



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Σχεδιασμός και μελέτη σεναρίων χρήσης δικτύωσης WiMAX μέσω
του προσομοιωτή OPNET



ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ : ΖΙΩΓΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Επιβλέπων: Δρ. Λάγκας Θωμάς

Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μέσα από μια σειρά διαφορετικών σεναρίων δομημένων με τον προσομοιωτή δικτύων Opnet Modeler v16.0, πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις οι οποίες είχαν σκοπό να καταδείξουν διαφορές σχετικές με την ποιότητα της επικοινωνίας σε ένα δίκτυο WiMAX σε έναν χώρο παρόμοιο με τον χώρο που στεγάζεται το ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης. Τα σενάρια που δημιουργήθηκαν αποτελούνταν από μία ή τρεις εφαρμογές με διαφορετικούς συνδυασμούς πλήθους ασυρμάτων σταθμών, σταθμών βάσης αλλά και ρυθμίσεων που επηρέαζαν κάθε φορά κάποιο κομμάτι των παραμέτρων της ποιότητας της επικοινωνίας (QoS).

Το πρώτο σκέλος των σεναρίων αποτελείται από σενάρια τα οποία περιλαμβάνουν τοπικούς εξυπηρετητές για μια εφαρμογή VoIP και σενάρια στα οποία παρεμβάλετε το διαδίκτυο ώστε να επιτευχθεί η επικοινωνία με κάποιον εξυπηρετητή αντίστοιχης εφαρμογής.

Στο δεύτερο σκέλος των σεναρίων υπάρχουν σενάρια τα οποία επεξεργάζονται τις διαφορές που μπορούν να προκύψουν στην δικτυακή επικοινωνία και στην λειτουργία εφαρμογών, όταν οι σταθμοί του δικτύου κινούνται με κάποια ταχύτητα μέσα στον χώρο. Και σε αυτό το σκέλος υπάρχει μόνο μια εφαρμογή VoIP.

Στο τρίτο σκέλος που είναι και το πιο σύνθετο, υπάρχουν τρεις εφαρμογές που λειτουργούν παράλληλα στο δίκτυο και έχει σαν βάση την τεχνολογία κεραιών MIMO αλλά και τις διαφορετικές παραλλαγές αυτής.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν αφορούν ξεχωριστά το κάθε ένα από τα σενάρια και τις μεταξύ τους συγκρίσεις και δεν μπορούν να γενικευτούν απολύτως.

ABSTRACT

Through a series of different scenarios structured by network simulator Opnet Modeler v16.0, comparisons were made which were intended to show differences related to the quality of communication in a WiMAX network in an area similar to the space occupied by the Technological Educational Institute of Thessaloniki. The scenarios were created consisting of one or three applications with different combinations of numerous radio stations, base stations and regulations that affect every time some of the parameters of Quality of Service.

The first part of scenarios consists of scenarios which include local servers for VoIP applications and scenarios that access the Internet in order to achieve communication with the application server.

In the second part of the scenarios there are scenarios that handle the differences that may arise in the communication network and applications, when the network stations are moving with some speed through space. In this part there is only one VoIP application also.

In the third part which is the most complex, there are three applications that work while the network has as basis the MIMO antenna technology and the different variations of it.

The results are based on the results of each of the scenarios and the comparison between them and therefore cannot be fully generalized.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στα πλαίσια των προπτυχιακών σπουδών στο τμήμα Πληροφορικής του Αλεξάνδρειου Ανώτατου Τεχνολογικού Ιδρύματος Θεσσαλονίκης και καθώς ο κανονισμός ορίζει, ανατέθηκε η εκπόνηση πτυχιακής εργασίας ως αναπόσπαστο μέρος της ολοκλήρωσης των σπουδών. Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει τίτλο «Σχεδιασμός και μελέτη σεναρίων χρήσης δικτύωσης WiMAX μέσω του προσομοιωτή OPNET» και επιβλέπων καθηγητής για την εκπόνησή της είναι ο Δρ. Θωμάς Λάγκας, Επιστημονικός Συνεργάτης του τμήματος Πληροφορικής του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

Αμέσως μετά την ανάθεση της πτυχιακής εργασίας, κύριο μέλημα υπήρξε η εκτεταμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με το θέμα το οποίο πραγματεύεται για μια πρώτη προσέγγιση. Επόμενο βήμα ήταν η εξοικείωση με το πρόγραμμα Opnet Modeller v.16.0 το οποίο επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί για τους σκοπούς της εργασίας. Το πειραματικό μέρος της εργασίας βασίστηκε στην προσομοίωση και σύγκριση δικτυακών σεναρίων, τα οποία είχαν σαν βάση τους το πρότυπο 802.16, που είναι ευρύτερα γνωστό με την ονομασία WiMax.

Έτσι λοιπόν, η πτυχιακή αυτή εργασία έχει συνοπτικά την εξής μορφή. Εισαγωγικά παρουσιάζεται το αντικείμενο, ο στόχος, η δομή και η μεθοδολογία της εργασίας και στο επόμενο κεφάλαιο αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο αυτής. Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται τα βασικά δομικά στοιχεία του δικτυακού μοντέλου της εργασίας και παρουσιάζονται μέσω στοιχείων του προγράμματος Opnet ενώ στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται, αναλύονται και συγκρίνονται τα σενάρια που δημιουργήθηκαν. Τέλος η πτυχιακή εργασία ολοκληρώνεται με την παράθεση συμπερασμάτων και προτάσεων και με τις βιβλιογραφικές αναφορές.

Η συμβολή του παρόντος πονήματος στον επιστημονικό χώρο στον οποίο εντάσσεται θα πρέπει να γίνει αντιληπτή στον αναγνώστη. Το δικτυακό μοντέλο της εργασίας στηρίχτηκε πάνω σε μορφολογία εδάφους αντίστοιχη με αυτή του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης. Ως εκ τούτου τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων θα μπορούσαν να έχουν άμεση πρακτική εφαρμογή με την έννοια μιας εναλλακτικής διαδικτύωσης του χώρου αυτού. Καθώς πρόκειται για ασύρματη τεχνολογία δικτύων, προστίθεται η δυνατότητα ευελιξίας και μετακίνησης στους φοιτητές του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, χωρίς αυτό να σημαίνει συμβιβασμό στην ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Επιπλέον, μέσω των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα γενικά συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά απαιτητικών εφαρμογών, όπως είναι οι εφαρμογές φωνής και βίντεο (VoIP και Video Conference), σε ένα ασύρματο δίκτυο τεχνολογίας WiMax.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με τον τρόπο τους συνέβαλαν κατά τη διάρκεια της συγγραφής της.

Πρώτο απ' όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο καθηγητή μου για την παρούσα εργασία, Επιστημονικό Συνεργάτη του τμήματος Πληροφορικής του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Δρ Θ. Λάγκα, για τις πολύτιμες συμβουλές και υποδείξεις του κατά τη συλλογή των δεδομένων και τη συγγραφή της εργασίας, για την άριστη συνεργασία, αλλά και για την

ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα υποδεικνύοντάς μου το και κατευθύνοντάς με.

Τον Δρ. Π. Χατζημήσιο, επίκουρο καθηγητή του τμήματος Πληροφορικής του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, για τις χρήσιμες παρεμβάσεις του κατά τη διάρκεια της πραγματοποίησης του πειραματικού μέρους της εργασίας αλλά και τον Β. Βίτσα καθηγητή του τμήματος Πληροφορικής του ΑΤΕΙΘ για την δική του συνεισφορά.

Τέλος, με μεγάλη ευγνωμοσύνη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τις δύο αδερφές μου, που μου συμπαραστέκονται με κάθε τρόπο και με στηρίζουν ηθικά σε οποιονδήποτε στόχο θέσω στην ζωή μου, δίνοντας μου έτσι τη δύναμη να τον πραγματοποιήσω. Η στήριξη και η αγάπη τους, ήταν και θα είναι πάντα κινητήριοις δυνάμεις για εμένα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
ABSTRACT	iii
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vi
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	viii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	xviii
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : Εισαγωγή.....	1
1.1. Γενικά	1
1.2. Αντικείμενο και Σκοπός της Παρούσης Εργασίας.....	1
1.3. Μεθοδολογία και Δομή Εργασίας	1
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : Θεωρητικό Μέρος.....	3
2.1. Γενικά	3
2.2. Το Πρότυπο IEEE 802.16-2004	3
2.2.1. Φυσικό Επίπεδο.....	3
2.2.2. Υπο - Επίπεδο MAC	9
2.3. IEEE 802.16e-2005	21
2.3.1. Γενικά.....	21
2.3.2. Φυσικό Επίπεδο.....	21
2.3.3. Υπο - Επίπεδο MAC	24
2.3.4. Τεχνολογία Πολλαπλής Εισόδου – Πολλαπλής Εξόδου Κεραίων MIMO (Multiple-input and multiple-output)	28
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : Περιγραφή Δικτυακού Μοντέλου.....	31
3.1. Γενικά	31
3.2. Δικτυακό Μοντέλο	31
3.3. Διασυνδέσεις	33
3.4. Βασικές Ρυθμίσεις Wimax	33

3.5.	Σενάρια	35
3.6.	Λεπτομέρειες Εφαρμογών VoIP, HTTP, Video Conference	37
3.6.1	Εφαρμογή VoIP	37
3.6.2	Εφαρμογή HTTP	39
3.6.3	Εφαρμογή Video Conference	40
4.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : Παρουσίαση, Ανάλυση και Σύγκριση Σεναρίων	42
4.1.	Γενικά	42
4.2.	Παρουσίαση και Ανάλυση σεναρίων	42
4.2.1	Σενάρια Τοπικού – μη Τοπικού εξυπηρετητή εφαρμογής VoIP	42
4.2.2	Σενάρια κινητών – μη κινητών ασύρματων σταθμών	60
4.2.3	Συνδιαστικά Σενάρια με τρεις εφαρμογές	89
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : Συμπεράσματα – Προτάσεις	180
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	181

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Εισαγωγή κυκλικού προθέματος	5
Εικόνα 2 : Είδη υπο-μεταφορέων OFDMA	7
Εικόνα 3: Δομή tile για ζώνη συμβόλων UL-PUSC	8
Εικόνα 4: Τεχνική Time Division Duplex(TDD).....	11
Εικόνα 5 : Δομή πλαισίου OFDM TDD.	13
Εικόνα 6 : Ροές υπηρεσιών WiMAX.	14
Εικόνα 7 : Dynamic service addition (DSA)—Ροή μηνυμάτων	15
Εικόνα 8: Προγραμματισμός καναλιών UL και DL σταθμού βάσης	19
Εικόνα 9 : Τύποι διασυνδέσεων σταθμών βάσης.....	31
Εικόνα 10 : Τύποι διασυνδέσεων δρομολογητή.	31
Εικόνα 11 : Απαραίτητα στοιχεία σωστής λειτουργίας σεναρίων.	32
Εικόνα 12 : Πλήρης σύνθεση δικτύου.	32
Εικόνα 13 : Τρόπος ανάθεσης υπο-μεταφορέων.....	34
Εικόνα 14 : Ρύθμιση Efficiency Mode.....	35
Εικόνα 15 : Ρύθμιση σύνθεσης εδάφους.....	35
Εικόνα 16 : Ρυθμίσεις προφίλ εφαρμογής VoIP.	36
Εικόνα 17 : Ρυθμίσεις προφίλ εφαρμογής HTTP.	36
Εικόνα 18 : Ρυθμίσεις προφίλ εφαρμογής Video Conference.	37
Εικόνα 19: Γενικές ρυθμίσεις εφαρμογής VoIP	37
Εικόνα 20: Τύπος του encoder	38
Εικόνα 21: Περιβάλλον συνομιλίας πομπού και δέκτη.	38
Εικόνα 22: Χρόνος παύσης συνομιλίας πομπού – δέκτη, μετρημένος ανά δευτερόλεπτο.	38
Εικόνα 23: “Καθαρός” χρόνος συνομιλίας πομπού – δέκτη, χωρίς παύσεις και λοιπά στοιχεία.	38
Εικόνα 24: Γενικές ρυθμίσεις εφαρμογής HTTP	40
Εικόνα 25: Μέγεθος στοιχείων και εικόνων μιας ιστοσελίδας.....	40

Εικόνα 26: Γενικές ρυθμίσεις εφαρμογής Video Conference.....	41
Εικόνα 27: Μέγεθος εισερχομένων και εξερχομένων πλαισίων σε bytes	41
Εικόνα 28: Συχνότητα παραγωγής-αποστολής πλαισίου ορισμένη στα 0,1 δευτερόλεπτα.....	41
Εικόνα 29: Σύνθεση σεναρίου 1.....	42
Εικόνα 30: Κλάση υπηρεσιών Gold.....	43
Εικόνα 31: Γενικές ρυθμίσεις σταθμού βάσης.....	44
Εικόνα 32: Γενικές ρυθμίσεις ασύρματων σταθμών.....	45
Εικόνα 33: Ρυθμίσεις καναλιών UL και DL στους ασύρματους σταθμούς.....	45
Εικόνα 34: Ενεργοποίηση HARQ και Piggybacking.....	46
Εικόνα 35: Σύνθεση Σεναρίου 2.	46
Εικόνα 36: Jitter Εφαρμογής VoIP.	48
Εικόνα 37: Δείκτης ποιότητας MOS.....	48
Εικόνα 38: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.....	49
Εικόνα 39: Απόκλιση της Καθυστέρησης των πακέτων φωνής.	49
Εικόνα 40: Όγκος κίνησης της εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.....	50
Εικόνα 41: Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.	51
Εικόνα 42: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.....	51
Εικόνα 43: Χαμένα πακέτα στο DL σταθμού βάσης.	52
Εικόνα 44: Ποσοστό επικάλυψης καναλιού DL.	53
Εικόνα 45: Mac Overheads καναλιού DownLink.....	53
Εικόνα 46: Ρυθμαπόδοση backbone <--> Aliakmon.	54
Εικόνα 47: Jitter Εφαρμογής VoIP.	55
Εικόνα 48: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.....	56
Εικόνα 49: Όγκος κίνησης της εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.....	56
Εικόνα 50: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.....	57
Εικόνα 51:Χρήση Καναλιού UL σταθμού βάσης.....	58

Εικόνα 52: Κίνηση τοπικού εξυπηρετητή VoIP σεναρίων 1 και 3	58
Εικόνα 53: Κίνηση εξωτερικού εξυπηρετητή VoIP σεναρίων 2 και 4	59
Εικόνα 54: Σύνθεση σεναρίου 5.....	60
Εικόνα 55: Στοιχεία κλάσης υπηρεσιών Gold.	61
Εικόνα 56: Ρυθμίσεις σταθμού βάσης.....	61
Εικόνα 57: Ρυθμίσεις καναλιών DL και UL ασύρματων σταθμών.	62
Εικόνα 58 :Σύνθεση σεναρίου 6.....	63
Εικόνα 59 : Ρυθμίσεις κινητικότητας ασύρματων σταθμών.	63
Εικόνα 60 : Ρυθμίσεις καναλιών DL και UL ασύρματων σταθμών.	64
Εικόνα 61: Όγκος κίνησης εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα..	64
Εικόνα 62: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.....	65
Εικόνα 63: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.	65
Εικόνα 64: Τιμή Jitter εφαρμογής VoIP.	66
Εικόνα 65 : Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.....	66
Εικόνα 66 : Χαμένα πακέτα καναλιού DL σταθμού βάσης.	67
Εικόνα 67: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιού DL Σταθμού Βάσης.	68
Εικόνα 68: Χαμένα πακέτα καναλιού UL σταθμού βάσης.....	68
Εικόνα 69: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιού UL Σταθμού Βάσης.	69
Εικόνα 70: Ενεργοποίηση HARQ και Piggybacking.....	70
Εικόνα 71: Όγκος κίνησης εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα..	71
Εικόνα 72: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.....	71
Εικόνα 73: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.	72
Εικόνα 74: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.....	72
Εικόνα 75: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιού DL σταθμού βάσης.	73
Εικόνα 76: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL σταθμού 20.	74
Εικόνα 77: Συνολικός όγκος κίνησης εφαρμογής VoIP που παραλήφθηκε σταθμού 20.	74
Εικόνα 78: Όγκος κίνησης εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα..	75

Εικόνα 79: Τιμή δείκτη MOS.....	76
Εικόνα 80: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.....	76
Εικόνα 81: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.	77
Εικόνα 82: Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.	77
Εικόνα 83: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.....	78
Εικόνα 84: Χαμένα πακέτα καναλιού DL και UL σταθμού βάσης.	79
Εικόνα 85: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL σταθμού βάσης.	79
Εικόνα 86: Ρυθμίσεις σταθμού βάσης 2.....	81
Εικόνα 87: Όγκος κίνησης εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα..	81
Εικόνα 88: Τιμή δείκτη MOS.....	82
Εικόνα 89: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.....	82
Εικόνα 90: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.	83
Εικόνα 91 : Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.	83
Εικόνα 92: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.....	84
Εικόνα 93: Ποσοστό χρήσης κίνησης Burst καναλιού DL σταθμού βάσης 1.	85
Εικόνα 94: Ποσοστό χρήσης κίνησης Burst καναλιού UL σταθμού βάσης 2.	85
Εικόνα 95: Μέγεθος ουράς καναλιού UL σταθμού 30.	86
Εικόνα 96: Μέγεθος ουράς καναλιού UL σταθμού 34.	86
Εικόνα 97: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιού DL σταθμού βάσης 1.	87
Εικόνα 98: Σύνθεση σεναρίου 10.....	89
Εικόνα 99: Ρυθμίσεις WiMAX.	90
Εικόνα 100: Ρυθμίσεις σταθμού βάσης.....	91
Εικόνα 101: Ρυθμίσεις σταθμού βάσης.....	91
Εικόνα 102: Ρυθμίσεις DL και UL ασυρμάτων σταθμών για την Εφαρμογή HTTP	92
Εικόνα 103: Ρυθμίσεις DL και UL ασυρμάτων σταθμών για την Εφαρμογή Video Conference	93
Εικόνα 104: Ρύθμιση Σταθμού Βάσης για υλοποίηση MIMO 2x2	94

Εικόνα 105: Ρύθμιση Ασύρματου Σταθμού για υλοποίηση MIMO 2x2	94
Εικόνα 106: Συνολική κίνηση που παραλήφθηκε για την εφαρμογή HTTP	95
Εικόνα 107: Χρόνος απόκρισης Ιστοσελίδας εφαρμογής HTTP	95
Εικόνα 108: Καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων video στον δέκτη.	96
Εικόνα 109: Απόκλιση της Καθυστέρησης των πακέτων video	97
Εικόνα 110: Όγκος κίνησης της εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.	97
Εικόνα 111: Τιμή του Jitter στα δύο σενάρια.	98
Εικόνα 112: Καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων φωνής στον δέκτη.....	99
Εικόνα 113: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.	99
Εικόνα 114: Όγκος κίνησης της εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.	100
Εικόνα 115: Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.	100
Εικόνα 116: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.....	101
Εικόνα 117: Ποσοστό χρήσης κίνησης Burst καναλιού UL.	102
Εικόνα 118: Μέγεθος ουράς σε buffer ασύρματου σταθμού.	102
Εικόνα 119: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιού DL Ασύρματου σταθμού 31.	103
Εικόνα 120: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL Ασύρματου σταθμού 30.	103
Εικόνα 121: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL Ασύρματου σταθμού 34.	104
Εικόνα 122: Γενικές Ρυθμίσεις Ασυρμάτων Σταθμών	105
Εικόνα 123: Ρυθμίσεις Ασύρματων Σταθμών Video	106
Εικόνα 124: Χρόνος απόκρισης Ιστοσελίδας εφαρμογής HTTP.....	106
Εικόνα 125: Συνολική κίνηση που παραλήφθηκε για την εφαρμογή HTTP	107
Εικόνα 126: Όγκος κίνησης εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.	108
Εικόνα 127: Καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων video στον δέκτη.	108
Εικόνα 128: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων Video.....	109
Εικόνα 129: Καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων φωνής στον δέκτη.....	110

Εικόνα 130: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής	110
Εικόνα 131 : Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX	111
Εικόνα 132: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.....	111
Εικόνα 133: Ποσοστό χρήσης κίνησης Burst καναλιού UL	112
Εικόνα 134: Μέγεθος ουράς σε buffer ασύρματου σταθμού.....	113
Εικόνα 135: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL Ασύρματου σταθμού 30.	113
Εικόνα 136: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιού DL Ασύρματου σταθμού 30.	114
Εικόνα 137: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL Ασύρματου σταθμού 30.	115
Εικόνα 138: Κλάση Υπηρεσιών Silver.	116
Εικόνα 139 : Συνολικός όγκος κίνησης εφαρμογής HTTP.....	117
Εικόνα 140: Συνολικός όγκος κίνησης που παραλήφθηκε για την εφαρμογή HTTP.....	117
Εικόνα 141: Χρόνος απόκρισης Ιστοσελίδας.	118
Εικόνα 142: Όγκος κίνησης εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.	119
Εικόνα 143: Καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων Video στον δέκτη.	120
Εικόνα 144: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων Video.....	120
Εικόνα 145: Όγκος κίνησης εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.	121
Εικόνα 146: Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.	121
Εικόνα 147: Συνολικός φόρτος και ρυθμαπόδοση.....	122
Εικόνα 148: Τύπος Προδιαγραφής Κλάσης Υπηρεσιών Silver.....	123
Εικόνα 149: Συνολικός όγκος κίνησης εφαρμογής HTTP.....	124
Εικόνα 150: Συνολικός όγκος κίνησης που παραλήφθηκε για την εφαρμογή HTTP.....	124
Εικόνα 151: Καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων video στον δέκτη.	125
Εικόνα 152: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων Video.....	125
Εικόνα 153: Όγκος κίνησης εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.	126
Εικόνα 154: Χαμένα πακέτα UL ασύρματου σταθμού 38.....	127

Εικόνα 155: Δείκτης ποιότητας MOS.....	128
Εικόνα 156: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στο δέκτη.	128
Εικόνα 157: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.	129
Εικόνα 158: Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.	130
Εικόνα 159: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.....	130
Εικόνα 160: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιού DL Σταθμών Βάσης.	131
Εικόνα 161: Ρυθμίσεις Τύπων Προδιαγραφών.	132
Εικόνα 162: Απενεργοποίηση HARQ στα κανάλια DL και UL.....	133
Εικόνα 163: Συνολικός όγκος κίνησης εφαρμογής HTTP.....	133
Εικόνα 164: Συνολικός όγκος κίνησης που παραλήφθηκε για την εφαρμογή HTTP.....	134
Εικόνα 165: Χρόνος απόκρισης Ιστοσελίδας.	134
Εικόνα 166: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων Video στον δέκτη.	135
Εικόνα 167: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων Video.....	136
Εικόνα 168: Όγκος κίνησης εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.	136
Εικόνα 169: Τιμή Jitter εφαρμογής VoIP.	137
Εικόνα 170: Τιμή δείκτη MOS.....	137
Εικόνα 171: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στο δέκτη.	138
Εικόνα 172: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.....	138
Εικόνα 173: Όγκος κίνησης εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.	139
Εικόνα 174: Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.	139
Εικόνα 175: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.....	140
Εικόνα 176: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιού DL Σταθμών Βάσης.	140
Εικόνα 177: Ποσοστό χρήσης καναλιού DL σταθμού βάσης 1 και ποσοστό DL-MAP.	141
Εικόνα 178: Τύποι προδιαγραφών Κλάσεων Υπηρεσιών Gold και Silver.....	142
Εικόνα 179: Χρόνος απόκρισης Ιστοσελίδας.	143
Εικόνα 180: Όγκος Κίνησης Εφαρμογής HTTP που στάλθηκε και λήφθηκε.	143

Εικόνα 181: Καθυστερήση παράδοσης πακέτων video στο δέκτη.	144
Εικόνα 182: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.	144
Εικόνα 183: Όγκος κίνησης εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.	145
Εικόνα 184: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL Σταθμού Βάσης 1.	146
Εικόνα 185: Ρυθμαπόδοση σταθμού βάσης 1 προς δρομολογητή Aliakmon.	146
Εικόνα 186: Όγκος κίνησης εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.	147
Εικόνα 187: Τιμή δείκτη MOS.	147
Εικόνα 188: Καθυστερήση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη και απόκλιση αυτής. ..	148
Εικόνα 189: Καθυστερήση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.	149
Εικόνα 190: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.	149
Εικόνα 191: Εικονίδιο Ρυθμίσεων κίνησης σταθμών.	150
Εικόνα 192: Ιδιότητες Κίνησης Ασύρματων Σταθμών.	151
Εικόνα 193: Συνολικός όγκος κίνησης εφαρμογής HTTP.	152
Εικόνα 194: Συνολικός όγκος κίνησης που παραλήφθηκε για την εφαρμογή HTTP.	152
Εικόνα 195: Χρόνος απόκρισης Ιστοσελίδων.	153
Εικόνα 196: Καθυστερήση παράδοσης πακέτων Video στον δέκτη.	154
Εικόνα 197: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων Video.	154
Εικόνα 198: Όγκος κίνησης εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.	155
Εικόνα 199: Τιμή δείκτη MOS.	156
Εικόνα 200: Καθυστερήση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.	157
Εικόνα 201: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.	157
Εικόνα 202: Καθυστερήση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.	158
Εικόνα 203: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.	158
Εικόνα 204: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL Σταθμού Βάσης 1.	159
Εικόνα 205: Ρυθμαπόδοση Δρομολογητή προς Σταθμό Βάσης 2.	160

Εικόνα 206: Ρυθμίσεις κεραιών σταθμού βάσης 1.	161
Εικόνα 207: Ρυθμίσεις κεραιών ασύρματων σταθμών.	161
Εικόνα 208: Χρόνος απόκρισης Ιστοσελίδων.	162
Εικόνα 209: Συνολικός όγκος κίνησης εφαρμογής HTTP.	163
Εικόνα 210: Συνολικός όγκος κίνησης που παραλήφθηκε για την εφαρμογή HTTP.	163
Εικόνα 211: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων Video στον δέκτη.	164
Εικόνα 212: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων Video.	164
Εικόνα 213: Όγκος κίνησης εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.	165
Εικόνα 214: : Τιμή Jitter εφαρμογής VoIP.	166
Εικόνα 215: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.	166
Εικόνα 216: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.	167
Εικόνα 217: Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.	167
Εικόνα 218: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.	168
Εικόνα 219: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL Σταθμού Βάσης 1.	169
Εικόνα 220: Ρυθμίσεις κεραιών σταθμού βάσης 1.	170
Εικόνα 221: Ρυθμίσεις κεραιών ασύρματων σταθμών.	171
Εικόνα 222: Χρόνος απόκρισης Ιστοσελίδας εφαρμογής HTTP.	172
Εικόνα 223: Συνολικός όγκος κίνησης εφαρμογής HTTP.	172
Εικόνα 224: Συνολικός όγκος κίνησης που παραλήφθηκε για την εφαρμογή HTTP.	173
Εικόνα 225: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων Video στον δέκτη.	173
Εικόνα 226: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων Video.	174
Εικόνα 227: Όγκος κίνησης εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.	175
Εικόνα 228: Τιμή Jitter εφαρμογής VoIP.	175
Εικόνα 229: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.	176
Εικόνα 230: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.	176
Εικόνα 231: Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.	177

Εικόνα 232: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.....	178
Εικόνα 233: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL Σταθμού Βάσης 1.	178

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Δομή υποεπιπέδων.....	10
Πίνακας 2: Παράμετροι S-OFDMA.....	22
Πίνακας 3: Διαθέσιμες διαμορφώσεις και κωδικοποιήσεις.....	23
Πίνακας 4: Επιπλέον στοιχεία διαμορφώσεων και κωδικοποιήσεων.....	23
Πίνακας 5: Προδιαγραφές υπηρεσιών QoS και χαρακτηριστικά αυτών.....	26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: Εισαγωγή

1.1. Γενικά

Ο άνθρωπος έχει έμφυτη την ανάγκη για επικοινωνία, ανταλλαγή σκέψεων και διαφόρων εμπειριών. Τα τελευταία χρόνια την ανάγκη αυτή υπάρχει η τάση να την ικανοποιούν τα δίκτυα υπολογιστών και συγκεκριμένα τα ασύρματα δίκτυα υπολογιστών, λόγω της ευελιξίας που προσφέρουν. Με την πρόοδο της τεχνολογίας πλέον υπάρχει η δυνατότητα για παροχή ακόμη και της πιο απαιτητικής εφαρμογής στον χρήστη μέσω ασυρμάτων δικτύων με παράλληλη επίτευξη απόλυτα ικανοποιητικής ποιότητας. Ο μεγαλύτερος περιορισμός των ασυρμάτων δικτύων στο παρελθόν, που ήταν οι περιορισμένοι πόροι, υπερσκελίζεται με σταθερά βήματα με εκδόσεις καινούριων προτύπων και τεχνολογιών. Το πρότυπο 802.16 ή WiMAX όπως είναι ευρέως γνωστό μπορεί να ικανοποιήσει τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών και να παρέχει κάλυψη μεγάλων αποστάσεων με ικανοποιητικές ταχύτητες υπηρεσιών. Επίσης διαθέτει τους απαραίτητους μηχανισμούς ώστε να εξασφαλίζεται η ποιότητα της επικοινωνίας σε όλες της τις εκφάνσεις κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για εφαρμογές φωνής και βίντεο που είναι πλέον τόσο διαδεδομένες στην εποχή μας.

1.2. Αντικείμενο και Σκοπός της Παρούσης Εργασίας

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε ως αναπόσπαστο κομμάτι των σπουδών στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος μαθημάτων του τμήματος Πληροφορικής του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης κατά το ακαδημαϊκό έτος 2009-2010. Η εργασία έχει τίτλο «Σχεδιασμός και μελέτη σεναρίων χρήσης δικτύωσης WiMAX μέσω του προσομοιωτή OPNET» και πραγματεύεται το θέμα των ευζωνικών ασύρματων δικτύων και συγκεκριμένα δίκτυα βασισμένα στο πρότυπο 802.16 και τις προεκτάσεις του.

Ο βασικός σκοπός της παρούσης εργασίας είναι να υλοποιήσει και στην συνέχεια να συγκρίνει μεταξύ τους σενάρια τα οποία μέσω των αποτελεσμάτων τους να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικές - κυρίως - με την ποιότητα της επικοινωνίας εφαρμογών μετάδοσης φωνής και βίντεο σε ένα δίκτυο 802.16 - WiMAX. Το δικτυακό μοντέλο της εργασίας στηρίχτηκε πάνω σε μορφολογία εδάφους και περιβάλλον παρόμοιο με αυτό του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης με στόχο μια εναλλακτική διαδικτύωση του χώρου αυτού.

1.3. Μεθοδολογία και Δομή Εργασίας

Για το πειραματικό κομμάτι της εργασίας χρησιμοποιήθηκε ένας από τους πιο διαδεδομένους προσομοιωτές δικτύων, το πρόγραμμα Opnet Modeler στην έκδοση 16.0. Το πρόγραμμα εγκαταστάθηκε σε υπολογιστή στον χώρο του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης του οποίου τα τεχνικά χαρακτηριστικά ήταν τα εξής:

Επεξεργαστής: Intel Pentium 4 CPU 3.00 Ghz

Μνήμη Ram: 1Gb

Τα σενάρια, όσον αφορά τον σχεδιασμό τους, υλοποιήθηκαν εξολοκλήρου μέσω του προγράμματος αυτού και τα αποτελέσματα προέκυψαν από τον ενσωματωμένο προσομοιωτή

του. Στην συνέχεια και μετά από την κατάλληλη επεξεργασία τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων εξήχθησαν και παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία. Κατά την διάρκεια του πειραματικού μέρους υλοποιήθηκαν πολλαπλά σενάρια που επεξεργάζονται πολλούς και διαφορετικούς συνδυασμούς δικτυακών ρυθμίσεων αλλά και σύνθεσης του ίδιου του δικτύου και των μερών από τα οποία αποτελείται. Στο γραπτό μέρος της εργασίας παρουσιάζεται μόνο ένα μέρος αυτών με κριτήριο το ενδιαφέρον που παρουσιάζουν τα αποτελέσματά τους αλλά και με βάση το πόσο επίκαιρα είναι την δεδομένη χρονική στιγμή συγγραφής της παρούσης εργασίας.

Η εργασία δομείται στα εξής παρακάτω κεφάλαια:

- 1^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή,
όπου παρουσιάζεται το αντικείμενο, ο στόχος, η δομή και η μεθοδολογία της εργασίας.
- 2^ο Κεφάλαιο: Θεωρητικό Μέρος,
όπου αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο αυτής.
- 3^ο Κεφάλαιο: Περιγραφή Δικτυακού Μοντέλου,
όπου αναφέρονται τα βασικά δομικά στοιχεία του δικτυακού μοντέλου της εργασίας και παρουσιάζονται μέσω στοιχείων του προγράμματος Opnet.
- 4^ο Κεφάλαιο: Παρουσίαση, Ανάλυση και Σύγκριση Σεναρίων,
όπου παρουσιάζονται, αναλύονται και συγκρίνονται τα σενάρια που δημιουργήθηκαν.
- 5^ο Κεφάλαιο: Συμπεράσματα – Προτάσεις,
με το οποίο η πτυχιακή εργασία ολοκληρώνεται με την παράθεση συμπερασμάτων και προτάσεων.
- Βιβλιογραφία,
όπου γίνεται παράθεση όλων των πηγών (άρθρα, βιβλία, διαδικτυακοί τόποι, κ.ά.) που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα πτυχιακή τόσο για την θεωρητική προσέγγιση του θέματος, όσο και για την υλοποίηση της πειραματικής διαδικασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Θεωρητικό Μέρος

2.1. Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή και ανάλυση του θεωρητικού υπόβαθρου της εργασίας. Τα σημεία στα οποία γίνεται αναφορά και οι εκδόσεις του προτύπου 802.16 που περιγράφονται είναι τα απαραίτητα στοιχεία για την υλοποίηση και αποτελεσματική επεξήγηση του πειραματικού μέρους στα επόμενα κεφάλαια.

2.2. Το Πρότυπο IEEE 802.16-2004

Το πρώτο πρότυπο του 802.16 προσδιόρισε την διάδοση δεδομένων τύπου LOS (Line-Of-Sight) στη ζώνη συχνοτήτων 10-66GHz. Το 802.16a επέκτεινε τη λειτουργία του προτύπου ώστε να περιλάβει τη NLOS (Non-Line-Of-Sight) διάδοση στη ζώνη χαμηλής συχνότητας των 2-11 Ghz. Έτσι το πρότυπο IEEE 802.16-2004 (επιτροπή LAN/MAN, 2004) υποστηρίζει την επικοινωνία στην ζώνη συχνοτήτων 2-66GHz. Παρόλα αυτά η LOS και NLOS διάδοση-μετάδοση είναι αρκετά διαφορετικές.

Κατά συνέπεια, για να σχεδιαστεί ένα πρότυπο που να υποστηρίζει και τις δύο ζώνες συχνοτήτων, το φυσικό (PHY) και το MAC (Medium Access Control) επίπεδο πρέπει να υποστηρίζουν αυτές τις διαφορές.

Για παράδειγμα, παρά το γεγονός ότι η διάδοση σημάτων σε υψηλής ζώνης συχνότητα επηρεάζεται ιδιαίτερα από εμπόδια στον χώρο, χρησιμοποιείται η μετάδοση LOS, καθώς μειώνει την επίδραση του φαινομένου multipath interference. Multipath interference ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο η λήψη του σήματος από τον δέκτη γίνεται μέσω περισσότερων της μιας καθορισμένης πορείας, εξ αιτίας της αντανάκλασης και της διάθλασης στα εμπόδια που συναντά το σήμα κατά την πορεία του από τον πομπό στον δέκτη. Επίσης αυτό συμβαίνει καθώς η χαμηλότερη ζώνη συχνοτήτων περιλαμβάνει φάσμα εξουσιοδοτημένο και μη, το οποίο φυσικά υπακούει σε κάποιους κανονισμούς, οι οποίοι απαιτούν διαχείριση της ισχύος αποστολής σημάτων του πομπού, τεχνικές για να αποφευχθεί η παρεμβολή συχνότητας κλπ. Αυτά και άλλα ζητήματα, έχουν επιπτώσεις όχι μόνο στην σχεδίαση του φυσικού επιπέδου αλλά και του επιπέδου MAC.

Κατά συνέπεια, το πεδίο εφαρμογής του προτύπου 802.16-2004 καλύπτει τις προδιαγραφές των δύο αυτών επιπέδων του προτύπου του OSI.

2.2.1. Φυσικό Επίπεδο

Ένα κύμα συχνότητας 10-66GHz είναι μια εστιασμένη ακτίνα, η οποία μπορεί θεωρητικά να καλύψει πολλά χιλιόμετρα μέσω της διάδοσης LOS. Οι σχεδιαστές έκριναν ότι η διαμόρφωση ενός ενιαίου φορέα (Single-Carrier) ήταν μια ικανοποιητική επιλογή και η έκδοση του προτύπου του φυσικού επιπέδου αυτής της ζώνης καλείται wirelessMAN-SC (Single Carrier). [1]

Το wirelessman-SC μπορεί να υποστηρίζει τεχνικές μετάδοσης σήματος FDD (Frequency Division Duplex) και TDD (Time Division Duplex). Όμως, η λειτουργία στη ζώνη των 2-

11GHz απαιτήσε αλλαγές στις προδιαγραφές του φυσικού επιπέδου ώστε να υποστηριχθεί η διάδοση NLOS. Κυρίως, τρεις νέες προδιαγραφές/τεχνικές μετάδοσης του φυσικού επιπέδου(PHY) εισήχθησαν ώστε να ικανοποιηθούν αυτές τις απαιτήσεις [3]:

- single-carrier PHY,
- 256-point FFT OFDM(Orthogonal frequency division Multiplexing) PHY,
- 2048-point FFT OFDMA(Orthogonal frequency division Multiple Access) PHY

Η προδιαγραφή single-carrier PHY ορίζεται ως WirelessMAN-SCA και βασίζεται βεβαίως στο WirelessMAN-SC. Εντούτοις, υπάρχουν κάποιες διαφορές στην διαμόρφωση στοιχείων που επιτρέπουν την βελτίωση της εξισορρόπησης και επίδοσης του καναλιού για μετάδοση NLOS, στις ρυθμίσεις παραμέτρων και διευκόλυνση στις υλοποιήσεις προαιρετικών προσαρμοστικών συστημάτων κεραιών (AAS-Adaptive Antenna Systems).

Η δεύτερη και τρίτη προδιαγραφή σχετίζονται με την Ορθογωνική Πολύπλεξη με Διαίρεση Συχνότητας (OFDM), η οποία είναι μία πολυκαναλική τεχνική μετάδοσης κατάλληλη για υψηλής ταχύτητας NLOS μετάδοση.

Η Ορθογωνική Πολύπλεξη με Διαίρεση Συχνότητας (OFDM), χρησιμοποιεί 256 “υπο-μεταφορείς” ραδιοσυχνοτήτων (256-point FFT OFDM PHY) οι οποίοι μεταδίδουν διαφορετικά σήματα ταυτόχρονα.

Οι γειτονικοί “υπο-μεταφορείς” επιτρέπεται να επικαλύπτονται ωστόσο πρέπει να είναι ορθογωνικοί μεταξύ τους ώστε να μην παρεμβάλλεται το περιεχόμενο του ενός στον άλλον (ICI-Inter Carrier Interference).

Η βασική διαφορά μεταξύ των τεχνικών μετάδοσης WirelessMAN SCx και OFDM έγκειται στο ότι η τεχνική OFDM είναι περισσότερο ανθεκτική στο φαινόμενο του multipath interference.

Επίσης η OFDM επιτρέπει μεγαλύτερη αποδοτικότητα σε εύρος ζώνης (Bandwidth), δεδομένου ότι υποστηρίζει την επικάλυψη γειτονικών υπο-μεταφορέων. Έτσι, η τεχνική OFDM επιτρέπει ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων της τάξης των 72 Mbps πάνω σε κανάλι εύρος ζώνης των 20 MHz, το οποίο σημαίνει φασματική απόδοση της τάξης των 3,6 bps / Hz. [1],[3]

Η Ορθογωνική Πολύπλεξη με Διαίρεση Συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης (OFDMA) με την σειρά της χρησιμοποιεί 2048 “υπο-μεταφορείς”. Η βασική διαφορά μεταξύ της OFDM και της OFDMA είναι ότι η OFDMA οργανώνει τους διαθέσιμους πόρους χρόνου (δηλαδή τα σύμβολα) και συχνότητας (δηλαδή τους “υπο-μεταφορείς”) σε υπο-κανάλια για κατανομή σε επιμέρους δέκτες. Αυτό ακριβώς το γεγονός επιτρέπει την πολλαπλή πρόσβαση. Η Ορθογωνική Πολύπλεξη με Διαίρεση Συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης (OFDMA) επιτρέπει δημιουργία υπο-καναλιών και στο κανάλι DownLink και στο κανάλι UpLink. Αντίθετα η Ορθογωνική Πολύπλεξη με Διαίρεση Συχνότητας (OFDM) επιτρέπει μια περιορισμένη μορφή υπο-καναλιών μόνο στο κανάλι UpLink.

Η προδιαγραφή OFDM PHY είναι κοινή μεταξύ του 802.16 και του ETSI HiperMAN (το WiMax εναρμονισμένο στην Ευρωπαϊκά δεδομένα), διότι η OFDM απαιτεί πιο αδύναμη συχνότητα συγχρονισμού και ταχύτερους υπολογισμούς στους μετασχηματισμούς Fourier (Fast Fourier Transform-FFT). [1]

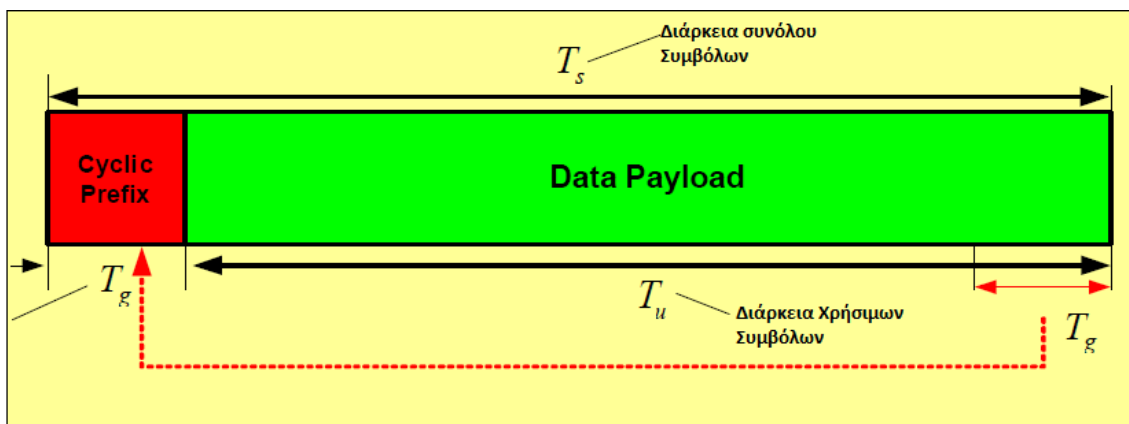
Υπάρχει βέβαια και η μορφή σηματοδότησης CDMA (code division multiple access), όμως αυτή χρειάζεται bandwidth που είναι πολύ μεγαλύτερο από την ταχύτητα μεταγωγής δεδομένων (data throughput) για τη διατήρηση επεξεργαστικής ισχύος ικανής να ξεπεράσει τις όποιες παρεμβολές. Επιπλέον, οι προδιαγραφές OFDM και OFDMA υποστηρίζουν μετάδοση NLOS επιτυγχάνοντας μέγιστη χρήση του φάσματος που διατίθενται.

2.2.1.1. Επιπλέον Στοιχεία OFDM-OFDMA [3]

Πέρα από την γενική περιγραφή των προδιαγραφών OFDM και OFDMA παραπάνω και την σύγκριση των βασικών τους σημείων, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η λειτουργία τους και κυρίως της OFDMA που αφορά άμεσα την εργασία αυτή.

Η Ορθογωνική Πολύπλεξη με Διαίρεση Συχνότητας όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι μία πολυκαναλική τεχνική μετάδοσης, η οποία υποδιαιρεί το διαθέσιμο bandwidth σε πολλαπλούς υπο-μεταφορείς συχνότητας. Σε ένα σύστημα OFDM η αρχική ροή σήματος χωρίζεται σε αρκετές παράλληλες υπο-ροές μικρότερου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων (κάτι που αυτόματα σημαίνει αύξηση στην διάρκεια ενός συμβόλου) και η κάθε τέτοια ροή διαμορφώνεται κατάλληλα και μεταδίδεται από έναν ξεχωριστό ορθογωνικό υπο-μεταφορέα. Η αυξημένη διάρκεια κάθε συμβόλου βοηθάει και στον περιορισμό της απόκλισης των διαφορετικών καθυστερήσεων που μπορεί να υπάρχουν.

Επιπλέον η παρουσία του περιοδικού προθέματος (cyclic prefix (CP)) μπορεί να εξαλείψει ολοκληρωτικά τις δια-συμβολικές παρεμβολές (Inter-Symbol Interference (ISI)), αρκεί η διάρκεια του περιοδικού προθέματος (CP) να είναι μεγαλύτερη από την απόκλιση των καθυστερήσεων του καναλιού. Το περιοδικό πρόθεμα είναι στην ουσία μια επανάληψη των τελευταίων στοιχείων του τμήματος δεδομένων ενός block πληροφορίας, τα οποία επισυνάπτονται στο ξεκίνημα του όγκου των δεδομένων όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 1: Εισαγωγή κυκλικού προθέματος

Πηγή: [3]

Επίσης το κυκλικό πρόθεμα εμποδίζει την παρεμβολή ανάμεσα στα block πληροφορίας.

Ένα αρνητικό στοιχείο του είναι ότι εισάγει επιπλέον πληροφορία(overhead), η οποία επηρεάζει την επάρκεια σε bandwidth. Λόγω όμως του γεγονότος ότι η OFDM χρησιμοποιεί ένα ιδιαίτερα διαπεραστικό φάσμα, ένα μεγάλο κομμάτι του bandwidth του καναλιού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετάδοση δεδομένων, κάτι το οποίο αντισταθμίζει το αρνητικό κομμάτι της χρήσης του κυκλικού προθέματος.

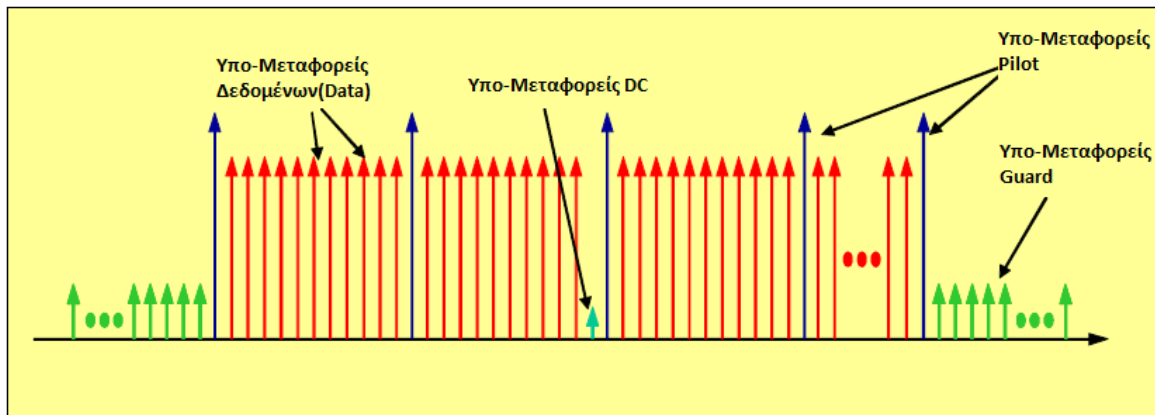
Η προδιαγραφή OFDM αξιοποιεί την ποικιλομορφία των συχνοτήτων του καναλιού και διαμοιράζει την πληροφορία στους υπο-μεταφορείς πριν την μετάδοση. Η διαμόρφωση στην OFDM μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας μετασχηματισμούς Fourier και συγκεκριμένα Inverse Fast Fourier Transform (IFFT), οι οποίοι επιτρέπουν έναν μεγάλο αριθμό υπο-μεταφορέων(μέχρι 2048) χαμηλής πολυπλοκότητας. Σε ένα OFDM σύστημα, οι πόροι είναι διαθέσιμοι, στην διάσταση του χρόνου με την μορφή OFDM συμβόλων και στην διάσταση τα συχνότητας με την μορφή υπο-μεταφορέων. Οι πόροι των δύο διαστάσεων(χρόνου και συχνότητας) μπορούν να οργανωθούν σε υπο-κανάλια τα οποία διαμοιράζονται σε ξεχωριστούς χρήστες του συστήματος.

Η Ορθογωνική Πολύπλεξη με Διάρθρωση Συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης (OFDMA) είναι όπως φαίνεται και από το όνομά της μια προδιαγραφή που επιτρέπει πολλαπλή προώθηση πολλαπλών ροών δεδομένων από πολλούς ξεχωριστούς χρήστες στα υπο-κανάλια του DownLink καναλιού και πολλαπλή πρόσβαση σε αυτά μέσω των υπο-καναλιών του καναλιού UpLink.

2.2.1.2. Δομή Συμβόλων και υπο-Κανάλια Προδιαγραφής OFDMA [3], [4]

Η δομή των συμβόλων OFDMA αποτελείται από τέσσερις τύπους υπο-μεταφορέων:

- Υπο-μεταφορείς δεδομένων(data), οι οποίοι μεταφέρουν τα δεδομένα την πληροφορίας,
- Υπο-μεταφορείς DC, οι οποίοι υποδεικνύουν την κεντρική συχνότητα,
- Υπο-μεταφορείς pilot, οι οποίοι χρησιμεύουν για διάφορες εκτιμήσεις και υπολογισμούς.
- Υπο-μεταφορείς guard, οι οποίοι χρησιμεύουν στο να ξεχωρίζουν και να διατηρούν την απόσταση ανάμεσα στα OFDM και OFDMA σήματα.



Εικόνα 2 : Είδη υπο-μεταφορέων OFDMA

Πηγή: [3]

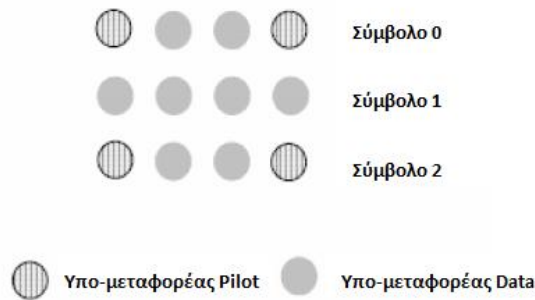
Οι θεωρούμενοι ενεργοί υπο-μεταφορείς, υπο-μεταφορείς δεδομένων και pilot, ομαδοποιούνται σε υπο-ομάδες υπο-μεταφορέων που ονομάζονται υπο-κανάλια(sub-channels) .

Το φυσικό επίπεδο του WiMAX OFDMA υποστηρίζει δημιουργία υπο-καναλιών και στο κανάλι DownLink και στο κανάλι UpLink. Η μικρότερη μονάδα συχνότητας-χρόνου που επιτρέπεται σε ένα υπο-κανάλι είναι 48 data tones που είναι ίσοι με 48 υπο-μεταφορείς και με ένα slot. Υπάρχουν δύο παραλλαγές δημιουργίας υπο-καναλιών με βάση τους υπο-μεταφορείς: Η πρώτη ονομάζεται ανομοιόμορφη(diversity) και η δεύτερη συνεχόμενη(contiguous).

Στην πρώτη παραλλαγή επιλέγονται υπο-μεταφορείς με μια ψευδό-τυχαία διαδικασία ώστε να σχηματίσουν ένα υπο-κανάλι. Σαν αποτέλεσμα προσφέρει ποικιλομορφία συχνοτήτων. Η παραλλαγή αυτή περιλαμβάνει και κάποιες ζώνες, οι οποίες στην ουσία είναι μια σειρά συνεχόμενων συμβόλων που σχηματίζουν έναν συγκεκριμένο τύπο υπο-καναλιού η καθεμία. Αυτές οι ζώνες συμβόλων είναι για το κανάλι DownLink η DL FUSC (Fully Used Sub-Carrier) και η DL PUSC (Partially Used Sub-Carrier) και για το κανάλι UpLink η UL PUSC. Υπάρχουν και άλλες οι οποίες όμως είναι προαιρετικές. Η ζώνη συμβόλων DL PUSC προβλέπει ότι για κάθε ζευγάρι συμβόλων τύπου OFDM, οι διαθέσιμοι ή οι χρησιμοποιήσιμοι υπο-μεταφορείς ομαδοποιούνται ώστε να σχηματίσουν ένα cluster το οποίο περιέχει δέκα τέσσερις συνεχόμενους υπο-μεταφορείς ανά περίοδο συμβόλου.

Στην συνέχεια δημιουργούνται ομάδες τέτοιων clusters. Ένα υπο-κανάλι περιέχει δύο τέτοια clusters και περιέχει σαράντα οχτώ υπο-μεταφορείς δεδομένων(data sub-carriers) και οχτώ υπο-μεταφορείς pilot. Οι υπο-μεταφορείς δεδομένων της κάθε ομάδας στην συνέχεια συνδυάζονται καταλλήλως ώστε να δημιουργήσουν υπο- κανάλια μέσα σε αυτή. Οι υπο-μεταφορείς δεδομένων μέσα στο cluster διανέμονται σε πολλαπλά υπο-κανάλια.

Για την ζώνη συμβόλων UL-PUSC αντί για ένα cluster σχηματίζεται μια δομή που ονομάζεται tile. Η μορφή της φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 3: Δομή tile για ζώνη συμβόλων UL-PUSC

Πηγή: [3]

Οι διαθέσιμοι υπο-μεταφορείς διαμοιράζονται στα διάφορα tiles. Έξι tiles ομαδοποιούνται και σχηματίζουν ένα slot. Ένα slot εμπεριέχει σαράντα οχτώ υπο-μεταφορείς δεδομένων και είκοσι τέσσερις υπο-μεταφορείς pilot ανά τρία σύμβολα OFDM.

Η δεύτερη παραλλαγή δημιουργίας υπο-καναλιών(συνεχόμενη (contiguous)) ομαδοποιεί έναν αριθμό συνεχόμενων υπο-μεταφορέων ώστε να δημιουργήσουν ένα υπο-κανάλι.

Περιλαμβάνει τις ζώνες συμβόλων DL AMC και UL AMC οι οποίες έχουν την ίδια δομή. Εδώ στην θέση του tile υπάρχει η οντότητα bin η οποία αποτελείται από εννιά συνεχόμενους υπο-μεταφορείς ανά σύμβολο, από τους οποίους οι οχτώ είναι υπο-μεταφορείς δεδομένων και το τελευταίος είναι υπο-μεταφορέας pilot. Ένα slot τύπου AMC είναι μια συλλογή bins για τα οποία πρέπει να ισχύει η σχέση ($N \times M = 6$), όπου N είναι ο αριθμός των συνεχόμενων bins και M είναι ο αριθμός των συνεχόμενων συμβόλων. Συνεπώς οι επιτρεπόμενοι συνδυασμοί είναι:

- 6 bins , 1 σύμβολο
- 1 bin, 6 σύμβολα
- 3 bins, 2 σύμβολα
- 2 bins, 3 σύμβολα

Η ζώνη AMC καταφέρει την πολλαπλή εξυπηρέτηση χρηστών έχοντας την δυνατότητα να επιλέγει το καλύτερο υπο-κανάλι με την καλύτερη απόδοση συχνότητας και να το προσφέρει για χρήση.

Γενικά, η ανομοιομορφη(diversity) παραλλαγή δημιουργίας υπο-καναλιών αποδίδει καλά σε περιβάλλοντα έντονης και μόνιμης κινητικότητας σταθμών, ενώ η συνεχόμενη (contiguous) είναι καταλληλότερη για περιβάλλοντα με ακίνητους ή κινούμενους σταθμούς με ελάχιστη ταχύτητα και μετατόπιση.

2.2.1.3. Άλλα Χαρακτηριστικά [1], [3]

Το φυσικό επίπεδο έχει επίσης άλλα χαρακτηριστικά, ορισμένα από αυτά είναι υποχρεωτικά και άλλα είναι προαιρετικά. Αυτά τα χαρακτηριστικά δίνουν την δυνατότητα σταθερών και ισχυρών επιδόσεων σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, και σε πολλές διαφορετικές συνθήκες καναλιών μετάδοσης.

Adaptive Antenna System (AAS): χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές τόσο στην μεριά του δέκτη όσο και στην μεριά του πομπού (σύστημα MIMO) με σκοπό την αύξηση της χωρητικότητας του καναλιού στρέφοντας τις δέσμες της κεραίας προς πολλαπλούς χρήστες για την επίτευξη επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων. Το σύστημα MIMO (Multiple-input multiple-output) είναι επίσης ευεργετικό για την βελτίωση της σχέσης σήματος-παραεμβολών (signal-to-interference ratio) ανάμεσα σε γειτονικά συνδυαζόμενα σήματα.

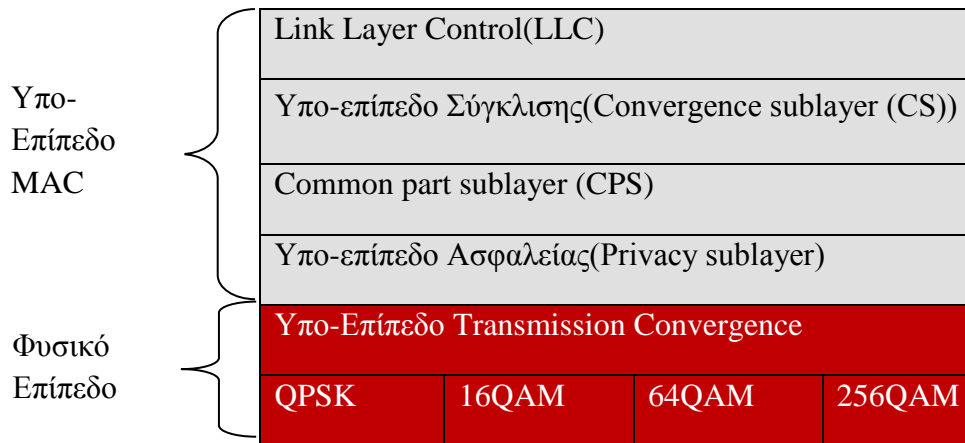
Adaptive modulation (AMC): Το πρότυπο 802.16-2004 επιτρέπει διαφορετικούς τύπους διαμόρφωσης (modulation) κατά την επικοινωνία UL (UpLink) και DL (DownLink). Οι επιτρεπόμενοι τύποι διαμόρφωσης είναι BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM και 256QAM. Το πρότυπο 802.16 ορίζει διαφορετικούς συνδυασμούς των προαναφερόμενων τύπων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, παρέχοντας ένα ευρύ φάσμα επιλογών ανάμεσα στην επιδίωξη για υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων και αξιοπιστία, ανάλογα πάντα με τις συνθήκες του καναλιού. Αν και τα πρότυπα 802.11a / g χρησιμοποιούν παρόμοιους τύπους modulation, υπάρχει μία διαφορά. Το πρότυπο 802.16 χρησιμοποιεί Reed-Solomon μπλοκ κώδικα που υποστηρίζει Turbo coding. Η τελευταία δυνατότητα όμως είναι προαιρετική.

2.2.2. Υπο - Επίπεδο MAC

2.2.2.1. Γενικά [1]

Το επίπεδο MAC υποστηρίζει τις διαφορετικές προδιαγραφές του φυσικού επιπέδου χρησιμοποιώντας time division multiplexing, όπου υποδοχές χρόνου (time slots) αντιστοιχίζονται στους χρήστες για να αποκτήσουν πρόσβαση στο κανάλι. Η UpLink επικοινωνία βασίζεται στην Time Division Multiple Access (TDMA). Η TDMA επιτρέπει διαφορετικά επίπεδα QoS και συγκεκριμένη καθυστέρηση (delay) επικοινωνίας μέσω μιας προκαθορισμένης υπηρεσίας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την κατανομή Bandwidth με βάση έναν μηχανισμό αίτησης/χορήγησης. Το πρότυπο 802.16-2004 υποστηρίζει TDD και FDD, Full και Half duplex.

Το πρότυπο 802.16-2004 είναι σχεδιασμένο να μεταφέρει οποιοδήποτε πρωτόκολλο υψηλότερου επιπέδου και υπηρεσίες αυτών, όπως IP εκδόσεις 4 και 6, VoIP, Ethernet, ATM και εικονικό τοπικό δίκτυο (VLAN). Το 802.16 το επιτυγχάνει αυτό, με το διαχωρισμό του επιπέδου MAC σε ξεχωριστά υποεπίπεδα τα οποία χειρίζονται διαφορετικές υπηρεσίες:



Πίνακας 1: Δομή υποεπιπέδων

Πηγή: [1]

- Υπο-επίπεδο Σύγκλισης(Convergence sublayer (CS))

Το υποεπίπεδο σύγκλισης (MESA, 2005) έχει σχεδιαστεί ώστε να αντιστοιχίζονται υπηρεσίες προς και από το επίπεδο MAC του 802.16.

Το 802.16 επίπεδο MAC παρέχει δύο υπηρεσίες — το υποεπίπεδο σύγκλισης ATM και το υποεπίπεδο σύγκλισης πακέτων. Το υποεπίπεδο σύγκλισης πακέτων παρέχει υποστήριξη για IPv4, IPv6, Ethernet και VLAN.

Το κύριο καθήκον του υποεπιπέδου σύγκλισης είναι να αντιστοιχίζει δεδομένα υψηλότερων πρωτοκόλλων στις σωστές υπηρεσίες. Επιπλέον, είναι υπεύθυνο για εκχώρηση εύρους ζώνης(Bandwidth) και QoS, καθώς και για την συμπίεση - ανασυγκρότηση των κεφαλίδων(headers) των πακέτων και για την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας της ασύρματης σύνδεσης.

- Common part sublayer (CPS)

Το 802.16 είναι σχεδιασμένο να υποστηρίζει αρχιτεκτονική δικτύου PMP (point-to-multipoint). Ωστόσο, και η λειτουργία τύπου mesh, γνωστή επίσης ως point-to-point αρχιτεκτονική, παρέχεται ως προαιρετική δυνατότητα.

- Υπο-επίπεδο Ασφαλείας(Privacy sublayer)

Το Privacy sublayer είναι ένα ξεχωριστό υποεπίπεδο ασφάλειας που παρέχει ανταλλαγή κλειδιών και κρυπτογράφηση. Το Privacy sublayer έχει δύο βασικά πρωτόκολλα:

- ✓ Πρωτόκολλο ενθυλάκωσης για την κρυπτογράφηση δεδομένων πακέτων σε ένα 802.16 δίκτυο.
- ✓ Ένα πρωτόκολλο διαχείρισης κλειδιών (Privacy Key Management - PKM) για τη διευκόλυνση της ασφαλούς διανομής των κλειδιών από τον σταθμό βάσης στον ασύρματο σταθμό. Το PKM ενισχύεται με την προσθήκη ελέγχου ψηφιακής πιστοποίησης της ταυτότητας ενός ασύρματου σταθμού που διευκολύνει την λειτουργία του 802.16.

Το πρωτόκολλο PKM χρησιμοποιείται για συσχετισμούς ασφαλείας. Είναι ένα σύνολο μεθόδων κρυπτογράφησης και κλειδιών. Το πρότυπο 802.16 καθορίζει τρία είδη συσχετισμών ασφαλείας: πρωταρχικός, στατικός και δυναμικός. Ο πρωταρχικός (primary) συσχετισμός ασφαλείας εδραιώνεται κατά τη διάρκεια της εκκίνησης λειτουργίας ενός ασύρματου σταθμού(SS-Simple Station). Ο στατικός συσχετισμός παρέχεται αποκλειστικά από έναν σταθμό βάσης (BS), ενώ ο δυναμικός ξεκινάει και περατώνετε ανάλογα με το αν δημιουργούνται ή τερματίζονται ροές δεδομένων.

2.2.2.2. Βασικές Λειτουργίες Υπο-Επιπέδου MAC [3], [4]

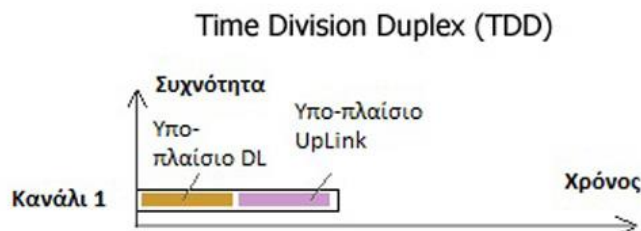
Το πρότυπο 802.16 υποστηρίζει δύο αρχιτεκτονικές δικτύου. Την αρχιτεκτονική P2MP(Point-to-MultiPoint) και την αρχιτεκτονική Mesh. Η εργασία επικεντρώνεται στην πρώτη από αυτές.

Τα δίκτυα με αρχιτεκτονική P2MP λειτουργούν με την λογική του ενός Σταθμού Βάσης και πολλαπλών ασύρματων τερματικών σταθμών οι οποίοι συνδέονται πάνω του. Ο Σταθμός Βάσης είναι το κεντρικό σημείο αναφοράς και διαχειρίζεται όλη την κίνηση του δικτύου. Το πρότυπο 802.16 απαιτεί μια δημιουργία σύνδεσης και την δέσμευση του μονοπατιού από τον αποστολέα προς στον χρήστη μέχρι να τελειώσει η επικοινωνία. Κοινώς βασίζεται σε Connection Oriented επικοινωνία η οποία επιβάλλει σε κάθε έναν από τους ασυρμάτους σταθμούς την δημιουργία μιας σύνδεσης με τον σταθμό βάσης.

Ένας ασύρματος σταθμός αρχικά στέλνει ένα μήνυμα προς τον σταθμό βάσης με το οποίο του ζητάει να συσχετιστούν. Η συσχέτιση αυτή αφορά και το “κανάλι” σύνδεσης από τον ασύρματο σταθμό προς τον σταθμό βάσης (“κανάλι” UpLink) και το κανάλι από τον σταθμό βάσης προς τον ασύρματο σταθμό.(“κανάλι” DownLink).

Το πρότυπο του WiMAX περιλαμβάνει δύο τεχνικές μετάδοσης σήματος. Την TDD(Time Division Duplex) και την FDD(Frequency Division Duplex) όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Για την μελέτη και υλοποίηση δικτύων με προσανατολισμό την ποιότητα υπηρεσίας η κατάλληλη τεχνική είναι η TDD(Time Division Duplex) καθώς έτσι υπάρχει η δυνατότητα μετάδοσης υπο-πλαίσια (DownLink – UpLink SubFrames) μεταξύ του σταθμού βάσης και των τερματικών σταθμών με την χρήση ενός μόνο καναλιού.



Εικόνα 4: Τεχνική Time Division Duplex(TDD)

Πηγή: [3]

Δηλαδή, κάθε πλαίσιο χωρίζεται σε μικρότερα πλαίσια(υπο-πλαίσια) τα οποία ο σταθμός βάσης αντιμετωπίζει δυναμικά σαν time slots. Τα time slots είναι διαφορετικά για την επικοινωνία του UpLink και του DownLink καναλιού.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση μιας απλής διαδικτυακής εφαρμογής, όπου η κίνηση κατευθύνεται κυρίως από το ίδιο το διαδίκτυο προς έναν συνδρομητή, ο σταθμός βάσης αναθέτει πιο πολλά time slots στο κανάλι του DL και λιγότερα σε αυτό του UL. Σε μια εφαρμογή VoIP από την άλλη, ο σταθμός βάσης αναθέτει τον ίδιο αριθμό time slots και στα δύο κανάλια.

Ειδικότερα, οι διαφορές των δύο τεχνικών μετάδοσης του σήματος είναι οι εξής:

Η TDD επιτρέπει ασύμμετρο ρυθμό μετάδοσης κίνησης ανάμεσα στα κανάλια DownLink και UpLink, ενώ η FDD δεν προβλέπει κάτι τέτοιο και ο ρυθμός μετάδοσης στα δύο κανάλια είναι πάντα σταθερός και ίσος.

Η TDD εγγυάται καλύτερη υποστήριξη σε τεχνολογίες κεραιών MIMO και γενικότερα σε προηγμένες τεχνολογίες κεραιών.

Αντίθετα με την FDD, η οποία απαιτεί ένα ζεύγος καναλιών, η TDD απαιτεί μόνο ένα κανάλι για την μετάδοση υπο-πλαισίων και στο κανάλι DownLink και στο κανάλι UpLink. Σαν αποτέλεσμα προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και προσαρμοστικότητα στις διάφορες φασματικές κατανομές ανά τον κόσμο.

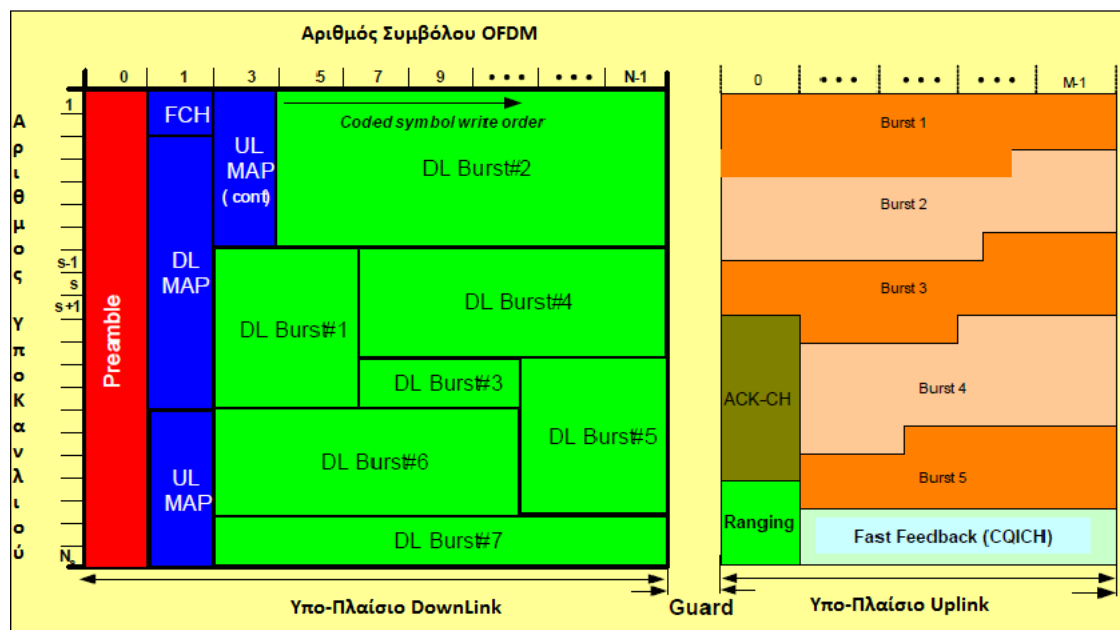
Οι δέκτες και πομποί(transceivers) που σχεδιάζονται για την TDD είναι πολύ πιο απλοί από άποψη κατασκευής και μοιραία πιο οικονομικοί.

Η παρακάτω εικόνα δείχνει την δομή και τα περιεχόμενα ενός πλαισίου OFDM για τεχνική μετάδοσης TDD. Κάθε πλαίσιο χωρίζεται σε δύο υπο-πλαίσια που αντιστοιχούν στα κανάλια DownLink και UpLink τα οποία χωρίζονται από κενά τύπου 'εκπομπής\λήψης' και 'λήψης\εκπομπής', ώστε να αποφευχθούν συγκρούσεις μεταξύ τους. Σε ένα τέτοιο πλαίσιο τα παρακάτω στοιχεία χρησιμοποιούνται ώστε να διασφαλιστεί η βέλτιστη απόδοση του συστήματος:

- Preamble: Το Preamble χρησιμοποιείται για λόγους συγχρονισμού και είναι το πρώτο σύμβολο ενός πλαισίου OFDM.
- Frame Control Header(FCH) : Το σύμβολο FCH ακολουθεί το Preamble. Παρέχει γενικά στοιχεία των ρυθμίσεων του πλαισίου όπως το μέγεθος των μηνυμάτων MAP και την μορφή κωδικοποίησής τους και τα διαθέσιμα για χρήση υπο-κανάλια.
- DL-MAP και UL-MAP : Τα στοιχεία DL-MAP και UL-MAP προσφέρουν πληροφορίες σχετικά με τον καταμερισμό των υπο-καναλιών και άλλα στοιχεία ελέγχου για τα υπο-πλαίσια UL και DL.
- UL Ranging : Το στοιχείο UL Ranging χρησιμεύει σε ασύρματους σταθμούς του δικτύου ώστε να επαναπροσδιορίζουν στοιχεία όπως η συχνότητα , το απαιτούμενο

bandwidth και κάποια στοιχεία που αφορούν την διαχείριση ενέργειας ενός ασύρματου σταθμού.

- UL CQICH : Το στοιχείο UL CQICH επιτρέπει σε έναν ασύρματο σταθμό να στέλνει πληροφορίες - ενημερώσεις(feedback) σχετικές με το κανάλι επικοινωνίας.
- UL ACK : Το στοιχείο UL ACK επιτρέπει σε έναν ασύρματο σταθμό να στέλνει επιβεβαιώσεις για το DownLink HARQ .



Εικόνα 5 : Δομή πλαισίου OFDM TDD.

Πηγή: [3]

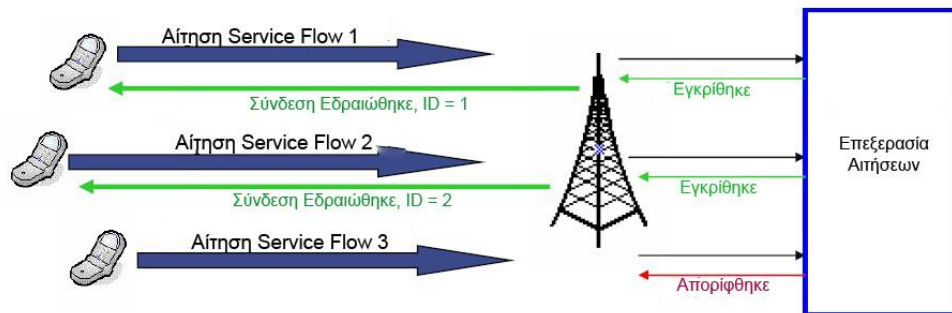
2.2.2.3. Ροή Υπηρεσιών (Service Flow) [1]

Γενικά μια Ροή Υπηρεσιών είναι μια ιδεατή οντότητα που φέρει την κυκλοφορία WiMAX σε ένα πλαίσιο WiMAX. Είναι δηλαδή στην ουσία μια ροή δεδομένων. Μια ροή υπηρεσιών αποτελεί μέρος μιας Κλάσης Υπηρεσιών(Service Class). Μια κλάση υπηρεσιών ορίζει την σύμβαση της κυκλοφορίας δεδομένων μεταξύ τερματικού σταθμού και σταθμού βάσης.

Μια Ροή Υπηρεσιών περιλαμβάνει σημαντικά χαρακτηριστικά για την εξασφάλιση της ποιότητας της επικοινωνίας(QoS) όπως την διαμόρφωση και κωδικοποίηση(modulation & coding), το σύστημα αναμετάδοσης, το μέγεθος των buffers, το μέγεθος του SDU πακέτου, κ.λπ.

Πιο συγκεκριμένα όταν ο σταθμός βάσης λάβει μια αίτηση σύνδεσης από έναν ασύρματο σταθμό, αρχικά ελέγχει εάν ο χρήστης του σταθμού αυτού ικανοποιεί τις προϋποθέσεις ώστε να λάβει εξουσιοδότηση χρήσης της υπηρεσίας. Ο σταθμός βάσης στην συνέχεια ελέγχει εάν υπάρχουν διαθέσιμοι δικτυακοί πόροι(διαθέσιμο bandwidth για παράδειγμα), ώστε να εξυπηρετήσει την αίτηση αυτή. Εάν υπάρχουν, ο σταθμός βάσης συσχετίζει την αίτηση σύνδεσης με μια Ροή Υπηρεσιών και τα δεδομένα ποιότητας επικοινωνίας που καθορίζονται μέσω αυτής. Κάθε τέτοια σύνδεση χαρακτηρίζεται από ένα αναγνωριστικό μεγέθους

16bit(CID). Να σημειωθεί ότι το πρότυπο IEEE 802.16 δεν χρησιμοποιεί φυσικές διευθύνσεις(Mac Addresses) πομπού και δέκτη στο πλαίσιο MAC.



Εικόνα 6 : Ροές υπηρεσιών WiMAX.

Πηγή: [5]

Μια Ροή Υπηρεσιών έχει τα παρακάτω γνωρίσματα:

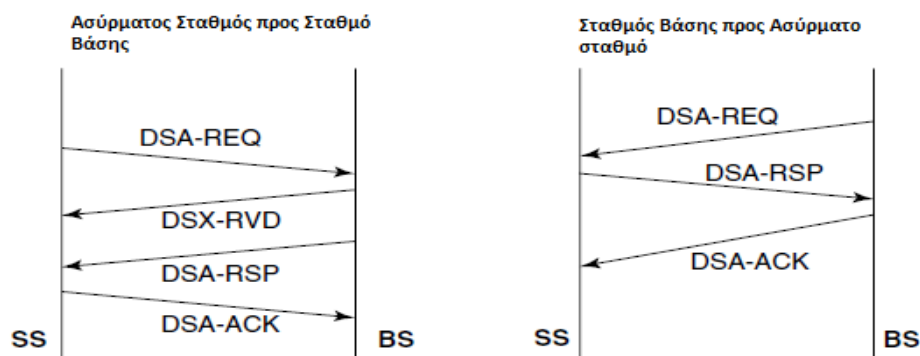
- Αναγνωριστικό Ροής Υπηρεσιών(Service Flow ID – SFID): Κάθε ροή υπηρεσιών έχει ένα μοναδικό αναγνωριστικό το οποίο καθορίζει την κατεύθυνση της μετάδοσης(DL ή UL).
- Αναγνωριστικό Σύνδεσης(CID – Connection ID): Ένα αναγνωριστικό σύνδεσης προσδιορίζει ένα SFID μετά την ολοκλήρωση της σύνδεσης πομπού δέκτη.
- Προκαθορισμένες Παράμετροι ποιότητας επικοινωνίας: Η ποιότητα επικοινωνίας(QoS) προκαθορίζεται από ένα κατάλληλο δικτυακό σύστημα διαχείρισης.
- Δεδομένες Παράμετροι ποιότητας επικοινωνίας: Παράμετροι της ποιότητας επικοινωνίας για τις οποίες ο σταθμός βάσης δεσμεύει εξ'αρχής πόρους. Ο σημαντικότερος από αυτούς τους πόρους είναι το απαραίτητο bandwidth.
- Ενεργές παράμετροι της ποιότητας επικοινωνίας: Οι παράμετροι που στην πραγματικότητα παρέχονται για μια ροή υπηρεσιών. Μόνο ενεργές ροές δεδομένων μπορούν να στείλουν πακέτα στην ασύρματη διασύνδεση.

