



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Υβριδική αρχιτεκτονική διαχείρισης ασύρματων πόρων σε
ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών 4ης γενιάς με έμφαση στην
διαχείριση κινητικότητας για την διασφάλιση της ποιότητας
υπηρεσιών**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ηλίας Ζ. Τράγος

Αθήνα, Ιούλιος 2008



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Υβριδική αρχιτεκτονική διαχείρισης ασύρματων πόρων σε
ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών 4ης γενιάς με έμφαση στην
διαχείριση κινητικότητας για την διασφάλιση της ποιότητας
υπηρεσιών**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ηλίας Ζ. Τράγος

Συμβουλευτική Επιτροπή : Ελευθέριος Καγιάφας

Βασίλειος Λούμος

Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 17^η Ιουλίου 2008.

Ε. Καγιάφας
Καθηγητής ΕΜΠ

Β. Λούμος
Καθηγητής ΕΜΠ

Κ. Παπαοδυσσεύς
Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

Μ. Θεολόγου
Καθηγητής ΕΜΠ

Ν. Ουζούνογλου
Καθηγητής ΕΜΠ

Γ. Στασινόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

Α. Δουλάμης
Επικ. Καθηγητής
Πολυτεχνείου
Κρήτης

Ε. Πρωτονοτάριος
Ομότιμος καθηγητής
ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2008

.....
Ηλίας Ζ. Τράγος

Υποψήφιος Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ηλίας Ζ. Τράγος

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

Η παρούσα διατριβή εστιάζει στο πρόβλημα της αρχιτεκτονικής διαχείρισης ασύρματων ραδιοπόρων σε μελλοντικά δίκτυα 4^{ης} γενιάς με διπλό στόχο. Πρώτα ασχολείται με το θέμα της συνεργασίας ενός μελλοντικού δικτύου με τα υπόλοιπα ασύρματα δίκτυα κινητών επικοινωνιών που ήδη λειτουργούν. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε η αρχιτεκτονική συνεργασίας του μελλοντικού δικτύου με τις διάφορες οντότητες και τις λειτουργίες τους. Στη συνέχεια η αρχιτεκτονική αυτή βελτιστοποιήθηκε με τη σύγκρισή της με άλλες αντίστοιχες αρχιτεκτονικές άλλων ευρωπαϊκών προγραμμάτων, με σκοπό τη δημιουργία μιας κοινής αρχιτεκτονικής για τη συνεργασία ασύρματων δικτύων 4^{ης} γενιάς. Η τελική αυτή αρχιτεκτονική συνεργασίας είναι και αυτή που ενστερνίστηκε η ευρωπαϊκή αρχή Wireless World Initiative (WWI) ως βασική μελλοντική αρχιτεκτονική των δικτύων κινητών επικοινωνιών. Με βάση την αρχιτεκτονική συνεργασίας αναπτύχθηκε ένας βασικός μηχανισμός διαχείρισης ραδιοπόρων που είναι σημαντικός για την σωστή λειτουργία δικτύων. Ο μηχανισμός αυτός είναι ο μηχανισμός ελέγχου αποφυγής συμφόρησης (Congestion Avoidance Control – CAC) και ο οποίος αποτελείται από δυο επιμέρους μηχανισμούς τον έλεγχο αποδοχής (Admission Control – AC) και τον έλεγχο φορτίου/συμφόρησης (Load/Congestion Control – LC/CC). Ο μηχανισμός που αναπτύχθηκε έχει ως σκοπό την σωστή λειτουργία ενός δικτύου 4^{ης} γενιάς με σκοπό την αποφυγή της συμφόρησής του και την παροχή της όσο το δυνατόν καλύτερης ποιότητας υπηρεσίας στους χρήστες.

Το δεύτερο επίπεδο στο οποίο στόχευσε η παρούσα διατριβή ήταν η ανάπτυξη της εσωτερικής αρχιτεκτονικής διαχείρισης πόρων του δικτύου 4^{ης} γενιάς και στη συνέχεια η ανάπτυξη αλγορίθμων διαπομπής (handover) για το νέο δίκτυο και ο έλεγχος της αποδοτικότητάς τους. Για την ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής του δικτύου 4^{ης} γενιάς λήφθηκαν υπόψη οι δυο βασικοί τρόποι ανάπτυξης της αρχιτεκτονικής δικτύων (κεντροποιημένος και κατανεμημένος) και αφού αναλύθηκαν τα ωφέλη τους και τα μειονεκτήματά τους, αναπτύχθηκε μια υβριδική αρχιτεκτονική που χρησιμοποιεί τα καλύτερα στοιχεία των άλλων δυο αρχιτεκτονικών και είναι ευέλικτη και παίρνει σωστές και γρήγορες αποφάσεις. Με βάση αυτή την αρχιτεκτονική αναπτύχθηκαν μηχανισμοί διαπομπής που επιτυγχάνουν γρήγορες διαπομπές, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του χρόνου κατά τον οποίο το κινητό τερματικό δεν λαμβάνει την υπηρεσία του (διακοπή της υπηρεσίας κατά την αλλαγή κυψέλης/σταθμού βάσης), την ελαχιστοποίηση των χαμένων πακέτων λόγω της διαπομπής και την βέλτιστη χρήση των ραδιοπόρων του δικτύου. Οι μηχανισμοί διαπομπής που αναπτύχθηκαν ελέγχθηκαν για την αποδοτικότητά τους και στους τρεις τύπους αρχιτεκτονικής, με σκοπό την απόδειξη της βέλτιστης αποδοτικότητας της υβριδικής αρχιτεκτονικής.

Λέξεις Κλειδιά: δίκτυα επικοινωνιών, μελλοντικά ασύρματα δίκτυα, δίκτυα 4^{ης} γενιάς, αρχιτεκτονική δικτύων, αρχιτεκτονικές συνεργασίας, αλγόριθμοι συνεργασίας, έλεγχος αποφυγής συμφόρησης, έλεγχος αποδοχής, έλεγχος συμφόρησης, διαχείριση κινητικότητας, διαπομπή, WINNER, UMTS, GSM/GPRS, WLAN, 802.11, OMNET++.

Abstract

This PhD thesis focuses on the problem of radio resource management (RRM) architecture of future 4G networks and its goal is twofold. The first part is dealing with the problem of making a future network able to cooperate with the legacy networks. Towards this goal a cooperation architecture for the integration of the future network with the legacy ones was developed, together with its entities and their functions. After that this architecture was optimized by comparing it with other architectures developed in other European projects targeting to create a common architecture for the cooperation of future 4G networks. This final architecture was also the one chosen by the Wireless World Initiative (WWI) as the basis for the future 4G network architecture. Based on this cooperation architecture an important radio resource management mechanism for the cooperation of future networks was developed. This mechanism was the Congestion Avoidance Control (CAC) mechanism, which consists of two other mechanisms, namely the admission control and the congestion control. The CAC mechanism is targeting to help the 4G network operate in normal state avoiding congestion situations and providing optimal quality of service to the users.

The second goal of this PhD thesis was the defining and the development of the internal radio resource management architecture of a future 4G network and the related algorithms for the handover mechanism. For the definition of the 4G network architecture the two common network architecture options (centralized and the distributed RRM architecture) were analysed and after their advantages and disadvantages were discussed, the best characteristics of those two architecture options were gathered in a new hybrid architecture that was developed by this PhD thesis. This hybrid architecture is developed for taking optimal and very fast decisions. Based on this architecture many handover mechanisms were defined for achieving fast handovers, targeting to minimize the handover latency, the lost packets during handover and optimizing the radio resource usage by the networks. These handover mechanisms were finally tested for the three architecture options in order to show the optimal functionality and efficiency of the proposed hybrid architecture.

Keywords: communication networks, future wireless networks, 4G networks, network architecture, cooperation architecture, cooperation algorithms, congestion avoidance control, admission control, congestion control, mobility management, handover, WINNER, UMTS, GSM/GPRS, WLAN, 802.11, OMNET++.

Αφιερώνεται στους γονείς μου

Ζαφείρη και Μαρία

και στον αδερφό μου

Παναγιώτη

Πρόλογος

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αποτελεί το αποτέλεσμα τετραετούς προσπάθειάς μου από την παρουσία μου και την εργασία μου στο Εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το αποτέλεσμα της εργασίας μου που παρουσιάζεται σε αυτή τη διατριβή είναι προϊόν πολλών κόπων, πολλής δουλειάς και πολλών θυσιών όλα αυτά τα χρόνια.

Η εκπόνηση της διατριβής αυτής έγινε σε συνεργασία με εξαιρετους ανθρώπους, την αμέριστη βοήθεια των οποίων είχα όποτε την ζήτησα και όποτε την είχα ανάγκη. Πρώτα απ' όλα νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τον ομότιμο καθηγητή κ. Πρωτονοτάριο που μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με έναν τόσο ενδιαφέροντα επιστημονικό τομέα, αλλά και τον καθηγητή κ. Καγιάφα που δέχτηκε να είναι επιβλέπων μου και να μου δώσει μια θέση και την ευκαιρία να εκπονήσω τη διδακτορική μου διατριβή. Νιώθω πολύ ευτυχισμένος και περήφανος που στην πορεία μου στο ΕΜΠ βρέθηκα να συνεργαστώ με έναν εξαιρετικό παγκοσμίου φήμης επιστήμονα όπως ο κ. Πρωτονοτάριος. Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ θα πρέπει να πω και στον κ. Καρέτσο, ο οποίος ήταν ο άμεσος συνεργάτης μου τα περισσότερα από αυτά τα χρόνια και χωρίς την αμέριστη βοήθειά του, τις συμβουλές του, τις υποδείξεις του και τη συμπαράστασή του δε θα μπορούσε ποτέ να ολοκληρωθεί η συγκεκριμένη διατριβή. Πολλά χρωστάω επίσης και στον κ. Κυριαζάκο που ήταν αυτός που με έφερε σε επαφή με τον κ. Πρωτονοτάριο και τον κ. Καρέτσο και με βοήθησε ως συνεργάτης και ως φίλος τα επόμενα χρόνια.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη της συμβουλευτική τριμελούς επιτροπής κ. Λούμο και κ. Παπαοδυσσέα για τη βοήθεια που μου έδωσαν όποτε τους ζητήθηκε. Εκτός αυτών, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τους κ. Θεολόγου και κ. Συκά για τη συνεργασία μας όλα αυτά τα χρόνια.

Σε αυτά τα τεσσαράμισι χρόνια που πέρασα στο εργαστήριο γνώρισα και συνεργάστηκα με πολλούς εξαιρετους ανθρώπους, με τους οποίους ανέπτυξα από φιλικές μέχρι αδερφικές σχέσεις. Ένας ξεχωριστός άνθρωπος που με βοήθησε, μου στάθηκε, με συμβούλεψε και μου συμπαράσταθη σε δύσκολες στιγμές, συζητήσαμε άπειρα πράγματα και χωρίς τη σημαντική συμβολή του οποίου η παρούσα διατριβή θα ήταν πολύ διαφορετική είναι ο Π. Βλαχέας. Εκτός από τον Πάνο υπήρχαν και άλλοι εξαιρετοι άνθρωποι που γνώρισα και ανέπτυξα φιλικές σχέσεις όλα αυτά τα χρόνια. Από την “πρώτη γενιά” του εργαστηρίου και τον Αντώνη που με οδήγησε στα πρώτα μου βήματα με συμβουλές και συμπαράσταση, τον Σταύρο και τις ατέλειωτες ώρες γέλιου και συζητήσεων, τον Γιώργο και τις πολλές ώρες αλληλογκρίνιας μέσω chat, τη Βιβή και την Αλεξάνδρα, την Νέλλυ και τον Μπάμπη, αλλά και τον κ. Αγγελόπουλο και τις πολύωρες συζητήσεις επί παντός επιστητού. Στη συνέχεια έχουμε την “επόμενη γενιά”, δηλαδή το Βαγγέλη και τις πολλές ώρες συνομιλιών για τεχνικά και μη θέματα, τον Παντελή με τον οποίο και συνεργαζόμασταν για 3 περίπου χρόνια, αλλά και το Ματθαίο, το Λευτέρη

και το Δημήτρη, αλλά και τώρα τελευταία το Θάνο, με τον οποίο ρίχνουμε πολύ γέλιο και “κουτσομπολιό”. Τέλος σημαντική συμπαράσταση και κουράγιο σε δύσκολες στιγμές μου έδωσαν είτε μέσω διαδικτυακών συνομιλιών είτε και από κοντά και η Νατάσσα και η Έλενα που μου κρατούσαν παρέα σε πολλές ατέλειωτες ώρες δουλειάς και κώδικα ακούγοντας πολλή γκρίνια και χαρίζοντάς μου πολλές χαρούμενες και ξεχωριστές στιγμές.

Θα ήταν όμως παράλειψή μου να μην ευχαριστήσω και τους συνεργάτες μου στο WINNER με τους οποίους είχαμε μια απίστευτη συνεργασία για τέσσερα χρόνια και πολύ καλή παρέα στα ταξίδια που κάναμε. Θα ήθελα να ξεχωρίσω την Albena που μου στάθηκε και ως φίλη, τον Emilio και τον Jesse, χωρίς τους οποίους η συγκεκριμένη διατριβή δε θα υπήρχε.

Βέβαια τίποτα από όλα αυτά δε θα γινόταν πραγματικότητα χωρίς την βοήθεια, την υποστήριξη και την συμπαράσταση των γονιών μου Ζαφείρη και Μαρίας, αλλά και του αδερφού μου Παναγιώτη, στους οποίους και αφιερώνεται η παρούσα διατριβή.

Πίνακας Περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	24
1.1 Γενικά - Στόχοι	24
1.2 Διάρθρωση της διατριβής	27
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΔΙΑΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	30
2.1 Χαρακτηριστικά μελλοντικών δικτύων 4 ^{ης} γενιάς	30
2.2 Σύζευξη μεταξύ UMTS και WLAN	32
2.2.1 Καθόλου σύζευξη	32
2.2.2 Ελεύθερη σύζευξη	33
2.2.3 Στενή σύζευξη	33
2.2.4 Πολύ στενή σύζευξη	34
2.3 Κοινή διαχείριση ασύρματων πόρων	34
2.4 Ομαδική διαχείριση ασύρματων πόρων	36
2.5 Διαστρωματωμένη διαχείριση ασύρματων πόρων	38
2.6 Αναφορές	42
3. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΠΟΡΩΝ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ 4^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ	44
3.1 Λειτουργική αρχιτεκτονική λογικών κόμβων	45
3.2 Διεπαφές	47
3.2.1 IG	47
3.2.2 IGB	48
3.2.3 IBB	48
3.2.4 IBRN , IWU	48
3.3 Αντιστοίχιση λειτουργιών στους λειτουργικούς κόμβους	48
3.3.1 Πύλη εξόδου (GW)	48
3.3.2 Σταθμός Βάσης (base station - BS)	49
3.3.3 Τερματικό χρήστη (user terminal - UT)	50
3.3.4 Αναμεταδότης (relay node - RN)	50
3.3.5 Εξυπηρετητής RRM (RRM Server)	51
3.4 Κεντροποιημένη, κατανεμημένη και υβριδική αρχιτεκτονική RRM	51
3.4.1 Κεντροποιημένη αρχιτεκτονική	52
3.4.2 Κατανεμημένη αρχιτεκτονική	53
3.4.3 Υβριδική αρχιτεκτονική	54
3.5 Αρχιτεκτονική συνεργασίας δικτύου 4 ^{ης} γενιάς με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα	56
3.5.1 Γενικά	56
3.5.2 Οντότητες των μηχανισμών συνεργασίας	57
3.5.3 Σενάρια συνεργασίας ενός μελλοντικού δικτύου 4 ^{ης} γενιάς	61
3.5.4 Υβριδικό σύστημα πληροφοριών	62

3.6	Ενοποιημένη αρχιτεκτονική συνεργασίας ετερογενών δικτύων	65
3.7	Αναφορές	69
4.	ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ 4^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ	72
4.1	Έλεγχος αποδοχής	74
4.1.1	Γενικά	74
4.1.2	Τάξεις υπηρεσιών	75
4.1.3	Κριτήρια για τον έλεγχο αποδοχής	78
4.1.4	Περιγραφή του αλγορίθμου αποδοχής	79
4.1.5	Τύποι αρχιτεκτονικής αλγορίθμου αποδοχής	83
4.2	Έλεγχος φορτίου – συμφόρησης	88
4.3	Εξισορρόπηση φορτίου μεταξύ πυλών εξόδου	92
4.4	Λειτουργίες ελέγχου φορτίου και συμφόρησης	94
4.5	Αναφορές	96
5.	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ	98
5.1	Γενική περιγραφή της προσομοίωσης	98
5.2	Περιγραφή της τοπολογίας της προσομοίωσης	100
5.3	Τάξεις υπηρεσιών του δικτύου	104
5.4	Υπολογισμός εισερχόμενης κίνησης	107
5.5	Πειραματικά αποτελέσματα	109
5.5.1	Αλγόριθμος ελέγχου αποφυγής συμφόρησης χωρίς επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών	110
5.5.2	Έλεγχος αποφυγής συμφόρησης με επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών χωρίς αποκατάστασή της	113
5.5.3	Έλεγχος αποφυγής συμφόρησης με επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών και με προσπάθεια αποκατάστασής της	117
5.5.4	Συνοπτική παρουσίαση - συμπεράσματα	125
5.6	Αναφορές	126
6.	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ 4^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ	128
6.1	Γενικά	128
6.2	Σενάρια διαπομπής	130
6.3	Διασυστημική διαπομπή	131
6.4	Ενδοσυστημική διαπομπή	139
6.4.1	Ενδομορφική διαπομπή	139
6.4.2	Διαμορφική διαπομπή	142
6.5	Κεντροποιημένη διαπομπή	149
6.6	Κατανεμημένη διαπομπή	153

6.7	Υβριδική διαπομπή	156
6.8	Μείγμα ασύρματης και IP διαπομπή	158
6.9	Αναφορές	163
7.	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	166
7.1	Το περιβάλλον προσομοίωσης OMNET++	167
7.2	Γενική περιγραφή της προσομοίωσης	169
7.3	Περιγραφή της τοπολογίας της προσομοίωσης	171
7.4	Λαμβανόμενες υπηρεσίες – δημιουργία κίνησης	174
7.5	Διαδικασία διαπομπής – μηνύματα μεταξύ οντοτήτων	176
7.6	Αποτελέσματα	179
7.6.1	Κατανεμημένη διαπομπή	179
7.6.2	Κεντροποιημένη διαπομπή	190
7.6.3	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων	202
7.7	Αναφορές	205
8.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	206
9.	ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ	210

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 2-1. Βαθμός διασύνδεσης σε σχέση με το σημείο επικόλλησης του WLAN [15]	32
Σχήμα 2-3. Ελεύθερη σύζευξη	33
Σχήμα 2-4. Στενή σύζευξη [8]	34
Σχήμα 2-5. Συντονισμός μεταξύ ομάδων ασύρματων πόρων στη CRRM	35
Σχήμα 2-6. Προσεγγίσεις CRRM Server (αριστερά) και ενοποιημένης CRRM (δεξιά)	35
Σχήμα 2-7. Λειτουργική αρχιτεκτονική της JRRM	38
Σχήμα 2-8. layered RRM [28]	39
Σχήμα 2-9. Η αρχιτεκτονική διαστρωματωμένης RRM [29]	41
Σχήμα 3-1. Αρχιτεκτονική λογικών κόμβων του WINNER [6]	45
Σχήμα 3-2. Κεντροποιημένη αρχιτεκτονική λογικών κόμβων του δικτύου	52
Σχήμα 3-3. Κατανεμημένη αρχιτεκτονική λογικών κόμβων του δικτύου	53
Σχήμα 3-4. Υβριδική αρχιτεκτονική λογικών κόμβων του μελλοντικού δικτύου	55
Σχήμα 3-5. Αρχιτεκτονική συνεργασίας του μελλοντικού δικτύου	56
Σχήμα 3-6. Λειτουργίες συνεργασίας του μελλοντικού δικτύου [7]	62
Σχήμα 3-7. Υβριδικό Σύστημα Πληροφοριών	63
Σχήμα 3-8. Αντιστοίχιση του HIS στην αρχιτεκτονική συνεργασίας του δικτύου [18]	65
Σχήμα 3-9. Λειτουργίες της HRRM	67
Σχήμα 3-10. Λειτουργική αρχιτεκτονική για τη διαδικασία της δια συστημικής διαπομπής	68
Σχήμα 4-1. Έλεγχος αποφυγής συμφόρησης	73
Σχήμα 4-2. Αλγόριθμος ελέγχου αποδοχής	81
Σχήμα 4-3. Βήματα και λειτουργίες του ελέγχου αποδοχής	83
Σχήμα 4-4. Αρχιτεκτονική κατανεμημένου ελέγχου αποδοχής	84
Σχήμα 4-5. Σηματοδοσία κατανεμημένου ελέγχου αποδοχής	84
Σχήμα 4-6. Αρχιτεκτονική κεντροποιημένου ελέγχου αποδοχής	85
Σχήμα 4-7. Σηματοδοσία κεντροποιημένου ελέγχου αποδοχής	86
Σχήμα 4-8. Ευέλικτος και υβριδικός έλεγχος αποδοχής	87
Σχήμα 4-9. Σηματοδοσία ευέλικτου και υβριδικού ελέγχου αποδοχής	87
Σχήμα 4-10. Έλεγχος φορτίου – συμφόρησης	90
Σχήμα 4-11. Διαδράσεις των λειτουργιών φορτίου – συμφόρησης	91
Σχήμα 4-12. Περιοχή πείνας GWs	92
Σχήμα 4-13. Περιοχή πείνας GWs	93
Σχήμα 4-14. Εξισορρόπηση φορτίου μεταξύ GWs	94
Σχήμα 4-15. Λειτουργίες ελέγχου φορτίου σε κατάσταση μέσου ή υψηλού φορτίου	94
Σχήμα 4-16. Λειτουργίες αποφυγής συμφόρησης σε κατάσταση συμφόρησης	95
Σχήμα 5-1. Σχηματική απεικόνιση της τοπολογίας της προσομοίωσης	103
Σχήμα 5-2. Πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων χωρίς επαναδιαπραγμάτευση QoS	110
Σχήμα 5-3. Παράμετροι του αλγορίθμου χωρίς επαναδιαπραγμάτευση QoS	111
Σχήμα 5-4. Φορτίο κυψελών του WINNER – 8Mbps	112

Σχήμα 5-5. Φορτίο κυψελών του UMTS – 8Mbps.....	113
Σχήμα 5-6. Πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων με επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσίας χωρίς αποκατάστασή της.....	114
Σχήμα 5-7. Παράμετροι του αλγορίθμου με επαναδιαπραγμάτευση QoS χωρίς αποκατάστασή του	116
Σχήμα 5-8. Φορτίο κυψελών του WINNER.....	117
Σχήμα 5-9. Φορτίο κυψελών του UMTS.....	117
Σχήμα 5-10. Πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων με επαναδιαπραγμάτευση QoS και αποκατάσταση	119
Σχήμα 5-11. Ποσοστό χρηστών που αποκατέστησαν την ποιότητα υπηρεσίας τους.....	120
Σχήμα 5-12. Παράμετροι του αλγορίθμου για κατώφλι αποκατάστασης 0,77.....	121
Σχήμα 5-13. Φορτίο του WINNER για κατώφλι αποκατάστασης 0,77.....	122
Σχήμα 5-14. Φορτίο του UMTS για κατώφλι αποκατάστασης 0,77	122
Σχήμα 5-15. Φορτίο του WLAN για κατώφλι αποκατάστασης 0,77.....	123
Σχήμα 5-16. Φορτίο του GPRS για κατώφλι αποκατάστασης 0,77	123
Σχήμα 5-17. Πιθανότητα αποκλεισμού σε σχέση με την τάξη υπηρεσιών και για διάφορους ρυθμούς εισερχόμενης κίνησης.....	124
Σχήμα 5-18. Πιθανότητα αποκλεισμού – συνοπτική παρουσίαση	125
Σχήμα 6-1. Γενικό σχήμα λειτουργίας διαπομπής σε συνδυασμό με αφορμές και μετρήσεις	131
Σχήμα 6-2. Σενάριο διασυστημικής διαπομπής μεταξύ WINNER, UMTS και WLAN.....	133
Σχήμα 6-3. Διάγραμμα αλγορίθμου διασυστημικής διαπομπής	135
Σχήμα 6-4. Διάγραμμα διαδικασίας διασυστημικής διαπομπής μεταξύ WINNER και UMTS.....	137
Σχήμα 6-5. Διαδικασία διασυστημικής διαπομπής.....	139
Σχήμα 6-6. Διάγραμμα ροής αλγορίθμου ενδομορφικής διαπομπής.....	140
Σχήμα 6-7. Σηματοδοσία διαδικασίας ενδομορφικής διαπομπής.....	142
Σχήμα 6-8. Σενάρια διαμορφικής διαπομπής	143
Σχήμα 6-9. Γενικός αλγόριθμος διαμορφικής διαπομπής.....	144
Σχήμα 6-10. Αλγόριθμος διαμορφικής διαπομπής από BSwA σε BSla	148
Σχήμα 6-11. Αλγόριθμος διαμορφικής διαπομπής από BSla σε BSwA	149
Σχήμα 6-12. Διαδικασία κεντροποιημένης διαπομπής	151
Σχήμα 6-13. Σηματοδοσία διαδικασίας κεντροποιημένης διαπομπής.....	152
Σχήμα 6-14. Διαδικασία κατανεμημένης διαπομπής.....	154
Σχήμα 6-15. Σηματοδοσία διαδικασίας κατανεμημένης διαπομπής.....	155
Σχήμα 6-16. Διαδικασία υβριδικής διαπομπής.....	157
Σχήμα 6-17. Σηματοδοσία διαδικασίας υβριδικής διαπομπής.....	158
Σχήμα 6-18. Διαδικασία μείγματος διαπομπής.....	161
Σχήμα 6-19. Πρώτο βήμα μείγματος διαπομπής	162
Σχήμα 6-20. Δεύτερο βήμα μείγματος διαπομπής.....	163
Σχήμα 7-1. Οντότητες του κινητού τερματικού που χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις.....	168
Σχήμα 7-2. Εσωτερικές οντότητες ασύρματης πρόσβασης (αριστερά) και επιπέδου δικτύου (δεξιά).....	168
Σχήμα 7-3. Τοπολογία κατανεμημένης αρχιτεκτονικής προσομοιώσεων.....	173
Σχήμα 7-4. Τοπολογία κεντροποιημένης και υβριδικής αρχιτεκτονικής προσομοιώσεων.....	174

Σχήμα 7-5. Λαμβανόμενος ρυθμός δεδομένων για τον κινούμενο και έναν ακίνητο χρήστη – κατανεμημένη διαπομπή – χαμηλό φορτίο.....	180
Σχήμα 7-6. Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ενός σταθμού βάσης – κατανεμημένη διαπομπή – χαμηλό φορτίο.	181
Σχήμα 7-7. Στάθμη λαμβανόμενου σήματος από τον κινούμενο χρήστη – κατανεμημένη διαπομπή – χαμηλό φορτίο.....	182
Σχήμα 7-8. Χρόνος κατανεμημένης διαπομπής (handover latency) – χαμηλό φορτίο.....	183
Σχήμα 7-9. Χρόνος κατανεμημένης διαπομπής – μέσο φορτίο.....	184
Σχήμα 7-10. Λαμβανόμενος ρυθμός δεδομένων από τον κινούμενο χρήστη – μέσο φορτίο – κατανεμημένη διαπομπή.....	185
Σχήμα 7-11. Χρόνος κατανεμημένης διαπομπής (handover latency) – υψηλό φορτίο.....	186
Σχήμα 7-12. Λαμβανόμενος ρυθμός δεδομένων κινούμενου χρήστη - υψηλό φορτίο – κατανεμημένη διαπομπή.....	187
Σχήμα 7-13. Χρόνος κατανεμημένης διαπομπής (handover latency) – συνολική εκτίμηση.....	188
Σχήμα 7-14. Μέσος χρόνος κατανεμημένης διαπομπής (handover latency) – συνολικά.....	188
Σχήμα 7-15. Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ενός σταθμού βάσης – κατανεμημένη διαπομπή – συνολικά.....	189
Σχήμα 7-16. Λαμβανόμενος ρυθμός δεδομένων του κινούμενου χρήστη – κατανεμημένη διαπομπή - συνολικά.....	189
Σχήμα 7-17. Στάθμη λαμβανόμενου σήματος κινούμενου χρήστη – κατανεμημένη διαπομπή - συνολικά.....	190
Σχήμα 7-18. Χρόνος κεντροποιημένης διαπομπής (handover latency) – χαμηλό φορτίο.....	191
Σχήμα 7-19. Στάθμη λαμβανόμενου σήματος κινούμενου χρήστη – κεντροποιημένη διαπομπή – χαμηλό φορτίο.....	192
Σχήμα 7-20. Χρόνος κεντροποιημένης διαπομπής (handover latency) – μέσο φορτίο.....	193
Σχήμα 7-21. Χρόνος κεντροποιημένης διαπομπής (handover latency) – υψηλό φορτίο.....	194
Σχήμα 7-22. Λαμβανόμενος ρυθμός δεδομένων κινούμενου χρήστη – κεντροποιημένη διαπομπή - υψηλό φορτίο.....	195
Σχήμα 7-23. Σύνδεση κινούμενου χρήστη με τους σταθμούς βάσης.....	196
Σχήμα 7-24. Χρόνος κεντροποιημένης διαπομπής - συνολικά.....	197
Σχήμα 7-25. Μέσος χρόνος κεντροποιημένης διαπομπής - συνολικά.....	197
Σχήμα 7-26. Λαμβανόμενος ρυθμός δεδομένων κινούμενου χρήστη – κεντροποιημένη διαπομπή - συνολικά.....	198
Σχήμα 7-27. Χρόνος υβριδικής διαπομπής.....	199
Σχήμα 7-28. Μέσος χρόνος υβριδικής διαπομπής.....	199
Σχήμα 7-29. Καθυστέρηση λήψης πακέτων κινούμενου χρήστη –υβριδική διαπομπή.....	200
Σχήμα 7-30. Λαμβανόμενη στάθμη σήματος – υβριδική διαπομπή.....	201
Σχήμα 7-31. Λαμβανόμενη στάθμη σήματος – υβριδική διαπομπή.....	201
Σχήμα 7-32. Χρόνος υβριδικής διαπομπής – ταχύτητα 10m/s.....	202
Σχήμα 7-33. Μέσος χρόνος υβριδικής διαπομπής – ταχύτητα 10m/s.....	202
Σχήμα 7-34. Χρόνος διαφόρων μεθόδων διαπομπής 802.11.....	204

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 3-1. Αναφορές του HIS.....	64
Πίνακας 4-1. Τάξεις υπηρεσιών	76
Πίνακας 5-1. Χαρακτηριστικά χρηστών δημιουργούμενων από την γεννήτρια	99
Πίνακας 5-2. Χαρακτηριστικά της τοπολογίας	102
Πίνακας 5-3. Χαρακτηριστικά τάξεων υπηρεσιών για την προσομοίωση	106
Πίνακας 5-4. Αντιστοίχιση των υπηρεσιών στα δίκτυα	106
Πίνακας 5-5. Υπολογισμός σταθμισμένης μέσης διάρκειας κλήσεων	107
Πίνακας 5-6. Υπολογισμός εισερχόμενης κίνησης σε erlangs	108
Πίνακας 5-7. Υπολογισμός μέσης δημιουργούμενης κίνησης ανά κυψέλη και χρήστη	108
Πίνακας 5-8. Υπολογισμός εισερχόμενης κίνησης για διάφορους ρυθμούς χρηστών ανά δευτερόλεπτο	109
Πίνακας 7-1. Παράμετροι της τοπολογίας	172
Πίνακας 7-2. Παράμετροι της υπηρεσίας που λαμβάνουν οι χρήστες	175
Πίνακας 7-3. Μηνύματα καταναμημένης διαπομπής	177
Πίνακας 7-4. Περιεχόμενα βασικών μηνυμάτων διαπομπής.....	177
Πίνακας 7-5. Περιεχόμενα μηνυμάτων RTTM	178
Πίνακας 7-6. Μέσες τιμές μετρούμενων μεγεθών – χαμηλό φορτίο – καταναμημένη διαπομπή.....	183
Πίνακας 7-7. Μέσες τιμές μετρούμενων μεγεθών – μέσο φορτίο – καταναμημένη διαπομπή.....	184
Πίνακας 7-8. Μέσες τιμές μετρούμενων μεγεθών – υψηλό φορτίο – καταναμημένη διαπομπή	187
Πίνακας 7-9. Μέσες τιμές μετρούμενων μεγεθών – χαμηλό φορτίο – κεντροποιημένη διαπομπή.....	191
Πίνακας 7-10. Μέσες τιμές μετρούμενων μεγεθών – μέσο φορτίο – κεντροποιημένη διαπομπή.....	193
Πίνακας 7-11. Μέσες τιμές μετρούμενων μεγεθών – υψηλό φορτίο – κεντροποιημένη διαπομπή	194
Πίνακας 7-12. Συγκεντρωμένα αποτελέσματα χρόνων διαπομπής.....	203
Πίνακας 7-13. Χρόνος διαπομπής άλλων μεθόδων για το 802.11	204

1. Εισαγωγή – Σκοπός της διατριβής

1.1 Γενικά - Στόχοι

Οι ασύρματες επικοινωνίες έχουν μπει για τα καλά στη ζωή μας τα τελευταία χρόνια. Ενώ οι κινητές επικοινωνίες έχουν αναπτυχθεί πάρα πολλά χρόνια πιο πριν, μόλις την τελευταία δεκαετία έχουν γίνει ιδιαίτερα γνωστές στο ευρύ κοινό. Αυτό ισχύει κυρίως για τα κινητά τηλέφωνα και την κινητή τηλεφωνία, η οποία παρουσιάζει τρομερή ανάπτυξη στις μέρες μας, μιας και κάθε άνθρωπος πλέον έχει ένα κινητό τηλέφωνο. Η ευρεία ανάπτυξη και χρήση του δικτύου GSM (Global System for Mobile Communications) ήταν ένα πρώτο βήμα για την περαιτέρω ενασχόληση των επιστημόνων με τις κινητές επικοινωνίες, προσπαθώντας να δώσουν νέα στοιχεία στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Το GSM θεωρείται ως ο κλασικός αντιπρόσωπος της 2^{ης} γενιάς (2nd generation – 2G) των δικτύων κινητών επικοινωνιών.

Καθώς το GSM χρησιμοποιείται κυρίως για τηλεφωνία, αναπτύχθηκε σιγά σιγά η ανάγκη για τη δημιουργία ασύρματων δικτύων που βασικός τους στόχος να είναι η παροχή υπηρεσιών δεδομένων. Γι' αυτό το λόγο αναπτύχθηκαν τα ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής (wireless local area networks – WLANs) τα οποία μπορούσαν να παρέχουν απίστευτα υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων σε σχέση με τις ταχύτητες του GSM. Το πρόβλημα με τα WLANs ήταν ότι, όπως περιγράφει και το όνομά τους, μπορούν να αναπτυχθούν και να λειτουργήσουν μόνο σε τοπικές περιοχές, δηλαδή έχουν πολύ μικρή εμβέλεια μερικές δεκάδες μέτρα, επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για την κάλυψη μικρών χώρων, κυρίως στο εσωτερικό κτιρίων, π.χ. για την ασύρματη δικτύωση μιας εταιρίας. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκε το UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) το οποίο ανήκει στην τρίτη γενιά (3G) των δικτύων κινητών επικοινωνιών. Το UMTS είναι ένα δίκτυο που αναπτύσσεται σε μεγάλες περιοχές, παρόμοια με το GSM, αλλά ταυτόχρονα προσφέρει πολύ υψηλότερες ταχύτητες στη μετάδοση δεδομένων σε σχέση με το GSM.

Η ανάπτυξη του διαδικτύου (internet) έφερε νέες απαιτήσεις για τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Πλέον έχουν αναπτυχθεί υπηρεσίες τις οποίες δεν μπορούν να ικανοποιήσουν τα υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα. Η ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service) είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στα ασύρματα δίκτυα, μιας και οι πόροι τους είναι περιορισμένοι λόγω της φύσεως των ασύρματων ζεύξεων. Η ποιότητα υπηρεσίας είναι ένας δείκτης που καθορίζει τις απαιτήσεις που έχει κάθε υπηρεσία για την επιτυχή μετάδοσή της μέσα από ένα δίκτυο με τρόπο που θα ικανοποιεί το χρήστη. Ενώ αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου οι υπηρεσίες που προσφέρουν τα κινητά δίκτυα, αλλάζουν και οι απαιτήσεις σε σχέση με την ποιότητα των υπηρεσιών.

Τα μελλοντικά ασύρματα δίκτυα τέταρτης γενιάς θα προσφέρουν υπηρεσίες υψηλών ταχυτήτων σε προσωπικές επικοινωνίες πραγματικού χρόνου βασισμένες στο πρωτόκολλο IP (IP-based). Η

ποιότητα των υπηρεσιών που θα παρέχουν τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς θα είναι εξαιρετική, αφού βασικός τους στόχος είναι η παροχή νέων υπηρεσιών που να ικανοποιούν τους χρήστες. Επειδή όμως υπάρχουν ήδη ανεπτυγμένα τα δίκτυα 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς και τα WLANs τα νέα δίκτυα θα πρέπει να κατασκευαστούν με τρόπο που να επιτρέπει τη συνεργασία με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα, ώστε να μη δημιουργηθεί πρόβλημα στη μετάβαση σε αυτά.

Οι μηχανισμοί οι οποίοι διαχειρίζονται τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών ονομάζονται μηχανισμοί διαχείρισης ασύρματων πόρων (Radio Resource Management - RRM mechanisms). Αυτοί οι μηχανισμοί είναι οι κύριοι υπεύθυνοι για τη σωστή λειτουργία των δικτύων και την παροχή καλής ποιότητας υπηρεσιών στους χρήστες. Οι μηχανισμοί RRM θα είναι και αυτοί που θα διευκολύνουν τη συνεργασία των νέων δικτύων 4^{ης} γενιάς με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα. Τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς είτε επειδή θα συνεργάζονται με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα είτε επειδή συμπεριλαμβάνουν διάφορες τεχνολογίες ονομάζονται και ετερογενή (heterogeneous) δίκτυα.

Μια μεγάλη πρόκληση για τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς είναι σχετική με την αρχιτεκτονική τους, η οποία θα πρέπει να είναι ανοικτή και ευέλικτη, ώστε να μπορεί να υποστηρίζει διάφορα είδη υπηρεσιών, κινητών τερματικών και δικτύων. Ο πρωταρχικός στόχος είναι η διαφάνεια της ετερογένειας των δικτύων στους χρήστες. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης που θα λαμβάνει μια υπηρεσία και θα κινείται σε μια περιοχή δε θα πρέπει να καταλαβαίνει σε ποιο δίκτυο θα είναι συνδεδεμένος κάθε χρονική στιγμή, παρά μόνο το ότι λαμβάνει την υπηρεσία που απαιτεί με ικανοποιητική ποιότητα. Ένας άλλος στόχος είναι η ανεξαρτησία της αρχιτεκτονικής του συστήματος από την ασύρματη τεχνολογία.

Σκοπός της παρούσης διδακτορικής διατριβής είναι η ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής ενός δικτύου ασύρματων επικοινωνιών 4^{ης} γενιάς, η οποία να μπορεί να δίνει τη δυνατότητα στο δίκτυο να συνυπάρχει και να συνεργάζεται με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς και τα διάφορα WLANs. Επιπλέον, η αρχιτεκτονική που αναπτύχθηκε είναι αρκετά ανοικτή και ευέλικτη, ώστε να μπορούν και άλλα μελλοντικά δίκτυα να συνδεθούν με αυτή και να συνεργάζονται με το δίκτυό μας χωρίς προβλήματα.

Η παρούσα διατριβή εστιάζει στο πρόβλημα της αρχιτεκτονικής διαχείρισης ασύρματων ραδιοπόρων σε μελλοντικά δίκτυα 4^{ης} γενιάς με διπλό στόχο. Πρώτα ασχολούμαστε με το θέμα της συνεργασίας του δικτύου με τα υπόλοιπα ασύρματα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε η αρχιτεκτονική συνεργασίας του δικτύου μας με τις διάφορες οντότητες και τις λειτουργίες τους. Στη συνέχεια η αρχιτεκτονική αυτή βελτιστοποιήθηκε με τη σύγκρισή της με άλλες αντίστοιχες αρχιτεκτονικές άλλων ευρωπαϊκών προγραμμάτων, με σκοπό τη δημιουργία μιας κοινής αρχιτεκτονικής για τη συνεργασία ασύρματων δικτύων 4^{ης} γενιάς. Η τελική αυτή αρχιτεκτονική συνεργασίας είναι και αυτή που ενστερνίστηκε η ευρωπαϊκή αρχή Wireless World Initiative (WWI) ως βασική μελλοντική αρχιτεκτονική των δικτύων κινητών επικοινωνιών.

Με βάση την αρχιτεκτονική συνεργασίας αναπτύχθηκε ένας βασικός μηχανισμός διαχείρισης ραδιοπόρων που είναι σημαντικός για την σωστή λειτουργία δικτύων. Ο μηχανισμός αυτός είναι ο μηχανισμός ελέγχου αποφυγής συμφόρησης (Congestion Avoidance Control – CAC) και ο οποίος αποτελείται από δυο επιμέρους μηχανισμούς τον έλεγχο αποδοχής (Admission Control – AC) και τον έλεγχο φορτίου/συμφόρησης (Load/Congestion Control – LC/CC). Ο μηχανισμός που αναπτύχθηκε έχει ως σκοπό την σωστή λειτουργία ενός δικτύου 4^{ης} γενιάς με σκοπό την αποφυγή της συμφόρησής του και την παροχή της απαιτούμενης ποιότητας υπηρεσίας στους χρήστες. Η επιλογή των υποψηφίων δικτύων για την πρόσβαση του χρήστη με βάση αρκετούς παράγοντες, ο έλεγχος των υποψηφίων δικτύων σε σχέση με την κατάστασή τους και την διαθεσιμότητά τους σε ασύρματους πόρους, ο έλεγχος για αποφυγή συμφόρησης των υποψηφίων δικτύων, η προσαρμοστικότητα του μηχανισμού ανάλογα με το προφίλ του χρήστη, η υποστήριξη ελέγχου του φορτίου με την πραγματοποίηση διασυστημικών διαπομπών για την απελευθέρωση πόρων είναι μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά του καινοτόμου αυτού μηχανισμού.

Το δεύτερο επίπεδο στο οποίο στοχεύσαμε στην παρούσα διατριβή ήταν η ανάπτυξη της εσωτερικής αρχιτεκτονικής διαχείρισης πόρων του δικτύου 4^{ης} γενιάς και στη συνέχεια η ανάπτυξη αλγορίθμων διαπομπής (handover) για το νέο δίκτυο επικοινωνιών 4^{ης} γενιάς και ο έλεγχος της αποδοτικότητάς τους. Τα τρέχοντα ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής (WLANs) χρησιμοποιούν κυρίως κατανεμημένες αρχιτεκτονικές διαχείρισης ραδιοπόρων, με απλοποιημένες λειτουργίες συστήματος, ώστε να επιτύχουν ανάπτυξη χαμηλού κόστους και ευελιξίας. Από την άλλη μεριά, τα καθιερωμένα δίκτυα κυψελωτών κινητών επικοινωνιών 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς χρησιμοποιούν μια κεντροποιημένη αρχιτεκτονική για να παρέχουν ανεπτυγμένες λειτουργίες συστήματος. Εντούτοις, τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια αυξανόμενη τάση για τη βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων (π.χ. για την επίτευξη μεγαλύτερου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων), όπως και για τη μείωση του κόστους με τη μείωση του αριθμού των οντοτήτων ενός δικτύου σε μια πιο αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική.

Για την ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής του δικτύου 4^{ης} γενιάς εμείς λάβαμε υπόψη μας και τους δυο τρόπους αρχιτεκτονικής που προαναφέρθηκαν δημιουργώντας αντίστοιχες περιπτώσεις ανάπτυξης της αρχιτεκτονικής του δικτύου μας. Αφού αναλύσαμε τα ωφέλη της κάθε αρχιτεκτονικής αναπτύξαμε μια υβριδική αρχιτεκτονική που να χρησιμοποιεί τα καλύτερα στοιχεία από τις άλλες δυο και να είναι ευέλικτη και να παίρνει σωστές και γρήγορες αποφάσεις. Προς την ίδια κατεύθυνση οδηγήθηκε και η έρευνά μας για την αξιοποίηση της αρχιτεκτονικής αυτής για την ανάπτυξη μηχανισμών διαπομπής. Ο μηχανισμός της διαπομπής είναι αυτός που διατηρεί την υπηρεσία και την ποιότητα της υπηρεσίας που λαμβάνει ο χρήστης ανέπαφη καθώς ο χρήστης μετακινείται μέσα στην περιοχή κάλυψης ενός δικτύου κινητών επικοινωνιών. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς παρέχουν υπηρεσίες υψηλών ταχυτήτων. Ένας βασικός σκοπός μας ήταν η ανάπτυξη μηχανισμών διαπομπής που να επιτυγχάνουν γρήγορες διαπομπές, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του χρόνου κατά τον οποίο το κινητό τερματικό δεν λαμβάνει την υπηρεσία του (διακοπή της υπηρεσίας κατά την αλλαγή κυψέλης/σταθμού

βάσης), την ελαχιστοποίηση των χαμένων πακέτων λόγω της διαπομπής και την βέλτιστη χρήση των ραδιοπόρων του δικτύου. Οι μηχανισμοί διαπομπής που αναπτύχθηκαν ελέγχθηκαν για την αποδοτικότητά τους και στους τρεις τύπους αρχιτεκτονικής.

1.2 Διάρθρωση της διατριβής

Στα επόμενα κεφάλαια αναπτύσσονται εκτεταμένα τα θέματα που περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Η διάρθρωση της διατριβής έχει ως εξής:

- 1^ο κεφάλαιο: Εισαγωγή – σκοπός της διατριβής: γίνεται μια γενική περιγραφή των ασύρματων δικτύων με έμφαση στην 4^η γενιά. Αναλύονται σε γενικές γραμμές τα αίτια που μας οδήγησαν στην έρευνα που περιγράφεται σε αυτή τη διατριβή και τα προβλήματα που υπάρχουν στα ήδη υπάρχοντα δίκτυα, δίνοντας επίσης μια πρώτη γεύση από τις λύσεις που προτείνουμε.
- 2^ο κεφάλαιο: Ανασκόπηση αρχιτεκτονικών διασυνεργασίας ετερογενών ασύρματων συστημάτων: εδώ γίνεται μια γενική αναφορά για τα ετερογενή μελλοντικά δίκτυα και παρουσιάζονται ήδη υπάρχουσες λύσεις για την διασυνεργασία ετερογενών συστημάτων.
- 3^ο κεφάλαιο: Αρχιτεκτονική διαχείρισης ασύρματων πόρων ενός δικτύου 4ης γενιάς : γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση της αρχιτεκτονικής του δικτύου 4^{ης} γενιάς, περιγράφοντας τις οντότητες του δικτύου, τις διάφορες εκδοχές της αρχιτεκτονικής, τις λειτουργίες της κάθε οντότητας και την επέκταση της αρχιτεκτονικής, ώστε το δίκτυο να μπορεί να συνεργάζεται με τα ήδη υπάρχοντα ή άλλα μελλοντικά δίκτυα.
- 4^ο κεφάλαιο: έλεγχος αποφυγής συμφόρησης: σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση του αλγορίθμου ελέγχου αποφυγής συμφόρησης για ετερογενή δίκτυα και αναφέρεται στην εφαρμογή του μηχανισμού για τη συνεργασία του δικτύου 4^{ης} γενιάς με τα υπόλοιπα δίκτυα.
- 5^ο κεφάλαιο: αποτίμηση αλγορίθμου ελέγχου αποφυγής συμφόρησης: σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις του ετερογενούς αλγορίθμου ελέγχου αποφυγής συμφόρησης.
- 6^ο κεφάλαιο: διαχείριση κινητικότητας: σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται εκτενής ανάλυση των πολλών διαφορετικών αλγορίθμων διαπομπής που υλοποιήθηκαν, με έμφαση στην άμεση σχέση τους με την αρχιτεκτονική του δικτύου.
- 7^ο κεφάλαιο: αποτίμηση αλγορίθμων διαχείρισης κινητικότητας: γίνεται αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων των διαδικασιών διαπομπής για το μελλοντικό δίκτυο και στις τρεις περιπτώσεις της αρχιτεκτονικής του δικτύου.

- 8^ο κεφάλαιο: συμπεράσματα: σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται τα επόμενα βήματα για την τελική διατριβή και οι επόμενες σκέψεις μας για επέκταση των αλγορίθμων.

2. Ανασκόπηση αρχιτεκτονικών διασυνεργασίας ετερογενών ασύρματων συστημάτων

Τα μελλοντικά ασύρματα δίκτυα τέταρτης γενιάς θα προσφέρουν υπηρεσίες υψηλών ταχυτήτων σε προσωπικές επικοινωνίες πραγματικού χρόνου βασισμένες στο πρωτόκολλο IP (IP-based) [1][2][3]. Τέτοια συστήματα θα συμπεριλαμβάνουν, όχι μόνο νέες τεχνολογίες και νέα δίκτυα που θα αναπτυχθούν ή βρίσκονται στο στάδιο ανάπτυξής τους, αλλά θα συνυπάρχουν και θα συνεργάζονται και με τα υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα, τα οποία πλέον ονομάζονται “δίκτυα κληρονομιάς” (legacy networks) [4][5]. Για να γίνει δυνατή αυτή η συνύπαρξη και η συνεργασία, θα πρέπει να υπάρχει κάποιου είδους διασύνδεση μεταξύ των υποδικτύων και των ασύρματων τεχνολογιών πρόσβασης. Η συμπαγής διασύνδεση (tight coupling) μεταξύ των δικτύων μπορεί να βοηθήσει πάρα πολύ στην ομαλή συνεργασία τους και να αποφέρει βελτιστοποίηση στην προσφερόμενη χωρητικότητα του συνολικού συστήματος [6][7][8]. Επίσης, η τεχνολογία αναδιαμόρφωσης (reconfiguration technology) επιβοηθεί στην προσαρμογή της ασύρματης διεπαφής στην κάθε μια από τις εμπλεκόμενες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης (Radio Access Technologies – RATs) [9][10][11].

Οι μηχανισμοί διαχείρισης ασύρματων πόρων (Radio Resource Management - RRM mechanisms) έχουν εξεταστεί εκτενώς τα προηγούμενα χρόνια με στόχο τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας των πόρων για συγκεκριμένες όμως τεχνολογίες, επομένως οι αρχιτεκτονικές που έχουν αναπτυχθεί είναι βελτιστοποιημένες για ένα δίκτυο που λειτουργεί πάνω σε μια μονοεπίπεδη τεχνολογία. Στα μελλοντικά ετερογενή ασύρματα δίκτυα θα υπάρχουν πολλές τεχνολογίες που θα εμπλέκονται, επομένως οι μηχανισμοί διαχείρισης ασύρματων πόρων θα πρέπει να συνεργάζονται με όλες αυτές τις τεχνολογίες και θα αποσκοπούν στη μεγιστοποίηση της συνολικής χωρητικότητας του δικτύου και την ομαλή λειτουργία του [12].

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση των υπάρχοντων αρχιτεκτονικών συνεργασίας μεταξύ ασύρματων δικτύων. Πρώτα γίνεται μια αναφορά στους τύπους σύζευξης (coupling) και στη συνέχεια σε 3 υπάρχουσες αρχιτεκτονικές.

2.1 Χαρακτηριστικά μελλοντικών δικτύων 4^{ης} γενιάς

Τα μελλοντικά δίκτυα 4^{ης} γενιάς θα είναι δίκτυα βασισμένα στο πρωτόκολλο IP, το οποίο θα είναι και το δίκτυο κορμού τους και θα χρησιμοποιείται για τη γενική δρομολόγηση. Τα μελλοντικά δίκτυα θα είναι ετερογενή αποτελούμενα από πολλά δίκτυα διαφόρων τεχνολογιών που θα συνυπάρχουν και θα συνεργάζονται μεταξύ τους, υποστηρίζοντας δυνατότητες όπως δυναμική διαπομπή, δρομολόγηση ad-hoc, αλλά και νέες απαιτήσεις, όπως ίδια-οργάνωση (self-organization),

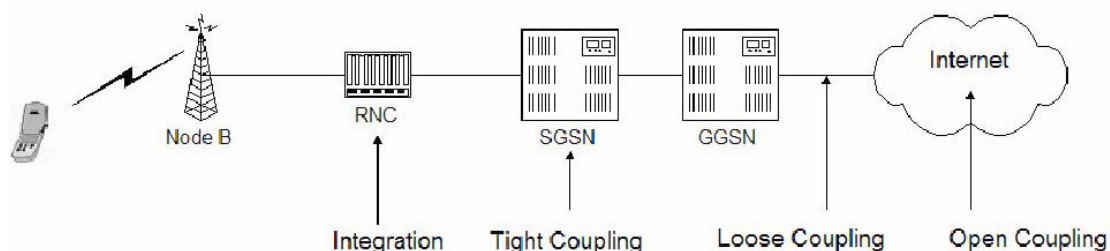
ποιότητα υπηρεσιών, πολυεκπομπή (multicasting), αποθήκευση περιεχομένου κ.α. Μερικά από τα χαρακτηριστικά των ετερογενών μελλοντικών δικτύων 4^{ης} γενιάς είναι τα παρακάτω [2]:

- **Ευρυζωνικότητα.** Τα δίκτυα θα πρέπει να μπορούν να μεταφέρουν όλων των ειδών τις πληροφορίες (εικόνες, βίντεο, μεγάλα αρχεία) με μεγάλες ταχύτητες. Γι' αυτό απαιτούνται 100MHz φάσματος για τον κάθε διαχειριστή δικτύου για υπηρεσίες φωνής και δεδομένων 4^{ης} γενιάς.
- **Κινητικότητα.** Με τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς ο κάθε χρήστης θα μπορεί να λαμβάνει ασύρματες υπηρεσίες υψηλών ταχυτήτων ακόμα και στο αυτοκίνητό του ή στο τρένο ή γενικά όταν βρίσκεται εν κινήσει χωρίς να διακόπτονται οι υπηρεσίες του.
- **Περιοχή μεταξύ διαφόρων δικτύων.** Η κινητικότητα που αναφέρθηκε πιο πάνω μπορεί να υποστηριχθεί δύσκολα από ένα και μόνο δίκτυο, επομένως η περιοχή είναι πολύ αναγκαία για τη διατήρηση της σύνδεσης του χρήστη και της λήψης της υπηρεσίας του. Η περιοχή μεταξύ δικτύων γίνεται με τη διαδικασία της διαπομπής, η οποία θα πρέπει να είναι πολύ γρήγορη και ομαλή και μη αντιληπτή (όσο το δυνατόν) από την πλευρά του χρήστη.
- **Σύγκλιση.** Ο χρήστης θα πρέπει να μπορεί να έχει πρόσβαση στο δίκτυο από πολλές διαφορετικές πλατφόρμες, δηλαδή κινητά τηλέφωνα, υπολογιστές, PDAs κ.α.
- **Αποδοτικότητα.** Τα μελλοντικά δίκτυα θα πρέπει να είναι πολύ αποδοτικά όχι μόνο από πλευράς κόστους, αλλά και από πλευράς φάσματος, κυρίως με τη χρήση της τεχνολογίας OFDM. Επιπλέον, η τεχνολογία βασισμένη στο IP θα προσφέρει μια λύση χαμηλού κόστους.
- **Πρόσβαση σε όλες τις περιοχές.** Με τα ασύρματα συστήματα κάθε κινητός χρήστης μπορεί να επικοινωνήσει και να επικοινωνήσουν μαζί του από σχεδόν οποιαδήποτε περιοχή και οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Για να γίνει αυτό πραγματικότητα με χαμηλό κόστος θα πρέπει να εγκατασταθούν ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα μεγάλων περιοχών.
- **Εναρμονισμός των δικτύων.** Μιας και δεν υπάρχει ένα μοναδικό δίκτυο που να καλύπτει όλη τη γη, αλλά υπάρχουν πολλά δίκτυα μικρότερης εμβέλειας, για να λειτουργούν όλα αυτά μαζί, τα οποία έχουν διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης, θα πρέπει να εναρμονιστούν σε ένα ετερογενές δίκτυο. Έτσι θα πρέπει να φτιαχτεί ένα δίκτυο ευρείας ζώνης, μεγάλης χωρητικότητας και υψηλής ποιότητας που να μπορεί να προσφέρει κάθε υπηρεσία που να επιθυμούν οι χρήστες.

2.2 Σύζευξη μεταξύ UMTS και WLAN

Η συνεργασία μεταξύ WLAN και UMTS ξεκίνησε αρχικά από το ETSI / BRAN [8] και συνεχίζεται από τη 3GPP [13][14]. Για αυτή τη διασύνδεση έχουν εξεταστεί διάφορα επίπεδα συνεργασίας και σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Γενικά, έχουν εξεταστεί δυο διαφορετικές μέθοδοι διασύνδεσης, η ελεύθερη σύζευξη (loose coupling) και η στενή σύζευξη (tight coupling). Από μια αφ' υψηλού ματιά, η βασική διαφορά είναι ο τρόπος με τον οποίο το WLAN συνδέεται πάνω στο δίκτυο του UMTS. Η επιλογή του τρόπου διασύνδεσης βασίζεται κυρίως στην ανταλλαγή μεταξύ του απαιτούμενου βαθμού των αλλαγών στα στάνταρ, του βαθμού της ομαλής συνδιάζευξης και του πλήθους της κοινής υποδομής [12].

Η επόμενη εικόνα [15] παρουσιάζει το βαθμό σύζευξης ανάλογα με το σημείο στο οποίο το WLAN επικολλάται πάνω στο δίκτυο του UMTS. Τα διάφορα σενάρια διασύνδεσης μεταξύ WLAN και UMTS έχουν εξεταστεί και στο πλαίσιο των ευρωπαϊκών προγραμμάτων SCOUT [16] και MIND [17].



Σχήμα 2-1. Βαθμός διασύνδεσης σε σχέση με το σημείο επικόλλησης του WLAN [15]

2.2.1 Καθόλου σύζευξη

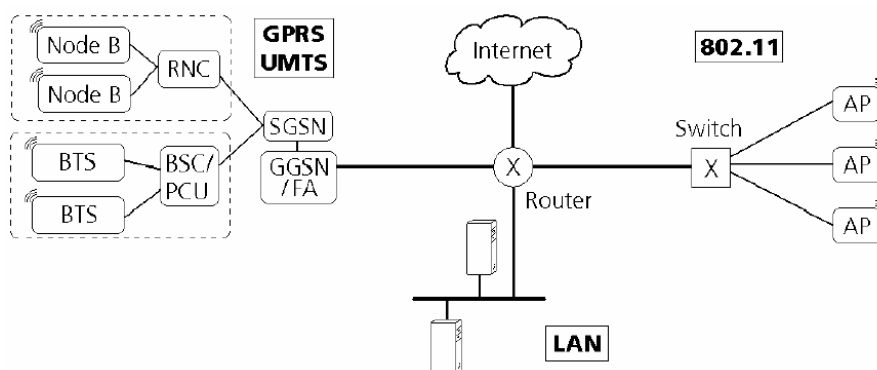
Σε αυτό το σενάριο [15][18], που ονομάζεται και ανοιχτή σύζευξη (open coupling) στην εικόνα, δεν υπάρχει πραγματική ενοποίηση μεταξύ των ασυρμάτων τεχνολογιών:

- Η τρέχουσα σύνδεση του χρήστη θα πρέπει πάντα να τερματιστεί πριν ο χρήστης εισέλθει στη νέα τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης
- Ομαλή διαπομπή (handover) δεν μπορεί ποτέ να συμβεί
- Τα δίκτυα WLAN και UMTS θεωρούνται ως δυο ανεξάρτητα συστήματα
- Χρησιμοποιούνται διαφορετικές διαδικασίες πιστοποίησης (π.χ. στο UMTS με τη SIM και στο WLAN με χρήση αναγνωριστικών ονόματος και κωδικού)

2.2.2 Ελεύθερη σύζευξη

Στο σενάριο της ελεύθερης σύζευξης (loose coupling) [8][18][19], που απεικονίζεται στην επόμενη εικόνα, υπάρχει μια κοινή βάση δεδομένων πελατών και μια κοινή διαδικασία πιστοποίησης.

- Ο φορέας του δικτύου έχει ακόμα τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί την ίδια βάση συνδρομητών για τους υπάρχοντες χρήστες του UMTS και τους νέους χρήστες του WLAN.
- Η ελεύθερη σύζευξη δεν επιτρέπει διασυστημική διαπομπή (intersystem handover)
- Επιτρέπει κεντρικό σύστημα χρέωσης και συντήρησης των διαφόρων τεχνολογιών.
- Η ελεύθερη σύζευξη θεωρείται πως χρησιμοποιεί το ένα δίκτυο (WLAN) ως συμπληρωματικό του τρέχοντος δικτύου (UMTS)
- Αποφεύγεται η χρήση των SGSN και GGSN κόμβων του UMTS
- Αυτή η σύζευξη θεωρείται από πολλούς ως η καλύτερη λύση για την ανταλλαγή μεταξύ πολυπλοκότητας των δικτύων και απόδοσης.

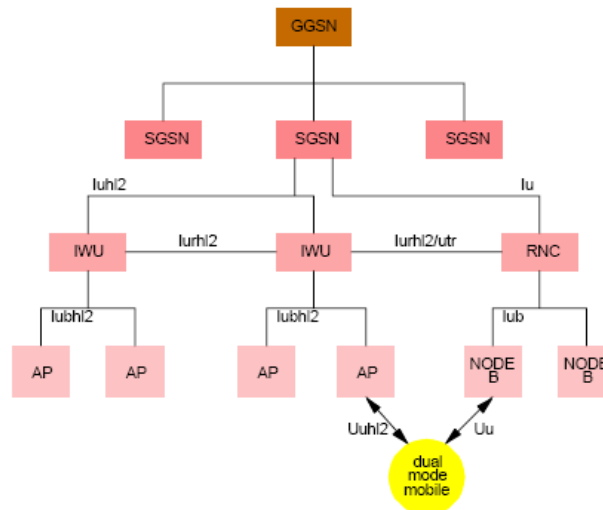


Σχήμα 2-2. Ελεύθερη σύζευξη

2.2.3 Στενή σύζευξη

Τα βασικά χαρακτηριστικά του σεναρίου στενής σύζευξης (tight coupling) είναι τα ακόλουθα [8]:

- Δυνατότητα ομαλής διαπομπής μεταξύ UMTS και WLAN. Αυτή είναι η βασική διαφορά με την ελεύθερη σύζευξη
- Απαιτείται επιπλέον τυποποίηση
- Οι επιπρόσθετες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης συνδέονται με τον κορμό του UMTS δικτύου με τον ίδιο τρόπο όπως οποιοδήποτε άλλη τεχνολογία του UMTS (UTRAN, GERAN), μέσω του κόμβου SGSN, χρησιμοποιώντας τις διεπαφές Iu.



Σχήμα 2-3. Στενή σύζευξη [8]

2.2.4 Πολύ στενή σύζευξη

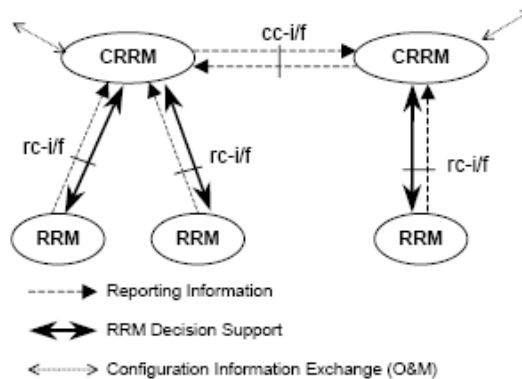
Η πολύ στενή σύζευξη είναι παρόμοια με την στενή σύζευξη σε σχέση με την ομαλή διαπομπή. Σε αυτή την περίπτωση όμως το WLAN μπορεί να θεωρηθεί ως μια κυψέλη διαχειριζόμενη σε επίπεδο του RNC (Radio Network Controller) [20]. Αυτή η περίπτωση δεν είναι πολύ διαδεδομένη λόγω πολλών προβλημάτων σε θέματα παρεμβολών και άλλων θεμάτων που ακόμα δεν έχουν μελετηθεί εκτενώς. Απλά θα πρέπει να τονιστεί πως από πλευράς χρήστη θα ήταν η ιδανική περίπτωση.

2.3 Κοινή διαχείριση ασύρματων πόρων

Η κοινή διαχείριση ασύρματων πόρων (Common RRM - CRRM) είναι μια λύση που αναπτύχθηκε από τα γκρουπ της 3GPP και του GERAN ώστε να κάνουν τα δίκτυα του UMTS και του GSM/GPRS να συνεργάζονται. Η CRRM είναι ένας μηχανισμός για έξυπνη κατανομή της κίνησης μεταξύ των συστημάτων, προσφέροντας δυνατότητα για την αύξηση της συνολικής χωρητικότητας του δικτύου και της αντιλαμβανόμενης από τον χρήστη ποιότητας υπηρεσίας. Υπάρχουν ακόμα και διαδικασίες για διασυστημική διαπομπή, που όμως μπορεί να αποτύχει λόγω υψηλού φορτίου στην κυψέλη στόχο. Επίσης, υπάρχει και η δυνατότητα ανταλλαγής πληροφοριών για το φορτίο των κυψελών του κάθε δικτύου [22][23][24].

Για τη διασύνδεση των δυο δικτύων έχει αναπτυχθεί η θεωρία των “ομάδων ασύρματων ραδιοπόρων”, με βάση την οποία, υπάρχει ένας κοινός εξυπηρετητής διαχείρισης ασύρματων πόρων (CRRM server) μεταξύ των δυο δικτύων. Ο CRRM server είναι υπεύθυνος για τον συντονισμό των διαφόρων οντοτήτων διαχείρισης ασύρματων πόρων (RRM entities) και της εξισορόπησης κίνησης μεταξύ των επικαλυπτόμενων “ομάδων ασύρματων ραδιοπόρων”. Οι RRM entities είναι οντότητες που είναι υπεύθυνες για τη διαχείριση των ασύρματων πόρων μέσα σε κάθε ομάδα. Κάθε ομάδα μπορεί να περιλαμβάνει ένα RAT ή ένα/περισσότερα επίπεδα κυψέλης ή μια/περισσότερες συχνότητες

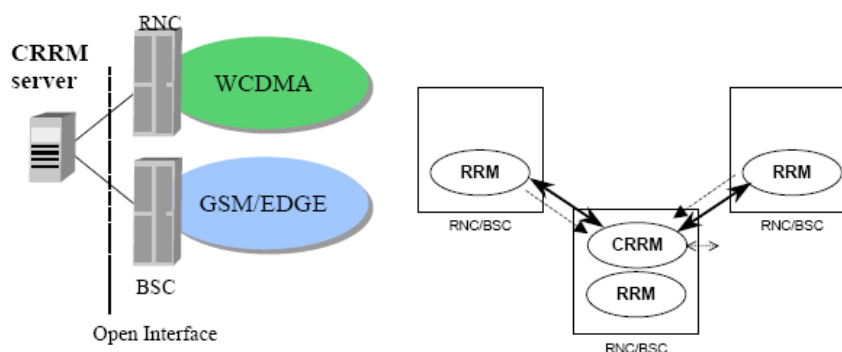
λειτουργίας. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ο συντονισμός μεταξύ διαφόρων ομάδων ασύρματων πόρων.



Σχήμα 2-4. Συντονισμός μεταξύ ομάδων ασύρματων πόρων στη CRRM

Υπάρχουν διαφορετικές αρχιτεκτονικές που μπορούν να υλοποιήσουν την προσέγγιση της CRRM [23]:

- Η προσέγγιση του “CRRM Server”, η οποία υλοποιεί τις οντότητες RRM και CRRM server σε ξεχωριστούς κόμβους και οι διεπαφές μεταξύ των RRMs και CRRMs είναι ανοιχτές.
- Η προσέγγιση της “ενοποιημένης CRRM” που ενοποιεί τη λειτουργία της CRRM σε υπάρχοντες κόμβους του UTRAN/GERAN. Οι διεπαφές Iur και Iur-g (μεταξύ BSC και RNC) ήδη συμπεριλαμβάνουν σχεδόν όλα τα απαραίτητα συστατικά, ώστε να υποστηρίξουν τη λειτουργία της CRRM. Το βασικό κέρδος από αυτή την προσέγγιση είναι ότι με ελάχιστες αλλαγές είναι δυνατό να επιτευχθεί βέλτιστη απόδοση του συστήματος.



Σχήμα 2-5. Προσεγγίσεις CRRM Server (αριστερά) και ενοποιημένης CRRM (δεξιά)

2.4 Ομαδική διαχείριση ασύρματων πόρων

Η ομαδική διαχείριση ασύρματων πόρων (Joint RRM -JRRM) [25][26] στοχεύει στην υποστήριξη έξυπνης διασυνεργασίας μεταξύ διαφορετικών ασύρματων τεχνολογιών χρησιμοποιώντας έναν κεντρικό ελεγκτή να διαχειρίζεται τη συνολική χωρητικότητα των υποδικτύων. Η αρχιτεκτονική της JRRM είναι παρόμοια με αυτή της CRRM, μόνο που δεν περιορίζεται μόνο στα δίκτυα του UMTS και του GSM. Επιπλέον, η JRRM συμπληρώνει την CRRM σε πολλά χαρακτηριστικά, προσθέτοντας καινούρια και κάνοντας αρκετές τροποποιήσεις. Για την υλοποίηση της JRRM απαιτεί πολύ στενή σύζευξη μεταξύ των δικτύων, ώστε να γίνεται η ομαδική διαχείριση των ροών κίνησης μεταξύ των συνεργαζόμενων δικτύων και κινητών τερματικών. Ομαδικός έλεγχος αποδοχής και χρονοπρογραμματισμός ραδιοπόρων είναι πλέον απαραίτητοι για τη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας του φάσματος, το χειρισμό διαφορετικών τύπων κίνησης και περιορισμών ποιότητας υπηρεσίας.

Τα σημαντικά ζητήματα της JRRM είναι τα εξής [25]:

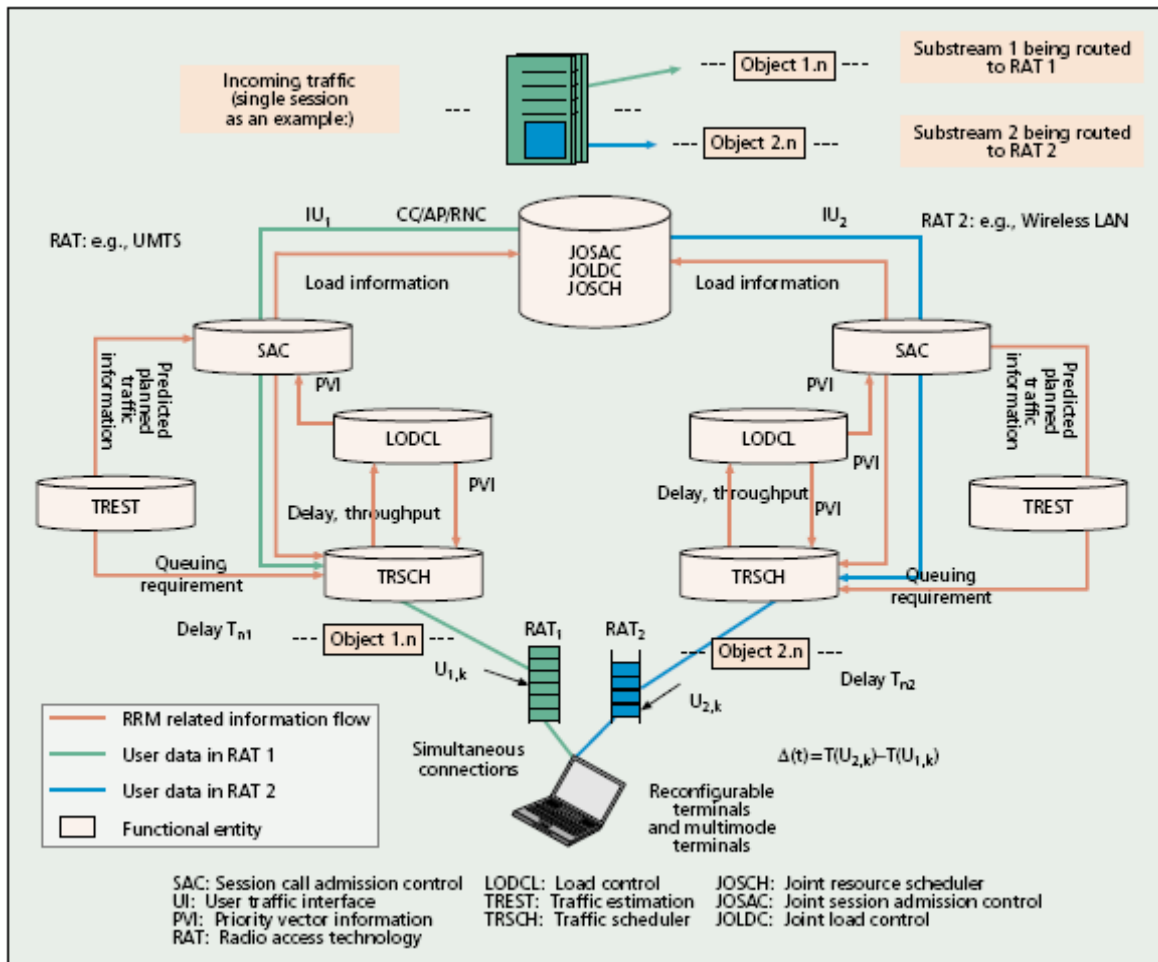
- Χρήση προτεραιοτήτων στην κίνηση και διαχωρισμός της σε δυο ή περισσότερες ροές. Η σημαντική πληροφορία μεταφέρεται από ένα αξιόπιστο δίκτυο και η άλλη από τα υπόλοιπα δίκτυα.
- Συγχρονισμός των πακέτων – τα πακέτα που ανήκουν σε καθεμιά από αυτές τις ροές πολυπλέκονται πίσω στην αρχική ροή κίνησης στον δέκτη με βάση κάποιες προτεινόμενες μεθόδους συγχρονισμού.
- Διαχείριση καταχωρητών – οι παράμετροι μέσης καθυστέρησης και χρονομεταβολής της καθυστέρησης (jitter) ελέγχονται από το μέγεθος του καταχωρητή και από διαδικασίες συγχρονισμού. Τα προφίλ του τερματικού και του χρήστη αποθηκεύονται στο δίκτυο και ανακτώνται από το RNC ώστε να καθοριστεί η ισχύς και το μέγεθος του καταχωρητή του τερματικού και επίσης να αποτιμηθεί το κόστος και οι προτιμήσεις του χρήστη. Οι μέθοδοι συγχρονισμού χρησιμοποιούνται κυρίως ώστε να εξουδετερωθεί η μέση καθυστέρηση, ενώ οι καταχωρητές για να εξουδετερωθεί το jitter.

Οι βασικές λειτουργίες της JRRM είναι [26]:

- Ο ελεγκτής φορτίου που είναι υπεύθυνος να αποτιμά την κίνηση με βάση τα χαρακτηριστικά της.
- Η αποτίμηση της απόδοσης του συστήματος, ώστε κάθε στιγμή να υπάρχει μια καλή προσέγγιση της απόδοσης. Για να επιτευχθεί αυτό, τα στατιστικά θα πρέπει να ανανεώνονται με βάση μια μακροπρόθεσμη και μια βραχυπρόθεσμη τιμή. Ο συνδυασμός αυτών των δυο

τιμών δίνει κάθε στιγμή μια καλή προσέγγιση της αποδοτικότητας του συστήματος για συγκεκριμένο φορτίο.

- Ο υπολογισμός της πιθανότητας επιτυχίας μιας διαπομπής ώστε να μην ξεκινούν μη απαραίτητες διαπομπές, πράγμα που θα μειώσει την αποδοτικότητα του συστήματος.
- Ο ομαδικός ελεγκτής αποδοχής κλήσεων είναι επίσης υποχρεωτικός ώστε να στέλνει κάθε νέο χρήστη/εφαρμογή στο κατάλληλο δίκτυο συσχετιζόμενο με την αίτησή του. Χωρίς μια τέτοια οντότητα, η πιθανότητα να προκληθούν διαπομπές είναι πολύ μεγαλύτερη. Η ροή κίνησης δρομολογείται στα διάφορα συστήματα σύμφωνα με τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς του κάθε δικτύου.
- Ένας βελτιστοποιητής κίνησης είναι υπεύθυνος για την εύρεση λύσης σε συγκεκριμένα προβλήματα λαμβάνοντας υπόψη του το συνολικό δίκτυο. Ένα τέτοιο πρόβλημα θα μπορούσε να είναι π.χ. μια ξαφνική υπερβολική ζήτηση βίντεο κατά τη διάρκεια ενός ποδοσφαιρικού αγώνα.
- Ένας ομαδικός χρονοπρογραμματιστής (Joint Resource Scheduler – JOSCH) ώστε να κρατηθεί η ίδια ποιότητα υπηρεσίας στα δίκτυα, όπως και ο συγχρονισμός για τη διευκόλυνση του πολυπλέκτη/αποκωδικοποιητή του υψηλότερου επιπέδου. Ο JOSCH είναι απαραίτητος για τον διαχωρισμό της κίνησης μεταξύ πολλών δικτύων και συγχρονίζει τον διαχωρισμό των ροών.



Σχήμα 2-6. Λειτουργική αρχιτεκτονική της JRRM [27]

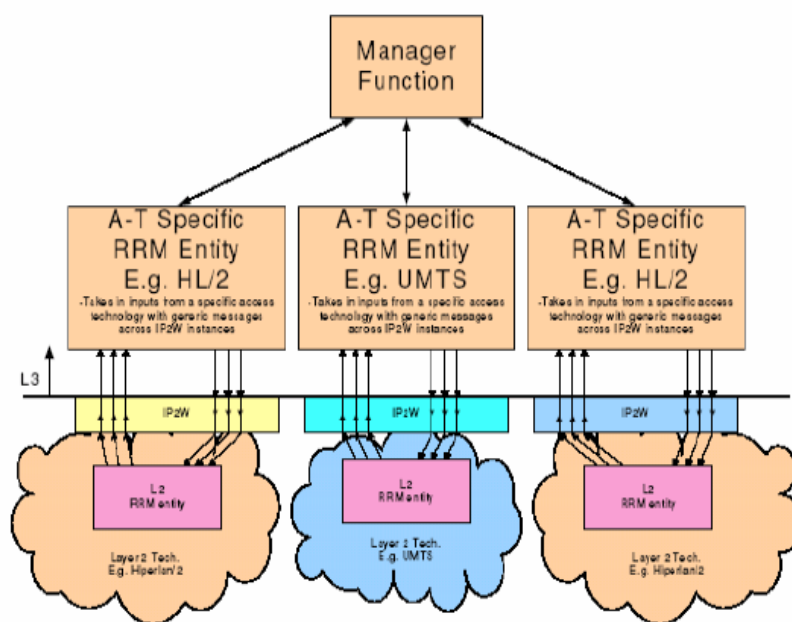
2.5 Διαστρωματωμένη διαχείριση ασύρματων πόρων

Ένα ασύρματο δίκτυο μπορεί να αποτελείται όχι μόνο από πολλαπλές τεχνολογίες αλλά και από πολλαπλούς τομείς πρόσβασης [28][29]. Αυτό οδηγεί σε τέσσερις περιπτώσεις αλληλεπίδρασης

- Μονή τεχνολογία – μονός τομέας πρόσβασης (single technology – single domain)
- Μονή τεχνολογία – πολλαπλοί τομείς πρόσβασης (single technology – multi domain)
- Πολλαπλή τεχνολογία – μονός τομέας πρόσβασης (multi technology – single domain)
- Πολλαπλή τεχνολογία – πολλαπλοί τομείς πρόσβασης (multi technology – multi domain)

Οι τρέχουσες λύσεις για διαχείριση ασύρματων ραδιοπόρων ασχολούνται κυρίως με την πρώτη περίπτωση, όπου οι ασύρματοι πόροι διαχειρίζονται μόνο στο στρώμα ζεύξης δεδομένων (link layer – L2). Με μια τεχνολογία και πολλούς τομείς πρόσβασης είναι επίσης δυνατό να υπάρξει L2 λύση. Από

την άλλη μεριά όμως σε ένα IP περιβάλλον αυτό μπορεί να δημιουργήσει συγκρούσεις με τις λειτουργίες του επιπέδου δικτύου (network layer – L3) που θα λαμβάνουν χώρα, οπότε είναι πολύ απαραίτητη η επικοινωνία με οντότητες του επιπέδου δικτύου. Όταν εμπλέκονται πολλαπλές τεχνολογίες, διαφορετικά επίπεδα L2 αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, οπότε θα πρέπει να υπάρχει ένα επίπεδο που θα λειτουργεί σα γέφυρα που θα ενώνει τις διαφορετικές τεχνολογίες. Στο [29] έχει χρησιμοποιηθεί το επίπεδο δικτύου, μέσω μιας διεπαφής IP2W.



Σχήμα 2-7. layered RRM [29]

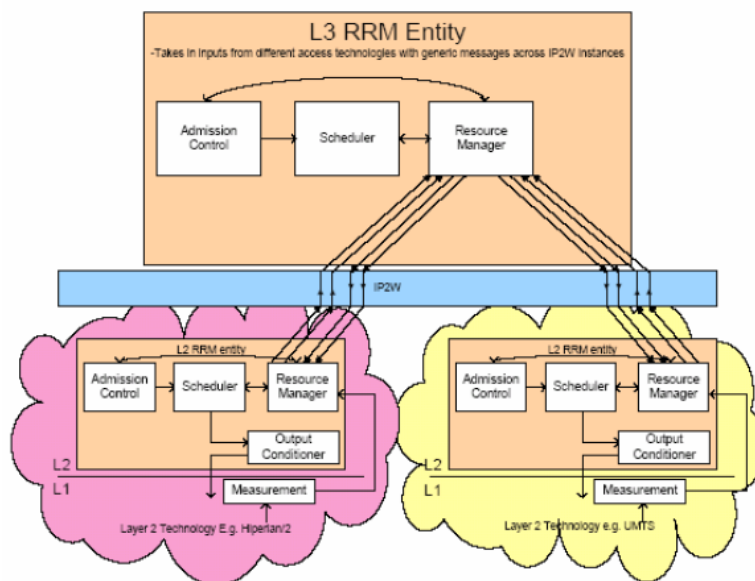
Η αρχιτεκτονική της διαστρωματικής RRM έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Υποστηρίζει λειτουργία αυτο-οργάνωσης (αυτόματη εγκαθίδρυση και επανεγκαθίδρυση και έλλειψη προηγούμενου σχεδιασμού δικτύου). Παρόλα αυτά η παράμετρος RRM μπορεί να αλλάξει αν υπάρχει τέτοια αίτηση από το χρήστη.
- Διασφάλιση λειτουργιών όπως έλεγχος ισχύος, έλεγχος αποδοχής, έλεγχος συμφόρησης κ.τ.λ.
- Παροχή υποστήριξης ποιότητας υπηρεσιών (QoS) βασισμένη σε IP – QoS από την πλευρά απαιτήσεων χρήστη
- Συντήρηση ευελιξίας και συνεργασίας (διαφορετικοί αλγόριθμοι διαχείρισης ραδιοπόρων ή μεταξύ λειτουργιών σε RRM οντότητες θα πρέπει να είναι ικανές να συνεργάζονται στενά)
- Οι αλγόριθμοι διαχείρισης ραδιοπόρων στα επίπεδα δικτύου και πάνω δεν βασίζονται ισχυρά στην τεχνολογία της ασύρματης διεπαφής.

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική της διαστρωματωμένης RRM περιέχει τις εξής οντότητες [29]:

- Οντότητα μετρήσεων (measurement entity), η οποία μετράει την λαμβανόμενη ισχύ σήματος.
- Οντότητα διαχείρισης ραδιοπόρων (resource management entity), η οποία ελέγχει και διαχειρίζεται όλες τις άλλες λειτουργίες της αρχιτεκτονικής RRM. Επίσης, λειτουργεί και ως πύλη προς τις λειτουργίες υψηλότερων επιπέδων, όπως διαπομπή και δρομολόγηση.
- Οντότητα ελέγχου αποδοχής (admission control entity), η οποία περιέχει τον αλγόριθμο ελέγχου αποδοχής για την αποδοχή ή όχι νέων συνδέσεων, ένα μοντέλο διανομής καναλιών, το οποίο βασίζεται στην τεχνολογία ασύρματης διεπαφής και ένα μοντέλο κατάταξης που βασίζεται στο μοντέλο υπηρεσίας του επιπέδου δικτύου.
- Οντότητα ουράς και χρονοπρογραμματισμού (queue and scheduler entity), η οποία διαχειρίζεται την δίκαια και αποδοτική κατανομή της χωρητικότητας μεταξύ των διαφορετικών απαιτήσεων σε ποιότητα υπηρεσίας των τρεχουσών συνδέσεων.
- Οντότητα εξομάλυνσης της εξόδου (output conditioner entity), η οποία εξομαλύνει τη ροή δεδομένων ώστε να ικανοποιεί την τρέχουσα ασύρματη σύνδεση και βασίζεται πάνω στην τεχνολογία της ασύρματης διεπαφής.

Η τοποθεσία των λειτουργιών διαχείρισης ραδιοπόρων μπορεί να διαχωριστεί μεταξύ των επιπέδων ζεύξης δεδομένων και δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις πληροφοριών και άλλων λειτουργιών που υπάρχουν σε άλλα στρώματα. Ο διαχωρισμός της αρχιτεκτονικής RRM σε κάθε επίπεδο βασίζεται στο “αντικείμενο στόχος” ή “περιβάλλον” που πρέπει να προαχθεί από τη λειτουργία διαχείρισης πόρων. Όμως, υπάρχουν περιπτώσεις που η RRM οντότητα είναι σχετική και στα δυο επίπεδα, οπότε και διαχωρίζονται οι λειτουργίες της και στα δυο επίπεδα, οπότε θα πρέπει να υπάρχει πολύ στενή συνεργασία μεταξύ των δυο αυτών επιπέδων, ώστε να μπορούν οι λειτουργίες να λειτουργούν ομαλά και χωρίς προβλήματα.



Σχήμα 2-8. Η αρχιτεκτονική διαστρωματωμένης RRM [30]

Οι πληροφορίες που μεταφέρονται μεταξύ των στρωμάτων L2 και L3 μέσω της διεπαφής IP2W είναι οι παρακάτω:

Από το L2 στο L3 [30]:

- Ένδειξη για τις ασύρματες διεπαφές που υπάρχουν στο κινητό τερματικό
- Η χρησιμοποιούμενη τρέχουσα φυσική διεπαφή (π.χ. με την ασύρματη κάλυψη να δείχνει κάθε στιγμή τα προσβάσιμα ασύρματα δίκτυα)
- Αναφορά των ασύρματων μετρήσεων σε σχέση με την ενεργή φυσική διεπαφή. Η αναφορά αυτή θα πρέπει να έχει μια γενική μορφή ανεξάρτητη της ασύρματης πρόσβασης και τα περιεχόμενά της να εξαρτώνται από τις ανάγκες του κάθε αλγορίθμου
- Αναφορά των ασύρματων μετρήσεων των υπολοίπων ανενεργών φυσικών διεπαφών
- Γνωστοποίηση μηνύματος που έχει σταλεί από υψηλότερα επίπεδα, δείχνοντας ποια διεπαφή να ενεργοποιηθεί, με βάση τα αποτελέσματα των αλγορίθμων
- Ένδειξη μιας αποτυχίας σχετική με κάποια από τις ενεργές διεπαφές
- Το L2 πρέπει να διαφημίζει μετρήσεις νεο-ανακαλυπτόμενων συνδέσεων στα υψηλότερα στρώματα
- Το L2 πρέπει να αναφέρει σημαντικές αλλαγές στα χαρακτηριστικά της σύνδεσης

Από το L3 στο L2:

- Αίτηση για την αναφορά των φυσικών διεπαφών που έχει το κινητό τερματικό

- Αίτηση για την ενεργοποίηση συγκεκριμένης διεπαφής
- Αίτηση για ασύρματες μετρήσεις που θα πρέπει να παρθούν στο ασύρματο στρώμα

2.6 Αναφορές

- [1] John Shelper, “1G, 2G, 3G, 4G”, TechColumn, April2005, [Online] Available: www.T1Rex.com
- [2] Santhi, K.R. Kumaran, G.S., “Migration to 4 G: Mobile IP based Solutions”, International Conference on Internet and Web Applications and Services/Advanced International Conference on Telecommunications, 2006. AICT-ICIW '06.
- [3] Keiji Tachikawa, “A Perspective on the evolution of mobile communications”, IEEE Communications Magazine, October 2003
- [4] Niebert, N. Prytz, M. Schieder, A. Papadoglou, N. Eggert, L. Pittmann, F. Prehofer, C., “Ambient networks: a framework for future wireless internetworking” IEEE 61st Vehicular Technology Conference, 2005. VTC 2005-Spring. 2005
- [5] Marcos Katz, Frank H.P. Fitzek , “Cooperative Techniques and Principles Enabling Future 4G Wireless Networks”, EUROCON 2005, The International Conference on "Computer as a tool".
- [6] Ademola, Marcus, 2002, "Inter-system handover for WLAN and WCDMA", Diploma Thesis, Department of Mathematical Information Technology, University of Jyväskylä.
- [7] IST-2001-34091 SCOUT Deliverable D4.1.1, “Requirements on network and security architecture and traffic management schemes for download traffic based on IP principles in cellular and ad-hoc networks”.
- [8] ETSI TR 101 957: “Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERLAN Type2; Requirements and Architectures for Interworking between HIPERLAN/2 and 3rd Generation Cellular Systems”,
- [9] D. Bourse, K. El-Khazen, “End-to-End Reconfigurability (E2R) Research Perspectives”, IEICE Transactions on Communications
- [10] K. El-Khazen, G. Vivier, M. Fratti, A. Delautre, J.E. Goubard, “End-to-End Reconfigurability - Architectural Research”, Wireless World Research Forum (WWRF) 11th Meeting WG6.
- [11] M. Fratti, Y. Deneff, N. Olaziregi, A. Mihailovic, K. El-Khazen, D. Bourse, N. Alonistioti, “End-to-End Reconfigurability - System Architectures”, Wireless World Research Forum (WWRF) 12nd Meeting WG6
- [12] WINNER, “D4.1: Identification and Definition of Cooperation Schemes Between RANs”, Internal Deliverable, IST-2003-507581 WINNER, June 2004.
- [13] www.3gpp.org, Radio Resource Control Protocol Specification , TS 25.331, V 5.6.0, September 2003.
- [14] 3GPP TR 22.934, V1.0.0 Feasibility study on 3GPP system to Wireless Local Area Network (WLAN) interworking Rel-6.
- [15] Reshan Samarasinghe, Vasilis Friderikos, A.H. Aghvami “Analysis of Intersystem Handover: UMTS FDD & WLAN”, The London Communication Symposium 8-9 September 2003
- [16] IST-2001-34091 SCOUT Deliverable D4.1.1, “Requirements on network and security architecture and traffic management schemes for download traffic based on IP principles in cellular and ad-hoc networks”.
- [17] IST-2000-28584 MIND homepage, <http://www.ist-mind.org/>.
- [18] P. Dini, J. Mangués, M. Cardenete, “On the Interworking among Heterogeneous Wireless Networks for Seamless User Mobility”, accepted for publication in IEEE Buran 2007.
- [19] 4G+ Freeband D3.1-4.1 State of the art overview, Interworking of heterogeneous network technologies, and Mobile Multimedia Session Management

- [20] Manfred Litzemberger, Hajo Bakker, Stephen Kaminski, Klaus Keil, “Very Tight Coupling of Wireless LANs and UMTs Networks: A Technical Challenge and an Opportunity for Mobile Operators”, Proceedings of the IFIP TC6/WG6.8 Working Conference on Personal Wireless Communications
- [21] Kyriazakos, S., Mihovska A., and J. M. Pereira, “Adaptability Issues in Reconfigurable Environments”, IST Proc of ANWIRE workshop on Reconfigurability, Mykonos, Greece, September 2003
- [22] 3GPP TR 25.881, “*Improvement of RRM across RNS and RNS/BSS*”, Release 5, v5.0.0, 12/2001.
- [23] 3GPP TR 25.891, “*Improvement of RRM across RNS and RNS/BSS (post-Rel-5)*”, Release 6, v0.3.0 (draft version), 2/2003.
- [24] F. Meago, “*Common Radio Resource Management (CRRM)*”, COST273, May 2002
- [25] 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.
- [26] Jijun Luo, Eiman Mohyeldin, Nicolas Motte, and Markus Dillinger “Performance Investigations of ARMH in a Reconfigurable Environment”, SCOUT workshop, Paris, 2003
- [27] Jijun Luo, Mukerjee, R., Dillinger, M, Mohyeldin, E., Schulz, E. “Investigation of radio resource scheduling in WLANs coupled with 3G cellular network”, IEEE Communications Magazine, Volume: 41, Issue: 6, , On page(s): 108- 115, ISSN: 0163-6804, June 2003
- [28] S. Bonjour, S. Hischke, A. Lappeteläinen, M. Liljeberg, M. Lott , “IP convergence layer with QoS support for HIPERLAN/2,” in Proc. of IST Global Summit 2001, Barcelona, September 2001.
- [29] Sony Sumaryo, Eleanor Hepworth, David J. Higgins, Matthias Siebert , “A Radio Resource Management Architecture for a “Beyond-3G” network”, International Workshop on IST-MIND, 18 November 2002, Budapest
- [30] “MIND protocols and mechanisms specification, simulation and validation”, IST-2000-28584 MIND D2.2 Annex

3. Αρχιτεκτονική διαχείρισης ασύρματων πόρων ενός δικτύου 4^{ης} γενιάς

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει παρουσίαση της αρχιτεκτονικής ενός δικτύου ασύρματων επικοινωνιών τέταρτης γενιάς και το πως είναι δυνατόν αυτό το δίκτυο να συνεργάζεται με τα υπόλοιπα ήδη υπάρχοντα δίκτυα κινητών και ασύρματων επικοινωνιών. Η όλη έρευνα έγινε με τη συμμετοχή στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα IST-WINNER [1].

