



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάπτυξη περιβάλλοντος προσομοίωσης του μηχανισμού χρονοπρογραμματισμού μεταδόσεων του προτύπου ασύρματης ευρυζωνικής δικτύωσης IEEE 802.16



Του φοιτητή

Βαρβαρέλη Ιωάννη

Αρ. Μητρώου: 05/2832

Επιβλέπων καθηγητής

Θωμάς Λάγκας

Θεσσαλονίκη 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο βασικός στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία συστήματος προσομοίωσης, που αναπαριστά τον μηχανισμό χρονοπρογραμματισμού πακέτων στην τεχνολογία WiMAX σύμφωνα με τις προϋποθέσεις που ορίζει το πρότυπο 802.16. Απώτερος σκοπός της δημιουργίας συστήματος προσομοίωσης αποτελεί η σύγκριση της απόδοσης των δύο αλγορίθμων WRR(Weighted Round Robin) και WFQ(Weighted Fair Queuing) που χρησιμοποιούνται για την κατανομή πόρων μεταξύ των συνδέσεων που ανήκουν στις κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας rtPS(real-time Polling Service) και nrtPS(non real-time Polling Service) στον μηχανισμό χρονοπρογραμματισμού που περιγράφεται. Σε πρώτο στάδιο γίνεται μια σύντομη εισαγωγική αναφορά στην τεχνολογία WiMAX, στο υπό-στρώμα MAC και στα υπό-πρότυπα IEEE 802.16 και στην συνέχεια περιγράφονται οι κλάσεις της ποιότητας υπηρεσίας που ορίζουν τα πρότυπα καθώς και οι συνήθεις αλγόριθμοι κατανομής πόρων. Σε επόμενο στάδιο περιγράφονται οι δύο μέθοδοι κατανομής πόρων, GPC(Grant Per Connection) και GPSS(Grant Per Subscriber Station) στους σταθμούς συνδρομητή από τον σταθμό βάσης ενός δικτύου WiMAX και αναλύεται ο μηχανισμός χρονοπρογραμματισμού πακέτων που έχει αναπτυχθεί. Στο κομμάτι της παρουσίασης υλοποίησης του μηχανισμού περιγράφονται αρχικά οι βασικές λειτουργίες του εργαλείου Simulink της πλατφόρμας Matlab-R2010a και κατόπιν αναλύεται η λειτουργία των blocks που αναπτύχθηκαν για κάθε επιμέρους υποσύστημα του μηχανισμού. Τέλος, γίνεται αναφορά των σεναρίων που αναπτύχθηκαν για την συλλογή στατιστικών απόδοσης, με σκοπό την ορθότερη σύγκριση των δύο αλγορίθμων. Πραγματοποιείται η απεικόνιση των στατιστικών αυτών σε γραφήματα που υλοποιήθηκαν με την βοήθεια του εργαλείου Microsoft Excel 2007 ενώ ταυτόχρονα γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων. Ο επίλογος της εργασίας αυτής αποτελείται από την καταγραφή συμπερασμάτων που προέκυψαν από την σύγκριση αποτελεσμάτων της εκτέλεσης προσομοίωσης των δύο αλγορίθμων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στον καθηγητή κ. Θωμά Λάγκα για την καθοδήγηση και αμέριστη στήριξη του όλο αυτό τον καιρό εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας αυτής.

Στην οικογένεια μου, για την οικονομική και κυρίως ψυχολογική υποστήριξή τους.

Στους συμφοιτητές και φίλους μου για την ανοχή τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ (προαιρετικά).....	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
Ευρετήριο σχημάτων.....	7
Ευρετήριο πινάκων.....	8
1. Εισαγωγή στο WiMAX – Πρότυπα 802.16.....	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 IEEE 802.16-2001.....	10
1.2 IEEE 802.16a.....	10
1.3 IEEE 802.16-2004.....	11
1.3 IEEE 802.16e-2005.....	11
1.5 Μεταγενέστερα Πρότυπα IEEE 802.16	12
2. Υπόστρωμα MAC.....	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
2.1 Υπό-επίπεδο Σύγκλισης Βάσει Υπηρεσίας.....	13
2.2 Υπό-επίπεδο Σύγκλισης Βάσει Υπηρεσίας.....	14
2.3 Υπό-επίπεδο Ασφάλειας	14
3. Ποιότητα Υπηρεσιών Στο Πρότυπο 802.16	15
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
3.1 Υπηρεσίες αυτόκλητης αίτησης εύρους ζώνης (Unsolicited Grant Services - UGS).....	16
3.2 Υπηρεσίες εκλογής πραγματικού χρόνου (real-time Polling Service - rtPS).....	16
3.3 Υπηρεσίες εκλογής μη πραγματικού χρόνου (non real-time Polling Service - nrtPS).....	16
3.4 Υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort Service - BE).....	17
3.5 Επεκταμένες Υπηρεσίες εκλογής πραγματικού χρόνου (extended real-time Polling Service - ertPS):	17
4. Αλγόριθμοι Χρονοπρογραμματισμού.....	18
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	18
4.1 Ομογενείς αλγόριθμοι.....	18
4.1.1 Δομή ουράς (First-In-First-Out - FIFO).....	18
4.1.2 Αλγόριθμος εξυπηρέτησης εκ περιτροπής (Round Robin- RR)	19

4.1.3 Αλγόριθμος εξυπηρέτησης εκ περιτροπής με βάση το βάρος(Weighted Round Robin - WRR).....	19
4.1.4 Weighted Fair Queuing – WFQ.....	20
4.1.5 Earliest Deadline First - EDF	20
4.2 Υβριδικοί αλγόριθμοι	20
4.2.1 EDF + WFQ + FIFO	20
4.2.2 EDF + WRR + FIFO.....	21
5. Ανάλυση του μηχανισμού scheduling.....	22
5.1 Ανάθεση Πόρων Στο Δίκτυο WiMAX.....	22
5.1.1 Grant Per Connection - GPC	22
5.1.2 Grant Per Subscriber Station – GPSS	22
5.2 Λειτουργία Μηχανισμού Προσομοίωσης	23
5.2.1 Περιγραφή εφαρμογών ενεργών συνδέσεων	23
5.2.2 Φάσεις προσομοίωσης λειτουργίας	24
6. Περιγραφή εργαλείου Simulink.....	25
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	25
6.1 Επιφάνεια Εργασίας.....	25
6.2 Signals	26
6.3 Εκτέλεση Βημάτων Προσομοίωσης	27
6.4 Ρυθμίσεις παραμέτρων προσομοίωσης	28
6.5 Ενσωματωμένος κώδικας Matlab.....	29
6.6 Τύπωση αποτελεσμάτων	31
7. Περιγραφή Blocks Προσομοίωσης	33
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	33
7.1 Η Προσομοίωση.....	33
7.2 Block Δημιουργίας Πακέτων.....	34
7.3 UGS Block	35
7.3.1 Bandwidth Allocation Block.....	36
7.3.2 Packets Passed Block	37
7.4 rtPS – nrtPS Block	38
7.4.1 Buffer Block	38
7.4.2 Bandwidth Allocation Block.....	39
7.5 BE Block	46

7.6 CID's Scheduled Packets Block - CID's Dropped Packets Block	47
8. Συλλογή και Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Προσομοίωσης	49
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	49
8.1 Φόρτος Σεναρίων Προσομοίωσης.....	49
8.1.1 Χαμηλός Φόρτος.....	49
8.1.2 Μεσαίος Φόρτος	50
8.1.2 Υψηλός Φόρτος	50
8.2 Περιγραφή Στατιστικών	51
8.3 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Συλλογής Στατιστικών.....	51
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	58
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	59
ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	61

Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 1 "Σύγκριση εμβέλειας δικτύων Wimax και WiFi" [1].....	9
Σχήμα 2 "Τυπική τοπολογία WiMAX δικτύου" [3].....	10
Σχήμα 3 "Τα υπο-επίπεδα του MAC Layer" [6].....	13
Σχήμα 4 "Η λειτουργία του αλγόριθμου WRR" [15]	19
Σχήμα 5 "Η διαδικασία αιτήσεων ανάθεσης πόρων" [16]	23
Σχήμα 6 "Επιφάνεια ανάπτυξης προσομοίωσης"	25
Σχήμα 7 "Παράθυρο πρόσβασης στην βιβλιοθήκη διαθέσιμων blocks"	26
Σχήμα 8 "Τυπικό Παράδειγμα Προσομοίωσης"	27
Σχήμα 9 "Constant Block Parameters Window"	28
Σχήμα 10 "Παράθυρο ορισμού παραμέτρων προσομοίωσης"	29
Σχήμα 11 "Τυπική λειτουργία του Embedded Matlab Function Block"	30
Σχήμα 12 "Παράθυρο σύνταξης ενσωματωμένου κώδικα Matlab"	30
Σχήμα 13 "Scope Block"	30
Σχήμα 14 "Παράδειγμα αξιοποίησης του To File Block"	31
Σχήμα 15 "Παρουσίαση περιεχομένων πίνακα τύπου .mat"	32
Σχήμα 16 "Η υλοποιημένη προσομοίωση"	34
Σχήμα 17 "Packet Generator Block"	35
Σχήμα 18 "BE Block"	36
Σχήμα 19 "BE - Bandwidth Allocation Block"	37
Σχήμα 20 "Packets Passed Block"	37
Σχήμα 21 "rtPS – nrtPS Block"	38
Σχήμα 22 "Buffer Block"	39
Σχήμα 23 "rtPS-nrtPS - Bandwidth Allocation Block"	39
Σχήμα 24 "Αλγόριθμος WRR"	42
Σχήμα 25 "WRR - Block Ελέγχου εισροής πακέτων στο frame"	43
Σχήμα 26 "Αλγόριθμος WFQ"	45
Σχήμα 27 "WFQ - Block Ελέγχου εισροής πακέτων στο frame"	45
Σχήμα 28 "BE Block"	46
Σχήμα 29 "BE - Bandwidth Allocation Block"	46
Σχήμα 30 "BE - Block ελέγχου πακέτων"	47
Σχήμα 31 "CID's Scheduled Packets Block "	47
Σχήμα 32 "CID's Dropped Packets Block"	48
Σχήμα 33 "Συνολικό ποσοστό throughput (bits)"	52
Σχήμα 34 "Συνολικό ποσοστό throughput (packets)"	52
Σχήμα 35 "Συνολικό ποσοστό μεγέθους χαμένων πακέτων"	53
Σχήμα 36 "Συνολικό ποσοστό πλήθους χαμένων πακέτων"	53
Σχήμα 37 "Συνολικό ποσοστό throughput για τις συνδέσεις QoS κλάσεων rtPS- nrtPS"	54
Σχήμα 38 "Συνολικό ποσοστό throughput (packets) για τις συνδέσεις QoS κλάσεων rtPS-nrtPS	54
Σχήμα 39 "Ποσοστό μεγέθους χαμένων πακέτων για τις συνδέσεις QoS κλάσεων rtPS-nrtPS"	55

Σχήμα 40 Ποσοστό πλήθους χαμένων πακέτων για τις συνδέσεις QoS κλάσεων rtPS-nrtPS"	55
Σχήμα 41 "Συνολικός χρόνος πρόσβασης πακέτων στο frame"	56
Σχήμα 42 "Χρόνος πρόσβασης πακέτων στο frame για τις συνδέσεις QoS κλάσεων rtPS-nrtPS"	56
Σχήμα 43 "Throughput των συνδέσεων QoS κλάσεων rtPS-nrtPS"	57

Ευρετήριο πινάκων

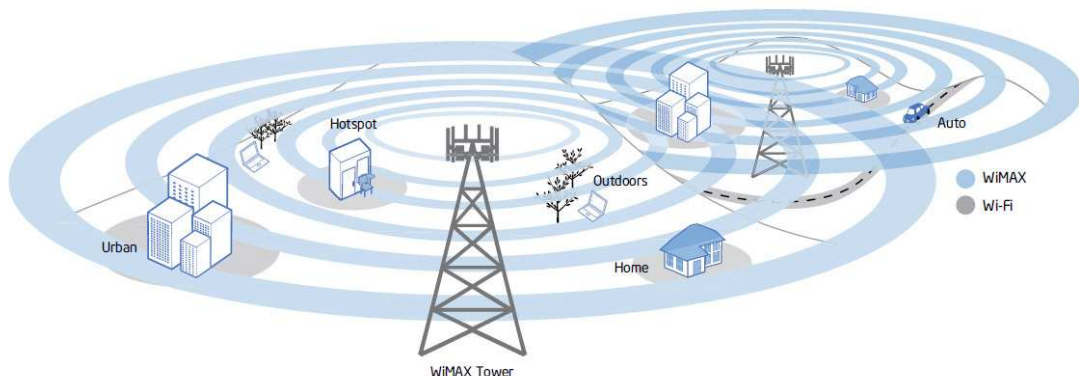
Πίνακας 1 "Σύγκριση των προτύπων 802.16, 802.16a, 802.16e" [4].....	11
Πίνακας 2 "QoS κλάσεις στο WiMAX" [10]	15

1. Εισαγωγή στο WiMAX – Πρότυπα 802.16

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το 802.16 είναι σύνολο από πρότυπα που προβλέπουν την λειτουργία ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων και ορίζονται από το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (*Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE*). Το πρότυπα αυτά έχουν σκοπό να υποδείξουν τον τρόπο λειτουργίας των ασύρματων μητροπολιτικών δικτύων (*WirelessMAN*) γνωστό στο ευρύ κοινό ως *WiMAX* (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*).

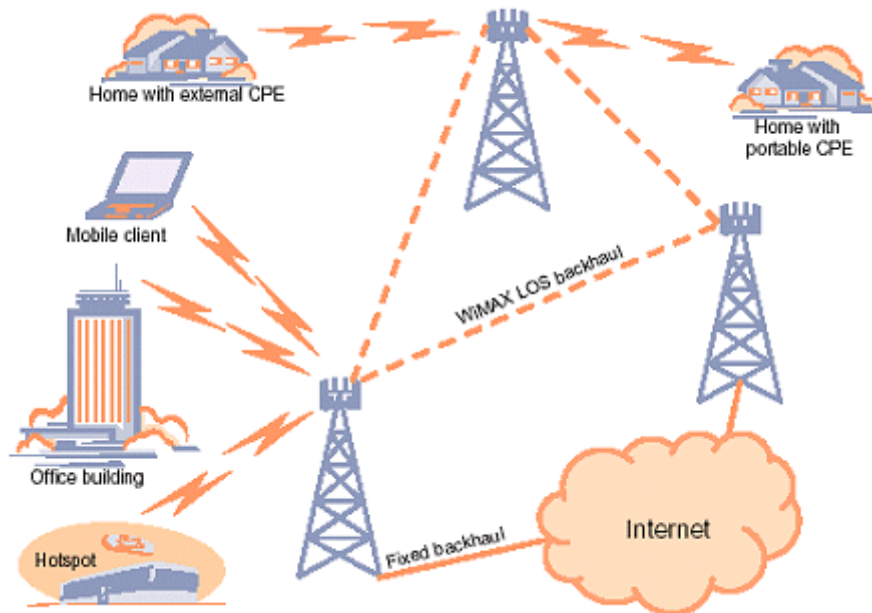
Η τεχνολογία του *WiMAX* προσφέρει εύρος πρόσβασης μέχρι και 50 χιλιόμετρα, εύρος το οποίο είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από την «κλασική» ασύρματη τεχνολογία πρόσβασης τοπικών δικτύων (*Wireless Area Local Network - WLAN* - γνωστό και ως *WiFi*) η οποία εκτείνεται σε περιορισμένη περιοχή πρόσβασης των 100 μέτρων σε κλειστό χώρο ενώ σε ανοιχτό χώρο μέχρι και 15 χιλιόμετρα υπό ιδανικές συνθήκες. Οι ρυθμοί μετάδοσης της εν λόγω τεχνολογίας φτάνουν στα 30 με 50 Mbps ενώ θεωρητικά το όριο ρυθμού μετάδοσης πέρα της τυπικής εμβέλειας των 50 χιλιομέτρων είναι τα 70 Mbps. Φυσικά όπως και σε όλες τις τεχνολογίες ασύρματων δικτύων έτσι και στο *WiMAX* μπορεί να επιτευχθούν ακόμα μεγαλύτεροι ρυθμοί μετάδοσης σε μικρότερη εμβέλεια ή και μεγαλύτερη εμβέλεια με μικρότερο ρυθμό μετάδοσης αλλά πότε μεγαλύτερος ρυθμός μετάδοσης από εκείνο των 70 Mbps σε μεγαλύτερη εμβέλεια από αυτή των 50 χιλιομέτρων.



