

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Τμήμα Διδακτικής της Τεχνολογίας και Ψηφιακών Συστημάτων

**ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΔΑΡΤΙΒΕ ΔΙΚΤΥΩΝ
ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ**

Σαατσάκης Άγγελος

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Σεπτέμβριος 2006

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	1
Σχήματα	3
Πίνακες	4
Περίληψη	5
1. Εισαγωγή.....	6
1.1. Τεχνολογίες Ασύρματης Πρόσβασης	7
1.1.1. Universal Mobile Telecommunication System - UMTS	8
1.1.2. Wireless Local Area Network - WLAN	9
1.2. Συμπληρωματικότητα WLAN και UMTS.....	11
2. Reconfigurability	13
2.1. Διαχείριση Δικτυακής Υποδομής	13
2.2. Ζητήματα Υλικού	15
3. Αρχιτεκτονική Δικτύου.....	18
3.1. Παρουσίαση Αρχιτεκτονικής.....	19
3.2. Παρουσίαση Κυψέλης	22
4. Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης	25
4.1. Μαθηματική περιγραφή.....	25
4.1.1. Είσοδος	25
4.1.2. Έξοδος.....	26
4.1.3. Αναζήτηση καλύτερης διάρθρωσης δικτύου	27
4.2. Διαγραμματική παρουσίαση	34
5. Παρουσίαση Λογισμικού.....	42
5.1. Στοιχεία πολιτικής παρόχου δικτύου	42
5.2. Εισαγωγή φορτίου.....	45
5.3. Έξοδος.....	49
5.3.1. Περιοχή κάλυψης.....	50
5.3.2. Αποτελέσματα.....	53
6. Προσαρμοστικότητα Δικτύου.....	58
6.1. Εισαγωγή φορτίου.....	58
6.2. Μετακίνηση του Hot Spot	68
7. Συμπεράσματα	75

8. Ερευνητικά Ζητήματα.....	76
8.1. Μελλοντικές επεκτάσεις συστημάτων.....	76
8.2. Περιορισμοί υλικού	78
8.3. Εκτίμηση κόστους αναδιάρθρωσης.....	79
8.4. Marketing – Στατιστική έρευνα.....	79
Βιβλιογραφία	81
Ακρωνύμια.....	84

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑΣ

Σχήματα

Εικόνα 1: Εξέλιξη τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης	7
Εικόνα 2: Λειτουργίες εφαρμογής διαχείρισης υποδομής.....	14
Εικόνα 3: Συσκευή GSM - GPRS.....	16
Εικόνα 4: Multimode τερματική συσκευή.....	17
Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική υποδομής.....	19
Εικόνα 6: Κυψέλη υποδομής.....	22
Εικόνα 7: Γενική περιγραφή αλγόριθμου βελτιστοποίησης.....	35
Εικόνα 8: Φάσεις αλγόριθμου βελτιστοποίησης.....	36
Εικόνα 9: Φάση 2 - Ανάθεση χρηστών (A_{DT}).....	37
Εικόνα 10: Φάση 3 - Αναθεση QoS (A_{DQ}).....	39
Εικόνα 11: Στοιχεία πολιτικής παρόχου δικτύου.....	43
Εικόνα 12: Εισαγωγή φορτίου στο δίκτυο.....	46
Εικόνα 13: Ενδεικτικές περιπτώσεις φορτίου.....	48
Εικόνα 14: Δίκτυο πρώτης ενδεικτικής περίπτωσης.....	50
Εικόνα 15: Δίκτυο δεύτερης ενδεικτικής περίπτωσης.....	52
Εικόνα 16: Output πρώτης ενδεικτικής περίπτωσης.....	54
Εικόνα 17: Output δεύτερης ενδεικτικής περίπτωσης.....	55
Εικόνα 18: Γραφική παράσταση της OF των ενδεικτικών περιπτώσεων.....	57
Εικόνα 19: Περιπτώσεις εισαγωγής φορτίου στο δίκτυο.....	59
Εικόνα 20: Μεταβολή αριθμού χρηστών ανά υπηρεσία.....	60
Εικόνα 21: Δίκτυο πρώτης περίπτωσης.....	61
Εικόνα 22: Αποτελέσματα πρώτης περίπτωσης.....	62
Εικόνα 23: Δίκτυο δεύτερης περίπτωσης.....	63
Εικόνα 24: Αποτελέσματα δεύτερης περίπτωσης.....	64
Εικόνα 25: Δίκτυο τρίτης περίπτωσης.....	66
Εικόνα 26: Αποτελέσματα τρίτης περίπτωσης.....	67
Εικόνα 27: Εξέλιξη των τιμών της Objective Function.....	68
Εικόνα 28: Περιπτώσεις κινούμενου Hot Spot.....	69
Εικόνα 29: Δίκτυο πρώτης περίπτωσης Hot Spot.....	70
Εικόνα 30: Αποτελέσματα πρώτης περίπτωσης Hot Spot.....	71
Εικόνα 31: Δίκτυο δεύτερης περίπτωσης Hot Spot.....	72
Εικόνα 32: Αποτελέσματα δεύτερης περίπτωσης Hot Spot.....	73
Εικόνα 33: Εξέλιξη των τιμών της Objective Function στις περιπτώσεις του Hot Spot..	74

Πίνακες

Πίνακας 1: Πρωτόκολλα WLAN.....	9
Πίνακας 2: Πιθανοί συνδυασμοί RATs	28
Πίνακας 3: Τελικοί συνδυασμοί RATs.....	28

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ

Περίληψη

Οι σύγχρονες τάσεις και απαιτήσεις των ασύρματων δικτύων επικοινωνιών, μας οδηγούν στην ανάπτυξη συστημάτων πέραν της τρίτης γενιάς (Beyond 3G – B3G). Οι εξελίξεις των τελευταίων ετών μας οδήγησαν στην ανάπτυξη δικτύων υψηλών ταχυτήτων και προσαρμοστικών δικτύων (Adaptive Networks). Τα προσαρμοστικά δίκτυα έχουν την ικανότητα δυναμικής αναδιάρθρωσης (dynamic reconfiguration) με σκοπό την άμεση προσαρμογή τους σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται αλγόριθμος βελτιστοποίησης (optimization algorithm) δικτύου, με σκοπό να επιτευχθούν οι στόχοι των προσαρμοστικών δικτύων. Η διαχείριση και η αρχιτεκτονική των προσαρμοστικών δικτύων παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόδοσή τους καθώς και στο κόστος λειτουργίας τους. Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης ανήκει στο διαχειριστικό κομμάτι των δικτύων αυτών, με στόχο την εύρεση της καλύτερης δυνατής διάρθρωσης του δικτύου σε δεδομένους πόρους δικτύου και φορτίο. Η έννοια του προσαρμοστικού δικτύου επεκτείνεται και στα στοιχεία τα οποία πρέπει και αυτά να έχουν την δυνατότητα προσαρμογής. Τέτοια στοιχεία είναι οι κεραίες (transceivers) και οι τερματικές συσκευές των χρηστών τα οποία θα πρέπει να αλλάζουν τον τρόπο λειτουργίας τους όταν τους ζητηθεί από την μεριά του δικτύου.

Στις ενότητες που ακολουθούν θα παρουσιαστούν οι τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης (Radio Access Technologies – RATs) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα προσαρμοστικά δίκτυα, και θα γίνει αναλυτική περιγραφή της διαχείρισης και της αρχιτεκτονικής δικτύου. Ακολουθεί η μαθηματική και διαγραμματική παρουσίαση του αλγόριθμου ώστε να γίνει αντιληπτός ο τρόπος λειτουργίας του. Επίσης, θα παρουσιαστεί λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας, και υλοποιεί τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης. Στις τελευταίες ενότητες, θα παρουσιαστούν αναλυτικά ορισμένες ενδεικτικές περιπτώσεις που με την συμβολή του αλγόριθμου βελτιστοποίησης, το δίκτυο προσαρμόζεται στις αλλαγές που συμβαίνουν στην περιοχή κάλυψης. Τέλος, θα περιγραφτούν τα συμπεράσματα καθώς και αρκετά ερευνητικά ζητήματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της εργασίας.

1. Εισαγωγή

Οι εξελίξεις στον χώρο των ασύρματων επικοινωνιών έχουν σαν στόχο την παροχή υπηρεσιών που μέχρι και σήμερα συναντάμε μόνο στα ευρυζωνικά ενσύρματα δίκτυα. Πολυμεσικές υπηρεσίες (multimedia services), υπηρεσίες φωνής(voice services), video-conference υπηρεσίες και δικτυακά παιχνίδια (network games) είναι μόνο οι βασικές υπηρεσίες για τις οποίες γίνονται προσπάθειες να παρέχονται και από ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών. Τα συστήματα πέραν της τρίτης γενιάς (Beyond 3G – B3G) θεωρείται πως είναι τα κατάλληλα ώστε να επιτευχθεί ο προαναφερθέν στόχος και αυτό οφείλεται στα χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτών όπως α)υψηλό διαθέσιμο capacity, β)υψηλές ταχύτητες πρόσβασης και γ)διαχείριση κόστους παροχής υπηρεσιών.

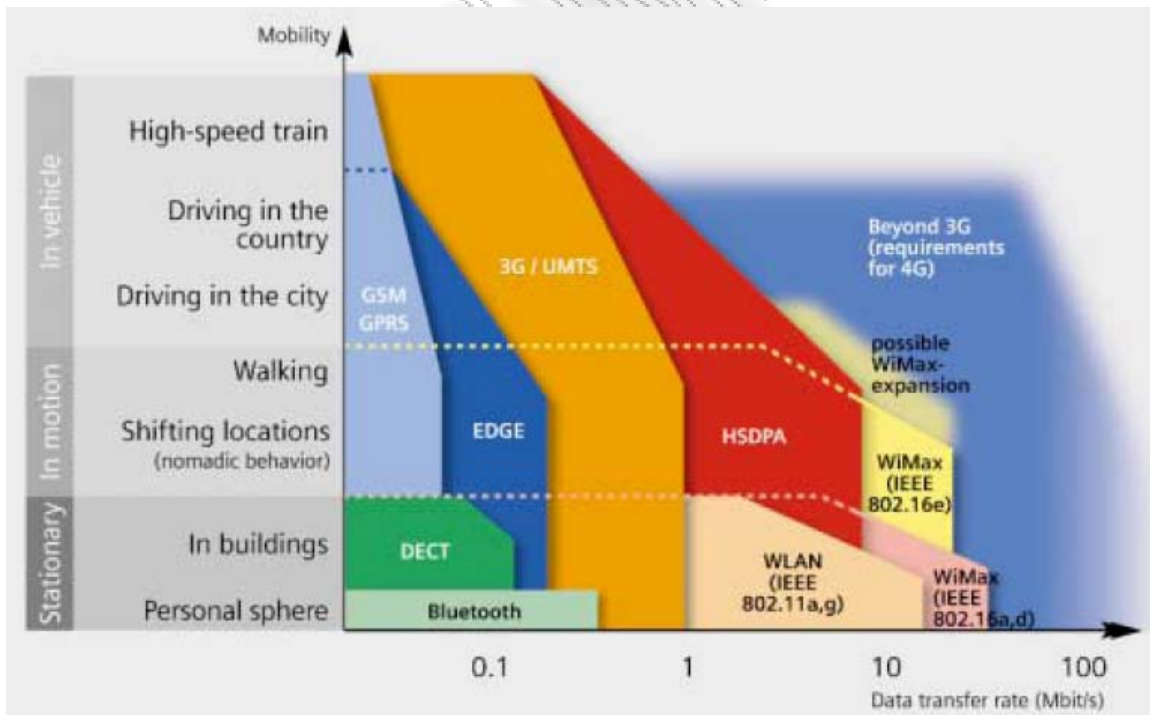
Παρόλα αυτά, καμία από τις τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης (Radio Access Technologies - RATs) που είναι διαθέσιμες και εμπορικά ανεπτυγμένες σήμερα, δεν είναι ικανή ώστε να παρέχει αποκλειστικά τις παραπάνω υπηρεσίες σε ικανοποιητικό επίπεδο [1]. Η λύση που προτείνεται από την βιβλιογραφία για την παροχή υπηρεσιών υψηλών απαιτήσεων στις ασύρματες επικοινωνίες, είναι η δημιουργία μιας υποδομής ενιαίου δικτύου το οποίο όμως θα αποτελείται από διαφορετικές RATs που θα συνεργάζονται μεταξύ τους [2], [3]. Η επιστημονική πρόκληση σε μια τέτοια υποδομή δεν αφορά τόσο το υλικό (hardware) και τα στοιχεία δικτύου (network segments), όπως θα περίμενε κανείς, αλλά το λογισμικό (software) με το οποίο θα επιτυγχάνεται η αποδοτική διαχείριση της υποδομής με σκοπό την πλήρη εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων για την παροχή υπηρεσιών σε υψηλό επίπεδο ποιότητας (Quality of Service – QoS).

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση ενός αλγόριθμου για την εύρεση της καλύτερης δυνατής διάρθρωσης (configuration) του δικτύου, με σκοπό οι υπηρεσίες να παρέχονται στο μέγιστο δυνατό QoS σε δεδομένο φορτίο. Σε γενικές γραμμές, ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης (Optimization Algorithm - OA) εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα μιας RAT τα οποία τα χρησιμοποιεί για να καλύπτονται οι αδυναμίες

κάποιας άλλης. Για τον λόγο αυτό, η επιλογή των RATs δεν είναι τυχαία αλλά χαρακτηρίζονται από συμπληρωματικότητα καθώς η μία καλύπτει αδυναμίες της άλλης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι RATs που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη της ενιαίας υποδομής καθώς και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Στην τελευταία ενότητα αναλύονται τα χαρακτηριστικά της συμπληρωματικότητάς τους τα οποία εκμεταλλεύεται ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης.

1.1. Τεχνολογίες Ασύρματης Πρόσβασης

Η επιστημονική έρευνα στον τομέα των ασύρματων και κινητών επικοινωνιών τα τελευταία χρόνια, έχει αναδείξει πολλές τεχνολογίες και συστήματα τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλές επιδόσεις [4], [8]. Κάθε τεχνολογία έχει τα δικά της χαρακτηριστικά όπως είναι οι επιδόσεις, περιοχές κάλυψης, συνθήκες διάδοσης, ανάγκες σε ισχύ, παρεμβολές, κόστος κλπ. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η σταδιακή εξέλιξη και κατάταξη των βασικότερων ασύρματων τεχνολογιών.



Εικόνα 1: Εξέλιξη τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης

Όπως παρατηρούμε στην εικόνα 1, υπάρχει μια πληθώρα τεχνολογιών οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν τις RATs της υποδομής που θα καταφέρει να παρέχει υπηρεσίες σε υψηλό QoS. Ωστόσο, λόγω αυξημένης πολυπλοκότητας, δεν θα ήταν συνετό η ενιαία υποδομή να σχεδιαστεί εξ αρχής λαμβάνοντας υπόψη όλες τις διαθέσιμες τεχνολογίες. Για το λόγο αυτό η αρχική ανάλυση και σχεδίαση της υποδομής θα πρέπει να γίνει λαμβάνοντας υπόψη δυο βασικές τεχνολογίες και στο μέλλον να προστεθούν και άλλες. Οι RATs που θα επιλεγούν θα πρέπει να ικανοποιούν κάποιες βασικές προϋποθέσεις όπως οι παρακάτω:

1. Να είναι ικανές να καλύψουν ένα ευρύ σύνολο χρηστών παρέχοντας στους τελικούς χρήστες υπηρεσίες φωνής και δεδομένων.
2. Να είναι διαθέσιμες σε ένα ευρύ σύνολο τερματικών συσκευών.
3. Να μην περιορίζουν τον χρήστη ως προς το επίπεδο κινητικότητας (mobility level)
4. Οι ταχύτητες πρόσβασης να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερες.
5. Να είναι όσο το δυνατόν πιο διαδεδομένες ώστε να υπάρχει τεχνογνωσία για αντιμετώπιση προβλημάτων.

Οι τεχνολογίες που πληρούν τα περισσότερα από τα παραπάνω κριτήρια είναι το UMTS και το WLAN των οποίων τα χαρακτηριστικά περιγράφονται στις παρακάτω ενότητες.

1.1.1. Universal Mobile Telecommunication System - UMTS

Το σύστημα Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) είναι ένα δίκτυο τρίτης γενιάς (3G) κινητών επικοινωνιών με αξιόλογες επιδόσεις το οποίο προτυποποιήθηκε από την 3rd Generation Partnership Project (3GPP) [6], [7]. Η τεχνολογία του συστήματος UMTS έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε πολλές χώρες, καλύπτοντας βασικές υπηρεσίες φωνής και δεδομένων [6].

Από τις πέντε παραπάνω προϋποθέσεις, το σύστημα UMTS καλύπτει τις 1, 2, 3 και 5 για τους παρακάτω λόγους.

- Το UMTS σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε επιτυχώς για την παροχή υπηρεσιών φωνής και δεδομένων. (προϋπόθεση 1)

- Το σύνολο των τερματικών συσκευών που είναι συμβατό με το σύστημα UMTS είναι αρκετά μεγάλο λόγω της εφαρμογής του στις χώρες Ιαπωνία, Βρετανία, Γερμανία, Αυστρία και άλλες ευρωπαϊκές κυρίως χώρες. (προϋπόθεση 2)
- Το επίπεδο κινητικότητας του UMTS όπως φαίνεται στο σχήμα 1 είναι το υψηλότερο στις ασύρματες επικοινωνίες. (προϋπόθεση 3)
- Τα προβλήματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του UMTS ήταν αρκετά και τα περισσότερα αντιμετωπίστηκαν επιτυχώς [6]. (προϋπόθεση 5)

Συγκριτικά με άλλες RATs, το UMTS δεν έχει ιδιαίτερα υψηλό ρυθμό μετάδοσης ο οποίος ο μέγιστος περιορίζεται στα 2Mbps. Για τον λόγο αυτό ο περιορισμός 4 δεν ικανοποιείται στον βαθμό που θα θέλαμε. Ωστόσο, επειδή τα κριτήρια 1,2,3 και 5 καλύπτονται στο μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με τις άλλες RATs, η επιλογή του συστήματος UMTS είναι η πιο ενδεδειγμένη.

1.1.2. Wireless Local Area Network - WLAN

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks - WLANs) προτυποποιήθηκαν από το Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) με το πρότυπο IEEE 802.11 [9]. Ο σκοπός του IEEE ήταν να καθορίσει ένα απλό και δυνατό πρωτόκολλο για ασύρματα δίκτυα που να είναι σε θέση να παρέχει τόσο ασύγχρονες αλλά και σύγχρονες υπηρεσίες. Παρακάτω φαίνεται ολόκληρη η οικογένεια των πρωτοκόλλων του WLAN και τα χαρακτηριστικά τους [9], [10]:

Protocol	Release Date	Frequency	Bandwidth
IEEE 802.11	1997	2.4 GHz	1, 2 Mbps
IEEE 802.11a	1999	5 GHz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
IEEE 802.11b	1999	2.4 GHz	5.5, 11 Mbps
IEEE 802.11g	2003	2.4 GHz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
IEEE 802.11n	expected mid-2007	2.4 GHz	540 Mbps

Πίνακας 1: Πρωτόκολλα WLAN

Όπως και το σύστημα UMTS, το WLAN πληροί αρκετές προϋποθέσεις για την επιλογή της δεύτερης RAT η οποία μαζί με το UMTS θα αποτελέσουν τις τεχνολογίες ασύρματης

πρόσβασης της υποδομής. Οι προϋποθέσεις που ικανοποιούνται είναι οι 2, 4 και 5 και αναλύονται παρακάτω:

- Τα τερματικά που είναι συμβατά με αυτή την τεχνολογία είναι ευρέως γνωστά όπως είναι οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φορητοί υπολογιστές, PDAs (Personal Digital Assistants) και κινητά. Τα τερματικά αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως τα τελευταία χρόνια λόγω της ανάπτυξης των ασύρματων επικοινωνιών. (προϋπόθεση 2)
- Το μεγαλύτερο χαρακτηριστικό του WLAN είναι η ταχύτητα πρόσβασης. Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα και στην εικόνα 1, η ταχύτητα πρόσβασης σήμερα μπορεί να φτάσει και τα 54Mbps [9]. Το στοιχείο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς αποτελεί το αδύναμο σημείο του UMTS. Η ταχύτητα του WLAN, συγκριτικά με αυτήν του UMTS είναι έως και 50 φορές γρηγορότερη. (προϋπόθεση 4)
- Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα, το WLAN υπάρχει από το 1997 και έχει τοποθετηθεί σε πολλά κεντρικά σημεία όπως νοσοκομεία, αεροδρόμια, εμπορικά κέντρα κλπ. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αποτελεί το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης το οποίο είναι ιδιαίτερα χαμηλό. Το γεγονός αυτό μαζί με την ευκολία εγκατάστασης αποτελούν τους λόγους για τους οποίους το WLAN είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο. (προϋπόθεση 5)

Παρόλο που όλα τα παραπάνω είναι ιδιαίτερα σημαντικά και δίνουν κύρος και αξιοπιστία στην τεχνολογία του WLAN, υπάρχουν και ορισμένα χαρακτηριστικά τα οποία δεν του επιτρέπουν να ικανοποιεί τις προϋποθέσεις 1 και 3.

- Η τεχνολογία του WLAN είναι ιδιαίτερα αξιόπιστη για τις υπηρεσίες δεδομένων, αλλά δεν μπορεί να παρέχει υπηρεσίες φωνής σε ικανοποιητικό επίπεδο. [9] (προϋπόθεση 1)
- Σε αντίθεση με το UMTS, το WLAN δεν φημίζεται για το επίπεδο κινητικότητας. Στην εικόνα 1 παρατηρούμε ότι το επίπεδο κινητικότητας είναι το χαμηλότερο συγκριτικά με πολλά άλλα συστήματα. (προϋπόθεση 3)

1.2. Συμπληρωματικότητα WLAN και UMTS

Οι δύο RATs, UMTS και WLAN, έχουν διαφορές και ομοιότητες τις οποίες η υποδομή θα πρέπει να αξιοποιήσει με σκοπό να εκμεταλλευτεί πλήρως τα χαρακτηριστικά κάθε τεχνολογίας ώστε να παρέχει υπηρεσίες στο μέγιστο δυνατό QoS. Η συμπληρωματικότητα των δύο τεχνολογιών έγκειται στις μεταξύ τους διαφορές καθώς στα σημεία που παρουσιάζει αδυναμίες μια τεχνολογία, η υποδομή μπορεί να χρησιμοποιήσει την άλλη για να καλύψει τις ανάγκες των χρηστών. Παρακάτω αναλύονται οι διαφορές των δύο RATs [5], τις οποίες μπορεί να χρησιμοποιήσει ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης με συμπληρωματικό τρόπο ώστε η υποδομή να επιτυγχάνει τα επιθυμητά οφέλη που είναι η παροχή των υπηρεσιών στο μέγιστο δυνατό QoS:

1. *Υπηρεσίες*: Ένα σημαντικό μειονέκτημα της τεχνολογίας του WLAN είναι ότι δεν μπορεί να υποστηρίξει υπηρεσίες φωνής για λόγους καθυστέρησης, απώλειες διάδοσης, διόρθωσης λαθών κλπ. Αντίθετα, με το UMTS οι υπηρεσίες φωνής υποστηρίζονται σε ιδιαίτερα ικανοποιητικό βαθμό με αποτέλεσμα, όπως θα δούμε και στις παρακάτω ενότητες, η υπηρεσία φωνής να παρέχεται αποκλειστικά από το UMTS.
2. *Ταχύτητα πρόσβασης*: Παρόλο που το UMTS μπορεί να παρέχει τόσο υπηρεσίες φωνής όσο και δεδομένων, η ταχύτητα πρόσβασης των χρηστών δεν ενδείκνυται για ιδιαίτερα υψηλά QoS. Στην υπηρεσία φωνής βέβαια το QoS δεν απαιτείται να μεταβάλλεται καθώς μπορεί να παρέχεται ικανοποιητικά σε σταθερή ταχύτητα όπως είναι τα 12.2 Kbps. Με περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας για την υπηρεσία φωνής δεν θα προέκυπτε αύξηση του QoS καθώς δεν θα ήταν αντιληπτή από τους χρήστες. Η υπηρεσία δεδομένων με την τεχνολογία UMTS μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 384 Kbps αλλά δεν θεωρείται ιδιαίτερα υψηλή δεδομένου ότι ο στόχος της υποδομής είναι η παροχή υπηρεσιών με υψηλές απαιτήσεις ως προς το QoS. Η τεχνολογία του WLAN είναι αυτή που μπορεί να παρέχει ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες πρόσβασης για τις υπηρεσίες δεδομένων της τάξεως των Mbps, αυξάνοντας έτσι το QoS.
3. *Κινητικότητα*: Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά στα συστήματα κινητών επικοινωνιών είναι το επίπεδο κινητικότητας. Η υποδομή θα πρέπει να παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να μετακινείται καθώς χρησιμοποιεί κάποια

από τις υπηρεσίες. Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, η τεχνολογία του UMTS, σε αντίθεση με το WLAN, είναι ιδανική για την παροχή υπηρεσιών ακόμα και σε υψηλά επίπεδα κινητικότητας.

4. *Εμβέλεια*: Ένα χαρακτηριστικό της τεχνολογίας του WLAN είναι η σχέση ανάμεσα στην εμβέλεια κάλυψης και την ταχύτητα πρόσβασης. Πρότυπα του WLAN τα οποία έχουν μεγάλη ακτίνα κάλυψης (max 250 μέτρα) έχουν χαμηλές ταχύτητες πρόσβασης (max 11 Mbps) ενώ αντίθετα όσα έχουν μικρή ακτίνα (50 μέτρα) έχουν υψηλές ταχύτητες (max 54 Mbps) [9], [10]. Συγκριτικά με την ακτίνα κάλυψης του UMTS, το WLAN έχει τουλάχιστον 4 φορές μικρότερη εμβέλεια. Η τυπική ακτίνα κάλυψης του UMTS είναι τα 1000 μέτρα [6].

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά αναφέρονται στις RATs της υποδομής και στα επιμέρους στοιχεία δικτύου τα οποία συγκροτούν την αρχιτεκτονική της. Στην παρακάτω ενότητα αναλύονται σημαντικά ζητήματα λογισμικού και υλικού της υποδομής, πολλά από τα οποία βρίσκονται σε ερευνητικό στάδιο. Τέλος, παρουσιάζονται οι βασικές λειτουργίες διαχείρισης της υποδομής και ο τρόπος που αυτές αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

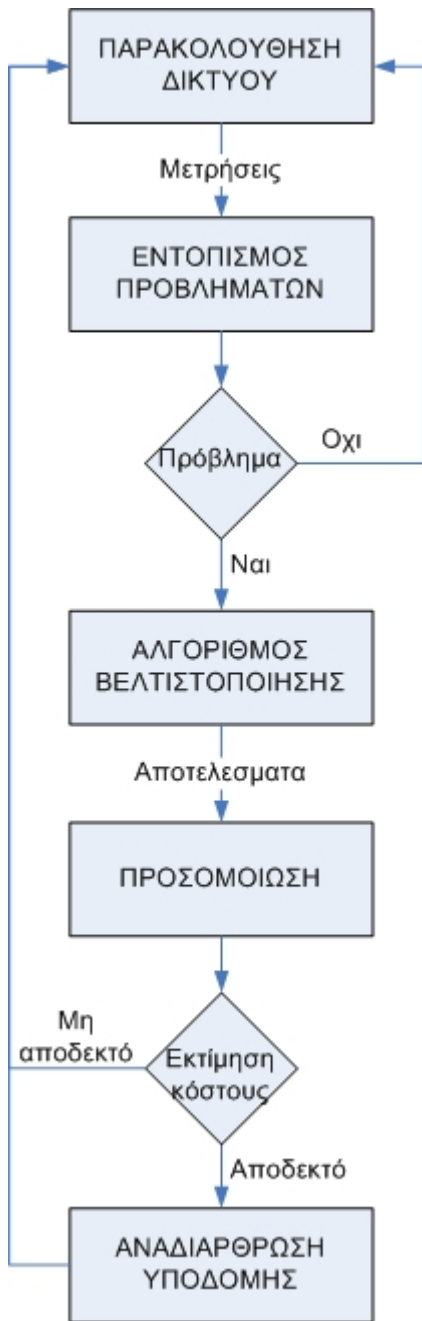
2. Reconfigurability

Η έννοια του reconfigurability αναφέρεται στην ικανότητα αναδιάρθρωσης του δικτύου λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές που έχουν συμβεί σε αυτό. Χαρακτηριστικά παραδείγματα στα οποία η αναδιάρθρωση του δικτύου μπορεί να αντιμετωπίσει επιτυχώς προβλήματα είναι η πτώση κόμβων, δημιουργία hot spots σε ώρες αιχμής, ραγδαία αύξηση κινητικότητας των χρηστών κλπ. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις η υποδομή του δικτύου πρέπει να είναι σε θέση να συνεχίζει να παρέχει τις υπηρεσίες στους χρήστες στο μέγιστο δυνατό QoS αντιμετωπίζοντας τα παραπάνω προβλήματα, χωρίς φυσικά οι χρήστες να αντιλαμβάνονται τις ενέργειες του δικτύου.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στις παραπάνω ενότητες, οι βασικοί παράγοντες ώστε να έχουμε τα προσδοκώμενα αποτελέσματα δεν είναι αποκλειστικά από την μεριά του software (δίκτυο) ή του hardware (τερματικά, κεραίες). Απαιτείται συνδυασμός και συνεργασία και των δυο μερών ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί η αναδιάρθρωση ολόκληρης της υποδομής του δικτύου. Παρακάτω περιγράφονται και οι δυο παράγοντες δίνοντας όμως έμφαση στο κομμάτι του software με το οποίο επιτυγχάνεται η διαχείριση της υποδομής και η εύρεση της καλύτερης δυνατής διάρθρωσης με τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης.

