πολύ κοντινό μας μέλλον, τηρουμένων βέβαια των αναλογιών που υπάρχουν στον τομέα των τηλεπικοινωνιών όσον αφορά τα χρονικά διαστήματα.

Κλείνοντας λοιπόν το πρώτο μέρος της παρούσας διπλωματικής μας και έχοντας υπόψιν μας τα τρία κεφάλαια που προηγήθηκαν, μπορούμε να πούμε ότι δώσαμε ιδιαίτερο βάρος στις τεχνολογίες UMTS και WLAN, χωρίς ωστόσο να παραγνωρίζουμε τη σημαντικότητα της WPAN τεχνολογίας. Απλά, αφιερώσαμε περισσότερο χώρο στα κεφάλαια 2 και 3, καθώς τα θέματα που αναλύθηκαν θα μας φανούν χρήσιμα (άμεσα ή έμμεσα) στις τελικές μας προσομοιώσεις. Αντίθετα, στο κεφάλαιο 4 επιλέξαμε να ασχοληθούμε περισσότερο με προβλήματα και προκλήσεις του μέλλοντος που έχουν βέβαια να κάνουν με τη λογική των συστημάτων της τέταρτης γενιάς, καθώς αφενός δεν πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε έννοιες των WPAN στα τελικά μας πειράματα και αφετέρου γιατί εκ των πραγμάτων, η ανάλυση μελλοντικών θεμάτων που έχουν σχέση με τα WPAN έχουν προς το παρόν προτεραιότητα.

## 4.8 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Frank Kargl, Elaine Lawrence, Gergely Zaruba, **Introduction to the Minitrack on Wireless Personal Area Networks (WPANs)**, 2004.

[2] Ramjee Prasad, Luis Munoz, **WLANs and WPANs towards 4G Wireless**, Artech House Inc., 2003, (Κεφάλαιο 6 σελ. 183-188 και 206-212).

[3] Andrew S. Tanenbaum, **Δίκτυα Υπολογιστών** (4<sup>η</sup> Έκδοση), 2003, (Κεφάλαιο 4 σελ. 366-374).

[4] Ramjee Prasad, **OFDM for Wireless Communication Systems**, Artech House Inc., 2004, (Κεφάλαιο 3, σελ. 73-76).

[5] IEEE 802.15: <http://grouper.ieee.org/groups/802/15> .

# **ΜΕΡΟΣ 2<sup>ο</sup>**

## **ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ UMTS-WLAN ΚΑΙ ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΑ 4G ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> – ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ 4G – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ Β3G

## 5.1 ΓΡΗΓΟΡΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ – ΠΩΣ ΦΤΑΣΑΜΕ ΣΤΑ Β3G ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα πρώτα κυψελοειδή τηλεφωνικά συστήματα (η πρώτη ασύρματη τεχνολογία) εισήχθησαν προς το τέλος της δεκαετίας του 1970. Μοντελοποιήθηκαν μετά από πολλά χρόνια ευρείας χρησιμοποίησης των ενσύρματων τηλεφωνικών συστημάτων και μετέδιδαν δεδομένα αναλογικής μορφής διαμέσου του ασύρματου δικτύου. Ονομάστηκαν ασύρματα συστήματα πρώτης γενιάς (1G) όταν βέβαια αναπτύχθηκε και η δεύτερη γενιά ασύρματων συστημάτων κατά τη δεκαετία του 1990. Τα τελευταία συστήματα (2G) μετέδιδαν τα δεδομένα φωνής σε ψηφιακή μορφή. Οι συνοδευτικές εφαρμογές του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και της περιήγησης στο Διαδίκτυο αναφέρονται συχνά ως τεχνολογίες 2.5G. Η τρίτη γενιά (3G) των ασύρματων τεχνολογιών βρίσκεται ήδη στο προσκήνιο τα τελευταία χρόνια. Έχει σχεδιαστεί ειδικά για εφαρμογές πολυμέσων, που απαιτούν ρυθμούς μετάδοσης από 128 kbps μέχρι λίγα Mbps. Οι προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης της ερευνητικής κοινότητας έχουν επικεντρωθεί τα τελευταία χρόνια στην επόμενη γενεά ασύρματων τεχνολογιών, που ονομάζονται 4G (τέταρτης γενιάς) ή Β3G (πέρα από τα 3G). Αυτά τα συστήματα υπολογίζεται ότι θα είναι σε θέση να υποστηρίξουν ταχύτητες μέχρι και 1 Gbps ή ίσως και παραπάνω. Το έτος 2010 έχει τεθεί ως στόχος, όπου θα επιτευχθεί η προτυποποίηση των συστημάτων τέταρτης γενιάς. Μερικές εφαρμογές βέβαια αναμένεται να υλοποιηθούν ακόμα και μέσα στο έτος που διανύουμε (2007). Η τεχνολογία Β3G αναμένεται να καταστήσει πιθανή τη δυνατότητα αυτών των δικτύων, έτσι ώστε ένας απλός χρήστης να μπορεί να παρακολουθεί τηλεόραση και κινηματογραφικές ταινίες μέσω του κινητού του [1, 2]. Για να πραγματοποιηθούν όμως όλα αυτά, θα πρέπει ωρρίτερα να διερευνηθούν νέες ανερχόμενες τεχνολογίες που αφορούν τις αρχιτεκτονικές του μέλλοντος, όπως για παράδειγμα είναι τα θέματα που προκύπτουν από την ενοποίηση των υπαρχουσών τεχνολογιών, η ανάγκη για μεγάλες ταχύτητες κατά τη μετάδοση των δεδομένων, η δικτύωση ad-hoc, τα δορυφορικά συστήματα, τα θέματα παραχώρησης του διαθέσιμου φάσματος και πολλά άλλα, τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω σε αυτό το κεφάλαιο. Η ομάδα IEEE 802.20 έχει αναλάβει την ευθύνη της περάτωσης ενός ολοκληρωμένου προτύπου, το οποίο θα αφορά τα συστήματα τέταρτης γενιάς. Αυτή εργασία είναι αρκετά περίπλοκη, έτσι όπως αποδεικνύεται, καθώς το νέο σύστημα πρέπει να χρησιμοποιεί συμβατές τεχνολογίες με όλα τα υπάρχοντα συστήματα.

Είναι πάντως γεγονός ότι μπορούν να αναπτυχθούν πολλές χρήσιμες και ενδιαφέρουσες υπηρεσίες και εφαρμογές, κάνοντας βέβαια την υπόθεση της ύπαρξης ενός καθολικού δικτύου, το οποίο θα παρέχει τις υπηρεσίες του γρήγορα και ανεξάρτητα από το πού βρίσκεται ένας απλός χρήστης.



## 5.2 ΣΤΟΧΟΙ ΤΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ B3G – ΟΡΑΜΑΤΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

Οι σχεδιαστές των συστημάτων B3G έχουν κυρίως τους ακόλουθους στόχους: (1) ρυθμοί μετάδοσης των δεδομένων 1 Gbps σε τοπικό επίπεδο και 100 Mbps σε περιοχές ευρείας κάλυψης, (2) διασύνδεση ετερογενών αυτόνομων συστημάτων με βάση το στρώμα δικτύου (all-IP networking), (3) καθολικές, κινητές και ομοιόμορφες επικοινωνίες (στις συνομιλίες και στις διάφορες άλλες μεταφορές δεδομένων), (4) μικρότερες καθυστερήσεις, (5) καθυστερήσεις στις διαδικασίες σύνδεσης που δε θα ξεπερνούν τα 500 ms, (6) καθυστερήσεις κατά τη μετάδοση μικρότερες των 50 ms, (7) το κόστος ανά bit να είναι σημαντικά μικρότερο (10 έως και 100 φορές) σε σχέση με το αντίστοιχο κόστος στα δίκτυα 3G, (8) το κόστος υποδομής να είναι χαμηλότερο έως και δέκα φορές (σε σχέση με το αντίστοιχο κόστος για τα δίκτυα 3G) [1].

Προβλέπεται ότι αυτού του είδους η τεχνολογία θα επιτρέψει την ακόμα μεγαλύτερη ανάπτυξη και διάδοση του ηλεκτρονικού εμπορίου, την αύξηση της παραγωγικότητας της εργασίας, ενώ αναμένεται να παρέχει πολλούς και διαφορετικούς τρόπους για να ψυχαγωγείται ακόμα και ο πιο απλός χρήστης. Η τεχνολογία B3G μπορεί μια ημέρα να βρίσκεται σε όλα τα οχήματα, τους δημόσιους χώρους, στα νοσοκομεία, στα σχολεία, και βέβαια σε όλους τους χώρους ψυχαγωγίας. Η έννοια του προσωπικού manager αναμένεται να γίνει πολύ οικείος όρος ακόμα και για τον πιο απλό χρήστη, καθώς ο τελευταίος θα έχει τη δυνατότητα να ενημερώνεται συνεχώς κατά τη διάρκεια της ημέρας και σε οποιοδήποτε σημείο και αν βρίσκεται για την πορεία του χρηματιστηρίου, τα διεθνή και τα εσωτερικά νέα, τα νέα για τον καιρό, τα εφημερεύοντα νοσοκομεία ή φαρμακεία κ.ο.κ.

## 5.3 ΦΑΣΜΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ – ΤΙ ΙΣΧΥΕΙ ΣΗΜΕΡΑ

Η τεχνολογία B3G απαιτεί υψηλό εύρος ζώνης προκειμένου να παρέχονται οι πολυμεσικές υπηρεσίες με χαμηλότερο κόστος από αυτό που ισχύει σήμερα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, τα συστήματα B3G θα λειτουργήσουν πιθανότατα στη ζώνη συχνοτήτων 5,2-5,9 GHz. Πρέπει να τονιστεί, εντούτοις, ότι υπάρχουν σοβαρά ζητήματα κατανομής του υπάρχοντος φάσματος, ειδικά όταν μιλάμε για την υλοποίηση των συστημάτων της επόμενης γενιάς. Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί η χρησιμοποίηση του φάσματος σήμερα δεν είναι αποδοτική. Απαιτείται λοιπόν ένας προσεκτικός και μακροπρόθεσμος σχεδιασμός, έτσι ώστε στο μέλλον να υπάρχουν αλγόριθμοι, οι οποίοι θα βοηθούν στη σωστή και κυρίως την όσο το δυνατό αποδοτικότερη διαχείριση του φάσματος συχνοτήτων. Επιπλέον, έτσι όπως έχουν τώρα τα πράγματα, θα ήταν κάτι παραπάνω από επιθυμητή η παγκόσμια τυποποίηση της κατανομής φάσματος για τα B3G συστήματα, έτσι ώστε να μπορούν να επιτευχθούν οι στόχοι που έχουν θέσει οι σχεδιαστές αυτών των μελλοντικών συστημάτων.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, φαίνεται ότι έχουν ήδη αρχίσει οι προσπάθειες για τη λύση του συγκεκριμένου προβλήματος. Η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC) έχει διαπιστώσει ότι υπάρχουν μεγάλα κομμάτια του διατιθέμενου φάσματος που μένει αχρησιμοποίητο. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν ορισμένα κομμάτια του φάσματος που χρησιμοποιούνται μόνο σε ορισμένες γεωγραφικές περιοχές και υπάρχουν άλλα κομμάτια που χρησιμοποιούνται μόνο για μικρές χρονικές περιόδους. Οι μελέτες έχουν δείξει ότι ακόμη και μια απλή επαναχρησιμοποίηση του φάσματος που σπαταλείται μπορεί να

βελτιώσει αισθητά την κατάσταση. Έτσι, συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι το κύριο πρόβλημα δεν έγκειται στο ότι το φάσμα είναι λιγοστό, αλλά στο ότι δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμα τεχνικές «καλύτερης» κατανομής του φάσματος, οι οποίες θα μας επιτρέπουν την αποδοτικότερη διαχείρισή του [1].

Το πρόγραμμα DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) αναπτύσσει μια νέα γενιά στην τεχνολογία πρόσβασης φάσματος, η οποία είναι προσανατολισμένη στην προηγμένη διαχείριση φάσματος για τις επικοινωνιακές υπηρεσίες. Το DARPA ακολουθεί μια προσέγγιση όπου η στατική κατανομή του φάσματος συμπληρώνεται από την καιροσκοπική χρήση του αχρησιμοποίητου φάσματος. Αυτή η προσέγγιση ονομάζεται καιροσκοπική πρόσβαση φάσματος (opportunistic spectrum access) και τα βασικά της μέρη είναι τα ακόλουθα: (1) προηγείται η ανίχνευση του φάσματος στο οποίο θέλουμε να μεταδώσουμε (για να δούμε αν είναι καταρχήν διαθέσιμο), (2) ακολουθεί αναζήτηση για τυχόν «τρύπες» (δηλ. αχρησιμοποίητο κομμάτι του φάσματος) που μπορεί να εμφανίζονται και (3) τέλος πραγματοποιείται η μετάδοση σε μία τέτοια συχνότητα, όπου είναι αδύνατο να υπάρξουν παρεμβολές.

Το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών (NSF) χρηματοδοτεί ένα ερευνητικό πρόγραμμα που ονομάζεται Προγραμματιζόμενη Ασύρματη Δικτύωση (Programmable Wireless Networking). Αυτό το ερευνητικό πρόγραμμα διαχειρίζεται τη λύση των προβλημάτων που προκύπτουν από το γεγονός ότι τα ασύρματα συστήματα σήμερα χαρακτηρίζονται από τις σπάταλες στατικές κατανομές του διαθέσιμου φάσματος, τις στατικές ραδιολειτουργίες, και τον περιορισμένο συντονισμό που υπάρχει μεταξύ των δικτύων και των συστημάτων. Η ερευνητική προσπάθεια του NSF είναι βασισμένη στην έννοια των προγραμματίσιμων ραδιοσυστημάτων (Programmable Radio Systems). Τα προγραμματίσιμα ραδιοσυστήματα προσφέρουν μεταξύ άλλων τη δυνατότητα της χρησιμοποίησης δυναμικών τεχνικών διαχείρισης φάσματος που επιτρέπουν την ύπαρξη μικρότερης πιθανότητας παρεμβολών, τη βελτίωση της παρεχόμενης ποιότητας των υπηρεσιών, τη δυνατότητα ραγδαίας ανάπτυξης δικτύων και δημιουργίας νέων υπηρεσιών και τη βελτίωση της διαλειτουργικότητας μεταξύ των ετερογενών δικτύων.

Στην επόμενη παράγραφο γίνεται μία προσπάθεια να αναλυθούν συνοπτικά οι διάφορες τεχνικές διαμόρφωσης, οι οποίες έχουν προταθεί μέχρι σήμερα. Η κάθε μία από αυτές έχει τις δικές της ιδέες για την αντιμετώπιση του προβλήματος της αποδοτικής κατανομής του διαθέσιμου φάσματος.

## **5.4 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ B3G**

**OFDM** : Η διαμόρφωση πολλαπλών φέροντων σημάτων (Multi-carrier Modulation) αποτελεί την τεχνολογία κλειδί για τα συστήματα B3G, και η Ορθογωνική Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας (OFDM) είναι η κύρια τεχνική που προτείνεται από τους σχεδιαστές. Η OFDM έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στο πρότυπο 802.11a για τα WLANs. Προτάθηκε αρχικά για τους απλούς χρήστες αλλά επεκτάθηκε και για πολλαπλούς χρήστες (multiusers), όπως παραδείγματος χάριν η OFDMA, που υποστηρίζει την πολλαπλή πρόσβαση. Συνήθως, η OFDM συνδυάζεται με άλλες τεχνικές πρόσβασης, όπως η CDMA και η TDMA, για να επιτρέψει περισσότερη ευελιξία στα σενάρια πολλών χρηστών (multiuser scenarios). Η

Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Κώδικα Πολλαπλών Φέροντων Σημάτων (MC-CDMA) είναι μια άλλη τεχνική πρόσβασης που έχει μεγάλες δυνατότητες. Οι τεχνικές OFDM και CDMA είναι αρκετά ανθεκτικές στο πρόβλημα της διάλειψης πολλαπλής διαδρομής (multipath fading), κάτι το οποίο αποτελεί μια πρωταρχική απαίτηση για αυτού του είδους τις τεχνικές που συζητάμε. Με τους επικαλύπτοντες ορθογώνιους φορείς, η OFDM αποδεικνύεται πως είναι μία τεχνική που διαχειρίζεται αρκετά αποδοτικά το διαθέσιμο φάσμα. Ακόμα μπορεί να αντιμετωπίσει καλύτερα το πρόβλημα της διασυμβολικής παρεμβολής (intersymbol interference), το οποίο εμφανίζεται στα κανάλια πολλαπλών διαδρομών. Τέλος, μπορούμε να καταλήξουμε λέγοντας πως τα πλεονεκτήματα της OFDM είναι η αποδοτική χρησιμοποίηση του φάσματος και η ανθεκτικότητα που επιδεικνύει στην εξάπλωση των καθυστερήσεων. Από την άλλη μεριά βέβαια, στα μειονεκτήματά της μπορούμε να συμπεριλάβουμε τις αυστηρές απαιτήσεις που έχει σχετικά με το συγχρονισμό χρόνου και συχνότητας, όπως και το γεγονός ότι είναι επιρρεπής στο επωνομαζόμενο πρόβλημα του λόγου της μέγιστης προς τη μέση τιμή ενεργειακής ισχύος (peak-to-average power ratio - PAPR) [3, 4, 5].

**Μη συμβατικές τεχνικές πρόσβασης :** Οι πολυαλματικές (multi-hop) προσεγγίσεις, φαίνεται πως αποτελούν μια αποτελεσματική λύση στο πρόβλημα της ταυτόχρονης επίτευξης ευρείας κάλυψης και υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης των δεδομένων. Με τη χρησιμοποίηση σταθμών αναμετάδοσης (relaying stations), η απόσταση μεταξύ του σταθμού βάσης και των κινητών σταθμών (ή τερματικών) μπορεί να μειωθεί. Επίσης, μπορεί να επιτευχθεί ο στόχος της αποδοτικής διαχείρισης του φάσματος δεδομένου ότι μερικοί πόροι (κομμάτια του φάσματος) μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν στους διαφορετικούς σταθμούς αναμετάδοσης, δηλαδή σε κάθε διαφορετικό hop που γίνεται.

**Τεχνικές MIMO :** Οι τεχνικές Πολλαπλών Κεραιών συγκαταλέγονται μεταξύ των σημαντικότερων τεχνολογιών που μπορούν να βρουν εφαρμογή στα συστήματα B3G. Σε γενικές γραμμές, εκτιμάται πως η συγκεκριμένη τεχνική ίσως είναι η αποδοτικότερη από πλευράς διαχείρισης φάσματος. Με την εκμετάλλευση αυτού του είδους των τεχνικών, μπορούν να αυξηθούν οι ρυθμοί μετάδοσης των δεδομένων, να βελτιωθεί η ποιότητα των συνδέσεων, να μεγαλώσει η περιοχή κάλυψης, και να βελτιωθεί η διεκπεραιωτική ικανότητα των δικτύων. Τρεις προσεγγίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ο διαφορισμός κεραίας (diversity), η διαμόρφωση δέσμης ραδιοσήματος (beam-forming - έξυπνες κεραίες), και η πολύπλεξη στο χώρο (spatial multiplexing). Οι τεχνικές διαφορισμού εκμεταλλεύονται το γεγονός ότι τα συσχετιζόμενα κανάλια εξασθενίζουν ανεξάρτητα. Η διαδικασία αυτή του διαφορισμού είναι σε θέση να βελτιώσει τη μέση τιμή του λόγου του σήματος προς το θόρυβο. Στην προσέγγιση της διαμόρφωσης δέσμης ραδιοσήματος, τα σήματα συνδυάζονται με συνοχή (είτε στον παραλήπτη είτε στον αποστολέα), ώστε να βελτιωθεί η απάντηση της κεραιοσυστοιχίας (array) στις επιθυμητές κατευθύνσεις. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει επίσης την εγκαθίδρυση κατευθυντικών ζεύξεων. Ακόμα, υποτίθεται ότι το κανάλι ή η κατεύθυνση στόχου είναι γνωστή τόσο στον αποστολέα όσο και στο δέκτη. Σε αντίθεση με την προηγούμενη προσέγγιση, εδώ δεν επηρεάζεται η μεταβλητότητα του σήματος (π.χ., παράμετροι εξασθένησης σήματος). Η προσέγγιση της πολύπλεξης στο χώρο προσφέρει μια γραμμική αύξηση στη χωρητικότητα εκμεταλλευόμενη την παράλληλη μετάδοση διαφορετικών πληροφοριών από διαφορετικές κεραίες. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για την επίτευξη του πρώτου επιδιωκόμενου στόχου για την ανάπτυξη των B3G συστημάτων, που δεν είναι άλλος από την όσο το δυνατόν αποδοτικότερη διαχείριση του διαθέσιμου φάσματος [1].

**AMC :** Η τεχνική της Προσαρμοστικής Διαμόρφωσης και Κωδικοποίησης (AMC) είναι μια μορφή προσαρμογής των παραμέτρων των συνδέσεων που χρησιμοποιείται για να ισοσκελίσει τα συνεχώς μεταβαλλόμενα χαρακτηριστικά ενός ασύρματου καναλιού. Η AMC επιλέγει κάθε φορά τον καταλληλότερο αλγόριθμο διαμόρφωσης και κωδικοποίησης σύμφωνα πάντα με τις συνθήκες που επικρατούν κάθε φορά στο κανάλι. Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι η AMC είναι αποτελεσματικότερη ως τεχνική στα δίκτυα που βασίζονται εξ ολοκλήρου στη μεταγωγή πακέτων, δηλαδή στα δίκτυα του μέλλοντος.

**SDR :** Δεδομένου ότι θα χρησιμοποιηθούν διαφορετικές ασύρματες διεπαφές στα B3G συστήματα, η τεχνική Software Defined Radio (SDR) φαίνεται να είναι μια οικονομικώς αποδοτική λύση, έτσι ώστε να επιτευχθεί η υλοποίηση διάφορων τεχνικών πρόσβασης στο ίδιο τερματικό. Η SDR χρησιμοποιεί μια ευέλικτη αρχιτεκτονική που επιτρέπει την επαναπαραμετροποίηση της ασύρματης διεπαφής. Αυτό επιτρέπει τη λειτουργία ασύρματων διεπαφών πολλαπλών προτύπων πάνω από μια κοινή πλατφόρμα υλικού (hardware), κάτι που μπορεί να λύσει πολλά προβλήματα που έχουν να κάνουν με την έννοια της συμβατότητας μεταξύ διαφόρων εφαρμογών ή συστημάτων. Η SDR επιτρέπει δυναμικές τροποποιήσεις στις ραδιοσυχνότητες, αλλά και στο επίπεδο MAC του τερματικού. Η βελτίωση της ευελιξίας των συστημάτων που προκύπτει από τη δυνατότητα της επαναπαραμετροποίησης σε πραγματικό χρόνο ανοίγει ένα νέο δρόμο για τις δυνατότητες που μπορούν να έχουν οι χρήστες και οι διαχειριστές των δικτύων, καθώς επίσης και οι φορείς παροχής υπηρεσιών και οι κατασκευαστές τερματικών συσκευών του μέλλοντος.

Κλείνοντας αυτή την παράγραφο, κρίνουμε απαραίτητο να συνοψίσουμε όλα όσα προαναφέρθηκαν. Η στροφή λοιπόν σε μία λογική B3G, απαιτεί εκ των πραγμάτων μια υψηλή φασματική αποδοτικότητα. Μία φυσική συνέπεια της απαίτησης αυτής είναι η ανάγκη για συνεργασία μεταξύ των υποδικτύων και η ευρεία χρήση σταθμών αναμετάδοσης. Οι ρυθμιστικές αλλαγές που προτείνονται από τις τεχνικές που αναλύθηκαν παραπάνω θα μπορούσαν να ελευθερώσουν αρκετό εύρος ζώνης που σπαταλιέται στις μέρες μας για διάφορους λόγους. Τα κομμάτια αυτά φάσματος που θα εξοικονομηθούν μπορούν να αφιερωθούν για τα συστήματα B3G. Οι, κατά γενική ομολογία, αποδοτικότερες τεχνικές διαμόρφωσης που διερευνώνται παραπάνω δε μπορούν να ενσωματωθούν στις αρχιτεκτονικές 3G. Αυτός ήταν άλλωστε ο κύριος λόγος που η έρευνα για τα συστήματα τέταρτης γενιάς ξεκίνησε πολύ πριν ολοκληρωθεί η προτυποποίηση της 3G τεχνολογίας. Μαζί με τις ρυθμιστικές αλλαγές, πολλά άλλα θέματα πρέπει να ληφθούν υπόψιν των ερευνητών προτού λάβει χώρα η προτυποποίηση των συστημάτων της επόμενης γενιάς. Αυτά τα θέματα είναι μεταξύ άλλων διάφορες αποφάσεις σχετικά με τους τρόπους κατανομής του διαθέσιμου φάσματος, οι αποφάσεις που θα παρθούν και θα αφορούν σε ποια περιοχή του φάσματος θα λειτουργούν τα εν λόγω συστήματα, οι τεχνολογικές καινοτομίες, η επεξεργασία σήματος κ.ο.κ. Η προτυποποίηση των ενοποιημένων ασύρματων δικτύων στις μέρες μας από την άποψη των τεχνικών διαμόρφωσης και των διαδικασιών περιαγωγής (πέραςμα από το ένα είδος δικτύου σε ένα άλλο χωρίς κανένα πρόβλημα) κρίνεται ως κάτι παραπάνω από αναγκαία. Εντούτοις, η B3G δεν αποτελεί μια ανεξάρτητη αρχιτεκτονική που πρόκειται να αντικαταστήσει όλα τα υπάρχοντα συστήματα. Οι σχεδιαστές πρέπει να βασίσουν το όραμα της B3G αρχιτεκτονικής σε υβριδικές ιδέες που θα ενοποιούν τα ασύρματα WANs, τα ασύρματα LANs (IEEE 802.11a, 802.11b κλπ.), την τεχνολογία Bluetooth και τα δορυφορικά συστήματα με όλα τα σημερινά ενσύρματα δίκτυα κορμού. Επιπλέον, πρέπει να γίνει τέτοιος προγραμματισμός που θα επιτρέψει μια ομαλή μετάβαση από την τρέχουσα κατάσταση των υπάρχοντων δικτύων στην εύρυθμη συνύπαρξή τους με τα B3G συστήματα [2].

## 5.5 ΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΥΠΑΡΧΟΥΣΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Όπως αναφέρεται και παραπάνω, τα συστήματα B3G έρχονται περισσότερο για να αφομοιώσουν και να ενοποιήσουν τις υπάρχουσες τεχνολογίες, παρά για να τις αντικαταστήσουν. Προβλέπεται ότι τα παρόντα κινητά κυψελοειδή συστήματα θα κατέχουν εξέχοντα ρόλο στα συστήματα B3G, τα οποία θα δίνουν τη δυνατότητα στις κινητές συσκευές να περιπλανιούνται χωρίς προβλήματα από τα ασύρματα δίκτυα μητροπολιτικής περιοχής (WMAN) στα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και στα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN) και αντίστροφως. Τα τελευταία χρόνια έχουν βγει στην επιφάνεια πολλές τεχνολογίες WPAN, και ειδικά το Bluetooth είναι στις μέρες μας η πιο ευρύτατα διαδεδομένη τεχνολογία WPAN στην αγορά, καθώς βρίσκει εφαρμογή σε πολλές μικρές φορητές συσκευές. Μάλιστα, ο αριθμός των συσκευών που διακινούνται στην αγορά και χρησιμοποιούν τεχνολογία Bluetooth αναμένεται να ξεπεράσει τα 30.000.000 το 2007.

Στα δίκτυα επόμενης γενιάς, όπου όλα τα υπάρχοντα ετερογενή δίκτυα θα είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους, αυτό που είναι πολύ λογικό είναι να αναμένουμε την ύπαρξη πιο εξελιγμένων φορητών συσκευών που θα έχουν πολύ περισσότερες δυνατότητες από αυτές που έχουν σήμερα. Ο στόχος είναι οι φορητές συσκευές του μέλλοντος να μπορούν να αλλάζουν δίκτυο, όποτε χρειάζεται ή είναι απαραίτητο, χωρίς αυτό να γίνεται αντιληπτό κατά οιονδήποτε τρόπο από το χρήστη. Όπως είναι φυσικό, οι χρήστες του μέλλοντος αναμένονται να είναι πολύ πιο απαιτητικοί και αυτό είναι κάτι που πρέπει να απασχολήσει πάρα πολύ τους ερευνητές.

Η επίτευξη των στόχων που έχουν να κάνουν με τις φορητές συσκευές του μέλλοντος δεν αποτελεί απλή υπόθεση. Υπάρχουν πολυάριθμες προκλήσεις που αφορούν κυρίως τεχνικά θέματα και παρουσιάζονται επιγραμματικά παρακάτω [6, 7]:

- Η συσκευή πρέπει να έχει τη δυνατότητα να ενσωματώνει πολλαπλές ραδιοσυχνότητες, έτσι ώστε να συντονίζεται γρήγορα κάθε φορά που εισέρχεται σε ένα νέο δίκτυο.
- Δυνατότητα γρήγορης και χωρίς προβλήματα περιαγωγής : ο χρήστης δεν ενδιαφέρεται για τις διαδικασίες που ακολουθούνται, αλλά το μόνο που καταλαβαίνει είναι η τελική ποιότητα των υπηρεσιών που λαμβάνει.
- Διαχείριση της ισχύος: αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις των συσκευών B3G, καθώς οι εφαρμογές του μέλλοντος αναμένονται να είναι πιο περίπλοκες και να καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια, δηλαδή μπαταρία.
- Θέματα ασφάλειας είναι επίσης πολύ σημαντικά, αν και βρίσκονται έξω από τους στόχους της παρούσας διπλωματικής.
- Οι συσκευές πρέπει να είναι ευέλικτες και να προσαρμόζονται εύκολα στις συνθήκες που επικρατούν ανά πάσα στιγμή.
- Η ικανοποίηση του χρήστη αποτελεί θέμα πρώτης γραμμής (δηλαδή η συσκευή πρέπει να είναι φιλική προς το χρήστη), αν και αυτό δεν είναι και τόσο τεχνικό ζήτημα.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.2) παρουσιάζονται όλες οι υπάρχουσες ασύρματες τεχνολογίες των οποίων την ενοποίηση επιθυμούμε. Αυτή η διαδικασία ενοποίησης δεν είναι και τόσο εύκολη υπόθεση, αφού η κάθε μία τεχνολογία σχεδιάστηκε, έχοντας συγκεκριμένες προτεραιότητες, οι οποίες κάθε φορά διέφεραν μεταξύ τους.

	Standard	Usage	Throughput	Range	Frequency
UWB	802.15.3a	WPAN	110–480 Mbps	Up to 30 ft	7.5 GHz
Bluetooth	802.15.1	WPAN	Up to 720 kbps	Up to 30 ft	2.4 GHz
Wi-Fi	802.11a	WLAN	Up to 54 Mbps	Up to 300 ft	5 GHz
Wi-Fi	802.11b	WLAN	Up to 11 Mbps	Up to 300 ft	2.4 GHz
Wi-Fi	802.11g	WLAN	Up to 54 Mbps	Up to 300 ft	2.4 GHz
WIMAX	802.16d	WMAN Fixed	Up to 75 Mbps (20 MHz BW)	Typical 4–6 miles	<11 GHz
WIMAX	802.16e	WMAN Mobile	Up to 30 Mbps (10 MHz BW)	Typical 1–3 miles	2.6 GHz
EDGE	2.5G	WWAN	Up to 384 kbps	Typical 1–5 miles	1900 MHz
CDMA2000 /1xEVDO	3G	WWAN	Up to 2.4 Mbps (typical 300–600 kbps)	Typical 1–5 miles	400, 800, 900, 1700, 1800, 1900, 2100 MHz
WCDMA /UMTS	3G	WWAN	Up to 2 Mbps (Up to 10 Mbps with HSDPA Technology)	Typical 1–5 miles	1800, 1900, 2100 MHz

**Πίνακας 5.1 : Οι υπάρχουσες ασύρματες τεχνολογίες που πρόκειται να ενοποιηθούν [1]**

## 5.6 ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΜΕΓΑΛΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΣΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η εισαγωγή όλο και πιο περίπλοκων πολυμεσικών εφαρμογών στις ασύρματες επικοινωνίες αναμένεται να απαιτεί όλο και μεγαλύτερες ταχύτητες στη μετάδοση των δεδομένων. Αυτές οι ταχύτητες θα χαρακτηρίζονται ικανοποιητικές αν φτάνουν τα 100 Mbps. Είναι προφανές ότι η διαφορά με τις ταχύτητες που υφίστανται τώρα στα 3G συστήματα είναι πολύ μεγάλη (απαιτούνται ταχύτητες έως και 100 φορές μεγαλύτερες). Επομένως, θα πρέπει να καθοριστεί μια ευρύτερη ζώνη συχνοτήτων που θα αφιερωθεί αποκλειστικά για τα συστήματα της επόμενης γενιάς. Λαμβάνοντας υπόψιν μας τα παραπάνω, οι τεχνικές που θα επιτρέπουν τη μετάδοση μεγάλων όγκων δεδομένων μέσα σε μια περιορισμένη ζώνη συχνοτήτων θα παίξουν έναν πολύ σημαντικό ρόλο στα B3G συστήματα. Καταλήγουμε λοιπόν και πάλι στο ίδιο συμπέρασμα, ότι δηλαδή οι τεχνικές για την αποδοτικότητα της χρησιμοποίησης του φάσματος θα αποτελέσουν το σημείο κλειδί για τη λύση των προβλημάτων μας.

Έχει γίνει κατανοητό ότι η μεγαλύτερη ίσως πρόκληση από τεχνικής πλευράς που αφορά τα B3G συστήματα είναι η επίτευξη όσο το δυνατόν μεγαλύτερων ταχυτήτων μετάδοσης των δεδομένων. Το σενάριο μάλιστα δυσκολεύει ακόμα πιο πολύ όταν προσπαθήσουμε να πετύχουμε μεγάλες ταχύτητες και ομοιόμορφη παροχή υπηρεσιών σε ετερογενή συστήματα που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους. Οι σχεδιαστές από την πλευρά τους προσπαθούν να πετύχουν το απόλυτο, και μεγάλες ταχύτητες με αποδοτική διαχείριση του φάσματος και μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας.

Τα προτεινόμενα B3G πρωτόκολλα μετάδοσης περιλαμβάνουν την Ορθογωνική Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας (OFDM), την αντίστοιχη OFDM ευρείας ζώνης (W-OFDM), την Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Κώδικα Πολλαπλών Φέροντων Σημάτων

(MC-CDMA), και την αντίστοιχη CDMA Συγχρονισμού Ευρείας Περιοχής (LAS-CDMA). Η OFDM είναι μία καλή τεχνική για τον αντικειμενικό μας στόχο, που είναι η επίτευξη μεγάλων ταχυτήτων, καθώς πολυπλέκει χιλιάδες ορθογώνια κύματα σε ένα και μόνο κυματοειδές. Η W-OFDM επιτρέπει την κωδικοποίηση των δεδομένων σε πολλαπλές ραδιοσυχνότητες ταυτόχρονα. Αυτή η μέθοδος προσφέρει πάρα πολλά στον τομέα της ασφάλειας αλλά και της αποδοτικότερης χρησιμοποίησης του φάσματος. Η W-OFDM ενθαρρύνει την υλοποίηση δικτύων που καταναλώνουν πολύ μικρές ποσότητες ισχύος και ελαχιστοποιούν τις ενδεχόμενες παρεμβολές από τα παρακείμενα δίκτυα. Η τεχνική MC-CDMA αποτελεί στην πραγματικότητα ένα συνδυασμό της OFDM με την κλασική CDMA. Όπως στην κλασική μέθοδο CDMA, οι χρήστες πολυπλέκονται με ορθογώνιους κώδικες για να ξεχωρίζουν μεταξύ τους. Παρόλα αυτά, στην MC-CDMA, σε κάθε χρήστη μπορούν να διατεθούν διάφοροι κώδικες, μέθοδος που βοηθά στην καλύτερη αξιοποίηση του φάσματος [5]. Η εταιρία LinkAir Communications ανέλαβε την ευθύνη της ανάπτυξης της LAS-CDMA, μιας κατοχυρωμένης με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας ειδικά σχεδιασμένης για τις ασύρματες τεχνολογίες. Η LAS-CDMA εκτός του ότι αυξάνει την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων, αυξάνει επίσης και τη χωρητικότητα ενός καναλιού κατά τη διάρκεια της μεταφοράς δεδομένων φωνής, χρησιμοποιώντας την τεχνική SDR, η οποία περιγράφεται στην παράγραφο 5.4. Πρόκειται για μία πολυδιαφημισμένη τεχνική που υπόσχεται ότι είναι σε θέση να λύσει πολλά από τα τεχνικά προβλήματα που ερευνώνται σήμερα. Αυτό που μένει να διαπιστώσουμε είναι αν αυτές οι ομολογουμένως μεγάλες προσδοκίες επαληθευτούν στο μέλλον.

## 5.7 ΕΠΑΝΑΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΙΜΕΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ

Ένας σημαντικός παράγοντας που συνεισφέρει στην υλοποίηση μίας ενιαίας μελλοντικής πλατφόρμας είναι η έννοια της επαναπαραμετροποιησιμότητας, η οποία παρέχει τις τεχνολογίες SDR που επιτρέπουν στα τερματικά και στα άλλα στοιχεία των δικτύων να προσαρμόζονται δυναμικά στο σύνολο των τεχνολογιών πρόσβασης (RATs), που κρίνονται ως οι πιο κατάλληλες για τις συγκεκριμένες συνθήκες που υπάρχουν σε μία οποιαδήποτε χρονική περίοδο. Η επιλογή της τεχνολογίας πρόσβασης εννοείται πως δεν πρέπει να είναι περιορισμένη για ένα οποιοδήποτε στοιχείο δικτύου, αλλά να αλλάζει ανάλογα με τις νέες παραμέτρους που παρουσιάζονται. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, η επαναπαραμετροποιησιμότητα έχει να κάνει κυρίως με τις λειτουργικές διαδικασίες που επιτελούνται σε ένα δίκτυο. Μερικές από τις προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν αναλύονται εκτενώς παρακάτω γύρω από τέσσερις βασικούς άξονες [8].

Κατ' αρχάς, υπάρχουν τρεις διαφορετικές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό τεχνικών επαναπαραμετροποίησης : η δέσμευση για (1) δυνατότητα πρόσβασης παντού και πάντα, (2) για ευέλικτες (pervasive) υπηρεσίες, και (3) για δυναμική διαχείριση των πόρων. Η «πανταχού παρούσα» πρόσβαση στοχεύει κυρίως στην αύξηση της παγκόσμιας πρόσβασης σε όλη τη γκάμα των υπηρεσιών που προσφέρονται. Έχει να κάνει με την υποστήριξη των χρηστών που ανοίγουν για πρώτη φορά μια συσκευή σε ένα ασύρματο περιβάλλον, με το οποίο δεν έχουν ξανασυνδεθεί ποτέ στο παρελθόν. Επίσης, οι περιαγωγές (roaming) είναι ένα άλλο μεγάλο ζήτημα που πρέπει να διερευνηθεί ενδελεχώς, καθώς αποτελεί αναπόσπαστο μέρος των επαναπαραμετροποιήσιμων πλατφορμών. Η έννοια των ευέλικτων υπηρεσιών τονίζει την ανάγκη για επαναπαραμετροποίηση, όταν υπάρχουν πολλές διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης σε ένα δεδομένο ασύρματο περιβάλλον. Στην

πραγματικότητα, η κατάλληλη χρήση αυτών των διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης και ο επαναπαραμετροποιήσιμος εξοπλισμός χρειάζονται να έχουν πολλές δυνατότητες όπως είναι η εύκολη αναζήτηση και εύρεση συστημάτων, ο επαναπροσδιορισμός πρωτοκόλλων, και μια μέθοδο κατακόρυφης μεταπομπής (vertical handover). Η έννοια της δυναμικής διαχείρισης των πόρων περιλαμβάνει μία δυναμική διαδικασία επαναπαραμετροποίησης τόσο των τερματικών όσο και των άλλων στοιχείων των δικτύων, που έχει ως στόχο την αύξηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης και την εξοικονόμηση όσο το δυνατόν περισσότερου φάσματος.