Σχήμα 1 “Σύγκριση εμβέλειας δικτύων Wimax και WiFi” [1]

Η πρόσβαση στο δίκτυο *WiMAX* είναι απλή. Στην περιοχή εφαρμογής του υπάρχει τουλάχιστον ένας σταθμός βάσης (*Base Station - BS*) ο οποίος αναλαμβάνει την παροχή πρόσβασης στο διαδίκτυο και σε υπηρεσίες στους σταθμούς συνδρομητών (*Subscriber Station – SS* ή *Mobile Station - MS*) εντός

εμβέλειας δικτύου. Σταθμός συνδρομητή μπορεί να θεωρηθεί οποιαδήποτε συσκευή που έχει πρόσβαση στο δίκτυο WiMAX μέσω καρτών ασύρματων δικτύων τύπου USB ή PCI, ενσωματωμένων καρτών σε φορητό υπολογιστή κτλ. Οι συσκευές αυτές είναι παρόμοιες σε λειτουργία με τις συσκευές που χρησιμοποιούνται για την πρόσβαση στα WiFi δίκτυα. [2]



Σχήμα 2 “Τυπική τοπολογία WiMAX δικτύου” [3]

1.1 IEEE 802.16-2001

Η ομάδα μελέτης ασχολούμενη με την προτυποποίηση της λειτουργίας ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων ιδρύθηκε το 1998 με κύριο στόχο την ανάπτυξη ενός συστήματος point-to-multipoint πρόσβασης με οπτική επαφή και εύρος συχνότητας εκπομπής σήματος 10GHz με 60GHz. Το πρώτο πρότυπο λειτουργίας της οικογένειας 802.16 όμως δεν εγκρίθηκε πριν τον Δεκέμβριο του 2001. Το πρότυπο αυτό περιγράφει την αξιοποίηση της τεχνολογίας πολύπλεξης με διαίρεση χρόνου (Time Division Multiplexing - TDM) στο υπό-επίπεδο MAC(Media Access Control) του επιπέδου μεταφοράς δεδομένων (Data Link Layer) κατά το μοντέλο OSI.

1.2 IEEE 802.16a

Μεταγενέστερα, ήταν η σειρά του πρότυπου 802.16a να δημιουργηθεί το οποίο προβλέπει την πρόσβαση των σταθμών βάσης χωρίς οπτική επαφή(Non Line Of Sight - NLOS) σε εύρος συχνότητας 2GHz έως 11GHz εκμεταλλευόμενο

τις τεχνολογίες OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) και OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) για το Physical Layer και το MAC Layer αντίστοιχα.

1.3 IEEE 802.16-2004

Ακολούθησαν τα πρότυπα 802.16b, το οποίο προέβλεπε διαφορετικές συχνότητες εκπομπής και τελικά ματαιώθηκε και το πρότυπο 802.16d, που περιέγραφε μια σειρά από προτεινόμενες και προαιρετικές παραμέτρους του Physical και του MAC Layer για να φτάσουμε στο 802.16-2004, μια σύνοψη των 802.16-2001, 802.16a, 802.16c(είχε αναπτυχθεί το 2002 και εισήγαγε προαιρετικές παραμέτρους των επιπέδων δικτύωσης) και 802.16d. Το πρότυπο αυτό ήταν και η πρώτη ολοκληρωμένη περιγραφή λειτουργίας της τεχνολογίας WiMAX για σταθμούς συνδρομητή σταθερής θέσης και συχνά αναφέρεται ως fixed WiMAX.

1.3 IEEE 802.16e-2005

Ορόσημο για την προτυποποίηση του WiMAX αποτελεί η έγκριση του 802.16e τον Δεκέμβριο 2005, η πρώτη περιγραφή λειτουργίας κινητών σταθμών. Επιπλέον προέβλεπε και την ύπαρξη των 5 κλάσεων ποιότητας υπηρεσιών (QoS), UGS, rtPS, nrtPS, ertPS, BE. Η αναλυτική παρουσίαση καθώς και χρησιμότητα ύπαρξης των κλάσεων QoS στο WiMAX θα αναπτυχθεί στα επόμενα κεφάλαια.

	802.16	802.16a	802.16e
Spectrum	10 – 66 GHz	2 – 11 GHz	<6 GHz
Configuration	Line of Sight	Non- Line of Sight	Non- Line of Sight
Bit Rate	32 to 134 Mbps (28 MHz Channel)	≤ 70 or 100 Mbps (20 MHz Channel)	Up to 15 Mbps
Modulation	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	256 Sub-Carrier OFDM using QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM	Same as 802.16a
Mobility	Fixed	Fixed	≤75 MPH
Channel Bandwidth	20, 25, 28 MHz	Selectable 1.25 to 20 MHz	5 MHz (Planned)
Typical Cell Radius	1-3 miles	3-5 miles	1-3 miles
Completed	Dec, 2001	Jan, 2003	2nd Half of 2005

Πίνακας 1 “Σύγκριση των προτύπων 802.16, 802.16a, 802.16e” [4]

1.4 IEEE 802.16k-2007

Ακολούθησαν αρκετά πρότυπα ακόμα μέχρι σήμερα με σημαντικό χρονικό σημείο το έτος 2007 όπου εγκρίθηκε το πρότυπο 802.16k-2007 ενώ παράλληλα το ίδιο έτος διοχετεύτηκε στην αγορά η πρώτη κάρτα πρόσβασης WiMAX κατασκευασμένη από την εταιρία Intel.

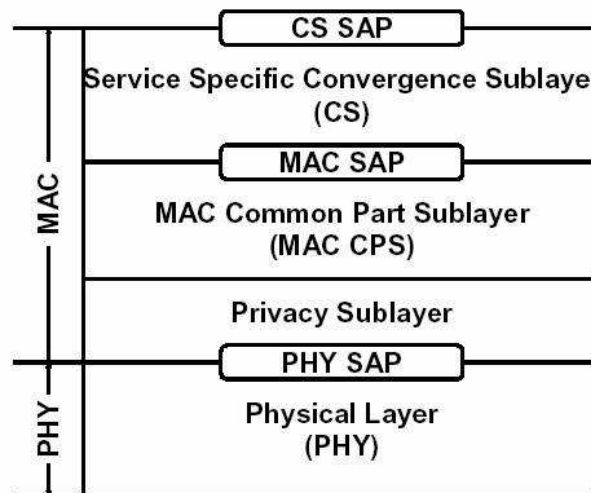
1.5 Μεταγενέστερα Πρότυπα IEEE 802.16

Τελευταίο χρονικά εγκεκριμένο πρότυπο είναι το 802.16m, το οποίο προβλέπει ρυθμούς μετάδοσης μέχρι 100Mbps σε κινητούς σταθμούς και μέχρι και 1Gbps σε σταθερούς σταθμούς πρόσβασης. Την χρονική περίοδο που συντάχθηκε η εργασία αυτή, είναι σε εξέλιξη η ανάπτυξη των προτύπων 802.16n και 802.16r που εστιάζουν στις ασφάλεια δικτύου, ένα σημαντικό ζήτημα στα σύγχρονα συστήματα πληροφόρησης και επικοινωνίας. [5]

2. Υπόστρωμα MAC

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σημαντικότερος συνδετικός κρίκος μεταξύ του φυσικού επιπέδου δικτύωσης (Physical Layer) και των ανωτέρων επιπέδων μεταφοράς στο WiMAX είναι το Mac Layer. Η βασική λειτουργία του MAC Layer είναι να λαμβάνει πακέτα δεδομένων υπηρεσιών (*Service Data Units SDUs*) από τα ανωτέρα επίπεδα και να τα ενθυλακώνει σε μονάδες δεδομένων πρωτοκόλλου MAC (*MAC Protocol Data Units*) ώστε να τα προωθήσει στο φυσικό επίπεδο όπου και θα μεταδοθούν μέσω του φυσικού καναλιού επικοινωνίας. Οι προτυποποιήσεις 802.16-2004 και 802.16e-2005 προβλέπουν την δομή του MAC Layer να περιλαμβάνει 3 επιμέρους υποστρώματα. [5]



Σχήμα 3 "Τα υπο-επίπεδα του MAC Layer" [6]

2.1 Υπό-επίπεδο Σύγκλισης Βάσει Υπηρεσίας

Πρώτο υπόστρωμα από πάνω προς τα κάτω είναι το Υπό-επίπεδο Σύγκλισης Βάσει Υπηρεσίας (*Service Specific Convergence Sub-Layer - CS*) το οποίο αλληλεπιδρά με τα πρωτόκολλα επικοινωνίας του ανώτερου επιπέδου όπως IP, Ethernet, ATM κτλ.

Η σημαντικότερη λειτουργία του υποστρώματος αυτού είναι η ανάθεση αναγνωριστικού σύνδεσης (*Connection Identifier - CID*) και αναγνωριστικού ροής υπηρεσίας (*Service Flow ID - SFID*) στα εισερχόμενα SDUs. Το CID είναι ένα μοναδικό αναγνωριστικό το οποίο καθορίζει σε ποια σύνδεση που έχει δημιουργηθεί μεταξύ του BS και του SS ανήκει το κάθε SDU. Ως SFID ορίζεται το μοναδικό αναγνωριστικό ροής υπηρεσίας του κάθε πακέτου, η οποία περιέχει της πληροφορίες για τις απαιτήσεις και παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας του(QoS).

Η σχέση του CID με το SFID είναι άρρηκτη καθώς σε κάθε SFID απονέμεται και ένα CID ενώ ένα CID δεν μπορεί να αντιστοιχεί σε παραπάνω από ένα SFID και το αντίθετο. Εφόσον έχουν αντιστοιχηθεί τα CIDs σε διαφορετικές ροές υπηρεσίας τότε ανάλογα με τις απαιτήσεις της η κάθε σύνδεση κατηγοριοποιείται σε μία από τις 5 κλάσεις QoS. Αναλυτικότερη περιγραφή των κριτηρίων κατηγοριοποίησης αναπτύσσεται στο Κεφάλαιο 3.

Μια επιπλέον λειτουργία του επιπέδου αυτού είναι η απαλοιφή κεφαλίδας(Payload Header Suppression - PHS) των πρωτοκόλλων ανώτερων επιπέδων ώστε να δημιουργούνται μικρότερου μεγέθους πακέτα. [7]

2.2 Υπό-επίπεδο Σύγκλισης Βάσει Υπηρεσίας

Το δεύτερο υπόστρωμα που αποτελεί και τον πυρήνα του MAC Layer είναι το Υπό-επίπεδο κοινού μέσου (Common Part Sub-Layer). Η λειτουργία του υποστρώματος αυτού καθώς και η αναγκαιότητα ύπαρξης του περιγράφεται σε 3 βασικά σημεία: δημιουργία συνδέσεων, διατήρηση και συντήρηση των ήδη υπαρχών συνδέσεων και κατανομή πόρων. Το CPS εγκαθιστά συνδέσεις μεταξύ των BS και των SS μέσω των οποίων ανταλλάσσονται τα πακέτα δεδομένων ενώ η κάθε σύνδεση διαθέτει ένα μοναδικό CID όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Εκτός από τα πακέτα δεδομένων ανταλλάσσονται πακέτα συντήρησης και εποπτείας ώστε να διασφαλιστεί η αδιάκοπη ροή των δεδομένων στην κάθε σύνδεση. Για την διευκρίνηση των πακέτων που θα μεταδοθούν αλλά και τη χρονική στιγμή της μετάδοσης του, ενεργεί ο μηχανισμός scheduling ο οποίος είναι υπεύθυνος για την αποδοτικότερη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του χρησιμοποιούμενου καναλιού μετάδοσης. Ο μηχανισμός αυτός θα αναλυθεί περαιτέρω στο Κεφάλαιο 5 και είναι και το κύριο αντικείμενο ανάλυσης της διπλωματικής αυτής. [8]

2.3 Υπό-επίπεδο Ασφάλειας

Τρίτο και τελευταίο υπόστρωμα του MAC Layer είναι το Υπό-επίπεδο Ασφάλειας και είναι υπεύθυνο για την ασφάλεια της μετάδοσης δεδομένων μεταξύ των SS και του BS. Για να το πετύχει αυτό χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο κρυπτογράφησης δεδομένων, το οποίο χρησιμοποιεί 2 βασικούς αλγόριθμους κρυπτογράφησης (τον Data Encryption Standard – DES και τον Advanced Encryption Standard - AES). Επιπλέον, εφαρμόζεται ένα πρωτόκολλο διαχείρισης, σύμφωνα με το οποίο προβλέπεται η μετάδοση των παραμέτρων ασφαλείας των ενεργών συνδέσεων. [9]

3. Ποιότητα Υπηρεσιών Στο Πρότυπο 802.16

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια η κάθε λογική σύνδεση που δημιουργείται μεταξύ του SS και του BS έχει εκτός από ένα CID, και ένα SFID το οποίο προσδιορίζει την ροή υπηρεσίας της. Η κάθε ροή υπηρεσίας χαρακτηρίζεται από παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας (QoS) που περιλαμβάνουν: την προτεραιότητα κίνησης (traffic priority), τον μέγιστο ρυθμό κίνησης που επιτρέπεται να απορριφθεί (maximum sustained traffic rate), τον ελάχιστο εξασφαλισμένο ρυθμό κίνησης (minimum reserved traffic rate) τον τύπο χρονοπρογραμματισμού (scheduling type), την μέγιστη επιτρεπόμενη καθυστέρηση (maximum delay), το ανεκτό τρεμόπαιγμα φάσης (tolerated jitter), τον τύπο και το μέγεθος των εκπεμπόμενων SDUs, τον μηχανισμό αίτησης εύρους ζώνης (bandwidth request) κτλ.

SERVICE CLASS	APPLICATIONS	QOS SPECIFICATIONS
Unsolicited Grant Service (UGS)	VoIP	-Jitter tolerance -Maximum latency tolerance -Maximum sustained rate
Real-time Packet Service (rtPS)	Streaming audio or video	-Traffic priority -Maximum latency tolerance -Maximum reserved rate -Maximum sustained rate
Extended real time Packet Services (ErtPS)	VoIP (Voice with Activity Detection)	-Traffic priority -Maximum latency tolerance -Jitter tolerance -Maximum sustained rate -Maximum reserved rate
non-real time Packet Services (nrtPS)	FTP	-Traffic priority -Maximum reserved rate -Maximum sustained rate
Best Effort (BE)	Data transfer, Web Browsing, etc	-Traffic priority -Maximum sustained rate

Πίνακας 2 "QoS κλάσεις στο WiMAX" [10]

Για την αποδοτικότερη κατηγοριοποίηση των ενεργών συνδέσεων και την διασφάλιση εκπλήρωσης των παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω έχουν οριστεί από το πρότυπο 802.16e-2005 5 κλάσεις QoS:

3.1 Υπηρεσίες αυτόκλητης αίτησης εύρους ζώνης (Unsolicited Grant Services - UGS)

Στην κλάση αυτή ανήκουν οι υπηρεσίες που αφορούν εκπομπή σταθερού μεγέθους πακέτων (fixed-size packets) σε σταθερό ρυθμό μετάδοσης (Constant-Bit Rate - CBR). Παραδείγματα των εφαρμογών που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τέτοιο είδος υπηρεσίας είναι ο ήχος μέσω IP δικτύου (Voice over IP - VoIP) και η προσομοίωση σύνδεσης τύπου T1/E1. Στις υπηρεσίες αυτές απαραίτητα κριτήρια που πρέπει να εκπληρώνονται είναι: το maximum sustained traffic rate, το maximum latency και το tolerated jitter.

3.2 Υπηρεσίες εκλογής πραγματικού χρόνου (real-time Polling Service - rtPS)

Υπηρεσίες που περιλαμβάνονται σε αυτή την κλάση είναι εκείνες που προβλέπουν μετάδοση πακέτων μεταβλητού μεγέθους (variable-size packets) με μεταβλητό ρυθμό μετάδοσης (Variable Bit Rate - VBR). Εφαρμογές που χρησιμοποιούν τέτοιο τύπο υπηρεσιών είναι όλες αυτές της μετάδοσης εικόνας πραγματικού χρόνου κωδικοποίησης MPEG. Απαραίτητα κριτήρια που πρέπει να εκπληρωθούν στις περιπτώσεις χρησιμοποίησης τέτοιων υπηρεσιών είναι το minimum reserved traffic rate, το maximum sustained traffic rate και το maximum latency.

3.3 Υπηρεσίες εκλογής μη πραγματικού χρόνου (non real-time Polling Service - nrtPS)

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει υπηρεσίες που εκπέμπουν πακέτα μεταβλητού μεγέθους που έχουν μεγάλη ανεκτικότητα καθυστέρησης. Χαρακτηριστικές εφαρμογές που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι αυτές που κάνουν χρήση πρωτοκόλλων μεταφοράς αρχείων (FTP, TFTP). Απαραίτητα κριτήρια που πρέπει να εκπληρωθούν στις περιπτώσεις χρησιμοποίησης τέτοιων υπηρεσιών είναι το minimum reserved traffic rate, το maximum sustained traffic rate και το traffic priority.

3.4 Υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort Service - BE)

Εδώ κατηγοριοποιούνται οι υπηρεσίες που δεν έχουν απαιτήσεις ελάχιστου bandwidth ή περιορισμού καθυστέρησης μετάδοσης. Χαρακτηριστικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν αυτού του είδους τις υπηρεσίες είναι η περιήγηση ιστού (Web browsing) και το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (Email). Απαραίτητα κριτήρια που πρέπει να εκπληρωθούν στις περιπτώσεις χρησιμοποίησης τέτοιων υπηρεσιών είναι το maximum sustained traffic rate και το traffic priority.