2.1. Διαχείριση Δικτυακής Υποδομής

Η διαχείριση της δικτυακής υποδομής, η οποία θα αποτελείται από διαφορετικές RATs, μπορεί να επιτευχθεί με την ανάπτυξη κατάλληλης διαχειριστικής εφαρμογής η οποία θα έχει τις λειτουργίες που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 2: Λειτουργίες εφαρμογής διαχείρισης υποδομής

- Παρακολούθηση δικτύου (Monitoring):* Η παρακολούθηση παραμέτρων της δικτυακής υποδομής αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην αναδιάρθρωσή της. Μεταβλητές όπως ο αριθμός των χρηστών, παρεμβολές, bit rate, bit error rate, signal strength, bandwidth utilization and packets per second, round trip time, διαθέσιμοι πόροι, συχνότητες, επίπεδο QoS παρεχόμενων υπηρεσιών κλπ, είναι μόνο οι βασικές παράμετροι από τις οποίες εξαρτώνται οι δείκτες απόδοσης του δικτύου και οι οποίες θα πρέπει συνεχώς να παρακολουθούνται προκειμένου να εντοπισθούν εγκαίρως προβλήματα στην περιοχή κάλυψης [13].
- Εντοπισμός προβλημάτων:* Η εφαρμογή διαχείρισης πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίσει προβλήματα στην περιοχή κάλυψης με βάση τις μετρήσεις και τις τιμές των παραμέτρων από την παρακολούθηση της υποδομής. Για κάθε παράμετρο η εφαρμογή μπορεί να συγκρίνει τις τιμές που μετρήθηκαν αν υπερβαίνουν τα κατώφλια (thresholds) ασφαλείας. Η κατηγοριοποίηση προβλημάτων, για το πόσο κρίσιμα είναι και για το αν θα πρέπει να ληφθούν μέτρα αποκατάστασης, γίνεται ανάλογα με την παράμετρο που μετράται και κατά πόσο η τιμή της είναι πάνω από το κατώφλι ασφαλείας.
- Ενεργοποίηση αλγόριθμου βελτιστοποίησης:* Σε περίπτωση που εντοπισθεί κάποιο πρόβλημα θα πρέπει να ενεργοποιηθεί ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης με σκοπό να βρεθεί η καλύτερη

δυνατή διάρθρωση του δικτύου ώστε να καλύπτονται όλοι οι χρήστες στην περιοχή κάλυψης με το υψηλότερο δυνατό QoS για τις υπηρεσίες που αιτούνται. Όπως θα δούμε αναλυτικά σε επόμενη ενότητα, ο αλγόριθμος δέχεται σαν είσοδο όλες τις απαραίτητες παραμέτρους δικτύου (φορτίο, διαθέσιμοι πόροι κλπ) και αποφασίζει α) για την διάρθρωση των κεραιών, β) για την κατανομή του φορτίου και γ) για το QoS των παρεχόμενων υπηρεσιών.

- *Προσομοίωση αποτελεσμάτων:* Προτού γίνουν οι απαραίτητες αλλαγές στο δίκτυο σύμφωνα με τα αποτελέσματα του αλγόριθμου βελτιστοποίησης, οι δείκτες απόδοσης των δικτύων της υποδομής εκτιμώνται εκ νέου. Ο λόγος που είναι απαραίτητο αυτό να γίνει είναι για να διαπιστωθεί αν α) οι νέες ρυθμίσεις επιφέρουν αύξηση της απόδοσης της υποδομής γενικά και β) αν η αύξηση της απόδοσης είναι αρκετά υψηλή ώστε να ξεπεράσει το κόστος αναδιάρθρωσης (Reconfiguration Cost) [14].
- *Ενεργοποίηση διαδικασίας αναδιάρθρωσης:* Η διαδικασία αναδιάρθρωσης περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες ενέργειες που πρέπει να γίνουν στην υποδομή σύμφωνα με τα αποτελέσματα του αλγόριθμου βελτιστοποίησης.

Οι παραπάνω γενικές λειτουργίες είναι απαραίτητες για μια δικτυακή υποδομή και ειδικά σε περιπτώσεις που απαιτείται η συνεργασία μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών όπως είναι στην περίπτωση υποδομής που εξετάζουμε, το UMTS και WLAN. Κάθε μια από τις λειτουργίες που περιγράφηκαν παραπάνω αποτελεί σύγχρονο ερευνητικό αντικείμενο [13], [14], [15], [16]. Σε παρακάτω ενότητες θα αναλυθεί ιδιαίτερα ο τρόπος λειτουργίας του αλγόριθμου βελτιστοποίησης της δομής του δικτύου.

2.2. Ζητήματα Υλικού

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι χρήστες της υποδομής θα μπορούν να εξυπηρετούνται από πολλές RATs και συγκεκριμένα, για τον αρχικό της σχεδιασμό, από UMTS και WLAN. Το γεγονός αυτό έχει ορισμένες απαιτήσεις σε επίπεδο hardware, καθώς θα πρέπει να σχεδιαστούν κατάλληλα δύο τουλάχιστον βασικά στοιχεία δικτύου.

Το πρώτο, και ίσως το σημαντικότερο, στοιχείο δικτύου είναι ο εξοπλισμός του χρήστη ή αλλιώς η συσκευή που θα πρέπει να έχει ο χρήστης για να μπορεί να χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες της υποδομής. Η συσκευή του χρήστη θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να αλλάξει την RAT από την οποία λαμβάνει τις υπηρεσίες της υποδομής, χωρίς φυσικά να συμμετέχει ο χρήστης σε αυτή την διαδικασία (αλλάζοντας κεραία ή εισάγοντας διαφορετική κάρτα δικτύου κλπ) ή ακόμα καλύτερα να γίνεται αντιληπτό από αυτόν. Συνεπώς η συσκευή θα πρέπει να έχει τουλάχιστον δυο τρόπους λειτουργίας, έναν για κάθε RAT που υποστηρίζει, και να έχει την δυνατότητα αλλαγής μεταξύ αυτών με διαφάνεια προς τον χρήστη (multimode συσκευές). Ο λόγος που η συσκευή του χρήστη θεωρείται πολύ σημαντικό στοιχείο δικτύου είναι γιατί αποτελεί το μέσο με το οποίο ο χρήστης αλληλεπιδρά με την υποδομή και λαμβάνει τις υπηρεσίες της. Όσο προσεκτικά σχεδιασμένη και αποδοτική να είναι η υποδομή, ο χρήστης έχει άμεση επαφή μόνο με την συσκευή του, και σε περίπτωση που αυτή δεν τον ικανοποιεί είτε γιατί είναι δύσχρηστη είτε γιατί έχει μεγάλες διαστάσεις κλπ θα αποτελέσει σημαντική αιτία για την εξαιρετικά χαμηλή χρήση των υπηρεσιών της υποδομής.

Σήμερα έχουν γίνει σημαντικά βήματα προς την κατεύθυνση αυτή κρίνοντας από την εξέλιξη των συσκευών που μπορούν να χρησιμοποιήσουν με διαφάνεια τις τεχνολογίες Global System for Mobile Communications (GSM) και General Packet Radio Service (GPRS) οι οποίες είναι τεχνολογίες 2G και 2.5G αντίστοιχα [17], [18]. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε μια συσκευή που υποστηρίζει GSM και GPRS:



Εικόνα 3: Συσκευή GSM - GPRS

- Όπως φαίνεται και από την παραπάνω εικόνα οι διαστάσεις των συσκευών αυτών είναι ιδιαίτερα μικρές και όπως έχει αποδειχθεί από την χρήση τους, η αυτονομία της μπαταρίας είναι αρκετά μεγάλη. Ανάλογες προσπάθειες έχουν γίνει και για την δημιουργία ενιαίας συσκευής που θα μπορεί να υποστηρίζει με διαφάνεια προς τον χρήστη τις τεχνολογίες UMTS και WLAN [19], [11], [20].



Εικόνα 4: Multimode τερματική συσκευή

Στην διπλανή εικόνα φαίνεται ένα πρωτότυπο σχέδιο για μια multimode συσκευή [20]. Εκτός από το ότι θα υποστηρίζονται τεχνολογίες UMTS και WLAN, θα διαθέτει υπέρυθρη θύρα, bluetooth και άλλα χαρακτηριστικά που συναντούνται σήμερα σε κλασσικά τηλέφωνα 2G και 2.5G. Βασικά χαρακτηριστικά των τερματικών αυτών θα είναι τα παρακάτω:

- Το λειτουργικό σύστημα θα βασίζεται στο δωρεάν και τροποποιήσιμο λειτουργικό Linux.
- Η βασική τεχνολογία που θα αναλάβει την εκτέλεση των software modules στην μεριά του χρήστη θα είναι η Java.
- Οι διαστάσεις δεν θα είναι μεγαλύτερες από ένα PDA.

Το δεύτερο σημαντικό ζήτημα που αφορά τα στοιχεία δικτύου είναι οι κεραίες με τις οποίες θα επικοινωνούν οι multimode συσκευές των χρηστών και αποτελούν τα σημεία πρόσβασης των χρηστών στην υποδομή. Όπως και οι multimode συσκευές θα πρέπει να αλλάζουν τον τρόπο λειτουργίας τους από την μια RAT στην άλλη, με παρόμοιο τρόπο θα πρέπει να αλλάζουν και οι κεραίες (Base Stations – BSs) της υποδομής [12], [21]. Το πρόβλημα αυτό δεν εμφανίστηκε στην περίπτωση των GSM και GPRS καθώς το GPRS χρησιμοποιεί εξοπλισμό και στοιχεία δικτύου που ανήκουν στο GSM για την λειτουργία του [21]. Οι κεραίες που θα έχουν την δυνατότητα αναδιάρθρωσης (reconfigurable transceivers) βρίσκονται σε ερευνητικό στάδιο καθώς το κύριο πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι η δυνατότητα αλλαγής των συχνοτήτων της κεραίας προκειμένου να υποστηρίξει την νέα RAT. Οι ερευνητικές δραστηριότητες στον συγκεκριμένο τομέα αναζητούν λύση με την επεξεργασία ψηφιακών ή αναλογικών σημάτων [12], [11].

3. Αρχιτεκτονική Δικτύου

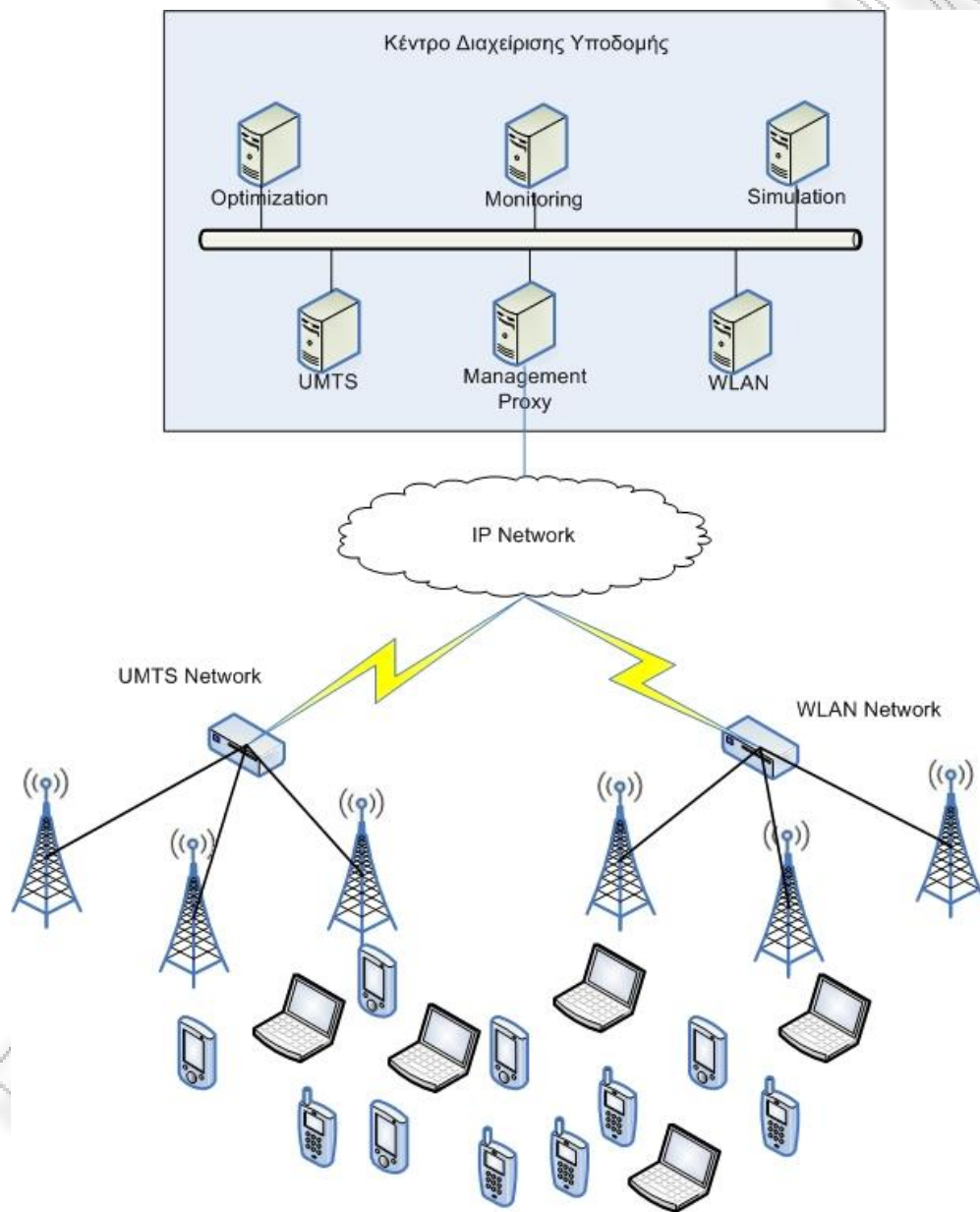
Η σχεδίαση της αρχιτεκτονικής της υποδομής έχει σκοπό να αντιμετωπίσει ζητήματα τα οποία παίζουν καθοριστικό ρόλο στην απόδοσή της. Παρακάτω παρουσιάζονται και αναλύονται τα σημαντικότερα από αυτά:

- *Μείωση της πολυπλοκότητας.* Η πολυπλοκότητα στην υποδομή που παρουσιάζεται, είναι αναπόφευκτη. Ο λόγος για αυτό είναι ότι υποστηρίζονται διαφορετικές τεχνολογίες οι οποίες θα πρέπει να συνεργάζονται μεταξύ τους προκειμένου να παρέχουν υπηρεσίες στο υψηλότερο δυνατό QoS στους χρήστες εξασφαλίζοντας παράλληλα διαφάνεια σε ικανοποιητικό βαθμό. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο απαιτούνται αρκετά στοιχεία δικτύου και αρκετό λογισμικό το οποίο θα πρέπει να διαχειρίζεται αποδοτικά. Η λύση προκειμένου να μειωθεί το επίπεδο της πολυπλοκότητας είναι να αντιμετωπιστεί από τα αρχικά στάδια σχεδίασης της υποδομής, με σκοπό την κατασκευή μιας αρχιτεκτονικής που θα χαρακτηρίζεται από πολλές, μικρές και απλές λειτουργίες [22].
- *Αποδοτική χρήση των πόρων της υποδομής.* Κάθε RAT διαθέτει τους δικούς της πόρους οι οποίοι θα πρέπει να διαχειρίζονται ξεχωριστά, αλλά παράλληλα συμπληρώνοντας η μια τεχνολογία τις αδυναμίες της άλλης όπου αυτό είναι εφικτό και βοηθάει στην καλύτερη απόδοση του δικτύου. Σημαντικό επίσης ζήτημα αποτελεί η δυναμική δέσμευση των πόρων του δικτύου για το οποίο καθοριστικό ρόλο παίζει η διαδικασία του monitoring που παρακολουθεί τόσο τα στοιχεία του δικτύου αλλά και την απόδοσή τους [23], [24].
- *Έλεγχος κόστους.* Παράλληλα με την αποδοτικότερη χρήση των πόρων, η ξεχωριστή διαχείριση των RATs της υποδομής βοηθάει και στην καλύτερη εκτίμηση κόστους λειτουργίας. Πολύ σημαντικό στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι η καλύτερη δυνατή λύση για το δίκτυο δεν είναι πάντα και η πιο συμφέρουσα. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η τελική απόφαση για το αν θα εφαρμοστεί η νέα διάρθρωση (configuration) του δικτύου καθορίζεται ανάλογα με το κόστος αναδιάρθρωσης (reconfiguration cost) και το αναμενόμενο όφελος ή κέρδος από το νέο configuration.

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά η αρχιτεκτονική της υποδομής καθώς και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ των στοιχείων δικτύου.

3.1. Παρουσίαση Αρχιτεκτονικής

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται όλα τα βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής της υποδομής καθώς και η επικοινωνία μεταξύ τους, λαμβάνοντας υπόψη τα ζητήματα σχεδίασης που περιγράφηκαν στην παραπάνω ενότητα.



Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική υποδομής

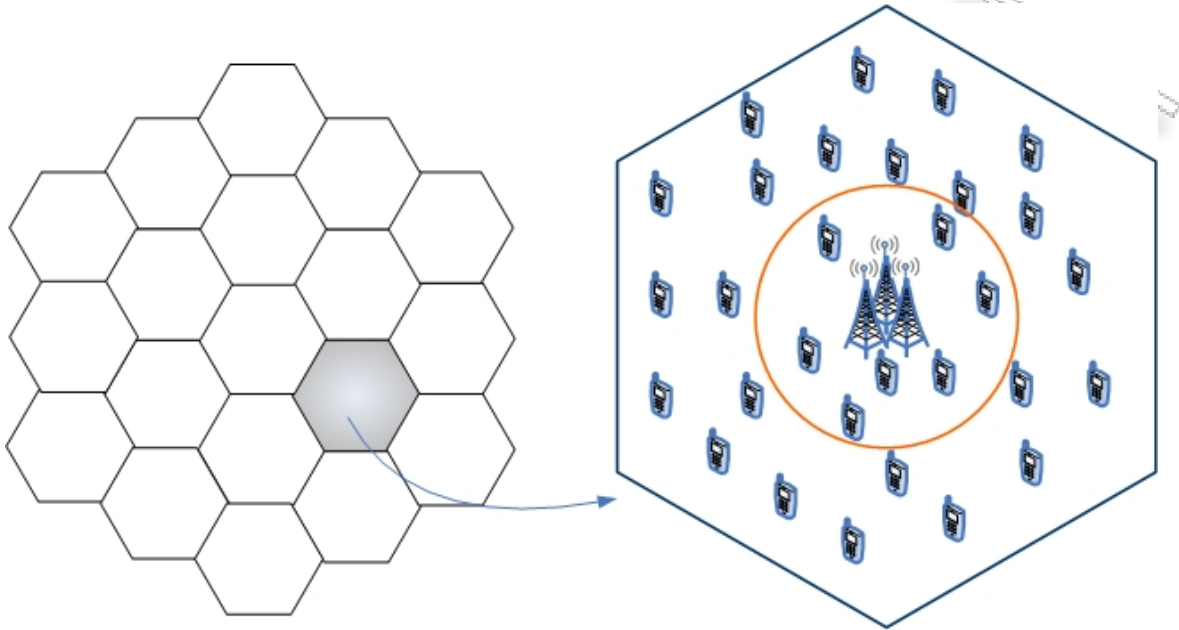
Όπως παρατηρούμε στην εικόνα 5, κάθε στοιχείο δικτύου ανήκει σε κάποια κατηγορία όπως είναι (ξεκινώντας από κάτω προς τα πάνω) α) τερματικές συσκευές, β) σημεία πρόσβασης, γ) δίκτυο κορμού και δ) στοιχεία διαχείρισης. Παρακάτω αναλύονται όλα τα στοιχεία δικτύου της υποδομής για κάθε κατηγορία.

- *Τερματικές συσκευές.* Οι τερματικές συσκευές μπορούν να είναι PDAs, κινητά τηλέφωνα καθώς και φορητοί Η/Υ, υπό τον όρο ότι πληρούν τις προϋποθέσεις που περιγράφηκαν στην ενότητα 2.2. Οι τερματικές συσκευές αποτελούν το μέσο με το οποίο ο χρήστης επικοινωνεί και λαμβάνει τις υπηρεσίες της υποδομής.
- *Σημεία πρόσβασης.* Οι κεραίες ασύρματης πρόσβασης αποτελούν τα σημεία από τα οποία ο χρήστης έχει πρόσβαση στην υποδομή. Οι κεραίες, όπως περιγράφηκαν στην ενότητα 2.2, αποτελούν τους reconfigurable transceivers οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν στις επιλεγμένες RATs (UMTS και WLAN). Μετά την αναδιάρθρωση του δικτύου και αφού καθοριστεί η RAT για κάθε κεραία, το σύνολο των UMS transceivers και το σύνολο των WLAN transceivers αποτελούν ξεχωριστά δίκτυα πρόσβασης (όπως φαίνεται και στην εικόνα 5) τα οποία όπως έχει αναφερθεί παραπάνω διαχειρίζονται ξεχωριστά.
- *Δίκτυο κορμού.* Όλα εκείνα τα στοιχεία δικτύου που χρησιμοποιούνται για την διασύνδεση των κεραιών με το κέντρο διαχείρισης της υποδομής αποτελούν το δίκτυο κορμού. Η επικοινωνία στο δίκτυο κορμού μπορεί να στηρίζεται σε ευρυζωνικά ενσύρματα δίκτυα ή/και μικροκυματικές ζεύξεις. Ειδικότερα οι μικροκυματικές ζεύξεις είναι προτιμότερες καθώς δεν απαιτείται στο σημείο όπου θα στηθεί η κεραία να υπάρχει εγκατεστημένο ενσύρματο ευρυζωνικό δίκτυο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι κεραίες όπου στήνονται σε βουνά με σκοπό να υπάρχει ευρεία κάλυψη μιας περιοχής (συνήθως σε μη αστικά κέντρα).
- *Στοιχεία διαχείρισης.* Τα στοιχεία διαχείρισης είναι υπεύθυνα για την λειτουργία της εφαρμογής διαχείρισης της υποδομής όπως περιγράφηκε στην ενότητα 2.1. Τα κύρια στοιχεία ή ομάδες στοιχείων είναι τα παρακάτω:
 - *Management Proxy.* Πρόκειται για το σημείο στο οποίο καταλήγουν όλα τα στοιχεία του δικτύου κορμού και αποτελεί το μοναδικό στοιχείο του κέντρου διαχείρισης που επικοινωνεί με την υπόλοιπη υποδομή. Οποιοσδήποτε ενέργειες αποφασιστεί ότι πρέπει να γίνουν στην υποδομή, θα πρέπει να περάσει από τον management proxy τόσο για επικύρωση όσο και για διαφάνεια προς τα στοιχεία που αποτελούν την υπόλοιπη υποδομή.

- *UMTS*. Το στοιχείο UMTS στην εικόνα 5 συμβολίζει ένα υποδίκτυο το οποίο έχει σκοπό να κρατά και να επεξεργάζεται κάθε πληροφορία σχετικά με το δίκτυο της τεχνολογίας UMTS.
- *WLAN*. Όμοια με το UMTS, το WLAN στοιχείο συμβολίζει το υποδίκτυο το οποίο έχει σκοπό να κρατά και να επεξεργάζεται κάθε πληροφορία σχετικά με το δίκτυο της τεχνολογίας WLAN. Συνεπώς οι πληροφορίες για ότι συμβεί ή αλλάξει σε κάποιο από τα δυο δίκτυα θα καταγραφεί στα στοιχεία αυτά με σκοπό όπως θα δούμε παρακάτω να είναι εφικτή η διαδικασία του Monitoring.
- *Monitoring*. Όπως περιγράφηκε στην ενότητα 2.1, η λειτουργία αυτή θα πρέπει να πραγματοποιεί μια σειρά από ελέγχους και υπολογισμούς για κάθε τεχνολογία ξεχωριστά. Λαμβάνοντας τα απαραίτητα δεδομένα είτε από τα στοιχεία διαχείρισης του UMTS είτε του WLAN, θα μπορεί να πραγματοποιήσει ξεχωριστά τους απαραίτητους ελέγχους αλλά και να καταγράψει σε κάθε ένα νέα στοιχεία, όπου αυτό κριθεί απαραίτητο. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα σε περίπτωση που εντοπιστεί κάποιο πρόβλημα να ξεκινήσει άμεσα την διαδικασία του optimization.
- *Optimization*. Το σύνολο των στοιχείων που συμμετέχουν στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης αποτελούν το υποδίκτυο του Optimization. Δεδομένου ότι ο αλγόριθμος α) μπορεί να ενεργοποιηθεί για αρκετά μεγάλες περιοχές κάλυψης και β) όχι μόνο για δυο RATs αλλά και για περισσότερες, είναι απαραίτητο να είναι διαθέσιμη αρκετή υπολογιστική ισχύς για την άμεση αντιμετώπιση των προβλημάτων της υποδομής.
- *Simulation*. Όμοια και με το υποδίκτυο του Optimization, έτσι και το υποδίκτυο του Simulation απαιτεί αρκετή υπολογιστική ισχύ για την προσομοίωση της υποδομής. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση, λαμβάνονται από την έξοδο του αλγόριθμου βελτιστοποίησης.

3.2. Παρουσίαση Κυψέλης

Η περιοχή κάλυψης από την υποδομή είναι ένα σύνολο κυψελών. Κάθε κυψέλη έχει ορισμένα χαρακτηριστικά όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6: Κυψέλη υποδομής

Η μπλε εξωτερική γραμμή συμβολίζει την εμβέλεια κάλυψης της κυψέλης. Η εμβέλεια αυτή καθορίζεται, όπως είναι φυσικό, από την εμβέλεια των UMTS transceivers η οποία είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με αυτή του WLAN. Η εμβέλεια του WLAN συμβολίζεται με την πορτοκαλί γραμμή. Η απεικόνιση στο σχήμα 6 της εμβέλειας του WLAN δεν έχει γίνει με ακρίβεια καθώς εξαρτάται από την συχνότητα λειτουργίας. Τα πρότυπα IEEE 802.11x στον πίνακα της ενότητας 1.1.2 έχουν διαφορετική εμβέλεια το καθένα, ανάλογα με την συχνότητα λειτουργίας τους. Σε καμία όμως περίπτωση δεν ξεπερνάνε την εμβέλεια των UMTS transceivers και αυτό παρουσιάζεται από την παραπάνω εικόνα.

Κάθε κυψέλη διαθέτει τρεις reconfigurable transceivers. Ο αριθμός των transceivers δεν είναι τυχαίος αλλά υπάρχουν συγκεκριμένοι λόγοι για την επιλογή του, οι οποίοι αναλύονται παρακάτω:

- *Ίση κατανομή φορτίου.* Όσοι περισσότεροι transceivers είναι διαθέσιμοι για την κατανομή του φορτίου, τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το παρεχόμενο QoS. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες ενότητες, με το UMTS μπορεί η υποδομή να παρέχει υπηρεσίες φωνής αλλά και δεδομένων. Ωστόσο στις υπηρεσίες δεδομένων το QoS

δεν είναι αρκετά υψηλό και για τον λόγο αυτό χρειάζονται περισσότεροι του ενός transceivers προκειμένου να παρέχουν υπηρεσίες δεδομένων σε υψηλά QoS σε χρήστες που βρίσκονται εκτός της περιοχής κάλυψης του WLAN. Σε αυτή την περίπτωση (όπως θα δούμε και παρακάτω στον τρόπο λειτουργίας τους αλγόριθμοι βελτιστοποίησης) το φορτίο μοιράζεται στους transceivers. Σε τέτοιες περιπτώσεις η διάρθρωση των κεραιών στην κυψέλη μπορεί να είναι οι δυο transceivers να λειτουργούν σε UMTS και ο τρίτος σε WLAN (UW). Με τους δυο UMTS transceivers θα καλύπτονται όλοι οι χρήστες που χρησιμοποιούν υπηρεσίες φωνής στην κυψέλη καθώς και όλοι οι χρήστες που χρησιμοποιούν υπηρεσίες δεδομένων και βρίσκονται εκτός της εμβέλειας του WLAN. Ο τρίτος transceiver θα καλύπτει όλους τους χρήστες που βρίσκονται στην εμβέλεια κάλυψής του και χρησιμοποιούν υπηρεσίες δεδομένων.

- *Αντιμετώπιση των hot spots.* Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό στις κινητές και ασύρματες επικοινωνίες αποτελεί το hot spot. Στο σημείο της κυψέλης που παρουσιάζεται ένα hot spot παρουσιάζεται υψηλή συγκέντρωση φορτίου. Τα σημεία αυτά πρέπει η υποδομή να έχει την δυνατότητα να τα αντιμετωπίσει και μάλιστα με όσο το δυνατό υψηλότερο QoS. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις hot spots αποτελούν τα εμπορικά κέντρα, γήπεδα και γενικά περιοχές που υπάρχει υψηλή συγκέντρωση χρηστών. Σε περίπτωση που τα σημεία στα οποία έχουμε hot spots ήταν μόνιμα δεν θα ήταν τόσο μεγάλο πρόβλημα καθώς θα μπορούσαμε να εγκαταστήσουμε μόνιμα μια κεραία στο σημείο αυτό ώστε να καλύπτουμε ικανοποιητικά τους χρήστες. Ωστόσο τα σημεία των hot spots μπορεί και να μετακινούνται εξαιτίας της κινητικότητας των χρηστών αλλά μπορεί και το συνολικό φορτίο που προκύπτει από ένα hot spot να είναι ιδιαίτερα υψηλό συγκεκριμένες ώρες της ημέρας, όπως είναι οι απογευματινές ώρες.

Τέλος, ένα ακόμα στοιχείο για την κυψέλη αποτελεί η κατανομή των χρηστών σε αυτή. Όπως είναι εύκολο να φανταστεί κανείς, το ιδανικό θα ήταν οι περισσότεροι χρήστες να βρίσκονταν κοντά στο κέντρο της κυψέλης γιατί α) έτσι θα βρίσκονται περισσότεροι χρήστες στην εμβέλεια του WLAN και β) το κόστος παροχής υπηρεσιών (ιδιαίτερα σε υψηλά QoS) στα άκρα της κυψέλης είναι υψηλότερο λόγω παρεμβολών. Προκειμένου να

βγάλουμε συμπεράσματα τα οποία θα είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους, όπως θα δούμε και παρακάτω, η κατανομή των χρηστών θα είναι σταθερή όπου αυτό απαιτείται.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ

4. Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί διαγραμματικά και μαθηματικά ο τρόπος λειτουργίας του αλγόριθμου βελτιστοποίησης, καθώς επίσης και ορισμένα παραδείγματα με ενδεικτικές οθόνες αποτελεσμάτων.

4.1. Μαθηματική περιγραφή

Η μαθηματική περιγραφή του αλγόριθμου βελτιστοποίησης έγκειται στην περιγραφή των δεδομένων που απαρτίζουν την είσοδο και την έξοδο του αλγόριθμου, καθώς και την μαθηματική αναζήτηση του καλύτερου δυνατού configuration της υποδομής λαμβάνοντας υπόψη περιορισμούς που προκύπτουν από τα διαθέσιμα resources του δικτύου.

4.1.1. Είσοδος

Η κατηγοριοποίηση της εισόδου στον αλγόριθμο παρουσιάζεται παρακάτω:

- *Πόροι δικτύου:* Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται πληροφορίες σχετικά με τους διαθέσιμους πόρους δικτύου. Τα σύνολα στην κατηγορία αυτή είναι:
 - Σύνολο \mathbf{R} . Το σύνολο των διαθέσιμων τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης (RATs).
 - Σύνολο \mathbf{T} . Το σύνολο των διαθέσιμων transceivers στην περιοχή κάλυψης που θα εφαρμόσουμε την αλγόριθμο.
 - Σύνολο \mathbf{R}_t ($t \in \mathbf{T}$). Το σύνολο των RATs τις οποίες μπορεί να υποστηρίξει ο transceiver t .
- *Φορτίο:* Έστω ότι στην περιοχή κάλυψης της υποδομής που μελετάμε υπάρχουν N χρήστες. Η τοποθεσία για κάθε χρήστη i , όπου $i \in \{0, 1, \dots, N\}$, συμβολίζεται με l_i . Τα σύνολα που εντάσσονται στην κατηγορία του φορτίου είναι:
 - Σύνολο \mathbf{S} . Το σύνολο των υπηρεσιών ή εφαρμογών που είναι διαθέσιμες στην περιοχή κάλυψης, $\mathbf{S} = \{s : s=0, 1, \dots, S\}$. Η υπηρεσία που αιτείται ένας χρήστης i συμβολίζεται με s_i .
 - Σύνολο \mathbf{Q}_s . Το σύνολο για τα επίπεδα ποιότητας στα οποία μπορεί να παρέχεται η υπηρεσία s , $\mathbf{Q}_s = \{q : q=0, 1, \dots, Q_s, s \in \mathbf{S}\}$.