Δεύτερον, η έρευνα πάνω στην έννοια της επαναπαραμετροποιησιμότητας έχει αναδείξει την ανάγκη ύπαρξης ενός συστήματος διαχείρισης και ελέγχου που θα επιτρέπει στα διάφορα στοιχεία ενός δικτύου να λειτουργούν σε ένα διατερματικό (end-to-end) πλαίσιο. Η κύρια ιδέα αυτής της σκέψης είναι να υπάρχει ένας σαφής διαχωρισμός μεταξύ των λειτουργιών της διαχείρισης και του ελέγχου των δικτύων. Τα επαναπαραμετροποιήσιμα συστατικά, όπως οι προγραμματίσιμοι επεξεργαστές, αναμένονται να αποτελούν βασικά μέρη του επαναπαραμετροποιήσιμου εξοπλισμού.

Τρίτον, τα πλήρη οφέλη της τεχνικής SDR εμφανίζονται μόνο εάν η υποδομή των δικτύων λαμβάνει υπόψη τις λεπτομέρειες κάθε ιδιαίτερου τερματικού και παρέχει την ιδιαίτερη υποστήριξη της σε αυτό. Η δικτυακή υποστήριξη για τις επαναπαραμετροποιήσιμες οντότητες απαιτεί τον καθορισμό των κατάλληλων λειτουργιών στα υπάρχοντα στοιχεία των δικτύων. Ο καθορισμός της διαδικασίας σηματοδότησης μεταξύ των λειτουργιών παραμετροποίησης και των επαναπαραμετροποιήσιμων οντοτήτων είναι ένα άλλο βασικό σημείο που θα πρέπει να διερευνηθεί. Επίσης θα πρέπει να αξιολογηθούν και τα διάφορα «έξυπνα» πρωτόκολλα, τα οποία αποτελούν ακόμη μία ιδέα για να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυναμικότητα των συστημάτων, των οποίων το σχεδιασμό διαπραγματευόμαστε. Τέλος, κάτι παραπάνω από απαραίτητη κρίνεται η ύπαρξη μίας συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής που θα προστατεύει τις λειτουργίες της επαναπαραμετροποίησης από πιθανές ανεπιθύμητες αλλαγές από άτομα που δεν έχουν την ανάλογη εξουσιοδότηση να προβούν σε τέτοιου είδους ενέργειες.

Τέλος, το μείζον ζήτημα της αποδοτικής διαχείρισης του φάσματος είναι πρωταρχικής σημασίας και στις επαναπαραμετροποιήσιμες πλατφόρμες. Άλλωστε, η αποδοτική διαχείριση του φάσματος είναι μία από τις λειτουργίες που περιλαμβάνει το λειτουργικό μπλοκ RRM (Radio Resource Management). Το μπλοκ RRM αποτελείται από σύνθετες λειτουργίες, αλλά είναι απαραίτητο για την επέκταση των B3G δικτύων. Πιο συγκεκριμένα, αποτελείται από λειτουργίες που διαχειρίζονται δυναμικά το φάσμα καθώς επίσης και από άλλες λειτουργίες που προσπαθούν να καταναείμουν τους διαθέσιμους πόρους του δικτύου όσο καλύτερα γίνεται. Η ελαστική διαχείριση του φάσματος πρωτοεμφανίστηκε ως ιδέα ουσιαστικά λόγω της ανάγκης συνύπαρξης διαφορετικών τεχνολογιών κάτω από ένα ενιαίο δίκτυο. Στο μέλλον πρέπει να θεωρείται σίγουρη η εγκατάληψη της ιδέας της παραχώρησης συγκεκριμένων ζωνών φάσματος σε συγκεκριμένες τεχνολογίες. Αντίθετα, πρόκειται να αναπτυχθούν πολλοί μηχανισμοί που θα κατανέμουν τα κομμάτια του φάσματος ανάλογα με τις ανάγκες που προκύπτουν, έτσι ώστε να μην υπάρχουν κομμάτια που δε χρησιμοποιούνται χωρίς να υπάρχει κάποιος ιδιαίτερος λόγος.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι η έννοια της επαναπαραμετροποιησιμότητας είναι στενά συνδεδεμένη με περίπλοκες λειτουργίες, οι οποίες βέβαια δεν είναι δυνατόν να αναλυθούν στην παρούσα παράγραφο. Η ερευνητική προσπάθεια έχει στραφεί στην ανάπτυξη ενός συστήματος, το οποίο θα ελέγχει και θα διαχειρίζεται τον εξοπλισμό τόσο



των τερματικών όσο και του υφιστάμενου δικτύου. Ο τελικός στόχος είναι στην ουσία να δημιουργηθεί μία ενιαία πλατφόρμα, η οποία θα διαχειρίζεται ένα ενιαίο δικτυακό περιβάλλον, δηλαδή τα δίκτυα της επόμενης γενιάς.

## 5.8 ΔΙΚΤΥΩΣΗ AD-HOC

Οι περισσότερες προκλήσεις που έχουν να κάνουν με τα B3G συστήματα εν γένει ισχύουν επίσης και στη δικτύωση ad-hoc. Αυτές οι προκλήσεις συζητήθηκαν παραπάνω και έχουν να κάνουν με θέματα κατανομής φάσματος, ενοποίησης δικτύων διαφορετικών τεχνολογιών (WWAN, WLAN, UMTS), ανάγκη για επίτευξη μεγάλων ταχυτήτων μετάδοσης των δεδομένων σε ένα ετερογενές περιβάλλον, και τέλος ζητήματα που έχουν να κάνουν με την ικανότητα επαναπαραμετροποίησης των ενιαίων B3G πλατφορμών. Η έννοια ενός ad-hoc B3G δικτύου είναι κάπως ασαφής, καθώς εάν μια B3G συσκευή θα μπορεί πάντα να συνδέεται οποτεδήποτε με ένα παγκόσμιο δίκτυο, τότε εύκολα μπορεί να αναρωτηθεί κάποιος ποια ακριβώς ανάγκη μπορεί να εξυπηρετήσει ένα ad-hoc δίκτυο. Η απάντηση υπάρχει, καθώς ήδη τέτοιου είδους δίκτυα έχουν βρει εφαρμογή σε κάποιες ειδικές περιπτώσεις. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι στρατιωτικές εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα, η ανάπτυξη ενός αυτόνομου δικτύου που θα έρχεται σε επαφή με το παγκόσμιας εμβέλειας δίκτυο, μόνο όποτε αυτό κρίνεται σκόπιμο, ταιριάζει πάρα πολύ με τη στρατιωτική λογική. Επίσης, οποιοσδήποτε άλλος οργανισμός που επιθυμεί να παρέχει ασφάλεια στα δεδομένα που μετακινούνται και να μην έρχεται σε επαφή με το υπόλοιπο δημόσιο δίκτυο, μπορεί να βρει εναλλακτική λύση στα ad-hoc δίκτυα, δεδομένου βέβαια ότι έχει καταφέρει να εξασφαλίσει μία ζώνη συχνοτήτων, όπου μπορεί να λειτουργεί, χωρίς να δέχεται παρεμβολές. Οι σχεδιαστές λοιπόν των συστημάτων της επόμενης γενιάς θα πρέπει να αντιμετωπίσουν και αυτού του είδους τα προβλήματα που αφορούν την ύπαρξη των MANETs (Mobile Ad-hoc NETWORKS) μέσα σε ένα καλά ορισμένο και ομοιογενές B3G δικτυακό περιβάλλον.

Γενικά, οι συσκευές που θα χρησιμοποιούνται σε ένα B3G περιβάλλον θα πρέπει να είναι σε θέση να αναζητούν σε ένα συγκεκριμένο δικτυακό περιβάλλον και να ανακαλύπτουν τον τύπο του δικτύου που επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν ανάλογα με τις ανάγκες τους. Από την άλλη μεριά, οι συσκευές που προορίζονται για χρήση σε ένα B3G MANET θα πρέπει να είναι σε θέση να ανιχνεύουν και να προσδιορίζουν τη ζώνη συχνοτήτων που είναι διαθέσιμη για προσωρινή, ιδιωτική χρήση. Στο αρραγές (seamless), παγκόσμιο B3G δίκτυο, οι διαδικασίες επαλήθευσης ταυτότητας (authentication) και οι μηχανισμοί έγκρισης για την πρόσβαση στα διάφορα δίκτυα μπορούν να ενοποιηθούν προκειμένου να επιτρέπουν σε μία συσκευή να κινείται μεταξύ των διαφορετικών δικτύων πρόσβασης χωρίς να χρειάζεται να κάνει συνεχόμενα log on. Σε ένα B3G MANET, η ιδέα είναι να μην επιτρέπεται σε μια συσκευή να εγκαταλείπει ακούσια το MANET και να συνδέεται με το εξωτερικό ενοποιημένο δικτυακό περιβάλλον. Παρόλα αυτά εξακολουθεί να υφίσταται η περίπτωση ενός χειρότερου σεναρίου, όπου ένας κόμβος του MANET επιτρέπει την είσοδο μίας ανεπιθύμητης εξωτερικής συσκευής στο δίκτυο. Γι' αυτόν λοιπόν το λόγο τα B3G MANETs πρέπει να είναι σε θέση να προσαρμόζονται γρήγορα στις διαρκώς μεταβαλλόμενες συνθήκες και τοπολογίες των δικτύων, έχοντας παράλληλα την ικανότητα να μεγαλώνουν, να χωρίζονται σε μικρότερα μέρη, και να αναδιοργανώνονται ελλείψει βέβαια των κεντρικοποιημένων, ιεραρχικών υποδομών [9].

## 5.9 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ 3G ΕΠΟΧΗ

Στα τέλη της δεκαετίας του 1990, αμφισβητήθηκε έντονα η δυνατότητα των δορυφορικών συστημάτων να αναλάβουν πρωταγωνιστικό ρόλο στις ασύρματες επικοινωνίες του μέλλοντος. Ακόμη και σήμερα υπάρχουν αμφιβολίες αν μπορούν να ανταγωνιστούν τους επίγειους φορείς παροχής υπηρεσιών ιδιαίτερα στα θέματα QoS. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια, οι σκέψεις για το μέλλον έχουν αλλάξει κατά πολύ. Πιο συγκεκριμένα, τα δορυφορικά συστήματα αναμένεται να χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικά των επίγειων συστημάτων. Στις δορυφορικές επικοινωνίες, έχουμε μία κατηγοριοποίηση μεταξύ των προσφερόμενων υπηρεσιών. Έτσι, υπάρχει η Σταθερή Δορυφορική Υπηρεσία (FSS), η Δορυφορική Υπηρεσία Ευρείας Εκπομπής (BSS) και η Κινητή Δορυφορική Υπηρεσία (MSS). Στην FSS, οι δορυφόροι λειτουργούν κυρίως με ένα δισημειακό (point-to-point) τρόπο ως τμήμα του δικτύου κορμού και παρέχουν μεγάλης χωρητικότητας συνδέσεις. Με το δισημειακό τρόπο μετάδοσης, οι λειτουργίες του IPv6 δεν αντιμετωπίζουν κανένα πρόβλημα και λειτουργούν ήδη πάνω από πολλές δορυφορικές συνδέσεις. Μέσα στην περιοχή FSS/BSS, οι δορυφόροι χρησιμοποιούνται ευρέως για να ικανοποιήσουν τις αιτήσεις για υπηρεσίες βίντεο, που μπορούν να λάβουν οι χρήστες κατευθείαν στο σπίτι τους (υπηρεσίες Direct To Home). Πολλές από αυτές τις υπηρεσίες έχουν μεταφερθεί τώρα και στο πρότυπο MPEG-DVB-S.

Όσον αφορά τις Κινητές Δορυφορικές Υπηρεσίες, έχουν βρει μεγάλη απήχηση στα πλοία, τα αεροπλάνα και στα κάθε είδους κινούμενα οχήματα. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες έχουν γίνει πια ψηφιακές και η επικοινωνία γίνεται εξ ολοκλήρου με μεταφορά πακέτων (packet-based). Μάλιστα, οι τελευταίες τεχνολογίες δορυφόροι μπορούν να παρέχουν τις υπηρεσίες τους ακριβώς όπως και τα 3G δίκτυα, αν και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται η τεχνική διαμόρφωσης TDMA. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο γεωστατικής γήινης τροχιάς (GEO) δορυφόρος, που ονομάζεται Thuraya, ο οποίος έχει ευρεία κάλυψη τόσο στην Ασία όσο και στην Ευρώπη.

Μέχρι σήμερα οι κινητοί δορυφόροι καλύπτουν είτε επιλεγμένες δυσπρόσιτες περιοχές του πλανήτη, είτε δοκιμάζουν να ανταγωνιστούν τις κυψελοειδείς υπηρεσίες στο χώρο της μαζικής αγοράς (μεγάλα αστικά κέντρα). Μακροπρόθεσμα, ένας τέτοιου είδους ανταγωνισμός δεν πρόκειται να είναι κερδοφόρος για τα δορυφορικά συστήματα. Αντίθετα, η συνεργασία με τις κυψελοειδείς υπηρεσίες αναμένεται να οφελήσει και τις δύο πλευρές. Και αυτό γιατί οι δορυφόροι μπορούν να βρουν εφαρμογή, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα μεγάλα κέρδη, σε δύο περιοχές της παγκόσμιας αγοράς. Η πρώτη είναι η κάλυψη των απομακρυσμένων περιοχών του πλανήτη, όπου η τεχνολογία 3G δε μπορεί να φτάσει, μόνο και μόνο επειδή δεν την ενδιαφέρει από οικονομικής πλευράς μία τέτοια προοπτική. Επίσης, τα δορυφορικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως back-up των ήδη υπαρχόντων επίγειων τεχνολογιών, σε περίπτωση που οι τελευταίες καταστραφούν ή υποστούν ζημιές από ακραία καιρικά φαινόμενα ή ακόμα και από πολεμικές εχθροπραξίες. Η δεύτερη και ίσως πιο ενδιαφέρουσα περιοχή, είναι η υποστήριξη των Υπηρεσιών Εκπομπής και Διανομής Πολυμέσων (MBMS) στη μαζική αγορά. Αυτές οι υπηρεσίες, εκτός από ακριβές, είναι και πολύ δύσκολο να υποστηριχθούν με τα υπάρχοντα κυψελοειδή πλαίσια δεδομένων. Αντίθετα, ταιριάζουν ιδανικά με τις ιδιότητες ενός δορυφορικού δικτύου και συγκεκριμένα από την άποψη της ευρείας κάλυψης. Αν μάλιστα υπάρξει στο μέλλον ακόμα πιο μαζικό ενδιαφέρον για υπηρεσίες MBM (πράγμα που θεωρείται σίγουρο), τότε οι δορυφορικές επικοινωνίες αναμένεται να γνωρίζουν ακόμη μεγαλύτερη άνθιση.

Σε ένα πραγματικά ενοποιημένο δορυφορικο-κυψελοειδές σύστημα, οι δορυφόροι θα συμπληρώνονται από επίγειους επαναλήπτες, που ονομάζονται ενδιάμεσοι επαναλήπτες των modules (IMRs) προκειμένου να παρέχουν οικονομικές αποδοτικές υπηρεσίες. Αυτού του είδους η συνεργασία είναι αυτό βρίσκεται στο μυαλό των ερευνητών στα πλαίσια ενός πλήρως ενοποιημένου B3G δικτυακού περιβάλλοντος [1].

## 5.10 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η εισαγωγή ενός νέου συστήματος περιλαμβάνει πάντα τα ανάλογα ρίσκα και το B3G δε θα μπορούσε να αποτελέσει την εξαίρεση στο γενικό κανόνα, έστω και αν ουσιαστικά μιλάμε για ενοποίηση ήδη υπαρχόντων και δοκιμασμένων συστημάτων. Ο όρος ενοποίηση για τα συστήματα B3G σημαίνει ότι διαφορετικά δίκτυα, διαφορετικών τύπων τεματικά, και διαφόρων ειδών υπηρεσίες λειτουργούν μαζί αρραγώς (seamlessly). Το σημείο κλειδί σε όλα τα παραπάνω είναι το εάν η λειτουργία των συστημάτων της επόμενης γενιάς θα είναι αποδοτική. Η αρραγής λειτουργία είναι ένας από τους στυλοβάτες της B3G λογικής, καθώς οι διαρκείς οριζόντιες και κατακόρυφες περιαγωγές από τον έναν τύπο δικτύου στον άλλον θα αποτελεί ένα σύνηθες φαινόμενο [7]. Η μετατροπή πολλών ετερογενών δικτύων σε ένα ενιαίο, απλό, και ομοιογενές δίκτυο που θα ενσωματώνει τα περισσότερα χαρακτηριστικά από τα ετερογενή δίκτυα από τα οποία αποτελείται μπορεί να καταλήξει να είναι ακόμα και ένας στόχος που αγγίζει τα όρια του ανέφικτου. Το τελευταίο είναι πιθανό να συμβεί εάν τα θέματα της ενοποίησης αφεθούν για την τελική φάση της ανάπτυξης και αφού έχουν ήδη αποφασιστεί οι διάφορες τεχνικές πρόσβασης που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.

Στο παρόν κεφάλαιο προσπαθήσαμε να αναλύσουμε τις περισσότερες από τις παραμέτρους της σχεδίασης και της ανάπτυξης των B3G συστημάτων, ακολουθώντας μία σειρά που πρέπει να υιοθετηθεί και από τους επιστήμονες σχεδιαστές, έτσι ώστε σε μερικά χρόνια από σήμερα να επιτευχθεί μία καλή προτυποποίηση όλων αυτών των θεμάτων που παρουσιάσαμε σε αυτό το μέρος της εργασίας μας. Όλα αυτά βέβαια που αναφέρθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο αποτελούν μόνο μία σύντομη περίληψη του θεωρητικού υποβάθρου για τα B3G συστήματα. Στα παρακάτω κεφάλαια της διπλωματικής μας, θα ασχοληθούμε με συγκεκριμένα σενάρια ενοποίησης των τεχνολογιών UMTS και WLAN, αξιολογώντας την απόδοσή τους με τη βοήθεια συγκεκριμένων πειραμάτων και προσομοιώσεων.

## 5.11 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Hsiao-Hwa Chen, Mohsen Guizani, **Next Generation Wireless Systems and Networks**, John Wiley & Sons Ltd., 2006, (Κεφάλαιο 6, σελ. 249-266).
- [2] MobileInfo.com, **4G-Beyond 2.5G and 3G Wireless Networks**, Δικτυακός τόπος <http://www.mobileinfo.com/3G/4GVision&Technologies.htm>
- [3] Savo Glisic, **Advanced Wireless Communications 4G Technologies**, John Wiley & Sons Ltd., 2004, (Κεφάλαιο 1, σελ. 3-18 και Κεφάλαιο 7, σελ. 289-314).
- [4] Ramjee Prasad, **OFDM for Wireless Communication Systems**, Artech House Inc., 2004, (Κεφάλαιο 5, σελ. 117-146 και Κεφάλαιο 7, σελ. 197-205).
- [5] Shinsuke Hara, Ramjee Prasad, **Multicarrier Techniques for 4G Mobile Communications**, Artech House Inc., 2003, (Κεφάλαιο 1, σελ. 1-9 και Κεφάλαιο 9, σελ. 176-187).
- [6] Frattasi S., Fathi H., Fitzek F., Prasad R., Katz, M., **Defining 4G technology from the users perspective**, 2006.
- [7] M. Abualreesh, **4G**, Δικτυακός τόπος: [http://www.comlab.hut.fi/opetus/333/2004\\_2005\\_slides/4G.pdf](http://www.comlab.hut.fi/opetus/333/2004_2005_slides/4G.pdf)
- [8] Demestichas P., Dimitrakopoulos G., Strassner J., Bourse D., **Introducing reconfigurability and cognitive networks concepts in the wireless world**, 2006.
- [9] Gavrilovska L., Atanasovski V., **Ad Hoc Networking Towards 4G : Challenges and QoS Solutions**, 2005.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> – ΠΡΩΙΜΕΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ UMTS – WLAN

## 6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΠΩΣ ΠΡΟΕΚΥΨΕ Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΕΝΟΠΟΙΗΣΗ

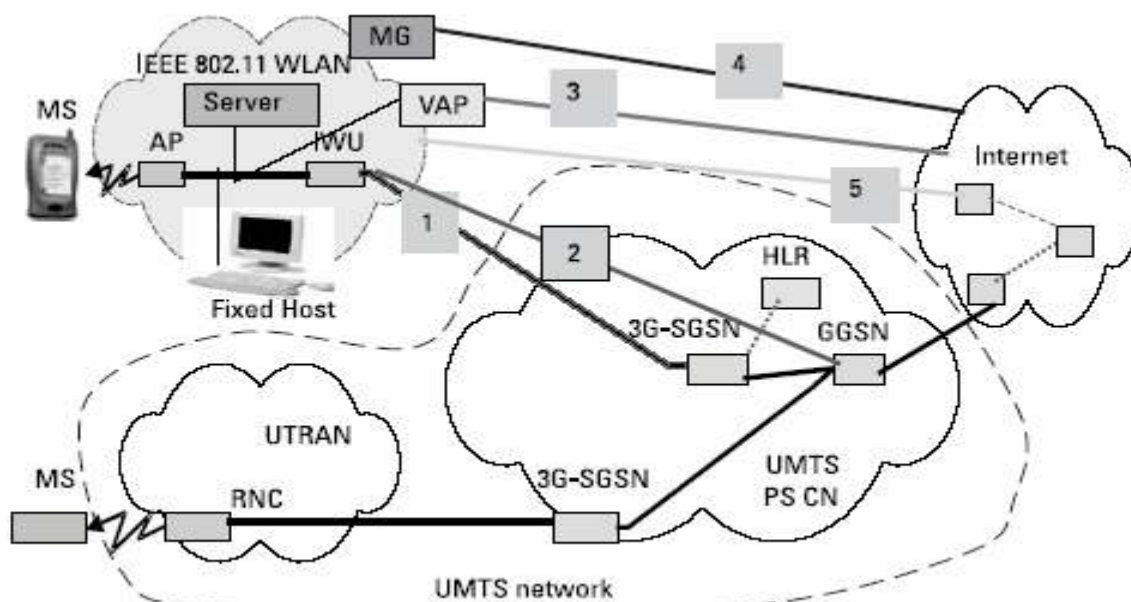
Η αρχική προτυποποίηση των τεχνολογιών UMTS και WLAN ολοκληρώθηκε κατά την ίδια σχεδόν χρονική περίοδο. Οι στόχοι όμως των σχεδιαστών δεν ήταν οι ίδιοι. Το UMTS αναπτύχθηκε για να παρέχει τις υπηρεσίες του σε μεγάλες περιοχές. Αντίθετα, η ομάδα 802.11 είχε ως βασική προτεραιότητά της την ανάπτυξη ενός ασύρματου συστήματος που θα μπορεί να επιτύχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης των δεδομένων. Αποτέλεσμα των παραπάνω ήταν οι μεν χρήστες του δικτύου UMTS να μη μένουν ικανοποιημένοι από τις ταχύτητες και οι χρήστες του WLAN να παραπονιούνται για τη μικρή εμβέλεια του σήματος των AP (Access Points). Όλα αυτά οδήγησαν την ερευνητική κοινότητα να στραφεί στην ενοποίηση των συστημάτων UMTS και WLAN.

Τα οφέλη από ένα τέτοιο εγχείρημα είναι πάρα πολλά. Το πιο σημαντικό είναι η χρησιμοποίηση του δικτύου υψηλού εύρους ζώνης (802.11a/b WLAN) όποτε αυτό είναι διαθέσιμο, και η περιαγωγή στο δημόσιο δίκτυο ευρείας κάλυψης (UMTS) όταν δε βρισκόμαστε μέσα στην περιοχή κάλυψης ενός WLAN. Σε αυτό το σενάριο απαιτείται η υλοποίηση μίας σειράς μηχανισμών QoS πέρα από την ανάπτυξη της γενικής αρχιτεκτονικής ενοποίησης, θέματα που μας απασχόλησαν στο αμέσως προηγούμενο κεφάλαιο.

Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει πέντε πιθανές αρχιτεκτονικές ενοποίησης μεταξύ των δικτύων WLAN και UMTS, ενώ εξετάζονται παράλληλα και θέματα που έχουν να κάνουν με την κατακόρυφη μεταπομπή (vertical handover) των κλήσεων. Αξίζει να σημειωθεί πάντως πως οι όποιες αλλαγές παρατηρούνται σε καθένα από τα δύο δίκτυα έχουν γίνει στο επίπεδο δικτύου και πάνω. Άλλωστε, δε θα μπορούσε να γίνει διαφορετικά, καθώς στα πρώιμα στάδια της ενοποίησης, κρίθηκε απαραίτητο να μην τροποποιηθούν καθόλου τα δύο κατώτερα επίπεδα (MAC, PHY). Το γεγονός αυτό θα εξασφαλίσει ότι τα δίκτυα θα συνεχίσουν να λειτουργούν όπως πριν χωρίς να απαιτείται να εφαρμοστεί μία νέα προσέγγιση. Η υλοποίηση περιλαμβάνει την ενσωμάτωση νέων οντοτήτων όπως είναι οι εξομοιωτές και διάφορα πρωτόκολλα που λειτουργούν στο επίπεδο του δικτύου ή τα υψηλότερα επίπεδα προκειμένου να επιτρέπουν την αποδοτική λειτουργία των διαδικασιών της περιαγωγής, οι οποίες, βέβαια, θα πρέπει να λαμβάνουν χώρα χωρίς να το καταλαβαίνει ο απλός χρήστης.

## 6.2 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΠΕΝΤΕ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ

Το Σχήμα 6.1 απεικονίζει τα πέντε σημεία διασύνδεσης μεταξύ του WLAN και του UMTS. Αυτές οι αρχιτεκτονικές διασύνδεσης περιλαμβάνουν ελάχιστες αλλαγές στα υπάρχοντα πρότυπα και τις τεχνολογίες, ειδικά όσον αφορά τα επίπεδα MAC και PHY για να εξασφαλίσουν ότι τα υπάρχοντα πρότυπα και δίκτυα συνεχίζουν να λειτουργούν όπως πριν. Οι πρώτες δύο διασυνδέσεις (Σχήμα 6.1) στηρίζονται στη διαρκή αλληλεπίδραση μεταξύ του σημείου πρόσβασης (AP) του WLAN και του packet-switched μέρους του δικτύου κορμού του UMTS. Αυτό σημαίνει ότι η πύλη που οδηγεί στο WLAN είναι συνδεδεμένη με τη packet-switched περιοχή του UMTS. Αυτού του είδους η διασύνδεση είναι δυνατή μέσω του κόμβου SGSN (Serving GPRS Supporting Node) και του κόμβου GGSN (Gateway GPRS Supporting Node), οι οποίοι αποτελούν βασικά συστατικά του δικτύου κορμού (CN) του UMTS (βλ. σχετικά Κεφάλαιο 2). Στις δύο αυτές περιπτώσεις το WLAN εμφανίζεται να είναι μια κυψέλη και μία περιοχή δρομολόγησης UMTS, αντίστοιχα. Το δίκτυο UMTS είναι το κύριο (master) δίκτυο και το WLAN είναι το δίκτυο υπηρέτης (slave). Αυτό σημαίνει ότι όλα τα θέματα που έχουν να κάνουν με την κινητικότητα (mobility) των χρηστών θα αντιμετωπίζονται από το δίκτυο UMTS, και το δίκτυο WLAN θα θεωρείται ως μία από τις πολλές κυψέλες ή τις περιοχές δρομολόγησης του. Για αυτό το λόγο, απαραίτητες πρέπει να θεωρούνται για τη συσκευή του απλού χρήστη οι διτροπικές (dual-mode) κάρτες PCMCIA, οι οποίες θα επιτρέπουν την πρόσβαση στα δύο διαφορετικά φυσικά επίπεδα. Επιπλέον, όλα τα δεδομένα θα φθάνουν αρχικά στους δύο κόμβους, SGSN και GGSN, προτού φτάσουν στους τελικούς προορισμούς τους, ακόμα κι αν λαμβάνει χώρα μία ανταλλαγή πακέτων εντός του WLAN δικτύου.



Σχήμα 6.1 : Τα πέντε σημεία διασύνδεσης μεταξύ του UMTS και του WLAN [1]

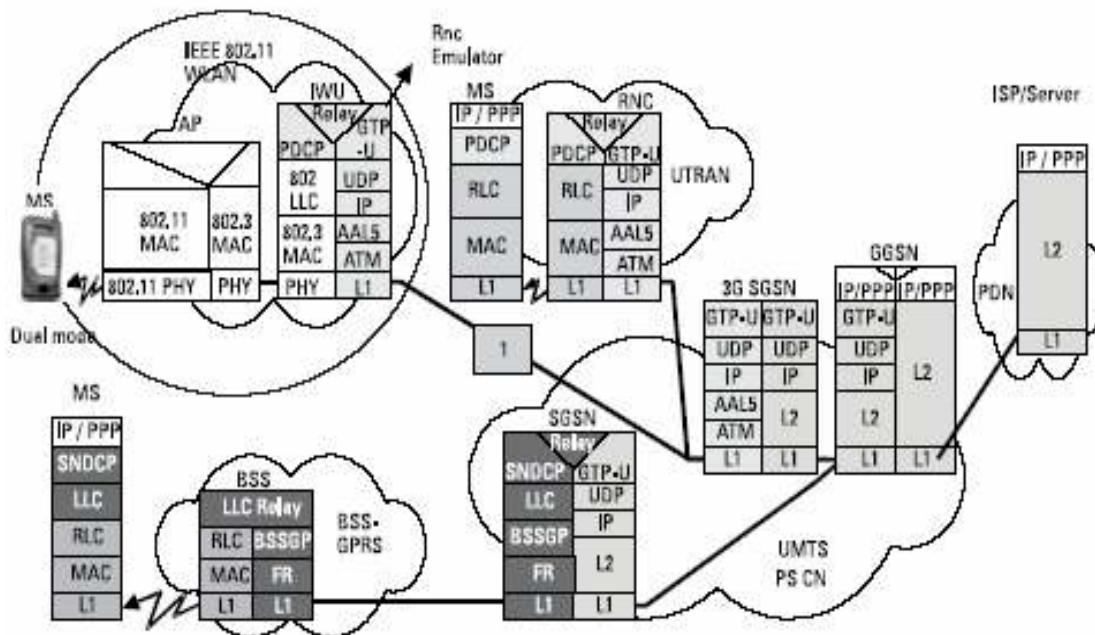
Στην τρίτη αρχιτεκτονική, το εικονικό σημείο πρόσβασης (VAP) αντιστρέφει τους ρόλους των δύο δικτύων σε σχέση με τις πρώτες δύο αρχιτεκτονικές. Πιο συγκεκριμένα, το WLAN είναι το δίκτυο-αφέντης και το UMTS το δίκτυο-υπηρέτης. Η διαχείριση των

διαφόρων θεμάτων κινητικότητας ανατίθεται στο WLAN και το IAPP (Interaccess Point Protocol) είναι το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται επικουρικά για αυτού του είδους τη διαχείριση.

Στην τέταρτη αρχιτεκτονική διασύνδεσης, υιοθετείται μια Πύλη Κινητικότητας (Mobility Gateway) μεταξύ των δικτύων WLAN και UMTS. Σε αυτή την περίπτωση, τα δίκτυα θεωρούνται ισότιμα. Η MG είναι μία βοηθητική πύλη που τοποθετείται σε οποιοδήποτε από τα δύο δίκτυα και είναι αυτή που χειρίζεται τα θέματα της κινητικότητας των χρηστών και της δρομολόγησης των πακέτων.

Τέλος, η πέμπτη αρχιτεκτονική διασύνδεσης είναι βασισμένη στο κινητό πρωτόκολλο IP (MIP). Και σε αυτή την περίπτωση τα δύο δίκτυα θεωρούνται ισότιμα (αρχιτεκτονική no-coupling). Το MIP διαχειρίζεται τα θέματα κινητικότητας των χρηστών. Επίσης, περιλαμβάνονται οντότητες, όπως ο τοπικός πράκτορας (home agent) και ο ξένος πράκτορας (foreign agent), των οποίων τη λειτουργικότητα θα αναλύσουμε παρακάτω.

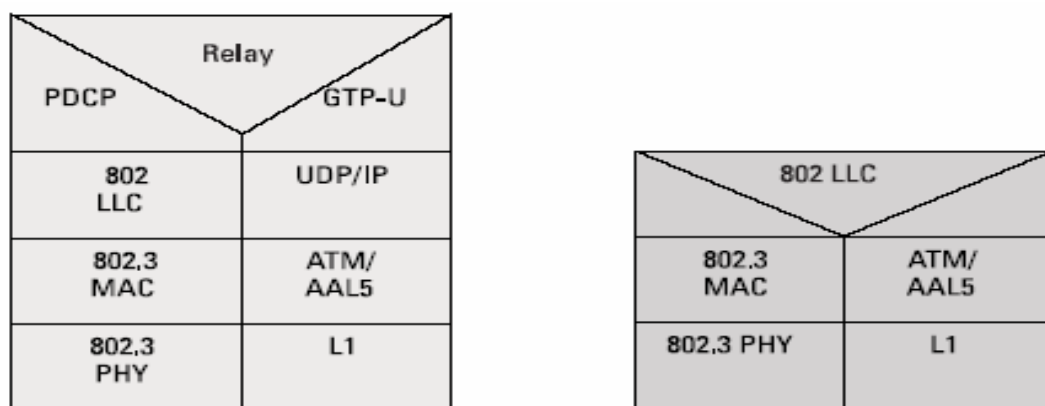
### 6.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ Νο 1 – ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΚΟΜΒΟΥ SGSN ΚΑΙ ΤΟΥ AP ΤΟΥ WLAN ΕΞΟΜΟΙΩΝΟΝΤΑΣ ΤΟ RNC



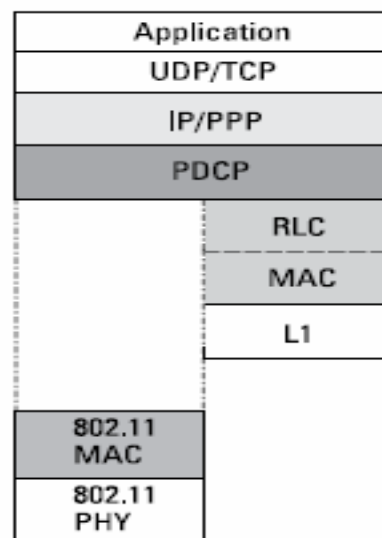
Σχήμα 6.2 : Η Αρχιτεκτονική Νο. 1 [1]

Με αυτήν τη διασύνδεση, το WLAN συνδέεται με το δίκτυο κορμού του UMTS μέσω της διεπαφής Iu. Το σχήμα 6.2 παρουσιάζει αυτήν την ετερογενή δικτυακή αρχιτεκτονική. Το WLAN συνδέεται μέσω μιας οντότητας ενοποίησης (IWU – InterWorking Unit), όπως αυτή παρουσιάζεται στο παραπάνω σχήμα, η οποία παίζει το ρόλο ενός εξομοιωτή RNC [2]. Αυτό είναι απαραίτητο προκειμένου να επιτυγχάνεται η ανταλλαγή των πακέτων μεταξύ του WLAN και του UMTS. Η λειτουργικότητα της IWU είναι παρόμοια με ενός RNC του UTRAN (βλ. Κεφάλαιο 2). Λόγω του πολύ μικρού μεγέθους των κυψελών των

WLAN, τα σημεία πρόσβασης δε συνδέονται άμεσα με το δίκτυο κορμού (CN) του UMTS. Αυτό μειώνει το φορτίο που προκύπτει από τη σηματοδότηση, η οποία πραγματοποιείται στα πλαίσια της διαχείρισης της κινητικότητας και της θέσης των χρηστών. Ένα κατακεκομμένο δίκτυο συνδέει τα σημεία πρόσβασης του WLAN, διευρύνοντας με αυτόν τον τρόπο την περιοχή κάλυψης του συγκεκριμένου δικτύου. Τελικά, το WLAN αντιμετωπίζεται ως μία ακόμη περιοχή δρομολόγησης που συνδέεται με τον κόμβο SGSN. Κατά συνέπεια, το WLAN μοιάζει με έναν ακόμη RNC από τους πολλούς που υπάρχουν στο δίκτυο UMTS. Ο χρήστης, ανεξάρτητα σε ποιο από τα δύο δίκτυα είναι συνδεδεμένος, αντιμετωπίζεται πάντα ως χρήστης του UMTS. Το σύστημα διαχείρισης της κινητικότητας του UMTS θα πρέπει να διατηρεί τις πληροφορίες για τον κάθε χρήστη ακόμα και όταν αυτός είναι συνδεδεμένος με ένα δίκτυο WLAN. Η δομή της οντότητας IWU, η οποία παίζει το ρόλο ενός RNC, παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.3. Στο Σχήμα 6.4 απεικονίζεται η στοίβα των πρωτοκόλλων μίας κινητής συσκευής, η οποία είναι διτροπική (dual-mode).



**Σχήμα 6.3 :** (αριστερά): η δομή της IWU, όντας μία οντότητα του UMTS, (δεξιά): η δομή της IWU, όντας μία οντότητα του WLAN



**Σχήμα 6.4 :** Στοίβα πρωτοκόλλων σε μία κινητή διτροπική (dual-mode) συσκευή

Η ανάγκη για περιπλάνηση μεταξύ των δικτύων προκύπτει όταν ο χρήστης είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο WLAN. Για αυτήν τη διασύνδεση, οι χρήστες πρέπει να



διασυνδεθούν με το Πρωτόκολλο Σύγκλισης Πακετοδοδεμένων (PDCP) του UMTS μέσω του εξομοιωτή RNC. Τα πρωτόκολλα UMTS που έχουν σχέση με τη σηματοδότηση, εκτελούνται ανάμεσα στον κινητό σταθμό (MS) και τον εξομοιωτή RNC. Ο εξομοιωτής RNC είναι ένα μαύρο κουτί (black box), που κρύβει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του WLAN από το δίκτυο UMTS. Το πρωτόκολλο IP χρησιμοποιείται για να μεταφέρει τα PS δεδομένα μέσω της διεπαφής Iu στο δίκτυο κορμού (CN) του UMTS. Το πρωτόκολλο GTP-U (GPRS Tunneling Protocol for UMTS), το οποίο βρίσκεται στο επίπεδο μεταφοράς, παρέχει μία σηραγγοειδή (tunneling) υπηρεσία μέσω του CN έως ότου το δίκτυο πρόσβασης τοποθετήσει σε πλαίσια τα δεδομένα των χρηστών.

Η περιοχή κάλυψης του WLAN αποτελεί ουσιαστικά, από την οπτική γωνία του δικτύου κορμού, άλλη μια περιοχή δρομολόγησης, όπως όλες οι άλλες που υπάρχουν εντός της εμβέλειας του δικτύου UMTS. Εάν ένας κινητός κόμβος (MN) εγκαταλείψει ή μπει σε μια περιοχή δρομολόγησης, ένα ειδικό μήνυμα στέλνεται στο CN του UMTS. Ως εκ τούτου, ο κόμβος SGSN μπορεί με απλό τρόπο να διακρίνει τα διαφορετικά είδη δικτύων μέσω των περιοχών δρομολόγησης. Όλες αυτές οι διαδικασίες είναι απολύτως διαφανείς στο χρήστη. Παρόλα αυτά, εάν μία συσκευή εγκαταλείψει ένα WLAN (δηλαδή βγει εκτός της περιοχής που καλύπτει), η ποιότητα υπηρεσιών σαφώς και θα υποβιβαστεί, ειδικά όταν μιλάμε για εφαρμογές πολυμέσων που απαιτούν πολύ υψηλές ταχύτητες για να λειτουργήσουν ικανοποιητικά.

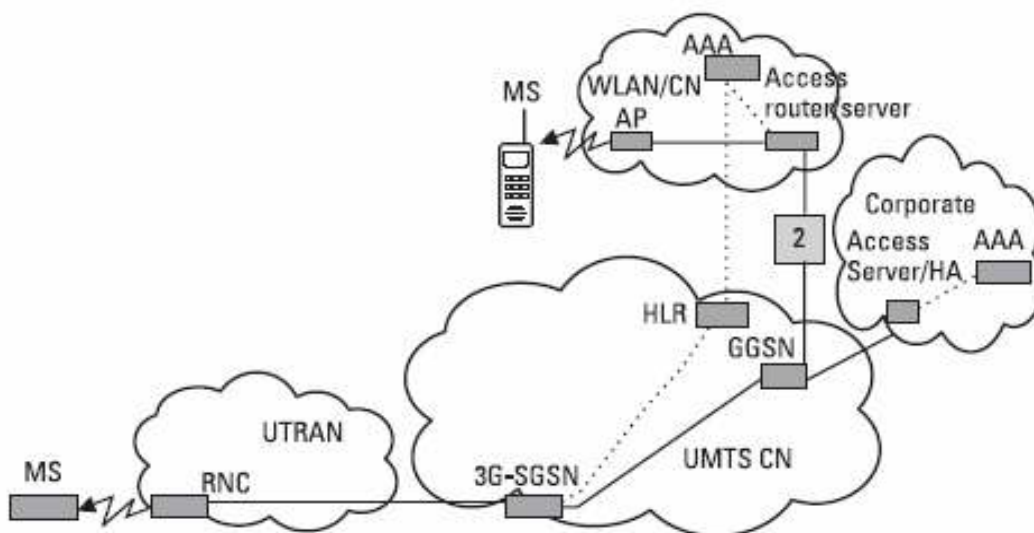
### **Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα**

Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της αρχιτεκτονικής είναι το ότι η διαχείριση κινητικότητας των χρηστών, οι περιαγωγές, η τιμολόγηση, αλλά και πολλά άλλα ζητήματα QoS εκτελούνται μέσα στο δίκτυο UMTS. Αλλά και σε θέματα ασφάλειας, η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική προσφέρει πολλά οφέλη: τα πιστοποιητικά συνδρομητών του WLAN είναι της ίδιας μορφής με τα αντίστοιχα πιστοποιητικά των 3G συνδρομητών, και επομένως απλοποιείται η διαδικασία καταχώρησης του συνδρομητή στο HLR (Home Location Register). Επίσης, το επίπεδο ασφάλειας που προσφέρεται από το WLAN είναι ίδιο με αυτό του UMTS.

