



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**Έλεγχος Αποδοχής Κλήσεων σε Ετερογενή Συστήματα  
Ασύρματων Επικοινωνιών Τέταρτης Γενιάς (4G)**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

του

**ΓΕΩΡΓΙΟΥ Ι. ΤΣΙΡΟΠΟΥΛΟΥ**

**Επιβλέπων :** Μιχαήλ Ε. Θεολόγου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2005



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**Έλεγχος Αποδοχής Κλήσεων σε Ετερογενή Συστήματα  
Ασύρματων Επικοινωνιών Τέταρτης Γενιάς (4G)**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

του

**ΓΕΩΡΓΙΟΥ Ι. ΤΣΙΡΟΠΟΥΛΟΥ**

**Επιβλέπων :** Μιχαήλ Ε. Θεολόγου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2005





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## Έλεγχος Αποδοχής Κλήσεων σε Ετερογενή Συστήματα Ασύρματων Επικοινωνιών Τέταρτης Γενιάς (4G)

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

**ΓΕΩΡΓΙΟΥ Ι. ΤΣΙΡΟΠΟΥΛΟΥ**

**Επιβλέπων :** Μιχαήλ Ε. Θεολόγου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 24<sup>η</sup> Οκτωβρίου 2005.

*(Υπογραφή)*

.....  
Μιχαήλ Ε. Θεολόγου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

*(Υπογραφή)*

.....  
Ε.Δ. Συκάς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

*(Υπογραφή)*

.....  
Γ.Ι.Στασινόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2005

(Υπογραφή)

.....  
**ΓΕΩΡΓΙΟΣ Ι. ΤΣΙΡΟΠΟΥΛΟΣ** Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και  
Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

© 2005 – All rights reserved

*Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. – All rights reserved.*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

# Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη μεθόδων ελέγχου αποδοχής κλήσης σε ετερογενή συστήματα επικοινωνιών τέταρτης γενιάς (4G networks).

Τα ετερογενή συστήματα επικοινωνιών τέταρτης γενιάς υποστηρίζουν την ενοποίηση των υπάρχοντων συστημάτων επικοινωνιών (όπως είναι αυτά της δεύτερης και τρίτης γενιάς, δηλαδή GSM/GPRS και UMTS αντίστοιχα, αλλά και τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, WLAN) με συστήματα επικοινωνιών επόμενης γενιάς (Beyond 3G – B3G), όπως είναι το WINNER, με στόχο τον σχηματισμό ενός υπερκείμενου δικτύου, το οποίο θα προσφέρει στους χρήστες μεγάλο εύρος και με πολύ υψηλή ποιότητα υπηρεσιών.

Ο έλεγχος αποδοχής κλήσης αποτελεί μέρος της διαχείρισης ραδιοπόρων (Radio Resource Management) του συστήματος. Σκοπός του ελέγχου αυτού είναι να ρυθμίσει τη λειτουργία του συνολικού δικτύου, ώστε να εξασφαλιστεί αδιάκοπη παροχή υπηρεσίας στις υπάρχουσες συνδέσεις και ταυτόχρονα κάποιος συμβιβασμός για την εγκατάσταση νέων συνδέσεων. Πρέπει όμως να γίνει διαχωρισμός του ελέγχου αποδοχής κλήσης σε μια κεντρική οντότητα που επιτελείται στις υπερκείμενες οντότητες του δικτύου και σε μια ειδική, η οποία είναι ξεχωριστή για κάθε υποκείμενο δίκτυο και λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες αυτού. Το σύστημα, λοιπόν, βάση του ελέγχου αποδοχής κλήσης είτε δέχεται είτε απορρίπτει μια σύνδεση, σύμφωνα με κάποια στρατηγική.

Έπειτα από την παράθεση κάποιων στοιχείων για τα δίκτυα που χρησιμοποιούμε και γενικών γνωστών αλγορίθμων ελέγχου αποδοχής κλήσεων, παρατίθεται ένας αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων για ετερογενή συστήματα επικοινωνιών τέταρτης γενιάς. Αυτός ο βασικός αλγόριθμος εξετάζεται στη συνέχεια αυτούσιος αλλά και με διάφορες παραλλαγές (δηλαδή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εξομοίωσης αυτού) με σκοπό την εξαγωγή αριθμητικών αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων.

**Λέξεις Κλειδιά:** << ετερογενή συστήματα επικοινωνιών τέταρτης γενιάς, έλεγχος αποδοχής κλήσης, ασύρματα τοπικά δίκτυα, διαχείριση ραδιοπόρων >>



# Abstract

The scope of this thesis is the study of different admission control methods in heterogeneous communication systems of fourth generation (4G Networks).

The heterogeneous communication systems support the unification of existing communication systems (as the second and third generation, that is to say GSM/GPRS and UMTS respectively, but also wireless local networks, WLANs) with communication systems of next generation (Beyond 3G – B3G), as is WINNER, aiming at the shaping of an overlying network, which will offer high data rates and better QoS (Quality of Service) to the users.

Admission control (AC) constitutes part of system's Radio Resource Management (RRM). The aim of AC is to regulate the operation of total network, so as to ensure the benefit of service in the existing connections and simultaneously some compromise for the admittance of new connections. However it should become segregation of a AC in this part which is carried out by the overlying entities of network and the other part which is separated for each amenable network and takes into consideration of its particularities. The system, therefore, based on the AC algorithm accepts or rejects a connection, according to some strategy.

After the apposition of certain information for the networks, which are used in this thesis, and also some well known AC algorithms, a new AC algorithm for heterogeneous communication systems of fourth generation is mentioned. This basic algorithm is examined as it is and also with some variations (that is to say are presented the results of its simulation) aiming at the export of numerical results and conclusions.

**Keywords:** << heterogeneous communication systems of fourth generation, admission control (AC), wireless local networks (WLANs), radio resource management (RRM)>>





# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θέλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Μιχαήλ Ε. Θεολόγου, που είχε την επίβλεψη της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Αισθάνομαι ιδιαίτερο χρέος τόσο για την επιστημονική του καθοδήγηση όσο και για το έντονο ενδιαφέρον που έδειξε για την παρούσα εργασία. Επίσης θέλω να τον ευχαριστήσω για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου στην ανάθεση ενός τόσο επιστημονικά ενδιαφέροντος θέματος και για την πάντα καλοπροαίρετη και άμεση αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων που προέκυπταν.

Τέλος, θέλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον υποψήφιο διδάκτορα κ. Ηλία Τράγο. Καθ' όλη την διάρκεια της παρούσας μελέτης, υπήρξε όχι μόνο επιβλέπων συνεργάτης, αλλά και φίλος, θυσιάζοντας πολύτιμο προσωπικό του χρόνο για να με βοηθήσει. Χωρίς την υπομονή, τις συμβουλές, τις ιδέες, την επιστημονική του πείρα και την αμέριστη βοήθειά του δεν θα ήταν δυνατή η επιτυχής περάτωση αυτού του έργου.

Αφιερώνεται στους γονείς μου  
Ιωάννη και Ευρυδίκη

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....  | <b>12</b> |
| <b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</b> .....   | <b>15</b> |
| <b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....   | <b>17</b> |
| 1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας .....   | 17        |
| 1.2 Δομή της διπλωματικής εργασίας .....  | 19        |
| <b>2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ</b> .....                    | <b>20</b> |
| 2.1 GSM/GPRS .....  | 21        |
| 2.1.1 <b>Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ GSM/GPRS</b> .....   | <b>21</b> |
| 2.1.2 <b>Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ GSM</b> .....  | <b>23</b> |
| 2.1.2.1 Ο Κινητός Σταθμός (Mobile Station, MS) .....  | 24        |
| 2.1.2.2 Υποσύστημα σταθμού βάσης (Base Station Subsystem, BSS) .....  | 25        |
| 2.1.2.3 Υποσύστημα δικτύου (Network Subsystem, NS) .....  | 25        |
| 2.1.3 <b>Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ GPRS</b> .....   | <b>27</b> |
| 2.1.4 <b>ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΤΟΥ GSM</b> .....  | <b>28</b> |
| 2.1.5 <b>ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΟΥ GPRS</b> .....  | <b>31</b> |
| 2.2 UMTS .....  | 32        |
| 2.2.1 <b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....   | <b>32</b> |
| 2.2.2 <b>ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ UMTS</b> .....   | <b>34</b> |
| 2.2.3 <b>WCDMA</b> .....  | <b>37</b> |
| 2.2.4 <b>ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ UMTS</b> .....   | <b>43</b> |
| 2.2.4.1 Εξοπλισμός Χρήστη (User Equipment - UE) .....   | 44        |
| 2.2.4.2 UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) .....   | 45        |
| 2.2.4.3 Δίκτυο Πυρήνα (Core Network - CN) .....   | 47        |
| 2.2.5 <b>ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΤΟΥ UMTS</b> .....   | <b>49</b> |
| 2.2.5.1 Τάξεις Υπηρεσιών .....  | 49        |
| 2.2.5.2 Παραδείγματα Υπηρεσιών και Εφαρμογών στα 3G δίκτυα .....  | 54        |
| 2.3 WLAN .....  | 55        |
| 2.3.1 <b>ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΠΙΚΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ</b> .....  | <b>55</b> |
| 2.3.2 <b>ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ ΤΟΥ IEEE 802.11</b> .....  | <b>56</b> |
| 2.3.3 <b>ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ WLAN</b> .....   | <b>59</b> |
| 2.3.3.1 Δομικά Μέρη των WLANs .....   | 59        |
| 2.3.3.2 Τοπολογίες WLANs .....  | 60        |
| 2.3.4 <b>ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΤΟΥ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ IEEE 802.11</b> .....  | <b>64</b> |
| 2.4 4G NETWORKS (WINNER) .....  | 65        |
| 2.4.1 <b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....   | <b>65</b> |
| 2.4.2 <b>WINNER</b> .....   | <b>66</b> |
| 2.4.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά .....   | 66        |
| 2.4.2.2 Οι Ασύρματες Διεπαφές στο WINNER .....  | 67        |
| <b>3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΡΑΔΙΟΠΟΡΩΝ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (RRM-RADIO RESOURCE MANAGEMENT)</b> .....     | <b>70</b> |
| 3.1 Μηχανισμοί Διαχείρισης Ραδιοπόρων (RRM functions) .....   | 71        |
| 3.1.1 <b>ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ</b> .....  | <b>73</b> |
| 3.1.2 <b>ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ</b> .....  | <b>74</b> |
| 3.1.2.1 Μέτρηση του φορτίου και πρόβλεψη (Load measurement and prediction) .....  | 76        |
| 3.1.2.2 Υπολογισμός των αιτήσεων για φασματικούς πόρους (Resource request calculation) .....                                | 77        |
| 3.1.2.3 Διαπραγμάτευση πόρων μεταξύ δικτύων (Resource negotiation between RANs) .....                                       | 79        |
| 3.1.2.4 Υπολογισμός και διαπραγμάτευση αναδιοργάνωσης των πόρων (Resource re-arrangement calculation and negotiation) ..... | 80        |
| 3.1.2.5 Αναπροσαρμογή των πόρων (Resource update) .....   | 80        |
| 3.1.3 <b>ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΜΕΤΑΛΟΣΗΣ</b> .....   | <b>80</b> |
| 3.1.4 <b>ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ (RAN SELECTION)</b> .....  | <b>82</b> |
| 3.1.5 <b>ΔΙΑΠΟΜΠΗ (HANDOVER)</b> .....  | <b>85</b> |
| 3.1.5.1 Είδη διαπομπών (Handover Scenarios) .....   | 85        |
| 3.1.5.2 Πρωτόκολλα και αλγόριθμοι διαπομπών .....   | 89        |
| 3.1.6 <b>ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΕΩΝ (ADMISSION CONTROL, AC)</b> .....   | <b>94</b> |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 3.1.7   | Έλεγχος Συμφορήσης Φορτίου (CONGESTION CONTROL, CC).....   | 95  |
| 3.2     | Αρχιτεκτονική της Διαχείρισης Ραδιοπόρων (RRM Architecture).....   | 95  |
| 3.2.1   | ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ (NETWORK ENTITIES).....  | 96  |
| 3.2.2   | ΟΝΤΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΡΑΔΙΟΠΟΡΩΝ (RRM ENTITIES).....   | 99  |
| 3.2.2.1 | Λειτουργικές οντότητες των διαπομπών.....  | 99  |
| 3.2.2.2 | Λειτουργικές οντότητες για τον έλεγχο αποδοχής κλήσεων.....  | 101 |
| 3.2.2.3 | Λειτουργικές οντότητες για τη διαχείριση της ποιότητας των υπηρεσιών.....  | 102 |
| 4       | ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΗΣ (ADMISSION CONTROL).....  | 104 |
| 4.1     | Έλεγχος αποδοχής κλήσης βασισμένος στο λόγο σήματος προς παρεμβολή.....  | 106 |
| 4.1.1   | ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....  | 106 |
| 4.1.2   | ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ.....  | 107 |
| 4.1.3   | ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....  | 110 |
| 4.2     | Έλεγχος αποδοχής κλήση, με έμφαση στην μείωση των κλήσεων που διακόπτονται.....                                    | 111 |
| 4.2.1   | ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....  | 111 |
| 4.2.2   | ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ.....  | 112 |
| 4.2.3   | ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....  | 113 |
| 4.3     | Έλεγχος αποδοχής σύνδεσης βασισμένος σε κράτηση.....   | 113 |
| 4.4     | Έλεγχος αποδοχής σύνδεσης βασισμένος στη συνολική διεκπεραιωτικότητα (throughput) του συστήματος.....              | 114 |
| 4.4.1   | LOAD FACTOR ΣΤΗΝ ΠΡΟΣ ΤΑ ΑΝΩ ΖΕΥΞΗ.....  | 114 |
| 4.5     | Τοπικός - ολικός έλεγχος αποδοχής σύνδεσης.....  | 117 |
| 4.6     | Ολοκληρωμένα σχήματα ελέγχου αποδοχής σύνδεσης.....  | 118 |
| 4.7     | Προτεραιότητες στη δέσμευση πόρων.....   | 119 |
| 5       | ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΗΣ ΓΙΑ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (4G WINNER) (ADMISSION CONTROL).....                  | 120 |
| 5.1     | Έλεγχος αποδοχής κλήσεων στα πλαίσια του δικτύου WINNER.....   | 122 |
| 5.2     | Παρουσίαση και περιγραφή του ελέγχου αποδοχής κλήσεων.....   | 125 |
| 5.3     | Κριτήρια του αλγόριθμου αποδοχής κλήσεων – έλεγχος αποδοχής κλήσεων σε 2G/3G δίκτυα και στο WLAN, WINNER.....      | 133 |
| 5.3.1   | GSM/GPRS (2G/2,5G NETWORKS).....   | 133 |
| 5.3.2   | UMTS (3G NETWORKS).....  | 135 |
| 5.3.2.1 | Άνω-ζεύξη (Up-link Connection).....  | 135 |
| 5.3.2.2 | Κάτω Ζεύξη (Downlink Connection).....  | 138 |
| 5.3.3   | WLAN (802.11x).....  | 141 |
| 5.3.4   | WINNER (4G NETWORKS).....  | 145 |
| 5.4     | Προτεραιότητες στον έλεγχο αποδοχής κλήσεων.....   | 145 |
| 6       | ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....  | 149 |
| 6.1     | Περιγραφή της τοπολογίας των δικτύων.....  | 150 |
| 6.2     | Περιγραφή των κλάσεων υπηρεσιών του δικτύου.....   | 154 |
| 6.3     | Περιγραφή του περιβάλλοντος προγραμματισμού.....   | 159 |
| 6.4     | Εκτέλεση του προγράμματος-αποτελέσματα-ανάλυση.....  | 160 |
| 6.4.1   | ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΕΩΝ ΧΩΡΙΣ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ.....                                 | 160 |
| 6.4.2   | ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΕΩΝ ΜΕ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ, ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΗΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ..... | 165 |
| 6.4.3   | ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΕΩΝ ΜΕ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΗΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ.....    | 171 |
| 6.4.4   | ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΕΚΔΟΧΩΝ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ.....  | 178 |
| 6.4.5   | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....  | 182 |
| 7       | ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....  | 183 |
| 8       | ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ.....  | 186 |
| 9       | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....  | 189 |



## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

|   |     |
|---|-----|
| ΣΧΗΜΑ 2.1 : Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΚΥΦΕΛΩΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΧΡΟΝΙΑ.....   | 23  |
| ΣΧΗΜΑ 2.3: Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ GPRS.....  | 28  |
| ΣΧΗΜΑ 2.4: Η ΚΥΦΕΛΩΤΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ UMTS .....   | 33  |
| ΣΧΗΜΑ 2.5: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΠΛΑΝΗΤΗ.....   | 36  |
| ΣΧΗΜΑ 2.6: ΔΟΜΗ ΚΥΦΕΛΩΝ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΡΥΘΜΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ .....  | 37  |
| ΣΧΗΜΑ 2.7: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ FDMA, TDMA ΚΑΙ CDMA ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ .....   | 39  |
| ΣΧΗΜΑ 2.8: Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ UMTS .....   | 44  |
| ΣΧΗΜΑ 2.9: Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ UTRAN .....   | 46  |
| ΣΧΗΜΑ 2.10: Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΥΡΗΝΑ (CORE NETWORK) .....  | 49  |
| ΣΧΗΜΑ 2.11: ΟΙ ΤΑΞΕΙΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΤΟΥ UMTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΟΧΗ ΛΑΘΩΝ .....  | 50  |
| ΣΧΗΜΑ 2.12: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ CONVERSATIONAL CLASS ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΤΕΛΙΚΟ ΧΡΗΣΤΗ.....  | 51  |
| ΣΧΗΜΑ 2.13: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ STREAMING CLASS ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΤΕΛΙΚΟ ΧΡΗΣΤΗ.....   | 52  |
| ΣΧΗΜΑ 2.14: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ INTERACTIVE CLASS ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΤΕΛΙΚΟ ΧΡΗΣΤΗ .....  | 54  |
| ΣΧΗΜΑ 2.15: ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.11 .....   | 57  |
| ΣΧΗΜΑ 2.16: ΦΥΣΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.11 .....   | 58  |
| ΣΧΗΜΑ 2.17: ΠΡΟΤΥΠΑ WLAN.....   | 58  |
| ΣΧΗΜΑ 2.18: ΤΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ 802.11 ΔΙΚΤΥΟΥ.....  | 59  |
| ΣΧΗΜΑ 2.19: ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ IBSS (Ad Hoc ΔΙΚΤΥΑ).....   | 61  |
| ΣΧΗΜΑ 2.20: ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ INFRASTRUCTURE BSS.....   | 62  |
| ΣΧΗΜΑ 2.22 : Η ΣΤΟΙΒΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΤΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ ΤΟΥ WINNER.....  | 68  |
| ΣΧΗΜΑ 3.1: ΤΟ ΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ .....  | 76  |
| ΣΧΗΜΑ 3.2: Η ΡΟΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΤΟΥ ΧΡΗΣΤΗ ΚΑΙ Η ΓΡΗΓΟΡΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΡΟΠΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ 82  | 82  |
| ΣΧΗΜΑ 3.3: ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ<br>ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ.....  | 84  |
| ΣΧΗΜΑ 3.4: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ WINNER, UMTS ΚΑΙ WLAN ΚΑΘΩΣ<br>ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ ΔΙΑΠΟΜΠΩΝ.....                | 88  |
| ΣΧΗΜΑ 3.5: Η ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΤΟΥ WINNER.....  | 92  |
| ΣΧΗΜΑ 3.6: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΥΣΤΗΜΙΚΩΝ ΔΙΑΠΟΜΠΩΝ.....   | 94  |
| ΣΧΗΜΑ 3.7: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ RRM ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ<br>ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ.....                                    | 97  |
| ΣΧΗΜΑ 3.8: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ RRM.....  | 98  |
| ΣΧΗΜΑ 4.1 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΧΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΗΣ.....   | 119 |
| ΣΧΗΜΑ 5.1: Έλεγχος Αποδοχής Κλήσεων για συστήματα επικοινωνιών τέταρτης γενιάς (4G<br>NETWORKS, WINNER).....                                | 128 |
| ΣΧΗΜΑ 6.1: ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΥΦΕΛΩΝ ΤΗΣ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ.....   | 152 |
| ΣΧΗΜΑ 6.2: Η ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ.....  | 153 |
| ΣΧΗΜΑ 6.3: ΚΑΤΩΦΛΙΑ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ ΚΛΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ .....  | 154 |
| ΣΧΗΜΑ 6.5: ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ.....   | 158 |
| ΣΧΗΜΑ 6.6: ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ (ΣΕ ERLANGS) ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ .....  | 159 |
| ΣΧΗΜΑ 6.7: BLOCKING PROBABILITY ΧΩΡΙΣ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ .....   | 161 |
| ΣΧΗΜΑ 6.8: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΧΩΡΙΣ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ .....  | 162 |
| ΣΧΗΜΑ 6.9: ΦΟΡΤΙΟ ΚΥΦΕΛΩΝ UMTS ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ.....  | 163 |
| (DOWNLINK).....   | 163 |
| ΣΧΗΜΑ 6.10: ΦΟΡΤΙΟ ΚΥΦΕΛΩΝ UMTS ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ.....   | 164 |
| (UPLINK).....   | 164 |
| ΣΧΗΜΑ 6.11: ΦΟΡΤΙΟ ΚΥΦΕΛΩΝ WINNER ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ. (CELLS 19-24).....  | 165 |
| ΣΧΗΜΑ 6.12: BLOCKING PROBABILITY ΜΕ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ, ΧΩΡΙΣ<br>ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΗΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ.....                      | 166 |
| ΣΧΗΜΑ 6.13: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ, ΧΩΡΙΣ<br>ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΗΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ.....                     | 167 |
| ΣΧΗΜΑ 6.14: ΦΟΡΤΙΟ ΚΥΦΕΛΩΝ UMTS ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ.....   | 169 |
| (DOWNLINK).....   | 169 |
| ΣΧΗΜΑ 6.15: ΦΟΡΤΙΟ ΚΥΦΕΛΩΝ UMTS ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ.....   | 169 |
| (UPLINK).....   | 169 |
| ΣΧΗΜΑ 6.16: ΦΟΡΤΙΟ ΚΥΦΕΛΩΝ WINNER ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ.....   | 170 |
| ΣΧΗΜΑ 6.17: BLOCKING PROBABILITY ΜΕ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ, ΚΑΙ<br>ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΗΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ (ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΩΦΛΙΑ)..... | 172 |

|  |     |
|--|-----|
| ΣΧΗΜΑ 6.18: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ, ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΗΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ (ΚΑΤΩΦΛΙ 0.85) ..... | 173 |
| ΣΧΗΜΑ 6.19: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ, ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΗΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ (ΚΑΤΩΦΛΙ 0.8) .....  | 174 |
| ΣΧΗΜΑ 6.20: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ, ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΗΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ (ΚΑΤΩΦΛΙ 0.75) ..... | 174 |
| ΣΧΗΜΑ 6.21: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ, ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΗΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ (ΚΑΤΩΦΛΙ 0.7) .....  | 175 |
| ΣΧΗΜΑ 6.22: ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ VHO USERS ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΩΦΛΙΑ .....  | 176 |
| ΣΧΗΜΑ 6.23: ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ DECREASED QOS USERS ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΩΦΛΙΑ .....  | 177 |
| ΣΧΗΜΑ 6.24: ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ RESTORED QOS USERS ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΩΦΛΙΑ .....   | 177 |
| ΣΧΗΜΑ 6.25: ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ QUEUED USERS ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΩΦΛΙΑ .....   | 178 |
| ΣΧΗΜΑ 6.26: BLOCKING PROBABILITY ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ .....  | 179 |
| ΣΧΗΜΑ 6.27: QUEUED USERS ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ .....  | 180 |
| ΣΧΗΜΑ 6.28: VHO USERS ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ .....   | 181 |



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

### 1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

### 1.2 Δομή της διπλωματικής εργασίας

---

### 1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Είναι γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια τα κινητά τηλέφωνα και γενικότερα κάθε τρόπος επικοινωνίας, κυρίως ασύρματης, έχουν εισχωρήσει στη ζωή μας σε πολύ μεγάλο βαθμό. Δε θα αποτελούσε υπερβολή ο ισχυρισμός ότι είμαστε πλέον εξαρτημένοι από αυτά, μιας και σε πολλούς ανθρώπους το κινητό τηλέφωνο είναι το ίδιο απαραίτητο με το ηλεκτρικό ρεύμα και αποτελεί μέρος της καθημερινής τους ζωής. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι ο χώρος των τηλεπικοινωνιών είναι ιδιαίτερα κερδοφόρος και ότι πολλές εταιρίες δραστηριοποιούνται σε αυτόν, έχοντας τεράστια κέρδη (φτάνοντας στο βαθμό να επηρεάζουν ακόμα και την πορεία της οικονομίας της χώρας όπου δραστηριοποιούνται) και προσφέροντας αυξημένο εύρος υπηρεσιών προς όφελος των χρηστών.

Καθώς αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών αλλά και λόγω του έντονου ανταγωνισμού μεταξύ διαφόρων εταιριών, δημιουργείται η ανάγκη για νέες υπηρεσίες, αλλά και βελτίωση της ποιότητας των ήδη υπάρχοντων υπηρεσιών. Με

την πρόοδο της τεχνολογίας αλλά και με τη συστηματική έρευνα στον τομέα αυτό καλύπτεται σταδιακά η ανάγκη αυτή, ή τουλάχιστον γίνεται προσπάθεια προς αυτή την κατεύθυνση. Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις η τεχνολογία έχει ήδη προχωρήσει πάρα πολύ και θέτει στη διάθεση των χρηστών υπηρεσίες για τις οποίες δεν υπάρχει πραγματική ανάγκη. Συνεπώς πολλές φορές γίνεται προσπάθεια τεχνητής δημιουργίας νέων αναγκών στους χρήστες για την αξιοποίηση των καρπών της τεχνολογικής προόδου. Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι ο χώρος των τηλεπικοινωνιών είναι ένα δυναμικό σύστημα που προσπαθεί να βρει ισορροπία μεταξύ των αναγκών των χρηστών και των υπηρεσιών που προσφέρονται από την πλευρά των τηλεπικοινωνιακών εταιριών με σκοπό αφενός την εξυπηρέτηση των χρηστών και αφετέρου την μεγιστοποίηση του κέρδους των εταιριών.

Ως εκ τούτου, στο χώρο των κινητών επικοινωνιών έχουν επικρατήσει διάφορες τεχνολογίες, κάθε μία από τις οποίες εξυπηρετεί συγκεκριμένη κατηγορία χρηστών. Έτσι για τα κινητά τηλέφωνα υπάρχει το GSM και οι βελτιώσεις αυτού, όπως είναι το GPRS, καθώς και οι εξελιξή του, το UMTS. Επίσης υπάρχει η τεχνολογία των ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN), η οποία εξυπηρετεί την ασύρματη πρόσβαση στο διαδίκτυο σε μικρής έκτασης περιοχές. Αυτό γίνεται κυρίως με τη χρήση φορητού υπολογιστή εφοδιασμένου με την κατάλληλη κάρτα. Επίσης δοκιμάστηκαν τεχνικές βασισμένες στην δορυφορική επικοινωνία, χωρίς όμως να έχουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται έρευνα για τη χρήση ετερογενών δικτύων, δηλαδή συνύπαρξη πολλών από τις τεχνολογίες που αναφέρθηκαν παραπάνω με νέες τεχνολογίες, όπως είναι τα συστήματα επικοινωνιών τέταρτης γενιάς (π.χ. το WINNER). Με τον τρόπο αυτό θα γίνει αξιοποίηση της ήδη υπάρχουσας υποδομής αλλά πέρα αυτού θα δοθεί η δυνατότητα για παροχή νέων υπηρεσιών προς τους χρήστες με πολύ καλύτερη ποιότητα. Επίσης θα έχουμε αύξηση των διαθέσιμων σημείων πρόσβασης για το χρήστη, λόγω της αλληλοκάλυψης αρκετών από τα χρησιμοποιούμενα δίκτυα, καθώς και αποτελεσματικότερη διαχείριση των περιοχών με αυξημένη τηλεπικοινωνιακή κίνηση. Αυτό βέβαια προϋποθέτει εκτός από την τεχνολογική αναβάθμιση των απαιτούμενων στοιχείων του δικτύου, τη σταδιακή αναβάθμιση των κινητών τερματικών, έτσι ώστε να υποστηριχθεί αυτή η μετάβαση στη νέα εποχή των ασύρματων δικτύων.

Έτσι, δημιουργείται ένα περιβάλλον δικτύων και υπηρεσιών, η σωστή λειτουργία του οποίου προϋποθέτει τη συνεργασία όλων των υποκείμενων δικτύων αλλά και όλων των εμπλεκόμενων παρόχων. Στην ιδέα των ετερογενών δικτύων είναι βασισμένη η παρούσα διπλωματική εργασία και πιο συγκεκριμένα στο κομμάτι που έχει σχέση με τον

έλεγχου αποδοχής κλήσεων στα δίκτυα αυτά. Στα πλαίσια της εργασίας έχει αναπτυχθεί ένας βασικός αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων για ετερογενή δίκτυα επικοινωνιών τέταρτης γενιάς και κάνοντας διάφορες τροποποιήσεις πάνω σε αυτόν παίρνουμε διάφορες εκδοχές αυτού, τις οποίες συγκρίνουμε μεταξύ τους καταλήγοντας σε συγκεκριμένα αποτελέσματα και παρατηρήσεις προς το τέλος της εργασίας.

## 1.2 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Στην ενότητα αυτή γίνεται σύντομη αναφορά στα κεφάλαια της παρούσας εργασίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται τα συστήματα ασύρματων επικοινωνιών που χρησιμοποιούνται στη συνέχεια. Τα συστήματα αυτά είναι το GSM/GPRS, UMTS, WLAN και στο WINNER, το οποίο είναι ένα νέο σύστημα κινητών επικοινωνιών τέταρτης γενιάς. Στο τρίτο κεφάλαιο ακολουθεί η ανάλυση των μηχανισμών και της αρχιτεκτονικής των διαχείρισης ραδιοπόρων για συστήματα επικοινωνιών τέταρτης γενιάς (4G networks) και κυρίως για το ασύρματο σύστημα επικοινωνιών WINNER. Ακολουθεί το τέταρτο κεφάλαιο όπου γίνεται παρουσίαση διάφορων αλγορίθμων ελέγχου αποδοχής κλήσεων για τα συστήματα ασύρματων επικοινωνιών που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Αυτό το κεφάλαιο αποτελεί τον προπομπό για το πέμπτο, στο οποίο γίνεται η παρουσίαση του αλγορίθμου αποδοχής κλήσεων (admission control, AC) για συστήματα επικοινωνιών τέταρτης γενιάς (4G networks admission control) και πιο συγκεκριμένα για το WINNER. Επίσης περιγράφονται αναλυτικά και τα κριτήρια του αλγορίθμου AC. Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα της προσομοίωσης καθώς και το περιβάλλον αυτής και εν συνεχεία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και η ανάλυση αυτών. Στο τέλος της παρούσας εργασίας υπάρχει ένας επίλογος, όπου συνοπτικά αναφέρει τα γενικά συμπεράσματα της εργασίας, και η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για να στηριχθεί η παρούσα εργασία.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ

- 
- 2.1 GSM/GPRS**
  - 2.2 UMTS**
  - 2.3 WLAN**
  - 2.4 4G NETWORKS (WINNER)**
- 

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια και οι βασικές ιδιότητες και ιδιαιτερότητες των δικτύων που αυτές συνθέτουν. Επίσης εξετάζονται οι αρχιτεκτονικές των δικτύων που αναφέρονται εντός του κεφαλαίου. Στην ενότητα 2.1 περιγράφονται τα δίκτυα κινητής

τηλεφωνίας 2G και 2,5G (δηλαδή το GSM, που είναι και το επικρατέστερο, και το GPRS αντίστοιχα), τα οποία αποτελούν τον σημαντικότερο εκπρόσωπο ψηφιακών δικτύων δεύτερης γενιάς. Στην ενότητα 2.2 γίνεται αναφορά στο σύστημα κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς, το οποίο αποκαλείται 3G. Η προσοχή μας εδώ θα επικεντρωθεί στο σύστημα κινητών επικοινωνιών UMTS. Στην τρίτη (παράγραφος 2.3) κατά σειρά κεντρική ενότητα αυτού του κεφαλαίου γίνεται αναφορά στις τεχνολογία 802.11, δηλαδή στα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN). Στην τέταρτη και τελευταία ενότητα (παράγραφος 2.4) γίνεται μια αναφορά στα συστήματα ασύρματων επικοινωνιών τέταρτης γενιάς (4G) και κυρίως στο δίκτυο WINNER, με το οποίο θα ασχοληθούμε κατά κύριο λόγο στη συνέχεια.

## **2.1 GSM/GPRS**

### **2.1.1 Η ιστορία του GSM/GPRS**

Στις αρχές του 1980 τα αναλογικά κυψελωτά τηλεφωνικά συστήματα γνώρισαν μεγάλη ανάπτυξη στην Ευρώπη και ιδιαίτερα στις χώρες της Σκανδιναβικής χερσονήσου και στο Ηνωμένο Βασίλειο, όπως και στην Γαλλία και τη Γερμανία. Κάθε χώρα ανέπτυξε το δικό της σύστημα, το οποίο δεν είχε συμβατότητα με τον εξοπλισμό και τις λειτουργίες που είχαν τα αντίστοιχα δίκτυα των άλλων χωρών. Αυτή ήταν μία ανεπιθύμητη κατάσταση αφού αφενός τα κινητά τερματικά ήταν περιορισμένα να λειτουργούν σε εθνικά πλαίσια, το οποίο σε μία ενωμένη Ευρώπη ήταν ιδιαίτερα σημαντικό μειονέκτημα, και αφετέρου υπήρχε μία πολύ περιορισμένη αγορά σε κάθε είδος κινητού εξοπλισμού γεγονός που δεν επέτρεπε ικανοποιητικά κέρδη στις κατασκευάστριες εταιρίες.

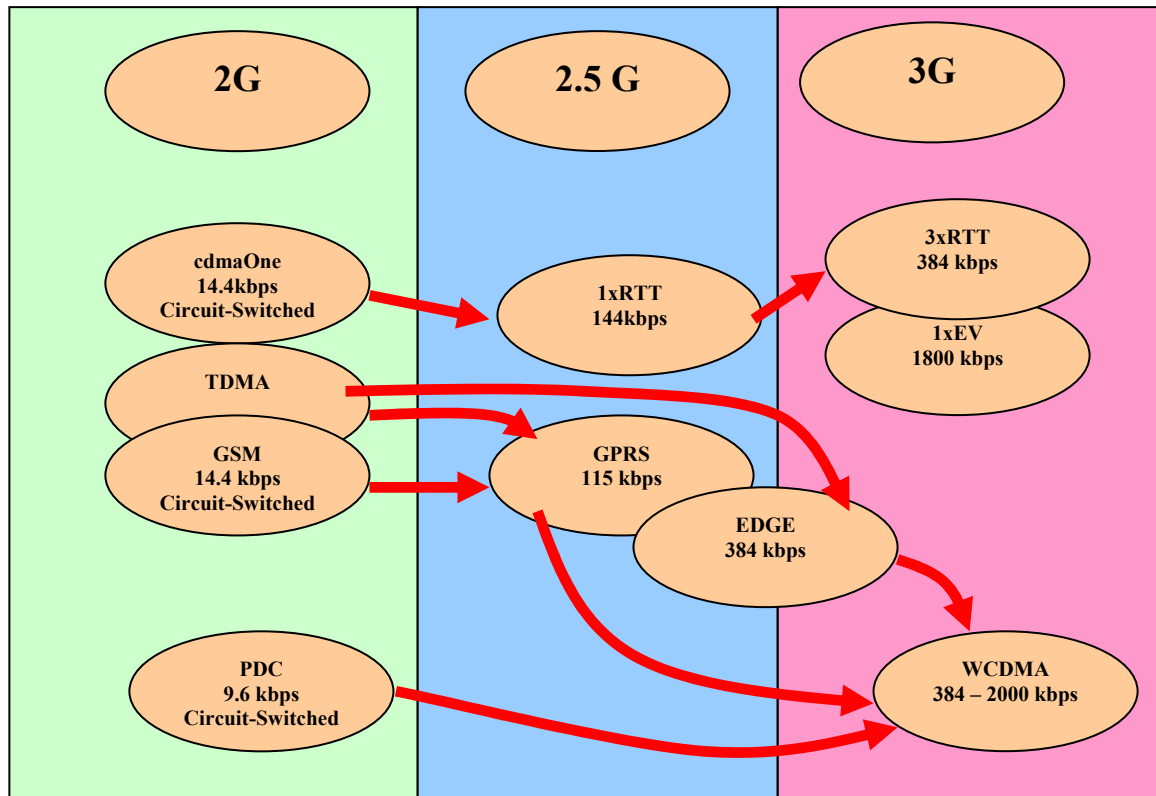
Οι Ευρωπαίοι αντέδρασαν γρήγορα και το 1982 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ταχυδρομείων και Τηλεπικοινωνιών (CEPT, Conference of European Posts and Telegraphs) δημιούργησε μία ερευνητική ομάδα με το όνομα Groupe Speciale Mobile (GSM), ώστε να αναπτύξει ένα πανευρωπαϊκό σύστημα κινητής τηλεφωνίας. Το σύστημα αυτό θα πρέπει να πληροί τα ακόλουθα κριτήρια:

- Καλή ποιότητα φωνής
- Χαμηλό κόστος σταθμών βάσης και τερματικών σταθμών

- Υποστήριξη διεθνούς περιαγωγής (το γνωστό σε όλους roaming)
- Ικανότητα να υποστηρίζει μικρού μεγέθους κινητά τερματικά
- Ικανότητα να υποστηρίζει πλήθος νέων υπηρεσιών
- Ικανοποιητική φασματική αξιοποίηση
- Συμβατότητα με άλλα δίκτυα όπως το Integrated Services Digital Network (ISDN)

Το 1989 υπεύθυνο για το GSM έγινε το Ινστιτούτο Ευρωπαϊκών Προτύπων Τηλεπικοινωνιών (ETSI, European Telecommunication Standards Institute) και η πρώτη φάση των προδιαγραφών του GSM δημοσιεύτηκε το 1990. Παρόλο που οι προδιαγραφές του GSM έλαβαν χώρα στην Ευρώπη το GSM δεν είναι μόνο ένα ευρωπαϊκό πρότυπο. Δίκτυα GSM λειτουργούν σχεδόν σε όλο τον κόσμο. Το 1993 υπήρχαν 36 GSM δίκτυα σε λειτουργία σε 22 χώρες με 25 επιπλέον χώρες να έχουν επιλέξει το GSM για μελλοντική λειτουργία εντός αυτών. Στις αρχές του 1994 υπήρχαν 1.3 εκατομμύρια συνδρομητές GSM σε όλο τον κόσμο, ενώ το 1997 οι συνδρομητές έφτασαν τα 55 εκατομμύρια. Σήμερα ο αριθμός αυτός έχει ξεπεραστεί κατά πολύ, όπως κατά πολύ ξεπεράστηκαν επίσης και οι πιο αισιόδοξες προβλέψεις των ειδικών για το πλήθος των χρηστών τέτοιων ασύρματων δικτύων. Η Βόρεια Αμερική χρησιμοποίησε το GSM με αρκετή καθυστέρηση, και στην πραγματικότητα χρησιμοποίησε ένα παράγωγο σύστημα του GSM, το PCS1900.

Άλλα συστήματα κινητών επικοινωνιών δεύτερης γενιάς είναι το CDMA (Code Division Multiple Access), το οποίο καλείται cdmaOne, το TDMA (Time Division Multiple Access) και το PDC (Personal Digital Communications), το οποίο χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στην Ιαπωνία. Οι κύριες υπηρεσίες που παρείχαν τα συστήματα κινητών επικοινωνιών δεύτερης γενιάς ήταν υπηρεσίες φωνής και αποστολής γραπτών μηνυμάτων, των γνωστών σε όλους μας SMS (Short Message Service). Τα τελευταία χρόνια όμως παρατηρείται μία μετάβαση στα συστήματα επικοινωνιών 2,5G και 3G (τρίτης γενιάς), τα οποία σε συνδυασμό με τις υπηρεσίες φωνής υποστηρίζουν νέες πολυμεσικού τύπου ασύρματες υπηρεσίες.



ΣΧΗΜΑ 2.1 : Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΚΥΦΕΛΩΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΧΡΟΝΙΑ.

Αυτή τη στιγμή δύο στους τρεις χρήστες κινητών κυψελωτών συστημάτων είναι χρήστης του GSM συστήματος. Αυτό το γεγονός σε συνδυασμό με το σύστημα TDMA που χρησιμοποιείται ευρέως στη Βόρεια Αμερική οδήγησε τους παρόχους κινητών υπηρεσιών να προωθήσουν στην αγορά συμβατά με τα υπάρχοντα δίκτυά τους συστήματα GPRS (2,5G), έτσι ώστε να υπάρξει μία σύγκλιση των συστημάτων και μία κοινή πορεία προς τα δίκτυα τρίτης γενιάς (3G). Στο Σχήμα 2.1 φαίνεται η διαδρομή εξέλιξης των σημαντικότερων συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας από τη δεύτερη γενιά έως και την τρίτη.

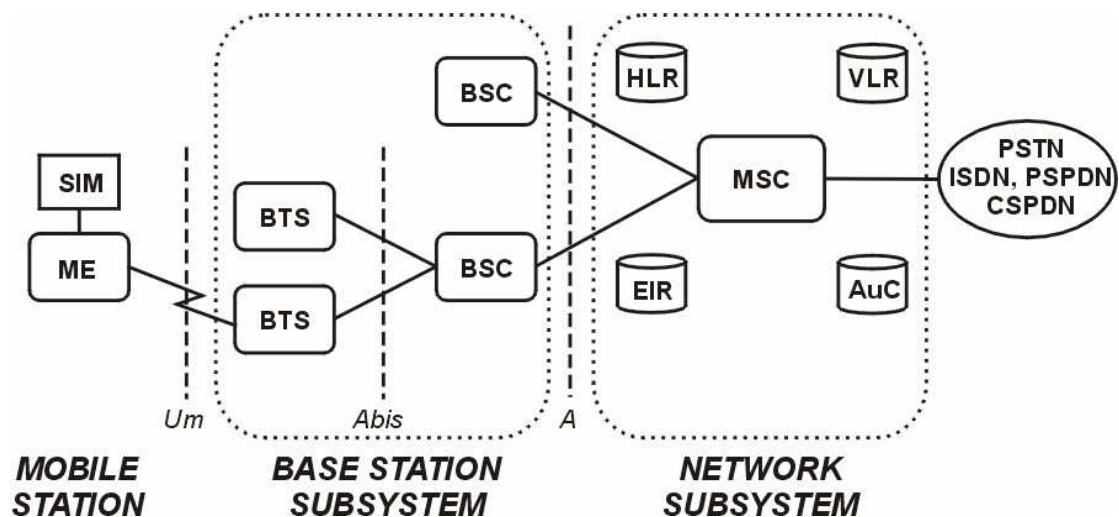
### 2.1.2 Η Αρχιτεκτονική του GSM

Ένα GSM δίκτυο αποτελείται από διακεκριμένες οντότητες, των οποίων οι λειτουργίες και οι αλληλεπιδράσεις είναι καθορισμένες. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται ο λεπτομερής σχεδιασμός ενός γενικού GSM δικτύου. Το δίκτυο GSM χωρίζεται

σε 3 μέρη: τον Κινητό Σταθμό - Mobile Station (MS), το Υποσύστημα Σταθμών Βάσης - Base Station Subsystem (BSS) και το Υποσύστημα Δικτύου - Network Subsystem (NS).

Το MS (κινητό) το μεταφέρει ο χρήστης. Το BSS ελέγχει το ραδιοδιάυλο που συνδέεται με το κινητό τερματικό. Τέλος το NS, του οποίου το κύριο μέρος είναι το Κέντρο Κινητών Υπηρεσιών και Μεταγωγής - Mobile services Switching Center (MSC), είναι υπεύθυνο για τη μεταγωγή των κλήσεων τόσο μεταξύ δύο κινητών τερματικών όσο και μεταξύ ενός κινητού τερματικού και ενός σταθερού τηλεφώνου, καθώς επίσης και για τη διαχείριση κινητικότητας. Αυτό που δε φαίνεται στο Σχήμα 2.2 είναι το Κέντρο Λειτουργιών και Ελέγχου – Operations and Maintenance Center, το οποίο επιβλέπει τη σωστή λειτουργία και τον έλεγχο του δικτύου.

Το MS και το BSS επικοινωνούν διαμέσου της διεπαφής (interface) Um. Το BSS επικοινωνεί με το MSC διαμέσου της διεπαφής A.



ΣΧΗΜΑ 2.2: Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ GSM, SIM Subscriber Identity Module BSC Base Station Controller MSC Mobile services Switching Center ME Mobile Equipment HLR Home Location Register EIR Equipment Identity Register BTS Base Transceiver Station VLR Visitor Location Register AuC Authentication Center

### 2.1.2.1 Ο Κινητός Σταθμός (Mobile Station, MS)

Το κινητό τερματικό ή κινητός σταθμός (MS) αποτελείται από τον κινητό εξοπλισμό (Mobile Equipment, ME) και από την «έξυπνη» κάρτα, η οποία ονομάζεται Subscriber



Identity Module (κάρτα SIM). Η κάρτα SIM εξασφαλίζει την προσωπική κινητικότητα, έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να έχει πρόσβαση στις συνδρομητικές υπηρεσίες ανεξάρτητα με το τερματικό που χρησιμοποιεί. Βάζοντας την κάρτα SIM σε ένα άλλο GSM τερματικό, ο χρήστης μπορεί να δέχεται και να πραγματοποιεί κλήσεις από αυτό και γενικά να έχει πρόσβαση σε οποιαδήποτε άλλη υπηρεσία του προσφέρεται.

Το κινητό τερματικό είναι μοναδικά αναγνωρίσιμο από τον αριθμό IMEI (International Equipment Identity). Η κάρτα SIM περιέχει τον αριθμό IMSI (International Mobile Subscriber Identity) που χρησιμοποιείται για την αναγνώριση του συνδρομητή από το σύστημα και αποτελεί το μυστικό κλειδί για την πιστοποίηση και άλλες πληροφορίες. Το IMEI και το IMSI είναι ανεξάρτητα επιτρέποντας έτσι την προσωπική κινητικότητα. Η κάρτα SIM προστατεύεται από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες από έναν μυστικό προσωπικό αριθμό που ονομάζεται Personal Identity Number (PIN).

### **2.1.2.2 Υποσύστημα σταθμού βάσης (Base Station Subsystem, BSS)**

Το υποσύστημα σταθμών βάσης είναι αυτό που συνδέει το κινητό τερματικό και το NS, είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση και τη λήψη και αποτελείται από δυο μέρη όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.2: α) τον σταθμό βάσης (**Base Transceiver Station – BTS**) και β) τον ελεγκτή σταθμών βάσης (**Base Station Controller – BSC**). Ο σταθμός βάσης εμπεριέχει ραδιοπομπούς, οι οποίοι προσδιορίζουν την κυψέλη και χειρίζεται πρωτόκολλα επικοινωνίας με το κινητό τερματικό. Σε μια πολύ μεγάλη περιοχή θα υπάρχουν πολλοί σταθμοί βάσης, επομένως οι απαιτήσεις για ένα BTS θα είναι αξιοπιστία, μεταφερσιμότητα και ελάχιστο κόστος. Ο χειριστής σταθμών βάσης διευθύνει τους πόρους για έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης. Τέτοιοι πόροι είναι, για παράδειγμα, οι δίαυλοι, η μεταπήδηση συχνότητας (frequency hopping), οι μεταπομπές (handovers) κ.α.

### **2.1.2.3 Υποσύστημα δικτύου (Network Subsystem, NS)**

Ο βασικός ρόλος του υποσυστήματος αυτού είναι η διαχείριση των επικοινωνιών μεταξύ των χρηστών του δικτύου και άλλων χρηστών, όπως χρήστες κινητής τηλεφωνίας, χρήστες ISDN, χρήστες σταθερής τηλεφωνίας κ.α. Το NS συμπεριλαμβάνει και βάσεις δεδομένων για να αποθηκεύει πληροφορίες για τους συνδρομητές, αλλά και να διαχειρίζεται την κινητικότητά τους.

Το υποσύστημα μεταγωγής και δικτύου αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Το Κέντρο Μεταγωγής Κινητών Επικοινωνιών (**Mobile Switching Center – MSC**), το οποίο είναι και το σημαντικότερο μέρος του NS. Το κέντρο αυτό εκτελεί λειτουργίες μεταγωγής του δικτύου, καθώς και παρέχει συνδέσεις με άλλα δίκτυα.
- Το Διαβιβαστικό Κέντρο Μεταγωγής Κινητών Επικοινωνιών (**Gateway MSC – GMSC**). Πύλη (gateway) είναι ένας κόμβος που συνδέει δυο δίκτυα. Το GMSC είναι η διεπαφή μεταξύ του ψηφιακού κυψελωτού δικτύου και του σταθερού δικτύου επικοινωνιών, είναι υπεύθυνο για τη δρομολόγηση των κλήσεων από έναν οποιοδήποτε άλλο χρήστη προς έναν χρήστη GSM και συχνά λειτουργεί με τις ίδιες λειτουργικές μονάδες όπως όλα τα MSC.
- Τον Καταχωρητή Θέσης Οικείων (**Home Location Register – HLR**), ο οποίος είναι μια πολύ σημαντική βάση δεδομένων, στην οποία βρίσκονται αποθηκευμένες πληροφορίες για τους συνδρομητές του δικτύου, που ανήκουν στην περιοχή ελέγχου του MSC. Επίσης, αποθηκεύει και την τρέχουσα θέση των συνδρομητών, καθώς και τις υπηρεσίες, στις οποίες έχουν αυτοί πρόσβαση. Η θέση των συνδρομητών αντιστοιχεί στην SS7 διεύθυνση του καταχωρητή θέσης επισκεπτών (**VLR**) που είναι συσχετισμένη με το τερματικό. Συνήθως υπάρχει ένας HLR ανά GSM δίκτυο, παρόλα αυτά μπορεί να υλοποιηθεί και σαν μία κατανεμημένη βάση δεδομένων.
- Τον Καταχωρητή Θέσης Επισκεπτών (**Visitor Location Register – VLR**), ο οποίος περιέχει πληροφορίες από τον HLR ενός συνδρομητή, απαραίτητες ώστε να παρέχει υπηρεσίες σε επισκέπτες χρήστες. Όταν ένας χρήστης εισέλθει σε περιοχή που καλύπτεται από νέο MSC, ο VLR αυτού του MSC θα ζητήσει πληροφορίες για τον νέο συνδρομητή από τον αντίστοιχο HLR. Με αυτόν τον τρόπο ο VLR θα γνωρίζει για τις υπηρεσίες στις οποίες έχει πρόσβαση αυτός ο χρήστης, χωρίς να χρειάζεται να ρωτάει τον HLR κάθε φορά που κάνει μια κλήση ο χρήστης.

- Το Κέντρο Πιστοποίησης της Αυθεντικότητας (Authentication Center – AuC), το οποίο είναι ένας καταχωρητής που χρησιμοποιείται για σκοπούς ασφαλείας, παρέχει τις παραμέτρους που χρειάζονται για την πιστοποίηση και την κρυπτογραφία, οι οποίες βοηθούν να επαληθευθεί η ταυτότητα του χρήστη. Πιο συγκεκριμένα, το AuC αποθηκεύει το μυστικό κλειδί που υπάρχει στην κάρτα SIM κάθε συνδρομητή.
- Τον Καταχωρητή Ταυτότητας (Κινητού) Εξοπλισμού (Equipment Identity Register - EIR) όπου είναι καταχωρημένοι όλοι οι έγκυροι αριθμοί IMEI.

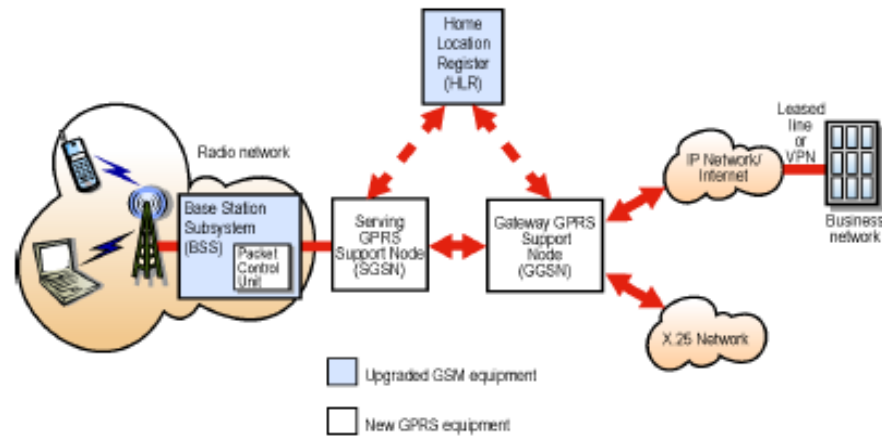
### 2.1.3 Η Αρχιτεκτονική του GPRS

Το GPRS λειτουργεί πάνω από το GSM δίκτυο προσθέτοντας όμως δύο νέα στοιχεία στο υπάρχον GSM δίκτυο. Εκτός αυτού, απαιτεί και νέες τερματικές συσκευές, οι οποίες θα εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματα του GPRS δικτύου. Οι νέες συσκευές μπορεί να είναι από απλά κυψελωτά τηλέφωνα έως PDA και κάρτες δικτύου υπολογιστή. Στο σχήμα που ακολουθεί βλέπουμε μία λειτουργική όψη του GPRS. Το GPRS φέρνει όπως είπαμε δύο νέα στοιχεία, το serving GPRS support node (SGSN) και το gateway GPRS support node (GGSN). Αυτοί οι κόμβοι – στοιχεία δικτύου επικοινωνούν με τον Καταχωρητή Θέσης Οικείων (HLR) για να ανακτήσουν το προφίλ του εγγεγραμμένου χρήστη στο δίκτυο και τις αναγκαίες πληροφορίες για την πιστοποίηση αυθεντικότητας.

Το SGSN είναι συνδεδεμένο άμεσα στο υποσύστημα σταθμών βάσης (BSS) και στο GGSN. Το SGSN είναι υπεύθυνο για να μεταφέρει πακέτα δεδομένων από και προς το MS. Στα καθήκοντά του περιλαμβάνονται η δρομολόγηση πακέτων και η μετάδοσή τους, η διαχείριση κινητικότητας και λογικών συνδέσεων και λειτουργίες πιστοποίησης και χρέωσης. Επίσης αποθηκεύει πληροφορίες για όλους τους εγγεγραμμένους σε αυτό χρήστες, σχετικά με την τοποθεσία τους (κυψέλη, VLR) και με το πορτρέτο τους (διευθύνσεις που είναι απαραίτητες στα δίκτυα μεταγωγής πακέτου).

Η δεύτερη οντότητα, το GGSN, δρα σαν συνδετικός κρίκος μεταξύ του δικτύου κορμού GPRS και του εξωτερικού δικτύου μεταγωγής πακέτου. Δουλειά του είναι να μετατρέπει τα πακέτα που έρχονται από το GGSN στην κατάλληλη μορφή (PDP format, IP ή X.25), και να τα στέλνει στο αντίστοιχο δίκτυο. Αν τα πακέτα έρχονται από την άλλη κατεύθυνση, η διεύθυνση προορισμού του πακέτου μετατρέπεται και στέλνονται στο

κατάλληλο SGSN. Για αυτόν τον λόγο το GGSN αποθηκεύει την διεύθυνση του SGSN που είναι συνδεδεμένος ο χρήστης, όπως και το πορτρέτο του. Επίσης το GGSN εκτελεί λειτουργίες πιστοποίησης και χρέωσης.



ΣΧΗΜΑ 2.3: Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ GPRS

Γενικά υπάρχει στενή σχέση μεταξύ των δύο αυτών οντοτήτων. Ένα GGSN είναι ο συνδετικός κρίκος προς το εξωτερικό δίκτυο για αρκετά SGSN και ένα SGSN μπορεί να δρομολογήσει πακέτα σε διαφορετικά GGSN, με σκοπό να φτάσουν σε διαφορετικά δίκτυα.

Ένα ακόμη σημαντικό νέο στοιχείο είναι η μονάδα ελέγχου πακέτων (Packet Control Unit - PCU). Αυτό το στοιχείο είναι μία υλοποίηση σε υλικό (hardware), η οποία προστίθεται στο υποσύστημα σταθμών βάσης (BSS) έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μεταφορά και διαχείριση των πακέτων με δεδομένα μεταξύ των συσκευών των χρηστών και του κεντρικού δικτύου του GPRS. Η PCU μονάδα υποστηρίζει επίσης επαναμετάδοση πλαισίου και συγκεκριμένες λειτουργίες πρωτοκόλλων του GPRS.

## 2.1.4 Υπηρεσίες του GSM

Η πιο σημαντική υπηρεσία που προσφέρει το GSM είναι βέβαια η τηλεφωνία, η οποία βασίζεται στη μεταγωγή κυκλώματος. Η φωνή κωδικοποιείται ψηφιακά και μεταδίδεται μέσα από το δίκτυο σαν μια ψηφιακή ροή μέσα από μία σύνδεση, η οποία είναι διαθέσιμη αποκλειστικά για τη συγκεκριμένη κλήση όσο αυτή διαρκεί. Πρέπει να

προσθέσουμε ότι υπάρχει υπηρεσία έκτακτης ανάγκης, όπου ο πλησιέστερος φορέας ειδοποιείται ηλεκτρολογώντας έναν προκαθορισμένο τριψήφιο αριθμό.

Εκτός από αυτές τις υπηρεσίες φωνής, το GSM παρέχει και μια μεγάλη ποικιλία υπηρεσιών δεδομένων βασισμένων στη μεταγωγή κυκλώματος. Οι χρήστες μπορούν να λαμβάνουν και να στέλνουν δεδομένα με ρυθμούς μέχρι 9600bps σε χρήστες στο παλιό τηλεφωνικό δίκτυο (**Plain Old Telephone Service - POTS**), σε ISDN, στο Δημόσιο Δίκτυο Δεδομένων μεταγωγής Πακέτου (**Packet Switched Public Data Network - PSPDN**) και στο Δημόσιο Δίκτυο Δεδομένων μεταγωγής Κυκλώματος (**Circuit Switched Public Data Network - CSPDN**), χρησιμοποιώντας πολλές μεθόδους και πρωτόκολλα, όπως X.25, X.32. Επίσης, επειδή το GSM είναι ένα ψηφιακό δίκτυο δε χρειάζεται modem. Μια άλλη υπηρεσία είναι ένα είδος fax, όπως περιγράφεται στη σύσταση T.30 της ITU-T και λειτουργεί με τη χρήση ενός κατάλληλου προσαρμογέα fax. Ο ρυθμός δεδομένων είναι τη τάξης των 9.6Kbps έως 14.4Kbps και εξαρτάται από το τύπο κωδικοποίησης που χρησιμοποιεί κάθε δίκτυο κινητών επικοινωνιών.

Ένα μοναδικό χαρακτηριστικό του GSM που δε βρίσκεται στα παλιότερα αναλογικά συστήματα κινητών επικοινωνιών είναι η υπηρεσία αποστολής σύντομων γραπτών μηνυμάτων (**Short Messages Service – SMS**). Η SMS είναι μια αμφίδρομη υπηρεσία για μικρά αλφαριθμητικά μηνύματα με μέγεθος έως 160 χαρακτήρες. Τα μηνύματα μεταφέρονται με έναν τρόπο αποθήκευσης-και-προώθησης. Οι χρήστες μπορούν να στέλνουν SMS μηνύματα σε άλλους χρήστες, λαμβάνοντας και απόδειξη ότι ο παραλήπτης τα έλαβε και να τα αποθηκεύουν στο τερματικό για να τα χρησιμοποιήσουν αργότερα. Επιπλέον, μπορούν να στέλνονται μηνύματα από το ίδιο το δίκτυο για ενημερωτικούς λόγους. Δισεκατομμύρια μηνύματα στέλνονται κάθε μήνα και το πλήθος τους αυξάνεται συνεχώς.

Το GSM μπορεί να παρέχει και πολλές άλλες υπηρεσίες. Οι υπηρεσίες αυτές συμπληρώνουν τις βασικές υπηρεσίες επιτρέποντας στο χρήστη να αποφασίζει το πώς θα αντιμετωπίζονται από το δίκτυο οι διάφορες κλήσεις από και προς αυτόν αλλά και να του παρέχουν την κατάλληλη πληροφορία ώστε να καθίσταται δυνατή η καλύτερη και αποτελεσματικότερη χρήση αυτών των υπηρεσιών.

Αυτές οι λειτουργίες δεν είναι καθορισμένες στο GSM. Οι περισσότερες από αυτές προέρχονται από το σταθερό δίκτυο με ελαφρές τροποποιήσεις όπου χρειάζεται για να γίνει προσαρμογή στην κινητικότητα. Στο σημείο αυτό θα περιγράψουμε αυτά τα χαρακτηριστικά όπως τα αντιλαμβάνεται ο χρήστης.

**Φραγή κλήσεων.** Με αυτήν την υπηρεσία μπορεί ο χρήστης να μπλοκάρει κάποιες κλήσεις που γίνονται από το κινητό ή να καθορίσει το κόστος των κλήσεων ή ακόμα και να περιορίσει τα λαμβανόμενα τηλεφωνήματα (σε περίπτωση π.χ. περιαγωγής όπου χρεώνεται και ο καλούμενος). Η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση μπορεί να προστατεύεται από κωδικό ασφαλείας τον οποίο γνωρίζει ο ιδιοκτήτης του κινητού. Για παράδειγμα μπορεί να απαγορεύσει τα διεθνή εξερχόμενα τηλεφωνήματα. Ακόμη να ενεργοποιήσει φραγές για όλες τις εισερχόμενες κλήσεις επιτρέποντας λ.χ. μόνο τα μηνύματα.

**Προώθηση κλήσεων (call forwarding).** Η υπηρεσία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περίπτωση που ο καλούμενος δεν μπορεί να κληθεί (λόγω π.χ. απουσίας σήματος), σε περίπτωση που δεν απαντά ή σε περίπτωση που το κινητό είναι απασχολημένο και δεν υπάρχει αναμονή κλήσης. Η προώθηση οδηγεί την εισερχόμενη κλήση σε άλλον αριθμό, είτε σταθερό είτε κινητό, αφού πρώτα ενημερωθεί από ηχογραφημένο μήνυμα ο καλών ώστε να αποφασίσει αν θα συνεχίσει. Υπάρχει βέβαια και η πιθανότητα να μην υπάρχει προώθηση και το δίκτυο απλώς να ενημερώνει τον καλούντα ότι η εγκατάσταση της κλήσης δεν είναι δυνατή.

**Αναγνώριση κλήσεων.** Η υπηρεσία αυτή προσφέρει τη δυνατότητα της αναγνώρισης του αριθμού που καλεί τον συνδρομητή και έτσι μπορεί ο τελευταίος να αποφασίσει αν θα δεχτεί το τηλεφώνημα ή όχι. Η αναγνώριση είναι δυνατή μόνο αν ο καλών χρησιμοποιεί ψηφιακή γραμμή. Στα σταθερά δίκτυα ο αριθμός της καλούσας συσκευής φαίνεται πάντα. Όμως στα κινητά δίκτυα μπορεί ο συνδρομητής να ζητήσει από τον διαχειριστή (operator) του δικτύου να μην παρουσιάζεται ο αριθμός του κινητού του όταν καλεί.

**Κόστος κλήσεων.** Με τη λειτουργία αυτή μπορεί ο καλών και ο καλούμενος να γνωρίζουν τη διάρκεια της κλήσης και το κόστος της. Αυτή η υπηρεσία δεν προσφέρεται έως σήμερα από τους παρόχους κινητών επικοινωνιών στην Ελλάδα.

**Αναμονή κλήσεων (call waiting).** Με αυτή τη λειτουργία αυτή, ο χρήστης που βρίσκεται στο ενδιάμεσο μίας κλήσης μπορεί να δεχτεί άλλη μία εισερχόμενη και να θέσει σε κατάσταση αναμονής την πρώτη ενώ βρίσκεται στη δεύτερη και το αντίθετο. Ακόμα μπορεί (και αυτό είναι το πιο σημαντικό) να μιλάει και με τους δύο καλούντες ταυτόχρονα. Αυτό μπορεί να επαναληφθεί μέχρι να υπάρχουν ακόμα και πέντε επικοινωνίες - κλήσεις ταυτόχρονα. Επειδή και οι άλλοι χρήστες μπορούν να κάνουν το ίδιο, αυτό δίνει τη δυνατότητα για θεωρητικά απεριόριστο αριθμό συμμετεχόντων στην κλήση.

**Προσωπικό τηλεφωνητή.** Με την υπηρεσία αυτή δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα να έχει προσωπικό τηλεφωνητή. Με τον τρόπο αυτό όταν κάποιος καλεί ένα αριθμός και διαπιστώνεται ότι το κινητό είναι εκτός δικτύου (είτε είναι κλειστό, είτε δεν έχει σήμα) τότε μπορεί να αφήνει ο καλών ένα ηχογραφημένο μήνυμα, έτσι ώστε όταν συνδεθεί ο χρήστης στο δίκτυο να μπορεί να ακούσει το μήνυμα (μηνύματα) όσων των κάλεσαν την ώρα που είχε το τηλέφωνό του απενεργοποιημένο.

**Περιοδεία (roaming).** Η υπηρεσία αυτή παρέχει περιοδεία σε δίκτυα άλλης χώρας όταν ο χρήστης βρίσκεται στο εξωτερικό, ώστε να λαμβάνει και να πραγματοποιεί κλήσεις.

### **2.1.5 Υπηρεσίες και διάφορα παραδείγματα εφαρμογών του GPRS**

Ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών υποστηρίζεται από το GPRS. Το GPRS υποστηρίζει ολοκληρωμένες υπηρεσίες δεδομένων, φωνής και γενικά όλες τις υπηρεσίες του Ιστού (web services). Οι δυνατές εφαρμογές του GPRS παρουσιάζονται επιγραμματικά παρακάτω.

- Φωνή (Voice)
- Κείμενο και οπτική πληροφορία, φαξ
- Ακίνητες και κινούμενες εικόνες (φωτογραφίες, εικόνες, χάρτες, κάρτες χαιρετισμού, κάρτες παρουσιάσεων και στατικές ιστοσελίδες, data streaming, video).
- Web browsing (mobile Internet)
- Συνομιλία (Chat)
- Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (Email)
- Ηλεκτρονικά Παιχνίδια
- Προσδιορισμός θέσης (οχημάτων στρατού)
- Πρόσβαση από απόσταση σε τοπικό δίκτυο (LAN), όπως η πρόσβαση σε ενδοδίκτυο (intranet), σε εταιρικές υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και σε εφαρμογές βάσεων δεδομένων.
- Μεταφορά αρχείων. Η πηγή των αρχείων θα μπορούσε να είναι μια από τις μεθόδους επικοινωνίας του διαδικτύου όπως το πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων (FTP), το Telnet, το HTTP ή η Java ή μια ιδιόκτητη πλατφόρμα βάσεων δεδομένων. Ανεξάρτητα από την

πηγή και τον τύπο του αρχείου μεταφοράς, αυτού του είδους η εφαρμογή τείνει να απαιτεί μεγάλο εύρος ζώνης αλλά να μην έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις στην καθυστέρηση της μεταφοράς.

- Αυτοματοποίηση σπιτιού. (Από απόσταση ασφάλεια και έλεγχος με τηλεχειρισμό.)

## 2.2 UMTS

### 2.2.1 Εισαγωγή

Το UMTS (Universal Mobile Telecommunication System-Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών) αποτελεί το σημαντικότερο εκπρόσωπο των συστημάτων κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς και διάδοχο σύστημα του GSM. Η ιδέα για το παγκόσμιο σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών (Universal Mobile Telecommunication Services, UMTS) γεννήθηκε στον ETSI με την πρόθεση να παρέχει προηγμένες υπηρεσίες κινητών τηλεπικοινωνιών με παγκόσμια κάλυψη. Η 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project) αναπτύσσει προδιαγραφές για ένα σύστημα κινητών επικοινωνιών που το δίκτυο πρόσβασης βασίζεται στο UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) του ETSI και το δίκτυο κορμού προκύπτει από το δίκτυο κορμού GSM/GPRS.

