



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

**Μελέτη ενός μηχανισμού διασφάλισης της ποιότητας των υπηρεσιών σε δίκτυα
πέραν της τρίτης γενιάς και προσομοίωση του αλγόριθμου διαχείρισης των
δικτυακών τους πόρων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σπυρίδων Κ. Κουφός

Επιβλέπων : Ευστάθιος Συκάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2010



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

**Μελέτη ενός μηχανισμού διασφάλισης της ποιότητας των υπηρεσιών σε δίκτυα
πέραν της τρίτης γενιάς και προσομοίωση του αλγόριθμου διαχείρισης των
δικτυακών τους πόρων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σπυρίδων Κ. Κουφός

Επιβλέπων : Ευστάθιος Συκάς
Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τη 17^η Μαΐου 2010.

.....
Ευστάθιος Δ. Συκάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

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

.....
Μιλτιάδης Αναγνώστου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2010

.....
Σπυρίδων Κ. Κουφός

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Σπυρίδων Κ. Κουφός, 2010.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε ένα μηχανισμός διασφάλισης της ποιότητας των δικτύων πέραν της τρίτης γενιάς. Ειδικότερα μελετήθηκαν δύο εκδοχές ενός αλγορίθμου υπεύθυνου για την διαχείριση των πόρων του συστήματος όταν υπάρχει συμφόρηση σε κάποιο σημείο του δικτύου. Η διαφορά τους ήταν ότι ο δεύτερος είχε επιπλέον τη δυνατότητα να αναγνωρίζει καταστάσεις συμφόρησης, να τις συγκρίνει με παλιότερες περιπτώσεις και ανάλογα είτε να εφαρμόζει την αποθηκευμένη λύση είτε να προχωρά στον υπολογισμό μιας νέας.

Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν τη σχετική διαφορά στο χρόνο απόκρισης μεταξύ των δυο αλγορίθμων καθώς και την επίδραση στην αποτελεσματικότητα τους διαφόρων παραμετροποιήσεων. Για την μελέτη αναπτύχθηκε επιπλέον λογισμικό για την προσομοίωση του αλγορίθμου, τη δημιουργία διαφόρων σεναρίων και την καταγραφή των αποτελεσμάτων.

Λέξεις κλειδιά

Διαχείριση πόρων, IEEE 802.21, Δίκτυα πέραν της τρίτης γενιάς, Κινητές επικοινωνίες, Προσομοίωση, Άπληστοι αλγόριθμοι, Cognitive αλγόριθμοι

Abstract

The scope of this Thesis is the study of a quality assurance mechanism of the beyond 3G networks. Especially, two different implementations of an algorithm responsible for the network resource management during congestion were studied. Their difference is that the second one can identify the pattern of a current situation, compare it with previous cases and depending on their similarity either apply a former solution to the new case or calculate a new solution from the beginning.

The results are the relative difference of the response time between the two algorithms and also the variations of the algorithm's output while different parameter values were used. For the purpose of this document an application was developed for the simulation of the algorithm and the creation of the test cases for various scenarios.

Keywords

Resource management, IEEE 802.11, Beyond 3G networks, Mobile telecommunications, Simulation, Greedy algorithms, Cognitive algorithms

Πίνακας περιεχομένων.

Πίνακας περιεχομένων.....	5
Πίνακας Εικόνων.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 2 ^{ης} ΚΑΙ 3 ^{ης} ΓΕΝΙΑΣ.....	13
1.1 Εισαγωγή.....	13
1.2 GSM – Global System for Mobile communications.....	17
1.2.1 Εισαγωγή.....	17
1.2.2 Περιγραφή του συστήματος GSM.....	18
1.2.3 Προσφερόμενες υπηρεσίες.....	19
1.2.4 Βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος GSM.....	22
1.3 GPRS - General Packet Radio Service.....	23
1.3.1 Εισαγωγή.....	23
1.3.2 Χαρακτηριστικά του συστήματος GPRS.....	24
1.3.3 Υπηρεσίες και διάφορα παραδείγματα εφαρμογών του GPRS.....	25
1.3.4 Πρόσβαση στην υπηρεσία.....	26
1.3.5 Τύποι τάξεων GPRS.....	26
1.3.6 Περιορισμοί.....	27
1.3.7 Καλύτερος κομιστής ανά υπηρεσία.....	28
1.4 EDGE – Enhanced Data rates for GSM Evolution.....	28
1.4.1 Περιγραφή του συστήματος EDGE.....	28
1.5 UMTS – Universal Mobile Telecommunications System.....	29
1.5.1 Εισαγωγή.....	29
1.5.2 Χαρακτηριστικά UMTS.....	30
1.5.3 Χρησιμοποιούμενο Φάσμα.....	31
1.5.4 Εφαρμογές του UMTS.....	33
1.6 WLAN – Wireless Local Area Network.....	34
1.6.1 Εισαγωγή.....	34
1.6.2 Πρότυπα Ασύρματων Τοπικών Δικτύων.....	35
1.7 DVB-T - Digital Video Broadcasting – Terrestrial.....	36
1.7.1 Βασικά Χαρακτηριστικά του DVB-T.....	36
1.7.2 Βασικοί Λόγοι για την Ανάπτυξη του DVB-T.....	37
1.7.3 Προσφερόμενες Υπηρεσίες.....	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	Δίκτυα πέραν της τρίτης γενιάς (Beyond 3G Networks)	39
2.1	Εισαγωγή	39
2.2	Χαρακτηριστικά των δικτύων πέραν της τρίτης γενιάς	39
2.3	Τα δίκτυα LTE (Long Term Evolution)	41
	Εισαγωγή	41
	Τεχνολογίες OFDM και MIMO	41
2.4	Διαπομπές	42
2.4.1	Γενικά	42
2.4.2	Είδη διαπομπών	43
2.5	Χρήσεις των δικτύων πέραν της τρίτης γενιάς	45
2.6	Συμπέρασμα	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	IEEE 802.21	47
3.1	Εισαγωγή	47
3.2	Πεδίο εφαρμογής	47
3.3	Σκοπός	47
3.4	Δομές του προτύπου	49
3.5	Συμπεράσματα	51
3.6	Σημεία πρόσβασης εξαρτώμενα από το μέσο	52
3.7	Εισαγωγή στην αρχιτεκτονική του προτύπου	52
3.7.1	Αδιάκοπη παροχή υπηρεσιών	52
3.7.2	Ανοχές των εφαρμογών στις διαπομπές	53
3.7.3	Ποιότητα υπηρεσιών (QoS)	53
3.7.4	Εύρεση δικτύου	53
3.7.5	Επιλογή δικτύου	54
3.7.6	Ασφάλεια	54
3.7.7	Διαχείριση ενέργειας	55
3.7.8	Διαπομπές εξαιτίας της κίνησης των κινητών τερματικών	55
3.7.9	Πολιτική διαπομπών	55
3.7.10	Διαπομπή από δίκτυο 802.11 σε 3GPP2	56
3.8	Στοιχειώδη μηνύματα διαδικασίες και event του προτύπου IEEE 802.21	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	Το πρόγραμμα D.A.I.D.A.L.O.S.	61
4.1	Εισαγωγή	61
4.2	Σκοπός του D.A.I.D.A.L.O.S.	61
4.3	Αρχές του προγράμματος D.A.I.D.A.L.O.S.	62

4.4 Τα δύο σενάρια του προγράμματος D.A.I.D.A.L.O.S.....	62
4.5 Απρόσκοπτη πρόσβαση σε ετερογενή δίκτυα	63
4.6 Εκτέλεση διαπομπών	64
4.6.1 Mobile Initiated Handover (MIHO)	65
4.6.2 Network Initiated Handover (NIHO).....	66
4.6.3 Network Assisted Mobile Initiated Handover (NAMIHO)	67
4.7 Διαχείριση πόρων δικτύου σε τρέχουσες συνεδρίες κατά τις διαπομπές	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Αλγόριθμοι διαχείρισης πόρων	73
5.1 Εισαγωγή.....	73
5.2 Η θέση του αλγόριθμου στο δίκτυο.....	73
5.3 Είσοδος του αλγόριθμου.	74
5.4 Αλγόριθμός χωρίς μνήμη	76
5.5 Αλγόριθμος με ικανότητα μάθησης – Cognitive algorithm	78
5.6 Παράμετροι που επηρεάζουν την απόδοση του αλγορίθμου.....	80
5.7 Σημεία βελτίωσης.....	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.	85
6.1 Γενικά	85
6.2 Εφαρμογή προσομοίωσης	85
6.3 Προσομοιώσεις σύγκρισης χρόνου εκτέλεσης,	86
6.3.1 Περίπτωση 1 ^η	87
6.3.2 Περίπτωση 2 ^η	88
6.3.3 Περίπτωση 3 ^η	89
6.3.4 Περίπτωση 4 ^η	91
6.3.5 Περίπτωση 5 ^η	92
6.3.6 Περίπτωση 6 ^η	94
6.3.7 Περίπτωση 7 ^η	95
6.3.8 Περίπτωση 8 ^η	97
6.3.9 Περίπτωση 9 ^η	99
6.3.10 Περίπτωση 10 ^η	101
6.3.11 Συμπεράσματα	103
6.4 Μελέτη τις παραμέτρου α	106
6.4.1 Περίπτωση 1.....	107
6.4.2 Περίπτωση 2.....	110
6.4.3 Περίπτωση 3.....	113

6.4.4 Περίπτωση 4	115
6.4.5 Περίπτωση 5	117
6.4.6 Περίπτωση 6	120
6.4.7 Περίπτωση 7	123
6.4.8 Περίπτωση 8	127
6.4.9 Περίπτωση 9	129
6.4.10 Περίπτωση 10	132
6.4.11 Συμπεράσματα.....	135
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Επίλογος.....	141
Βιβλιογραφία	142

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Η παγκόσμια κάλυψη και η κυψελωτή δομή του UMTS	31
Εικόνα 2: Το φάσμα συχνοτήτων κατά την IMT-2000	32
Εικόνα 3: Θέση των MIHF και βασικές συναρτήσεις λειτουργίας	50
Εικόνα 4: Διαπομπή από δίκτυο 802.11 σε 3GPP2	57
Εικόνα 5: Mobile Initiated Handover	66
Εικόνα 6: Network Initiated Handover	67
Εικόνα 7: Διαδικασία διαπραγμάτευσης διαπομπής	68
Εικόνα 8: Παραδείγματα αντιστοιχιών ροών	69
Εικόνα 9: Ρύθμιση του QoS σε μια διαπομπή	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 2^{ΗΣ} ΚΑΙ 3^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν τα ασύρματα συστήματα 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς. Η πορεία από την εμφάνιση του πρώτου κυψελωτού δικτύου, μέχρι και την αναμονή της εισαγωγής των δικτύων 4^{ης} γενιάς στην αγορά θα μας απασχολήσουν στην αρχή της ιστορικής αναδρομής. Ακολουθώντας, καθένα από τα σημαντικότερα συστήματα θα αναλυθούν ως προς τα βασικά τους χαρακτηριστικά και τις προσφερόμενες από αυτά υπηρεσίες. Τα δίκτυα στα οποία γίνεται αναφορά είναι: GSM, GPRS, EDGE και UMTS. Επιπλέον λόγος γίνεται και για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και το πρότυπο ψηφιακής μετάδοσης video και δεδομένων, DVB-T.

1.1 Εισαγωγή

Η πρώτη εμφάνιση των ασύρματων συστημάτων επικοινωνίας καταγράφεται το έτος 1979, οπότε και λειτούργησε το πρώτο παγκοσμίως κυψελωτό σύστημα στην Ιαπωνία. Από τότε και μέχρι σήμερα η ανάπτυξή τους υπήρξε ραγδαία καθώς αναπτύσσονται πολλά συστήματα που σκοπό έχουν να αντικαταστήσουν ή να συμπληρώσουν την λειτουργία των παλαιότερων δικτύων προσφέροντας τη δυνατότητα ανάπτυξης σημαντικών εφαρμογών. Τα συστήματα επικοινωνίας ανήκουν και σε διάφορες τεχνολογικές γενιές. Η κάθε τεχνολογική γενιά διακρίνεται από κάποια βασικά χαρακτηριστικά.

Τα πρώτα αναλογικά κυψελωτά συστήματα είναι τα δίκτυα της πρώτης γενιάς (1G) τα οποία εμφανίζονται στις αρχές της δεκαετίας του '80 με βασικά τους χαρακτηριστικά την αναλογική διαμόρφωση FM και την τεχνική FDD (Frequency Division Duplexing – Αμφιδρόμηση Διαίρεσης Συχνότητας). Τέτοια δίκτυα είναι τα ακόλουθα: 1.το AMPS (Advanced Mobile Phone System), το οποίο αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 στις Ηνωμένες Πολιτείες, 2.το NMT (Nordic Mobile Telephone) το οποίο τέθηκε σε λειτουργία την ίδια περίοδο στις Σκανδιναβικές χώρες και στη συνέχεια επεκτάθηκε σε Ανατολική Ευρώπη και Ρωσία και 3.το και το TACS (Total Access Communication System), με έδρα λειτουργίας τη Μεγάλη Βρετανία. Η εισαγωγή των ψηφιακών τεχνικών σημάδεψε την μετάβαση από τα δίκτυα της 1^{ης} σε εκείνα της 2^{ης} γενιάς.

Δέκα χρόνια αργότερα, στις αρχές της δεκαετίας του '90, εμφανίζονται και τα 2^{ης} γενιάς δίκτυα (2G). Τα συστήματα αυτά στηρίχτηκαν στη χρήση ψηφιακών επεξεργαστών σημάτων, καθώς και σε μια σειρά από επεκτάσεις των αλγόριθμων συμπίεσης με αποτέλεσμα τη βελτίωση της ποιότητας μετάδοσης και την αύξηση της χωρητικότητας συστήματος και της περιοχής κάλυψης. Η 2^η γενιά δικτύων συνέβαλε ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα της φωνής και αυτό γιατί η ψηφιακά κωδικοποιημένη πληροφορία υπόκειται σε ασθενέστερη παραμόρφωση σε σχέση με την αναλογική πληροφορία. Επιπλέον, γίνεται δυνατή με αποτελεσματικότερο τρόπο η χρήση πολυπλεξίας που συνεπάγεται αύξηση της χωρητικότητας. Στους χρήστες τα δίκτυα αυτά δίνουν την δυνατότητα της περιαγωγής και ανεξάρτητα από την τοποθεσία στην οποία βρίσκονται τους παρέχουν επικοινωνία χωρίς ασυνέχειες. Η δυνατότητα περιαγωγής έγινε ο πρόδρομος για την ανάπτυξη πολλών εφαρμογών και έφερε την κινητικότητα στη ζωή μας. Η κινητικότητα θεωρείται ως η θεμελιώδης πλευρά κάθε εφαρμογής. Το αρνητικό των δικτύων της 2^{ης} γενιάς συνίσταται στο γεγονός ότι η δυνατότητα υποστήριξης υπηρεσιών δεδομένων είναι περιορισμένη. Επομένως, η ανάγκη για υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων οδήγησε στην εισαγωγή συστημάτων GPRS και EDGE. Τα δύο αυτά συστήματα αυτά βρίσκονται στο μεταίχμιο από τα δίκτυα της 2^{ης} στα δίκτυα της επόμενης γενιάς.

Στη σχεδίαση των συστημάτων 3^{ης} γενιάς (3G) οδήγησε η ανάγκη για παροχή υπηρεσιών με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, ώστε να μεταδίδονται εικόνες υψηλής ποιότητας και video πραγματικού χρόνου ή να παρέχεται πρόσβαση στο Διαδίκτυο με υψηλές ταχύτητες. Τα δίκτυα αυτά δεν αντικαθιστούν τα προηγούμενα δίκτυα 2^{ης} γενιάς, άλλωστε τα δίκτυα 2^{ης} γενιάς συνεχίζουν να αναπτύσσονται και μετά την εμφάνιση των καινούριων δικτύων. Κύριο γνώρισμα των δικτύων της 3^{ης} γενιάς είναι η υποστήριξη εφαρμογών πολυμέσων και η δυνατότητα πρόσβασης σε πληροφορίες και υπηρεσίες με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που φτάνουν στα 384 Kbps (Release 99). Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται είναι το W-CDMA, στο οποίο στηρίζεται το πιο γνωστό δίκτυο 3^{ης} γενιάς, το UMTS. Το πρωτόκολλο W-CDMA δεν κατάφερε να προσδώσει την αληθινή εμπειρία τρίτης γενιάς με αποτέλεσμα η βιομηχανία να αναγκαστεί να αρχίσει νωρίτερα την υλοποίηση των HSDPA και HSUPA (3,5G). Τα καινούρια αυτά συστήματα προσφέρουν αληθινές 3G εφαρμογές. Το αρνητικό στην περίπτωση αυτή είναι πως οι υψηλής ταχύτητας υπηρεσίες είναι για περιορισμένο αριθμό πελατών και αυτό κατά συνέπεια οδήγησε στον κορεσμό

των HSDPA και HSUPA συστημάτων. Το Evolved UMTS προσφέρει ταχύτητες από 30Mbps έως και 100Mbps. Η εμφάνιση των Super 3G θα έχει ως συνέπεια να καθυστερήσει η εισαγωγή στη βιομηχανία των δικτύων 4^{ης} γενιάς.

Η επόμενη γενιά δικτύων, γνωστή ως 4G, θα δημιουργήσει ένα ετερογενές δίκτυο στο οποίο και θα συμπεριλάβει έναν αυξανόμενο αριθμό διαφορετικών δικτύων πρόσβασης και τερματικών και θα επιτρέψει την εισαγωγή και παροχή πρόσβασης σε πολυάριθμες και πλούσιες σε χαρακτηριστικά υπηρεσίες. Επιπλέον, στη γενιά των 4G θα ενσωματώνονται τα 2^{ης} και 3^{ης} γενιά δίκτυα, με βασικό χαρακτηριστικό την περιαγωγή από το ένα σύστημα στο άλλο ανάλογα με κάποια κριτήρια επιλογής. Από τη στιγμή που τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς θα μπουν σε εφαρμογή θα υπάρχει βέλτιστη πρόσβαση σε ψηφιακές υπηρεσίες οποτεδήποτε και οπουδήποτε, ανεξαρτήτως δικτύου ή τερματικού και ανάλογα με τις προτιμήσεις του κάθε χρήστη.

Η ανάλυση όσων συμβάλουν στην αλυσίδα αξίας της κινητής τηλεφωνίας (mobile value chain) είναι απαραίτητη πριν συνεχίσουμε την εξέταση και καταγραφή των βασικών χαρακτηριστικών των δικτύων δεύτερης και τρίτης γενιάς. Στην αλυσίδα της κινητής τηλεφωνίας υπάρχουν έξι κρίκοι (οντότητες) που ο κάθε ένας διαδραματίζει τον δικό του ρόλο μέσα σε αυτήν την αλυσίδα. Είναι προφανές πως ο κάθε κρίκος αλληλεπιδρά άμεσα ή έμμεσα με τους υπόλοιπους. Επομένως, έστω και ένας από αυτούς αν λείπει δεν υπάρχει ανάπτυξη της τεχνολογίας. Οι κρίκοι της αλυσίδας της κινητής τηλεφωνίας είναι οι εξής: οι πελάτες, οι πάροχοι δικτύου, οι πωλητές υποδομών και τερματικών, οι σχεδιαστές εφαρμογών και τα τέλος, τα κανάλια πληροφόρησης.

Ο πρώτος και πολύ σημαντικός κρίκος της αλυσίδας είναι οι πελάτες. Σε κάθε υπηρεσία αν δεν υπάρχουν καταναλωτές τότε αυτή είναι άχρηστη. Αν δεν υπάρχουν καταναλωτές κινητής τηλεφωνίας τότε δε θα υπάρχει και ζήτησή τους στην αγορά με αποτέλεσμα να μην συντρέχει κανένας λόγος να παρέχονται υπηρεσίες από τους πάροχους δικτύου, να κατασκευάζονται προϊόντα από τους πωλητές, να εγκαθίστανται κανάλια και να αναπτύσσονται τεχνολογίες από τους σχεδιαστές. Η ζήτηση του προϊόντος είναι ο μοχλός που δραστηριοποιεί και τους υπόλοιπους κρίκους της αλυσίδας. Οι πελάτες έρχονται σε επαφή με τους πάροχους δικτύου και, σε ορισμένες περιπτώσεις που θέλουν κάτι εξεζητημένο, με τους σχεδιαστές εφαρμογών.

Οι πωλητές είναι αυτοί που βοηθούν η υπηρεσία από την θεωρία να γίνει πράξη, αυτό γίνεται με την προμήθεια των πελατών με τον κατάλληλο εξοπλισμό και τεχνολογία. Είναι ένας σημαντικός κρίκος γιατί χωρίς την υποδομή δικτύου που θα κάνει την υπηρεσία οικονομική και επομένως ευρέως εφαρμόσιμη ή χωρίς διαθέσιμα τερματικά σε εμπορικές ποσότητες και λογικές τιμές η αγορά δεν μπορεί να αναπτυχθεί. Οι πωλητές με την σειρά τους έρχονται σε επαφή με τους πάροχους, στους οποίους πουλούν την υποδομή δικτύου και τα κανάλια στα οποία διανέμουν τα τερματικά τους.

Οι σχεδιαστές εφαρμογών αναπτύσσουν εφαρμογές τόσο για μαζικές πωλήσεις όσο και για ιδιώτες ανάλογα με τις απαιτήσεις τους. Οι υπηρεσίες που προσφέρουν οι σχεδιαστές είναι ένα μέσο για κάποιο σκοπό και όχι ο ίδιος ο σκοπός. Ο ρόλος, λοιπόν, των σχεδιαστών είναι να αναπτύσσουν εφαρμογές για την πραγματοποίηση σκοπών που θα γίνουν καθημερινή συνήθεια και μια χείρα βοήθειας για τους χρήστες. Έρχονται σε επαφή με όλους τους υπόλοιπους κρίκους της αλυσίδας.

Τα κανάλια πληροφόρησης είναι αυτά που αναλαμβάνουν να δίνουν στους πελάτες την δυνατότητα να μπορούν να μαθαίνουν και να γίνονται συνδρομητές υπηρεσιών με βολικό και εύκολο τρόπο. Διαφορετικές ομάδες πελατών προτιμούν να χρησιμοποιούν διαφορετικά κανάλια ανάλογα με τις απαιτήσεις τους, σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις, οι πελάτες απευθύνονται κατευθείαν στους πάροχους. Ένα κανάλι πληροφόρησης μπορεί να είναι ένα περιοδικό ή ένα κατάστημα λιανικής. Τα κανάλια συνδέονται με τους πελάτες που αγοράζουν από αυτά, τους πωλητές που τα προμηθεύουν και τους πάροχους που τα πλησιάζουν για να πουλάνε εξοπλισμό σύμφωνα με το δικό τους παρεχόμενο δίκτυο.

Οι δραστηριότητες που εκτελεί ένας πάροχος είναι σημαντικές για τον καθορισμό της επιτυχίας μιας υπηρεσίας. Οι πάροχοι είναι αυτοί που αποφασίζουν σε ποιες υποδομές δικτύου θα επενδύσουν χρήματα, ποιες υπηρεσίες θα υποστηρίξουν και πόσους πόρους θα αφιερώσουν για τη μόρφωση των πελατών γύρω από τη διαθεσιμότητα και τις χρήσεις της τεχνολογίας. Οι πάροχοι έρχονται σε επαφή με όλες τις οντότητες της αλυσίδας, γεγονός που τους προσδίδει έναν κεντρικό και μεγάλης σημασίας ρόλο.

1.2 GSM – Global System for Mobile communications

1.2.1 Εισαγωγή

Το GSM (παγκόσμιο σύστημα για την κινητή επικοινωνία) είναι ένα ψηφιακό σύστημα κινητών τηλεφώνων που γεννήθηκε μέσα από την ανάγκη για ένα πανευρωπαϊκό δημόσιο σύστημα κινητής επικοινωνίας. Σήμερα, χρησιμοποιείται ευρέως στην Ευρώπη και άλλα μέρη του κόσμου.

Μετά την εμφάνιση και την γρήγορα εξέλιξη των αναλογικών κυψελωτών τηλεφωνικών συστημάτων στην Ευρώπη στις αρχές της δεκαετίας του '80 συνοδεύτηκε και από την ανάπτυξη αυτόνομων συστημάτων από κάθε χώρα. Το σύστημα που χρησιμοποιούσε κάθε χώρα ήταν ασύμβατο με αυτό που χρησιμοποιούσαν οι υπόλοιπες ως προς τον εξοπλισμό και την λειτουργία. Το γεγονός αυτό δημιουργούσε μια κατάσταση ανεπιθύμητη αφού αφενός τα κινητά τερματικά ήταν περιορισμένα να λειτουργούν σε εθνικά πλαίσια, το οποίο σε μια ενωμένη Ευρώπη ήταν ιδιαίτερα σημαντικό μειονέκτημα, και αφετέρου υπήρχε μια πολύ περιορισμένη αγορά σε κάθε είδος κινητού εξοπλισμού, γεγονός που δεν επέτρεπε ικανοποιητικά κέρδη στις κατασκευάστριες εταιρίες.

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

- Καλή ποιότητα φωνής
- Χαμηλό κόστος σταθμών βάσης και τερματικών σταθμών
- Υποστήριξη διεθνούς περιαγωγής (το γνωστό σε όλους roaming)
- Ικανότητα να υποστηρίζει μικρού μεγέθους κινητά τερματικά
- Ικανότητα να υποστηρίζει πλήθος νέων υπηρεσιών
- Ικανοποιητική φασματική αξιοποίηση

- Συμβατότητα με άλλα δίκτυα όπως το Integrated Services Digital Network (ISDN)

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

Η Βόρεια Αμερική χρησιμοποίησε το GSM με αρκετή καθυστέρηση, στην πραγματικότητα χρησιμοποίησε ένα παράγωγο σύστημα του GSM, το PCS 1900. Άλλα συστήματα κινητών επικοινωνιών δεύτερης γενιάς είναι το CDMA (Code Division Multiple Access), το οποίο καλείται cdmaOne, το TDMA (Time Division Multiple Access) και το PDC (Personal Digital Communications), το οποίο χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στην Ιαπωνία.

Το GSM έχει πολλές και σημαντικές διαφορές με τους προκατόχους του, οι διαφορές αυτές ανάγονται στο γεγονός ότι τα κανάλια σηματοδότησης και ομιλίας που χρησιμοποιεί είναι ψηφιακά, ενώ τα προηγούμενα δίκτυα κινητών επικοινωνιών ήταν αναλογικά (1G). Με το GSM εγκαινιάζεται μια νέα γενιά συστημάτων κινητών επικοινωνιών, τα συστήματα 2^{ης} γενιάς (2G), τα οποία εισήγαγαν σημαντική βελτίωση στην ποιότητα μετάδοσης και αύξηση της χωρητικότητας συστήματος και της περιοχής κάλυψης.

1.2.2 Περιγραφή του συστήματος GSM

Το GSM είναι ένα ανοικτό, μη ιδιόκτητο σύστημα, το οποίο διαρκώς αναπτύσσεται ώστε να διατηρεί αυξανόμενο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε όρους ποιότητας και κόστους.

Σήμερα, υπεύθυνο για την ανάπτυξη του συστήματος είναι το 3GPP (3rd Generation Partnership Project), μια κοινοπραξία που συνάφθηκε το Δεκέμβριο του 1998 μεταξύ των

οργανισμών ETSI - European Telecommunications Standards Institute (Ευρώπη), ARIB/TTC - Association of Radio Industries and Businesses (Ιαπωνία), CCSA - China Communications Standards Association (Κίνα), ATIS - Alliance for Telecommunications Industry Solutions (Βόρειος Αμερική) και TTA - Telecommunications Technology Association (Νότια Κορέα). Σκοπός του 3GPP είναι η ανάπτυξη των προδιαγραφών για τη δημιουργία ενός παγκοσμίως εφαρμόσιμου δικτύου κινητών επικοινωνιών 3^{ης} γενιάς (3G) μέσα στο πλαίσιο του προγράμματος IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000), το οποίο τελεί υπό την αιγίδα της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU - International Telecommunications Union). Οι προδιαγραφές που αναπτύσσονται από το 3GPP βασίζονται στην εξέλιξη των προδιαγραφών του συστήματος GSM και οδήγησαν στη δημιουργία ενός νέου συστήματος 3^{ης} γενιάς, γνωστού ως UMTS (Universal Mobile Telecommunications System - Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών).

1.2.3 Προσφερόμενες υπηρεσίες

Το σύστημα GSM δίνει την δυνατότητα στους χειριστές του να απολαμβάνουν μια ευρεία ποικιλία δυνατοτήτων και υπηρεσιών. Η πιο σημαντική υπηρεσία είναι η κωδικοποίηση της φωνής μέσω ενός μοναδικού κώδικα, ο οποίος μιμείται τα χαρακτηριστικά της ανθρώπινης ομιλίας και κατά συνέπεια ο συνδρομητής πραγματοποιεί τηλεφωνικές κλήσεις υψηλής ευκρίνειας. Μια εξίσου σημαντική δυνατότητα του συστήματος αυτού είναι ότι μέσω του δικτύου GSM είναι δυνατή η αποστολή και η λήψη δεδομένων, με ρυθμό που φτάνει μέχρι και τα 9600 bps, σε χρήστες των δικτύων POTS (Plain Old Telephone Service - Συμβατική Τηλεφωνική Υπηρεσία), ISDN (Integrated Services Digital Network - Ψηφιακό Δίκτυο Ενοποιημένων Υπηρεσιών), Packet Switched Public Data Networks (Δημόσια Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων), και Circuit Switched Public Data Networks (Δημόσια Δίκτυα Μεταγωγής Κυκλώματος), με χρήση μιας ποικιλίας μεθόδων και πρωτοκόλλων, όπως το X.25 και το X.32.

Ένα μοναδικό χαρακτηριστικό του GSM που δε βρίσκεται στα παλιότερα αναλογικά συστήματα κινητών επικοινωνιών είναι η υπηρεσία αποστολής σύντομων γραπτών μηνυμάτων (Short Messages Service – SMS). Η υπηρεσία SMS είναι μια αμφίδρομη υπηρεσία για μικρά αλφαριθμητικά μηνύματα με μέγεθος έως 160 χαρακτήρες. Τα μηνύματα μεταδίδονται με έναν τρόπο αποθήκευσης-και-προώθησης. Οι χρήστες μπορούν

να στέλνουν SMS μηνύματα σε άλλους χρήστες, λαμβάνοντας και απόδειξη ότι ο παραλήπτης τα έλαβε και να τα αποθηκεύουν στο τερματικό για να τα χρησιμοποιήσουν αργότερα. Επιπλέον, μπορούν να στέλνονται μηνύματα από το ίδιο το δίκτυο για ενημερωτικούς λόγους. Δισεκατομμύρια μηνύματα στέλνονται κάθε μήνα και το πλήθος τους αυξάνεται συνεχώς.

Το GSM μπορεί να παρέχει και πολλές άλλες υπηρεσίες. Οι υπηρεσίες αυτές συμπληρώνουν τις βασικές υπηρεσίες επιτρέποντας στο χρήστη να αποφασίζει το πώς θα αντιμετωπίζονται από το δίκτυο οι διάφορες κλήσεις από και προς αυτόν αλλά και να του παρέχουν την κατάλληλη πληροφορία ώστε να καθίσταται δυνατή η καλύτερη και αποτελεσματικότερη χρήση αυτών των υπηρεσιών. Αυτές οι λειτουργίες δεν είναι καθορισμένες στο GSM. Οι περισσότερες από αυτές προέρχονται από το σταθερό δίκτυο με ελαφρές τροποποιήσεις όπου χρειάζεται για να γίνει προσαρμογή στην κινητικότητα. Στο σημείο αυτό, θα περιγράψουμε αυτά τα χαρακτηριστικά όπως τα αντιλαμβάνεται ο χρήστης.

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

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

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

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

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

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

Αν το σύστημα GSM δεν ήταν ένα ανοιχτό πρότυπο τότε θα ήταν αδύνατη η διεθνής περιαγωγή, γνωστή ως roaming. Η υπηρεσία περιαγωγής δίνει την δυνατότητα στους χειριστές των δικτύων να συνάπτουν συμφωνίες συνεργασίας και έτσι να δίνουν στους συνδρομητές τους την ικανότητα να χειρίζονται το κινητό τους από οποίο μέρος του κόσμου και αν βρίσκονται ακόμα και σε περιοχές που δεν υπάρχει κάλυψη από το δίκτυο στο οποίο είναι εγγεγραμμένοι, κάνοντας χρήση άλλων δικτύων.

Από άποψη προσφερόμενων υπηρεσιών και σηματοδοσίας ελέγχου, το GSM είναι συμβατό με το δίκτυο ISDN (Integrated Services Digital Network – Ψηφιακό Δίκτυο Ενοποιημένων Υπηρεσιών), το οποίο αποτελεί ένα δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος για ψηφιακή μετάδοση φωνής και δεδομένων μέσω των κοινών τηλεφωνικών χάλκινων αγωγών, με αποτέλεσμα καλύτερη ποιότητα και υψηλότερες ταχύτητες από αυτές που προσφέρουν τα αντίστοιχα αναλογικά συστήματα.

Το σύστημα GSM είναι ένα ανοιχτό πρότυπο γεγονός που επιτρέπει την εύκολη διαλειτουργικότητα, επομένως οι χειριστές του έχουν την δυνατότητα ανάπτυξης εξοπλισμού από διαφορετικούς προμηθευτές. Βέβαια οι προδιαγραφές του συστήματος GSM που καθορίζουν με κάθε λεπτομέρεια την λειτουργία του ξεπερνούν τις 8.000 σελίδες, ωστόσο, οι προδιαγραφές αυτές αποτελούν συστάσεις και όχι απαιτήσεις αφού δεν πρόκειται για προδιαγραφές που προσδιορίζουν το ακριβές υλισμικό που θα χρησιμοποιηθεί, επιτρέποντας ευελιξία και ανταγωνιστική καινοτομία μεταξύ των προμηθευτών. Αυτή η διαλειτουργικότητα έχει ως αποτέλεσμα να μην περιορίζει και τον ρόλο των σχεδιαστών ενώ παράλληλα οι χειριστές έχουν την δυνατότητα να αγοράσουν τον εξοπλισμό από διαφορετικούς προμηθευτές.

1.2.4 Βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος GSM

Η αρχιτεκτονική δομή του δικτύου GSM αποτελείται από ποικίλες λειτουργικές οντότητες, η κάθε οντότητα έχει καθορισμένες λειτουργίες και διεπαφές που επιτρέπουν τη μεταξύ τους επικοινωνία. Τα κύρια συστατικά στοιχεία της δομής ενός συστήματος GSM είναι:

- Ο Κινητός Σταθμός (Mobile Station – MS), ο οποίος βρίσκεται στην κατοχή του συνδρομητή.
- Το Υποσύστημα Σταθμού Βάσης (Base Station Subsystem – BSS), που είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο της ραδιοζεύξης με τον Κινητό Σταθμό. Περιλαμβάνει τους σταθμούς βάσης και τους ελεγκτές τους.
- Το Υποσύστημα Δικτύου (Network SubSystem – NSS), το κύριο τμήμα του οποίου είναι το Κέντρο Μεταγωγής Κινητών Σταθμών (Mobile services Switching Center – MSC). Το MSC εκτελεί τη λειτουργία της μεταγωγής κλήσεων μεταξύ των χρηστών ενός κινητού

τηλεφωνικού δικτύου με άλλους χρήστες κινητών ή σταθερών δικτύων. Επιπλέον είναι επιφορτισμένο και με την εκτέλεση των λειτουργιών διαχείρισης κινητικότητας.

- Το Κέντρο Λειτουργιών και Συντήρησης (Operations and Maintenance Center) που επιβλέπει τη σωστή λειτουργία και διάταξη του συνολικού δικτύου.
- Το Δίκτυο Κορμού GPRS (GPRS Core Network), το οποίο αποτελεί προαιρετικό τμήμα του δικτύου GSM για συνδέσεις μεταγωγής πακέτων με το Internet.

Τα δίκτυα GSM καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα ραδιοσυχνοτήτων. Τα περισσότερα από αυτά λειτουργούν στα 900 MHz και/ή στα 1800 MHz. Εξάιρεση αποτελούν τα GSM δίκτυα σε ΗΠΑ και Καναδά που λειτουργούν στα 850 MHz και/ή στα 1800 MHz. Το σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται είναι το GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying – Χειρισμός Ελάχιστης Μετατόπισης Gauss). Σ' αυτόν τον τύπο διαμόρφωσης, το σήμα περνάει μέσα από ένα βαθυπερατό φίλτρο Gauss προτού να σταλεί στο διαμορφωτή συχνότητας, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των παρεμβολών σε γειτονικά κανάλια.

Η μέθοδος πολυπλεξίας που υιοθετήθηκε από το GSM είναι ένας συνδυασμός TDMA/FDMA (Time Division Multiple Access - Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Χρόνου / Frequency Division Multiple Access - Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Συχνότητας).

Σε ότι αφορά στους ρυθμούς μετάδοσης στα κανάλια κίνησης, αυτοί ποικίλουν και κυμαίνονται στα 22.8 Kbps και 11.4 Kbps για ολόρρυθμη (full rate) και ημίρρυθμη (half rate) μετάδοση φωνής αντίστοιχα, ενώ για μετάδοση δεδομένων είναι σαφώς μικρότεροι με τιμές 9.6 , 4.8 ή 2.4 Kbps ανάλογα με το δίκτυο. Επιπλέον, το σύστημα GSM προσφέρει ένα μέτριο επίπεδο ασφάλειας, κάνοντας χρήση ρευματικής κρυπτογράφησης και κυρίως των αλγορίθμων A5/1 και A5/2.

1.3 GPRS - General Packet Radio Service

1.3.1 Εισαγωγή

Το GPRS (General Packet Radio Service - Γενική Ραδιοϋπηρεσία Μεταγωγής Πακέτου) είναι μια μη φωνητική, προστιθέμενης αξίας υπηρεσία η οποία επιτρέπει την αποστολή και λήψη πληροφορίας πάνω σε ένα κινητό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο με ρυθμούς μετάδοσης από 56 ως 114 kbps. Οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων επιτρέπουν

βίντεο-κλήσεις και την αλληλεπίδραση με δικτυακούς τόπους που χρησιμοποιούν πολυμέσα. Συχνά, χαρακτηρίζεται ως 2,5G που είναι τεχνολογία ανάμεσα στη δεύτερη (2G) και Τρίτη (3G) γενιά κινητής τηλεφωνίας. Το σύστημα αυτό βασίστηκε και αναπτύχθηκε πάνω στη βάση του ήδη υπάρχοντος GSM ώστε να μπορεί να παρέχει τις τόσο αναγκαίες υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων μέσω πακέτων. Η λειτουργία του συμπληρώνει τις υπηρεσίες σύντομων μηνυμάτων (SMS) και μεταγωγής κυκλώματος για μεταφορά δεδομένων (CSD).

Για να επιτραπεί η λειτουργία GPRS πάνω στο δίκτυο GSM απαιτείται η πρόσθεση δυο κεντρικών τμημάτων : του GGSN (Gateway GPRS Support Node – πύλη ανάμεσα στο δίκτυο GPRS και τα Δημόσια δίκτυα δεδομένων, όπως τα X.25 και IP, αλλά και σύνδεση του με άλλα δίκτυα GPRS για περιαγωγή) και του SGSN (Serving GPRS Support Node – κόμβος που παρέχει δρομολόγηση πακέτων από και προς την περιοχή που εξυπηρετεί).

1.3.2 Χαρακτηριστικά του συστήματος GPRS

Χαρακτηριστικά ενός δικτύου GPRS είναι η μεταγωγή κατά πακέτα, η αποδοτική χρησιμοποίηση φάσματος, η υποστήριξη Ίντερνετ καθώς και των δικτύων TDMA και GSM. Το GPRS επικαλύπτει το υπάρχον κύκλωμα μεταγωγής δεδομένων του GSM με μια διεπαφή ραδιοεπικοινωνίας βασισμένη σε πακέτα. Αυτό δίνει στο χρήστη την επιλογή να χρησιμοποιεί μια υπηρεσία μεταφοράς δεδομένων μέσω πακέτων. Η πληροφορία σπάει σε πακέτα πριν μεταδοθεί και συγκροτείται ξανά στο τέλος της λήψης. Αυτός ο τρόπος μεταφοράς δεδομένων κάνει το κόστος χρήσης της υπηρεσίας να είναι οικονομικότερο από τη μεταφορά δεδομένων με μεταγωγή κυκλώματος διότι το ίδιο κανάλι δεδομένων χρησιμοποιείται από πολλούς χρήστες σε αντίθεση με την περίπτωση όπου ένα κύκλωμα επικοινωνίας αφιερώνεται μόνο σε ένα χρήστη. Πιο συγκεκριμένα στα παλιά CSD που καταλάμβαναν όλο το κανάλι, οι πόροι GPRS χρησιμοποιούνται μόνο κατά τη λήψη / αποστολή δεδομένων. Το κανάλι δεν παραχωρείται εξ' ολοκλήρου σε ένα χρήστη για κάποιο διάστημα, αλλά μοιράζεται σε περισσότερους, με αποτέλεσμα την εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού χρηστών. Ο αριθμός αυτός εξαρτάται από την εφαρμογή που χρησιμοποιείται και τον αριθμό των δεδομένων που μεταφέρονται. Με τα παραπάνω

επιτυγχάνεται αποδοτική χρησιμοποίηση φάσματος και δε χρειάζονται καταστάσεις άεργης χωρητικότητας σε ώρες αιχμής.