Το WINNER είναι ένα ευρωπαϊκό πρόγραμμα που έχει ως στόχο τη δημιουργία του ομώνυμου δικτύου 4^{ης} γενιάς. Το δίκτυο του WINNER θα βασίζεται σε εξελιγμένο και επαναστατικό σχεδιασμό όσον αφορά στις λειτουργίες και την αρχιτεκτονική του. Ένα βασικό θέμα που δημιούργησε την ανάγκη για το συγκεκριμένο δίκτυο ήταν η βελτιστοποίηση των προσφερόμενων ρυθμών δεδομένων από την πλευρά του δικτύου, ώστε να διευκολυνθεί η κίνηση στο επίπεδο χρήστη. Όλη η κίνηση μέσα στο δίκτυο του WINNER θα είναι βασισμένη στο πρωτόκολλο IP. Η απλοποιημένη αρχιτεκτονική είναι βασισμένη στην κατανεμημένη περίπτωση αρχιτεκτονικής, όπου πολλές λειτουργίες έχουν μεταφερθεί στο σταθμό βάσης, αλλά μερικές εξελιγμένες λειτουργίες μπορεί να μην είναι δυνατόν να υπάρχουν χωρίς την ύπαρξη μιας κεντρικής οντότητας συντονισμού.

Βασικός σκοπός του δικτύου του WINNER ήταν η δημιουργία ενός μελλοντικού δικτύου που να μπορεί να ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις των χρηστών για ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, ποιότητα υπηρεσιών, συνδεσιμότητα και κάλυψη. Το WINNER προτείνει μια νέα ασύρματη διεπαφή της οποίας το σύστημα αποτελείται από ποικίλες λειτουργίες που έχουν ως σκοπό την αποφυγή απώλειας δεδομένων και την ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης κατά τη διαπομπή, όπως και την διασφάλιση πλήρους κάλυψης στα σενάρια ανάπτυξης που έχουν προταθεί από την ITU. Η ασύρματη διεπαφή του WINNER είναι ευέλικτη και σχεδιασμένη να λειτουργεί αποδοτικά για διαφορετικές μορφές ανάπτυξης, όπως σε τοπική περιοχή, σε μητροπολιτική περιοχή ή σε ευρεία περιοχή. Στο σύστημα του WINNER υπάρχουν αναμεταδότες, οι οποίοι επεκτείνουν την κάλυψη των σταθμών βάσης, ώστε να υπάρχει πλήρης κάλυψη ακόμα και σε σημεία σκιάς. Οι αρχικές απαιτήσεις του συστήματος μιλούσαν για ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων σε τοπική περιοχή μέχρι 1Gbps και σε μεγάλες κυψέλες ευρείας περιοχής μέχρι 100Mbps, ταχύτητες εξαιρετικά υψηλότερες από αυτές που υπάρχουν σήμερα στα ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών. Όλος ο σχεδιασμός του δικτύου έγινε με βάση το χρήστη και για την παροχή βέλτιστων υπηρεσιών στο χρήστη, μιας και στα μελλοντικά δίκτυα, η ποιότητα υπηρεσιών είναι μια πολύ σημαντική απαίτηση, εξού και ήταν και η βάση της ενασχόλησης της παρούσας διατριβής.

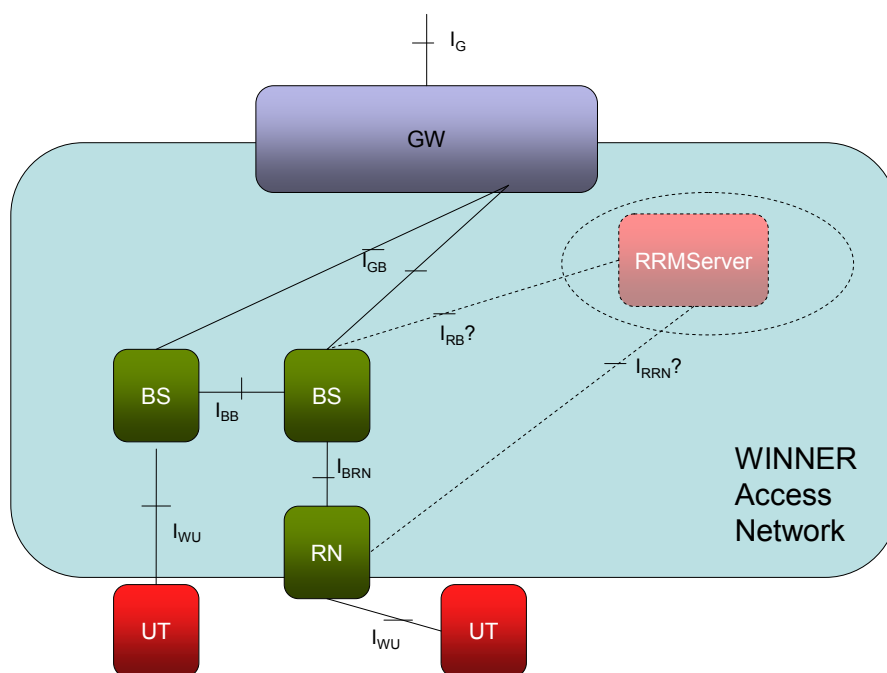
3.1 Λειτουργική αρχιτεκτονική λογικών κόμβων

Ένα μελλοντικό σύστημα ασύρματων επικοινωνιών θα πρέπει να είναι ένα ευέλικτο σύστημα με πολλαπλές λειτουργικές μορφές (operational modes) ώστε να παρέχει ασύρματη πρόσβαση είτε σε μικρή έκταση είτε σε μεγάλες περιοχές εισάγοντας την έννοια της αναμετάδοσης “relaying”, καθώς και εξελιγμένες τεχνολογίες στο φυσικό επίπεδο [2][3][4].

Για τον έλεγχο και τη διαχείριση του συστήματος και των πόρων του αναπτύχθηκε μια αρχιτεκτονική για μελλοντικά δίκτυα, η οποία στοχεύει στην καλή λειτουργία και τη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας των μηχανισμών διαχείρισης των ασύρματων ραδιοπόρων (RRM mechanisms) του μελλοντικού συστήματος επικοινωνιών. Ως παράδειγμα μελλοντικού δικτύου για τη χρήση της αρχιτεκτονικής χρησιμοποιήθηκε το δίκτυο του WINNER [5][6]. Σκοπός της λειτουργικής αρχιτεκτονικής (functional architecture) είναι να δώσει μια υψηλού επιπέδου αφηρημένη λειτουργία του δικτύου και τον τρόπο με τον οποίο μεταφέρονται τα δεδομένα των χρηστών και τα δεδομένα ελέγχου, να δείξει τις λειτουργικές διαδράσεις μεταξύ των οντοτήτων του δικτύου, αλλά χωρίς να λαμβάνει υπόψη τις σχεδιαστικές υλοποιήσεις του φυσικού επιπέδου.

Για το δίκτυο έχουν καθοριστεί λογικοί κόμβοι (logical nodes) ως οντότητες της αρχιτεκτονικής του δικτύου. Μια φυσική υλοποίηση (ένας φυσικός κόμβος – physical node) μπορεί να αποτελείται από έναν ή περισσότερους λογικούς κόμβους, το οποίο εξαρτάται από την επιθυμητή επιχειρηματική περίπτωση (business case) και ήταν εκτός στόχων της έρευνας.

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται μια γενική μορφή της αρχιτεκτονικής λογικών κόμβων (logical node architecture) του μελλοντικού δικτύου επικοινωνιών.



Σχήμα 3-1. Αρχιτεκτονική λογικών κόμβων του WINNER [6]

Στην αρχιτεκτονική λογικών κόμβων του δικτύου, υπάρχουν οι παρακάτω λογικοί κόμβοι:

- **GW** (gateway – πύλη εξόδου), η οποία παρέχει μια διεπαφή με τον εξωτερικό κόσμο και επικοινωνεί με έναν εξωτερικό AAA (authentication, authorization, accounting – πιστοποίηση, εξουσιοδότηση, διαχείριση λογαριασμών) κόμβο, ώστε να χειρίζεται τις αιτήσεις πιστοποίησης και εξουσιοδότησης των χρηστών. Όταν ένας χρήστης έχει πιστοποιηθεί και εξουσιοδοτηθεί, η GW είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά πληροφοριών χρέωσης του χρήστη στο δίκτυο κορμού.
- **BS** (Base station – σταθμός βάσης), ο οποίος εκτελεί όλες τις λειτουργίες των κινητών τερματικών που είναι σχετικές με την ασύρματη διεπαφή (π.χ. την αποστολή δεδομένων) και είναι υπεύθυνος για να επιτηρεί και να διακυβερνά την ασύρματη μετάδοση και λήψη από τα κινητά τερματικά ή τους αναμεταδότες (relay nodes) σε μια ή περισσότερες κυψέλες. Επιπροσθέτως, εκτελεί λειτουργίες επιβολής πολιτικής (policy enforcement), χρονοπρογραμματίζει δεδομένα με συγκεκριμένο QoS και στις δυο κατευθύνσεις (άνω και κάτω – uplink και downlink) και εκτελεί εξωτερικές αυτόματες αιτήσεις αναμετάδοσης (outer automatic retransmission requests – outer ARQ). Ο σταθμός βάσης ελέγχει επίσης τους αναμεταδότες (αν χρησιμοποιούνται) και καθορίζει δρομολόγια, προωθεί πακέτα προς τον αντίστοιχο αναμεταδότη και φροντίζει για τον έλεγχο ροής (flow control) για τους αναμεταδότες, ώστε να είναι σίγουρος ότι αυτοί μπορούν να προωθούν τα δεδομένα στους χρήστες τους.
- **RN** (Relay node – αναμεταδότης), ο οποίος επιτελεί λειτουργίες αναμετάδοσης και είναι ασύρματα συνδεδεμένος με έναν BS, ένα κινητό τερματικό και/η με έναν άλλον αναμεταδότη. Περιέχει λειτουργίες προώθησης πακέτων και χρονοπρογραμματίζει τα πακέτα στην ασύρματη διεπαφή. Επιπλέον, αναμεταδίδει πληροφορίες εκπομπής για το σύστημα (system information broadcast) για την επέκταση της κάλυψης του συστήματος.
- **UT** (user terminal – τερματικό χρήστη), το οποίο περιέχει την απαραίτητη λειτουργικότητα για να επικοινωνεί απευθείας με το δίκτυο (π.χ. BS, RN). Έχει λειτουργίες για το χειρισμό της κινητικότητας (Mobility) σε ενεργή (active) ή αδρανή (idle) κατάσταση, όπως και λειτουργίες για να πραγματοποιεί την αρχική πρόσβαση (initial access) στο δίκτυο και την εγκατάσταση ροής δεδομένων (flow establishment).
- **RRM server** (εξυπηρετητής RRM), ο οποίος είναι ένας προαιρετικός κόμβος που μπορεί να χειρίζεται τους μηχανισμούς διαχείρισης των ασύρματων πόρων σε κεντροποιημένη αρχιτεκτονική, καθώς και τη σηματοδότηση μεταξύ των σταθμών βάσης.

3.2 Διεπαφές

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-1 μεταξύ των λογικών κόμβων της αρχιτεκτονικής του δικτύου έχουν καθοριστεί οι διεπαφές που τους ενώνουν. Παρακάτω υπάρχει μια σύντομη περιγραφή των διεπαφών, καθώς και αναφορά της σηματοδοσίας που φέρουν [6][7][8].

3.2.1 I_G

Η διεπαφή I_G είναι αυτή που ενώνει τον κυρίως κορμό του δικτύου με τα εξωτερικά δίκτυα πακέτων δεδομένων (όπως π.χ. το διαδίκτυο – Internet) και περιέχει το IP σημείο πρόσβασης του τελικού χρήστη. Όλη η κινητή διαπομπή του δικτύου θα πρέπει να είναι διαχειριζόμενη από την I_G.

Η σηματοδοσία που φέρει η I_G είναι η σηματοδοσία μεταξύ GW και:

- δημόσιων δικτύων βασισμένα στο IP πρωτόκολλο
- οικείου εξυπηρετητή συνδρομών (Home Subscription Server)
- άλλων GW
- άλλων συστημάτων (εκτός του WINNER)
- εξυπηρετητή πολιτικής και χρέωσης (policy and charging server)

Οι λειτουργίες που υποστηρίζονται από την I_G μέσω της παραπάνω σηματοδοσίας είναι οι παρακάτω:

- εμπλουτισμένη τροφοδότηση υπηρεσιών (enhanced service provisioning)
- έλεγχος AAA
- διαχείριση κινητικότητας για αδρανή UT
- προώθηση πακέτων δεδομένων επιπέδου χρήστη μεταξύ των GW
- υποστήριξη σημείου επαφής μεταξύ του WINNER και των υπολοίπων συστημάτων, παρέχοντας διασυστημική διαπομπή.
- Ομοιόμορφος έλεγχος ποιότητας υπηρεσίας μεταξύ ετερογενών δικτύων
- Σύνδεση με μακρόχρονη ανάθεση φάσματος διαφόρων δικτύων WINNER
- Σύνδεση με διαχειριστή φάσματος για κάθετη και οριζόντια διαμοίραση του διαθέσιμου φάσματος
- Σύνδεση του διαχειριστή φάσματος με μακρόχρονη και βραχύχρονη ανάθεση φάσματος
- Υπηρεσία περιαγωγής

- Επιβολή πολιτικής και χρεώσεων

3.2.2 I_{GB}

Η επαφή I_{GB} είναι η επαφή μεταξύ της GW και του BS. Μέσω της διεπαφής αυτής μεταφέρονται όλα τα δεδομένα των χρηστών. Στο επίπεδο ελέγχου (control plane) η διεπαφή παρέχει το μέσον για την εγκατάσταση μιας ροής και των πληροφοριών της σε ένα BS από μια GW. Επιπλέον η διεπαφή αυτή υποστηρίζει τις λειτουργίες κινητικότητας των χρηστών, μιας και ο BS πληροφορεί την GW για την κινητικότητα του κάθε χρήστη (π.χ. διαπομπή, ανανεώσεις αναζήτησης κ.τ.λ.). Παρόμοια, ο BS παρέχει μέσω της διεπαφής αυτής το μέσον για αιτήσεις αναζήτησης για ένα συγκεκριμένο κινητό τερματικό

3.2.3 I_{BB}

Η I_{BB} είναι η διεπαφή μεταξύ των σταθμών βάσης και υποστηρίζει καταναμημένες λειτουργίες RRM, όπως ενεργού τύπου (active mode) κινητικότητα, σχήματα διαχείρισης παρεμβολών, καθώς και καταναμημένους ελέγχους μεταξύ των σταθμών βάσης και λειτουργίες διακανονισμού μεταξύ τους, όπως στην περίπτωση της εξισορρόπησης φορτίου. Μερικές λειτουργίες διαχείρισης φάσματος που υπάρχουν στα BS θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν αυτή τη διεπαφή.

3.2.4 I_{BRN}, I_{IWU}

Η διεπαφή I_{BRN} είναι η διεπαφή μεταξύ του BS και του RN και συνήθως η σηματοδότηση γίνεται μέσω μιας ασύρματης ζεύξης. Η διεπαφή I_{IWU} είναι η διεπαφή μεταξύ του UT και του RN και καθορίζει τις απαραίτητες λειτουργίες και τα απαραίτητα φορμάτ επικοινωνίας που καθιστούν δυνατή την ασύρματη σύνδεση μεταξύ του UT και του δικτύου.

3.3 Αντιστοίχιση λειτουργιών στους λειτουργικούς κόμβους

3.3.1 Πύλη εξόδου (GW)

Οι λειτουργίες που εμπερικλείει η GW είναι οι παρακάτω[6][7][8]:

- Μακρο-κινητικότητα (macro-mobility)
- Σημείο σύνδεσης της μικρο-κινητικότητας (micro-mobility anchor)
- Εναλλαγή μονοπατιού (path switch)

- Αναζήτηση (paging)
- Εγκαθίδρυση/απελευθέρωση ροής (flow establishment/release) και σηματοδότησης QoS
- Συμπίεση επικεφαλίδας (header compression)
- Ασφάλεια
 - Κρυπτοθέτηση (ciphering)
 - Προστασία εγκυρότητας (integrity protection)
- Εκπομπή πολυμέσων (multimedia broadcasting)
- Εξουσιοδότηση και πιστοποίηση (authorisation and authentication)
- Λειτουργία χρέωσης και διακοπής υπηρεσίας
- Διαχείριση καταχωρητή
- Καταχώρηση φάσματος (spectrum register)
- Μακρόχρονη ανάθεση φάσματος (long term spectrum sharing)
- Καταχώρηση τερματικού χρήστη
- Διαχείριση κλειδιού (key management)

3.3.2 Σταθμός Βάσης (base station - BS)

Οι λειτουργίες που εμπερικλείει ο BS είναι οι παρακάτω [6][7][8]:

- Έλεγχος αποδοχής ροής (flow admission control)
- Επιβολή πολιτικής (policy enforcement)
- Έλεγχος ροής μεταξύ σημείων ασύρματης πρόσβασης (flow control between RAPs)
- Χρονοπρογραμματισμός πακέτων πάνω από ασύρματη διεπαφή (packet scheduling over RI)
- Εξωτερικές αυτόματες αιτήσεις αναμετάδοσης (outer ARQ)
- Διαχείριση καταχωρητή (buffer management)
- Διαμόρφωση QoS χαμηλότερου στρώματος (lower layer QoS configuration)
- Εγκαθίδρυση δρομολογίου για ροές (route establishment for flows)
- Εγκαθίδρυση δρομολογίου για RAP – συνδέσεις RAP
- Μεταφορά κειμένου χρήστη (user context transfer)

- Μεταφορά κειμένου ροής (flow context transfer)
- Επίβλεψη φορτίου (load supervision)
- Εξισορρόπηση φορτίου (load balancing)
- Προώθηση (forwarding)
- Εκπομπή πληροφοριών συστήματος (system info broadcasting)
- Οριζόντια διαμοίραση φάσματος με συντονισμό (horizontal spectrum sharing with coordination)
- Οριζόντια διαμοίραση φάσματος χωρίς συντονισμό (horizontal spectrum sharing without coordination)
- Βραχυπρόθεσμη ανάθεση φάσματος (short term spectrum assignment)
- Διαπομπή μεταξύ BS – ασύρματη διαπομπή (BS radio handover)
- Διαπομπή μεταξύ αναμεταδοτών (RN handover)
- Καταμερισμός πόρων (resource partitioning)

3.3.3 Τερματικό χρήστη (user terminal - UT)

Οι λειτουργίες που εμπερικλείει το UT είναι οι παρακάτω [6][7][8]:

- Αρχική πρόσβαση (initial access)
- Ανανέωση περιοχής αναζήτησης (paging area update)
- Νέα σύνδεση με κυψέλη (new cell association)
- Αίτηση εγκαθίδρυσης ροής (flow establishment request) – ένα μικρό μήνυμα από το UT στην GW ζητώντας να εγκατασταθεί μια ροή κίνησης από το UT στο δίκτυο

3.3.4 Αναμεταδότης (relay node - RN)

Οι λειτουργίες που εμπερικλείει ο RN είναι οι παρακάτω [6][7][8]:

- Χρονοδρομολόγηση πακέτων πάνω από ασύρματη διεπαφή (packet scheduling over RI)
- Έλεγχος ροής μεταξύ ασύρματων σημείων πρόσβασης (flow control between RAs)
- Διαχείριση καταχωρητών (buffer management)
- Προώθηση (forwarding), σε περίπτωση κυψελών βελτιστοποιημένων με αναμεταδότες (relay enhanced cells – REC)

- Εκπομπή πληροφοριών συστήματος (system info broadcasting)

3.3.5 Εξυπηρετητής RRM (RRM Server)

Οι λειτουργίες που εμπερικλείει ο RRM Server (όταν υπάρχει στο δίκτυο) είναι οι παρακάτω [6][7][8]:

- Διαχείριση φάσματος (spectrum management)
- Εξισορρόπηση φορτίου (load balancing)
- Καταμερισμός πόρων (resource partitioning)
- Εγκαθίδρυση δρομολογίου (route establishment)
- Έλεγχος αποδοχής (admission control)

3.4 Κεντροποιημένη, κατανεμημένη και υβριδική αρχιτεκτονική RRM

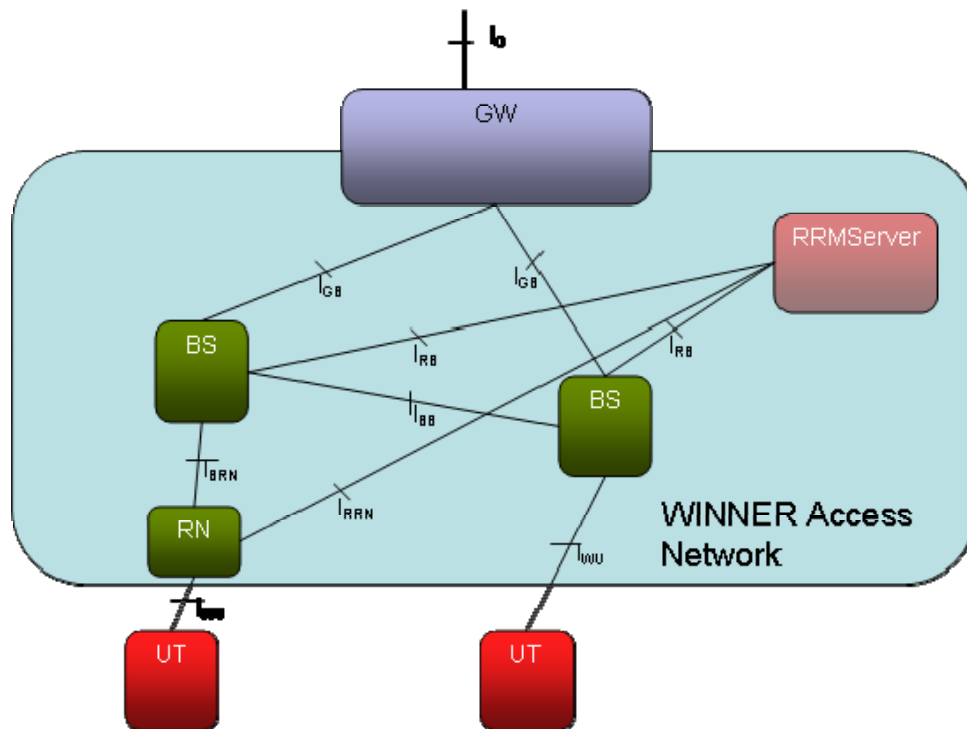
Ένα μελλοντικό ασύρματο δίκτυο επικοινωνιών πρέπει να αποσκοπεί στο να είναι ένα ευέλικτο σύστημα που να μπορεί να παρέχει στους χρήστες του την βέλτιστη ποιότητα υπηρεσιών σε όλες τις περιπτώσεις εφαρμογής του είτε σε μικρή περιοχή κάλυψης είτε σε μεγαλύτερες περιοχές. Για αυτό το σκοπό η αρχιτεκτονική διαχείρισης ασύρματων ραδιοπόρων μπορεί να έχει διάφορες μορφές, όπου η κάθε μία να εφαρμόζεται ανάλογα με την περίπτωση και τις κατά τόπου ανάγκες του δικτύου. Για την αποδοτική διαχείριση των ασύρματων ραδιοπόρων, η τοποθέτηση των RRM λειτουργιών μέσα στην αρχιτεκτονική του δικτύου είναι ένα πολύ σημαντικό θέμα, αφού μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την απόδοση του όλου συστήματος. Μερικά θέματα που μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στην απόδοση του δικτύου είναι οι παρακάτω[7][8][9]:

- Η σηματοδότηση μεταξύ των εμπλεκόμενων οντοτήτων όσον αφορά την καθυστέρηση (delay) και την διεκπεραιωτικότητα (throughput)
- Η διαθέσιμη και χρήσιμη ομαδοποίηση των οντοτήτων
- Το επίπεδο σύζευξης
- Το επίπεδο πρωτοκόλλου στη διασυνεργασία (π.χ. RRC, RLC ή ακόμα και το MAC)

Οι τρεις μορφές της αρχιτεκτονικής που έχουν ερευνηθεί και θα παρουσιαστούν στις παρακάτω παραγράφους και είναι η κεντροποιημένη (centralized), κατανεμημένη (distributed) και υβριδική (hybrid) αρχιτεκτονική.

3.4.1 Κεντροποιημένη αρχιτεκτονική

Κεντροποιημένη (centralized) [7][8][10][11] αρχιτεκτονική είναι αυτή στην οποία μερικές αποφάσεις σχετικές με την RRM επηρεάζονται (όχι απαραίτητα παίρνονται) από υψηλότερες ιεραρχικά RRM οντότητες, λαμβάνοντας υπόψη τους τις πληροφορίες που αναφέρουν οι κυψέλες. Στην κεντροποιημένη αρχιτεκτονική του δικτύου υπάρχει ένας κεντρικός κόμβος ο RRM Server, ο οποίος είναι ο κύριος κόμβος που διαχειρίζεται όλες τις λειτουργίες σχετικές με τη διαχείριση ασύρματων πόρων[12][13]. Η κεντροποιημένη αρχιτεκτονική απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3-2. Κεντροποιημένη αρχιτεκτονική λογικών κόμβων του δικτύου

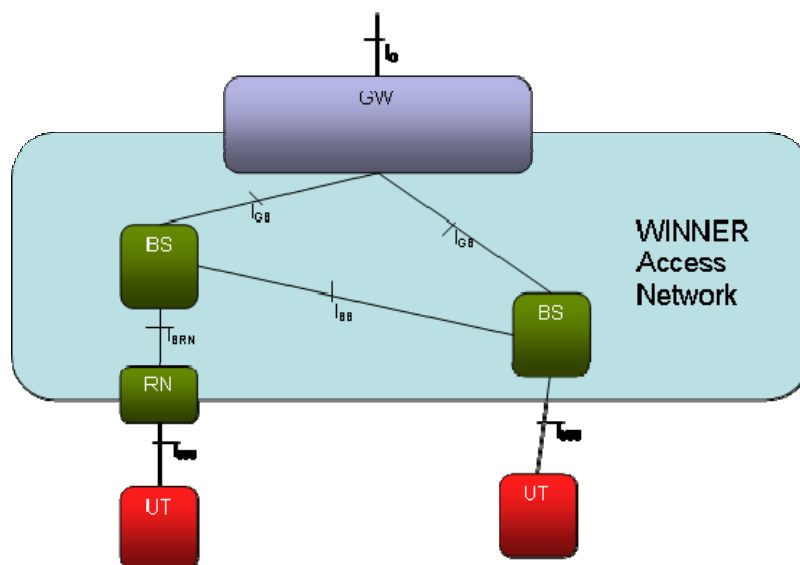
Τα χαρακτηριστικά της κεντροποιημένης αρχιτεκτονικής και της κεντροποιημένης διαχείρισης ασύρματων πόρων είναι τα παρακάτω [8][12][13]:

- Δυνατότητα να επιτευχθούν βέλτιστες αποφάσεις λαμβάνοντας υπόψη τις διακυψελικές (inter-cell), δια-μορφικές (inter-mode) και δια-συστημικές (inter-system) πληροφορίες, καθώς και πολλές άλλες παραμέτρους (κινητικότητα τερματικού, τύπος υπηρεσίας, θέση τερματικού, κτλ), ώστε να επιτευχθεί μια σωστή απόφαση, μιας και όλες οι πληροφορίες θα είναι διαθέσιμες σε ένα και μόνο μέρος, οπότε θα είναι πιο εύκολα προσβάσιμες.
- Σε περιπτώσεις χαμηλού φορτίου και ενδο-μορφικής (intra-mode) ή και δια-μορφικής (inter-mode) διαπομπής ή άλλων RRM λειτουργιών οι σταθμοί βάσης δε χρειάζεται να επικοινωνούν με τον RRM Server

- Σε περιπτώσεις υψηλού φορτίου και για την υποστήριξη εξελεγμένων λειτουργιών RRM, οι αποφάσεις θα πρέπει να λαμβάνονται με αποδοτικό τρόπο από μια κεντρική οντότητα διαχείρισης. Για να αντιμετωπιστούν περιπτώσεις υψηλού φορτίου, είναι απαραίτητη η λειτουργία της αποφυγής συμφόρησης (**Congestion Avoidance**), η οποία χρησιμοποιεί άλλες λειτουργίες όπως διαπομπή (εξαναγκάζει μερικά τερματικά να αλλάξουν κυψέλη, μορφή δικτύου, σύστημα) και έλεγχο αποδοχής (απόρριψη νέων αιτήσεων από τερματικά). Οι λειτουργίες αυτές λειτουργούν βέλτιστα αν υπάρχει μια κεντρική οντότητα διαχείρισης που να “ενορχηστρώνει” όλο το δίκτυο.

3.4.2 Κατανεμημένη αρχιτεκτονική

Κατανεμημένη (distributed) είναι η αρχιτεκτονική στην οποία όλες οι αποφάσεις σχετικές με τη διαχείριση ασύρματων πόρων λαμβάνονται σε επίπεδο κυψέλης και ουσιαστικά από τον εκάστοτε σταθμό βάσης, ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες κυψέλες, αλλά όμως λαμβάνοντας υπόψη και πληροφορίες από άλλες κυψέλες, όπως μετρήσεις κατάστασης του δικτύου ή μετρήσεις από το κινητό τερματικό [6][7][8]. Στην κατανεμημένη αρχιτεκτονική του δικτύου δεν υπάρχει πια ο κεντρικός RRM Server και η όλη διαχείριση του δικτύου επαφίεται πλέον στους σταθμούς βάσης. Η κατανεμημένη αρχιτεκτονική διαχείρισης ασύρματων πόρων του μελλοντικού δικτύου παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3-3. Κατανεμημένη αρχιτεκτονική λογικών κόμβων του δικτύου

Τα χαρακτηριστικά της κατανεμημένης αρχιτεκτονικής και της κατανεμημένης διαχείρισης ασύρματων πόρων είναι τα παρακάτω [10][11][12][13]:

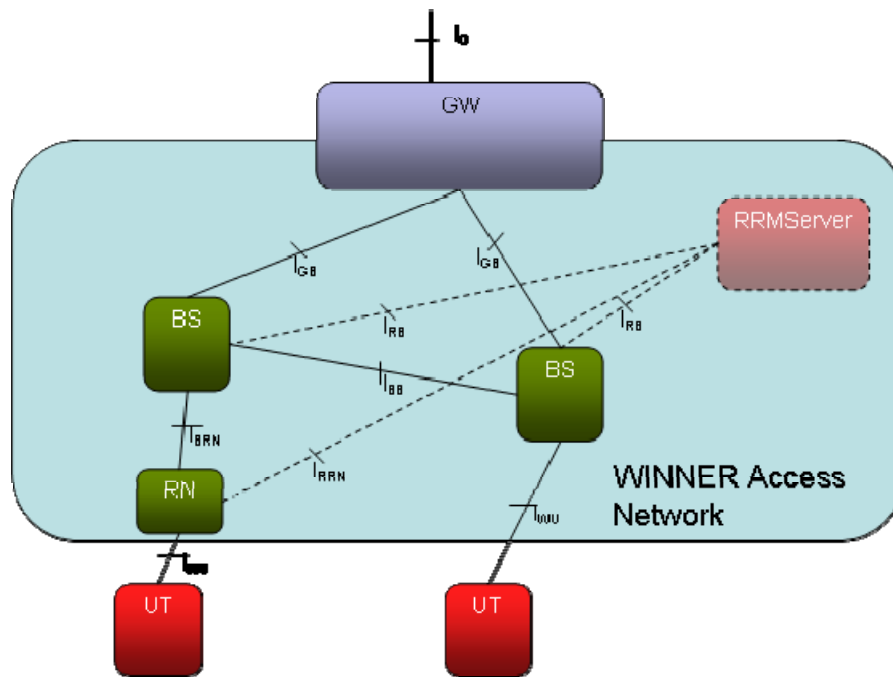
- Ταχύτερες αποφάσεις: αφού οι αποφάσεις λαμβάνονται τοπικά δεν υπάρχει καμία καθυστέρηση λόγω επικοινωνίας με τον RRM Server.
- Μικρότερο επίβαρο σηματοδότησης, καθώς δεν υπάρχει η διαρκής επικοινωνία του RRM Server με τους σταθμούς βάσης.
- Μεγαλύτερη στιβαρότητα – αν ο κεντρικός RRM Server τεθεί (για κάποιο λόγο) εκτός λειτουργίας θα επηρεαστούν όλες οι κυψέλες και θα τεθεί σε κίνδυνο όλο το δίκτυο. Στην περίπτωση, όμως, της κατανεμημένης αρχιτεκτονικής τέτοιος κίνδυνος δεν υπάρχει και σε περίπτωση που κάποιος σταθμός βάσης τεθεί εκτός λειτουργίας, το υπόλοιπο δίκτυο δε θα επηρεαστεί.
- Μεγαλύτερη ευελιξία – προσαρμογές και αλλαγές μπορούν να γίνουν τοπικά σε κάθε κυψέλη μη επηρεάζοντας απευθείας τις υπόλοιπες κυψέλες.
- Πιο κατάλληλο για ετερογενές περιβάλλον – για παράδειγμα, αν δυο γειτονικές κυψέλες ανήκουν σε διαφορετικούς παρόχους, μπορούν να προσαρμόσουν τις αποφάσεις τους με από κοινού επικοινωνία, χωρίς να πρέπει να βασίζονται σε έναν κοινό RRM Server.
- Σε περιπτώσεις χαμηλού φορτίου δικτύου, για τη διαπομπή δε θα πρέπει να εξετάζεται η ύπαρξη ενός κεντρικού RRM Server.

3.4.3 Υβριδική αρχιτεκτονική

Υβριδική (hybrid) είναι η αρχιτεκτονική στην οποία μερικές αποφάσεις διαχείρισης λαμβάνονται κεντρικά, ενώ άλλες λαμβάνονται τοπικά και αυτό εξαρτάται από την ύπαρξη ή μη ενός κεντρικού RRM Server [7][8][11][12][13]. Αν υπάρχει ο RRM Server τότε οι αποφάσεις σε περίπτωση χαμηλού φορτίου θα μπορούν να λαμβάνονται τοπικά σε επίπεδο κυψέλης, ενώ σε περιπτώσεις υψηλού φορτίου και με την πιθανότητα ενεργοποίησης διασυστημικών διαπομπών, η ύπαρξη και η λειτουργία του RRM Server ωφελεί την επίτευξη σωστότερων αποφάσεων. Αυτή η περίπτωση ονομάζεται και κλιμακωτή διαχείριση ασύρματων πόρων (RRM scalability).

Η υβριδική αρχιτεκτονική αναπτύχθηκε ως μια λύση στο δίλημμα μεταξύ κεντροποιημένης ή κατανεμημένης αρχιτεκτονικής, ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόδοση του συστήματος με κατανεμημένους αλγορίθμους, αλλά και με κεντρικές αποφάσεις όταν υπάρχει υψηλό φορτίο στο δίκτυο ή και σε άλλες περιπτώσεις.

Η υβριδική αρχιτεκτονική που διερευνήθηκε παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα, όπου ο RRM Server και οι διεπαφές που τον ενώνουν με τις υπόλοιπες οντότητες του δικτύου παρουσιάζονται με διακεκομμένες γραμμές, ώστε να φανεί ότι σε μερικές περιπτώσεις θα εμπλέκεται στις αποφάσεις διαχείρισης, ενώ σε άλλες περιπτώσεις θα απουσιάζει από τις αποφάσεις.



Σχήμα 3-4. Υβριδική αρχιτεκτονική λογικών κόμβων του μελλοντικού δικτύου

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την ύπαρξη του προαιρετικού RRM Server είναι τα παρακάτω (με έντονη γραμματοσειρά σημειώνονται τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση του RRM Server) [7][8][12][13]:

- Αποδοτικός συντονισμός των ασύρματων ραδιοπόρων μεταξύ πολλαπλών μορφών δικτύου και ασύρματων τεχνολογιών που λειτουργούν μαζί, με αποδοτική ελάφρυνση παρεμβολών.
- **Ανάθεση και διαμοίραση φάσματος μεταξύ των μορφών του δικτύου του WINNER και μεταξύ του WINNER και των άλλων δικτύων.**
- **Εξισορρόπηση φορτίου και καταμερισμός πόρων μεταξύ των μορφών του δικτύου του WINNER και μεταξύ του WINNER και των άλλων δικτύων.**
- **Κέρδος αποφυγής συμφόρησης (με τη χρήση διαπομπής και ελέγχου αποδοχής)**
- **Πολυμορφικά κινητά τερματικά (ταυτόχρονη λήψη από πολλά δίκτυα ή από πολλές μορφές δικτύου του WINNER)**
- **Κέρδος πολλαπλότητας (multiplexing gain)**
- **Κέρδος διαφορισμού πολλαπλών χρηστών (multiuser diversity gain)**
- Κέρδος εμπλουτισμού ποιότητας υπηρεσίας για κλιμακωτές υπηρεσίες, π.χ. κλιμακωτή κωδικοποίηση βίντεο.
- Γέφυρα μεταξύ του δικτύου του WINNER και του υποσυστήματος λειτουργίας και συντήρησης.

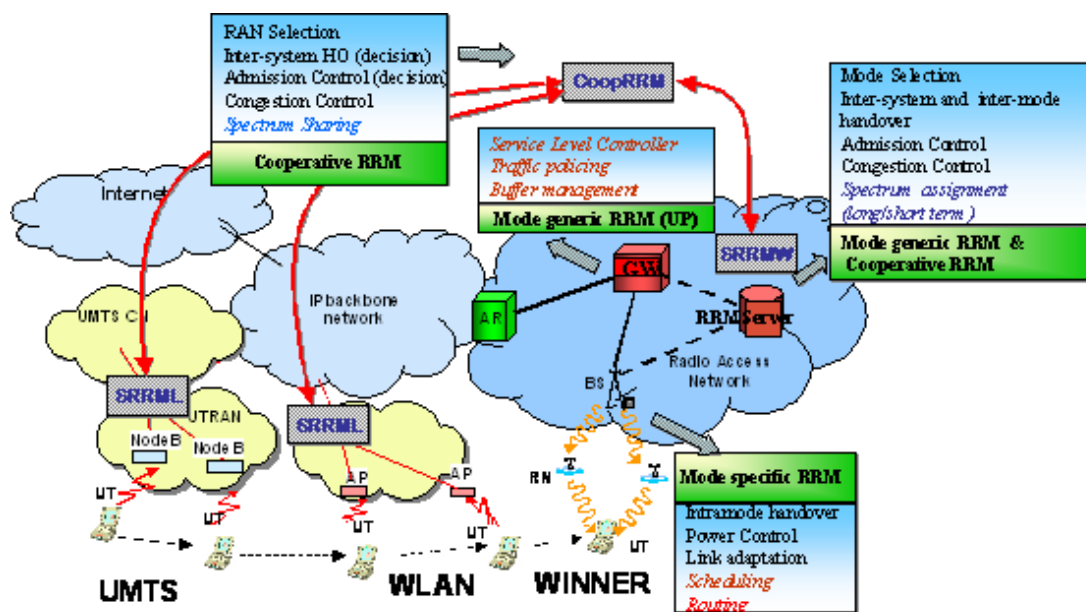
- Κλιμακωτές υπηρεσίες (service scalability) - υπηρεσίες που παρέχονται χρησιμοποιώντας την πιο επαρκή μορφή δικτύου

3.5 Αρχιτεκτονική συνεργασίας δικτύου 4^{ης} γενιάς με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα

3.5.1 Γενικά

Μια βασική απαίτηση για τα μελλοντικά δίκτυα τέταρτης γενιάς είναι η συνεργασία τους με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα που λειτουργούν ομαλά [14]. Για να είναι επιτυχημένη η εισαγωγή των νέων δικτύων στην τηλεπικοινωνιακή αγορά θα πρέπει να προβλέψουν την ομαλή συνεργασία τους με τα δίκτυα που βρίσκονται ήδη σε λειτουργία [15]. Για αυτό το λόγο, αναπτύχθηκε η αρχιτεκτονική συνεργασίας ενός μελλοντικού δικτύου με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα ή δίκτυα κληρονομιάς (legacy networks). Για να είναι λειτουργική η συνεργασία των δικτύων, θα πρέπει σε κάθε δίκτυο να υπάρχει μια οντότητα διαχείρισης που θα συντονίζει τους πόρους του κάθε δικτύου.

Μια γενική άποψη της αρχιτεκτονικής συνεργασίας του μελλοντικού δικτύου με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 3-5. Αρχιτεκτονική συνεργασίας του μελλοντικού δικτύου

Στο παραπάνω σχήμα εμφανίζονται τρεις νέες οντότητες του δικτύου του WINNER, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την επικοινωνία και τη συνεργασία του δικτύου με τα υπόλοιπα δίκτυα. Οι οντότητες αυτές είναι οι εξής [16][17][18][19][20][21][22][23]:

- **CoopRRM**: είναι η κύρια οντότητα η οποία έχει τον έλεγχο και την ευθύνη της συνεργασίας του WINNER με τα υπόλοιπα δίκτυα. Αυτή η οντότητα θα βρίσκεται εκτός του δικτύου του WINNER και θα είναι υπεύθυνη για τον συντονισμό των λειτουργιών του δικτύου με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα.
- **SRRMw**: είναι η οντότητα που βρίσκεται μέσα στο δίκτυο του WINNER και προσαρμόζει το δίκτυο για τη συνεργασία με την CoopRRM. Η SRRMw θα έχει λειτουργίες επίβλεψης και ελέγχου του δικτύου του WINNER και επίσης θα υποστηρίζει λειτουργίες RRM σχετικές με τα άλλα δίκτυα.
- **SRRML**: είναι η οντότητα που βρίσκεται στα υπόλοιπα δίκτυα και τα προσαρμόζει για τη συνεργασία με την CoopRRM. Οι λειτουργίες της SRRML είναι παρόμοιες με αυτές της SRRMw, δηλαδή επιβλέπει τα δίκτυα και αναφέρει μετρήσεις στην CoopRRM και μεταγλωττίζει τις εντολές της CoopRRM προς το κάθε δίκτυο (π.χ. για διαπομπές).

3.5.2 Οντότητες των μηχανισμών συνεργασίας

Οι οντότητες που απαιτούνται να περιέχουν τις λειτουργίες των μηχανισμών συνεργασίας του δικτύου μπορούν να συνοψιστούν στις εξής [18]:

- Οντότητες για τη διασυστημική διαπομπή
- Οντότητα προτιμήσεων χρήστη για την παρακολούθηση των πληροφοριών κειμένου χρήστη όπως το κόστος, η τάξη ποιότητας υπηρεσιών, τα δίκτυα προτίμησης, το προφίλ του χρήστη κτλ.
- Οντότητες για το διασυστημικό έλεγχο αποδοχής
- Οντότητες για τη διαχείριση της ποιότητας υπηρεσιών

Περισσότερες πληροφορίες για τις παραπάνω οντότητες, καθώς και η τοποθέτησή τους στις οντότητες του δικτύου δίνεται στις επόμενες παραγράφους.

3.5.2.1 Λειτουργικότητα των οντοτήτων διασυστημικής διαπομπής

Ακολουθώντας τη ροή των πληροφοριών της διαδικασίας διαπομπής από τις μετρήσεις μέχρι τη λήψη της απόφασης, η λίστα των εμπλεκόμενων οντοτήτων είναι η ακόλουθη [17][18]:

- **Οντότητα μετρήσεων (measurement entity)**: είναι υπεύθυνη για την περιοδική συλλογή των μετρήσεων από το τρέχον, καθώς και από τα υπόλοιπα δίκτυα και τον υπολογισμό έξτρα στατιστικών όπως το τρέχον φορτίο του δικτύου. Αυτή η οντότητα μπορεί να είναι μια βάση

δεδομένων, η οποία αξιοποιεί τα εισερχόμενα δεδομένα από τα κινητά τερματικά (όπως π.χ. η θέση και οι μετρήσεις τους) με τη μορφή με την οποία τα κινητά λαμβάνουν τις μετρήσεις αυτές και τα μεταφράζει σε μια εσωτερική μορφή που να είναι συμβατή και να μπορούν να τη διαβάσουν οι υπόλοιπες οντότητες, μιας και υπάρχουν περισσότερα του ενός εμπλεκόμενα ετερογενή δίκτυα και οι μετρήσεις μπορεί να λαμβάνονται με διαφορετική μορφή σε καθένα από αυτά. Αυτή η οντότητα βρίσκεται στην CoopRRM αλλά και στο BS ή στον RRM Server (αναλόγως τη χρήση κατανεμημένης ή κεντροποιημένης αρχιτεκτονικής). Στο BS/RRM Server συγκεντρώνονται οι μετρήσεις από τα κινητά τερματικά που είναι συνδεδεμένα με το μελλοντικό δίκτυο και στην CoopRRM οι μετρήσεις των κινητών των άλλων δικτύων.

- **Οντότητα παρακολούθησης και σκανδάλης (monitoring and triggering entity) :** είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο και τη σύγκριση των μετρήσεων με τα κατώφλια ώστε να ενεργοποιείται η σκανδάλη για την αρχικοποίηση της διαδικασίας διαπομπής. Αυτή η οντότητα βρίσκεται κυρίως στην CoopRRM που συγκεντρώνει τις μετρήσεις από το μελλοντικό δίκτυο και τα άλλα δίκτυα και ελέγχει αν πρέπει να συμβεί διαπομπή ή όχι.
- **Οντότητα γειτονικών κυψελών και δικτύων (neighbouring cells and RANs entity) :** είναι υπεύθυνη για την παρακολούθηση των διαθέσιμων δικτύων και κυψελών για κάθε τερματικό, καθώς και για την καταγραφή αρχείου για τα διαθέσιμα δίκτυα στα οποία μπορεί να έχει πρόσβαση το κάθε τερματικό με βάση τις προτιμήσεις του χρήστη, τους περιορισμούς του διαχειριστή του δικτύου, τις δυνατότητες του τερματικού κτλ. Οι “γειτονικές λίστες” είναι οι λίστες με τις γειτονικές κυψέλες και τα γειτονικά δίκτυα που μπορεί να έχει πρόσβαση το κινητό τερματικό και στέλνονται από το δίκτυο προς το κινητό είτε με ξεχωριστά μηνύματα είτε με ευρυεκπομπή (broadcast). Με τη χρήση των λιστών αυτών το κινητό τερματικό θα πρέπει να πραγματοποιεί μετρήσεις μόνο στις κυψέλες και τα δίκτυα που εμπεριέχονται σε αυτές, έτσι ώστε να αποφεύγονται άσκοπες μετρήσεις σε δίκτυα ή κυψέλες που δε θα μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση το κινητό και να μειωθεί η σηματοδοσία στο δίκτυο. Αυτή η οντότητα βρίσκεται στην CoopRRM για τα κινητά των άλλων δικτύων και στο BS/RRM Server για τα κινητά του WINNER.
- **Οντότητα απόφασης διαπομπής (handover decision entity) :** είναι υπεύθυνη για τη λήψη της τελικής απόφασης για το δίκτυο και την κυψέλη στην οποία θα πραγματοποιήσει διαπομπή το κινητό τερματικό. Η τελική απόφαση για τη διαπομπή λαμβάνεται είτε στην CoopRRM αν το κινητό θα πρέπει να κάνει διαπομπή από το WINNER σε άλλο δίκτυο ή στο αντίστοιχο BS/RRM Server στην αντίστροφη περίπτωση.

3.5.2.2 Λειτουργικότητα των οντοτήτων του ελέγχου αποδοχής

Για την αποδοτική λειτουργία του μηχανισμού ελέγχου αποδοχής απαιτούνται οι παρακάτω οντότητες [17][18]:

- Κεντρική οντότητα ελέγχου αποδοχής, που θα είναι υπεύθυνη για την τελική απόφαση της αποδοχής νέας συνεδρίας και θα βρίσκεται στην CoorRRM
- Τοπική οντότητα ελέγχου αποδοχής σε κάθε SRRML κ στο BS/RRM Server
- Οντότητα υπεύθυνη για την διατήρηση της ουράς του ελέγχου αποδοχής (τοπικά σε κάθε δίκτυο).

Η κεντρική οντότητα ελέγχου αποδοχής είναι υπεύθυνη για:

- Τον γενικό έλεγχο της διαδικασίας ελέγχου αποδοχής
- Τον καθορισμό των χαρακτηριστικών/απαιτήσεων της κάθε συνεδρίας και την ανάθεσή της σε μια τάξη υπηρεσιών
- Την επιλογή του υποψηφίου δικτύου
- Τη λήψη των αποτελεσμάτων και των αποφάσεων από τις τοπικές οντότητες ελέγχου αποδοχής σε κάθε SRRML και στα BS/RRM Server
- Τη συνεργασία με τους υπόλοιπους μηχανισμούς, όπως τη διαπομπή, την διαχείριση ποιότητας υπηρεσιών κτλ.

Οι τοπικές οντότητες ελέγχου αποδοχής είναι υπεύθυνες για:

- Τη συνεργασία με την τοπική οντότητα μετρήσεων και τη λήψη των μετρήσεων από αυτή
- Τον έλεγχο των κριτηρίων του αλγορίθμου ελέγχου αποδοχής σε κάθε δίκτυο ώστε να ληφθεί η απόφαση για την αποδοχή ή μη της κάθε συνεδρίας (σε τοπικό επίπεδο πάντα)
- Τη συνεργασία με την κεντρική οντότητα ελέγχου αποδοχής (αποστολή/λήψη πληροφοριών)
- Την επιλογή των τρεχόντων συνεδριών που θα πρέπει να εκτελέσουν διαπομπή ή να επαναδιαπραγματευτούν την ποιότητα της υπηρεσίας τους, για την απελευθέρωση αναγκαίων πόρων για την εξυπηρέτηση νέων συνεδριών (σημαντικό βήμα στον αλγόριθμο ελέγχου αποδοχής)
- Τη συνεργασία με άλλες τοπικές οντότητες, όπως οντότητα διαπομπής κτλ

Η οντότητα της ουράς είναι υπεύθυνη για τη διατήρηση μιας ουράς αναμονής για τις συνεδρίες που έκαναν αίτηση για αποδοχή, αλλά λόγω κυρίως μη διαθέσιμων πόρων δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν αμέσως, οπότε εισέρχονται σε αυτή την ουρά αναμένοντας την απελευθέρωση των αναγκαίων πόρων. Περισσότερα για αυτό θα παρουσιαστούν παρακάτω στην περιγραφή του αλγορίθμου ελέγχου αποδοχής.

3.5.2.3 Λειτουργικότητα των οντοτήτων της διαχείρισης της ποιότητας υπηρεσιών

Οι οντότητες της διαχείρισης της ποιότητας υπηρεσιών εμπερικλείουν λειτουργίες που εξασφαλίζουν τα κοινά σημεία μεταξύ των διαφόρων δικτύων. Οι αποφάσεις λαμβάνονται ξεχωριστά για κάθε χρήστη και ο χρονοδρομολογητής που έχει ανατεθεί στην CoopRRM φροντίζει για την εφαρμογή της ποιότητας υπηρεσιών και την εκμετάλλευση των βέλτιστων πόρων κάθε δικτύου. Επίσης, υπάρχει και η δυνατότητα ενσωμάτωσης ενός ταξινομητή ροών (flow classifier) για τη διαχείριση των διασυστημικών ροών [17][18].

Οι οντότητες μπορούν να χωριστούν σε κεντρικές (στην CoopRRM) και τοπικές σε κάθε δίκτυο. Οι τοπικές είναι υπεύθυνες για την παρακολούθηση των χαρακτηριστικών δεικτών απόδοσης (key performance indicators – KPIs) και την εφαρμογή τεχνικών RRM για την διαχείριση της ποιότητας υπηρεσιών που λαμβάνουν οι χρήστες. Η κεντρική οντότητα μαζί με τις τοπικές εμπερικλείουν λειτουργίες που επιτρέπουν στον διαχειριστή του δικτύου να κατανέμει δυναμικά χρήστες με βάση τη ζητούμενη υπηρεσία όπως και με βάση το διαθέσιμο εύρος ζώνης του δικτύου. Ο στόχος είναι να παρέχεται στον χρήστη η δυνατότητα να λαμβάνει μια υπηρεσία με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά:

- Πάντα συνδεδεμένος (always connected)
- Βέλτιστη κάλυψη (best coverage – strongest signal)
- Βέλτιστο διαθέσιμο εύρος ζώνης (best available bandwidth)
- Βέλτιστη διαθέσιμη ποιότητα υπηρεσιών (best available QoS)

Από την πλευρά του δικτύου το σύστημα θα πρέπει να χειρίζεται όλη την κίνηση με σκοπό:

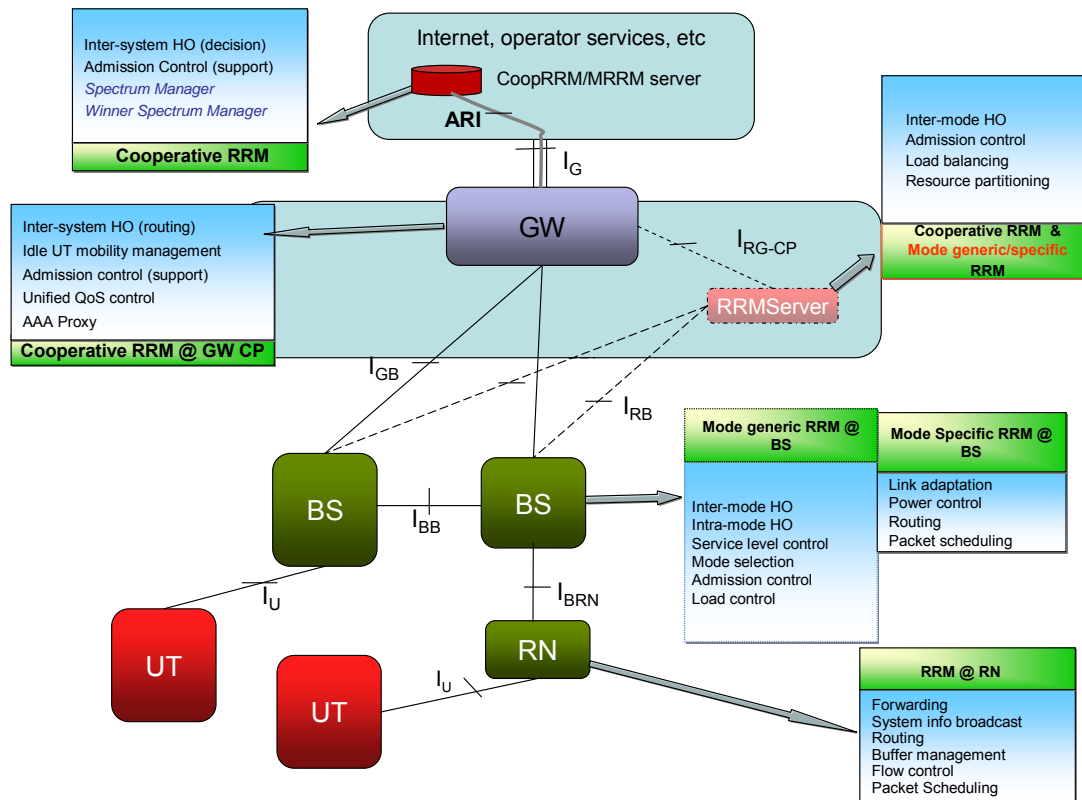
- Την αποσυμφόρηση μιας περιοχής είτε ως μέρος ενός μόνου δικτύου είτε ως μέρος μιας περιοχής που καλύπτεται από πολλά δίκτυα
- Την βοήθεια αρχικοποίησης μιας διαπομπής

3.5.3 Σενάρια συνεργασίας ενός μελλοντικού δικτύου 4^{ης} γενιάς

Σε ένα μελλοντικό δίκτυο 4^{ης} γενιάς υπάρχουν διάφορα σενάρια και επίπεδα συνεργασίας. Μερικά από αυτά είναι τα παρακάτω [7]:

- Δια-συστημική συνεργασία (inter-system cooperation)
 - Συνεργασία του WINNER με τα υπόλοιπα δίκτυα
- Συνεργασία μεταξύ φορέων δικτύου (inter-operator cooperation)
 - Περιαγωγή και ανοιχτή σύζευξη (roaming and open coupling)
 - Καθορισμός συμφωνίας επιπέδου υπηρεσιών (Service Level Agreement – SLA)
- Δια-μορφική συνεργασία (inter-mode cooperation)
 - Μια ομάδα GWs συνδέεται με έναν αριθμό BSs με διαφορετικές μορφές ανάπτυξης δικτύου (different deployment modes)
 - Σύστημα ιεραρχικού ελέγχου (hierarchical control system – HCS) και απευθείας επικοινωνία μεταξύ των σταθμών βάσης ευρείας περιοχής (wide area BS) και των σταθμών βάσης τοπικής περιοχής (local area BS)
- Δια-οντοτική συνεργασία (inter-entity cooperation)
 - GW – BS
 - BS – RN
 - BS – BS
 - Δίκτυο WINNER – εξυπηρετητής υπηρεσιών (service server)

Για να γίνει δυνατή η υλοποίηση των παραπάνω σεναρίων συνεργασίας πρέπει οι αντίστοιχες λειτουργίες να τοποθετηθούν στις οντότητες του συστήματος του WINNER. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι σχετικές λειτουργίες και η κατανομή τους στους λογικούς κόμβους του δικτύου.

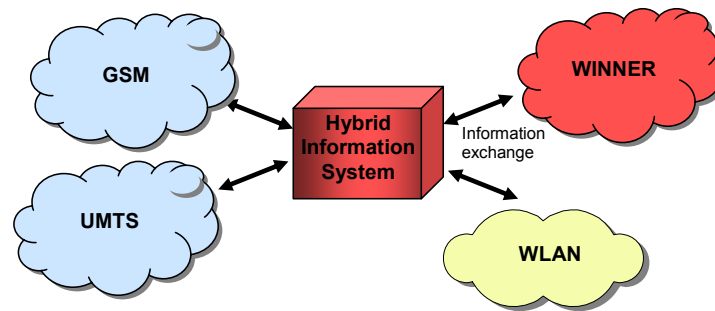


Σχήμα 3-6. Λειτουργίες συνεργασίας του μελλοντικού δικτύου [7]

3.5.4 Υβριδικό σύστημα πληροφοριών

Η συνεργασία ετερογενών δικτύων κινητών επικοινωνιών και η εκτέλεση διαπομπών μεταξύ τους βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών. Η σάρωση άλλων δικτύων απαιτεί την κατανάλωση ιδίων πόρων και αδρανείς περιόδους στη ζεύξη καθόδου. Μια άλλη προσέγγιση είναι να αποθηκεύονται τα σχετικά δεδομένα σε μια οντότητα που ονομάζεται Υβριδικό Σύστημα Πληροφοριών (Hybrid Information System – HIS), που είναι ενσωματωμένη στο δίκτυο κορμού [16][17]. Όλα τα συνδεδεμένα τερματικά μπορούν να μεταφέρουν σχετικές πληροφορίες από το δίκτυό τους προς αυτή την οντότητα, η οποία με τη σειρά της παρέχει τις πληροφορίες αυτές για τερματικά σε άλλα δίκτυα. Αυτά τα τερματικά μπορούν απλά να στείλουν μια αίτηση για πληροφορίες προς το HIS και αυτό θα τους επιστρέψει μια αναφορά της κατάστασης των υπολοίπων δικτύων. Το σύστημα αυτό παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα. Ο διαχειριστής μπορεί να προσφέρει στο χρήστη την βέλτιστη υπηρεσία μιας και μπορεί να συγκρίνει όλα τα διαθέσιμα δίκτυα.

Συνοψίζοντας, η λειτουργία του HIS είναι η αξιοποίηση των εισερχόμενων δεδομένων και η εγκατάσταση μιας εσωτερικής αναπαράστασης που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από όλα τα δίκτυα.



Σχήμα 3-7. Υβριδικό Σύστημα Πληροφοριών

3.5.4.1 Βάση δεδομένων του υβριδικού συστήματος πληροφοριών

Η αποθήκευση των πληροφοριών στο HIS δημιουργεί το πρόβλημα της αντιστοίχισης των πληροφοριών από ένα δίκτυο στη μορφή που απαιτούν τα υπόλοιπα δίκτυα. Αν τα δεδομένα είναι ειδικά για τη συγκεκριμένη θέση του τερματικού, όπως π.χ. το επίπεδο παρεμβολών ή οι απώλειες διαδρομής, θα πρέπει να προσαρτώνται στις αποθηκευμένες τιμές και να συγκρίνονται με τις αντίστοιχες εισαγωγές άλλων δικτύων. Ακόμα και όταν τα δεδομένα δεν είναι ειδικά για κάθε θέση του τερματικού, όπως ο χρόνος αδράνειας σε ένα 802.11 WLAN Basic Service Set, η θέση είναι αναγκαία μιας και η περιοχή κάλυψης πρέπει να είναι γνωστή για τη διαδικασία διατομής μεταξύ δικτύων. Αποθηκεύοντας την πληροφορία από τα δίκτυα δημιουργείται ένας χάρτης του περιβάλλοντος και αν ένας χρήστης άλλου δικτύου χρειάζεται κάποια πληροφορία για τα γειτονικά δίκτυα, μπορεί να την λάβει καθορίζοντας την θέση του στο χάρτη και ζητώντας τα κατάλληλα δεδομένα [17][18].

Τα δεδομένα μπορούν να επεξεργαστούν είτε μακροπρόθεσμα είτε βραχυπρόθεσμα με βάση το πόσο σχετικές είναι οι τιμές τους. Αν τα δεδομένα αλλάζουν ραγδαία και δεν είναι προβλέψιμα στο χρόνο, μόνο οι τρέχουσες τιμές είναι χρήσιμες. Για την παρακολούθηση όμως δεδομένων σταθερής θέσης μια μακροπρόθεσμη μέση τιμή μπορεί να δώσει μια καλή πρόγνωση για την τρέχουσα κατάσταση. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι οι απώλειες διαδρομής σε ένα σενάριο μιας και ακόμα και τα φαινόμενα διαλείψεων μπορούν να αποφευχθούν. Επομένως, ένα πρόσθετο πλεονέκτημα της αποθηκευμένης πληροφορίας είναι και η χρήση της για την περαιτέρω διαχείριση του δικτύου.

3.5.4.2 Διεπαφή

Η διεπαφή του κεντροποιημένου πληροφοριακού συστήματος πρέπει να κατασκευαστεί ώστε να είναι ευέλικτη, μιας και λαμβάνει πληροφορίες από πολλά τελείως διαφορετικά δίκτυα και επίσης πρέπει να είναι ανοιχτή να συμπεριλάβει και μελλοντικές τεχνολογίες δικτύων. Για την ικανοποίηση αυτών των απαιτήσεων, όλες οι εισαγωγές αποτελούνται από ένα κοινό μέρος (common part) με τον

τύπο του συστήματος, την θέση και μια τιμή χρόνου και από ένα μέρος συγκεκριμένο για κάθε δίκτυο (system specific part) με πληροφορίες για τη ζεύξη και την κατάσταση του συστήματος.

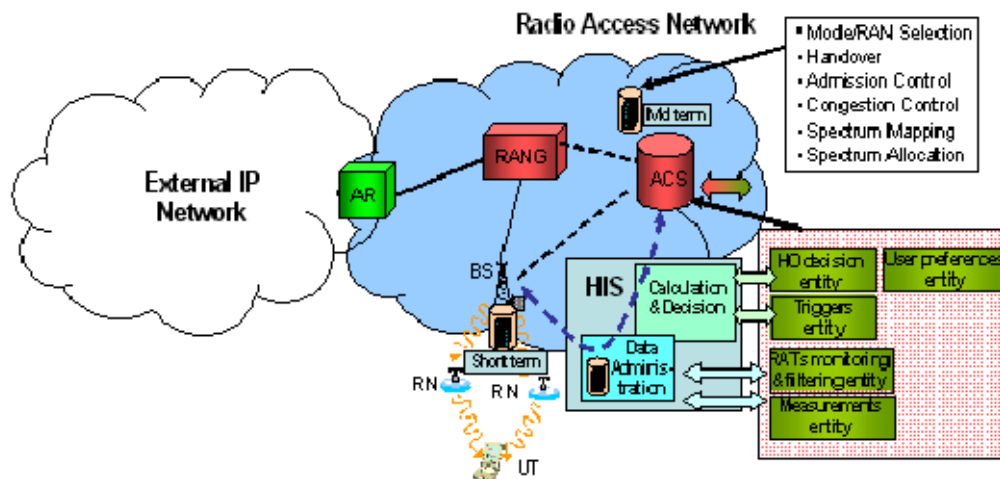
Πίνακας 3-1. αναφορές του HIS

Common Part	System Specific Part
- measurement time	- Interference
- location	- Pathloss
- network type	- C/I
...	- idle/busy time
	- QoS
	...

Κάθε τερματικό πρέπει να έχει πρόσβαση στις αποθηκευμένες πληροφορίες, επομένως η διεπαφή πρέπει να διαχειρίζεται αιτήσεις από τερματικά και να απαντά με μια αναφορά της κατάστασης των άλλων συστημάτων. Μπορεί να γίνει διαχωρισμός μεταξύ μιας αναφοράς που εκκινείται από το τερματικό ή από το HIS. Στην πρώτη περίπτωση θα πρέπει να μεταδοθούν δεδομένα που να αφορούν όλα τα γειτονικά συστήματα, μιας και το τερματικό είναι αυτό που αποφασίζει για διαπομπή (mobile initiated handover – MIHO) και επομένως χρειάζεται όλη την απαραίτητη πληροφορία για όλα τα δίκτυα για να αποφασίσει σε ποιο θα κάνει διαπομπή. Στη δεύτερη περίπτωση το HIS μπορεί να αποφασίσει για το δίκτυο στο οποίο θα κάνει διαπομπή το κινητό και να στείλει πληροφορία μόνο για το συγκεκριμένο δίκτυο, για να μη στέλνεται άχρηστη πληροφορία. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ένα είδος διαπομπής εκκινούμενης από το δίκτυο (network initiated handover – NIHO).

Εξαιτίας του γεγονότος ότι όλα τα δίκτυα πρέπει να είναι συνδεδεμένα με το HIS είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός κοινού δικτύου κορμού. Σε μια κεντροποιημένη προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί ότι το HIS θα εμπερικλείεται στην CoopRRM και τα υπόλοιπα (εκτός WINNER) δίκτυα συνδέονται με αυτό μέσω των SRRML τους και τις αντίστοιχες διεπαφές, ώστε να στέλνουν και να λαμβάνουν την απαραίτητη πληροφορία. Σε μια κατακεντρωμένη προσέγγιση υπάρχουν διαφορετικές οντότητες του HIS και εμπερικλείονται στις SRRML στην CoopRRM και στα BS/RRM Server και οι πληροφορίες μεταφέρονται μεταξύ τους. Σε αυτή την περίπτωση όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για μια απόφαση διαπομπής είναι διαθέσιμες στο κάθε τοπικό και συγκεκριμένο για κάθε σύστημα HIS.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η αντιστοίχιση του HIS στην αρχιτεκτονική συνεργασίας του δικτύου του WINNER. Το HIS όπως φαίνεται μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύνολο οντοτήτων, η κάθε μια από τις οποίες είναι υπεύθυνη για μια συγκεκριμένη λειτουργία.



Σχήμα 3-8. Αντιστοίχιση του HIS στην αρχιτεκτονική συνεργασίας του δικτύου [18]

3.6 Ενοποιημένη αρχιτεκτονική συνεργασίας ετερογενών δικτύων

Σε αυτή την παράγραφο γίνεται αναφορά στη συμβολή μας στην ανάπτυξη μιας γενικής αρχιτεκτονικής διαχείρισης ετερογενών δικτύων με την από κοινού εργασία πολλών ευρωπαϊκών προγραμμάτων της αρχής Wireless World Initiative (WWI) [24]. Τα διάφορα ευρωπαϊκά προγράμματα που συνεργάζονταν ήταν το WINNER [1], το Ambient Networks (AN) [25], το End-to-End Reconfigurability (E2R) [26], το MobiLife [27] και το SPICE [28].

Οι ασύρματες επικοινωνίες χρησιμοποιούν ασύρματους πόρους, οι οποίοι γενικά είναι περιορισμένοι από τη φύση τους, από διεθνείς κανονισμούς (π.χ. εύρος ζώνης φάσματος και ισχύς μετάδοσης) και από οικονομικούς περιορισμούς. Η διαχείριση ασύρματων πόρων ασχολείται με μηχανισμούς ελέγχου, ώστε να χρησιμοποιούνται βέλτιστα αυτοί οι πόροι. Η ετερογενής διαχείριση ασύρματων πόρων (Heterogeneous Radio Resource Management – HRRM) έχει σκοπό την αποδοτική χρησιμοποίηση των ασύρματων πόρων μεταξύ πολλαπλών δικτύων ασύρματης πρόσβασης και αντιμετωπίζει επιπρόσθετες προκλήσεις που προκύπτουν από την ετερογενή φύση των τεχνολογιών πρόσβασης και το εύρος των επιχειρηματικών μοντέλων που πρέπει να υποστηρίζονται.

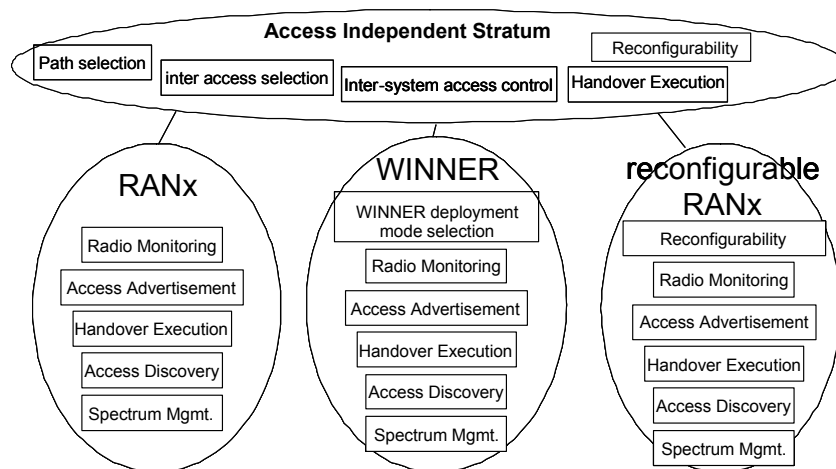
Η ανάπτυξη της HRRM βασίζεται στην υπόθεση πως η ασύρματη πρόσβαση παρέχεται από ποικίλα ετερογενή δίκτυα και οδηγεί στην ανάγκη δόμησης του ολικού δικτύου σε δυο στρώματα. Το πρώτο είναι το στρώμα ανεξάρτητο από πρόσβαση (access independent stratum) και το δεύτερο είναι

το στρώμα εξαρτώμενο από πρόσβαση (access dependent stratum). Τα στρώματα αυτά εμπερικλείουν το καθένα ξεχωριστές λειτουργίες, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω [29]:

- 1) λειτουργίες ανεξάρτητες από πρόσβαση (access independent functions)
 - **επιλογή πρόσβασης (inter-access selection)**: είναι μια γενική λειτουργία που περιλαμβάνει την επιλογή ενός πόρου πρόσβασης για σκοπούς χρονοδρομολόγησης, διαπομπής ή εξισορρόπησης φορτίου.
 - **διασυστημικός έλεγχος πρόσβασης (inter-system access control)**: είναι μια συλλογή από λειτουργίες ελέγχου της χρήσης του ετερογενούς δικτύου. Αυτή η λειτουργία περιλαμβάνει την εξισορρόπηση φορτίου (load balancing) και τον έλεγχο συμφόρησης (congestion control) μεταξύ δικτύων, την απόφαση για διασυστημική διαπομπή (intersystem handover), τη χρονοδρομολόγηση (scheduling) και την διαχείριση ποιότητας υπηρεσιών (QoS management).
 - **εκτέλεση διασυστημικής διαπομπής (inter-access handover execution)**: παρέχει μια εργαλειοθήκη για την απελευθέρωση των τρεχόντων πόρων και τη μετακίνηση της κλήσης στους επιλεγμένους πόρους σε ένα διαφορετικό δίκτυο πρόσβασης.
 - **επαναδιαρθρωσιμότητα (reconfigurability)**: συντονίζει τις συνακόλουθες διατεματικές (end – to – end) ενέργειες σε σενάρια επαναδιαρθρωσης και επιπροσθέτως διευκολύνει θέματα προσαρμογής δικτύων και ανάθεσης φάσματος.
 - **επιλογή μονοπατιού (path selection)**: λαμβάνει υπόψη της τα διατεματικά χαρακτηριστικά των συνεδριών επιπέδου χρήστη και επεκτείνει την απόφαση για τις συνδέσεις πρόσβασης με λειτουργίες επιλογής του κατάλληλου μονοπατιού κορμού. Η επιλογή λαμβάνει επίσης υπόψη της τις δυνατότητες ποιότητας υπηρεσιών και πληροφοριών ασφάλειας όπως είναι η γνώση για την ύπαρξη τειχών προστασίας (firewalls) ή ιδιωτικών δικτύων (private networks).
- 2) λειτουργίες εξαρτημένες από πρόσβαση (access dependent functions):
 - **ασύρματη παρακολούθηση (radio monitoring)**: δίνει αναφορά για την κατάσταση του τρέχοντος και των γειτονικών δικτύων πρόσβασης
 - **διαφήμιση πρόσβασης (access advertisement)**: διαφημίζει την ταυτότητα και τις δυνατότητες των δικτύων μέσα από ραδιοφάρους (beacons) ή άλλα μέσα.
 - **εκτέλεση διαπομπής (handover execution)**: παρέχει την εργαλειοθήκη για την απελευθέρωση των τρεχόντων πόρων και τη μετακίνηση της κλήσης στους επιλεγμένους πόρους μέσα στο ίδιο δίκτυο πρόσβασης.
 - **ανακάλυψη πρόσβασης (access discovery)**: δίνει τη δυνατότητα στο τερματικό να ανακαλύπτει όλα τα διαθέσιμα δίκτυα.

- **διαχείριση φάσματος (spectrum management)**: επιτρέπει την διαμοίραση και την επαν-ανάθεση φασματικών πόρων μεταξύ τεχνολογιών πρόσβασης και διαχειριστών δικτύων στοχεύοντας σε μια από κοινού βέλτιστη χρησιμοποίηση πόρων. Κέρδος για το συνολικό σύστημα είναι η αποδοτικότητα συγκανάλωσης (trunking gain) και η εξισορρόπηση φορτίου.
- **επιλογή μορφής ανάπτυξης δικτύου του WINNER (WINNER deployment mode selection)**: είναι μια εσωτερική λειτουργία του WINNER και είναι υπεύθυνη για την επιλογή της κατάλληλης μορφής ανάπτυξης του δικτύου του WINNER για τον κάθε χρήστη που είτε κάνει αίτηση για πρόσβαση στο WINNER είτε πραγματοποιεί διασυστημική διαπομπή από κάποιο άλλο δίκτυο προς αυτό.
- **επαναδιαρθρωσιμότητα (reconfigurability)**: πραγματοποιεί καθορισμένες λειτουργίες επαναδιαρθρωσιμότητας στα κομμάτια της ασύρματης πρόσβασης και του τερματικού, εμπερικλείοντας ανάλυση συγκεκριμένου (context), διάρθρωσης (configuration) και ποιότητας υπηρεσιών, καθώς και διεργασίες προφίλ και πολιτικών (profile and policies processing).

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει την ανάθεση των λειτουργιών αυτών σε μια πρώτη προσπάθεια καθορισμού της αρχιτεκτονικής της HRRM



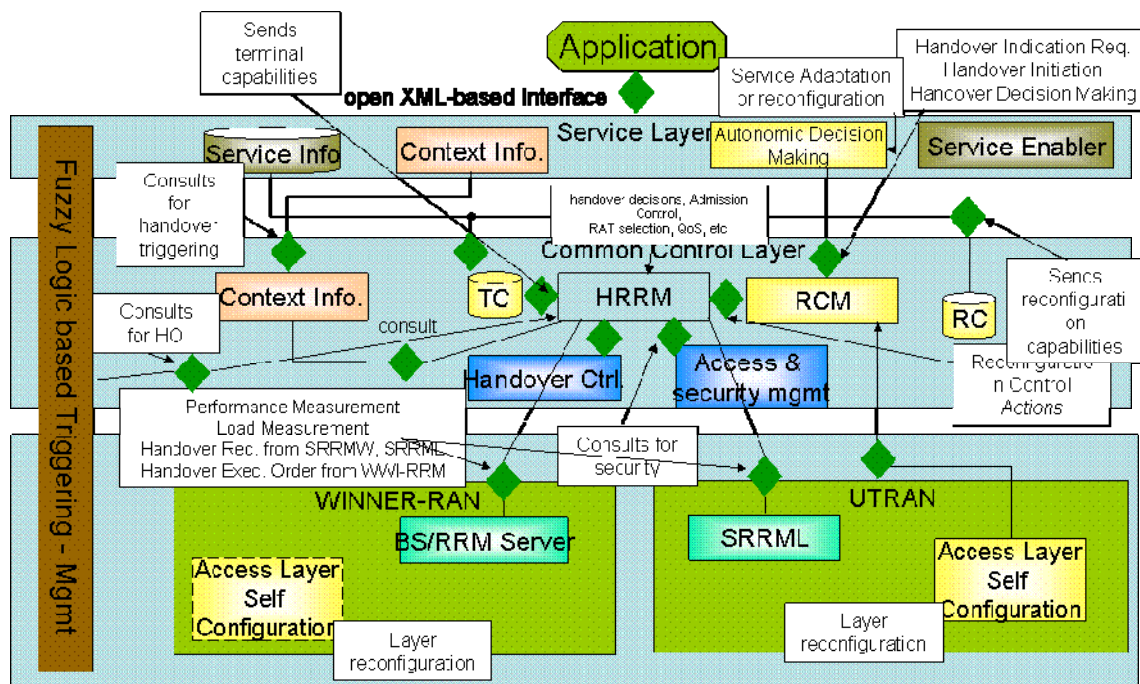
Σχήμα 3-9. λειτουργίες της HRRM

Η υλοποίηση των λειτουργιών της HRRM και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των λειτουργιών ανεξαρτήτου πρόσβασης παρουσιάζονται μέσω των παρακάτω περιπτώσεων χρήσης [30][31]:

- 1) η HRRM επιλέγει και επικαλείται το δίκτυο του WINNER
- 2) αίτηση προς την HRRM για διασυστημική διαπομπή μεταξύ του δικτύου του WINNER και άλλου επαναδιαρθρώσιμου δικτύου
- 3) συντονισμός φάσματος μεταξύ του δικτύου του WINNER και ενός άλλου επαναδιαρθρώσιμου δικτύου

- 4) επαναδιάθρωση δικτύων μέσω της HRRM
- 5) αίτηση για πρόσβαση σε επιπλέον διαχειριστικούς πόρους από την HRRM
- 6) περιαγωγή επαναδιαρθρώσιμου τερματικού με επαναδιάθρωση από έναν τύπο δικτύου σε άλλο (π.χ. από το WINNER στο UTRAN).

Η έρευνα πάνω στην δημιουργία μιας ενοποιημένης αρχιτεκτονικής διαχείρισης ετερογενών δικτύων επικεντρώθηκε επίσης και στην διαχείριση κινητικότητας μεταξύ των δικτύων αυτών. Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα λειτουργικής αρχιτεκτονικής για τη διαδικασία διασυστημικής διαπομπής. Σε αυτό το σχήμα παρουσιάζονται όλες οι οντότητες των συνεργαζόμενων ερευνητικών προγραμμάτων και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους. Επιπλέον, το σχήμα είναι χωρισμένο σε επίπεδα με βάση το μοντέλο του OSI, μιας και τα διάφορα προγράμματα ασχολούνται με διαφορετικά επίπεδα. Οι διάφορες οντότητες παρουσιάζονται με διαφορετικά χρώματα για να υποδηλώσουν το πρόγραμμα από το οποίο προέρχονται, π.χ. με μπλε είναι οι οντότητες του AN, με πράσινο του WINNER, με κίτρινο του E2R, με πορτοκαλί του MobiLife και με καφέ του SPICE.



Σχήμα 3-10. λειτουργική αρχιτεκτονική για τη διαδικασία της διασυστημικής διαπομπής

Στο κάτω μέρος του σχήματος (επίπεδα φυσικό και ζεύξης δεδομένων) παρουσιάζονται τα πιθανά δίκτυα που εμπλέκονται στην διαπομπή, δηλαδή το WINNER και το UTRAN, το οποίο μπορεί να αντικατασταθεί από ένα οποιοδήποτε άλλο δίκτυο, π.χ. GPRS, WLAN κ.τ.λ. Στα δίκτυα αυτά υπάρχουν οι οντότητες του WINNER που ασχολούνται με την παρακολούθηση της κατάστασης των δικτύων, την δημιουργία συμβάντων σκανδάλης και την εκτέλεση τοπικών μηχανισμών RRM,

καθώς και μια οντότητα του E2R που ασχολείται με την επαναδιάρθρωση του δικτύου. Στο μεσαίο επίπεδο (επίπεδο δικτύου) παρουσιάζεται στο κέντρο η HRRM που είναι χωρίς χρώμα μιας και είναι κοινή για όλα τα προγράμματα. Στο ίδιο επίπεδο υπάρχουν οντότητες του E2R για τις δυνατότητες του κινητού (TC) και τον έλεγχο της επαναδιαρθρωσιμότητας, οντότητες του AN για τον έλεγχο της διαπομπής και τη διαχείριση της πρόσβασης και της ασφάλειας και μια οντότητα του MobiLife για τη χρήση πληροφοριών συγκεκριμένου, ως σκανδάλι για τη διαδικασία της διαπομπής Στο πάνω μέρος του σχήματος (επίπεδα εφαρμογής και υπηρεσίας) υπάρχει παρόμοια οντότητα από το MobiLife, μια οντότητα από το E2R για τη λήψη αυτόνομων αποφάσεων και δυο οντότητες από το SPICE σχετικές με την υπηρεσία του χρήστη. Η κάθε μία από όλες αυτές τις οντότητες έχει ξεχωριστό ρόλο στη διαδικασία της διαπομπής. Άλλες χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση της διαδικασίας λόγω κάποιου ερεθίσματος (SRRML, BS/RRM Server, Context Info, Service Info, Service Enabler κτλ), άλλες για την εκτέλεση της διαπομπής είτε χωρίς επαναδιάρθρωση (Handover Ctrl) είτε με επαναδιάρθρωση (Access layer Self Configuration, TC, RC, RCM) και άλλες για την διαχείριση της ασφάλειας (Access & Security management). Το παραπάνω παράδειγμα δείχνει έναν ολοκληρωμένο τρόπο εκτέλεσης μιας διαδικασίας διασυστημικής διαπομπής με διάφορους τρόπους και για πολλές αιτίες και αποτελεί μια πρόβλεψη της μελλοντικής χρήσης και συνεργασίας των ετερογενών δικτύων.

3.7 Αναφορές

- [1] IST-2003-507581 WINNER, <http://www.ist-winner.org>
- [2] Mohr, W., "Need for Newly Identified Spectrum for Systems Beyond 3G", 11th WWRF meeting, SIG 1, Oslo, June 2004
- [3] Donal O' Mahony and Linda E. Doyle, "An Adaptable Node Architecture for Future Wireless Networks", book chapter, "Mobile Computing" book, Springer, ISBN 978-1-4020-7137-9
- [4] Shalini Periyalwar, Bassam Hashem, Gamini Senarath, Kelvin Au and Robert Matyas, "Future mobile broadband wireless networks: a radio resource management perspective", Wireless Communications And Mobile Computing 2003
- [5] WINNER, "D2.10 Final report on identified RI key technologies, system concept, and their assessment", Public Deliverable, IST-2003-507581 WINNER, December 2005
- [6] WINNER II, "D6.13.8: Intermediate WINNER II concept", Internal Deliverable, IST-4-027756 WINNER II, December 2006.
- [7] WINNER II, "D4.8.2: Cooperation schemes validation", Public Deliverable, IST-4-027756 WINNER II, June 2007.
- [8] WINNER II, "D4.8.3: Integration of cooperation on WINNER II System Concept", Public Deliverable, IST-4-027756 WINNER II, November 2007.
- [9] WINNER II, "D4.8.1: WINNER II intramode and Intermode cooperation schemes definition", Public Deliverable, IST-4-027756 WINNER II, June 2006.
- [10] Emilio Mino, Jijun Luo, Roberta Fracchia, Guillaume Vivier, Elias Tragos, Albena Mihovska, "Scalable and Hybrid Radio Resource Management for Future Wireless Networks", 16th ISTMobile and Wireless Summit, 1-5 July 2007, Budapest Hungary
- [11] Albena Mihovska, Elias Tragos, Jijun Luo, Emilio Mino, Chapter – "Cooperative Radio Resource Management for Heterogeneous Networks", Cooperative Wireless Communications book

- [12] Elias Tragos, Albena Mihovska, Emilio Mino, Jijun Luo, Roberta Fracchia, Guillaume Vivier, Xiaoyun Xue, "Hybrid RRM Architecture For Future Wireless Networks", 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 3-7 September 2007 Athens
- [13] Elias Z. Tragos, Albena Mihovska, Emilio Mino-Diaz, Pantelis Karamolegkos, Panagiotis T. Vlachas, Jijun Luo, "Access Selection and Mobility Management in a beyond 3G RAN: the WINNER Approach", Special Issue of Telecommunication Systems Springer
- [14] M. Katz; F.H.P. Fitzek, "Cooperative Techniques and Principles Enabling Future 4G Wireless Networks", The International Conference on Computer as a Tool, 2005. EUROCON 2005.
- [15] WINNER, "D4.1: Identification and Definition of Cooperation Schemes Between RANs", Internal Deliverable, IST-2003-507581 WINNER, June 2004.
- [16] WINNER, "D4.2: Impact of Cooperation Schemes Between RANs", Internal Deliverable, IST-2003-507581 WINNER, February 2005.
- [17] WINNER, "D4.3: Identification, definition and assessment of cooperation schemes between RANs", Final deliverable", IST-2003-507581 WINNER, June 2005.
- [18] WINNER, "D4.4: Impact of Cooperation Schemes Between RANs", Final deliverable, IST-2003-507581 WINNER, November 2005.
- [19] WINNER, "D4.5: Assessment of cooperation mechanisms in system context", Final deliverable, IST-2003-507581 WINNER, December 2005.
- [20] Vaia Sdralia, Emilio Mino, Mylene Pischella, Albena Mihovska, Sofoklis Kyriazakos, Elias Tragos, Eiman Mohyeldin, "Achieving Inter-RAN Cooperation: An Architecture Proposal", WWRF15 Meeting, 8-9 December 2005, Paris, France.
- [21] Matthias Lott, Vaia Sdralia, Mylene Pischella, Delphine Lugara, Albena Mihovska, Seshaiiah Ponnekanti, Elias Tragos, Emilio Mino, "Cooperation of 4G Radio Networks with Legacy Systems". 14th IST Mobile and Wireless Communications Summit, 19-22 June 2005, Dresden, Germany
- [22] Matthias Lott, Vaia Sdralia, Mylene Pischella, Delphine Lugara, Albena Mihovska, Seshaiiah Ponnekanti, Elias Tragos, Emilio Mino, "Cooperation Mechanisms for Efficient Resource Management between 4G and legacy RANs". WWRF13 Meeting, 02-03 March 2005, Jeju Island, Korea
- [23] Vaia Sdralia, Emilio Mino, Matthias Lott, Delphine Lugara, Albena Mihovska, Seshaiiah Ponnekanti, Elias Tragos, "Cooperation of Radio Access Networks: The IST FP6 WINNER project approach" WWRF11 Meeting, 10-11 June 2004, Oslo, Norway
- [24] Wireless World Initiative, www.wireless-world-initiative.org
- [25] IST-2002-507134 WWI Ambient Networks, <http://www.ambient-networks.org>
- [26] IST-2003-507995 End-to-End Reconfigurability – E2R, <http://e2r.motlabs.com>
- [27] IST-2004-511607 MobiLife, <http://www.ist-mobilife.org>
- [28] IST-027617 SPICE, <http://www.ist-spice.org>
- [29] A. Schieder, E. Tragos, A. Mihailovic, J. Salo, J. van der Meer, "The WWI System Architecture for Beyond 3G Networks", WWRF Whitepaper
- [30] Andreas Schieder, Elias Tragos, Andrej Mihailovic, Alexandros Kaloxylos, Mikael Prytz, Ove Strandberg, Jijun Luo, Juha Mikola, Khadija Daoud, "Mobility Management and Radio Resource Management in the WWI System Architecture", WWRF Whitepaper 17th WWRF Meeting in Heidelberg, Germany 15-17 November 2006
- [31] Andreas Schieder, Elias Tragos, Andrej Mihailovic, Jukka Salo, Jan van der Meer, chapter - "The WWI System Architecture for B3G Networks" Technologies for the Wireless Future: Wireless World Research Forum (WWRF), K. David, (Ed.), Volume 3, Wiley, to appear Oct. 2008.

4. Έλεγχος αποφυγής συμφόρησης σε δίκτυα 4^{ης} γενιάς

Τα ασύρματα δίκτυα έχουν περιορισμένους διαθέσιμους ραδιοπόρους και θα πρέπει να διαχειρίζονται πολύ προσεκτικά ώστε να λειτουργούν σε ομαλές καταστάσεις, διασφαλίζοντας το ότι οι χρήστες θα λαμβάνουν την βέλτιστη δυνατή ποιότητα υπηρεσίας για την υπηρεσία που έχουν ζητήσει [1][2]. Λόγω των περιορισμένων διαθέσιμων πόρων έχουν καθοριστεί στρατηγικές διαχείρισης πόρων, οι οποίες όχι μόνο διασφαλίζουν τις συμφωνίες ποιότητας υπηρεσιών (QoS agreements) με τους χρήστες, αλλά επίσης και να διασφαλίζουν και το ότι οι χρήστες δε θα παραβιάζουν αυτές τις συμφωνίες από τη δική τους μεριά [3]. Για παράδειγμα, όταν υπάρχουν πολλοί χρήστες συνδεδεμένοι στο δίκτυο και αυτοί παραβιάζουν τις συμφωνίες QoS λαμβάνοντας καλύτερη ποιότητα από ότι θα έπρεπε, τότε το δίκτυο θα υπερφορτωθεί και θα δημιουργηθεί συμφόρηση. Οι καταστάσεις συμφόρησης είναι πολύ επικίνδυνες για ένα δίκτυο, επειδή προκαλούν πολλά προβλήματα από την πλευρά του δικτύου, όπως αυξημένες παρεμβολές, απώλειες πακέτων, χαμηλή διαθεσιμότητα εύρους ζώνης, αλλά και από την πλευρά του χρήστη, αφού μειώνεται η ποιότητα της λαμβανόμενης υπηρεσίας, λόγω έλλειψης διαθέσιμων πόρων, με αποτέλεσμα την δυσφορία του χρήστη [2][4] [5][6].

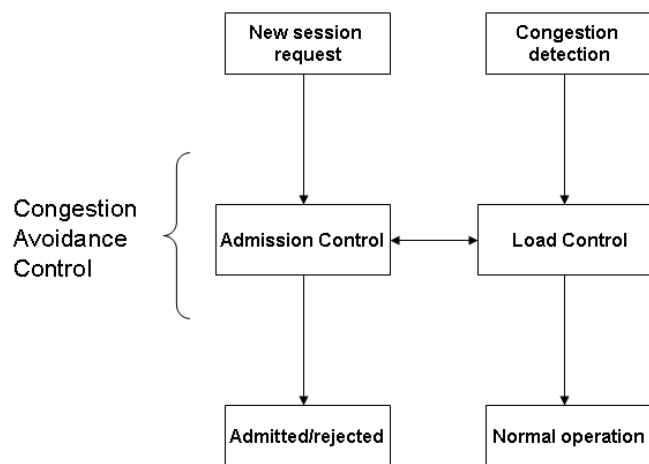
Οι καταστάσεις συμφόρησης μπορούν να αποφευχθούν εφαρμόζοντας μια ομάδα μηχανισμών που εργάζονται προς αυτή την κατεύθυνση. Αυτή η ομάδα μηχανισμών ονομάζεται ως μηχανισμός ελέγχου αποφυγής συμφόρησης (Congestion Avoidance Control mechanism – CAC), ο οποίος έχει την πολύ σημαντική εργασία του ελέγχου του φορτίου του δικτύου, περιορίζοντας την αποδοχή νέων χρηστών και επιλύοντας ανεπιθύμητες καταστάσεις υπερφόρτωσης. Ο μηχανισμός ελέγχου αποφυγής συμφόρησης αποτελείται από δυο επιμέρους μηχανισμούς [7][8][9]:

- **Έλεγχος αποδοχής** (admission control), ο οποίος είναι ο μηχανισμός που λαμβάνει αιτήσεις για νέες ροές κίνησης (είτε από νέους είτε από ήδη υπάρχοντες χρήστες) και ελέγχει πρώτα αν αυτοί είναι πιστοποιημένοι στο δίκτυο και έπειτα αν το δίκτυο έχει διαθέσιμους τους απαραίτητους πόρους για την αποδοχή της νέας ροής, βασισμένο στο είδος της υπηρεσίας που ζητήθηκε και τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης υπηρεσίας.
- **Έλεγχος φορτίου** (load control) ή έλεγχος συμφόρησης (congestion control), που είναι ο μηχανισμός που ελέγχει το φορτίο του δικτύου επιβλέποντας το φορτίο σε κάθε κυψέλη και ενεργώντας κατάλληλα όταν το φορτίο έχει υπερβεί κάποιο προκαθορισμένο κατώφλι.