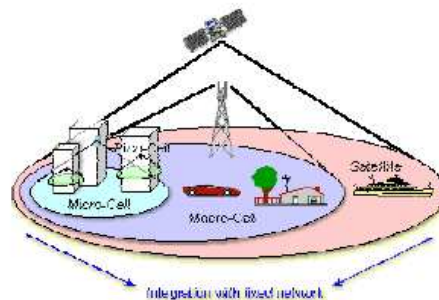
Τα συστήματα τρίτης γενιάς έχουν σχεδιαστεί για επικοινωνία πολυμέσων. Με αυτά η διαπροσωπική επικοινωνία μπορεί να εμπλουτιστεί με υψηλής ποιότητας εικόνα και βίντεο, η δε πρόσβαση σε δεδομένα και υπηρεσίες δημόσιων και ιδιωτικών δικτύων διευκολύνεται από τους υψηλότερους ρυθμούς και τις νέες ευέλικτες δυνατότητες που προσφέρουν τα συστήματα τρίτης γενιάς (3G). Σε συνδυασμό με την συνεχή ανάπτυξη των συστημάτων δεύτερης γενιάς, ανοίγονται πολλές δυνατότητες, τόσο για τους χρήστες όσο και για τους κατασκευαστές των εφαρμογών που χρησιμοποιούν τα δίκτυα αυτά.

Το UMTS είναι σχεδιασμένο να παρέχει παγκόσμια πρόσβαση και περιαγωγή σε όλο τον κόσμο. Για να το υποστηρίξει αυτό το UTRAN (UMTS Radio Access Network) είναι δομημένο με τέτοιο τρόπο ώστε να διαχωρίζεται σε διάφορα ιεραρχικά επίπεδα. Υψηλότερα επίπεδα καλύπτουν ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές. Μικρότερα επίπεδα καλύπτουν μικρότερες περιοχές, αλλά μπορούν να διαχειριστούν μεγαλύτερη πυκνότητα τερματικών συσκευών. Επίσης παρέχουν ταχύτερες συνδέσεις. Το όλο σύστημα είναι διασυνδεδεμένο με το PSTN (Public Telephone Switched Network) και το PDN (Public



Data Network) όπως για παράδειγμα το Internet. Το UMTS περιλαμβάνει τα εξής επίπεδα (όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί):

- Δορυφορικό σύστημα: Αυτό το επίπεδο καλύπτει όλο τον κόσμο. Ακόμη και τις θάλασσες και μη κατοικήσιμες περιοχές έχουν πρόσβαση στο δίκτυο μέσω δορυφόρου.
- UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network):  
Η υποδομή του UTRAN είναι επίγεια και περιλαμβάνει διάφορα επίπεδα και κυψέλες:
  - Μακροκυψέλες: Αυτές οι κυψέλες καλύπτουν ευρύτερες περιοχές όπου λίγες τερματικές συσκευές έχουν πρόσβαση στο δίκτυο.
  - Μικροκυψέλες: Σε περιοχές με υψηλή πυκνότητα τερματικών συσκευών που ζητούν πρόσβαση στο δίκτυο, όπως σε μεγάλες πόλεις, χρησιμοποιούνται μικροκυψέλες. Αυτές καλύπτουν αρκετά μικρές περιοχές και προσφέρουν ικανή χωρητικότητα για όλες τις τερματικές συσκευές αυτής της περιοχής.
  - Πικοκυψέλες: Η πικοκυψέλη συναντάται συνήθως σε μεγάλα κτίρια με σκοπό να προσφέρει γρήγορη και αξιόπιστη πρόσβαση στο δίκτυο.



ΣΧΗΜΑ 2.4: Η ΚΥΨΕΛΩΤΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ UMTS

Προς το παρόν, τα συστήματα τρίτης γενιάς εξελίσσονται από τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Εκτός από το UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) υπάρχει και το CDMA-2000. Και τα δύο βασίζονται στην τεχνολογία CDMA (Code Division Multiple Access). Το σύστημα UMTS αποτελεί διάδοχο του GSM, ενώ το σύστημα CDMA-2000 είναι διάδοχο του IS-95 και αναμένεται να χρησιμοποιηθεί στην Βόρεια Αμερική.

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του UMTS είναι οι υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης. Σε συνδέσεις με μεταγωγή κυκλώματος μπορούν να επιτευχθούν ρυθμοί μέχρι και 384 kbps, ενώ σε συνδέσεις με μεταγωγή πακέτου μέχρι και 2 Mbps. Οι υψηλότεροι ρυθμοί διευκολύνουν νέες υπηρεσίες, όπως τηλεφωνία με εικόνα και γρήγορο «κατέβασμα» δεδομένων. Συνήθως, οι πληροφορίες αναζητούνται στο Internet, γεγονός που απαιτεί αποτελεσματικό χειρισμό της TCP/UDP /IP κίνησης στο δίκτυο του UMTS. Στην αρχή της λειτουργίας του UMTS, η κίνηση αναμένεται να είναι αποκλειστικά υπηρεσίες φωνής, αργότερα όμως η κίνηση δεδομένων θα αυξηθεί. Αυτή η μετάβαση από την φωνή στα δεδομένα σηματοδοτεί και την μετάβαση από τις συνδέσεις με μεταγωγή κυκλώματος στις συνδέσεις με μεταγωγή πακέτου.

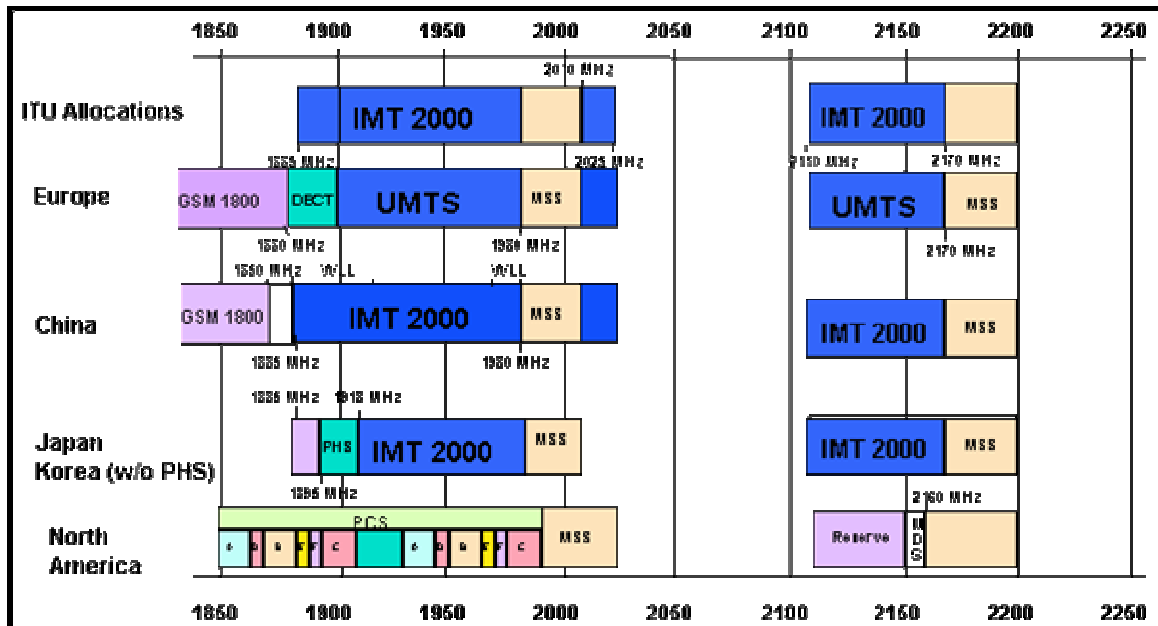
Σε σύγκριση με το GSM και άλλα συστήματα κινητής τηλεφωνίας, το UMTS παρέχει τη δυνατότητα σε ένα χρήστη να διαπραγματευτεί τα χαρακτηριστικά του φέροντος που είναι πιο κατάλληλα για την μεταφορά της πληροφορίας (διέλευση, καθυστέρηση, ρυθμός λαθών). Το UMTS πρέπει, επίσης, να υποστηρίζει μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών, που έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας. Έτσι, θα πρέπει να υποστηρίζει τις ήδη υπάρχουσες εφαρμογές, αλλά και να διευκολύνει την εξέλιξη νέων. Επίσης, είναι δυνατή η αλλαγή των ιδιοτήτων του φέροντος μέσω μιας διαδικασίας επαναδιαπραγμάτευσης κατά την διάρκεια μιας ενεργής σύνδεσης. Η διαπραγμάτευση, γενικά ξεκινά από την εφαρμογή, ενώ η επαναδιαπραγμάτευση μπορεί να ξεκινήσει, είτε από την εφαρμογή, είτε από το δίκτυο (π.χ. σε μια διαπομπή). Σε μια διαπραγμάτευση, η εφαρμογή ζητά ένα φέρον ανάλογο με τις ανάγκες της και το δίκτυο, αφού ελέγξει τους διαθέσιμους πόρους και την συνδρομή του χρήστη, μπορεί να δεχτεί ή να αρνηθεί.

### **2.2.2 Τεχνικές Προδιαγραφές του UMTS**

Οι προδιαγραφές της 3GPP καθορίζουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν τα δίκτυα τρίτης γενιάς και συγκεκριμένα το UMTS. Καταρχήν καθορίζεται ότι πρέπει να υπάρχουν δύο τρόποι ασύρματης πρόσβασης, FDD (Frequency Division Duplex) και TDD (Time Division Duplex), οι οποίες βασίζονται στην Πολλαπλή Προσπέλαση Διαίρεσης Κώδικα (Code Division Multiple Access, CDMA). Η FDD χρησιμοποιεί ζεύγος συχνοτήτων και είναι κατάλληλη για κάλυψη ευρέων περιοχών,

όπως δημόσιες μακροκυψέλες και μικροκυψέλες, υποστηρίζει υψηλή κινητικότητα (120km/h) με ρυθμούς μετάδοσης μέχρι 384 kbps. Η TDD χρησιμοποιεί τον ίδιο ραδιοδιάλογο για εκπομπή και λήψη και υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης 2 Mbps για χαμηλή κινητικότητα (πεζοί, 10km/h). Είναι κατάλληλη για δημόσιες μικροκυψέλες και πικοκυψέλες, για ασύρματα συστήματα (cordless), ασύρματα τοπικά δίκτυα (LAN), για ζώνες με μεγάλη πυκνότητα χρηστών (όπως εμπορικά κέντρα, αεροδρόμια, στάδια ) και για εσωτερικούς χώρους. Η TDD είναι κατάλληλη για υπηρεσίες με ασύμμετρη κίνηση (όπως WEB/WAP). Επίσης υπάρχει και η δυνατότητα κάλυψης χρηστών με πολύ υψηλή κινητικότητα (500km/h) με ρυθμούς μετάδοσης 144kbps.

Στα μέσα του 1999 αποφασίστηκε ότι θα υπάρχουν διαθέσιμες προς χρήση τρεις παραλλαγές του CDMA. Η DS-WCDMA-FDD (Direct Sequence - Wideband Code Division Multiple Access – Frequency Division Duplex) που χρησιμοποιεί τις συχνότητες 1920-1980MHz για την άνω ζεύξη δηλαδή από τη χρησιμοποιούμενη συσκευή προς το σταθμό βάσης (Base Station, BS) και 2110-2170MHz για την κάτω ζεύξη δηλαδή από το σταθμό βάσης προς τη χρησιμοποιούμενη συσκευή. Η DS-WCDMA-TDD (Direct Sequence - Wideband Code Division Multiple Access – Time Division Duplex) που χρησιμοποιεί τις συχνότητες 1900-1920MHz και 2010-2025 MHz. Και η MC-CDMA (Multi Carrier-Code Division Multiple Access) που χρησιμοποιεί τις συχνότητες 1980-2010 MHz και 2170-2200MHz. Η κατανομή συχνοτήτων για τις σημαντικότερες περιοχές του πλανήτη, ανάμεσά τους και για την Ευρώπη, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.5 που ακολουθεί.



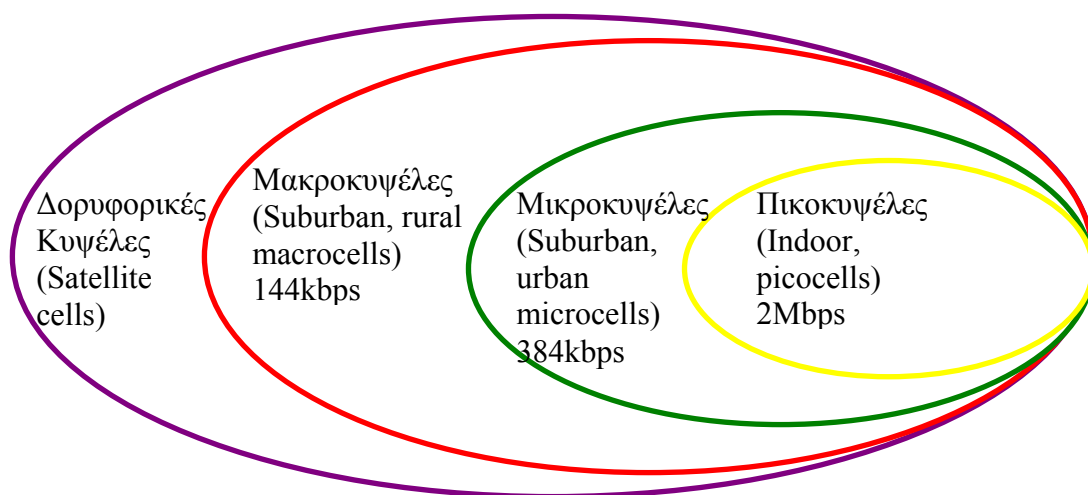
Σχήμα 2.5: Κατανομή φάσματος για τις κυριότερες περιοχές του πλανήτη

Το σύστημα κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς UMTS (Universal Mobile Telecommunication System-Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών) υποστηρίζει την ενοποίηση των δικτύων, σταθερών και κινητών επικοινωνιών σε ένα παγκόσμιο δίκτυο επικοινωνιών. Ως προς την προτυποποίηση, το νέο αυτό σύστημα τρίτης γενιάς βασίζεται, όπως είπαμε και προηγουμένως, στην νέα ασύρματη τεχνολογία WCDMA. Οι νέες απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούνται από τα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς (3G), άρα και από το UMTS, αναγράφονται παρακάτω:

- ◆ Ρυθμοί μετάδοσης μέχρι 2 Mbps (αναλυτικά το είδος της κάθε κυψέλης και οι αντίστοιχοι ρυθμοί μετάδοσης παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.6 ):
  - Για χαμηλή κινητικότητα 2Mbps (εσωτερικές περιοχές, 10km/h)
  - Για υψηλή κινητικότητα 384kbps (προαστιακές περιοχές, 120km/h)
  - Για πολύ υψηλή κινητικότητα 144kbps (αγροτικές περιοχές, 500km/h)
- ◆ Μεταβλητός ρυθμός μετάδοσης για προσφορά εύρους ζώνης κατά απαίτηση.
- ◆ Πολυπλεξία υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις ως προς την ποιότητα σε μία σύνδεση π.χ. φωνή, βίντεο και πακέτα δεδομένων.
- ◆ Συνύπαρξη διαφορετικών καθυστερήσεων μετάδοσης. Από μικρές καθυστερήσεις για τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, που είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση, έως μεγαλύτερες καθυστερήσεις για υπηρεσίες μη

πραγματικού χρόνου, που δεν είναι τόσο ευαίσθητες σε καθυστερήσεις μετάδοσης. (Απόδοση προτεραιοτήτων στην τηλεπικοινωνιακή κίνηση.)

- ♦ Απαιτήσεις ποιότητας από 10% ρυθμό λανθασμένων πλαισίων έως  $10^{-6}$  ρυθμό λανθασμένων bit.
- ♦ Συνύπαρξη των συστημάτων δεύτερης και τρίτης γενιάς και διαπομπές μεταξύ τους για την βελτίωση της κάλυψης και την εξισορρόπηση του φορτίου. Αυτό συνεπάγεται και την υποστήριξη διαπομπών μεταξύ GSM (2G) και UMTS (3G) όπως και μεταξύ διαφορετικών τηλεπικοινωνιακών φορέων.
- ♦ Υποστήριξη ασύμμετρης κίνησης στην άνω και κάτω ζεύξη π.χ. η web browsing υπηρεσία προκαλεί περισσότερο φορτίο στην κάτω ζεύξη παρά στην άνω.
- ♦ Υψηλή φασματική απόδοση.
- ♦ Συνύπαρξη των μεθόδων FDD (Frequency Division Duplex) και TDD (Time Division Duplex).



ΣΧΗΜΑ 2.6: ΔΟΜΗ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΡΥΘΜΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

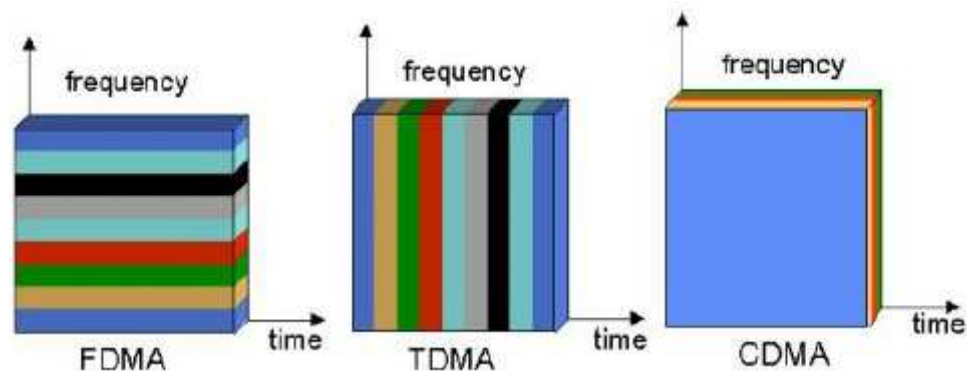
### 2.2.3 WCDMA

Το WCDMA είναι η τεχνολογία στην οποία βασίζεται η λειτουργία του UMTS. Σε σύγκριση με της δεύτερης γενιάς στενής ζώνης CDMA, η τεχνολογία WCDMA προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα. Οι κυριότεροι παράμετροι της ασύρματης διεπαφής του WCDMA είναι οι ακόλουθοι:

- ♦ Το WCDMA είναι ένα ευρείας ζώνης Direct-Sequence Code Division Multiple Access (DS-SS-CDMA) σύστημα, δηλαδή τα bits των πληροφοριών του χρήστη κατανέμονται σε ένα ευρύ εύρος συχνοτήτων, πολλαπλασιαζόμενα με ψευδοτυχαία bits (που ονομάζονται chips), τα οποία προέρχονται από τους αντίστοιχους κώδικες του CDMA.
- ♦ Ο ρυθμός chip των 3,84 Mcps απαιτεί εύρος ζώνης του φέροντος γύρω στα 5 MHz. Τα DS-SS-CDMA συστήματα με εύρος ζώνης 1MHz, όπως το σύστημα IS-95, συχνά αναφέρονται ως συστήματα CDMA στενού εύρους ζώνης. Το μεγάλο εύρος του WCDMA υποστηρίζει υψηλούς ρυθμούς δεδομένων χρήστη και, επίσης, προσφέρει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα απόδοσης, όπως αυξημένη διαφορικότητα πολλαπλής διαδρομής. Ο διαχειριστής του δικτύου μπορεί να χρησιμοποιήσει πολλαπλά φέροντα των 5 MHz, για να αυξήσει την χωρητικότητα. Η απόσταση των φερόντων μπορεί να επιλεγεί σε 200 kHz μεταξύ 4,4 και 5 MHz, ανάλογα με την παρεμβολή μεταξύ των φερόντων.
- ♦ Το WCDMA υποστηρίζει υψηλούς μεταβλητούς ρυθμούς δεδομένων χρήστη, με άλλα λόγια η αρχή του εύρους ζώνης κατά απαίτηση (BoD) υποστηρίζεται επαρκώς. Κάθε χρήστης αποτελείται από πλαίσια διάρκειας 10 ms, κατά την διάρκεια των οποίων ο ρυθμός δεδομένων διατηρείται σταθερός. Εντούτοις, η χωρητικότητα των δεδομένων μπορεί να αλλάξει από πλαίσιο σε πλαίσιο. Η διευθέτηση της χωρητικότητας ρυθμίζεται από το δίκτυο ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση στις υπηρεσίες με πακέτα δεδομένων.
- ♦ Το σύστημα WCDMA υποστηρίζει δύο τρόπους λειτουργίας: Αμφίδρομη διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Duplex FDD) και αμφίδρομη διαίρεση χρόνου (Time Division Duplex TDD). Στην τεχνική FDD, χρησιμοποιούνται ξεχωριστά φέροντα συχνοτήτων 5 MHz για τις δύο κατευθύνσεις άνω και κάτω ζεύξης, ενώ στην τεχνική TDD και οι δύο κατευθύνσεις μοιράζονται χρονικά ένα μόνο φέρον 5 MHz. Κατεύθυνση άνω ζεύξης είναι η σύνδεση από το κινητό στο σταθμό βάσης, ενώ κατεύθυνση κάτω ζεύξης από το σταθμό βάσης προς το κινητό. Η τεχνική TDD βασίζεται στις αρχές της FDD και προστέθηκε ώστε να αυξηθεί η απόδοση του βασικού συστήματος WCDMA.

- ♦ Το WCDMA υποστηρίζει την λειτουργία ασύγχρονων σταθμών βάσης, έτσι ώστε σε αντίθεση με το IS-95 να μην απαιτείται η ύπαρξη χρονικού σήματος αναφοράς, όπως το GPS.
- ♦ Το WCDMA χρησιμοποιεί σύμφωνη ανίχνευση στις δύο κατευθύνσεις άνω και κάτω ζεύξης. Αν και η χρήση σύμφωνης ανίχνευσης στην κάτω ζεύξη έχει ήδη πραγματοποιηθεί στο IS-95, η χρήση και στην κατεύθυνση άνω ζεύξης αναμένεται να αυξήσει την χωρητικότητα και κάλυψη στην κατεύθυνση αυτή.
- ♦ Η ασύρματη διεπαφή του WCDMA έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε προχωρημένες μέθοδοι λήψης, όπως έξυπνες, προσαρμόσιμες κεραίες, να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον διαχειριστή του δικτύου, ως μια επιλογή του συστήματος για αύξηση της κάλυψης ή/και της χωρητικότητας. Στα περισσότερα συστήματα δεύτερης γενιάς, δεν υπάρχει πρόνοια, με αποτέλεσμα να μην είναι εφαρμόσιμα τέτοια σενάρια ή να χρησιμοποιούνται κάτω από σημαντικούς περιορισμούς με περιορισμένες δυνατότητες αύξησης της απόδοσης.
- ♦ Το WCDMA έχει σχεδιαστεί ώστε να λειτουργεί σε συνδυασμό με το GSM. Έτσι, διαπομπές μεταξύ GSM και WCDMA υποστηρίζονται, με σκοπό να αυξηθεί η απόδοση κάλυψης του GSM για την εισαγωγή του WCDMA.

Στη συνέχεια, αναφέρονται οι γενικές αρχές της λειτουργίας του CDMA. Πρέπει να σημειωθεί ότι κάποιες από τις αρχές αυτές, που αφορούν την διαχείριση των ραδιοπόρων (RRM) του συστήματος (έλεγχος ισχύος, soft διαπομπή), αναλύονται εκτενώς στο αντίστοιχο κεφάλαιο που ακολουθεί.



ΣΧΗΜΑ 2.7: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ FDMA, TDMA ΚΑΙ CDMA ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

Στο WCDMA υπάρχουν δύο διαδικασίες-κλειδιά, γνωστές ως εξάπλωση και ανάκτηση. Κατά την διαδικασία της εξάπλωσης, κάθε bit δεδομένων του χρήστη πολλαπλασιάζεται με μια ακολουθία  $k$  bits, που ονομάζονται chips. Τα δεδομένα που

προκύπτουν έχουν  $k$ -πλάσιο ρυθμό, το οποίο ισοδυναμεί με διεύρυνση του φάσματος, και έχουν την ίδια τυχαία (ψευδο-θορύβου) μορφή, όπως και ο κώδικας εξάπλωσης των  $k$  bits. Σε αυτήν την περίπτωση, λέγεται ότι χρησιμοποιείται ένας παράγοντας εξάπλωσης ίσος με  $k$ . Στη συνέχεια, το ευρείας ζώνης σήμα διαδίδεται μέσω του ασύρματου καναλιού μέχρι το άκρο της λήψης.

Κατά την διαδικασία ανάκτησης, πολλαπλασιάζουμε το κωδικοποιημένο σήμα με τον ίδιο ακριβώς κώδικα των  $k$  chips και η αρχική ακολουθία bit ανακτάται πλήρως, αρκεί να υπάρχει άριστος συγχρονισμός μεταξύ του κωδικοποιημένου σήματος και του κώδικα. Έπειτα, ο δέκτης συσχέτισης ολοκληρώνει το σήμα. Η επίδραση της διαδικασίας αυτής σε ένα σήμα άλλου χρήστη με διαφορετικό κώδικα (σήμα παρεμβολής) οδηγεί μετά την ολοκλήρωση σε τιμές γύρω από το μηδέν.

Σε αντίθεση, το πλάτος του σωστού σήματος αυξάνει κατά έναν παράγοντα  $k$  σχετικά με εκείνο των σημάτων παρεμβολής. Η επίδραση αυτή ονομάζεται κέρδος επεξεργασίας και είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των CDMA συστημάτων. Είναι φανερό ότι το κέρδος επεξεργασίας προστατεύει το σύστημα CDMA από την εσωτερική παρεμβολή και καθιστά δυνατή την επαναχρησιμοποίηση των διαθέσιμων 5MHz φερόντων σε γεωγραφικά κοντινές αποστάσεις. Έτσι, ο δέκτης μπορεί να ανιχνεύσει το σήμα, ακόμα και αν αυτό υπολείπεται από το επίπεδο του θερμικού θορύβου ή της παρεμβολής κατά έναν παράγοντα ίσο με το κέρδος επεξεργασίας, αρκεί να είναι γνωστή με ακρίβεια η ακολουθία των chips. Αυτός είναι ο λόγος που τα σήματα αυτά πρωτοχρησιμοποιήθηκαν σε στρατιωτικές εφαρμογές.

Για δεδομένο εύρος ζώνης καναλιού, το κέρδος επεξεργασίας είναι μεγαλύτερο για μικρότερους ρυθμούς μετάδοσης από ότι για υψηλότερους. Για παράδειγμα, όταν ο ρυθμός μετάδοσης είναι 2 Mbps, το κέρδος επεξεργασίας είναι μικρότερο από 2 και το πλεονέκτημα του WCDMA σχετικά με την παρεμβολή υποβαθμίζεται.

Τόσο οι σταθμοί βάσης όσο και τα κινητά του WCDMA χρησιμοποιούν τον δέκτη συσχέτισης. Λόγω της πολλαπλής διαδρομής και πιθανής χρήσης πολλαπλών κεραιών λήψης, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν πολλαπλοί δέκτες συσχέτισης, με σκοπό την συγκέντρωση της ενέργειας από όλες τις διαδρομές και κεραίες. Μια τέτοια συγκέντρωση δεκτών συσχέτισης, που ονομάζονται fingers, αποτελεί τον CDMA Rake receiver.

Είναι σημαντικό να καταλάβει κανείς ότι οι διαδικασίες εξάπλωσης/ανάκτησης δεν παρέχουν από μόνες τους καμία ενίσχυση του σήματος στις ασύρματες εφαρμογές. Το



κέρδος επεξεργασίας είναι αποτέλεσμα του μεγαλύτερου εύρους ζώνης που χρησιμοποιείται κατά την μετάδοση.

Ανακεφαλαιώνοντας, τα πλεονεκτήματα του WCDMA είναι:

- ♦ Το κέρδος επεξεργασίας, σε συνδυασμό με το μέγεθος του εύρους ζώνης, επιτρέπουν επαναχρησιμοποίηση συχνότητας, που οδηγεί σε απόδοση υψηλού φάσματος.
- ♦ Η χρήση του ίδιου φέροντος από πολλούς χρήστες για την επικοινωνία τους παρέχει διαφορικότητα παρεμβολής, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της χωρητικότητας.
- ♦ Τα παραπάνω οφέλη απαιτούν την χρήση αυστηρού ελέγχου ισχύος και soft διαπομπές, για να μην μπλοκάρει το σήμα του ενός χρήστη την επικοινωνία του άλλου.
- ♦ Το WCDMA έχει την δυνατότητα να παρέχει διαφορικότητα πολλαπλής διαδρομής.

Στους παρακάτω πίνακες, φαίνονται οι κυριότερες διαφορές μεταξύ του WCDMA και δύο εκπροσώπων των συστημάτων δεύτερης γενιάς, του προτύπου GSM (πίνακας 1) και του προτύπου IS-95 (πίνακας 2). Οι διαφορές αυτές οφείλονται στις νέες απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν τα συστήματα τρίτης γενιάς. Για παράδειγμα, το μεγαλύτερο εύρος ζώνης των 5 MHz του WCDMA απαιτείται για την υποστήριξη μεγαλύτερων ρυθμών μετάδοσης. Η διαφορικότητα στη μετάδοση συμπεριλαμβάνεται στο WCDMA για τη βελτίωση της χωρητικότητας στην κάτω ζεύξη και την υποστήριξη ασύμμετρων απαιτήσεων σε χωρητικότητα μεταξύ των κατευθύνσεων άνω και κάτω ζεύξης. Η διαφορικότητα στην μετάδοση δεν υποστηρίζεται από τα πρότυπα δεύτερης γενιάς. Ο συνδυασμός διαφορετικών ρυθμών μετάδοσης, υπηρεσιών και απαιτήσεων ποιότητας στα συστήματα τρίτης γενιάς απαιτεί προχωρημένους αλγορίθμους διαχείρισης πόρων, για να εξασφαλίσουν την ποιότητα της υπηρεσίας και να μεγιστοποιήσουν την απόδοση (throughput) του συστήματος. Επίσης, η αποτελεσματική υποστήριξη πακέτων δεδομένων μη πραγματικού χρόνου είναι ιδιαίτερα σημαντική για τις νέες υπηρεσίες.

Οι κύριες διαφορές μεταξύ του WCDMA και του IS-95 φαίνονται στον πίνακα 2. Και τα δύο πρότυπα χρησιμοποιούν το σύστημα πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης κώδικα CDMA. Ο υψηλότερος ρυθμός chip των 3,84 Mcps στο WCDMA παρέχει μεγαλύτερη διαφορικότητα πολλαπλής διαδρομής κυρίως σε μικρές αστικές κυψέλες, με άμεσο επακόλουθο την βελτίωση της κάλυψης.

|  | <b>WCDMA</b>                                  | <b>GSM</b>  |
|--|---|---|
| <b>Εύρος ζώνης φέροντος</b>                      | 5 MHz   | 200 kHz   |
| <b>Παράγοντας επαναχρησιμοποίησης συχνότητας</b> | 1   | 1-18  |
| <b>Συχνότητα ελέγχου ισχύος</b>                  | 1500 Hz                                       | 2 Hz ή μικρότερη  |
| <b>Έλεγχος ποιότητας</b>                         | Αλγόριθμοι διαχείρισης ραδιοπόρων             | Σχεδιασμός δικτύου  |
| <b>Διαφορικότητα μετάδοσης στην κάτω ζεύξη</b>   | Υποστηρίζεται για βελτίωση της χωρητικότητας  | Δεν υποστηρίζεται από το πρότυπο, αλλά μπορεί να εφαρμοστεί |
| <b>Πακέτα δεδομένων</b>                          | Προγραμματισμός πακέτων βασισμένος στο φορτίο | Προγραμματισμός βασισμένος σε χρονική σχισμή με GPRS        |

**Πίνακας 1.** Κυριότερες διαφορές μεταξύ WCDMA και GSM

Στο σύστημα WCDMA, υπάρχει γρήγορος έλεγχος ισχύος, κλειστού βρόχου και στις δύο κατευθύνσεις άνω και κάτω ζεύξης, ενώ στο σύστημα IS-95, ο γρήγορος έλεγχος ισχύος γίνεται μόνο στην άνω ζεύξη. Ο έλεγχος ισχύος στην κάτω ζεύξη βελτιώνει την απόδοση του συστήματος και ενισχύει την χωρητικότητα στην κάτω ζεύξη. Βέβαια, απαιτεί νέες λειτουργίες από τα κινητά τερματικά, όπως εκτίμηση λόγου σήματος προς παρεμβολή (SIR) και έλεγχο ισχύος εξωτερικού βρόχου, οι οποίες δεν χρειάζονται στα κινητά τερματικά IS-95.

Το σύστημα IS-95 αναπτύχθηκε για εφαρμογές σε μακροκυψέλες, όπου οι σταθμοί βάσης είναι τοποθετημένοι πάνω σε ιστούς ή ταράτσες για την καλύτερη λήψη των σημάτων GPS. Οι σταθμοί βάσης IS-95 πρέπει να είναι συγχρονισμένοι και αυτός ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται μέσω του GPS. Η ανάγκη ύπαρξης ενός σήματος GPS καθιστά την χρήση μικροκυψελών προβληματική, μιας και η λήψη του GPS είναι δύσκολη χωρίς σύνδεση οπτικής επαφής με τους GPS δορυφόρους. Για τους παραπάνω λόγους, το σύστημα WCDMA έχει σχεδιαστεί ώστε να λειτουργεί με ασύγχρονους σταθμούς βάσης, όπου δεν απαιτείται κανένα GPS σήμα για συγχρονισμό. Λόγω της ύπαρξης ασύγχρονων σταθμών βάσης η διαπομπή στο WCDMA είναι λίγο διαφορετική από εκείνη στο IS-95.

|  | <b>WCDMA</b>                                  | <b>IS-95</b>  |
|--|---|---|
| <b>Εύρος ζώνης φέροντος</b>                    | 5 MHz   | 1,25 MHz  |
| <b>Ρυθμός chip</b>                             | 3.84 Mcps                                     | 1,2288 Mcps   |
| <b>Συχνότητα ελέγχου ισχύος</b>                | 1500 Hz, τόσο στην άνω όσο και κάτω ζεύξη     | Άνω ζεύξη:800 Hz,<br>Κάτω ζεύξη:αργός έλεγχος                 |
| <b>Διαπομπές μεταξύ συχνοτήτων</b>             | Ναι, μετρήσεις με μέθοδο σχισμής              | Δυνατόν, αλλά όχι καθορισμένη μέθοδος μέτρησης                |
| <b>Αλγόριθμοι διαχείρισης ραδιοπόρων</b>       | Ναι, παρέχεται απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας | Δεν χρειάζονται   |
| <b>Πακέτα δεδομένων</b>                        | Προγραμματισμός πακέτων βασισμένος στο φορτίο | Τα πακέτα μεταδίδονται ως μικρές κλήσεις μεταγωγής κυκλώματος |
| <b>Διαφορικότητα μετάδοσης στην κάτω ζεύξη</b> | Υποστηρίζεται για βελτίωση της χωρητικότητας  | Δεν υποστηρίζεται από το πρότυπο                              |

**Πίνακας 2.** Κυριότερες διαφορές μεταξύ WCDMA και IS-95

Οι διαπομπές μεταξύ συχνοτήτων θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικές στο πρότυπο WCDMA για την μεγιστοποίηση της χρήσης διαφόρων φερόντων ανά σταθμό βάσης. Στο σύστημα IS-95 οι διαπομπές μεταξύ συχνοτήτων είναι πιο δύσκολες.

Η ήδη υπάρχουσα εμπειρία από τα συστήματα δεύτερης γενιάς υπήρξε ιδιαίτερα πολύτιμη για την ανάπτυξη των συστημάτων τρίτης γενιάς, παρά τις μεταξύ τους διαφορές.

## 2.2.4 Αρχιτεκτονική του UMTS

Το UMTS δίκτυο μπορεί να διακριθεί σε τρία μέρη:

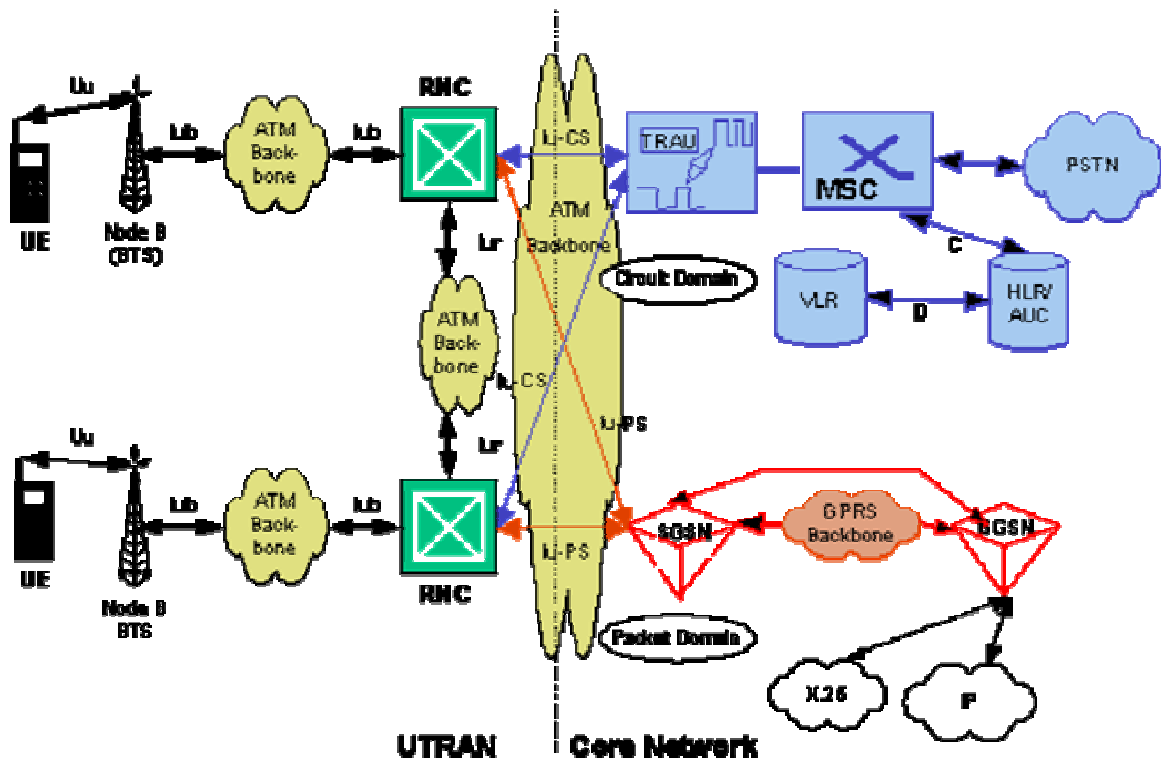
- Εξοπλισμός Χρήστη (User Equipment - UE):  
Το τερματικό του χρήστη (UE) μπορεί να συνδεθεί με το δίκτυο UTRAN μέσω ασύρματης ζεύξης σε μία ή περισσότερες κυψέλες. Αντίθετα με το GSM, στο UMTS είναι πιθανό να υπάρχει σύνδεση με περισσότερες των μία κυψελών ταυτόχρονα.
- UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN):

Το δίκτυο UTRAN συνίσταται από κόμβους B (τους γνωστούς BTS στο GSM), οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι στους Radio Network Controllers (RNC, οι οποίοι αποτελούν τους BSC στο GSM). Οι RNCs είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους και με το δίκτυο κορμού μέσω του ATM.

- Δίκτυο Κορμού (Core Network - CN):

Το δίκτυο κορμού (CN) είναι συνδεδεμένο με άλλα δίκτυα όπως για παράδειγμα το PSTN, Internet και άλλα κινητά δίκτυα. Είναι υπεύθυνο για τη δρομολόγηση, την πιστοποίηση αυθεντικότητας, τον εντοπισμό θέσης κλπ. Το δίκτυο είναι χωρισμένο σε δύο τομείς, αυτόν που είναι υπεύθυνος για την μεταγωγή κυκλώματος (circuit switched - CS) και εκείνον για τη μεταγωγή πακέτου (packet switched - PS).

Αναλυτικά η αρχιτεκτονική του UMTS φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



ΣΧΗΜΑ 2.8: Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ UMTS

### 2.2.4.1 Εξοπλισμός Χρήστη (User Equipment - UE)

Στον εξοπλισμό χρήστη συμπεριλαμβάνονται κινητά τηλέφωνα, PDAs, φορητοί υπολογιστές κ.α. Οι συσκευές αυτές συνδέονται μέσω ραδιοδιαύλου στο UTRAN με

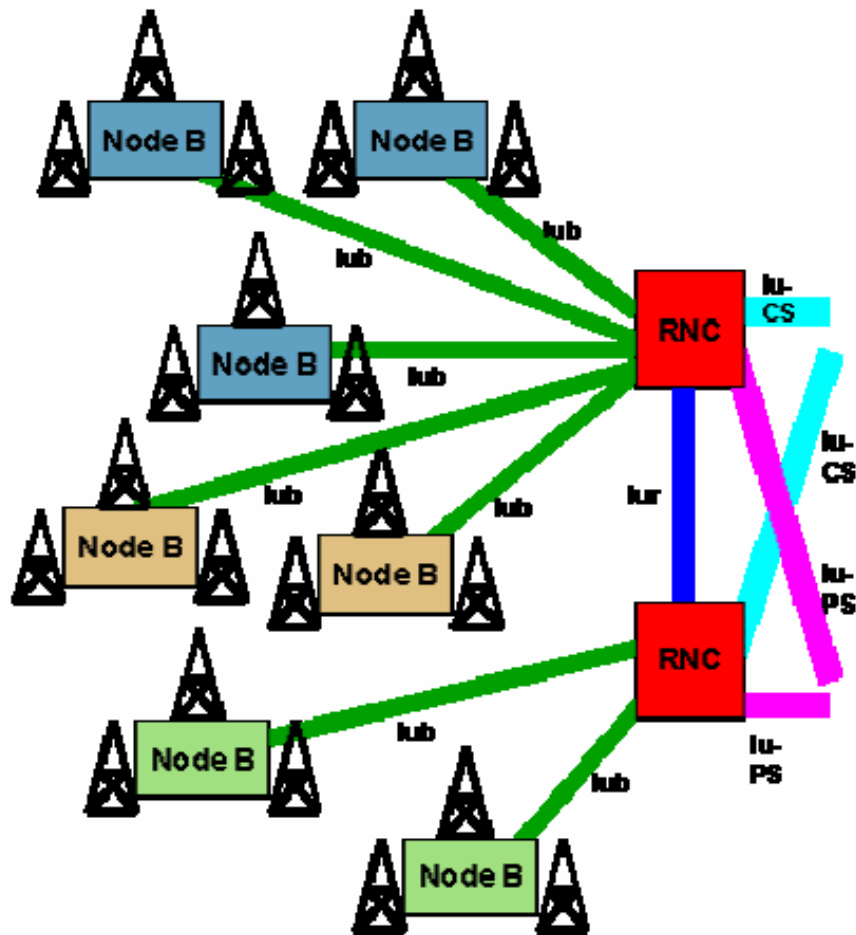
βάση την κωδικοποίηση WCDMA. Η συσκευή μπορεί να είναι συνδεδεμένη σε περισσότερες της μίας κυψέλης ταυτόχρονα. Ο εξοπλισμός χρήστη αποτελείται από δύο μέρη:

- Τον κινητό εξοπλισμό (Mobile Equipment)  
Ο κινητός εξοπλισμός είναι η ίδια η συσκευή. Η συσκευή από μόνη της δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει καμία υπηρεσία του UMTS.
- Την κάρτα USIM (USIM-Card)  
Όλα τα αναγκαία δεδομένα για την πιστοποίηση αυθεντικότητας και της πρόσβασης στο δίκτυο UMTS, έτσι ώστε να γίνει χρήση των υπηρεσιών που αυτό προσφέρει, είναι αποθηκευμένα στην κάρτα USIM. Αυτή η κάρτα είναι ανάλογη της κάρτας SIM του GSM δικτύου, αλλά έχει περισσότερες δυνατότητες από αυτή και μεγαλύτερη μνήμη (της τάξης των μερικών MB σε αντίθεση με την SIM που έχει χωρητικότητα μεταξύ 8 και 32 KB ) για την αποθήκευση προσωπικών δεδομένων του χρήστη.

#### **2.2.4.2 UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)**

Το UTRAN εκτός των άλλων είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση ραδιοπόρων. Αυτό περιλαμβάνει την ευθύνη για τον έλεγχο ισχύος (power control), την υποστήριξη διάφορων ειδών μεταπομπών όπως και τον έλεγχο και τη διαχείριση των μεταπομπών.

Το UTRAN αποτελείται από κόμβους B και από κόμβους RNC. Οι περισσότεροι κόμβοι B διαχειρίζονται τρία κελιά. Οι κόμβοι B σχηματίζουν ομάδες κόμβων και κάθε ομάδα συνδέεται σε έναν κόμβο ελέγχου RNC (Controlling RNC, CRNC). Ένα κόμβος RNC μαζί με τους B κόμβους συνιστούν το λεγόμενο Radio Network Subsystem (RNS). Η δομή αυτή φαίνεται στο Σχήμα 2.9.



ΣΧΗΜΑ 2.9: Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ UTRAN

Κάθε κόμβος B λειτουργεί στο φυσικό επίπεδο και στο επίπεδο δικτύου και μεταδίδει τα δεδομένα στο CRNC. Επίσης μετράει την ποιότητα και την ισχύ του ραδιοδιαύλου προς το τερματικό χρήστη και αναφέρει τα αποτελέσματα στον CRNC. Ο κόμβος RNC χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που λαμβάνει από τους κόμβους B και αντιδρά αναλόγως, π.χ. μειώνοντας ή αυξάνοντας την ισχύ τους σήματος στον κόμβο B ή και στο τερματικό χρήστη. Επίσης κωδικοποιεί το σήμα με την τεχνική του WCDMA έτσι ώστε να μεταδοθεί στη συνέχεια από τον κόμβο B στο τερματικό χρήστη. Ακόμη ο κόμβος RNC είναι υπεύθυνος για τις διαπομπές μεταξύ διαφορετικών RNS, την διαχείριση ραδιοπόρων κλπ. Για να προσφέρουν ήπια διαπομπή (soft handovers) οι κόμβοι RNC είναι διασυνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω της διεπαφής Iu μέσω του δικτύου ATM. Είναι επίσης συνδεδεμένοι με το δίκτυο πυρήνα (CN) μέσω της διεπαφής Iu-CS για υπηρεσίες που χρησιμοποιούν την τεχνική της μεταγωγής κυκλώματος και μέσω της διεπαφής Iu-PS για υπηρεσίες που χρησιμοποιούν την τεχνική της μεταγωγής πακέτου.

### 2.2.4.3 Δίκτυο Πυρήνα (Core Network - CN)

Το δίκτυο πυρήνα χωρίζεται σε δύο μέρη. Το ένα μέρος είναι αυτό που διαχειρίζεται τις υπηρεσίες που βασίζονται στην τεχνική της μεταγωγής κυκλώματος (CS-domain) και το δεύτερο είναι αυτό που διαχειρίζεται τις υπηρεσίες που βασίζονται στην τεχνική της μεταγωγής πακέτου (PS-domain) όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.10. Το CS-domain περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

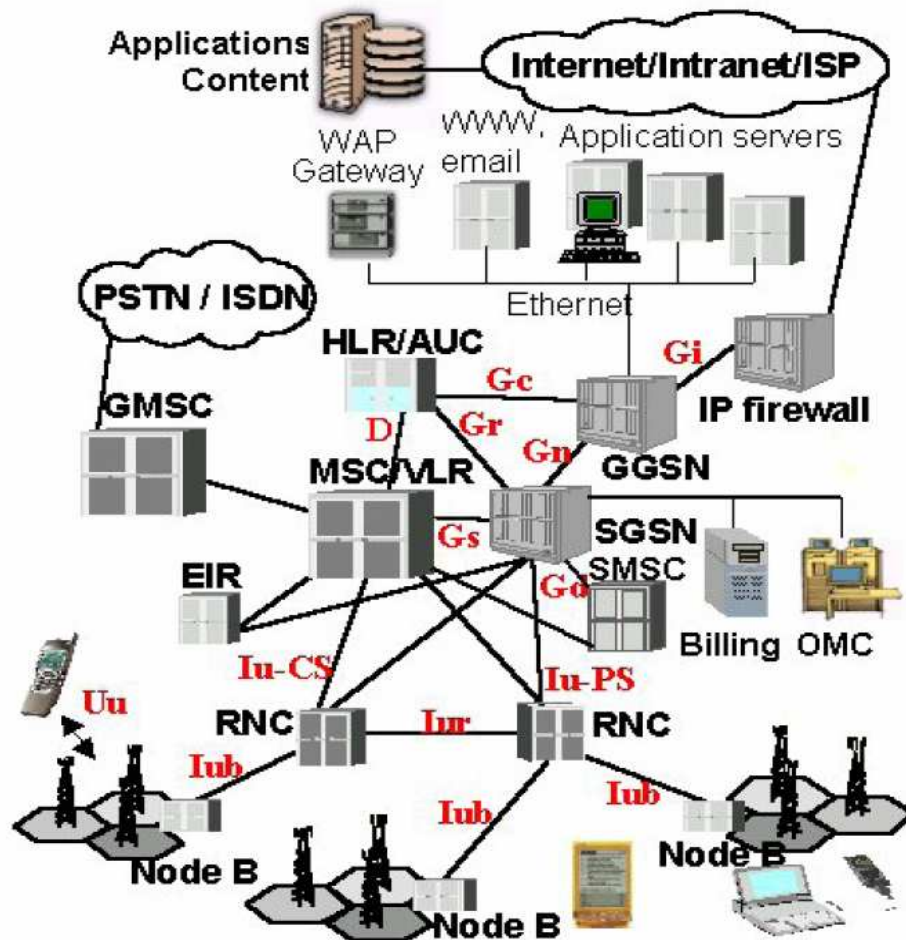
- Το Κέντρο Μεταγωγής Κινητών Επικοινωνιών (**Mobile Switching Center – MSC**). Ο MSC είναι ένα στοιχείο του δικτύου που δρομολογεί τα δεδομένα των CS υπηρεσιών (δηλαδή αυτών που είναι βασισμένες στη μεταγωγή κυκλώματος) εντός και εκτός δικτύου μέσω του GMSC. Κάθε MSC ελέγχει πολλά RNC, τα οποία είναι συνδεδεμένα με αυτόν μέσω της διεπαφής Iu-CS. Ο MSC είναι επίσης συνδεδεμένος σε διάφορες βάσεις δεδομένων, όπως για παράδειγμα στον Καταχωρητή Θέσης Οικείων (Home Location Register – HLR), και ακόμη διαχειρίζεται την κινητικότητα των CS υπηρεσιών. Συνήθως υπάρχουν περισσότεροι του ενός MSC σε ένα UMTS δίκτυο.
- Το Διαβιβαστικό Κέντρο Μεταγωγής Κινητών Επικοινωνιών (**Gateway MSC – GMSC**). Το GMSC είναι συνδεδεμένο στο MSC και διασυνδέει το UMTS δίκτυο με τα άλλα δίκτυα που προσφέρουν υπηρεσίες βασισμένες στη μεταγωγή κυκλώματος, όπως για παράδειγμα τα δίκτυα PSTN και ISDN. Σε ένα UMTS δίκτυο υπάρχουν συνήθως περισσότερα του ενός GMSC στοιχεία.
- Τον Καταχωρητή Θέσης Επισκεπτών (**Visitor Location Register – VLR**). Συνήθως υπάρχει ένας VLR για κάθε MSC, με τον οποίο είναι συνδεδεμένος. Ο VLR συνήθως αποθηκεύει δεδομένα που έχουν να κάνουν με την ασφάλεια, την πιστοποίηση αυθεντικότητας και την αναγνώριση των χρηστών που υπάγονται και ελέγχονται εκείνη τη στιγμή από τον MSC. Μερικά από τα δεδομένα αντιγράφονται από τον HLR.
- Τον Transcoder Adapter Unit – TRAU. Η μονάδα TRAU τοποθετείται μεταξύ του RNC και του MSC και σκοπός του είναι να μετατρέπει τη μορφή των δεδομένων φωνής (από Adaptive Multi Rate (AMR) σε Pulse Code Modulation30 (PCM30)). Αυτό είναι απαραίτητο επειδή το UTRAN και το CN χρησιμοποιούν διαφορετική κωδικοποίηση.

Το PS-domain περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Τον κόμβο SGSN (Serving GPRS Support Node). Το στοιχείο αυτό αποτελεί για το PS-domain ότι και το MSC για το CS-domain, δηλαδή δρομολογεί τα δεδομένα των υπηρεσιών που είναι βασισμένες στην τεχνική της μεταγωγής πακέτου εντός του δικτύου UMTS και εκτός αυτού μέσω του κόμβου GGSN (Gateway GPRS Support Node). Επίσης ελέγχει μία ομάδα από RNC, τα οποία είναι συνδεδεμένα με το SGSN μέσω της διεπαφής Iu-PS. Ακόμη είναι συνδεδεμένο σε βάσεις δεδομένων, όπως για παράδειγμα στον Καταχωρητή Θέσης Οικείων (Home Location Register – HLR) ), και ακόμη διαχειρίζεται την κινητικότητα και είναι υπεύθυνος για την πιστοποίηση αυθεντικότητας των PS υπηρεσιών. Συνήθως υπάρχουν περισσότεροι του ενός SGSN δε ένα δίκτυο UMTS.
- Τον κόμβο GGSN (Gateway GPRS Support Node). Η μονάδα GGSN είναι και αυτή αντίστοιχη με το GMSC για το CS-domain. Διασυνδέει το δίκτυο UMTS με άλλα δίκτυα που χρησιμοποιούν την τεχνική της μεταγωγής πακέτου, όπως είναι τα X.25 και το Internet. Το στοιχείο GGSN συνδέεται με το SGSN και συνήθως υπάρχουν περισσότερα του ενός GGSN στοιχεία σε ένα UMTS δίκτυο.

Πέρα από τα στοιχεία που αναφέρθηκαν έως τώρα υπάρχουν και κάποια κοινά στοιχεία και για του δύο μέρη του δικτύου CN. Το σημαντικότερο στοιχείο είναι ο Καταχωρητής Θέσης Οικείων (Home Location Register – HLR). Το στοιχείο αυτό είναι μία βάση δεδομένων όπου αποθηκεύονται δεδομένα των χρηστών που αλλάζουν σπάνια, όπως αυτά που έχουν να κάνουν με την ασφάλεια, την κρυπτογράφηση, τον αριθμό τηλεφώνου, υπηρεσίες που προσφέρονται με βάση το συμβόλαιο κλπ.





ΣΧΗΜΑ 2.10: Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΥΡΗΝΑ (CORE NETWORK)

## 2.2.5 Υπηρεσίες του UMTS

### 2.2.5.1 Τάξεις Υπηρεσιών

Οι εφαρμογές και οι υπηρεσίες μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με τα κριτήρια που θα επιλεγούν. Οι κατηγορίες αυτές ονομάζονται τάξεις υπηρεσιών και στο UMTS έχουν καθοριστεί τέσσερις τάξεις. Ο σκοπός αυτών των κλάσεων υπηρεσιών είναι να επιτρέψει στο δίκτυο UMTS να καταναίμει του πόρους του και να προστατέψει τα μεταδιδόμενα δεδομένα σε συνάρτηση με την υπηρεσία που ζητήθηκε από τον χρήστη. Αυτό είναι πολύ σημαντικό στα πλαίσια του UMTS, όπου το

UTRAN διακρίνεται από μια μεγαλύτερη ευελιξία σε σχέση με τα δίκτυα 2<sup>ης</sup> Γενιάς όπως το GSM. Οι τέσσερις τάξεις υπηρεσιών είναι οι ακόλουθες:

- Συνδιάλεξης (conversational)
- Συνεχής και σταθερής ροής (streaming)
- Διάδρασης (interactive)
- Παρασκηνίου (background)

Ο κύριος διαχωριστικός παράγοντας μεταξύ των παραπάνω τάξεων είναι κατά πόσο ευαίσθητη στην καθυστέρηση είναι η κίνηση. Η conversational τάξη είναι η πιο ευαίσθητη στην καθυστέρηση, ενώ η τάξη background η λιγότερο ευαίσθητη (Σχήμα 2.11). Στην αρχική φάση του UMTS, η conversational και η streaming τάξεις θα μεταδίδονται σε πραγματικού χρόνου συνδέσεις, μέσω της ασύρματης διεπαφής του WCDMA, ενώ οι τάξεις interactive και background θα μεταδίδονται σαν πακέτα δεδομένων μη πραγματικού χρόνου.

|                  |                                   |                                     |                              |                               |
|------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Error tolerant   | Conversational voice and video    | Voice messaging                     | Streaming audio and video    | Fax                           |
| Error intolerant | Telnet, interactive games         | E-commerce, WWW browsing,           | FTP, still image, paging     | E-mail arrival notification   |
|                  | Conversational<br>(delay <<1 sec) | Interactive<br>(delay approx 1 sec) | Streaming<br>(delay <10 sec) | Background<br>(delay >10 sec) |

ΣΧΗΜΑ 2.11: ΟΙ ΤΑΞΕΙΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΤΟΥ UMTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΟΧΗ ΛΑΘΩΝ

### 1) Conversational Class (Κατηγορία Συνδιάλεξης)

Η πιο γνωστή εφαρμογή της τάξης αυτής είναι η υπηρεσία ομιλίας με μεταγωγή κυκλώματος. Με την χρήση του Internet και των πολυμέσων, θα προστεθούν στην τάξη αυτή ένας νέος αριθμός εφαρμογών, όπως φωνή πάνω σε IP και τηλεφωνία με εικόνα. Είναι η μοναδική τάξη που τα χαρακτηριστικά της καθορίζονται από την ανθρώπινη αντίληψη. Η συνομιλία πραγματικού χρόνου χαρακτηρίζεται από μικρή από άκρη σε άκρη

καθυστέρηση και συμμετρική ή σχεδόν συμμετρική κίνηση. Η αντίληψη του ανθρώπου κατά την ακουστική ή μέσω εικόνας συνομιλία επιβάλλει η καθυστέρηση να μην ξεπερνάει τα 400 ms. Έτσι, το όριο για αποδεκτή καθυστέρηση είναι αυστηρά καθορισμένο, καθώς ενδεχόμενη αποτυχία θα οδηγήσει σε απαράδεκτη ποιότητα της υπηρεσίας. Στο Σχήμα 2.12 που ακολουθεί απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών της conversational class όπως τα αντιλαμβάνεται ο τελικός χρήστης.

| Medium | Application                 | Degree of symmetry   | Data rate   | Key performance parameters and target values                      |                               |                  |
|--------|-----------------------------|----------------------|-------------|---|-------------------------------|------------------|
|        |                             |                      |             | End-to-end One-way Delay  | Delay Variation within a call | Information loss |
| Audio  | Conversational voice        | Two-way              | 4-25 kb/s   | <150 msec preferred<br><400 msec limit<br>Note 1                  | < 1 msec                      | < 3% FER         |
| Video  | Videophone                  | Two-way              | 32-384 kb/s | < 150 msec preferred<br><400 msec limit<br>Lip-synch : < 100 msec |                               | < 1% FER         |
| Data   | Telemetry - two-way control | Two-way              | <28.8 kb/s  | < 250 msec  | N.A                           | Zero             |
| Data   | Interactive games           | Two-way              | < 1 KB      | < 250 msec  | N.A                           | Zero             |
| Data   | Telnet                      | Two-way (asymmetric) | < 1 KB      | < 250 msec  | N.A                           | Zero             |

ΣΧΗΜΑ 2.12: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ CONVERSATIONAL CLASS ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΤΕΛΙΚΟ ΧΡΗΣΤΗ

## 2) Streaming Class (Κατηγορία Συνεχής και Σταθερής Ροής)

Πρόκειται για έναν τρόπο μεταφοράς δεδομένων που μπορεί να θεωρηθεί ως συνεχή και σταθερή ροή. Οι τεχνολογίες streaming κερδίζουν συνέχεια έδαφος με την ανάπτυξη του Internet, διότι οι περισσότεροι χρήστες δεν έχουν αρκετά γρήγορη πρόσβαση για να «κατεβάσουν» μεγάλα αρχεία πολυμέσων γρήγορα. Με την παραπάνω τεχνική, τα δεδομένα αρχίζουν να παρουσιάζονται πριν την μεταφορά ολόκληρου του αρχείου.

Οι streaming εφαρμογές είναι ιδιαίτερα ασύμμετρες και τυπικά δέχονται μεγαλύτερη καθυστέρηση από τις συμμετρικές conversational υπηρεσίες. Αυτό, επίσης, σημαίνει ότι αντέχουν περισσότερο «τρεμούλιασμα» (jitter) κατά την μεταφορά.

Οι εφαρμογές στο Internet που σχετίζονται με μετάδοση εικόνας μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες. (α) Web broadcast και (β) μετάδοση βίντεο κατά

απαίτηση. Οι πάροχοι broadcast υπηρεσιών στοχεύουν σε ένα μεγάλο αριθμό κοινού, που συνδέονται σε ένα υψηλής απόδοσης εξυπηρετητή (ή επιλέγουν από μια ποικιλία εξυπηρετητών). Αντίθετα, οι κατά απαίτηση υπηρεσίες σπάνια χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα από περισσότερο από μερικές εκατοντάδες χρήστες, αφού χρησιμοποιούνται από μεγάλες εταιρίες που αποθηκεύουν υλικό σε ένα εξυπηρετητή, που συνδέεται σε ένα τοπικό εσωτερικό δίκτυο. Και οι δύο τύποι εφαρμογών χρησιμοποιούν παρόμοια τεχνολογία συμπίεσης, όμως οι απαιτήσεις ως προς το εύρος ζώνης και τις δυνατότητες του εξυπηρετητή είναι διαφορετικές. Στο Σχήμα 2.13 που ακολουθεί απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών της streaming class όπως τα αντιλαμβάνεται ο τελικός χρήστης.

| Medium | Application                  | Degree of symmetry | Data rate   | Key performance parameters and target values |                 |                  |
|--------|------------------------------|--------------------|-------------|--|-----------------|------------------|
|        |                              |                    |             | One-way Delay                                | Delay Variation | Information loss |
| Audio  | High quality streaming audio | Primarily one-way  | 32-128 kb/s | < 10 sec                                     | < 1 msec        | < 1% FER         |
| Video  | One-way                      | One-way            | 32-384 kb/s | < 10 sec                                     |                 | < 1% FER         |
| Data   | Bulk data transfer/retrieval | Primarily one-way  |             | < 10 sec                                     | N.A             | Zero             |
| Data   | Still image                  | One-way            |             | < 10 sec                                     | N.A             | Zero             |
| Data   | Telemetry - monitoring       | One-way            | <28.8 kb/s  | < 10 sec                                     | N.A             | Zero             |

ΣΧΗΜΑ 2.13: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ STREAMING CLASS ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΤΕΛΙΚΟ ΧΡΗΣΤΗ

### 3) Interactive Class (Κατηγορία Διάδρασης)

Το σενάριο αυτό εφαρμόζεται όταν ο τελικός χρήστης, άνθρωπος ή μηχανή, είναι σε σύνδεση απαιτώντας δεδομένα από απομακρυσμένο εξοπλισμό (πχ. ένα εξυπηρετητή). Παράδειγμα ανθρώπινης αλληλεπίδρασης με τον απομακρυσμένο εξοπλισμό είναι το Web browsing και η πρόσβαση σε εξυπηρετητή, ενώ αλληλεπίδραση μηχανής αποτελούν οι αυτόματες αναζητήσεις βάσεων δεδομένων. Η κίνηση, στην τάξη αυτή, χαρακτηρίζεται από την απάντηση στην αίτηση του τελικού χρήστη (στον προορισμό του μηνύματος, υπάρχει μια οντότητα, που περιμένει το μήνυμα-απάντηση μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα). Έτσι, ο χρόνος καθυστέρησης αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα στην τάξη αυτή.

Είναι εύκολο να προβλεφθεί ότι οι υπηρεσίες και εφαρμογές που βασίζονται στον εντοπισμό θα αποτελέσουν μια από τις νέες διαστάσεις του UMTS. Για παράδειγμα, πριν ταξιδέψει κανείς σε μια ξένη πόλη στο εξωτερικό, μπορεί να ζητήσει να «κατεβάσει» συγκεκριμένα σημεία ενδιαφέροντος από την πόλη. Η πληροφορία, που θα λάβει, τυπικά περιέχει ένα χάρτη και άλλα δεδομένα πάνω στον χάρτη. Επιλέγοντας το εικονίδιο που τον ενδιαφέρει, μπορεί να πληροφορηθεί αντίστοιχα.

Άλλο παράδειγμα εφαρμογής της τάξης αυτής αποτελεί ένα παιχνίδι υπολογιστή, που παίζεται με αλληλεπίδραση διαμέσου του δικτύου. Βέβαια, ανάλογα με την φύση του παιχνιδιού, πχ. πόσο ευαίσθητη είναι η μεταφορά των δεδομένων, μπορεί η εφαρμογή αυτή να ανήκει στην conversational τάξη, εξαιτίας των υψηλών απαιτήσεων για την μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση από άκρο σε άκρο. Στο Σχήμα 2.14 που ακολουθεί απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών της interactive class όπως τα αντιλαμβάνεται ο τελικός χρήστης.

| Medium | Application                 | Degree of symmetry   | Data rate   | Key performance parameters and target values                      |                               |                  |
|--------|-----------------------------|----------------------|-------------|---|-------------------------------|------------------|
|        |                             |                      |             | End-to-end One-way Delay  | Delay Variation within a call | Information loss |
| Audio  | Conversational voice        | Two-way              | 4-25 kb/s   | <150 msec preferred<br><400 msec limit<br>Note 1                  | < 1 msec                      | < 3% FER         |
| Video  | Videophone                  | Two-way              | 32-384 kb/s | < 150 msec preferred<br><400 msec limit<br>Lip-synch : < 100 msec |                               | < 1% FER         |
| Data   | Telemetry - two-way control | Two-way              | <28.8 kb/s  | < 250 msec  | N.A                           | Zero             |
| Data   | Interactive games           | Two-way              | < 1 KB      | < 250 msec  | N.A                           | Zero             |
| Data   | Telnet                      | Two-way (asymmetric) | < 1 KB      | < 250 msec  | N.A                           | Zero             |

ΣΧΗΜΑ 2.14: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ INTERACTIVE CLASS ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΤΕΛΙΚΟ ΧΡΗΣΤΗ

#### 4) Background Class (Κατηγορία Παρασκηνίου)

Κίνηση δεδομένων σε εφαρμογές, όπως ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, SMS, «κατέβασμα» βάσεων δεδομένων, δεν απαιτεί άμεση ενέργεια, αφού η καθυστέρηση μπορεί να είναι δευτερόλεπτα ή ακόμα και λεπτά της ώρας. Ο προορισμός, εδώ, δεν περιμένει τα δεδομένα μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Δηλαδή δεν υπάρχει μεγάλη ευαισθησία ως προς την καθυστέρηση. Η ηλεκτρονική κάρτα ταχυδρομείου είναι ακόμα ένα παράδειγμα νέων εφαρμογών της τάξης αυτής.

#### 2.2.5.2 Παραδείγματα Υπηρεσιών και Εφαρμογών στα 3G δίκτυα

Μερικές από τις νέες εφαρμογές που υποστηρίζει το UMTS δίνονται επιγραμματικά παρακάτω:

- Υπηρεσίες πληροφόρησης, όπως είναι για παράδειγμα: α) Interactive shopping, β) On - line equivalents of printed media, (on-line ισοδύναμα εντύπων ενημέρωσης) και γ) Location based broadcasting services (εντοπισμός θέσης και παροχή υπηρεσιών βασισμένες στην τοποθεσία).

Εκπαιδευτικές υπηρεσίες όπως είναι για παράδειγμα: α) Virtual σχολεία, β) On-line βιβλιοθήκες και γ) Εκπαίδευση.

- Υπηρεσίες Ψυχαγωγίας όπως για παράδειγμα: α) ακρόαση ζωντανής μουσικής και β) διάφορα παιχνίδια.
- Κοινωνικές υπηρεσίες όπως είναι για παράδειγμα: α) υπηρεσίες έκτακτου ανάγκης (emergency) και β) κυβερνητικές διαδικασίες.
- Επιχειρηματικές εφαρμογές όπως είναι για παράδειγμα: α) mobile office και β) virtual workshop.
- Ειδικές υπηρεσίες όπως είναι για παράδειγμα: α) τηλεϊατρική, β) security monitoring και γ) γραμμές άμεσης βοήθειας.
- Επικοινωνιακές υπηρεσίες όπως είναι για παράδειγμα: α) videoconference και β) personal location.
- Εμπορικές και επιχειρηματικές υπηρεσίες όπως είναι για παράδειγμα: α) on-line τραπεζικές συναλλαγές και β) on-line billing.