Επιπλέον, επιτρέπονται εσωτερικές εργασίες (interworking) ανάμεσα στο υπάρχον Ίντερνέτ και στο δίκτυο GPRS. Αυτό σημαίνει ότι όποια υπηρεσία είναι διαθέσιμη μέσω του πρώτου θα είναι και στο δεύτερο. Επειδή το GPRS χρησιμοποιεί το ίδιο πρωτόκολλο μπορεί να θεωρηθεί ως υποδίκτυο του Ίντερνέτ και επομένως τα κινητά τηλέφωνα GPRS μπορούν να έχουν IP διευθύνσεις.

Χαρακτηριστικά της υπηρεσίας GPRS είναι η μεταφορά δεδομένων με μέγιστη θεωρητική ταχύτητα 171,2 Kbps - αρκετά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ταχύτητα του GSM των 9,6 Kbps, η αμεσότητα στη σύνδεση - πάντα συνδεδεμένο, πολύ σημαντικό για εφαρμογές κρίσιμες στο χρόνο - και η εισαγωγή νέων καλύτερων εφαρμογών. Το GPRS έχει 8 χρονοθυρίδες σε κάθε φέρον.

1.3.3 Υπηρεσίες και διάφορα παραδείγματα εφαρμογών του GPRS

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

- Φωνή (Voice)
- Κείμενο και οπτική πληροφορία, φαξ
- Σταθερές και κινούμενες εικόνες (φωτογραφίες, εικόνες, χάρτες, κάρτες χαιρετισμού, κάρτες παρουσιάσεων και στατικές ιστοσελίδες, data streaming, video, videoconference).
- Web browsing (mobile Internet)
- Συνομιλία (Chat)
- Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (Email)

- Ηλεκτρονικά παιχνίδια
- Προσδιορισμός θέσης (οχημάτων στρατού)
- Πρόσβαση από απόσταση σε τοπικό δίκτυο (LAN), όπως η πρόσβαση σε ενδοδίκτυο (intranet), σε εταιρικές υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και σε εφαρμογές βάσεων δεδομένων.
- Μεταφορά αρχείων. Η πηγή των αρχείων θα μπορούσε να είναι μια από τις μεθόδους επικοινωνίας του διαδικτύου όπως το πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων (FTP), το Telnet, το HTTP ή η JAVA ή μια ιδιόκτητη πλατφόρμα βάσεων δεδομένων. Ανεξάρτητα από την πηγή και τον τύπο του αρχείου μεταφοράς, αυτού του είδους η εφαρμογή τείνει να απαιτεί μεγάλο εύρος ζώνης αλλά να μην έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις στην καθυστέρηση της μεταφοράς.
- Αυτοματοποίηση σπιτιού. (Από απόσταση ασφαλείας και έλεγχος με τηλεχειρισμό.)

1.3.4 Πρόσβαση στην υπηρεσία

Για τη χρησιμοποίηση GPRS υπηρεσίας χρειάζονται ένα κινητό / τερματικό που να υποστηρίζει GPRS, μια συνδρομή σε εταιρεία, γνώση αντικειμένου και ένας προορισμός που μπορεί να είναι, πέρα από κινητό τηλέφωνο, και μια IP διεύθυνση.

1.3.5 Τύποι τάξεων GPRS

Όσον αφορά στα τερματικά, η κλάση της συσκευής καθορίζει την ταχύτητα στην οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί το GPRS. Η πλειοψηφία των τερματικών κατεβάζει δεδομένα με ρυθμό 24 kbps ενώ υπάρχουν 12 πιθανοί συνδυασμοί. Πέρα από τις τάξεις που αφορούν στην ταχύτητα, υπάρχουν και τρεις τάξεις που αφορούν στον τρόπο σύνδεσης των τερματικών στα δίκτυα : οι τάξεις A, B, C. Τα κινητά της πρώτης τάξης μπορούν να συνδεθούν ταυτόχρονα στις υπηρεσίες GPRS και GSM. Τα κινητά της δεύτερης τάξης συνδέονται επίσης και στα δυο, αλλά χρησιμοποιούν ένα κάθε φορά. Ενώ δηλαδή είναι σε εξέλιξη μια σύνδεση GPRS μπορεί να διακοπεί για να γίνει μια φωνητική κλήση ή

ένα SMS και μετά να συνεχιστεί. Τα κινητά τρίτης τάξης συνδέονται εξ αρχής σε ένα από τα δύο δίκτυα και η αλλαγή από το ένα στο άλλο γίνεται μηχανικά.

1.3.6 Περιορισμοί

Πέρα από τις θεωρητικές δυνατότητες της υπηρεσίας GPRS, υπάρχουν και κάποιοι περιορισμοί. Πρώτος και κύριος είναι η περιορισμένη χωρητικότητα κυψέλης για όλους τους χρήστες. Το GPRS επηρεάζει τη χωρητικότητα κυψέλης ενός δικτύου διότι χρησιμοποιεί τους ίδιους πόρους δικτύου με τις φωνητικές κλήσεις. Το μέγεθος της επίδρασης εξαρτάται από τον αριθμό των χρονοθυρίδων, αν υπάρχουν, που είναι αποκλειστικά κρατημένες για χρήση GPRS. Επομένως υπάρχει ανάγκη για χρήση SMS ως συμπληρωματικός κομιστής που θα χρησιμοποιεί ένα διαφορετικό τύπο ασύρματων πόρων.

Δεύτερος περιορισμός είναι η πραγματική ταχύτητα που επιτυγχάνεται και η οποία είναι στην πραγματικότητα πολύ μικρότερη από τη θεωρητική. Για να επιτευχθεί ταχύτητα 172,2 Kbps πρέπει και οι 8 χρονοθυρίδες να είναι αφιερωμένες σε ένα χρήστη, γεγονός απίθανο να επιτραπεί από τον πάροχο δικτύου. Συνήθως, τα παλαιότερα GPRS έχουν αυστηρά μια, δύο ή τρεις χρονοθυρίδες. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι τα κινητά δίκτυα να έχουν μικρότερη ταχύτητα εκπομπής δεδομένων από τα σταθερά δίκτυα. Μεγάλες ταχύτητες είναι εφικτές με τη χρήση του EDGE ή του UMTS, τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Τρίτος περιορισμός είναι η μη εξασφαλισμένη υποστήριξη GPRS Mobile Terminate (GPRS Κινητού Προορισμού) από τα τερματικά. Γενικά, οι χρήστες πληρώνουν για την παραλαβή των GPRS υπηρεσιών. Ωστόσο, κάποιες φορές μπορεί να λαμβάνουν ανεπιθύμητες πληροφορίες που είτε δε θα χρεώνονται είτε χειρότερα θα πρέπει να πληρώνουν για άχρηστα περιεχόμενα. Αυτός είναι ένας λόγος για έναν πωλητή να μην υποστηρίξει GPRS MT στα τερματικά.

Ακόμη, υπάρχουν καθυστερήσεις στις διαμετακομίσεις. Παρ' όλα τα πρότυπα για ακεραιότητα δεδομένων και τις στρατηγικές επαναμετάδοσης που ακολουθούνται, εξαιτίας του γεγονότος ότι τα πακέτα στέλνονται προς όλες τις διαφορετικές οδούς με τον ίδιο

προορισμό, υπάρχει πιθανότητα κάποια από αυτά να χαθούν ή να διακοπεί η μετάδοσή τους.

Τέλος, η μη ύπαρξη μηχανισμού αποθήκευσης και προώθησης καθιστά αναγκαία τη χρήση της υπηρεσίας SMS.

1.3.7 Καλύτερος κομιστής ανά υπηρεσία

Το ερώτημα που προκύπτει από τα παραπάνω είναι ποιος είναι ο καλύτερος κομιστής για υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων, το GPRS , το CSD ή το SMS. Η απάντηση έρχεται από τις ίδιες τις εφαρμογές. Η εμπειρία έχει δείξει ότι στις εταιρικές εφαρμογές, όπου οι χρήστες είναι μεγάλης ηλικίας αλλά και οι λογαριασμοί τους πληρώνονται από την εταιρεία, δε χρησιμοποιούνται υπηρεσίες σύντομων μηνυμάτων αλλά φωνητικές. Αντίθετα, στις καταναλωτικές εφαρμογές η χρήση SMS φτάνει το 90% της συνολικής χρήσης του. Μέχρι, λοιπόν, τα GPRS τερματικά να στοχεύσουν και στους καταναλωτές, ο κύριος κομιστής θα είναι το SMS. Αρχικά απευθύνονται σε εταιρικές εφαρμογές.

Ανεξαρτήτου εφαρμογής, το Ίντερνετ θα είναι η πρωταρχική διεπαφή επικοινωνίας. Οι ήδη υπάρχουσες μη φωνητικές υπηρεσίες μπορούν να χρησιμοποιούνται με κατάλληλες αναβαθμίσεις ως προς το μέγεθος του σύντομου μηνύματος και την ταχύτητα της μεταγωγής κυκλώματος. Ωστόσο, εφαρμογές που είναι ευαίσθητες σε γραφικά γίνονται καλύτερα και πιο άμεσα με τις νέες υπηρεσίες.

1.4 EDGE – Enhanced Data rates for GSM Evolution

1.4.1 Περιγραφή του συστήματος EDGE

Το EDGE ή αλλιώς EGPRS (Enhanced GPRS) είναι μια ψηφιακή τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας που αναπτύχθηκε για την διεύρυνση των υπηρεσιών που προσφέρει το GPRS. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε δίκτυα TDMA και GSM και μπορεί να λειτουργήσει σε οποιοδήποτε περιβάλλον χρησιμοποιεί το GPRS. Το EDGE προσφέρει κυρίως υψηλές ταχύτητες και αύξηση της χωρητικότητας με αποτέλεσμα να ευνοούνται εφαρμογές πολυμέσων και η σύνδεση με το ίντερνέτ.

Το EDGE εκτός από το GMSK χρησιμοποιεί και την τεχνική διαμόρφωσης 8-PSK. Η μέθοδος πολυπλεξίας που χρησιμοποιεί είναι συνδυασμός TDMA και FDMA. Υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως 384 Kbps και αναφέρεται συνήθως ως ένα 2.75G δίκτυο. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται κυρίως στις ΗΠΑ και ως προσωρινή λύση από κάποιους χειριστές δικτύων GSM της δυτικής Ευρώπης.

Για την χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας δεν απαιτούνται αλλαγές στο δίκτυο κορμού GSM παρά μόνο στους σταθμούς βάσης όπου είναι απαραίτητη η εγκατάσταση μονάδας μετάδοσης συμβατής με το EDGE και η αναβάθμιση του σταθμού βάσης ώστε να το υποστηρίζει. Επιπλέον, στους κινητούς κόμβους χρειάζεται αλλαγή στο υλικό και στο λογισμικό ώστε να είναι γίνεται δυνατή η κωδικοποίηση και η αποκωδικοποίηση του νέου σχήματος διαμόρφωσης μετατόπισης φάσης.

1.5 UMTS – Universal Mobile Telecommunications System

1.5.1 Εισαγωγή

Την τελευταία δεκαετία τόσο η Κυψελωτή Κινητή Τηλεφωνία όσο και το Διαδίκτυο έχουν γνωρίσει τρομακτική εξάπλωση παγκοσμίως. Η ανάγκη του ανθρώπου για κινητικότητα από τη μια, και η ανάγκη για πρόσβαση σε πληροφορία και υπηρεσίες από την άλλη, οδήγησε στη σύγκλιση των δυο παραπάνω «κόσμων» μέσα από τα Κινητά Δίκτυα 3ης Γενιάς και συγκεκριμένα του Παγκόσμιου Συστήματος Κινητών Τηλεπικοινωνιών (UMTS). Το πρότυπο αναπτύχθηκε από την ITU (IMT-2000) και βασίζεται στο W-CDMA.

Ο όρος UMTS προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων "Universal Mobile Telecommunications System" (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών). Πρόκειται για την εξέλιξη των κινητών δικτύων δεύτερης γενιάς σε σχέση με την χωρητικότητα, την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων και την ύπαρξη νέων υπηρεσιών. Σήμερα, περισσότερα από εξήντα 3G/UMTS δίκτυα λειτουργούν σε 25 χώρες. Για την οργάνωση του όλου εγχειρήματος έχει θεσπιστεί ειδικός μη κερδοσκοπικός οργανισμός με την ονομασία Third Generation Partnership Project (3GPP) του οποίου μέλημα είναι η παρακολούθηση και η καθοδήγηση των εξελίξεων στην συγκεκριμένη τεχνολογική περιοχή.

1.5.2 Χαρακτηριστικά UMTS

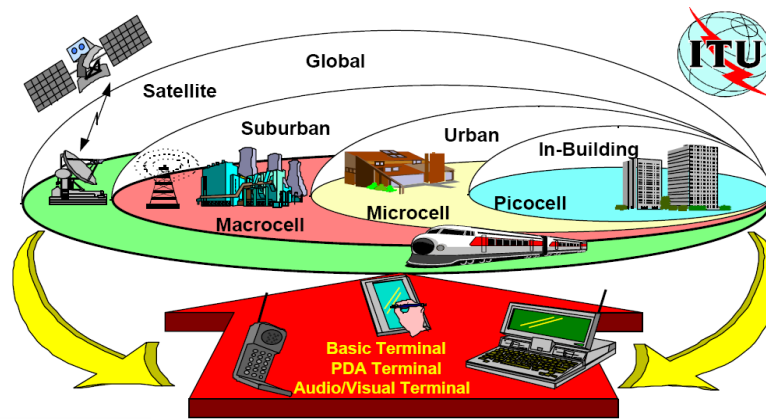
Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας UMTS είναι ο αυξημένος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και ταυτόχρονα η υποστήριξη μεγαλύτερου όγκου δεδομένων και φωνής ανάλογα της κινητικότητας του χρήστη και του τρόπου κάλυψης της περιοχής.

Το UMTS προορίζεται να παρέχει παγκόσμια πρόσβαση και περιαγωγή σε όλο τον κόσμο. Για να το πετύχει αυτό το UTRAN (UMTS Radio Access Network) διαχωρίζεται στα παρακάτω ιεραρχικά επίπεδα:

Σε υψηλότερα επίπεδα τα οποία καλύπτουν ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές και σε μικρότερα επίπεδα τα οποία καλύπτουν μικρότερες περιοχές, αλλά μπορούν να διαχειριστούν μεγαλύτερη πυκνότητα τερματικών συσκευών παρέχοντας ταχύτερες συνδέσεις. Το όλο σύστημα είναι διασυνδεδεμένο με το PSTN (Public Telephone Switched Network) και το PDN (Public Data Network) όπως για παράδειγμα το Internet.

Ειδικότερα το UMTS περιλαμβάνει τα εξής επίπεδα

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



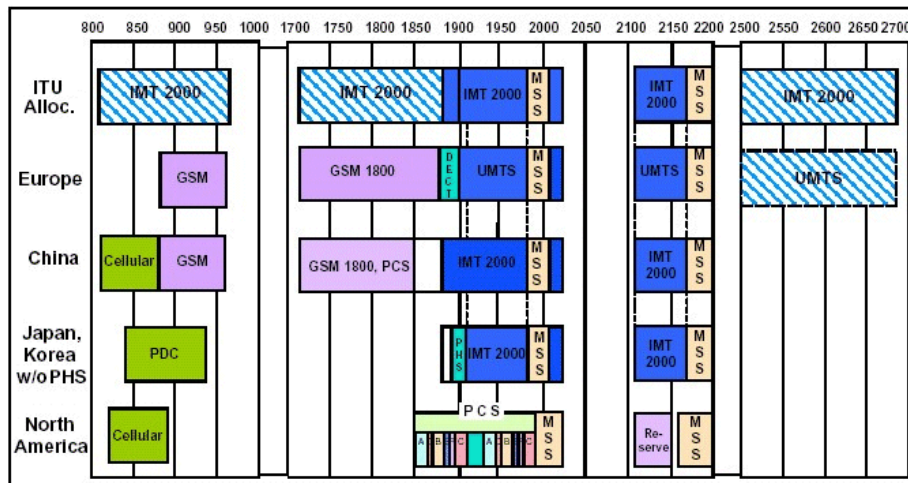
Εικόνα 1: Η παγκόσμια κάλυψη και η κυψελοτή δομή του UMTS

Οι ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων όσον αφορά την αντίστοιχη κάλυψη από UMTS έχει ως εξής: για πικοκυψέλες όπου η κινητικότητα είναι χαμηλή (10km/h) φτάνει τα 2 Mbps, για μικροκυψέλες όπου η κινητικότητα είναι υψηλή (120km/h) φτάνει τα 384 Kbps και για μακροκυψέλες όπου η κινητικότητα μπορεί να είναι και πολύ υψηλή (500km/h) ανέρχεται στα 144 και 64 Kbps. Στη δορυφορική κάλυψη φτάνει στα 9,6 Kbps.

1.5.3 Χρησιμοποιούμενο Φάσμα

Η χρήση του φάσματος από τους λειτουργούς του δικτύου είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την περαιτέρω εξέλιξη του UMTS. Πρέπει να διατίθεται αρκετό φάσμα ώστε να καλύπτονται οι αυξημένες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης για την κίνηση που θα προκαλέσει η ανάπτυξη πολύπλοκων εφαρμογών ενώ η χρήση ζευγών συχνοτήτων για λειτουργία Frequency Division Duplex (FDD) θεωρείται επιβεβλημένη. Το εύρος του κάθε καναλιού προσδιορίζεται στα 5 MHz, που είναι πολύ μεγαλύτερο και δίνει περισσότερες δυνατότητες μεταφοράς από τα 200 KHz που αποδίδονται στο GSM δίκτυο.

Οι περιοχές του φάσματος που είναι διαθέσιμες για τους τηλεπικοινωνιακούς πάροχους κάθε χώρας καθορίζεται από την IMT-2000 και τους διεθνείς κανονισμούς της International Telecommunications Union (ITU). Για τις περιοχές όπου αναμένεται η μεγαλύτερη απήχηση του εν λόγω δικτύου, η κατανομή του φάσματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 2: Το φάσμα συχνοτήτων κατά την IMT-2000

Όπως αποφασίστηκε στο παγκόσμιο συνέδριο για τις ραδιοεπικοινωνίες του 1992 (World Radio Conference), οι ζώνες συχνοτήτων 1885-2025 και 2110-2200 MHz, προορίζονται παγκοσμίως για χρήση από τα UMTS δίκτυα. Συγκεκριμένα:

- για τη λειτουργία FDD:
 - την περιοχή συχνοτήτων από 1920 – 1980 MHz για την άνω ζεύξη (uplink).
 - την περιοχή συχνοτήτων από 2110 – 2170 MHz για την κάτω ζεύξη (downlink).
- για τη λειτουργία TDD:
 - την περιοχή συχνοτήτων 1900 – 1920 MHz για άνω και κάτω ζεύξη (uplink και downlink).
 - την περιοχή συχνοτήτων 2010 – 2025 MHz για άνω και κάτω ζεύξη (uplink και downlink).
- για δορυφορικό δίκτυο (MSS):
 - την περιοχή συχνοτήτων από 1980 – 2010 MHz για την άνω ζεύξη (uplink).
 - την περιοχή συχνοτήτων από 2170 – 2200 MHz για την κάτω ζεύξη (downlink).

Επιπλέον η ζώνη συχνοτήτων στα 900 MHz εκτός από το GSM χρησιμοποιείται και για UMTS.

Υπάρχουν πολλές επιλογές όσον αφορά τη χρήση των καναλιών. Όταν χρησιμοποιείται FDD ο κομιστής μπορεί να επιλέξει τη μετάδοση σε 2 x 5 MHz, 2 x 10 MHz, 2 x 15 MHz (που είναι και η ενδεδειγμένη από το UMTS Forum) ή 2 x 20 MHz. Δηλαδή για τα 12 κανάλια των 5 MHz που υπάρχουν στη ζώνη 1920 MHz μέχρι 1980 MHz, υπάρχουν άλλα 12 στη ζώνη 2110 MHz - 2170 MHz από τα οποία μπορούν να προκύψουν οι παραπάνω συνδυασμοί. Αυτά τα κανάλια ονομάζονται ζευγαρωμένα κανάλια (paired bands). Ταυτόχρονα με τα ζεύγη συχνοτήτων κάποιος κομιστής μπορεί να επιλέξει και τη λειτουργία Time Division Duplex (TDD) ειδικά για περιπτώσεις όπου έχουμε περιορισμένη κινητικότητα των χρηστών όπως για παράδειγμα σε εσωτερικούς χώρους. Οι προσφερόμενες επιλογές είναι 1 x 5 MHz και 1 x 10 MHz. Συνολικά υπάρχουν 7 αζευγάρωτα διαθέσιμα κανάλια στις συχνότητες 1900 MHz μέχρι 1920 MHz και 2010 MHz μέχρι 2025 MHz.

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

1.5.4 Εφαρμογές του UMTS

Οι εφαρμογές που υποστηρίζονται από τα UMTS δίκτυα είναι ανά κατηγορία οι ακόλουθες :

Διασκέδαση : Διαδίκτυο, video, κάρτες, κείμενο, μηνύματα με εικόνες, εξατομικευμένες εφαρμογές (ήχοι κλήσεων, προφύλαξη οθόνης, επιφάνεια εργασίας).

Εργασία : Εμπλουτισμένες κλήσεις με εικόνα και συρμούς δεδομένων, IP τηλεφωνία, διεταιρικές συναλλαγές (B2B ordering and logistics), ανταλλαγή πληροφοριών, προσωπικός διαχειριστής πληροφορίας, ημερολόγιο, ατζέντα, σημειωματάριο, αμφίδρομη

τηλεφωνική συνδιάσκεψη, υπηρεσίες αρχειοθέτησης, ταξιδιωτικές πληροφορίες, ομάδες εργασίας, FTP, άμεσο φωνητικό ταχυδρομείο, έγχρωμο fax (τηλεομοιότυπο).

Μέσα : Εφημερίδες και περιοδικά, διαφήμιση.

Ψώνια: Ηλεκτρονικό εμπόριο, e-cash, e-wallet, πιστωτική κάρτα, telebanking, αυτόματη συναλλαγή, δημοπρασίες.

Ψυχαγωγία: Νέα, χρηματιστήριο, αθλητικά, παιχνίδια, λοταρίες, χαρτοπαιξία, μουσική, βίντεο, συναυλίες.

Εκπαίδευση: Διαδικτυακές βιβλιοθήκες, μηχανές αναζήτησης, διαδικτυακή παρακολούθηση μαθημάτων, πεδία αναζήτησης.

Υγεία: Τηλεϊατρική, τηλεδιάγνωση και παρακολούθηση υγείας.

Αυτοματισμός: Αυτοματισμός σπιτιού, τηλεματική κίνηση (traffic telematics), τηλεμετρία (machine-machine communication (telemetry)).

Ταξίδια: Πληροφορίες ταξιδιού, e-tour, εντοπισμός προορισμού, δρομολόγια, e-ticketing.

Πρόσθετα: Τηλεόραση, ράδιο, προσωπικός υπολογιστής, πρόσβαση σε απομακρυσμένο υπολογιστή, MP3 player, κάμερα, video camera, βομβητής, σύστημα GPS.

1.6 WLAN – Wireless Local Area Network

1.6.1 Εισαγωγή

Τα δίκτυα WLAN όπως αναφέρει και το όνομά τους είναι ασύρματα τοπικά δίκτυα που χρησιμοποιούν ραδιοκύματα υψηλών συχνοτήτων για την επικοινωνία μεταξύ των τερματικών του δικτύου. Τα τερματικά είτε συνδέονται μέσω ενός τοπικού ενσύρματου δικτύου είτε κατευθείαν σε ένα σημείο ασύρματης πρόσβασης WAP (Wireless Access Point). Το WAP με τη σειρά του συνδέει μεταξύ τους άλλες συσκευές ασύρματης επικοινωνίας και με αυτό τον τρόπο δημιουργείται το ασύρματο τοπικό δίκτυο.

Μια συνηθισμένη διάταξη WLAN είναι ένα ή περισσότερα WAP να είναι συνδεδεμένα με ένα κεντρικό ενσύρματο δίκτυο (το οποίο μπορεί να παρέχει πρόσβαση και στο ίντερνετ) και τα τερματικά των χρηστών να συνδέονται ασύρματα μαζί τους. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα χρησιμοποιούνται κυρίως σε χώρους όπου οι ενσύρματη δικτύωση είναι αδύνατη ή ασύμφορη όπως σε εσωτερικά κτιρίων όπου δεν υπάρχει κατάλληλη υποδομή για ενσύρματα δίκτυα και σε δημόσιους χώρους όπου η δημιουργία ενσύρματου δικτύου είναι ασύμφορη και ταυτόχρονα καθόλου εξυπηρετική.

1.6.2 Πρότυπα Ασύρματων Τοπικών Δικτύων

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα προτυποποιήθηκαν από την IEEE. Το IEEE 802.11 πρότυπο καταδεικνύει ένα σύνολο προτύπων WLAN που αναπτύσσονται από την ομάδα εργασίας 11 του Institute of Electrical and Electronics Engineers LAN/MAN Standards Committee (IEEE 802). Ο όρος 802.11x χρησιμοποιείται επίσης για να δείξει αυτό το σύνολο προτύπων και δεν πρέπει να μπερδευτεί με οποιοδήποτε από τα στοιχεία του. Δεν υπάρχει από μόνο του πρότυπο 802.11x. Ο όρος IEEE 802.11 χρησιμοποιείται επίσης για να αναφερθεί στο αρχικό 802.11, το οποίο τώρα μερικές φορές καλείται "802.11 legacy". Η οικογένεια 802.11 περιλαμβάνει αυτή την περίοδο έξι τεχνικές διαμόρφωσης που όλες χρησιμοποιούν το ίδιο πρωτόκολλο. Οι δημοφιλέστερες (και πιο παραγωγικές) τεχνικές είναι εκείνες που καθορίζονται από τις τροποποιήσεις a, b και g στα αρχικά πρότυπα. Η ασφάλεια συμπεριλήφθηκε από την αρχή και ενισχύθηκε αργότερα μέσω της τροποποίησης 802.11i. Άλλα πρότυπα στην οικογένεια (c,f,h,j,n) είναι αναβαθμίσεις υπηρεσιών και επεκτάσεις ή διορθώσεις στις προηγούμενες προδιαγραφές. Το 802.11b ήταν το πρώτο ήταν το πρώτο ευρέως αποδεκτό πρότυπο δικτύωσης που ακολουθήθηκε από τα 802.11a και g. Τα πρότυπα 802.11b και g χρησιμοποιούν τη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz που λειτουργεί σύμφωνα με τους κανόνες του μέρους 15 της FCC (Federal Communications Commission).

Το πρότυπο 802.11a χρησιμοποιεί τη ζώνη των 5 GHz. Η λειτουργία στη ζώνη συχνοτήτων 2.4 GHz του εξοπλισμού 802.11b και 802.11g μπορεί να υποστεί παρεμβολή από φούρνους μικροκυμάτων, ασύρματα τηλέφωνα, συσκευές Bluetooth, και άλλες συσκευές που χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη συχνοτήτων. Το ποιο μέρος του φάσματος ραδιοσυχνότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ποικίλλει μεταξύ των χωρών, με τους

αυστηρότερους περιορισμούς να έχουν τεθεί στις ΗΠΑ. Ενώ είναι αλήθεια ότι στις ΗΠΑ οι 802.11a και g συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν νόμιμα χωρίς μια άδεια, δεν είναι αλήθεια ότι τα 802.11a και g λειτουργούν σε μια χωρίς άδεια (unlicensed) περιοχή του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων. Η χωρίς άδεια (νόμιμη) λειτουργία του 802.11 a & g καλύπτεται από το μέρος 15 των FCC κανόνων.

1.7 DVB-T - Digital Video Broadcasting – Terrestrial

Το DVB (Digital Video Broadcasting – Εκπομπή Ψηφιακού Video) είναι μια ακολουθία από διεθνώς αποδεκτά πρότυπα για ψηφιακή τηλεόραση που διατηρείται από την DVB Project, μια βιομηχανία με παραπάνω από 300 μέλη.

Τα πρότυπα DVB διακρίνονται στα παρακάτω συστήματα, ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιούν για να διανείμουν τα δεδομένα :

- DVB – S (DVB – Satellite - Εκπομπή Ψηφιακού Video μέσω δορυφόρου)
- DVB – C (DVB – Cable - Εκπομπή Ψηφιακού Video μέσω καλωδίου)
- DVB – T (DVB – Terrestrial - Εκπομπή Ψηφιακού Video μέσω επίγειας ζεύξης)
- DVB – H (DVB – Handhelds - Εκπομπή Ψηφιακού Video μέσω κινητών τηλεφώνων)

1.7.1 Βασικά Χαρακτηριστικά του DVB-T




Το DVB-T είναι το νεότερο από τα συστήματα DVB-S και DVB-C το οποίο βασίζεται σε τεχνικές COFDM (Coded Orthogonal Frequency Divisional Multiplexing) και QPSK, 16 QAM και 64 QAM, που το καθιστούν το πιο ευέλικτο σύστημα ψηφιακής επίγειας μετάδοσης μέχρι σήμερα. Εξαιτίας αυτής της ευελιξίας, επιτρέπει στους broadcasters να καλύπτουν ποικίλα περιβάλλοντα υπηρεσιών από μια μεγάλη λίστα επιλογών. Για παράδειγμα, λήψη υπηρεσιών DVB-T μέσω σταθερών κεραιών στέγης, φορητών ή και ακόμη κινητών.

Ως σύστημα κωδικοποίησης ήχου χρησιμοποιεί το πρότυπο MPEG 2. Η κωδικοποίηση πηγής του MPEG 2 που χρησιμοποιείται από το DVB-T χαρακτηρίζεται από ρυθμό μετάδοσης πλαισίου 25 Hz και μορφότυπους 4:3 ή 16:9.

1.7.2 Βασικοί Λόγοι για την Ανάπτυξη του DVB-T

Το DVB-T είναι το πιο δημοφιλές σύστημα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης στο κόσμο. Έχει αναπτυχθεί με επιτυχία στο Ηνωμένο Βασίλειο, στη Γερμανία, τη Σουηδία, τη Φιλανδία, την Ισπανία, την Ιταλία, την Ολλανδία, την Ελβετία, τη Σιγκαπούρη και την Αυστραλία, ενώ δοκιμές για μελλοντική του ανάπτυξη γίνονται στην Κίνα, τη Μαλαισία, την Ταϊλάνδη, το Βιετνάμ, την Ουκρανία, το Αζερμπαϊτζάν, την Κροατία, τη Νότιο Αφρική και σε άλλες χώρες. Η επέκταση του DVB-T και στα κινητά τηλέφωνα μέσω του προτύπου DVB-H, είναι σε δοκιμαστικό στάδιο στη Γερμανία, τη Φιλανδία και τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, αποδεικνύοντας ότι τα πρότυπα του DVB προσφέρουν σε όλο και περισσότερες χώρες την καλύτερη λύση για τη μετάβαση από την αναλογική τηλεόραση στην ψηφιακή. Οι υπηρεσίες που χρησιμοποιούν DVB πρότυπα είναι διαθέσιμες σε κάθε ήπειρο με περισσότερους από 110 εκατομμύρια δέκτες DVB σε χρήση.

Οι βασικοί λόγοι που ευνοούν την ανάπτυξη και υιοθέτηση του DVB-T από τις περισσότερες χώρες είναι οι παρακάτω :

-  Εισαγωγή επιπρόσθετων υπηρεσιών. Η αύξηση του αριθμού των προγραμμάτων που μεταδίδονται στην ίδια συχνότητα και η εισαγωγή νέων τύπων υπηρεσιών (EPG, teletext, home shopping, e-mail, internet) καθιστούν την ψηφιακή τεχνολογία πολύ ελκυστική στις περισσότερες χώρες.
-  Φορητότητα. Για τις χώρες όπου η καλωδιακή τηλεόραση είναι κυρίαρχη στην αγορά, η φορητή εσωτερική λήψη προσφέρει μια εξαιρετική ευκαιρία για δεύτερο και τρίτο δέκτη τηλεόρασης σε ένα σπίτι. Στην περίπτωση αυτή, απαιτείται λήψη με απλές κεραίες και ελάχιστο κόστος εγκατάστασης.
-  Μεγάλη οθόνη. Οι μορφότυποι της ψηφιακής τηλεόρασης 16:9, σε σύγκριση με αυτούς της αναλογικής (14:9), αποτελούν σημαντικό παράγοντα διαφοροποίησης.

- ✚ Απελευθέρωση φάσματος. Το DVB-T ίσως επιτρέψει την απελευθέρωση φάσματος για άλλες εμπορικές δραστηριότητες. Ωστόσο, για την ώρα είναι δύσκολο να εκτιμηθεί ακριβώς το μέρος του φάσματος που θα απελευθερωθεί αφού θα εξαρτηθεί από τις απαιτήσεις δικτύου της κάθε χώρας.
- ✚ Καλύτερη ποιότητα εικόνας. Η ψηφιακή μετάδοση μπορεί να προσφέρει υψηλή ποιότητα ήχου και εικόνας, και χωρητικότητα για προχωρημένα χαρακτηριστικά, όπως ευρεία οθόνη και υψηλής ανάλυσης τηλεόραση (HDTV).

1.7.3 Προσφερόμενες Υπηρεσίες

Το DVB-T εισήγαγε νέες υπηρεσίες στο χώρο της τηλεόρασης. Ίντερνετ, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και υπηρεσίες δεδομένων προστέθηκαν στις παραδοσιακές εκπομπές ήχου και video, με αποτέλεσμα να μην προσφέρεται απλώς τηλεόραση αλλά ένα πακέτο από υπηρεσίες πολυμέσων. Η ίδια εξέλιξη συνέβη και στις κινητές υπηρεσίες GSM, με τα κινητά τηλέφωνα 3^{ης} γενιάς να παρέχουν νέες προστιθέμενης αξίας υπηρεσίες.

Έχει ήδη προταθεί ότι το DVB-T είναι ιδιαιτέρως κατάλληλο για κινητή πρόσβαση Ίντερνετ διότι διαθέτει πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα δεδομένων (10 - 15 Mbps) απ' ότι η σημερινή συμβατική πρόσβαση Ίντερνετ στο σπίτι. Ακόμη υπολογίζεται ότι, με χρήση του ίδιου συστήματος και του ίδιου τερματικού, θα μπορούν να προσφέρεται πολύ γρήγορη πλοήγηση, πολύ γρήγορο κατέβασμα μεγάλων αρχείων (για παράδειγμα υψηλής ανάλυσης εικόνες και αναβαθμίσεις λογισμικών) και ροή υψηλής ποιότητας video / ήχου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Δίκτυα πέραν της τρίτης γενιάς (Beyond 3G Networks)

2.1 Εισαγωγή

Τα δίκτυα πέραν της τρίτης γενιάς όπως φαίνεται και από το όνομά τους, ονομάζονται τα ασύρματα συστήματα δικτύων που αποτελούν την εξέλιξη των συστημάτων τρίτης γενιάς. Χαρακτηριστικό αυτών των δικτύων είναι η χρήση διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης σε υπηρεσίες από τα τερματικά των χρηστών. Ο στόχος των δικτύων πέραν της τρίτης γενιάς είναι η καλύτερη αξιοποίηση των πόρων του δικτύου από το τερματικό του χρήστη αλλά και η χρήση υπηρεσιών παντού και πάντοτε. Παρακάτω θα φανεί αναλυτικότερα ο σκοπός αυτών των δικτύων, πώς επιτυγχάνεται η παροχή υπηρεσιών παντού και κάθε στιγμή μέσω ενός μηχανισμού διαπομπών και τέλος πιθανές εφαρμογές αυτών των δικτύων.

2.2 Χαρακτηριστικά των δικτύων πέραν της τρίτης γενιάς

Όπως αναφέρεται και προηγουμένως, ο πρωταρχικός στόχος αυτών των δικτύων είναι με τη χρήση του ήδη υπάρχοντος δικτυακού εξοπλισμού, αλλά και με την προσθήκη νέου, η καλύτερη αξιοποίηση δικτυακών πόρων από τους χρήστες αλλά και παροχή υπηρεσιών παντού και πάντοτε. Ειδικότερα, αξιοποίηση δικτυακών πόρων σημαίνει στον κάθε χρήστη για την υπηρεσία που επιθυμεί το δίκτυο να δεσμεύει όσους ακριβώς πόρους χρειάζεται, ούτε παραπάνω ώστε να μένουν αχρησιμοποίητοι πόροι, αλλά ούτε και παρακάτω ώστε να μην είναι δυνατή η ελάχιστη αποδεκτή ποιότητα της υπηρεσίας. Αυτό μπορεί να γίνει και με την δέσμευση περιορισμένου εύρους ζώνης (bandwidth) από το δίκτυο για το συγκεκριμένο τερματικό για τη συγκεκριμένη υπηρεσία αλλά και με την επιλογή της τεχνολογίας πρόσβασης ανάλογα βέβαια με τις δυνατότητες της συσκευής του χρήστη. Μια τεχνολογία που κινείται προς αυτή την κατεύθυνση είναι η Multiple Input Multiple Output (MIMO) όπου το τερματικό χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραίες διαφορετικής τεχνολογίας για την αποστολή δεδομένων και πολλαπλές κεραίες για τη λήψη. Έτσι πλέον το δίκτυο βλέπει το τερματικό ως ένα σύνολο ροών δεδομένων (data flows) ανάλογα με την τεχνολογία και την υπηρεσία.

Η δυνατότητα διαπομπών μεταξύ διαφορετικών περιοχών κάλυψης είτε ίδιας τεχνολογίας είτε διαφορετικής ανάλογα με την κινητικότητα του χρήστη και το φόρτο του δικτύου κάνουν δυνατή την ανά πάσα στιγμή και σε κάθε σημείο δυνατότητες δικτύωσης και παροχής υπηρεσιών. Για την υλοποίηση του παραπάνω χρειάζεται η δημιουργία μιας διεπαφής που θα συνδέει τα σημεία πρόσβασης του δικτύου (Points of Access, PoA) που εξαρτώνται από την τεχνολογία που εξυπηρετούν με τον βασικό κορμό του δικτύου ο οποίος θα βασίζεται στο πρωτόκολλο IP. Ένα πρωτόκολλο που αναπτύσσεται ώστε να παίξει το ρόλο της ενδιάμεσης διεπαφής είναι το IEEE 802.21 που περιγράφεται στο παρακάτω κεφάλαιο. Για να είναι δυνατή μια τέτοια λύση χρειάζεται το κόστος χρήσης της να είναι χαμηλό αλλά και να υπάρχει ένας ενιαίος τρόπος χρέωσης ανεξάρτητα του πάροχου και των τεχνολογιών πρόσβασης που χρησιμοποιούνται.

Όπως είναι αναμενόμενο, ένα άλλο χαρακτηριστικό των δικτύων πέραν της τρίτης γενιάς είναι οι αυξημένοι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων. Ειδικότερα, το δίκτυο θα μπορεί να προσφέρει ρυθμό δεδομένων για ένα κινούμενο χρήστη έως και 100Mbps ενώ για ένα ακίνητο χρήστη 1Gbps. Με στόχο να φτάσει ο ελάχιστος ρυθμός δεδομένων από σημείο σε σημείο να είναι τα 100Mbps. Επιπλέον, χαρακτηριστικό αυτών των δικτύων είναι και η υψηλή προσφερόμενη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) με τη χρήση ενός αλγορίθμου διασφάλισης της ποιότητας υπηρεσίας στο δίκτυο. Όταν το δίκτυο πλησιάζει σε συμφόρηση εκτελείται ο αλγόριθμος και με τις κατάλληλες διαπομπές χρηστών θα αποφεύγεται η επερχόμενη δυσλειτουργία του. Ο αλγόριθμος εκτός από το παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα και την αύξηση του αριθμού των χρηστών που μπορούν να εξυπηρετηθούν από το δίκτυο σε μια συγκεκριμένη περιοχή καθώς οι χρήστες πλέον μοιράζονται σε διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης.

Παράλληλα με την αυξημένη ποιότητα υπηρεσιών έρχεται και το αυξημένο επίπεδο ασφαλείας. Όσον αφορά την ασφάλεια στη μετάδοση των δεδομένων το πρωτόκολλο IEEE 802.21 προδιαγράφει μηχανισμούς ώστε να δημιουργούνται ασφαλείς συνδέσεις και να προστατεύσει τα δεδομένα από τον κίνδυνο παρεμβολής ενδιάμεσου σε μια ζεύξη (man-in-the-middle).

2.3 Τα δίκτυα LTE (Long Term Evolution)

Εισαγωγή

Ένα παράδειγμα δικτύου πέραν τις τρίτης γενιάς είναι τα δίκτυα LTE (Long Term Evolution) που εισήχθηκαν στο 3GPP Release 8. Τα LTE δίκτυα έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να προσφέρουν υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης με μέγιστη ταχύτητα στη ζεύξη καθόδου (downlink) έως και 100 Mbps ενώ στη ζεύξη ανόδου (uplink) έως και 50 Mbps. Οι ταχύτητες αυτές είναι αρκετές φορές μεγαλύτερες από αυτές που προσφέρουν τα δίκτυα τρίτης γενιάς 3G. Το LTE υποστηρίζει τη χρήση διάφορων εύρων ζώνης από 1.4 έως 20 MHz καθώς και τη χρήση πολυπλεξίας στο πεδίο του χρόνου (TDD) και της συχνότητας (FDD). Στην περίπτωση του TDD χρησιμοποιείται το ίδιο μέρος του φάσματος και για τις δύο ζεύξεις οι οποίες χωρίζονται μεταξύ τους με από ένα χρόνο ασφαλείας (guard time). Στην περίπτωση του FDD χρησιμοποιείται διαφορετικό τμήμα του φάσματος για το uplink και διαφορετικό για το downlink.