Οι μηχανισμοί ελέγχου αποδοχής και ελέγχου φορτίου είναι δυο μηχανισμοί άρρηκτα συνδεδεμένοι μεταξύ τους και οι οποίοι αλληλοσυμπληρώνονται. Η διαδικασία του αλγορίθμου αποδοχής (όπως θα περιγραφεί αναλυτικότερα πιο κάτω) περιλαμβάνει επίσης ένα βήμα ελέγχου

συμφόρησης, όταν θα πρέπει να γίνει “οπωσδήποτε” αποδεκτή η νέα αίτηση, αλλά δεν υπάρχουν οι διαθέσιμοι πόροι, οπότε θα πρέπει να μετριάστούν οι πόροι που λαμβάνουν κάποιοι άλλοι χρήστες “λιγότερο σημαντικοί”, ώστε να εξοικονομηθούν οι απαραίτητοι πόροι για τη νέα αίτηση [2][5]. Επίσης, ο έλεγχος συμφόρησης επικοινωνεί με τον έλεγχο αποδοχής για να απορριφθούν νέες αιτήσεις όταν έχει παρατηρηθεί υπερφόρτωση. Ο συνδυασμός των δυο αυτών μηχανισμών μπορεί να βελτιστοποιήσει την απόδοση του δικτύου.

Η γενική περιγραφή του ελέγχου αποφυγής συμφόρησης παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα, στο οποίο φαίνονται και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των δυο μηχανισμών ελέγχου αποδοχής και ελέγχου συμφόρησης.



Σχήμα 4-1. Έλεγχος αποφυγής συμφόρησης

Όπως φαίνεται και στο προηγούμενο σχήμα, η αλληλεπίδραση μεταξύ των δυο μηχανισμών είναι ξεκάθαρη. Αυτό είναι κάτι πολύ λογικό, μιας και οι δυο μηχανισμοί είναι συσχετισμένοι. Ο έλεγχος αποδοχής δέχεται νέους χρήστες στο δίκτυο με αποτέλεσμα την αύξηση του φορτίου του δικτύου, ενώ ο έλεγχος φορτίου παρακολουθεί συνεχώς το φορτίο του δικτύου για να εντοπίσει καταστάσεις υπερφόρτωσης. Ο έλεγχος φορτίου όταν εντοπίσει μια κατάσταση υπερφόρτωσης στέλνει μηνύματα στον έλεγχο αποδοχής να απορρίψει νέες αιτήσεις ροών κίνησης μέχρι να αντιμετωπιστεί η υπερφόρτωση, ενώ ο έλεγχος αποδοχής στέλνει μηνύματα αντιμετώπισης υπερφόρτωσης όταν θα πρέπει να εισαχθεί οπωσδήποτε μια νέα ροή κίνησης στο δίκτυο και δεν υπάρχουν οι απαραίτητοι πόροι που ζητάει.

Στις παρακάτω παραγράφους θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι μηχανισμοί τους οποίους έχουμε αναπτύξει για τον έλεγχο αποδοχής και τον έλεγχο συμφόρησης.

4.1 Έλεγχος αποδοχής

4.1.1 Γενικά

Ο έλεγχος αποδοχής (admission control) είναι ένας μηχανισμός κλειδί για τη διαχείριση ασύρματων πόρων και διασφαλίζει την ομαλή λειτουργία ενός δικτύου με την αποδοχή ή την απόρριψη νέων αιτήσεων χρηστών βασιζόμενος σε κριτήρια, όπως το φορτίο του δικτύου [2]. Σε γενικές γραμμές ο μηχανισμός ελέγχου αποδοχής διασφαλίζει ότι η αποδοχή μιας νέας ροής σε ένα περιορισμένων πόρων δίκτυο δεν παραβιάζει τις δεσμεύσεις υπηρεσιών που έχουν γίνει από το δίκτυο στις ήδη αποδεκτές ροές[10][11]. Τα σχήματα ελέγχου αποδοχής είναι τα μέρη λήψης αποφάσεων του δικτύου με στόχο να παρέχουν στους χρήστες υπηρεσίες με εγγυημένη ποιότητα, έτσι ώστε να μειωθεί η συμφόρηση του δικτύου και η πιθανότητα διακοπής κλήσεων και να επιτευχθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη χρησιμοποίηση των πόρων. Στα σύγχρονα δίκτυα ο έλεγχος αποδοχής εξετάζει μόνο τις αιτήσεις για εισαγωγή στο δίκτυο σε μια συγκεκριμένη κυψέλη. Σε ένα μελλοντικό δίκτυο ασύρματων επικοινωνιών 4^{ης} γενιάς εμπλέκονται διάφορες μορφές λειτουργίας, καθώς και άλλα δίκτυα, επομένως ο έλεγχος αποδοχής είναι ένας πολύ πιο πολύπλοκος μηχανισμός [2][12]. Ο αλγόριθμος του ελέγχου αποδοχής δε θα πρέπει να εξετάζει μόνο την εισαγωγή ενός χρήστη μέσα σε κάποια κυψέλη, αλλά θα πρέπει να επιλέγει και την κατάλληλη μορφή λειτουργίας του μελλοντικού δικτύου (ανάλογα με την υπηρεσία που θα έχει ζητήσει) ή το κατάλληλο δίκτυο αν το τρέχον δίκτυο είναι υπερφορτωμένο [2][5][6].

Ο έλεγχος αποδοχής εξετάζει γενικά την αποδοχή ή μη καινούριων αιτήσεων είτε αυτές προέρχονται από νέους είτε από εκ διαπομπής χρήστες. Η βασική λειτουργία ενός αποδοτικού ελέγχου αποδοχής είναι να αποφασίσει σε κάποια δεδομένη χρονική στιγμή αν κάποιο δίκτυο και κάποια συγκεκριμένη μορφή και κυψέλη έχει τους απαραίτητους πόρους ώστε να εξυπηρετήσει με συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας μια νέα ροή κίνησης από ένα συγκεκριμένο χρήστη. Οι αποφάσεις του ελέγχου αποδοχής πρέπει να λαμβάνονται πολύ προσεκτικά, ώστε να αποφεύγονται ή να ελαχιστοποιούνται τα δυο παρακάτω γεγονότα [2][5][6]:

- **Λάθος απορρίψεις**, οι οποίες συμβαίνουν όταν ο αλγόριθμος απορρίπτει μια νέα ροή κίνησης, ενώ υπάρχει κάποια κυψέλη/μορφή ή κάποιο δίκτυο που να έχει τους απαραίτητους πόρους, ώστε να μπορεί να εξυπηρετεί το χρήστη και να του προσφέρει την ποιότητα της υπηρεσίας, ανάλογα και με τις απαιτήσεις σε ποιότητα της υπηρεσίας αυτής. Με άλλα λόγια, η αίτηση απορρίπτεται ενώ η διαθέσιμη χωρητικότητα του συστήματος αρκεί να εξυπηρετήσει τη ροή κίνησης. Σε αυτή την περίπτωση η χωρητικότητα του συστήματος δεν βελτιστοποιείται και το κέρδος του διαχειριστή του δικτύου.
- **Λάθος αποδοχές**, οι οποίες συμβαίνουν όταν ο αλγόριθμος δέχεται μια ροή κίνησης, ενώ δεν υπάρχει η απαραίτητη διαθέσιμη χωρητικότητα για να εξυπηρετήσει το συγκεκριμένο χρήστη με την ποιότητα υπηρεσίας που απαιτεί η υπηρεσία που ζήτησε. Σε αυτή την περίπτωση

μπορεί να υπερφορτωθεί το δίκτυο και η ποιότητα υπηρεσίας που να λαμβάνουν οι χρήστες να είναι πολύ χαμηλότερη από την πρόβλεψη, με αποτέλεσμα την δυσαρέσκεια των χρηστών.

4.1.2 Τάξεις υπηρεσιών

Τα μελλοντικά δίκτυα θα προσφέρουν εξελιγμένες υπηρεσίες στους χρήστες, προσπαθώντας να ικανοποιήσουν όλες τις απαιτήσεις που προκύπτουν από τη ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη, ενώ τα δίκτυα που υπάρχουν και λειτουργούν αυτή τη στιγμή προσφέρουν βασικές υπηρεσίες, όπως μετάδοση φωνής, βίντεο, κειμένου κ.τ.λ. Στα μελλοντικά ασύρματα δίκτυα δε θα έχουν όλες οι προσφερόμενες υπηρεσίες τις ίδιες απαιτήσεις ή τα ίδια χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, μια υπηρεσία φωνής για να μεταδοθεί χωρίς προβλήματα έχει απαίτηση πολύ μικρής καθυστέρησης, αλλά και πολύ μικρού ρυθμού μετάδοσης, ενώ μια υπηρεσία ηλεκτρονικού ταχυδρομείου είναι πολύ ανεκτική σε καθυστέρηση, αλλά σε περίπτωση συνημμένων αρχείων, μπορεί να χρειάζεται αρκετά μεγάλο ρυθμό μετάδοσης [13][14][15] [16].

Για τη μετάδοσή κάθε μιας από τις υπηρεσίες μέσω ενός ασύρματου δικτύου θα πρέπει να ικανοποιούνται κάποια βασικά χαρακτηριστικά. Κάθε υπηρεσία έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις, ώστε να μεταδίδεται επιτυχώς και χωρίς προβλήματα. Για αυτό τον λόγο έχουν καθοριστεί τάξεις υπηρεσιών (service classes), όπου οι υπηρεσίες έχουν ομαδοποιηθεί και κάθε τάξη έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις σε ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (datarate), καθυστέρηση (delay) και ρυθμό λανθασμένων bit (bit error rate – BER) [14]. Στο δίκτυο του UMTS έχουν καθοριστεί 4 τάξεις υπηρεσιών [17]. Οι τάξεις υπηρεσιών είναι η “ομιλητική” (conversational), η οποία κυρίως περιέχει την υπηρεσία ομιλίας και απαιτεί πολύ μικρή καθυστέρηση, μιας και η υψηλή καθυστέρηση μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή από τους χρήστες, η τάξη “ροής” (streaming), η οποία περιέχει τις υπηρεσίες πολυμέσων, όπως βίντεο, ήχο και μπορεί να έχει μικρότερη απαίτηση όσον αφορά στην καθυστέρηση σε σχέση με την προηγούμενη τάξη, αλλά έχει μεγαλύτερη απαίτηση σε ρυθμό μετάδοσης, η “διαδραστική” (interactive), η οποία εφαρμόζεται όταν ο χρήστης ζητάει δεδομένα από έναν απομακρυσμένο εξυπηρετητή και περιλαμβάνει υπηρεσίες όπως web – browsing, πρόσβαση σε εξυπηρετητή κ.τ.λ. και η τάξη “υποβάθρου” (background), η οποία περιλαμβάνει μετάδοση δεδομένων για κάποιες εφαρμογές, όπως ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, μετάδοση γραπτών μηνυμάτων, κατέβασμα αρχείων κ.τ.λ. και είναι πολύ ανεκτική σε καθυστέρηση, μιας και δε χρειάζεται άμεση ενέργεια επειδή ο προορισμός δεν περιμένει κάποια δεδομένα σε συγκεκριμένο χρόνο.

Έχει διερευνηθεί πως στα μελλοντικά δίκτυα θα μπορούν να υπάρχουν διαθέσιμες 18 διαφορετικές τάξεις υπηρεσιών, όπου η κάθε μια έχει διαφορετικές απαιτήσεις σε ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, καθυστέρηση και ρυθμό λαθών, αλλά και διαφορετικά χαρακτηριστικά. Οι τάξεις υπηρεσιών που έχουν καθοριστεί στο σύστημα του WINNER παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα [14][15]. Οι απαιτήσεις των τάξεων έχουν χωριστεί σε 4 διαστάσεις:

- Ρυθμός μετάδοσης : από λίγα kbps μέχρι και 50Mbps

- Καθυστέρηση: υψηλά διαδραστική (highly interactive - <20ms), διαδραστική/ελέγχου (20-100ms), ομιλητική (100-200ms), λίγα δευτερόλεπτα (>200ms)
- Ρυθμός λαθών : 10^{-3} , 10^{-6} , 10^{-9} BER
- Τύπος κίνησης : ρυθμός μετάδοσης ζητούμενος από την υπηρεσία (Service request bit rate - SERR), ρυθμός μετάδοσης που ανατίθεται από το σύστημα (System assigned bit rate - SYSA), σημείο προς περιοχή (point to region)

Πίνακας 4-1. Τάξεις υπηρεσιών

Service Class	Data Rate	Traffic type	Delay	Error Rate	Applications
1. Real time collaboration and gaming	1-20 Mbps	SERR	highly interactive (<20ms)	1.00E-0.6 - 1.00E-0.9	Telepresence/Videoconference Collaborative work Navigation systems Real-time Gaming
2. Geographic real time datacast	2-5 Mbps	SERR Point to Region	highly interactive (<20ms)	1.00E-0.6	Real time video streaming Collaborative work
3. Short control messages and signalling	8-64 kbps	SERR	interactive/control (20 – 100 ms)	1.00E-0.9	Alarms Remote Control Sensors Presence driven transfer (lightweight content)
4. Simple interactive applications	64-512 kbps	SERR	interactive/control (20 – 100 ms)	1.00E-0.6	Presence driven transfer (heavy content) Interactive geographical maps (remote processing)
5. Interactive high multimedia	2-5 Mbps	SERR	interactive/control (20 – 100 ms)	1.00E-0.6	Rich data call Control Video broadcasting/streaming Robot security
6. Geographic interactive multimedia broadcast	2-5 Mbps	SERR Point to Region	interactive/control (20 – 100 ms)	1.00E-0.6	Video broadcasting/streaming Localised map download
7. Interactive ultra high multimedia	10-50 Mbps	SERR	interactive/control (20 – 100 ms)	1.00E-0.3 - 1.00E-0.6	High quality video conference Collaborative work
8. Simple telephony and messaging	8-64 kbps	SERR	Conversational (100 – 200 ms)	1.00E-0.3 - 1.00E-0.6	Voice telephony Instant messages Lightweight multiplayer games Bets and gambling
9. Data and media telephony	64-512 kbps	SERR	Conversational (100 – 200 ms)	1.00E-0.3 - 1.00E-0.6	Audio streaming Video telephony (medium quality) Multiplayer games (high quality)
10. Geographic datacast	64-512 kbps	SERR Point to Region	Conversational (100 – 200 ms)	1.00E-0.3 - 1.00E-0.6	Localised datacast/beacons Audio streaming

11. Rich data and media telephony	2-5 Mbps	SERR	Conversational (100 – 200 ms)	1.00E-0.3 - 1.00E-0.6	High quality video telephony Collaborative work Standard data call
12. LAN access and file service	Up to 50 Mbps	SYSA	Conversational (100 – 200 ms)	1.00E-0.6	Access to databases, filesystems,
13. Multimedia messaging	8-64 kbps	SYSA	Few seconds (>200ms)	1.00E-0.6 - 1.00E-0.9	Messaging (data/voice/media) Authentication (m-payment, m-wallet, m-ticket, m-key etc.) Web browsing (light weight)
14. Lightweight browsing	64-512 kbps	SERR	Few seconds (>200ms)	1.00E-0.6	Messaging (data/voice/media) (medium weight) Access to corporate database (lightweight) Audio on demand Web browsing (medium weight) Internet radio
15. File exchange	Up to 5 Mbps	SYSA	Few Seconds (>200ms)	1.00E-0.6	Access to databases (heavy weight), filesystems, Video download/upload Peer-to-peer file sharing
16. Video streaming	5 Mbps	SERR	Few Seconds (>200ms)	1.00E-0.6	Video streaming (normal)
17. High quality video streaming	30 Mbps	SERR	Few Seconds (>200ms)	1.00E-0.9	Video streaming (archival)
18. Large files exchange	Up to 50 Mbps	SYSA	Few Seconds (>200ms)	1.00E-0.6	

Ένας αποδοτικός αλγόριθμος ελέγχου αποδοχής θα πρέπει να λαμβάνει υπόψην του τα παραπάνω χαρακτηριστικά της κάθε υπηρεσίας και με βάση αυτά να καθορίζει αν το σύστημα μπορεί να του προσφέρει την απαραίτητη ποιότητα. Για παράδειγμα μπορεί κάποιος χρήστης να απαιτήσει μια υπηρεσία, που το σύστημα να μπορεί να του προσφέρει τον απαραίτητο ρυθμό δεδομένων, αλλά όχι την απαραίτητη καθυστέρηση. Τότε θα πρέπει να απορριφθεί αυτή η υπηρεσία, μιας και ο χρήστης δε θα λαμβάνει τα δεδομένα στον κατάλληλο χρόνο, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν προβλήματα στην υπηρεσία του, π.χ. αν αυτή η υπηρεσία είναι μετάδοση βίντεο, τότε η μετάδοση με μεγαλύτερη καθυστέρηση θα έχει ως αποτέλεσμα την αναπαραγωγή του βίντεο με πολλές απώλειες σε πλαίσια (frames).

4.1.3 Κριτήρια για τον έλεγχο αποδοχής

Ο έλεγχος αποδοχής έχει ως σκοπό τη μεγιστοποίηση της χωρητικότητας του συστήματος, με το όσο το δυνατόν μεγαλύτερο πλήθος αποδεκτών χρηστών, με εγγυημένες τις απαιτήσεις τους σε ποιότητα υπηρεσιών. Οι αποφάσεις του αλγορίθμου βασίζονται στα παρακάτω κριτήρια:

- **Φορτίο δικτύου:** υπολογίζεται το φορτίο του δικτύου μετά την αποδοχή της νέας ροής κίνησης και αν παραμένει κάτω από ένα προκαθορισμένο κατώφλι, τότε η νέα ροή γίνεται αποδεκτή [1][11][17].
- **Απαιτήσεις χρήστη σε ποιότητα υπηρεσίας (QoS requirements):** παράμετροι ποιότητας υπηρεσίας όπως, μέση διεκπεραιωτικότητα (mean throughput), απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, τάξη υπηρεσίας, προτεραιότητα, κτλ συνυπολογίζονται στην απόφαση για την αποδοχή ή όχι της νέας ροής. Αυτές οι παράμετροι υπολογίζονται επίσης και να τις ήδη υπάρχουσες ροές, ώστε μετά την αποδοχή της νέας ροής να μην επηρεαστούν δραματικά και να πέσει η ποιότητα της υπηρεσίας που μεταφέρει σε επίπεδα μη αποδεκτά [2][3][19].
- **Ποιότητα της σύνδεσης (link quality):** αν η αποδοχή της νέας σύνδεσης δημιουργήσει προβλήματα παρεμβολών σε ήδη υπάρχουσες συνδέσεις, τότε απορρίπτεται. Για αυτό το κριτήριο γίνονται υπολογισμοί των παρεμβολών που θα έχουν οι ήδη υπάρχουσες συνδέσεις από τη νέα σύνδεση και αντίστροφα και το επίπεδο παρεμβολών θα πρέπει να είναι κάτω από ένα συγκεκριμένο κατώφλι, αλλιώς η νέα σύνδεση απορρίπτεται [2][18][20].
- **Πλαίσιο χρήστη:** εδώ περικλείονται πληροφορίες για το προφίλ του χρήστη και τα χαρακτηριστικά της συνδρομής του στο σύστημα, καθώς και το αν η αίτηση νέας σύνδεσης είναι τελείως νέα σύνδεση ή προέρχεται από διαπομπή, μιας και συνήθως οι συνδέσεις από διαπομπή έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα [2][18][20].

Ο τρόπος υπολογισμού του φορτίου μιας κυψέλης δεν είναι προφανώς ίδιος σε κάθε δίκτυο.

- Στο GSM το φορτίο μπορεί να υπολογιστεί από τον αριθμό των κατειλημμένων χρονοθυρίδων (timeslots) σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των διαθέσιμων χρονοθυρίδων σε κάθε κυψέλη:

$$Load_{GSM} = 100 * \frac{TS_{RT} + TS_{NRT}}{TS_{MAX}}$$

- Στο UMTS το φορτίο υπολογίζεται και για τις δυο κατευθύνσεις και στην άνω και στην κάτω διεύθυνση και ο υπολογισμός βασίζεται κυρίως στις παρεμβολές [17].

$$Load_{UMTS,up} = (1 + i) * \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b / N_0) * R_j * u_j}}$$

$$Load_{UMTS,down} = \sum_{j=1}^N u_j * \frac{(E_b / N_0)}{W / R_j} * [(1 - \bar{a}) + \bar{i}]$$

- Στο WLAN το φορτίο ενός access point μπορεί να υπολογιστεί από την τρέχουσα διεκπεραιωτικότητα σε σχέση με τη μέγιστη δυνατή, αλλά και από άλλες παραμέτρους, όπως συγκρούσεις (collisions), αριθμός χαμένων πακέτων [21]
- Σε ένα μελλοντικό ασύρματο δίκτυο επικοινωνιών το φορτίο μιας κυψέλης μπορεί να υπολογιστεί συνυπολογίζοντας παραμέτρους όπως, διαθέσιμο εύρος ζώνης, μέση καθυστέρηση και μέση χρονομεταβολή της καθυστέρησης, επίπεδο παρεμβολών, ρυθμός επαναμετάδοσης δεδομένων, αριθμός χρηστών σε ουρά, αριθμός αιτήσεων για ανάθεση πόρων μικρής διάρκειας [7][22].

4.1.4 Περιγραφή του αλγορίθμου αποδοχής

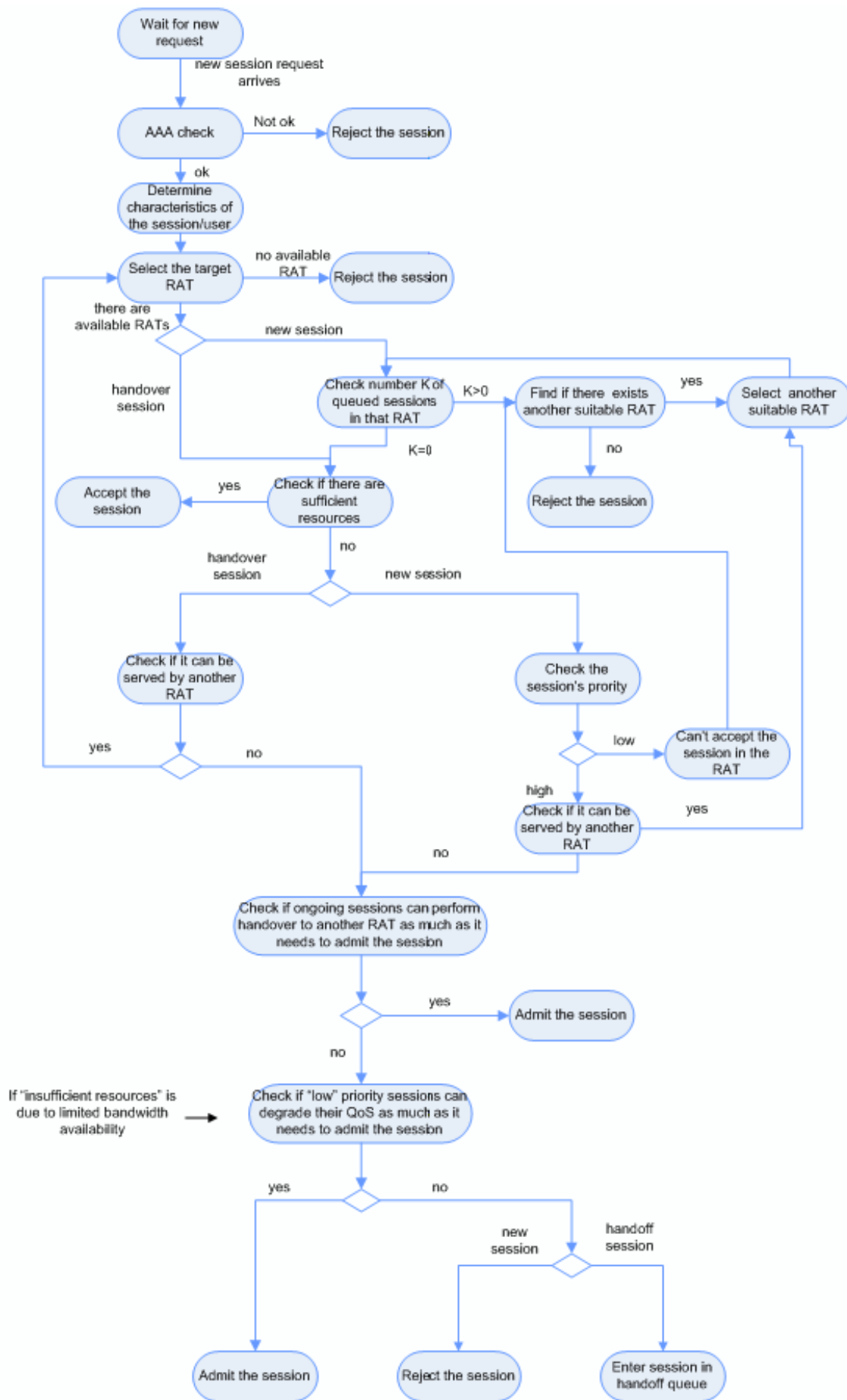
Ο έλεγχος αποδοχής για να πάρει την απόφαση για την αποδοχή ή μη μιας νέας αίτησης ροής κίνησης, εκτελεί πολλές λειτουργίες, όπως φαίνεται και από το παρακάτω Σχήμα 4-2 [2][5][6]. Ο αλγόριθμος ενεργοποιείται όταν φτάσει στην οντότητα του αλγορίθμου αποδοχής μια νέα αίτηση ροής κίνησης. Με τον όρο “νέα αίτηση” εννοείται εδώ είτε αίτηση νέου χρήστη είτε αίτηση χρήστη εκ διαπομπής. Όταν φτάσει η νέα αίτηση ο αλγόριθμος επεμβαίνει ώστε να λάβει την απόφαση αν αυτή η νέα αίτηση θα πρέπει να γίνει αποδεκτή και αν ναι σε ποια κυψέλη ή σε ποια μορφή ανάπτυξης του δικτύου ή αν δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή στο δίκτυο του WINNER σε ποιο άλλο δίκτυο θα μπορεί να γίνει αποδεκτή.

Πρώτη ενέργεια του αλγορίθμου είναι να ελέγξει αν ο νέος χρήστης είναι εξουσιοδοτημένος να συνδεθεί με το δίκτυο και αν ναι αν έχει δικαίωμα να λάβει την υπηρεσία την οποία έχει ζητήσει. Αυτό γίνεται με τον έλεγχο AAA και αν δεν έχει ο χρήστης δικαίωμα να συνδεθεί τότε η νέα αίτηση απορρίπτεται, ενώ αν έχει δικαίωμα τότε ελέγχεται με βάση το προφίλ της συνδρομής του αν μπορεί να λάβει τη συγκεκριμένη υπηρεσία. Αν όλοι οι έλεγχοι είναι θετικοί, τότε ο αλγόριθμος με κατατάσσει την υπηρεσία που ζητάει η νέα σύνδεση σε μια από τις τάξεις υπηρεσιών (που περιγράφηκαν πιο πάνω) και καθορίζει τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις της. Τα χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις της κάθε τάξεις υπηρεσιών είναι καθορισμένα στον πίνακα 1, οπότε ο αλγόριθμος μπορεί να ξέρει επακριβώς τι πόρους ζητάει η συγκεκριμένη ροή κίνησης. Επίσης, με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά μπορεί να αντιστοιχηθεί η υπηρεσία σε ποια μορφή ανάπτυξης του WINNER ή και σε ποιο άλλο δίκτυο μπορεί να λειτουργήσει με το απαιτούμενο QoS [2][23][24]. Στη συνέχεια ανατίθεται με βάση τα χαρακτηριστικά και το προφίλ του χρήστη ένας αριθμός προτεραιότητας. Οι προτεραιότητες εν γένει χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό του πόσο “σημαντική” είναι μια ροή κίνησης ή ένας χρήστης [25].

Το επόμενο βήμα του αλγορίθμου είναι να επιλέξει με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά της ροής κίνησης και τις μετρήσεις σήματος από το κινητό τερματικό την κυψέλη, τη μορφή ανάπτυξης του δικτύου του WINNER και τα υπόλοιπα δίκτυα που μπορούν να το εξυπηρετήσουν και να τα κατατάξει όλα αυτά σε μια λίστα προτεραιοτήτων. Η λίστα αυτή περιέχει τις υποψήφιες κυψέλες και μορφές ανάπτυξης για το WINNER, καθώς και (σε περίπτωση που το WINNER είναι υπερφορτωμένο) τις κυψέλες για τα υπόλοιπα δίκτυα που μπορούν αν εξυπηρετήσουν τη συγκεκριμένη υπηρεσία που θα μεταφέρει η ροή. Βέβαια, θα πρέπει να εξεταστεί πρώτα ποια άλλα δίκτυα έχουν κάλυψη στη συγκεκριμένη γεωγραφική θέση που βρίσκεται το κινητό τερματικό. Στο GSM αυτό γίνεται με την τιμή του σήματος R_{xlev} να είναι πάνω από ένα προκαθορισμένο κατώφλι. Στο UMTS θα πρέπει ο λόγος του E_b/N_0 της κυψέλης να είναι πάνω από μια προκαθορισμένη τιμή, ώστε οι παρεμβολές να μην επηρεάζουν το σήμα, αλλά και θα πρέπει επίσης η ισχύς μετάδοσης που απαιτείται από το χρήστη με βάση το βρόχο ελέγχου ισχύος (power control loop) να είναι μικρότερη από τη μέγιστη δυνατή επιτρεπόμενη τιμή για τον συγκεκριμένο χρήστη [17]. Στο WLAN θα πρέπει η λαμβανόμενη ισχύς να είναι πάνω από μια ελάχιστη τιμή.

Εφόσον βρεθεί η κατάλληλη κυψέλη που είναι πρώτη στη λίστα των υποψηφίων, τότε γίνεται έλεγχος αν η ροή είναι νέα ή από διαπομπή και κυρίως γίνεται έλεγχος της προτεραιότητας που έχει. Συνήθως οι ροές από διαπομπή έχουν υψηλότερη προτεραιότητα από τις νέες ροές. Έπειτα ελέγχεται αν υπάρχουν άλλες ροές στην ουρά του ελέγχου αποδοχής και την προτεραιότητα που έχουν. Αν υπάρχουν ροές και η προτεραιότητά τους είναι μεγαλύτερη από αυτή της νέας αίτησης, τότε η νέα αίτηση είτε απορρίπτεται είτε μπαίνει και αυτή στην ουρά μετά από τις άλλες ροές.

Στη συνέχεια και για την επιλεγείσα κυψέλη ελέγχεται αν υπάρχουν οι διαθέσιμοι ασύρματοι πόροι για την εξυπηρέτηση της ροής κίνησης και την παροχή συγκεκριμένης ποιότητας για την υπηρεσία που θα μεταφέρει. Ο έλεγχος αυτός περιλαμβάνει τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Αν όλα τα κριτήρια ικανοποιούνται, τότε η ροή κίνησης γίνεται αποδεκτή στη συγκεκριμένη κυψέλη. Αν όχι, τότε ελέγχεται αν κάποια άλλη κυψέλη, μορφή δικτύου ή άλλο δίκτυο μπορούν να την κάνουν αποδεκτή, με βάση τη σειρά τους στην λίστα. Αν ναι τότε επιλέγεται η αντίστοιχη κυψέλη, αλλιώς, υπάρχουν και άλλες επιλογές για να γίνει αποδεκτή η ροή κίνησης, ιδιαίτερα αν έχει μεγάλη προτεραιότητα, αλλιώς η ροή απορρίπτεται.



Σχήμα 4-2. Αλγόριθμος ελέγχου αποδοχής

Αν η ροή κίνησης έχει μεγάλη προτεραιότητα, τότε υπάρχουν άλλες δυο ενέργειες που μπορούν να γίνουν για να ελευθερωθούν οι απαραίτητοι πόροι για την αποδοχή της νέας ροής. Αρχικά γίνεται μια προσπάθεια να εξοικονομηθούν οι αναγκαίοι πόροι με την εφαρμογή εξαναγκαστικών διαπομπών (forced handovers). Χρήστες οι οποίοι προκαλούν υψηλό φορτίο στην κυψέλη γίνεται προσπάθεια να διαπομπευθούν σε άλλη κυψέλη, μορφή ανάπτυξης δικτύου ή άλλο δίκτυο που να μπορεί να τους εξυπηρετήσει με τη συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας που χρειάζονται. Αν αυτή η ενέργεια δεν είναι δυνατή για τους τρέχοντες χρήστες ή δεν ελευθερώνει τους αναγκαίους πόρους, τότε μπορεί να πραγματοποιηθεί επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσίας των τρεχόντων χρηστών [26][27].

Πολλές υπηρεσίες, η ποιότητα που απαιτούν είναι ευέλικτη, που σημαίνει ότι και χαμηλότερη ποιότητα (κυρίως όσον αφορά στο ρυθμό μετάδοσης – datarate) να λαμβάνουν από την συμφωνημένη δε θα δημιουργούνται προβλήματα. Για παράδειγμα, σε web browsing υπηρεσία, μπορεί ο ρυθμός μετάδοσης να είναι πάρα πολύ χαμηλός, αλλά και πάλι η υπηρεσία να λειτουργεί ικανοποιητικά. Παρόμοια και σε άλλες υπηρεσίες. Επίσης, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1, ο ρυθμός μετάδοσης (που επηρεάζει την συνολική διεκπεραιωτικότητα του συστήματος) για πολλές υπηρεσίες δεν είναι συγκεκριμένος σε κάποια τιμή, αλλά συνήθως περιλαμβάνει ένα εύρος τιμών. Έτσι, μπορεί να δοθεί στην αντίστοιχη υπηρεσία ο ελάχιστος ρυθμός, ώστε να απελευθερωθεί ο πλεονάζων ρυθμός και οι πλεονάζοντες πόροι. Αυτή η επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών θα πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά και με βάση και το προφίλ συνδρομής του κάθε χρήστη. Θα πρέπει να ελέγχεται αν το προφίλ του χρήστη επιτρέπει ή όχι την επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσίας. Επίσης, θα πρέπει να μειώνεται η ποιότητα των υπηρεσιών, αλλά μέσα σε καθορισμένα πλαίσια και να μην πέσει κάτω από ένα όριο που θα δημιουργήσει πολλά προβλήματα μετάδοσης της υπηρεσίας [2][23][24].

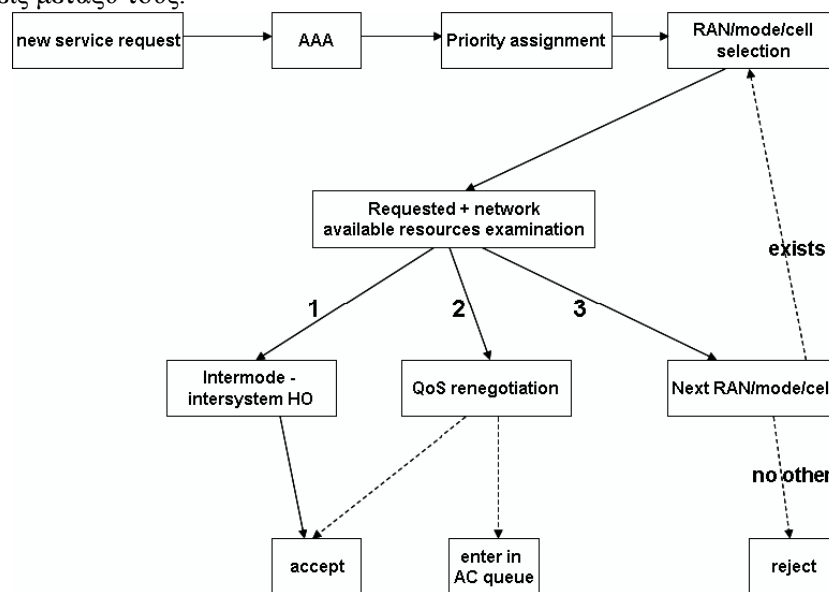
Το βήμα ενέργειας υποχρεωτικών διαπομπών είναι υψηλότερα στην ιεραρχία των βημάτων εξοικονόμησης πόρων από ότι η επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας των υπηρεσιών, μιας και πρώτα γίνονται οι διαπομπές και μετά η επαναδιαπραγμάτευση του QoS. Αν η επαναδιαπραγμάτευση του QoS γινόταν πρώτα, τότε θα υπήρχαν λιγότερες διακυψελικές, διαμορφικές ή διασυστημικές διαπομπές, αλλά θα υπήρχαν πολύ περισσότεροι χρήστες που να λαμβάνουν χαμηλή ποιότητα υπηρεσιών, πράγμα που δεν είναι επιθυμητό από τους χρήστες, αλλά από την πλευρά του δικτύου, γιατί δυσαρεστημένοι χρήστες μπορεί να αλλάξουν εταιρία.

Αν καμία από τις παραπάνω ενέργειες δεν μπορεί να εξοικονομήσει τους απαραίτητους πόρους, τότε είτε απορρίπτεται (αν έχει χαμηλή προτεραιότητα) η ροή είτε μπαίνει στην ουρά (queue) του αλγορίθμου αποδοχής. Μια ροή κίνησης μπορεί να μείνει στην ουρά μέχρι [19]:

- Οι αναγκαίοι πόροι να εξοικονομηθούν (π.χ. με την ολοκλήρωση και τον τερματισμό άλλων ροών κίνησης)
- Αν ο χρήστης αλλάξει κυψέλη (εφόσον κινείται) ή ολοκληρωθεί και τερματιστεί η ροή

- Αν η σύνδεση του χρήστη τερματιστεί λόγω λήξεως του μέγιστου χρόνου παραμονής της ροής στην ουρά (με βάση τα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας).

Αν πραγματοποιηθεί επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών σε κάποιους χρήστες θα πρέπει στη συνέχεια να γίνεται έλεγχος αν μπορεί να επαναφερθεί η ποιότητα υπηρεσίας τους στα κανονικά και συμφωνηθέντα επίπεδα. Αυτός ο έλεγχος γίνεται με τη χρήση ενός κατωφλιού αποκατάστασης (restoration threshold) [2][5][6], το οποίο συνήθως είναι χαμηλότερο του κατωφλιού για την αποδοχή ή όχι μιας ροής κίνησης. Αν το φορτίο του δικτύου βρίσκεται κάτω από το κατώφλι αποκατάστασης, τότε η ποιότητα της υπηρεσίας των χρηστών αποκαθίσταται, με βάση τις προτεραιότητες των χρηστών (πρώτα γίνεται η αποκατάσταση των χρηστών με μεγαλύτερη προτεραιότητα). Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται εν συντομία οι ενέργειες του αλγορίθμου και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους.

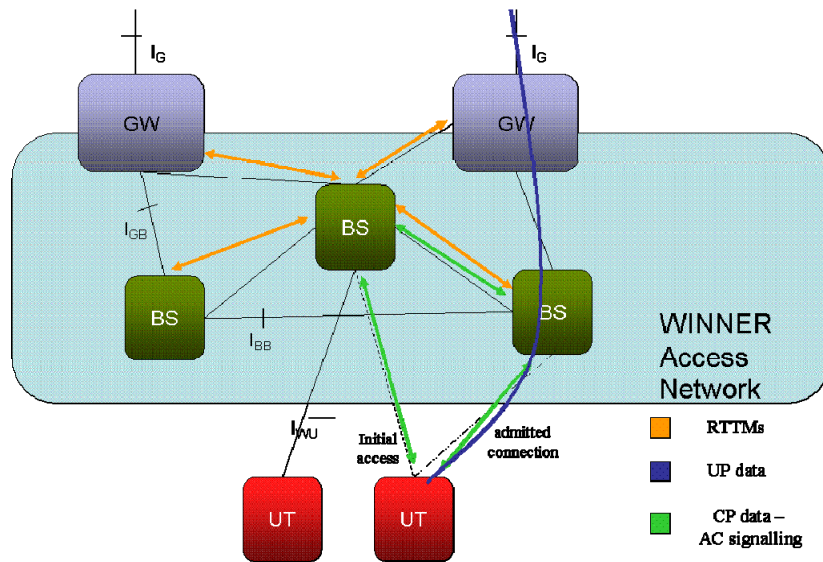


Σχήμα 4-3. βήματα και λειτουργίες του ελέγχου αποδοχής

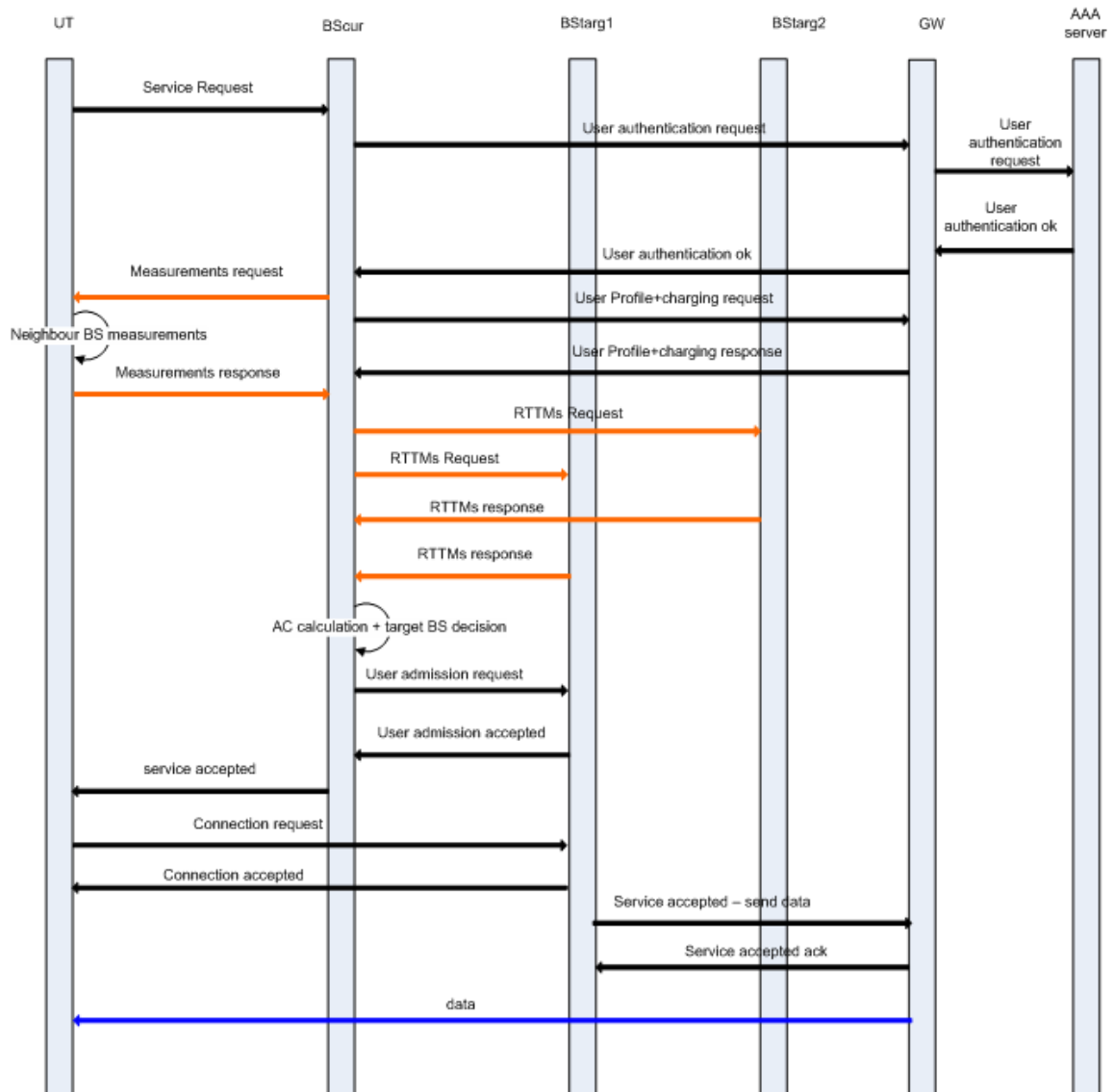
4.1.5 Τύποι αρχιτεκτονικής αλγορίθμου αποδοχής

Με βάση την αρχιτεκτονική που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3.3 υπάρχουν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις αρχιτεκτονικής του αλγορίθμου αποδοχής.

Στον **κατανεμημένο έλεγχο αποδοχής** [7][22] όλες οι αποφάσεις παίρνονται από τον σταθμό βάσης στον οποίο ο χρήστης προσπαθεί να συνδεθεί και μόνο από αυτόν. Αν αυτός ο σταθμός βάσης δεν μπορεί να δεχθεί το χρήστη, τότε ψάχνει να βρει άλλον σταθμό βάσης στην συγκεκριμένη περιοχή. Αυτή η μέθοδος είναι παρόμοια με το πως γίνεται ο έλεγχος αποδοχής στα ήδη υπάρχοντα συστήματα. Ο κατανεμημένος έλεγχος αποδοχής είναι πολύ γρήγορος στις αποφάσεις και δε χρειάζεται πολύ σηματοδοσία στο δίκτυο. Η βασική αρχιτεκτονική για τον κατανεμημένο έλεγχο αποδοχής παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Η σηματοδοσία για τη λειτουργία του κατανεμημένου ελέγχου αποδοχής παρουσιάζεται στο σχήμα 4-5.

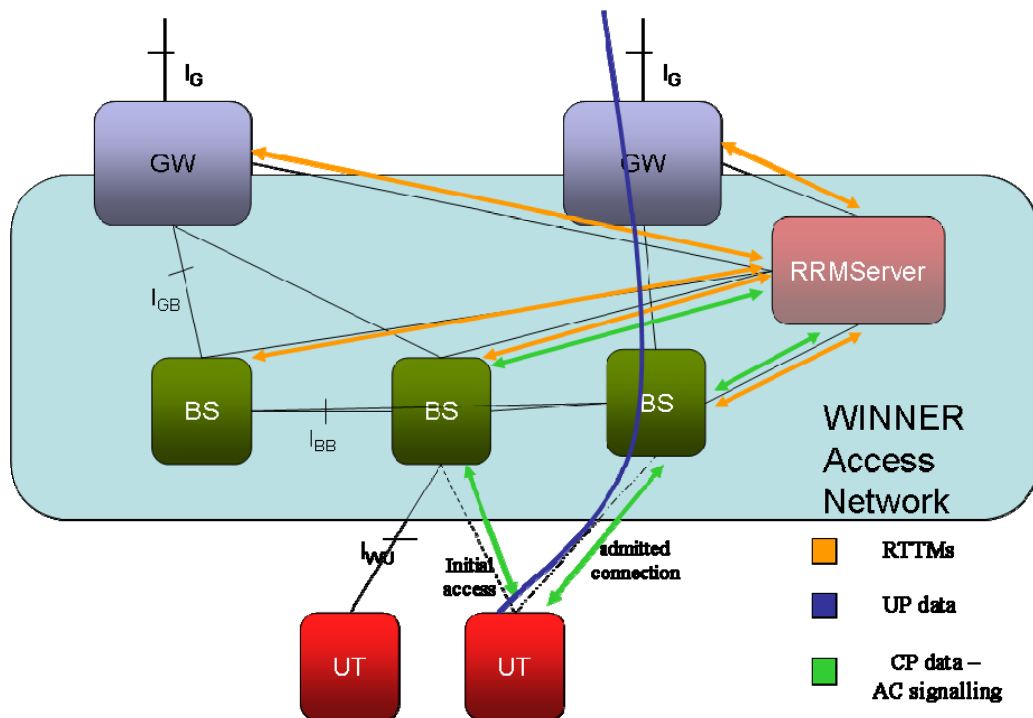


Σχήμα 4-4. αρχιτεκτονική καταναμημένου ελέγχου αποδοχής

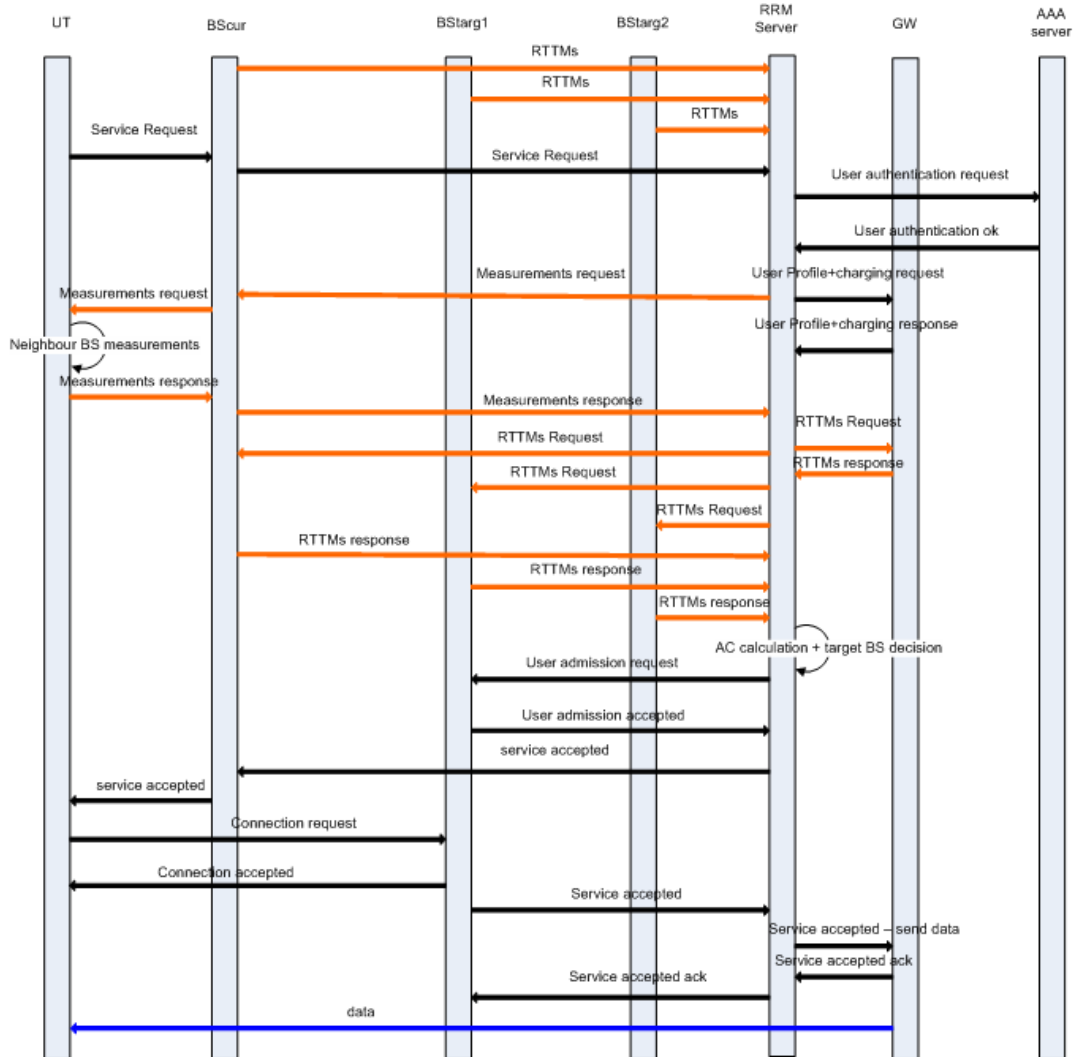


Σχήμα 4-5. σηματοδότηση καταναμημένου ελέγχου αποδοχής

Ο **κεντροποιημένος έλεγχος αποδοχής** [7][22] μπορεί να λειτουργήσει μόνο αν υπάρχει ο κεντρικός RRM Server στο σύστημα. Ο RRM Server λαμβάνει τις μετρήσεις (RTTMs) από όλους τους σταθμούς βάσεις και τις πύλες εξόδου που έχει υπό την εποπτεία του και γνωρίζει ανά πάσα στιγμή το φορτίο τους. Αυτό μπορεί να γίνει και κατ' απαίτηση (on demand). Στον κεντροποιημένο έλεγχο αποδοχής όλες οι αποφάσεις παίρνονται από τον RRM Server. Η αντίστοιχη αρχιτεκτονική και η αντίστοιχη σηματοδότηση παρουσιάζονται στα 2 επόμενα σχήματα. Ο κεντροποιημένος έλεγχος αποδοχής λαμβάνει (συνήθως) καλύτερες αποφάσεις από τον κατανεμημένο, μιας και ο RRM Server γνωρίζει πάντα την κατάσταση όλων των σταθμών βάσης και μπορεί να επιλέξει τον καλύτερο δυνατό που να μπορεί να εξυπηρετήσει το χρήστη. Από την άλλη μεριά όμως για την επικοινωνία του RRM Server με τους σταθμούς βάσης απαιτείται επιπλέον σηματοδότηση στο δίκτυο.

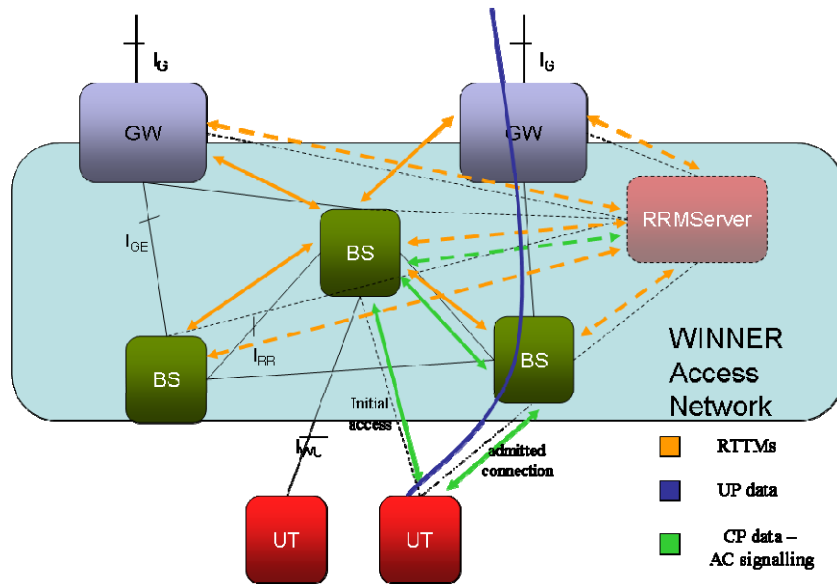


Σχήμα 4-6. αρχιτεκτονική κεντροποιημένου ελέγχου αποδοχής

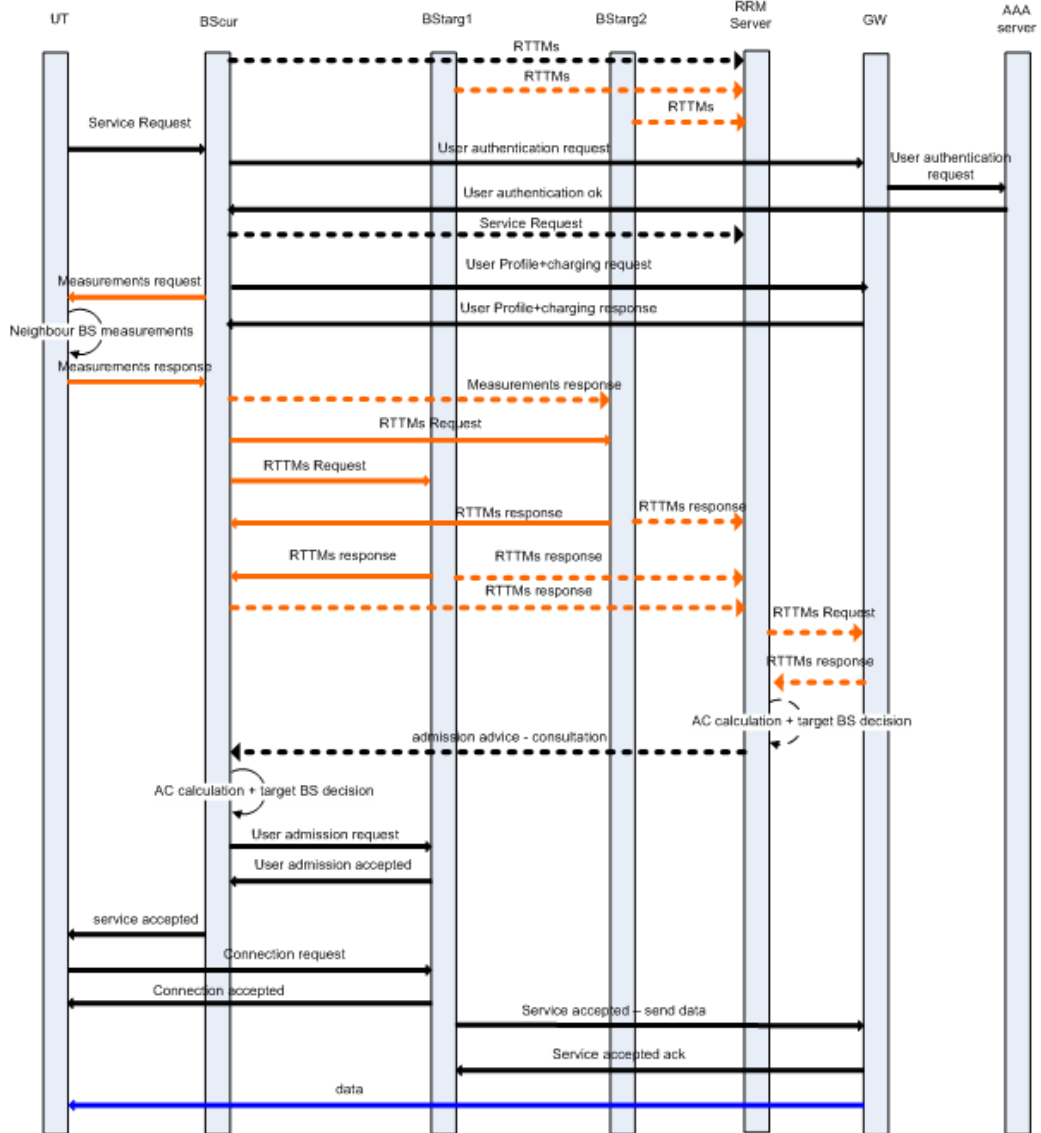


Σχήμα 4-7. σηματοδοσία κεντροποιημένου ελέγχου αποδοχής

Ο ευέλικτος και υβριδικός έλεγχος αποδοχής [7][22][28] είναι ένας συνδυασμός των δυο παραπάνω περιπτώσεων. Σε αυτή την περίπτωση οι αποφάσεις παίρνονται από τον σταθμό βάσης που πάει να συνδεθεί ο χρήστης, αλλά ο BS λαμβάνει (ή μπορεί να ζητήσει) βοήθεια από τον RRM Server, ώστε η απόφαση που θα λάβει να είναι βέλτιστη. Συνήθως όταν υπάρχει χαμηλό φορτίο στο δίκτυο, ο έλεγχος αποδοχής εκτελείται μόνο από τον σταθμό βάσης. Όταν όμως το φορτίο είναι αρκετά υψηλό και υπάρχει κίνδυνος πρόκλησης συμφόρησης, τότε ο σταθμός μπορεί να ζητήσει προτάσεις για τους υποψήφιους σταθμούς από τον RRM Server, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή απόφαση. Η αντίστοιχη αρχιτεκτονική και η αντίστοιχη σηματοδοσία παρουσιάζονται στα 2 επόμενα σχήματα, όπου με διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζεται η σηματοδοσία στην περίπτωση που ζητείται η πρόταση ή η βοήθεια από τον RRM Server, δηλαδή είναι επιλεκτική ή προαιρετική.



Σχήμα 4-8. ευέλικτος και υβριδικός έλεγχος αποδοχής



Σχήμα 4-9. σηματοδότηση ευέλικτου και υβριδικού έλεγχου αποδοχής

4.2 Έλεγχος φορτίου – συμφόρησης

Οι αλγόριθμοι ελέγχου αποδοχής είναι σχεδιασμένοι ώστε να λαμβάνουν αποφάσεις για νέες αιτήσεις ροών κίνησης, με βασικό κριτήριο να μην υπερφορτώνεται το δίκτυο, δηλαδή το φορτίο να παραμένει κάτω από ένα συγκεκριμένο κατώφλι. Παρόλα αυτά, επειδή οι αλγόριθμοι του ελέγχου αποδοχής δεν λειτουργούν πάντα σωστά επειδή δεν είναι σωστά σχεδιασμένοι ή για οποιονδήποτε άλλο λόγο (π.χ. χρήστες να υπερβαίνουν την ποιότητα υπηρεσίας που τους αντιστοιχεί), υπάρχει το συχνό φαινόμενο το φορτίο του δικτύου να ξεπερνάει το κατώφλι, οπότε να υπερφορτώνεται το δίκτυο. Σε αυτές τις περιπτώσεις παρεμβαίνει ο αλγόριθμος ελέγχου συμφόρησης, ώστε να αντιμετωπίσει τα αίτια που προκαλούν την υπερφόρτωση. Η συμφόρηση του δικτύου είναι μια πολύ κρίσιμη κατάσταση και έχει μέγιστη προτεραιότητα, δεδομένου και των όλο και αυξανόμενων μεγέθους, ζήτησης και ταχύτητας (σε ρυθμό μετάδοσης) των νέων ολοκληρωμένων δικτύων υπηρεσιών. Ο σχεδιασμός αποδοτικών στρατηγικών ελέγχου συμφόρησης για μελλοντικά δίκτυα ασύρματων επικοινωνιών θεωρείται αρκετά δύσκολος λόγω της πολυπλοκότητας της δομής των δικτύων, της φύσεως των μελλοντικών υπηρεσιών που θα παρέχονται μέσω του δικτύου, καθώς και της ποικιλίας των δυναμικών παραμέτρων που εμπλέκονται [4][5][6][29][30].

Σύμφωνα με ορισμό [31] της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union – ITU), συμφόρηση είναι μια κατάσταση των στοιχείων του δικτύου στην οποία το δίκτυο δεν είναι σε θέση να ικανοποιήσει τους συμφωνημένους στόχους απόδοσης για τις ήδη εγκατεστημένες συνδέσεις ή/και για νέες αιτήσεις σύνδεσης. Ο έλεγχος συμφόρησης (κατά τον ίδιο ορισμό) είναι μια λίστα από ενέργειες που λαμβάνονται από το δίκτυο, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ένταση, η εξάπλωση και η διάρκεια της συμφόρησης. Είναι ένα πρωτόκολλο του δικτύου που εντοπίζει και επιλύει καταστάσεις συμφόρησης.

Οι καταστάσεις συμφόρησης μπορούν να προκληθούν από κορεσμό των πόρων του δικτύου, όπως οι επικοινωνιακές συνδέσεις, κανάλια, διεκπεραιωτικότητα, κ.τ.λ. Για παράδειγμα, μια επικοινωνιακή σύνδεση παραδίδει πακέτα σε μια ουρά με υψηλότερο ρυθμό από το ρυθμό επεξεργασίας της ουράς, οπότε το μέγεθος της ουράς αυξάνει συνεχώς. Αν ο όγκος της ουράς είναι πεπερασμένος, τότε επιπλέον της καθυστέρησης που θα παρατηρείται, θα υπάρχουν και απώλειες των πακέτων που δε θα χωράνε να μπουν στην (γεμάτη) ουρά. Τα δίκτυα πρέπει να εξυπηρετούν όλες τις αιτήσεις των χρηστών που μπορεί να είναι απρόβλεπτες και ορμητικές στην συμπεριφορά τους (ώρα εκκίνησης, ρυθμός δεδομένων, διάρκεια). Οι πόροι του δικτύου, όμως, είναι περιορισμένοι και πρέπει να διαχειρίζονται μοιρασμένοι στους χρήστες. Συμφόρηση θα εμφανιστεί όταν οι πόροι δε διαχειρίζονται αποδοτικά.

Το βασικό αποτέλεσμα ενός συμφορημένου δικτύου είναι η μείωση της απόδοσής του. Οι χρήστες βιώνουν μεγάλες καθυστερήσεις στην παράδοση των πακέτων, καθώς και πολλές απώλειες που προκαλούνται από υπερχειλίση των buffers. Σε κατάσταση συμφόρησης οι τιμές της καθυστέρησης και της χρονικής μεταβολής της καθυστέρησης είναι πολύ ψηλές και η

διεκπεραιωτικότητα του δικτύου μπορεί να είναι μηδενική ή πολύ κοντά στο μηδέν. Η μείωση της απόδοσης του δικτύου, οι καθυστερήσεις και οι απώλειες πακέτων έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση κατά πολύ της διαθέσιμης χωρητικότητας του συστήματος, μιας και καταναλώνονται αρκετοί πόροι για την επαναμετάδοση των χαμένων πακέτων.

Ένας αποδοτικός μηχανισμός ελέγχου φορτίου θα πρέπει πρώτα απ' όλα να είναι προληπτικός ώστε να αποφεύγονται καταστάσεις συμφόρησης. Μιας και είναι σχεδόν απίθανο να μην υπάρξουν τέτοιες καταστάσεις, ο μηχανισμός ελέγχου συμφόρησης θα πρέπει να είναι σχεδιασμένος ώστε να δρα πολύ γρήγορα και να ελαχιστοποιεί την διάρκεια και την ένταση της συμφόρησης και να επαναφέρει το φορτίο σε τιμές κανονικής λειτουργίας.

Στην περίπτωση του δικτύου του WINNER, ο μηχανισμός ελέγχου φορτίου - συμφόρησης παρατηρεί συνεχώς το δίκτυο και αν συμβεί μια κατάσταση υπερφόρτωσης προσπαθεί να μειώσει το φορτίο πραγματοποιώντας διάφορες ενέργειες προς αυτή την κατεύθυνση και κυρίως προσπαθώντας να κάνει τις μορφές ανάπτυξης του WINNER και όλα τα διαθέσιμα δίκτυα να συνεργάζονται. Η βασική ιδέα είναι πως όταν εντοπιστεί μια κατάσταση συμφόρησης στο δίκτυο του WINNER τότε ο μηχανισμός προσπαθεί να επιλύσει το πρόβλημα τοπικά εντός του δικτύου του WINNER, ενώ αν αποτύχει, τότε προσπαθεί να μεταφέρει φορτίο στα υπόλοιπα δίκτυα που λειτουργούν σε εκείνη την περιοχή που παρατηρήθηκε το πρόβλημα [5][6].

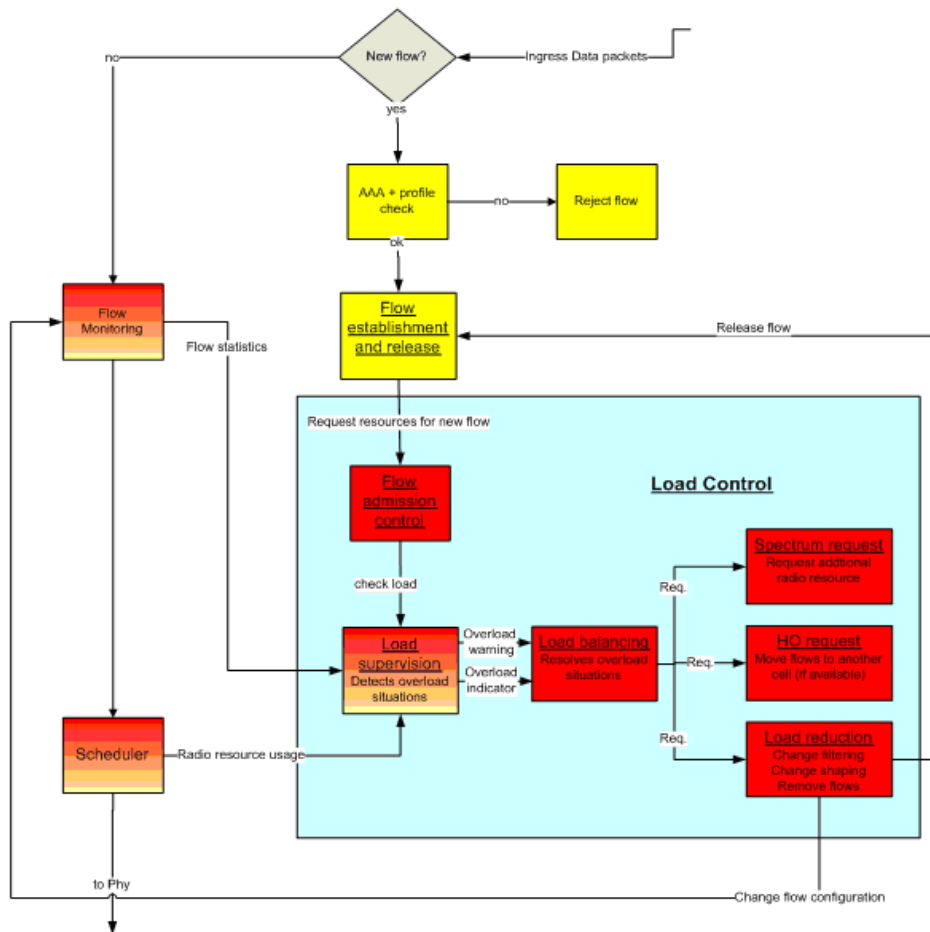
Ο αλγόριθμος ελέγχου συμφόρησης μπορεί να χωριστεί σε τρεις φάσεις [5][6][27].

- **Φάση παρατήρησης φορτίου ή φάση εντοπισμού συμφόρησης.** Ο αλγόριθμος ελέγχου συμφόρησης συνεχώς παρακολουθεί το δίκτυο και περιοδικά ελέγχει το φορτίο ώστε να εντοπιστούν καταστάσεις συμφόρησης σε οποιαδήποτε από τις κυψέλες οποιασδήποτε μορφής ανάπτυξης του δικτύου. Θεωρείται ότι μια κυψέλη μιας μορφής ανάπτυξης ή ενός δικτύου είναι υπερφορτωμένη αν το φορτίο για μια προκαθορισμένη χρονική διάρκεια είναι πάνω από ένα προκαθορισμένο κατώφλι, π.χ. αν $\Pi \geq \Pi_{thc}$ για χρονική διάρκεια ΔT_c τότε η κυψέλη C είναι υπερφορτωμένη, οπότε ενεργοποιείται αυτόματα ο αλγόριθμος ελέγχου συμφόρησης.
- **Φάση επίλυσης συμφόρησης.** Αυτή είναι η φάση στην οποία ο αλγόριθμος προσπαθεί να επιλύσει το πρόβλημα που προκαλεί τη συμφόρηση. Πρώτη ενέργεια είναι η συνεννόηση με τον έλεγχο αποδοχής ώστε όλες οι νέες αιτήσεις (εκτός από επείγουσες) να απορρίπτονται στη συγκεκριμένη κυψέλη. Έπειτα ελέγχει τις ροές των χρηστών αν όλες λαμβάνουν ποιότητα υπηρεσίας στα συμφωνηθέντα επίπεδα και αν είναι κάποιος που τα υπερβαίνει τότε γίνεται η απαραίτητη μείωση. Για παράδειγμα, αν ένας χρήστης λαμβάνει μια υπηρεσία που απαιτεί 512Kbps ρυθμό μετάδοσης και ο χρήστης λαμβάνει ρυθμό μετάδοσης 2Mbps, τότε δημιουργεί επιπλέον φορτίο στο δίκτυο, με αποτέλεσμα να μπορεί να προκληθεί συμφόρηση. Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμος μειώνει το ρυθμό δεδομένων που λαμβάνει ο χρήστης στον συμφωνηθέντα. Στη συνέχεια, ο αλγόριθμος εκτελεί ενέργειες διαχείρισης φάσματος

(spectrum management), πραγματοποίησης διαμορφικών, διασυστημικών διαπομπών, επαναδιαπραγμάτευσης πόρων και στην χειρότερη περίπτωση, αν τίποτα από όλα αυτά δεν μπορεί να αποσυμφορήσει το δίκτυο, τότε γίνεται τερματισμός ροών κίνησης χαμηλής προτεραιότητας ή υψηλού φορτίου.

- **Φάση ανάκαμψης συμφόρησης.** Αφού πραγματοποιήσει τις παραπάνω αναφερθείσες ενέργειες και αποσυμφορηθεί το δίκτυο, ο αλγόριθμος εισέρχεται στη φάση ανάκαμψης. Σε αυτή τη φάση θα πρέπει οι χρήστες των οποίων η λαμβανόμενη ποιότητα υπηρεσίας μειώθηκε (για τις ανάγκες μείωσης του φορτίου) να επανακτήσουν την ποιότητα που τους έχει συμφωνηθεί. Το πρόβλημα εδώ είναι πως αν επανακτηθεί η ποιότητα υπηρεσίας απρόσεκτα θα μπορεί να επανέλθει στο δίκτυο συμφόρηση. Επομένως, η επανάκτηση της ποιότητας υπηρεσιών θα πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά, με τον έλεγχο (για κάθε ροή ξεχωριστά) αν η επανάκτηση της καθορισμένης ποιότητας θα έχει ως αποτέλεσμα το φορτίο να περάσει ένα συγκεκριμένο κατώφλι επανάκτησης (οπότε και η επανάκτηση δεν γίνεται) ή όχι, οπότε και επανακτάται η συγκεκριμένη ποιότητα.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ο αλγόριθμος ελέγχου φορτίου – συμφόρησης και τα διάφορα βήματά του και σε σχέση και με τον αλγόριθμο αποδοχής.

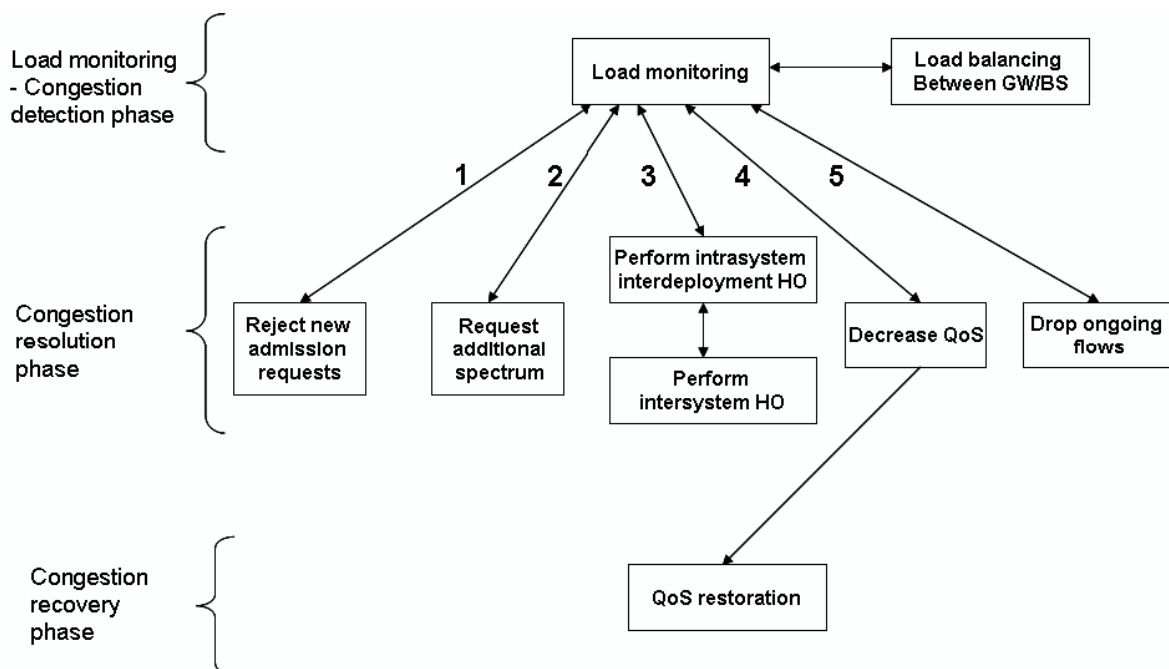


Σχήμα 4-10. Έλεγχος φορτίου – συμφόρησης

Υπάρχουν πολλοί τρόποι ώστε να παρατηρηθεί ή να εντοπιστεί μια κατάσταση συμφόρησης στο δίκτυο [7][22]:

- **Απώλεια πακέτων (packet loss)**, που μπορεί να παρατηρηθεί στις ουρές από υπερχειλίση, στον προορισμό από τον αύξοντα αριθμό των πακέτων και να γίνει αντιληπτή από τον χρήστη ή από τον αποστολέα λόγω έλλειψης των επιβεβαιώσεων (acknowledgements) που αποδεικνύει τις απώλειες.
- **Καθυστέρηση πακέτων (packet delay)**, που μπορεί να εξαχθεί από το μέγεθος της ουράς, να παρατηρηθεί από τον προορισμό και να επιβεβαιωθεί στο χρήστη (π.χ. χρησιμοποιώντας σφραγίδες χρόνου στις επικεφαλίδες των πακέτων) ή να παρατηρηθεί από τον αποστολέα από πακέτα που μετρούν το χρόνο κυκλικού ταξιδιού (Round Trip Time – RTT)
- **Απώλειες σε διεκπεραιωτικότητα (loss of throughput)**, που μπορεί να παρατηρηθεί από το μέγεθος της ουράς του αποστολέα και το χρόνο παραμονής στην ουρά.
- Άλλα γεγονότα όπως αυξημένο μέγεθος ουράς δικτύου και η αύξησή της ή εισροή ουράς και η επίδρασή της στη μελλοντική συμπεριφορά της ουράς .

Οι τρεις φάσεις του αλγορίθμου ελέγχου φορτίου-συμφόρησης είναι στενάτα συνδεδεμένες μεταξύ τους και η διάκρισή τους, οι ενέργειες σε κάθε φάση και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ενεργειών παρουσιάζονται στο επόμενο σχήμα.

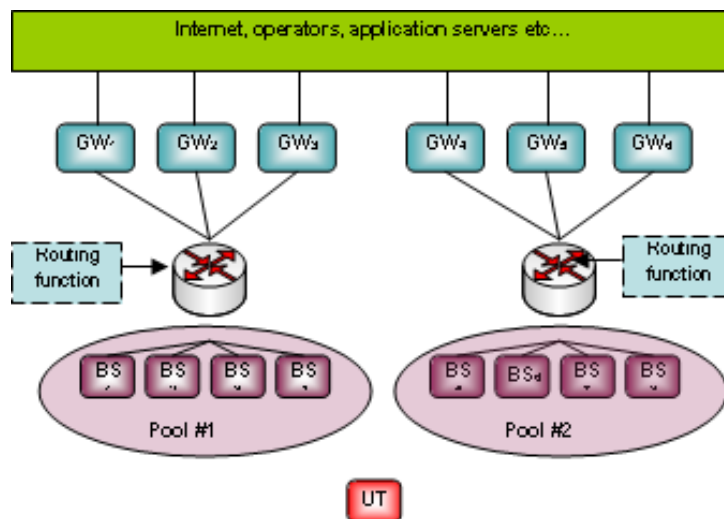


Σχήμα 4-11. διαδράσεις των λειτουργιών φορτίου – συμφόρησης

Στο παραπάνω σχήμα, στη φάση επίλυσης συμφόρησης παρουσιάζονται οι διάφορες ενέργειες που επιτελεί ο αλγόριθμος και η αριθμησή τους αφορά στην προτεραιότητα εκτέλεσης της κάθε ενέργειας για την απελευθέρωση των πόρων.

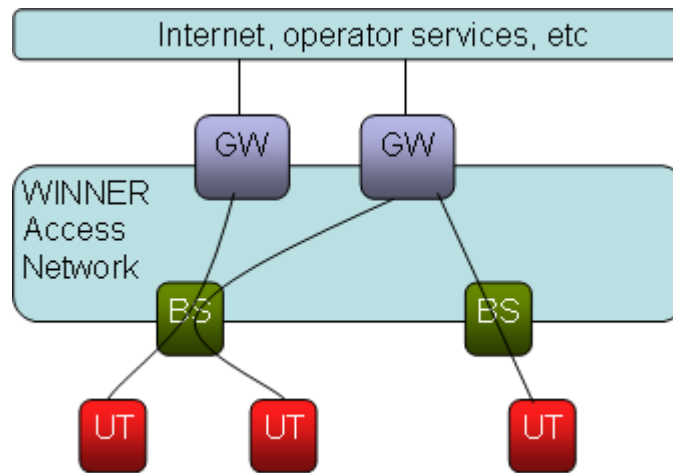
4.3 Εξισορρόπηση φορτίου μεταξύ πυλών εξόδου

Στο σύστημα του WINNER υπάρχει μια λογική αντιστοίχιση μεταξύ του κινητού τερματικού και της πύλης εξόδου και το κινητό τερματικό είναι (συνήθως), η οποία είναι ανεξάρτητη του σταθμού βάσης και επομένως μια ομάδα από GWs μπορεί να θεωρηθεί ως πισίνα πόρων (pool of resources) [32]. Με την ομαδοποίηση των GWs κάθε μια πύλη εξόδου μπορεί να αντιστοιχηθεί σε κάθε έναν σταθμό βάσης που ανήκει στην ίδια περιοχή πισίνας (pool area). Μια τέτοια αντιστοίχιση ουσιαστικά αποφεύγει τη διαπομπή μεταξύ GWs στην συγκεκριμένη περιοχή πισίνας, που ορίζεται ως μια περιοχή στην οποία το κινητό τερματικό μπορεί να κάνει περιαγωγή, χωρίς να χρειάζεται να αλλάξει GW. Η χωρητικότητα μιας πισίνας GWs μπορεί απλά να αυξηθεί προσθέτοντας περισσότερες GWs. Το σκεπτικό της πισίνας GWs παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4-12. περιοχή πισίνας GWs

Η λογική αντιστοιχία μεταξύ κινητού τερματικού και GW παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα, όπου το κινητό παρότι μπορεί να αλλάξει σταθμό βάσης διατηρεί τη σύνδεσή του με την ίδια GW.

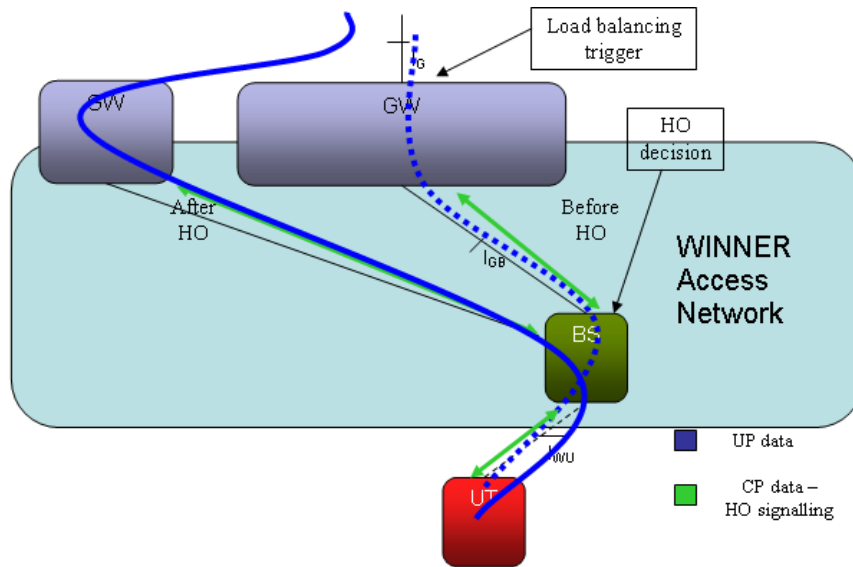


Σχήμα 4-13. περιοχή πισίνας GWs

Το σκεπτικό της χρήσης πισίνας GWs στο δίκτυο του WINNER είναι βασισμένο στην ελαχιστοποίηση της ανάγκης για τη χρήση μακρο-κινητικότητας (macro – mobility), δηλαδή διαπομπών IP (IP handovers). Αν αυτό συνέβαινε πάντα, τότε μέσα στο δίκτυο του WINNER θα υπήρχαν πάντα μόνο ασύρματες διαπομπές (radio handovers) [32]. Το σύστημα του WINNER σχεδιάστηκε με τις πισίνες GWs ώστε ένας χρήστης να παραμένει σε όλη τη διάρκεια της σύνδεσής του στο δίκτυο (όσο είναι ενεργός) συνδεδεμένος με την ίδια πύλη εξόδου. Επομένως, ακόμα και όταν ο χρήστης κάνει διαπομπή σε σταθμό βάσης που τον χειρίζεται άλλη GW (σε σχέση με αυτή με την οποία ο χρήστης έχει αντιστοιχηθεί), αλλά ανήκει στην ίδια πισίνα GWs τότε δε χρειάζεται να αλλάξει διεύθυνση IP. Από την άλλη μεριά οι πύλες εξόδου είναι οντότητες με περιορισμένη χωρητικότητα και μπορούν να αντέξουν καθορισμένο φορτίο, επομένως, αν αντιστοιχηθούν σε αυτές πολλοί χρήστες με υψηλό φορτίο, τότε μπορεί να υπερφορτωθούν. Επίσης, υπάρχει περίπτωση μερικές GWs να έχουν πολύ υψηλό φορτίο, ενώ άλλες να έχουν ελάχιστο. Για να αποφευχθούν τέτοιες περιπτώσεις έχει αναπτυχθεί το σκεπτικό της εξισορρόπησης φορτίου μεταξύ GWs.

Η εξισορρόπηση φορτίου μεταξύ GWs είναι αναγκαία όταν υπερφορτωθεί μια GW, ώστε να υπάρχει μια κάπως ομοιόμορφη κατανομή του φορτίου στις GWs. Μια GW Μπορεί να υπερφορτωθεί, όπως αναφέρθηκε πριν, αν αντιστοιχηθούν σε αυτή πολλοί χρήστες με υψηλό φορτίο και το συνολικό τους φορτίο να υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο κατώφλι. Τότε θα πρέπει ένα μέρος του φορτίου να μετακινηθεί σε άλλες GWs που δεν είναι υπερφορτωμένες, αλλά έχουν αρκετή χωρητικότητα διαθέσιμη ή να μειωθεί το φορτίο που προκαλούν κάποιοι χρήστες (μειώνοντας την ποιότητα της υπηρεσίας που λαμβάνουν) ή ακόμα και να τερματιστεί η σύνδεση κάποιων χρηστών. Η εξισορρόπηση φορτίου μεταξύ GWs είναι ακόμα ένα μέτρο που μπορεί να αποτρέψει καταστάσεις συμφόρησης σε ένα δίκτυο, μιας και θα μπορεί να υπάρχει ένα κατώφλι, πάνω από το οποίο να μην είναι υπερφορτωμένη η GW, αλλά να θεωρείται ότι καλό θα είναι να εξισορροπηθεί το φορτίο της με άλλες GWs ώστε να μην προκληθεί η συμφόρηση.

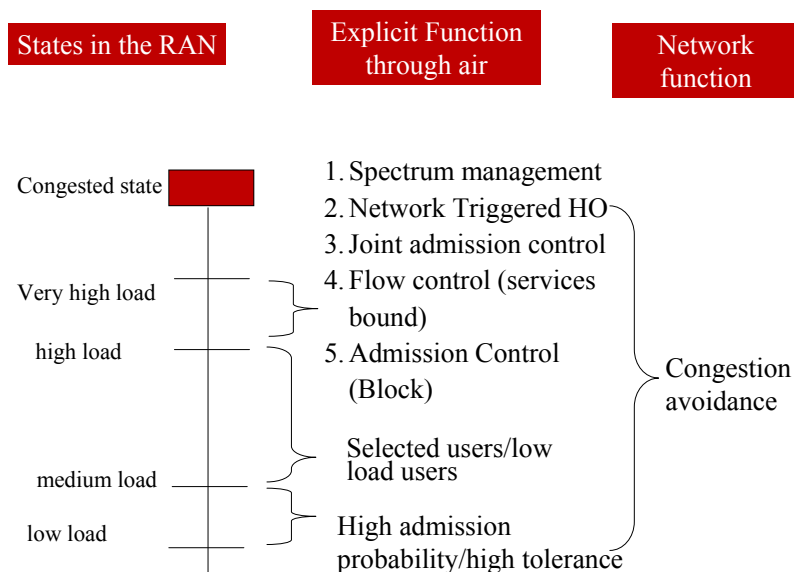
Η εξισορρόπηση φορτίου με τη χρήση διατομών μεταξύ GWs (IP διατομών) παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα [7][22].



Σχήμα 4-14. εξισορρόπηση φορτίου μεταξύ GWs

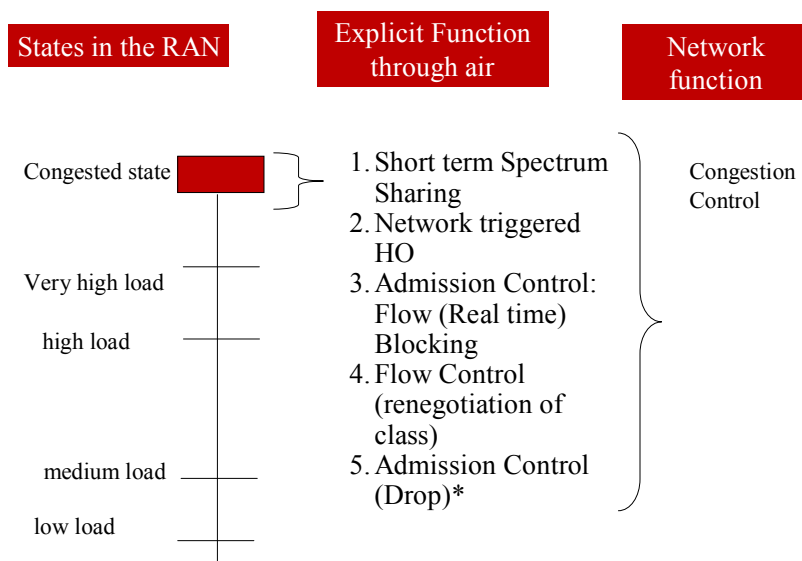
4.4 Λειτουργίες ελέγχου φορτίου και συμφόρησης

Για την ομαλή λειτουργία του δικτύου θα πρέπει να αποφεύγεται η συμφόρηση. Προς αυτό το σκοπό δουλεύουν όχι μόνο ο έλεγχος αποδοχής ή ο έλεγχος φορτίου αλλά και άλλες λειτουργίες του δικτύου, οι οποίες σχετίζονται άμεσα με τις 2 προαναφερθείσες. Οι σχέσεις αυτών των λειτουργιών μεταξύ τους καθώς και η σειρά με την οποία εκτελούνται οι λειτουργίες για την αποφυγή συμφόρησης παρουσιάζονται στα δυο παρακάτω σχήματα για κατάσταση μέσου ή υψηλού φορτίου και για κατάσταση συμφόρησης.



Σχήμα 4-15. λειτουργίες ελέγχου φορτίου σε κατάσταση μέσου ή υψηλού φορτίου

Όταν το φορτίο του δικτύου είναι χαμηλό ή μέσο, τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα αποδοχής των χρηστών, μιας και υπάρχουν πολλοί διαθέσιμοι πόροι. Όταν όμως το φορτίο αυξάνεται συνεχώς με την εισαγωγή νέων χρηστών τότε για να αποφευχθεί η συμφόρηση θα πρέπει είτε να περιοριστεί η εισαγωγή νέων χρηστών είτε να εκτελεστούν άλλες λειτουργίες που να περιορίζουν το φορτίο του δικτύου. Όπως φαίνεται και στο σχήμα μερικές πιθανές λειτουργίες είναι η διαχείριση του φάσματος, οι διαπομπές χρηστών είτε μεταξύ κυψελών είτε μεταξύ δικτύων, ο έλεγχος των ροών των χρηστών στα πλαίσια των συμφωνιών που έχουν κάνει οι χρήστες με τα δίκτυα και η τελευταία ενέργεια είναι ο αποκλεισμός νέων χρηστών, η οποία είναι και απευκταία μιας και το δίκτυο θα χάνει αρκετά κέρδη από την απόρριψή τους.



Σχήμα 4-16. λειτουργίες αποφυγής συμφόρησης σε κατάσταση συμφόρησης

Για την επίλυση της συμφόρησης (όταν αυτή συμβεί) μπορεί να γίνει βραχυπρόθεσμη διαμοίραση φάσματος με άλλα δίκτυα ή άλλους παρόχους, ώστε να αυξηθούν οι διαθέσιμοι πόροι του δικτύου. Αυτό βέβαια προϋποθέτει την ύπαρξη αντίστοιχων συμφωνιών μεταξύ των παρόχων των δικτύων. Οι συμφωνίες αυτές θα πρέπει να είναι ειδικές για τις περιπτώσεις συμφόρησης και να περιλαμβάνουν όρους και τιμές για την «ενοικίαση» φάσματος από το ένα δίκτυο σε άλλο. Από εκεί και πέρα οι διαπομπές χρηστών από την συμφορημένη κυψέλη προς άλλες κυψέλες και δίκτυα, η απόρριψη αιτήσεων νέων χρηστών για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, ο έλεγχος ροής με επαναδιαπραγμάτευση της υπηρεσίας των χρηστών και τέλος η απόλυση της σύνδεσης χρηστών με υψηλό φορτίο είναι οι υπόλοιπες λειτουργίες που εξοικονομούν πόρους και αποσυμφορίζουν το δίκτυο [7][22].