Μια ροή υπηρεσιών μπορεί να προκαθοριστεί στατικά από το δικτυακό σύστημα διαχείρισης ή να δημιουργηθεί δυναμικά από τα παρακάτω μηνύματα ελέγχου που υποστηρίζονται από το 802.16:

- Δυναμική πρόσθεση υπηρεσίας(Dynamic Service Addition – DSA): Χρησιμοποιείται για την δημιουργία νέας ροής υπηρεσιών.
- Δυναμική τροποποίηση υπηρεσίας(Dynamic Service Change - DSC): Χρησιμοποιείται για την τυχόν τροποποίηση μιας υπάρχουσας ροής υπηρεσιών.
- Δυναμική διαγραφή υπηρεσίας(Dynamic Service Deletion - DSD): Χρησιμοποιείται για την διαγραφή μιας ροής υπηρεσιών.

Αυτά τα μηνύματα ελέγχου επιπέδου MAC επιτρέπουν στους εκάστοτε παρόχους υπηρεσιών δικτύου, να προσθέσουν εύκολα νέους συνδρομητές, να τροποποιήσουν την ποιότητα υπηρεσιών για τους υπάρχοντες συνδρομητές, να επανακαταμερίσουν το διαθέσιμο bandwidth στις υπάρχουσες διασυνδέσεις και να ανακτήσουν μη χρησιμοποιημένους πόρους. Όλες αυτές οι ενέργειες μπορούν να πραγματοποιηθούν σε πραγματικό χρόνο χωρίς να υπάρχει παρεμβολή στις ενεργές υπηρεσίες των εκάστοτε συνδρομητών.

Μια δυναμική αίτηση για κάποια υπηρεσία μπορεί να δημιουργηθεί είτε από έναν σταθμό βάσης είτε από έναν ασύρματο σταθμό. Στην περίπτωση που ξεκινήσει από τον ασύρματο σταθμό, ένα μήνυμα αίτησης DSA – REQ(Request) στέλνεται το οποίο έχει μια αναφορά στην ροή υπηρεσιών του και καθορισμένες τις παραμέτρους ποιότητας επικοινωνίας που χρειάζεται. Μόλις ο σταθμός βάσης λάβει την αίτηση DSA – REQ, στέλνει στον ασύρματο σταθμό ένα μήνυμα απάντησης DSX – RVD(Received) για να τον πληροφορήσει ότι έλαβε επιτυχημένα. Στην συνέχεια ο σταθμός βάσης στέλνει ένα μήνυμα τύπου DSA – RSP(Response) στον ασύρματο σταθμό για να τον πληροφορήσει εάν μπορεί να τον εξυπηρετήσει ή όχι τελικά. Ο ασύρματος σταθμός τέλος στέλνει με την σειρά του ένα μήνυμα DSA – ACK(Acknowledgment) για να επιβεβαιώσει ότι έλαβε την ενημέρωση. Η διαδικασία αυτή εφόσον ξεκινήσει από τον σταθμό βάσης είναι η ίδια με την διαφορά ότι δεν περιλαμβάνει το μήνυμα τύπου DSX – RVD . Το σχετικό διάγραμμα φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 7 : Dynamic service addition (DSA)—Ροή μηνυμάτων

Πηγή: [1]

Η μετάδοση δεδομένων στο κανάλι του DownLink ελέγχεται από τον σταθμό βάσης και πλαίσια MAC αποστέλλονται μαζικά(Broadcasted) σε όλους τους ασύρματος σταθμούς. Όταν κάποιος ασύρματος σταθμός λάβει ένα τέτοιο πλαίσιο ελέγχει το CID του ώστε να διαπιστώσει εάν προορίζεται για αυτόν. Για να βελτιωθεί η απόδοση της μετάδοσης δεδομένων, πολλαπλά πλαίσια συνδυάζονται ώστε να αποτελέσουν μια 'ριπή κίνησης'(burst), η οποία προορίζεται για μαζική αποστολή μέσω του αέρα. Όταν ένας ασύρματος σταθμός αντιληφθεί αυτή την 'ριπή κίνησης' θα παραλάβει μόνο τα πλαίσια τα οποία περιέχουν το σωστό για αυτόν CID και θα απορρίψει τα υπόλοιπα.

Κάθε τέτοια 'ριπή κίνησης'(burst) περιλαμβάνει μηνύματα τύπου MAP , ένα για κάθε κανάλι επικοινωνίας(DL-MAP και UL-MAP), τα οποία καθορίζουν την δομή της ριπής και τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει οι ασύρματος σταθμοί να ανακτήσουν - ξεχωρίσουν τα πλαίσια MAC. Η μετάδοση δεδομένων για το κανάλι UpLink είναι πιο πολύπλοκη από το κανάλι του

DownLink, καθώς όλοι οι ασύρματοι σταθμοί πρέπει αρχικά να συγχρονιστούν με τον σταθμό βάσης για να ξεκινήσει αυτή. Η πολυπλοκότητα αυτή οφείλεται στο κομμάτι της ποιότητας της επικοινωνίας το οποίο αναφέρεται παρακάτω.

2.2.2.4. Υποστήριξη QoS(Quality of Service) στο 802.16

Το πρότυπο 802.16 καθορίζει τέσσερις προδιαγραφές κλάσεων υπηρεσιών(Service Classes) [2], [3]:

Unsolicited grant service (UGS): Αυτή η προδιαγραφή υπηρεσιών χρησιμοποιείται κυρίως για την μετάδοση μη-συμπιεσμένου τύπου φωνής. Η προδιαγραφή προϋποθέτει σταθερό όγκο δεδομένων ανά ένα σταθερό χρονικό διάστημα και εγγυάται υψηλή ρυθμαπόδοση και χαμηλές καθυστερήσεις.

Real-time polling service (rtPS): Η προδιαγραφή αυτή είναι κατάλληλη για συμπιεσμένη κίνηση πολυμέσων, όπως είναι για παράδειγμα το Video Streaming αλλά και άλλες εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπου το ποσό του απαραίτητου bandwidth μπορεί να διαφοροποιείται ανά πάσα στιγμή. Η προδιαγραφή απαιτεί από τον εκάστοτε σταθμό βάσης να εφαρμόσει μια υπηρεσία σταθμοσκόπησης(polling) ανά καθορισμένο σταθερό χρονικό διάστημα. Σε κάθε τέτοια επικοινωνία σταθμού βάσης και ασυρμάτου σταθμού, ο σταθμός βάσης ζητάει από τον ασύρματο σταθμό να του επανακαθορίσει τις ανάγκες του σε bandwidth.

Nonreal-time polling service (nrtPS): Αυτή η προδιαγραφή υπηρεσιών είναι κατάλληλη για εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου οι οποίες χρειάζονται εγγυημένη απόδοση. Επιβάλλει και αυτή υπηρεσία σταθμοσκόπησης(polling) στον σταθμό βάσης σε καθορισμένο χρόνο, με την διαφορά όμως ότι ο ασύρματος σταθμός υπάρχει η δυνατότητα να μην απαντήσει πάντα σε αυτόν. Αν ένας ασύρματος σταθμός δεν απαντήσει στην αίτηση επικοινωνίας του σταθμού βάσης μετά από 'ν' φορές στην σειρά, ο σταθμός βάσης τοποθετεί τον ασύρματο σταθμό σε μια ομάδα αναμονής. Όταν ο σταθμός βάσης επικοινωνήσει εκ νέου με την ομάδα αναμονής, οι ασύρματοι σταθμοί που έχουν τοποθετηθεί εκεί, συναγωνίζονται για την εκ νέου πρόσβασή τους στην παραπάνω λειτουργία. Ο μηχανισμός αυτός στην ουσία δεν επιτρέπει για ένα απαραίτητο χρονικό διάστημα το οποίο χρειάζεται ο σταθμός βάσης να διαχειριστεί την κίνηση του δικτύου αποτελεσματικά, σε σταθμούς οι οποίοι δεν παράγουν μεγάλο όγκο κίνησης να καταναλώνουν πόρους του μηχανισμού επικοινωνίας.

Best effort (BE) service: Η προδιαγραφή αυτή δεν απαιτεί μηχανισμό επικοινωνίας. Ένας ασύρματος σταθμός θα πρέπει να συναγωνιστεί με τους υπολοίπους για το απαιτούμενο bandwidth και την πρόσβαση του στο δίκτυο. Οι αιτήσεις για bandwidth περιέχονται σε time slots στα μηνύματα διαχείρισης του καναλιού UpLink(UL-MAP) για τα οποία ο κάθε σταθμός πρέπει να ανταγωνιστεί κάποιον άλλο. Αν μια αίτηση ενός ασύρματου σταθμού είναι επιτυχημένη, αυτό θα του γίνει γνωστό μέσω του αντίστοιχου μηνύματος διαχείρισης για το κανάλι DownLink(DL-MAP) και τότε ο σταθμός μπορεί να μεταδώσει τα δεδομένα του. Αν η αίτηση δεν είναι επιτυχημένη ο ασύρματος σταθμός θα πρέπει να προσπαθήσει ξανά μετά την πάροδο κάποιου χρόνου. Φυσικά υπάρχει η περίπτωση και η εκ νέου αίτηση

να ‘συγκρουστεί’ με την αίτηση κάποιου άλλου σταθμού. Σε αυτήν την περίπτωση εφαρμόζεται ο ίδιος αλγόριθμος που εφαρμόζεται και για το Ethernet.

Σε αυτό στο σημείο είναι αναγκαίο να παρουσιαστούν τα στοιχεία μέσω των οποίων μπορούν οι παραπάνω προδιαγραφές, ορισμένες στα πλαίσια κλάσεων υπηρεσιών, να υλοποιηθούν την ποιότητα στην επικοινωνία.

Μέγιστος επιτρεπτός ρυθμός απόδοσης(Maximum sustained traffic rate (MSTR)):

Ο μέγιστος επιτρεπτός ρυθμός απόδοσης μετρημένος σε bit ανά δευτερόλεπτο(bps) μιας ροής υπηρεσιών. Μέσω μιας κλάσης υπηρεσιών η ασύρματη διασύνδεση συμμορφώνεται με αυτό. Δεν επιτρέπεται σε καμία περίπτωση κίνηση μεγαλύτερη από αυτό το όριο για μια ροή υπηρεσιών.

Ελάχιστος δεσμευμένος ρυθμός απόδοσης(Minimum reserved traffic rate (MRTR)):

Ο ελάχιστος δεσμευμένος ρυθμός απόδοσης μετρημένος σε bit ανά δευτερόλεπτο(bps) μιας ροής υπηρεσιών. Αυτός ο ρυθμός είναι εγγυημένος σε κάθε περίπτωση. Αν υπάρχει επιπλέον διαθέσιμο bandwidth στο δίκτυο, τότε μια ροή υπηρεσιών μπορεί να το χρησιμοποιήσει μέχρι βέβαια να φτάσει στο όριο του μεγίστου επιτρεπτού ρυθμού απόδοσης.

Μέγιστη καθυστέρηση ροής(Maximum latency): Η μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση μετρημένη σε milliseconds ανάμεσα στην αποστολή και την παραλαβή ενός πακέτου από τον σταθμό βάσης προς τον ασύρματο σταθμό και αντίστροφα.

Μέγιστος μέγεθος ‘ριπής κίνησης’(Maximum traffic burst): Το μέγιστο μέγεθος burst κίνησης για μια ροή υπηρεσιών. Το χαρακτηριστικό αυτό δεν υποστηρίζεται από τον OPNET MODELLER v16.0 και δεν θα απασχολήσει την εργασία αυτή.

2.2.2.5. Αιτήσεις Σύνδεσης και Bandwidth

Μια αίτηση σύνδεσης μπορεί να προέρχεται είτε από την σταθμό βάσης είτε από κάποιον ασύρματο σταθμό. Το πρότυπο 802.16 διαθέτει ειδικό μηχανισμό ο οποίος προβλέπει τις διαδικασίες την αίτησης σύνδεσης αλλά και το πώς και αν αυτή θα εγκριθεί.

Όταν ένας ασύρματος σταθμός δημιουργεί και στέλνει μια αίτηση στον σταθμό βάσης με την οποία του ζητάει ορισμένο bandwidth και ορισμένες παραμέτρους ποιότητας επικοινωνίας της σύνδεσης, θα πρέπει πρώτα απ’ όλα να υπάρξει αυθεντικοποίηση του σταθμού αυτού από τον σταθμό βάσης. Μετά το πέρας της διαδικασίας αυθεντικοποίησης ο σταθμός βάσης θα πρέπει να αποφανθεί για το κατά πόσο υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι να προσφέρει στον ασύρματο σταθμό. Ο γενικός τύπος όσον αφορά το Bandwidth είναι ο εξής [1], [2]:

$$\Sigma (\text{Συνολικό bandwidth που έχει δεσμευτεί}) + \text{νέα αίτηση για bandwidth} \leq \text{Συνολικό Bandwidth}$$

Στην περίπτωση της UGS, το bandwidth που πρέπει να δεσμευτεί για κάθε σταθμό είναι ο Μέγιστος επιτρεπτός ρυθμός απόδοσης(Maximum sustained traffic rate (MSTR)) που αναφέρθηκε παραπάνω. Για τις περιπτώσεις των rtPS και nrtPS το bandwidth που πρέπει να

δεσμευτεί για κάθε σταθμό είναι ο Ελάχιστος δεσμευμένος ρυθμός απόδοσης (Minimum reserved traffic rate (MRTR)). Για την Best Effort προδιαγραφή δεν υπάρχει δεσμευμένο bandwidth.

Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο του προτύπου 802.16 είναι ότι το bandwidth των καναλιών UpLink και DownLink μπορεί να διατίθεται δυναμικά και ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών. Δηλαδή εάν υπάρχουν περισσότερες ανάγκες για το κανάλι DownLink και την ίδια στιγμή υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι στο κανάλι UpLink, ο σταθμός βάσης έχει την δυνατότητα να αυξήσει τα time slots που διαθέτει για το κανάλι DownLink και να μειώσει αντίστοιχα αυτά του UpLink.

Μια αίτηση για Bandwidth από έναν ασύρματο σταθμό αποστέλλεται συνήθως την ώρα που γίνεται ο προγραμματισμός για ολόκληρο το UpLink κανάλι επικοινωνίας. Το πρότυπο 802.16 προσφέρει όμως και έναν προαιρετικό μηχανισμό που χρησιμεύει για τον ίδιο σκοπό και ονομάζεται 'αίτηση piggyback'. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε μια τέτοια αίτηση δεν προσφέρεται ασφάλεια μετάδοσης. Κοινώς υπάρχει πιθανότητα να χαθεί στην πορεία λόγω κάποιας σύγκρουσης. Σαν αποτέλεσμα ο σταθμός βάσης θα πρέπει να αποστείλει ένα μήνυμα τύπου DSX-RVD για να επιβεβαιώσει την παραλαβή του μηνύματος τύπου DSA-REQ. Ο σταθμός βάσης χορηγεί το bandwidth που του ζητήθηκε ενσωματώνοντας το μέσα σε ένα μήνυμα διαχείρισης του UpLink καναλιού δηλαδή σε ένα UL-MAP το οποίο αποστέλλεται μαζικά σε όλους τους σταθμούς και οι σταθμοί με βάση το CID ξεχωρίζουν αυτό που προορίζεται για αυτούς.

2.2.2.6. Προγραμματισμός Ποιότητας Επικοινωνίας(QoS) [1], [2]

Όταν μια αίτηση σύνδεσης λάβει απάντηση και χορηγηθεί, μια ροή υπηρεσιών η οποία περιέχει και τα χαρακτηριστικά για την ποιότητα επικοινωνίας δημιουργείται για την σύνδεση αυτή. Οι υπηρεσίες προγραμματισμού των προδιαγραφών υπηρεσιών που αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι αυτές που διαχειρίζονται όλα τα δεδομένα ώστε να υποστηρίξουν τελικά την γενικότερη υπηρεσία προγραμματισμού επιπέδου MAC για την μετάδοση δεδομένων μέσω μιας σύνδεσης.

Ο σταθμός βάσης ελέγχει τον προγραμματισμό και των δύο καναλιών μετάδοσης (UL και DL). Ο σταθμός βάσης λοιπόν μέσω της υπηρεσίας προγραμματισμού, υπολογίζει τις απαιτήσεις για ρυθμαπόδοση και καθυστέρηση της κίνησης για τα κανάλια UL και DL και παρέχει τις αιτήσεις και τις απαντήσεις αυτών ανά κατάλληλα χρονικά διαστήματα.

Για το κανάλι DL τα πράγματα είναι πιο εύκολα για την υπηρεσία προγραμματισμού καθώς οι πληροφορίες, βασισμένες στα καθορισμένα στοιχεία του QoS των πλαισίων, μεταδίδονται μαζικά μέσω μιας 'ριπής κίνησης' (traffic burst).

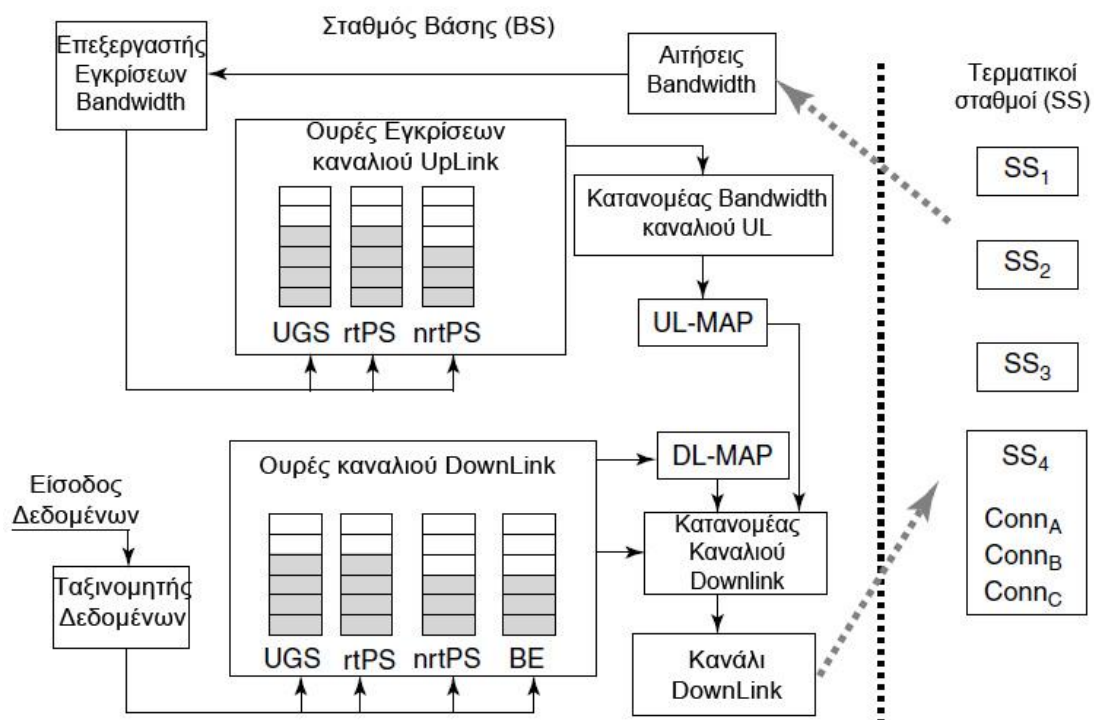
Για το κανάλι UL η υπηρεσία προγραμματισμού χρησιμοποιεί έναν πιο σύνθετο μηχανισμό αίτησης-απάντησης αφού απαιτείται και συγχρονισμός ανάμεσα στον σταθμό βάσης και τους διάφορους ασύρματους σταθμούς.

Προγραμματισμός Προδιαγραφής Υπηρεσιών UGS

Η προδιαγραφή UGS σχεδιάστηκε ώστε να υποστηρίζει υπηρεσίες πραγματικού χρόνου με σταθερό μέγεθος πλαισίων ανά σταθερά χρονικά διαστήματα. Η προδιαγραφή παρέχει απαντήσεις σταθερού μεγέθους ανά τακτά χρονικά διαστήματα, με στόχο να εξαλείψει την καθυστέρηση που παρατηρείται κατά την αποστολή των αιτήσεων από την μεριά των ασυρμάτων σταθμών και να εξασφαλίσει έτσι ότι οι απαιτήσεις μιας εφαρμογής πραγματικού χρόνου καλύπτονται.

Ο σταθμός βάσης παρέχει τις αποκρίσεις του προς τους ασύρματους σταθμούς ανά καθορισμένα χρονικά διαστήματα βασιζόμενος πάντα στον Μέγιστο επιτρεπτό ρυθμό απόδοσης (Maximum sustained traffic rate (MSTR)). Το μέγεθος των αποκρίσεων αυτών είναι αρκετά μεγάλο ώστε να περιέχουν τα καθορισμένου μεγέθους δεδομένα αλλά και τις επιβαρύνσεις του επιπέδου MAC (overhead). Ο ασύρματος σταθμός λαμβάνει μαζικές αποστολές πλαισίων (πλαίσια broadcast) από τον σταθμό βάσης ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Το μήνυμα διαχείρισης (UL-MAP) που περιέχεται στο broadcast πλαίσιο, περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με το κανάλι UpLink ώστε ο ασύρματος σταθμός να μπορέσει να μεταδώσει τα δεδομένα του.

Μόλις ο ασύρματος σταθμός είναι έτοιμος να μεταδώσει δεδομένα, τα τοποθετεί στο κανάλι που του έχει εκχωρηθεί (στην ουσία είναι ένα time slot) και στέλνει τα δεδομένα αυτά άμεσα μέσω του αέρα. Δεν υπάρχει διαμοιρασμός bandwidth πολλαπλών συνδέσεων για την προδιαγραφή UGS και έτσι σε κάθε σύνδεση (service flow) ανατίθεται ένα αποκλειστικό κανάλι (time slot) για την μετάδοση προς τον σταθμό βάσης.



Εικόνα 8: Προγραμματισμός καναλιών UL και DL σταθμού βάσης

Πηγή: [1]

Προγραμματισμός Προδιαγραφής Υπηρεσιών rtPS

Η προδιαγραφή υπηρεσιών rtPS έχει σχεδιαστεί ώστε να υποστηρίζει εφαρμογές πραγματικού χρόνου με μεταβλητό μέγεθος πλαισίων ανά καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Τέτοιες εφαρμογές είναι το Streaming ήχου και εικόνας. Η προδιαγραφή επιτρέπει σε έναν ασύρματο σταθμό να συγκεκριμενοποιεί το μέγεθος του bandwidth που χρειάζεται και για αυτόν ακριβώς τον λόγο οι αιτήσεις προδιαγραφής rtPS περιέχουν περισσότερο Overhead από την προδιαγραφή UGS.

Ο σταθμός βάσης προσφέρει ανοιχτά ευκαιρίες στους σταθμούς ώστε να χρησιμοποιήσουν το κανάλι UL για τις αιτήσεις τους. Πολλαπλές συνδέσεις της προδιαγραφής rtPS μοιράζονται το ίδιο Bandwidth για να πραγματοποιήσουν την αποστολή δεδομένων τους από το κανάλι UL. Ένας σταθμός μπορεί να στείλει τα δεδομένα του την ώρα που πραγματοποιείται η καθιερωμένη επιβεβαίωση σύνδεσης ανάμεσα στον σταθμό βάσης και τον ασύρματο σταθμό (polling). Η υλοποίηση της διαδικασίας σταθμοσκόπησης δεν είναι καθορισμένη από το πρότυπο 802.16 οπότε ο κάθε κατασκευαστής μπορεί να χρησιμοποιήσει μια αντίστοιχη υπηρεσία δικής του κατασκευής.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα του υπηρεσίας σταθμοσκόπησης:

Ένας ασύρματος σταθμός έχει συνδεθεί με τον σταθμό βάσης και χρησιμοποιείται η προδιαγραφή rtPS. Στον ασύρματο σταθμό έχει εγγυηθεί bandwidth της τάξης των 400Kb το δευτερόλεπτο και καθυστέρηση της τάξης των 50ms.

Ο σταθμός βάσης επικοινωνεί με τον ασύρματο σταθμό κάθε 50ms.

Όποτε ο ασύρματος σταθμός έχει δεδομένα να αποστείλει περιμένει την σταθμοσκόπηση από τον σταθμό βάσης, η οποία πραγματοποιείται όταν ο σταθμός βάσης στείλει ακριβώς ένα τέτοιου τύπου μήνυμα μαζί στο κανάλι DL. Στην συνέχεια ο σταθμός εντοπίζει το δικό του Polling μήνυμα και το δικό του CID τα οποία περιέχεται στο μήνυμα UL-MAP.

Όταν ο ασύρματος σταθμός λάβει το μήνυμα και πλέον ξέρει το χρονικό διάστημα το οποίο πρέπει κάθε φορά να παρέλθει ώστε να πραγματοποιείται η διαδικασία της σταθμοσκόπησης, τότε λαμβάνει και τις πληροφορίες σχετικά με το bandwidth που του αναλογεί εκείνη την στιγμή πάλι μέσω του UL-MAP και χρησιμοποιεί αυτό το Bandwidth για να στείλει τα απαραίτητα δεδομένα μέσω του καθορισμένου UL καναλιού.

Αν χρειάζεται να στείλει και άλλα δεδομένα και δεν επαρκούσε το αρχικό bandwidth που του χορηγήθηκε, ο σταθμός κάνει χρήση του δικαιώματός του να χρησιμοποιήσει τα 400Kb ανά δευτερόλεπτο που του είχαν εγγυηθεί αρχικά.

Αφού στείλει όλα του τα δεδομένα περιμένει και πάλι την διαδικασία της σταθμοσκόπησης.

Προγραμματισμός Προδιαγραφής Υπηρεσιών nrtPS

Η προδιαγραφή υπηρεσιών nrtPS προβλέπει την χρήση της υπηρεσίας σταθμοσκόπησης ανά τακτά χρονικά διαστήματα τα οποία όμως δεν είναι σαφώς καθορισμένα και εξασφαλίζει στη ροή υπηρεσίας ευκαιρίες για αιτήσεις ακόμη και σε καταστάσεις συμφόρησης δικτύου.

Συνήθως η σταθμοσκόπηση της προδιαγραφής nrtPS από τον σταθμό βάσης πραγματοποιείται με μια συχνότητα περίπου ενός δευτερολέπτου. Ο σταθμός βάσης θα πρέπει να προσφέρει τις κατάλληλες ευκαιρίες για αιτήσεις στους ασύρματους σταθμούς όπως αυτές έχουν καθοριστεί στις παραμέτρους της ποιότητας επικοινωνίας.

Προγραμματισμός Προδιαγραφής Υπηρεσιών BE

Η προδιαγραφή BE χρησιμοποιείται ώστε να κάνει την κίνηση τύπου best effort όσο το δυνατόν αποδοτική. Οι ασύρματοι σταθμοί επιτρέπεται να χρησιμοποιούν αιτήσεις σε συνθήκες συμφόρησης δικτύου. Σύγκρουση μπορεί να υπάρξει όταν πολλαπλοί σταθμοί μεταδώσουν δεδομένα την ίδια χρονική στιγμή. Όταν κάτι τέτοιο συμβεί, ο κάθε ασύρματος σταθμός χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο ο οποίος τους επιτρέπει να μεταδώσουν τα δεδομένα τους όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Οι εγκρίσεις στις αιτήσεις των ασύρματων σταθμών στέλνονται μέσω του καναλιού DL και χρησιμοποιείται και εδώ το μήνυμα διαχείρισης UL-MAP για να καθοριστεί το UL κανάλι το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την αποστολή των δεδομένων προς τον σταθμό βάσης.

2.3. IEEE 802.16e-2005

2.3.1. Γενικά

Το IEEE 802.16e-2005 αποτελεί στην ουσία μια επέκταση και ουσιώδη τροποποίηση του IEEE 802.16-2004. Παρακάτω περιγράφονται οι αλλαγές που εισήγαγε στο φυσικό επίπεδο του προτύπου.

2.3.2. Φυσικό Επίπεδο

Η λειτουργία του 802.16e περιορίζει την λειτουργία του σε επιτρεπόμενες ζώνες συχνότητας, κατάλληλες να υποστηρίξουν την κινητικότητα κόμβων, κάτω των 6 GHz. Αυτό μπορούν να προκαλέσει πρόβλημα συμβατότητας μεταξύ των 802.16-2004 και 802.16e, δεδομένου ότι το διαθέσιμο με άδεια χρήσης ραδιοφάσμα μπορεί να χρειαστεί να χωριστεί για να υποστηρίξει και τις δύο τεχνολογίες.

Το 802.16e ορίζει ένα νέο air Interface φυσικού επιπέδου με δυνατότητα κλιμάκωσης που ονομάζεται S-OFDMA (Scalable-OFDMA), εκτός από εκείνα που ορίζονται από το 802.16-2004. Το S-OFDMA χρησιμοποιεί Fast Fourier Transform (FFT) όπως και το OFDM, όμως “υπο-μεταφορείς” μεγέθους 128, 512, 1024 ή 2048. Το S-OFDMA χρησιμοποιεί αυτό τον αριθμό των subcarriers ώστε να παρέχει τη δυνατότητα αύξησης εύρους ζώνης (Bandwidth), ενώ την ίδια στιγμή η διάρκεια διαχωρισμού των subcarriers και των συμβόλων παραμένουν σταθερά κατά την οποιαδήποτε αλλαγή του bandwidth. [1]

Το AAS (Advanced Antenna System), το space time coding και το MIMO κλειστού βρόχου ενισχύουν το 802.16e με στόχο την βελτίωση της περιοχής κάλυψης και της ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων. Επιπλέον, η υποστήριξη για Space-Division Multiple Access (SDMA) εισάγατε.

Το 802.16e περιλαμβάνει μια πρόσθετη, προηγμένη, χαμηλής πολυπλοκότητας μέθοδο κωδικοποίησης, την low-density parity check (LDPC) για μια πιο ευέλικτη κωδικοποίηση. Η LDPC κωδικοποιεί 6 bit για κάθε 5 bit δεδομένων με ρυθμό 5/6. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την επίτευξη υψηλότερων επιδόσεων κωδικοποίησης από τις μεθόδους που περιλαμβάνονται στο 802.16-2004 και παρέχουν ρυθμό κωδικοποίησης 3/4.

2.3.2.1. Λεπτομέρειες Μεταβλητού OFDMA(Scalable-OFDMA) [3]

Το IEEE 802.16e-2005 OFDMA είναι βασισμένο στις ιδέες που διέπουν το S-OFDMA. Το S-OFDMA υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών τιμών bandwidth ώστε να μπορέσει να αντιμετωπίσει το πρόβλημα των διαφορετικών φασματικών κατανομών και των διαφορετικών αναγκών ανάλογα με τις επιλογές των εκάστοτε δικτυακών μοντέλων. Η έννοια της μεταβλητότητας εφαρμόζεται στο γεγονός ότι προσφέρεται η δυνατότητα ρύθμισης του μεγέθους του FFT ενώ η τιμή του Διαστήματος Συχνότητας ανα υπο-μεταφορέα είναι πάντα σταθερή και ίση με 10.94 kHz. Λαμβάνοντας ακόμη υπόψη ότι η διάρκεια συμβόλων είναι και αυτή σταθερή, προκύπτει ότι οι επιπτώσεις στα υψηλότερα επίπεδα του δικτύου από την εναλλαγή του bandwidth είναι μηδαμινές. Οι παράμετροι του S-OFDMA και οι τιμές τους κατά περίπτωση φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΤΙΜΕΣ			
Εύρος Ζώνης Καναλιού Συστήματος (MHZ)	1,25	5	10	20
Μέγεθος FFT(Fp σε MHZ)	128	512	1024	2048
Αριθμός Υπο-Καναλιών	2	8	16	32
Διάστημα Συχνότητας ανά Υπο-Μεταφορέα	10,94 KHz			
Διάρκεια Χρήσιμων Συμβόλων ($T_b=1/f$)	91,4 microseconds			

Πίνακας 2: Παράμετροι S-OFDMA

Πηγή: [3]

2.3.2.2. Άλλοι Μηχανισμοί Φυσικού Επιπέδου

Οι μηχανισμοί της Προσαρμόσιμης Διαμόρφωσης και Κωδικοποίησης(Adaptive modulation and coding ή AMC), ο μηχανισμός Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) επανεκπομπής πακέτων και ο επονομαζόμενος Fast Channel Feedback (CQICH) ενσωματώθηκαν στο WiMAX ώστε να βελτιώσουν στοιχεία όπως απόσταση κάλυψης αλλά και γενικότερα να λύσουν αποτελεσματικότερα ορισμένα προβλήματα στην λειτουργία του WiMAX τα οποία υπήρχαν πριν την χρησιμοποίησή τους.

Η υποστήριξη για διαμορφώσεις τύπου QPSK, 16QAM και 64QAM είναι υποχρεωτική για το κανάλι DownLink. Στο κανάλι UpLink η 64QAM είναι προαιρετική. Για το κομμάτι της κωδικοποίησης υποστηρίζονται οι τεχνικές Convolutional Code (CC) και Convolutional Turbo Code (CTC) που προσφέρουν μεταβλητό ρυθμό κωδικοποίησης και δυνατότητα

επαναληπτικότητας. Οι τεχνικές Block Turbo Code και Low Density Parity Check Code (LDPC), υποστηρίζονται αλλά είναι προαιρετικές.

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει λεπτομέρειες σχετικά με τις διαμορφώσεις και τους διαθέσιμους ρυθμούς κωδικοποίησης:

		Κανάλι DOWNLINK	Κανάλι UPLINK
Τύπος Διαμόρφωσης		QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Ρυθμός Κωδικοποίησης	CC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
	CTC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
	Επαναληπτικότητα	x2, x4, x6	x2, x4, x6

Πίνακας 3: Διαθέσιμες διαμορφώσεις και κωδικοποιήσεις

Πηγή: [3]

Επιπλέον σημαντικές πληροφορίες σε σχέση με τις διαθέσιμες διαμορφώσεις, όπως είναι το ελάχιστο απαραίτητο SNR(Signal to Noise Ratio,σχέση θορύβου-σήματος) για τα κανάλια του DownLink και του UpLink, αλλά και τα bits πληροφορίας ανά σύμβολο φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

Διαμόρφωση	Κωδικοποίηση	Bits Πληροφορίας/Σύμβολο/ΗΖ	Απαραίτητο SNR(dB)
QPSK	1/2	1	9,4
	3/4	1,5	11,2
16-QAM	1/2	2	16,4
	3/4	3	18,2
64-QAM	2/3	4	22,7
	3/4	4,5	24,4

Πίνακας 4: Επιπλέον στοιχεία διαμορφώσεων και κωδικοποιήσεων

Πηγή: [6]

Ο μηχανισμός διαχείρισης και προγραμματισμού(base station scheduler) που υπάρχει στον σταθμό βάσης αποφασίζει για τον κατάλληλο ρυθμό αποστολής δεδομένων και το προφίλ 'ρπής κίνησης'(burst profile), βασιζόμενος στο μέγεθος της προσωρινής μνήμης buffer του δέκτη, στις συνθήκες μετάδοσης του καναλιού και σε άλλα αντίστοιχα στοιχεία.

Υλοποιείται ένα ξεχωριστό κανάλι(Channel Quality Indicator (CQI) channel) το οποίο χρησιμοποιείται ώστε να μεταβιβάζονται στοιχεία των συνθηκών που επικρατούν ανά πάσα

στιγμή στο κανάλι από τους τερματικούς σταθμούς προς τον μηχανισμό διαχείρισης του σταθμού βάσης. Επίσης στοιχεία σχετικά με την κατάσταση του καναλιού προσφέρει και ο μηχανισμός CQICH. Τέτοια είναι το στοιχείο CINR το οποίο δείχνει τον βαθμό παρεμβολών ανάμεσα στους υπο-μεταφορείς και τον θόρυβο του καναλιού και το είδος MIMO που θα χρησιμοποιηθεί.

Επίσης εφόσον η τεχνική μετάδοσης του σήματος είναι η TDD, μπορεί να προσφέρει και αυτή πληροφορίες σχετικές με την κατάσταση του καναλιού, καθώς εκμεταλλεύεται την δυνατότητα της διαρκής προσαρμοστικότητας των διασυνδέσεων και καναλιών που σημαίνει διαρκή ανταλλαγή σχετικών πληροφοριών.

Ο μηχανισμός HARQ του WiMAX ενεργοποιείται ώστε να προσφέρει άμεση ανταπόκριση σε περιπτώσεις χαμένων ή προβληματικών πακέτων και να βελτιώσει την μέγιστη απόσταση αποτελεσματικής εκπομπής σήματος μέσα σε ένα δικτυακό κελί. Ο μηχανισμός “Chase Combining” και ο προαιρετικός μηχανισμός “Incremental Redundancy” υποστηρίζονται ώστε να βελτιωθεί ακόμη περισσότερο η αξιοπιστία των επανεκπομπών πακέτων.

Επίσης ένα κανάλι σηματοδότησης- επιβεβαιώσεων ACK είναι δεσμευμένο στο κανάλι UpLink και προσφέρεται ακριβώς για μηνύματα τύπου HARQ ACK/NACK. Ο μηχανισμός HARQ υποστηρίζεται και σε πολύ-καναλικές μεταδώσεις. Το πρωτόκολλο “stop-and-wait ARQ” υποστηρίζει πολύ-καναλικές μεταδώσεις και ελαχιστοποιεί την μνήμη η οποία χρειάζεται για την λειτουργία του HARQ.

Το WiMAX υποστηρίζει τις ασύγχρονες μεταδώσεις. Η ασύγχρονη μετάδοση επιτρέπει ποικιλία καθυστέρησης ανάμεσα στις επανεκπομπές πακέτων κάτι το οποίο προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία όμως δημιουργεί και περισσότερο overhead σε κάθε περίπτωση. Ο μηχανισμός HARQ συνδυασμένος με τα στοιχεία του προτύπου, CQICH και AMC προσφέρει προσαρμοστικότητα στις διαρκώς μεταβαλλόμενες συνθήκες των διασυνδέσεων που προκύπτουν στα ασύρματα περιβάλλοντα και σε ταχύτητες κίνησης σταθμών που ξεπερνάν τα 120 Km/h.

2.3.3. Υπο - Επίπεδο MAC

Οι προδιαγραφές του επιπέδου MAC παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις από το πρότυπο 802.16-2004, ώστε να παρέχεται υποστήριξη για κινητικότητα κόμβων. Προσθέτετε υποστήριξη για handoff (δυνατότητα να συνδέονται οι εκάστοτε χρήστες από τον έναν σταθμό βάσης σε κάποιον άλλον γειτονικό την ώρα που κινούνται) και διαχείρισης της ενέργειας.

2.3.3.1. Υποστήριξη QoS(Quality of Service)

Το πρότυπο 802.16ε καθορίζει νέους μηχανισμούς προγραμματισμού:

Την προδιαγραφή υπηρεσιών εκτεταμένης σταθμοσκόπησης σε πραγματικό χρόνο (ErtPS - Extended real-time Polling Service), η οποία βασίζεται σε δύο άλλες υπηρεσίες που ορίζονται στο 802.16-2004, στην υπηρεσία UGS (Unsolicited Grant Service) και την υπηρεσία σταθμοσκόπησης πραγματικού χρόνου rtPS (real time Polling Service). Η ErtPS

είναι παρόμοια με την UGS στην παροχή unicast χορηγήσεων , οπότε μπορεί και αποθηκεύει την καθυστέρηση της διαδικασίας αυτής για να την χρησιμοποιήσει για την αίτηση Bandwidth που θα χρειαστεί κάποιος σταθμός. Ωστόσο, οι χορηγήσεις τύπου ErtPS και rtPS είναι δυναμικές σε αντίθεση με αυτές της UGS που συμβαίνουν σε καθορισμένες χρονικές στιγμές.

Η υπηρεσία ErtPS εισάχθηκε για την υποστήριξη ροών πραγματικού χρόνου (Real Time service flows) οι οποίες παράγουν περιοδικά πακέτα μεταβλητού μεγέθους δεδομένων. Έτσι, η ErtPS είναι ιδιαίτερα σημαντική για την υποστήριξη VoIP, δεδομένου ότι επιτρέπει καλύτερη διαχείριση κίνησης του δικτύου και βελτιώνει την καθυστέρηση (latency) και το jitter.

Ακολουθεί ένας ολοκληρωμένος πίνακας των προδιαγραφών υπηρεσιών και των χαρακτηριστικών τους:

Κατηγορίες Κλάσεων QoS	Κατάλληλες Εφαρμογές	Παράμετροι QoS
UGS (Unsolicited Grant Service)	Εφαρμογές VoIP	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μέγιστος Ρυθμός Απόδοσης ▪ Μέγιστη Επιτρεπτή Καθυστέρηση ▪ Επιτρεπτό Jitter
ErtPS (Extended Real-Time Polling Service)	Εφαρμογές VoIP με δυνατότητα ανίχνευσης Φωνής	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ελάχιστος Δεσμευμένος Ρυθμός Απόδοσης ▪ Μέγιστος Ρυθμός Απόδοσης ▪ Μέγιστη Επιτρεπτή Καθυστέρηση ▪ Επιτρεπτό Jitter ▪ Προτεραιότητα Κίνησης
rtPS (Real-Time Polling Service)	Εφαρμογές Streaming Φωνής και Βίντεο	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ελάχιστος Δεσμευμένος Ρυθμός Απόδοσης ▪ Μέγιστος Ρυθμός Απόδοσης ▪ Μέγιστη Επιτρεπτή Καθυστέρηση ▪ Προτεραιότητα Κίνησης
nrtPS (non-Real-Time Polling Service)	Εφαρμογές FTP	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ελάχιστος Δεσμευμένος Ρυθμός Απόδοσης ▪ Μέγιστος Ρυθμός Απόδοσης ▪ Προτεραιότητα Κίνησης
BE (Best Effort)	Περιήγηση Διαδικτύου, Μεταφορά Δεδομένων	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μέγιστος Ρυθμός Απόδοσης ▪ Προτεραιότητα Κίνησης

Πίνακας 5: Προδιαγραφές υπηρεσιών QoS και χαρακτηριστικά αυτών

Πηγή: [2], [3]

2.3.3.2. Υποστήριξη Handover/Handoff [1]

Το 802.16e περιλαμβάνει νέους μηχανισμούς αίτησης/χορήγησης επιπέδου MAC, ώστε να επιτύχει παρόμοια υποστήριξη κάλυψης φορητών κόμβων με αυτή που παρέχεται σε χρήστες κινητής τηλεφωνίας. Το 802.16e περιλαμβάνει γρήγορη εναλλαγή σταθμού βάσης και έναν Handoff μηχανισμό για την διαδικασία εναλλαγής ασύρματων κυψελών και τομέων. Στο 802.16e, η διαδικασία handoff μπορεί να ενεργοποιείται για δύο λόγους:

- ✓ Πρώτον λόγω της εξασθένησης του σήματος, το επίπεδο παρεμβολών, κ.λ.π. μέσα στην κυψέλη ή τον τομέα που βρίσκεται κάποιος.
- ✓ Δεύτερον εάν μια άλλη κυψέλη μπορεί να προσφέρει ένα υψηλότερο επίπεδο QoS στον φορητό σταθμό (MS).

Επιπλέον το 802.16e υποστηρίζει τις λειτουργίες macrodiversity handovers και intertechnology roaming (περιαγωγή). Η λειτουργία Macrodiversity handovers υποστηρίζει handoffs μεταξύ διαφορετικών μεγεθών κελιών, ενώ η intertechnology roaming διευθετεί handoffs των κινητών σταθμών από έναν σταθμό βάσης στο backbone του δικτύου ή σε κάποιο ενσύρματο δίκτυο, παρέχοντας μηχανισμούς ελέγχου ταυτότητας περιαγωγής.

2.3.3.3. Διαχείριση Ενέργειας [1]

Η Διαχείριση ενέργειας είναι μια κρίσιμη διαδικασία για την αποτελεσματική λειτουργία των φορητών σταθμών (MS). Το 802.11e ορίζει δύο λειτουργίες διαχείρισης ενέργειας, την κατάσταση νάρκης και την λειτουργία αδράνειας (sleep mode & idle mode).

Η λειτουργία αδράνειας χρησιμοποιείται και ελέγχεται αποκλειστικά από το MS όταν αυτό δεν προτίθεται να εγγραφεί σε έναν συγκεκριμένη σταθμό βάσης και διατρέχει μια περιοχή που καλύπτεται από πολλαπλούς σταθμούς βάσης. Το πλεονέκτημα της λειτουργίας αδράνειας για το BS είναι η αποφυγή πολλαπλών handoffs και άλλες συνήθεις εργασίες, την ώρα που ένα MS αλλάζει περιοχές κάλυψης. Το πλεονέκτημα για το BS σε σχέση με το δίκτυο είναι η αποφυγή περιττών handoffs από ένα ανενεργό MS. Όταν ένας φορητός σταθμός εισέρχεται στην αδρανή κατάσταση λειτουργίας, πρέπει να ελέγχει περιοδικά για μηνύματα broadcast που αποστέλλονται από το BS ώστε να διαπιστώσει εάν έχουν σταλεί νέα DownLink πακέτα σε αυτόν.

Κατά την κατάσταση νάρκης (sleep mode) ένα MS αποστέλλει μια αίτηση στον σταθμό βάσης ώστε να του επιτρέψει να μείνει ανενεργό. Εάν το BS αποκριθεί δίνοντας έγκριση, παρέχεται στον φορητό σταθμό ο καθορισμένος χρόνος που δικαιούται να μείνει σε κατάσταση νάρκης. Το όφελος από την λειτουργία της κατάσταση νάρκης είναι η ελαχιστοποίηση χρήσης ενέργειας από έναν MS και σωστότερη χρησιμοποίηση των διαθέσιμων πόρων δικτύου από τον σταθμό βάσης. Ένας φορητός σταθμός ενώ είναι σε κατάσταση νάρκης, σαρώνει τον χώρο ψάχνοντας άλλους σταθμούς βάσης με σκοπό τη συλλογή πληροφοριών που απαιτούνται για την διαδικασία του handover. Κοινώς, η διαδικασία του handover είναι ενεργή ακόμη και στο sleep mode.

2.3.4. Τεχνολογία Πολλαπλής Εισόδου – Πολλαπλής Εξόδου Κεραιών MIMO (Multiple-input and multiple-output)

Ο όρος MIMO αναφέρεται στην χρήση πολλαπλών κεραιών και από την μεριά του πομπού αλλά και του δέκτη και στόχο έχει να βελτιώσει την απόδοση των ασύρματων επικοινωνιακών συστημάτων.

Η τεχνολογία MIMO προκάλεσε την προσοχή των ασυρμάτων επικοινωνιών, αφού προσφέρει σημαντικές αυξήσεις στην ρυθμαπόδοση δεδομένων (throughput) και στο εύρος διασύνδεσης (link range) χωρίς να απαιτείται μεγαλύτερο εύρος συχνότητας (bandwidth) ή περισσότερη ισχύ μετάδοσης (transmit power).

Το στοιχείο που της επιτρέπει να επιτυγχάνει καλύτερες επιδόσεις είναι η μεγαλύτερη φασματική αποδοτικότητα, που σημαίνει περισσότερα bits ανά δευτερόλεπτο για κάθε Hertz του εύρους συχνότητας, και η αξιοπιστία των διασυνδέσεων που περιορίζει την εξασθένηση του σήματος.

2.3.4.1. Τεχνικές Λειτουργίας Τεχνολογίας Πολλαπλής Εισόδου – Πολλαπλής Εξόδου Κεραιών MIMO [7]

Σε ένα απλό παραδοσιακό ασύρματο σύστημα-δίκτυο, ο δέκτης και ο πομπός δεν επικοινωνούν συνεχόμενα αμφίδρομα. Ο δέκτης είναι αποκλειστικά επιφορτισμένος στο να συγκεντρώνει πληροφορίες σχετικές με το κανάλι μετάδοσης αλλά και να αποκωδικοποιεί τα δεδομένα τα οποία δέχεται. Αυτό επιφορτίζει τον δέκτη με λειτουργίες μεγάλης πολυπλοκότητας που τελικά μεταφράζεται στην μη απόλυτη αξιοποίηση των δυνατοτήτων της χωρητικότητας του καναλιού. Ένα τέτοιο σύστημα ονομάζεται σύστημα Ανοιχτού Βρόχου (Open Loop).

Στα πιο πρόσφατα πρότυπα ασύρματων δικτύων προβλέπεται η ύπαρξη ενός περιορισμένου ξεχωριστού καναλιού ώστε να υπάρχει επικοινωνία ανάμεσα στον πομπό και στον δέκτη. Το κανάλι αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς αλλά ο κυριότερος είναι η αποστολή στοιχείων που φανερώνουν την κατάσταση του καναλιού στον πομπό. Με βάση το γεγονός αυτό αλλά και μέσω άλλων τεχνικών που εφαρμόζονται στην συνέχεια, αυξάνεται η ωφέλιμη τιμή του λόγου σήματος-θορύβου (Signal-to-Noise Ratio-SNR) της επικοινωνίας και απλοποιούνται οι λειτουργίες που πρέπει να επιτελέσει ο δέκτης. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται συστήματα κλειστού βρόχου (Closed Loop).

Η ίδια διάκριση και χαρακτηριστικά υπάρχουν και στα συστήματα MIMO. Η τεχνική ανοιχτού βρόχου MIMO περιλαμβάνει δύο υπο-τεχνικές υλοποίησής της. Αυτές είναι η spatial multiplexing και οι χωρο-χρονικοί κώδικες (Space-Time Coding) με τον κυριότερο αυτόν του Alamouti για τις οποίες λεπτομέρειες αναφέρονται παρακάτω.

Το ποια τεχνική MIMO θα χρησιμοποιηθεί αποφασίζεται με βάση το είδος κίνησης που θα εξυπηρετεί το δίκτυο, τις συνθήκες του καναλιού, την πολυπλοκότητα του και τις καθυστερήσεις που διέπουν αυτό.

2.3.4.2. Κατηγορίες Τεχνολογίας Πολλαπλής Εισόδου – Πολλαπλής Εξόδου Κεραιών MIMO [8]

Η τεχνολογία MIMO μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις κύριες κατηγορίες με βάση τον τρόπο λειτουργίας της. Οι κατηγορίες αυτές είναι η τεχνική προ-κωδικοποίησης(precoding), η τεχνική spatial multiplexing ή σύντομα SM και η τεχνική χωρο-χρονικών κωδίκων(Space-Time Coding).

Πριν περιγραφούν αυτές όμως είναι απαραίτητο να γίνει αναφορά στην έννοια του BeamForming. Ο όρος Beamforming αναφέρεται σε μια τεχνική επεξεργασίας σήματος που χρησιμοποιείται στους πίνακες αισθητήρων για αμφίδρομη αποστολή ή λήψη πληροφοριών. Ένας πίνακας αισθητήρων είναι μια ομάδα αισθητήρων τους οποίους χρησιμοποιεί μια συσκευή που συλλέγει όγκο πληροφορίας και τον οποίο δεν θα μπορούσε να συλλέξει από μία μοναδική πηγή.

Τεχνική προ-κωδικοποίησης(Precoding): Η τεχνική αυτή είναι στην ουσία η τεχνική beamforming αλλά εφαρμοσμένη σε πολλαπλά επίπεδα. Στην τεχνική beamforming ενός μόνο επιπέδου το ίδιο σήμα εκπέμπεται από καθεμία από τις κεραιές μετάδοσης σε τέτοια φάση σήματος ώστε η ισχύς του σήματος να μεγιστοποιηθεί όταν φτάσει στον προορισμό του. Τα κέρδη της τεχνικής beamforming είναι ότι το σήμα γίνεται ισχυρότερο και μειώνεται η εξασθένηση του από το φαινόμενο της διάσπασης σε πολλές κατευθύνσεις(multipath fading effect). Στην πραγματικότητα όμως η τεχνική αυτή λειτουργεί ικανοποιητικά εάν δεν υπάρχει ιδιαίτερη διάσπαση σήματος από πολλαπλές κεραιές. Σε τυπικά περιβάλλοντα ασύρματων δικτύων που χρησιμοποιούν MIMO εμφανίζεται προβληματική. Όταν ο δέκτης διαθέτει πολλαπλές κεραιές, η τεχνική beamforming δεν δίνει την δυνατότητα να ενισχυθεί η ισχύς όλων των σημάτων που φτάνουν στις κεραιές αυτές. Σε αυτό ακριβώς το σημείο χρησιμοποιείται η τεχνική precoding και διορθώνει αυτό το πρόβλημα. Η τεχνική precoding απαιτεί εκ των προτέρων γνώση της κατάστασης του καναλιού επικοινωνίας(channel state information (CSI)).

Τεχνική Spatial multiplexing: Απαιτεί κεραιές ρυθμισμένες κατάλληλα για μετάδοση MIMO. Με βάση αυτή την τεχνική ένα ισχυρό σήμα χωρίζεται σε πολλαπλά σήματα μικρότερης ισχύος και κάθε ένα από αυτά μεταδίδεται από μια διαφορετική κεραιά σε κανάλι της ίδιας συχνότητας. Πρόκειται για μια ιδιαίτερα ισχυρή τεχνική η οποία σε συνθήκες υψηλού SNR(λόγος σήματος προς θόρυβο) αυξάνει την χωρητικότητα του καναλιού κατά πολύ. Ο μέγιστος αριθμός των διαφορετικών σημάτων, περιορίζεται από τον αριθμό των κεραιών οι οποίες είναι διαθέσιμες είτε στην μεριά του πομπού είτε στον δέκτη. Η τεχνική αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και χωρίς γνώση της κατάστασης του καναλιού επικοινωνίας(CSI).

Τεχνική χωρο-χρονικών κωδίκων(Space-Time Coding): Χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχει στον πομπό καμία πληροφορία σχετικά με το κανάλι μετάδοσης. Σε αυτήν την τεχνική ένα μοναδικό σήμα εκπέμπεται, αλλά το σήμα αυτό κωδικοποιείται με τεχνικές κωδικοποίησης χώρο-χρόνου. Το σήμα εκπέμπεται από καθεμία από τις κεραιές μετάδοσης οι οποίες χρησιμοποιούν συγκεκριμένες αρχές ορθογωνικής κωδικοποίησης.

Οι τεχνικές Spatial multiplexing και precoding μπορούν να συνδυαστούν όταν οι συνθήκες του καναλιού είναι γνωστές στον πομπό.

2.3.4.3. Μαθηματική Περιγραφή

Στα συστήματα MIMO, ο πομπός στέλνει πολλαπλές ροές δεδομένων μέσω πολλαπλών κεραιών. Οι ροές αυτές κινούνται με βάση έναν εικονικό πίνακα, ο οποίος αποτελείται από διάφορες πιθανές κατευθύνσεις ροών από τις κεραιές εκπομπής μέχρι τις κεραιές λήψης. Έπειτα ο δέκτης λαμβάνει το σήμα σε μορφή διανυσμάτων από τις κεραιές και το αποκωδικοποιεί ώστε αυτό να επιστρέψει στην αρχική του μορφή. Αυτή είναι η μαθηματική απεικόνιση ενός συστήματος MIMO [9], [10]:

$$y = Hx + n$$

Όπου με x και y συμβολίζονται τα διανύσματα εκπομπής και λήψης, με H συμβολίζεται ο πίνακας ροών και με n το διάνυσμα του θορύβου.

Σχετικές έρευνες από τους Gerard J. Foschini, Michael J. Gans, και Emre Telatar [9], [10] έχουν δείξει ότι η χωρητικότητα ενός καναλιού και πιο συγκεκριμένα η θεωρητικά μέγιστη ρυθμαπόδοση (throughput) για τα συστήματα MIMO, αυξάνεται όσο αυξάνεται και ο αριθμός των κεραιών στις μεριές του πομπού και του δέκτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Περιγραφή Δικτυακού Μοντέλου

3.1. Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το δικτυακό μοντέλο στην πλήρη σύνθεσή του και τα βασικά σημεία από τα οποία αυτό αποτελείται. Επίσης τονίζονται βασικές δικτυακές ρυθμίσεις, έτσι ώστε το μοντέλο να ικανοποιεί τις απαραίτητες συνθήκες, δεδομένου ότι ο χώρος στον οποίο βρίσκεται εικονικά πρέπει να συμφωνεί όσο το δυνατόν περισσότερο με τον χώρο του ΑΤΕΙΘ. Τέλος γίνεται αναφορά και σε κάποιες ρυθμίσεις οι οποίες είναι ταυτόσημες σε όλα τα σενάρια τα οποία θα παρουσιαστούν στο κεφάλαιο 4 και τονίζονται οι λεπτομέρειες και τα βασικά στοιχεία των εφαρμογών του δικτύου. Βεβαίως όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται μέσα από στοιχεία τα οποία περιέχονται στον Ornet Modeler v.16.0.

3.2. Δικτυακό Μοντέλο

Το μοντέλο στην πλήρη σύνθεσή του αποτελείται από:

- Δύο σταθμούς βάσης (base stations) τεχνολογίας Wimax οι οποίοι εκπέμπουν σε ένα κελί διαστάσεων 2x2 χιλιομέτρων. Είναι τοποθετημένοι σε ύψος 40 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας και έχουν τα εξής χαρακτηριστικά όσον αφορά τις διασυνδέσεις τους:

```
Device Name:
wimax_bs_ethernet4_slip4_router

Technology  IF/Port Count
-----
Ethernet    4
SLIP        4
WiMAX       1
```

Εικόνα 9 : Τύποι διασυνδέσεων σταθμών βάσης.

- Εβδομήντα πέντε τερματικούς σταθμούς με δέκτες Wimax οι οποίοι σε κάποια από τα σενάρια είναι κινητοί (mobile stations). Βρίσκονται σε ύψος ενός μέτρου πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας,
- Από έναν κεντρικό Router (Aliakmon) με τις εξής διασυνδέσεις,

```
Device Name: ethernet2_slip8_gtwy_49_upgrade

This device was created using the
device creator utility and contains
the following technologies:

Technology  IF/Port Count
-----
ethernet    3
slip        8
```

Εικόνα 10 : Τύποι διασυνδέσεων δρομολογητή.

- Από τρεις εξυπηρετητές (Servers) κάθε ένας για μια διαφορετική εφαρμογή,
- Την εικονική διασύνδεση του δικτύου με το διαδίκτυο.

Επιπλέον υπάρχουν τρία στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα για την ορθή λειτουργία του δικτυακού μοντέλου στα πλαίσια του OPNET:

- Το στοιχείο Wimax_Config μέσω του οποίου γίνονται οι ρυθμίσεις που αφορούν τόσο το φυσικό επίπεδο (Physical Layer) όσο και το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (Data Link Layer) του Wimax μοντέλου,
- Το στοιχείο Application Definition στο οποίο ορίζονται οι λεπτομέρειες των εφαρμογών του μοντέλου,
- Το στοιχείο Profiles Definition στο οποίο ορίζεται το ακριβές πλαίσιο στο οποίο θα τρέχουν οι εφαρμογές κατά την διάρκεια της εξομοίωσης.

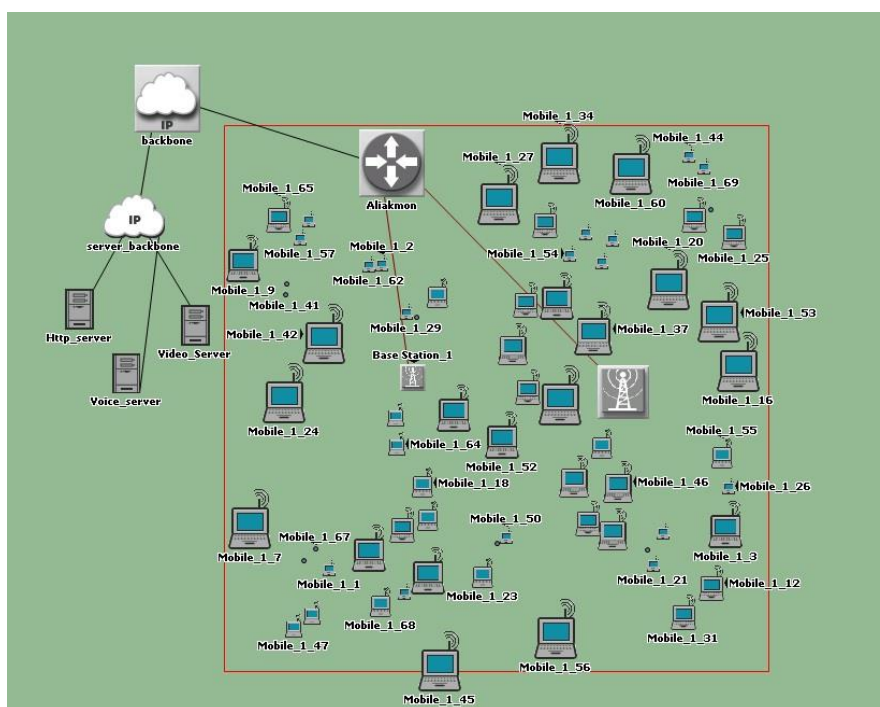
Άλλα στοιχεία τα οποία θα χρειαστούν θα παρουσιαστούν κατά περίπτωση.

Τα τρία αυτά στοιχεία φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 11 : Απαραίτητα στοιχεία σωστής λειτουργίας σεναρίων.

Μια ενδεικτική εικόνα της πλήρης σύνθεσης του δικτύου:



Εικόνα 12 : Πλήρης σύνθεση δικτύου.

3.3. Διασυνδέσεις

Για τις διασυνδέσεις μεταξύ των σταθμών βάσης και του δρομολογητή χρησιμοποιήθηκαν : Ethernet duplex links χωρητικότητας 1Gbps.

Για την διασύνδεση του δρομολογητή με το διαδίκτυο χρησιμοποιήθηκε point-to-point σειριακό Link, διαμορφωμένης στα δεδομένα χωρητικότητας 1Gbps (PPP_ADV).

Για την διασύνδεση μεταξύ του IP Backbone και του Server Backbone χρησιμοποιήθηκε point-to-point σειριακό Link, χωρητικότητας 594,43Mbps (PPP_SONET_OC12).

Τέλος, για την διασύνδεση των εξυπηρετητών με το Server Backbone χρησιμοποιήθηκαν point-to-point σειριακά Links, χωρητικότητας 148,61Mbps (PPP_SONET_OC3).

3.4. Βασικές Ρυθμίσεις Wimax

Η Ορθογωνική Πολύπλεξη με Διαίρεση Συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης (OFDMA) που έχει αναφερθεί παραπάνω είναι στην ουσία αυτή που μας ενδιαφέρει, καθώς αυτή χρησιμοποιείται στο μοντέλο της εργασίας.

Επίσης σημειώνεται ότι στο μοντέλο της εργασίας η συχνότητα βάσης του Wimax είναι τα 5Ghz και το εύρος ζώνης που χρησιμοποιείται είναι αυτό των 20 MHz που στην ουσία εξασφαλίζει 2048 “υπο-μεταφορείς» συχνότητας με απόσταση μεταξύ τους της τάξης των 10.9375kHz. Ο ακριβής τρόπος ανάθεσής τους φαίνεται στην εικόνα 11. Μόνο ένας τρόπος(ζώνη συμβόλων) διαχείρισης-ανάθεσης των υπο-μεταφορέων και των υπο-καναλιών για την επικοινωνία από τον τερματικό σταθμό προς τον σταθμό βάσης(UpLink) υποστηρίζεται από το OPNET Modeller και ονομάζεται PUSC (Partial Usage of Sub-Carriers). Για την επικοινωνία του σταθμού βάσης προς τον τερματικό σταθμό(DownLink) υποστηρίζεται και η FUSC (Full Usage of Sub-Carriers) αλλά επιλέγετε και πάλι την PUSC πρωτίστως για λόγους συμβατότητας αλλά και γιατί αυτός ο τρόπος χρησιμοποιείται κατά μεγάλο ποσοστό στα δίκτυα Wimax.

Η διάρκεια ενός OFDMA πλαισίου (frame duration) ορίζεται στα 5 milliseconds ενώ η διάρκεια ενός OFDMA συμβόλου (symbol duration) ορίζεται στα 100.8 microseconds. Ακόμη σαν τεχνική μετάδοσης σήματος έχει επιλεγεί η TDD(Time Division Duplex) καθώς έτσι υπάρχει η δυνατότητα μετάδοσης υπο-πλαισίων (DownLink – UpLink SubFrames) μεταξύ του σταθμού βάσης και των τερματικών σταθμών με την χρήση ενός μόνο καναλιού.

UL Zones	(...)
Zone Extent (%)	100
Number of Null Subcarriers Left	184
Number of Null Subcarriers Right	183
Number of Data Subcarriers	1120
Number of Subchannels	70
Usage Mode	PUSC
DL Zones	(...)
Zone Extent (%)	100
Number of Null Subcarriers Left	184
Number of Null Subcarriers Right	183
Number of Data Subcarriers	1440
Number of Subchannels	24
Usage Mode	PUSC

Εικόνα 13 : Τρόπος ανάθεσης υπο-μεταφορέων.

Στα σενάρια στα οποία χρησιμοποιούνται παραπάνω από ένας σταθμός βάσης(Base Station), επιλέγονται και άλλες δυο συχνότητες βάσης..Αυτή των 2,5Ghz και αυτή των 11Ghz , φυσικά για την αποφυγή παρεμβολών μεταξύ των σταθμών βάσης(BS).

Πέρα όμως από το φυσικό επίπεδο υπάρχουν και σημαντικές ρυθμίσεις που υπόκεινται στο δεύτερο επίπεδο και συγκεκριμένα στο υπο-επίπεδο MAC. Με βάση τις προδιαγραφές υπηρεσιών που έχουν περιγραφεί στο θεωρητικό κομμάτι, ορίζονται τρεις κλάσεις υπηρεσιών οι οποίες ομαδοποιούν τα χαρακτηριστικά τους και υλοποιούν τις λειτουργίες τους. Στο μοντέλο των πειραμάτων δεν θα χρειαστούν παράλληλα και οι τρεις σε όλα τα σενάρια που θα παρουσιαστούν. Επίσης λόγω του γεγονότος ότι κάποια στοιχεία των κλάσεων αυτών θα διαφοροποιούνται δεν θα γίνει σε αυτό το σημείο γενική αναφορά των χαρακτηριστικών τους. Θα παρουσιάζονται ανά σενάριο. Τα ονόματα τους είναι : κλάση υπηρεσιών Gold, Silver και Bronze.

Ένα ακόμη σημείο το οποίο πρέπει να τονιστεί είναι αυτό της ρύθμισης του “Efficiency Mode” του Opnet Modeler. Η ρύθμιση αυτή ορίζει στο πρόγραμμα τον τρόπο με τον οποίο θα διαχειρίζεται, την στιγμή που συμβαίνουν, τα δεδομένα των προσομοιώσεων. Το σωστότερο Mode για το μοντέλο της εργασίας θα ήταν το “Framing module Enabled”, καθώς σύμφωνα με το documentation του Opnet αυτό είναι το κατάλληλο για προσομοιώσεις QoS σε δίκτυα Wimax, που είναι και το κύριο αντικείμενό μελέτης. Πάραυτα επιλέχθηκε το “Physical Layer Enabled” mode που καταγράφει και συμπεριφορά του φυσικού επιπέδου αν και ακριβώς το γεγονός αυτό έκανε τις προσομοιώσεις να είναι αρκετά πιο χρονοβόρες. Βέβαια τους προσέδωσε μεγαλύτερο βαθμό λεπτομέρειας και αληθοφάνειας. Το άλλο γεγονός που οδήγησε στην επιλογή αυτή ήταν ότι δεν μπορούσε επί της ουσίας να υπάρξει, σε αντίθετη περίπτωση, άμεση σύγκριση ανάμεσα σε σενάρια που έχουν κινητούς σταθμούς και σε άλλα στα οποία οι κινητοί σταθμοί έχουν δεδομένη και σταθερή θέση στο χώρο.

Αυτό συμβαίνει γιατί εφόσον υλοποιούνται σενάρια με τερματικούς σταθμούς που κινούνται μέσα στον χώρο είναι υποχρεωτικό να επιλέξουμε ένα τρίτο “ Efficiency Mode” του προγράμματος το οποίο ονομάζεται “Mobility and Ranging Enabled” που στην ουσία είναι το “Physical Layer Enabled” mode, αλλά με δυνατότητα να συμπεριλάβει στην προσομοίωση

τους σταθμούς που κινούνται με κάποια ταχύτητα στον χώρο του δικτύου. Οπότε μόνο με αυτόν τον τρόπο μπορούσαν να υπάρξουν πραγματικά αληθή και συγκρίσιμα αποτελέσματα.

Attribute	Value
name	WiMAX_Config
AMC Profile Sets Definitions	[...]
Channel Coding	Convolutional Turbo Code
Contention Parameters	[...]
Efficiency Mode	Physical Layer Enabled
MAC Service Class Definitions	[...]
Normalized C/N Per Modulation Definitions	Default Normalized C/N Values
OFDM PHY Profiles	[...]
SC PHY Profiles	[...]
SS Operational Power Settings	Default

Εικόνα 14 : Ρύθμιση Efficiency Mode.

Παρακάτω θα αναλυθούν αποτελέσματα σεναρίων στα οποία τρέχουν μία ή τρεις εφαρμογές ταυτόχρονα.. Σε όλα τα σενάρια ο χρόνος που προσομοιώνεται είναι 110 δευτερόλεπτα.. Οι εφαρμογές ξεκινάνε πάντοτε στο 25^ο δευτερόλεπτο της προσομοίωσης. Ο λόγος είναι ότι τόσος περίπου είναι ο χρόνος ο οποίος χρειάζεται το OPNET MODELER ώστε να σχηματίσει τους πίνακες δρομολόγησής του. Οι διευθύνσεις δικτύου IP και οι φυσικές διευθύνσεις MAC όλων των μηχανημάτων όπου χρειάζονται ορίζονται αυτόματα από το ίδιο το OPNET MODELER.

3.5. Σενάρια

Τονίζεται ότι για όλα τα σενάρια ισχύουν τα παρακάτω:

Στο επικοινωνία του δικτύου με το διαδίκτυο υπάρχει ορισμένη κίνηση (εισερχόμενη και εξερχόμενη) η οποία επικαλύπτει το 20% της χωρητικότητας του Link (η συνολική χωρητικότητα είναι 1Gbps όπως έχει αναφερθεί παραπάνω).

Οι ασύρματοι σταθμοί έχουν ρυθμιστεί κατάλληλα ώστε να αντιλαμβάνονται την σύνθεση του εδάφους σαν χώρο ο οποίος περιλαμβάνει δέντρα, κτήρια και λοφίσκους. Η σχετική ρύθμιση γίνεται αλλάζοντας την επιλογή “Pathloss Parameters” και “Terrain Type” για κάθε έναν από τους σταθμούς και φαίνεται επακριβώς στην παρακάτω εικόνα:

Pathloss Parameters	[...]
Pathloss Model	Suburban Fixed (Erceg)
Terrain Type (Suburban Fixed)	Terrain Type B
Shadow Fading Standard Deviat...	10

Εικόνα 15 : Ρύθμιση σύνθεσης εδάφους.

Το πλαίσιο ρυθμίσεων στο οποίο λειτουργούν οι εφαρμογές της εργασίας ορίζεται από το στοιχείο “Profiles” του Opnet το οποίο φαίνεται και στην εικόνα 1.

Οι ρυθμίσεις για το Profile του VoIP είναι οι εξής:

voice_profile	
Profile Name	voice_profile
Applications	(...)
Number of Rows	1
voice	
Name	voice
Start Time Offset (seconds)	No Offset
Duration (seconds)	End of Profile
Repeatability	(...)
Inter-repetition Time (secon...	constant (1)
Number of Repetitions	constant (0)
Repetition Pattern	Serial
Operation Mode	Simultaneous
Start Time (seconds)	constant (25)
Duration (seconds)	End of Simulation
Repeatability	(...)
Inter-repetition Time (seconds)	constant (30)
Number of Repetitions	None
Repetition Pattern	Serial

Εικόνα 16 : Ρυθμίσεις προφίλ εφαρμογής VoIP.

Για το Profile του HTTP είναι οι εξής:

http_profile	
Profile Name	http_profile
Applications	(...)
Number of Rows	1
http	
Name	http
Start Time Offset (seconds)	No Offset
Duration (seconds)	End of Profile
Repeatability	(...)
Inter-repetition Time (secon...	constant (1)
Number of Repetitions	constant (0)
Repetition Pattern	Serial
Operation Mode	Simultaneous
Start Time (seconds)	constant (25)
Duration (seconds)	End of Simulation
Repeatability	(...)
Inter-repetition Time (seconds)	constant (30)
Number of Repetitions	None
Repetition Pattern	Serial

Εικόνα 17 : Ρυθμίσεις προφίλ εφαρμογής HTTP.

Στην ουσία τα Profiles των εφαρμογών VoIP και HTTP είναι ταυτόσημα. Είναι ορισμένα να ξεκινούν στο 25^ο δευτερόλεπτο της προσημείωσης και να ολοκληρώνονται στο πέρας αυτής χωρίς να επαναλαμβάνονται. Οι εφαρμογές που ορίζονται εσωτερικά του κάθε προφίλ ξεκινούν την ίδια ακριβώς στιγμή που ξεκινά και το προφίλ και παράγουν συνεχόμενη ομοιόμορφη κίνηση μέχρι το πέρας αυτού, χωρίς επαναλήψεις και διακοπές ενδιάμεσα. Επίσης λόγω του γεγονότος ότι το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα να οριστούν περισσότερες από μία εφαρμογές μέσα στο ίδιο profile, υπάρχει η ρύθμιση “Start Time Offset”. Στην ουσία δηλαδή εφόσον υπάρχουν δύο ή παραπάνω εφαρμογές εσωτερικά ενός προφίλ με την ρύθμιση αυτή ορίζεται η χρονική διαφορά εκκίνησής τους. Για να παράγεται κίνηση από παραπάνω από μία εφαρμογές ταυτόχρονα, ορίζουμε την ρύθμιση “operation mode” όπως φαίνεται και παραπάνω σε “Simultaneous”.

Οι ρυθμίσεις για το προφίλ του Video Conference είναι οι εξής:

Video_Profile	
Profile Name	Video_Profile
Applications	(...)
Number of Rows	1
video	
Name	video
Start Time Offset (seconds)	uniform (5,10)
Duration (seconds)	End of Profile
Repeatability	(...)
Inter-repetition Time (secon...	constant (1)
Number of Repetitions	constant (0)
Repetition Pattern	Serial
Operation Mode	Simultaneous
Start Time (seconds)	uniform (27, 33)
Duration (seconds)	End of Simulation
Repeatability	(...)
Inter-repetition Time (seconds)	constant (30)
Number of Repetitions	None
Repetition Pattern	Serial

Εικόνα 18 : Ρυθμίσεις προφίλ εφαρμογής Video Conference.

Διαφέρουν σε σχέση με τα profiles των δύο άλλων εφαρμογών στα εξής σημεία: Δίνεται στην εφαρμογή ένα χρονικό περιθώριο από πέντε έως δέκα δευτερόλεπτα από την στιγμή που ξεκινάει το profile ώστε να ξεκινήσει να παράγει κίνηση. Επίσης ο χρόνος εκκίνησης του profile είναι ορισμένος στα 27 με 33 δευτερόλεπτα από την στιγμή εκκίνησης της προσομοίωσης. Η διαφοροποίηση αυτή έχει σαν στόχο να αποφευχθεί η παράλληλη έναρξη λειτουργίας και των τριών εφαρμογών στο 25^ο δευτερόλεπτο της προσομοίωσης που θα σήμαινε τεράστιο στιγμιαίο φόρτο δικτύου.

3.6. Λεπτομέρειες Εφαρμογών VoIP, HTTP, Video Conference

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το τελικό σενάριο περιλαμβάνει τρεις εφαρμογές οι οποίες παράγουν κίνηση δικτύου. Παρακάτω παρουσιάζονται τα ακριβή τους χαρακτηριστικά.

3.6.1 Εφαρμογή VoIP

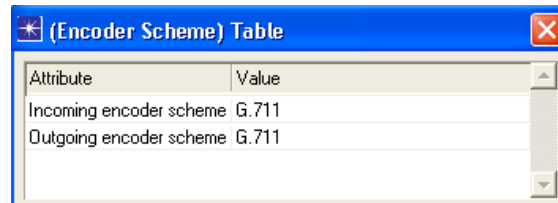
Σαν ποιότητα ομιλίας έχει οριστεί η “PCM Quality Speech” που περιέχεται στο OPNET. Ο κωδικογράφος(encoder) είναι ο G.711. Στις εικόνες φαίνονται όλες οι υπόλοιπες ρυθμίσεις.

Attribute	Value
Silence Length (seconds)	(...)
Talk Spurt Length (seconds)	(...)
Symbolic Destination Name	Voice Destination
Encoder Scheme	(...)
Voice Frames per Packet	1
Type of Service	Interactive Voice (6)
RSVP Parameters	None
Traffic Mix (%)	All Discrete
Signaling	(...)
Compression Delay (seconds)	0.02
Decompression Delay (seconds)	0.02
Conversation Environment	(...)