Επιπλέον το LTE βασίζεται και στην εξέλιξη του πυρήνα του δικτύου (core network) των πάροχων κινητής τηλεφωνίας προς μια επίπεδη δομή βασισμένη μόνο σε ανταλλαγή πακέτων IP. Σε αυτή τη νέα δομή το δίκτυο αποτελείται από δύο τύπους κόμβων: το σταθμό βάσης (Base Station ή evolved NodeB) και το Access Gateway. Το άμεσο αποτέλεσμα είναι να μειωθεί ο χρόνος απόκρισης του πυρήνα του δικτύου οπότε και το καθιστά αποδοτικότερο σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπως VoIP και διαδραστικών online εφαρμογών. Επιπλέον η μείωση της πολυπλοκότητας του πυρήνα του δικτύου θα οδηγήσει και σε μείωση του κόστους συντήρησης για τους πάροχους.

Τεχνολογίες OFDM και MIMO

Το LTE βασίζεται στη χρήση Ορθογωνικής Πολύπλεξης με Διαίρεση Συχνότητας (OFDM) και στη χρήση τεχνικών πολλαπλών κεραιών (MIMO).

Η OFDM χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή απόδοση σε περιβάλλοντα όπου το σήμα φτάνει στο δέκτη από πολλαπλές διαδρομές. Η τεχνική μετάδοσης δεδομένων OFDM στηρίζεται στη χρήση πολλών καναλιών μικρού εύρους ζώνης σε αντίθεση με το UMTS (WCDMA) που χρησιμοποιεί μια κεντρική φέρουσα συχνότητα με

εύρος ζώνης 5MHz. Οι φέρουσες που χρησιμοποιούνται έχουν συγκεκριμένες αποστάσεις μεταξύ τους έτσι ώστε να είναι ορθογωνικές και να μην παρεμβάλλονται μεταξύ τους ενώ ο δέκτης να μπορεί να τις αποκωδικοποιήσει. Η τεχνική αυτή διαιρεί την υψηλού ρυθμού μετάδοση δεδομένων σε ένα κανάλι σε παράλληλη χαμηλότερου ρυθμού μετάδοση δεδομένων από πολλά διαφορετικά κανάλια.

Άλλες εφαρμογές όπου χρησιμοποιείται η τεχνική OFDM είναι η Ευρεία Ψηφιακή Μετάδοση Ήχου (Digital Audio Broadcasting), η Ευρεία Ψηφιακή Μετάδοση Βίντεο (Digital Video Broadcasting), τα ασύρματα δίκτυα LAN (IEEE 802.11a, 802.11g και το WIMAX (IEEE 802.16).

Η τεχνολογία MIMO δημιουργεί πολλαπλές διαδρομής μετάδοσης του σήματος στο χώρο . Οι διαφορετικές διαδρομές μπορούν είτε να μεταφέρουν την ίδια πληροφορία είτε διαφορετική. Με αυτούς τους τρόπους είτε αυξάνεται η κάλυψη είτε η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων. Για την επίτευξη των παραπάνω χρησιμοποιούνται πολλαπλές κεραίες και στον πομπό και στον δέκτη. Επιπλέον με τη χρήση πολλαπλών κεραιών επιτυγχάνεται αύξηση στη χωρητικότητα και αποδοτικότερη χρήση του φάσματος.

Άλλες εφαρμογές που χρησιμοποιείται η τεχνολογία MIMO είναι το WIMAX (IEEE 802.16) και το ασύρματα δίκτυα LAN (IEEE 802.11n)

2.4 Διαπομπές

2.4.1 Γενικά

Όπως είδαμε και προηγουμένως πολλά χαρακτηριστικά των δικτύων πέραν της τρίτης γενιάς βασίζονται στις διαπομπές των κινητών τερματικών. Για να είναι χρήσιμες οι διαπομπές πρέπει να μη γίνονται αντιληπτές από το χρήστη, δηλαδή να μην διακόπτεται η υπηρεσία αλλά ούτε και να υποβαθμίζεται η ποιότητα της κάτω από ένα ελάχιστο αποδεκτό όριο. Πολύ περισσότερο πρέπει να γίνονται αυτόματα χωρίς καμιά παρέμβαση από τον χρήστη και να εξαρτώνται από τις επιλογές και τα χαρακτηριστικά του χρήστη και τους διαθέσιμους πόρους του δικτύου.

2.4.2 Είδη διαπομπών

Τα είδη των διαπομπών μπορούν να ομαδοποιηθούν σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το κριτήριο που χρησιμοποιείται. Ειδικότερα τα κριτήρια μπορεί να είναι τότε δεσμεύονται οι νέοι πόροι σε σχέση με τη διακοπή της παλιάς ζεύξης, σε τι τεχνολογίας σημείο πρόσβασης του δικτύου θα γίνει η νέα σύνδεση του τερματικού και τέλος ποιος ξεκίνησε τη διαδικασία της διαπομπής.

Παρακάτω, φαίνονται αναλυτικότερα τα διάφορα είδη των διαπομπών:

Ανάλογα με το πότε δεσμεύονται οι πόροι στο δίκτυο σε σχέση με τη στιγμή που κόβεται η αρχική ζεύξη.

- Hard handover: συμβαίνει όταν κατά τη διαπομπή πρώτα γίνεται διακοπή της αρχικής σύνδεσης του τερματικού με το δίκτυο και ύστερα η δέσμευση των πόρων για τη νέα σύνδεση
- Soft handover: συμβαίνει όταν κατά τη διαπομπή έχουν πρώτα εξασφαλιστεί και δεσμευθεί οι απαραίτητοι πόροι στο νέο σημείο σύνδεσης του δικτύου πριν γίνει η διακοπή της παλιάς σύνδεσης.

Ανάλογα με το αν η διαπομπή γίνεται αισθητή στον χρήστη.

- Seamless handover: συμβαίνει όταν κατά τη διαπομπή ο χρήστης είτε δεν αντιλαμβάνεται καμιά διακοπή ή υποβάθμιση στην ποιότητα της υπηρεσίας του είτε η υποβάθμιση είναι μέσα στα όρια που προδιαγράφονται από τις προδιαγραφές.

Ανάλογα με την τεχνολογία του νέου σημείου σύνδεσης όπου θα συνδεθεί εκ νέου το τερματικό.

- Horizontal handover: συμβαίνει όταν το τερματικό μεταβαίνει από ένα σημείο σύνδεσης του δικτύου σε ένα άλλο ίδιας τεχνολογίας. Αυτό μπορεί να συμβεί και εξαιτίας της κινητικότητας του χρήστη καθώς βγαίνει από τη μια περιοχή κάλυψης του ενός σημείου πρόσβασης και μπαίνει σε αυτή του άλλου.

- Vertical handover: συμβαίνει όταν το τερματικό μεταβαίνει από ένα σημείο σύνδεσης του δικτύου σε ένα άλλο διαφορετικής τεχνολογίας. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε για την αποφυγή συμφόρησης στο συγκεκριμένο σημείο πρόσβασης είτε γιατί ο χρήστης άλλαξε το είδος της χρήσης του δικτύου και απαιτούνται περισσότεροι ή λιγότεροι πόροι για τη εξυπηρέτησή του.

Ανάλογα με το ποιος ξεκίνησε τη διαδικασία της διαπομπής

- MIHO – Mobile Initiated handover: συμβαίνει όταν την αίτηση για διαπομπή την στέλνει το τερματικό του χρήστη στο δίκτυο. Το δίκτυο στη συνέχεια θα κρίνει αν θα κάνει το αίτημα δεκτό και θα προχωρήσει στην προετοιμασία του νέου σημείου σύνδεσης ώστε να δεχθεί το τερματικό. Όπως και στην περίπτωση του vertical handover αυτό μπορεί να συμβεί όταν για παράδειγμα ο χρήστης αρχίζει να χρησιμοποιεί υπηρεσία που απαιτεί μεγαλύτερο εύρος ζώνης από το ήδη υπάρχον.
- NIHO – Network Initiated handover: συμβαίνει όταν η διαδικασία της διαπομπής ξεκινά από τη μεριά του δικτύου. Σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση, το τερματικό τώρα αποφασίζει αν θα δεχθεί να μεταβεί στο συγκεκριμένο σημείο σύνδεσης του δικτύου. Αυτή η περίπτωση εμφανίζεται κυρίως όταν το δίκτυο ανιχνεύει τον κίνδυνο συμφόρησης. Στην περίπτωση που το τερματικό δεχθεί την αίτηση για διαπομπή η διαδικασία προχωράει κανονικά. Στην αντίθετη περίπτωση εξαρτάται από το διαχειριστή του δικτύου αν θα επιτρέψει στο τερματικό να συνεχίσει να είναι συνδεδεμένο ή αν θα του διακόψει τη σύνδεση.
- NAMIHO – Network Assisted Mobile Initiated handover: αυτή η περίπτωση είναι ένας συνδυασμός των δύο προηγούμενων περιπτώσεων MIHO και NIHO. Με κάποιο τρόπο το δίκτυο σε συνεργασία με το κινητό τερματικό αποφασίζουν αν και πώς θα γίνει η διαπομπή.

2.5 Χρήσεις των δικτύων πέραν της τρίτης γενιάς

Όπως γίνεται προφανές από τα χαρακτηριστικά των δικτύων πέραν της τρίτης γενιάς, από την ανάπτυξη αυτών των δικτύων ευνοούνται όλες οι εφαρμογές και οι υπηρεσίες που χρησιμοποιούν υψηλό εύρος ζώνης. Για παράδειγμα:

- υπηρεσίες τηλεδιάσκεψης με ταυτόχρονη αποστολή ήχου και εικόνας,
- υπηρεσίες τηλεόρασης
- υπηρεσίες MMS και ανταλλαγή αρχείων ήχου και βίντεο

Το πλεονέκτημα αυτών των δικτύων να είναι διαθέσιμα παντού και κάθε στιγμή δίνει ώθηση σε εφαρμογές όπως:

- διαρκούς παρακολούθησης ηλεκτρονικού ταχυδρομείου
- ενημέρωσης τρεχουσών ειδήσεων
- εργασία εκτός γραφείου, όπου αυτό μπορεί να είναι το σπίτι το ταξίδι ή κάποιος άλλος χώρος
- τηλεματικής

2.6 Συμπέρασμα

Για τη λειτουργία των δικτύων πέραν της τρίτης γενιάς, όπως φαίνεται από τα παραπάνω, σημαντικό ρόλο έχουν και οι δυνατότητες των τερματικών. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, χρειάζεται τα τερματικά να έχουν παραπάνω από ένα τρόπο δικτύωσης ώστε να αξιοποιείται η πολλαπλότητα των τεχνολογιών πρόσβασης που παρέχεται από το δίκτυο. Εκτός από το κατάλληλο hardware απαραίτητο είναι και το αντίστοιχο λογισμικό που θα επιτρέπει στα τερματικά να επικοινωνούν με τα διαθέσιμα δίκτυα και να μπορούν με κάποιο τρόπο να επιλέγουν σε ποιο θα κάνουν αίτηση για να συνδεθούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 IEEE 802.21

3.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, το βασικό χαρακτηριστικό των δικτύων πέραν της τρίτης γενιάς είναι οι διαπομπές και κυρίως αυτές μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης. Για την υποστήριξη τους, πρέπει να κατασκευαστεί νέο υλικό και λογισμικό που θα ενσωματωθεί στα τερματικά των χρηστών αλλά και στην υποδομή του δικτύου. Όπως και σε κάθε αντίστοιχη περίπτωση στο παρελθόν, έτσι και τώρα είναι ανάγκη να υπάρξει ένα ανοικτό και πιστοποιημένο πρότυπο το οποίο να είναι ευρέως αποδεκτό και θα περιγράφει τις νέες λειτουργίες. Με αυτόν τον τρόπο καθορίζονται οι αρχές πάνω στις οποίες πρέπει να κινηθούν οι κατασκευαστές ώστε να υπάρχει διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών κατασκευαστών υλικού ή λογισμικού είτε τερματικών είτε στοιχείων του δικτύου. Με αυτό το σκεπτικό για να καλυφθεί το κενό ενός προτύπου στα δίκτυα πέραν της τρίτης γενιάς δημιουργήθηκε μια ομάδα από το Institute of Electrical and Electronics Engineers με σκοπό τη δημιουργία του προτύπου IEEE 802.21.

3.2 Πεδίο εφαρμογής

Το πεδίο εφαρμογής του προτύπου IEEE 802.21 (Media Independent Handover) είναι η δημιουργία των προδιαγραφών, οι οποίες θα παρέχουν πρώτον, ευφυΐα στο επίπεδο ζεύξης και δεύτερον, άλλες σχετικές πληροφορίες με το δίκτυο στα παραπάνω επίπεδα ώστε να βελτιστοποιηθούν οι διαπομπές (handovers) μεταξύ ετερογενών μέσων. Στο πρότυπο αυτό περιέχονται ζεύξεις οι οποίες ορίζονται από τα 3GPP, 3GPP2 και από ενσύρματα και ασύρματα μέσα που ανήκουν στην οικογένεια των προτύπων IEEE 802.

3.3 Σκοπός

Ο σκοπός του προτύπου IEEE 802.21 είναι, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, να βελτιώσει την εμπειρία του χρήστη κινητών συσκευών υποστηρίζοντας διαπομπές (handover) μεταξύ ετερογενών δικτύων.

Το πρότυπο υποστηρίζει διαπομπές τόσο για στατικούς όσο και για κινητούς χρήστες. Σε έναν ακίνητο χρήστη, οι διαπομπές μπορεί να προέλθουν όταν το περιβάλλον μεταβάλλεται με αποτέλεσμα να γίνει ένα άλλο δίκτυο πιο ελκυστικό από αυτό που ήδη χρησιμοποιείται. Μια άλλη πιθανότητα είναι όταν ένας χρήστης, επιλέξει μια εφαρμογή η οποία απαιτεί μετάβαση σε ένα κανάλι με υψηλότερο ρυθμό δεδομένων, για παράδειγμα κατά το «κατέβασμα» ενός μεγάλου αρχείου δεδομένων. Σε όλες τις περιπτώσεις, κατά την διάρκεια της διαπομπής, πρέπει να μεγιστοποιείται το διάστημα συνεχούς παροχής της υπηρεσίας και αντίστοιχα η χρονική διάρκεια όπου θα διακόπτεται η υπηρεσία είτε να είναι ελάχιστη είτε ακόμα περισσότερο να γίνει μηδενική. Για παράδειγμα σε μια τηλεφωνική συνομιλία, όταν χρειαστεί να γίνει αλλαγή δικτύου, η διαδικασία της διαπομπής θα ήταν προτιμότερο να γίνει κατά την διάρκεια μιας παύσης στη συνομιλία, έτσι ώστε να ελαχιστοποιήσει οποιαδήποτε ενδεχόμενο διακοπής της υπηρεσίας.

Όσον αφορά τους κινητούς χρήστες, επιπλέον διαπομπές μπορεί να συμβούν εξαιτίας αλλαγών στην κατάσταση της ασύρματης ζεύξης. Επίσης, μπορεί να συμβούν διαπομπές εξαιτίας αλλαγών στην κεραία κάλυψης ή ακόμα και στις επιθυμητές συνθήκες ζεύξης που εξυπηρετεί τον χρήστη λόγω της κίνησης του κόμβου.

Το πρότυπο IEEE 802.21 υποστηρίζει τη δυνατότητα ταυτόχρονης χρήσης των πληροφοριών που είναι διαθέσιμες στο κινητό τερματικό και στην υποδομή του δικτύου. Ο κινητός κόμβος έχει την δυνατότητα να ανιχνεύει τα διαθέσιμα δίκτυα, ενώ στην υποδομή του δικτύου είναι αποθηκευμένες καθολικές πληροφορίες του δικτύου όπως η λίστα με τις γειτονικές κυψέλες, η θέση μια κινητής συσκευής, οι διαθέσιμες υπηρεσίες υψηλότερου επιπέδου και με αυτόν τον τρόπο βοηθά στην βέλτιστη επιλογή δικτύου. Κινητός κόμβος και δίκτυο, μπορούν να πάρουν αποφάσεις όσον αφορά στην συνδεσιμότητα. Γενικά, και ο κινητός κόμβος και τα σημεία σύνδεσης του δικτύου, όπως σταθμοί βάσης και access points, μπορεί να έχουν αυξημένες δυνατότητες, π.χ. να είναι ικανά να υποστηρίζουν πολλαπλά πρότυπα τηλεπικοινωνιών και ταυτόχρονα να υποστηρίζουν συνδέσεις σε παραπάνω από μια διεπαφή (**interface**).

Το δίκτυο μπορεί να περιλαμβάνει ταυτόχρονα και μικροκυψέλες (π.χ. κάλυψη IEEE 802.11, IEEE 802.15) και μακροκυψέλες (π.χ. κάλυψη 3GPP, 3GPP2, ή IEEE 802.16) οι οποίες είναι γενικά επικαλυπτόμενες. Η διαδικασία των διαπομπών μπορεί να προσδιοριστεί από

μετρήσεις και ερεθίσματα οι οποίες δίνονται από το επίπεδο ζεύξης στον κινητό κόμβο. Οι μετρήσεις μπορεί να αναφέρονται: στην ποιότητα του σήματος, σε διαφορές στο συγχρονισμό, στο ρυθμό λαθών μετάδοσης κλπ.

3.4 Δομές του προτύπου

Ειδικότερα, το πρότυπο αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:

A) Ένα πλαίσιο (framework) το οποίο κάνει δυνατή την αδιάκοπη παροχή υπηρεσιών όταν το κινητό τερματικό (mobile node, MN) αλλάζει μεταξύ ετερογενών τεχνολογιών στο επίπεδο ζεύξης. Το πλαίσιο αυτό βασίζεται στην αναγνώριση μιας στοίβας πρωτοκόλλων διαχείρισης κινητικότητας μέσα στα στοιχεία του δικτύου τα οποία υποστηρίζουν τις διαπομπές. Η περιγραφή του πλαισίου δεν αναφέρεται με λεπτομέρειες για την υλοποίησή του και δεν παρέχει προτάσεις υλοποίησης του προτύπου IEEE 802.21. Επιπλέον παρουσιάζει μοντέλα αναφοράς διαπομπών ανεξαρτήτων μέσου (Media Independent Handover references, MIH) για επίπεδα ζεύξης διαφορετικής τεχνολογίας.

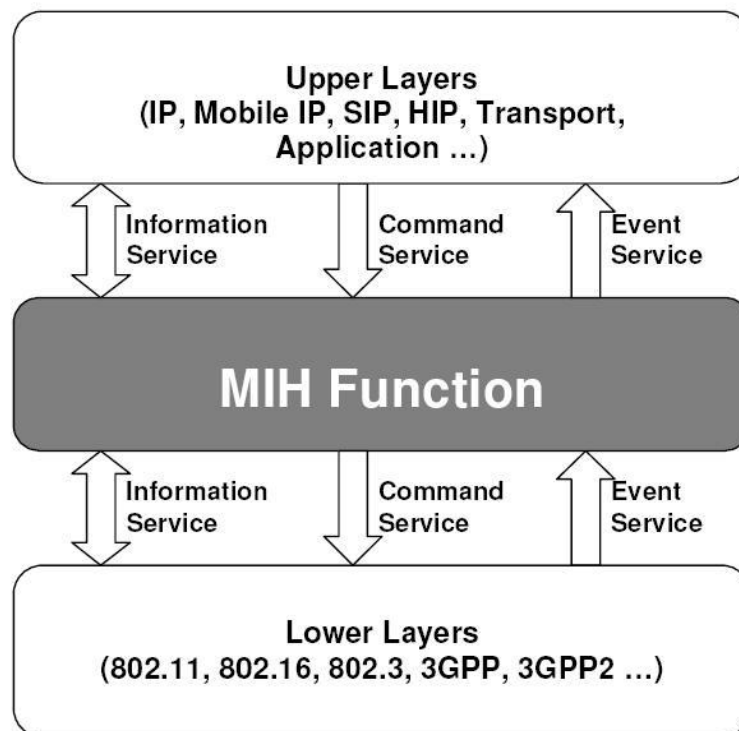
B) Ένα σύνολο από λειτουργίες, που επιτρέπουν τις διαπομπές, μέσα στις στοίβες πρωτοκόλλων των στοιχείων του δικτύου. Έτσι δημιουργείται μια καινούρια δομή που ονομάζεται MIH Function (MIHF). Για τη λειτουργικότητα αυτής της δομής και για να μπορέσουν οι χρήστες να χρησιμοποιήσουν την υπηρεσία των διαπομπών ανεξαρτήτου μέσου (MIH) ορίζεται ένα ανεξαρτήτου μέσου service access point (MIH_SAP) καθώς και συσχετιζόμενες με αυτό στοιχειώδεις δομές.

Οι MIHF παρέχουν τις παρακάτω υπηρεσίες:

- 1) την υπηρεσία Media Independent Event που ανιχνεύει συμβάντα και μεταδίνει ερεθίσματα τόσο στην τοπική όσο και στην απομακρυσμένη διεπαφή.
- 2) την υπηρεσία Media Independent Command που παρέχει ένα σύνολο εντολών για τους χρήστες MIHF ώστε να ελέγχουν τις σχετικές με τις διαπομπές καταστάσεις του δικτύου.

- 3) την υπηρεσία Media Independent Information που παρέχει το πληροφοριακό μοντέλο ερωτήσεων και απαντήσεων, με αποτέλεσμα να δίνει τη δυνατότητα να γίνονται πιο αποτελεσματικές οι αποφάσεις διαπομπής μεταξύ ετερογενών δικτύων.

Γ) Τον ορισμό καινούριων SAPs (Service Access Points) και στοιχειωδών δομών επιπέδου ζεύξης για κάθε τεχνολογία του συγκεκριμένου μέσου. Αυτές οι καινούριες δομές, βοηθούν τη MIHF να συγκεντρώνει πληροφορίες για την ζεύξη και να ελέγξει την συμπεριφορά της ζεύξης κατά την διάρκεια των διαπομπών. Όπου είναι δυνατό, τα καινούρια SAPs μπορούν να προταθούν ως βελτίωση στον ορισμό πρότυπων μέσων αντίστοιχης τεχνολογίας.



Εικόνα 3: Θέση των MIHF και βασικές συναρτήσεις λειτουργίας

Η εικόνα δείχνει τη θέση της MIHF μέσα στη στοίβα πρωτοκόλλων διαχείρισης κινητικότητας για διαπομπές που συνδέονται με αλλαγές μεταξύ ετερογενών δικτύων. Η MIHF παρέχει υπηρεσίες στα παραπάνω επίπεδα μέσω μιας μοναδικής ανεξάρτητης τεχνολογίας διεπαφής (το MIH SAP) και δέχεται υπηρεσίες από τα παρακάτω επίπεδα μέσω

μιας ποικιλίας διεπαφών εξαρτώμενων από την τεχνολογία του μέσου (εξαρτώμενα από το μέσο SAPs).

3.5 Συμπεράσματα

Κατά την ανάπτυξη του προτύπου έχουν βγει τα παρακάτω συμπεράσματα:

- 1) Το κινητό τερματικό είναι ικανό να υποστηρίζει πολλαπλές τεχνολογίες επικοινωνίας οι οποίες μπορεί να είναι είτε ασύρματες είτε ενσύρματες.
- 2) Η MIHF είναι μια λογική οντότητα της οποίας ο ορισμός στο πρότυπο IEEE 802.21 δεν έχει προτάσεις στον τρόπο με τον οποίο η λειτουργικότητά τους υλοποιείται στον κινητό κόμβο ή στο δίκτυο.
- 3) Η MIHF και στον κινητό κόμβο και στο δίκτυο μπορεί να λαμβάνει αλλά και να μεταδίδει πληροφορίες για τις ρυθμίσεις και την κατάσταση των δικτύων γύρω από τον κινητό κόμβο. Αυτή η πληροφορία μπορεί να προέρχεται από διαφορετικά επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλων του κινητού κόμβου ή από διάφορα στοιχεία του δικτύου.
 - a) Όταν η πληροφορία προέρχεται από ένα απομακρυσμένο στοιχείο του δικτύου, η MIHF στον κινητό κόμβο την λαμβάνει μέσω ανταλλαγής μηνυμάτων MIHF με μια αντίστοιχη οντότητα MIHF που βρίσκεται στο απομακρυσμένο στοιχείο του δικτύου.
 - b) Όταν η πληροφορία προέρχεται από ένα χαμηλότερο επίπεδο της στοίβας πρωτοκόλλων μέσα από τον κινητό κόμβο, η MIHF στον κινητό κόμβο λαμβάνει την πληροφορία τοπικά μέσω των στοιχειωδών δομών των SAPs οι οποίες ορίζουν τη διεπαφή της MIHF με τα χαμηλότερα επίπεδα.

3.6 Σημεία πρόσβασης εξαρτώμενα από το μέσο

Το πρότυπο IEEE 802.21 ορίζει γενικής χρήσης SAPs και στοιχειωδών δομών δικτύου που παρέχουν γενική ευφυΐα στο επίπεδο δικτύου. Κάθε μέσο συγκεκριμένης τεχνολογίας χρειάζεται να εμπλουτίσει ξεχωριστά τις εξαρτώμενες από το μέσο SAPs και δομές ώστε να ικανοποιήσει της γενικής χρήσης έννοιες του προτύπου IEEE 802.21. Κατάλληλες προσθήκες μπορεί να χρειαστούν στις προδιαγραφές του επιπέδου ζεύξης (MAC/PHY) των διάφορων εξαρτώμενων από το μέσο τεχνολογιών όπως τα IEEE 802.11, IEEE 802.16, 3GPP, 3GPP2 κλπ. ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις ευφυΐας που ορίζονται από το πρότυπο IEEE 802.21 για το επίπεδο ζεύξης.

3.7 Εισαγωγή στην αρχιτεκτονική του προτύπου

Το πρότυπο IEEE 802.21 προορίζεται ώστε να χρησιμοποιεί μια πληθώρα μεθόδων για διαπομπές. Αυτές οι μέθοδοι, γενικά, κατηγοριοποιούνται ως hard handovers ή soft handovers ανάλογα με το αν η διαδικασία της διαπομπής περιλαμβάνει διακοπή της σύνδεσης πριν τη διαπομπή ή η διαπομπή γίνεται χωρίς να διακοπεί η σύνδεση όσον αφορά την ανταλλαγή πακέτων μεταξύ του κινούμενου κόμβου και του δικτύου.

Γενικά, οι διαπομπές έχουν να κάνουν με τη συνεργασία της υποδομής του κινητού κόμβου και του δικτύου ώστε να ικανοποιήσουν τις ανάγκες και του τελικού χρήστη και του πάροχου.

3.7.1 Αδιάκοπη παροχή υπηρεσιών

Οι διαπομπές μπορεί να συμβούν είτε μεταξύ δύο διαφορετικών δικτύων είτε μεταξύ δύο διαφορετικών σημείων σύνδεσης του ίδιου δικτύου. Σε αυτές τις περιπτώσεις, αδιάκοπη παροχή σημαίνει συνεχή προσφορά υπηρεσίας και κατά την διάρκεια αλλά και μετά την διαπομπή, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα απώλειας δεδομένων και τη διάρκεια της διαπομπής χωρίς να απαιτεί καμία παρέμβαση του χρήστη. Η αλλαγή δικτύου μπορεί να γίνει αντιληπτή από τον χρήστη ή όχι αλλά όμως δεν πρέπει να απαιτείται καμία

ενέργεια από αυτόν ώστε να επανεγκαταστήσει την υπηρεσία. Βέβαια, μπορεί να υπάρξει αλλαγή στην ποιότητα υπηρεσιών ως απόρροια της διαπομπής μεταξύ διαφορετικών δικτύων εξαιτίας ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών των δικτύων. Για παράδειγμα, εάν το QoS που υποστηρίζεται από το καινούριο δίκτυο δεν είναι αποδεκτό, οντότητες από υψηλότερο επίπεδο μπορούν να αποφασίσουν να μη γίνει διαπομπή ή να τερματίσουν τη συγκεκριμένη υπηρεσία. Το πρότυπο ορίζει βασικά στοιχεία τα οποία κάνουν εφικτή τη συνέχιση της υπηρεσίας.

3. 7.2 Ανοχές των εφαρμογών στις διαπομπές

Διαφορετικές εφαρμογές έχουν διαφορετικές ανοχές στην καθυστέρηση και στην απώλεια δεδομένων για παράδειγμα, όταν έχουμε μια αλλαγή δικτύου εξαιτίας επερχόμενης διαπομπής κατά τη διάρκεια μιας παύσης της συνομιλίας τότε η διακοπή της υπηρεσίας ελαχιστοποιείται. Αντίστοιχα και στην περίπτωση ανταλλαγής αρχείων μεταξύ του χρήστη και του δικτύου μια διαπομπή δεν επηρεάζει ουσιαστικά την ποιότητα της υπηρεσίας οποτεδήποτε κι αν γίνει. Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση μιας τηλεδιάσκεψης με ταυτόχρονη μετάδοση εικόνας και ήχου(videoconference), μια οποιαδήποτε διακοπή της υπηρεσίας λόγω διαπομπής θα γίνει αισθητή από τον χρήστη. Από τα προηγούμενα φαίνεται η ανάγκη χρήσης ορίων για το ελάχιστο αποδεκτό επίπεδο διακοπής κάθε είδους υπηρεσίας κατά τη διάρκεια των διαπομπών.

3. 7.3 Ποιότητα υπηρεσιών (QoS)

Η ποιότητα υπηρεσιών είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την απόφαση μιας διαπομπής. Γενικά, η οντότητα που παίρνει την απόφαση για την διαπομπή θα πρέπει να επιλέγει το δίκτυο που υποστηρίζει το πιο ταιριαστό επίπεδο QoS , γι' αυτό λοιπόν το λόγο, για να υπάρχει δυνατότητα διακριτικής διαπομπής, το πρότυπο IEEE 802.21 ορίζει τους τρόπους με τους οποίους η πληροφορία της ποιότητας υπηρεσιών θα ανακτάται για κάθε ένα από τα υποστηριζόμενα δίκτυα και θα είναι διαθέσιμη στα υψηλότερα επίπεδα που εμπλέκονται στη λήψη απόφασης για διαπομπή.

3. 7.4 Εύρεση δικτύου

Για να είναι αποτελεσματικό το σύστημα των διαπομπών στα δίκτυα πέραν της τρίτης γενιάς είναι απαραίτητο να δημιουργηθούν μηχανισμοί ανίχνευσης διαθέσιμων

γειτονικών δικτύων. Η εύρεση δικτύων είναι σημαντική ώστε να παρέχει νέες δυνατότητες επιλογής δικτύου το οποίο θα ταιριάζει στις ανάγκες της εφαρμογής και της κινητικότητας. Το πρότυπο IEEE 802.21 ορίζει τις πληροφορίες δικτύου και καθορίζει τους τρόπους με τους οποίους αυτές οι πληροφορίες θα λαμβάνονται από τις MIHF των χρηστών. Οι πληροφορίες δικτύου μπορεί να περιλαμβάνουν τον τύπο, το αναγνωριστικό, την διαθεσιμότητα και την ποιότητα της ζεύξης.

3. 7.5 Επιλογή δικτύου

Μετά την ανίχνευση των διαθέσιμων δικτύων αναγκαίο είναι να χρησιμοποιηθούν κάποια κριτήρια για την επιλογή του καταλληλότερου δικτύου.

Ειδικότερα, η επιλογή δικτύου είναι η διαδικασία κατά την οποία ένας κινητός κόμβος ή μια οντότητα του δικτύου συλλέγει πληροφορίες γειτονικών δικτύων και επιλέγει κάποιο από αυτά ώστε να εγκαταστήσει δυνατότητα σύνδεσης σε επίπεδο δικτύου. Η επιλογή μπορεί να βασίζεται σε διάφορα κριτήρια όπως την απαιτούμενη QoS, το κόστος, τις επιλογές του χρήστη κλπ. Εάν το επιλεγόμενο δίκτυο δεν είναι το ήδη χρησιμοποιούμενο τότε απαιτείται μετάβαση στο προτιμώμενο δίκτυο. Το πρότυπο IEEE 802.21 ορίζει τρόπους ώστε αυτή η πληροφορία να είναι διαθέσιμη στα υψηλότερα επίπεδα ώστε να είναι δυνατή η αποτελεσματική επιλογή.

3. 7.6 Ασφάλεια

MIH events, εντολές και μηνύματα υπηρεσίας ανταλλάσσονται μεταξύ κινητού τερματικού (Mobile Terminal, MT) και σημείου σύνδεσης του δικτύου (Point of Attachment, PoA). Αυτές οι ανταλλαγές δεν μπορεί να είναι ασφαλείς μέχρι το MT να έχει μια ασφαλή σύνδεση με το PoA του δικτύου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω μηχανισμών ασφαλείας είτε υψηλού είτε χαμηλού επιπέδου. Όταν μια ασφαλής σύνδεση έχει εγκατασταθεί μεταξύ του MT και του PoA του δικτύου οποιαδήποτε ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ δύο MIHF θα διατηρεί την ακεραιότητά της και θα παραμείνει προστατευμένη πάνω από μια ασφαλή μεταφορά. Σε άλλη περίπτωση τα ανταλλασσόμενα μηνύματα MIHF θα είναι επιρρεπή σε επιθέσεις όπως man-in-the-middle. Το πρότυπο IEEE 802.21 ορίζει τρόπους ώστε οι πληροφορίες για την ασφάλεια να είναι διαθέσιμες στα ανώτερα στρώματα ώστε να εγκαθιστούν ασφαλείς συνδέσεις.

3. 7.7 Διαχείριση ενέργειας

Το πρότυπο IEEE 802.21 ορίζει την ανταλλαγή πληροφοριών οι οποίες βοηθούν στη αύξησης της διάρκειας λειτουργίας των μπαταριών. Για παράδειγμα, επιλογές καταστάσεων αναμονής ή αδράνειας μπορεί να βασίζονται στην κατάσταση της ζεύξης σε πραγματικό χρόνο. Η διαχείριση ενέργειας εξαρτάται από τον συγκεκριμένο τρόπο σύνδεσης στο δίκτυο.

3. 7.8 Διαπομπές εξαιτίας της κίνησης των κινητών τερματικών

Οι διαπομπές εξαιτίας της κίνησης των MT μπορεί να είναι είτε οριζόντιες (μεταξύ δικτύων ίδιας τεχνολογίας) είτε κατακόρυφες (μεταξύ δικτύων διαφορετικής τεχνολογίας). Αυτή η προδιαγραφή διευκολύνει τις διαπομπές μεταξύ διαφορετικών δικτύων διαφορετικής τεχνολογίας, παρέχοντας εγκαίρως πληροφορίες όσον αφορά την διαδικασία αλλαγής της ζεύξης και πληροφορίες για τα διαθέσιμα δίκτυα σε μια δοσμένη περιοχή που διασχίζεται από το MT. Επιπροσθέτως, εντολές διαπομπής μπορούν να αποσταλούν σε ένα MT εξαναγκάζοντάς το να αλλάξει τεχνολογία δικτύου.

3. 7.9 Πολιτική διαπομπών

Ο βασικός ρόλος των MIHF είναι να διευκολύνουν τις διαπομπές και να παρέχουν ευφυΐα στην οντότητα επιλογής δικτύου ή στην οντότητα διαχείρισης κινητικότητας που είναι υπεύθυνες για την λήψη απόφασης για διαπομπή. Οι MIHF βοηθούν την οντότητα επιλογής δικτύου με τη χρήση υπηρεσιών event, υπηρεσιών εντολών και υπηρεσιών πληροφοριών.

Το πρότυπο IEEE 802.21 ορίζει υπηρεσίες που βοηθούν τις διαπομπές μεταξύ ετερογενών ζεύξεων. Οι υπηρεσίες MIHF που παρουσιάζονται παρακάτω διευκολύνουν τη διαδικασία διαπομπής παρέχοντας ευφυΐα στο επίπεδο ζεύξης. Αυτό βοηθάει στο να καθορίζεται αν υπάρχει ανάγκη για διαπομπή, να ξεκινάει τη διαπομπή και να διεξάγει την επιλογή ζεύξης από τις MIHF του χρήστη.

- Μια υπηρεσία Media Independent Event Service (MIES) η οποία παρέχει κατηγοριοποίηση, φιλτράρισμα και αναφορά των γεγονότων που αντιστοιχούν

σε δυναμικές αλλαγές στα χαρακτηριστικά, στην κατάσταση και στην ποιότητα ζεύξης.

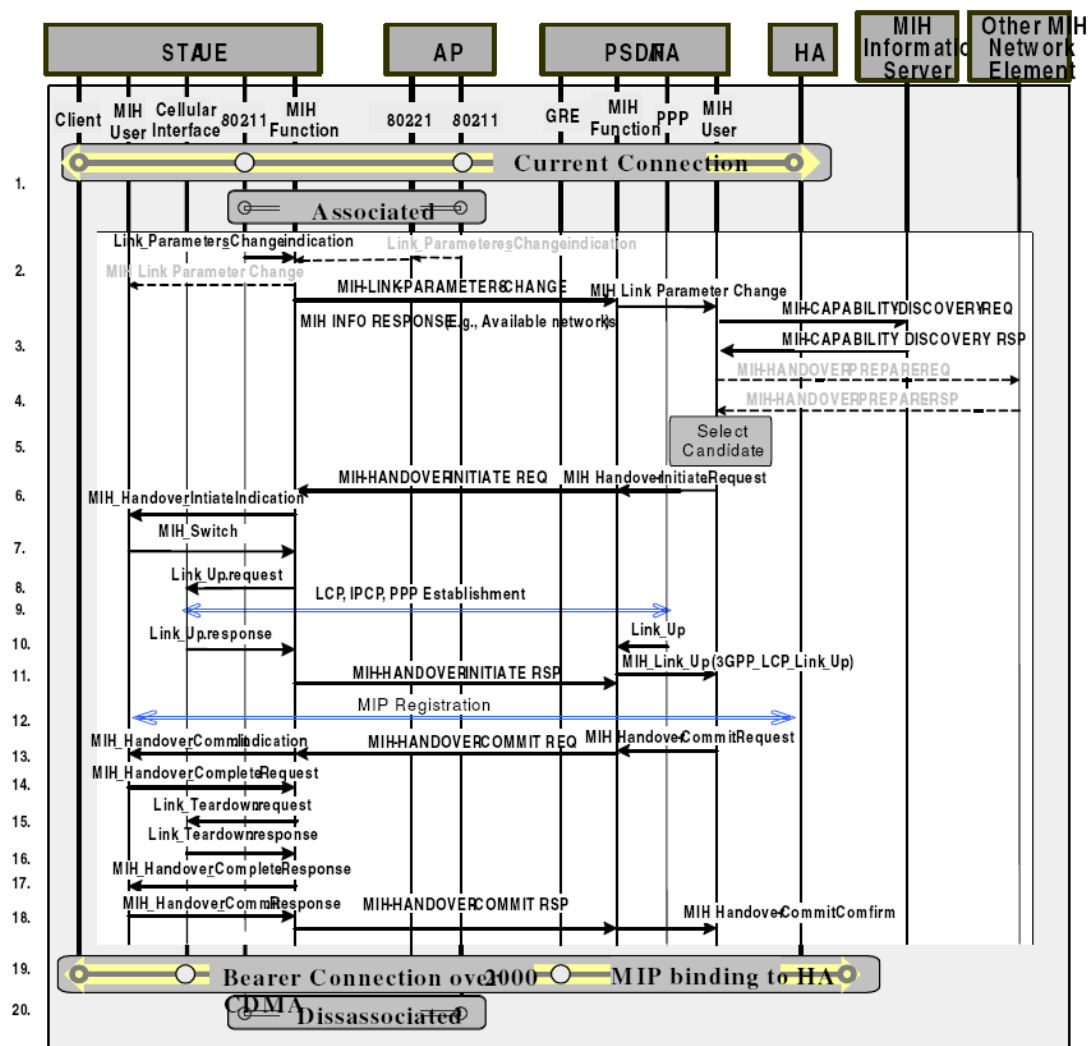
- Μια υπηρεσία Media Independent Command Service (MICS) η οποία δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες της MIHF να διαχειρίζονται και να ελέγχουν την συμπεριφορά της ζεύξης σχετικά με διαπομπές και κινητικότητα.
- Μια υπηρεσία Media Independent Information Service (MIIS) η οποία παρέχει πληροφορίες στα χαρακτηριστικά και στις υπηρεσίες που παρέχονται από τα γειτονικά δίκτυα. Οι πληροφορίες αυτές δίνουν την δυνατότητα λήψης αποτελεσματικών αποφάσεων για διαπομπή.

Οι παραπάνω υπηρεσίες υποστηρίζονται από τη MIHF ώστε να εξυπηρετούν έναν χρήστη τους στη διαχείριση κινητικότητας και στην διαδικασία διαπομπής. Η MIHF πετυχαίνει τη σύγκλιση πληροφοριών για το επίπεδο ζεύξης από πολλαπλά ετερογενή δίκτυα μέσα σε μια ενοποιημένη παρουσίαση στα ανώτερα στρώματα της στοίβας πρωτοκόλλων διαχείρισης κινητικότητας.