4.5 Αναφορές

- [1] 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
- [2] Elias Z. Tragos, George Tsiropoulos, George T. Karetzos, Sofoklis Kyriazakos, "Admission Control for QoS Support in Heterogeneous 4G Wireless Networks", IEEE Network Magazine, Volume 22, Issue 3, p30-37, May-June 2008, ISSN: 0890-8044, DOI: 10.1109/MNET.2008.4519962
- [3] Sunho Lim, Guohong Cao, "An admission control scheme for QoS-sensitive cellular networks", 2002 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2002. WCNC2002.
- [4] A. Pitsillides, A. Sekercioglu, Congestion Control, in Computational Intelligence in Telecommunications Networks, (Ed. W. Pedrycz, A. V. Vasilakos), CRC Press, ISBN: 0-8493-1075-X, September 2000, pp- 109-158
- [5] WINNER, "D4.2: Impact of Cooperation Schemes Between RANs", Internal Deliverable, IST-2003-507581 WINNER, February 2005.
- [6] WINNER, "D4.3: Identification, definition and assessment of cooperation schemes between RANs", Final deliverable", IST-2003-507581 WINNER, June 2005.
- [7] WINNER II, "D4.8.2: Cooperation schemes validation", Public Deliverable, IST-4-027756 WINNER II, June 2007.
- [8] WINNER II, "D4.8.1: WINNER II intramode and Intermode cooperation schemes definition", Public Deliverable, IST-4-027756 WINNER II, June 2006.
- [9] V. Jacobson, "Congestion Avoidance and Control", Symposium proceedings on Communications architectures and protocols, Stanford, California, United States ISBN:0-89791-279-9
- [10] 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.
- [11] Tang, N., Tsui, S., and Wang, L., A Survey of Admission Control Algorithms, tech. rep., Computer Science Department, University of California Los Angeles (UCLA), Dec. 1998
- [12] Maria O' Callaghan, Neville Gawley, Michael Barry, Sean McGrath, "Admission Control for Heterogeneous Networks", 13th IST Mobile and Wireless Communications Summit, Lyon, June 27 - 30 2004
- [13] Bhagwat, P. Sreenan, C.J, "Future Wireless Applications (Guest Editorial)". Wireless Communications, IEEE [see also IEEE Personal Communications] Volume 9, Issue 1, Feb. 2002 Page(s): 6 – 6
- [14] WINNER D1.3 "Final Usage Scenarios", IST-2003-507581 WINNER, June 2005
- [15] WINNER D1.2 "Intermediate requirements per scenario", IST-2003-507581 WINNER, February 2005
- [16] IST-2001-32125 FLOWS, D06 "FLOWS Scenarios and Definition of Services", Public Deliverable, November 2002
- [17] H.Holma, A.Toscali, "WCDMA for UMTS", J.Wiley&Sons, Revised Edition, 2001.
- [18] "First report on the evaluation or RRM/CRRM algorithms", EVEREST IST-2002-001858, D11
- [19] 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.
- [20] "First Report On The Evaluation of RRM algorithms by simulation", IST-ARROWS project, Deliverable D.09. <http://www.arrows-ist.upc.es>
- [21] Dennis Pong, Tim Moors, "Call Admission Control for IEEE 802.11 Contention Access Mechanism", Proc. Globecom 2003, pp. 174-8, Dec. 1-5, 2003
- [22] WINNER II, "D4.8.3: Integration of cooperation on WINNER II System Concept ", Public Deliverable, IST-4-027756 WINNER II, November 2007.
- [23] Alben Mihovska, Elias Tragos, Emilio Mino, Jijun Luo, Christian Mensing, Roberta Fracchia, Sana Horrich, Annika Wennström, and Sofoklis Kyriazakos, "Requirements and Algorithms for Cooperation of Heterogeneous Radio Access Networks", Springer Special Issue of Wireless Personal Communications

- [24] Matthias Lott, Vaia Sdralia, Mylene Pischella, Delphine Lugara, Albena Mihovska, Seshaiiah Ponnekanti, Elias Tragos, Emilio Mino, “Cooperation Mechanisms for Efficient Resource Management between 4G and legacy RANs”. WWRF13 Meeting, 02-03 March 2005, Jeju Island, Korea
- [25] D. Ayyagari, A. Ephremides, “Admission Control with priorities: Approaches for multi-rate wireless systems”. MONET 4(3): 209-218(1999)
- [26] Kamil H. Suleiman, H. Anthony Chan, Mqhele E. Dlodlo, “Load Balancing in the Call Admission Control of Heterogeneous Wireless Networks”, Proceedings of the International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC 2006), Vancouver, Canada, July 3 - 6, 2006
- [27] Jordi Pérez-Romero, Oriol Sallent, Ramon Agustí, Juan Sánchez, “On Managing Radio Network Congestion In UTRA-FDD”.
- [28] Emilio Mino, Jijun Luo, Roberta Fracchia, Guillaume Vivier, Elias Tragos, Albena Mihovska, “Scalable and Hybrid Radio Resource Management for Future Wireless Networks”, 16th ISTMobile and Wireless Summit, 1-5 July 2007, Budapest Hungary
- [29] Bin Pang Wen Gao, “An edge-to-edge congestion control scheme for assured forwarding”, 10th IEEE International Conference on Networks, 2002. ICON 2002.
- [30] Simin Nadjm-Tehrani, Kayvan Najarian, Calin Curescu, Tomas Lingvall, Teresa A. Dahlberg, “Adaptive load control algorithms for 3rd generation mobile networks”, Proceedings of the 5th ACM international workshop on Modeling analysis and simulation of wireless and mobile system, Atlanta, Georgia, USA
- [31] ITU-T Rec. I.371 “Traffic control and congestion control in B-ISDN”
- [32] WINNER II, “D6.13.8: Intermediate WINNER II concept”, Internal Deliverable, IST-4-027756 WINNER II, December 2006.

5. Αποτίμηση αλγορίθμου ελέγχου αποφυγής συμφόρησης

Σε αυτό το κεφάλαιο της διατριβής γίνεται η αποτίμηση της λειτουργικότητας του έξυπνου αλγορίθμου ελέγχου αποφυγής συμφόρησης για τη συνεργασία ετερογενών δικτύων, που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Βασικός σκοπός μας είναι η παρουσίαση πειραματικών αποτελεσμάτων τα οποία να δείχνουν ότι ο αλγόριθμος που αναπτύξαμε και υλοποιήσαμε είναι αποδοτικός, εύχρηστος και ιδιαίτερα χρήσιμος για την συνεργασία ετερογενών δικτύων. Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων αναπτύχθηκε ένας προσομοιωτής σε Visual Basic. Επειδή ο αλγόριθμος είναι γενικός χρησιμοποιήθηκε ένας απλός προσομοιωτής, ο οποίος δεν έχει τεχνικά χαρακτηριστικά, αλλά βασίζεται στην αξιολόγηση των αποφάσεων του αλγορίθμου και στην αποτίμηση της αποδοτικότητάς του στη θεωρητική εφαρμογή του σε ένα ετερογενές δίκτυο.

Το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε προσομοιάζει τον έλεγχο αποφυγής συμφόρησης σε ένα ετερογενές δίκτυο ασύρματων επικοινωνιών, το οποίο αποτελείται από επιμέρους διαφορετικά δίκτυα. Τα βασικά αποτελέσματα που μετρούνται για έναν τέτοιο αλγόριθμο είναι η πιθανότητα αποκλεισμού νέων ροών κίνησης (blocking probability) και το φορτίο των δικτύων (load of the networks) [1]. Εκτός αυτών, μετρήσαμε και τη συμπεριφορά του αλγορίθμου για διάφορες παραμέτρους, ώστε να υπολογίσουμε την αποδοτικότητά του και να βρούμε βέλτιστες παραμέτρους, για τις οποίες θα έχει τα καλύτερα αποτελέσματα. Στην υλοποίηση του αλγορίθμου χρησιμοποιήθηκαν πολλές τάξεις υπηρεσιών για τους χρήστες και διαφορετικές προτεραιότητες για κάθε τάξη υπηρεσίας και για χρήστες υπό διαπομπή (με κινητικότητα). Τα επιπλέον χαρακτηριστικά που μετρήσαμε ήταν το μέσο μήκος της ουράς αναμονής και το μέσο πλήθος χρηστών που υπόκεινται διασυστημική διαπομπή.

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται αρχικά μια γενική περιγραφή της προσομοίωσης, στη συνέχεια παρουσιάζεται η τοπολογία που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του αλγορίθμου ελέγχου αποφυγής συμφόρησης, έπειτα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αλγορίθμου, όπως οι τάξεις υπηρεσιών, το φορτίο κίνησης και τέλος παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου με τη χρήση πολλών γραφικών παραστάσεων.

5.1 Γενική περιγραφή της προσομοίωσης

Όπως προαναφέρθηκε το ενδιαφέρον μας στρέφεται στην εκτίμηση της λήψης σωστών και βέλτιστων αποφάσεων από τον αλγόριθμο που αναπτύξαμε, επομένως το σενάριο των προσομοιώσεων είναι αρκετά γενικό και απλό στη σκέψη, ώστε να μας διευκολύνει στην υλοποίηση του αλγορίθμου και στην εκτίμηση των αποτελεσμάτων του. Το σενάριο της προσομοίωσης περιλαμβάνει τη δημιουργία μιας τοπολογίας στην οποία υπάρχει επικαλυπτόμενη και συμπληρωματική κάλυψη

κυψελών από 4 δίκτυα, μια γεννήτρια χρηστών που παράγει κίνηση και την υλοποίηση και εκτέλεση του αλγορίθμου ελέγχου αποφυγής συμφόρησης, που λαμβάνει αποφάσεις για την αποδοχή ή όχι χρηστών στα δίκτυα [2][6][7].

Η γεννήτρια χρηστών δημιουργεί νέες αιτήσεις χρηστών για εισαγωγή στις κυψέλες των δικτύων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και σε διάφορες θέσεις μέσα στην τοπολογία που έχουμε ορίσει. Οι χρήστες που δημιουργούνται έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και παράγουν διαφορετική κίνηση ο καθένας, με αποτέλεσμα να μπορούμε να καθορίσουμε τη συνολική κίνηση του δικτύου κάθε χρονική στιγμή, αλλά και τη συνολική εισερχόμενη κίνηση στο δίκτυο, δηλαδή την κίνηση που θα δημιουργήσουν στο δίκτυο οι νέοι χρήστες. Αυτό μπορεί να γίνει συνολικά για όλο το δίκτυο ή ξεχωριστά για κάθε κυψέλη, που είναι και η εστίαση του ενδιαφέροντός μας, καθώς ο αλγόριθμος λειτουργεί αρχικά για τη συγκεκριμένη κυψέλη στην οποία γίνεται η αίτηση του νέου χρήστη και μετά ενδιαφέρεται για τις γειτονικές του κυψέλες.

Οι χρήστες που δημιουργούνται από τη γεννήτρια χρηστών έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Πίνακας 5-1. χαρακτηριστικά χρηστών δημιουργούμενων από την γεννήτρια

Χαρακτηριστικά χρηστών								
user ID	new/HO user	time of request	x position	y position	requested service	requested RAN	priority	call/session duration

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα οι χρήστες που δημιουργούνται λαμβάνουν ένα αναγνωριστικό (ID) ώστε να γνωρίζει το σύστημα κάθε στιγμή ποιοι είναι. Οι χρήστες μπορεί να είναι [2][3][6]:

- «νέου» που σημαίνει ότι δεν είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο και έχουν πραγματοποιήσει μόνο την αρχική πρόσβαση (initial access) και πλέον θέλουν να λάβουν μια υπηρεσία, οπότε επιθυμούν να πραγματοποιήσουν σύνδεση με κάποιο δίκτυο
- «από διαπομπή», που σημαίνει ότι είναι ήδη συνδεδεμένοι με κάποιο δίκτυο και για οποιονδήποτε λόγο είτε λόγω της κινητικότητάς τους είτε για αλλαγή υπηρεσίας είτε για άλλους λόγους επιθυμούν να αλλάξουν κυψέλη ή δίκτυο πραγματοποιώντας διακυβελική ή διασυστημική διαπομπή.

Ο κάθε χρήστης δημιουργείται σε τυχαία θέση που καθορίζεται από τις συντεταγμένες x και y, επιλέγει συγκεκριμένη υπηρεσία με βάση κάποια βάρη όπως θα παρουσιαστεί και παρακάτω, μπορεί να ζητήσει συγκεκριμένο δίκτυο για να εισαχθεί και με βάση την υπηρεσία του καθορίζεται και η

διάρκεια της κλήσης του. Αφού δημιουργούνται χρήστες έχουμε την εκκίνηση του αλγορίθμου αποφυγής συμφόρησης, ο οποίος διαιρείται σε δυο μέρη, τον αλγόριθμο ελέγχου αποδοχής και τον αλγόριθμο αποφυγής συμφόρησης, όπως παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Για τον έλεγχο αποδοχής θεωρούμε το νέο χρήστη για εισαγωγή στο δίκτυο, βρίσκουμε την τοποθεσία του χρήστη από τις συντεταγμένες του και λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας που ζητάει προσπαθούμε να βρούμε το δίκτυο και την κυψέλη που δεν είναι υπερφορτωμένη και μπορεί να παρέχει στο χρήστη την υπηρεσία που ζητάει με τη βέλτιστη ποιότητα. Αυτό επιτυγχάνεται είτε επιλέγοντας κυψέλες που παρέχουν κάλυψη στην γεωγραφική περιοχή που έχει γεννηθεί ο χρήστης είτε εκτελώντας διάφορες ενέργειες ώστε να εξοικονομηθούν οι απαραίτητοι πόροι ώστε να μπορεί να εισαχθεί ο χρήστης σε μια κυψέλη που τώρα είναι υπερφορτωμένη.

Ο έλεγχος συμφόρησης είναι αυτός που εκτελείται όταν γίνεται προσπάθεια να εισαχθεί ο χρήστης σε μια υπερφορτωμένη κυψέλη και εκτελούνται διάφορες ενέργειες για τη μείωση του φορτίου της κυψέλης και την εξοικονόμηση των αναγκαίων πόρων για την εξυπηρέτηση του χρήστη. Αυτή η ενέργεια θα μπορούσε να εννοηθεί σαν μια αυτόματη αποδοχή του χρήστη στη συγκεκριμένη κυψέλη και στη συνέχεια υπερφόρτωση της κυψέλης και εκκίνηση του αλγορίθμου ελέγχου συμφόρησης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όμως, όπως χρησιμοποιείται στο δικό μας αλγόριθμο γίνεται πρώτα έλεγχος αν με την εκτέλεση των ενεργειών μας μπορούμε να εξοικονομήσουμε τους απαραίτητους πόρους και στη συνέχεια πραγματοποιούνται οι ενέργειες.

5.2 Περιγραφή της τοπολογίας της προσομοίωσης

Η τοπολογία που χρησιμοποιήθηκε στην προσομοίωση αποτελείται 4 δίκτυα ασύρματων επικοινωνιών, τα οποία είναι τα WINNER, WLAN, UMTS και GSM/GPRS. Συνήθως οι κυψέλες των δικτύων είναι τριγωνικές ή εξαγωνικές και προσομοιώνονται καλύτερα με κυκλικό σχήμα. Επειδή όμως το σχήμα των κυψελών δεν ενδιαφέρει τον αλγόριθμό μας και δεν επηρεάζει κατά κανέναν τρόπο τα αποτελέσματα, στις προσομοιώσεις έγινε η υπόθεση ότι οι κυψέλες είναι τετραγωνικού σχήματος. Η υπόθεση αυτή έγινε κυρίως με σκοπό την απλοποίηση της προσομοίωσης και του προγραμματισμού των κυψελών [2][3][6].

Ένα χαρακτηριστικό των ετερογενών δικτύων όπως αυτό της προσομοίωσής μας είναι ότι τα διάφορα δίκτυα δεν έχουν ίδιες διαστάσεις κυψελών και γι' αυτό υπάρχουν επικαλυπτόμενες και συμπληρωματικές κυψέλες. Το μέγεθος κάθε κυψέλης είναι σημαντικό μιας και όσο μεγαλύτερη είναι τόσο μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή καταλαμβάνει, επομένως τόσο μεγαλύτερη πιθανότητα θα υπάρχει να γεννηθεί κάποιος χρήστης μέσα σε αυτή την κυψέλη. Δεν είναι σωστό να παρθεί αυθαίρετα κάποιο μέγεθος κυψελών και γι' αυτό τα μεγέθη κυρίως των ήδη υπαρχόντων δικτύων είναι γνωστά από τη βιβλιογραφία και του WINNER από αρχικές υποθέσεις. Τα μεγέθη των κυψελών που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις είναι τα παρακάτω:

- GSM/GPRS: μέγεθος κυψέλης 1000m x 1000m, μιας και κατά μέσο όρο στη βιβλιογραφία θεωρείται μέγεθος ακτίνας κυψέλης του GSM περίπου 1km.
- UMTS: μέγεθος κυψέλης 3000m x 3000m, μιας και το μέσο μέγεθος ακτίνας της κυψέλης του UMTS θεωρείται 1,5km περίπου.
- WLAN 802.11b: στα τοπικά ασύρματα δίκτυα η κατάσταση είναι διαφορετική, μιας και όσο πιο κοντά είσαι στο Access Point τόσο πιο μεγάλο εύρος ζώνης μπορείς να έχεις και τόσο πιο μεγάλη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων. Αυτό βέβαια ισχύει σε όλα τα ασύρματα δίκτυα, αλλά στα WLAN οι διαφορές μεταξύ των μέγιστων ρυθμών δεδομένων για κοντινή και μακρινή περιοχή είναι πολύ μεγάλες. Εδώ θεωρήσαμε δυο περιοχές εμβέλειας με διαφορετική κάλυψη και διαφορετικούς ρυθμούς ταχύτητας δεδομένων, μια περιοχή μεγάλης εμβέλειας και μικρής ταχύτητας δεδομένων και μια περιοχή μικρής εμβέλειας μέσα στην περιοχή μεγάλης εμβέλειας που έχει μεγάλη ταχύτητα δεδομένων ως εξής:
 - Περιοχή μικρής εμβέλειας: η ακτίνα κυψέλης είναι περίπου 400ft \cong 120m, οπότε το μέγεθος της κυψέλης είναι 250m x 250m με ρυθμό δεδομένων 11Mbps
 - Περιοχή μεγάλης εμβέλειας: η ακτίνα κυψέλης είναι περίπου 1500ft \cong 460m οπότε το μέγεθος της κυψέλης είναι 1000m x 1000m με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 1Mbps. Βέβαια οι ρυθμοί μετάδοσης για το WLAN και τις περιοχές κάλυψης είναι οι θεωρητικοί μέγιστοι με βέλτιστες συνθήκες και χρησιμοποιήθηκαν εδώ για απλότητα των υπολογισμών σε σχέση βασικά με τις υπηρεσίες που αναλύονται παρακάτω.
- WINNER: για το δίκτυο του WINNER χρησιμοποιήθηκαν οι δυο από τις τρεις μορφές του δικτύου δηλαδή η metropolitan area και η wide area. Τα χαρακτηριστικά των κυψελών του WINNER είναι τα εξής:
 - Κυψέλη Wide area: θα χρησιμοποιείται για την κάλυψη μεγάλων περιοχών κυρίως εκτός πόλεων επομένως θα έχει μεγάλη ακτίνα περίπου 5km άρα η κυψέλη είναι 10km x 10km
 - Κυψέλη metropolitan area: θα χρησιμοποιείται για την κάλυψη πόλεων και θα έχει ακτίνα περίπου 2,5km άρα η κυψέλη θα είναι 5km x 5km.

Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την τοπολογία και τις θέσεις των κυψελών δίδεται ο παρακάτω πίνακας:

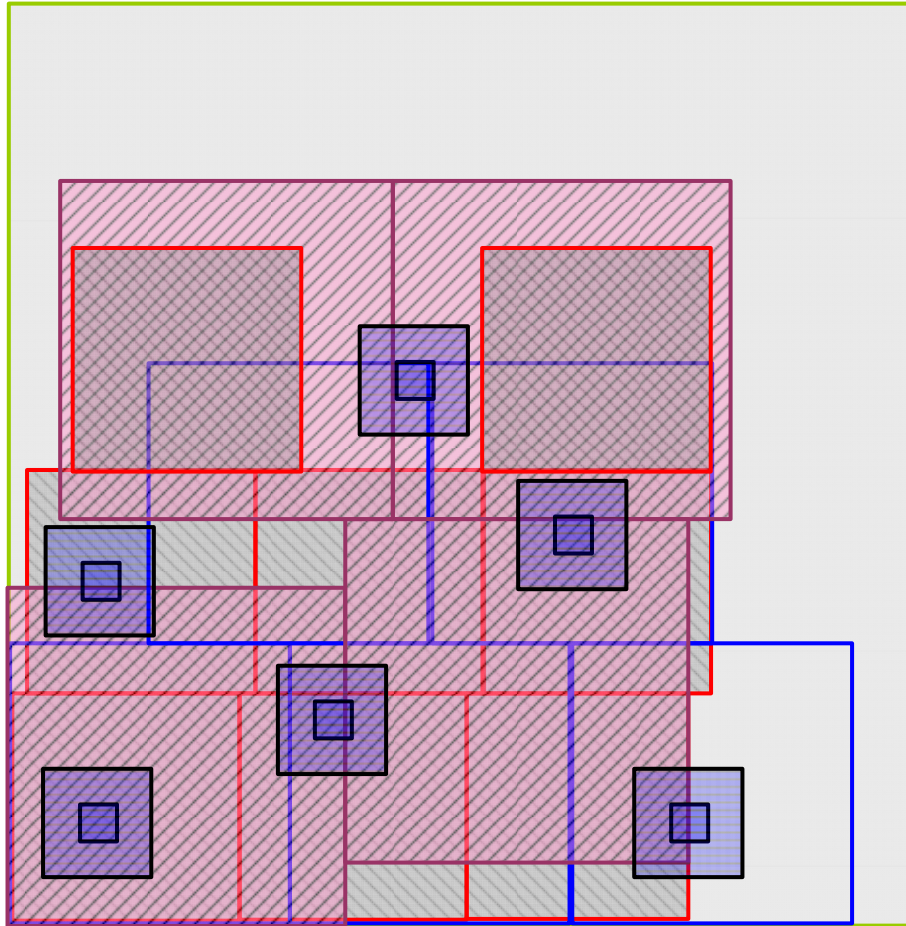
Πίνακας 5-2. χαρακτηριστικά της τοπολογίας

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-ma	0	2500	0	2500	1250,125
21	WINNER-ma	2500	5000	0	2500	3750,125
22	WINNER-ma	5000	7500	0	2500	6250,125
23	WINNER-ma	1000	3500	2500	5000	2250,375
24	WINNER-ma	3500	6000	2500	5000	4750,375

Όπως φαίνεται από τον πίνακα στην τοπολογία χρησιμοποιούνται συνολικά 24 κυψέλες:

- 8 κυψέλες GSM/GPRS
- 4 κυψέλες UMTS
- 6 κυψέλες WLAN
- 5 κυψέλες WINNER – 1 κυψέλη wide area και 4 κυψέλες metropolitan area.

Με βάση τον παραπάνω πίνακα θα γίνει μια προσπάθεια απεικόνισης της τοπολογίας, κάτι που είναι πάρα πολύ δύσκολο, μιας και υπάρχουν πολλές κυψέλες που είναι επικαλυπτόμενες και είναι δύσκολο να γίνει μια απλή διάκριση των κυψελών. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η σχηματική απεικόνιση της τοπολογίας



Σχήμα 5-1. Σχηματική απεικόνιση της τοπολογίας της προσομοίωσης

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται όλες οι κυψέλες που χρησιμοποιήθηκαν στην τοπολογία. Για τον διαχωρισμό των κυψελών χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά χρώματα στο περίβλημά τους, καθώς και ορισμένες διαγραμμίσεις. Η μεγάλη κυψέλη με το ανοιχτό πράσινο περίβλημα είναι η κυψέλη της wide area του WINNER. Οι 5 κυψέλες με το μπλε περίβλημα είναι οι κυψέλες της metropolitan area του WINNER. Οι 4 κυψέλες με το μαύρο περίβλημα και τη διαγράμμιση προς τα αριστερά είναι οι κυψέλες του UMTS. Οι 8 κυψέλες με το κόκκινο περίβλημα και τη διαγράμμιση προς τα δεξιά είναι οι κυψέλες του GSM/GPRS και οι 6 διπλές κυψέλες με το μαύρο περίβλημα και το μπλε εσωτερικό είναι οι κυψέλες του WLAN.

5.3 Τάξεις υπηρεσιών του δικτύου

Τα μελλοντικά ετερογενή δίκτυα υπηρεσιών θα προσφέρουν πολλές νέες υπηρεσίες στους χρήστες, μιας και θα συνδυάζουν όλες τις υπηρεσίες που θα παρέχει το κάθε ένα ξεχωριστό δίκτυο. Στην παράγραφο 4.1.2 αναφέρονται όλες οι υπηρεσίες που θα παρέχει ένα μελλοντικό δίκτυο ασύρματων επικοινωνιών μαζί με τα χαρακτηριστικά της κάθε τάξης υπηρεσίας και τις απαιτήσεις της. Για την αποτίμηση του ελέγχου αποφυγής συμφόρησης είναι χρήσιμη η χρήση πολλών υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις, ώστε να δημιουργείται διαφορετική κίνηση και να μπορούν να μελετηθούν τα αποτελέσματα του αλγορίθμου για διάφορες υπηρεσίες και για διάφορες καταστάσεις φορτίου. Επειδή όμως 18 τάξεις υπηρεσιών είναι πάρα πολλές για την υλοποίηση σε προσομοίωση, επιλέχθηκαν 8 τύποι υπηρεσιών με τα πιο βασικά χαρακτηριστικά και με διαφορετικές απαιτήσεις σε ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, καθυστέρηση και ρυθμό λανθασμένων bits [8][9].

Επειδή ακριβώς οι τάξεις υπηρεσιών έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε πόρους δικτύου δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν όλες από όλα τα δίκτυα, γι' αυτό και έγινε και η αντιστοίχισή τους στα δίκτυα μέσα από τα οποία μπορούν να εξυπηρετηθούν. Για παράδειγμα, οι υπηρεσίες με ψηλούς ρυθμούς δεδομένων δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν από το GPRS ή από το UMTS, ενώ οι υπηρεσίες με υψηλή κινητικότητα δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν από το WLAN. Οι τάξεις υπηρεσιών που επιλέχθηκαν είναι οι εξής [8][9]:

1. **Ανταλλαγή μεγάλων αρχείων (large files exchange):** Η υπηρεσία αυτή περιλαμβάνει την ανταλλαγή μεγάλων αρχείων (άνω των 400MB) μεταξύ του δικτύου και του χρήστη, επομένως για τη μεταφορά τους μέσα σε εύλογο χρονικό διάστημα απαιτείται μεγάλος ρυθμός δεδομένων, τον οποίο δεν μπορούν να παρέχουν το GPRS ή το UMTS. Τους χρήστες αυτής της υπηρεσίας αλλά με αυξημένη κινητικότητα δεν μπορούν να τους ικανοποιήσουν τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLANs) παρότι ο ρυθμός μετάδοσης που προσφέρουν είναι αρκετά υψηλός, επομένως το προτιμητέο δίκτυο για αυτή την υπηρεσία είναι το WINNER, μιας και παρέχει και μεγάλη κινητικότητα και μεγάλο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Όπως στο UMTS η υπηρεσία αυτή είναι background υπηρεσία, έτσι και εδώ θα έχει τη χαμηλότερη προτεραιότητα σε σχέση με τις υπόλοιπες υπηρεσίες, μιας και δεν είναι τόσο ευαίσθητη στην καθυστέρηση σε σχέση με τις άλλες.
2. **Ροή βίντεο μεγάλης ποιότητας (high quality video streaming):** η υπηρεσία αυτή περιλαμβάνει τη μετάδοση βίντεο υψηλής ποιότητας στους χρήστες. Το βίντεο είναι από μόνο του πολύ απαιτητικό σε εύρος ζώνης για τη μετάδοσή του και επιπλέον το βίντεο υψηλής ποιότητας απαιτεί εξαιρετικά υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Επομένως και σε αυτή την υπηρεσία το προτιμητέο δίκτυο είναι το WINNER. Η προτεραιότητα και αυτής της υπηρεσίας είναι αρκετά χαμηλή, αν και υψηλότερη από αυτή της προηγούμενης.

3. **πρόσβαση σε τοπικό δίκτυο και υπηρεσίες αρχείων (LAN access and file service):** η συγκεκριμένη τάξη υπηρεσιών προσφέρει τη δυνατότητα πρόσβασης σε κεντρικούς υπολογιστές αρχείων, σε βάσεις δεδομένων κ.τ.λ. Αυτή η υπηρεσία απαιτεί επίσης υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, αλλά δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις σε κινητικότητα, επομένως μπορεί να προσφερθεί και από το WLAN και από το WINNER. Η προτεραιότητα της υπηρεσίας είναι μέση.
4. **διαδραστικά πολυμέσα υψηλής ποιότητας (interactive ultra high media):** η υπηρεσία αυτή προσφέρει τη μετάδοση διαδραστικών πολυμέσων υψηλής ποιότητας, όπως π.χ. τηλεδιάσκεψη. Έχει μεγάλη απαίτηση σε εύρος ζώνης και σε καθυστέρηση και χαμηλή κινητικότητα, επομένως μπορεί να προσφερθεί από τα WINNER, WLAN και έχει την πιο αυξημένη προτεραιότητα, μιας και είναι πολύ ευαίσθητη σε καθυστερήσεις.
5. **ελαφριά πρόσβαση στο διαδίκτυο (lightweight browsing):** η υπηρεσία αυτή παρέχει την απλή πρόσβαση στον παγκόσμιο ιστό και δεν είναι ιδιαίτερα απαιτητική σε εύρος ζώνης ή σε κινητικότητα, οπότε μπορεί να προσφερθεί από UMTS, WLAN, WINNER. Επίσης είναι ιδιαίτερα ανεκτική σε καθυστερήσεις, οπότε η προτεραιότητά της είναι σχετικά μέση προς χαμηλή.
6. **τηλεφωνία δεδομένων και πολυμέσων (data and media telephony):** η υπηρεσία παρέχει την τηλεφωνία μέσω του διαδικτύου και άλλες παρόμοιες υπηρεσίες, επομένως απαιτεί χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, αλλά έχει μεγάλη ευαισθησία στην καθυστέρηση, επομένως έχει υψηλή προτεραιότητα. Όλα τα δίκτυα εκτός του GPRS μπορούν να υποστηρίξουν αυτή την υπηρεσία.
7. **απλή τηλεφωνία και μηνύματα (simple telephony and messaging):** η υπηρεσία προσφέρει απλή τηλεφωνία και μετάδοση μηνυμάτων κειμένου ή φωνής, επομένως έχει πολύ χαμηλές απαιτήσεις σε ρυθμό δεδομένων, αλλά μεγάλη απαίτηση σε καθυστέρηση λόγω της τηλεφωνίας, άρα μπορεί να υποστηριχθεί από όλα τα δίκτυα και έχει αρκετά υψηλή προτεραιότητα.
8. **πολυμεσικά μηνύματα (multimedia messaging):** η υπηρεσία αυτή προσφέρει τη μετάδοση πολυμεσικών μηνυμάτων φωνής, δεδομένων ή εικόνων, οπότε δεν απαιτεί υψηλό ρυθμό μετάδοσης ή χαμηλή καθυστέρηση. Επομένως όλα τα δίκτυα υποστηρίζουν την υπηρεσία, η οποία έχει ιδιαίτερα χαμηλή προτεραιότητα.

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τις παραπάνω πληροφορίες για τις υπηρεσίες και δίδει επιπλέον χαρακτηριστικά για κάθε υπηρεσία, όπως αυτές υλοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις.

Πίνακας 5-3. χαρακτηριστικά τάξεων υπηρεσιών για την προσομοίωση

ID	Description	Priority	Duration (sec) (min-max)		Data rate (kbps) (min – max)		BER (min – max)		Delay (msec) (min – max)	
SC1	large files exchange	8	50MB	500MB	1000	50000	1E-06	1E-06	200	
SC2	high quality video streaming	6	300	600	2000	40000	1E-09	1E-09	200	
SC3	LAN access and file service	4	120	300	500	50000	1E-06	1E-06	100	200
SC4	interactive ultra high media	1	120	500	1000	50000	1E-03	1E-06	20	100
SC5	Lightweight browsing	5	300	900	64	512	1E-06	1E-06	200	
SC6	data and media telephony	2	60	120	64	512	1E-03	1E-06	100	200
SC7	Simple telephony and messaging	3	10	120	8	64	1E-03	1E-06	100	200
SC8	multimedia messaging	7	5	15	8	64	1E-06	1E-09	200	

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα κάθε τάξη υπηρεσίας έχει μια συγκεκριμένη προτεραιότητα, η οποία καθορίζεται στις προσομοιώσεις κυρίως από το πόσο αντιληπτή είναι η υπηρεσία από το χρήστη σε σχέση με την καθυστέρηση. Η καθυστέρηση είναι το πιο σημαντικό μέγεθος που καθορίζει την προτεραιότητα μιας υπηρεσίας, μιας και προδίδει την σημαντικότητα μιας υπηρεσίας σε σχέση με το χρήστη, μιας και για παράδειγμα η υπηρεσία φωνής στη διαπομπή θα πρέπει να ικανοποιηθεί αμέσως σε σχέση με την υπηρεσία μεταφοράς αρχείων, μιας και μια καθυστέρηση γίνεται πιο εύκολα αντιληπτή από το χρήστη σε υπηρεσία φωνής. Οι προτεραιότητες που αναφέρονται στον προηγούμενο πίνακα είναι για «νέους» χρήστες, ενώ οι χρήστες από διαπομπή έχουν χαμηλότερες προτεραιότητες σε κάθε υπηρεσία, π.χ. στο simple telephony and messaging ο χρήστης από διαπομπή έχει προτεραιότητα 2 ενώ ο νέος χρήστης έχει 3, στο lightweight browsing ο χρήστης από διαπομπή έχει προτεραιότητα 3 από 5 που έχει ο νέος χρήστης κτλ.

Το κάθε δίκτυο μπορεί να εξυπηρετήσει συγκεκριμένες υπηρεσίες και δεν μπορούν όλα τα δίκτυα να προσφέρουν όλες τις διαθέσιμες υπηρεσίες. Με βάση τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες του κάθε δικτύου και τις απαιτήσεις της κάθε τάξης υπηρεσιών, έγινε μια αντιστοίχιση των τάξεων υπηρεσιών στα δίκτυα, η οποία παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5-4. αντιστοίχιση των υπηρεσιών στα δίκτυα

Class ID	Class name	GSM/GPRS	UMTS	WLAN	WINNER
SC1	Large files exchange	-	-	-	X
SC2	high quality video streaming	-	-	-	X
SC3	LAN access and file service	-	-	X	X
SC4	interactive ultra high media	-	-	X	X
SC5	Lightweight browsing	-	X	X	X
SC6	data and media telephony	-	X	X	X
SC7	simple telephony and messaging	X	X	X	X
SC8	multimedia messaging	X	X	X	X

Ο παραπάνω πίνακας είναι πολύ χρήσιμος γιατί όταν η γεννήτρια χρηστών παράγει έναν χρήστη σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία, από την τοπολογία γνωρίζουμε ποια δίκτυα παρέχουν κάλυψη σε εκείνο το σημείο και από τον παραπάνω πίνακα βρίσκουμε αυτόματα τα υποψήφια δίκτυα στα οποία θα μπορεί να ζητήσει αποδοχή ο χρήστης. Επομένως, προκύπτει αυτόματα η λίστα με τα υποψήφια δίκτυα και με βάση αυτή τη λίστα γίνεται ο έλεγχος αν τα δίκτυα έχουν τους αναγκαίους πόρους να υποστηρίξουν την αποδοχή του νέου χρήστη.

5.4 Υπολογισμός εισερχόμενης κίνησης

Για την εξαγωγή πολλών και χρήσιμων συμπερασμάτων για την αποδοτικότητα του αλγορίθμου ελέγχου αποφυγής χρησιμοποιήθηκαν πολλαπλά σενάρια με διαφορετική κίνηση στις κυψέλες των δικτύων, ώστε να προκύψουν αποτελέσματα για διαφορετικές ποσότητες εισερχόμενου φορτίου στο δίκτυο και να συγκριθούν μεταξύ τους. Το πρόβλημα στον υπολογισμό της κίνησης σε ένα τέτοιο ετερογενές δίκτυο όπως αυτό των προσομοιώσεών μας είναι ότι χρησιμοποιούνται πολλές υπηρεσίες με διαφορετικά χαρακτηριστικά κίνησης και διάρκειας κλήσεων για κάθε μια από αυτές και υπάρχουν επίσης πολλά δίκτυα με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται μερικά χαρακτηριστικά των τάξεων υπηρεσιών που χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις για τον υπολογισμό της εισερχόμενης κίνησης στα δίκτυα. Τα χαρακτηριστικά αυτά προκύπτουν και από τον πίνακα της προηγούμενης παραγράφου και είναι η μέση διάρκεια κλήσεων για κάθε τάξη υπηρεσίας όπως την έχουμε καθορίσει και το βάρος πιθανότητας για να γεννηθεί κάποιος χρήστης με αυτή την τάξη υπηρεσίας.

Πίνακας 5-5. υπολογισμός σταθμισμένης μέσης διάρκειας κλήσεων

Class ID	Class name	probability weight	mean call duration (sec)	call duration weighted (sec)
SC1	large files exchange	3	275	825
SC2	high quality video streaming	2	450	900
SC3	LAN access and file service	3	210	630
SC4	interactive ultra high media	2	310	620
SC5	Lightweight browsing	4	600	2400
SC6	data and media telephony	6	90	540
SC7	simple telephony and messaging	6	65	390
SC8	multimedia messaging	6	10	60
Total		32		6365
Average				198,9

Αφού έχει υπολογιστεί πλέον η μέση διάρκεια κλήσεων μπορεί εύκολα να υπολογιστεί η εισερχόμενη κίνηση με βάση τον αριθμό των χρηστών ανά λεπτό που παράγει η γεννήτρια. Στον

παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ο υπολογισμός της κίνησης σε erlangs για διάφορους ρυθμούς παραγόμενων χρηστών ανά δευτερόλεπτο για όλο το δίκτυο αλλά και για κάθε κυψέλη ξεχωριστά.

Πίνακας 5-6. υπολογισμός εισερχόμενης κίνησης σε erlangs

λ (users/sec)	mean call duration	total erlangs	erlangs/cell
0,5	198,9	99,45	4,14375
0,6	198,9	119,34	4,9725
0,7	198,9	139,23	5,80125
0,8	198,9	159,12	6,63
0,9	198,9	179,01	7,45875
1	198,9	198,9	8,2875
1,5	198,9	298,35	12,43125
2	198,9	397,8	16,575
5	198,9	994,5	41,4375
10	198,9	1989	82,875
15	198,9	2983,5	124,3125

Στην περίπτωση των προσομοιώσεών μας τα περισσότερα δίκτυα που χρησιμοποιούνται είναι δίκτυα δεδομένων, επομένως ο υπολογισμός της κίνησης σε erlangs δε δίνει ουσιαστικό μέγεθος για την κίνηση που δημιουργείται στα δίκτυα δεδομένων. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να γίνει μετατροπή της κίνησης σε μέγεθος σχετικό με ρυθμό δεδομένων. Για τον υπολογισμό της εισερχόμενης κίνησης υπολογίζουμε την εισερχόμενη κίνηση σε erlang και τη μετατρέπουμε σε ισοδύναμο εισερχόμενο throughput/sec. Η εισερχόμενη κίνηση σε Erlangs υπολογίζεται με βάση τη σταθμισμένη με τα βάρη της κάθε υπηρεσίας μέση διάρκεια κλήσης πολλαπλασιασμένη με τον αριθμό των εισερχόμενων κλήσεων ανά δευτερόλεπτο, όπως προέκυψε στον προηγούμενο πίνακα. Για τον υπολογισμό της ισοδύναμης εισερχόμενης κίνησης σε throughput/sec απαιτείται ο υπολογισμός της μέσης κίνησης που δημιουργεί η κάθε τάξη υπηρεσίας. Με τον όρο μέση κίνηση εννοούμε τον υπολογισμό της κίνησης που δημιουργεί ένας χρήστης κατά όλη τη διάρκεια της κλήσης του. Για τη μετατροπή από erlang σε throughput χρησιμοποιείται distribution factor 50%.

Πίνακας 5-7. υπολογισμός μέσης δημιουργούμενης κίνησης ανά κυψέλη και χρήστη

Class ID	Class name	Datarates (kbps)	mean call duration (sec)	distr factor	weight	weighted traffic (kbits)
SC1	large files exchange	1000	275	0,50	3	412500
SC2	high quality video streaming	2000	450	0,50	2	900000
SC3	LAN access and file service	1000	210	0,50	3	315000
SC4	interactive ultra high media	1000	310	0,50	2	310000
SC5	Lightweight browsing	64	600	0,50	4	76800
SC6	data and media telephony	64	90	0,50	6	17280

SC7	simple telephony and messaging	8	65	0,50	6	1560
SC8	multimedia messaging	8	10	0,50	6	240
						63543,13
						2647,63 kbits/cell

Ο προηγούμενος πίνακας υπολογίζει τη μέση κίνηση που δημιουργείται σε κάθε κυψέλη αν θεωρήσουμε ότι έχουμε παραγωγή ενός χρήστη ανά δευτερόλεπτο. Ο υπολογισμός της εισερχόμενης κίνησης για διάφορους ρυθμούς εισερχόμενων χρηστών ανά δευτερόλεπτο παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα, καθώς και η αντιστοιχία με την κίνηση erlang.

Πίνακας 5-8. υπολογισμός εισερχόμενης κίνησης για διάφορους ρυθμούς χρηστών ανά δευτερόλεπτο

λ (users/sec)	erlangs/cell	Average equivalent incoming traffic (throughput/cell)
0,5	4,14375	1.323,82
0,6	4,9725	1.588,58
0,7	5,80125	1.853,34
0,8	6,63	2.118,10
0,9	7,45875	2.382,87
1	8,2875	2.647,63
1,5	12,43125	3.971,45
2	16,575	5.295,26
5	41,4375	13.238,15
10	82,875	26.476,30
15	124,3125	39.714,45

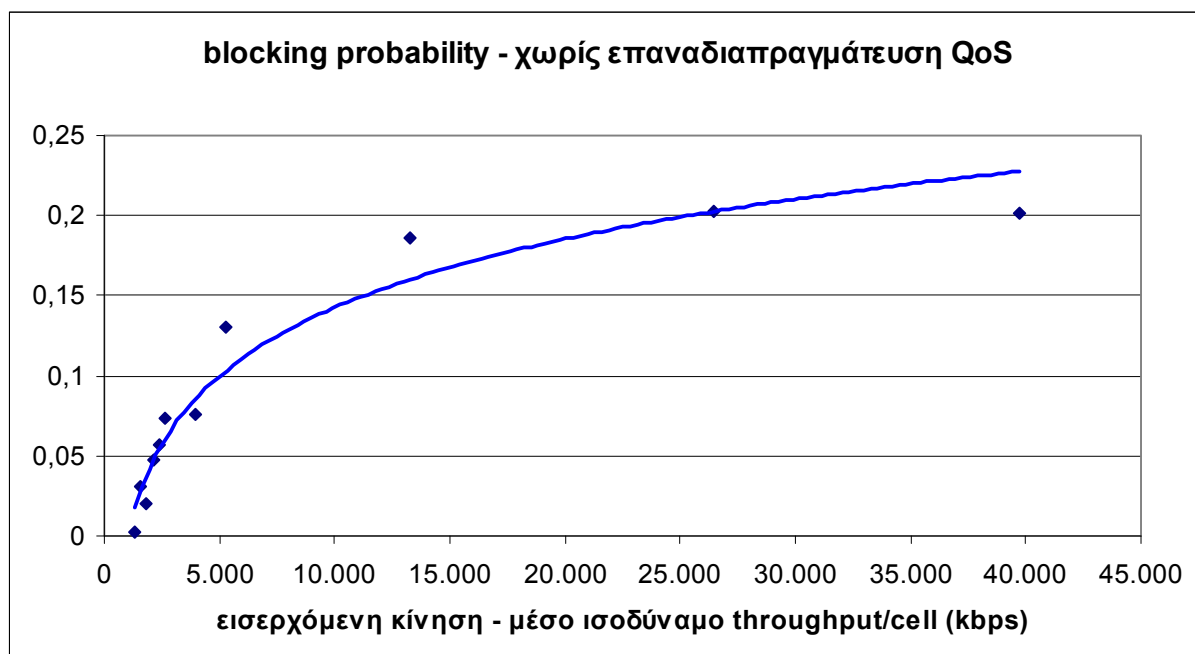
5.5 Πειραματικά αποτελέσματα

Σε αυτή την παράγραφο θα παρουσιαστούν τα πειραματικά αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις του αλγορίθμου ελέγχου αποδοχής φορτίου [6][7]. Ο αλγόριθμος έχει διάφορες παραμέτρους, επομένως για την εύρεση της βέλτιστης απόδοσης του αλγορίθμου, προσομοιώθηκε για διάφορες τιμές των παραμέτρων, ώστε να βελτιστοποιήσουμε τα αποτελέσματα. Ένα βασικό κομμάτι του αλγορίθμου είναι η επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών των χρηστών που είναι ήδη συνδεδεμένοι στο δίκτυο και έχουν χαμηλή προτεραιότητα, η οποία πραγματοποιείται όταν δεν είναι δυνατή η εισαγωγή στο δίκτυο ενός χρήστη με υψηλή προτεραιότητα και επιπλέον οι διασυστημικές διαπομπές δεν μπορούν να εξοικονομήσουν τους απαραίτητους πόρους. Για την απόδειξη της χρησιμότητας της ύπαρξης του βήματος της επαναδιαπραγμάτευσης της ποιότητας υπηρεσίας στον αλγόριθμο έγιναν δυο διαφορετικές προσομοιώσεις – χωρίς το βήμα της επαναδιαπραγμάτευσης της ποιότητας υπηρεσιών και με αυτό το βήμα. Κάθε μια από αυτές τις προσομοιώσεις έγινε για πολλούς διαφορετικούς ρυθμούς εισερχόμενης κίνησης. Επιπλέον, οι προσομοιώσεις με την

επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών, πραγματοποιήθηκαν για διάφορα κατώφλια αποκατάστασης ώστε να βρεθεί το βέλτιστο κατώφλι.

5.5.1 Αλγόριθμος ελέγχου αποφυγής συμφόρησης χωρίς επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών

Σε αυτή την περίπτωση εκτελείται ολόκληρος ο αλγόριθμος εκτός από το κομμάτι της επαναδιαπραγμάτευσης της ποιότητας υπηρεσιών των χρηστών. Όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι για την εισαγωγή νέων χρηστών στο δίκτυο, σε αυτή την περίπτωση που δεν πραγματοποιείται επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών, τα βήματα που ακολουθούνται είναι οι διασυστημικές διαπομπές και η διακοπή τρεχόντων κλήσεων χαμηλής προτεραιότητας.



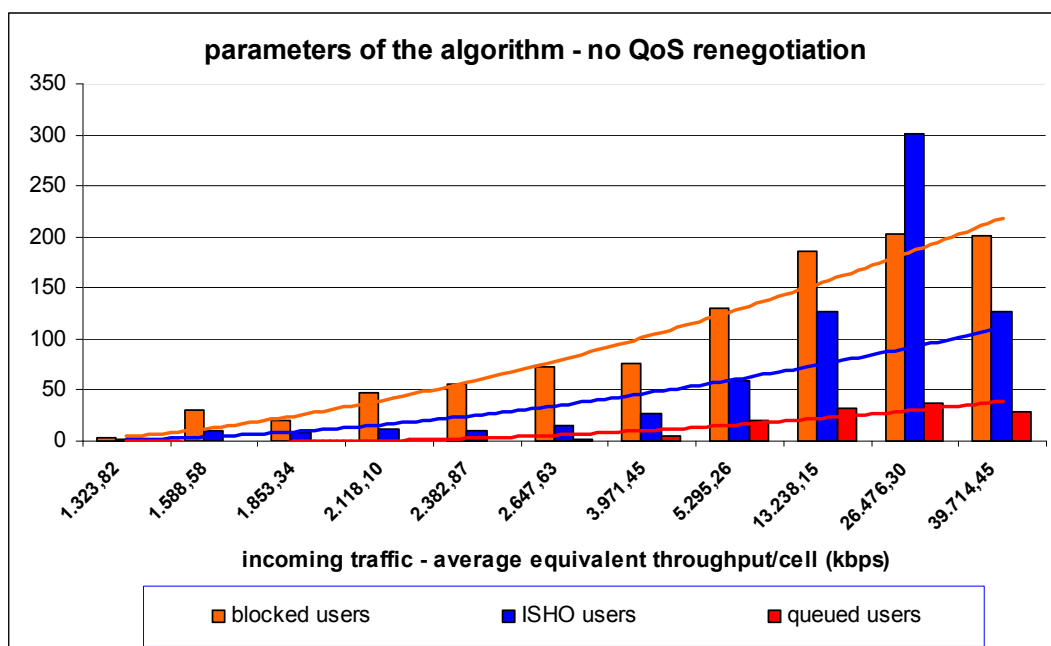
Σχήμα 5-2. πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων χωρίς επαναδιαπραγμάτευση QoS

Στο προηγούμενο σχήμα παρουσιάζεται η πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων στην περίπτωση της μη χρήσης επαναδιαπραγμάτευσης ποιότητας υπηρεσιών. Πολλοί θεωρούν ότι η επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών είναι ένα μέτρο που δε θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, μιας και η μείωση της ποιότητας υπηρεσιών δεν είναι αποδεκτή από τους χρήστες. Επομένως, θεωρήθηκε καλό να χρησιμοποιηθεί μια έκδοση του αλγορίθμου χωρίς αυτό το βήμα, ώστε να αποδειχθεί η ωφέλειά του με τη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται η πιθανότητα αποκλεισμού για διάφορους ρυθμούς εισερχόμενης κίνησης, από πολύ μικρή κίνηση μέχρι εξαιρετικά υψηλή εισερχόμενη κίνηση (πάνω από 15Mbps).

Από τα αποτελέσματα γίνεται φανερό, όπως ήταν και αναμενόμενο, πως όσο μεγαλύτερη είναι η εισερχόμενη κίνηση τόσο μεγαλύτερη είναι και η πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων. Αυτό γίνεται

επειδή όσο περισσότεροι χρήστες ή όσο περισσότερο throughput εισέρχεται στο σύστημα, τόσο περισσότεροι πόροι απαιτούνται για την αποδοχή του νέου χρήστη. Αυτό συνεπάγεται ότι θα πρέπει να βρεθούν περισσότεροι χρήστες που θα πρέπει να πραγματοποιήσουν διασυστημική διαπομπή ή να διακοπούν. Αυτό δεν μπορεί να συμβαίνει πάντα, με αποτέλεσμα οι νέοι χρήστες να μη γίνονται αποδεκτοί. Όπως φαίνεται από το σχήμα, για μικρό ρυθμό εισερχόμενης κίνησης μέχρι 5Mbps ο αλγόριθμος αποδίδει αρκετά καλά και τα ποσοστά πιθανότητας αποκλεισμού είναι αρκετά μικρά. Όσο όμως μεγαλώνει και γίνεται εξαιρετικά υψηλή η εισερχόμενη κίνηση, τόσο μεγαλώνει επικίνδυνα η πιθανότητα αποκλεισμού. Για παράδειγμα, για εισερχόμενη κίνηση 1,5Mbps η πιθανότητα αποκλεισμού είναι 0.275%, δηλαδή η πιθανότητα αποδοχής είναι 99.725%, ενώ για 13Mbps η πιθανότητα αποκλεισμού είναι 18,5% με πιθανότητα αποδοχής μόλις 81,5%. Αυτό είναι λογικό να συμβαίνει μιας και αυξάνοντας την κίνηση προφανώς αυξάνεται και η πιθανότητα αποκλεισμού των νεοεισερχόμενων κλήσεων και κυρίως σε αυτή την περίπτωση που χρησιμοποιούμε μια αυστηρή έκδοση του αλγορίθμου χωρίς επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών των χρηστών.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζονται μερικά αποτελέσματα σχετικά με παραμέτρους του αλγορίθμου για τις διάφορες τιμές τις εισερχόμενης κίνησης. Οι παράμετροι που μετρούνται είναι ο αριθμός των χρηστών που έχουν αποκλειστεί από την εισαγωγή τους στο δίκτυο, ο αριθμός των χρηστών που έχουν μπει στην ουρά αναμονής για εξυπηρέτηση από τον αλγόριθμο και ο αριθμός των χρηστών που έχουν πραγματοποιήσει διασυστημική διαπομπή. Οι τιμές αυτές είναι σχετικές και όχι απόλυτες. Αυτό σημαίνει ότι έχουμε μετατρέψει όλες τις τιμές που παρουσιάζονται σε ποσοστό επί 1000 χρηστών, επειδή σε κάθε διαφορετικό τρέξιμο του αλγορίθμου για διαφορετική κίνηση είχε γεννηθεί διαφορετικός αριθμός χρηστών, επομένως έγινε η μετατροπή σε ποσοστό για την εξαγωγή σωστών αποτελεσμάτων.

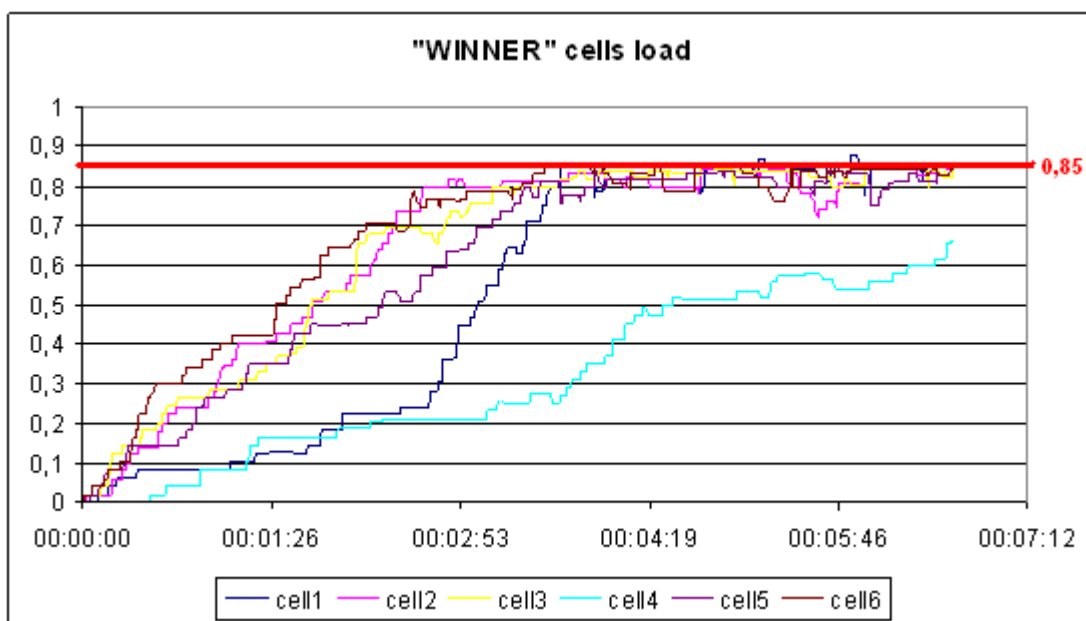


Σχήμα 5-3. παράμετροι του αλγορίθμου χωρίς επαναδιαπραγμάτευση QoS

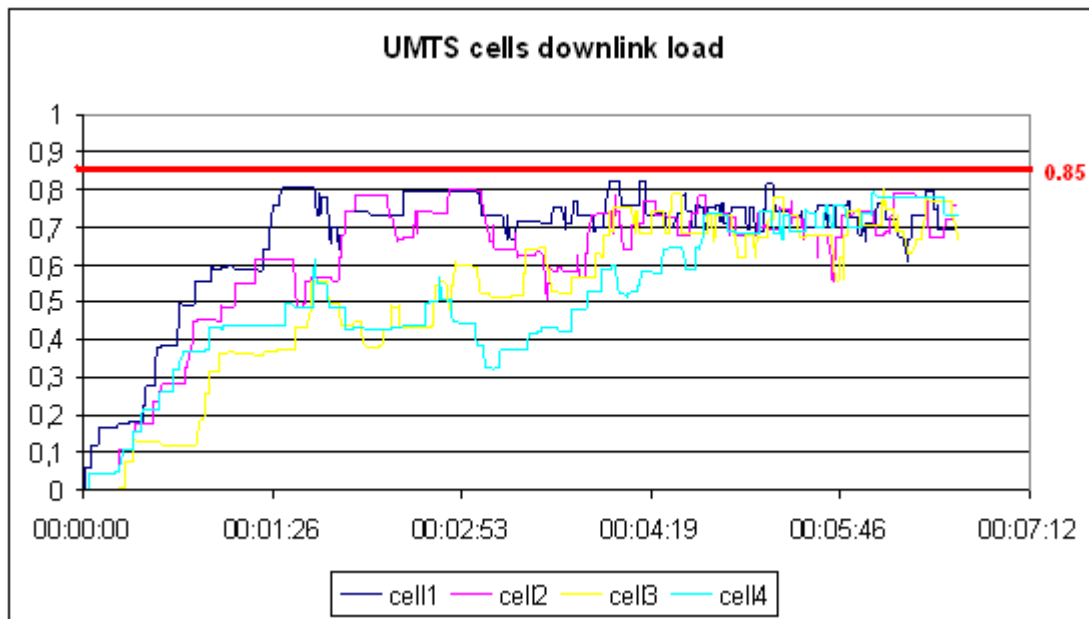
Από τα αποτελέσματα του προηγούμενου σχήματος είναι προφανές ότι τα αποτελέσματά του συνδέονται άμεσα με την πιθανότητα αποκλεισμού χρηστών και συμφωνούν με αυτά. Ο αριθμός των αποκλεισμένων χρηστών είναι ουσιαστικά η πιθανότητα αποκλεισμού των χρηστών. Ο αριθμός των χρηστών που εισέρχονται στην ουρά αναμονής για τον έλεγχο αποδοχής είναι αρκετά μικρός όπως αναμενόταν άλλωστε και παραμένει μικρός όσο αυξάνεται ο ρυθμός της εισερχόμενης κίνησης. Αυτό είναι αναμενόμενο μιας και για να μπει κάποιος χρήστης στην ουρά θα πρέπει να είναι υψηλής προτεραιότητας και να μην υπάρχει περίπτωση παρά τις διασυστημικές διαπομπές να εισαχθεί στο δίκτυο, οπότε παραμένει για λίγη ώρα στην ουρά ώστε να ξαναπροσπαθήσει με νέα αίτηση να γίνει αποδεκτός.

Ο αριθμός των χρηστών που πραγματοποιούν διασυστημική διαπομπή αυξάνεται και αυτός όσο αυξάνεται ο ρυθμός της εισερχόμενης κίνησης, μιας και απαιτούνται περισσότερες διασυστημικές διαπομπές για να εξοικονομηθούν περισσότεροι πόροι για τους νέους χρήστες που κάνουν αίτηση για αποδοχή στο δίκτυο. Όπως είναι επίσης λογικό, για μικρές ή ακόμα και μεσαίες τιμές της εισερχόμενης κίνησης μέχρι 4-5Mbps το ποσοστό των χρηστών που πραγματοποιούν διασυστημική διαπομπή είναι αρκετά χαμηλό, έως 10%. Αυτό δείχνει πως ακόμα και αυτή η αυστηρή έκδοση του αλγορίθμου λειτουργεί αρκετά καλά και δεν προκαλεί προβλήματα από υπερβολικό αριθμό διασυστημικών διαπομπών, μιας και η κάθε διασυστημική διαπομπή μπορεί να απελευθερώνει πόρους στην τρέχουσα κυψέλη ή στο τρέχον δίκτυο, αλλά προκαλεί αυξημένη παρασκηνιακή (background) κίνηση λόγω αυξημένης σηματοδότησης που απαιτείται για την πραγματοποίηση της κάθε διαπομπής.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αποτελέσματα σχετικά με το μέρος του αλγορίθμου ελέγχου συμφόρησης (congestion control). Στα επόμενα 2 σχήματα παρουσιάζεται το φορτίο των κυψελών του WINNER και του UMTS αντίστοιχα για εισερχόμενη κίνηση 8Mbps.



Σχήμα 5-4. φορτίο κυψελών του WINNER – 8Mbps



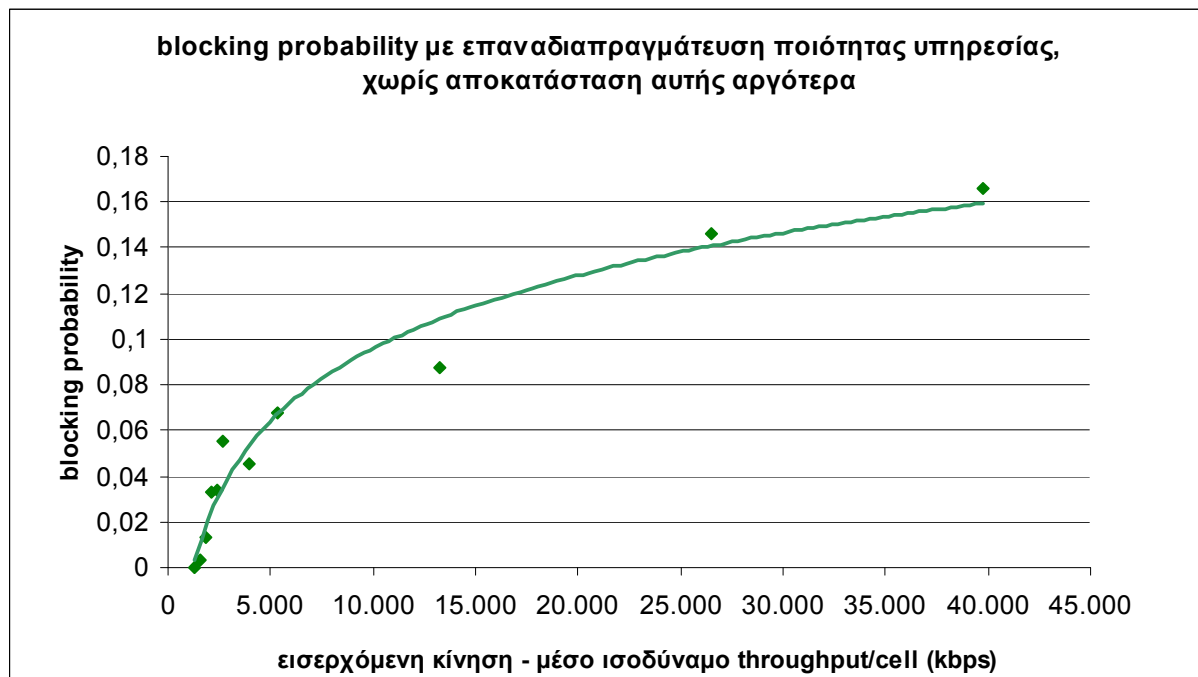
Σχήμα 5-5. φορτίο κυψελών του UMTS – 8Mbps

Στα προηγούμενα σχήματα βλέπουμε τη μεταβολή του φορτίου των κυψελών των δυο δικτύων καθώς περνάει η ώρα. Στον κατακόρυφο άξονα παρουσιάζεται το σταθμισμένο φορτίο των κυψελών, δηλαδή το τρέχον φορτίο διαιρεμένο με το μέγιστο πιθανό φορτίο, με αποτέλεσμα η μέγιστη τιμή να μπορεί να είναι ίση με τη μονάδα. Όπως είναι λογικό, αρχικά το φορτίο των κυψελών είναι μηδενικό και όσο εισέρχονται νέοι χρήστες στις κυψέλες το φορτίο τους αυξάνεται. Ο αλγόριθμος ελέγχου συμφόρησης βλέπουμε ότι λειτουργεί εξαιρετικά καλά, μιας και σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης καμιά κυψέλη δεν υπερφορτώνεται. Εδώ θα πρέπει να υπενθυμηθεί ότι το κατώφλι για τον αλγόριθμο ελέγχου συμφόρησης, δηλαδή το ποσοστό του φορτίου μιας κυψέλης, πάνω από το οποίο ενεργοποιείται ο έλεγχος συμφόρησης είναι 0,85. Από τα παραπάνω δυο σχήματα είναι φανερό η αποδοτικότητα του αλγορίθμου μας, μιας και ουδέποτε το φορτίο κάποιας κυψέλης ξεπερνάει το 0,85, επομένως δεν υπάρχει συμφόρηση σε καμιά κυψέλη. Είναι φανερό λοιπόν η καλή λειτουργία του αλγορίθμου αποφυγής συμφόρησης, μιας και όταν υπάρχει ένδειξη για συμφόρηση σε κάποια κυψέλη (όπως είναι φανερό στο σχήμα του WINNER), ο αλγόριθμος αμέσως επεμβαίνει για να αποσυμφορήσει το δίκτυο και η κυψέλη δεν παραμένει σε υπερφορτωμένη κατάσταση παρά για ένα ελάχιστο χρονικό διάστημα μέχρι να ενεργήσει ο αλγόριθμος.

5.5.2 Έλεγχος αποφυγής συμφόρησης με επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών χωρίς αποκατάστασή της

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του αλγορίθμου για την περίπτωση που υπάρχει το βήμα της επαναδιαπραγμάτευσης της ποιότητας υπηρεσιών των χρηστών. Μια πολύ σημαντική παράμετρος του αλγορίθμου είναι το κατώφλι για την αποκατάσταση

της ποιότητας υπηρεσιών χρηστών που έχουν υποστεί μείωσή της. Σε αυτή την παράγραφο υποθέτουμε ότι δε γίνεται η αποκατάσταση της ποιότητας υπηρεσιών, για να αποδειχθεί η σημασία της στη σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά της επόμενης παραγράφου όπου θα γίνεται αποκατάσταση.



Σχήμα 5-6. πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων με επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσίας χωρίς αποκατάστασή της

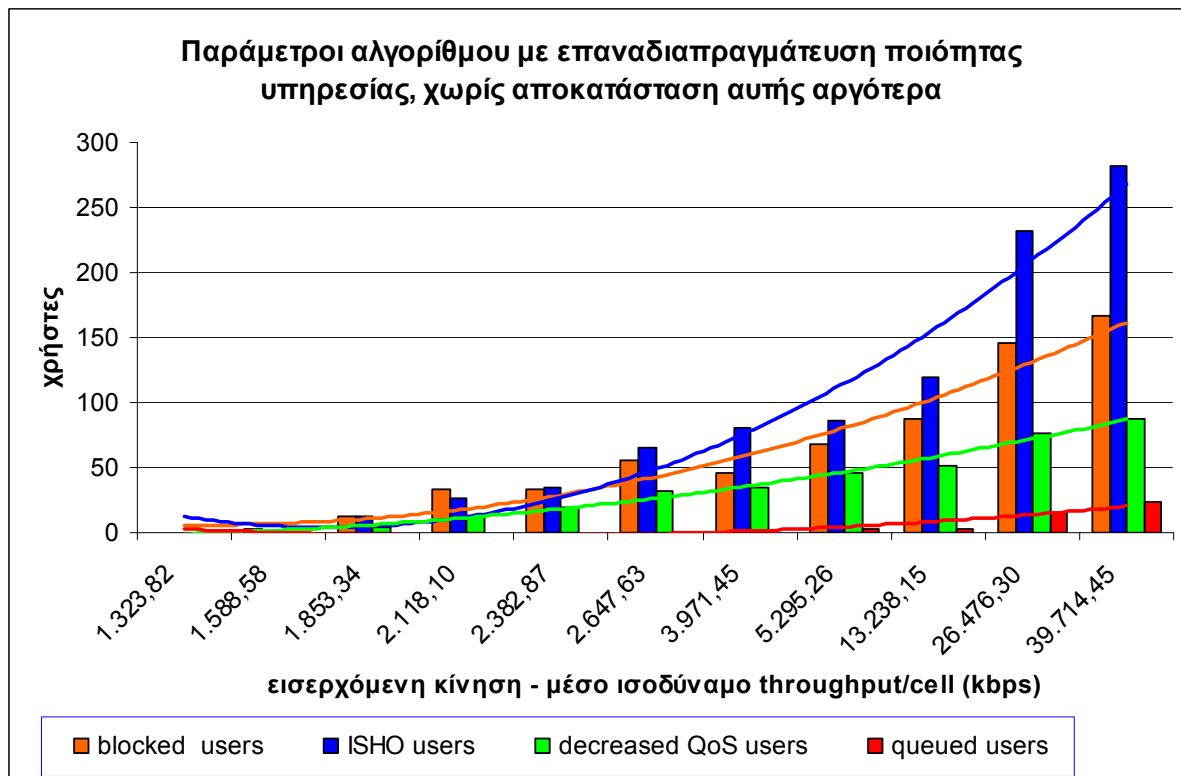
Στο προηγούμενο σχήμα παρουσιάζεται η πιθανότητα αποκλεισμού χρηστών για την περίπτωση της χρήσης επαναδιαπραγμάτευσης της ποιότητας υπηρεσιών, αλλά χωρίς την περίπτωση της αποκατάστασης της ποιότητας αυτής όταν ελευθερώνονται οι αντίστοιχοι πόροι. Είναι προφανές από τα αποτελέσματα πως ο αλγόριθμος σε αυτή την περίπτωση λειτουργεί πολύ καλύτερα απ' ό τι στην περίπτωση μη χρήσης της επαναδιαπραγμάτευσης του QoS. Αυτό είναι προφανές, μιας και όταν υπάρχει η περίπτωση της επαναδιαπραγμάτευσης της ποιότητας υπηρεσιών, δίδεται μεγαλύτερη ευελιξία στον αλγόριθμο, μιας και έχει περισσότερες επιλογές για την εξοικονόμηση των αναγκαίων για την εισαγωγή νέων χρηστών πόρων στο δίκτυο. Επομένως, είναι απόλυτα λογικό να γίνονται αποδεκτοί περισσότεροι χρήστες και να μειώνεται έτσι αντίστοιχα η πιθανότητα αποκλεισμού. Από το σχήμα είναι εμφανές ότι για χαμηλή ή μέση εισερχόμενη κίνηση η πιθανότητα αποκλεισμού είναι αρκετά χαμηλή και (όπως αναλύθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο) αυξάνεται όσο αυξάνεται και ο ρυθμός της κίνησης.

Για παράδειγμα για εισερχόμενη κίνηση γύρω στα 2Mbps η πιθανότητα αποκλεισμού είναι περίπου 1%, δηλαδή η πιθανότητα αποδοχής νέων χρηστών είναι 99%, κάτι που είναι εξαιρετικά καλό. Στην περίπτωση της προηγούμενης παραγράφου χωρίς την επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών η αντίστοιχη τιμή της πιθανότητας αποκλεισμού για την ίδια εισερχόμενη κίνηση ήταν

πάνω από 2%, επομένως βλέπουμε την διαφορά που επιτυγχάνεται με τη χρήση της επαναδιαπραγμάτευσης. Παρόμοια, για υψηλή κίνηση των 5,5Mbps η πιθανότητα αποκλεισμού είναι 6,8% ενώ χωρίς επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών ήταν 13%. Αυτό επομένως που αναμέναμε με τη θεωρητική ανάλυση, δηλαδή ότι η χρήση της επαναδιαπραγμάτευσης της ποιότητας υπηρεσιών θα βελτιώνει σημαντικά την αποδοτικότητα του αλγορίθμου και θα μειώνεται η πιθανότητα αποκλεισμού νέων χρηστών αποδεικνύεται και με τα πειραματικά αποτελέσματα.

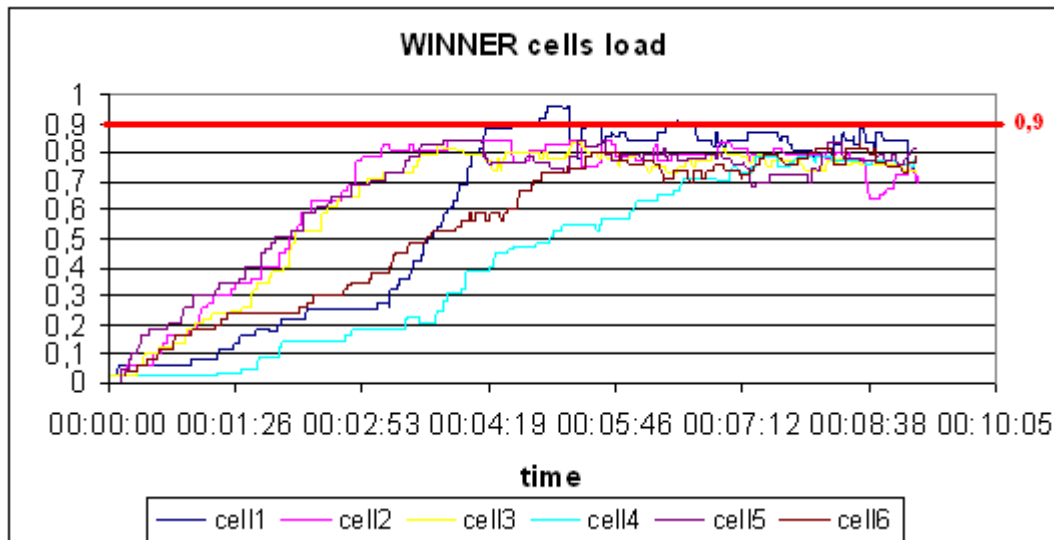
Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζονται αποτελέσματα για τις παραμέτρους του αλγορίθμου. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει άλλη μια παράμετρος που αφορά στους χρήστες που έχουν υποστεί επαναδιαπραγμάτευση και μείωση της ποιότητας υπηρεσιών τους. Όπως και στην προηγούμενη παράγραφο παρουσιάζονται και εδώ αποτελέσματα σχετικά με το πλήθος των χρηστών που έχουν αποκλειστεί, που έχουν πραγματοποιήσει διασυστημική διαπομπή και που έχουν μπει στην ουρά αναμονής. Όπως είναι αναμενόμενο, ο αριθμός των χρηστών που έχουν υποστεί μείωσης του QoS είναι πολύ χαμηλός για χαμηλή κίνηση, ενώ αυξάνει όσο αυξάνεται η κίνηση, αλλά όχι σε μεγάλο βαθμό. Αυτό είναι ένα πολύ καλό αποτέλεσμα του αλγορίθμου, μιας και είναι μεν επιθυμητή η χρήση της επαναδιαπραγμάτευσης του QoS, αλλά μιας και όταν πραγματοποιείται αυτό μειώνεται η ικανοποίηση των χρηστών, δεν είναι καλό να υπάρχει στο δίκτυο ένας πολύ μεγάλος αριθμός χρηστών που να λαμβάνει μειωμένη ποιότητα υπηρεσίας.

Από το επόμενο σχήμα προκύπτει επίσης ότι τα αποτελέσματα σχετικά με τις άλλες παραμέτρους του αλγορίθμου είναι περίπου παρόμοια σε σχέση με τα αποτελέσματα για την εκτέλεση του αλγορίθμου χωρίς την επαναδιαπραγμάτευση του QoS. Αυτό είναι πάνω κάτω αναμενόμενο, μιας και χρησιμοποιούμε ίδια κίνηση και είναι περίπου σταθερό το ποσοστό των χρηστών που μπορούν να πραγματοποιήσουν διασυστημική διαπομπή ή που να μπορούν να μείνουν στην ουρά. Βέβαια, αυτό ισχύει μόνο για αυτές τις δυο παραμέτρους, μιας και ο αριθμός των χρηστών που έχουν αποκλειστεί είναι προφανώς μικρότερος, αφού είναι ευθέως ανάλογος της πιθανότητας αποκλεισμού που σε αυτή την περίπτωση είναι πολύ μικρότερη.

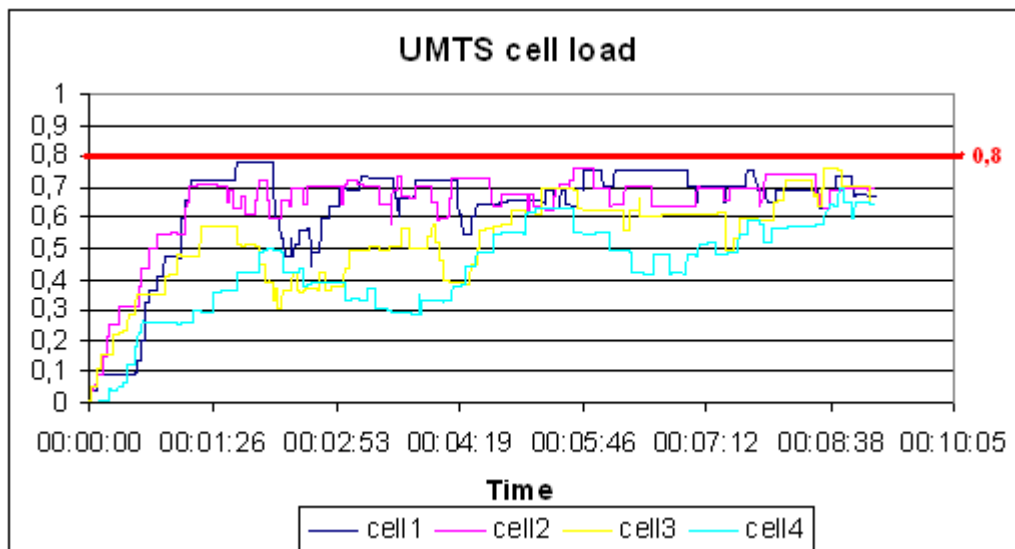


Σχήμα 5-7. παράμετροι του αλγορίθμου με επαναδιαπραγμάτευση QoS χωρίς αποκατάστασή του

Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζεται το φορτίο των κυψελών του WINNER και του UMTS για φορτίο κίνησης περίπου 5,5Mbps. Να σημειωθεί πως εδώ χρησιμοποιείται κατώφλι για υπερφόρτωση μιας κυψέλης το 0,9 για το WINNER και το 0,8 για το UMTS και όχι το 0,85 όπως πριν. Αυτό έγινε για να βγάλουμε διαφορετικά αποτελέσματα για διαφορετικά κατώφλια κίνησης, ώστε να δούμε διαφορές και σε αυτή την παράμετρο. Όπως φαίνεται από το σχήμα για το φορτίο του WINNER, ο αλγόριθμος λειτουργεί αρκετά καλά μιας και διατηρεί το φορτίο κάτω από το κατώφλι, εκτός από μια περίπτωση όπου μια κυψέλη του WINNER είναι αρκετά υπερφορτωμένη, ώστε ο αλγόριθμος αργεί μερικά δευτερόλεπτα (πολύ λίγα βέβαια) μέχρι να την αποσυμφορήσει. Αυτό είναι απόλυτα λογικό και αναμενόμενο να συμβαίνει, μιας και σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτούνται μερικές διασυστημικές διαπομπές ή μερικές επαναδιαπραγματεύσεις QoS ώστε να αποσυμφορηθεί η κυψέλη και αυτά παίρνουν λίγο χρόνο μέχρι να εκτελεστούν. Στο UMTS είναι φανερό ότι το φορτίο παραμένει πάντα κάτω από το κατώφλι.



Σχήμα 5-8. φορτίο κυψελών του WINNER



Σχήμα 5-9. φορτίο κυψελών του UMTS

5.5.3 Έλεγχος αποφυγής συμφόρησης με επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών και με προσπάθεια αποκατάστασής της

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πλήρους έκδοσης του αλγορίθμου ελέγχου αποφυγής συμφόρησης. Σύμφωνα με αυτή την εκδοχή, μέσα στα βήματα εξοικονόμησης των αναγκών για την αποδοχή νέων χρηστών πόρων είναι και η επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών των τρεχόντων χρηστών. Η διαφορά με την έκδοση που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο είναι ότι εδώ γίνεται προσπάθεια αποκατάστασης της ποιότητας υπηρεσιών χρηστών που έχουν υποστεί επαναδιαπραγμάτευση όταν ελευθερωθούν πόροι. Η επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών είναι ένα αναγκαίο κακό, δηλαδή από τη μια μεριά είναι ένα αναγκαίο βήμα για

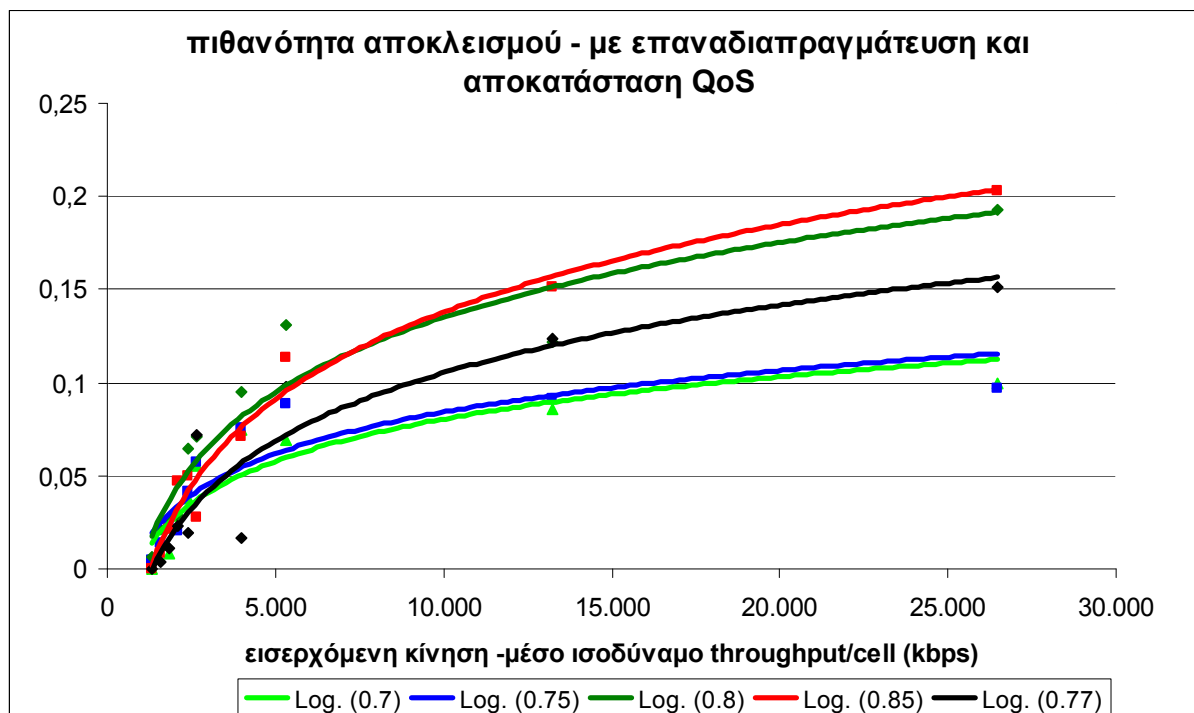
την εξοικονόμηση σημαντικής ποσότητας πόρων στα δίκτυα, από την άλλη μεριά όμως παρότι η ποιότητα υπηρεσιών μειώνεται σε ανεκτά για την κάθε υπηρεσία όρια, δημιουργεί εντούτοις μια μικρή δυσανεμία στον κόσμο. Επομένως, είναι καλό όταν πραγματοποιείται η επαναδιαπραγμάτευση να γίνεται έπειτα προσπάθεια για αποκατάστασή της όταν ελευθερωθούν κάποιοι πόροι στην κυψέλη.

Στην περίπτωση της προσομοίωσης, η επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσιών γίνεται με τη μείωση του ρυθμού δεδομένων του εκάστοτε χρήστη στο μισό σχεδόν, αλλά πάντα μέσα στα όρια που θέτουν οι απαιτήσεις σε ποιότητα της συγκεκριμένης υπηρεσίας που λαμβάνει ο χρήστης. Στη συνέχεια, επειδή μπορεί μερικοί χρήστες είτε να ολοκληρώσουν την κλήση τους είτε να πραγματοποιήσουν διακοπή και να αποδεσμεύσουν πόρους, είναι καλό να γίνεται προσπάθεια αποκατάστασης της ποιότητας υπηρεσιών των χρηστών που έχουν υποστεί τη μείωση. Αυτό αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και πραγματοποιείται ανάλογα με τη σειρά προτεραιότητας που έχουν οι χρήστες. Εφόσον είναι γνωστή η μείωση στην ποιότητα της υπηρεσίας που έχουν υποστεί οι χρήστες είναι γνωστό και το ποσό των πόρων που απαιτούνται για την αποκατάστασή της, επομένως όταν απελευθερώνονται κάποιοι πόροι στην κυψέλη γνωρίζουμε εκ των προτέρων ποιοι χρήστες μπορούν να αποκαταστήσουν την ποιότητα υπηρεσιών τους.

Εδώ όμως υπάρχει ένα σημαντικό σημείο. Εφόσον η μείωση της ποιότητας των υπηρεσιών γίνεται για την εισαγωγή νέων χρηστών, η αποκατάστασή της μπορεί να οδηγήσει πάλι σε αύξηση του φορτίου στην κυψέλη και σε αποτροπή νέων χρηστών να εισαχθούν στην κυψέλη, με αποτέλεσμα την εκ νέου μείωση της ποιότητας υπηρεσιών των χρηστών με αποτέλεσμα να μπούμε σε έναν φαύλο κύκλο. Για την αποφυγή τέτοιας κατάστασης χρησιμοποιούμε διαφορετικά κατώφλια για την αποκατάσταση της ποιότητας υπηρεσιών χρηστών που έχουν υποστεί μείωση του QoS σε σχέση με το κατώφλι φορτίου που έχουμε για τους νέους χρήστες. Το **κατώφλι αποκατάστασης** είναι πολύ σημαντική παράμετρος του αλγορίθμου όπως θα παρουσιαστεί στα παρακάτω αποτελέσματα, γιατί με βάση αυτό λαμβάνεται η απόφαση αν θα αποκαταστήσει κάποιος χρήστης την υπηρεσία του με βάση τον τύπο

$$L_c + L_n < L_{Rth} < L_{th}$$

Όπου L_c είναι το τρέχον φορτίο της κυψέλης, L_n είναι το φορτίο που απαιτείται για να αποκατασταθεί η ποιότητα υπηρεσίας του συγκεκριμένου χρήστη και L_{Rth} είναι το κατώφλι αποκατάστασης που είναι μικρότερο από το L_{th} που είναι το κατώφλι για τους νέους χρήστες και το κατώφλι συμφόρησης. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η πιθανότητα αποκλεισμού για διάφορα κατώφλια αποκατάστασης ώστε να φανεί η σημαντική επίδραση που έχει αυτή η παράμετρος στην αποδοτικότητα του αλγορίθμου.



Σχήμα 5-10. πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων με επαναδιαπραγμάτευση QoS και αποκατάσταση

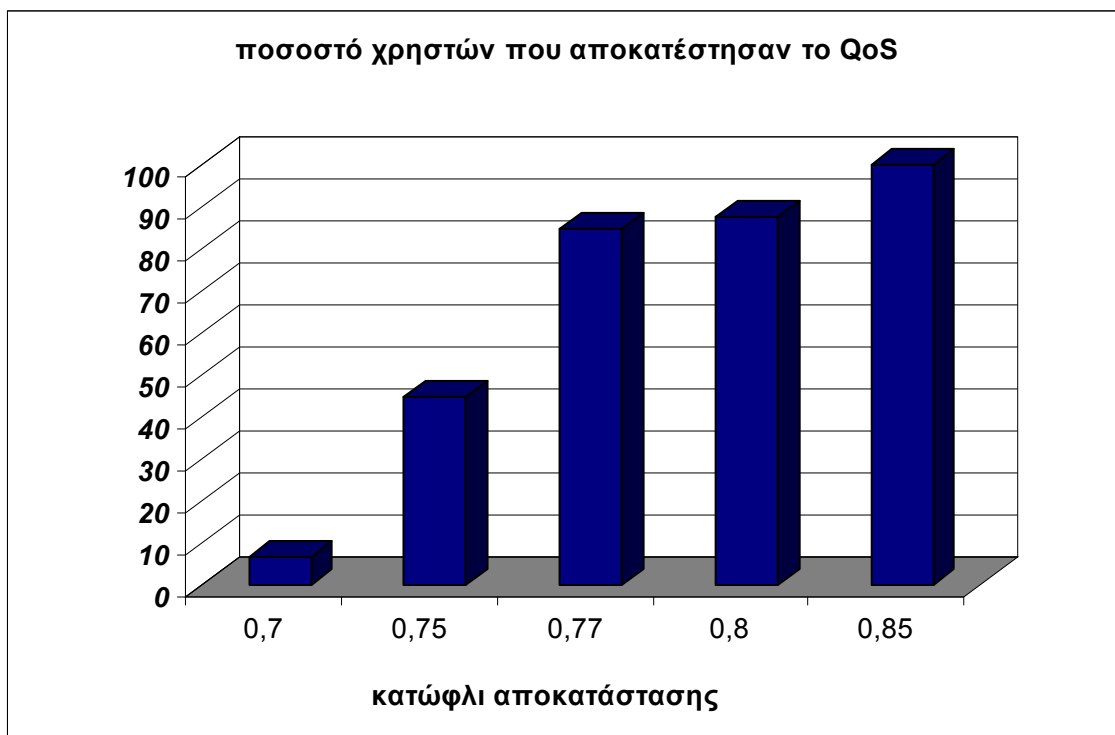
Στο προηγούμενο σχήμα παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα για την πιθανότητα αποκλεισμού για διάφορους ρυθμούς εισερχόμενης κίνησης και για κατώφλια αποκατάστασης **0,7 – 0,75 – 0,77 – 0,8 – 0,85**. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως το κατώφλι συμφόρησης ήταν **0,85**. Με βάση το προηγούμενο σχήμα αποδεικνύεται και από τα πειραματικά αποτελέσματα αυτό που ήταν αναμενόμενο με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε, δηλαδή ότι το κατώφλι αποκατάστασης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο και επηρεάζει τα αποτελέσματα σε μεγάλο βαθμό.

Όπως είναι φανερό, όσο πιο μεγάλο είναι το κατώφλι αποκατάστασης τόσο πιο μεγάλη είναι η πιθανότητα αποκλεισμού. Αυτό είναι απολύτως λογικό και αναμενόμενο αφού όσο μεγαλύτερο είναι το κατώφλι αποκατάστασης τόσο περισσότεροι χρήστες μπορούν να αποκαταστήσουν την ποιότητα υπηρεσίας τους, Με αυτό τον τρόπο όμως, όλοι οι ελεύθεροι πόροι στην κυψέλη καταλαμβάνονται πάλι με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ελεύθεροι πόροι για να εισαχθούν νέοι χρήστες. Επομένως, αφού οι (προηγούμενως) ελεύθεροι πόροι έχουν καταληφθεί εκ νέου από τους χρήστες που αποκατέστησαν την ποιότητα υπηρεσιών τους, οι νέοι χρήστες δεν γίνονται αποδεκτοί στο σύστημα με συνέπεια την αυξημένη πιθανότητα αποκλεισμού. Η διαφορά στην πιθανότητα αποκλεισμού γίνεται ιδιαίτερα εμφανής ακόμα και σε χαμηλή εισερχόμενη κίνηση, μιας και για κίνηση 3Mbps υπάρχει μια διαφορά ακόμα και 5% στις πιθανότητες αποκλεισμού. Σε μεγάλο ρυθμό εισερχόμενης κίνησης αυτή η διαφορά μπορεί να αγγίζει ακόμα και το 10%.

Όπως είναι αναμενόμενο η μικρότερη πιθανότητα αποκλεισμού παρουσιάζεται για κατώφλι αποκατάστασης 0,7. Επομένως, θα είναι λογικό να προκύψει το συμπέρασμα πως καλό θα είναι να

επιλεγεί ένα αρκετά χαμηλό κατώφλι αποκατάστασης, ώστε και η αντίστοιχη πιθανότητα αποκλεισμού να είναι αρκετά χαμηλή. Υπενθυμίζεται όμως ότι χαμηλό κατώφλι αποκατάστασης σημαίνει και χαμηλή πιθανότητα αποκατάστασης της ποιότητας υπηρεσιών των χρηστών. Αυτό δεν είναι επιθυμητό μιας και στόχος του αλγορίθμου είναι να βρεθεί ένα κατώφλι αποκατάστασης που να έχει μεν χαμηλή πιθανότητα αποκλεισμού αλλά να επιτρέπει δε σε μεγάλο ποσοστό χρηστών να αποκαταστήσουν την ποιότητα υπηρεσιών τους.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται το ποσοστό των χρηστών που έχουν αποκαταστήσει την ποιότητα υπηρεσίας τους για τα διάφορα κατώφλια αποκατάστασης. Το ποσοστό αυτό είναι προφανώς το πλήθος των χρηστών που αποκατέστησαν το QoS τους προς το πλήθος των χρηστών που υπέστησαν μείωση του QoS.