## 2.3 WLAN

### 2.3.1 Εξέλιξη Τοπικών Ασύρματων Δικτύων

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks – WLANs) είναι μία σχετικά νέα μορφή τοπικών δικτύων, που επιτρέπει στους χρήστες να συνδέονται και να ανταλλάσσουν πληροφορία, χωρίς να δεσμεύονται από την ύπαρξη κατάλληλης καλωδίωσης. Η προσφορά κινητικότητας στους χρήστες είναι το κύριο χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί τα ασύρματα από τα ενσύρματα δίκτυα.

Οι πρώτες προσπάθειες για τη δημιουργία ενός WLAN έγιναν στα τέλη της δεκαετίας του 1970 από τον Fritz R. Gfeller στα IBM Ruschlikon Laboratories στην Ελβετία. Χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία των υπέρυθρων ακτινών (Infrared – IR), αλλά το σχέδιο εγκαταλείφθηκε, διότι δεν ήταν εφικτή η επίτευξη του επιθυμητού ρυθμού μετάδοσης 1 Mbps μέσα σε μια λογική περιοχή κάλυψης. Στη συνέχεια έγιναν κι άλλες απόπειρες με χρήση ραδιοκυμάτων στα 900 MHz (Ferrert, HP Palo Alto Research

Laboratories, 1980) και λίγο αργότερα στα 1,73 GHz (Motorola), αλλά απέτυχαν λόγω της πολυπλοκότητας των σχεδίων και της αδυναμίας εξασφάλισης μόνιμης άδειας χρήσης φάσματος από την FCC (Federal Communications Commission).

Σήμερα η κατάσταση στο χώρο των ασυρμάτων δικτύων είναι φυσικά πολύ διαφορετική. Υπάρχει ένας αριθμός ασυρμάτων δικτύων που λειτουργούν στις ISM (Industrial, Scientific, Medical) ζώνες συχνοτήτων. Τέτοια δίκτυα είναι το FreePort και το WaveLAN. Το FreePort παρέχει ένα ασύρματο Ethernet (IEEE 802.3) και λειτουργεί στις ζώνες 2400 – 2483 MHz για εκπομπή και 5725 – 5850 MHz για λήψη. Το WaveLAN παρέχει άμεση επικοινωνία (peer – to – peer) και λειτουργεί στη ζώνη 902 – 928 MHz στις ΗΠΑ και στη ζώνη 2400 – 2480 MHz σε άλλες 39 χώρες. Υπάρχει επίσης και το σύστημα Altair, που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο Ethernet (IEEE 802.3) και λειτουργεί στην μικροκυματική περιοχή συχνοτήτων των 18 GHz.

Δύο πρότυπα είναι αυτή σήμερα σε εξέλιξη όσο αναφορά τα ασύρματα δίκτυα. Το ένα αναπτύσσεται στην Ευρώπη από το ETSI (European Telecommunications Standard Institute) και ονομάζεται HIPERLAN (High – Performance European Radio LAN). Το άλλο αναπτύσσεται από την IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) και ονομάζεται 802.11 WLAN. Και τα δύο αυτά πρότυπα καλύπτουν τις προδιαγραφές για το φυσικό στρώμα και το υπόστρωμα MAC (Medium Access Control). Το πρότυπο IEEE 802.11 είναι το πλέον επιτυχημένο και αυτό θα εξετάσουμε στη συνέχεια.

### **2.3.2 Διαστρωμάτωση του IEEE 802.11**

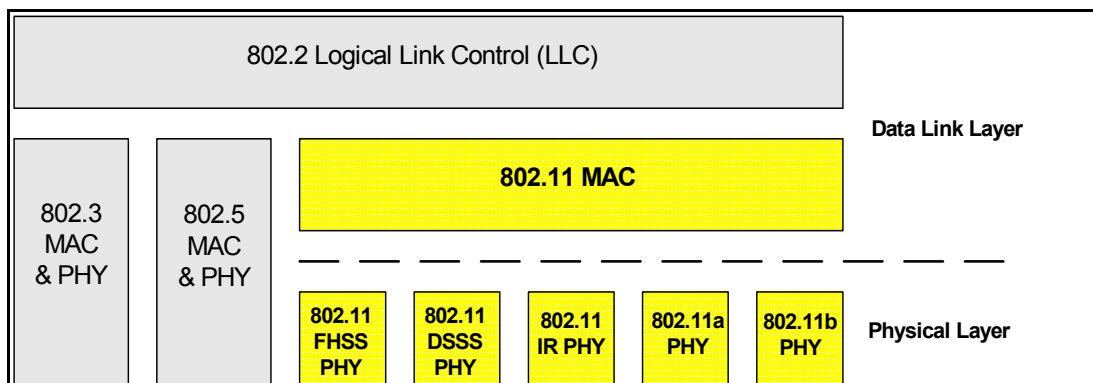
Το 802.11 είναι μέλος της οικογένειας IEEE 802, η οποία είναι μία σειρά από προδιαγραφές τεχνολογίες τοπικού δικτύου (LAN). Οι προδιαγραφές του IEEE 802 επικεντρώνονται στα δύο χαμηλότερα επίπεδα του μοντέλου OSI, γιατί συνδυάζουν στοιχεία τόσο από το φυσικό επίπεδο όσο και από το επίπεδο ζεύξης δεδομένων. Όλα τα δίκτυα 802 έχουν ένα φυσικό υπόστρωμα και ένα υπόστρωμα MAC. Το MAC είναι ένα σύνολο από κανόνες που υποδεικνύουν πώς προσπελάνεται το μέσο και στέλνονται δεδομένα, αλλά οι λεπτομέρειες της εκπομπής και της λήψης καθορίζονται από το PHY υπόστρωμα.

Οι ξεχωριστές προδιαγραφές στην σειρά 802 καθορίζονται από ένα δεύτερο νούμερο. Για παράδειγμα, 802.3 είναι η προδιαγραφή για ένα δίκτυο πολλαπλής



προσπέλασης με ανίχνευση φέροντος και εντοπισμό συγκρούσεων (CSMA/CD) που σχετίζεται με το Ethernet, ενώ 802.5 είναι η προδιαγραφή ενός δικτύου δακτυλίου με κουπόνι. Άλλες προδιαγραφές του 802 είναι η 802.2 που καθορίζει ένα κοινό στρώμα ζεύξης, το Logical Link Control (LLC), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιαδήποτε χαμηλού επιπέδου τεχνολογία LAN (Σχήμα 2.15). Κάποια χαρακτηριστικά διαχείρισης για δίκτυα 802 περιγράφονται στο 802.1. Μερικά χαρακτηριστικά του 802.1 είναι η γεφύρωση (802.1d) και τα εικονικά LAN (VLAN, 802.1q).

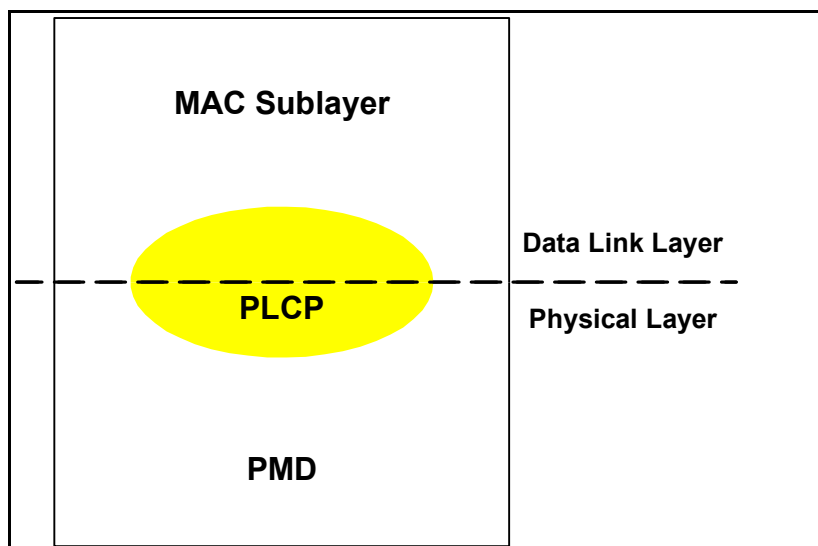
Το 802.11 αναφέρεται στα δύο χαμηλότερα στρώματα του μοντέλου διαστρωμάτωσης OSI (Open System Interconnection), δηλαδή στο φυσικό στρώμα (Physical Layer – PHY) και στο υπόστρωμα MAC (Medium Access Control) του στρώματος ζεύξης δεδομένων (Data Link Layer). Το άλλο υπόστρωμα του στρώματος ζεύξης δεδομένων, δηλαδή το υπόστρωμα ελέγχου λογικής ζεύξης (Logical Link Control – LLC), είναι αυτό που έχει προτυποποιηθεί όπως είπαμε προηγουμένως ως IEEE 802.2 και χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με όλα τα διαφορετικά MAC της σειράς IEEE 802, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.15.



ΣΧΗΜΑ 2.15: ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.11

Η φιλοσοφία που ακολουθεί το πρότυπο 802.11 είναι η ύπαρξη ενός μόνο MAC που όμως υποστηρίζει περισσότερα του ενός φυσικά στρώματα. Κάθε φυσικό στρώμα χωρίζεται σε δύο υποστρώματα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.16.

Το υπόστρωμα PLCP (Physical Layer Convergence Procedure) χρησιμεύει στην προσαρμογή των διαφόρων φυσικών στρωμάτων στο κοινό MAC. Το υπόστρωμα PMD (Physical Medium Dependent) περιέχει όλες τις λειτουργίες που απαιτούνται για τη μετάδοση της πληροφορίας από το εκάστοτε φυσικό στρώμα.



ΣΧΗΜΑ 2.16: ΦΥΣΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.11

Στον Σχήμα 2.17 που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά μερικών από τα πιο διαδεδομένα αυτή τη στιγμή WLANs.

| Πρότυπο                             | 802.11                                   | 802.11a   | 802.11b  | 802.11g  | HIPERLAN1   | HIPERLAN2                               |
|-------------------------------------|--|---|--|--|---|---|
| Ζώνη συχνοτήτων                     | 2.4 GHz                                  | 5.0 GHz   | 2.4 GHz  | 2.4 GHz  | 5 GHz   | 5 GHz                                   |
| Ρυθμός μετάδοσης στο φυσικό στρώμα  | 2 Mbps                                   | 54 Mbps   | 11 Mbps  | 54 Mbps  | 23.5Mbps  | 6,9,12,18,24,36,54Mbps                  |
| Ρυθμός μετάδοσης στο στρώμα δικτύου | 1.2 Mbps                                 | 32 Mbps   | 6-7 Mbps   | 32 Mbps  |   |   |
| Τρόπος μετάδοσης                    | FHSS/DSSS                                | OFDM  | DSSS   | OFDM   | GMSK  | OFDM                                    |
| Συμβατό με                          | Κανένα                                   | Κανένα  | 802.11   | 802.11/ 802.11b  |   |   |
| Κύριο μειονέκτημα                   | Περιορισμένος ρυθμός μετάδοσης           | Μικρότερη εμβέλεια από όλα τα πρότυπα 802.11                          | Χαμηλός ρυθμός μετάδοσης για πολλές νέες εφαρμογές | Περιορισμένος αριθμός WLAN στο ίδιο μέρος, μεγαλύτερη εμβέλεια από το 802.11a. |   |   |
| Κύριο πλεονέκτημα                   | Μεγαλύτερη εμβέλεια                      | Υψηλότερος ρυθμός μετάδοσης σε περιοχή συχνοτήτων με μικρό συνωστισμό | Ευρέως χρησιμοποιούμενο. Μεγαλύτερη εμβέλεια       | Μεγαλύτερος ρυθμός μετάδοσης στην περιοχή των 2.4 GHz                          |   |   |
| Τυπική εμβέλεια                     |  | 12m στα 54Mbps και 91m στα 6Mbps                                      | 30m στα 11Mbps και 91m στα 1Mbps                   |  |   |   |
| Μέθοδος πρόσβασης                   | Κατανεμημένος έλεγχος, CSMA/CA ή RTS/CTS |   |  |  | Ενεργή επίλυση συγκρούσεων, σηματοδότηση προτεραιότητας | Κεντρικός έλεγχος πρόσβαση με κρατήσεις |

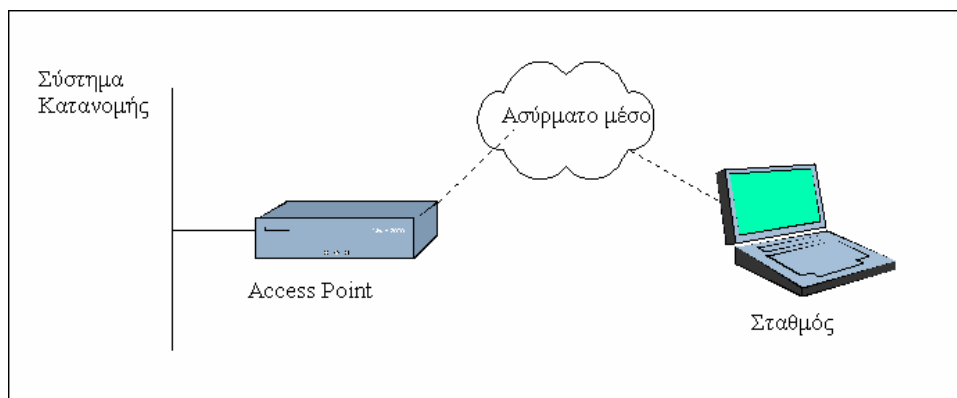
ΣΧΗΜΑ 2.17: ΠΡΟΤΥΠΑ WLAN

### 2.3.3 Αρχιτεκτονική των WLAN

Σ' αυτή την ενότητα περιγράφονται στην αρχή τα δομικά μέρη ενός ασύρματου δικτύου, δηλαδή εκείνες οι μονάδες από τις οποίες αποτελείται ένα WLAN, και στη συνέχεια παρουσιάζονται οι διάφορες τοπολογίες των ασύρματων δικτύων που χρησιμοποιούνται.

#### 2.3.3.1 Δομικά Μέρη των WLANs

Τα δίκτυα 802.11 (και γενικά κάθε ασύρματο δίκτυο WLAN) απαρτίζονται από τέσσερα βασικά μέρη τα οποία φαίνονται στο Σχήμα 2.18:



ΣΧΗΜΑ 2.18: ΤΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ 802.11 ΔΙΚΤΥΟΥ

*Σύστημα διανομής:* Όταν αρκετά Access Points συνδέονται για να σχηματίσουν μια μεγάλη περιοχή κάλυψης, πρέπει να επικοινωνούν μεταξύ τους ώστε να παρακολουθούν την κίνηση των κινητών σταθμών. Το σύστημα διανομής είναι το λογικό μέρος του 802.11 που χρησιμοποιείται για να προωθήσει τα πλαίσια στον προορισμό τους. Το 802.11 δεν καθορίζει κάποια ιδιαίτερη τεχνολογία για το σύστημα διανομής. Στα περισσότερα εμπορικά προϊόντα το σύστημα διανομής υλοποιείται ως συνδυασμός μιας μηχανής γεφύρωσης και ενός μέσου διανομής, που αποτελεί το δίκτυο κορμού που

χρησιμοποιείται για να παραδώσει τα πλαίσια μεταξύ των access points. Συχνά αποκαλείται απλά δίκτυο κορμού. Σε σχεδόν όλα τα εμπορικά προϊόντα, το Ethernet χρησιμοποιείται ως δίκτυο κορμού.

*Σημείο Πρόσβασης (Access Points, AP):* Τα πλαίσια στο 802.11 πρέπει να μετατραπούν σε άλλο είδος για να παραδοθούν στον έξω κόσμο. Συσκευές που ονομάζονται Σημεία Πρόσβασης (Access Points) εκτελούν την γεφύρωση μεταξύ ασύρματου και ενσύρματου πρόσβασης.

*Ασύρματο μέσο:* Για να μεταφέρει τα πλαίσια από σταθμό σε σταθμό, το 802.11 χρησιμοποιεί ένα ασύρματο μέσο. Αρκετά διαφορετικά φυσικά στρώματα καθορίζονται. Η αρχιτεκτονική επιτρέπει πολλαπλά φυσικά επίπεδα να αναπτυχθούν ώστε να υποστηρίζεται το 802.11 MAC. Αρχικά καθορίζονται δύο φυσικά στρώματα ραδιοσυχνοτήτων (RF) και ένα υπέρυθρης τεχνολογίας, με τα RF να αποδεικνύονται πολύ πιο δημοφιλή.

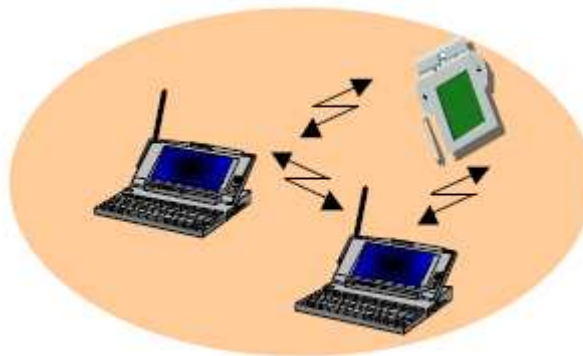
*Σταθμοί:* Τα δίκτυα χτίζονται για να μεταφέρουν πλαίσια μεταξύ σταθμών. Ως σταθμούς εννοούμε υπολογιστικές συσκευές με ασύρματες διεπαφές δικτύου. Δεν υπάρχει βέβαια λόγος οι σταθμοί να είναι φορητοί. Σε αρκετά περιβάλλοντα, το ασύρματο δίκτυο χρησιμοποιείται για να αποφευχθούν οι πολύπλοκες καλωδιώσεις.

### **2.3.3.2 Τοπολογίες WLANs**

Το βασικό δομικό συστατικό ενός δικτύου 802.11 είναι το σετ βασικής υπηρεσίας (Basic Service Set, BSS), το οποίο είναι απλά ένα σύνολο σταθμών που επικοινωνούν μεταξύ τους. Η επικοινωνία λαμβάνει χώρα μέσα σε μια περιοχή που ονομάζεται περιοχή βασικής υπηρεσίας (Basic Service Area, BSA) και καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά διάδοσης του ασύρματου μέσου. Όταν ένας σταθμός βρίσκεται εντός της περιοχής βασικής υπηρεσίας, μπορεί να επικοινωνεί με άλλα μέλη του BSS.

## Ανεξάρτητα δίκτυα (independent networks)

Στα παρακάτω σχήμα βλέπουμε ένα ανεξάρτητο BSS (Independent BSS, IBSS). Οι σταθμοί σε ένα IBSS επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους και συνεπώς πρέπει να βρίσκονται εντός της περιοχής απευθείας επικοινωνίας. Το μικρότερο δυνατό IBSS αποτελείται από δύο σταθμούς. Συνήθως, τα IBSS αποτελούνται από ένα μικρό αριθμό σταθμών που στήνονται για ένα συγκεκριμένο σταθμό και για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα. Ένας συνηθισμένος τρόπος χρήσης είναι η κατασκευή ενός δικτύου για μια σύσκεψη σε μία αίθουσα συνεδριάσεων. Όταν αρχίζει η σύσκεψη, οι συμμετέχοντες σχηματίζουν ένα IBSS για να ανταλλάσσουν δεδομένα.. Όταν η διάσκεψη τελειώνει, το IBSS διαλύεται. Εξαιτίας της μικρής τους διάρκειας, το μικρό τους μέγεθος και του συγκεκριμένου σκοπού τους, τα IBSS αναφέρονται συχνά ως Ad Hoc δίκτυα.



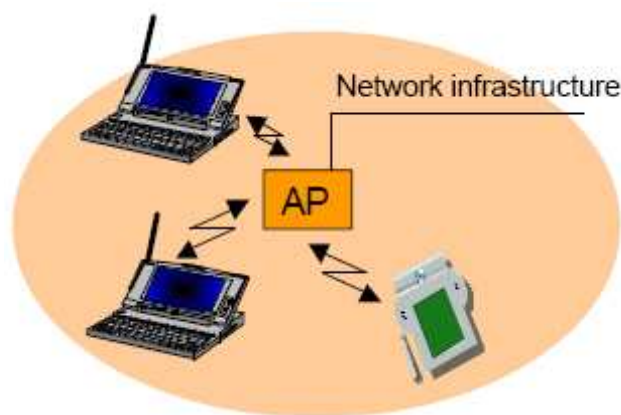
ΣΧΗΜΑ 2.19: ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ IBSS (AD HOC ΔΙΚΤΥΑ)

## Δίκτυα υποδομής (infrastructure networks)

Στα Σχήμα 2.20 βλέπουμε ένα infrastructure BSS. Τα δίκτυα υποδομής διακρίνονται γιατί χρησιμοποιούν Σημεία Πρόσβασης (Access Points). Τα Access Points χρησιμοποιούνται για κάθε επικοινωνία μέσα σε ένα δίκτυο υποδομής, περιλαμβανομένης της επικοινωνίας μεταξύ κινητών σταθμών εντός της περιοχής υπηρεσίας. Αν ένας κινητός σταθμός μέσα σε ένα δίκτυο υποδομής θέλει να επικοινωνήσει με έναν δεύτερο σταθμό, η επικοινωνία απαιτεί δύο βήματα. Πρώτα, ο σταθμός που ξεκινά την επικοινωνία μεταφέρει το πλαίσιο στο Access Point. Κατόπιν, το access point μεταφέρει το πλαίσιο στον σταθμό προορισμού. Καθώς όλες οι επικοινωνίες βασίζονται στο Access

Point, η περιοχή βασικής υπηρεσίας ενός δικτύου υποδομής καθορίζεται από τα σημεία στα οποία η εκπομπή του Access Point μπορεί να ληφθεί. Παρόλο που η εκπομπή πολλών βημάτων απαιτεί περισσότερη χωρητικότητα εκπομπής και είναι πιο πολύπλοκη από την απευθείας εκπομπή από τον πομπό στον δέκτη, έχει δύο βασικά πλεονεκτήματα :

- Ένα δίκτυο υποδομής καθορίζεται από την απόσταση από το Access Point. Όλοι οι κινητοί σταθμοί πρέπει να είναι εντός της περιοχής κάλυψής του, αλλά δεν υπάρχει περιορισμός για την απόσταση μεταξύ των σταθμών.
- Τα Access Points σε ένα δίκτυο υποδομής είναι σε θέση να βοηθούν τους σταθμούς που προσπαθούν να εξοικονομήσουν ενέργεια. Μπορούν να γνωρίζουν πότε ένας σταθμός εισέρχεται σε φάση εξοικονόμησης ενέργειας και γι' αυτό αποθηκεύει τα πλαίσια που προορίζονται για αυτόν. Οι κινητοί σταθμοί μπορούν να κλείνουν τον ασύρματο πομποδέκτη και να το ανοίγουν μόνο για να μεταδώσουν πλαίσια και να λάβουν τα αποθηκευμένα πλαίσια που προορίζονται για αυτούς.

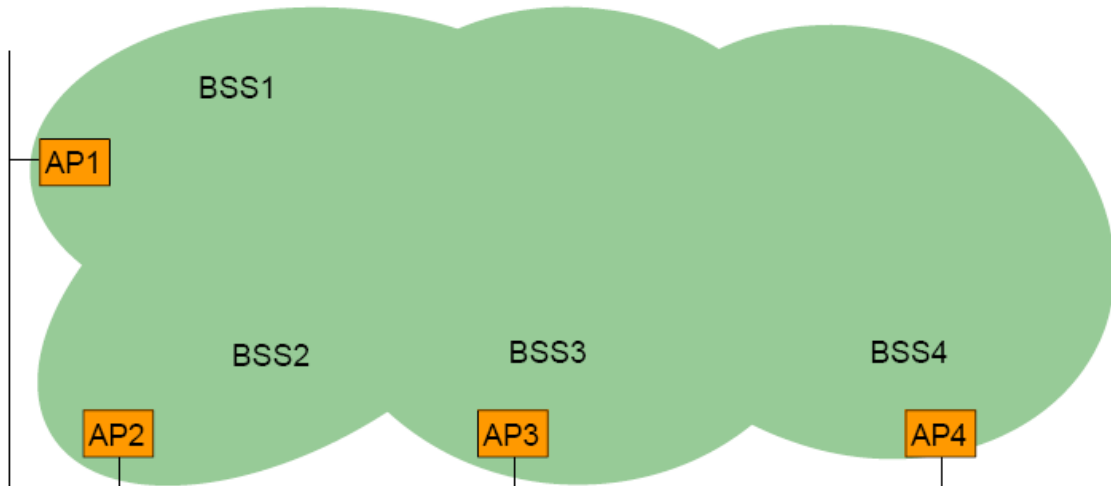


ΣΧΗΜΑ 2.20: ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ INFRASTRUCTURE BSS

### Εκτεταμένες περιοχές υπηρεσίας

Τα BSS μπορούν να καλύπτουν μικρά γραφεία και σπίτια, αλλά όχι μεγαλύτερες περιοχές. Το 802.11 επιτρέπει την δημιουργία ασυρμάτων δικτύων αυθαίρετα μεγάλου μεγέθους. Αυτό γίνεται με την ζεύξη των BSS σε σετ εκτεταμένης υπηρεσίας (Extended Service Set, ESS). Ένα ESS δημιουργείται με την ένωση των BSS με ένα δίκτυο κορμού.

Το 802.11 δεν καθορίζει κάποια συγκεκριμένη τεχνολογία για το δίκτυο κορμού. Απαιτεί απλά το δίκτυο κορμού να παρέχει κάποιες συγκεκριμένες υπηρεσίες. Στο Σχήμα 2.21 το ESS δημιουργείται από την ένωση των τεσσάρων BSS.



ΣΧΗΜΑ 21: ΣΕΤ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ (ESS)

Οι σταθμοί εντός του ίδιου ESS μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, ακόμα και αν βρίσκονται σε διαφορετικές περιοχές βασικής υπηρεσίας ή ακόμα και αν κινούνται από περιοχή σε περιοχή. Για να επικοινωνούν οι σταθμοί μεταξύ τους σε ένα ESS, το ασύρματο μέσο πρέπει να δρα ως μια σύνδεση 2<sup>ου</sup> στρώματος. Τα Access Points ενεργούν ως γέφυρες και έτσι η απευθείας επικοινωνία μεταξύ των σταθμών σε ένα ESS απαιτεί το δίκτυο κορμού να είναι και αυτό μια σύνδεση 2<sup>ου</sup> στρώματος. Οποιαδήποτε σύνδεση επιπέδου ζεύξης αρκεί. Πολλά Access Points μέσα σε μία περιοχή μπορούν να συνδέονται σε ένα hub ή σε ένα switch ή μπορούν να χρησιμοποιούν VLANs αν η σύνδεση επιπέδου ζεύξης πρέπει να διατρέχει μια μεγάλη περιοχή.

Οι περιοχές εκτεταμένης υπηρεσίας αποτελούν την μορφή με τον μεγαλύτερο βαθμό επέκτασης για ένα δίκτυο 802.11. Τα Access Points σε ένα ESS δίνουν τη δυνατότητα στον έξω κόσμο να χρησιμοποιήσει μια διεύθυνση MAC ώστε να επικοινωνήσει με ένα σταθμό εντός του ESS. Ο δρομολογητής του EES χρησιμοποιεί μια μοναδική διεύθυνση MAC για να παραδώσει πλαίσια σε ένα κινητό σταθμό. Το Access point με το οποίο επικοινωνεί ο σταθμός είναι υπεύθυνο για την παράδοση του πλαισίου. Ο δρομολογητής αγνοεί την ακριβή τοποθεσία του σταθμού, και βασίζεται στο access point για την παράδοση του πλαισίου.

### 2.3.4 Υπηρεσίες του ασύρματου δικτύου IEEE 802.11

Τα σύγχρονα WLAN (ανάμεσά τους και το IEEE 802.11) σχεδιάζονται έτσι ώστε να μπορούν να υποστηρίζουν λειτουργίες κινητών υπολογισμών (mobile computing) σε μικρές περιοχές, όπως κτίρια, πάρκα, αεροδρόμια ή συγκροτήματα γραφείων. Μπορούν να επεκτείνουν την πρόσβαση σε τοπικά δίκτυα, όπως δίκτυα εταιρειών, καθώς επίσης και να υποστηρίζουν πρόσβαση στο διαδίκτυο (Internet) με μεγάλες ταχύτητες σε τόπους όπου παρατηρείται υψηλή συγκέντρωση χρηστών (hot spots). Τα WLAN μπορούν να παρέχουν ταχεία και εύκολη ασύρματη σύνδεση σε υπολογιστές και συστήματα σε χώρους, όπου δεν υπάρχει ενσύρματη τηλεπικοινωνιακή υποδομή ή δεν επιτρέπεται εγκατάσταση τέτοιας υποδομής. Πολλές νέες κινητές εφαρμογές, όπως εμπόριο (m-commerce), τηλεεκπαίδευση (distance education) και αλληλοδραστικά παιχνίδια (interactive games) απαιτούν υποστήριξη επικοινωνίας ομάδων από το δίκτυο.

Ειδικότερα το 802.11 προσφέρει εννέα βασικές υπηρεσίες. Από αυτές τρεις σχετίζονται με τη μεταφορά δεδομένων και οι υπόλοιπες έξι σχετίζονται με τη διαχείριση. Οι υπηρεσίες αυτές είναι οι εξής:

- *Distribution*: Η υπηρεσία αυτή είναι απαραίτητη για την παράδοση ενός πλαισίου από το AP στον τελικό προορισμό του. Συνίσταται στον εντοπισμό του παραλήπτη για να είναι δυνατή η τελική παράδοση του πλαισίου.
- *Integration*: Η υπηρεσία αυτή παρέχεται από το σύστημα διανομής. Είναι υπεύθυνη για τη διασύνδεση του συστήματος διανομής σε ένα δίκτυο διαφορετικό του 802.11.
- *MSDU Delivery*: Παράδοση των πλαισίων MAC (MAC Service Data Unit) στον τελικό προορισμό τους.
- *Association*: Απαραίτητη διαδικασία συσχετισμού ενός σταθμού με το AP, προκειμένου να είναι σε θέση να στείλει και να δεχτεί πλαίσια μέσω του ασυρμάτου δικτύου.



- *Reassociation*: Χρησιμοποιείται από τους κινητούς σταθμούς σε περίπτωση μετακίνησης από μία BSS σε μία άλλη. Είναι μέρος του μηχανισμού της διαπομπής.
- *Disassociation*: Η διαδικασία αυτή αφαιρεί έναν σταθμό από το δίκτυο. Το MAC του 802.11 μπορεί να χειριστεί και σταθμούς που εγκαταλείπουν το δίκτυο χωρίς να κάνουν πρώτα disassociation.
- *Authentication*: Αν απαιτείται από το διαχειριστή του δικτύου, πρέπει κάθε χρήστης να πιστοποιεί την ταυτότητά του πριν προχωρήσει στη διαδικασία του association.
- *Deauthentication*: Τερματισμός μιας ισχύουσας κατάστασης authentication. Τερματίζει επίσης και το association, εφόσον το authentication είναι προαπαιτούμενο αυτού.
- *Privacy*: Λόγω του ασύρματου περιβάλλοντος μετάδοσης έχει οριστεί από το 802.11 μία προαιρετική υπηρεσία κρυπτογράφησης των δεδομένων που ονομάζεται WEP (Wired Equivalent Privacy). Το WEP δεν προσφέρει σε καμία περίπτωση ασφαλή μεταφορά δεδομένων και ήδη μελετάται η αντικατάστασή του.

## 2.4 4G NETWORKS (WINNER)

### 2.4.1 Εισαγωγή

Οι πάροχοι κινητών κυψελοειδών επικοινωνιών έως και στις μέρες μας έχουν περιοριστεί στην χρήση μίας κυψελοειδούς τεχνολογίας που σκοπός τις είναι η παροχή μίας συγκεκριμένης υπηρεσίας σε μία ευρεία περιοχή χρηστών. Με την έλευση της τεχνολογίας της τρίτης γενιάς το τοπίο των επικοινωνιών εξελίχθηκε και εξελίσσεται καθημερινά. Στις πυκνοκατοικημένες αστικές και ημιαστικές περιοχές για παράδειγμα, τα συστήματα κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς παρέχουν υψηλότερους ρυθμούς

δεδομένων (data rates) και γενικότερα τα μέσα για ενισχυμένες υπηρεσίες. Ανάλογα στα “hot spots” όπου η χρήση, όταν έχουμε αυξημένη χρήση του δικτύου, τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να συμπληρώσουν τις παρεχόμενες υπηρεσίες των συστημάτων κινητών επικοινωνιών δεύτερης και τρίτης γενιάς, προσφέροντας πρόσβαση στις υπηρεσίες αυτές, από την πλευρά του χρήστη, με ακόμα μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Άλλες τεχνολογίες όπως για παράδειγμα δορυφορικά δίκτυα, σταθερή ασύρματη πρόσβαση (π.χ. IEEE 802.16) και PAN (Bluetooth, 802.15) μπορούν να συμπληρώνουν περαιτέρω τις προαναφερθέντες λειτουργίες.

Οι υπάρχουσες τεχνολογίες για την ασύρματη πρόσβαση στα διάφορα δίκτυα ασύρματων επικοινωνιών διαφέρουν σε πολλούς βαθμούς. Παρόλα αυτά υπάρχει μια βιομηχανική και επιστημονική τάση να οδηγηθούμε σε δίκτυα βασισμένα σε μία δομή IP (Πρωτόκολλο Διαδικτύου). Αυτό επιτρέπει την εύκολη και οικονομικά αποδοτική δημιουργία νέων υπηρεσιών μέσω της επαναχρησιμοποίησης του υπάρχοντος λογισμικού εφαρμογών όπως επίσης και διαλειτουργικότητα με τις υπάρχουσες υπηρεσίες διαδικτύου. Επιπλέον μια IP δομή είναι τεχνολογικά ανεξάρτητη και γι’ αυτό μπορεί να λειτουργήσει με οποιαδήποτε υποκείμενη τεχνολογία πρόσβασης. Η τελευταία επισήμανση υποδεικνύει τον συνδετικό κρίκο μεταξύ των διαφορετικών δικτύων ασύρματης επικοινωνίας. Επομένως το σύστημα επικοινωνιών εκείνο, που χρησιμοποιεί το Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol) για να συνδυάσει διαφορετικά συστήματα ασύρματης επικοινωνίας αναφέρεται ως σύστημα επικοινωνιών τέταρτης γενιάς (4G).

## **2.4.2 WINNER**

### **2.4.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά**

Η έννοια του συστήματος WINNER στοχεύει σε ένα ραδιοδίκτυο πρόσβασης (RAN), το οποίο θα έχει ως κέντρο του τον χρήστη και θα είναι ευέλικτο και οικονομικά εφικτό. Για να καταφέρει να επιτύχει αυτούς τους στόχους το σύστημα κινητών επικοινωνιών WINNER θα πρέπει να το δούμε ως μία δομή από τρία μέρη: την έννοια των ασύρματων διεπαφών, το σχέδιο ανάπτυξης και τη λειτουργική περιγραφή.

Η λειτουργική περιγραφή παρέχει μία εικόνα των πρωτοκόλλων χρήστη και ελέγχου της ασύρματης διεπαφής του WINNER. Επίσης καθορίζει ποιες υπηρεσίες προσφέρονται από το σύστημα κινητών επικοινωνιών WINNER προς τα υπερκείμενα στρώματα πρωτοκόλλων καθώς επίσης και σε κάθε επίπεδο πρωτοκόλλων της εσωτερικής διαστρωμάτωσης πρωτοκόλλων του WINNER.

Το σχέδιο ανάπτυξης παρέχει τις λύσεις για να εκπληρωθούν πρωτίστως οι στόχοι της ευελιξίας και τις οικονομικής επιτυχίας του νέου συστήματος. Περιγράφει τις διάφορες λύσεις και στρατηγικές δικτύων, οι οποίες διευκολύνουν το σχεδιασμό του συστήματος έτσι ώστε να είναι υλοποιήσιμος ακόμα και σε υψηλές συχνότητες φέροντος, όπου η διάδοση και άλλα φαινόμενα που σχετίζονται με τη μετάδοση στο ραδιοδιάυλο μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα κάλυψης. Παρέχει ακόμη υλοποιήσιμες λύσεις που επιτρέπουν την επέκταση της κάλυψης και της χωρητικότητας όπως για παράδειγμα μητροπολιτικά ή τοπικά hot spots.

Το κομμάτι των ασύρματων διεπαφών είναι το τρίτο κύριο μέρος του συστήματος WINNER. Αυτό παρέχει τις μεθόδους, τις λειτουργίες και τις διαδικασίες που είναι απαραίτητες έτσι ώστε να μεταβιβαστούν τα δεδομένα χρήστη και ελέγχου, αποτελεσματικά μεταξύ των φυσικών κόμβων εντός ενός συστήματος κινητών επικοινωνιών WINNER. Το κομμάτι των ασύρματων διεπαφών πρέπει να τονίσουμε ότι εφαρμόζει την απαίτηση ενός συστήματος που θα έχει στο κέντρο του τον χρήστη, παρέχοντας σε αυτόν την δυνατότητα να προσαρμόζεται ανεξάρτητα στις ραδιοζεύξεις του συστήματος ασύρματων επικοινωνιών σύμφωνα με τις διαφορετικές ανάγκες και δυνατότητες του χρήστη.

#### **2.4.2.2 Οι Ασύρματες Διεπαφές στο WINNER**

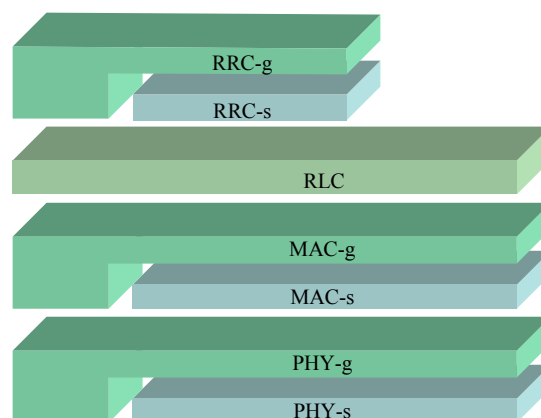
Οι ασύρματες διεπαφές του WINNER είναι προσανατολισμένες σε μία δομή που θα χρησιμοποιεί πακέτα για την μετάδοση της πληροφορίας εφαρμόζοντας μία πολιτική εξυπηρέτησης προσανατολισμένη στο χρήστη. Ορίζει επίσης μία βαθμιαία και ευέλικτη δομή προσαρμοσμένη και συμβατή στα χαρακτηριστικά των υπάρχοντων δικτύων λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως το περιβάλλον ασύρματων επικοινωνιών, του βαθμού χρησιμοποίησης, τα οικονομικά μοντέλα κ.α. Επίσης υιοθετείται η λύση της καλύτερης, κάθε φορά, επιλογής, η οποία υποστηρίζεται από την ευέλικτη αρχιτεκτονική

πρωτοκόλλων της ασύρματης διεπαφής του WINNER ενσωματώνοντας όχι μόνο μία μακροπρόθεσμη προοπτική προσαρμογής, αλλά επίσης και μία βραχυπρόθεσμη μέσω της προσαρμογής των συνδέσεων και του προγραμματισμού της κίνησης.

Όπως συμβαίνει και με τις περισσότερες υπάρχουσες ασύρματες διεπαφές, έτσι και η διεπαφή του WINNER μπορεί να μοντελοποιηθεί ως μια στοίβα πρωτοκόλλων η οποία αποτελείται από τέσσερα βασικά επίπεδα πρωτοκόλλων. Αυτά είναι:

- i. Το επίπεδο ελέγχου των ραδιοπόρων (radio resource control layer, RRC)
- ii. Το επίπεδο ελέγχου των ασύρματων συνδέσεων (the radio link control layer, RLC)
- iii. Το επίπεδο πρόσβασης στο μέσο (medium access control layer, MAC)
- iv. Το φυσικό επίπεδο (the physical layer, PHY)

Επιπροσθέτως σε όλα τα προηγούμενα για να μπορέσει να παρέχει ένα ενοποιημένο εύκαμπτο πλαίσιο, όλα τα επίπεδα εκτός του RLC είναι περαιτέρω χωρισμένα σε δύο μέρη, το γενικό (generic, -g) και το συγκεκριμένο (specific, -s) όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.22. Με την προσέγγιση αυτή κάθε επίπεδο πρωτοκόλλων μπορεί να βελτιστοποιηθεί στις ανάγκες του κάθε χρήστη, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα υποεπίπεδα πρωτοκόλλων και ταυτόχρονα να αποκρύπτει από τα υψηλότερα από αυτό επίπεδα τις λεπτομερείς πληροφορίες και ιδιαιτερότητες του χρήστη προσφέροντας σε αυτά πρόσβαση στις υπηρεσίες του γενικού υποεπιπέδου.



ΣΧΗΜΑ 2.22 : Η ΣΤΟΙΒΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΤΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ ΤΟΥ WINNER

Εκτός από το εμφανές χαρακτηριστικό που μόλις περιγράφηκε της υποστήριξης ειδικών συνόλων πρωτοκόλλων για το RRC, MAC και PHY επίπεδο, ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό του WINNER, είναι υποστήριξη της ανεξάρτητης διαπομπής από την πλευρά του χρήστη μεταξύ διαφορετικών κόμβων του συστήματος επικοινωνιών.

Αυτή η δυνατότητα είναι ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό γνώρισμα των ασύρματων διεπαφών του WINNER. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα στην ασύρματη διεπαφή του WINNER να προσαρμόζεται εύκολα στις διαφορετικές ανάγκες και καταστάσεις των χρηστών, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη για αλλαγή ολόκληρης της στοίβας πρωτοκόλλων.

Η προσαρμογή του διαύλου λειτουργεί επίσης προς την επίτευξη του ίδιου στόχου βοηθώντας να προσαρμοστεί η επεξεργασία των στρωμάτων MAC-s και PHY-s στην βελτιστοποίηση της χρήσης των ασύρματων πόρων. Η προσαρμογή του MAC-s επιπέδου χρησιμοποιείται πρωτίστως για τον έλεγχο του FEC, ενώ η προσαρμογή στο PHY-s επίπεδο χρησιμοποιείται για το έλεγχο της επιλογής του αλγορίθμου και θεμελιωδών παραμέτρων της βασικής μετάδοσης και των εννοιών χωρικής επεξεργασίας. Στην τελευταία περίπτωση οι επιλογές της χρονικής και χωρικής κωδικοποίησης καθώς και η επιλογή ανάμεσα λύσεις διαμόρφωσης του σήματος και χωρικής εξάπλωσης ελέγχονται από την ανανέωση του διαύλου. Με αναφορά το βασικό σχέδιο μετάδοσης, η προσαρμογή του διαύλου ελέγχει παραμέτρους όπως είναι ο ρυθμός κωδικοποίησης, η σειρά διαμόρφωσης κ.α.

Η δρομολόγηση που επιτελείται στο επίπεδο MAC-s είναι το τέταρτο κεντρικό συστατικό της «πάντα-καλύτερης» (always-best) λύσης. Γνωρίζοντας τους διαθέσιμους πόρους του ασύρματου συστήματος, τους πιθανούς περιορισμούς στη χρήση και άλλες προκαθορισμένες πληροφορίες, χρησιμοποιούνται προσαρμοστικοί και μη-προσαρμοστικοί χρονοπρογραμματιστές για την εκμετάλλευση του διαθέσιμου φάσματος, χρόνου και των χωρικών διαστάσεων. Μέσω του χρονοπρογραμματισμού του επιπέδου MAC-s ελέγχεται η ροή πακέτων σε διαφορετικούς χρήστες, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί το κέρδος επαναχρησιμοποίησης των πόρων της ασύρματης διεπαφής του WINNER.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

## ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΡΑΔΙΟΠΟΡΩΝ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (RRM-RADIO RESOURCE MANAGEMENT)

---

### 3.1 Συναρτήσεις Διαχείρισης Ραδιοπόρων (RRM functions)

### 3.2 Αρχιτεκτονική της Διαχείρισης Ραδιοπόρων (RRM Architecture)

---

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η διαχείριση ραδιοπόρων για συστήματα κινητών επικοινωνιών τέταρτης γενιάς. Η περιγραφή εξειδικεύεται κυρίως για το σύστημα κινητών επικοινωνιών τέταρτης γενιάς αλλά και στο τμήμα της διαχείρισης ραδιοπόρων που έχει σχέση με τη συνεργασία των υποκείμενων δικτύων σε ένα ετερογενές σύστημα κινητών επικοινωνιών τέταρτης γενιάς.

Στην πρώτη ενότητα γίνεται αναφορά στις συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται από την διαχείριση ραδιοπόρων, όπως είναι για παράδειγμα ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων και οι συναρτήσεις που αφορούν τις διαπομπές. Στη δεύτερη ενότητα γίνεται αναφορά στην αρχιτεκτονική της διαχείρισης ραδιοπόρων και συγκεκριμένα στις οντότητες που

χρησιμοποιούνται και την όλη δομή που υποστηρίζει τις λειτουργίες της διαχείρισης ραδιοπύρων.

### 3.1 Μηχανισμοί Διαχείρισης Ραδιοπύρων (RRM functions)

Η διαχείριση ραδιοπύρων είναι ένας γενικός όρος για διάφορους αλγόριθμους και πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί η εκμετάλλευση των ασύρματων πύρων σε διαφορετικά επίπεδα και αρχιτεκτονικές. Ο γενικός στόχος είναι να χρησιμοποιηθούν οι δεδομένοι ραδιοπύροι με αποδοτικό τρόπο. Οι λειτουργίες διαχείρισης ραδιοπύρων που μελετώνται στο WINNER είναι οι ακόλουθες:

- **Ο Σχεδιασμός του Φάσματος:** Μέθοδοι για την αποδοτική και ευέλικτη χρήση του φάσματος μεταξύ των διαφόρων τρόπων μετάδοσης και των κυψελών, τις οποίες διατάσσουμε σε μία ιεραρχική δομή.
- **Κατανομή Φάσματος:** Μέθοδοι για την κατανομή του φάσματος μεταξύ των χειριστών του WINNER.
- **Επίπεδο Ελέγχου Υπηρεσιών:** Η διαχείριση των ροών του ίδιου χρήστη ή/και μεταξύ διαφορετικών χρηστών.
- **Σχεδιασμός:** Κατανομή των φυσικών πύρων των καναλιών υπό την καθοδήγηση της λειτουργίας ελέγχου του επιπέδου υπηρεσιών.
- **Έλεγχος Ισχύος:** Μέθοδοι για την ελαχιστοποίηση του κοντινού-μακρινού φαινομένου (near-far effect) στην άνω-ζεύξη και έλεγχος της ενδοκυψελικής παρεμβολής στην κάτω-ζεύξη κρατώντας το λόγο του σήματος προς παρεμβολή και το σηματοθορυβικό λόγο (SINR) εντός ενός αντικειμενικού στόχου.
- **Προσαρμογή Συνδέσεων:** Μέθοδοι για την προσαρμογή της διαμόρφωσης και του ρυθμού κωδικοποίησης.
- **Διαχείριση Απομονωτών:** Αλγόριθμοι για την διαχείριση των ουρών αναμονής λαμβάνοντας υπόψη της απαιτήσεις της ποιότητας υπηρεσιών, οι οποίες προέρχονται από τις εφαρμογές και τις απαιτήσεις του χρήστη όπως είναι για παράδειγμα τα όρια καθυστέρησης ή η προτεραιότητα του χρήστη κ.α.
- **Αστυνόμευση της Κυκλοφορίας:** Παροχή διαφορετικών επιπέδων υπηρεσιών στις ροές δεδομένων.

- **Επιλογή του Τρόπου Μετάδοσης και του Δικτύου:** Αλγόριθμοι για την επιλογή ενός ή περισσότερων τρόπων μετάδοσης ή δικτύου για την εξυπηρέτηση συγκεκριμένων ροών δεδομένων ή χρηστών.
- **Διαπομπή:** Η διαδικασία μεταγωγής μεταξύ δύο κυψελών ενός ίδιου ή διαφορετικού δικτύου ή τρόπου μετάδοσης.
- **Έλεγχος Αποδοχής:** Αλγόριθμος που επιβεβαιώνει ότι η αποδοχή μίας νέας ροής εντός ενός δικτύου με περιορισμένους πόρους δεν παραβιάζει τις δεσμεύσεις που έχουν γίνει με τους ήδη υπάρχοντες χρήστες που μεταδίδουν για την ποιότητα υπηρεσίας αυτών.
- **Έλεγχος Συμφόρησης Φορτίου:** Αλγόριθμος υπεύθυνος για την γρήγορη επιστροφή του δικτύου από μία υπερφορτωμένη κατάσταση σε μία άλλη που είναι η επιθυμητή από την άποψη του ύψους φορτίου που πρέπει να υπάρχει στο δίκτυο την κάθε χρονική στιγμή.
- **Δρομολόγηση:** Αλγόριθμοι υπεύθυνοι για την επιλογή της κατάλληλης διαδρομής εντός δικτύου για κάθε ροή φορτίου. Μπορεί γενικά να υπάρχουν περισσότερες της μίας πιθανής διαδρομής.

Όπως περιγράφηκε και προηγουμένως είναι αποδεκτό ότι η ασύρματη διεπαφή του WINNER θα περιλαμβάνει ένα αριθμό από διαφορετικούς τρόπους μετάδοσης, καθένας από τους οποίους θα έχει ως στόχο και θα είναι βελτιστοποιημένος προς ένα συγκεκριμένο σενάριο διάδοσης ή ακόμα και χρηστών. Εντούτοις, πολλοί από τους μηχανισμούς διαχείρισης ραδιοπόρων μπορούν να είναι κοινοί για τους διαφορετικούς τρόπους μετάδοσης του WINNER (π.χ. ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων). Ως εκ τούτου οι λειτουργίες διαχείρισης ραδιοπόρων μπορούν να διαιρεθούν σε γενικές και ειδικές RRM λειτουργίες. Παρόλα αυτά είναι πολύ πιθανό ότι τελικώς θα υπάρξει μία επικάλυψη μεταξύ των ειδικών και γενικών, όπου το γενικό μέρος θα διαχειρίζεται το ειδικό. Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί ο έλεγχος ισχύος όπου το γενικό μέρος θα μπορεί να καθορίζει ένα διάστημα αποδεκτών τιμών ισχύος για τις οποίες το ειδικό μέρος της συνάρτησης θα εκτελεί τον πραγματικό έλεγχο ισχύος και τον έλεγχο για τον αν η προκύπτουσα τιμή ανήκει εντός των ορίων. Ακόμα και αν μερικοί μηχανισμοί θεωρηθούν ως γενικοί, αυτοί οι μηχανισμοί θα βασίζονται στις μετρήσεις που γίνονται στα διαφορετικά συστήματα μετάδοσης από ειδικές συναρτήσεις. Επιπλέον διαχωρισμός



μπορεί να γίνει στους μηχανισμούς διαχείρισης ραδιοπόρων, οι οποίοι μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες ως εξής:

- 1) Μηχανισμοί RRM συγκεκριμένοι ως προς τον τρόπο μετάδοσης (Mode-specific RRM functions): Αυτοί στοχεύουν και είναι βελτιστοποιημένοι για ένα συγκεκριμένο τρόπο μετάδοσης και σενάριο ανάπτυξης και περιλαμβάνουν χρονοδρομολόγηση, έλεγχο ισχύος, προσαρμογή της ζεύξης του ασύρματου διαύλου, διαπομπές μεταξύ διαφορετικών τρόπων μετάδοσης και δρομολόγηση.
- 2) Γενικοί RRM μηχανισμοί (Generic RRM functions): Αυτοί μοιράζονται μεταξύ διαφορετικών τρόπων μετάδοσης του WINNER ή χρησιμοποιούνται για τον συντονισμό τους και περιλαμβάνουν την κατανομή του φάσματος, το επίπεδο ελέγχου υπηρεσιών, την επιλογή του τρόπου μετάδοσης, την διαχείριση των απομονωτών, την αστυνόμευση της κίνησης, τον έλεγχο αποδοχής κλήσεων, τον έλεγχο συμφόρησης και τις διαπομπές μεταξύ εντός του ίδιου τρόπου μετάδοσης (Intermode).
- 3) Συνεργατικοί RRM μηχανισμοί (Cooperative RRM functions, CoopRRM): Αυτοί χρησιμοποιούνται για τη συνεργασία μεταξύ του WINNER και των παλαιότερων ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών όπως είναι το UMTS και το WLAN. Οι μηχανισμοί αυτοί εδρεύουν στις συνεργατικές RRM οντότητες του δικτύου. Αυτές περιλαμβάνουν διαπομπές μεταξύ διαφορετικών συστημάτων, έλεγχο αποδοχής κλήσεων, έλεγχο συμφόρησης και επιλογή ασύρματου δικτύου.

### 3.1.1 Σχεδιασμός του Φάσματος

Ο σχεδιασμός του φάσματος διαχωρίζει το διαθέσιμο φάσμα μεταξύ των διαφορετικών τρόπων μετάδοσης και των κυψελών που υπάρχουν (ιεραρχικά ταξινομημένες) σε μία γεωγραφική περιοχή. Εφαρμόζεται είτε στους διαθέσιμους πόρους που ανήκουν στον διαχειριστή ή ακόμα και σε πόρους που γίνονται προσωρινά διαθέσιμοι από άλλους διαχειριστές ή ασύρματα συστήματα πρόσβασης μέσω της διανομής του

φάσματος. Στην ουσία ο σχεδιασμός του φάσματος είναι υπεύθυνος για την συνεργασία και την βελτιστοποίηση της χρήσης του φάσματος εντός του WINNER.

Πολλές δυνατότητες για μια βελτιωμένη χρήση του συστήματος μπορεί να προκύψουν αν αναλογιστούμε την βελτιστοποίηση του φάσματος ως μία λειτουργία που διενεργείται σε όλους τους τύπους διάδοσης που περιλαμβάνει το WINNER. Αυτές οι δυνατότητες περιλαμβάνουν για παράδειγμα την δυναμική κατανομή των πόρων ανάμεσα στους διαφορετικούς τρόπου μετάδοσης έτσι ώστε να αυξηθεί η ευελιξία του δικτύου. Μία ακόμα δυνατότητα είναι να αυξηθεί η επαναχρησιμοποίηση φάσματος, π.χ. με την συνύπαρξη P2P τρόπων μετάδοσης στην ίδια περιοχή φάσματος και στην ίδια κυψέλη με άλλους τρόπους μετάδοσης μέσω της χρήσης της πληροφορίας για την θέση του τερματικού και κατάλληλων μεταβλητών όπως της ισχύος μετάδοσης.

### **3.1.2 Κατανομή Φάσματος**

Η κατανομή φάσματος επανεκχωρεί περιοδικά μία μερίδα των φασματικών πόρων μεταξύ των διαφόρων δικτύων που συνυπάρχουν στο WINNER. Σε αντίθεση με τη συμβατική σταθερή ανάθεση φάσματος, η κατανομή φάσματος επιτρέπει τη δυναμική ισορροπία των φασματικών πόρων μεταξύ των δικτύων. Αυτός ο τρόπος κατανομής φάσματος λύνει το ίδιο πρόβλημα με αυτό της ισορροπίας της κίνησης μεταξύ των δικτύων, ισορροπώντας τους φασματικούς πόρους σύμφωνα με την κίνηση. Παρόλα αυτά η ισορροπία της κίνησης και ο καταμερισμός του φάσματος πρέπει να εξετάζονται ως συμπληρωματικές και όχι ως εναλλακτικές τεχνικές λόγω του διαφορετικού χρονικού πλαισίου λειτουργίας τους.

Οι φασματικοί πόροι που αποδίδονται στα δίκτυα μπορεί να είναι μέρη του φάσματος ή και μέρη του χρόνου, δηλαδή χρονοθυρίδες. Μία βασική αρχή της κατανομής φάσματος μεταξύ των δικτύων είναι να κατανέμεται το φάσμα με όσο το δυνατόν πιο ορθογώνιο τρόπο, δηλαδή οι φασματικές πηγές να διαχωρίζονται στο χρόνο, στη συχνότητα και στο χώρο έτσι ώστε να επιτυγχάνεται όσο το δυνατόν μικρότερη παρεμβολή μεταξύ αυτών. Αυτό όμως απαιτεί πολύ στενή συνεργασία μεταξύ των δικτύων και έναν πολύπλοκο τρόπο διαχείρισης της παρεμβολής μεταξύ διάφορων δικτύων όπως και πολύ αυστηρού περιορισμούς στη λειτουργία του ελέγχου ραδιοπόρων στο εσωτερικό των δικτύων. Αυτή η μέθοδος ευνοεί τα συστήματα με διαίρεση στο χρόνο

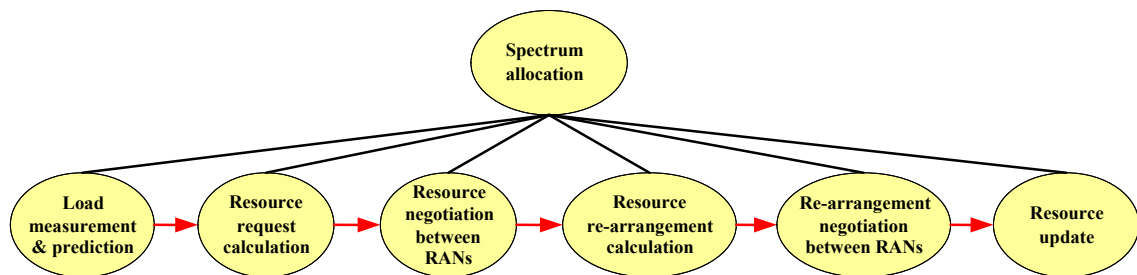
(Time Division Duplex, TDD) όπου είναι εύκολο να κατανεμηθούν οι πηγές ορθογώνια στο χρόνο. Άλλες αρχές της κατανομής φάσματος είναι οι ακόλουθες:

- Η λειτουργία της κατανομή φάσματος κατανέμεται σε όλα τα δίκτυα και για την κατανομή υπάρχει μία διαπραγμάτευση μεταξύ αυτών χωρίς να υπάρχει μία κεντρική μονάδα.
- Οι φασματικοί πόροι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: οι πόροι που αποδίδονται σε δίκτυα με μία συγκεκριμένη προτεραιότητα και σε κοινές «δεξαμενές» πόρων.
  - Ο διάθεση των πόρων που αποδίδονται με συγκεκριμένη προτεραιότητα στα δίκτυα είναι μία εγγυημένη βασική λειτουργία του δικτύου για κάθε περίπτωση. Ένα δίκτυο μπορεί να αποδεσμεύσει μέρος της προτεραιότητας που έχει ανατεθεί στους πόρους για άλλα δίκτυα, αλλά μπορεί να ανακαλέσει τους πόρους αυτούς στην επόμενη φάση διαπραγμάτευσης. Με άλλα λόγια έχει μία συνεχόμενη προτεραιότητα για τους πόρους αυτούς.
  - Οι κοινές «δεξαμενές» πόρων μπορούν να δεσμευτούν από κάθε δίκτυο.
- Η έννοια τις «δίκαιης» κατανομής των πόρων και οι μετρήσεις κόστους χρησιμοποιούνται στη φάση της διαπραγμάτευσης για την κατανομή των πόρων έτσι ώστε να επιτευχθεί «δικαιοσύνη» και αποτελεσματικότητα στις αποφάσεις κατανομής των πόρων που λαμβάνονται.
- Η κατανομή των φασματικών πόρων κυμαίνεται γεωγραφικά, αν και προτιμώνται οι συνεχόμενες ως προς το χώρο κατανομές φάσματος, έτσι ώστε να αποφεύγονται ανεπιθύμητες παρεμβολές μεταξύ των δικτύων. Για να διευκολυνθεί η ομαλή χωρική μετάβαση στις κατανομές, προβλέπεται ότι οι κατανομές θα πρέπει να διευκρινίζονται για κάθε σταθμό βάσης (ή σύνολο σταθμών βάσης).
- Η κατανομή φάσματος γίνεται περιοδικά και με ένα χαμηλό ρυθμό της τάξης των αρκετών λεπτών.

Μπορεί να είναι επιθυμητό οι κοινές «δεξαμενές» πόρων να ανατίθενται σε ένα δίκτυο για περιόδους πολλαπλών φασματικών κατανομών στο χρόνο, δηλαδή δεν

ανακατανέμονται όλες οι κοινές «δεξαμενές» πόρων σε κάθε περίοδο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μία ομαλότερη προσαρμογή κατανομής φάσματος και πιθανώς μία μειωμένη ανάγκη για προτεραιότητες που ανατίθενται στους φασματικούς πόρους. Μία απλή λύση είναι οι αναθέσεις να έχουν μία κοινή διάρκεια περιόδων πολλαπλής κατανομής και οι φασματικοί πόροι μπορούν να αποδεσμεύονται κατά τη διάρκεια της ανάθεσης.

Το λογικό διάγραμμα για τα σχήματα κατανομής φάσματος που υπάρχουν σε κάθε δίκτυο παρουσιάζονται στο επόμενο σχήμα. Οι λειτουργίες που παρουσιάζονται στο επόμενο σχήμα αναφέρονται λεπτομερώς στις επόμενες παραγράφους.



ΣΧΗΜΑ 3.1: ΤΟ ΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

### 3.1.2.1 Μέτρηση του φορτίου και πρόβλεψη (Load measurement and prediction)

Μία από τις σημαντικότερες λειτουργίες της κατανομής φάσματος είναι ο προσδιορισμός του φορτίου. Η ανάγκη για πρόβλεψη του φορτίου προκαλείται από τον χαμηλό ρυθμό προσαρμογής στην κατανομή του φορτίου και η ακρίβεια της πρόβλεψης καθορίζει την αποτελεσματικότητα της κατανομής.

Υπάρχουν τρία σημαντικά μέρη στη διαδικασία της πρόβλεψης του φορτίου. Αυτά είναι η μέτρηση του φορτίου, το ιστορικό του φορτίου και ο αλγόριθμος πρόβλεψης. Η μέτρηση του φορτίου γίνεται απλά καταγράφοντας το φορτίο των δικτύων κατά τη διάρκεια της κατανομής φάσματος. Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να αποθηκευτούν με διάφορους τρόπους έτσι ώστε να είναι χρήσιμες και για άλλες λειτουργίες διαχείρισης ραδιοπόρων που μπορεί να τις χρειάζονται. Τα στατιστικά του φορτίου καταγράφονται έτσι ώστε να προκύπτει ένα ιστορικό του φορτίου, δηλαδή μια βάση δεδομένων του παρελθόντος για το φορτίο στο δίκτυο. Το ιστορικό του φορτίου αποτελεί τον κύριο

παράγοντα της διαδικασίας του αλγορίθμου και βασίζεται στην υπόθεση ότι η μορφή της κίνησης σε ένα δίκτυο θα είναι επαναλαμβανόμενη και προβλέψιμη από μέρα σε μέρα και από τη μία εβδομάδα στην επόμενη. Επομένως διατηρώντας ένα ιστορικό του φορτίου για κάθε μέρα της εβδομάδας και για κάθε περιοχή θα είναι εύκολο να προβλέψουμε, μέχρι ενός βαθμού ακρίβειας, ο φορτίο στο δίκτυο. Για να είμαστε όσο το δυνατόν πιο ακριβείς στις προβλέψεις μας θα πρέπει να διατηρούμε το ιστορικό του φορτίου για κάθε μέρα της εβδομάδας (με προσοχή στη διαφορά που υπάρχει μεταξύ εργάσιμων ημερών και του σαββατοκύριακου) και για διαφορετικές εβδομάδες. Επιπλέον υπάρχει ανάγκη για προσαρμογή σε εποχιακές διακυμάνσεις ή μικρές βραχυπρόθεσμες αλλαγές στο φορτίο όπως για παράδειγμα στον αριθμό των εγγεγραμμένων χρηστών. Είναι σαφές ότι υπάρχουν πολλές δυνατότητες στην διατήρηση του ιστορικού του φορτίου.

Το τρίτο και τελευταίο μέρος της πρόβλεψης του φορτίου χρειάζεται να εξετάσει και το φορτίο κατά την τελευταία περίοδο κατανομής αλλά και το ιστορικό του φορτίου και να καταλήξει σε μία εκτίμηση για το φορτίο στο δίκτυο κατά την επόμενη περίοδο. Η βάση για την πρόβλεψη μπορεί να είναι είτε το ιστορικό του φορτίου ή μια χρονική ακολουθία προβλέψεων του αλγορίθμου. Ένα πρόβλημα της χρησιμοποίησης του ιστορικού του φορτίου για την πρόβλεψη του μελλοντικού είναι η έλλειψη προσαρμογής στις τυχαίες αλλαγές των απαιτήσεων της κίνησης. Επομένως εάν το φορτίο που έχει παρατηρηθεί αποκλίνει από το ιστορικό του φορτίου παραπάνω από ένα προκαθορισμένο κατώφλι τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας αλγόριθμος που βασίζεται σε μία χρονική ακολουθία προβλέψεων. Γενικά υπάρχουν διάφορες εναλλακτικές για τέτοιους αλγορίθμους όπως για παράδειγμα αυτός του μεταβλητού μέσου όρου, της γραμμικής και της εκθετικής συμμεταβολής.

### **3.1.2.2 Υπολογισμός των αιτήσεων για φασματικούς πόρους (Resource request calculation)**

Με βάση τα φορτία που έχουν προβλεφθεί μπορούν να καθοριστούν οι αιτήσεις για φασματικούς πόρους κάθε σταθμού βάσης (ή συνόλου σταθμών βάσης). Ο υπολογισμός των αιτήσεων περιλαμβάνει τις εξής φάσεις:

- Καταρχήν πρέπει να γίνει μία εκτίμηση των πόρων του φάσματος που θα απαιτηθούν για να εξυπηρετήσουν το φορτίο που προβλέφθηκε από τον αλγόριθμο πρόβλεψης φορτίου για την επόμενη χρονική περίοδο.
- Δεύτερον η εκτίμηση αυτή συγκρίνεται με το πλήθος των πόρων που έχουν ανατεθεί με υψηλή προτεραιότητα στο δίκτυο αυτό, καθώς επίσης και αυτών που του έχουν ανατεθεί από την κοινή «δεξαμενή» πόρων για την επόμενη περίοδο κατανομής. Θυμίζουμε ότι μία ανάθεση πόρων έχει διάρκεια μερικών περιόδων κατανομής. Βάση της σύγκρισης αυτής μπορεί να υπολογιστεί πόσους επιπλέον φασματικούς πόρους πρέπει να αποδεσμεύσουμε από τα άλλα δίκτυα, ή αντιστρόφως πόσους φασματικούς πόρους έχει ανάγκη το εξεταζόμενο δίκτυο. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι πόροι από την κοινή «δεξαμενή» πόρων είναι οι πρώτοι που αποδεσμεύονται και εν συνεχεία αν χρειαστεί αποδεσμεύονται πόροι ενός δικτύου τους οποίους κατέχει με υψηλή προτεραιότητα. Επίσης οι πόροι ενός δικτύου τους οποίους κατέχει με υψηλή προτεραιότητα είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται πρώτοι από το δίκτυο αυτό και εν συνεχεία εάν έχει επιπλέον ανάγκες στρέφεται στην αναζήτηση πόρων από την κοινή «δεξαμενή» πόρων.
- Τρίτον οι ακριβείς «μονάδες των πόρων» που πρέπει να δεσμευτούν/απελευθερωθούν καθορίζονται έτσι ώστε να είναι οι περισσότερο επιθυμητές για το δίκτυο. Ο καθορισμός των μονάδων των πόρων επηρεάζεται από τις γεωγραφικές μεταβολές στην κατανομή των πόρων και τις μεταβολές των φορτίων εντός αυτών καθώς επίσης και από το φάσμα που απαιτείται για επιφυλακή (guard resources), το οποίο είναι στην πραγματικότητα ανενεργό ή υποχρησιμοποιούμενο. Στην επιλογή των πόρων υπάρχει η ανάγκη για συνεχή κατανομή πόρων αλλά από την άλλη αποφεύγεται ο έντονος τεμαχισμός του φάσματος, επειδή στην περίπτωση αυτή απαιτούνται εκτεταμένες φασματικές περιοχές επιφυλακής. Η τρίτη φάση που συζητείται στην παράγραφο αυτή μπορεί να εκτελεστεί με την εξής σειρά:
  - Τα δίκτυα γνωστοποιούν στα υπόλοιπα ότι χρειάζονται τους πόρους που κατέχουν με υψηλή προτεραιότητα για την επόμενη περίοδο και τους οποίους είχαν έως τώρα παραχωρήσει στα άλλα δίκτυα.
  - Τα δίκτυα καθορίζουν τους φασματικούς πόρους που θα απελευθερώσουν στην επόμενη περίοδο ενημερώνοντας τα άλλα

δίκτυα. Κάθε δίκτυο λοιπόν ενημερώνει το πίνακα διαθέσιμων φασματικών πόρων της επόμενης περιόδου περιλαμβάνοντας αφενός τις αναθέσεις πόρων για τις οποίες λήγει το χρονικό περιθώριο, αφετέρου τις αναθέσεις πόρων για τις οποίες το δίκτυο εθελοντικά παραχωρεί.