- ο Σύνολο R_s . Το σύνολο των RATs που μπορούν να παρέχουν την υπηρεσία s ,
 $R_s = \{r : r=0,1 \dots R_s, s \in S\}$.

Εκτός από τα παραπάνω σύνολα που αποτελούν ένα μεγάλο μέρος του input στον αλγόριθμο, απαιτούνται επιπλέον και τα παρακάτω:

- *Utility volume*. Ο όρος “utility” είναι δανεισμένος από την οικονομική θεωρία [25]. Η σημασία του όρου αυτού στον αλγόριθμο χρησιμοποιείται για να συμβολίσουμε τον βαθμό ικανοποίησης του χρήστη. Πιο συγκεκριμένα, για έναν χρήστη i στον οποίο παρέχεται υπηρεσία s_i σε επίπεδο ποιότητας q_i , ο βαθμός ικανοποίησής του συμβολίζεται με $u_{s_i, q_i} ((s_i, q_i) \in (S \times Q_{s_i}))$.
- *Bandwidth*. Το bandwidth που απαιτείται για έναν χρήστη i στον οποίο παρέχεται υπηρεσία s_i , σε επίπεδο ποιότητας q_i , συμβολίζεται με $b_{s_i, q_i} ((s_i, q_i) \in (S \times Q_{s_i}))$.

4.1.2. Έξοδος

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενες ενότητες, στόχος του αλγόριθμου βελτιστοποίησης είναι να βρει την καλύτερη δυνατή διάρθρωση (configuration) του δικτύου ώστε να χρησιμοποιούνται αποδοτικά οι πόροι του και παράλληλα να παρέχονται υπηρεσίες στο υψηλότερο δυνατό επίπεδο ποιότητας. Η έξοδος του αλγόριθμου αποτελείται από τα παρακάτω τρία σύνολα:

- Σύνολο $A_{RT} \{r_t | \forall t \in T\}$. Κάθε στοιχείο r_t του συνόλου A_{RT} συμβολίζει την τελική ανάθεση της τεχνολογίας r ($r \in R$) στον transceiver t .
- Σύνολο $A_{DT} \{t_i | \forall i \in [1,2, \dots, N]\}$. Κάθε στοιχείο t_i του συνόλου A_{DT} συμβολίζει την τελική ανάθεση του χρήστη i (demand) στον transceiver t ($t \in T$).
- Σύνολο $A_{DQ} \{q_i | \forall i \in [1,2, \dots, N]\}$. Κάθε στοιχείο q_i του συνόλου A_{DQ} συμβολίζει την τελικό επίπεδο ποιότητας στο οποίο ο χρήστης i θα λαμβάνει την υπηρεσία s_i από τον transceiver t_i .

4.1.3. Αναζήτηση καλύτερης διάρθρωσης δικτύου

Στις δυο προηγούμενες ενότητες περιγράφηκαν η είσοδος και η έξοδος του αλγόριθμου. Στην παρούσα ενότητα θα περιγραφεί ο τρόπος με τον οποίο ο αλγόριθμος αναζητά την καλύτερη δυνατή διάρθρωση του δικτύου. Ο λόγος που η έξοδος του αλγόριθμου περιγράφηκε πριν την παρούσα ενότητα είναι για να γίνει ευκολότερα κατανοητή η διαδικασία αναζήτησης.

Οι φάσεις από τις οποίες αποτελείται η διαδικασία αναζήτησης είναι πέντε. Παρακάτω περιγράφονται και αναλύονται ξεχωριστά η κάθε μία.

- **Φάση 1 – Εύρεση συνόλων A_{RT} .**

Όπως περιγράφηκε στην ενότητα που αναλύει την έξοδο του αλγόριθμου, πρέπει να βρεθεί το σύνολο A_{RT} κάθε στοιχείο του οποίου περιγράφει την ανάθεση μιας RAT σε κάποιον από τους διαθέσιμους transceivers. Σκοπός της φάσης 1 είναι να βρούμε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς κατανομής RATs σε transceivers. Για κάθε έναν από τους συνδυασμούς αυτούς ο αλγόριθμος θα προχωρήσει στις φάσεις (2, 3) παράλληλα. Στην τελική φάση (φάση επιλογής καλύτερης διάρθρωσης δικτύου), το σύνολο A_{RT} από το οποίο προέκυψε το καλύτερο configuration θα είναι και το τελικό.

Στην παραπάνω ενότητα για το input του αλγόριθμου, περιγράφηκαν τα σύνολα R και T . Με δεδομένες τις διαθέσιμες RATs και τους διαθέσιμους transceivers, μπορούμε να βρούμε το σύνολο όλων των πιθανών συνδυασμών, το οποίο είναι R^T . Όπως έχει αναφερθεί και σε παραπάνω ενότητες, σε κάθε κυψέλη έχουμε τρεις διαθέσιμους transceivers (με τις ίδια χαρακτηριστικά) και οι RATs είναι UMTS και WLAN. Με τα δεδομένα αυτά προκύπτει ο παρακάτω πίνακας στον οποίο φαίνονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί ($2^3=8$) για μια κυψέλη:

	Transceiver 1	Transceiver 2	Transceiver 3
1.	UMTS	UMTS	UMTS
2.	UMTS	UMTS	WLAN
3.	UMTS	WLAN	WLAN
4.	WLAN	WLAN	WLAN
5.	WLAN	WLAN	UMTS
6.	WLAN	UMTS	UMTS
7.	UMTS	WLAN	UMTS
8.	WLAN	UMTS	WLAN

Πίνακας 2: Πιθανοί συνδυασμοί RATs

Όπως παρατηρούμε, συνολικά υπάρχουν $R^T = 2^3 = 8$ πιθανοί συνδυασμοί κατανομής των τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης στους transceivers. Ωστόσο, μερικοί από τους παραπάνω συνδυασμούς είναι ίδιοι καθώς σε κάθε συνδυασμό από αυτούς υπάρχουν ισάριθμες αναθέσεις των ίδιων τεχνολογιών σε transceivers. Πιο συγκεκριμένα, οι συνδυασμοί 2 και 6 είναι ίδιοι, όπως επίσης και ο 3 με τον 5, ο 5 με τον 8 και ο 2 με τον 7. Επομένως οι συνδυασμοί αυτοί που είναι ίδιοι με προηγούμενους δεν χρειάζεται να εξεταστούν καθώς το αποτέλεσμα που θα προκύψει θα είναι το ίδιο με αυτό του προηγούμενου. Ο πίνακας με τους τελικούς συνδυασμούς είναι ο παρακάτω.

	Transceiver 1	Transceiver 2	Transceiver 3
1.	UMTS	UMTS	UMTS
2.	UMTS	UMTS	WLAN
3.	UMTS	WLAN	WLAN
4.	WLAN	WLAN	WLAN

Πίνακας 3: Τελικοί συνδυασμοί RATs

Κάθε ένας από τους συνδυασμούς του παραπάνω πίνακα αποτελεί ένα σύνολο A_{RT} για το οποίο θα ξεκινάει μια παράλληλη διαδικασία. Κατά την διαδικασία αυτή ο αλγόριθμος συνεχίζει στις φάσεις 2 και 3.

▪ **Φάση 2 – Εύρεση συνόλου A_{DT} .**

Με δεδομένο το σύνολο A_{RT} (από φάση 1) μπορούν να υπολογιστούν και άλλα στοιχεία σχετικά με τον κάθε transceiver t όπως είναι:

- Η περιοχή κάλυψης (coverage) ($cov_t, t \in T$).
- Το capacity ($cap_t, t \in T$).
- Το σύνολο $S_t (t \in T)$, κάθε στοιχείο του οποίου συμβολίζει την υπηρεσία s που μπορεί να παρέχει ο transceiver t .
- Το σύνολο $T_i (i \in [1, 2, \dots, N])$, κάθε στοιχείο του οποίου συμβολίζει τον transceiver t που μπορεί να καλύψει τον χρήστη i , με δεδομένη την τοποθεσία του χρήστη εντός της περιοχής κάλυψης, l_i και της υπηρεσίας που αιτείται ο χρήστης s_i και μπορεί να παρέχει ο transceiver t .

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω σύνολα, ο αλγόριθμος στην τρέχουσα φάση πρέπει να βρει την καλύτερη δυνατή ανάθεση των χρηστών (demand) στους transceivers στο χαμηλότερο επίπεδο ποιότητας (basic QoS level) για να εξασφαλιστεί ότι όλοι οι χρήστες μπορούν να εξυπηρετηθούν από την υποδομή έστω και με το χαμηλότερο QoS. Η διαδικασία αυτή αποτελείται τα παρακάτω 3 βήματα:

- *Step 1: Ταξινόμηση χρηστών.*

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το σύνολο T_i περιέχει τους transceivers που μπορούν να καλύψουν έναν χρήστη i . Η ταξινόμηση των χρηστών γίνεται κατά αύξουσα σειρά ξεκινώντας από τον χρήστη που έχει το μικρότερο σύνολο T_i . Σε περίπτωση που δύο ή περισσότεροι χρήστες έχουν το ίδιο σύνολο T_i , τότε επιλέγεται τυχαία ποιος χρήστης θα προηγηθεί των άλλων. Από την ταξινομημένη λίστα επιλέγουμε τον πρώτο χρήστη, έστω k , με σκοπό να τον αναθέσουμε σε έναν transceiver από αυτούς του συνόλου T_k .

- *Step 2: Ανάθεση χρήστη σε transceiver.*

Για την επιλογή του τελικού transceiver (από το σύνολο T_k) στον οποίο τελικά θα ανατεθεί ο χρήστης k , θα πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω περιορισμοί:

$$(1) \left(\sum b_{s_i, q_i} \right) + b_{s_k, q_k} \leq cap_t$$

$$(2) t_k = \arg \min \left(\frac{pd_t}{rc_t} \right)^*$$

* : όπου pd_t η πιθανότητα τελικά να ανατεθεί υψηλό φορτίο στον transceiver t , όπως προκύπτει από το σύνολο T_i κάθε χρήστη i , και rc_t το εναπομένον (remaining) capacity του transceiver t μετά την ανάθεση του χρήστη σε αυτόν.

Ο περιορισμός 1 διασφαλίζει πως το άθροισμα του bandwidth που έχει ήδη δώσει ο transceiver t σε προηγούμενους χρήστες και του bandwidth που θα δώσει στον καινούριο χρήστη, δεν ξεπερνάει το συνολικό του capacity. Τέλος, ο περιορισμός 2 καθορίζει την προτεραιότητα που δίνει ο αλγόριθμος στους transceivers. Σύμφωνα με αυτόν, ο transceiver στον οποίο θα ανατεθεί ο νέος χρήστης θα είναι είτε αυτός που έχει την μικρότερη πιθανότητα για υψηλό φορτίο, είτε αυτός που θα του απομείνει το υψηλότερο διαθέσιμο capacity (και άρα είναι λιγότερο φορτωμένος από τους άλλους).

- *Step 3: Ανανέωση τιμών.*

Μετά την ανάθεση κάθε χρήστη σε κάποιον transceiver, οι τιμές για τα pd_t και rc_t ανανεώνονται για κάθε $t \in T$. Σε περίπτωση που υπάρχουν και άλλοι χρήστες οι οποίοι δεν έχουν ανατεθεί ακόμα σε transceiver, ο αλγόριθμος συνεχίζει από το step 2. Σε περίπτωση που έχουν ανατεθεί όλοι οι χρήστες, ο αλγόριθμος τερματίζει την φάση 2.

Το αποτέλεσμα της φάσης 2 είναι η ανάθεση των χρηστών στους transceivers που μπορούν να τους εξυπηρετήσουν (ανάλογα την τοποθεσία τους και την υπηρεσία που αιτούνται) στο βασικό επίπεδο ποιότητας. Το σύνολο αυτό είναι το A_{DT} .

▪ **Φάση 3 – Εύρεση συνόλου A_{DQ} .**

Στην φάση 3 είναι γνωστή η ανάθεση των χρηστών στους transceivers (σύνολο A_{DT}). Η ανάθεση αυτή έχει γίνει παρέχοντας στους χρήστες μόνο το βασικό QoS για τις υπηρεσίες που αιτούνται. Λαμβάνοντας υπόψη την κατανομή των χρηστών καθώς και το remaining capacity των transceivers ($rc_b, \forall t \in T$) ο αλγόριθμος αυξάνει σταδιακά το QoS των υπηρεσιών που παρέχονται στους χρήστες για κάθε transceiver. Σε περίπτωση που το QoS δεν μπορεί να αυξηθεί περισσότερο γιατί α) το είδος της υπηρεσίας δεν το απαιτεί (πχ. Voice call) ή β) οι χρήστες έχουν φτάσει στο υψηλότερο QoS ή γ) γιατί δεν υπάρχει περισσότερο capacity ελεύθερο, τότε ο αλγόριθμος υπολογίζει την τιμή της Objective Function για όλους τους χρήστες και τερματίζει την φάση 3. Η τιμή της Objective Function (OF) προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$OF = \sum_{i=1}^N of_i = \sum_{i=1}^N \left[u_{s_i, q_i} - c_{s_i, q_i} (l_i, r_{t_i}) \right]$$

Όπως είναι φανερό, η τιμή της OF εξαρτάται από τα παρακάτω:

- Υπηρεσία s που αιτείται ο χρήστης.
- Επίπεδο ποιότητας q στο οποίο ο χρήστης λαμβάνει την υπηρεσία s .
- Με γνωστά την υπηρεσία και το επίπεδο ποιότητας υπολογίζεται το utility volume, που όπως έχει αναφερθεί παραπάνω συμβολίζει την ικανοποίηση του χρήστη για το επίπεδο ποιότητας της παρεχόμενης υπηρεσίας. Συνεπώς, όσο μεγαλύτερο είναι το QoS τόσο μεγαλύτερο θα είναι και η τιμή του utility volume.
- Location l του χρήστη.
- RAT από την οποία θα εξυπηρετηθεί τελικά ο χρήστης.
- Το κόστος c αυξάνεται ανάλογα με την απόσταση του χρήστη από τον transceiver στον οποίο έχει ανατεθεί καθώς και από α) την RAT από την οποία εξυπηρετείται, β) την υπηρεσία που λαμβάνει και γ) το επίπεδο ποιότητας της υπηρεσίας.

Όπως είναι φανερό, όσο μεγαλύτερο είναι το επίπεδο ποιότητας των υπηρεσιών που λαμβάνουν οι χρήστες τόσο μεγαλύτερο είναι το utility volume και άρα αυξάνεται η τιμή

της OF. Συνεπώς, όπως θα δούμε και παρακάτω, η τιμή της OF παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιλογή του καλύτερου δυνατού configuration του δικτύου.

Παρακάτω περιγράφονται τα βήματα του αλγόριθμου στην τρέχουσα φάση:

- *Step 1: Ταξινόμηση χρηστών*

Οι χρήστες ταξινομούνται σε φθίνουσα σειρά όπως προκύπτει από τον υπολογισμό της OF_i κάθε χρήστη. Στην τελική λίστα που προκύπτει από την ταξινόμηση, δεν περιλαμβάνονται χρήστες για τους οποίους δεν μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω το QoS. Σε περίπτωση που η λίστα είναι άδεια τότε η φάση 3 τερματίζεται αλλιώς επιλέγεται ο πρώτος χρήστης από την λίστα και, έστω k , και ο αλγόριθμος συνεχίζει στην επόμενη φάση.

- *Step 2: Έλεγχος Capacity*

Για τον χρήστη k που έχει επιλεγεί αυξάνουμε το QoS που έχει ήδη, στο αμέσως επόμενο επίπεδο ($q_k = q_k + 1$). Προκειμένου να αποφασίσει ο αλγόριθμος αν μπορεί να δώσει το νέο (υψηλότερο από αυτό που είχε) QoS στον χρήστη, πρέπει να ελέγξει αν το διαθέσιμο capacity του transceiver t στον οποίο έχει ανατεθεί ο χρήστης (από προηγούμενη φάση) επαρκεί, ώστε να μπορέσει να υποστηρίξει τον χρήστη στο νέο υψηλότερο QoS. Η συνθήκη που πρέπει να ελεγχθεί σε αυτό το σημείο είναι:

$$\left(\sum b_{s_i, q_i} \right) + b_{s_k, q_k} > cap_t$$

Σε περίπτωση που το άθροισμα του bandwidth των χρηστών που έχουν ήδη ανατεθεί στον transceiver t και του νέου bandwidth του χρήστη k είναι μεγαλύτερο από το συνολικό capacity που μπορεί να παρέχει ο transceiver t , τότε το QoS του χρήστη k δεν μπορεί να αυξηθεί και συνεπώς παραμένει το ίδιο ($q_k = q_k$). Ο χρήστης διαγράφεται από την ταξινομημένη λίστα η οποία αν είναι άδεια η φάση 3 τερματίζεται αλλιώς αν υπάρχουν ακόμα χρήστες στην λίστα, το βήμα 2 επαναλαμβάνεται για τον επόμενο χρήστη.

Σε περίπτωση που το άθροισμα της παραπάνω συνθήκης δεν ξεπερνάει το συνολικό capacity που μπορεί να παρέχει ο transceiver t , ο αλγόριθμος προχωράει στο βήμα 3 για τον τρέχον χρήστη.

- *Step 3: Βελτίωση επιπέδου ποιότητας (QoS)*

Το επίπεδο ποιότητας της υπηρεσίας του χρήστη k (q_k), αυξάνεται στο επόμενο επίπεδο και γίνεται $q_k = q_k + 1$. Η τιμή of_k ανανεώνεται, η οποία αναμένεται να είναι υψηλότερη καθώς το QoS του χρήστη είναι υψηλότερο κατά ένα επίπεδο σε σχέση με αυτό που είχε πριν. Σε περίπτωση που στην ταξινομημένη λίστα (από βήμα 1) υπάρχουν χρήστες οι οποίοι δεν έχουν ακόμα εξεταστεί, ο αλγόριθμος ξεκινάει το βήμα 2 για τον νέο χρήστη. Στην αντίθετη περίπτωση, ο αλγόριθμος ξεκινάει από το βήμα 1 και φτιάχνει μια ταξινομημένη λίστα με χρήστες για τους οποίους το QoS μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω.

Στο τέλος της τρέχουσας φάσης ο αλγόριθμος θα γνωρίζει το σύνολο ανάθεσης των QoS στους χρήστες, A_{DQ} .

- **Φάση 4 – Επιλογή καλύτερης διάρθρωσης (configuration).**

Όπως αναφέρθηκε στο τέλος της φάσης 1, οι φάσεις 2 και 3 εκτελούνται παράλληλα για κάθε διαφορετικό σύνολο A_{RT} . Τα διαφορετικά σύνολα στην περίπτωσή μας όπου έχουμε τρεις transceivers και δυο RATs σε κάθε κυψέλη είναι 4 (πίνακας από φάση 1). Συνεπώς, όταν ο αλγόριθμος φτάσει στην τρέχουσα φάση, θα έχει 4 διαφορετικές ομάδες συνόλων, (A_{RT}, A_{DT}, A_{DQ}) . Η τελική ομάδα από τα 4 σύνολα, η οποία θα αποτελεί την έξοδο του αλγόριθμου, όπως περιγράφηκαν σε παραπάνω ενότητα, θα πρέπει να δίνει την υψηλότερη τιμή της Objective Function. Η ομάδα με τα σύνολα που δίνουν τα υψηλότερα QoS συνολικά στους χρήστες, είναι αυτή που δίνει την υψηλότερη τιμή της Objective Function καθώς όπως είδαμε στην φάση 3 η τιμή της εξαρτάται από το επίπεδο ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών. Συνεπώς:

$$OF_{final} = \max \left[of_{(A_{RT}, A_{DT}, A_{DQ})_1}, of_{(A_{RT}, A_{DT}, A_{DQ})_2}, of_{(A_{RT}, A_{DT}, A_{DQ})_3}, of_{(A_{RT}, A_{DT}, A_{DQ})_4} \right]$$

Συνεπώς, το πρώτο κριτήριο για την επιλογή της ομάδας (A_{RT}, A_{DT}, A_{DQ}) που αντιπροσωπεύει την καλύτερη διάρθρωση του δικτύου, είναι η τιμή της OF.

Το δεύτερο κριτήριο επιλογής είναι το κόστος αναδιάθρωσης (reconfiguration cost). Σε περίπτωση που η διαφορά στην τιμή της Objective Function για κάποιες ομάδες είναι μικρή, η ομάδα που θα επιλεγεί θα είναι αυτή που απαιτεί τις λιγότερες αλλαγές στο δίκτυο. Οι αλλαγές που μπορεί να χρειαστούν να γίνουν στο δίκτυο όπως προκύπτουν από την ομάδα (A_{RT} , A_{DT} , A_{DQ}) είναι οι παρακάτω:

- c_t : Ο αριθμός των transceivers που πρέπει να αλλάξουν RAT (από WLAN σε UMTS ή από UMTS σε WLAN).
- c_r : Ο αριθμός των τερματικών συσκευών των χρηστών που πρέπει να αλλάξουν RAT (από WLAN σε UMTS ή από UMTS σε WLAN).
- c_q : Ο αριθμός των επιπέδων ποιότητας που απαιτείται για κάθε χρήστη να αυξηθεί ή να μειωθεί.

Με βάση τα παραπάνω, το συνολικό κόστος αναδιάθρωσης προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

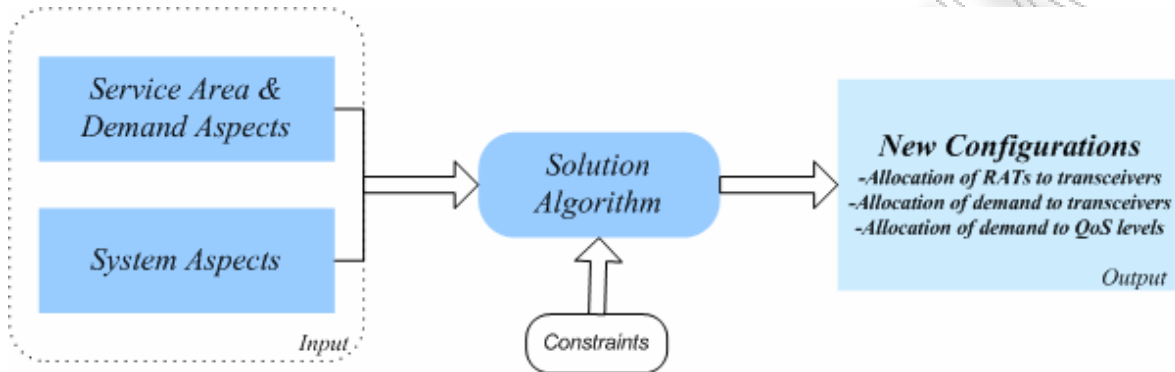
$$C_{total} = w_1 \cdot c_T + w_2 \cdot c_R + w_3 \cdot c_Q$$

όπου w_1 , w_2 και w_3 είναι συντελεστές βαρύτητας για κάθε κόστος, οι οποίοι καθορίζονται από τους παρόχους του δικτύου ανάλογα την πολιτική που ακολουθεί ο καθένας.

4.2. Διαγραμματική παρουσίαση

Παρακάτω παρουσιάζεται διαγραμματικά ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης καθώς και οι φάσεις και τα επιμέρους βήματα, προκειμένου να γίνει περισσότερο κατανοητή η διαδικασία εύρεσης της καλύτερης διάρθρωσης του δικτύου. Πέρα από την μαθηματική περιγραφή της διαδικασίας που έγινε παραπάνω, εξίσου σημαντική είναι και η διαγραμματική παρουσίασή της καθώς γίνεται περισσότερη αντιληπτή η ροή αυτής καθώς και των δεδομένων που συμμετέχουν. Σημαντικό ρόλο επίσης παίζουν και στην διαδικασία ανάπτυξης του αλγόριθμου όπου απαιτείται σαφής καθορισμός των βημάτων υλοποίησης.

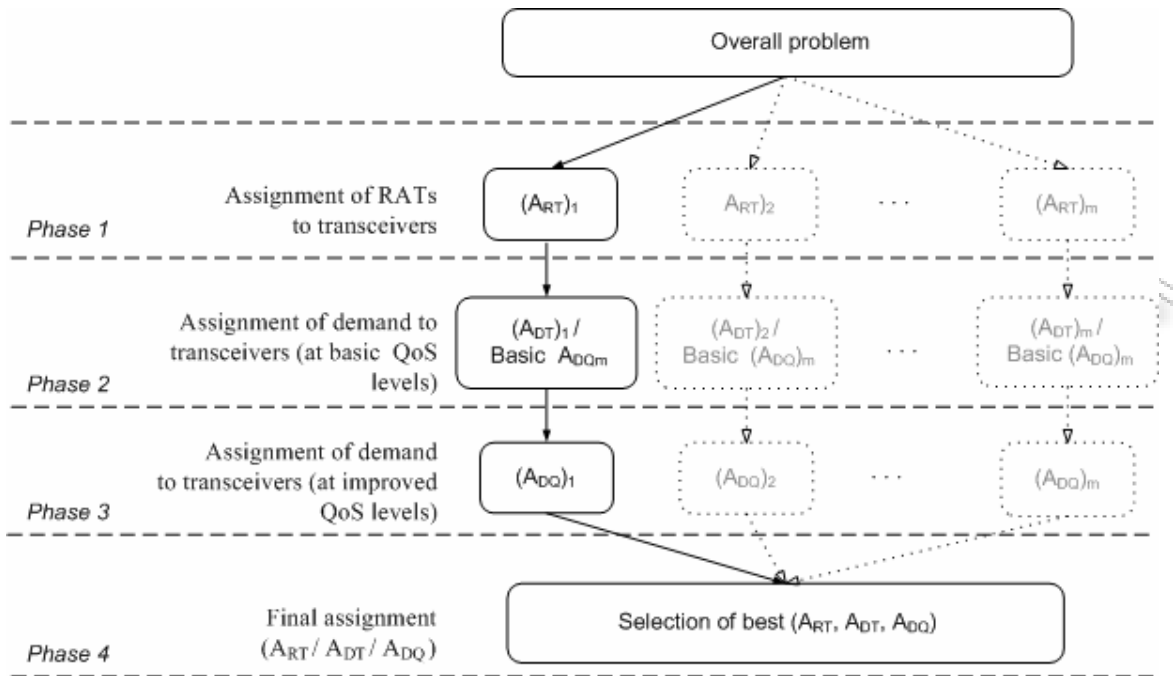
Ξεκινώντας από υψηλό επίπεδο αφαίρεσης, στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η διαδικασία αναδιάρθρωσης του δικτύου και ο τρόπος με τον οποίο συμμετέχει ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης.



Εικόνα 7: Γενική περιγραφή αλγόριθμου βελτιστοποίησης

Είναι φανερό ότι ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης αποτελεί το μέσο με το οποίο λαμβάνεται υπόψη η τρέχουσα κατάσταση του δικτύου και προτείνει μια νέα διάρθρωση με σκοπό είτε να αντιμετωπιστούν τυχόν προβλήματα είτε το δίκτυο να χρησιμοποιήσει πιο αποδοτικά τους διαθέσιμους πόρους για να παρέχει υπηρεσίες υψηλότερου QoS. Με τον τρόπο αυτό το δίκτυο γίνεται περισσότερο προσαρμοστικό στις συνθήκες που δημιουργούνται στην περιοχή κάλυψης.

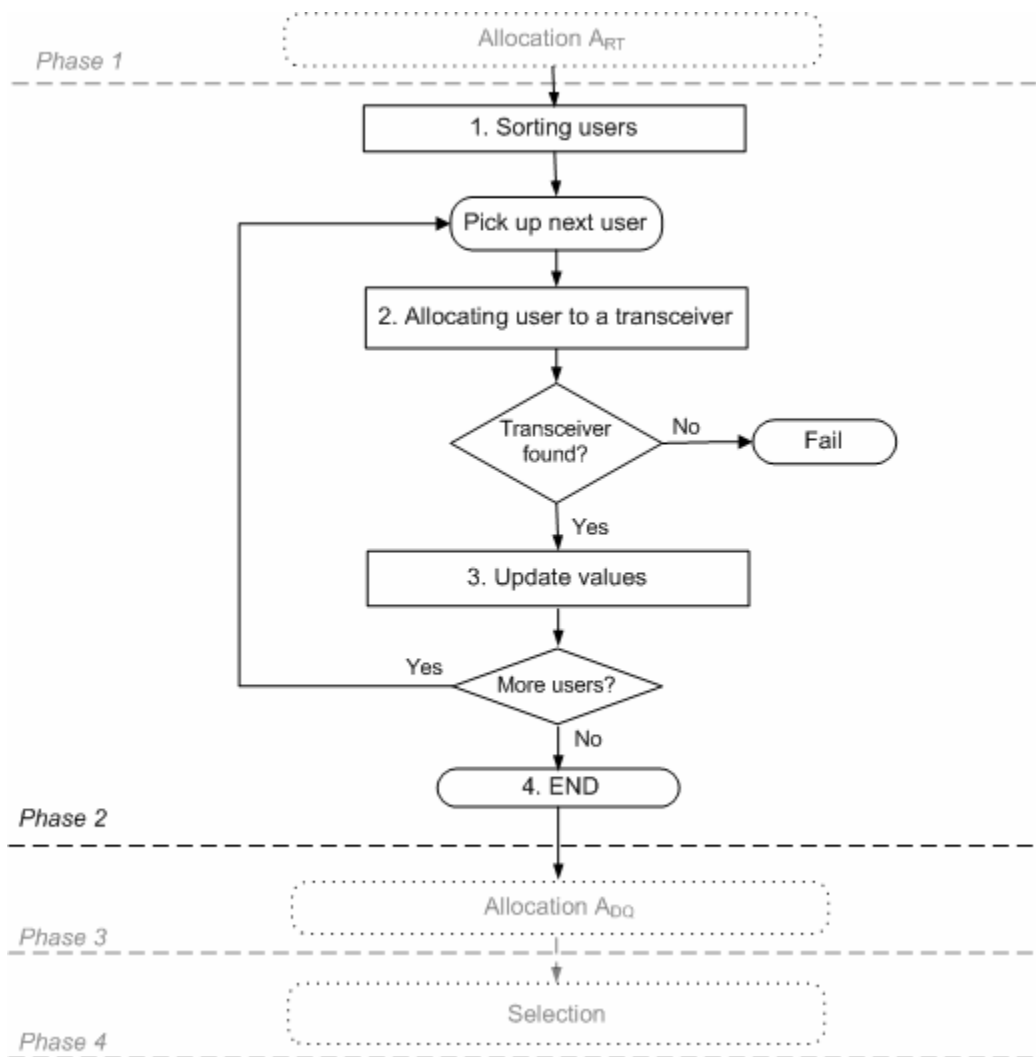
Με δεδομένα τα στοιχεία που απαιτούνται στην είσοδο του αλγόριθμου, μπορεί να ξεκινήσει η εκτέλεσή του όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα για κάθε φάση ξεχωριστά. Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε την γενική διαδικασία που ακολουθεί ο αλγόριθμος και παράλληλα με ποιόν τρόπο συμμετέχει κάθε φάση σε αυτή.