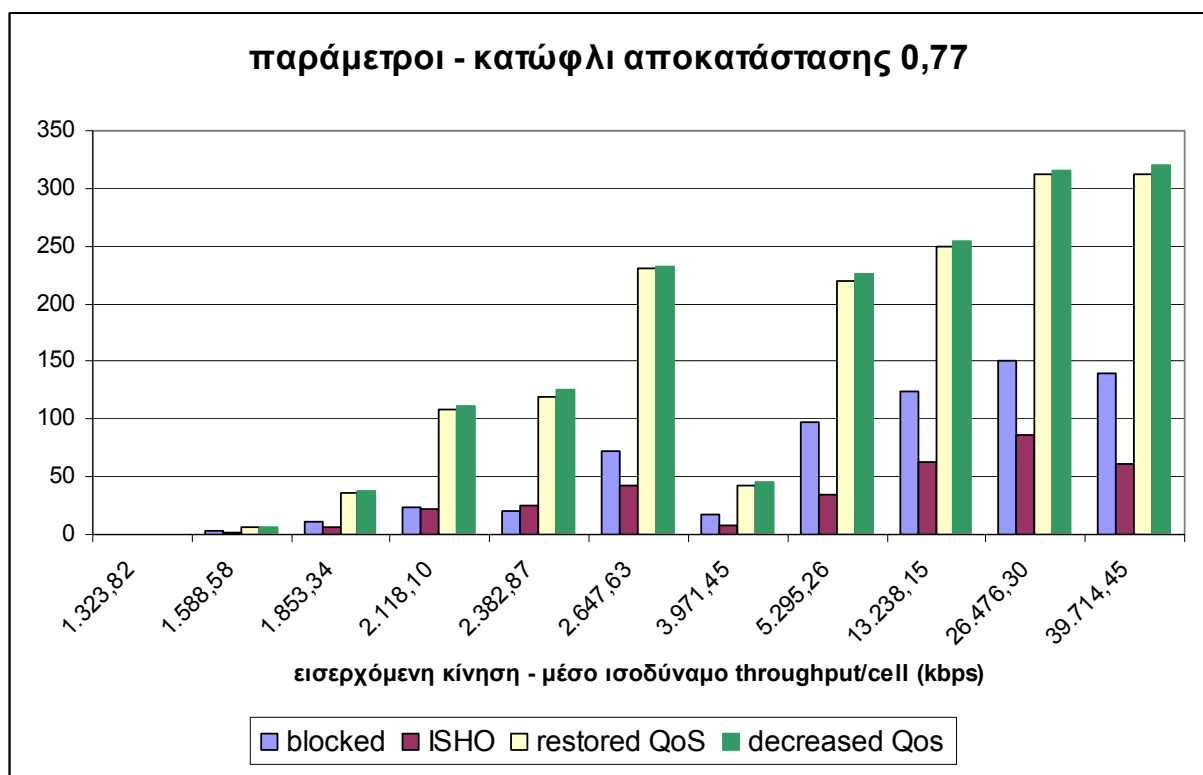
Σχήμα 5-11. ποσοστό χρηστών που αποκατέστησαν την ποιότητα υπηρεσίας τους

Το προηγούμενο σχήμα είναι ένα πολύ χρήσιμο σχήμα για την εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων για τη σημασία της επιλογής του κατωφλίου αποκατάστασης όσον αφορά στα αποτελέσματα του αλγορίθμου ελέγχου αποφυγής συμφόρησης και επίσης δίνει και την εξήγηση για την διαφορά στις πιθανότητες αποκλεισμού μεταξύ των διαφορετικών προσομοιώσεων για τα διαφορετικά κατώφλια αποκατάστασης. Όπως ήταν αναμενόμενο όσο πιο μικρό είναι το κατώφλι αποκατάστασης τόσο πιο μικρό είναι το ποσοστό των χρηστών που αποκαθιστούν την ποιότητα υπηρεσιών τους. Για παράδειγμα για κατώφλι αποκατάστασης 0,7 το ποσοστό αποκατάστασης είναι 6,7% ποσοστό απαράδεκτα χαμηλό μιας και ελάχιστοι χρήστες αποκαθίστανται. Για κατώφλι αποκατάστασης 0,85 το ποσοστό αποκατάστασης πλησιάζει το 99,85% που σημαίνει ότι σχεδόν όλοι

οι χρήστες αποκαθιστούν το QoS τους. Όμως από το σχήμα της πιθανότητας αποκλεισμού είναι φανερό πως η πιθανότητα αποκλεισμού για κατώφλι αποκατάστασης 0,85 είναι πολύ υψηλό.

Το βέλτιστο κατώφλι αποκατάστασης μπορεί να βρεθεί με το συνδυασμό των δυο παραπάνω σχημάτων. Με βάση αυτά προκύπτει ότι στην περίπτωση μας το βέλτιστο κατώφλι αποκατάστασης είναι το 0,77, μιας και προσφέρει εξαιρετικά υψηλό ποσοστό αποκατάστασης χρηστών (85%) και αρκετά χαμηλή πιθανότητα αποκλεισμού τόσο για χαμηλή κίνηση (λιγότερο από 2% πιθανότητα αποκλεισμού για κίνηση 2,5Mbps) όσο και για εξαιρετικά υψηλή κίνηση (λιγότερο από 15% για κίνηση 25Mbps).

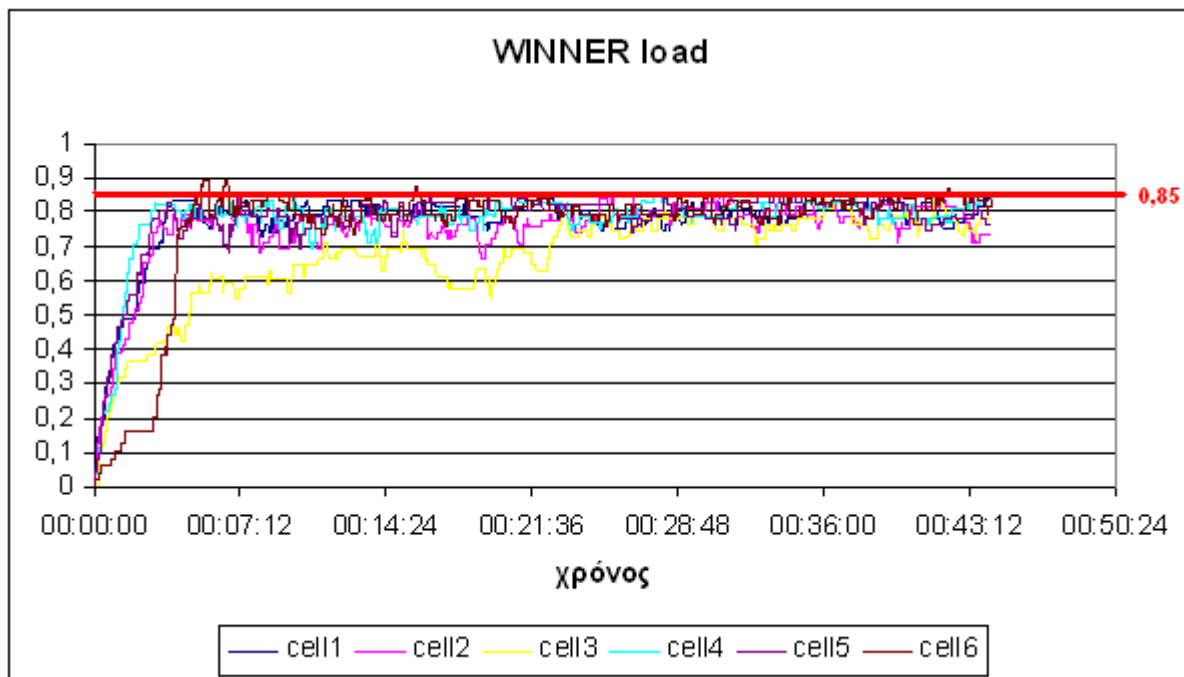
Στα επόμενο σχήμα παρουσιάζουμε όπως πριν μερικές παραμέτρους του αλγορίθμου για την περίπτωση του κατωφλίου αποκατάστασης 0,77.



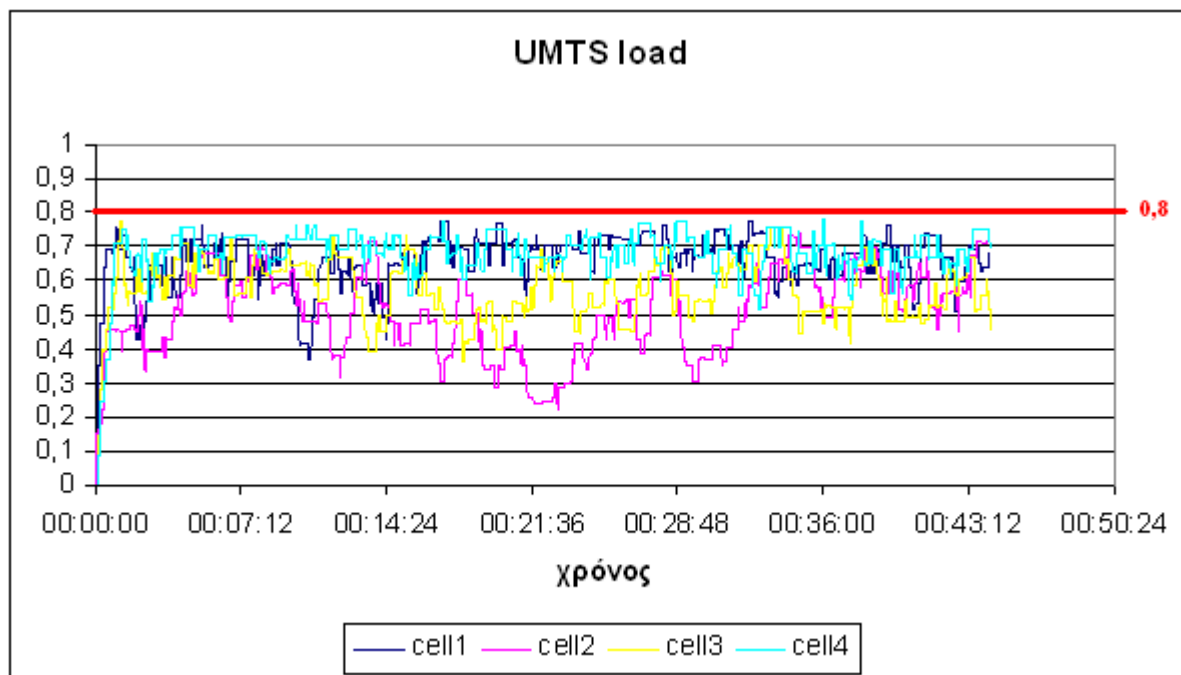
Σχήμα 5-12. παράμετροι του αλγορίθμου για κατώφλι αποκατάστασης 0,77

Από το σχήμα είναι προφανές πως όσο μεγαλώνει η κίνηση τόσο μεγαλώνουν οι τιμές των παραμέτρων. Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό είναι ότι οι χρήστες που πραγματοποιούν επαναδιαπραγμάτευση QoS είναι πολλοί περισσότεροι από τους χρήστες που πραγματοποιούν διασυστημικές διαπομπές. Αυτό βέβαια είναι προφανές, μιας και οι χρήστες που μπορούν να πραγματοποιήσουν διασυστημικές διαπομπές είναι λίγοι αν ληφθούν υπόψη οι υπηρεσίες που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση και η αντιστοίχισή τους στα δίκτυα.

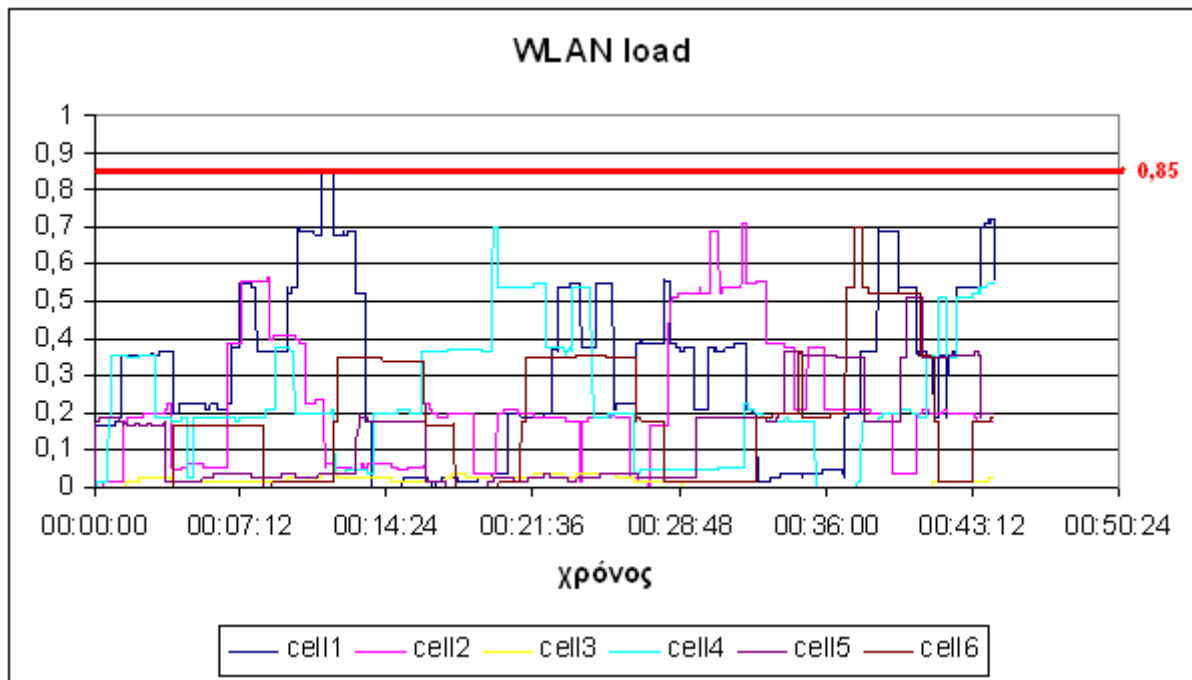
Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζονται και τα φορτία του WINNER του UMTS, αλλά και του WLAN και του GPRS σε συνάρτηση με το χρόνο των προσομοιώσεων.



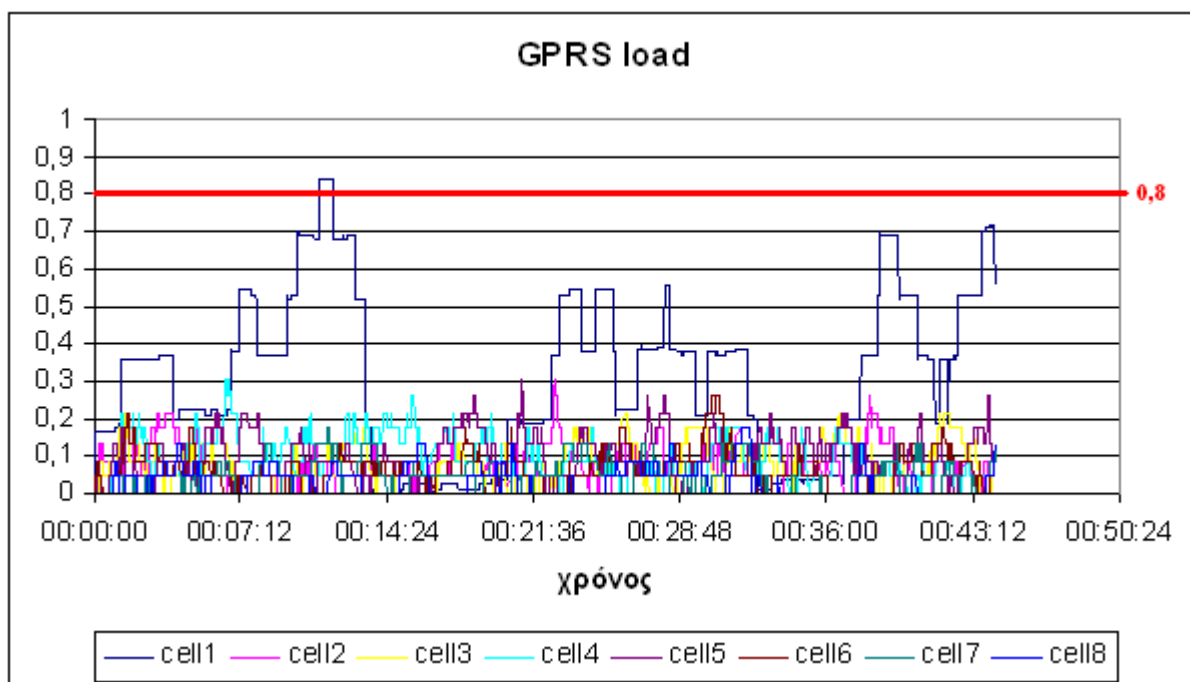
Σχήμα 5-13. φορτίο του WINNER για κατώφλι αποκατάστασης 0,77



Σχήμα 5-14. φορτίο του UMTS για κατώφλι αποκατάστασης 0,77



Σχήμα 5-15. φορτίο του WLAN για κατώφλι αποκατάστασης 0,77

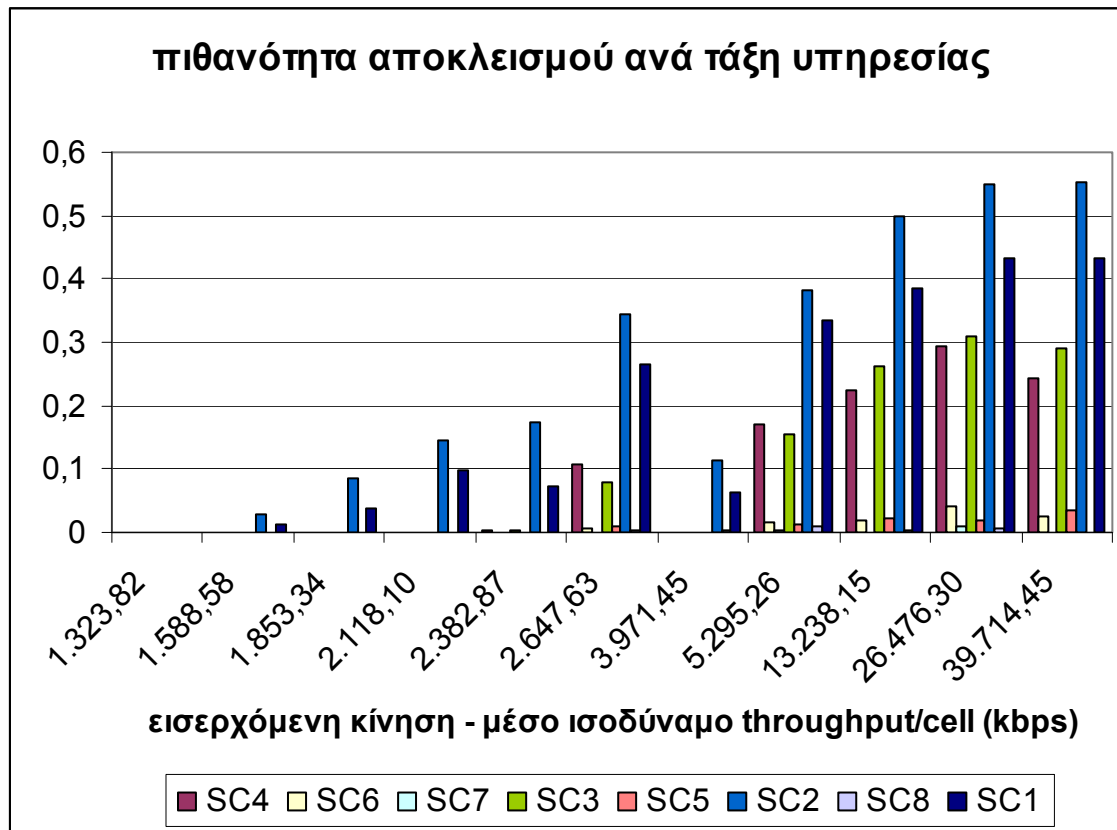


Σχήμα 5-16. φορτίο του GPRS για κατώφλι αποκατάστασης 0,77

Από όλα τα παραπάνω σχήματα είναι φανερό ότι ο αλγόριθμος ελέγχου αποφυγής συμφόρησης λειτουργεί εξαιρετικά για όλα τα δίκτυα μιας και κανένα δεν παραμένει σε κατάσταση συμφόρησης παρά σε εξαιρετικές περιπτώσεις μόνο για ελάχιστα δευτερόλεπτα μέχρι να εκτελεστούν οι ενέργειες του αλγορίθμου για την αποσυμφόρηση. Είναι φανερό επίσης ότι η προληπτική δράση του αλγορίθμου είναι εξαιρετικά αποδοτική μιας και αυτές οι περιπτώσεις υπερφόρτωσης είναι ελάχιστες. Επομένως ο

αλγόριθμος λειτουργεί εξαιρετικά και στις δυο περιπτώσεις, δηλαδή και προληπτικά για την αποφυγή συμφορήσεων και αποσυμφορώντας τα δίκτυα στις ελάχιστες περιπτώσεις συμφόρησης.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζονται αποτελέσματα σχετικά με την πιθανότητα αποκλεισμού χρηστών σε σχέση με την τάξη υπηρεσιών που ζητάει ο καθένας, για κατώφλι αποκατάστασης **0,77**.



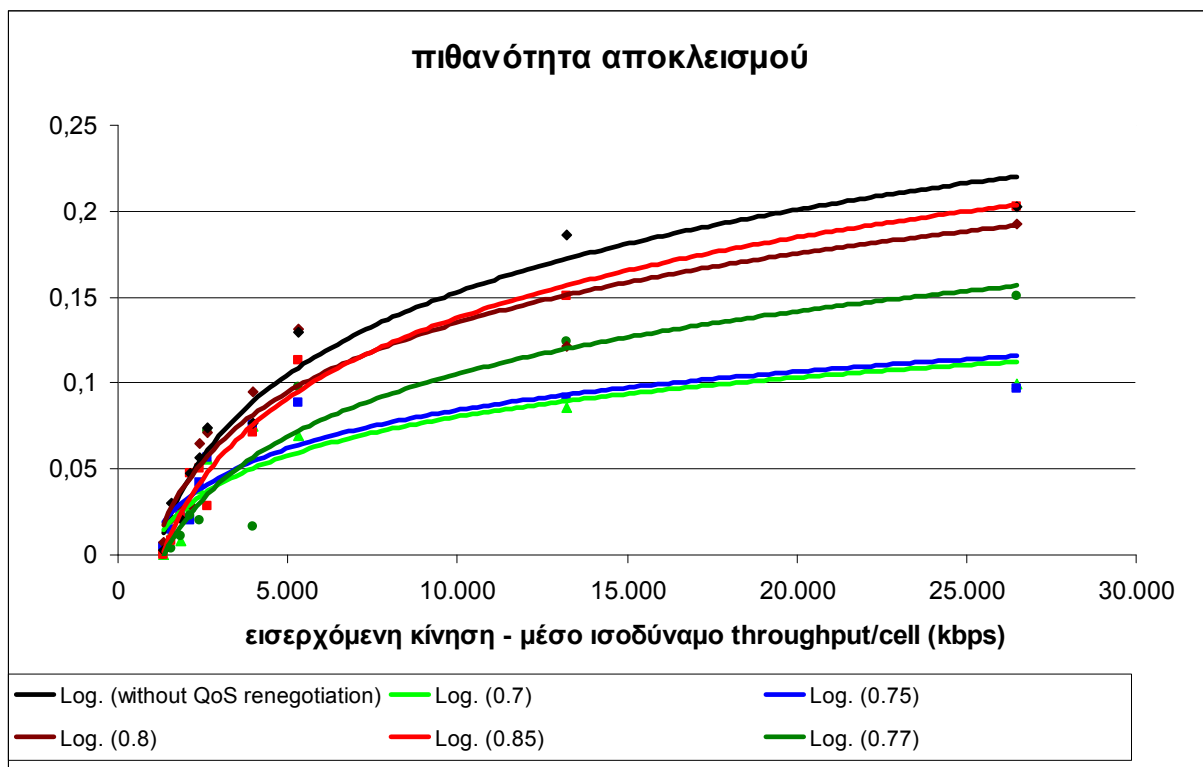
Σχήμα 5-17. πιθανότητα αποκλεισμού σε σχέση με την τάξη υπηρεσιών και για διάφορους ρυθμούς εισερχόμενης κίνησης

Στο σχήμα οι τάξεις υπηρεσιών έχουν μπει με σειρά προτεραιότητας από αυτή με τη μέγιστη (SC4) προς αυτή με την μικρότερη προτεραιότητα (SC1). Είναι εμφανές ότι οι τάξεις υπηρεσιών με χαμηλή προτεραιότητα έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα αποκλεισμού. Αυτό είναι βεβαίως απόλυτα λογικό μιας και ο αλγόριθμος ελέγχου αποφυγής συμφόρησης λαμβάνει υπόψη του σε μεγάλο βαθμό την προτεραιότητα μιας υπηρεσίας για να υπολογίσει αν θα γίνει αποδεκτός ο χρήστης σε κάποιο δίκτυο. Επίσης είναι εμφανές πως όσο αυξάνεται το εισερχόμενο φορτίο αυξάνονται και οι πιθανότητες αποκλεισμού όλων των τάξεων υπηρεσιών, μιας και ελαχιστοποιούνται οι διαθέσιμοι πόροι. Ένα πράγμα που αξίζει να σημειώσουμε είναι πως η υπηρεσία SC4 παρόλο που έχει τη μέγιστη προτεραιότητα σε περιπτώσεις υψηλού εισερχόμενου φορτίου έχει αρκετά σημαντικό ποσοστό πιθανότητας αποκλεισμού. Αυτό εξηγείται επειδή η αυτή η τάξη υπηρεσίας απαιτεί αρκετά υψηλό ρυθμό δεδομένων από το δίκτυο και σε περιπτώσεις εξαιρετικά υψηλού εισερχόμενου φορτίου είναι πολύ δύσκολο να εξοικονομηθούν οι αναγκαίοι πόροι για την ικανοποίηση αυτής της υπηρεσίας. Για

μικρούς ή μέσους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως 3Mbps η πιθανότητα αποκλεισμού της συγκεκριμένης υπηρεσίας παραμένει πολύ χαμηλή έως μηδενική, μιας και μέχρι τέτοιο ρυθμό είναι δυνατή η εξοικονόμηση των απαιτούμενων πόρων. Επίσης, αντίστροφα η τάξη υπηρεσίας SC8 παρότι έχει χαμηλή προτεραιότητα έχει χαμηλή πιθανότητα αποκλεισμού γιατί απαιτεί ένα ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης που είναι εύκολο να εξοικονομηθεί στα δίκτυα. Γενικό συμπέρασμα είναι όμως πως ο αλγόριθμος διασφαλίζει την ποιότητα υπηρεσιών των χρηστών, πράγμα που ήταν μια από τις βασικές απαιτήσεις του.

5.5.4 Συνοπτική παρουσίαση - συμπεράσματα

Αφού παρουσιάστηκαν όλα τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, παρακάτω θα γίνει μια συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου αποφυγής συμφόρησης και μια εξαγωγή συμπερασμάτων για την αποδοτικότητα του αλγορίθμου.



Σχήμα 5-18. πιθανότητα αποκλεισμού – συνοπτική παρουσίαση

Όπως είναι προφανές από το σχήμα και όπως ήταν αναμενόμενο η πιθανότητα αποκλεισμού στην περίπτωση μη χρήσης της επαναδιαπραγμάτευσης της ποιότητας υπηρεσιών είναι η μεγαλύτερη από όλες μιας και ο αλγόριθμος δεν εκμεταλλεύεται όλα τα δυνατά βήματα για την εξοικονόμηση πόρων για να αποδεχθεί τις νέες κλήσεις. Ένα γενικό συμπέρασμα είναι πως ο αλγόριθμος λειτουργεί πολύ καλά σε όλες τις περιπτώσεις φορτίου. Βέβαια για πολύ υψηλό φορτίο η πιθανότητα αποκλεισμού είναι πολύ υψηλή, αλλά αν λάβουμε υπόψη το πόσο υψηλό είναι αυτό το φορτίο (πάνω από 5-10 Mbps) τότε και πάλι γίνεται κατανοητό ότι η πιθανότητα είναι σχετικά χαμηλή. Ένα άλλο

συμπέρασμα είναι πως το κατώφλι αποκατάστασης είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος που μπορεί να επηρεάσει πολύ σημαντικά τα αποτελέσματα του αλγορίθμου και ο κάθε διαχειριστής δικτύων θα πρέπει να βρει τη βέλτιστη τιμή ώστε να εκμεταλλευτεί στο έπακρον την αποδοτικότητα του αλγορίθμου. Αυτή η τιμή δεν επηρεάζεται μόνο από τα αποτελέσματα και μόνο, αλλά και από την πολιτική της κάθε εταιρίας για το πόσο επιθυμεί να μειώνεται η ποιότητα υπηρεσίας των χρηστών της για να δέχεται νέους χρήστες, αλλά και αν και πόσο επιθυμεί να αποκαθίσταται η ποιότητα των χρηστών. Γενικά από τις προσομοιώσεις αποδείχθηκε ότι ο καινοτόμος αυτός αλγόριθμος ευνοεί τη συνεργασία μεταξύ ετερογενών δικτύων, πετυχαίνοντας εξαιρετική πιθανότητα αποκλεισμού και επιτυγχάνοντας να διατηρήσει τα δίκτυα σε καταστάσεις μη συμφόρησης, προσπαθώντας παράλληλα να προσφέρει στους χρήστες τη βέλτιστη δυνατή ποιότητα υπηρεσιών σε κάθε περίπτωση.

5.6 Αναφορές

- [1] IST-CAUTION++, “Resource and mobility management in multi-system environment”, May 2003
- [2] WINNER, “D4.2: Impact of Cooperation Schemes Between RANs”, Internal Deliverable, IST-2003-507581 WINNER, February 2005.
- [3] WINNER, “D4.3: Identification, definition and assessment of cooperation schemes between RANs”, Final deliverable”, IST-2003-507581 WINNER, June 2005.
- [4] WINNER, “D4.4: Impact of Cooperation Schemes Between RANs”, Final deliverable, IST-2003-507581 WINNER, November 2005.
- [5] WINNER, “D4.5: Assessment of cooperation mechanisms in system context”, Final deliverable, IST-2003-507581 WINNER, December 2005.
- [6] Elias Z. Tragos, George Tsiropoulos, George T. Karetsos, Sofoklis Kyriazakos, “Admission Control for QoS Support in Heterogeneous 4G Wireless Networks”, IEEE Network Magazine, Volume 22, Issue 3, p30-37, May-June 2008, ISSN: 0890-8044, DOI: 10.1109/MNET.2008.4519962
- [7] Alben Mihovska, Elias Tragos, Emilio Mino, Jijun Luo, Christian Mensing, Roberta Fracchia, Sana Horrich, Annika Wennström, and Sofoklis Kyriazakos, “Requirements and Algorithms for Cooperation of Heterogeneous Radio Access Networks”, Springer Special Issue of Wireless Personal Communications
- [8] WINNER D1.2 “Intermediate requirements per scenario”, IST-2003-507581 WINNER, February 2005
- [9] WINNER D1.3 “Final Usage Scenarios”, IST-2003-507581 WINNER, June 2005

6. Διαχείριση κινητικότητας σε δίκτυα 4^{ης} γενιάς

6.1 Γενικά

Στα κυψελωτά συστήματα επικοινωνιών η διαρκής κίνηση των χρηστών δημιουργεί προβλήματα στην ποιότητα της ζεύξης, με αποτέλεσμα να χρειάζεται ένας μηχανισμός διατήρησης της σύνδεσης από το κινητό στο σταθμό βάσης για όλη τη διάρκεια της κλήσης. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται **διαπομπή** (handover ή handoff) και σχετίζεται με αλλαγή των πόρων του συστήματος κατά τη διάρκεια της κλήσης με σκοπό τη διατήρησή της. Πιο γενικά, η διαπομπή είναι μια διαδικασία αλλαγής διαύλου (συχνότητας, χρονοσχιsmής, κώδικα εξάπλωσης ή συνδυασμός αυτών, ανάλογα με το σχήμα πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιείται)[1].

Η διαπομπή είναι ένας μηχανισμός, ο οποίος μεταφέρει μια κλήση από μια κυψέλη σε μια άλλη, καθώς ο χρήστης μετακινείται κατά μήκος της περιοχής κάλυψης ενός ή πολλών συστημάτων κινητών επικοινωνιών. Καθώς δημιουργούνται όλο και μικρότερες κυψέλες για να ικανοποιηθούν οι ανάγκες για μεγαλύτερη χωρητικότητα, αυξάνεται ο αριθμός των κυψελών που διασταυρώνονται. Κάθε διαπομπή απαιτεί πόρους του δικτύου για να δρομολογήσει την κλήση από τον τρέχοντα σταθμό βάσης στον καινούριο. Αν μια διαπομπή δε λάβει χώρα πολύ γρήγορα, η ποιότητα της υπηρεσίας (Quality of Service – QoS) μπορεί να πέσει πολύ κάτω από ένα αποδεκτό επίπεδο. Ελαχιστοποιώντας την καθυστέρηση, επίσης, ελαχιστοποιούνται και οι διακαναλικές παρεμβολές. Κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας διαπομπής υπάρχει συνήθως μια σύντομη διακοπή υπηρεσίας. Όσο η συχνότητα αυτών των διακοπών αυξάνεται, η αντιλαμβανόμενη ποιότητα υπηρεσίας μειώνεται. Η πιθανότητα διακοπής μιας κλήσης λόγω παραγόντων, όπως οι διαθέσιμοι δίαυλοι, αυξάνεται με τον αριθμό των προσπαθειών διαπομπής [1][2][3].

Στις κινητές τηλεπικοινωνίες οι χρήστες αλλάζουν συνεχώς θέση μέσα στην περιοχή κάλυψης, με αποτέλεσμα η ποιότητα της σύνδεσης να μεταβάλλεται συνεχώς. Ο διαρκώς κινούμενος χρήστης μπορεί να φύγει έξω από τα όρια της κάλυψης της κυψέλης, έτσι ώστε να υποβαθμίζεται η ποιότητα της υπηρεσίας που του προσφέρεται. Επομένως, για να διατηρηθεί καλή η σύνδεσή του με το δίκτυο, πρέπει να του προσφερθεί κάλυψη από κάποια διπλανή κυψέλη του ίδιου ή κάποιου άλλου δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διαδικασία της διαπομπής, αφού σε διαφορετική περίπτωση η κλήση θα έπρεπε να διακοπεί και ο χρήστης να επιχειρήσει μια νέα σύνδεση, η οποία τώρα θα εξυπηρετείται από τη νέα κυψέλη. Η διαδικασία της διαπομπής θα πρέπει να είναι πολύ καλά σχεδιασμένη, γιατί αλλιώς θα δημιουργούσε πολύ μεγάλο φορτίο σηματοδοσίας, με αποτέλεσμα, όπως προαναφέρθηκε, να χειροτερεύσει η ποιότητα της προσφερόμενης υπηρεσίας.

Βασικές απαιτήσεις για τη διαδικασία διαπομπής είναι :

- Από την άποψη του χρήστη, η διαπομπή θα πρέπει να μη γίνεται αντιληπτή.

- Από την άποψη του δικτύου, η διαπομπή δε θα πρέπει να αυξάνει σημαντικά το φορτίο σηματοδοσίας, αλλά να είναι γρήγορη και αποτελεσματική.

Το WINNER, όπως και όλα τα μελλοντικά δίκτυα, είναι χτισμένο πάνω στο πρωτόκολλο IP, το οποίο όμως δεν ήταν σχεδιασμένο εξ αρχής για να χρησιμοποιηθεί σε ένα ασύρματο περιβάλλον. Το TCP και το IP υποφέρουν από τα χαρακτηριστικά των ασύρματων συνδέσεων. Τα τρία βασικά προβλήματα που μπορεί να καθοριστούν για τις ασύρματες συνδέσεις είναι τα παρακάτω[4][5]:

- Μια ασύρματη σύνδεση δεν είναι τόσο αξιόπιστη όσο μια ενσύρματη σε σχέση με τα BER/BLER (bit error rate / bit loss error rate) στο φυσικό επίπεδο
- Η κυψελωτή δομή των σημερινών κινητών ασύρματων δικτύων απαιτεί το κινητό τερματικό να αλλάζει γρήγορα το σταθμό βάσης με το οποίο είναι συνδεδεμένο στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων.
- Η δρομολόγηση μεταξύ δυο κόμβων του δικτύου δεν είναι εκ των προτέρων γνωστή και μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια μιας σύνδεσης στο επίπεδο δικτύου.

Η διαπομπή θα πρέπει να εκτελείται πολύ γρήγορα ώστε να μην είναι αντιληπτή από την πλευρά του χρήστη. Αυτή η απαίτηση υπάρχει για διαπομπή όχι μόνο μέσα στο ίδιο σύστημα, αλλά και μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Για να παρέχει ένα δίκτυο καλή ποιότητα υπηρεσιών στους χρήστες του, η διαδικασία διαπομπής θα πρέπει να στοχεύει στα ακόλουθα [6]:

- Ελαχιστοποίηση των χαμένων πακέτων και της καθυστέρησης κατά τη διάρκεια μιας διαπομπής (αρραγής διαπομπή – seamless handover)
- Χρήση οποιονδήποτε διαθέσιμων ερεθισμάτων (triggers) ώστε να γίνονται ενέργειες πριν από την πραγματική διαπομπή (σχεδιασμένη διαπομπή – planned handover)
- Πιθανότητα μετακίνησης συγκεκριμένου (QoS, ασφάλεια, κατάσταση συμπίεσης επικεφαλίδας – header compression state, καταστάσεις ζεύξεως δεδομένων – link layer states), αλλά και των πακέτων στους καταχωρητές από τον παλιό στο νέο δρομολογητή
- Διασφάλιση του γεγονότος ότι μια σχεδιασμένη διαπομπή μπορεί να υποχωρήσει χωρίς πρόβλημα προς μια μη σχεδιασμένη (αν αποτύχει) και οι ίδιες ενέργειες μεταφοράς πακέτων και συγκεκριμένου μπορούν να πραγματοποιηθούν.
- Αν το κινητό τερματικό υποστηρίζει διαφορετικές τεχνολογίες μπορεί να πραγματοποιηθεί διαπομπή μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών.

6.2 Σενάρια διαπομπής

Ο κλασικός ορισμός της διαπομπής αναφέρεται κυρίως σε διαπομπές που συμβαίνουν μέσα σε ένα και μόνο δίκτυο [7][8][9]. Στην περίπτωση του ετερογενούς μελλοντικού δικτύου υπάρχουν πολλά δίκτυα που συνεργάζονται, οπότε διαπομπή μπορεί να συμβεί, όχι μόνο μέσα στο εσωτερικό δίκτυο του WINNER, αλλά επίσης και μεταξύ δυο διαφορετικών συστημάτων, για παράδειγμα μεταξύ του WINNER και του UMTS ή του WLAN .

Στα πλαίσια του μελλοντικού δικτύου αναπτύχθηκαν τεχνικές και μηχανισμοί για διάφορα σενάρια διαπομπών και τις αντίστοιχες μορφές της διαπομπής για καθένα από αυτά, οι οποίες μορφές συνοπτικά παρουσιάζονται στην παρακάτω λίστα [10][11]:

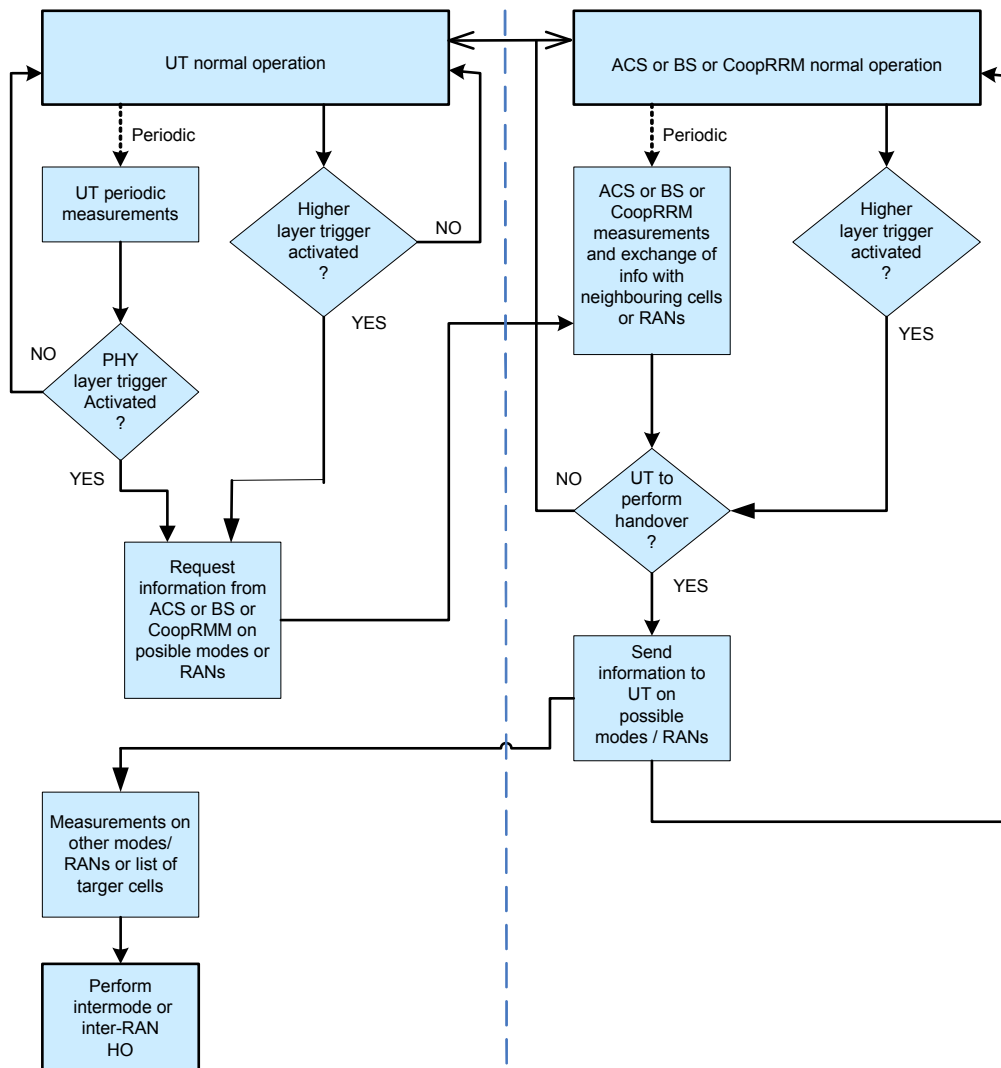
- **Διασυστημική διαπομπή (intersystem HO – ISHO)**
- **Ενδοσυστημική διαπομπή (intrasystem HO)**
- **Ενδομορφική διαπομπή (intramode HO)**
- **Διαμορφική διαπομπή (intermode HO)**
- **Κεντροποιημένη διαπομπή (centralized HO)**
- **Κατανεμημένη διαπομπή (distributed HO)**
- **Υβριδική διαπομπή (hybrid HO)**
- **Ασύρματη διαπομπή (radio HO)**
- **Διαπομπή βασισμένη στο IP πρωτόκολλο (IP HO)**
- **Μείγμα διαπομπής (handover mixture)**

Οι παραπάνω διαπομπές χωρίζονται σε κατηγορίες και παρακάτω τις παρουσιάζουμε ανά κατηγορία. Οι διάφορες κατηγορίες στις οποίες μπορούμε να διαχωρίσουμε τις διαπομπές είναι οι παρακάτω:

- Διαπομπή ενδοσυστημική ή διασυστημική
- Διαπομπή ανάλογα με την αρχιτεκτονική του συστήματος
- Ασύρματη διαπομπή ή διαπομπή βασισμένη στο πρωτόκολλο IP

Στο επόμενο σχήμα δίνεται σχηματικά μια γενική περιγραφή της διαδικασίας διαπομπής μαζί με τις αιτίες που την προκαλούν και τις μετρήσεις που πραγματοποιούνται από τις διάφορες οντότητες του δικτύου. Σε αυτό το σχήμα παρουσιάζουμε μια γενική ροή της διαδικασίας διαπομπής, με

περιοδικές μετρήσεις από το κινητό τερματικό και τους σταθμούς βάσης, με υψηλότερες αιτίες να αναγνωρίζονται από τους σταθμούς βάσης ανάλογα με τους υπολογισμούς τους και με κατάληξη την πραγματοποίηση διαφόρων ειδών διαπομπής [12].



Σχήμα 6-1. γενικό σχήμα λειτουργίας διαπομπής σε συνδυασμό με αφορμές και μετρήσεις

6.3 Διασυστημική διαπομπή

Οι στρατηγικές εξισορρόπησης κίνησης μεταξύ διαφορετικών δικτύων είναι απαραίτητες για έναν διαχειριστή ώστε να χρησιμοποιεί αποδοτικά τους πόρους όλων των δικτύων με σκοπό την παροχή βέλτιστης ποιότητας υπηρεσιών στους χρήστες και την βέλτιστη χρήση του δικτύου. Οι διασυστημικές διαπομπές (inter-system handovers - ISHO) είναι οι μηχανισμοί κλειδιά για την υλοποίηση αυτών των στρατηγικών εξισορρόπησης κίνησης [13][14].

Διασυστημική διαπομπή είναι η διαπομπή που πραγματοποιείται μεταξύ δυο διαφορετικών συστημάτων. Όταν ένας χρήστης κινητών επικοινωνιών κινείται μέσα σε μια περιοχή μπορεί να

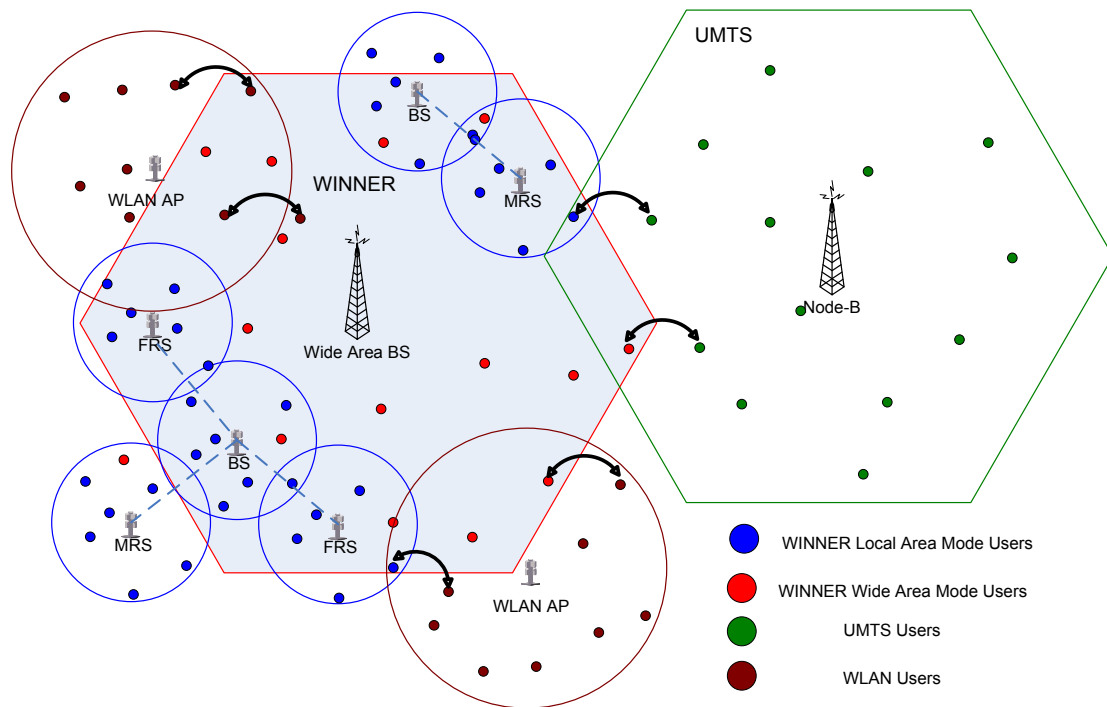
καλύπτεται από πολλά συστήματα επικοινωνιών, όπως GSM, UMTS, WLAN, WiMax. Αυτός ο χρήστης κατά τη μετακίνησή του μπορεί ενώ είναι συνδεδεμένος σε κάποιο σύστημα (π.χ. WLAN) να χάσει το σήμα από το σταθμό βάσης του συγκεκριμένου συστήματος. Για να μην σταματήσει να λαμβάνει την υπηρεσία του όμως, μπορεί να πραγματοποιήσει μια διαπομπή σε ένα άλλο διαθέσιμο σύστημα, όπως το UMTS. Η μετακίνηση του χρήστη από το ένα σύστημα στο άλλο είναι η διασυστημική διαπομπή [13][14].

Διασυστημική διαπομπή είναι επομένως η διαδικασία κατά την οποία ένας χρήστης ή ένα κινητό τερματικό αλλάζει σύστημα, καθώς αυτός βρίσκεται σε μια περιοχή στην οποία παρέχουν κάλυψη πολλά διαφορετικά συστήματα. Η διασυστημική διαπομπή είναι ένα είδος διαπομπής που μόλις τα τελευταία χρόνια έχει μπει στην λειτουργία των συστημάτων, με την πραγματοποίηση διαπομπών από το UMTS στο GSM και ανάποδα.

Μέχρι τώρα όλες οι διαπομπές που πραγματοποιούνταν στα συστήματα κινητών επικοινωνιών ήταν διαπομπές μεταξύ των σταθμών βάσεως του ίδιου του συστήματος. Καθώς όμως όλο και νέες τεχνολογίες γίνονται διαθέσιμες στους χρήστες, δημιουργούνται νέα συστήματα παροχής ασύρματων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Έτσι και το σύστημα του WINNER υλοποιήθηκε με σκοπό την παροχή στους χρήστες εξαιρετικής ποιότητας υπηρεσιών σε όλες τις μορφές ανάπτυξης ενός δικτύου και για να ικανοποιήσει όλες τις ανάγκες των μελλοντικών χρηστών. Επειδή όμως το WINNER είναι ένα νέο σύστημα, δε θα μπορούσε να αναπτυχθεί ώστε να λειτουργεί μόνο του στον ασύρματο κόσμο. Αυτό θα ήταν καταστροφικό για την ευρεία αποδοχή του από τους τηλεπικοινωνιακούς φορείς, μιας και θα έπρεπε να σπαταλήσουν πολλά χρήματα για την ανάπτυξη και την εγκατάσταση ενός δικτύου και να κάνουν τη μετάβαση των ήδη υπαρχόντων δικτύων προς αυτό [15][16].

Για την αποφυγή τέτοιου προβλήματος, το WINNER αναπτύχθηκε ώστε να μπορεί να συνεργάζεται με τα ήδη υπάρχοντα συστήματα. Επίσης, λόγω της γενικοποιημένης δομής της αρχιτεκτονικής του, το WINNER θα μπορεί να συνεργάζεται άψογα και με πιθανά άλλα μελλοντικά συστήματα. Η μορφή της συνεργασίας μεταξύ των συστημάτων εννοείται με την παροχή δυνατότητας για χρήση πόρων ενός συστήματος από το σύστημα του WINNER (και αντίστροφα), η δυνατότητα πρόσβασης σε μετρήσεις του άλλου συστήματος και η μετακίνηση χρηστών από το ένα σύστημα στο άλλο. Το μέσον για να καταστεί δυνατή η μετακίνηση χρηστών μεταξύ των συστημάτων δεν είναι άλλο από την διασυστημική διαπομπή, η οποία και παρέχει τις δυνατές λειτουργίες για να αλλάξει ο χρήστης ασύρματο σύστημα πρόσβασης, χωρίς να αναγκαστεί να σταματήσει την υπηρεσία που λαμβάνει ή να χρειαστεί να την επανεκκινήσει [17][18].

Στο επόμενο σχήμα δίνεται ένα σενάριο πραγματοποίησης διασυστημικών διαπομπών μεταξύ του WINNER, του UMTS και μεταξύ του WINNER και του WLAN.



Σχήμα 6-2. Σενάριο διασυστημικής διαπομπής μεταξύ WINNER, UMTS και WLAN [19][20]

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται η ανάπτυξη του δικτύου του WINNER με έναν σταθμό βάσης ευρείας περιοχής (Wide Area BS) που παρουσιάζεται με το εξάγωνο με την κόκκινη περιφέρεια, και πολλούς σταθμούς βάσης τοπικής περιοχής (local area BS) οι οποίοι μπορεί να είναι συνδεδεμένοι απευθείας στον αντίστοιχο σταθμό βάσης ή σε αναμεταδότες σταθερούς (Fixed Relay Station – FRS) ή κινητούς (Mobile Relay Station – MRS), οι οποίοι παρουσιάζονται με τους κύκλους με την μπλε περιφέρεια. Επίσης, παρουσιάζεται μια κυψέλη UMTS με το πράσινο εξάγωνο και δυο κυψέλες κάλυψης WLAN με τους καφέ κύκλους. Με τα μαύρα βελάκια παρουσιάζονται οι διασυστημικές διαπομπές από χρήστες που είναι συνδεδεμένοι είτε στο WINNER και μετακινούνται στο UMTS ή το WLAN ή ανάποδα.

Όπως φαίνεται στο προηγούμενο σχήμα, είναι αναμενόμενο να υπάρχει μια μερική ή ολική επικάλυψη μεταξύ των κυψελών των διαφόρων μορφών του WINNER (ευρεία – μητροπολιτική – τοπική περιοχή) και των κυψελών των άλλων συστημάτων. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη δυνατότητας για διασυστημική διαπομπή μεταξύ αυτών των συστημάτων.

Ο βασικός κανόνας για την πραγματοποίηση μιας διασυστημικής διαπομπής είναι η απώλεια κάλυψης από το τρέχον σύστημα. Αν ένας κινούμενος χρήστης φύγει έξω από τα όρια κάλυψης των σταθμών βάσεων ενός δικτύου θα πρέπει να πραγματοποιήσει μια διασυστημική διαπομπή σε άλλο διαθέσιμο δίκτυο με κάλυψη σε αυτή τη νέα περιοχή, ώστε να συνεχίσει να λαμβάνει την υπηρεσία του. Διασυστημική διαπομπή μπορεί να προκληθεί επίσης και για λόγους εξισορρόπησης του φορτίου του δικτύου ή υπερφόρτωσης κάποιου σταθμού βάσης. Αν σε κάποια περιοχή υπερφορτωθεί ένας σταθμός βάσης, μερικοί χρήστες μπορεί να μετακινηθούν σε άλλο δίκτυο, ώστε να απελευθερωθούν

πόροι και να μειωθεί το φορτίο του συγκεκριμένου υπερφορτωμένου σταθμού. Μια άλλη αιτία μπορεί να είναι η επιθυμία του χρήστη για καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών ή η ζήτηση μιας υπηρεσίας, η οποία δεν μπορεί να προσφερθεί από το τρέχον δίκτυο στο οποίο είναι συνδεδεμένος, οπότε ο χρήστης θα πρέπει να μεταφερθεί σε άλλο δίκτυο που να μπορεί να του προσφέρει την ζητούμενη υπηρεσία με ικανοποιητική ποιότητα [21].

Όπως προαναφέρθηκε, οι κυψέλες δυο διαφορετικών δικτύων μπορεί είτε να συμπληρώνουν οι μεν την κάλυψη των δε ή να επικαλύπτονται. Οι κυριότερες αιτίες διαπομπής στην περίπτωση συμπληρωματικής κάλυψης είναι οι παρακάτω [19][20]:

- **Ένταση σήματος** (signal strength), που είναι απόφαση από το κινητό τερματικό
- **Επίπεδο παρεμβολών** (interference level), που είναι απόφαση από το κινητό τερματικό
- **Λόγος σήματος προς παρεμβολή** (carrier – to – interference ratio , C/I), που είναι απόφαση από το κινητό τερματικό
- **Ρυθμός λανθασμένων bit ή πακέτων** (Bit / packet error rate), που είναι απόφαση από το κινητό τερματικό
- **Η θέση του κινητού τερματικού** (terminal location), που είναι απόφαση από το σταθμό βάσης

Στην περίπτωση επικαλυπτόμενων κυψελών, οι κυριότερες αιτίες για διασυστημική διαπομπή είναι οι παρακάτω [19][20]:

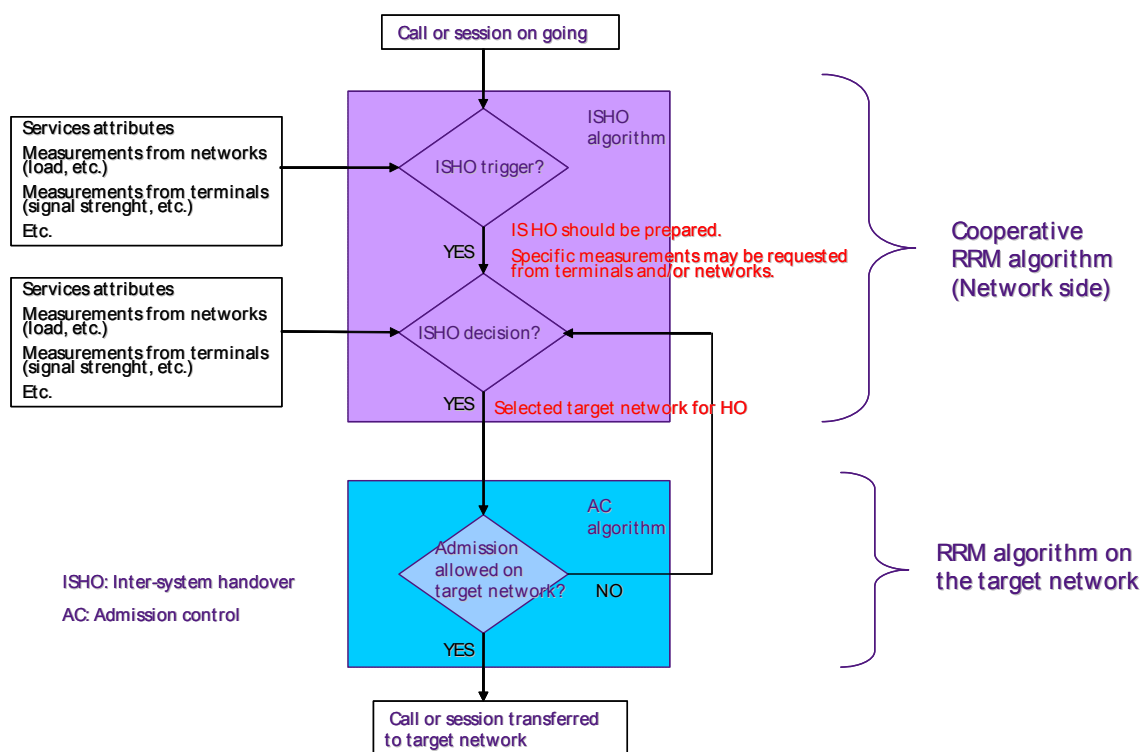
- Η απαιτούμενη υπηρεσία είναι διαθέσιμη σε άλλο σύστημα, που είναι απόφαση από το σταθμό βάσης
- Φθηνότερη υπηρεσία σε άλλο σύστημα, που είναι απόφαση και από το κινητό τερματικό και από το σταθμό βάσης
- Η θέση του κινητού τερματικού, που είναι απόφαση από το σταθμό βάσης
- Η ταχύτητα του κινητού τερματικού, σε περίπτωση π.χ. που γίνεται διαπομπή από το WLAN που έχει μικρές κυψέλες κάλυψης προς την μορφή μητροπολιτικής ή ευρείας περιοχής του WINNER, που είναι απόφαση από το σταθμό βάσης και από το κινητό τερματικό
- Συμμόρφωση στην τρέχουσα κυψέλη ή και τις γειτονικές της, που είναι απόφαση από το σταθμό βάσης

Οι διασυστημικές διαπομπές είναι οι μηχανισμοί κλειδιά για την υλοποίηση στρατηγικών εξισορρόπησης φορτίου στα ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών. Στα κληροδοτημένα συστήματα αυτοί οι

αλγόριθμοι βασίζονται κυρίως σε κριτήρια κάλυψης. Στα συστήματα μετά από την τρίτη γενιά (beyond 3G – B3G) και κυρίως στο WINNER, η συνεργασία μεταξύ των διαφόρων δικτύων σε επίπεδο διαχείρισης ασύρματων ραδιοπόρων είναι ένα ενσωματωμένο χαρακτηριστικό και δημιούργησε την ανάγκη για πιο εξελιγμένους αλγορίθμους διασυστημικής διαπομπής. Οι αλγόριθμοι αυτοί δεν εξαρτούν τις αποφάσεις τους μόνο σε κριτήρια κάλυψης, αλλά και υπηρεσιών, φορτίου και άλλων παραμέτρων, ώστε να δημιουργηθούν εξελιγμένες τεχνικές εξισορρόπησης φορτίου.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται μια πολύ γενική άποψη του αλγορίθμου διασυστημικής διαπομπής και η σχέση του με άλλους αλγορίθμους διαχείρισης ραδιοπόρων, όπως ο έλεγχος αποδοχής. Η διασυστημική διαπομπή, είναι ένας συνεργατικός αλγόριθμος που υλοποιείται στο επίπεδο δικτύου και αποτελείται από δυο φάσεις: τη φάση αναγνώρισης μιας αιτίας για διαπομπή και την προετοιμασία της διαπομπής και τη φάση επιλογής του πιο κατάλληλου δικτύου για διαπομπή και την εκτέλεσή της. Οι αιτίες για τη διαπομπή αναφέρθηκαν πιο πάνω και βασίζονται σε μετρήσεις είτε από την πλευρά του κινητού τερματικού είτε από την πλευρά του δικτύου[19][20].

Όταν ευρεθεί το κατάλληλο δίκτυο για την διαπομπή, τότε ο αλγόριθμος αποδοχής στο δίκτυο αυτό αναλαμβάνει να επιτρέψει την εισαγωγή του χρήστη σε αυτό το δίκτυο ή όχι. Στην δεύτερη περίπτωση, ο αλγόριθμος της διαπομπής θα πρέπει να βρει ένα άλλο δίκτυο για να μεταφερθεί ο χρήστης. Βέβαια, ένας σωστός αλγόριθμος διαπομπής θα πρέπει να είναι υλοποιημένος ώστε στην επιλογή του υποψηφίου δικτύου, με σκοπό την ελαχιστοποίηση των απορρίψεων χρηστών από τον έλεγχο αποδοχής.



Σχήμα 6-3. διάγραμμα αλγορίθμου διασυστημικής διαπομπής

Στη συνέχεια παρατίθενται αλγόριθμοι διαπομπής, δεχόμενοι ότι έχουμε δυο συστήματα που μπορούν να παρέχουν την ίδια ποιότητα υπηρεσίας στους χρήστες.

Διαπομπή με βάση κριτήρια κάλυψης (coverage)

$AN M_{Best,Current} < Th_{Current,1}$ **TOTE** πραγματοποιούνται μετρήσεις στο υποψήφιο σύστημα.

$AN M_{Best,Current} < Th_{Current,2}$ **ΚΑΙ** $M_{Best,Target} > Th_{Target}$ **TOTE** πραγματοποιείται διαπομπή στην καλύτερη κυψέλη (με βάση τις μετρήσεις σήματος) στο υποψήφιο σύστημα.

Το **M** είναι ένα μέτρο της έντασης του σήματος, για παράδειγμα μπορεί να είναι το CPICH RSCP ή το Eb/No στο UMTS ή το RXLEV στο GSM. Th είναι ένα δεδομένο κατώφλι.

Διαπομπή με βάση κριτήρια κάλυψης και φορτίου

$AN M_{Best,Current} < Th_{Current,1}$ **TOTE** πραγματοποιούνται μετρήσεις στο υποψήφιο σύστημα.

$AN M_{Best,Current} < Th_{Current,2}$ **ΚΑΙ** $M_{Celli,Target} > Th_{Target}$ **TOTE** θα πραγματοποιηθεί διαπομπή στην κυψέλη Celli του υποψηφίου συστήματος με το μικρότερο φορτίο ανάμεσα από τις κυψέλες που έχουν επαρκή στάθμη σήματος (καθορισμένη από το Th_{target})

Σημείωση: Σε αυτόν τον αλγόριθμο η υποψήφια κυψέλη είναι αυτή με το μικρότερο φορτίο, αλλά αν το υποψήφιο σύστημα είναι υπερφορτωμένο, μπορεί η υποψήφια κυψέλη να είναι υπερφορτωμένη και η διαπομπή να αποτύχει οπότε θα πρέπει στον αλγόριθμο να μπει και ένας έλεγχος για το φορτίο της υποψηφίας κυψέλης, οπότε γίνεται

$AN M_{Best,Current} < Th_{Current,1}$ **TOTE** πραγματοποιούνται μετρήσεις στο υποψήφιο σύστημα

$AN M_{Best,Current} < Th_{Current,2}$

$AN M_{Celli,Target} > Th_{Target}$ **ΚΑΙ** $Load_{Celli, Target} < Th_{load}$

TOTE πραγματοποιείται διαπομπή στην κυψέλη Celli του υποψηφίου συστήματος με το μικρότερο φορτίο.

Διαπομπή με βάση κριτήρια φορτίου

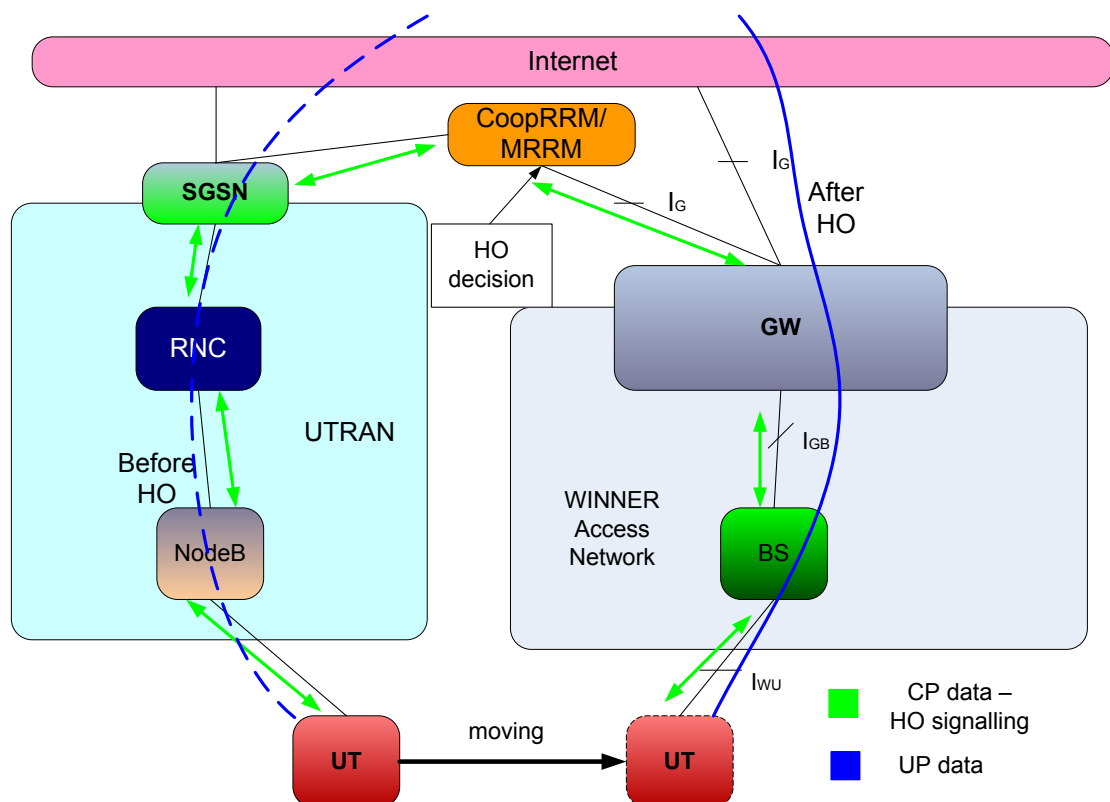
$AN Load_{Celli, current} < Th_{load, current}$ **TOTE** πραγματοποιούνται μόνο διαπομπές για λόγους κάλυψης.

$AN Load_{Celli, current} > Th_{load, current}$ **ΚΑΙ** $Load_{Cellj, target} < Th_{load, target}$ (j=1 to N) **TOTE**

Μερικοί χρήστες εξαναγκάζονται να πραγματοποιήσουν διαπομπή στην κυψέλη j του υποψηφίου συστήματος $AN M_{cellj} > Th_{target}$ και το σύστημα μπορεί να υποστηρίξει την απαιτούμενη ποιότητα της υπηρεσίας που λαμβάνουν.

Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι επειδή τα συστήματα είναι διαφορετικά, οι μετρήσεις για το φορτίο δεν μπορεί να είναι απόλυτες, αλλά θα πρέπει να είναι σχετικές με τις δυνατότητες του κάθε δικτύου. Τα κριτήρια για την επιλογή των χρηστών (και το πλήθος τους) που θα πραγματοποιήσουν διαπομπή είναι κυρίως κριτήρια υπηρεσιών (με βάση τα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας που λαμβάνουν – Bitrate, delay κ.α.), ή πόρων που καταναλώνουν ή με βάση το προφίλ τους.

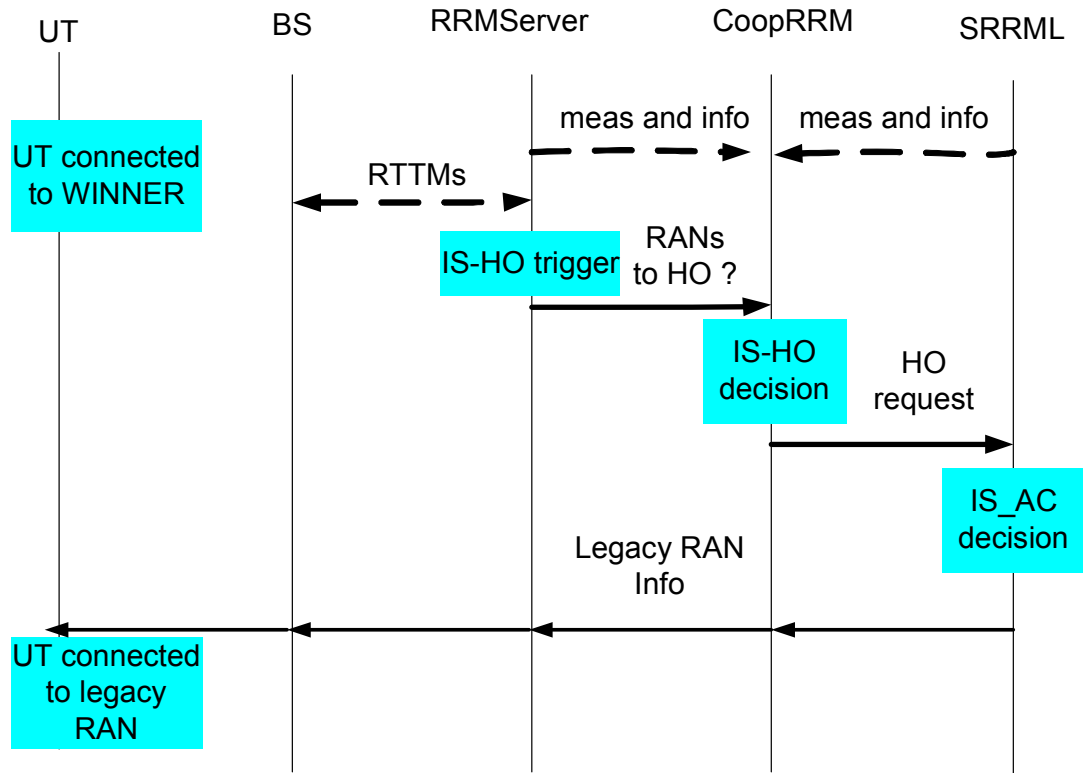
Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται σε γενική μορφή η διαδικασία της διασυστημικής διαπομπής στην περίπτωση διαπομπής μεταξύ WINNER και UMTS. Στη δεξιά μεριά παρουσιάζεται το δίκτυο του WINNER απλοποιημένο και χωρίς την παρουσία του RRM Server και αριστερά παρουσιάζεται το δίκτυο του UMTS. Τα δυο δίκτυα ενώνονται μεταξύ τους με την CoopRRM/MRRM η οποία είναι η οντότητα που διαχειρίζεται τη συνεργασία των δικτύων και περιέχει όλους τους αλγόριθμους για τη συνεργασία αυτή. Με πράσινη παρουσιάζεται η σηματοδότηση για τη διαπομπή και η σηματοδότηση δεδομένων του επιπέδου ελέγχου, ενώ με μπλε γραμμή παρουσιάζεται η μετάδοση των δεδομένων του επιπέδου χρήστη, δηλαδή η λήψη της υπηρεσίας. Με διακεκομμένη μπλε γραμμή παρουσιάζεται η διαδρομή που ακολουθούν τα πακέτα που λαμβάνει ο χρήστης πριν τη διαπομπή, ενώ με σταθερή μπλε γραμμή παρουσιάζεται η διαδρομή μετά την πραγματοποίηση της διαπομπής.



Σχήμα 6-4. διάγραμμα διαδικασίας διασυστημικής διαπομπής μεταξύ WINNER και UMTS [10][11]

Η σηματοδότηση της διαδικασίας της διασυστημικής διαπομπής από την αντίστροφη μεριά (δηλαδή από το WINNER προς ένα άλλο δίκτυο) παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα, στο οποίο παρουσιάζεται και ο RRM Server, ο οποίος και αναγνωρίζει την αφορμή για την διαδικασία της διαπομπής. Η διαδικασία της διαπομπής παρουσιάζεται εν συντομία στα παρακάτω βήματα [10][11]:

- Ο RRM Server λαμβάνει μετρήσεις από τους σταθμούς βάσεις και περιοδικά αναφέρει τις μετρήσεις στην CoopRRM.
- Ο RRM Server εντοπίζει μια κατάσταση κατά την οποία οι απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών του κινητού τερματικού δεν ικανοποιούνται στο συγκεκριμένο σταθμό βάσης ή σε άλλο σταθμό βάσης του WINNER ή λαμβάνει από το κινητό αίτηση διαπομπής λόγω χαμηλής στάθμης σήματος
- Ο RRM Server στέλνει αίτηση διαπομπής μαζί με μετρήσεις και στατιστικά στην CoopRRM
- Η CoopRRM χρησιμοποιεί περιοδικές μετρήσεις που λαμβάνει από τα άλλα δίκτυα ώστε να αποφασίσει για το υποψήφιο δίκτυο για τη διαπομπή.
- Η CoopRRM στέλνει στην αντίστοιχη SRRML του υποψήφιου δικτύου αίτηση για διαπομπή
- Η SRRML επικοινωνεί με τον αντίστοιχο σταθμό βάσης του δικτύου και λαμβάνει την απάντηση για την διαπομπή
- Η απάντηση φτάνει στην CoopRRM και αν είναι θετική προωθείται στο κινητό τερματικό, αλλιώς βρίσκεται άλλο υποψήφιο δίκτυο και ακολουθείται ανάλογη διαδικασία
- Η θετική απάντηση φτάνει μέσω των υπολοίπων οντοτήτων στο κινητό τερματικό που ενημερώνεται για την επιτυχία της διαπομπής, ώστε να αναδιαρθρώσει το σύστημά του για τη σύνδεση με το άλλο δίκτυο.



Σχήμα 6-5. διαδικασία διασυστημικής διαπομπής

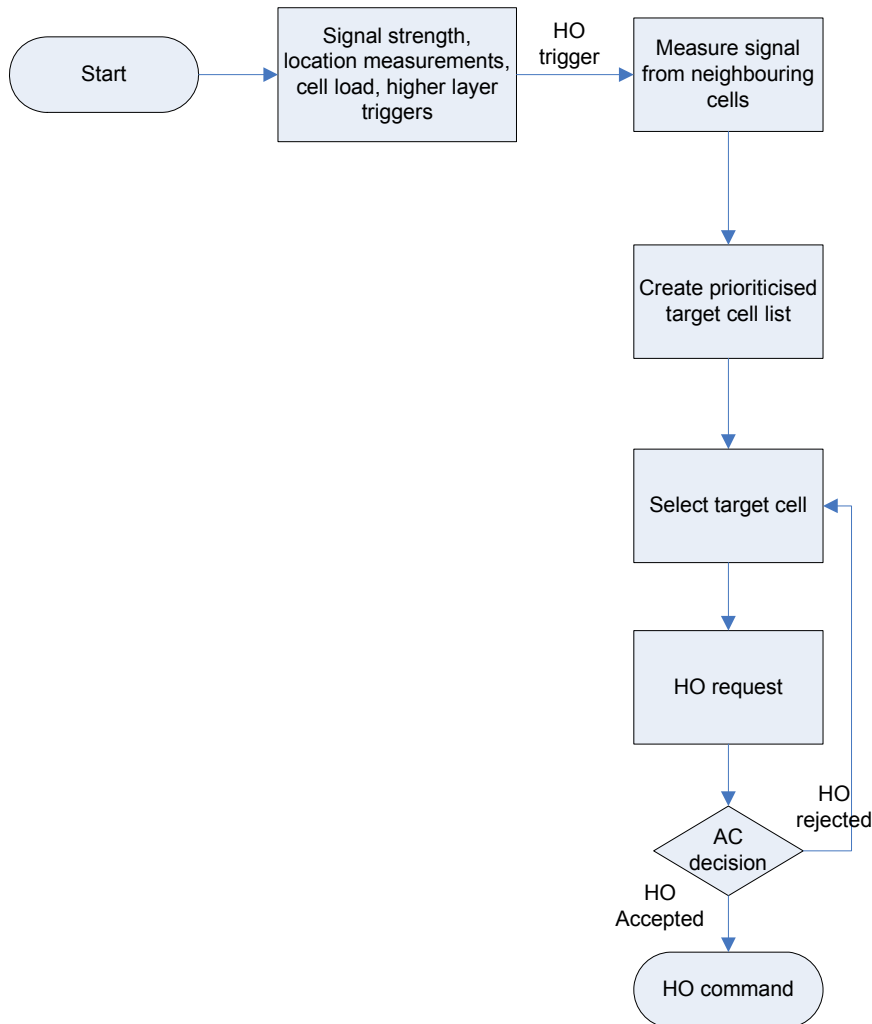
6.4 Ενδοσυστημική διαπομπή

Η ενδοσυστημική διαπομπή (intrasystem HO) είναι η διαπομπή που πραγματοποιείται μεταξύ σταθμών βάσεως που ανήκουν στο ίδιο σύστημα. Επομένως, στην περίπτωση μας, ενδοσυστημική διαπομπή πραγματοποιείται όταν ένας χρήστης μετακινείται μέσα στο δίκτυο του WINNER και αλλάζει σταθμούς βάσης που ανήκουν σε αυτό το δίκτυο, άσχετα αν ανήκουν στην ίδια μορφή ανάπτυξης του δικτύου (ενδομορφική διαπομπή) ή σε διαφορετικές μορφές (διαμορφική διαπομπή). Στις επόμενες δυο παραγράφους εξετάζονται οι δυο αυτές μορφές διαπομπής [12][22][23].

6.4.1 Ενδομορφική διαπομπή

Ενδομορφική διαπομπή (intramode HO) είναι η διαπομπή που πραγματοποιείται μεταξύ ασύρματων σημείων πρόσβασης (Radio Access Points – RAPs) που λειτουργούν στην ίδια μορφή ανάπτυξης του δικτύου του WINNER. Τα ασύρματα σημεία πρόσβασης μπορεί να είναι είτε σταθμοί βάσης είτε αναμεταδότες. Υπάρχουν τρεις πιθανότητες για την ενδομορφική διαπομπή: μεταξύ σταθμών βάσης, μεταξύ σταθμού βάσης και αναμεταδότη και μεταξύ αναμεταδοτών. Η ενδομορφική διαπομπή περιλαμβάνει ενδοκυψελικές και διακυψελικές διαπομπές, εφόσον οι κυψέλες ανήκουν στην ίδια μορφή ανάπτυξης του δικτύου. Η βασική αιτία διακυψελικής διαπομπής είναι η ένταση του

λαμβανόμενου σήματος, αλλά και το φορτίο των γειτονικών κυψελών, αυξανόμενες παρεμβολές, η τοποθεσία του χρήστη κ.α. Η ενδομορφική διαπομπή για παράδειγμα θα μπορούσε να προκληθεί όταν η ένταση του λαμβανόμενου σήματος πέσει κάτω από μια συγκεκριμένη προκαθορισμένη τιμή [10][11][22][23].



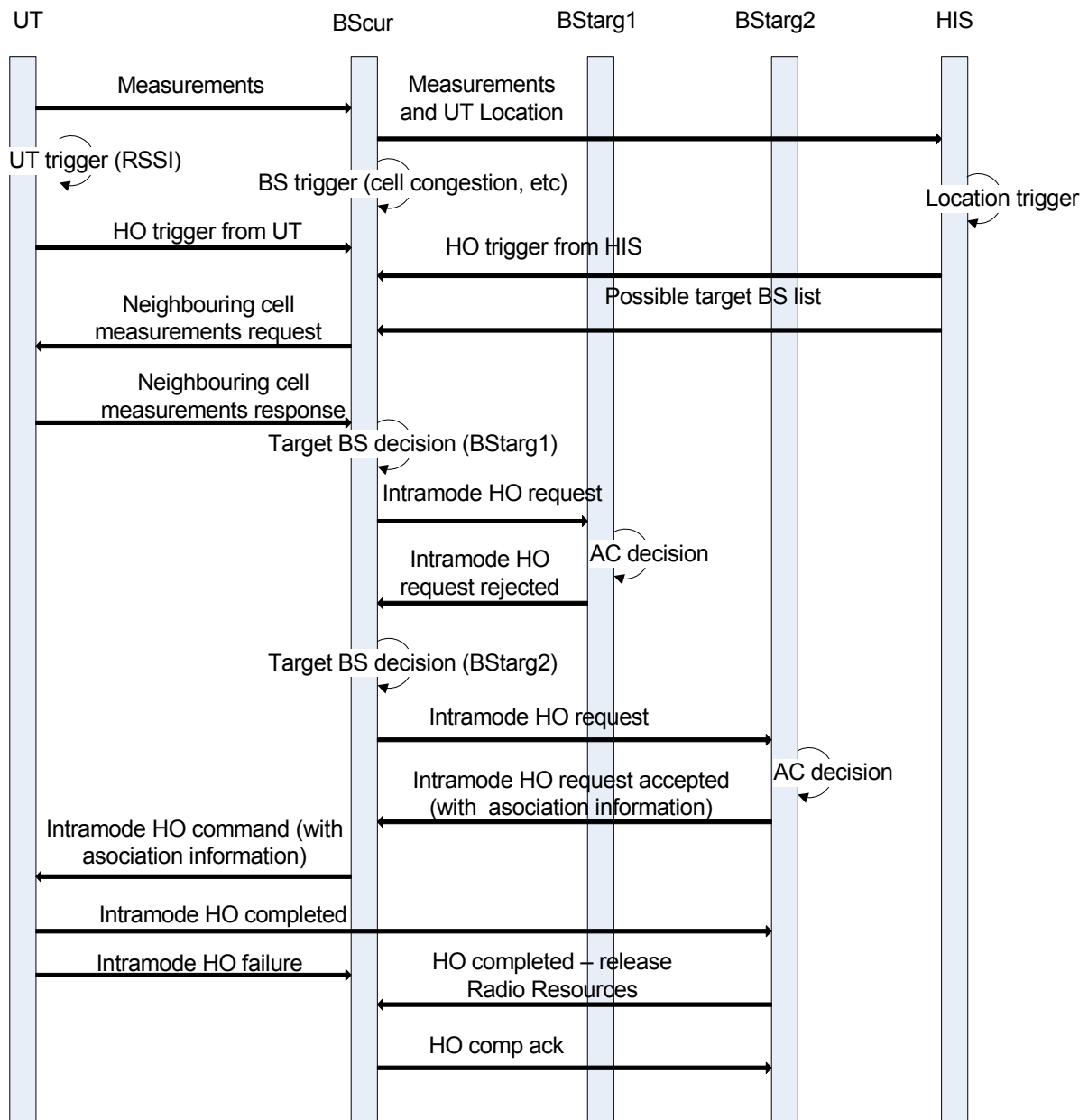
Σχήμα 6-6. διάγραμμα ροής αλγορίθμου ενδομορφικής διαπομπής

Στο προηγούμενο σχήμα παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου ενδομορφικής διαπομπής στο δίκτυο του WINNER. Σύμφωνα με το σχήμα, όταν παρουσιαστεί μια αιτία διαπομπής είτε στο κινητό τερματικό είτε στους σταθμούς βάσης, τότε το κινητό παίρνει μετρήσεις από τους διπλανούς σταθμούς και επιλέγει τον κατάλληλο σταθμό ώστε να πραγματοποιήσει τη διαπομπή. Έπειτα στέλνει την αίτηση στον σταθμό βάσης και αν γίνει αποδεκτή τότε πραγματοποιεί διαπομπή σε αυτόν, αλλιώς επιλέγει τον δεύτερο στη λίστα σταθμό και επαναλαμβάνει την αίτηση εκεί. Σε αυτόν τον αλγόριθμο, έχουμε υποθέσει μια κατανομημένη αρχιτεκτονική του δικτύου, όπου όλες οι αποφάσεις λαμβάνονται από τους σταθμούς βάσης και δεν υπάρχει RRM Server

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η σηματοδότηση της διαδικασίας ενδομορφικής διαπομπής στην περίπτωση διαπομπής μεταξύ δυο σταθμών βάσης. Στο σχήμα παρουσιάζεται επίσης και ο HIS που βοηθάει στην βελτίωση των αποφάσεων. Όπως φαίνεται στο σχήμα, ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψην του πολλές διαφορετικές αιτίες για διαπομπή:

- από το τερματικό με βάση, κυρίως, τις μετρήσεις σήματος, ή QoS
- από τον σταθμό βάσης, με βάση κυρίως μετρήσεις φορτίου ή μετρήσεις παρεμβολών
- από τον HIS, με βάση κυρίως μετρήσεις για τη θέση του τερματικού

Αφού αναγνωριστεί μια αιτία για ενδομορφική διαπομπή, το κινητό τερματικό λαμβάνει μετρήσεις σήματος από τους γειτονικούς σταθμούς βάσης και στέλνει την αίτηση στον σταθμό βάσης, ο οποίος βρίσκει (αφού έχει πάρει μετρήσεις φορτίου και από τους άλλους σταθμούς βάσης που αναφέρει το κινητό τερματικό στην αίτησή του) τον καταλληλότερο υποψήφιο σταθμό βάσης για να πραγματοποιήσει διαπομπή το κινητό. Στη συνέχεια ο τρέχον σταθμός βάσης στέλνει την αίτηση για διαπομπή στον υποψήφιο σταθμό, στον οποίο εκτελείται ο έλεγχος αποδοχής και στέλνεται πίσω στον τρέχον σταθμό βάσης η απάντηση. Αν η απάντηση είναι αρνητική επιλέγεται ο επόμενος στη λίστα υποψήφιος σταθμός βάσης και στέλνεται σε αυτόν νέα αίτηση. Αν η απάντηση είναι θετική, τότε στέλνεται πίσω στο κινητό τερματικό η επιτυχία για διαπομπή και οι πληροφορίες για τον σταθμό βάσης με τον οποίον θα συνδεθεί το κινητό. Στη συνέχεια, το κινητό επικοινωνεί με το νέο σταθμό βάσης και ολοκληρώνει την διαπομπή και ο νέος σταθμός βάσης επικοινωνεί με τον προηγούμενο για να ενημερώσει για την επιτυχή ολοκλήρωση της διαπομπής.

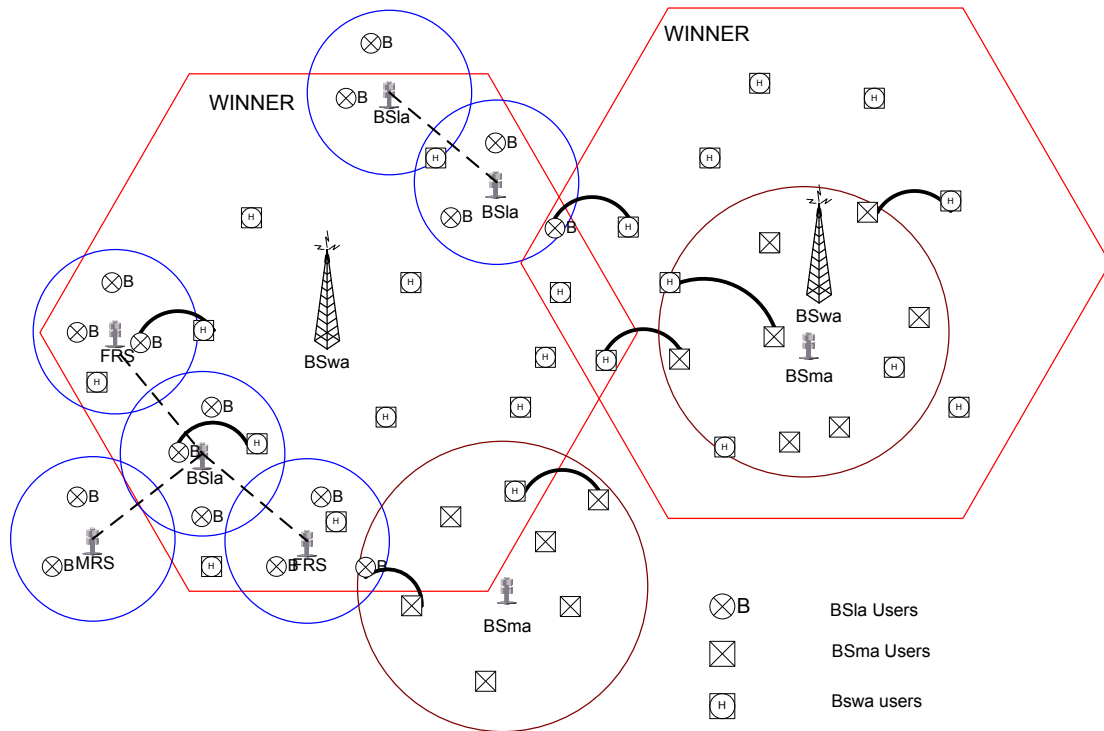


Σχήμα 6-7. σηματοδότηση διαδικασίας ενδομορφικής διατομής

6.4.2 Διαμορφική διατομή

Ένας άλλος τύπος διατομής στο δίκτυο του WINNER είναι η διαμορφική διατομή (intermode HO). Η διαμορφική διατομή είναι η διαδικασία που εκτελείται κατά την αλλαγή σταθμού βάσης, όταν ο παλιός και ο νέος σταθμός βάσης λειτουργούν σε διαφορετική μορφή ανάπτυξης του δικτύου. Όπως έχει προαναφερθεί, το δίκτυο του WINNER περιλαμβάνει τρεις διαφορετικές μορφές ανάπτυξης, σε τοπική περιοχή (LA), σε μητροπολιτική περιοχή (MA) και σε ευρεία περιοχή (WA) [10][11][22][23].

Το τυπικό σενάριο ανάπτυξης του δικτύου του WINNER έχει καθοριστεί ώστε να υπάρχει είτε μερική είτε ολική επικάλυψη των κυψελών που λειτουργούν σε διαφορετικές μορφές. Στο παρακάτω σχήμα γίνεται μια παρουσίαση των σεναρίων διαμορφικής διαπομπής μεταξύ των διαφόρων μορφών ανάπτυξης του δικτύου του WINNER. Στο σχήμα παρουσιάζονται οι κυψέλες των τριών μορφών ανάπτυξης και οι αντίστοιχοι χρήστες τους με διαφορετικό σχήμα για κάθε τύπο χρήστη, καθώς και οι χρήστες που πραγματοποιούν διαμορφική διαπομπή.