3.5 Επεκταμένες Υπηρεσίες εκλογής πραγματικού χρόνου (extended real-time Polling Service - ertPS):

Υπηρεσίες που έχουν απαίτηση χρόνου αλλά μεταδίδουν πακέτα μεταβλητού μεγέθους όπως εφαρμογές VoIP με silence suppression. Η κατηγορία αυτή δεν θα περιληφθεί στο σύστημα προσομοίωσης που έχει αναπτυχθεί καθώς κρίθηκε πως ο τρόπος χρονοπρογραμματισμού των πακέτων των εν λόγω υπηρεσιών συμπίπτει με εκείνον που χρησιμοποιήθηκε για την κλάση rtPS. [11]

4. Αλγόριθμοι Χρονοπρογραμματισμού

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο πυρήνας του μηχανισμού κατανομής εύρους ζώνης σε ένα δίκτυο WiMAX αποτελείται από τους αλγόριθμους χρονοπρογραμματισμού (scheduling algorithms). Η λειτουργία των αλγορίθμων αυτών είναι αποκλειστικά υπεύθυνη για την «δίκαιη» κατανομή bandwidth και προτεραιότητας εξυπηρέτησης πακέτων μεταξύ των συνδέσεων ενός τυπικού δικτύου, με στόχο πάντα την αποτελεσματικότερη ικανοποίηση των αναγκών και των παραμέτρων της κάθε κλάσης ποιότητας υπηρεσίας(QoS).Λαμβάνοντας υπόψη την περιπλοκότητα αλλά και σε ιδιαίτερες περιπτώσεις την σύγκρουση των αναγκών των κλάσεων, μπορούμε να συνειδητοποιήσουμε ότι η ορθή κατανομή των διαθέσιμων πόρων αποτελεί πρόκληση και επομένως χρήζει εκτεταμένης ανάλυσης.

Για την αποδοτικότερη κατηγοριοποίηση των αλγορίθμων που θα εξεταστούν παρακάτω θα διαχωριστούν σε 2 ομάδες: τους ομογενείς αλγορίθμους και τους υβριδικούς.

4.1 Ομογενείς αλγόριθμοι

Είναι οι «παραδοσιακοί» αλγόριθμοι που προβλέπουν πεπατημένες τεχνικές με στόχο την δίκαιη κατανομή πόρων. Οι αλγόριθμοι αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί αρχικά σε ενσύρματα δίκτυα για την ομαλή λειτουργία του μηχανισμού ποιότητας υπηρεσιών τους. Παρόλα αυτά εφαρμόζονται, με τις απαραίτητες τροποποιήσεις, και σε δίκτυα WiMAX για να διασφαλίσουν τις απαιτήσεις των 5 QoS κλάσεων.

4.1.1 Δομή ουράς (First-In-First-Out - FIFO)

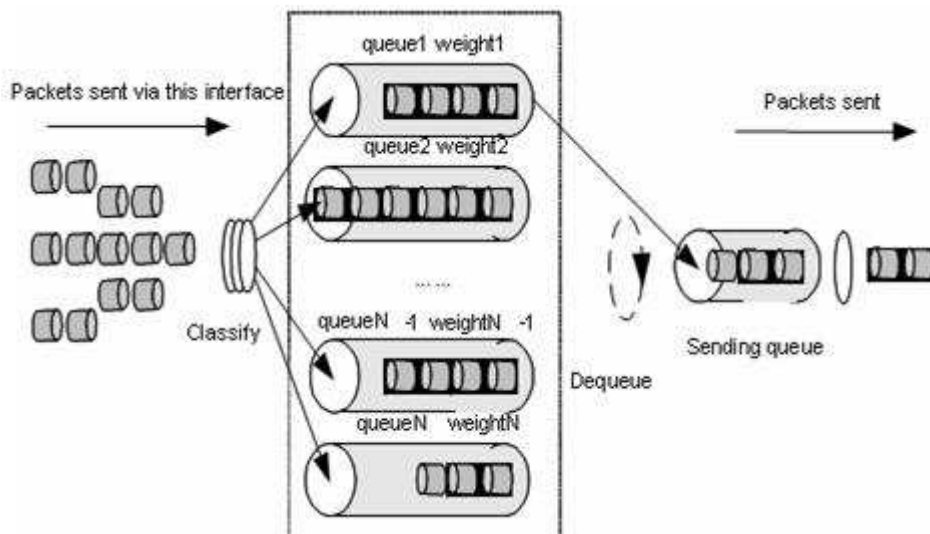
Διαδικασία scheduling που βασίζεται στην απλή τεχνική όπου τα εισερχόμενα πακέτα εξυπηρετούνται βάσει την σειράς άφιξης τους. Η τεχνική αυτή δεν διασφαλίζει καμιά απαίτηση QoS και χρησιμοποιείται κυρίως λόγω της ευκολίας υλοποίησης του.

4.1.2 Αλγόριθμος εξυπηρέτησης εκ περιτροπής (Round Robin- RR)

Η κύρια φιλοσοφία του αλγορίθμου αυτού είναι η κυκλική εξυπηρέτηση μεταξύ των υπάρχοντων ουρών και έχει ως σκοπό την αποφυγή παρατεταμένης στέρησης πόρων(starvation) σε συνδέσεις χαμηλότερης προτεραιότητας. Η λειτουργία του είναι η εξής: Ανά τακτά χρονικά διαστήματα πραγματοποιούνται «περάσματα» όπου σε η κάθε ουρά έχει δικαίωμα μετάδοσης. Ο γύρος εξυπηρέτησης τελειώνει αφότου γίνει πέρασμα από όλες τις ενεργές ουρές. Η κάθε ουρά έχει δικαίωμα να εξυπηρετηθεί μόνο μια φορά στο κάθε γύρο που πραγματοποιείται. Σημειώνεται ότι η χρήση του αλγορίθμου αυτού δεν εγγυάται την ικανοποίηση όλων των αναγκών QoS της κάθε κλάσης και είναι εύλογο ότι δεν συνιστάται για την «δίκαιη» εξυπηρέτηση μεταξύ ουρών με διαφορετικές παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας.

4.1.3 Αλγόριθμος εξυπηρέτησης εκ περιτροπής με βάση το βάρος(Weighted Round Robin - WRR)

Η φιλοσοφία εξακολουθεί να είναι η ίδια με αυτή του προκατόχου του, RR με την βασική όμως διαφορά ότι αναθέτονται «βάρη» σε κάθε ουρά ανάλογα με προτεραιότητα που έχουν βάσει της QoS κλάσης τους. Οι ουρές με μεγαλύτερο βάρος έχουν και το δικαίωμα να στείλουν περισσότερα πακέτα. Σε ένα τυπικό παράδειγμα δικτύου WiMAX όπου θα χρησιμοποιηθεί ο εν λόγω αλγόριθμος, θα δοθεί μεγαλύτερο βάρος στις συνδέσεις τύπου κλάσης rtPS έναντι σε εκείνες τύπου κλάσης nrtPS ή BE.



Σχήμα 4 "Η λειτουργία του αλγορίθμου WRR" [15]

4.1.4 Weighted Fair Queuing – WFQ

Επέκταση του αλγορίθμου WRR η οποία λαμβάνει υπόψη της και το μέγεθος των πακέτων που βρίσκονται στις ουρές. Η λειτουργία του βασίζεται στην κατανομή bandwidth σε κάθε ουρά συνυπολογίζοντας το «βάρος» της αλλά και το μέγεθος των πακέτων. Ο αλγόριθμος αυτός ευνοεί τις ουρές με μεγαλύτερο βάρος και με μεγάλα μεγέθους πακέτα.

4.1.5 Earliest Deadline First - EDF

Ο αλγόριθμος αυτός αναθέτει σε κάθε πακέτο, που φτάνει στην ουρά της σύνδεσης, «χρόνο λήξης»(deadline) βασισμένο στην στιγμή δημιουργίας του και στην ανεκτικότητα του στην καθυστέρηση (maximum delay). Στην συνέχεια δίνει προτεραιότητα στα πακέτα με το μικρότερο Deadline. Τα πακέτα των οποίων περαιώνεται ο χρόνος λήξης, γίνονται drop. Έχει σημαντική χρησιμότητα σε κατανομή προτεραιότητας πακέτων μεταξύ κλάσεων που περιλαμβάνουν εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπως η UGS και rtPS.

4.2 Υβριδικοί αλγόριθμοι

Ο όρος υβριδικός αλγόριθμος αναφέρεται στον συνδυασμό ομογενών αλγορίθμων, όπου ο κάθε ένας είναι υπεύθυνος για την κατανομή πόρων και προτεραιότητας πακέτων μεταξύ συνδέσεων που ανήκουν σε μία ή περισσότερες κλάσεις QoS. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται πιο στοχευόμενα η ικανοποίηση των απαιτήσεων της κάθε υπηρεσίας. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι υβριδικοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν στην υλοποίηση της προσομοίωσης. [12]

4.2.1 EDF + WFQ + FIFO

Υβριδικός αλγόριθμος όπου ο EDF αναλαμβάνει την προτεραιότητα πακέτων συνδέσεων κλάσης UGS σε περίπτωση που δεν επαρκεί το bandwidth για την εξυπηρέτηση του και ο WFQ είναι υπεύθυνος για την κατανομή bandwidth σε συνδέσεις κλάσεων rtPS και nrtPS. Επιπλέον ο FIFO εξυπηρετεί πακέτα που ανήκουν σε συνδέσεις κλάσης BE.

4.2.2 EDF + WRR + FIFO

Υβριδικός αλγόριθμος ίδιας λειτουργίας με τον EDF + WFQ + FIFO με την μόνη παραλλαγή ότι ο WRR είναι υπεύθυνος για το πόσα πακέτα θα μεταδοθούν από συνδέσεις κλάσεων rtPS και nrtPS, λαμβάνοντας πάντα υπόψη το υψηλότερο βάρος του rtPS.

5. Ανάλυση του μηχανισμού scheduling

5.1 Ανάθεση Πόρων Στο Δίκτυο WiMAX

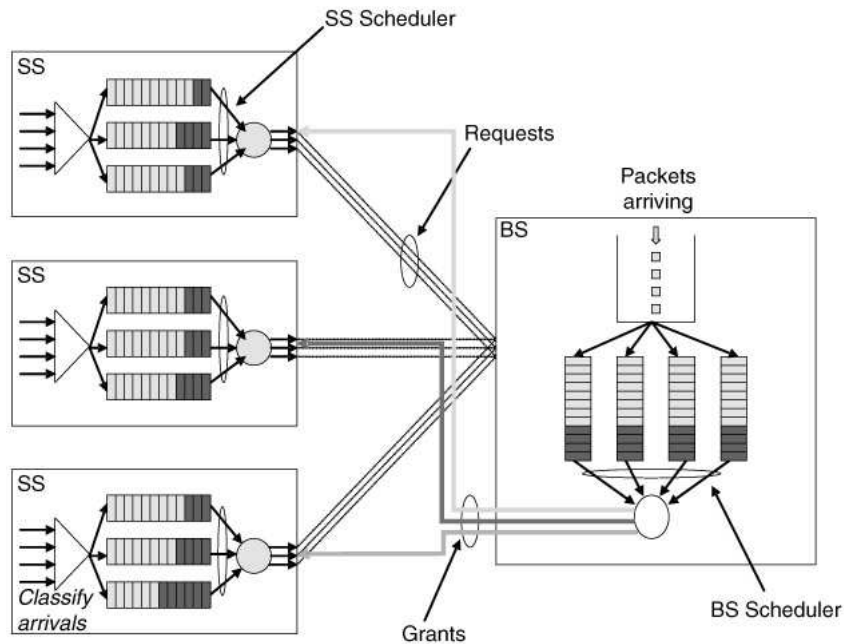
Πριν την εξυπηρέτηση των πακέτων σε ένα δίκτυο WiMAX απαιτείται να κατανεμηθούν πόροι σε κάθε ενεργή σύνδεση του δικτύου ανάλογα με τις ανάγκες τους. Σύμφωνα με το πρότυπο 802.16 ορίζονται 2 τρόποι διαχείρισης αιτήσεων ανάθεσης πόρων (bandwidth requests): ανάθεση πόρων ανά των συνολικών συνδέσεων που υπάρχει στο δίκτυο (Grant Per Connection - GPC) και ανάθεση πόρων ανά Σταθμό Συνδρομητή (Grant Per Subscriber Station - GPSS).

5.1.1 Grant Per Connection - GPC

Την διαδικασία αυτή αναλαμβάνει αποκλειστικά ο BS που χειρίζεται τις αιτήσεις bandwidth από όλες τις συνδέσεις όλων των SS. Όπως είναι προφανές, αυτή η μέθοδος είναι χρήσιμη για δίκτυα με SS οι οποίοι δεν έχουν πολλές ενεργές συνδέσεις κατά μέσο όρο, ενώ το σημαντικό πλεονέκτημα είναι πως επιτρέπει την ύπαρξη πιο «απλών» στην λειτουργία SS.

5.1.2 Grant Per Subscriber Station – GPSS

Σε αυτή την μέθοδο ο BS αναθέτει σε κάθε SS συγκεκριμένο συνολικό bandwidth ανάλογα με τις ανάγκες και τον αριθμό συνδέσεων του, είναι όμως ευθύνη του κάθε σταθμού να αξιοποιήσει και να καταναίμει τους πόρους που του παρέχονται, στις ενεργές συνδέσεις του καλύπτοντας πάντα τις προϋποθέσεις QoS τους που πρέπει να εκπληρωθούν. Παρόλο που η μέθοδος αυτή απαιτεί πιο περίπλοκη λειτουργία των SS, παρέχει αποτελεσματικότερη και πιο στοχευόμενη ανάθεση πόρων, ειδικά σε περιπτώσεις SS που έχουν μεγάλο αριθμό συνδέσεων ενεργό. Η προσομοίωση που έχει αναπτυχθεί αφορά την λειτουργία δικτύων που χρησιμοποιούν την δεύτερη μέθοδο. Συγκεκριμένα, έχει υλοποιηθεί ο μηχανισμός ανάθεσης πόρων που βρίσκεται στον κάθε SS έχοντας υπόψη την κάλυψη των προϋποθέσεων ποιότητας υπηρεσίας της κάθε σύνδεσης. [13], [14]



Σχήμα 5 "Η διαδικασία αιτήσεων ανάθεσης πόρων" [16]

5.2 Λειτουργία Μηχανισμού Προσομοίωσης

Η προσομοίωση που έχει αναπτυχθεί αφορά την διαδικασία του SS κατανομής πόρων στις συνδέσεις του, όπου του έχει ανατεθεί bandwidth 6.5 Mbps για τις ανάγκες uplink ροής δεδομένων με τον τρόπο GPSS που περιγράφηκε παραπάνω. Επιπλέον όπως αναλύεται εκτενώς στο [17] η διάρκεια(η αλλιώς το μέγεθος) ενός frame στο WiMAX εκτείνεται από 2 ms έως 20 ms χρησιμοποιώντας την τεχνική πολύπλεξης OFDMA. Στην προσομοίωση μας η διάρκεια του frame θα είναι 10 ms με διάρκεια λειτουργίας του δικτύου 1 sec ώστε να έχουμε 100 frames. Ο αριθμός των frames αυτός αποτελεί μια ικανοποιητική ποσότητα δειγμάτων για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων με σκοπό τον σχολιασμό της συμπεριφοράς των αλγορίθμων που θα χρησιμοποιηθούν.

5.2.1 Περιγραφή εφαρμογών ενεργών συνδέσεων

Η κάθε μια σύνδεση από τις συνολικά 8 του SS έχει και διαφορετικές απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας. Για παράδειγμα η σύνδεση εφαρμογής VoIP έχει μηδέν ανοχή σε θέματα καθυστέρησης μετάδοσης. Έτσι η κάθε μία σύνδεση κατανέμεται σε μια από τις 4 κλάσεις QoS (UGS, rtPS, nrtPS, BE). Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν τις συνδέσεις είναι οι εξής:

- Μεταφορά φωνής(VoIP codec G.711) με ρυθμό 640kbps. [18]
- Προσομοίωση τύπου T1 σύνδεσης με ρυθμό μετάδοσης 1.5Mbps

- 2 συνδέσεις μετάδοσης εικόνας (video streaming) τύπου MPEG με Single Profile codec (SP) και αναλύσεις εικόνας CIF και 4CIF αντίστοιχα, διαφορετικών ρυθμών frames(Frame Per Second - FPS). [19]
- Μεταφορά αρχείων μέσω FTP, TFTP διαφόρων μεγεθών αρχείων και ρυθμού μετάδοσης.
- Τυπική κίνηση Web Browsing (HTTP).
- Μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου διαφόρου μεγέθους.

5.2.2 Φάσεις προσομοίωσης λειτουργίας

Η διάρκεια του κάθε frame ισοδυναμεί με 400 χρόνο προσομοίωσης και χωρίζεται σε 4 φάσεις, 100 χρόνου προσομοίωσης η κάθε μια. Στην πρώτη φάση 0-100 εισάγονται στον buffer τα πακέτα που δεν έχουν εξυπηρετηθεί στα προηγούμενα frames.

Στην φάση 100-200 δημιουργούνται τα νέα πακέτα της κάθε σύνδεσης και ταυτόχρονα τοποθετούνται στον buffer ακολουθώντας τα πακέτα που δεν έχουν εξυπηρετηθεί. Παράλληλα σε όλη την διάρκεια προσομοίωσης 0-200, κάθε φορά που ένα πακέτο εισάγεται στον buffer, γίνεται έλεγχος αν υπάρχει πληρότητα. Στην περίπτωση αυτή γίνεται υπερχειλίση και το πακέτο αυτό καθώς και τα υπόλοιπα του frame αυτού γίνονται drop.

Στην επόμενη φάση που εκτείνεται στην περίοδο 200-300 εξετάζονται τα πακέτα που υπάρχουν στον buffer και σύμφωνα με το μέγεθος τους ή το βάρος της σύνδεσης που ανήκουν, τίθεται σε λειτουργία ο κατάλληλος αλγόριθμος για την κάθε κλάση QoS ώστε να πραγματοποιηθεί καλύτερη δυνατή κατανομή bandwidth μεταξύ όλων των συνδέσεων που ανήκουν στο δίκτυο.