Εικόνα 8: Φάσεις αλγόριθμου βελτιστοποίησης

Όπως είναι φανερό, κάθε φάση ενεργεί ξεχωριστά με στόχο την εύρεση ενός συνόλου που αποτελεί ένα μέρος της συνολικής εξόδου του αλγόριθμου. Επίσης, αυτό που είναι αρκετά εμφανές από την εικόνα 8, είναι η παράλληλη εκτέλεση των φάσεων 2 και 3 για κάθε ξεχωριστό σύνολο A_{RT} , όπως περιγράφηκε και στην ενότητα 4.1. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η ταχύτερη εξαγωγή των αποτελεσμάτων, κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιπτώσεις που ο αλγόριθμος χρειαστεί να εκτελεστεί για αρκετά μεγάλες περιοχές όπως οι κυψέλες που καλύπτουν την γεωγραφική έκταση μιας πόλης. Μειώνοντας το επίπεδο αφάιρησης στην περιγραφή του αλγόριθμου βελτιστοποίησης, παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα ροής των διαδικασιών που υλοποιούνται από τις επιμέρους φάσεις.

Μετά την φάση 1 όπου γίνεται ανάθεση των RATs στους Transceivers και προκύπτουν 4 διαφορετικά σύνολα A_{RT} , για κάθε σύνολο ξεκινάει η φάση 2. Η εικόνα 9 περιγράφει τα βήματα που εκτελούνται στην φάση 2, όπως περιγράφηκαν και στην ενότητα 4.1.3.



Εικόνα 9: Φάση 2 - Ανάθεση χρηστών (A_{DT})

Από την παραπάνω εικόνα μπορούμε εύκολα να εντοπίσουμε τις βασικές λειτουργίες και τους ελέγχους που πρέπει να υλοποιηθούν, καθώς επίσης και την σειρά εκτέλεσης αυτών.

Οι βασικές λειτουργίες είναι:

1. Ταξινόμηση χρηστών.
2. Ανάθεση χρήστη σε transceiver.
3. Ανανέωση τιμών.

Τα σημεία ελέγχου στην διαδικασία της φάσης 2 είναι:

- *Έλεγχος τερματισμού συνόλου.* Σε περίπτωση που δεν υπάρχει κάποιος transceiver ο οποίος να μπορεί να εξυπηρετήσει τον νέο χρήστη, τότε ο αλγόριθμος για το

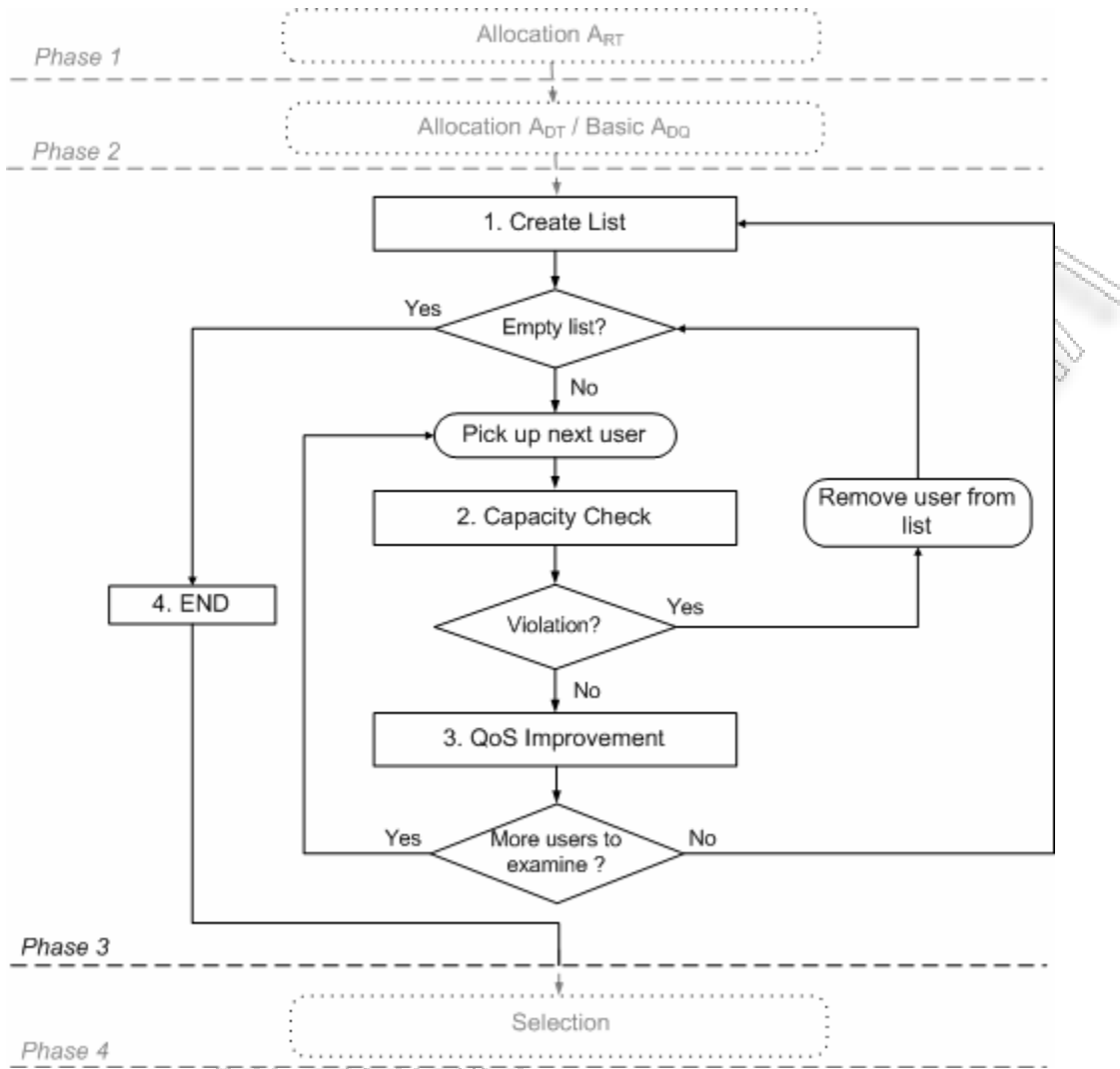
συγκεκριμένο μόνο σύνολο A_{RT} που εξετάζεται, δεν συνεχίζει στην επόμενη φάση.

- *Έλεγχος τερματισμού φάσης.* Όταν ο αλγόριθμος στην τρέχουσα φάση δεν έχει άλλους χρήστες να αναθέσει στους transceivers, και άρα το σύνολο A_{DT} είναι γνωστό, η ροή εκτέλεσης συνεχίζει με την φάση 3.

Το σημαντικότερο σημείο στην τρέχουσα φάση στο οποίο θα πρέπει να σταθούμε, είναι το σημείο στο οποίο απορρίπτεται το σύνολο A_{RT} . Στο σημείο αυτό παρατηρούμε τα εξής:

- Γίνεται περισσότερο αντιληπτή η διαφοροποίηση και η έννοια της παράλληλης εκτέλεσης των φάσεων 2 και 3 για κάθε διαφορετικό σύνολο A_{RT} . Ο αλγόριθμος, μόνο για το συγκεκριμένο σύνολο, σταματάει την εκτέλεση των επόμενων φάσεων με αποτέλεσμα να λιγοστεύουν και τα αντίστοιχα σύνολα A_{DQ} .
- Οι απαιτήσεις τόσο σε μνήμη αλλά και σε υπολογιστική ισχύ για την εκτέλεση του αλγόριθμου, μειώνονται σε τέτοιο βαθμό που επιτρέπουν στον αλγόριθμο να επεξεργαστεί περισσότερα δεδομένα. Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για α) συστήματα που διαθέτουν περισσότερους πόρους, όπως είναι ο αριθμός των RATs, και ο αριθμός των transceivers και β) συστήματα με μεγαλύτερο αριθμό χρηστών (φορτίο).
- Η μείωση των πιθανών συνδυασμών που μπορούν να δώσουν μια νέα διάρθρωση στο δίκτυο αποτελεί άλλο ένα σημαντικό στοιχείο. Με τον τρόπο αυτό, η εύρεση της νέας διάρθρωσης γίνεται ταχύτερα, με αποτέλεσμα το δίκτυο να έχει την δυνατότητα να μπορεί να προσαρμοστεί γρηγορότερα στις νέες ανάγκες που προκύπτουν.

Μετά την φάση 2, η ροή του αλγόριθμου συνεχίζεται στην φάση 3 μόνο για τα σύνολα A_{DT} που προέκυψαν τελικά. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το αντίστοιχο διάγραμμα ροής.



Εικόνα 10: Φάση 3 - Αναθεση QoS (A_{DQ})

Με δεδομένο το σύνολο κατανομής των χρηστών στους transceivers (A_{DT}), το οποίο προέκυψε από το αντίστοιχο σύνολο A_{RT} , στην φάση 3 γίνεται σταδιακή αύξηση του επιπέδου ποιότητας των χρηστών στο οποίο λαμβάνουν τις υπηρεσίες. Στην εικόνα 10 μπορούμε να διακρίνουμε τις βασικές λειτουργίες και ελέγχους που εκτελεί ο αλγόριθμος στην τρέχουσα φάση. Όπως περιγράφηκαν και στην ενότητα 4.1.1., οι λειτουργίες αυτές είναι:

1. Δημιουργία ταξινομημένης λίστας.
2. Υπολογισμός διαθέσιμου capacity.
3. Αύξηση του QoS του χρήστη.

Παράλληλα, οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται ανάμεσα στις λειτουργίες είναι οι παρακάτω:

- *Έλεγχος λίστας.* Όπως έχει αναφερθεί, υπάρχουν αρκετοί λόγοι για τους οποίους το επίπεδο ποιότητας της υπηρεσίας ενός χρήστη δεν μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πολιτική του παρόχου του δικτύου, σύμφωνα με την οποία μπορεί να ορίζεται ένα σταθερό ή ένα άνω όριο στο επίπεδο ποιότητας για συγκεκριμένες υπηρεσίες. Οι χρήστες οι οποίοι ανήκουν σε τέτοιου είδους περιπτώσεις, δεν υπάρχει λόγος να ελέγχονται για περαιτέρω αύξηση του QoS της υπηρεσίας τους. Επομένως, οι χρήστες αυτοί όταν φτάσουν στο ανώτατο επιτρεπόμενο όριο, δεν θα ξαναμπούν στην νέα υπό εξέταση λίστα. Συνεπώς, όταν η λίστα των υπό εξέταση χρηστών για αναβάθμιση του QoS είναι άδεια, σημαίνει ότι όλοι έχουν λάβει το ανώτατο δυνατό επίπεδο ποιότητας για την υπηρεσία που χρησιμοποιούν. Στην περίπτωση αυτή το σύνολο ανάθεσης QoS στους χρήστες (A_{DO}) είναι γνωστό.
- *Έλεγχος διαθέσιμου capacity.* Στόχος του αλγόριθμου στην τρέχουσα φάση είναι να παρέχει το μέγιστο δυνατό QoS στους χρήστες με δεδομένα το σύνολο ανάθεσης των RATs στους transceivers (A_{RT}) και το σύνολο ανάθεσης των χρηστών στους transceivers αυτούς (A_{DT}). Ωστόσο, στην συγκεκριμένη φάση υπάρχει ένας περιορισμός, ο οποίος ανήκει στο γενικότερο σύνολο των περιορισμών που λαμβάνει υπόψη ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης, όπως είδαμε παραπάνω και στην εικόνα 7 (Constraints). Ο περιορισμός αυτός είναι το διαθέσιμο capacity κάθε transceiver το οποίο προκύπτει από την τεχνολογία που του έχει ανατεθεί (σύνολο A_{RT}). Κάθε χρήστης που ανατίθεται σε έναν transceiver παίρνει ένα μέρος από το συνολικό του capacity το οποίο υπολογίζεται διαφορετικά για κάθε RAT όπως θα δούμε παρακάτω. Συνεπώς ο έλεγχος που πρέπει να γίνει για κάθε χρήστη είναι αν ο transceiver έχει το απαιτούμενο capacity ελεύθερο ώστε να το παρέχει στον χρήστη για να αυξηθεί το QoS του. Αν το capacity που έχει απομείνει στον transceiver είναι αρκετό, τότε το QoS του χρήστη αυξάνει. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει ελεύθερο το απαιτούμενο capacity για να αυξηθεί το QoS του συγκεκριμένου χρήστη, ο χρήστης αυτός δεν επανεξετάζεται και ελέγχεται ο επόμενος χρήστης. Το ερώτημα που θα μπορούσε

να προκύψει στο σημείο αυτό είναι για ποιο λόγο να γίνει ο ίδιος έλεγχος για τον επόμενο χρήστη. Η απάντηση είναι ότι ενδεχομένως να υπάρχουν χρήστες που να μην απαιτούν ιδιαίτερα υψηλό QoS με αποτέλεσμα ο transceiver να μπορεί να το παρέχει, σε αντίθεση με τον προηγούμενο χρήστη. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, κάθε υπηρεσία μπορεί να έχει το δικό της άνω όριο στο επίπεδο ποιότητας που θα παρέχεται είτε αυτό έχει οριστεί σύμφωνα με την πολιτική του παρόχου του δικτύου είτε είναι περιορισμός της ίδιας της υπηρεσίας (πχ στην υπηρεσία voice call δεν χρειάζεται περισσότερο bandwidth από 12.2 Kbps για ικανοποιητική ποιότητα στην επικοινωνία).

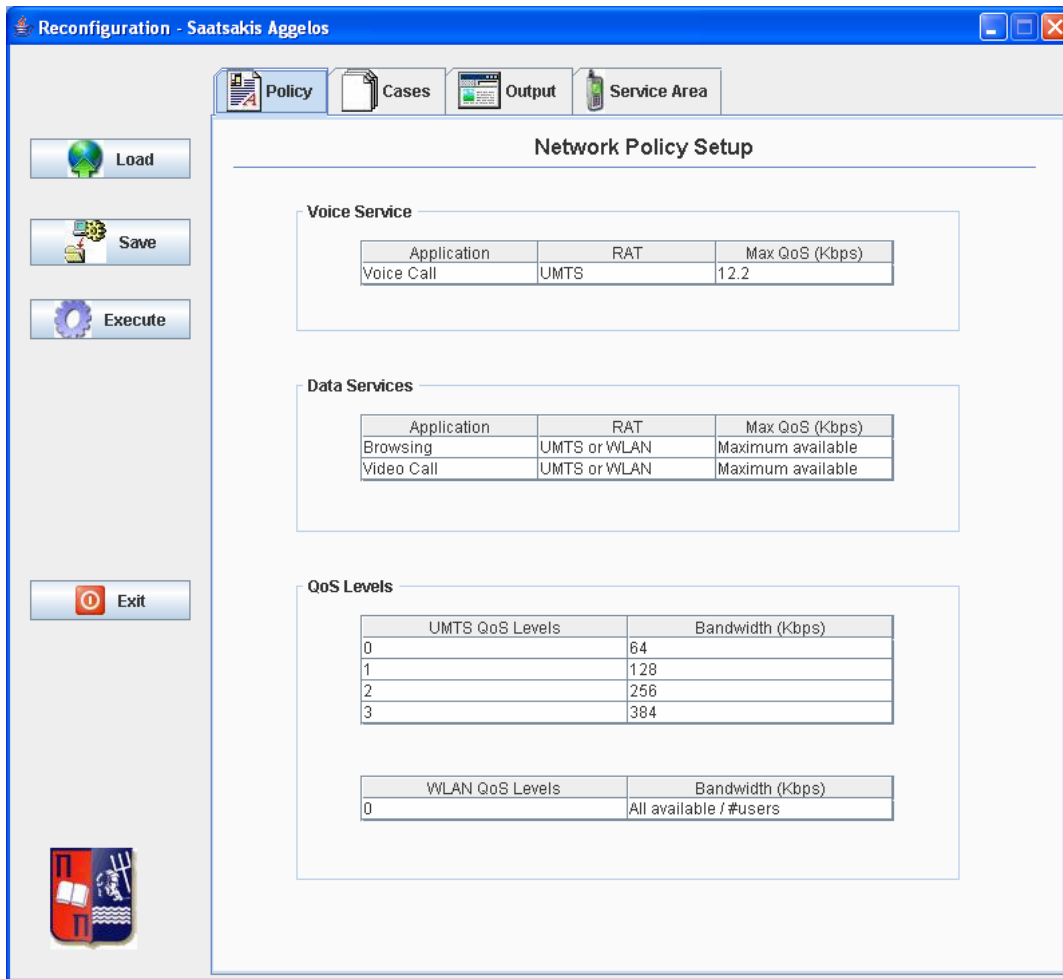
- *Έλεγχος χρηστών για αναβάθμιση του QoS.* Ο τελευταίος έλεγχος που γίνεται στην φάση 3 είναι ποιοι χρήστες έχουν απομείνει από την αρχική λίστα εξέτασης και μπορούν να επανεξεταστούν για να αυξηθεί περαιτέρω το QoS τους. Αν υπάρχουν ακόμα χρήστες στην τρέχουσα λίστα που δεν έχουν εξεταστεί, ο αλγόριθμος συνεχίζει με την εξέταση αυτών. Σε περίπτωση όπως που δεν υπάρχουν άλλοι χρήστες κατασκευάζεται νέα λίστα στην οποία δεν θα περιλαμβάνονται οι χρήστες που απορρίφθηκαν από τον παραπάνω έλεγχο του διαθέσιμου capacity.

5. Παρουσίαση Λογισμικού

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναπτύχθηκε λογισμικό που υλοποιεί τον αλγόριθμο που παρουσιάστηκε στις προηγούμενες ενότητες. Η ανάπτυξη του λογισμικού έγινε στην γλώσσα προγραμματισμού Java. Στις παρακάτω ενότητες θα παρουσιαστεί ενδεικτικά ο τρόπος εισαγωγής των δεδομένων στον αλγόριθμο, η περιοχή κάλυψης καθώς και ενδιαφέροντα στατιστικά στοιχεία.

5.1. Στοιχεία πολιτικής παρόχου δικτύου

Στόχος για κάθε πάροχο είναι η αποτελεσματική διαχείριση του δικτύου με σκοπό την καλύτερη δυνατή κάλυψη, στο μέγιστο δυνατό επίπεδο ποιότητας παρεχόμενων υπηρεσιών σε δεδομένους πόρους δικτύου. Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης, ο οποίος παίζει ίσως τον σημαντικότερο ρόλο στην διαχείριση του δικτύου, πρέπει να λαμβάνει υπόψη του στοιχεία σχετικά με την πολιτική που καθορίζει ο πάροχος. Τα στοιχεία αυτά, τα οποία θα θεωρούνται σταθερά στην συνέχεια, παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 11: Στοιχεία πολιτικής παρόχου δικτύου

Η παραπάνω εικόνα προσφέρεται για την εξαγωγή των παρακάτω συμπερασμάτων:

- Στο σύστημα που προσομοιώνει το λογισμικό έχουν 2 RATs, UMTS και WLAN. Ειδικότερα, το WLAN που θα χρησιμοποιήσουμε είναι το IEEE 802.11g με capacity 54Mbit, του οποίου τα χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα 1.
- Οι υπηρεσίες που θα παρέχονται θα είναι α) voice call, β) Browsing και γ) Video Call. Η πρώτη υπηρεσία (τηλεφωνική κλήση) ανήκει στο ευρύτερο σύνολο φωνητικών υπηρεσιών (Voice Services) που μπορεί να παρέχει ο πάροχος, και οι υπόλοιπες υπηρεσίες ανήκουν στο σύνολο των υπηρεσιών δεδομένων (Data Services).
- Η υπηρεσία φωνής μπορεί να εξυπηρετηθεί μόνο από το σύστημα UMTS και το QoS για την υπηρεσία αυτή είναι σταθερό στα 12.2 Kbps. Οι υπηρεσίες

δεδομένων εξυπηρετούνται από UMTS και WLAN (ενότητα 1.2.). Όπως θα δούμε και παρακάτω, οι χρήστες που αιτούνται υπηρεσίες δεδομένων και βρίσκονται εκτός εμβέλειας του WLAN θα καλύπτονται υποχρεωτικά από το UMTS (αναλυτικά παραδείγματα σε επόμενες ενότητες).

- Όπως αναφέρθηκε η υπηρεσία φωνής έχει μόνο ένα επίπεδο ποιότητας. Αντίθετα, οι υπηρεσίες δεδομένων έχουν αρκετά επίπεδα ποιότητας τα οποία καθορίζονται από τον πάροχο του δικτύου τόσο ως προς τον αριθμό τους αλλά και ως προς την τιμή τους. (συνήθως σε bits per second). Ωστόσο, τα επίπεδα ποιότητας δεν είναι τα ίδια για όλες τις RATs. Δεδομένου ότι μια τυπική τιμή για το capacity ενός UMTS transceiver είναι 2048Kbits έναντι 54Mbits του WLAN, τα επίπεδα ποιότητας του UMTS θα είναι χαμηλότερα από αυτά του WLAN, όπως φαίνονται και στον πίνακα QoS Levels της εικόνας 11.

Η πολιτική παροχής υπηρεσιών για έναν πάροχο είναι κυρίως θέμα marketing και προκύπτει με βάση οικονομικά στοιχεία. Για παράδειγμα, η παροχή υπηρεσίας δεδομένων στο επίπεδο 3 (384Kbps) από το σύστημα UMTS θα επιφέρει σίγουρα μεγαλύτερο κόστος στον πάροχο και άρα στον χρήστη, λόγω του περιορισμένου capacity που διαθέτει. Αντίθετα, η υπηρεσία αυτή αν παρέχεται από το WLAN θα είναι σαφώς φθηνότερη τόσο για τον πάροχο όσο και για τον χρήστη, λόγω της υψηλής χωρητικότητας χρηστών από το WLAN. Συνεπώς, το κόστος δεν εξαρτάται μόνο από το επίπεδο υπηρεσίας αλλά και από την τεχνολογία από την οποία παρέχεται η υπηρεσία στο συγκεκριμένο QoS. Για τον λόγο αυτό, η πολιτική παροχής υπηρεσιών και η τιμολογιακή πολιτική καθορίζονται από τον τρόπο που θέλει ο πάροχος να προσεγγίσει τους πελάτες.

Ο πίνακας QoS Levels της εικόνας 11, αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα. Παρατηρούμε ότι για το UMTS έχουν οριστεί 4 επίπεδα ποιότητας τα οποία είναι 64Kbps, 128Kbps, 256Kbps και 384Kbps. Οι τιμές αυτές φυσικά δεν έχουν επιλεγεί τυχαία. Έχοντας λάβει υπόψη ο πάροχος την τοποθεσία του δικτύου και τον μέσο όρο του φορτίου, θεωρεί ότι με αυτά τα επίπεδα ποιότητας μπορεί να αντιμετωπίσει

αποτελεσματικά τις συνθήκες που διαμορφώνονται στο δίκτυο. Αντίθετα, στο WLAN η πολιτική του παρόχου είναι εντελώς διαφορετική. Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας. Τα επίπεδα ποιότητας διαμορφώνονται δυναμικά ανάλογα με τον αριθμό των χρηστών που έχουν ανατεθεί τελικά στον WLAN transceiver. Το συνολικό του capacity, μοιράζεται εξίσου στους χρήστες με αποτέλεσμα να παρέχει σε όλους το μέγιστο δυνατό το οποίο θα προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$q_t = \frac{totalCapacity_{WLAN}}{totalUsers_t} = \frac{cap_t}{\sum t_i}$$

Το τελικό QoS των χρηστών του transceiver t (q_t), θα είναι το αποτέλεσμα της διαίρεσης του συνολικού του capacity (cap_t) προς τον συνολικό αριθμό των χρηστών που έχουν ανατεθεί σε αυτόν t_i .

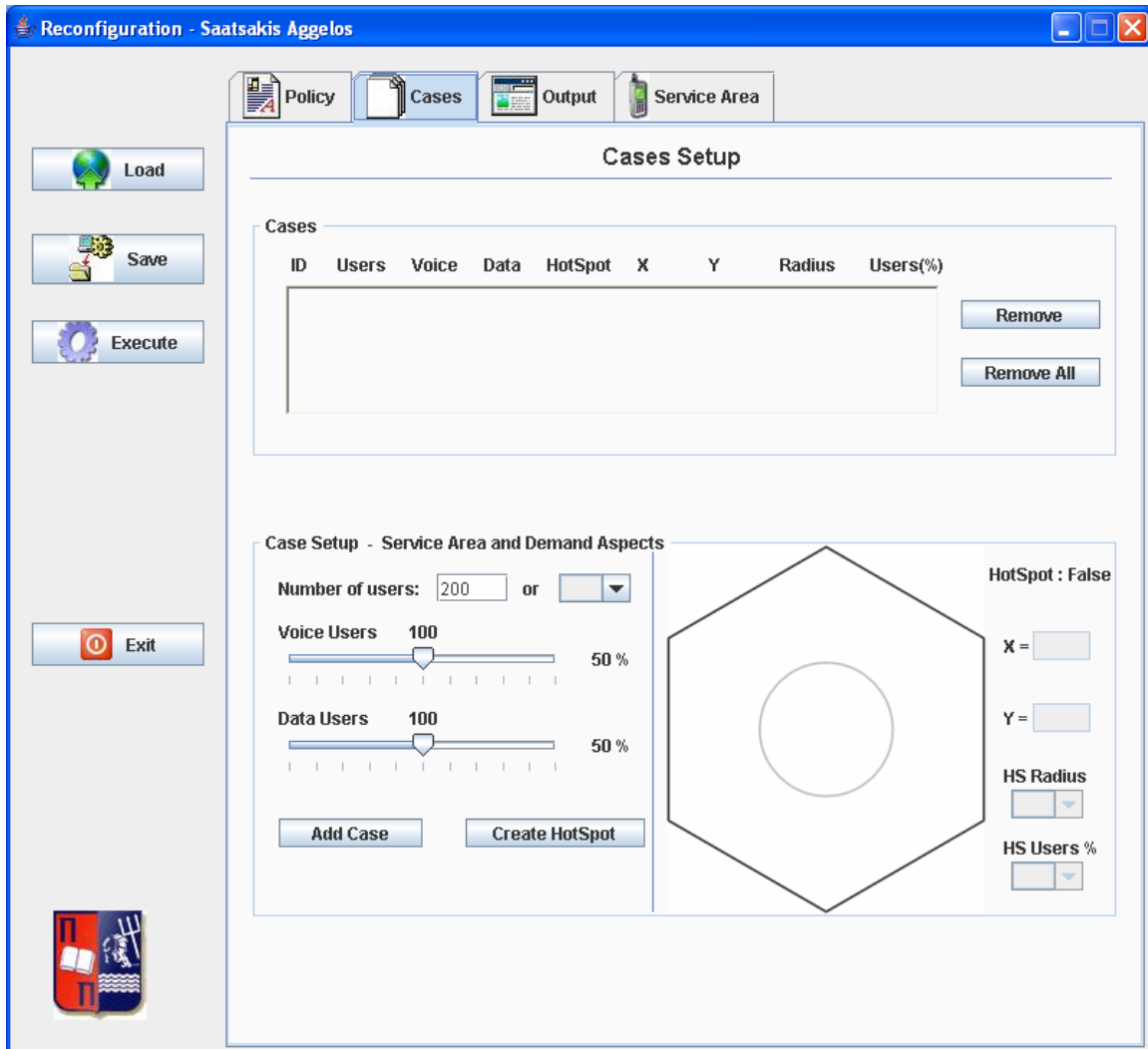
Τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στην ενότητα αυτή θα θεωρούνται σταθερά στην συνέχεια ώστε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν σε διάφορες περιπτώσεις που θα εξετάσουμε παρακάτω να είναι συγκρίσιμα.

5.2. Εισαγωγή φορτίου

Το φορτίο στο δίκτυο μπορεί να είναι αρκετά μεγάλο ή μικρό ανάλογα με την περιοχή που καλύπτεται. Ο αλγόριθμος μπορεί να εφαρμοστεί ανεξάρτητα από το μέγεθος της περιοχής. Ωστόσο, για λόγους παρουσίασης και πληρότητας, η περιοχή στην οποία θα εφαρμόσουμε τον αλγόριθμο αποτελείται από 4 κυψέλες ακτίνας 1Km. Τα χαρακτηριστικά της κάθε κυψέλης παρουσιάστηκαν στην ενότητα 3.2.