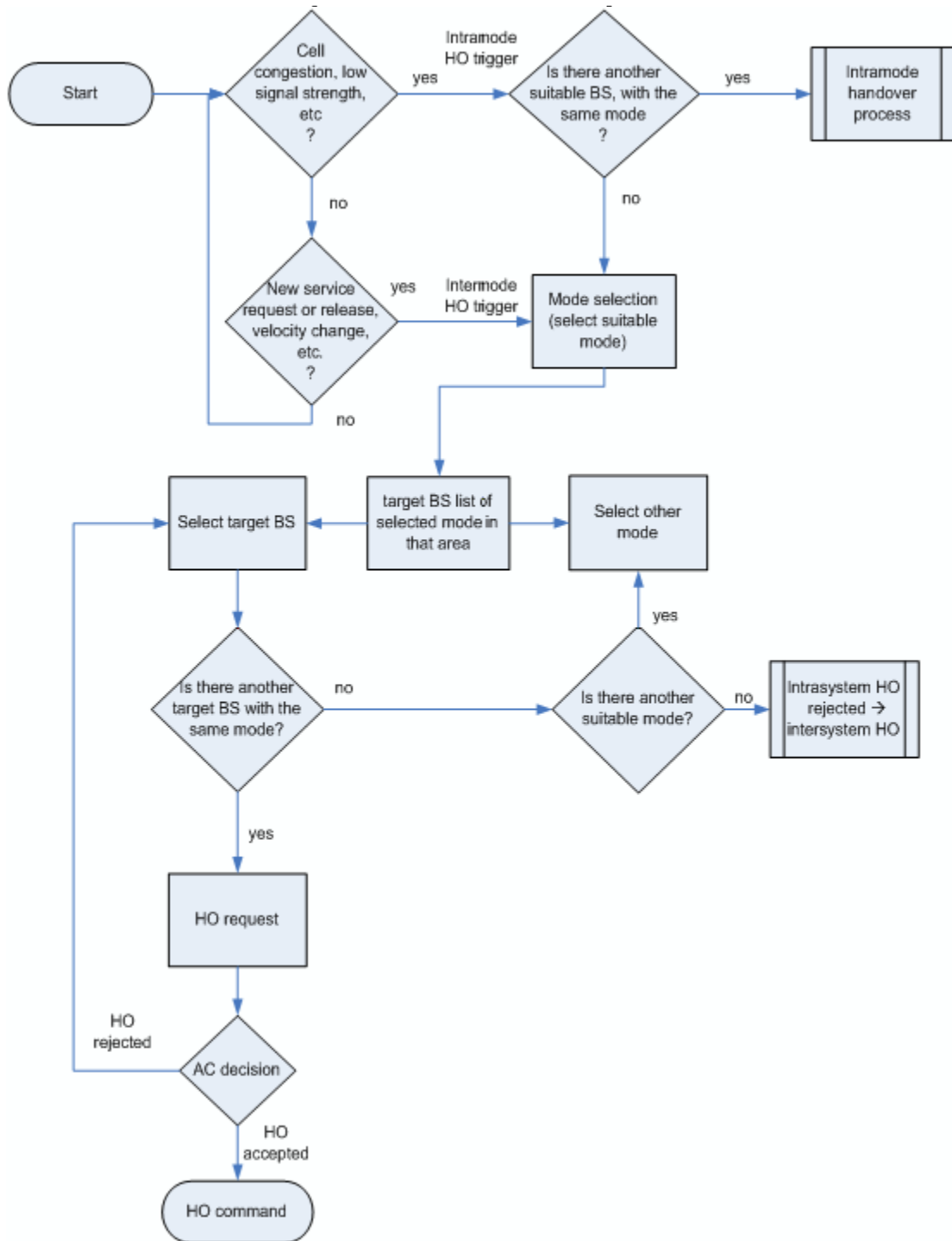


Σχήμα 6-8. σενάρια διαμορφικής διαπομπής [19][20]

Οι βασικότερες αιτίες που μπορεί να προκαλέσουν διαμορφική διαπομπή είναι οι παρακάτω:

- Ανεπαρκής ένταση ή ποιότητα σήματος
- Συμφόρηση σε μια μορφή ανάπτυξης
- Κινητικότητα του χρήστη
- Τοποθεσία του κινητού τερματικού
- Ανεπαρκής ποιότητα υπηρεσίας λαμβανόμενη από το χρήστη
- Άλλες αιτίες από το φυσικό επίπεδο ή από άλλους αλγορίθμους

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ένας γενικός αλγόριθμος για την εκτέλεση διαμορφικής διαπομπής, καθώς και η συνεργασία του με τις υπόλοιπες μορφές διαπομπής δηλαδή την ενδομορφική και την διασυστημική διαπομπή.



Σχήμα 6-9 . γενικός αλγόριθμος διαμορφικής διαπομπής [12][10]

Στο πιο πάνω σχήμα βλέπουμε όλη τη διαδικασία της διαμορφικής διαπομπής, από τη στιγμή που αναγνωρίζεται μια αιτία διαπομπής μέχρι την αποστολή της αίτησης για την εκτέλεσή της. Όπως

φαίνεται, υπάρχει συνήθως μια ιεραρχία στην αίτηση για διαπομπή. Αν ένας χρήστης είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο του WINNER, τότε αν απαιτείται να πραγματοποιήσει διαπομπή θα γίνει προσπάθεια να κάνει διαπομπή σε άλλο σταθμό βάσης ή άλλη μορφή ανάπτυξης δικτύου και έπειτα να γίνει διαπομπή σε άλλο σύστημα. Αυτό γίνεται για να αποφεύγονται όσο είναι δυνατόν οι διασυστημικές διαπομπές, λόγω του υψηλού κινδύνου αποτυχίας τους λόγω αυξημένου χρόνου διαπομπής εξαιτίας της αυξημένης σηματοδοσίας μεταξύ πολλών οντοτήτων όλων των εμπλεκόμενων δικτύων.

Όπως φαίνεται από τον αλγόριθμο, η διαδικασία διαμορφικής διαπομπής εκκινείται είτε όταν υπάρξει μια αιτία για διαμορφική διαπομπή (σημαντική αύξηση ταχύτητας, αίτηση για νέα υπηρεσία αυξημένων απαιτήσεων σε QoS κ.τ.λ.) είτε όταν δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί ενδομορφική διαπομπή. Αφού γίνει η εκκίνηση της διαδικασίας διαμορφικής διαπομπής, το πρώτο πράγμα που πρέπει να γίνει είναι να ελεγχθούν οι διαθέσιμες μορφές ανάπτυξης του δικτύου και αναλόγως με τις υπηρεσίες που λαμβάνει ο χρήστης και τις απαιτήσεις τους σε QoS, την θέση και την ταχύτητα του χρήστη, επιλέγεται η καταλληλότερη μορφή ανάπτυξης για να τον εξυπηρετήσει. Αν δεν υπάρχει άλλη κατάλληλη μορφή ανάπτυξης τότε είτε πραγματοποιείται διασυστημική διαπομπή είτε η διαπομπή απορρίπτεται. Αν υπάρχει άλλη μορφή ανάπτυξης διαθέσιμη στην περιοχή, τότε βρίσκονται και ταξινομούνται κατά σειρά καταλληλότητας για τον συγκεκριμένο χρήστη οι υποψήφιοι σταθμοί βάσης και επιλέγονται με τη σειρά ώστε να ευρεθεί κάποιος που να μπορεί (με την εκτέλεση του αλγορίθμου αποδοχής σε αυτόν) να εξυπηρετήσει το χρήστη και στη συνέχεια εκτελείται η διαπομπή.

Κάθε μορφή ανάπτυξης του δικτύου έχει διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά, αλλά το βασικό με το οποίο ασχολούμαστε εμείς στους αλγορίθμους διαπομπής είναι η διαφορές που έχουν σε σχέση με την ταχύτητα σύνδεσης (σε datarate) που μπορούν να παρέχουν στο χρήστη, καθώς και το μέγεθος της κυψέλης. Η μορφή ανάπτυξης ευρείας περιοχής, όπως το λέει και το όνομά της, απευθύνεται στην κάλυψη μεγάλων περιοχών, επομένως έχει μεγάλο μέγεθος κυψέλης. Το μεγάλο μέγεθος κυψέλης όμως έχει ως αποτέλεσμα και την παροχή χαμηλής ταχύτητας δεδομένων (μέχρι 100Mbps). Από την αντίθετη μεριά, η μορφή ανάπτυξης τοπικής περιοχής απευθύνεται στην κάλυψη εσωτερικών χώρων κυρίως, ή μικρών εξωτερικών χώρων και έχει μικρό μέγεθος κυψέλης, αλλά μπορεί να παρέχει υψηλή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων (μέχρι 1Gbps). Η μορφή ανάπτυξης μητροπολιτικής περιοχής είναι κάτι ενδιάμεσο των δυο άλλων μορφών και απευθύνεται κυρίως για την ανάπτυξη του δικτύου σε πόλεις.

Από τον τρόπο ανάπτυξης των μορφών του δικτύου μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι χρήστες με μεγάλη κινητικότητα και αυξημένη ταχύτητα θα πρέπει να εξυπηρετούνται από τους σταθμούς βάσης ευρείας περιοχής (BSwa), μιας και οι κυψέλες είναι αρκετά μεγάλες, ώστε να μην απαιτούνται συνεχείς διαπομπές από το χρήστη. Επίσης, οι χρήστες που δεν έχουν μεγάλη κινητικότητα, αλλά απαιτούν αυξημένη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, θα πρέπει να είναι συνδεδεμένοι με τους σταθμούς βάσης τοπικής περιοχής (BSla).

Εφόσον έχουμε τρεις μορφές ανάπτυξης δικτύου, τα σενάρια διαμορφικής διαπομπής που μπορούν να προκύψουν είναι τα παρακάτω:

- BSWa → BSma
- BSWa → BSla
- BSma → BSla
- BSma → BSWa
- BSla → BSma
- BSla → BSWa

Τα παραπάνω έξι σενάρια διαμορφικής διαπομπής μπορούμε να τα διαχωρίσουμε σε δυο κατηγορίες:

a. Διαπομπή από μορφή ανάπτυξης μεγάλης κυψέλης προς μορφή ανάπτυξης μικρότερης κυψέλης. Σε αυτή την κατηγορία έγκεινται τα παρακάτω σενάρια διαπομπής:

- BSWa → BSma
- BSWa → BSla
- BSma → BSla

b. Διαπομπή από μορφή ανάπτυξης μικρής κυψέλης προς μορφή ανάπτυξης μεγαλύτερης κυψέλης. Σε αυτή την κατηγορία έγκεινται τα παρακάτω σενάρια διαπομπής:

- BSma → BSWa
- BSla → BSma
- BSla → BSWa

a) Στην περίπτωση της πρώτης κατηγορίας, δηλαδή της διαπομπής από μορφή μεγαλύτερης κυψέλης προς μορφή μικρότερης κυψέλης, η κυριότερη αιτία διαπομπής θα είναι η ανάγκη για υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων. Σε αυτή την κατηγορία διαμορφικής διαπομπής οι αιτίες μπορούν να διαχωριστούν σε:

i) αιτίες όταν η μορφή μικρότερης κυψέλης χρησιμοποιείται για να αυξήσει την αποδοτικότητα του φάσματος και επομένως αναμένεται η ασύρματη ζεύξη να έχει καλύτερη ποιότητα και είναι οι παρακάτω:

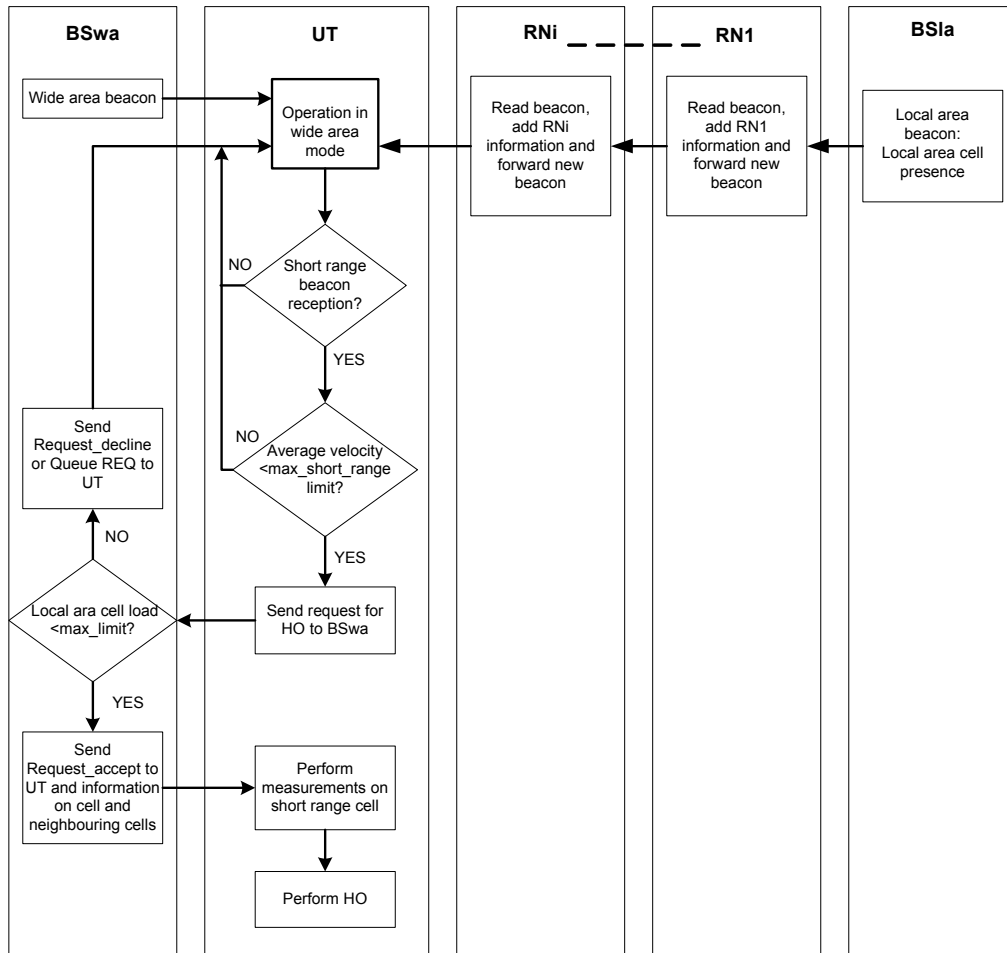
- Ρυθμός λανθασμένων bits/πακέτων (απόφαση του τερματικού)

- Ανάγκη για υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (απόφαση και του τερματικού και του σταθμού βάσης)
- Συμμόρφωση στην κυψέλη της μορφής μεγαλύτερης κυψέλης (απόφαση του σταθμού βάσης)
- Θέση του τερματικού (απόφαση του σταθμού βάσης)

ii) σε αιτίες όταν η μορφή μικρότερης κυψέλης χρησιμοποιείται για την επέκταση της κάλυψης της άλλης μορφής (π.χ. στην περίπτωση χρήσης αναμεταδοτών και είναι οι παρακάτω:

- Ένταση σήματος (απόφαση του τερματικού)
- Επίπεδα παρεμβολών (απόφαση και του τερματικού και του σταθμού βάσης)
- Λόγος σήματος προς παρεμβολή (απόφαση του τερματικού)
- Ρυθμός λανθασμένων bits/πακέτων (απόφαση του τερματικού)

Για απλοποίηση των εκφράσεων και των αλγορίθμων θα θεωρούμε από εδώ και πέρα ως μορφή μεγαλύτερης κυψέλης τη μορφή ευρείας περιοχής με σταθμό βάσης BSwa και ως μορφή μικρότερης κυψέλης τη μορφή τοπικής περιοχής με σταθμό βάσης BSla. Στα δυο παρακάτω σχήματα παρουσιάζουμε τους αλγορίθμους διαμορφικής διαπομπής από BSwa σε BSla και αντίστροφα. Επίσης θεωρούμε ότι έχουμε μια κατανεμημένη ανάπτυξη του δικτύου, όπου όλες οι αποφάσεις λαμβάνονται από τους υπεύθυνους σταθμούς βάσης και δεν υπάρχει ο κεντροποιημένος RRM Server.

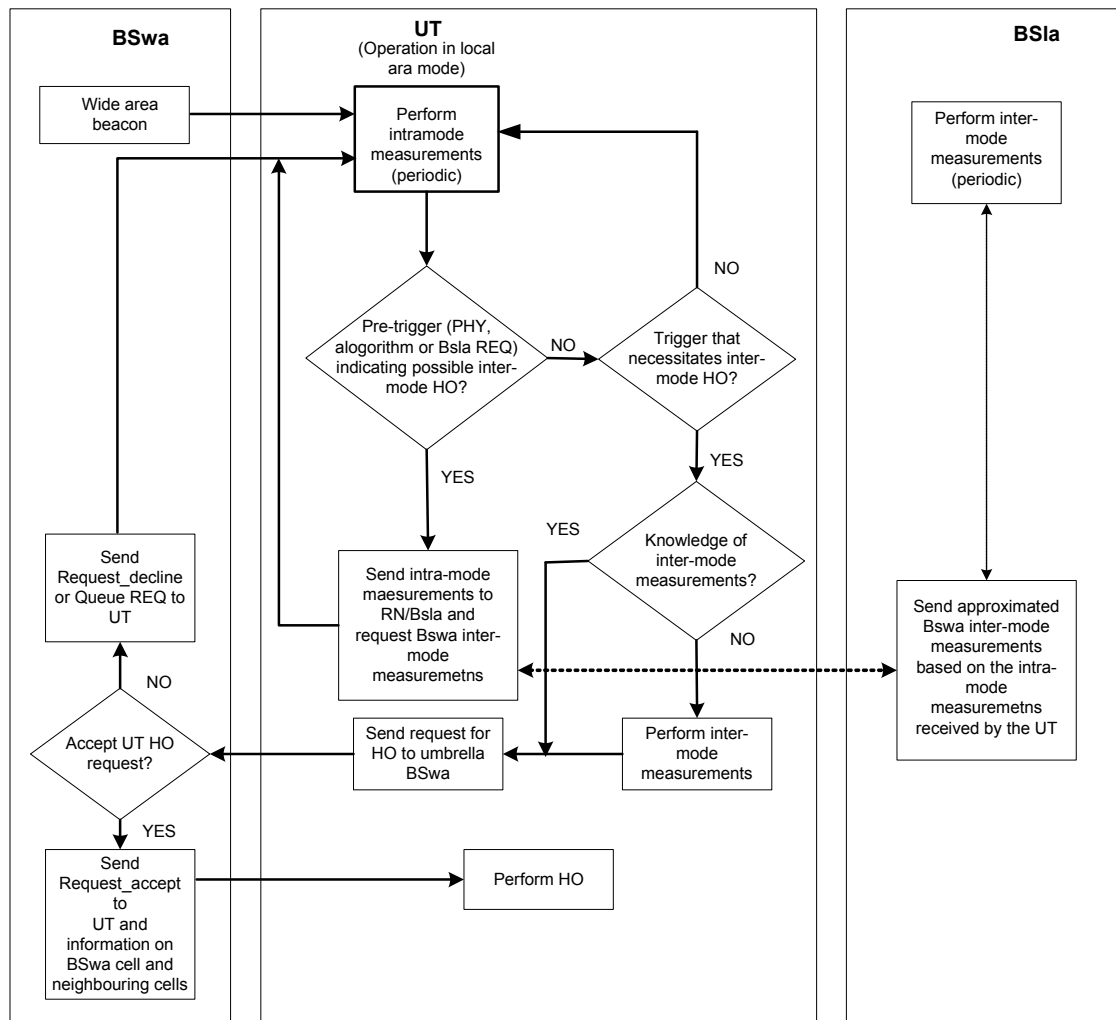


Σχήμα 6-10. αλγόριθμος διαμορφικής διαπομπής από BSWa σε BSla [20]

Στο παραπάνω σχήμα εμπλέκονται και αναμεταδότες στην διαδικασία της διαπομπής. Θεωρείται ότι το κινητό τερματικό λειτουργεί σε μορφή ευρείας περιοχής και λαμβάνει συνεχώς τα beacons από τους σταθμούς βάσης της τοπικής περιοχής και από τους αναμεταδότες. Με αυτόν τον τρόπο γνωρίζει τους σταθμούς βάσης που βρίσκονται γύρω του και την ένταση του σήματος που λαμβάνει από τον καθένα τους. Όταν υπάρξει ανάγκη για διαπομπή στην τοπική περιοχή στέλνει την αίτηση στον BSWa που επικοινωνεί με τους άλλους σταθμούς βάσης και επιλέγει τον κατάλληλο για την διαπομπή.

Αυτή η διαδικασία διαφέρει από αυτή που περιγράφεται στο επόμενο σχήμα, μιας και σε αυτό υποθέτουμε ότι το κινητό όντας συνδεδεμένο με τον BSla επικοινωνεί απευθείας με τον BSWa και στέλνει σε αυτόν την αίτηση για τη διαπομπή, χωρίς ανάμειξη (στην αίτηση) από τον BSla. Αυτό μπορεί να συμβεί μιας και σχεδιαστικά στην περιοχή που κινείται το κινητό τερματικό υπάρχουν πολλοί BSla και ένας BSWa, μιας και θα μπορούσαμε να πούμε ότι η κυψέλη ευρείας περιοχής είναι υπερκείμενη κυψέλη στις κυψέλες τοπικής περιοχής. Επομένως, το πιο σύνηθες φαινόμενο είναι να υπάρχει κοντά στο κινητό τερματικό μόνο ένας BSWa, οπότε δε χρειάζεται να γίνει ολόκληρη διαδικασία επικοινωνίας του τρέχοντος BSla με τους γειτονικούς BSWa για την εύρεση του πιο κατάλληλου. Ως συνέπεια, το κινητό γνωρίζει τον BSWa στον οποίο θα πρέπει να πραγματοποιήσει

διαπομπή, άρα επικοινωνεί απευθείας μαζί του για τη διαδικασία. Ο τρέχων BSla μπορεί απλά να επιβληθεί το κινητό τερματικό στέλνοντας περιοδικά ή κατά απαίτηση μετρήσεις (π.χ. φορτίου) για τον BSwa, ώστε να μην αποσταλεί η αίτηση της διαπομπής εάν ο BSwa είναι υπερφορτωμένος και δεν υπάρχει επιτακτική ανάγκη για διαπομπή (δηλαδή αν δεν είναι έκτακτη κλήση - emergency call).



Σχήμα 6-11. αλγόριθμος διαμορφικής διαπομπής από BSla σε BSwa [20]

6.5 Κεντροποιημένη διαπομπή

Στο δίκτυο του WINNER, όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.4, έχουν αναπτυχθεί τρεις διαφορετικές περιπτώσεις αρχιτεκτονικής διαχείρισης ραδιοπόρων και στις επόμενες τρεις παραγράφους θα αναλύσουμε τη διαδικασία της διαπομπής για καθεμιά από αυτές.

Όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.4, στην κεντροποιημένη αρχιτεκτονική του δικτύου υπάρχει μια κεντρική οντότητα που λαμβάνει τις αποφάσεις που είναι σχετικές με τη διαχείριση ασύρματων ραδιοπόρων. Στην κεντροποιημένη εκδοχή της, η διαδικασία διαπομπής (centralized HO)

είναι διαχειριζόμενη από αυτήν την κεντρική οντότητα, που στο δίκτυο του WINNER δεν είναι άλλη από τον εξυπηρετητή RRM (RRM Server). Ο RRM Server επικοινωνεί περιοδικά με τους σταθμούς βάσης που διαχειρίζεται και λαμβάνει τα RTTMs ώστε κάθε δεδομένη στιγμή να έχει γνώση της κατάστασης του δικτύου ως σύνολο, αλλά και κάθε δεδομένου σταθμού βάσης ξεχωριστά. Επομένως, κάθε χρονική στιγμή ο RRM Server θα γνωρίζει το φορτίο των σταθμών βάσης και θα μπορεί να προβλέπει αν κάποιος BS βρίσκεται ήδη ή είναι κοντά σε συμφόρηση.

Αυτή η επικοινωνία μεταξύ του RRM Server και των σταθμών βάσης μπορεί να είναι είτε περιοδική είτε κατά απαίτηση. Αυτό σημαίνει ότι τα RTTMs μπορεί να στέλνονται ανά καθορισμένες χρονικές στιγμές στον RRM Server από τους BS, αλλά εάν υπάρξει συγκεκριμένη ανάγκη (π.χ. για επιτακτική διαπομπή) ο RRM Server μπορεί να στείλει σε συγκεκριμένο BS (ή σε πολλούς) μήνυμα και να ζητάει να του αποστείλουν νέες μετρήσεις με νέα RTTMs. Η δεύτερη εκδοχή (RTTMs κατά απαίτηση) είναι πιο χρήσιμη για την αποφυγή αυξημένης σηματοδοσίας στο δίκτυο, αλλά η πρώτη (περιοδικά RTTMs) είναι πιο χρήσιμη για την καλύτερη γνώση της κατάστασης του δικτύου κάθε χρονική στιγμή [24][25][26].

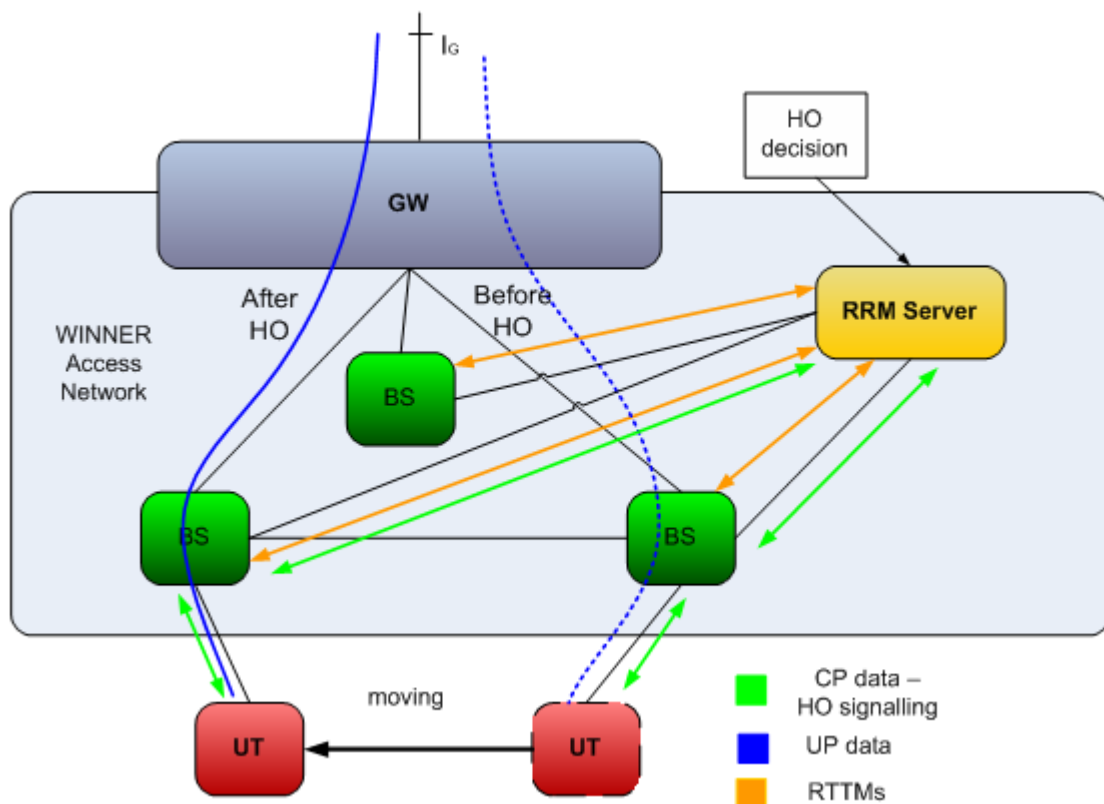
Όταν η επικοινωνία του RRM Server με τους σταθμούς βάσης είναι περιοδική, τότε οι αποφάσεις που λαμβάνει είναι πολύ γρήγορες, μιας και δεν υπάρχει καθυστέρηση με την απαίτηση RTTMs από τους σταθμούς βάσης. Από την άλλη μεριά όμως, αν για τις αποφάσεις χρησιμοποιούνται τα περιοδικά RTTMs και αναλόγως την περιοδικότητά τους, οι αποφάσεις μπορεί να μην είναι βέλτιστες, κυρίως αν η περίοδος λήψης των RTTMs είναι αρκετά μεγάλη και υπάρχει γρήγορη μεταβολή του φορτίου του δικτύου. Αν η περίοδος λήψης των RTTMs είναι αρκετά μικρή, όμως, μπορεί να αυξηθεί σημαντικά η σηματοδοσία του δικτύου [27][28].

Η διαδικασία κεντροποιημένης διαπομπής ακολουθεί τα επόμενα βασικά βήματα:

- Πρόκληση αιτίας διαπομπής και αναγνώρισή της είτε από το σταθμό βάσης είτε από το κινητό τερματικό είτε από το HIS.
- Εκκίνηση της διαδικασίας διαπομπής
- Το κινητό λαμβάνει μετρήσεις σήματος από τους γειτονικούς σταθμούς βάσης και τις αποστέλλει στον RRM Server
- Ο RRM Server λαμβάνει τα RTTMs από τους σταθμούς βάσης (ή ελέγχει τα περιοδικώς ληφθέντα RTTMs) και ταξινομεί τους υποψήφιους σταθμούς σε μια λίστα ανάλογα με την καταλληλότητά τους να εξυπηρετήσουν το χρήστη
- Ο RRM Server λαμβάνει την απόφαση για το που θα πραγματοποιήσει την διαπομπή ο χρήστης
- Ο RRM Server επικοινωνεί κατά σειρά με τους υποψήφιους σταθμούς μέχρι να βρεθεί αυτός που με τον έλεγχο αποδοχής που εκτελεί να μπορεί να εξυπηρετήσει το χρήστη

- Ο RRM Server επικοινωνεί με το τερματικό ειδοποιώντας το για την ολοκλήρωση της διαπομπής
- Ο RRM Server επικοινωνεί με τον παλιό σταθμό βάσης για την απελευθέρωση των πόρων του τερματικού

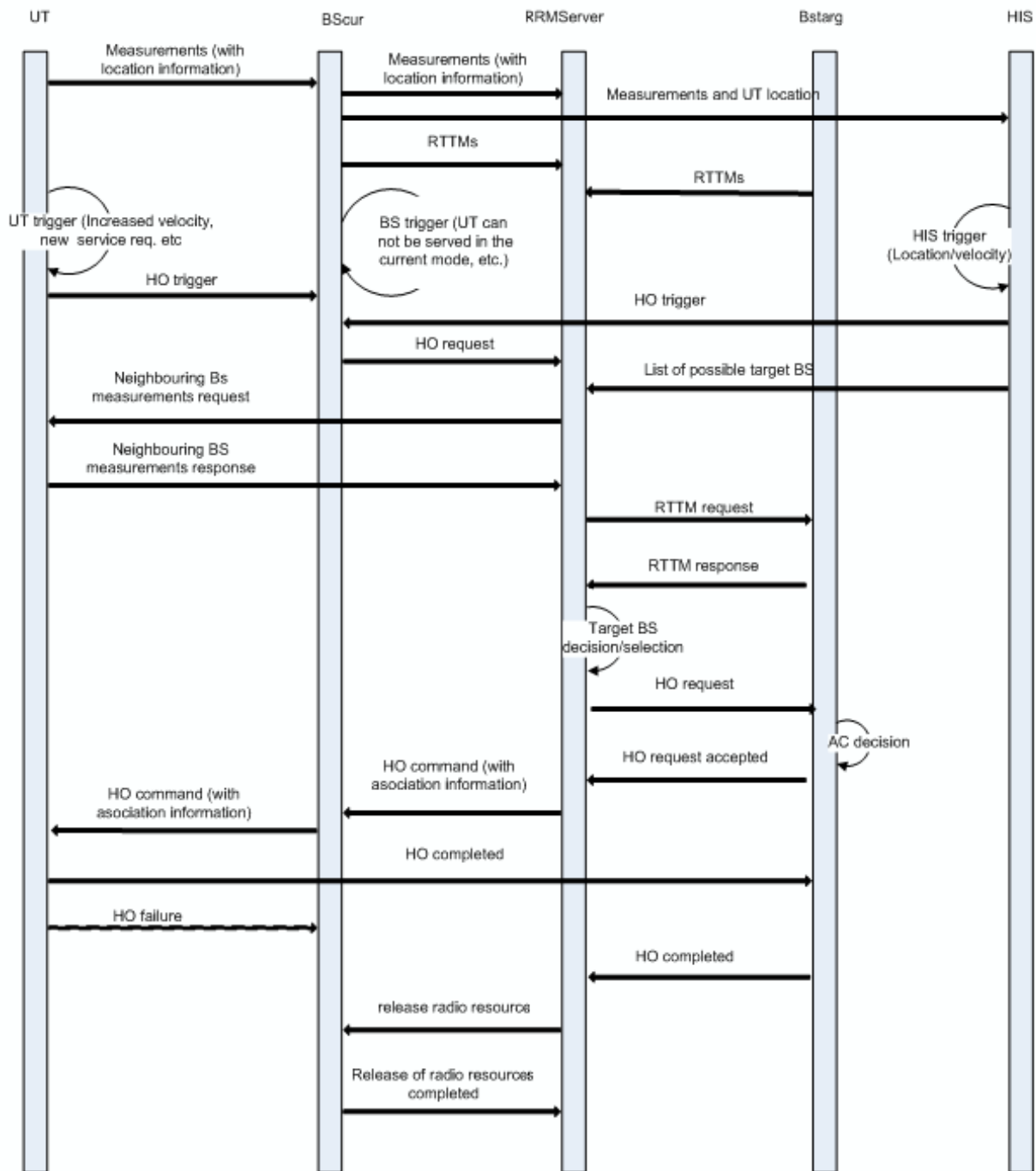
Η διαδικασία κεντροποιημένης διαπομπής παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα. Το κινητό τερματικό ας υποθέσουμε ότι κινείται μέσα στο δίκτυο του WINNER και για κάποιο λόγο απαιτείται να πραγματοποιήσει διαπομπή. Στο σχήμα αυτό παρουσιάζεται η μετακίνηση μηνυμάτων που θα γίνει ώστε να ολοκληρωθεί η διαπομπή. Στο σχήμα παρουσιάζονται με πράσινο χρώμα η ανταλλαγή δεδομένων επιπέδου ελέγχου (control plane – CP) και τα μηνύματα σηματοδότησης της διαπομπής. Με μπλε χρώμα γραμμής παρουσιάζεται η μετακίνηση δεδομένων επιπέδου χρήστη, δηλαδή τα δεδομένα της υπηρεσίας που λαμβάνει ο χρήστης. Με λεπτή διακεκομμένη μπλε γραμμή παρουσιάζεται η πορεία των δεδομένων πριν την διαπομπή και με συνεχή μπλε γραμμή η πορεία των δεδομένων μετά την διαπομπή. Όπως σημειώνεται και στο σχήμα, η απόφαση για την διαπομπή λαμβάνεται στον RRM Server.



Σχήμα 6-12. διαδικασία κεντροποιημένης διαπομπής [20]

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η σηματοδότηση της διαδικασίας της κεντροποιημένης διαπομπής. Σε αυτό το σχήμα φαίνονται όλα τα μηνύματα που ανταλλάσσονται από την αρχή της

διαδικασίας μέχρι και την ολοκλήρωσή της. Βλέπουμε πως αρχικά έχουμε τις μετρήσεις από το κινητό τερματικό προς το σταθμό βάσης, τον HIS και τον RRM Server, καθώς και τα RTTMs από τους σταθμούς βάσης στον RRM Server. Μόλις διαπιστωθεί ανάγκη για διαπομπή ο RRM Server μπορεί να ζητήσει πάλι κατά απαίτηση RTTMs από τους σταθμούς βάσης αλλιώς χρησιμοποιεί τα ήδη υπάρχοντα RTTMs και με βάση αυτά ταξινομεί τους σταθμούς με βάση την καταλληλότητά τους να εξυπηρετήσουν το χρήστη. Έπειτα, αποστέλλει με τη σειρά την αίτηση για διαπομπή στους υποψήφιους, στέλνει την αποδοχή της διαπομπής στο κινητό τερματικό που συνδέεται πλέον με το νέο σταθμό και ο παλιός απελευθερώνει τους πόρους του τερματικού.



Σχήμα 6-13. σηματοδότηση διαδικασίας κεντροποιημένης διαπομπής [10][11]

Η κεντροποιημένη διαπομπή παίρνει συνήθως πολύ καλές αποφάσεις επειδή ο RRM Server έχει κάθε στιγμή γνώση της κατάστασης του δικτύου. Επειδή όμως πρέπει όλη η σηματοδοσία να περνάει μέσα από τον RRM Server, η κεντροποιημένη διαπομπή είναι συνήθως λίγο πιο αργή από την κατανεμημένη. Επιπλέον, μπορεί να δημιουργηθεί πρόβλημα στο δίκτυο εφόσον για κάποιο λόγο τεθεί εκτός λειτουργίας ο RRM Server, τότε δε θα μπορούν να ληφθούν αποφάσεις.

6.6 Κατανεμημένη διαπομπή

Στην κατανεμημένη εκδοχή η διαδικασία της διαπομπής (distributed HO) είναι διαχειριζόμενη από τον εκάστοτε σταθμό βάσης, με τον οποίο είναι ήδη συνδεδεμένο το κινητό τερματικό. Όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 3.4 στην κατανεμημένη αρχιτεκτονική του WINNER δεν υπάρχει καμιά κεντρική οντότητα η οποία να έχει την ευθύνη να λαμβάνει αποφάσεις για τις διαδικασίες διαχείρισης ραδιοπόρων ή να βοηθά στη λήψη των αποφάσεων [24][25].

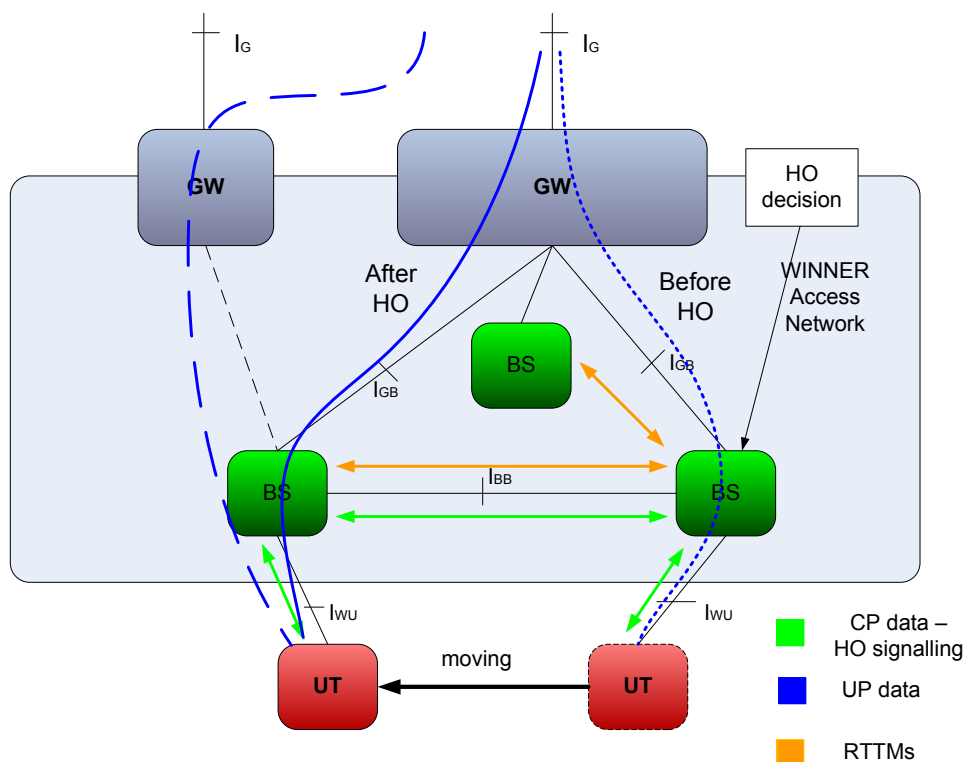
Μιας και δεν υπάρχει η κεντρική οντότητα, όλες οι πληροφορίες και η σηματοδοσία περνάει μέσα από τον τρέχοντα σταθμό βάσης. Η επικοινωνία του τρέχοντα σταθμού βάσης με τους υπόλοιπους σταθμούς πραγματοποιείται (όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-1) μέσω της διεπαφής Ibb. Οι πληροφορίες που ανταλλάσσονται μεταξύ του τρέχοντος σταθμού βάσης και των διπλανών σταθμών είναι σχετική με μετρήσεις κίνησης πραγματικού χρόνου (real time traffic measurements – RTTMs). Τα RTTMs αφορούν κυρίως πληροφορίες για το φορτίο των σταθμών βάσης, ώστε ο τρέχων σταθμός να γνωρίζει την κατάσταση των γειτονικών του για να μπορεί να λάβει σωστές αποφάσεις για το που ο κάθε χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει διαπομπή χωρίς να δημιουργήσει πρόβλημα υπερφόρτωσης στο δίκτυο [10][11].

Η διαδικασία κατανεμημένης διαπομπής ακολουθεί τα επόμενα βασικά βήματα [27][28]:

- Πρόκληση αιτίας διαπομπής και αναγνώρισή της είτε από το σταθμό βάσης είτε από το κινητό τερματικό είτε από το HIS.
- Εκκίνηση της διαδικασίας διαπομπής
- Το κινητό λαμβάνει μετρήσεις σήματος από τους γειτονικούς σταθμούς βάσης και τις αποστέλλει στον τρέχοντα σταθμό βάσης
- Ο τρέχων σταθμός βάσης επικοινωνεί με τους γειτονικούς σταθμούς και λαμβάνει τα RTTMs
- Ο τρέχων σταθμός βάσης ταξινομεί τους γειτονικούς σταθμούς σε μια λίστα ανάλογα με την καταλληλότητά τους να εξυπηρετήσουν το χρήστη και λαμβάνει την απόφαση για το που θα πραγματοποιήσει την διαπομπή ο χρήστης

- Ο τρέχων σταθμός βάσης επικοινωνεί με τον υποψήφιο σταθμό για την ολοκλήρωση της διαπομπής
- Ο τρέχων σταθμός βάσης ενημερώνει το κινητό για την ολοκλήρωση της διαπομπής και απελευθερώνει τους πόρους που είχε δεσμεύσει το κινητό τερματικό.

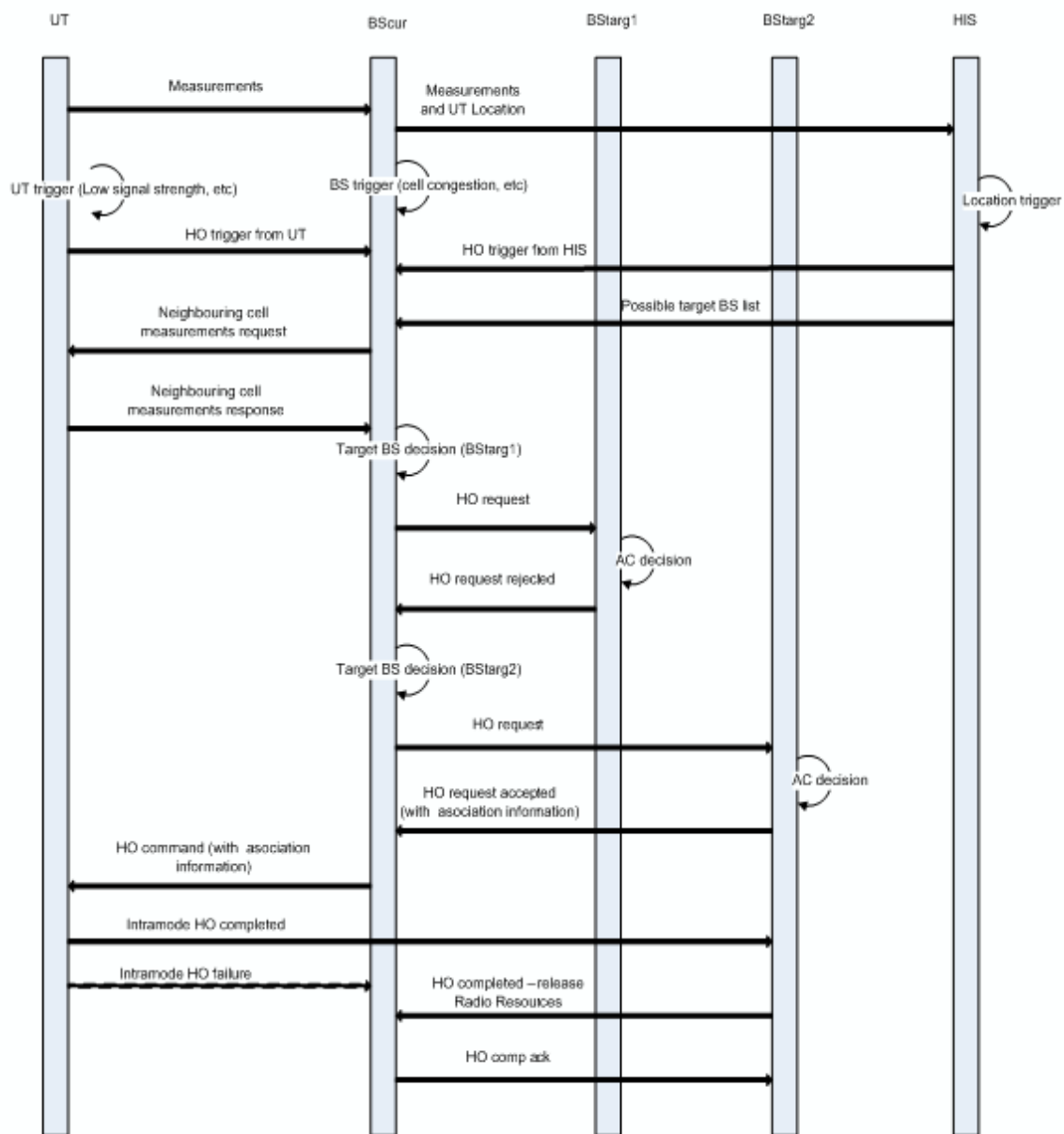
Η διαδικασία καταναμημένης διαπομπής παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα. Ο τρέχων και ο υποψήφιος για διαπομπή σταθμός βάσης μπορούν να ανήκουν στην ίδια πύλη εξόδου (GW) ή σε διαφορετική πύλη μέσα στην ίδια πύλη μέσα GWs. Το κινητό τερματικό ας υποθέσουμε ότι κινείται μέσα στο δίκτυο του WINNER και για κάποιο λόγο απαιτείται να πραγματοποιήσει διαπομπή. Στο σχήμα αυτό παρουσιάζεται η μετακίνηση μηνυμάτων που θα γίνει ώστε να ολοκληρωθεί η διαπομπή. Με λεπτή διακεκομμένη μπλε γραμμή παρουσιάζεται η πορεία των δεδομένων πριν την διαπομπή, με συνεχή μπλε γραμμή η πορεία των δεδομένων μετά την διαπομπή και ενώ ο νέος σταθμός βάσης ανήκει στην ίδια GW, ενώ με χοντρή διακεκομμένη γραμμή δίνεται η πιθανή πορεία των δεδομένων μετά τη διαπομπή εάν ο νέος σταθμός βάσης ανήκει σε διαφορετική GW από τον τρέχοντα σταθμό. Όπως σημειώνεται και στο σχήμα, η απόφαση για την διαπομπή λαμβάνεται στον τρέχοντα σταθμό βάσης.



Σχήμα 6-14. διαδικασία καταναμημένης διαπομπής [10][11]

Η σηματοδότηση της καταναμημένης διαπομπής παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα. Σε αυτό παρουσιάζονται όλα τα μηνύματα που ανταλλάσσονται από πριν ξεκινήσει η διαδικασία μέχρι την ολοκλήρωσή της. Αρχικά το κινητό λαμβάνει περιοδικά μετρήσεις και τις στέλνει στον τρέχοντα

σταθμό βάσης, ο οποίος τις προωθεί στον HIS. Όταν αναγνωριστεί κάποια αιτία πρόκλησης διακοπής είτε από το κινητό τερματικό είτε από τον σταθμό βάσης είτε από τον HIS τότε το κινητό τερματικό πραγματοποιεί μετρήσεις για τους γειτονικούς σταθμούς βάσης και τις στέλνει στον τρέχοντα BS. Ο τρέχων BS στη συνέχεια ταξινομεί τους υποψήφιους BS με βάση την καταλληλότητά τους για τον συγκεκριμένο χρήστη και επικοινωνεί με αυτούς με τη σειρά μέχρι να βρεθεί αυτός που (με βάση τον έλεγχο αποδοχής που εκτελούν) να μπορεί να εξυπηρετήσει τον χρήστη. Τότε ο τρέχων BS ενημερώνει το κινητό για τον σταθμό βάσης με τον οποίον θα συνδεθεί, ώστε να ολοκληρωθεί η διακοπή και απελευθερώνει τους πόρους που είχε δεσμεύσει το κινητό. Το κινητό στη συνέχεια συνδέεται με το νέο BS και συνεχίζει να λαμβάνει από αυτόν την υπηρεσία του.



Σχήμα 6-15. σηματοδότηση διαδικασίας κατακεντρωμένης διακοπής [10][11]

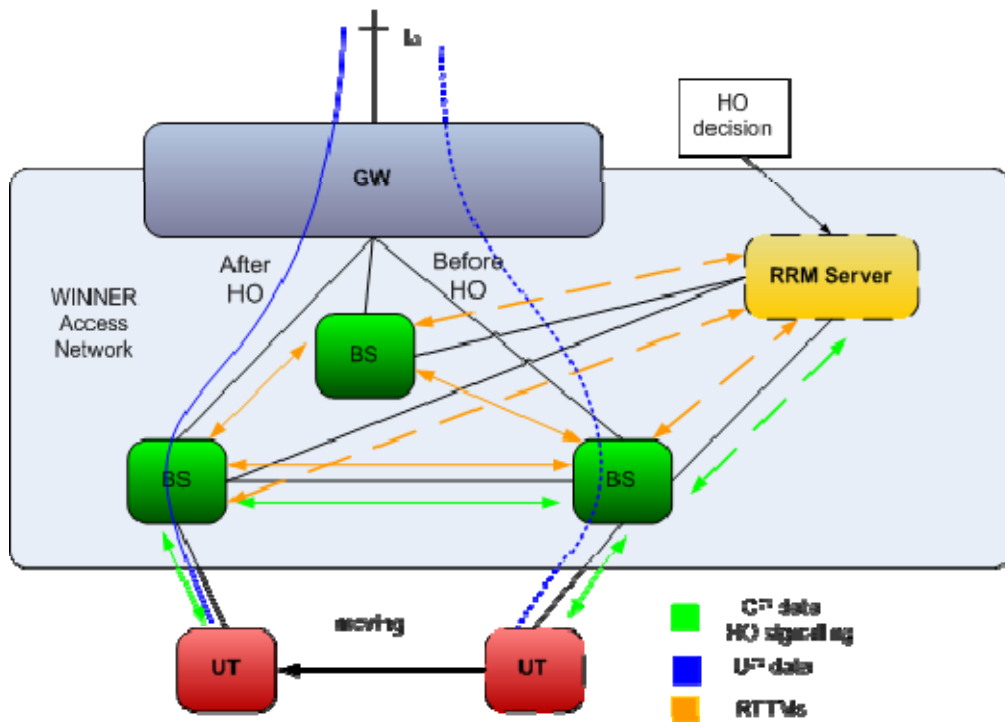
Η διαδικασία της κατανεμημένης διαπομπής είναι πιο γρήγορη συνήθως από αυτή της κεντροποιημένης όταν υπάρχει χαμηλό ή μέτριο φορτίο στο δίκτυο. Όταν όμως το φορτίο στο δίκτυο αυξάνεται, τότε μπορεί να χρειαστούν πολλές αιτήσεις διαπομπής από τον τρέχοντα BS προς τους γειτονικούς ώστε να ευρεθεί ο κατάλληλος για να πραγματοποιήσει διαπομπή ο χρήστης. Επομένως, η κατανεμημένη διαπομπή δεν ενδείκνυται σε περιπτώσεις υψηλού φορτίου.

6.7 Υβριδική διαπομπή

Όπως είδαμε στις δυο προηγούμενες παραγράφους, η κεντροποιημένη διαπομπή είναι κυρίως κατάλληλη για τις περιπτώσεις υψηλού φορτίου, ενώ η κατανεμημένη για τις περιπτώσεις χαμηλού ή μέτριου φορτίου. Για να εκμεταλλευτούμε τα πλεονεκτήματα και από τις δυο προηγούμενες εκδοχές φτιάξαμε ένα υβριδικό μοντέλο διαπομπής που το ονομάσαμε **Υβριδική Διαπομπή** (hybrid HO). Στην υβριδική εκδοχή της διαπομπής ο RRM Server υπάρχει στην αρχιτεκτονική, αλλά ως μια προαιρετική οντότητα. Ως τέτοια οντότητα ο RRM Server έχει κυρίως συμβουλευτικό ρόλο προς τους σταθμούς βάσης για να τους βοηθάει στη λήψη καλύτερων αποφάσεων [27][28].

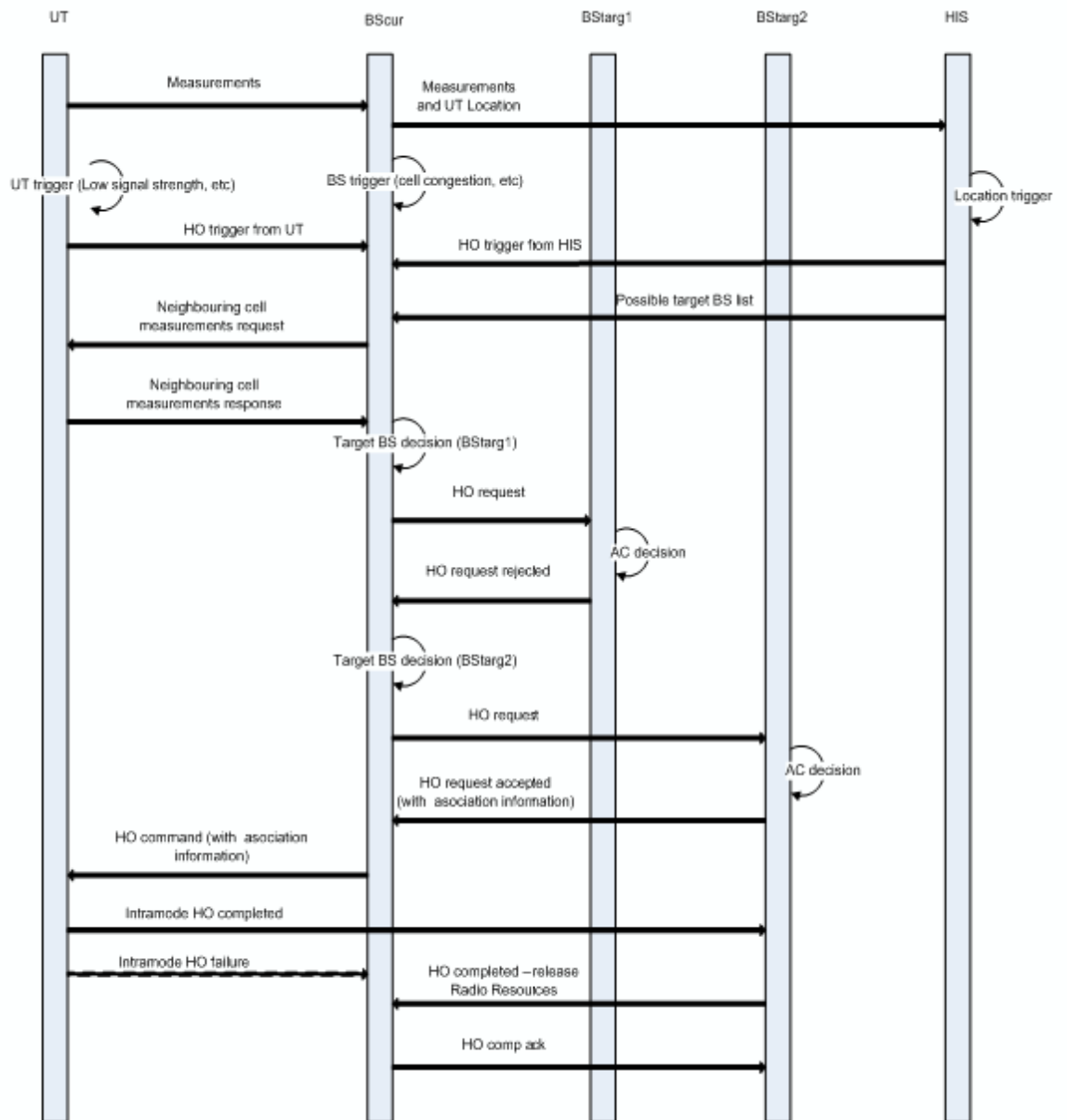
Ο RRM Server μπορεί να επικοινωνεί (όπως και στην κεντροποιημένη διαπομπή) με τους σταθμούς βάσης περιοδικά και να λαμβάνει RTTMs, ώστε να χρησιμοποιεί τα δεδομένα για να προτείνει στους σταθμούς βάσης διαπομπές για λόγους, κυρίως, εξισορρόπησης φορτίου. Από την άλλη όμως, όταν το φορτίο του δικτύου είναι αρκετά χαμηλό, δε χρειάζεται αυτή η λειτουργία, οπότε αποφεύγονται τα RTTMs για να μην αυξάνεται η σηματοδότηση. Όταν το φορτίο όμως αυξάνεται πάνω από ένα όριο τότε ο RRM Server αρχίζει και λειτουργεί ώστε να εξισορροπείται το φορτίο, αλλά και να λαμβάνει μέρος στη λήψη αποφάσεων για διαπομπές. Τότε υπάρχουν δυο περιπτώσεις είτε να παίρνει τις αποφάσεις ο RRM Server είτε απλά να στέλνει συμβουλευτικά μηνύματα στους σταθμούς βάσης που του ζητούν τη συμβουλή του. Η πρώτη περίπτωση είναι παρόμοια με την κεντροποιημένη διαπομπή. Η δεύτερη μπορεί αν πραγματοποιηθεί με την αποστολή μηνυμάτων από τον τρέχον σταθμό βάσης προς τον RRM Server, ο οποίος να απαντάει με το συμβουλευτικό μήνυμα για τον υποψήφιο σταθμό, με τον οποίο όμως επικοινωνεί απευθείας ο σταθμός βάσης και όχι ο RRM Server [24][25][26][27][28].

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η διαδικασία της υβριδικής διαπομπής. Οι γραμμές και τα χρώματα είναι παρόμοια με τα προηγούμενα αντίστοιχα σχήματα. Απλά εδώ ο RRM Server είναι με διακεκομμένη γραμμή, που δείχνει ότι είναι προαιρετική οντότητα και οι γραμμές σηματοδότησης και RTTMs που τον συνδέουν με τις άλλες οντότητες είναι ομοίως διακεκομμένες γιατί είναι προαιρετικές μόνο σε περίπτωση υψηλού φορτίου.



Σχήμα 6-16. διαδικασία υβριδικής διαπομπής [10][11]

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η σηματοδότηση της υβριδικής διαπομπής. Παρόμοια με το προηγούμενο σχήμα, με διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζονται τα μηνύματα που ανταλλάσσονται με τον RRM Server και είναι προαιρετικά, δηλαδή συμβαίνουν μόνο σε περιπτώσεις υψηλού φορτίου. Η διαδικασία έχει αναλυθεί πιο πάνω, οπότε δεν επαναλαμβάνεται εδώ.



Σχήμα 6-17. σηματοδότηση διαδικασίας υβριδικής διατομής [10][11]

6.8 Μείγμα ασύρματης και IP διατομής

Στο δίκτυο του WINNER μπορεί να υπάρξει και ασύρματη διατομή και διατομή βασισμένη στο IP πρωτόκολλο. Στην παράγραφο 3.1.3 αναφέρθηκε η ιδέα της ύπαρξης πύλων GWs στο WINNER με σκοπό την αποφυγή πολλών διατομών IP. Οι ασύρματες διατομές είναι ως γνωστόν πιο αποδοτικές και πιο γρήγορες από τις IP διατομές, μιας και εισάγουν μικρότερη καθυστέρηση, λιγότερο επίβαρο σηματοδότησης και απαιτούν λιγότερες αλλαγές στη στοίβα πρωτοκόλλων από ότι οι διατομές IP. Για αυτούς τους λόγους έγινε στο WINNER η προσπάθεια να αποφευχθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι IP διατομές.

Ασύρματη διαπομπή συμβαίνει όταν το κινητό τερματικό αλλάζει το συνδεδεμένο ασύρματο σημείο πρόσβασης είτε αυτό είναι σταθμός βάσης είτε αναμεταδότης, διατηρώντας όμως την ίδια διεύθυνση IP πριν και μετά την διαπομπή. Αυτό συμβαίνει επειδή θα παραμένει στην ίδια περιοχή IP (IP domain). Αυτή η διαπομπή πραγματοποιείται με μια διαδικασία μεταγωγής είτε στο σταθμό βάσης είτε στην πύλη εξόδου. Μιας και η διεύθυνση IP του τερματικού παραμένει η ίδια πριν και μετά την διαπομπή, ο εξυπηρετητής υπηρεσιών από όπου λαμβάνει την υπηρεσία του ο χρήστης δεν βλέπει καμιά αλλαγή, οπότε δεν υπάρχει καμιά διακοπή στην υπηρεσία. Η μόνο αλλαγή που πραγματοποιείται είναι στην δρομολόγηση των πακέτων προς τον σταθμό βάσης ή τον αναμεταδότη προορισμού, η οποία δρομολόγηση γίνεται είτε στον σταθμό βάσης (όσον αφορά στην αλλαγή αναμεταδότη) είτε στην πύλη εξόδου (όσον αφορά στην αλλαγή σταθμού βάσης). Η ασύρματη διαπομπή είναι πολύ συνηθισμένη στα κληροδοτούμενα δίκτυα, όπως π.χ. στο GSM, στο UMTS ακόμα και στο WLAN όταν τα Access Points ανήκουν στο ίδιο domain [24][25][26].

Στο δίκτυο του WINNER η ασύρματη διαπομπή είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος διαπομπής και μπορεί να προκύψει στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Στην **ενδομορφική** και **διαμορφική** διαπομπή όταν οι εμπλεκόμενοι σταθμοί βάσης ανήκουν στην ίδια πιάνα GWs
- Στο **μείγμα διαπομπής** (περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο) όπου πραγματοποιείται ταυτόχρονα ασύρματη και IP διαπομπή. Εκεί η ασύρματη διαπομπή πραγματοποιείται ως ένα μέρος της συνολικής διαδικασίας
- Στην **διασυστημική** διαπομπή μεταξύ του WINNER και των άλλων δικτύων όταν υπάρχει στενή ή πολύ στενή σύζευξη μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων. Με άλλα λόγια, αν τα διαφορετικά συστήματα είναι εγκατεστημένα στα ίδια υποδίκτυα πίσω από τις ίδιες πύλες εξόδου, τότε οι διαπομπές μεταξύ τους μπορεί να είναι ασύρματες διαπομπές.

Παράδειγμα ασύρματης διαπομπής φαίνεται στα προηγούμενα σχήματα Σχήμα 6-12, Σχήμα 6-14 και Σχήμα 6-16.

Η διαπομπή IP πραγματοποιείται όταν το κινητό τερματικό αλλάζει την διεύθυνση IP του κατά τη διαδικασία. Αυτό συμβαίνει συνήθως όταν το τερματικό αλλάζει την πύλη εξόδου με την οποία είναι συνδεδεμένο, επομένως αλλάζει (συνήθως) και IP υποδίκτυο. Το πρόβλημα στην διαπομπή IP είναι ότι μιας και το κινητό τερματικό αλλάζει υποδίκτυο θα πρέπει να αλλάξει και διεύθυνση IP. Τότε όμως ο εξυπηρετητής υπηρεσιών που παρέχει στον χρήστη την υπηρεσία δεν είναι δυνατόν να γνωρίζει ότι ο χρήστης είναι ο ίδιος (μιας και για τις υπηρεσίες χρησιμοποιείται η διεύθυνση IP) με αποτέλεσμα να δημιουργείται πρόβλημα στην συνέχιση της υπηρεσίας. Για την λύση αυτού του προβλήματος έχουν προταθεί διάφορα είδη διαπομπής IP στη βιβλιογραφία, αλλά η πιο συνηθισμένη είναι η διαπομπή Mobile IP με τις εκδόσεις της για πρωτόκολλο IPv4 και IPv6.

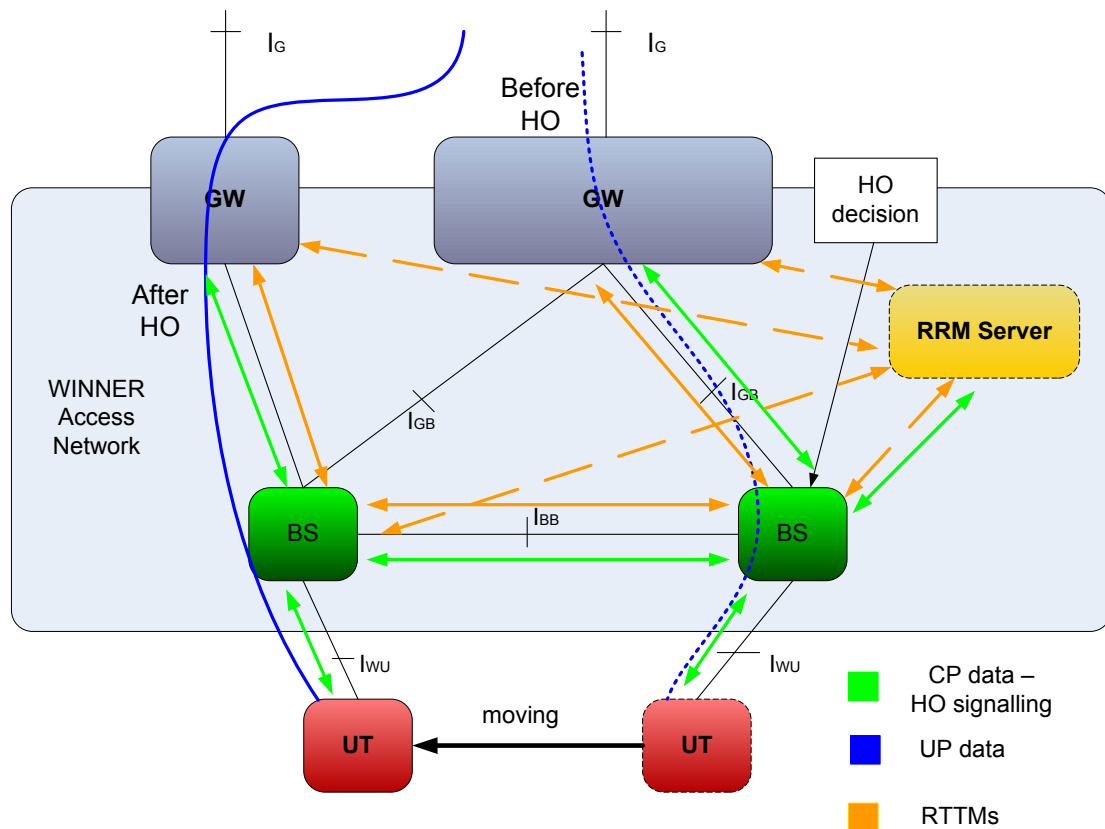
Το Mobile IP μπορεί να θεωρηθεί ως ένα υπο-επίπεδο που παρέχει επιπλέον υπηρεσίες μεταξύ των επιπέδων δικτύου και μεταφοράς. Εισάγει την διευθυνσιοδότηση δυο βαθμίδων ως λύση στο πρόβλημα των δυο IP διευθύνσεων. Η διευθυνσιοδότηση δυο βαθμίδων συσχετίζει το κινητό τερματικό με δυο διαφορετικές IP διευθύνσεις, μια μόνιμη οικεία διεύθυνση (home address) και μια προσωρινή careof διεύθυνση. Υπάρχει επίσης ένας μηχανισμός μετάφρασης διευθύνσεων, ο οποίος εξασφαλίζει ότι οι συνδέσεις για το κινητό τερματικό δεν διακόπτονται λόγω της διαπομπής και παρέχει διαφάνεια στην διεύθυνση IP στα ανώτερα επίπεδα. Αυτή η διαδικασία παρέχει λύση στο πρόβλημα της κινητικότητας σε IP δίκτυα χωρίς την αλλαγή της IP διεύθυνσης του τερματικού [29][30][31].

Σε ένα μελλοντικό δίκτυο σας το WINNER παρά την ιδέα της ύπαρξης της πισίνας των GWs που μειώνει την πιθανότητα πρόκλησης IP διαπομπής, αυτή μπορεί να υπάρξει στις παρακάτω περιπτώσεις [25][27][28]:

- Στην εξισορρόπηση φορτίου μεταξύ πυλών εξόδου που μπορεί να ανήκουν στην ίδια ή σε διαφορετική πισίνα. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης αλλάζει GW επομένως θα πρέπει να αλλάξει και διεύθυνση IP, δηλαδή να πραγματοποιήσει IP διαπομπή
- Στην διασυστημική διαπομπή μεταξύ του WINNER και των άλλων δικτύων, όταν δεν υπάρχει σύζευξη ή όταν υπάρχει ανοιχτή σύζευξη μεταξύ των δικτύων. Τότε τα δίκτυα είναι εγκατεστημένα σε διαφορετικά υποδίκτυα IP, οπότε η αλλαγή δικτύου συνεπάγεται και ταυτόχρονη αλλαγή IP διεύθυνσης.

Η διασυστημική διαπομπή παρουσιάστηκε στο Σχήμα 6-4 και η εξισορρόπηση φορτίου στο Σχήμα 4-14.

Ως μια νέα ιδέα έχει αναπτυχθεί η ιδέα του μείγματος ασύρματης και IP διαπομπής, η οποία λαμβάνει χώρα στην περίπτωση της διαπομπής μεταξύ δυο σταθμών βάσεως που ανήκουν σε διαφορετικές πισίνες GWs και στην περίπτωση εξισορρόπησης φορτίου μεταξύ GWs. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το μείγμα διαπομπής.



Σχήμα 6-18. διαδικασία μείγματος διαπομπής [10][11]

Κατά τη διαδικασία του μείγματος διαπομπής το κινητό τερματικό πραγματοποιεί ταυτόχρονα ασύρματη και IP διαπομπή. Η IP διαπομπή πραγματοποιείται όταν το τερματικό αλλάζει GW και η νέα GW ανήκει σε ίδια ή διαφορετική πύλη GWs και η ασύρματη διαπομπή πραγματοποιείται όταν ο χρήστης αλλάζει σταθμό βάσης ενώ είναι συνδεδεμένος με την ίδια GW.

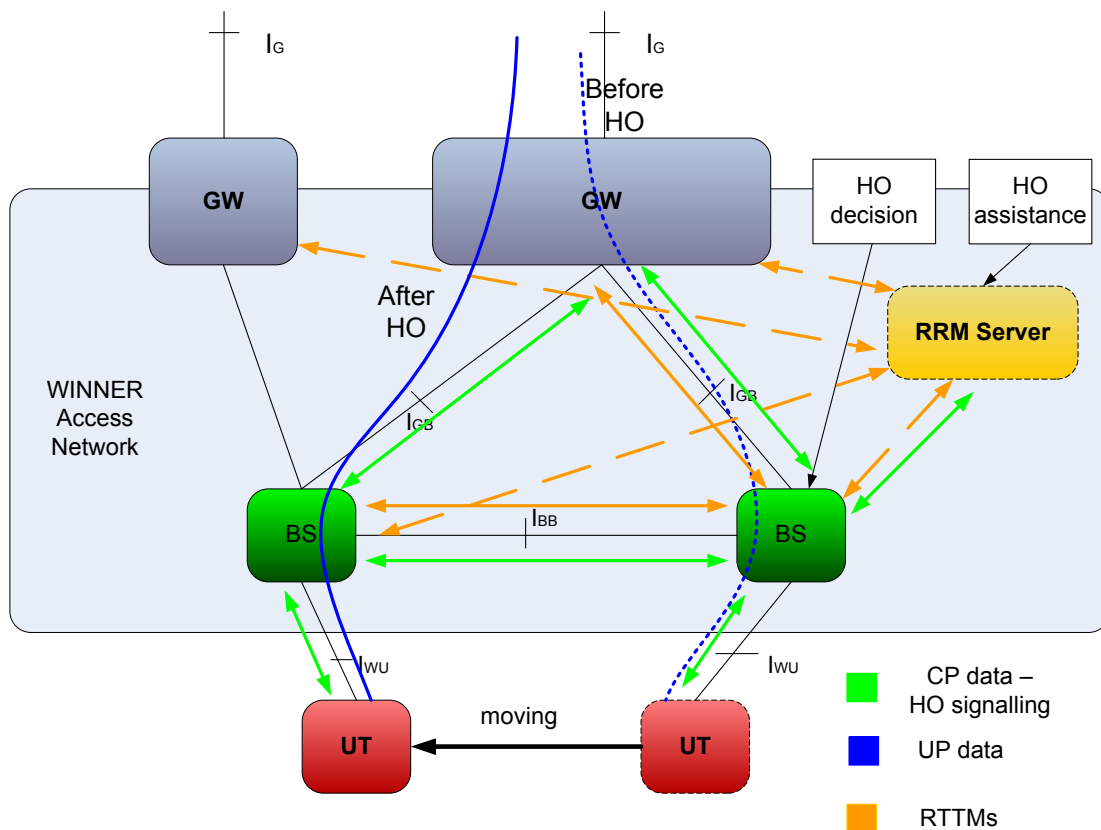
Το μείγμα διαπομπής μπορεί να υποστηριχθεί εξίσου από μια κεντροποιημένη ή από μια κατακεντρωμένη αρχιτεκτονική. Στην κεντροποιημένη αρχιτεκτονική όπου όλες τις RRM αποφάσεις τις λαμβάνει ο RRM Server, το μείγμα διαπομπής θα έδινε πολύ καλές λύσεις στην περίπτωση της εξισορρόπησης φορτίου, μιας και θα είχε γνώση του φορτίου όλων των BSs και των GWs και θα μπορούσε να κρίνει την ανάγκη εκτέλεσης ενός μείγματος διαπομπής. Στην περίπτωση της κατακεντρωμένης αρχιτεκτονικής απαιτείται προφανώς περισσότερη σηματοδότηση για τη μετάδοση των RTTMs μεταξύ των οντοτήτων του δικτύου [27][28].

Το μείγμα διαπομπής αξιοποιείται περισσότερο σε μια υβριδική αρχιτεκτονική, όπου οι περισσότερες αποφάσεις λαμβάνονται από τους σταθμούς βάσης, αλλά υπάρχει και ο RRM Server ο οποίος βοηθάει στις αποφάσεις. Σε αυτή την περίπτωση ο RRM Server μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση μιας ανάγκης για μείγμα διαπομπής, π.χ. για την αναγνώριση ανάγκης εξισορρόπησης φορτίου μεταξύ GWs. Τότε θα δώσει εντολή στους αντίστοιχους σταθμούς βάσης οι οποίοι θα επικοινωνούν μόνοι τους για την εκτέλεση της διαπομπής. Αυτή η αρχιτεκτονική βοηθάει το μείγμα

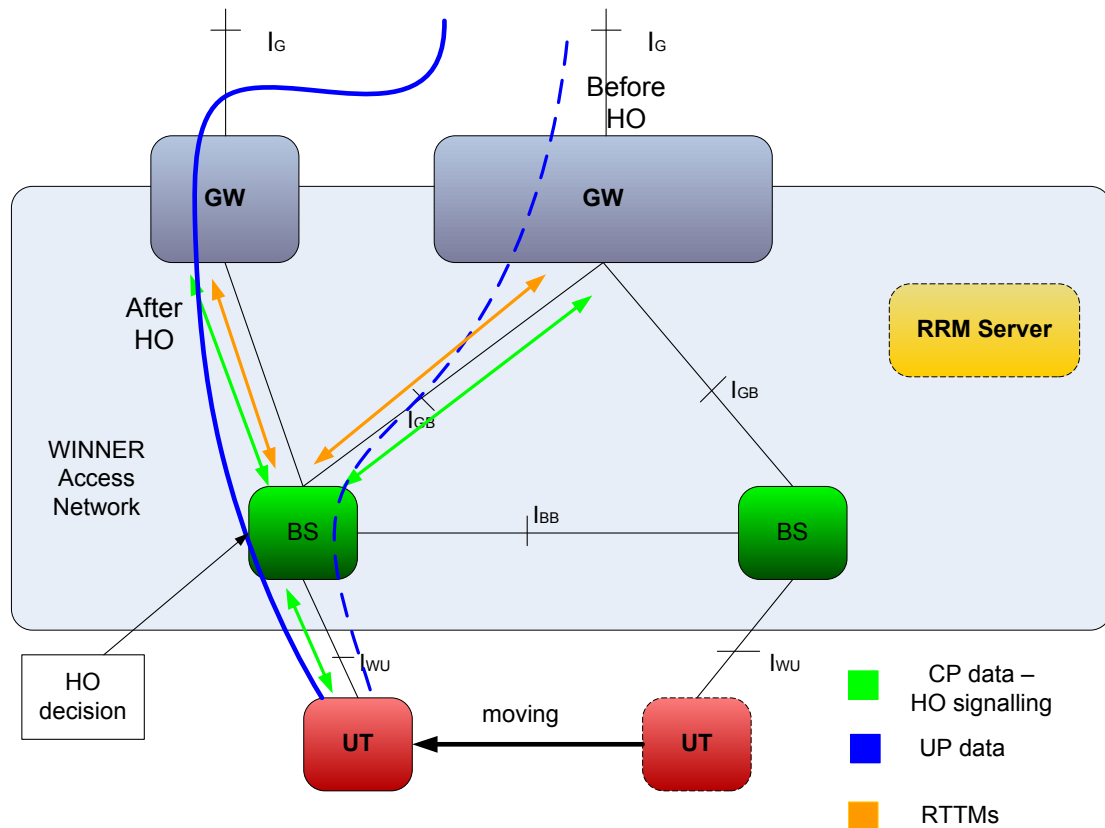
διαπομπής δίνοντάς του πλήρη ισχύ μιας και χρησιμοποιεί τον RRM Server για τις πολύ επιτυχημένες αποφάσεις και την κατανεμημένη έκδοση για την γρήγορη εκτέλεση των αλγορίθμων.

Η άμεση εκτέλεση του μείγματος διαπομπής με την ταυτόχρονη αλλαγή σταθμού βάσης και πύλης εξόδου μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη αποτυχία της διαδικασίας λόγω της διπλής καθυστέρησης διαπομπής που εισάγεται. Για την απλοποίηση της διαδικασίας μπορεί να εκτελεστεί σε δυο στάδια [10][11]:

- Στο πρώτο βήμα πραγματοποιείται η ασύρματη διαπομπή, η οποία είναι γρήγορη και δεν αποτυγχάνει τόσο εύκολα. Σε αυτή τη φάση το κινητό αλλάζει απλά σταθμό βάσης και λόγω της ιδέας της πισίνας των GWs παραμένει συνδεδεμένο με την ίδια GW. Αυτή η φάση δίδεται στο πρώτο επόμενο σχήμα.
- Στο δεύτερο βήμα πραγματοποιείται η IP διαπομπή, η οποία αργεί περισσότερο και είναι πιο επιρρεπής σε αποτυχία. Σε αυτή τη φάση το κινητό αφού έχει αλλάξει BS αλλάζει και GW και μετακινείται στην καθεαυτή GW που χειρίζεται το νέο BS. Αυτή η φάση δίνεται στο δεύτερο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 6-19. πρώτο βήμα μείγματος διαπομπής



Σχήμα 6-20. δεύτερο βήμα μείγματος διαπομπής

Όπως φαίνεται στα δυο πιο πάνω σχήματα, κάθε βήμα έχει και διαφορετική οντότητα που λαμβάνει την απόφαση για την εκτέλεση της διαπομπής. Στην πρώτη περίπτωση είναι ο τρέχων σταθμός βάσης και στην δεύτερη περίπτωση είναι ο νέος σταθμός. Αντί για αυτό, θα μπορούσε τις αποφάσεις να τις παίρνει ο RRM Server, αλλά θα υπήρχε επιπλέον σηματοδότηση την οποία επιθυμούμε να την αποφύγουμε για λόγους φόρτωσης του δικτύου, γι' αυτό και ο RRM Server παρουσιάζεται με διακεκομμένη γραμμή.

6.9 Αναφορές

- [1] Qing-An Zeng, Dharma P. Agrawal, "Handoff in wireless mobile networks", Wiley Series On Parallel And Distributed Computing, Handbook of wireless networks and mobile computing
- [2] M. Gudmundson, "Analysis of handover algorithms", Proc. IEEE VTC '91, pp. 537-542, May 1991.
- [3] G. P. Pollini, "Trends in handover design", IEEE Commun. Magazine, pp. 82-90, March 1996.
- [4] Y. Tian, K. Xu, and N. Ansari, "TCP in wireless environments: problems and solutions," IEEE Communications Magazine, vol. 43, no. 3, pp. S27-S32, 2005.
- [5] George Xylomenos, George C. Polyzos, Petri Mahonen and Mika Saaranen, "TCP Performance Issues over Wireless Links," IEEE Communications Magazine, vol. 39, no. 4, 2001, pp. 52-58
- [6] WINNER, "D4.1 Identification and definition of cooperation schemes between RANs –first draft", Internal Deliverable, IST-2003-507581 WINNER, June 2004

- [7] Qing-An Zeng and Dharma P. Agrawal, "Handoff in Wireless Mobile Networks," Handbook of Wireless Networks and Mobile Computing, published by John Wiley & Sons, Ivan Stojmenovic (Editor), 2002, ISBN 0-471-41902-8.
- [8] Ηλίας Ζ. Τράγος, "Βελτιστοποίηση ορίων BSC σε δίκτυα κινητών επικοινωνιών", Διπλωματική εργασία, Δεκέμβριος 2003.
- [9] E. Tragos, S. Kyriazakos, G. Karetsos, and K. Vlahodimitropoulos (Greece), "Segmentation of Cellular Networks based on Graph Theory for Enhanced Performance", Communication and Computer Networks CCN 2004, Cambridge, MA, USA
- [10] WINNER II, "D4.8.2: Cooperation schemes validation", Public Deliverable, IST-4-027756 WINNER II, June 2007.
- [11] WINNER II, "D4.8.3: Integration of cooperation on WINNER II System Concept", Public Deliverable, IST-4-027756 WINNER II, November 2007.
- [12] WINNER II, "D4.8.1: WINNER II intramode and Intermode cooperation schemes definition", Public Deliverable, IST-4-027756 WINNER II, June 2006.
- [13] Reshan Samarasinghe, Vasilis Friderikos, A.H. Aghvami "Analysis of Intersystem Handover: UMTS FDD & WLAN", The London Communication Symposium 8-9 September 2003
- [14] Ademola, Marcus, 2002, "Inter-system handover for WLAN and WCDMA", Diploma Thesis, Department of Mathematical Information Technology, University of Jyväskylä
- [15] Vaia Sdralia, Emilio Mino, Mylene Pischella, Albena Mihovska, Sofoklis Kyriazakos, Elias Tragos, Eiman Mohyeldin, "Achieving Inter-RAN Cooperation: An Architecture Proposal", WWRF15 Meeting, 8-9 December 2005, Paris, France.
- [16] Matthias Lott, Vaia Sdralia, Mylene Pischella, Delphine Lugara, Albena Mihovska, Seshaiiah Ponnekanti, Elias Tragos, Emilio Mino, "Cooperation of 4G Radio Networks with Legacy Systems", 14th IST Mobile and Wireless Communications Summit, 19-22 June 2005, Dresden, Germany
- [17] Matthias Lott, Vaia Sdralia, Mylene Pischella, Delphine Lugara, Albena Mihovska, Seshaiiah Ponnekanti, Elias Tragos, Emilio Mino, "Cooperation Mechanisms for Efficient Resource Management between 4G and legacy RANs" WWRF13 Meeting, 02-03 March 2005, Jeju Island, Korea
- [18] Elias Tragos, Albena Mihovska, Emilio Mino, Eiman Mohyeldin, Vaia Sdralia, Sofoklis Kyriazakos, Mylène Pischella, "Efficient Functional architecture supporting the interworking between B3G Radio Access Networks and Legacy Systems", 15th ISTMobile and Wireless Summit, 4-8 June 2006 Myconos, Greece
- [19] WINNER, "D4.2: Impact of Cooperation Schemes Between RANs", Internal Deliverable, IST-2003-507581 WINNER, February 2005.
- [20] WINNER, "D4.3: Identification, definition and assessment of cooperation schemes between RANs", Final deliverable", IST-2003-507581 WINNER, June 2005.
- [21] Albena Mihovska, Jijun Luo, Emilio Mino, Elias Tragos, Christian Mensing, Guillaume Vivier, Roberta Fracchia, "Policy-Based Mobility Management for Heterogeneous Networks", 16th ISTMobile and Wireless Summit, 1-5 July 2007, Budapest Hungary
- [22] Albena Mihovska, Elias Tragos, Jijun Luo and Emilio Mino, "Mobility Management Schemes for the WINNER RAN", Euro-India Workshop on Next Generation Wireless Technologies, Kolkata, India, November 6th – 7th 2006
- [23] Albena Mihovska, Elias Tragos, Jijun Luo and Emilio Mino, "Mobility management schemes for the WINNER RAN", B3G Cluster Workshop on Policy Based Distributed Decision Making, Brussels, Belgium, October 3rd 2006
- [24] Emilio Mino, Jijun Luo, Roberta Fracchia, Guillaume Vivier, Elias Tragos, Albena Mihovska, "Scalable and Hybrid Radio Resource Management for Future Wireless Networks", 16th ISTMobile and Wireless Summit, 1-5 July 2007, Budapest Hungary
- [25] Elias Tragos, Albena Mihovska, Emilio Mino, Jijun Luo, Roberta Fracchia, Guillaume Vivier, Xiaoyun Xue, "Hybrid RRM Architecture For Future Wireless Networks", 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 3-7 September 2007 Athens

- [26] Albena Mihovska, Elias Tragos, Emilio Mino, Jijun Luo, Christian Mensing, Roberta Fracchia, Sana Horrich, Annika Wennström, and Sofoklis Kyriazakos, “Requirements and Algorithms for Cooperation of Heterogeneous Radio Access Networks”, Springer Special Issue of Wireless Personal Communications (accepted to be published)
- [27] Elias Tragos, Albena Mihovska, Emilio-Mino Diaz, Pantelis Karamolegkos, Panagiotis T. Vlacheas, Jijun Luo, “Access selection and mobility management in a beyond 3G RAN: the WINNER approach”, The 5-th ACM International Workshop on Mobility Management and Wireless Access (MobiWAC), October 22nd, 2007, In conjunction with MSWiM 2007 (the 10-th ACM/IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems) October 22 - 26, 2007, Chania, Crete, Greece
- [28] Elias Z. Tragos, Albena Mihovska, Emilio Mino-Diaz, Pantelis Karamolegkos, Panagiotis T. Vlacheas, Jijun Luo, “Access Selection and Mobility Management in a beyond 3G RAN: the WINNER Approach”, Special Issue of Telecommunication Systems Springer (accepted to be published)
- [29] Jyh-Cheng Chen, Tao Zhang, “IP-Based Next-Generation Wireless Networks: Systems, Architectures, and Protocols”, Wiley book, ISBN: 978-0-471-47826-3
- [30] Perkins, C.E , “Mobile IP”, Communications Magazine, IEEE Volume 35, Issue 5, May 1997 Page(s):84 – 99, Digital Object Identifier 10.1109/35.592101
- [31] Srikant Sharma, Ningning Zhu and Tzi-cker Chiueh, “ Low-Latency Mobile IP Handoff for Infrastructure-Mode Wireless LANs”, Ieee Journal On Selected Areas In Communications, Vol. 22, No. 4, May 2004

7. Αποτίμηση αλγορίθμων διαχείρισης κινητικότητας

Σε αυτό το κεφάλαιο της διατριβής γίνεται η αποτίμηση της λειτουργικότητας των έξυπνων αλγορίθμων κινητικότητας με έμφαση ιδιαίτερος στη λειτουργία της διαπομπής, όπως αυτή περιγράφηκε εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο. Βασικός σκοπός είναι η παρουσίαση πειραματικών αποτελεσμάτων τα οποία δείχνουν ότι οι αλγόριθμοι και οι διαδικασίες σηματοδότησης που αναπτύχθηκαν και υλοποιήθηκαν είναι αποδοτικές, εύχρηστες και ιδιαίτερα γρήγορες. Η βασική επιδίωξη ήταν η υλοποίηση διαπομπών για τις διάφορες μορφές της αρχιτεκτονικής του μελλοντικού δικτύου και η απόδειξη της βέλτιστης λειτουργίας της υβριδικής αρχιτεκτονικής. Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων αναπτύχθηκε ένας προσομοιωτής σε περιβάλλον OMNET++. Για την βέλτιστη κατανόηση των αποτελεσμάτων και των προσομοιώσεων θα γίνει σε αυτό το κεφάλαιο και μια μικρή εισαγωγή στο περιβάλλον του OMNET++ και τις λειτουργίες του.

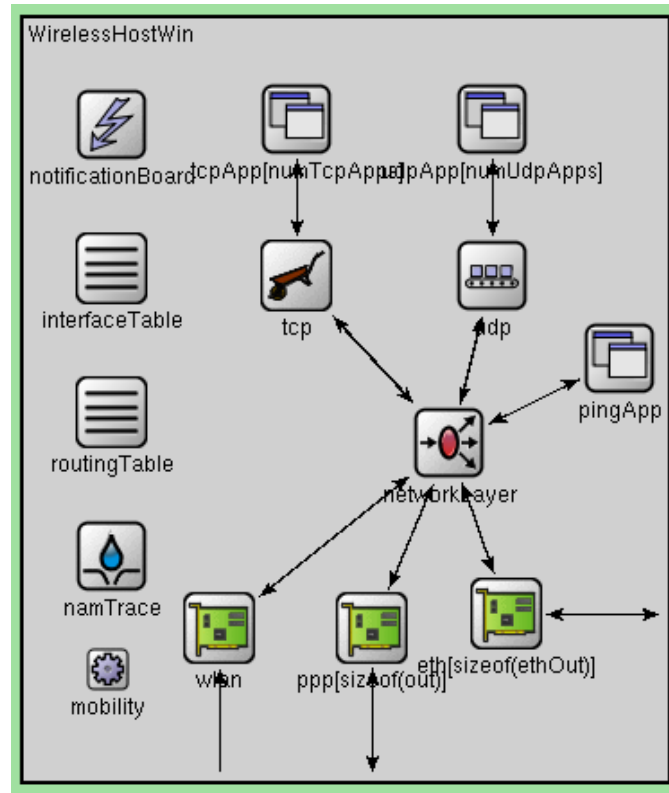
Το περιβάλλον προσομοίωσης αναπτύχθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι όσο πιο κοντινό γίνεται προς τις απαιτήσεις των προσομοιώσεών μας. Παρότι στο OMNET++ [1] δεν υπάρχει μοντέλο προσομοίωσης για μελλοντικά ασύρματα δίκτυα, υπάρχει ένα μοντέλο για δίκτυο 802.11b το οποίο και αποτέλεσε τη βάση για την ανάπτυξη του μελλοντικού δικτύου. Έγιναν πάρα πολλές αλλαγές σε όλα τα επίπεδα του δικτύου προσομοίωσης, ώστε να προσεγγιστεί όσο το δυνατόν περισσότερο η απαιτούμενη λειτουργία του δικτύου. Βασικός σκοπός ήταν η υλοποίηση της λειτουργίας της διαπομπής, επομένως δημιουργήθηκαν μερικές κυψέλες του δικτύου και μερικοί χρήστες που παράγουν κίνηση στις κυψέλες, καθώς και ένας χρήστης που κινείται μεταξύ των κυψελών και πραγματοποιεί διαπομπές. Η βασική μέτρηση που λήφθηκε ήταν ο χρόνος πραγματοποίησης της διαπομπής (handover time ή handover latency) και ο οποίος αναμένεται να είναι αρκετά μικρός σε σχέση με άλλους αλγορίθμους διαπομπής σε δίκτυο 802.11b. Επίσης, άλλες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούν στο φορτίο του δικτύου και του χρήστη, στη λαμβανόμενη ισχύ, στα χαμένα πακέτα στη διάρκεια της διαπομπής κ.α. Επίσης έγιναν συγκρίσεις των αποτελεσμάτων για τις διάφορες μορφές της αρχιτεκτονικής, για διαφορετικό φορτίο εισερχόμενης κίνησης και για διαφορετικές ταχύτητες του κινούμενου χρήστη.

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται αρχικά μια γενική περιγραφή του περιβάλλοντος του OMNET++ για την καλύτερη κατανόηση των προσομοιώσεων. Στη συνέχεια γίνεται μια γενική περιγραφή της προσομοίωσης, έπειτα περιγράφεται η τοπολογία της προσομοίωσης για τις τρεις διαφορετικές μορφές της αρχιτεκτονικής, μετά αναλύεται η κίνηση που δημιουργείται και οι υπηρεσίες που λαμβάνουν οι χρήστες. Στη συνέχεια περιγράφονται τα νέα μηνύματα σηματοδότησης που προτείνονται για την υλοποίηση της διαδικασίας της διαπομπής. Τέλος παρουσιάζονται και αναλύονται τα διάφορα αποτελέσματα με τη χρήση διαφόρων γραφικών παραστάσεων.