3. 7.10 Διαπομπή από δίκτυο 802.11 σε 3GPP2

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα διαπομπής από ένα δίκτυο 802.11 σε ένα 3GPP2 που είναι διαφορετικής τεχνολογίας πρόσβασης. Τα βήματα που χρειάζεται να γίνουν φαίνονται παρακάτω:

- 1) Ο κινητός κόμβος εγκαθιστά μια σύνδεση με ένα 802.11 Access Point (AP)
- 2) Κάποια παράμετρος ζεύξης του IEEE 802.21 αλλάζει π.χ. ανεπιθύμητη κατάσταση επίπεδο ζεύξης. Η MIHF του χρήστη ενημερώνει μέσω του αντίστοιχου μηνύματος αλλαγής παραμέτρου της ζεύξης (MIH Link Parameter Change message). Η MIHF του κινητού κόμβου μπορεί να ενημερώσει και την MIH του τοπικού χρήστη, αυτό φαίνεται στο σχήμα με το διακεκομμένο βέλος.
- 3) Η MIHF του χρήστη ενημερώνει την ομότιμη οντότητα του δικτύου επισημαίνοντας ότι έχει συμβεί μια αλλαγή παραμέτρου στη ζεύξη.



Εικόνα 4: Διαπομπή από δίκτυο 802.11 σε 3GPP2

3.8 Στοιχειώδη μηνύματα διαδικασίες και event του προτύπου IEEE 802.21

Στη συνέχεια παρατίθενται κάποια από τα στοιχειώδη μηνύματα και event του προτύπου βασισμένα στο παράδειγμα της προηγούμενης ενότητας διαπομπής από ένα δίκτυο 802.11 σε ένα 3GPP2.

- Link_Parameters_change** – Στέλνεται από τα επίπεδα ζεύξης και συμβαίνει όταν κάποια παράμετρος του δικτύου αλλάξει. Το event αυτό προκαλεί το **MIH_Link_Parameters_Report.indication** που στέλνεται από τη MIHF στα ανώτερα επίπεδα του δικτύου ώστε να τα ενημερώσει για τις διάφορες παραμέτρους της ζεύξης. Οι οντότητες των ανωτέρων επιπέδων που λαμβάνουν αυτό το indication μπορούν να αντιδράσουν με ποικίλους τρόπους. Για παράδειγμα η οντότητα που

είναι υπεύθυνη για την κινητικότητα (Mobility Management entity) μπορεί να χρησιμοποιήσει τις παρεχόμενες πληροφορίες κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου διαπομπών.

- **MIH_Capability Discovery** – Είναι η διαδικασία που χρησιμοποιείται από το κινητό τερματικό ώστε να διαπιστώσει τις δυνατότητες των γειτονικών MIHF. Η διαδικασία αυτή εκτελείται με δύο τρόπους. Πρώτον παθητικά, ανιχνεύοντας σχετικά μηνύματα broadcast γειτονικών μέσων και δεύτερον ενεργητικά. Πιο συγκεκριμένα, όταν ο πρώτος τρόπος δεν έχει αποτέλεσμα το τερματικό στέλνει ένα μήνυμα broadcast MIH_Capability_Discover.request. Όταν μια οντότητα MIHF λάβει το συγκεκριμένο μήνυμα θα απαντήσει στον αποστολέα με ένα μήνυμα MIH_Capability_Discover.response με το οποίο το τερματικό θα μάθει τις δυνατότητες της MIHF.
- **MIH_Handover_Prepare Request** – Αυτό το μήνυμα ανταλλάσσεται μεταξύ της MIHF του δικτύου που χρησιμοποιεί το τερματικό και της MIHF του υποψήφιου δικτύου για τη διαπομπή. Το μήνυμα αυτό χρησιμοποιείται για να προετοιμαστούν οι πόροι που θα χρειαστούν για την επικείμενη διαπομπή αλλά και για να δεσμευθούν οι πόροι για τη ζεύξη στο νέο δίκτυο.
- **MIH_Handover_Prepare Response** – Το μήνυμα αυτό αποτελεί την απάντηση στο **MIH_Handover_Prepare Request**. Με αυτό μήνυμα ενημερώνεται η MIHF του δικτύου που χρησιμοποιεί το τερματικό από την MIHF του υποψήφιου δικτύου για τη διαπομπή για το αποτέλεσμα της δέσμευσης των πόρων για τη διαπομπή αλλά και της νέας ζεύξης του τερματικού.
- **MIH_Handover_Initiate.request** – Είναι η στοιχειώδης οντότητα που χρησιμοποιείται από τη MIHF είτε του κινητού τερματικού είτε του δικτύου για να επικοινωνήσει με την αντίστοιχη MIHF στην άλλη πλευρά της ζεύξης για να δηλώσει την πρόθεσή της να ξεκινήσει μια διαπομπή. Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, η αίτηση για έναρξη της διαπομπής μπορεί να σταλεί είτε από την πλευρά του δικτύου είτε από την πλευρά του τερματικού. Αυτή η οντότητα δημιουργείται από ένα στοιχείο παραπάνω επιπέδου όπως για παράδειγμα ένα μηχανισμό διαπομπών,

ένα πρωτόκολλο κινητικότητας επιπέδου 3 (επίπεδο δικτύου), κάποια εφαρμογή ή γενικότερα από μια οποιαδήποτε οντότητα που θέλει να αλλάξει κάτι στην υπάρχουσα ζεύξη. Η MIHF που λαμβάνει αυτό το μήνυμα απαντάει με τη στοιχειώδη δομή **MIH_Handover_Initiate.response**. Εάν ο παραλήπτης της εντολής είναι μια MIHF δικτύου μπορεί να ανταλλάξει ένα **MIH_Handover_Prepare** μήνυμα με την MIHF του επιλεγμένου δικτύου διαπομπής πριν απαντήσει.

- **MIH_Handover_Initiate.response** – Αποτελεί την απάντηση στο μήνυμα **MIH_Handover_Initiate.request**. Ο σκοπός της είναι να απαντήσει στην αίτηση για έναρξη διαπομπής. Η οντότητα που λαμβάνει την απάντηση αποφασίζει αν θα προχωρήσει στη διαπομπή ή θα την ακυρώσει. Εάν η απάντηση προορίζεται για τη MIHF ενός τερματικού και είναι θετική ως προς την έναρξη της διαπομπής μπορεί να περιλαμβάνει και επιπλέον πληροφορίες για το επιλεγμένο PoA του επιλεγμένου δικτύου με ένα μήνυμα **MIH_Handover_Commit**
- **MIH_Switch Request** – Το μήνυμα αυτό χρησιμοποιείται για την μετάβαση μιας ενεργής συνόδου (active session) από μια ζεύξη στην άλλη.
- **MIH_Switch Response** – αποτελεί την απάντηση στο μήνυμα **MIH_Switch Request** και είναι η απάντηση στην προσπάθεια μετάβασης της συνόδου μεταξύ των ζεύξεων.
- **Link_Up.indication** – Αυτή η ειδοποίηση συμβαίνει όταν μια ζεύξη επιπέδου 2 (επίπεδο ζεύξης) εγκαθίσταται επιτυχώς. Όταν λάβει αυτή την ειδοποίηση η MIHF ενημερώνει τους χρήστες της στέλνοντας το event **MIH Link UP**. Το αποτέλεσμα αυτού του event μπορεί να είναι η ο μηχανισμός διαπομπής να συγκεντρώνει στοιχεία δρομολόγησης για αυτή τη ζεύξη και να την καταχωρήσει ως υποψήφια για μελλοντικές συνδέσεις. Όταν και υψηλότερου επιπέδου συνδέσεις πραγματοποιηθούν τότε το επίπεδο Μεταφοράς μπορεί να ρυθμίσει τις παραμέτρους μεταφοράς (TCP) βασισμένο στις ιδιότητες της ζεύξης.
- **MIH_Handover_Commit Request** – Το μήνυμα χρησιμοποιείται για την επικοινωνία των MIHF ώστε να ανακοινώσουν την πρόθεσή τους να πραγματοποιήσουν μια διαπομπή προς μια συγκεκριμένη ζεύξη με ένα PoA.

- **MIH_Handover_Commit Response** – χρησιμοποιείται πάλι για την επικοινωνία μεταξύ των MIHF και αποτελεί την απάντηση στην αίτηση για μια συγκεκριμένη διαπομπή (**MIH_Handover_Commit Request**)
- **MIH_Handover_Complete.request** – Η οντότητα αυτή χρησιμοποιείται από τη MIHF του νέου δικτύου για να ενημερώσει την αντίστοιχη οντότητα του αρχικού ότι ολοκληρώθηκε η διαπομπή στο νέο δίκτυο. Από εκείνη τη στιγμή το παλιό δίκτυο μπορεί να προωθήσει τα όποια εκκρεμή πακέτα στο νέο δίκτυο και να αποδεσμεύσει τους πόρους της ζεύξης.
- **MIH_Handover_Complete.response** – Η οντότητα αυτή αποτελεί την απάντηση στην **MIH_Handover_Complete.request**.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Το πρόγραμμα D.A.I.D.A.L.O.S.

4.1 Εισαγωγή

Η προσομοίωση και αξιολόγηση των αλγορίθμων διαχείρισης των δικτυακών πόρων στα δίκτυα πέραν της τρίτης γενιάς (B3G) έγινε στο πλαίσιο του προγράμματος D.A.I.D.A.L.O.S. (**D**esigning **A**dvanced network **I**nterfaces for the **D**elivery and **A**dministration of **L**ocation independent, **O**ptimised personal **S**ervices). Αναλυτικότερα παρουσιάζονται παρακάτω ο σκοπός, οι στόχοι και οι κατευθυντήριες γραμμές του προγράμματος.

4.2 Σκοπός του D.A.I.D.A.L.O.S.

Το πρόγραμμα D.A.I.D.A.L.O.S. έχει σκοπό το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την επικύρωση ενός νέου σχεδίου συνόλου προτύπων για τα δίκτυα πέραν της τρίτης γενιάς B3G. Τα πρότυπα αυτά υποστηρίζουν ασφαλείς, προσωποποιημένες και ευρέως διαδεδομένες υπηρεσίες που στηρίζονται στις υποδομές και στις υπηρεσίες ετερογενών δικτύων και είναι προσανατολισμένα προς τον κινητό χρήστη.

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα στηρίζεται στο γεγονός ότι η κινητικότητα και γενικότερα οι μετακινήσεις είναι πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μας και στον επαγγελματικό χώρο και στην εκπαίδευση αλλά και στον ελεύθερο μας χρόνο. Αντιμετωπίζει τις ραγδαίες τεχνολογικές και κοινωνικές αλλαγές οι οποίες καθώς εξαπλώνονται και πολλαπλασιάζονται περιπλέκουν τους τρόπους επικοινωνίας για τους χρήστες αλλά και τους διαχειριστές των δικτύων. Με την αναθεώρηση βασικών τεχνολογικών και επιχειρησιακών θεμάτων, το πρόγραμμα D.A.I.D.A.L.O.S. σκοπεύει να δημιουργήσει τηλεπικοινωνιακές υποδομές που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να διαχειριστούν αποτελεσματικά στο μέλλον. Ο στόχος είναι η απρόσκοπτη λειτουργία και ευρεία πρόσβαση σε περιεχόμενο και υπηρεσίες μέσω ετερογενών δικτύων όπου θα υποστηρίζει σύστημα παραμετροποίησης βάσει των επιλογών του χρήστη.

Το βάρος του προγράμματος πέφτει στην παροχή μιας λύσης βασισμένης μόνο στο πρωτόκολλο IP με στόχο τη δημιουργία μιας υποδομής που θα παρέχει στους χρήστες,

κινητούς και ακίνητους, απρόσκοπτη και αδιάλειπτη παροχή υπηρεσιών. Επιπρόσθετα, με το πρόγραμμα D.A.I.D.A.L.O.S. ενσωματώνονται Ad Hoc δίκτυα, broadcasting (DVBS/T/H, BWA), κυψελωτά δίκτυα UMTS ώστε να υποστηρίζει κατά τύπους υπηρεσίες.

4.3 Αρχές του προγράμματος D.A.I.D.A.L.O.S.

Το πρόγραμμα D.A.I.D.A.L.O.S. κινείται πάνω στους παρακάτω πέντε άξονες:

- MARQS (Mobility Management, AAA [Authentication, Authorisation and Accounting], ResourceManagement, QoS and Security), υποστήριξη λειτουργικής ενοποίησης υπηρεσιών μέσω ετερογενών τεχνολογιών.
- VID (Virtual Identity), δημιουργία εικονικής ταυτότητας χρήστη που θα διαχωρίζει τον χρήστη από τη συσκευή ώστε να υπάρχει ευελιξία, ασφάλεια και εξατομίκευση των υπηρεσιών.
- USP (Ubiquitous and Seamless Pervasiveness), απρόσκοπτη και συνεχή παροχή υπηρεσιών που θα προσαρμόζονται ανάλογα με τις επιλογές, την κινητικότητα και το περιεχόμενο που ζητά ο χρήστης.
- SIB (Seamless Integration of Broadcast), απρόσκοπτη ενοποίηση με εκπομπές broadcast τόσο σε επίπεδο τεχνολογικό όπως DVB-S/T-H αλλά και όσο σε επίπεδο υπηρεσιών όπως τηλεόραση κλπ.
- Δημιουργία μιας ομοσπονδίας που θα επιτρέπει σε διαχειριστές δικτύων και πάροχους υπηρεσιών να προσφέρουν και να λαμβάνουν υπηρεσίες σε ένα δυναμικό επιχειρησιακό περιβάλλον.

4.4 Τα δύο σενάρια του προγράμματος D.A.I.D.A.L.O.S.

Σενάριο Mobile University: Αυτό το σενάριο αντιμετωπίζει το τυπικό παράδειγμα κινητικότητας χρηστών σε ακαδημαϊκούς χώρους. Πιο συγκεκριμένα αφορά την υποστήριξη τις κινητικότητας και των μετακινήσεων φοιτητών και προσωπικού μεταξύ των ευρωπαϊκών πανεπιστημίων. Με αυτόν τον τρόπο θα παρέχεται ένα πιο ευέλικτο εργασιακό περιβάλλον για τα μέλη τις ακαδημαϊκής κοινότητας μέσα στο χώρο του πανεπιστημίου κάνοντας

χρήση της πανταχού παρούσας δυνατότητας παροχής υπηρεσιών. Αυτό το σενάριο μπορεί να προσαρμοστεί και για επιχειρήσεις και εξωτερικά συνεργεία.

Σενάριο Automotive: Στο σενάριο αυτό περιλαμβάνει τους χρήστες που βρίσκονται σε κινούμενα οχήματα και κάνουν χρήση των υπηρεσιών είτε για επαγγελματικούς είτε για άλλους λόγους. Η δημιουργία συνθηκών για πανταχού παρούσα δυνατότητα παροχής υπηρεσιών δίνει τη δυνατότητα για αδιάκοπη παροχή των προσφερόμενων υπηρεσιών καθώς ο χρήστης μετακινείται με αυτοκίνητο μεταξύ κτηρίων (σπίτι, εργασία, αεροδρόμιο κτλ). Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ευέλικτων διαπομπών. Και αυτό το παράδειγμα μπορεί να επεκταθεί και στη μετακίνηση με άλλα μέσα όπως αεροπλάνο, τραίνα κλπ.

4.5 Απρόσκοπτη πρόσβαση σε ετερογενή δίκτυα

Ειδικότερα τώρα, το πακέτο εργασίας στο πλαίσιο του οποίου γίνεται η προσομοίωση των αλγορίθμων διαχείρισης πόρων έχει σκοπό την επίτευξη απρόσκοπτης πρόσβασης σε ετερογενή δίκτυα συνδυάζοντας τις διαφορετικές τεχνολογίες επίγειων τηλεπικοινωνιών. Το αποτέλεσμα θα είναι η βελτιστοποίηση της ποιότητας των υπηρεσιών καθώς το δίκτυο θα εκμεταλλεύεται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε υπηρεσίας και τις υπάρχουσες, κάθε φορά, υποδομές του δικτύου. Ουσιαστικά πρόκειται για μια συγκεντρωτική προσέγγιση στην εξυπηρέτηση των κινητών χρηστών μέσω δικτύων Ad Hoc, W-LAN, UMTS και μεταδόσεων broadcast (DVB-x).

Κοιτάζοντας τώρα βαθύτερα, η απρόσκοπτη πρόσβαση επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση ενός καθαρά IP δικτύου στις κινητές τηλεπικοινωνίες. Με άλλα λόγια όλες οι ετερογενείς τεχνολογίες πρόσβασης στο δίκτυο, είτε βασίζονται σε σταθερό εξοπλισμό (π.χ. WLAN, WMAN) είτε όχι (π.χ. ad-hoc δίκτυα, δίκτυα αισθητήρων κλπ), επικοινωνούν με μια κοινή ιδεατή διεπαφή που τις συνδέει με τα παραπάνω στρώματα του δικτύου. Αυτή η αρχιτεκτονική επιτρέπει σε χρήστες που χρησιμοποιούν τερματικά με πολλαπλές δυνατότητες δικτύωσης να έχουν πρόσβαση ταυτόχρονα σε διαφορετικού είδους δίκτυα με εγγυημένη τη συνέχεια των υπηρεσιών που χρησιμοποιούν ενώ την ίδια στιγμή γίνεται βέλτιστη χρήση των πόρων του δικτύου. Επόμενο είναι η ελευθερία στις μετακινήσεις του χρήστη μεταξύ τεχνολογιών στον ίδιο χώρο είτε μεταξύ περιοχών με διαφορετικές δυνατότητες δικτύωσης κάτω από τον ίδιο ή διαφορετικό πάροχο υπηρεσιών. Το ίδιο

συμβαίνει και με τις υπηρεσίες broadcast όπου πλέον με αυτή την αρχιτεκτονική θα είναι συνεχώς και παντού διαθέσιμες.

Όσον αφορά το σύστημα διαχείρισης της προσφερόμενης ποιότητας υπηρεσίας (QoS) κάθε διαφορετικού δικτύου πρόσβασης, έχει τροποποιηθεί και όλα έχουν ενσωματωθεί σε μια ενιαία αρχιτεκτονική διαχείρισης της ποιότητας υπηρεσίας (Access QoS Architecture). Αυτή η αρχιτεκτονική υποστηρίζει την πρόσβαση σε ετερογενείς τεχνολογίες πρόσβασης ακόμα και στην περίπτωση όπου υπάρχουν διαθέσιμα δίκτυα με διαφορετικούς διαχειριστές.

Ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στα θέματα ασφαλείας και ιδιαίτερα στα θέματα δρομολόγησης και στο επίπεδο ζεύξης. Η ασφάλεια στα θέματα δρομολόγησης περιλαμβάνει τον τρόπο χρέωσης κατά τις διαπομπές μεταξύ των δικτύων με διαφορετικές τεχνολογίες. Αυτό είναι δυνατό με την χρήση εικονικών ταυτοτήτων (virtual identity) για κάθε χρήστη, από το επίπεδο υπηρεσιών και εφαρμογών ως το επίπεδο δικτύου. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται υψηλό επίπεδο στην προστασία των προσωπικών δεδομένων των χρηστών χωρίς να παρεμποδίζεται η κινητικότητα και οι διαπομπές μεταξύ δικτύων διαφορετικών πάροχων.

4.6 Εκτέλεση διαπομπών

Παρακάτω παρουσιάζεται ο τρόπος που εκτελούνται οι διαφόρων ειδών διαπομπές στο πρόγραμμα D.A.I.D.A.L.O.S.. Ειδικότερα, παρουσιάζονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

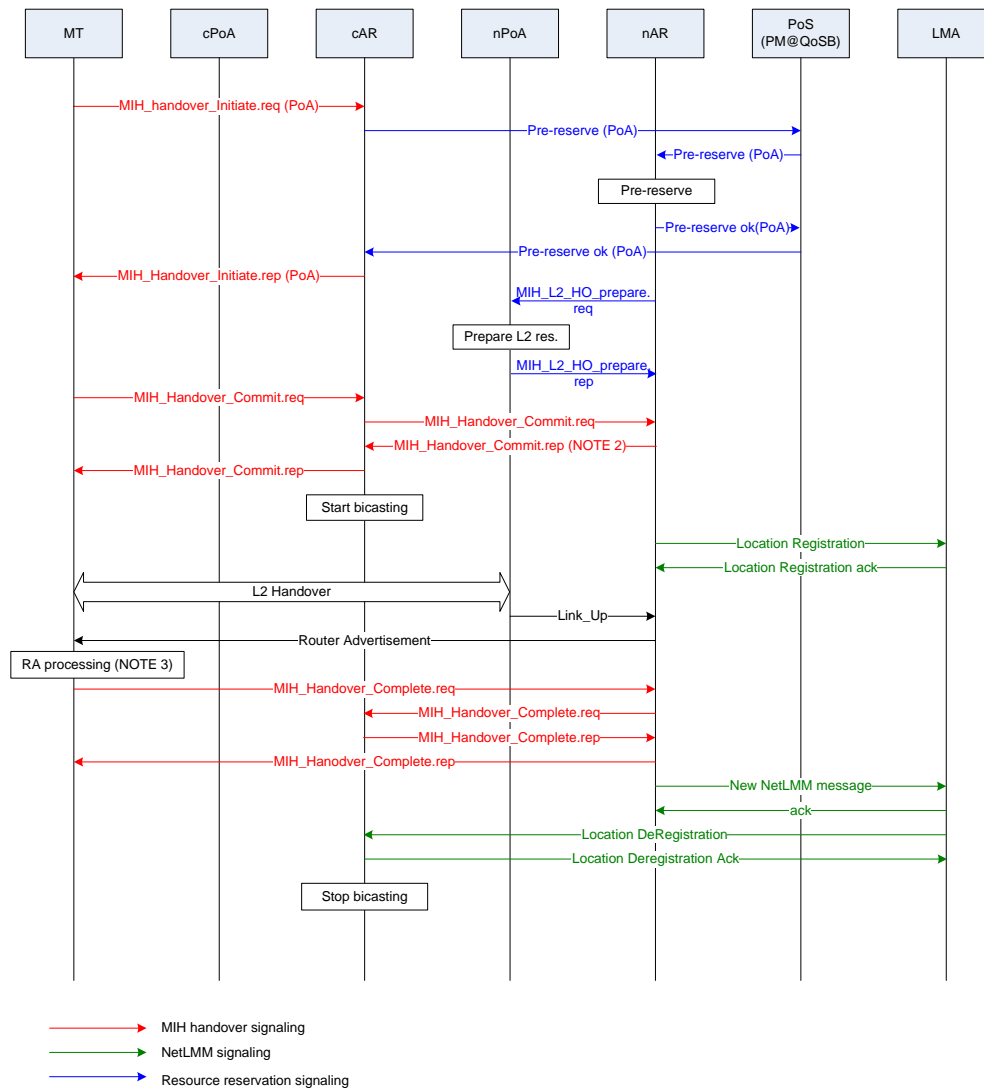
- Διαπομπή όπου το έναυσμα δίνεται από το κινητό τερματικό, Mobile Initiated Handover (MIHO).
- Διαπομπή όπου το έναυσμα δίνεται από το δίκτυο, Network Initiated Handover (NIHO).
- Διαπομπή που αποφασίζεται σε συνεργασία μεταξύ του κινητού τερματικού και του δικτύου. Network Assisted Mobile Initiated Handover (NAMIHO).

4.6.1 Mobile Initiated Handover (MIHO)

Όταν η μονάδα που αποφασίζει τη μετάβαση βρίσκεται στο κινητό τερματικό έχει επιλέξει τα υποψήφια σημεία σύνδεσης, αυτή η επιλογή θα σταλεί στο υπάρχον σημείο σύνδεσης, το οποίο θα εκτελέσει τις απαραίτητες ενέργειες (αναζήτηση και κράτηση πόρων) και θα απαντήσει πίσω στον κινητό κόμβο δίνοντας το αποτέλεσμα των ενεργειών.

Ανάλογα με το αποτέλεσμα ο κινητός κόμβος θα συνεχίσει την διαδικασία εκτελώντας την μετάβαση σε ένα συγκεκριμένο σημείο σύνδεσης. Μετά από αυτό, η κινητή συσκευή θα προσπαθήσει να εγκαταστήσει μια L2 σύνδεση με το καινούριο σημείο χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που έλαβε προηγουμένως (π.χ. BSSID, κανάλι κλπ.) και στη συνέχεια θα προσπαθήσει να εγκαταστήσει μια σύνδεση L3.

Τέλος, μετά την επιτυχή σύνδεση L3 με το καινούριο σημείο σύνδεσης οι πόροι που είχαν δεσμευθεί στην παλιά διαδρομή ελευθερώνονται για να χρησιμοποιηθούν από άλλους χρήστες.



NOTES:

- 1: L2 resource reservation signaling is more or less timely independent of the rest of the procedure.
- 2: this message synchronizes L2 resource reservation and the rest of the procedure: it cannot be sent before MIH_L2_HO_prepare was received by nAR
- 3: RA processing: no address configuration is done here, only route update

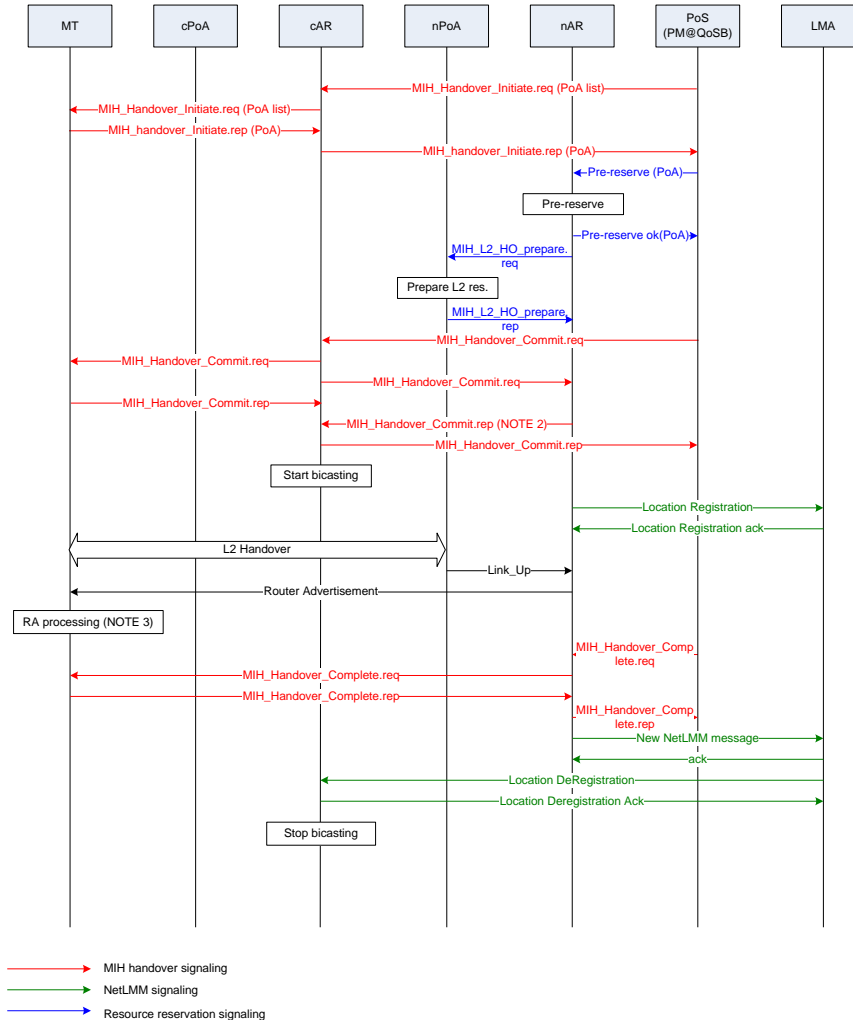
Εικόνα 5: Mobile Initiated Handover

4.6.2 Network Initiated Handover (NIHO)

Σε αυτήν την περίπτωση, η επιλογή δικτύου γίνεται από τον διαχειριστή κινητικότητας (mobility manager) που βρίσκεται στο δίκτυο. Αυτή η οντότητα θα είναι υπεύθυνη για την εκκίνηση της διαδικασίας της μετάβασης παρέχοντας τα καινούρια σημεία σύνδεσης στον κινητό κόμβο, ο οποίος θα επιστρέψει ένα υποσύνολο των δυνατών σημείων σύνδεσης εφαρμόζοντας διάφορα κριτήρια.

Σε αυτό το σημείο η οντότητα του δικτύου θα πραγματοποιήσει τη μετάβαση στο προτεινόμενο σημείο σύνδεσης αφ' ότου πρώτα ζητήσει και ύστερα δεσμεύσει τους

απαραίτητους πόρους. Η υπόλοιπη διαδικασία θα είναι ίδια όπως στην περίπτωση των ΜΙΗΟ, όπου μια σύνδεση L3 εγκαθίσταται αφού ολοκληρωθεί η ζεύξη L2.

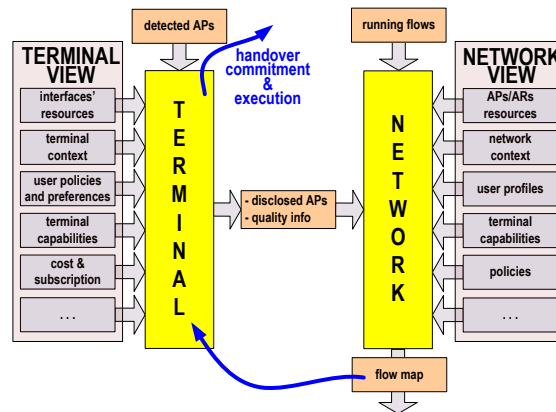


Εικόνα 6: Network Initiated Handover

4.6.3 Network Assisted Mobile Initiated Handover (NAMIHO)

NAMIHO (Network-Assisted Mobile Initiated Handover) είναι μια συνδυαστική στρατηγική διαπομπών των προηγούμενων δύο περιπτώσεων (ΜΙΗΟ και ΝΙΗΟ). Το τερματικό καθώς σαρώνει το περιβάλλον εντοπίζει πολλούς υποψήφιους σταθμούς προκειμένου να εκτελέσει διαπομπή. Αυτοί οι υποψήφιοι σταθμοί εισάγονται ως δεδομένα στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης διασύνδεσης (IIS, Intelligent Interface Selection). Ο

αλγόριθμος θα αποφασίσει αν μια διαπομπή είναι απαραίτητη σύμφωνα με ένα σύνολο από τοπικούς κανόνες (που ορίζονται στο τερματικό) οι οποίοι έχουν να κάνουν με τις προτιμήσεις του χρήστη, επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας ή με συμβάσεις με πάροχους υπηρεσιών. Σε περίπτωση που το IIS αποφασίσει ότι υπάρχει ένα περισσότερο ταιριαστό AP θα δημιουργήσει μια λίστα από αυτά, όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 7, και θα τη στείλει στο δίκτυο. Σε αυτή τη λίστα το τερματικό μπορεί να περιλαμβάνει επιπλέον πληροφορίες τις οποίες θεωρεί ότι πρέπει να ξέρει το δίκτυο (στο διάγραμμα στην Εικόνα 7 το "quality info"). Σε αυτό το σημείο το δίκτυο επεξεργάζεται τις πληροφορίες από το τερματικό, επιλέγει ένα από τα υποψήφια AP και προετοιμάζει τους πόρους της σύνδεσης στην οποία το τερματικό θα εκτελέσει την διαπομπή.



Εικόνα 7: Διαδικασία διαπραγμάτευσης διαπομπής

Η διαδικασία αυτή μπορεί να ξεκινήσει και από IIS του δικτύου το οποίο μπορεί να στείλει μια λίστα από τα δυνατά υποψήφια APs στα οποία το τερματικό μπορεί να εκτελέσει τη διαπομπή. Αυτό μπορεί να συμβεί, όταν για παράδειγμα, το δίκτυο εκτελεί διαδικασίες εξισορρόπησης φορτίου. Όταν λαμβάνει αυτή τη λίστα το IIS του τερματικού θα υπολογίσει κατά πόσο είναι δυνατόν να εκτελέσει μια διαπομπή στα προτεινόμενα AP και θα επιλέξει ένα από αυτά. Μετά από την απόφαση αυτή, το τερματικό θα στείλει στο παρόν δίκτυο αίτηση να ξεκινήσει τη διαπομπή. Από την άλλη μεριά το IIS του τερματικού μπορεί να μη βρει κατάλληλο AP από τη λίστα που έχει σταλεί από το δίκτυο και να αρνηθεί τη διαπομπή που του προτείνεται. Ο τρόπος με τον οποίο το δίκτυο αντιμετωπίζει την άρνηση αυτή έχει να κάνει με το συμβόλαιο του χρήστη με τον πάροχο υπηρεσιών, με την έννοια ότι μπορεί είτε να αποσυνδέσει το τερματικό είτε να το κρατήσει.

restrictive LIST		unrestrictive LIST	
flow id	dest	flow id	dest
flow1	AP3	ALL	ANY
flow2	AP5	AP4 is loaded	
flow3-up	AP2	flow id	dest
flow3-dn	AP3	ALL	ANY but AP4
others	AP1		
AP3 is DVB			
flow id	dest		
ALL but flow2	ANY except AP3		
flow2-up	AP3		
flow2-dn	ANY		
operator does not want user to move to ISP_2			
flow id	dest		
ALL	ANY but AP_ISP_2		

Εικόνα 8: Παραδείγματα αντιστοιχιών ροών

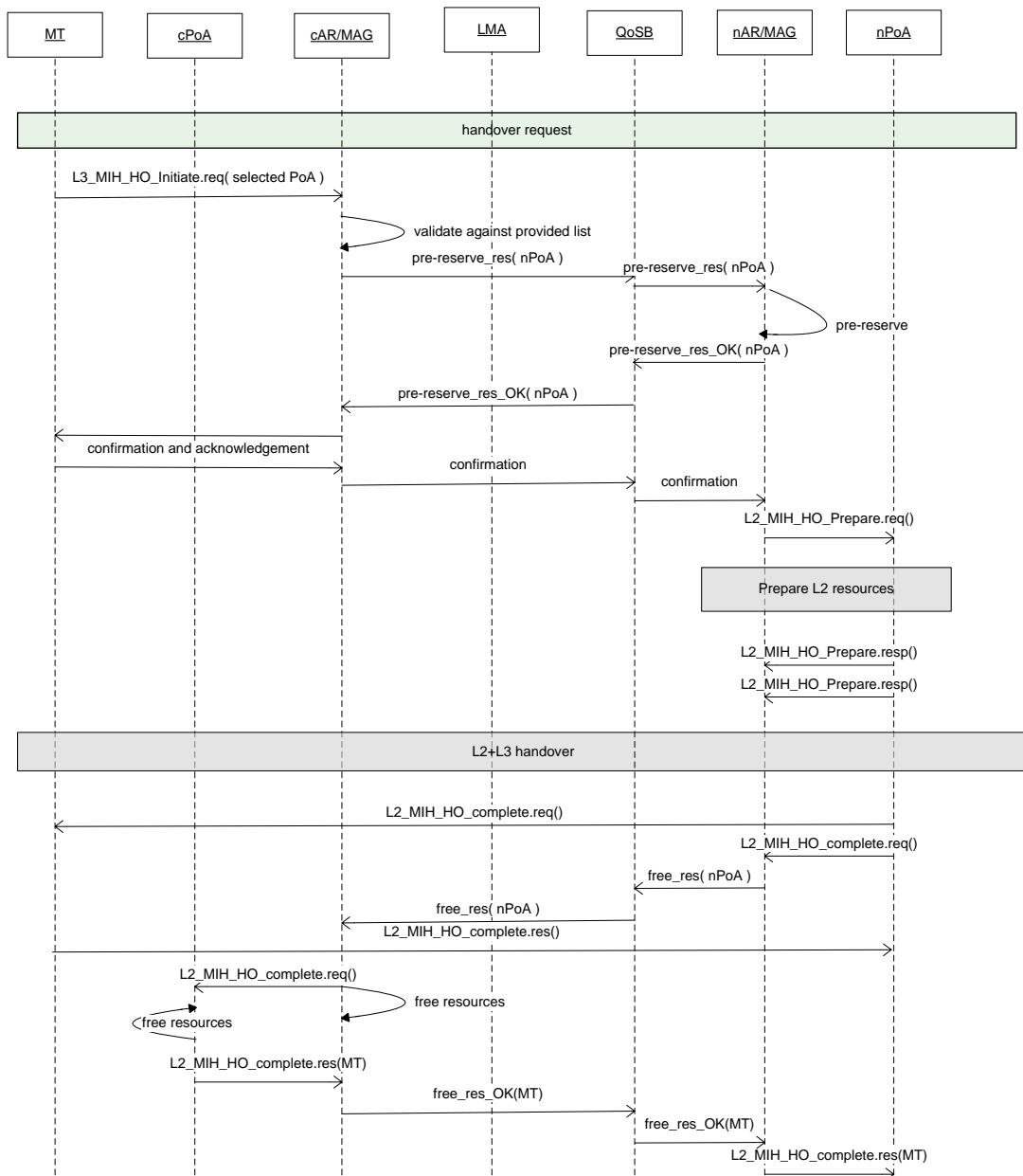
4.7 Διαχείριση πόρων δικτύου σε τρέχουσες συνεδρίες κατά τις διαπομπές

Η Εικόνα 9 παριστά ένα διάγραμμα με τη γενικευμένη ακολουθία μηνυμάτων που δείχνει τον τρόπο διαχείρισης των πόρων κατά τη διάρκεια των διαπομπών. Όταν μια διαπομπή ξεκινήσει (πχ. μετά από συνεργασία των IIS δικτύου και τερματικού), το τερματικό στέλνει μια αίτηση για μια συγκεκριμένη διαπομπή στο δίκτυο να την εγκρίνει ("validate against provided list"). Από τη στιγμή που θα γίνει αποδεκτή η διαπομπή, ειδοποιείται ο QoSB (QoS Broker) ο οποίος ελέγχει την επιλεγμένη γεωγραφική περιοχή και/ή τοπική περιοχή κινητικότητας. Με αυτή την ειδοποίηση κινητοποιείται ο μηχανισμός με τον οποίο το τερματικό θα βρει αποκλειστικούς πόρους όταν φτάσει στο νέο PoA. Ο επιλεγμένος QoSB θα ζητήσει από τον nAR (new Access Router) να δεσμεύσει τους απαραίτητους πόρους σε αυτόν και να απαιτήσει τους ίδιους πόρους από το PoA. Στο πρώτο στάδιο, ο nAR δεσμεύει εκ των προτέρων πόρους που θα αποδεσμευτούν μετά από κάποιο χρόνο. Υπάρχουν δύο λόγοι που δεσμεύονται πόροι σε αυτό το στάδιο:

- να προλάβει την περίπτωση που ένα τερματικό αποφασίσει την τελευταία στιγμή να μην εκτελέσει τη διαπομπή
- και να προλάβει τις περιπτώσεις όπου η δέσμευση πόρων σε μια συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να παίρνει πολύ χρόνο (IEEE 802.16 είναι μια τέτοια περίπτωση)

Όταν το τερματικό επιβεβαιώσει τη διαπομπή, οι πόροι δεσμεύονται στα AP/AR προορισμού. Αφότου το τερματικό, ή πιο σωστά η διεπαφή εκτελέσει τη διαπομπή, μια διαδικασία αποδέσμευσης πόρων ξεκινά στα παλιά PoA και AR. Στη συνέχεια όταν έρθει ένδειξη από το νέο PoA, ο QoSB θα ενημερώσει πλέον τα προηγούμενα AP και AR να αποδεσμεύσουν όλους τους πόρους που σχετίζονταν με το συγκεκριμένο τερματικό.

Ειδική μέριμνα πρέπει να ληφθεί ώστε να αποτραπούν οι διπλές κρατήσεις πόρων και την ίδια στιγμή να εξασφαλίζεται η ποιότητα της υπηρεσίας για το τερματικό του χρήστη. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι όταν το τερματικό αποδεχθεί τη διαπομπή έχει ένα προκαθορισμένο χρονικό περιθώριο να την εκτελέσει. Μετά το πέρας αυτού του χρόνου οι πόροι θα αποδεσμευτούν από το παλιό PoA και AR ακόμα κι αν το τερματικό δεν έχει ολοκληρώσει τη διαπομπή. Αυτό γίνεται ώστε να μην υπάρχουν δεσμευμένοι πόροι για το ίδιο τερματικό σε δύο PoA ταυτόχρονα.



Εικόνα 9: Ρύθμιση του QoS σε μια διακοπή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Αλγόριθμοι διαχείρισης πόρων

5.1 Εισαγωγή

Στη μελέτη εξετάστηκαν δύο διαφορετικοί τύποι αλγορίθμων. Ο πρώτος τύπος ανήκει στην κατηγορία των άπληστων αλγορίθμων (greedy algorithms). Το κύριο χαρακτηριστικό του είναι πως κάθε φορά που παρουσιάζεται συμφόρηση στο δίκτυο εκτελεί πάντα την ίδια διαδικασία εύρεσης λύσης. Η έξοδος του αλγορίθμου κάθε φορά είναι η βέλτιστη λύση για το συγκεκριμένο πρόβλημα. Ο δεύτερος τύπος ανήκει στην κατηγορία των cognitive algorithms. Η βασική διαφορά με τον προηγούμενο είναι η ικανότητα του αλγορίθμου να μαθαίνει προβλήματα που έχει αντιμετωπίσει στο παρελθόν και τις αντίστοιχες λύσεις τους καθώς και να αναγνωρίζει όμοια προβλήματα. Αυτός ο αλγόριθμος σε αντίθεση με τον προηγούμενο, κάθε φορά που παρουσιαζόταν συμφόρηση πρώτα έλεγχε αν είχε αντιμετωπίσει ένα παρόμοιο πρόβλημα με τη συγκεκριμένη περίπτωση στο παρελθόν. Στη συνέχεια αποφάσιζε αν θα χρησιμοποιούσε μια προηγούμενη λύση ή αν θα εκτελούσε από την αρχή τη διαδικασία εύρεσης λύσης.