Είναι αλήθεια ότι οι σχεδιαστές του UMTS έδωσαν ιδιαίτερη βαρύτητα στα θέματα QoS και μπορούμε να πούμε αντικειμενικά ότι στο συγκεκριμένο τομέα τα WLAN υστερούν κατά πολύ. Με την παρούσα αρχιτεκτονική, μπορεί να επιτευχθεί η επιδιωκόμενη ποιότητα για τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου και στα WLAN. Οι ελάχιστες λοιπόν αλλαγές που απαιτούνται στο δίκτυο UMTS μπορούν να δημιουργήσουν μια σχέση master-slave μεταξύ του UMTS και του WLAN, έτσι όπως εξηγείται στην προηγούμενη παράγραφο. Αυτή βέβαια, όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό δεν είναι η βέλτιστη λύση. Η χρησιμοποίηση των πλαισίων PDCP μπορεί να δημιουργήσει συμφορήσεις. Πιο συγκεκριμένα, το UMTS είναι πολύ πιθανό να αποτελέσει ένα «στενό πέρασμα» (bottleneck) για την WLAN κυκλοφορία. Οι ταχύτητες μεταφοράς των δεδομένων στο WLAN μπορούν να φτάσουν τις μερικές δεκάδες Mbps (11 Mbps για το 802.11b και 54 Mbps για το 802.11a), ενώ στο UMTS μετά βίας φτάνουν πολλές φορές το 1 Mbps. Το συμπέρασμα που βγαίνει από όλα αυτά είναι ότι αυτού του είδους η διασύνδεση απαιτεί πολλές τροποποιήσεις στα τυποποιημένα τερματικά WLAN, των οποίων το κόστος θα ανεβεί σημαντικά. Έτσι λοιπόν δύο βασικά πλεονεκτήματα των WLAN (δηλαδή οι ταχύτητες μετάδοσης και η χαμηλή τιμή υλοποίησής τους) υποβιβάζονται κατά πολύ με αυτήν την αρχιτεκτονική [3].

## 6.4 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ Νο 2 – ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΚΟΜΒΟΥ GGSN ΚΑΙ ΤΟΥ AP ΤΟΥ WLAN ΕΞΟΜΟΙΩΝΟΝΤΑΣ ΤΟΝ ΚΟΜΒΟ SGSN

Ακολουθώντας το ίδιο σκεπτικό με την προηγούμενη αρχιτεκτονική, μπορούμε να συνδέσουμε το WLAN με τον κόμβο GGSN του δικτύου UMTS. Το Σχήμα 6.5 απεικονίζει αναλυτικά αυτή τη διασύνδεση. Η αρχιτεκτονική αυτή είναι μια ελαφρώς τροποποιημένη αρχιτεκτονική σε σχέση με αυτή του Σχήματος 6.2. Η διαφορά τους είναι ότι τώρα η διεπαφή μεταξύ WLAN και UMTS είναι μέσω ενός εξομοιωτή SGSN. Η στοίβα των πρωτοκόλλων είναι πολύ παρόμοια με αυτήν που απεικονίζεται στο Σχήμα 6.3. Σε αυτή τη διασύνδεση, η διεπαφή Iu και τα πρωτόκολλα μεταξύ των κόμβων SGSN και GGSN δε χρησιμοποιούνται, και οι λειτουργίες που υποστηρίζονται από αυτά τα πρωτόκολλα δεν είναι διαθέσιμες. Είναι δυνατό να παρακαμφθούν μερικές από τις λειτουργίες που έχουν σχέση με το RNC με τη χρησιμοποίηση ενός εξομοιωτή SGSN. Τέλος, και σε αυτή την αρχιτεκτονική τα θέματα διαχείρισης κινητικότητας των χρηστών αντιμετωπίζονται από το UMTS.

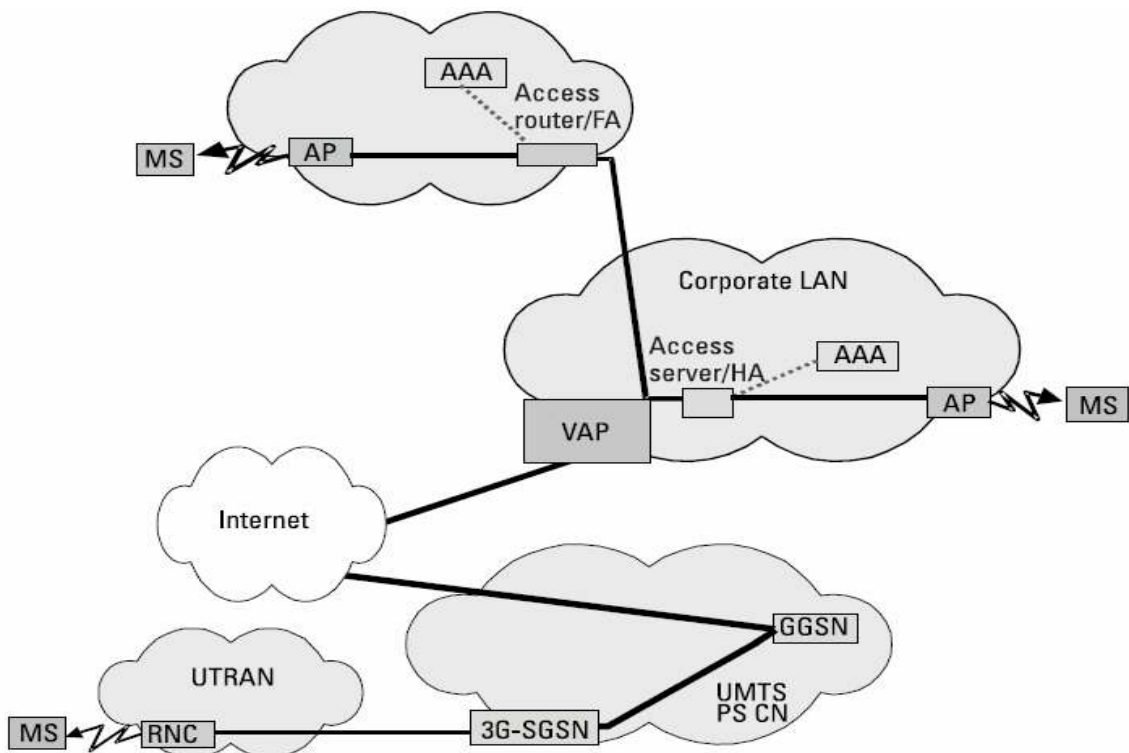


Σχήμα 6.5 : Η Αρχιτεκτονική Νο.2 [1]

### Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Το βασικό μειονέκτημα της παρούσας αρχιτεκτονικής είναι όμοιο με αυτό της αμέσως προηγούμενης. Αυτό δεν είναι άλλο από το γεγονός ότι το UMTS λειτουργεί ως bottleneck του WLAN και ότι η δρομολόγηση δεν είναι αποδοτική. Εντούτοις, το πλεονέκτημα αυτής της αρχιτεκτονικής είναι ότι αποφεύγεται το επιπρόσθετο φορτίο (overhead) που προκαλείται από μη αναγκαίες λειτουργίες. Επίσης στην προηγούμενη αρχιτεκτονική, η IWU απαιτεί την προσαρμογή των μορφοτύπων (format) των πακέτων των δύο δικτύων. Εάν ο εξομοιωτής SGSN κάνει αυτή την προσαρμογή, ο GGSN θα μπορούσε να παραμείνει αμετάβλητος. Σε αυτή την αρχιτεκτονική, η ρυθμοαπόδοση του GGSN μπορεί να προκαλέσει προβλήματα, εάν η χωρητικότητα του GGSN δεν έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορεί να διεκπεραιώσει το μέγεθος των διακινούμενων πληροφοριών. Αντίθετα, εάν η προσαρμογή που γίνεται από τον GGSN, λαμβάνει υπόψη τις αυξανόμενες ανάγκες για εύρος ζώνης, οι ταχύτητες μετάδοσης του WLAN θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν πλήρως.

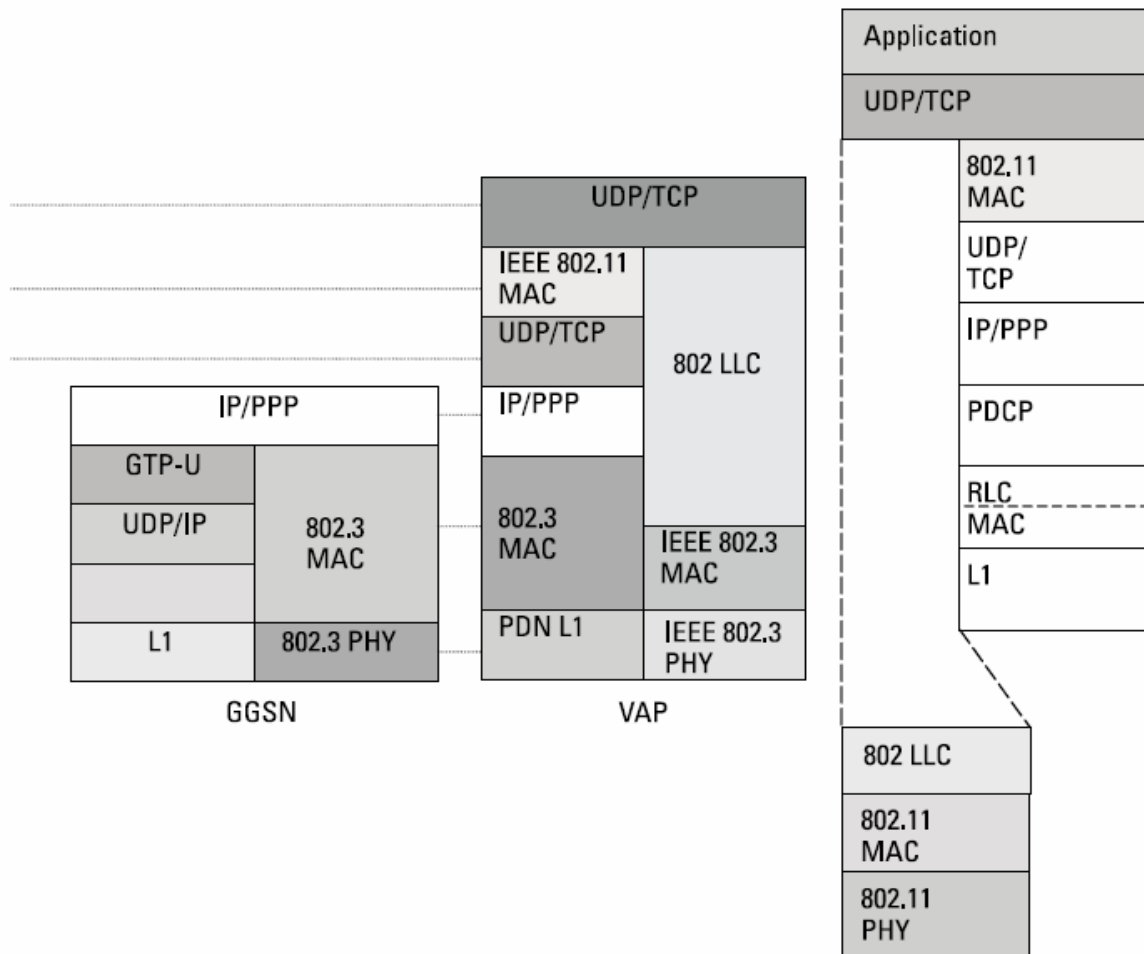
## 6.5 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ Νο 3 – ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ UMTS ΚΑΙ ΕΝΟΣ VAP ΤΟΥ WLAN



Σχήμα 6.6 : Η Αρχιτεκτονική Νο. 3 [1]

Το Εικονικό Σημείο Πρόσβασης (VAP) αντιστρέφει τους ρόλους που παίζουν τα δύο εμπλεκόμενα δίκτυα στις πρώτες δύο αρχιτεκτονικές διασύνδεσης. Εδώ, το WLAN είναι το κύριο (master) δίκτυο, και το UMTS είναι το δίκτυο-υπηρετής (slave). Το Σχήμα 6.6 απεικονίζει την αρχιτεκτονική αυτού του τύπου διασύνδεσης.

Η διαφορά αυτής της διασύνδεσης σε σχέση με τις προηγούμενες αρχιτεκτονικές είναι η ύπαρξη ενός VAP στη θέση των εξομοιωτών RNC και SGSN. Τα θέματα κινητικότητας των χρηστών ρυθμίζονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του προτύπου 802.11 για το πρωτόκολλο IAPP (Interaccess Point Protocol). Το WLAN παρακολουθεί όλες τις διαδικασίες περιαγωγής που λαμβάνουν χώρα μέσω των διαφόρων σημείων πρόσβασης που υπάρχουν εντός του BSS του (βλ. Κεφάλαιο 3). Το VAP έχει το ρόλο ενός ακόμα σημείου πρόσβασης. Από την πλευρά του, το WLAN, βλέπει ολόκληρο το δίκτυο UMTS ως ένα BSS ή μία πικοκυψέλη (picocell) που συνδέεται με ένα σημείο πρόσβασης, το οποίο στην περίπτωση μας δεν είναι άλλο από το VAP. Η λειτουργία του VAP είναι να επικοινωνεί με τους κινητούς σταθμούς (MSs) που συνδέονται μέσω του UMTS, να αποθλακώνει (de-encapsulate) τα πακέτα τους, και να τα διαβιβάζει στο WLAN. Αφού γίνει αυτό, τα πακέτα θα φθάσουν στον τελικό προορισμό μέσω του δρομολογητή που συνδέεται με το WLAN. Η στοίβα των πρωτοκόλλων είναι μια τροποποιημένη έκδοση αυτής που παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.2, μόνο που στο Σχήμα 6.7 προσθέτουμε και τη δομή του VAP. Επιπλέον, η συγκεκριμένη διασύνδεση απαιτεί επίσης κάποιες τροποποιήσεις στη στοίβα των πρωτοκόλλων των κινητών συσκευών (Σχήμα 6.7, δεξιά).



**Σχήμα 6.7 :** (αριστερά) Στοιβά πρωτοκόλλων για τον κόμβο GGSN και για το Εικονικό Σημείο Πρόσβασης, (δεξιά) Στοιβά πρωτοκόλλων για τις κινητές συσκευές

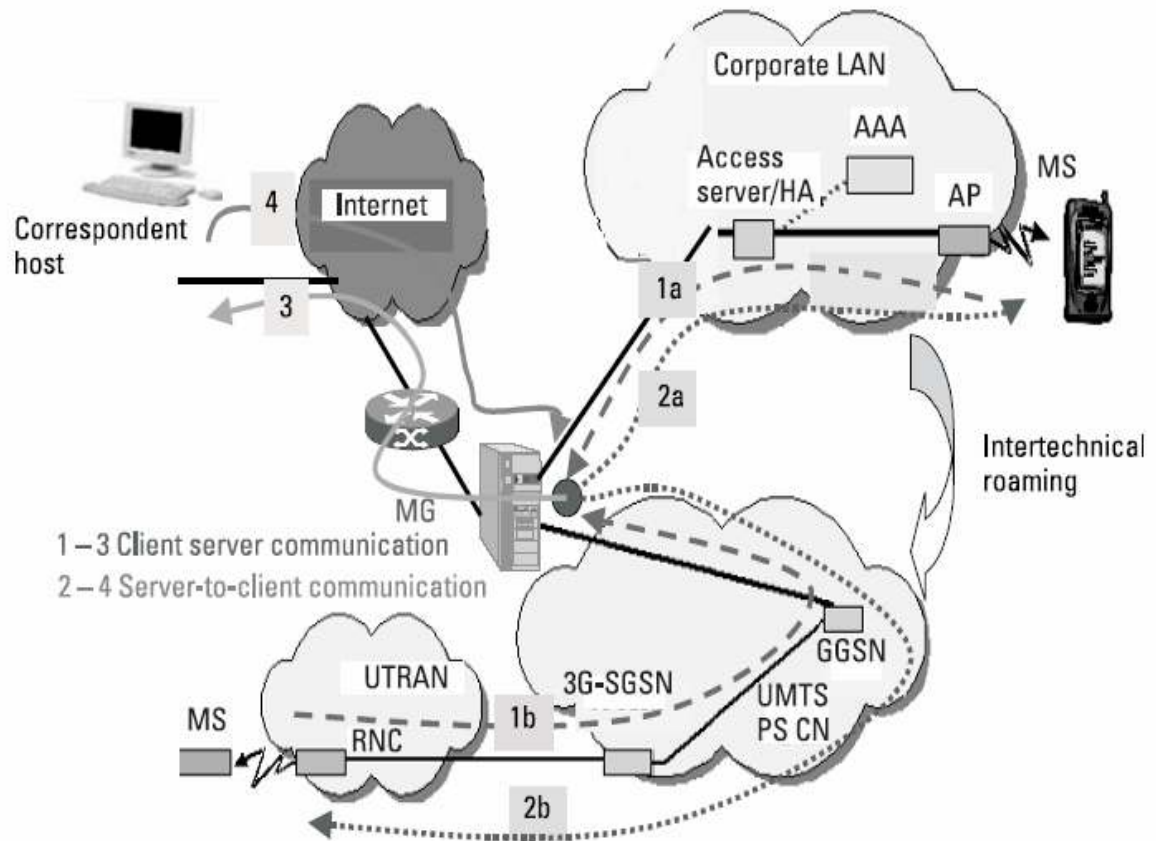
Σε αυτή τη διασύνδεση, το VAP είναι προφανές πως πρέπει να περιέχει το επίπεδο MAC και των δύο δικτύων. Για αυτό το λόγο, παρατηρούμε ότι τόσο ο GGSN όσο και ο MS εφαρμόζουν και τα πρωτόκολλα του UMTS. Προκειμένου το WLAN να βλέπει το VAP ως ένα κοινό σημείο πρόσβασης, όλα τα πρωτόκολλα του GGSN του δικτύου UMTS μέχρι και το GTP-U αντιστοιχούνται με το MAC υποεπίπεδο του προτύπου 802.3. Από την πλευρά του VAP, το πρωτόκολλο UDP/TCP είναι στην κορυφή της στοιβάς. Το 802.11 πρωτόκολλο του MAC επιπέδου που εφαρμόζεται στις κινητές συσκευές είναι ένα επίπεδο κάτω από το UDP/TCP. Ως εκ τούτου, τα 802.11 πρωτόκολλα του MAC επιπέδου και τα πρωτόκολλα κάτω από αυτά αντιστοιχούνται με το επίπεδο Λογικού Ελέγχου Ζεύξεων (LLC). Τέλος, το πρωτόκολλο 802.3 του MAC επιπέδου στον κόμβο GGSN αντιστοιχείται με τα πρωτόκολλα που βρίσκονται κάτω από το IP/PPP (IP/Point-toPoint Protocol) στο VAP.

### **Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα**

Αυτός ο τύπος διασύνδεσης δεν έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις υπόλοιπες τέσσερις αρχιτεκτονικές, που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο. Δεν είναι κατ' αρχάς σαφές πώς το VAP θα λειτουργεί με τα υπόλοιπα κοινά σημεία πρόσβασης του WLAN. Από το σχήμα 6.7, είναι σαφές ότι στην περιοχή του UMTS, κάθε πακέτο θα έχει διπλάσιες επικεφαλίδες UDP/TCP και IP/PPP. Επιπλέον, θα υπάρχει και μια MAC

επικεφαλίδα του WLAN μαζί με τις υπόλοιπες επικεφαλίδες που έχουν σχέση με το UMTS. Αυτό το επιπρόσθετο φορτίο (overhead) των πακέτων, όπως είναι φυσικό, σπαταλά αρκετό από το πολύτιμο διαθέσιμο εύρος ζώνης, κάτι το οποίο μπορεί να καταστήσει αυτή τη διασύνδεση ακόμα και ανεπαρκή.

## 6.6 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ Νο 4 – ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ UMTS ΚΑΙ ΤΟΥ WLAN ΜΕΣΩ ΜΙΑΣ MG

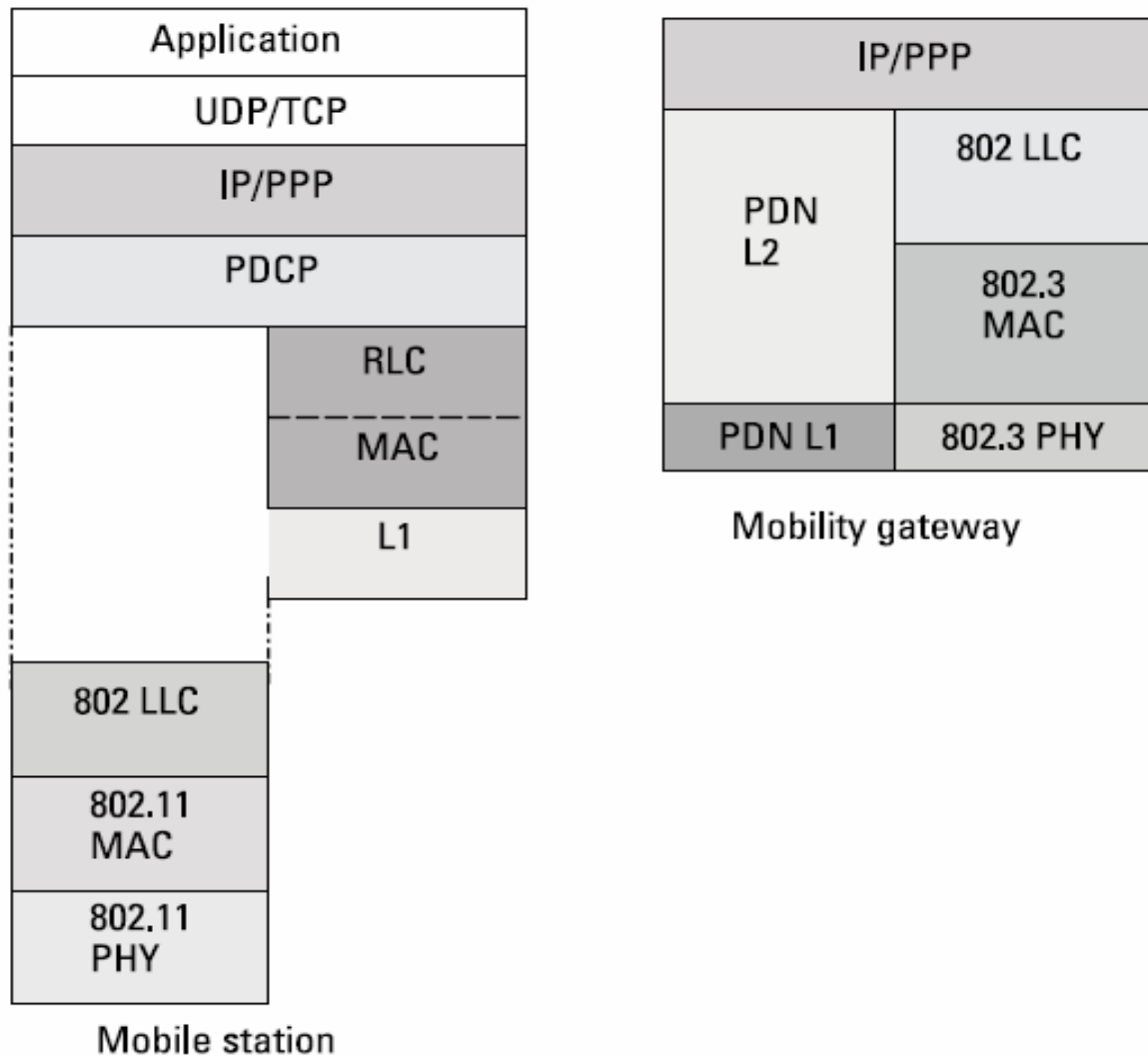


Σχήμα 6.8 : Η Αρχιτεκτονική Νο. 4 [1]

Η αρχιτεκτονική διασύνδεσης παρουσιάζεται στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 6.8). Ένας ενδιάμεσος κεντρικός υπολογιστής (server) τοποθετείται είτε στην πλευρά του UMTS είτε στην πλευρά του WLAN και μία Πύλη Κινητικότητας (Mobility Gateway) αναλαμβάνει τη διαχείριση των ζητημάτων της δρομολόγησης των πακέτων και της κινητικότητας των χρηστών.

Όταν μία κινητή συσκευή (MS) συνδέεται με ένα σημείο πρόσβασης, το μονοπάτι της επικοινωνίας μεταξύ της κινητής συσκευής και ενός αντίστοιχου host (CH) στο διαδίκτυο θα είναι το 1a-3. Το αντίστροφο μονοπάτι (δηλαδή από τον CH στο MS) θα είναι το 4-2a. Όταν η κινητή συσκευή βρίσκεται εντός του δικτύου UMTS, το αντίστοιχο μονοπάτι θα είναι το 1b-3, και το αντίστροφό του θα είναι το 4-2b. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι τα κομμάτια των διαδρομών 3 και 4 δεν αλλάζουν και στα δύο μονοπάτια ανεξάρτητα από το πού βρίσκεται η κινητή συσκευή. Τα μόνα κομμάτια των διαδρομών που αλλάζουν είναι το

1 και το 2. Όσον αφορά τις στoίβες των πρωτοκόλλων, αυτή του WLAN δεν αλλάζει σε τίποτα. Αντίθετα, στο δίκτυο UMTS υπάρχουν κάποιες τροποποιήσεις, καθώς προστίθεται η MG. Επίσης, μετατροπές πρέπει να γίνουν και στη στoίβα πρωτοκόλλων της κινητής συσκευής, η οποία πρέπει να είναι δίτροπη (dual-mode). Το Σχήμα 6.9 παρουσιάζει τις στoίβες των πρωτοκόλλων για την Κινητή Συσκευή (αριστερά) και για την Πύλη Κινητικότητας (δεξιά).



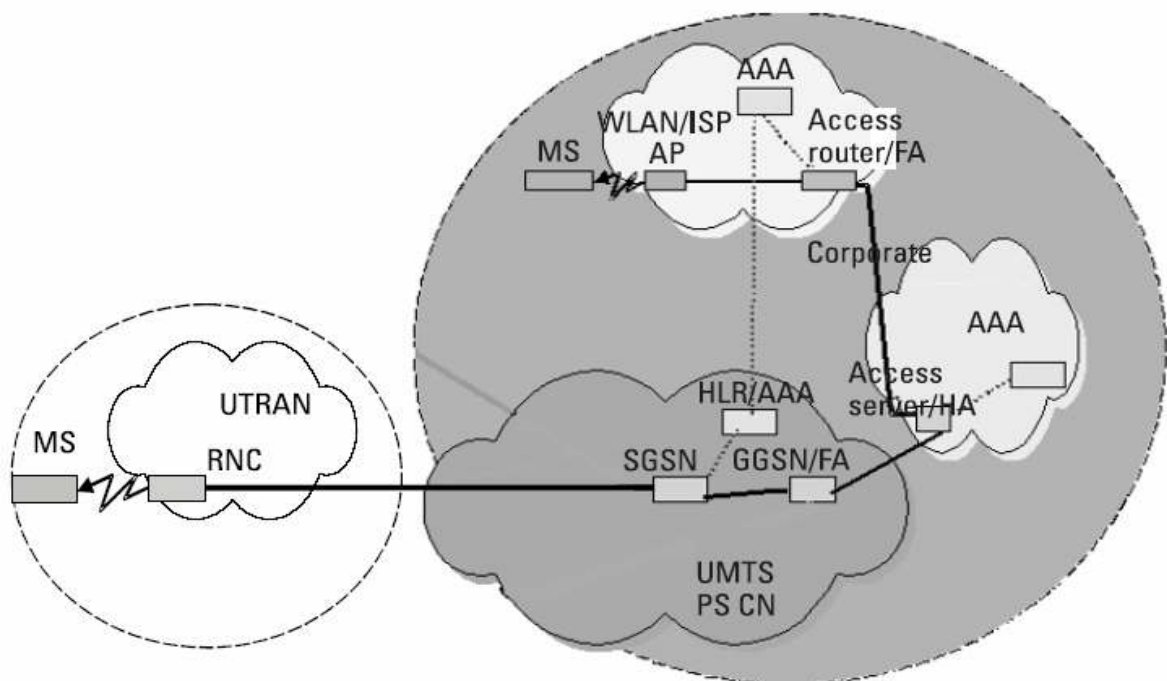
**Σχήμα 6.9 : Στοιβές πρωτοκόλλων για την κινητή συσκευή (MS) και για την πύλη κινητικότητας (MG).**

### Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε από αυτήν εδώ την αρχιτεκτονική. Κατ' αρχάς πρόκειται για μία κλιμακωτή (scalable) αρχιτεκτονική. Υπάρχει η δυνατότητα για περαιτέρω βελτιστοποιήσεις στα θέματα της δρομολόγησης των πακέτων με τη χρήση του MIP. Παρόλα αυτά, μία ενδεχόμενη μείωση του επιπρόσθετου φορτίου είναι δυνατόν να ισοσταθμιστεί από την ανάγκη για πρόσθετα πρωτόκολλα ελέγχου. Επιπλέον, αυτή η αρχιτεκτονική μπορεί να διαχειριστεί πολύ πιο αποδοτικά τις συνδέσεις που απαιτούν πολύ λίγους πόρους.

Τα κύρια μειονεκτήματα της αρχιτεκτονικής αναφέρονται παρακάτω. Κατ' αρχάς, η αρχιτεκτονική δεν είναι τυποποιημένη, και επομένως απαιτεί αναγκαστικά τη χρήση ιδιόκτητων πρωτοκόλλων για να λειτουργήσει εύρυθμα. Δεύτερον, η απόδοση της MG δεν είναι και τόσο καλή, από την άποψη ότι προστίθεται μια σημαντική καθυστέρηση στο μονοπάτι επικοινωνίας. Ενδεχομένως, η διατεμαστική σημασιολογία (end-to-end semantics) του πρωτοκόλλου μεταφορών μπορεί επίσης να παραβιαστεί. Επιπλέον, εάν μία MG καταρρεύσει, αυτό το γεγονός μπορεί να οδηγήσει στην κατάρρευση ολόκληρου του δικτύου. Τρίτον και σημαντικότερο, υπάρχει και το μεγάλο ζήτημα της ανάπτυξης των απαραίτητων πρωτοκόλλων για τη διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών. Υπάρχουν μερικά ακόμη θέματα που παραμένουν ανοικτά. Για παράδειγμα, η τοποθέτηση και ο αριθμός των MG εξαρτώνται κάθε φορά από πολλούς παράγοντες [1, 3].

## 6.7 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ Νο 5 – ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ UMTS ΚΑΙ ΤΟΥ WLAN ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΟ MOBILE IP



Σχήμα 6.10 : Η Αρχιτεκτονική Νο. 5 [1]

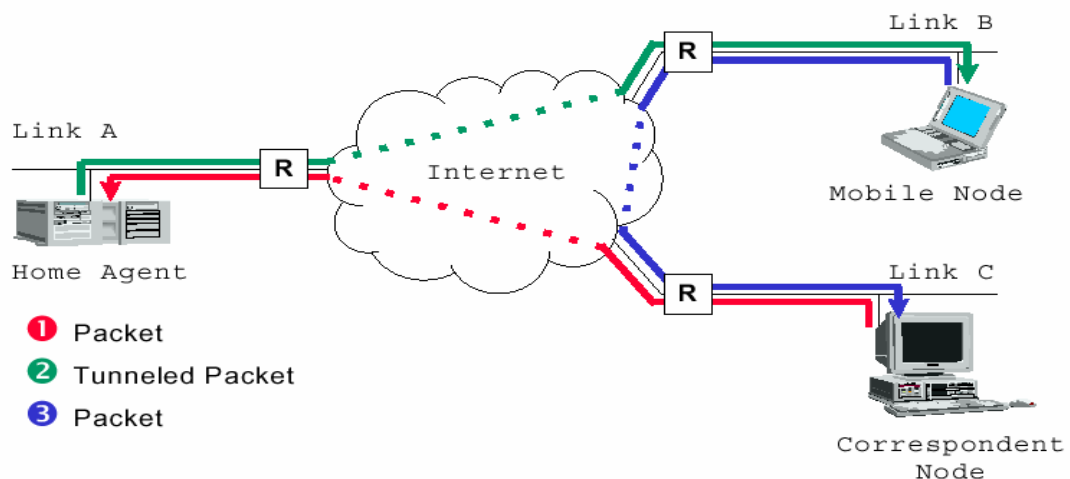
Η αρχιτεκτονική ενοποίησης που σχετίζεται με το πρωτόκολλο MIP παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.10. Το MIP υιοθετείται για να βοηθήσει στην επαναεγκαθίδρυση των συνδέσεων όταν μία κινητή συσκευή περιηγείται (roams) από το ένα δίκτυο στο άλλο. Έξω από το δίκτυο με το οποίο είναι συνδεδεμένη, η κινητή συσκευή αναγνωρίζεται από μια διεύθυνση (Care Of Address - COA) που έχει σχέση με το σημείο διασύνδεσης και με τον ξένο πράκτορα (FA) που υπάρχει εκεί και διαχειρίζεται όλες τις διαδικασίες πλασίωσης και δρομολόγησης των πακέτων.

Η κινητή συσκευή καταχωρεί την COA της με τη βοήθεια ενός τοπικού πράκτορα (HA). Ο τοπικός πράκτορας βρίσκεται στο δίκτυο με το οποίο είναι συνδεδεμένη η κινητή συσκευή και είναι αρμόδιος για την παρεμπόδιση των πακέτων δεδομένων που

απευθύνονται στη τοπική διεύθυνση της συσκευής, καθώς επίσης και για την ενθυλάκωσή τους στη σχετική COA. Τα πακέτα δεδομένων σε μία συσκευή δρομολογούνται πάντα μέσω του τοπικού πράκτορα. Τα πακέτα από τη συσκευή αναμεταδίδονται μέσω ενός βέλτιστου μονοπατιού από το σύστημα δρομολόγησης του Διαδικτύου, αν και είναι δυνατόν να εφαρμοστεί αντίστροφη σηράγγωση μέσω του τοπικού πράκτορα. Είναι προφανές ότι και σε αυτή την αρχιτεκτονική είναι απαραίτητη η ύπαρξη μίας δίτροπης (dual-mode) στοίβας πρωτοκόλλων στις κινητές συσκευές. Αυτή η στοίβα είναι πανομοιότυπη με αυτή της αμέσως προηγούμενης αρχιτεκτονικής (βλ. Σχήμα 6.9). Είναι σαφές ότι σε αυτή την αρχιτεκτονική τα δύο δίκτυα είναι ισότιμα και ότι η διαλειτουργικότητα των δύο ειδών πρακτόρων (HA - FA) λαμβάνει χώρα στο επίπεδο δικτύου [3].

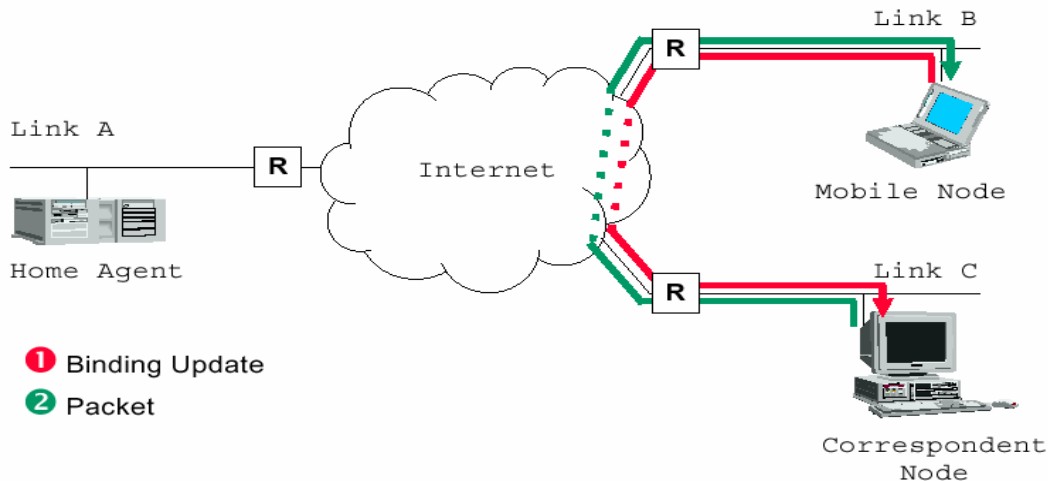
### Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Το πλεονέκτημα αυτής της διασύνδεσης είναι ότι βασίζεται στο MIP, το οποίο καθιστά κινητή τη διεύθυνση IP. Χρησιμοποιείται η ίδια διεύθυνση IP, κάτι το οποίο λύνει τα πολλαπλά προβλήματα διευθυνσιοδότησης. Επίσης, απαιτούνται μερικές συμβάσεις τόσο στο UMTS όσο και στο WLAN, έτσι ώστε να λύνονται τα προβλήματα των διπλών πακέτων. Για παράδειγμα, οι βάσεις δεδομένων και των δύο δικτύων πρέπει να μπορούν να επικοινωνούν προκειμένου να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό. Το κύριο μειονέκτημα του MIPv4 είναι το λεγόμενο πρόβλημα της τριγωνικής δρομολόγησης (triangle routing). Πιο συγκεκριμένα, αν ένας κινητός κόμβος επικοινωνεί με έναν correspondent node ενώ είναι μακριά από το home, τα πακέτα δρομολογούνται από τον correspondent node στον home agent και από τον home agent στον κινητό κόμβο και από αυτόν στον correspondent (βλ. Σχήμα 6.11). Το MIPv6 έχει βρει μία λύση για αυτό το πρόβλημα. Πιο συγκεκριμένα, ο κινητός κόμβος στέλνει Binding Update σε κάθε correspondent κόμβο. Αυτό επιτρέπει στους correspondent κόμβους να αποθηκεύουν τη διεύθυνση COA και να στέλνουν πακέτα κατευθείαν στον κινούμενο κόμβο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.12. Η αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος είναι πολύ σημαντική για τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου [4].



**Σχήμα 6.11 : Το πρόβλημα της τριγωνικής δρομολόγησης (triangle routing) [4]**





Σχήμα 6.12 : Αντιμετώπιση του προβλήματος της τριγωνικής δρομολόγησης [4]

## 6.8 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό προσπαθήσαμε να παρουσιάσουμε αρκετούς από τους πιο βασικούς τρόπους ενοποίησης των συστημάτων UMTS και WLAN. Οι όποιες αλλαγές προτείνονται, βρίσκουν εφαρμογή ως επί το πλείστον στο επίπεδο δικτύου και αυτό γιατί θέλαμε να ελαχιστοποιήσουμε τις μετατροπές που πρέπει να γίνουν στα δύο κατώτερα επίπεδα (PHY και MAC). Κύριο μέλημά μας ήταν να υπάρχει σε κάθε αρχιτεκτονική μία οντότητα, η οποία θα είναι αρμόδια για τη διαχείριση των θεμάτων που αφορούν την κινητικότητα των χρηστών αλλά και τη δρομολόγηση των πακέτων. Στο επόμενο κεφάλαιο, κάνουμε μία προσπάθεια να σχεδιάσουμε και να αναπτύξουμε συγκεκριμένα σενάρια αρχιτεκτονικών, τα οποία μοιάζουν σε πολλά σημεία με τις πέντε γενικές προτεινόμενες αρχιτεκτονικές του παρόντος κεφαλαίου. Για κάθε μία από αυτές, θα παρουσιάσουμε συγκεκριμένες λύσεις για διάφορα θέματα QoS που μας ενδιαφέρουν για την υλοποίηση της τελικής προσομοίωσης.