Εικόνα 19: Γενικές ρυθμίσεις εφαρμογής VoIP

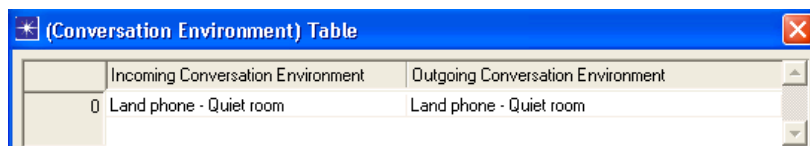
Όπως φαίνεται παράγεται ένα frame φωνής ανά πακέτο και ο τύπος υπηρεσίας που αντιλαμβάνεται το Opnet ώστε να διαχωρίζεται η κίνηση της εφαρμογής VoIP είναι “Interactive Voice”.

Τα στοιχεία που δεν φαίνονται στην παραπάνω εικόνα είναι τα παρακάτω:



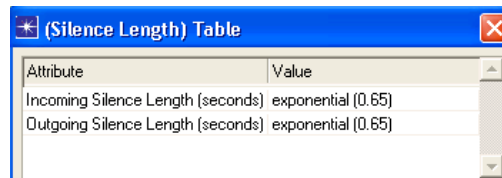
Attribute	Value
Incoming encoder scheme	G.711
Outgoing encoder scheme	G.711

Εικόνα 20: Τύπος του encoder



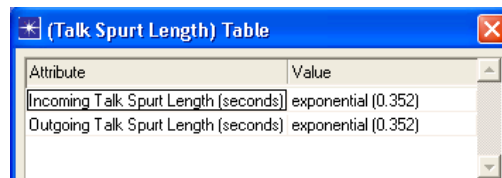
	Incoming Conversation Environment	Outgoing Conversation Environment	
0	Land phone - Quiet room	Land phone - Quiet room	

Εικόνα 21: Περιβάλλον συνομιλίας πομπού και δέκτη.



Attribute	Value
Incoming Silence Length (seconds)	exponential (0.65)
Outgoing Silence Length (seconds)	exponential (0.65)

Εικόνα 22: Χρόνος παύσης συνομιλίας πομπού – δέκτη, μετρημένος ανά δευτερόλεπτο.



Attribute	Value
Incoming Talk Spurt Length (seconds)	exponential (0.352)
Outgoing Talk Spurt Length (seconds)	exponential (0.352)

Εικόνα 23: “Καθαρός” χρόνος συνομιλίας πομπού – δέκτη, χωρίς παύσεις και λοιπά στοιχεία.

Στην εικόνα 20 φαίνεται ο τύπος του encoder που αναφέρθηκε και παραπάνω, στην εικόνα 21 φαίνεται το περιβάλλον στο οποίο θεωρείται ότι λαμβάνει χώρα η συνομιλία πομπού και δέκτη, στην εικόνα 22 φαίνεται ο χρόνος ο οποίος θεωρείται ότι υπάρχει παύση συνομιλίας πομπού – δέκτη, μετρημένος ανά δευτερόλεπτο και στην εικόνα 23 φαίνεται ο “καθαρός” χρόνος συνομιλίας πομπού – δέκτη, χωρίς δηλαδή να συμπεριλαμβάνονται παύσεις και λοιπά στοιχεία.

Χρησιμοποιώντας τον συγκεκριμένο κωδικοποιητή, κάθε πακέτο της εφαρμογής VoIP έχει μέγεθος 640bits. Η κλήση VoIP παράγει κίνηση 100 πακέτων ανά δευτερόλεπτο. Οπότε συνολικά παράγεται μια κίνηση της τάξεως των 64Kbps για κάθε κλήση VoIP.

Αν προστεθούν και οι κεφαλίδες επιπέδου IP και TCP, οι οποίες είναι 160bits η καθεμία, η κίνηση καταλήγει σε ένα επίπεδο 96Kbps περίπου για κάθε σύνδεση τύπου VoIP.

Πέρα όμως από τα τεχνικά χαρακτηριστικά, κρίνεται σκόπιμο να γίνει αναφορά και στο μοντέλο “E-Model” το οποίο έχει επινοηθεί από την ITU-T [12] και χρησιμοποιείται ώστε μέσω διάφορων υποκειμενικών δειγμάτων, να προβλεφθεί η ποιότητα της φωνής που φτάνει

σε έναν χρήστη. Το “E-Model” δεν είναι ένα απόλυτα αντικειμενικό εργαλείο, με την έννοια ότι δεν μπορεί να προβλέψει απόλυτα για παράδειγμα την γνώμη για την ποιότητα της φωνής κάθε ενός ξεχωριστού χρήστη, αλλά μέσω ενός μεγάλου δείγματος χρηστών τα αποτελέσματα είναι ακριβή και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προβλέψεις και μετρήσεις ποιότητας. Το αποτέλεσμα που δίνει το μοντέλο μεταφράζεται σε μια τιμή R (R-value).

Επίσης άλλα στατιστικά ποιότητας μπορούν να εκτιμηθούν λαμβάνοντας υπόψη το στατιστικό MOS(Mean Opinion Score). Το MOS είναι μια υποκειμενική τιμή ποιότητας φωνής η οποία μπορεί να κυμανθεί από 1 μέχρι 5, με τις τιμές αυτές να είναι το χειρίστο και το βέλτιστο αποτέλεσμα αντίστοιχα. Προκύπτει και αυτή από διάφορα δείγματα ποιότητας ομιλίας.

Η τιμή R κυμαίνεται από 0 μέχρι 100. Ακολουθεί ο τύπος και η επεξήγησή του :

$$R = 100 - I_s - I_e - I_d + A \quad [13]$$

Όπου το στοιχείο “Is” αντιπροσωπεύει την σχέση σήματος-θορύβου και την εξασθένηση αυτού σε ένα τυπικό δικτυακό κανάλι, το στοιχείο “Ie” αντιπροσωπεύει τις απώλειες των δικτυακών συσκευών με έχουν σχέση με τον κωδικοποιητή φωνής που χρησιμοποιείται, το στοιχείο “Id” αντιπροσωπεύει την καθυστέρηση mouth-to-ear και το στοιχείο A τέλος χρησιμοποιείται ώστε να εξισορροπήσει τις παραπάνω απώλειες ανάλογα με τις κάθε φορά συνθήκες ομιλίας του χρήστη και ονομάζεται ‘δείκτης προσδοκώμενης απόδοσης’.

Μόλις υπάρξει αποτέλεσμα για την τιμή R, μπορεί να υπάρξει και υπολογισμός του MOS για την ποιότητα της φωνής στην συνομιλία χρησιμοποιώντας τους παρακάτω κανόνες:

Για $R < 0$, MOS = 1

Για $0 < R < 100$, $MOS = 1 + 0.035R + 7 \times 10^{-6}R(R - 60)(100 - R)$ [14]

Για $R > 100$, MOS = 4,5

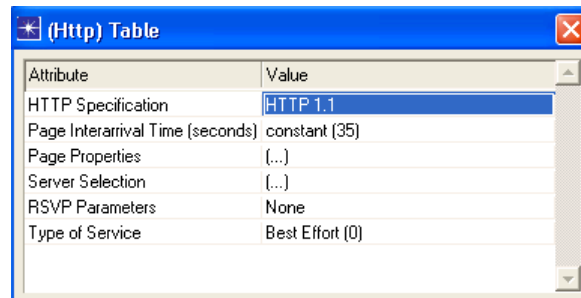
Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για μια εφαρμογή VoIP όμως είναι μόνο οι “Id” και “Ie”. [15]

Οι τιμές των άλλων παραμέτρων είναι δεδομένες, οπότε η παραπάνω σχέση καταλήγει να είναι αυτής της μορφής:

$$R = 94.2 - I_e - I_d \quad [16]$$

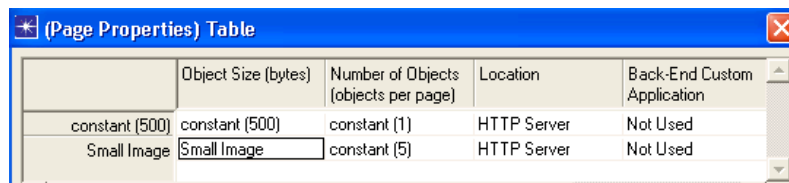
3.6.2 Εφαρμογή HTTP

Σαν βάση για την εφαρμογή HTTP έχει επιλεγθεί η επιλογή που προσφέρει το OPNET MODELER για “Light Browsing”. Έχει οριστεί να γίνεται ανανέωση μιας ιστοσελίδας κάθε 35 δευτερόλεπτα, να υπάρχει πάντα ένα αντικείμενο σε αυτή το οποίο έχει μέγεθος 500Bytes και επίσης να περιέχει 5 μικρές εικόνες.



Attribute	Value
HTTP Specification	HTTP 1.1
Page Interarrival Time (seconds)	constant (35)
Page Properties	[...]
Server Selection	[...]
RSVP Parameters	None
Type of Service	Best Effort (0)

Εικόνα 24: Γενικές ρυθμίσεις εφαρμογής HTTP



	Object Size (bytes)	Number of Objects (objects per page)	Location	Back-End Custom Application
constant (500)	constant (500)	constant (1)	HTTP Server	Not Used
Small Image	Small Image	constant (5)	HTTP Server	Not Used

Εικόνα 25: Μέγεθος στοιχείων και εικόνων μιας ιστοσελίδας

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μέγιστη κίνηση για την εφαρμογή HTTP της τάξης των 18Kbps ανά 35 δευτερόλεπτα σε κάθε ασύρματο σταθμό.

3.6.3 Εφαρμογή Video Conference

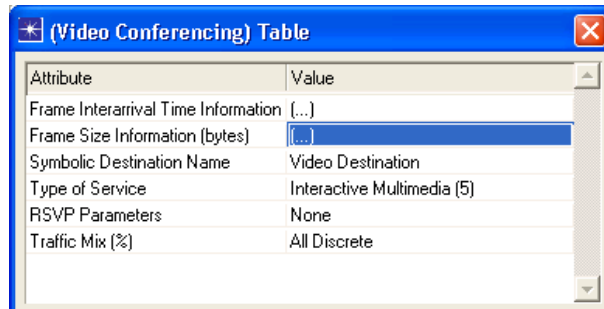
Η τρίτη εφαρμογή του μοντέλου είναι η Video Conference. Η εφαρμογή αυτή επίσης υπάρχει ενσωματωμένη στο OPNET. Σαν βάση χρησιμοποιείται κι εδώ η επιλογή που προσφέρεται για “Low Resolution Video”. Σε σχέση με κάποια άλλη εφαρμογή video streaming η εφαρμογή αυτή διαφέρει στο γεγονός ότι δημιουργεί ισόποση αμφίδρομη κίνηση στην επικοινωνία με κάποιον Server. Κοινώς η δικτυακή κίνηση που δημιουργεί είναι σαφώς μεγαλύτερη σε σχέση με μια απλή εφαρμογή Video Streaming.

Καθότι το Opnet δεν προσφέρει κάποιον ενσωματωμένο codec για την εφαρμογή, τα στοιχεία αυτής ορίστηκαν ώστε να πλησιάζουν όσο το δυνατόν σε έναν γνωστό και δημοφιλή codec για εφαρμογές Video, τον H.264/MPEG-4 Part 10 ή AVC (Advanced Video Coding), έτσι ώστε να υπάρχουν ρεαλιστικές τιμές κίνησης και ποιότητας στο δίκτυο. [17], [18]

Ο Codec περιλαμβάνει δέκα εφτά διαφορετικά προφίλ και 16 διαφορετικά επίπεδα για το καθένα από αυτά, τα οποία διακρίνονται ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία αναφέρονται, την δικτυακή κίνηση που παράγουν και μοιραία την ανάλυση και τα frames ανά δευτερόλεπτο. Από τα 17 προφίλ αυτά για την εργασία αυτή επιλέχθηκε αυτό με όνομα High Profile (HiP) στο επίπεδο απόδοσης 1,2 που σημαίνει ανάλυση της τάξης των 320x240 και 20 frames ανά δευτερόλεπτο και παραγόμενη κίνηση της τάξης των 480Kbit ανά δευτερόλεπτο. Το προφίλ αυτό είναι κατάλληλο κυρίως για εφαρμογές βίντεο υψηλής ευκρίνειας. Για παράδειγμα χρησιμοποιείται για δίσκους Blu-Ray και DVB HDTV. [17], [18], [19]

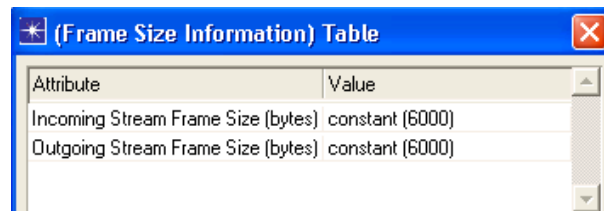
Βέβαια δεν υπάρχει απόλυτη αντιστοιχία στα στοιχεία αυτά με τα στοιχεία του Opnet Modeler v16.0. Οπότε για να επιτευχθούν τα επίπεδα της κίνησης που προβλέπει ο codec στο επίπεδο αυτό, η εφαρμογή ορίστηκε να παράγει κίνηση και στο κανάλι DownLink αλλά και στο UpLink της τάξης των 6,000Bytes ανά 0,1sec που σημαίνει τελικά 60,000Bps ή

470Kbps για το κάθε κανάλι επικοινωνίας ασύρματων σταθμών με τον σταθμό βάσης και 10 frames ανά δευτερόλεπτο.



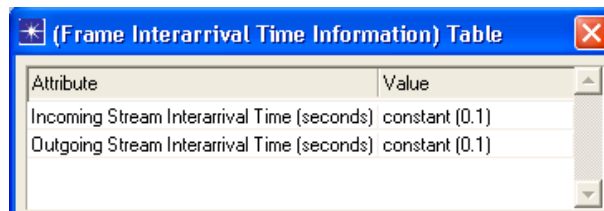
Attribute	Value
Frame Interarrival Time Information (...)	
Frame Size Information (bytes)	(...)
Symbolic Destination Name	Video Destination
Type of Service	Interactive Multimedia (5)
RSVP Parameters	None
Traffic Mix (%)	All Discrete

Εικόνα 26: Γενικές ρυθμίσεις εφαρμογής Video Conference



Attribute	Value
Incoming Stream Frame Size (bytes)	constant (6000)
Outgoing Stream Frame Size (bytes)	constant (6000)

Εικόνα 27: Μέγεθος εισερχομένων και εξερχομένων πλαισίων σε bytes



Attribute	Value
Incoming Stream Interarrival Time (seconds)	constant (0.1)
Outgoing Stream Interarrival Time (seconds)	constant (0.1)

Εικόνα 28: Συχνότητα παραγωγής-αποστολής πλαισίου ορισμένη στα 0,1 δευτερόλεπτα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Παρουσίαση, Ανάλυση και Σύγκριση Σεναρίων

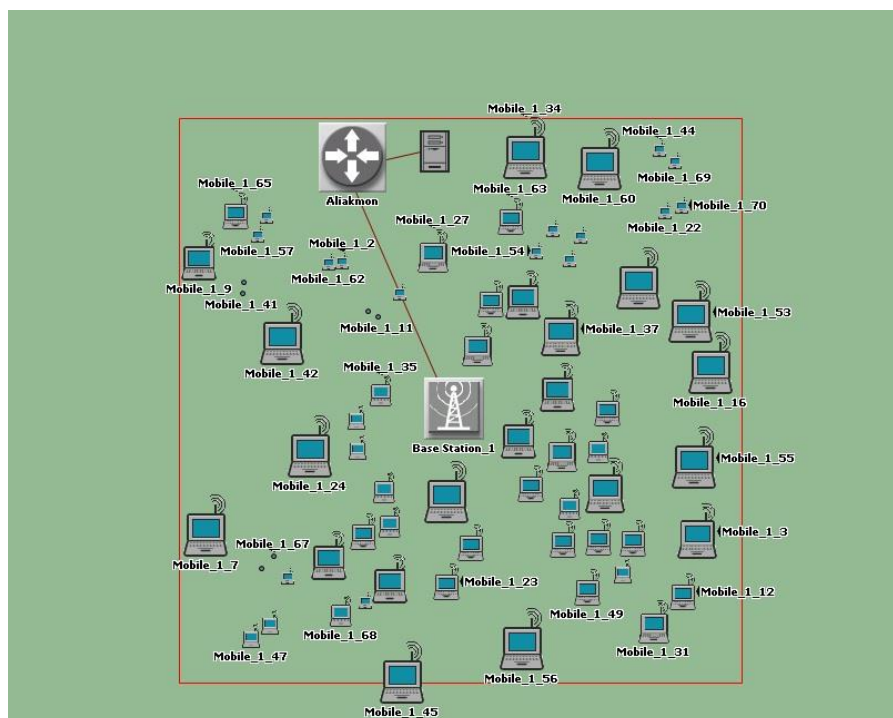
4.1. Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η παρουσίαση, η ανάλυση και τελικά η σύγκριση των σεναρίων τα οποία κατασκευαστήκαν και προσομοιώθηκαν από τον Opnet Modeler. Στην ουσία υπάρχουν τρεις ομάδες σεναρίων. Η πρώτη ομάδα είναι τα σεσνάρια 1 μέχρι 4 που παρουσιάζουν γενικά συγκρίσεις και αποτελέσματα ανάμεσα σε σεσνάρια όπου ο εξυπηρετητής μιας εφαρμογής VoIP βρίσκεται στο τοπικό δίκτυο και σε σεσνάρια στα οποία παρεμβάλλεται το διαδίκτυο για την επικοινωνία με αυτόν. Την δεύτερη ομάδα αποτελούν τα σεσνάρια 5-9 όπου οι συγκρίσεις γενικότερα περιλαμβάνουν σεσνάρια στα οποία είναι ενεργοποιημένη ορισμένη κινητικότητα των σταθμών και σεσνάρια στα οποία οι θέσεις των σταθμών στο χώρο είναι δεδομένες. Και σε αυτήν την ομάδα υπάρχει μία μόνο εφαρμογή VoIP. Την τρίτη και τελευταία ομάδα σεναρίων αποτελούν τα σεσνάρια 10-18 όπου οι συγκρίσεις περιλαμβάνουν σεσνάρια τα οποία περιέχουν κάποιες από τις συνθήκες που αναφέρθηκαν στις δύο προηγούμενες ομάδες και επιπλέον περιλαμβάνουν τρεις εφαρμογές που λειτουργούν παράλληλα (VoIP, HTTP, Video Conference).

4.2. Παρουσίαση και Ανάλυση σεναρίων

4.2.1 Σενάρια Τοπικού – μη Τοπικού εξυπηρετητή εφαρμογής VoIP

4.2.1.1 Παρουσίαση σεναρίου 1: Baseline Local Voice 1bs



Εικόνα 29: Σύνθεση σεναρίου 1.

Το σεσνάριο αυτό αποτελείται από 20 σταθμούς οι οποίοι παράγουν και δέχονται κίνηση της εφαρμογής VoIP. Υπάρχει ένας σταθμός βάσης ο οποίος είναι τοποθετημένος στο κέντρο του

κελιού. Επίσης υπάρχει ένας κεντρικός δρομολογητής και ο εξυπηρετητής της εφαρμογής VoIP ο οποίος συνδέεται απευθείας με τον δρομολογητή τοπικά και χωρίς να παρεμβάλλεται ενδιάμεσα το διαδίκτυο.

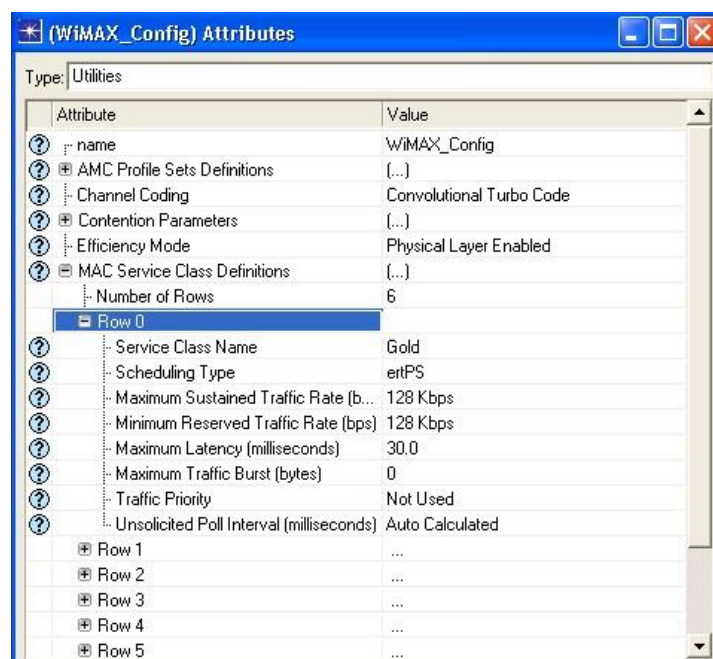
Η κλάση υπηρεσιών(Service Class) η οποία έχει οριστεί ώστε να εξυπηρετεί την κίνηση της εφαρμογής VoIP ονομάζεται “Gold Class” όπως σε όλα τα σενάρια. Ο τύπος προδιαγραφής της κίνησης του VoIP έχει οριστεί να είναι ο ertPS(Extended Real-time POLLING SERVICE) καθώς είναι ο καταλληλότερος. Τα λοιπά χαρακτηριστικά αυτής της κλάσης είναι:

Μέγιστος επιτρεπόμενος όγκος κίνησης της ροής Υπηρεσίας(Service flow Maximum sustained traffic rate) =128kbps

Ελάχιστος επιτρεπόμενος όγκος κίνησης της ροής Υπηρεσίας (Minimum sustained traffic rate)=128kbps

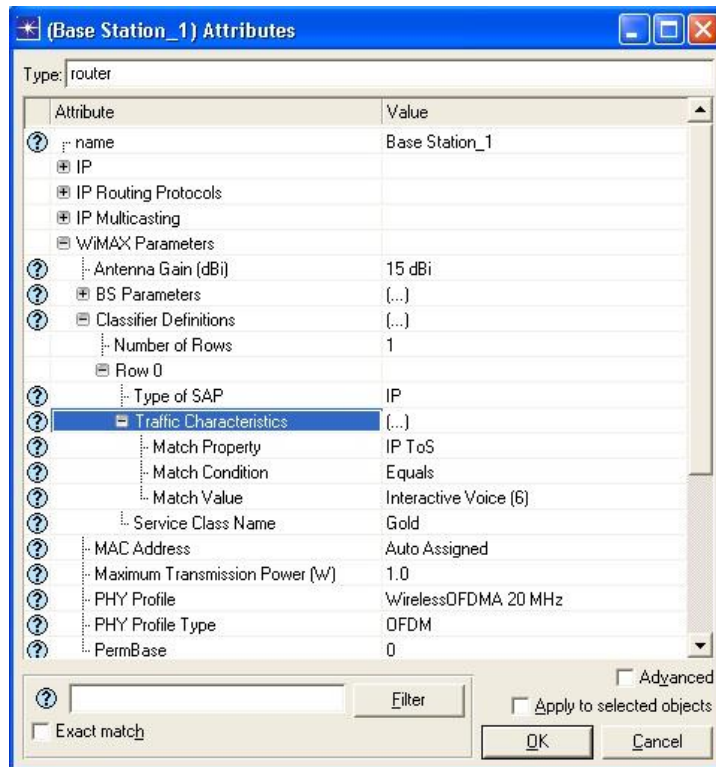
Μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση = 30 milliseconds

Τα στοιχεία αυτά αφορούν τις συνδέσεις τόσο του UpLink όσο και του DownLink.



Εικόνα 30: Κλάση υπηρεσιών Gold.

Οι ρυθμίσεις που έχουν γίνει στον σταθμό βάσης φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 31: Γενικές ρυθμίσεις σταθμού βάσης.

Όπως φαίνεται το Antenna Gain είναι ίσο με 15dbi(dB-isotropic) που σημαίνει ότι η κεραία όντας ισοτροπική, έχει την δυνατότητα να εκπέμπει 15dbi προς όλες τις κατευθύνσεις.

Επίσης φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο έχει οριστεί στον σταθμό βάσης να αντιλαμβάνεται την κίνηση που δημιουργεί η εφαρμογή του σεναρίου. Έχοντας ορίσει το είδος της κίνησης που χαρακτηρίζει την εφαρμογή VoIP σαν “Interactive Voice”, με τις παραπάνω ρυθμίσεις στο πεδίο “Traffic Characteristics” έχει στην ουσία επιτευχθεί ο σταθμός βάσης να λαμβάνει και να προωθεί μόνο αυτό το είδος κίνησης.

Με το πεδίο “Service Class Name” ορισμένο σε Gold επιλέγεται επιπλέον ότι η κίνηση αυτή θα υπακούει στους κανόνες που έχουμε θέσει για την συγκεκριμένη κλάση υπηρεσίας.

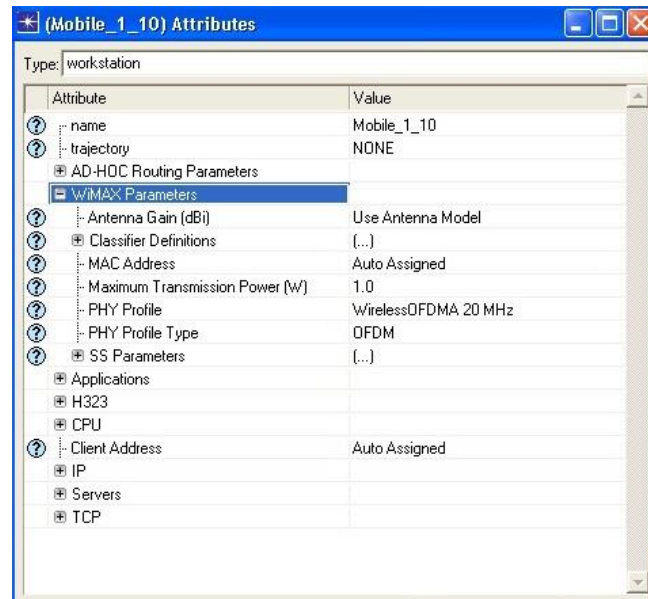
Η Μέγιστη Ισχύς Εκπομπής(Maximum Transmission Power) του σταθμού έχει οριστεί στο 1W ή αλλιώς στα 30dBm.

Το Profile του φυσικού επιπέδου έχει επιλεγθεί να είναι το WirelessOFDMA 20MHz.

Οι ρυθμίσεις στους ασύρματους σταθμούς είναι ακριβώς οι ίδιες για τα πεδία “Traffic Characteristics” και “Service Class Name”.

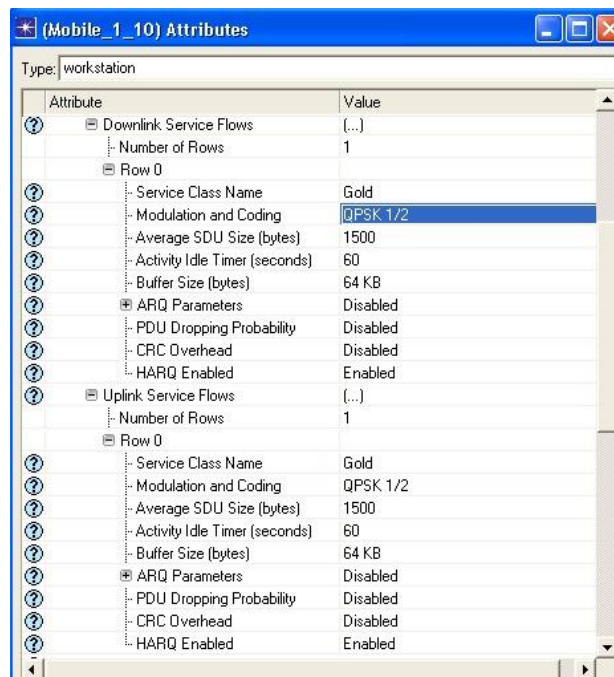
Για την τιμή του Antenna Gain έχει επιλεγθεί η αυτόματη ρύθμιση που προσφέρει το OPNET για περισσότερη ευελιξία.

Η Μέγιστη Ισχύς Εκπομπής(Maximum Transmission Power) των ασύρματων σταθμών έχει οριστεί στο 1W επίσης και όπως και στον σταθμό βάσης ορίζεται κι εδώ το προφίλ του φυσικού επιπέδου στο WirelessOFDMA 20MHz.



Εικόνα 32: Γενικές ρυθμίσεις ασύρματων σταθμών.

Στους ασύρματους σταθμούς όμως πέρα από αυτές τις ρυθμίσεις θα πρέπει επιπλέον να οριστούν και τα χαρακτηριστικά των καναλιών Uplink και DownLink.



Εικόνα 33: Ρυθμίσεις καναλιών UL και DL στους ασύρματους σταθμούς.

Όπως φαίνεται παραπάνω ορίζεται κι εδώ το “Service Class Name” σε Gold. Επίσης εδώ γίνεται και ο καθορισμός ενός πολύ σημαντικού χαρακτηριστικού όπως είναι η διαμόρφωση και η κωδικοποίηση που θα χρησιμοποιηθεί στα κανάλια. Στην δεδομένη περίπτωση λαμβάνοντας υπόψη ότι οι ασύρματοι σταθμοί είναι ακίνητοι, ότι η απόστασή τους από τον σταθμό βάσης δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη (1km περίπου η μέγιστη για τον πιο απομακρυσμένο) και ότι τα δεδομένα που στέλνονται και λαμβάνονται από κάθε ασύρματο σταθμό είναι της τάξης των 96Kbps, επιλέγεται μια ήπιας μορφής διαμόρφωση και κωδικοποίηση όπως είναι η QPSK 1/2.

Ο μέσος όρος μεγέθους ενός SDU(Service Data Unit) πακέτου θα είναι 1500bytes.

Η αμέσως παρακάτω επιλογή στην εικόνα, “Activity Idle Timer(seconds)” δεν υποστηρίζεται στην έκδοση αυτή του modeler οπότε δεν παίζει κανένα ρόλο.

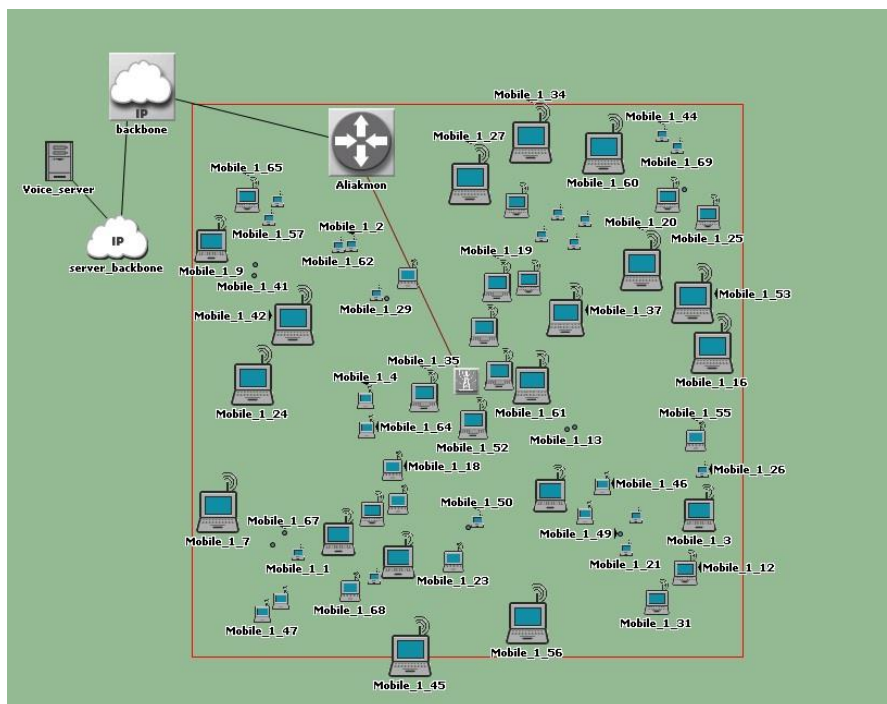
Το μέγεθος του buffer ορίζεται στα 64KB. Το buffer αποτελεί τον προσωρινό αποθηκευτικό χώρο που εξυπηρετεί πακέτα ανωτέρου επιπέδου, που έχουν σαν προορισμό το WiMAX MAC επίπεδο.

Επίσης είναι ενεργοποιημένος ο μηχανισμός του HARQ αλλά και της αίτησης bandwidth piggybacking των σταθμών κάτι που φαίνεται στην επόμενη εικόνα.

ARQ Parameters	Disabled
PDU Dropping Probability	Disabled
CRC Overhead	Disabled
HARQ Enabled	Enabled
Uplink Service Flows	(...)
Control Connections	(...)
Multipath Channel Model	ITU Pedestrian A
Pathloss Parameters	(...)
Ranging Power Step (mW)	0.25
Timers	Default
Contention Ranging Retries	16
Mobility Parameters	Default
HARQ Parameters	(...)
Piggyback B'W Request	Enabled

Εικόνα 34: Ενεργοποίηση HARQ και Piggybacking.

4.2.1.2 Παρουσίαση σεναρίου 2: Baseline External Voice_1bs



Εικόνα 35: Σύνθεση Σεναρίου 2.

Στο σενάριο αυτό υπάρχουν, όπως και στο σενάριο 1, είκοσι σταθμοί από το σύνολο των 75 οι οποίοι σχετίζονται με την εφαρμογή VoIP και ένας σταθμός βάσης στο μέσο του κελιού. Η βασική διαφορά του σεναρίου αυτού σε σχέση με το 1 είναι ότι ο εξυπηρετητής της εφαρμογής δεν βρίσκεται εσωτερικά του δικτύου αλλά πλέον παρεμβάλλεται το διαδίκτυο στην πορεία προς αυτόν όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα της σύνθεσης του σεναρίου. Υπενθυμίζεται ότι στην επικοινωνία του δικτύου του σεναρίου με το διαδίκτυο υπάρχει ορισμένη κίνηση (εισερχόμενη και εξερχόμενη) ανεξάρτητη της κίνησης που δημιουργεί το σενάριο, η οποία επικαλύπτει το 20% της χωρητικότητας του Link (η συνολική χωρητικότητα είναι 1Gbps όπως έχει αναφερθεί παραπάνω).

Η κλάση υπηρεσιών(Service Class) η οποία έχει οριστεί ώστε να εξυπηρετεί την κίνηση της εφαρμογής VoIP είναι κι εδώ η “Gold Class”. Ο τύπος προδιαγραφής της κίνησης του VoIP έχει οριστεί να είναι ο ertPS(Extended Real-time POLLING SERVICE). Τα λοιπά χαρακτηριστικά της κλάσης είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά του σεναρίου 1, δηλαδή:

Μέγιστος επιτρεπόμενος όγκος κίνησης της ροής Υπηρεσίας(Service flow Maximum sustained traffic rate) =128kbps

Ελάχιστος επιτρεπόμενος όγκος κίνησης της ροής Υπηρεσίας (Minimum sustained traffic rate)=128kbps

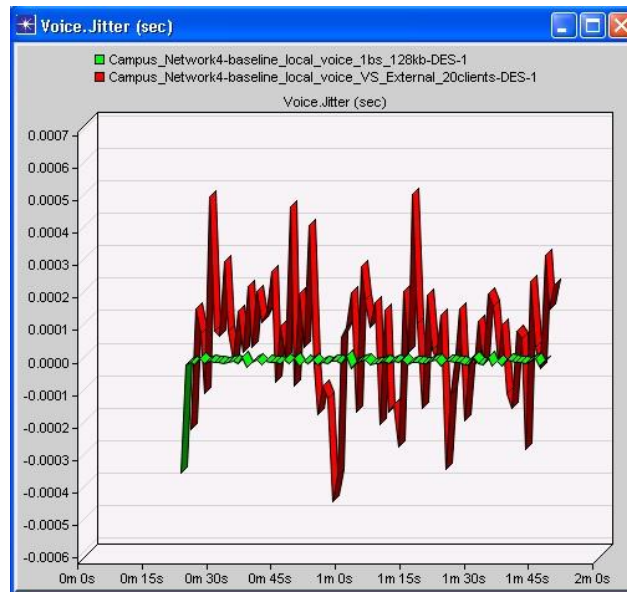
Μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση = 30 milliseconds.

Όλες οι υπόλοιπες ρυθμίσεις οι οποίες αφορούν τον σταθμό βάσης και τους ασύρματους σταθμούς είναι ταυτόσημες με το σενάριο 1

4.2.1.3 Σύγκριση σεναρίων 1 και 2

Σκοπός της σύγκρισης αυτής είναι να εντοπιστούν τυχόν διαφορές στην συμπεριφορά της εφαρμογής VoIP αλλά και γενικότερα του δικτύου, αλλάζοντας την θέση του εξυπηρετητή και τοποθετώντας τον από το τοπικό δίκτυο στο διαδίκτυο.

Μετά το πέρας της προσομοίωσης 110 δευτερολέπτων του Opnet για την εφαρμογή VoIP παρατηρήθηκαν τα εξής αποτελέσματα όσον αφορά το jitter αυτής στα δύο σενάρια:

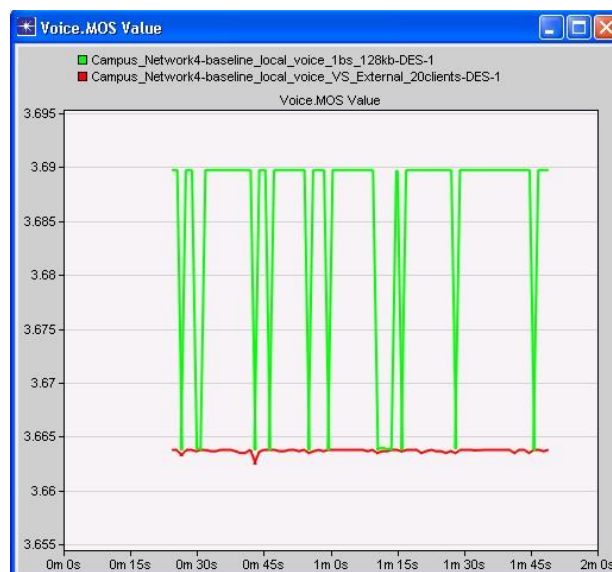


Εικόνα 36: Jitter Εφαρμογής VoIP.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα για το σενάριο 1 η τιμή του είναι σχεδόν απόλυτα 0 που είναι και το ιδανικό. Για το σενάριο 2 παρουσιάζονται διακυμάνσεις κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Οι τιμές στο μέγιστο τους κυμαίνονται από -0,0005sec μέχρι +0,0005sec. Οι τιμές απόλυτα δεν είναι μεγάλες, όμως με βάση το διάγραμμα υπάρχουν μεγάλες και απότομες διακυμάνσεις για παράδειγμα περίπου στο 1^ο λεπτό της προσομοίωσης.

Αν δύο πακέτα ξεκινήσουν από τον πομπό στις χρονικές στιγμές τ_1 και τ_2 αντίστοιχα και φτάσουν στον προορισμό τους τις χρονικές στιγμές τ_3 και τ_4 , τότε σαν Jitter ορίζουμε $Jitter = (\tau_4 - \tau_3) - (\tau_2 - \tau_1)$. Αρνητικές τιμές jitter σημαίνουν μικρότερες χρονικές διαφορές ανάμεσα στο πακέτα την ώρα που έφτασαν στον προορισμό τους, σε σχέση με αυτά που ίσχυαν όταν ξεκίνησαν από τον πομπό.

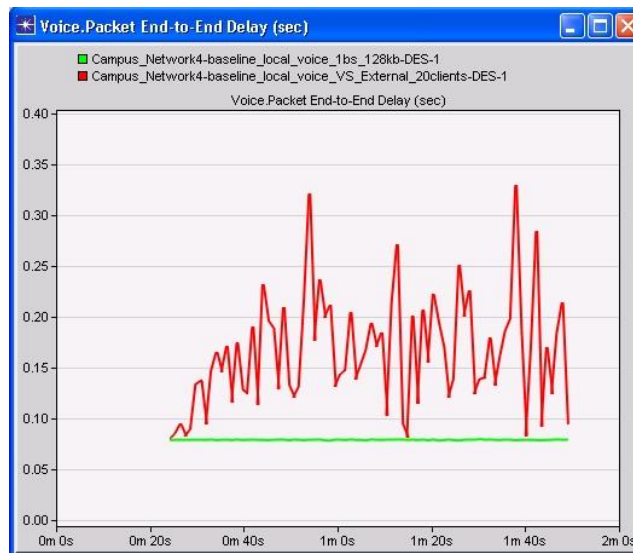
Για τον δείκτη ποιότητας MOS προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα 37: Δείκτης ποιότητας MOS.

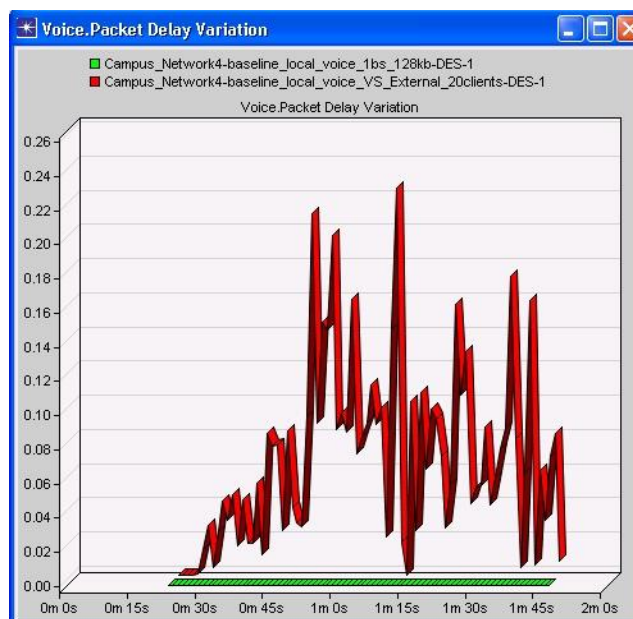
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα το σενάριο 1 με τον τοπικό εξυπηρετητή VoIP κατάφερε γενικότερα να παρέχει λίγο καλύτερη ποιότητα φωνής σε σχέση με το σενάριο 2. Η τιμή του έφτασε μέχρι το 3,69 με άριστα το 5 όμως με αυξομειώσεις στις οποίες καταγράφηκαν τιμές του δείκτη της τάξης του 3,663 στην χειρότερη περίπτωση. Στο σενάριο 2 η τιμή είναι σταθερή και της τάξης του 3,662 περίπου.

Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα για την καθυστέρηση παράδοσης ενός πακέτου από τον πομπό στον δέκτη:



Εικόνα 38: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.

Φυσιολογικά για το σενάριο 2 παρατηρούνται αρκετά μεγαλύτερες τιμές και φτάνουν σε ένα μέγιστο των 0,32sec, με τον μέσο όρο να είναι περίπου 0,20sec. Η καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων στο σενάριο 1 είναι σταθερή καθ'όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης και έχει τιμή 0,08sec.



Εικόνα 39: Απόκλιση της Καθυστέρησης των πακέτων φωνής.

Οι αποκλίσεις στην καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων, δηλαδή το κατά πόσο η καθυστέρηση που καταγράφηκε προηγουμένως ήταν σταθερή για όλα τα πακέτα, φαίνονται στην παραπάνω εικόνα. Και εδώ φαίνεται ότι στο σενάριο 2 οι αποκλίσεις ήταν αρκετά μεγάλες φτάνοντας μέχρι και τα 0,22sec μέγιστο. Για το σενάριο 1 οι αποκλίσεις είναι μηδενικές.

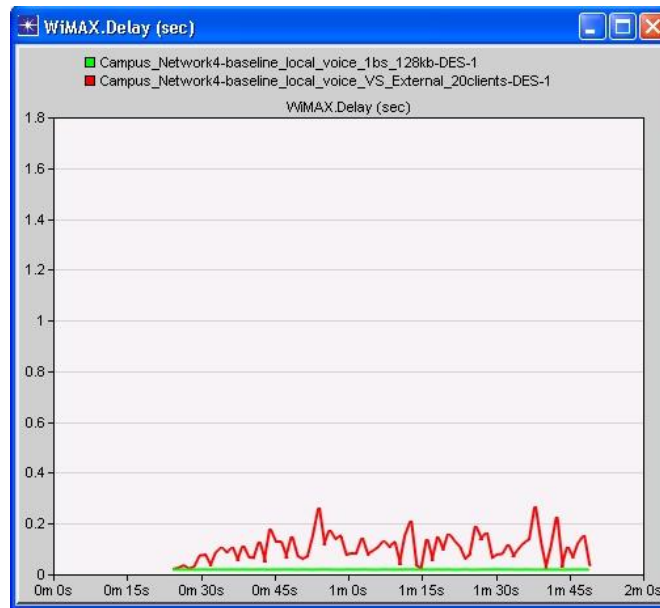
Το τελευταίο στατιστικό για την εφαρμογή VoIP είναι το ποσό της κίνησης το οποίο παράχθηκε και παραλήφθηκε από τους σταθμούς και φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα:



Εικόνα 40: Όγκος κίνησης της εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

Για το σενάριο 1 η κίνηση που παραλήφθηκε είναι ισόποση με τον φόρτο της τάξης των 319,200Bytes/sec όταν η μέγιστη αναμενόμενη είναι περίπου 320,000Bytes/sec, κάτι που κρίνεται απόλυτα ικανοποιητικό. Στο σενάριο 2 υπάρχει μια μικρή απώλεια στον φόρτο της τάξης των 8,000bytes/sec και στην κίνηση της εφαρμογής που τελικά χανόταν κατά την προσομοίωση της τάξης των 20,000bytes/sec. Στην ουσία στο σενάριο 2 ο σταθμός βάσης δεν κατάφερε να συσχετιστεί καθόλου με τον ασύρματο σταθμό 29 ώστε να του μεταδώσει κίνηση και επιπλέον οι σταθμοί 22 και 25 παρουσίασαν απώλειες στην κίνηση που παρέλαβαν. Στο σενάριο 1 απώλειες στην κίνησης που παρέλαβαν είχαν επίσης οι σταθμοί 22 και 25 όμως σε ελάχιστο βαθμό.

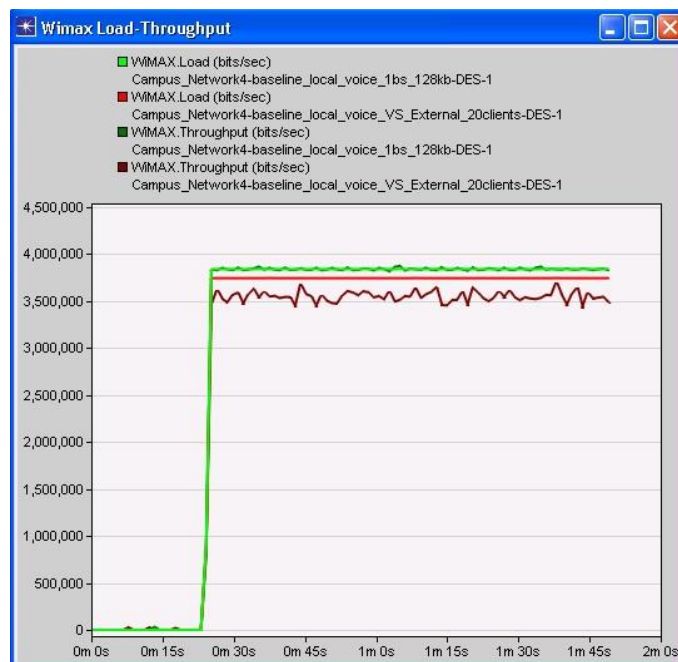
Σε επίπεδο WiMAX οι καθυστερήσεις που καταγράφηκαν κατά την μεταφορά των πακέτων στα υψηλότερα επίπεδα για όλους του σταθμούς φαίνονται παρακάτω στο σχετικό διάγραμμα:



Εικόνα 41: Καθυστερήση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.

Οι καθυστερήσεις και σε επίπεδο WiMAX για το σενάριο 2 είναι της τάξης των 0,20 δευτερολέπτων χωρίς και πάλι να είναι σταθερή και για το σενάριο 1 της τάξης των 0,02 δευτερολέπτων.

Τέλος συνολικά σε επίπεδο WiMAX ο φόρτος και η ρυθμαπόδοση παρουσιάζονται στο επόμενο διάγραμμα. Ο συνολικός φόρτος είναι της τάξης των 3,84Mbps για το σενάριο 1 ενώ για το σενάριο 2 είναι λίγο χαμηλότερα και ίσως με 3,74 Mbps. Η ρυθμαπόδοση για το σενάριο 1 είναι εφάμιλλη του φόρτου, ενώ για το σενάριο 2 κυμαίνεται λίγο χαμηλότερα του φόρτου και περίπου στα 3,55Mbps κάτι που είναι απόλυτα φυσιολογικό δεδομένου των απωλειών της εφαρμογής VoIP που παρουσιάστηκαν ήδη.



Εικόνα 42: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.

Εξετάζοντας τους λόγους για τους οποίους υπάρχει διαφορά στον φόρτο της κίνησης ανάμεσα στα δύο σεναρία παρατηρήθηκαν τα εξής:

Στο κανάλι DownLink του σταθμού βάσης παρατηρήθηκε ο παρακάτω ρυθμός χαμένων πακέτων:

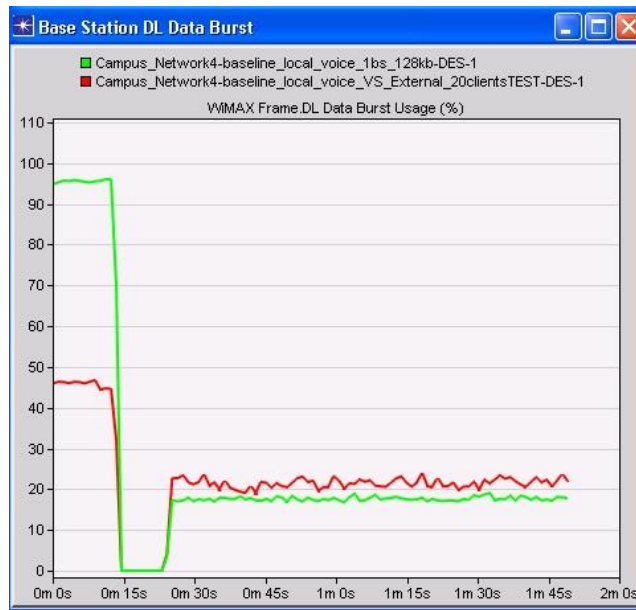


Εικόνα 43: Χαμένα πακέτα στο DL σταθμού βάσης.

Όπως φαίνεται αν και για το σενάριο 2 υπάρχουν λίγα περισσότερα πακέτα τα οποία δεν έφτασαν στον προορισμό τους, δεν δικαιολογείται η διαφορά στον φόρτο που παρατηρήθηκε παραπάνω.

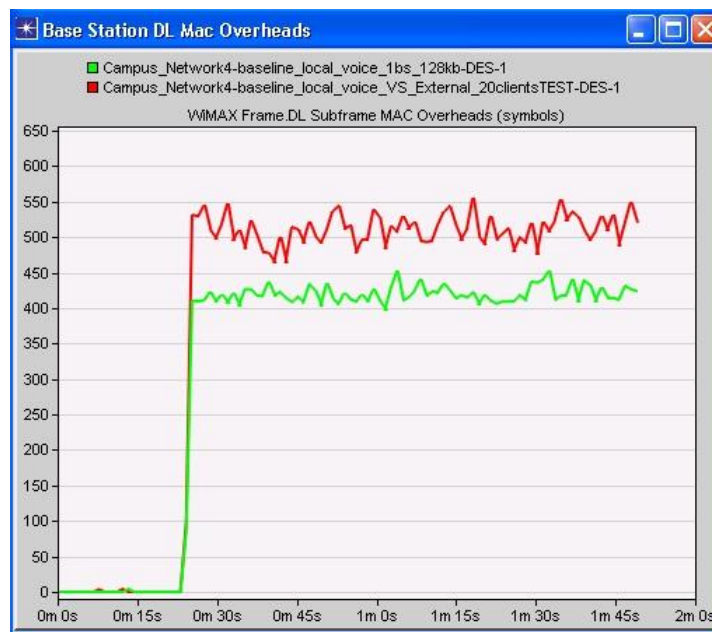
Στο κανάλι UpLink δεν παρατηρούνται απώλειες σε κανένα από τα δύο σεναρία.

Επίσης για το κανάλι DownLink του σταθμού βάσης παρατηρήθηκε ότι η επικάλυψη του στο σενάριο 2 ήταν λίγο μεγαλύτερη από αυτή του σεναρίου 1 και συγκεκριμένα στο σενάριο 1 αυτή ήταν περίπου 19% ενώ στο σενάριο 2 περίπου 22-23%:



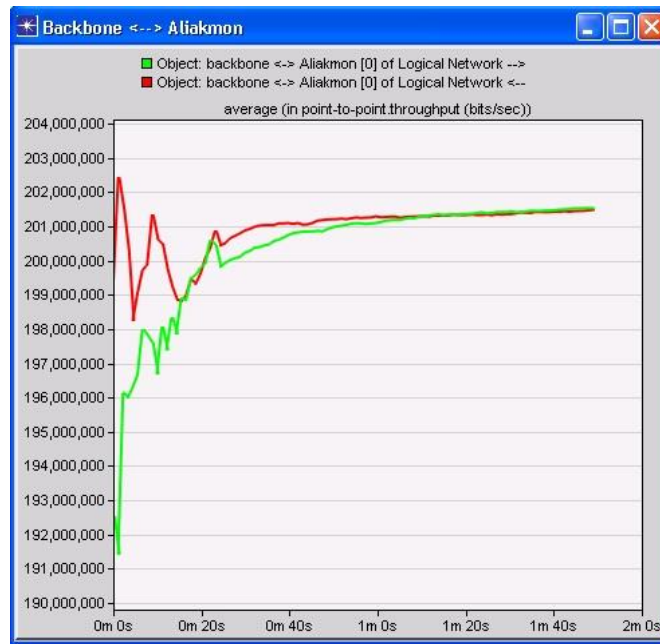
Εικόνα 44: Ποσοστό επικάλυψης καναλιού DL.

Ένα μεγάλο ποσοστό της διαφοράς αυτής του ποσοστού επικάλυψης του καναλιού DL οφείλεται στα αυξημένα MAC overheads στο σενάριο 2:



Εικόνα 45: Mac Overheads καναλιού DownLink.

Το πρόβλημα αν και σε μικρή κλίμακα παρατηρήθηκε ότι για το σενάριο 2 υπάρχει στην ρυθμαπόδοση ανάμεσα στην διασύνδεση του backbone με το κεντρικό δρομολογητή του δικτύου, όπως φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα.



Εικόνα 46: Ρυθμαπόδοση backbone <-> Aliakmon.

Η διασύνδεση αυτή όπως έχει αναφερθεί παραπάνω έχει μόνιμη κίνηση της τάξης του 20% της χωρητικότητάς της. Φαίνεται ότι από το 25^ο δευτερόλεπτο της προσομοίωσης μέχρι λίγο μετά το πρώτο της λεπτό υπάρχουν απώλειες. Τελικά και μετά από αυτό το σημείο οι τιμές ταυτίζονται μέχρι το πέρας της προσομοίωσης.

4.2.1.4 Συμπεράσματα σύγκρισης σεναρίων 1 και 2

Όπως φάνηκε στα παραπάνω διαγράμματα η απόδοση του σεναρίου 2 είναι χειρότερη από αυτή του σεναρίου 1 σε όλα τα συγκρινόμενα σημεία. Το σενάριο 2 παρουσίασε αρκετά μεγαλύτερες καθυστερήσεις σε επίπεδο εφαρμογής αλλά και σε επίπεδο WiMAX σε σχέση πάντα με το σενάριο 1 κάτι που οφείλεται στην μεσολάβηση του διαδικτύου. Επίσης δεν προέκυψε από κάποιο άλλο από τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων εκτός αυτού της εικόνας 46 κάτι που να δικαιολογεί τον μειωμένο όγκο κίνησης της εφαρμογής που έφτασε στο δίκτυο.

Γενικότερα και όπως ήταν αναμενόμενο, το σενάριο 1 απέδωσε καλύτερα σε όλους τους τομείς, ενώ το σενάριο 2 προβληματίσε κυρίως στον τομέα των καθυστερήσεων σε όλα τα επίπεδα.

4.2.1.5 Παρουσίαση σεναρίου 3: Baseline Local Voice 1bs 30clients

Στο σενάριο αυτό υπάρχουν 30 ασύρματοι σταθμοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή VoIP, δηλαδή 10 παραπάνω από τα προηγούμενα σενάρια. Η σύνθεση του σεναρίου είναι η ίδια με το σενάριο 1. Υπάρχει ένας σταθμός βάσης στο κέντρο του κελιού και ένας τοπικός εξυπηρετητής της εφαρμογής VoIP.

Στις ρυθμίσεις των ασύρματων σταθμών του σταθμού βάσης και του WiMAX δεν έχει γίνει καμιά αλλαγή.

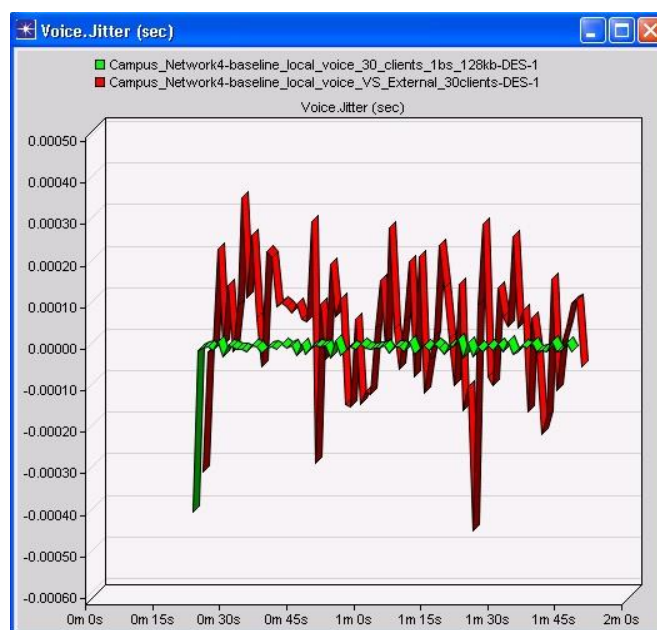
4.2.1.6 Παρουσίαση σεναρίου 4: Baseline_External_Voice_1bs_30clients

Στο σενάριο αυτό υπάρχουν επίσης 30 ασύρματοι σταθμοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή VoIP. Η διαφορά του με το σενάριο 3 είναι ότι ο εξυπηρετητής της εφαρμογής VoIP επικοινωνεί με το δίκτυο του σεναρίου μέσω του διαδικτύου, όπως ακριβώς και στο σενάριο 2 που αναλύθηκε παραπάνω.

Στις ρυθμίσεις των ασύρματων σταθμών του σταθμού βάσης και του WiMAX δεν έχει γίνει καμιά αλλαγή και σε αυτό το σενάριο σε σχέση με τα παραπάνω.

4.2.1.7 Σύγκριση σεναρίων 3 και 4

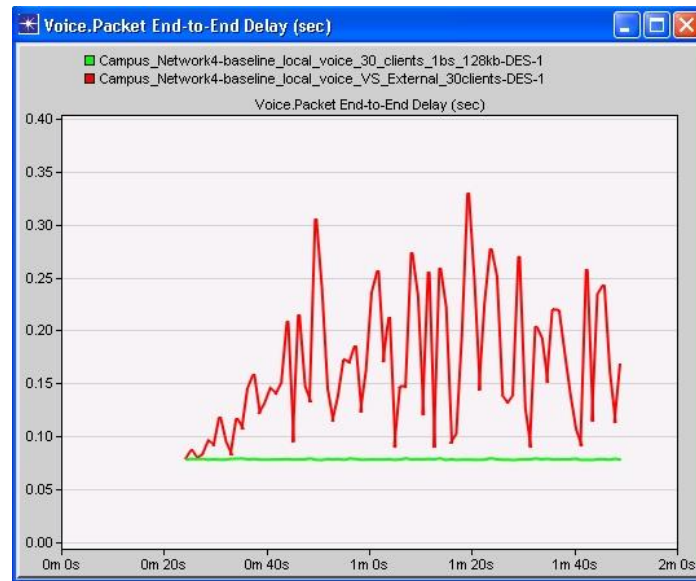
Ξεκινώντας παρουσιάζεται το jitter που καταγράφηκε στα δύο σενάρια για την εφαρμογή VoIP:



Εικόνα 47: Jitter Εφαρμογής VoIP.

Οι τιμές για το σενάριο 3 το οποίο περιέχει τον τοπικό εξυπηρετητή είναι σχεδόν μηδενικές και πάλι. Για το σενάριο 4 υπάρχει και πάλι διακύμανση της τιμής του Jitter με αποκορύφωμα τις τιμές 0,00030sec και -0,0005sec περίπου.

Όσον αφορά την καθυστέρηση των πακέτων να φτάσουν στον δέκτη τους φαίνονται στο επόμενο διάγραμμα:



Εικόνα 48: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.

Και εδώ παρατηρείται αρκετά μεγαλύτερη καθυστέρησης στο σενάριο 4. Η μέγιστη καθυστέρηση που καταγράφηκε για το σενάριο 4 είναι της τάξης των 0,33 δευτερολέπτων, ενώ για το σενάριο 3 η καθυστέρηση είναι σταθερή σε μια τιμή 0,08 δευτερόλεπτα.

Οι τιμές στα παραπάνω στατιστικά είναι σχεδόν ταυτόσημες με τα αντίστοιχα στατιστικά στα σενάρια 1 και 2. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τελικά οι 10 επιπλέον ασύρματοι σταθμοί δεν κατάφεραν να εξυπηρετηθούν από το δίκτυο. Η κίνηση που στάλθηκε από την εφαρμογή και παραλήφθηκε από τους σταθμούς φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα:



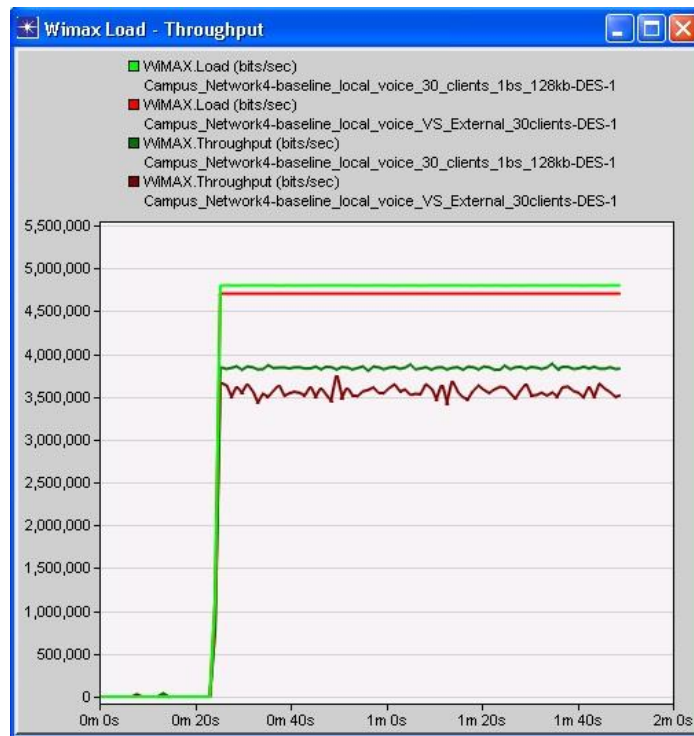
Εικόνα 49: Όγκος κίνησης της εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

Όπως φαίνεται ο φόρτος κίνησης της εφαρμογής είναι φυσιολογικά μεγαλύτερος σε σχέση με τα σενάρια τα οποία οι σταθμοί ήταν 20. Η κίνηση που παραλήφθηκε όμως είναι ακριβώς

ισόποση με τα σενάρια 1 και 2. Αυτό σημαίνει πρακτικά ότι οι 10 επιπλέον σταθμοί των σεναρίων 3 και 4 δεν επικοινωνήσαν ποτέ με τον εξυπηρετητή VoIP.

Το γεγονός αυτό αντικατοπτρίζεται και στην σχέση φόρτου – ρυθμαπόδοσης του WiMAX, όπου καταγράφεται μια τιμή για τον φόρτο κοντά στα 5Mbps για το σενάριο 3 και λίγο χαμηλότερα για το σενάριο 4. Οι ρυθμαποδόσεις όμως και εδώ είναι αντίστοιχες αυτών που παρατηρήθηκαν στα σενάρια 1 και 2.

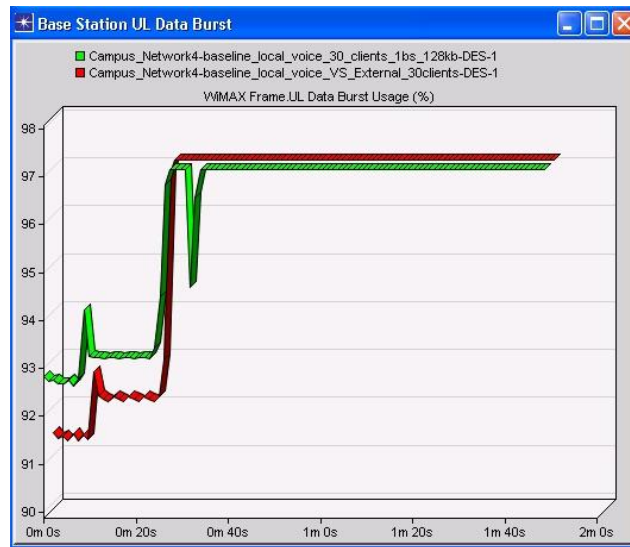
Τα στοιχεία αυτά φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 50: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση

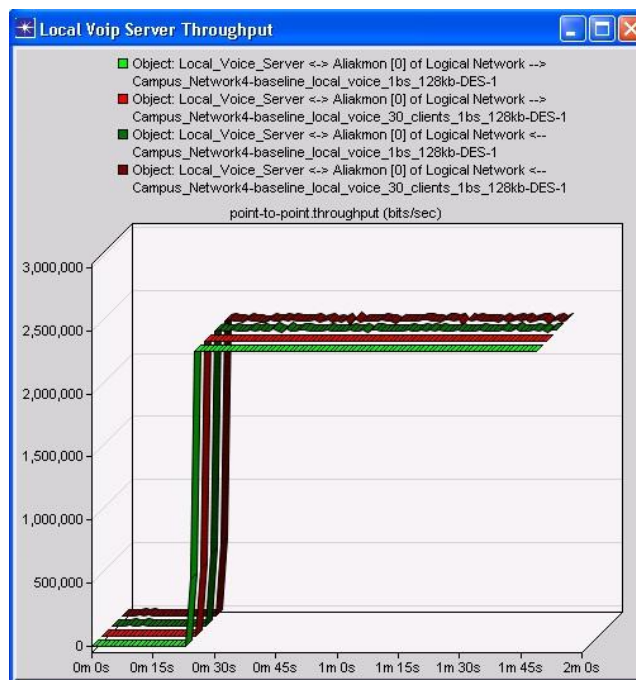
Εξετάζοντας το πρόβλημα διαπιστώθηκε ότι το πρόβλημα που προκάλεσε την παραπάνω συμπεριφορά αφορά το κανάλι UpLink. Στην ουσία δηλαδή και στα δύο σενάρια με τους 30 ασύρματους σταθμούς, το κανάλι από το οποίο γίνεται η επικοινωνία των ασυρμάτων σταθμών προς τον σταθμό βάσης, έφτασε σχεδόν σε ποσοστό 100% χρήσης της χωρητικότητάς του λόγω των πολλών ταυτόχρονων αιτήσεων από τους σταθμούς.

Αυτό φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα:



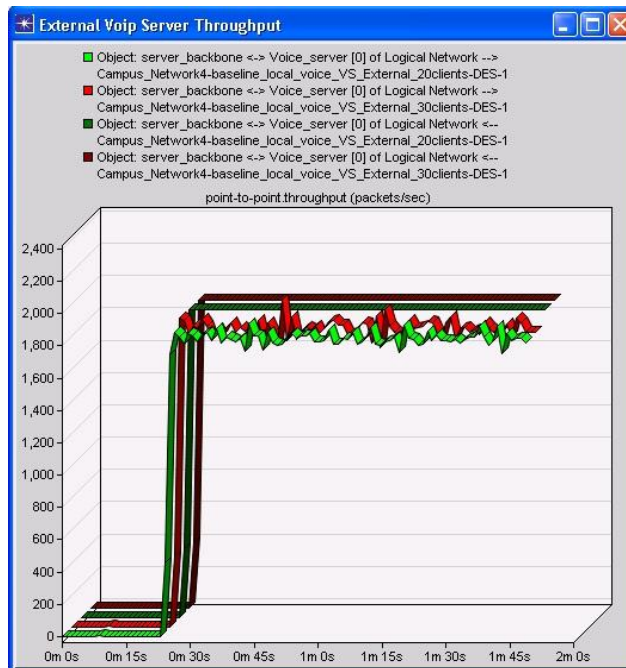
Εικόνα 51:Χρήση Καναλιού UL σταθμού βάσης

Και στα δύο σενάρια παρατηρήθηκε ότι οι επιπλέον αιτήσεις δεν έφτασαν ποτέ στον εξυπηρετητή της εφαρμογής που σημαίνει ότι το πρόβλημα ήταν όντως ο σταθμός βάσης. Για του λόγου του αληθές ακολουθεί διάγραμμα το οποίο παρουσιάζει την κίνηση που διαχειρίστηκε ο εξυπηρετητής VoIP στα σενάρια 1 και 3 όπου ήταν τοπικός.



Εικόνα 52: Κίνηση τοπικού εξυπηρετητή VoIP σεναρίων 1 και 3

Η ίδια ακριβώς συμπεριφορά παρατηρείται και στα σενάρια 2 και 4 όπου μεταξύ του δικτύου και του εξυπηρετητή παρεμβαίνει το διαδίκτυο.



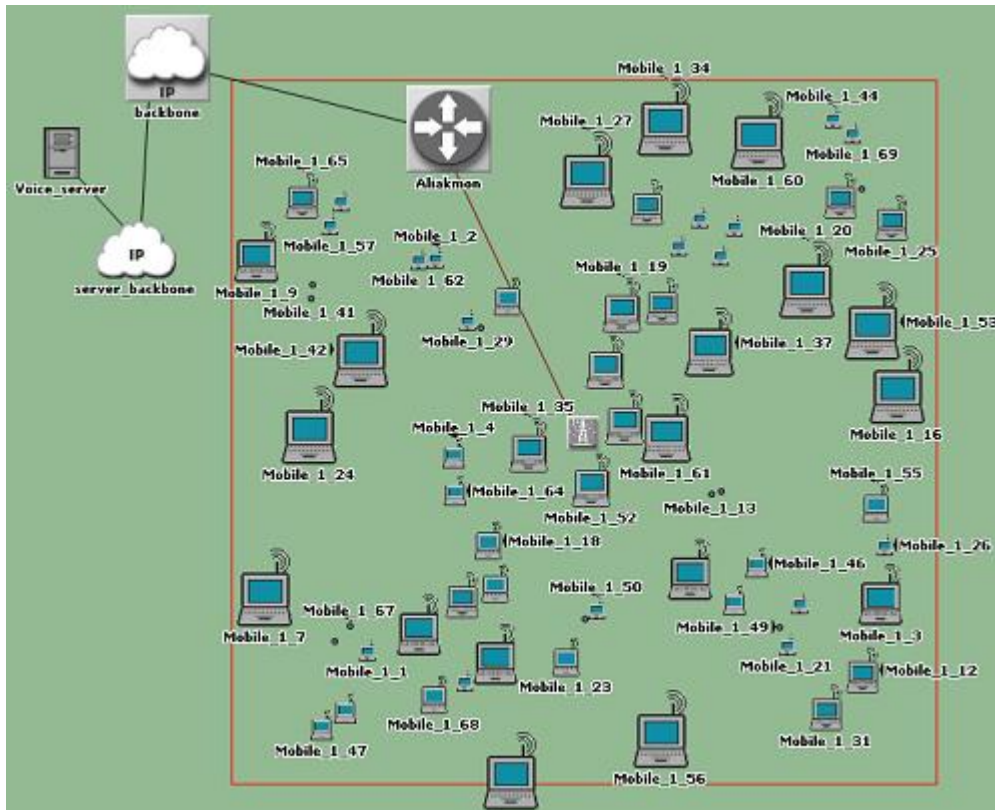
Εικόνα 53: Κίνηση εξωτερικού εξυπηρετητή VoIP σεναρίων 2 και 4

4.2.1.8 Συμπεράσματα σύγκρισης σεναρίων 3 και 4

Τελικά το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι με τις υπάρχουσες ρυθμίσεις σε επίπεδο WiMAX, σταθμών βάσης και ασύρματων σταθμών, το δίκτυο δεν μπορεί να εξυπηρετήσει 30 ασύρματους σταθμούς με αιτήσεις για της εφαρμογή VoIP ταυτόχρονα. Η χωρητικότητα του καναλιού UL του σταθμού βάσης δεν επαρκεί ώστε να διαχειριστεί τις αιτήσεις των ασυρμάτων σταθμών. Σαν αποτέλεσμα οι buffers των ασύρματων σταθμών γεμίζουν και τελικά τα πακέτα δεν φτάνουν στον προορισμό τους και καταστρέφονται λόγω του μεγάλου φόρτου. Κοινώς εάν ο στόχος είναι να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα 30 ασύρματοι σταθμοί, θα πρέπει να υπάρχει και ένας ακόμη σταθμός βάσης που πιθανότατα θα λύσει και το πρόβλημα αφού ο φόρτος του καναλιού UL θα διαμοιραστεί.

4.2.2 Σενάρια κινητών – μη κινητών ασύρματων σταθμών

4.2.2.1 Παρουσίαση σεναρίου 5: Baseline_voice_20clients_BGTraf_NoMobile



Εικόνα 54: Σύνοψη σεναρίου 5.

Στο σενάριο αυτό υπάρχουν 20 ασύρματοι ακίνητοι σταθμοί απο το σύνολο των 75 οι οποίοι είναι ρυθμισμένοι ώστε να δέχονται αλλά και να παράγουν κίνηση μιας εφαρμογής Voip . Ο σταθμός βάσης βρίσκεται στο κέντρο του κελιού.

Η κλάση υπηρεσιών(Service Class) η οποία έχει οριστεί ώστε να εξυπηρετεί την κίνηση της εφαρμογής VoIP ονομάζεται “Gold Class”. Ο τύπος προδιαγραφής της κίνησης του VoIP έχει οριστεί να είναι ο ertPS(Extended Real-time POLLING SERVICE) καθώς είναι ο καταλληλότερος. Τα λοιπά χαρακτηριστικά αυτής της κλάσης είναι:

Μέγιστος επιτρεπόμενος όγκος κίνησης της ροής Υπηρεσίας(Service flow Maximum sustained traffic rate)=128kbps

Ελάχιστος επιτρεπόμενος όγκος κίνησης της ροής Υπηρεσίας (Minimum sustained traffic rate)=128kbps

Μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση = 30 milliseconds

Τα στοιχεία αυτά αφορούν τις συνδέσεις τόσο του UpLink όσο και του DownLink.

Service Class Name	Gold
Scheduling Type	ertPS
Maximum Sustained Traffic Rate (b...	128 Kbps
Minimum Reserved Traffic Rate (bps)	128 Kbps
Maximum Latency (milliseconds)	30.0
Maximum Traffic Burst (bytes)	0
Traffic Priority	Not Used
Unsolicited Poll Interval (milliseconds)	Auto Calculated

Εικόνα 55: Στοιχεία κλάσης υπηρεσιών Gold.

Οι ρυθμίσεις που έχουν γίνει στον σταθμό βάσης φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:

Antenna Gain (dBi)	15 dBi
BS Parameters	Default
Classifier Definitions	(...)
Number of Rows	1
Row 0	
Type of SAP	IP
Traffic Characteristics	(...)
Match Property	IP ToS
Match Condition	Equals
Match Value	Interactive Voice (6)
Service Class Name	Gold
MAC Address	Auto Assigned
Maximum Transmission Power (W)	1.0
PHY Profile	WirelessOFDMA 20 MHz
PHY Profile Type	OFDM

Εικόνα 56: Ρυθμίσεις σταθμού βάσης.

Όπως φαίνεται το Antenna Gain είναι ίσο με 15dbi(dB-isotropic) που σημαίνει ότι η κεραία όντας ιστροπική, έχει την δυνατότητα να εκπέμπει 15dbi προς όλες τις κατευθύνσεις.

Επίσης φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο έχει οριστεί στον σταθμό βάσης να αντιλαμβάνεται την κίνηση που δημιουργεί η εφαρμογή του σεναρίου. Έχοντας ορίσει το είδος της κίνησης που χαρακτηρίζει την εφαρμογή VoIP σαν “Interactive Voice”, με τις παραπάνω ρυθμίσεις στο πεδίο “Traffic Characteristics” έχει στην ουσία επιτευχθεί ο σταθμός βάσης να λαμβάνει και να προωθεί μόνο αυτό το είδος κίνησης.

Με το πεδίο “Service Class Name” ορισμένο σε Gold επιλέγεται επιπλέον ότι η κίνηση αυτή θα υπακούει στους κανόνες που έχουμε θέσει για την συγκεκριμένη κλάση υπηρεσίας.

Η Μέγιστη Ισχύς Εκπομπής(Maximum Transmission Power) του σταθμού έχει οριστεί στο 1W ή αλλιώς στα 30dBm.

Το Profile του φυσικού επιπέδου έχει επιλεγθεί να είναι το WirelessOFDMA 20MHz.

Οι ρυθμίσεις στους ασύρματους σταθμούς είναι ακριβώς οι ίδιες για τα πεδία “Traffic Characteristics” και “Service Class Name”.

Για την τιμή του Antenna Gain έχει επιλεγθεί η αυτόματη ρύθμιση που προσφέρει το OPNET για περισσότερη ευελιξία.

Η Μέγιστη Ισχύς Εκπομπής(Maximum Transmission Power) των ασύρματων σταθμών έχει οριστεί στο 0,5W ή αλλιώς στα 27dBm.

Στους ασύρματους σταθμούς όμως πέρα από αυτές τις ρυθμίσεις θα πρέπει επιπλέον να οριστούν και τα χαρακτηριστικά των καναλιών UpLink και DownLink.