5.2 Η θέση του αλγορίθμου στο δίκτυο.

Σε κάθε περιοχή του δικτύου υπάρχει ο Διαχειριστή Απόδοσης (Performance Manager, PM) που έχει υπό την εποπτεία του τουλάχιστον έναν Παρατηρητή Απόδοσης (Performance Attendant, PA) για κάθε τεχνολογία. Με τη σειρά τους οι PA διαχειρίζονται τα PoA που βρίσκονται στην περιοχή του δικτύου. Κάθε PoA του δικτύου συνεχώς παρακολουθεί το ελεύθερο εύρος ζώνης που του έχει απομείνει. Όταν διαπιστώσει ότι το διαθέσιμο bandwidth του έχει μειωθεί κάτω από μία οριακή τιμή ειδοποιεί τον Παρατηρητή Απόδοσης του δικτύου στον οποίο ανήκει. Με τη σειρά του ο PA ειδοποιεί τον PM του δικτύου. Ο PM είναι πλέον υπεύθυνος να συλλέξει την εικόνα του δικτύου εκείνη τη στιγμή και αφού εκτελέσει τον αλγόριθμο διαχείρισης πόρων του δικτύου να στείλει πίσω στους PA του δικτύου τις διαπομπές που πρέπει να εκτελεστούν. Από εκείνο το σημείο και μετά οι PA και η κάθε συσκευή χρήστη (UE) πρέπει να εφαρμόσουν τη λύση του αλγορίθμου και να εκτελέσουν τις αντίστοιχες διαπομπές. Υπάρχει πάντα το ενδεχόμενο ένας αριθμός συσκευών να μην εκτελέσουν τις διαπομπές που θα τους ορίσουν. Μια

πιθανή αιτία μπορεί να είναι κάποια ρύθμιση στη συσκευή ή οι όροι σύνδεσης να μην επιτρέπουν μια τέτοια διαπομπή.

Ένα άλλο σημείο που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του αλγορίθμου η κατάσταση του δικτύου ενδέχεται να αλλάξει αρκετές φορές. Αυτό εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του προβλήματος που θα έχει να αντιμετωπίσει ο αλγόριθμος. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι είτε να έχει αποσυμφορηθεί το δίκτυο από μόνο του πχ. έφυγαν κάποιοι χρήστες είτε να έχει δημιουργηθεί συμφόρηση σε κάποιο άλλο σημείο του πχ. έγινε ανακατανομή των χρηστών, εμφανίστηκαν νέοι χρήστες και η συμφόρηση μετατέθηκε σε ένα άλλο PoA.

5.3 Είσοδος του αλγορίθμου.

Όταν υπάρξει συμφόρηση στο δίκτυο σε ένα ή περισσότερα σημεία σύνδεσης, ενεργοποιείται ο αλγόριθμος διαχείρισης πόρων του δικτύου. Ο Διαχειριστή Απόδοσης είναι υπεύθυνος να εφαρμόσει τον αλγόριθμο πάνω στην τρέχουσα εικόνα του δικτύου. Τα δεδομένα του δικτύου ο PM τα βρίσκει από τους Παρατηρητές Απόδοσης του δικτύου. Τη στιγμή που θα ανακοινωθεί στον PM η συμφόρηση θα ζητηθούν από κάθε PA τα δεδομένα του τμήματος του δικτύου που ελέγχει. Γενικότερα οι πληροφορίες αφορούν δεδομένα χρήσης του δικτύου όπως το διαθέσιμο εύρος ζώνης και η τεχνολογία κάθε PoA αλλά και δεδομένα των χρηστών και των τερματικών όπως το είδος της ζήτησης και οι ικανότητες κάθε τερματικού.

Ειδικότερα, οι είσοδοι του αλγορίθμου μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες. Σε πληροφορίες:

- i) των χρηστών,
- ii) των τερματικών,
- iii) των ροών δεδομένων
- iv) και των σημείων πρόσβασης (PoA) στο δίκτυο.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα κάθε κατηγορίας.

Δεδομένα χρηστών:

- UC : Οι κλάσεις των χρηστών. Η παράμετρος αυτή περιλαμβάνει τις κατηγορίες στις οποίες μπορεί να ανήκει κάθε ένα χρήστης για κάθε μία διαφορετική υπηρεσία. Για παράδειγμα αν υποθέσουμε ότι για κάθε υπηρεσία υπάρχουν τρεις κλάσεις η A (υψηλής απόδοσης), η B (κανονικής απόδοσης) και Γ (μειωμένης απόδοσης) ένας χρήστης μπορεί να ανήκει (ή με άλλα λόγια να είναι συνδρομητής) στην κατηγορία A για υπηρεσίες τηλεφωνίας αλλά για την υπηρεσία δεδομένων να είναι στη χαμηλότερη κατηγορία Γ.
- UP_{UC} : Το προφίλ του χρήστη (User Profile) που ανήκει στην κλάση UC. Η παράμετρος αυτή ουσιαστικά είναι μια συνάρτηση που για κάθε κλάση χρήστη και για κάθε είδος υπηρεσίας επιστρέφει τους μέγιστους και ελάχιστους πόρους που επιτρέπεται να διατεθούν.
- $d_{UC,f}$: Η ζήτηση ανά κλάση χρήστη και ανά ροή δεδομένων. Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει τη συνολικό εύρος ζώνης που χρειάζεται κάθε είδος ροής δεδομένων (flow) ανά κλάση χρήστη στον οποίο ανήκει.

Δεδομένα τερματικών:

- TC_{UC} : Το προφίλ του τερματικού. Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει τις δυνατότητες του κάθε τερματικού που βρίσκεται στο δίκτυο. Ουσιαστικά από εδώ ο αλγόριθμος πληροφορείται το σε ποια δίκτυα έχει τη δυνατότητα το τερματικό να συνδεθεί.

Δεδομένα ροών δεδομένων:

- Ο τύπος της ροής.
- q: Οι τρέχουσες απαιτήσεις της ροής. Δηλαδή πόσο εύρος ζώνης έχει δεσμευθεί για αυτή τη στιγμή που έγινε η συμφόρηση.

- $Q_{f,UC}$: Η ποιότητα στην οποία πρέπει να προσφέρεται η ροή f για την συγκεκριμένη κλάση UC .

Δεδομένα των σημείων πρόσβασης:

- t_{PoA} : Η τεχνολογία του PoA .
- $I_{PoA,max}$: Η μέγιστη χωρητικότητα ανά PoA
- $C(p)$: Το κόστος υποστήριξης της λύσης p που ορίζει το τερματικό να πάει στο συγκεκριμένο PoA .

5.4 Αλγόριθμός χωρίς μνήμη

Ο πρώτος αλγόριθμος που εξετάστηκε ανήκει στην κατηγορία των greedy algorithms χωρίς μνήμη. Το χαρακτηριστικό του είναι ότι εξετάζει όλες τις δυνατές λύσεις και από αυτές διαλέγει την πρώτη για την οποία η αντικειμενική συνάρτηση (Objective Function, OF) παίρνει τη μέγιστη τιμή.

Κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου για κάθε πιθανή λύση δημιουργούνται διανύσματα $r_{f,UC}(p)$, όπου δηλώνουν την ανάθεση στο PoA p κάποιων flow κάποιου user class με ίδιες απαιτήσεις. Κάθε πιθανή λύση αξιολογείται με βάση τη χρησιμότητά της (utility) $u_{f,UC,q}$ και το κόστος υποστήριξης της λύσης C . Η χρησιμότητα εξαρτάται από το είδος του flow, το user class και την προσφερόμενη ποιότητα υπηρεσιών σε σχέση με την ιδανική. Από την άλλη μεριά το κόστος της λύσης έχει να κάνει με το πόσο επιθυμητή είναι μια συγκεκριμένη ανάθεση ενός τερματικού να συνδεθεί με ένα PoA . Ανάλογα με το που πρέπει να συνδεθεί μια ροή σε σχέση με το είδος της και το αρχικό PoA στο οποίο ήταν συνδεδεμένη υπάρχουν αναθέσεις που είναι περισσότερο επιθυμητές από άλλες. Για παράδειγμα, προφανώς και είναι προτιμότερο μια ροή δεδομένων να παραμείνει συνδεδεμένη στο PoA που ήδη βρίσκεται από το να συνδεθεί σε κάποιο άλλο. Ενώ αν μια ροή πρέπει να αλλάξει PoA είναι προτιμότερο να μεταβεί σε ένα ίδιας τεχνολογίας από ένα διαφορετικής.

Κάθε λύση χαρακτηρίζεται από την τιμή της διαφοράς $u_{f,UC,q} - C$ που αποτελεί και την αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος: $OF = u_{f,UC,q} - C$. Η λύση που δίνει τη

μεγαλύτερη τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση είναι αυτή που επιλέγεται από τον αλγόριθμο.

Ο αλγόριθμος πλέον λειτουργεί σε επίπεδο ροών δεδομένων (flows). Αρχικά δημιουργεί μια λίστα με τις διαφορετικές ροές. Κάθε κόμβος περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά τις ροής καθώς και την λίστα των διαθέσιμων PoA στα οποία μπορεί να συνδεθεί η ροή. Στη συνέχεια ξεκινάει να δημιουργήσει την πρώτη πιθανή λύση τοποθετώντας κάθε ροή στο πρώτο PoA που βρίσκεται στη λίστα της και υπολογίζει τη χρηστικότητα και το κόστος αυτής της επιλογής. Αφού τοποθετήσει και την τελευταία ροή στο πρώτο PoA της λίστας της υπολογίζει την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης για τη λύση αφαιρώντας από τη συνολική χρηστικότητα το συνολικό κόστος. Για τον υπολογισμό της δεύτερης λύσης ο αλγόριθμος παίρνει τη λύση που έχει υπολογίσει αμέσως πριν, επιστρέφει ένα βήμα πίσω και τοποθετεί την τελευταία ροή στο δεύτερο PoA της λίστας της, αν αυτό υπάρχει, και υπολογίζει εκ νέου την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Αν δεν υπάρχει προχωράει στις διαδοχικά προηγούμενες ροές μέχρι να βρει κάποια που να έχει δεύτερο διαθέσιμο PoA. Στη συνέχεια προχωράει πάλι προς τα μπρος και τοποθετεί τις επόμενες ροές στο πρώτο PoA της λίστας τους. Με αυτό τον τρόπο ο αλγόριθμος περνάει από όλες τις ροές και κάνει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς. Από κάθε πιθανή λύση που κατασκευάζει ο αλγόριθμος αποθηκεύει κάθε φορά αυτή που δίνει τη μεγαλύτερη τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση. Αν δυο ή περισσότερες δυνατές λύσεις δίνουν την ίδια τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση τότε επιλέγεται η πρώτη που υπολογίστηκε κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου. Η λύση ουσιαστικά είναι ένα διάνυσμα με τόσα στοιχεία όσες και οι ροές δεδομένων. Κάθε στοιχείο της λύσης δείχνει σε ποιο PoA από αυτά που βρίσκονται στην λίστα της αντίστοιχης ροής θα πρέπει να συνδεθεί η ροή.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό δεν είναι δυνατόν όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί πάντα να αποτελούν και πραγματικές λύσεις του προβλήματος. Για παράδειγμα, έστω ότι όλες οι ροές έχουν την δυνατότητα να συνδεθούν μεταξύ άλλων και σε ένα κοινό PoA. Ο αλγόριθμος θα κατασκευάσει κι αυτή τη λύση. Όμως υπάρχει η πιθανότητα το συνολικό απαιτούμενο εύρος ζώνης από όλες τις ροές να είναι μεγαλύτερο από το διαθέσιμο του συγκεκριμένου PoA. Για να αποφευχθεί ο υπολογισμός μιας μη πραγματικής λύσης ο αλγόριθμός κάθε φορά που τοποθετεί μια ροή σε ένα PoA μειώνει αντίστοιχα και το διαθέσιμο εύρος ζώνης του PoA. Αν το διαθέσιμο εύρος ζώνης του PoA περάσει ένα

ελάχιστο κατώφλι τότε ο αλγόριθμος απορρίπτει τη λύση και συνεχίζει με τον υπολογισμό της επόμενης. Ο περιορισμός για αυτό το κατώφλι είναι ότι πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το κατώφλι συμφόρησης. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η περίπτωση ο αλγόριθμος να επιστρέψει μια λύση που να προκαλεί νέα συμφόρηση.

Εξετάζοντας τον αλγόριθμο από την πλευρά της απόδοσης θεωρώντας ότι κάθε φορά που εκτελείται το μόνο που μεταβάλλεται είναι η είσοδος παρατηρούμε ότι ο χρόνος εκτέλεσης εξαρτάται από το πλήθος των ροών και από τον αριθμό των PoA στα οποία μπορεί να συνδεθεί η κάθε ροή. Παίρνοντας μια ακραία περίπτωση όπου έχουμε k ροές και αυτές έχουν διαθέσιμα στη λίστα τους ταυτόχρονα n PoA και κάθε συνδυασμός αποτελεί δυνατή λύση τότε το πλήθος των δυνατών συνδυασμών είναι

$$\binom{n+k-1}{k} = \frac{((n-1)+k)!}{(n-1)!k!}$$

5.5 Αλγόριθμος με ικανότητα μάθησης – Cognitive algorithm

Αυτός ο αλγόριθμος αποτελεί μια εξέλιξη του προηγούμενου αλγορίθμου χωρίς μνήμη. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το κύριο χαρακτηριστικό του είναι η δυνατότητα να μαθαίνει, να συγκρίνει και να αναγνωρίζει ομοιότητες μεταξύ του τρέχοντος προβλήματος και προηγούμενων που έχει αντιμετωπίσει. Από το αποτέλεσμα της σύγκρισης καθορίζεται αν μπορεί να εφαρμοστεί μια προηγούμενη λύση ή αν χρειάζεται υπολογισμός μιας νέας λύσης εκ του μηδενός ακολουθώντας τα ίδια βήματα όπως ο προηγούμενος αλγόριθμος. Μετά τον υπολογισμό της νέας λύσης αποθηκεύει το νέο πρόβλημα και την λύση που μόλις υπολόγισε.

Για την αποθήκευση του προβλήματος ο αλγόριθμος χωρίζει τις ροές σε κατηγορίες και αποθηκεύει το πλήθος των ροών σε κάθε κατηγορία. Η λύση αποθηκεύεται ως ένα διάνυσμα όπου σε κάθε PoA ορίζει τον αριθμό των ροών ανά κατηγορία και ανά ποιότητα που τελικά θα είναι συνδεδεμένες. Το πλήθος των ροών σε κάθε μια από τις κατηγορίες ροών που έχουν οριστεί είναι και το κριτήριο που χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος για τη σύγκριση. Για παράδειγμα έστω ότι οι ροές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, αυτές που έχουν να κάνουν με κλήσεις φωνής (voice) και αυτές που έχουν να κάνουν με κλήσεις δεδομένων (data) και ένα τυχαίο πρόβλημα P με n ροές φωνής και d ροές δεδομένων, $P(n,d)$. Ο

αλγόριθμος θα ελέγξει για κάθε αποθηκευμένο πρόβλημα $P'_i(v'_i, d'_i)$ αν τα v, d είναι σε απόσταση $a\%$ σε σχέση με τα v'_i, d'_i . Ειδικότερα αν:

$$v \in (v'_i \cdot (1 - a\%), v'_i \cdot (1 + a\%)) \text{ και } d \in (d'_i \cdot (1 - a\%), d'_i \cdot (1 + a\%))$$

Το a είναι παράμετρος που καθορίζει πόσο αυστηρή θα είναι η διαδικασία ταυτοποίησης. Όσο μεγαλύτερο είναι το a τόσο περισσότερες είναι οι πιθανότητες να αντιστοιχιστεί το νέο πρόβλημα με ένα προηγούμενο. Η τιμή του a δεν μπορεί να είναι πολύ μεγάλη ή πολύ μικρή γιατί τότε ο αλγόριθμος στην πρώτη περίπτωση θα εφαρμόζει λύσεις που δεν βελτιώνουν την κατάσταση του δικτύου και στην δεύτερη περίπτωση οι φορές που θα χρησιμοποιείται μια προηγούμενη λύση θα είναι ελάχιστες οπότε το ουσιαστικό πλεονέκτημα έναντι του προηγούμενου αλγορίθμου δε θα υφίσταται.

Στην περίπτωση που βρεθεί μια αποθηκευμένη περίπτωση στην οποία να μοιάζει το νέο πρόβλημα τότε ο αλγόριθμος προχωράει στην εφαρμογή της αποθηκευμένης λύσης. Η διαδικασία εφαρμογής της λύσης είναι η ακόλουθη. Ξεκινώντας από την πρώτη ροή ελέγχει αν ο συνδυασμός του είδους της ροής και του PoA που είναι αρχικά συνδεδεμένη ανήκει στη λύση. Αν ανήκει τότε στο διάνυσμα της λύσης μειώνει κατά ένα τον αριθμό των ροών του συνδυασμού αυτού και ξεκινάει από την αρχή προχωρώντας στην επόμενη ροή. Αν ο αρχικός συνδυασμός δεν ανήκει στη λύση ο αλγόριθμος αλλάζει το αρχικό PoA του συνδυασμού διαδοχικά με όλα τα PoA που είναι στη λίστα των διαθέσιμων PoA της ροής ώσπου ή να βρεθεί ένας συνδυασμός που υπάρχει στη λύση ή να μην υπάρχουν άλλα PoA στη λίστα. Αν βρεθεί συνδυασμός που ικανοποιεί τη λύση θέτει τη ροή στο νέο PoA. Στην περίπτωση που δε βρεθεί κάποιος συνδυασμός ο αλγόριθμος αφήνει τη ροή στο PoA που βρισκόταν. Στη συνέχεια επαναλαμβάνει από την αρχή αυτή τη διαδικασία για όλες τις υπόλοιπες ροές.

Μετά την εφαρμογή μιας προηγούμενης λύσης η κατάσταση του δικτύου εξαρτάται από το βαθμό που το τρέχον πρόβλημα μπορούσε να προσεγγιστεί από την αποθηκευμένη λύση. Το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι οι περισσότερες ροές να αντιστοιχισθούν σε κάποιο PoA που ανήκει στη λύση και ένα μικρό μέρος αυτών να παραμείνει στο PoA βρισκόταν χωρίς όμως να προκαλεί εκ νέου συμφόρηση στο δίκτυο. Τα δύο ακραία ενδεχόμενα είναι το νέο πρόβλημα να ταυτιζόταν ακριβώς με το αποθηκευμένο ή να ήταν τελείως

διαφορετικό. Η πρώτη περίπτωση σημαίνει ότι το πλήθος, ο τύπος και οι δυνατότητες των ροών ανά PoA είναι ίδια με τα αντίστοιχα του αποθηκευμένου προβλήματος. Σε αυτή την περίπτωση η λύση είναι η βέλτιστη για το πρόβλημα. Στη δεύτερη ακραία περίπτωση το πλήθος των ροών ανά PoA είναι στο όριο που επιτρέπει η παράμετρος α και επιπλέον το είδος και οι δυνατότητες των ροών είναι διαφορετικά από τα αντίστοιχα του προηγούμενου. Σε αυτή την περίπτωση ουσιαστικά το αποτέλεσμα θα είναι όλες οι ροές να μείνουν συνδεδεμένες στα ίδια PoA.

Όπως φαίνεται σε αυτή την υλοποίηση του αλγορίθμου η τιμή της παραμέτρου α έχει σημαντικό ρόλο. Εκτός από το να καθορίζει πόσο αυστηρή θα είναι η ταυτοποίηση καθορίζει και το μέγεθος του χειρότερου αντίκτυπου στο δίκτυο από την εφαρμογή λύσης που προέκυψε από οριακή ταυτοποίηση. Όσες περισσότερες πιθανότητες υπάρχουν να αναγνωρισθεί ένα πρόβλημα, δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η παράμετρος α , αντίστοιχα αυξάνουν και οι πιθανότητες να συμβεί μια οριακή ταυτοποίηση.

5.6 Παράμετροι που επηρεάζουν την απόδοση του αλγορίθμου.

Η απόδοση του αλγορίθμου αλλά και η επίπτωση που θα έχει η προτεινόμενη λύση στο δίκτυο εξαρτώνται από μια σειρά παραμέτρων και μεταβλητών του αλγορίθμου αλλά και του ίδιου του δικτύου. Αρχική παράμετρος του δικτύου που έχει σημαντικό ρόλο είναι το κατώφλι συμφόρησης. Δηλαδή το ελάχιστο ελεύθερο εύρος ζώνης που μπορεί να έχει ένα σημείο σύνδεσης πριν θεωρήσει ότι βρίσκεται σε συμφόρηση. Όσο μικραίνει αυτό το κατώφλι, η πιθανότητα το ελεύθερο εύρος ζώνης κάποιου PoA να το περάσει και να θεωρηθεί ότι βρίσκεται σε συμφόρηση μικραίνει. Άρα και ο αλγόριθμος διαχείρισης πόρων του δικτύου θα εκτελείται λιγότερες φορές, οπότε και θα υπάρχουν λιγότερες διαπομπές. Αυτό σημαίνει και λιγότερες ανακατατάξεις στο δίκτυο, λιγότερος διαχειριστικός φόρτος δικτύου και μεγαλύτερη ικανοποίηση των χρηστών. Βέβαια έχοντας μικρό κατώφλι συμφόρησης σε περίπτωση που παρουσιαστεί συμφόρηση το εύρος ζώνης που είναι διαθέσιμο σε νέους χρήστες για το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να εκτελεστεί ο αλγόριθμος και να φτάσει η λύση στους PA είναι μικρότερο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες το διαθέσιμο εύρος ζώνης να εξαντληθεί και να παρουσιαστούν προβλήματα στους χρήστες σε αυτό το PoA.

Από την άλλη πλευρά αν το κατώφλι είναι μεγάλο τότε ένα PoA θα θεωρεί συχνότερα ότι βρίσκεται σε συμφόρηση. Άμεσο αποτέλεσμα είναι ο αλγόριθμος να εκτελείται συχνότερα και να γίνονται περισσότερες διαπομπές. Το θετικό αυτής της περίπτωσης είναι ότι μειώνεται η πιθανότητα να εξαντληθεί το εύρος ζώνης στο υπό συμφόρηση PoA μέχρι να υπολογιστεί η λύση και να εφαρμοστεί. Το μειονέκτημα είναι ότι καθώς ο αλγόριθμος θα εκτελείται πιο συχνά, θα πρέπει να γίνονται και περισσότερες διαπομπές στο δίκτυο. Αυτό εκτός από τις αυξημένες διαχειριστικές απαιτήσεις οδηγεί και σε μείωση της ικανοποίησης των χρηστών καθώς οι αυξημένες διαπομπές μπορεί να οδηγήσουν σε δυσλειτουργία υπηρεσιών καθώς και σε υποβάθμιση της ποιότητας των υπηρεσιών.

Όσον αφορά πάλι το δίκτυο, οι δύο παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου είναι το συνολικό πλήθος των ροών στο τμήμα του δικτύου που εκτελείται ο αλγόριθμος καθώς και ο αριθμός των εναλλακτικών PoA στα οποία μπορεί να συνδεθεί η κάθε ροή. Ο αριθμός των εναλλακτικών PoA που μπορεί να συνδεθεί κάθε ροή έχει μεγαλύτερο βάρος στον χρόνο εκτέλεσης του αλγορίθμου από τον συνολικό αριθμό των ροών.

Από την πλευρά του αλγορίθμου, μια παράμετρος που παίζει σημαντικό ρόλο στο αποτέλεσμα είναι οι τιμές του πίνακα με τη χρησιμότητα που του δίνεται ως είσοδο. Όπως φάνηκε και προηγουμένως από τις τιμές της χρησιμότητας για κάθε συνδυασμό είδους ροής, ποιότητας και κλάσης χρήστη εξαρτάται η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Ανάλογα με την αξιολόγηση του κάθε συνδυασμού των χαρακτηριστικών της ροής η χρησιμότητα παίρνει αντίστοιχες τιμές. Η τιμές του πίνακα της χρησιμότητας όπως ειπώθηκε και προηγουμένως επηρεάζει μόνο την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Δηλαδή διαφορετικές τιμές μπορεί να οδηγήσουν σε επιλογή διαφορετικής λύσης από το σύνολο των αποδεκτών λύσεων αλλά δεν οδηγούν σε αλλαγή του συνόλου των αποδεκτών λύσεων. Το σύνολο των λύσεων εξαρτάται από το ελάχιστο κατώφλι του αλγορίθμου και από το συνολικό εύρος ζώνης των PoA.

Η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης εξαρτάται και από την τιμή του κόστους. Ανάλογα με την εκτίμηση των διαπομπών από PoA σε PoA ίδιας ή διαφορετικής τεχνολογίας αλλάζουν και οι τιμές του πίνακα του κόστους. Τις ίδιες επιπτώσεις που έχουν

οι αλλαγές στον πίνακα χρησιμότητας έχουν και οι αλλαγές στον πίνακα κόστους. Δηλαδή όπως και οι τιμές του πίνακα χρησιμότητας έτσι και αλλαγές στον πίνακα του κόστους μπορούν να επηρεάσουν την επιλογή της τελικής λύσης από το σύνολο των λύσεων.

Στην περίπτωση του αλγορίθμου με μνήμη σημαντικό ρόλο στην απόδοση του αλγορίθμου έχει και η παράμετρος α . Όπως περιγράφεται και προηγουμένως, επηρεάζει το πόσο ελαστική θα είναι η ταυτοποίηση των λύσεων καθώς και πόσο πιθανό είναι σε ένα ταυτοποιημένο πρόβλημα να εφαρμοστεί λύση που δεν το ικανοποιεί καθόλου.

5.7 Σημεία βελτίωσης

Ο αλγόριθμος όπως παρουσιάστηκε αφήνει αρκετά περιθώρια για βελτιστοποίηση. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά μερικές αλλαγές που μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση του αλγορίθμου.

Ένα πρώτο σημείο είναι η σειρά επεξεργασίας των ροών. Ο αλγόριθμος όπως είναι τώρα επεξεργάζεται τις ροές με τη σειρά με την οποία αυτές φτάνουν στον PM από τους PAs. Ταξινομώντας τις ροές διαφορετικά αλλάζει και ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου. Για παράδειγμα αν ταξινομούνταν με κριτήριο το πόσα εναλλακτικά PoA έχουν στη λίστα τους από αυτή με τις λιγότερες επιλογές σε αυτή με τις περισσότερες θα αποφεύγονταν περιττές επαναλήψεις της υπολογιστικής διαδικασίας του αλγορίθμου. Επίσης με αυτήν την ταξινόμηση αν κάποιο πρόβλημα δεν είχε λύση ο αλγόριθμος θα το αναγνώριζε θα τερμάτιζε την εκτέλεσή του νωρίτερα. Άλλα κριτήρια ταξινόμησης μπορεί να είναι η κλάση του χρήστη στον οποίο ανήκει η ροή, το απαιτούμενο εύρος ζώνης από την ροή ή ακόμα και συνδυασμός τους.

Άλλο σημείο αλλαγής είναι ο αλγόριθμος να έχει τη δυνατότητα να αλλάζει το επίπεδο ποιότητας των ροών. Σε περιπτώσεις που το πρόβλημα δεν έχει λύση ή που η λύση δίνει πολύ χαμηλή τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση με βάση κάποια κριτήρια να μπορεί ο αλγόριθμος να υποβιβάζει το επίπεδο ποιότητας συγκεκριμένων ροών. Με αυτόν τον τρόπο η συνολική ζήτηση εύρους ζώνης μειώνεται και ο αλγόριθμος μπορεί να υπολογίσει νέα λύση που να ικανοποιεί το πρόβλημα.

Στην περίπτωση που η αλλαγή επιπέδου ποιότητας των ροών δεν είναι εφικτή ένας άλλος τρόπος αντιμετώπισης των προβλημάτων που δεν έχουν λύση ή που οι δυνατές λύσεις δίνουν χαμηλές τιμές στην αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος είναι κάποιες ροές να απορρίπτονται από το δίκτυο. Όπως και προηγουμένως και σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμος βάσει κάποιων κριτηρίων μπορεί να αφήνει ροές εκτός δικτύου. Έτσι πάλι το συνολικό εύρος ζώνης που απαιτείται από τις ροές μειώνεται και ο αλγόριθμος μπορεί να υπολογίσει μια νέα λύση για το πρόβλημα. Στις δύο τελευταίες περιπτώσεις, της υποβάθμισης ποιότητας και της αποσύνδεσης ροών από δίκτυο τα κριτήρια εφαρμογής τους εξαρτώνται από το τελικό αποτέλεσμα αλλά και την συνολική ευχαρίστηση των χρηστών.

Ένα ακόμα σημείο βελτίωσης είναι ο αλγόριθμος να μεριμνά για την ισοκατανομή του ζητούμενου εύρους ζώνης στα διαθέσιμα PoA. Ο αλγόριθμος όπως είναι τώρα δεν λαμβάνει υπόψιν την κατανομή των ροών οπότε μπορεί μια λύση να δίνει μεν μεγάλη τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση αλλά ένα PoA μπορεί να είναι υπερβολικά φορτωμένο σε σχέση με τα υπόλοιπα διαθέσιμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το συγκεκριμένο PoA να βρίσκεται πιο κοντά στο σημείο συμφόρησης. Στην περίπτωση που ο αλγόριθμος φρόντιζε να κατανέμει εξίσου το εύρος ζώνης, ο συνολικός φόρτος του δικτύου θα μοιραζόταν σε περισσότερα PoA το δίκτυο θα μπορούσε να δεχθεί περισσότερους χρήστες πριν φτάσει ξανά κάποιο σημείο του σε συμφόρηση.

Ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου μπορεί να είναι από μερικά δέκατα του δευτερολέπτου έως και αρκετά λεπτά. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των ροών. Ένας τρόπος για να περιοριστεί ο χρόνος εκτέλεσης είναι να υπάρξουν κριτήρια που ο αλγόριθμος να σταματά χωρίς να έχει υπολογίσει όλες τις δυνατές λύσεις. Τέτοιο κριτήριο μπορεί να είναι το σύνολο των δυνατών λύσεων που έχει υπολογίσει. Δηλαδή όταν υπολογίσει έναν αριθμό λύσεων να σταματά την αναζήτηση άλλων λύσεων και να επιστρέφει την καλύτερη. Αυτό το κριτήριο μπορεί επίσης να τροποποιηθεί αν θεωρηθεί ότι υπολογίζει μόνο τις λύσεις που δίνουν στην αντικειμενική συνάρτηση τιμές πάνω από ένα κατώφλι.

Ένα άλλο αντίστοιχο κριτήριο είναι και ο μέγιστος χρόνος που μπορεί να τρέξει ο αλγόριθμος. Με γνώμονα τη χρονική διάρκεια που το δίκτυο θεωρείται σε σχετικά σταθερή

κατάσταση μπορεί να ρυθμιστεί ο μέγιστος χρόνος που μπορεί να εκτελείται ο αλγόριθμος. Με το πέρας του χρόνου αν εξακολουθεί να υπάρχει συμφόρηση ο αλγόριθμος επιστρέφει τη βέλτιστη λύση που έχει υπολογίσει ως εκείνη τη στιγμή. Αν δεν έχει υπολογίσει κάποια λύση και εξακολουθεί να υπάρχει συμφόρηση τότε ξεκινά από την αρχή για τα νέα δεδομένα το δικτύου.

Όσον αφορά τώρα τον αλγόριθμο με την ικανότητα μάθησης, ένα σημείο αλλαγής μπορεί να είναι το κριτήριο σύγκρισης μεταξύ των καταστάσεων του δικτύου. Κάθε κατάσταση που αντιμετωπίζει ο αλγόριθμος την θυμάται βάση του πλήθους των ροών ανά κατηγορία – φωνή, ίντερνετ, βίντεο. Το κριτήριο μπορεί να αλλάξει και να γίνει βάση του πλήθους των ροών ανά κατηγορία και ποιότητα της υπηρεσίας – π.χ. φωνή golden, φωνή normal, φωνή economy κ.ο.κ. Με τον τρόπο αυτό καθώς τα στοιχεία σύγκρισης γίνονται περισσότερα η ταυτοποίηση μπορεί να δίνει λύση που να ταιριάζει περισσότερο στο νέο πρόβλημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

6.1 Γενικά

Στη συνέχεια για το σκοπό ελέγχου και σύγκρισης μεταξύ των δύο αλγορίθμων, αναπτύχθηκε μια εφαρμογή η οποία δέχεται ως είσοδο μια την περιγραφή μιας κατάστασης συμφόρησης και προσομοιάζει την εκτέλεση του αλγορίθμου. Έξοδος της εφαρμογής είναι η κατανομή των ροών όπως την παρήγαγε ο αλγόριθμος.

6.2 Εφαρμογή προσομοίωσης

Το γραφικό περιβάλλον χρήστη είναι όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

The screenshot shows a Windows-style application window titled "Form1". It contains a form with various input fields and checkboxes for configuring a simulation. The fields include "Total flows" (0), "Number" (1), "Attached PoA" (1), "Flow Type" (0), "User Type" (0), "Capabilities" (DVB 0, UMTS 0, UMTS 1, UMTS 2, WLAN 0, WLAN 1, WLAN 2), "Quality" (0), "Init Time" (1 sec), "Parameter" (0.80), "Time limit (s)" (10), and "Solution's limit" (999999999). There are buttons for "Add Flows To Algorithm", "Run Algorithm", "Load Case", and "Reset". A "Memory" checkbox is also present. At the bottom, there are four empty text boxes labeled "Debug output", "Initial configuration", "Final PoA BW", and "Final configuration".

Αρχικά ο χρήστης πρέπει να εισάγει το πρόβλημα. Αυτό μπορεί να γίνει με δύο τρόπους αναλυτικά μία μία ροή ή φορτώνοντας κάποιο αρχείο με ένα ήδη αποθηκευμένο πρόβλημα. Στην πρώτη περίπτωση χρειάζεται για κάθε ομάδα ροών με τα ίδια χαρακτηριστικά να δώσει το αριθμό των ροών της ομάδας (Number), το PoA που είναι

συνδεδεμένες (Attached PoA), το είδος της ροής (Flow type), τα PoA στα οποία έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί (Capabilities) καθώς και την ποιότητα (Quality). Στη συνέχεια αφού προσθέσει την ομάδα των ροών (Add flow to algorithm) ο χρήστης χρειάζεται να επαναλάβει τα βήματα και για τις υπόλοιπες ομάδες ροών που θέλει να προσθέσει. Στο τέλος ο αλγόριθμος μπορεί να εκτελεστεί (Run algorithm) και αναλόγως την κατάσταση της επιλογής Memory η εφαρμογή θα εφαρμόσει τον αλγόριθμο με τη δυνατότητα μνήμης ή όχι πάνω στα δεδομένα που εισήχθησαν προηγουμένως και θα επιστρέψει το αποτέλεσμα του αλγορίθμου.

6.3 Προσομοιώσεις σύγκρισης χρόνου εκτέλεσης.

Στις παρακάτω δέκα προσομοιώσεις μελετάται η σχετική διαφορά στο χρόνο εκτέλεσης μεταξύ των δύο αλγορίθμων και πώς αυτή επηρεάζεται από τον αριθμό των ροών και των διαθέσιμων PoA ανά ροή. Σε όλες τις περιπτώσεις θεωρείται ότι στην περιοχή όπου βρίσκονται οι ροές υπάρχει κάλυψη από τα παρακάτω σημεία πρόσβασης:

- Ένα access point DVB με όνομα DVB0 με συνολικό εύρος ζώνης 10 Gbps,
- δύο access points UMTS με όνομα UMTS0 και UMTS1 και εύρος ζώνης για το καθένα 500 Mbps
- τρία access points WiFi με όνομα WLAN0, WLAN1, WLAN2 και εύρος ζώνης για το καθένα 1Gbps

Επιπλέον θεωρείται ότι υπάρχει συμφόρηση σε κάποιο σημείο πρόσβασης όταν το ελεύθερο εύρος ζώνης γίνει λιγότερο από το 20% του συνολικού.