- Τα δίκτυα καθορίζουν τους φασματικούς πόρους που θα ζητήσουν για την επόμενη χρονική περίοδο.
- Τέταρτον ανατίθενται προτεραιότητες στις απαιτήσεις φασματικών πόρων που ζητούνται για την επόμενη χρονική περίοδο.

Ο υπολογισμός των αιτήσεων για φασματικούς πόρους και κυρίως η τρίτη φάση είναι μία υπολογιστικά σύνθετη διαδικασία. Επίσης κατά τη λειτουργία αυτή καθορίζεται η χωρική ευελιξία και επίσης η αποτελεσματικότητα της φασματικής κατανομής.

### **3.1.2.3 Διαπραγμάτευση πόρων μεταξύ δικτύων (Resource negotiation between RANs)**

Οι διαπραγματεύσεις των δικτύων για την κατανομή των πόρων βασίζονται στους μετρητές κόστους, τους μετρητές δικαιοσύνης ή σε ένα συνδυασμό των μετρητών αυτών. Είναι σημαντικό το αποτέλεσμα των διαπραγματεύσεων να είναι μία συνεχόμενη χωρική κατανομή. Η διαπραγμάτευση της κατανομής των πόρων του δικτύου πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μην έχουμε φασματική επικάλυψη σε γειτονικές κυψέλες. Για το λόγο αυτό υπάρχει ανάγκη για μία βάση δεδομένων σε κάθε σταθμό βάσης όπου θα συντηρούνται οι πληροφορίες για τις γειτονικές κυψέλες (σταθμούς βάσης) για όλα τα δίκτυα. Η βάση δεδομένων μπορεί να δημιουργηθεί με την διάθεση πληροφοριών για τη θέση του κάθε σταθμού βάσης μέσω του δικτύου κορμού ή από καθοδηγούμενες μετρήσεις σήματος στα τερματικά χρήστη.

### **3.1.2.4 Υπολογισμός και διαπραγμάτευση αναδιοργάνωσης των πόρων (Resource re-arrangement calculation and negotiation)**

Με βάση των έκβαση των διαπραγματεύσεων των πόρων, οι ανταλλαγές πόρων μεταξύ των δικτύων καθορίζονται με στόχο την αποδοτική χρήση του φάσματος. Αρχικά προτείνεται η ανταλλαγή και εν συνεχεία πραγματοποιείται μόνο όταν όλα τα εμπλεκόμενα δίκτυα συμφωνούν σε αυτή.

### **3.1.2.5 Αναπροσαρμογή των πόρων (Resource update)**

Η αναπροσαρμογή των πόρων μπορεί να διαχωριστεί στις ακόλουθες φάσεις, από τις οποίες οι δύο πρώτες πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο σύντομες.

- Οι φασματικοί πόροι που απελευθερώνονται εγκαταλείπονται από την κίνηση.
- Η κατανομή των φασματικών πόρων αλλάζουν σε μία προκαθορισμένη χρονική στιγμή. Εάν τα δίκτυα δεν είναι ακριβώς συγχρονισμένα, γεγονός που είναι πιθανό σε σχήματα FDD, τότε απαιτείται μία περίοδος επιφυλακής.
- Καταγράφονται οι κατανομές πόρων, οι χρόνοι λήξης των απονομών πόρων στα δίκτυα καθώς και οι μετρήσεις κόστους και δικαιοσύνης.

### **3.1.3 Επιλογή του Τρόπου Μετάδοσης**

Η γενική λειτουργία διαχείρισης ραδιοπόρων έχει την αρμοδιότητα για την επιλογή ενός ή περισσότερων τρόπων μετάδοσης φυσικού στρώματος (Physical Layer Modes, PLM) για να εξυπηρετήσει μία συγκεκριμένη κλήση. Μία σημαντική πτυχή της λειτουργίας διαχείρισης ραδιοπόρων είναι ότι μπορεί να ορίσει περισσότερων του ενός PLM για μία κλήση, επιτρέποντας στο γενικό επίπεδο συνδέσεων (Generic Link Layer, GLL) να έχει ένα βαθμό ελευθερίας ως προς την δρομολόγηση του πακέτου πληροφοριών μέσω οποιουδήποτε τρόπου μετάδοσης, γεγονός που οδηγεί στην απαίτηση για μία οντότητα που θα εξετάζει αυτή τη δυνατότητα δρομολόγησης μέσω αυτών των διαφορετικών επιλογών. Ακόμα μπορεί να εγκαταλειφθεί ένας τρόπος μετάδοσης (π.χ.



επειδή παρατηρήθηκε ότι παρουσιάζεται εκείνη τη χρονική στιγμή κορεσμός σε αυτόν), οπότε στην περίπτωση αυτή λαμβάνεται υπόψη το GLL επίπεδο, έτσι ώστε να ληφθεί απόφαση για έναν άλλο τρόπο μετάδοσης. Υπάρχουν διάφορες αρχές για την απόφαση επιλογής ενός τρόπου μετάδοσης. Αυτές περιλαμβάνουν παραμέτρους όπως το ποιος κόμβος λαμβάνει την απόφαση, ποια είναι η χρονική στιγμή της απόφασης και ποιοι τρόποι μετάδοσης είναι διαθέσιμοι.

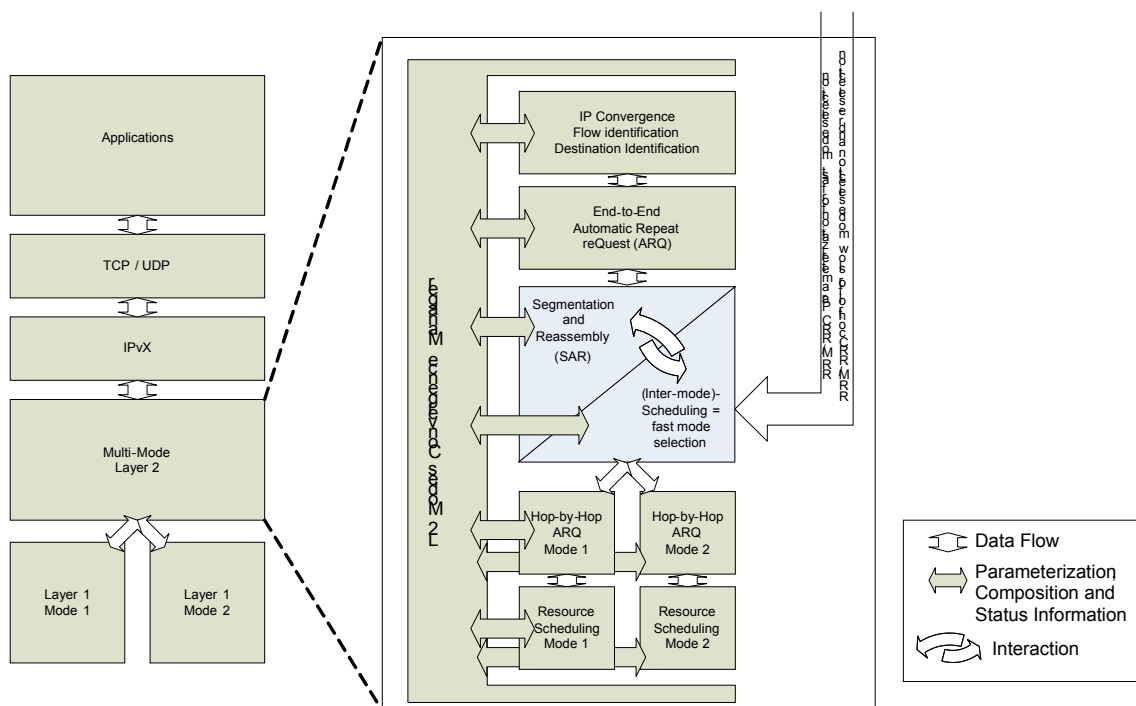
Η επιλογή του τρόπου μετάδοσης μπορεί να ελέγχεται είτε από έναν κόμβο στο σταθερό δίκτυο, είτε από έναν σταθμό βάσης, είτε από ένα σταθμό αναμετάδοσης είτε από το τερματικό χρήστη. Εάν ένας διαχειριστής ελέγχει ένα δίκτυο, τότε αυτός προτιμά μία μέθοδο επιλογής τρόπου μετάδοσης για τους χρήστες του που ελέγχεται από το δίκτυο. Αντιθέτως, αν το δίκτυο ελέγχεται από πολλούς διαχειριστές, τότε προτιμάται μία μέθοδο επιλογής τρόπου μετάδοσης η οποία ελέγχεται από το τερματικό του κάθε χρήστη.

Η επιλογή τρόπου μετάδοσης μπορεί να ληφθεί σε διαφορετικές βαθμίδες. Αυτές περιλαμβάνουν απόφαση ανά κλήση (αργή επιλογή, slow selection), ανά πακέτο (γρήγορη επιλογή, fast selection) ή προκαλούμενη από γεγονότα άσχετα με την κίνηση όπως για παράδειγμα αλλαγές στις συνθήκες της ασύρματης ζεύξης. Η συχνότερη επιλογή τρόπου μετάδοσης οδηγεί σε πιθανά κέρδη στην χωρητικότητα και στην ποιότητα των υπηρεσιών, ενώ παράλληλα αυξάνεται το φορτίο σημάτων ελέγχου. Σε μερικές περιπτώσεις η επιλογή δικτύου απαιτεί αλληλεπίδραση με το χρήστη ή μπορεί και να υπαγορευτεί από την εφαρμογή.

Για την απόφαση του τρόπου μετάδοσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία υπολίστα από τις παραμέτρους απόφασης που παρουσιάζονται παρακάτω:

- Διαθεσιμότητα τρόπου μετάδοσης: Είναι το υποσύνολο των τρόπων μετάδοσης που το κινητό τερματικό μπορεί να υποστηρίξει και είναι διαθέσιμη στην περιοχή του χρήστη.
- Υπηρεσία: Προτιμάται ο τρόπος μετάδοσης που είναι ο πιο αποδοτικός για την συγκεκριμένη υπηρεσία.
- Ισχύς σήματος: Προτιμάται ο τρόπος μετάδοσης που παρέχει το ισχυρότερο σήμα.
- Κατανάλωση ραδιοπόρων: Προτιμάται ο τρόπος μετάδοσης που χρησιμοποιεί τους λιγότερους δυνατούς πόρους του δικτύου για να υποστηρίξει την συγκεκριμένη υπηρεσία.

- Φορτίο συστήματος: Προτιμάται ο τρόπος μετάδοσης που έχει το λιγότερο σχετικά φορτίο. Αυτό δεν βελτιώνει απαραίτητα την χωρητικότητα αλλά βελτιώνει την ποιότητα των υπηρεσιών για καταστάσεις φορτίου κάτω των ορίων χωρητικότητας, και αποτρέπονται έτσι ανακατανομές καθώς τα δίκτυα δεν πλησιάζουν τα όρια χωρητικότητας.
- Μέγεθος των πακέτων: Προτιμάται ο τρόπος μετάδοσης που είναι ο πιο αποδοτικός για το μέγεθος πακέτων της συγκεκριμένης υπηρεσίας.
- Τιμή: Προτιμάται ο τρόπος μετάδοσης που είναι ο οικονομικότερος για τον χρήστη. Αυτή η παράμετρος είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα στην περίπτωση που διαφορετικοί τρόποι μετάδοσης παρέχονται από διαφορετικούς διαχειριστές και η απόφαση παίρνεται από το τερματικό του χρήστη.



ΣΧΗΜΑ 3.2: Η ΡΟΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΤΟΥ ΧΡΗΣΤΗ ΚΑΙ Η ΓΡΗΓΟΡΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΡΟΠΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

### 3.1.4 Επιλογή του δικτύου (RAN Selection)

Ο αλγόριθμος επιλογής δικτύου επιλέγει το καταλληλότερο δίκτυο για την εξυπηρέτηση μιας κλήσης, η οποία έχει κάνει προηγουμένως αίτηση για το λόγο αυτό.

Σημαντική παράμετρος εδώ είναι η προτίμηση δικτύου σύμφωνα με την κλάση υπηρεσιών που ανήκει η κλήση και σε σχέση με την ποιότητα υπηρεσίας που προσφέρει το κάθε δίκτυο. Μία ακόμα παράμετρος είναι η ισορροπία ανάμεσα στους ασύρματους πόρους που είναι κατειλημμένοι σε κάθε ασύρματο δίκτυο, γεγονός που επιτυγχάνεται με τη κατάλληλη ισορροπία των φορτίων κίνησης μεταξύ τους. Ο αλγόριθμος παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.3 και βασίζεται στη διαθεσιμότητα μιας λίστας για όλα τα διαθέσιμα ασύρματα δίκτυα που μπορούν να υποστηρίξουν την κάθε υπηρεσία. Αυτή η λίστα συντάσσεται βασιζόμενη σε πληροφορίες από τον ελεγκτή της ποιότητας της υπηρεσίας, όπου συγκεντρώνονται όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες για τα διάφορα ασύρματα δίκτυα. Ένας αποφασιστικός παράγοντας για να δοθεί προτεραιότητα ενός ασύρματου δικτύου σε σχέση με κάποιο άλλο είναι η προτίμηση του χρήστη.

Η λίστα προτεραιότητας των ασύρματων δικτύων μπορεί να προκύψει σύμφωνα με τον ακόλουθο αλγόριθμο:

- Συλλέγονται όλες οι πληροφορίες για την ισχύ των σημάτων γειτονικών σταθμών βάσης στην ενεργό περιοχή.
- Κατασκευάζεται ένας πίνακας των πόρων.
- Εάν υπάρχει μία σημαντική αλλαγή στο φορτίο κίνησης αναθεωρείται η ενεργός λίστα.
- Λαμβάνεται η αναθεωρημένη τοπολογία.

Η εξισορρόπηση φορτίου μπορεί να εισαχθεί στον παραπάνω αλγόριθμο για να ληφθεί υπόψη και η κατάσταση του δικτύου από πλευράς φορτίου. Η επίπτωση αυτής της προσθήκης στον αλγόριθμο μπορεί να αξιολογηθεί σε σύγκριση με τη παροχή ικανοποιητική ποιότητας υπηρεσιών στους χρήστες ενώ παράλληλα επηρεάζεται και η συνολική ισορροπία του δικτύου.

Ένας ακόμη τύπος καθορισμού προτεραιοτήτων μπορεί να βασιστεί στο είδος της απαιτούμενης υπηρεσίας. Κατόπιν αυτού ο πίνακας προτεραιοτήτων θα πρέπει να περιέχει μία λίστα από τις υπηρεσίες που ζητήθηκαν. Για παράδειγμα μία πιθανή διάταξη μπορεί να είναι:

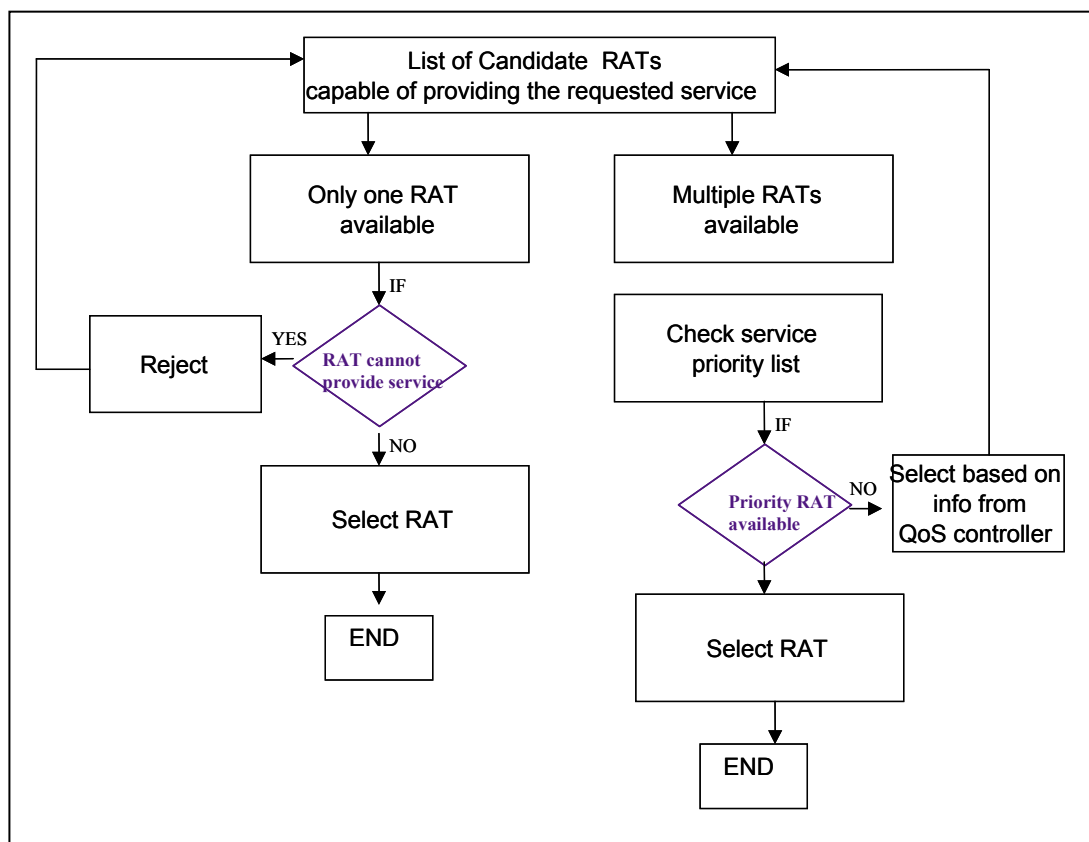
- Υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (Real-time services)
- Υπηρεσίες ροής (Streaming services)
- Διαλογικές υπηρεσίες (Interactive services)

- Υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας (Best-effort services)

Η απόδοση προτεραιοτήτων στο είδος των υπηρεσιών απαιτεί μία κατάλληλη συνάρτηση προτεραιότητας βασισμένη σε συγκεκριμένα κριτήρια. Στη διεθνή βιβλιογραφία για παράδειγμα, η προτεραιότητα δίδεται ως συνάρτηση του αριθμού των bit πληροφορίας που πρέπει να μεταδοθούν  $B_i$  και του χρόνου λήξης  $TO_i$ , με την εξής εξάρτηση μεταξύ αυτών των παραμέτρων:

$$\phi_i = \begin{cases} \frac{B_i}{TO_i} & TO_i > 0 \\ L_i(2 - TO_i)^n & TO_i \leq 0 \end{cases}$$

Γενικά αυτή η στρατηγική θα είναι κατάλληλη για τους χρήστες διαλογικών και βέλτιστης προσπάθειας υπηρεσιών, παρόλο που για τους τελευταίους δεν είναι εγγυημένη η ποιότητα υπηρεσιών. Ένας συγκεκριμένος χρόνος λήξης μπορεί να καθοριστεί επίσης για τους χρήστες υπηρεσιών βέλτιστης προσπάθειας.



ΣΧΗΜΑ 3.3: ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ.

### 3.1.5 Διαπομπή (Handover)

Σε αυτή την υποενότητα περιγράφεται ο μηχανισμός των διαπομπών. Στην αρχή γίνεται αναφορά στα είδη διαπομπών που έχουμε στην περίπτωση ενός ετερογενούς συστήματος επικοινωνιών τέταρτης γενιάς. Στη συνέχεια κάνουμε μια αναφορά στα πρωτόκολλα και τους αλγορίθμους διαπομπών, κυρίως όσον αφορά την περίπτωση των διασυστημικών διαπομπών.

#### 3.1.5.1 Είδη διαπομπών (Handover Scenarios)

Στην ενότητα αυτή εξετάζουμε τα είδη των διαπομπών που λαμβάνουν χώρα σε ένα ετερογενές σύστημα επικοινωνιών τέταρτης γενιάς (όπως είναι το WINNER). Εδώ ξεχωρίζουμε δύο κύριες κατηγορίες, τις διαπομπές μεταξύ διαφορετικών τρόπων μετάδοσης και τις διαπομπές μεταξύ του WINNER και των παλαιότερων δικτύων.

Αρχίζουμε την ανάλυσή μας από τις διαπομπές μεταξύ διαφορετικών τρόπων μετάδοσης και πιο συγκεκριμένα μεταξύ τρόπων μετάδοσης του WINNER με μεγάλη εμβέλεια και άλλων με μικρότερη (WINNER Wide Area Mode  $\Leftrightarrow$  WINNER Short Range Mode). Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3.4 είναι αναμενόμενο ότι θα υπάρχει μία μερική ή ακόμα και ολική επικάλυψη μεταξύ των κελιών (των τρόπων μετάδοσης) του WINNER. Στο σχήμα φαίνονται επίσης οι φυσικοί κόμβοι του δικτύου WINNER, οι οποίοι είναι τα σημεία πρόσβασης (Access Points, AP), οι κινητοί (Mobile Relay Stations, MRS) και οι σταθεροί (Fix Relay Stations, FRS) σταθμοί αναμετάδοσης. Οι γενικοί κανόνες που διέπουν τις διαπομπές μεταξύ των τρόπων μετάδοσης του WINNER είναι η διαθεσιμότητα του τρόπου μετάδοσης και η κινητικότητα του τερματικού. Για παράδειγμα, όπως παρατηρούμε και στο Σχήμα 3.4 τα τερματικά με μεγάλη κινητικότητα συνδέονται σε κυψέλες με ευρεία γεωγραφική κάλυψη ακόμα και αν το τερματικό αυτό βρίσκεται εντός της περιοχής κάλυψης μίας κυψέλης με περιορισμένη γεωγραφική κάλυψη. Επιπλέον οι συναρτήσεις ενεργοποίησης των διαπομπών και τα κατώφλια αυτών που σχετίζονται με τους δύο διαφορετικούς τρόπους εξαρτώνται από το σενάριο ανάπτυξης και σχεδίασης του δικτύου, δηλαδή την επέκταση της κάλυψης, την αύξηση

της φασματικής αποδοτικότητας καθώς και από την επιλογή του χρησιμοποιούμενου τρόπου αναμετάδοσης (συμβατικός, συνεργατικός). Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε την περίπτωση της συνεργατικής αναμετάδοσης όπου περισσότερα του ενός σημεία πρόσβασης ή και σταθμοί αναμετάδοσης εμπλέκονται στην μετάδοση και λήψη των δεδομένων, οπότε στην περίπτωση αυτή για να ληφθεί η απόφαση για διαπομπή απαιτείται να γνωρίζει το τερματικό την ισχύ του σήματος από κάθε κόμβο και να μπορεί να λαμβάνει την απόφαση για το ποιους κόμβους θα μετρήσει.

- i. Πρώτη περίπτωση διαπομπών: Από κυψέλες ευρείας κάλυψης σε άλλες περιορισμένη κάλυψης.

Στην περίπτωση αυτή έχουμε διαπομπές είτε εντός του ίδιου τρόπου μετάδοσης (Intermode) είτε μεταξύ διαφορετικών συστημάτων μετάδοσης (Intrasystem). Η απαίτηση που υπάρχει για την πραγματοποίηση αυτού του είδους των διαπομπών είναι ότι το τερματικό πρέπει να βρίσκεται εντός της περιοχής κάλυψης της κυψέλης με περιορισμένη εμβέλεια. Ακολουθούν δύο παραδείγματα του τρόπου χρήσης αυτού του είδους διαπομπών:

- Παράδειγμα 1<sup>ο</sup>: Αυτό το είδος των διαπομπών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της φασματικής απόδοσης, επομένως αναμένεται η ποιότητα των ασύρματων συνδέσεων της κυψέλης ευρείας κάλυψης να είναι ικανοποιητική. Στην περίπτωση αυτή οι παράμετροι ενεργοποίησης μίας τέτοιας διαπομπής είναι:
  - Ρυθμός λανθασμένων bit/ Ρυθμός λανθασμένων πακέτων (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό)
  - Ανάγκη για υψηλότερο ρυθμό δεδομένων που πρέπει να παρέχεται από την κυψέλη περιορισμένης κάλυψης (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης)
  - Συμφόρηση που μπορεί να παρατηρηθεί στην κυψέλη ευρείας κάλυψης με βασικά χαρακτηριστικά την χωρητικότητα της κυψέλης και το φορτίο εντός αυτής (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης).
  - Η τοποθεσία του τερματικού χρήστη π.χ. εάν ο χρήστης μπορεί να έχει ως εναλλακτική λύση τη χρήση της κυψέλης

περιορισμένης κάλυψης όποτε αυτή είναι διαθέσιμη (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης).

- Παράδειγμα 2<sup>ο</sup>: Στο παράδειγμα αυτό χρησιμοποιούνται οι κυψέλες περιορισμένης κάλυψης για την επέκταση της κάλυψης και για το λόγο αυτό αναμένεται υποβάθμιση της ασύρματης ζεύξης. Στην περίπτωση αυτή οι παράμετροι ενεργοποίησης μίας τέτοιας διαπομπής είναι:
  - Ισχύς του σήματος (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).
  - Επίπεδο παρεμβολής (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).
  - Λόγος φέροντος προς παρεμβολή (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).
  - Ρυθμός λανθασμένων bit/ Ρυθμός λανθασμένων πακέτων (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).

ii. Δεύτερη περίπτωση διαπομπών: Από κυψέλες περιορισμένης κάλυψης σε άλλες ευρείας κάλυψης.

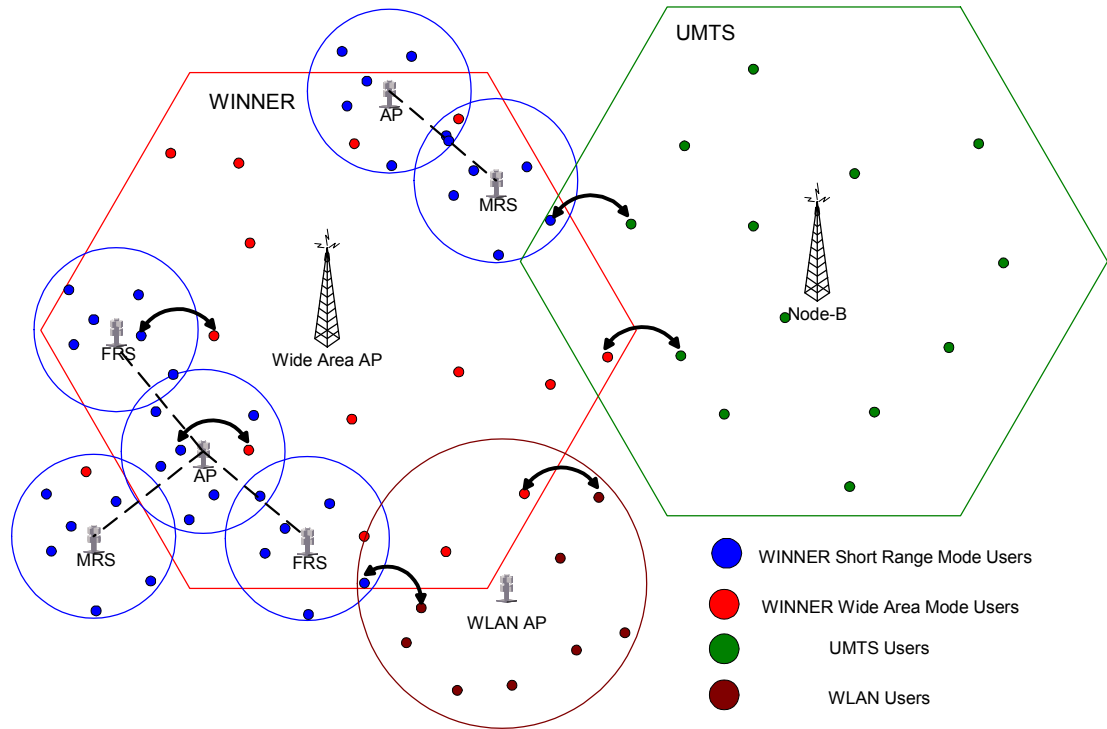
Στην περίπτωση αυτή έχουμε ξανά όπως και προηγουμένως διαπομπές είτε εντός του ίδιου τρόπου μετάδοσης (Intermode) είτε μεταξύ διαφορετικών συστημάτων μετάδοσης (Intrasytem).

Παράδειγμα παραμέτρων ενεργοποίησης μιας τέτοιας διαπομπής είναι το ακόλουθο:

- Αύξηση της ταχύτητας του κινητού τερματικού (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).
- Απώλεια κάλυψης από την κυψέλη περιορισμένης κάλυψης (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).
- Συμφόρηση στην κυψέλη περιορισμένης εμβέλειας, όποτε στην περίπτωση αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν κριτήρια όπως οι περιορισμοί στην ποιότητα υπηρεσίας και η προτεραιότητα κάθε χρήστη για να ληφθεί η απόφαση για το ποιος ή ποιοι χρήστες θα

ζητήσουν διαπομπή σε άλλες κυψέλες ευρείας κάλυψης (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης).

- Απαίτηση παροχής υπηρεσιών από την πλευρά του χρήστη που είναι διαθέσιμες μόνο από κυψέλες ευρείας κάλυψης (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης).



ΣΧΗΜΑ 3.4: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ WINNER, UMTS ΚΑΙ WLAN ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ ΔΙΑΠΟΜΠΩΝ.

Συνεχίζουμε την ανάλυσή μας με τις διαπομπές μεταξύ του WINNER και των παλαιότερων δικτύων (WINNER  $\Leftrightarrow$  Legacy System (UMTS, WLAN, etc)). Στην περίπτωση αυτή έχουμε διαπομπές διαφορετικών συστημάτων (Intersystem). Αυτός ο τύπος των διαπομπών λαμβάνει χώρα είτε όταν έχουμε απώλεια της κάλυψης από το τρέχον σύστημα του χρήστη είτε στην περίπτωση της επικάλυψης των συστημάτων από την πλευρά της ασύρματης κάλυψης και γίνεται διαπομπή για λόγους προτίμησης συγκεκριμένου δικτύου από την πλευρά του διαχειριστή ή για λόγους συμφόρησης σε κάποιο από τα εμπλεκόμενα συστήματα επικοινωνιών.



Παράδειγμα παραμέτρων ενεργοποίησης μιας τέτοιας διαπομπής στην περίπτωση συμπληρωματικής κάλυψης για δύο (ή και περισσότερα) συστήματα επικοινωνιών είναι το ακόλουθο:

- Ισχύς του σήματος (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).
- Επίπεδο παρεμβολής (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).
- Λόγος φέροντος προς παρεμβολή (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).
- Ρυθμός λανθασμένων bit/ Ρυθμός λανθασμένων πακέτων (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).

Παράδειγμα παραμέτρων ενεργοποίησης μιας τέτοιας διαπομπής στην περίπτωση επικαλυπτόμενης κάλυψης, όπου η ποιότητα της υπηρεσίας δεν είναι η αναμενόμενη, είναι το ακόλουθο:

- Εάν η απαιτούμενη υπηρεσία είναι διαθέσιμη σε άλλα συστήματα (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης).
- Φθηνότερο κόστος υπηρεσίας(απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό αλλά και το σημείο πρόσβασης).
- Τοποθεσία του κινητού τερματικού (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης).
- Ταχύτητα του κινητού τερματικού, π.χ. στην περίπτωση που γίνεται διαπομπή μεταξύ κυψελών του WINNER με μικρή εμβέλεια και του UMTS (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης).
- Συμφόρηση στην τρέχουσα κυψέλη όπως και στις γειτονικές κυψέλες του παρόντος συστήματος (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης).

### **3.1.5.2 Πρωτόκολλα και αλγόριθμοι διαπομπών**

Το πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol, IP) σχεδιάστηκε με προσανατολισμό στη έννοια της σύνδεσης παρά στην έννοια της κινητικότητας. Για το λόγο αυτό οι

κινητές επεκτάσεις IPv4/6 έπρεπε να εισάγουν μηχανισμούς διαπομπής χωρίς παράλληλα να διακόπτεται η σύνδεση. Για το λόγο αυτό μηχανισμοί προτάθηκαν λύσεις που αφορούν το τρίτο επίπεδο, όπως είναι οι IP διαπομπές και Κινητού IP (Mobile IP, MIP) πρωτοκόλλου. Για να διασφαλιστεί η ανεξαρτησία των επιπέδων, αυτοί οι μηχανισμοί βασίζονται πλήρως στο τρίτο επίπεδο. Μία «κλασσική» διαπομπή βασίζεται στο δεύτερο επίπεδο, μιας και το δεύτερο επίπεδο είναι αυτό που ευθύνεται για τη φυσική και λογική σύνδεση των υψηλότερων επιπέδων. Στην πραγματικότητα κάθε διαπομπή τρίτου επιπέδου προηγείται μιας του δεύτερου επιπέδου. Το μόνο πρόβλημα είναι ότι κάθε διαπομπή του τρίτου επιπέδου δεν γνωρίζει την διαπομπή που πραγματοποιείται στο δεύτερο επίπεδο λόγω της ανεξαρτησίας των επιπέδων.

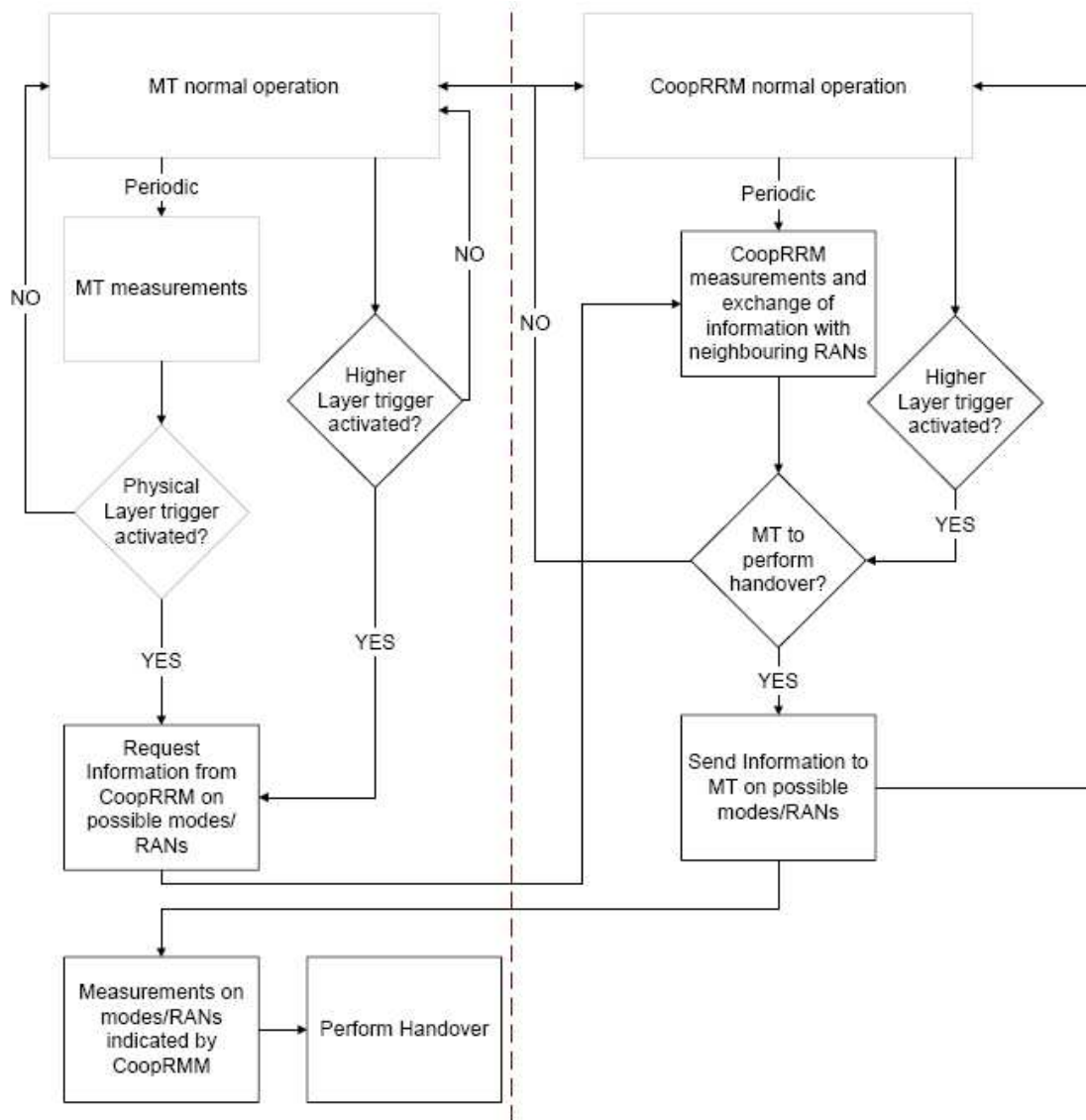
Προκειμένου να προσφερθεί μία καλή ποιότητα υπηρεσιών στο χρήστη, η διαχείριση των διαπομπών πρέπει να εκπληρώνει όσο το δυνατόν σε μεγαλύτερο βαθμό τους παρακάτω στόχους:

- Μείωση της απώλειας πακέτων και της καθυστέρησης κατά τη διάρκεια μιας διαπομπής (seamless handover).
- Χρήση κάθε διαθέσιμης παραμέτρου ενεργοποίησης (triggers), π.χ. πληροφορίες από τον κινητό χρήστη ή από το δίκτυο ότι μία διαπομπή είναι προ των πυλών, έτσι ώστε να λαμβάνεται δράση πριν την πραγματική διαπομπή (planned handover)
- Να επιτρέπεται η δυνατότητα μεταφοράς του πλαισίου (QoS, ασφάλεια, κατάσταση συμπίεσης επικεφαλίδας, κατάσταση ασύρματης ζεύξης) αλλά και κάθε αποθηκευμένου πακέτου (tunneling) από το παλιό στο καινούργιο δρομολογητή πρόσβασης.
- Διαβεβαίωση ότι μία προγραμματισμένη διαπομπή μπορεί να μετατραπεί σε μη προγραμματισμένη και ότι οι ίδιες ενέργειες μπορούν να συμβούν (μεταφορά των αποθηκευμένων πακέτων και του πλαισίου).
- Αποδοχή της διαπομπής μεταξύ διαφορετικής τεχνολογίας εάν ο κινητός χρήστης μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικές τεχνολογίες (Vertical Handover, VH).

Η πιθανότητα για μια ορθογώνια διαπομπή (VH) σημαίνει ότι εισάγεται μία πρόσθετη επιλογή αφού οι δύο τύποι συστημάτων μπορούν να προσφέρουν συμπληρωματικές υπηρεσίες. Για το λόγο αυτό μπορεί ένα κινητό τερματικό να δεχθεί

ειδοποίηση για ορθογώνια διαπομπή παρά το γεγονός ότι η ποιότητα της ασύρματης ζεύξης του στο τρέχον σύστημα δεν έχει μειωθεί. Συνεπώς χρειάζεται επιπλέον νοημοσύνη για να ληφθεί από το σύστημα η απόφαση για το ποιο είδος διαπομπής θα επιτελέσει και πότε.

Η γενική διαδικασία απόφασης του WINNER για την απόφαση διαπομπής μεταξύ διαφορετικών συστημάτων ή μεταξύ της ίδιας τεχνολογίας μετάδοσης για το κινητό τερματικό αλλά και για το σημείο πρόσβασης παρουσιάζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί. Επιπλέον αναμένεται ότι και οι δύο κόμβοι, κινητό τερματικό και σημείο πρόσβασης, θα επιτελούν περιοδικά μετρήσεις και υπολογισμούς ή και ανταλλαγή πληροφοριών που αφορούν την τρέχουσα ή τις γειτονικές κυψέλες του ιδίου ή και διαφορετικών ασύρματων δικτύων. Ακόμη οι παράμετροι ενεργοποίησης διαπομπής των υψηλότερων στρωμάτων αναμένεται να ενεργοποιούνται είτε από υπολογισμούς του σημείου πρόσβασης που έχουν να κάνουν με την κατάσταση της κυψέλης είτε από την πληροφορία που στέλνει το κινητό τερματικό από τις SRRM μονάδες (θα γίνει αναφορά σε αυτές σε επόμενη υποενότητα του παρόντος κεφαλαίου).



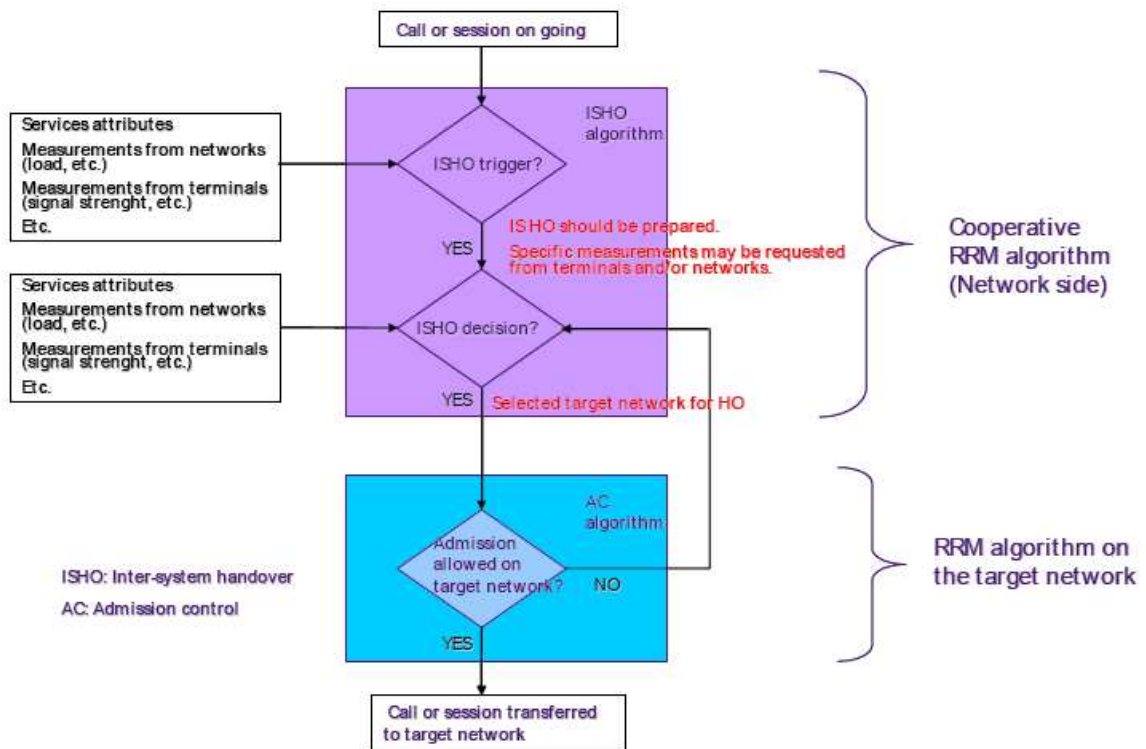
ΣΧΗΜΑ 3.5: Η ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΤΟΥ WINNER.

Στη συνέχεια επικεντρώνουμε την προσοχή μας στις διασυστημικές (Intersystem) ή ορθογώνιες (Vertical) διαπομπές, οι οποίες βασίζονται στις Common Radio Resource Managements (CRRM) στην είσοδο του δέκτη του κινητού τερματικού. Οι διασυστημικές διαπομπές μπορούμε να πούμε ότι είναι ένας μηχανισμός κλειδί για την εφαρμογή στρατηγικών εξισορρόπησης φορτίου. Στα παλαιότερα ασύρματα δίκτυα, αυτοί οι αλγόριθμοι βασίζονται κυρίως σε κριτήρια κάλυψης. Στα συστήματα κινητών επικοινωνιών μετά την τρίτη γενιά, όπως είναι για παράδειγμα το σύστημα επικοινωνιών WINNER, η συνεργασία μεταξύ διαφορετικών ασύρματων δικτύων στο επίπεδο της διαχείρισης ραδιοπόρων είναι ένα ενσωματωμένο χαρακτηριστικό, το οποίο επιτρέπει την εφαρμογή ακόμα πιο αποδοτικών αλγορίθμων διασυστημικών διαπομπών, οι οποίοι θα

λαμβάνουν υπόψη τους κριτήρια όπως είναι το φορτίο και η ποιότητα υπηρεσιών. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εφικτή η χρήση περίπλοκων στρατηγικών εξισορρόπησης της κίνησης.

Στη συνέχεια λοιπόν ορίζουμε διάφορες στρατηγικές διασυστημικών διαπομπών που βασίζονται στο πλαίσιο CRRM (CRRM framework), όπως αυτό καθορίζεται στο 3GPP (3rd Generation Partnership Project), το οποίο επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών για το φορτίο μεταξύ των UMTS και των GSM δικτύων. Το πλαίσιο CRRM επεκτείνεται για τις διασυστημικές διαπομπές μεταξύ του WINNER και των άλλων παλαιότερων συστημάτων επικοινωνιών.

Στο Σχήμα 3.6 επεξηγείται η αρχή στην οποία βασίζονται οι διασυστημικές διαπομπές και η σχέση της με τον αλγόριθμο ελέγχου αποδοχής κλήσεων. Ο αλγόριθμος των διασυστημικών διαπομπών είναι ένας συνεργατικός RRM αλγόριθμος που εφαρμόζεται στα ασύρματα συστήματα πρόσβασης και έχει δύο φάσεις. Η πρώτη φάση περιλαμβάνει την απόφαση για να εκκινήσει η διαπομπή και να γίνει προετοιμασία για αυτή. Η δεύτερη φάση είναι η επιλογή του καταλληλότερου δικτύου στο οποίο θα μεταφερθεί τελικά η κλήση, δηλαδή στο οποίο θα γίνει η διαπομπή. Και τα δύο κριτήρια βασίζονται σε διάφορες παραμέτρους απόφασης όπως είναι οι μετρήσεις που λαμβάνονται από τα τερματικά ή και από τα ετερογενή δίκτυα, ή χαρακτηριστικά των υπηρεσιών. Όταν έχει επιλεγεί από τον αλγόριθμο διαπομπής το τελικό δίκτυο για την κλήση, τότε ο αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων στο δίκτυο αυτό ελέγχει αν μπορεί να γίνει αυτή η κλήση από διαπομπή δεκτή στο δίκτυο ή όχι. Εάν όχι, τότε πρέπει να επιλεγεί ένα άλλο δίκτυο, παρόλα αυτά ο αλγόριθμος διαπομπών πρέπει να είναι με τέτοιο τρόπο καθορισμένος, έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί την απόρριψη κλήσεων από τον αλγόριθμο ελέγχου αποδοχής κλήσεων.



ΣΧΗΜΑ 3.6: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΥΣΤΗΜΙΚΩΝ ΔΙΑΠΟΜΠΩΝ.

### 3.1.6 Έλεγχος Αποδοχής Κλήσεων (Admission Control, AC)

Ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο του φορτίου του συστήματος έτσι ώστε να μπορεί να εκμεταλλευτεί η διαθέσιμη χωρητικότητα, χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η σταθερότητα του συστήματος. Ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων μπορεί να συμπεριφέρεται διαφορετικά σε νέες κλήσεις και σε σχέση με τις κλήσεις που προέρχονται από διαπομπή. Η συνάρτηση του ελέγχου αποδοχής αποφαινεται για την αποδοχή ή μη της κλήσης από το σύστημα, εξετάζοντάς το συνολικά. Μία νέα κλήση γίνεται αποδεκτή εάν εκπληρώνονται οι απαιτήσεις της υπηρεσίας (ποιότητα υπηρεσίας, ασφάλεια κ.α.) της νέας κλήσης καθώς και των ήδη αποδεκτών από το σύστημα κλήσεων. Ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων ενεργοποιείται και στην περίπτωση που οι απαιτήσεις μίας κλήσης αλλάξουν. Στην περίπτωση των κλήσεων από διαπομπή (προκαλείται από τη μεταφορά μίας συνόδου από μία κυψέλη σε άλλη) η συνάρτηση του ελέγχου αποδοχής αποφασίζει για το αν θα γίνει αποδεκτή η κλήση αυτή από τη νέα κυψέλη (μπορεί να είναι και διαφορετικός τρόπος μετάδοσης εντός της ίδιας κυψέλης). Εάν ο αλγόριθμος

αποδοχής κλήσεων σχεδιαστεί κατάλληλα, τότε θα οδηγήσει σε μία μέτρια αύξηση της πιθανότητας μπλοκαρίσματος κλήσεων αλλά παράλληλα και σε μία ουσιαστική μείωση της πιθανότητας απόρριψης κλήσεων.

Ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων για συστήματα κινητών επικοινωνιών τέταρτης γενιάς εξετάζεται αναλυτικά στο πέμπτο κεφάλαιο.

### **3.1.7 Έλεγχος Συμφόρησης Φορτίου (Congestion Control, CC)**

Ο αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων είναι υπεύθυνος να παίρνει αποφάσεις για την αποδοχή νέων κλήσεων, έτσι ώστε να διασφαλίζεται ότι το φορτίο του δικτύου παραμένει κάτω από ένα καθορισμένο κατώφλι. Παρόλα αυτά μία κατάσταση υπερφόρτωσης/συμφόρησης μπορεί και σε αυτή την περίπτωση να εμφανιστεί. Τότε ο αλγόριθμος συμφόρησης ενεργοποιείται, έτσι ώστε να επαναφέρει το δίκτυο σε μία κανονική κατάσταση λειτουργίας.

Ο αλγόριθμος συμφόρησης στην περίπτωση του WINNER, παρακολουθεί το δίκτυο αυτό καθώς και τα παλαιότερα ασύρματα δίκτυα και αν εμφανιστεί μία κατάσταση υπερφόρτωσης, τότε προσπαθεί να μειώσει το φορτίο του δικτύου εφαρμόζοντας διάφορες πρακτικές και κυρίως προσπαθώντας να επιτύχει μεγαλύτερο βαθμό συνεργασίας ανάμεσα στα διάφορα ασύρματα δίκτυα και τους διαφορετικούς τρόπους μετάδοσης, όπως για παράδειγμα με την εκτέλεση διαπομπών των κλήσεων των χρηστών που βρίσκονται σε μία υπερφορτωμένη κυψέλη σε μία άλλη κυψέλη ενός άλλου ασύρματου δικτύου με λιγότερο φορτίο.

## **3.2 Αρχιτεκτονική της Διαχείρισης Ραδιοπόρων (RRM Architecture)**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του δικτύου και πιο συγκεκριμένα το μέρος του δικτύου που έχει σχέση με τη διαχείριση ραδιοπόρων. Στην πρώτη υποενότητα εξετάζεται γενικά το όλο θέμα της αρχιτεκτονικής της διαχείρισης ραδιοπόρων για ένα ετερογενές σύστημα κινητών επικοινωνιών. Στην δεύτερη

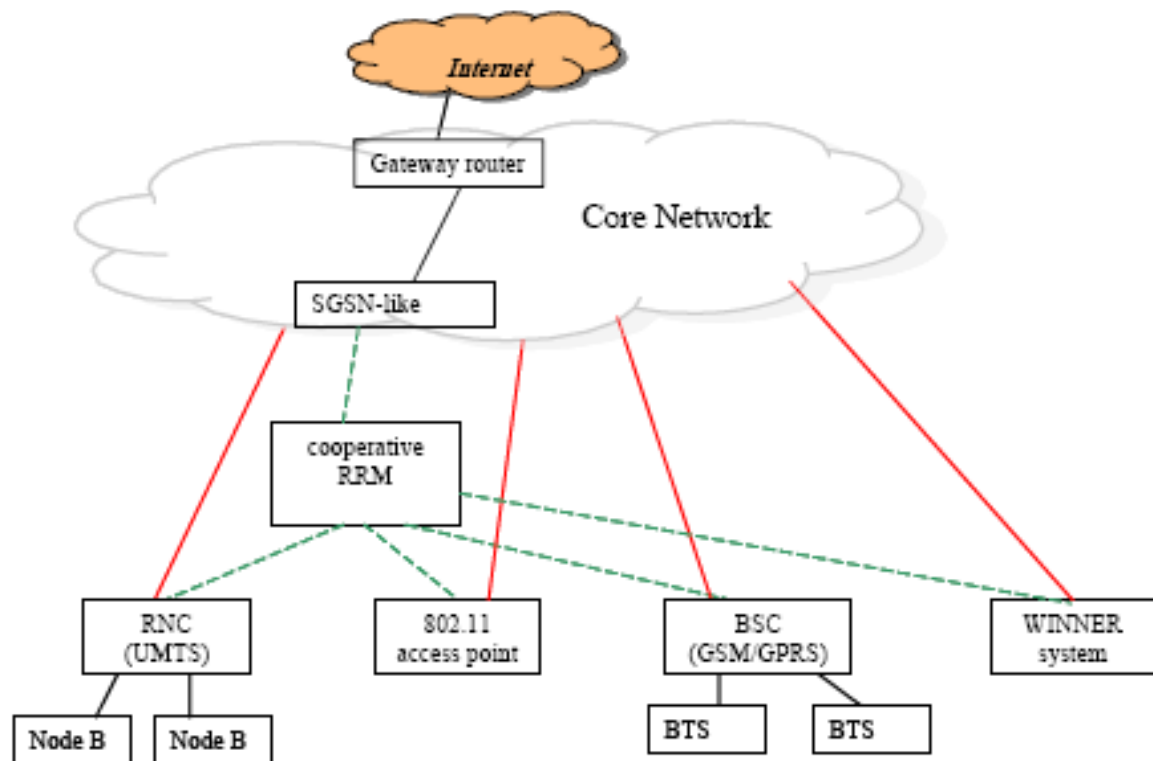
υποενότητα παρουσιάζονται πιο συγκεκριμένα οι οντότητες που χρησιμοποιούνται και η σημασία της κάθε μιας. Επίσης εξετάζονται τα χαρακτηριστικά των οντοτήτων που παρουσιάζονται καθώς και γίνεται αναφορά για την ενότητα από την οποία μετρούνται οι παράμετροι του δικτύου που χρησιμοποιούνται από την διαχείριση ραδιοπύλων.

### **3.2.1 Αρχιτεκτονική του δικτύου (Network entities)**

Οι υπάρχουσες αρχιτεκτονικές είναι βελτιστοποιημένες για δίκτυα που χρησιμοποιούν τεχνολογία ενός στρώματος, ακόμα και αν αυτά μερικές φορές μοιράζονται κάποιες κοινές υποστηρικτικές δομές της υποδομής δικτύων όπως είναι τα GGSN, SGSN, VLR και HLR (για αυτά τα συστατικά μέρη ενός δικτύου έχει γίνει αναφορά στο δεύτερο κεφάλαιο) για ένα GSM/GPRS και UMTS δίκτυο. Σε άλλες περιπτώσεις όπως στο GSM/GPRS/UMTS και WLAN, οι αρχιτεκτονικές που προκύπτουν είναι τελείως απομονωμένες και η επικοινωνία μεταξύ αυτών πραγματοποιείται μέσω ενός εξωτερικού δικτύου. Στα μελλοντικά ετερογενή ασύρματα δίκτυα η διαχείριση ραδιοπύλων πρέπει να συντονιστεί με διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης που συνυπάρχουν εντός του ίδιου δικτύου. Η σηματοδότηση της ενδο-διαχείρισης ραδιοπύλων κρίνεται επίσης απαραίτητη μεταξύ των οντοτήτων RRM, επάνω στις οποίες βασίζονται οι αποφάσεις της κατανομής των πόρων του δικτύου και του ελέγχου αποδοχής κλήσεων. Οι μηχανισμοί συνεργασίας θα αναπτυχθούν όχι μόνο στα υψηλότερα επίπεδα, αλλά και στο επίπεδο του ασύρματου τμήματος των νέων ασύρματων δικτύων. Αυτά τα χαρακτηριστικά θα είναι ενσωματωμένα στα νέα συστήματα του WINNER και θα εφαρμόζονται στους κόμβους B (NODE B) του δικτύου ή και ακόμα χαμηλότερα.

Επομένως η συνεργασία μεταξύ των RRM οντοτήτων θα παραμένει εντός των ασύρματων δικτύων πρόσβασης και στα χαμηλά σχετικά επίπεδα (low layers), αλλά σε καμία περίπτωση στο δίκτυο κορμού ή στο επίπεδο IP και υψηλότερα.



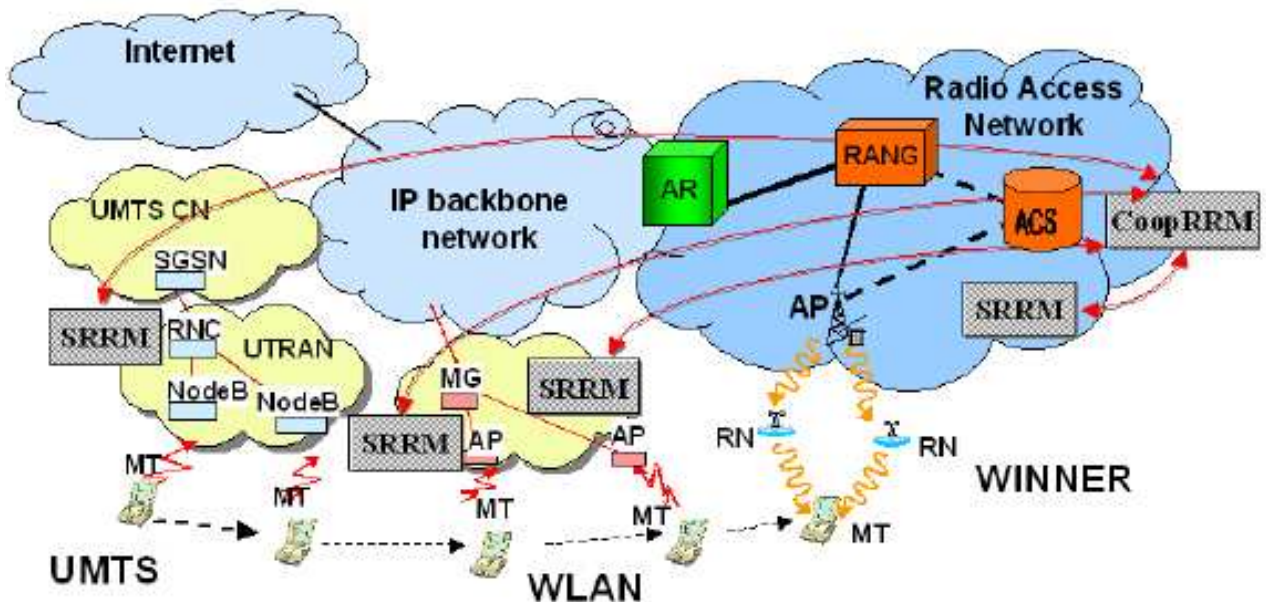


ΣΧΗΜΑ 3.7: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ RRM ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ.

Ο σκοπός του ανωτέρω σχήματος είναι να αποσαφηνίσει ότι η συνεργασία μεταξύ των RRM οντοτήτων παραμένει στο επίπεδο της ασύρματης πρόσβασης και ότι με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται πρόσβαση στις πληροφορίες εντός διαφορετικών ασύρματων δικτύων, στα οποία μπορεί να επηρεαστούν οι συγκεκριμένες λειτουργίες διαχείρισης ραδιοπόρων που επιτελούνται εντός αυτών. Η συνεργασία μεταξύ των RRM οντοτήτων μπορεί να παρασταθεί σε μία συγκεντρωτική μορφή όπως απεικονίζεται στο παραπάνω σχήμα, αλλά μπορεί να παρουσιαστεί και σαν μία κατακεντρωμένη δομή μέσω των υπάρχουσών RRM οντοτήτων εντός κάθε υποκείμενου δικτύου (π.χ. RNC ή Node B για το UMTS). Πράγματι η λειτουργικότητα της συνεργατικής δομής μεταξύ των RRM οντοτήτων μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφορετικές φυσικές οντότητες και σε διαφορετικά επίπεδα, τα οποία θα πρέπει να είναι σε θέση να ανταλλάσσουν πληροφορία για την επίτευξη του στόχου που θυμίζουμε ότι είναι η αποτελεσματική χρησιμοποίηση των διαθέσιμων πόρων.

Αν δούμε το όλο ζήτημα από την οπτική των υψηλών επιπέδων του WINNER τότε η προκύπτουσα αρχιτεκτονική θα πρέπει να υποστηρίζει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των

υφιστάμενων ασύρματων συστημάτων και την εκμετάλλευση της υποδομής αυτών, έτσι ώστε να υποστηριχθεί η σταδιακή μετάβαση στα δίκτυα τύπου WINNER. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται μία συνεργατικής δομής RRM, η οποία ακολουθεί μία μερικώς συγκεντρωτική προσέγγιση στο ζήτημα της διαχείρισης ραδιοπόρων.



ΣΧΗΜΑ 3.8: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ RRM.

Τα διαφορετικά ασύρματα δίκτυα έχουν ξεχωριστές και συγκεκριμένες RRM οντότητες (SRRM), οι οποίες λειτουργούν με ένα κατακεντρωμένο τρόπο και συντονίζονται από την οντότητα της συνεργατικής δομής RRM, η οποία βρίσκεται στο νέο δίκτυο WINNER. Το ασύρματο δίκτυο WINNER περιλαμβάνει και αυτό την δική του ξεχωριστή οντότητα RRM (δηλαδή τη δική του SRRM). Η συνεργατική δομή RRM θα μπορούσε να τοποθετηθεί εντός του Κέντρου Ελέγχου Πρόσβασης (Access Control Server, ACS), το οποίο είναι ο φυσικός κόμβος που ελέγχει την πρόσβαση στους ασύρματους πόρους, αλλά θα μπορούσε να τοποθετηθεί κάλλιστα και στο Δρομολογητή Πρόσβασης (Access Router, AR), στον οποίο τερματίζουν τα γενικά πρωτόκολλα ελέγχου.

Στη συνεργατική δομή RRM οι εντός ενός ασύρματου δικτύου συνεργατικοί αλγόριθμοι (μηχανισμοί συνεργασίας) θα εκτελούνται ως εξής: διαχείριση κινητικότητας, έλεγχος αποδοχής κλήσεων, διαχείριση με βάση την ποιότητα υπηρεσιών. Η συνεργατική δομή RRM θα έχει διεπαφές με άλλες συνεργατικές δομές RRM του ίδιου διαχειριστή ή και διαφορετικών διαχειριστών. Το SRRM θα είναι υπεύθυνο για την επίτευξη μίας

αποτελεσματικής συνεργασίας μεταξύ των διαφορετικών ασύρματων δικτύων. Αυτή η συνεργασία θα πραγματοποιείται σε χαμηλά επίπεδα όπως έχουμε αναφέρει και προηγουμένως, οπότε το SRRM θα είναι συνδεδεμένο ή και ενσωματωμένο εντός των RNS, BTS και MG (κινητές πύλες, mobile gateways) των UMTS, GSM και IEEE802.11 δικτύων αντίστοιχα.

### **3.2.2 Οντότητες της διαχείρισης ραδιοπόρων (RRM entities)**

Στις επόμενες υποενότητες παρουσιάζονται οι οντότητες που χρειάζονται για να φιλοξενήσουν τις λειτουργίες για έναν συνεργατικό μηχανισμό, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω.

#### **3.2.2.1 Λειτουργικές οντότητες των διαπομπών**

Οι λειτουργικές οντότητες των διαπομπών είναι οι ακόλουθες:

- Οντότητα απόφασης διαπομπών που χρησιμοποιείται για να ληφθεί η τελική απόφαση που έχει να κάνει με το τελικό δίκτυο της διαπομπής για το κινητό τερματικό.
- Οντότητα παραμέτρων ενεργοποίησης που αφορά την συγκέντρωση και σύγκριση των παραμέτρων ενεργοποίησης και τη λήψη της απόφασης για το αν θα εκκινήσει η διαδικασία διαπομπής.
- Οντότητα μετρήσεων που έχει να κάνει με την συγκέντρωση μετρήσεων από το τρέχον σύστημα επικοινωνιών αλλά και τα υπόλοιπα συστήματα καθώς και με τον υπολογισμό επιπλέον τιμών για κάποιες συγκεκριμένες παραμέτρους του συστήματος.
- Οντότητα επίβλεψης και φιλτραρίσματος των συστημάτων επικοινωνιών για να είναι διαθέσιμη η πληροφορία σχετικά με τη διαθεσιμότητα των δικτύων καθώς επίσης και διατήρηση μιας λίστας που έχει να κάνει με το κινητό τερματικό (Mobile Terminal, MT) και περιλαμβάνει τα δίκτυα στα οποία το MT μπορεί να έχει πρόσβαση. Η λίστα αυτή βασίζεται στην προτίμηση του χρήστη, στους

περιορισμούς του διαχειριστή του δικτύου, στις δυνατότητες της τερματικής συσκευής κ.α.

- Οντότητα διατήρησης πληροφοριών του χρήστη και αφορά την διατήρηση πληροφοριών που σχετίζονται με το χρήστη όπως είναι το κόστος, η προτίμηση δικτύου, η ποιότητα υπηρεσίας των κλάσεων κ.α.

Υπάρχουν τρεις δυνατές περιπτώσεις για την τοποθέτηση των οντοτήτων διαπομπών και έχουν ως εξής:

- 1) Η συνεργατική RRM θα είναι υπεύθυνη μόνο για την τελική απόφαση (οντότητα απόφασης διαπομπών) ενώ παράλληλα οι υπόλοιπες οντότητες θα βρίσκονται στο SRRM (δηλαδή στο ειδικό μέρος της διαχείρισης ραδιοπόρων) κάθε ασύρματου δικτύου. Κάθε SRRM θα συγκεντρώνει πληροφορίες και μετρήσεις μόνο για το συγκεκριμένο δίκτυο που ελέγχει. Για το λόγο αυτό στη περίπτωση διαπομπής, το κάθε SRRM πρέπει να στείλει τις σχετικές πληροφορίες που έχει συλλέξει στο συνεργατικό RRM. Τέτοιες πληροφορίες είναι για παράδειγμα η προτίμηση του χρήστη, τα διαθέσιμα ασύρματα δίκτυα κ.α. Για να είναι σε θέση το συνεργατικό RRM να λάβει μία απόφαση, πρέπει οπωσδήποτε να είναι διαθέσιμες οι μετρήσεις για το δίκτυο τελικού προορισμού. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να λαμβάνονται είτε επιλεκτικά από κάθε συσχετιζόμενο RRM, είτε περιοδικά, είτε ύστερα από αίτηση προς αυτό.
- 2) Το συνεργατικό κομμάτι RRM είναι επίσης υπεύθυνο για τη συλλογή των μετρήσεων και για το λόγο αυτό η οντότητα των μετρήσεων θα βρίσκεται εντός αυτού (εκτός της οντότητας απόφασης διαπομπών, για την οποία είδαμε παραπάνω ότι και αυτή βρίσκεται στο συνεργατικό RRM). Αυτό έχει ως συνέπεια κάθε SRRM να στέλνει όλες τις μετρήσεις στο συνεργατικό RRM, γεγονός που αυξάνει κατά πολύ το φορτίο της σηματοδοσίας. Παρόλα αυτά η λήψη απόφασης για διαπομπή λαμβάνεται στην περίπτωση αυτή πολύ πιο γρήγορα λόγω άμεσης διαθεσιμότητας των λεπτομερών πληροφοριών για τις μετρήσεις.
- 3) Τελικά όλες οι οντότητες με εξαίρεση αυτή των παραμέτρων ενεργοποίησης μπορούν να τοποθετηθούν στο συνεργατικό RRM, με το κάθε SRRM να είναι υπεύθυνο για την αποστολή των σχετικών πληροφοριών είτε περιοδικά, είτε

κατόπιν αιτήσεως, είτε όταν μία τιμή μιας μεταβλητής μεταβάλλεται. Αυτή η στρατηγική αυξάνει το φορτίο σηματοδοσίας αλλά από την άλλη έχει το πλεονέκτημα της πολύ γρήγορης απόφασης για διαπομπή, κριτήριο που είναι ιδιαίτερα σημαντικό.