Το φορτίο που θα εισάγουμε κάθε φορά θα πρέπει να βρίσκεται στα όρια του φορτίου που μπορούν να εξυπηρετήσουν 4 κυψέλες. Ο λόγος για αυτό είναι ότι σε περιπτώσεις που το φορτίο είναι αρκετά μεγάλο (πάρα πολλοί χρήστες), ο πάροχος σχεδιάζει περισσότερες κυψέλες και ο αλγόριθμος εκτελείται λαμβάνοντας υπόψη και τους πόρους της νέας κυψέλης. Ωστόσο, όπως θα δούμε σε παραδείγματα σε επόμενες ενότητες, ο αλγόριθμος ακόμα και σε αυτές τις οριακές περιπτώσεις όπου το φορτίο είναι αρκετά υψηλό, προσπαθεί να βρει εκείνη την διάρθρωση του δικτύου η οποία θα παρέχει το

υψηλότερο δυνατό QoS στους χρήστες. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο εισάγουμε το φορτίο στο δίκτυο:



Εικόνα 12: Εισαγωγή φορτίου στο δίκτυο

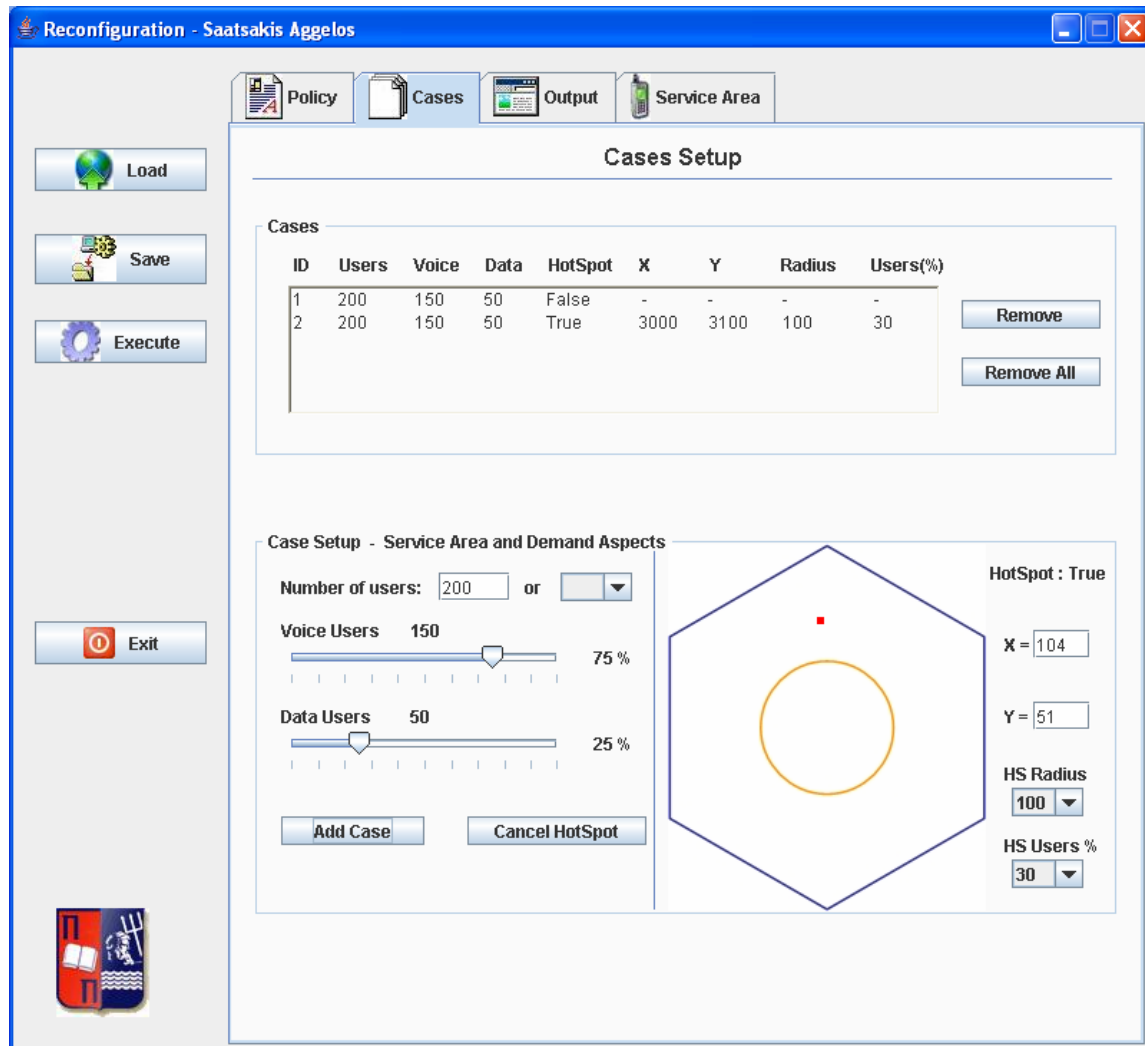
Στο tab cases μπορούμε να ορίσουμε πολλαπλές περιπτώσεις φορτίου στο δίκτυο για τις οποίες ο αλγόριθμος μπορεί να τρέξει ώστε να μην χρειάζεται τις τρέχουμε ξεχωριστά για να δούμε τα στατιστικά στοιχεία για κάθε περίπτωση φορτίου. Σε κάθε περίπτωση φορτίου (case) μπορούμε να ορίσουμε τα παρακάτω:

- Τον Συνολικό αριθμό χρηστών.
- Τον αριθμό των χρηστών για την υπηρεσία φωνής
- Τον αριθμό των χρηστών για τις υπηρεσίες δεδομένων
- Την δημιουργία Hot Spot σε κάποια κυψέλη του δικτύου

Ειδικότερα, σε περιπτώσεις όπου έχουμε ορίσει ένα Hot Spot μπορούμε να εισάγουμε τις εξής πληροφορίες σχετικά με αυτό:

- *Τις συντεταγμένες του Hot Spot.* Το βασικό στοιχείο που απαιτείται για την μελέτη του αλγόριθμου δεν είναι τόσο η ακριβή τοποθεσία του Hot Spot αλλά εάν βρίσκεται εντός της περιοχής κάλυψης WLAN/UMTS ή μόνο UMTS.
- *Την ακτίνα του.* Το πόσο διασκορπισμένοι θα είναι οι χρήστες που δημιουργούν το Hot Spot καθορίζεται από την ακτίνα του. Ωστόσο, το σημαντικότερο είναι ποιες RATs υπάρχουν στην περιοχή του Hot Spot ανεξαρτήτως της ακτίνας του.
- *Το ποσοστό επί του συνόλου των χρηστών που θα βρίσκονται στο Hot Spot.* Στο πεδίο αυτό μπορούμε να καθορίσουμε πόσους χρήστες επιθυμούμε να συμμετέχουν στην δημιουργία του Hot Spot. Υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετήσουμε όλους του χρήστες στο Hot Spot, αλλά απαιτείται προσοχή καθώς θα πρέπει σε αυτή την περίπτωση να βάλουμε συνολικά τόσους χρήστες όσους μπορεί η κυψέλη να εξυπηρετήσει ανάλογα την υπηρεσία.

Παρακάτω βλέπουμε 2 περιπτώσεις φορτίου για τις οποίες θα τρέξει ο αλγόριθμος:



Εικόνα 13: Ενδεικτικές περιπτώσεις φορτίου

Οι λεπτομέρειες για κάθε περίπτωση φορτίου της εικόνας 13, παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

- Περίπτωση φορτίου 1 – Case 1.

Ο συνολικός αριθμός των χρηστών είναι 200. Κατόπιν ορίζουμε το ποσοστό των χρηστών για την υπηρεσία φωνής και τις υπηρεσίες δεδομένων. Για την υπηρεσία φωνής, το ποσοστό είναι 75% που αντιστοιχεί σε 150 χρήστες. Το ποσοστό των χρηστών που επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν την υπηρεσία φωνής είναι μεγαλύτερο από αυτό των χρηστών για τις υπηρεσίες δεδομένων. Για το λόγο αυτό, στην τρέχουσα περίπτωση, το ποσοστό των χρηστών που επιθυμούν υπηρεσίες δεδομένων είναι 25% που αντιστοιχεί σε 50 χρήστες.

- Περίπτωση φορτίου 2 – Case 2.

Όπως και στην πρώτη περίπτωση, οι χρήστες συνολικά είναι 200 και τα ποσοστά είναι για τους χρήστες για την υπηρεσία φωνής και τις υπηρεσίες δεδομένων είναι 75% και 25% αντίστοιχα. Το νέο στοιχείο στην περίπτωση 2, είναι ότι υπάρχει και ένα Hot Spot στο δίκτυο. Η κόκκινη κουκίδα στην κυψέλη της εικόνας 13, είναι το σημείο στο οποίο τοποθετήσαμε το Hot Spot, και όπως φαίνεται το σημείο αυτό είναι εκτός από την εμβέλεια κάλυψης του WLAN και συνεπώς το Hot Spot θα εξυπηρετηθεί μόνο από τους transceivers που θα τους ανατεθεί η τεχνολογία UMTS. Τέλος, για λόγους πληρότητας αναφέρεται ότι η ακτίνα του Hot Spot είναι τα 100 μέτρα και το ποσοστό των χρηστών από το οποίο δημιουργείται είναι 30%.

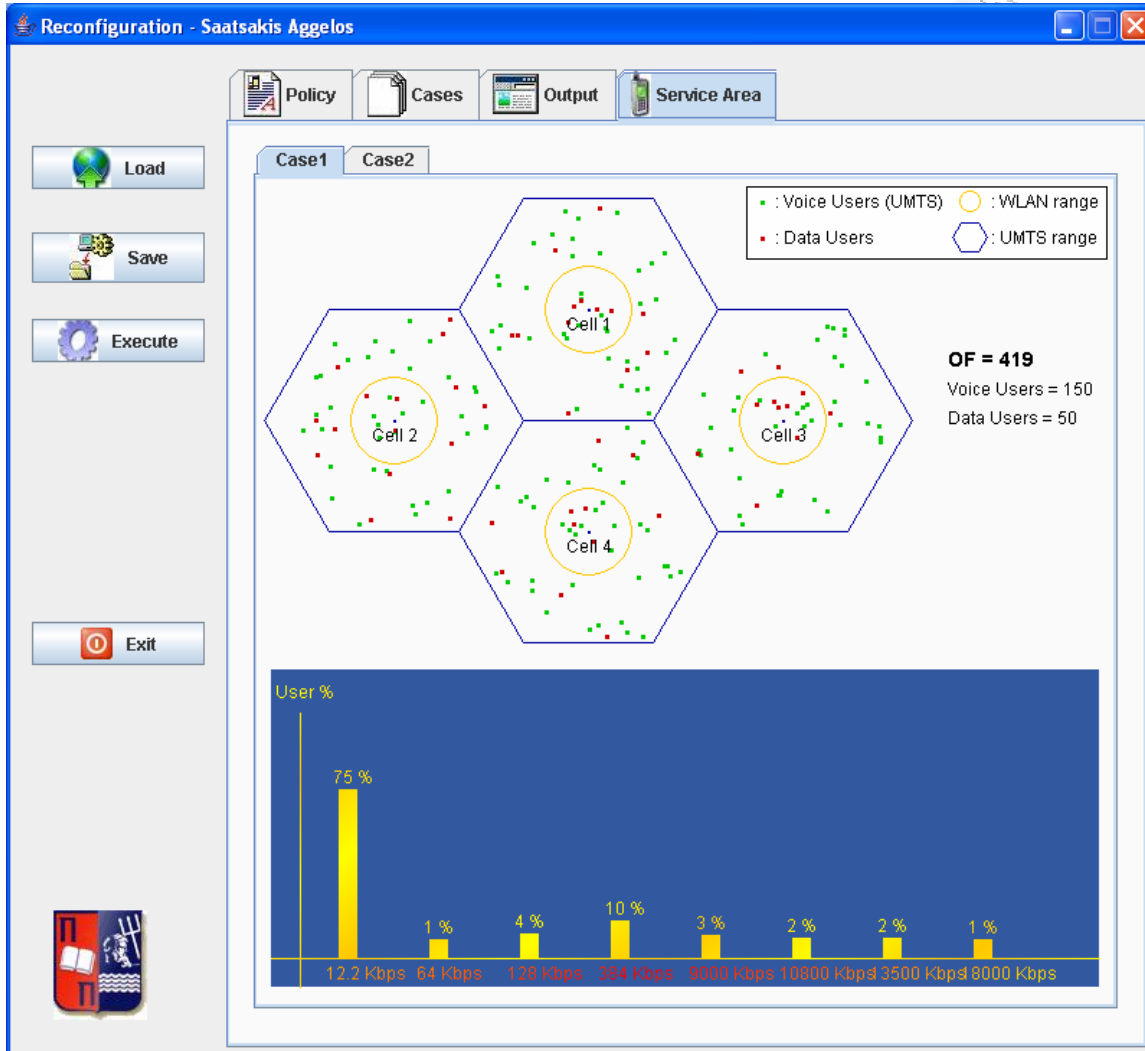
5.3. Έξοδος

Για κάθε μια από τις παραπάνω ενδεικτικές περιπτώσεις ο αλγόριθμος θα εκτελεστεί ξεχωριστά. Ωστόσο η παρουσίαση των αποτελεσμάτων του αλγόριθμου από το λογισμικό γίνεται και για τις δυο περιπτώσεις, με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ευκολότερη η σύγκριση μεταξύ τους.

Η έξοδος του αλγόριθμου, η οποία παρουσιάστηκε αναλυτικά σε προηγούμενες ενότητες, είναι 3 σύνολα τα οποία λαμβάνονται υπόψη από το λογισμικό για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Το σύνολο ανάθεσης των RATs σε transceivers (A_{RT}), μας δίνει την δυνατότητα να ξέρουμε και άρα να απεικονίσουμε την RAT για κάθε transceiver κάθε κυψέλης. Το σύνολο ανάθεσης των χρηστών στους transceivers (A_{DT}), μας βοηθάει στην απεικόνιση των χρηστών στο σωστό σημείο και στην εξαγωγή των στατιστικών στοιχείων, όπως θα δούμε στην συνέχεια. Το σύνολο ανάθεσης επιπέδου ποιότητας στους χρήστες (A_{DQ}) μας επιτρέπει να ξέρουμε και να απεικονίσουμε στον αντίστοιχο transceiver, το QoS κάθε χρήστη. Στις παρακάτω ενότητες θα περιγραφούν οι περιοχές κάλυψης και τα στοιχεία για κάθε περίπτωση.

5.3.1. Περιοχή κάλυψης

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το η περιοχή κάλυψης του δικτύου για την πρώτη περίπτωση φορτίου.



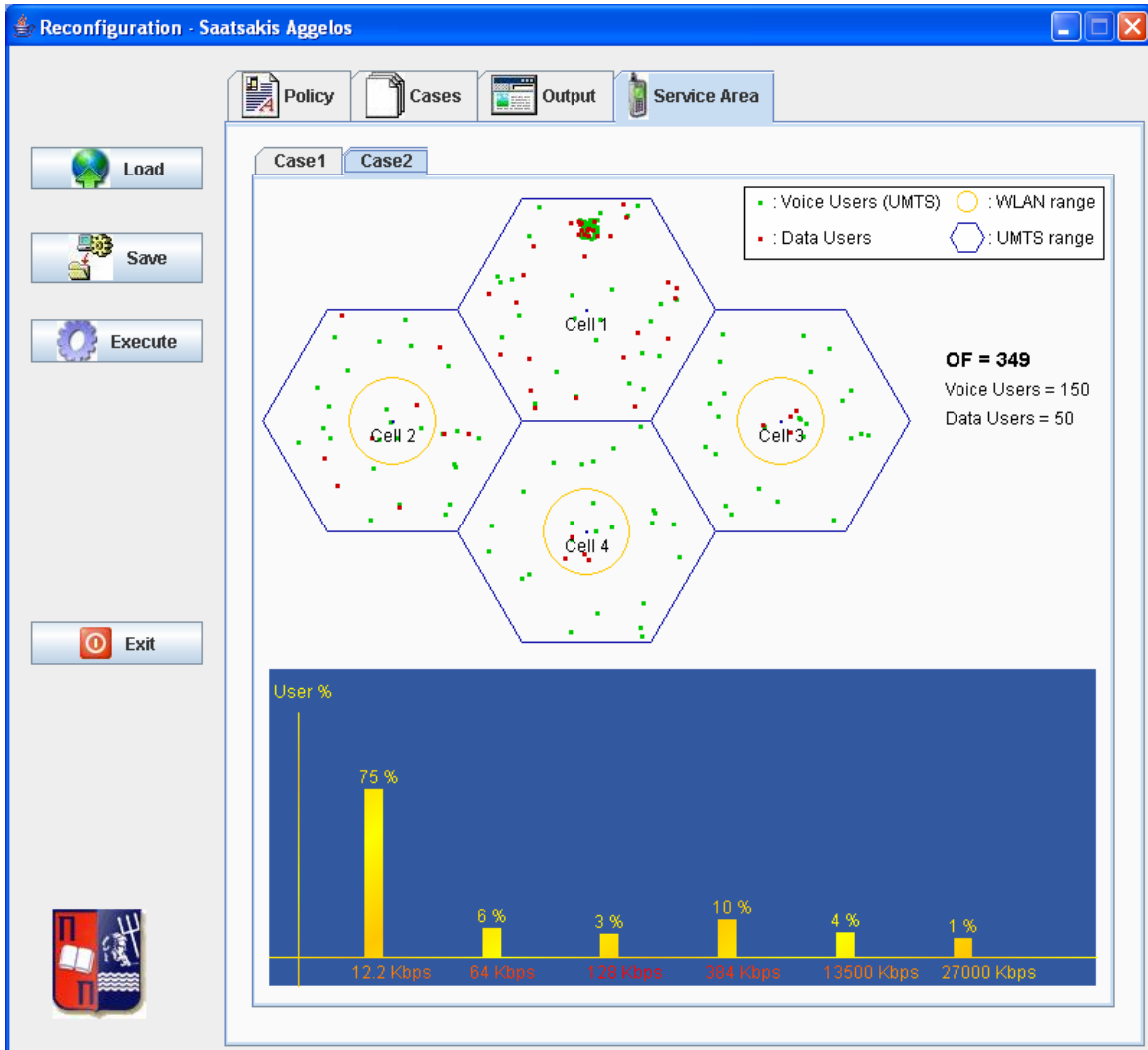
Εικόνα 14: Δίκτυο πρώτης ενδεικτικής περίπτωση

Στην εικόνα 14 βλέπουμε την κατανομή των χρηστών στις κυψέλες. Προκειμένου να μην παρατηρηθούν περιπτώσεις όπου το φορτίο μοιράζεται μόνο σε μερικές από τις κυψέλες, η κατανομή του φορτίου έχει γίνει ομοιόμορφα. Οι πράσινες κουκίδες αναπαριστούν τους 150 χρήστες που χρησιμοποιούν την υπηρεσία φωνής και καλύπτονται αποκλειστικά από τους UMTS transceivers ανεξάρτητα αν βρίσκονται εντός ή εκτός της εμβέλειας του WLAN transceiver. Οι κόκκινες κουκίδες συμβολίζουν τους 50 χρήστες που χρησιμοποιούν υπηρεσίες δεδομένων. Οι χρήστες αυτοί μπορούν να εξυπηρετηθούν

είτε από UMTS είτε από WLAN transceivers. Οι χρήστες για τις υπηρεσίες δεδομένων που βρίσκονται εντός της εμβέλειας του WLAN θα εξυπηρετηθούν από τον WLAN transceiver, ενώ όλοι οι υπόλοιποι θα εξυπηρετηθούν υποχρεωτικά από τους UMTS transceivers.

Κάτω από το δίκτυο των τεσσάρων κυψελών της εικόνας 14, υπάρχει γραφική παράσταση με τα ποσοστά των χρηστών και τα αντίστοιχα QoS. Όπως θα περίμενε κανείς, το 75% των χρηστών έχουν λάβει από 12.2Kbps καθώς αυτό είναι το επίπεδο ποιότητας για τους χρήστες που χρησιμοποιούν την υπηρεσία φωνής. Τα υπόλοιπα ποσοστά που φαίνονται αντιστοιχούν στους χρήστες με τις υπηρεσίες δεδομένων, οι οποίοι έχουν λάβει διάφορα QoS. Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι από τους UMTS transceivers καλύπτονται χρήστες υπηρεσιών δεδομένων και έχουν λάβει 64Kbps, 128 Kbps και 384Kbps σε ποσοστά 1%, 4% και 10% αντίστοιχα. Οι χρήστες αυτοί προφανώς βρίσκονται εκτός της ακτίνας του WLAN και εξυπηρετούνται από τους UMTS transceivers. Παράλληλα παρατηρούμε και τα ποσοστά των χρηστών υπηρεσιών δεδομένων που έχουν λάβει τα επίπεδα ποιότητας 9Mbps, 10.8Mbps, 13.5Mbps και 18Mbps σε ποσοστά 3%, 2%, 2% και 1% αντίστοιχα, και όπως είναι φανερό προέρχονται από τους χρήστες που βρίσκονται εντός της εμβέλειας των WLAN transceivers. Τα επίπεδα ποιότητας αυτά είναι ιδιαίτερα υψηλά και σε συνδυασμό με τα επίπεδα ποιότητας που παρέχουν οι UMTS transceivers, συντελούν ώστε η τελική τιμή της Objective Function να είναι αρκετά υψηλή.

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η περιοχή κάλυψης της δεύτερης περίπτωσης που ορίσαμε (Hor Spot).



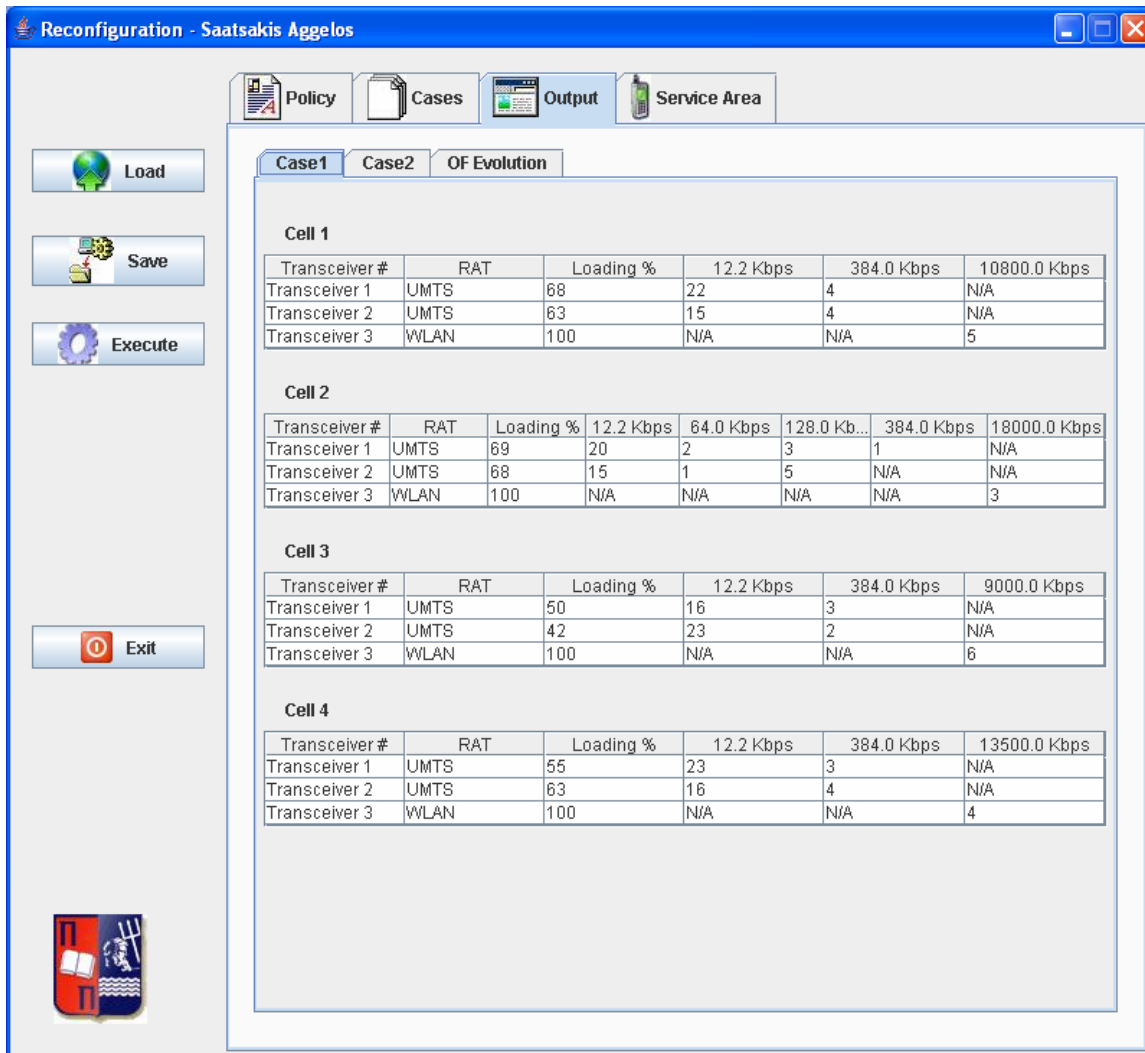
Εικόνα 15: Δίκτυο δεύτερης ενδεικτικής περίπτωσης

Η κύρια διαφορά στο δίκτυο της δεύτερης περίπτωσης, όπως φαίνεται στην εικόνα 15, είναι στα επίπεδα ποιότητας των υπηρεσιών δεδομένων κάτι το οποίο αντανακλάται και στην τιμή της Objective Function η οποία είναι 349 έναντι 419 που ήταν στην προηγούμενη περίπτωση. Ο λόγος για την διαφορά αυτή είναι η ύπαρξη του Hot Spot στο οποίο συμμετέχει το 30% του συνολικού αριθμού των χρηστών στο δίκτυο. Αναλυτικότερα, είναι φανερό ότι στην κυψέλη 1 δεν υπάρχει κανένας από τους 3 transceivers που να λειτουργεί σε WLAN, και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο δεν βλέπουμε την εμβέλεια του WLAN όπως στις άλλες κυψέλες. Ο λόγος για τον οποίο ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης αποφάσισε ότι δεν πρέπει κανείς από τους transceivers να λειτουργήσει σαν WLAN transceiver είναι γιατί υπάρχει μεγάλος αριθμός χρηστών στην

κυψέλη που χρησιμοποιούν υπηρεσίες δεδομένων και βρίσκονται εκτός εμβέλειας WLAN. Συνεπώς, ο μόνος τρόπος για να εξυπηρετηθούν τόσο οι χρήστες για την υπηρεσία φωνής αλλά και οι χρήστες για τις υπηρεσίες δεδομένων, είναι να λειτουργήσουν και οι 3 transceivers στο UMTS. Αυτή είναι η διάρθρωση που μας δίνει και την υψηλότερη τιμή για την Objective Function στις συγκεκριμένες συνθήκες. Το αποτέλεσμα αυτό είναι απόλυτα φυσιολογικό καθώς αν υποθέσουμε ότι χρησιμοποιούμε έναν από τους transceivers να λειτουργήσει στο WLAN υπάρχει περίπτωση οι εναπομείναντες UMTS transceivers να μην επαρκούν για την εξυπηρέτηση των χρηστών φωνής και των χρηστών για τις υπηρεσίες δεδομένων που βρίσκονται στο Hot Spot και διάσπαρτα εκτός της εμβέλειας του WLAN.

5.3.2. Αποτελέσματα

Στο tab Output μπορούμε να δούμε πληροφορίες σχετικά με τους transceivers κάθε κυψέλης της πρώτης ενδεικτικής περίπτωσης.



Εικόνα 16: Output πρώτης ενδεικτικής περίπτωσης

Στην παραπάνω εικόνα μπορούμε να δούμε αναλυτικά για κάθε κυψέλη τους transceivers που έχουν ενεργοποιηθεί καθώς και ποια RAT έχει ανατεθεί στον καθένα. Στην τρίτη στήλη βλέπουμε το ποσοστό (Loading) κατά το οποίο είναι φορτωμένος ο κάθε transceiver. Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνουν οι ακόλουθες σημαντικές παρατηρήσεις:

- Το ποσοστό Loading για τους WLAN transceivers είναι πάντα 100% και αυτό οφείλεται στην πολιτική που ακολουθεί ο πάροχος, σύμφωνα με την οποία μοιράζει το διαθέσιμο capacity εξίσου στους χρήστες που βρίσκονται στην εμβέλειά του. Πρέπει να ξεκαθαριστεί ότι το ποσοστό 100%, δεν σημαίνει πως ο WLAN transceiver δεν μπορεί να εξυπηρετήσει άλλους χρήστες. Σε

περίπτωση που υπήρχαν και άλλοι χρήστες, το ποσοστό Loading θα ήταν πάλι 100% αλλά το QoS θα ήταν μικρότερο.

- Για τους UMTS transceivers η μέγιστη τιμή του Loading δεν είναι το 100% όπως του WLAN, αλλά 70%. Ο λόγος για αυτό είναι ο τρόπος υπολογισμού του Loading Factor του UMTS και του οποίου η τιμή δεν πρέπει να ξεπερνάει το 0.7 στην κλίμακα από 0 έως 1.

Αντίστοιχα με την παραπάνω εικόνα, το Output της δεύτερης ενδεικτικής περίπτωσης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

The screenshot shows the 'Output' tab of the 'Reconfiguration - Saatsakis Aggelos' software. It displays four cells, each with a table of transceiver data. The 'Case2' tab is selected.

Cell 1						
Transceiver #	RAT	Loading %	12.2 Kbps	64.0 Kbps	128.0 Kbps	384.0 Kbps
Transceiver 1	UMTS	68	23	4	3	N/A
Transceiver 2	UMTS	69	20	6	1	1
Transceiver 3	UMTS	69	31	3	3	N/A

Cell 2					
Transceiver #	RAT	Loading %	12.2 Kbps	384.0 Kbps	27000.0 Kbps
Transceiver 1	UMTS	50	15	3	N/A
Transceiver 2	UMTS	60	11	4	N/A
Transceiver 3	WLAN	100	N/A	N/A	2

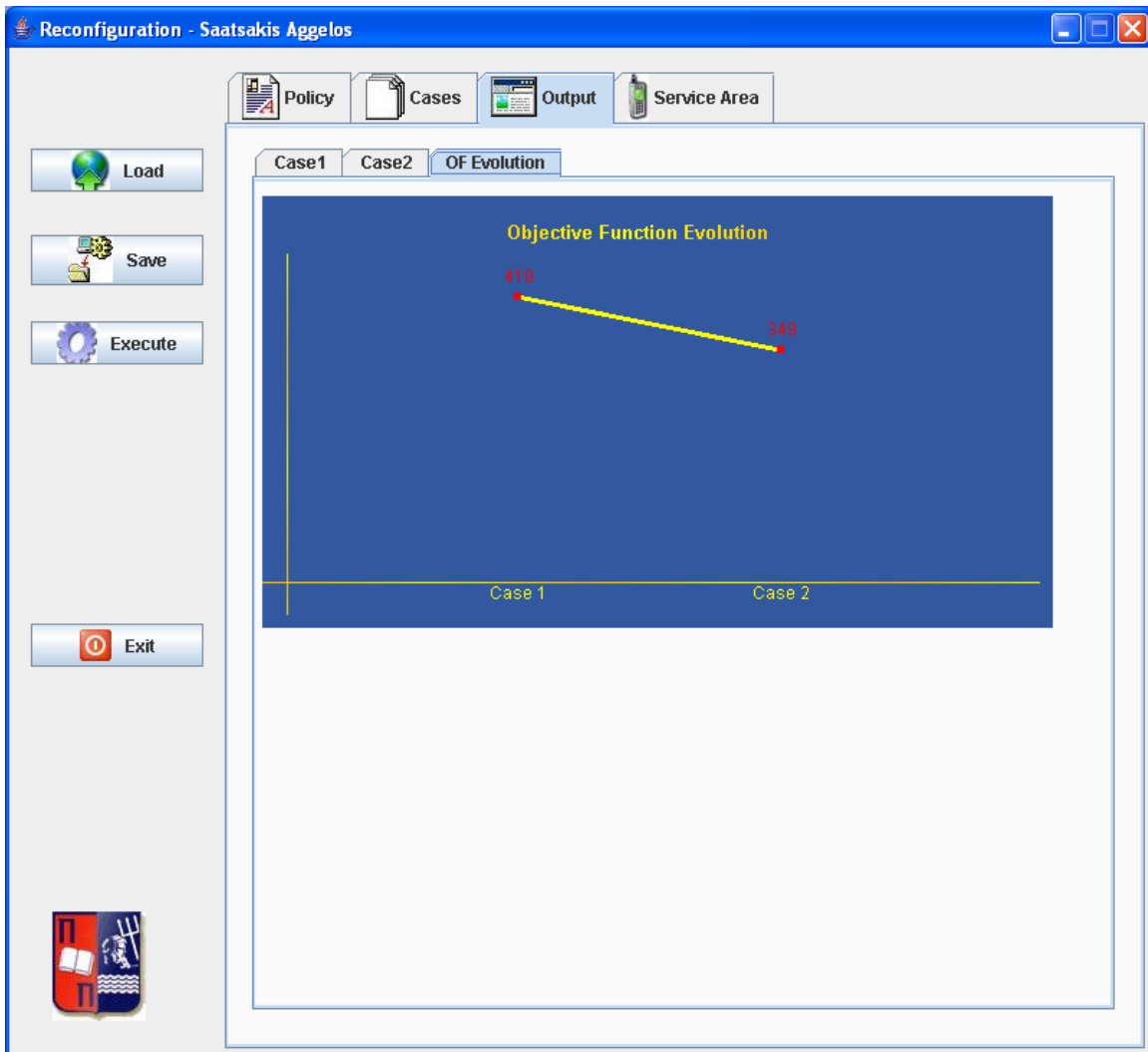
Cell 3					
Transceiver #	RAT	Loading %	12.2 Kbps	384.0 Kbps	13500.0 Kbps
Transceiver 1	UMTS	38	17	2	N/A
Transceiver 2	UMTS	46	10	3	N/A
Transceiver 3	WLAN	100	N/A	N/A	4

Cell 4					
Transceiver #	RAT	Loading %	12.2 Kbps	384.0 Kbps	13500.0 Kbps
Transceiver 1	UMTS	60	11	4	N/A
Transceiver 2	UMTS	47	12	3	N/A
Transceiver 3	WLAN	100	N/A	N/A	4

Εικόνα 17: Output δεύτερης ενδεικτικής περίπτωσης

Το output της εικόνας 17 δεν έχει πολλές διαφορές σε σχέση με αυτό της εικόνας 16. Η μόνη σημαντική διαφορά που υπάρχει είναι στην κυψέλη 1. Όπως εξηγήθηκε και παραπάνω, λόγω του Hot Spot, ο αλγόριθμος αποφάσισε ότι η καλύτερη διάρθρωση είναι όλοι οι transceivers να λειτουργήσουν στο UMTS. Αυτό φαίνεται και στην εικόνα 17, καθώς και ότι όλοι οι UMTS transceivers είναι στο όριο καθώς έχουν πλησιάσει πάρα πολύ το 70% στο Loading. Αυτό σημαίνει ότι η διάρθρωση αυτή στην κυψέλη είναι μοναδική καθώς έστω και ένας transceiver να ήταν σε WLAN, οι εναπομείναντες δεν θα μπορούσαν να καλύψουν τους χρήστες της υπηρεσίας φωνής ακόμα και αν μειώνανε στο βασικό το QoS που παρέχουν στους χρήστες των υπηρεσιών δεδομένων.