Οι διαφορετικές ροές που μπορεί να υπάρξουν ομαδοποιούνται στις παρακάτω κατηγορίες εύρους ζώνης ανάλογα με το είδος και την ποιότητα της υπηρεσίας. Οι τιμές είναι σε kbps

Type \ Quality	Golden	Normal	Economy
Voice	12.2	12.2	12.2

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Internet	384	128	64
Video	512	256	64

6.3.1 Περίπτωση 1^η

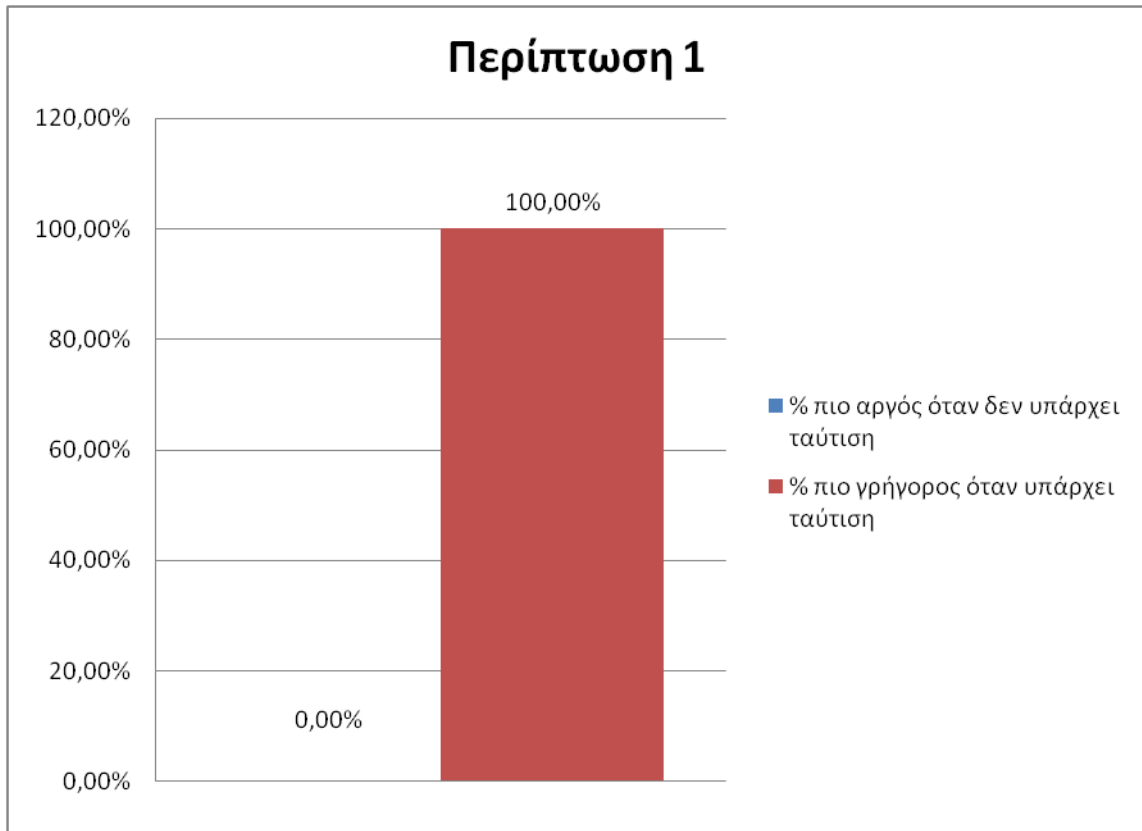
Αρχική κατανομή:

Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA	Δυνατότητες
30	Voice	Golden	UMTS0	UMTS0, UMTS1
33	Voice	Golden	UMTS1	UMTS0, UMTS1

Σε αυτό το πρόβλημα παρατηρείται συμφόρηση στο PoA UMTS1. Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου η κατανομή γίνεται:

Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA
32	Voice	Golden	UMTS0
31	Voice	Golden	UMTS1

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου είναι δύο ροές φωνής από το PoA UMTS1 να μεταφερθούν στο PoA UMTS0. Το ίδιο πρόβλημα δόθηκε ως είσοδος και στους δύο αλγορίθμους με μνήμη και χωρίς, θεωρώντας ότι ο αλγόριθμος με μνήμη έχει αντιμετωπίσει ξανά το ίδιο πρόβλημα. Ο αλγόριθμος με μνήμη ήταν 100% ταχύτερος από τον αντίστοιχο χωρίς μνήμη. Στην περίπτωση που ο αλγόριθμος με μνήμη αντιμετώπιζε το ίδιο πρόβλημα για πρώτη φορά χρειάστηκε τον ίδιο χρόνο με τον αλγόριθμο χωρίς μνήμη. Τα αποτελέσματα φαίνονται και στο παρακάτω γράφημα:



6.3.2 Περίπτωση 2^η

Αρχική κατανομή:

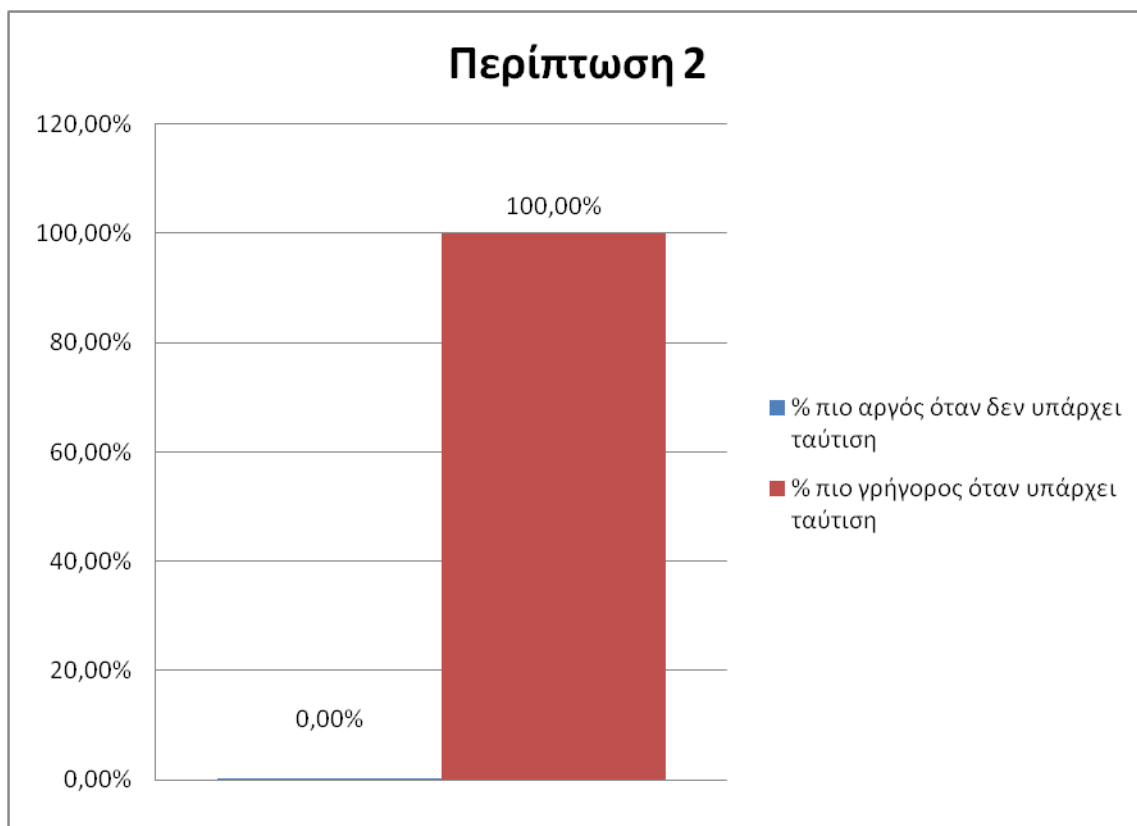
Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA	Δυνατότητες
36	Voice	Golden	UMTS0	UMTS0, UMTS1
25	Voice	Golden	UMTS1	UMTS1

Σε αυτό το πρόβλημα παρατηρείται συμφόρηση στο PoA UMTS0. Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου η κατανομή γίνεται:

Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA
--------	-------	----------	-----------------

32	Voice	Golden	UMTS0
29	Voice	Golden	UMTS1

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου είναι τέσσερις ροές φωνής από το PoA UMTS0 να μεταφερθούν στο PoA UMTS1. Το ίδιο πρόβλημα δόθηκε ως είσοδος και στους δύο αλγορίθμους με μνήμη και χωρίς, θεωρώντας ότι ο αλγόριθμος με μνήμη έχει αντιμετωπίσει ξανά το ίδιο πρόβλημα. Ο αλγόριθμος με μνήμη ήταν 100% ταχύτερος από τον αντίστοιχο χωρίς μνήμη. Στην περίπτωση που ο αλγόριθμος με μνήμη αντιμετώπιζε το ίδιο πρόβλημα για πρώτη φορά χρειάστηκε τον ίδιο χρόνο με τον αλγόριθμο χωρίς μνήμη. Τα αποτελέσματα φαίνονται και στο παρακάτω γράφημα:



6.3.3 Περίπτωση 3^η

Αρχική κατανομή:

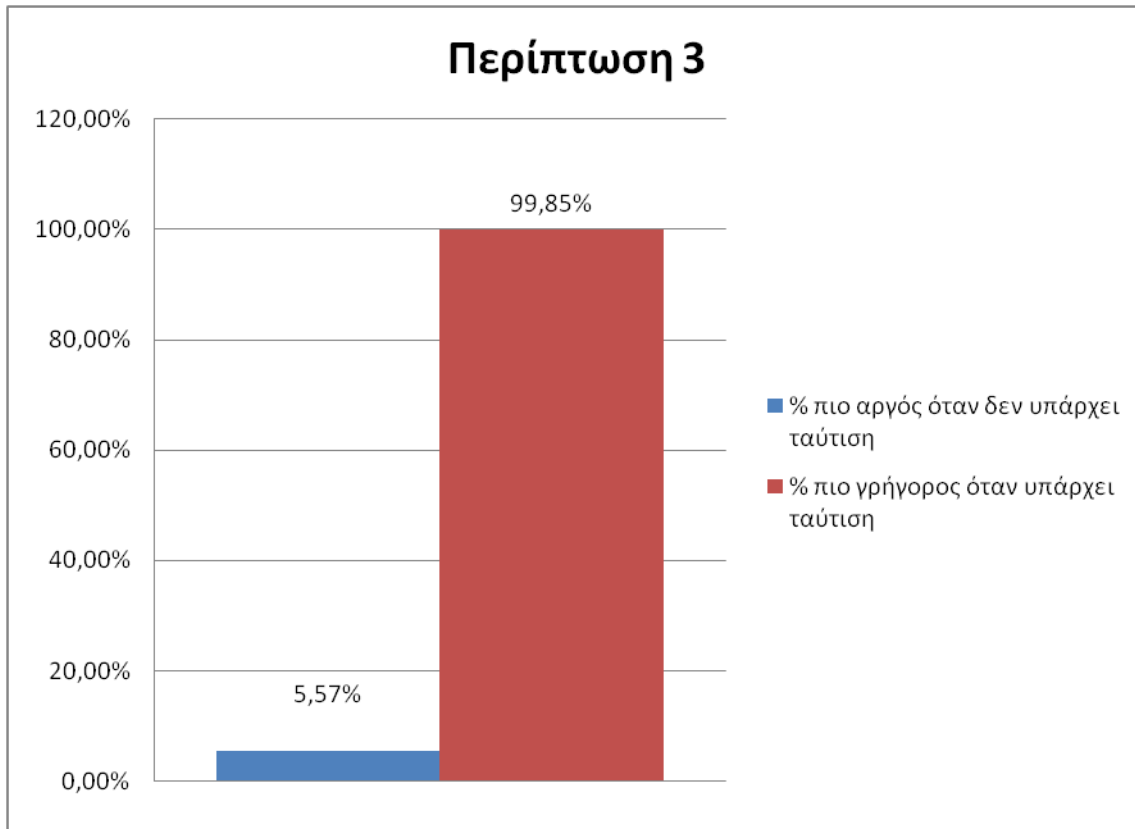
| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA	Δυνατότητες
25	Voice	Golden	UMTS0	UMTS0
10	Voice	Golden	UMTS0	UMTS0, UMTS1
15	Voice	Golden	UMTS1	UMTS0, UMTS1

Σε αυτό το πρόβλημα παρατηρείται συμφόρηση στο PoA UMTS0. Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου η κατανομή γίνεται:

Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA
32	Voice	Golden	UMTS0
18	Voice	Golden	UMTS1

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου είναι τρεις ροές φωνής από το PoA UMTS0 να μεταφερθούν στο PoA UMTS1. Το ίδιο πρόβλημα δόθηκε ως είσοδος και στους δύο αλγορίθμους με μνήμη και χωρίς, θεωρώντας ότι ο αλγόριθμος με μνήμη έχει αντιμετωπίσει ξανά το ίδιο πρόβλημα. Ο αλγόριθμος με μνήμη ήταν 99.85% ταχύτερος από τον αντίστοιχο χωρίς μνήμη. Στην περίπτωση που ο αλγόριθμος με μνήμη αντιμετώπιζε το ίδιο πρόβλημα για πρώτη φορά τότε ήταν πιο αργός κατά 5,57% του αλγορίθμου χωρίς μνήμη. Τα αποτελέσματα φαίνονται και στο παρακάτω γράφημα:



6.3.4 Περίπτωση 4^η

Αρχική κατανομή:

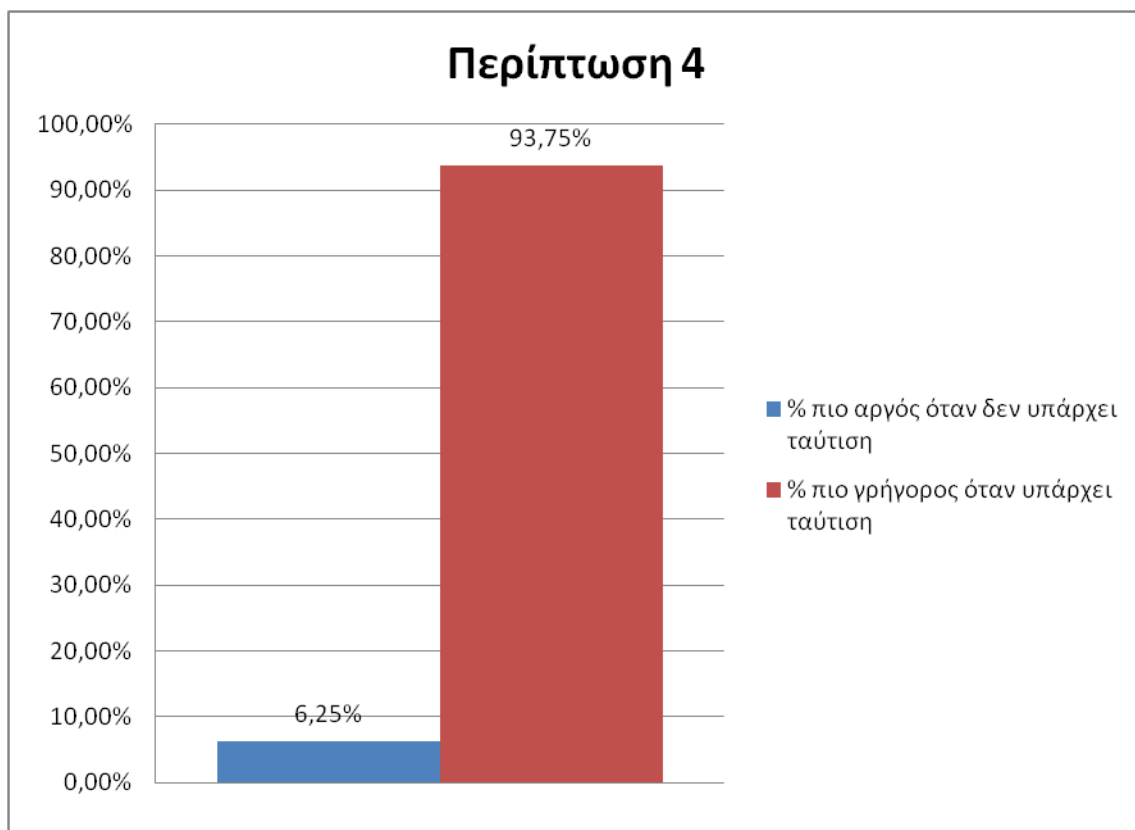
Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA	Δυνατότητες
18	Voice	Golden	UMTS0	UMTS0, UMTS1
5	Voice	Golden	UMTS1	UMTS0, UMTS1
30	Voice	Golden	UMTS1	UMTS1

Σε αυτό το πρόβλημα παρατηρείται συμφόρηση στο PoA UMTS1. Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου η κατανομή γίνεται:

Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA
--------	-------	----------	-----------------

23	Voice	Golden	UMTS0
30	Voice	Golden	UMTS1

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου είναι πέντε ροές φωνής από το PoA UMTS1 να μεταφερθούν στο PoA UMTS0. Το ίδιο πρόβλημα δόθηκε ως είσοδος και στους δύο αλγορίθμους με μνήμη και χωρίς, θεωρώντας ότι ο αλγόριθμος με μνήμη έχει αντιμετωπίσει ξανά το ίδιο πρόβλημα. Ο αλγόριθμος με μνήμη ήταν 93.75% ταχύτερος από τον αντίστοιχο χωρίς μνήμη. Στην περίπτωση που ο αλγόριθμος με μνήμη αντιμετώπιζε το ίδιο πρόβλημα για πρώτη φορά τότε ήταν πιο αργός κατά 6,25% του αλγορίθμου χωρίς μνήμη. Τα αποτελέσματα φαίνονται και στο παρακάτω γράφημα:



6.3.5 Περίπτωση 5^η

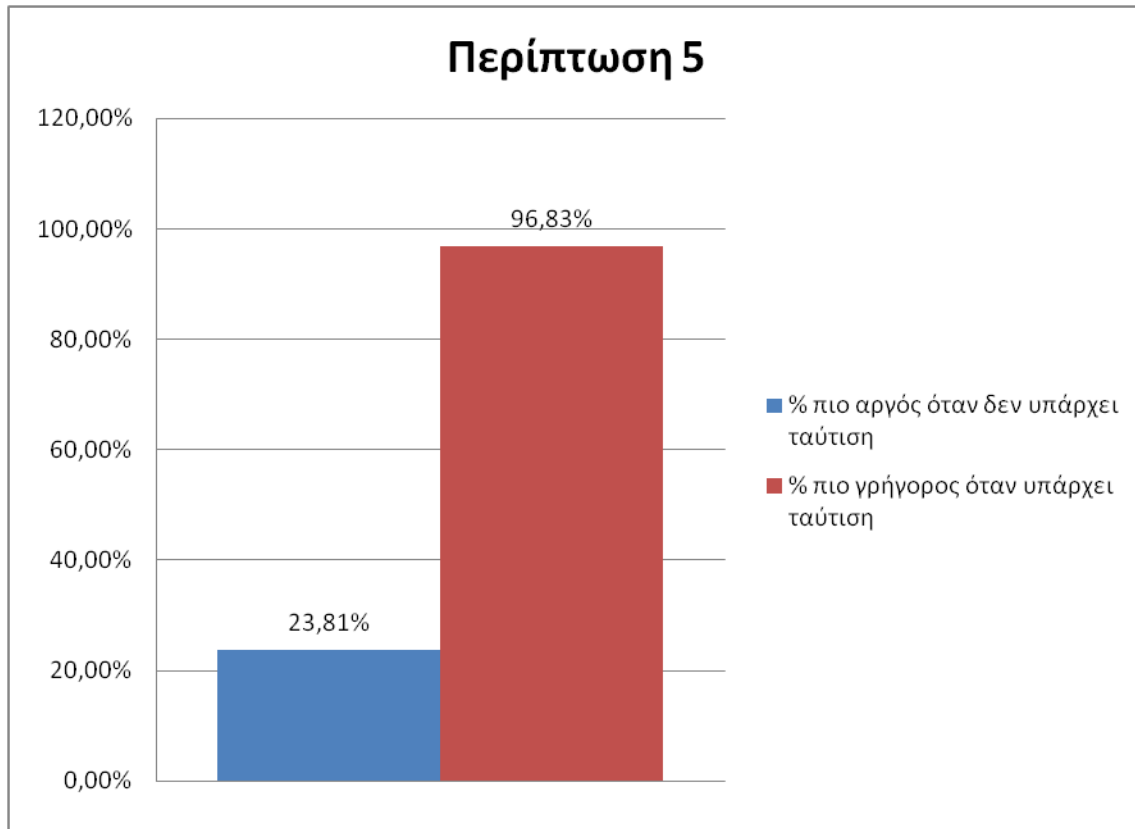
Αρχική κατανομή:

Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA	Δυνατότητες
23	Voice	Golden	UMTS0	UMTS0
12	Voice	Golden	UMTS0	UMTS0, UMTS1
29	Voice	Golden	UMTS1	UMTS1

Σε αυτό το πρόβλημα παρατηρείται συμφόρηση στο PoA UMTS0. Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου η κατανομή γίνεται:

Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA
32	Voice	Golden	UMTS0
32	Voice	Golden	UMTS1

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου είναι τρεις ροές φωνής από το PoA UMTS0 να μεταφερθούν στο PoA UMTS1. Το ίδιο πρόβλημα δόθηκε ως είσοδος και στους δύο αλγορίθμους με μνήμη και χωρίς, θεωρώντας ότι ο αλγόριθμος με μνήμη έχει αντιμετωπίσει ξανά το ίδιο πρόβλημα. Ο αλγόριθμος με μνήμη ήταν 96.83% ταχύτερος από τον αντίστοιχο χωρίς μνήμη. Στην περίπτωση που ο αλγόριθμος με μνήμη αντιμετώπιζε το ίδιο πρόβλημα για πρώτη φορά τότε ήταν πιο αργός κατά 23.81% του αλγορίθμου χωρίς μνήμη. Τα αποτελέσματα φαίνονται και στο παρακάτω γράφημα:



6.3.6 Περίπτωση 6^η

Αρχική κατανομή:

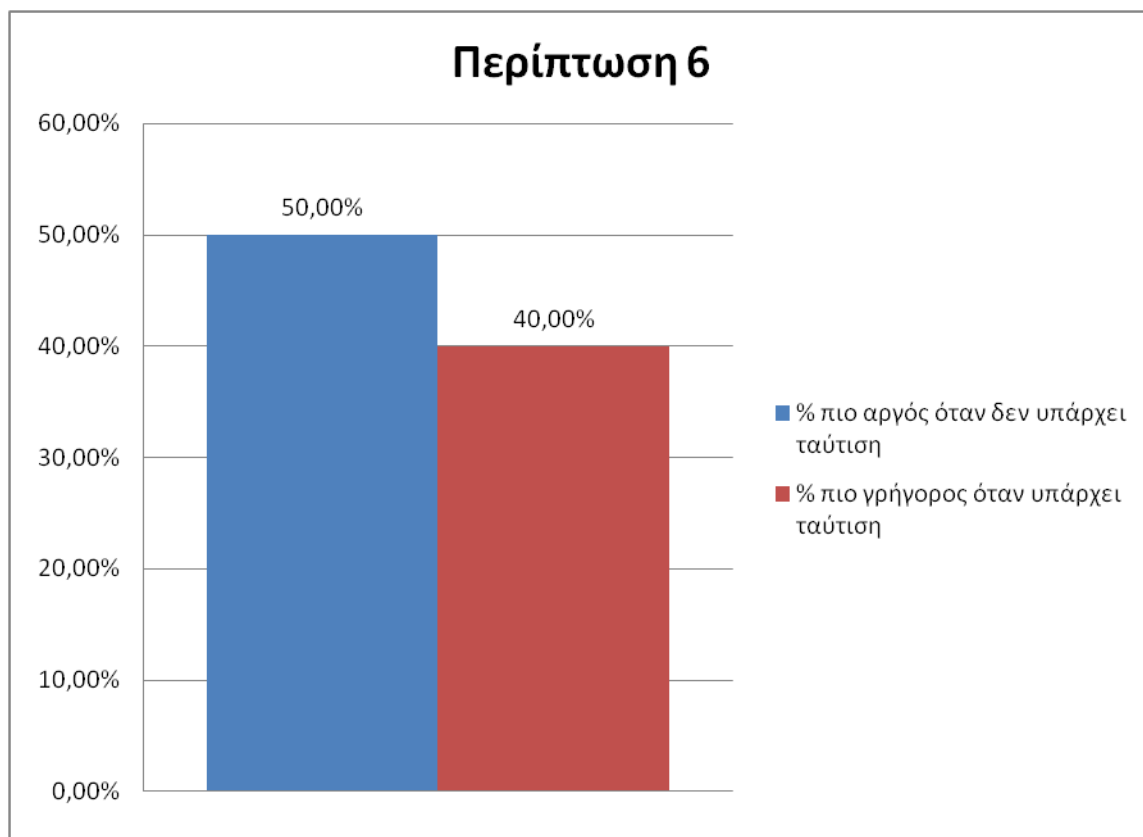
Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA	Δυνατότητες
5	Voice	Golden	UMTS0	UMTS0
5	Voice	Golden	UMTS1	UMTS0, UMTS1
30	Voice	Golden	UMTS1	UMTS1

Σε αυτό το πρόβλημα παρατηρείται συμφόρηση στο PoA UMTS1. Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου η κατανομή γίνεται:

Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA
--------	-------	----------	-----------------

10	Voice	Golden	UMTS0
30	Voice	Golden	UMTS1

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου είναι πέντε ροές φωνής από το PoA UMTS1 να μεταφερθούν στο PoA UMTS0. Το ίδιο πρόβλημα δόθηκε ως είσοδος και στους δύο αλγορίθμους με μνήμη και χωρίς, θεωρώντας ότι ο αλγόριθμος με μνήμη έχει αντιμετωπίσει ξανά το ίδιο πρόβλημα. Ο αλγόριθμος με μνήμη ήταν 40% ταχύτερος από τον αντίστοιχο χωρίς μνήμη. Στην περίπτωση που ο αλγόριθμος με μνήμη αντιμετώπιζε το ίδιο πρόβλημα για πρώτη φορά τότε ήταν πιο αργός κατά 50% του αλγορίθμου χωρίς μνήμη. Τα αποτελέσματα φαίνονται και στο παρακάτω γράφημα:



6.3.7 Περίπτωση 7^η

Αρχική κατανομή:

Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA	Δυνατότητες
10	Voice	Golden	UMTS0	UMTS0
10	Voice	Golden	UMTS0	UMTS0, UMTS1
4	Internet	Economy	WLAN0	WLAN0
3	Internet	Economy	WLAN2	WLAN2
13	Internet	Economy	WLAN1	WLAN0,WLAN1

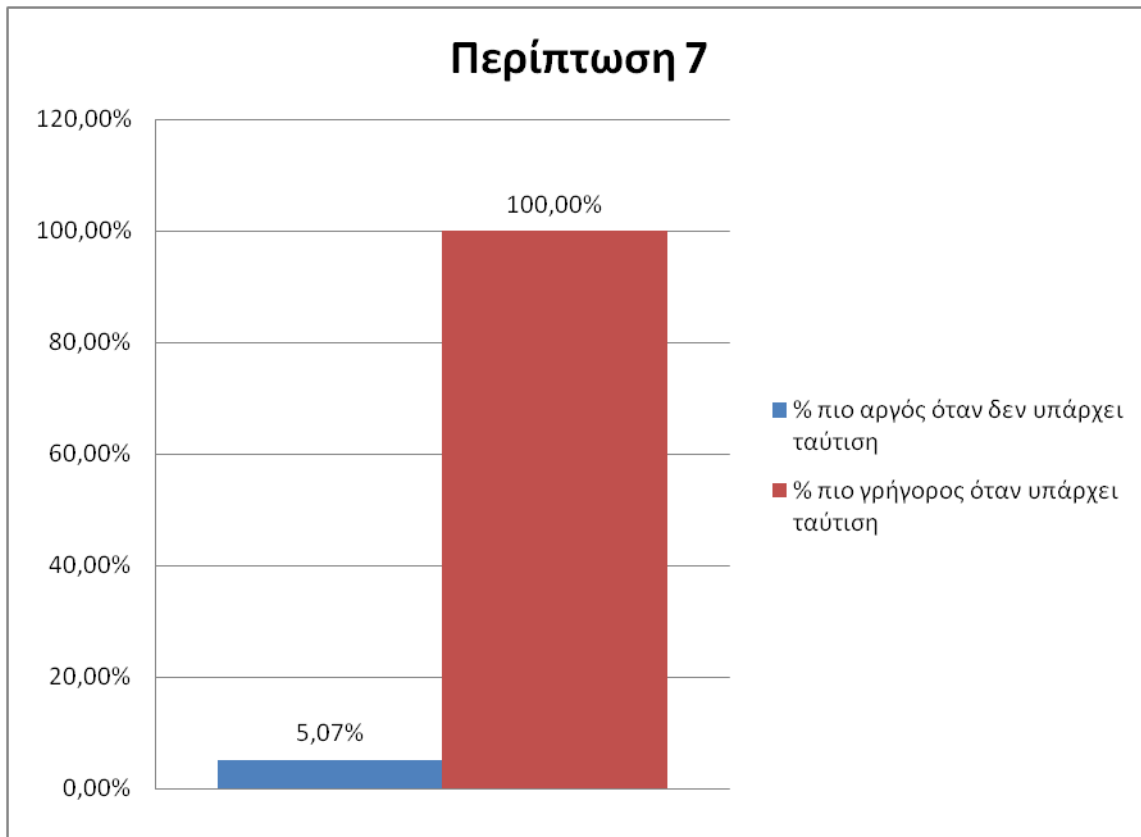
Σε αυτό το πρόβλημα παρατηρείται συμφόρηση στο PoA WLAN1. Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου η κατανομή γίνεται:

Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA
20	Voice	Golden	UMTS0
12	Internet	Economy	WLAN0
5	Internet	Economy	WLAN1
3	Internet	Economy	WLAN2

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου είναι οχτώ ροές internet από το PoA WLAN1 να μεταφερθούν στο PoA WLAN0. Το ίδιο πρόβλημα δόθηκε ως είσοδος και στους δύο αλγορίθμους με μνήμη και χωρίς, θεωρώντας ότι ο αλγόριθμος με μνήμη έχει αντιμετωπίσει ξανά το ίδιο πρόβλημα. Ο αλγόριθμος με μνήμη ήταν 100% ταχύτερος από τον αντίστοιχο χωρίς μνήμη. Στην περίπτωση που ο αλγόριθμος με μνήμη αντιμετώπιζε το

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

ίδιο πρόβλημα για πρώτη φορά τότε ήταν πιο αργός κατά 5,08% του αλγορίθμου χωρίς μνήμη. Τα αποτελέσματα φαίνονται και στο παρακάτω γράφημα:



6.3.8 Περίπτωση 8^η

Αρχική κατανομή:

Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο ΡοΑ	Δυνατότητες
10	Voice	Golden	UMTS0	UMTS0
10	Voice	Golden	UMTS0	UMTS0, UMTS1
4	Internet	Economy	WLAN0	WLAN0

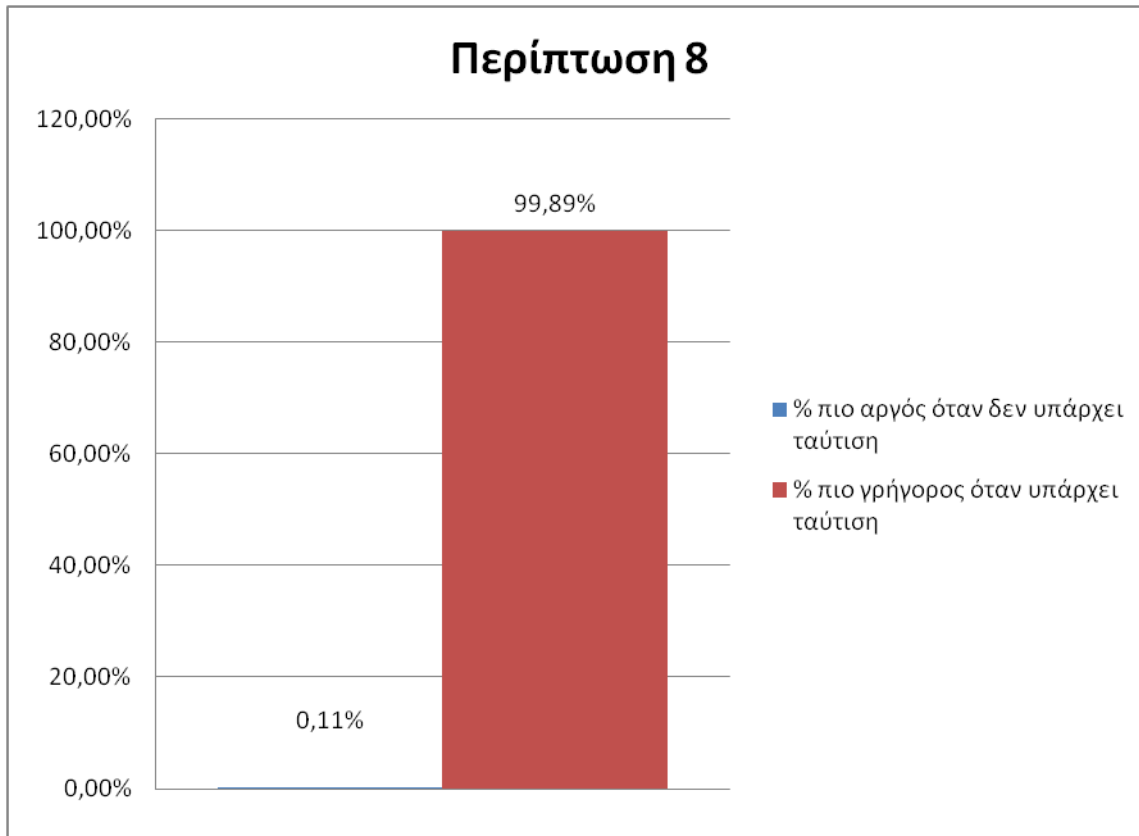
| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

4	Internet	Economy	UMTS0	UMTS0,WLAN0
8	Internet	Economy	WLAN1	WLAN0,WLAN1

Σε αυτό το πρόβλημα παρατηρείται συμφόρηση στο PoA UMTS0. Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου η κατανομή γίνεται:

Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA
20	Voice	Golden	UMTS0
2	Internet	Economy	UMTS0
12	Internet	Economy	WLAN0
2	Internet	Economy	WLAN1

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου είναι δύο ροές internet από το PoA UMTS0 και έξι ροές internet από το PoA WLAN1 να μεταφερθούν στο PoA WLAN0. Το ίδιο πρόβλημα δόθηκε ως είσοδος και στους δύο αλγορίθμους με μνήμη και χωρίς, θεωρώντας ότι ο αλγόριθμος με μνήμη έχει αντιμετωπίσει ξανά το ίδιο πρόβλημα. Ο αλγόριθμος με μνήμη ήταν 99.89% ταχύτερος από τον αντίστοιχο χωρίς μνήμη. Στην περίπτωση που ο αλγόριθμος με μνήμη αντιμετώπιζε το ίδιο πρόβλημα για πρώτη φορά τότε ήταν πιο αργός κατά 0,11% του αλγορίθμου χωρίς μνήμη. Τα αποτελέσματα φαίνονται και στο παρακάτω γράφημα:



6.3.9 Περίπτωση 9^η

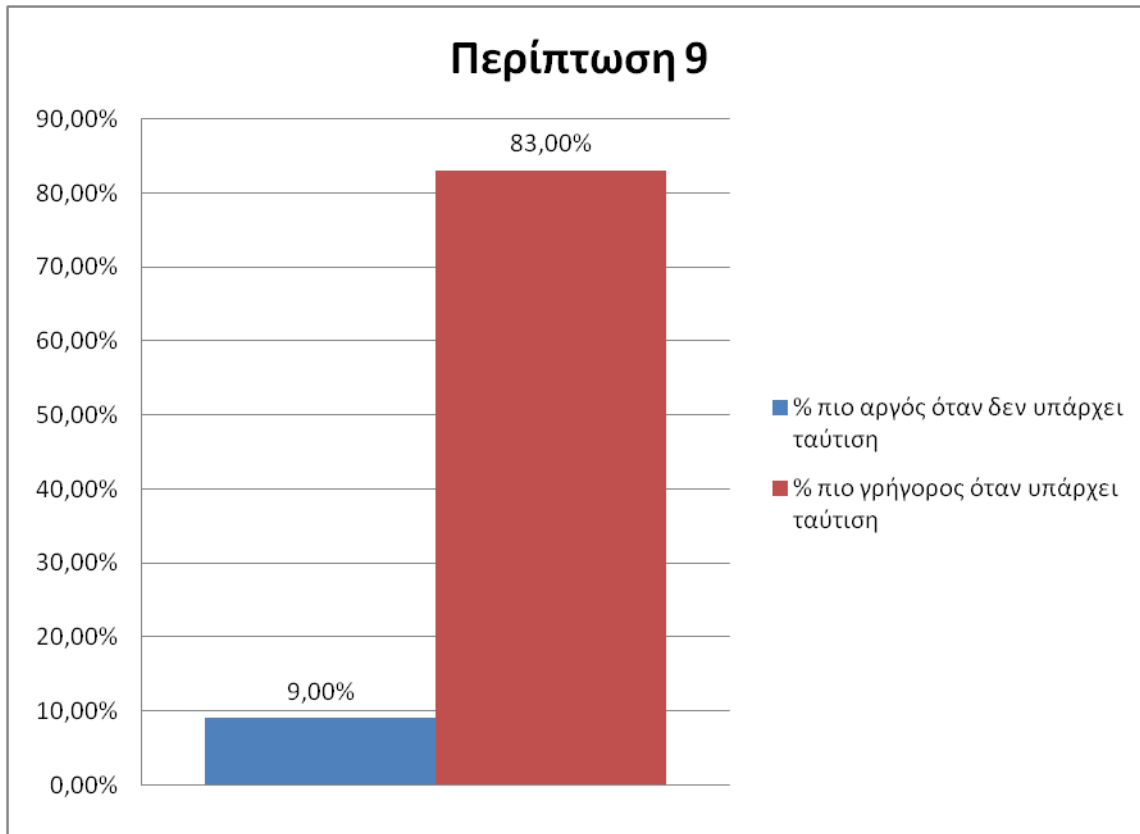
Αρχική κατανομή:

Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA	Δυνατότητες
10	Voice	Golden	UMTS0	UMTS0
10	Voice	Golden	UMTS0	UMTS0, UMTS1
4	Internet	Economy	WLAN0	WLAN0
4	Internet	Economy	UMTS0	UMTS0, UMTS1

Σε αυτό το πρόβλημα παρατηρείται συμφόρηση στο PoA UMTS0. Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου η κατανομή γίνεται:

Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA
20	Voice	Golden	UMTS0
2	Internet	Economy	UMTS0
4	Internet	Economy	WLAN0
2	Internet	Economy	UMTS1

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου είναι δύο ροές internet από το PoA UMTS0 να μεταφερθούν στο PoA UMTS1. Το ίδιο πρόβλημα δόθηκε ως είσοδος και στους δύο αλγορίθμους με μνήμη και χωρίς, θεωρώντας ότι ο αλγόριθμος με μνήμη έχει αντιμετωπίσει ξανά το ίδιο πρόβλημα. Ο αλγόριθμος με μνήμη ήταν 83% ταχύτερος από τον αντίστοιχο χωρίς μνήμη. Στην περίπτωση που ο αλγόριθμος με μνήμη αντιμετώπιζε το ίδιο πρόβλημα για πρώτη φορά τότε ήταν πιο αργός κατά 9% του αλγορίθμου χωρίς μνήμη. Τα αποτελέσματα φαίνονται και στο παρακάτω γράφημα:



6.3.10 Περίπτωση 10^η

Αρχική κατανομή:

Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA	Δυνατότητες
10	Voice	Golden	UMTS0	UMTS0
5	Voice	Golden	UMTS0	UMTS0, UMTS1
4	Internet	Economy	WLAN0	WLAN0
3	Internet	Economy	WLAN1	WLAN0, WLAN1
5	Internet	Economy	WLAN2	WLAN2

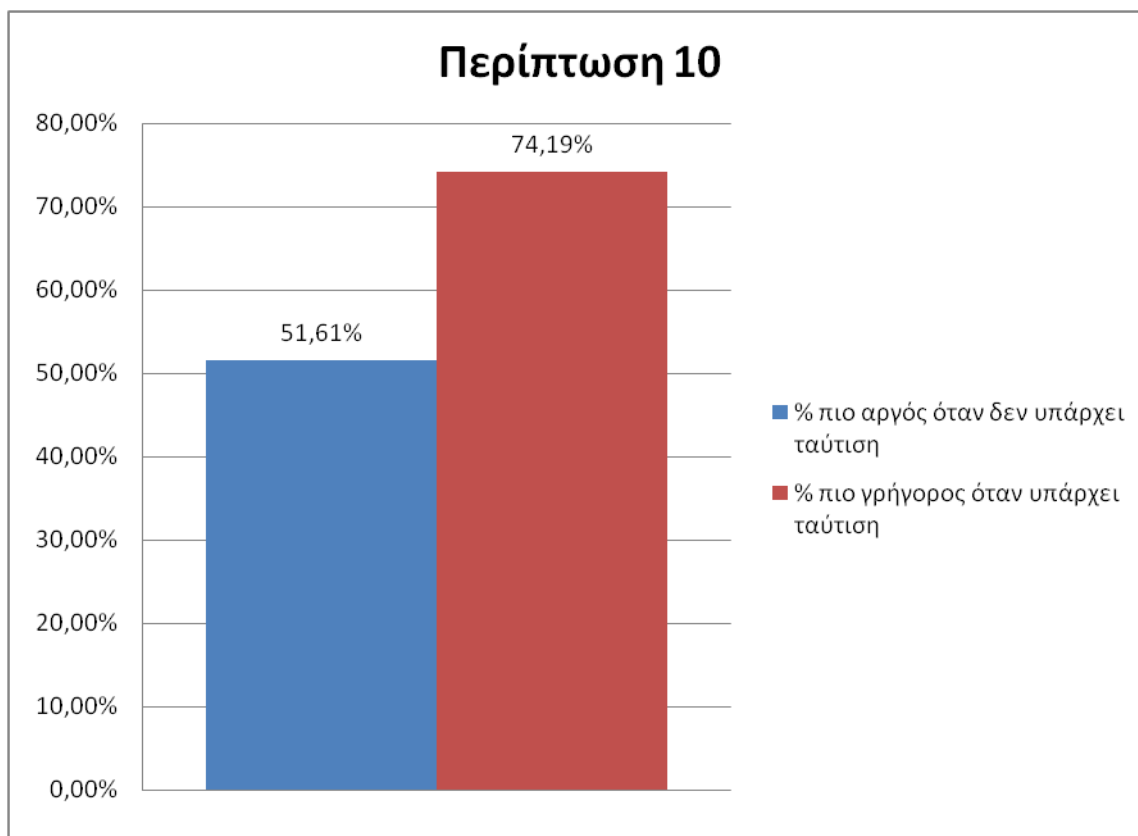
| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

8	Internet	Economy	WLAN1	WLAN1
---	----------	---------	-------	-------

Σε αυτό το πρόβλημα παρατηρείται συμφόρηση στο PoA WLAN1. Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου η κατανομή γίνεται:

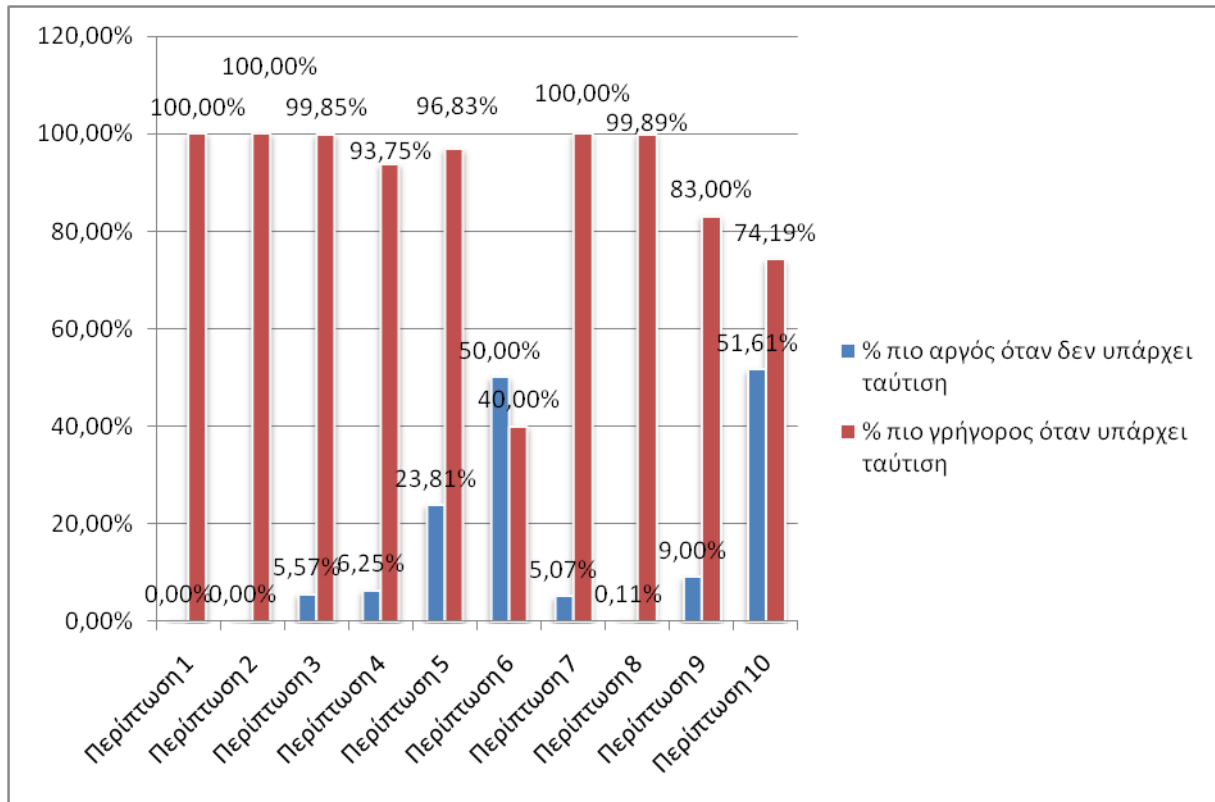
Πλήθος	Είδος	Ποιότητα	Συνδεδεμένο PoA
15	Voice	Golden	UMTS0
9	Internet	Economy	WLAN0
8	Internet	Economy	WLAN1
3	Internet	Economy	WLAN2

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου είναι πέντε ροές internet από το PoA WLAN1 να μεταφερθούν στο PoA WLAN0. Το ίδιο πρόβλημα δόθηκε ως είσοδος και στους δύο αλγορίθμους με μνήμη και χωρίς, θεωρώντας ότι ο αλγόριθμος με μνήμη έχει αντιμετωπίσει ξανά το ίδιο πρόβλημα. Ο αλγόριθμος με μνήμη ήταν 74,19% ταχύτερος από τον αντίστοιχο χωρίς μνήμη. Στην περίπτωση που ο αλγόριθμος με μνήμη αντιμετώπιζε το ίδιο πρόβλημα για πρώτη φορά τότε ήταν πιο αργός κατά 51,61% του αλγορίθμου χωρίς μνήμη. Τα αποτελέσματα φαίνονται και στο παρακάτω γράφημα:



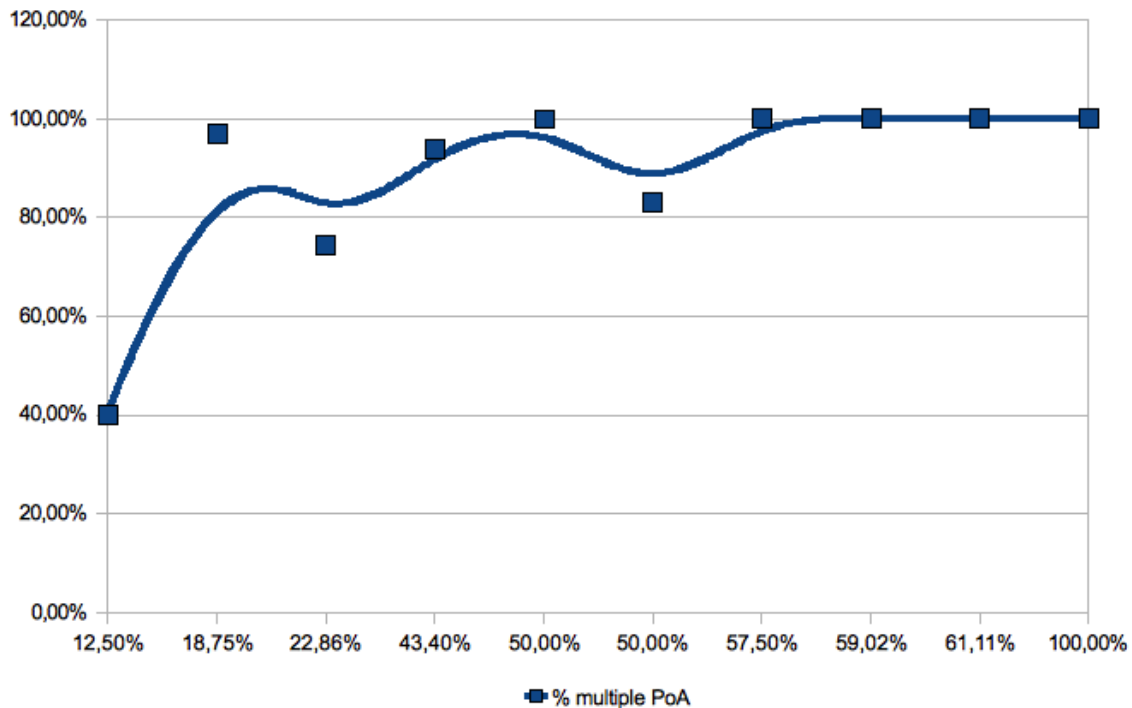
6.3.11 Συμπεράσματα

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται τα αποτελέσματα και για τις δέκα διαφορετικές περιπτώσεις όπου εκτελέστηκε ο αλγόριθμος.