Uplink Service Flows (...)		Downlink Service Flows (...)	
Number of Rows	1	Number of Rows	1
Row 0		Row 0	
Service Class Name	Gold	Service Class Name	Gold
Modulation and Coding	QPSK 1/2	Modulation and Coding	QPSK 1/2
Average SDU Size (bytes)	1500	Average SDU Size (bytes)	1500
Activity Idle Timer (seconds)	60	Activity Idle Timer (seconds)	60
Buffer Size (bytes)	64 KB	Buffer Size (bytes)	64 KB
ARQ Parameters	Disabled	ARQ Parameters	Disabled
PDU Dropping Probability	Disabled	PDU Dropping Probability	Disabled
CRC Overhead	Disabled	CRC Overhead	Disabled
HARQ Enabled	Disabled	HARQ Enabled	Disabled

Εικόνα 57: Ρυθμίσεις καναλιών DL και UL ασύρματων σταθμών.

Όπως φαίνεται παραπάνω ορίζεται κι εδώ το “Service Class Name” σε Gold. Επίσης εδώ γίνεται και ο καθορισμός ενός πολύ σημαντικού χαρακτηριστικού όπως είναι η διαμόρφωση και η κωδικοποίηση που θα χρησιμοποιηθεί στα κανάλια. Στην δεδομένη περίπτωση λαμβάνοντας υπόψη ότι οι ασύρματοι σταθμοί είναι ακίνητοι, ότι η απόστασή τους από τον σταθμό βάσης δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη(1km περίπου η μέγιστη για τον πιο απομακρυσμένο) και ότι τα δεδομένα που στέλνονται και λαμβάνονται από κάθε ασύρματο σταθμό είναι της τάξης των 96Kbps, επιλέγεται μια ήπιας μορφής διαμόρφωση και κωδικοποίηση όπως είναι η QPSK 1/2.

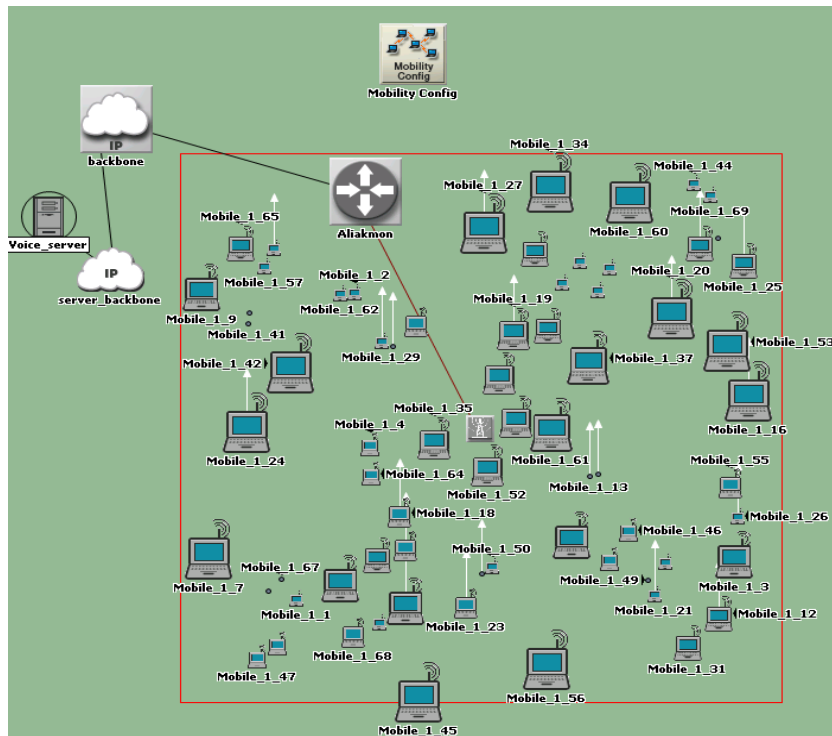
Ο μέσος όρος μεγέθους ενός SDU(Service Data Unit) πακέτου θα είναι 1500bytes.

Η αμέσως παρακάτω επιλογή στην εικόνα, “Activity Idle Timer(seconds)” δεν υποστηρίζεται στην έκδοση αυτή του modeler οπότε δεν παίζει κανένα ρόλο.

Το μέγεθος του buffer ορίζεται στα 64KB. Το buffer αποτελεί τον προσωρινό αποθηκευτικό χώρο που εξυπηρετεί πακέτα ανωτέρου επιπέδου, που έχουν σαν προορισμό το WiMAX MAC επίπεδο.

Οι υπόλοιπες επιλογές της εικόνας δεν θα απασχολήσουν σε αυτό το σενάριο.

4.2.2.2 Παρουσίαση σεναρίου 6: Baseline voice 20clients BGTraf Mobile 2



Εικόνα 58 :Σύνθεση σεναρίου 6.

Το σενάριο αυτό περιλαμβάνει επίσης 20 ασύρματους σταθμούς οι οποίοι δέχονται και παράγουν κίνηση τύπου VoIP. Οι σταθμοί όμως σε αυτή την περίπτωση κινούνται. Με την χρήση του στοιχείου που βρίσκεται στην κορυφή της παραπάνω εικόνας, “Mobility Config”, υπάρχει η δυνατότητα να επιβληθεί σε επιλεγμένους σταθμούς ορισμένη κίνηση.

Οι ρυθμίσεις της κίνησης των σταθμών είναι οι εξής:

☑ Random Mobility Profiles	(...)
Number of Rows	3
☑ Default Random Waypoint	
Profile Name	Default Random Waypoint
Mobility Model	Random Waypoint
☑ Random Waypoint Parameters	(...)
Mobility Domain Name	Not Used
x_min (meters)	0.0
y_min (meters)	0.0
x_max (meters)	60
y_max (meters)	60
Speed (meters/seconds)	constant (1.5)
Pause Time (seconds)	constant (0)
Start Time (seconds)	constant (25)
Stop Time (seconds)	End of Simulation
Animation Update Frequency (se...	1.0
Record Trajectory	Enabled

Εικόνα 59 : Ρυθμίσεις κινητικότητας ασύρματων σταθμών.

Οι ασύρματοι σταθμοί έχουν οριστεί να κινούνται με μια ταχύτητα της τάξης του 1,5m/s. Επίσης η μέγιστη απόσταση η οποία μπορεί να διανύσει ο καθένας από αυτούς είναι 60m. Ο τρόπος που κινούνται είναι τυχαίος και δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Η πορεία τους όμως αν και τυχαία είναι η ίδια για όλα τα σενάρια. Επίσης το προφίλ έχει οριστεί να ξεκινάει μετά από τα πρώτα 25 δευτερόλεπτα της εξομοίωσης, την ίδια στιγμή δηλαδή που ξεκινάει και το προφίλ της VoIP εφαρμογής και παράγεται κίνηση.

Η κλάση υπηρεσίας (Service Class) είναι η ίδια με το σενάριο 1, δηλαδή Gold, όπως και τα χαρακτηριστικά αυτής. Ίδιες ακριβώς είναι και οι ρυθμίσεις του σταθμού βάσης.

Διαφοροποίηση υπάρχει στην ρύθμιση της διαμόρφωσης και κωδικοποίησης των ασυρμάτων σταθμών στα κανάλια του UpLink και DownLink:

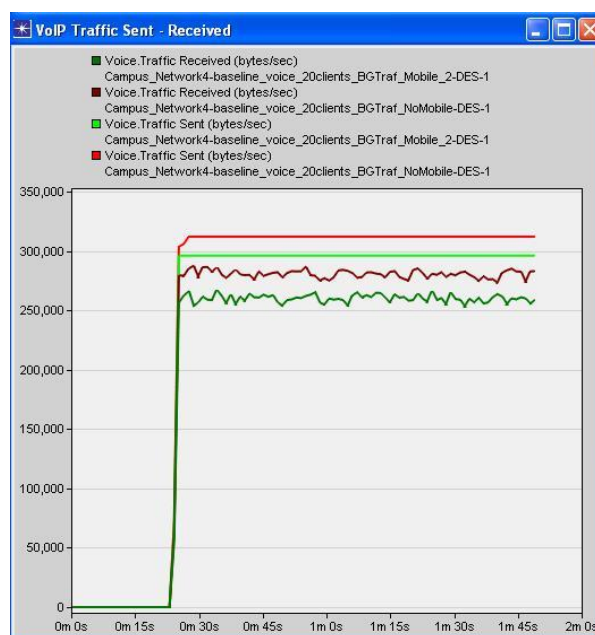
Downlink Service Flows		Uplink Service Flows	
Number of Rows	1	Number of Rows	1
Row 0		Row 0	
Service Class Name	Gold	Service Class Name	Gold
Modulation and Coding	Adaptive	Modulation and Coding	Adaptive
Average SDU Size (bytes)	1500	Average SDU Size (bytes)	1500
Activity Idle Timer (seconds)	60	Activity Idle Timer (seconds)	60
Buffer Size (bytes)	64 KB	Buffer Size (bytes)	64 KB
ARQ Parameters	Disabled	ARQ Parameters	Disabled
PDU Dropping Probability	Disabled	PDU Dropping Probability	Disabled
CRC Overhead	Disabled	CRC Overhead	Disabled
HARQ Enabled	Disabled	HARQ Enabled	Disabled

Εικόνα 60 : Ρυθμίσεις καναλιών DL και UL ασύρματων σταθμών.

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα σαν τύπος διαμόρφωσης και κωδικοποίησης έχει οριστεί ο τύπος “Adaptive”. Ο τύπος αυτός υποστηρίζεται από το πρωτόκολλο του WiMAX και δίνει την δυνατότητα ιδιαίτερα σε περιπτώσεις σεναρίων σαν το συγκεκριμένο όπου στην ουσία οι συνθήκες επικοινωνίας ανάμεσα στους ασύρματους σταθμούς και τον σταθμό βάσης διαφοροποιούνται συνεχώς, να επαναδιαπραγματεύεται τον τύπο της διαμόρφωσης και κωδικοποίησης σε οποιαδήποτε αλλαγή, όπως για παράδειγμα αυξομείωση απόστασης ή διαφοροποίηση σχέσης σήματος προς θόρυβο(SNR).

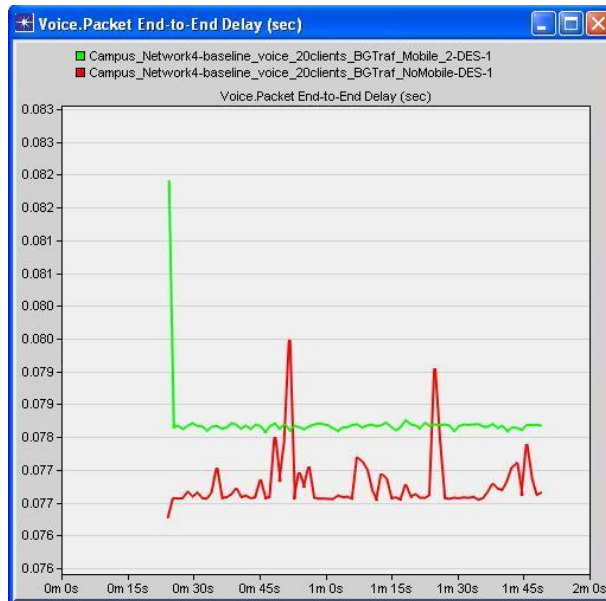
4.2.2.3 Σύγκριση σεναρίων 5 και 6

Ο όγκος της κίνησης ο οποίος προωθήθηκε από την εφαρμογή προς το επίπεδο μεταφοράς για να παραδοθεί εκ νέου στην εφαρμογή φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 61: Όγκος κίνησης εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

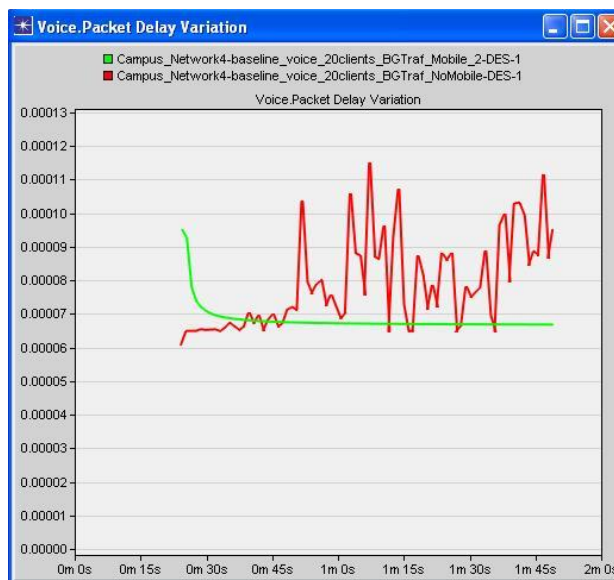
Η καθυστέρηση ενός πακέτου φωνής από την στιγμή που έφυγε από τον πομπό μέχρι που έφτασε στον δέκτη(packet end-to-end delay) του φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 62: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.

Όπως βλέπουμε ο χρόνος που χρειάζεται είναι και στα δύο σενάρια ικανοποιητικός.

Η απόκλιση της καθυστέρησης αυτής, δηλαδή το κατά πόσο η καθυστέρηση ήταν σταθερή για όλα τα πακέτα από την στιγμή που ξεκίνησαν από τον πομπό μέχρι να φτάσουν στο δέκτη φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 63: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.

Η απόκλιση της καθυστέρησης για το σενάριο με τους ακίνητους σταθμούς είναι μεγαλύτερη και παρουσιάζει διακυμάνσεις. Φτάνει μέχρι μια τιμή της τάξης των 0,00011 δευτερολέπτων. Για το σενάριο με τους κινητούς σταθμούς η τιμή είναι σταθερή στα 0,00007 δευτερόλεπτα περίπου. Γενικότερα οι τιμές και για τα δύο σενάρια είναι πολύ μικρές και κρίνονται ικανοποιητικές.

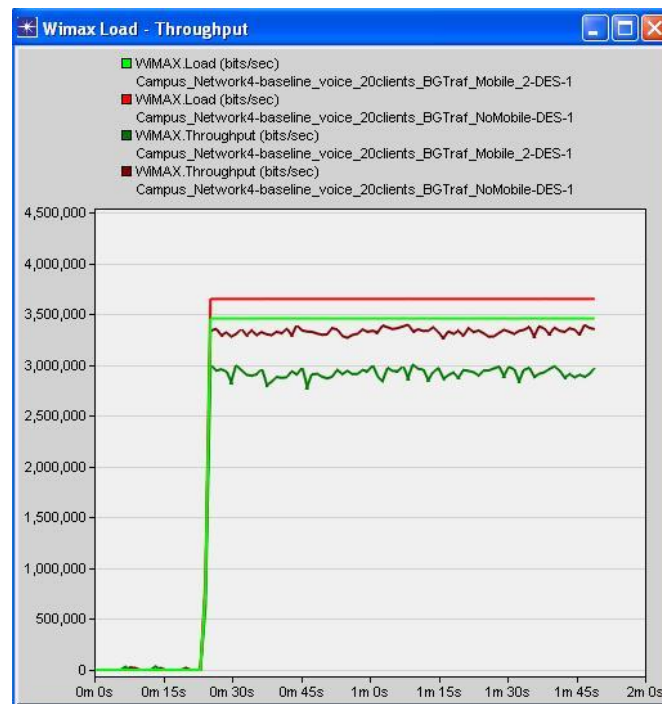
Η τιμή του Jitter είναι επίσης σχεδόν απόλυτα μηδέν.



Εικόνα 64: Τιμή Jitter εφαρμογής VoIP.

Αν δύο πακέτα ξεκινήσουν από τον πομπό στις χρονικές στιγμές τ_1 και τ_2 αντίστοιχα και φτάσουν στον προορισμό τους τις χρονικές στιγμές τ_3 και τ_4 , τότε σαν Jitter ορίζουμε $Jitter = (\tau_4 - \tau_3) - (\tau_2 - \tau_1)$. Αρνητικές τιμές jitter σημαίνουν μικρότερες χρονικές διαφορές ανάμεσα στο πακέτα την ώρα που έφτασαν στον προορισμό τους, σε σχέση με αυτά που ίσχυαν όταν ξεκίνησαν από τον πομπό.

Σε επίπεδο WiMAX ο φόρτος και η ρυθμαπόδοση φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 65 : Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.

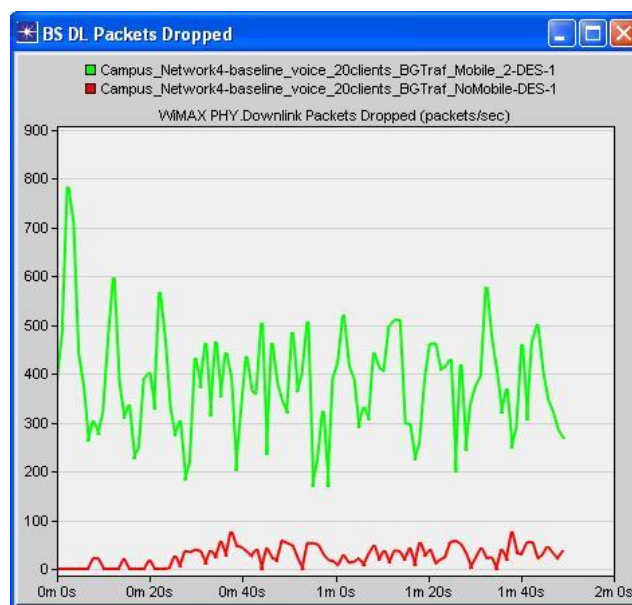
Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα της εικόνας 61 και σε αυτό της εικόνας 65, υπάρχουν απώλειες. Η διαφορά στον φόρτο των δυο σεναρίων οφείλεται στο γεγονός των χαμένων πακέτων στο κανάλι DownLink των σταθμών βάσης. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 66, για

το σενάριο με τους κινητούς σταθμούς ο αριθμός αυτός χαμένων πακέτων είναι σαφώς μεγαλύτερος.

Πιο συγκεκριμένα στο σενάριο 5 δεν μπόρεσαν να επικοινωνήσουν με τον σταθμό βάσης οι σταθμοί 22 και 29, ενώ παρατηρήθηκε ότι ο σταθμός 25 δεν έλαβε όσα πακέτα θα έπρεπε. Στο σενάριο 6 όπου ο φόρτος είναι ακόμη μικρότερος, όπως και η ρυθμιστική, δεν μπόρεσαν να συσχετιστούν με τον σταθμό βάσης οι σταθμοί 17,19,20,27 ενώ δεν έλαβαν όσα πακέτα αναμενόταν οι σταθμοί 15,16,22,23.

Εξετάζοντας το πρόβλημα διαπιστώθηκε ότι το πρόβλημα ξεκίνησε σε φυσικό επίπεδο όπου ο σταθμός βάσης λόγω χαμηλού SNR ιδιαίτερα στο κανάλι του DownLink δεν κατάφερε να μεταδώσει την απαραίτητη κίνηση με αποτέλεσμα πολλά πακέτα να μην παραδοθούν.

Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα με τον αριθμό χαμένων πακέτων ανά δευτερόλεπτο για το κανάλι DownLink του σταθμού βάσης.



Εικόνα 66 : Χαμένα πακέτα καναλιού DL σταθμού βάσης.

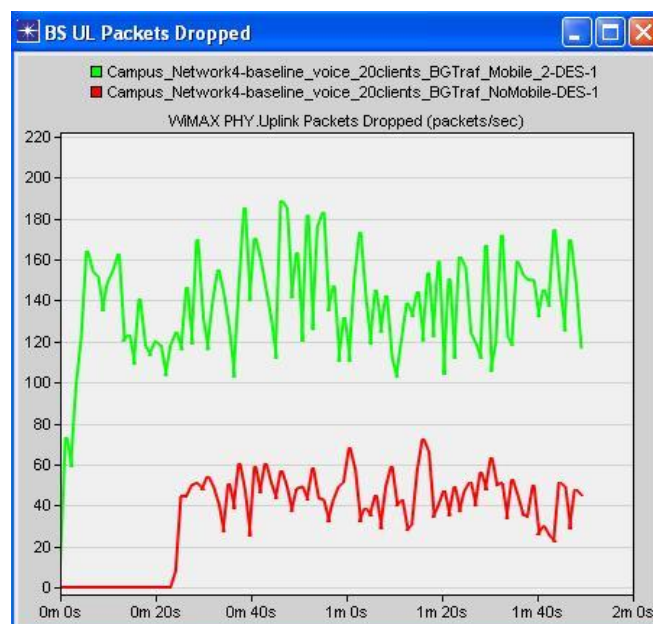
Στην παρακάτω εικόνα φαίνετε η τιμή του SNR μετρημένη κατά μέσο όρο για όλους τους σταθμούς που υπάρχουν στο κελί του δικτύου, και για κάθε πακέτο που φτάνει σε αυτούς από το σταθμό βάσης.



Εικόνα 67: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιού DL Σταθμού Βάσης.

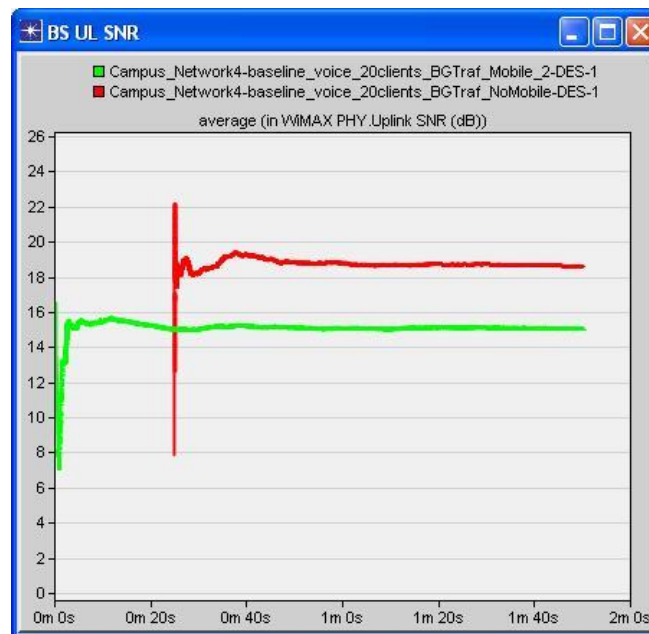
Είναι φανερό ότι για το σενάριο με τους κινούμενους σταθμούς, το SNR ξεπερνάει σχεδόν οριακά κατά μέσο όρο το ελάχιστο επιτρεπτό όριο SNR για την διαμόρφωση QPSK $\frac{1}{2}$. Αν και το σενάριο 2 χρησιμοποιεί την προσαρμόσιμη (Adaptive) διαμόρφωση και κωδικοποίηση και όχι συγκεκριμένα την QPSK $\frac{1}{2}$, τα 9,4dB όπως φαίνεται στην εικόνα 13 είναι γενικότερα το χαμηλότερο όριο όλων των διαμορφώσεων.

Παρακάτω παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα των χαμένων πακέτων και για το UpLink κανάλι. Αν και εδώ υπάρχουν χαμένα πακέτα, ο αριθμός τους για το σενάριο των κινούμενων σταθμών είναι σαφώς μικρότερος σε σχέση με το κανάλι DownLink. Για το σενάριο των σταθμών που η θέση τους είναι δεδομένη ο ρυθμός είναι παραπλήσιος με αυτόν του καναλιού DownLink.



Εικόνα 68: Χαμένα πακέτα καναλιού UL σταθμού βάσης.

Τα χαμένα πακέτα οφείλονται και στις τιμές του SNR του καναλιού. Όπως φαίνεται για το κανάλι UpLink η τιμή του SNR είναι σαφώς πάνω από το όριο και για το σενάριο των κινούμενων σταθμών αλλά παρόλα αυτά αποδεικνύεται ότι ένας μέσος όρος SNR της τάξεως των 15db σε ένα σενάριο με κινούμενους σταθμούς και με τις υπάρχουσες ρυθμίσεις, δεν είναι αρκετός για να χαρακτηρίσουμε την απόδοση του δικτύου ικανοποιητική.



Εικόνα 69: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιού UL Σταθμού Βάσης.

4.2.2.4 Συμπεράσματα σύγκρισης σεναρίων 5 και 6

Διαπιστώθηκε ότι για το σενάριο 6 με τους κινητού σταθμούς οι τιμές του SNR κατά μέσο όρο στα κανάλια DL και UL του σταθμού βάσης ήταν αρκετά χαμηλές παρόλο που η διαμόρφωση ήταν ορισμένη σε adaptive. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα αρκετά περισσότερα χαμένα πακέτα για το σενάριο 6 σε σχέση με το σενάριο 5 που τελικά σημαίνει πολύ χαμηλότερη ρυθμαπόδοση. Συγκρίνοντας τις καθυστερήσεις της εφαρμογής στα δύο σενάρια, δεν διαπιστώθηκαν μεγάλες διαφορές. Και στα δύο σενάρια οι καθυστερήσεις που καταγράφηκαν ήταν στα πλαίσια του φυσιολογικού.

Βεβαίως και η απόδοση του σεναρίου 1 δεν έφτασε το απόλυτο από άποψη όγκου κίνησης εφαρμογής που παραλήφθηκε. Λαμβάνοντας όμως υπόψη τις παρεμβολές που υπάρχουν λόγω της μορφολογίας του εδάφους, κρίνεται ικανοποιητική. Στην πορεία της εργασίας θα αναζητηθούν βεβαίως και άλλες λύσεις για την επίτευξη της καλύτερης δυνατής απόδοσης.

4.2.2.5 Παρουσίαση σεναρίου 7: baseline_voice_20clients_BGTraf_Mobile_2_HARQ

Στο σενάριο αυτό η διάταξη του μοντέλου είναι η ίδια με του σεναρίου 6. Στόχος του είναι να βελτιώσει τον μειωμένο φόρτο και ρυθμαπόδοση που παρατηρήθηκε προηγουμένως στο σενάριο 6.

Οι αλλαγές που έγιναν στο σενάριο 7, σε σχέση με το σενάριο 6, αφορούν δύο στοιχεία τα οποία παρέχονται από το 802.16e και υποστηρίζονται από το OPNET MODELER v.16.0.

Αφορούν την χρήση του μηχανισμού Hybrid Auto Repeat Request (HARQ) και αυτόν του Piggyback. Οι ρυθμίσεις στα πλαίσια του OPNET γίνονται σε κάθε έναν από τους ασύρματους σταθμούς όπως φαίνεται στην εικόνα 70. Όλες οι υπόλοιπες ρυθμίσεις παρέμειναν ίδιες με αυτές του σεναρίου 6.

Να σημειωθεί ότι η ρύθμιση του HARQ αφορά και τα δύο κανάλια επικοινωνίας των ασυρμάτων σταθμών με τον σταθμό βάσης, δηλαδή τόσο το UpLink όσο και το DownLink.

Στόχος των ρυθμίσεων αυτών, αρχικά ενεργοποιώντας τον μηχανισμό του HARQ είναι να υπάρχει η δυνατότητα επανεκπομπής πακέτων στο δίκτυό μας έτσι ώστε να υπάρξουν περισσότερες ευκαιρίες σύνδεσης του σταθμού βάσης με τους ασύρματους σταθμούς που στο προηγούμενο σενάριο δεν κατάφεραν να συσχετιστούν. Όπως σημειώθηκε, ο κύριος λόγος για τον οποίο υπήρχε αποτυχία συσχέτισης ήταν οι χαμηλές τιμές του SNR. Το HARQ χρησιμοποιείται κυρίως σε συνθήκες ασθενούς σήματος, χωρίς αυτό να είναι απόλυτο. Κοινώς το HARQ θα βοηθήσει και στην σύνδεση σταθμών οι οποίοι δεν συσχετιστήκαν με τον σταθμό βάσης όχι μόνο λόγω χαμηλού SNR, αλλά και λόγω της θέσης στον χώρο που μπορεί να είχαν εκείνη την στιγμή η οποία και μεταβάλλεται στην πάροδο του χρόνου.

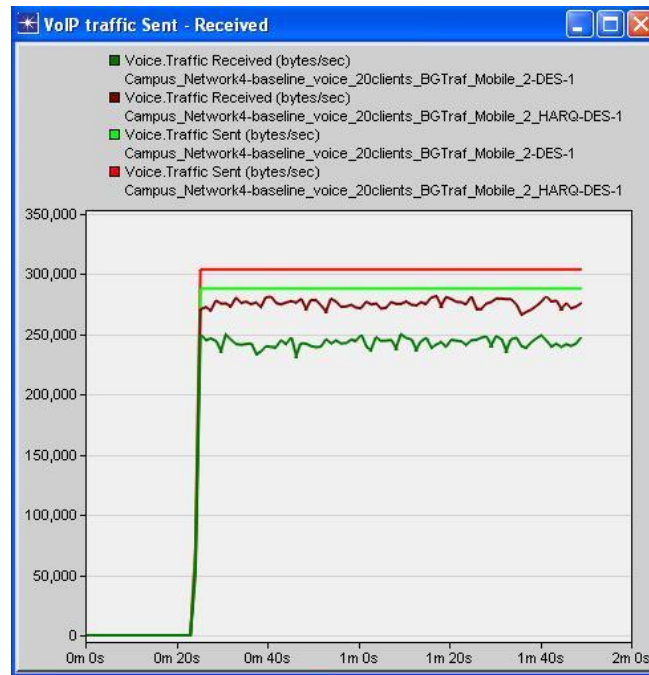
Με την ενεργοποίηση του Piggybacking υπάρχει η δυνατότητα οι ασύρματοι σταθμοί να κάνουν γνωστές στον σταθμό βάσης τις ανάγκες τους σε bandwidth, ενσωματώνοντας τες σε ένα πακέτο τύπου ACK. Επειδή θα υπάρξει δεδομένη αύξηση στο overhead των πακέτων λόγω του HARQ, γίνεται προσπάθεια να περιορίσουμε με αυτόν τον τρόπο έστω κάποιους πόρους δικτύου.

Service Class Name	Gold
Modulation and Coding	Adaptive
Average SDU Size (bytes)	1500
Activity Idle Timer (seconds)	60
Buffer Size (bytes)	64 KB
ARQ Parameters	Disabled
PDU Dropping Probability	Disabled
CRC Overhead	Disabled
HARQ Enabled	Enabled
Uplink Service Flows	(...)
Control Connections	(...)
Multipath Channel Model	ITU Pedestrian A
Pathloss Parameters	(...)
Ranging Power Step (mW)	0.25
Timers	Default
Contention Ranging Retries	16
Mobility Parameters	Default
HARQ Parameters	(...)
Piggyback BW Request	Enabled

Εικόνα 70: Ενεργοποίηση HARQ και Piggybacking.

4.2.2.6 Σύγκριση σεναρίων 6 και 7

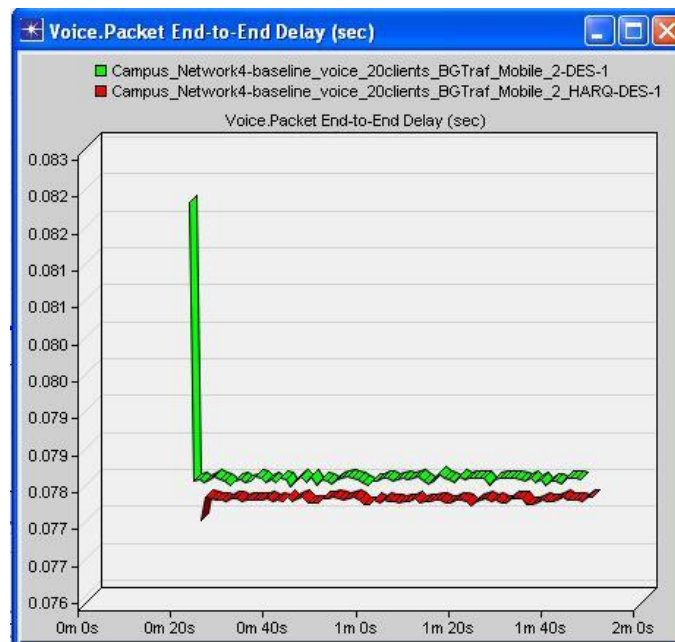
Ο όγκος της κίνησης ο οποίος προωθήθηκε από την εφαρμογή προς το επίπεδο μεταφοράς για να παραδοθεί εκ νέου στην εφαρμογή φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 71: Όγκος κίνησης εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

Σε σχέση με το σενάριο 6 φαίνεται ότι υπήρξε βελτίωση και της συνολικής κίνησης της εφαρμογής, αλλά και του ποσοστού που παραλήφθηκε από τους ασύρματους σταθμούς.

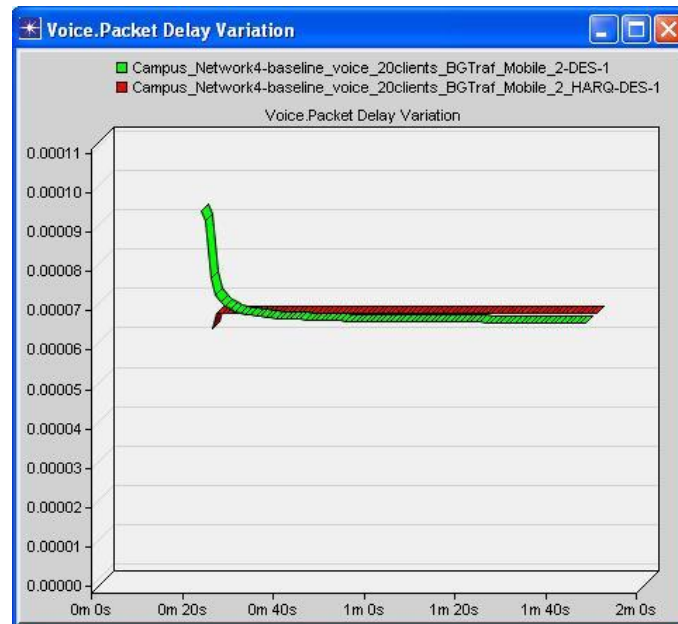
Η καθυστέρηση ενός πακέτου φωνής από την στιγμή που έφυγε από τον πομπό μέχρι που έφτασε στον δέκτη(packet end-to-end delay) του φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 72: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.

Στο συγκεκριμένο στατιστικό υπάρχει μικρή βελτίωση και πάλι.

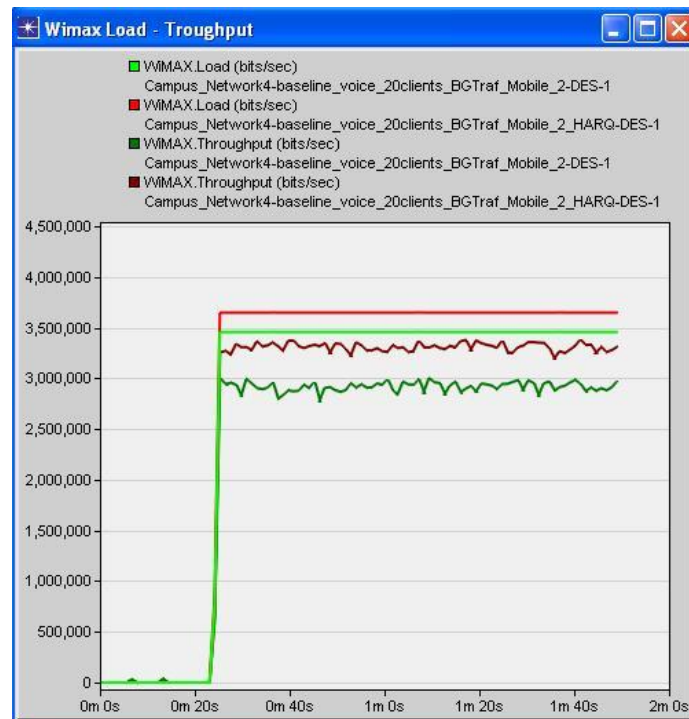
Η απόκλιση της καθυστέρησης αυτής, δηλαδή το κατά πόσο η καθυστέρηση ήταν σταθερή για όλα τα πακέτα από την στιγμή που ξεκίνησαν από τον πομπό μέχρι να φτάσουν στο δέκτη φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 73: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.

Ελάχιστη βελτίωση και στην απόκλιση της καθυστέρησης.

Σε επίπεδο WiMAX ο φόρτος και η ρυθμαπόδοση φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:

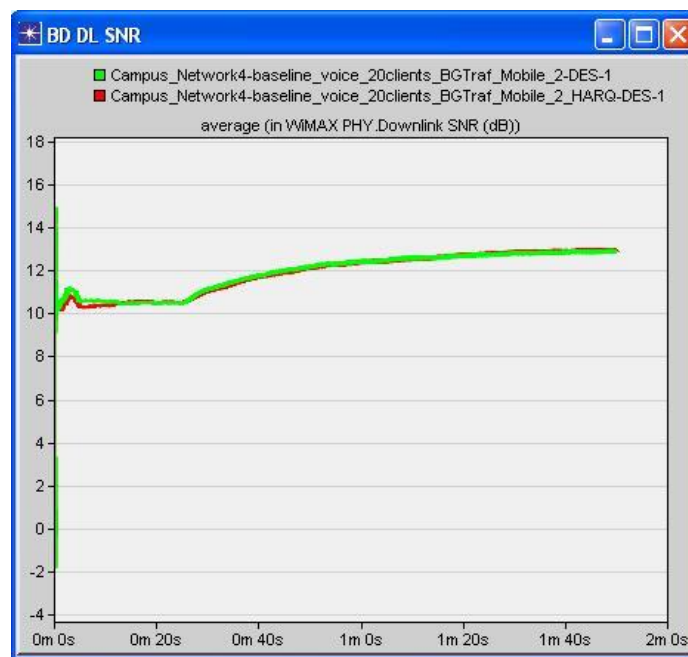


Εικόνα 74: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.

Όπως και στην εικόνα 71 που φαίνεται η κίνηση της εφαρμογής VoIP, έτσι και στην εικόνα 74 φαίνεται να υπάρχουν απώλειες στην ρυθμαπόδοση με σχέση με τον φόρτο σε επίπεδο WiMAX για το σενάριο 7 με ενεργοποιημένο τον μηχανισμό HARQ. Βέβαια υπάρχει σαφής βελτίωση σε σχέση με το σενάριο 6 όπως άλλωστε παρατηρήθηκε και σε επίπεδο εφαρμογής.

Πιο συγκεκριμένα στο σενάριο 6, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, δεν μπόρεσαν να συσχετιστούν με τον σταθμό βάσης οι σταθμοί 17,19,20,25,27, ενώ παρατηρήθηκε ότι οι σταθμοί 15,16,22,23 δεν έλαβαν όσα πακέτα θα έπρεπε. Στο σενάριο 7 ο φόρτος πλέον είναι μεγαλύτερος, όπως και η ρυθμαπόδοση. Δεν μπόρεσαν να συσχετιστούν με τον σταθμό βάσης σε αυτήν την περίπτωση οι σταθμοί 17 και 27 ενώ δεν έλαβαν όσα πακέτα αναμενόταν οι σταθμοί 15,16,22,23,25. Κοινώς με τις αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν έγινε εφικτή η συσχέτιση των σταθμών 19,20,27 με τον σταθμό βάσης και μάλιστα παρουσίασαν την μέγιστη αναμενόμενη απόδοση. Για τον σταθμό 25 η μη συσχέτιση μετατράπηκε σε χάσιμο πακέτων και χαμηλή απόδοση. Οι σταθμοί 15,16,22,23 παρέμειναν στην ουσία στην ίδια κατάσταση και δεν υπήρξε σημαντική βελτίωση.

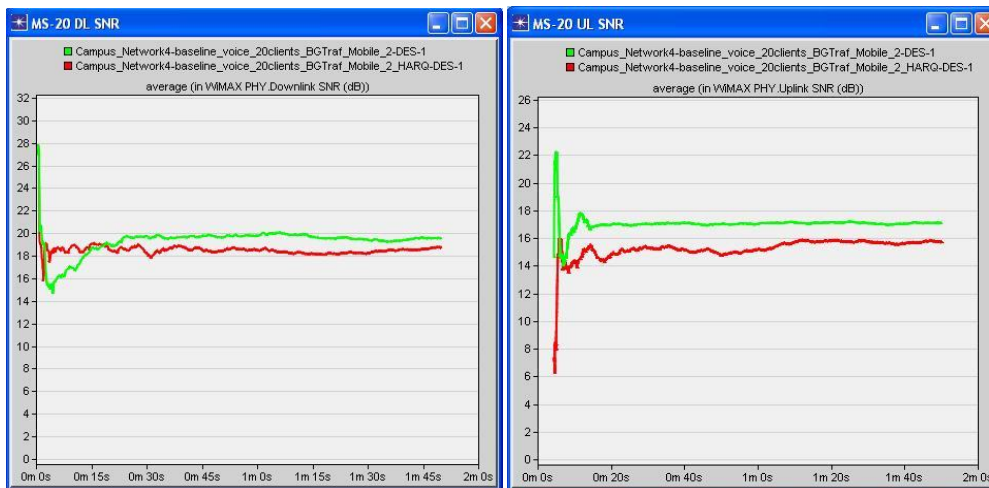
Εξετάζοντας και πάλι το κανάλι του DownLink στον σταθμό βάσης και την τιμή του SNR, όπως έγινε και για το σενάριο 6, διαπιστώνεται ότι οι τιμές είναι ταυτόσημες.



Εικόνα 75: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιού DL σταθμού βάσης.

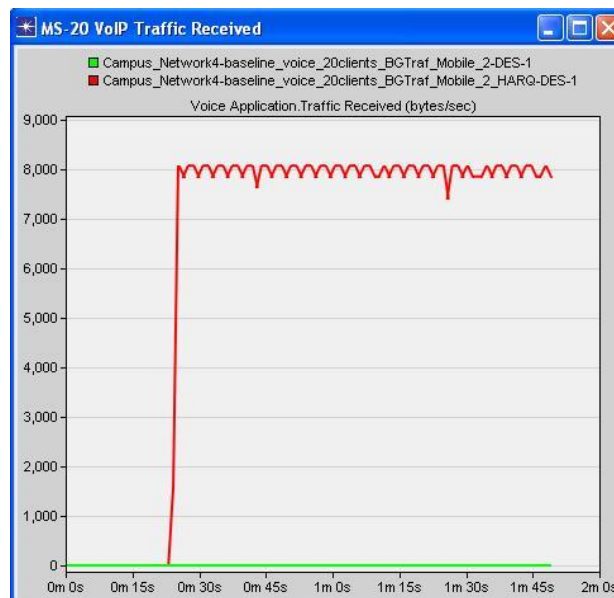
Στην ουσία δηλαδή οι συνθήκες σήματος/θορύβου δεν βελτιώθηκαν όπως είναι φυσιολογικό αφού δεν τροποποιήθηκε κάποια σχετική ρύθμιση που θα μπορούσε να επηρεάσει κάτι τέτοιο, όμως παρόλα αυτά η απόδοση του δικτύου ήταν βελτιωμένη.

Με μεγαλύτερη σαφήνεια επιβεβαιώνεται αυτό το συμπέρασμα εάν παρατηρηθούν για παράδειγμα τα σχετικά γραφήματα για τον ασύρματο σταθμό 20 για τα δύο σενάρια.



Εικόνα 76: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL σταθμού 20.

Όπως φαίνεται η τιμή του SNR είναι περίπου η ίδια για το κανάλι του DownLink και λίγο χαμηλότερη για το κανάλι του UpLink για το σενάριο 7 σε σχέση με το σενάριο 6. Παρόλα αυτά στο σενάριο 7 ο σταθμός 20 κατάφερε να συσχετιστεί και να έχει σχεδόν την μέγιστη απόδοση όπως φαίνεται και με το παρακάτω διάγραμμα που περιγράφει την κίνηση που κατάφερε να λάβει από την εφαρμογή VoIP, σε σχέση πάντα με το σενάριο 6 που όπως φαίνεται η κίνηση αυτή ήταν μηδενική. Ίδια ακριβώς είναι και η συμπεριφορά των σταθμών 19 και 27.



Εικόνα 77: Συνολικός όγκος κίνησης εφαρμογής VoIP που παραλήφθηκε σταθμού 20.

4.2.2.7 Συμπεράσματα σύγκρισης σεναρίων 6 και 7

Με την ενεργοποίηση των μηχανισμού HARQ και piggybacking στο σενάριο 7, επιτεύχθηκε σημαντική βελτίωση του όγκου της κίνησης και της ρυθμαπόδοσης αυτού σε ίδιες συνθήκες με το σενάριο 6. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω στο σενάριο 6 δεν μπόρεσαν να συσχετιστούν με τον σταθμό βάσης οι σταθμοί 17,19,20,25,27, ενώ παρατηρήθηκε ότι οι σταθμοί 15,16,22,23 δεν έλαβαν όσα πακέτα θα έπρεπε. Στο σενάριο 7 με ενεργοποιημένο το HARQ ο φόρτος αυξήθηκε, όπως και η ρυθμαπόδοση. Δεν μπόρεσαν να συσχετιστούν με τον σταθμό

βάσης οι σταθμοί 17 και 27 ενώ δεν έλαβαν όσα πακέτα αναμενόταν οι σταθμοί 15,16,22,23,25. Κοινώς με την ενεργοποίηση των δύο μηχανισμών έγινε εφικτή η συσχέτιση των σταθμών 19,20,27 με τον σταθμό βάσης και μάλιστα παρουσίασαν την μέγιστη αναμενόμενη απόδοση. Για τον σταθμό 25 η μη συσχέτιση μετατράπηκε σε χάσιμο πακέτων και χαμηλή απόδοση. Οι σταθμοί 15,16,22,23 παρέμειναν στην ουσία στην ίδια κατάσταση και δεν υπήρξε σημαντική βελτίωση.

Οπότε το αναμενόμενο αποτέλεσμα από την χρήση του HARQ και του piggybacking επιτεύχθηκε ως ένα βαθμό αφού στις ίδιες συνθήκες σήματος-θορύβου και κίνησης των σταθμών, η επανεκπομπή πακέτων και ο εναλλακτικός τρόπος αιτήσεων bandwidth επέτρεψε βελτίωση όγκου κίνησης και ρυθμαπόδοσης.

4.2.2.8 Παρουσίαση σεναρίου 8: Baseline voice 20clients_BGTraf Mobile 3

Στο σενάριο αυτό διαφοροποιείται μόνο η ρύθμιση που καθορίζει την ταχύτητα της κίνησης των ασύρματων σταθμών στο χώρο σε σχέση με το σενάριο 7.

Συγκεκριμένα, ενώ στο σενάριο 7 οι ασύρματοι σταθμοί κινούνταν με μια ταχύτητα 1,5m/s, σε αυτό το σενάριο η ταχύτητα θα είναι 4m/s.

Ο μηχανισμός του HARQ αλλά και το piggybacking παραμένουν ενεργοποιημένα όπως και στο προηγούμενο σενάριο καθώς είχαν θετικές επιπτώσεις στα αποτελέσματα του.

4.2.2.9 Σύγκριση σεναρίων 7 και 8

Ο όγκος της κίνησης ο οποίος προωθήθηκε από την εφαρμογή προς το επίπεδο μεταφοράς για να παραδοθεί εκ νέου στην εφαρμογή φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:

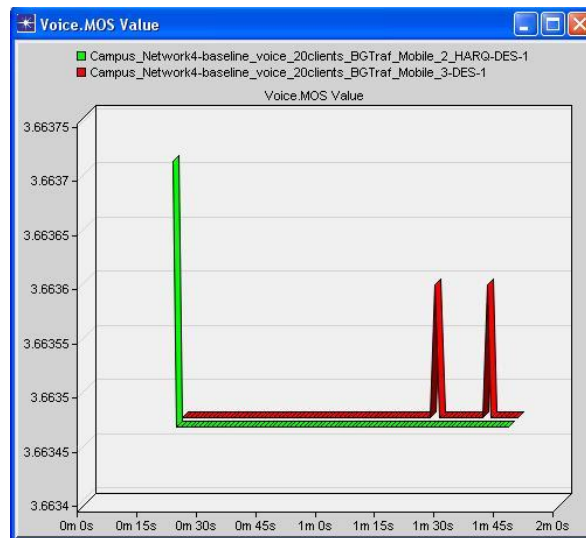


Εικόνα 78: Όγκος κίνησης εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

Όπως φαίνεται παραπάνω η όγκος της κίνησης με τον οποίο τροφοδοτήθηκαν οι ασύρματοι σταθμοί είναι ο ίδιος και για τα δύο σενάρια και φτάνει τα 305,000bytes/sec που σημαίνει ότι

υπολείπεται κατά 15,000bytes/sec του θεωρητικού μέγιστου. Η κίνηση που τελικά παραλήφθηκε ήταν περισσότερη για το σενάριο 8 αν και η ταχύτητα των σταθμών ήταν μεγαλύτερη κατά 3m/s σε σχέση με το σενάριο 7.

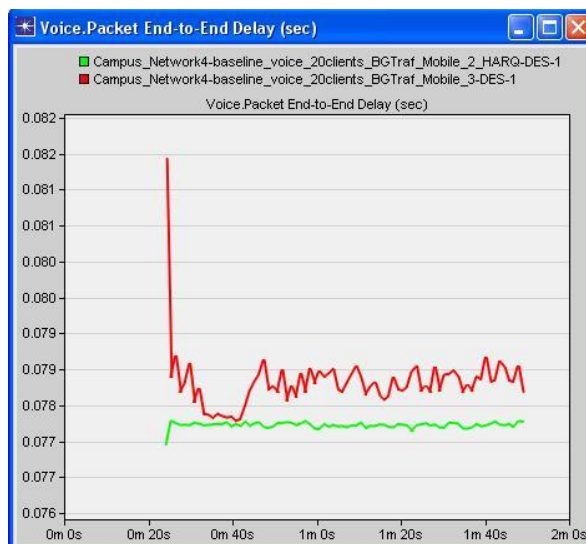
Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζονται οι τιμές του δείκτη MOS για την εφαρμογή VoIP στα δύο σενάρια. Πέρα από δύο στιγμιαίες αυξήσεις που παρατηρούνται για το σενάριο 8, οι τιμές του MOS είναι ίδιες για τα δύο σενάρια. Κοινώς η ποιότητα της συνομιλίας που θα αντιλαμβανόταν ο πομπός και ο δέκτης δεν μεταβλήθηκε.



Εικόνα 79: Τιμή δείκτη MOS.

Η τιμή που καταγράφεται για τον δείκτη MOS είναι 3,66346 περίπου και για τα δύο σενάρια.

Η καθυστέρηση ενός πακέτου φωνής από την στιγμή που έφυγε από τον πομπό μέχρι που έφτασε στον δέκτη(packet end-to-end delay) του φαίνεται παρακάτω:

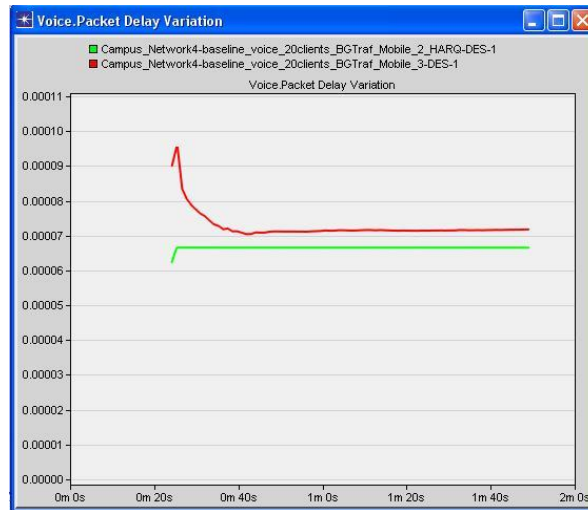


Εικόνα 80: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.

Στο συγκεκριμένο στατιστικό οι τιμές είναι ελάχιστα μεγαλύτερες για το σενάριο 8. Κυμαίνονται από 0,078 δευτερόλεπτα μέχρι 0,079 δευτερόλεπτα καθόλη την διάρκεια της

προσομοίωσης. Για το σενάριο 7 η τιμή είναι σχεδόν απόλυτα σταθερή στα 0,0775 δευτερόλεπτα. Η διαφορά είναι αμελητέα.

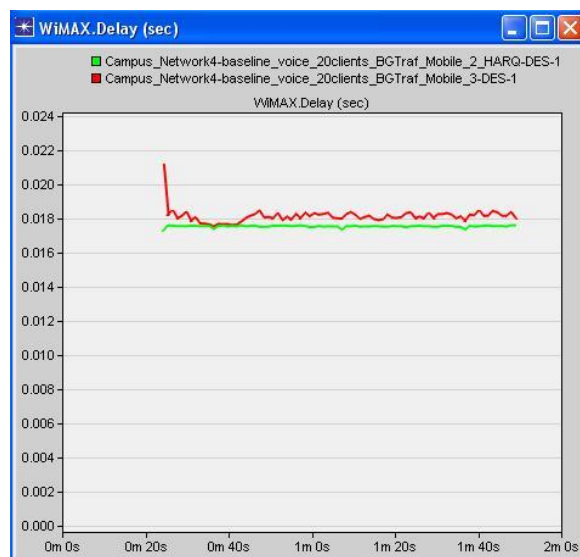
Η απόκλιση της καθυστέρησης αυτής, δηλαδή το κατά πόσο η καθυστέρηση ήταν σταθερή για όλα τα πακέτα από την στιγμή που ξεκίνησαν από τον πομπό μέχρι να φτάσουν στο δέκτη φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα



Εικόνα 81: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.

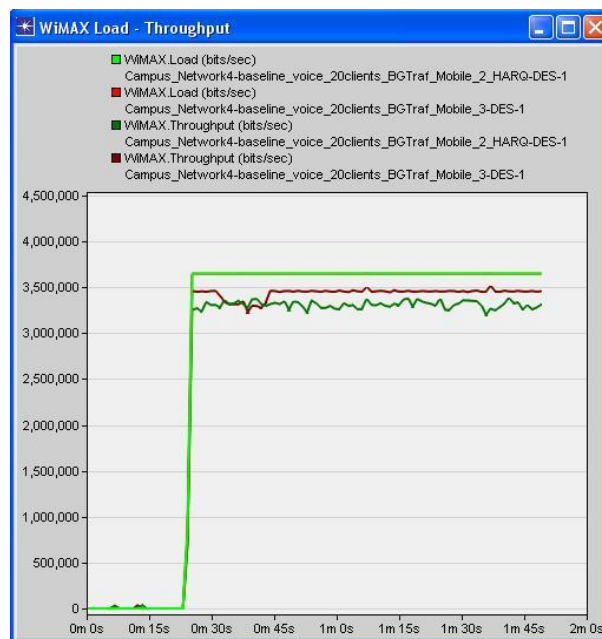
Και σε αυτό το στατιστικό το σενάριο 8 παρουσιάζει ελάχιστα αυξημένες τιμές σε σχέση με το σενάριο 7. Αλλά το επίπεδο γενικότερα των τιμών της απόκλισης της καθυστέρησης είναι ιδιαίτερος μικρές. Για το σενάριο 7 είναι 0,000068 δευτερόλεπτα και για το σενάριο 8 είναι 0,000071 δευτερόλεπτα. Κοινώς ελάχιστες ήταν οι επιβαρύνσεις στις καθυστερήσεις της εφαρμογής λόγω της αυξημένης ταχύτητας κίνησης των ασύρματων σταθμών.

Σε επίπεδο WiMAX οι καθυστερήσεις που καταγράφηκαν κατά την μεταφορά των πακέτων στα υψηλότερα επίπεδα για όλους του σταθμούς φαίνονται παρακάτω στο σχετικό διάγραμμα:



Εικόνα 82: Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.

Οι διαφορές και εδώ είναι πολύ μικρές. Η τιμή της καθυστέρησης και για τα δύο σενάρια παρουσιάζει μια σταθερή τάση χωρίς αυξομειώσεις. Για το σενάριο 7 η τιμή κυμαίνεται στα 0,0169 δευτερόλεπτα και για το σενάριο 8 στα 0,0181 δευτερόλεπτα.

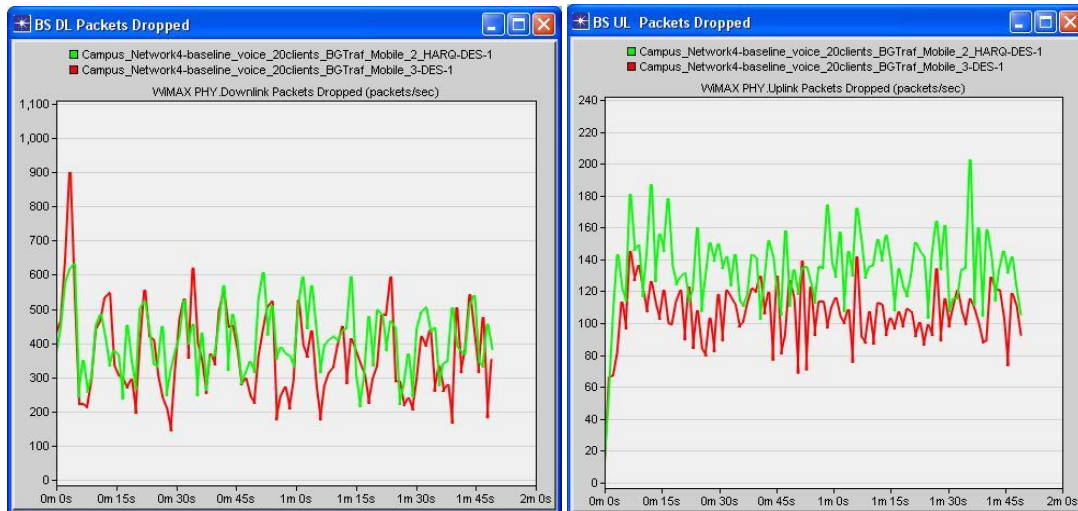


Εικόνα 83: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.

Όπως είναι φυσιολογικό εφόσον και στην κίνηση της εφαρμογής VoIP παρατηρήθηκαν διαφορές έτσι και στο στατιστικό που περιγράφει τον συνολικό φόρτο και ρυθμαπόδοση, υπάρχουν οι αντίστοιχες διαφορές με το σενάριο 8 να καταγράφει καλύτερη ρυθμαπόδοση.

Πιο συγκεκριμένα βλέποντας την απόδοση του κάθε ασύρματου σταθμού ξεχωριστά στο σενάριο 8, δεν μπόρεσαν να συσχετιστούν με τον σταθμό βάσης οι σταθμοί 17 και 20 ενώ παρατηρήθηκε ότι οι σταθμοί 15,16,22,23,27 δεν έλαβαν όσα πακέτα θα έπρεπε. Στο σενάριο 7 δεν μπόρεσαν να συσχετιστούν με τον σταθμό βάσης οι σταθμοί 17 και 27 ενώ δεν έλαβαν όσα πακέτα αναμενόταν οι σταθμοί 15,16,22,23,25 με περισσότερα χαμένα πακέτα όμως σε σχέση με τους αντίστοιχους σταθμούς του σεναρίου 8. Κοινώς και στα δύο σενάρια υπήρχαν από 2 σταθμοί οι οποίοι δεν συσχετίστηκαν με τον σταθμό βάσης. Η διαφορά στην ρυθμαπόδοση έγκειται στο γεγονός ότι στους σταθμούς που παρατηρήθηκε χάσιμο πακέτων, το ποσοστό αυτών για το σενάριο 7 ήταν μεγαλύτερο σε σχέση με το σενάριο 8.

Στα δύο παρακάτω διαγράμματα φαίνονται τα χαμένα πακέτα στα κανάλια Downlink και Uplink του σταθμού βάσης για τα δύο συγκρινόμενα σενάρια. Για το κανάλι DL οι διαφορές είναι μικρές και το ποσοστό χαμένων πακέτων είναι λίγο μικρότερο για το σενάριο 8. Στο κανάλι UL όμως οι διαφορές είναι μεγαλύτερες και το σενάριο 8 παρουσίασε αρκετά λιγότερα χαμένα πακέτα.



Εικόνα 84: Χαμένα πακέτα καναλιού DL και UL σταθμού βάσης.

Τα λιγότερα χαμένα πακέτα στο κανάλι UL δικαιολογούν και της βελτιωμένη ρυθμαπόδοση που παρουσιάστηκε για το σενάριο 8. Ο λόγος όμως που προκάλεσε στην μείωση των χαμένων πακέτων σε σχέση με το σενάριο 7, φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα όπου καταγράφεται το SNR των καναλιών DL και UL κατά μέσο όρο για τον σταθμό βάσης:



Εικόνα 85: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL σταθμού βάσης.

Όπως είναι φανερό για το κανάλι DL δεν παρουσιάστηκε διαφορά στην τιμή του SNR ενώ στο κανάλι UL υπήρξε μια βελτίωση της τάξης των 2db τα οποία αποδεικνύεται ότι βοήθησαν ώστε να μειωθούν τα χαμένα πακέτα σε σχέση με το σενάριο 7. Γενικότερα πάντως οι τιμές του SNR είναι αρκετά χαμηλές και για τα δύο σενάρια κάτι που δικαιολογεί τον μειωμένο φόρτο και ρυθμαπόδοση κίνησης.

4.2.2.10 Συμπεράσματα σύγκρισης σεναρίων 7 και 8

Φάνηκε ότι η αύξηση στην ταχύτητα κίνησης των ασύρματων σταθμών στο σενάριο 8 επηρέασε την εφαρμογή VoIP ελάχιστα από άποψη καθυστερήσεων. Οι καθυστερήσεις αυξήθηκαν αλλά οι αυξήσεις αυτές χαρακτηρίζονται ασήμαντες. Στο σενάριο 8 όμως βελτιώθηκε η συνολική ρυθμαπόδοση της εφαρμογής σε σχέση πάντα με το σενάριο 7. Όπως

φάνηκε και από τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω το SNR παρουσίασε μικρή αύξηση στο κανάλι UL του σταθμού βάσης κάτι που επέτρεψε την βελτίωση της ρυθμαπόδοσης αφού στο κανάλι UL παρουσιάστηκαν λιγότερα χαμένα πακέτα. Φαίνεται λοιπόν ότι η αυξημένη ταχύτητα κίνησης των ασύρματων σταθμών τους επέτρεψε να επικοινωνήσουν αποτελεσματικότερα με τον σταθμό βάσης πιθανότατα λόγω του γεγονότος ότι έτσι απέφυγαν εμπόδια που δημιουργούν αντανάκλασεις στον χώρο του δικτύου, πιο εύκολα από ότι στο σενάριο 7. Άλλωστε με ενεργοποιημένο το HARQ και με βάση το OFDMA επικοινωνία θεωρητικά μπορεί να επιτευχθεί ακόμη και με ασύρματους σταθμούς που κινούνται με 120 Km/h όπως έχει αναφερθεί και στο θεωρητικό κομμάτι. Βέβαια στο δικτυακό μοντέλο της εργασίας είναι πολύ πιο αληθοφανές να θεωρηθεί σαν αντιπροσωπευτική ταχύτητα κίνησης των ασύρματων σταθμών τα 1,5m/s παρά τα 4m/s οπότε και τα δύο επόμενα σενάρια θα έχουν σαν βάση το σενάριο 7.

Γενικότερα πάντως φάνηκε ότι αν και σαν διαμόρφωση επιλέχθηκε η adaptive η οποία είναι η θεωρητικά σωστότερη λόγω της συνεχούς εναλλαγής θέσης και κατάστασης των ασύρματων σταθμών, πιθανότατα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί κάποια διαφορετική σταθερή διαμόρφωση αφού τα αποτελέσματα στο SNR δεν ήταν αρκετά ώστε να εξασφαλιστεί ακόμη καλύτερη απόδοση δικτύου.

4.2.2.11 Παρουσίαση σεναρίου 9

Το σενάριο αυτό βασίζεται στο σενάριο 7. Οι ρυθμίσεις των ασύρματων σταθμών και του σταθμού βάσης είναι ακριβώς οι ίδιες. Οι ιδιότητες της κίνησης και η ταχύτητα είναι επίσης ίδιες για τους ασύρματους σταθμούς με τους αντίστοιχους του σεναρίου 7.

Η διαφοροποίηση επέρχεται στον αριθμό των ασύρματων σταθμών που εξυπηρετούνται από την εφαρμογή και κατά επέκταση από τον σταθμό βάσης. Σε αυτό το σενάριο οι σταθμοί αυτοί είναι 10 περισσότεροι από τα προηγούμενα σενάρια, δηλαδή 30. Καμία άλλα αλλαγή δεν έχει πραγματοποιηθεί.

4.2.2.12 Παρουσίαση σεναρίου 9 1

Το σενάριο αυτό είναι επέκταση του σεναρίου 9. Η μόνη διαφοροποίηση είναι ο ένας επιπλέον σταθμός βάσης για την εξυπηρέτηση των 30 ασύρματων σταθμών ώστε να παρατηρηθούν οι διαφορές στην συμπεριφορά του δικτύου. Ο δεύτερος σταθμός βάσης έχει ταυτόσημες ρυθμίσεις με τον πρώτο σταθμό βάσης. Δηλαδή:

Antenna Gain (dBi)	15 dBi
BS Parameters	Default
Classifier Definitions	(...)
Number of Rows	1
Row 0	
Type of SAP	IP
Traffic Characteristics	(...)
Match Property	IP ToS
Match Condition	Equals
Match Value	Interactive Voice (6)
Service Class Name	Gold
MAC Address	Auto Assigned
Maximum Transmission Power (W)	1.0
PHY Profile	WirelessOFDMA 20 MHz
PHY Profile Type	OFDM

Εικόνα 86: Ρυθμίσεις σταθμού βάσης 2.

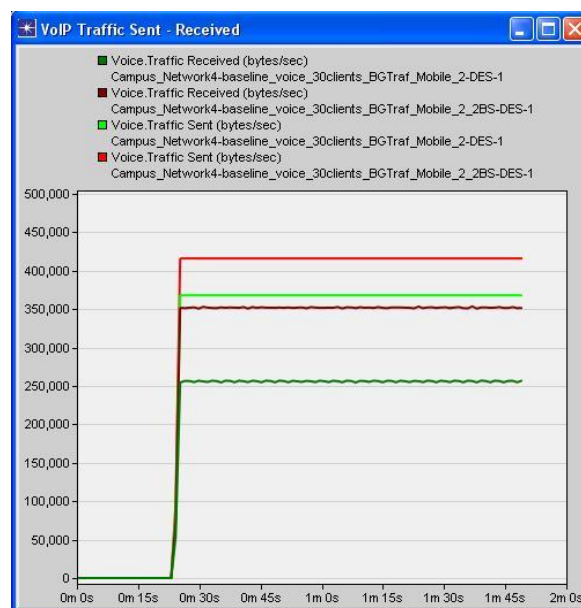
Όπως φαίνεται το Antenna Gain είναι ίσο με 15dbi(dB-isotropic) που σημαίνει ότι η κεραία όντας ισοτροπική, έχει την δυνατότητα να εκπέμπει 15dbi προς όλες τις κατευθύνσεις.

Η Μέγιστη Ισχύς Εκπομπής(Maximum Transmission Power) του σταθμού έχει οριστεί στο 1W ή αλλιώς στα 30dBm.

Το Profile του φυσικού επιπέδου έχει επιλεγθεί να είναι το WirelessOFDMA 20MHz.

4.2.2.13 Σύγκριση σεναρίων 9 και 9_1

Αρχικά για τον όγκο κίνησης της εφαρμογής VoIP με τον οποίο τροφοδοτήθηκαν οι ασύρματοι σταθμοί παρατηρείται αρκετά μεγάλη διαφορά για τα δύο σενάρια. Η κίνηση που παραλήφθηκε ήταν περισσότερη για το σενάριο 9_1 με τους δύο σταθμούς βάσης όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:

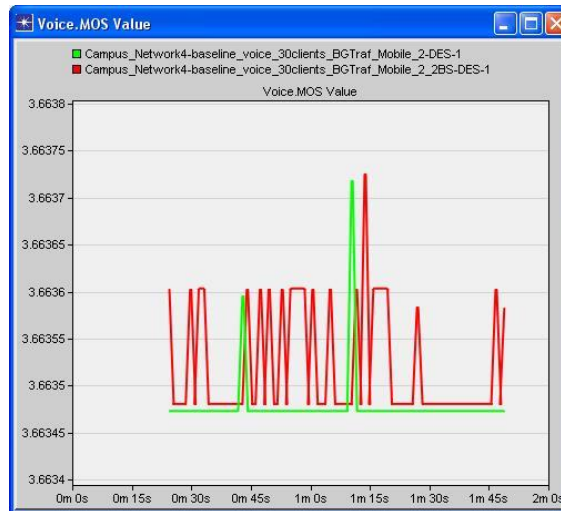


Εικόνα 87: Όγκος κίνησης εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

Όπως φαίνεται και παρά το γεγονός ότι στα δύο σενάρια οι ασύρματοι σταθμοί που εξυπηρετούνται είναι 30, τα στατιστικά για τον όγκο της κίνησης και την ρυθμιαπόδοση για το

σενάριο 9_1 είναι αρκετά αυξημένα. Ο όγκος για το σενάριο 9_1 φτάνει στα 415,000 bytes/sec, ενώ για το σενάριο 9 φτάνει στα 365,000 bytes/sec. Το θεωρητικό μέγιστο πάντως είναι τα 480,000 bytes/sec από το οποίο και το σενάριο 9_1 απέχει πολύ. Επιπλέον του μειωμένου όγκου, πρόβλημα παρουσιάζεται και στην ρυθμαπόδοση και για τα δύο σενάρια. Για το σενάριο 9_1 κυμαίνεται στα 350,000 bytes/sec και για το σενάριο 9 στα 255,000 bytes/sec. Γενικότερα από το πρώτο κιάλας στατιστικό φαίνεται ότι υπάρχει έντονο πρόβλημα και στα δύο σενάρια.

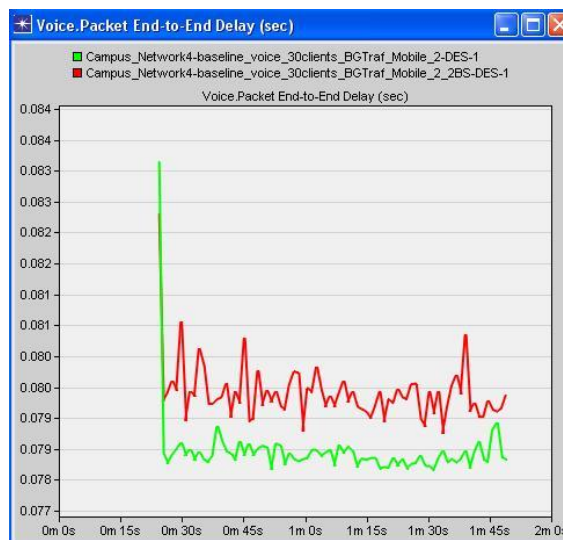
Ακολουθεί το διάγραμμα το οποίο περιγράφει την τιμή του δείκτη MOS για τα δύο σενάρια:



Εικόνα 88: Τιμή δείκτη MOS.

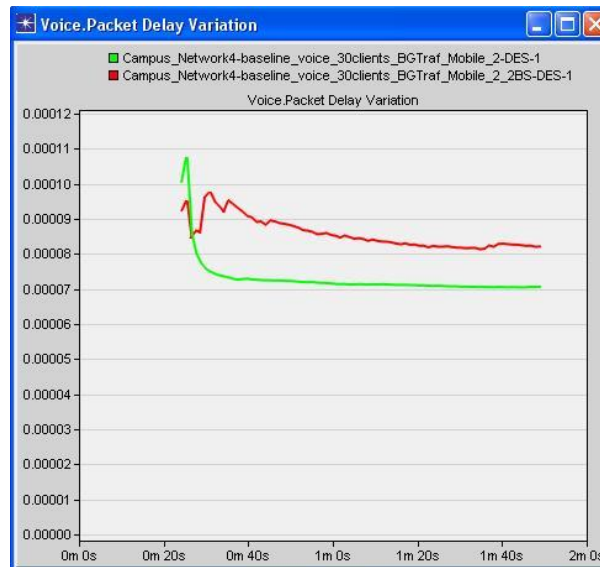
Για το σενάριο 9_1 με τους δύο σταθμούς βάσης παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές σε κάποιες στιγμές της προσομοίωσης. Πάντως οι διαφορές σε σχέση με το σενάριο 9 είναι πολύ μικρές και στην ουσία ασήμαντες.

Στο επόμενο διάγραμμα που περιγράφει την καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων φωνής από τον πομπό στον δέκτη παρατηρούνται μικρές διαφορές ανάμεσα στα δύο σενάρια:



Εικόνα 89: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.

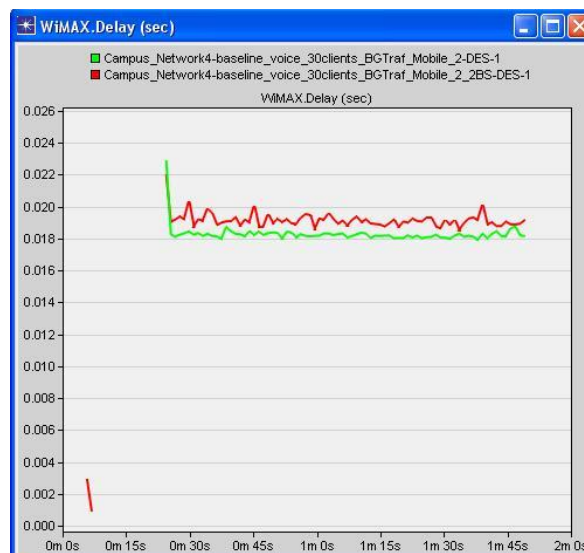
Για το σενάριο 9_1 η καθυστέρηση είναι λίγο μεγαλύτερη και παρουσιάζει λιγότερα σταθερή τάση. Οι τιμές για το σενάριο 9_1 κυμαίνονται από 0,0798 μέχρι 0,081 δευτερόλεπτα. Για το σενάριο 9 από 0,079 μέχρι 0,0795 δευτερόλεπτα.



Εικόνα 90: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.

Η απόκλιση της καθυστέρησης είναι λίγο μεγαλύτερη για το σενάριο 9_1 αλλά γενικότερα και στα δύο σενάρια οι τιμές της είναι αμελητέες όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα.

Σε επίπεδο WiMAX οι καθυστερήσεις που καταγράφηκαν για όλα τα πακέτα φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:

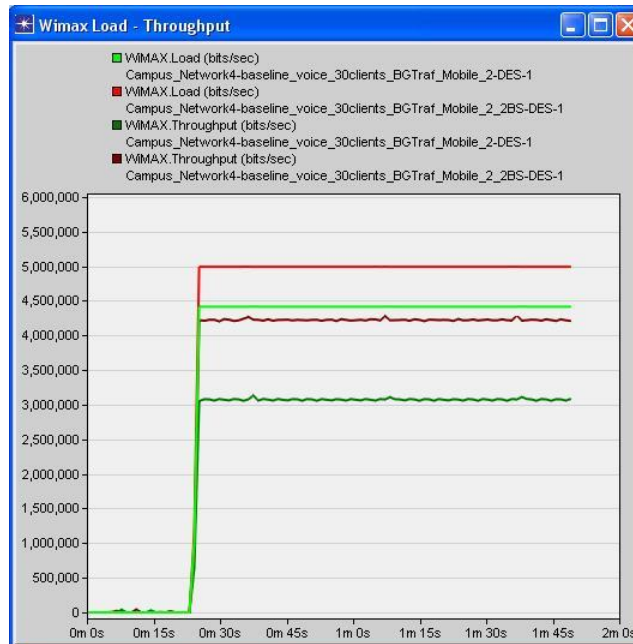


Εικόνα 91 : Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.

Οι καθυστερήσεις και εδώ είναι λίγο μεγαλύτερες για το σενάριο 9_1 και φτάνουν τα 0,020 δευτερόλεπτα στην μέγιστη τιμή τους. Για το σενάριο 9 οι αντίστοιχες καθυστερήσεις είναι λίγο πάνω από τα 0,018 δευτερόλεπτα. Το γεγονός που έχει επιβαρύνει τις καθυστερήσεις στο σενάριο 9_1 είναι ο αυξημένος όγκος της κίνησης που παρουσίασε το σενάριο, αλλά και το

γεγονός ότι πλέον οι σταθμοί διαμοιράζονται σε δύο σταθμούς βάσης. Σε κάθε περίπτωση πάντως οι διαφορές είναι πολύ μικρές.

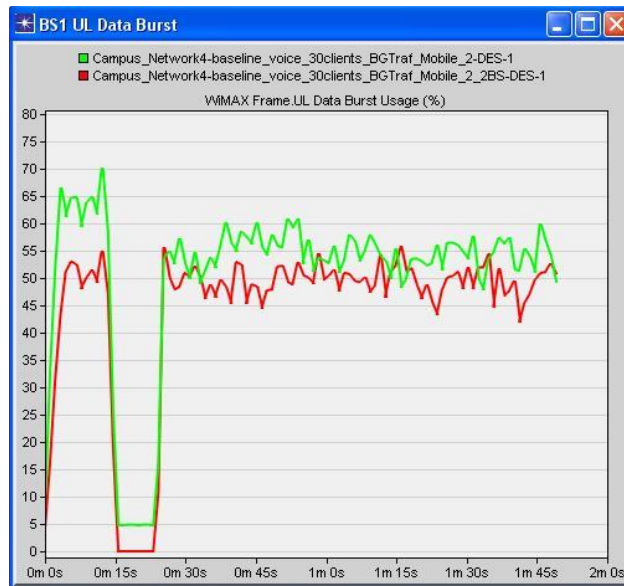
Παρακάτω φαίνεται ο συνολικός όγκος και ρυθμαπόδοση του δικτύου. Όπως είναι φυσιολογικό εφόσον υπάρχει μόνο μία εφαρμογή στα σενάρια αυτά, ο συνολικός όγκος και ρυθμαπόδοση συμφωνούν με τα αντίστοιχα στοιχεία της εφαρμογής.



Εικόνα 92: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.