## 6.9 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Ramjee Prasad, Luis Munoz, **WLANs and WPANs towards 4G Wireless**, Artech House Inc., (Κεφάλαιο 2, σελ. 42-57), 2003.

[2] Vulic N., Heemstra De Groot S., Niemegeers I., **A Framework for Integration of Different WLAN Technologies at UMTS Radio Access Level**, 2006.

[3] Shiao-Li Tsao and Chia-Ching Lin, **Design and Evaluation of UMTS-WLAN Interworking Strategies**, 2002.

[4] [http://icbnet.telecom.ntua.gr/selides/Itech/ergasies\\_2001/UMTS\\_MobileIPv6.doc](http://icbnet.telecom.ntua.gr/selides/Itech/ergasies_2001/UMTS_MobileIPv6.doc)

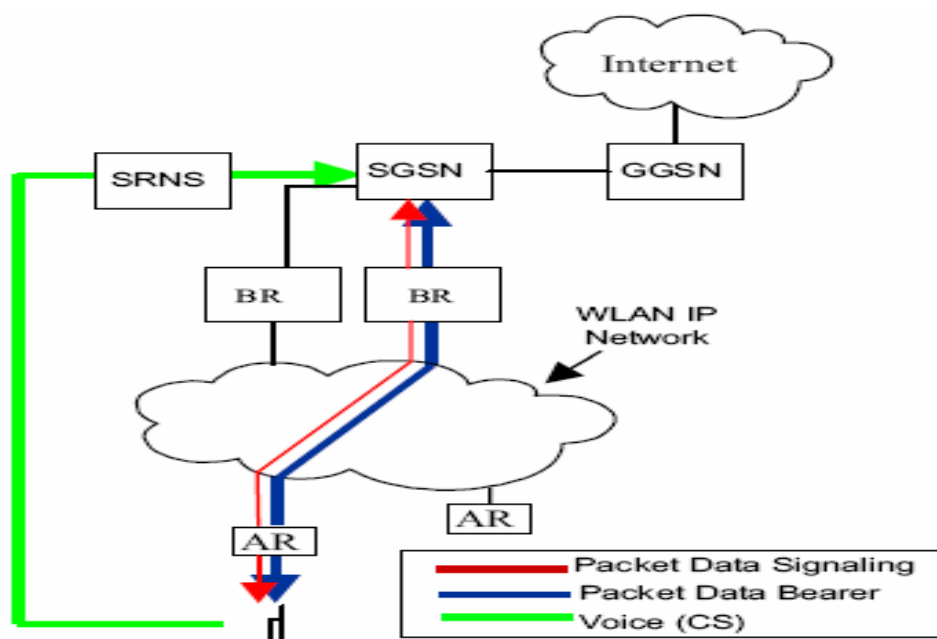
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> - ΟΙ ΕΠΙΚΡΑΤΕΣΤΕΡΕΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ UMTS-WLAN ΣΗΜΕΡΑ

## 7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατ'αρχάς πρέπει να ξεκαθαρίσουμε το εξής : Δεν υπάρχει η τέλεια αρχιτεκτονική, η οποία να ικανοποιεί ταυτόχρονα όλα τα σενάρια ενοποίησης, έτσι όπως αυτά έχουν διατυπωθεί από την 3GPP [1].

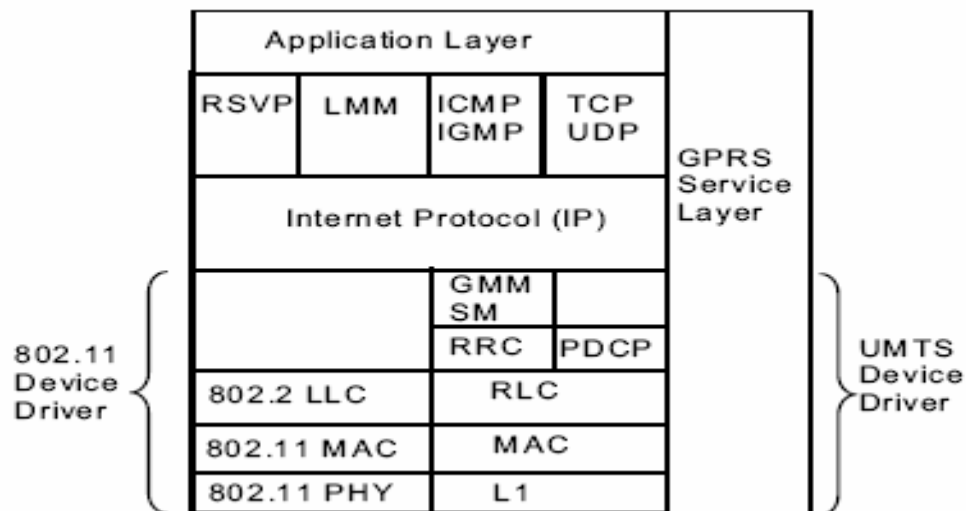
Σε αυτό το κεφάλαιο, έχουμε ως βασικό μας στόχο να παρουσιάσουμε τις αρχιτεκτονικές ενοποίησης των ετερογενών συστημάτων UMTS και WLAN, έτσι όπως αυτές έχουν επικρατήσει σήμερα. Αυτές είναι η tight-coupled, η loose-coupled και η hybrid-coupled αρχιτεκτονική. Οι συγκεκριμένες έχουν πολλά κοινά στοιχεία με τα πέντε πρώτα πρότυπα αρχιτεκτονικών που παρουσιάστηκαν στο αμέσως προηγούμενο κεφάλαιο. Στο παρόν κεφάλαιο, θα γίνει μία προσπάθεια να εξεταστούν με περισσότερη λεπτομέρεια όλα τα στοιχεία που αποτελούν τα μοντέλα που θα παρουσιάσουμε. Θα εξεταστούν οι σχέσεις μεταξύ των δομικών στοιχείων τους και θα δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα στο πώς ακριβώς υλοποιούνται οι διάφοροι μηχανισμοί μεταπομπής (handoff). Το τελευταίο άλλωστε αποτελεί το πιο ενδιαφέρον κομμάτι, καθώς θα αποτελέσει ουσιαστικά το θεωρητικό υπόβαθρο για την υλοποίηση της τελικής προσομοίωσης που παρουσιάζεται στο τρίτο μέρος της παρούσας διπλωματικής.

## 7.2 TIGHT-COUPLED ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ



Σχήμα 7.1 : Tight-coupled αρχιτεκτονική [2]

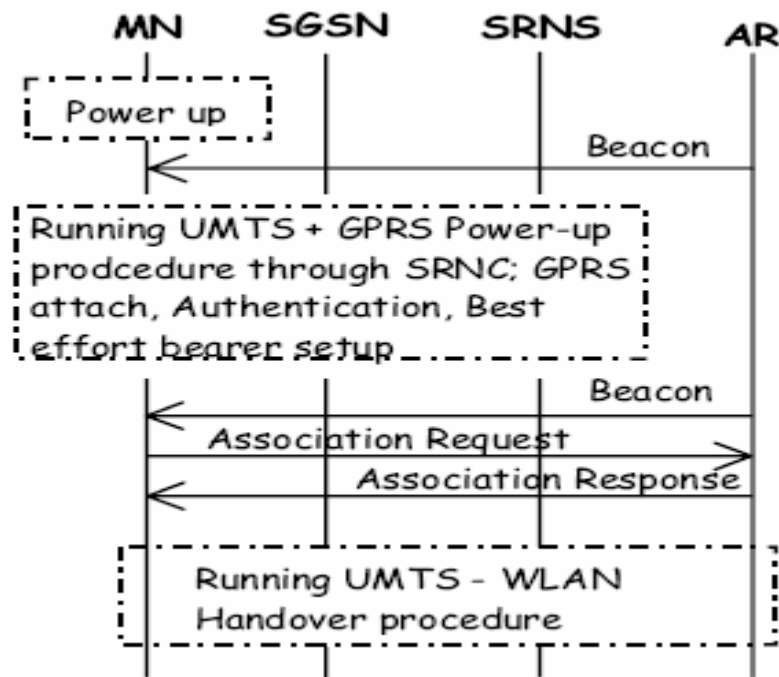
Αρχικά, για την καλύτερη κατανόηση των παρακάτω, κρίνουμε σκόπιμο να παραθέσουμε κάποιες υποθέσεις που κάνουμε για το σύστημα. Έτσι λοιπόν υποθέτουμε ότι το τερματικό των χρηστών είναι εφοδιασμένο με δύο διεπαφές, εκ των οποίων η μία είναι η διεπαφή UMTS και η άλλη η διεπαφή WLAN. Και οι δύο διεπαφές μπορούν να ενεργοποιηθούν ταυτόχρονα, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η σύνδεση με τα δύο αντίστοιχα δίκτυα. Το σχήμα 7.2 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική δομή των διάφορων πρωτοκόλλων που υλοποιούνται στη μεριά της τερματικής συσκευής του χρήστη. Αυτή η αρχιτεκτονική ακολουθεί τις θεμελιώδεις αρχές του προτύπου διαστρωμάτωσης του Διαδικτύου. Ο οδηγός (driver) του WLAN περιέχει τις λειτουργίες ελέγχου 802.2 LLC και 802.11 MAC. Από την άλλη μεριά, ο οδηγός του UMTS υλοποιεί τις αντίστοιχες λειτουργίες ελέγχου, έτσι όπως αυτές φαίνονται στο σχήμα 7.2 και έχουν ήδη αναλυθεί στο Κεφάλαιο 2. Επιπλέον, μπορούμε να πούμε ότι το επίπεδο υπηρεσιών GPRS εισάγεται για να παρέχει τη διάδραση των υψηλότερων επιπέδων με την υπόλοιπη στοίβα πρωτοκόλλων του GPRS. Υποθέτουμε ότι η ακολουθία πρωτοκόλλων IP περιέχει το RSVP για την παροχή υπηρεσιών QoS και την εξασφάλιση των απαιτούμενων πόρων, όπως επίσης και ένα πρωτόκολλο διαχείρισης κινητικότητας για την τοπική διαχείριση κινητικότητας (Local Mobility Management) στο δίκτυο WLAN. Η LMM υλοποιεί οποιοδήποτε πρωτόκολλο διαχείρισης κινητικότητας, όπως παραδείγματος χάριν το HMIPv6 που επιτρέπει τη γρήγορη επίτευξη μεταπομπών (handoff). Οι εφαρμογές αλληλεπιδρούν με τη στοίβα πρωτοκόλλων χρησιμοποιώντας το πρότυπο RSVP API. Η εφαρμογή API χρησιμοποιεί είτε το RSVP είτε το PDP ανάλογα με το εάν η σύνοδος εγκαθιδρύεται μέσω του δικτύου WLAN ή UMTS.



Σχήμα 7.2 : Αρχιτεκτονική δομή πρωτοκόλλων στη μεριά της τερματικής συσκευής του χρήστη [2]

Προτού προχωρήσουμε σε θέματα που μας απασχολούν περισσότερο, κρίνουμε απαραίτητο να αναφερθούμε στις διαδικασίες σύνδεσης μίας τερματικής συσκευής με ένα σταθμό βάσης. Έχουμε ήδη αναφέρει μερικά πράγματα στο Κεφάλαιο 5, αλλά εδώ θα αναλύσουμε την όλη διαδικασία με περισσότερη λεπτομέρεια. Όταν μία κινητή συσκευή ενεργοποιείται σε μία κυψέλη UMTS, λαμβάνει μόνο τα αναγνωριστικά σήματα (beacons) από το σταθμό βάσης UMTS, και ως εκ τούτου ενεργοποιεί τη διεπαφή UMTS και τρέχει μία συγκεκριμένη διαδικασία ενεργοποίησης με το UMTS δίκτυο. Εάν τώρα η συσκευή ενεργοποιείται μέσα σε μία περιοχή WLAN, τότε η συσκευή μπορεί να συνδεθεί τόσο με

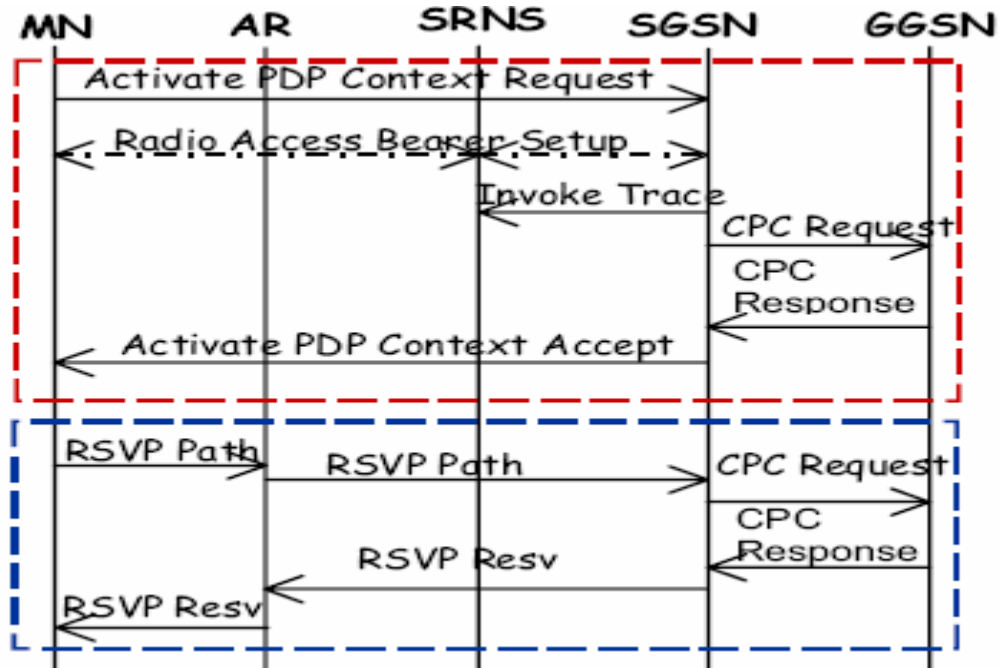
το δίκτυο WLAN όσο και με το δίκτυο UMTS. Σε αυτήν την περίπτωση λοιπόν, λαμβάνει τα αναγνωριστικά σήματα από το σταθμό βάσης του UMTS καθώς επίσης και από το σημείο πρόσβασης (AP) του WLAN. Δεδομένου ότι το UMTS παρέχει τη βασική ασύρματη υπηρεσία, η συσκευή τρέχει τη διαδικασία ενεργοποίησης του UMTS μέσω της διεπαφής UMTS. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας αγνοεί τα αναγνωριστικά σήματα που λαμβάνονται από τη WLAN διεπαφή. Το σχήμα 7.3 αναπαριστά την περιγραφόμενη διαδικασία ενεργοποίησης. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας η συσκευή εγκαθιδρύει τη βασική σύνδεση PS (packet-switched) μέσω του SRNS με τους κόμβους SGSN και GGSN. Το πλαίσιο PDP εγκαθιδρύεται στον κόμβο GGSN, στον SGSN και στην τερματική συσκευή, ενώ το πλαίσιο κινητικότητας εγκαθιδρύεται στον SGSN και την τερματική συσκευή. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία ενεργοποίησης, η συσκευή αποκρίνεται στα αναγνωριστικά σήματα 802.11 τρέχοντας τη διαδικασία διασύνδεσης με το AP του WLAN. Μόλις συνδεθεί με το AP, τρέχει τη διαδικασία μεταπομπής μεταξύ των δύο εμπλεκόμενων δικτύων, έτσι όπως αυτή θα περιγραφεί παρακάτω σε αυτήν την παράγραφο. Σε όλα τα υπόλοιπα που θα αναφερθούν παρακάτω, υποθέτουμε ότι η τερματική συσκευή είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο UMTS.



**Σχήμα 7.3 : Περιγραφή της διαδικασίας ενεργοποίησης της τερματικής συσκευής με τα δύο δίκτυα [2]**

Τώρα περνάμε σε θέματα εξασφάλισης των πόρων που απαιτούνται για την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος. Το GPRS είναι ένα συνδεσμολογούμενο δίκτυο όπου οι σύνοδοι PS εγκαθιδρύονται πριν από την επικοινωνία μεταξύ της συσκευής και των κόμβων στο Διαδίκτυο. Για κάθε σύνοδο PS εγκαθιδρύονται οι συνδέσεις μεταξύ των κόμβων GGSN και SGSN, καθώς επίσης και μεταξύ του κόμβου SGSN και της τερματικής συσκευής. Η σηματοδότηση του PDP χρησιμοποιείται για να εγκαταστήσει τη σύνδεση και να εξασφαλίσει τους απαιτούμενους πόρους στο δίκτυο GPRS. Η σηματοδότηση RAB (βλ. Σχήμα 7.4) χρησιμοποιείται μεταξύ του SGSN και του RNC για να εγκαταστήσει τα ραδιοκανάλια και να εξασφαλίσει τους αντίστοιχους απαιτούμενους πόρους. Το πάνω πλαίσιο στο σχήμα 7.4 παρουσιάζει ένα παράδειγμα αποστολής ενός πλαισίου PDP από την

τερματική συσκευή. Σε αυτήν την περίπτωση, η συσκευή επικοινωνεί με τον SGSN για να αρχίσει την εγκατάσταση του PDP πλαισίου. Ο κόμβος SGSN συντονίζει τη διαδικασία αυτή με τον GGSN και την αντίστοιχη διαδικασία RAB με τον SRNC. Πιο συγκεκριμένα, στέλνει το αίτημα CPC (Create PDP Context) στον GGSN, και αφού λάβει την αντίστοιχη απόκριση εγκαθιδρύει το RAB (κομιστής ραδιοπρόσβασης) μέσω του SRNC και στέλνει έπειτα την τελική απάντηση στην τερματική συσκευή του χρήστη.



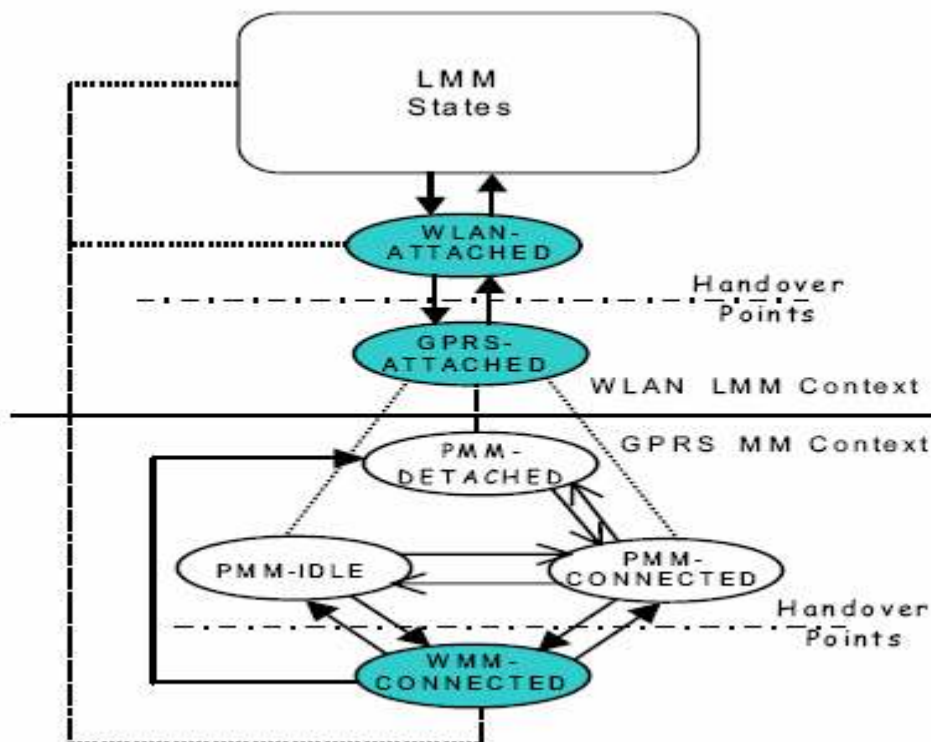
Σχήμα 7.4 : Διαδικασία εξασφάλισης των απαιτούμενων πόρων [2]

Στο δίκτυο WLAN, το πρωτόκολλο RSVP μπορεί κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί για την εξασφάλιση των απαιτούμενων δικτυακών πόρων. Η τερματική συσκευή στέλνει το μονοπάτι RSVP (RSVP Path) στον SGSN προκειμένου να εγκαθιδρυθεί μια νέα σύνοδος δεδομένων, η οποία εκκινά το αντίστοιχο πλαίσιο PDP που οργανώνεται μέσα στο δίκτυο GPRS. Οι διάφορες παράμετροι στο μήνυμα RSVP Path είναι ουσιαστικά οι ίδιες παράμετροι που καθορίζονται για τις υπηρεσίες UMTS. Όπως φαίνεται και στο κάτω πλαίσιο του σχήματος 7.4, ο κόμβος SGSN διαπραγματεύεται την εγκατάσταση της συνόδου με τον GGSN χρησιμοποιώντας τα διάφορα μηνύματα PDP. Τέλος, οι προαναφερόμενοι κόμβοι αποκρίνονται με το μήνυμα RSVP RESV προς την τερματική συσκευή του χρήστη.

Έχοντας ήδη αναλύσει πολλά θέματα που αφορούν τον ακριβή τρόπο που διασυνδέονται τα διάφορα δικτυακά στοιχεία σε ένα περιβάλλον που σε επόμενο κεφάλαιο ονομάζουμε double-coverage area, ήρθε η ώρα να ασχοληθούμε ενδελεχώς και με τα ζητήματα που μας αφορούν άμεσα στα πλαίσια πάντα της παρούσας διπλωματικής. Αυτά τα ζητήματα, τα οποία έχουν ήδη προαναφερθεί δεν είναι άλλα από τα θέματα κινητικότητας των χρηστών (mobility issues) και τους μηχανισμούς με τους οποίους επιτυγχάνονται οι λεγόμενες μεταπομπές (handoffs) ανάμεσα στα δύο δίκτυα.

Η πληροφορία που αφορά την κινητικότητα των χρηστών μέσα στο δίκτυο UMTS αποθηκεύεται τόσο στον κόμβο SGSN όσο και στην ίδια την τερματική συσκευή του χρήστη, και ονομάζεται πληροφορία κινητικότητας του UMTS (UMTS Mobility Context -

UMC). Κάτι αντίστοιχο ισχύει και για το WLAN δίκτυο, με τη διαφορά ότι η αντίστοιχη πληροφορία κινητικότητας (WLAN Mobility Context - WMC) αποθηκεύεται στους ARs αντί για τους κόμβους SGSN. Κατά συνέπεια, καταλήγουμε στο ότι η τερματική συσκευή διατηρεί δύο είδη πληροφορίας κινητικότητας, την UMC και την WMC. Η UMC δεν κρατά τις λεπτομερείς πληροφορίες μέσα στο WLAN. Στο σχήμα 7.5 φαίνεται ότι η πληροφορία που σχετίζεται με τη διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών εντός του δικτύου UMTS (GPRS MM Context) αποτελείται από τρεις καταστάσεις. Η πληροφορία διατηρείται στην τερματική συσκευή και στον κόμβο SGSN. Όταν η συσκευή είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο UMTS, τότε βρίσκεται στην κατάσταση PMM-connected (Σχήμα 7.5). Όταν βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής μεταβαίνει στην κατάσταση PMM-idle και απελευθερώνει τους ραδιοπόρους. Η τηλεειδοποίηση (paging) χρησιμοποιείται για να εγκατασταθεί μία ραδιοζεύξη προτού διαβιβαστούν τα πακέτα στη συσκευή. Σε αυτήν την κατάσταση εάν η συσκευή κινηθεί προς την περιοχή κάλυψης του WLAN, τότε ακολουθείται ένας διασυστημικός μηχανισμός μεταπομπής, που έχει ήδη περιγραφεί λίγο παραπάνω και έτσι μεταβαίνουμε στην κατάσταση WMM-connected. Τέλος, μία συσκευή μεταβαίνει στην κατάσταση PMM-detached, όταν αποσυνδέεται ολοκληρωτικά από το δίκτυο, δηλαδή όταν ο χρήστης απενεργοποιεί τη συσκευή του. Η διαδικασία ενεργοποίησης που περιγράφηκε παραπάνω απαιτεί η συσκευή να ενεργοποιείται μέσω της διεπαφής UMTS. Ως εκ τούτου, η συσκευή μεταβαίνει από την κατάσταση PMM-detached στην κατάσταση PMM-connected κατά τη διάρκεια της ενεργοποίησης και πριν κάνει τη μεταπομπή στο WLAN. Αφού γίνει η σύνδεση με ένα Σημείο Πρόσβασης (AP) η συσκευή μεταβαίνει στην κατάσταση WMM-connected. Η μετάβαση από την PMM-connected στην WMM-connected λαμβάνει χώρα ως αποτέλεσμα της διασυστημικής μεταπομπής που περιγράφεται εκτενώς παρακάτω. Η συσκευή παραμένει στην WMM-connected για όσο χρονικό διάστημα είναι συνδεδεμένη με το WLAN.



Σχήμα 7.5 : Διαδικασίες διακίνησης της πληροφορίας που αφορά την κινητικότητα των χρηστών [2]

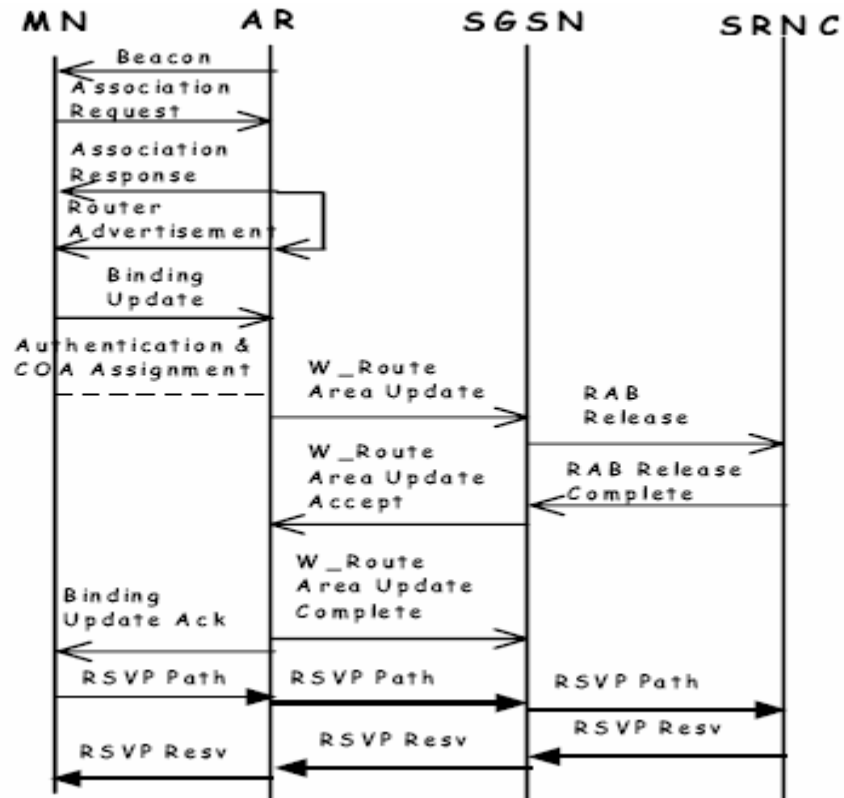
Η πληροφορία που αφορά τη διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών εντός του WLAN (WLAN LMM), παρουσιάζεται επίσης στο σχήμα 7.5. Περιλαμβάνει δύο βασικές καταστάσεις, την GPRS-attached και την WLAN-attached. Η πρώτη δείχνει ότι η συσκευή δε συνδέεται πλέον με το WLAN. Η μετάβαση από την πρώτη κατάσταση στη δεύτερη λαμβάνει χώρα ως αποτέλεσμα της διασυστημικής μεταπομπής από το UMTS στο WLAN. Το σχήμα 7.5 παρουσιάζει την ενοποίηση των δύο ειδών πληροφοριών. Οι διαστιγμένες γραμμές στο σχήμα παρουσιάζουν την αντιστοιχία μεταξύ των καταστάσεων στα δύο διαφορετικά δίκτυα.

Ο τελευταίος μηχανισμός που μας μένει να περιγράψουμε είναι αυτός της διασυστημικής μεταπομπής. Τα Σημεία Πρόσβασης του WLAN εκπέμπουν περιοδικά τα κατάλληλα αναγνωριστικά σήματα (beacons), τα οποία λαμβάνονται από όλες τις τερματικές συσκευές που περιπλανώνται εντός της περιοχής κάλυψης ενός AP, ακόμη και εκείνων που βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής. Η συσκευή καταλαβαίνει ότι βρίσκεται σε κατάσταση, όπου πρέπει να επιχειρήσει μεταπομπή λαμβάνοντας αναγνωριστικά σήματα από την πρώτη 802.11 κυψέλη από τη στιγμή που εισήλθε στην περιοχή κάλυψης του WLAN. Έπειτα λαμβάνει χώρα η διαδικασία μεταπομπής έτσι όπως αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 7.6.

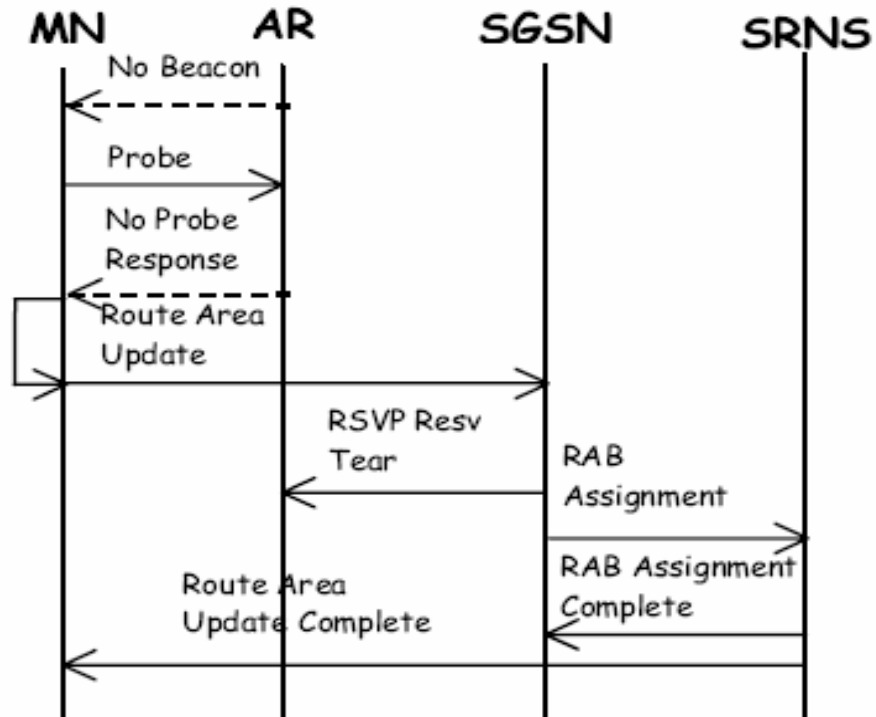
Πιο συγκεκριμένα, αρχικά, η συσκευή εκτελεί τη διαδικασία σύνδεσης με το δρομολογητή πρόσβασης για να εγκαθιδρύσει μία σύνδεση στο επίπεδο 2 (MAC layer). Το AP ειδοποιεί τον AR αφού ο τελευταίος έχει απαντήσει στην αίτηση σύνδεσης της συσκευής. Αυτή η ειδοποίηση προκαλεί την αποστολή ενός μηνύματος (Router Advertisement) από την πλευρά του δρομολογητή προς τη συσκευή. Επίσης η ειδοποίηση επισπεύδει τη διαδικασία μεταπομπής στο επίπεδο 3.

Στη συνέχεια η συσκευή εκτελεί τη διαδικασία μεταπομπής στο επίπεδο του δικτύου. Το μήνυμα RA περιέχει τις σχετικές πληροφορίες για το δρομολογητή (AR), π.χ. τη διεύθυνση IP του κ.ά, οι οποίες χρησιμοποιούνται από τη συσκευή για να εκτελέσει τη διαδικασία αναπροσαρμογών των συνδέσεων (BU) με τον AR. Το μήνυμα BU περιέχει τη διεύθυνση του κόμβου SGSN και άλλες πληροφορίες σχετικές με το δίκτυο UMTS προκειμένου να είναι δυνατός ο προσδιορισμός της τερματικής συσκευής και του συνόλου της πληροφορίας που αφορά την κινητικότητά του εντός του δικτύου από τον SGSN. Ως αποτέλεσμα της λήψης του μηνύματος BU, ο AR επικυρώνει τη συσκευή στον κεντρικό εξυπηρετητή AAA και δημιουργεί την COA (Care-Of-Address, βλ. σχετικά στο κεφάλαιο 6). Στη συνέχεια, ο AR εκκινεί τη διαδικασία μεταπομπής με τον κόμβο SGSN αποστέλλοντας το μήνυμα W\_Route Area Update (βλ. σχήμα 7.6). Προτού βεβαιωθεί η λήψη αυτού του μηνύματος, ο SGSN στέλνει το μήνυμα απελευθέρωσης RAB στον SRNC για να αποσυναρμολογήσει τους ραδιοκομιστές που χρησιμοποιούνται από την υπηρεσία PS του δικτύου UMTS. Ο SRNC απελευθερώνει τους ραδιοπόρους και τα κανάλια για τις υπηρεσίες PS και στέλνει έπειτα το μήνυμα RAB Release Complete στον SGSN. Κατόπιν, ο SGSN στέλνει το μήνυμα W\_Route Area Update Complete στο δρομολογητή, ενώ ταυτόχρονα η τερματική συσκευή μεταβαίνει στην κατάσταση WMM-connected. Ο AR από την πλευρά του ολοκληρώνει τη διαδικασία μεταπομπής με τον SGSN αποστέλλοντας αρχικά το μήνυμα W\_Route Area Update Complete, και στέλνοντας έπειτα την επιβεβαίωση λήψης του μηνύματος BU στην τερματική συσκευή προκειμένου να ειδοποιηθεί για την ολοκλήρωση της διαδικασίας της διασυστημικής μεταπομπής από το UMTS προς το WLAN. Τέλος, ακολουθείται μία διαδικασία παρόμοια με αυτή που παρουσιάζεται στο σχήμα 7.4 και έχουμε ήδη περιγράψει λίγο παραπάνω, η οποία αφορά

την εξασφάλιση των απαιτούμενων πόρων για να επιτευχθεί η εύρυθμη λειτουργία του συστήματος.



Σχήμα 7.6 : Διαδικασία μεταπομπής (handoff) από το UMTS προς το WLAN [2]



Σχήμα 7.7 : Διαδικασία μεταπομπής (handoff) από το WLAN προς το UMTS [2]



Στην περίπτωση τώρα που η τερματική συσκευή κινηθεί έξω από την περιοχή κάλυψης του WLAN, τότε η αντίστοιχη διεπαφή ανιχνεύει τα αναγνωριστικά σήματα που λείπουν και ουσιαστικά καταλαβαίνει τη νέα θέση στην οποία βρίσκεται. Προσπαθεί έπειτα να ανιχνεύσει κάποιο σημείο πρόσβασης με την αποστολή μηνυμάτων probe (βλ. σχήμα 7.7). Δεδομένου ότι η συσκευή δεν πρόκειται να πάρει απάντηση για το μήνυμα που έστειλε, αυτό στην ουσία αποδεικνύει ότι πρέπει να λάβει χώρα μία διαδικασία μεταπομπής από το WLAN προς το UMTS. Το σχήμα 7.7 παρουσιάζει αυτή τη διαδικασία, η οποία έχει πολλά κοινά με την αντίστοιχη διαδικασία μεταπομπής που παρουσιάστηκε στο σχήμα 7.6 και περιγράφηκε λίγο παραπάνω.

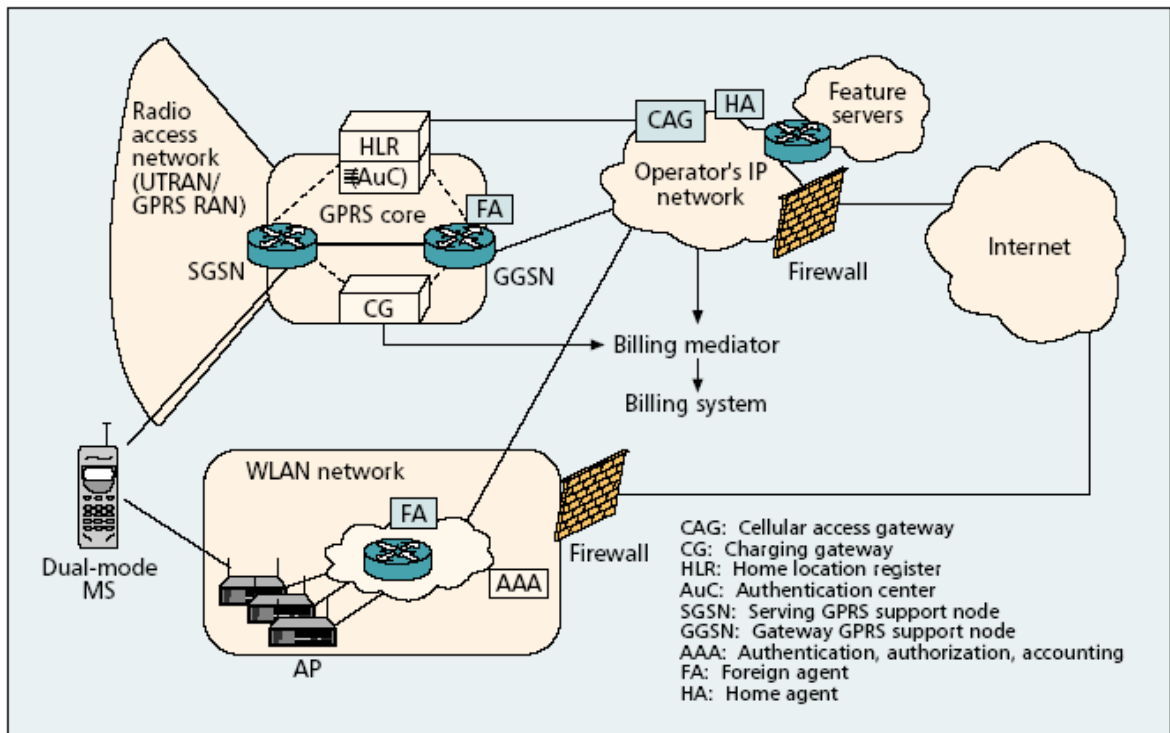
### 7.3 LOOSE-COUPLED ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Τα βασικά μειονεκτήματα της tight-coupled προσέγγισης είναι τα παρακάτω [3]:

- Απαιτείται μια διεπαφή στο δίκτυο κορμού του UMTS που να επικοινωνεί με τα WLANs, κάτι το οποίο είναι μια πρόκληση δεδομένου ότι τα δύο δίκτυα είναι πολύ πιθανό να σχεδιαστούν και να αναπτυχθούν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο και από διαφορετικούς λειτουργούς (operators).
- Ένας μεγάλος όγκος της κίνησης του WLAN περνά μέσα από το δίκτυο κορμού του UMTS, μετατρέποντας ενδεχομένως το τελευταίο σε ένα στενό πέρασμα (bottleneck).
- Τα WLANs πρέπει να έχουν μία στοίβα πρωτοκόλλων συμβατή με την αντίστοιχη των κυψελοειδών δικτύων. Η προκύπτουσα πολυπλοκότητα και το κόστος μπορούν να σταθούν εμπόδιο στην ανάπτυξη μιας tight-coupled αρχιτεκτονικής.

Η loose-coupled είναι μια άλλη προσέγγιση που παρέχει τη δυνατότητα διασύνδεσης μεταξύ δύο ετερογενών δικτύων, τα οποία στην προκειμένη περίπτωση είναι το UMTS και το WLAN. Σε αυτήν την παράγραφο θα προτείνουμε μία ακόμη συγκεκριμένη loose-coupled αρχιτεκτονική, δίνοντας πάντα ιδιαίτερη έμφαση στα θέματα κινητικότητας των χρηστών.