7.1 Το περιβάλλον προσομοίωσης OMNET++

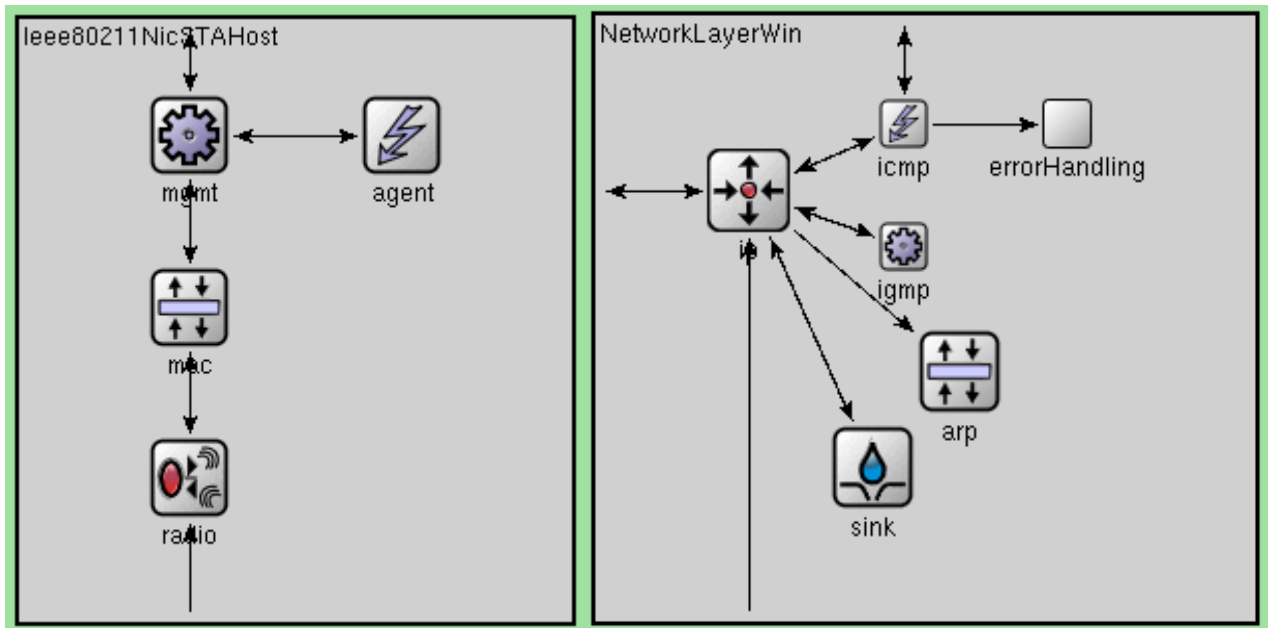
Το OMNET++ [1] είναι ένα πακέτο προσομοίωσης διακριτών γεγονότων βασισμένο στη γλώσσα C++ που αναπτύχθηκε στο Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Βουδαπέστη από τον Andras Varga. Είναι ένα πρόγραμμα ανοιχτού κώδικα, ελεύθερο για μη κερδοσκοπική χρήση, και έχει μια αρκετά μεγάλη και ενεργή κοινότητα χρηστών. Επιτρέπει τη σχεδίαση μοντέλων προσομοίωσης, τα οποία μπορούν να συνδυαστούν και να επαναχρησιμοποιηθούν αρκετά εύκολα. Έχει αποδειχθεί ότι αυτό το πλαίσιο προσομοίωσης είναι κατάλληλο για την προσομοίωση σύνθετων συστημάτων όπως τους κόμβους Διαδικτύου και τη δυναμική των πρωτοκόλλων TCP/IP με τρόπο πολύ ρεαλιστικό. α μοντέλα προσομοίωσης αποτελούνται από ιεραρχικά τοποθετημένες οντότητες. Στο OMNET++ υπάρχουν δύο τύποι οντοτήτων: απλές και σύνθετες οντότητες. Οι απλές οντότητες διαμορφώνουν το χαμηλότερο επίπεδο ιεραρχίας και εφαρμόζουν την δραστηριότητα μιας οντότητας και μπορούν αυθαίρετα να συνδυαστούν για να διαμορφώσουν τις σύνθετες οντότητες. Οι οντότητες επικοινωνούν με τη μεταβίβαση μηνυμάτων. Τα μηνύματα μπορεί να σταλούν είτε μέσω των συνδέσεων που εκτείνονται μεταξύ των οντοτήτων είτε άμεσα στις οντότητες προορισμού τους. Ο χρήστης καθορίζει τη δομή του μοντέλου (τις οντότητες και τη διασύνδεσή τους) με τη χρησιμοποίηση της γλώσσας περιγραφής τοπολογίας (NED) από το OMNET++ [1][2][3].

Το OMNET++ από μόνο του περιέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία για τη σχεδίαση, τη δημιουργία, την εκτέλεση προσομοιώσεων και την ανάλυση των αποτελεσμάτων, αλλά μόνο αυτά. Δεν παρέχει, δηλαδή, κάποια μοντέλα προσομοίωσης ή μοντέλα δικτύων, τα οποία μπορούν να τα φτιάξουν οι ίδιοι οι χρήστες. Μιας και το OMNET++ είναι ανοιχτού κώδικα έχουν αναπτυχθεί από χρήστες ή από τον ίδιο το δημιουργό του πολλά μοντέλα για τη διευκόλυνση των χρηστών. Ένα από αυτά είναι και το INET framework [4]. Το INET framework είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης το οποίο είναι κατάλληλο για την προσομοίωση του TCP/IP και άλλων πρωτοκόλλων που σχετίζονται με το internet, που είναι γραμμένο για το περιβάλλον του OMNET++. Αυτό είναι και το πακέτο που χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις αυτού του κεφαλαίου. Το INET framework περιέχει τον πηγαίο κώδικα για διάφορες οντότητες δικτύων ενσύρματων ή ασύρματων επικοινωνιών και αρκετών πρωτοκόλλων. Με βάση το INET framework μπορεί κανείς να σχεδιάσει και να μελετήσει τη λειτουργία πραγματικών οντοτήτων δικτύων. Για παράδειγμα, για να σχεδιάσει κανείς ένα κινητό τερματικό (όπως έγινε στη συγκεκριμένη διατριβή για τις προσομοιώσεις, θα πρέπει να τοποθετήσει τις αντίστοιχες οντότητες που επιτελούν τις ξεχωριστές λειτουργίες ενός τερματικού, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 7-1. Οντότητες του κινητού τερματικού που χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις

Όπως φαίνεται στο σχήμα υπάρχουν πολλές οντότητες που αποτελούν το κινητό τερματικό και είναι διαβαθμισμένες κατά το επίπεδο OSI από το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (οντότητες wlan, eth), στο επίπεδο δικτύου (networkLayer), μέχρι το επίπεδο εφαρμογών (tcpApp, udpApp). Πολλές από αυτές τις οντότητες είναι σύνθετες και αποτελούνται από άλλες οντότητες όπως το wlan και το networkLayer όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 7-2. Εσωτερικές οντότητες ασύρματης πρόσβασης (αριστερά) και επιπέδου δικτύου (δεξιά)

Παρόμοιες οντότητες με τις παραπάνω περιέχουν και οι σταθμοί βάσης που χρησιμοποιήθηκαν. Με αυτόν τον τρόπο επομένως μπορεί να σχεδιάσει κανείς τις οντότητες και το δίκτυο που θέλει, είτε χρησιμοποιώντας τις οντότητες που έχει μέσα το INET framework είτε φτιάχνοντας εξαρχής δικές του οντότητες. Στις προσομοιώσεις του κεφαλαίου αυτού, χρησιμοποιήθηκαν ως επί το πλείστον οι υπάρχουσες οντότητες, στις οποίες όμως πραγματοποιήθηκαν πάρα πολλές αλλαγές, ώστε να επιτευχθεί η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη εξομοίωση των χαρακτηριστικών του μελλοντικού δικτύου επικοινωνιών.

Στην εκτέλεση των προσομοιώσεων υπάρχουν γεγονότα (events) τα οποία γίνονται σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (scheduled events) και ο χρήστης μπορεί να επιλέξει σε κανονική, γρήγορη ή πολύ γρήγορη προσομοίωση. Στην κανονική προσομοίωση βλέπει όλες τις μετακινήσεις των πακέτων, στην γρήγορη βλέπει ελάχιστες μετακινήσεις αλλά γίνεται καταγραφή όλων των ενεργειών, ενώ στην πολύ γρήγορη δε γίνεται καμία καταγραφή ενεργειών, παρά μόνο όσα ο χρήστης έχει σημειώσει για τα αποτελέσματα που επιθυμεί. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να γίνονται μετρήσεις των μεγεθών που τον ενδιαφέρουν σε συγκεκριμένα αρχεία με σκοπό την εξαγωγή των αποτελεσμάτων μετά το τέλος της προσομοίωσης. Τέλος το OMNET++ παρέχει δυο πολύ χρήσιμα εργαλεία για την εκμετάλλευση αυτών των μετρήσεων για την εξαγωγή αποτελεσμάτων και τη δημιουργία γραφικών παραστάσεων, το SCALARS και το PLOVE [1][2].

7.2 Γενική περιγραφή της προσομοίωσης

Όπως αναλύθηκε προηγουμένως το ενδιαφέρον σε αυτή την προσομοίωση στρέφεται στην πραγματοποίηση ταχύτατων και βέλτιστων διαδικασιών διαπομπής σε όλες τις καταστάσεις φορτίου του δικτύου και σε όλες τις μορφές της αρχιτεκτονικής του μελλοντικού δικτύου επικοινωνιών. Το σενάριο που θα πρέπει να δημιουργηθεί για την προσομοίωση θα πρέπει επομένως να περιλαμβάνει διάφορες κυψέλες και διάφορους χρήστες που να λαμβάνουν υπηρεσίες και να πραγματοποιούν διαπομπές. Το λογικό σενάριο για τις προσομοιώσεις θα περιελάμβανε ένα μεγάλο δίκτυο με πολλές κυψέλες, πολλούς χρήστες να γεννιούνται και να λαμβάνουν διάφορες υπηρεσίες και να κινούνται μέσα στο δίκτυο και να πραγματοποιούν διαπομπές μεταξύ κυψελών. Επειδή όμως ο υπολογιστικός χρόνος για την εκτέλεση και την προσομοίωση ενός τέτοιου σεναρίου είναι αρκετά μεγάλος δημιουργήθηκε ένα άλλο σενάριο πιο απλό για την εκτέλεση των προσομοιώσεων σε λογικό χρονικό διάστημα. Για την απλοποίηση επομένως των προσομοιώσεων θεωρείται ότι ο κινούμενος χρήστης που πραγματοποιεί διαπομπές είναι μόνο ένας. Το σενάριο της προσομοίωσης περιλαμβάνει τη δημιουργία μιας τοπολογίας στην οποία υπάρχουν μερικές κυψέλες σε γραμμική ανάπτυξη, μερικές από τις οποίες είναι επικαλυπτόμενες μεταξύ τους. Για απλοποίηση των προσομοιώσεων όλες οι κυψέλες έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά μεταξύ τους, δηλαδή ανήκουν στην ίδια μορφή ανάπτυξης του δικτύου.

Σε αντίθεση με τις προσομοιώσεις για τον έλεγχο αποφυγής συμφόρησης, εδώ δε χρησιμοποιείται γεννήτρια χρηστών. Επειδή το όλο σκεπτικό της προσομοίωσης είναι τελείως διαφορετικό, εδώ οι χρήστες είναι συγκεκριμένοι και σε συγκεκριμένες θέσεις, μιας και δε μας ενδιαφέρει τόσο η θέση των χρηστών ή το πλήθος τους (όπως θα αναλυθεί και παρακάτω) αφού όλες οι κυψέλες έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά, αλλά η κίνησή τους μεταξύ των κυψελών. Κάθε χρήστης λαμβάνει μια υπηρεσία με κάποιον ρυθμό δεδομένων. Για την αποφυγή συμφόρησης στους εξυπηρετητές που παρέχουν τις υπηρεσίες δημιουργήθηκαν δυο διαφορετικοί εξυπηρετητές (servers) και οι χρήστες έχουν μοιραστεί σε αυτούς. Ο ρυθμός δεδομένων με τον οποίον λαμβάνουν οι χρήστες τις υπηρεσίες είναι μεταβλητός (δεν υπάρχει κίνηση CBR – constant bit rate) μιας και δε μας νοιάζει η παροχή σταθερού ρυθμού δεδομένων, αφού θεωρούμε πως η υπηρεσία που λαμβάνουν οι χρήστες είναι κίνηση web browsing ή ftp. Περισσότερες λεπτομέρειες για τις υπηρεσίες θα δοθούν παρακάτω.

Το σενάριο της προσομοίωσης γενικά έχει ως εξής. Υπάρχουν πέντε κυψέλες με ένα σταθμό βάσης σε κάθε κυψέλη, δυο εξυπηρετητές υπηρεσιών που προσφέρουν υπηρεσίες στους χρήστες, ένα switch που κάνει δρομολόγηση των πακέτων σε επίπεδο ζεύξης δεδομένων, ένας εξυπηρετητής RRM (RRM Server) που χρησιμοποιείται ανάλογα με την τοπολογία και οι χρήστες. Οι χρήστες έχουν διαχωριστεί στον έναν που είναι συνήθως κινούμενος και στους υπολοίπους που παράγουν κίνηση. Οι υπόλοιποι έχουν διαχωριστεί ένας ανά κυψέλη και λαμβάνουν υπηρεσία με συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης ώστε να φορτώνουν τους σταθμούς βάσης με συγκεκριμένο φορτίο ώστε να μετρήσουμε τη διαπομπή για διάφορα φορτία των σταθμών βάσης. Ο ένας χρήστης είναι κινούμενος και λαμβάνει και αυτός μια υπηρεσία με μεταβλητό ρυθμό μετάδοσης και πραγματοποιεί διαπομπές κυρίως με βάση τη λαμβανόμενη στάθμη του σήματος. Ανάλογα με την τοπολογία και την αρχιτεκτονική του δικτύου κάθε φορά, κάνει αιτήσεις για διαπομπές είτε ο ίδιος είτε λαμβάνει από τον RRM Server εντολές για διαπομπή. Την απόφαση για την πραγματοποίηση της διαπομπής τη λαμβάνει είτε ο σταθμός βάσης με τον οποίο είναι συνδεδεμένος εκείνη τη στιγμή ο χρήστης είτε ο RRM Server, ανάλογα με την επιλεγμένη μορφή της αρχιτεκτονικής.

Βασικός σκοπός της προσομοίωσης είναι η εξέταση των διαφόρων μορφών της αρχιτεκτονικής του μελλοντικού δικτύου επικοινωνιών από την πλευρά της διαχείρισης και κυρίως από την πλευρά της ταχύτητας λήψης βέλτιστων αποφάσεων, μέσω της διαδικασίας διαπομπής. Σε ένα μελλοντικό δίκτυο επικοινωνιών οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων θα είναι αρκετά υψηλοί, της τάξεων των Mbps, με αποτέλεσμα να πρέπει να πραγματοποιούνται ταχύτατες διαπομπές, ώστε να επιτυγχάνεται η διασφάλιση της ποιότητας υπηρεσιών των χρηστών. Κατά τη διαδικασία διαπομπής συνήθως η σύνδεση του χρήστη με το δίκτυο διακόπτεται για ένα μικρό χρονικό διάστημα, κατά το οποίο χάνονται πακέτα. Όσο μεγαλύτερο είναι αυτό το χρονικό διάστημα διακοπής της σύνδεσης του χρήστη, τόσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των χαμένων πακέτων που παρατηρούνται. Επιπλέον, συνήθως, όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο του δικτύου, τόσο περισσότερο αργεί να ολοκληρωθεί η

διαδικασία της διαπομπής, λόγω συμφόρησης στους σταθμούς βάσης, μεγάλου πλήθους πακέτων στις ουρές αναμονής κ.λ.π.

Στις προσομοιώσεις που ακολουθούν δόθηκε μεγάλη σημασία στην ελαχιστοποίηση του χρόνου διαπομπής. Επειδή όπως προαναφέρθηκε δεν υπάρχει κάποιο μοντέλο στο Omnet++ για το μελλοντικό δίκτυο επικοινωνιών, στις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο για το 802.11b. Επίσης, για την απόδειξη της ταχύτητας υλοποίησης της διαπομπής στις προσομοιώσεις μας, τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με άλλες προσομοιώσεις της βιβλιογραφίας. Σε επόμενη παράγραφο θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν άλλα αποτελέσματα σε σχέση με τη δική μας διαδικασία διαπομπής και σε σχέση με τα δικά μας αποτελέσματα.

7.3 Περιγραφή της τοπολογίας της προσομοίωσης

Οι προσομοιώσεις αφορούν στην αρχιτεκτονική διαχείρισης ασύρματων πόρων του μελλοντικού δικτύου επικοινωνιών. Όπως έχει αναλυθεί εκτενώς στο 3ο κεφάλαιο, υπάρχουν τρεις διαφορετικές μορφές της αρχιτεκτονικής του δικτύου – η κατανεμημένη, η κεντροποιημένη και η υβριδική. Στο πλαίσιο της διατριβής αυτής πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις και για τις τρεις μορφές της αρχιτεκτονικής. Για κάθε μορφή χρησιμοποιήθηκε ένα γενικό σχήμα τοπολογίας, στο οποίο άλλαζε μόνο η ύπαρξη ή όχι του RRM Server και σχεδόν τίποτα άλλο, έτσι ώστε να υπάρχει μια αντιστοιχία μεταξύ των τοπολογιών, για να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα και να γίνουν συγκρίσεις οι οποίες να έχουν κάποιο νόημα.

Στην τοπολογία κάθε μορφής αρχιτεκτονικής υπάρχουν όπως θα φανεί και σε επόμενα σχήματα, 5 σταθμοί βάσης, 2 servers, 1 switch και 5 κινητοί χρήστες. Οι βασικές γενικές παράμετροι της τοπολογίας των προσομοιώσεων παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα. Στον πίνακα αυτόν παρουσιάζονται οι βασικές παράμετροι της τοπολογίας και στις τρεις μορφές της αρχιτεκτονικής του μελλοντικού δικτύου ασυρμάτων επικοινωνιών. Από αυτές τις παραμέτρους μπορούμε να σημειώσουμε μερικά σημαντικά στοιχεία. Απ' ότι φαίνεται η κινητικότητα του πρώτου χρήστη είναι τύπου “Linear Mobility” που σημαίνει ότι ο χρήστης κινείται σε μια ευθεία γραμμή με ταχύτητα σταθερή που καθορίζεται παρακάτω στα 5m/s (σε αυτό το παράδειγμα, μιας και όπως προαναφέρθηκε θα εξεταστεί η αρχιτεκτονική και σε άλλες ταχύτητες). Οι υπόλοιποι χρήστες έχουν μηδενική κινητικότητα όπως καθορίζεται από το “Null Mobility”.

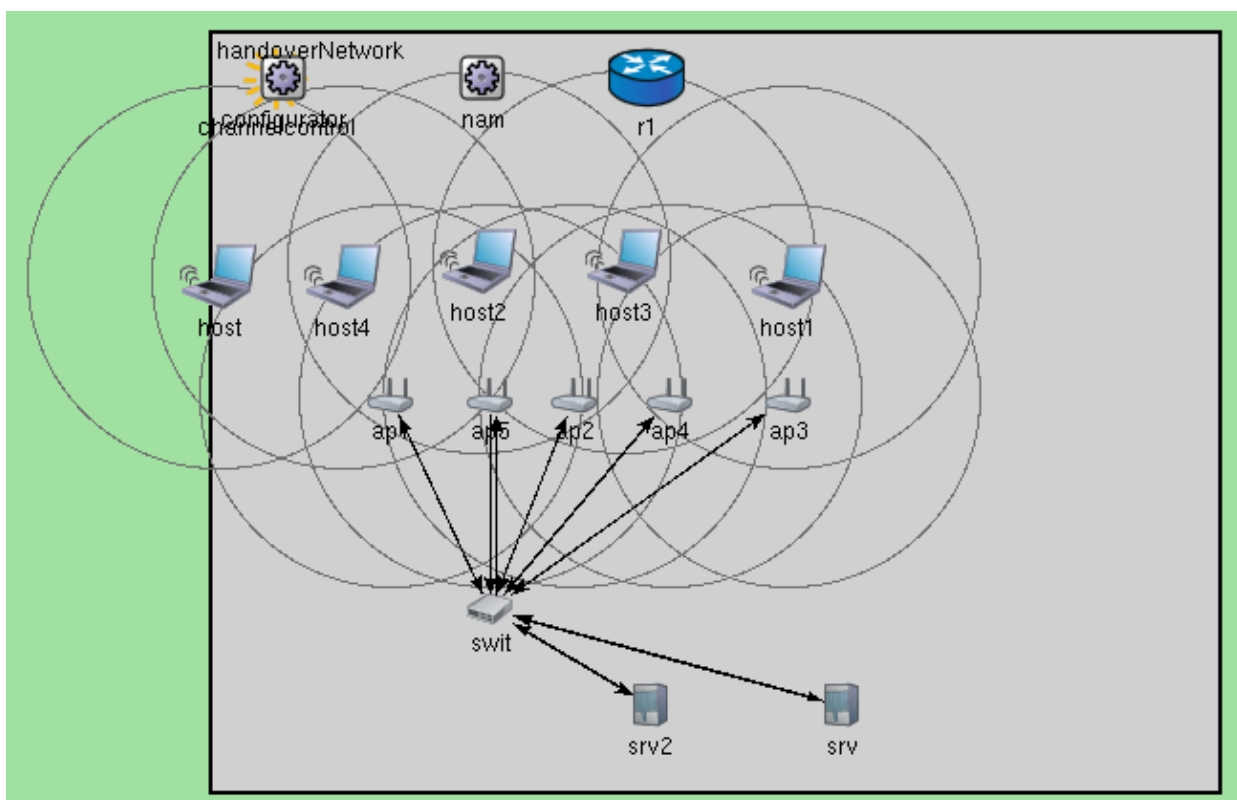
Πίνακας 7-1 Παράμετροι της τοπολογίας

Parameter	Value
μέγεθος τοπολογίας	400x400
Channel carrier Frequency	2.4GHz
αριθμός channels	8
Ethernet transmission rate	100Mbps
Wlan mgmt beaconInterval	0.1s
Host mobilityType	"LinearMobility"
host1,2,3,4 mobilityType	"NullMobility"
Host mobility speed	5m/s
Tcp mss (maximum segment size)	1024
tcp advertisedWindow	14336 # 14*mss
tcp AlgorithmClass	TCPNoCongestionControl
host* wlan radio channelNumber	0 # just initially -- it'll scan
Wlan agent probeDelay	0.1
Wlan agent minChannelTime	0.15
Wlan agent maxChannelTime	0.3
mac address	"auto"
mac maxQueueSize	14
ap* wlan mac bitrate	11Mbps
host* wlan mac bitrate	11Mbps
ap* wlan radio bitrate	11Mbps
host* wlan radio bitrate	11Mbps
Radio transmitter Power	2.0mW
Radio thermal Noise	-110dB
radio sensitivity	-85dB
Radio pathLossAlpha	2
Radio snir Threshold	4dB
RelayUnit agingTime	1200000s
RelayUnit bufferSize	1048576 # 1Mb
RelayUnit highWatermark	524288 # 512K
RelayUnit processingTime	2us
eth[*] queueType	"DropTailQueue" # in routers
eth[*] queue frameCapacity	10 # in routers
mac[*] txrate	100000000
RRMsv rxth	9.00E-009
RRMsv loadth	0.8

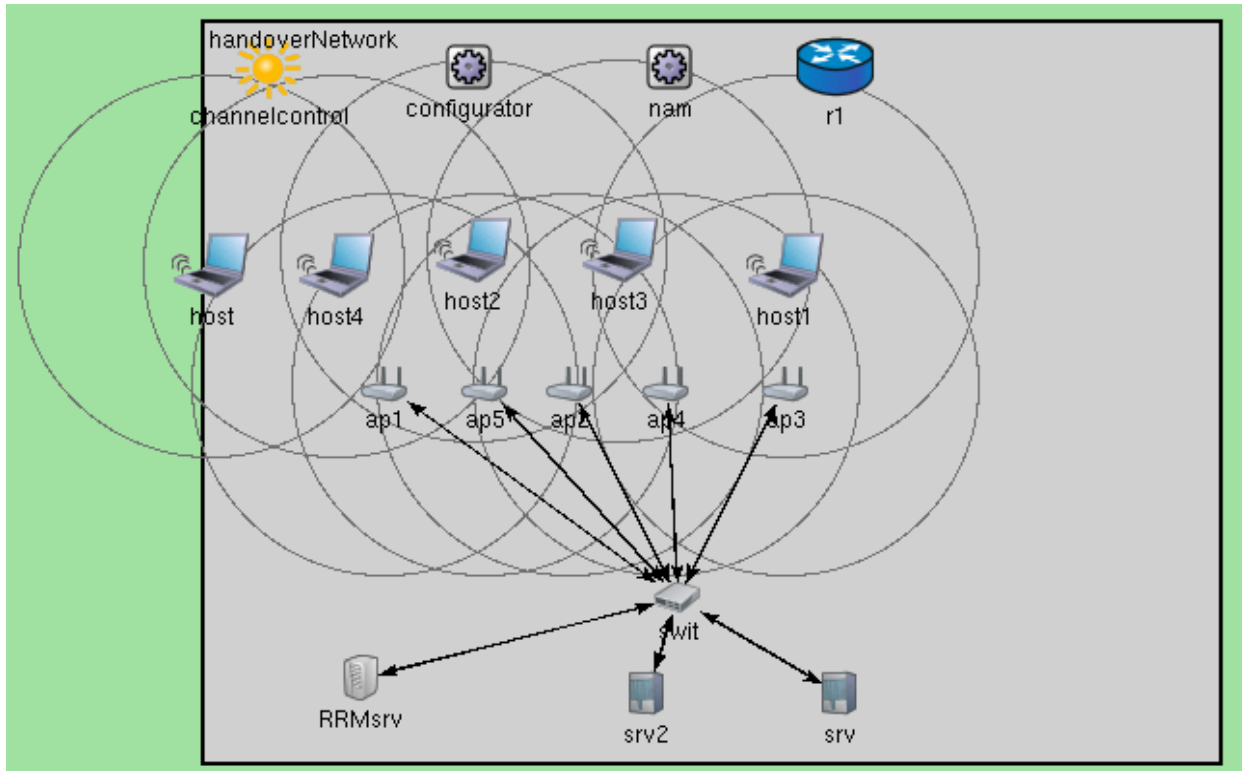
Σε όλη την τοπολογία οι ενσύρματες συνδέσεις έχουν καθοριστεί σε fast ethernet με ταχύτητες μετάδοσης 100Mbps, ώστε να μην υπάρχουν περιπτώσεις συμφόρησης και σημαντικές καθυστερήσεις στα πακέτα στην ενσύρματη μετάδοση. Η ισχύς μετάδοσης όλων των οντοτήτων είναι στα 2mW και η ευαισθησία των δεκτών είναι στα -85dB, που σημαίνει ότι κάποιος δέκτης λαμβάνει πακέτα που έρχονται με ισχύ μεγαλύτερη από -85dB, ενώ όλα τα υπόλοιπα πακέτα τα θεωρεί ως θόρυβο. Αυτό είναι πολύ σημαντικό στην περίπτωση της διαπομπής καθώς μπορούμε να καθορίσουμε με βάση αυτό το κατώφλι λαμβανόμενης ισχύος για τη διαπομπή. Τα -85dB αν μετατραπούν σε ισχύ είναι περίπου

3,2*10⁻⁹Watts. Στον παραπάνω πίνακα δίνεται στις τελευταίες σειρές το κατώφλι ισχύος λαμβανόμενου σήματος που χρησιμοποιεί ο RRM Server είναι 9*10⁻⁹Watts, το οποίο είναι προφανώς μεγαλύτερο της ευαισθησίας αλλιώς θα διακοπτόταν η σύνδεση με τον σταθμό βάσης και μετά θα έπρεπε εξ' αρχής να πραγματοποιήσει νέα σύνδεση με το δίκτυο. Επίσης θεωρείται ότι η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης από τον σταθμό βάσης, μιας και χρησιμοποιείται για το path loss η παράμετρος alpha ίση με 2.

Στο επόμενο σχήμα Σχήμα 7-3 παρουσιάζεται η τοπολογία που χρησιμοποιείται για την καταναμημένη μορφή της αρχιτεκτονικής του μελλοντικού δικτύου επικοινωνιών 4ης γενιάς [5][6]. Όπως φαίνεται και στο σχήμα οι κυψέλες που δημιουργούνται είναι κυκλικές και όλες έχουν το ίδιο μέγεθος. Είναι επίσης φανερό πως οι περισσότερες κυψέλες είναι επικαλυπτόμενες μεταξύ τους και σε πολλές θέσεις υπάρχουν ακόμα και τρεις κυψέλες που μπορούν να εξυπηρετήσουν το κινητό τερματικό. Στις περισσότερες θέσεις υπάρχουν 2 κυψέλες που μπορούν να εξυπηρετήσουν το κινητό τερματικό, ενώ σε μερικές θέσεις αριστερά και δεξιά μπορεί μόνο μια κυψέλη να παρέχει κάλυψη. Στο σχήμα 7-4 παρουσιάζεται και η τοπολογία για την κεντροποιημένη και την υβριδική αρχιτεκτονική [5][6]. Η τοπολογία είναι η ίδια, μιας και ο RRM Server υπάρχει και στις δυο αυτές αρχιτεκτονικές, αν και στην υβριδική αρχιτεκτονική δε χρησιμοποιείται πάντα. Επομένως, για την αποφυγή παρουσίασης διπλού σχήματος, παρουσιάζονται οι δυο τοπολογίες με το ίδιο σχήμα, το οποίο όπως φαίνεται δε διαφέρει από το σχήμα της καταναμημένης αρχιτεκτονικής σε τίποτα άλλο εκτός από τον RRM Server. Σημειώνεται πως στα παρακάτω σχήματα ο κινούμενος χρήστης είναι ο “host”.



Σχήμα 7-3. Τοπολογία καταναμημένης αρχιτεκτονικής προσομοιώσεων.



Σχήμα 7-4. Τοπολογία κεντροποιημένης και υβριδικής αρχιτεκτονικής προσομοιώσεων

7.4 Λαμβανόμενες υπηρεσίες – δημιουργία κίνησης

Στο Omnet++ υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες υπηρεσιών, η λήψη TCP υπηρεσιών και η λήψη UDP υπηρεσιών. Επειδή το Omnet++ σαν εργαλείο είναι ανοιχτό, δωρεάν και φτιαγμένο κυρίως από χρήστες έχει μερικά μειονεκτήματα και ένα από αυτά είναι κάποια προβλήματα στις υπηρεσίες UDP, με αποτέλεσμα να μη λειτουργούν με βέλτιστο τρόπο, κυρίως σε περιπτώσεις επαναμετάδοσης χαμένων πακέτων. Επομένως, στις προσομοιώσεις χρησιμοποιήσαμε μόνο υπηρεσίες TCP. Για την μοντελοποίηση των υπηρεσιών TCP υπάρχουν διάφορες κλάσεις, αλλά στις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκαν δυο γενικές κλάσεις για την περιγραφή TCP υπηρεσιών και κάθε φορά για την παραγωγή διαφορετικής κίνησης άλλαζαν κάποιοι παράμετροι [2][3].

Στην πλευρά του server δεν υπάρχουν συγκεκριμένες παράμετροι που να επηρεάζουν σημαντικά τις προσομοιώσεις, εκτός ίσως από το replyDelay, δηλαδή τον χρόνο καθυστέρησης στην αποστολή πακέτων, ο οποίος ήταν μηδενικός για την αποφυγή πρόσθετων καθυστερήσεων. Στην πλευρά του client, δηλαδή στην πλευρά των χρηστών υπάρχουν αρκετοί παράμετροι που μπορούν να μεταβληθούν για να καθοριστούν διαφορετικές υπηρεσίες και να παραχθεί διαφορετική κίνηση. Οι παράμετροι αυτοί δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7-2 Παράμετροι της υπηρεσίας που λαμβάνουν οι χρήστες

Όνομα	Περιγραφή
startTime	Χρόνος εκκίνησης της υπηρεσίας
numRequestsPerSession	Πόσες αιτήσεις γίνονται σε κάθε session για νέα δεδομένα
requestLength	Μήκος δεδομένων που αποστέλλονται από τον χρήστη στο server
replyLength	Μήκος δεδομένων που απαιτεί ο χρήστης να του αποσταλούν από τον server σε κάθε session
thinkTime	Το χρονικό διάστημα μεταξύ δυο διαφορετικών αιτήσεων
idleInterval	Το χρονικό διάστημα μεταξύ δυο διαφορετικών sessions
reconnectInterval	Το χρονικό διάστημα μετά το οποίο θα προσπαθήσει να συνδεθεί πάλι ο χρήστης με τον server εάν υπάρξει κάποια διακοπή στη σύνδεση.

Σε αυτή την περίπτωση του TCP η υπηρεσία λειτουργεί ως εξής. Υπάρχει ένα κλασικό μοντέλο πελάτη – εξυπηρετητή (client – server), όπου ο πελάτης επικοινωνεί με τον εξυπηρετητή σε διάφορα sessions. Κατά τη διάρκεια κάθε session ο πελάτης ανοίγει μια μονή σύνδεση TCP με τον server και στέλνει διάφορες αιτήσεις, περιμένοντας κάθε φορά μέχρι να αφιχθεί η πλήρης απάντηση από τον server προτού αποστείλει νέα αίτηση και στη συνέχεια κλείνει τη σύνδεση.

Μέσω αυτού του μοντέλου TCP μπορούν να μοντελοποιηθούν διάφορες υπηρεσίες όπως http web browsing και ftp ως εξής:

http web browsing

```
numRequestsPerSession = 1 (HTTP 1.0)
numRequestsPerSession = exponential(5) (HTTP 1.1, with keepalive)
requestLength = truncnormal(350,20)
replyLength = exponential(2000)
```

ftp

```
numRequestsPerSession = exponential(3)
requestLength = truncnormal(20,5)
replyLength = exponential(1000000)
```

Στις προσομοιώσεις παρακάτω έχει χρησιμοποιηθεί το μοντέλο του ftp αλλά με διάφορες παραλλαγές, κυρίως όσον αφορά στο μέγεθος της απάντησης (**replyLength**), που ουσιαστικά είναι το μέγεθος του αρχείου που θέλει να κατεβάσει ο χρήστης, αλλά και στο **thinkTime**, το οποίο είναι ο χρόνος μεταξύ των αιτήσεων. Με ένα συνδυασμό των δυο αυτών μεγεθών μπορούμε να

προσομοιώσουμε διαφορετική κίνηση και διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Για παράδειγμα, αν χρησιμοποιήσουμε ως `replyLength=1000bytes` και `thinkTime=1s` τότε θα παραχθεί ρυθμός μετάδοσης περίπου 8kbps, μιας και η μετάδοση των 1000bytes μέσα από το σύστημα παίρνει ελάχιστο χρόνο. Ο ίδιος ρυθμός πάνω κάτω θα μπορούσε να επιτευχθεί βέβαια και με άλλους συνδυασμούς των δυο παραμέτρων, όπως για παράδειγμα `replyLength=500byte` και `thinkTime=0,5s`.

Στις προσομοιώσεις του συγκεκριμένου κεφαλαίου έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι συνδυασμοί των δυο παραμέτρων, ώστε να επιτευχθεί χαμηλή, μέση και υψηλή κίνηση στους σταθμούς βάσης, ώστε να μελετηθεί η διαδικασία της διαπομπής σε όλες τις περιπτώσεις φορτίου του δικτύου. Πολύ σημαντική είναι η περίπτωση που το `thinkTime` είναι μηδενικό. Σε αυτή την περίπτωση, δεν υπάρχει κανένα κενό αναμονής μεταξύ δυο διαδοχικών αιτήσεων του χρήστη. Αυτό σημαίνει πως ο χρήστης λαμβάνει συνεχώς πακέτα από τον server, εκμεταλλευόμενος όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης του δικτύου και το μέγιστο δυνατό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Αυτός θα είναι ο τρόπος που θα προσομοιωθεί η περίπτωση του υψηλού φορτίου του δικτύου, όπου όλοι οι χρήστες θα λαμβάνουν την υπηρεσία ftp με `thinkTime` μηδενικό, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται συμφορήσεις στο δίκτυο και συγκρούσεις (collisions) στους σταθμούς βάσης.

7.5 Διαδικασία διαπομπής – μηνύματα μεταξύ οντοτήτων

Η διαδικασία της διαπομπής έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο 6. Η διαπομπή εκτελείται με διαφορετικό τρόπο στην κεντροποιημένη και στην κατανεμημένη αρχιτεκτονική. Στην κατανεμημένη διαπομπή το κινητό τερματικό μόλις αντιληφθεί ότι η στάθμη του λαμβανόμενου σήματος πέσει κάτω από το προκαθορισμένο κατώφλι (όπως παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο με τις παραμέτρους των προσομοιώσεων), τότε στέλνει αίτηση για διαπομπή στον τρέχον σταθμό βάσης με τον οποίο είναι συνδεδεμένο το κινητό και λαμβάνει την υπηρεσία του. Ο σταθμός βάσης με τη σειρά του επικοινωνεί με τους υπόλοιπους σταθμούς βάσης ώστε να βρει αυτόν που να μπορεί (να έχει τους απαραίτητους πόρους) για να δεχτεί το χρήστη [5][6].

Μια υπόθεση που γίνεται σε αυτή την περίπτωση είναι η χρήση “απαραίτητης διαπομπής” στην περίπτωση που η στάθμη του σήματος του κινητού τερματικού είναι μόλις ελάχιστα πάνω από την στάθμη της ευαισθησίας του σήματος. Σε αυτή την περίπτωση, γίνεται μια “απαραίτητη διαπομπή”, όπου ο σταθμός βάσης απαιτεί από κάποιον άλλον σταθμό να δεχτεί το χρήστη, για να μην αποσυνδεθεί αυτός από το δίκτυο. Αυτό γίνεται γιατί σε αυτές τις προσομοιώσεις επιλέγουμε να μην υπάρχει διακοπή της υπηρεσίας του χρήστη, κάτι που όμως μπορεί να συνεπάγεται μείωση του λαμβανόμενου ρυθμού δεδομένων, κάτι που είναι πλήρως αποδεκτό, μιας και η λαμβανόμενη υπηρεσία είναι υπηρεσία ftp και επιδέχεται ακόμα και πολύ χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων. Για τη σηματοδότηση της κατανεμημένης διαπομπής ανταλλάσσονται μεταξύ των οντοτήτων του δικτύου διάφορα μηνύματα, τα σημαντικά εκ των οποίων συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7-3 . Μηνύματα κατανεμημένης διαπομπής

Αριθμός	Μήνυμα	Προέλευση	Προορισμός	Περιγραφή
1	ho_req	Κινητό τερματικό	Τρέχων σταθμός βάσης	Μήνυμα αίτησης διαπομπής
2	ho_bsreq	Τρέχων σταθμός βάσης	Υποψήφιος σταθμός βάσης	Μήνυμα αίτησης προς τον υποψήφιο σταθμό βάσης, αν έχει τους αναγκαίους πόρους να δεχτεί τον χρήστη
3	ho_bsreply	Υποψήφιος σταθμός βάσης	Τρέχων σταθμός βάσης	Η απάντηση από τον υποψήφιο σταθμό είτε θετική είτε αρνητική
4	association_response	Τρέχων σταθμός βάσης	Κινητό τερματικό	Η τελική απόφαση για διαπομπή είτε αρνητική είτε θετική μαζί με πληροφορίες για τον σταθμό βάσης με τον οποίο θα συνδεθεί ο χρήστης.

Περισσότερες πληροφορίες για τα μηνύματα και το περιεχόμενό τους δίνονται στον παρακάτω πίνακα. Το association_response είναι καθορισμένο μήνυμα του πρωτοκόλλου ieee802.11, οπότε δεν αναφέρονται τα περιεχόμενά του.

Πίνακας 7-4. Περιεχόμενα βασικών μηνυμάτων διαπομπής

ho_req	ho_bsreq - ho_bsreply
curapmacad - η MAC address του τρέχοντος σταθμού βάσης	hostmac - η MAC address του κινητού τερματικού
hostmacad - η MAC address του κινητού τερματικού	curmacad - η MAC address του τρέχοντος σταθμού βάσης
servid - το id της υπηρεσίας που λαμβάνει το κινητό τερματικό	targmacad - η MAC address του υποψηφίου για διαπομπή σταθμού βάσης
bitrate - ο λαμβανόμενος ρυθμός δεδομένων από το τερματικό	aplist - μια λίστα με μετρήσεις λαμβανόμενου σήματος από όλους τους γειτονικούς σταθμούς βάσης εκτός από τον συγκεκριμένο υποψήφιο που είναι ο προορισμός - στέλνεται για να πάρει τη λίστα ο τρέχων σταθμός βάσης στην απάντηση μήπως χρειαστεί να κάνει αιτήσεις σε άλλους σταθμούς, μιας και ο σταθμός βάσης δεν αποθηκεύει την κάθε λίστα
aplist - μια λίστα με μετρήσεις λαμβανόμενου σήματος από όλους τους γειτονικούς σταθμούς βάσης	bitrate - ο λαμβανόμενος ρυθμός δεδομένων από το τερματικό
forced - αν η διαπομπή είναι "απαραίτητη" ή όχι	forced - αν η διαπομπή είναι "απαραίτητη" ή όχι
	acc - αν ο συγκεκριμένος σταθμός βάσης πρέπει οπωσδήποτε να δεχτεί το κινητό τερματικό ή όχι (στην αίτηση) και στην απάντηση η απόφαση αν ο σταθμός βάσης δέχεται το κινητό τερματικό ή όχι

Στην περίπτωση της κεντροποιημένης διαπομπής υπάρχει πλέον ο RRM Server, ο οποίος λαμβάνει τις αποφάσεις για την διαπομπή. Σε αυτή την περίπτωση το κινητό τερματικό στέλνει μετρήσεις κάθε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (στις παρακάτω προσομοιώσεις έχει καθοριστεί οι μετρήσεις να στέλνονται ανά δευτερόλεπτο) προς τον RRM Server. Παρόμοιες μετρήσεις λαμβάνουν και οι σταθμοί βάσης και τις αποστέλλουν στον RRM Server. Οι μετρήσεις αυτές εμπερικλείονται στα μηνύματα RTTMs που παρουσιάζονται παρακάτω. Επίσης, όταν το κινητό τερματικό βρει σταθμούς βάσεις με σήμα ισχυρότερο από το τρέχον σήμα που λαμβάνει, τότε το κινητό τερματικό μπορεί να κάνει αίτηση για διαπομπή, οπότε αποστέλλει το αντίστοιχο μήνυμα στον RRM Server. Ο RRM Server, όταν λάβει ένα μήνυμα αίτησης για διαπομπή εκτελεί τον γενικό αλγόριθμο ελέγχου αποφυγής, αποφασίζοντας για τον υποψήφιο σταθμό βάσης. Ο RRM Server με βάση τα RTTMs που λαμβάνει έχει γνώση του φορτίου του κάθε σταθμού βάσης, οπότε γνωρίζει ποιος μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του κινητού τερματικού και με βάση και τις μετρήσεις του τερματικού για την στάθμη σήματος που λαμβάνει από τους σταθμούς βάσης επιλέγει (ο RRM Server) τον καταλληλότερο υποψήφιο σταθμό βάσης [5][6].

Στη συνέχεια αποστέλλεται μήνυμα στον υποψήφιο σταθμό βάσης για την (και τυπικά) αποστολή της αίτησης για διαπομπή, όπου γίνεται αποδεκτή και ο υποψήφιος θεωρεί πλέον τον χρήστη ως δικό του χρήστη (τον κάνει associate) και στέλνει την επιβεβαίωση στον RRM Server, που με τη σειρά του απαντάει στο χρήστη ότι ολοκληρώθηκε η διαπομπή και σε ποιον σταθμό βάσης πρέπει να συνδεθεί. Τα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ των οντοτήτων για την διαπομπή είναι παρόμοια με τα προηγούμενα μηνύματα (εκτός του ότι τα μηνύματα μεταξύ RRM Server και σταθμών βάσης δεν περιέχουν arlist). Τα μηνύματα RTTM περιέχουν τις πληροφορίες του παρακάτω πίνακα για τα κινητά τερματικά και για τους σταθμούς βάσης.

Πίνακας 7-5. Περιεχόμενα μηνυμάτων RTTM

Πεδίο	περιγραφή
name	Όνομα του τερματικού ή του σταθμού βάσης
brate	Ο ρυθμός μετάδοσης (για τους σταθμούς βάσης) ή λήψης (για τα κινητά τερματικά) δεδομένων σε bits per second (bps) για τα τελευταία
Prate	Ο ρυθμός μετάδοσης (για τους σταθμούς βάσης) ή λήψης (για τα κινητά τερματικά) δεδομένων σε packets per second
Bits	Το σύνολο των bits που έχουν ληφθεί (από τα κινητά τερματικά) ή μεταδοθεί (από τους σταθμούς βάσης)
Packs	Το σύνολο των πακέτων που έχουν ληφθεί (από τα κινητά τερματικά) ή μεταδοθεί (από τους σταθμούς βάσης)
dropped	Το σύνολο των dropped πακέτων

Colls	Το σύνολο των πακέτων που έχουν υποστεί σύγκρουση (collision)
Arlist	Μετρήσεις σήματος από τους γειτονικούς σταθμούς βάσης (μόνο για τα κινητά τερματικά)

Στην περίπτωση της υβριδικής διαπομπής γίνεται ένα μείγμα των δυο παραπάνω διαπομπών. Το κινητό τερματικό λαμβάνει τις μετρήσεις του σήματος και μόλις παρουσιαστεί χαμηλή στάθμη λαμβανόμενου σήματος στέλνει αίτηση στον τρέχοντα σταθμό βάσης για την πραγματοποίηση διαπομπής. Εδώ πλέον υπάρχουν δυο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση που υπάρχει χαμηλό φορτίο στο δίκτυο ο σταθμός βάσης είναι αυτός που επικοινωνεί με τους υποψήφιους (με βάση την αίτηση του τερματικού) σταθμούς με έναν καταναμημένο τρόπο εκτέλεσης της διαπομπής. Όταν όμως το φορτίο στο δίκτυο είναι υψηλό, για την αποφυγή ανταλλαγής πολλών μηνυμάτων μεταξύ του τρέχοντος σταθμού βάσης και των υπολοίπων σταθμών μέχρι την εύρεση του υποψηφίου σταθμού, ο τρέχον σταθμός επικοινωνεί με τον RRM Server και ζητάει τη βοήθειά του για την εκτέλεση της διαπομπής με έναν κεντροποιημένο τρόπο και τη λήψη ταχύτατης βέλτιστης απόφασης, μιας και ο RRM Server έχει τις μετρήσεις των σταθμών βάσης και μπορεί να υπολογίσει αμέσως ποιος είναι ο κατάλληλος για το κινητό τερματικό. Τα μηνύματα που ανταλλάσσονται δεν είναι διαφορετικά από τις προηγούμενες δυο περιπτώσεις, οπότε δεν αναφέρονται εδώ για την αποφυγή επαναλήψεων [5][6].

7.6 Αποτελέσματα

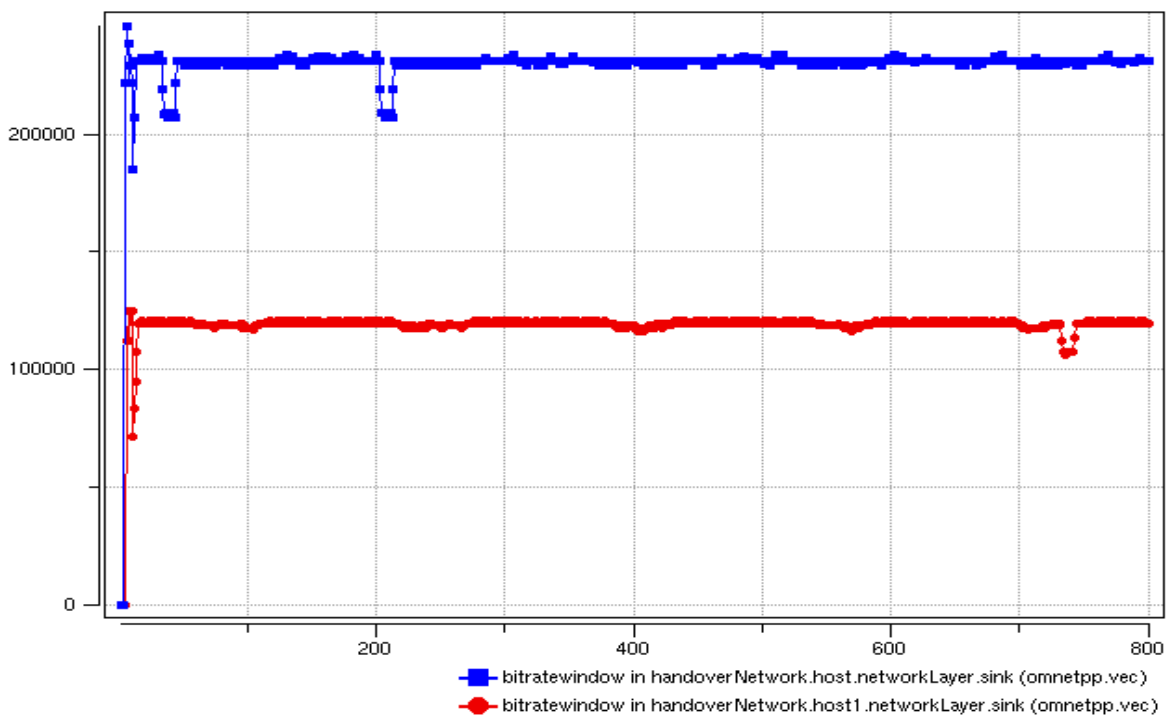
Σε αυτή την παράγραφο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τη διαδικασία της διαπομπής στις τρεις μορφές της αρχιτεκτονικής του μελλοντικού δικτύου ασύρματων επικοινωνιών, όπου σε κάθε παράγραφο θα παρουσιάζονται ξεχωριστά τα αποτελέσματα για κάθε μορφή και στο τέλος θα γίνει σύγκριση μεταξύ τους. Επίσης, μετά θα γίνουν συγκρίσεις και με αντίστοιχα αποτελέσματα άλλων μεθόδων από τη βιβλιογραφία για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για την αποτελεσματικότητα της δικής μας διαδικασίας διαπομπής.

7.6.1 Καταναμημένη διαπομπή

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την καταναμημένη διαπομπή, για διαφορετικές περιπτώσεις φορτίου, χαμηλό και υψηλό. Υπενθυμίζεται, πως στην καταναμημένη διαπομπή, όλες τις αποφάσεις για τη διαπομπή τις λαμβάνει ο τρέχον σταθμός βάσης, ο οποίος επικοινωνεί με τους υπόλοιπους υποψήφιους σταθμούς για την εύρεση του κατάλληλου για τη διαπομπή. Εδώ δεν υπάρχει ο RRM Server.

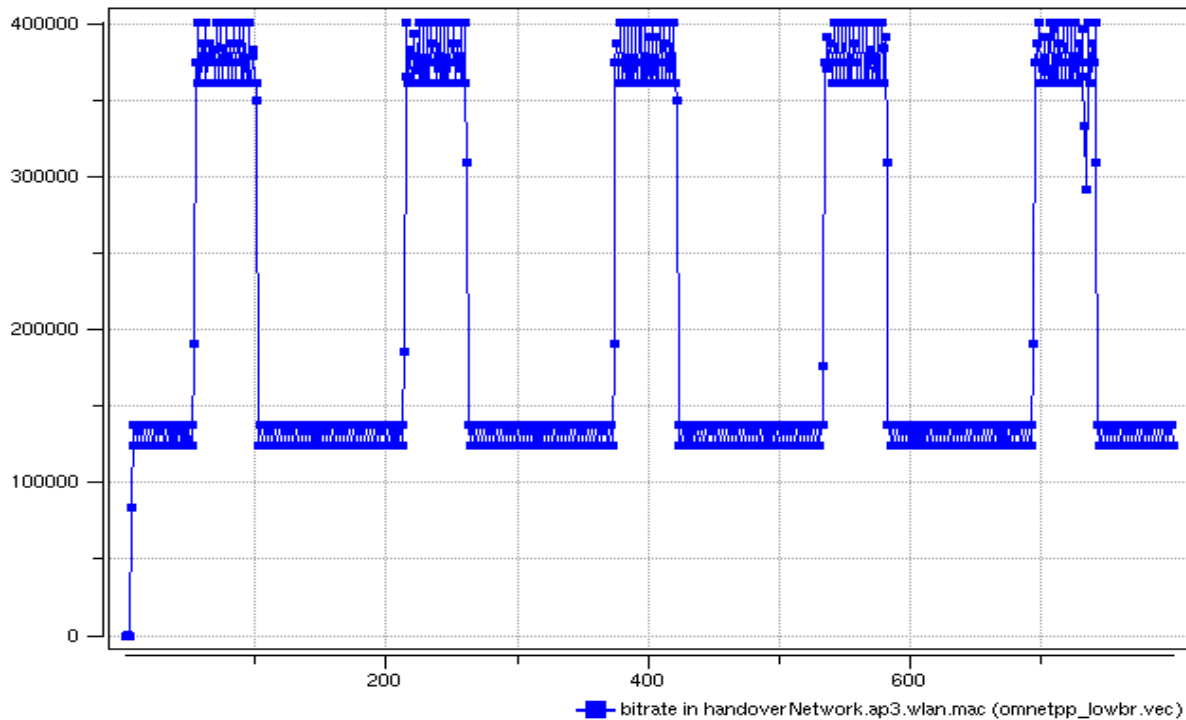
7.6.1.1 Χαμηλό Φορτίο

Στην περίπτωση του χαμηλού φορτίου οι τέσσερις ακίνητοι χρήστες παράγουν χαμηλή κίνηση στους 4 σταθμούς βάσης. Η κίνηση που παράγουν είναι της τάξεως των 120kbps, μιας και όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως, το replyLength είναι 1500(bytes) και το thinkTime είναι 0.1s. Ο κινούμενος χρήστης επιλέχθηκε να έχει λίγο μεγαλύτερη κίνηση της τάξεως των 200kbps, με αντίστοιχες τιμές, 2500 και 0.1. Η προσομοίωση διήρκεσε 800 δευτερόλεπτα. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται για του λόγου το αληθές ο λαμβανόμενος ρυθμός μετάδοσης για έναν κινούμενο και έναν ακίνητο χρήστη.



Σχήμα 7-5. Λαμβανόμενος ρυθμός δεδομένων για τον κινούμενο και έναν ακίνητο χρήστη – κατανομημένη διαπομπή – χαμηλό φορτίο.

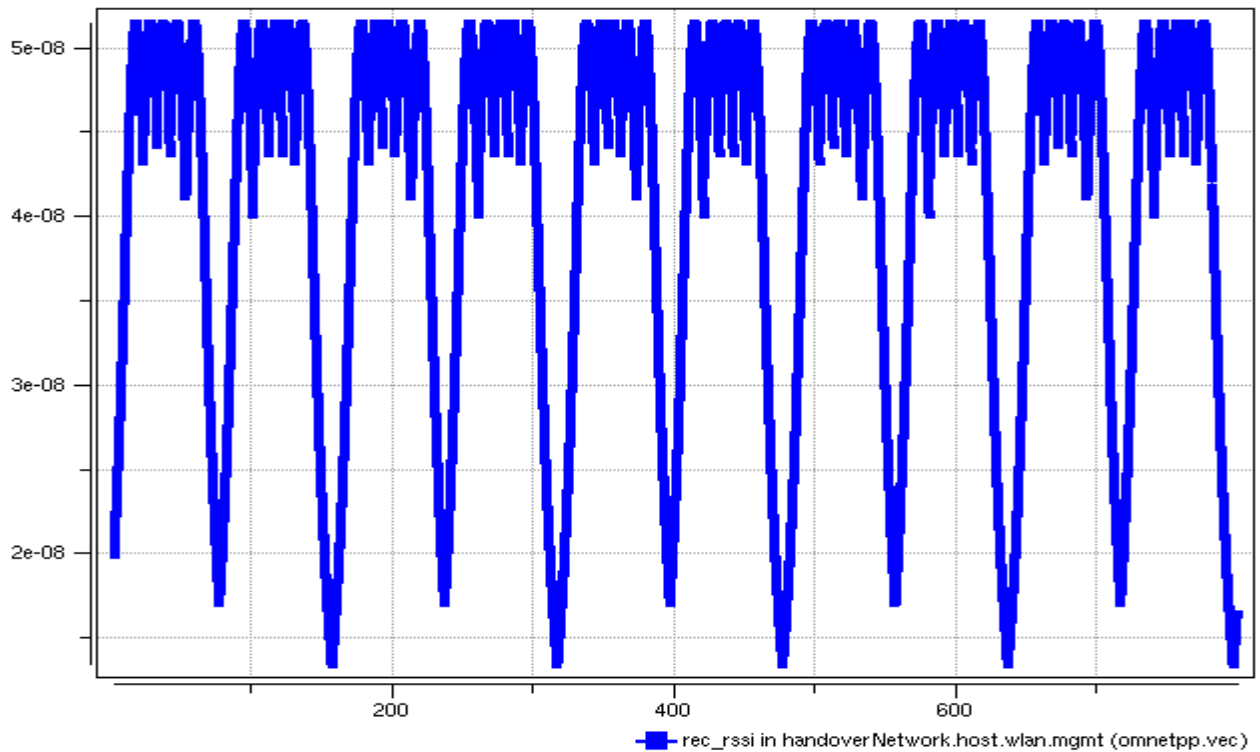
Στο παραπάνω σχήμα με μπλε χρώμα παρουσιάζεται ο λαμβανόμενος ρυθμός δεδομένων του κινούμενου χρήστη και με κόκκινο του ενός ακίνητου χρήστη. Οι ρυθμοί είναι ακριβώς οι αναμενόμενοι αφού δεν υπάρχει συμφόρηση στο δίκτυο και είναι σχεδόν σταθεροί.



Σχήμα 7-6. Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ενός σταθμού βάσης – κατανεμημένη διαπομπή – χαμηλό φορτίο.

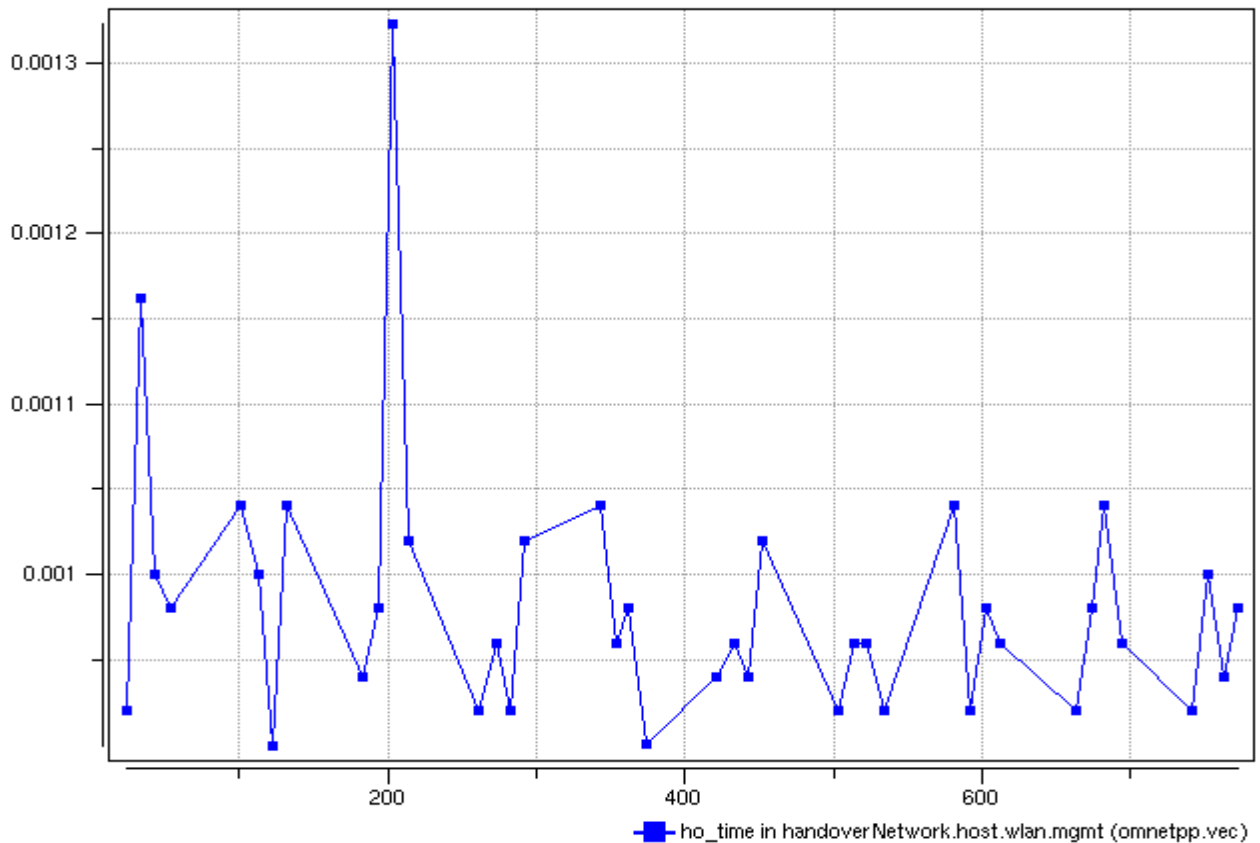
Στο προηγούμενο σχήμα παρουσιάζεται ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ενός σταθμού βάσης. Εδώ υπενθυμίζεται ότι χρησιμοποιείται το δίκτυο 802.11b, το οποίο θεωρητικά μπορεί να μεταδώσει μέχρι 11Mbps, αλλά η πρακτική μέγιστη τιμή είναι περίπου 5Mbps. Όπως φαίνεται από το σχήμα ο ρυθμός είναι κατά πολύ μικρότερος του μέγιστου, επομένως ο σταθμός βάσης βρίσκεται όντως σε κατάσταση χαμηλού φορτίου, μιας και είτε μεταδίδει με 120kbps είτε με 370kbps όταν προστίθεται σε αυτόν και ο κινούμενος χρήστης.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η λαμβανόμενη στάθμη σήματος για τον κινούμενο χρήστη. Εδώ θα πρέπει να υπενθυμηθεί ότι η ευαισθησία του δέκτη είναι περίπου $3 \cdot 10^{-9}$ watts και το κατώφλι για τη διαπομπή είναι $9 \cdot 10^{-9}$ W. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα η λαμβανόμενη ισχύς δεν πέφτει ποτέ κάτω από το $1 \cdot 10^{-8}$ W, που σημαίνει ότι το λαμβανόμενο σήμα του κινούμενου χρήστη βρίσκεται πάντα μέσα σε επιτρεπτά όρια και είναι κατά πολύ υψηλότερο από την ευαισθησία του δέκτη. Αυτό δείχνει ότι η διαπομπή δουλεύει αρκετά καλά επιτρέποντας στον χρήστη να έχει πάντα υψηλό λαμβανόμενο σήμα, ώστε να μπορεί να λαμβάνει την υπηρεσία του με την απαραίτητη ποιότητα. Επειδή σε αυτό το σημείο παρουσιάζεται το χαμηλό φορτίο, είναι λογικό η λαμβανόμενη από το χρήστη ποιότητα υπηρεσίας να είναι πολύ καλή, επομένως για λόγους οικονομίας του χώρου δεν παρουσιάζονται γραφικές παραστάσεις για την λαμβανόμενη από το χρήστη καθυστέρηση ή τη λαμβανόμενη χρονομεταβολή της καθυστέρησης (jitter).



Σχήμα 7-7. Στάθμη λαμβανόμενου σήματος από τον κινούμενο χρήστη – κατανεμημένη διαπομπή – χαμηλό φορτίο.

Στο επόμενο σχήμα 7-8 παρουσιάζεται και η πιο ενδιαφέρουσα μέτρηση για την διαπομπή, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας της διαπομπής από τη στιγμή που κάνει την αίτηση ο χρήστης μέχρι την στιγμή που αλλάζει σύνδεση με τον καινούριο σταθμό βάσης. Ο οριζόντιος άξονας είναι ο χρόνος της προσομοίωσης και ο κατακόρυφος δείχνει το χρόνο της διαπομπής (handover time ή handover latency) σε δευτερόλεπτα. Είναι φανερό πως ο χρόνος της διαπομπής είναι εξαιρετικά μικρός, μιας και είναι της τάξεως του ενός χιλιοστού του δευτερολέπτου με μικρές διακυμάνσεις πάνω και κάτω. Όπως θα φανεί και σε επόμενη παράγραφο που θα γίνουν συγκρίσεις, ο χρόνος αυτός είναι πάρα πολύ μικρός και είναι ένας χρόνος, ο οποίος δε γίνεται καθόλου αντιληπτός από την πλευρά του χρήστη.



Σχήμα 7-8. Χρόνος καταναμημένης διαπομπής (handover latency) – χαμηλό φορτίο.

Στον επόμενο πίνακα δίνονται μερικές μέσες τιμές παραμέτρων που βοηθούν να γίνουν ευκολότερα κατανοητά τα αποτελέσματα. Όπως φαίνεται στον πίνακα και η καθυστέρηση και το jitter κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα και επίσης κατά τις διαπομπές χάθηκαν μόλις 3 πακέτα, που είναι και αυτή μια πολύ χαμηλή τιμή.

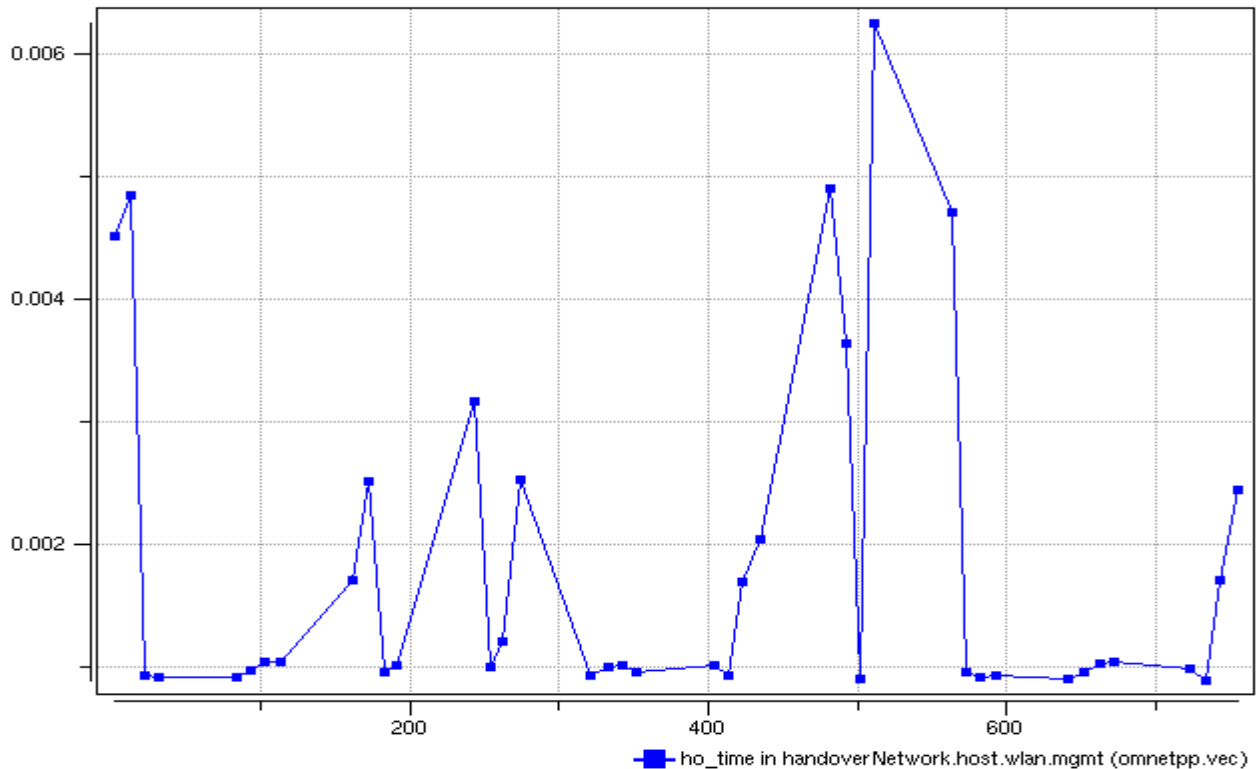
Πίνακας 7-6 Μέσες τιμές μετρούμενων μεγεθών – χαμηλό φορτίο – καταναμημένη διαπομπή

Παράμετρος	Μέση τιμή
Χρόνος διαπομπής	0,00098168s
end-to-end delay	0,00132521s
Jitter	0,00016317s
Χαμένα πακέτα / επαναμεταδόσεις	3 (συνολικά)

7.6.1.2 Μέσο φορτίο

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ο χρόνος διαπομπής για περίπτωση μέσου φορτίου. Σε αυτή την περίπτωση ο ρυθμός λήψης δεδομένων των χρηστών είναι περίπου 800kbps για τους ακίνητους χρήστες ενώ γύρω στα 900kbps για τον κινούμενο χρήστη. Όπως είναι φανερό και αναμενόμενο, εδώ η διαπομπή παίρνει μεγαλύτερο χρονικό διάστημα να ολοκληρωθεί σε σχέση με την περίπτωση του

χαμηλού φορτίου, αλλά και πάλι κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα. Βέβαια υπάρχουν και αρκετές διακυμάνσεις στο χρόνο διαπομπής, κάτι που και πάλι είναι αναμενόμενο, μιας και είναι πιθανόν σε πολλές περιπτώσεις να υπάρχει διαφορετικό μέγεθος ουρών στους σταθμούς βάσης, να υπάρχουν διαφορετικές συγκρούσεις στην ασύρματη διεπαφή κ.τ.λ.



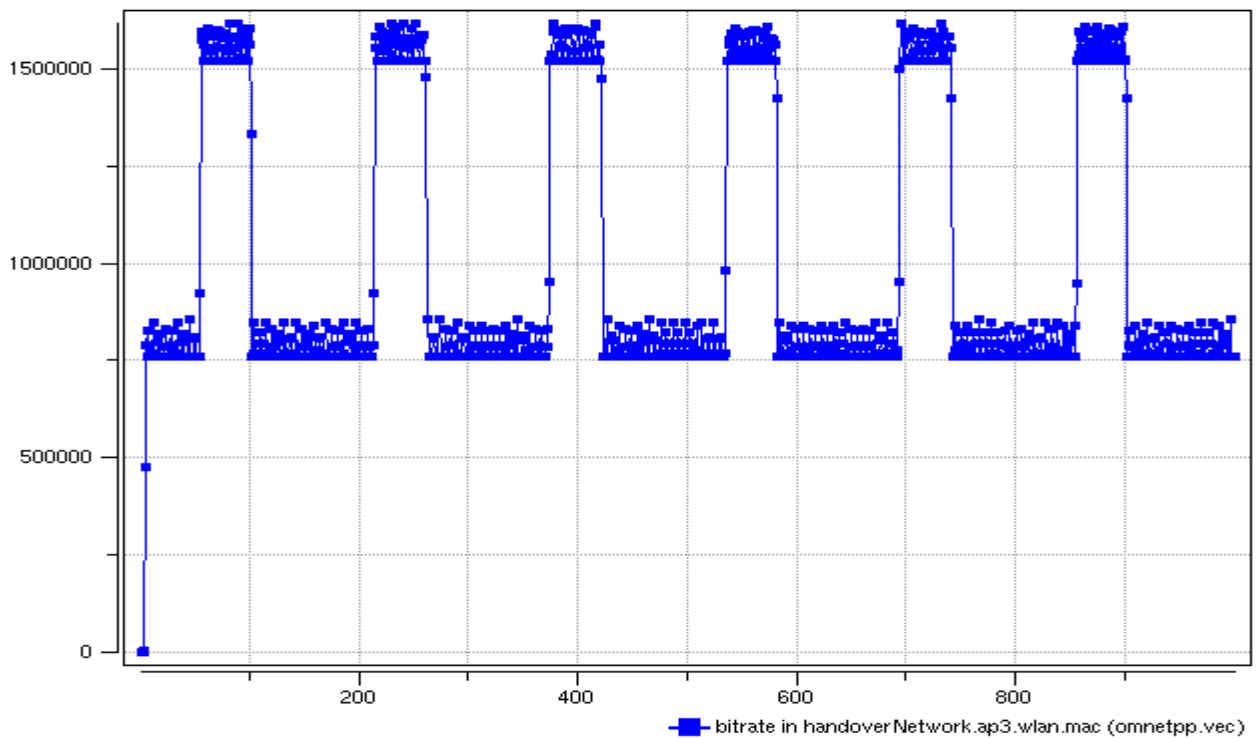
Σχήμα 7-9. Χρόνος κατανομημένης διαπομπής – μέσο φορτίο.

Στον επόμενο πίνακα συνοψίζονται οι τιμές των παραμέτρων όπως και στην περίπτωση του χαμηλού φορτίου. Είναι αξιοσημείωτο πως σε αυτή την περίπτωση ο μέσος χρόνος διαπομπής είναι σχεδόν διπλάσιος απ' ότι στην περίπτωση χαμηλού φορτίου. Επίσης και όλα τα υπόλοιπα μεγέθη παρουσιάζουν αύξηση, κάτι που είναι λογικό και αναμενόμενο, μιας και όταν αυξάνεται το φορτίο του δικτύου αυξάνεται και η καθυστέρηση και το jitter. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως δεν υπάρχει σε καμιά περίπτωση πάνω από ένα χαμένο πακέτο σε κάθε εκτέλεση διαπομπής, κάτι που οφείλεται προφανώς στο γεγονός της ταχέως εκτέλεσης της διαπομπής.

Πίνακας 7-7 Μέσες τιμές μετρούμενων μεγεθών – μέσο φορτίο – κατανομημένη διαπομπή

Παράμετρος	Μέση τιμή
Χρόνος διαπομπής	0,00180531s
end-to-end delay	0,00143249s
Jitter	0,000283253s
Χαμένα πακέτα / επαναμεταδόσεις	11 (συνολικά) – μέγιστο 1/διαπομπή

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ενός σταθμού βάσης όπως και πριν. Το σχήμα αποδεικνύει όντως πως ο ρυθμός μετάδοσης του σταθμού βάσης είναι είτε ο ρυθμός μετάδοσης του ακίνητου χρήστη είτε το άθροισμα των ρυθμών μετάδοσης του ακίνητου και του κινούμενου χρήστη. Ο ρυθμός μετάδοσης είναι πολύ χαμηλότερος από το μέγιστο (σχεδόν ο μισός) στο μεγαλύτερο σημείο του, επομένως αποδεικνύεται πως όντως ο σταθμός βάσης είναι σε κατάσταση μέσου φορτίου.



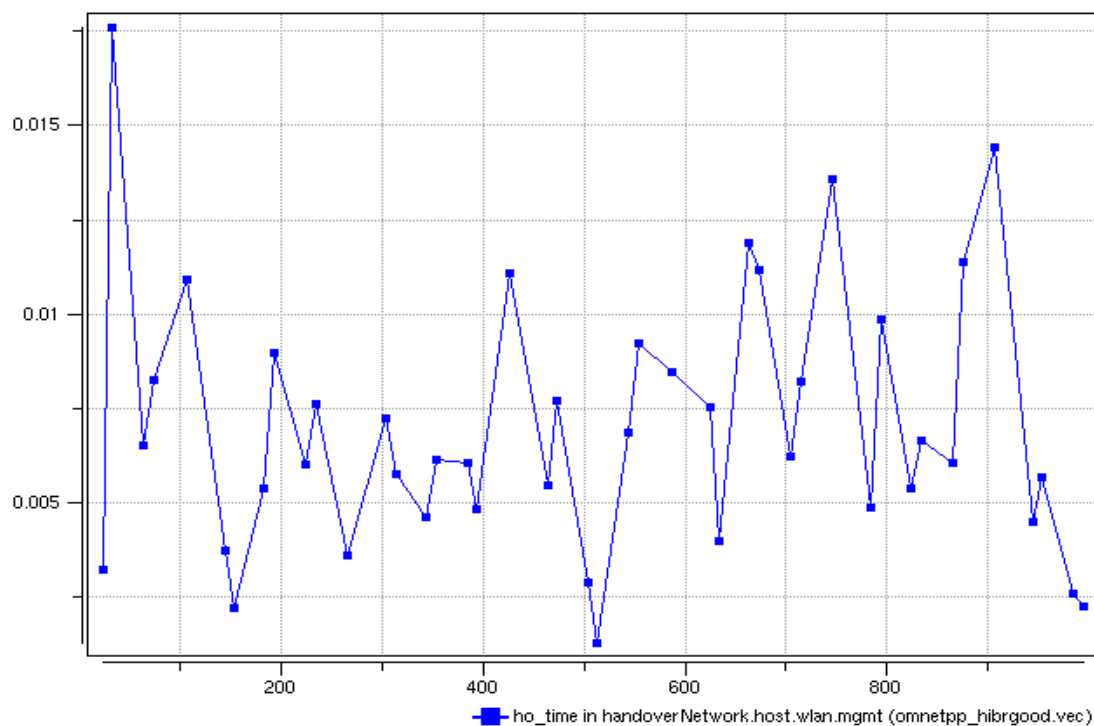
Σχήμα 7-10. Λαμβανόμενος ρυθμός δεδομένων από τον κινούμενο χρήστη – μέσο φορτίο – κατανεμημένη διαπομπή.

7.6.1.3 Υψηλό φορτίο.

Σε αυτή την περίπτωση εξετάζεται η λειτουργία της διαπομπής σε συνθήκες πολύ υψηλού φορτίου του δικτύου. Η υπηρεσία που ζητούν οι χρήστες από τους εξυπηρετητές είναι και πάλι υπηρεσία ftp, αλλά εδώ η παράμετρος thinkTime είναι μηδενική, που σημαίνει ότι ο κάθε χρήστης επιθυμεί να εκμεταλλευτεί στο έπακρον το ρυθμό δεδομένων του συστήματος και να λαμβάνει με όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ρυθμό γίνεται. Αυτό όπως είναι προφανές θα δημιουργήσει τεράστια συμφόρηση στο δίκτυο και στους σταθμούς βάσης, μιας και έχουν κάποιο όριο στο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, το οποίο είναι στα 4,5Mbps (μετρημένα εδώ στο OMNET++ και στη συγκεκριμένη τοπολογία). Βέβαια τα 4,5Mbps είναι το μέγιστο που μπορεί να λάβει ένας και μόνο ένας χρήστης από το συγκεκριμένο σταθμό βάσης που χρησιμοποιείται στις προσομοιώσεις. Όταν όμως είναι συνδεδεμένοι περισσότεροι του ενός χρήστες, τότε αυτό το μέγιστο πέφτει πολύ χαμηλότερα, π.χ. Για δυο χρήστες πάει περίπου στα 3Mbps. Αυτό είναι λογικό και αναμενόμενο, μιας

και λόγω των υψηλών ρυθμών μετάδοσης συμβαίνουν πολλές συγκρούσεις (collisions) στους σταθμούς βάσης, με αποτέλεσμα να συμβαίνουν επαναμεταδόσεις πακέτων, επομένως ο ρυθμός μετάδοσης μειώνεται σημαντικά. Αυτό θα φανεί και σε επόμενο σχήμα με το λαμβανόμενο ρυθμό δεδομένων του κινούμενου χρήστη και το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων των σταθμών βάσης.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ο χρόνος διαπομπής για την περίπτωση του υψηλού φορτίου. Είναι προφανές πως εδώ ο χρόνος διαπομπής είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από ότι στις δυο προηγούμενες περιπτώσεις. Η διακύμανση και πάλι είναι αρκετά σημαντική, αλλά και πάλι είναι κάτι το αναμενόμενο. Ο μέγιστος χρόνος διαπομπής απ' ότι φαίνεται είναι λίγο πάνω από 17ms, μια τιμή πάρα πολύ μεγάλη για τις προσομοιώσεις μας, αλλά και πάλι αρκετά χαμηλή σε σχέση με άλλες τιμές της βιβλιογραφίας. Είναι επίσης ενδιαφέρον πως υπάρχουν και αρκετά χαμηλές τιμές του χρόνου κοντά στα 2ms, κάτι που δείχνει πως ακόμα και σε περιπτώσεις υψηλού φορτίου είναι πιθανόν να υπάρχουν σχετικά γρήγορες διαπομπές, αν και αυτές θα είναι η μειοψηφία. Ο λόγος της μεγάλης καθυστέρησης της εκτέλεσης της διαπομπής είναι οι συγκρούσεις πακέτων στους σταθμούς βάσης, τα πολλά πακέτα στις ουρές αναμονής, αλλά και οι πολλές ανταλλαγές μηνυμάτων μεταξύ του τρέχοντος σταθμού βάσης και των υπολοίπων σταθμών για την εύρεση του κατάλληλου σταθμού για την εκτέλεση της διαπομπής.



Σχήμα 7-11. Χρόνος κατανεμημένης διαπομπής (handover latency) – υψηλό φορτίο.

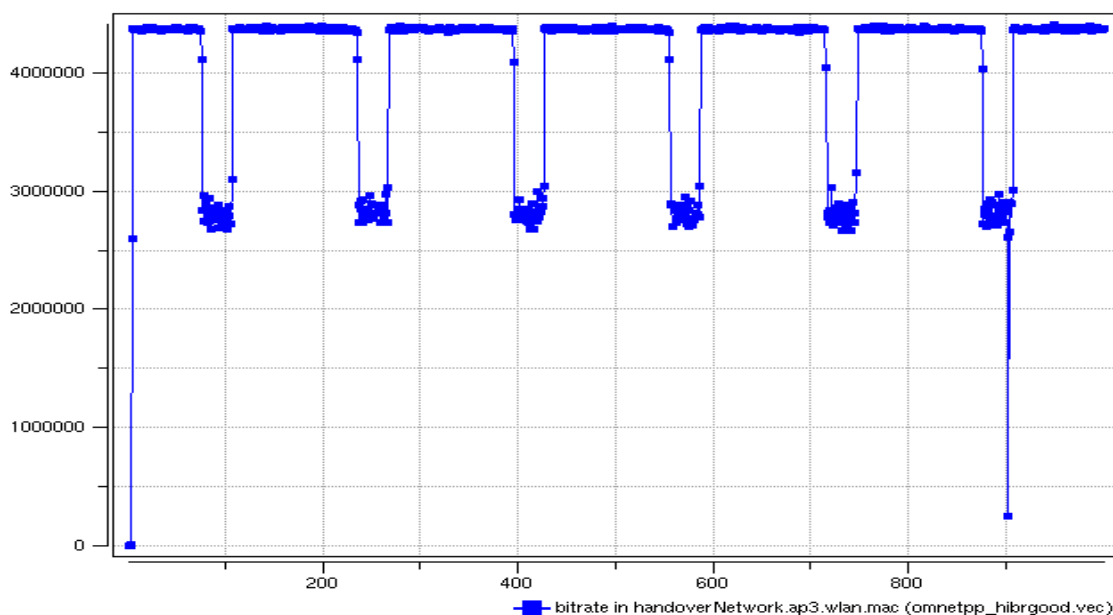
Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές των διαφόρων παραμέτρων όπως προηγουμένως. Από τον πίνακα προκύπτει πως με εξαίρεση το jitter όλα τα άλλα μεγέθη είναι πολύ μεγαλύτερα, με αξιοσημείωτο το χρόνο διαπομπής που έχει επταπλασιαστεί από την περίπτωση του χαμηλού φορτίου και τετραπλασιαστεί από την περίπτωση του μέσου φορτίου. Αυτό ήταν αναμενόμενο όπως είχε

αναλυθεί και στην παράγραφο () μιας και η κατανεμημένη αρχιτεκτονική δεν ενδείκνυται για περιπτώσεις υψηλού φορτίου. Όπως είναι φανερό και σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχουν πάνω από 1 χαμένα πακέτα ανά διαπομπή. Αυτό εξηγείται μιας και ο χρόνος θεώρησης ενός πακέτου ως χαμένο από το server έχει καθοριστεί στο 1s και οι διαπομπές διαρκούν μερικά ms.

Πίνακας 7-8 Μέσες τιμές μετρούμενων μεγεθών – υψηλό φορτίο – κατανεμημένη διαπομπή

Παράμετρος	Μέση τιμή
Χρόνος διαπομπής	0,00700151s
end-to-end delay	0,00164376s
Jitter	0,000257675s
Χαμένα πακέτα / επαναμεταδόσεις	50 (συνολικά) – 47 (λόγω διαπομπής) – μέγιστο 1/διαπομπή

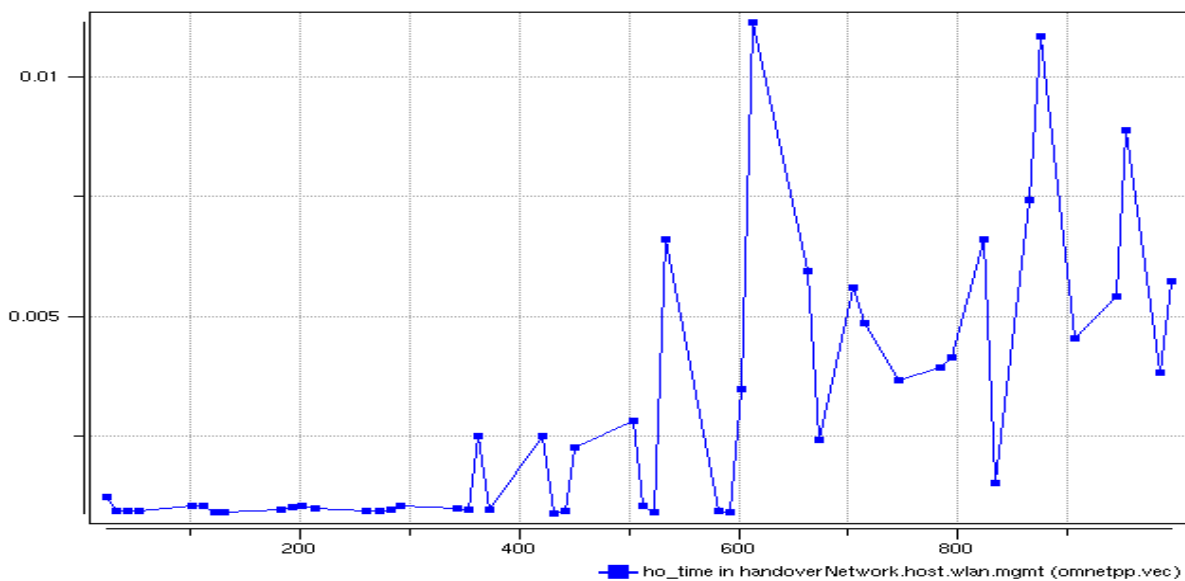
Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ενός σταθμού βάσης, για την πρακτική απόδειξη των όσων αναφέρθηκαν προηγουμένως για το ότι όντως η κατάσταση του δικτύου είναι κατάσταση υψηλού φορτίου. Όπως φαίνεται όταν υπάρχει ένας χρήστης συνδεδεμένος ο ρυθμός μετάδοσης είναι περίπου 4,5Mbps, αλλά όταν συνδέεται και ο κινούμενος χρήστης ο ρυθμός μετάδοσης πέφτει αρκετά λόγω συγκρούσεων και είναι λίγο κάτω από τα 3Mbps.



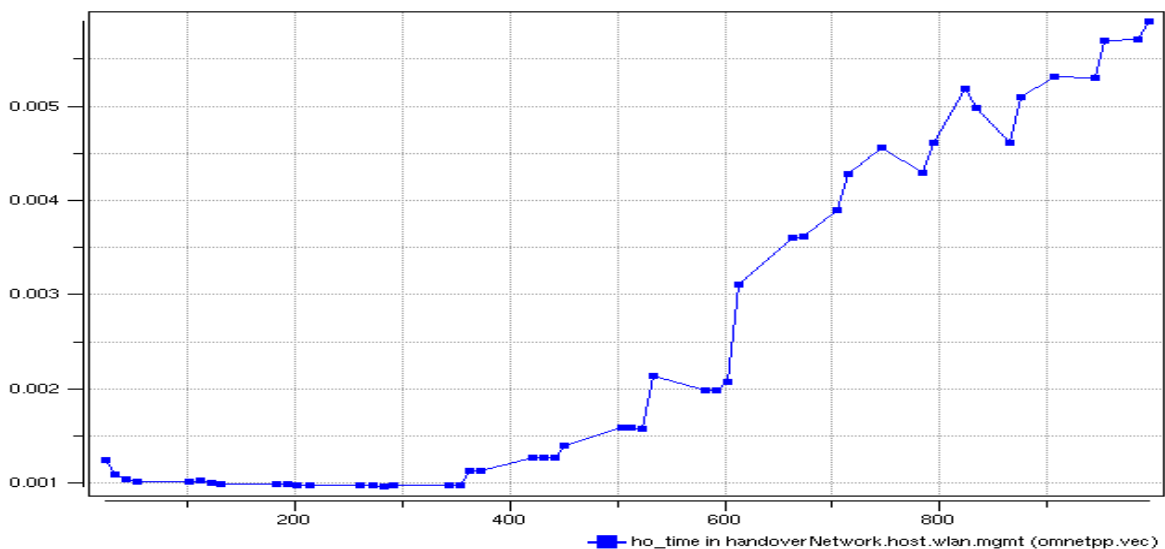
Σχήμα 7-12. Λαμβανόμενος ρυθμός δεδομένων κινούμενου χρήστη - υψηλό φορτίο – κατανεμημένη διαπομπή.

7.6.1.4 Συνολική εκτίμηση

Στο επόμενο σχήμα 7-13 παρουσιάζεται ο χρόνος διαπομπής για μια προσομοίωση όπου το φορτίο του δικτύου αυξάνεται σταδιακά. Στα πρώτα 300 δευτερόλεπτα υπάρχει χαμηλό φορτίο, στα επόμενα 300 υπάρχει μεσαίο φορτίο, ενώ στα τελευταία 400 δευτερόλεπτα υπάρχει πολύ υψηλό φορτίο στο δίκτυο. Στο σχήμα είναι προφανής η αλλαγή στο χρόνο διαπομπής όταν αλλάζει το φορτίο, όπως έχει αναλυθεί προηγουμένως. Για να γίνει πιο ξεκάθαρο αυτό παρουσιάζεται το σχήμα (), στο οποίο απεικονίζεται μια μέση τιμή της διαπομπής ανά ένα κινούμενο παράθυρο 10 διαπομπών. Σε αυτό φαίνεται ξεκάθαρα η μεταβολή του χρόνου διαπομπής στις τρεις περιπτώσεις φορτίου.

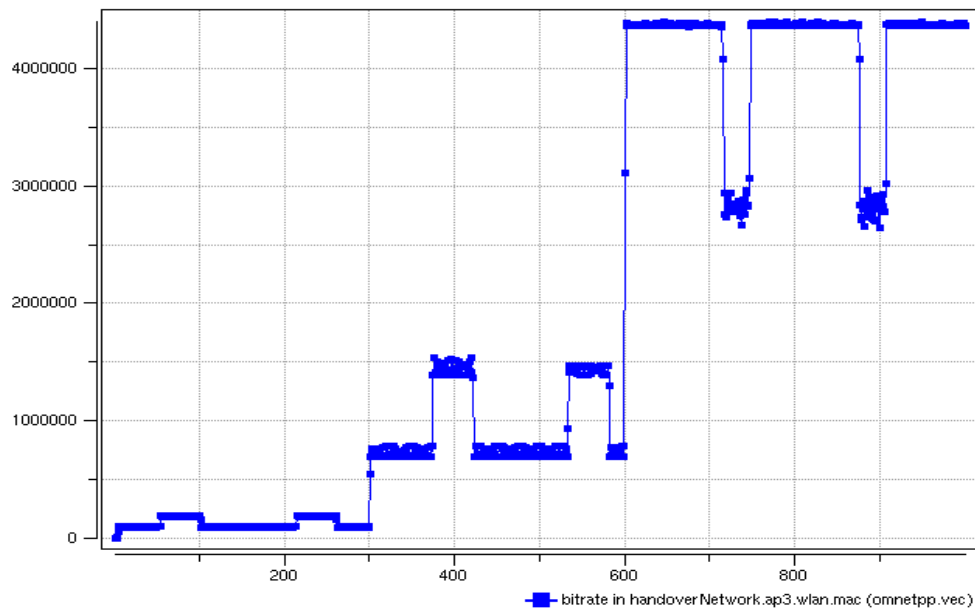


Σχήμα 7-13. Χρόνος κατανεμημένης διαπομπής (handover latency) – συνολική εκτίμηση.

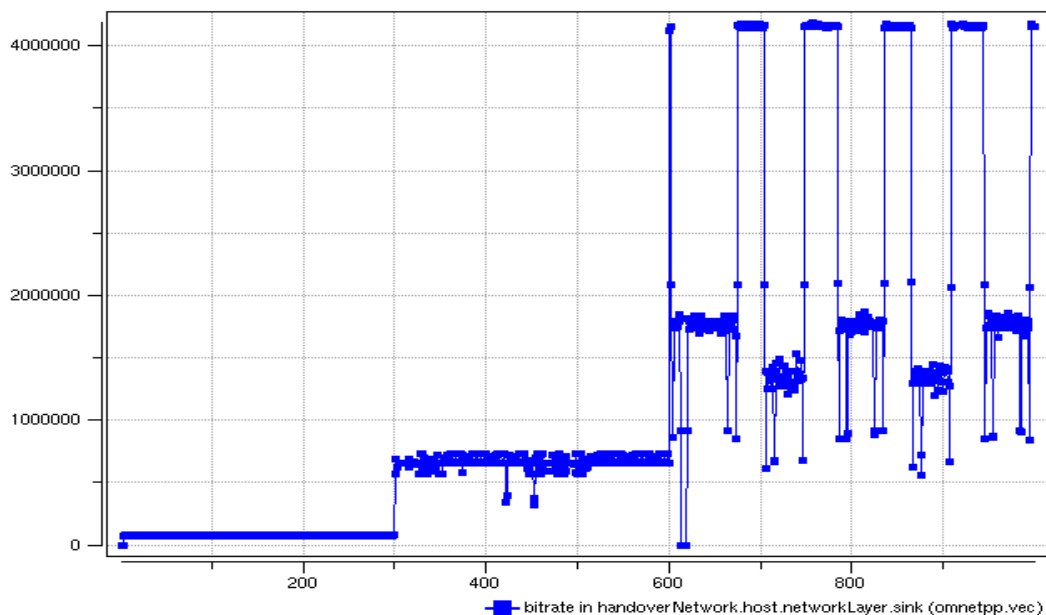


Σχήμα 7-14. Μέσος χρόνος κατανεμημένης διαπομπής (handover latency) – συνολικά.

Το φορτίο που υπάρχει στο δίκτυο παρουσιάζεται στα επόμενα δυο επόμενα σχήματα όπου παρουσιάζονται ο ρυθμός λήψης δεδομένων του κινούμενου χρήστη (σχήμα 7-15) και ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ενός σταθμού βάσης (σχήμα 7-16).