Τέλος, από το tab OF Evolution μπορούμε να δούμε την γραφική παράσταση των τιμών της Objective Function όπως προέκυψαν από τις παραπάνω περιπτώσεις.



Εικόνα 18: Γραφική παράσταση της OF των ενδεικτικών περιπτώσεων

6. Προσαρμοστικότητα Δικτύου

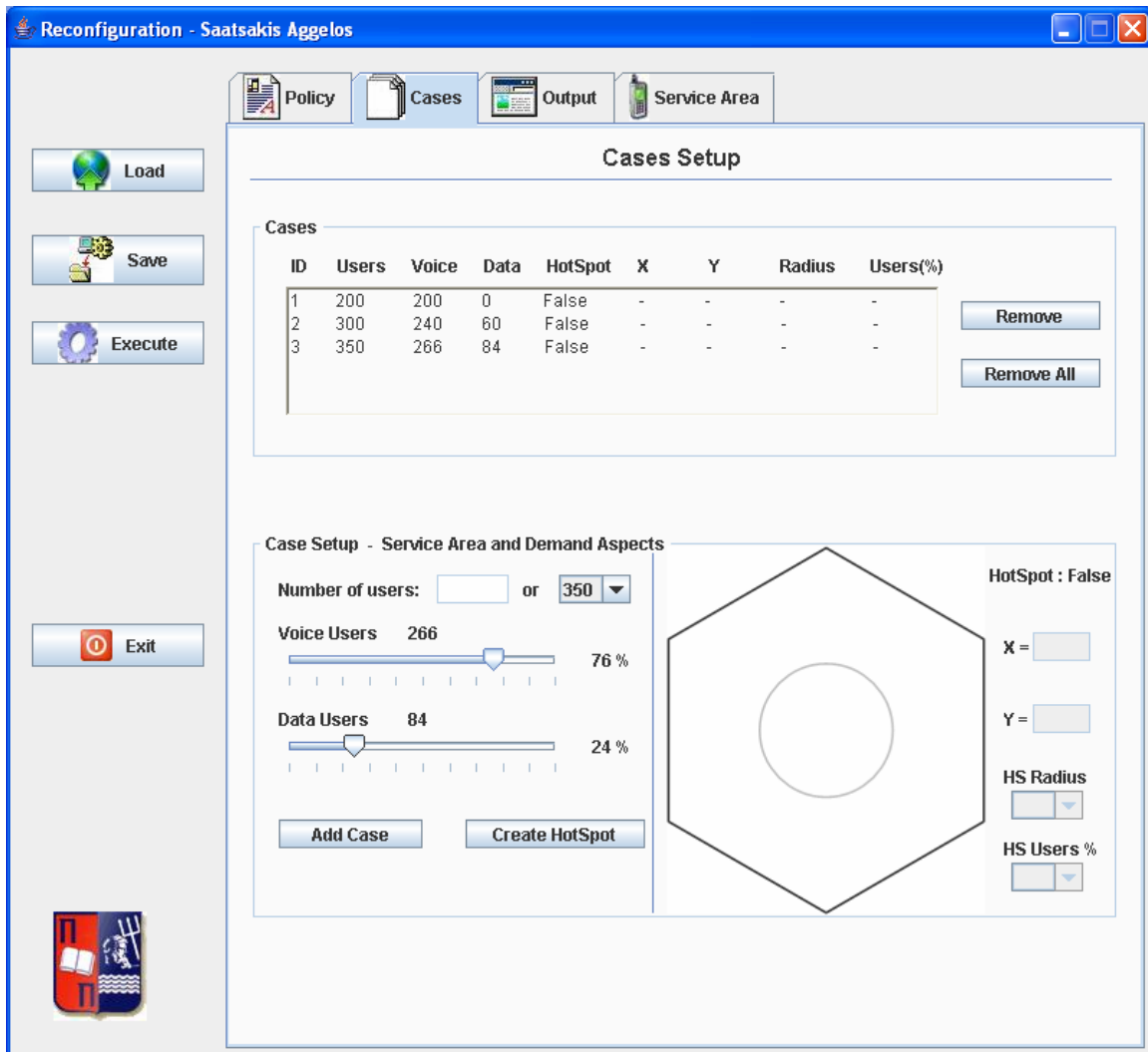
Στην ενότητα αυτή θα μελετήσουμε ενδεικτικές περιπτώσεις από τις οποίες θα γίνει ξεκάθαρη η συμβολή του αλγόριθμου βελτιστοποίησης στην ικανότητα προσαρμογής του δικτύου στις αλλαγές που συμβαίνουν στην περιοχή κάλυψης. Το λογισμικό που αναπτύχθηκε και παρουσιάστηκε ενδεικτικά παραπάνω, θα μας βοηθήσει στην προσομοίωση των “προβληματικών” καταστάσεων στο δίκτυο, και ύστερα από την εκτέλεση του αλγόριθμου θα μας παρέχει τα αποτελέσματα αυτού.

Σε κάθε δίκτυο ασύρματων και κινητών επικοινωνιών υπάρχει μια πληθώρα σφαλμάτων και αλλαγών που μπορούν να συμβούν, οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν άμεσα και αποδοτικά προτού οι χρήστες αντιληφθούν οποιοδήποτε πρόβλημα. Σκοπός όμως στην παρούσα ενότητα είναι να παρουσιαστούν μερικές περιπτώσεις από αυτές, οι οποίες δείχνουν ξεκάθαρα τόσο στην μορφή του δικτύου όσο και στα αριθμητικά αποτελέσματα του αλγόριθμου την ικανότητα προσαρμογής του δικτύου στις αλλαγές. Οι περιπτώσεις οι οποίες θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν στις παρακάτω ενότητες είναι α) εισαγωγή φορτίου στο δίκτυο και β) μετακίνηση του Hot Spot.

6.1. Εισαγωγή φορτίου

Μια από τις κλασσικές περιπτώσεις όπου το δίκτυο αδυνατεί να εξυπηρετήσει τους χρήστες και την κίνηση που αυτοί παράγουν, είναι η εισαγωγή φορτίου (ειδικά σε ώρες αιχμής) απότομα ή σταδιακά. Αυτή είναι μια περίπτωση που η υποδομή του ενιαίου δικτύου των τεχνολογιών UMTS και WLAN μπορούν να αντιμετωπίσουν, εφόσον φυσικά δεν αναφερόμαστε σε ακραίες περιπτώσεις και υπερβολικά υψηλό φορτίο στις κυψέλες του δικτύου.

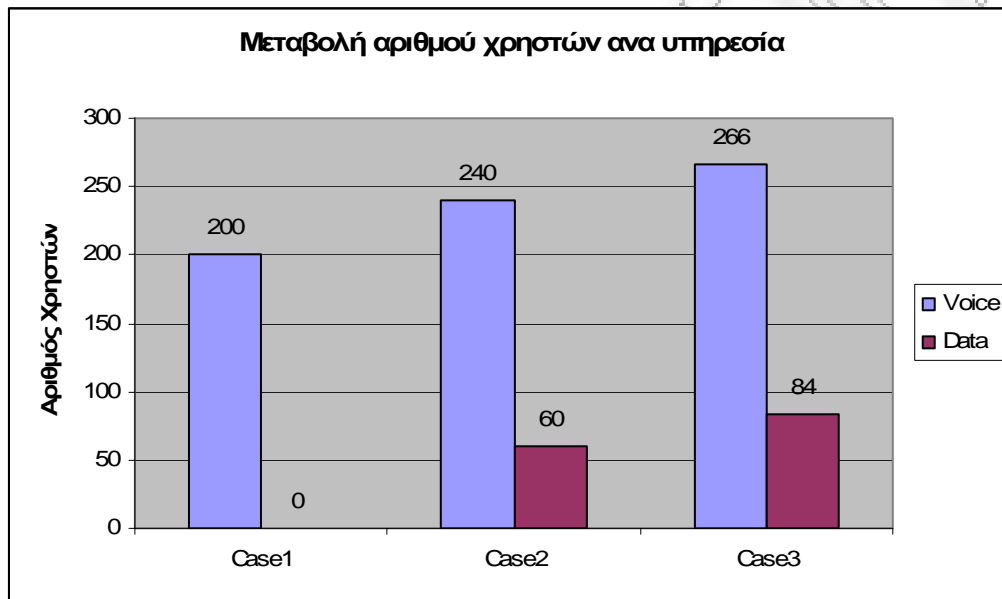
Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι περιπτώσεις για τις οποίες θα εκτελεστεί ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης και παρακάτω θα μελετήσουμε την έξοδο κάθε περίπτωσης για να διαπιστώσουμε το τρόπο προσαρμογής του δικτύου.



Εικόνα 19: Περιπτώσεις εισαγωγής φορτίου στο δίκτυο

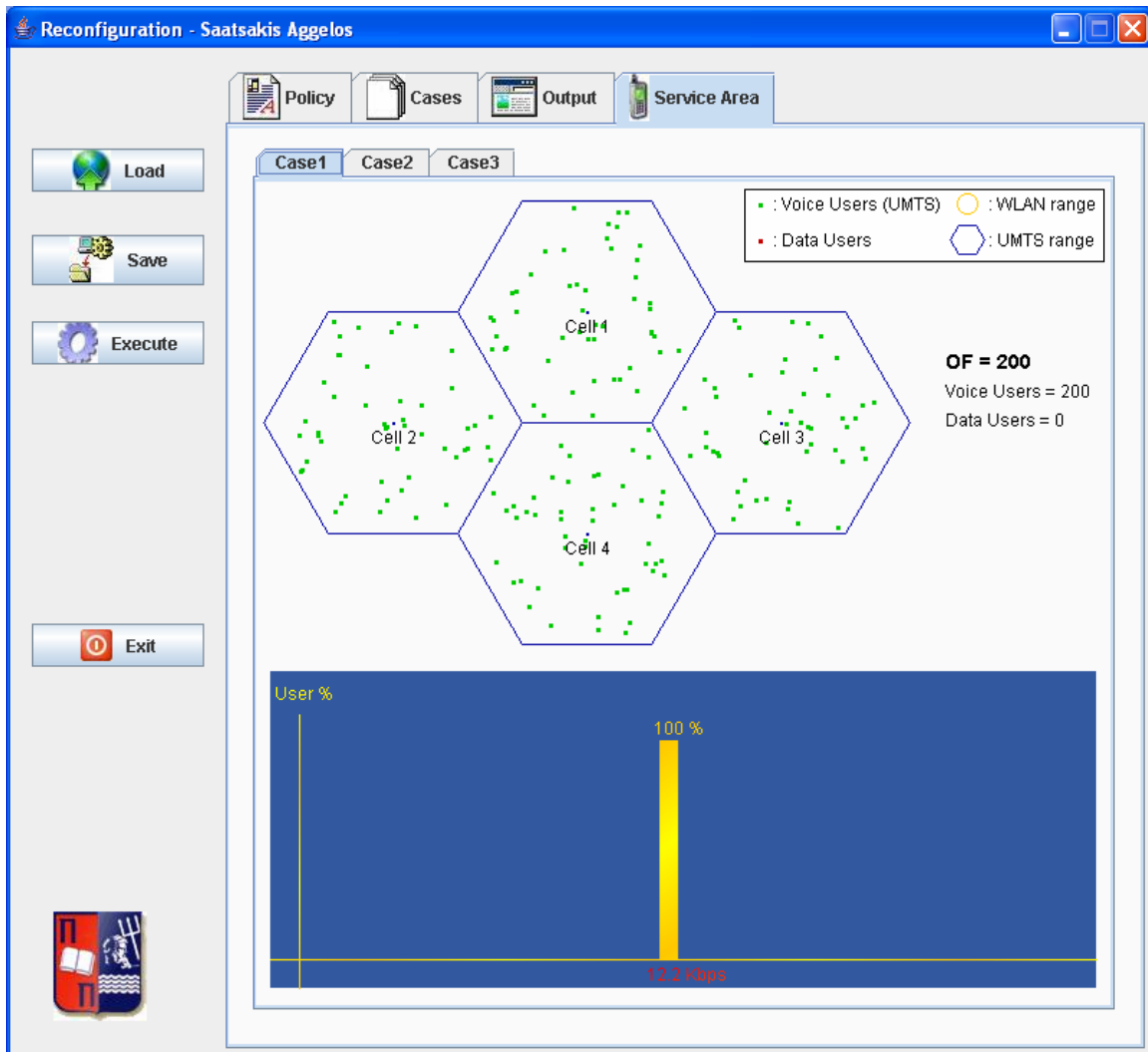
Όπως παρατηρούμε, στην αρχική κατάσταση του δικτύου υποθέτουμε ότι και οι 200 χρήστες του δικτύου χρησιμοποιούν την υπηρεσία φωνής (Case1). Στην επόμενη περίπτωση (Case2), γίνεται μια απότομη αύξηση των χρηστών από 200 που ήταν αρχικά σε 300, με αποτέλεσμα οι χρήστες που χρησιμοποιούν τώρα την υπηρεσία φωνής να είναι 240. Παράλληλα, εισάγονται και 60 χρήστες στο δίκτυο που χρησιμοποιούν υπηρεσίες δεδομένων ενώ στην προηγούμενη περίπτωση δεν υπήρχε κάποιος χρήστης που να επιθυμεί υπηρεσίες δεδομένων. Οι νέοι χρήστες του δικτύου μπορεί να προέρχονται είτε από άλλες κυψέλες είτε να υπήρχαν και στην προηγούμενη περίπτωση εντός των τεσσάρων κυψελών αλλά δεν χρησιμοποιούσαν κάποια από τις διαθέσιμες υπηρεσίες. Υπενθυμίζουμε ότι ο αριθμός των χρηστών που μελετάμε αφορούν τους

χρήστες που επιθυμούν ταυτόχρονα να εξυπηρετηθούν. Στην τελευταία περίπτωση (Case3) γίνεται νέα αύξηση φορτίου στο δίκτυο, αλλά αυτή τη φορά είναι μικρότερη καθώς από 300 χρήστες που ήταν στην προηγούμενη περίπτωση τώρα είναι 350. Οι χρήστες για την υπηρεσία φωνής αυξήθηκαν από 240 σε 266 και οι χρήστες για τις υπηρεσίες δεδομένων από 60 σε 84. Στην παρακάτω γραφική παράσταση φαίνεται η μεταβολή του αριθμού των χρηστών όπως προκύπτει από τις παραπάνω περιπτώσεις, και στις οποίες ο αλγόριθμος κληθεί να δώσει τις καλύτερες δυνατές διαρθρώσεις δικτύου από πλευράς επιπέδου ποιότητας στις υπηρεσίες των χρηστών αυτών.



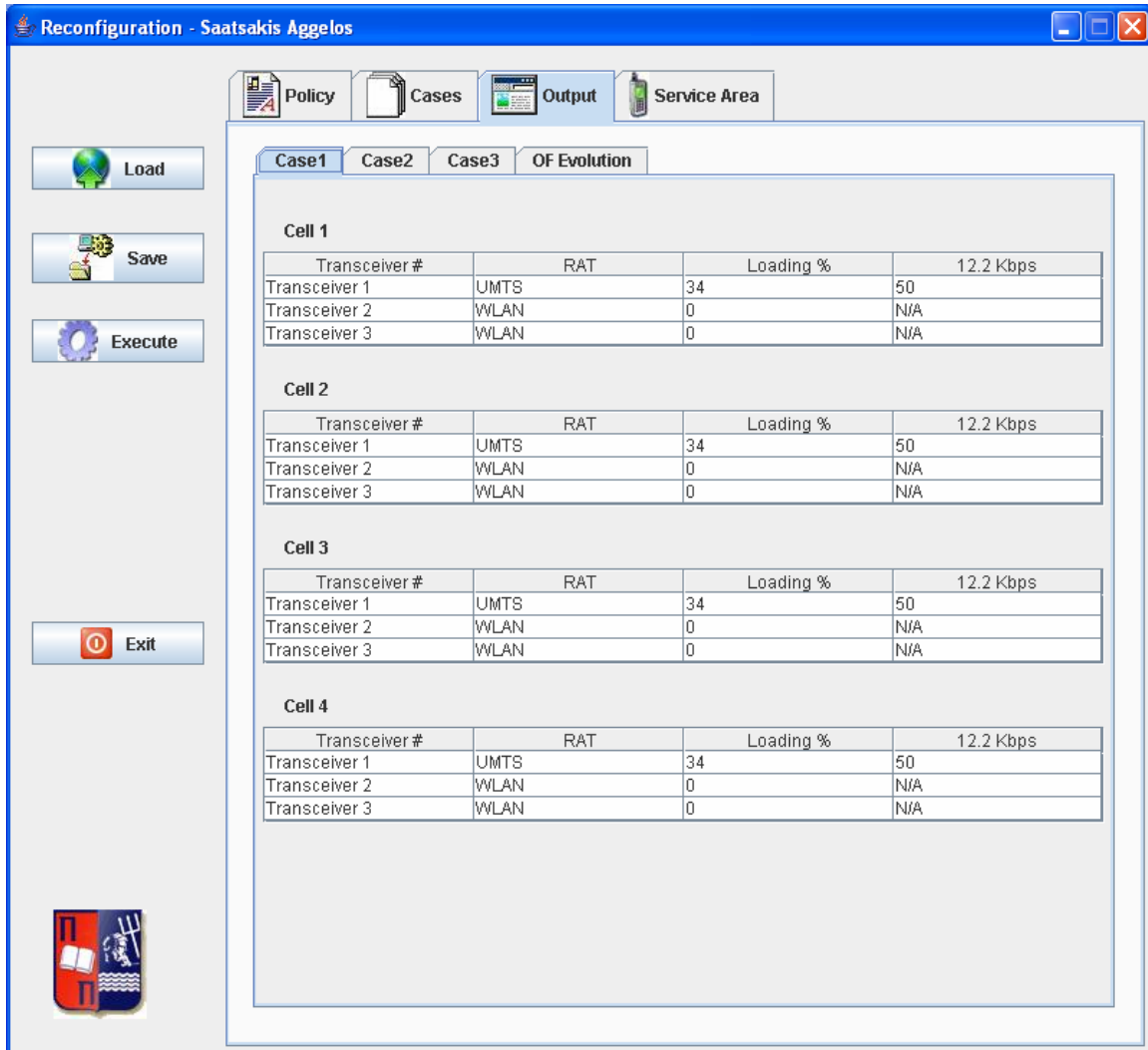
Εικόνα 20: Μεταβολή αριθμού χρηστών ανά υπηρεσία

Είναι φανερό ότι κάθε περίπτωση έχει υψηλότερες απαιτήσεις από το δίκτυο, το οποίο καλείται να προσαρμοστεί στις νέες ανάγκες κάνοντας τις απαραίτητες αλλαγές. Παρακάτω θα παρουσιαστούν αρχικά οι εικόνες με τη τελική μορφή του δικτύου κάθε περίπτωσης μαζί με τα στατιστικά στοιχεία που το αφορούν. Κατόπιν θα παρουσιαστούν τα επιμέρους στοιχεία για κάθε transceiver των κυψελών κάθε περίπτωσης όπως παρουσιάστηκαν και στην ενότητα 5.



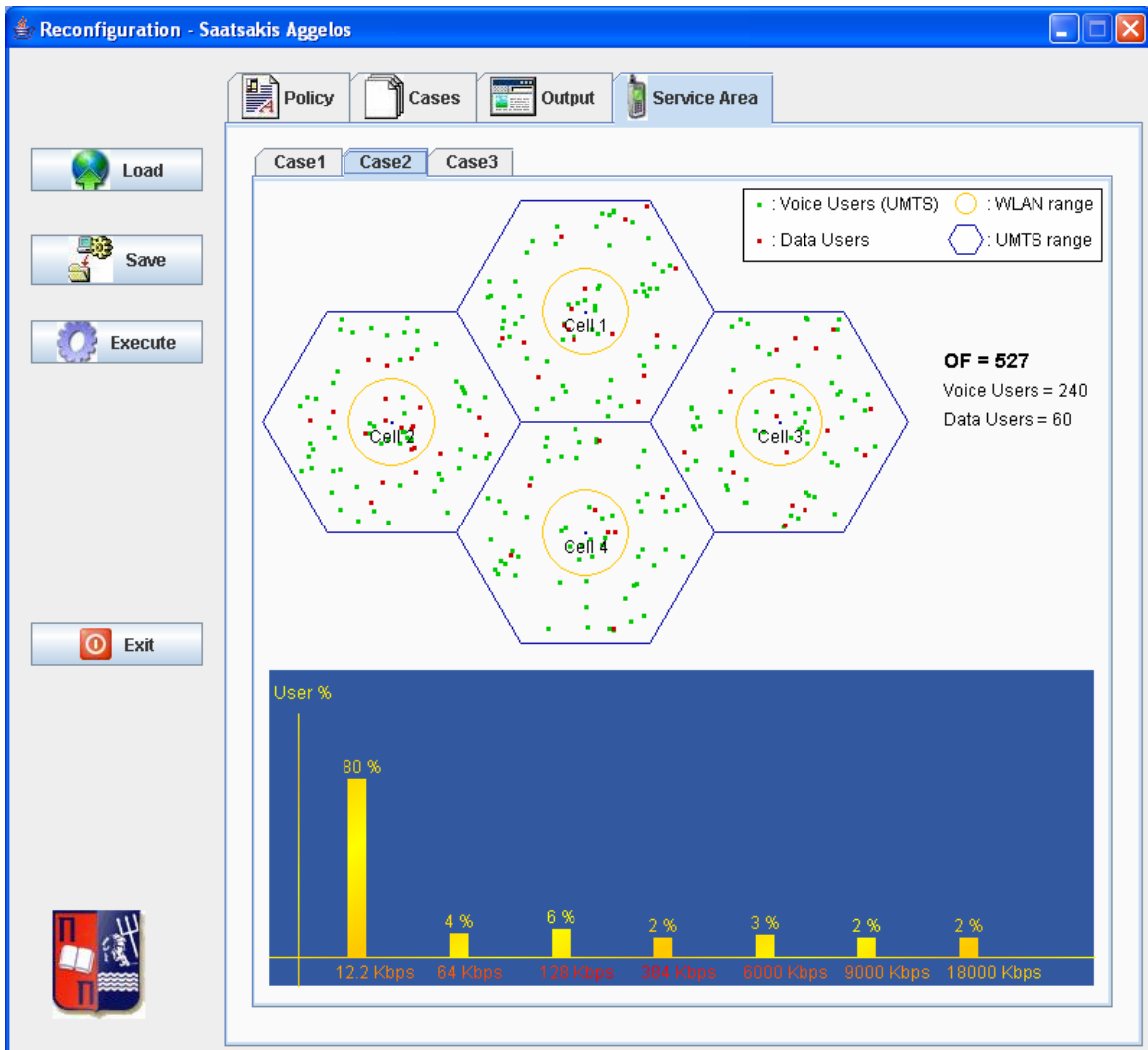
Εικόνα 21: Δίκτυο πρώτης περίπτωσης

Όπως προκύπτει από την παραπάνω εικόνα, οι transceivers που εξυπηρετούν τους χρήστες για την υπηρεσία φωνής, λειτουργούν στο UMTS, και όλοι λαμβάνουν το ίδιο επίπεδο ποιότητας εφόσον πρόκειται για την υπηρεσία φωνής που είναι 12.2Kbps. Το φορτίο δεν επιβαρύνει ιδιαίτερα τους transceivers κάθε κυψέλης και αυτό προκύπτει, όπως παρατηρούμε στην επόμενη εικόνα, α) από το γεγονός ότι ο αλγόριθμος αποφάσισε ότι επαρκεί μόνο ένας από τους τρεις transceivers κάθε κυψέλης και β) από το ποσοστό Loading που είναι 34% ενώ η μέγιστη τιμή του είναι 70%.

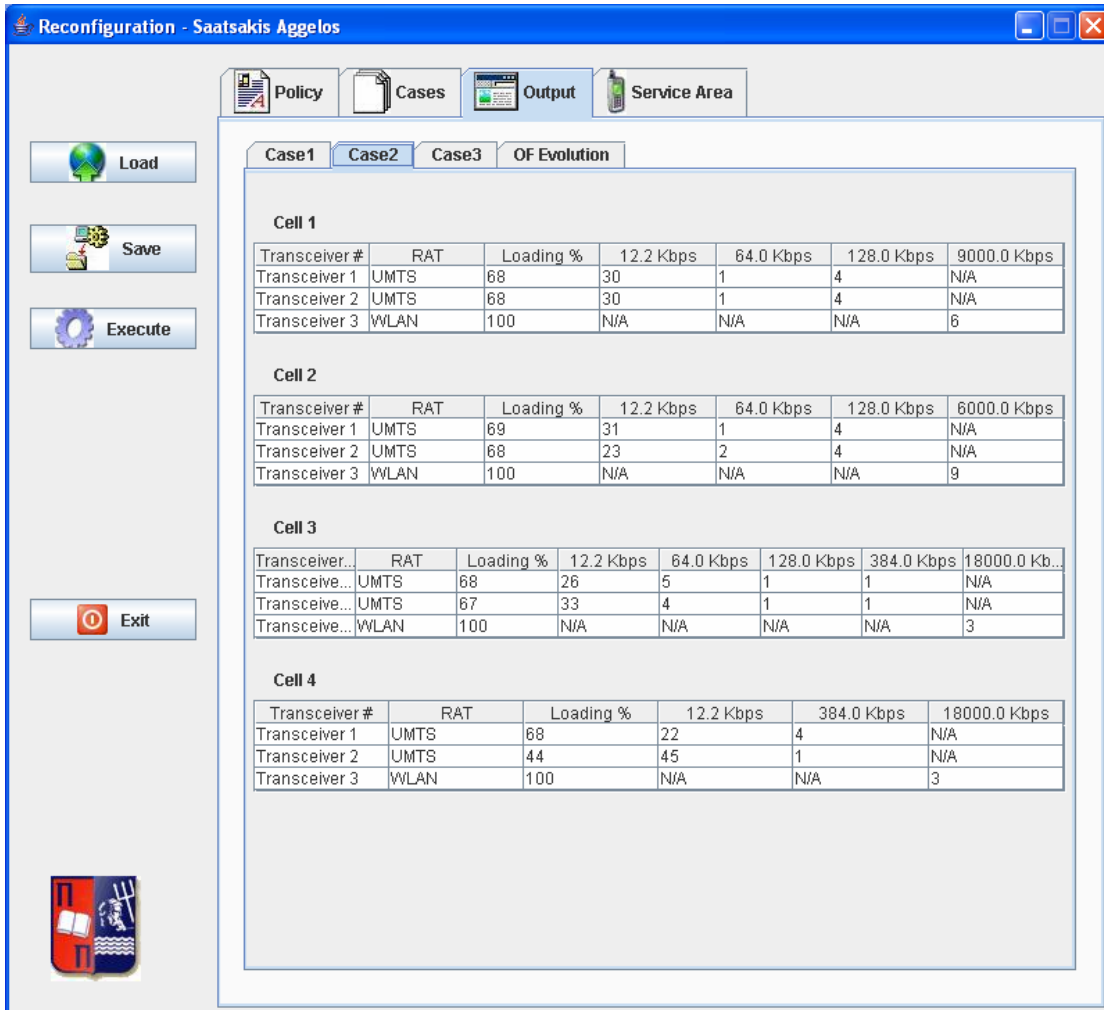


Εικόνα 22: Αποτελέσματα πρώτης περίπτωσης

Η επόμενη περίπτωση (Case2), αυξάνει τον αριθμό των χησιτών της υπηρεσίας φωνής αλλά και τους χρήστες για τις υπηρεσίες δεδομένων. Το μεγαλύτερο φορτίο στο δίκτυο σε αυτή την περίπτωση, το εισάγουν οι χρήστες για τις υπηρεσίες δεδομένων. Ο λόγος για αυτό είναι ότι πολλοί βρίσκονται εκτός της εμβέλειας του WLAN και υποχρεωτικά θα εξυπηρετούνται από τους UMTS transceivers, ενώ παράλληλα είναι υπεύθυνοι να εξυπηρετήσουν και όλους τους χρήστες υπηρεσίας φωνής.