Το σχήμα 7.8 παρουσιάζει μία απλή loose-coupled αρχιτεκτονική. Όπως μπορεί να φανεί, το δίκτυο WLAN συνδέεται με το UMTS στο δίκτυο του λειτουργού (Operator's IP Network). Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειώσουμε ότι, σε αντίθεση με την tight-coupled αρχιτεκτονική, τα δεδομένα από το WLAN δεν περνούν μέσω του δικτύου κορμού του UMTS, αλλά πηγαίνουν άμεσα στο δίκτυο του λειτουργού (ή/και στο Διαδίκτυο). Σε αυτού του είδους την αρχιτεκτονική, η επικύρωση (authentication) βάσει της κάρτας SIM μπορεί να υποστηριχθεί και στα δύο δίκτυα, έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση στις παρεχόμενες υπηρεσίες. Επίσης, αυτή η αρχιτεκτονική υποστηρίζει την ενιαία τιμολόγηση, μέσω ενός κοινού συστήματος τιμολόγησης και για τα δύο δίκτυα. Η loose-coupled χρησιμοποιεί πρωτόκολλα που βασίζονται πάνω στα πρότυπα της IETF για την επικύρωση, την τιμολόγηση, και την κινητικότητα των χρηστών. Εμείς κρίνουμε απαραίτητο να ασχοληθούμε μόνο με τα ζητήματα που αφορούν το τελευταίο θέμα. Μερικά μάλιστα από τα ζητήματα αυτά έχουν ήδη αναφερθεί και στο Κεφάλαιο 6, καθώς η αρχιτεκτονική που παρουσιάζεται στο σχήμα 7.8 έχει πολλά κοινά σημεία με την αρχιτεκτονική Νο 5 του αμέσως προηγούμενου κεφαλαίου.



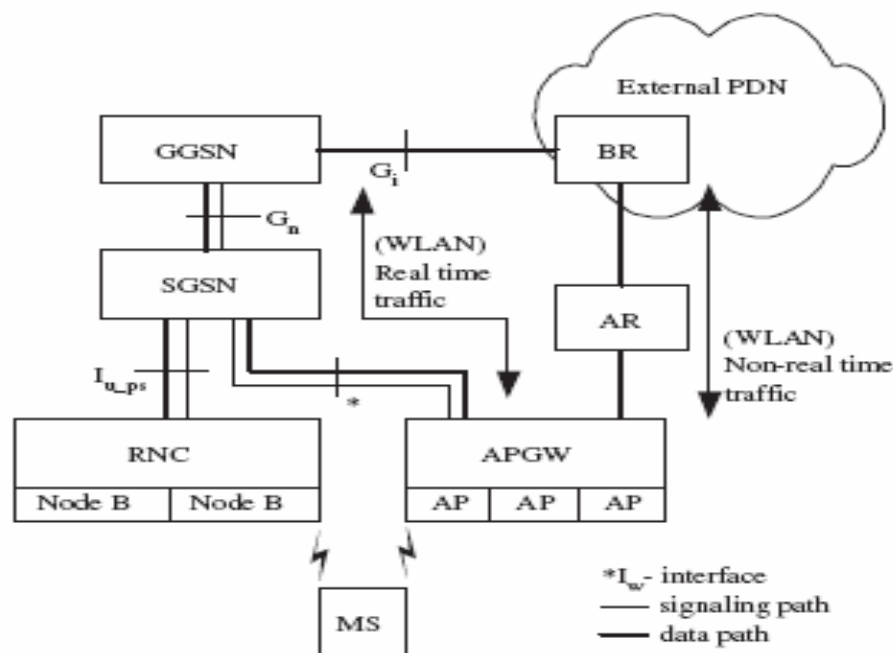
Σχήμα 7.8 : Loose-coupled αρχιτεκτονική [4]

Σε αντίθεση με την tight-coupled προσέγγιση, που χρησιμοποιεί ολόκληρο σύστημα διαχείρισης κινητικότητας, έτσι όπως αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 7.5, στη loose-coupled προσέγγιση, το κινητό IP (MIP) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει τις διάφορες υπηρεσίες κινητικότητας στις περιοχές κάλυψης των δύο εμπλεκόμενων δικτύων. Η δομή του MIP αποτελείται από έναν πελάτη MIP (δηλαδή την τερματική συσκευή του χρήστη), έναν ξένο πράκτορα (FA), και έναν τοπικό πράκτορα (HA). Όπως φαίνεται στο σχήμα 7.8, ο FA στο δίκτυο UMTS βρίσκεται στον κόμβο GGSN, ενώ ο FA στο WLAN μπορεί να βρίσκεται σε ένα δρομολογητή πρόσβασης. Από την άλλη μεριά, ο HA βρίσκεται στο δίκτυο του λειτουργού. Όταν η τερματική συσκευή μετακινείται από την περιοχή κάλυψης του UMTS στην αντίστοιχη του WLAN (double coverage περιοχή), εκτελεί μια εγγραφή MIP μέσω του FA που βρίσκεται στο WLAN. Ο FA ολοκληρώνει την εγγραφή του με τον HA, παρέχοντάς του μία συγκεκριμένη διεύθυνση (Care-Of-Address) που χρησιμοποιείται ως διεύθυνση αποστολής για τα πακέτα που προορίζονται για τη συσκευή του χρήστη. Έπειτα ο FA συνδέει την COA με την αντίστοιχη διεύθυνση της συσκευής και ενεργεί ως αντιπρόσωπος (proxy) της συσκευής για το χρονικό διάστημα της εγγραφής. Με αυτόν τον τρόπο, η συσκευή δε χρειάζεται να αλλάξει τη διεύθυνση IP της όταν κινείται προς την περιοχή κάλυψης του WLAN. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση που η συσκευή ακολουθεί την αντίστροφη πορεία (δηλαδή από το WLAN προς το UMTS). [4]

## 7.4 HYBRID-COUPLED ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η κύρια διαφορά μεταξύ των αρχιτεκτονικών tight-coupled και loose-coupled είναι εάν τα δεδομένα διακινούνται ή όχι μέσω του δικτύου κορμού του UMTS. Δηλαδή, στην πρώτη περίπτωση, η κυκλοφορία από το WLAN ρέει προς το δίκτυο κορμού του UMTS

και κατευθύνεται προς ένα εξωτερικό ενσύρματο δίκτυο (PDN) μέσω των κόμβων που έχουμε αναφέρει πολλάκις και δεν είναι άλλοι από τους κόμβους SGSN και GGSN. Αντίθετα, στη δεύτερη περίπτωση, το WLAN δε σχετίζεται καθόλου με το UMTS, αν εξαιρέσουμε βέβαια τις λειτουργίες που έχουν σχέση με την ασφάλεια (AAA). Επίσης στην πρώτη περίπτωση, οι χρήστες από το WLAN μπορούν να έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες UMTS με εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών και να απολαμβάνουν την ευχέρεια των εύκολων και γρήγορων διαδικασιών handoff που υποστηρίζονται από το σύστημα. Εντούτοις, το πρόβλημα είναι ότι οι κόμβοι του δικτύου κορμού του UMTS δε μπορούν να προσαρμόσουν την ογκώδη κυκλοφορία που έρχεται από το WLAN, με αποτέλεσμα το ένα δίκτυο να αποτελεί στενό πέρασμα (bottleneck) για το άλλο. Τέλος, στη loose-coupled αρχιτεκτονική, δεδομένου ότι κάθε δίκτυο λειτουργεί ανεξάρτητα, τα δίκτυα δε χρειάζεται να αλλάξουν τις δικτυακές αρχιτεκτονικές τους ή τις στοίβες των πρωτοκόλλων τους. Εντούτοις, μία τέτοια αρχιτεκτονική δε μπορεί να παρέχει γρήγορες και ευέλικτες διαδικασίες handoff, και αυτή η παράμετρος είναι σίγουρο ότι προκαλεί σημαντικές καθυστερήσεις και απώλειες πακέτων.



**Σχήμα 7.9 : Hybrid-coupled αρχιτεκτονική [5]**

Λαμβάνοντας υπόψιν μας όλα τα παραπάνω μπορούμε να καταλήξουμε σε μία υβριδική αρχιτεκτονική, έτσι όπως αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 7.9. Για την κίνηση σε πραγματικό χρόνο (real-time traffic), επιλέγεται η αρχιτεκτονική tight-coupled, ενώ για την κίνηση σε μη-πραγματικό χρόνο επιλέγεται η loose-coupled αρχιτεκτονική. Παραδείγματος χάριν, η κίνηση που παράγεται από το πρωτόκολλο SIP δρομολογείται μέσω του μονοπατιού APGW-SGSN-GGSN σε έναν εξυπηρετητή ενός εξωτερικού δικτύου PDN, αλλά η κίνηση από τις εφαρμογές FTP δρομολογείται στους δρομολογητές πρόσβασης (AR). Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική μπορεί να προσαρμόσει την κίνηση από το WLAN αποτελεσματικά και με εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών. Επιπλέον, εγγυάται την αποδοτική εφαρμογή όλων των μηχανισμών που έχουν σχέση με την κινητικότητα των χρηστών, ακριβώς όπως η tight-coupled αρχιτεκτονική. Οι λειτουργίες της APGW (Access Point GateWay) είναι οι ακόλουθες :

1. Η προώθηση των πακέτων από ένα σημείο πρόσβασης προς τον SGSN ή τον AR και αντίστροφα.
2. Η υποστήριξη της Lu\_ps διεπαφής
3. Η διαχείριση των ραδιοπόρων στο WLAN και η αντιστοίχισή τους στο κυψελοειδές δίκτυο.
4. Η εγκαθίδρυση του μονοπατιού προς τον κόμβο SGSN ή τον AR ανάλογα με τον τύπο της κίνησης (real time ή non-real time).
5. Η διαφοροποίηση των τύπων των υπηρεσιών: ο εξοπλισμός του χρήστη καθορίζει τον τύπο υπηρεσιών με τη χρησιμοποίηση ενός από τα πεδία TOS και DSCP της επικεφαλίδας IP. Η APGW ελέγχει αυτά τα πεδία για να αποφασίσει το μονοπάτι που θα ακολουθήσουν τα δεδομένα.

Οι λειτουργίες 1–3 συναντώνται και στην tight-coupled αρχιτεκτονική, αλλά οι δύο τελευταίες (4 και 5), απαιτούνται επιπρόσθετα για την υλοποίηση της υβριδικής λύσης.

Εξαιτίας της μεγάλης καθυστέρησης που παρατηρείται στην αρχιτεκτονική loose-coupled, παρατηρούνται μεγάλα ποσοστά απώλειας των πακέτων, με αποτέλεσμα ακόμη και ολόκληρες κλήσεις να διακόπτονται. Αντίθετα, με την προτεινόμενη υβριδική λύση, είναι δυνατό να υποστηριχθεί ποιότητα των υπηρεσιών για την κίνηση σε πραγματικό χρόνο και η αδιάλειπτη συνέχεια των προσφερόμενων υπηρεσιών κατά τη διάρκεια της κάθετης μεταπομπής (vertical handoff). Όταν χρησιμοποιείται το tight-coupling, η καθυστέρηση και η απώλεια των πακέτων μειώνονται, αλλά εάν παρατηρηθεί το φαινόμενο της απότομης μεταφοράς πολλών δεδομένων από το WLAN προς το UMTS, τότε το ποσοστό απώλειας των πακέτων στο UMTS αναμένεται να αυξηθεί απότομα. Με την προτεινόμενη υβριδική λύση μπορεί να αποτραπεί το φαινόμενο της υπερχειλίσης των κόμβων με τη διαδικασία της αναδρομολόγησης της κίνησης μη πραγματικού χρόνου.

Οι διαδικασίες κάθετης μεταπομπής (vertical handoff) σε μία hybrid-coupled αρχιτεκτονική είναι παρόμοιες με τις αντίστοιχες διαδικασίες που ακολουθούνται σε μία αρχιτεκτονική tight-coupled. Η μόνη διαφορά έγκειται στο εάν χρησιμοποιούνται το κινητό IP και η ταυτόχρονη δεσμευτική επιλογή. Στην tight-coupled περίπτωση, είναι δυνατό να υποστηριχθεί η κινητικότητα ενός χρήστη χρησιμοποιώντας τη στοίβα πρωτοκόλλων χωρίς τη χρησιμοποίηση του MIP (βλ. Παράγραφο 7.2). Φυσικά, το MIP μπορεί να εφαρμοστεί και στην tight-coupled αρχιτεκτονική, αλλά ακόμη και σε αυτήν την περίπτωση, η μεταπομπή μεταξύ των διαφορετικών ετερογενών δικτύων (δηλ. του UMTS και του WLAN) δε χρειάζεται να αλλάξει τον FA, δεδομένου ότι αυτά τα δίκτυα πρόσβασης ανήκουν στον ίδιο FA, ο οποίος δεν είναι άλλος από τον κόμβο GGSN. Στην hybrid-coupled αρχιτεκτονική, χρησιμοποιούμε το MIP και την ταυτόχρονη δεσμευτική επιλογή για να υποστηρίξουμε την κινητικότητα IP και για τους δύο τύπους κίνησης. Στην περίπτωση του δικτύου UMTS, ο εξοπλισμός του χρήστη (UE) ανήκει στον FA του δικτύου UMTS (δηλαδή στον κόμβο GGSN) μόνο, αλλά στην περίπτωση του WLAN, ανήκει σε δύο FAs: στον FA του UMTS και στον FA του WLAN. Έτσι, όταν ένας χρήστης μετακινείται από το WLAN προς το UMTS, δε χρειάζεται να εγγραφεί στον GGSN επειδή έχει ήδη εγγραφεί. Στην αντίστροφη περίπτωση (μετακίνηση από το UMTS προς το WLAN), είναι απαραίτητο να εκτελεσθεί μία πρόσθετη εγγραφή στον FA του WLAN.

Κλείνοντας, καταλήγουμε σε κάποιες σημαντικές παρατηρήσεις. Όταν το UMTS και το WLAN διασυνδέονται με μία υβριδική αρχιτεκτονική, όπως αυτή που περιγράψαμε στην παρούσα παράγραφο, αναμένεται ότι η πιθανότητα απώλειας πακέτων θα είναι χαμηλότερη σε σχέση με μία αντίστοιχη πιθανότητα στην περίπτωση όπου ο τρόπος

διασύνδεσης είναι tight-coupled. Επίσης αποδεικνύεται ότι το συνολικό φορτίο που προκαλείται από τη σηματοδότηση κατά τη διάρκεια των μεταπομπών μειώνεται σε σχέση με την loose-coupled αρχιτεκτονική. Δηλαδή, με λίγα λόγια, το μεγαλύτερο ίσως πλεονέκτημα της προτεινόμενης υβριδικής λύσης, είναι ότι το όλο σύστημα μπορεί να προσαρμόζει την κίνηση σε πραγματικό χρόνο (real time traffic, όπως η φωνή και το βίντεο) από το WLAN με έναν πολύ αποδοτικό τρόπο. Το γεγονός αυτό είναι πάρα πολύ σημαντικό για εμάς και το γιατί θα κατανοηθεί ακόμα περισσότερο από τον αναγνώστη με το διάβασμα του τρίτου και τελευταίου μέρους της παρούσας διπλωματικής.

## 7.5 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάσαμε τρεις συγκεκριμένες αρχιτεκτονικές ενοποίησης των δικτύων UMTS και WLAN. Στόχος μας είναι να κατανοήσουμε τη λειτουργία όλων των δομικών στοιχείων από τα οποία αποτελούνται τα δύο δίκτυα. Τελική μας επιδίωξη είναι να παρουσιαστούν όλοι οι δυνατοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να επιτευχθεί η ολοκλήρωση των handoff διαδικασιών που πρέπει να λαμβάνουν χώρα στα πλαίσια ενός ετερογενούς δικτύου, έτσι όπως αυτό περιγράφηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια.

Κάθε μία αρχιτεκτονική έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Αυτό που προσπαθήσαμε εμείς ήταν να παρουσιάσουμε τρία συγκεκριμένα σενάρια αρχιτεκτονικών, όχι τόσο για να τις συγκρίνουμε μεταξύ τους ως προς κάποιες συστημικές παραμέτρους, αλλά περισσότερο για να κατανοήσουμε πλήρως τα θέματα διαχείρισης κινητικότητας των χρηστών και τους μηχανισμούς με τους οποίους μπορούμε να επιτύχουμε ένα αποδοτικό handoff. Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι το παρόν κεφάλαιο (σε σχέση βέβαια και με όλα τα προηγούμενα κεφάλαια) αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο για την υλοποίηση της τελικής προσομοίωσης, τα στοιχεία και τα αποτελέσματα της οποίας πρόκειται να παρουσιαστούν στο τρίτο και τελευταίο μέρος της παρούσας διπλωματικής.

## 7.6 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. 3GPP, “**Feasibility Study on 3GPP System to Wireless Local Area Network (WLAN) Interworking**”, 3GPP TR 22.934 v6.2.0, September 2003.
2. Muhammad Jaseemuddin, “**An architecture for integrating UMTS and 802.11 WLAN networks**”, 2003.
3. Song W., Jiang H., Zhuang W., Shen X., “**Resource Management for QoS support in cellular/wlan interworking**”, October 2005.
4. A. Salkintiz, C. Fors, and R. Pazhyannur, “**WLAN-GPRS Integration for Next Generation Mobile Data Networks**”, IEEE Wireless Communications, pp. 112-124, October 2002.
5. Jee-Young Song, Hye Jeong Lee, Sun-Ho Lee, Sung-Won Lee, Dong-Ho Cho, “**Hybrid coupling scheme for UMTS and wireless LAN interworking**”, 2006.

# **ΜΕΡΟΣ 3<sup>ο</sup>**

## **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup> - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΕΩΝ

## 8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΕΩΝ

Η υποστήριξη των πολυμεσικών εφαρμογών με τις διαφορετικές απαιτήσεις στην ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών (QoS) παρουσία των διαφοροποιημένων ασύρματων τεχνολογιών πρόσβασης, έτσι όπως αυτές παρουσιάστηκαν στο πρώτο μέρος της παρούσας διπλωματικής, αποτελεί ένα από τα πιο ενδιαφέροντα ζητήματα για τα ασύρματα δίκτυα τέταρτης γενεάς (4G). Σε ένα τέτοιο ετερογενές περιβάλλον, ανάλογα με το εύρος ζώνης, την κινητικότητα και τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής, οι χρήστες θα είναι σε θέση να αλλάζουν δίκτυο όποτε αυτό κρίνεται απαραίτητο και μάλιστα με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να είναι διαφανείς προς αυτούς όλες οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στο σύστημα. Οι αποδοτικές στρατηγικές διαχείρισης των πόρων και του ελέγχου αποδοχής κλήσεων θα αποτελούν σημεία κλειδιά σε ένα τέτοιο ετερογενές ασύρματο σύστημα. Ο σχεδιασμός ενός αλγορίθμου ελέγχου αποδοχής κλήσεων (Call Admission Control – CAC) στοχεύει στη διατήρηση της επιθυμητής ποιότητας των υπηρεσιών σε όλες τις κλήσεις των χρηστών με τον περιορισμό του αριθμού των τρεχουσών κλήσεων στο σύστημα (blocking calls). Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά συνδεοστροφικά (circuit-switched) κυψελοειδή ασύρματα δίκτυα δεύτερης γενιάς (2G), τα δίκτυα 4G θα βασιστούν στην εναλλακτική επικοινωνία που βασίζεται στη μετάδοση πακέτων (packet-switched) στην ασύρματη διεπαφή και στην αλληλεπίδρασή τους με βάση το στρώμα δικτύου (IP), που χρησιμοποιείται κατά κόρον στις ενσύρματες δικτυακές τεχνολογίες. Επομένως, κατά το σχεδιασμό ενός αλγορίθμου CAC για ένα τέτοιο δίκτυο, θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψιν διάφορα μεγέθη, όπως οι πιθανότητες μπλοκαρίσματος και απότομου τερματισμού μίας κλήσης (call blocking και call dropping probabilities) και οι καθυστερήσεις στη μετάδοση των πακέτων.

Η έννοια των υλοποιημένων CAC αλγορίθμων με τη χρησιμοποίηση κατωφλίων (thresholds) ισχύει για όλα τα ετερογενή συστήματα που μελετάμε. Αυτή η τεχνική υλοποίησης βασίζεται στη διαθεσιμότητα ενός πόρου, έστω  $I$ . Ο αντικειμενικός στόχος της είναι η διατήρηση κάθε στοιχείου στο σύνολο  $I$  σε τιμή μικρότερη από ένα καθορισμένο κατώτατο όριο, έστω  $I_{th}$ . Αυτά τα κατώτατα όρια (κατώφλια) καθορίζονται βάσει των συγκεκριμένων συνθηκών συμφόρησης του συστήματος. Όταν αφικνύεται μια κλήση, ο αλγόριθμος υπολογίζει την αύξηση  $\Delta I$  που η εισερχόμενη κλήση προκαλεί στην τρέχουσα τιμή του  $I$ . Γενικά, η ουσία της συγκεκριμένης τεχνικής συνοψίζεται στην ακόλουθη σχέση:  $I + \Delta I < I_{th}$ . Εάν αυτή η συνθήκη ικανοποιείται, η εισερχόμενη κλήση γίνεται αποδεκτή, διαφορετικά απορρίπτεται (ή σε κάποιες άλλες περιπτώσεις, που δε θα μας απασχολήσουν, περιμένει στην ουρά αναμονής). Βάσει αυτής της λογικής, ο αλγόριθμος πρέπει να υλοποιηθεί λαμβάνοντας συνεχώς υπόψιν του την τρέχουσα κατάσταση της τιμής  $I$ . Επίσης το κατώφλι μπορεί να καθοριστεί με ένα στατικό τρόπο χωρίς να ελέγχεται δηλαδή η τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Εντούτοις, οι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι

CAC μπορούν να ρυθμίζουν τα κατώφλια με ένα δυναμικό τρόπο. Αυτή η προσέγγιση είναι σαφώς πιο αποδοτική από την προηγούμενη. Για τα συστήματα FDMA και TDMA τα στοιχεία του συνόλου I μπορούν να είναι απλά ο αριθμός των κατειλημμένων καναλιών, και η αύξηση ΔI μπορεί να αντιπροσωπεύεται από τον αριθμό των καναλιών που δεσμεύονται από μια εισερχόμενη κλήση κατά την είσοδό της μέσα στο σύστημα. Σε αυτήν την περίπτωση, τα κατώφλια μπορούν να επιλεγούν με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να επιτυγχάνονται τα επιθυμητά επίπεδα στην ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Από την άλλη μεριά, για τα συστήματα CDMA και OFDM, δεν υπάρχει καμία εμφανής σχέση μεταξύ του αριθμού χρηστών και της διαθέσιμης χωρητικότητας για τις εισερχόμενες κλήσεις. Παραδείγματος χάριν, σε ένα δίκτυο CDMA, τα στοιχεία του συνόλου I μπορούν να προέλθουν από το συνυπολογισμό του λόγου σήματος προς το θόρυβο (Signal-to-Interference ratio - SIR) στην πλευρά του δέκτη, και μια εισερχόμενη κλήση να γίνεται αποδεκτή εάν οι τιμές SIR των κλήσεων που βρίσκονται σε εξέλιξη και της νέας κλήσης που μπαίνει στο σύστημα μπορούν να διατηρηθούν πάνω από ένα επιθυμητό επίπεδο [1].

## 8.2 ΒΑΣΙΚΑ ΑΝΑΚΥΠΤΟΝΤΑ ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 4<sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ

Τα κυψελοειδή δίκτυα υποστηρίζουν τόσο το συνδεσμολογικό τρόπο μετάδοσης (circuit-switched) όσο και τη μετάδοση με πακέτα δεδομένων (packet-switched) και έχουν αρκετά πλεονεκτήματα όπως η ευρεία κάλυψη, η πολύ καλή υποστήριξη των μεταπομπών (horizontal handoffs) και η πολύ καλά σχεδιασμένη δικτυακή υποδομή. Από την άλλη πλευρά υποστηρίζουν σχετικά χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης και δυσκολεύονται ιδιαίτερα στην ικανοποίηση των απαιτητικών (σε εύρος ζώνης) πολυμεσικών εφαρμογών. Τα WLAN με τη σειρά τους υποστηρίζουν μόνο packet-switched υπηρεσίες. Επίσης υποστηρίζουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων στο ασύρματο μέσο για μία σχετικά μικρή γεωγραφική περιοχή ενώ είναι πολύ αποδοτικά στην εξυπηρέτηση της απότομα αυξομειούμενης (bursty) κίνησης. Στα μειονεκτήματα των WLAN μπορούμε να συμπεριλάβουμε την άναρχη δικτυακή υποδομή όπως επίσης και την απλοϊκή διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών.

Σε ένα ετερογενές δικτυακό περιβάλλον, όπως είναι αυτό που πρόκειται να προσομοιώσουμε, ένα κινητό τερματικό (MT) πραγματοποιεί όχι μόνο οριζόντιες μεταπομπές (horizontal handoffs) ανάμεσα σε κυψέλες του ίδιου δικτύου, αλλά και αντίστοιχες κάθετες (vertical handoffs) μεταξύ δύο διαφορετικών δικτύων. Εμείς θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με το τελευταίο είδος μεταπομπής στο σύστημα που πρόκειται να προσομοιώσουμε. Τα vertical handoffs από το WLAN προς το UMTS αποτελούν ουσιαστικά μία διαφορετική περίπτωση από τα αντίστοιχα handoffs από το UMTS προς το WLAN. Στην πρώτη περίπτωση, λαμβάνουν χώρα οι ακόλουθες διαδικασίες. Καθώς ένας χρήστης απομακρύνεται από το σημείο πρόσβασης (AP) του WLAN, με το οποίο είναι συνδεδεμένος, η λαμβανόμενη ισχύς του σήματος που λαμβάνει στο κινητό τερματικό του μειώνεται συνεχώς. Όταν το κινητό τερματικό ανιχνεύσει ότι η λαμβανόμενη ισχύς είναι κάτω από ένα καθορισμένο κατώτατο όριο, τότε θα ξεκινήσει τη διαδικασία αποστολής ενός αιτήματος handoff προς το δίκτυο UMTS. Το UMTS με τη σειρά του μπορεί να αποδεχτεί αυτό το αίτημα handoff εάν έχει τους απαραίτητους πόρους για να ικανοποιήσει το συγκεκριμένο αίτημα. Σε αντίθετη περίπτωση, θα απορρίψει το αίτημα. Τότε, το MT θα αποσυνδεθεί ολοκληρωτικά από το σύστημα (απότομη διακοπή της κλήσης). Κατά τη



δεύτερη γενική περίπτωση, τα handoffs από το UMTS προς το WLAN λαμβάνουν χώρα, έτσι ώστε να εκμεταλλευτούμε τα συγκριτικά πλεονεκτήματα του WLAN και να μειώσουμε ταυτόχρονα την πιθανότητα συμφόρησης του δικτύου UMTS. Δεδομένου ότι το WLAN έχει τη σχετικά μικρότερη περιοχή κάλυψης και αυτή βρίσκεται εξ ολοκλήρου εντός μίας κυψέλης του UMTS, το MT που αιτείται ένα vertical handoff από το UMTS προς το WLAN είναι πάντα μέσα στην περιοχή κάλυψης του κυψελοειδούς δικτύου. Εάν το WLAN κάνει αποδεκτό το αίτημα handoff, τότε το MT θα διακόψει τη σύνδεσή του με το σταθμό βάσης του UMTS και θα εγκαθιδρύσει μία νέα σύνδεση με ένα σημείο πρόσβασης του WLAN, μέσα στο οποίο εισέρχεται. Ακόμα και αν το WLAN απορρίψει το αίτημα handoff, το MT μπορεί να παραμείνει στην κατάσταση που βρίσκεται και να συνεχίσει να είναι συνδεδεμένο με το σταθμό βάσης του UMTS, δεδομένου ότι βρίσκεται ακόμα μέσα στην περιοχή κάλυψης της κυψέλης του κυψελοειδούς δικτύου [2].

Ένα άλλο σημαντικό θέμα που αξίζει να αναφέρουμε είναι η αποδοτική κατανομή των πόρων. Για τα παραδοσιακά κυψελοειδή δίκτυα, η κατανομή των πόρων διαδραματίζει έναν ουσιαστικό ρόλο στο να εγγυηθούμε την επιθυμητή ποιότητα των υπηρεσιών που προσφέρονται. Όταν τα WLAN ενοποιούνται με τα κυψελοειδή δίκτυα, το πρόβλημα της αποδοτικής διαχείρισης και κατανομής των πόρων γίνεται περισσότερο πολύπλοκο όσο και ενδιαφέρον. Ένα MT που κινείται με μια υψηλή ταχύτητα μπορεί να πραγματοποιήσει περισσότερα handoffs κατά το χρονικό διάστημα μίας κλήσης. Η διαδικασία handoff μπορεί να προκαλέσει επιπρόσθετες καθυστερήσεις, απώλειες πακέτων και ακόμη και την απότομη διακοπή της σύνδεσης. Η κατάσταση αυτή γίνεται ακόμα χειρότερη όταν μιλάμε για vertical handoff και είναι μάλιστα επιθυμητό ένα MT με υψηλή κινητικότητα να συνδέεται σε ένα σταθμό βάσης του δικτύου που παρέχει τη μεγαλύτερη γεωγραφική κάλυψη (δηλαδή στην περίπτωσή μας στο UMTS). Επίσης, οι διαφορετικοί τύποι υπηρεσιών έχουν συνήθως διαφορετικές απαιτήσεις σε QoS. Οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου όπως η φωνή (voice) και το βίντεο (video) είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση, ενώ η κύρια μέριμνα του συστήματος για τη μεταφορά δεδομένων (data) είναι κατά βάση ο ρυθμός μετάδοσης των πακέτων. Τα κυψελοειδή δίκτυα επωφελούνται από την κεντροποιημένη αρχιτεκτονική τους, και έτσι μπορούν να εξυπηρετήσουν την κίνηση πραγματικού χρόνου με έναν πολύ αποτελεσματικό τρόπο. Αντίθετα, λόγω του κατακεκομένου ελέγχου και του μηχανισμού οπισθοχώρησης που εφαρμόζεται στα WLAN (βλ. κεφάλαιο 3), είναι μάλλον άτοπο να μιλάμε για άριστη εξυπηρέτηση των χρηστών που αιτούνται υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, χωρίς αυτό ωστόσο να σημαίνει ότι τα WLAN δε μπορούν να εξυπηρετήσουν επαρκώς μία τέτοιου είδους κίνηση υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Παρόλα αυτά, τα WLAN είναι αποδοτικότερα από τα κυψελοειδή δίκτυα στην εξυπηρέτηση της απότομα αυξομειούμενης (bursty) κίνησης. Δεδομένου ότι η υποστήριξη πολλαπλών υπηρεσιών αποτελεί μια βασική απαίτηση για τα μελλοντικά ασύρματα ετερογενή δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς, ο τύπος των υπηρεσιών αναλαμβάνει το ρόλο ενός πολύ σημαντικού παράγοντα για την κατανομή των πόρων σε τέτοιου είδους συστήματα [2]. Άλλωστε την τελευταία αυτή διαπίστωση όπως και πολλές άλλες που αναφέρθηκαν σε αυτήν την παράγραφο και όχι μόνο, τη λαμβάνουμε σοβαρά υπόψιν μας για την υλοποίηση της τελικής προσομοίωσης, όπως εύκολα μπορεί να καταλάβει ο αναγνώστης από το διάβασμα του παρόντος και του αμέσως επόμενου κεφαλαίου.

Ακόμη ένα εξίσου σημαντικό θέμα, παραμέτρους του οποίου αναλύσαμε και λίγο παραπάνω είναι, η κινητικότητα των χρηστών. Για να πετύχουμε μία αποδοτική χρησιμοποίηση του περιορισμένου ραδιοφάσματος και για να μεγιστοποιήσουμε τη χωρητικότητα των συστημάτων, το μέγεθος των κυψελών των μελλοντικών κυψελοειδών δικτύων τείνει να μικραίνει συνεχώς. Κατά συνέπεια, πρέπει να μάθουμε να ζούμε με τα

συχνά και πολλαπλά handoffs που μπορούν να πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια ζωής μιας κλήσης. Επειδή η διακοπή μιας σύνδεσης που βρίσκεται σε εξέλιξη είναι πιο ανεπιθύμητη από το μπλοκάρισμα μιας νέας σύνδεσης με βάση πάντα τις ανάγκες του χρήστη, ο αλγόριθμος ελέγχου αποδοχής μιας κλήσης πρέπει να δώσει πιο υψηλή προτεραιότητα σε μια σύνδεση handoff σε σχέση πάντα με ένα νέο αίτημα κλήσης. Η υψηλότερη προτεραιότητα μπορεί να επιτευχθεί με την κατακράτηση ενός ορισμένου ποσού πόρων του συστήματος για την αποκλειστική διαχείριση των πιθανών handoff συνδέσεων. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να επιτύχουμε χαμηλότερες πιθανότητες απότομου τερματισμού μίας κλήσης που βρίσκεται σε εξέλιξη (call dropping probabilities) σε σχέση με τις πιθανότητες αποκλεισμού (call blocking probabilities) μίας νέας κλήσης. Γενικά, οι αποφάσεις αποδοχής κλήσεων στα ασύρματα κυβελοειδή δίκτυα λαμβάνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζουν εγγυημένο QoS για την ετερογενή κίνηση που δημιουργείται, διατηρώντας παράλληλα υψηλή χρησιμοποίηση των πόρων και χαμηλή πιθανότητα απότομου τερματισμού μίας κλήσης. Με την κατακράτηση περισσότερων πόρων επιτυγχάνουμε χαμηλή πιθανότητα απότομου τερματισμού μίας κλήσης, αλλά χάνουμε στη χρησιμοποίηση των πόρων του συστήματος [3]. Επομένως, το πώς θα εξισορροπήσουμε αυτήν την κατάσταση αποτελεί ένα θέμα, το οποίο μας απασχόλησε πολύ κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της τελικής μας προσομοίωσης.

Ο πίνακας 8.1 συνοψίζει μερικές από τις πιο σημαντικές προκλήσεις που ανακύπτουν για τα δίκτυα της 4<sup>ης</sup> γενιάς σε σχέση βέβαια με την ειδική ερευνητική περιοχή του CAC.

<b>ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ</b>	<b>ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</b>
<b>Ετερογενές δικτυακό περιβάλλον</b>	Τα συστήματα 4 <sup>ης</sup> γενιάς θα αποτελούνται από πολλές και διαφορετικές ασύρματες τεχνολογίες. Έτσι, οι αλγόριθμοι CAC πρέπει να ικανοί να διαχειρίζονται τα vertical handoffs και τα νέα προβλήματα κινητικότητας των χρηστών που ανακύπτουν.
<b>Πολλαπλοί τύποι παρεχόμενων υπηρεσιών</b>	Τα συστήματα 4 <sup>ης</sup> γενιάς θα πρέπει να μπορούν να διαχειρίζονται διαφορετικούς τύπους πολυμεσικών εφαρμογών που θα έχουν και διαφορετικές απαιτήσεις QoS.
<b>Προσαρμοζόμενη κατανομή του διαθέσιμου εύρους ζώνης</b>	Με τις πολυμεσικές εφαρμογές, η χρησιμοποίηση των πόρων και το QoS μπορούν να βελτιωθούν ρυθμίζοντας με δυναμικό τρόπο την κατανομή του εύρους ζώνης ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

**Πίνακας 8.1: Προκλήσεις για το CAC στα 4G δίκτυα & συνοπτική περιγραφή τους [1]**

### **8.2.1 Διάφοροι προτεινόμενοι αλγόριθμοι ελέγχου αποδοχής κλήσεων από τη διεθνή βιβλιογραφία**

Έχουν προταθεί στη διεθνή βιβλιογραφία διάφορες τεχνικές κατανομής εύρους ζώνης για τα τρία διαφορετικά είδη κλήσεων που μελετάμε (φωνή – δεδομένα - βίντεο). Αυτές οι τεχνικές μπορούν να ομαδοποιηθούν στις τεχνικές πλήρους διαμελισμού (CP – Complete Partitioning) και στις τεχνικές πλήρους διαμοιρασμού (CS – Complete Sharing) ή τέλος και στις υβριδικές τεχνικές, ανάλογα με τη στρατηγική κατανομής του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Στις τεχνικές CS, η αφικνούμενη κίνηση γίνεται αποδεκτή βάσει του αριθμού των

διαθέσιμων καναλιών σε ένα συγκεκριμένο κελί και του αλγορίθμου ελέγχου αποδοχής κλήσεων που χρησιμοποιείται. Κατά συνέπεια, οι χρήστες που ζητούν κάθε φορά διαφορετικά είδη υπηρεσίας τους επιτρέπεται να μοιράζονται όλα τα διαθέσιμα κανάλια με έναν ενιαίο τρόπο. Με αυτού του είδους τις τεχνικές, δε γίνεται καμία διάκριση όσον αφορά την εκχώρηση των καναλιών μεταξύ των νέων και των handoff κλήσεων. Εντούτοις, από την οπτική γωνία ενός συνδρομητή, η απότομη λήξη μιας τρέχουσας κλήσης είναι σαφώς πιο δυσάρεστο γεγονός από το μπλοκάρισμα μίας καινούριας κλήσης. Για αυτόν το λόγο, έχουν προταθεί διάφορες πολιτικές που δίνουν προτεραιότητα στις handoff κλήσεις. Μία από τις πολιτικές αυτές που είναι ευρέως γνωστή είναι η τεχνική εκχώρησης προτεραιότητας με δέσμευση κάποιου μέρους του εύρους ζώνης (guard channel scheme). Η κατακράτηση συγκεκριμένου αριθμού καναλιών, εξασφαλίζει προτεραιότητα στις handoff κλήσεις. Με αυτό το σκεπτικό, μια νέα κλήση γίνεται αποδεκτή μόνο εάν ο συνολικός αριθμός των κλήσεων που βρίσκονται σε εξέλιξη, ανεξάρτητα από το είδος της παρεχόμενης υπηρεσίας, είναι κάτω από μια συγκεκριμένη τιμή και είναι διαθέσιμο τουλάχιστον ένα ελεύθερο κανάλι. Ενώ η αποτελεσματικότητα ενός σταθερού αριθμού καναλιών φρουράς (guard channels) έχει αποδειχθεί ότι είναι αρκετά μεγάλη όταν θεωρούμε ότι ο ρυθμός άφιξης των κλήσεων είναι σταθερός, σε ένα πραγματικό σύστημα, παρατηρούμε ότι η πραγματική πιθανότητα μπλοκαρίσματος μίας handoff κλήσης μπορεί να αποκλίνει σημαντικά από τον επιθυμητό στόχο.

Μια άλλη πολιτική που δίνει προτεραιότητα στις handoff κλήσεις είναι η πολιτική με τη χρήση κατωφλίων για την εκχώρηση προτεραιότητας (threshold priority policy). Με αυτήν την τεχνική, μια handoff κλήση γίνεται αποδεκτή εφ' όσον υπάρχει έστω και ένα ελεύθερο κανάλι. Εντούτοις, μια νέα κλήση γίνεται αποδεκτή μόνο εάν ο αριθμός των κλήσεων που βρίσκονται σε εξέλιξη είναι κάτω από ένα συγκεκριμένο κατώφλι και είναι διαθέσιμο τουλάχιστον ένα ελεύθερο κανάλι. Άλλες πολιτικές εκχώρησης προτεραιότητας επιτρέπουν την τοποθέτηση είτε των handoff είτε των νέων κλήσεων σε μία ουρά αναμονής. Αυτές οι κλήσεις πρόκειται να εξυπηρετηθούν όταν γίνουν διαθέσιμα κάποια από τα κανάλια που είναι κατειλημμένα. Ο επιδιωκόμενος στόχος είναι η συγκράτηση της πιθανότητας απότομου τερματισμού μίας κλήσης (call dropping probability) κοντά σε μία πολύ μικρή τιμή περιορίζοντας ταυτόχρονα την πιθανότητα μπλοκαρίσματος μίας νέας κλήσης (call blocking probability) κάτω επίσης από ένα συγκεκριμένο και αποδεκτό επίπεδο.

Στις τεχνικές CP, κατακρατείται ένας συγκεκριμένος αριθμός καναλιών για κάθε είδος παρεχόμενης υπηρεσίας ξεχωριστά. Σε μερικές περιπτώσεις, κάποια κανάλια προορίζονται να χρησιμοποιηθούν και από τα τρία είδη υπηρεσιών. Ο Huang και οι συνεργάτες του πρότειναν μία τεχνική μεταβλητού ορίου για την κίνηση φωνής και δεδομένων, στην οποία το εύρος ζώνης διαιρείται σε δύο μέρη με δύο κατώφλια των οποίων η ρύθμιση είναι δυναμική. Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα αποκτά μία ιδιαίτερη προσαρμοστικότητα στις διάφορες απαιτήσεις QoS που εμφανίζονται. Αυτή η τεχνική δεν παρέχει μια διαφοροποίηση υπηρεσιών μεταξύ των νέων και των handoff κλήσεων φωνής. Επίσης τόσο οι φωνητικές κλήσεις όσο και οι κλήσεις δεδομένων απαιτούν το ίδιο εύρος ζώνης.