### 3.2.2.2 Λειτουργικές οντότητες για τον έλεγχο αποδοχής κλήσεων

Οι λειτουργικές οντότητες του ελέγχου αποδοχής κλήσεων είναι οι ακόλουθες:

- Κεντρική οντότητα του ελέγχου αποδοχής κλήσεων, η οποία είναι υπεύθυνη για την τελική απόφαση.
- Τοπική οντότητα ελέγχου αποδοχής κλήσεων (βρίσκεται σε κάθε SRRM).
- Οντότητα που είναι υπεύθυνη για τη διατήρηση της ουράς των διαπομπών.

Οι οντότητες του ελέγχου αποδοχής κλήσεων χωρίζονται σε αυτή που βρίσκεται εντός της οντότητας του συνεργατικού RRM (και είναι η κεντρική οντότητα ελέγχου αποδοχής κλήσεων) και σε αυτές που βρίσκονται εντός των SRRM οντοτήτων για κάθε ασύρματο δίκτυο (τοπική οντότητα ελέγχου αποδοχής κλήσεων και οντότητα που είναι υπεύθυνη για τη διατήρηση της ουράς των διαπομπών).

Η οντότητα που βρίσκεται στο συνεργατικό RRM είναι υπεύθυνη για το γενικό έλεγχο της διαδικασίας αποδοχής κλήσεων, τον καθορισμό των χαρακτηριστικών και των απαιτήσεων της συνόδου, την κατάταξη αυτής σε μία κλάση υπηρεσιών, την απόδοση στη σύνοδο της αντίστοιχης προτεραιότητας, την επιλογή του ασύρματου συστήματος επικοινωνιών που θα την εξυπηρετήσει, την λήψη των αποτελεσμάτων και των πληροφοριών από τις οντότητες ελέγχου αποδοχής κλήσεων που εδρεύουν στις οντότητες SRRM και την συνεργασία με άλλες οντότητες όπως είναι η οντότητα διαπομπών και η οντότητα που είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση της ποιότητας υπηρεσιών των κλήσεων.

Η τοπικές οντότητες ελέγχου αποδοχής κλήσεων, οι οποίες βρίσκονται στις οντότητες SRRM σε κάθε ασύρματο δίκτυο, είναι υπεύθυνες για την συνεργασία με την οντότητα των μετρήσεων σε κάθε ασύρματο δίκτυο, τον έλεγχο των διαφορετικών κριτηρίων του ελέγχου αποδοχής κλήσεων έτσι ώστε να ληφθεί η απόφαση για την αποδοχή της κλήσης στο υπόψη δίκτυο, τη συνεργασία (λήψη και αποστολή πληροφοριών) με την οντότητα του ελέγχου αποδοχής κλήσεων που εδρεύει στο

συνεργατικό RRM και την επιλογή των κλήσεων που βρίσκονται σε εξέλιξη και θα υποχρεωθούν σε διασυστημική διαπομπή ή σε μείωση της ποιότητας υπηρεσιών τους έτσι ώστε να απελευθερωθούν οι αναγκαίοι πόροι του συστήματος για την αποδοχή της κλήσης που ζήτησε εξυπηρέτηση.

Η τρίτη κατά σειρά οντότητα που παρουσιάστηκε στην αρχή αυτής της υποενότητας είναι υπεύθυνη για τη διατήρηση της ουράς των κλήσεων που προέρχονται από διαπομπές και οι οποίες δεν μπορούν να ολοκληρωθούν αμέσως, οπότε πρέπει να παραμείνουν στην ουρά αναμονής μέχρι να γίνουν διαθέσιμοι οι απαιτούμενοι πόροι του συστήματος.

### **3.2.2.3 Λειτουργικές οντότητες για τη διαχείριση της ποιότητας των υπηρεσιών**

Οι λειτουργικές οντότητες για τη διαχείριση της ποιότητας των υπηρεσιών περιλαμβάνουν λειτουργίες που διασφαλίζουν τις ομοιότητες μεταξύ των διαφορετικών ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών. Οι αποφάσεις λαμβάνονται σε ανεξάρτητη βάση για τον κάθε χρήστη ξεχωριστά και ο χρονοδρομολογητής που συνδέεται με την οντότητα του συνεργατικού RRM φροντίζει για την επιβολή της ανάλογης ποιότητας υπηρεσίας και την βέλτιστη εκμετάλλευση των ραδιοπόρων της ασύρματης διεπαφής του συστήματος. Επίσης αναμένεται να περιληφθεί μελλοντικά και ταξινομητής των ροών που θα διαχειρίζεται τις εντός του κάθε ασύρματου δικτύου ροές δεδομένων.

Η λειτουργία του χρονοδρομολογητή απαρτίζεται από ένα αργό και ένα γρήγορο μέρος RRM. Το αργό RRM χρησιμοποιείται για να ενημερώνεται η λίστα προτεραιότητας των ασύρματων δικτύων. Η ενημέρωση γίνεται βάση πληροφοριών από γειτονικά σημεία πρόσβασης στην ενεργό περιοχή. Το γρήγορο RRM επιτελεί την ανάλυση συμπεριφοράς της κάθε ποιότητας υπηρεσίας και την κατανομή αυτής. Επιπλέον οντότητες συνθέτουν την κατανεμημένη πλατφόρμα RRM και μπορούν να εγγυηθούν την ποιότητας υπηρεσίας. Αυτές οι οντότητες ονομάζονται τοπικό RRM (δεν είναι τίποτα άλλο από το SRRM που συναντήσαμε και σε προηγούμενη ενότητα) και γενικό RRM (δεν είναι τίποτα άλλο από το συνεργατικό RRM που συναντήσαμε και σε προηγούμενη ενότητα).

Ο στόχος είναι να παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα να κάνει αίτηση για μία υπηρεσία με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- 1) Πάντα συνδεδεμένος (Always Connected)

- 2) Καλύτερη δυνατή κάλυψη (Best Coverage)
- 3) Το καλύτερο δυνατό εύρος ζώνης (Best Available Bandwidth)
- 4) Καλύτερη δυνατή ποιότητα υπηρεσιών (Best Available QoS)

Από την πλευρά του δικτύου το σύστημα πρέπει να διαχειρίζεται την κίνηση μέσω διακριτών RRM, όπως είναι οι joint RRM (JRRM) και οι CRRM, έτσι ώστε:

- 1) Να επιτυγχάνεται αποσυμφόρηση μιας περιοχής, η οποία είναι είτε μέρος ενός μοναδικού ασύρματου δικτύου, είτε μέρος μιας περιοχής που καλύπτεται από περισσότερα του ενός ασύρματα δίκτυα.
- 2) Να παρέχεται βοήθεια στην έναρξη μιας διαπομπής.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

## ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΗΣ (ADMISSION CONTROL)

---

- 4.1 Έλεγχος αποδοχής κλήσης βασισμένος στο λόγο σήματος προς παρεμβολή
  - 4.2 Έλεγχος αποδοχής κλήση, με έμφαση στην μείωση των κλήσεων που διακόπτονται
  - 4.3 Έλεγχος αποδοχής σύνδεσης βασισμένος σε κράτηση
  - 4.4 Έλεγχος αποδοχής σύνδεσης βασισμένος στη συνολική διεκπεραιωτικότητα (throughput) του συστήματος
  - 4.5 Τοπικός - ολικός έλεγχος αποδοχής σύνδεσης
  - 4.6 Προτεραιότητες στη δέσμευση πόρων
- 

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι η παράθεση γνωστών αλγορίθμων ελέγχου αποδοχής κλήσης. Όπως έχει τονιστεί, σκοπός αυτών των σεναρίων είναι να ρυθμίσουν την λειτουργία του δικτύου, ώστε να εξασφαλιστεί αδιάκοπη παροχή υπηρεσίας στις



υπάρχοντες συνδέσεις και ταυτόχρονα κάποιος συμβιβασμός, κατά βέλτιστο τρόπο, για την εγκατάσταση νέων συνδέσεων. Αυτό γίνεται με την διαχείριση των πόρων του δικτύου και την κατανομή τους ανάμεσα στους χρήστες σύμφωνα με κάποια στρατηγική.

Το σύστημα, λοιπόν, είτε δέχεται είτε απορρίπτει την νέα σύνδεση. Εάν κάποια στιγμή όμως, η ποιότητα υπηρεσίας μιας υπάρχουσας σύνδεσης υποβαθμίζεται, αυτή διακόπτεται. Η διακοπή μιας κλήσης είναι πολύ πιο σημαντική από την απόρριψη μιας νέας, διότι είναι πολύ πιο ενοχλητικό να χαθεί μια σύνδεση σε εξέλιξη από το να υπάρξει αποτυχία στην εγκατάσταση μιας νέας.

Ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων παίζει σημαντικό ρόλο στα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών, αφού είναι ένας από τους βασικούς μηχανισμούς που καθορίζουν την επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας για τους χρήστες του δικτύου. Στα συστήματα επικοινωνιών δεύτερης και τρίτης γενιάς ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων είχε να κάνει με ένα και μόνο δίκτυο και την αποδοχή ή όχι του χρήστη στο δίκτυο αυτό. Στα δίκτυα ασύρματων επικοινωνιών τέταρτης γενιάς, τα οποία θα είναι ετερογενή συνδυάζοντας διαφορετικές τεχνολογίες και δίκτυα, ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων πρέπει να λαμβάνει υπόψη του όλα τα επιμέρους δίκτυα και να αποφασίσει εάν θα γίνει αποδεκτός ένας χρήστης και να βρει το κατάλληλο δίκτυο για αυτόν για να τον εντάξει σε αυτό.

Γενικά ένας αποδοτικός αλγόριθμος αποδοχής κλήσης πρέπει να πληρεί τις επόμενες προϋποθέσεις:

- Σταθερότητα της παρερχομένης ποιότητας υπηρεσίας (πιθανότητα απόρριψης, διακοπής, καθυστέρηση, ρυθμός λαθών).
- Προσαρμογή σε διαφορετικές συνθήκες για την επίτευξη σταθερής λειτουργίας.
- Μνήμη (διαφορετικά σενάρια για διαφορετικές ώρες της ημέρας). Για παράδειγμα, το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιεί διαφορετική στρατηγική ελέγχου κατά την διάρκεια των ωρών αιχμής.
- Ικανότητα για αναθεώρηση και επέκταση σε νέες υπηρεσίες.
- Απλότητα σχεδίασης και ελάττωση του χρόνου επεξεργασίας. Όλα τα προηγούμενα σημεία πρέπει να εκπληρωθούν κατά τρόπο ώστε το σύστημα να διατηρηθεί όσο το δυνατόν απλό. Αυτή η προϋπόθεση, σε συνδυασμό με χαμηλό χρόνο επεξεργασίας, εγγυάται την αποδοτικότητα και την γρήγορη ανταπόκριση στις διάφορες πολύπλοκες απαιτήσεις των χρηστών του συστήματος.

Τέλος, σημειώνεται ότι διαφορετικές στρατηγικές ελέγχου αποδοχής κλήσης μπορούν να εφαρμοστούν στην άνω και κάτω ζεύξη, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και την ιδιομορφία της κάθε ζεύξης.

## 4.1 Έλεγχος αποδοχής κλήσης βασισμένος στο λόγο σήματος προς παρεμβολή

### 4.1.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί την χωρητικότητα που παραμένει, δηλαδή τον επιπλέον αριθμό των νέων κλήσεων που ο σταθμός βάσης μπορεί να δεχτεί, ώστε η πιθανότητα απόρριψης να παραμείνει κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο. Αυτή η παραμένουσα χωρητικότητα ενημερώνεται δυναμικά σε κάθε κυψέλη σύμφωνα με τις μετρήσεις του λόγου σήματος προς θόρυβο στο σταθμό βάσης. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής, ύστερα από προσομοίωση, φαίνεται να είναι ότι προσφέρει σταθερό έλεγχο αποδοχής κλήσης, ακόμα και για σενάριο υπερβολικής κίνησης. Χρησιμοποιεί το λόγο σήματος προς παρεμβολή στην άνω ζεύξη για τον υπολογισμό της παραμένουσας χωρητικότητας.

Στις συνηθισμένες προσεγγίσεις, θεωρείται ένας σταθερός αριθμός κλήσεων για κάθε κυψέλη και αγνοείται η επίδραση της διαδικασίας αφίξεων κλήσεων. Στην μέθοδο αυτή, λαμβάνεται υπόψη τόσο η διάδοση όσο και οι μεταβολές φορτίου κίνησης. Επειδή οι μετρήσεις του λόγου σήματος προς παρεμβολή αποτελούν μέρος κάθε συστήματος UMTS, η εφαρμογή της μεθόδου δεν επιβαρύνει καθόλου σε κόστος το σύστημα.

Αν υποθεθεί ένα σύστημα με  $K$  κυψέλες,  $k=\{1,\dots,K\}$  και  $n_k$  ( $k \in K$ ) κλήσεις στην κυψέλη  $k$ , η συνολική ισχύς που λαμβάνεται από τον σταθμό βάσης στην κυψέλη  $k$  είναι το άθροισμα των ισχύων από όλα τα κινητά του συστήματος:

$$I(k) = \sum_{h=1}^K \sum_{i=1}^{n_h} I_i(h, k) = S n_k + S \sum_{h \neq k} \sum_{i=1}^{n_h} \left( \frac{r_{ih}}{r_{ik}} \right)^a 10^{(\xi_{ik} - \xi_{ih})/10} \quad (4.1)$$

όπου  $I_i(h,k)$  είναι η ισχύς που λαμβάνεται στο σταθμό βάσης στην κυψέλη  $k$  από το  $i$  κινητό που μεταδίδει στο σταθμό βάσης της δικιάς του κυψέλης  $h$ ,  $r_{ih}$  είναι η απόσταση του κινητού  $i$  από το σταθμό βάσης της δικιάς του κυψέλης  $h$ ,  $r_{ik}$  είναι η απόσταση του κινητού  $i$  από το σταθμό βάσης της κυψέλης  $k$  και  $S$  είναι το επίπεδο ισχύος που λαμβάνεται από τα σταθμό βάσης της κυψέλης του κινητού.

Ο λόγος σήματος προς παρεμβολή, που μετριέται στον σταθμό βάσης της κυψέλης  $k$ ,  $SIR_k$ , είναι το ποσοστό της επιθυμητής ισχύος σήματος του κινητού προς το άθροισμα της ισχύος από όλα τα άλλα κινητά:

$$SIR_k = \frac{S}{I(k) - S} = \frac{1}{n_k - 1 + \left( \sum_{h \neq k} \sum_{i=1}^{n_h} \left( \frac{r_{ih}}{r_{ik}} \right)^a 10^{(\zeta_{ik} - \zeta_{ih})/10} \right)} \quad (4.2)$$

Όπως μπορεί να διαπιστωθεί, το  $SIR_k$  είναι μια τυχαία μεταβλητή. Αυτό οφείλεται σε τρεις στοχαστικές διαδικασίες, την διάδοση, την διακύμανση φορτίου και την κατανομή του κινητού. Αποτελεί, επίσης, ένα μέτρο της συμφόρησης των κυψελών του συστήματος.

#### 4.1.2 Αλγόριθμος

Το κλειδί του αλγορίθμου, όπως ειπώθηκε, είναι η παραμένουσα χωρητικότητα. Η παραμένουσα χωρητικότητα σε μια κυψέλη ορίζεται ως ο επιπρόσθετος αριθμός νέων κλήσεων, που ο σταθμός βάσης μπορεί να δεχτεί, ώστε η πιθανότητα να μην μπορεί να υποστηριχτεί ικανοποιητικά η ποιότητα μετάδοσης να είναι κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο. Θεωρώντας ότι η αποδοχή των κλήσεων διαπομπής μειώνει την παρεμβολή του συστήματος, μπορεί να υποθεθεί οι κλήσεις διαπομπής σε μια κυψέλη δεν θα απαιτήσουν επιπλέον χωρητικότητα από την κυψέλη αυτή.

Μπορούν να εφαρμοστούν δυο αλγόριθμοι. Ο πρώτος είναι τοπικά καθορισμένος και η απόφαση για τον έλεγχο απόδοσης κλήσης βασίζεται εξολοκλήρου στην μέτρηση του SIR στον τοπικό σταθμό βάσης της κυψέλης. Ο δεύτερος χρησιμοποιεί την τοπική μέτρηση του SIR και τις μετρήσεις SIR των άμεσα γειτονικών κυψελών.

- *Αλγόριθμος 1*

Ο σταθμός βάσης σε κάθε κυψέλη  $k$  κάνει περιοδικές μετρήσεις του  $SIR_k$ . Η παραμένουσα χωρητικότητα  $R_k$  εκτιμάται και ενημερώνεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$R_k = \begin{cases} \left\lfloor \frac{1}{SIR_{TH}} - \frac{1}{SIR_k} \right\rfloor & \text{εάν } \left\lfloor \frac{1}{SIR_{TH}} - \frac{1}{SIR_k} \right\rfloor > 0 \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (4.3)$$

όπου  $SIR_{TH}$  είναι το κατώφλι SIR στον σταθμό βάσης του δέκτη και ο συμβολισμός  $\lfloor X \rfloor$  δίνει το μεγαλύτερο ακέραιο που είναι μικρότερος ή ίσος του  $X$ . Για κάθε αίτηση νέας κλήσης στην κυψέλη  $k$ , ο σταθμός βάσης ελέγχει την τιμή της παραμένουσας χωρητικότητας  $R_k$ : αν  $R_k > 0$ , η νέα κλήση γίνεται δεκτή και η παραμένουσα χωρητικότητα μειώνεται κατά ένα. Αλλιώς η κλήση απορρίπτεται. Σημειώνεται πως πάντα πρέπει να ισχύει  $SIR_{TH} \geq SIR_0$ , όπου  $SIR_0$  είναι ο ελάχιστος SIR για κανονική λειτουργία.

- *Αλγόριθμος 2*

Ο σταθμός βάσης σε κάθε κυψέλη  $k$  κάνει περιοδικές μετρήσεις του  $SIR_k$  και λαμβάνει υπόψη τις μετρήσεις SIR των γειτονικών του κυψελών. Η παραμένουσα χωρητικότητα  $R_k$  της κυψέλης  $k$  εκτιμάται και ενημερώνεται τότε σύμφωνα με τον τύπο:

$$R_k = \begin{cases} \min\{R_k^{(j)} | j \in \kappa(k)\} & \text{εάν } \min\{R_k^{(j)} | j \in \kappa(k)\} > 0 \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (4.4)$$

όπου

$$R_k^{(j)} = \begin{cases} \left\lfloor \frac{1}{SIR_{TH}} - \frac{1}{SIR_k} \right\rfloor & \text{εάν } j = k \\ \left\lfloor \frac{1}{\beta} \left( \frac{1}{SIR_{TH}} - \frac{1}{SIR_k} \right) \right\rfloor & \text{εάν } j \in \kappa_{(k)}(k) \end{cases} \quad (4.5)$$

όπου  $\min\{X\}$  δίνει την μικρότερη τιμή του  $X$ ,

$\kappa(k)$  αντιπροσωπεύει ένα υποσύνολο που περιλαμβάνει την  $k$  και τις γειτονικές της,  $\kappa_{(k)}(k)$  ένα υποσύνολο κυψελών με τις γειτονικές της  $k$  και

$\beta$  η εκτίμηση της αμοιβαίας παρεμβολής μεταξύ γειτονικών κυψελών.

Ομοίως, για κάθε αίτηση νέας κλήσης στην κυψέλη  $k$  ο σταθμός βάσης ελέγχει την τιμή της παραμένουσας χωρητικότητας  $R_k$ : αν  $R_k > 0$ , η νέα κλήση γίνεται δεκτή και η παραμένουσα χωρητικότητα μειώνεται κατά ένα. Αλλιώς η κλήση απορρίπτεται.

Το  $\beta$  αντιπροσωπεύει την εκτίμηση της παρεμβολής σε ένα σταθμό βάσης μιας γειτονικής κυψέλης. Μια τιμή του  $\beta$  μπορεί να υπολογιστεί ως η μέση τιμή της παρεμβολής των κινητών των γειτονικών κυψελών, δηλαδή  $\beta = E[I_i(h,k)]$ , όπου  $h \in \kappa_{(k)}(k)$ . Από μελέτες προσομοίωσης, η μέση αυτή τιμή μπορεί να θεωρηθεί ίση με  $b = 0.074917$ .

Ο λόγος, που προτιμάται για τους υπολογισμούς της παραμένουσας χωρητικότητας το SIR της άνω ζεύξης, είναι ότι με έλεγχο ισχύος και συγχρονισμένη μετάδοση στην κάτω ζεύξη, η χωρητικότητα του συστήματος περιορίζεται από την άνω ζεύξη.

Στον αλγόριθμο 1, μόνο το τοπικά μετρούμενο SIR είναι διαθέσιμο για να εκτιμηθεί η παραμένουσα χωρητικότητα. Δεδομένου του  $SIR_k$  που μετράται στον σταθμό βάσης της κυψέλης  $k$  και του απαιτούμενου SIR κατωφλίου  $SIR_{TH}$ , ο επιπρόσθετος αριθμός κλήσεων  $R_k$  που η κυψέλη  $k$  μπορεί να δεχτεί, ώστε ο τοπικός SIR να παραμείνει πάνω από το κατώφλι  $SIR_{TH}$ , δίνεται από τον τύπο:

$$\frac{1}{n_k + R_k - 1 + \left( \sum_{h \neq k} \sum_{i=1}^{n_h} \left( \frac{r_{ih}}{r_{ik}} \right)^a 10^{(\xi_{ik} - \xi_{ih})/10} \right)} \geq SIR_{TH} \quad (4.6)$$

και ο προσδιορισμός του  $R_k$  από τον τύπο:

$$R_k \leq \frac{1}{SIR_{TH}} - \frac{1}{SIR_k} \quad (4.7)$$

Για τον αλγόριθμο 2, ο τοπικά μετρήσιμος SIR χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η δυναμική παραμένουσα χωρητικότητα. Έπειτα, η επίδραση της παρεμβολής (ως αποτέλεσμα της αποδοχής νέων κλήσεων) στα SIR των γειτονικών κυψελών

εκτιμάται μέσω του παράγοντα  $\beta$ . Αφού το  $\beta$  εκτιμά την κανονικοποιημένη παρεμβολή από ένα κινητό στους σταθμούς βάσης των γειτονικών κυψελών, οι περιορισμοί στο  $R_k$  από το SIR των γειτονικών κυψελών δίνονται από τον τύπο:

$$R_k \leq \frac{1}{\beta} \left( \frac{1}{SIR_{TH}} - \frac{1}{SIR_j} \right), \quad j \in \kappa_{(k)}(k) \quad (4.8)$$

Η παραμένουσα χωρητικότητα σε μια δεδομένη κυψέλη  $k$  υπολογίζεται τότε, θεωρώντας όλους τους περιορισμούς από τον SIR της τοπικής κυψέλης αλλά και των γειτονικών της.

Αν και το SIR που μετριέται στην τοπική κυψέλη αντιπροσωπεύει την ακριβή επίδραση του φορτίου στην χωρητικότητα στην κυψέλη αυτή, μπορεί να υποεκτιμά την επίδραση του φορτίου της τοπικής κυψέλης στις άλλες κυψέλες του συστήματος. Έτσι, για τον αλγόριθμο 1, για να εμποδιστεί πιθανή υπερβολική παρεμβολή, το κατώφλι  $SIR_{TH}$  πρέπει να επιλεγεί να είναι μεγαλύτερο από εκείνο του SIR που απαιτείται για ψηφιακή μετάδοση φωνής ( $SIR_0$ ). Επιλέγοντας  $SIR_{TH} > SIR_0$ , ο έλεγχος αποδοχής κλήσης θα είναι πιο αυστηρός και θα προστατεύει την ολική συμπεριφορά του συστήματος. Για τον αλγόριθμο 2, βέβαια, η χρήση του παράγοντα  $\beta$  και η μέτρηση του SIR των γειτονικών κυψελών οδηγεί σε εκτίμηση της επίδρασης του φορτίου μιας κυψέλης στις γειτονικές της. Έτσι, το κατώφλι  $SIR_{TH}$ , μπορεί να επιλεγεί κοντά ή ακόμα και ίσο με το  $SIR_0$ .

### 4.1.3 Αποτελέσματα

Η επίδοση του συστήματος μετριέται με την πιθανότητα απόρριψης (blocking probability) που ορίζεται στην περίπτωση της μεθόδου αυτής ως:

$$P_{BLK}(k) = \Pr\{R_k = 0\} \quad (4.9)$$

Ένα άλλο κριτήριο επίδοσης μπορεί να είναι η εξής πιθανότητα:

$$P_{OTG}(k) = \Pr \left\{ \frac{E_b}{N_0} < EIR_0 \right\} \quad (4.10)$$

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η χωρητικότητα Erlang, που ορίζεται ως το προσφερόμενο φορτίο σε Erlangs για μια δεδομένη κυψέλη  $k$  όταν η πιθανότητα της απόρριψης είναι  $P_{BLK}(k)=0.02$ .

Από προσομοιώσεις μπορούν να προέλθουν κάποια συμπεράσματα και παρατηρήσεις για την μέθοδο. Η αύξηση του  $SIR_{TH}$  μπορεί να βελτιώσει την πιθανότητα  $P_{OTG}(k)$  (τύπος 4.10), χωρίς να συμβιβάζεται σε μεγάλο βαθμό με την επίδοση σε απόρριψη κλήσεων. Ένα δεύτερο σημείο συζήτησης είναι ότι μεταβάλλοντας τον παράγοντα  $\beta$ , μπορεί να επιτευχθεί μια εξισορρόπηση της πιθανότητας απόρριψης ανάμεσα στην κυψέλη με υψηλό φορτίο και τις γειτονικές της. Με κανονικό φορτίο κίνησης, όταν το  $\beta$  αυξάνεται η επίδοση βασισμένη στην παράμετρο  $P_{OTG}(k)$  βελτιώνεται, ενώ η  $P_{BLC}$  παραμένει σχεδόν η ίδια. Για υψηλά φορτία, όμως, η αύξηση του  $\beta$  συνεπάγεται την βελτίωση του  $P_{BLC}$  στην εν λόγω κυψέλη εις βάρος των γειτονικών της. Το πλεονέκτημα, λοιπόν, της μεθόδου αυτής είναι η πιο δίκαιη συμπεριφορά του συστήματος και η καλύτερη επίδοσή του σε καταστάσεις υπερβολικής κίνησης, όπως ειπώθηκε και στην εισαγωγή.

## 4.2 Έλεγχος αποδοχής κλήση, με έμφαση στην μείωση των κλήσεων που διακόπτονται

### 4.2.1 Εισαγωγή

Στην μέθοδο αυτή, η απόφαση για την αποδοχή κλήσης στηρίζεται στο φορτίο κίνησης τόσο της κυψέλης που μας ενδιαφέρει όσο και των γειτονικών. Η σημασία, που έχει ο έλεγχος αποδοχής κλήσης να λαμβάνει υπόψη του τις γειτονικές κυψέλες, είναι εμφανής από το επόμενο παράδειγμα. Ας υποθέσουμε δύο γειτονικές κυψέλες A και B. Το φορτίο κίνησης στην B έχει φτάσει την μέγιστη τιμή του, ενώ το φορτίο στην A είναι αρκετά χαμηλό. Οι νέες κλήσεις που φθάνουν στην B θα απορριφθούν. Μια διαφορετική

μέθοδος θα επέτρεπε νέες κλήσεις στην A, αφού δεν έχει φτάσει το μέγιστο φορτίο της. Αυτό, όμως, θα χειροτέρευε την ποιότητα των καναλιών στην B. Επιπρόσθετα, για να πριμοδοτηθούν οι κλήσεις με διαπομπή εισάγεται η ιδέα να κρατηθεί φορτίο αποκλειστικά για κλήσεις διαπομπών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μειώνονται σημαντικά οι διακοπές των κλήσεων με μικρή αύξηση των απορριφθέντων κλήσεων.

## 4.2.2 Αλγόριθμος

Υποθέτουμε ότι η κυψέλη χωρίζεται σε 2 ζώνες: στην ζώνη πυρήνα (CZ) και στην ζώνη soft διαπομπής (SHZ). Αναφορικά με τον σταθμό βάσης της κυψέλης, η άμεσα κοντινή περιοχή στην SHZ ονομάζεται περιοχή γειτονιάς (NZ).

Όταν μια νέα κλήση φθάνει, ο σταθμός βάσης στην εν λόγω κυψέλη πρώτα ελέγχει εάν είναι σε ζώνη πυρήνα ή διαπομπής. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους. Ο ένας χρησιμοποιεί την πληροφορία του πλάτους του σήματος και ο άλλος τον έλεγχο του αριθμού των οδηγών (pilots) στο ενεργό σύνολο της νέας κλήσης. Το φορτίο της εν λόγω κυψέλης (ELT) υπολογίζεται από την επόμενη εξίσωση:

$$ELT = k_c + w_s \cdot k_s + w_n \cdot k_n \quad (3.11)$$

όπου  $k_c(k_s)$  είναι ο αριθμός των κλήσεων στην CZ ζώνη (SHZ αντίστοιχα) πριν την πιθανή αποδοχή,

$k_n$  είναι ο αριθμός κλήσεων στην NZ και

$w_s, w_n$  είναι βάρη.

Εάν η κυψέλη είναι ήδη κορεσμένη, η κλήση απορρίπτεται. Αλλιώς, αν η κλήση είναι στην SHZ υπολογίζεται το φορτίο της άλλης κυψέλης (ELS2), που καλύπτει την SHZ. Το κατώφλι συγκρίνεται εκ νέου με το ELS2 και αν η κυψέλη αυτή δεν έχει φθάσει το σημείο κορεσμού, ο αλγόριθμος συνεχίζει με τον τελικό έλεγχο των γειτονικών κυψελών. Η κλήση γίνεται δεκτή εάν το μέγιστο τρέχον φορτίο για τις γειτονικές κυψέλες είναι κάτω του κατωφλίου.

Όταν μια κλήση διαπομπής απαιτείται, υπολογίζονται τα τρέχοντα φορτία των κυψελών που καλύπτουν την SHZ ζώνη. Η μεγαλύτερη τιμή από αυτά συγκρίνεται με το προκαθορισμένο κατώφλι. Εάν υπάρχει αρκετός χώρος στις κυψέλες, ο αλγόριθμος



συνεχίζει υπολογίζοντας το μέγιστο φορτίο για τις γειτονικές κυψέλες. Εάν οι τιμές είναι κάτω του κατώφλιου, η κλήση διαπομπής γίνεται δεκτή. Εάν κάποια από τις τιμές είναι πάνω από το κατώφλι, η κλήση διαπομπής θα μπει σε μια σειρά αναμονής, αν η σειρά αυτή δεν είναι γεμάτη, αλλιώς θα απορριφθεί. Οι κλήσεις περιοδικά ελέγχονται στην σειρά αναμονής και αν έχει επέλθει η λήξη τους, διακόπτονται.

Η διαπομπή μιας κλήσης είναι πιο ενοχλητική από την απόρριψη μιας νέας. Πριμοδοτώντας τις κλήσεις διαπομπής σημαντικά, εισάγεται η ιδέα ενός κρατημένου διαύλου. Αλλά στα κυψελωτά CDMA συστήματα οι πόροι είναι περιορισμένοι. Δεν υπάρχουν φυσικοί πόροι ώστε να χρησιμοποιηθούν για κρατημένους διαύλους. Έτσι μια συγκεκριμένη ποσότητα χωρητικότητας κίνησης κρατείται αποκλειστικά για κλήσεις διαπομπών. Το κατώφλι, επομένως, για κλήσεις διαπομπών είναι πάντα μεγαλύτερο ή ίσο από τα αντίστοιχο για νέες κλήσεις στον παραπάνω αλγόριθμο.

Η ακριβής διατύπωση του αλγορίθμου μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας διαγράμματα καταστάσεων.

### 4.2.3 Αποτελέσματα

Επειδή ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψη τόσο την εν λόγω κυψέλη όσο και τις γειτονικές, θα απορρίψει κάποιες παραπάνω νέες κλήσεις. Ως αντάλλαγμα, όμως, μειώνει τις κλήσεις που διακόπτονται μέχρι και σημείου μηδενισμού τους. Γενικά, υπάρχει μια διαπραγμάτευση μεταξύ πιθανότητας απόρριψης και διακοπής. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος είναι ιδανικός υποψήφιος για ένα σύστημα που απαιτεί χαμηλή πιθανότητα διακοπής.

## 4.3 Έλεγχος αποδοχής σύνδεσης βασισμένος σε κράτηση

Η μέθοδος αυτή είναι η απλούστερη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Ο αλγόριθμος, απλά, κοιτά στην κυψέλη που έρχεται η αίτηση σύνδεσης για να αποφασίσει αν θα γίνει αποδεκτή. Έστω  $N_h$  ( $N_h \geq 0$ ) ο αριθμός των καναλιών που κρατούνται ειδικά για συνδέσεις

διαπομπών και  $N$  ο μέγιστος αριθμός συνδέσεων που η κυψέλη μπορεί να αντιμετωπίσει ταυτόχρονα. Νέες συνδέσεις γίνονται δεκτές αν  $N_0 < N - N_h$ .

#### 4.4 Έλεγχος αποδοχής σύνδεσης βασισμένος στη συνολική διεκπεραιωτικότητα (throughput) του συστήματος

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο αποδοχής σύνδεσης ο νέος χρήστης που ζητά πρόσβαση στο δίκτυο δεν γίνεται δεκτός αν ισχύει:

$$n_{ul} + \Delta L > n_{ul,threshold}$$

Το ίδιο κριτήριο ελέγχεται και για την προς τα κάτω ζεύξη:

$$n_{dl} + \Delta L > n_{dl,threshold}$$

όπου  $n_{ul}$  και  $n_{dl}$  είναι οι load factors στην προς τα άνω και προς τα κάτω ζεύξη αντίστοιχα, πριν την αποδοχή της νέας σύνδεσης και υπολογίζονται όπως περιγράφεται στην παράγραφο που ακολουθεί. Ο load factor του νέου χρήστη υπολογίζεται με παρόμοιο τρόπο. Για να γίνει αποδεκτή μια σύνδεση από το δίκτυο θα πρέπει να ικανοποιούνται ταυτόχρονα και τα δύο κριτήρια, τόσο στην προς τα άνω, όσο και στην προς τα κάτω ζεύξη.

##### 4.4.1 Load factor στην προς τα άνω ζεύξη

Η θεωρητική απόδοση του φάσματος (spectrum efficiency) σε μία κυψέλη ενός WCDMA συστήματος μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση φορτίου η οποία μπορεί να εξαχθεί ως εξής:

Πρώτα ορίζουμε το  $E_b / N_0$  την ενέργεια δηλαδή για κάθε bit πληροφορίας χρήστη διαιρούμενη με τη φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου.

Ισχύει η εξίσωση:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j = \text{processing gain of user } j \cdot \frac{\text{signal of user } j}{\text{total received power}}$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j = \frac{W}{u_j \cdot R_j} \cdot \frac{P_j}{I_{tot} - P_j} \quad (4.12),$$

όπου:

$W$  είναι το chip rate,  $P_j$  είναι η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος στο σταθμό βάσης λόγω της εκπομπής από το χρήστη  $j$ ,  $u_j$  είναι ο activity factor του χρήστη  $j$ ,  $R_j$  είναι το bit rate του χρήστη  $j$  και  $I_{tot}$  είναι η συνολικά λαμβανόμενη ισχύς ευρέως φάσματος από το σταθμό βάσης συμπεριλαμβανομένης της ισχύος θερμικού θορύβου στο σταθμό βάσης.

Επιλύοντας την προηγούμενη εξίσωση ως προς  $P_j$  λαμβάνουμε:

$$P_j = \frac{1}{1 + \frac{(\frac{E_b}{N_0})_j \cdot R_j \cdot u_j}{W}} \cdot I_{total} \quad (4.13)$$

Ορίζουμε  $P_j = L_j \cdot I_{total}$  και λαμβάνουμε τον load factor για μια σύνδεση:

$$L_j = \frac{1}{1 + \frac{(\frac{E_b}{N_0})_j \cdot R_j \cdot u_j}{W}} \quad (4.14)$$

Η συνολικά λαμβανόμενη παρεμβολή πολλαπλής προσπέλασης, εξαιρώντας την ισχύ του θερμικού θορύβου  $P_N$  μπορεί να γραφεί ως άθροισμα των λαμβανόμενων ισχύων από όλους τους  $N$  χρήστες που είναι συνδεδεμένοι στη συγκεκριμένη κυψέλη.

Δηλαδή:

$$I_{total} - P_N = \sum_{j=1}^N P_j = \sum_{j=1}^N L_j \cdot I_{total} \quad (4.15)$$

Το noise rise ορίζεται ως ο λόγος της συνολικά λαμβανόμενης ισχύος ευρέως φάσματος προς την ισχύ του θερμικού θορύβου:

$$\text{Noise Rise} = \frac{I_{total}}{P_N} \quad (4.16)$$

και χρησιμοποιώντας την εξίσωση (4.15) λαμβάνουμε:

$$\text{Noise Rise} = \frac{I_{total}}{P_N} = \frac{1}{1 - \sum_{j=1}^N L_j} = \frac{1}{1 - n_{ul}} \quad (4.17)$$

όπου έχουμε ορίσει το load factor της προς τα άνω ζεύξης ως εξής:

$$n_{ul} = \sum_{j=1}^N L_j \quad (4.18)$$

Όπως προκύπτει από την εξίσωση (4.17) όταν ο load factor προσεγγίζει τη μονάδα, ο αντίστοιχος noise rise τείνει στο άπειρο και τότε το σύστημα προσεγγίζει τη μέγιστη χωρητικότητά του (pole capacity).

Επιπρόσθετα κατά τον υπολογισμό του load factor η παρεμβολή από τις γειτονικές κυψέλες πρέπει να ληφθεί υπόψη. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια του παράγοντα  $i$  που ορίζεται ως εξής:

$$i = \frac{\text{other cell interference}}{\text{own cell interference}} \quad (4.19)$$

Έτσι ο load factor της προς τα άνω ζεύξης μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$n_{ul} = (1+i) \cdot \sum_{j=1}^N L_j = (1+i) \cdot \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{(\frac{E_b}{N_0}) \cdot R_j \cdot u_j}{W}} \quad (4.20)$$

Για ένα κλασικό δίκτυο με υπηρεσία μετάδοσης φωνής, όπου και οι  $N$  χρήστες στην κυψέλη έχουν χαμηλό bite rate  $R$ , ισχύει:

$$\frac{W}{\frac{E_b}{N_0} \cdot R \cdot u} \gg 1$$

και ο load factor της προς τα άνω ζεύξης μπορεί να γραφεί:

$$n_{ul} = \frac{\frac{E_b}{N_0}}{R} \cdot N \cdot u \cdot (1+i) \quad (4.21)$$

Η εξίσωση φορτίου (load equation) προβλέπει το ποσοστό της ανύψωσης του θορύβου (noise rise) πάνω από το θερμικό θόρυβο εξαιτίας της παρεμβολής. Το noise rise είναι ίσο με  $-10 \cdot \log_{10}(1 - n_{ul})$ .

Με την ίδια ακριβώς μεθοδολογία καταλήγουμε και στην εξίσωση για τον load factor της προς τα κάτω ζεύξης:

$$n_{dl} = \sum_{j=1}^N u_j \cdot \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j}{\frac{W}{R_j}} \cdot [(1 - a_j) + i_j] \quad (4.22)$$

όπου  $-10 \cdot \log_{10}(1 - n_{dl})$  είναι το noise rise στην κάτω ζεύξη λόγω παρεμβολής πολλαπλής προσπέλασης και  $a_j$  είναι ο παράγοντας ορθογωνιότητας (orthogonality factor) στην κάτω ζεύξη. Το WCDMA παρέχει ορθογωνικούς κώδικες στην κάτω ζεύξη για το διαχωρισμό των χρηστών, και χωρίς πολυδιαδρομική διάδοση η ορθογωνιότητα παραμένει όταν το σήμα του σταθμού βάσης λαμβάνεται από το κινητό τερματικό. Όταν όμως υπάρχει πολυδιαδρομική διάδοση οι διαφορετικές καθυστερήσεις διάδοσης στο κανάλι θα κάνουν το κινητό τερματικό να δει μέρος του σήματος του σταθμού βάσης σαν παρεμβολή πολλαπλής προσπέλασης. Όταν ο παράγοντας ορθογωνιότητας ισούται με 1 έχουμε τέλεια ορθογωνιότητα. Τυπικές τιμές του παράγοντα ορθογωνιότητας για πολυδιαδρομικά κανάλια μετάδοσης είναι μεταξύ 0,4 και 0,9.

Στην κάτω ζεύξη, ο παράγοντας  $i$  εξαρτάται από το χρήστη, γι' αυτό το λόγο είναι διαφορετικός για κάθε χρήστη  $j$ .

Ο προσομοιωτής που υλοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας χρησιμοποιεί έλεγχο αποδοχής κλήσης βασισμένο στην συνολική διεκπεραιωτικότητα (throughput) της προς τα κάτω ζεύξης του ασύρματου συστήματος. Δηλαδή ένας νέος χρήστης δεν γίνεται δεκτός στο σύστημα αν ισχύει:  $n_{dl} + \Delta L > n_{dl,threshold}$ . Στους παράγοντες  $i$  και  $a$  έχουν ανατεθεί οι τιμές 0,65 και 0,5 αντίστοιχα.

## 4.5 Τοπικός - ολικός έλεγχος αποδοχής σύνδεσης

Τόσο ο έλεγχος αποδοχής σύνδεσης που βασίζεται στην διεκπεραιωτικότητα (throughput) του συστήματος, όσο και ο έλεγχος που βασίζεται στο λόγο σήματος προς παρεμβολή (SIR) μπορούν να είναι τοπικοί αλλά και ολικοί (local or global). Ο τοπικός έλεγχος πραγματοποιείται σε μία και μόνο κυψέλη χωρίς να λαμβάνει υπόψη του την υπολειπόμενη χωρητικότητα των γειτονικών κυψελών. Αυτό σημαίνει ότι η υπολειπόμενη χωρητικότητα μιας κυψέλης πρέπει να υπολογιστεί για την περίπτωση στην οποία οι γειτονικές κυψέλες είναι πλήρως φορτισμένες. Αυτό βέβαια δεν οδηγεί σε μια βέλτιστη

ανάθεση των πόρων του δικτύου και μπορεί να οδηγήσει σε μη απαραίτητο αποκλεισμό νέων συνδέσεων. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι η απλότητά της μιας και δεν απαιτεί συνεργασία μεταξύ των σταθμών βάσης.

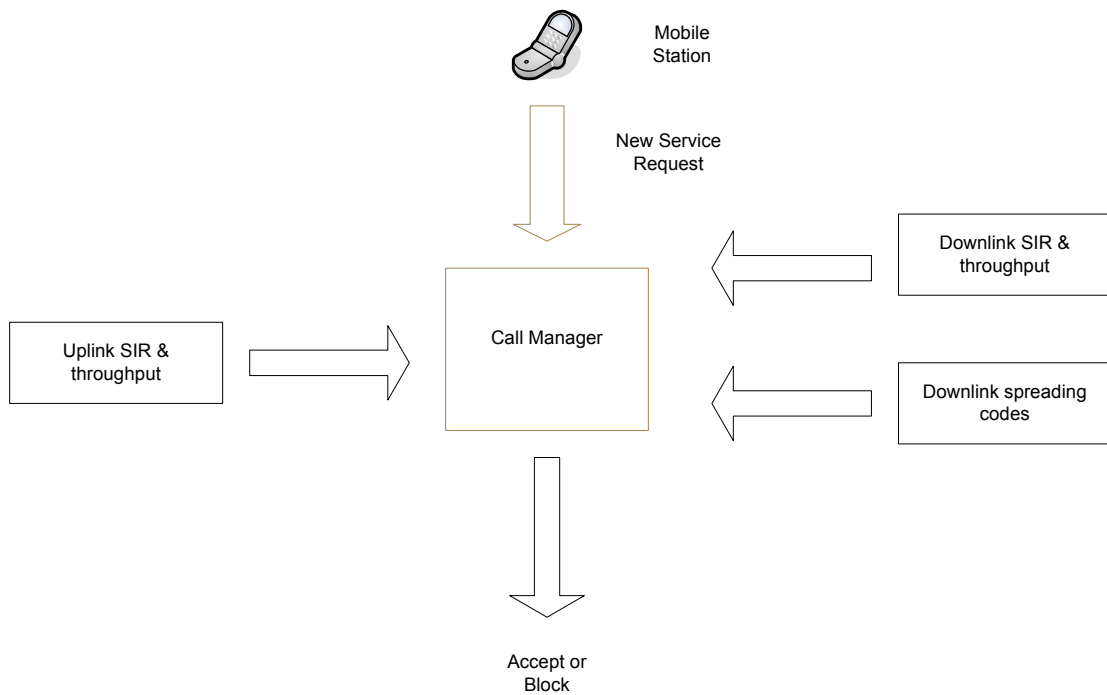
Με τον ολικό έλεγχο αποδοχής σύνδεσης, η υπολειπόμενη χωρητικότητα μιας κυψέλης εξαρτάται από την επίδρασή της, στις γειτονικές κυψέλες. Αν οι γειτονικές κυψέλες δεν επηρεάζονται από την αποδοχή της νέας σύνδεσης, τότε η κλήση γίνεται αποδεκτή από το δίκτυο. Με τον τρόπο αυτό ο έλεγχος αποδοχής σύνδεσης κατανέμει κατά ένα δίκαιο τρόπο τους πόρους του δικτύου ανάμεσα στις κυψέλες του συστήματος. Το μειονέκτημα των αλγορίθμων αυτών είναι ο μεγάλος όγκος υπολογισμών που απαιτείται κατά την άφιξη κάθε αίτησης σύνδεσης, καθώς και η πολυπλοκότητα του συστήματος.

## 4.6 Ολοκληρωμένα σχήματα ελέγχου αποδοχής σύνδεσης

Στις προηγούμενες παραγράφους αναλύθηκαν σχήματα ελέγχου αποδοχής σύνδεσης στα οποία λαμβάνεται υπόψη ο λόγος σήματος προς παρεμβολή (SIR), καθώς και το throughput του συστήματος στην προς τα άνω (uplink) και στην προς τα κάτω ζεύξη (downlink). Ωστόσο στα πραγματικά συστήματα απαιτείται η ύπαρξη ενός πιο ολοκληρωμένου ελέγχου αποδοχής σύνδεσης που θα έχει και τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Θα εξετάζει την δυνατότητα ανάθεσης spreading code
- Θα λαμβάνει υπόψη την προτεραιότητα των διαπομπών και των ήδη εγκατεστημένων συνδέσεων.

Η δομή ενός ολοκληρωμένου σχήματος ελέγχου αποδοχής σύνδεσης θα πρέπει να μοιάζει αυτή του σχήματος που ακολουθεί:



ΣΧΗΜΑ 4.1 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΧΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΗΣ

## 4.7 Προτεραιότητες στη δέσμευση πόρων

Όλες οι προαναφερθείσες τεχνικές μπορούν να δώσουν προτεραιότητα σε ορισμένες υπηρεσίες, όπως π.χ. υπηρεσίες πραγματικού χρόνου που δε μπορούν να μπουκ σε ουρά αναμονής, ή σε ορισμένες ειδικές κλήσεις, οι οποίες πρέπει να εξυπηρετούνται πρώτες, ώστε να μην τερματίζονται αναγκαστικά.

Η δέσμευση πόρων αυξάνει το blocking probability για τις νέες κλήσεις, αλλά μειώνει την πιθανότητα εξαναγκασμένης διακοπής κλήσης (dropping), η οποία πιθανότητα έχει περίπου 10 φορές μεγαλύτερη σημασία από το blocking probability στον υπολογισμό του Grade of Service (GoS), αφού το τελευταίο ορίζεται ως εξής:

$$GoS = P_{bl} + 10 \cdot P_{dr}$$

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΗΣ ΓΙΑ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (4G WINNER) (ADMISSION CONTROL)

---

- 5.1 Έλεγχος αποδοχής κλήσεων στα πλαίσια του δικτύου WINNER
  - 5.2 Παρουσίαση και περιγραφή του ελέγχου αποδοχής κλήσεων
  - 5.3 Κριτήρια του αλγόριθμου αποδοχής κλήσεων – έλεγχος αποδοχής κλήσεων σε 2G/3G δίκτυα και στο WLAN, WINNER
  - 5.4 Προτεραιότητες στον έλεγχο αποδοχής κλήσεων
- 

Στο πέμπτο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί ένας αλγόριθμος που έχει αναπτυχθεί για ετερογενή δίκτυα τέταρτης γενιάς. Ο αλγόριθμος αυτός έχει δημιουργηθεί για να



λειτουργεί στο δίκτυο WINNER, αλλά η γενικότερη φιλοσοφία των αλγορίθμων αποδοχής κλήσεων για ετερογενή δίκτυα τέταρτης γενιάς είναι κοινή. Ακόμη στα πλαίσια του ίδιου κεφαλαίου θα παρουσιαστούν οι αλγόριθμοι αποδοχής κλήσεων που χρησιμοποιούνται ευρέως στα ασύρματα δίκτυα κινητών επικοινωνιών δεύτερης και τρίτης γενιάς καθώς και σε δίκτυα WLAN.

Ένας από τους βασικότερους μηχανισμούς διαχείρισης ραδιοπόρων (Radio Resource Management, RRM) στα ασύρματα δίκτυα είναι ως γνωστόν ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων (Admission Control, AC). Οι αλγόριθμοι ελέγχου αποδοχής κλήσεων, όπως συζητήθηκε και στο τέταρτο κεφάλαιο, χρησιμοποιούνται για να διασφαλίσουν ότι η αποδοχή ενός νέου χρήστη από ένα δίκτυο με περιορισμένους πόρους δε θα παραβιάσει τις δεσμεύσεις του παρόχου και διαχειριστή του δικτύου για την ποιότητα των υπηρεσιών που έχει συναφθεί με τους χρήστες, οι οποίοι έχουν γίνει ήδη αποδεκτοί, και επίσης ότι δε θα οδηγηθεί το δίκτυο σε κατάσταση υπερφόρτωσης. Ο σκοπός ενός αποτελεσματικού ελέγχου αποδοχής κλήσεων είναι να εγγυηθεί την ποιότητα των υπηρεσιών των χρηστών που ήδη εξυπηρετούνται, ενώ παράλληλα να χρησιμοποιείται αποτελεσματικά όλο το διαθέσιμο ραδιοφάσμα.

Οι περισσότεροι αλγόριθμοι αποδοχής κλήσεων διαχωρίζουν την ροή των χρηστών σε νέους χρήστες και σε χρήστες που προέρχονται από διαπομπή (handover). Είναι επίσης γνωστό και ευρέως αποδεκτό ότι η απόρριψη μίας κλήσης (ή γενικά ενός χρήστη του οποίου η εξυπηρέτηση έχει ήδη ξεκινήσει) είναι περισσότερο ανεπιθύμητη από την απόρριψη μίας νέας κλήσης (δηλαδή ενός χρήστη του οποίου η εξυπηρέτηση δεν έχει ακόμα ξεκινήσει). Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι περισσότεροι αλγόριθμοι δίνουν προτεραιότητα στις κλήσεις – χρήστες που προέρχονται από διαπομπή σε σχέση με τις νέες κλήσεις - χρήστες. Οι αλγόριθμοι που δίνουν προτεραιότητα στις διαπομπές χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: α) τους αλγόριθμους που χρησιμοποιούν κανάλια επιφυλακής (Guard Channel, GC) και β) τους αλγόριθμους που χρησιμοποιούν ουρά προτεραιότητας (Queuing Priority, QP). Οι GC αλγόριθμοι χρησιμοποιούν τα κανάλια ανάγκης για τις κλήσεις από διαπομπές προς την συγκεκριμένη κυψέλη και αποδέχονται νέες κλήσεις με ένα περιορισμό ή αλλιώς όριο στο πλήθος των νέων κλήσεων που θα γίνουν αποδεκτές στο δίκτυο. Αντιθέτως οι QP αλγόριθμοι αποδέχονται μία κλήση όταν υπάρχουν ελεύθερα κανάλια, ενώ όταν όλα τα κανάλια είναι κατειλημμένα τότε είτε οι νέες κλήσεις απορρίπτονται ενώ οι κλήσεις από διαπομπή μπαίνουν σε ουρά αναμονής, είτε οι νέες κλήσεις μπαίνουν σε ουρά αναμονής ενώ οι κλήσεις από διαπομπή

απορρίπτονται, είτε όλες οι κλήσεις, νέες και από διαπομπή, μπαίνουν σε ουρά αναμονής με καθορισμένη ανακατανομή εντός της ουράς.

## **5.1 Έλεγχος αποδοχής κλήσεων στα πλαίσια του δικτύου WINNER**

Στα συστήματα ασύρματων επικοινωνιών της επόμενης γενιάς, μία πληθώρα υπηρεσιών θα παρέχονται στους χρήστες κινητών τερματικών, όπως για παράδειγμα εφαρμογές πραγματικού χρόνου, υψηλής ταχύτητας δεδομένα και υποστήριξη πολυμεσικών εφαρμογών με ένα δεδομένο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Στην περίπτωση μας, ο χρήστης κινητού τερματικού θα είναι ικανός να επικοινωνεί με διαφορετικές αρχιτεκτονικές ασύρματων δικτύων, την αρχιτεκτονική του WINNER και τις αρχιτεκτονικές παλαιότερων δικτύων (legacy RANs), όπως είναι το GSM/GPRS, UMTS, WLAN.

Ο κύριος στόχος στο WINNER είναι να ενσωματώσει νέες μεθόδους διασυνεργασίας από τα χαμηλότερα επίπεδα (lower layers) προς την εκπλήρωση ενός σημαντικότερου στόχου που είναι η μέγιστη δυνατή χρησιμοποίηση του διατιθέμενου εύρους ζώνης και η βελτίωση της εγγυημένης ποιότητας υπηρεσίας. Ο μηχανισμός του ελέγχου αποδοχής κλήσεων είναι μία από τις πιο κεντρικές διαδικασίες για τη διατήρηση της σταθερότητας του συστήματος παράλληλα με την αύξηση της χωρητικότητας και τη μείωση της πιθανότητας απόρριψης κλήσεων. Ο αντικειμενικός στόχος αυτής της ενότητας είναι να εξετάσει τις επικρατέστερες στρατηγικές ελέγχου αποδοχής κλήσεων και να εξετάσει τα πλεονεκτήματα ενός αποτελεσματικού ελέγχου αποδοχής κλήσεων βασισμένου στις πληροφορίες που προέρχονται από το φυσικό επίπεδο και γίνονται γνωστές στον αλγόριθμο από τα διάφορα ασύρματα δίκτυα κινητών επικοινωνιών που χρησιμοποιούνται. Σε ένα ιδανικό σενάριο σύνδεσης άνω ζεύξης θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι η επιλογή του καταλληλότερου ασύρματου δικτύου και ο καταμερισμός των εισερχόμενων κλήσεων στα αντίστοιχα ασύρματα δίκτυα πραγματοποιείται εντός των κόμβων υποδομής. Η οντότητα που εκτελεί τον έλεγχο αποδοχής συνήθως διατηρεί ένα δυναμικό σύνολο υποψήφιων ασύρματων δικτύων βασισμένο στις πληροφορίες που εξάγονται από τα υποκείμενα φυσικά επίπεδα. Στο σχήμα αυτό κάθε ασύρματο δίκτυο

παράγει τα κρίσιμα στατιστικά φορτία από τις μετρήσεις στο φυσικό επίπεδο. Στο σενάριο αυτό καθώς και το οποιοδήποτε ασύρματο δίκτυο λειτουργεί στην επιτρεπόμενη περιοχή, μπορούν να γίνουν αποδεκτοί νέοι χρήστες σύμφωνα με τον αλγόριθμο αποδοχής κλήσεων. Όταν όμως το ασύρματο δίκτυο φτάσει τα όρια φορτίου, τότε ο νέος χρήστης δεν μπορεί να γίνει αποδεκτός στο συγκεκριμένο ασύρματο δίκτυο. Αν ακόμη τα επίπεδα φορτίου στο ασύρματο δίκτυο φτάσουν τα όρια της υπερφόρτωσης τότε ο αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων δύναται να ενεργοποιήσει τον επανεντοπισμό.

Γενικά οι αλγόριθμοι αποδοχής κλήσεων αποφαινόμενοι για την αποδοχή ή όχι νέων χρηστών ή χρηστών που προέρχονται από διαπομπή. Η κύρια διαδικασία ενός αποδοτικού αλγόριθμου αποδοχής κλήσεων είναι να αποφασίζει σε συγκεκριμένο χρονικό σημείο εάν υπάρχει κάποιο ασύρματο δίκτυο, το οποίο έχει αρκετούς ελεύθερους πόρους (να διασφαλίσει δηλαδή τις απαιτήσεις ποιότητας τη υπηρεσίας) έτσι ώστε να εξυπηρετηθεί μία νέα κλήση, η οποία μπορεί να είναι εξ' ολοκλήρου νέα ή να προέρχεται από διαπομπή μίας προηγούμενης. Η απόφαση του αλγορίθμου αποδοχής κλήσεων πρέπει να γίνει πολύ προσεκτικά έτσι ώστε τα επόμενα δύο γεγονότα να μην συμβαίνουν ή τουλάχιστον να ελαχιστοποιούνται:

- Λανθασμένου τύπου απορρίψεις. Αυτές συμβαίνουν όταν ο αλγόριθμος απορρίπτει μία κλήση, παρόλο που υπάρχει ένα ασύρματο δίκτυο, το οποίο μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της κλήσης (υπάρχουν δηλαδή αρκετοί πόροι από το δίκτυο έτσι ώστε να εξυπηρετηθεί η κλήση). Στην περίπτωση αυτή σπαταλώνονται οι πόροι του δικτύου και το κέρδος λειτουργίας του κατόχου και διαχειριστή του δικτύου δεν είναι το βέλτιστο.
- Λανθασμένου τύπου αποδοχές κλήσης. Αυτές λαμβάνουν χώρα όταν ο αλγόριθμος αποδέχεται μία κλήση παρόλο που δεν υπάρχουν οι απαιτούμενοι πόροι στο δίκτυο για να εξυπηρετηθεί. Στην περίπτωση αυτή οι ποιότητα υπηρεσίας των κλήσεων δεν είναι πλέον εγγυημένη και η ικανοποίηση των χρηστών είναι μειωμένη.

Στην περίπτωση που θα εξετάσουμε δεν λαμβάνουμε υπόψη μας την περίπτωση της διασυνεργασίας μεταξύ των ασύρματων δικτύων δεύτερης και τρίτης γενιάς καθώς και του WLAN, αλλά μόνο των δικτύων αυτών (που στο εξής θα ονομάζονται παλαιότερα ασύρματα δίκτυα) και του WINNER. Άρα τα σενάρια διασυνεργασίας, τα οποία θα

λαμβάνει υπόψη του ο αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων, μεταξύ του WINNER και των παλαιότερων ασύρματων δικτύων είναι τα ακόλουθα:

- 1) Μία νέα κλήση, η οποία δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή στα παλαιότερα ασύρματα δίκτυα θα μεταφέρεται στο WINNER, το οποίο θα επιτελεί έλεγχο αποδοχής κλήσης για τον εαυτό του και μόνο.
- 2) Μία νέα κλήση που δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή στο WINNER θα μεταφέρεται στο πιο κατάλληλο από τα παλαιότερα ασύρματα δίκτυα, βασισμένο σε συγκεκριμένα κριτήρια, το σημαντικότερο από τα οποία είναι η κλάση υπηρεσιών της απαιτούμενης υπηρεσίας.
- 3) Μία ήδη αποδεκτή κλήση στα παλαιότερα ασύρματα δίκτυα που δεν μπορεί να τερματιστεί εντός αυτών θα μεταφέρεται ως κλήση διαπομπής στο δίκτυο WINNER.
- 4) Μία ήδη αποδεκτή κλήση στο WINNER που δεν μπορεί να τερματιστεί εντός αυτού θα μεταφέρεται ως κλήση διαπομπής στο πιο κατάλληλο από τα παλαιότερα ασύρματα δίκτυα.
- 5) Μία κλήση διαπομπής μεταξύ κυψελών του δικτύου WINNER.
- 6) Μία νέα κλήση, η οποία δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή σε μία κυψέλη του WINNER και μεταφέρεται σε έναν άλλο κόμβο του ίδιου δικτύου.

Στα ασύρματα δίκτυα όταν μία κλήση δεν έχει ολοκληρωθεί εντός της τρέχουσας κυψέλης, τότε είναι πιθανό να χρειαστεί να γίνει διαπομπή σε μία γειτονική κυψέλη. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της διαπομπής, η κλήση που υπόκειται σε αυτή τη διαπομπή μπορεί να μην είναι δυνατό να βρει ένα δίαυλο στη νέα κυψέλη για να συνεχιστεί η εξυπηρέτησή της, οπότε οδηγούμαστε στην απόρριψη της κλήσης. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι μία κλήση προερχόμενη από διαπομπή είναι πιο ευαίσθητη και πρέπει να έχει προτεραιότητα σε σχέση με νέες κλήσεις, διότι η απόρριψη μίας κλήσης που ήδη εξυπηρετείται είναι ανεπιθύμητη σε σχέση με την απόρριψη μίας νέας κλήσης, γεγονός που δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικό μίας και ο χρήστης μπορεί να προσπαθήσει ξανά για να εξυπηρετηθεί. Για τους λόγους αυτούς μία κλήση προερχόμενη από διαπομπή διαχειρίζεται με διαφορετικό τρόπο σε σχέση με νέες κλήσεις όσον αφορά την κατανομή των πόρων των δικτύων, τον χρόνο απόφασης (η κλήση θα απορριφθεί αν ο αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων χρειάζεται πολύ χρόνο για να καταλήξει σε μία απόφαση), την ουρά αναμονής κ.α. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι αφού δεν υπεισερχόμαστε σε

ζητήματα ελέγχου αποδοχής κλήσεων εντός του κάθε δικτύου ξεχωριστά (intra-RAN admission control), όπως για παράδειγμα εντός του UMTS δικτύου, αλλά μόνο με αποφάσεις αποδοχής κλήσεων στα πλαίσια της διασυνεργασίας του WINNER με τα παλαιότερα ασύρματα δίκτυα, τότε στην περίπτωσή μας οι όροι «νέα κλήση» και «κλήση από διαπομπή» έχουν την εξής έννοια:

- νέα κλήση: είναι μία αίτηση για κλήση σε ένα συγκεκριμένο ασύρματο δίκτυο επικοινωνιών ενώ παράλληλα έχει ελεγχθεί εάν ένα άλλο ασύρματο δίκτυο επικοινωνιών μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της κλήσης.
- κλήση από διαπομπή: είναι μία κλήση σε εξυπηρέτηση (δηλαδή αυτό σημαίνει ότι έχει αρχίσει η εξυπηρέτηση της κλήσης) και για κάποιους λόγους (π.χ. ανεπαρκής πόροι στο υπάρχον δίκτυο ή μία κλήση στο υπάρχον δίκτυο, την οποία δεν μπορεί αυτό να εξυπηρετήσει) χρειάζεται να κάνει διαπομπή σε ένα άλλο ασύρματο δίκτυο επικοινωνιών.

## 5.2 Παρουσίαση και περιγραφή του ελέγχου αποδοχής κλήσεων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε για τον έλεγχο αποδοχής κλήσεων στα πλαίσια της διασυνεργασίας του δικτύου WINNER και των παλαιότερων ασύρματων δικτύων. Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζεται μία γενική περιγραφή του αλγορίθμου με τη βοήθεια των ενεργών διαγραμμάτων της γλώσσας UML (Unified Modeling Language), όπου παρουσιάζονται τα βήματα που ακολουθεί ο αλγόριθμος έτσι ώστε να καταλήξει σε μία τελική απόφαση για την απαίτηση της κλήσης. Στη συνέχεια περιγράφονται και αναλύονται αναλυτικά όλα τα βήματα του αλγορίθμου, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται περισσότερες τεχνικές λεπτομέρειες για κάθε βήμα.

Όπως μπορούμε να δούμε και από το Σχήμα 5.1 ο αλγόριθμος του ελέγχου αποδοχής κλήσεων διέρχεται από διάφορα στάδια μέχρι να αποφανθεί για την αποδοχή ή μη της κλήσης. Όταν μια κλήση ζητάει να γίνει αποδεκτή από το δίκτυο, τότε ενεργοποιείται ο αλγόριθμος του ελέγχου αποδοχής κλήσεων. Με τον όρο αίτηση για νέα κλήση εννοούμε μία νέα αίτηση για αποδοχή μιας νέας εξολοκλήρου κλήσης ή μιας

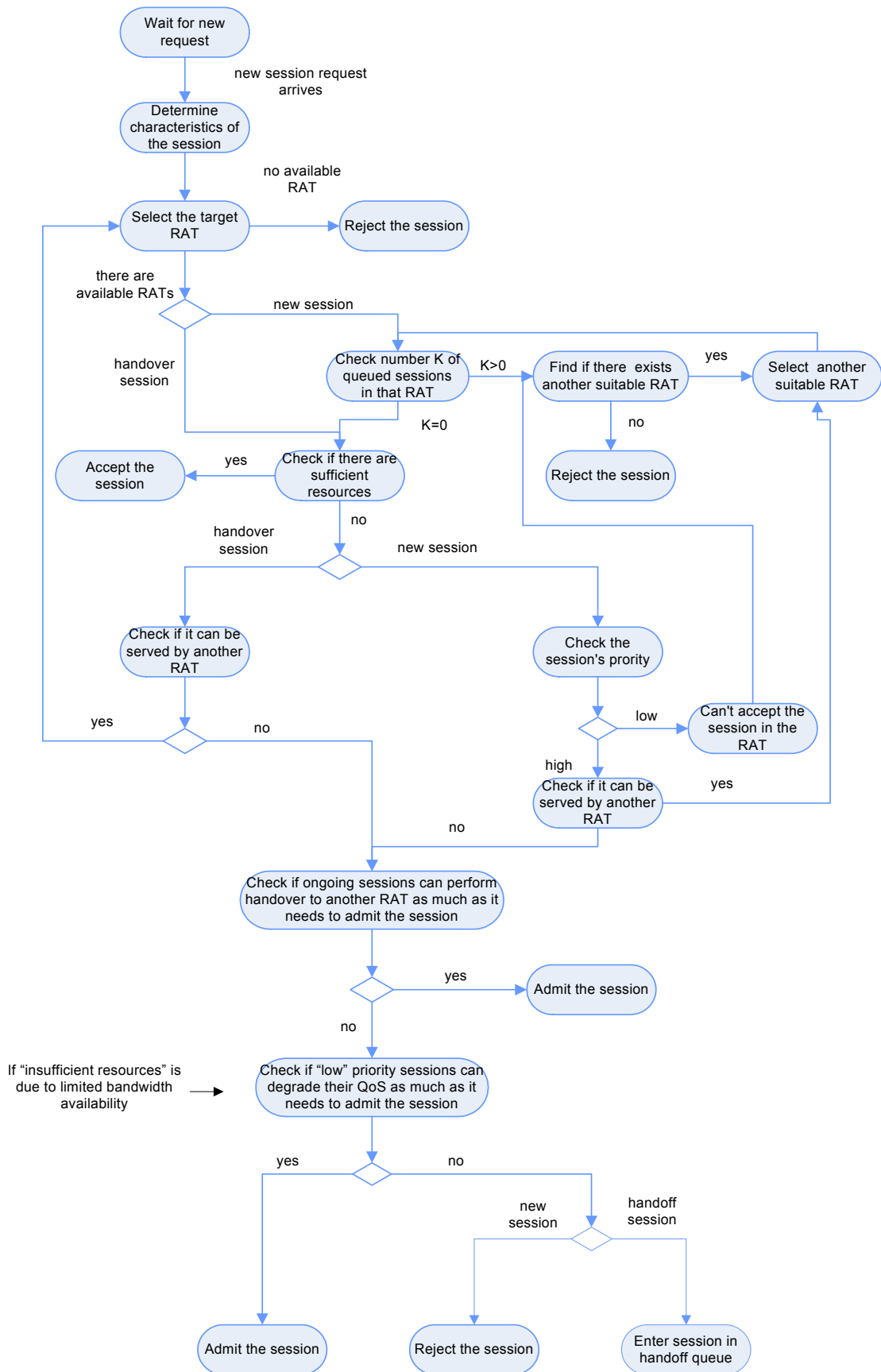
κλήσης που προέρχεται από διαπομπή (όπως ακριβώς περιγράφηκε αναλυτικά και στην προηγούμενη ενότητα). Όταν μία αίτηση για αποδοχή κλήσης φτάνει στον αλγόριθμο αποδοχής κλήσης, τότε αυτός αναλαμβάνει να πάρει μία απόφαση για την κλήση, εάν υπάρχει ασύρματο δίκτυο που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις της κλήσης και αν η κλήση μπορεί να εξυπηρετηθεί από το συγκεκριμένο ασύρματο δίκτυο.