Στην τελευταία φάση στη περίοδο 300-400, σύμφωνα με την κατανομή πόρων ελέγχονται ποια πακέτα θα μεταδοθούν σε αυτό το frame και τα υπόλοιπα θα ανατροφοδοτηθούν ώστε να εξυπηρετηθούν στο επόμενο κατά σειρά frame, ενώ κάποια άλλα θα γίνουν drop λόγω της λήξης του χρονικού ορίου ζωής του. Στην ολοκλήρωση της φάσης αυτής υπολογίζεται το bandwidth το οποίο έμεινε ανεκμετάλλευτο κατά την διάρκεια του frame είτε λόγω της μη ακριβούς προσαρμογής του ανάλογα με το συνολικό μέγεθος των πακέτων που εξυπηρετήθηκαν ή σε περιπτώσεις που καλύπτει πλήρως την ανάγκη πόρων του frame και υπολείπεται ως αχρησιμοποίητο.

Σε κάθε φάση προτεραιότητα για κατανομή Bandwidth, όπως άλλωστε ορίζει και το πρότυπο 802.16, έχουν τα πακέτα των συνδέσεων που ανήκουν στην κλάση UGS, στην συνέχεια, γίνεται κατανομή πόρων μεταξύ των πακέτων των συνδέσεων rtPS και nrtPS ταυτόχρονα και τέλος το υπολειπόμενο Bandwidth αξιοποιείται από την κλάση BE.

6. Περιγραφή εργαλείου Simulink

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

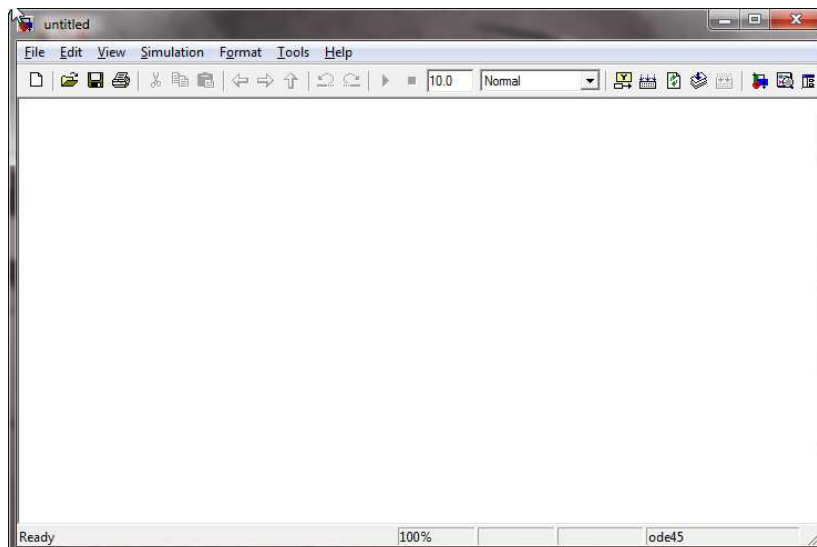
Το Simulink είναι πλατφόρμα προσομοίωσης ενσωματωμένη στην σουίτα του Matlab για την ανάπτυξη συστημάτων που αφορούν πολλά επιστημονικά πεδία. Χρησιμεύει ιδιαίτερα στην μοντελοποίηση διαγραμμάτων αποτελούμενων από blocks διαφόρων λειτουργιών. Το σημαντικό πλεονέκτημα του είναι η αντιπροσωπευτική αναπαράσταση συστημάτων διευκολύνοντας στην κατανόηση τους.

Για να έχουμε πρόσβαση στην πλατφόρμα του Simulink πατάμε το κουμπί που φαίνεται στην εικόνα στην εργαλειοθήκη του Matlab.



6.1 Επιφάνεια Εργασίας

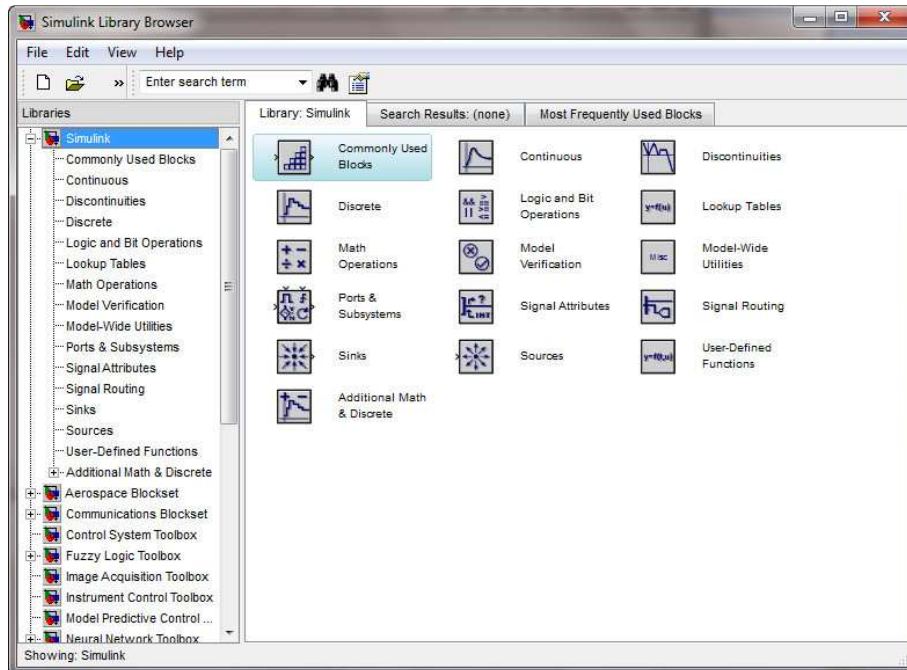
Σε αυτό τον χώρο προσθέτονται τα blocks για την σχεδίαση του συστήματος που θέλουμε να προσομοιώσουμε.



Σχήμα 6 "Επιφάνεια ανάπτυξης προσομοίωσης"

Στην γραμμή μενού στην επιλογή View -> Library Browser ο χρήστης έχει πρόσβαση στα προϋπάρχοντα blocks του Simulink. Υπάρχει πεδίο αναζήτησης με

όνομα του block, ενώ αριστερά υπάρχει κατηγοριοποίηση τους ανάλογα με την χρήση τους. Για την προσθήκη ενός block κάνουμε δεξί κλικ πάνω του και κλικ στην επιλογή “Add to” και το όνομα αρχείου Simulink ή απλά drag n’ drop στην επιφάνεια εργασίας.



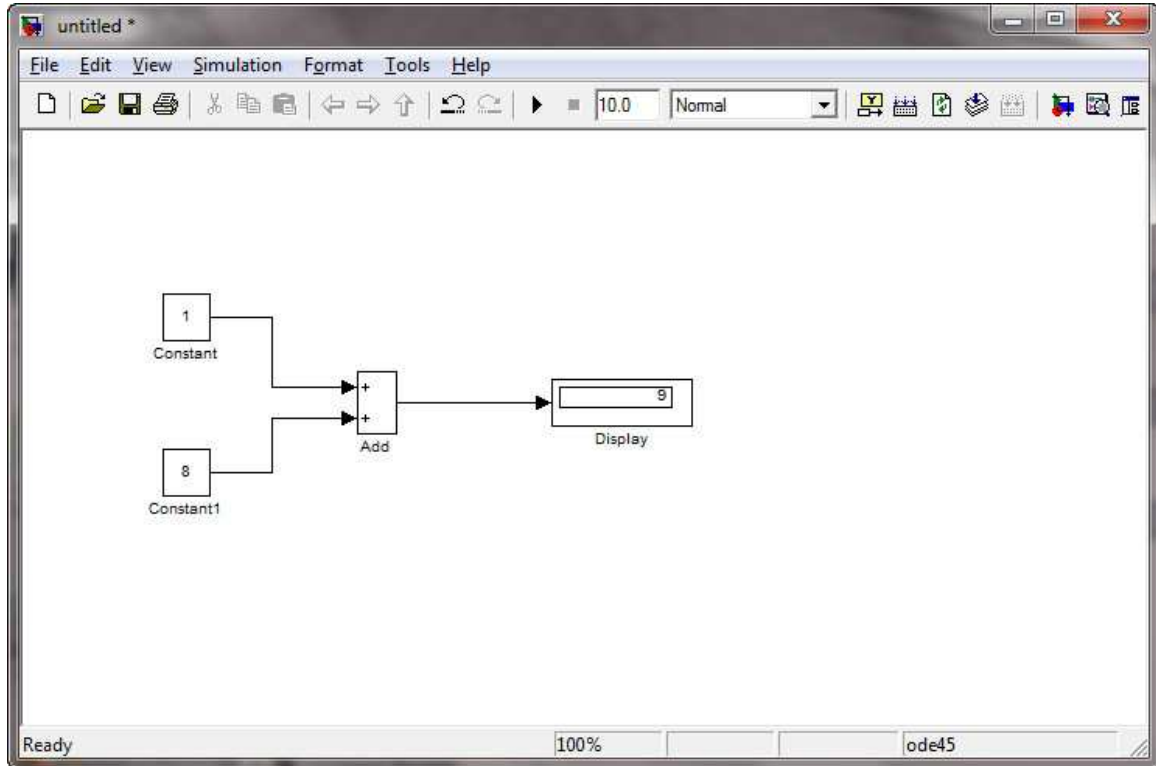
Σχήμα 7 "Παράθυρο πρόσβασης στην βιβλιοθήκη διαθέσιμων blocks"

Ενδεικτικές κατηγορίες blocks είναι τα Commonly Used Blocks όπου βρίσκονται τα block που χρησιμοποιούνται πιο συχνά, όπως το block εισόδου (In1), block Εξόδου (Out1) το block υποσυστήματος (Subsystem), το block τύπωσης αποτελεσμάτων σε διάγραμμα χρόνου (Scope) κ.α., η κατηγορία Math Operations όπου περιέχει block τυπικών αλλά και πιο εξειδικευμένων μαθηματικών πράξεων και συναρτήσεων, η κατηγορίες Sinks και Sources, όπου βρίσκονται blocks τύπωσης αποτελεσμάτων και εισαγωγής δεδομένων αντίστοιχα κ.α.. Επίσης υπάρχουν άλλες κατηγορίες για block που ειδικεύονται σε λειτουργίες διαφόρων επιστημονικών πεδίων όπως τα block Τηλεπικοινωνιών, τα block Συστημάτων Ελέγχου, τα block λογικής Fuzzy κ.α.

6.2 Signals

Τα blocks έχουν θύρες εισόδου, θύρες εξόδου ή και τα δύο ανάλογα με την λειτουργία που εκτελούν και μέσω των θυρών αυτών συνδέονται μεταξύ τους. Η σύνδεση αυτή μπορεί να μεταφέρει μεταξύ τους ένα ή περισσότερα

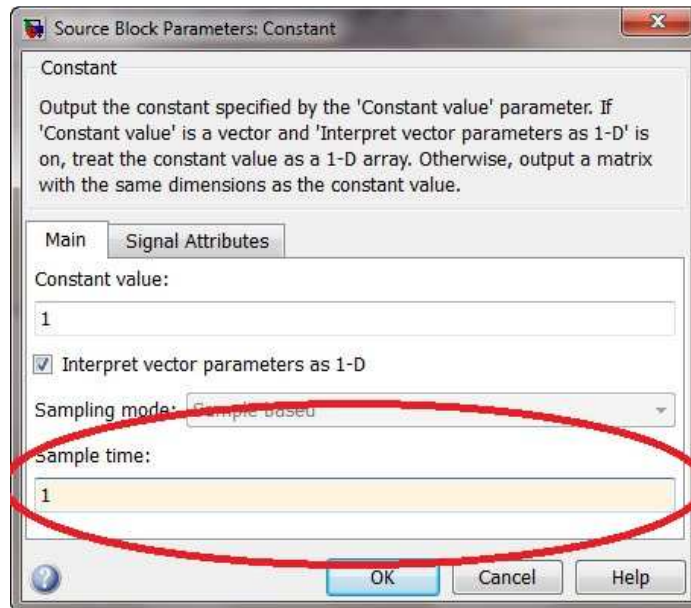
σήματα(signals) τύπου σταθεράς, τυχαίου αριθμού κανονικής κατανομής, παλμού κ.α.. Ένα τυπικό παράδειγμα προσομοίωσης όπου δίνονται δύο σταθερές όπου προσθέτονται και τυπώνεται το αποτέλεσμα τους σε ένα Display Block είναι το εξής:



Σχήμα 8 "Τυπικό Παράδειγμα Προσομοίωσης"

6.3 Εκτέλεση Βημάτων Προσομοίωσης

Η λειτουργία του Simulink κατά την διάρκεια της προσομοίωσης βασίζεται στην εκτέλεση βημάτων . Σε κάθε ένα από αυτά τα βήματα μπορούμε να ορίσουμε ποια blocks που υπάρχουν στο σύστημα μας θα εκτελεστούν, μέσω της παραμέτρου τους «Sample Time». Συγκεκριμένα η παράμετρος Sample Time περιγράφει το μεσοδιάστημα των διαδοχικών εκτελέσεων του block όπου ορίζεται, με πρώτη εκτέλεση την έναρξη της προσομοίωσης. Στις εκτελέσεις αυτές είναι δυνατό να γίνουν διάφορες ενέργειες ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του κάθε block, όπως για παράδειγμα η δημιουργία ενός τυχαίου αριθμού από το Random Source Block, η τρέχουσα πρόσθεση των αριθμών του εισερχομένου σήματος από το Running Sum Block κ.α. Σημειώνουμε ότι η παράμετρος αυτή δεν υπάρχει σε όλα τα blocks του Simulink καθώς σε κάποια από αυτά δεν είναι αναγκαία η ύπαρξη τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα το Bus Signals Block το οποίο συνενώνει 2 ή παραπάνω σήματα σε ένα και όπως είναι εύλογο είναι απαραίτητο να λειτουργεί κατά την διάρκεια όλων των βημάτων.



Σχήμα 9 "Constant Block Parameters Window"

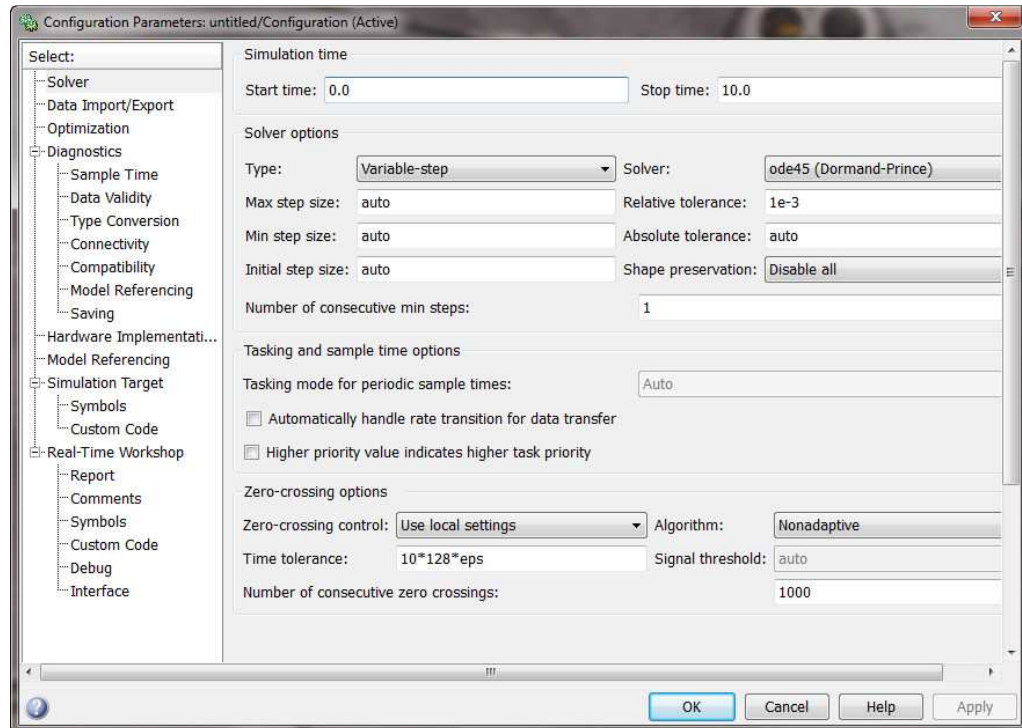
6.4 Ρυθμίσεις παραμέτρων προσομοίωσης

Για να ρυθμίσουμε τον χρόνο προσομοίωσης και άλλες παραμέτρους που αφορά τα βήματα της προσομοίωσης, των τρόπο υπολογισμού του επόμενου βήματος που θα εκτελεστεί κ.α. από την γραμμή μενού επιλέγουμε Simulation->Configuration Parameters. Πρώτη επιλογή που συναντάμε είναι τα πεδία όπου ορίζουμε τον χρόνο έναρξης και λήξης της προσομοίωσης. Στην συνέχεια υπάρχουν οι επιλογές του υπολογιστή εκτέλεσης βήματος (Solver). Υπάρχουν 2 τύποι solvers: Ο solver σταθερού βήματος(Fixed-step) και ο solver μεταβλητού βήματος(Variable-step).

Ο Fixed-step solver απαιτεί από όλα τα blocks που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους να έχουν το ίδιο Sample Time και όπως είναι προφανές να εκτελούνται και στα ίδια, χρονικά, βήματα. Έτσι όλες οι ροές σημάτων στο σύστημα λειτουργούν ταυτόχρονα.