Εικόνα 23: Δίκτυο δεύτερης περίπτωσης



Εικόνα 24: Αποτελέσματα δεύτερης περίπτωσης

Είναι φανερό ότι το φορτίο στο δίκτυο έχει αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό και αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι ο αλγόριθμος αποφάσισε τα εξής:

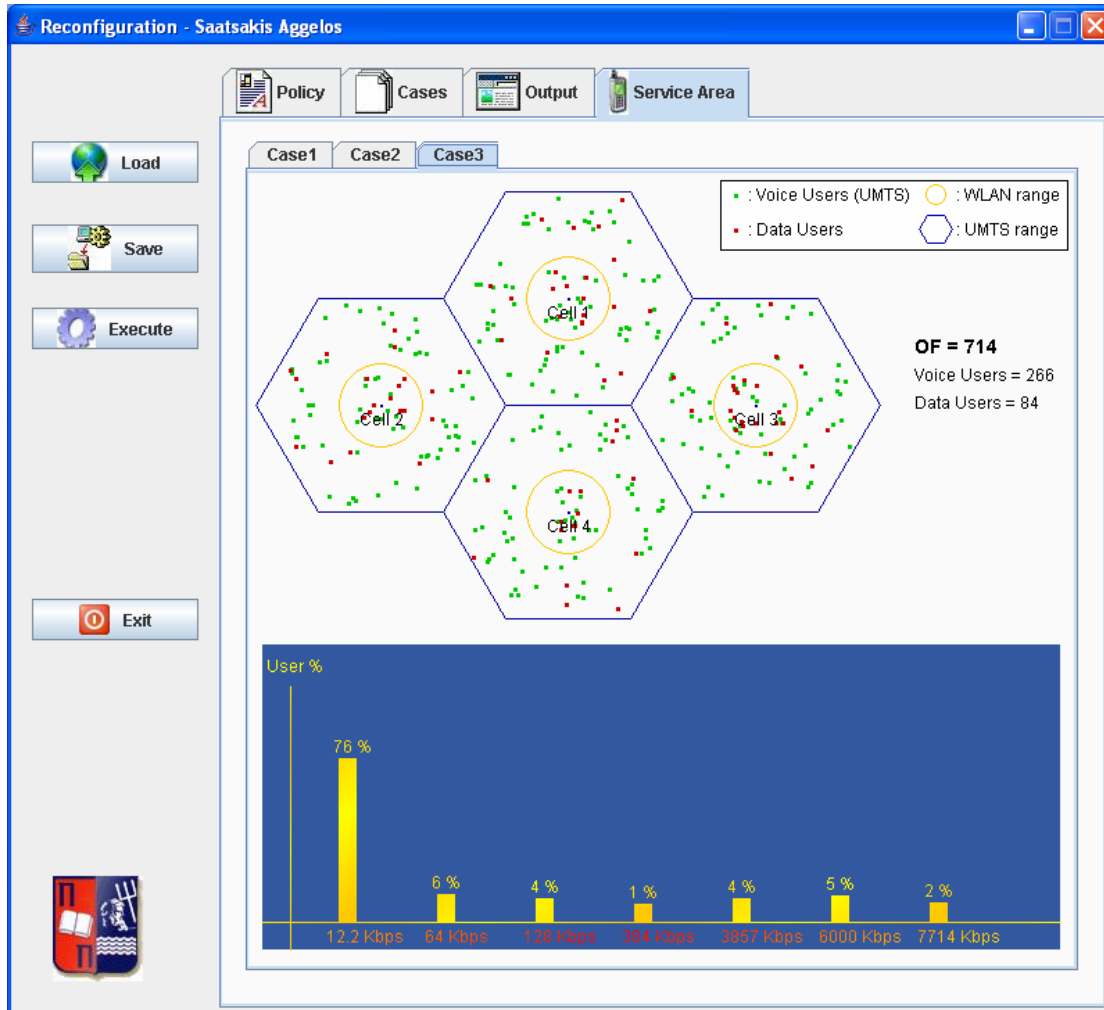
- Πρέπει να χρησιμοποιηθούν δυο UMTS transceivers από κάθε κυψέλη για την εξυπηρέτηση των χρηστών υπηρεσίας φωνής
- Όλοι οι UMTS transceivers λειτουργούν κοντά στα όρια τους κρίνοντας από την τιμή του Loading.
- Ο τρίτος transceiver που θα λειτουργεί σε WLAN θα καλύπτει τους χρήστες υπηρεσιών δεδομένων παρέχοντας το μέγιστο δυνατό QoS.

Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι οι UMTS transceivers εξυπηρετούν παράλληλα τους χρήστες των υπηρεσιών δεδομένων, που βρίσκονται εκτός της εμβέλειας του WLAN, σε

αρκετά ικανοποιητικό επίπεδο καθώς οι περισσότεροι χρήστες έχουν λάβει από 128Kbps και πάνω, ενώ είναι λίγοι οι χρήστες που έχουν πάρει το βασικό QoS.

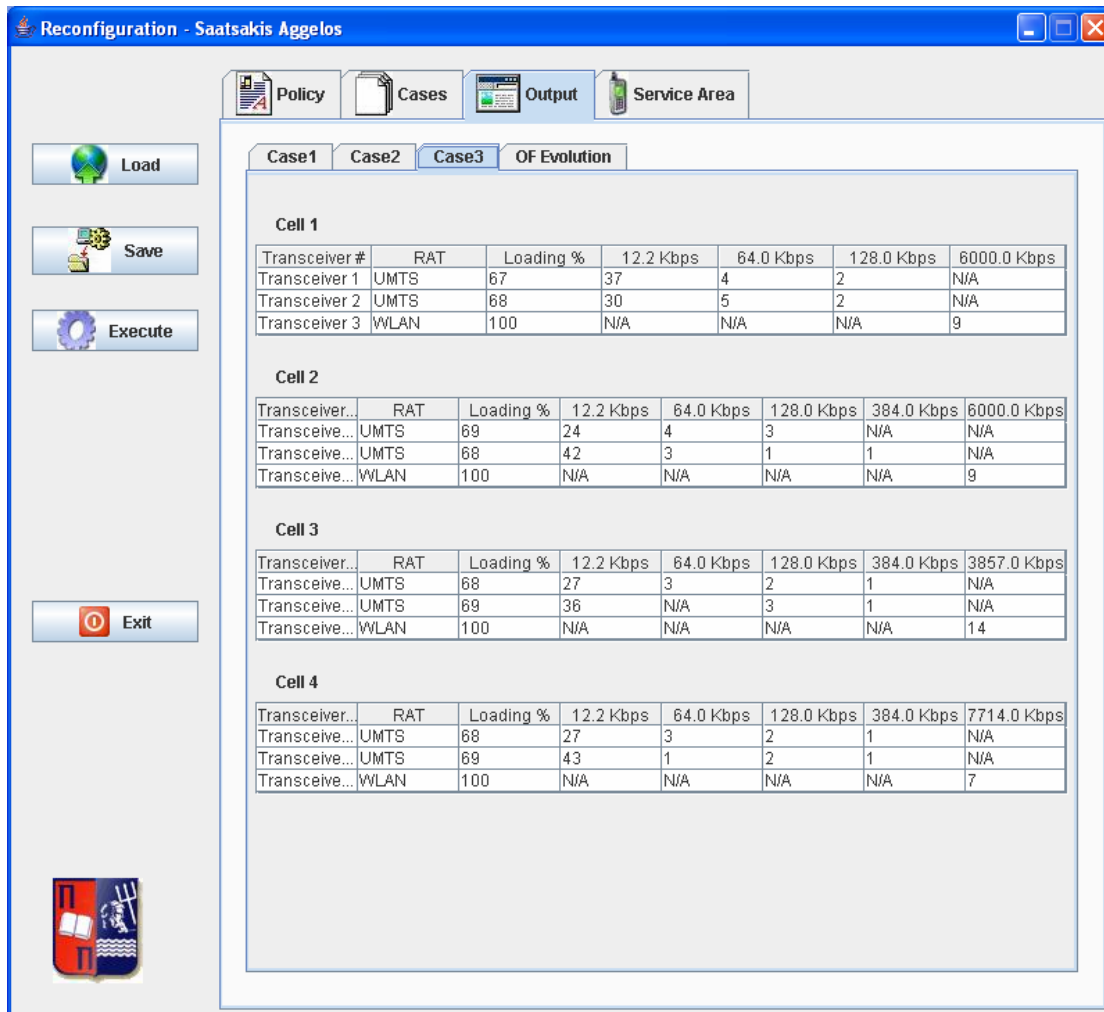
Το συμπέρασμα από τα αποτελέσματα των περιπτώσεων μέχρι τώρα, είναι πως ο αλγόριθμος στην περίπτωση εισαγωγής φορτίου (και για τα δυο είδη υπηρεσιών) βρήκε εκείνη την διάρθρωση δικτύου που θα παρέχει το μέγιστο δυνατό επίπεδο ποιότητας στους χρήστες. Εφαρμόζοντας το δίκτυο τα αποτελέσματα του αλγόριθμου, κατάφερε να προσαρμοστεί στις ανάγκες του. Ακόμα παραπέρα, στην ιδανική περίπτωση όπου η αρχιτεκτονική της υποδομής έχει γίνει σωστά, η όλη διαδικασία μπορεί να αυτοματοποιηθεί και να μην απαιτείται επέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα. Στην περίπτωση αυτή, μιλάμε για μια υποδομή η οποία έχει την δυνατότητα να αντιμετωπίζει αυτόνομα, προβλήματα ή αλλαγές στην περιοχή κάλυψης και να προσαρμόζεται στις νέες ανάγκες που προκύπτουν.

Συνεχίζοντας με την τρίτη περίπτωση εισαγωγής φορτίου, η νέα εικόνα του δικτύου που προκύπτει είναι η παρακάτω:



Εικόνα 25: Δίκτυο τρίτης περίπτωσης

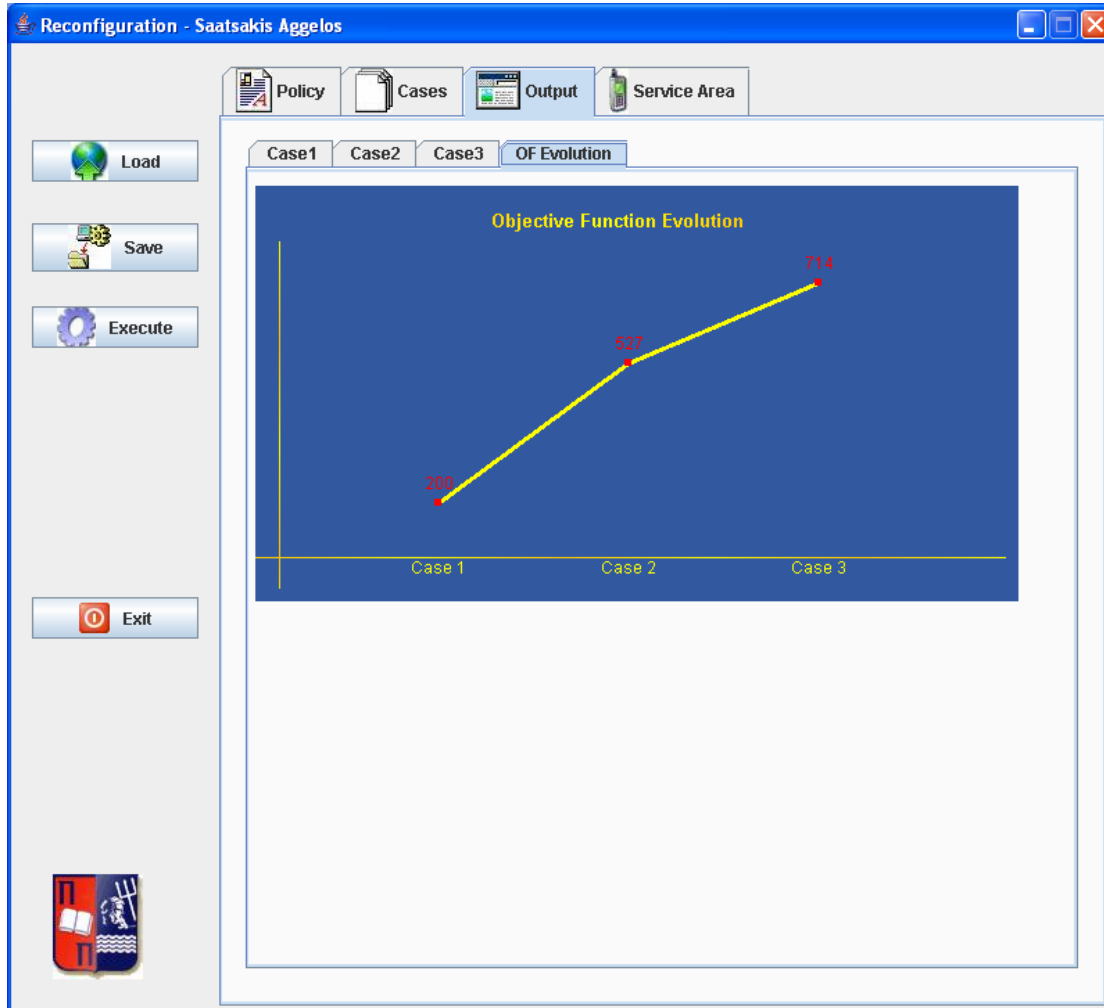
Οι χρήστες και σε αυτήν την περίπτωση είναι περισσότεροι όπως φάνηκε και στην προηγούμενη περίπτωση. Ωστόσο, η παρατήρηση που πρέπει να γίνει εδώ αφορά τα επίπεδα ποιότητας τόσο του UMTS όσο και του WLAN. Τα επίπεδα ποιότητας από τους UMTS transceivers είναι χαμηλότερα σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση, ενώ έχει αυξηθεί το ποσοστό των χρηστών του βασικού QoS. Αυτό συμβαίνει καθώς με την εισαγωγή των νέων χρηστών για την υπηρεσία φωνής, οι UMTS transceivers δεν διαθέτουν πλέον αρκετό capacity για να καλύψουν τους χρήστες των υπηρεσιών δεδομένων τουλάχιστον στα επίπεδα της προηγούμενης περίπτωσης. Στο συμπέρασμα αυτό καταλήγουμε παρατηρώντας και την παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 26: Αποτελέσματα τρίτης περίπτωσης

Παράλληλα όμως, παρατηρούμε κάτι το οποίο ίσως να φαίνεται οξύμωρο. Ενώ ο αριθμός των χρηστών για τις υπηρεσίες δεδομένων αυξάνεται, τόσο περισσότερο αυξάνεται και το ποσοστό των χρηστών που εξυπηρετούνται από τους WLAN transceivers σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα ποιότητας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με κάθε αύξηση του συνολικού αριθμού των χρηστών υπηρεσιών δεδομένων, αυξάνεται και ο αριθμός των χρηστών αυτών που βρίσκονται εντός της ακτίνας κάλυψης του WLAN. Το αποτέλεσμα είναι να εξυπηρετούνται και αυτοί από τον WLAN transceiver με υψηλό μεν QoS αλλά ελαφρώς χαμηλότερο συγκριτικά με την προηγούμενη περίπτωση (cells 3, 4). Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο η τιμή της Objective Function για κάθε περίπτωση που μελετήσαμε έχει υψηλότερη τιμή από την προηγούμενη. Η γραφική παράσταση που

απεικονίζει την τιμή της Objective Function για κάθε case φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



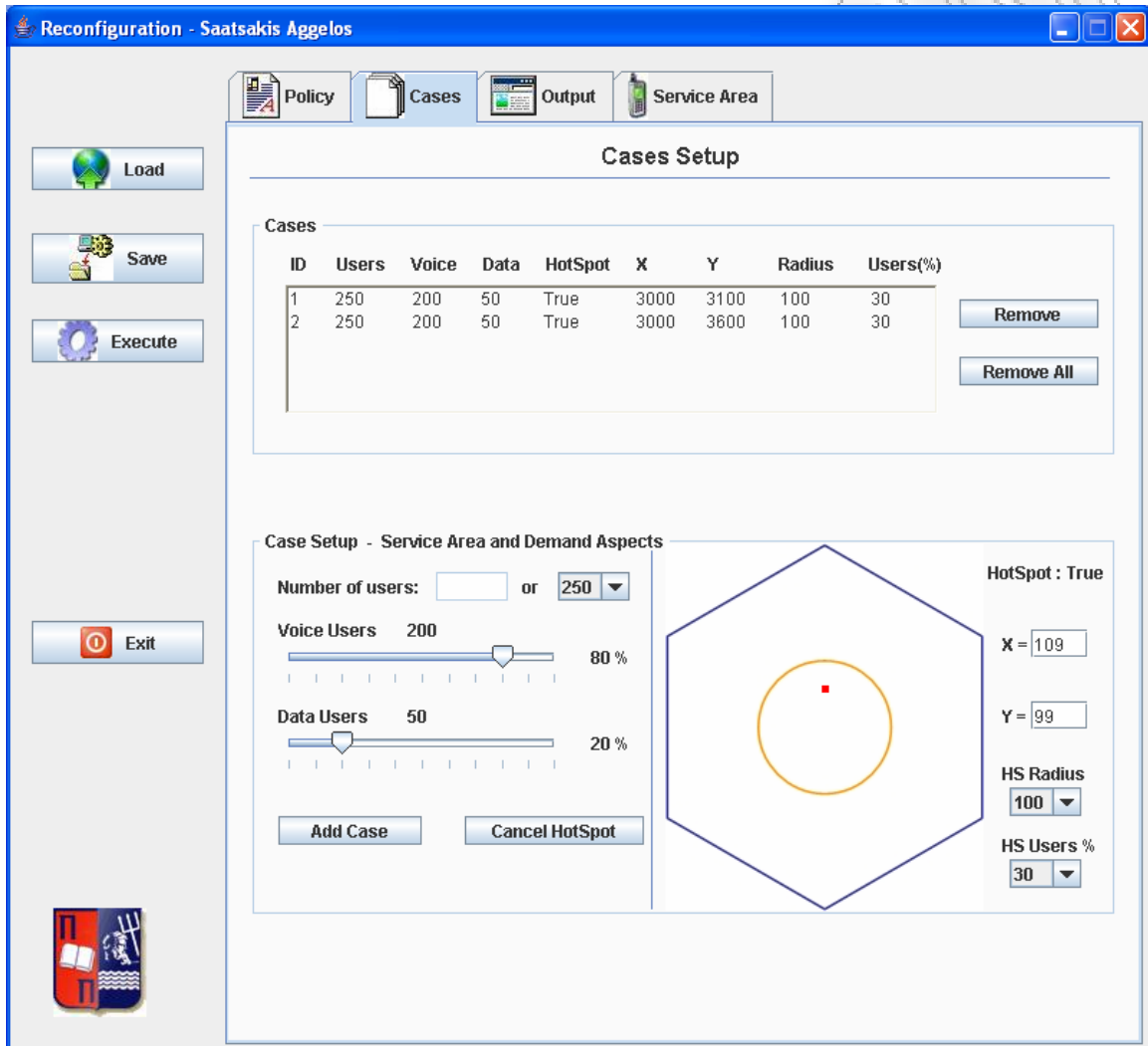
Εικόνα 27: Εξέλιξη των τιμών της Objective Function

6.2. Μετακίνηση του Hot Spot

Μια άλλη περίπτωση που συνήθως προκαλεί προβλήματα, είναι η μετακίνηση των χρηστών στο δίκτυο. Η διαχείριση του φορτίου σε αυτήν την περίπτωση, γίνεται ακόμα δυσκολότερη αν οι χρήστες που μετακινούνται δημιουργούν Hot Spot στην κυψέλη. Σε ένα κλασικό δίκτυο 2G ή 3G στο οποίο οι χρήστες καλύπτονται από μια μοναδική RAT, δεν υπάρχουν και πολλές επιλογές για τον τρόπο διαχείρισης του κινούμενου Hot Spot (Moving Hot Spot). Στην υποδομή όμως που μελετάμε και εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης, υπάρχει η πιθανότητα το κινούμενο Hot Spot καθώς κινείται να βρεθεί

στην εμβέλεια κάποιας άλλης RAT η οποία μπορεί να λειτουργήσει καταλυτικά στην ομαλή λειτουργία του δικτύου και στην παροχή υπηρεσιών υψηλού QoS. Ένα τέτοιο παράδειγμα θα δούμε παρακάτω.

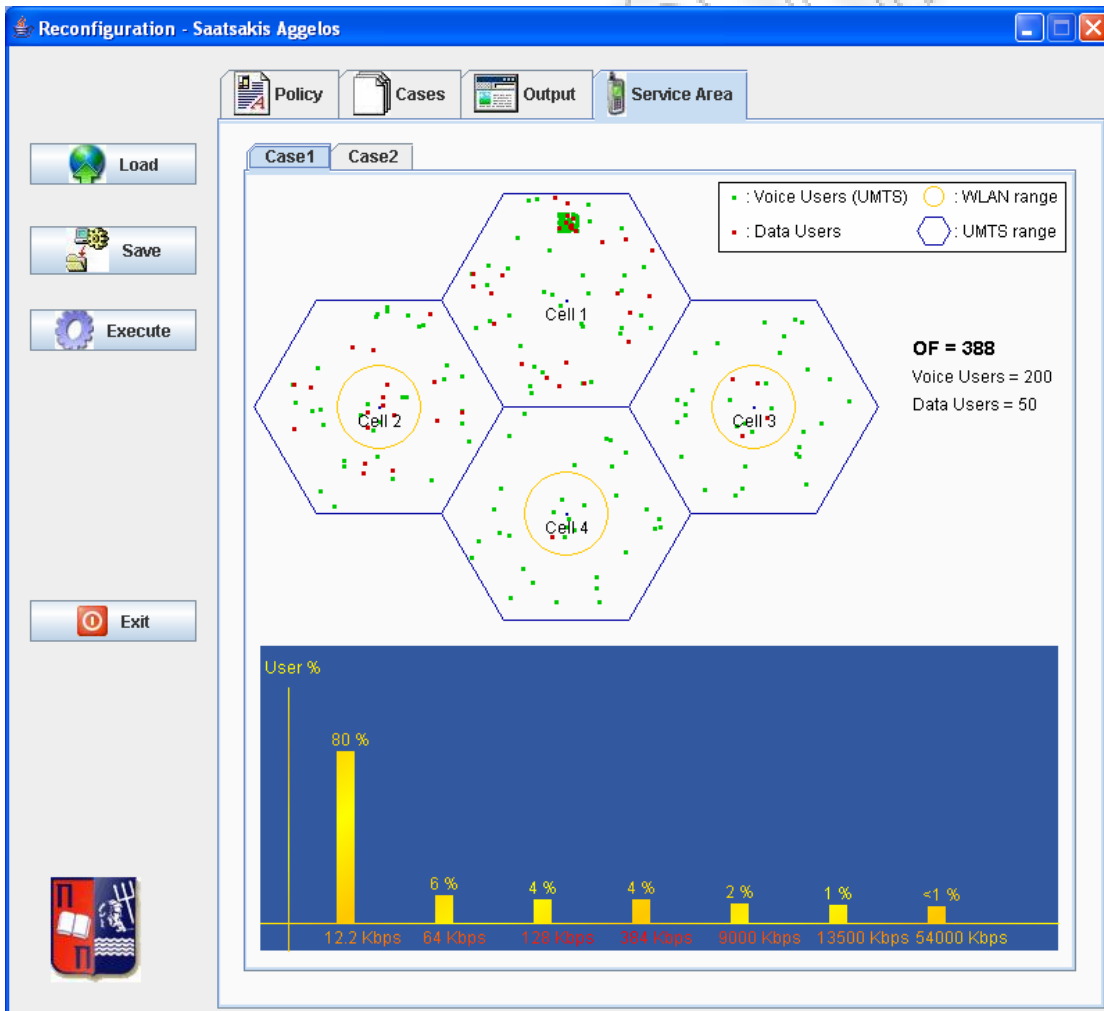
Η εικόνα 28, μας δίνει τις πληροφορίες για τις περιπτώσεις στις οποίες θα μελετήσουμε τον αλγόριθμο:



Εικόνα 28: Περιπτώσεις κινούμενου Hot Spot

Το σενάριο για το οποίο θα εκτελεστεί ο αλγόριθμος είναι σχετικά απλό. Για την περιγραφή της κίνησης του Hot Spot αρκεί να γνωρίζουμε δύο μόνο σημεία. Το πρώτο σημείο θα είναι εντός της εμβέλειας της RAT από την οποία εξυπηρετούνται αρχικά οι χρήστες, και το δεύτερο είναι το σημείο στο οποίο πλέον το Hot Spot έχει εισέλθει στην

ακτίνα κάλυψης και της δεύτερης RAT. Στο σημείο αυτό ο αλγόριθμος θα πρέπει να αποφασίσει ποια θα είναι η νέα διάρθρωση του δικτύου προκειμένου να αντιμετωπιστεί το φορτίο που προέρχεται από το Hot Spot αλλά και από όλους τους άλλους χρήστες που βρίσκονται στο δίκτυο. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 28, οι δύο περιπτώσεις είναι ίδιες ως προς τον αριθμό των χρηστών και των ποσοστών κατανομής τους στις υπηρεσίες. Τα χαρακτηριστικά του Hot Spot κάθε περίπτωσης είναι ίδια, εκτός από το σημείο στο οποίο τοποθετείται. Παρατηρούμε ότι στην πρώτη περίπτωση το Hot Spot έχει τοποθετηθεί σε σημείο που καλύπτεται μόνο από UMTS transceivers. Στην δεύτερη περίπτωση το Hot Spot βρίσκεται και εντός της εμβέλειας του WLAN, οπότε πλέον υπάρχουν δύο RATs που μπορούν να εξυπηρετήσουν το Hot Spot. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το δίκτυο της πρώτης περίπτωσης:



Εικόνα 29: Δίκτυο πρώτης περίπτωσης Hot Spot

Όπως είναι φανερό, το Hot Spot που βρίσκεται εκτός της εμβέλειας του WLAN αποτελείται από χρήστες υπηρεσιών δεδομένων και φωνής. Συνεπώς, στην κυψέλη 1, υπάρχουν διασκορπισμένοι χρήστες υπηρεσίας φωνής και δεδομένων οι οποίοι θα πρέπει να εξυπηρετηθούν μαζί με αυτούς που αποτελούν το Hot Spot, με το υψηλότερο δυνατό QoS. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο όλοι οι transceivers της κυψέλης 1 λειτουργούν σαν UMTS transceivers. Ο αλγόριθμος αποφάσισε πως για να αντεπεξέλθει η κυψέλη 1 στο φορτίο που υπάρχει εντός των ορίων της, πρέπει όλοι οι transceivers να λειτουργήσουν στο UMTS καθώς είναι η μόνη τεχνολογία που μπορεί να εξυπηρετήσει χρήστες υπηρεσίας φωνής και δεδομένων, αν φυσικά υπάρχει το απαιτούμενο capacity. Τα αποτελέσματα για την κυψέλη 1 όπου βρίσκεται το Hot Spot, αλλά και όλου του δικτύου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

The screenshot shows the 'Reconfiguration - Saatsakis Aggelos' application window. It features a sidebar on the left with buttons for 'Load', 'Save', 'Execute', and 'Exit'. The main area has tabs for 'Policy', 'Cases', 'Output', and 'Service Area'. Below these are sub-tabs for 'Case1', 'Case2', and 'OF Evolution'. The main content area displays four tables, one for each cell (Cell 1 to Cell 4). Each table lists transceiver numbers, RAT types (UMTS or WLAN), loading percentages, and data rates for various services (12.2 Kbps, 64.0 Kbps, 128.0 Kbps, 384.0 Kbps, 9000.0 Kbps, 13500.0 Kbps, 54000.0 Kbps).

Cell 1						
Transceiver #	RAT	Loading %	12.2 Kbps	64.0 Kbps	128.0 Kbps	384.0 Kbps
Transceiver 1	UMTS	67	21	6	2	N/A
Transceiver 2	UMTS	67	44	3	2	N/A
Transceiver 3	UMTS	69	36	6	N/A	1

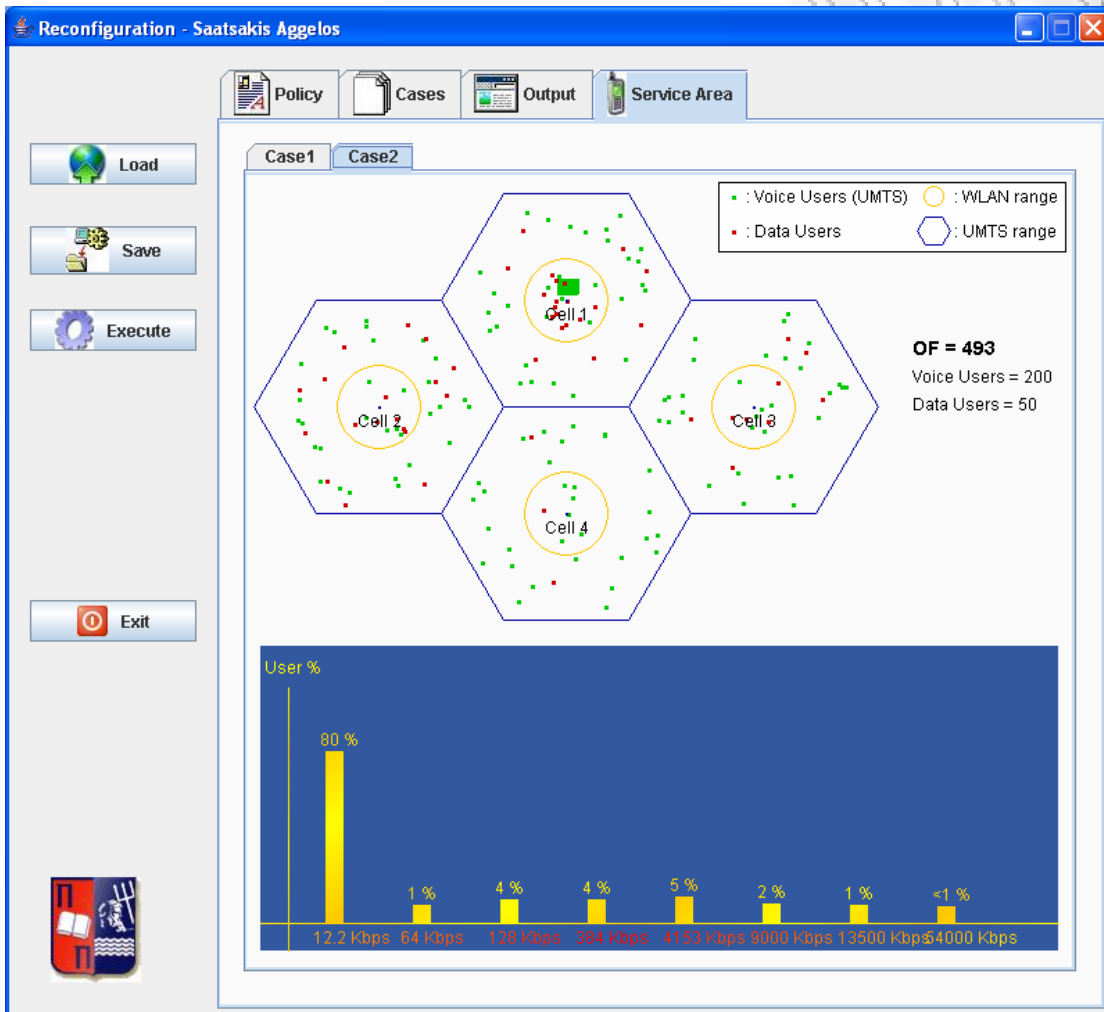
Cell 2							
Transceiver...	RAT	Loading %	12.2 Kbps	64.0 Kbps	128.0 Kbps	384.0 Kbps	9000.0 Kbps
Transceive...	UMTS	69	17	N/A	3	2	N/A
Transceive...	UMTS	68	8	2	5	N/A	N/A
Transceive...	WLAN	100	N/A	N/A	N/A	N/A	6

Cell 3					
Transceiver #	RAT	Loading %	12.2 Kbps	384.0 Kbps	13500.0 Kbps
Transceiver 1	UMTS	49	14	3	N/A
Transceiver 2	UMTS	40	20	2	N/A
Transceiver 3	WLAN	100	N/A	N/A	4

Cell 4					
Transceiver #	RAT	Loading %	12.2 Kbps	384.0 Kbps	54000.0 Kbps
Transceiver 1	UMTS	54	40	2	N/A
Transceiver 2	WLAN	100	N/A	N/A	1
Transceiver 3	WLAN	0	N/A	N/A	N/A