Η πρώτη ενέργεια του αλγορίθμου, όταν υπάρχει αίτηση από μία κλήση για την αποδοχή της, είναι να καθορίσει τα χαρακτηριστικά της κλήσης. Σ' αυτό το βήμα του αλγορίθμου ελέγχονται οι απαιτήσεις της κλήσης, δηλαδή οι πόροι του δικτύου που απαιτεί. Η κλήση δηλώνει τον τύπο της, τις απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, την ευαισθησία της σε καθυστέρηση, το δίκτυο από το οποίο προήλθε αν είναι κλήση από διαπομπή και άλλα δεδομένα. Από αυτές τις απαιτήσεις η κλήση αντιστοιχίζεται στην αντίστοιχη κλάση υπηρεσιών και τις αποδίδεται μία προτεραιότητα ανάλογα με την κλάση στην οποία αντιστοιχίστηκε καθώς και άλλα χαρακτηριστικά όπως η προτίμηση του χρήστη, ο τύπος του χρήστη κ.α. Περισσότερα στοιχεία για την προτεραιότητα θα αναφερθούν και στη συνέχεια.

Το επόμενο βήμα του αλγορίθμου είναι η επιλογή των ασύρματων δικτύων, τα οποία ικανοποιούν τις απαιτήσεις της κλήσης και μπορούν να προσφέρουν καλή ποιότητα υπηρεσίας στην κλήση. Η επιλογή του ασύρματου δικτύου ακολουθεί την εξής διαδικασία:

- Σε πρώτη φάση ο αλγόριθμος πρέπει να κάνει μία λίστα με τα υποψήφια ασύρματα δίκτυα που θα εξεταστούν για την αποδοχή της κλήσης και για κάθε δίκτυο πρέπει να εντοπίσει την υποψήφια κυψέλη/κυψέλες σχηματίζοντας έτσι μία σύνθετη λίστα. Τελικά η λίστα περιέχει και τα υποψήφια ασύρματα δίκτυα αλλά και τις αντίστοιχες κυψέλες, οι οποίες είναι ικανές να εξυπηρετήσουν την κλήση που εξετάζουμε, και είναι διατεταγμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει προτεραιότητα αυτή που ικανοποιεί καλύτερα τις απαιτήσεις της κλήσης. Για παράδειγμα στο GSM/GPRS οι υποψήφιες κυψέλες είναι στην πραγματικότητα μία κυψέλη και συγκεκριμένα αυτή που παρέχει γεωγραφική κάλυψη στον χρήστη που επιχειρεί την κλήση, το οποίο σημαίνει ότι η λαμβανόμενη στάθμη ισχύος στο δέκτη του καναλιού καθολικής εκπομπής είναι μεγαλύτερη από μία προκαθορισμένη τιμή κατωφλίου. Στο UMTS, στο (γεωγραφικό) σημείο που βρίσκεται ο χρήστης πρέπει ο λόγος Eb/No της κυψέλης να είναι μεγαλύτερος από μία συγκεκριμένη τιμή και η μεταφερόμενη

ισχύς που ζητήθηκε από το χρήστη με τη βοήθεια του ελέγχου ισχύος θα πρέπει να είναι μικρότερη από τη μέγιστη επιτρεπτή για τον χρήστη αυτό. Στο WLAN έχουμε κάλυψη του χρήστη όταν η λαμβανόμενη ισχύς στο χρήστη είναι μεγαλύτερη μίας ελάχιστης τιμής.



ΣΧΗΜΑ 5.1: ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (4G NETWORKS, WINNER).



- Όταν υπάρχει μόνο ένα ασύρματο δίκτυο που λειτουργεί στην περιοχή του χρήστη και η κλήση μπορεί να εξυπηρετηθεί από αυτό το δίκτυο τότε επιλέγεται το δίκτυο αυτό, διαφορετικά (δηλαδή αν η κλήση δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί από αυτό το ασύρματο δίκτυο) τότε η κλήση απορρίπτεται.
- Εάν υπάρχουν περισσότερα του ενός ασύρματα δίκτυα που καλύπτουν την περιοχή του χρήστη τότε:
  - Αν η λίστα προτεραιότητας της κλήσης περιέχει μόνο ένα ασύρματο δίκτυο, τότε αν η λίστα των κυψελών του υποψήφιου δικτύου δεν είναι κενή τότε επιλέγεται το συγκεκριμένο ασύρματο δίκτυο, διαφορετικά (αν η λίστα κυψελών του υποψήφιου δικτύου είναι κενή) τότε η κλήση απορρίπτεται.
  - Αν η λίστα προτεραιότητας περιέχει περισσότερα του ενός ασύρματα δίκτυα τότε:
    - \* Εάν δεν υπάρχουν υποψήφιες κυψέλες κανενός εκ των ασύρματων δικτύων τότε η κλήση απορρίπτεται.
    - \* Εάν υπάρχουν υποψήφιες κυψέλες τουλάχιστον ενός ασύρματου δικτύου που περιέχεται στη λίστα δικτύων, τότε το ασύρματο δίκτυο επιλέγεται.
    - \* Εάν υπάρχουν υποψήφιες κυψέλες που περιλαμβάνονται στη λίστα, τότε τα ασύρματα δίκτυα διατάσσονται αρχίζοντας από αυτό που καλύπτει με τον καλύτερο τρόπο τις απαιτήσεις της κλήσης (σύμφωνα με την κλάση στην οποία ανήκει η κλήση) και τελειώνοντας με αυτό που εκπληρώνει τις απαιτήσεις της κλήσης με τον λιγότερο ικανοποιητικό τρόπο.

Στη συνέχεια παρατίθεται ένα παράδειγμα για την διαδικασία επιλογής του ασύρματου δικτύου όπως περιγράφηκε παραπάνω:

- 1) Ας υποθέσουμε ότι μία κλήση απαιτεί ρυθμό δεδομένων 1 Mbps και δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή στο δίκτυο WINNER, λόγω υπερφόρτωσης αυτού. Οπότε στη συνέχεια θα βρεθούν τα ασύρματα δίκτυα που μπορούν να εξυπηρετήσουν την κλήση αυτή (UMTS ή WLAN) και θα ελεγχθεί εάν αυτά λειτουργούν στην περιοχή του χρήστη. Εάν ένα μόνο λειτουργεί στην περιοχή αυτή, τότε αυτό επιλέγεται. Εάν και τα δύο λειτουργούν στην περιοχή αυτή (δηλαδή έχουν διαθέσιμες κυψέλες στην περιοχή αυτή) τότε θα επιλεγεί αρχικά το UMTS (μιας και το UMTS μπορεί να εξυπηρετήσει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό χρήστη με απαιτήσεις για ρυθμό δεδομένων 1 Mbps) και εάν δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή η κλήση σ' αυτό τότε θα επιλεγεί το WLAN δίκτυο.
- 2) Μία κλήση από παλαιότερα δίκτυα ασύρματων επικοινωνιών θα προσπαθήσει να βρει την καταλληλότερη διαθέσιμη κυψέλη του WINNER στην περιοχή του χρήστη, ταξινομώντας αυτές σε μία σειρά προτεραιότητας σύμφωνα με τις απαιτήσεις της κλήσης.

Μετά την επιλογή του ασύρματου δικτύου ο αλγόριθμος ελέγχει εάν η κλήση είναι νέα ή προέρχεται από διαπομπή (δηλαδή αν είναι κλήση που ήδη είχε αρχίσει η εξυπηρέτησή της σε κάποιο άλλο ασύρματο δίκτυο και για κάποιους λόγους αποφασίστηκε να αλλάξει ασύρματο δίκτυο). Εάν είναι νέα κλήση, τότε εξετάζεται η ουρά αναμονής για το αν υπάρχουν άλλες κλήσεις στην αναμονή και αν υπάρχουν θα απορριφθεί η κλήση ή θα επιλεγεί το επόμενο ασύρματο δίκτυο από τη λίστα αν υπάρχει, αλλιώς ο αλγόριθμος προχωράει στο επόμενο βήμα.

Στο επόμενο βήμα ο αλγόριθμος ελέγχει αν υπάρχουν ελεύθεροι πόροι στο ασύρματο δίκτυο για να εξυπηρετηθεί η κλήση. Περισσότερες λεπτομέρειες για τον τρόπο με τον οποίο γίνεται αυτό θα δοθούν στη συνέχεια με συγκεκριμένες λεπτομέρειες για τον τρόπο που ελέγχουμε τους πόρους του κάθε ασύρματου δικτύου που εξετάζουμε.

Εάν υπάρχουν αρκετοί ελεύθεροι πόροι στο σύστημα για την εξυπηρέτηση της κλήσης, η κλήση τότε θα γίνει αποδεκτή από το ασύρματο δίκτυο, για το οποίο εξετάστηκε η αποδοχή της. Στην περίπτωση όμως που οι πόροι του δικτύου δεν επαρκούν για την κλήση θα εξεταστεί αν υπάρχει κάποιο άλλο ασύρματο δίκτυο που μπορεί να την εξυπηρετήσει. Εάν η κλήση που δεν έγινε δεκτή στο δίκτυο για το οποίο εξετάστηκε η αποδοχή της από τον αλγόριθμο είναι νέα και έχει χαμηλή προτεραιότητα τότε

απορρίπτεται από το δίκτυο αυτό και εξετάζεται όπως είπαμε αν υπάρχει κάποιο άλλο που να μπορεί να την εξυπηρετήσει. Στην περίπτωση όμως που η προτεραιότητά της είναι υψηλή και είναι και νέα κλήση, τότε αν υπάρχει άλλο δίκτυο που να δύναται να την εξυπηρετήσει εξετάζεται στη συνέχεια του αλγορίθμου, διαφορετικά εξετάζεται το ενδεχόμενο να υπάρξουν διαπομπές από κλήσεις που ήδη εξυπηρετούνται από το ασύρματο δίκτυο που εξετάζουμε σε άλλα δίκτυα έτσι ώστε να απελευθερωθούν πόροι του πρώτου δικτύου για την αποδοχή της εξεταζόμενης κλήσης. Αν τελικά εφαρμόζοντας το τελευταίο σενάριο απελευθερωθούν αρκετοί πόροι του δικτύου η κλήση γίνεται αποδεκτή, αλλιώς υπάρχει ακόμα ένα βήμα στην προσπάθεια να γίνει η κλήση αποδεκτή και αυτό δεν είναι άλλο από την προσπάθεια να γίνει επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας των υπηρεσιών κλήσεων με χαμηλή προτεραιότητα, οι οποίες εξυπηρετούνται στο ασύρματο δίκτυο που εξετάζεται. Με τον τρόπο αυτό υπάρχει δυνατότητα να απελευθερωθούν πόροι του δικτύου ικανοί για να γίνει τελικά η κλήση αποδεκτή.

Στην περίπτωση που έχουμε κλήση προερχόμενη από διαπομπή γίνεται πάλι κάτι αντίστοιχο. Καταρχήν αν δεν γίνεται η κλήση αποδεκτή από το ασύρματο δίκτυο που εξετάζεται, τότε ελέγχεται αν υπάρχουν άλλα δίκτυα που να μπορούν να εξυπηρετήσουν την κλήση και αν ναι τότε η κλήση γίνεται αποδεκτή. Σε άλλη περίπτωση, δεδομένου του γεγονότος ότι η κλήση είναι υψηλής προτεραιότητας, αφού προέρχεται από διαπομπή, γίνεται πάλι προσπάθεια για την διαπομπή κλήσεων που βρίσκονται σε εξέλιξη από το παρόν δίκτυο σε άλλα που να έχουν την ικανότητα να τις εξυπηρετήσουν έτσι ώστε να απελευθερωθούν πόροι του δικτύου για την αποδοχή της. Αν αυτό το σενάριο δεν τελεσφορήσει τότε γίνεται επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών των κλήσεων, μειώνοντας την ποιότητα υπηρεσιών για κλήσεις με χαμηλή προτεραιότητα που βρίσκονται εκείνη τη στιγμή σε φάση εξυπηρέτησης.

Αν και στις δύο περιπτώσεις αναγκαστούμε να φτάσουμε στο σημείο όπου εξετάζεται η μείωση της προσφερόμενης ποιότητας υπηρεσίας σε κλήσεις με χαμηλή προτεραιότητα, τότε για την περίπτωση της νέας κλήσης αν βρεθούν οι αναγκαίοι πόροι του ασύρματου δικτύου από την προηγούμενη διαδικασία η κλήση γίνεται αποδεκτή, διαφορετικά απορρίπτεται. Στην περίπτωση όμως που έχουμε κλήση από διαπομπή και φτάσουμε στο σημείο αυτό, προφανώς αν βρεθούν οι πόροι του δικτύου από την επαναδιαπραγμάτευση προς τα κάτω της ποιότητας προσφερόμενης υπηρεσίας σε κλήσεις χαμηλής προτεραιότητας, τότε η κλήση γίνεται αποδεκτή, διαφορετικά εισάγεται η κλήση σε μία ουρά αναμονής. Η κλήση παραμένει στην ουρά αναμονής μέχρι να συμβεί κάτι από τα εξής:

- Να γίνουν διαθέσιμοι οι απαιτούμενοι πόροι του συστήματος (π.χ. με τερματισμό άλλων κλήσεων).
- Η κλήση να εγκαταλείψει την κυψέλη (π.χ. ο χρήστης μετακινήθηκε σε άλλη κυψέλη).
- Η κλήση να τερματιστεί λόγω λήξης της περιόδου αναμονής αυτής.

Η μείωση της ποιότητας υπηρεσίας κλήσεων χαμηλής προτεραιότητας είναι η έσχατη λύση για τον αλγόριθμο πριν η εξεταζόμενη κλήση απορριφθεί. Οι κλήσεις των οποίων θα μειωθεί η προσφερόμενη ποιότητα υπηρεσίας από το δίκτυο, θα επιλέγονται με βάση την κλάση υπηρεσιών στην οποία ανήκουν και από την ευαισθησία τους στους διάφορους ρυθμούς δεδομένων. Για παράδειγμα η περιήγηση στο διαδίκτυο μέσω ενός εξερευνητή δικτύου είναι υπηρεσία που επιδέχεται μείωση του ρυθμού δεδομένων, ενώ αντιθέτως οι υπηρεσίες φωνής δεν είναι ανεκτικές στη μείωση του ρυθμού δεδομένων, διότι κάτι τέτοιο θα προκαλέσει ενδεχομένως προβλήματα στην επικοινωνία των συμβαλλόμενων στην υπηρεσία. Γενικά δεν είναι καλό να μειώνεται η ποιότητα της υπηρεσίας σε κλήσεις οι οποίες ήδη εξυπηρετούνται, γι' αυτό και η λύση αυτή είναι η τελευταία που εξετάζεται πριν την απόρριψη μιας κλήσης αν είναι νέα και την προώθησή της στην ουρά αναμονής αν είναι κλήση από διαπομπή. Πρέπει να τονίσουμε για ακόμα μία φορά ότι η περίπτωση αυτή εξετάζεται (ή τουλάχιστον γίνεται προσπάθεια να εφαρμοστεί) μόνο για κλήσεις από διαπομπή ή για νέες κλήσεις με αυξημένη προτεραιότητα.

Μετά την μείωση της ποιότητας υπηρεσίας για κλήσεις χαμηλής προτεραιότητας, οι οποίες βρίσκονται σε φάση εξυπηρέτησης, τότε πρέπει να γίνει στην συνέχεια μία ακόμη ενέργεια από το δίκτυο. Αυτή είναι της αποκατάστασης της ποιότητας υπηρεσίας στις κλήσεις που υπέστησαν αυτή τη μείωση όταν βρεθούν οι απαραίτητοι πόροι του δικτύου. Αυτό συμβαίνει όταν κάποια κλήση περατώσει την εξυπηρέτησή της οπότε και θα εγκαταλείψει το δίκτυο και θα απελευθερώσει τους πόρους του δικτύου που χρησιμοποιούσε. Οπότε στη συνέχεια μπορεί να γίνει στις «αδικημένες» κλήσεις αναβάθμιση της ποιότητας υπηρεσίας στο επιθυμητό τους επίπεδο. Αυτό βέβαια συμβαίνει μόνο στην περίπτωση που η ουρά αναμονής για κλήσεις από διαπομπή είναι άδεια.

### **5.3 Κριτήρια του αλγόριθμου αποδοχής κλήσεων – έλεγχος αποδοχής κλήσεων σε 2G/3G δίκτυα και στο WLAN, WINNER**

Ο αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων της διασυνεργασίας των ασύρματων δικτύων WINNER και των παλαιότερων ασύρματων δικτύων έχει ως στόχο να μεγιστοποιήσει τον αριθμό των χρηστών που γίνονται αποδεκτοί ή την αξιοποίηση των ραδιοπόρων που είναι διαθέσιμοι μέσα από αυτά τα ασύρματα δίκτυα, παράλληλα με την εγγυημένη παροχή της προσυμφωνηθείσας ποιότητας υπηρεσίας για κάθε κλάση υπηρεσιών και της βεβαίωσης ότι η αποδοχή νέων κλήσεων δε θα επηρεάζει την ποιότητα υπηρεσίας των κλήσεων που βρίσκονται ήδη σε φάση εξυπηρέτησης. Η απόφαση για την αποδοχή ή όχι μιας νέας κλήσης βασίζεται σε διάφορα κριτήρια, τα οποία λαμβάνουν υπόψη τη φύση κάθε ασύρματου δικτύου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα κριτήρια αυτά.

#### **5.3.1 GSM/GPRS (2G/2,5G Networks)**

Στα ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών GSM/GPRS δεν υπάρχουν πάρα πολλοί αλγόριθμοι αποδοχής κλήσεων στη διεθνή βιβλιογραφία. Από τους υπάρχοντες οι περισσότεροι χρησιμοποιούν το φορτίο του δικτύου για να αποφασίσουν για την αποδοχή της κλήσης. Υπάρχουν βέβαια πολλά σχήματα, όπως αυτά με τα κανάλια ασφαλείας στις κυψέλες, αλλά δε μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε στην περίπτωσή μας, μιας και δεν μπορούμε να αλλάξουμε τα χαρακτηριστικά των παλαιότερων ασύρματων δικτύων και των καταμερισμό των καναλιών σε κάθε κυψέλη.

Στα GSM/GPRS δίκτυα το σημαντικότερο κριτήριο είναι το φορτίο των κυψελών. Το φορτίο στα δίκτυα αυτά μπορεί να υπολογιστεί από τον αριθμό των κατειλημμένων χρονοθυρίδων, συγκρινόμενος με τον αριθμό των συνολικών χρονοθυρίδων σε μία κυψέλη. Αυτό εξαρτάται από τον αριθμό των TRX σε μία κυψέλη και από τις δεσμευμένες χρονοθυρίδες. Αυτό σημαίνει ότι ένας νέος χρήστης θα γίνεται αποδεκτός αν

υπάρχει κάποια διαθέσιμη χρονοθυρίδα ελεύθερη στην κυψέλη. Το κριτήριο αυτό δίνεται από τη σχέση:

$$Load < 100 \quad (5.1)$$

όπου με την έννοια Load αναφέρεται το φορτίο του GSM/GPRS δικτύου, το οποίο υπολογίζεται ως εξής:

$$Load = 100 * \frac{TS_{used}}{TS_{max}} \quad (5.2)$$

όπου

$$TS_{used} = TS_{RT} + TS_{NRT} \quad (5.3)$$

οπότε η τελική εξίσωση για το φορτίο είναι η εξής:

$$Load = 100 * \frac{TS_{RT} + TS_{NRT}}{TS_{max}} \quad (5.4)$$

Εάν όλες οι χρονοθυρίδες είναι κατειλημμένες, τότε ισχύει ότι:

$$TS_{used} (= TS_{RT} + TS_{NRT}) = TS_{max} \quad (5.5)$$

Στην περίπτωση αυτή που έχουμε όλες τις χρονοθυρίδες να είναι κατειλημμένες από χρήστες, το φορτίο στο δίκτυο είναι 100 (προκύπτει με αντικατάσταση της παραπάνω σχέσης στη σχέση 5.2). Άρα όταν ισχύει αυτό δεν μπορεί το δίκτυο να αποδεχτεί κανένα άλλο χρήστη, διότι δεν υπάρχουν ελεύθερες χρονοθυρίδες προς μετάδοση δεδομένων. Οπότε η εξίσωση 5.1 είναι αυτή που πρέπει να ελέγχουμε για να μπορούμε να αποφασίζουμε για την αποδοχή ενός χρήστη ή όχι, μιας και αυτή η εξίσωση μας δίνει ένα αποτέλεσμα για τις ελεύθερες χρονοθυρίδες που υπάρχουν στο δίκτυο (αν υπάρχουν βέβαια).

Στο WINNER υπάρχουν διάφορες κλάσεις υπηρεσιών για τους χρήστες και δεν μπορούν όλες να εξυπηρετηθούν από το GSM/GPRS δίκτυο. Εκτός αυτού δεν έχουν όλοι οι χρήστες την ίδια προτεραιότητα στην πρόσβαση του δικτύου, οπότε μπορούμε να μεταβάλουμε τη σχέση 5.1, έτσι ώστε να λαμβάνει υπόψη της τις διαφορετικές προτεραιότητες των χρηστών, καταλήγοντας στην παρακάτω σχέση:

$$Load < L_{Th} \quad (5.6)$$

όπου  $L_{Th}$  είναι το κατώφλι του φορτίου. Η παράμετρος αυτή ( $L_{Th}$ ) είναι διαφορετική για χρήστες με διαφορετική προτεραιότητα και είναι προφανώς μεγαλύτερη για χρήστες με υψηλότερη προτεραιότητα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι χρήστες με υψηλότερη προτεραιότητα θα έχουν περισσότερες πιθανότητες να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο σε σχέση με χρήστες χαμηλότερης προτεραιότητας.

### 5.3.2 UMTS (3G Networks)

Στο UMTS δίκτυο ο αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων αποφασίζει ξεχωριστά για τις συνθήκες στην άνω και κάτω-ζεύξη και ο χρήστης γίνεται δεκτός μόνο όταν πληρούνται τα κριτήρια και στις δύο ζεύξεις. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα κριτήρια για την άνω και κάτω ζεύξη ξεχωριστά.

#### 5.3.2.1 Άνω-ζεύξη (Up-link Connection)

Στον αλγόριθμο αποδοχής κλήσεων που αφορά την άνω-ζεύξη στα UMTS δίκτυα εξετάζεται η λαμβανόμενη παρεμβολή. Είναι γενικά γνωστό ότι στα W-CDMA συστήματα η κάλυψη μιας περιοχής ενός κόμβου Β εξαρτάται από το φορτίο του δικτύου. Κατά τον σχεδιασμό του δικτύου ο διαχειριστής ορίζει το μέγιστο φορτίο του δικτύου, έστω  $n_{max}$ . Εάν έχουν γίνει ήδη αποδεκτοί  $K$  χρήστες από το δίκτυο, τότε η αίτηση για αποδοχή ενός ακόμα χρήστη από το δίκτυο θα πρέπει να πληρεί την εξίσωση:

$$n_{UL} + \Delta n \leq n_{max} \quad (5.7)$$

όπου,

$$n_{UL} = \frac{P_R + \chi}{P_R + \chi + P_N}, \quad \Delta n = \frac{1}{\frac{W}{v_{K+1} \left( \frac{E_b}{N_o} \right)_{K+1} R_{b,K+1}} + 1}$$

$n_{UL}$  είναι το φορτίο της άνω-ζεύξης όλων των χρηστών που έχουν γίνει αποδεκτοί από το δίκτυο.  $P_R$  είναι η λαμβανόμενη ισχύς από τους χρήστες που βρίσκονται στην ίδια κυψέλη με τον χρήστη που ζητάει να γίνει αποδεκτός και  $\chi$  είναι η παρεμβολή από τους χρήστες σε γειτονικές κυψέλες.  $\Delta n$  είναι η αύξηση του φορτίου που θα προκληθεί από το νέο χρήστη αν αυτός γίνει αποδεκτός από το δίκτυο.  $W$  είναι ο ρυθμός του chip (chip rate),  $\left( \frac{E_b}{N_o} \right)_{K+1}$  είναι ο σηματοθορυβικός λόγος της νέας κλήσης,  $R_{b,K+1}$  είναι ο ρυθμός μετάδοσης (transmission rate) του νέου χρήστη και  $v_{K+1}$  είναι ο ενεργός παράγοντας (activity factor) της πηγής κίνησης του νέου χρήστη. Στο WINNER επειδή έχουμε πολλές κλάσεις υπηρεσιών με διαφορετικά χαρακτηριστικά ο παράγοντας  $P_R$  στην περίπτωση μας γράφεται ως εξής:

$$P_R = P_{R1} + P_{R2} + \dots + P_{Rm} = \sum_{i=1}^m P_{Ri} \quad (5.8)$$

όπου  $P_{Ri}$  είναι η λαμβανόμενη ισχύς από τους χρήστες στην κλάση υπηρεσιών  $i$  που βρίσκονται στην ίδια κυψέλη με τον εξεταζόμενο χρήστη.

Από τη σχέση 5.7 προκύπτει ότι ένας χρήστης γίνεται αποδεκτός στο δίκτυο μόνο όταν το άθροισμα της αύξησης που προκαλεί στο φορτίο με την αποδοχή του με το ήδη υπάρχον φορτίο δεν ξεπερνά το μέγιστο φορτίο όπως έχει αυτό καθοριστεί από τον διαχειριστή.

Ένα ακόμα κριτήριο είναι το επίπεδο παρεμβολής του δικτύου. Ο θόρυβος της άνω-ζεύξης αυξάνεται με την αποδοχή του νέου χρήστη και ορίζεται από τη σχέση:

$$\Delta N = \frac{I_{intra} + I_{inter} + P_N}{P_N} = \frac{I_{total}}{P_N} = \frac{1}{1-\eta} \quad (5.9)$$



όπου  $I_{intra}$  είναι το επίπεδο της παρεμβολής λόγω των υπόλοιπων χρηστών που βρίσκονται εντός τις ίδιας κυψέλης με τον εξεταζόμενο χρήστη,  $I_{inter}$  είναι το επίπεδο παρεμβολής λόγω των χρηστών στις γειτονικές κυψέλες και  $P_N$  είναι το επίπεδο της ισχύος του θορύβου. Όπως και προηγουμένως, έτσι και τώρα μπορούμε να ορίσουμε την ενδοκυψελική παρεμβολή λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές κλάσεις υπηρεσιών που περιλαμβάνει το WINNER. Έτσι έχουμε:

$$I_{intra} = I_{R1} + I_{R2} + \dots + I_{Rm} = \sum_{i=1}^m I_{Ri} \quad (5.10)$$

όπου  $I_{Ri}$  είναι η παρεμβολή των χρηστών της κλάσης υπηρεσιών  $i$  που βρίσκονται στην ίδια κυψέλη με αυτή του χρήστη που εξετάζουμε.

Έτσι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα άλλο κριτήριο για να ελέγξουμε αν ένας νέος χρήστης μπορεί να γίνει αποδεκτός ή όχι από το δίκτυο, ελέγχοντας την εξίσωση:

$$I_{total} + \Delta I \leq I_{total,max} \quad (5.11)$$

όπου το  $I_{total}$  μπορεί να εξαχθεί από τη συνολική λαμβανόμενη ισχύ του φάσματος ( $P_{RX}$ ) ως εξής:

$$I_{total} = P_{RX} - P_u \quad (5.12)$$

όπου  $P_u$  είναι η λαμβανόμενη ισχύς του νέου χρήστη και  $\Delta I$  είναι η αύξηση στην παρεμβολή που προκαλείται από το νέο χρήστη και δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta I = \frac{I_{total}}{1 - \eta - \Delta \eta} \cdot \Delta \eta \quad (5.13)$$

όπου  $\Delta \eta$  είναι η αύξηση του φορτίου.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, τα κριτήρια που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για την άνω-ζεύξη είναι αυτά που παρουσιάζονται στις σχέσεις 5.7 και 5.11. Όπως

αναφέρθηκε και προηγουμένως, στο WINNER και γενικά στα συστήματα επικοινωνιών τέταρτης γενιάς υπάρχουν διάφορες κλάσεις υπηρεσιών που θα παρέχονται στους χρήστες και επίσης δε θα έχουν όλοι οι χρήστες την ίδια προτεραιότητα (αναλυτικότερα το θέμα της προτεραιότητας θα εξεταστεί σε επόμενη ενότητα εντός αυτού του κεφαλαίου). Για το λόγο αυτό, τα κατώφλια στις σχέσεις 5.7 και 5.11 δεν είναι σταθερά, καθώς το δίκτυο και προφανώς και ο αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων αυτού δε θα συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο προς όλους τους χρήστες. Χρήστες από διαφορετικές κλάσεις υπηρεσιών θα έχουν διαφορετικά κατώφλια, έτσι το σύστημα θα είναι ικανό να αποδέχεται τους χρήστες με μεγαλύτερη προτεραιότητα σε βάρος των υπόλοιπων. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι τα κατώφλια για τους χρήστες με υψηλότερη προτεραιότητα θα είναι μεγαλύτερα και για το λόγο αυτό θα γίνονται αυτοί αποδεκτοί ακόμα και στην περίπτωση όταν χρήστες χαμηλότερης προτεραιότητας θα απορρίπτονται. Όπως γίνεται αντιληπτό τα κατώφλια αυτά θα πρέπει να καθορίζονται με μεγάλη προσοχή, επειδή μπορεί το σύστημα να απορρίπτει χρήστες χαμηλής προτεραιότητας ενώ παράλληλα υπάρχουν οι ικανοί πόροι του δικτύου για την εξυπηρέτηση των χρηστών αυτών.

Για να μπορέσουμε να εξετάσουμε τα κριτήρια που αναφέραμε χρειάζεται να υπολογίσουμε μία σειρά παραμέτρων. Αυτές οι παράμετροι είναι οι ακόλουθες:

- i.  $\eta$ , το φορτίο του δικτύου
- ii.  $\Delta\eta$ , η αύξηση του φορτίου του δικτύου που οφείλεται στο νέο χρήστη
- iii.  $P_N$ , η ισχύς του λαμβανόμενου θερμικού θορύβου
- iv.  $P_{RX}$ , η συνολική λαμβανόμενη φασματική ισχύς
- v.  $P_u$ , η λαμβανόμενη ισχύς από το νέο χρήστη

### 5.3.2.2 Κάτω Ζεύξη (Downlink Connection)

Στην κάτω-ζεύξη υπάρχουν κάποιες διαφορές σε σχέση με την άνω ζεύξη. Η κάτω ζεύξη δεν έχει τους ίδιους περιορισμούς που εξετάστηκαν προηγουμένως. Ειδικότερα στην κάτω-ζεύξη η μέγιστη μεταδιδόμενη ισχύς είναι ίδια για όλους τους χρήστες, και αυτό επειδή πρέπει να μοιράζεται σε όλους τους χρήστες, οι οποίοι βρίσκονται στην ίδια

κυψέλη. Επίσης η ακριβής θέση κάθε χρήστη παίζει σημαντικό ρόλο και το επίπεδο της παρεμβολής εξαρτάται από αυτή.

Στην κάτω-ζεύξη το κύριο κριτήριο για τον έλεγχο αποδοχής κλήσης είναι η μεταδιδόμενη ισχύς και όχι το φορτίο, όπως ήταν στην άνω-ζεύξη. Στην περίπτωση αυτή η σχέση που εξετάζεται είναι η εξής:

$$P_{AV(i)} + \Delta P_{T(i)} \leq P_{T(i)}^* \quad (5.14)$$

όπου,

$$P_{AV(i)} = \frac{\sum_{j=1}^T P_{T(i-j)}}{T} \quad (5.15)$$

με  $P_{AV(i)}$  να είναι η μέση μεταδιδόμενη ισχύς κατά τη διάρκεια των τελευταίων  $T$  πλαισίων,  $\Delta P_{T(i)}$  είναι η εκτίμηση της αύξησης της ισχύος λόγω του νέου χρήστη και  $P_{T(i)}^*$  είναι το κατώφλι για την αποδοχή.

Για την εκτίμηση του  $\Delta P_T$  υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία αρκετοί αλγόριθμοι, πολλοί από τους οποίους είναι ιδιαίτερα πολύπλοκοι. Στην περίπτωσή μας θα υιοθετήσουμε μία απλή γενικά μέθοδο, η οποία γενικά δίνει καλά αποτελέσματα. Η παράμετρος  $\Delta P_T$  υπολογίζεται με την απαίτηση ισχύος προηγούμενων χρηστών σε ένα παράθυρο από  $T$  πλαίσια ως εξής:

$$\Delta P_{T(i)} = \frac{\sum_{j=1}^T \left( \frac{\sum_{k=1}^{n_{i-j}} P_{T_k}(i-j)}{n_{i-j}} \right)}{T} \quad (5.16)$$

όπου  $n_{i-j}$  είναι ο αριθμός των χρηστών που μεταδίδουν στο  $(i-j)$  πλαίσιο,  $T$  είναι η μέση περίοδος σε πλαίσια και  $P_{T_i}$  η απαιτούμενη μεταδιδόμενη ισχύς κάθε χρήστη στην κυψέλη και εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

$$P_{T(i)} \geq L_p(d_i) \frac{P_N + \chi_i + \rho \cdot \frac{P_T}{L_p(d_i)}}{\left(\frac{SF_i}{\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_i}\right)^r + \rho} \quad (5.17)$$

όπου  $P_T$  είναι η μεταδιδόμενη ισχύς,  $P_{Ti}$  είναι η μεταδιδόμενη ισχύς στον χρήστη  $i$ ,  $\chi_i$  είναι η ενδοκυψελική παρεμβολή στον χρήστη  $i$ ,  $L_p(d_i)$  είναι η απώλειες του διαύλου σε απόσταση  $d_i$ ,  $r$  είναι ο ρυθμός κωδικοποίησης και  $P_N$  είναι ο θόρυβος στο υπόβαθρο. Η παράμετρος  $SF$  συγκρίνει τη διάρκεια του bit με την περίοδο του chip και  $\rho$  είναι ο παράγοντας ορθογωνιότητας μιας και ορθογώνιοι κώδικες χρησιμοποιούνται στην κάτω-ζεύξη.

Επιπλέον υπάρχει και ένας τρόπος να καθορίσουμε μία απαισιόδοξη εκτίμηση της τιμής της παραμέτρου  $\Delta P_T$ , υποθέτοντας το 90% της απαραίτητης μεταδιδόμενης ισχύος για κάθε χρήστη.

$$\Delta P_T = P_{Ti} (90\%CDF) \quad (5.18)$$

Αυτή η λειτουργία συσσωρευτικής διανομής (CDF) προκύπτει από τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της απαιτούμενης ισχύος για κάθε χρήστη στην κυψέλη ( $P_T$ ).

Για να μπορέσουμε να εξετάσουμε τα κριτήρια που αναφέραμε χρειάζεται να υπολογίσουμε μία σειρά παραμέτρων. Αυτές οι παράμετροι είναι οι ακόλουθες:

- i.  $P_T$  είναι η μεταδιδόμενη ισχύς του σταθμού βάσης μετρούμενη σε αυτόν
- ii.  $n_i$  είναι ο αριθμός των χρηστών που μεταδίδουν στο ίδιο πλαίσιο (i) και είναι διαθέσιμος στον ελεγκτή του ασύρματου δικτύου (Radio Network Controller, RNC)
- iii.  $\chi_i$  είναι η ενδοκυψελική παρεμβολή στον χρήστη  $i$  και υπολογίζεται από το κινητό τερματικό στο οποίο αναφέρεται
- iv.  $L_p(d_i)$  είναι οι απώλειες διαδρομής σε απόσταση  $d_i$  και υπολογίζεται από το κινητό τερματικό στο οποίο αναφέρεται

- v.  $r$  (ρυθμός κωδικοποίησης, coding rate),  $\frac{E_b}{N_o}$ , SF (βαθμός εξάπλωσης, spreading factor) οι οποίες είναι παράμετροι της ποιότητας της υπηρεσίας και είναι διαθέσιμες από τον ελεγκτή του ασύρματου δικτύου
- vi.  $P_{Ti}$  είναι η απαιτούμενη μεταδιδόμενη ισχύς σε κάθε χρήστη εντός της κυψέλης
- vii.  $P$  είναι ο συντελεστής ορθογωνιότητας

### 5.3.3 WLAN (802.11x)

Στα τοπικά ασύρματα δίκτυα (WLAN) το πρώτο κριτήριο που μας ενδιαφέρει είναι η ισχύς. Η λαμβανόμενη ισχύς από τους χρήστες πρέπει να είναι πάνω από ένα συγκεκριμένο κατώφλι, διαφορετικά δε θα υπάρχει εγγυημένη επικοινωνία μεταξύ του χρήστη και του σημείου πρόσβασης. Προφανώς πάλι όπως και στο UMTS, η παρεμβολή στο χρήστη και από αυτόν προς άλλους αποδεκτούς χρήστες πρέπει να είναι μικρότερη ενός κατωφλίου. Το φορτίο σε ένα τοπικό ασύρματο δίκτυο δεν είναι εύκολο να εκτιμηθεί και μέχρι σήμερα δεν έχει καθοριστεί στο πρότυπο 802.11. Ο αριθμός των χρηστών που μπορούν να εξυπηρετηθούν από ένα σημείο πρόσβασης και το ύψος καθώς και ο τύπος της κίνησης της ασύρματης διεπαφής παίζουν ένα σημαντικό ρόλο για τον καθορισμό του φορτίου του συστήματος.

Στο πρότυπο 802.11e κάθε δομικό συστατικό υπηρεσιών (SS) έχει μέχρι και τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες πρόσβασης (Access Categories, AC) με διαφορετικές προτεραιότητες. Η μέθοδος που προτείνεται εδώ λαμβάνει υπόψη τις διαφορετικές προτεραιότητες των κατηγοριών πρόσβασης και απαιτεί από κάθε σταθμό να μετράει το φορτίο της κίνησης (traffic load) στην ασύρματη σύνδεση. Υπάρχουν γενικά δύο διαφορετικά κριτήρια που χρησιμοποιούνται εδώ για να παρθεί η απόφαση της αποδοχής ενός νέου χρήστη από το δίκτυο.

Το πρώτο κριτήριο είναι αυτό του σχετικού κατειλημμένου εύρους ζώνης (Relative Occupied Bandwidth). Στη μέθοδο αυτή ο μηχανισμός του ελέγχου αποδοχής κλήσεων χρησιμοποιεί ένα παράθυρο χρόνου για να μετρήσει το ποσοστό του χρησιμοποιούμενου χρόνου μετάδοσης εντός της περιόδου του παραθύρου αυτού, δηλαδή του  $T$ . Προφανώς το ποσοστό του χρόνου που χρησιμοποιείται για μετάδοση δεδομένων είναι ο χρόνος που

το ασύρματο μέσο είναι κατειλημμένο. Αυτό όμως είναι το ποσοστό μετάδοσης δεδομένων είτε η μετάδοση είναι επιτυχής είτε όχι. Το ποσοστό του χρόνου που το ασύρματο μέσο είναι απασχολημένο δίνεται από τη σχέση:

$$T = \sum_{i=1}^m t_i \quad (5.19)$$

όπου  $t_i$  είναι ο χρόνος απασχόλησης του ασύρματου μέσου από την  $i$ -οστή μετάδοση. Το σχετικό δεσμευμένο εύρος ζώνης ( $B_{occu}$ ) μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$B_{occu} = \frac{T_{busy}}{T} \cdot 100 \quad (5.20)$$

Το σχετικό δεσμευμένο εύρος ζώνης δείχνει το ποσοστό του χρόνου που το ασύρματο μέσο είναι κατειλημμένο, δηλαδή το ποσοστό του χρόνου που είναι απασχολημένο. Εδώ πρέπει να καθοριστούν δύο κατώφλια, τα  $B_{up}$  και  $B_{lo}$ , οπότε μπορούν πλέον να υπάρξουν οι τρεις ακόλουθες περιπτώσεις:

- i. Εάν  $B_{occu} > B_{up}$  τότε το ασύρματο μέσο είναι σε κατάσταση συμφόρησης και ο έλεγχος συμφόρησης πρέπει να επέμβει. Στην περίπτωση αυτή δεν γίνονται αποδεκτοί νέοι χρήστες στο δίκτυο.
- ii. Εάν  $B_{occu} < B_{lo}$  τότε το ασύρματο μέσο δε χρησιμοποιείται πλήρως και συνεπώς υπάρχουν ελεύθερες χρονοθυρίδες για νέους χρήστες. Στην περίπτωση αυτή νέοι χρήστες μπορούν να γίνουν αποδεκτοί από το δίκτυο σύμφωνα με την προτεραιότητά τους, που σημαίνει ότι εάν υπάρχουν περισσότεροι του ενός χρήστες που ζητούν να γίνουν αποδεκτοί από το δίκτυο, τότε θα γίνει πρώτα αποδεκτός αυτός με τη μέγιστη προτεραιότητα.
- iii. Εάν  $B_{lo} \leq B_{occu} \leq B_{up}$  τότε το ασύρματο δίκτυο είναι στη βέλτιστη κατάσταση και δεν γίνονται αποδεκτοί νέοι χρήστες από αυτό, εκτός από του χρήστες που ζητούν να γίνουν αποδεκτοί και έχουν υψηλή προτεραιότητα.

Οι σταθμοί του ασύρματου δικτύου υπολογίζουν την παράμετρο  $B_{occu}$  περιοδικά κάθε  $T$  και την συγκρίνουν με τις παραμέτρους  $B_{up}$  και  $B_{lo}$  έτσι ώστε να μπορούν να

παίρνουν μία απόφαση για τις αιτήσεις αποδοχής των νέων χρηστών. Αυτός ο αλγόριθμος μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα στο δίκτυο 802.11e, καθώς το EDCF χρησιμοποιεί το CDMA/CA ως πρωτόκολλο πρόσβασης μέσου, αφού ένας σταθμός του δικτύου πρέπει πρώτα να έχει αίσθηση της κατάστασης του μέσου και μετά να ελέγξει το διάνυσμα κατανομής δικτύων (Network Allocation Vector, NAV) έτσι ώστε να καταλάβει αν το μέσο είναι κατάλληλο για μετάδοση δεδομένων.

Το δεύτερο κριτήριο είναι η μέτρηση του μέσου χρόνου σύγκρουσης (Average Collision Time). Στη μέθοδο αυτή ο μηχανισμός του αλγορίθμου ελέγχου αποδοχής κλήσεων χρησιμοποιεί ένα χρονικό παράθυρο για να μετρήσει το μέσο ρυθμό συγκρούσεων σε μία περίοδο  $T$ . Ο μέσος αριθμός συγκρούσεων ορίζεται ως ο αριθμός των συγκρούσεων που λαμβάνουν χώρα σε μία περίοδο προς το συνολικό αριθμό μεταδόσεων (συμπεριλαμβανομένου των αναμεταδόσεων). Ο μέσος αριθμός συγκρούσεων είναι ένα είδος της κίνησης φορτίου του ασύρματου μέσου και μπορεί να παρασταθεί ως εξής:

$$R_c = \frac{N_c}{N_t} \quad (5.21)$$

όπου  $N_c$  είναι ο αριθμός των συγκρούσεων σε μία περίοδο  $T$  και  $N_t$  είναι ο συνολικός αριθμός των μεταδόσεων στην ίδια περίοδο.

Κάθε σταθμός στο δομικό συστατικό υπηρεσιών (SS) έχει το δικό του ρυθμό συγκρούσεων (collision ratio,  $R_c$ ). Όπως και στο πρώτο κριτήριο, έτσι και εδώ καθορίζονται δύο κατώφλια  $R_{lo}$ ,  $R_{up}$  και αντίστοιχα έχουμε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις που είναι οι ακόλουθες:

- i. Εάν  $R_c > R_{up}$  τότε το ασύρματο μέσο είναι σε κατάσταση συμφόρησης και ο έλεγχος συμφόρησης πρέπει να επέμβει. Στην περίπτωση αυτή δεν γίνονται αποδεκτοί νέοι χρήστες στο δίκτυο.
- ii. Εάν  $R_c < R_{lo}$  τότε οι πόροι του δικτύου δε χρησιμοποιούνται πλήρως και νέοι χρήστες μπορούν να γίνουν αποδεκτοί από αυτό χωρίς πρόβλημα (π.χ. μείωσης της ποιότητας υπηρεσίας).
- iii. Εάν  $R_{lo} \leq R_c \leq R_{up}$  τότε το δίκτυο θεωρείται ότι βρίσκεται στη βέλτιστη κατάσταση. Στην κατάσταση αυτή νέοι χρήστες δε μπορούν να γίνουν αποδεκτοί από το δίκτυο χωρίς παράλληλα να μειώνεται η ποιότητα

υπηρεσιών των χρηστών που έχουν ήδη γίνει αποδεκτοί. Για το λόγο αυτό στην περίπτωση αυτή γίνονται αποδεκτοί από το δίκτυο μόνο νέοι χρήστες με υψηλή προτεραιότητα, ενώ παράλληλα μειώνεται η ποιότητα υπηρεσιών των χρηστών χαμηλής προτεραιότητας που έχουν ήδη γίνει αποδεκτοί.

Κάθε σταθμός του δικτύου υπολογίζει τον δικό του ρυθμό συγκρούσεων  $R_c$  σε κάθε περίοδο  $T$  και στη συνέχεια τον συγκρίνει με τα κατώφλια  $R_{lo}$  και  $R_{up}$  έτσι ώστε να πάρει μία απόφαση για την αίτηση αποδοχής του νέου χρήστη. Το δίκτυο 802.11e έχει ήδη την παράμετρο του συνολικού αριθμού των αναμεταδόσεων. Παρά το γεγονός ότι αυτό περιλαμβάνει τις αναμεταδόσεις λόγω συγκρούσεων και αυτές λόγω λανθασμένων πλαισίων που λαμβάνονται λόγω της κακής κατάστασης του καναλιού, αυτός ο αριθμός των αναμεταδόσεων θεωρείται αισιόδοξη εκτίμηση του ρυθμού συγκρούσεων (κυρίως όταν ο ρυθμός λαθών των πλαισίων είναι πολύ μικρός).

Από τις παραπάνω αναφορές γίνεται σαφές ότι η συνεργασία μεταξύ του WINNER και των παλαιότερων ασύρματων δικτύων πρέπει να είναι πολύ στενή, λόγω της συνολικής δράσης του ελέγχου αποδοχής κλήσεων σε όλα τα υπάρχοντα δίκτυα, καθώς θα πρέπει να γίνονται γνωστά στον αλγόριθμο τα χαρακτηριστικά κάθε δικτύου ανά πάσα χρονική στιγμή. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ο αλγόριθμος ελέγχου αποδοχής κλήσεων έχει κάποιες απαιτήσεις για την μέτρηση παραμέτρων στα δίκτυα που χρησιμοποιούμε. Αυτές οι τιμές των παραμέτρων θα αποτελούν τα δεδομένα εισόδου του αλγορίθμου έτσι ώστε αυτός με τη σειρά του να καταλήξει σε μία απόφαση για τις αιτήσεις των κλήσεων. Η οντότητα του ελέγχου αποδοχής κλήσεων (AC Entity) θα πρέπει να ξέρει κάθε χρονική στιγμή τις συνθήκες κάθε δικτύου (WINNER, GSM/GPRS, UMTS και WLAN). Αυτό σημαίνει ότι η οντότητα του ελέγχου αποδοχής κλήσεων πρέπει να είναι ενήμερη για του πόρους κάθε ασύρματου δικτύου πρόσβασης, όπως για παράδειγμα τα κατειλημμένα και τα ελεύθερα κανάλια, τον αριθμό των συμφορήσεων ανά κυψέλη, το φορτίο της κάθε κυψέλης, την ισχύ και το διαθέσιμο εύρος ζώνης κάθε κυψέλης κ.α. Όλες αυτές οι παράμετροι είναι πολύ σημαντικές για τον αλγόριθμο αποδοχής κλήσεων επειδή μη ξέροντας ή έχοντας ελλιπή ή ακόμα και λανθασμένη γνώση μιας ή και περισσότερων παραμέτρων θα οδηγηθεί σε λανθασμένο αποτέλεσμα, δηλαδή σε λανθασμένη απόφαση και θα επηρεαστεί φυσικά προς το χειρότερο η ποιότητα υπηρεσιών (θα έχουμε χαμηλή ποιότητα υπηρεσιών).



### 5.3.4 WINNER (4G Networks)

Τα συστήματα επικοινωνιών τέταρτης γενιάς, συνεπώς και το WINNER, είναι ακόμη υπό διαμόρφωση και ερευνητική μελέτη. Οπότε δεν είναι ακόμα γνωστά με μεγάλη ακρίβεια όλα τα χαρακτηριστικά των δικτύων αυτών. Παρόλα αυτά για την παρούσα εργασία, αλλά και γενικά στη διεθνή ερευνητική κοινότητα, τα δίκτυα αυτά θα τα προσομοιάσουμε με ασύρματα τοπικά δίκτυα. Δηλαδή θα χρησιμοποιήσουμε την ίδια λογική που θα χρησιμοποιήσουμε και στο WLAN με τις ανάλογες βέβαια διαφοροποιήσεις. Αυτές, κατά κύριο λόγο, εστιάζονται στην χωρητικότητα του WINNER, η οποία είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από το WLAN, αλλά και στην κάλυψη, η οποία στο WINNER είναι εκτενέστερη σε σύγκριση με το WLAN. Περισσότερες λεπτομέρειες θα δοθούν και στη συνέχεια κατά την εκτέλεση του προγράμματος προσομοίωσης και την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

## 5.4 Προτεραιότητες στον έλεγχο αποδοχής κλήσεων

Ένας αποδοτικός αλγόριθμος ελέγχου αποδοχής κλήσεων πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα διαφορετικά επίπεδα υπηρεσιών που προσφέρονται στους χρήστες, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται καλή ποιότητα υπηρεσιών. Οι διαφορετικές κλάσεις υπηρεσιών των ασύρματων δικτύων πρόσβασης, με τα οποία συνεργάζεται το WINNER, θα πρέπει να αναγνωρίζονται από τον αλγόριθμο αποδοχής κλήσεων στη βάση της κατανομής πόρων και κυρίως στη βάση της απονομής προτεραιότητας. Διαφορετικές κλάσεις υπηρεσιών θα έχουν διαφορετικές προτεραιότητες εντός του αλγορίθμου. Τα κριτήρια, για την προτεραιότητα της κάθε κλάσης, θα βασίζονται στα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις αυτής, π.χ. ευαισθησία στην καθυστέρηση, απαίτηση σε εύρος ζώνης κ.α. Μία κλάση υπηρεσιών με υψηλή προτεραιότητα θα εξυπηρετείται πρώτη σε σχέση με μία άλλη με χαμηλότερη προτεραιότητα. Επίσης μπορεί να συμβεί το ενδεχόμενο να γίνει αποδεκτή, από το δίκτυο μια αίτηση εξυπηρέτησης μιας κλάσης υψηλής προτεραιότητας, ενώ την ίδια χρονική περίοδο, μία αντίστοιχη αίτηση από μία κλάση χαμηλής προτεραιότητας, μπορεί να απορριφθεί.

Στα μελλοντικά ασύρματα δίκτυα, όπως είναι και το WINNER, δε θα έχουν όλες οι σύνοδοι τα ίδια χαρακτηριστικά ή απαιτήσεις, επειδή το WINNER για παράδειγμα χρησιμοποιεί πολλές κλάσεις υπηρεσιών, έτσι ώστε να προσφέρει στους χρήστες την καλύτερη δυνατή ποιότητα υπηρεσίας. Επιπλέον δε θα έχουν όλοι οι χρήστες την ίδια προτεραιότητα για πρόσβαση στο δίκτυο. Στην παρούσα υποενοότητα παρατίθενται τα χαρακτηριστικά προτεραιότητας που ισχύουν στα παλαιότερα δίκτυα και επίσης κάποιες αρχικές εκτιμήσεις για θέματα προτεραιότητας στο WINNER.

Στο GSM/GPRS οι χρήστες που συνομιλούν έχουν υψηλότερη προτεραιότητα από τους χρήστες που μεταδίδουν δεδομένα. Στο UMTS η απονομή προτεραιότητας γίνεται με βάση την κλάση υπηρεσίας στην οποία κατατάσσεται ο χρήστης. Για παράδειγμα η φωνητική σύνοδος (voice session), όπως είναι η κλασική τηλεφωνία, έχει απαίτηση για μικρή καθυστέρηση και χρησιμοποιεί περιορισμένο εύρος ζώνης, ενώ αντιθέτως η υπηρεσία ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (e-mail) είναι πολύ πιο ανεκτική σε καθυστέρηση και χρησιμοποιεί περισσότερο εύρος ζώνης. Στο UMTS υπάρχουν τέσσερις κλάσεις υπηρεσιών (αναλυτική περιγραφή αυτών έγινε στο δεύτερο κεφάλαιο):

- Συνδιάλεξης (conversational)
- Συνεχής και σταθερής ροής (streaming)
- Διάδρασης (interactive)
- Παρασκηνίου (background)

Ο κύριος διαχωριστικός παράγοντας μεταξύ αυτών των κλάσεων υπηρεσιών είναι ο βαθμός ευαισθησίας τους στην καθυστέρηση, π.χ. η κλάση υπηρεσιών συνδιάλεξης είναι η πιο ευαίσθητη στην καθυστέρηση, ενώ η κλάση υπηρεσιών παρασκηνίου είναι η λιγότερο ευαίσθητη στην καθυστέρηση.

Παρόλο που στο UMTS έχουν καθοριστεί μόνο τέσσερις κλάσεις υπηρεσιών και τέσσερις προτεραιότητες για τους χρήστες, στο WLAN χρησιμοποιούνται περισσότερες κλάσεις υπηρεσιών και στο 802.1D έχουν καθοριστεί οκτώ διαφορετικές προτεραιότητες (από το 0 έως το7), έτσι ώστε να εξυπηρετούνται καλύτερα οι χρήστες. Οι προτεραιότητες των χρηστών αναφέρονται στους προσδιοριστές κυκλοφορίας (Traffic Identifiers, TID) στα πακέτα δεδομένων του ελέγχου της ποιότητας υπηρεσιών που αποστέλλονται και λαμβάνονται στο ασύρματο μέσο.

Στο WINNER το θέμα των προτεραιοτήτων είναι λίγο πιο πολύπλοκο. Το WINNER περιλαμβάνει πολλές διαφορετικές κλάσεις υπηρεσιών (περί τις 18), οι οποίες έχουν διαφορετική καθυστέρηση, ρυθμοαπόδοση, και απαιτήσεις σε ρυθμό λανθασμένων bit. Για παράδειγμα το WINNER έχει διαφορετικές κλάσεις υπηρεσιών για την εξερεύνηση του διαδικτύου, παιχνίδια μέσω δικτύου, φωνή, ανταλλαγή μεγάλων αρχείων κ.α. με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά για κάθε κλάση. Μία προσέγγιση στο θέμα των προτεραιοτήτων είναι σε κάθε κλάση να ανατίθεται και μια προτεραιότητα για όλους τους χρήστες που ανήκουν σε αυτή. Αυτή η τεχνική έχει το πρόβλημα ότι σε κατάσταση ανάγκης δε θα υπάρχει εγγύηση για πρόσβαση στο δίκτυο. Εάν για παράδειγμα σε μία κατάσταση ανάγκης που χρειάζεται να σταλούν φωτογραφίες ενός ασθενή σε ένα γιατρό το δίκτυο είναι σε κατάσταση συμφόρησης, δε θα μπορεί ο αποστολέας να έχει πρόσβαση στο δίκτυο αφού η υπηρεσία του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου είναι χαμηλής προτεραιότητας. Μία δεύτερη προσέγγιση στο θέμα των προτεραιοτήτων είναι η απονομή προτεραιότητας να γίνεται ανάλογα με την προθυμία των χρηστών να πληρώσουν για αυτή. Πάλι όμως σε κατάσταση ανάγκης θα πρέπει να πληρώνει ο χρήστης των υπηρεσιών πολλά χρήματα, και αν θυμηθούμε το παράδειγμά μας θα πρέπει να πληρώσει ο αποστολέας τόσα χρήματα για μία σύνοδο ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Στην κανονική κατάσταση η δεύτερη τεχνική θα καταλήγει σε ένα είδος δημοπρασίας, όπου όποιος πληρώνει περισσότερο αποκτά πρόσβαση το δίκτυο.

Αν και δεν υπάρχει ακόμα μία τελική απόφαση για τον τρόπο απονομής προτεραιοτήτων αυτό που φαίνεται ως το πιο πιθανό να εφαρμοστεί τελικά είναι ότι οι χρήστες θα έχουν τη δυνατότητα να ζητούν από το δίκτυο (ή ένα σύνολο από δίκτυα) ότι έχουν την θέληση να εισέλθουν σε αυτό. Εν συνεχεία οι χρήστες θα χωρίζονται σε κατηγορίες (πιθανότατα τρεις κατηγορίες - χρυσοί, αργυροί, χάλκινοι -) και σύμφωνα με τις προδιαγραφές τους θα έχουν διαφορετικές προτεραιότητες. Δε θα έχουν όλες οι κλάσεις υπηρεσιών διαφορετικές προτεραιότητες μεταξύ τους και πιθανότατα δε θα έχουν και σταθερές πιθανότητες, δηλαδή οι πιθανότητες θα αλλάζουν σύμφωνα με προηγούμενες αποφάσεις και στατιστικά. Για το λόγο αυτό οι κλάσεις υπηρεσιών θα έχουν ένα σύνολο από επίπεδα προτεραιότητας παρά ένα επίπεδο προτεραιότητας μόνο. Θα μπορούν να υπάρξουν περισσότερες της μίας κλάσης υπηρεσιών με διαφορετική πιθανότητα. Επίσης θα μπορεί να υπάρχουν διαφορετικές προτεραιότητες για χρήστες που ανήκουν στην ίδια κλάση υπηρεσιών, σύμφωνα με την εφαρμογή που ζητάει ο κάθε χρήστης και προφανώς τις προδιαγραφές κάθε χρήστη. Για περιπτώσεις ανάγκης θα ορίζεται ένα επίπεδο προτεραιότητας με την τιμή 1 (δηλαδή τη μέγιστη προτεραιότητα)

και θα έχουμε μερικές κλάσεις υπηρεσιών (που θα έχουν τη δυνατότητα να εξυπηρετήσουν κλήσεις ανάγκης) με επίπεδο προτεραιότητας 1.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

---

- 6.1 Περιγραφή της τοπολογίας των δικτύων**
  - 6.2 Περιγραφή των κλάσεων υπηρεσιών του δικτύου**
  - 6.3 Περιγραφή του περιβάλλοντος προγραμματισμού**
  - 6.4 Εκτέλεση του προγράμματος-αποτελέσματα**
  - 6.5 Ανάλυση των αποτελεσμάτων**
- 

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των διαφόρων προσομοιώσεων που εκτελέστηκαν με τον προσομοιωτή που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε προσομοιάζει τον έλεγχο αποδοχής κλήσεων σε ετερογενή συστήματα επικοινωνιών τέταρτης γενιάς. Όπως φαίνεται και στις παραγράφους που ακολουθούν, η συμπεριφορά του δικτύου μελετήθηκε με τη βοήθεια ορισμένων γραφικών παραστάσεων, οι οποίες περιγράφουν την επίδοση του δικτύου. Τέτοιες γραφικές παραστάσεις, είναι η πιθανότητα αποκλεισμού νεοεισερχόμενης κλήσης (blocking probability) και η εξέταση ορισμένων παραμέτρων του αλγορίθμου, όπως είναι το μέσο μήκος της ουράς αναμονής και το μέσο πλήθος χρηστών που υπόκεινται σε διαπομπή προς άλλα δίκτυα, έτσι ώστε να απελευθερωθούν οι

απαραίτητοι πόροι του δικτύου για την αποδοχή ενός νέου χρήστη. Η μελέτη μας επικεντρώνεται στην ανάλυση της χωρητικότητας του δικτύου για διάφορες κλάσεις υπηρεσιών, στην ανάλυση της επίδρασης της κινητικότητας των χρηστών, καθώς και στη βελτιστοποίηση των διαφόρων παραμέτρων του AC του αλγορίθμου καθώς και για διάφορες εκδοχές του ίδιου βασικού αλγορίθμου.

Το έκτο κεφάλαιο λοιπόν ξεκινάει με μία περιγραφή της τοπολογίας των δικτύων που χρησιμοποιούμε, συνεχίζει με την περιγραφή των κλάσεων των υπηρεσιών που προσφέρονται από τα δίκτυα αυτά, στη συνέχεια περιγράφεται το προγραμματιστικό περιβάλλον και τελικά καταλήγουμε στις ενότητες που έχουν να κάνουν με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και την ανάλυση πάνω σε αυτά.

## **6.1 Περιγραφή της τοπολογίας των δικτύων**

Όπως αναφέρθηκε και αναλύθηκε εκτενώς σε προηγούμενο κεφάλαιο θα χρησιμοποιήσουμε τα εξής συστήματα ασύρματων επικοινωνιών: GSM/GPRS, UMTS, WLAN και το WINNER. Η τοπολογία έχει μεγάλη σημασία για τα αποτελέσματα της προσομοίωσης καθώς και για την αποτελεσματική χρησιμοποίηση του φάσματος. Για τον καθορισμό της θέσης των κυψελών κάθε δικτύου αλλά και το πλήθος αυτών χρησιμοποιήθηκε μία πρότυπη τοπολογία, η οποία συντάχθηκε σύμφωνα με πληροφορίες από τη διεθνή βιβλιογραφία για κάθε δίκτυο ξεχωριστά.

Πρέπει επίσης να τονίσουμε ότι ως γνωστό υπάρχει μεγάλη διακύμανση στο πραγματικό σχήμα της κάθε κυψέλης που τελικά προκύπτει από την εφαρμογή της στην πράξη και σε αυτό που χρησιμοποιείται για ερευνητικούς και πειραματικούς σκοπούς. Συνήθως χρησιμοποιούνται κυψέλες τριγωνικού, ορθογωνικού ή και εξαγωνικού σχήματος, οι οποίες προσομοιώνουν εν γένει καλύτερα το κυκλικό σχήμα που τείνει να είναι το πλησιέστερο στην πραγματικότητα. Στην παρούσα εργασία προτιμήθηκε το ορθογώνιο σχήμα για τις κυψέλες, λόγω της ευκολίας που παρείχε κατά τον προγραμματισμό αλλά και λόγω της απλής μορφής του, γεγονός που κάνει πιο κατανοητή την όλη διαδικασία.

Επίσης πολύ σημαντική παράμετρος είναι και το μέγεθος κάθε κυψέλης. Τα δεδομένα αυτά είναι εύκολο να τα βρει κάποιος στη διεθνή βιβλιογραφία και έχουν ως εξής:

- Μέγεθος κυψελών του δικτύου GSM/GPRS: 1000m x 1000m. Αυτό προκύπτει από την ακτίνα της κυψέλης, η οποία για το GSM/GPRS είναι 1km.
- Μέγεθος κυψελών του δικτύου UMTS: 3000m x 3000m. Αυτό προκύπτει πάλι από την ακτίνα της κυψέλης, η οποία στην περίπτωση του UMTS είναι 1500m.
- Μέγεθος περιοχών των κυψελών του δικτύου WLAN (802.11b): Εδώ έχουμε δύο περιπτώσεις οπότε έχουμε και δύο τύπους περιοχών με διαφορετική εμβέλεια. Η συνήθης πρακτική είναι να υπάρχει μία μικρής εμβέλειας περιοχή εντός μίας μεγαλύτερης εμβέλειας, αλλά πρέπει να σημειώσουμε ότι η μικρής εμβέλειας περιοχή επιτυγχάνει μεγαλύτερες ταχύτητες δεδομένων από την περιοχή μεγαλύτερης εμβέλειας. Τα δεδομένα για τους δύο τύπους περιοχή έχουν ως εξής:
  - i. Περιοχή μικρής εμβέλειας: Ο ρυθμός δεδομένων είναι 11mbps, η ακτίνα της κυψέλης είναι  $400\text{ft} \approx 120\text{m}$  οπότε μία τετραγωνική κυψέλη με τα προηγούμενα χαρακτηριστικά έχει διαστάσεις  $250\text{m} \times 250\text{m}$ .
  - ii. Περιοχή μεγάλης εμβέλειας: Ο ρυθμός δεδομένων είναι 1mbps, η ακτίνα της κυψέλης είναι  $1500\text{ft} \approx 460\text{m}$  οπότε μία τετραγωνική κυψέλη με τα προηγούμενα χαρακτηριστικά έχει διαστάσεις  $1000\text{m} \times 1000\text{m}$ .
- Μέγεθος κυψελών του δικτύου WINNER: Στην περίπτωση του WINNER έχουμε και εδώ δύο τύπους κυψελών με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.
  - i. Κυψέλη μικρής εμβέλειας: Έχει ακτίνα 5km οπότε μπορεί να παρασταθεί ως ένα τετράγωνο  $10\text{km} \times 10\text{km}$ .
  - ii. Κυψέλη μικρής εμβέλειας: Έχει ακτίνα 1,25km οπότε μπορεί να παρασταθεί ως ένα τετράγωνο  $2,5\text{km} \times 2,5\text{km}$ .

Η πρότυπη τοπολογία που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση του αλγορίθμου αποδοχής κλήσεων παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

| Cell | RAN       | Start x- point | End x- point | Start y- point | End y-point | Bts location |
|------|-----------|----------------|--------------|----------------|-------------|--------------|
| 1    | UMTS      | 0              | 3000         | 0              | 3000        | 1500,15      |
| 2    | UMTS      | 3000           | 6000         | 400            | 3400        | 4500,19      |
| 3    | UMTS      | 200            | 3200         | 3400           | 6400        | 1700,49      |
| 4    | UMTS      | 3200           | 6200         | 3400           | 6400        | 4700,49      |
| 5    | GSM/GPRS  | 0              | 2000         | 0              | 2000        | 1000,1       |
| 6    | GSM/GPRS  | 2000           | 4000         | 0              | 2000        | 3000,1       |
| 7    | GSM/GPRS  | 4000           | 6000         | 0              | 2000        | 5000,1       |
| 8    | GSM/GPRS  | 100            | 2100         | 2000           | 4000        | 1100,3       |
| 9    | GSM/GPRS  | 2100           | 4100         | 2000           | 4000        | 3100,3       |
| 10   | GSM/GPRS  | 4100           | 6100         | 2000           | 4000        | 5100,3       |
| 11   | GSM/GPRS  | 500            | 2500         | 4000           | 6000        | 1500,5       |
| 12   | GSM/GPRS  | 4100           | 6100         | 4000           | 6000        | 3100,5       |
| 13a  | WLAN      | 400            | 1400         | 700            | 1700        | 900,12       |
| 13b  | WLAN      | 775            | 1025         | 1075           | 1325        | 900,12       |
| 14a  | WLAN      | 2500           | 3500         | 1200           | 2200        | 3000,17      |
| 14b  | WLAN      | 2875           | 3125         | 1575           | 1825        | 3000,17      |
| 15a  | WLAN      | 5500           | 6500         | 300            | 1300        | 6000,8       |
| 15b  | WLAN      | 5875           | 6125         | 675            | 925         | 6000,8       |
| 16a  | WLAN      | 300            | 1300         | 2600           | 3600        | 800,31       |
| 16b  | WLAN      | 675            | 925          | 2975           | 3225        | 800,31       |
| 17a  | WLAN      | 4500           | 5500         | 2900           | 3900        | 5000,34      |
| 17b  | WLAN      | 4875           | 5125         | 3275           | 3525        | 5000,34      |
| 18a  | WLAN      | 3000           | 4000         | 4400           | 5400        | 3500,49      |
| 18b  | WLAN      | 3375           | 3625         | 3775           | 4025        | 3500,39      |
| 19   | WINNER-wa | 0              | 10000        | 0              | 10000       | 5000,5       |
| 20   | WINNER-sa | 0              | 2500         | 0              | 2500        | 1250,125     |
| 21   | WINNER-sa | 2500           | 5000         | 0              | 2500        | 3750,125     |
| 22   | WINNER-sa | 5000           | 7500         | 0              | 2500        | 6250,125     |
| 23   | WINNER-sa | 1000           | 3500         | 2500           | 5000        | 2250,375     |
| 24   | WINNER-sa | 3500           | 6000         | 2500           | 5000        | 4750,375     |

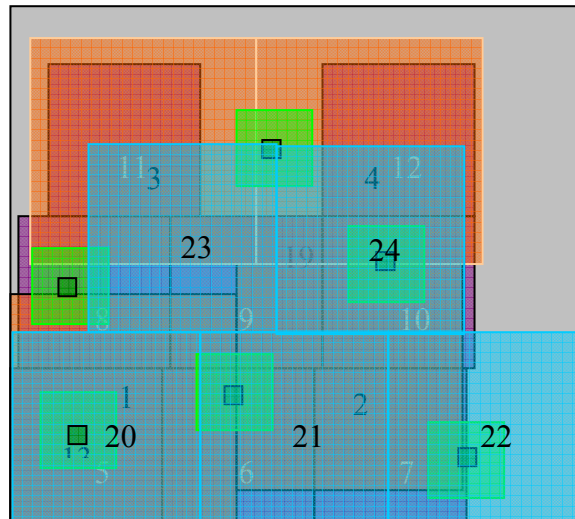
ΣΧΗΜΑ 6.1: ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΤΗΣ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ.