Ο Variable-step solver παρέχει την δυνατότητα στα blocks να εκτελούνται σε βήματα με διαφορετικά intervals το καθένα. Έτσι, για παράδειγμα, μπορεί να υλοποιηθεί ένα σύστημα όπου παράλληλα δύο Running-Sum Blocks προσθέτουν τους πραγματικούς αριθμούς του εισερχόμενου σήματος τους αντίστοιχα, ανά 1 χρόνο προσομοίωσης και στο 100 χρονικό σημείο προσομοίωσης ένα Add Block να προσθέτει τα 2 τρέχοντα αθροίσματα. Στην προσομοίωση που έχει αναπτυχθεί θα χρησιμοποιηθεί Variable-step solver για ευνόητους λόγους ανάγκης ευελιξίας του συστήματος. Στην περίπτωση επιλογής αυτού του είδους solver ενεργοποιούνται παραμέτρους που αφορούν το μέγιστο και ελάχιστο step size, την μέθοδο solving που θα χρησιμοποιηθεί κ.α.

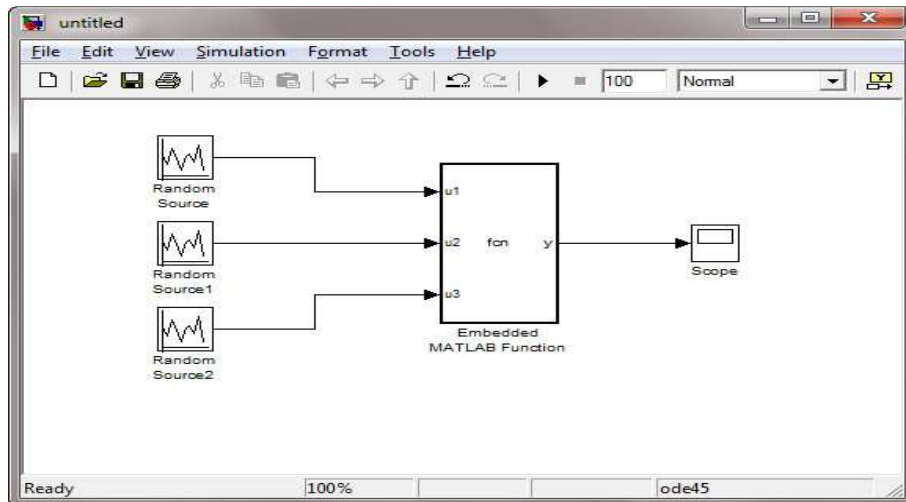
Οι υπόλοιπες επιλογές παραμέτρων τις προσομοίωσης περιγράφουν συνοπτικά τους τρόπου εισαγωγής εξαγωγής δεδομένων στην προσομοίωση, την ανοχή του συστήματος σε λάθη, τις επιλογές που χρειάζονται για την μετατροπή του συστήματος σε κώδικα (αν είναι αυτό εφικτό) κ.α.



Σχήμα 10 "Παράθυρο ορισμού παραμέτρων προσομοίωσης"

6.5 Ενσωματωμένος κώδικας Matlab

Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στα block ενσωμάτωσης κώδικα και πιο συγκεκριμένα στο Embedded Matlab Function το οποίο προσαρμόζει στον κώδικα την λειτουργία μιας υπό-ρουτίνας σε κώδικα Matlab. Το block αυτό ενσωματώνει στην λειτουργία ενός συστήματος προσομοίωσης, την δυνατότητα εκτέλεσης μίας function η οποία δέχεται ως ορίσματα και εξάγει ως αποτελέσματα Simulink signals. Παρακάτω βλέπουμε ένα σύστημα που περιέχει το Embedded Matlab Function block και υλοποιεί μιας υπό-ρουτίνα που διάρκεια προσομοίωσης 100 δέχεται 3 τυχαίους αριθμούς από 0 έως 20 ανά 10 χρόνο προσομοίωσης, υπολογίζει τον μέσο όρο τους και μετά από στρογγυλοποίηση τυπώνει τα αποτελέσματα σε ένα διάγραμμα χρόνου.

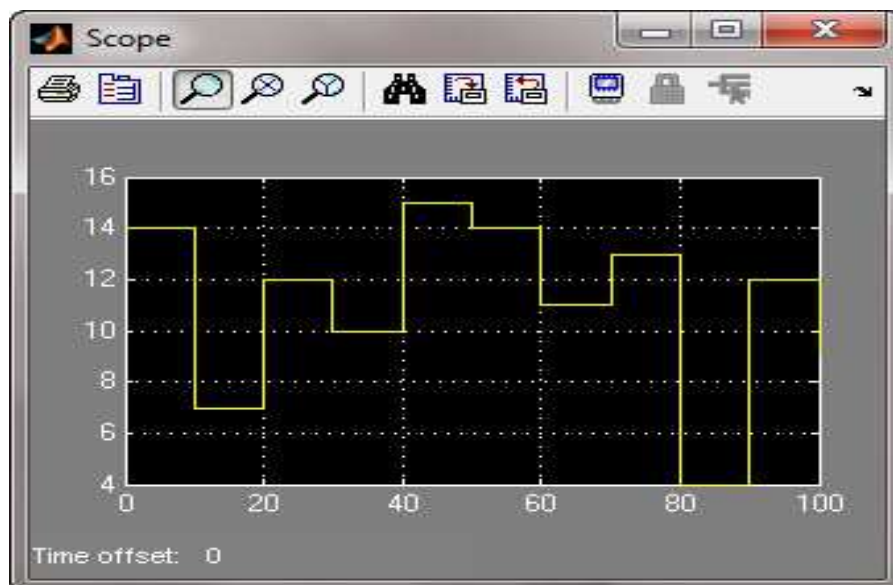


Σχήμα 11 "Τυπική λειτουργία του Embedded Matlab Function Block"

```
1 function y = fcn(u1, u2, u3)
2 %#eml
3
4 sum1 = (u1 + u2 + u3)/3;
5
6 y = round(sum1);
```

The screenshot shows the 'Embedded MATLAB Editor' window. The code is as follows:

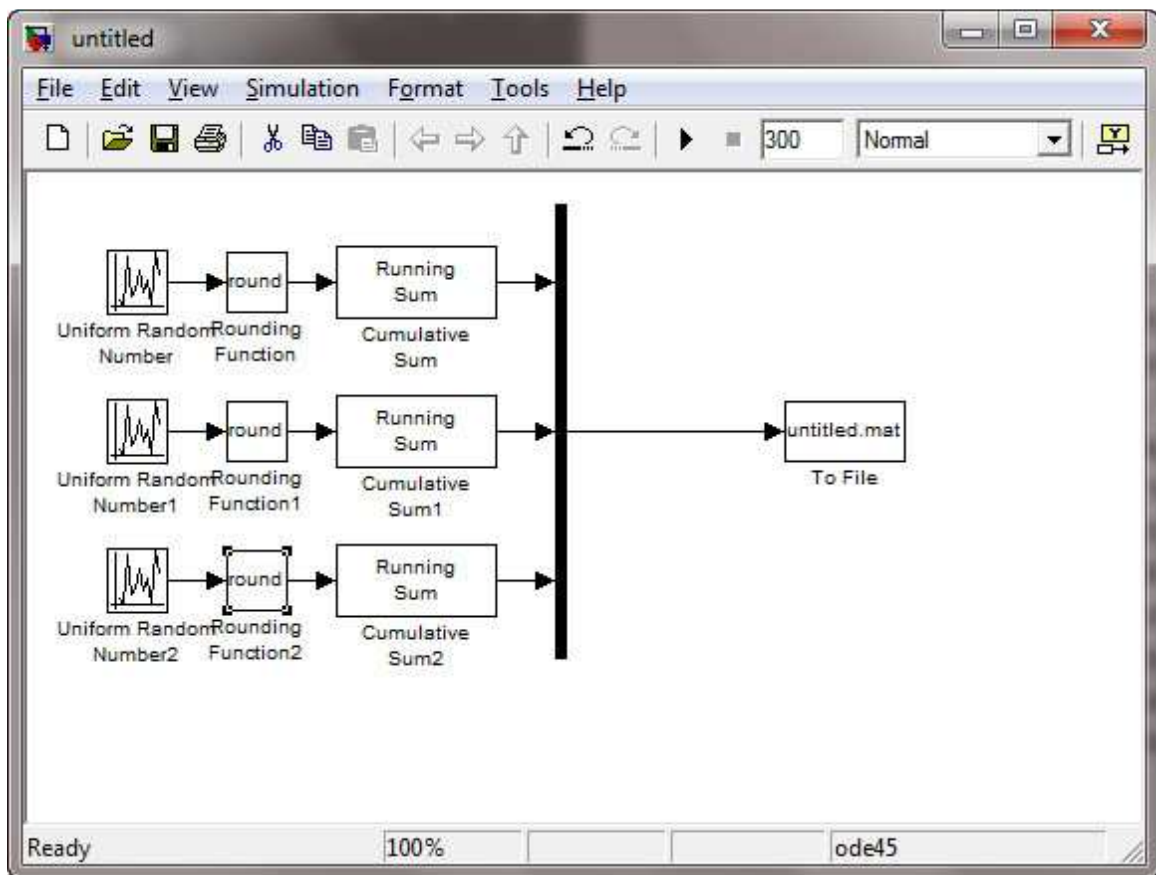
Σχήμα 12 "Παράθυρο σύνταξης ενσωματωμένου κώδικα Matlab"



Σχήμα 13 "Scope Block"

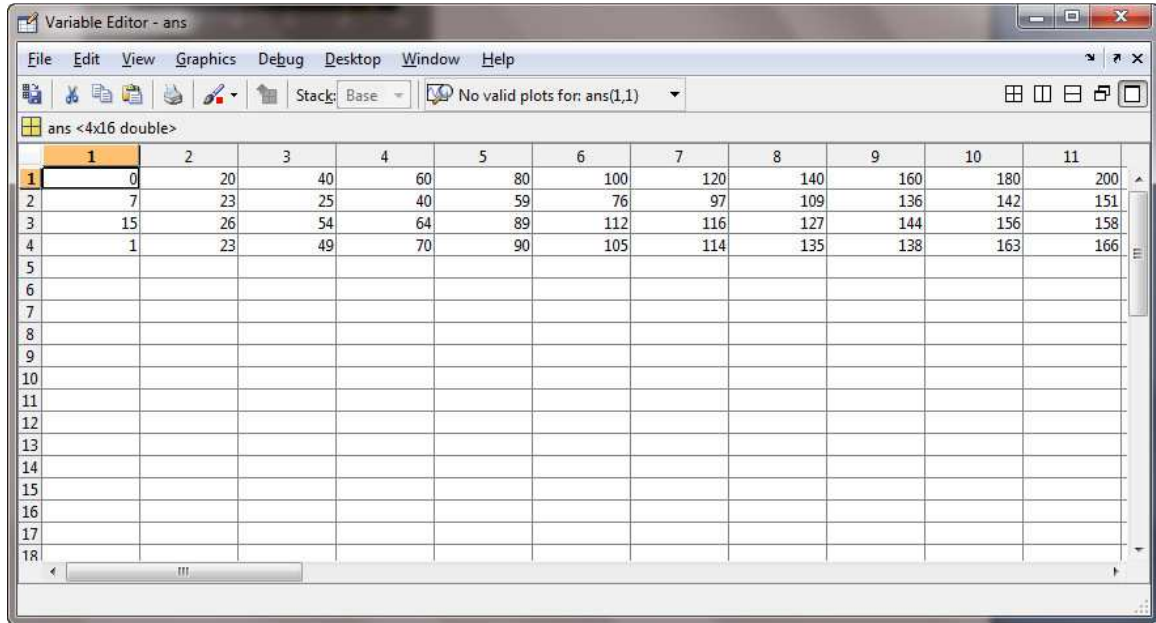
6.6 Τύπωση αποτελεσμάτων

Συνήθως, η τύπωση αποτελεσμάτων της προσομοίωσης μπορεί να γίνει σε διαγράμματα χρόνου και σε απλό Display οπου εμφανίζεται το τελευταίο αποτέλεσμα ενός Signal. Επιπλέον, υπάρχουν άλλοι τρόποι τύπωσης αποτελεσμάτων, όπως εγγραφή σε πίνακα Matlab τύπου .mat μέσω του To File Block. Η ευκολία στον τρόπο τύπωσης αποτελεσμάτων σε πίνακα παρουσιάζεται στο γεγονός ότι μπορούν να εμφανιστούν όλοι οι αριθμοί του κάθε signal στην διάρκεια του χρόνου προσομοίωσης. Έτσι γίνεται εύκολη η συλλογή και ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Παρακάτω παρουσιάζεται η τύπωση, ανά χρόνο προσομοίωσης 20, του τρέχοντος αθροίσματος τριών signals που μεταφέρουν τυχαίους στρογγυλοποιημένους αριθμούς. Σημειώνεται ότι χρησιμοποιείται το Mux Block για την συγχώνευση των signals που θέλουμε να τυπώσουμε σε ένα καθώς το To File Block δέχεται μόνο μια είσοδο.



Σχήμα 14 "Παράδειγμα αξιοποίησης του To File Block"

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Βαρβαρέλη Ιωάννη



ans <4x16 double>

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11						
1	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200						
2	7	23	25	40	59	76	97	109	136	142	151						
3	15	26	54	64	89	112	116	127	144	156	158						
4	1	23	49	70	90	105	114	135	138	163	166						
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	

Σχήμα 15 "Παρουσίαση περιεχομένων πίνακα τύπου .mat"

Η πρώτη γραμμή στον πίνακα είναι το χρονικό στιγμιότυπο προσομοίωσης ενώ οι υπόλοιπες περιέχουν το τρέχων άθροισμα του κάθε signal διαδοχικά.

7. Περιγραφή Blocks Προσομοίωσης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η σχεδίαση και η λειτουργία των υποσυστημάτων που αποτελούν το σώμα του μηχανισμού scheduling που υλοποιήθηκε.

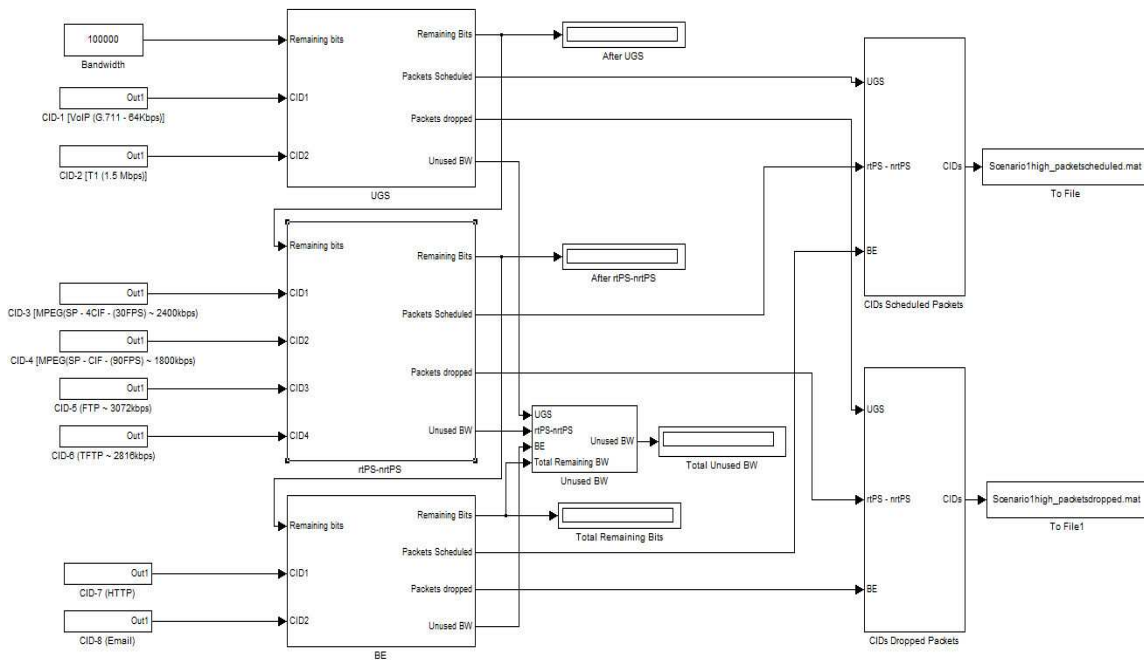
7.1 Η Προσομοίωση

Στην Σχήμα 15 της επόμενης σελίδα, βλέπουμε την προσομοίωση που έχει σχεδιαστεί. Πάνω αριστερά στην εικόνα υπάρχει ένα Constant Block που ορίζει το σύνολο του Bandwidth σε κάθε frame.

Στα block ακριβώς από κάτω από τον ορισμό του Bandwidth βλέπουμε τα blocks δημιουργίας πακέτων για κάθε CID, όπου αυτά με την σειρά τους καταλήγουν στα blocks για κάθε QoS κλάση (rtPS και nrtPS ανήκουν στο ίδιο block καθώς χρησιμοποιούν τον ίδιο scheduling algorithm).

Το κάθε QoS Block έχει ως έξοδο το υπολειπόμενο Bandwidth για τα πακέτα της επόμενης QoS κλάσης, το σύνολο των πακέτων που έγιναν schedule, το σύνολο των πακέτων που έγιναν drop και το σύνολο του Bandwidth που ανήκε στην κλάση αλλά δεν αξιοποιήθηκε. Δίπλα από τα blocks των QoS κλάσεων βρίσκονται Display Blocks για κάθε κλάση που εμφανίζουν το Bandwidth που υπολείπεται για την επόμενη κλάση.