Λόγω της κινητικότητας χρηστών, του περιορισμένου φάσματος ραδιοσυχνοτήτων, της ευαισθησίας του ασύρματου μέσου, κ.λ.π. το θέμα της αποτελεσματικής χρησιμοποίησης των πόρων του συστήματος και της παροχής υψηλού επιπέδου ποιότητας υπηρεσιών σε όσο το δυνατόν περισσότερους χρήστες αποκτά μία ιδιαίτερη σημασία. Ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων (CAC) είναι αρμόδιος στο να ληφθεί μια απόφαση για το εάν μια κλήση πρέπει να γίνει αποδεκτή από το σύστημα ή όχι, και αποτελεί τον πυρήνα όλων

όσων παρουσιάζονται και υλοποιούνται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

### **8.2.2 Λίγα λόγια για τον προτεινόμενο αλγόριθμο ελέγχου αποδοχής κλήσεων**

Λαμβάνοντας υπόψιν μας όλα τα παραπάνω, τα οποία περιγράφουν συνοπτικά ό,τι ισχύει μέχρι σήμερα στην ερευνητική περιοχή των δικτύων που μας απασχολεί, θα προσπαθήσουμε σε αυτήν την υποπαράγραφο να παρουσιάσουμε επίσης συνοπτικά το τι καινούριο υλοποιεί ο δικός μας προτεινόμενος αλγόριθμος. Πολλά από αυτά που αναφέρονται εδώ υπάρχουν και στις επόμενες παραγράφους του παρόντος αλλά και του επόμενου κεφαλαίου. Η χρησιμότητα αυτής της υποπαραγράφου είναι να βοηθήσει τον αναγνώστη να καταλάβει πλήρως τη συμβολή του αλγορίθμου που εξετάζουμε.

Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο που εισάγουμε είναι η υπηρεσία βίντεο που αναμένεται να γνωρίσει ιδιαίτερη άνθιση στο προσεχές μέλλον. Πρόκειται για μία υπηρεσία που είναι ιδιαίτερα απαιτητική σε πόρους καθώς μιλάμε για την πιο σύνθετη πολυμεσική εφαρμογή. Η διερεύνηση των αντιδράσεων του συστήματος όταν οι χρήστες ζητούν και βιντεοκλήσεις εκτός από τις συνηθισμένες φωνητικές κλήσεις και τις ανερχόμενες κλήσεις δεδομένων αποδεικνύεται ότι είναι αρκετά ενδιαφέρουσα. Περισσότερες λεπτομέρειες για αυτό το θέμα υπάρχουν στο παρόν κεφάλαιο αλλά και στα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που παρουσιάζονται στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο.

Όσον αφορά την εκχώρηση προτεραιότητας που αναφέρθηκε στην προηγούμενη υποπαράγραφο, αυτό που μπορούμε να πούμε είναι ότι υπήρξε διαφορετική αντιμετώπιση για κάθε είδος παρεχόμενης υπηρεσίας. Έτσι, όπως είναι λογικό, οι φωνητικές κλήσεις λαμβάνουν πάντα τη μεγαλύτερη προτεραιότητα ενώ συνήθως οι βιντεοκλήσεις παίρνουν τη μικρότερη. Έχει προβλεφθεί μάλιστα οι αλλαγές στις τιμές των κατωφλίων να αλλάζουν εύκολα ανάλογα με το περιβάλλον και το χώρο στον οποίο εφαρμόζουμε το σύστημα.

Εννοείται ότι χρησιμοποιούμε ταυτόχρονα και την τεχνική guard channel για να δώσουμε προτεραιότητα στις handoff κλήσεις. Κάνουμε επίσης κάποιες ειδικές κινήσεις όσον αφορά το σχεδιασμό του αλγορίθμου. Αυτές περιγράφονται αναλυτικότερα στην παράγραφο 8.4, όπου υπάρχει και το διάγραμμα ροής του προτεινόμενου CAC αλγορίθμου.

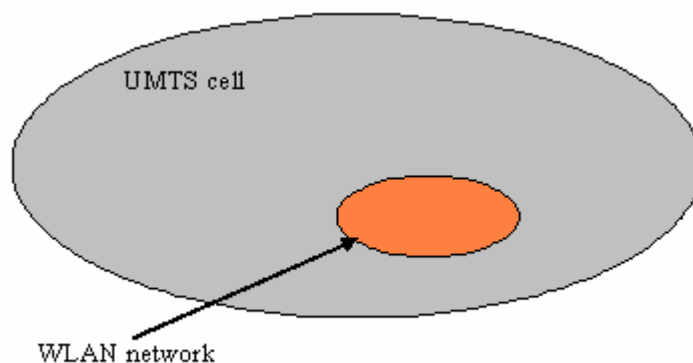
Το σημαντικότερο στοιχείο που εισάγουμε στην παρούσα διπλωματική εργασία το αφήσαμε για το τέλος. Έχουμε φτάσει ήδη σε μία εποχή όπου όλα αυτά που σχεδιάστηκαν από τους ερευνητές σχεδόν από τα μέσα της δεκαετίας 1990 μέχρι σήμερα αναμένεται να υλοποιηθούν στα αμέσως επόμενα χρόνια και σε ευρεία κλίμακα μετά το 2010. Γνωρίζουμε ότι τα πειραματικά αποτελέσματα μίας εργασίας πολλές φορές απέχουν κατά πολύ από τα πραγματικά συστήματα που εγκαθιστώνται σε πολύ διαφορετικά περιβάλλοντα κάθε φορά. Έτσι λοιπόν, προσπαθήσαμε να κατασκευάσουμε μερικά σενάρια προσομοιώνοντας καταστάσεις που σύντομα θα γίνουν πραγματικότητα. Αρχίσαμε να εξετάζουμε το σύστημά μας με μία πιο αφηρημένη λογική, αυτό που λέμε σε ένα υψηλότερο επίπεδο. Είδαμε για παράδειγμα ορισμένα ζητήματα που αφορούν ακόμα και business logic. Παρατηρήσαμε ότι ο χώρος, το περιβάλλον και ακόμη περισσότερο οι ανάγκες των χρηστών μπορεί να είναι πολύ διαφορετικές κάθε φορά. Καταλήξαμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι θα πρέπει να υλοποιήσουμε έναν αλγόριθμο που θα μπορεί να

προσαρμόζεται εύκολα στις απαιτήσεις των συνθηκών του περιβάλλοντός του. Εκθέτουμε τα πειραματικά μας αποτελέσματα στο ένατο κεφάλαιο παρουσιάζοντας τρία διαφορετικά σενάρια, τα οποία πιστεύουμε ότι καλύπτουν σε έναν αρκετά μεγάλο βαθμό όλες τις πιθανές καταστάσεις που πρόκειται να εμφανιστούν στο μέλλον.

## 8.3 Η ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

### 8.3.1 Γενική περιγραφή του συστήματος

Το σχήμα 8.1 αναπαριστά συνοπτικά το μοντέλο του συστήματος που προσομοιώσαμε. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημά μας αποτελείται από μία συνήθης κυψέλη UMTS και από μία περιοχή, την οποία ονομάζουμε περιοχή double-coverage. Αυτή είναι η περιοχή κάλυψης του WLAN δικτύου. Υποθέτουμε ότι αυτή η περιοχή βρίσκεται ολόκληρη εντός της περιοχής κάλυψης του δικτύου 3<sup>rd</sup> γενιάς (περιοχή UMTS-only). Αυτό σημαίνει ότι σε οποιαδήποτε κάθετη μεταπομπή (vertical handoff) από την περιοχή double-coverage προς την UMTS-only, το κινητό τερματικό (MT) θα ζητά σύνδεση πάντα σε μία συγκεκριμένη UMTS κυψέλη. Επίσης, δίχως βλάβη της γενικότητας, υποθέτουμε ότι υπάρχει μία μόνο περιοχή double-coverage. Ακόμη, λόγω του ότι θέλουμε να διερευνήσουμε τις συνθήκες και τα αποτελέσματα της συνύπαρξης των δύο ετερογενών ασύρματων τεχνολογιών, δε λαμβάνουμε καθόλου υπόψιν μας τις οριζόντιες μεταπομπές (horizontal handoffs), οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά τη μετακίνηση ενός χρήστη, του οποίου η κλήση βρίσκεται σε εξέλιξη, από μία κυψέλη UMTS σε μία γειτονική της.



Σχήμα 8.1 : Ένα απλό μοντέλο του συστήματος

Θεωρούμε συγκεκριμένο αριθμό χρηστών που βρίσκεται σε αυτή τη γεωγραφική περιοχή που εξετάζουμε. Κάποιοι από αυτούς βρίσκονται στην UMTS-only και οι υπόλοιποι στην double-coverage περιοχή. Πάλι, χωρίς βλάβη της γενικότητας, θεωρούμε ότι κάθε κλήση πρόκειται να πραγματοποιήσει κατά τη διάρκεια της κλήσης της το πολύ ένα handoff. Όλοι οι χρήστες κινούνται τυχαία στο χώρο και υπάρχουν συγκεκριμένες πιθανότητες μεταπομπής μίας κλήσης από τη μία περιοχή στην άλλη (vertical handoff). Τέλος, έχει δοθεί ιδιαίτερη σημασία στην κινητικότητα των χρηστών, καθώς στην double-coverage περιοχή παρατηρείται χαμηλότερη κινητικότητα των χρηστών σε σχέση με την περιοχή UMTS-only. Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις υπόλοιπες παραμέτρους

του συστήματος παρουσιάζονται αναλυτικότερα στις αμέσως επόμενες παραγράφους του παρόντος κεφαλαίου.

### 8.3.2 Εφαρμοζόμενη αρχιτεκτονική ενοποίησης

Όλες οι υπάρχουσες αρχιτεκτονικές ενοποίησης των δύο ετερογενών ασύρματων τεχνολογιών έχουν παρουσιασθεί ήδη στο κεφάλαιο 6, ενώ συγκεκριμένα σενάρια αρχιτεκτονικών παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 7. Όπως ήδη έχουμε αναφέρει, δεν υπάρχει κάποια τέλεια αρχιτεκτονική ενοποίησης. Από τις τρεις που παρουσιάσαμε στο αμέσως προηγούμενο κεφάλαιο, επιλέξαμε την tight-coupled αρχιτεκτονική, η οποία σκοπίμως αναλύθηκε εκτενέστερα σε σχέση με τις υπόλοιπες. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψιν μας όλα τα ζητήματα που θίξαμε στην παράγραφο 7.2, προχωρήσαμε στην επιλογή της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής.

Λόγω του ότι το σύστημά μας καλείται να εξυπηρετήσει κλήσεις πραγματικού χρόνου (φωνή - βίντεο), κρίνεται απαραίτητη η ελαχιστοποίηση των καθυστερήσεων που αναπόφευκτα δημιουργούνται κατά τις μεταπομπές των κλήσεων. Η tight-coupled αρχιτεκτονική υπερτερεί κατά πολύ σε αυτόν τον τομέα. Επίσης, υπάρχει μία στενή σχέση μεταξύ των δύο εμπλεκόμενων συστημάτων, καθώς το UMTS συνδέεται απευθείας με το WLAN, δημιουργώντας έτσι ένα συμπαγές σύστημα, του οποίου η διερεύνηση και η υλοποίηση αποτέλεσε μία ιδιαίτερη πρόκληση για μας.

### 8.3.3 Τελικοί επιδιωκόμενοι στόχοι

Δύο είναι οι βασικοί στόχοι που προσπαθούμε να πετύχουμε μέσω του προτεινόμενου CAC αλγορίθμου :

**1<sup>ος</sup> στόχος** : Μελέτη της συμπεριφοράς των call blocking και των call dropping probabilities τόσο των νέων όσο και των handoff κλήσεων του συστήματος, καθώς διαφοροποιούμε συνεχώς το διαθέσιμο bandwidth για τα τρία είδη των κλήσεων (φωνή – δεδομένα - βίντεο) τόσο στο δίκτυο UMTS όσο και στο WLAN. Αυτού του είδους η διαφοροποίηση θα γίνεται κάθε φορά βάσει συγκεκριμένων σεναρίων, τα οποία θα περιέχουν και στοιχεία business logic.

**2<sup>ος</sup> στόχος** : Επιδιώκουμε τη μείωση των handoffs, κάτι που είναι πολύ σημαντικό για υπηρεσίες που είναι πολύ ευαίσθητες στα φαινόμενα της καθυστέρησης και του jitter (στην περίπτωσή μας οι φωνητικές και οι βίντεο κλήσεις).

## 8.4 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΕΩΝ (CAC)

Παρακάτω, παρουσιάζουμε επιγραμματικά κάποιους βασικούς άξονες γύρω από τους οποίους κινηθήκαμε, έτσι ώστε να κατασταλλάξουμε σε μία βασική στρατηγική που ακολουθήθηκε για την υλοποίηση του αλγορίθμου ελέγχου αποδοχής κλήσεων, που προτείνουμε.

## 8.4.1 Περιγραφή των απαιτήσεων του συστήματος με βάση τον τύπο της παρεχόμενης υπηρεσίας

### A) ΦΩΝΗ (VOICE)

- Δίνουμε μεγάλη (τη μεγαλύτερη σε σχέση με δεδομένα και βίντεο) προτεραιότητα στις φωνητικές κλήσεις, δεσμεύοντας μεγάλο μέρος του bandwidth του UMTS.
- Οι φωνητικές κλήσεις απαιτούν μικρό ρυθμό μετάδοσης (περίπου 32 Kbps).
- Δεν είναι επιθυμητές οι handoff διαδικασίες, αν και θα πρέπει να υποστηρίζονται. Αυτό το απαιτούμε, γιατί η φωνή είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στις καθυστερήσεις, οι οποίες είναι λογικό ότι προκαλούνται κατά τη διάρκεια της handoff διαδικασίας.
- Προτιμούμε αυξημένες blocking probabilities στις νέες φωνητικές κλήσεις παρά στις αντίστοιχες handoff (αυτό ισχύει γενικά για όλων των ειδών τις κλήσεις).
- Πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψη μας τη μεγάλη κινητικότητα που διακρίνει τους χρήστες την ώρα που πραγματοποιούν φωνητικές κλήσεις. Αυτός άλλωστε είναι άλλος ένας λόγος να μην επιθυμούμε πολλά handoff, καθώς η πιθανότητα ο χρήστης να αλλάξει περιοχές κάλυψης (από UMTS-only σε double-coverage και αντίστροφα) κατά τη διάρκεια μίας και μόνο φωνητικής κλήσης είναι ιδιαίτερα αυξημένος.

### B) ΔΕΔΟΜΕΝΑ (DATA)

- Δεν αποτελούν πρόβλημα οι καθυστερήσεις και το φαινόμενο jitter, καθώς ο χρήστης το πρώτο που επιθυμεί είναι η ακεραιότητα των δεδομένων που παραλαμβάνει. Σε δεύτερη μοίρα έρχεται ο ρυθμός μετάδοσης των πακέτων (για να πετυχαίνουμε γρήγορα downloading). Τα 128 Kbps κρίνονται πολύ ικανοποιητικά.
- Επιτρέπουμε αρκετά τις handoff διαδικασίες, καθώς αυτή τη φορά δε μας δημιουργούν ιδιαίτερα προβλήματα. Τις διαχωρίζουμε βέβαια από τις νέες data calls.
- Η κινητικότητα των χρηστών είναι αρκετά μεγάλη, όχι όσο στην περίπτωση της φωνής, αλλά σίγουρα μεγαλύτερη από την περίπτωση των χρηστών που ζητούν κλήσεις βίντεο.
- Οι data calls παίρνουν τη δεύτερη προτεραιότητα (μετά τις φωνητικές κλήσεις) ή σε κάποιες συγκεκριμένες περιπτώσεις (βλ. διαφορετικά σενάρια στο κεφάλαιο 9) την τελευταία προτεραιότητα.

### Γ) ΒΙΝΤΕΟ (VIDEO)

- Απαιτούνται μεγάλοι ρυθμοί μετάδοσης, που μόνο το WLAN μπορεί άνετα να υποστηρίξει (περίπου 256 Kbps). Υπάρχουν προβλήματα με τις καθυστερήσεις (delay), αλλά όχι τόσο μεγάλο όσο στις φωνητικές κλήσεις. Εδώ δίνεται άλλωστε η δυνατότητα στον τελικό χρήστη να παγώνει την εικόνα, έτσι ώστε να αποθηκεύονται στους buffers αρκετά πλαίσια και η ροή του βίντεο να είναι κανονική μετά από μερικά δευτερόλεπτα.
- Πρέπει να αποφεύγονται οι handoff διαδικασίες και πρέπει να επιδιώκεται οι βίντεο κλήσεις να εξυπηρετούνται ολοκληρωτικά μέσα στην double-coverage περιοχή (εφόσον βέβαια υπάρχει αυτή η δυνατότητα).
- Υποθέτουμε ότι η κινητικότητα των χρηστών είναι μικρή, έτσι ώστε να μην έχουμε πολλά handoffs. Αλλωστε στην περίπτωση των βίντεο κλήσεων, δεν έχουμε μόνο τα προβλήματα των καθυστερήσεων που προκαλούν οι handoff διαδικασίες. Υπάρχει και το

θέμα ότι αν ο χρήστης βγει από την double-coverage περιοχή, η κλήση πρέπει να διοχετευθεί στο UMTS, κάτι που θα επηρεάσει πολύ αρνητικά τις υπόλοιπες φωνητικές και data κλήσεις που επιθυμούν να δεσμεύσουν κάποιο μέρος από το σχετικά μικρό bandwidth του UMTS.

■ Οι βίντεο κλήσεις έχουν τη χαμηλότερη προτεραιότητα στο UMTS, αλλά σαφώς μεγαλύτερη μέσα στην περιοχή κάλυψης του WLAN (ανάλογα φυσικά και με το εκάστοτε σενάριο).

## 8.4.2 Επιγραμματική αναφορά όλων των δυνατών καταστάσεων του συστήματος

Λαμβάνοντας υπόψιν μας τις παραπάνω απαιτήσεις και προδιαγραφές του συστήματος, καταλήγουμε στα παρακάτω. Οι δυνατές τελικές καταστάσεις μίας οποιασδήποτε κλήσης είναι REJECTED, ACCEPTED TO UMTS, ACCEPTED TO WLAN και REMAIN IN UMTS. Παρακάτω παρουσιάζεται μία πλήρης καταγραφή και ανάλυση (επόμενη παράγραφος) όλων των δυνατών περιπτώσεων για κάθε είδους κλήση ξεχωριστά.

### A) ΦΩΝΗ (VOICE)

α) Περιπτώσεις **REJECTED** :

■ Όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth στην περιοχή UMTS-only.

■ Όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth στην περιοχή double-coverage (σπάνιο ενδεχόμενο).

Και οι δύο περιπτώσεις είναι πολύ προφανείς και δε χρειάζονται περαιτέρω διευκρινίσεις.

β) Περίπτωση **ACCEPTED TO UMTS** :

■ Βρισκόμαστε στην περιοχή UMTS-only και υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για φωνητικές κλήσεις στο UMTS.

γ) Περίπτωση **ACCEPTED TO WLAN** :

■ Βρισκόμαστε στην double-coverage περιοχή και υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για νέες (όχι handoff) φωνητικές κλήσεις. Με αυτή τη ρύθμιση, επιτρέπουμε στους χρήστες να πραγματοποιήσουν νέες VoIP κλήσεις, μόνο στην περίπτωση που δεν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth στο UMTS. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα σπάνιο ενδεχόμενο που προσπαθούμε να το αποφύγουμε αν και μπορεί να φανεί χρήσιμο κάτω υπό συγκεκριμένες ακραίες συνθήκες (πολύωρη κατάσταση συμφόρησης στο UMTS λόγω κάποιου ακραίου γεγονότος).

δ) Περίπτωση **REMAIN IN UMTS** :

■ Όταν έχουμε handoff κλήση από το UMTS προς το WLAN. Αυτό το κάνουμε γιατί οι handoff διαδικασίες προκαλούν πολλά προβλήματα όσον αφορά την καθυστέρηση και το φαινόμενο jitter μίας φωνητικής κλήσης. Προτιμούμε λοιπόν να παραμένουν όλες οι φωνητικές κλήσεις στο UMTS ακόμα και όταν βρισκόμαστε στην double-coverage περιοχή. Άλλωστε μόνο το UMTS μπορεί να μας εγγυηθεί πραγματική ποιότητα στην παρεχόμενη υπηρεσία, αφού το WLAN υστερεί κατά πολύ σε τέτοιου είδους ζητήματα. Βέβαια, για να εξασφαλίσουμε το γεγονός ότι θα εξυπηρετηθούν όλες οι handoff φωνητικές κλήσεις, τους δίνουμε σαφή προτεραιότητα δεσμεύοντας ένα μέρος του



bandwidth του UMTS, το οποίο χρησιμοποιείται μόνο για αυτές.  
**B) ΔΕΔΟΜΕΝΑ (DATA)**

**α) Περιπτώσεις REJECTED :**

- Βρισκόμαστε στην περιοχή UMTS-only και δεν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για δεδομένα στο UMTS.
- Βρισκόμαστε σε double-coverage περιοχή. Αν δεν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth στο WLAN, δοκιμάζουμε το UMTS, και αν και πάλι δεν υπάρχει bandwidth, τότε η κλήση απορρίπτεται.

**β) Περίπτωση ACCEPTED TO UMTS :**

- Η ίδια περίπτωση με τη Β.α.1, μόνο που αυτή τη φορά υπάρχει διαθέσιμο bandwidth.

**γ) Περιπτώσεις ACCEPTED TO WLAN :**

- Βρισκόμαστε στην περιοχή double-coverage και υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για νέες data calls στο WLAN.
- Γίνονται αποδεκτές όλες οι handoff κλήσεις από το UMTS προς το WLAN, εφόσον βέβαια υπάρχει διαθέσιμο bandwidth. Εδώ, παρατηρούμε μία διαφοροποίηση σε σχέση με τις handoff φωνητικές κλήσεις, καθώς οι data calls δεν είναι ευαίσθητες στις καθυστερήσεις (delay).

**δ) Περίπτωση REMAIN IN UMTS :**

- Η ίδια με την αμέσως προηγούμενη περίπτωση (Β.γ.2), μόνο που τώρα δεν υπάρχει bandwidth για handoff data στο WLAN.

## **Γ) ΒΙΝΤΕΟ (VIDEO)**

**α) Περιπτώσεις REJECTED :**

- Βρισκόμαστε στην περιοχή UMTS-only και δεν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για νέες κλήσεις βίντεο στο UMTS.
- Βρισκόμαστε στην περιοχή double-coverage και δεν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για νέες κλήσεις βίντεο στο WLAN.
- Απορρίπτονται όλες οι handoff βίντεο κλήσεις από το WLAN προς το UMTS. Αυτό το κάνουμε για να «προστατεύσουμε» το πολύτιμο (και ταυτόχρονα μικρό) bandwidth του UMTS για χάρη των φωνητικών κλήσεων και των data calls, στις οποίες δίνουμε με αυτό τον τρόπο μεγαλύτερη προτεραιότητα. Αυτή η τακτική δεν ακολουθείται για όλα τα σενάρια που παρουσιάζουμε στο κεφάλαιο 9. Πάντως, γενικά επιδιώκεται η πιθανότητα να γίνει μία handoff βίντεο κλήση αποδεκτή στο UMTS να είναι μικρή.

**β) Περίπτωση ACCEPTED TO UMTS :**

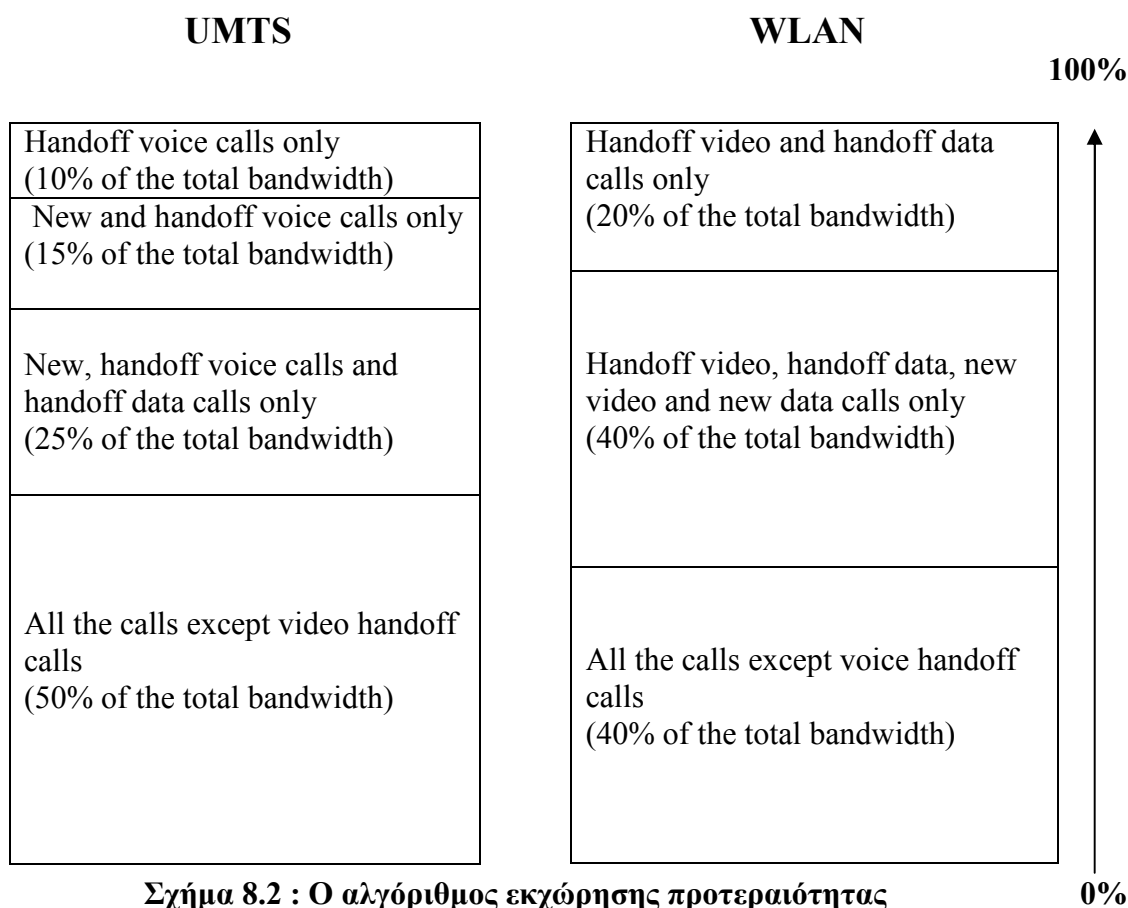
- Βρισκόμαστε στην περιοχή UMTS-only και υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για νέες βίντεο κλήσεις στο UMTS.

**γ) Περιπτώσεις ACCEPTED TO WLAN :**

- Βρισκόμαστε στην περιοχή double-coverage και υπάρχει διαθέσιμο bandwidth στο WLAN.
- Γίνονται αποδεκτές όλες οι handoff κλήσεις από το UMTS προς το WLAN, εφόσον βέβαια υπάρχει διαθέσιμο bandwidth.

### 8.4.3 Ο αλγόριθμος εκχώρησης προτεραιότητας

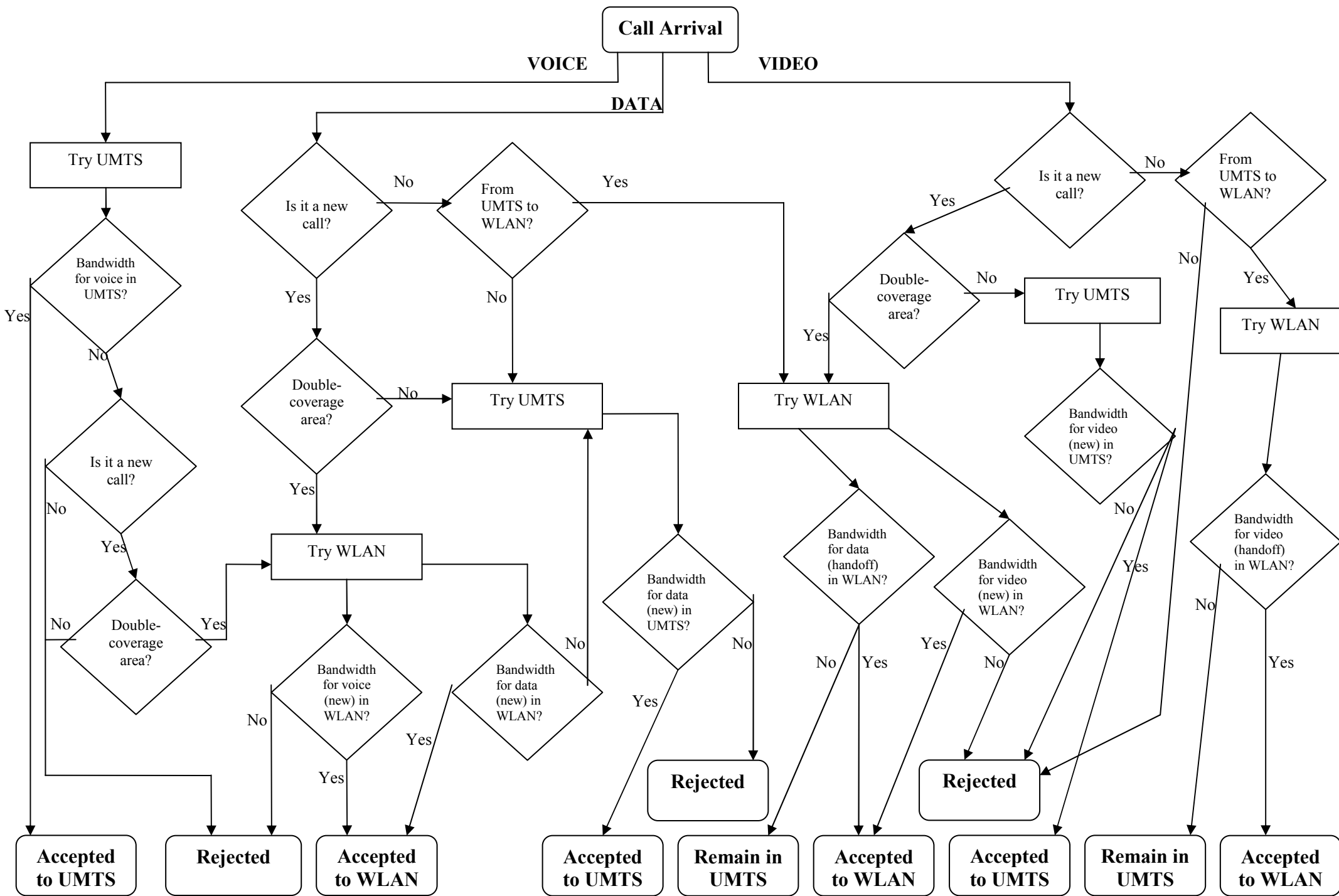
Οι προτεραιότητες που δίνονται στα διάφορα είδη κλήσεων, κάτι το οποίο συνεπάγεται και τη δέσμευση του ανάλογου bandwidth, φαίνονται στο σχήμα 8.2. Για παράδειγμα, παρατηρούμε ότι δεσμεύεται ειδικό μέρος του bandwidth του UMTS για τις handoff φωνητικές κλήσεις. Αυτό σημαίνει ότι για να γίνει μία τέτοια κλήση dropped, θα πρέπει η χρησιμοποίηση του UMTS να φτάνει το 100%. Για να μπλοκαριστεί μία νέα φωνητική κλήση στο ίδιο δίκτυο, θα πρέπει η χρησιμοποίηση του δικτύου να είναι μεγαλύτερη από 90%. Με την ίδια λογική εκχωρούμε ουσιαστικά τις προτεραιότητες που επιθυμούμε για όλα τα είδη των κλήσεων και στα δύο δίκτυα. Τα ποσοστά που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα είναι ενδεικτικά για να γίνει κατανοητός ο αλγόριθμος εκχώρησης προτεραιότητας. Οι τιμές αυτές μπορούν να αλλάζουν εύκολα έτσι ώστε να εξετάζονται και οι αντίστοιχες αλλαγές στα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Περισσότερες λεπτομέρειες για αυτά τα πειράματα υπάρχουν στο κεφάλαιο 9.



Σχήμα 8.2 : Ο αλγόριθμος εκχώρησης προτεραιότητας

### 8.4.4 Διάγραμμα ροής του συστήματος

Στην επόμενη σελίδα παρουσιάζεται ο προτεινόμενος αλγόριθμος ελέγχου αποδοχής κλήσεων σε μορφή διαγράμματος ροής (flow chart) συγκεντρωτικά και για τα τρία είδη των παρεχόμενων υπηρεσιών. Στην επόμενη σελίδα περιγράφουμε αναλυτικά όλες τις δυνατές καταστάσεις του συστήματος.



## 8.5 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Αρχικά, έχουμε τρία είδη κλήσεων (φωνή [0], δεδομένα [1] και βίντεο [3]). Η καθεμία κλήση έχει τέσσερις διαφορετικούς τρόπους, με τους οποίους μπορεί να πραγματοποιηθεί. Αυτοί είναι οι εξής :

- Η κλήση ξεκινάει μέσα στην περιοχή UMTS-only και τερματίζει στην ίδια περιοχή. [0]
- Η κλήση ξεκινάει μέσα στην περιοχή double-coverage και τερματίζει στην ίδια περιοχή. [1]
- Η κλήση ξεκινάει μέσα στην περιοχή UMTS-only και τερματίζει στην double-coverage περιοχή. [2]
- Η κλήση ξεκινάει μέσα στην περιοχή double-coverage και τερματίζει στην περιοχή UMTS-only. [3]

Σε αυτό το σημείο θα προσπαθήσουμε να αναλύσουμε και τις δώδεκα περιπτώσεις που προκύπτουν από τις παραπάνω υποθέσεις.

### A) ΦΩΝΗ (VOICE)

■ [0,0] : Η κλήση γεννάται και τερματίζει μέσα στην περιοχή UMTS-only. Αν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για φωνή (new) στο UMTS, τότε δεσμεύεται το κατάλληλο bandwidth από το UMTS τη στιγμή timein (accepted\_call). Τη στιγμή timeout αποδεσμεύεται αυτό το bandwidth. Αν δεν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για φωνή (new) στο UMTS, τότε η κλήση απορρίπτεται (blocking\_call) (δηλαδή ουσιαστικά δε δεσμεύεται καθόλου bandwidth και ταυτόχρονα έχουμε timein=timeout).

■ [0,1] : Η κλήση γεννάται και τερματίζει μέσα στην double-coverage περιοχή. Αν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για φωνή (new) στο UMTS, τότε δεσμεύεται το κατάλληλο bandwidth από το UMTS τη στιγμή timein (accepted\_call). Τη στιγμή timeout αποδεσμεύεται αυτό το bandwidth. Αν δεν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για φωνή (new) στο UMTS τη χρονική στιγμή timein, ακολουθείται η ίδια ακριβώς διαδικασία για το WLAN (accepted\_call). Αν και εκεί δεν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για φωνή (new), η κλήση απορρίπτεται (blocking\_call).

■ [0,2] : Η κλήση γεννάται στην περιοχή UMTS-only και τερματίζει στην double-coverage περιοχή. Καμμία διαφορά με την περίπτωση [0,0], αφού προτιμούμε να μη γίνεται ποτέ handoff, όταν μπαίνουμε στο WLAN (δεν υπάρχει πιθανότητα dropping call).

■ [0,3] : Η κλήση γεννάται μέσα στην περιοχή double-coverage και τερματίζει στην περιοχή UMTS-only. Αν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για φωνή (new) στο UMTS, τότε δεσμεύεται το κατάλληλο bandwidth από το UMTS τη στιγμή timein (accepted\_call) και τη στιγμή timeout αποδεσμεύεται αυτό το bandwidth. Αν δεν υπάρχει τη στιγμή timein διαθέσιμο bandwidth στο UMTS, τότε δεσμεύεται το κατάλληλο bandwidth στο WLAN (accepted\_call) (αν βέβαια υπάρχει – αλλιώς blocking\_call) και τη στιγμή handoff\_time = timein + (1+rand()%(timeout - timein)), αποδεσμεύεται αυτό το bandwidth από το WLAN και δεσμεύεται τη στιγμή handoff\_time στο UMTS (handoff\_done) (αν υπάρχει βέβαια bandwidth για handoff voice – αλλιώς dropping\_call) μέχρι και τη στιγμή timeout, όπου το συγκεκριμένο bandwidth αποδεσμεύεται από το UMTS.

## **B) ΔΕΔΟΜΕΝΑ (DATA)**

- **[1,0]** : Η κλήση γεννάται και τερματίζει μέσα στην περιοχή UMTS-only. Αν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για δεδομένα (new) στο UMTS, τότε δεσμεύεται το κατάλληλο bandwidth από το UMTS τη στιγμή timein (accepted\_call) και αποδεσμεύεται τη στιγμή timeout. Αν δεν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για δεδομένα (new) στο UMTS, τότε η κλήση απορρίπτεται (blocking\_call).
- **[1,1]** : Η κλήση γεννάται και τερματίζει μέσα στην double-coverage περιοχή. Αν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για δεδομένα (new) στο WLAN, τότε δεσμεύεται το κατάλληλο bandwidth από το WLAN τη στιγμή timein (accepted\_call) και αποδεσμεύεται τη στιγμή timeout. Αν δεν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για δεδομένα (new) στο WLAN τη χρονική στιγμή timein, ακολουθείται η ίδια ακριβώς διαδικασία για το UMTS (accepted\_call). Αν και εκεί δεν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για δεδομένα (new), η κλήση απορρίπτεται (blocking\_call).
- **[1,2]** : Η κλήση γεννάται στην περιοχή UMTS-only και τερματίζει στην double-coverage περιοχή. Αν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για δεδομένα (new) στο UMTS (αν όχι η κλήση απορρίπτεται (blocking\_call)), τότε τη στιγμή timein δεσμεύεται το κατάλληλο bandwidth από το UMTS και τη στιγμή handoff\_time ελέγχουμε αν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για δεδομένα (handoff) στο WLAN. Αν όντως υπάρχει, αποδεσμεύεται το bandwidth από το UMTS και δεσμεύεται στο WLAN μέχρι τη στιγμή timeout (accepted\_call) (handoff\_done). Σε αντίθετη περίπτωση, το δεσμευμένο bandwidth στο UMTS θα αποδεσμευθεί τη χρονική στιγμή timeout (accepted\_call).
- **[1,3]** : Η κλήση γεννάται μέσα στην περιοχή double-coverage και τερματίζει στην περιοχή UMTS-only. Αν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για δεδομένα (new) στο WLAN, τότε τη στιγμή timein δεσμεύεται το απαραίτητο bandwidth στο WLAN και αποδεσμεύεται τη στιγμή handoff\_time. Τη στιγμή handoff\_time δεσμεύεται το απαραίτητο bandwidth στο UMTS (handoff\_done) (αν υπάρχει για handoff δεδομένα – αλλιώς dropping\_call) και αυτό θα αποδεσμευτεί τη χρονική στιγμή timeout (accepted\_call). Αν δεν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για δεδομένα (new) στο WLAN, τότε δεσμεύεται bandwidth από την αρχή μέχρι το τέλος (timein - timeout) στο UMTS (accepted\_call) (αν βέβαια αυτό υπάρχει – αλλιώς blocking\_call).

## **Γ) ΒΙΝΤΕΟ (VIDEO)**

- **[2,0]** : Η κλήση γεννάται και τερματίζει μέσα στην περιοχή UMTS-only. Αν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για βίντεο (new) στο UMTS, τότε δεσμεύεται το απαραίτητο bandwidth τη χρονική στιγμή timein από το UMTS και αποδεσμεύεται το ίδιο bandwidth τη στιγμή timeout (accepted\_call). Αν δεν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για βίντεο (new) στο UMTS, τότε η κλήση απορρίπτεται (blocking\_call).
- **[2,1]** : Η κλήση γεννάται και τερματίζει μέσα στην double-coverage περιοχή. Αν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για βίντεο (new) στο WLAN, τότε δεσμεύεται το κατάλληλο bandwidth από το WLAN τη στιγμή timein και αποδεσμεύεται τη στιγμή timeout (accepted\_call). Αν δεν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για βίντεο (new) στο WLAN τη χρονική στιγμή timein, τότε η κλήση απορρίπτεται (blocking\_call).
- **[2,2]** : Η κλήση γεννάται στην περιοχή UMTS-only και τερματίζει στην double-coverage περιοχή. Αν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για βίντεο (new) στο UMTS (αν όχι η κλήση απορρίπτεται (blocking\_call)), τότε τη στιγμή timein δεσμεύεται το κατάλληλο bandwidth από το UMTS και τη στιγμή handoff\_time ελέγχουμε αν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για βίντεο (handoff) στο WLAN. Αν όντως υπάρχει, αποδεσμεύεται το bandwidth από το

UMTS και δεσμεύεται στο WLAN μέχρι τη στιγμή timeout (accepted\_call - handoff\_done). Σε αντίθετη περίπτωση, το δεσμευμένο bandwidth στο UMTS θα αποδεσμευθεί τη χρονική στιγμή timeout (accepted\_call).