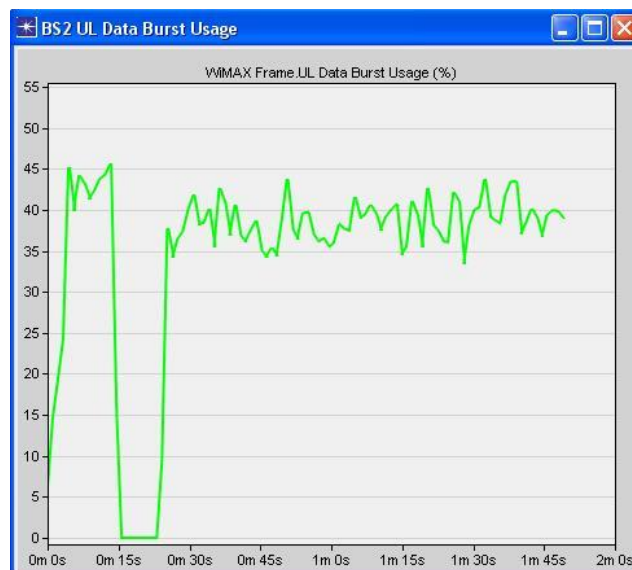
Για να διαπιστωθεί πιο συγκεκριμένα που υπήρξαν οι απώλειες οι οποίες έχουν αναφερθεί περιγράφονται οι απώλειες στην απόδοση του κάθε ασύρματου σταθμού ξεχωριστά. Στο σενάριο 9, δεν μπόρεσαν να συσχετιστούν με τον σταθμό βάσης οι σταθμοί 10,11,17,21,22,25,26,28,30,32,34,36,37,38 ενώ παρατηρήθηκε ότι οι σταθμοί 15,19,22,27,28,32,34,36 δεν συσχετίστηκαν με τους σταθμούς βάσης για το σενάριο 9_1. Κοινώς για το σενάριο 9 δεν συνδέθηκαν με τον σταθμό βάσης οι 14 από τους 30 ασύρματους σταθμούς, ενώ για το σενάριο 9_1 δεν συσχετίστηκαν με του δύο σταθμούς βάσης οι 9 από τους 30 ασύρματους σταθμούς. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι η απόδοση του δικτύου κάθε άλλο παρά ικανοποιητική είναι.

Κοιτώντας το ποσοστό επικάλυψης του καναλιού UL για τον πρώτο σταθμό βάσης του σεναρίου, παρατηρείται ότι η επικάλυψη ήταν μεγαλύτερη για το σενάριο 9 όπου υπήρχε μόνο ένας σταθμός βάσης, αλλά δεν διαπιστώνεται με πρώτη ματιά σε αυτό το σημείο πρόβλημα. Το ποσοστό της επικάλυψης για το σενάριο 9 ήταν της τάξης του 60% περίπου ενώ για το σενάριο 9_1 της τάξης του 55% περίπου.



Εικόνα 93: Ποσοστό χρήσης κίνησης Burst καναλιού DL σταθμού βάσης 1.

Κοιτάζοντας όμως το ποσοστό επικάλυψης του αντίστοιχου καναλιού του σταθμού βάσης 2 που μπήκε σε λειτουργία στο σενάριο 9_1 παρατηρείται επικάλυψη της τάξης του 40% όπως φαίνεται παρακάτω. Κοινώς εάν συγκρίνουμε τα δύο αυτά διαγράμματα στο σενάριο 9 το επιπλέον αυτό ποσοστό κίνησης θα έπρεπε να το έχει επωμιστεί ο μοναδικός σταθμός βάσης κάτι που με βάση το διάγραμμα της εικόνας 93 δεν έγινε.

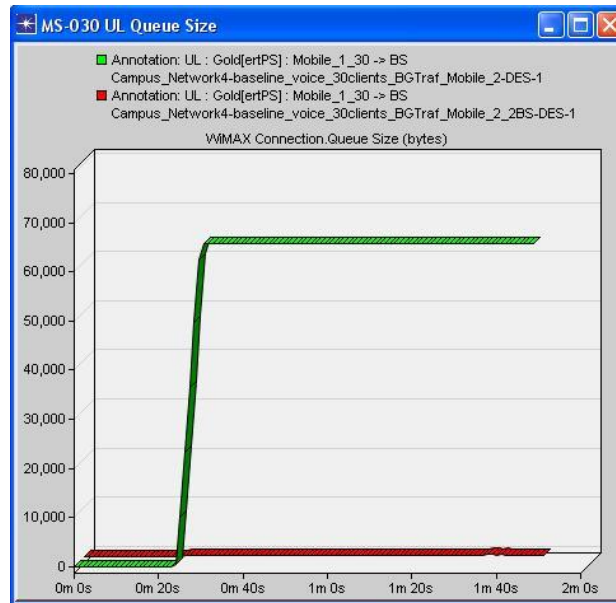


Εικόνα 94: Ποσοστό χρήσης κίνησης Burst καναλιού UL σταθμού βάσης 2.

Αυτό σημαίνει ότι προφανώς πολλοί σταθμοί δεν μπόρεσαν καν να αποστείλουν τις αιτήσεις τους στον σταθμό βάσης ιδιαίτερα στο σενάριο 9 γιατί δεν τους προσφέρθηκε ποτέ η ευκαιρία για επικοινωνία από τον σταθμό βάσης και όχι μόνο γιατί το κανάλι UL παρουσίασε συμφόρηση. Κοινώς την διαδικασία του polling δεν μπόρεσε να την ολοκληρώσει επιτυχημένα ο σταθμός βάσης για όλους τους ασύρματους σταθμούς.

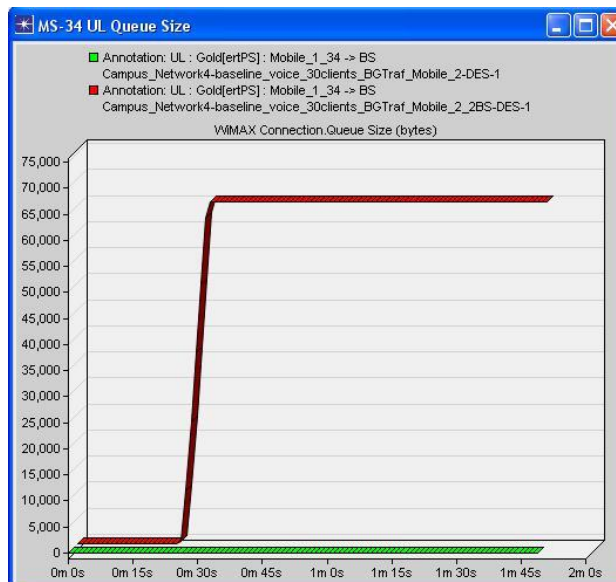
Βέβαια δεν οφείλεται το πρόβλημα μόνο σε αυτό το γεγονός. Για πολλούς ασύρματους σταθμούς οι οποίοι και στα δύο σενάρια δεν επικοινωνήσαν με τον σταθμό βάσης φάνηκε ότι

το πρόβλημα ήταν το μη επαρκές buffer τους με αποτέλεσμα τα πακέτα να χαθούν. Για παράδειγμα στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται ο ασύρματος σταθμός 30, ο οποίος στο σενάριο 9 παρουσιάζει ολοκληρωτική επικάλυψη του buffer του με αποτέλεσμα να μην μεταφερθεί κίνηση της εφαρμογής VoIP ενώ έχει επικοινωνήσει με τον σταθμό βάσης. Ο ίδιος ασύρματος σταθμός στο σενάριο 9_1 λόγω του δεύτερου σταθμού βάσης κατάφερε να μεταφέρει κανονικά κίνηση VoIP.



Εικόνα 95: Μέγεθος ουράς καναλιού UL σταθμού 30.

Επίσης στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται η συμπεριφορά του ασύρματος σταθμού 34. Ο σταθμός αυτός και στα δύο σενάρια δεν κατάφερε να μεταφέρει κίνηση VoIP. Φαίνεται όμως ότι ο λόγος ήταν διαφορετικός για το κάθε σενάριο.

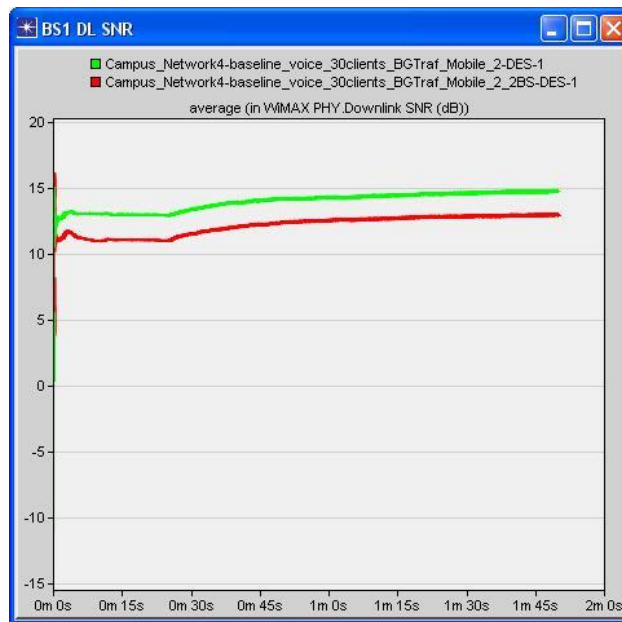


Εικόνα 96: Μέγεθος ουράς καναλιού UL σταθμού 34.

Για το σενάριο 9_1 φαίνεται ότι έχει υπάρξει επικοινωνία με τον σταθμό βάσης, όμως το μέγεθος του buffer του δεν του επιτρέπει να μεταφέρει τελικά κίνηση της εφαρμογής. Για το

σενάριο 9 και πάλι δεν κατάφερε μεταφέρει κίνηση της εφαρμογής όμως το πρόβλημα εντοπίστηκε στο γεγονός ότι δεν του προσφέρθηκε ποτέ η ευκαιρία να το κάνει από τον μοναδικό σταθμό βάσης της εφαρμογής. Το buffer του σε αυτήν την περίπτωση είναι εντελώς άδειο.

Το επόμενο διάγραμμα περιγράφει την τιμή του SNR κατά μέσο όρο στο κανάλι DL του πρώτου σταθμού βάσης. Για το σενάριο 9 η τιμή αυτή είναι λίγο μεγαλύτερη από ότι για το σενάριο 9_1.



Εικόνα 97: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιού DL σταθμού βάσης 1.

Πάντως φαίνεται ότι οι τιμές και στα δύο σενάρια δεν είναι αρκετές ώστε να συσχετιστούν αποτελεσματικά οι σταθμοί βάσης με τους ασύρματους σταθμούς. Βεβαίως αυτό δεν έχει να κάνει με τις δυνατότητες των σταθμών βάσης, αλλά κυρίως από τον τύπο διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που έχει επιλεγεί για αυτά τα σενάρια που και πάλι είναι ο θεωρητικά προτεινόμενος.

4.2.2.14 Συμπεράσματα σύγκρισης σεναρίων 9 και 9_1

Όπως φάνηκε ξεκάθαρα στα παραπάνω διαγράμματα η απόδοση των σεναρίων ήταν κακή.

Για το σενάριο 9, δεν μπόρεσαν να συσχετιστούν με τον σταθμό βάσης οι σταθμοί 10,11,17,21,22,25,26,28,30,32,34,36,37,38 ενώ παρατηρήθηκε ότι οι σταθμοί 15,19,22,27,28,32,34,36 δεν συσχετίστηκαν με τους σταθμούς βάσης για το σενάριο 9_1. Κοινώς για το σενάριο 9 δεν συνδέθηκαν με τον σταθμό βάσης οι 14 από τους 30 ασύρματους σταθμούς, ενώ για το σενάριο 9_1 δεν συσχετίστηκαν με του δύο σταθμούς βάσης οι 9 από τους 30 ασύρματους σταθμούς.

Διαπιστώθηκε ότι πολλοί ασύρματοι σταθμοί δεν μπόρεσαν καν να αποστείλουν τις αιτήσεις τους στον σταθμό βάσης ιδιαίτερα στο σενάριο 9 γιατί δεν τους προσφέρθηκε ποτέ η ευκαιρία για επικοινωνία από τον σταθμό βάσης και όχι μόνο γιατί το κανάλι UL παρουσίασε

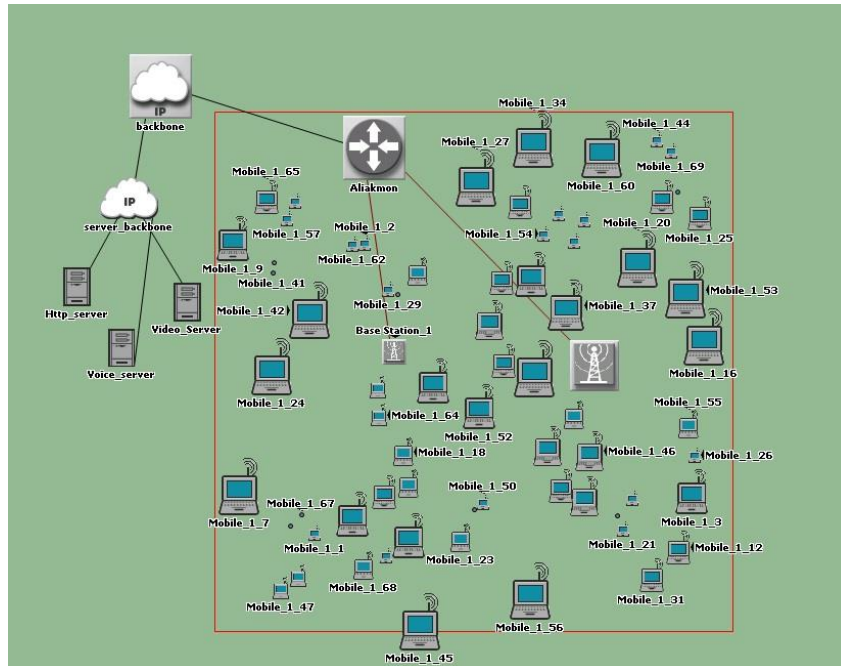
συμφόρηση. Κοινώς την διαδικασία του polling δεν μπόρεσε να την ολοκληρώσει επιτυχημένα ο σταθμός βάσης για όλους τους ασύρματους σταθμούς.

Βέβαια δεν οφείλεται το πρόβλημα μόνο σε αυτό το γεγονός. Για πολλούς ασύρματους σταθμούς οι οποίοι και στα δύο σενάρια δεν επικοινωνήσαν με τον σταθμό βάσης φάνηκε ότι το πρόβλημα ήταν το μη επαρκές buffer τους με αποτέλεσμα τα πακέτα να χαθούν.

Πρωτίστως με τα δεδομένα του δικτύου φαίνεται ότι δεν επαρκεί μια διαμόρφωση τύπου adaptive για τα σενάρια με τους 30 εξυπηρετούμενους σταθμούς. Θα πρέπει να επιλεγεί μια πιο δυναμική διαμόρφωση ώστε να επιτρέψει την αποτελεσματικότερη επικοινωνία των ασυρμάτων σταθμών με τον σταθμό βάσης.

4.2.3 Συνδιαστικά Σενάκια με τρεις εφαρμογές

4.2.3.1 Παρουσίαση σεναρίου 10: Baseline voice http video 20clients SISO



Εικόνα 98: Σύνθεση σεναρίου 10.

Το σενάριο αυτό αποτελείται από 20 ασύρματους σταθμούς οι οποίοι δέχονται και παράγουν κίνηση τύπου VoIP και HTTP και επιπλέον 10 σταθμούς οι οποίοι έχουν ρυθμιστεί κατάλληλα για κίνηση τύπου Video Conference. Υπάρχουν 2 σταθμοί βάσης και φυσικά 3 εξυπηρετητές, ένας για κάθε μία από τις εφαρμογές που προσομοιώνονται στο σενάριο αυτό.

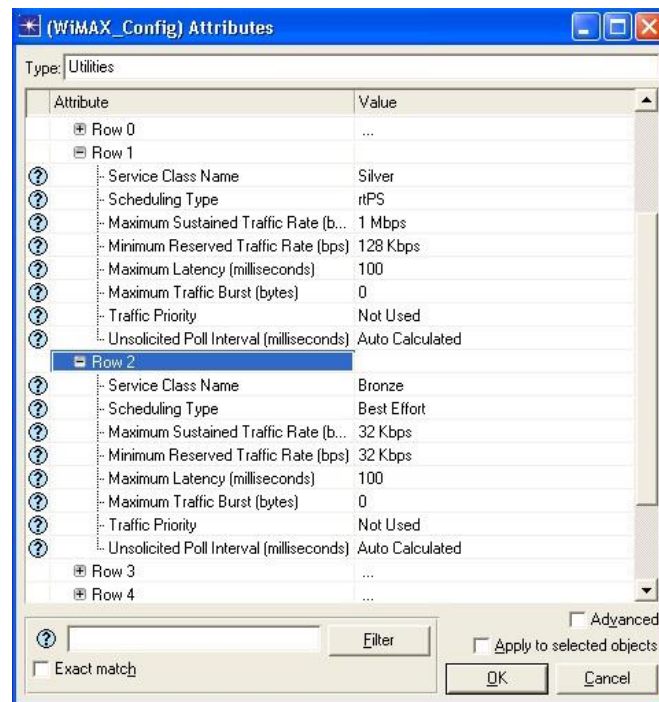
Η κλάση υπηρεσιών "Gold" που έχει παρουσιαστεί παραπάνω για την εφαρμογή VoIP έχει σταθερά τα ίδια χαρακτηριστικά. Δηλαδή: Ο τύπος προδιαγραφής της κίνησης του VoIP έχει οριστεί να είναι ο ertPS(Extended Real-time POLLING SERVICE) καθώς είναι ο καταλληλότερος.

Μέγιστος επιτρεπόμενος όγκος κίνησης της ροής Υπηρεσίας(Service flow Maximum sustained traffic rate) =128kbps

Ελάχιστος επιτρεπόμενος όγκος κίνησης της ροής Υπηρεσίας (Minimum sustained traffic rate)=128kbps

Μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση = 30 milliseconds.

Οι κλάσεις υπηρεσιών οι οποίες εξυπηρετούν τις εφαρμογές Video Conference και HTTP, ονομάζονται "Silver Class" και "Bronze Class" αντίστοιχα. Τα χαρακτηριστικά τους φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 99: Ρυθμίσεις WiMAX.

Ο τύπος προδιαγραφής της κίνησης του Video Conference έχει οριστεί να είναι ο rtPS(Real-time POLLING SERVICE) .

Μέγιστος επιτρεπόμενος όγκος κίνησης της ροής Υπηρεσίας(Service flow Maximum sustained traffic rate) =1Mbps

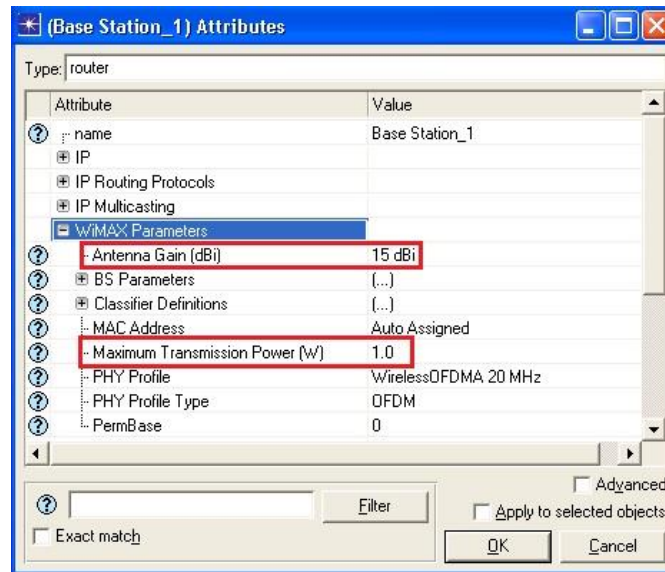
Ελάχιστος επιτρεπόμενος όγκος κίνησης της ροής Υπηρεσίας (Minimum sustained traffic rate)=128kbps

Μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση = 100 milliseconds.

Ο τύπος προδιαγραφής της κίνησης του HTTP έχει οριστεί να είναι ο Best Effort.

Το μόνο χαρακτηριστικό που στην ουσία μπορεί να οριστεί για στον τύπο προδιαγραφής Best Effort όπως έχει αναφερθεί στο θεωρητικό κομμάτι, είναι ο Μέγιστος επιτρεπόμενος όγκος κίνησης της ροής Υπηρεσίας(Service flow Maximum sustained traffic rate) ο οποίος έχει οριστεί στα 32Kbps.

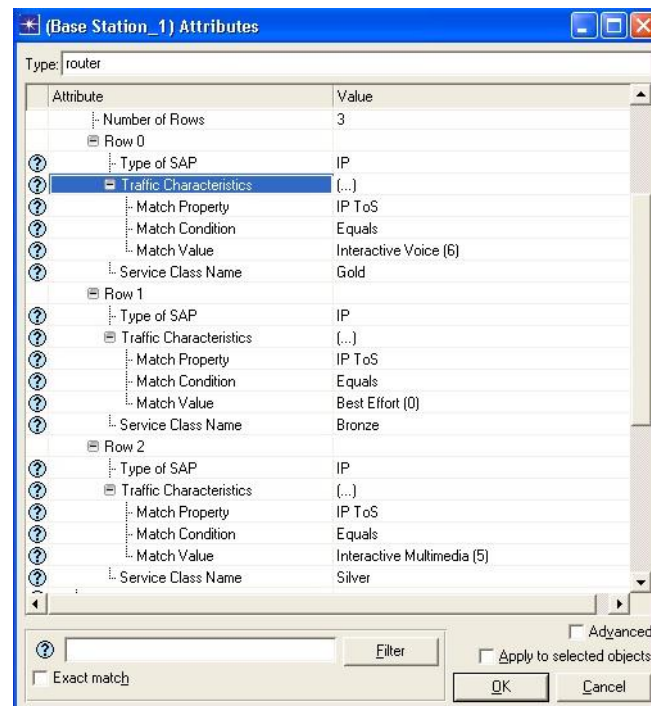
Οι κατάλληλες ρυθμίσεις πρέπει να γίνουν και στους σταθμούς βάσης ώστε να εξυπηρετούν και τις 3 εφαρμογές του σεναρίου.:



Εικόνα 100: Ρυθμίσεις σταθμού βάσης,

Όπως φαίνεται το Antenna Gain είναι ίσο με 15dbi(dB-isotropic) που σημαίνει ότι η κεραία όντας ιστροπική, έχει την δυνατότητα να εκπέμπει 15dbi προς όλες τις κατευθύνσεις.

Η Μέγιστη Ισχύς Εκπομπής(Maximum Transmission Power) και των 2 σταθμών έχει οριστεί στο 1W ή αλλιώς στα 30dBm.



Εικόνα 101: Ρυθμίσεις σταθμού βάσης.

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο έχει οριστεί στον σταθμό βάσης να αντιλαμβάνεται την κίνηση που δημιουργούν οι τρεις εφαρμογές του σεναρίου αυτού. Έχοντας ορίσει το είδος της κίνησης που χαρακτηρίζει την εφαρμογή VoIP σαν “Interactive Voice”, με τις παραπάνω ρυθμίσεις στο πεδίο “Traffic Characteristics” έχει στην ουσία επιτευχθεί ο σταθμός βάσης να λαμβάνει και να προωθεί αυτό το είδος κίνησης. Αντίστοιχα

για την εφαρμογή HTTP το είδος κίνησης ορίζεται σαν “Best Effort” και για την εφαρμογή Video Conference σαν “Interactive Multimedia”.

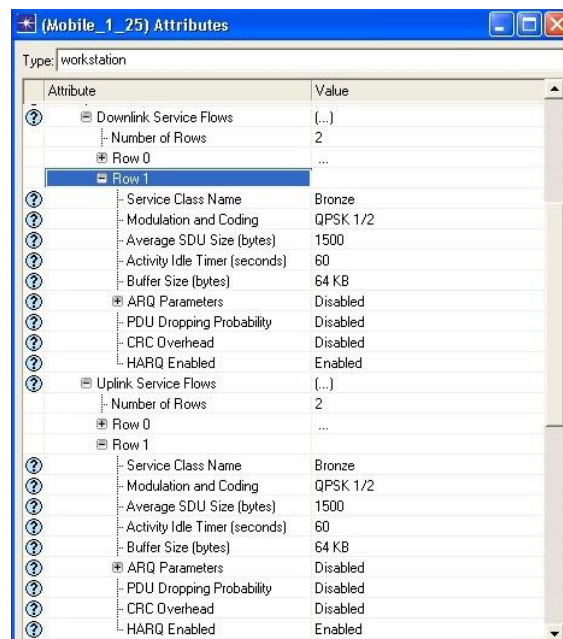
Με το πεδίο “Service Class Name” ορισμένο σε Gold, Bronze και Silver αντίστοιχα επιλέγεται επιπλέον ότι η κίνηση αυτή θα υπακούει στους κανόνες που έχουμε θέσει για αυτές τις κλάσεις υπηρεσιών.

Το Profile του φυσικού επιπέδου έχει επιλεγθεί να είναι το WirelessOFDMA 20MHz για τον πρώτο σταθμό βάσης και WirelessOFDMA 20MHz 1 για τον δεύτερο. Η διαφοροποίηση αυτή γίνεται λόγω του ότι υπάρχει διαφορετική συχνότητα βάσης για την αποφυγή παρεμβολών όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω.

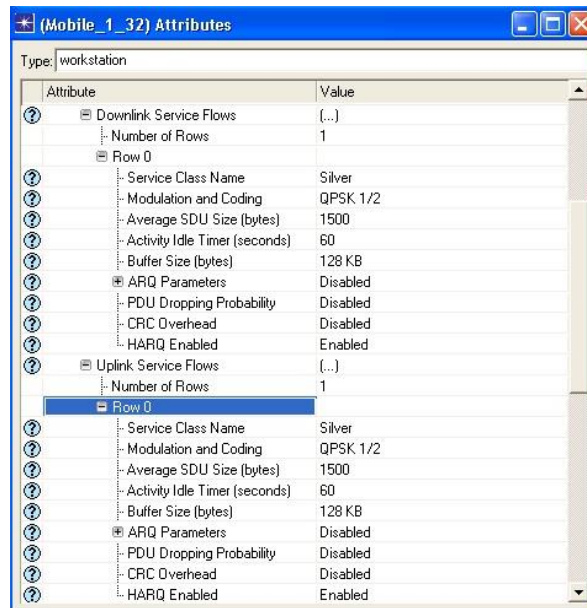
Οι ρυθμίσεις στους ασύρματους σταθμούς είναι ακριβώς οι ίδιες για τα πεδία “Traffic Characteristics” και “Service Class Name”.

Για την τιμή του Antenna Gain έχει επιλεγθεί η αυτόματη ρύθμιση που προσφέρει το OPNET για περισσότερη ευελιξία. Η Μέγιστη Ισχύς Εκπομπής(Maximum Transmission Power) των ασύρματων σταθμών έχει οριστεί στο 0,5W ή αλλιώς στα 27dBm.

Στους ασύρματους σταθμούς όμως πέρα από αυτές τις ρυθμίσεις θα πρέπει επιπλέον να οριστούν και τα χαρακτηριστικά των καναλιών UpLink και DownLink. Για την εφαρμογή VoIP έχουν ήδη αναφερθεί. Παρακάτω φαίνονται για τις δύο άλλες εφαρμογές του σεναρίου:



Εικόνα 102: Ρυθμίσεις DL και UL ασυρμάτων σταθμών για την Εφαρμογή HTTP



Εικόνα 103: Ρυθμίσεις DL και UL ασυρμάτων σταθμών για την Εφαρμογή Video Conference

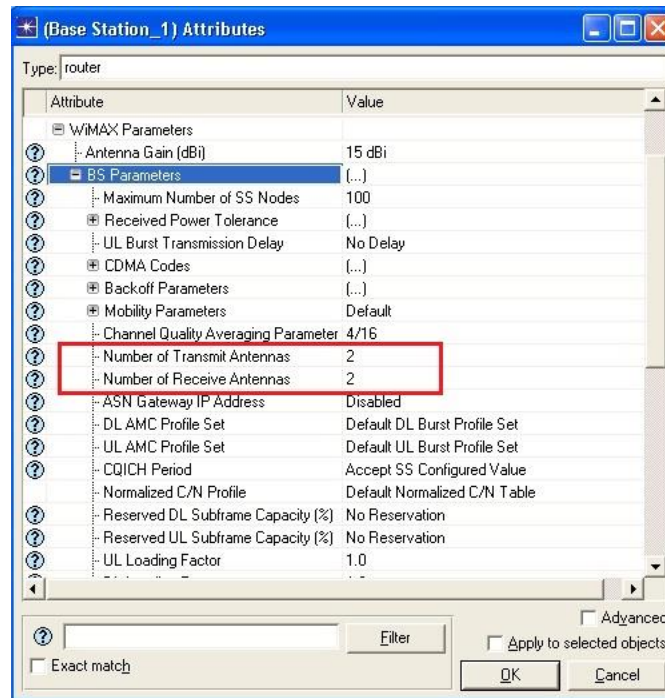
Σε αυτό το σενάριο η διαμόρφωση και κωδικοποίηση και για τις 3 εφαρμογές είναι QPSK1/2. Το μόνο που διαφοροποιείται είναι το μέγεθος του buffer στους σταθμούς που εξυπηρετούν Video, το οποίο έχει οριστεί σε 128KB σε σχέση με τα 64KB των δύο άλλων εφαρμογών.

4.2.3.2 Παρουσίαση σεναρίου 11: Baseline voice http video 20clients MIMO

Το σενάριο αυτό αποτελείται από 20 ασύρματους σταθμούς οι οποίοι δέχονται και παράγουν κίνηση τύπου VoIP και HTTP και επιπλέον 10 σταθμούς οι οποίοι έχουν ρυθμιστεί κατάλληλα για κίνηση τύπου Video Conference. Υπάρχουν 2 σταθμοί βάσης και 3 εξυπηρετητές, ένας για κάθε μία από τις εφαρμογές που προσομοιώνονται στο σενάριο αυτό. Επίσης στο σενάριο αυτό χρησιμοποιείται η τεχνολογία κεραιών MIMO που αποτελεί και την μόνη διαφοροποίηση σε σχέση με το παραπάνω σενάριο γενικότερα.

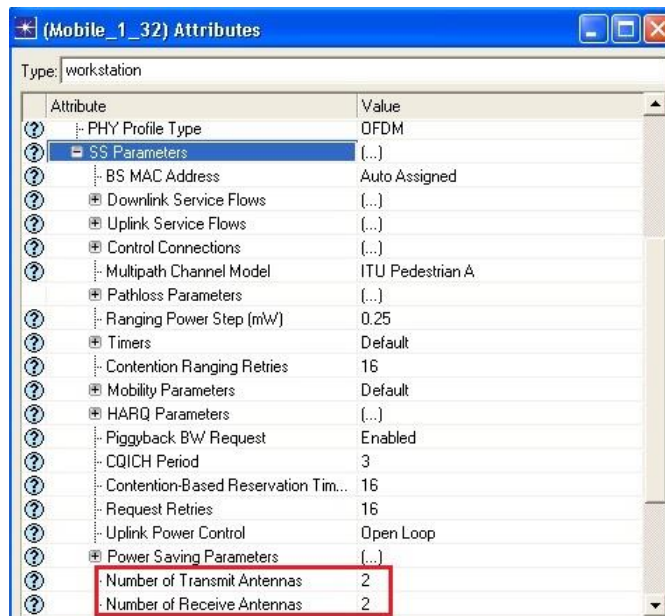
Παρακάτω θα επισημανθούν μόνο τα σημεία του σεναρίου στα οποία υπάρχει κάποια διαφοροποίηση.

Οι ρυθμίσεις που έχουν γίνει στους σταθμούς βάσης ώστε να υλοποιείται η τεχνολογία MIMO φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 104: Ρύθμιση Σταθμού Βάσης για υλοποίηση MIMO 2x2

Αντίστοιχες ρυθμίσεις όμως πρέπει να γίνουν και σε όλους τους ασύρματους σταθμούς ως εξής:



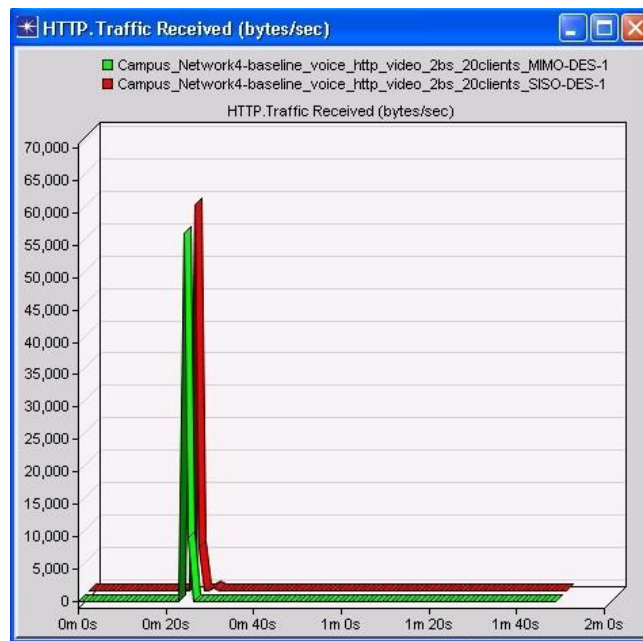
Εικόνα 105: Ρύθμιση Ασύρματου Σταθμού για υλοποίηση MIMO 2x2

4.2.3.3 Σύγκριση σεναρίων 10 και 11

Μετά την ολοκλήρωση των προσομοιώσεων των δύο παραπάνω σεναρίων προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα.

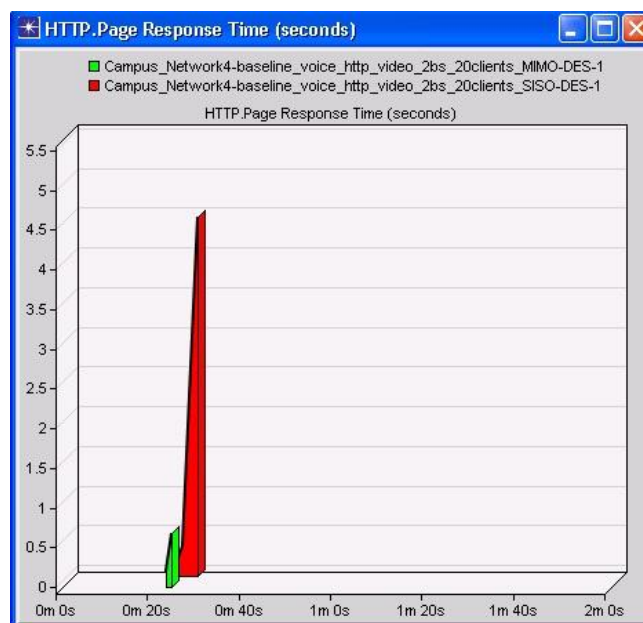
Εφαρμογή HTTP

Αρχικά για την εφαρμογή HTTP παρατηρείται ότι από την αναμενόμενη παραγόμενη κίνηση των 65,000Bytes/s ανά 35 δευτερόλεπτα, χάθηκαν τα 2/3 αυτής. Στην ουσία παράχθηκε και παραλείφθηκε κίνηση μόνο τα πρώτα 35 δευτερόλεπτα και μάλιστα της τάξης των 60,000B/s για το σενάριο SISO και 55,000B/s για το MIMO. Οι απώλειες είναι πολύ σημαντικές και της τάξεως περίπου του 68%.



Εικόνα 106: Συνολική κίνηση που παραλήφθηκε για την εφαρμογή HTTP

Στην συνέχεια φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα ο χρόνος απόκρισης μιας ιστοσελίδας. Για το σενάριο MIMO παρατηρείται χρόνος απόκρισης της τάξεως του ενός δευτερολέπτου, ενώ για το σενάριο SISO 4,5 δευτερολέπτων που κρίνεται και υπερβολικός.



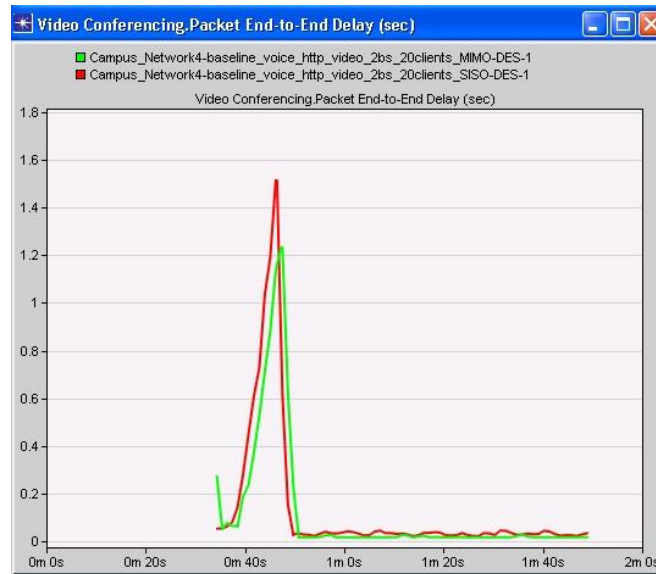
Εικόνα 107: Χρόνος απόκρισης Ιστοσελίδας εφαρμογής HTTP

Γενικότερα η απόδοση της εφαρμογής HTTP ήταν κάκιστη κάτι που οφείλεται στις πολλές επανεκπομπές πακέτων και στον μεγάλο φόρτο που παρατηρήθηκε στο δίκτυο.

Εφαρμογή Video Conference

Εξετάζοντας την εφαρμογή Video Conference παρατηρείται και εδώ προβληματική συμπεριφορά και στα δύο σενάρια.

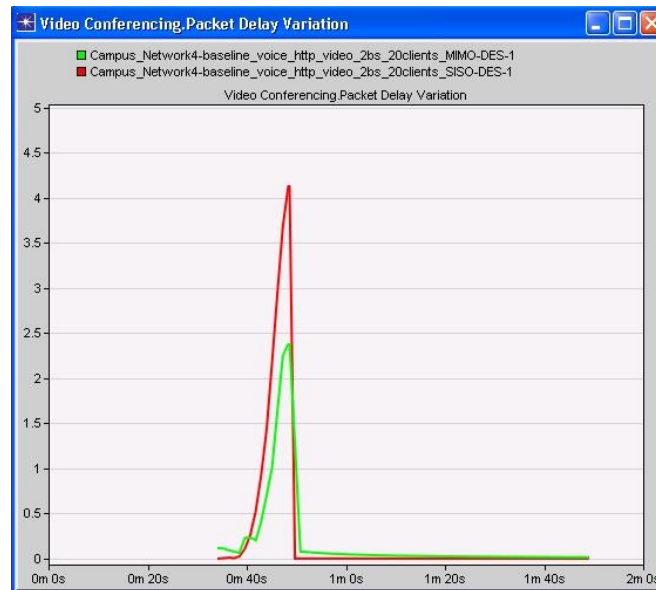
Η καθυστέρηση ενός πακέτου video από την στιγμή που ξεκίνησε από τον πομπό μέχρι την στιγμή που έφτασε στον δέκτη(packet end-to-end delay) φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 108: Καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων video στον δέκτη.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα η καθυστέρηση αυτή ήταν αρκετά σημαντική για μια περίοδο περίπου 20 δευτερολέπτων, όταν για το σενάριο SISO έφτασε στα 1,5 δευτερόλεπτα και για το σενάριο MIMO στα 1,2 δευτερόλεπτα περίπου. Στην συνέχεια και μέχρι το πέρας της προσομοίωσης ήταν αρκετά χαμηλή και της τάξεως των 0,05 και 0,02 δευτερολέπτων για το SISO και το MIMO αντίστοιχα.

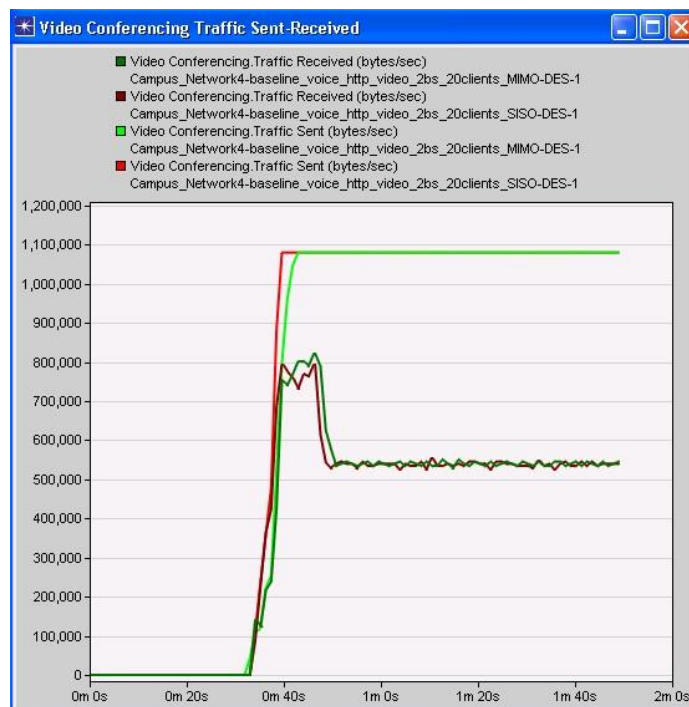
Η απόκλιση της καθυστέρησης αυτής, δηλαδή το κατά πόσο η καθυστέρηση ήταν σταθερή για όλα τα πακέτα από την στιγμή που ξεκίνησαν από τον πομπό μέχρι να φτάσουν στο δέκτη φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 109: Απόκλιση της Καθυστέρησης των πακέτων video

Και αυτό το στατιστικό εμφανίζει την ίδια συμπεριφορά το ίδιο χρονικό διάστημα. Για το σενάριο SISO η απόκλιση αυτή φτάνει σε μια τιμή λίγο μεγαλύτερη των τεσσάρων δευτερολέπτων, ενώ για το MIMO η μέγιστη τιμή είναι την τάξης περίπου των 2,5 δευτερολέπτων.

Όσον αφορά τον όγκο της κίνησης ο οποίος προωθήθηκε από την εφαρμογή προς το επίπεδο μεταφοράς για να παραδοθεί εκ νέου στην εφαρμογή και πάλι τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά. Τα ακριβή στοιχεία φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 110: Όγκος κίνησης της εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

Εδώ παρατηρείται σχεδόν απόλυτη ταύτιση των δύο σεναρίων. Ο συνολικός αναμενόμενος φόρτος για την εφαρμογή είναι της τάξης των 1,200,000 B/s. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα ο φόρτος είναι τελικά της τάξης των 1,100,000 B/s. Επίσης παρατηρείται ότι την ίδια στιγμή που η εφαρμογή HTTP παρουσίασε την χειρότερή της συμπεριφορά, η εφαρμογή Video Conference παρουσίαζε την καλύτερη από άποψη κίνησης που παραλήφτηκε σε σχέση με τον φόρτο. Γενικότερα τα πρώτα δευτερόλεπτα παρατηρείται μια απώλεια της τάξης του 25% περίπου και στην συνέχεια μια απώλεια της τάξης του 50% περίπου.

Εφαρμογή VoIP

Περνώντας στην εφαρμογή VoIP φαίνεται παρακάτω η τιμή του Jitter για τα δύο σενάρια. Στην περίπτωση του σεναρίου MIMO αυτή είναι σχεδόν απόλυτα μηδενική, που είναι και το ιδανικό, σε αντίθεση με το σενάριο SIMO όπου το jitter παρουσιάζει αρκετές αυξομειώσεις.



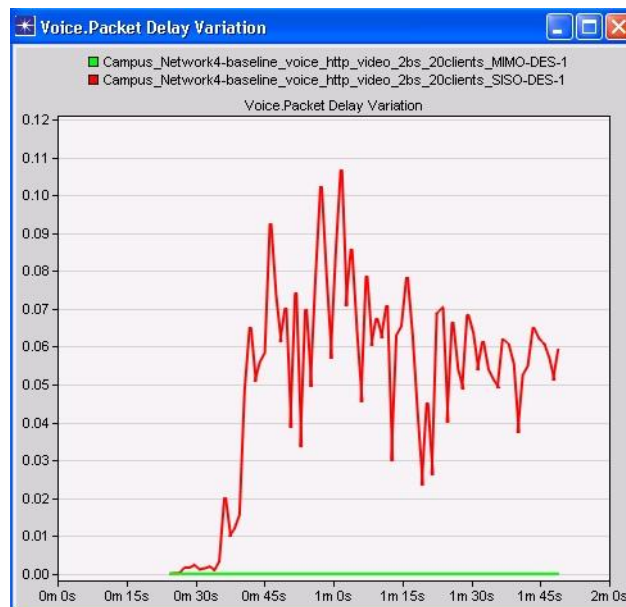
Εικόνα 111: Τιμή του Jitter στα δύο σενάρια.

Στην συνέχεια βλέποντας το διάγραμμα καταγραφής της καθυστέρησης των πακέτων φωνής, παρατηρείται μια σταθερή τιμή καθυστέρησης για το σενάριο MIMO της τάξης των 0,08 δευτερολέπτων. Για το σενάριο SIMO η καθυστέρηση είναι αρκετά μεγαλύτερη κατά μέσο όρο και παρουσιάζει σημαντικές αυξομειώσεις.



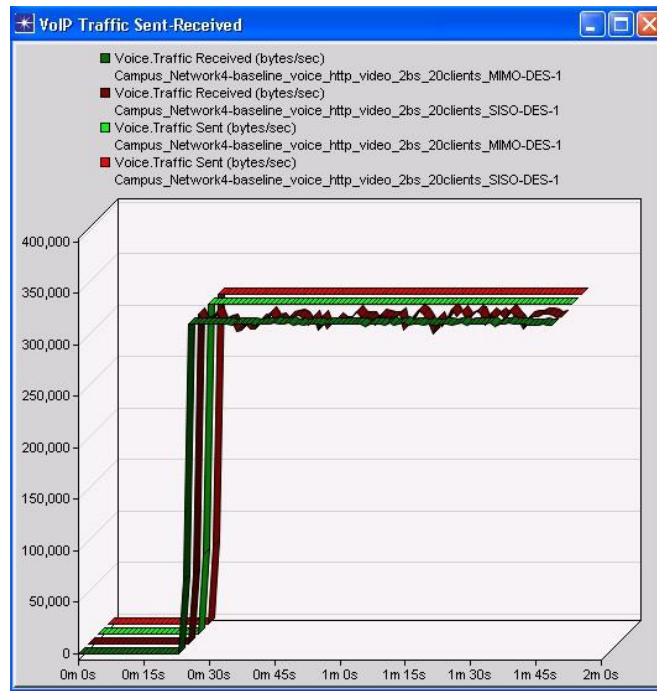
Εικόνα 112: Καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων φωνής στον δέκτη.

Στο επόμενο διάγραμμα καταγράφεται η απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων που παρουσιάστηκε παραπάνω. Και εδώ η τιμή για το σενάριο MIMO είναι σχεδόν μηδενική ενώ για το σενάριο SISO μεταβάλλεται συνεχώς και φτάνει μέχρι τα 0,11 δευτερόλεπτα περίπου.



Εικόνα 113: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.

Για την εφαρμογή VoIP ο συνολικός όγκος κίνησης αναμένεται να είναι 320,000B/s κάτι που στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται ότι επιτεύχθηκε.

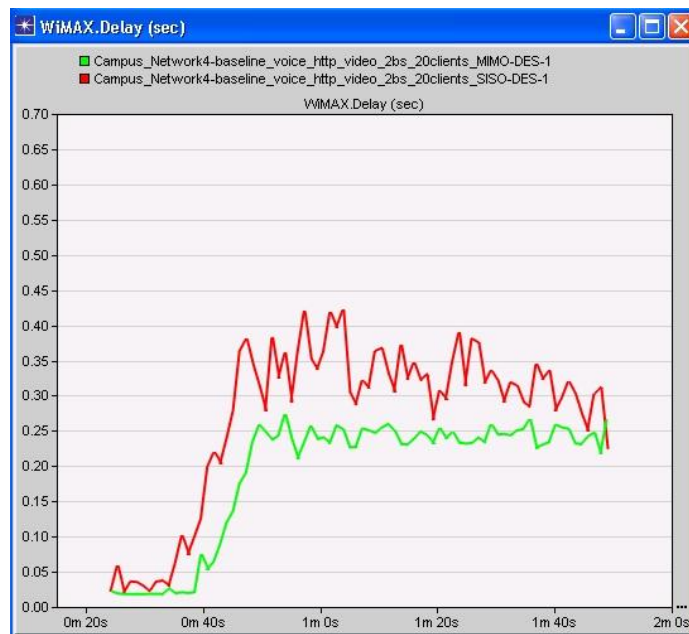


Εικόνα 114: Όγκος κίνησης της εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

Η κίνηση που παραλήφθηκε στην περίπτωση του σεναρίου MIMO είναι σχεδόν ισόποση με τον φόρτο, κάτι που κρίνεται απόλυτα ικανοποιητικό. Στην περίπτωση του σεναρίου SISO υπάρχει μια απώλεια περίπου 5% που δεν είναι όμως και αυτή σημαντική.

Επίπεδο WiMAX

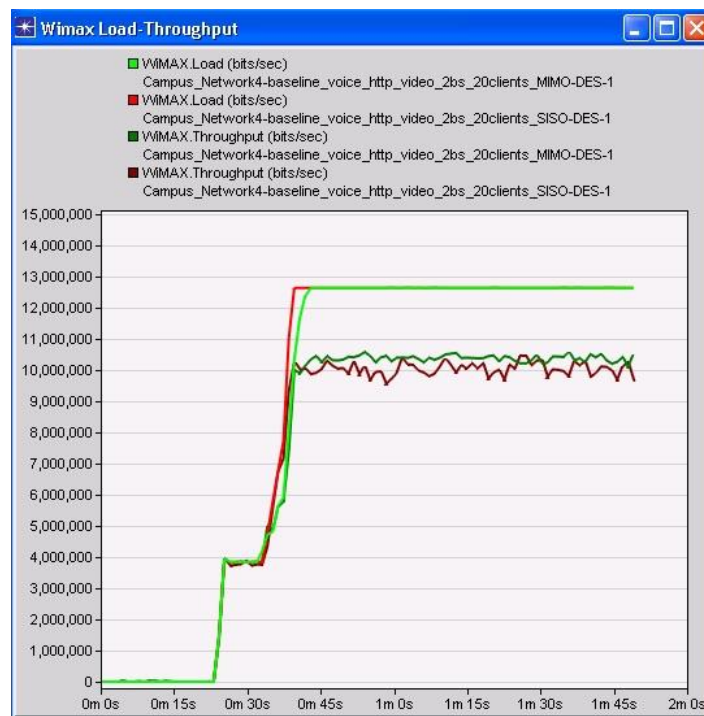
Σε επίπεδο WiMAX οι καθυστερήσεις που καταγράφηκαν κατά την μεταφορά των πακέτων στα υψηλότερα επίπεδα για όλους του σταθμούς φαίνονται παρακάτω στο σχετικό διάγραμμα:



Εικόνα 115: Καθυστερήση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.

Οι καθυστερήσεις και σε επίπεδο WiMAX κρίνονται μεγάλες αφού είναι της τάξης των 0,30-0,40 δευτερολέπτων για το σενάριο SISO και των 0,25 δευτερολέπτων για το MIMO. Αυτό σημαίνει ότι και σε επίπεδο MAC οι ρυθμίσεις των σεναρίων ενδεχομένως χρειάζονται αλλαγές.

Τέλος συνολικά σε επίπεδο WiMAX ο φόρτος και η ρυθμαπόδοση φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα. Ο συνολικός φόρτος είναι της τάξης περίπου των 13Mbps ενώ η ρυθμαπόδοση και για τα δύο σενάρια κυμαίνεται στα επίπεδα των 10Mbps για το σενάριο SISO και των 10,5Mbps για το σενάριο MIMO. Οι απώλειες είναι μεγάλες και οφείλονται κυρίως στην άσχημη απόδοση της εφαρμογής Video Conference αλλά και στην εφαρμογή HTTP.



Εικόνα 116: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.

Τα στοιχεία τα οποία δικαιολογούν τα μη ικανοποιητικά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν για τα δύο σενάρια περιγράφονται παρακάτω.

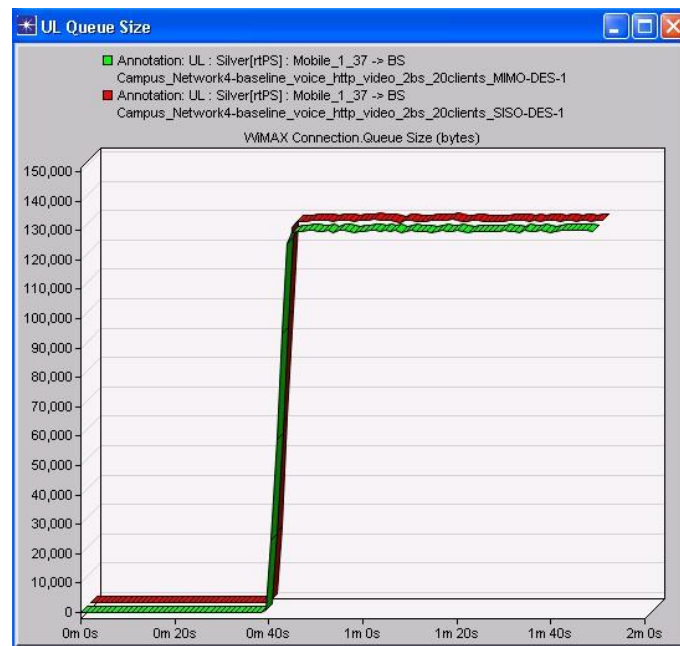
Το ακόλουθο διάγραμμα περιγράφει το ποσοστό χρήσης του καναλιού UpLink για τον πρώτο σταθμό βάσης.



Εικόνα 117: Ποσοστό χρήσης κίνησης Burst καναλιού UL.

Όπως είναι φανερό το ποσοστό αυτό είναι κοντά στο 100%. Που σημαίνει ότι το κανάλι UpLink έφτασε στα όρια του. Αντίστοιχα είναι και τα αποτελέσματα στον δεύτερο σταθμό βάσης.

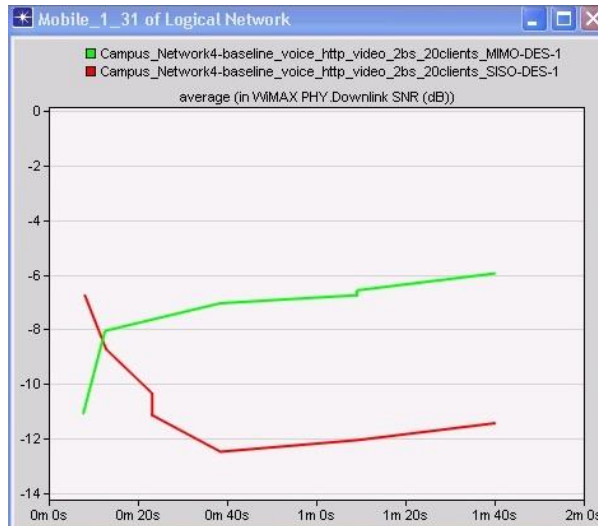
Αν ληφθεί υπόψη και το επόμενο στατιστικό το οποίο δείχνει το μέγεθος της ουράς ενός buffer του καναλιού UpLink για έναν από τους ασύρματους σταθμούς, γίνεται αντιληπτό γιατί υπήρχε τόσο μεγάλο ποσοστό χαμένης κίνησης στην εφαρμογή Video Conference. Ο buffer στους σταθμούς video έχει οριστεί στα 128Kbytes που όπως φαίνεται έχει γεμίσει και στα δύο σενάρια στον συγκεκριμένο σταθμό. Ίδια συμπεριφορά παρουσιάζουν και σχεδόν όλοι οι υπόλοιποι σταθμοί video οι οποίοι κατάφεραν να συνδεθούν με τον σταθμό βάσης.



Εικόνα 118: Μέγεθος ουράς σε buffer ασύρματου σταθμού.

Το αντίστοιχο ποσοστό χρήσης στο κανάλι DownLink για τους δύο σταθμούς βάσης μαζί με τα μηνύματα DL-MAP είναι της τάξης του 75%. Πάραυτα υπάρχουν και σταθμοί που δεν συσχετίστηκαν καν με τους σταθμούς βάσης. Το πρόβλημα αυτό όμως έχει να κάνει με την επιλογή διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, την ισχύ μετάδοσης, το SNR σύνδεσης αλλά φυσικά και με την μορφή του εδάφους του δικτύου.

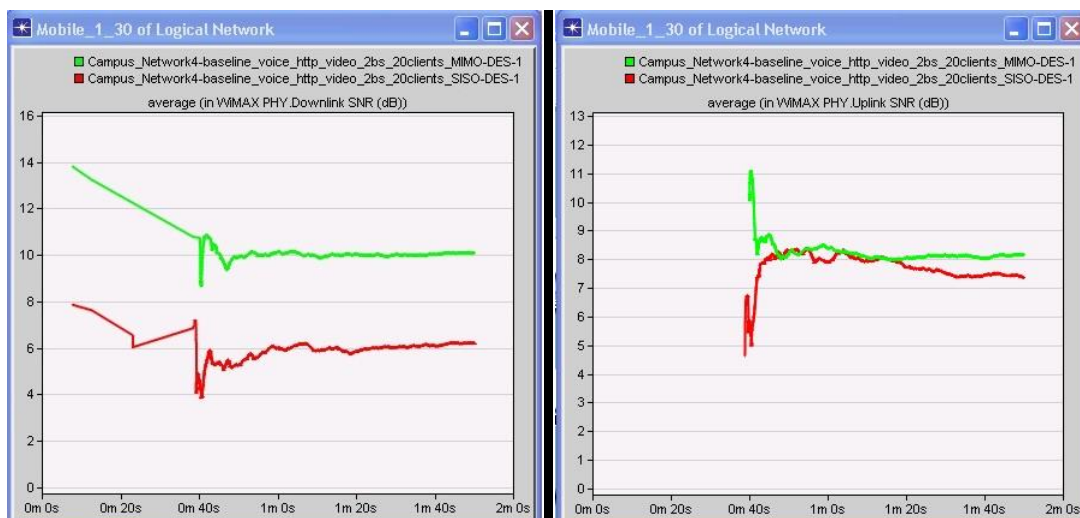
Για παράδειγμα ένας ασύρματος σταθμός που δεν κατάφερε να συσχετιστεί σε καμιά στιγμή με τον σταθμό βάσης είναι ο σταθμός 31. Οι τιμές του SNR στο κανάλι DownLink κατά μέσο όρο φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 119: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιού DL Ασύρματου σταθμού 31.

Όπως φαίνεται στην εικόνα οι τιμές στο σενάριο MIMO είναι της τάξης του -8dB μέχρι και -6dB, ενώ στο σενάριο SISO είναι ακόμη πιο άσχημες και κυμαίνονται από -8dB μέχρι και -12dB.

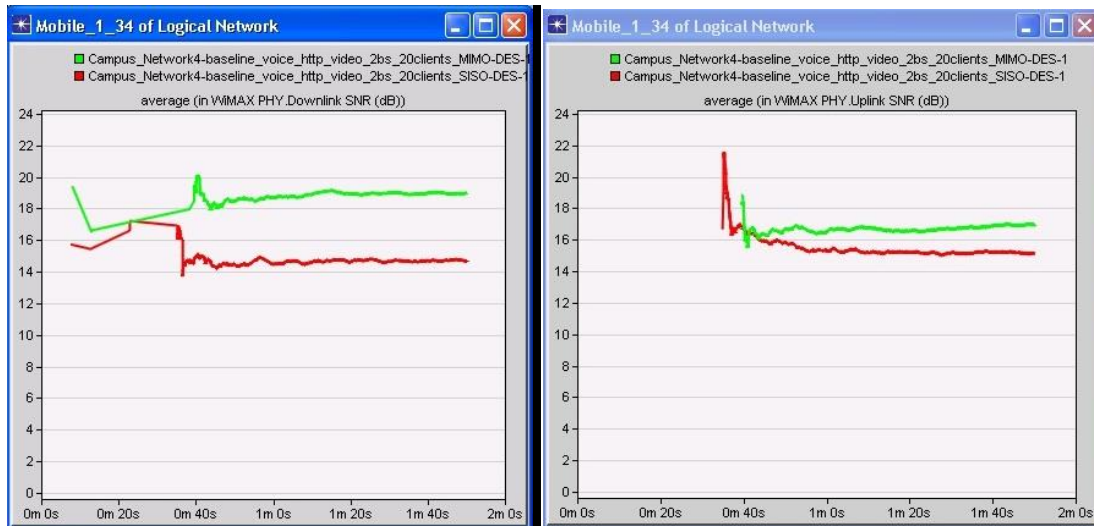
Επίσης ο ασύρματος σταθμός 30 είναι ένας από τους σταθμούς που εμφάνισαν ένα μικρό ποσοστό χαμένων πακέτων. Οι τιμές του SNR του για τα δύο κανάλια επικοινωνίας του σταθμού αυτού κατά μέσο όρο φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα:



Εικόνα 120: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL Ασύρματου σταθμού 30.

Εδώ οι τιμές είναι σαφώς καλύτερες σε σύγκριση με τον σταθμό 31. Κυμαίνονται στο κανάλι DownLink στο σενάριο MIMO από 14dB μέχρι 10dB και στο κανάλι UpLink από 11 μέχρι 8dB. Για το σενάριο SISO οι αντίστοιχες τιμές είναι 8 μέχρι 6dB και 5 μέχρι 7,5dB.

Ένας από τους ασύρματους σταθμούς ο οποίος εμφάνισε φυσιολογική συμπεριφορά ήταν ο σταθμός 34. Το SNR των καναλιών του φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 121: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL Ασύρματου σταθμού 34.

Οι τιμές κυμαίνονται στο κανάλι DownLink στο σενάριο MIMO από 16dB μέχρι 20dB περίπου και στο κανάλι UpLink από 16 μέχρι 17dB. Για το σενάριο SISO οι αντίστοιχες τιμές είναι 15 μέχρι 16dB και 16 μέχρι 22dB περίπου.

4.2.3.4 Συμπεράσματα σύγκρισης σεναρίων 10 και 11

Με βάση τα παραπάνω γίνεται φανερό και για ποιο λόγο η εφαρμογή HTTP εμφάνισε αυτήν την συμπεριφορά. Σε συνθήκες υψηλού φόρτου τα πακέτα HTTP τα οποία υπακούουν στην συμπεριφορά Best Effort είναι τα πρώτα που αναμένετε να χαθούν αφού έχουν και την χαμηλότερη προτεραιότητα. Η κλάση υπηρεσιών που ανήκει η εφαρμογή HTTP εγγυάται μόνο έναν Μέγιστο επιτρεπόμενο όγκο κίνησης (Maximum sustained traffic rate) και τίποτα άλλο.

Γενικότερα η συμπεριφορά της εφαρμογής VoIP ήταν η μόνη που μπορεί να κριθεί σαν ικανοποιητική και ιδιαίτερα στο σενάριο MIMO. Για τις άλλες δύο εφαρμογές τα αποτελέσματα είναι κάκιστα και χρειάζονται βελτιώσεις.

Τα πακέτα VoIP τα οποία είναι τα υψηλότερης προτεραιότητας εμφάνισαν και την καλύτερη συμπεριφορά.

Είναι φανερό ότι η απόδοση του δικτύου δεν είναι ικανοποιητική. Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν σενάρια τα οποία επιχειρούν να βελτιώσουν την γενικότερη κατάσταση με βάση την τεχνολογία MIMO αφού όπως φάνηκε παραπάνω είναι περισσότερο αποδοτική.

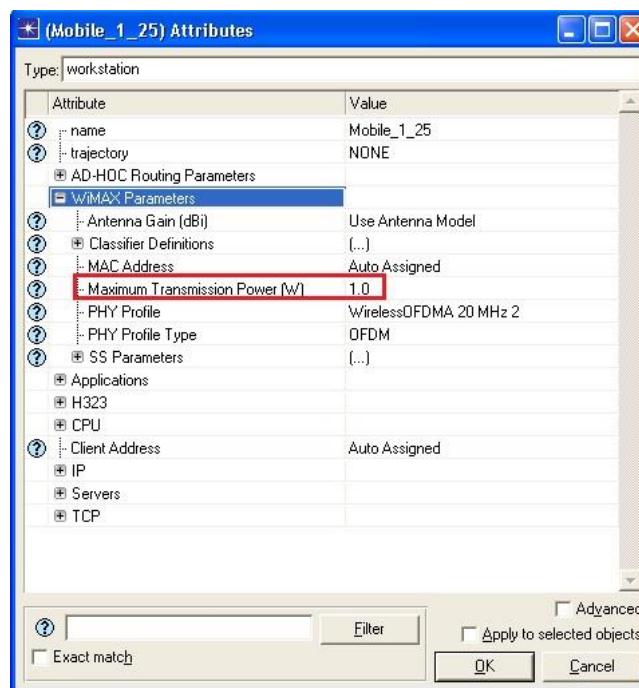
4.2.3.5 Παρουσίαση σεναρίου 12: Baseline voice http Video 2bs 20 clients MIMO T1

Στο σενάριο αυτό ο αριθμός των ασύρματων σταθμών που εξυπηρετούνται παραμένει ο ίδιος. Δηλαδή 20 σταθμοί είναι ορισμένοι να παράγουν και να δέχονται κίνηση των εφαρμογών HTTP και VoIP και άλλοι 10 κίνηση Video Conference. Έχοντας σαν δεδομένο τα στοιχεία και αποτελέσματα των παραπάνω σεναρίων, στο σενάριο αυτό πραγματοποιήθηκαν κάποιες απαραίτητες αλλαγές ώστε να βελτιωθούν κρίσιμα στοιχεία των εφαρμογών και γενικότερα του δικτύου Wimax. Οι αλλαγές αφορούν κυρίως την εφαρμογή video conference καθώς αυτή δημιουργεί την μεγαλύτερη κίνηση στο δίκτυο και επηρεάζει και τις άλλες δύο.

Οι ρυθμίσεις στους σταθμούς βάσης παραμένουν οι ίδιες όπως και στα προηγούμενα σενάρια.

Δηλαδή το Antenna Gain είναι ίσο με 15dbi(dB-isotropic) και η Μέγιστη Ισχύς Εκπομπής(Maximum Transmission Power) και των 2 σταθμών έχει οριστεί στο 1W ή αλλιώς στα 30dBm. Επίσης οι κλάσεις υπηρεσιών έχουν ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά χωρίς καμία διαφοροποίηση.

Επίσης στους σταθμούς οι οποίοι είναι ορισμένοι για τις εφαρμογές VoIP και HTTP, δεν έγινε επίσης καμιά αλλαγή εκτός από την Μέγιστη Ισχύς Εκπομπής(Maximum Transmission Power) που αυξήθηκε στο 1W όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Στα προηγούμενα σενάρια ήταν 0,5W.

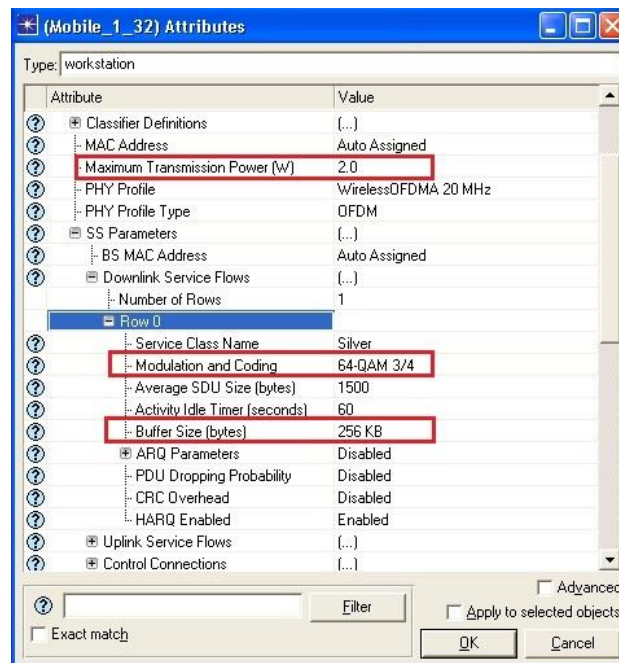


Εικόνα 122: Γενικές Ρυθμίσεις Ασύρματων Σταθμών

Στους ασύρματους σταθμούς του video conference έγιναν οι εξής αλλαγές:

Η Μέγιστη Ισχύς Εκπομπής τους αυξήθηκε στα 2W ή στα 33dBm. Αυξήθηκε το μέγεθος του Buffer τους στα 256Kb σε σχέση με τα 128Kb των προηγούμενων σεναρίων, καθώς είχε διαπιστωθεί πρόβλημα.

Τέλος η διαμόρφωση και κωδικοποίηση η οποία επιλέχθηκε για τα κανάλια UpLink και DownLink είναι η 64QAM3/4 η οποία προσφέρει 4,5 bits πληροφορίας ανά σύμβολο, κάτι που θεωρητικά είναι χρήσιμο για εφαρμογές video, αν και οι απαιτήσεις της σε SNR είναι πλέον αυξημένες και κυμαίνονται στα 24,2dB. Οι ρυθμίσεις αυτές στο Opnet φαίνονται παρακάτω:

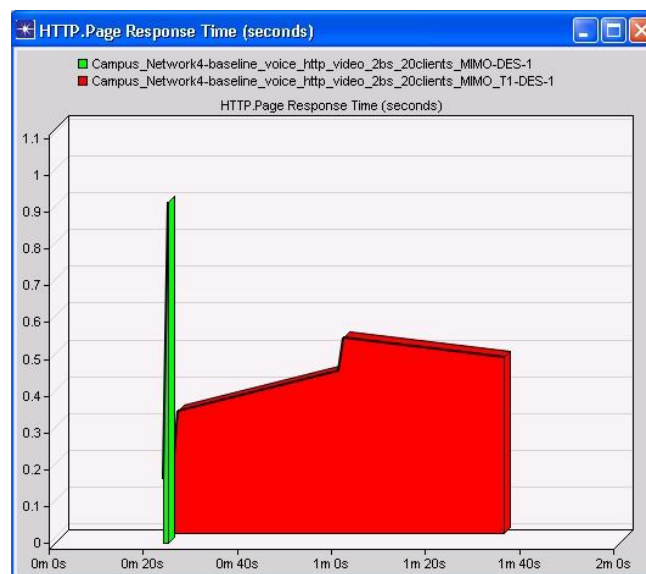


Εικόνα 123: Ρυθμίσεις Ασύρματων Σταθμών Video

4.2.3.6 Σύγκριση σεναρίων 11 και 12

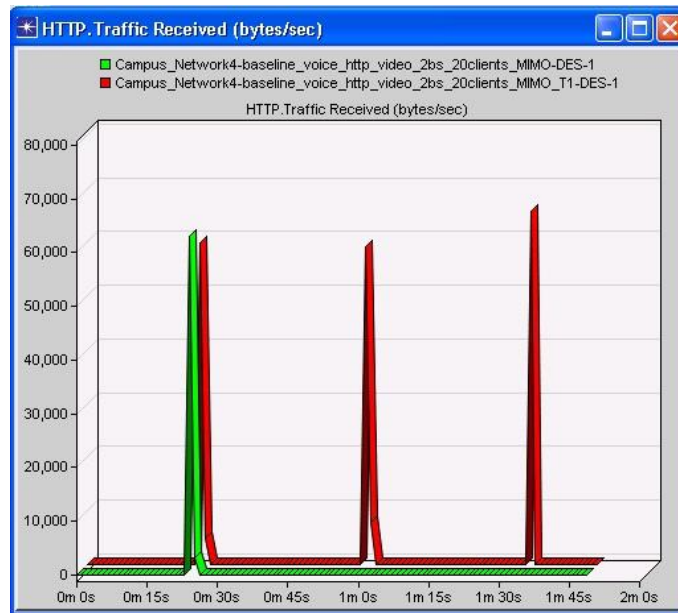
Εφαρμογή HTTP

Με το πέρας της εξομοίωσης των 110 δευτερολέπτων, για την εφαρμογή HTTP προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα 124: Χρόνος απόκρισης Ιστοσελίδας εφαρμογής HTTP

Στο σενάριο 12 ο χρόνος απόκρισης μιας ιστοσελίδας βελτιώθηκε και πλέον είναι την τάξης των 0,5 δευτερολέπτων. Το σημαντικότερο όμως είναι το γεγονός ότι πλέον παράγεται κίνηση για την εφαρμογή HTTP καθ'όλη την διάρκεια της προσομοίωσης όπως θα έπρεπε και όχι μόνο τα πρώτα δευτερόλεπτα αυτής όπως γινόταν στο σενάριο 11. Αυτό πέρα από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται απολύτως σαφές και με το επόμενο.



Εικόνα 125: Συνολική κίνηση που παραλήφθηκε για την εφαρμογή HTTP

Παρατηρείται θεαματική βελτίωση για την εφαρμογή HTTP σε σχέση με το σενάριο 11. Βέβαια ένα μικρό ποσοστό κίνησης χάνετε και στο σενάριο 12 καθώς το απόλυτο θα ήταν να παρατηρούνται τιμές εφάμιλλες με αυτές της τελευταίας φορές που ‘έτρεξε’ η εφαρμογή HTTP. Κοινώς γύρω στα 65,000Bytes/s.

Εφαρμογή Video Conference

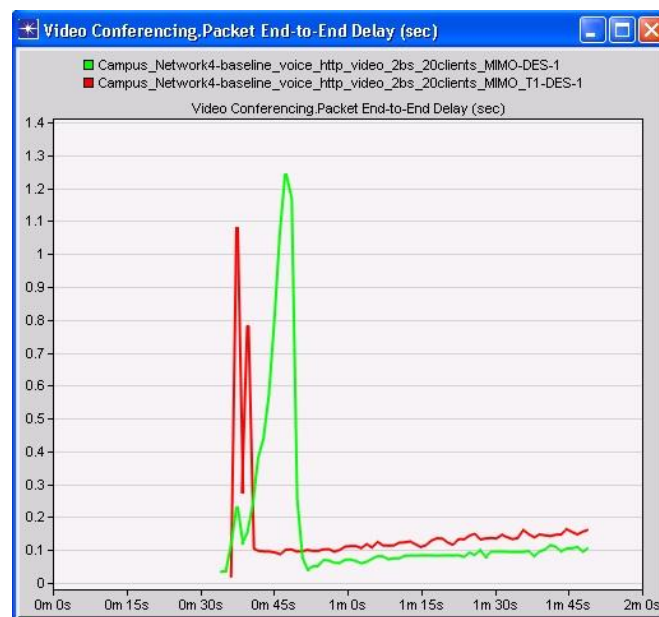
Για την εφαρμογή Video Conference και συγκεκριμένα για την κίνηση που δημιουργήθηκε και παραδόθηκε στους ασύρματους σταθμούς, παρατηρήθηκαν κι εκεί σημαντικές βελτιώσεις οι οποίες φαίνονται παρακάτω.



Εικόνα 126: Όγκος κίνησης εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

Ο συνολικός όγκος κίνησης της εφαρμογής στο σενάριο 12 έχει αυξηθεί λίγο σε σχέση με το σενάριο 11 και έχει φτάσει στα 1,150,000 bytes/sec όταν το αναμενόμενο μέγιστο είναι 1,200,000 bytes/sec. Η μεγάλη διαφορά όμως όπως είναι φανερό, σημειώνεται στην κίνηση που παραλήφθηκε από τους σταθμούς, η οποία για το σενάριο 12 κυμαίνεται από 1,000,000 μέχρι 1,100,000 bytes/sec την ίδια ώρα που στο σενάριο 11 ήταν στο μέγιστό της καταγράφοντας μια τιμή λίγο μεγαλύτερη των 800,000 Bytes/sec και μόνο στην αρχή της προσομοίωσης.

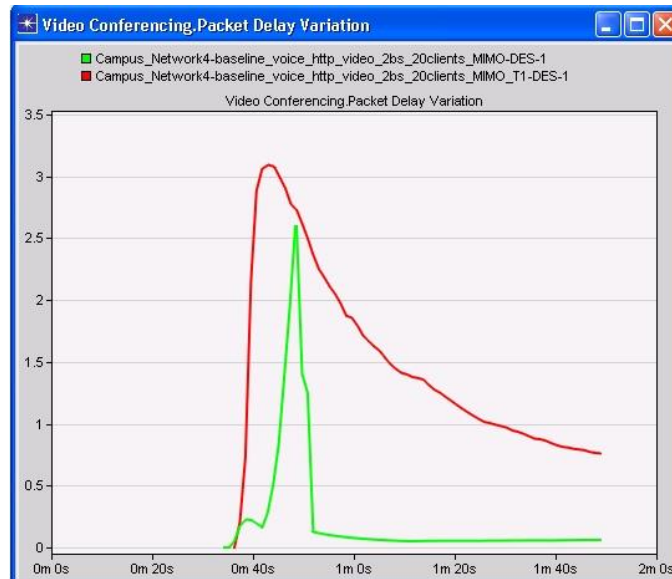
Για την καθυστέρηση παράδοσης πακέτων Video από τον πομπό στον δέκτη οι τιμές δεν διαφέρουν ιδιαίτερα στα δύο σενάρια και φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 127: Καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων video στον δέκτη.

Η καθυστέρηση και στα δύο σενάρια παρατηρείται στο ξεκίνημα της λειτουργίας της εφαρμογής. Για το σενάριο 12 είναι λίγο μικρότερη αρχικά, αλλά από το 50^ο δευτερόλεπτο και μετά η τιμή της σταθεροποιείται σχεδόν σε μια τιμή λίγο πάνω από τα 0,1 δευτερόλεπτα. Πάντως έχοντας σαν δεδομένο πλέον τον μεγαλύτερο όγκο κίνησης Video που κυκλοφόρησε στο σενάριο 12, είναι μάλλον αναμενόμενη η λίγο μεγαλύτερη καθυστέρηση στην παράδοση πακέτων.

Τα αποτελέσματα της απόκλισης των καθυστερήσεων των πακέτων Video φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα:



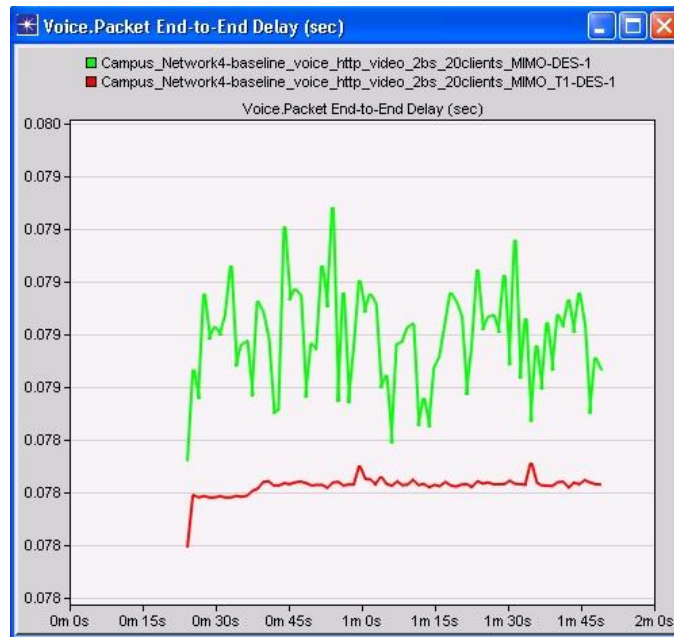
Εικόνα 128: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων Video.