Όπως παρατηρούμε χρησιμοποιήσαμε συνολικά 24 κυψέλες από όλα τα δίκτυα και οι αντίστοιχοι αριθμοί για κάθε δίκτυο ξεχωριστά έχουν ως εξής:

- 6 κυψέλες από το WINNER (μία ευρείας κάλυψης και πέντε περιορισμένης)
- 4 κυψέλες από το UMTS
- 8 κυψέλες από το GSM/GPRS
- 6 κυψέλες από το WLAN



Οι κυψέλες στο WLAN όπως αναφέραμε και προηγουμένως μπορούν να διαχωριστούν περαιτέρω σε 2 μέρη, μία κυψέλη με περιορισμένη κάλυψη και μία δεύτερη με ευρεία κάλυψη. Η σχηματική αναπαράσταση όλων των κυψελών στο χώρο παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.2.



ΣΧΗΜΑ 6.2: Η ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ.

Στη συνέχεια πρέπει να ορίσουμε τα κατώφλια απόρριψης κλήσεων για κάθε δίκτυο που χρησιμοποιούμε. Αυτά τα κατώφλια ορίζουν αν ένα δίκτυο είναι σε θέση να αποδεχτεί την κλήση ή όχι. Προφανώς υπάρχει διαφοροποίηση στα κατώφλια ανάλογα με το είδος της κλήσης, δηλαδή αν η κλήση είναι νέα τότε χρησιμοποιούμε χαμηλότερα κατώφλια από την περίπτωση που η κλήση είναι από διαπομπή. Με άλλα λόγια όταν έχουμε κλήση από διαπομπή της επιτρέπουμε να εισέλθει στο δίκτυο πιο εύκολα από ότι μια νέα κλήση. Αυτό συμβαίνει γιατί στις κλήσεις με διαπομπή, όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενο κεφάλαιο, δίνουμε μεγαλύτερη προτεραιότητα σε σχέση με τις νέες κλήσεις. Οι μέγιστες τιμές χωρητικότητας του κάθε δικτύου που χρησιμοποιούμε καθώς και τα κατώφλια για κάθε ένα από αυτά στην περίπτωση των νέων κλήσεων και αυτών από διαπομπή παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα.

| Τεχνολογία      | Μέγιστη χωρητικότητα | Κατώφλι για νέες κλήσεις | Κατώφλι για κλήσεις από διαπομπή |
|-----------------|----------------------|--------------------------|----------------------------------|
| GSM/GPRS        | 23users              | 18 users                 | 20 users                         |
| UMTS(Uplink)    | 1                    | 0.7                      | 0.8                              |
| UMTS (Downlink) | 1                    | 0.75                     | 0.85                             |
| WLAN            | 6 Mbps               | 4800 Kbps                | 5100 Kbps                        |
| WINNER          | 50Mbps               | 40Mbps                   | 42.5Mbps                         |

ΣΧΗΜΑ 6.3: ΚΑΤΩΦΛΙΑ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ ΚΛΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ

## 6.2 Περιγραφή των κλάσεων υπηρεσιών του δικτύου

Το πλήθος των κλάσεων υπηρεσιών που προσφέρονται από ένα ετερογενές σύστημα κινητών επικοινωνιών τέταρτης γενιάς είναι σίγουρα πάρα πολύ μεγάλο. Μπορούμε να φανταστούμε ότι εφόσον το ετερογενές δίκτυο χρησιμοποιεί όλα τα προηγούμενα συστήματα επικοινωνιών (π.χ. GSM/GPRS, UMTS κ.α.), πέρα από το γεγονός του αμιγούς συστήματος επικοινωνιών τέταρτης γενιάς (WINNER) που συμμετέχει και αυτό ως μέρος του όλου συστήματος, το συνολικό δίκτυο θα παρέχει τουλάχιστον τις υπάρχουσες υπηρεσίες στο χρήστη αλλά και νέες μέσα από τα καινούργια χαρακτηριστικά του δικτύου που επιτρέπουν κάτι τέτοιο. Στην εργασία αυτή έγινε μία επιλογή των σημαντικότερων κλάσεων υπηρεσιών, απόφαση που βασίστηκε σε κριτήρια όπως η απήχηση που έχει (ή ενδέχεται να έχει για νέες υπηρεσίες) η κάθε κλάση υπηρεσιών στους χρήστες αλλά και πόσο αυτή είναι απαιτητική σε πόρους του δικτύου. Τελικά επιλέχτηκαν οχτώ κλάσεις υπηρεσιών με τα εξής χαρακτηριστικά:

- 1) **Μεταφορά μεγάλων αρχείων (Large files exchange).** Εδώ περιλαμβάνεται και η αποστολή αλλά και η λήψη μεγάλων αρχείων (της τάξης των 400-800 MB) μεταξύ του χρήστη και του δικτύου. Προφανώς απαιτείται ένας μεγάλος ρυθμός δεδομένων για να μεταφερθούν τέτοιου μεγέθους αρχεία, τον οποίο δεν μπορούν να προσφέρουν τα δίκτυα GPRS ή UMTS. Επίσης τους χρήστες με αυξημένη κινητικότητα τα WLANs δεν μπορούν να τους εξυπηρετήσουν (τουλάχιστον όχι ικανοποιητικά). Επίσης τα ίδια δίκτυα δεν είναι πολύ εξυπηρετικά και για λόγους κάλυψης, μιας και έχουν την μικρότερη κάλυψη σε σχέση με τα άλλα δίκτυα. Άρα καταλήγουμε ότι το προτιμητέο δίκτυο για την υπηρεσία αυτή θα

είναι το WINNER. Οι ρυθμοί δεδομένων στην περίπτωση αυτή φτάνουν έως και 50Mbps. Η προτεραιότητα αυτής της κλάσης υπηρεσιών έχει την τιμή 8, δηλαδή έχει την χαμηλότερη προτεραιότητα ανάμεσα σε όλες τις άλλες κλάσεις υπηρεσιών. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό καθώς υπάρχουν υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (όπως για παράδειγμα οι υπηρεσίες φωνής) που είναι πολύ πιο ευαίσθητες στην καθυστέρηση σε σχέση με την παρούσα κλάση υπηρεσιών.

- 2) **Υψηλής ποιότητας ροή video (High quality video streaming).** Αυτή η κλάση υπηρεσιών είναι ως γνωστό ιδιαίτερα απαιτητική σε εύρος ζώνης. Γενικά η κινούμενη εικόνα, δηλαδή το βίντεο, είναι μία υπηρεσία που δυσκολεύει ακόμα και ένα κλασσικό ενσύρματο δίκτυο. Οπότε, για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν προηγούμενα, καταλήγουμε ότι το προτιμητέο και σε αυτή την περίπτωση δίκτυο είναι το WINNER. Οι ρυθμοί δεδομένων στην περίπτωση αυτή φτάνουν έως και 30Mbps. Η προτεραιότητα αυτής της κλάσης υπηρεσιών έχει την τιμή 6, δηλαδή έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα από την προηγούμενη κλάση υπηρεσιών αλλά σε σχέση με άλλες υπηρεσίες που θα δούμε και στη συνέχεια είναι μία χαμηλής προτεραιότητας κλάση υπηρεσιών.
- 3) **Πρόσβαση σε τοπικό δίκτυο και σε αρχεία δεδομένων (LAN access and file service).** Αυτή η κλάση υπηρεσιών περιλαμβάνει την πρόσβαση σε κεντρικούς υπολογιστές αρχείων, σε βάσεις δεδομένων αλλά και γενικά την πρόσβαση στο διαδίκτυο και σε ιστοσελίδες από κάποιο κινητό τερματικό. Η πρόσβαση στις υπηρεσίες αυτές γίνεται κατά βάση από το WLAN και μόνο για κοντινούς χρήστες στο σταθμό βάσης του δικτύου. Η προτεραιότητα της κλάσης ορίζεται ως 4.
- 4) **Διαλογικές υπηρεσίες πολυμέσων υψηλού επιπέδου (Interactive ultra high multimedia).** Αυτή η κλάση υπηρεσιών περιλαμβάνει μετάδοση βίντεο υψηλής ποιότητας κυρίως για την εξυπηρέτηση διασκέψεων. Προφανώς για την υπηρεσία αυτή απαιτείται μεγάλο εύρος ζώνης και γενικά μεγάλοι ρυθμοί δεδομένων, οπότε το μόνο κατάλληλο δίκτυο στις μέρες μας για κάτι τέτοιο είναι το WLAN. Λόγω της αυξημένης ευαισθησίας της υπηρεσίας στην καθυστέρηση, αποδίδεται σε αυτή την κλάση υπηρεσιών προτεραιότητα με τιμή 1 (δηλαδή πολύ αυξημένη).
- 5) **Μειωμένων απαιτήσεων «ξεφύλλισμα» (Lightweight browsing).** Αυτή η κλάση υπηρεσιών περιλαμβάνει υπηρεσίες όπως είναι η εξερεύνηση του διαδικτύου μέσω ενός κατάλληλου εξερευνητή, το ραδιόφωνο μέσω διαδικτύου

και πρόσβαση σε μικρές (που δεν απαιτούν δηλαδή μεγάλο εύρος ζώνης για την συνδιαλλαγή με αυτές) βάσεις δεδομένων. Η παρούσα κλάση υπηρεσιών εξυπηρετείται με ευκολία από το UMTS σύστημα. Η προτεραιότητα της κλάσης ορίζεται ως 5.

- 6) **Τηλεφωνία δεδομένων και άλλων μέσων (Data and media telephony).** Αυτή η κλάση υπηρεσιών περιλαμβάνει υπηρεσίες όπως είναι η τηλεφωνία με ταυτόχρονη απεικόνιση της εικόνας των χρηστών, καθώς και η μεγάλη ροή δεδομένων ήχου. Τα συστήματα UMTS εξυπηρετούν τέτοιου είδους υπηρεσίες. Η προτεραιότητα της κλάσης ορίζεται ως 2.
- 7) **Απλή τηλεφωνία και μηνύματα (Simple telephony and messaging).** Αυτή η κλάση υπηρεσιών περιλαμβάνει υπηρεσίες όπως είναι η κλασσική τηλεφωνία και τα μηνύματα. Τέτοιου είδους υπηρεσίες εξυπηρετούνται κατά βάση από το GSM/GPRS. Η προτεραιότητα της κλάσης ορίζεται ως 3.
- 8) **Πολυμεσικά μηνύματα (Multimedia messaging).** Αυτή η κλάση υπηρεσιών περιλαμβάνει μηνύματα δεδομένων, φωνής (φωνητικά μηνύματα) και πολυμέσων. Επίσης εδώ περιλαμβάνονται και άλλα μηνύματα σχετικά με νέες υπηρεσίες όπως είναι η πληρωμή μέσω δικτύου, το ηλεκτρονικό πορτοφόλι κ.α. Μερικές από τις υπηρεσίες αυτές εξυπηρετούνται ήδη από το GPRS. Η προτεραιότητα της κλάσης ορίζεται ως 7.

Όλα τα παραπάνω αλλά και επιπλέον χαρακτηριστικά για κάθε κλάση υπηρεσιών μπορούν να συγκεντρωθούν σε έναν πίνακα, ο οποίος παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.

| Service Classes |                                   |          | duration(sec) |     | datarate(kbps) |       | BER      |          | delay(ms) |     | size(MB) |     | timeout | Eb/No |     |
|-----------------|-----------------------------------|----------|---------------|-----|----------------|-------|----------|----------|-----------|-----|----------|-----|---------|-------|-----|
| Class ID        | Class name                        | priority | min           | max | min            | max   | max      | min      | min       | max | min      | max | (sec)   | UL    | DL  |
| SC1             | large files exchange              | 8        |               |     | 1000           | 50000 | 1.00E-06 | 1.00E-06 | 200       |     | 50       | 500 | 30      | 1.7   | 2.5 |
| SC2             | high quality video streaming      | 6        | 300           | 600 | 2000           | 40000 | 1.00E-09 | 1.00E-09 | 200       |     |          |     | 15      | 1.7   | 2.5 |
| SC3             | LAN access and file service       | 4        | 120           | 300 | 1000           | 50000 | 1.00E-06 | 1.00E-06 | 100       | 200 |          |     | 20      | 1.7   | 2.5 |
| SC4             | interactive ultra high multimedia | 1        | 120           | 500 | 1000           | 50000 | 1.00E-03 | 1.00E-06 | 20        | 100 |          |     | 5       | 1.41  | 2   |
| SC5             | Lightweight browsing              | 5        | 300           | 900 | 64             | 512   | 1.00E-06 | 1.00E-06 | 200       |     |          |     | 20      | 1.7   | 2.5 |
| SC6             | data and media telephony          | 2        | 60            | 120 | 64             | 512   | 1.00E-03 | 1.00E-06 | 100       | 200 |          |     | 5       | 2     | 3.5 |
| SC7             | simple telephony and messaging    | 3        | 10            | 120 | 8              | 64    | 1.00E-03 | 1.00E-06 | 100       | 200 |          |     | 8       | 2     | 3.5 |
| SC8             | multimedia messaging              | 7        | 5             | 15  | 8              | 64    | 1.00E-06 | 1.00E-09 | 200       |     | 0.005    | 0.1 | 5       | 1.41  | 2   |

ΣΧΗΜΑ 6.4: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ.

Σημαντικό στοιχείο της προσομοίωσης που θα ακολουθήσει είναι ο υπολογισμός της κίνησης για κάθε κυψέλη και προφανώς για το συνολικό δίκτυο. Αυτός ο υπολογισμός πρέπει να γίνει σε στάδια λόγω της πληθώρας των υπηρεσιών που διατίθενται και της διαφορετικής πιθανότητας αυτών. Έτσι στον παρακάτω πίνακα φαίνονται κάποια στοιχεία των κλάσεων υπηρεσιών που μας ενδιαφέρουν για τον υπολογισμό της μέσης διάρκειας μιας κλήσης. Αυτά είναι η μέση διάρκεια μιας κλήσης για κάθε κλάση υπηρεσιών (τρίτη στήλη) σε δευτερόλεπτα και το βάρος της πιθανότητας που έχουμε καθορίσει για κάθε κλάση υπηρεσιών (τέταρτη στήλη). Όπως είναι εμφανές και από τον πίνακα, δεν έχουν όλες οι κλάσεις υπηρεσιών την ίδια πιθανότητα. Για τις υπηρεσίες που οι χρήστες ζητούν με μεγαλύτερη συχνότητα (όπως η τηλεφωνία και η υπηρεσία μηνυμάτων), η αντίστοιχη πιθανότητα είναι μεγαλύτερη. Στην πέμπτη στήλη παρουσιάζεται η μέση διάρκεια κλήσης επί την αντίστοιχη πιθανότητα. Αν πάρουμε το άθροισμα της πέμπτης στήλης και το διαιρέσουμε με αυτό της τέταρτη έχουμε τη μέση διάρκεια κλήσης των χρηστών για το σύστημά μας.

|   | Service class                  | mean call duration (sec) | probability weight | call duration weighted (sec) |
|---|--------------------------------|--------------------------|--------------------|------------------------------|
| 1 | large files exchange           | 275                      | 3                  | 825                          |
| 2 | high quality video streaming   | 450                      | 2                  | 900                          |
| 3 | LAN access and file service    | 210                      | 3                  | 630                          |
| 4 | interactive ultra high media   | 310                      | 2                  | 620                          |
| 5 | Lightweight browsing           | 600                      | 4                  | 2400                         |
| 6 | data and media telephony       | 90                       | 6                  | 540                          |
| 7 | simple telephony and messaging | 65                       | 6                  | 390                          |
| 8 | multimedia messaging           | 10                       | 6                  | 60                           |
|   | Total                          |                          | 32                 | 6365                         |
|   | Average                        |                          |                    | 198,90                       |

ΣΧΗΜΑ 6.5: ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Αφού ξέρουμε πλέον την μέση διάρκεια κλήσης μπορούμε να προχωρήσουμε στον υπολογισμό της κίνησης του δικτύου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η κίνηση που επιτρέπεται να έχει κάθε κυψέλη. Στην προσομοίωση που εκτελέστηκε πειραματιστήκαμε με διάφορα ρυθμούς χρηστών ανά δευτερόλεπτο. Η πρώτη στήλη του παρακάτω πίνακα δείχνει τον ρυθμό κλήσεων ανά δευτερόλεπτο, η δεύτερη στήλη δείχνει τη μέση διάρκεια κλήσης που βρήκαμε με τη βοήθεια του παραπάνω πίνακα, η τρίτη στήλη τα συνολικά erlangs στο δίκτυό μας ενώ η τέταρτη και τελευταία στήλη το μέσο

αριθμό erlangs ανά κυψέλη (προκύπτει από την τρίτη στήλη αν διαιρέσουμε με το πλήθος των κυψελών που είναι 24).

| $\lambda$ (calls/sec) | mean call duration weighted | Total erlangs | erlangs/cell |
|-----------------------|-----------------------------|---------------|--------------|
| 0,1                   | 198,90                      | 19,89         | 0,83         |
| 0,2                   | 198,90                      | 39,78         | 1,66         |
| 0,3                   | 198,90                      | 59,67         | 2,49         |
| 0,4                   | 198,90                      | 79,56         | 3,32         |
| 0,5                   | 198,90                      | 99,45         | 4,14         |
| 0,6                   | 198,90                      | 119,34        | 4,97         |
| 0,7                   | 198,90                      | 139,23        | 5,80         |
| 0,8                   | 198,90                      | 159,13        | 6,63         |
| 0,9                   | 198,90                      | 179,02        | 7,46         |
| 1                     | 198,90                      | 198,91        | 8,29         |
| 1,5                   | 198,90                      | 298,36        | 12,43        |
| 2                     | 198,90                      | 397,81        | 16,58        |
| 5                     | 198,90                      | 994,53        | 41,44        |
| 10                    | 198,90                      | 1989,06       | 82,88        |
| 15                    | 198,90                      | 2983,59       | 124,32       |
| 20                    | 198,90                      | 3978,13       | 165,76       |
| 50                    | 198,90                      | 9945,31       | 414,39       |

ΣΧΗΜΑ 6.6: ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ (ΣΕ ERLANGS) ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

### 6.3 Περιγραφή του περιβάλλοντος προγραμματισμού

Για την προσομοίωση του ελέγχου αποδοχής κλήσεων σε ετερογενή συστήματα επικοινωνιών τέταρτης γενιάς χρειάστηκε, όπως είναι προφανές, να γραφεί κώδικας σε μία γλώσσα προγραμματισμού. Το πρόγραμμα αυτό πρέπει να προσομοιώνει τις λειτουργίες ενός δικτύου (που στην περίπτωσή μας είναι ετερογενές, άρα προσομοιώνει τις λειτουργίες πολλών επιμέρους δικτύων) αλλά επίσης να επιτελεί τον αλγόριθμο αποδοχής κλήσεων, με τέτοιο τρόπο που να εφαρμόζει όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Επίσης είναι απαραίτητο να έχουμε συχνές μετρήσεις διαφόρων παραμέτρων του δικτύου, όπως είναι το φορτίο και ο αριθμός των χρηστών που απορρίφθηκαν από το δίκτυο.

Ο προσφορότερος τρόπος για την υλοποίηση των παραπάνω εκτιμήθηκε ότι είναι το EXCEL και συγκεκριμένα η επιλογή που έχει για προγραμματισμό σε Visual Basic

(VBA). Από την μία άποψη η VBA είναι μία εύκολη γλώσσα προγραμματισμού και ενδείκνυται για προσομοιώσεις τέτοιου τύπου, ενώ από την άλλη το EXCEL με τη δομή του (δηλαδή τα κελιά) διευκολύνει την αποθήκευση των δεδομένων του δικτύου αλλά και των μετρήσεων που διενεργούνται σε αυτό. Επίσης το EXCEL παρέχει την ευκολία για εύκολη σχεδίαση γραφικών παραστάσεων από τα δεδομένα που περιέχονται στα φύλλα επεξεργασίας αυτού.

## **6.4 Εκτέλεση του προγράμματος-αποτελέσματα-ανάλυση**

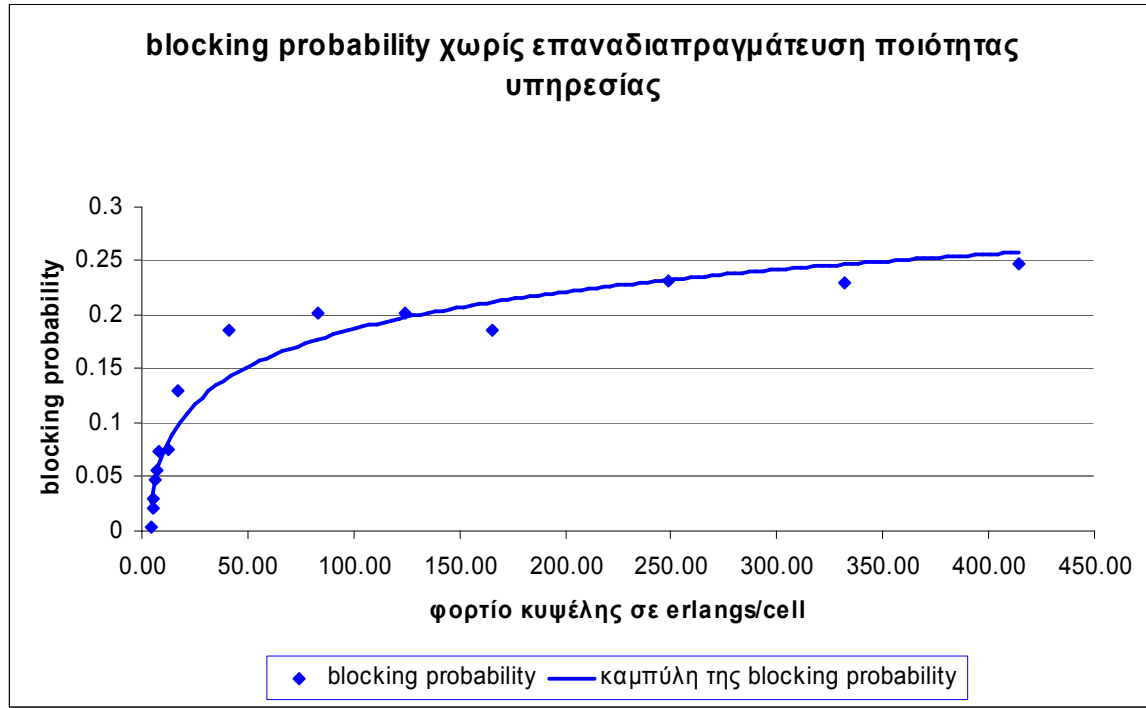
Για την προσομοίωση του αλγορίθμου αποδοχής κλήσεων που παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο χρησιμοποιήθηκαν δύο παραλλαγές αυτού. Δηλαδή έγινε προσομοίωση σε δυο διαφορετικές εκδοχές αυτού του αλγορίθμου αλλά και σε ολόκληρο τον αλγόριθμο όπως παρουσιάστηκε στο πέμπτο κεφάλαιο. Η πρώτη εκδοχή δεν λαμβάνει υπόψη της την επαναδιαπραγμάτευση για την ποιότητα υπηρεσιών των χρηστών, οι οποίοι βρίσκονται ήδη στη φάση εξυπηρέτησης. Η δεύτερη εκδοχή προχωράει σε επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών των χρηστών, οι οποίοι βρίσκονται ήδη στη φάση εξυπηρέτησης, αλλά δεν επαναφέρει την ποιότητα υπηρεσιών στην αρχική της τιμή όταν υπάρχει διαθέσιμο εύρος ζώνης στο δίκτυο. Η τρίτη και τελευταία προσομοίωση γίνεται στο συνολικό αλγόριθμο.

### **6.4.1 Αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων χωρίς επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών**

Όπως εξηγήθηκε και παραπάνω στην περίπτωση αυτή επιτελείται ο αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων κανονικά, μόνο που εξαιρείται το μέρος του που έχει να κάνει με την επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών των χρηστών, οι οποίοι βρίσκονται ήδη σε φάση εξυπηρέτησης. Δηλαδή όταν μία κυψέλη που είναι υπερφορτωμένη πρέπει να αποδεσμεύσει πόρους του δικτύου που έχει αποδώσει σε άλλες κλήσεις χαμηλότερης προτεραιότητας από την εξεταζόμενη, τότε η μόνη τεχνική που μπορεί να εφαρμοσθεί είναι η διαπομπή μερικών χρηστών σε άλλα δίκτυα, τα οποία μπορούν να τους εξυπηρετήσουν. Με τον τρόπο αυτό δεν εξετάζεται καθόλου το ενδεχόμενο μείωσης της ποιότητας υπηρεσιών χρηστών που ήδη εξυπηρετούνται.



Από την εξομοίωση αυτής της εκδοχής του αλγορίθμου, λήφθηκαν αποτελέσματα για την πιθανότητα απόρριψης του χρήστη (blocking probability), τα οποία συγκεντρωτικά φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα:

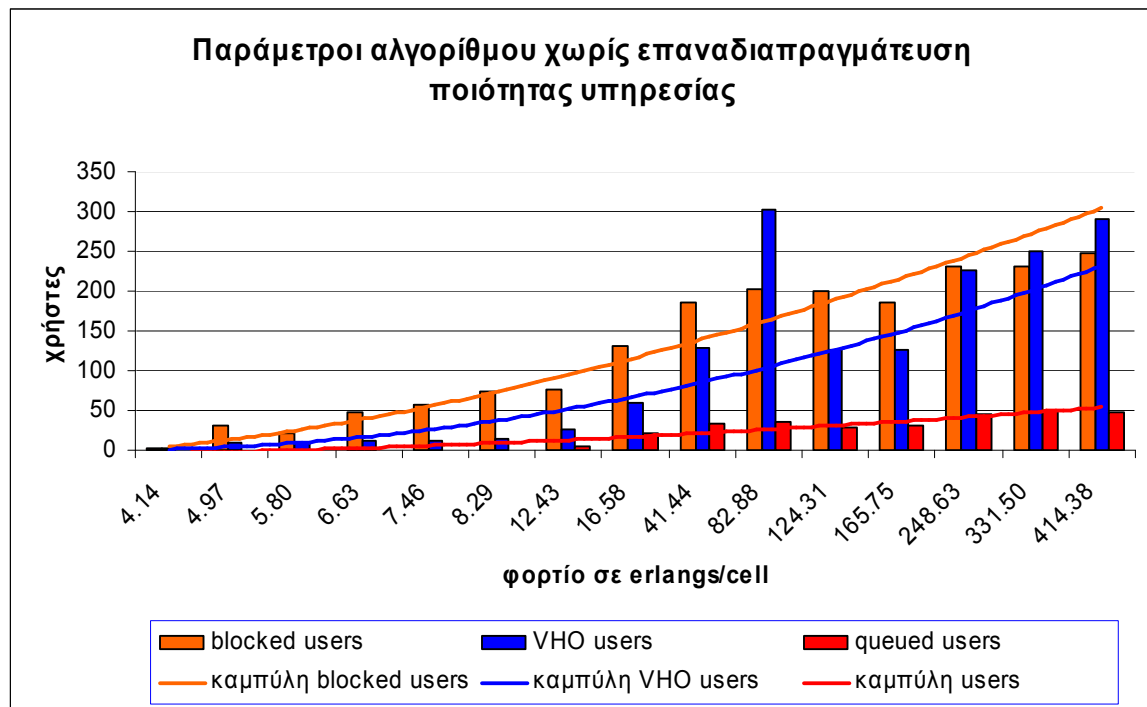


ΣΧΗΜΑ 6.7: BLOCKING PROBABILITY ΧΩΡΙΣ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ

Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται η καμπύλη που προκύπτει από τα σημεία, τα οποία είναι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Είναι ιδιαίτερα εμφανές το πόσο χαμηλή είναι η πιθανότητα απόρριψης μιας κλήσης όταν το φορτίο των κυψελών παραμένει χαμηλό, ενώ το αντίθετο συμβαίνει όταν το φορτίο της κάθε κυψέλης αυξάνει. Η μετάβαση από χαμηλές τιμές για την πιθανότητα απόρριψης σε υψηλότερες γίνεται απότομα σε μια περιοχή για 5-12 erlangs/cell. Σε ιδιαίτερα υψηλές τιμές φορτίου παρατηρούμε ότι η πιθανότητα απόρριψης πλησιάζει το 30%, δηλαδή περίπου ένας στους τρεις χρήστες που προσπαθούν να εισέλθουν στο δίκτυο απορρίπτεται. Αυτό επαναλαμβάνουμε ότι συμβαίνει σε εξαιρετικά υψηλές περιπτώσεις φορτίου. Για 5 erlangs/cell παρατηρούμε ότι η πιθανότητα απόρριψης είναι κάτω από 2%, τιμή που είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική αν αναλογιστούμε ότι χρησιμοποιούμε μία αυστηρή έκδοση του αλγορίθμου.

Στη συνέχεια μπορούμε να εξετάσουμε πιο αναλυτικά αυτή την εκδοχή του αλγορίθμου, παρατηρώντας μερικές σημαντικές λεπτομέρειες που προκύπτουν από την

προσομοίωση. Στο σχήμα 6.8 απεικονίζεται το μέσο πλήθος χρηστών που έχουν απορριφθεί, το μέσο πλήθος χρηστών που έχουν υποστεί διαπομπή σε άλλα δίκτυα για την απελευθέρωση πόρων ικανών να εξυπηρετήσουν μια αίτηση κλήσης για αποδοχή και το μέσο αριθμό χρηστών που πέρασαν από τη φάση της αναμονής σε ουρά. Οι αριθμοί των χρηστών είναι κανονικοποιημένοι για 1000 χρήστες. Επίσης στο διάγραμμα απεικονίζεται και η γραμμή τάσης κάθε παραμέτρου.



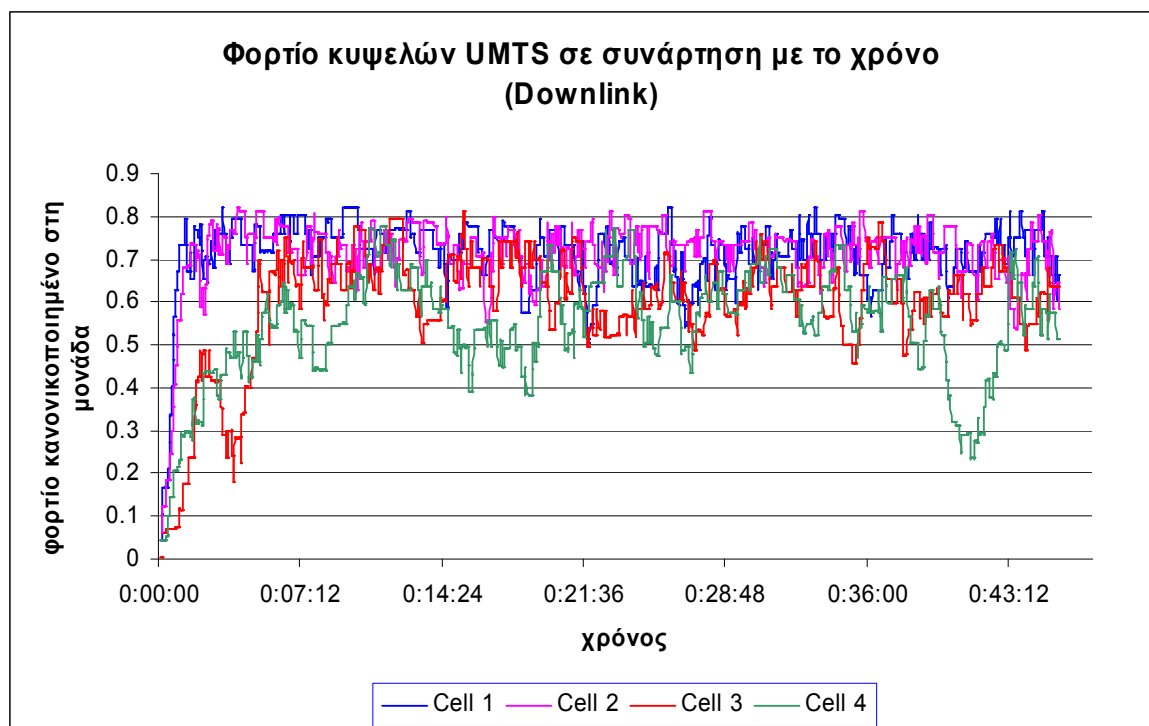
ΣΧΗΜΑ 6.8: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΧΩΡΙΣ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ

Από την παρατήρηση του ανωτέρω διαγράμματος είναι εμφανές ότι αυξάνουν οι χρήστες που απορρίπτονται (εξηγήθηκε και νωρίτερα ο λόγος) σε σχέση με την αύξηση του φορτίου ανά κυψέλη. Επίσης και οι άλλες δύο εικονιζόμενες παράμετροι έχουν μία αυξητική τάση. Ιδιαίτερα οι χρήστες που ωθούνται σε διαπομπή σε άλλες κυψέλες αυξάνονται σε σχέση με το φορτίο ανά κυψέλη. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν το φορτίο στο όλο σύστημα αυξάνεται, τότε η αποδοχή μιας νέας κλήσης (είτε εξολοκλήρου νέας είτε από διαπομπή) γίνεται όλο και πιο δύσκολη λόγω του αυξημένου φορτίου και γι' αυτό απαιτούνται όλο και πιο συχνά διαπομπές κλήσεων σε εξέλιξη σε άλλα δίκτυα για να αποδεσμευτούν οι απαιτούμενοι πόροι στην υπό εξέταση κυψέλη.

Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με τους χρήστες που χρησιμοποιούν την ουρά αναμονής. Καθώς αυξάνεται το φορτίο στο σύστημα μειώνονται οι διαθέσιμοι πόροι των κυψελών και έτσι μια νέα κλήση υψηλής προτεραιότητας που δεν μπορεί να

εξυπηρετηθεί, ακόμα και με τη χρήση του μηχανισμού των διαπομπών από την υπόψη κυψέλη σε κυψέλες άλλων δικτύων, τίθεται σε φάση αναμονής. Αυτή η κλήση είναι η πρώτη που θα εξυπηρετηθεί μόλις βρεθούν οι απαραίτητοι πόροι στην κυψέλη προορισμού, αρκεί μόνο να μη λήξει ο χρόνος αναμονής, οπότε και απορρίπτεται.

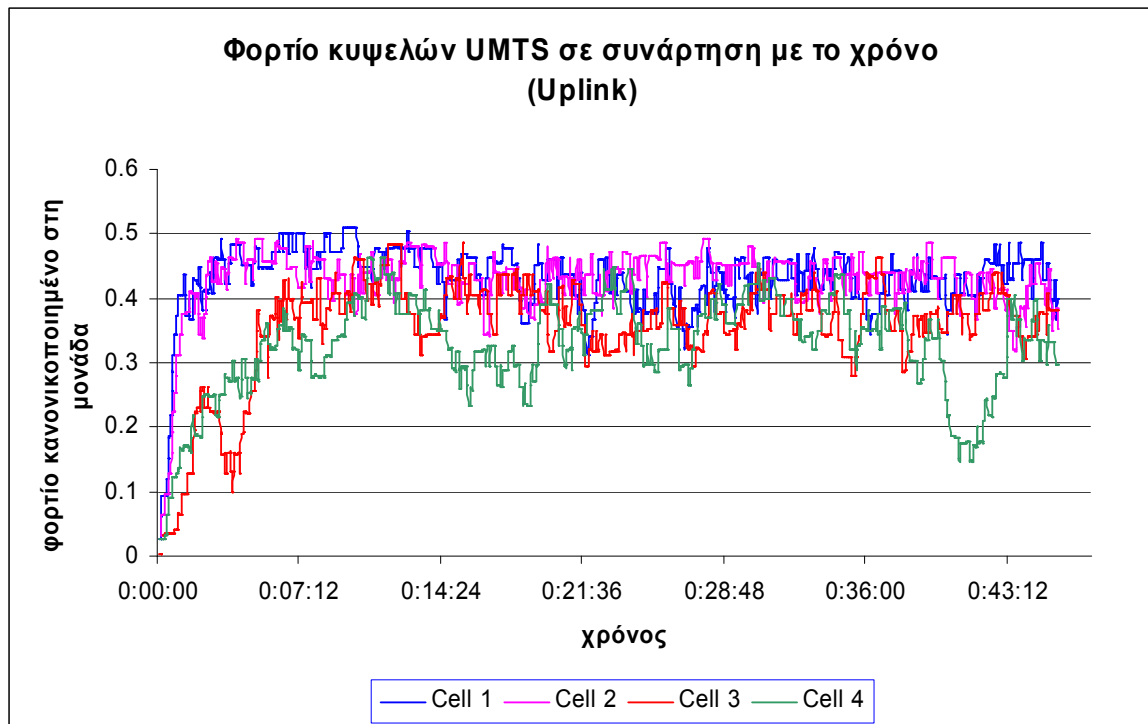
Στη συνέχεια παρατίθενται μερικά ενδεικτικά διαγράμματα για τα φορτία των κυψελών σε σχέση με το χρόνο. Για το UMTS έχουμε δύο διαγράμματα, ένα για την άνω-ζεύξη και ένα για την κάτω ζεύξη.



ΣΧΗΜΑ 6.9: ΦΟΡΤΙΟ ΚΥΨΕΛΩΝ UMTS ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ (DOWNLINK)

Το παραπάνω διάγραμμα είναι ενδεικτικό για το δίκτυο τύπου UMTS και δείχνει όπως αναφέραμε το φορτίο για την κάτω-ζεύξη (κανικοποιημένο στη μονάδα) κάθε κυψέλης από τις τέσσερις που χρησιμοποιήσαμε σε σχέση με το χρόνο. Η παρούσα εκτέλεση του αλγορίθμου έχει γίνει για φορτίο 16,58 erlangs/cell και για χρόνο προσομοίωσης γύρω στα 46min. Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται καθαρά ότι το φορτίο για τις κυψέλες του UMTS δεν ξεπερνάει ποτέ το φράγμα 0,85, το οποίο αποτελεί και το μέγιστο φράγμα για την αποδοχή ή όχι ενός χρήστη από διαπομπή, ο οποίος είναι αυτός με τη μέγιστη προτεραιότητα (δηλαδή μεγαλύτερο κατώφλι αποδοχής από το δίκτυο). Το αντίστοιχο διάγραμμα για την περίπτωση της άνω ζεύξης φαίνεται στο Σχήμα

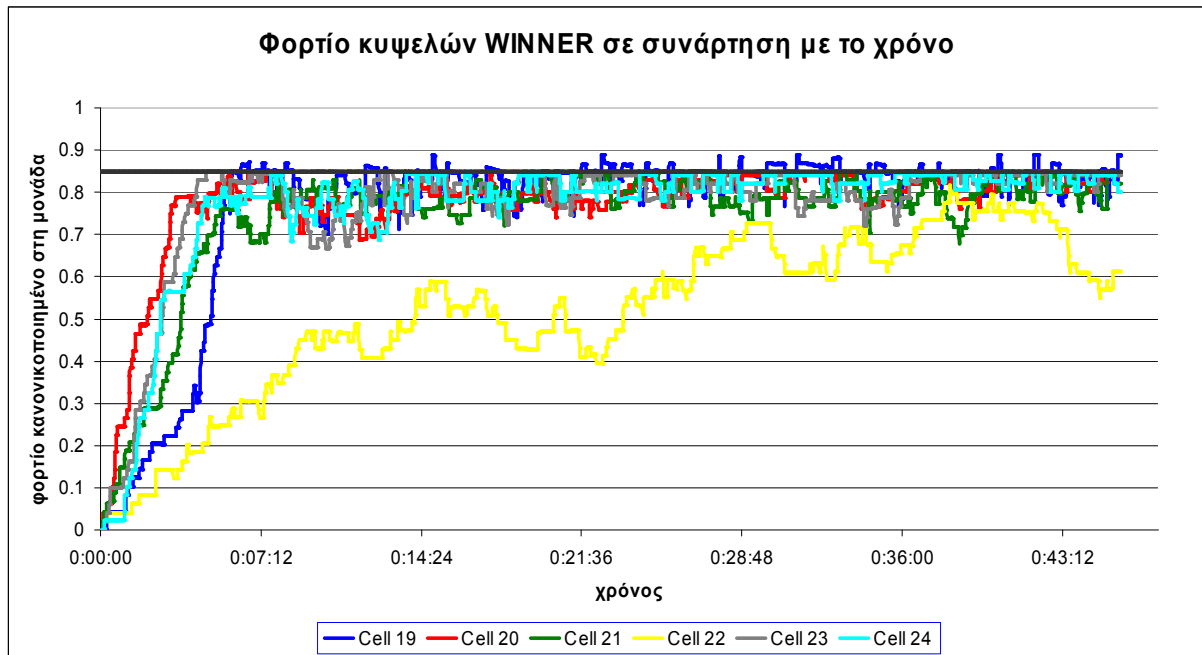
6.10. Στην περίπτωση αυτή παρατηρούμε ότι το φορτίο δεν ξεπερνάει την τιμή 0,8, που έχει τεθεί ως το κατώφλι για την αποδοχή ενός χρήστη υψηλής προτεραιότητας.



ΣΧΗΜΑ 6.10: ΦΟΡΤΙΟ ΚΥΨΕΛΩΝ UMTS ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ (UPLINK)

Τα αντίστοιχα διάγραμμα για τα δίκτυα GSM/GPRS και WLAN δεν μας δείχνουν κάτι αξιόλογο, αφού έχουν ελάχιστους χρήστες μέσα στις κυψέλες τους, και γι' αυτό δεν κρίθηκε απαραίτητο να συμπεριληφθούν.

Υπάρχει όμως το ανάλογο διάγραμμα στο WINNER το οποίο παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.11. Πρέπει και εδώ να τονιστεί ότι το φορτίο γενικά δεν υπερβαίνει το αντίστοιχο κατώφλι για το δίκτυο αυτό σε καμία κυψέλη. Όταν μερικές φορές συμβαίνει κάτι τέτοιο αμέσως το φορτίο μειώνεται στο επόμενο χρονικό διάστημα, ενώ δεν γίνεται αποδεκτός κανένας νέος χρήστης από την συγκεκριμένη κυψέλη για το χρονικό διάστημα αυτό.



ΣΧΗΜΑ 6.11: ΦΟΡΤΙΟ ΚΥΨΕΛΩΝ WINNER ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ. (CELLS 19-24)

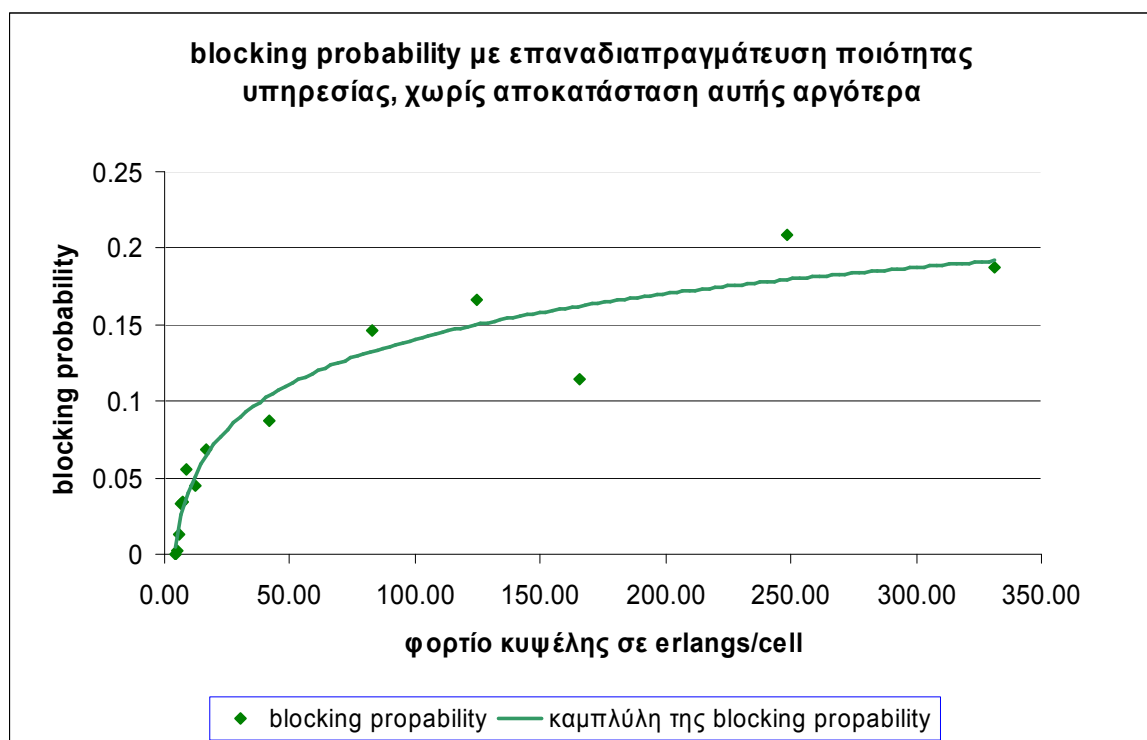
Παρατηρούμε ότι με το συγκεκριμένο φορτίο ανά κυψέλη γίνεται μια σχετικά καλή αξιοποίηση του δικτύου UMTS και WINNER έχοντας έναν ικανοποιητικό ρυθμό απόρριψης χρηστών, ενώ το φορτίο των κυψελών προφανώς δεν υπερβαίνει τα κατώφλια αποδοχής που έχουμε θέσει για τα δίκτυα. Για τα δίκτυα GSM/GPRS και WLAN έχουμε μέτρια και εξαιρετικά χαμηλή χρησιμοποίηση αντίστοιχα. Ο λόγος που έχουμε εξαιρετικά χαμηλή χρησιμοποίηση στο WLAN οφείλεται αφενός στη μικρή κάλυψη που παρέχει και αφετέρου στη χαμηλή σειρά προτίμησης από το συνολικό σύστημα επικοινωνιών αλλά και από τους χρήστες.

#### 6.4.2 Αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων με επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών, χωρίς αποκατάσταση αυτής αργότερα

Στην δεύτερη εκδοχή του αλγορίθμου που εξετάζεται στην υποενότητα αυτή, μπορούμε να δούμε ότι σε σχέση με την προηγούμενη έχουμε την επιλογή για μείωση της ποιότητας υπηρεσιών για τους χρήστες χαμηλής προτεραιότητας που βρίσκονται σε φάση εξυπηρέτησης προς την απελευθέρωση πόρων της κυψέλης που εξετάζεται. Αυτό το στάδιο είναι το τελευταίο που εξετάζεται από τον αλγόριθμο, δηλαδή αυτό σημαίνει ότι πρώτα εξετάζεται το ενδεχόμενο για διαπομπή χρηστών από την τρέχουσα κυψέλη του

δικτύου προς κυψέλες άλλων δικτύων, τα οποία παρέχουν κάλυψη στο σημείο αυτό και μπορούν να εξυπηρετήσουν την κλάση υπηρεσιών του χρήστη. Παρόλα αυτά όταν ένας χρήστης χαμηλής προτεραιότητας υποστεί μείωση της ποιότητας υπηρεσιών του, στη συνέχεια η παρούσα εκδοχή του αλγορίθμου δεν επιτελεί την αναβάθμιση αυτής στα αρχικά επίπεδα όταν το φορτίο της κυψέλης το επιτρέπει. Στη συνέχεια ακολουθεί μία αντίστοιχη της προηγούμενης υποενότητας ανάλυση.

Από την εξομοίωση αυτής της εκδοχής του αλγορίθμου, λήφθηκαν αποτελέσματα για την πιθανότητα απόρριψης του χρήστη (blocking probability), τα οποία συγκεντρωτικά φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα:

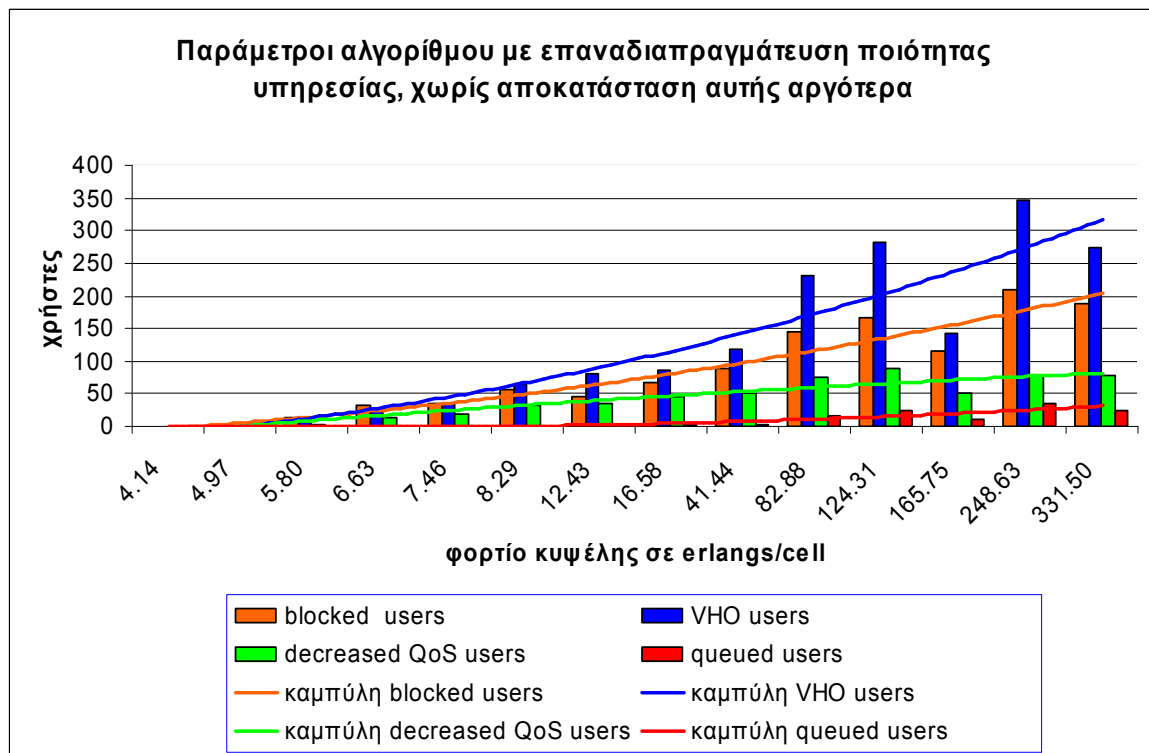


ΣΧΗΜΑ 6.12: BLOCKING PROBABILITY ΜΕ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ, ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΗΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ

Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται η καμπύλη που προκύπτει από τα σημεία, τα οποία είναι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Είναι ιδιαίτερα εμφανές το πόσο χαμηλή είναι και σε αυτή την περίπτωση η πιθανότητα απόρριψης μιας κλήσης όταν το φορτίο των κυψελών παραμένει χαμηλό, ενώ το αντίθετο συμβαίνει όταν το φορτίο της κάθε κυψέλης αυξάνει. Η μετάβαση από χαμηλές τιμές, για την πιθανότητα απόρριψης, σε υψηλότερες γίνεται απότομα σε μια περιοχή για 5-12 erlangs/cell. Σε ιδιαίτερα υψηλές τιμές φορτίου παρατηρούμε ότι η πιθανότητα απόρριψης πλησιάζει το 20%, δηλαδή περίπου ένας στους πέντε χρήστες που προσπαθούν να εισέλθουν στο δίκτυο

απορρίπτονται. Αυτό επαναλαμβάνουμε ότι συμβαίνει σε εξαιρετικά υψηλές περιπτώσεις φορτίου και σε κάθε περίπτωση είναι χαμηλότερο από αυτό της εκδοχής του αλγορίθμου χωρίς την μείωση της ποιότητας υπηρεσιών για χαμηλής προτεραιότητας χρήστες. Για 5 erlangs/cell παρατηρούμε ότι η πιθανότητα απόρριψης είναι κάτω από 2%, τιμή που είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική αν αναλογιστούμε ότι χρησιμοποιούμε μία αυστηρή έκδοση του αλγορίθμου.

Στη συνέχεια μπορούμε και στην περίπτωση αυτή να εξετάσουμε πιο αναλυτικά αυτή την εκδοχή του αλγορίθμου, παρατηρώντας μερικές σημαντικές λεπτομέρειες που προκύπτουν από την προσομοίωση. Στο σχήμα 6.13 απεικονίζεται το μέσο πλήθος χρηστών που έχουν απορριφθεί, το μέσο πλήθος χρηστών που έχουν υποστεί διαπομπή σε άλλα δίκτυα για την απελευθέρωση πόρων ικανών να εξυπηρετήσουν μια αίτηση κλήσης για αποδοχή και ο μέσος αριθμός χρηστών που πέρασαν από τη φάση της αναμονής σε ουρά. Επίσης απεικονίζεται και ο μέσος αριθμός χρηστών που έχουν υποστεί μείωση της ποιότητας υπηρεσιών τους. Οι αριθμοί των χρηστών είναι κανονικοποιημένοι για 1000 χρήστες. Επίσης στο διάγραμμα απεικονίζεται και η γραμμή τάσης κάθε παραμέτρου.



ΣΧΗΜΑ 6.13: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ, ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΗΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ

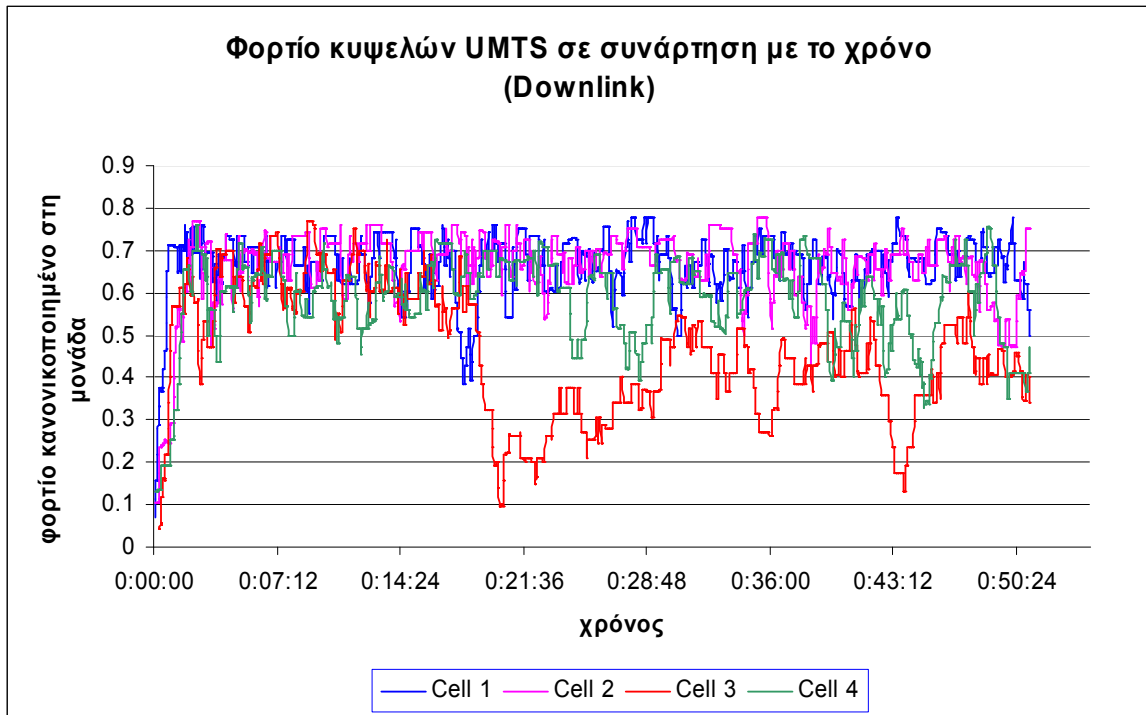
Από την παρατήρηση του ανωτέρω διαγράμματος μπορούμε να καταλήξουμε σε ανάλογα με την προηγούμενη περίπτωση συμπεράσματα για τους χρήστες που απορρίπτονται, αυτούς που υφίστανται διαπομπή σε άλλα δίκτυα και αυτούς που χρησιμοποιούν ή χρησιμοποίησαν κάποια στιγμή την ουρά αναμονής. Δηλαδή είναι εμφανές ότι αυξάνουν οι χρήστες που απορρίπτονται σε σχέση με την αύξηση του φορτίου ανά κυψέλη. Επίσης και οι άλλες δύο εικονιζόμενες παράμετροι έχουν μία αυξητική τάση. Ιδιαίτερα οι χρήστες που ωθούνται για διαπομπή σε άλλες κυψέλες αυξάνονται σε σχέση με το φορτίο ανά κυψέλη. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν το φορτίο στο όλο σύστημα αυξάνεται, τότε η αποδοχή μιας νέας κλήσης (είτε εξολοκλήρου νέας είτε από διαπομπή) γίνεται όλο και πιο δύσκολη λόγω του αυξημένου φορτίου και γι' αυτό απαιτούνται όλο και πιο συχνά διαπομπές κλήσεων σε εξέλιξη σε άλλα δίκτυα για να αποδεσμευτούν οι απαιτούμενοι πόροι στην υπό εξέταση κυψέλη.

Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με τους χρήστες που χρησιμοποιούν την ουρά αναμονής. Καθώς αυξάνεται το φορτίο στο σύστημα μειώνονται οι διαθέσιμοι πόροι των κυψελών και έτσι μια νέα κλήση υψηλής προτεραιότητας που δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί, ακόμα και με τη χρήση του μηχανισμού των διαπομπών από την υπόψη κυψέλη σε κυψέλες άλλων δικτύων, τίθεται σε φάση αναμονής. Αυτή η κλήση είναι η πρώτη που θα εξυπηρετηθεί μόλις βρεθούν οι απαραίτητοι πότοι στην κυψέλη προορισμού, αρκεί μόνο να μην λήξει ο χρόνος αναμονής, οπότε και απορρίπτεται.

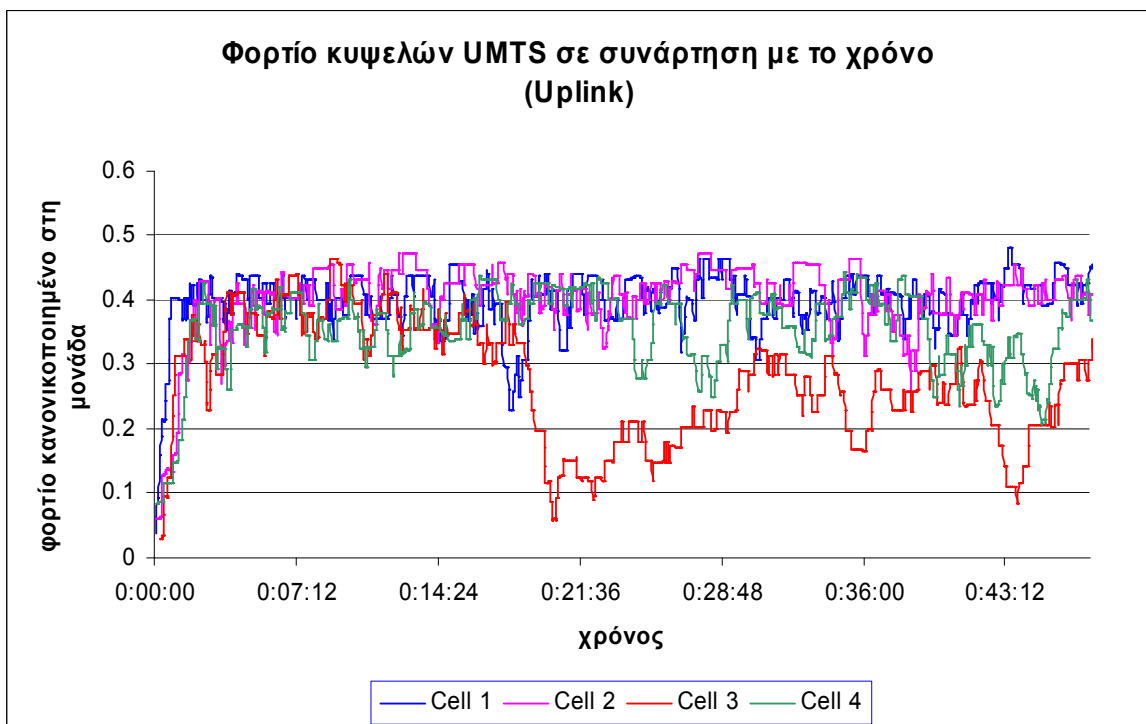
Ακόμη όσον αφορά τις κλήσεις χαμηλής προτεραιότητας, οι οποίες βρίσκονται σε εξυπηρέτηση και το δίκτυο τους μειώνει την ποιότητα υπηρεσιών για να εξοικονομήσει πόρους για την εξυπηρέτηση νέων κλήσεων υψηλής προτεραιότητας, παρατηρείται ότι αρχικά αυξάνεται το πλήθος τους, ενώ αργότερα και για μεγάλο φορτίο ανά κυψέλη παρατηρείται μια τάση σταθεροποίησης αυτού.

Στη συνέχεια παρατίθενται μερικά ενδεικτικά διαγράμματα για τα φορτία των κυψελών σε σχέση με το χρόνο. Για το UMTS έχουμε δύο διαγράμματα, ένα για την άνω ζεύξη και ένα για την κάτω ζεύξη. Η παρούσα εκτέλεση του αλγορίθμου έχει γίνει για φορτίο 16,58 erlangs/cell και για χρόνο προσομοίωσης γύρω στα 51 min.





ΣΧΗΜΑ 6.14: ΦΟΡΤΙΟ ΚΥΨΕΛΩΝ UMTS ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ  
(DOWNLINK)

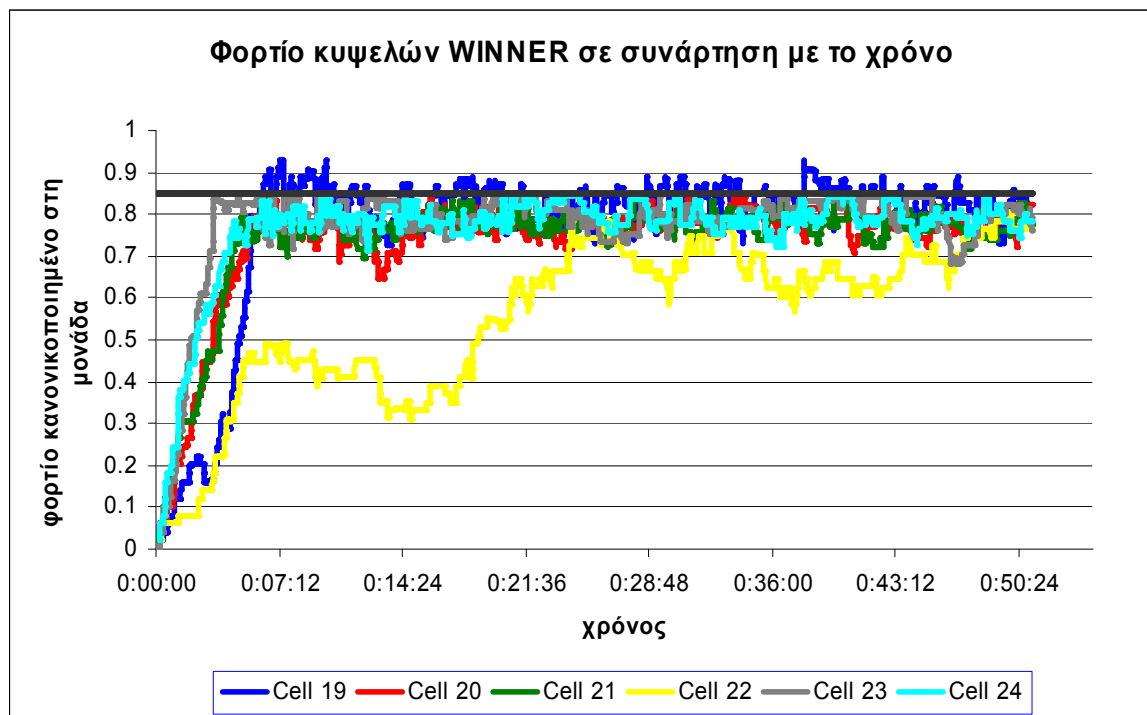


ΣΧΗΜΑ 6.15: ΦΟΡΤΙΟ ΚΥΨΕΛΩΝ UMTS ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ  
(UPLINK)

Όπως προκύπτει και από τα δύο παραπάνω διαγράμματα για την κάτω-ζεύξη παρατηρούμε ότι το φορτίο των κυψελών του UMTS πλησιάζει την μέγιστη τιμή του κατώφλιου (0,85), χωρίς όμως να την ξεπερνάει. Στην περίπτωση της άνω-ζεύξης το φορτίο είναι αισθητά μειωμένο σε σχέση με την κάτω-ζεύξη και πολύ κάτω από το κατώφλι (0,8).

Τα αντίστοιχα διάγραμμα για τα δίκτυα GSM/GPRS και WLAN δεν μας δείχνουν κάτι αξιόλογο, αφού έχουν ελάχιστους χρήστες μέσα στις κυψέλες τους, και γι' αυτό δεν κρίθηκε απαραίτητο να συμπεριληφθούν.

Όσον αφορά το WINNER, το διάγραμμα φορτίου για τις κυψέλες αυτού παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.26. Πάλι παρατηρούμε ότι το φορτίο υπερβαίνει μερικές φορές το ανώτατο κατώφλι, αλλά στο αμέσως επόμενο χρονικό διάστημα πέφτει κάτω από αυτό. Μία σημαντική παρατήρηση είναι πως όταν το φορτίο μιας κυψέλης του WINNER έχει υπερβεί το κατώφλι, τότε δεν κάνει δεκτό κανέναν επιπλέον χρήστη. Γενικά παρατηρούμε ότι το WINNER είναι το περισσότερο χρησιμοποιούμενο δίκτυο ως τώρα, σύμφωνα με τις καμπύλες φορτίου για τις κυψέλες του κάθε δικτύου. Αυτό μπορεί εύκολα να αιτιολογηθεί, μιας και το WINNER έχει πολύ μεγάλη κάλυψη, μπορεί να εξυπηρετήσει όλες τις κλάσεις υπηρεσιών και μπορεί να προσφέρει μεγάλους ρυθμούς δεδομένων και γενικά πολύ καλή ποιότητα υπηρεσιών.