■ [2,3] : Η κλήση γεννάται μέσα στην περιοχή double-coverage και τερματίζει στην περιοχή UMTS-only. Αν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για βίντεο (new) στο WLAN, τότε δεσμεύεται το απαραίτητο bandwidth τη χρονική στιγμή timein και αποδεσμεύεται τη στιγμή handoff\_time. Τη στιγμή handoff\_time δεσμεύεται το απαραίτητο bandwidth στο UMTS (handoff\_done) (αν υπάρχει για handoff βίντεο – αλλιώς dropping\_call) και αυτό θα αποδεσμευτεί τη χρονική στιγμή timeout (accepted\_call). Αν δεν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth για βίντεο (new) στο WLAN, τότε η κλήση απορρίπτεται (blocking\_call).

## 8.6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΚΩΔΙΚΑ

Αποφασίσαμε να υλοποιήσουμε το σύστημά μας με μία event-driven προσομοίωση. Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε είναι η C/C++. Η βασική ιδέα μίας event-driven προσομοίωσης είναι ότι η κατάσταση του συστήματος αλλάζει κάθε φορά που εμφανίζεται ένα γεγονός. Κατά τη διάρκεια του χρόνου που παρέρχεται μεταξύ δύο διαδοχικών γεγονότων, η κατάσταση του συστήματος παραμένει αμετάβλητη. Με βάση αυτή τη λογική, είναι αρκετό να ελέγχεται η κατάσταση του συστήματος. Προκειμένου να εφαρμοστεί αυτή η λογική, κάθε γεγονός συνδέεται άμεσα με ένα ρολόι. Η τιμή αυτού του ρολογιού δίνει τη χρονική στιγμή που κάποιο γεγονός θα εμφανιστεί στο μέλλον. Αυτό το μοντέλο προσομοίωσης, με την ολοκλήρωση της επεξεργασίας ενός γεγονότος, για παράδειγμα στη χρονική στιγμή t1, ανασυγκροτεί όλα τα πιθανά γεγονότα που θα εμφανιστούν στο μέλλον και βρίσκει αυτό με τη μικρότερη τιμή (δηλαδή αυτό που θα εμφανιστεί πιο κοντά στο μέλλον). Έπειτα αυξάνεται ο χρόνος, και το ρολόι «δείχνει» τη χρονική στιγμή που θα εμφανιστεί το επόμενο γεγονός, λ.χ t2. Λαμβάνουν χώρα οι απαραίτητες ενέργειες όπως αυτές υπαγορεύονται από την εμφάνιση του συγκεκριμένου γεγονότος, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται για το αμέσως επόμενο γεγονός. Το μοντέλο προσομοίωσης, επομένως, κινείται μέσα στο χρόνο επισκεπτόμενο απλά τις χρονικές στιγμές κατά τις οποίες εμφανίζονται τα γεγονότα.

Όλα τα παραπάνω ισχύουν γενικά για την event-driven προσομοίωση. Στις επόμενες υποπαραγράφους θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τον τρόπο με τον οποίο υλοποιήσαμε το σύστημα που περιγράψαμε στο παρόν και σε προηγούμενα κεφάλαια, αυτή τη φορά σε επίπεδο κώδικα.

### 8.6.1 Παράμετροι εισόδου στο σύστημα

Το πρόγραμμά μας δέχεται ως είσοδο ένα αρχείο που λέγεται input.txt, το οποίο περιέχει όλες τις απαραίτητες παραμέτρους που χρειάζεται το σύστημα για τη λειτουργία του. Οι τιμές αυτές του αρχείου έχουν την ακόλουθη διάταξη :

10000 2000 11000 10 32 128 256 180 150 200 50 30 20 70 30 40 30 20

Η πρώτη τιμή αναπαριστά τον αριθμό των κλήσεων, οι οποίες πρόκειται να εισαχθούν στο σύστημα. Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, καταλήγουμε ότι ο αριθμός αυτός πρέπει να είναι τουλάχιστον 10000, έτσι ώστε να πετύχουμε να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα. Όσο μεγαλύτερος βέβαια είναι αυτός ο αριθμός, τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια και εγκυρότητα θα έχουμε στα αποτελέσματά μας.

Οι επόμενες δύο τιμές αναπαριστούν τη χωρητικότητα του UMTS και του WLAN δικτύου αντίστοιχα. Έτσι λοιπόν έχουμε ορίσει τη χωρητικότητα της κυψέλης του UMTS στα 2000 Kbps (ή 2 Mbps), ενώ η αντίστοιχη τιμή για το WLAN είναι τα 11 Mbps. Βέβαια, αξίζει να αναφέρουμε ότι τα 11 Mbps αφορούν το πρότυπο 802.11b. Υπάρχουν ωστόσο και άλλα πρότυπα της IEEE 802.11 που μπορούν να υποστηρίξουν ακόμα μεγαλύτερες ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων (βλ. κεφάλαιο 3).

Η αμέσως επόμενη τιμή (τέταρτη στη σειρά) αναπαριστά το ρυθμό άφιξης των κλήσεων στο σύστημα ή αλλιώς το μεσοδιάστημα μεταξύ των αφίξεων δύο διαδοχικών κλήσεων (interarrival). Αυτή η τιμή λοιπόν είναι ουσιαστικά το γνωστό μας  $1/\lambda$  από τη θεωρία ουρών. Αλλάζοντας το  $\lambda$  μπορούμε να αυξομειώνουμε το φορτίο του συστήματός μας και να παρατηρούμε πώς αυτό συμπεριφέρεται σε κάθε είδους αλλαγή. Όπως γίνεται αντιληπτό, αν αυξήσουμε το  $\lambda$ , το φορτίο του συστήματος μειώνεται, γιατί οι κλήσεις σε αυτήν την περίπτωση θα έρχονται πιο αραιά. Το αντίστροφο ισχύει για την περίπτωση που μειώσουμε το  $\lambda$ . Στο παράδειγμά μας το 10 σημαίνει ότι κατά μέσο όρο μία κλήση αφικνύεται κάθε δέκα δευτερόλεπτα στο σύστημα.

Η επόμενη τριάδα τιμών αφορά τους ρυθμούς μετάδοσης των πακέτων στο δίκτυο για τις τρεις διαφορετικές παρεχόμενες υπηρεσίες. Έτσι, στο παράδειγμά μας για τις φωνητικές κλήσεις υποστηρίζεται ρυθμός μετάδοσης 32 Kbps, για τα δεδομένα 128 Kbps και για τις βίντεο κλήσεις 256 Kbps. Βλέπουμε εδώ πόσο πιο απαιτητικές είναι οι παρεχόμενες υπηρεσίες πολυμέσων, οι οποίες μπορούν να δεσμεύσουν μόνο με μία κλήση ένα αρκετά μεγάλο μέρος του διατιθέμενου εύρους ζώνης.

Η παράμετρος του συστήματος, η οποία δεν έχει ακόμα αναφερθεί είναι το  $\mu$ , δηλαδή το μέσο χρονικό διάστημα παραμονής μίας κλήσης στο σύστημα. Τη σημαντική αυτή παράμετρο αναπαριστά η επόμενη τριάδα τιμών. Οι τιμές αυτή τη φορά είναι τρεις (σε αντίθεση με το  $\lambda$  που είναι μία ενιαία τιμή), επειδή έχουμε διαφορετικό χρόνο παραμονής μίας κλήσης στο σύστημα για τις τρεις διαφορετικές παρεχόμενες υπηρεσίες. Στο παράδειγμά μας, έχουμε θέσει τα 3 λεπτά (180 δευτερόλεπτα) ως τη μέση διάρκεια μίας τυχαίας φωνητικής κλήσης. Οι αντίστοιχοι χρόνοι για τα δεδομένα και για το βίντεο είναι 150 και 200 δευτερόλεπτα αντίστοιχα.

Όπως είναι φυσικό, οι φωνητικές κλήσεις δεν έχουν την ίδια συχνότητα εμφάνισης σε ένα πραγματικό σύστημα του σήμερα σε σχέση με τις βιντεοκλήσεις. Έτσι λοιπόν πρέπει να δώσουμε κάποιες συμβατές με την πραγματικότητα τιμές για την πιθανότητα των εμφανίσεων κάθε είδους κλήσης ξεχωριστά. Πιο συγκεκριμένα, στο παράδειγμά μας έχουμε ορίσει οι μισές κλήσεις να είναι φωνητικές (50%), το 30% να είναι δεδομένα και το 20% βιντεοκλήσεις. Αυτό σημαίνει ότι για ένα μεγάλο δείγμα κλήσεων που θα μπουν στο σύστημα (πάνω από 10000 κλήσεις), οι πιθανότητες αυτές θα προσεγγίζονται ικανοποιητικά από το πρόγραμμα.

Μέχρι στιγμής δεν έχουμε αναφέρει τίποτα σχετικά με τις δύο περιοχές του συστήματός μας και με την πιθανότητα των χρηστών να πραγματοποιήσουν handoff κατά

τη διάρκεια της κλήσης τους. Το επόμενο ζευγάρι τιμών αναπαριστά τις πιθανότητες κάποιος χρήστης να βρίσκεται στην UMTS-only ή στην double-coverage περιοχή. Γενικά, δεχόμαστε ότι η περιοχή κάλυψης του WLAN αποτελεί ένα μικρό μέρος της περιοχής κάλυψης μίας μακροκυψέλης του UMTS (συνήθως 10-20%). Η πυκνότητα ωστόσο των χρηστών και οι αντίστοιχες αιτήσεις για εξυπηρέτηση από το σύστημα είναι πολύ μεγαλύτερες εντός της double-coverage περιοχής. Έτσι λοιπόν εξηγείται και η αυξημένη πιθανότητα (30% στο παράδειγμά μας), η οποία υπό συγκεκριμένες συνθήκες (βλ. κεφάλαιο 9) μπορεί να γίνει ακόμα μεγαλύτερη. Άλλωστε, γενικά η τάση στα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς είναι να μικραίνουν όλο και πιο πολύ οι κυψέλες του UMTS (βλ. κεφάλαιο 5).

Η τελευταία και ταυτόχρονα πολύ σημαντική τριάδα τιμών αναπαριστά τις πιθανότητες μία κλήση που βρίσκεται σε εξέλιξη να πραγματοποιήσει vertical handoff από το ένα δίκτυο στο άλλο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί και στις προδιαγραφές του συστήματος στο παρόν κεφάλαιο, οι χρήστες που πραγματοποιούν φωνητικές κλήσεις εμφανίζουν μεγαλύτερη κινητικότητα σε σχέση με τους υπόλοιπους χρήστες. Η διαφορά αυτή από την πλευρά της κινητικότητας των χρηστών εμφανίζεται και στις αντίστοιχες πιθανότητες (40-30-20% στο παράδειγμά μας). Αυτές οι τρεις τιμές μπορούν συνδυαζόμενες με το αμέσως προηγούμενο ζευγάρι τιμών να μας δώσουν πολλά διαφορετικά και ενδιαφέροντα αποτελέσματα (βλ. κεφάλαιο 9).

## 8.6.2 Περιγραφή της event-driven προσομοίωσης

Αρχικά δημιουργούμε μία δομή για καθεμία κλήση που εισέρχεται στο σύστημά μας. Αυτή η δομή περιέχει όλα τα στοιχεία της κλήσης που μας ενδιαφέρουν, δηλαδή το είδος (type) της υπηρεσίας (φωνή=1, δεδομένα=2, βίντεο=3), την περιοχή κάλυψης που βρίσκεται ο χρήστης όταν ξεκινάει μία κλήση (UMTS-only=1, double-coverage=2), το ενδεχόμενο η κλήση να πραγματοποιήσει handoff ή όχι (no\_handoff=0, handoff=1), τις χρονικές στιγμές εκκίνησης και τερματισμού μίας κλήσης (timein - timeout) και τέλος ένα δείκτη τύπου της συγκεκριμένης δομής που μας βοηθάει στην υλοποίηση των λιστών γεγονότων (event lists).

```
typedef struct Call{
int type; //1,2,3
int location; //1,2
int handoff; //0,1
float timein,timeout; //χρόνοι εκκίνησης – τερματισμού κλήσης
Call *next;
}Call;
```

Αφού λάβουμε όλες τις παραμέτρους εισόδου από το εξωτερικό αρχείο input.txt, φτιάχνουμε τα κανάλια (ραδιοδιαύλοι ή ομάδες χρονοθυρίδων) τόσο για το UMTS όσο και για το WLAN με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να υπάρχουν τόσα κανάλια για κάθε δίκτυο όσα υπαγορεύονται από τις αντίστοιχες χωρητικότητες του κάθε δικτύου ξεχωριστά. Για αυτό το λόγο παίρνουμε τη χειρότερη περίπτωση που είναι η περίπτωση όλες οι κλήσεις να είναι φωνητικές. Με τη χρησιμοποίηση της συνάρτησης MCapacity() αρχικοποιούμε όλους τους κόμβους των δύο λιστών (μία για κάθε δίκτυο) που δημιουργήσαμε. Η συνάρτηση MCapacity() δέχεται ως όρισμα τον αριθμό των καναλιών και επιστρέφει μία δομή τύπου Call.

```
Channels=int(UMTS_capacity/32)+1;
UMTS_head=MCapacity(Channels);
Channels=int(WLAN_capacity/32)+1;
```



```
WLAN_head=MCapacity(Channels);
```

Έπειτα αρχίζει ουσιαστικά το κυρίως πρόγραμμα εντός της main(). Γίνεται η άφιξη της πρώτης κλήσης. Για αυτή τη διαδικασία υλοποιήσαμε τη συνάρτηση Give\_next\_event(), η οποία δέχεται ως ορίσματα τις πιθανότητες handoff, τις απαιτήσεις σε bandwidth και τη λίστα γεγονότων και δεν επιστρέφει τίποτα. Μετά τη δημιουργία του πρώτου γεγονότος που είναι απαραίτητο για την αρχικοποίηση του συστήματος, μπαίνουμε στον κυρίως επαναληπτικό βρόγχο while. Οριοθετούμε το χρόνο στη στιγμή άφιξης (timein) του αμέσως επόμενου γεγονότος που βρίσκεται στη λίστα γεγονότων και ελέγχουμε αν στο μεσοδιάστημα έχει τερματιστεί κάποια κλήση. Για αυτή τη λειτουργία υλοποιήσαμε τη συνάρτηση Uncheck(), η οποία δέχεται ως ορίσματα τη λίστα γεγονότων, τη στιγμή τερματισμού της κλήσης (timeout) και τους πόρους που αποδεσμεύει η κλήση που εγκαταλείπει το σύστημα. Επιστρέφει την ποσότητα των πόρων που αποδεσμεύτηκαν και είναι πάλι διαθέσιμοι στο σύστημα. Έτσι, το σύστημα επανέρχεται στην κατάσταση που πρέπει πριν γίνει η δέσμευση των νέων πόρων για την κλήση που μόλις έχει αφιχθεί. Αυτό που κάνουμε τώρα είναι να ελέγξουμε αν η νεοαφιχθείσα κλήση μπορεί να γίνει αποδεκτή ή όχι από το σύστημα. Στην πρώτη περίπτωση, θα δεσμευθούν οι απαραίτητοι πόροι από το δίκτυο (ανάλογα με την περίπτωση) ενώ στη δεύτερη η κλήση θα απορριφθεί και θα εγκαταλείψει το σύστημα, χωρίς να επαναεμφανισθεί στο μέλλον. Για αυτή τη λειτουργία υλοποιήσαμε τη συνάρτηση Check(), η οποία δέχεται ως ορίσματα τις χωρητικότητες των δύο δικτύων και τους πόρους που απαιτεί η κλήση. Επιστρέφει έναν ακέραιο αριθμό ανάλογα με το εάν και πού έγινε αποδεκτή η κλήση. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφέρουμε ότι ο αλγόριθμος CAC που προτείνουμε (βλ. υποπαράγραφο 8.4.4) υλοποιήθηκε εντός της συνάρτησης Check(). Παρακάτω παρουσιάζουμε ενδεικτικά ένα κομμάτι του προγράμματος που υλοποιεί τις βασικές λειτουργίες της event-driven προσομοίωσης.

```
/*Άφιξη της πρώτης κλήσης*/
Give_next_event(handoff_percentages, Rate_demands, Next_events_head);
while(incoming_calls_counter<Number_of_incoming_calls){
    Totaltime=New_event->timein;
    UMTS_Released_capacity=UnCheck(UMTS_head, Totaltime, Rate_demands);
    UMTS_capacity+=UMTS_Released_capacity;
    WLAN_Released_capacity=UnCheck(WLAN_head, Totaltime, Rate_demands);
    WLAN_capacity+=WLAN_Released_capacity;

    Accepted=0; //0=BLOCKED, 1=ACCEPTED UMTS, 2=ACCEPTED WLAN
    Accepted=Check(UMTS_capacity,WLAN_capacity, Rate_demands);

    if(Accepted==0 && New_event->handoff==0){
        cout<<" The call is blocked";
        Blocking_per_service[New_event->type]++;
        Remove_blocked(Next_events_head);
    }else if(Accepted==0 && New_event->handoff==1){
        cout<<" The call is dropped";
        Dropping_per_service[New_event->type]++;
        Remove_blocked(Next_events_head);
    }else{
        cout<<" The call is accepted";
        if (Accepted==1){
            UMTS_capacity-=int(Rate_demands[New_event->type]);
            cout<<"\n The new UMTS_capacity="<<UMTS_capacity;
        }else{
            WLAN_capacity-=int(Rate_demands[New_event->type]);
            cout<<"\n The new WLAN_capacity="<<WLAN_capacity;
        }
    }
} //END OF WHILE
Give_next_event(handoff_percentages, Rate_demands, Next_events_head);
}
```

Όσον αφορά τώρα τις παραμέτρους  $\lambda$  και  $\mu$ , πρέπει να πούμε ότι αυτές είναι οι μέσες τιμές μίας κατανομής Poisson. Οι αφίξεις των κλήσεων λοιπόν όλων των ειδών υπηρεσιών ακολουθούν τη γνωστή κατανομή Poisson. Οι χρόνοι παραμονής των κλήσεων στο σύστημα είναι τυχαίες μεταβλητές εκθετικά κατανομημένες μεταξύ τους και ακολουθούν και αυτές την κατανομή Poisson με μέση τιμή  $\mu$ . Έτσι, για παράδειγμα ορίζουμε το timeout και το timein μίας κλήσης ως :

```
New_event->timeout = New_event->timein+Poisson(duration[Type]);
New_event->timein = Totaltime+Poisson(interarrival);
```

Η λειτουργία των handoff διαδικασιών υλοποιείται εντός της συνάρτησης Give\_next\_event(). Όταν μία κλήση δεν πρόκειται να κάνει handoff, όλα κυλούν ομαλά καθώς το μόνο που πρέπει να γίνει είναι να ακολουθηθεί η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω και να δεσμευτεί το απαραίτητο bandwidth στο δίκτυο, στο οποίο είναι συνδεδεμένος ο χρήστης, αν βέβαια αυτό είναι εφικτό (αλλιώς περίπτωση REJECTED). Αν τώρα μία κλήση πρόκειται να κάνει vertical handoff στο άλλο δίκτυο, τότε θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα να αποδεσμεύονται οι πόροι τη στιγμή που γίνεται handoff από το ένα δίκτυο και να δεσμεύονται στο άλλο (αν βέβαια αυτό είναι εφικτό). Το πρόβλημα είναι ότι θα πρέπει να βρούμε από τη διαρκώς ανανεωμένη και δυναμική λίστα γεγονότων το χρόνο που θέλουμε κάθε φορά, έτσι ώστε να προσομοιώσουμε τις καταστάσεις που συμβαίνουν στην πραγματικότητα. Για παράδειγμα, από τη χρονική στιγμή timein μίας κλήσης που πρόκειται να κάνει handoff μέχρι τη στιγμή handoff\_time, έχουν μπει κατά πάσα πιθανότητα και άλλες κλήσεις στο σύστημα, όπως επίσης μπορεί να έχουν βγει και κάποιες άλλες. Αυτό σημαίνει ότι η λίστα πρέπει να ταξινομείται συνεχώς με βάση τους χρόνους timein και timeout των κλήσεων κατά αύξουσα σειρά (από το μικρότερο στο μεγαλύτερο). Παρακάτω δίνουμε ένα ενδεικτικό μέρος του κώδικα που υλοποιεί τις συγκεκριμένες λειτουργίες :

```
if(New_event->handoff==1){
    current=head;
    while (current != NULL){
        if(current->timein==0 && current->timeout==0){
            current->timein=New_event->timein;
            current->timeout=New_event->timein+0.5*(New_event->timeout-New_event->timein);
            current->handoff=0;
            current->location=New_event->location;
            current->type=New_event->type;
            break;
        }
        current = current->next;}
    current=head;
    while (current != NULL){
        if(current->timein==0 && current->timeout==0){
            current->timein=New_event->timein+0.5*(New_event->timeout-New_event->timein);
            current->timeout=New_event->timeout;
            current->handoff=1;
            if(New_event->location==1){
                current->location=2;
            }else{
                current->location=1;
            }
            current->type=New_event->type;
            break;
        }
        current = current->next;} //telos while
    } //telos if handoff==1
```

### 8.6.3 Παράμετροι εξόδου από το σύστημα

Τα μεγέθη που μετράμε και αποτελούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έχουν άμεση σχέση με τους τελικούς στόχους μας, έτσι όπως αυτοί έχουν διατυπωθεί στην υποπαράγραφο 8.3.3. Πιο συγκεκριμένα, μας εμφανίζονται οι τελικές πιθανότητες απόρριψης κλήσης (call blocking probabilities) για κάθε είδος προσφερόμενης υπηρεσίας ξεχωριστά. Αυτό το μέγεθος αναπαριστά την πιθανότητα μία νέα κλήση που επιχειρεί κάποιος χρήστης, να μπλοκαριστεί από το σύστημα λόγω της μη διαθεσιμότητας των απαραίτητων δικτυακών πόρων. Ορίζεται ως ο λόγος του αριθμού των μπλοκαρισμένων κλήσεων προς τον αριθμό όλων των κλήσεων (για κάθε είδος υπηρεσίας ξεχωριστά) :

```
for(int i=1;i<=Number_of_Services;i++){  
    cout<<100*Blocking_per_service[i]/incoming_counter_per_service[i]; //ποσοστό %  
}
```

Το δεύτερο αποτέλεσμα αφορά τις πιθανότητες απότομου τερματισμού μίας κλήσης (call dropping probabilities). Αυτό το μέγεθος αναπαριστά την πιθανότητα να τερματιστεί μία κλήση, η οποία βρίσκεται σε εξέλιξη (ongoing call). Αυτό το γεγονός λαμβάνει χώρα κατά τη διαδικασία του vertical handoff. Όταν λοιπόν μία ongoing call προσπαθήσει να αλλάξει δίκτυο και το δίκτυο στο οποίο θα εξυπηρετείται μετά τη handoff διαδικασία, δεν έχει τους απαραίτητους πόρους, τότε αναγκαστικά έχουμε τον απότομο τερματισμό της κλήσης. Η πιθανότητα στην οποία αναφερόμαστε ορίζεται ως ο λόγος του αριθμού των απότομα τερματισμένων κλήσεων προς τον αριθμό όλων των κλήσεων :

```
for(int i=1;i<=Number_of_Services;i++){  
    cout<< 100*Dropping_per_service[i]/incoming_counter_per_service[i]; //ποσοστό %  
}
```

Τα δύο παραπάνω μεγέθη αποτέλεσαν τα βασικά εργαλεία για την επίτευξη του πρώτου στόχου από τους δύο συνολικά που έχουμε θέσει στην ανάλυση της εργασίας μας. Ο δεύτερος μας στόχος επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση του τρίτου αποτελέσματος της προσομοίωσης. Το μέγεθος, στο οποίο αναφερόμαστε αναπαριστά το μέσο αριθμό των handoffs που πραγματοποιούνται ανά μία κλήση. Εμείς ασχοληθήκαμε αποκλειστικά με τις φωνητικές κλήσεις, οι οποίες είναι κατά τεκμήριο οι πιο απαιτητικές σε καθυστέρηση και στο φαινόμενο jitter.

## 8.7 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Dusit Niyato and Ekram Hossain, “**Call Admission Control for QoS Provisioning in 4G Wireless Networks: Issues and Approaches**”, IEEE Network September/October 2005.

[2] Saravanan I., SivaradjeG., and Dananjayan P., “**QoS Provisioning for Cellular/Wlan Interworking**”, 2006.

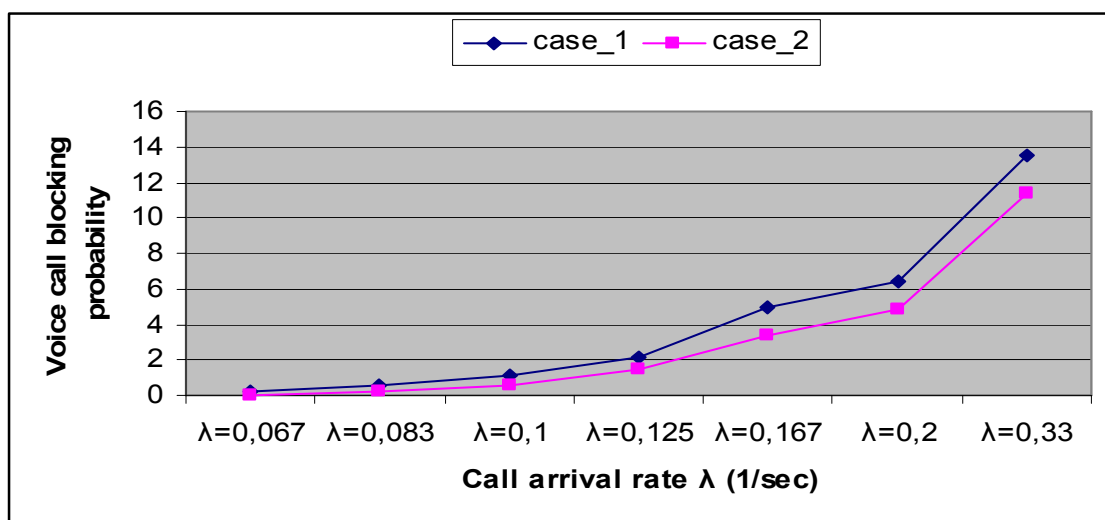
[3] Stephany Edosa Ogbonmwan, Wei Li, “**Multi-threshold Bandwidth Reservation Scheme of an Integrated Voice/Data Wireless Network**”, October 2005.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup> - ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

## 9.1 ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΕΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Έχουμε ήδη αναφέρει στα προηγούμενα κεφάλαια τα πλεονεκτήματα που αναμένεται να προσφέρουν τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς. Όσον αφορά τα ενοποιημένα συστήματα UMTS-WLAN, το βασικότερο όφελος που αποκομίζουμε είναι η «απορρόφηση» μεγάλης ποσότητας φορτίου κίνησης στο WLAN.

Προκειμένου να επαληθεύσουμε αυτές τις υποθέσεις και με πειραματικά αποτελέσματα, πραγματοποιήσαμε το ακόλουθο πείραμα. Προσομοιώσαμε δύο διαφορετικές καταστάσεις. Στην πρώτη περίπτωση υπάρχουν τα δύο δίκτυα, έτσι όπως αυτά φαίνονται στο σχήμα 8.1 αλλά δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, δηλαδή δεν υποστηρίζονται τα vertical handoffs. Αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε κλήση «γεννάται» και τερματίζει στην ίδια περιοχή κάλυψης. Στη δεύτερη περίπτωση ο χρήστης μπορεί να αλλάξει δίκτυο πρόσβασης κατά τη διάρκεια μίας κλήσης που πραγματοποιεί. Όπως είναι φυσικό, οι πιθανότητες συμφόρησης για το UMTS θα μειωθούν, αφού μέρος της κίνησης απορροφάται από το WLAN. Άλλωστε, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι θεωρούμε πως το μεγαλύτερο μέρος των χρηστών βρίσκεται στην περιοχή UMTS-only και πως οι χρήστες εντός της double-coverage περιοχής διακρίνονται κατά κανόνα για τη χαμηλή τους κινητικότητα (άρα έχουν και μικρότερη πιθανότητα να πραγματοποιήσουν handoff προς το UMTS).

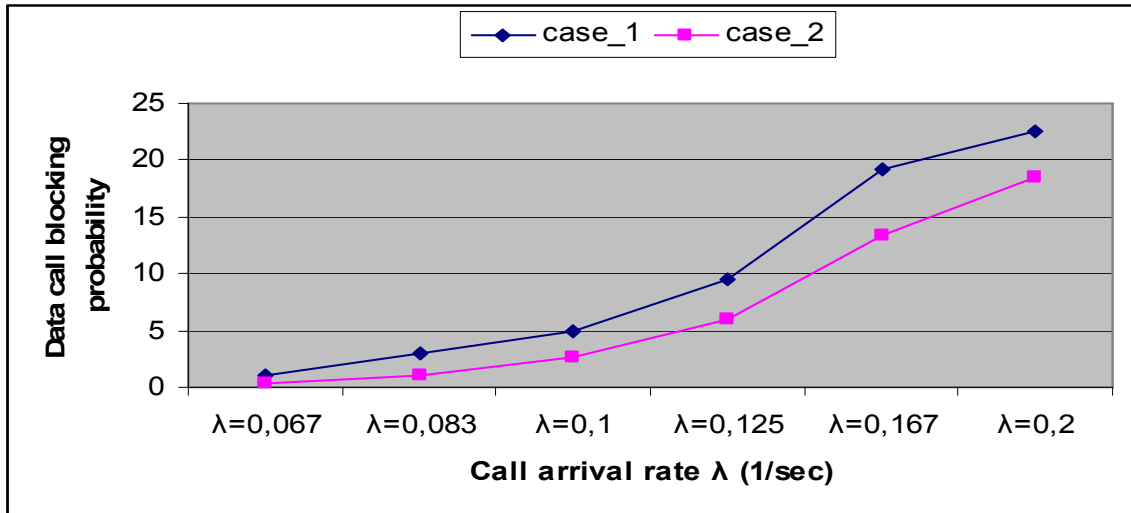


Σχήμα 9.1 : Πιθανότητα αποκλεισμού φωνητικών κλήσεων

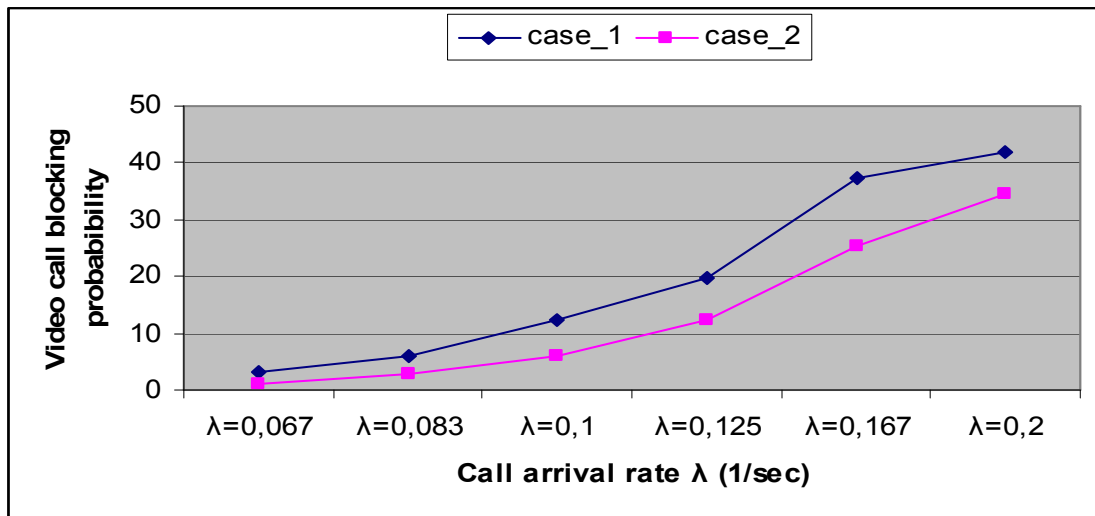
Τρέξαμε τα δύο διαφορετικά προγράμματα με το ίδιο input.txt, οι παράμετροι του οποίου φαίνονται παρακάτω :

100000 2000 11000 10 32 128 256 180 150 200 50 30 20 70 30 40 30 20

Στο σχήμα 9.1 φαίνονται τα αποτελέσματα. Παρατηρούμε μία σαφή μείωση στην πιθανότητα αποκλεισμού των φωνητικών κλήσεων, όταν τα δύο ετερογενή δίκτυα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Ανάλογα αποτελέσματα έχουμε και για τα άλλα δύο είδη των προσφερόμενων υπηρεσιών, όπως μπορούμε να δούμε στα δύο παρακάτω διαγράμματα (σχήμα 9.2 – 9.3).



Σχήμα 9.2 : Πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων δεδομένων



Σχήμα 9.3 : Πιθανότητα αποκλεισμού βιντεοκλήσεων

Και στα τρία παραπάνω διαγράμματα, παρατηρούμε καλύτερα αποτελέσματα που προκαλούνται από την ενοποίηση των δύο δικτύων, όταν το φορτίο του δικτύου είναι γενικά χαμηλό (π.χ για  $\lambda=0,067$  και  $\lambda=0,083$ ). Τότε διαπιστώνουμε ότι οι πιθανότητες αποκλεισμού μίας οποιαδήποτε είδους κλήσης μειώνονται έως και πάνω από 50% (case\_2). Λιγότερο εντυπωσιακές αλλά εξίσου αξιοσημείωτες είναι και οι διαφορές όταν η χρησιμοποίηση (utilization) του συστήματος είναι μεγαλύτερη (δηλαδή για μεγαλύτερους ρυθμούς άφιξης  $\lambda$ ). Οι παράμετροι εισόδου που χρησιμοποιήσαμε αφορούν μία συνηθισμένη κατάσταση του συστήματος. Όσο αυξάνεται η κινητικότητα των χρηστών (κυρίως στην UMTS-only περιοχή), τόσο πιο μεγάλες διαφορές θα παρατηρούμε στις

πιθανότητες αποκλεισμού, επειδή σε αυτήν την περίπτωση το WLAN θα «απορροφά» ακόμα περισσότερη κίνηση.

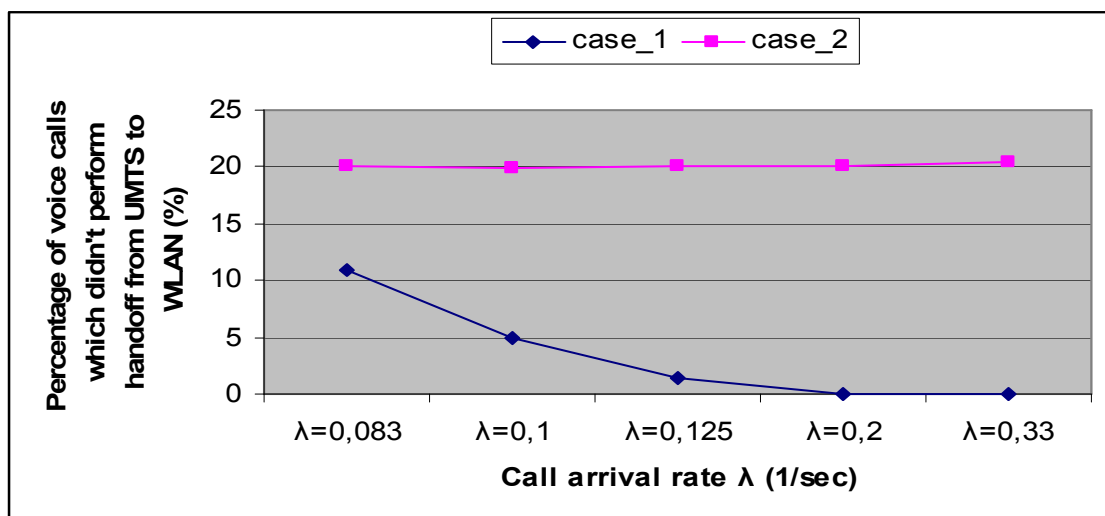
## 9.2 ΣΕΝΑΡΙΟ PUBLIC TRANSPORT

Στις επόμενες παραγράφους κάνουμε μία προσπάθεια να εξάγουμε τα συμπεράσματά μας από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συναρτήσει κάποιων συγκεκριμένων πραγματικών σεναρίων που πρόκειται να εμφανιστούν κατά κόρον στο μέλλον. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών ισχύουν γενικά λίγο ή πολύ για όλα τα σενάρια που θα αναφέρουμε. Απλώς, στόχος μας είναι να συγκεκριμενοποιήσουμε κάποιες καταστάσεις και να δούμε πώς ο προτεινόμενος αλγόριθμός μας μπορεί να προσαρμοστεί με πολύ λίγο κόπο στις απαιτήσεις του εκάστοτε διαφορετικά παραμετροποιημένου συστήματος που μπορεί να προκύψει σε μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή.

### 9.2.1 Περιγραφή του σεναρίου

Το σενάριο public transport περιγράφει μία γεωγραφική περιοχή, όπου οι χρήστες ζητούν κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό φωνητικές υπηρεσίες. Αυτό σημαίνει ότι για παράδειγμα στην double-coverage περιοχή (βλ. σχήμα 8.1), δεν υπάρχει κάποιος χώρος όπου αυξάνεται κατακόρυφα η πυκνότητα των χρηστών. Πρόκειται για WLAN, τα οποία λειτουργούν χωρίς να είναι γνωστά στο ευρύ κοινό. Συνήθως, τα εγκαθιστούν μικρομεσαίες επιχειρήσεις, όχι πολύ δημοφιλείς, για να καλύψουν τις καθημερινές ανάγκες τους. Δεν πρόκειται λοιπόν για οργανωμένους χώρους, όπου συγκεντρώνονται πολλοί χρήστες που επιθυμούν να καρπωθούν τις προσφερόμενες πολυμεσικές υπηρεσίες (δεδομένα, βίντεο).

### 9.2.2 Πείραμα μείωσης αριθμού handoffs για φωνητικές κλήσεις



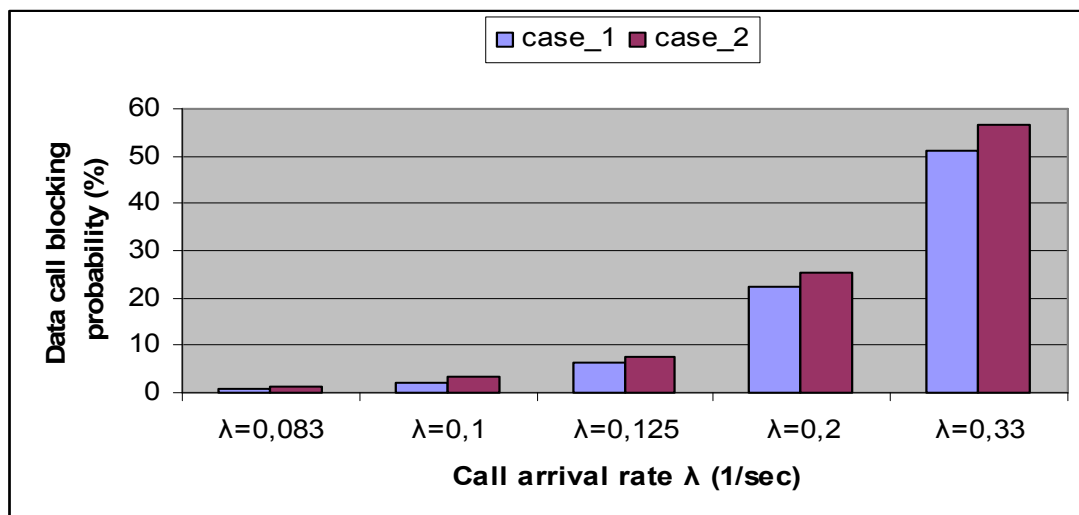
Σχήμα 9.4 : Ποσοστό των φωνητικών κλήσεων που δεν έκαναν handoff από το UMTS προς το WLAN

Στο σενάριο που μόλις περιγράψαμε αντιμετωπίζουμε το εξής πρόβλημα. Οι φωνητικές κλήσεις παρουσιάζουν μεγάλη ζήτηση και οι χρήστες διακρίνονται για τη μεγάλη τους κινητικότητα. Αυτό σημαίνει ότι αυξάνονται οι πιθανότητες να πραγματοποιήσουν μία handoff διαδικασία. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει στην παράγραφο 8.4 του προηγούμενου κεφαλαίου, είναι ανεπιθύμητα τα handoffs για τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, όπως είναι η φωνή. Και αυτό γιατί αυτού του είδους οι υπηρεσίες είναι πολύ ευαίσθητες στην καθυστέρηση με αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια μίας handoff διαδικασίας να προκύπτουν απότομοι τερματισμοί κλήσεων, γεγονός που είναι ό,τι χειρότερο μπορεί να συμβεί σε ένα χρήστη, του οποίου η φωνητική κλήση βρίσκεται σε εξέλιξη.