Τα Signals που μεταδίδουν τα scheduled και dropped πακέτα από κάθε κλάση καταλήγουν στα blocks CIDs Scheduled Packets και CIDs Dropped Packets αντίστοιχα. Στα blocks αυτά κρατούνται στατιστικά και γίνεται σύμπτυξη των Signals από κάθε κλάση για να καταλήξουν στα Το File Blocks όπου κρατούνται συγκεκριμένα ποια πακέτα έγιναν schedule και ποια drop κατά το πέρας της προσομοίωσης.

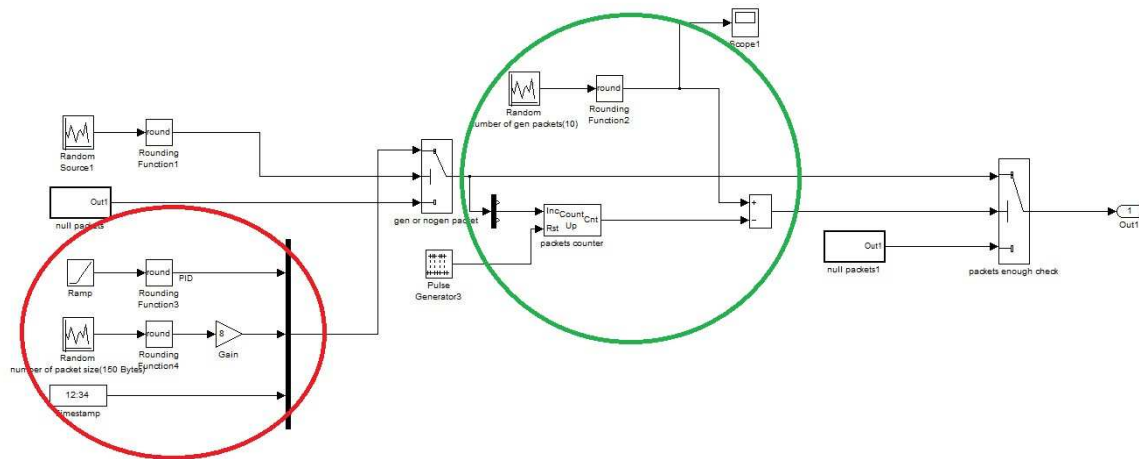


Σχήμα 16 "Η υλοποιημένη προσομοίωση"

7.2 Block Δημιουργίας Πακέτων

Στο Σχήμα 16 παρακάτω, παρουσιάζεται το packet generator block, το οποίο είναι υπεύθυνο για την δημιουργία πακέτων της κάθε σύνδεσης της προσομοίωσης. Όπως φαίνεται στον κόκκινο κύκλο το κάθε πακέτο που δημιουργείται έχει 3 ιδιότητες. Η πρώτη είναι το μοναδικό ID του που παράγεται με ένα Ramp Block και στρογγυλοποιείται για να είναι ακέραιος αριθμός, η δεύτερη είναι το μέγεθος του, που παράγεται από μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών κανονικής κατανομής και τέλος το Timestamp του, δηλαδή η στιγμή παραγωγής του πακέτου σε χρόνο προσομοίωσης. Τα πακέτα δημιουργούνται σε τυχαίες στιγμές σε ένα διάστημα 100 χρόνου προσομοίωσης.

Αφού δημιουργηθεί το πακέτο τότε καταμετράται με ένα Counter Block και ο αριθμός που προκύπτει συγκρίνεται με το εύρος που έχουμε ορίσει για το πλήθος των πακέτων που θέλουμε να δημιουργηθούν. Η λειτουργία αυτή παρουσιάζεται στον πράσινο κύκλο στην παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 17 "Packet Generator Block"

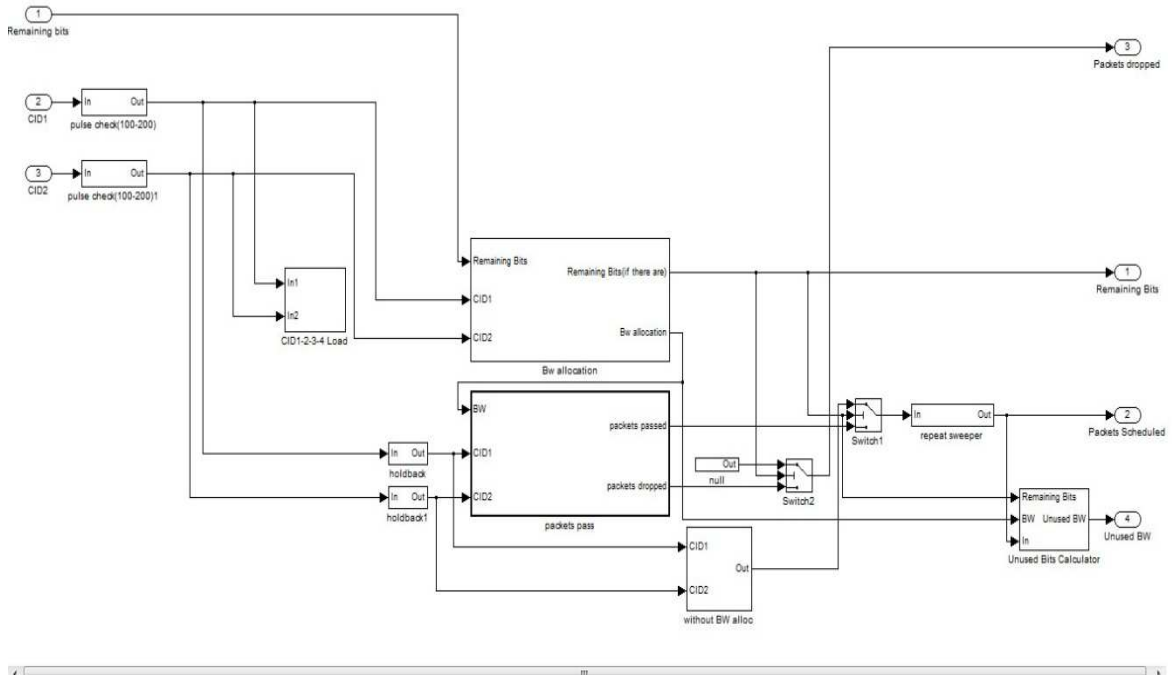
7.3 UGS Block

Σε αυτό το block γίνονται όλες οι απαραίτητες διεργασίες για να το scheduling των πακέτων των συνδέσεων QoS κλάσης UGS. Το Block έχει 3 εισόδους, ή πρώτη αφορά το διαθέσιμο Bandwidth, ενώ οι άλλες 2 αφορούν της 2 συνδέσεις της κλάσης. Τα 2 signals που ανήκουν στις συνδέσεις φτάνουν πρώτα σε ένα block που καθορίζει ότι θα περνάν καινούργια δημιουργημένα πακέτα στην φάση προσομοίωσης 100-200 που αναφέρθηκε στο 5.2.2 Υποκεφάλαιο, ενώ ταυτόχρονα το CIDs Load Block συλλέγει στατιστικά για τον φόρτο των 2 συνδέσεων.

Στην συνέχεια τα πακέτα εισέρχονται στο Bandwidth Allocation Block για την κατανομή bandwidth μεταξύ των συνδέσεων, η λειτουργία του οποίου θα περιγραφεί παρακάτω. Όσο εκτελείται η κατανομή Bandwidth, γίνεται holdback των πακέτων για 100 χρόνο προσομοίωσης μέχρι να εισέρθουν στο Packets Passed Block που ελέγχει ποια από αυτά θα δρομολογηθούν και ποια θα γίνουν drop. Η λειτουργία αυτή είναι η φάση 300-400 της προσομοίωσης.

Τα υπόλοιπα blocks στο υποσύστημα εκτελούν διάφορες λειτουργίες όπως τον υπολογισμό του αχρησιμοποίητου Bandwidth ή για την διευκόλυνση της παρουσίασης των αποτελεσμάτων προσομοίωσης.

Οι έξοδοι του block είναι: η έξοδος των scheduled πακέτων, η έξοδος των dropped πακέτων, η έξοδος του υπολειπόμενου bandwidth καθώς και των αχρησιμοποίητων πόρων.

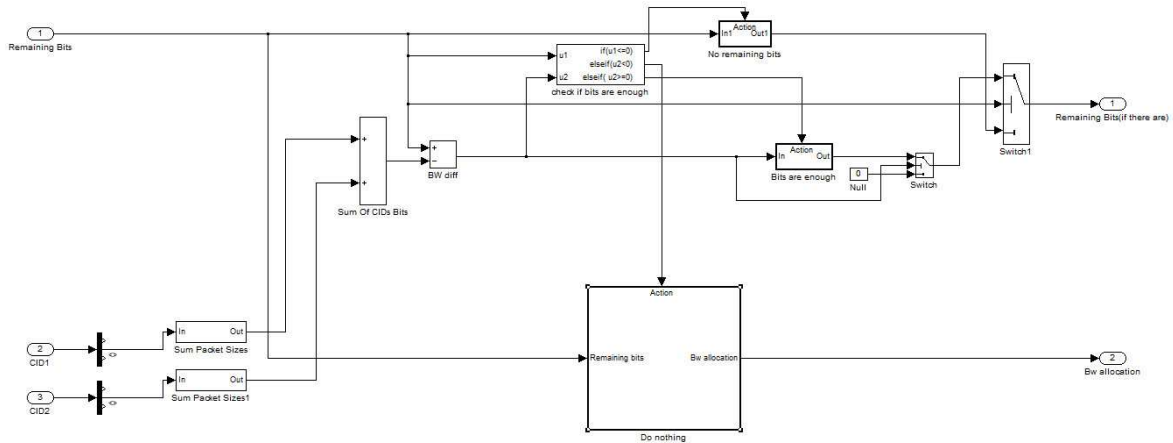


Σχήμα 18 "BE Block"

7.3.1 Bandwidth Allocation Block

Το Block αυτό είναι υπεύθυνο για να ελεγχθεί αν είναι επαρκές το Bandwidth ώστε να εξυπηρετηθούν τα πακέτα των συνδέσεων. Η 1^η έξοδος περιέχει το υπολειπόμενο Bandwidth. Αν το Bandwidth είναι επαρκές, τότε αφαιρείται από αυτό το σύνολο των μεγεθών από τα πακέτα και στην έξοδο περνάει το αποτέλεσμα. Αν το Bandwidth δεν είναι επαρκές τότε ενεργοποιείται το block που το κατανέμει ανάλογα με τις ανάγκες των συνδέσεων και περνάει τις πληροφορίες της κατανομής αυτής στην 2^η έξοδο. Στην περίπτωση του EDF αλγόριθμου που χρησιμοποιείται εδώ, το block αυτό δεν εκτελεί καμία λειτουργία, καθώς όπως έχουμε αναφέρει, η λειτουργία του EDF βασίζεται αποκλειστικά στην χρονική στιγμή δημιουργίας του πακέτου και όπως είναι εύλογο η 2^η έξοδος υπάρχει στο block αυτό για λόγους συμβατότητας και μόνο. Αν το Bandwidth έχει αρνητική τιμή τότε δεν γίνεται καμία ενέργεια και περνάει στις επόμενες κλάσεις οπου και εκεί με την σειρά του θα απορριφθεί. Όλη η λειτουργία του block αυτού πραγματοποιείται στην 3^η φάση της προσομοίωσης(200-300) που περιγράφηκε στο Υποκεφάλαιο 5.3.3.

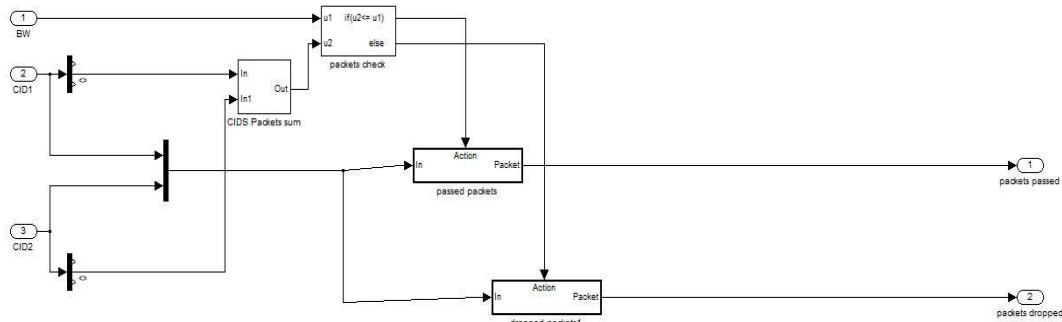
Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Βαρβαρέλη Ιωάννη



Σχήμα 19 "BE - Bandwidth Allocation Block"

7.3.2 Packets Passed Block

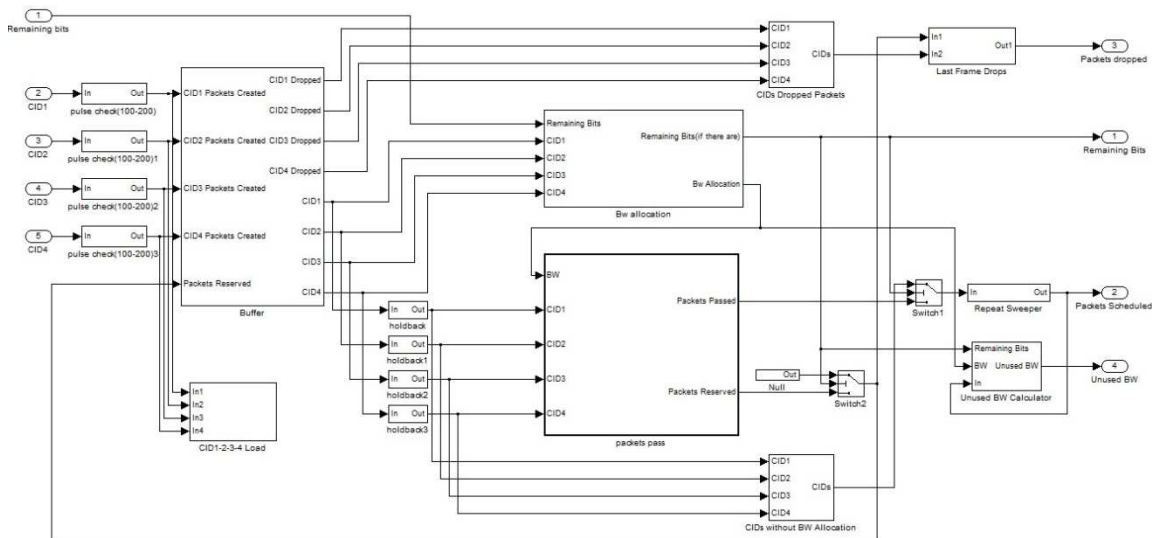
Το Block αυτό επιτρέπει τα πακέτα να δρομολογούνται όσο υπάρχει διαθέσιμο Bandwidth. Τα πακέτα του UGS έρχονται βάσει της χρονικής στιγμής που δημιουργούνται οπότε και γίνονται schedule με αυτό τον τρόπο. Τα πακέτα που δεν μπορούν να γίνουν schedule τότε γίνονται drop λόγω της μηδενικής ανοχής της QoS κλάσης στην καθυστέρηση.



Σχήμα 20 "Packets Passed Block"

7.4 rtPS – nrtPS Block

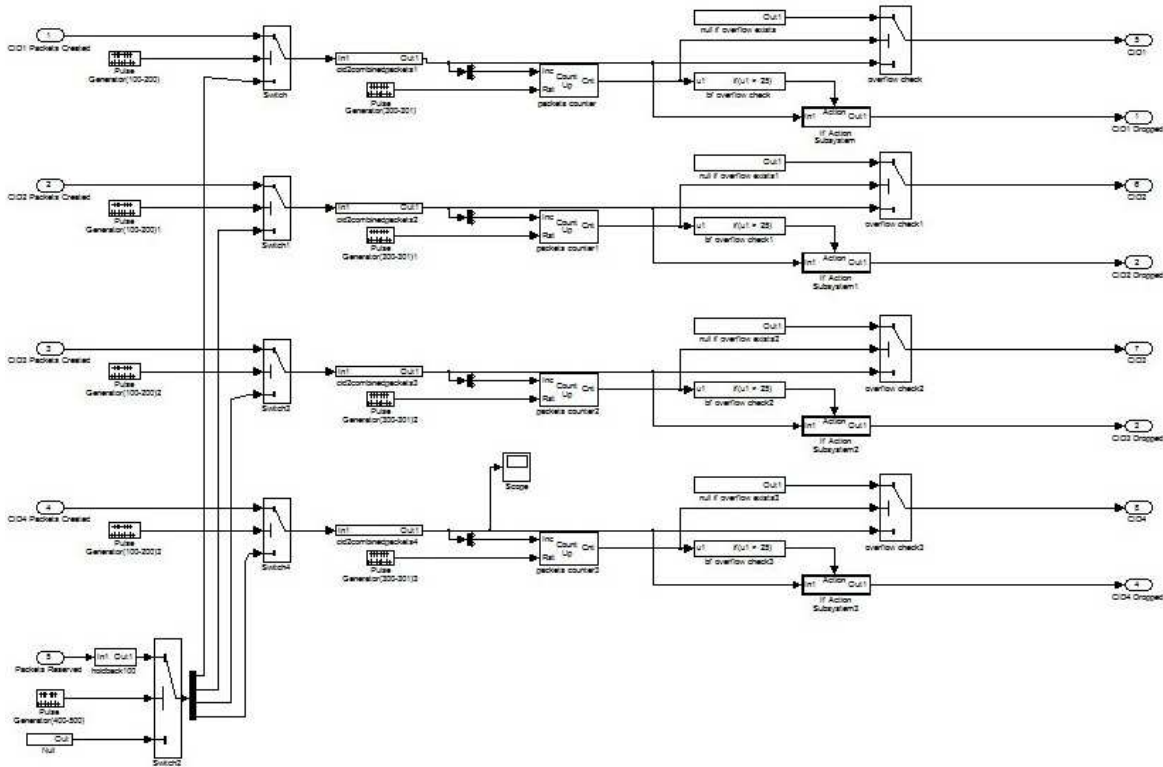
Η λειτουργία του block αυτού είναι αντίστοιχη με αυτή του EDF block με την διαφορά το Buffer Block, καθώς και η λειτουργία ανατροφοδότησης, στο επόμενο frame, των πακέτων που δεν έχουν δρομολογηθεί στο τρέχων. Η ανατροφοδότηση αυτή είναι η 1^η φάση της προσομοίωσης που αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 5.2.2. Το Block αυτό διαχειρίζεται συνολικά 4 συνδέσεις.