Οι τιμές για το σενάριο 12 είναι μεγαλύτερες από το σενάριο 11 και φτάνουν στα 3 δευτερόλεπτα περίπου. Στην συνέχεια η απόκλιση της καθυστέρησης παρουσιάζει πτωτικές τάσεις, αλλά συνεχίζει να είναι σημαντική. Το σημείο αυτό της εφαρμογής χρήζει βελτίωσης.

Εφαρμογή VoIP

Για την εφαρμογή VoIP η κίνηση που στάλθηκε και παραλήφθηκε και στα δύο σενάρια είναι η μέγιστη δυνατή δηλαδή 320,000 bytes/sec. Δεν παρατηρήθηκαν απώλειες ούτε στο σενάριο 12 κοινώς.

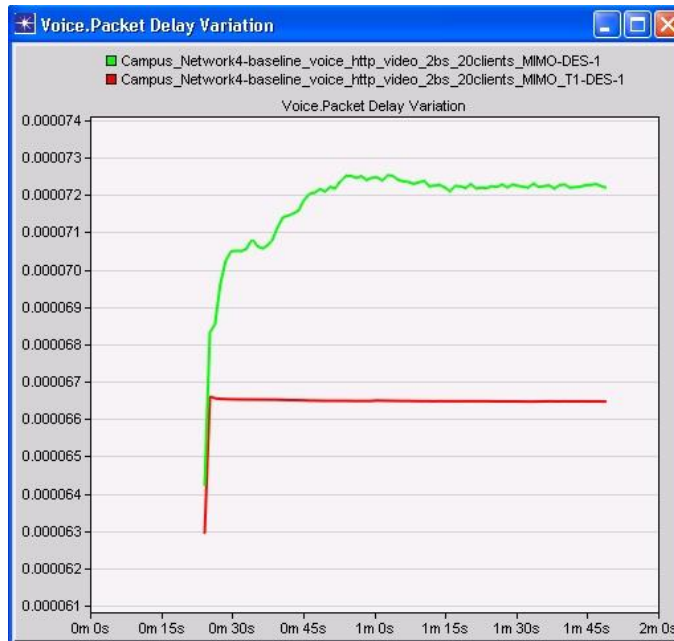
Η καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής όμως βελτιώθηκε λίγο στο σενάριο 12 πάντα σε σχέση με το σενάριο 11:



Εικόνα 129: Καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων φωνής στον δέκτη.

Η διαφορά δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη όπως φαίνεται παραπάνω, αλλά το σημαντικότερο είναι ότι δεν υπάρχουν ιδιαίτερες αυξομειώσεις στην καθυστέρηση στο σενάριο 12.

Η απόκλιση της καθυστέρησης για τα πακέτα φωνής φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα:

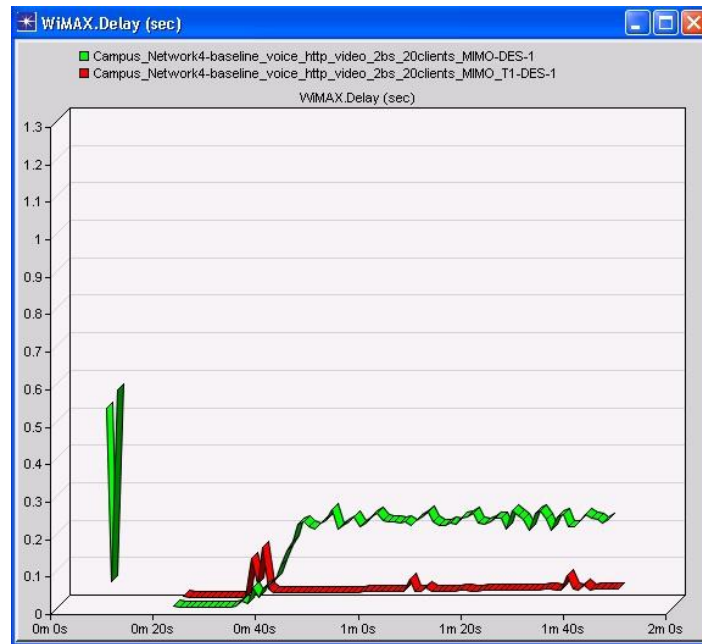


Εικόνα 130: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής

Οι τιμές είναι πολύ μικρές και της τάξης των 0,000067 δευτερολέπτων για το σενάριο 12. Για το σενάριο 11 είναι της τάξης των 0,000072 δευτερολέπτων.

Επίπεδο WiMAX

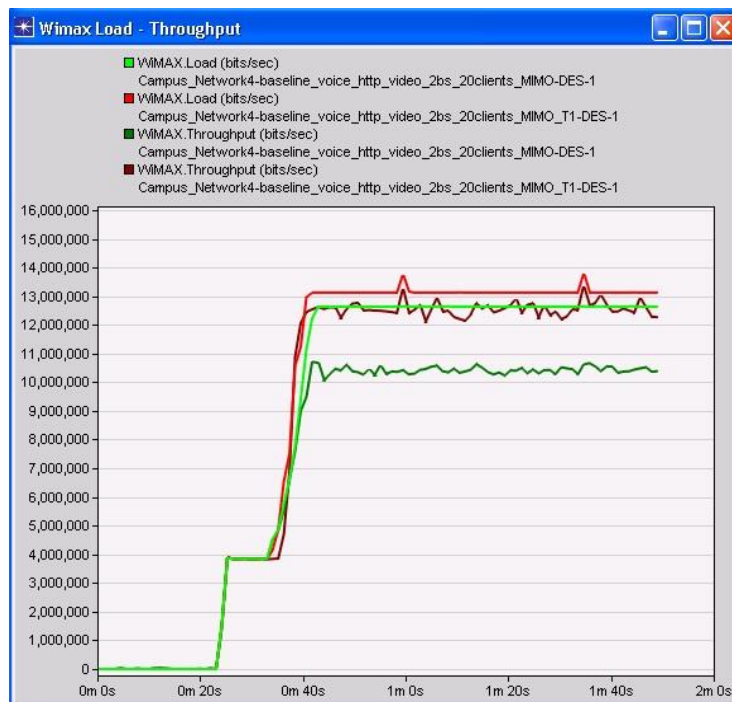
Σε επίπεδο Wimax παρατηρήθηκαν οι εξής καθυστερήσεις καθώς τα πακέτα προωθούνταν στα υψηλότερα επίπεδα:



Εικόνα 131 : Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX

Και σε επίπεδο Wimax παρατηρείται βελτίωση των καθυστερήσεων στο σενάριο 12. Η καθυστέρηση προώθησης των πακέτων στα ανώτερα επίπεδα, είναι της τάξης των 0,05 δευτερολέπτων για το σενάριο 12, όταν για το σενάριο 11 ήταν 0,25 δευτερόλεπτα περίπου.

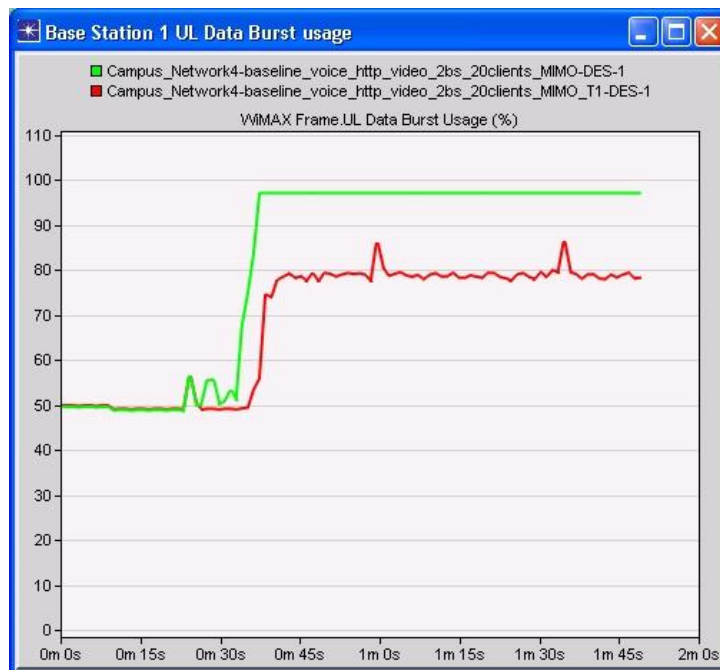
Ο φόρτος και η ρυθμαπόδοση του Wimax αναμένονται να είναι βελτιωμένα σε σχέση με το σενάριο 11, καθώς και η εφαρμογή HTTP αλλά και η εφαρμογή Video Conference απέδωσαν σαφώς καλύτερα:



Εικόνα 132: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση

Ο φόρτος για το σενάριο 12 ξεπέρασε τα 13Mbps και η ρυθμαπόδοση κατέγραψε μια τιμή 12,4Mbps κατά μέσο όρο όταν για το σενάριο 11 η ρυθμαπόδοση ήταν της τάξης των 10,5Mbps περίπου.

Αν εξεταστούν τα σημεία τα οποία προβλημάτισαν στα προηγούμενα σενάρια παρατηρήθηκαν τα εξής αποτελέσματα για το κανάλι UL του σταθμού βάσης 1:



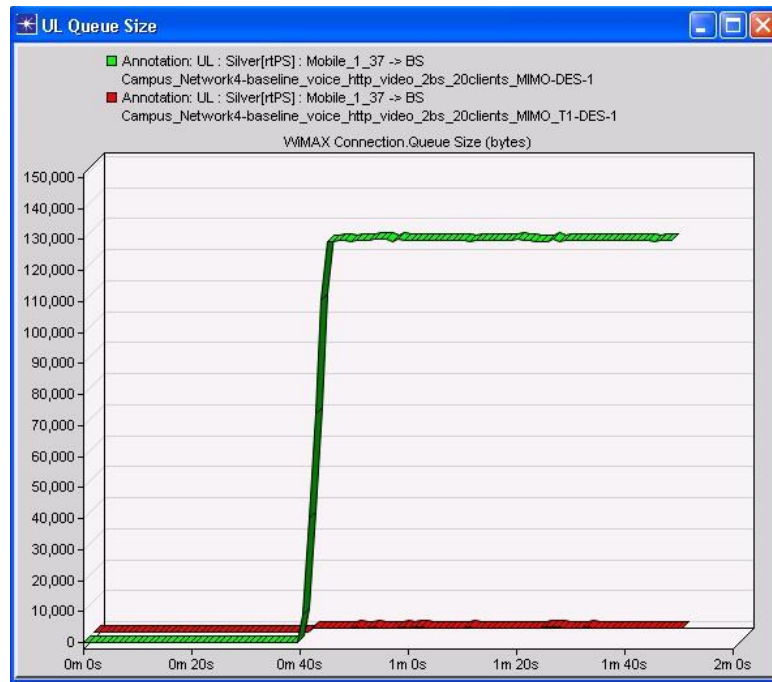
Εικόνα 133: Ποσοστό χρήσης κίνησης Burst καναλιού UL.

Το ποσοστό επικάλυψης του UL καναλιού πλέον έχει πέσει σε ένα ποσοστό της τάξης των 80% και στους δύο σταθμούς βάσης. Δηλαδή παρουσιάζει μια βελτίωση σχεδόν 20% σε σχέση με το σενάριο 11 όπου το ποσοστό επικάλυψης ήταν σχεδόν 100%. Η βελτίωση αυτή οφείλεται κυρίως στην αλλαγή της διαμόρφωσης και κωδικοποίησης στους ασύρματους σταθμούς video.

Το κανάλι DL παρουσιάζει μια επικάλυψη(μαζί με τα μηνύματα MAP) της τάξης του 55%. Στο σενάριο 11 το ποσοστό αυτό ήταν 75%.

Επίσης ο buffer στους σταθμούς video έχει οριστεί πλέον στα 256Kbytes σε σχέση με τα 128Kbytes του σεναρίου 11 όπου όπως αναφέρθηκε παραπάνω γέμιζε. Τελικά όμως αυτό φάνηκε ότι δεν ήταν απαραίτητο, καθώς μόλις στο κανάλι UL δεν υπήρχε συνωστισμός οι ουρές στους σταθμούς αυτόματα μειώθηκαν ραγδαία.

Ένα παράδειγμα ενός από τους σταθμούς που το σενάριο 11 είχαν πρόβλημα φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:

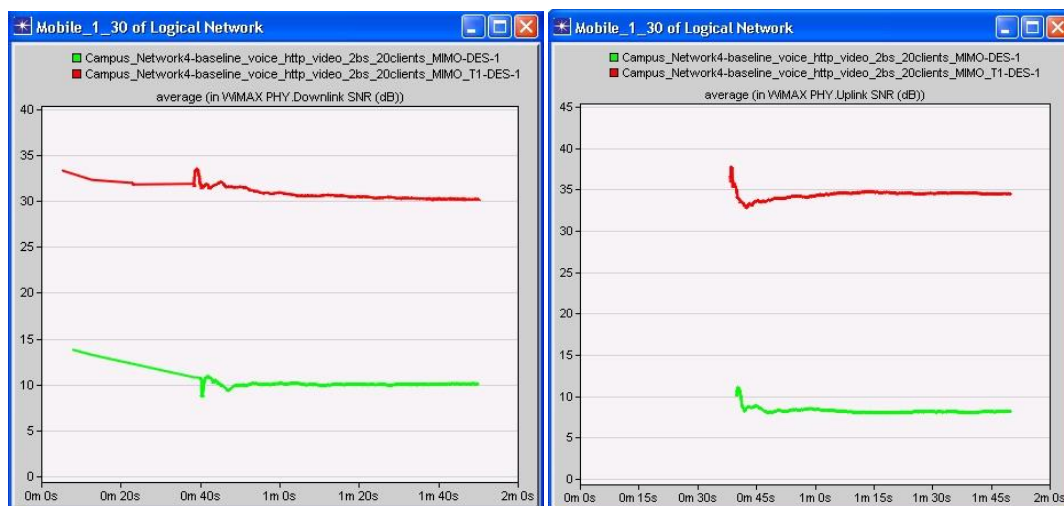


Εικόνα 134: Μέγεθος ουράς σε buffer ασύρματου σταθμού

Είναι πλέον φανερό ότι οι ουρές στο σενάριο 12 σχεδόν μηδενίστηκαν.

Το τελευταίο στοιχείο το οποίο θα αναφερθεί είναι οι τιμές του SNR στο σενάριο 12 για τους ασύρματους σταθμούς της εφαρμογής Video Conference:

Αρχικά όπως είχε αναφερθεί στο σενάριο 11 ο σταθμός 30 είχε παρουσιάσει ένα μικρό ποσοστό χαμένων πακέτων. Στο σενάριο 12 λαμβάνει όλη την κίνηση που θα έπρεπε. Για τις τιμές του SNR των καναλιών του παρατηρήθηκαν σημαντικές αυξήσεις που φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα:

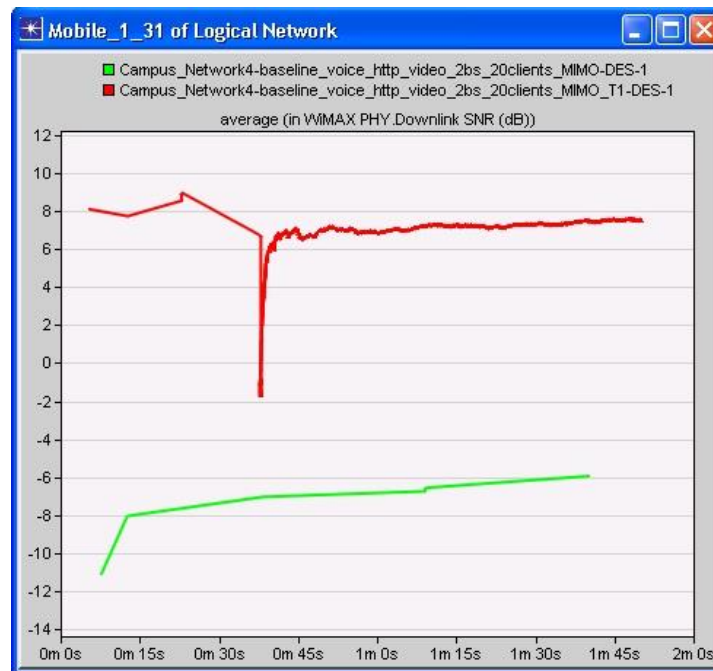


Εικόνα 135: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL Ασύρματου σταθμού 30.

Όπως είναι φανερό μετά την αλλαγή της διαμόρφωσης οι τιμές του SNR για τον σταθμό 30, αυξήθηκαν κατά πολύ και στο κανάλι DownLink και στο κανάλι UpLink, κάτι που έπαιξε καθοριστικό ρόλο ώστε να παραλάβει όλη την κίνηση της εφαρμογής.

Συγκεκριμένα στο κανάλι DownLink οι τιμές κατά μέσο όρο ξεκίνησαν από τα 33dB και έφτασαν στο τέλος της προσομοίωσης στα 30db. Η βελτίωση είναι πολύ σημαντική σε σχέση με το σενάριο 11 που κυμάνθηκε από 14 μέχρι 10dB.

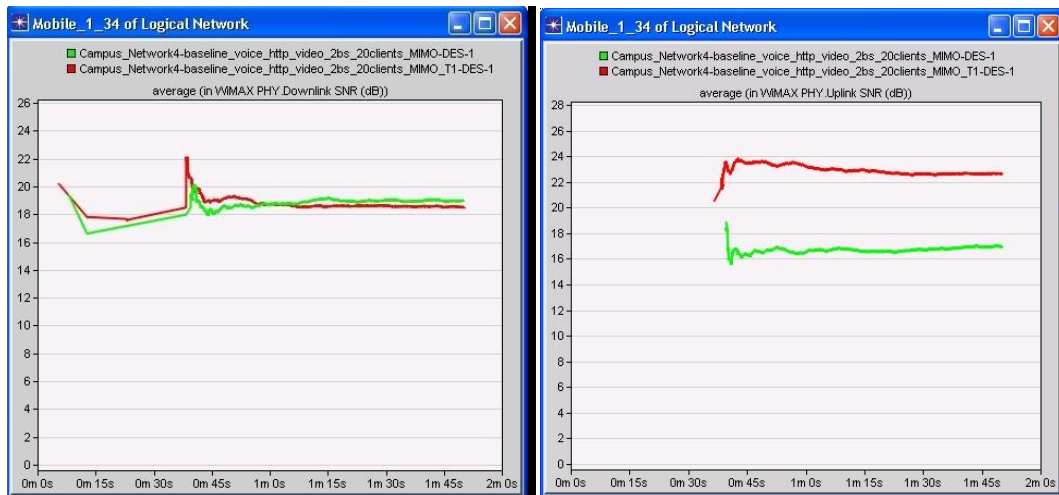
Ο ασύρματος σταθμός 31, όπως και στο σενάριο 11, έτσι και στο σενάριο 12 δεν κατάφερε να επικοινωνήσει αποτελεσματικά με τον σταθμό βάσης παρά την αλλαγή της διαμόρφωσης και της κωδικοποίησης. Αν και υπήρξε μεγάλη βελτίωση στην τιμή του SNR του καναλιού DL δεν ήταν αρκετή. Παρακάτω φαίνεται το σχετικό διάγραμμα:



Εικόνα 136: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιού DL Ασύρματου σταθμού 30.

Όπως φαίνεται η τιμή του SNR ξεκινάει από τα 8dB και καταλήγει μετά από μια στιγμιαία αρκετά μεγάλη μείωση και πάλι στα ίδια επίπεδα για το σενάριο 12. Βέβαια μια τιμή σε τέτοια επίπεδα δεν είναι αρκετή ώστε να είναι δυνατή η συσχέτιση σταθμού βάσης με ασύρματο σταθμό έχοντας επιλέξει αυτό το είδος της διαμόρφωσης. Είναι πλέον φανερό ότι η αδυναμία σύνδεσης του συγκεκριμένου σταθμού έχει να κάνει προφανώς με την θέση που καταλαμβάνει στον χώρο και ην μορφολογία του εδάφους του δικτύου στο συγκεκριμένο σημείο.

Για να ολοκληρωθεί η σύγκριση με το σενάριο 11, παρουσιάζονται παρακάτω και οι τιμές του SNR για τον σταθμό 34 ο οποίος και στα δυο σενάρια ανταποκρίθηκε απολύτως. Έτσι υπάρχει αντιπροσωπευτική εικόνα για όλες τις καταστάσεις των ασυρμάτων σταθμών που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή Video Conference.



Εικόνα 137: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL Ασύρματου σταθμού 30.

Στο κανάλι DownLink του σταθμού 34 δεν παρατηρείται κάποια σημαντική αλλαγή σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο. Οι τιμές κατά μέσο όρο κυμαίνονται στα 20 με 18dB. Βελτίωση όμως υπάρχει στο κανάλι UpLink που από έναν μέσο όρο τιμής περίπου στα 17dB στο σενάριο 11, στο σενάριο 12 καταγράφηκαν τιμές της τάξης των 22-23dB.

4.2.3.7 Συμπεράσματα σύγκρισης σεναρίων 11 και 12

Γενικότερα το σενάριο 12 βελτίωσε κατά πολύ την εφαρμογή HTTP, βελτίωσε ιδιαίτερα την κίνηση που παραλήφθηκε για την εφαρμογή Video Conference, όχι όμως με ικανοποιητικές τιμές καθυστερήσεων και τέλος βελτίωσε τις καθυστερήσεις και της εφαρμογής VoIP αλλά και αυτές που υφίστανται σε επίπεδο WiMAX. Κοινώς αποδεικνύεται ότι οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στην διαμόρφωση και κωδικοποίηση για τους ασύρματους σταθμούς εφαρμογής video και η αύξηση σε όλους τους σταθμούς της Μέγιστης Ισχύς Εκπομπής (Maximum Transmission Power), απέδωσαν από την άποψη όγκου και ρυθμαπόδοσης κίνησης γενικότερα με αρνητικό σημείο τις καθυστερήσεις της εφαρμογής Video Conference. Βέβαια δεν προέκυψε κάποιο εμφανές πρόβλημα το οποίο δείχνει ξεκάθαρα την αιτία που οι χρόνοι καθυστέρησης της εφαρμογής Video Conference είναι αυξημένοι.

4.2.3.8 Παρουσίαση σεναρίου 13: Baseline_Voice_Http_Video_2bs_20clients_Mimo_T2

Έχοντας σαν βάση το σενάριο 12 από άποψη ρυθμίσεων, πλήθος ασυρμάτων σταθμών που συνδέονται με τους εξυπηρετητές των εφαρμογών και πλήθος σταθμών βάσης αλλά και έχοντας σαν δεδομένα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτό, στόχος του σεναρίου 13 είναι να βελτιώσει κυρίως τις καθυστερήσεις που εμφανίστηκαν στην εφαρμογή του Video Conference.

Μετά την ανάλυση των αποτελεσμάτων του προηγούμενου σεναρίου, δεν προέκυψε κάποιο εμφανές πρόβλημα το οποίο δείχνει ξεκάθαρα την αιτία που οι χρόνοι καθυστέρησης της εφαρμογής Video Conference είναι αυξημένοι.

Ακριβώς για αυτό το λόγο θα γίνει μεταβολή της κλάσης υπηρεσιών “Silver” η οποία όπως έχει αναφερθεί παραπάνω εξυπηρετεί την εφαρμογή αυτή και θα της εξασφαλίζει

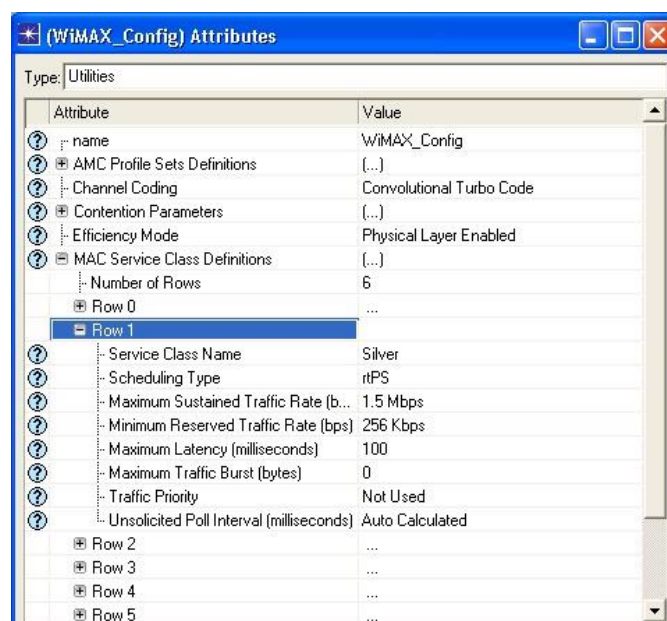
περισσότερο εγγυημένο Bandwidth. Κοινώς η μόνη διαφοροποίηση του σεναρίου 13 με το σενάριο 12 είναι αυτή.

Συγκεκριμένα αυξάνεται ο Μέγιστος επιτρεπόμενος όγκος κίνησης της ροής Υπηρεσίας(Service flow Maximum sustained traffic rate) από το 1Mbps στο 1,5Mbps και ο Ελάχιστος επιτρεπόμενος(εγγυημένος) όγκος κίνησης της ροής Υπηρεσίας (Minimum sustained traffic rate) από 128kbps στα 256Kbps.

Ο τύπος προδιαγραφής της κίνησης του Video Conference παραμένει ο rtPS(Real-time POLLING SERVICE) .

Η Μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση θα είναι και πάλι ίση με 100 milliseconds.

Οι αλλαγές όπως έγιναν στο πλαίσιο του Opnet φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 138: Κλάση Υπηρεσιών Silver.

4.2.3.9 Σύγκριση σεναρίων 12 και 13

Εφαρμογή HTTP

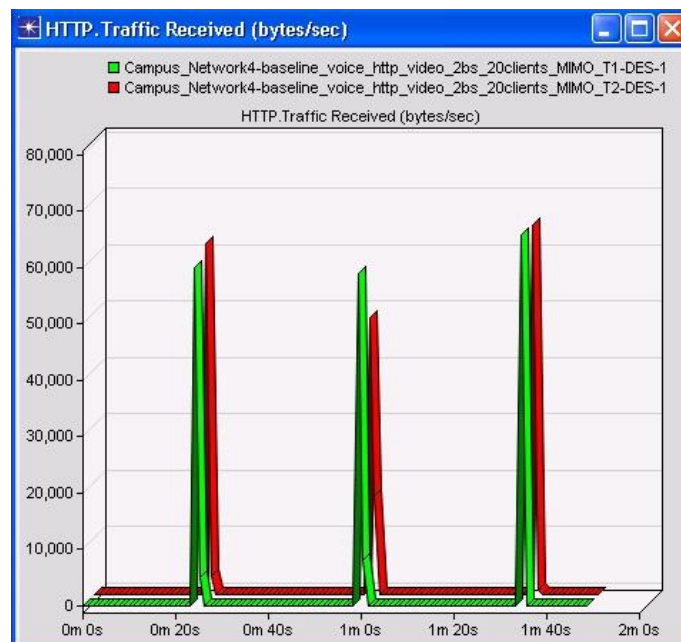
Αρχικά παρουσιάζονται τα διαγράμματα για την εφαρμογή HTTP με πρώτο αυτό του όγκου της κίνησης της εφαρμογής που τροφοδοτήθηκε το δίκτυο.



Εικόνα 139 : Συνολικός όγκος κίνησης εφαρμογής HTTP.

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα οι τιμές για τον όγκο κίνησης της εφαρμογής και για τα δύο σενάρια είναι σχεδόν ο ίδιος. Ένα ελάχιστο ποσό κίνησης της τάξης των 4,000 Bytes κατάφερε να αποδώσει παραπάνω στο δίκτυο το σενάριο 12.

Όσον αφορά την κίνηση που τελικά παραλήφθηκε από τους 20 ασύρματους σταθμούς, παρατηρήθηκε ότι και πάλι οι διαφορές ήταν ελάχιστες όπως φαίνεται παρακάτω.



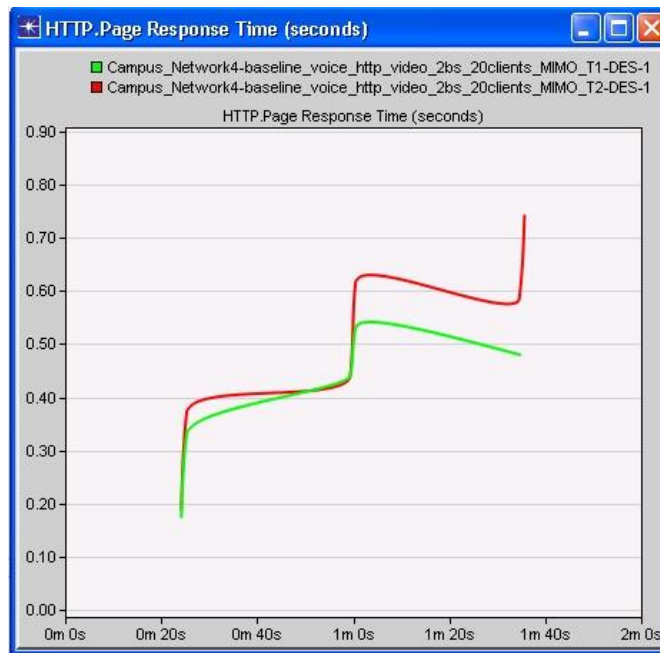
Εικόνα 140: Συνολικός όγκος κίνησης που παραλήφθηκε για την εφαρμογή HTTP.

Είναι βέβαια φανερό ότι υπάρχουν απώλειες ιδιαίτερα κατά την χρονική στιγμή του 1^{ου} λεπτού όπου η κίνηση που παραλήφθηκε από τους σταθμούς είναι της τάξης των 48,000 Bytes/sec για το σενάριο 13 και γύρω στις 55,000 Bytes/sec για το σενάριο 12, την ίδια ώρα

που η κίνηση με την οποία τροφοδοτήθηκε το δίκτυο ήταν πάνω από 55,000Bytes/sec για το σενάριο 13 και περισσότερα από 60,000Bytes/sec για το σενάριο 12.

Αρχικά λοιπόν παρατηρείται ότι η αλλαγή στην κλάση υπηρεσιών Silver που εξυπηρετεί την εφαρμογή video conference, επηρέασε έστω και λίγο την εφαρμογή HTTP.

Το επόμενο διάγραμμα αναπαριστά τον χρόνο απόκρισης μιας ιστοσελίδας:

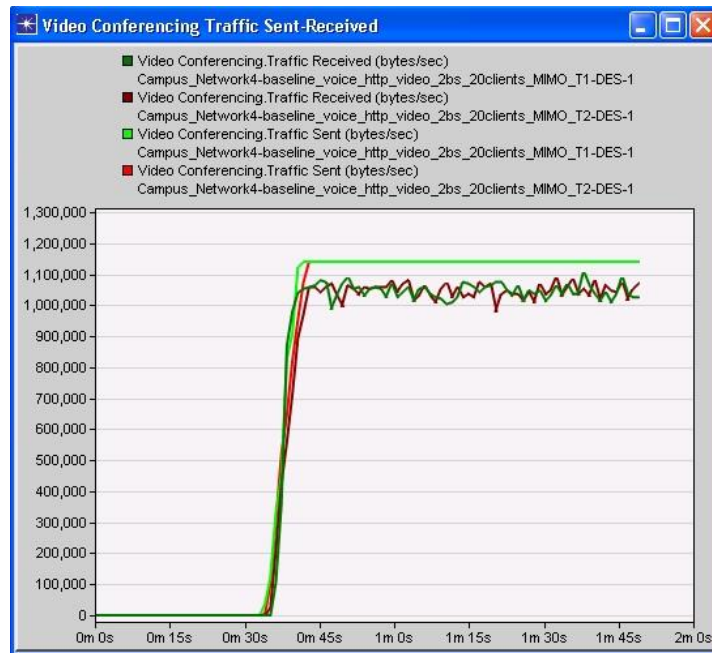


Εικόνα 141: Χρόνος απόκρισης Ιστοσελίδας.

Ο χρόνος απόκρισης για το σενάριο 13 φτάνει να είναι στο τέλος της προσομοίωσης ίσως με 0,73 δευτερόλεπτα με αυξητικές τάσεις. Για το σενάριο 12 ο αντίστοιχος χρόνος είναι 0,48 δευτερόλεπτα με τάση να μειωθεί και άλλο. Κοινώς και αυτό το στοιχείο της εφαρμογής HTTP επηρεάστηκε αρνητικά από την αλλαγή στο σενάριο 13.

Εφαρμογή Video Conference

Περνώντας στην εφαρμογή του Video Conference, για τον όγκο κίνησης αλλά και το ποσοστό που παραλήφθηκε σε σχέση με αυτόν, δεν παρατηρήθηκε καμία αλλαγή στα δύο σενάρια όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα:

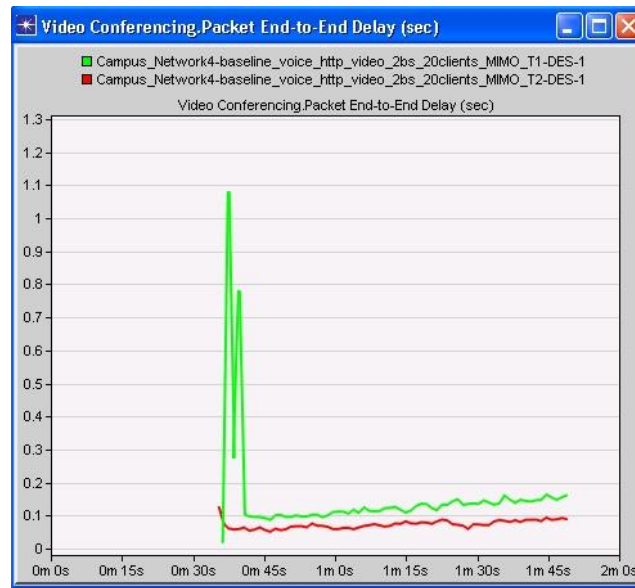


Εικόνα 142: Όγκος κίνησης εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

Όπως είναι φανερό ο συνολικός όγκος ταυτίζεται απόλυτα στα δύο σενάρια και δεν φτάνει και πάλι στον ιδανικό ο οποίος είναι 1,200,000Bytes/sec. Κυμαίνεται στα 1,150,000Bytes/sec. Ο όγκος της κίνησης που παραλήφθηκε επιτυχημένα είναι και αυτός επίσης στα ίδια επίπεδα για τα δύο σενάρια και κυμαίνεται στα 1,050,000Bytes/sec.

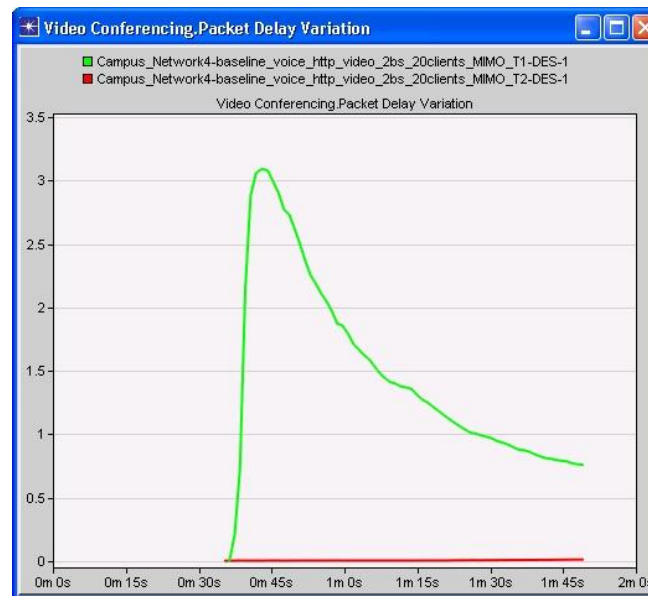
Στο επόμενο διάγραμμα καταγράφεται η καθυστέρηση των πακέτων μέχρι να φτάσουν στον προορισμό τους. Σε αυτό το στατιστικό παρατηρείται σημαντική βελτίωση στο σενάριο 13. Στο σενάριο 12 στο ξεκίνημα λειτουργίας της εφαρμογής η καθυστέρηση έφτασε το 1,1 δευτερόλεπτο. Στην συνέχεια μειώθηκε αρκετά και έφτασε στα 0,1 δευτερόλεπτα μέχρι να καταλήξει στο τέλος της προσομοίωσης σε μια τιμή της τάξης των 0,2 δευτερολέπτων περίπου, με μια ελαφρά αυξητική τάση.

Στο σενάριο 13 η καθυστέρηση ξεκινάει από τα επίπεδα των 0,13 δευτερολέπτων. Μειώνεται στα 0,05 δευτερόλεπτα και τελικά καταλήγει να καταγράφει μια τιμή περίπου στα 0,09 δευτερόλεπτα. Η τάση της είναι λιγότερο αυξητική σε σχέση με το σενάριο 12 και χαρακτηρίζεται σχεδόν σταθερή.



Εικόνα 143: Καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων Video στον δέκτη.

Το τελευταίο διάγραμμα για την εφαρμογή Video Conference αναφέρετε στην απόκλιση με την πάροδο του χρόνου της καθυστέρησης παράδοσης των πακέτων.



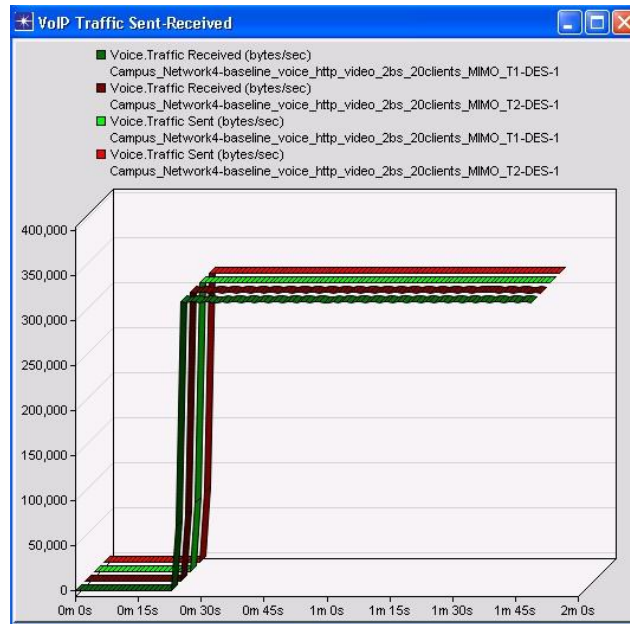
Εικόνα 144: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων Video.

Και σε αυτό το διάγραμμα παρατηρείται μεγάλη βελτίωση για το σενάριο 13. Ενώ το σενάριο 12 παρουσίαζε απόκλιση καθυστέρησης της τάξης των 3,2 δευτερολέπτων στην εκκίνηση της εφαρμογής που είναι ιδιαίτερα υψηλή και κατέληξε σε μια όχι ικανοποιητική τιμή γύρω στα 0,75 δευτερόλεπτα στο πέρας αυτής, το σενάριο 12 από το ξεκίνημα μέχρι και το τέλος παρουσίασε μια απόκλιση λίγο μεγαλύτερη του 0 χωρίς ουσιαστικές για το επίπεδο των διακυμάνσεων μεταβολές που κρίνεται ικανοποιητική.

Εφαρμογή VoIP

Η τρίτη εφαρμογή των σεναρίων, η εφαρμογή VoIP, δεν παρουσίασε καμιά απολύτως μεταβολή σε κανένα σημείο της μετά την αλλαγή που έγινε στο σενάριο 13. Παρακάτω

φαίνεται ο συνολικός όγκος κίνησης της εφαρμογής και το ποσοστό που παραλήφθηκε από τους ασύρματους σταθμούς στα δύο σενάρια.

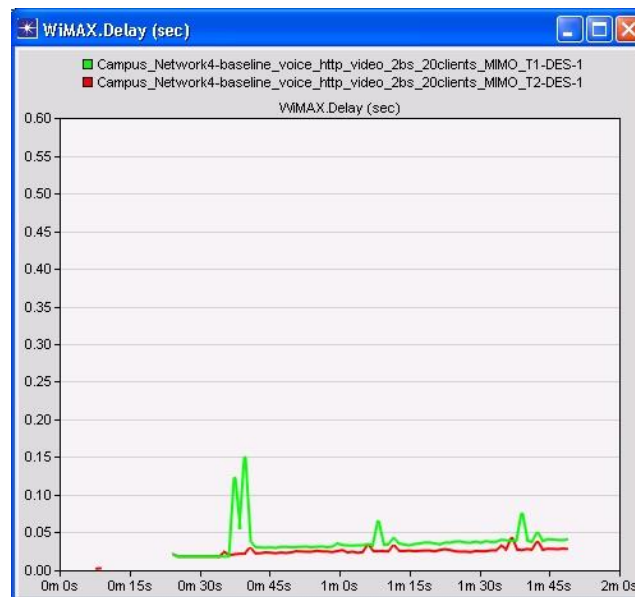


Εικόνα 145: Όγκος κίνησης εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

Το ποσοστό που παραλήφθηκε είναι ίσο με τον όγκο και σε αυτό το σενάριο. Ο όγκος είναι ο μέγιστος αναμενόμενος, δηλαδή 320,000bytes/sec.

Τα υπόλοιπα διαγράμματα της εφαρμογής δεν κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν καθώς η εφαρμογή δεν επηρεάστηκε ούτε στο ελάχιστο σε σχέση με το σενάριο 12.

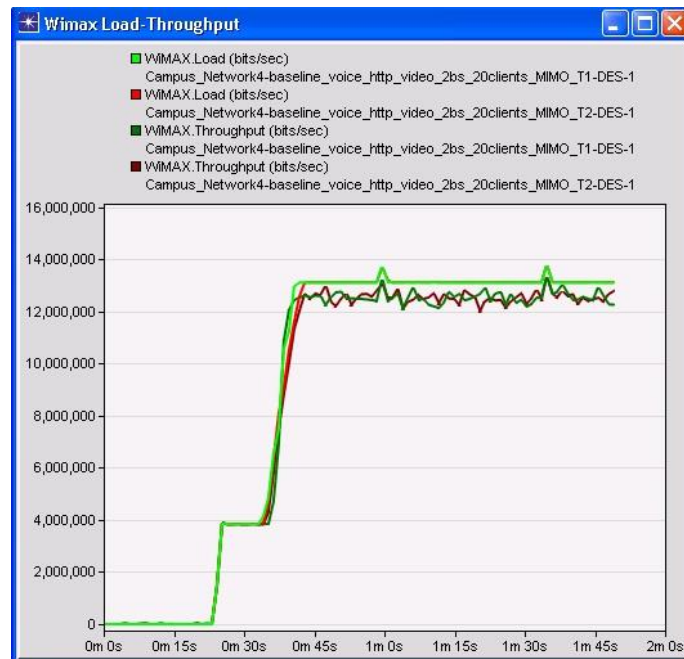
Η καθυστέρηση που καταγράφηκε σε επίπεδο WiMAX φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 146: Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.

Στο σενάριο 13 η καθυστέρηση μειώθηκε ακόμη περισσότερο σε σχέση με το σενάριο 12. Κυμάνθηκε στα 0,025-0,03 δευτερόλεπτα και επέδειξε σχετική σταθερότητα.

Ο συνολικός φόρτος και η ρυθμαπόδοση που παρατηρήθηκε στο δίκτυο σε επίπεδο WiMax φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα:



Εικόνα 147: Συνολικός φόρτος και ρυθμαπόδοση.

Είναι φανερό ότι γενικότερα ο όγκος και η ρυθμαπόδοση των δύο σεναρίων κινήθηκαν στα ίδια επίπεδα. Ο φόρτος κατέγραψε μια τιμή λίγο πάνω από 13Mbps καθ' όλη την διάρκεια της προσομοίωσης. Η ρυθμαπόδοση είχε κάποιες διακυμάνσεις αλλά γενικότερα κατέγραψε τιμές αρκετά κοντά στον συνολικό φόρτο, της τάξης των 12,7-12,8Mbps.

4.2.3.10 Συμπεράσματα σύγκρισης σεναρίων 12 και 13

Τελικά αν και όπως φάνηκε υπήρξε μια πολύ μικρή επιδείνωση στην συμπεριφορά της εφαρμογής HTTP, τα προσδοκώμενα αποτελέσματα επιτεύχθηκαν για την εφαρμογή Video Conference διαφοροποιώντας την κλάση υπηρεσιών της, καθώς οι καθυστερήσεις σε σχέση με το σενάριο 12 μειώθηκαν σημαντικά.

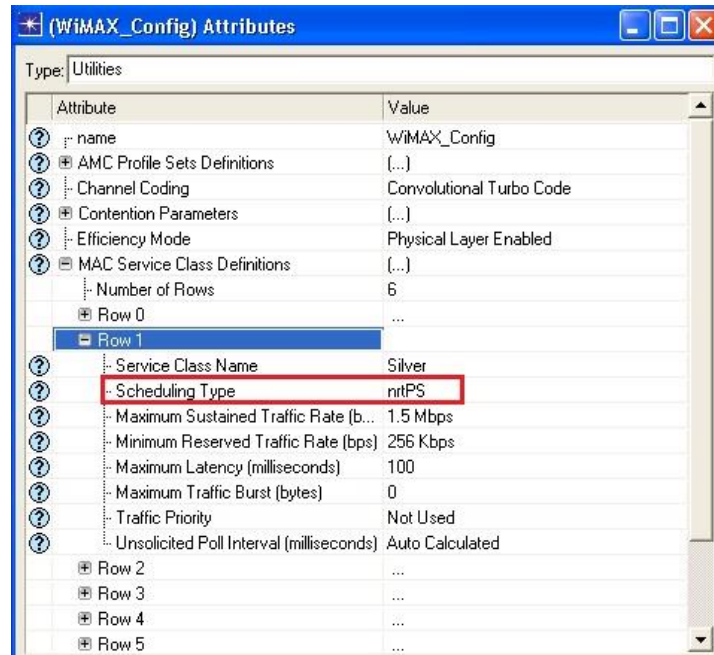
Επίσης δεν παρατηρήθηκε καμία αύξηση φόρτου είτε στο κανάλι DownLink είτε το κανάλι UpLink των σταθμών βάσης από την αύξηση των ορίων της κλάσης Υπηρεσιών Silver, κάτι που βέβαια είναι λογικό καθώς δεν αυξήθηκε η κίνηση κάποιας εφαρμογής, απλά τα όρια κίνησης που εξασφαλίζονται για αυτήν και στα οποία αυτή μπορεί να λειτουργεί. Το σενάριο 13 κοινώς επέδειξε μια αρκετά ισορροπημένη συμπεριφορά με την αλλαγή στην κλάση υπηρεσιών της εφαρμογής Video Conference για όλες τις εφαρμογές.

4.2.3.11 Παρουσίαση σεναρίου 14: Baseline_Voice_Http_Video_2bs_20clients_MIMO_AG1

Το σενάριο αυτό αποτελείται από τον ίδιο αριθμό σταθμών που εξυπηρετούνται από τις 3 εφαρμογές όπως και στα προηγούμενα σενάρια. Τα στοιχεία της κλάσης υπηρεσιών Silver παραμένουν όπως στο σενάριο 13 καθώς γενικότερα είχαν θετικό αντίκτυπο. Στόχος του σεναρίου αυτού είναι να εξεταστεί το πώς και πόσο επηρεάζει την εφαρμογή Video Conference, αλλά και γενικότερα όλο το δίκτυο και τις άλλες εφαρμογές, μια αλλαγή στην

προδιαγραφή υπηρεσιών της εφαρμογής Video Conference. Συγκεκριμένα ορίζεται για προδιαγραφή υπηρεσιών η nrtPS αντί για την rtPS που είναι θεωρητικά η ενδεδειγμένη και ήταν ορισμένη για την εφαρμογή Video Conference στα παραπάνω σενάρια.

Στην ουσία υπάρχει μία και μοναδική αλλαγή σε σχέση με το σενάριο 13. Η κλάση υπηρεσιών “Silver” έχει για προδιαγραφή υπηρεσιών την nrtPS. Η σχετική ρύθμιση φαίνεται στο περιβάλλον του Opnet παρακάτω:



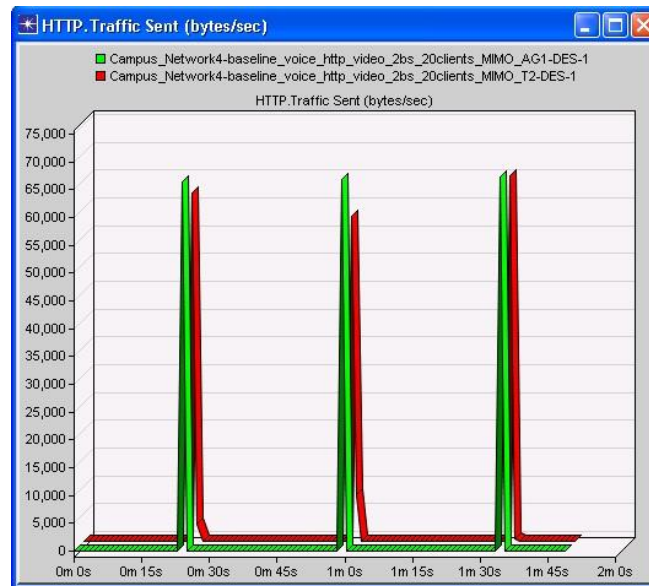
Εικόνα 148: Τύπος Προδιαγραφής Κλάσης Υπηρεσιών Silver

Ακολουθεί η σύγκριση του σεναρίου 12 με το σενάριο 13 ώστε να παρατηρηθούν οι επιπτώσεις την παραπάνω αλλαγής.

4.2.3.12 Σύγκριση σεναρίων 13 και 14

Εφαρμογή HTTP

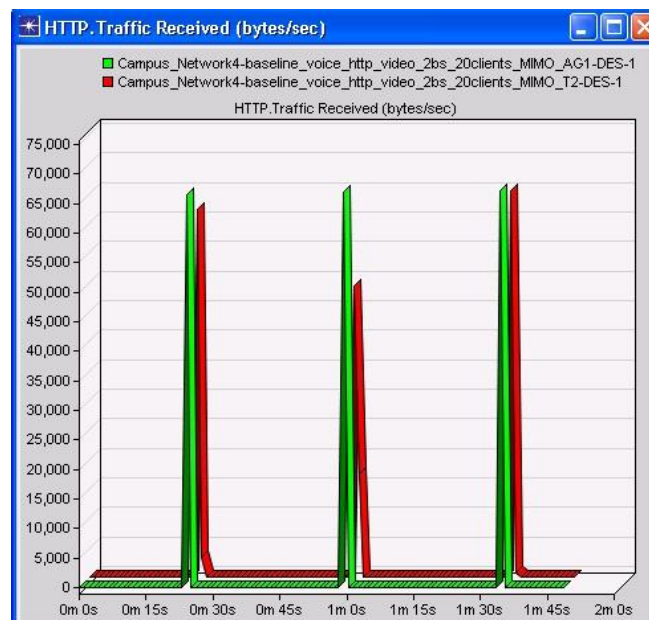
Για την εφαρμογή HTTP προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα. Το πρώτο που παρουσιάζεται είναι η συνολική κίνηση που δημιούργησε και έστειλε στο δίκτυο η εφαρμογή HTTP για τα δύο σενάρια και φαίνεται το παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 149: Συνολικός όγκος κίνησης εφαρμογής HTTP

Για το σενάριο 14 η κίνηση έφτασε σχεδόν την μέγιστη αναμενόμενη για την εφαρμογή HTTP και τις 3 στιγμές που ενεργοποιείται στην διάρκεια της προσομοίωσης. Η τιμή της κυμαίνεται στα 65,000bytes/sec περίπου. Οι τιμές του σεναρίου 13 είναι λίγο χαμηλότερες τις δύο από τις 3 φορές που ενεργοποιείται η εφαρμογή σε σχέση πάντα με το σενάριο 14. Την πρώτη φορά καταγράφεται μια τιμή λίγο πάνω από 60,000bytes/sec και την δεύτερη λίγο πάνω από 55,000bytes/sec.

Τα ποσά της κίνησης που παραλήφθηκαν επιτυχημένα φαίνονται στο επόμενο διάγραμμα.

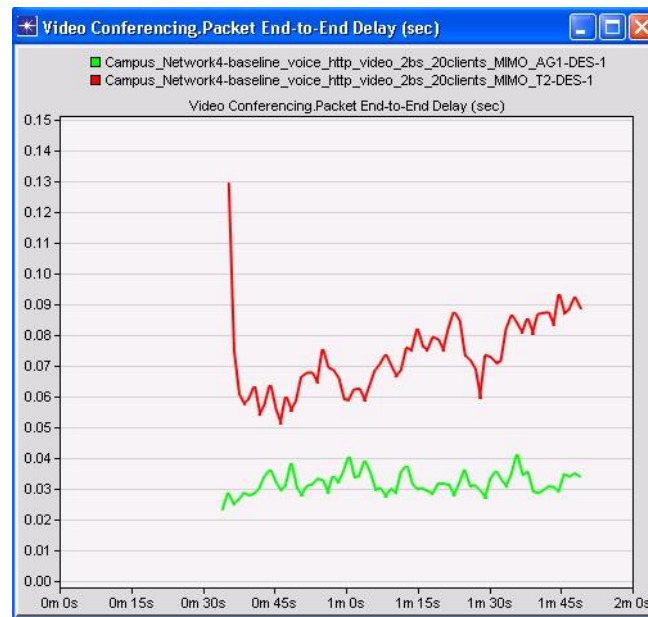


Εικόνα 150: Συνολικός όγκος κίνησης που παραλήφθηκε για την εφαρμογή HTTP.

Είναι φανερό ότι στο σενάριο 14 το ποσοστό της επιτυχημένης κίνησης της εφαρμογής είναι 100% σε σχέση με τον φόρτο. Για το σενάριο 13 την δεύτερη στιγμή της ενεργοποίησης της εφαρμογής χάνονται περίπου 8,000Bytes/sec.

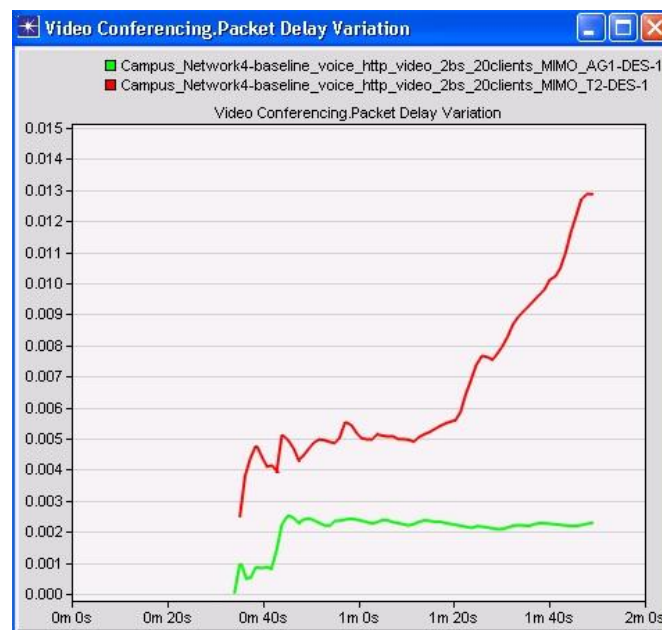
Εφαρμογή Video Conference

Για την εφαρμογή Video Conference και την καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων της προέκυψαν τα αποτελέσματα που φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 151: Καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων video στον δέκτη.

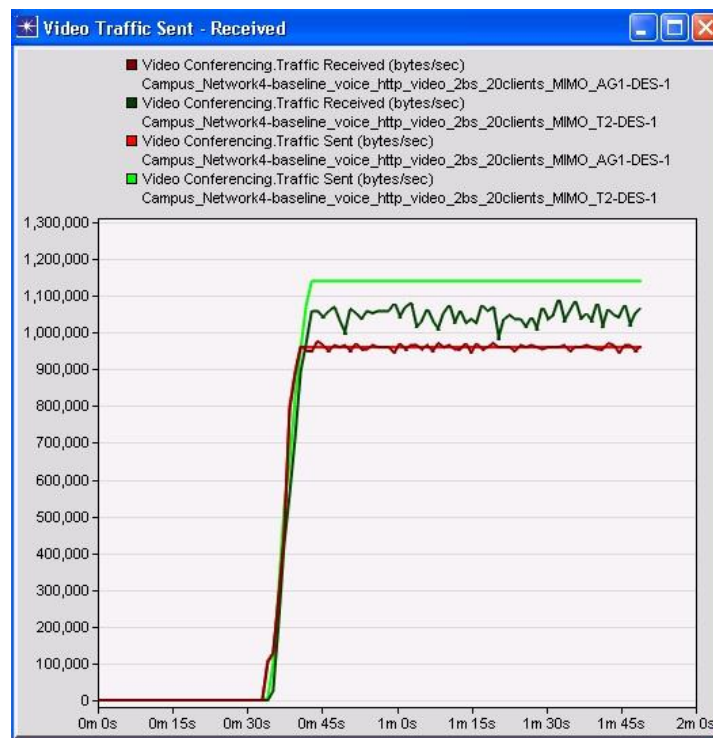
Φαίνεται ότι για το σενάριο 14 οι χρόνοι της καθυστέρησης είναι βελτιωμένοι μετά την αλλαγή του τύπου προδιαγραφής. Η τιμή της καθυστέρησης παίρνει τιμές από 0,03 μέχρι 0,04 δευτερόλεπτα και είναι βελτιωμένη σε σχέση με το σενάριο 13. Όπως παρατηρήθηκε και παραπάνω στο σενάριο 13 η καθυστέρηση ξεκινάει από τα επίπεδα των 0,13 δευτερολέπτων. Μειώνεται στα 0,05 δευτερόλεπτα και τελικά καταλήγει να καταγράφει μια τιμή περίπου στα 0,09 δευτερόλεπτα.



Εικόνα 152: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων Video.

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η απόκλιση των καθυστερήσεων των πακέτων video. Στο σενάριο 14 παρατηρείται και πάλι βελτίωση. Οι τιμές της απόκλισης ξεκινούν από το απόλυτο μηδέν και σταθεροποιούνται στην τιμή των 0,0025 δευτερολέπτων. Για το σενάριο 13 παρατηρούνται τιμές μέχρι και 0,013 δευτερόλεπτα στο τέλος της προσομοίωσης.

Το τελευταίο στατιστικό της εφαρμογής Video Conference είναι ο όγκος της κίνησης που δημιουργήθηκε στο δίκτυο και το ποσό αυτής που παραλήφθηκε από τους ασύρματους σταθμούς.

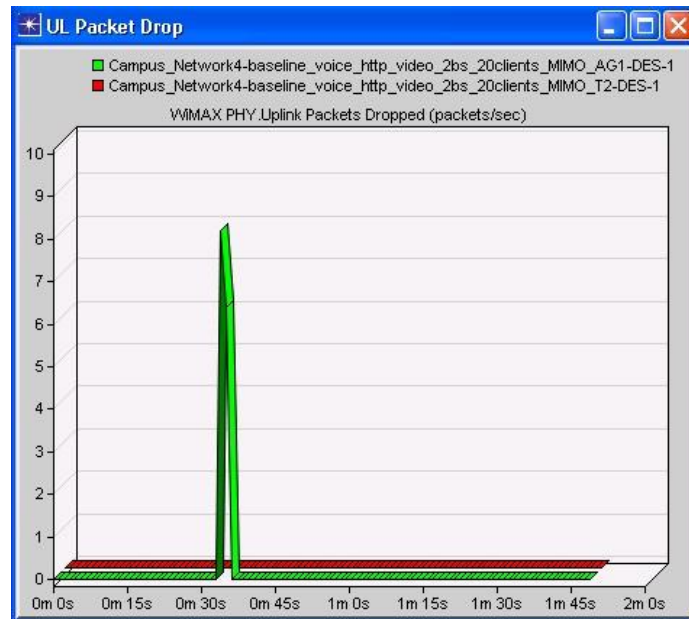


Εικόνα 153: Όγκος κίνησης εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

Εδώ τα αποτελέσματα για το σενάριο 14 είναι αρκετά άσχημα. Η κίνηση που στάλθηκε και παραλήφθηκε είναι της τάξης των 960,000Bytes/sec την ώρα που για το σενάριο 13 ο όγκος είναι αρκετά ψιλότερα στα 1,150,000Bytes/sec. Ο όγκος της κίνησης που παραλήφθηκε επιτυχημένα είναι και αυτός επίσης αρκετά ψιλότερα και κυμαίνεται στα 1,050,000Bytes/sec.

Κοινώς η βελτιωμένη καθυστέρηση και η απόκλισή της που παρατηρήθηκαν παραπάνω αντισταθμίζεται και μάλλον επισκιάζεται από τον χαμένο όγκο της κίνησης της εφαρμογής Video Conference στο σενάριο 14. Πρακτικά δεν κατάφεραν να συνδεθούν στον σταθμό βάσης και να ανταλλάξουν πακέτα με τον εξυπηρετητή της εφαρμογής, δύο ασύρματοι σταθμοί, οι 31 και 38. Στο σενάριο 12 μόνο ο σταθμός 31 δεν συνδέθηκε με τον σταθμό βάσης ενώ ο 38 απώλεσε μερικά πακέτα.

Το διάγραμμα που παρουσιάζει τα χαμένα πακέτα από την αποτυχημένη προσπάθεια του σταθμού 38 να επικοινωνήσει με τον σταθμό βάσης και κατ' επέκταση με τον εξυπηρετητή της εφαρμογής φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 154: Χαμένα πακέτα UL ασύρματου σταθμού 38

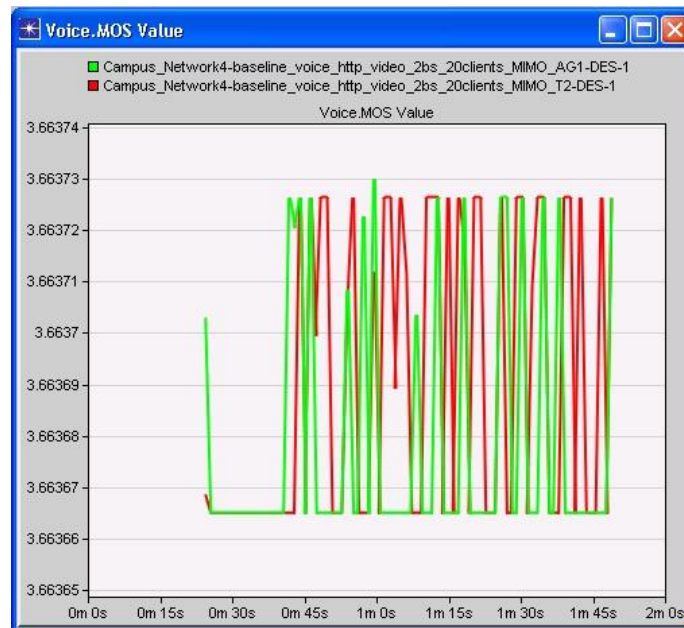
Όπως φαίνεται στο σενάριο 14 χάθηκαν όλα τα πακέτα που επιχειρήθηκαν να σταλούν από τον ασύρματο σταθμό, ενώ στο σενάριο 13 δεν χάθηκε κανένα.

Εφαρμογή VoIP

Για την εφαρμογή VoIP οι διαφορές που προέκυψαν είναι σχεδόν αμελητέες.

Η τιμή του Jitter ήταν και για τα δύο σενάρια η ίδια, σταθερή και σχεδόν απόλυτα μηδενική. Επίσης ο όγκος της κίνησης της εφαρμογής με την οποία τροφοδοτήθηκαν οι ασύρματοι σταθμοί ήταν 320,000bytes/sec που σημαίνει ότι δεν υπήρχαν απώλειες. Απώλειες δεν υπήρχαν όμως και στο όγκο της κίνησης που παραλήφθηκε όπου κι εκεί δεν υπήρχαν απώλειες σε κανένα από τα δύο σενάρια.

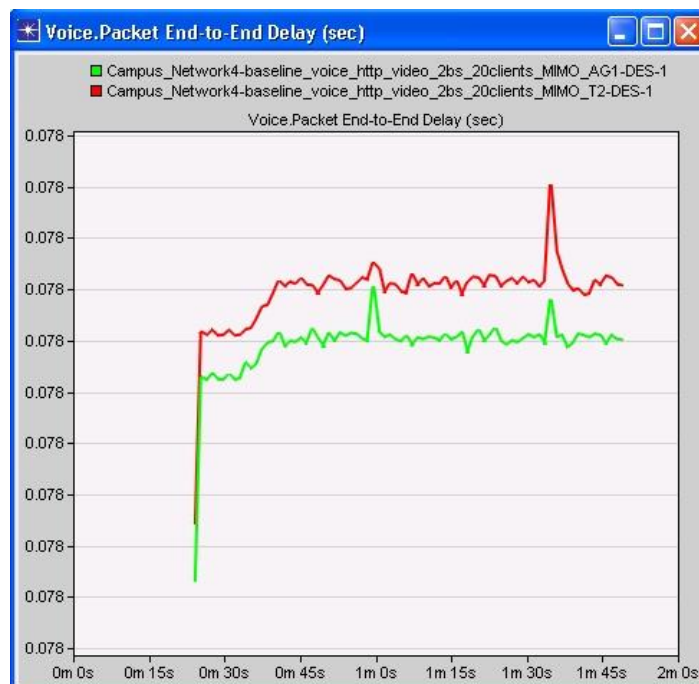
Σχετικά με την δείκτη MOS και την τιμή του κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, παρουσίασε αρκετές μεταβολές. Το σχετικό διάγραμμα φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 155: Δείκτης ποιότητας MOS.

Η τιμή του δείκτη MOS μεταβαλλόταν συνεχώς αλλά η απόκλιση είναι ιδιαίτερος μικρή. Κυμάνθηκε από 3,66366 μέχρι 3,66372 περίπου και στα δύο σενάρια.

Η καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων φωνής φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα:



Εικόνα 156: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στο δέκτη.

Αν και αρχικά φαίνεται ότι η καθυστέρηση ήταν μεγαλύτερη για το σενάριο 13, στην ουσία οι διαφορές και εδώ είναι απειροελάχιστες. Για το σενάριο 13 η καθυστέρηση είναι 0,07825 δευτερόλεπτα περίπου και για το σενάριο 14, περίπου 0,07820 δευτερόλεπτα.

Και για την απόκλιση της καθυστέρησης η εικόνα είναι ίδια. Οι τιμές είναι σχεδόν απόλυτα ταυτόσημες όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα:



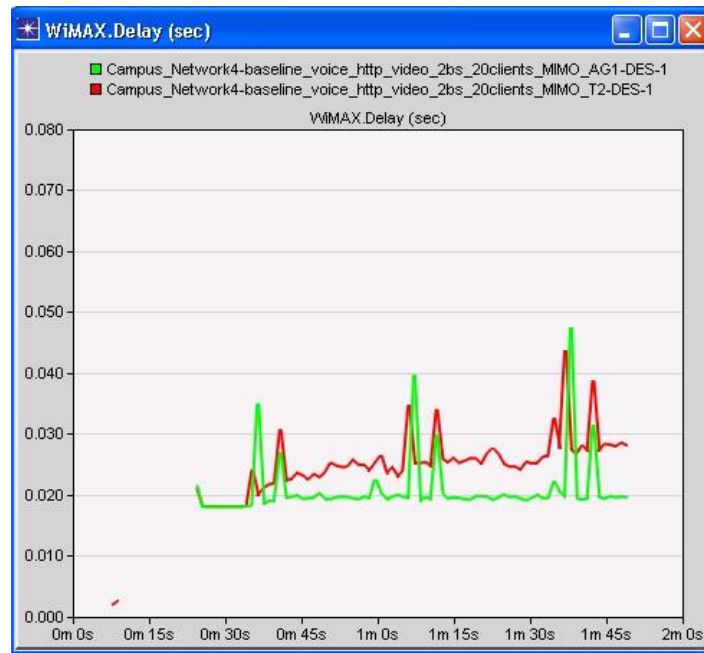
Εικόνα 157: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.

Οι τιμές και στα δύο σενάρια είναι ιδιαίτερα μικρές και της τάξης των 0,000066 δευτερολέπτων.

Ουσιαστικά και με βάση τα παραπάνω διαγράμματα, η εφαρμογή VoIP δεν παρουσίασε κάποια σημαντική αλλαγή στην συμπεριφορά της.

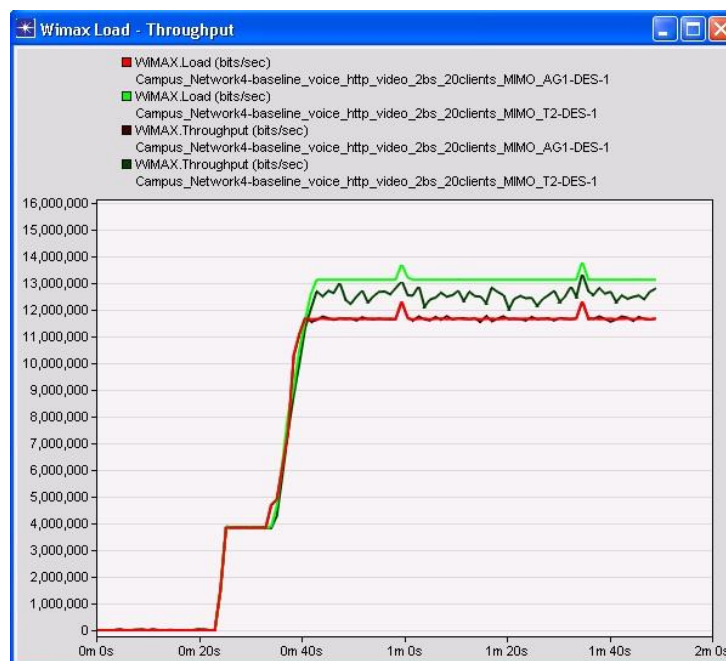
Επίπεδο WiMAX

Οι διαφορές στις καθυστερήσεις σε επίπεδο WiMAX για τα δύο σενάρια δεν ήταν ιδιαίτερα μεγάλες. Στο σενάριο 14 παρατηρήθηκαν αρχικά χαμηλότερες τιμές από το σενάριο 13 κατά 0,005 δευτερόλεπτα αλλά υπήρξαν και στιγμές στην διάρκεια της προσομοίωσης που εμφανίστηκαν απότομες αυξητικές μεταβολές της καθυστέρησης αυτής και ξεπέρασαν τα επίπεδα του σεναρίου 13.



Εικόνα 158: Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.

Ο φόρτος και η ρυθμαπόδοση σε επίπεδο WiMAX παρουσίασαν κατά ένα μεγάλο μέρος την ίδια συμπεριφορά με την εφαρμογή Video Conference στο σενάριο 14, κάτι το οποίο είναι λογικό.



Εικόνα 159: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.

Για το σενάριο 14 καταγράφηκε ισόποση ρυθμαπόδοση σε σχέση με τον φόρτο. Η τιμή τους κυμάνθηκε στα 11.8Mbps περίπου. Για το σενάριο 13 οι τιμές φόρτου και ρυθμαπόδοσης κυμάνθηκαν στα 13Mbps περίπου και στα 12,7-12,8Mbps αντίστοιχα.

Τέλος, ένα σημείο το οποίο παρουσίασε ενδιαφέρον στην σύγκριση των δύο σεναρίων μετά το πέρας της προσομοίωσης είναι η μεταβολή της τιμής του SNR για το κανάλι DownLink

στους δύο σταθμούς βάσης. Στο σενάριο 14 η τιμή του κατά μέσο όρο έχει παρουσιάσει αύξηση. Τα σχετικά διαγράμματα φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 160: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιού DL Σταθμών Βάσης.

Όπως φαίνεται στα διαγράμματα υπάρχει μια αύξηση της τάξης περίπου των 8dB και για τους δύο σταθμούς βάσης στο σενάριο 14. Συγκεκριμένα στον πρώτο σταθμό βάσης η τιμή του SNR κατά μέσο όρο έφτασε τα 42dB περίπου, ενώ στον δεύτερο σταθμό βάσης έφτασε τα 42,5dB, την ίδια στιγμή που για το σενάριο 13 οι τιμές ήταν 32,5dB και 35dB περίπου αντίστοιχα.

4.2.3.13 Συμπεράσματα σύγκρισης σεναρίων 13 και 14

Αν και πρακτικά τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων της εικόνας 140 σημαίνουν καλύτερη σχέση σήματος – θορύβου στο κανάλι επικοινωνίας των σταθμών βάσης με τους ασύρματους σταθμούς, αυτό δεν μεταφράστηκε σε αυξημένο όγκο κίνησης γενικότερα που λογικά με βάση τα δύο παραπάνω διαγράμματα θα κατέληγε και σε καλύτερη ρυθμιαπόδοση του δικτύου.

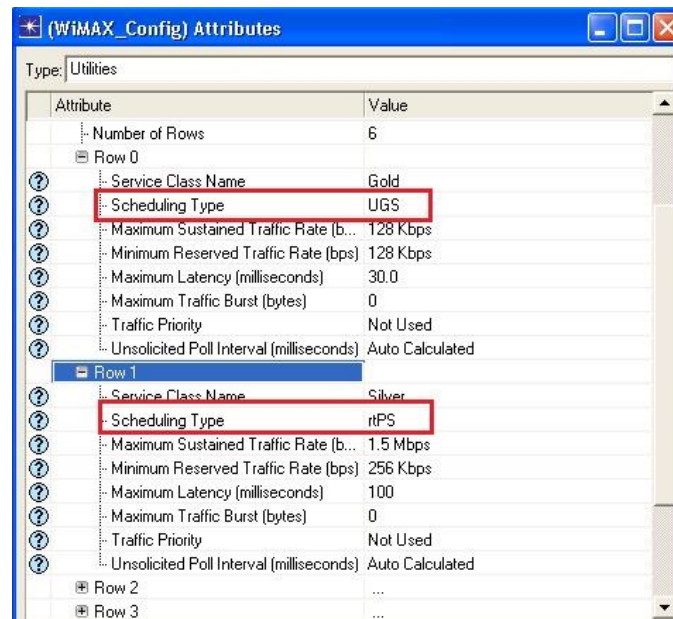
Αν και παρατηρήθηκε βελτίωση στην καθυστέρηση και την απόκλιση αυτής για την εφαρμογή Video Conference, τα θετικά σημεία αντισταθμίζονται και μάλλον επισκιάζονται από τον χαμένο όγκο της κίνησης της εφαρμογής Video Conference στο σενάριο 14. Όπως αναφέρθηκε και πάλι παραπάνω, πρακτικά δεν κατάφεραν να συνδεθούν στον σταθμό βάσης και να ανταλλάξουν πακέτα με τον εξυπηρετητή της εφαρμογής, δύο ασύρματοι σταθμοί, οι 31 και 38. Στο σενάριο 13 μόνο ο σταθμός 31 δεν συνδέθηκε με τον σταθμό βάσης ενώ ο 38 απώλεσε μερικά πακέτα.

Με βάση τα αποτελέσματα επιβεβαιώνεται ότι ο τύπος προδιαγραφής nrtPS δεν είναι κατάλληλος για εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Όπως έχει αναφερθεί και στο θεωρητικό κομμάτι της εργασίας. Η απόδοση της εφαρμογής Video Conference επηρεάστηκε γενικά προς το χειρότερο με την αλλαγή αυτή. Η εφαρμογή VoIP δεν επηρεάστηκε καθόλου σε σχέση με το σενάριο 13, ενώ η εφαρμογή HTTP παρουσίασε μικρή βελτίωση στο σενάριο 14.

4.2.3.14 Παρουσίαση σεναρίου 15: Baseline Voice Http Video 2bs 20clients MIMO AG2

Στο σενάριο αυτό ακολουθείτε η λογική του σεναρίου 14. Μεταβάλλεται δηλαδή μόνο ένας τύπος προδιαγραφής και τίποτα άλλο σε σχέση με το σενάριο 13. Συγκεκριμένα στο σενάριο 15 επιλέγεται για την εφαρμογή VoIP ο τύπος προδιαγραφής UGS. Οι υπόλοιπες παράμετροι της κλάσης Gold παραμένουν αμετάβλητες. Για την εφαρμογή Video ο τύπος προδιαγραφής είναι και πάλι ο rtPS.

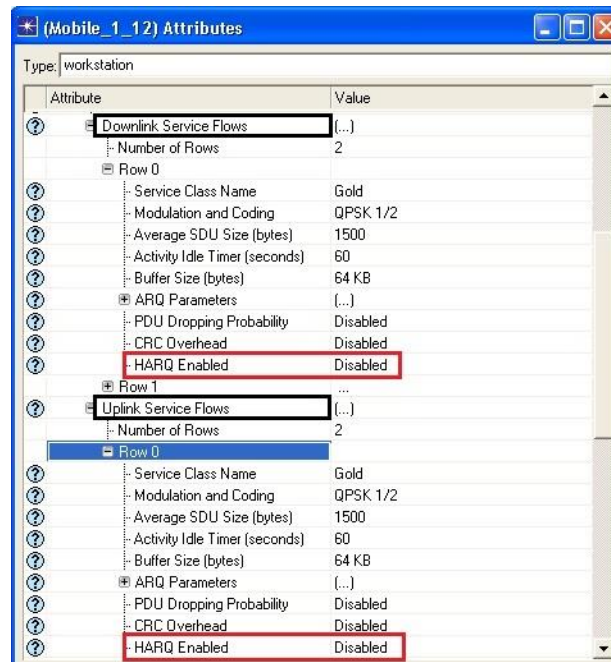
Η σχετική εικόνα των ρυθμίσεων του Ornet φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 161: Ρυθμίσεις Τύπων Προδιαγραφών.

Ο Ornet Modeler v.16.0 όμως δεν υποστηρίζει τον συνδυασμό του τύπου προδιαγραφής UGS με τον μηχανισμό HARQ ο οποίος είναι ενεργοποιημένος για όλες τις κλάσεις υπηρεσιών στα προηγούμενα σενάρια. Οπότε στους 20 σταθμούς οι οποίοι λειτουργούν με βάση την κλάση Gold υποχρεωτικά ο μηχανισμός HARQ απενεργοποιήθηκε και στα δύο κανάλια επικοινωνίας. Για την κλάση Bronze που υπάρχει επίσης στους ίδιους σταθμούς και αναφέρεται στην εφαρμογή HTTP δεν υπάρχει κάποια αλλαγή ή περιορισμός.