Σε αυτό το πείραμα προσπαθούμε να αποδείξουμε ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος CAC λαμβάνει υπόψιν του όλα τα προαναφερθέντα και δεν επιτρέπει πολλές handoff διαδικασίες για τις φωνητικές κλήσεις που «γεννιούνται» στη UMTS-only περιοχή και τερματίζουν στην double-coverage περιοχή. Τρέχουμε δύο διαφορετικά προγράμματα, τα οποία δέχονται τις ίδιες παραμέτρους εισόδου, όπως αυτές φαίνονται παρακάτω :

100000 2000 11000 10 32 128 256 180 150 200 70 20 10 80 20 40 30 20

Στο πρώτο πρόγραμμα (case\_1) δίνουμε πολύ μικρή προτεραιότητα για τις φωνητικές κλήσεις που κάνουν handoff από το UMTS προς το WLAN. Πιο συγκεκριμένα, οι κλήσεις αυτές εξυπηρετούνται στην πλειοψηφία τους από το WLAN δίκτυο, αμέσως μόλις εισέλθουν στην double-coverage περιοχή. Για αυτόν το λόγο, τον αλγόριθμο αυτόν τον ονομάζουμε WLAN-first. Στο δεύτερο πρόγραμμα (case\_2), οι φωνητικές κλήσεις αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο και στις δύο περιοχές του συστήματος και εξυπηρετούνται ως επί το πλείστον από το δίκτυο UMTS. Αυτός είναι ο αλγόριθμος που προτείνουμε εμείς. Στο σχήμα 9.4, παρατηρούμε ότι καταφέραμε να μειώσουμε κατά πολύ τις ανεπιθύμητες handoff διαδικασίες. Τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακότερα, καθώς η κίνηση του δικτύου αυξάνεται.



**Σχήμα 9.5 : Πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων δεδομένων**

Επειδή όμως τίποτα δεν επιτυγχάνεται χωρίς το ανάλογο κόστος, στο παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 9.5) παρατηρούμε ότι με την εφαρμογή του προτεινόμενου αλγορίθμου, αυξάνονται ελαφρώς οι πιθανότητες αποκλεισμού για τις κλήσεις δεδομένων. Παρόμοια αποτελέσματα έχουμε και για τα άλλα δύο είδη υπηρεσιών. Η ουσία είναι ότι προτιμούμε

να «προστατεύσουμε» τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου από αναπάντεχα dropping για χάρη μίας μικρής σχετικά επιβάρυνσης του δικτύου UMTS.

## **9.3 ΣΕΝΑΡΙΟ BUSINESS - OFFICE**

### **9.3.1 Περιγραφή του σεναρίου**

Σε αυτό το σενάριο υποθέτουμε ότι η ζήτηση για κλήσεις δεδομένων εντός της double-coverage περιοχής αυξάνεται κατακόρυφα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων χώρων μπορούν να είναι συνεδριακοί χώροι, πανεπιστημιακά ιδρύματα (με την έννοια των πανεπιστημιούπολεων), μεγάλες σε έκταση επιχειρήσεις ή ακόμη και αεροδρόμια και λιμάνια. Όλοι αυτοί οι χώροι, οι οποίοι αυξάνονται συνεχώς τα τελευταία χρόνια, έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό. Συρρέουν σε αυτούς χιλιάδες άτομα σε καθημερινή βάση, τα οποία επιθυμούν είτε να διακινήσουν είτε να λάβουν απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τα δρώμενα στην double-coverage περιοχή και όχι μόνο. Αυτή η πληροφορία έχει τη μορφή απλών αρχείων δεδομένων, ηλεκτρονικών μηνυμάτων κ.ο.κ.

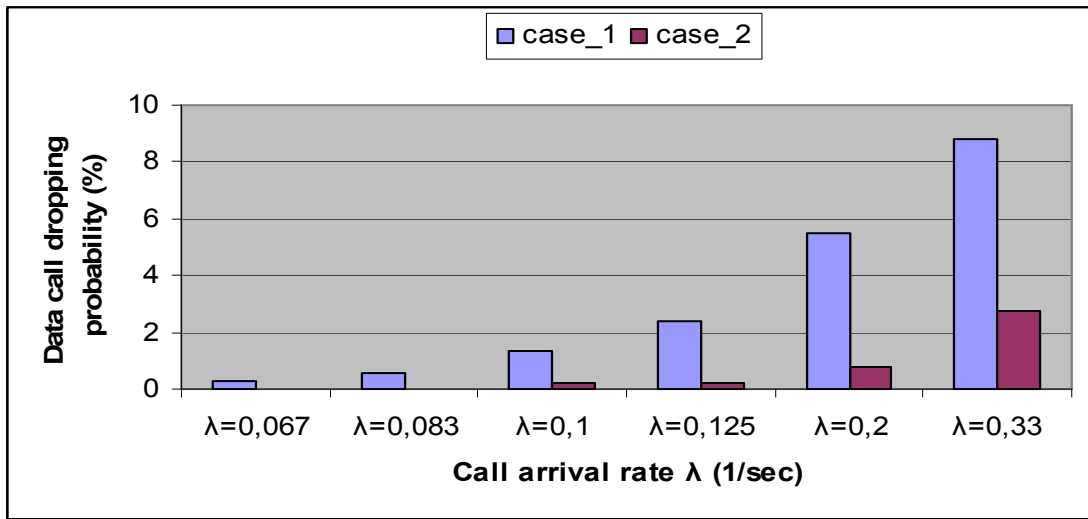
Για παράδειγμα αν η double-coverage περιοχή είναι ένα συνεδριακό κέντρο, οι χρήστες μέσα στο χώρο αυτό έχουν συγκεκριμένα ενδιαφέροντα και αυτό που τους απασχολεί περισσότερο είναι κατά τη διάρκεια της παραμονής τους στο συνέδριο που παρακολουθούν να μπορούν να ενημερώνονται συνεχώς για τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε αίθουσες που είναι αδύνατον να παρίστανται. Επίσης, είναι πολύ σημαντικό για τους συνέδρους να μπορούν να ανταλλάσσουν αρχεία μεταξύ τους και να αναβαθμίζεται με αυτόν τον τρόπο η όλη ακαδημαϊκή ή ερευνητική προσπάθεια. Οι σύνεδροι σε αυτό το σενάριο δεν ενδιαφέρονται τόσο για βιντεοκλήσεις. Ανάλογες καταστάσεις επικρατούν και στους άλλους παρεμφερείς χώρους που αναφέρθηκαν παραπάνω.

### **9.3.2 Πείραμα εκχώρησης μείζονος προτεραιότητας στις handoff κλήσεις δεδομένων**

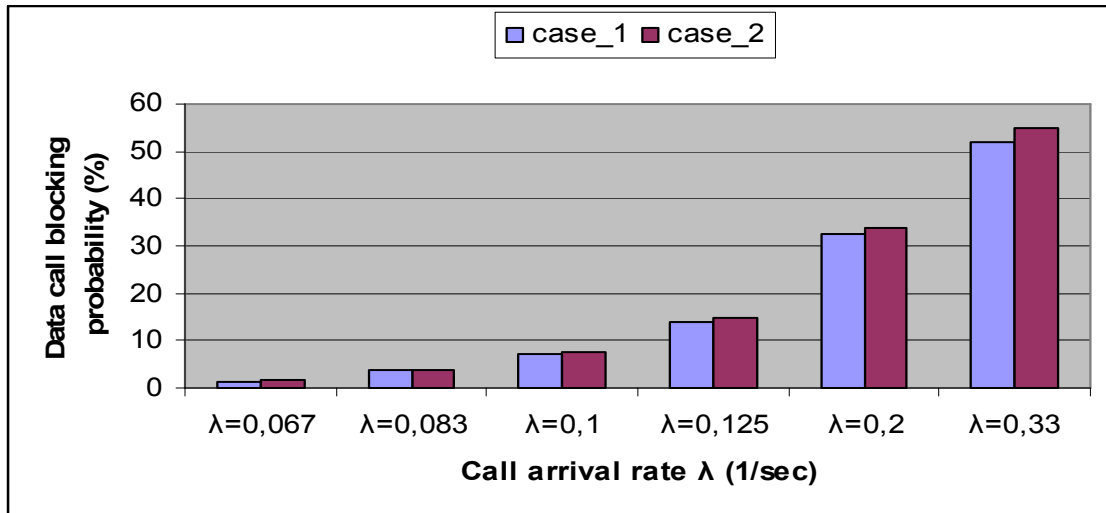
Στο σενάριο που μόλις περιγράψαμε οι χρήστες απαιτούν οι κλήσεις δεδομένων που πραγματοποιούν να συνοδεύονται από υψηλή ποιότητα. Υψηλή ποιότητα σημαίνει χαμηλή πιθανότητα αποκλεισμού και πολύ χαμηλότερη πιθανότητα απότομου τερματισμού των κλήσεων. Αυτά με τη σειρά τους σημαίνουν εκχώρηση υψηλής προτεραιότητας τόσο για τις νέες όσο και τις handoff κλήσεις δεδομένων. Τελικά αυτό που «θυσιάζουμε» είναι η υποβάθμιση της ποιότητας των άλλων δύο υπηρεσιών.

Συγκρίνουμε δύο προγράμματα. Το ένα αντιμετωπίζει με τον ίδιο τρόπο τις νέες και τις handoff κλήσεις δεδομένων (case\_1), ενώ το δεύτερο δίνει σαφή προτεραιότητα στις handoff κλήσεις (case\_2). Πιο συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψιν μας το σχήμα 8.2, αυτό αναπαριστά την πρώτη περίπτωση (μιλάμε για το δίκτυο UMTS), ενώ στη δεύτερη περίπτωση οι handoff κλήσεις δεδομένων λαμβάνουν τη δεύτερη τη τάξει προτεραιότητα αμέσως μετά τις φωνητικές handoff κλήσεις. Οι παράμετροι εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν και για τα δύο προγράμματα ήταν οι εξής :





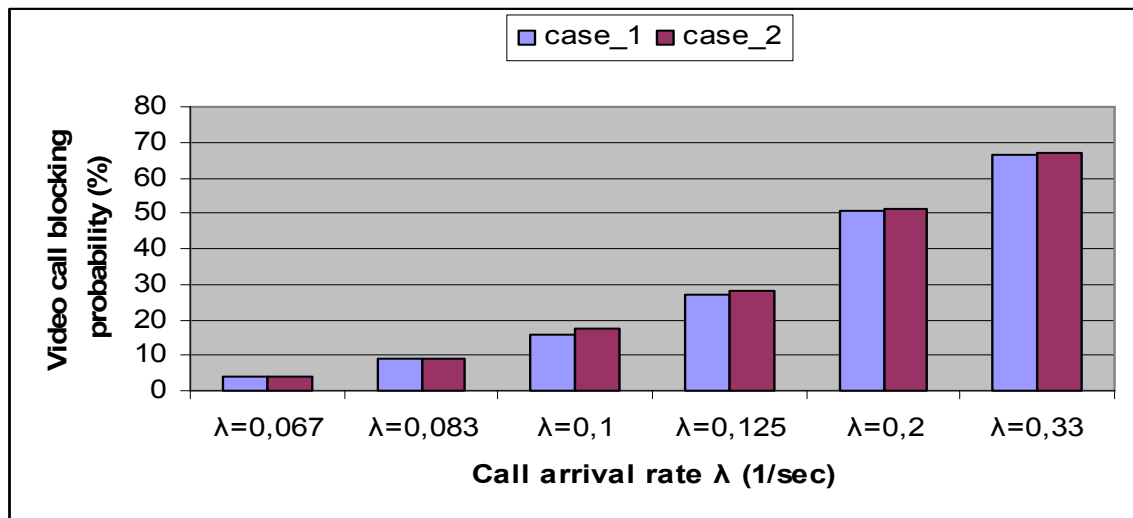
Σχήμα 9.6 : Πιθανότητα απότομου τερματισμού κλήσεων δεδομένων



Σχήμα 9.7 : Πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων δεδομένων

Στο σχήμα 9.6 παρατηρούμε μία εντυπωσιακή μείωση στην πιθανότητα απότομου τερματισμού μίας κλήσης δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι σύμφωνα με την case\_2, πολλοί λίγοι χρήστες θα είναι δυσαρεστημένοι λόγω του κακού QoS του συστήματος. Θεωρούμε ότι πιθανότητα data dropping 1-2% για μεσαία και χαμηλή κίνηση είναι μία απολύτως αποδεκτή τιμή, αν λάβουμε μάλιστα υπόψιν μας ότι οι κλήσεις δεδομένων απαιτούν πολλαπλάσιους δικτυακούς πόρους σε σχέση με τις φωνητικές κλήσεις. Γενικά, κρίνουμε θετικό το γεγονός ότι καταφέραμε να μειώσουμε τη συγκεκριμένη πιθανότητα έως και πάνω από είκοσι φορές, χωρίς ταυτόχρονα να διαταράζουμε τις ισορροπίες στα υπόλοιπα μεγέθη (βλ. σχήμα 9.7 και 9.8). Για του λόγου το αληθές αρκεί να δούμε τα σχήματα 9.7 και 9.8, όπου παρατηρούμε μία ανεπαίσθητη αύξηση του data blocking και του video blocking αντίστοιχα ως απόρροια της (λογικά) μικρότερης προτεραιότητας που αποδόθηκε σε αυτές τις δύο κατηγορίες κλήσεων. Δεν αναφέρουμε καθόλου στα αποτελέσματά μας τη συμπεριφορά των φωνητικών κλήσεων, καθώς για αυτές έχουμε δεσμεύσει ένα μέρος του εύρους ζώνης τόσο μεγάλο, έτσι ώστε να μην επηρεάζονται από τα παραπάνω

αποτελέσματα. Εκτός του ότι θέλαμε να τους δώσουμε μεγαλύτερη προτεραιότητα, θέλαμε να συγκρίνουμε τις δύο υπηρεσίες που έχουν τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σε δικτυακούς πόρους.



Σχήμα 9.8 : Πιθανότητα αποκλεισμού βιντεοκλήσεων

## 9.4 ΣΕΝΑΡΙΟ LEISURE - MALL

### 9.4.1 Περιγραφή του σεναρίου

Σε αυτό το σενάριο υποθέτουμε ότι η ζήτηση για βιντεοκλήσεις εντός της double-coverage περιοχής αυξάνεται κατακόρυφα. Τέτοιες περιοχές μπορεί να είναι οργανωμένοι χώροι, όπου οι επισκέπτες μπορούν να απολαύσουν πολλά και διαφορετικά είδη διασκέδασης. Στα μεγάλα αστικά κέντρα, η αύξηση αυτών των χώρων ήταν ραγδαία τα τελευταία χρόνια και αναμένεται να είναι ακόμη μεγαλύτερη στο μέλλον. Σε αυτά τα μεγάλα κτιριακά συγκροτήματα, οι επισκέπτες μπορούν να ψυχαγωγηθούν σε καφετέριες, εστιατόρια, κέντρα διασκέδασης, εμπορικά καταστήματα, κινηματογράφους, θέατρα, λούνα πάρκ κλπ.

Για το μέσο επισκέπτη που βρίσκεται σε τέτοιου είδους χώρους είναι πολύ σημαντικό να ενημερώνεται συνεχώς για τα δρώμενα στο χώρο που βρίσκεται γύρω του. Λογικά, αυτός ο επισκέπτης επιθυμεί να μπορεί να κατεβάζει μικρά βίντεο σε στυλ διαφημιστικού ή απλά ενημερωτικού μηνύματος, έτσι ώστε να αποφασίζει με ποιον ακριβώς τρόπο επιθυμεί να ψυχαγωγηθεί αυτός και η παρέα του. Με άλλα λόγια δεν τον ενδιαφέρει τόσο πολύ να πραγματοποιεί κλήσεις δεδομένων, όπως π.χ. στο σενάριο business-office.

Άλλοι χαρακτηριστικοί χώροι όπου μπορεί να βρει εφαρμογή αυτό το σενάριο, είναι οι χώροι όπου διαδραματίζονται μεγάλα αθλητικά γεγονότα. Στα ολυμπιακά στάδια, λόγω χάρη, όπου μπορούν να συγκεντρωθούν σε πολύ μικρό χώρο πολλές δεκάδες χιλιάδες άτομα, η λύση της εγκατάστασης ενός WLAN αναμένεται να είναι πολύ αποδοτική. Οι θεατές θα μπορούν να βλέπουν ξανά κάποια κρίσιμη φάση που τους ενδιαφέρει στο κινητό

τερματικό τους ή να ενημερώνονται για τα αθλητικά δρώμενα σε κάποιο άλλο κοντινό στάδιο.

#### 9.4.2 Πείραμα εκχώρησης μείζονος προτεραιότητας στις handoff βιντεοκλήσεις

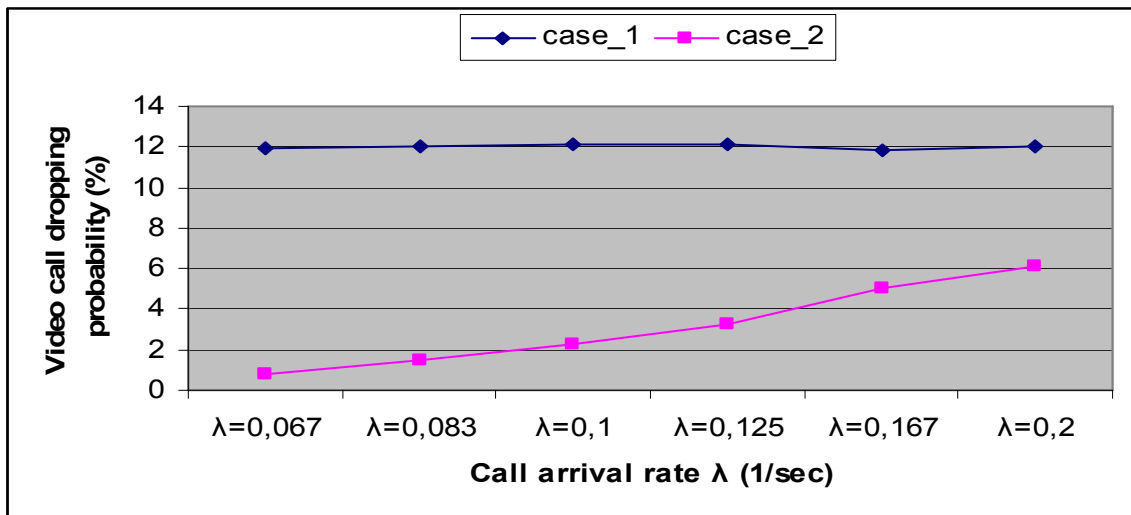
Είναι προφανές ότι στο σενάριο leisure-mall επιθυμούμε να βελτιστοποιήσουμε την ποιότητα υπηρεσιών για τις βιντεοκλήσεις. Από την πλευρά του χρήστη, αυτό που είναι επιθυμητό είναι να μην υπάρχουν απότομοι τερματισμοί των βιντεοκλήσεων. Ο στόχος μας λοιπόν τώρα είναι να συγκρίνουμε την πιθανότητα video dropping για δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη (case\_1), βάσει του αλγορίθμου που έχουμε παρουσιάσει στο κεφάλαιο 8, όλες οι handoff βιντεοκλήσεις από το WLAN προς το UMTS απορρίπτονται. Αυτός ο σχεδιασμός έγινε γιατί δε θέλουμε να φορτώσουμε το UMTS με κλήσεις που έχουν πολύ μεγάλες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης. Άλλωστε, έχουμε υποθέσει στις προδιαγραφές του συστήματος ότι οι χρήστες που πραγματοποιούν βιντεοκλήσεις δε διακρίνονται για τη μεγάλη τους κινητικότητα. Άρα τελικά μπορούμε να αποδεχθούμε κάποια σχετικά μικρή και καθορισμένη video dropping probability, από τη στιγμή μάλιστα που όταν κάποιος χρήστης εγκαταλείπει το WLAN, το κάνει ως επί το πλείστον εν γνώσει του και έχοντας ικανοποιήσει κατά πάσα πιθανότητα τις ανάγκες του για πληροφόρηση, οι οποίες άλλωστε απέρρεαν από την παρουσία του εντός της περιοχής κάλυψης του WLAN.

Στο συγκεκριμένο σενάριο που εξετάζουμε τώρα, τα πράγματα διαφέρουν. Τώρα, θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε τη video dropping probability. Είναι προφανές ότι ο αλγόριθμος CAC που προτείνουμε πρέπει ελαφρώς να τροποποιηθεί. Στη δεύτερη περίπτωση (case\_2) λοιπόν δίνουμε σαφή προτεραιότητα στις handoff βιντεοκλήσεις. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα πάντα με το σχήμα 8.2 δίνουμε στις handoff βιντεοκλήσεις το 90% του συνολικού εύρους ζώνης του UMTS. Το υπόλοιπο 10% αφιερώνεται ουσιαστικά ολοκληρωτικά στις φωνητικές κλήσεις, των οποίων την ποιότητα δε μπορούμε να υποβαθμίσουμε.

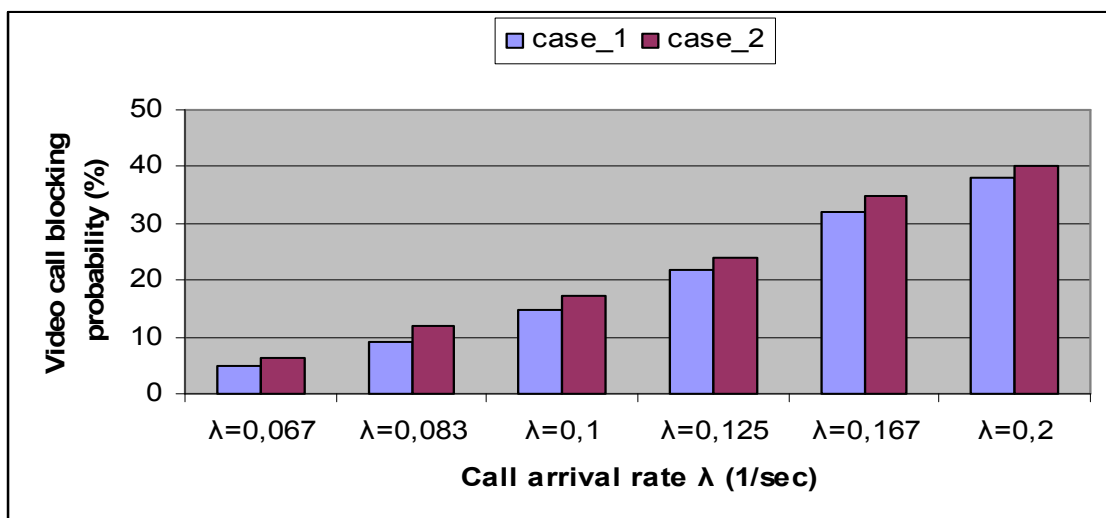
Και για τα δύο προγράμματα που τρέξαμε χρησιμοποιήσαμε τις ακόλουθες παραμέτρους εισόδου :

100000 2000 11000 10 32 128 256 180 150 200 50 10 40 70 30 40 30 20

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε ότι καταφέραμε να μειώσουμε κατά πολύ την video dropping probability. Ενώ στην πρώτη περίπτωση είναι σταθερή γύρω στο 12%, καταφέραμε να τη μειώσουμε έως και πάνω από έξι φορές (για χαμηλό φορτίο). Τώρα για μία μεσαία κατάσταση κίνησης η πιθανότητα είναι 2-3%, κάτι που είναι αρκετά ικανοποιητικό δεδομένου ότι μιλάμε για ένα είδος υπηρεσίας που είναι πάρα πολύ απαιτητικό σε εύρος ζώνης. Με άλλα λόγια, για να πετύχουμε ακόμα μικρότερες πιθανότητες απότομου τερματισμού βιντεοκλήσεων, θα πρέπει να διαταράξουμε τις ισορροπίες στα άλλα δύο είδη υπηρεσιών, κάτι βέβαια που δεν είναι επιθυμητό.

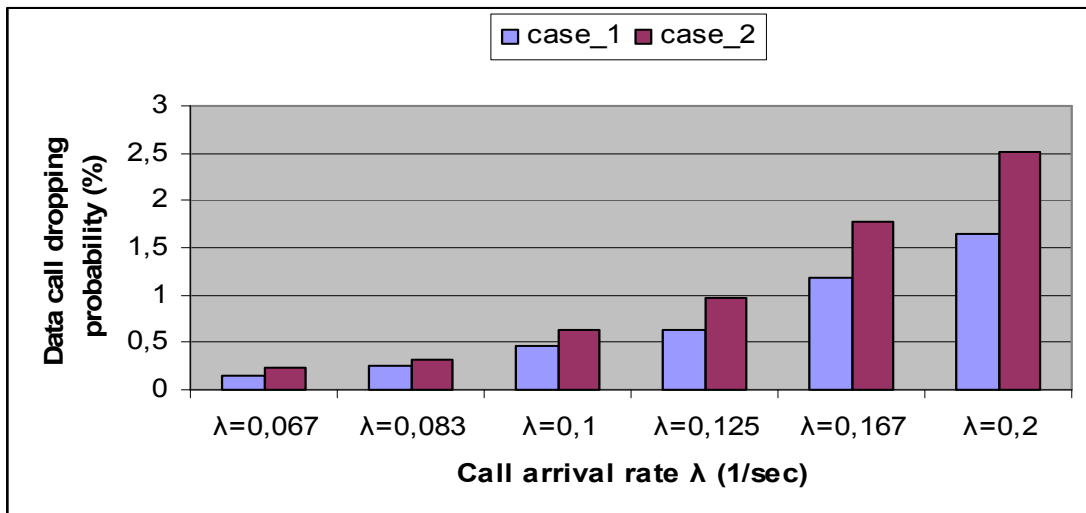


Σχήμα 9.9 : Πιθανότητα απότομου τερματισμού βιντεοκλήσεων



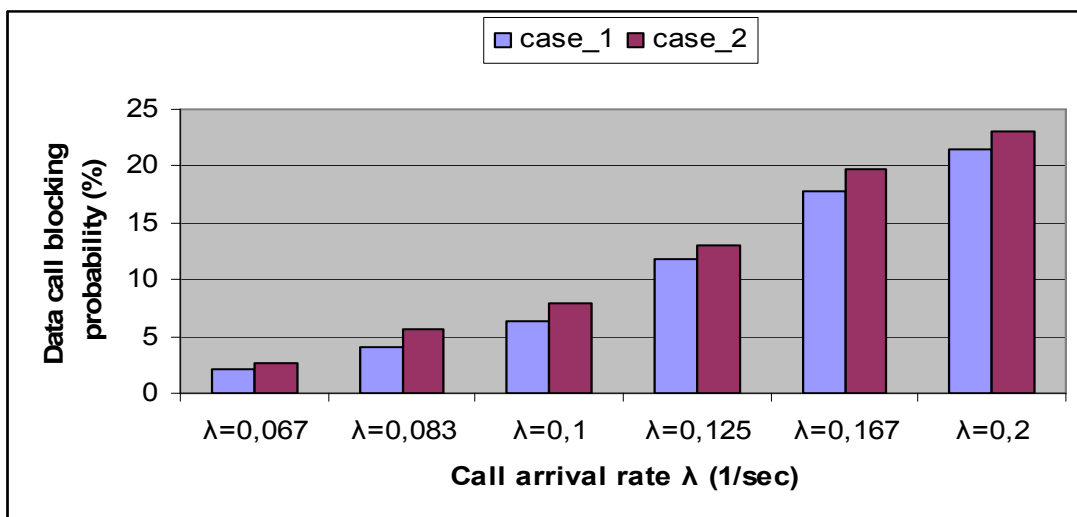
Σχήμα 9.10 : Πιθανότητα αποκλεισμού βιντεοκλήσεων

Στα σχήματα 9.10-9.13 παρατηρούμε τις επιπτώσεις που έχει η εφαρμογή της εκχώρησης μείζονος προτεραιότητας στις handoff βιντεοκλήσεις. Στο σχήμα 9.10 παρατηρούμε μία ελαφρώς αυξημένη πιθανότητα στις blocked βιντεοκλήσεις. Αυτή η διαφορά δεν είναι τόσο σημαντική σε σχέση βέβαια με τη μεγάλη μείωση που πετύχαμε στη video call dropping probability και μπορούμε να τη θεωρήσουμε ως αποδεκτή τόσο από την πλευρά του δικτύου όσο και από την πλευρά του απλού χρήστη. Στα δύο παρακάτω διαγράμματα βλέπουμε αντίστοιχα αποτελέσματα και για τις data dropped και data blocked κλήσεις, στις οποίες αναγκαστικά και εκ των πραγμάτων τους εκχωρήθηκε μικρότερη προτεραιότητα.



Σχήμα 9.11 : Πιθανότητα απότομου τερματισμού κλήσεων δεδομένων

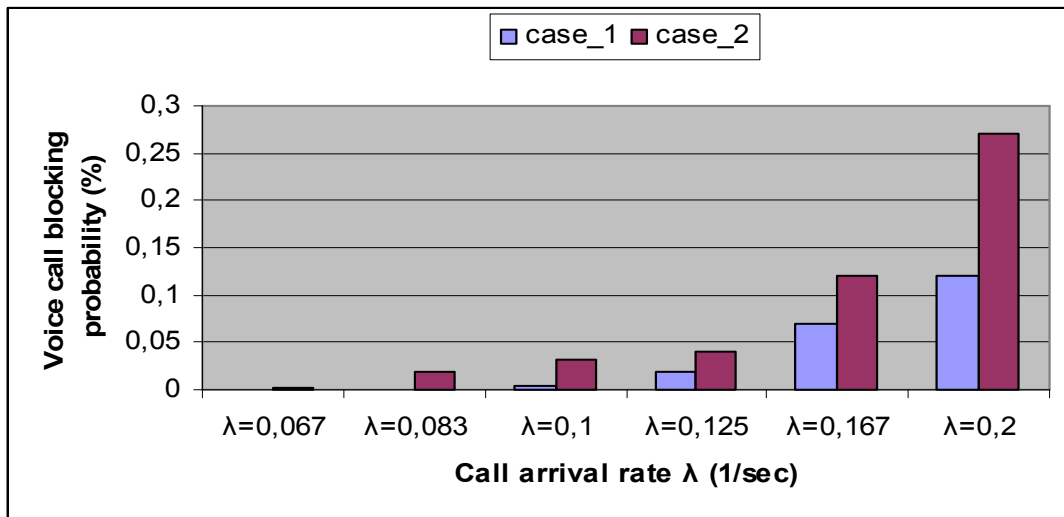
Στο παραπάνω διάγραμμα οι διαφορές ίσως να φαίνονται ανησυχητικές με μία πρώτη ματιά, αλλά αν παρατηρήσουμε καλύτερα το σχήμα θα διαπιστώσουμε ότι για μεσαία κίνηση η αύξηση της data call dropping probability δεν υπερβαίνει το 0,3%. Ουσιαστικά δηλαδή το μειονέκτημα που έχουμε είναι ότι τρεις χρήστες παραπάνω στους χίλιους θα δυσχεραστούν από τον απότομο τερματισμό της κλήσης δεδομένων τους. Αν λάβουμε υπόψιν μας και ότι στο σενάριο που εξετάζουμε δεν υπάρχει μεγάλη ζήτηση σε κλήσεις δεδομένων, τα ποσοστά που εμφανίζονται στα αποτελέσματα είναι πολύ ικανοποιητικά. Ανάλογα συμπεράσματα μπορούμε να εξάγουμε και για την data call blocking probability, που εμφανίζεται στο σχήμα 9.12.



Σχήμα 9.12 : Πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων δεδομένων

Τέλος, στο τελευταίο μας διάγραμμα παρουσιάζουμε τη διαφορά που διαπιστώσαμε και στις φωνητικές κλήσεις. Στο σενάριο business-office δεν είχαμε αναφέρει τίποτα για τη συμπεριφορά των φωνητικών κλήσεων, λόγω του ότι είχαμε καταφέρει να του εκχωρήσουμε ένα αρκετά μεγάλο μέρος του εύρους ζώνης (15%) μόνο για αυτού του είδους την υπηρεσία. Αυτό δεν ήταν δυνατόν να γίνει στο σενάριο leisure-mall λόγω του

ότι αυξήθηκε σημαντικά η κίνηση του δικτύου μόνο από το γεγονός ότι αυξήθηκε κατακόρυφα η ζήτηση για βιντεοκλήσεις. Δεν πρέπει άλλωστε να λησμονούμε το γεγονός ότι έχουμε υποθέσει ότι οι βιντεοκλήσεις έχουν διπλάσιες απαιτήσεις σε δικτυακούς πόρους σε σχέση με τις κλήσεις δεδομένων. Προσπαθήσαμε λοιπόν να εξισορροπήσουμε τις καταστάσεις, εκχωρώντας ένα ικανοποιητικό πλην όμως μικρότερο μέρος (8%) του εύρους ζώνης του UMTS μόνο για τις φωνητικές κλήσεις. Τα αποτελέσματα που λάβαμε είναι αυτά που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 9.13 : Πιθανότητα αποκλεισμού φωνητικών κλήσεων**

Για μεγάλη κίνηση παρατηρούμε ότι η αύξηση στην πιθανότητα αποκλεισμού φωνητικών κλήσεων ξεπερνά ακόμα και το 100%. Φροντίσαμε όμως οι πιθανότητες αυτές να βρίσκονται πολύ κάτω από το 1%, έτσι ώστε να θεωρούνται ικανοποιητικές. Άλλωστε για τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών ένα ποσοστό αποκλεισμού φωνητικών κλήσεων γύρω στο 1-2% είναι αποδεκτό για πραγματικά συστήματα που βρίσκονται σε λειτουργία.

## ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση των ετερογενών δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς με έμφαση στις αρχιτεκτονικές διασύνδεσής τους. Στο τέλος, έχοντας παρουσιάσει όλο το θεωρητικό υπόβαθρο που μας ενδιέφερε, υλοποιήσαμε ένα μοντέλο συστήματος, προσομοιώσαμε τη λειτουργία του και βγάλαμε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα των πειραμάτων μας. Αρχικός μας στόχος σε επίπεδο υλοποίησης ήταν να διερευνήσουμε προτεινόμενες λύσεις για την αποδοτική διαχείριση πόρων στα συστήματα 4G. Έτσι λοιπόν επιλέξαμε να σχεδιάσουμε και να υλοποιήσουμε έναν αλγόριθμο ελέγχου αποδοχής κλήσεων (Call Admission Control), λαμβάνοντας υπόψιν μας σε μεγάλο βαθμό τη διεθνή βιβλιογραφία.

Τελικά, ο αλγόριθμος που προτείνουμε συνδυάζει πολλές τεχνικές από πολλά είδη αλγορίθμων που βρίσκονται ήδη σε λειτουργία στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Στόχος μας ήταν να καταφέρουμε να πετύχουμε τη συνύπαρξη πολλών από αυτές τις τεχνικές σε έναν ενιαίο αλγόριθμο. Επίσης, μπορούμε να πούμε ότι για πρώτη φορά προσπαθήσαμε να συμπεριλάβουμε στις προσφερόμενες υπηρεσίες του δικτύου μας και πολυμεσικές υπηρεσίες που απαιτούν πάρα πολλούς διακτυακούς πόρους. Η συνύπαρξη λοιπόν των υπηρεσιών φωνής, δεδομένων και βίντεο αποτελεί κάτι νέο στον ερευνητικό τομέα των αλγορίθμων CAC.

Αναφορικά με τη βελτιστοποίηση του ήδη υπάρχοντος υλοποιημένου μοντέλου προσομοίωσης, υπάρχουν πολλά θέματα, τα οποία πρόκειται να διερευνηθούν στο άμεσο μέλλον. Τα σημαντικότερα από αυτά αναφέρονται με επιγραμματικό τρόπο παρακάτω.

Πρώτον, το μοντέλο που παρουσιάζεται στο σχήμα 8.1 μπορεί να γίνει πιο πολύπλοκο. Πιο συγκεκριμένα, μπορούμε να μοντελοποιήσουμε το σύστημα με δύο (ή και παραπάνω) γειτονικές κυψέλες UMTS, έτσι ώστε να λαμβάνουμε υπόψιν και τις οριζόντιες μεταπομπές (horizontal handoffs). Με αυτόν τον τρόπο το διατιθέμενο εύρος ζώνης θα μπορέσει να γίνει δυναμικό, αφού μία κυψέλη με μεγάλη κίνηση θα μπορεί να δανειστεί ραδιοδιαύλους από μία γειτονική της με μικρή σχετικά κίνηση. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, αφού όπως φαίνεται και στη βιβλιογραφία τα δυναμικά σχήματα μπορούν να πετύχουν πολύ καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τη συνολική προσφερόμενη ποιότητα υπηρεσιών του συστήματος.

Δεύτερον, υπάρχει η δυνατότητα η εκχώρηση του εύρους ζώνης για καθεμία κλήση να γίνεται με δυναμικό τρόπο. Για παράδειγμα, αν η κίνηση του δικτύου αρχίζει να αυξάνεται ανησυχητικά, μπορούμε να υποβαθμίσουμε την ποιότητα όλων των πολυμεσικών υπηρεσιών (δεδομένα, βίντεο) που λαμβάνουν οι χρήστες των οποίων η επικοινωνία βρίσκεται σε εξέλιξη. Έτσι, όταν το δίκτυο θα επιβαρύνεται, οι νέες πιθανότητες απότομου τερματισμού και αποκλεισμού των κλήσεων θα μειωθούν σημαντικά, δίνοντας στο δίκτυο τη δυνατότητα να εξυπηρετήσει ικανοποιητικά ακόμα περισσότερους χρήστες.

Τρίτον, μπορούμε να υλοποιήσουμε το σύστημά μας με ουρές, έτσι ώστε να μην απορρίπτονται αμέσως οι κλήσεις, οι οποίες δε μπορούν να εξυπηρετηθούν από το δίκτυο λόγω μη διαθέσιμου εύρους ζώνης. Αντίθετα, θα μπορούν να περιμένουν για ένα εύλογα μικρό διάστημα στην ουρά αναμονής και έτσι να εξυπηρετείται άμεσα ένα μέρος από αυτές όταν η χωρητικότητα του συστήματος το επιτρέπει.

Κλείνοντας, μπορούμε να αναφέρουμε άλλα δύο θέματα, τα οποία εμπεριέχουν σαφώς μεγαλύτερο βαθμό δυσκολίας, αλλά η υλοποίησή τους θα προσφέρει τα μέγιστα στην ανάπτυξη του βέλτιστου αλγορίθμου CAC, ο οποίος θα μπορεί άνετα να χρησιμοποιηθεί στα αναπτυσσόμενα πραγματικά συστήματα 4<sup>ης</sup> γενιάς του μέλλοντος.

Το πρώτο θέμα αφορά την εισαγωγή διάφορων τεχνικών παραμέτρων κατώτερου επιπέδου στην προσομοίωσή μας. Αναφέρουμε το λόγο του σήματος προς τις παρεμβολές (Signal Interference Ratio - SIR) των κινητών τερματικών των χρηστών ως τη σημαντικότερη από αυτές. Πιο συγκεκριμένα, ένα ακόμα κριτήριο που θα προστεθεί στη λήψη της απόφασης για εκκίνηση μίας handoff διαδικασίας θα είναι η ποιότητα του σήματος που δέχεται το τερματικό του χρήστη, ο οποίος βρίσκεται σε μία περιοχή όπου μπορεί να συνδεθεί με καλές προϋποθέσεις σε περισσότερα από ένα δίκτυα πρόσβασης. Όπως είναι φυσικό, αυτό πρόκειται να προκαλέσει μία ακόμη πιο αποδοτική κατανομή του διαθέσιμου εύρους ζώνης του συστήματος, κάτι που θα έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την ακόμη καλύτερη παροχή υπηρεσιών προς τους χρήστες.

Το δεύτερο θέμα, το οποίο είναι επίσης πολύ σημαντικό, είναι η εισαγωγή τυχαίων μοντέλων κινητικότητας στην προσομοίωσή μας. Με αυτήν την προσθήκη, θα έχουμε τη δυνατότητα εκτός των άλλων να προσεγγίσουμε πραγματικές καταστάσεις, όντας απολύτως σίγουροι για την αξιοπιστία και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων μας.