Σχήμα 21 "rtPS – nrtPS Block"

7.4.1 Buffer Block

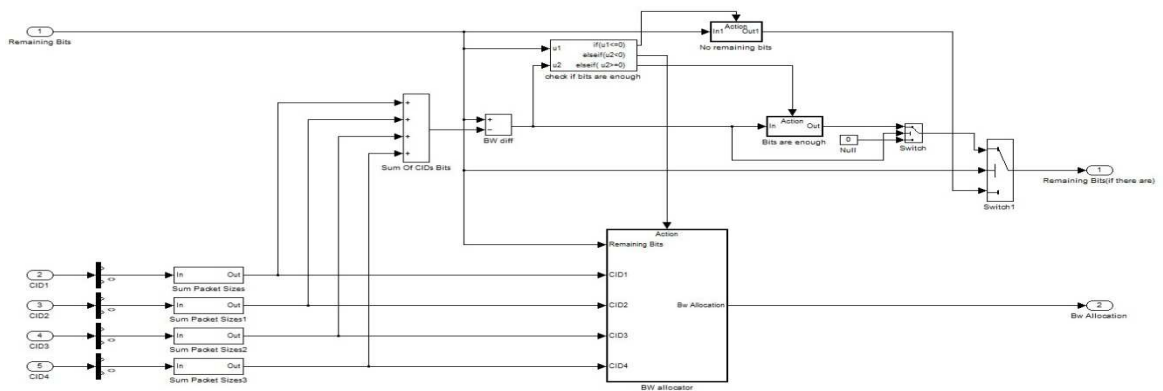
Το block αυτό έχει 4 εισόδους για την εισροή πακέτων από τις αντίστοιχες 4 συνδέσεις της κλάσης rtPS και nrtPS και μία επιπλέον είσοδο για την ανατροφοδότηση των πακέτων που δεν έχουν γίνει scheduled στο προηγούμενο frame. Με την βοήθεια των Switch Blocks που φαίνεται παρακάτω στην εικόνα εισέρχονται στην ουρά κάθε σύνδεσης αντίστοιχα, πρώτα τα ανατροφοδοτούμενα πακέτα και μετά τα πακέτα που δημιουργήθηκαν στην διάρκεια του τρέχοντος frame. Ταυτόχρονα με την εισροή των πακέτων γίνεται έλεγχος αν υπάρχει υπερχειλίση του buffer, και αν αυτό ισχύει τα πακέτα πάνω από το όριο υπερχειλίσης γίνονται drop. Οι 8 έξοδοι του block είναι τα πακέτα που πρόκειται να εισέλθουν στον μηχανισμό scheduling και τα πακέτα που θα γίνουν drop για τις 4 συνδέσεις αντίστοιχα.



Σχήμα 22 "Buffer Block"

7.4.2 Bandwidth Allocation Block

Ο έλεγχος του Bandwidth σε αυτό το block είναι ίδιος με αυτόν του αντιστοίχου block της κλάσης UGS. Η επιπλέον λειτουργία είναι η ύπαρξη του Allocator block όπου ανάλογα με τον αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού που χρησιμοποιείται εκτελείται και ο αντίστοιχος μηχανισμός κατανομής πόρων.



Σχήμα 23 "rtPS-nrtPS - Bandwidth Allocation Block"

7.4.2.1 WRR Allocation Block

Το block αυτό περιέχει τον αλγόριθμο κατανομής Bandwidth που χρησιμοποιεί η τεχνική WRR. Στην ενσωματωμένη Matlab συνάρτηση που έχει χρησιμοποιηθεί λειτουργεί ο κώδικας που παρουσιάζεται στην συνέχεια.

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- BW: Το διαθέσιμο bandwidth
- cid1, cid2, cid3, cid4: Το πλήθος των πακέτων που μπορούν να εισέλθουν στο frame για κάθε μία από τις 4 συνδέσεις, υπολογιζόμενο από τον αλγόριθμο που περιγράφεται.
- cidx_packets: το συνολικό πλήθος πακέτων που έχουν δημιουργηθεί και ανήκουν στην κάθε σύνδεση.
- cids_mean_packet_size: Το μέσο μέγεθος των πακέτων (ορίζεται από τον χρήστη).
- BW_packets: Ο κατά προσέγγιση μέγεθος χωρητικότητας σε αριθμό πακέτων του frame.
- cidx_mrtr: Το minimum reserved traffic rate της κάθε σύνδεσης.
- cidx_weight: Το βάρος της κάθε σύνδεσης.
- cidx_to_be_served: Τα πακέτα που δικαιούται να εισέλθουν στο frame για κάθε σύνδεση βάσει του βάρους της.

Οι 5 παράμετροι της συνάρτησης περιγράφουν το διαθέσιμο bandwidth και το σύνολο των πακέτων των 4 συνδέσεων (rtPS και nrtPS) αντίστοιχα. Το διαθέσιμο bandwidth διαιρείται με το μέσο μέγεθος που έχει οριστεί για τα πακέτα που δημιουργούνται και προκύπτει ο αριθμός των πακέτων που μπορεί να εξυπηρετήσει το frame. Στην συνέχεια υπολογίζεται το βάρος της κάθε σύνδεσης σύμφωνα με το minimum reserved traffic rate, το οποίο περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3 και το οποίο ορίζει ο χρήστης. Για την ακριβέστερη συλλογή αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος συνδυασμός minimum reserved traffic rate των 4 συνδέσεων για το κάθε τύπο traffic της προσομοίωσης (low, medium, high).

```
function [cid1, cid2, cid3, cid4] = BW_allocation(BW, cid1_packets,
cid2_packets, cid3_packets, cid4_packets)

cids_mean_packet_size = 1148; %mean packet size of the 4 CIDs

BW_packets = round(BW/cids_mean_packet_size); %estimated packets that can
be served due to the available BW

cid1_mrtr = 1200; %minimum reserved traffic rate(kbits)
```


Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Βαρβαρέλη Ιωάννη

```
cid2_mrtr = 900;  
cid3_mrtr = 300;  
cid4_mrtr = 150;
```

%CIDs Weights

```
cid1_weight = cid1_mrtr/(cid1_mrtr + cid2_mrtr + cid3_mrtr + cid4_mrtr);  
cid2_weight = cid2_mrtr/(cid2_mrtr + cid3_mrtr + cid4_mrtr);  
cid3_weight = cid3_mrtr/(cid3_mrtr + cid4_mrtr);
```

Για κάθε CID και εφόσον έχει υπολογιστεί το βάρος τους, υπολογίζεται ο αριθμός πακέτων που δικαιούνται να εισέλθουν στο frame. Κατόπιν γίνεται έλεγχος αν ο αριθμός αυτός είναι μεγαλύτερος ή ίσος από τα πακέτα που περιμένουν να εισέλθουν στο frame. Αν η περίπτωση αυτή ισχύει τότε εισέρχονται στο frame ακριβώς όσα πακέτα περιμένουν να εισέλθουν. Αν όχι, τότε εισέρχονται στο frame όσα πακέτα έχουν υπολογιστεί βάσει του βάρους της κάθε σύνδεσης. Ο έλεγχος αυτός εκτελείται ώστε οποιοδήποτε CID, ασχέτως από το βάρος του, να μην χρησιμοποιήσει παραπάνω πακέτα από αυτά που περιέχει ο buffer της με σκοπό να γίνουν schedule. Ο αλγόριθμος αυτός εκτελείται διαδοχικά για όλα τα CIDs εκτός από το τελευταίο όπου δέχεται ότι απομένει από το πλήθος των πακέτων.

```
%-----CID1-----  
cid1_to_be_served = round(BW_packets * cid1_weight);  
  
if(cid1_to_be_served >= cid1_packets)  
    BW_packets = BW_packets - cid1_packets;  
    cid1 = cid1_packets;  
else  
    cid1 = cid1_to_be_served;  
    BW_packets = BW_packets - cid1_to_be_served;  
end  
%-----CID2-----  
  
cid2_to_be_served = round(BW_packets * cid2_weight);  
  
if(cid2_to_be_served >= cid2_packets)  
    BW_packets = BW_packets - cid2_packets;  
    cid2 = cid2_packets;  
else  
    cid2 = cid2_to_be_served;  
    BW_packets = BW_packets - cid2_to_be_served;  
end  
%-----CID3-----  
  
cid3_to_be_served = round(BW_packets * cid3_weight);  
  
if(cid3_to_be_served >= cid3_packets)  
    BW_packets = BW_packets - cid3_packets;  
    cid3 = cid3_packets;
```

```

else
    cid3 = cid3_to_be_served;
    BW_packets = BW_packets - cid3_to_be_served;

end
%-----
%-----CID4-----
cid4 = BW_packets;

```

```

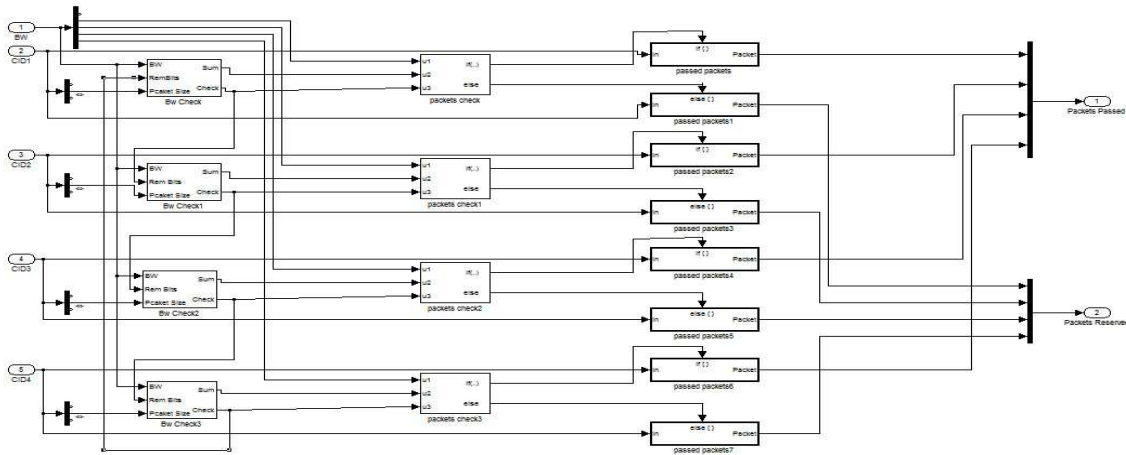
4  BW_packets = round(BW/cids_mean_packet_size); %estimated packets that can be served due to the available BW
5
6
7  cid1_mrtr = 1200; %minimum reserved traffic rate(kbits)
8  cid2_mrtr = 900;
9  cid3_mrtr = 300;
10 cid4_mrtr = 150;
11
12 %CIDs Weights
13 cid1_weight = cid1_mrtr/(cid1_mrtr + cid2_mrtr + cid3_mrtr + cid4_mrtr);
14 cid2_weight = cid2_mrtr/(cid2_mrtr + cid3_mrtr + cid4_mrtr);
15 cid3_weight = cid3_mrtr/(cid3_mrtr + cid4_mrtr);
16
17
18 %-----CID1-----
19 cid1_to_be_served = round(BW_packets * cid1_weight);
20
21 if(cid1_to_be_served >= cid1_packets)
22     BW_packets = BW_packets - cid1_packets;
23     cid1 = cid1_packets;
24 else
25     cid1 = cid1_to_be_served;
26     BW_packets = BW_packets - cid1_to_be_served;
27 end
28 %-----
29
30 %-----CID2-----
31 cid2_to_be_served = round(BW_packets * cid2_weight);
32
33 if(cid2_to_be_served >= cid2_packets)
34     BW_packets = BW_packets - cid2_packets;
35     cid2 = cid2_packets;
36 else
37

```

Σχήμα 24 "Αλγόριθμος WRR"

7.4.2.2 WRR Packets Pass Block

Για την κάθε σύνδεση ελέγχεται πόσα πακέτα θα γίνουν scheduled σύμφωνα με το Bandwidth σε αριθμό πακέτων που της έχει αποδοθεί από τον αλγόριθμο WRR. Ταυτόχρονα τα blocks BW Check ελέγχουν διαδοχικά για κάθε σύνδεση εάν έχει εξαντληθεί το διαθέσιμο bandwidth σε bits. Τα πακέτα που επιτυγχάνουν να εισέλθουν στο frame προωθούνται στην 1^η έξοδο, ενώ τα υπόλοιπα ανατροφοδοτούνται μέσω της 2^{ης} εξόδου. Η υλοποίηση του παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Σχήμα 25 "WRR - Block Ελέγχου εισροής πακέτων στο frame"

7.4.2.3 WFQ Allocator Block

Το block αυτό περιέχει τον αλγόριθμο κατανομής Bandwidth που χρησιμοποιεί η τεχνική WRR. Στην ενσωματωμένη Matlab συνάρτηση που έχει χρησιμοποιηθεί λειτουργεί ο παρακάτω κώδικας.

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- BW: Το διαθέσιμο bandwidth
- cid1, cid2, cid3, cid4: Το πλήθος των πακέτων που μπορούν να εισέλθουν στο frame για κάθε μία από τις 4 συνδέσεις, υπολογιζόμενο από τον αλγόριθμο που περιγράφεται.
- cidx_size: το συνολικό μέγεθος σε bits των πακέτων που έχουν δημιουργηθεί και ανήκουν στην κάθε σύνδεση.
- cidx_mrtr: Το minimum reserved traffic rate της κάθε σύνδεσης.
- cidx_weight: Το βάρος της κάθε σύνδεσης.
- cidx_to_be_served: Τα bandwidth σε bits που δικαιούται η κάθε σύνδεση σύμφωνα με το βάρος της.

Οι 5 παράμετροι της συνάρτησης αποτελούνται από το διαθέσιμο bandwidth και το σύνολο του μεγέθους πακέτων των 4 συνδέσεων (rtPS και nrtPS) αντίστοιχα.. Όπως και στον αλγόριθμο WRR υπολογίζεται το βάρος της κάθε σύνδεσης σύμφωνα με το minimum reserved traffic rate.

```
function [cid1, cid2, cid3, cid4] = BW_allocation(BW, cid1_size,
cid2_size, cid3_size, cid4_size)
%#eml
```

```
cid1_mrtr = 1200; %minimum reserved traffic rate(kbits)
```

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Βαρβαρέλη Ιωάννη

```
cid2_mrtr = 900;  
cid3_mrtr = 300;  
cid4_mrtr = 150;
```

```
%CIDs Weights
```

```
cid1_weight = cid1_mrtr/(cid1_mrtr + cid2_mrtr + cid3_mrtr + cid4_mrtr);  
cid2_weight = cid2_mrtr/(cid2_mrtr + cid3_mrtr + cid4_mrtr);  
cid3_weight = cid3_mrtr/(cid3_mrtr + cid4_mrtr);
```

Όπως και στον WRR για κάθε CID υπολογίζεται το βάρος σύμφωνα με το minimum reserved traffic rate και στην συνέχεια, υπολογίζεται το μέγεθος διαθέσιμου bandwidth σε bits. Για κάθε σύνδεση γίνεται έλεγχος αν το bandwidth αυτό είναι μεγαλύτερο ή ίσο από το σύνολο του μεγέθους των πακέτων. Αν ναι, τότε εισέρχονται στο frame όλα τα πακέτα της σύνδεσης. Αν όχι, τότε εισέρχονται στο frame όσα πακέτα είναι δυνατό βάσει του συνόλου των μεγεθών τους. Ο αλγόριθμος αυτός εκτελείται διαδοχικά για όλα τα CIDs εκτός από το τελευταίο όπου το εναπομένον bandwidth είναι και αυτό που μπορεί να χρησιμοποιήσει.

```
%-----CID1-----  
cid1_to_be_served = round(BW * cid1_weight);
```

```
if(cid1_to_be_served >= cid1_size)  
    BW = BW - cid1_size;  
    cid1 = cid1_size;
```

```
else  
    cid1 = cid1_to_be_served;  
    BW = BW - cid1_to_be_served;
```

```
end
```

```
%-----CID2-----
```

```
%-----CID2-----  
cid2_to_be_served = round(BW * cid2_weight);
```

```
if(cid2_to_be_served >= cid2_size)  
    BW = BW - cid2_size;  
    cid2 = cid2_size;
```

```
else  
    cid2 = cid2_to_be_served;  
    BW = BW - cid2_to_be_served;
```

```
end
```

```
%-----CID3-----
```

```
%-----CID3-----  
cid3_to_be_served = round(BW * cid3_weight);
```

```
if(cid3_to_be_served >= cid3_size)  
    BW = BW - cid3_size;  
    cid3 = cid3_size;
```

```
else  
    cid3 = cid3_to_be_served;  
    BW = BW - cid3_to_be_served;
```

```
end
```