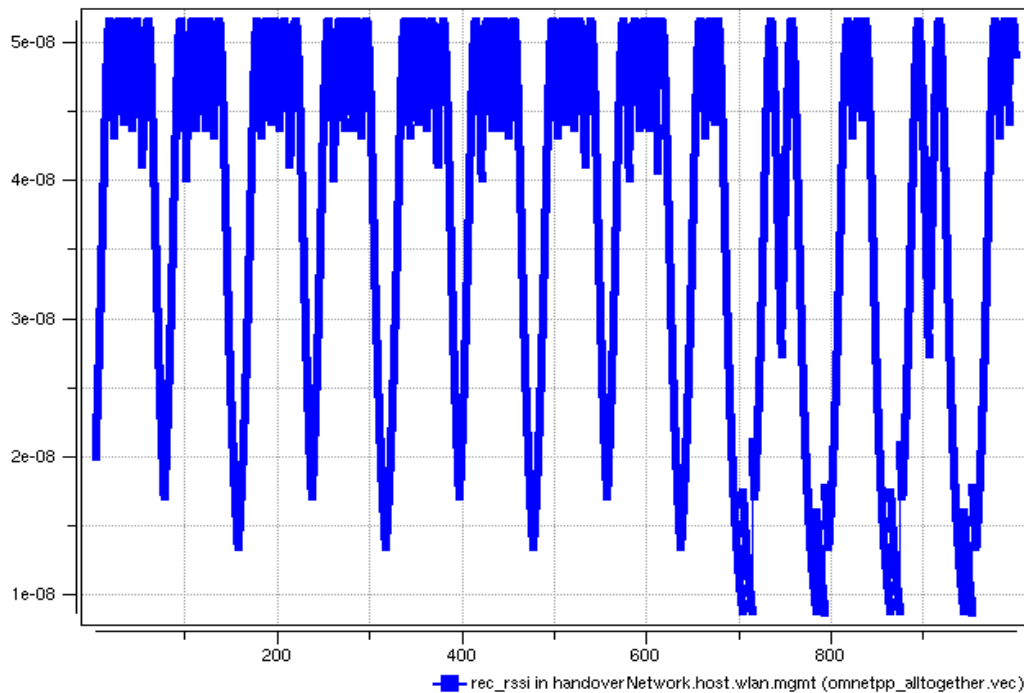
Σχήμα 7-15. Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ενός σταθμού βάσης – κατανεμημένη διαπομπή – συνολικά.



Σχήμα 7-16. Λαμβανόμενος ρυθμός δεδομένων του κινούμενου χρήστη – κατανεμημένη διαπομπή - συνολικά.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται το λαμβανόμενο σήμα από τον κινούμενο χρήστη. Όπως είναι φανερό, στην αρχή που είναι χαμηλό το φορτίο πραγματοποιούνται αρκετές διαπομπές παρότι δεν υπάρχει σημαντικό πρόβλημα με την στάθμη σήματος του χρήστη. Αυτό συμβαίνει επειδή ο κινούμενος χρήστης δε στέλνει αίτηση για διαπομπή μόνο όταν έχει σημαντική μείωση της στάθμης του σήματός του, αλλά στέλνει ανά καθορισμένες στιγμές μήπως βρει καλύτερο σήμα από άλλον

σταθμό βάσης που να έχει και αυτός χαμηλό φορτίο και να μπορεί να τον εξυπηρετήσει. Είναι επίσης φανερό όμως πως αυτό δε συμβαίνει σε περίπτωση υψηλού φορτίου, όπου ο χρήστης παραμένει ουσιαστικά συνδεδεμένος με τον τρέχοντα σταθμό βάσης μέχρι να πέσει πολύ χαμηλά το λαμβανόμενο σήμα του και να πραγματοποιήσει “υποχρεωτική διαπομπή”.



Σχήμα 7-17. Στάθμη λαμβανόμενου σήματος κινούμενου χρήστη – κατανεμημένη διαπομπή - συνολικά.

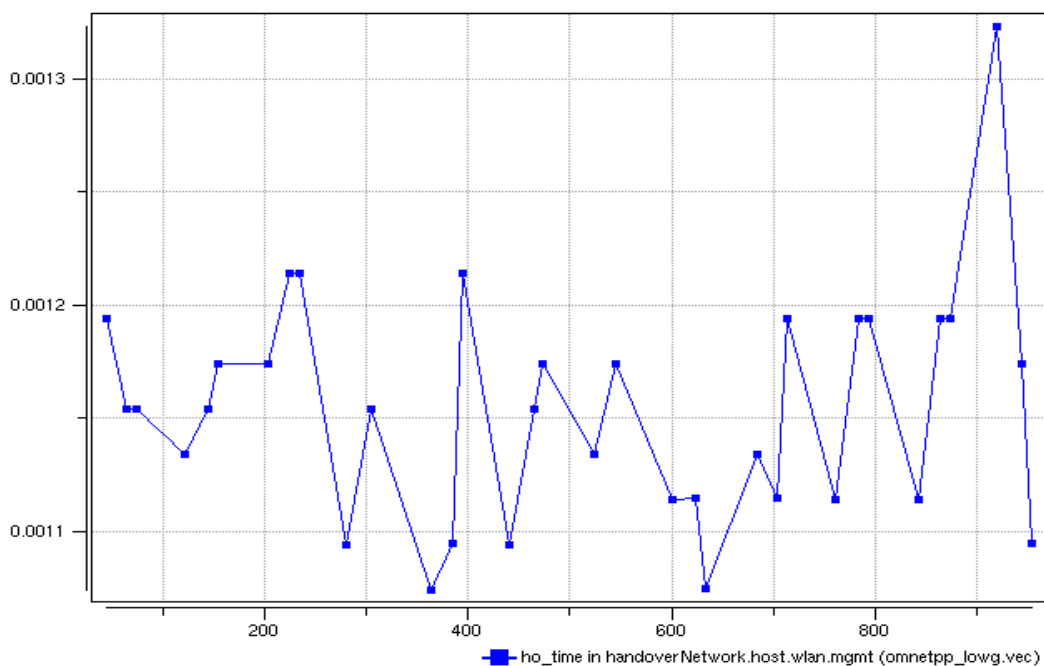
7.6.2 Κεντροποιημένη διαπομπή

Σε αυτή την παράγραφο αναλύονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για την περίπτωση της κεντροποιημένης διαπομπής. Εδώ υπενθυμίζεται πως στην κεντροποιημένη διαπομπή, την απόφαση για την εκτέλεση της διαπομπής, καθώς και την απόφαση για τον σταθμό βάσης στον οποίο θα μετακινηθεί ο χρήστης τις παίρνει ο RRM Server. Όπως και πριν τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν για τις τρεις περιπτώσεις φορτίου, χαμηλού, μέσου και υψηλού.

7.6.2.1 Χαμηλό φορτίο

Σε αυτή την περίπτωση θεωρούμε φορτίο στο δίκτυο ίδιο με αυτό της κατανεμημένης περίπτωσης για την εξαγωγή κατάλληλων συμπερασμάτων για τις δυο αρχιτεκτονικές. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ο χρόνος διαπομπής κατά όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Όπως είναι φανερό από το σχήμα, ο χρόνος διαπομπής είναι σχεδόν ίδιος για όλες τις διαπομπές με πολύ μικρές αποκλίσεις. Επίσης, σε σχέση με την κατανεμημένη διαπομπή ο χρόνος είναι μεγαλύτερος, κάτι που είναι αναμενόμενο, μιας και σε περιπτώσεις χαμηλού φορτίου η κατανεμημένη διαπομπή είναι ταχύτερη αφού ο τρέχον σταθμός βάσης δε χρειάζεται να ψάξει να βρει τον υποψήφιο με πολλή

σηματοδοσία, αφού ο πρώτος υποψήφιος θα έχει τους κατάλληλους πόρους για να δεχτεί τον χρήστη. Στην περίπτωση της κεντροποιημένης διαπομπής υπάρχει επιπλέον καθυστέρηση μέχρι να φτάσουν τα μηνύματα στον κεντρικό RRM Server, που βρίσκεται πολύ πιο μακριά από τους σταθμούς βάσεις (που είναι ο ένας δίπλα στον άλλον), μιας και είναι ο εξυπηρετητής που ελέγχει μια ολόκληρη πολύ μεγάλη περιοχή. Επομένως, τα μηνύματα αργούν λίγο περισσότερο στη μετακίνησή τους από και προς τον RRM Server. Αν σε αυτό προστεθεί και ο λίγο μεγαλύτερος χρόνος επεξεργασίας των μηνυμάτων στον RRM Server, μιας και πρέπει να επεξεργάζεται πολλά μηνύματα από όλο το δίκτυο, τότε εξηγείται γιατί σε περιπτώσεις χαμηλού φορτίου η κεντροποιημένη διαπομπή είναι πιο αργή από την καταναμημένη.



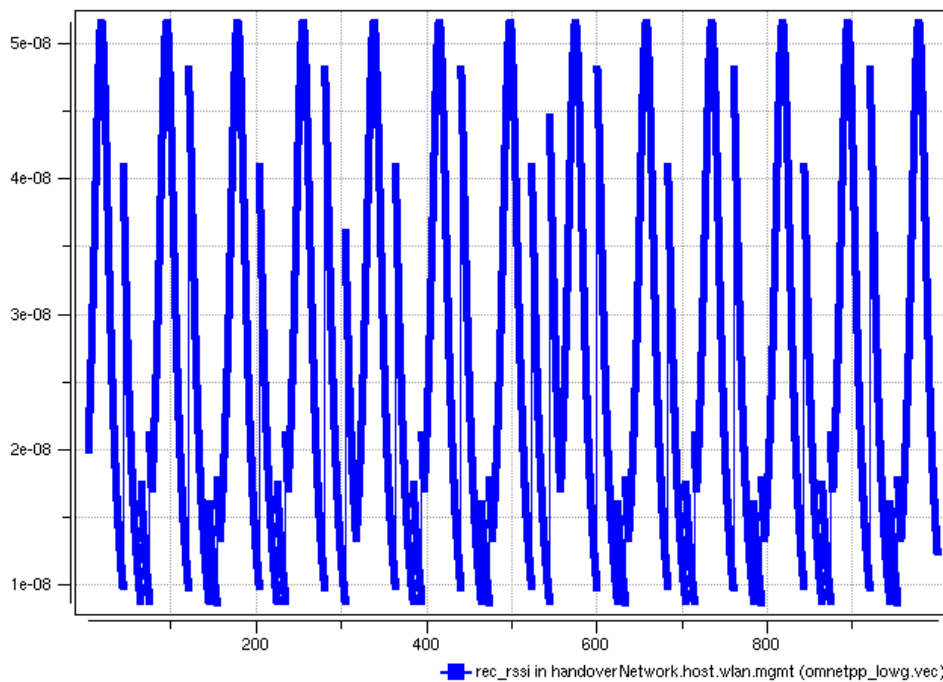
Σχήμα 7-18. Χρόνος κεντροποιημένης διαπομπής (handover latency) – χαμηλό φορτίο.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων της προσομοίωσης, όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις. Σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές της καταναμημένης διαπομπής είναι φανερό πως οι τιμές είναι μεγαλύτερες, πράγμα που αποδεικνύει πως στην περίπτωση χαμηλού φορτίου του δικτύου η κεντροποιημένη διαχείριση ραδιοπόρων δε λειτουργεί εξίσου καλά με την καταναμημένη αρχιτεκτονική που λαμβάνει γρήγορες αποφάσεις.

Πίνακας 7-9 Μέσες τιμές μετρούμενων μεγεθών – χαμηλό φορτίο – κεντροποιημένη διαπομπή

Παράμετρος	Μέση τιμή
Χρόνος διαπομπής	0,00115508s
end-to-end delay	0,00131961s
jitter	0,000160833s
Χαμένα πακέτα / επαναμεταδόσεις	0

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η στάθμη του λαμβανόμενου σήματος στην περίπτωση αυτή του χαμηλού φορτίου. Είναι φανερό πως ο αλγόριθμος λειτουργεί πολύ καλά μιας και οι διαπομπές γίνονται μόνο όταν υπάρχει πραγματικά ανάγκη για να γίνουν λόγω του χαμηλού λαμβανόμενου σήματος, έτσι αποφεύγονται μη αναγκαίες διαπομπές. Οι περισσότερες διαπομπές γίνονται όταν η στάθμη του λαμβανόμενου σήματος πέσει κάτω από το κατώφλι του RRM Server που υπενθυμίζεται ότι είναι στα $9 \cdot 10^{-9}$ Watts. Είναι φανερό από το σχήμα πως οι περισσότερες διαπομπές όντως γίνονται σε τέτοια περίπτωση.



Σχήμα 7-19. Στάθμη λαμβανόμενου σήματος κινούμενου χρήστη – κεντροποιημένη διαπομπή – χαμηλό φορτίο.

7.6.2.2 Μέσο φορτίο

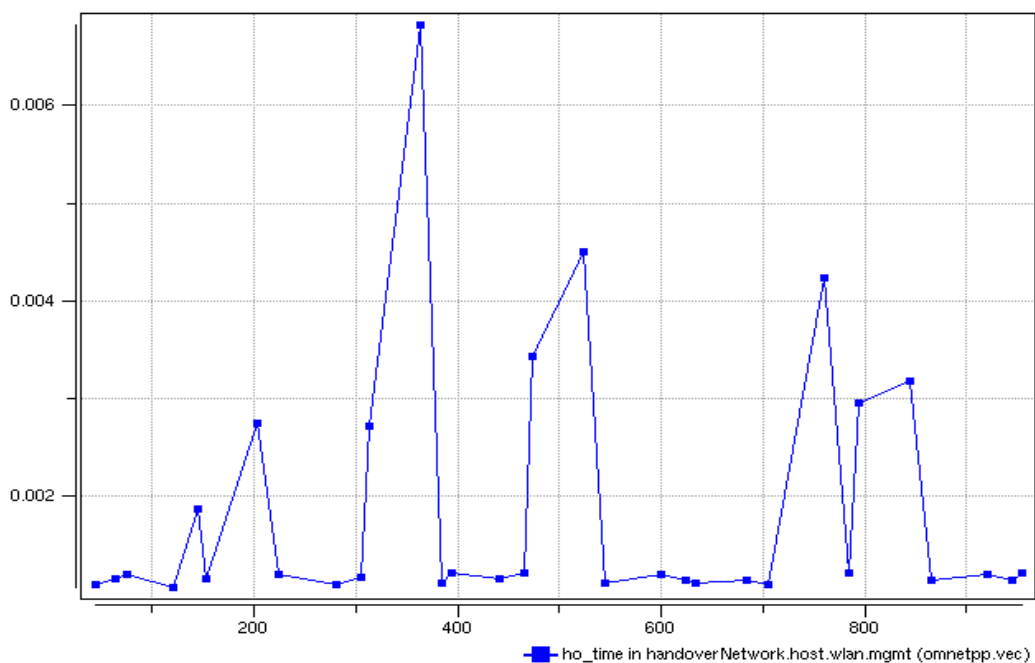
Σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για μέσο φορτίο και κεντροποιημένη διαπομπή. Εδώ αναμένεται τα αποτελέσματα να είναι παρόμοια με αυτά της κατανεμημένης διαπομπής, επειδή όπως αναφέρθηκε και στη θεωρία, μπορεί η κεντροποιημένη διαπομπή σε περιπτώσεις χαμηλού φορτίου να μην προσφέρει πολύ καλά αποτελέσματα, αλλά σε μέσο ή υψηλό φορτίο δεν παρουσιάζει τόσο μεγάλη μεταβολή στο χρόνο διαπομπής όσο η κατανεμημένη διαπομπή, επομένως είναι πιο συμφέρουσα. Όπως και πριν είναι εμφανές πως υπάρχουν διακυμάνσεις στο χρόνο διαπομπής και ενώ μερικές διαπομπές είναι γρήγορες υπάρχουν και άλλες, όμως, οι οποίες είναι αρκετά αργές λόγω της συμφόρησης στους σταθμούς βάσης. Στον πίνακα συγκεντρώνονται και οι τιμές των παραμέτρων. Όπως φαίνεται η μέση τιμή της διαπομπής είναι πολύ κοντά στην αντίστοιχη μέση τιμή (ελάχιστα μεγαλύτερη) της κατανεμημένης διαπομπής, που αποδεικνύει αυτό που αναλύθηκε προηγουμένως. Αντιστοίχως και οι τιμές για την καθυστέρηση και το jitter είναι παρόμοιες με την κατανεμημένη περίπτωση. Όλα αυτά αποδεικνύουν και εμπράκτως πως η κεντροποιημένη

διαχείριση ραδιοπύλων λειτουργεί παρόμοια με την κατανεμημένη στην περίπτωση μέσου φορτίου στο δίκτυο.

Πίνακας 7-10 Μέσες τιμές μετρούμενων μεγεθών – μέσο φορτίο – κεντροποιημένη διαπομπή

Παράμετρος	Μέση τιμή
Χρόνος διαπομπής	0,00184271s
end-to-end delay	0,00147769s
jitter	0,000327139s
Χαμένα πακέτα / επαναμεταδόσεις	6 (1/διαπομπή)

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται αναλυτικά και ο χρόνος των διαπομπών.

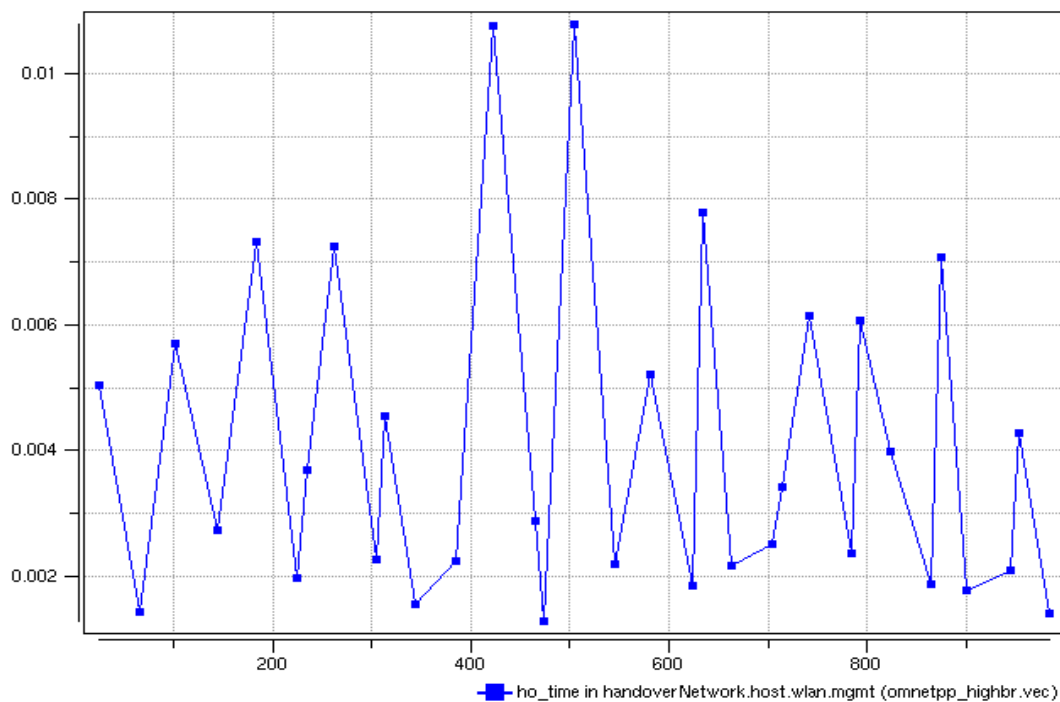


Σχήμα 7-20. Χρόνος κεντροποιημένης διαπομπής (handover latency) – μέσο φορτίο.

7.6.2.3 Υψηλό φορτίο

Σε αυτή την περίπτωση οι χρήστες λαμβάνουν τις υπηρεσίες τους με το μέγιστο δυνατό ρυθμό δεδομένων ανάλογα με το φορτίο του σταθμού βάσης. Εδώ όπως και στην αντίστοιχη περίπτωση της κατανεμημένης διαπομπής οι χρήστες τείνουν να χρησιμοποιήσουν θεωρητικά άπειρο εύρος ζώνης, αλλά πρακτικά όσο περισσότερο μπορούν σε σχέση με το μέγιστο δυνατό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων του σταθμού βάσης. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ο χρόνος διαπομπής σε αυτή την περίπτωση. Είναι προφανές πως και εδώ υπάρχει αρκετή διακύμανση στο χρόνο διαπομπής, αλλά βλέπουμε πως οι “αργές” διαπομπές είναι της τάξεως των 10ms και όχι πολύ παραπάνω. Επίσης υπάρχουν και διαπομπές που γίνονται πάρα πολύ γρήγορα σε 1-2ms. Όπως θα φανεί και στον επόμενο

πίνακα, ο μέσος όρος χρόνου διαπομπής στην κεντροποιημένη διαπομπή και σε πολύ υψηλό φορτίο είναι κοντά στα 4ms, χρόνος που αν τον συγκρίνουμε με τον αντίστοιχο χρόνο για την κατακευματισμένη διαπομπή και το πολύ υψηλό φορτίο είναι σχεδόν ο μισός χρόνος. Αυτό προκύπτει και από τη θεωρητική ανάλυση που έγινε στο κεφάλαιο () και προκύπτει επομένως και πειραματικά πως όντως η κεντροποιημένη διαπομπή είναι ταχύτερη σε περιπτώσεις υψηλού φορτίου, αφού ο RRM Server που λαμβάνει τις αποφάσεις για τη διαπομπή έχει γνώση για την κατάσταση κάθε σταθμού βάσης και μπορεί να βρει αμέσως τον κατάλληλο για τη διαπομπή και δε χρειάζεται να επικοινωνεί επανειλημμένως με τους υπολοίπους σταθμούς για να γίνει η εύρεση του κατάλληλου και η συνεννόηση για την εκτέλεση της διαπομπής. Επομένως και πειραματικά φαίνεται η αποδοτικότητα της κεντροποιημένης διαχείρισης ραδιοπόρων και η ανωτερότητά της σε σχέση με την κατακευματισμένη διαπομπή. Στον πίνακα που ακολουθεί το σχήμα παρουσιάζονται και εδώ οι τιμές των διαφόρων παραμέτρων της προσομοίωσης.

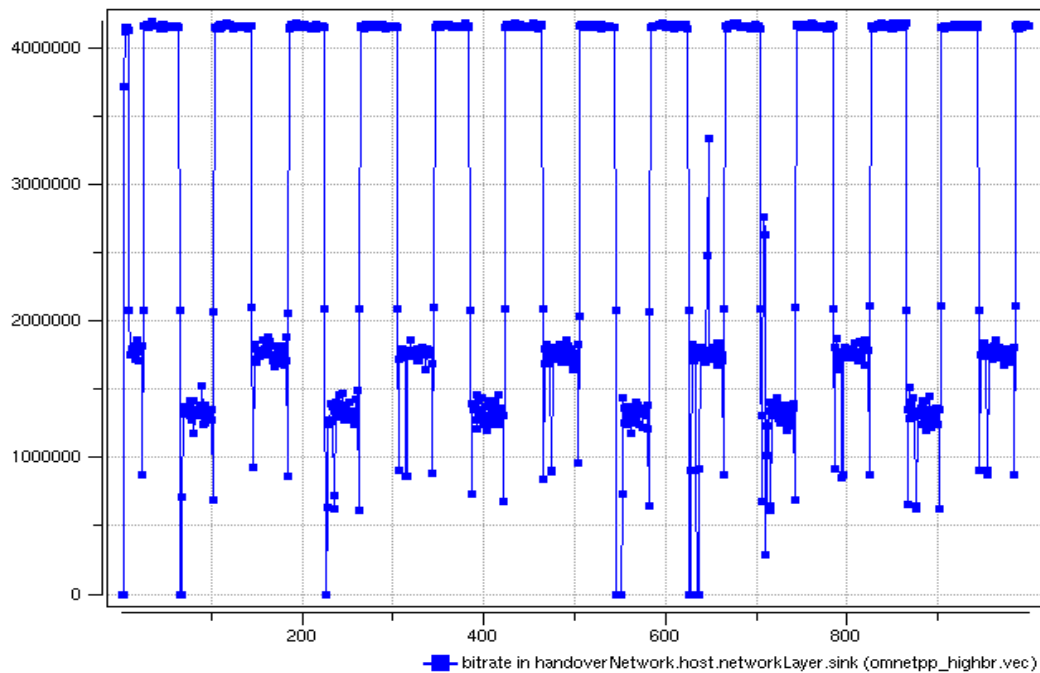


Σχήμα 7-21. Χρόνος κεντροποιημένης διαπομπής (handover latency) – υψηλό φορτίο.

Πίνακας 7-11 Μέσες τιμές μετρούμενων μεγεθών – υψηλό φορτίο – κεντροποιημένη διαπομπή

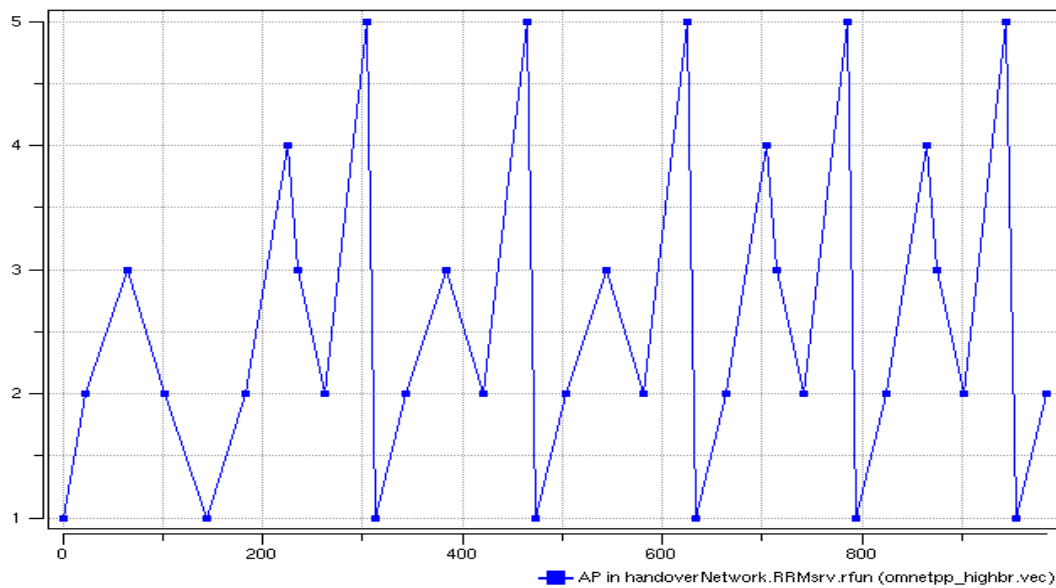
Παράμετρος	Μέση τιμή
Χρόνος διαπομπής	0,00404719s
end-to-end delay	0,00134976s
jitter	0,000138538s
Χαμένα πακέτα / επαναμεταδόσεις	6 (1/διαπομπή)

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ο λαμβανόμενος ρυθμός δεδομένων του κινούμενου χρήστη κατά όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Στο σχήμα φαίνεται πως σε αρκετές περιπτώσεις ο χρήστης λαμβάνει το μέγιστο ρυθμό δεδομένων. Αυτό συμβαίνει επειδή ο ένας από τους πέντε σταθμούς βάσης δεν έχει ακίνητο χρήστη συνδεδεμένο, οπότε έχει μηδενικό φορτίο. Ο RRM Server το γνωρίζει αυτό επομένως όποτε είναι δυνατόν συνδέει το χρήστη με αυτόν τον σταθμό, ώστε ο χρήστης να λαμβάνει το μέγιστο ρυθμό δεδομένων και την καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών. Σε αυτό οφείλεται και η χαμηλή μέση καθυστέρηση που παρατηρείται.



Σχήμα 7-22. Λαμβανόμενος ρυθμός δεδομένων κινούμενου χρήστη – κεντροποιημένη διαδρομή - υψηλό φορτίο.

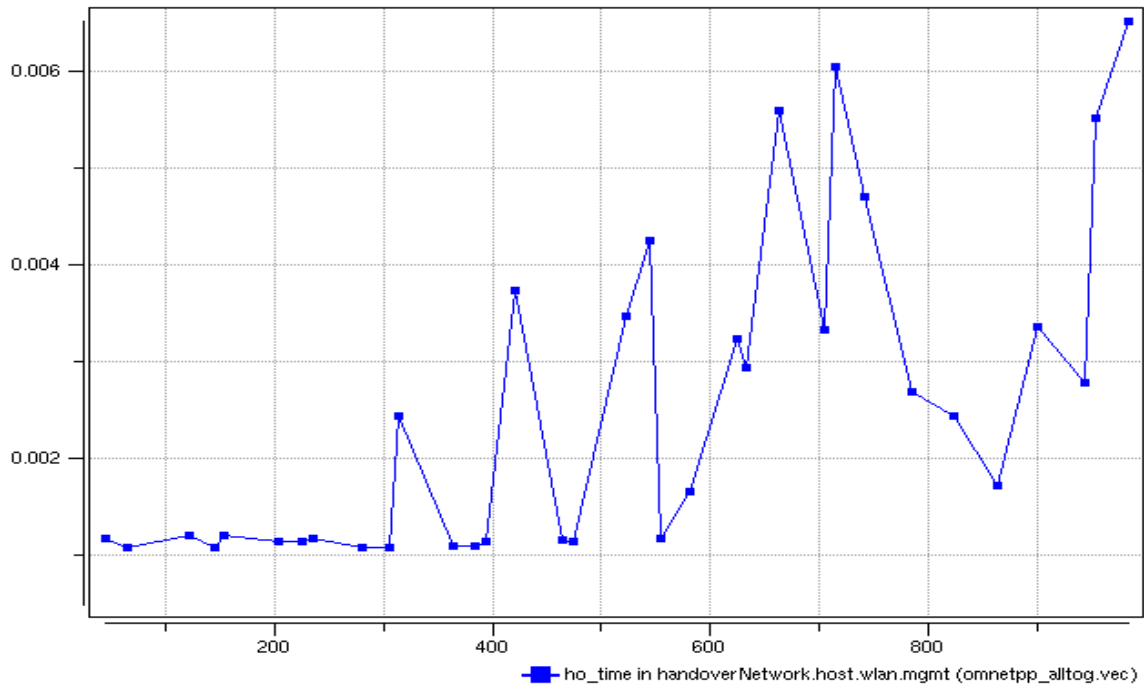
Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η σύνδεση του κινούμενου χρήστη με τους σταθμούς βάσης. Κάθε σταθμός βάσης απεικονίζεται με έναν αριθμό που αντιστοιχεί στο όνομά του (ap1 – ap5). Είναι φανερή μια ομοιομορφία στην σύνδεση του χρήστη με τους σταθμούς βάσης αφού κινείται με σταθερή ταχύτητα και σε ευθεία γραμμή και επίσης ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι ο ίδιος, επομένως ο χρήστης ακολουθεί μια παρόμοια πορεία και παρόμοια συνδεσμολογία. Σε αυτό συμβάλλει και το γεγονός ότι τις αποφάσεις τις λαμβάνει ο RRM Server οπότε σε παρόμοιες καταστάσεις λαμβάνει παρόμοιες αποφάσεις.



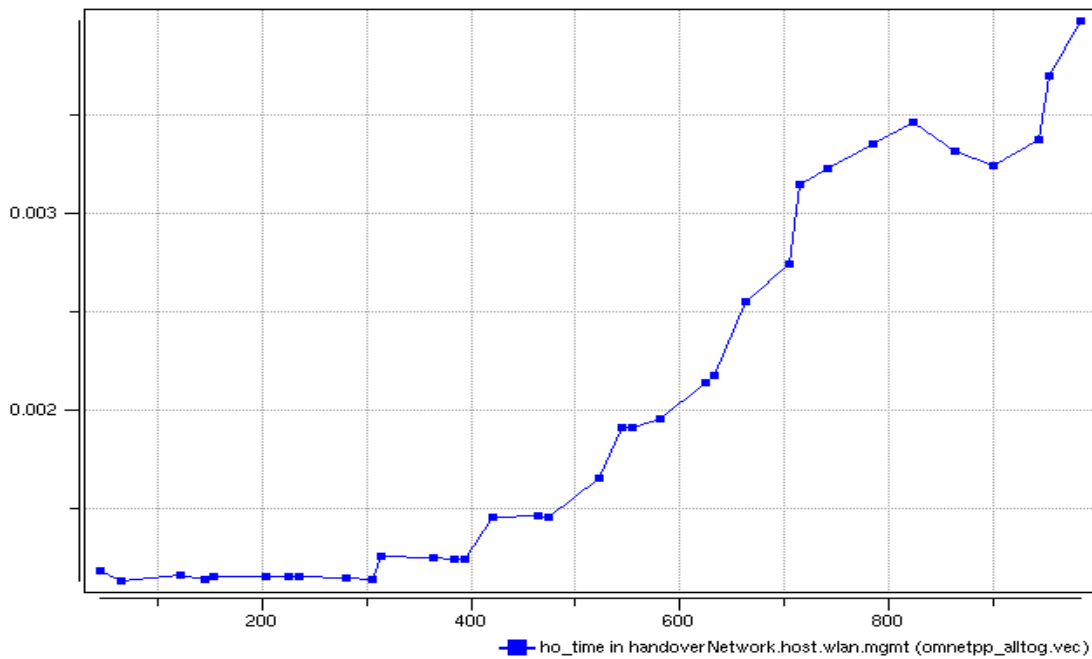
Σχήμα 7-23. Σύνδεση κινούμενου χρήστη με τους σταθμούς βάσης.

7.6.2.4 Συνολική εκτίμηση

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ο χρόνος διαπομπής για προσομοίωση με αυξανόμενο φορτίο δικτύου, όπως και στην περίπτωση της κατανεμημένης διαπομπής. Οι συνθήκες της προσομοίωσης είναι ακριβώς οι ίδιες, με το ίδιο χαμηλό φορτίο για τα πρώτα 300 δευτερόλεπτα, το ίδιο μέσο φορτίο για τα υπόλοιπα 300 δευτερόλεπτα και με το ίδιο πολύ υψηλό φορτίο για τα υπόλοιπα 400 δευτερόλεπτα. Είναι φανερό πως σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μικρότερη διαφορά στη διακύμανση του χρόνου διαπομπής αναλόγως με το φορτίο σε σχέση με αυτή της κατανεμημένης διαπομπής και του σχήματος 7-13. Η μετάβαση από το χαμηλό φορτίο προς το υψηλό είναι πιο ομαλή από ότι πριν, πράγμα που δείχνει και πρακτικά πως η κεντροποιημένη διαπομπή δεν επηρεάζεται τόσο σημαντικά από το φορτίο όπως η κατανεμημένη διαπομπή. Στο σχήμα 7-25 παρουσιάζεται ο χρόνος διαπομπής ανά παράθυρο 12 διαπομπών ώστε περίπου στο τέλος κάθε μέρους (300s, 600s, 1000s) να προκύπτει ο μέσος χρόνος διαπομπής ανά περίπτωση που απ' ότι φαίνεται είναι πολύ παρόμοιος με τις περιπτώσεις που αναλύθηκαν πριν ξεχωριστά. Αυτό αποδεικνύει κιόλας πως η διαπομπή λειτουργεί ίδια κάτω από ίδιες περιπτώσεις και δε βγάζει τυχαίες τιμές.

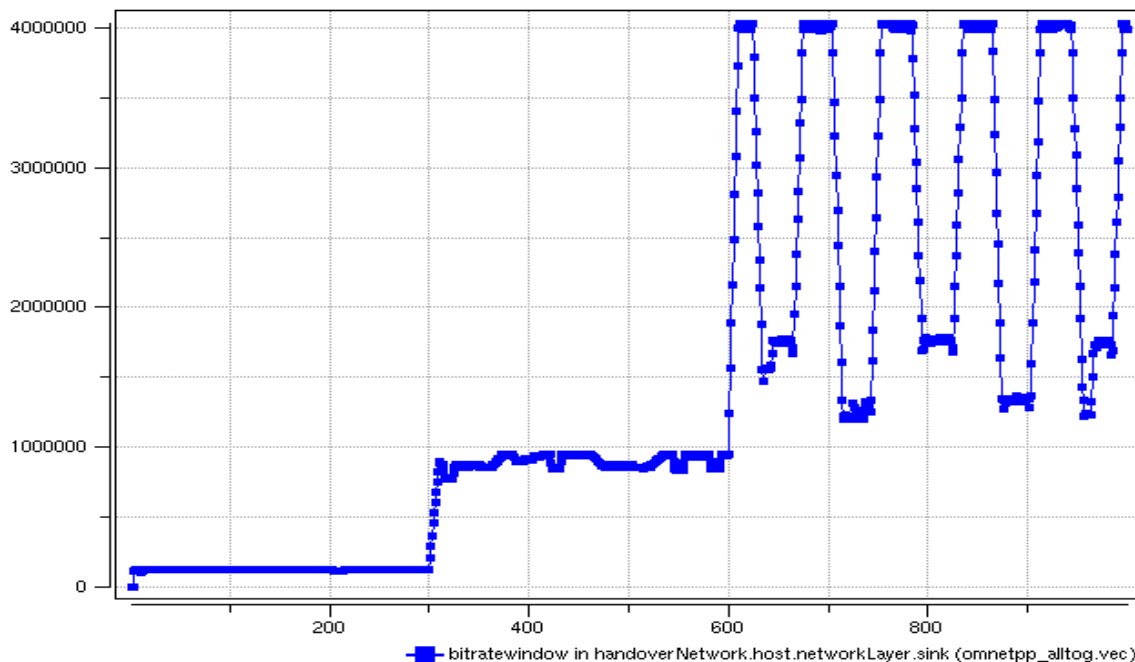


Σχήμα 7-24. Χρόνος κεντροποιημένης διαπομπής - συνολικά.



Σχήμα 7-25. Μέσος χρόνος κεντροποιημένης διαπομπής - συνολικά.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ο ρυθμός λήψης δεδομένων του κινούμενου χρήστη σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Σε σχέση με το σχήμα () για την κατανεμημένη διαπομπή δεν υπάρχουν πολλές διαφορές, αλλά υπάρχει ένα ενδιαφέρον σημείο στην περίπτωση του υψηλού φορτίου. Στην κατανεμημένη περίπτωση φαίνεται ότι ο χρήστης λαμβάνει το μέγιστο ρυθμό δεδομένων για αρκετά μεγαλύτερη διάρκεια, πράγμα που οφείλεται στην πολύ σωστή και βέλτιστη λειτουργία της διαδικασίας διαπομπής στον RRM Server, μιας και γνωρίζει πάντα με τη μια ποιος είναι ο βέλτιστος σταθμός βάσης για τη διαπομπή.



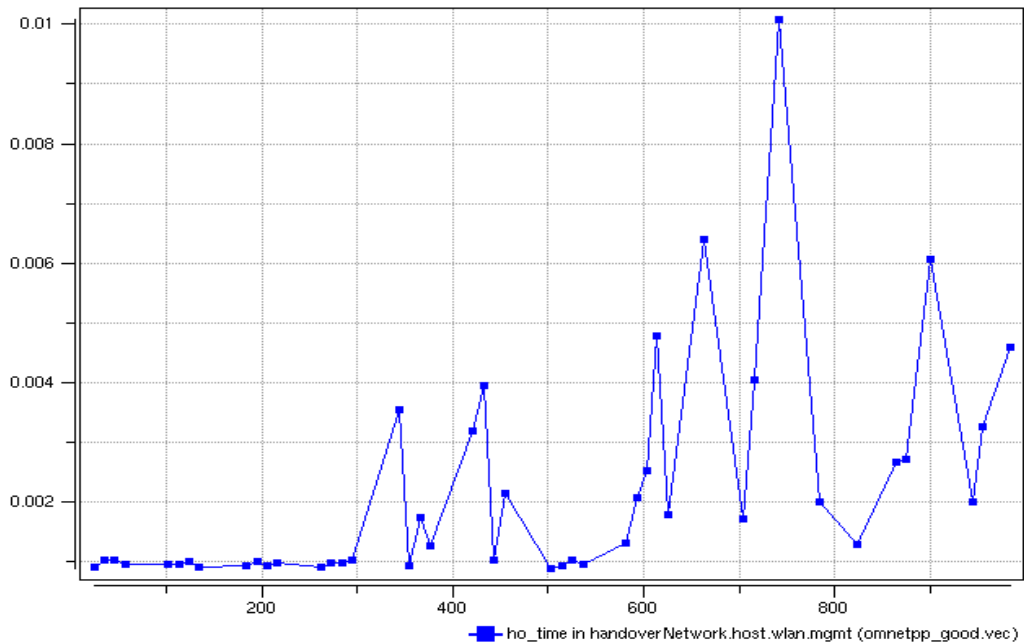
Σχήμα 7-26. Λαμβανόμενος ρυθμός δεδομένων κινούμενου χρήστη – κεντροποιημένη διαπομπή - συνολικά.

7.6.2.5 Υβριδική διαπομπή

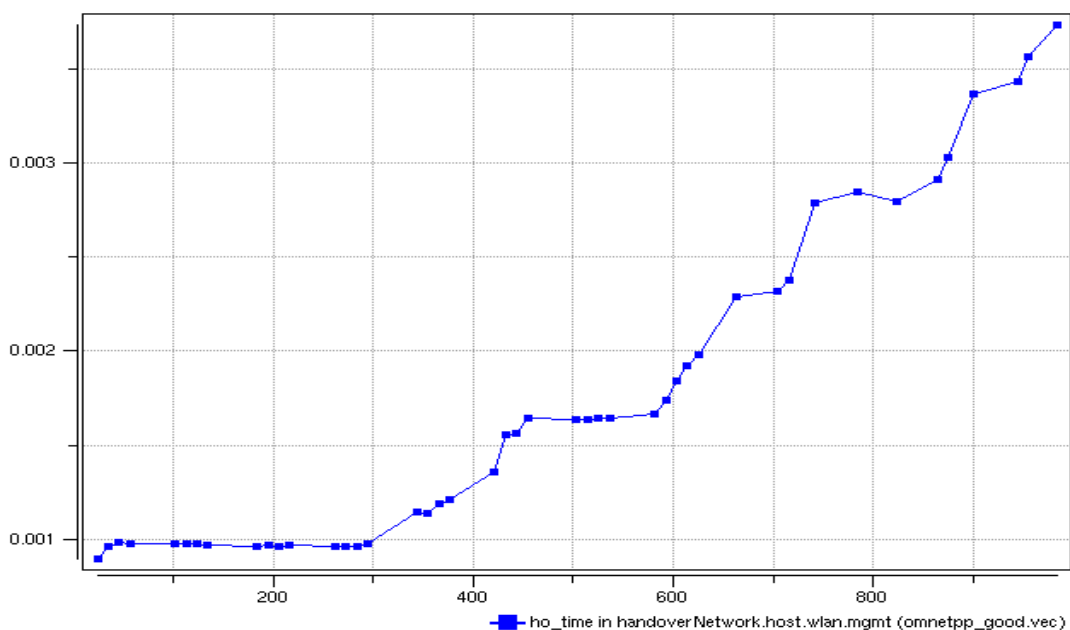
Από τα αποτελέσματα των προηγούμενων παραγράφων προκύπτει και πειραματικά ότι η κατανομημένη διαδικασία διαπομπής λειτουργεί εξαιρετικά μόνο σε περιπτώσεις χαμηλού ή και μέσου φορτίου, ενώ παρουσιάζει αρκετά μεγάλους χρόνους διαπομπής όταν το φορτίο αυξάνεται σημαντικά. Από την άλλη μεριά η κεντροποιημένη διαπομπή ναι μεν σε υψηλό φορτίο λειτουργεί εξαιρετικά λαμβάνοντας γρήγορες και βέλτιστες αποφάσεις, αλλά σε περιπτώσεις χαμηλού ή μέσου φορτίου δε λειτουργεί το ίδιο ικανοποιητικά και επιπλέον φορτώνει το δίκτυο με επιπρόσθετη σηματοδότηση, κάτι που πολλοί χειριστές δικτύων το αποφεύγουν. Από αυτά προκύπτει η ανάγκη για την υβριδική αρχιτεκτονική που έχει αναλυθεί στην παράγραφο 6.7 στην οποία ο RRM Server αρχίζει να λειτουργεί και λαμβάνει αποφάσεις μόνο όταν το φορτίο του δικτύου είναι υψηλό, ώστε σε τέτοια περίπτωση να λαμβάνονται βέλτιστες αποφάσεις, αλλά και σε περίπτωση χαμηλού φορτίου οι αποφάσεις να λαμβάνονται απευθείας από τους σταθμούς βάσης και να μην υπάρχει επιπρόσθετη σηματοδότηση στο δίκτυο.

Στο επόμενο σχήμα 7-27 παρουσιάζεται ο χρόνος διαπομπής για όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Εδώ η προσομοίωση είναι για την περίπτωση της “συνολικής εκτίμησης”, δηλαδή περίπτωση μεικτού φορτίου, όπου αρχικά έχουμε χαμηλό φορτίο, έπειτα μέσο φορτίο και τέλος πολύ υψηλό φορτίο. Οι ξεχωριστές περιπτώσεις αποφεύχθηκαν γιατί θα γινόταν επανάληψη αποτελεσμάτων και επιλέχθηκε μόνο η συνολική προσομοίωση για την καλύτερη εικόνα της λειτουργίας της υβριδικής αρχιτεκτονικής. Στο σχήμα 7-28 παρουσιάζεται και ο μέσος χρόνος διαπομπής ανά παράθυρο 15 διαπομπών για την εξαγωγή συμπερασμάτων για τις διαφορετικές φάσεις της διαπομπής. Όπως είναι

φανερό από τον συνδυασμό των δυο σχημάτων η υβριδική αρχιτεκτονική λειτουργεί εξαιρετικά και έχει ακριβώς τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Η μεταβολή στο χρόνο διαπομπής ανάμεσα στις τρεις φάσεις του φορτίου δεν είναι μεγάλη, κάτι που ήταν επιθυμητό και αναμενόμενο. Σε πολύ χαμηλό φορτίο (όπου τις αποφάσεις τις παίρνουν οι σταθμοί βάσης) ο χρόνος διαπομπής μένει κάτω από το 1ms (περίπου 0,97ms) ενώ για πολύ υψηλό φορτίο (όπου αναλαμβάνει τις αποφάσεις ο RRM Server) ο χρόνος διαπομπής παραμένει εξαιρετικά χαμηλός και αρκετά κάτω από τα 4ms κατά μέσο όρο (περίπου στα 3,7ms).

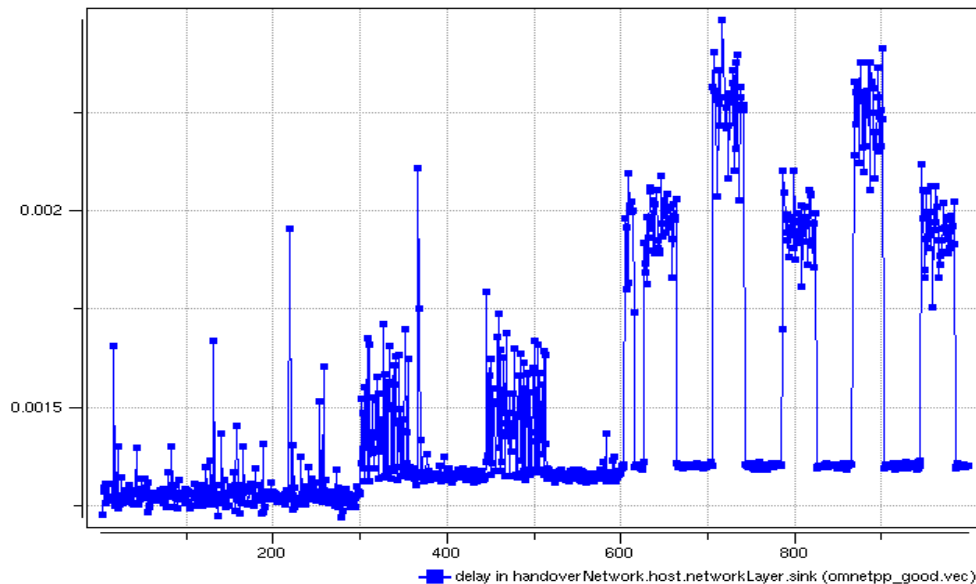


Σχήμα 7-27. Χρόνος υβριδικής διαπομπής.



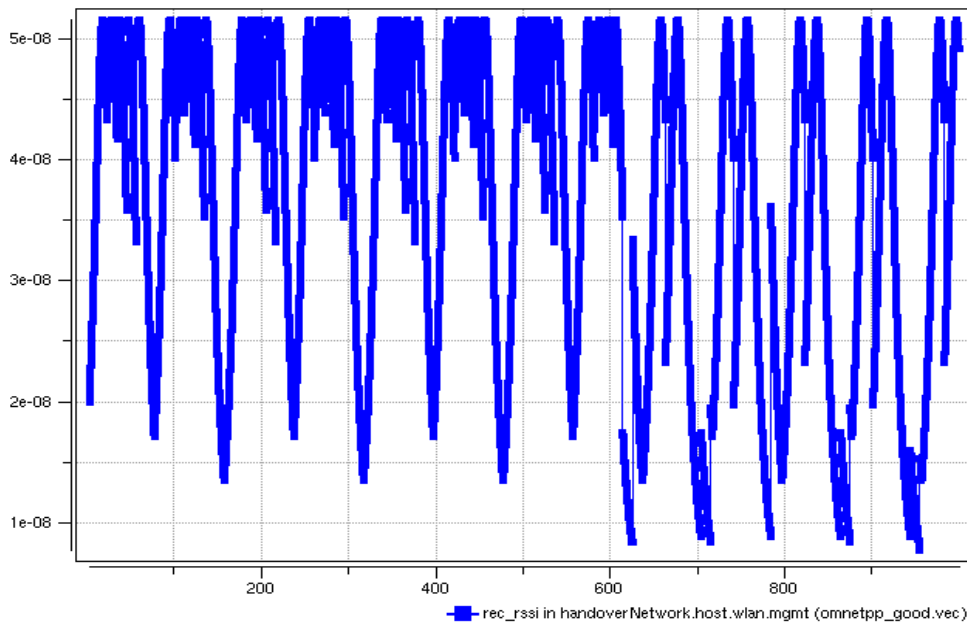
Σχήμα 7-28. Μέσος χρόνος υβριδικής διαπομπής.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η καθυστέρηση που υπόκεινται τα πακέτα του κινούμενου χρήστη κατά όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Είναι φανερό πως υπάρχει μια μικρή μεταβολή στην καθυστέρηση με το φορτίο, αλλά ταυτόχρονα η καθυστέρηση παραμένει αρκετά χαμηλά και ακόμα και στην περίπτωση υψηλού φορτίου υπάρχουν μεγάλα χρονικά διαστήματα με πολύ χαμηλή καθυστέρηση.



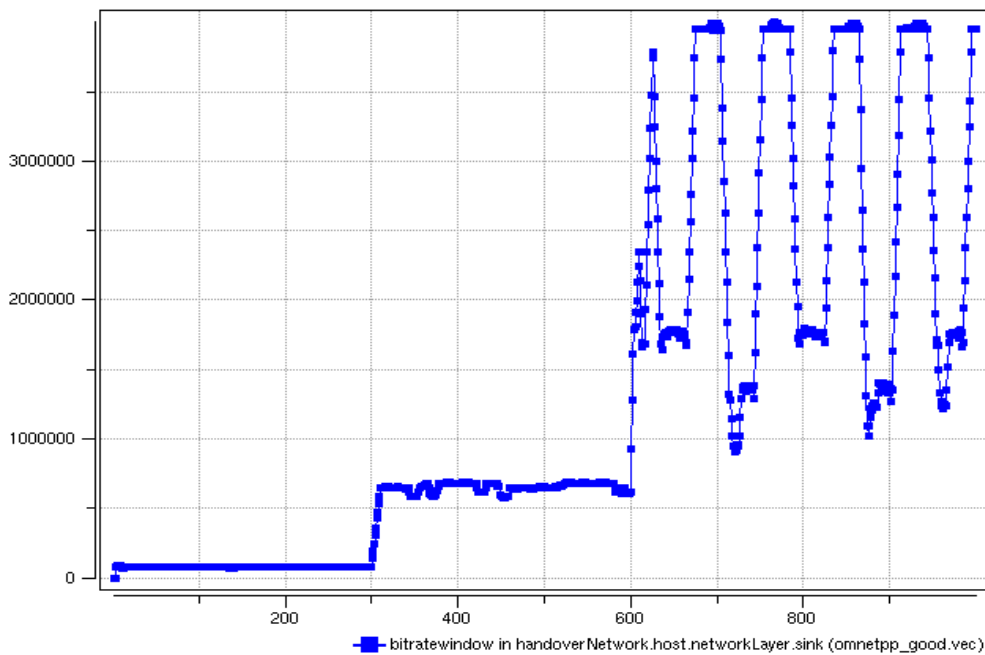
Σχήμα 7-29. Καθυστέρηση λήψης πακέτων κινούμενου χρήστη –υβριδική διαπομπή.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η στάθμη του λαμβανόμενου σήματος από τον κινούμενο χρήστη. Είναι φανερό και από εδώ η διαφορά στη λειτουργία των περιπτώσεων χαμηλού και υψηλού φορτίου. Στα πρώτα 600 δευτερόλεπτα που οι αποφάσεις λαμβάνονται από το σταθμό βάσης γίνονται αρκετές διαπομπές ώστε ο χρήστης να έχει βέλτιστο σήμα (όπως είναι και το κριτήριο για τη διαπομπή), αλλά στα τελευταία δευτερόλεπτα που λαμβάνει τις αποφάσεις ο RRM Server υπάρχει πρόθεση να μην γίνονται πολλές διαπομπές και ο χρήστης να διατηρεί τη σύνδεσή του με το σταθμό βάσης μέχρι να είναι απολύτως απαραίτητη η διαπομπή.



Σχήμα 7-30. Λαμβανόμενη στάθμη σήματος – υβριδική διαπομπή.

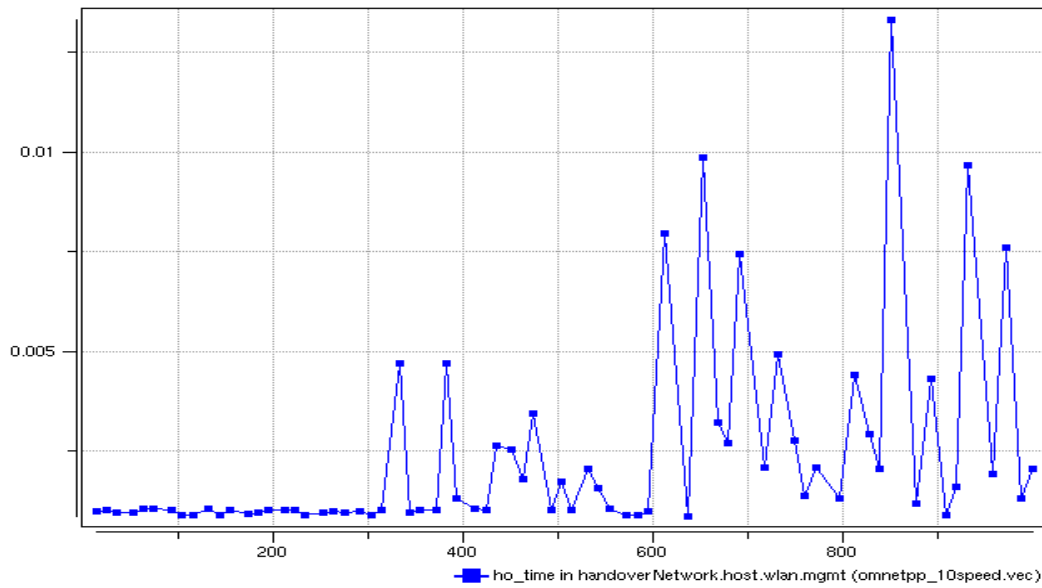
Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται και ο λαμβανόμενος ρυθμός δεδομένων του κινούμενου χρήστη.



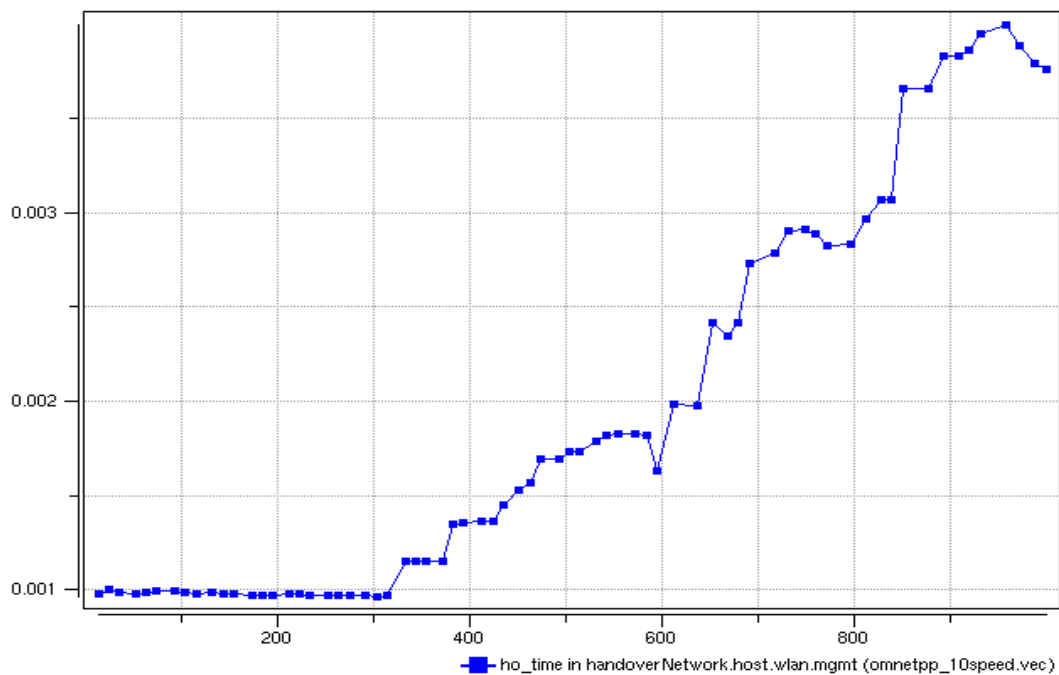
Σχήμα 7-31. Λαμβανόμενη στάθμη σήματος – υβριδική διαπομπή.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ο χρόνος διαπομπής για διπλάσια ταχύτητα του κινούμενου χρήστη σε σχέση με τις προηγούμενες προσομοιώσεις. Εδώ η ταχύτητα είναι 10m/s. Σε συνδυασμό με το αμέσως επόμενο σχήμα που παρουσιάζεται ο μέσος χρόνος διαπομπής ανά παράθυρο 20 διαπομπών (διπλάσιο από πριν μιας και γίνονται σχεδόν διπλάσιες διαπομπές λόγω διπλάσιας ταχύτητας) παρατηρείται πως ο χρόνος διαπομπής είναι σχεδόν ίδιος και σε αυτή την περίπτωση σε σχέση με την

ταχύτητα 5m/s. Αυτό είναι εξαιρετικό μιας και σε περιπτώσεις υψηλών ταχυτήτων υπάρχει συνήθως πρόβλημα με τη διαδικασία της διαπομπής, ο χρόνος της οποίας είναι συνήθως πιο υψηλός.



Σχήμα 7-32. Χρόνος υβριδικής διαπομπής – ταχύτητα 10m/s.



Σχήμα 7-33. Μέσος χρόνος υβριδικής διαπομπής – ταχύτητα 10m/s.

7.6.3 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων

Για την καλύτερη κατανόηση της ταχύτητας της διαπομπής σε όλες τις περιπτώσεις θα γίνει μια πλήρης ανασκόπηση των χρόνων διαπομπής σε όλες τις περιπτώσεις και μια σύγκριση με άλλες διαδικασίες διαπομπής για δίκτυα 802.11 που υπάρχουν στη βιβλιογραφία και μια εξήγηση των

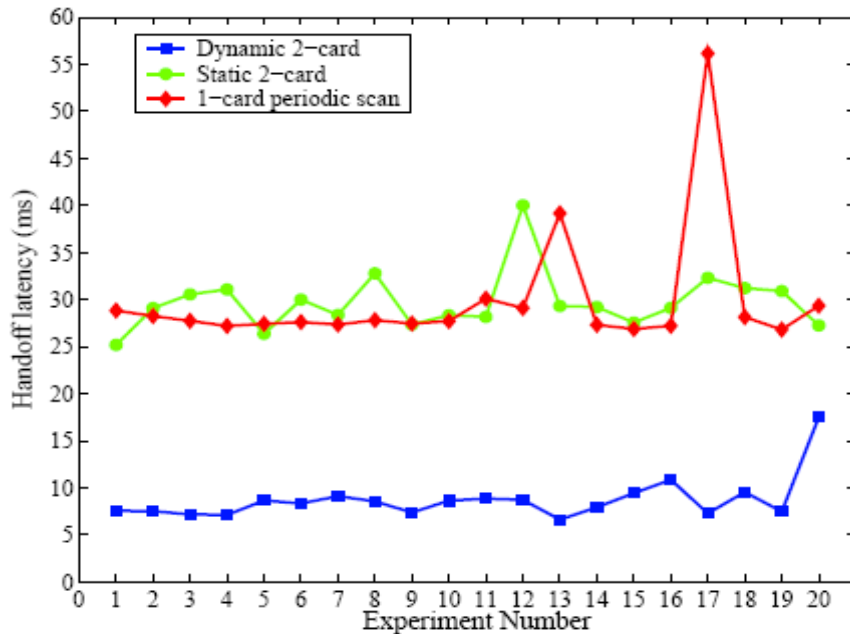
διαφορών μεταξύ των διαδικασιών. Στον επόμενο πίνακα φαίνονται συνολικά οι χρόνοι διαπομπής για τις προηγούμενες προσομοιώσεις.

Πίνακας 7-12. Συγκεντρωμένα αποτελέσματα χρόνων διαπομπής

μέθοδος	Χαμηλό φορτίο	Μέσο φορτίο	Υψηλό φορτίο
Κατανεμημένη	0,00098168	0,00180531	0,00700151
Κεντροποιημένη	0,00115508	0,00184271	0,00404719
Υβριδική	0,000974781	0,00173885	0,00372775

Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζονται χρόνοι διαπομπών από διαδικασίες διαπομπής που υπάρχουν στη βιβλιογραφία για την περίπτωση του 802.11. Υπενθυμίζεται πως η δική μας διαδικασία αφορά σε μελλοντικά δίκτυα, αλλά τα αποτελέσματά της ελέγχθηκαν με το δίκτυο 802.11 και μπορούμε έτσι σε σύγκριση με τις υπάρχουσες μεθόδους να συγκρίνουμε την αποτελεσματικότητά της. Το βασικό πλεονέκτημα της δικής μας διαπομπής για μελλοντικά δίκτυα είναι πως το τερματικό έχει τη δυνατότητα να εξετάζει το φάσμα συχνοτήτων για την εύρεση των διπλανών σταθμών βάσης όλη την ώρα, χωρίς να διακόπτεται η λειτουργία της κάρτας δικτύου. Αυτό το πρόβλημα επιλύθηκε και στο OMNET++ για το δίκτυο 802.11 όπου αλλάχθηκαν οι λειτουργίες του MAC και του φυσικού επιπέδου, ώστε τα access points να στέλνουν τα beacons σε όλα τα τερματικά και όχι μόνο σε αυτά που είναι συνδεδεμένα μαζί τους, αλλά και οι χρήστες να λαμβάνουν τα beacons όχι μόνο από το access point με το οποίο είναι συνδεδεμένοι, αλλά και από όλα τα γειτονικά. Έτσι ελαχιστοποιείται ο χρόνος scanning του κινητού τερματικού, ο οποίος είναι ο κύριος λόγος καθυστέρησης της διαπομπής σε δίκτυα 802.11 και αυτός έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του συνολικού χρόνου διαπομπής.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μεθόδων διαπομπής για το 802.11 που αναφέρονται στο [7]. Εκεί παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές μέθοδοι, όπου στην πρώτη υπάρχει μόνο μια κάρτα στο τερματικό και η οποία κάνει περιοδικό scanning για τα γειτονικά access points στην περιοχή (1-card periodic scan), η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιεί δυο κάρτες, όπου η μια είναι αφιερωμένη για τον έλεγχο της διαπομπής και η άλλη για τη μετάδοση των δεδομένων (2-cards static) και η τρίτη μέθοδος χρησιμοποιεί δυο κάρτες όπου εναλλάσσουν λειτουργίες ελέγχου και μετάδοσης και ουσιαστικά στο σενάριό τους είναι κάθε κάρτα συνδεδεμένη με ένα access point. Είναι φανερό από το σχήμα πως για τις δυο πρώτες μεθόδους ο χρόνος διαπομπής (περίπου 25-30ms) είναι πολύ μεγάλος και ενώ με την Τρίτη μέθοδο μειώνεται πολύ σημαντικά ο χρόνος κοντά στα 7ms είναι και πάλι πολύ μεγαλύτερος από τον χρόνο για την κεντροποιημένη και την υβριδική διαπομπή που αναλύθηκαν προηγουμένως.



Σχήμα 7-34. χρόνος διαφόρων μεθόδων διαπομπής 802.11.

Τρεις άλλες μέθοδοι διαπομπής για δίκτυα 802.11 παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα [8]. Η πρώτη μέθοδος είναι η απλή μέθοδος υλοποίησης της διαπομπής στο σύστημα 802.11 κατά την οποία όταν ανιχνευθεί η ανάγκη για διαπομπή τότε διακόπτεται η σύνδεση του τερματικού με το access point και το τερματικό πραγματοποιεί την ανίχνευση σε όλα τα κανάλια του 802.11 των άλλων γειτονικών access points, μέχρι την εύρεση αυτού με το καλύτερο σήμα για να κάνει αίτηση για διαπομπή. Η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιεί ομάδες καναλιών για την ανίχνευση κατά την διαπομπή, ώστε να μην ελέγχει όλα τα κανάλια, αλλά μόνο ορισμένα που υπάρχουν σε μάσκες καναλιών που φτιάχνονται κατά την αρχική ανίχνευση και αν δε βρεθεί κανένα access point σε αυτές τις μάσκες γίνεται πλήρης ανίχνευση σε όλα τα κανάλια. Η τρίτη μέθοδος χρησιμοποιεί έναν πίνακα στον οποίον αποθηκεύονται τα access points με τα οποία έχει συνδεθεί το τερματικό και τα γειτονικά τους access points όπως είχαν βρεθεί κατά το αρχικό scanning. Έτσι όταν υπάρχει ανάγκη για διαπομπή ελέγχονται τα γειτονικά ανάλογα με το access point που είναι συνδεδεμένος τώρα ο χρήστης. Από τα αποτελέσματα αυτά προκύπτει πως η μόνη μέθοδος που είναι συγκρίσιμη με τη δική μας είναι η μέθοδος του πίνακα (cache), η οποία και πάλι βγάζει λίγο μεγαλύτερα αποτελέσματα, μιας και αν δεν μπορέσει το τερματικό να συνδεθεί με κάποιο από τα access points που είναι στη λίστα πραγματοποιεί το selective scanning και έτσι αυξάνεται ο χρόνος διαπομπής.

Πίνακας 7-13. Χρόνος διαπομπής άλλων μεθόδων για το 802.11

Μέθοδος	Χρόνος διαπομπής (ms)
Original handoff	182,5
Selective Scanning	102,1
Cache	4,5

Από όλα τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει και συγκριτικά ότι η διαδικασία διαπομπής που περιγράφηκε στην παρούσα διατριβή είναι εξαιρετικά ταχεία και εκτελείται πολύ γρήγορα σε σχέση με άλλες μεθόδους της βιβλιογραφίας. Αυτό είναι ένα πολύ θετικό στοιχείο μιας και στα μελλοντικά δίκτυα επικοινωνιών που οι ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων θα είναι εξαιρετικά υψηλές, μια ταχύτερη διαδικασία διαπομπής θα είναι πολύ αναγκαία ώστε να υπάρξει ελαχιστοποίηση των χαμένων πακέτων και του χρόνου διακοπής λήψης πακέτων από τους χρήστες, πράγμα που θα μείωνε την λαμβανόμενη ποιότητα υπηρεσιών. Η υβριδική αρχιτεκτονική όπως φάνηκε προηγουμένως συμβάλλει σημαντικά στην εκτέλεση ταχύτερων διαπομπών σε όλες τις περιπτώσεις φορτίου και κυρίως σε περιπτώσεις υψηλού φορτίου, που είναι και οι πιο ενδιαφέρουσες περιπτώσεις, λόγω της ιδιομορφίας τους και της επίπτωσης που έχουν στην ποιότητα υπηρεσιών των χρηστών.

7.7 Αναφορές

- [1] OMNET++ Discrete Event Simulation System, www.omnetpp.org
- [2] A. Varga. "OMNeT++ User Manual". Department of Telecommunications, Technical University of Budapest, 1997, <http://www.omnetpp.org/doc/manual/usman.html>
- [3] A. Varga. "The OMNeT++ discrete event simulation system". In Proceedings of the European Simulation Multiconference (ESM'2001)
- [4] The INET Framework for OMNET++
<http://ctiware.eng.monash.edu.au/twiki/bin/view/Simulation/INETFramework>
- [5] Elias Tragos, Alben Mihovska, Emilio-Mino Diaz, Pantelis Karamolegkos, Panagiotis T. Vlacheas, Jijun Luo, "Access selection and mobility management in a beyond 3G RAN: the WINNER approach", The 5-th ACM International Workshop on Mobility Management and Wireless Access (MobiWAC), October 22nd, 2007, In conjunction with MSWiM 2007 (the 10-th ACM/IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems) October 22 - 26, 2007, Chania, Crete, Greece
- [6] Elias Z. Tragos, Alben Mihovska, Emilio Mino-Diaz, Pantelis Karamolegkos, Panagiotis T. Vlacheas, Jijun Luo, "Access Selection and Mobility Management in a beyond 3G RAN: the WINNER Approach", Special Issue of Telecommunication Systems Springer (accepted to be published)
- [7] Ramachandran, K. Rangarajan, S. Lin, J.C., "Make-Before-Break MAC Layer Handoff in 802.11 Wireless Networks", IEEE International Conference on Communications, ICC '06. June 2006
- [8] Sangho Shin, Andrea G. Forte, Anshuman Singh Rawat, Henning Schulzrinne, "Reducing MAC layer handoff latency in IEEE 802.11 wireless LANs", Proceedings of the second international workshop on Mobility management & wireless access protocols, Philadelphia, PA, USA

8. Συμπεράσματα

Η παρούσα διατριβή ασχολήθηκε εκτενώς με ένα πολύ ενδιαφέρον και πολύ σημαντικό ζήτημα στις τηλεπικοινωνίες – τη σχεδίαση μελλοντικών δικτύων ασύρματων επικοινωνιών. Οι ασύρματες επικοινωνίες έχουν μπει για τα καλά στη ζωή των πολιτών την τελευταία δεκαετία και υπάρχει αυξημένη ζήτηση για νέες υπηρεσίες και καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών και για απαλοιφή των προβλημάτων των σημερινών δικτύων επικοινωνιών. Για αυτούς τους λόγους έχει αρχίσει σιγά σιγά να αναπτύσσεται η έρευνα προς τα μελλοντικά δίκτυα ασύρματων επικοινωνιών, τα οποία θα έχουν ως βασικό στόχο να εξυπηρετούν τους χρήστες τους και να τους προσφέρουν την βέλτιστη ποιότητα υπηρεσιών. Νέες υπηρεσίες θα έχουν ως σκοπό την καλύτερευση της ζωής των πολιτών και τη διευκόλυνση της εργασίας τους, της ψυχαγωγίας τους και της διασκέδασής τους και όλα αυτά με ασύρματο τρόπο.

Για να λειτουργήσουν σωστά όμως τα μελλοντικά δίκτυα και να επιτύχουν στους στόχους τους θα πρέπει πρώτα από όλα να εστιαστούν στην σωστή τους λειτουργία και στην εύρεση ενός καλού πλήθους συνδρομητών, τουλάχιστον στην αρχή, ώστε να έχουν τις κατάλληλες βάσεις για την ανάπτυξή τους και το κέρδος από την πλευρά του διαχειριστή του δικτύου. Επειδή τα μελλοντικά δίκτυα δε θα λειτουργούν μόνα τους στην τηλεπικοινωνιακή αγορά είναι σημαντικό να μπορούν να συνεργαστούν με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα, ώστε η εισαγωγή τους στον τηλεπικοινωνιακό κόσμο να γίνει ομαλά χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα και με τη μέγιστη ευκολία για τους διαχειριστές.

Ένα βασικό θέμα της παρούσας διατριβής σχετίζεται με τη συνεργασία των μελλοντικών δικτύων με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα που λειτουργούν αυτή τη στιγμή στην τηλεπικοινωνιακή αγορά. Για την έρευνα χρησιμοποιήθηκαν τα ήδη υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα του GSM/GPRS, του UMTS ως δίκτυα κινητών επικοινωνιών και το WLAN 802.11 ως δίκτυο ασύρματων επικοινωνιών τοπικής περιοχής. Για μελλοντικό δίκτυο χρησιμοποιήθηκε το δίκτυο του WINNER που προέρχεται από το αντίστοιχο ομόνομο ερευνητικό πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Βασικός σκοπός σε αυτή την περίπτωση ήταν η δημιουργία μιας αρχιτεκτονικής για την υλοποίηση της διασυνεργασίας μεταξύ αυτών των δικτύων. Επειδή τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα είναι στανταρισμένα και οποιαδήποτε αλλαγή σε αυτά είναι απίθανη έως πολύ δύσκολη, η παρούσα διατριβή έδωσε περισσότερο έμφαση στο μελλοντικό δίκτυο που βρίσκεται ακόμα υπό έρευνα και επιδέχεται πολύ εύκολα αλλαγές.

Η αρχιτεκτονική διασυνεργασίας ετερογενών δικτύων βασίζεται στην ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των εμπλεκόμενων δικτύων και την ύπαρξη μιας γενικής οντότητας, η οποία μαζεύει αυτές τις πληροφορίες και λαμβάνει αποφάσεις για την κοινή διαχείριση των ασύρματων πόρων όλων των δικτύων. Η οντότητα αυτή είναι πρόσθετη οντότητα στο μελλοντικό δίκτυο και η οποία μπορεί να συνεργάζεται με άλλες αντίστοιχες οντότητες στα ήδη υπάρχοντα δίκτυα. Υπάρχει όμως μια σημαντική διαφορά. Οι οντότητες στα ήδη υπάρχοντα δίκτυα είναι απλές οντότητες λήψης

μετρήσεων και πληροφοριών από τα δίκτυα, τις οποίες πληροφορίες αναφέρουν στη συνέχεια σε δομημένα μηνύματα στην γενική οντότητα (CoopRRM). Η CoopRRM στη συνέχεια εκτελεί τους αλγορίθμους διαχείρισης ραδιοπόρων ετερογενών δικτύων και λαμβάνει αποφάσεις για την κοινή διαχείριση των πόρων των δικτύων, αφού έχει όλες τις πληροφορίες και τη γνώση για την κατάσταση και τους διαθέσιμους πόρους όλων των δικτύων. Το βασικό σημείο στο οποίο συνέβαλλε η παρούσα διατριβή προς αυτή την κατεύθυνση ήταν η ανάπτυξη αυτής της αρχιτεκτονικής, καθώς και η ανάπτυξη έξυπνου αλγορίθμου ελέγχου αποφυγής συμφόρησης για τέτοιου είδους μελλοντικά ετερογενή δίκτυα.

Ο έλεγχος αποφυγής συμφόρησης που αναπτύχθηκε είναι αρκετά καινοτόμος και δίνει έμφαση στην διασφάλιση της ποιότητας υπηρεσιών των χρηστών, δίνοντάς τους επίσης την ευκαιρία να επιλέξουν αυτοί το δίκτυο στο οποίο θα ζητήσουν πρόσβαση. Ο μηχανισμός αυτός διαιρείται σε δυο επιμέρους μηχανισμούς, τον έλεγχο αποδοχής κλήσεων και τον έλεγχο συμφόρησης. Ο μηχανισμός αυτός ελέγχθηκε για τη λειτουργικότητά του μέσω προσομοιώσεων που απέδειξαν την αποδοτικότητα του στην διατήρηση όλων των εμπλεκόμενων δικτύων σε επίπεδα φορτίου που δε δημιουργούν προβλήματα συμφόρησης στα δίκτυα, διατηρώντας ταυτόχρονα αρκετά χαμηλά το ποσοστό των χρηστών που αποκλείονται από εισαγωγή στα δίκτυα ή των χρηστών που επιδέχονται μείωση της λαμβανόμενης ποιότητας υπηρεσιών. Ο μηχανισμός προσομοιώθηκε για διάφορες παραμέτρους των αλγορίθμων και μέσω των αποτελεσμάτων βρέθηκαν οι βέλτιστες παράμετροι, για τις οποίες η πιθανότητα αποκλεισμού νέων χρηστών είναι αρκετά χαμηλή και ταυτόχρονα υπάρχει το ελάχιστο ποσοστό χρηστών που παραμένουν με χαμηλότερη ποιότητα υπηρεσιών από ότι θα ήθελαν. Ένα άλλο πολύ βασικό σημείο του αλγορίθμου είναι η προσαρμοστικότητά του στα δίκτυα, πράγμα που σημαίνει πως μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλα δίκτυα και όχι μόνο στα συγκεκριμένα με τα οποία έγινε η βασική έρευνα, πράγμα που δείχνει και την ευελιξία της συγκεκριμένης προσέγγισης.

Η CoopRRM που είναι υπεύθυνη για την διασυνεργασία των ετερογενών δικτύων μπορεί να βρίσκεται μέσα στο μελλοντικό δίκτυο ή να είναι μια ξεχωριστή οντότητα. Στην πρώτη περίπτωση επιτυγχάνεται βέλτιστος έλεγχος του μελλοντικού δικτύου, αλλά στη δεύτερη περίπτωση μπορεί πιο εύκολα να χρησιμοποιηθεί η οντότητα αυτή από άλλα μελλοντικά δίκτυα, όπως και αναλύθηκε στην παράγραφο 3.6, όπου παρουσιάστηκε η ιδέα της γενικής αρχιτεκτονικής διασυνεργασίας μελλοντικών δικτύων της παγκόσμιας αρχής ασύρματων τηλεπικοινωνιών Wireless World Initiative (WWI), στην οποία η παρούσα διατριβή έπαιξε έναν πολύ σημαντικό ρόλο. Η σημαντική συνεισφορά της διατριβής σε αυτή την περίπτωση ήταν η ενοποίηση της αρχιτεκτονικής των μελλοντικών δικτύων, ώστε να φτιαχτεί μια γενική αρχιτεκτονική που να εκμεταλλεύεται όλες τις καινοτομίες από τα ερευνητικά αποτελέσματα των ευρωπαϊκών προγραμμάτων και να συνεργάζονται μεταξύ τους για βέλτητα αποτελέσματα.

Το άλλο μέρος στο οποίο συνέβαλε η διατριβή ήταν στην ανάλυση όλων των πιθανών περιπτώσεων διαπομπής σε μελλοντικά συστήματα ασύρματων επικοινωνιών τέταρτης γενιάς. Έγινε μια εκτεταμένη έρευνα και ανάλυση των χαρακτηριστικών των δικτύων τέταρτης γενιάς λαμβάνοντας

ως παράδειγμα το δίκτυο του WINNER και με βάση αυτά δημιουργήθηκαν πολλαπλά σενάρια διαπομπής για την κάλυψη όλων των πιθανών περιπτώσεων. Για καθένα από αυτά τα σενάρια αναπτύχθηκε και η αντίστοιχη σηματοδότηση. Ιδιαίτερη βάση δόθηκε στην διαπομπή με βάση την αρχιτεκτονική του δικτύου.

Η βασική αρχιτεκτονική του μελλοντικού δικτύου επικοινωνιών είναι η κατανεμημένη αρχιτεκτονική, όπου όλες οι αποφάσεις για τη διαχείριση ασύρματων πόρων λαμβάνονται από τους σταθμούς βάσης. Όπως φάνηκε και στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων της διαπομπής όμως, αυτή η αρχιτεκτονική έχει σημαντικό πρόβλημα στις περιπτώσεις υψηλού φορτίου του δικτύου, μιας και οι αποφάσεις που λαμβάνονται δεν είναι βέλτιστες, αφού ο εκάστοτε σταθμός βάσης δεν έχει γνώση για την κατάσταση των άλλων σταθμών βάσης και το φορτίο τους. Έτσι μπορεί να ανταλλάξει πολλά μηνύματα με τους γειτονικούς σταθμούς βάσης μέχρι να ευρεθεί ο κατάλληλος για τη διαπομπή, διαδικασία που αυξάνει σημαντικά το χρόνο διαπομπής. Η κεντροποιημένη αρχιτεκτονική από την άλλη μεριά, με την ύπαρξη του RRM Server να παίρνει πάντα τις αποφάσεις επιλύει το πρόβλημα του μεγάλου χρόνου διαπομπής σε περιπτώσεις υψηλού φορτίου, αλλά σε χαμηλό φορτίο έχει αυξημένο χρόνο διαπομπής, μιας και ο RRM Server διαχειρίζεται μια μεγάλη ομάδα από σταθμούς βάσης και βρίσκεται μακριά τους, πράγμα που αργεί λίγο την διαδικασία της διαπομπής σε σχέση με την κατανεμημένη διαπομπή, όπως φάνηκε και στα αποτελέσματα.

Με βάση τη θεωρητική ανάλυση αλλά και τα πειραματικά αποτελέσματα, η βέλτιστη αρχιτεκτονική για τη διαχείριση ασύρματων ραδιοπόρων είναι η υβριδική αρχιτεκτονική, κατά την οποία ο RRM Server υπάρχει ως προαιρετική οντότητα και αναλαμβάνει τις αποφάσεις μόνο όταν είναι απαραίτητο από πλευράς υψηλού φορτίου του δικτύου και μόνο όταν του ζητηθεί από τον εκάστοτε σταθμό βάσης. Το σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι μειώνεται το κόστος χρήσης ενός επιπλέον κόμβου και ελαφρύνεται το δίκτυο από άχρηστη σηματοδότηση σε περιπτώσεις χαμηλού φορτίου, ενώ αντίθετα λαμβάνονται βέλτιστες αποφάσεις και υπάρχουν πολύ γρήγορες διαπομπές σε περιπτώσεις υψηλού φορτίου. Όπως φάνηκε και στα πειραματικά αποτελέσματα η υβριδική αρχιτεκτονική λειτουργεί εξαιρετικά καλά σε όλες τις περιπτώσεις φορτίου. Τέλος σε σύγκριση με άλλες διαδικασίες διαπομπής που υπάρχουν στη βιβλιογραφία για το 802.11, πάνω στο οποίο εφαρμόσαμε τις διαδικασίες διαπομπής και την αρχιτεκτονική που αναπτύξαμε, ο χρόνος διαπομπής της υβριδικής αρχιτεκτονικής είναι εξαιρετικά χαμηλότερος.

Συμπερασματικά η παρούσα διατριβή ασχολήθηκε με ένα αρκετά ενδιαφέρον και πολύπλοκο θέμα των τηλεπικοινωνιών που αφορά σε μελλοντικά προβλήματα και επίλυσε τα προβλήματα συνεργασίας μελλοντικών ετερογενών δικτύων και διαπομπής σε μελλοντικά δίκτυα. Το αποτέλεσμα της διατριβής έχουν δημοσιευτεί σε έγκριτα διεθνώς αναγνωρισμένα περιοδικά και συνέδρια, καθώς και σε επιστημονικά βιβλία. Η παρούσα διατριβή μπορεί επίσης να αποτελέσει εφαλτήριο για περαιτέρω έρευνα σε αυτούς τους τομείς, καθώς μπορεί επιπλέον να διερευνηθεί η διαδικασία του αλγορίθμου ελέγχου αποφυγής και κυρίως των προτεραιοτήτων και της διαχείρισης της ποιότητας υπηρεσιών και της διαπομπής με τη χρήση έξυπνων αλγορίθμων, με τη χρήση νευρωνικών

δικτύων και ασαφούς λογικής, ώστε τα δίκτυα να έχουν ένα παράγοντα μάθησης στη λήψη αποφάσεων. Ένα άλλο σημείο περαιτέρω ανάπτυξης της διατριβής είναι ο αλγόριθμος ελέγχου φορτίου συμφόρησης που θα μπορούσε να βελτιωθεί με την χρήση ιστορικού, με τη χρήση προφίλ χρηστών και με τη χρήση τεχνικών εξειδικευμένων σε κάθε δίκτυο, όπως θα μπορούσε να είναι το cell breathing. Τα κριτήρια έναρξης της διαπομπής θα μπορούσαν να διερευνηθούν περαιτέρω κυρίως για την εύρεση μιας γενικής φόρμουλας ανάπτυξης της διαδικασίας έναρξης διαπομπής έτσι ώστε να μπορεί να μοντελοποιηθεί η διαδικασία ξεχωριστά για κάθε δίκτυο, αλλά και συνολικά για τη διασυστημική της εκδοχή. Όλα τα παραπάνω θα μπορούσαν να αποτελέσουν νέα σημεία για επόμενες διδακτορικές διατριβές.

9. Δημοσιεύσεις

Περιοδικά:

1. **Admission Control for QoS Support in Heterogeneous 4G Wireless Networks**, Elias Z. Tragos, George Tsiropoulos, George T. Karetsos, Sofoklis Kyriazakos IEEE Network Magazine, Volume 22, Issue 3, p30-37, May-June 2008, ISSN: 0890-8044, DOI: 10.1109/MNET.2008.4519962
2. **Access Selection and Mobility Management in a beyond 3G RAN: the WINNER Approach**, Elias Z. Tragos, Albena Mihovska, Emilio Mino-Diaz, Pantelis Karamolegkos, Panagiotis T. Vlacheas, Jijun Luo, Special Issue of Telecommunication Systems Springer (accepted to be published)
3. **Requirements and Algorithms for Cooperation of Heterogeneous Radio Access Networks**, Albena Mihovska, Elias Tragos, Emilio Mino, Jijun Luo, Christian Mensing, Roberta Fracchia, Sana Horrich, Annika Wennström, and Sofoklis Kyriazakos, Springer Special Issue of Wireless Personal Communications (accepted to be published)
4. **Dynamic Segmentation of Cellular Networks for Improved Handover Performance**, Elias Tragos, Sofoklis Kyriazakos, Kostas Vlahodimitropoulos, George Karetsos, Wiley Wireless Communications and Mobile Computing Journal, Published Online: Aug 7 2007, DOI: 10.1002/wcm.537

Whitepapers:

1. **"The WWI System Architecture for Beyond 3G Networks"**, A. Schieder, E. Tragos, A. Mihailovic, J. Salo, J. van der Meer WWRF Whitepaper
2. **Mobility Management and Radio Resource Management in the WWI System Architecture** Andreas Schieder, Elias Tragos, Andrej Mihailovic, Alexandros Kaloxylos, Mikael Prytz, Ove Strandberg, Jijun Luo, Juha Mikola, Khadija Daoud, WWRF Whitepaper 17th WWRF Meeting in Heidelberg, Germany 15-17 November 2006

Βιβλία :

1. **Chapter - Cooperative Radio Resource Management for Heterogeneous Networks**, Albena Mihovska, Elias Tragos, Jijun Luo, Emilio Mino, Cooperative Wireless Communications
2. **Technologies for the Wireless Future: Wireless World Research Forum (WWRF)**, K. David, (Ed.), Volume 3, Wiley, to appear Oct. 2008 – chapter **"The WWI System Architecture for B3G Networks"**, Andreas Schieder, Elias Tragos, Andrej Mihailovic, Jukka Salo, Jan van der Meer
3. **WINNER book** – chapter **"Radio Resource Control and system level functions"**, Emilio Mino, Jijun Luo, Elias Tragos, Albena Mihovska **(to be published)**

Συνέδρια:

1. **Practical Implementation of Cooperative Radio Resource Management, (invited paper)** A. Mihovska, E. Tragos, S. Kyriazakos, P. Anggraeni, P. Vlacheas and N. R. Prasad, Networking and Electronic Commerce Research Conference 2008 (NAEC 2008) Lake Garda, Italy, September 25-28, 2008

2. **Maximizing Quality of Service for Customers and Revenue for Service Providers through a Noncooperative Admission Control Game**, Panagiotis VLACHEAS, Dimitris CHARILAS, Elias TRAGOS, Ourania MARKAKI, ICT-MobileSummit 2008, 10 - 12 June 2008, Stockholm, Sweden
3. **A Day in the Wireless World - Hands-on Experiences of the Future Wireless World**, Marion DUPREZ, René REMBARZ, Tomasz Koloszczy, Kostas Tsagkaris, Marko Leinonen, Elias Tragos, proceedings of the ICT Mobile and Wireless Summit, 10 - 12 June 2008, Stockholm, Sweden
4. **Network Controlled Mobility Management with Policy Enforcement towards IMT-A**, Alben Mihovska, Annika Klockar, Jijun Luo, Emilio Mino, Elias Tragos, International Conference on Communications, Circuits and Systems, May 25-27 2008, Xiamen University, Xiamen, Fujian Province of China
5. **A theoretical scheme for applying Game Theory and Network Selection Mechanisms in Access Admission Control**, Dimitris Charilas, Ourania Markaki, Elias Tragos, International Symposium on Wireless Pervasive Computing, 7-9 May 2008, Santorini, Greece
6. **Access selection and mobility management in a beyond 3G RAN: the WINNER approach**, Elias Tragos, Alben Mihovska, Emilio-Mino Diaz, Pantelis Karamolegkos, Panagiotis T. Vlacheas, Jijun Luo The 5-th ACM International Workshop on Mobility Management and Wireless Access (MobiWAC), October 22nd, 2007, In conjunction with MSWiM 2007 (the 10-th ACM/IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems) October 22 - 26, 2007, Chania, Crete, Greece
7. **HYBRID RRM ARCHITECTURE FOR FUTURE WIRELESS NETWORKS**, Elias Tragos, Alben Mihovska, Emilio Mino, Jijun Luo, Roberta Fracchia, Guillaume Vivier, Xiaoyun Xue, 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 3-7 September 2007 Athens
8. **Location Determination Using In-Band Signaling for Mobility Management in Future Networks**, Christian Mensing, Elias Tragos, Jijun Luo, Emilio Mino, 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 3-7 September 2007 Athens
9. **User Profile Based Communities Assessment Using Clustering Methods**, Pantelis N. Karamolegkos, Charalampos Z. Patrikakis, Nikolaos D. Doulamis, Elias Z. Tragos, 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 3-7 September 2007 Athens
10. **Scalable and Hybrid Radio Resource Management for Future Wireless Networks** Emilio Mino, Jijun Luo, Roberta Fracchia, Guillaume Vivier, Elias Tragos, Alben Mihovska, 16th ISTMobile and Wireless Summit, 1-5 July 2007, Budapest Hungary
11. **Policy-Based Mobility Management for Heterogeneous Networks** Alben Mihovska, Jijun Luo, Emilio Mino, Elias Tragos, Christian Mensing, Guillaume Vivier, Roberta Fracchia, 16th ISTMobile and Wireless Summit, 1-5 July 2007, Budapest Hungary
12. **Mobility Management Schemes for the WINNER RAN**, Alben Mihovska, Elias Tragos, Jijun Luo and Emilio Mino, Euro-India Workshop on Next Generation Wireless Technologies, Kolkata, India, November 6th – 7th 2006
13. **Mobility management schemes for the WINNER RAN**, Alben Mihovska, Elias Tragos, Jijun Luo and Emilio Mino, B3G Cluster Workshop on Policy Based Distributed Decision Making, Brussels, Belgium, October 3rd 2006
14. **Efficient Functional architecture supporting the interworking between B3G Radio Access Networks and Legacy Systems** Elias Tragos, Alben Mihovska, Emilio Mino, Eiman Mohyeldin, Vaia Sdralia, Sofoklis Kyriazakos, Mylène Pischella, 15th ISTMobile and Wireless Summit, 4-8 June 2006 Myconos, Greece
15. **A Methodology for User Requirements Definition in the Wireless World** Pantelis Karamolegkos, Elias Tragos, Antonis Lazanakis, Sofoklis Kyriazakos, Juan Lara, Lino Moretti, Bernard Hunt, Gaël Champion, George Karetsos, Alben Mihovska, Jukka

- Henriksson, Anne-Gaële Acx, 15th ISTMobile and Wireless Summit, 4-8 June 2006 Myconos, Greece
- 16. Achieving Inter-RAN Cooperation: An Architecture Proposal** Vaia Sdralia, Emilio Mino, Mylene Pischella, Albena Mihovska, Sofoklis Kyriazakos, Elias Tragos, Eiman Mohyeldin, WWRF15 Meeting, 8-9 December 2005, Paris, France.
- 17. Cooperation of 4G Radio Networks with Legacy Systems** Matthias Lott, Vaia Sdralia, Mylene Pischella, Delphine Lugara, Albena Mihovska, Seshaiiah Ponnekanti, Elias Tragos, Emilio Mino. 14th IST Mobile and Wireless Communications Summit, 19-22 June 2005, Dresden, Germany
- 18. Cooperation Mechanisms for Efficient Resource Management between 4G and legacy RANs** Matthias Lott, Vaia Sdralia, Mylene Pischella, Delphine Lugara, Albena Mihovska, Seshaiiah Ponnekanti, Elias Tragos, Emilio Mino. WWRF13 Meeting, 02-03 March 2005, Jeju Island, Korea
- 19. Cooperation of Radio Access Networks: The IST FP6 WINNER project approach.** Vaia Sdralia, Emilio Mino, Matthias Lott, Delphine Lugara, Albena Mihovska, Seshaiiah Ponnekanti, Elias Tragos. -WWRF11 Meeting, 10-11 June 2004, Oslo, Norway
- 20. Segmentation of Cellular Networks based on Graph Theory for Enhanced Performance** E. Tragos, S. Kyriazakos, G. Karetsos, and K. Vlahodimitropoulos (Greece) - Communication and Computer Networks ~CCN 2004~ 11/8/2004 - 11/10/2004 Cambridge, MA, USA