Το πρώτο συμπέρασμα που βγαίνει από το παραπάνω διάγραμμα είναι ότι σε όλες τις περιπτώσεις ο αλγόριθμος με μνήμη όταν αντιμετωπίζει μια περίπτωση, όχι για πρώτη φορά, είναι κατά μέσο όρο ταχύτερος κατά 88.75% από τον απλό αλγόριθμο. Αυτή ήταν και η αναμενόμενη συμπεριφορά του αλγορίθμου. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν και το αναμενόμενο καθώς στην περίπτωση του αλγορίθμου με μνήμη, όταν αντιμετωπίζει μια περίπτωση που έχει έτοιμη τη λύση της από προηγούμενη φορά, η διαδικασία εύρεσης της λύση είναι ταχύτερη καθώς αυτή αποτελείται από μια αναζήτηση στη λίστα με τις αποθηκευμένες λύσεις.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η επίδραση που έχει το ποσοστό των χρηστών που έχουν διαθέσιμα παραπάνω από ένα PoA στην διαφορά στην απόδοση μεταξύ των δύο αλγορίθμων. Στον οριζόντιο άξονα είναι το ποσοστό των χρηστών που έχουν παραπάνω από ένα διαθέσιμο PoA και στον κατακόρυφο άξονα είναι πόσο τις εκατό είναι πιο γρήγορος ο αλγόριθμος με μνήμη από τον απλό αλγόριθμο όταν ο πρώτος έχει ήδη αντιμετωπίσει παρόμοιο πρόβλημα στο παρελθόν.

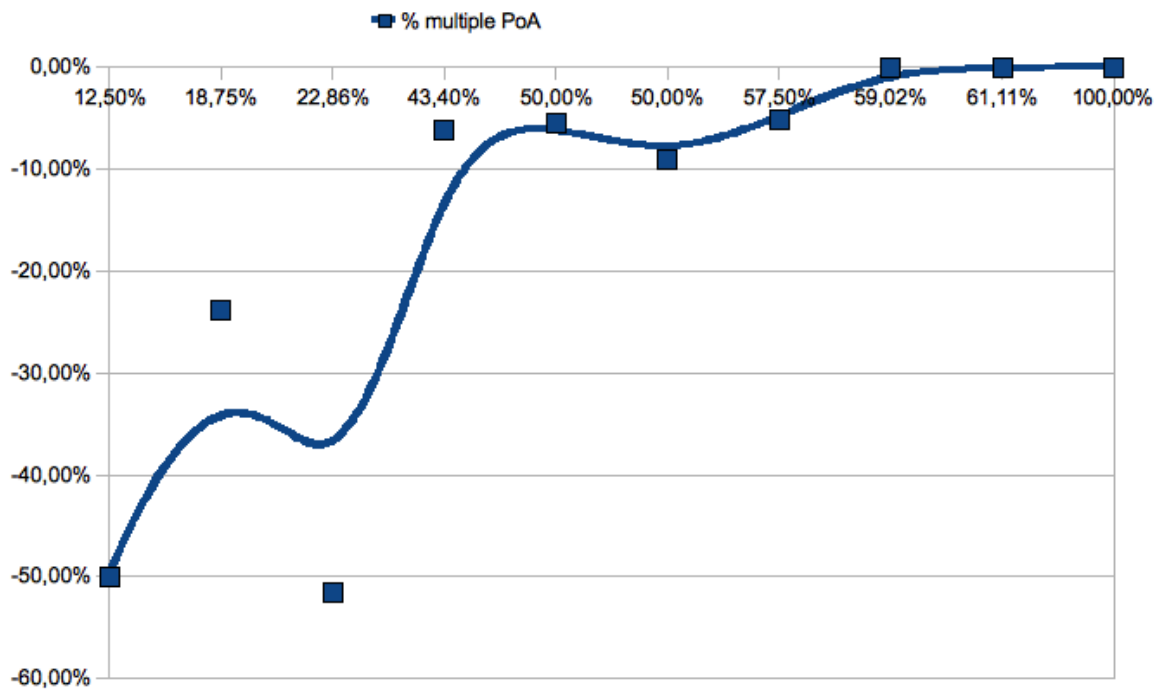


Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, καταστάσεις όπου το ποσοστό χρηστών που έχουν διαθέσιμα παραπάνω από ένα σημείο σύνδεσης είναι πάνω από 20% ο αλγόριθμος με μνήμη είναι περισσότερο από 80% πιο γρήγορος στην εύρεση της λύσης.

Τα προηγούμενα σχόλια αφορούσαν την περίπτωση όπου ο αλγόριθμος με μνήμη αντιμετωπίζει ένα πρόβλημα που έχει ήδη αντιμετωπίσει στο παρελθόν. Στη συνέχεια μελετάται η απόδοση του αλγορίθμου με μνήμη όταν αντιμετωπίζει ένα πρόβλημα για πρώτη φορά. Όπως φαίνεται από το προηγούμενο διάγραμμα που παρουσιάζονται και οι δέκα περιπτώσεις μαζί, στην περίπτωση που ο αλγόριθμος με μνήμη αντιμετωπίζει ένα πρόβλημα για πρώτη φορά καθυστερεί και έως 50% περισσότερο, 15,14% κατά μέσο όρο, σε σχέση με τον απλό αλγόριθμο. Η συμπεριφορά αυτή του αλγορίθμου μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι όταν ο αλγόριθμος με μνήμη αντιμετωπίζει ένα πρόβλημα για πρώτη φορά επιπλέον της κοινής με τον απλό αλγόριθμο διαδικασίας εύρεσης λύσης

επιβαρύνεται και με την διαδικασία ταύτισης του προβλήματος με κάποιο προηγούμενο που έχει αντιμετωπίσει.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται πόσο επηρεάζει την απόδοση του αλγορίθμου με μνήμη το ποσοστό των ρών που έχουν πολλαπλά σημεία σύνδεσης διαθέσιμα όταν αντιμετωπίζει μια κατάσταση για πρώτη φορά.



Όπως φαίνεται για τις περιπτώσεις όπου πάνω από το 25% των ρών έχουν πολλαπλά σημεία σύνδεσης ο αλγόριθμος με μνήμη την πρώτη φορά είναι έως και 20% πιο αργός από τον απλό αλγόριθμο. Όμως όταν ο αριθμός των ρών ανέβει πάνω από το 45% τότε η καθυστέρηση πέφτει κάτω από το 10%. Για ποσοστό ρών με πολλαπλά σημεία σύνδεσης πάνω από 59% η καθυστέρηση τείνει στο μηδέν.

6.4 Μελέτη τις παραμέτρου α

Στις παρακάτω περιπτώσεις μελετάται η επίδραση της τιμής της παραμέτρου α στην αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου με μνήμη. Σε κάθε μία από τις παρακάτω περιπτώσεις παρουσιάζεται η αρχική κατάσταση της συμφόρησης, η λύση που δίνει στο πρόβλημα ο αλγόριθμος χωρίς μνήμη και τέλος το αποτέλεσμα του αλγορίθμου με μνήμη για τιμές τις παραμέτρου 0,20, 0,10 και 0,05. Στην περίπτωση του αλγορίθμου με μνήμη σε

κάθε περίπτωση χρησιμοποιήθηκε κοινή λίστα με προηγούμενα αποθηκευμένα προβλήματα.

Σε κάθε περίπτωση θεωρείται ότι υπάρχει κάλυψη από:

- τρία access points UMTS με όνομα UMTS0, UMTS1 και UMTS και εύρος ζώνης για το καθένα 651 kbps
- τρία access points WiFi με όνομα WLAN0, WLAN1, WLAN2 και εύρος ζώνης για το καθένα 5,2 Mbps

Επιπλέον θεωρείται ότι υπάρχει συμφόρηση σε κάποιο σημείο πρόσβασης όταν το ελεύθερο εύρος ζώνης μειωθεί περισσότερο από το 20% του συνολικού. Στους παρακάτω πίνακες που παρουσιάζουν το διαθέσιμο εύρος ζώνης ανά σημείο σύνδεσης η βάση είναι το κατώφλι συμφόρησης. Δηλαδή το 0 σημαίνει ότι πλέον στο PoA υπάρχει διαθέσιμο το 20% του αρχικού ενώ -100 σημαίνει ότι το φορτίο έχει ξεπεράσει το κατώφλι κατά 100 kbps.

Οι διαφορετικές ροές που μπορεί να υπάρξουν ομαδοποιούνται στις παρακάτω κατηγορίες εύρους ζώνης ανάλογα με το είδος και την ποιότητα της υπηρεσίας. Οι τιμές είναι σε kbps

Type \ Quality	Golden (0)	Normal (1)	Economy (2)
Voice (0)	12.2	12.2	12.2
Internet (1)	384	128	64

6.4.1 Περίπτωση 1

Αρχική κατανομή ροών:

Ροή	Τύπος	Ποιότητα	Εύρος ζώνης kbps	PoA	Εναλλακτικό PoA	Εναλλακτικό PoA
Flow :0	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan1	Cap1 :-	Cap2 :wlan1
Flow :1	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :wlan0	Cap1 :wlan0	Cap2 :-
Flow :2	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :-	Cap2 :umts1
Flow :3	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :umts1	Cap2 :-
Flow :4	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :-	Cap2 :-

Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Flow :5	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan0	Cap1 :umts1	Cap2 : -
Flow :6	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan0	Cap1 :umts1	Cap2 : -
Flow :7	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan1	Cap1 :umts2	Cap2 : -
Flow :8	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 : -	Cap2 : -
Flow :9	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :umts0	Cap1 :umts1	Cap2 : -
Flow :10	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 : -	Cap2 :wlan1
Flow :11	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan1	Cap1 :wlan1	Cap2 : -
Flow :12	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :umts0	Cap1 : -	Cap2 :wlan1
Flow :13	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :wlan0	Cap2 : -
Flow :14	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :umts0	Cap1 :wlan1	Cap2 :umts0
Flow :15	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :umts1	Cap2 : -
Flow :16	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :umts0	Cap1 : -	Cap2 :wlan1
Flow :17	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan2	Cap1 :wlan1	Cap2 : -
Flow :18	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :wlan0	Cap2 :umts1
Flow :19	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan2	Cap1 :wlan1	Cap2 : -
Flow :20	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 : -	Cap2 : -
Flow :21	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :umts1	Cap2 : -
Flow :22	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :umts0	Cap1 :wlan0	Cap2 : -
Flow :23	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :umts1	Cap1 :wlan0	Cap2 : -
Flow :24	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan1	Cap1 : -	Cap2 :wlan0
Flow :25	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :wlan1	Cap2 : -
Flow :26	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :umts1	Cap1 :umts1	Cap2 :wlan1
Flow :27	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :umts2	Cap2 : -
Flow :28	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 : -	Cap2 :umts0
Flow :29	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :umts1	Cap2 : -

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης:

UMTS 0: -3068
UMTS 1: 265132
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3775200
WLAN 1: 4043400
WLAN 2: 4159200

Όπως φαίνεται η συμφόρηση παρουσιάζεται στο PoA UMTS0. Ο απλός αλγόριθμος για αυτό το πρόβλημα δίνει την παρακάτω λύση

Flow: 0	PoA: wlan1
Flow: 1	PoA: wlan0
Flow: 2	PoA: umts1
Flow: 3	PoA: umts1
Flow: 4	PoA: wlan2
Flow: 5	PoA: umts1

Flow: 10	PoA: umts0
Flow: 11	PoA: wlan1
Flow: 12	PoA: umts0
Flow: 13	PoA: wlan0
Flow: 14	PoA: umts0
Flow: 15	PoA: umts1

Flow: 20	PoA: wlan0
Flow: 21	PoA: umts1
Flow: 22	PoA: wlan0
Flow: 23	PoA: umts1
Flow: 24	PoA: wlan0
Flow: 25	PoA: wlan0

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Flow: 6	PoA: umts1
Flow: 7	PoA: wlan1
Flow: 8	PoA: wlan2
Flow: 9	PoA: umts0

Flow: 16	PoA: umts0
Flow: 17	PoA: wlan1
Flow: 18	PoA: umts1
Flow: 19	PoA: wlan1

Flow: 26	PoA: umts1
Flow: 27	PoA: wlan1
Flow: 28	PoA: umts0
Flow: 29	PoA: umts0

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 48732
UMTS 1: 24332
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3787400
WLAN 1: 4003800
WLAN 2: 4375600

Για $\alpha = 0,20$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: wlan1
Flow: 1	PoA: wlan0
Flow: 2	PoA: wlan2
Flow: 3	PoA: umts1
Flow: 4	PoA: wlan2
Flow: 5	PoA: wlan0
Flow: 6	PoA: wlan0
Flow: 7	PoA: wlan1
Flow: 8	PoA: wlan2
Flow: 9	PoA: umts0

Flow: 10	PoA: umts0
Flow: 11	PoA: wlan1
Flow: 12	PoA: umts0
Flow: 13	PoA: wlan1
Flow: 14	PoA: umts0
Flow: 15	PoA: wlan0
Flow: 16	PoA: umts0
Flow: 17	PoA: wlan2
Flow: 18	PoA: wlan1
Flow: 19	PoA: wlan2

Flow: 20	PoA: wlan0
Flow: 21	PoA: wlan2
Flow: 22	PoA: umts0
Flow: 23	PoA: umts1
Flow: 24	PoA: wlan1
Flow: 25	PoA: wlan0
Flow: 26	PoA: umts1
Flow: 27	PoA: wlan1
Flow: 28	PoA: umts1
Flow: 29	PoA: umts0

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: -3068
UMTS 1: 252932
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3787400
WLAN 1: 4043400
WLAN 2: 4159200

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε η συμφόρηση παραμένει στο PoA UMTS0.

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Για $\alpha = 0,10$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: wlan1
Flow: 1	PoA: wlan0
Flow: 2	PoA: wlan2
Flow: 3	PoA: umts1
Flow: 4	PoA: wlan2
Flow: 5	PoA: wlan0
Flow: 6	PoA: wlan0
Flow: 7	PoA: wlan1
Flow: 8	PoA: wlan2
Flow: 9	PoA: umts0

Flow: 10	PoA: umts0
Flow: 11	PoA: wlan1
Flow: 12	PoA: umts0
Flow: 13	PoA: wlan1
Flow: 14	PoA: umts0
Flow: 15	PoA: wlan0
Flow: 16	PoA: umts0
Flow: 17	PoA: wlan2
Flow: 18	PoA: wlan1
Flow: 19	PoA: wlan2

Flow: 20	PoA: wlan0
Flow: 21	PoA: wlan2
Flow: 22	PoA: umts0
Flow: 23	PoA: umts1
Flow: 24	PoA: wlan1
Flow: 25	PoA: wlan0
Flow: 26	PoA: umts1
Flow: 27	PoA: wlan1
Flow: 28	PoA: umts1
Flow: 29	PoA: umts0

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: -3068
UMTS 1: 252932
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3787400
WLAN 1: 4043400
WLAN 2: 4159200

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε η συμφόρηση παραμένει στο PoA UMTS0.

Για $\alpha = 0,05$ ο αλγόριθμος με μνήμη δεν αντιστοίχισε το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η λύση που επιστρέφει ο αλγόριθμος χωρίς μνήμη.

6.4.2 Περίπτωση 2

Αρχική κατανομή ροών:

Ροή	Τύπος	Ποιότητα	Εύρος ζώνης kbps	PoA	Εναλλακτικό PoA	Εναλλακτικό PoA
Flow :0	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan2	Cap1 :umts0	Cap2 :umts0
Flow :1	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :wlan1	Cap2 :wlan2
Flow :2	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :umts1	Cap1 :umts2	Cap2 :umts2
Flow :3	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :umts1	Cap1 :umts0	Cap2 :umts1
Flow :4	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan1	Cap1 :umts2	Cap2 :wlan0

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Flow :5	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :umts1	Cap2 :umts2
Flow :6	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :umts1	Cap2 :umts0
Flow :7	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :umts2	Cap2 :umts2
Flow :8	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan1	Cap1 :umts2	Cap2 :umts1
Flow :9	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :wlan1	Cap2 :umts2

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης:

UMTS 0: 521132
UMTS 1: -3068
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 4387800
WLAN 1: 4272000
WLAN 2: 4323800

Όπως φαίνεται η συμφόρηση παρουσιάζεται στο PoA UMTS1. Ο απλός αλγόριθμος για αυτό το πρόβλημα δίνει την παρακάτω λύση

Flow: 0	PoA: umts0
Flow: 1	PoA: umts1
Flow: 2	PoA: umts1
Flow: 3	PoA: umts0
Flow: 4	PoA: wlan0
Flow: 5	PoA: umts1
Flow: 6	PoA: umts0
Flow: 7	PoA: wlan2
Flow: 8	PoA: umts1
Flow: 9	PoA: umts1

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 329132
UMTS 1: 48732
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 4336000
WLAN 1: 4400000
WLAN 2: 4387800

Για $\alpha = 0,20$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: wlan2
---------	------------

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Flow: 1	PoA: umts1
Flow: 2	PoA: umts1
Flow: 3	PoA: umts1
Flow: 4	PoA: wlan1
Flow: 5	PoA: wlan0
Flow: 6	PoA: umts0
Flow: 7	PoA: wlan2
Flow: 8	PoA: wlan1
Flow: 9	PoA: umts1

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 521132
UMTS 1: -3068
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 4387800
WLAN 1: 4272000
WLAN 2: 4323800

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε η συμφόρηση παραμένει στο PoA UMTS1.

Για $\alpha = 0,10$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: umts0
Flow: 1	PoA: umts1
Flow: 2	PoA: umts1
Flow: 3	PoA: umts0
Flow: 4	PoA: wlan0
Flow: 5	PoA: umts1
Flow: 6	PoA: umts0
Flow: 7	PoA: wlan2
Flow: 8	PoA: umts1
Flow: 9	PoA: umts1

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 329132
UMTS 1: 48732
UMTS 2: 533332

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

WLAN 0: 4336000
WLAN 1: 4400000
WLAN 2: 4387800

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε αντιμετώπισε επιτυχώς τη συμφόρηση.

Για $\alpha = 0,05$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: umts0
Flow: 1	PoA: umts1
Flow: 2	PoA: umts1
Flow: 3	PoA: umts0
Flow: 4	PoA: wlan0
Flow: 5	PoA: umts1
Flow: 6	PoA: umts0
Flow: 7	PoA: wlan2
Flow: 8	PoA: umts1
Flow: 9	PoA: umts1

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 329132
UMTS 1: 48732
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 4336000
WLAN 1: 4400000
WLAN 2: 4387800

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε αντιμετώπισε επιτυχώς τη συμφόρηση.

6.4.3 Περίπτωση 3

Αρχική κατανομή ροών:

Ροή	Τύπος	Ποιότητα	Εύρος ζώνης kbps	PoA	Εναλλακτικό PoA	Εναλλακτικό PoA
Flow :0	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :umts1	Cap1 :wlan0	Cap2 :wlan2
Flow :1	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan1	Cap1 :umts1	Cap2 :wlan2
Flow :2	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan0	Cap1 :umts1	Cap2 :umts0

Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Flow :3	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :umts0	Cap2 :wlan2
Flow :4	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :umts0	Cap1 :wlan2	Cap2 :umts0
Flow :5	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :umts2	Cap2 :umts0
Flow :6	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :wlan2	Cap2 :umts2
Flow :7	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :umts0	Cap2 :wlan0
Flow :8	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :wlan2	Cap2 :wlan0
Flow :9	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan1	Cap1 :umts1	Cap2 :umts0
Flow :10	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :umts1	Cap1 :wlan0	Cap2 :umts1
Flow :11	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :umts1	Cap2 :umts2
Flow :12	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :umts2	Cap2 :umts1
Flow :13	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :umts1	Cap2 :umts2
Flow :14	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :wlan2	Cap2 :umts2
Flow :15	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :umts0	Cap1 :umts0	Cap2 :umts0

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης:

UMTS 0: -15268
UMTS 1: 73132
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 4323800
WLAN 1: 4183600
WLAN 2: 4375600

Όπως φαίνεται η συμφόρηση παρουσιάζεται στο PoA UMTS0. Ο απλός αλγόριθμος για αυτό το πρόβλημα δίνει την παρακάτω λύση

Flow: 0	PoA: umts1
Flow: 1	PoA: umts1
Flow: 2	PoA: umts0
Flow: 3	PoA: umts0
Flow: 4	PoA: wlan2
Flow: 5	PoA: umts0
Flow: 6	PoA: wlan1
Flow: 7	PoA: umts0
Flow: 8	PoA: wlan0
Flow: 9	PoA: umts0

Flow: 10	PoA: umts1
Flow: 11	PoA: wlan2
Flow: 12	PoA: umts0
Flow: 13	PoA: umts1
Flow: 14	PoA: umts0
Flow: 15	PoA: umts0

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 152332
UMTS 1: 9132
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 4387800

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

WLAN 1: 4387800
WLAN 2: 4003800

Για $\alpha = 0,20$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: wlan0	Flow: 10	PoA: umts1
Flow: 1	PoA: umts1	Flow: 11	PoA: wlan2
Flow: 2	PoA: umts1	Flow: 12	PoA: umts0
Flow: 3	PoA: umts0	Flow: 13	PoA: wlan1
Flow: 4	PoA: umts0	Flow: 14	PoA: umts0
Flow: 5	PoA: wlan2	Flow: 15	PoA: umts0
Flow: 6	PoA: wlan1		
Flow: 7	PoA: umts1		
Flow: 8	PoA: wlan0		
Flow: 9	PoA: wlan1		

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: -15268
UMTS 1: 329132
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 4003800
WLAN 1: 4247600
WLAN 2: 4375600

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε η συμφόρηση παραμένει στο PoA UMTS0.

Για $\alpha = 0,10$ και $0,05$ ο αλγόριθμος με μνήμη δεν αντιστοίχισε το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η λύση που επιστρέφει ο αλγόριθμος χωρίς μνήμη.

6.4.4 Περίπτωση 4

Αρχική κατανομή ροών:

Ροή	Τύπος	Ποιότητα	Εύρος ζώνης kbps	PoA	Εναλλακτικό PoA	Εναλλακτικό PoA
Flow :0	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :umts1	Cap1 :umts0	Cap2 :wlan1
Flow :1	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan1	Cap1 :umts2	Cap2 :umts0

Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Flow :2	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :wlan1	Cap2 :umts1
Flow :3	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan2	Cap1 :wlan2	Cap2 :wlan2
Flow :4	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan1	Cap1 :wlan2	Cap2 :umts1
Flow :5	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :wlan1	Cap2 :umts2
Flow :6	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan0	Cap1 :wlan2	Cap2 :wlan0
Flow :7	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :umts0	Cap1 :wlan0	Cap2 :wlan2
Flow :8	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :wlan2	Cap2 :wlan2
Flow :9	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :umts1	Cap2 :wlan1
Flow :10	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan0	Cap1 :umts1	Cap2 :wlan1
Flow :11	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :wlan0	Cap2 :umts2
Flow :12	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :umts0	Cap1 :umts2	Cap2 :wlan2
Flow :13	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :wlan0	Cap2 :wlan2

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης:

UMTS 0: -3068
UMTS 1: 149332
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 4259800
WLAN 1: 4171400
WLAN 2: 4336000

Όπως φαίνεται η συμφόρηση παρουσιάζεται στο PoA UMTS0. Ο απλός αλγόριθμος για αυτό το πρόβλημα δίνει την παρακάτω λύση

Flow: 0	PoA: umts1
Flow: 1	PoA: umts0
Flow: 2	PoA: umts1
Flow: 3	PoA: wlan2
Flow: 4	PoA: wlan1
Flow: 5	PoA: umts0
Flow: 6	PoA: wlan0
Flow: 7	PoA: wlan0
Flow: 8	PoA: wlan1
Flow: 9	PoA: umts1

Flow: 10	PoA: umts1
Flow: 11	PoA: wlan0
Flow: 12	PoA: umts0
Flow: 13	PoA: umts0

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 60932
UMTS 1: 60932
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 4195800

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

WLAN 1: 4259800
WLAN 2: 4336000

Για $\alpha = 0,20$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: umts0
Flow: 1	PoA: wlan1
Flow: 2	PoA: wlan1
Flow: 3	PoA: wlan2
Flow: 4	PoA: wlan1
Flow: 5	PoA: umts0
Flow: 6	PoA: wlan0
Flow: 7	PoA: umts0
Flow: 8	PoA: wlan1
Flow: 9	PoA: wlan0

Flow: 10	PoA: wlan0
Flow: 11	PoA: wlan1
Flow: 12	PoA: umts0
Flow: 13	PoA: umts0

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: -387068
UMTS 1: 533332
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 4259800
WLAN 1: 4171400
WLAN 2: 4336000

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε η συμφόρηση παραμένει στο PoA UMTS0.

Για $\alpha = 0,10$ και $0,05$ ο αλγόριθμος με μνήμη δεν αντιστοίχισε το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η λύση που επιστρέφει ο αλγόριθμος χωρίς μνήμη.

6.4.5 Περίπτωση 5

Αρχική κατανομή ροών:

Ροή	Τύπος	Ποιότητα	Εύρος ζώνης kbps	PoA	Εναλλακτικό PoA	Εναλλακτικό PoA
Flow :0	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :umts0	Cap1 :umts0	Cap2 : -
Flow :1	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan1	Cap1 : -	Cap2 : -
Flow :2	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 : -	Cap2 : -
Flow :3	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :umts1	Cap2 : -

Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Flow :4	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :umts1	Cap2 : -
Flow :5	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :umts2	Cap2 : -
Flow :6	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :wlan1	Cap1 :umts1	Cap2 : -
Flow :7	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :umts0	Cap1 :wlan1	Cap2 : -
Flow :8	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan0	Cap1 :umts0	Cap2 : -
Flow :9	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :wlan0	Cap1 :umts2	Cap2 : -
Flow :10	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :umts1	Cap1 :umts0	Cap2 : -
Flow :11	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 : -	Cap2 : -
Flow :12	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan1	Cap1 :umts1	Cap2 : -
Flow :13	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :wlan0	Cap1 : -	Cap2 : -
Flow :14	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :umts1	Cap1 :umts2	Cap2 : -
Flow :15	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan1	Cap1 :wlan0	Cap2 : -
Flow :16	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :wlan1	Cap2 : -
Flow :17	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 : -	Cap2 : -
Flow :18	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :wlan1	Cap2 : -
Flow :19	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan2	Cap1 :wlan1	Cap2 : -
Flow :20	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :wlan0	Cap2 : -
Flow :21	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :umts1	Cap1 :wlan1	Cap2 : -

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης:

UMTS 0: 316932
UMTS 1: -106668
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3479600
WLAN 1: 3659400
WLAN 2: 4247600

Όπως φαίνεται η συμφόρηση παρουσιάζεται στο PoA UMTS0. Ο απλός αλγόριθμος για αυτό το πρόβλημα δίνει την παρακάτω λύση

Flow: 0	PoA: umts0
Flow: 1	PoA: wlan1
Flow: 2	PoA: umts0
Flow: 3	PoA: umts0
Flow: 4	PoA: umts1
Flow: 5	PoA: wlan2
Flow: 6	PoA: wlan1
Flow: 7	PoA: umts0
Flow: 8	PoA: umts0
Flow: 9	PoA: wlan0

Flow: 10	PoA: umts0
Flow: 11	PoA: wlan2
Flow: 12	PoA: wlan1
Flow: 13	PoA: wlan0
Flow: 14	PoA: umts1
Flow: 15	PoA: wlan0
Flow: 16	PoA: wlan1
Flow: 17	PoA: wlan0
Flow: 18	PoA: wlan1
Flow: 19	PoA: wlan1

Flow: 20	PoA: wlan0
Flow: 21	PoA: umts1

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 60932
UMTS 1: 9132
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3479600
WLAN 1: 3671600
WLAN 2: 4375600

Για $\alpha = 0,20$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: umts0
Flow: 1	PoA: wlan1
Flow: 2	PoA: umts0
Flow: 3	PoA: umts0
Flow: 4	PoA: wlan0
Flow: 5	PoA: wlan2
Flow: 6	PoA: wlan1
Flow: 7	PoA: umts0
Flow: 8	PoA: wlan0
Flow: 9	PoA: wlan0

Flow: 10	PoA: umts1
Flow: 11	PoA: wlan2
Flow: 12	PoA: wlan1
Flow: 13	PoA: wlan0
Flow: 14	PoA: umts1
Flow: 15	PoA: wlan1
Flow: 16	PoA: wlan1
Flow: 17	PoA: wlan0
Flow: 18	PoA: wlan1
Flow: 19	PoA: wlan2

Flow: 20	PoA: wlan1
Flow: 21	PoA: umts1

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 316932
UMTS 1: -106668
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3479600
WLAN 1: 3659400
WLAN 2: 4247600

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε η συμφόρηση μεταφέρθηκε στο PoA UMTS1.

Για $\alpha = 0,10$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: umts0
Flow: 1	PoA: wlan1
Flow: 2	PoA: umts0

Flow: 10	PoA: umts1
Flow: 11	PoA: wlan2
Flow: 12	PoA: wlan1

Flow: 20	PoA: wlan1
Flow: 21	PoA: umts1

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Flow: 3	PoA: umts0
Flow: 4	PoA: wlan0
Flow: 5	PoA: wlan2
Flow: 6	PoA: wlan1
Flow: 7	PoA: umts0
Flow: 8	PoA: wlan0
Flow: 9	PoA: wlan0

Flow: 13	PoA: wlan0
Flow: 14	PoA: umts1
Flow: 15	PoA: wlan1
Flow: 16	PoA: wlan1
Flow: 17	PoA: wlan0
Flow: 18	PoA: wlan1
Flow: 19	PoA: wlan2

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 316932
UMTS 1: -106668
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3479600
WLAN 1: 3659400
WLAN 2: 4247600

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε η συμφόρηση παραμένει στο PoA UMTS0.

Για $\alpha = 0,05$ ο αλγόριθμος με μνήμη δεν αντιστοίχισε το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η λύση που επιστρέφει ο αλγόριθμος χωρίς μνήμη.

6.4.6 Περίπτωση 6

Αρχική κατανομή ροών:

Ροή	Τύπος	Ποιότητα	Εύρος ζώνης kbps	PoA	Εναλλακτικό PoA	Εναλλακτικό PoA
Flow :0	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :umts1	Cap1 :umts1	Cap2 :wlan1
Flow :1	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :umts0	Cap2 :wlan0
Flow :2	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :umts0	Cap2 :umts0
Flow :3	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan2	Cap1 :wlan0	Cap2 :wlan1
Flow :4	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan2	Cap1 :umts0	Cap2 :wlan0
Flow :5	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :wlan2	Cap2 :umts2
Flow :6	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :umts2	Cap2 :wlan0
Flow :7	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :wlan2	Cap2 :wlan0
Flow :8	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :wlan1	Cap2 :wlan2
Flow :9	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :umts1	Cap1 :umts2	Cap2 :wlan1

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης:

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

UMTS 0: 533332
UMTS 1: -3068
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 4375600
WLAN 1: 4387800
WLAN 2: 4195800

Όπως φαίνεται η συμφόρηση παρουσιάζεται στο PoA UMTS1. Ο απλός αλγόριθμος για αυτό το πρόβλημα δίνει την παρακάτω λύση

Flow: 0	PoA: umts1
Flow: 1	PoA: umts0
Flow: 2	PoA: umts0
Flow: 3	PoA: wlan0
Flow: 4	PoA: umts0
Flow: 5	PoA: wlan0
Flow: 6	PoA: wlan0
Flow: 7	PoA: umts1
Flow: 8	PoA: wlan0
Flow: 9	PoA: umts1

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 444932
UMTS 1: 9132
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 4235400
WLAN 1: 4400000
WLAN 2: 4400000

Για $\alpha = 0,20$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: umts1
Flow: 1	PoA: umts0
Flow: 2	PoA: umts0
Flow: 3	PoA: wlan0
Flow: 4	PoA: umts0
Flow: 5	PoA: wlan0
Flow: 6	PoA: wlan0
Flow: 7	PoA: umts1

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Flow: 8	PoA: wlan0
Flow: 9	PoA: umts1

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 444932
UMTS 1: 9132
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 4235400
WLAN 1: 4400000
WLAN 2: 4400000

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε έλυσε επιτυχώς το πρόβλημα της συμφόρησης.

Για $\alpha = 0,10$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: umts1
Flow: 1	PoA: umts0
Flow: 2	PoA: umts0
Flow: 3	PoA: wlan0
Flow: 4	PoA: umts0
Flow: 5	PoA: wlan0
Flow: 6	PoA: wlan0
Flow: 7	PoA: umts1
Flow: 8	PoA: wlan0
Flow: 9	PoA: umts1

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 444932
UMTS 1: 9132
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 4235400
WLAN 1: 4400000
WLAN 2: 4400000

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε η συμφόρηση παραμένει στο PoA UMTS0.

Για $\alpha = 0,05$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: umts1
Flow: 1	PoA: umts0
Flow: 2	PoA: umts0
Flow: 3	PoA: wlan0
Flow: 4	PoA: umts0
Flow: 5	PoA: wlan0
Flow: 6	PoA: wlan0
Flow: 7	PoA: umts1
Flow: 8	PoA: wlan0
Flow: 9	PoA: umts1

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 444932
UMTS 1: 9132
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 4235400
WLAN 1: 4400000
WLAN 2: 4400000

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε αντιμετώπισε επιτυχώς τη συμφόρηση.

6.4.7 Περίπτωση 7

Αρχική κατανομή ροών:

Ροή	Τύπος	Ποιότητα	Εύρος ζώνης kbps	PoA	Εναλλακτικό PoA	Εναλλακτικό PoA
Flow :0	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :-	Cap2 :wlan1
Flow :1	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :wlan0	Cap1 :umts1	Cap2 :-
Flow :2	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :wlan0	Cap2 :-
Flow :3	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :umts2	Cap2 :-
Flow :4	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan0	Cap1 :-	Cap2 :umts2
Flow :5	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :umts2	Cap2 :-
Flow :6	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :wlan1	Cap2 :wlan1
Flow :7	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :umts1	Cap1 :wlan1	Cap2 :-
Flow :8	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan0	Cap1 :-	Cap2 :-
Flow :9	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :umts2	Cap2 :-

Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Flow :10	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :umts2	Cap2 :umts2
Flow :11	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :umts1	Cap1 :wlan1	Cap2 : -
Flow :12	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 : -	Cap2 :wlan1
Flow :13	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :umts2	Cap2 : -
Flow :14	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :wlan0	Cap2 :umts1
Flow :15	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :umts0	Cap2 : -
Flow :16	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan2	Cap1 : -	Cap2 :umts1
Flow :17	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan2	Cap1 :umts2	Cap2 : -
Flow :18	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :umts1	Cap1 :wlan0	Cap2 :umts1
Flow :19	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :umts1	Cap1 :umts1	Cap2 : -
Flow :20	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :umts0	Cap1 : -	Cap2 : -
Flow :21	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :umts0	Cap1 :wlan1	Cap2 : -
Flow :22	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :wlan0	Cap2 :wlan0
Flow :23	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :umts1	Cap2 : -
Flow :24	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 : -	Cap2 :umts2
Flow :25	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :umts1	Cap1 : -	Cap2 : -
Flow :26	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :umts0	Cap2 :umts2
Flow :27	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan1	Cap1 :umts0	Cap2 : -
Flow :28	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 : -	Cap2 : -
Flow :29	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :umts2	Cap2 : -
Flow :30	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan1	Cap1 :umts2	Cap2 :wlan0
Flow :31	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :umts0	Cap2 : -
Flow :32	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan1	Cap1 : -	Cap2 :umts1
Flow :33	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 : -	Cap2 : -
Flow :34	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :umts1	Cap2 :wlan0
Flow :35	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 : -	Cap2 : -
Flow :36	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 : -	Cap2 :wlan1
Flow :37	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :umts0	Cap1 : -	Cap2 : -
Flow :38	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 : -	Cap2 :wlan1

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης:

UMTS 0: -3068
UMTS 1: 164532
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3650200
WLAN 1: 3979400
WLAN 2: 4147000

Όπως φαίνεται η συμφόρηση παρουσιάζεται στο PoA UMTS0. Ο απλός αλγόριθμος γι αυτό το πρόβλημα δίνει την παρακάτω λύση

Flow: 0	PoA: umts1
Flow: 1	PoA: wlan0

Flow: 13	PoA: umts1
Flow: 14	PoA: umts1

Flow: 26	PoA: wlan0
Flow: 27	PoA: wlan1

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Flow: 2	PoA: wlan0
Flow: 3	PoA: wlan0
Flow: 4	PoA: wlan0
Flow: 5	PoA: wlan2
Flow: 6	PoA: wlan1
Flow: 7	PoA: umts1
Flow: 8	PoA: wlan0
Flow: 9	PoA: umts1
Flow: 10	PoA: wlan0
Flow: 11	PoA: umts1
Flow: 12	PoA: wlan1

Flow: 15	PoA: umts0
Flow: 16	PoA: umts1
Flow: 17	PoA: wlan2
Flow: 18	PoA: wlan0
Flow: 19	PoA: umts1
Flow: 20	PoA: umts0
Flow: 21	PoA: wlan1
Flow: 22	PoA: wlan0
Flow: 23	PoA: umts1
Flow: 24	PoA: wlan1
Flow: 25	PoA: umts1

Flow: 28	PoA: wlan0
Flow: 29	PoA: wlan1
Flow: 30	PoA: wlan0
Flow: 31	PoA: umts0
Flow: 32	PoA: umts1
Flow: 33	PoA: wlan0
Flow: 34	PoA: umts0
Flow: 35	PoA: wlan0
Flow: 36	PoA: wlan0
Flow: 37	PoA: umts0
Flow: 38	PoA: umts0

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 36532
UMTS 1: 24332
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3458200
WLAN 1: 4159200
WLAN 2: 4259800

Για $\alpha = 0,20$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: umts1
Flow: 1	PoA: wlan0
Flow: 2	PoA: wlan2
Flow: 3	PoA: wlan0
Flow: 4	PoA: wlan0
Flow: 5	PoA: wlan2
Flow: 6	PoA: wlan2
Flow: 7	PoA: umts1
Flow: 8	PoA: wlan0
Flow: 9	PoA: umts1
Flow: 10	PoA: wlan0
Flow: 11	PoA: umts1
Flow: 12	PoA: wlan2

Flow: 13	PoA: umts1
Flow: 14	PoA: wlan2
Flow: 15	PoA: wlan0
Flow: 16	PoA: wlan2
Flow: 17	PoA: wlan2
Flow: 18	PoA: umts1
Flow: 19	PoA: umts1
Flow: 20	PoA: umts0
Flow: 21	PoA: umts0
Flow: 22	PoA: wlan0
Flow: 23	PoA: umts1
Flow: 24	PoA: wlan1
Flow: 25	PoA: umts1

Flow: 26	PoA: wlan0
Flow: 27	PoA: wlan1
Flow: 28	PoA: wlan0
Flow: 29	PoA: wlan1
Flow: 30	PoA: wlan1
Flow: 31	PoA: wlan1
Flow: 32	PoA: wlan1
Flow: 33	PoA: wlan0
Flow: 34	PoA: umts0
Flow: 35	PoA: wlan0
Flow: 36	PoA: wlan0
Flow: 37	PoA: umts0
Flow: 38	PoA: umts0

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: -3068

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

UMTS 1: 164532
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3650200
WLAN 1: 3979400
WLAN 2: 4147000

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε η συμφόρηση παραμένει στο PoA UMTS0.