Εικόνα 30: Αποτελέσματα πρώτης περίπτωσης Hot Spot

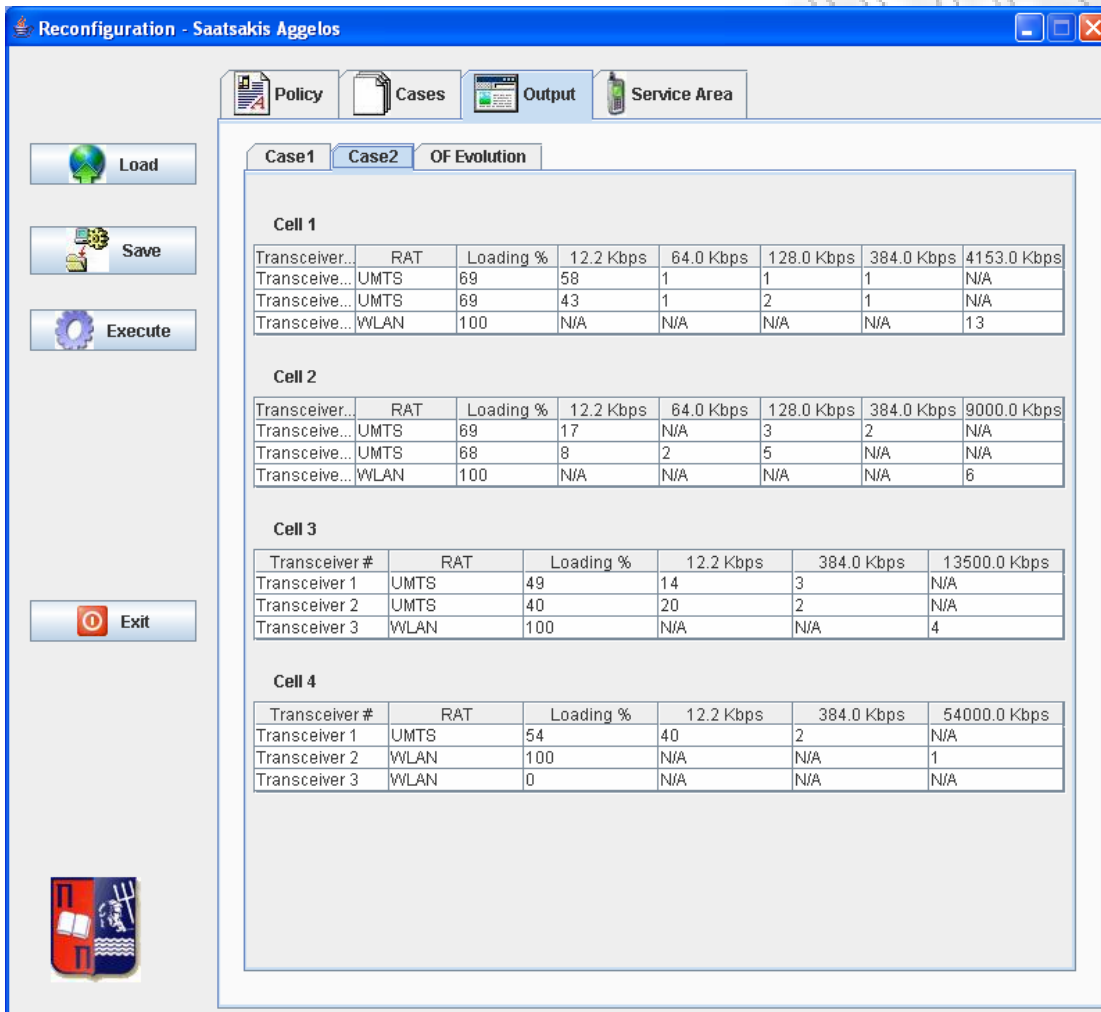
Είναι φανερό ότι το φορτίο στους transceivers είναι οριακό με αποτέλεσμα το επίπεδο ποιότητας των υπηρεσιών στην κυψέλη 1 να είναι πολύ χαμηλό, συγκριτικά με αυτό των άλλων κυψελών. Ας δούμε τώρα τι γίνεται στην περίπτωση που το Hot Spot μετακινήθηκε προς το κέντρο της κυψέλης και βρίσκεται πλέον εντός της εμβέλειας όλων των transceivers. Ο αλγόριθμος θα πρέπει να εξετάσει πάλι όλες τις περιπτώσεις και να βρει την καλύτερη διάρθρωση. Παρακάτω φαίνεται το δίκτυο όπως προέκυψε τελικά σύμφωνα με την έξοδο του αλγόριθμου:



Εικόνα 31: Δίκτυο δεύτερης περίπτωσης Hot Spot

Όπως αναφέραμε παραπάνω, το Hot Spot βρίσκεται και εντός της εμβέλειας του WLAN. Προκειμένου λοιπόν να εξυπηρετηθούν οι χρήστες υπηρεσιών δεδομένων, ο αλγόριθμος αποφάσισε πως ένας transceiver θα ενεργοποιηθεί στο WLAN και οι υπόλοιποι δύο θα παραμείνουν στο UMTS, όπως ήταν και στην προηγούμενη περίπτωση. Η διαφορά

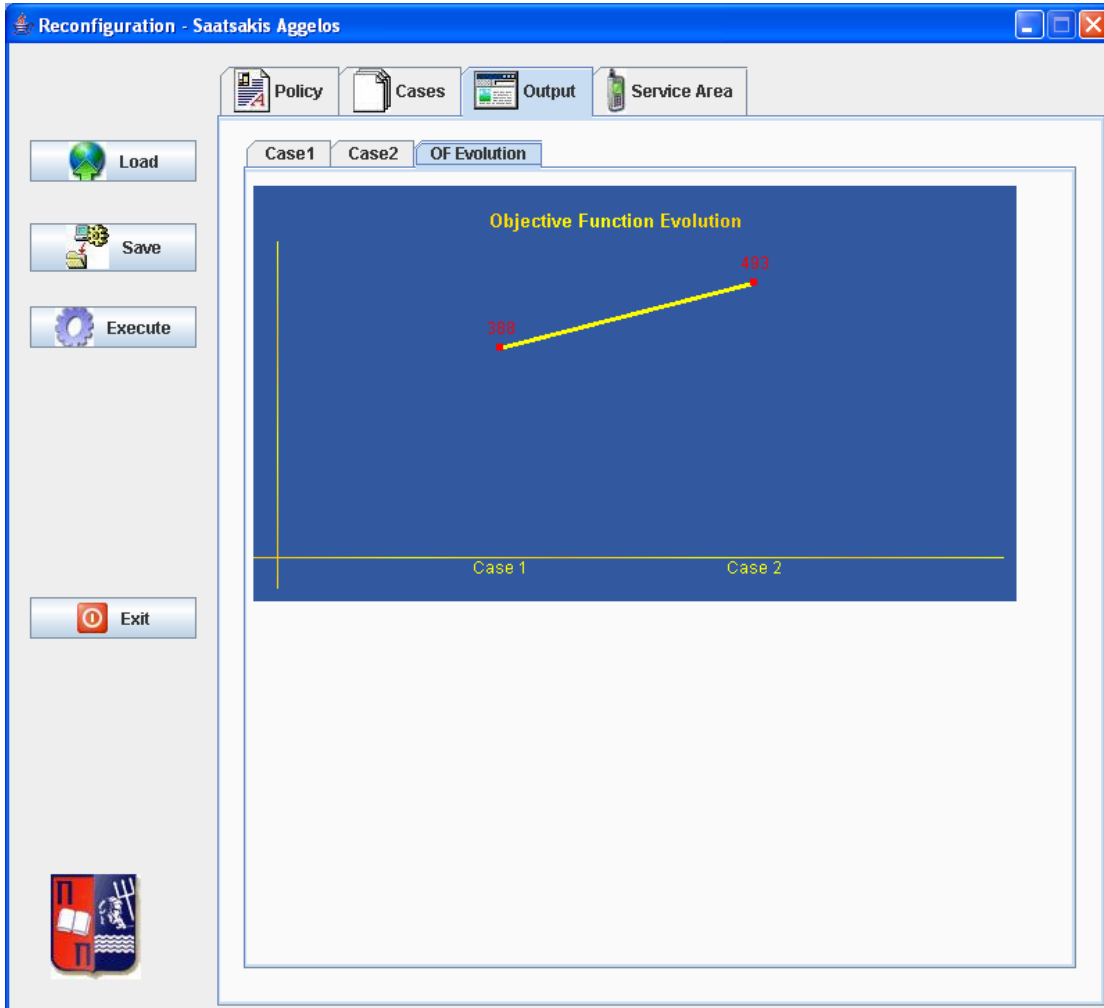
μεταξύ των UMTS transceivers πλέον θα είναι στον αριθμό των χρηστών που θα εξυπηρετούν καθώς και στα QoS που θα παρέχουν. Όπως μπορεί να φανταστεί κανείς, εφόσον οι χρήστες του Hot Spot για τις υπηρεσίες δεδομένων δεν καλύπτονται πλέον από τους UMTS transceivers, κάθε ένας από αυτούς θα έχει περισσότερο capacity ελεύθερο και έτσι θα μπορεί να παρέχει υπηρεσίες δεδομένων σε χρήστες εκτός της εμβέλειας του WLAN, σε υψηλότερα επίπεδα ποιότητας σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση. Τα αποτελέσματα της δεύτερης περίπτωσης φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 32: Αποτελέσματα δεύτερης περίπτωσης Hot Spot

Τέλος, εφόσον τα επίπεδα ποιότητας βελτιώθηκαν τόσο στους χρήστες που εξυπηρετούνται από UMTS όσο και από WLAN, είναι αναμενόμενο η δεύτερη περίπτωση να έχει υψηλότερη τιμή για την Objective Function, που σημαίνει ότι οι χρήστες λαμβάνουν υψηλότερα QoS και έχουν υψηλό βαθμό ικανοποίησης για τις

υπηρεσίες που τους παρέχονται. Παρακάτω εμφανίζεται η γραφική παράσταση των τιμών της Objective Function για κάθε περίπτωση.



Εικόνα 33: Εξέλιξη των τιμών της Objective Function στις περιπτώσεις του Hot Spot

7. Συμπεράσματα

Η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη στα συστήματα ασύρματων επικοινωνιών και στα προσαρμοστικά δίκτυα, μας δίνει την δυνατότητα κατασκευής μιας ευέλικτης υποδομής η οποία θα μπορεί να αναπροσαρμόζεται στις ανάγκες και απαιτήσεις των χρηστών. Παράλληλα, η αποδοτική χρήση των πόρων εξασφαλίζει είτε χαμηλό κόστος προς τον πάροχο των υπηρεσιών και τον χρήστη, είτε υψηλά επίπεδα παροχής υπηρεσιών στους χρήστες.

Όπως παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα, ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης είναι ικανός να παρέχει λύσεις προς την κατεύθυνση των προσαρμοστικών δικτύων. Βασικό του πλεονέκτημα είναι η ανεξαρτησία που παρέχει στις υποστηριζόμενες τεχνολογίες και υπηρεσίες. Έτσι ο αλγόριθμος δεν περιορίζεται σε συγκεκριμένα συστήματα ή περιπτώσεις δικτύων, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και για ετερογενή συστήματα με σκοπό την ενοποίησή τους.

Ωστόσο, υπάρχουν ακόμα πολλοί περιορισμοί από την πλευρά του hardware και του software που θα υποστηρίξει τις λειτουργίες των προσαρμοστικών δικτύων. Επίσης, υπάρχουν ανοικτά αρκετά ερευνητικά ζητήματα ζωτικής σημασίας σχετικά με τα προσαρμοστικά δίκτυα, τα οποία δεν έχουν ακόμα ξεκαθαριστεί και αποτελούν εμπόδιο στην περαιτέρω έρευνα. Μερικά από τα σημαντικότερα ζητήματα παρουσιάζονται στην παρακάτω ενότητα.

8. Ερευνητικά Ζητήματα

Τα ερευνητικά ζητήματα που προέκυψαν κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ήταν πολλά και όχι μόνο από τον τομέα διαχείρισης δικτύων ασύρματων επικοινωνιών στον οποίο ανήκει ο αλγόριθμος που παρουσιάστηκε. Τα ζητήματα που καταγράφηκαν μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Μελλοντικές επεκτάσεις συστημάτων
- Περιορισμοί υλικού
- Εκτίμηση κόστους αναδιάρθρωσης
- Marketing - Στατιστική έρευνα

8.1. Μελλοντικές επεκτάσεις συστημάτων

Ο αριθμός των επεκτάσεων που μπορεί να γίνουν στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης είναι αρκετά μεγάλος. Πολλές από αυτές προέκυψαν κατά την φάση σχεδίασης του, ενώ άλλοι κατά την φάση ανάπτυξης. Οι σημαντικότερες επεκτάσεις περιγράφονται παρακάτω.

Η υλοποίηση του αλγόριθμου από το λογισμικό που αναπτύχθηκε έγινε μόνο για δυο συγκεκριμένες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης, WLAN και UMTS. Όπως περιγράφηκε όμως, κυρίως από την μαθηματική περιγραφή του αλγόριθμου, ο αριθμός των τεχνολογιών μπορεί να είναι αρκετά μεγαλύτερος. Στην περίπτωση αυτή ο αλγόριθμος θα εξετάζει παράλληλα και τους συνδυασμούς που προκύπτουν από τις άλλες τεχνολογίες αναζητώντας την καλύτερη διάρθρωση που θα έχει την μέγιστη τιμή της Objective Function. Η αναζήτηση των κατάλληλων τεχνολογιών και η υλοποίησή τους αποτελεί ερευνητικό έργο, το οποίο αναμένεται να έχει ακόμα καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με αυτό που περιγράφηκε. Ο λόγος για αυτό είναι ότι νέες τεχνολογίες αναδύονται με καλύτερα χαρακτηριστικά όπως είναι το Worldwide Interoperability of Microwave Access (WiMax) [26] και το High-Speed Downlink Packet

access (HSDPA) [27] τα οποία υπόσχονται υψηλούς ρυθμούς δεδομένων τόσο για υπηρεσίες φωνής όσο και για υπηρεσίες δεδομένων.

Ένα άλλο σημείο με πολύ μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον, είναι η ενοποίηση του αλγόριθμου με τα συστήματα τηλεπικοινωνιών και δικτύων. Το σχήμα της εικόνας 5 στην ενότητα 3.1. που απεικονίζει την αρχιτεκτονική της υποδομής, είναι ενδεικτικό και θα πρέπει να αποσαφηνιστεί τόσο η αρχιτεκτονική όσο και ο τρόπος επικοινωνίας του αλγόριθμου με τα υπόλοιπα στοιχεία δικτύου. Ο απώτερος σκοπός του αλγόριθμου, δίνοντας τις καλύτερες δυνατές αναδιαρθρώσεις, είναι να δώσει στο δίκτυο την ικανότητα προσαρμογής στα προβλήματα και στις καταστάσεις που δημιουργούνται στην περιοχή κάλυψης για την καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση των χρηστών. Ωστόσο, η ικανότητα αυτή του δικτύου δεν εξαρτάται μόνο από τον τρόπο που θα βρεθεί η καλύτερη διάρθρωση αλλά εξαρτάται και από παράγοντες όπως ο χρόνος προσαρμογής, διαθέσιμοι πόροι, κατάλληλη επιλογή περιοχής για εξέταση (από το συνολικό δίκτυο) κλπ. Επομένως το ερώτημα που προκύπτει και αποτελεί σημαντικό ερευνητικό ζήτημα είναι σχετικό με το είδος της αρχιτεκτονικής, αν θα πρέπει να είναι κεντρικοποιημένη ή κατακεντρωμένη ή κάποια υβριδική μορφή. Κάθε είδος έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τα οποία θα πρέπει να μελετηθούν εκτενώς προκειμένου η τελική αρχιτεκτονική να βοηθάει στην επίτευξη της προσαρμοστικότητας του δικτύου.

Μια άλλη πολύ σημαντική επέκταση είναι η δυναμική λήψη πόρων δικτύου. Πολλές φορές, λόγω σφαλμάτων στο δίκτυο (βλάβη σε κεραιές) είτε λόγω καταστάσεων έκτακτης ανάγκης το δίκτυο δεν μπορεί να αντεπεξέλθει στις απαιτήσεις των χρηστών. Σε αυτές τις περιπτώσεις θα ήταν ιδανικό, προκειμένου οι χρήστες να μην αποκοπούν, να μπορούσε ο πάροχος του δικτύου να “δανειστεί” πόρους από κάποιον άλλον πάροχο που έχει διαθέσιμους πόρους στην περιοχή που εμφανίζεται το πρόβλημα. Με τον τρόπο αυτό ο αλγόριθμος θα λάμβανε υπόψη τους νέους πόρους και θα τους χρησιμοποιούσε για την κάλυψη των χρηστών. Μερικά από τα ερευνητικά ζητήματα που προκύπτουν σε αυτή την περίπτωση είναι α) επικοινωνία μεταξύ των συστημάτων κάθε πάροχου, β) προσαρμογή των νέων πόρων στον αλγόριθμο και γ) μετάβαση του ενεργού φορτίου και κίνησης από τους πόρους του ενός παρόχου στους πόρους του άλλου διαφανή τρόπο.

Η σχεδίαση και ανάπτυξη ενός συστήματος διαχείρισης του προφίλ του χρήστη (user profile) αποτελεί ερευνητικό αντικείμενο από την εποχή που πρωτοεμφανίστηκαν οι ψηφιακές επικοινωνίες. Ο λόγος για αυτό είναι ότι με τα προηγούμενα αναλογικά συστήματα ήταν αρκετά δύσκολος ο έλεγχος πρόσβασης και χρέωσης των χρηστών. Στα πλαίσια του αλγόριθμου βελτιστοποίησης, το προφίλ του χρήστη μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την αποδοτική χρήση των πόρων του δικτύου. Το προφίλ του χρήστη σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με το marketing και την πολιτική που εφαρμόζει κάθε πάροχος. Ο πάροχος μπορεί να δίνει κίνητρα και προσφορές στους χρήστες με σκοπό το προφίλ τους να συμβάλει στην αποδοτικότερη λειτουργία του δικτύου. Για παράδειγμα, ένας χρήστης ανάλογα με το προφίλ που έχει επιλέξει, θα χρεώνεται για συγκεκριμένα επίπεδα ποιότητας χωρίς να απαιτεί το μέγιστο δυνατό που μπορεί να του δώσει το δίκτυο. Οι χρήστες που ανήκουν στο συγκεκριμένο προφίλ, θα τους παρέχονται υπηρεσίες στο μέγιστο επίπεδο που έχουν εκείνοι επιλέξει να χρεώνονται (ανάλογα το προφίλ τους) και όχι στο μέγιστο που μπορεί να δώσει το δίκτυο. Με τον τρόπο αυτό, οι πόροι του δικτύου που εξοικονομούνται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή υπηρεσιών σε χρήστες των οποίων το προφίλ απαιτεί το μέγιστο δυνατό επίπεδο ποιότητας. Συνεπώς, η διαδικασία των φάσεων του αλγόριθμου που περιγράφηκαν στην μαθηματική και διαγραμματική περιγραφή, πρέπει να αλλάξουν λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα ελάχιστα όσο και τα μέγιστα επίπεδα ποιότητας που καθορίζονται από τα προφίλ που έχουν επιλέξει οι χρήστες.

8.2. Περιορισμοί υλικού

Η ταχύτητα προσαρμογής του δικτύου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο διαχείρισής του (αρχιτεκτονική, κατανομή στοιχείων δικτύων κλπ) αλλά και από το υλικό (hardware) που. Δυστυχώς μέχρι σήμερα, δεν έχει υλοποιηθεί πλήρως η έννοια των multimode τερματικών συσκευών οι οποίες να μπορούν να λειτουργήσουν σε πολλαπλές τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης. Το ζήτημα αυτό έχει αρκετά μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον καθώς απαιτείται έρευνα τόσο στο hardware όσο και στο software. Τα στοιχεία της κεραίας και ο τρόπος λειτουργίας τους προκειμένου να υποστηρίξουν πολλαπλές τεχνολογίες δεν έχουν ακόμα αποσαφηνιστεί καθώς υπάρχουν προβλήματα

απόδοσης και διαχείρισης. Το πρόβλημα όμως που συναντάμε στους σταθμούς βάσης προέρχονται και ζητήματα λογισμικού. Πιο συγκεκριμένα, όταν ο αλγόριθμος αποφασίζει την αλλαγή της RAT κάπου transceiver, πρέπει να υλοποιηθεί η διαδικασία μεταφοράς του φορτίου ανάμεσα στις RATs. Ακόμα πιο δύσκολη είναι η περίπτωση που ένα μέρος του φορτίου κάποιου transceiver πρέπει να μεταφερθεί σε RAT άλλου transceiver. Ο στόχος των παραπάνω διαδικασιών είναι να μεταφερθεί το φορτίο, όπως καθορίζεται από την έξοδο του αλγόριθμου, αλλά να γίνει και με τέτοιο τρόπο που οι χρήστες δεν θα αντιληφθούν την αλλαγή. Η έρευνα για τα δύο αυτά ζητήματα δεν έχει ολοκληρωθεί, ωστόσο κρίνεται απαραίτητη για την αποδοτική λειτουργία του δικτύου.

8.3. Εκτίμηση κόστους αναδιάρθρωσης

Στο τέλος της ενότητας 4.1. περιγράψαμε το κόστος αναδιάρθρωσης του δικτύου το οποίο περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$C_{total} = w_1 \cdot c_T + w_2 \cdot c_R + w_3 \cdot c_Q$$

όπου c_T ο αριθμός των transceivers που πρέπει να αλλάξουν την RAT τους, c_R ο αριθμός των τερματικών που θα πρέπει να αλλάξουν RAT και c_Q ο αριθμός των επιπέδων ποιότητας για τα οποία απαιτείται μετάβαση συνολικά. Οι συντελεστές w_1 , w_2 και w_3 για κάθε κόστος αποτελεί αντικείμενο έρευνας καθώς από αυτούς θα καθοριστεί το τελικό κόστος αναδιάρθρωσης. Οι συντελεστές αυτοί δεν είναι εύκολο να υπολογιστούν καθώς η γενικότερη ιδέα της αναδιάρθρωσης στοιχείων όπως είναι οι κεραιές και τα τερματικά είναι καινούρια. Συνεπώς, η εκτίμηση του κόστους για την αναδιάρθρωση των στοιχείων αυτών είναι πρωτόγνωρη και θα πρέπει μέσα από ερευνητικές διαδικασίες να εντοπιστούν οι δείκτες που θα βοηθήσουν στην εκτίμησή τους.

8.4. Marketing – Στατιστική έρευνα

Πέρα από τα αμιγώς τεχνολογικά ζητήματα, υπάρχουν και άλλα τα οποία ανήκουν κυρίως στον τομέα του marketing. Η μεθοδολογία έρευνας που χρησιμοποιείται κατά κόρον στον τομέα αυτό είναι η στατιστική ανάλυση δεδομένων. Στόχος του marketing στον τομέα των επικοινωνιών είναι η προώθηση των υπηρεσιών ενώ παράλληλα γίνεται

αποδοτική χρήση των πόρων του δικτύου. Τα σημαντικότερα στοιχεία που μπορούν να καθοριστούν από την στρατηγική του marketing είναι τα επίπεδα ποιότητας για κάθε υπηρεσία καθώς και η χρέωση για καθένα από αυτά. Ο πάροχος του δικτύου πρέπει να καθορίσει α) τον αριθμό και τα χαρακτηριστικά των επιπέδων ποιότητας για κάθε υπηρεσία, ανάλογα την RAT από την οποία παρέχεται και β) την αντίστοιχη κοστολόγηση των επιπέδων ποιότητας αυτών. Η στατιστική έρευνα που απαιτείται για τον καθορισμό των παραπάνω στοιχείων, δεν είναι και τόσο προφανής καθώς δεν υπάρχουν παλαιότερα στοιχεία από ενοποιημένα δίκτυα και υπηρεσίες. Η λήψη στοιχείων και συμπερασμάτων για κάθε τεχνολογία ξεχωριστά δεν μπορεί να βοηθήσει, τουλάχιστον όχι στον βαθμό που θα θέλαμε, καθώς ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της νέας πλατφόρμας που θα προκύψει είναι ότι σε περιπτώσεις που δεν επαρκεί μια τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια άλλη συμπληρωματικά, με στόχο την παροχή υπηρεσιών σε υψηλό επίπεδο ποιότητας. Επομένως τα στατιστικά στοιχεία που ενδεχομένως φανερώνουν αδυναμίες κάποιας τεχνολογίας δεν μπορούν να επαληθευτούν. Η έρευνα και ανάλυση που απαιτείται θα πρέπει να είναι ένας συνδυασμός των στοιχείων που υπάρχουν ήδη, αναφορικά με κάθε τεχνολογία, και των στοιχείων που θα προκύψουν από την σταδιακή ανάπτυξη και χρήση της υποδομής.

Βιβλιογραφία

- [1] A. Jamalipour, T. Wada, T. Yamazato “A tutorial on multiple access technologies for beyond 3G mobile networks”, IEEE Commun. Mag., vol. 43, no 2, Feb. 2005, pp. 110-117.
- [2] I. F. Akyildiz, S. Mohanty, J. Xie, “A ubiquitous communication architecture for next-generation heterogeneous wireless systems”, IEEE Commun. Mag., Vol. 43, No. 6, June 2005, pp. s29-s36.
- [3] P. Demestichas, G. Vivier, K. El-Khazen, M. Theologou, “Evolution in wireless systems management concepts: from composite radio to reconfigurability”, IEEE Commun. Mag., Vol. 42, No. 5, May 2004, pp. 90-98.
- [4] Wireless Networks Evolution. Available at:
http://www.torwug.org/local/PDF/May19_2005/Bell.pdf
- [5] UMTS/IMT-2000 vs. WLAN. Competitive or complementary? Available at:
http://www.itu.int/ITU-D/imt-2000/documents/Slovenia/Presentations/Day%201/1.5.1_Bienaim.pdf
- [6] Universal Mobile Telecommunication System - UMTS. Available at:
http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Mobile_Telecommunications_System
- [7] Universal Mobile Telecommunication System Forum. Available at:
<http://www.umts-forum.org>
- [8] Dirk Weiler, Jorg Sokat, “Evolution of Wireless Access Technologies”, Presented at: WWI Symposium, Brussels, 9th September 2004.
- [9] Wireless LAN – WLAN. Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN
- [10] Sampalli, Srinivas, "Module 4: Wireless LANs", page 8, October 25, 2005
- [11] K. Ahmavaara, H. Haverinen, R. Pichna, “Interworking architecture between 3GPP and WLAN systems”, IEEE Commun. Mag., Vol. 41, No. 11, Nov. 2003, pp.74-81.
- [12] Reconfigurable RF Transceivers for Multi-Standard Terminals – An E2R View. Thomas Dellsperger, Thomas Burger, Linus Maurer, Thomas Christen
- [13] Philip Joung, “General Network Performance”. Available at:
<http://www.spirentcom.com/documents/1065.pdf>

- [14] Jon Inouye, Jim Binkley, Jonathan Walpole, “Dynamic Network Reconfiguration Support for Mobile Computers”, International Conference on Mobile Computing and Networking, Budapest, Hungary, Pages: 13-22, Year: 1997, ISBN:0-89791-988-2, ACM Press. Available at: <http://web.cecs.pdx.edu/~walpole/papers/mobicom1997.pdf>
- [15] Mark Leese, Rik Tyer, Robin Tasker, “Network Performance Monitoring for the Grid”, UK e-Science, 2005, All in hands Meeting. Available at: http://www.gridpp.ac.uk/papers/ah05_networking.pdf
- [16] Lee Breslau, Deborah Estrin, Kevin Fall, Sally Floyd, John Heidemann, Ahmed Helmy, Polly Huang, Steven McCanne, Kannan Varadhan, Ya Xu, and Haobo Yu. Advances in Network Simulation. IEEE Computer, 33 (5), pp. 59-67, May, 2000.
- [17] Global System for Mobile Communications - GSM. Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications
- [18] General Packet Radio Service - GPRS. Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/General_Packet_Radio_Service
- [19] M. Jaseemuddin, An Architecture for Integrating UMTS and 802.11 WLAN Networks , Proceedings of IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2003), Antalya, Turkey, pp. 716-723, 2003.
- [20] N. Alonistioti, C. Anagnostopoulos, T. Tsounis, A. Kaloxylos, K. El-Khazen, G. Vivier, D. Nussbaum, M. Wetterwald, A. Gozes, A. Delautre, J.E. Goubard, "Evolution of E2R Prototyping Environment", IST Mobile and Wireless Summit 2004, France, June 2004. Available at: https://e2r.motlabs.com/dissemination/conferences/E2R_ISTSummit04_ProtoEnv.pdf
- [21] Smart Antennas - State of the Art, Editors: Jorgen Bach Andersen, Holger Boche, Andre Bourdoux, Javier Fonollosa, Thomas Kaiser, Wolfgang Utschick, Publisher: Hindawi, EURASIP Book Series. Available at: <http://www.hindawi.com/books/spc/volume-3/excerpt.pdf>
- [22] Gunnar Karlsson, “Complexity in Network Architecture”, Swedish National Computer Networking Workshop 2003. Available at: <http://www.ftw.at/ftw/events/telekommunikationsforum/SS2004/SS04docs/040326.pdf>

- [23] IBM Network Management. Available at:
http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/ibm_nman.pdf
- [24] Jurgen Wolf, "Network Resource Management for Real-Time Streams within a Multimedia Document Server Architecture", In Proc. of 49. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium (IWK), Illmenau, 2004. Available at:
<http://www.informatik.uni-hamburg.de/TKRN/world/staff/jw/Wol04.pdf>
- [25] A.Mas-Colell, "Microeconomics", Oxford University Press, 1995
- [26] WiMAX forum website, October 2005, <http://www.wimaxforum.org>
- [27] 3GPP TR 25.858 V1.0.4, January 2002.
- [28] I. F. Akyildiz, S. Mohanty, J. Xie, "A ubiquitous communication architecture for next-generation heterogeneous wireless systems", *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 43, No. 6, June 2005, pp. s29-s36.
- [29] L. Bos and S. Leroy, "Toward an all-IP UMTS System Architecture," *IEEE Network*, vol. 15, no. 1, 2001, pp. 36–45.
- [30] C. Kloeck, et. al. "Functional Architecture of Reconfigurable Systems", 14th Wireless World Research Forum Meeting, San Diego, CA/USA, 7-8. July 2005.
- [31] P. Demestichas, N. Koutsouris, G. Koundourakis, K. Tsagkaris, A. Oikonomou, V. Stavroulaki, L. Papadopoulou, M. Theologou, G. Vivier, K. El-Khazen, "Management of networks and services in a composite radio context", *IEEE Wireless Communications Magazine*, August 2003
- [32] S. Sharma, A. G. Spilling, and A. R. Nix, "Adaptive coverage for UMTS macrocells based on situation awareness," presented at IEEE VTS 53rd Vehicular Technology Conference (VTS SPRING 2001), May 6-9 2001, Rhodes, 2001.

Ακρωνύμια

3G	3rd Generation
3GPP	3rd Generation Partnership Project
B3G	Beyond 3G
BS	Base Station
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HSDPA	High-Speed Downlink Packet access
Kbps	Kilobit per second
Mbps	Megabit per second
OF	Objective Function
QoS	Quality of Service
RAT	Radio Access Technology
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WiMax	Worldwide Interoperability of Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network