Η σχετική εικόνα που παρουσιάζει τις αλλαγές που αναφέρθηκαν στο περιβάλλον του Ornet φαίνεται παρακάτω:

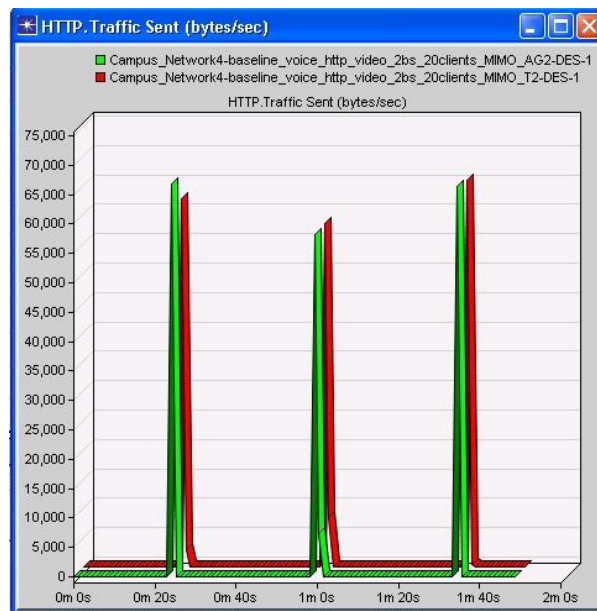


Εικόνα 162: Απενεργοποίηση HARQ στα κανάλια DL και UL.

4.2.3.15 Σύγκριση σεναρίων 13 και 15

Εφαρμογή HTTP

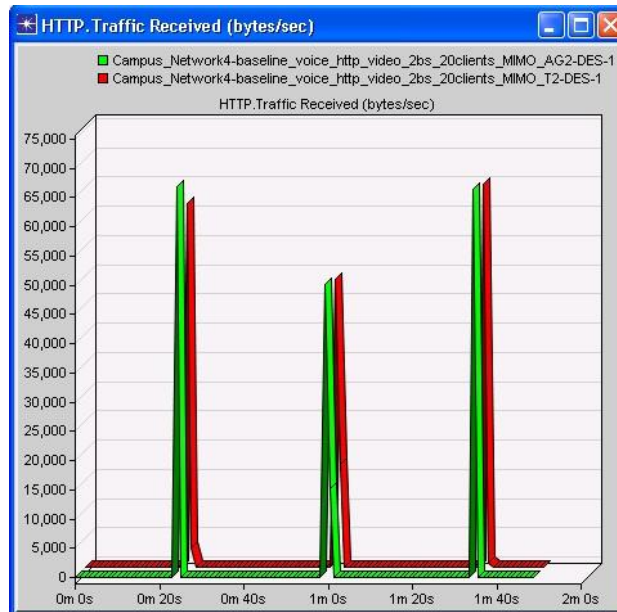
Μετά το πέρας της προσομοίωσης τα αποτελέσματα αρχικά για την εφαρμογή HTTP και συγκεκριμένα για την συνολικό όγκο κίνησης αυτής φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 163: Συνολικός όγκος κίνησης εφαρμογής HTTP.

Ο όγκος κίνησης της εφαρμογής και για τα δύο σενάρια σχεδόν ταυτόσημος. Κάτι που σημαίνει ότι και στα δύο υπάρχουν απώλειες για την εφαρμογή HTTP ιδιαίτερα κατά την δεύτερη φορά που ενεργοποιείται η εφαρμογή, της τάξης των 8,000 bytes/sec.

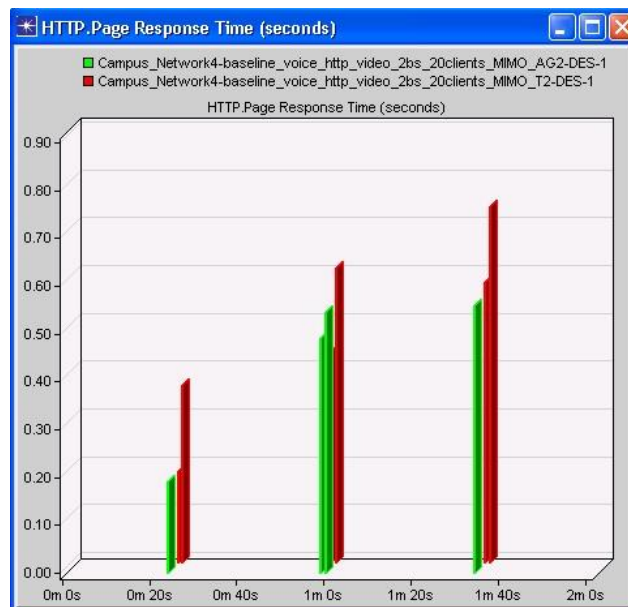
Το επόμενο διάγραμμα περιγράφει την κίνηση HTTP που τελικά παραλήφθηκε από τους ασύρματους σταθμούς δεχόμενοι τον όγκο κίνησης που περιγράφηκε:



Εικόνα 164: Συνολικός όγκος κίνησης που παραλήφθηκε για την εφαρμογή HTTP.

Μικρό πρόβλημα παρατηρείται και πάλι μόνο την δεύτερη φορά που ενεργοποιείται κατά την διάρκεια της προσομοίωσης η εφαρμογή HTTP. Υπάρχουν απώλειες της τάξης των 5,000 bytes/sec και στα δύο σενάρια.

Όσον αφορά τις τιμές του χρόνου ανταπόκρισης μιας ιστοσελίδας της εφαρμογής για τα δύο σενάρια φαίνονται στο ακόλουθο διάγραμμα:



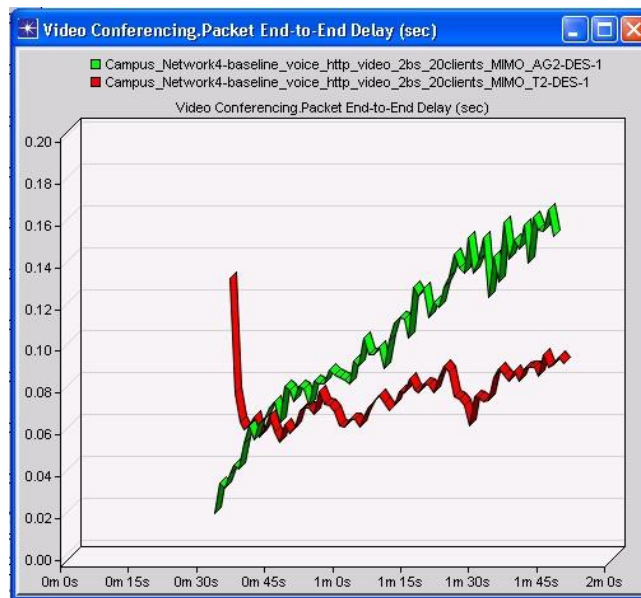
Εικόνα 165: Χρόνος απόκρισης Ιστοσελίδας.

Για το σενάριο 15 οι χρόνοι απόκρισης των ιστοσελίδων είναι καλύτεροι. Την πρώτη φορά ενεργοποίησης της εφαρμογής είναι 0,15 δευτερόλεπτα, την δεύτερη 0,50 δευτερόλεπτα και

την τρίτη 0,51 δευτερόλεπτα. Για το σενάριο 13 οι αντίστοιχες τιμές είναι 0,35 δευτερόλεπτα, 0,60 δευτερόλεπτα και 0,72 δευτερόλεπτα.

Εφαρμογή Video Conference

Η εφαρμογή Video Conference, παρουσίασε ελαφρώς χειρότερη συμπεριφορά στο σενάριο 15. Η χειρότερη αυτή συμπεριφορά αφορά τους χρόνους καθυστέρησης και την απόκλιση αυτής.

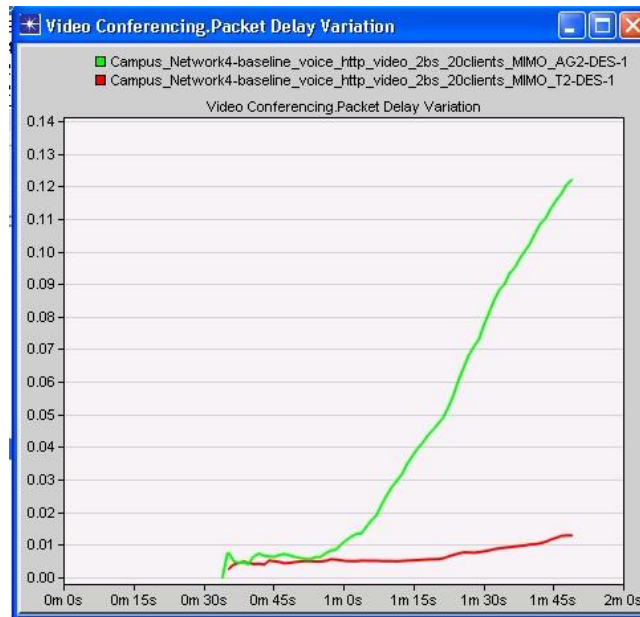


Εικόνα 166: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων Video στον δέκτη.

Για το σενάριο 15 φαίνεται ότι η καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων της εφαρμογής ήταν μεγαλύτερη. Συγκεκριμένα στο τέλος της προσομοίωσης καταγράφηκαν τιμές της τάξης των 0,16 δευτερολέπτων, την ίδια ώρα που στο σενάριο 12 οι τιμές αυτές ήταν 0,09. Επίσης στο σενάριο 14 η τάση της καθυστέρησης είναι ιδιαίτερα αυξητική.

Το επόμενο διάγραμμα περιγράφει την απόκλιση των καθυστερήσεων που παρουσιάστηκαν.

Και πάλι το σενάριο 15 με τον τύπο προδιαγραφής UGS ορισμένο για την εφαρμογή VoIP, παρουσιάζει αρκετά μεγαλύτερη απόκλιση από το σενάριο 13. Συγκεκριμένα για το σενάριο 15 η απόκλιση φτάνει την τιμή των 0,12 δευτερολέπτων στο πέρας της προσομοίωσης και με ιδιαίτερα αυξητικές τάσεις και πάλι, την ίδια στιγμή που για το σενάριο 13 η τιμή είναι λίγο μεγαλύτερη από 0,01 δευτερόλεπτα και με μια πολύ μικρή αυξητική τάση.



Εικόνα 167: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων Video.

Στον όγκο κίνησης που μεταφέρθηκε στο δίκτυο και λήφθηκε επιτυχημένα δεν υπήρξε κάποια διαφορά ανάμεσα στα δύο σενάρια.



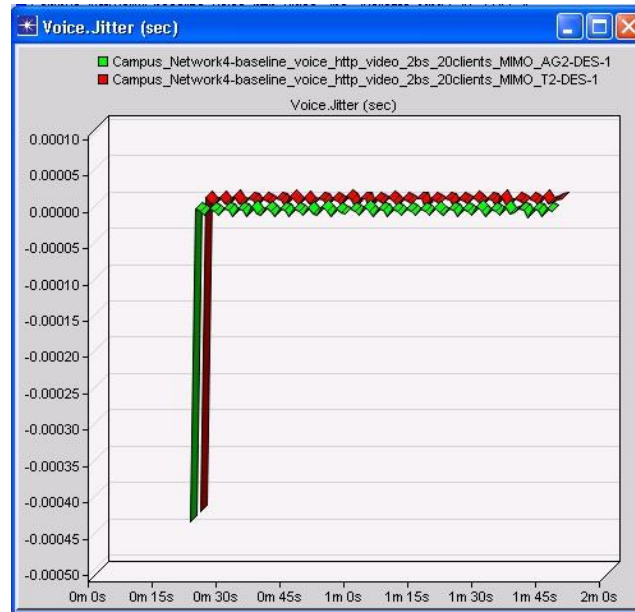
Εικόνα 168: Όγκος κίνησης εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

Όπως φαίνεται, ο όγκος παρουσιάζει και στο σενάριο 15 τις μικρές απώλειες που παρουσίαζε και στο σενάριο 13. Γνωρίζοντας ότι ο μέγιστος αναμενόμενος είναι 1,200,000 bytes/sec στα δύο σενάρια κυμαίνεται στα 1,150,000 Bytes/sec. Ο όγκος της κίνησης που παραλήφθηκε επιτυχημένα είναι και αυτός επίσης στα ίδια επίπεδα για τα δύο σενάρια και κυμαίνεται στα 1,050,000 Bytes/sec.

Γενικότερα φαίνεται ότι η εφαρμογή Video Conference απέδωσε χειρότερα μετά την αλλαγή του τύπου προδιαγραφής στην εφαρμογή VoIP για το σενάριο 15.

Εφαρμογή VoIP

Για την εφαρμογή VoIP την οποία οι αλλαγές που έγιναν αφορούσαν άμεσα, τα αποτελέσματα για το jitter που προέκυψαν στα δύο σενάρια φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 169: Τιμή Jitter εφαρμογής VoIP.

Όπως εύκολα διακρίνεται, η τιμή του Jitter και στα δύο σενάρια είναι μηδενική από την στιγμή εκκίνησης της εφαρμογής που είναι το 25^ο δευτερόλεπτο μέχρι το τέλος της που ταυτίζεται με το τέλος της προσομοίωσης.

Σχετικά με την δείκτη MOS και την τιμή του κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, παρουσίασε αρκετές μεταβολές. Το σχετικό διάγραμμα φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 170: Τιμή δείκτη MOS.

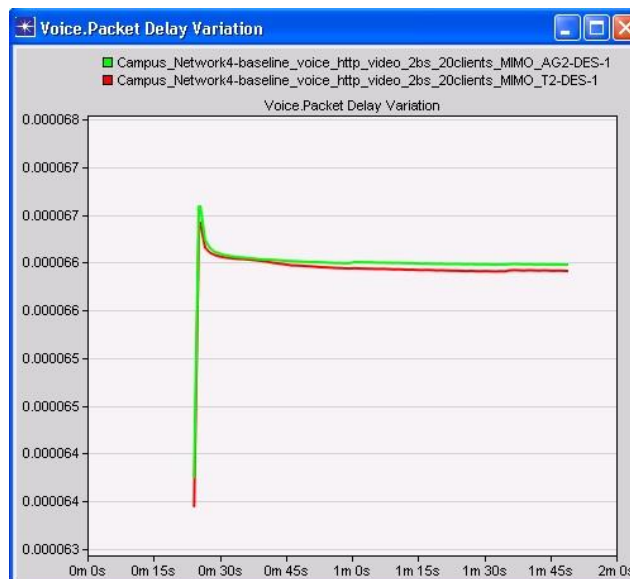
Η τιμή και στα δύο σενάρια μεταβάλλεται ανά τον χρόνο έχοντας όμως μια πολύ μικρή απόκλιση της τάξης των 0,000006 μονάδων. Η μέγιστη τιμή του δείκτη MOS και για τα δύο σενάρια είναι 3,66373 μονάδες περίπου.

Το επόμενο διάγραμμα αφορά την καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων φωνής στον δέκτη. Και στα δύο σενάρια η καθυστέρηση είναι σχεδόν απολύτως ίδια στα 0,078sec.



Εικόνα 171: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στο δέκτη

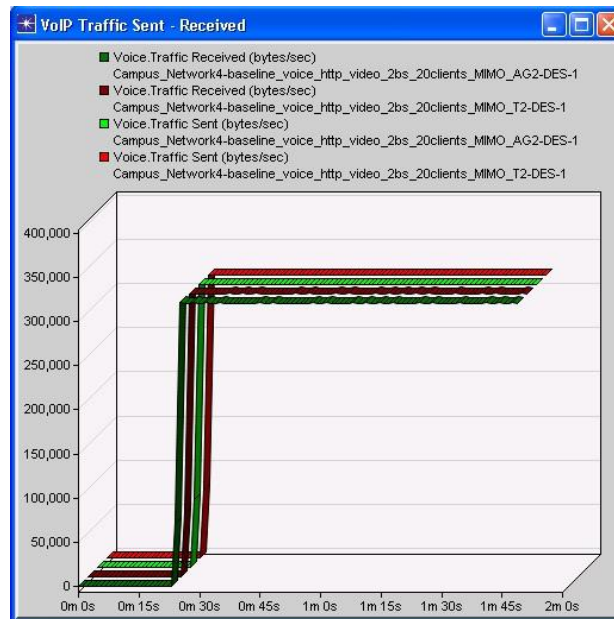
Για την απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 172: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής

Και εδώ υπάρχει ταύτιση των δύο σεναρίων σε μια τιμή κοντά στα 0,000066 δευτερόλεπτα.

Τελευταίο διάγραμμα για την εφαρμογή VoIP είναι αυτό του όγκου κίνησης και της επιτυχημένης λήψης από την μεριά των ασύρματων σταθμών.



Εικόνα 173: Όγκος κίνησης εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

Όπως και στο σενάριο 13, έτσι και στο σενάριο 15 οι τιμές όγκου κίνησης και παραλαβής αυτού από τους σταθμούς είναι οι μέγιστες αναμενόμενες και κυμαίνονται στα 320,000 bytes/sec.

Επίπεδο WiMAX

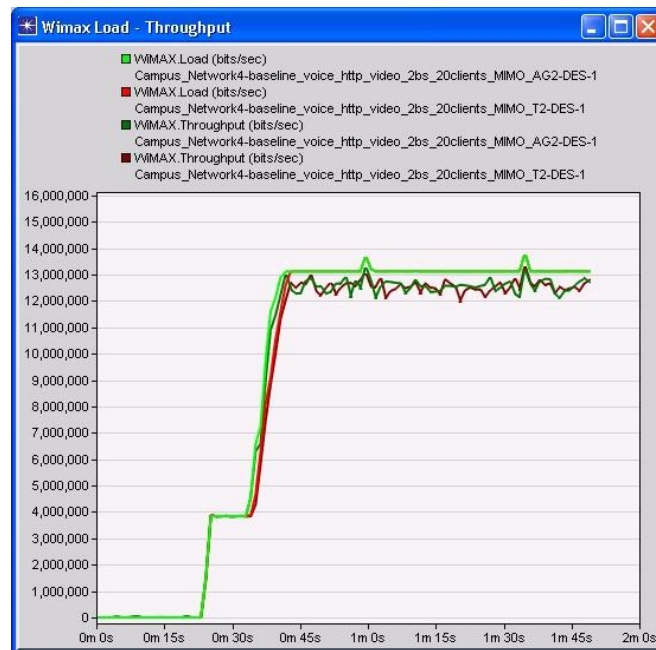
Σε επίπεδο Wimax οι καθυστερήσεις που παρατηρήθηκαν για το σενάριο 15 ήταν μεγαλύτερες σε σχέση με το σενάριο 13:



Εικόνα 174: Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.

Για το σενάριο 15 η καθυστέρηση τελικά στο τέλος της προσομοίωσης ξεπερνά τα 0,04 δευτερόλεπτα. Επίσης η τάση της καθυστέρησης αυτής είναι περισσότερο αυξητική σε σύγκριση με το σενάριο 13. Το σενάριο 13 καταλήγει να έχει μια καθυστέρηση της τάξης των 0,03 δευτερολέπτων περίπου.

Για τον συνολικό φόρτο και την ρυθμαπόδοση του δικτύου τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 175: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.

Όπως ήταν αναμενόμενο δεν μεταβλήθηκαν είτε ο όγκος είτε η ρυθμαπόδοση καθώς δεν μεταβλήθηκαν ούτε σε επίπεδο εφαρμογών, εκτός με μια ελάχιστη μεταβολή στην εφαρμογή HTTP. Και για τα δύο σενάρια οι τιμή του φόρτου κινήθηκε σε ένα επίπεδο λίγο παραπάνω από τα 13Mbps και η ρυθμαπόδοση στο επίπεδο των 12,7-12,8Mbps.

Ένα σημείο το οποίο επισημάνθηκε και στην σύγκριση του σεναρίου 13 με το σενάριο 14, όπου κι εκεί η αλλαγή αφορούσε μόνο έναν τύπο προδιαγραφής, ήταν η τιμή του SNR στο κανάλι DownLink των σταθμών βάσης. Εκεί παρατηρήθηκαν μεγάλες μεταβολές στην τιμή του SNR. Οι αντίστοιχες τιμές της σύγκρισης των σεναρίων 13 και 15 φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 176: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιού DL Σταθμών Βάσης.

Όπως είναι φανερό η ταύτιση του μέσου όρου της τιμής του SNR στο κανάλι DL των δύο σταθμών βάσης είναι σχεδόν απόλυτη για τα σενάρια 12 και 14.

Κάτι που όμως είναι σημαντικό να σημειωθεί είναι η μείωση του ποσοστού χρήσης των καναλιών UL και DL στους δύο σταθμούς βάσης στο σενάριο 14 όπου και χρησιμοποιήθηκε ο τύπος προδιαγραφής UGS.



Εικόνα 177: Ποσοστό χρήσης καναλιού DL σταθμού βάσης 1 και ποσοστό DL-MAP.

Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα το ποσοστό χρήσης του καναλιού DL του σταθμού βάσης για το σενάριο 15 είναι ίσο με 47,3% περίπου προσθέτοντας βέβαια το ποσοστό που χρησιμοποιήθηκε από τα μηνύματα διαχείρισης MAP. Για το σενάριο 13 το αντίστοιχο ποσοστό ήταν της τάξης του 61,5%.

Για το σενάριο UpLink τα αντίστοιχα ποσοστά είναι 75% για το σενάριο 15 και περίπου 85% για το σενάριο 13.

4.2.3.16 Συμπεράσματα σύγκρισης σεναρίων 13 και 15

Γενικότερα με βάση τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι με τις υπάρχουσες συνθήκες δικτύου, ο τύπος προδιαγραφής ertPS είναι προτιμότερος από τον UGS. Αν και η συμπεριφορά της εφαρμογής VoIP δεν μεταβλήθηκε στο παραμικρό, η συμπεριφορά της εφαρμογής Video Conference επέστρεψε αρκετά μεγαλύτερες καθυστερήσεις στην λειτουργία της, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι είναι απαγορευτικές. Βελτίωση υπήρξε βέβαια στην εφαρμογή HTTP και συγκεκριμένα στον χρόνο απόκρισης των ιστοσελίδων. Έχοντας υπόψη όμως ότι και στο σενάριο 13 οι τιμές της απόκρισης δεν ήταν ιδιαίτερα μεγάλες, το γεγονός αυτό κρίνεται μάλλον λιγότερο σημαντικό από τον αρνητικό αντίκτυπο που προκλήθηκε στην εφαρμογή Video Conference.

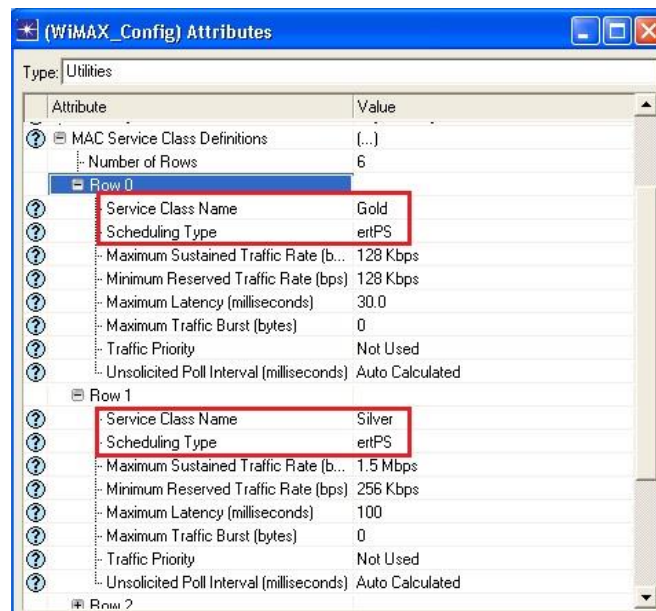
Όσον αφορά τα ποσοστά επικάλυψης των καναλιών UL και DL για τους σταθμούς βάσης οι διαφορές που σημειώθηκαν οφείλονται στον διαφορετικό τρόπο λειτουργίας του τύπου προδιαγραφής UGS από τον ertPS που έχουν αναφερθεί στο θεωρητικό κομμάτι και γενικότερα σημαίνει περισσότερο overhead για τον τύπο προδιαγραφής ertPS. Βέβαια ο τύπος προδιαγραφής UGS έχει την ιδιότητα να δεσμεύει τον μέγιστο ρυθμό απόδοσης για τον κάθε ασύρματο σταθμό πριν να ξεκινήσει η μεταφορά δεδομένων, σε αντίθεση με τον ertPS που δεσμεύει τον ελάχιστο και τον επαναδιαπραγματεύεται κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας. Οπότε το γεγονός ότι τελικά υπήρξε τέτοια διαφορά στις επικαλύψεις των καναλιών οφείλεται στο γεγονός ότι στο σενάριο 15 για την κλάση Gold δεν ήταν δυνατόν να

χρησιμοποιηθεί ο μηχανισμός HARQ λόγω περιορισμού του Opnet Modeler v.16.0, κάτι που επίσης μειώνει την επικάλυψη των καναλιών καθώς δεν υπάρχουν επανεκπομπές πακέτων για την κλάση Gold.

4.2.3.17 Παρουσίαση σεναρίου 16: Baseline Voice Http Video 2bs 20clients MIMO AG3

Μετά τις αλλαγές στον τύπο προδιαγραφής που έγιναν στα σενάρια 14 και 15 και στο σενάριο 65 θα γίνει κάτι αντίστοιχο. Το σενάριο αυτό περιέχει και πάλι δύο σταθμούς βάσης, 20 ασύρματους σταθμούς οι οποίοι είναι ρυθμισμένοι να διαχειρίζονται κίνηση των εφαρμογών HTTP και VoIP και 10 ασύρματους σταθμούς που διαχειρίζονται κίνηση της εφαρμογής Video Conference. Στο σενάριο αυτό η αλλαγή που πραγματοποιείτε αφορά πρωτίστως την εφαρμογή Video Conference. Δηλαδή ο τύπος προδιαγραφής για την κλάση Silver στην οποία υπακούει η εφαρμογή Video Conference είναι ο ertPS, όπως ertPS είναι και για την κλάση Gold στην οποία υπακούει η εφαρμογή VoIP.

Η αλλαγή στον τύπο προδιαγραφής της κλάσης Silver αλλά και οι γενικότερες ρυθμίσεις των κλάσεων Gold και Silver για το σενάριο αυτό φαίνονται παρακάτω:



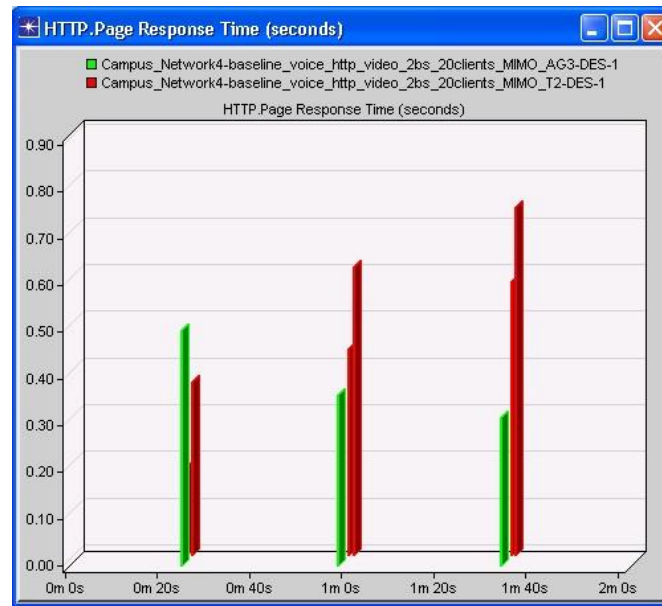
Εικόνα 178: Τύποι προδιαγραφών Κλάσεων Υπηρεσιών Gold και Silver.

Για την εφαρμογή HTTP δεν υπάρχει καμία αλλαγή και επίσης ο μηχανισμός HARQ είναι ενεργοποιημένος σε όλους τους ασύρματους σταθμούς.

4.2.3.18 Σύγκριση σεναρίων 13 και 16

Εφαρμογή HTTP

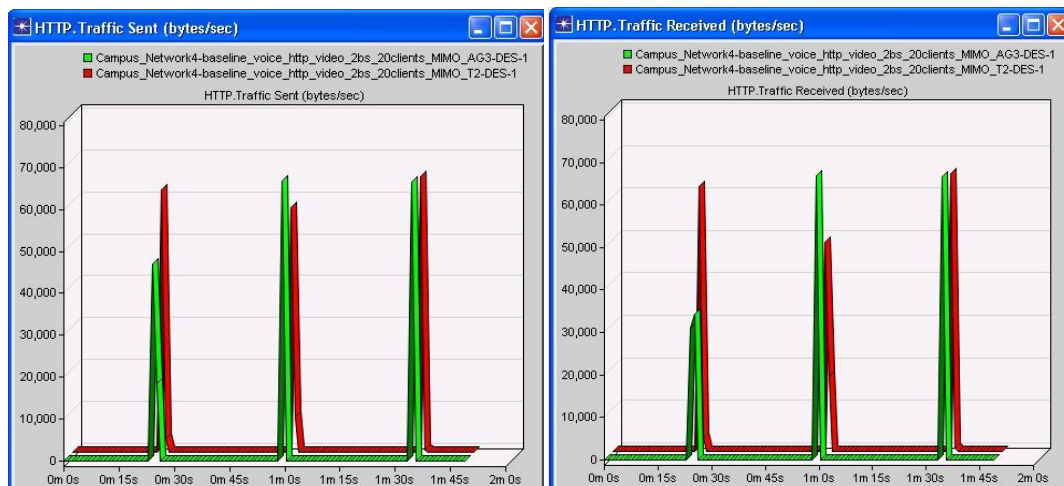
Συγκρίνοντας το σενάριο 16 με το σενάριο 13, για την εφαρμογή HTTP και ειδικά για τον χρόνο απόκρισης των ιστοσελίδων καταγράφηκαν τα παρακάτω αποτελέσματα:



Εικόνα 179: Χρόνος απόκρισης Ιστοσελίδας.

Την πρώτη φορά ενεργοποίησης της εφαρμογής για το σενάριο 16 παρατηρείται μεγαλύτερος χρόνος απόκρισης των ιστοσελίδων σε σχέση με το σενάριο 13. Ο χρόνος αυτός είναι περίπου 0,50 δευτερόλεπτα για το σενάριο 16 την στιγμή που για το σενάριο 13 είναι περίπου 0,35 δευτερόλεπτα. Στην συνέχεια όμως στο σενάριο 16 ο χρόνος αυτός μειώνεται στα 0,32 δευτερόλεπτα και τελικά φτάνει στα 0,29. Αντίθετα για το σενάριο 13 αυξάνεται σταδιακά και φτάνει τελικά στα 0,72 δευτερόλεπτα περίπου.

Για την ποσότητα κίνησης της εφαρμογής που στάλθηκε στο δίκτυο και λήφθηκε από τους ασύρματους σταθμούς καταγράφηκαν τα εξής:



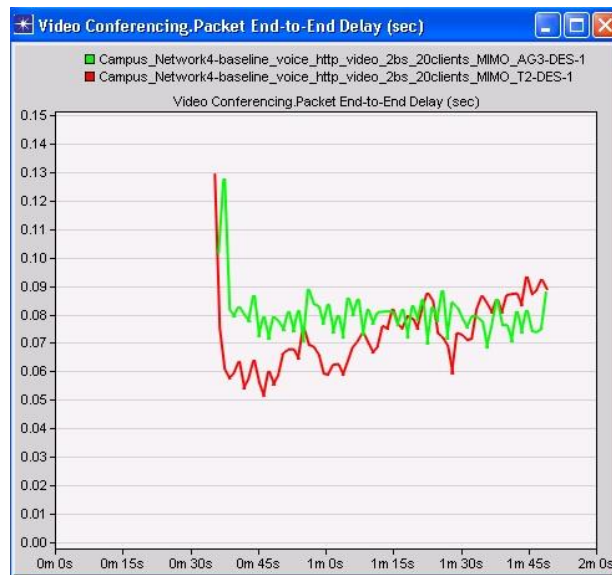
Εικόνα 180: Όγκος Κίνησης Εφαρμογής HTTP που στάλθηκε και λήφθηκε.

Όπως φαίνεται στα διαγράμματα παραπάνω, για το σενάριο 16 η κίνηση που στάλθηκε ήταν συνολικά ελάχιστα μειωμένη σε σχέση με το σενάριο 13. Οι μεγαλύτερες απώλειες για το σενάριο 16 παρουσιάστηκαν κατά την πρώτη ενεργοποίηση της εφαρμογής όταν και καταγράφηκε μια τιμή της τάξης των 42,000 bytes/sec. Από τα 42,000 bytes/sec που στάλθηκαν και ήδη ήταν μειωμένα σε σχέση με το θεωρητικό μέγιστο των 65,000 bytes/sec περίπου, τα 30,000 παραλήφθηκαν από τους ασύρματους σταθμούς του δικτύου. Τις

επόμενες δύο φορές ενεργοποίησης της εφαρμογής HTTP όση κίνηση στάλθηκε, λήφθηκε από τους σταθμούς αέρα.

Εφαρμογή Video Conference

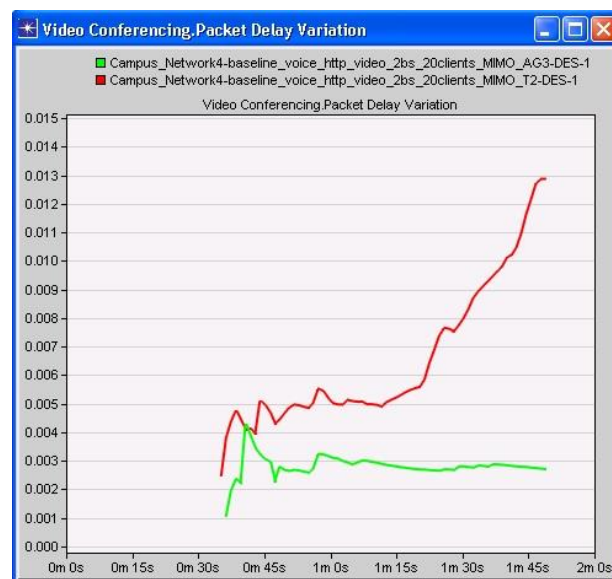
Περνώντας στην εφαρμογή Video Conference και συγκεκριμένα στο διάγραμμα που παρουσιάζει την καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων στον δέκτη, δεν παρατηρήθηκε κάποια ουσιαστική βελτίωση.



Εικόνα 181: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων video στο δέκτη.

Η τιμή της καθυστέρησης και στα δύο σενάρια καταλήγει να είναι 0,09 δευτερόλεπτα. Η διαφορά έγκειται μόνο στην τάση των δύο διαγραμμάτων. Στο σενάριο 13 η τάση είναι αυξητική, ενώ στο σενάριο 16 υπάρχει μια τάση σταθεροποίησης.

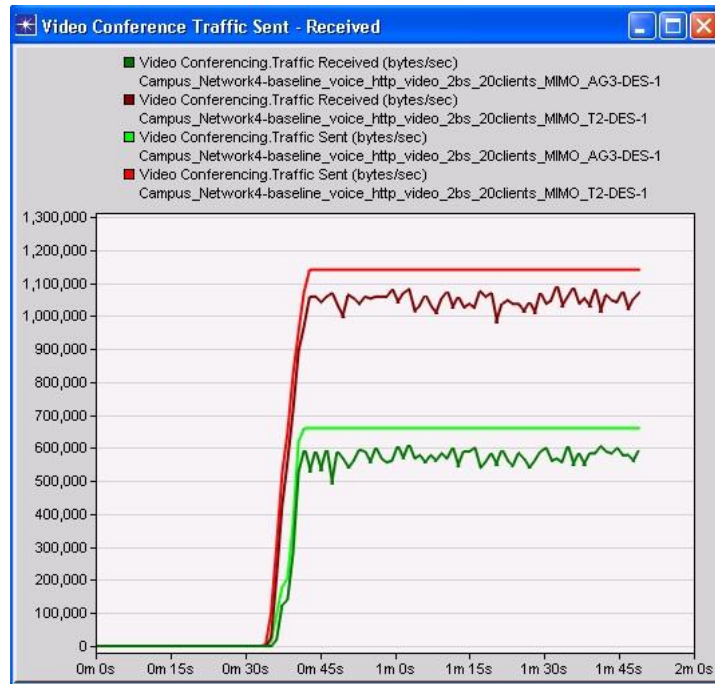
Η απόκλιση στις παραπάνω καθυστερήσεις των πακέτων video φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα:



Εικόνα 182: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα αυτό οι τιμές είναι αρκετά μικρότερες και σταθερές καθ' όλη την διάρκεια της προσομοίωσης για το σενάριο 16. Η απόκλιση στο σενάριο 16 είναι της τάξης των 0,003 δευτερολέπτων στο πέρας της προσομοίωσης την ίδια στιγμή που για το σενάριο 13 κυμαίνεται στα 0,013 δευτερόλεπτα και μάλιστα με αρκετά αυξητικές τάσεις.

Τα διαγράμματα όμως που δείχνουν την κίνηση που στάλθηκε και παραλήφθηκε για την εφαρμογή, κάθε άλλο παρά ικανοποιητικά είναι για το σενάριο 16:



Εικόνα 183: Όγκος κίνησης εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

Παρατηρούνται απώλειες της τάξης του 45% στον συνολικό όγκο της κίνησης της εφαρμογής και μοιραία αντίστοιχες απώλειες καταγράφονται στο ποσοστό λήψης της κίνησης αυτής σε σχέση με το σενάριο 13. Οι απώλειες είναι ιδιαίτερα σημαντικές και στην ουσία απαγορευτικές για την ομαλή λειτουργία της εφαρμογής.

Συγκεκριμένα οι ασύρματοι σταθμοί 31, 33, 34, 35, 36 δεν μπόρεσαν να αιτηθούν καν στον σταθμό βάσης για παροχή της εφαρμογής Video Conference. Αυτό σημαίνει ότι οι 5 από τους 10 σταθμούς που έχουν οριστεί για την εφαρμογή αυτή, δεν εκπλήρωσαν τον σκοπό τους. Το πρόβλημα φαίνεται να υπάρχει στο γεγονός ότι δύο εφαρμογές ορίστηκαν με τον τύπο προδιαγραφής erPS παράλληλα, καθώς δεν προκύπτει κανένα πρόβλημα φυσικού επιπέδου. Οι τιμές του SNR για παράδειγμα για το σενάριο 15 είναι σχεδόν ταυτόσημες με αυτές του σεναρίου 12 στα κανάλια των σταθμών βάσης όπως φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα:



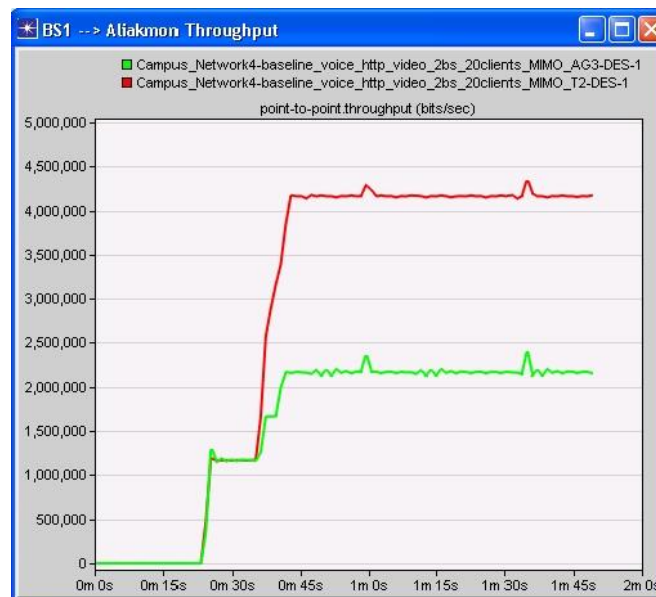
Εικόνα 184: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL Σταθμού Βάσης 1.

Η διαφορά των 5dB που παρατηρείται στο κανάλι του UpLink δεν δικαιολογεί τέτοια συμπεριφορά από τους ασύρματους σταθμούς καθώς η τιμή του SNR είναι γενικότερα πολύ υψηλή για τα δεδομένα της κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται στα σενάρια.

Επίσης όσον αφορά το ποσοστό επικάλυψης λόγω όγκου κίνησης των καναλιών UL και DL, ούτε εκεί παρατηρήθηκε κάποιο πρόβλημα.

Το πρόβλημα τελικά φαίνεται να είναι οι σταθμοί βάσης οι οποίοι δεν μπόρεσαν να διαχειριστούν δύο εφαρμογές με τύπο προδιαγραφής eHPS όπως παρατηρήθηκε και παραπάνω και φυσικά το γεγονός ότι ο τύπος προδιαγραφής eHPS δεν προορίζεται για να υποστηρίζει εφαρμογές Video.

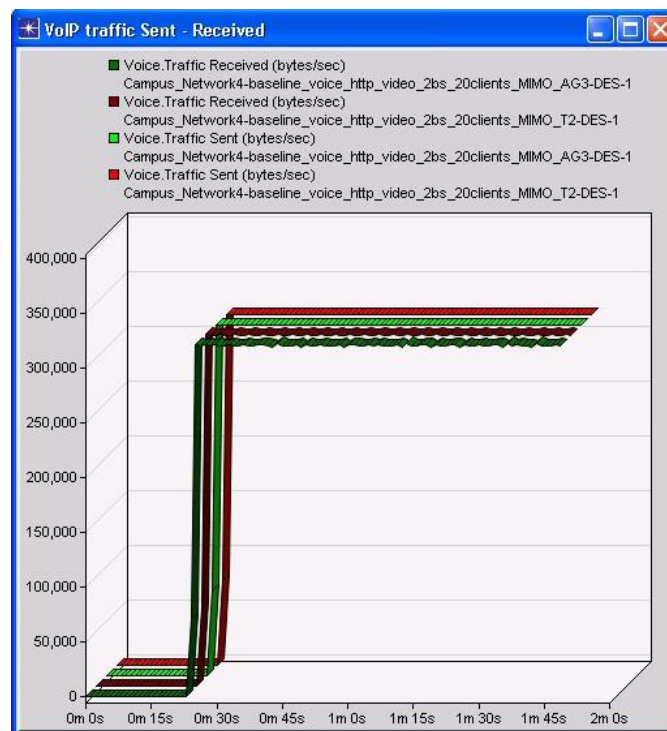
Το επόμενο διάγραμμα το οποίο παρουσιάζει την κίνηση που παρέδωσε ο σταθμός βάσης στον κεντρικό δρομολογητή του δικτύου (Aliakmon) για τα δύο συγκρινόμενα σενάρια επιβεβαιώνει το γεγονός αυτό:



Εικόνα 185: Ρυθμαπόδοση σταθμού βάσης 1 προς δρομολογητή Aliakmon.

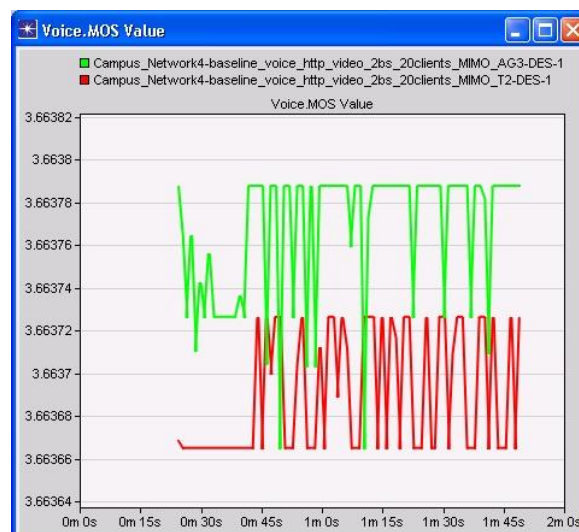
Η διαφορά ανάμεσα στα δύο σενάρια είναι χαρακτηριστική. Για το σενάριο 13 η κίνηση που μεταφέρεται από τον σταθμό βάσης στον Αλιακτον είναι σχεδόν 4,2Mbps ενώ για το σενάριο 16 η κίνηση είναι περίπου 2,25Mbps. Το διάγραμμα αυτό αναφέρεται στην κίνηση όλων των εφαρμογών βεβαίως, αλλά όπως φαίνεται και παρακάτω η εφαρμογή VoIP δεν κατέγραψε απώλειες κίνησης. Οπότε το ποσοστό της ‘χαμένης’ κίνησης αφορά σχεδόν αποκλειστικά την εφαρμογή video conference.

Εφαρμογή VoIP



Εικόνα 186: Όγκος κίνησης εφαρμογής VoIP ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

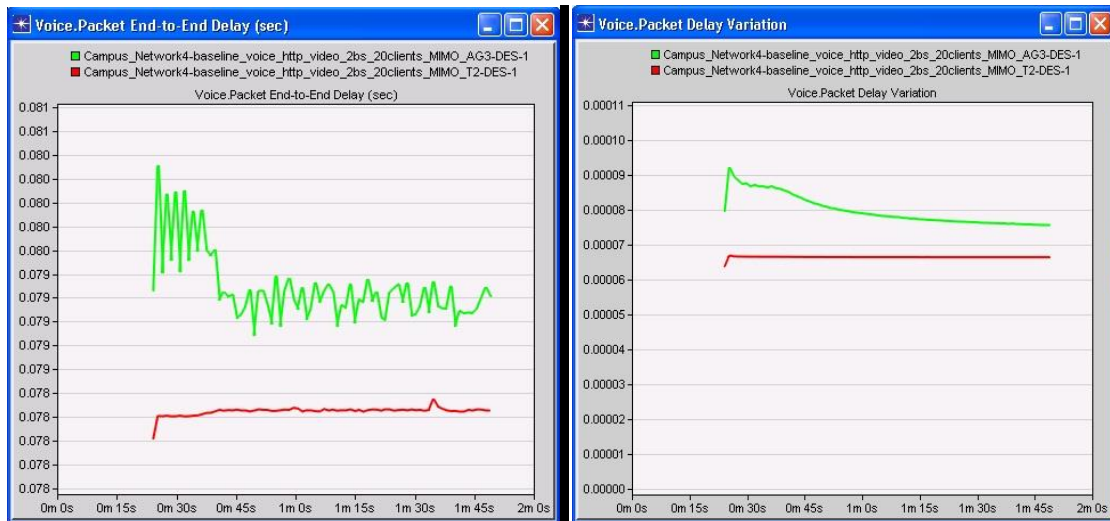
Ακολουθούν και τα υπόλοιπα διαγράμματα που σχετίζονται με την εφαρμογή VoIP, με πρώτο αυτό του δείκτη MOS:



Εικόνα 187: Τιμή δείκτη MOS

Για τον δείκτη MOS, τα αποτελέσματα ήταν λίγο καλύτερα για το σενάριο 16. Ο δείκτης MOS αν και πάλι δεν ήταν σταθερός, κατέγραψε αυξημένη τιμή σε σχέση με το σενάριο 13.

Η μέγιστη τιμή του δείκτη για το σενάριο 16 είναι η 3,66378 περίπου ενώ για το σενάριο 13 η μέγιστη τιμή που καταγράφηκε είναι 3,66372 περίπου. Οι διαφορές θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ασήμαντες παρόλα αυτά.



Εικόνα 188: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη και απόκλιση αυτής.

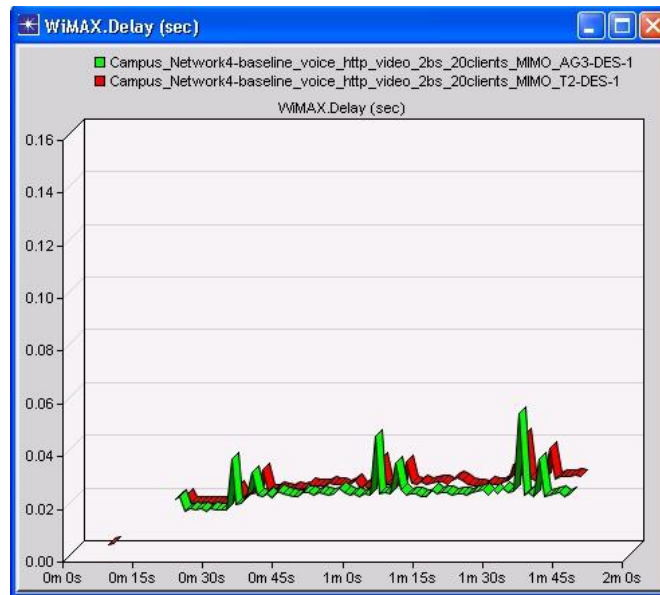
Οι διαφορές στην καθυστέρηση της παράδοσης πακέτων φωνής στο δέκτη είναι μεγαλύτερη για το σενάριο 16 αλλά οι διαφορές είναι μικρές. Στην αρχή της προσομοίωσης καταγράφεται μια τιμή της τάξης των 0,080 δευτερολέπτων και στον συνέχεια σταθεροποιείται στα 0,079 δευτερόλεπτα για το σενάριο 16. Για το σενάριο 13 η αντίστοιχη τιμή είναι 0,078 δευτερόλεπτα καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Η απόκλιση επίσης έχει ελάχιστες διαφορές. Για το σενάριο 16 η απόκλιση της καθυστέρησης κυμαίνεται από 0,00009 δευτερόλεπτα έως 0,000075 δευτερόλεπτα στο τέλος της προσομοίωσης. Για το σενάριο 13 η απόκλιση είναι σταθερά στην τιμή 0,00007 δευτερόλεπτα.

Γενικότερα η εφαρμογή VoIP επηρεάστηκε απειροελάχιστα στους χρόνους καθυστερήσεων.

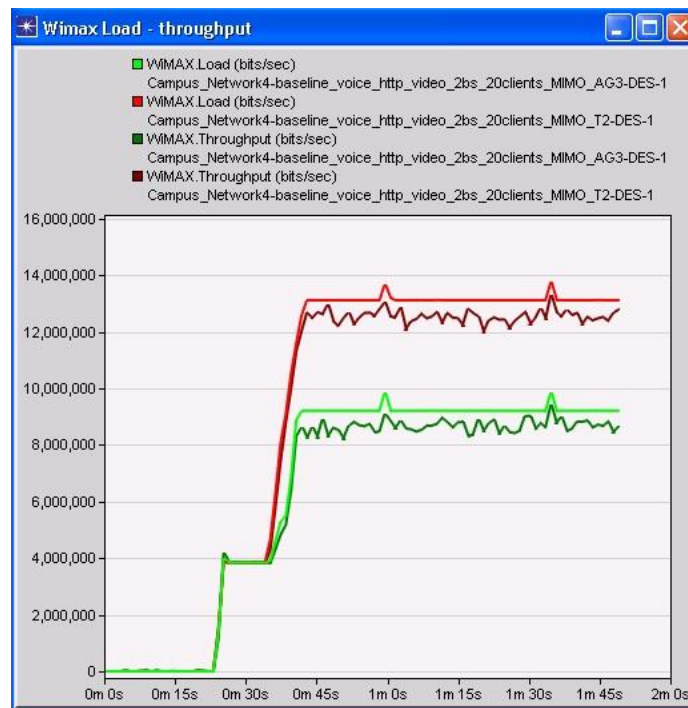
Επίπεδο WiMAX

Σε επίπεδο WiMAX οι καθυστερήσεις που παρουσιάστηκαν ήταν ελαφρώς αυξημένες για το σενάριο 16. Συγκεκριμένα καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης η καθυστέρηση για το σενάριο 13 και 16 ήταν λίγο πάνω από τα 0,02 δευτερόλεπτα. Η μικρή διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι τις στιγμές που ενεργοποιούνταν και η εφαρμογή HTTP το σενάριο 16 κατέγραφε πιο μεγάλες καθυστερήσεις σε επίπεδο WiMAX.



Εικόνα 189: Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.

Τέλος, η συνολική κίνηση και ρυθμαπόδοση φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 190: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.

Όπως αναμενόταν λαμβάνοντας υπόψη την χαμένη κίνηση της εφαρμογής Video Conference στο σενάριο 15, ο φόρτος και η ρυθμαπόδοση σε αυτό είναι ιδιαίτερα μειωμένη. Ο φόρτος φτάνει τα 9,1Mbps και η ρυθμαπόδοση τα 8,4 – 8,9Mbps περίπου.

4.2.3.19 Συμπεράσματα σύγκρισης σεναρίων 13 και 16

Το πρόβλημα τελικά φαίνεται να είναι οι σταθμοί βάσης οι οποίοι δεν μπόρεσαν να διαχειριστούν δύο εφαρμογές με τύπο προδιαγραφής eHPS όπως παρατηρήθηκε και παραπάνω και φυσικά το γεγονός ότι ο τύπος προδιαγραφής eHPS δεν προορίζεται για να

υποστηρίζει εφαρμογές Video. Γενικότερα μετά την σύγκριση των σεναρίων φάνηκε ότι δημιουργείτε πρόβλημα με τον ορισμό του τύπου προδιαγραφής σε ertPS για δύο εφαρμογές που λειτουργούν παράλληλα σε ένα δίκτυο με τις συγκεκριμένες ρυθμίσεις

Το διάγραμμα της εικόνας 165 το οποίο παρουσιάζει την κίνηση που παρέδωσε ο σταθμός βάσης στον κεντρικό δρομολογητή του δικτύου(Aliakmon) για τα δύο συγκρινόμενα σενάρια επιβεβαιώνει το γεγονός αυτό όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Επιβεβαιώθηκε και στην πράξη το γεγονός ότι ο τύπος προδιαγραφής ertPS είναι κατάλληλος για εφαρμογές VoIP και όχι για εφαρμογές Video.

4.2.3.20 Παρουσίαση σεναρίου 17 Baseline Voice Http Video 2bs 20clients MIMO MOB

Το σενάριο αυτό περιέχει δύο σταθμούς βάσης, 20 ασύρματους σταθμούς κατάλληλα ρυθμισμένους ώστε να εκτελούν εφαρμογές VoIP και HTTP και 10 ακόμη ασύρματους σταθμούς που εκτελούν μια εφαρμογή Video Conference, όπως και τα προηγούμενα σενάρια. Η βασική διαφορά αυτού του σεναρίου έγκειται στο γεγονός ότι όλοι οι ασύρματοι σταθμοί που εκτελούν κάποια εφαρμογή, κινούνται στον χώρο με ορισμένη ταχύτητα.

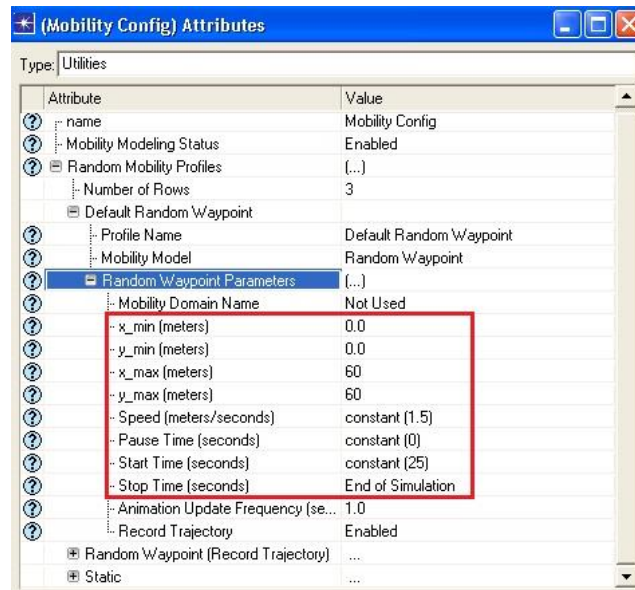
Για να υπάρξει αμεσότερη σύγκριση με το σενάριο 13, δεν έχει μεταβληθεί η διαμόρφωση και η κωδικοποίηση στην επικοινωνία των ασύρματων σταθμών με τον σταθμό βάσης.

Το επιπλέον στοιχείο στα πλαίσια του Opnet μέσω του οποίου ορίζονται οι λεπτομέρειες της κίνησης των σταθμών, ονομάζεται “Mobility Config” και η σχετική εικόνα φαίνεται αμέσως παρακάτω:



Εικόνα 191: Εικονίδιο Ρυθμίσεων κίνησης σταθμών

Οι λεπτομέρειες του τρόπου κίνησης των σταθμών φαίνονται παρακάτω:



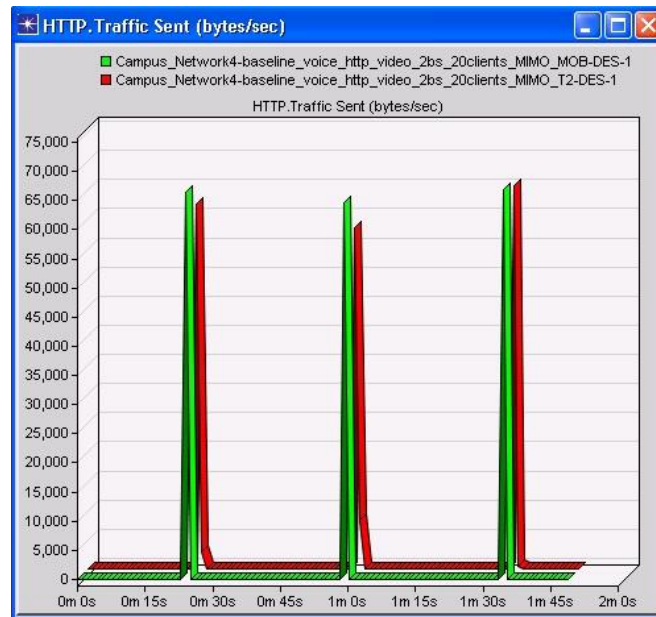
Εικόνα 192: Ιδιότητες Κίνησης Ασύρματων Σταθμών.

Όπως είναι φανερό οι σταθμοί έχουν οριστεί να καλύπτουν μια μέγιστη απόσταση της τάξης των 60 μέτρων με μια ταχύτητα 1,5 μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Η κίνηση είναι συνεχής και χωρίς παύσεις κατά την διάρκεια της προσομοίωσης και εφαρμόζεται στους σταθμούς την ίδια ώρα που ξεκινάει και η ενεργοποίηση των εφαρμογών. Δηλαδή στο 25^ο δευτερόλεπτο. Η κατεύθυνση της κίνησης είναι τυχαία, με την έννοια ότι δεν ορίζεται συγκεκριμένα από κάποια ρύθμιση, όμως ταυτόσημη ανάμεσα στις διάφορες προσομοιώσεις.

4.2.3.21 Σύγκριση σεναρίων 13 και 17

Εφαρμογή HTTP

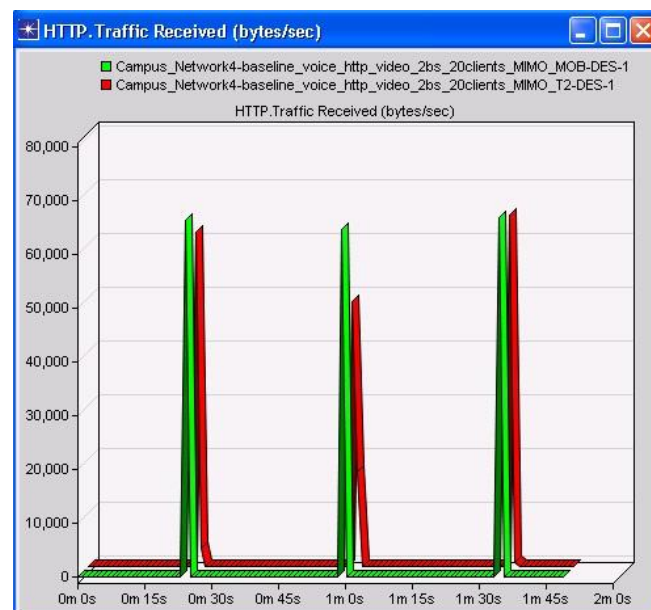
Συγκρίνοντας την εφαρμογή HTTP για τα δύο σενάρια και συγκεκριμένα αρχικά την συνολική κίνησή της, παρατηρήθηκε ότι στο σενάριο 17 ο όγκος της κίνησης με τον οποίο τροφοδοτήθηκε το δίκτυο ήταν πολύ κοντά στο ιδανικό, δηλαδή περίπου στα 65,000bytes/sec και τις τρεις φορές ενεργοποίησης της εφαρμογής κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.



Εικόνα 193: Συνολικός όγκος κίνησης εφαρμογής HTTP.

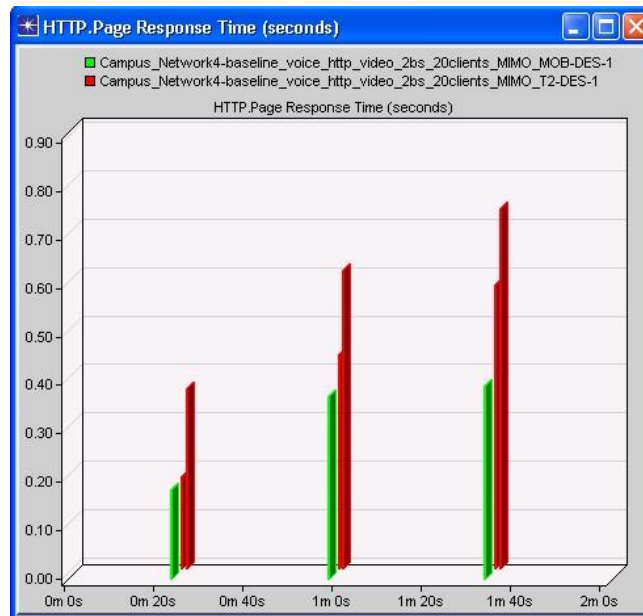
Το σενάριο 13 παρουσίασε όπως έχει αναφερθεί και στις προηγούμενες συγκρίσεις σεναρίων απώλειες την πρώτη και δεύτερη φορά που ενεργοποιήθηκε η εφαρμογή. Την πρώτη οι απώλειες ήταν της τάξης των 2,500 Bytes/sec και της δεύτερη της τάξης των 4,000 Bytes/sec σε σχέση με το σενάριο 17.

Ο όγκος την κίνησης που τελικά παραλήφθηκε από τους ασύρματους σταθμούς παρουσιάζεται στο επόμενο διάγραμμα όπου φαίνεται ότι για το σενάριο 17 όση κίνηση υπήρχε σαν όγκος λήφθηκε κιόλας χωρίς να υπάρχουν απώλειες. Για το σενάριο 13 υπάρχουν απώλειες της τάξης των 7,000 Bytes/sec σε σχέση με τον όγκο κίνησης που παρατηρήθηκαν κατά την δεύτερη ενεργοποίηση της εφαρμογής.



Εικόνα 194: Συνολικός όγκος κίνησης που παραλήφθηκε για την εφαρμογή HTTP.

Όσον αφορά τον χρόνο απόκρισης των ιστοσελίδων της εφαρμογής, τα αποτελέσματα για το σενάριο 17 είναι αρκετά βελτιωμένα σε σχέση με αυτά του σεναρίου 13 όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.

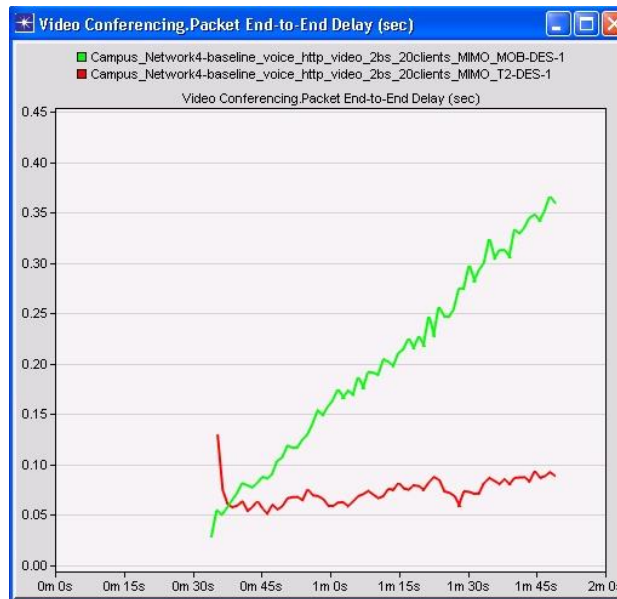


Εικόνα 195: Χρόνος απόκρισης Ιστοσελίδων

Κατά την πρώτη ενεργοποίηση της εφαρμογής ο χρόνος απόκρισης ιστοσελίδας για το σενάριο 17 είναι 0,15 δευτερόλεπτα ενώ για το σενάριο 13 0,35 δευτερόλεπτα περίπου. Κατά την δεύτερη ενεργοποίηση οι τιμές είναι 0,33 και 0,60 δευτερόλεπτα για τα σενάρια 17 και 13 αντίστοιχα. Την Τρίτη φορά ενεργοποίησης για το σενάριο 17 ο χρόνος απόκρισης ήταν 0,37 δευτερόλεπτα ενώ το σενάριο 13 κατέγραψε μια τιμή της τάξης των 0,73 δευτερολέπτων.

Εφαρμογή Video Conference

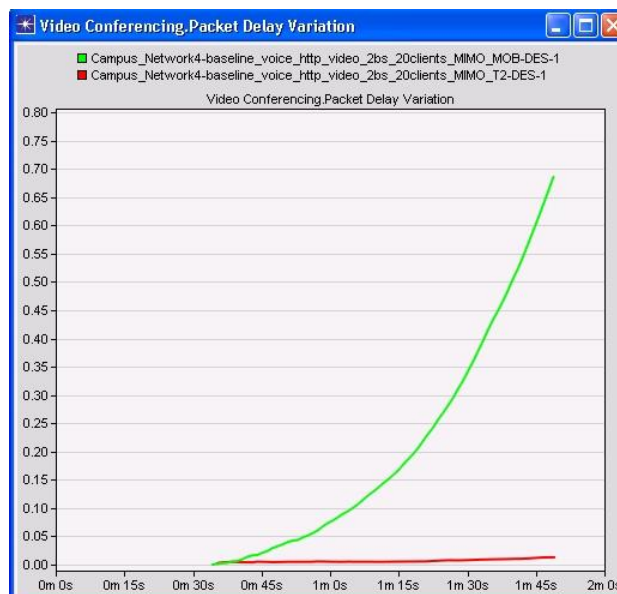
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την εφαρμογή Video Conference φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα. Αρχικά στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων video από τον πομπό στον δέκτη:



Εικόνα 196: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων Video στον δέκτη.

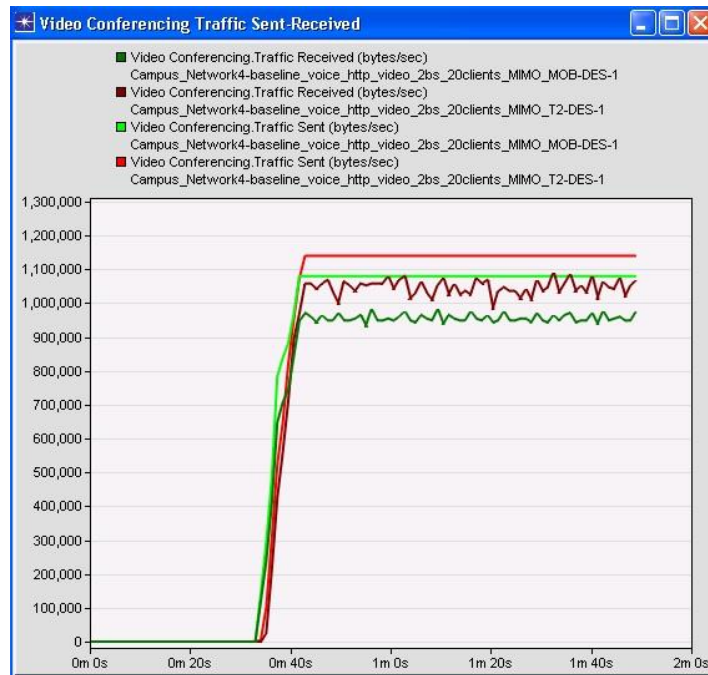
Για το σενάριο 17 στο οποίο οι ασύρματοι σταθμοί κινούνται μέσα στον χώρο οι καθυστέρηση είναι πολύ μεγαλύτερη και φτάνει τα 0,36 δευτερόλεπτα στο πέρας της προσομοίωσης με έντονα αυξητική τάση. Για το σενάριο 13 η τάση είναι αρκετά σταθερή και η τιμή που καταγράφεται στο τέλος της προσομοίωσης είναι 0,10 δευτερόλεπτα περίπου.

Ακολουθεί το διάγραμμα που περιγράφει την απόκλιση αυτής της καθυστέρησης:



Εικόνα 197: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων Video.

Στο σενάριο 17 η τάση της απόκλισης είναι ιδιαίτερα αυξητική, όπως και η ίδια η καθυστέρηση. Η τιμή της είναι 0,69 δευτερόλεπτα στο τέλος της προσομοίωσης, την ίδια ώρα που για το σενάριο 13 η τιμή της απόκλισης της καθυστέρησης είναι ιδιαίτερα χαμηλή στα επίπεδα των 0,2 δευτερολέπτων.



Εικόνα 198: Όγκος κίνησης εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η απόδοση της εφαρμογής Video Conference από άποψη όγκου κίνησης που δημιουργήθηκε και λήφθηκε. Για το σενάριο 17 παρατηρούνται μεγαλύτερες απώλειες σε σχέση με αυτές που υπάρχουν στο σενάριο 13. Συγκεκριμένα ο συνολικός όγκος της εφαρμογής για το σενάριο 17 φτάνει τα 1,080,000 bytes/sec την ίδια στιγμή που για το σενάριο 13 η τιμή αυτή κυμαίνεται στα 1,140,000 Bytes/sec.

Στο σενάριο 17 το ποσό κίνησης που λαμβάνονταν από τους σταθμούς είναι 975,000 bytes/sec περίπου που σημαίνει απώλειες της τάξης των 105,000 Bytes/sec σε σχέση με τον όγκο.

Πρακτικά στο σενάριο 17, δύο ασύρματοι σταθμοί δεν επικοινωνήσαν με τον εξυπηρετητή της εφαρμογής, ο σταθμός 33 και 34 και ο σταθμός 36 έχασε αρκετά πακέτα και είχε μειωμένη απόδοση. Στο σενάριο 13 αλλά και σχεδόν σε όλα τα σενάρια που έχουν παρουσιαστεί και περιέχουν την εφαρμογή Video Conference ο σταθμός που δεν κατάφερε ποτέ να επικοινωνήσει με τον εξυπηρετητή της εφαρμογής είναι ο 31. Ο σταθμός αυτός όμως στο σενάριο 17 παρουσιάζει φυσιολογική συμπεριφορά και λαμβάνει το 100% των πακέτων. Αποδεικνύεται δηλαδή ότι το πρόβλημα υπήρχε λόγω της θέσης που καταλάμβανε στον χώρο και την μορφολογία του εδάφους στο σημείο εκείνο.

Γενικότερα τα αποτελέσματα της εφαρμογής Video Conference θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως μέτρια για το σενάριο 17 με τους κινούμενους σταθμούς.

Εφαρμογή VoIP

Για την εφαρμογή VoIP τα αποτελέσματα της σύγκρισης των δύο σεναρίων γενικότερα παρουσίασαν ελάχιστες διαφορές. Η τιμή του Jitter και για τα δύο σενάρια ήταν σταθερά στο 0 καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης και επίσης ο όγκος της κίνησης που δημιουργήθηκε και παραλήφθηκε από τους σταθμούς ήταν 320,000 bytes/sec που είναι και το

μέγιστο αναμενόμενο. Τα διαγράμματα αυτά λοιπόν δεν κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν.

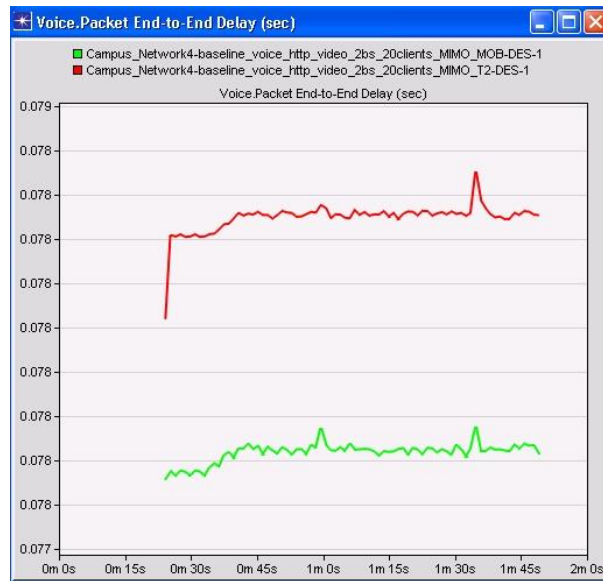
Το πρώτο διάγραμμα που παρουσιάζεται για την εφαρμογή VoIP είναι αυτό του δείκτη ποιότητας ομιλίας MOS:



Εικόνα 199: Τιμή δείκτη MOS.

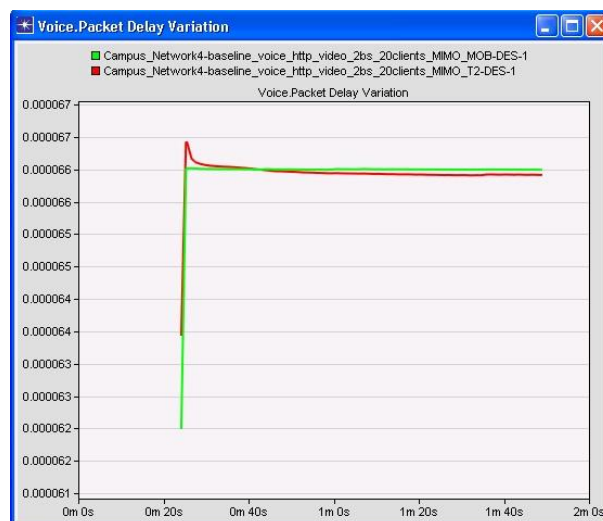
Όπως είναι αναμενόμενο η τιμή του δείκτη MOS για το σενάριο 13 είναι μεγαλύτερη από του σεναρίου 16 καθώς η κίνηση των σταθμών φαίνεται ότι επηρεάζει την ποιότητα συνομιλίας. Βέβαια οι διαφορές που καταγράφηκαν είναι μικρές. Για το σενάριο 17 το μέγιστο του δείκτη MOS είναι 3,66372 και για το σενάριο 13 3,66350 με εξαίρεση την χρονική στιγμή του ενός λεπτού που παρατηρείται μια απότομη αύξηση αλλά και πτώση αμέσως μετά.

Ακολουθεί το διάγραμμα που περιγράφει την καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων φωνής από τον πομπό στον δέκτη. Κι εδώ οι διαφορές είναι ιδιαιτέρως μικρές για τα δύο σενάρια. Για το σενάριο 17 η καθυστέρηση είναι χαμηλότερη σε σχέση με το σενάριο 13 και καταγράφει μια τιμή περίπου στα 0,07739. Για το σενάριο 13 η τιμή αυτή είναι 0,07826. Και στα δύο σενάρια η τάση της καθυστέρησης είναι αρκετά σταθεροποιημένη καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.



Εικόνα 200: Καθυστερήση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.

Η απόκλιση της καθυστέρησης και για τα δύο σεναρία είναι ίδια και κυμαίνεται στα 0,000067 δευτερόλεπτα με σταθερή τάση επίσης όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:

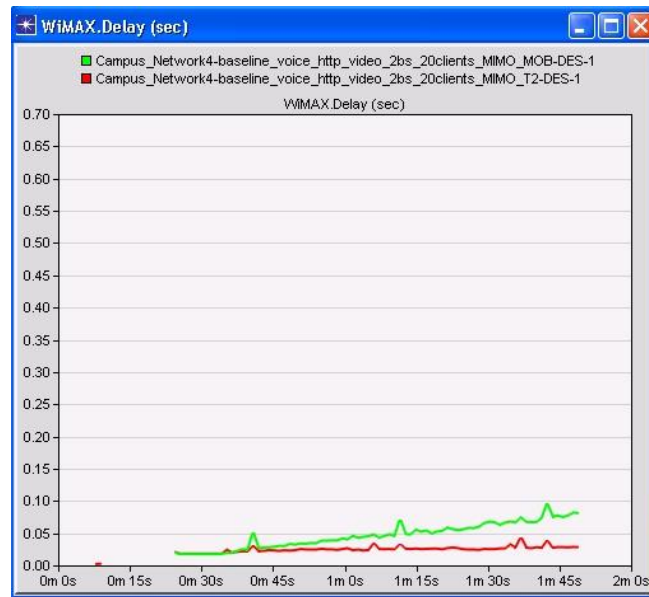


Εικόνα 201: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.

Στην ουσία οι διαφορές αυτές στην καθυστέρηση παράδοσης των σε πραγματικό περιβάλλον δεν θα γινόταν αντιληπτές. Η απόδοση της εφαρμογής VoIP και για τα δύο σεναρία κρίνεται αρκετά καλή.

Επίπεδο WiMAX

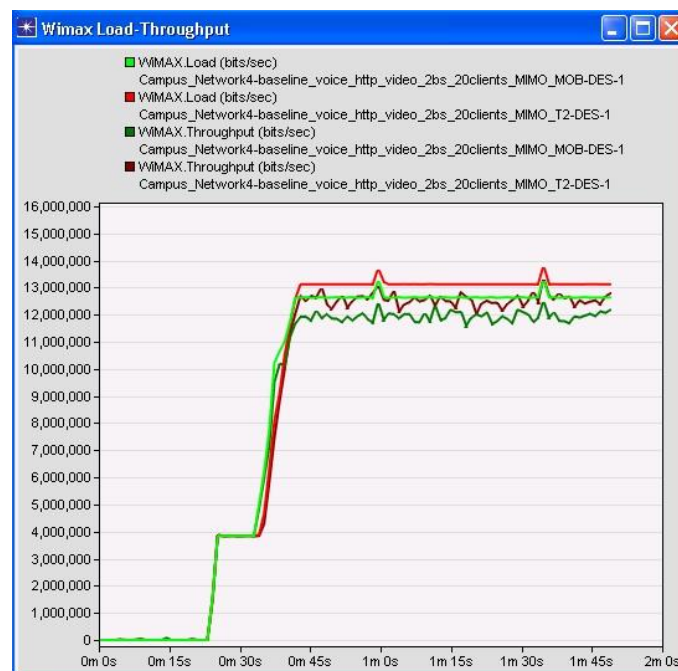
Σε επίπεδο Wimax οι καθυστερήσεις που παρατηρήθηκαν ώστε τα πακέτα όλων των σταθμών του δικτύου να προωθηθούν σε υψηλότερο επίπεδο φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 202: Καθυστερήση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.