Για $\alpha = 0,10$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: umts1
Flow: 1	PoA: wlan0
Flow: 2	PoA: wlan0
Flow: 3	PoA: wlan0
Flow: 4	PoA: wlan0
Flow: 5	PoA: wlan2
Flow: 6	PoA: wlan2
Flow: 7	PoA: umts1
Flow: 8	PoA: wlan0
Flow: 9	PoA: umts1
Flow: 10	PoA: wlan0
Flow: 11	PoA: umts1
Flow: 12	PoA: wlan2

Flow: 13	PoA: umts1
Flow: 14	PoA: wlan2
Flow: 15	PoA: wlan0
Flow: 16	PoA: wlan2
Flow: 17	PoA: wlan2
Flow: 18	PoA: umts1
Flow: 19	PoA: umts1
Flow: 20	PoA: umts0
Flow: 21	PoA: umts0
Flow: 22	PoA: wlan0
Flow: 23	PoA: umts1
Flow: 24	PoA: wlan1
Flow: 25	PoA: umts1

Flow: 26	PoA: wlan0
Flow: 27	PoA: wlan1
Flow: 28	PoA: wlan0
Flow: 29	PoA: wlan1
Flow: 30	PoA: wlan1
Flow: 31	PoA: wlan1
Flow: 32	PoA: wlan1
Flow: 33	PoA: wlan0
Flow: 34	PoA: umts0
Flow: 35	PoA: wlan0
Flow: 36	PoA: wlan0
Flow: 37	PoA: umts0
Flow: 38	PoA: umts0

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: -3068
UMTS 1: 164532
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3638000
WLAN 1: 3979400
WLAN 2: 4159200

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε η συμφόρηση παραμένει στο PoA UMTS0.

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Για $\alpha = 0,05$ ο αλγόριθμος με μνήμη δεν αντιστοίχισε το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η λύση που επιστρέφει ο αλγόριθμος χωρίς μνήμη.

6.4.8 Περίπτωση 8

Αρχική κατανομή ροών:

Ροή	Τύπος	Ποιότητα	Εύρος ζώνης kbps	PoA	Εναλλακτικό PoA	Εναλλακτικό PoA
Flow :0	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan2	Cap1 : -	Cap2 : -
Flow :1	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :wlan0	Cap2 : -
Flow :2	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :wlan0	Cap2 :wlan1
Flow :3	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :umts1	Cap2 : -
Flow :4	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 : -	Cap2 :wlan1
Flow :5	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan0	Cap1 :umts2	Cap2 : -
Flow :6	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :umts1	Cap1 :wlan1	Cap2 :wlan0
Flow :7	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :wlan0	Cap1 :umts2	Cap2 : -
Flow :8	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :umts1	Cap1 : -	Cap2 :wlan1
Flow :9	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :wlan1	Cap2 : -
Flow :10	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :umts2	Cap2 :umts2
Flow :11	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :umts2	Cap2 : -
Flow :12	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :umts1	Cap1 : -	Cap2 :wlan1

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης:

UMTS 0: 521132
UMTS 1: -106668
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3927600
WLAN 1: 4375600
WLAN 2: 4311600

Όπως φαίνεται η συμφόρηση παρουσιάζεται στο PoA UMTS1. Ο απλός αλγόριθμος για αυτό το πρόβλημα δίνει την παρακάτω λύση

Flow: 0	PoA: wlan2
Flow: 1	PoA: umts0
Flow: 2	PoA: wlan0
Flow: 3	PoA: umts1
Flow: 4	PoA: wlan1
Flow: 5	PoA: wlan0
Flow: 6	PoA: umts1

Flow: 10	PoA: wlan2
Flow: 11	PoA: wlan0
Flow: 12	PoA: umts1

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Flow: 7	PoA: wlan0
Flow: 8	PoA: wlan1
Flow: 9	PoA: wlan1

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 521132
UMTS 1: 265132
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3927600
WLAN 1: 3991600
WLAN 2: 4323800

Για $\alpha = 0,20$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: wlan2
Flow: 1	PoA: umts0
Flow: 2	PoA: wlan1
Flow: 3	PoA: wlan0
Flow: 4	PoA: wlan1
Flow: 5	PoA: wlan0
Flow: 6	PoA: umts1
Flow: 7	PoA: wlan0
Flow: 8	PoA: umts1
Flow: 9	PoA: wlan2

Flow: 10	PoA: wlan2
Flow: 11	PoA: wlan0
Flow: 12	PoA: umts1

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 521132
UMTS 1: -106668
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3927600
WLAN 1: 4375600
WLAN 2: 4311600

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε η συμφόρηση παραμένει στο PoA UMTS1.

Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Για $\alpha = 0,10$ και $0,05$ ο αλγόριθμος με μνήμη δεν αντιστοίχισε το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η λύση που επιστρέφει ο αλγόριθμος χωρίς μνήμη.

6.4.9 Περίπτωση 9

Αρχική κατανομή ροών:

Ροή	Τύπος	Ποιότητα	Εύρος ζώνης kbps	PoA	Εναλλακτικό PoA	Εναλλακτικό PoA
Flow :0	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 : -	Cap2 :umts2
Flow :1	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan1	Cap1 :wlan0	Cap2 : -
Flow :2	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :wlan2	Cap1 :umts1	Cap2 :umts2
Flow :3	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :wlan0	Cap1 :wlan1	Cap2 : -
Flow :4	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 : -	Cap2 :wlan1
Flow :5	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :wlan0	Cap2 : -
Flow :6	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :umts1	Cap2 : -
Flow :7	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 : -	Cap2 : -
Flow :8	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 : -	Cap2 :wlan1
Flow :9	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan0	Cap1 :umts1	Cap2 : -
Flow :10	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :umts0	Cap1 :umts1	Cap2 :wlan0
Flow :11	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :wlan2	Cap1 :wlan0	Cap2 : -
Flow :12	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :umts0	Cap1 : -	Cap2 :umts0
Flow :13	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :wlan1	Cap2 : -
Flow :14	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :wlan0	Cap2 : -
Flow :15	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan2	Cap1 :wlan1	Cap2 : -
Flow :16	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :umts1	Cap1 : -	Cap2 : -
Flow :17	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :wlan2	Cap1 :wlan0	Cap2 : -
Flow :18	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan1	Cap1 :umts2	Cap2 :wlan0
Flow :19	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :umts0	Cap2 : -
Flow :20	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 : -	Cap2 :wlan1
Flow :21	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :umts1	Cap2 : -
Flow :22	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :wlan0	Cap2 :umts0
Flow :23	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan1	Cap1 :wlan1	Cap2 : -
Flow :24	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 : -	Cap2 :umts2
Flow :25	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :wlan2	Cap1 :umts2	Cap2 : -
Flow :26	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :wlan1	Cap2 :wlan1
Flow :27	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :umts1	Cap1 :umts0	Cap2 : -

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης:

UMTS 0: 60932
UMTS 1: -27468
UMTS 2: 533332

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

WLAN 0: 3939800
WLAN 1: 3967200
WLAN 2: 2763400

Όπως φαίνεται η συμφόρηση παρουσιάζεται στο PoA UMTS1. Ο απλός αλγόριθμος για αυτό το πρόβλημα δίνει την παρακάτω λύση

Flow: 0	PoA: wlan2
Flow: 1	PoA: wlan0
Flow: 2	PoA: wlan2
Flow: 3	PoA: wlan0
Flow: 4	PoA: wlan1
Flow: 5	PoA: umts1
Flow: 6	PoA: umts1
Flow: 7	PoA: wlan0
Flow: 8	PoA: wlan1
Flow: 9	PoA: umts1

Flow: 10	PoA: wlan0
Flow: 11	PoA: wlan0
Flow: 12	PoA: umts0
Flow: 13	PoA: wlan1
Flow: 14	PoA: umts1
Flow: 15	PoA: wlan1
Flow: 16	PoA: umts1
Flow: 17	PoA: wlan0
Flow: 18	PoA: wlan0
Flow: 19	PoA: umts0

Flow: 20	PoA: wlan1
Flow: 21	PoA: umts1
Flow: 22	PoA: umts1
Flow: 23	PoA: wlan1
Flow: 24	PoA: wlan2
Flow: 25	PoA: wlan2
Flow: 26	PoA: wlan1
Flow: 27	PoA: umts0

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 9132
UMTS 1: 24332
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 2915800
WLAN 1: 4147000
WLAN 2: 3607600

Για $\alpha = 0,20$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: wlan2
Flow: 1	PoA: wlan1
Flow: 2	PoA: wlan2
Flow: 3	PoA: wlan0
Flow: 4	PoA: wlan1
Flow: 5	PoA: umts1
Flow: 6	PoA: wlan1
Flow: 7	PoA: wlan0
Flow: 8	PoA: wlan2
Flow: 9	PoA: wlan0

Flow: 10	PoA: umts0
Flow: 11	PoA: wlan2
Flow: 12	PoA: umts0
Flow: 13	PoA: wlan1
Flow: 14	PoA: umts1
Flow: 15	PoA: wlan2
Flow: 16	PoA: umts1
Flow: 17	PoA: wlan2
Flow: 18	PoA: wlan1
Flow: 19	PoA: umts1

Flow: 20	PoA: umts0
Flow: 21	PoA: umts0
Flow: 22	PoA: umts1
Flow: 23	PoA: wlan1
Flow: 24	PoA: wlan2
Flow: 25	PoA: wlan2
Flow: 26	PoA: wlan1
Flow: 27	PoA: umts1

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

UMTS 0: 60932
UMTS 1: -27468
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3939800
WLAN 1: 3967200
WLAN 2: 2763400

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε η συμφόρηση παραμένει στο PoA UMTS1.

Για $\alpha = 0,10$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: wlan2
Flow: 1	PoA: wlan1
Flow: 2	PoA: wlan2
Flow: 3	PoA: wlan0
Flow: 4	PoA: wlan1
Flow: 5	PoA: umts1
Flow: 6	PoA: wlan1
Flow: 7	PoA: wlan0
Flow: 8	PoA: wlan1
Flow: 9	PoA: wlan0

Flow: 10	PoA: umts1
Flow: 11	PoA: wlan2
Flow: 12	PoA: umts0
Flow: 13	PoA: wlan1
Flow: 14	PoA: umts1
Flow: 15	PoA: wlan1
Flow: 16	PoA: umts1
Flow: 17	PoA: wlan0
Flow: 18	PoA: wlan0
Flow: 19	PoA: umts1

Flow: 20	PoA: wlan1
Flow: 21	PoA: umts1
Flow: 22	PoA: umts1
Flow: 23	PoA: wlan1
Flow: 24	PoA: wlan2
Flow: 25	PoA: wlan2
Flow: 26	PoA: wlan1
Flow: 27	PoA: umts1

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 149332
UMTS 1: -103668
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3427800
WLAN 1: 4006800
WLAN 2: 3223600

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε η συμφόρηση παραμένει στο PoA UMTS1.

Για $\alpha = 0,05$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: wlan2
---------	------------

Flow: 10	PoA: umts1
----------	------------

Flow: 20	PoA: wlan1
----------	------------

Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Flow: 1	PoA: wlan1
Flow: 2	PoA: wlan2
Flow: 3	PoA: wlan0
Flow: 4	PoA: wlan1
Flow: 5	PoA: umts1
Flow: 6	PoA: wlan1
Flow: 7	PoA: wlan0
Flow: 8	PoA: wlan1
Flow: 9	PoA: wlan0

Flow: 11	PoA: wlan2
Flow: 12	PoA: umts0
Flow: 13	PoA: wlan1
Flow: 14	PoA: umts1
Flow: 15	PoA: wlan1
Flow: 16	PoA: umts1
Flow: 17	PoA: wlan0
Flow: 18	PoA: wlan0
Flow: 19	PoA: umts1

Flow: 21	PoA: umts1
Flow: 22	PoA: umts1
Flow: 23	PoA: wlan1
Flow: 24	PoA: wlan2
Flow: 25	PoA: wlan2

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 149332
UMTS 1: -103668
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 3427800
WLAN 1: 4006800
WLAN 2: 3223600

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε η συμφόρηση παραμένει στο PoA UMTS1.

6.4.10 Περίπτωση 10

Αρχική κατανομή ροών:

Ροή	Τύπος	Ποιότητα	Εύρος ζώνης kbps	PoA	Εναλλακτικό PoA	Εναλλακτικό PoA
Flow :0	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :-	Cap2 :wlan1
Flow :1	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :umts1	Cap2 :-
Flow :2	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan2	Cap1 :wlan0	Cap2 :wlan1
Flow :3	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :wlan1	Cap2 :-
Flow :4	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :-	Cap2 :umts1
Flow :5	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :wlan0	Cap2 :-
Flow :6	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan0	Cap1 :-	Cap2 :wlan1
Flow :7	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :umts2	Cap2 :-
Flow :8	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :-	Cap2 :umts0
Flow :9	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :umts1	Cap2 :-
Flow :10	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :umts0	Cap1 :-	Cap2 :wlan1
Flow :11	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :wlan0	Cap1 :umts1	Cap2 :-
Flow :12	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan0	Cap1 :-	Cap2 :umts2
Flow :13	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :umts1	Cap2 :-
Flow :14	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :umts1	Cap2 :-

Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Flow :15	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :wlan0	Cap1 :-	Cap2 :-
Flow :16	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :-	Cap2 :umts2
Flow :17	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :wlan1	Cap2 :-
Flow :18	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :wlan1	Cap2 :-
Flow :19	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :wlan1	Cap2 :-
Flow :20	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :-	Cap2 :wlan1
Flow :21	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :wlan1	Cap2 :-
Flow :22	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :wlan0	Cap1 :wlan1	Cap2 :umts2
Flow :23	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :umts2	Cap2 :-
Flow :24	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :-	Cap2 :wlan0
Flow :25	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :umts0	Cap2 :-
Flow :26	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :wlan0	Cap1 :umts0	Cap2 :wlan0
Flow :27	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :wlan1	Cap2 :-
Flow :28	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :wlan1	Cap1 :-	Cap2 :umts1
Flow :29	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :-	Cap2 :-
Flow :30	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :wlan0	Cap2 :umts0
Flow :31	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :umts0	Cap2 :-
Flow :32	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :-	Cap2 :umts0
Flow :33	Type :0	Quality :2	Bandwidth :12200	PoA :wlan1	Cap1 :-	Cap2 :-
Flow :34	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :wlan2	Cap1 :umts2	Cap2 :wlan0
Flow :35	Type :1	Quality :0	Bandwidth :384000	PoA :umts1	Cap1 :-	Cap2 :-
Flow :36	Type :0	Quality :0	Bandwidth :12200	PoA :umts0	Cap1 :-	Cap2 :umts2
Flow :37	Type :1	Quality :2	Bandwidth :64000	PoA :wlan0	Cap1 :wlan1	Cap2 :-
Flow :38	Type :0	Quality :1	Bandwidth :12200	PoA :umts1	Cap1 :umts2	Cap2 :umts2
Flow :39	Type :1	Quality :1	Bandwidth :128000	PoA :umts0	Cap1 :umts0	Cap2 :-

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης:

UMTS 0: -76268
UMTS 1: 88332
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 2854800
WLAN 1: 4211000
WLAN 2: 4211000

Όπως φαίνεται η συμφόρηση παρουσιάζεται στο PoA UMTS0. Ο απλός αλγόριθμος γι αυτό το πρόβλημα δίνει την παρακάτω λύση

Flow: 0	PoA: wlan1
Flow: 1	PoA: umts1
Flow: 2	PoA: wlan0
Flow: 3	PoA: wlan0
Flow: 4	PoA: umts1
Flow: 5	PoA: wlan0

Flow: 14	PoA: umts1
Flow: 15	PoA: wlan0
Flow: 16	PoA: wlan0
Flow: 17	PoA: umts1
Flow: 18	PoA: umts0
Flow: 19	PoA: wlan1

Flow: 28	PoA: wlan1
Flow: 29	PoA: umts1
Flow: 30	PoA: umts0
Flow: 31	PoA: umts0
Flow: 32	PoA: umts0
Flow: 33	PoA: wlan1

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

Flow: 6	PoA: wlan0
Flow: 7	PoA: wlan2
Flow: 8	PoA: umts0
Flow: 9	PoA: umts1
Flow: 10	PoA: wlan1
Flow: 11	PoA: wlan0
Flow: 12	PoA: wlan0
Flow: 13	PoA: umts0

Flow: 20	PoA: umts0
Flow: 21	PoA: wlan1
Flow: 22	PoA: wlan0
Flow: 23	PoA: umts0
Flow: 24	PoA: wlan0
Flow: 25	PoA: umts0
Flow: 26	PoA: umts0
Flow: 27	PoA: umts1

Flow: 34	PoA: wlan0
Flow: 35	PoA: umts1
Flow: 36	PoA: umts0
Flow: 37	PoA: wlan0
Flow: 38	PoA: umts1
Flow: 39	PoA: umts0

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: 271132
UMTS 1: 51732
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 2739000
WLAN 1: 3839200
WLAN 2: 4387800

Για $\alpha = 0,20$ ο αλγόριθμος με μνήμη αντιστοιχίζει το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η παρακάτω:

Flow: 0	PoA: wlan1
Flow: 1	PoA: wlan0
Flow: 2	PoA: wlan2
Flow: 3	PoA: wlan0
Flow: 4	PoA: wlan1
Flow: 5	PoA: wlan2
Flow: 6	PoA: wlan0
Flow: 7	PoA: wlan2
Flow: 8	PoA: wlan1
Flow: 9	PoA: wlan0
Flow: 10	PoA: umts0
Flow: 11	PoA: wlan0
Flow: 12	PoA: wlan0
Flow: 13	PoA: umts0

Flow: 14	PoA: wlan0
Flow: 15	PoA: wlan0
Flow: 16	PoA: wlan0
Flow: 17	PoA: umts1
Flow: 18	PoA: umts0
Flow: 19	PoA: wlan1
Flow: 20	PoA: umts0
Flow: 21	PoA: wlan2
Flow: 22	PoA: wlan0
Flow: 23	PoA: umts0
Flow: 24	PoA: wlan2
Flow: 25	PoA: umts0
Flow: 26	PoA: wlan0
Flow: 27	PoA: umts1

Flow: 28	PoA: wlan1
Flow: 29	PoA: umts1
Flow: 30	PoA: umts0
Flow: 31	PoA: umts1
Flow: 32	PoA: umts0
Flow: 33	PoA: wlan1
Flow: 34	PoA: wlan2
Flow: 35	PoA: umts1
Flow: 36	PoA: umts0
Flow: 37	PoA: wlan0
Flow: 38	PoA: umts1
Flow: 39	PoA: umts0

Διαθέσιμο εύρος ζώνης σε kbps ανά σημείο σύνδεσης μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου:

UMTS 0: -76268
UMTS 1: 88332
UMTS 2: 533332
WLAN 0: 2854800

WLAN 1: 4211000

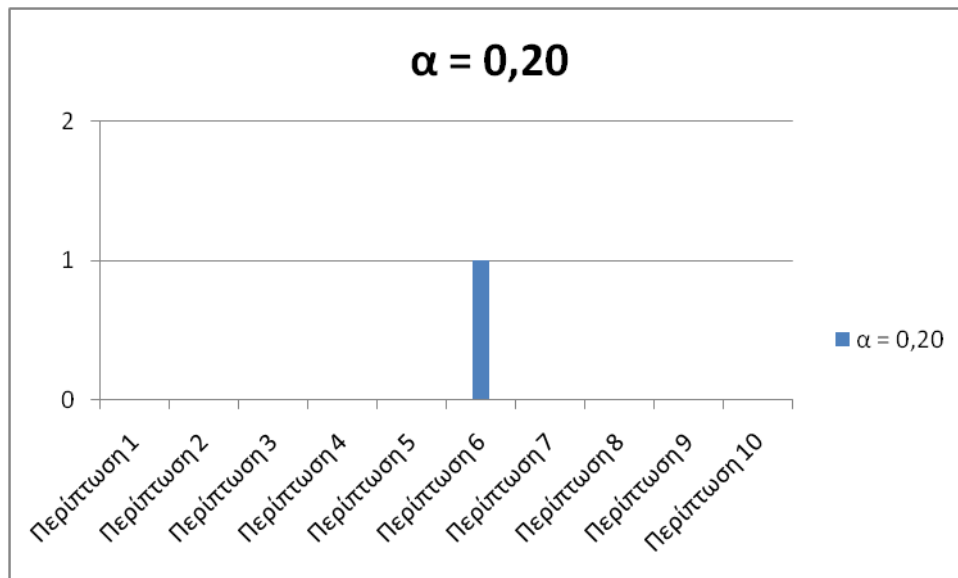
WLAN 2: 4211000

Όπως φαίνεται ο αλγόριθμος στο αποτέλεσμα που επέστρεψε η συμφόρηση παραμένει στο PoA UMTS0.

Για $\alpha = 0,10$ και $0,05$ ο αλγόριθμος με μνήμη δεν αντιστοίχισε το πρόβλημα με κάποιο παλιότερο και η λύση που επιστρέφει είναι η λύση που επιστρέφει ο αλγόριθμος χωρίς μνήμη.

6.4.11 Συμπεράσματα

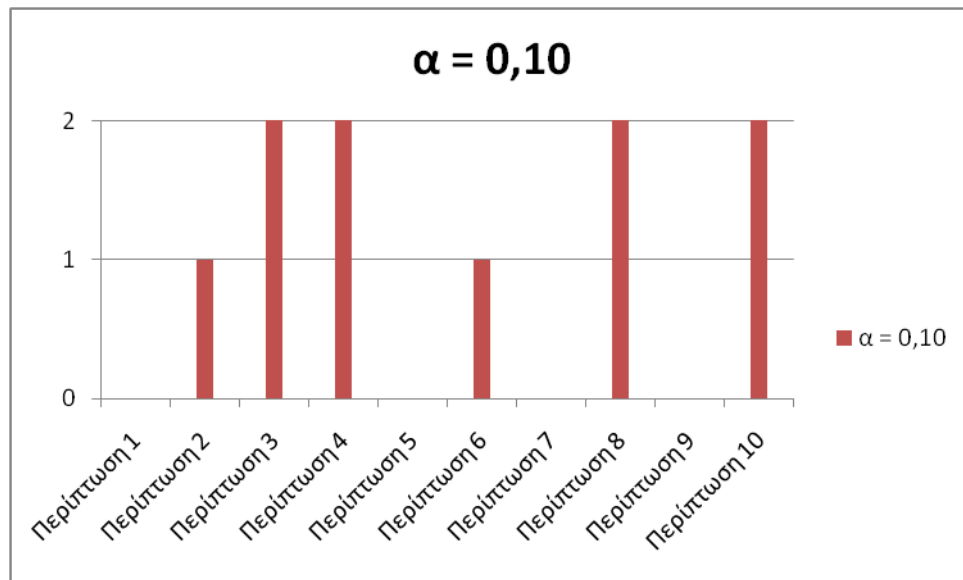
Από τις προηγούμενες προσομοιώσεις παρατηρείται ότι η τιμή της παραμέτρου α επηρεάζει σημαντικά την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την περίπτωση όπου $\alpha = 0,20$. Με 0 συμβολίζεται η περίπτωση όπου ο αλγόριθμος εφάρμοσε μια αποθηκευμένη λύση αλλά η συμφόρηση παρέμεινε είτε στο ίδιο είτε σε άλλο PoA. Με 1 συμβολίζεται η περίπτωση όπου ο αλγόριθμος εφάρμοσε μια αποθηκευμένη λύση επιτυχώς. Τέλος, με 2 συμβολίζεται η περίπτωση όπου ο αλγόριθμος δεν αντιστοίχισε μια αποθηκευμένη λύση με το τρέχον πρόβλημα και υπολόγισε μια νέα από την αρχή.



Από το παραπάνω διάγραμμα μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι η τιμή $0,20$ για το α είναι μικρή καθώς στο 90% των περιπτώσεων υπήρξε ταύτιση με μια αποθηκευμένη λύση

που όμως δεν ήταν αποτελεσματική για το τρέχον πρόβλημα. Μόνο σε ένα από τα δέκα προβλήματα η λύση που εφαρμόστηκε έλυσε επιτυχώς το πρόβλημα.

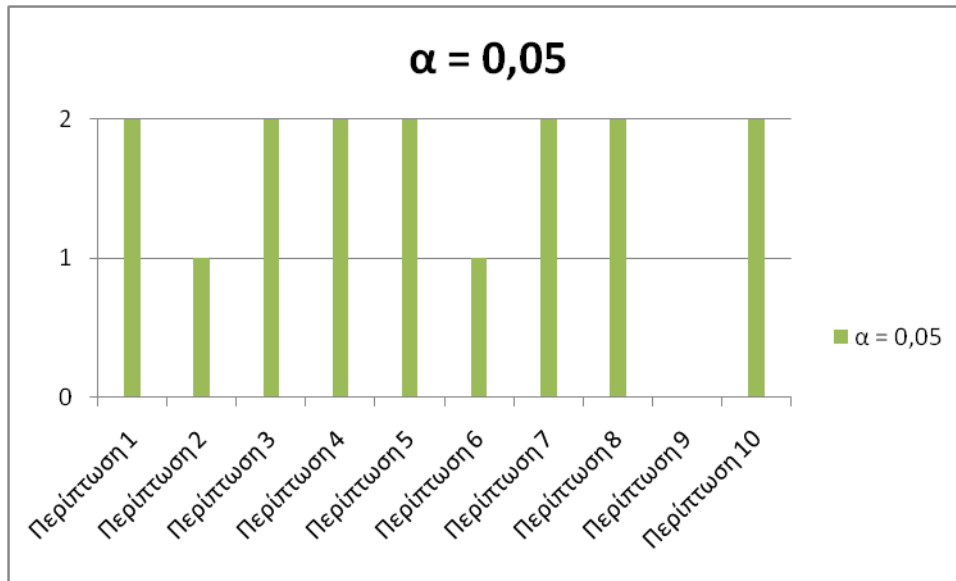
Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την περίπτωση όπου $\alpha = 0,10$:



Από το παραπάνω διάγραμμα μια πρώτη παρατήρηση είναι ότι μόνο το 20% στο σύνολο των περιπτώσεων ο αλγόριθμος εφάρμοσε αποθηκευμένη λύση ανεπιτυχώς. Εξετάζοντας μόνο το σύνολο των περιπτώσεων όπου ο αλγόριθμος αντιστοίχισε μια αποθηκευμένη λύση τότε το προηγούμενο ποσοστό αλλάζει σε 33,3%.

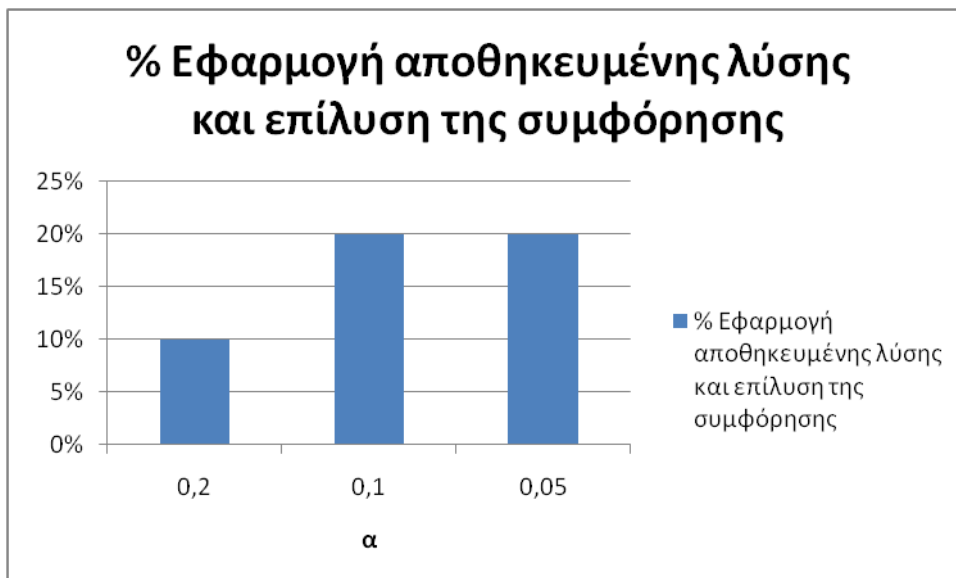
Επιπλέον μία παρατήρηση είναι ότι σε τέσσερις περιπτώσεις ο αλγόριθμος δεν αντιστοίχισε τα τρέχοντα προβλήματα με κάποια αποθηκευμένη λύση και υπολόγισε μια νέα λύση.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την περίπτωση όπου $\alpha = 0,05$:



Πρώτη παρατήρηση από το παραπάνω διάγραμμα είναι ότι σε μόνο μία περίπτωση ο αλγόριθμος εφάρμοσε αποθηκευμένη λύση ανεπιτυχώς. Από την άλλη πλευρά στο 70% των περιπτώσεων χρειάστηκε να υπολογίσει μια νέα λύση από την αρχή και μόνο σε 2 περιπτώσεις εφάρμοσε επιτυχώς μια αποθηκευμένη λύση.

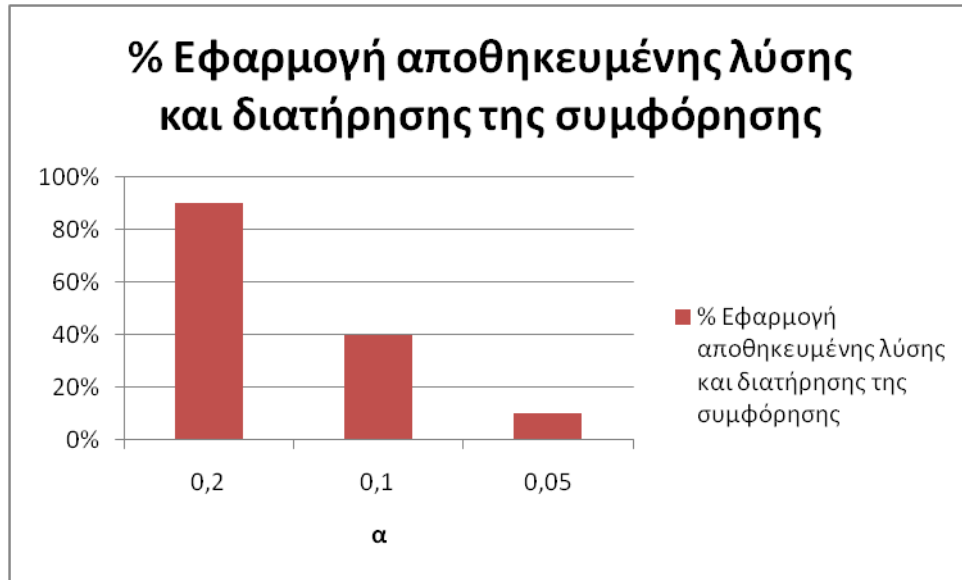
Εξετάζοντας τα αποτελέσματα από την πλευρά της επιτυχούς εφαρμογής μια αποθηκευμένης λύσης προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα:



Από το παραπάνω παρατηρείται ότι για τις τιμές του α 0,10 και 0,05 το ποσοστό είναι το ίδιο. Στην περίπτωση που το α = 0,20 το ποσοστό πέφτει στο μισό όπως και

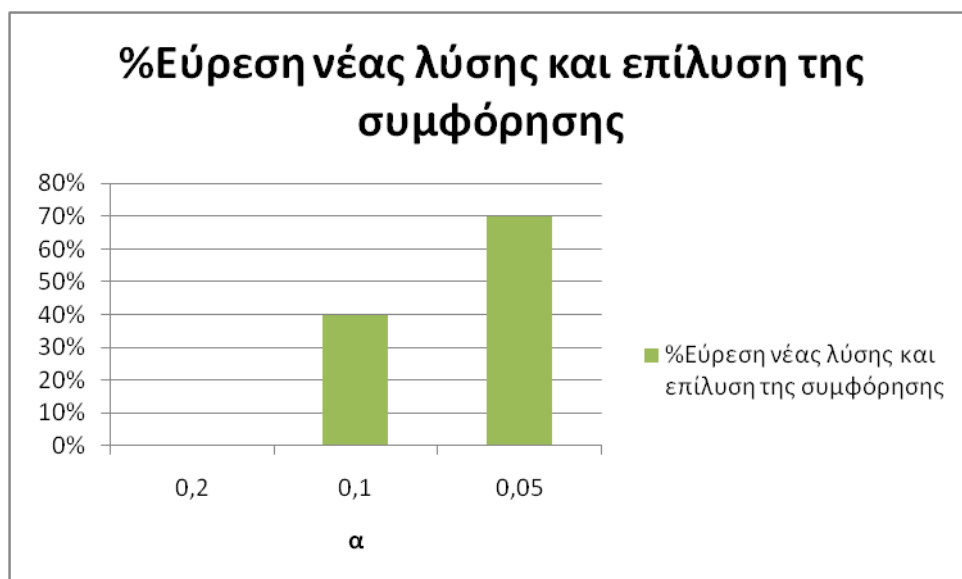
αναμενόταν καθώς μικρότερο α σημαίνει και λιγότερο αυστηρή αντιστοίχιση άρα και περισσότερες πιθανότητες η αποθηκευμένη λύση να μην ταιριάζει στο τρέχον πρόβλημα.

Αντίστοιχα, το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει το ποσοστό της αποτυχημένης εφαρμογής μιας αποθηκευμένης λύσης:



Όπως φάνηκε και από το προηγούμενο διάγραμμα η μείωση του α έχει ως αποτέλεσμα να μειώνονται οι περιπτώσεις όπου ο αλγόριθμος εφαρμόζει μια αποθηκευμένη λύση η οποία διατηρεί τη συμφόρηση στο ίδιο ή σε κάποιο άλλο PoA.

Παρακάτω είναι το διάγραμμα που παρουσιάζει το ποσοστό των περιπτώσεων όπου ο αλγόριθμος αναγκάζεται να υπολογίσει μια νέα λύση:



Ένα άμεσο συμπέρασμα από το παραπάνω διάγραμμα είναι ότι καθώς μειώνεται το α μειώνονται και η περιπτώσεις όπου ο αλγόριθμος αντιστοιχίζει μια αποθηκευμένη λύση με μια νέα περίπτωση συμφόρησης. Άρα μια τιμή του α κοντά στο 0 από τη μια μεριά θα μειώσει τις περιπτώσεις λανθασμένης χρήσης μιας αποθηκευμένης λύσης αλλά θα μειώσει και τις περιπτώσεις όπου γενικά μια αποθηκευμένη λύση θα εφαρμόζεται ένα τρέχον πρόβλημα.

| Σενάρια εφαρμογής και μελέτης του αλγορίθμου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Επίλογος

Ανακεφαλαιώνοντας, τα δίκτυα πέραν της τρίτης γενιάς αποτελούν σημαντική ανάπτυξη στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Ένα από τα χαρακτηριστικά τους, είναι η δυνατότητα να προσφέρουν συνεχή παροχή υπηρεσιών στους χρήστες. Γι αυτό το σκοπό, μπορούν και συνδυάζουν σημεία σύνδεσης διαφορετικής τεχνολογίας για την αποτελεσματική διαχείριση του φορτίου. Σε αυτό συμβάλει και η αναπροσαρμογή του πυρήνα του δικτύου ώστε να χρησιμοποιείται μόνο το πρωτόκολλο IP. Το αποτέλεσμα είναι η δυνατότητα διαπομπών μεταξύ σημείων σύνδεσης που χρησιμοποιούν ετερογενείς τεχνολογίες στο επίπεδο ζεύξης.

Από την πλευρά του δικτύου υπεύθυνος για την επίτευξη των παραπάνω διαπομπών είναι ο αλγόριθμος διαχείρισης πόρων ο οποίος και μελετήθηκε στην παρούσα εργασία. Μελετήθηκαν δύο διαφορετικές εκδοχές του αλγορίθμου. Η διαφορά τους ήταν ότι ο δεύτερος είχε επιπλέον τη δυνατότητα να αναγνωρίζει καταστάσεις συμφόρησης, να τις συγκρίνει με παλιότερες περιπτώσεις και ανάλογα είτε να εφαρμόζει την αποθηκευμένη λύση είτε να προχωρά στον υπολογισμό μιας νέας. Ειδικότερα, μελετήθηκε η σχετική διαφορά στο χρόνο απόκρισης μεταξύ των δυο αλγορίθμων καθώς κι η επίδραση της παραμέτρου α στην απόδοση του αλγορίθμου με μνήμη. Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι ο αλγόριθμος με μνήμη στη μορφή που μελετήθηκε μπορεί να γίνει αποτελεσματικότερος του απλού. Σημαντικό ρόλο παίζει όμως η κατάλληλη επιλογή των παραμέτρων του και ειδικότερα της παραμέτρου α . Αυτή καθορίζει το πόσο αυστηρή θα είναι η αντιστοίχιση ενός προβλήματος με κάποιο αποθηκευμένο.

Για περαιτέρω διερεύνηση ενδιαφέρον θα είχε η μελέτη τροποποιημένων εκδοχών του αλγορίθμου με μνήμη όπως αναφέρονται στο τέλος του 5ου κεφαλαίου. Επιπλέον, χρήσιμο θα ήταν να μελετηθεί η αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου σε πραγματικές συνθήκες δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να μελετηθεί η απόδοση του αλγορίθμου σε δυναμικές συνθήκες δικτύου.

Βιβλιογραφία

- [1] Friedhelm Hildebrand “GSM & UMTS: The Creation of Global Mobile Communications”, Wiley 2001
- [2] H. Holma, A. Toskala, “WCDMA for UMTS”, Εκδόσεις Wiley.
- [3] Μ. Θεολόγου, “Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών”
- [4] Νικολέττα Μαυρογεώργη “Σχεδιασμός Μεθόδου Εντοπισμού Υποπεριοχής Κινητού Τερματικού σε GSM Δίκτυα και Εφαρμογή της σε Σύστημα Προβολής Διαφημίσεων σε Κινητά Τερματικά”, (Διπλωματική Εργασία)
- [5] Motorola TECHNICAL WHITE PAPER “Long Term Evolution (LTE):A Technical Overview”
- [6] V. Kumar “Wireless communications “Beyond 3G””, Alcatel Telecommunications Review 2001
- [7] Βασίλειος Χ.Μαντζούκας “Ανάπτυξη πλατφόρμας προσομοιώσεων για γνωστικά δίκτυα σε περιβάλλοντα πέραν της τρίτης γενιάς”
- [8] Telemaco Melia, NEC “DAIDALOS II Deliverable DII-221 Architecture and Design: Virtual Identity and General Mobility”
- [9] Albert Banchs, Pablo Serrano, UC3M “DAIDALOS II Deliverable DII-231 Architecture and Design: Quality of Service”
- [10] Susana Sargento, Vítor Jesus, ITAv “Daidalos II Deliverable DII-331 Architecture and Design: Context-Aware End-to-end Network Resource Management & Monitoring”
- [11] http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.21
- [12] IEEE P802.21™/D01.09, September 2006
- [13] Vivek Gupta “IEEE P802.21 Tutorial” July 17, 2006

- [14] Kristina Machova, Jan Paralic “Basic principles of cognitive algorithms design”
- [15] Shamas ul Islam Bajwa, Edward Chung, Masao Kuwahara “AN ADAPTIVE TRAVEL TIME PREDICTION MODEL BASED ON PATTERN MATCHING”
- [16] S. Chantaraskul and L.G. Cuthbert “Congestion Pattern Matching in Case-Based Reasoning Control for 3G networks”
- [17] David J.C. MacKay “Information Theory, Inference, and Learning Algorithms”
- [18] Paul G. Spirakis “Τα όρια του Υπολογισμού και η Πολυπλοκότητα: Οι θεμελιώσεις της Επιστήμης των Υπολογιστών”
- [19] Vasilios Pasias, Dimitrios A. Karras, Rallis C. Papademetriou “Traffic Engineering in Multi-service Networks comparing Genetic and Simulated Annealing Optimization Techniques”