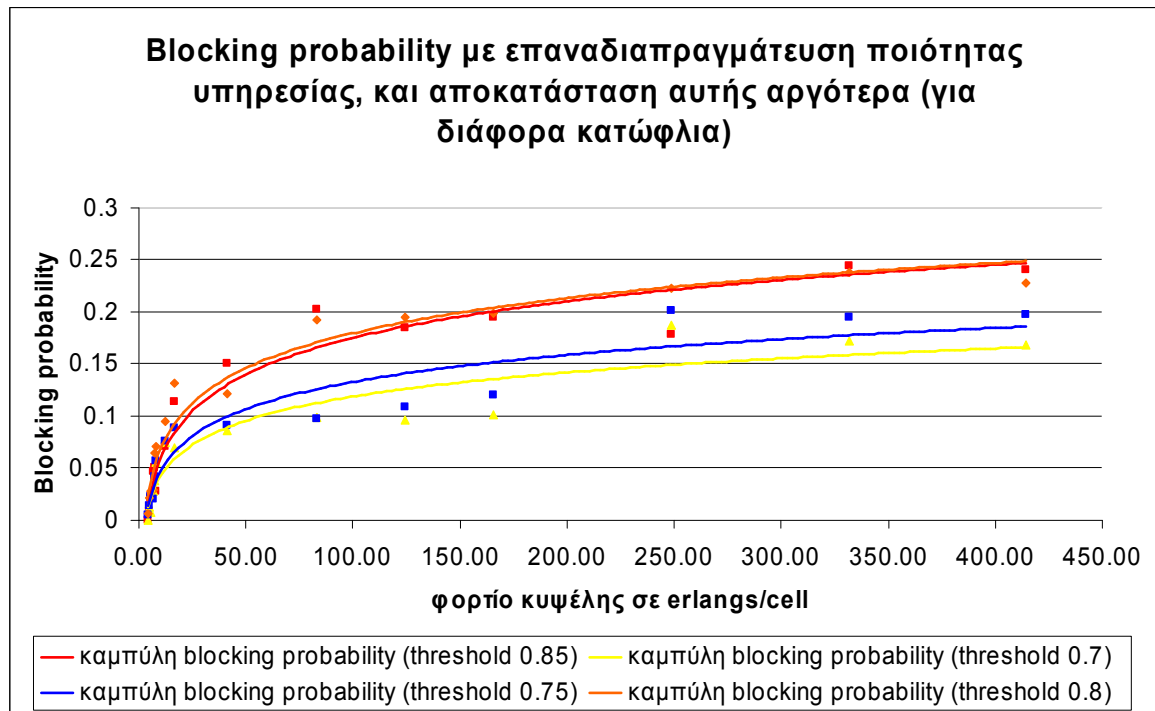


ΣΧΗΜΑ 6.16: ΦΟΡΤΙΟ ΚΥΨΕΛΩΝ WINNER ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ

### **6.4.3 Αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων με επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών και αποκατάσταση αυτής αργότερα**

Στην υποενότητα αυτή εξετάζεται η πλήρης εκδοχή του αλγορίθμου. Μπορούμε να δούμε ότι, σε σχέση με τις δύο προηγούμενες, έχουμε την επιλογή για μείωση της ποιότητας υπηρεσιών για τους χρήστες χαμηλής προτεραιότητας που βρίσκονται σε φάση εξυπηρέτησης προς την απελευθέρωση πόρων της κυψέλης που εξετάζεται. Επίσης έχουμε τη δυνατότητα της αποκατάστασης της ποιότητας υπηρεσίας των χρηστών-κλήσεων αυτών όταν το φορτίο της κυψέλης επιτρέψει κάτι τέτοιο. Αυτό ρυθμίζεται από τα κατώφλια που θέτουμε στο φορτίο των κυψελών, δηλαδή ρυθμίζουμε αρχικά στον αλγόριθμο, την τιμή του φορτίου (κατώφλι), για την οποία όταν το φορτίο της κυψέλης πέσει κάτω από αυτή την τιμή έχουμε αποκατάσταση της ποιότητας υπηρεσίας των χρηστών που είχαν νωρίτερα υποστεί μείωση αυτής.

Από την εξομοίωση αυτής της εκδοχής του αλγορίθμου για διάφορα κατώφλια φορτίου για την αποκατάσταση της μειωμένης ποιότητας υπηρεσιών του χρήστη, λήφθηκαν αποτελέσματα για την πιθανότητα απόρριψης του χρήστη (blocking probability), τα οποία συγκεντρωτικά φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα:



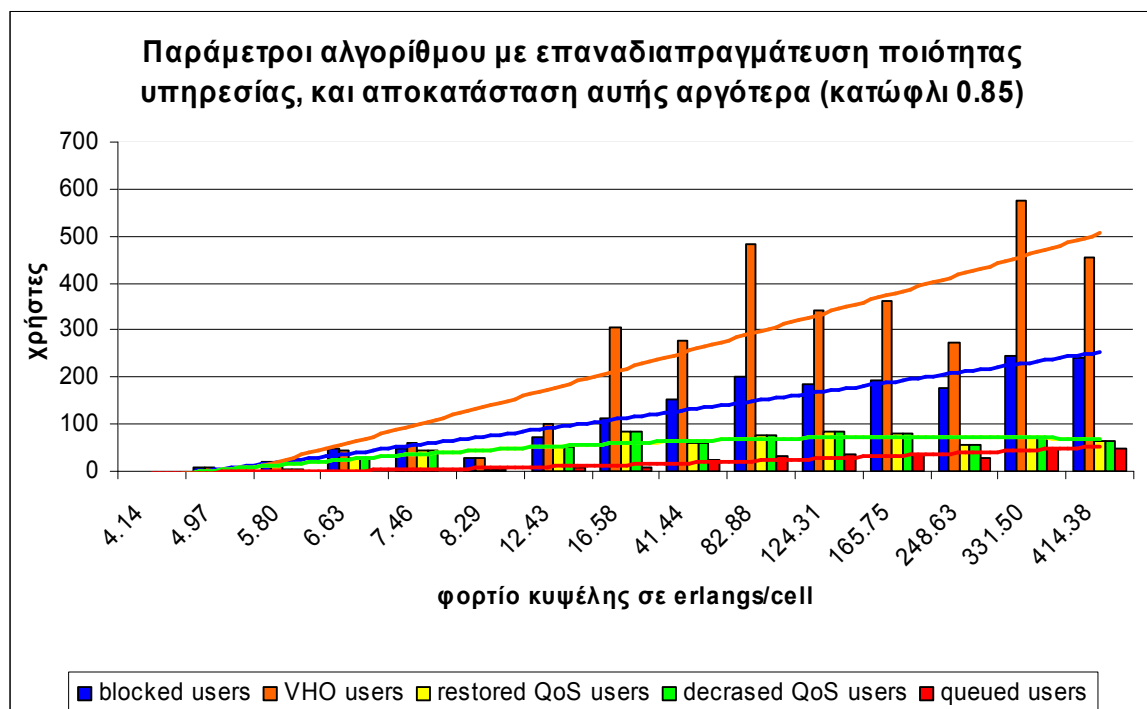
ΣΧΗΜΑ 6.17: BLOCKING PROBABILITY ΜΕ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ, ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΗΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ (ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΩΦΛΙΑ)

Όπως παρατηρούμε από το παραπάνω σχήμα οι μορφές των καμπυλών της πιθανότητας απόρριψης του χρήστη για τις διάφορες τιμές του κατωφλίου είναι η ίδια με τις προηγούμενες δύο εκδοχές του αλγορίθμου. Στην αρχή (δηλαδή για μικρές τιμές φορτίου ανά κυψέλη) έχει πολύ μικρή τιμή, ενώ για υψηλότερες (δηλαδή για υψηλές τιμές φορτίου ανά κυψέλη) αυξάνει πάρα πολύ. Από τη σχετική σύγκριση των καμπυλών του σχήματος 6.17 προκύπτει ότι για χαμηλές τιμές του κατωφλίου έχουμε μικρότερη πιθανότητα απόρριψης ενός χρήστη σε σύγκριση με υψηλότερα κατώφλια. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν έχουμε χαμηλή τιμή στο υπόψη κατώφλι, τότε γίνονται λίγες αποκαταστάσεις της αρχικής ποιότητας υπηρεσιών στους χρήστες μιας και έχουμε θέσει αυστηρότερα όρια φορτίου. Έτσι είναι δυνατόν μία νέα κλήση (είτε από διαπομπή είτε εξολοκλήρου νέα), η οποία ζητάει να γίνει αποδεκτή από το δίκτυο, να εξυπηρετείται από το δίκτυο μιας και το κατώφλι αποδοχής μιας νέας κλήσης είναι υψηλότερο, από το 0,7 για παράδειγμα, από το κατώφλι αποκατάστασης της μειωμένης ποιότητας υπηρεσιών σε μερικούς χρήστες χαμηλής προτεραιότητας.

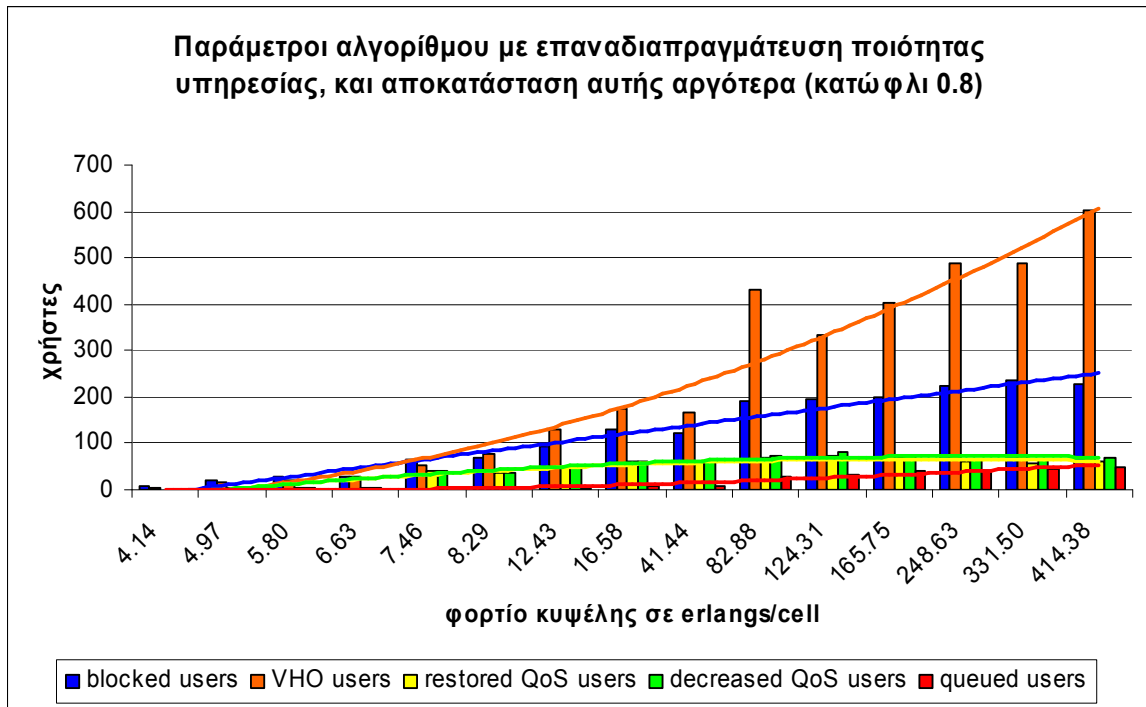
Το παραπάνω παύει να ισχύει για υψηλότερες τιμές του κατωφλίου αποκατάστασης της ποιότητας υπηρεσιών, οπότε και έχουμε μεγαλύτερες τιμές πιθανότητας απόρριψης χρηστών από αυτή που είχαμε προηγουμένως. Για το λόγο αυτό παρατηρούμε ότι για τα κατώφλια 0,8 και 0,85 έχουμε πολύ υψηλότερη πιθανότητα απόρριψης σε σχέση με τα 0,7

και 0,75. Επίσης από το ίδιο διάγραμμα διαγράφεται μια τάση σταθεροποίησης της πιθανότητας απόρριψης χρηστών για τιμές του κατωφλίου 0,8 και άνω, μιας και το δίκτυο πλέον λειτουργεί στην οριακή κατάσταση των κατωφλίων φορτίου για την αποδοχή χρηστών όπως ορίστηκαν για την κάθε κυψέλη στην αρχή του 6<sup>ου</sup> κεφαλαίου.

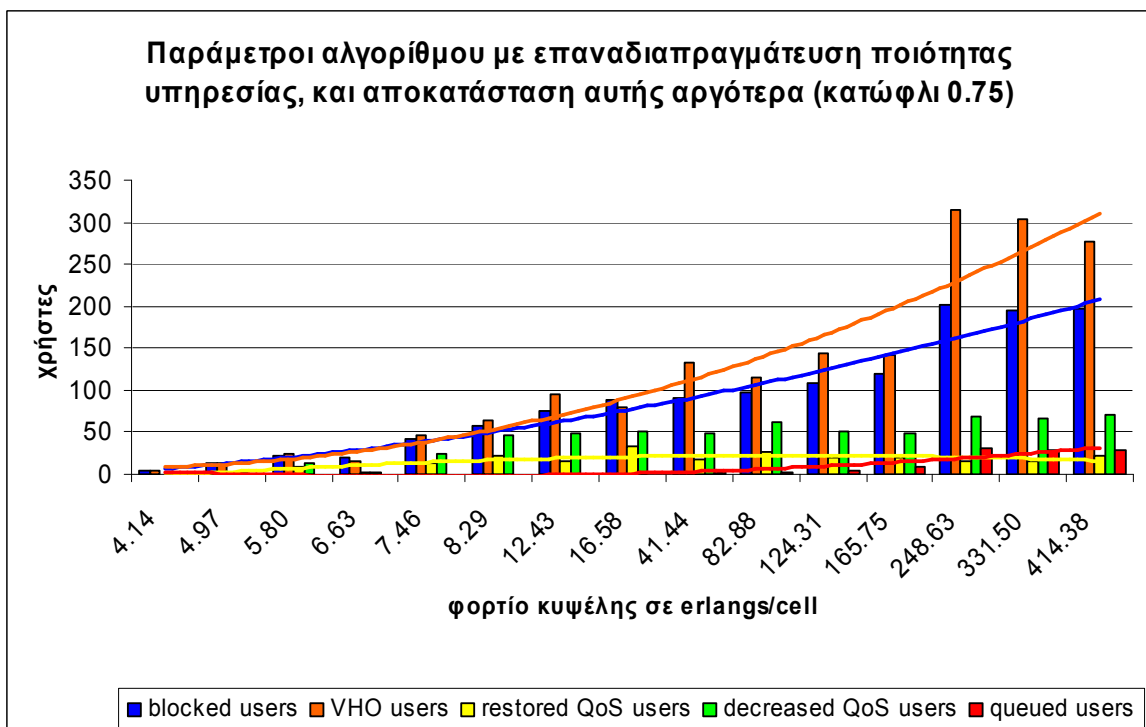
Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα όπου απεικονίζεται το μέσο πλήθος χρηστών που έχουν απορριφθεί, το μέσο πλήθος χρηστών που έχουν υποστεί διαπομπή σε άλλα δίκτυα για την απελευθέρωση πόρων ικανών να εξυπηρετήσουν μια αίτηση κλήσης για αποδοχή και ο μέσος αριθμός χρηστών που πέρασαν από τη φάση της αναμονής σε ουρά. Επίσης απεικονίζεται και ο μέσος αριθμός χρηστών που έχουν υποστεί μείωση της ποιότητας υπηρεσιών τους, αλλά και ο μέσος αριθμός αυτών για τους οποίους το σύστημα τους αποκατάστησε την ποιότητα υπηρεσιών. Τα διαγράμματα που ακολουθούν είναι τέσσερα στη σειρά και κάθε ένα είναι για διαφορετική τιμή κατωφλίου. Πρέπει να επισημάνουμε ότι οι τιμές αυτές είναι κανονικοποιημένες για 1000 χρήστες.



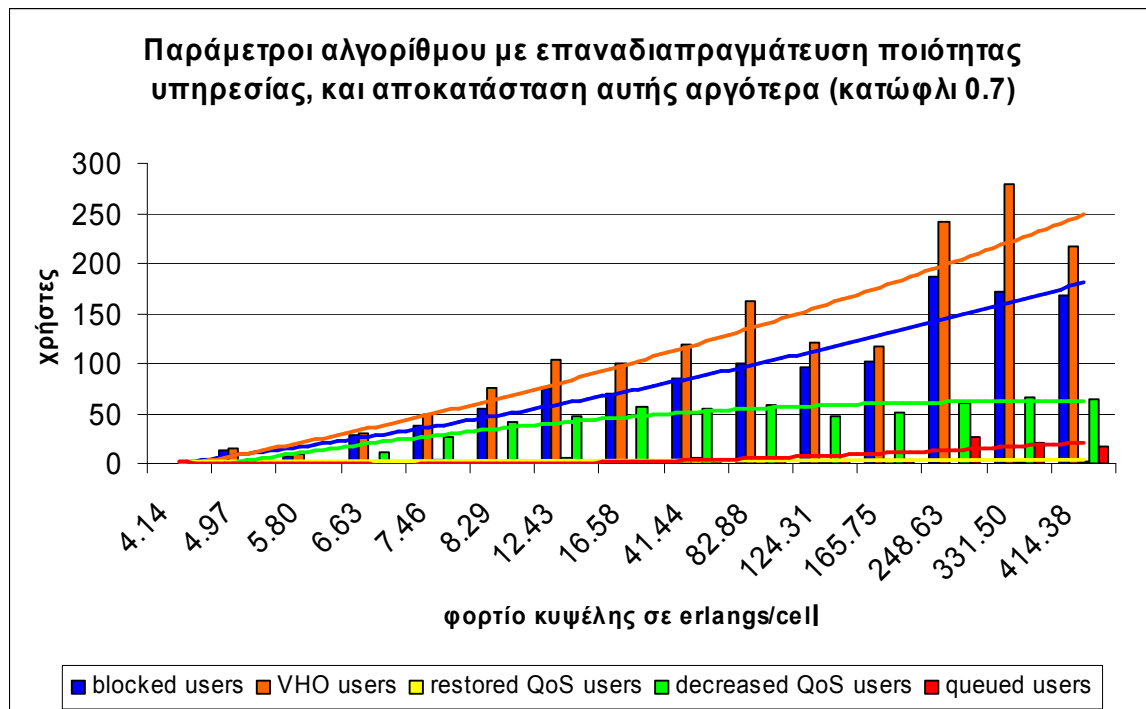
ΣΧΗΜΑ 6.18: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ, ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΗΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ (ΚΑΤΩΦΛΙ 0.85)



ΣΧΗΜΑ 6.19: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ, ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΗΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ (ΚΑΤΩΦΛΙ 0.8)



ΣΧΗΜΑ 6.20: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ, ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΗΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ (ΚΑΤΩΦΛΙ 0.75)

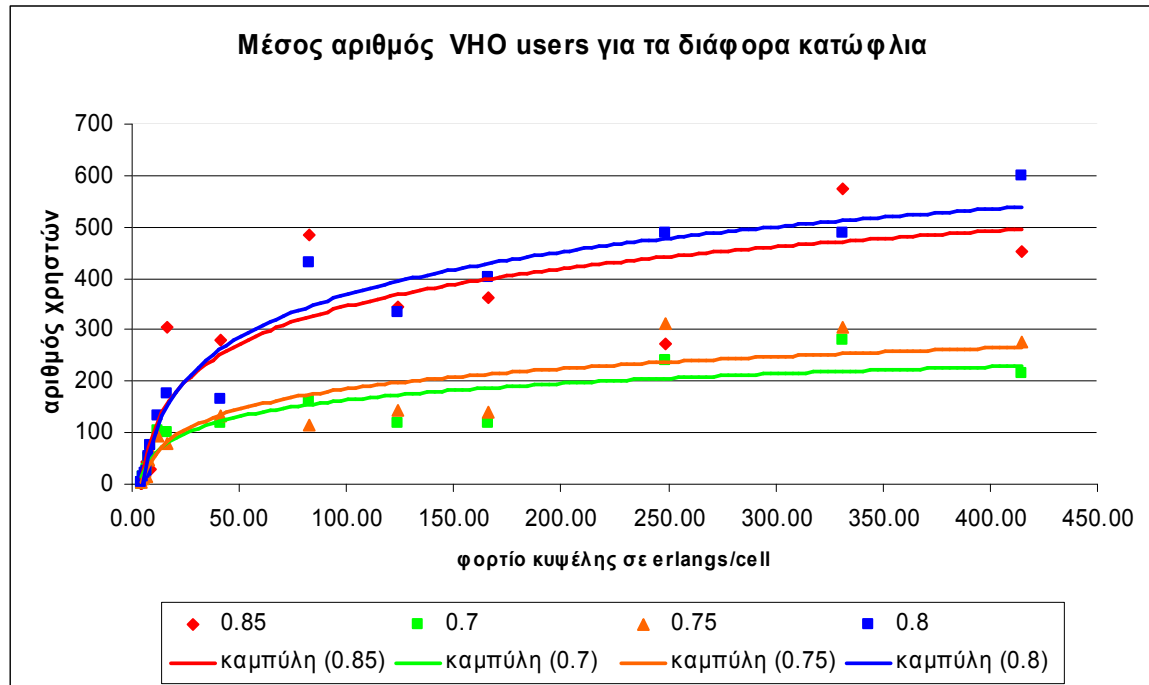


ΣΧΗΜΑ 6.21: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΕΠΑΝΑΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ, ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΗΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ (ΚΑΤΩΦΛΙ 0.7)

Από τα παραπάνω διαγράμματα αυτό που έχει μεγαλύτερη σημασία είναι η καμπύλη των χρηστών που έχουν υποστεί μείωση της ποιότητας υπηρεσιών τους και αυτή για τους χρήστες για τους οποίους η μειωμένη ποιότητα υπηρεσιών αποκαταστάθηκε. Για μικρές τιμές του κατωφλίου, το οποίο είναι και η βασική παράμετρός μας στην περίπτωση αυτή, παρατηρούμε μία μεγάλη απόκλιση ανάμεσα στις δύο αυτές καμπύλες. Αυτό φαίνεται χαρακτηριστικά στο Σχήμα 6.21, για το οποίο το κατώφλι φορτίου είναι 0,7. Αντιθέτως για μεγάλες τιμές του κατωφλίου οι δύο καμπύλες σχεδόν ταυτίζονται, όπως συμβαίνει στο Σχήμα 6.18, για το οποίο το κατώφλι φορτίου είναι 0,85. αυτό συμβαίνει, διότι για υψηλές τιμές του κατωφλίου όταν ένας χρήστης υφίσταται μείωση της ποιότητας υπηρεσιών του, σχεδόν αμέσως μετά και μόλις απελευθερωθούν οι απαιτούμενοι πόροι του δικτύου, ανακτά την προηγούμενη ποιότητα υπηρεσιών του. Όμως για μικρές τιμές του κατωφλίου όταν ένας χρήστης υφίσταται μείωση της ποιότητας υπηρεσιών του, δύσκολα μετά ανακτά την προηγούμενη ποιότητα υπηρεσιών του, διότι το φορτίο στην κυψέλη του πρέπει να κατέβει πολύ χαμηλά, δηλαδή κάτω από το χαμηλό κατώφλι που ορίσαμε.

Στη συνέχεια παρατίθενται τέσσερα επιπλέον διαγράμματα για κάθε μία από τις προηγούμενες τέσσερις παραμέτρους ξεχωριστά (χρήστες που υφίστανται διαπομπή σε άλλα δίκτυα, χρήστες που υφίστανται μείωση της ποιότητας υπηρεσιών τους, χρήστες

στους οποίους το δίκτυο επιτρέπει την αποκατάσταση της ποιότητας υπηρεσιών τους και χρήστες που επισκέφθηκαν την ουρά αναμονής) αλλά συγκριτικά για όλα τα κατώφλια που μελετήθηκαν.



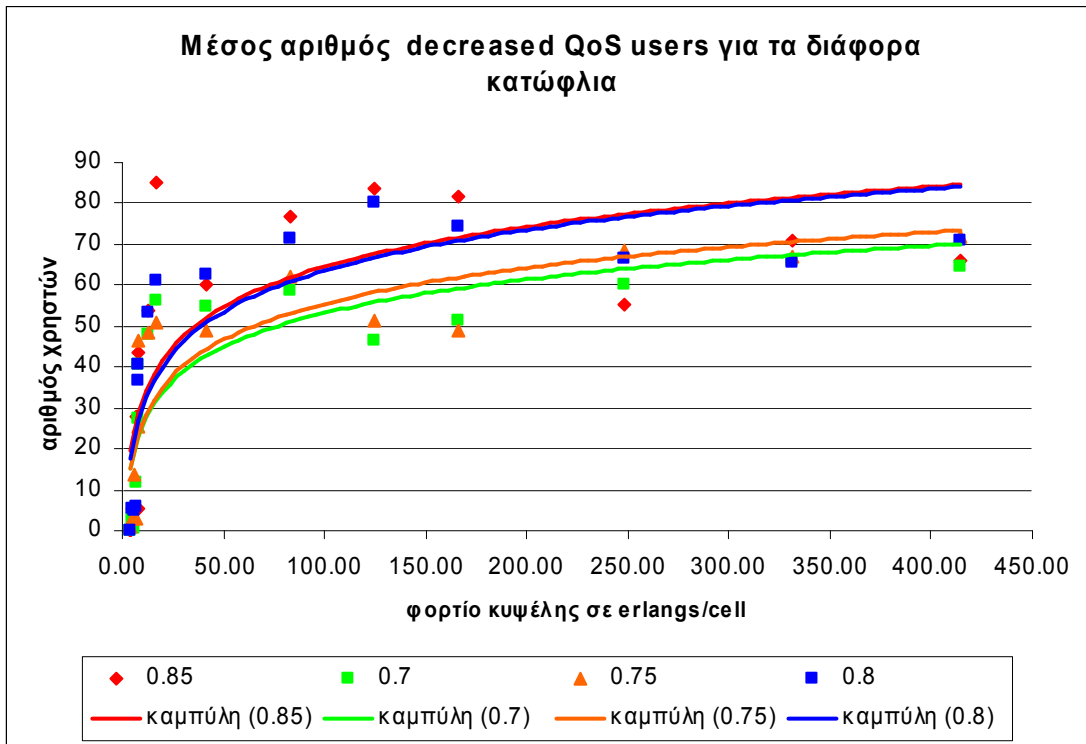
ΣΧΗΜΑ 6.22: ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ VHO USERS ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΩΦΛΙΑ

Αρχίζοντας από το Σχήμα 6.22, στο οποίο παρουσιάζεται ο μέσος αριθμός χρηστών που υποχρεώθηκαν σε διαπομπή προς άλλα δίκτυα για την απελευθέρωση πόρων του δικτύου από αυτό που τους είχε κάθε φορά ανάγκη, παρατηρούμε ότι για υψηλότερα κατώφλια φορτίου έχουμε μεγαλύτερο αριθμό διαπομπών σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές για χαμηλότερα κατώφλια. Αυτό είναι φυσικό γιατί το δίκτυο έχει μεγαλύτερο φορτίο κάθε χρονική στιγμή στην περίπτωση των υψηλότερων κατωφλίων φορτίου, άρα έχει μεγαλύτερη ανάγκη για διαπομπές προς άλλα δίκτυα για την απελευθέρωση πόρων του ίδιου. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με τις καμπύλες των χρηστών που έχουν υποστεί μείωση της ποιότητας υπηρεσιών τους (αυτό εξηγήθηκε και προηγουμένως), συνεπώς είναι απόλυτα δικαιολογημένο το Σχήμα 6.23.

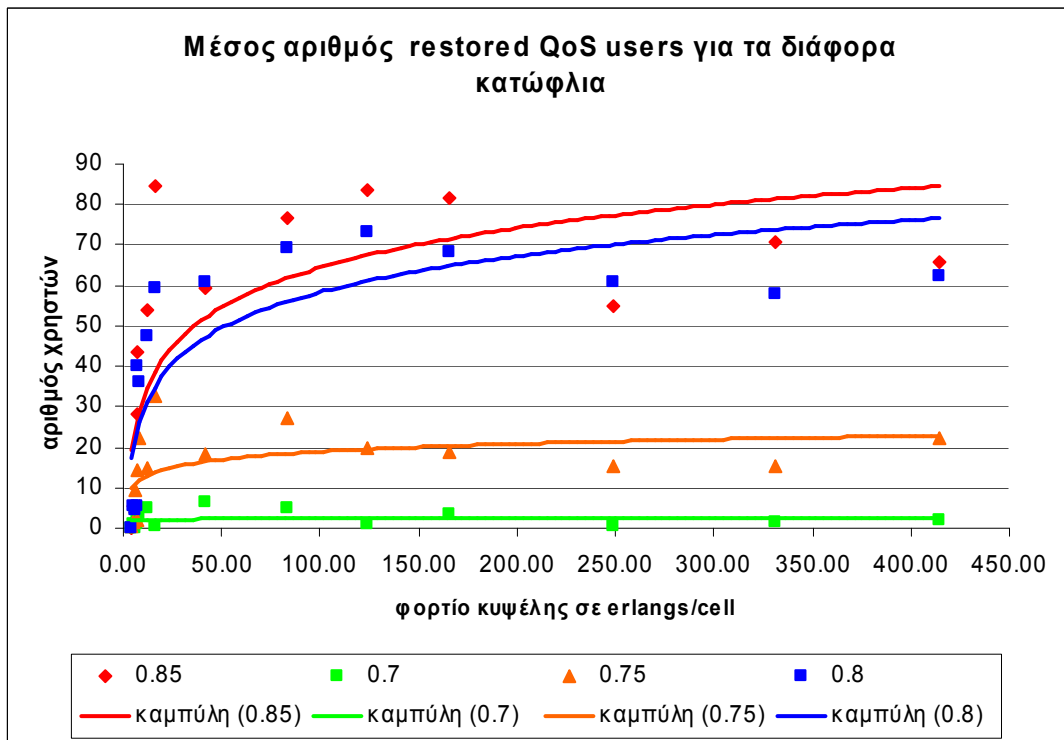
Όσον αφορά το Σχήμα 6.24 και αυτό μπορούμε να πούμε ότι δικαιολογείται με τις ανωτέρω αναλύσεις. Παρόλα αυτά είναι αξιοσημείωτη η μορφή των καμπυλών για μικρές τιμές του κατωφλίου φορτίου, η οποία δείχνει ότι ένας μικρός αριθμός χρηστών ανακτά την αρχική ποιότητα υπηρεσιών στην περίπτωση αυτή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η καμπύλη για το κατώφλι 0,7, η οποία είναι σχεδόν μηδενική και σε κάθε περίπτωση πολύ



μικρή σε σχέση με τις τιμές των αντίστοιχων καμπυλών για τιμές του κατωφλίου από 0,8 και άνω.

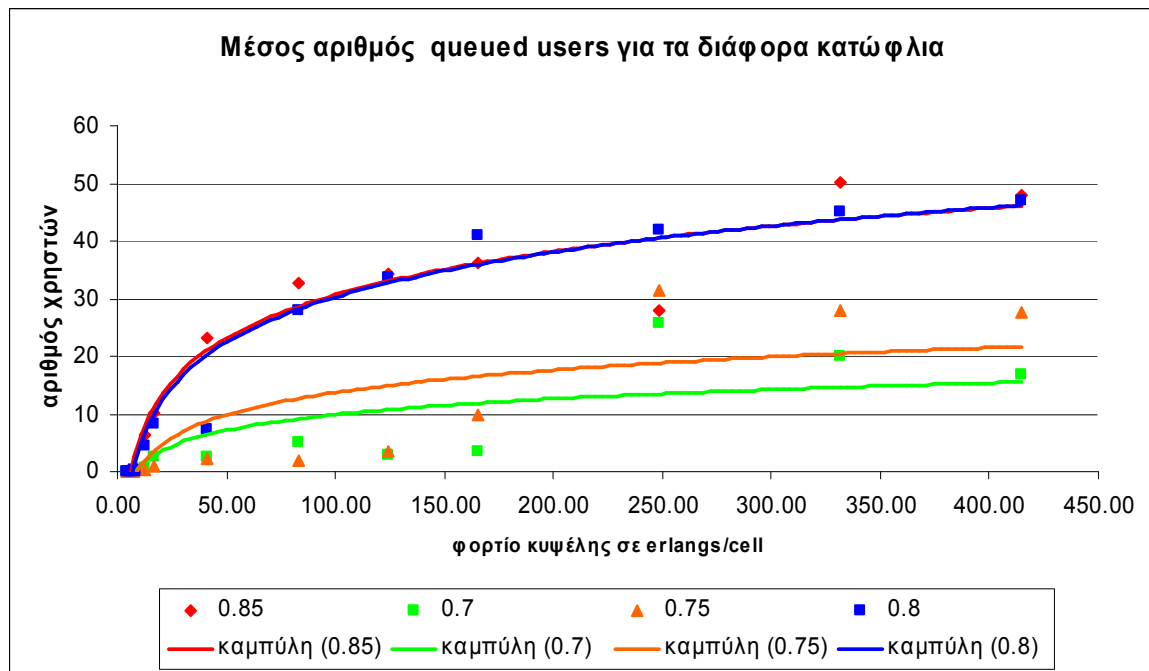


ΣΧΗΜΑ 6.23: ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ DECREASED QoS USERS ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΩΦΛΙΑ



ΣΧΗΜΑ 6.24: ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ RESTORED QoS USERS ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΩΦΛΙΑ

Όσο αφορά τώρα τους χρήστες που επισκέπτονται την ουρά αναμονής, η κατάσταση δεν θα μπορούσε να ήταν διαφορετική από αυτή που απεικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί. Όταν έχουμε μεγάλα κατώφλια φορτίου έχουμε γενικά πιο μεγάλο φορτίο στο δίκτυο σε σχέση με τα μικρά κατώφλια, οπότε έχουμε και περισσότερους χρήστες που επισκέπτονται την ουρά αναμονής.



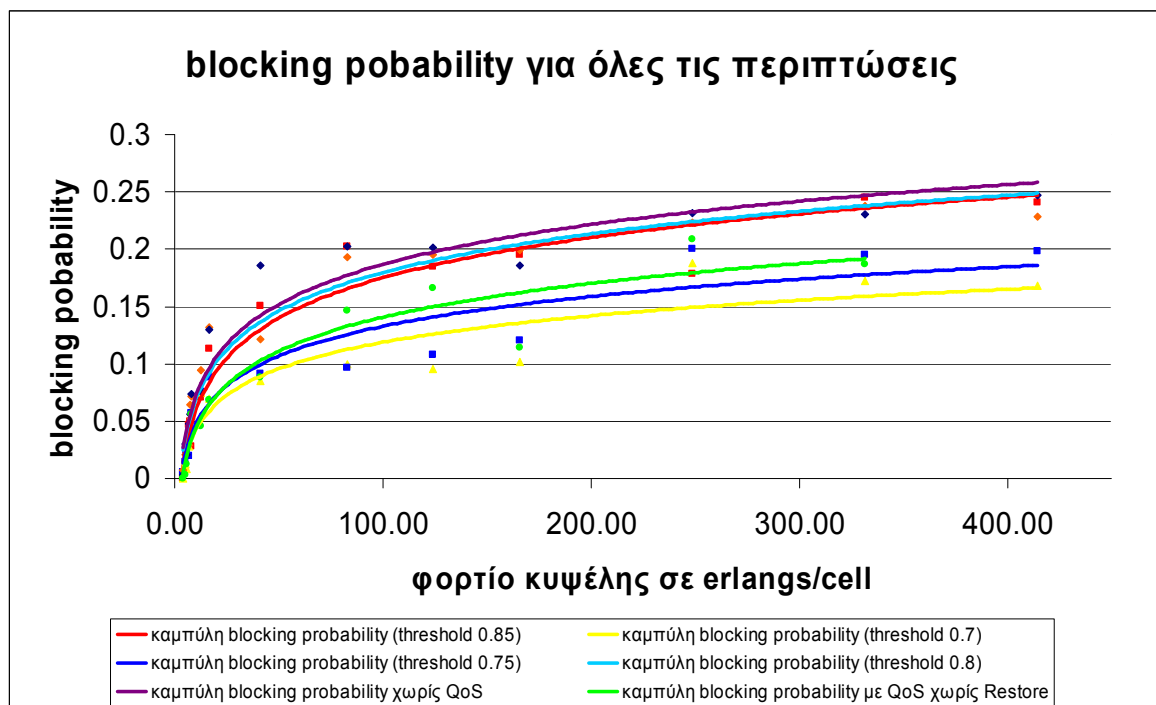
ΣΧΗΜΑ 6.25: ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ QUEUED USERS ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΩΦΛΙΑ

#### 6.4.4 Σύγκριση όλων των εκδοχών του αλγορίθμου

Αφού εξετάσαμε κάθε εκδοχή του βασικού αλγορίθμου, αλλά και τον ίδιο τον αλγόριθμο στην τελική του έκδοση, είναι καιρός να συγκρίνουμε αυτές τις διαφορετικές εκδοχές μεταξύ τους. Η σύγκριση θα βασιστεί στο κριτήριο της πιθανότητας απόρριψης χρηστών και σε παραμέτρους (αριθμός χρηστών που υπέστησαν διαπομπή σε άλλα δίκτυα, αριθμός χρηστών που επισκέφθηκαν την ουρά αναμονής) που υπάρχουν και στις τρεις εκδοχές.

Αρχίζουμε από την πιθανότητα απόρριψης χρηστών για κάθε περίπτωση, η οποία παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.26. Στο σχήμα αυτό έχουμε την πιθανότητα απόρριψης χρήστη για την πρώτη, δεύτερη και τρίτη (και για τα τέσσερα διαφορετικά κατώφλια

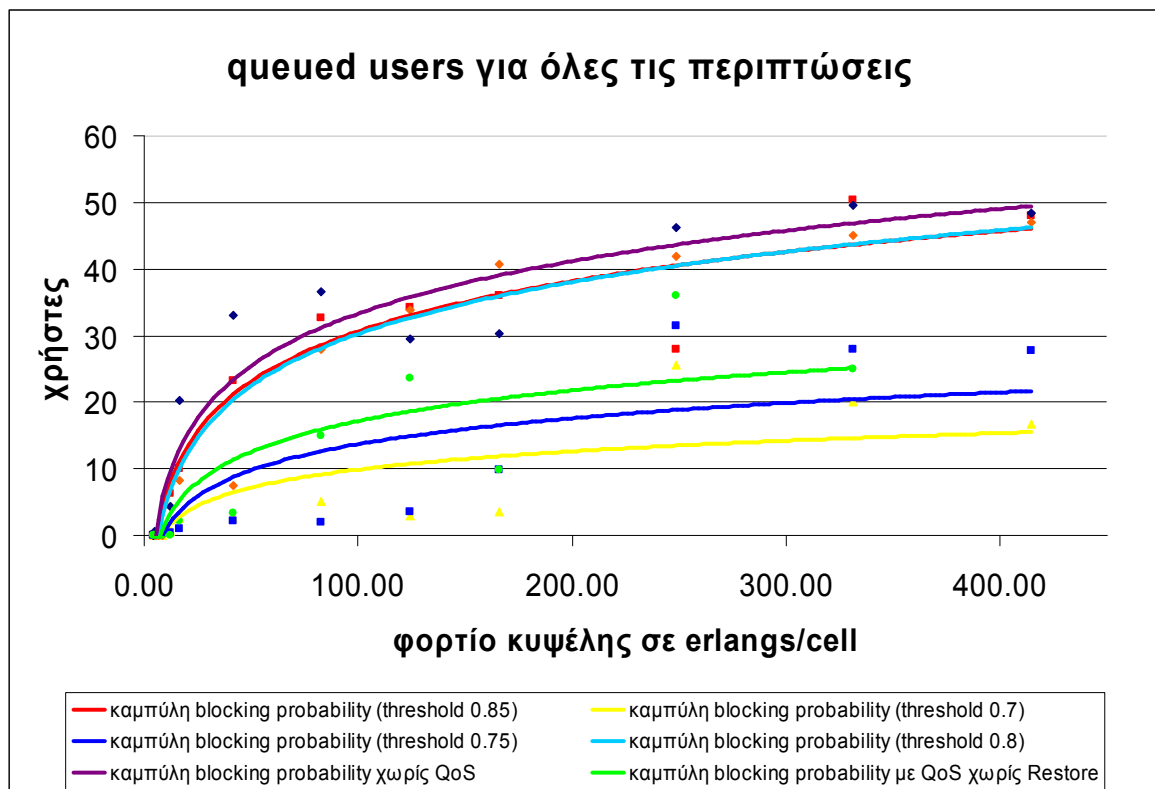
φορτίου που μελετήθηκαν) εκδοχή του αλγορίθμου. Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι στην περίπτωση που δεν έχουμε επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσίας χαμηλής προτεραιότητας χρηστών, έχουμε την υψηλότερη πιθανότητα απόρριψης. Αυτό συμβαίνει γιατί το δίκτυο δεν κατανέμει με έξυπνο τρόπο τους πόρους του, μιας και οι χαμηλής προτεραιότητας χρήστες έχουν συνήθως μεγάλες απαιτήσεις σε πόρους του δικτύου (εύρος ζώνης, bandwidth) και επίσης δεσμεύουν συνήθως τους πόρους αυτούς για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Άρα γίνεται μία μη ορθολογική κατανομή των πόρων με τον τρόπο αυτό και το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα της εξομοίωσης.



ΣΧΗΜΑ 6.26: BLOCKING PROBABILITY ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ

Για την σχετική τοποθέτηση των καμπυλών με επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών και αποκατάσταση αυτής αργότερα, έχει γίνει εκτενής ανάλυση στην προηγούμενη υποενότητα. Η καμπύλη, με επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών χωρίς αποκατάσταση αυτής αργότερα, παρατηρούμε ότι παρουσιάζει χειρότερη πιθανότητα απόρριψης από την περίπτωση των καμπυλών με επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών και αποκατάσταση αυτής αργότερα για μικρά κατώφλια φορτίου, ενώ η πιθανότητα αυτή είναι καλύτερη για την ίδια περίπτωση με μεγάλα κατώφλια φορτίου. Αυτό συμβαίνει διότι δεν υπάρχει έστω και μία ελάχιστη αποκατάσταση της ποιότητας υπηρεσιών όταν το φορτίο στο δίκτυο έχει πέσει πάρα πολύ για να εξοικονομηθεί εύρος ζώνης και να γίνει καλύτερη αξιοποίηση των πόρων του

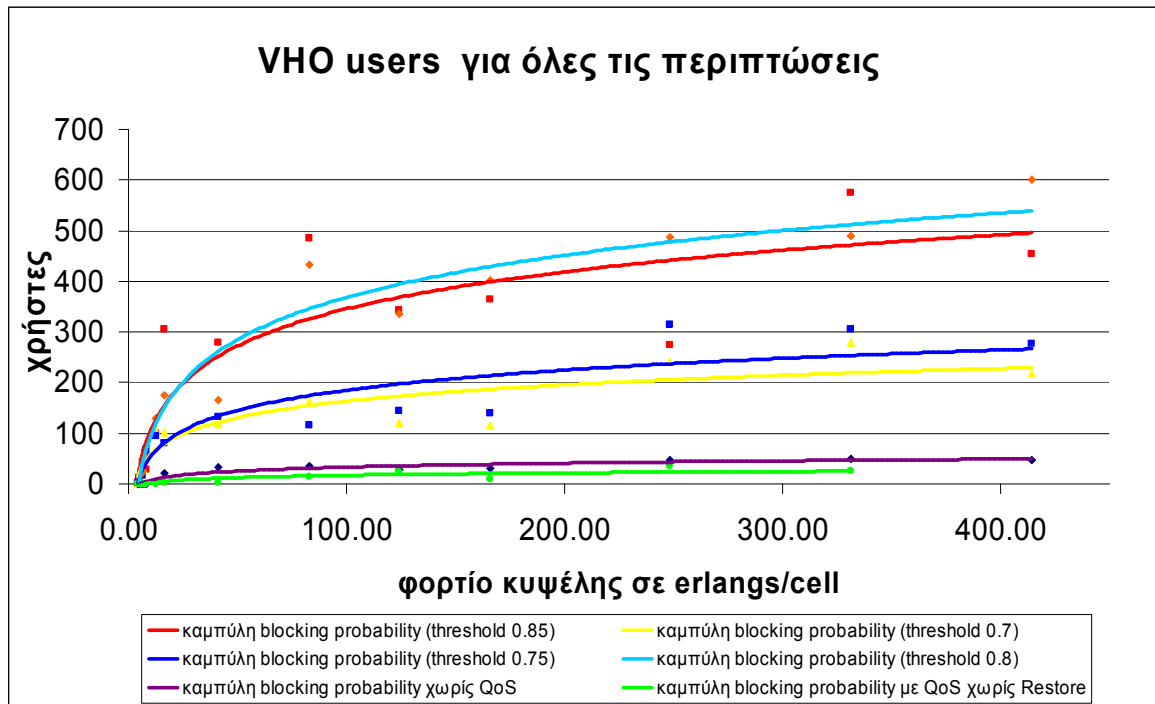
δικτύου. Έτσι εξηγείται η μεγαλύτερη πιθανότητα απόρριψης σε σχέση με την τρίτη και ολοκληρωμένη εκδοχή του αλγορίθμου με μικρά κατώφλια φορτίου. Όσον αφορά την σύγκριση της καμπύλης με επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών χωρίς αποκατάσταση αυτής αργότερα με αυτές τις περιπτώσεις που παρέχουν αποκατάσταση της ποιότητας με μεγάλα κατώφλια φορτίου, έχουμε προφανώς καλύτερες τιμές για την πιθανότητα απόρριψης στην πρώτη περίπτωση, λόγω του ότι όταν δεν έχουμε καμία αποκατάσταση της μειωμένης ποιότητας υπηρεσιών, το δίκτυο λειτουργεί σε χαμηλότερες τιμές φορτίου σε σχέση με την δεύτερη περίπτωση, οπότε είναι πιο πιθανό να γίνει ένας νέος χρήστης (είτε από διαπομπή, είτε εξολοκλήρου νέος) αποδεκτός στην πρώτη παρά στη δεύτερη περίπτωση.



ΣΧΗΜΑ 6.27: QUEUED USERS ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ

Αντίστοιχα τα αποτελέσματα για τον μέσο αριθμό χρηστών υψηλής προτεραιότητας που επισκέπτονται την ουρά αναμονής (η τιμή αυτή είναι κανονικοποιημένη για 1000 χρήστες) σε σχέση με το φορτίο ανά κυψέλη φαίνονται στο Σχήμα 6.27. Τα αποτελέσματα είναι ανάλογα του προηγούμενου σχήματος. Γενικά όσο πιο μεγαλύτερη πιθανότητα απόρριψης έχουμε, τόσο πιο πολλοί χρήστες υψηλής προτεραιότητας επισκέπτονται την

ουρά αναμονής, μιας και είναι η έσχατη λύση για αυτούς πριν απορριφθούν. Πάντως και στην περίπτωση της ουράς αναμονής έχουμε ένα χρόνο λήξης της αναμονής της κλήσης, εντός του οποίου αν δεν έχει αρχίσει η εξυπηρέτησή της τότε αυτή απορρίπτεται και από την ουρά αναμονής.



ΣΧΗΜΑ 6.28: VHO USERS ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ

Συνεχίζοντας την ανάλυση για τα συνολικά αποτελέσματα παραθέτουμε το τελευταίο σχήμα αυτών (Σχήμα 6.28), το οποίο έχει σχέση με τον μέσο αριθμό των χρηστών που υπέστησαν διαπομπή σε άλλα δίκτυα για να απελευθερωθούν με τον τρόπο αυτό οι απαιτούμενοι πόροι τους δικτύου για την αποδοχή νέων χρηστών. Όσον αφορά τις καμπύλες με επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών και αποκατάσταση αυτής αργότερα έχει γίνει εκτενής ανάλυση στην προηγούμενη υποενότητα. Απλά παρατίθενται εδώ για λόγους πληρότητας και σύγκρισης με αυτές από τις δύο πρώτες εκδοχές του αλγορίθμου. Οι υπόλοιπες δύο καμπύλες παρουσιάζουν χαμηλούς αριθμούς χρηστών που υφίστανται διαπομπή. Αυτό συμβαίνει για διαφορετικούς λόγους σε κάθε μία.

Για την περίπτωση της καμπύλης χωρίς επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών έχουμε μικρό αριθμό διαπομπών μεταξύ των δικτύων, επειδή συμβαίνει τα δίκτυα να παρουσιάζουν σχετικά υψηλές τιμές φορτίου και να μην μπορούν να δεχτούν χρήστες από ένα άλλο δίκτυο, το οποίο έχει και αυτό με τη σειρά του υψηλό φορτίο και ψάχνει να βρει πόρους για να εξυπηρετήσει νέους χρήστες.

Για την περίπτωση της καμπύλης με επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών χωρίς όμως να γίνεται αργότερα αποκατάσταση αυτής, έχουμε λειτουργία του δικτύου σε χαμηλά επίπεδα φορτίου, οπότε δεν είναι ανάγκη να επιχειρήσει διαπομπές σε άλλα δίκτυα για να απελευθερώσει κάποιους από τους πόρους του.

#### **6.4.5 Συμπεράσματα**

Συμπερασματικά θα πρέπει να αναφέρουμε ότι από την παραπάνω εξομοίωση του αλγορίθμου για διάφορες εκδοχές αυτού, αλλά και διάφορες τιμές των παραμέτρων εισόδου και των κατωφλίων του, παρατηρήσαμε τη συμπεριφορά του δικτύου. Πέρα από τις αναλυτικές λεπτομέρειες και τα συμπεράσματα που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες υποενότητες, ένα γενικό συμπέρασμα είναι ότι το ετερογενές σύστημα επικοινωνιών που προσομοιώθηκε, δείχνει να ανταποκρίνεται θετικά σε σχετικά υψηλές τιμές φορτίου, πάντα σε σχέση με αυτές που υπάρχουν στα σημερινά υπαρκτά δίκτυα κινητών επικοινωνιών.

Επίσης πρέπει να αναφέρουμε ότι ο συνολικός αλγόριθμος φαίνεται να συμπεριφέρεται καλύτερα, όσον αφορά την πιθανότητα αποδοχής ενός χρήστη, ή αντίθετα την πιθανότητα μη αποδοχής αυτού, δηλαδή απόρριψής του. Αυτό όμως που χρειάζεται να ερευνηθεί είναι το κατώφλι για το οποίο έχουμε τη βέλτιστη απόκριση του αλγορίθμου. Αυτό βέβαια δεν είναι παρά μία πολυπαραμετρική συνάρτηση, η οποία πρέπει να βελτιστοποιηθεί, μιας και χρειάζεται να αποφασίσουμε για το ποιες παραμέτρους του δικτύου θα βελτιστοποιήσουμε. Σε αυτές πέρα από την πιθανότητα απόρριψης, μπορεί να προστεθεί το μέσο μήκος της ουράς αναμονής, το μέσο πλήθος χρηστών που υφίστανται μείωση της ποιότητας υπηρεσιών τους κ.α.

Στην περίπτωση που μας ενδιαφέρει να μεγιστοποιείται η πιθανότητα αποδοχής από τον αλγόριθμο, δηλαδή να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα απόρριψης του χρήστη, προκύπτει ότι την καλύτερη επίδοση έχει η πλήρης έκδοση του αλγορίθμου, με επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών χαμηλής προτεραιότητας χρηστών και αποκατάσταση αυτής αργότερα, για ένα κατώφλι φορτίου γύρω στο 0,7 (με μέγιστη τιμή το 1).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στο περιβάλλον των πέραν της τρίτης γενιάς (B3G/4G) συστημάτων προκύπτουν νέες απαιτήσεις – στόχοι τόσο για τους παρόχους δικτύου όσο και για τους παρόχους υπηρεσιών. Οι πάροχοι δικτύου θα πρέπει να μπορούν να αξιοποιήσουν τη σύνθετη ασύρματη υποδομή προκειμένου να ανταποκριθούν στο αναμενόμενο ενδιαφέρον των χρηστών για ασύρματη πρόσβαση σε διαδικτυακές υπηρεσίες. Επίσης, θα πρέπει να είναι σε θέση να συνεργάζονται δυναμικά με άλλες επιχειρησιακές οντότητες, όπως οι πάροχοι υπηρεσιών. Αντίστοιχα, οι πάροχοι υπηρεσιών θα πρέπει να είναι ικανοί να αλληλεπιδρούν με τους μηχανισμούς των παρόχων δικτύου και να παρέχουν δυναμικά υπηρεσίες που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των χρηστών, μέσω της δικτυακής υποδομής του καταλληλότερου παρόχου δικτύου.

Η εκπλήρωση αυτών των απαιτήσεων – στόχων εισάγει την ανάγκη για τεχνολογίες (εργαλεία λογισμικού) που θα συμβάλλουν στην εμπορική εκμετάλλευση και αξιοποίηση των πέραν της τρίτης γενιάς (B3G) συστημάτων από τους παρόχους δικτύων και υπηρεσιών. Αυτό όμως πρέπει να γίνει παράλληλα με την αξιοποίηση της ήδη υπάρχουσας υποδομής από άλλα δίκτυα, όπως το GSM/GPRS και το UMTS, τα οποία μαζί με τα δίκτυα B3G/4G συνθέτουν ένα ετερογενές σύστημα επικοινωνιών.

Συγκεκριμένα προκύπτει η ανάγκη για νέες τεχνικές για όλα τα σκέλη της διαχείρισης ραδιοπόρων, μέρος της οποίας είναι και η απόφαση για την αποδοχή κλήσεων. Σε αυτό το πλαίσιο, η συνεισφορά της παρούσας διπλωματικής, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο σημείο της, έγκειται στη σύντομη περιγραφή μιας αρχιτεκτονικής για τέτοια συστήματα επικοινωνιών (κυρίως στο κομμάτι της διαχείρισης ραδιοπόρων και πιο συγκεκριμένα στον έλεγχο αποδοχής κλήσεων) και πιο συγκεκριμένα

στην ανάπτυξη ενός αλγορίθμου ο οποίος επιτελεί τον έλεγχο αποδοχής κλήσεων για ετερογενή συστήματα επικοινωνιών. Παράλληλα εξετάστηκαν νέες τεχνολογίες για Β3G δίκτυα (όπως το WINNER) αλλά και για ήδη υπάρχουσες, π.χ. GSM/GPRS και UMTS.

Από τα αποτελέσματα της εξομοίωσης του αλγορίθμου, τα οποία παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, προκύπτει ότι τα ετερογενή δίκτυα (που ενσωματώνουν νέες και παλαιές τεχνολογίες) είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν μεγαλύτερο πλήθος χρηστών, αλλά και να διαχειριστούν περισσότερο όγκο φορτίου κίνησης. Επιπλέον προσφέρουν μεγαλύτερο εύρος υπηρεσιών με σαφώς πολύ καλύτερη ποιότητα σε σχέση με την μεμονωμένη προσέγγιση του ζητήματος της εξυπηρέτησης των χρηστών από κάθε δίκτυο ξεχωριστά.

Από τα παραπάνω είναι πλέον σαφές ότι μια νέα εποχή για τα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών είναι προ των πυλών για να διευκολύνει τη ζωής μας ακόμα περισσότερο και να κάνει τους ανθρώπους να αναρωτιούνται για ακόμη μια φορά για τα όρια που μπορεί να έχει η τεχνολογική πρόοδος.





## ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

|                 |   |
|-----------------|---|
| <i>3GPP</i>     | <i>3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project</i>        |
| <i>AC</i>       | <i>Admission Control</i>                                    |
| <i>AMR</i>      | <i>Adaptive Multi Rate</i>                                  |
| <i>AP</i>       | <i>Access Point</i>   |
| <i>ATM</i>      | <i>Asynchronous Transfer Mode</i>                           |
| <i>AUC</i>      | <i>Authentication Center</i>                                |
| <i>B3G</i>      | <i>Beyond 3<sup>rd</sup> Generation</i>                     |
| <i>BER</i>      | <i>Bit Error Rate</i>                                       |
| <i>BR</i>       | <i>Bit Rate</i>   |
| <i>BS</i>       | <i>Base Station</i>   |
| <i>BSA</i>      | <i>Basic Service Area</i>                                   |
| <i>BSC</i>      | <i>Base Station Controller</i>                              |
| <i>BSS</i>      | <i>Basic Service Set</i>                                    |
| <i>BTS</i>      | <i>Base Transceiver Station</i>                             |
| <i>CC</i>       | <i>Congestion Control</i>                                   |
| <i>CDMA</i>     | <i>Code Division Multiple Access</i>                        |
| <i>CEPT</i>     | <i>Conference of European Posts and Telegraphs</i>          |
| <i>CRNC</i>     | <i>Controlling RNC</i>                                      |
| <i>CRRM</i>     | <i>Common Radio Resource Management</i>                     |
| <i>CS</i>       | <i>Circuit Switched</i>                                     |
| <i>CSD</i>      | <i>Circuit Switched Data</i>                                |
| <i>CSPDN</i>    | <i>Circuit Switched Public Data Network</i>                 |
| <i>DAB</i>      | <i>Digital Audio Broadcasting</i>                           |
| <i>DHCP</i>     | <i>Dynamic Host Configuration protocol</i>                  |
| <i>DS</i>       | <i>Direct Sequence</i>                                      |
| <i>DSSS</i>     | <i>Direct sequence spread spectrum</i>                      |
| <i>DVB</i>      | <i>Digital Video Broadcasting</i>                           |
| <i>DVB-S</i>    | <i>Digital Video Broadcasting – Satellite</i>               |
| <i>DVB-T</i>    | <i>Digital Video Broadcasting – Terrestrial</i>             |
| <i>EIR</i>      | <i>Equipment Identity Register</i>                          |
| <i>EP</i>       | <i>Extension Point</i>                                      |
| <i>ESS</i>      | <i>Extended Service Set</i>                                 |
| <i>ETSI</i>     | <i>European Telecommunication Standardization Institute</i> |
| <i>FCC</i>      | <i>Federal Communications Commission</i>                    |
| <i>FDD</i>      | <i>Frequency Division Duplex</i>                            |
| <i>FHSS</i>     | <i>Frequency hopping spread spectrum</i>                    |
| <i>FSR</i>      | <i>Fixed Relay Station</i>                                  |
| <i>FTP</i>      | <i>File Transfer Protocol</i>                               |
| <i>GGSN</i>     | <i>Gateway GPRS Support Node</i>                            |
| <i>GISP</i>     | <i>Generic Internet Service Provision</i>                   |
| <i>GPRS</i>     | <i>General Packet Radio Service</i>                         |
| <i>GSM</i>      | <i>Global System for Mobile communications</i>              |
| <i>HIPERLAN</i> | <i>High Performance Radio LAN</i>                           |
| <i>HLR</i>      | <i>Home Location Register</i>                               |
| <i>HO</i>       | <i>Handover</i>   |

|                |  |
|----------------|--|
| <i>HTTP</i>    | <i>HyperText Transfer Protocol</i>                       |
| <i>HA</i>      | <i>Home Agent</i>  |
| <i>ID</i>      | <i>IDentity – Identifier</i>                             |
| <i>IEEE</i>    | <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> |
| <i>IETF</i>    | <i>Internet Engineering Task Force</i>                   |
| <i>IMEI</i>    | <i>International Equipment Identity</i>                  |
| <i>IMSI</i>    | <i>International Module Subscriber Identity</i>          |
| <i>IP</i>      | <i>Internet Protocol</i>                                 |
| <i>ISDN</i>    | <i>Integrated Services Digital Network</i>               |
| <i>ISM</i>     | <i>Industrial, Scientific, Medical</i>                   |
| <i>ISM</i>     | <i>Instrumentation, Scientific and Medical</i>           |
| <i>JRRM</i>    | <i>Joint Radio Resource Management</i>                   |
| <i>LAN</i>     | <i>Local Area Network</i>                                |
| <i>LLC</i>     | <i>Logical Link Control</i>                              |
| <i>MAC</i>     | <i>Medium Access Control</i>                             |
| <i>MC-CDMA</i> | <i>Multi Carrier-Code Division Multiple Access</i>       |
| <i>ME</i>      | <i>Mobile Equipment</i>                                  |
| <i>MIB</i>     | <i>Management Information Base</i>                       |
| <i>MPEG</i>    | <i>Moving Picture Experts Group</i>                      |
| <i>MS</i>      | <i>Mobile Station</i>                                    |
| <i>MSC</i>     | <i>Mobile Switching Center</i>                           |
| <i>MSPM</i>    | <i>Managed System Performance Monitoring</i>             |
| <i>MSR</i>     | <i>Mobile Relay Station</i>                              |
| <i>MT</i>      | <i>Mobile Terminal</i>                                   |
| <i>NAT</i>     | <i>Network Address Translator</i>                        |
| <i>NM</i>      | <i>Network Manager</i>                                   |
| <i>NSMS</i>    | <i>Network and Service Management System</i>             |
| <i>PAN</i>     | <i>Personal Area Networks</i>                            |
| <i>PCU</i>     | <i>Packet Control Unit</i>                               |
| <i>PDA</i>     | <i>Personal Digital Assistant</i>                        |
| <i>PDC</i>     | <i>Personal Digital Communications</i>                   |
| <i>PDN</i>     | <i>Public Data Network</i>                               |
| <i>PDP</i>     | <i>Packet Data Protocol</i>                              |
| <i>PHY</i>     | <i>Physical Layer</i>                                    |
| <i>PID</i>     | <i>Packet Identifier</i>                                 |
| <i>PIN</i>     | <i>Personal Identity Number</i>                          |
| <i>PLCP</i>    | <i>Physical Layer Coverage Procedure</i>                 |
| <i>PLMN</i>    | <i>Public Land Mobile Network</i>                        |
| <i>PMD</i>     | <i>Physical Medium Dependent</i>                         |
| <i>POTS</i>    | <i>Plain Old Telephone Service</i>                       |
| <i>PPP</i>     | <i>Point-to-Point Protocol</i>                           |
| <i>PS</i>      | <i>Packet Switched</i>                                   |
| <i>PSPDN</i>   | <i>Packet Switched Public Data Network</i>               |
| <i>PSTN</i>    | <i>Public Telephone Switched Network</i>                 |
| <i>RAT</i>     | <i>Radio Access Technology</i>                           |
| <i>RATDP</i>   | <i>RAT Dependent Part</i>                                |
| <i>RATIP</i>   | <i>RAT Independent Part</i>                              |
| <i>RBSM</i>    | <i>Resource Brokerage Service Management</i>             |
| <i>RF</i>      | <i>Radio Frequency</i>                                   |
| <i>RMS</i>     | <i>Resource Management System</i>                        |

|              |   |
|--------------|---|
| <i>RNC</i>   | <i>Radio Network Controller</i>                       |
| <i>RNS</i>   | <i>Radio Network Subsystem</i>                        |
| <i>RRM</i>   | <i>Radio Resource Management</i>                      |
| <i>SGSN</i>  | <i>Serving GPRS Support Node</i>                      |
| <i>SIM</i>   | <i>Subscriber Identity Module</i>                     |
| <i>SIR</i>   | <i>Signal to Interference Ratio</i>                   |
| <i>SM</i>    | <i>Session Manager</i>                                |
| <i>SMS</i>   | <i>Simple Message Service</i>                         |
| <i>SNMP</i>  | <i>Simple Network Management Protocol</i>             |
| <i>SP</i>    | <i>Service Provider</i>                               |
| <i>SRRM</i>  | <i>Specific Radio Resource Management</i>             |
| <i>TCP</i>   | <i>Transport Control Protocol</i>                     |
| <i>TDD</i>   | <i>Time Division Duplex</i>                           |
| <i>TDMA</i>  | <i>Time Division Multiplexing</i>                     |
| <i>TM</i>    | <i>Technical Manager</i>                              |
| <i>TRAU</i>  | <i>Transcoder Adapter Unit</i>                        |
| <i>TS</i>    | <i>Time Slot</i>                                      |
| <i>TSMS</i>  | <i>Terminal Station Management System</i>             |
| <i>UMTS</i>  | <i>Universal Mobile Telecommunication System</i>      |
| <i>UTRAN</i> | <i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>          |
| <i>VH</i>    | <i>Vertical Handover</i>                              |
| <i>VLR</i>   | <i>Visited Location Register</i>                      |
| <i>VoIP</i>  | <i>Voice over IP</i>                                  |
| <i>WAP</i>   | <i>Wireless Access Protocol</i>                       |
| <i>WCDMA</i> | <i>Wideband Code Division Multiple Access</i>         |
| <i>WLAN</i>  | <i>Wireless Local Area Network</i>                    |
| <i>WPAN</i>  | <i>Wireless Personal Area Networks</i>                |
| <i>X.25</i>  | <i>An ITU-T Protocol for Packet Switched Networks</i> |

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, Μ.Ε.Θεολόγου, Μάρτιος 2002
- [2] **MOBILE RADIO NETWORKS NETWORKING AND PROTOCOLS**  
B. Walke , Wiley 1999
- [3] **GSM,GPRS AND EDGE PERFORMANCE EVOLUTION TOWARDS 3G/UMTS**, Timo Halonen, Javier Romero , Wiley 2003
- [4] ΔΟΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ, Χ. Καυάλη, Π. Κωττή, 2003
- [5] **IDENTIFICATION, DEFINITION AND ASSESSMENT OF COOPERATION SCHEMES BETWEEN RANS**, IST-2003-507581 WINNER, Deliverable 4.3
- [6] **FINAL USAGE SCENARIOS**, IST-2003-507581 WINNER, Deliverable 1.3
- [7] **END-TO-END ADAPTIVE QoS PROVISIONING OVER GPRS WIRELESS MOBLILE NETWORK** , Oliver Yu , 2003 Kluwer Academic Publishers.
- [8] **QUALITY OF SERVICE BASED ADMISSION CONTROL FOR WCDMA MOBILE SYSTEMS**, Janne Pöllönen, HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Espoo, 13.11.2001
- [9] **UMTS NETWORKS. ARCHITECTURE, MOBILITY AND SERVICES**, H.Kaaranen, A.Ahtiainen, L.Laitinen, S.Naghian, V.Niemi
- [10] **OVERVIEW OF THE GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS** , J. Scourias
- [11] *P.Demestichas, V.Stavroulaki, L.Papadopoulou, A.Vasilakos, M.Theologou, "Service configuration and distribution in composite radio environments", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Journal, vol. 34, No. 1, Feb. 2004.*
- [12] **GPRS TECHNOLOGY OVERVIEW**, Alan Sicher, Communications Product Planning Manager, Randall Heaton, Product Marketing Senior Consultant, February 2002
- [13] **ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΗΣ ΣΤΟ UMTS**, διπλωματική εργασία, Παναγιώτης Τ. Βλαχέας, Αθήνα 2003

- [14] Γ.Κουντουράκης, Ν.Κουτσούρης, "Περιγραφή ενός καταναμημένου συστήματος για την ενοποιημένη διαχείριση ετερογενών ασύρματων δικτύων επικοινωνιών", Διπλωματική εργασία για το μεταπτυχιακό Τεχνο-οικονομικά Συστήματα, Επιβλέπων Καθηγητής Μ.Θεολόγου, Μάιος 2004.
- [15] George Koundourakis, Louisa Papadopoulou, Dimitris Kouis, Vera Stavroulaki, Nikolaos Koutsouris, Nikolas Mitrou, Panagiotis Demestichas, "A Distributed System for the Integrated Management of Heterogeneous Wireless Networks", International Conference on E-Business and Telecommunication Networks, Setubal/Portugal, 25-28 Aug. 2004.
- [16] D. Gu, J. Zhang, "A new measurement-based admission control method for IEEE802.11 wireless local area networks", Proc. of IEEE 2003 PIMRC
- [17] P. Beming and al., "Beyond 3G Radio access network reference architecture", Proc. of VTC May 2004, Milan, Italy.
- [18] Jijun Luo, Rahul Mukerjee, Markus Dillinger, Eiman Mohyeldin, Egon Schulz, "Investigation of Radio Resource Scheduling in WLANs Coupled with 3G Cellular network", IEE Communications Magazine June 2003, p108-115.
- [19] S. Jamin, S.J. Shenker and P.B. Danzig, Comparison of measurement-based admission control algorithms for controlled-load service, in: *Proceedings of IEEE INFOCOM'97*, Kobe, Japan, 1997
- [20] Y. Fang, and Y. Zhang, "Call Admission Control Schemes and Performance Analysis in Wireless Mobile Networks", IEEE Trans. on Vehicular Tech, vol. 51, no. 2, pp. 371--382, 2002.
- [21] Karabudak, Dilek, Chih-Cheng Hung, and Benny Bing. "A Call Admission Control Scheme Using Genetic Algorithms." Paper presented at the ACM Symposium on Applied Computing, Nicosia, Cysprus, March 14-17 2004.
- [22] J. Perez-Romero, O. Sallent, D. Ruiz, R. Agusti. "An Admission Control Algorithm to Manage High Bit Rate Static Users in W-CDMA". 13th IST Mobile & Wireless Communications Summit 2004, 27-30 June, Lion (France)
- [23] D. Ayyagari, A. Ephremides, "Admission Control with priorities: Approaches for multi-rate wireless systems". MONET 4(3): 209-218(1999)
- [24] C. Lindemann, M. Lohmann, A. Thuemmler, "Adaptive Call Admission Control for QoS/Revenue Optimization in CDMA Cellular Networks". Wireless Networks, vol.10, Issue 4, p.457-472. 2004 ISSN:1022-038.

- [25] D. Gu, J. Zhang, "A new measurement-based admission control method for IEEE802.11 wireless local area networks", Proc. of IEEE 2003 PIMRC
- [26] "First report on the evaluation of RRM/CRRM algorithms", EVEREST IST-2002-001858, D11
- [27] Jordi Pérez-Romero, Oriol Sallent, Ramon Agustí, Juan Sánchez, "On Managing Radio Network Congestion In UTRA-FDD".
- [28] WINNER, "D4.2: Impact of cooperation schemes ", internal deliverable, IST-2003-507581 WINNER, February 2005.
- [29] <http://www.umts-forum.org/>
- [30] <http://www.gsmworld.com/technology/gprs/index.shtml>
- [31] <http://www.3gpp.org>