Για το σενάριο 17 οι καθυστερήσεις σχεδόν αμέσως μετά την εκκίνηση της προσομοίωσης είναι μεγαλύτερες από αυτές του σεναρίου 13. Συγκεκριμένα για το σενάριο 17 οι καθυστερήσεις φτάνουν σε μια τιμή κοντά στα 0,1 δευτερόλεπτα με ελαφρώς αυξητική τάση. Η τάση για το σενάριο 13 είναι σταθερή και καταγράφονται τιμές της τάξης των 0,02 δευτερολέπτων. Οπότε και εδώ η κινητικότητα των σταθμών επηρέασε ώστε να υπάρξει μια επιδείνωση της κατάστασης.

Στον συνολικό φόρτο και την ρυθμαπόδοση του δικτύου αναφέρεται το επόμενο διάγραμμα:



Εικόνα 203:Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.

Για το σενάριο 17 καταγράφηκε ένας συνολικός φόρτος της τάξης των 12,65Mbps που είναι μειωμένος σε σχέση με τα 13,1Mbps όγκου κίνησης του σεναρίου 13. Επίσης για την

ρυθμαπόδοση οι τιμές για το σενάριο 17 είναι την τάξης των 12Mbps την ίδια στιγμή που για το σενάριο 13 είναι της τάξης των 12,5Mbps περίπου.

Εξετάζοντας αποτελέσματα φυσικού και Mac επιπέδου ανάμεσα στα δύο σενάρια ώστε να συγκεκριμενοποιηθούν οι λόγοι για τους οποίους χάθηκε περισσότερη κίνηση στο σενάριο 17, δεν βρέθηκε κάτι απόλυτα ξεκάθαρο.

Για παράδειγμα η μέση τιμή του SNR στα κανάλια DownLink και UpLink του πρώτου σταθμού βάσης παρουσίασε πολύ μικρή μεταβολή όπως φαίνεται και στα παρακάτω διαγράμματα:

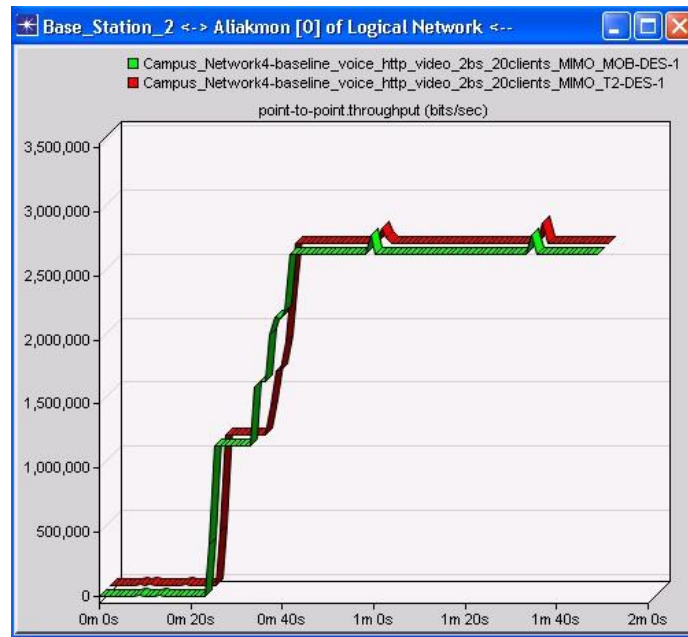


Εικόνα 204: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL Σταθμού Βάσης 1.

Στο κανάλι DownLink η τιμή του SNR είναι λίγο μεγαλύτερη για το σενάριο 13 με τους σταθερούς ασύρματους σταθμούς. Στο κανάλι UpLink όμως η τιμή του SNR είναι μεγαλύτερη για το σενάριο 17 στο οποίο οι σταθμοί κινούνται. Ανάλογη συμπεριφορά επέδειξε και ο δεύτερος σταθμό βάσης.

Επίσης η ρυθμαπόδοση ανάμεσα στον κεντρικό δρομολογητή του δικτύου και τους σταθμούς βάσης και στα δύο σενάρια ήταν ίδια. Γεγονός που δείχνει ότι το πρόβλημα παρουσιάζεται ανάμεσα στους σταθμούς βάσης και τους ασυρμάτους σταθμούς.

Είναι φανερό στο παρακάτω διάγραμμα ότι η τιμή της ρυθμαπόδοσης είναι ίδια και για τα δύο σενάρια. Η ρυθμαπόδοση αυτή αφορά κίνηση η οποία έρχεται σαν απάντηση στις αιτήσεις των ασυρμάτων σταθμών από τους εξυπηρετητές οι οποίοι βρίσκονται στο διαδίκτυο. Αυτό είναι μια ακόμη ένδειξη που στηρίζει τον προηγούμενο ισχυρισμό για το σημείο που εντοπίζεται το πρόβλημα.



Εικόνα 205: Ρυθμαπόδοση Δρομολογητή προς Σταθμό Βάσης 2.

4.2.3.22 Συμπεράσματα σύγκρισης σεναρίων 13 και 17

Μετά την εξέταση αποτελεσμάτων φυσικού και Mac επιπέδου ανάμεσα στα δύο σεναρία ώστε να συγκεκριμενοποιηθούν οι λόγοι για τους οποίους χάθηκε περισσότερη κίνηση στο σεναριο 17, δεν βρέθηκε κάτι απόλυτα ξεκάθαρο όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

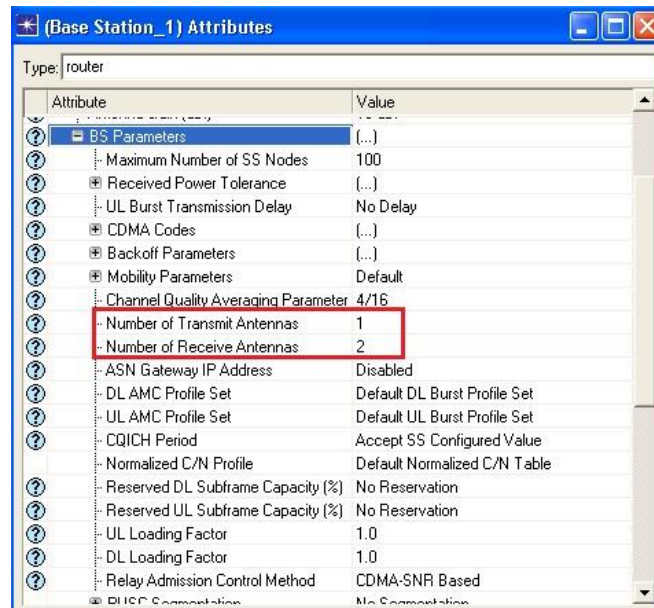
Η μέση τιμή του SNR στα κανάλια DownLink και UpLink του πρώτου σταθμού βάσης αλλά και του δεύτερου, παρουσίασε πολύ μικρή μεταβολή οπότε και δεν δικαιολογούνται απώλειες κίνησης με την έννοια ότι οι τιμές ήταν αρκετές ώστε η επικοινωνία να είναι αποτελεσματική.

Επίσης η ρυθμαπόδοση ανάμεσα στον κεντρικό δρομολογητή του δικτύου και τους σταθμούς βάσης που αφορά κίνηση η οποία έρχεται σαν απάντηση στις αιτήσεις των ασυρμάτων σταθμών από τους εξυπηρετητές οι οποίοι βρίσκονται στο διαδίκτυο και στα δύο σεναρία ήταν ίδια. Γεγονός που δείχνει ότι το πρόβλημα παρουσιάζεται ανάμεσα στους σταθμούς βάσης και τους ασυρμάτους σταθμούς και συγκεκριμένα στο κανάλι DownLink.

Το πρόβλημα λοιπόν στο σεναριο 17, αλλά και εν μέρει στο σεναριο 13, οφείλεται προφανώς στο Line of Sight των σταθμών βάσης με τους ασυρμάτους σταθμούς αν ληφθεί υπόψη και η μορφολογία του εδάφους που περιέχει δέντρα, λοφίσκους και κτήρια.

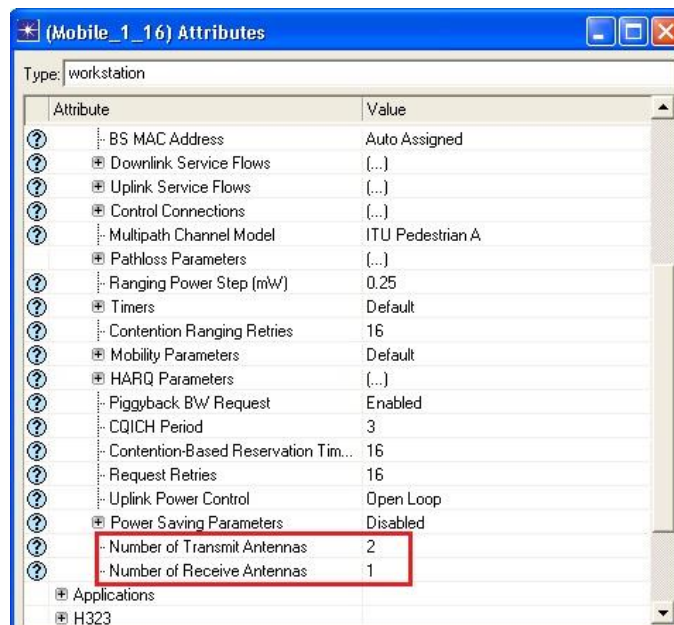
4.2.3.23 Παρουσίαση σεναρίου 18: Baseline Voice Http Video 2bs 20clients MISO

Σε αυτό και στο επόμενο σεναριο αλλάζει η σύνθεση των κεραιών σε πομπούς και δέκτες ώστε να υλοποιηθούν και οι δύο άλλες πιθανές εκδοχές επικοινωνίας σε ότι έχει να κάνει με τις κεραιές. Στο σεναριο αυτό δεν ισχύει πλέον η επικοινωνία τύπου MIMO ανάμεσα στους σταθμούς βάσης και τους ασύρματους σταθμούς. Στην ουσία οι σταθμοί βάσης εκπέμπουν από μία μόνο κεραία και δέχονται πληροφορίες σε δύο κεραιές. Η συγκεκριμένη ρύθμιση φαίνεται παρακάτω για τους σταθμούς βάσης:



Εικόνα 206: Ρυθμίσεις κεραιών σταθμού βάσης 1.

Με την ίδια λογική οι ασύρματοι σταθμοί εκπέμπουν από δύο κεραιές και δέχονται πληροφορίες σε μία. Και αυτή η ρύθμιση στα πλαίσια του Opnet φαίνεται στην επόμενη εικόνα:



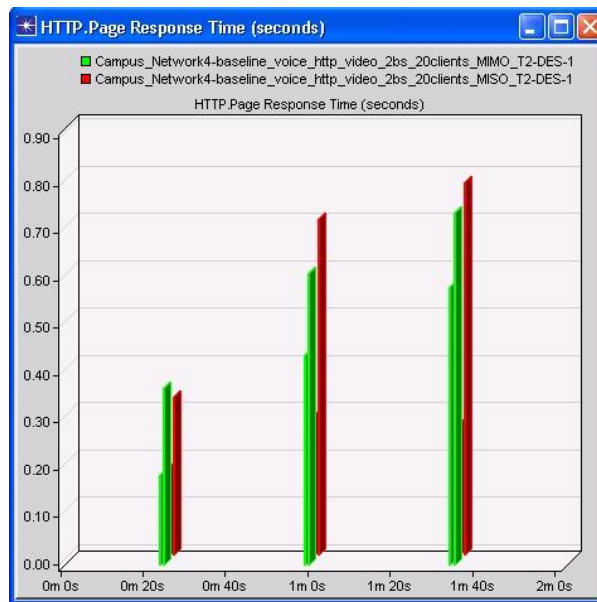
Εικόνα 207: Ρυθμίσεις κεραιών ασύρματων σταθμών.

Αυτή είναι και η μοναδική αλλαγή που έχει γίνει στο σενάριο αυτό σε σχέση με το σενάριο 13. Ο αριθμός των ασύρματων σταθμών, των σταθμών βάσης και των εφαρμογών παραμένει ο ίδιος. Ίδιες με το σενάριο 13 παραμένουν και οι οποιοσδήποτε άλλες ρυθμίσεις έχουν γίνει στο δίκτυο.

4.2.3.24 Σύγκριση σεναρίων 13 και 18

Εφαρμογή HTTP

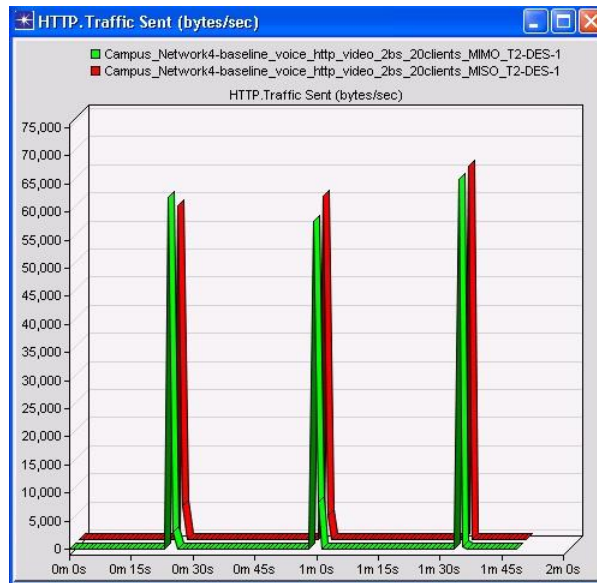
Κοιτάζοντας αρχικά τον χρόνο απόκρισης των ιστοσελίδων της εφαρμογής HTTP στην πάροδο του χρόνου στο παρακάτω διάγραμμα, φαίνεται ότι οι διαφορές ανάμεσα στα δύο σεναρία δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες. Για το σενάριο 18 οι χρόνοι απόκρισης είναι λίγο χειρότεροι από τους χρόνους του σεναρίου 13.



Εικόνα 208: Χρόνος απόκρισης Ιστοσελίδων.

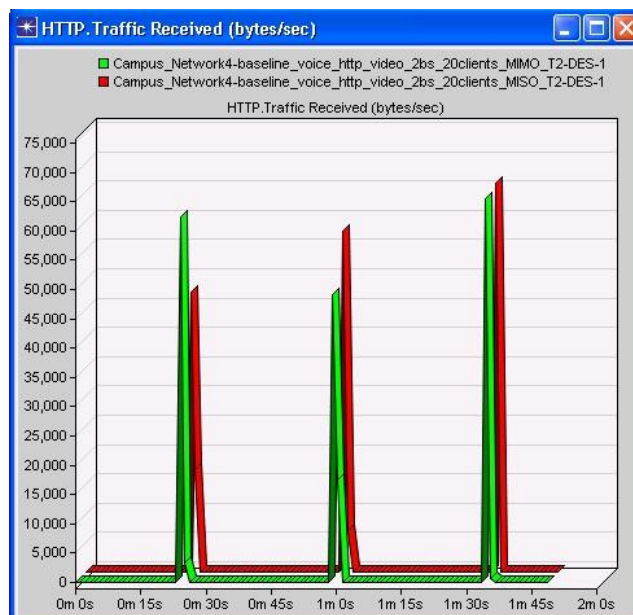
Κατά την πρώτη ενεργοποίηση της εφαρμογής οι χρόνοι απόκρισης των ιστοσελίδων είναι σχεδόν ταυτόσημοι για τα δύο σεναρία και κυμαίνονται στα 0,30 δευτερόλεπτα περίπου. Κατά την δεύτερη ενεργοποίηση ο χρόνος για το σενάριο 13 είναι σχεδόν 0,60 δεύτερα ενώ για το σενάριο 18 είναι 0,70 δεύτερα. Στην τρίτη και τελευταία ενεργοποίηση της εφαρμογής ο χρόνος απόκρισης είναι 0,70 και 0,78 δευτερόλεπτα για τα σεναρία 13 και 18 αντίστοιχα.

Το επόμενο διάγραμμα περιγράφει τον συνολικό όγκο της εφαρμογής HTTP με τον οποίο τροφοδοτήθηκε το δίκτυο. Οι διαφορές μεταξύ των δύο σεναρίων κι εδώ είναι συνολικά σχεδόν αμελητέες. Και στα δύο σεναρία όμως παρατηρείται απόκλιση από το θεωρητικό μέγιστο όγκο της εφαρμογής που είναι τα 65,000bytes/sec περίπου. Και στα δύο σεναρία μόνο κατά την τρίτη ενεργοποίηση της εφαρμογής ο όγκος φτάνει πολύ κοντά στο μέγιστο. Στις δύο πρώτες ενεργοποιήσεις της εφαρμογής παρατηρούνται απώλειες από 5,000 μέχρι 10,000bytes/sec για το σενάριο 18. Για το σενάριο 13 οι απώλειες κυμαίνονται από 5,000 μέχρι 7,000 bytes/sec.



Εικόνα 209: Συνολικός όγκος κίνησης εφαρμογής HTTP.

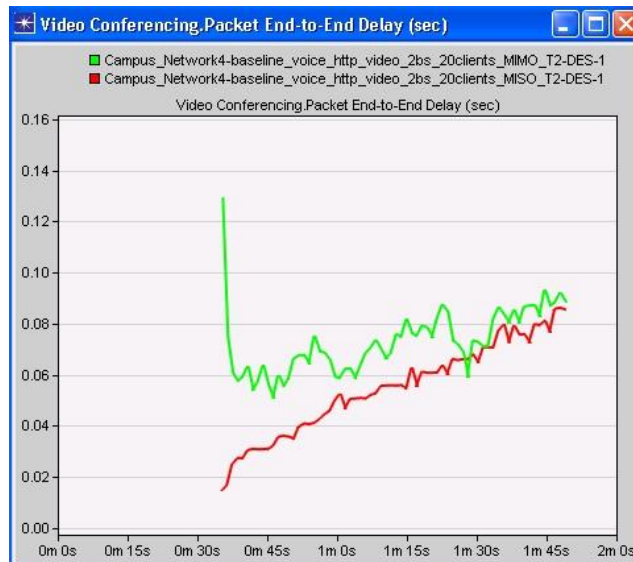
Όσον αφορά την κίνηση της εφαρμογής που τελικά παραλήφθηκε από τους ασύρματους σταθμούς τα δύο σενάρια παρουσιάζουν σχεδόν τις ίδιες απώλειες αλλά σε διαφορετικές στιγμές. Το σενάριο 13 χάνει μέρος του όγκου την κίνησης (10,000bytes/sec περίπου) κατά την δεύτερη ενεργοποίηση της εφαρμογής ενώ το σενάριο 18 την πρώτη φορά ενεργοποίησης της χάνει 12,000 bytes/sec και 2,500 bytes/sec την δεύτερη, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 210: Συνολικός όγκος κίνησης που παραλήφθηκε για την εφαρμογή HTTP.

Εφαρμογή Video Conference

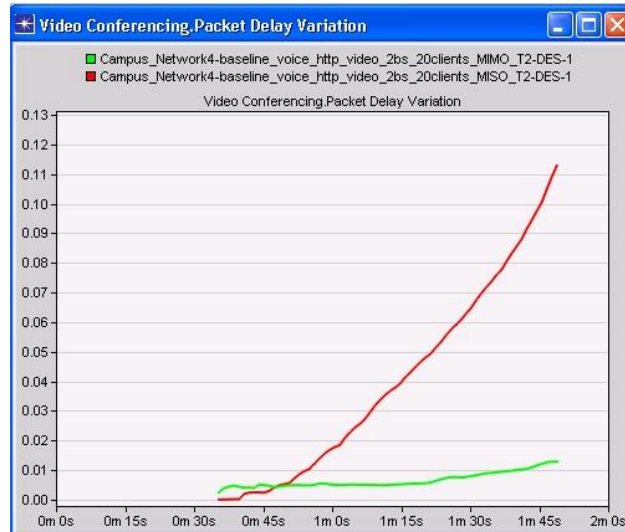
Περνώντας στην εφαρμογή Video Conference, στο παρακάτω γράφημα καταγράφεται η καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων από τον πομπό στον δέκτη:



Εικόνα 211: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων Video στον δέκτη.

Φαίνεται ότι για το σενάριο 18 οι τιμές της καθυστέρησης είναι καλύτερες από ότι για το σενάριο 13. Η τάση όμως της καθυστέρησης είναι ιδιαίτερα αυξητική σε αντίθεση με το σενάριο 13 που είναι ελάχιστα αυξητική. Οι τιμές για το σενάριο 18 ξεκινούν από 0,02 δευτερόλεπτα και φτάνουν τα 0,085 δευτερόλεπτα στο πέρας της προσομοίωσης. Για το σενάριο 13 οι τιμές ξεκινούν από τα 0,02 δευτερόλεπτα και φτάνουν τα 0,084 περίπου.

Η απόκλιση των καταγεγραμμένων καθυστερήσεων φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:

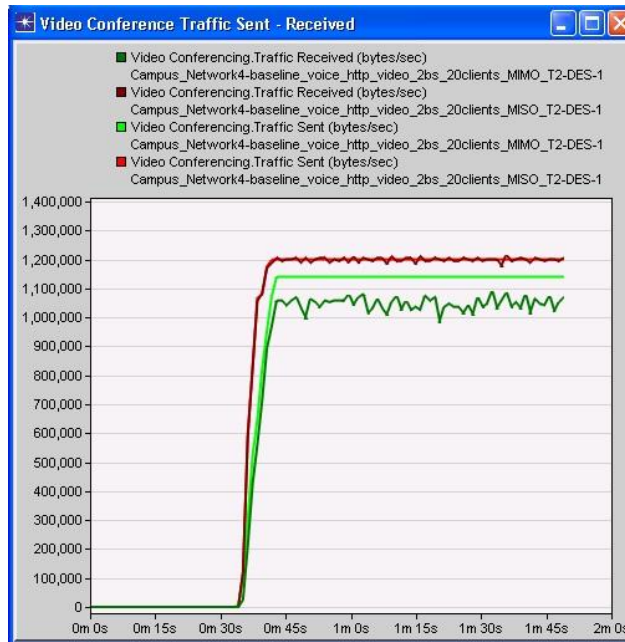


Εικόνα 212: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων Video.

Η διαφορά στην απόκλιση είναι σημαντική. Για το σενάριο 18 η απόκλιση φτάνει στα 0,11 δευτερόλεπτα με έντονα αυξητική τάση ενώ για το σενάριο 13 στο πέρας της προσομοίωσης η τιμή της απόκλισης είναι 0,012 που είναι και η υψηλότερη.

Σε ότι έχει να κάνει με την κίνηση της εφαρμογής που στάλθηκε και παραλήφθηκε, το σενάριο 18 παρουσίασε άγνοια συμπεριφορά. Ο όγκος της κίνησης, αλλά και ο όγκος που παραλήφθηκε έφτασαν το επίπεδο του θεωρητικού μεγίστου που είναι τα 1,200,000 bytes/sec

κάτι που δεν είχε παρατηρηθεί σε κανένα από τα προηγούμενα σενάκια. Το σχετικό γράφημα φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 213: Όγκος κίνησης εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

Η βελτίωση είναι σημαντική σε σχέση με το σενάριο 13 το οποίο κατέγραψε όγκο κίνησης της τάξης των 1,140,000 Bytes/sec και όγκο επιτυχημένης λήψης της τάξης των 1,050,000 bytes/sec. Μόνο ο ασύρματος σταθμός 36 έχασε μερικά από τα πακέτα της εφαρμογής στο σενάριο 18. Όλοι οι υπόλοιποι σταθμοί ανταποκρίθηκαν κανονικά. Στο σενάριο 13 όπως έχει ήδη αναφερθεί στις προηγούμενες συγκρίσεις, ο ασύρματος σταθμός 31 χάνει όλα του τα πακέτα αλλά υπάρχουν και άλλοι δύο σταθμοί οι οποίοι παρουσιάζουν χαμένα πακέτα.

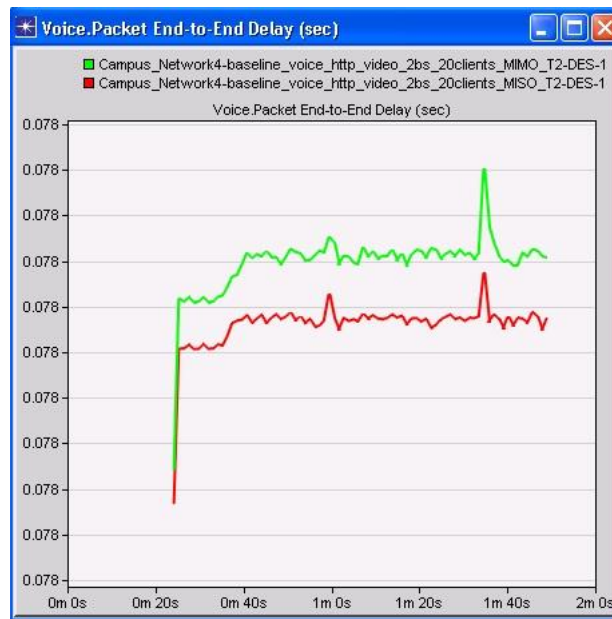
Εφαρμογή VoIP

Για την Τρίτη και τελευταία εφαρμογή του σεναρίου που είναι η VoIP οι τιμές που καταγράφηκαν για το Jitter στα δύο σενάκια δεν διαφέρουν. Η τιμή είναι σχεδόν απόλυτα 0 καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης και φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 214: : Τιμή Jitter εφαρμογής VoIP.

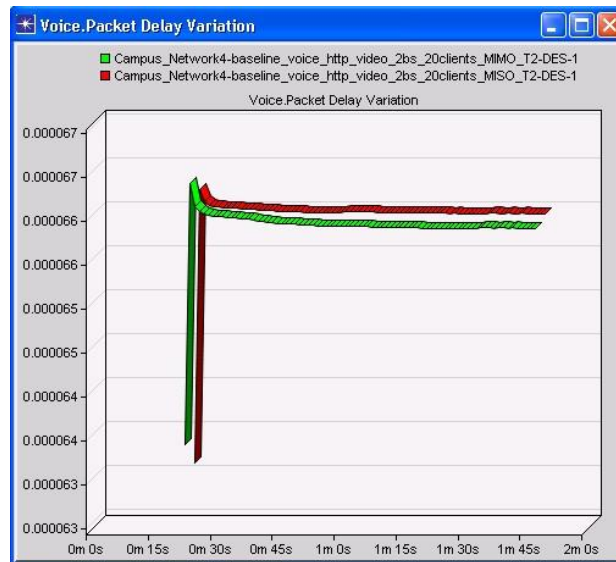
Και για την καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων φωνής στον δέκτη οι διαφορές στα δύο σενάρια είναι αμελητέα και της τάξης χιλιοστών του δευτερολέπτου.



Εικόνα 215: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα παραπάνω η καθυστέρηση είναι της τάξης των 0,078 δευτερολέπτων και για τα δύο σενάρια κατά γράφοντας ελάχιστα μεγαλύτερη τιμή για το σενάριο 13.

Η απόκλιση της καθυστέρησης αυτής φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Η απόκλιση αυτή είναι ελάχιστα μεγαλύτερη για το σενάριο 13 στην αρχή της προσομοίωσης αλλά και πάλι η διαφορά είναι αμελητέα.



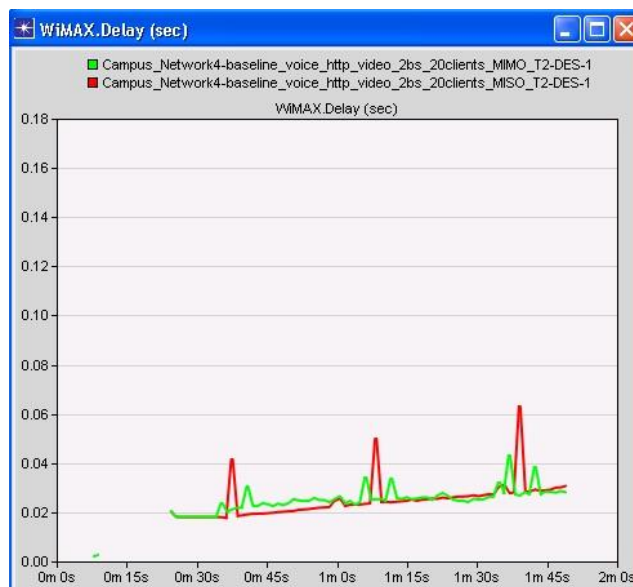
Εικόνα 216: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.

Οι τιμές σταθεροποιούνται στα 0,000066 δευτερόλεπτα και για τα δύο σενάρια.

Όσον αφορά το όγκο της κίνησης που παράχθηκε και παραλήφθηκε για την εφαρμογή VoIP και πάλι έφτασε στο θεωρητικό μέγιστο των 320,000 bytes/sec όπως και στα προηγούμενα σενάρια οπότε δεν κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστεί και πάλι το σχετικό διάγραμμα.

Επίπεδο WiMAX

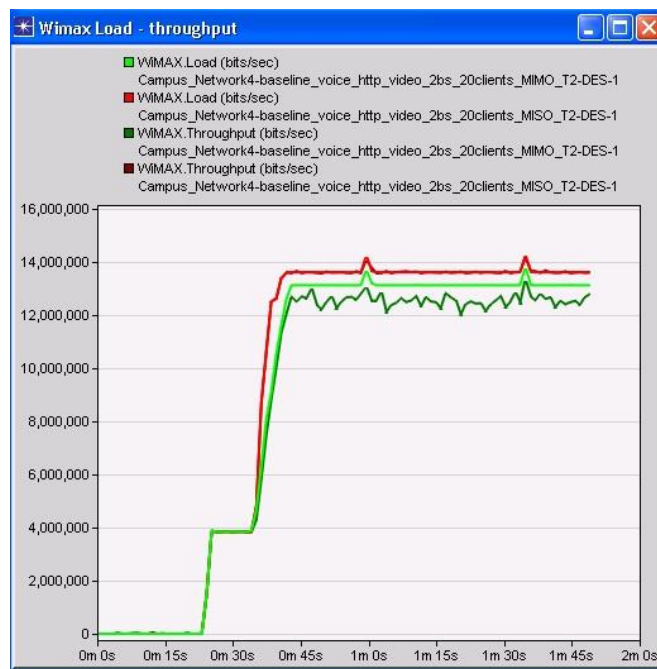
Σε επίπεδο Wimax η καθυστέρηση μεταφοράς των πακέτων είχε κάποιες διακυμάνσεις οι οποίες ήταν πιο έντονες για το σενάριο 18.



Εικόνα 217: Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.

Ενώ η καθυστέρηση γενικότερα κυμαίνεται από 0,02 μέχρι 0,03 δευτερόλεπτα οι απότομες διακυμάνσεις αυτές την φτάνουν σε μια μέγιστη τιμή 0,06 δευτερόλεπτα για το σενάριο 18. Για το σενάριο 13 η μέγιστη διακύμανση φτάνει την καθυστέρηση σε μια τιμή των 0,042 δευτερολέπτων.

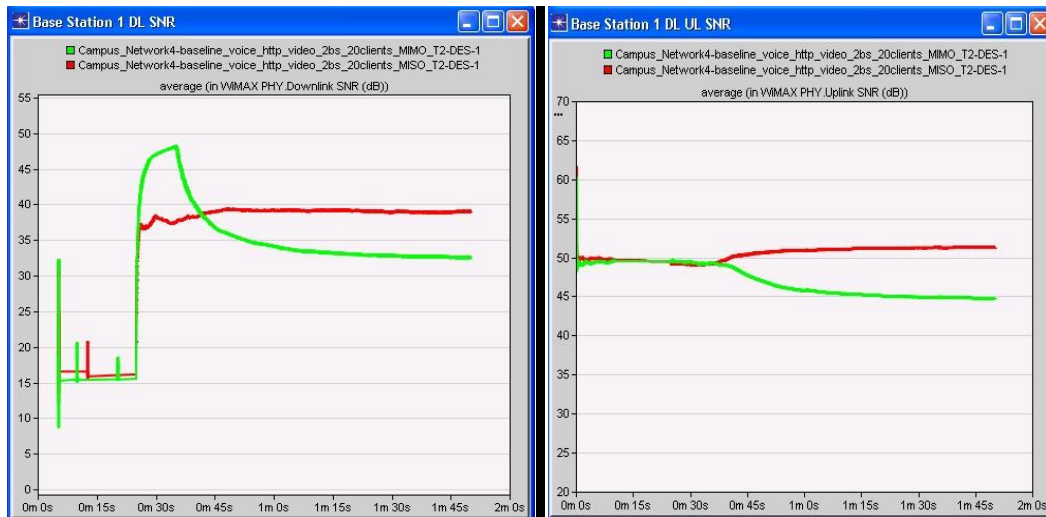
Όπως είναι αναμενόμενο ο συνολικός φόρτος και η ρυθμαπόδοση είναι αυξημένα για το σενάριο 18 αφού δεν υπήρχαν οι απώλειες της εφαρμογής Video Conference που υπήρχαν στο σενάριο 13. Ακολουθεί το σχετικό διάγραμμα:



Εικόνα 218: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.

Για το σενάριο 18 καταγράφηκε ένας συνολικός φόρτος της τάξης των 13,65Mbps που είναι αυξημένος σε σχέση με τα 13,1Mbps όγκου κίνησης του σεναρίου 13. Επίσης για την ρυθμαπόδοση οι τιμές για το σενάριο 18 είναι την τάξης των 13,62Mbps αφού είναι σχεδόν ισόποση του όγκου και την ίδια στιγμή για το σενάριο 13 είναι της τάξης των 12,5Mbps περίπου.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν επίσης οι τιμές του SNR στους σταθμούς βάσης μετά την αλλαγή στο πλήθος των κεραιών. Παρατηρείται μικρή αύξηση και στα δύο κανάλια επικοινωνίας για το σενάριο 18, κάτι το οποίο δικαιολογεί έως ένα βαθμό και τη σύνδεση με όλους τους ασύρματους σταθμούς του δικτύου. Ακολουθούν τα σχετικά διαγράμματα για τον σταθμό βάσης 1. Για τον δεύτερο σταθμό βάσης τα αποτελέσματα παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά αλλά με μικρότερες διαφορές στις τιμές των δύο σεναρίων.



Εικόνα 219: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL Σταθμού Βάσης 1.

Για το κανάλι DL αν και στα πρώτα δευτερόλεπτα η τιμή του SNR στο σενάριο 12(MIMO) είναι αρκετά μεγαλύτερη, στην συνέχεια υποχωρεί και υπολείπεται του σεναρίου 17 κατά 6db περίπου στο μεγαλύτερο διάστημα της προσομοίωσης.

Για το κανάλι UL οι τιμές είναι ίδιες μέχρι τα 40 περίπου δευτερόλεπτα και μετά υπάρχει μια διαφορά των 5db περίπου ανάμεσα στα δύο σενάρια, με το σενάριο 18 να έχει την μεγαλύτερη τιμή των 51db περίπου.

4.2.3.25 Συμπεράσματα σεναρίων 13 και 18

Αν και θεωρητικά το σενάριο που εφαρμόζεται η τεχνολογία MIMO, δηλαδή το σενάριο 13, θα έπρεπε να εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα από άποψη φόρτου και ρυθμαπόδοσης, εν τούτοις κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει στο συγκεκριμένο δίκτυο με τις συγκεκριμένες ρυθμίσεις. Παρατηρείται αντίθετα το σενάριο 18 να παρουσιάζει άψογη συμπεριφορά σε αυτόν τον τομέα. Από άποψη καθυστερήσεων των εφαρμογών παρατηρήθηκαν κάποιες διαφοροποιήσεις στην απόκλιση της καθυστέρησης αλλά και στην καθυστέρηση παράδοσης πακέτων της εφαρμογής Video Conference που παρουσίασαν έντονη αυξητική τάση στο σενάριο 18 σε σχέση με το σενάριο 13 που εφαρμόζεται MIMO. Σε επίπεδο WiMAX οι καθυστερήσεις αν και γενικότερα ήταν σχεδόν ταυτόσημες το σενάριο 18 παρουσίασε κάποιες στιγμιαία μεγάλες καθυστερήσεις.

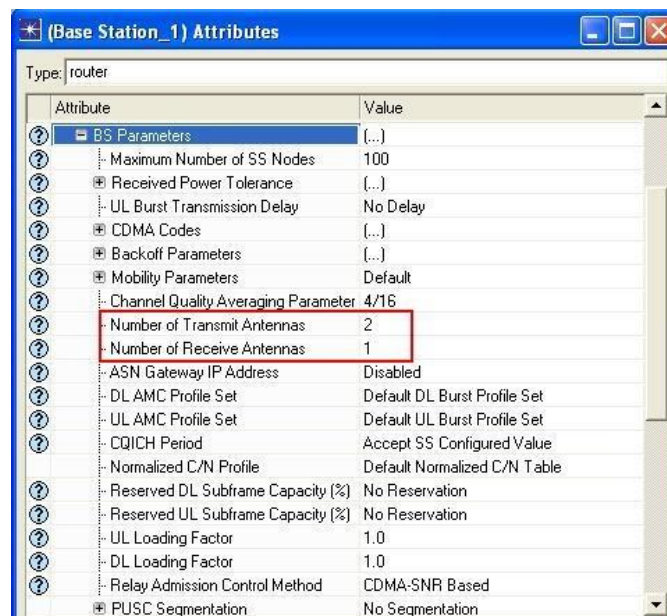
Στο σενάριο 18 παρατηρήθηκε γενικότερα αύξηση του μέσου όρου της τιμής του SNR στο κανάλι DL των σταθμών βάσης αν και η μετάδοση γινόταν από μία κεραία σε σχέση με τις δύο κεραίες του σεναρίου 13. Βέβαια αρχικά το SNR είναι μεγαλύτερο για το σενάριο 13 αλλά ακολουθεί μια πτωτική πορεία μέχρι το 45^ο δευτερόλεπτο της προσομοίωσης και από εκεί και πέρα μέχρι το πέρας της σημειώνει χαμηλότερη τιμή από το σενάριο 18. Τελικά το γεγονός αυτό βοηθάει ώστε να μην υπάρξουν σχεδόν καθόλου απώλειες στην εφαρμογή Video Conference του δικτύου και μοιραία να βελτιωθεί η γενικότερη ρυθμαπόδοση αφού στην εφαρμογή VoIP δεν υπήρχαν έτσι κι αλλιώς απώλειες. Στο κανάλι UL παρατηρείται επίσης αύξηση του SNR. Αρχικά και μέχρι το 40^ο δευτερόλεπτο της προσομοίωσης οι τιμές για τα δύο σενάρια ταυτίζονται, στην συνέχεια όμως στο σενάριο 19 όπου η επικοινωνία

γίνεται με 2 κεραιές όπως και στο σενάριο 13, υπάρχει μια διαφορά των 5-6dB. Μόνο ο ασύρματος σταθμός 36 έχασε μερικά από τα πακέτα της εφαρμογής video στο σενάριο 18. Όλοι οι υπόλοιποι σταθμοί ανταποκρίθηκαν κανονικά. Στο σενάριο 13 όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο ασύρματος σταθμός 31 χάνει όλα του τα πακέτα video και υπάρχουν και άλλοι δύο σταθμοί οι οποίοι παρουσιάζουν χαμένα πακέτα.

Ένα στατιστικό το οποίο θα μπορούσε να εξηγήσει και να δικαιολογήσει επακριβώς την συμπεριφορά του δικτύου μετά την αλλαγή της σύνθεσης των κεραιών θα ήταν η διαμόρφωση των υποκαναλιών από τους σταθμούς βάσης στα δύο σενάρια. Όπως έχει αναφερθεί στο θεωρητικό κομμάτι της εργασίας η διαμόρφωση των υποκαναλιών γίνεται από τους σταθμούς βάσης δυναμικά και ανάλογα με τις ανάγκες που παρουσιάζονται. Δυστυχώς κάποιο σχετικό διάγραμμα δεν προσφέρεται από το OPNET.

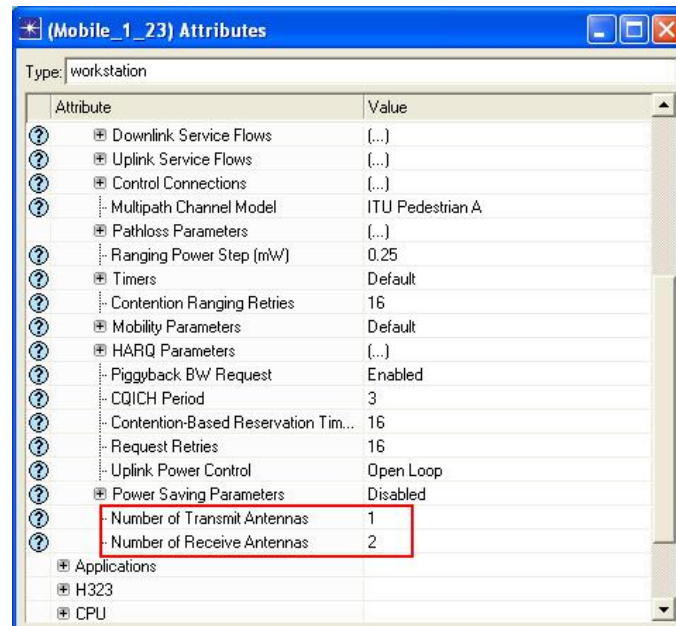
4.2.3.26 Παρουσίαση σεναρίου 19: Baseline_Voice_Http_Video_2bs_20clients_SIMO

Σε αυτό το σενάριο αλλάζει και πάλι η σύνθεση των κεραιών σε πομπούς και δέκτες ώστε να υλοποιηθεί ακόμη μια πιθανή εκδοχή επικοινωνίας σε ότι έχει να κάνει με τις κεραιές. Και σε αυτό, όπως και στο προηγούμενο σενάριο, δεν ισχύει πλέον η επικοινωνία τύπου MIMO ανάμεσα στους σταθμούς βάσης και τους ασύρματος σταθμούς. Οι σταθμοί βάσης εκπέμπουν από δύο κεραιές και δέχονται πληροφορίες από μία και μόνο κεραιά. Η συγκεκριμένη ρύθμιση φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 220: Ρυθμίσεις κεραιών σταθμού βάσης 1.

Ακολουθώντας την λογική των σταθμών βάσης, οι ασύρματοι σταθμοί εκπέμπουν από μία κεραιά και δέχονται πληροφορίες σε δύο. Και αυτή η ρύθμιση στα πλαίσια του Opnet φαίνεται στην επόμενη εικόνα:



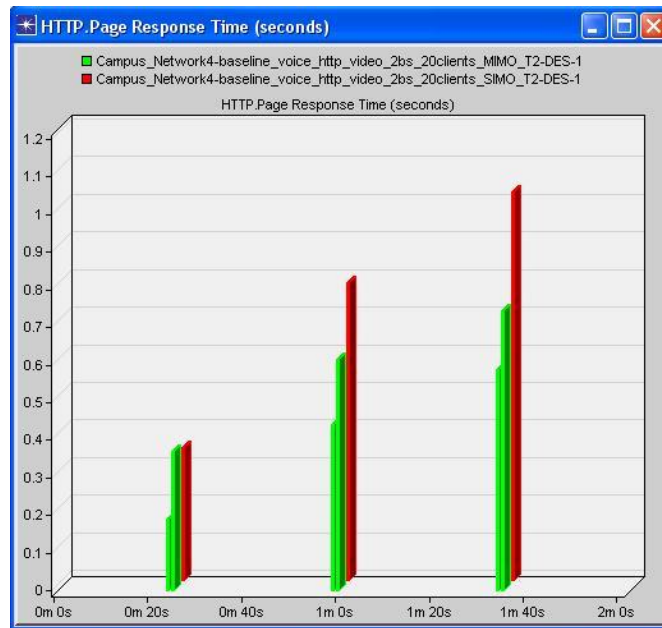
Εικόνα 221: Ρυθμίσεις κεραιών ασύρματων σταθμών.

Αυτή είναι και η μοναδική αλλαγή που έχει γίνει και στο σενάριο αυτό σε σχέση με το σενάριο 13 που υλοποιείται η τεχνολογία κεραιών MIMO. Ο αριθμός των ασύρματων σταθμών, των σταθμών βάσης και των εφαρμογών παραμένει ο ίδιος. Ίδιες με το σενάριο 13 παραμένουν και υπόλοιπες ρυθμίσεις του δικτύου ώστε να υπάρχει άμεση σύγκριση.

4.2.3.27 Σύγκριση σεναρίων 13 και 19

Εφαρμογή HTTP

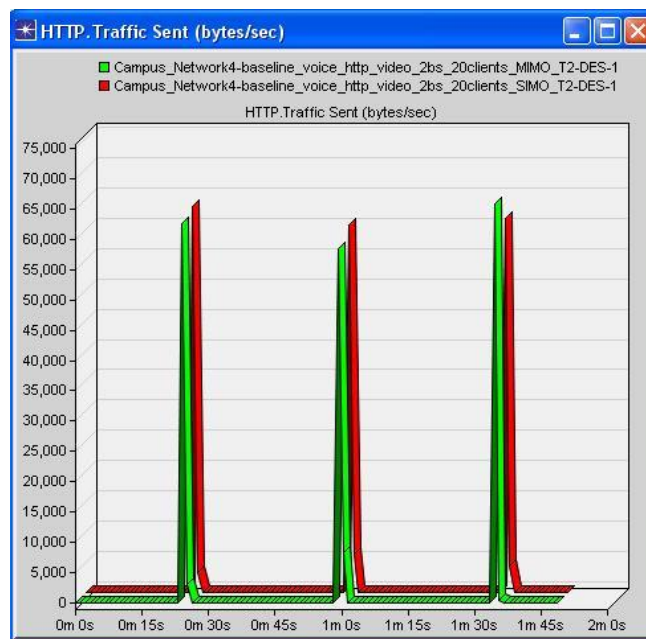
Αρχικά βλέποντας τον χρόνο απόκρισης των ιστοσελίδων της εφαρμογής HTTP στην πάροδο του χρόνου στο παρακάτω διάγραμμα, φαίνεται ότι για το σενάριο 19 οι χρόνοι είναι αρκετά αυξημένοι σε σχέση με το σενάριο 13. Συγκεκριμένα την δεύτερη και τρίτη φορά που ενεργοποιείται η εφαρμογή οι χρόνοι απόκρισης είναι 0,8 και λίγο πάνω από 1 δευτερόλεπτο αντίστοιχα για το σενάριο 19 όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 222: Χρόνος απόκρισης Ιστοσελίδας εφαρμογής HTTP.

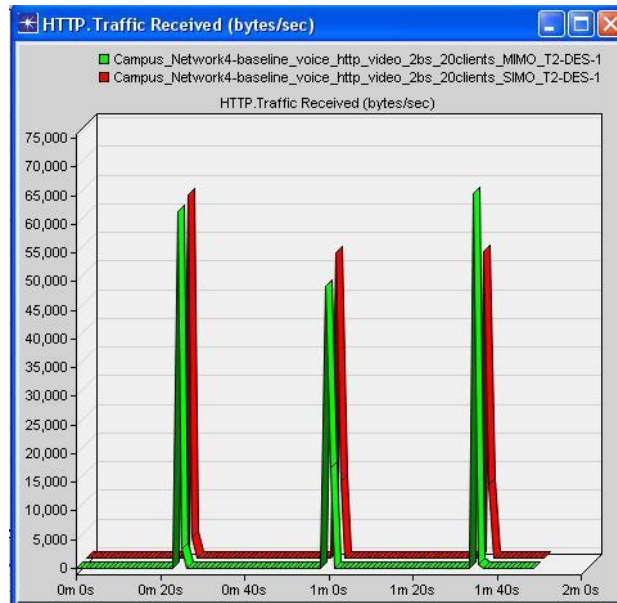
Για το σενάριο 13 ο χρόνος απόκρισης φτάνει μέχρι τα 0,7 δευτερόλεπτα μέγιστο.

Το επόμενο διάγραμμα περιγράφει τον συνολικό όγκο της εφαρμογής HTTP με τον οποίο τροφοδοτήθηκε το δίκτυο. Οι διαφορές μεταξύ των δύο σεναρίων είναι σχεδόν αμελητέες. Και στα δύο σενάρια παρατηρείται μικρή απόκλιση από το θεωρητικό μέγιστο όγκο της εφαρμογής που είναι τα 65,000bytes/sec περίπου. Στις δύο πρώτες ενεργοποιήσεις της εφαρμογής παρατηρούνται απώλειες από 2,000 μέχρι 5,000bytes/sec για το σενάριο 19. Για το σενάριο 13 οι απώλειες κυμαίνονται από 5,000 μέχρι 7,000 bytes/sec. Κατά την τρίτη ενεργοποίηση της εφαρμογής ο όγκος φτάνει πολύ κοντά στο μέγιστο για το σενάριο 13, ενώ για το σενάριο 19 υπάρχουν απώλειες της τάξης των 4,000Bytes/sec.



Εικόνα 223: Συνολικός όγκος κίνησης εφαρμογής HTTP.

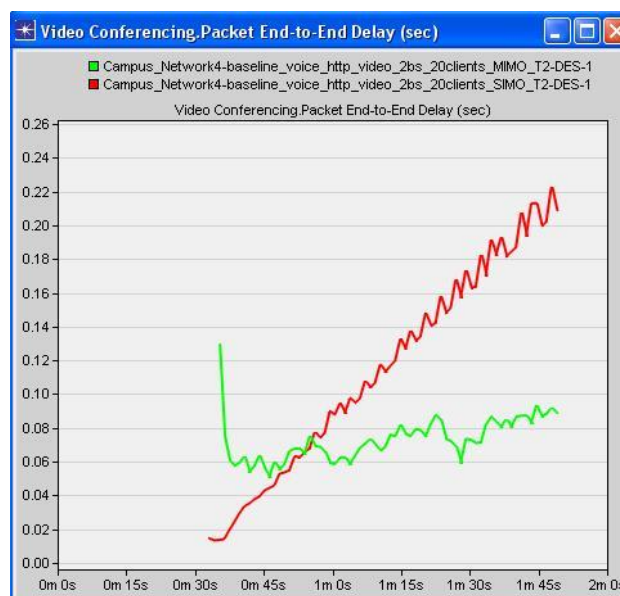
Όσον αφορά την κίνηση της εφαρμογής που τελικά παραλήφθηκε από τους ασύρματους σταθμούς τα δύο σενάρια παρουσιάζουν διαφορές στην συμπεριφορά τους όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Κατά την δεύτερη ενεργοποίηση οι απώλειες είναι σημαντικές για το σενάριο 19. Η κίνηση που παραλαμβάνουν οι σταθμοί είναι λίγο πάνω από τα 45,000Bytes/sec. Στην τρίτη ενεργοποίηση η κίνηση που παραλαμβάνεται είναι ίση με τον όγκο της κίνησης που στάλθηκε προς τους ασύρματους σταθμούς.



Εικόνα 224: Συνολικός όγκος κίνησης που παραλήφθηκε για την εφαρμογή HTTP.

Εφαρμογή Video Conference

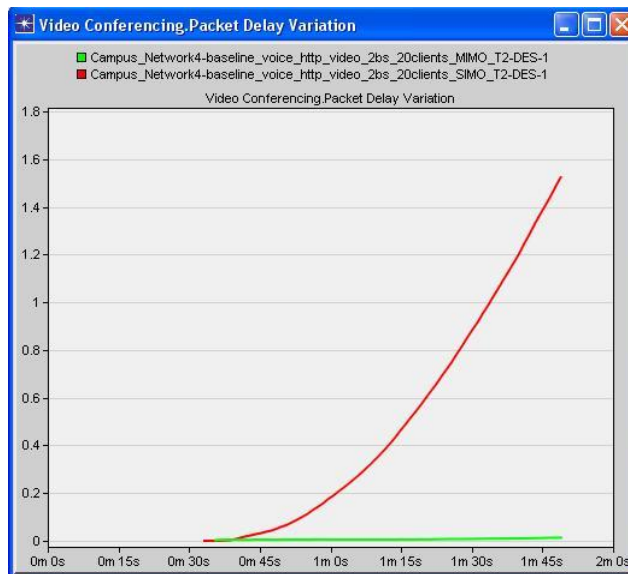
Περνώντας στην εφαρμογή Video Conference, στο παρακάτω γράφημα καταγράφεται η καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων από τον πομπό στον δέκτη:



Εικόνα 225: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων Video στον δέκτη.

Φαίνεται ότι για το σενάριο 19 οι τιμές της καθυστέρησης είναι ιδιαίτερα αυξημένες σε σχέση με το σενάριο 13. Εκτός αυτού η τάση της καθυστέρησης στο σενάριο 19 είναι ιδιαίτερα αυξητική σε αντίθεση με το σενάριο 13 που είναι ελάχιστα αυξητική. Οι τιμές για το σενάριο 19 ξεκινούν από 0,02 δευτερόλεπτα και φτάνουν τα 0,22 δευτερόλεπτα στο πέρας της προσομοίωσης. Για το σενάριο 13 οι τιμές ξεκινούν από τα 0,02 δευτερόλεπτα και φτάνουν τα 0,084 περίπου. Η καθυστέρηση για το σενάριο 19 κρίνεται μη ικανοποιητική.

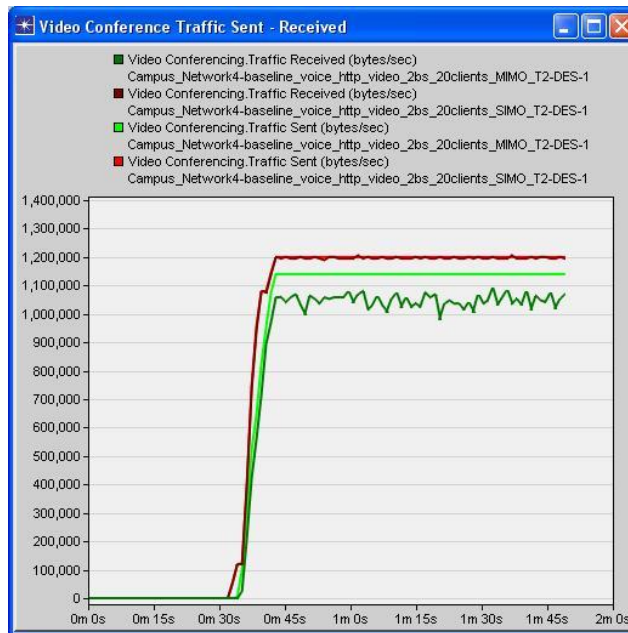
Η απόκλιση των καταγεγραμμένων καθυστερήσεων φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 226: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων Video.

Η διαφορά στην απόκλιση είναι πολύ μεγάλη. Για το σενάριο 19 η απόκλιση φτάνει στα 1,55 δευτερόλεπτα με έντονα αυξητική τάση ενώ για το σενάριο 13 στο πέρας της προσομοίωσης η τιμή της απόκλισης είναι 0,012.

Σε ότι έχει να κάνει με την κίνηση της εφαρμογής που στάλθηκε και παραλήφθηκε, το σενάριο 19 παρουσίασε άσπογη συμπεριφορά. Ο όγκος της κίνησης, αλλά και ο όγκος που παραλήφθηκε έφτασαν το επίπεδο του θεωρητικού μεγίστου που είναι τα 1,200,000 bytes/sec κάτι που παρατηρήθηκε και στο προηγούμενο σενάριο. Το σχετικό γράφημα φαίνεται παρακάτω:

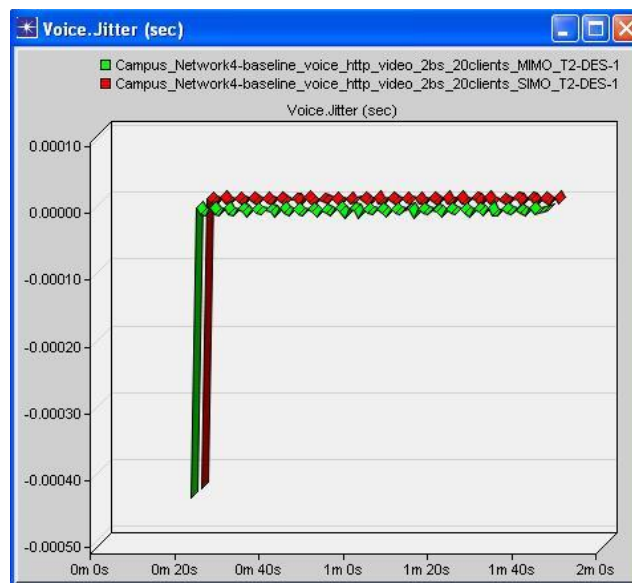


Εικόνα 227: Όγκος κίνησης εφαρμογής Video Conference ο οποίος στάλθηκε και λήφθηκε επιτυχημένα.

Η βελτίωση είναι σημαντική σε σχέση με το σενάριο 13 όπως συνέβη και για το σενάριο 18. Στο σενάριο 13 καταγράφηκε όγκος κίνησης της τάξης των 1,140,000 Bytes/sec και όγκος επιτυχημένης λήψης της τάξης των 1,050,000 bytes/sec. Μόνο ο ασύρματος σταθμός 36 έχασε μερικά από τα πακέτα της εφαρμογής στο σενάριο 19 όπως και στο σενάριο 18. Όλοι οι υπόλοιποι σταθμοί ανταποκρίθηκαν κανονικά. Στο σενάριο 13 όπως έχει ήδη αναφερθεί στις προηγούμενες συγκρίσεις, ο ασύρματος σταθμός 31 χάνει όλα του τα πακέτα αλλά υπάρχουν και άλλοι δύο σταθμοί οι οποίοι παρουσιάζουν χαμένα πακέτα.

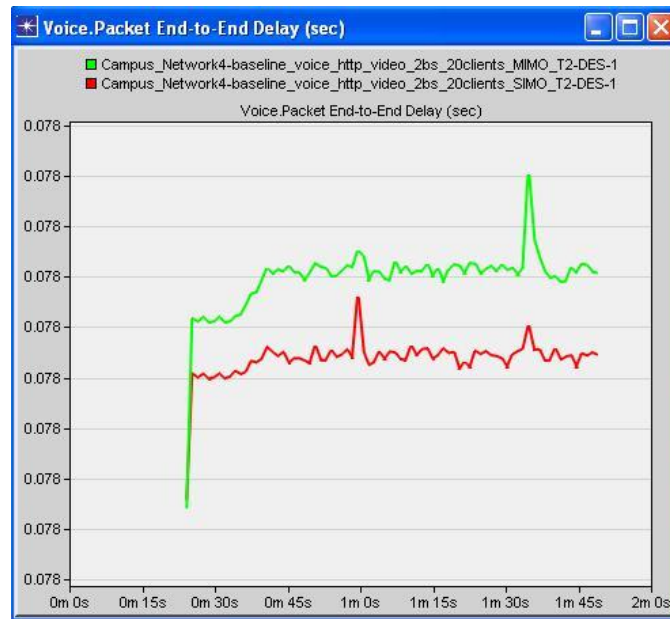
Εφαρμογή VoIP

Για την τρίτη και τελευταία εφαρμογή του σεναρίου που είναι η VoIP οι τιμές που καταγράφηκαν για το Jitter στα δύο σενάρια δεν διαφέρουν. Η τιμή είναι σχεδόν απόλυτα 0 καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης και φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 228: Τιμή Jitter εφαρμογής VoIP.

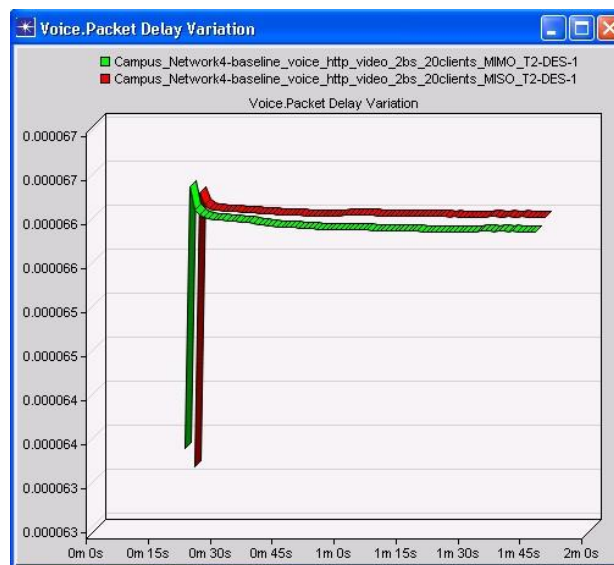
Και για την καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων φωνής στον δέκτη οι διαφορές στα δύο σενάρια είναι αμελητέα και της τάξης χιλιοστών του δευτερολέπτου όπως ακριβώς είχε προκύψει και στην σύγκριση του σεναρίου 18 με το 13.



Εικόνα 229: Καθυστέρηση παράδοσης πακέτων φωνής στον δέκτη.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα παραπάνω η καθυστέρηση είναι της τάξης των 0,078 δευτερολέπτων και για τα δύο σενάρια κατά γράφοντας ελάχιστα μεγαλύτερη τιμή για το σενάριο 13.

Η απόκλιση της καθυστέρησης αυτής φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Η απόκλιση αυτή είναι ελάχιστα μεγαλύτερη για το σενάριο 13 στην αρχή της προσομοίωσης αλλά και πάλι η διαφορά είναι αμελητέα.



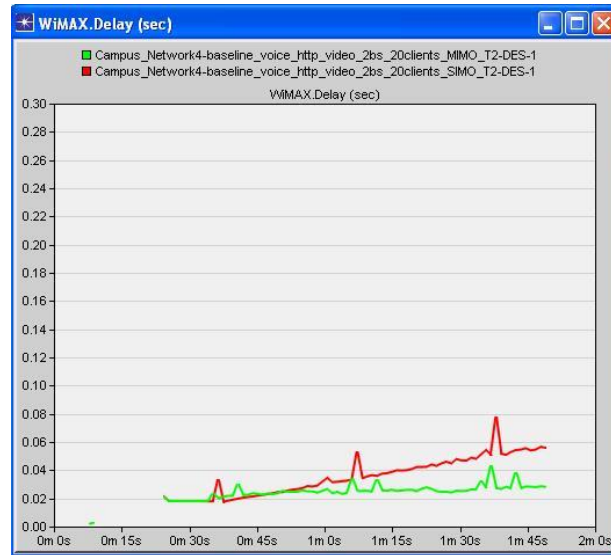
Εικόνα 230: Απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων φωνής.

Οι τιμές σταθεροποιούνται στα 0,000066 δευτερόλεπτα και για τα δύο σενάρια.

Όσον αφορά το όγκο της κίνησης που παράχθηκε και παραλήφθηκε για την εφαρμογή VoIP και πάλι έφτασε στο θεωρητικό μέγιστο των 320,000 bytes/sec όπως και στα προηγούμενα σενάρια οπότε δεν κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστεί και πάλι το σχετικό διάγραμμα.

Επίπεδο WiMAX

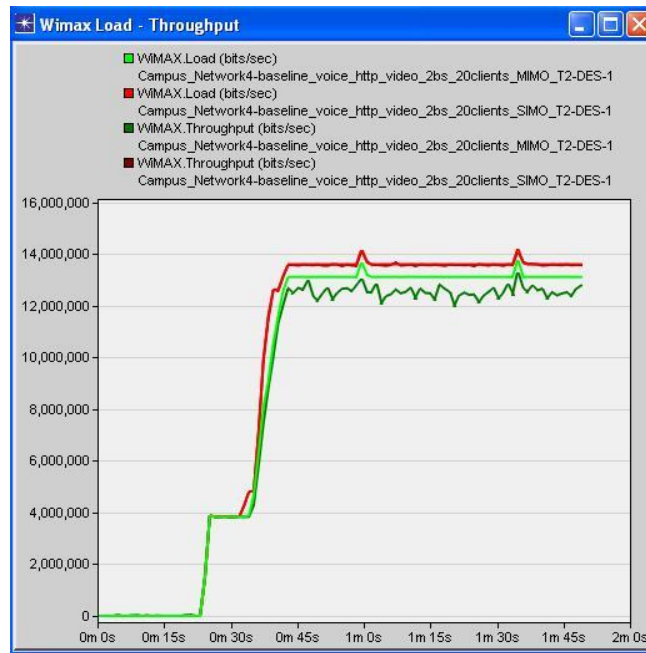
Σε επίπεδο Wimax η καθυστέρηση μεταφοράς των πακέτων ήταν μεγαλύτερη από αυτή του σεναρίου 13 για το σενάριο 19. Επίσης η τάση της καθυστέρησης είναι αρκετά αυξητική για το σενάριο 19.



Εικόνα 231: Καθυστέρηση πακέτων σε επίπεδο WiMAX.

Η καθυστέρηση στην αρχή της προσομοίωσης κυμαίνονταν στα 0,02 δευτερόλεπτα και έφτασε μέχρι τα 0,06 δευτερόλεπτα στο πέρας αυτής για το σενάριο 19. Για το σενάριο 13 η μέγιστη διακύμανση φτάνει την καθυστέρηση σε μια τιμή των 0,042 δευτερολέπτων.

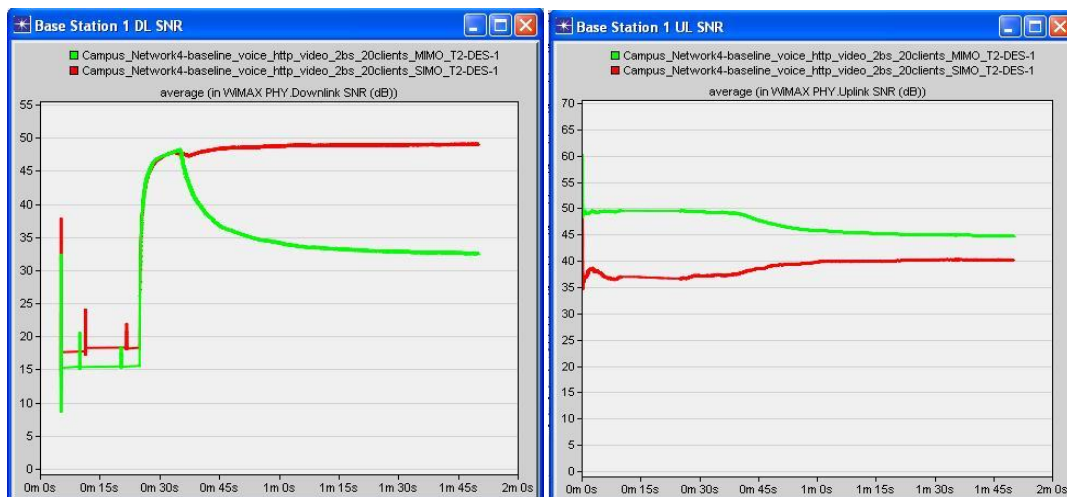
Όπως είναι αναμενόμενο ο συνολικός φόρτος και η ρυθμαπόδοση είναι αυξημένα για το σενάριο 19 αφού δεν υπήρχαν οι απώλειες της εφαρμογής Video Conference όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Ακολουθεί το σχετικό διάγραμμα:



Εικόνα 232: Συνολικός Φόρτος και Ρυθμαπόδοση.

Για το σενάριο 19 όπως και για το σενάριο 18 που παρουσιάστηκε νωρίτερα, καταγράφηκε ένας συνολικός φόρτος της τάξης των 13,65Mbps που είναι αυξημένος σε σχέση με τα 13,1Mbps όγκου κίνησης του σεναρίου 13. Επίσης για την ρυθμαπόδοση οι τιμές για το σενάριο 19 είναι την τάξης των 13,62Mbps αφού είναι σχεδόν ισόποση του όγκου και την ίδια στιγμή για το σενάριο 13 είναι της τάξης των 12,5Mbps περίπου.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές του SNR στους σταθμούς βάσης μετά την αλλαγή στο πλήθος των κεραιών όπως έγινε και στην προηγούμενη σύγκριση. Παρατηρείται μεγάλη αύξηση στο DL κανάλι επικοινωνίας για το σενάριο 19 στον σταθμό βάσης 1, κάτι το οποίο δικαιολογεί έως ένα βαθμό και τη σύνδεση με όλους τους ασύρματους σταθμούς του δικτύου. Στο κανάλι UL όμως παρατηρείται μικρή μείωση για το σενάριο 19 όπου η εκπομπή γίνεται μέσω μιας μόνο κεραιάς Ακολουθούν τα σχετικά διαγράμματα για τον σταθμό βάσης 1. Για τον δεύτερο σταθμό βάσης τα αποτελέσματα παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά αλλά με μικρότερες διαφορές στις τιμές του SNR.



Εικόνα 233: Μέσος όρος τιμής SNR καναλιών DL και UL Σταθμού Βάσης 1.

Για το κανάλι DL η μέση τιμή του SNR για το σενάριο 13 υπολείπεται του σεναρίου 19 κατά 16db περίπου στο μέγιστο της στο μεγαλύτερο διάστημα της προσομοίωσης. Η διαφορά είναι πολύ μεγάλη παρά το γεγονός ότι η αποστολή από το μέρος των σταθμών βάσης γίνεται από 2 κεραιές και η λήψη από τους ασύρματους σταθμούς επίσης, όπως ακριβώς και στο σενάριο 13 που υλοποιείται το MIMO.

Για το κανάλι UL οι τιμές είναι μεγαλύτερες για το σενάριο 13 σε σχέση με το σενάριο 19 όπου η επικοινωνία από τους ασύρματους σταθμούς με τους σταθμούς βάσης γίνεται μέσω μιας κεραιάς. Στα δύο σενάρια υπάρχει μια διαφορά των 5db, με το σενάριο 13 να έχει την μεγαλύτερη τιμή της τάξης των 45-50db περίπου.

4.2.3.28 Συμπεράσματα σεναρίων 13 και 19

Όπως παρατήθηκε στο σενάριο 18 όπου έγινε η πρώτη αλλαγή στην σύνθεση του σεναρίου, έτσι και στο σενάριο 19 παρουσιάζονται καλύτερα αποτελέσματα από άποψη φόρτου και ρυθμαπόδοσης σε σχέση με το σενάριο 13 που χρησιμοποιεί MIMO. Από άποψη καθυστερήσεων των εφαρμογών όμως και πάλι παρατηρήθηκαν κάποιες διαφοροποιήσεις στην απόκλιση της καθυστέρησης αλλά και στην καθυστέρηση παράδοσης πακέτων της εφαρμογής Video Conference που παρουσίασαν έντονη αυξητική τάση στο σενάριο 19 σε σχέση με το σενάριο 13. Χειρότερη ήταν και η απόδοση της εφαρμογής HTTP από άποψη καθυστερήσεων. Σε επίπεδο WiMAX οι καθυστερήσεις ήταν μεγαλύτερες και πάλι για το σενάριο 19. Επίσης στο σενάριο 19 παρατηρήθηκε αύξηση του μέσου όρου της τιμής του SNR στα κανάλια DL των σταθμών βάσης όπου στην ουσία εκπέμπουν δύο κεραιές όπως και στην σύνθεση MIMO. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να μην υπάρξουν σχεδόν καθόλου απώλειες στην εφαρμογή Video Conference του δικτύου και μοιραία να βελτιωθεί η γενικότερη ρυθμαπόδοση του δικτύου αφού στην εφαρμογή VoIP δεν υπήρχαν έτσι κι αλλιώς απώλειες. Στο κανάλι UL αντίθετα το SNR παρουσίασε μικρή μείωση που οφείλεται στο γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκε μία μόνο κεραιά αντί για δύο που χρησιμοποιήθηκαν στο σενάριο 13. Πρακτικά μόνο ο ασύρματος σταθμός 36 έχασε μερικά από τα πακέτα της εφαρμογής video στο σενάριο 19. Όλοι οι υπόλοιποι σταθμοί ανταποκρίθηκαν κανονικά. Στο σενάριο 13 όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο ασύρματος σταθμός 31 χάνει όλα του τα πακέτα video και υπάρχουν και άλλοι δύο σταθμοί οι οποίοι παρουσιάζουν χαμένα πακέτα.

Ένα στατιστικό το οποίο θα μπορούσε να εξηγήσει και να δικαιολογήσει επακριβώς την συμπεριφορά του δικτύου μετά την αλλαγή της σύνθεσης των κεραιών θα ήταν η διαμόρφωση των υποκαναλιών από τους σταθμούς βάσης στα δύο σενάρια όπως αναφέρθηκε και για την σύγκριση των σεναρίων 13 και 18. Όπως έχει αναφερθεί στο θεωρητικό κομμάτι της εργασίας η διαμόρφωση των υποκαναλιών γίνεται από τους σταθμούς βάσης δυναμικά και ανάλογα με τις ανάγκες που παρουσιάζονται. Δυστυχώς κάποιο σχετικό διάγραμμα δεν προσφέρεται από το OPNET.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: Συμπεράσματα – Προτάσεις

Μέσα από μια σειρά διαφορετικών σεναρίων κατασκευασμένων με τον προσομοιωτή δικτύων Opnet Modeler v16.0, πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις οι οποίες είχαν σκοπό να αναδείξουν διαφορές σχετικές με την ποιότητα της επικοινωνίας σε ένα δίκτυο WiMAX σε έναν χώρο παρόμοιο με τον χώρο που στεγάζεται το ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης. Τα σενάρια που δημιουργήθηκαν αποτελούνταν από μία ή τρεις εφαρμογές με διαφορετικούς συνδυασμούς πλήθους ασυρμάτων σταθμών, σταθμών βάσης αλλά και ρυθμίσεων που επηρέαζαν κάθε φορά κάποιο κομμάτι των παραμέτρων της ποιότητας της επικοινωνίας(QoS).

Η εργασία είναι έτσι δομημένη ώστε συμπεράσματα προκύπτουν από την σύγκριση των εκάστοτε σεναρίων κάθε φορά. Λόγω του γεγονότος ότι υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στις συνθήκες και τις ρυθμίσεις που προσομοιώνονται στα σενάρια αλλά και των μερών από τα οποία αποτελούνται αυτά, δεν μπορούν να προκύψουν απόλυτα γενικά συμπεράσματα.

Πάντως πέρα από τις διαφοροποιήσεις των σεναρίων, με βάση τα μεμονωμένα αυτά αποτελέσματα φαίνεται ότι το WiMAX σαν μια εναλλακτική δικτύωση σε έναν χώρο σαν του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης θα μπορούσε να υλοποιηθεί αν για παράδειγμα σκοπός του ήταν η εξυπηρέτηση ενός όχι πολύ μεγάλου αριθμού χρηστών για εφαρμογές VoIP, ορισμένης ποιότητας Video και περιήγησης στο διαδίκτυο, με βάση βεβαίως προσομοιωτή OPNET και το βάθος ανάλυσης της εργασίας.

Η παρούσα εργασία μπορεί να αποτελέσει μια σταθερή βάση για μια ακόμη πιο λεπτομερή έρευνα σε σχέση με την λειτουργία ενός ασύρματου δικτύου WiMAX στον χώρο του ΑΤΕΙΘ, με περαιτέρω ανάλυση και πρόσθεση στοιχείων στα ήδη υπάρχοντα σενάρια αλλά και κατασκευή νέων σεναρίων με διαφορετικές ρυθμίσεις που πιθανώς θα προσθέσουν νέα στοιχεία στην έρευνα αυτή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ahson S. and Ilyas M., “*WiMAX : Standards and Security*”, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2008.
2. Ahson S and Ilyas M, “*WiMAX: Technologies, Performance Analysis, and QoS*”, CRC Press Taylor & Francis Group, Washington, USA, 2007.
3. *Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation*, WiMAX Forum™, August 2006.
4. *Mobile WiMAX – Part II: A Comparative Analysis*, WiMAX Forum™, May 2006.
5. Opnet Modeller v.16.0 *Documentation and Examples*.
6. Niyato D., Hossain E., and Diamond J., “*IEEE802.16/WiMAX-Based broadband wireless access and its application for telemedicine / e-health services*”, IEEE Wireless Communications Magazine, vol. 14, no.1, pp. 72–83, Feb. 2007.
7. Lekun Lin, PhD, “*Choosing between open- and closed-loop MIMO in BTS systems*”, May 15, 2009.
8. Dr. Jacob Sharony Director, “*Introduction to Wireless MIMO –Theory and Applications*”, Network Technologies Division Center of Excellence in Wireless & IT, Stony Brook University ,IEEE LI, November 15, 2006.
9. Gerard J. Foschini and Michael. J. Gans, “*On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas*”, Wireless Personal Communications **6** (3): 311–335, January 1998.
10. Emre Telatar, “*Capacity of Multiantenna Gaussian Channels*”, European Transactions on Telecommunications, 10(6):585-596, 1999.
11. Iwan Adhichandra, “*Measuring Data and VoIP Traffic in WiMAX Networks*”, Journal Of Telecommunications, Volume 2, Issue 1, April 2010.
12. ITU-T Recommendation G.107, “*The E-Model, a computational model for use in transmission planning*”, December 1998.
13. IEEE Std 802.16-2004, “*IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 16: Air interface for Fixed Broadband Access Systems*”, October, 2004.
14. IEEE Std 802.16e-2005, “*IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment 2*”, Feb. 28, 2006.
15. Sengupta S., Chatterjee M., Ganguly S., “*Improving Quality of VoIP Streams over WiMAX*”, IEEE Transactions on Computers, Vol. 57, No.2, February 2008.

16. S. Ramachandran, C. W. Bostian, S. F. Midkiff, “*Performance Evaluation of IEEE 802.16 for Broadband Wireless Access*”, OPNETWORK 2002.
17. Gary J. Sullivan and Thomas Wiegand, "*Video Compression — From Concepts to the H.264/AVC Standard*", in Proceedings of the IEEE, 2005.
18. ITU-T publication page: “*H.264: Advanced video coding for generic audiovisual services*”. Retrieved 2007-09-13.
19. "*Fourth Annual H.264 video codecs comparison*". Moscow State University. (dated December 2007).
20. OPNET Technologies, <http://www.opnet.com>.