$\%$ -----
 $\%$ -----CID4-----
 cid4 = BW;

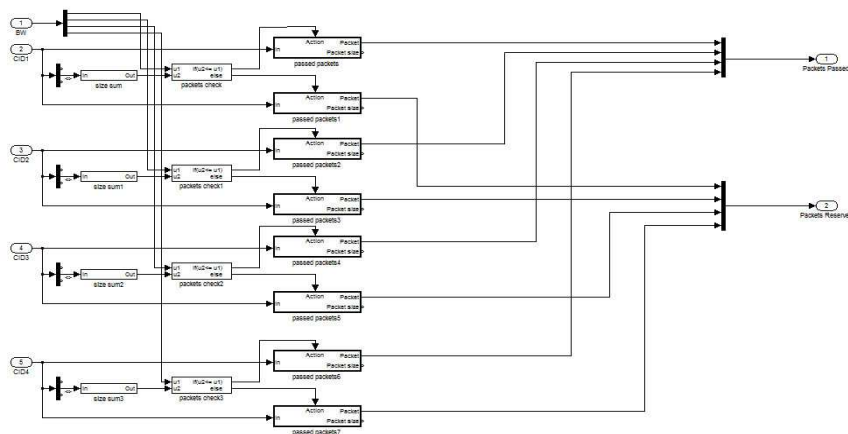
```

1  function [cid1, cid2, cid3, cid4] = BW_allocation(BW, cid1_size, cid2_size, cid3_size, cid4_size)
2  %%eml
3
4  cid1_mrtr = 1200; %minimum reserved traffic rate(kbits)
5  cid2_mrtr = 900;
6  cid3_mrtr = 300;
7  cid4_mrtr = 150;
8
9  %CIDs Weights
10 cid1_weight = cid1_mrtr/(cid1_mrtr + cid2_mrtr + cid3_mrtr + cid4_mrtr);
11 cid2_weight = cid2_mrtr/(cid2_mrtr + cid3_mrtr + cid4_mrtr);
12 cid3_weight = cid3_mrtr/(cid3_mrtr + cid4_mrtr);
13
14
15 %-----CID1-----
16 cid1_to_be_served = round(BW * cid1_weight);
17
18 if(cid1_to_be_served >= cid1_size)
19     BW = BW - cid1_size;
20     cid1 = cid1_size;
21 else
22     cid1 = cid1_to_be_served;
23     BW = BW - cid1_to_be_served;
24 end
25 %-----CID2-----
26
27 %-----CID2-----
28 cid2_to_be_served = round(BW * cid2_weight);
29
30 if(cid2_to_be_served >= cid2_size)
31     BW = BW - cid2_size;
32     cid2 = cid2_size;
33 else
34
    
```

Σχήμα 26 "Αλγόριθμος WFQ"

7.4.2.4 WFQ Packets Pass Block

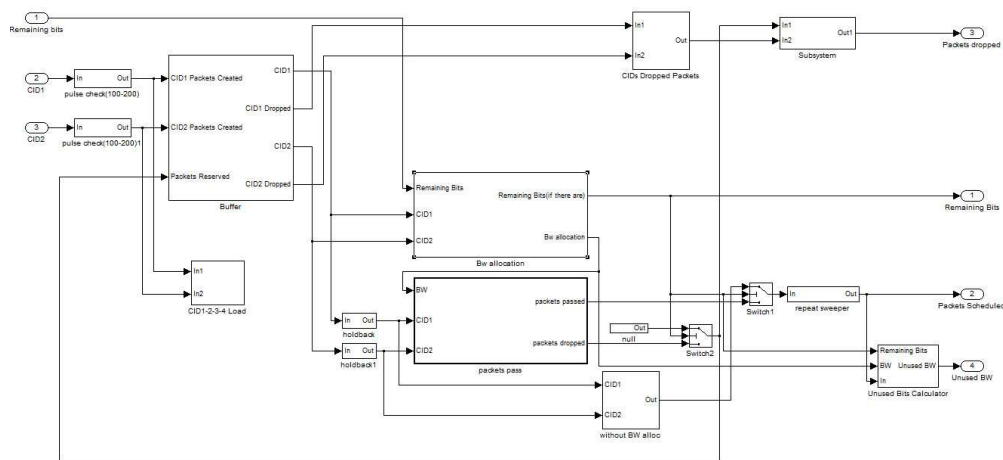
Το block ελέγχει για κάθε σύνδεση ποια πακέτα θα εισέλθουν στο frame βάσει των πόρων που έχει κατανεμηθεί στην κάθε μία και τα προωθεί στην Packets Passed έξοδο. Τα υπόλοιπα πακέτα περνάνε από την έξοδο Packets Reserved όπου ανατροφοδοτούνται στον Buffer.



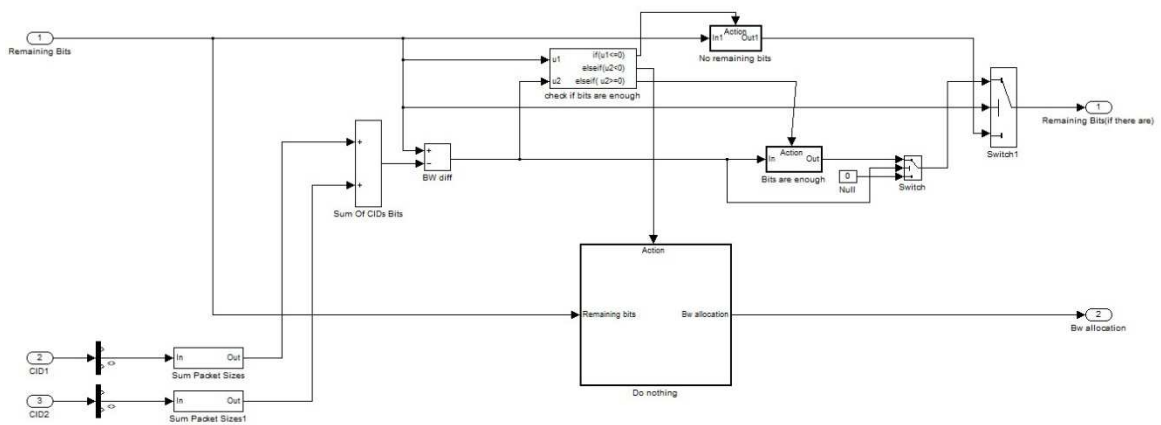
Σχήμα 27 "WFQ - Block Ελέγχου εισροής πακέτων στο frame"

7.5 BE Block

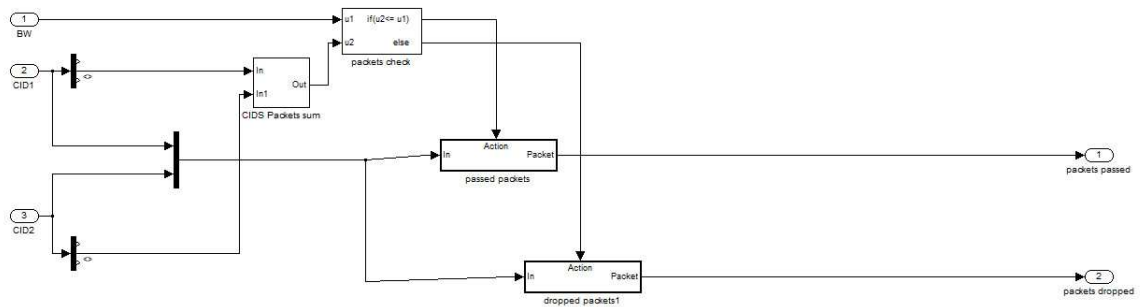
Είναι το block κατανομής και πόρων και χρονοπρογραμματισμού των πακέτων για συνδέσεις που ανήκουν στην QoS κλάση BE. Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται είναι οι ίδιοι με αυτούς του rtPS – nrtPS Block. Δεν υφίσταται κανένας αλγόριθμος κατανομής πόρων και ο χρονοπρογραμματισμός των πακέτων πραγματοποιείται κατά την σειρά που έχουν εισέλθει στην ουρά της κάθε σύνδεσης που ανήκουν. Ταυτόχρονα ελέγχεται το σύνολο μεγέθους των πακέτων ώστε να μην υπερβεί το σύνολο του διαθέσιμου bandwidth.



Σχήμα 28 "BE Block"



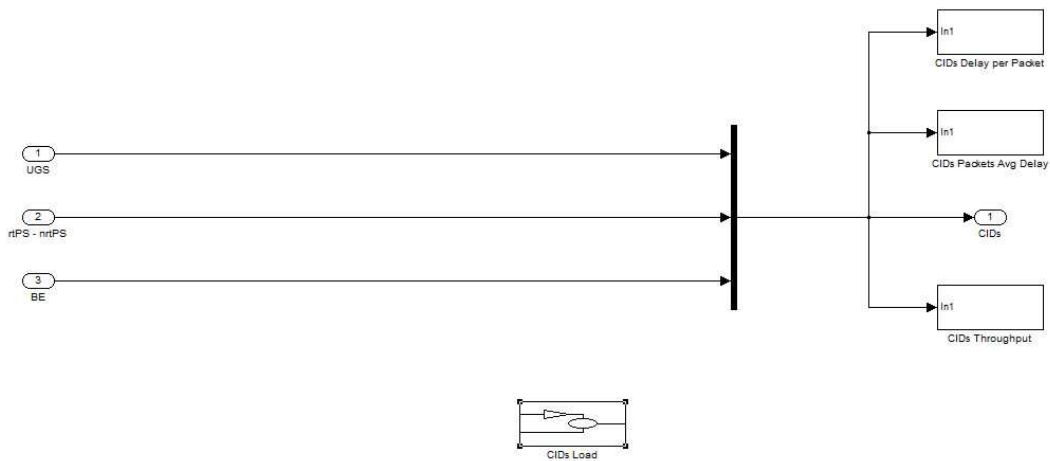
Σχήμα 29 "BE - Bandwidth Allocation Block"



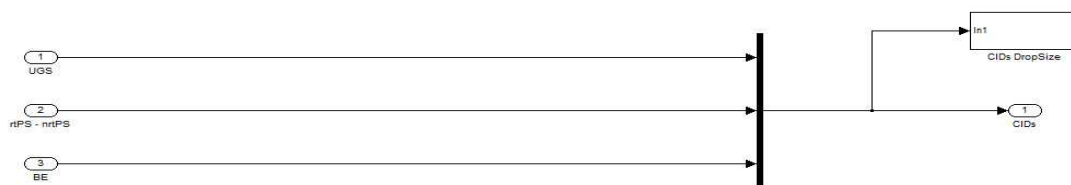
Σχήμα 30 "BE - Block ελέγχου πακέτων"

7.6 CID's Scheduled Packets Block - CID's Dropped Packets Block

Η λειτουργία των block είναι να συμπύξει τα scheduled και τα drop πακέτα της κάθε QoS κλάσης αντίστοιχα, ώστε να γίνει συλλογή στατιστικών όπως το load, το throughput και το drop size κάθε σύνδεσης, καθώς και της μέσης καθυστέρησης πρόσβασης frame του κάθε πακέτου.



Σχήμα 31 "CID's Scheduled Packets Block "



Σχήμα 32 "CID's Dropped Packets Block"

8. Συλλογή και Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Προσομοίωσης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σκοπός της σχεδίασης της προσομοίωσης είναι η σύγκριση απόδοσης των 2 αλγόριθμων, του WRR και του WFQ που χρησιμοποιούνται για το scheduling μεταξύ των πακέτων των 2 QoS κλάσεων, που παρουσιάζουν και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στο σύνολο ποιότητας υπηρεσίας του WiMAX, της rtPS και της nrtPS. Για να την συλλογή αποτελεσμάτων δημιουργήθηκαν 6 σενάρια προσομοίωσης. 3 σενάρια διαφορετικής κίνησης συνδέσεων κλάσεων rtPS και nrtPS, για τον αλγόριθμο WFQ και τον WRR αντίστοιχα. Όπως προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 5 το διαθέσιμο Bandwidth που έχει οριστεί στην προσομοίωση είναι 6.5 Mbps, η διάρκεια του κάθε frame είναι 10 ms με διάρκεια λειτουργίας του δικτύου 1 sec.

8.1 Φόρτος Σεναρίων Προσομοίωσης

Τα 3 διαφορετικά σενάρια με βάση τον φόρτο είναι: χαμηλός, μεσαίος και υψηλός φόρτος και διαφέρουν στον αριθμό αλλά και στο μέγεθος πακέτων των 4 συνδέσεων των κλάσεων rtPS και nrtPS. Για την ανεξάρτητη παρατήρηση των αποτελεσμάτων, οι συνδέσεις των κλάσεων UGS και BE, που περιγράφηκαν στο Υποκεφάλαιο 5.2.1, παραμένουν αμετάβλητες και στα 3 σενάρια κίνησης.

8.1.1 Χαμηλός Φόρτος

Το σενάριο χαμηλού φόρτου αποτελείται από τις εξής συνδέσεις:

- Σύνδεση μετάδοσης εικόνας (video streaming) τύπου MPEG με Single Profile codec (SP), ανάλυση εικόνας 4CIF(10FPS) και ρυθμό μετάδοσης 800 kbps. Τα πακέτα που δημιουργούνται είναι μέσου μεγέθους 100 Bytes με τυπική απόκλιση 625(διασπορά 25). Ο αριθμός πακέτων που δημιουργούνται είναι έχει μέση τιμή 10 με τυπική απόκλιση 1.
- Σύνδεση μετάδοσης εικόνας (video streaming) τύπου MPEG με Single Profile codec (SP), ανάλυση εικόνας CIF(25FPS) και ρυθμό μετάδοσης 500 kbps. Μέσο μέγεθος πακέτων: 125 Bytes, τυπική απόκλιση 625. Αριθμός πακέτων: μέση τιμή 5, τυπική απόκλιση 1.
- Μεταφορά αρχείων μέσω FTP με ρυθμό μετάδοσης 600 kbps. Μέγεθος αρχείων: μέση τιμή 75 Bytes, τυπική απόκλιση 225. Αριθμός πακέτων: μέση τιμή 10, τυπική απόκλιση 1.

- Μεταφορά αρχείων μέσω TFTP με ρυθμό μετάδοσης 560 kbps. Μέγεθος αρχείων: μέση τιμή 100 Bytes, τυπική απόκλιση 625. Αριθμός πακέτων: μέση τιμή 7, τυπική απόκλιση 1.

8.1.2 Μεσαίος Φόρτος

Το σενάριο μεσαίου φόρτου αποτελείται από τις εξής συνδέσεις:

- Σύνδεση μετάδοσης εικόνας (video streaming) τύπου MPEG με Single Profile codec (SP), ανάλυση εικόνας 4CIF(15FPS) και ρυθμό μετάδοσης 1200 kbps. Μέσο μέγεθος πακέτων: 150 Bytes, τυπική απόκλιση 900. Αριθμός πακέτων: μέση τιμή 10, τυπική απόκλιση 1.
- Σύνδεση μετάδοσης εικόνας (video streaming) τύπου MPEG με Single Profile codec (SP), ανάλυση εικόνας CIF(50FPS) και ρυθμό μετάδοσης 998,4 kbps. Μέσο μέγεθος πακέτων: 104 Bytes, τυπική απόκλιση 900. Αριθμός πακέτων: μέση τιμή 12, τυπική απόκλιση 1.
- Μεταφορά αρχείων μέσω FTP με ρυθμό μετάδοσης 1536 kbps. Μέγεθος αρχείων: μέση τιμή 160 Bytes, τυπική απόκλιση 900. Αριθμός πακέτων: μέση τιμή 12, τυπική απόκλιση 1.
- Μεταφορά αρχείων μέσω TFTP με ρυθμό μετάδοσης 1280 kbps. Μέγεθος αρχείων: μέση τιμή 160 Bytes, τυπική απόκλιση 900. Αριθμός πακέτων: μέση τιμή 10, τυπική απόκλιση 1.

8.1.2 Υψηλός Φόρτος

Το σενάριο υψηλού φόρτου αποτελείται από τις εξής συνδέσεις:

- Σύνδεση μετάδοσης εικόνας (video streaming) τύπου MPEG με Single Profile codec (SP), ανάλυση εικόνας 4CIF(30FPS) και ρυθμό μετάδοσης 2400 kbps. Μέσο μέγεθος πακέτων: 200 Bytes, τυπική απόκλιση 2500. Αριθμός πακέτων: μέση τιμή 15, τυπική απόκλιση 1.
- Σύνδεση μετάδοσης εικόνας (video streaming) τύπου MPEG με Single Profile codec (SP), ανάλυση εικόνας CIF(90FPS) και ρυθμό μετάδοσης 1800 kbps. Μέσο μέγεθος πακέτων: 225 Bytes, τυπική απόκλιση 2500. Αριθμός πακέτων: μέση τιμή 10, τυπική απόκλιση 1.
- Μεταφορά αρχείων μέσω FTP με ρυθμό μετάδοσης 3072 kbps. Μέγεθος αρχείων: μέση τιμή 320 Bytes, τυπική απόκλιση 2500. Αριθμός πακέτων: μέση τιμή 12, τυπική απόκλιση 1.
- Μεταφορά αρχείων μέσω TFTP με ρυθμό μετάδοσης 2880 kbps. Μέγεθος αρχείων: μέση τιμή 240 Bytes, τυπική απόκλιση 2500. Αριθμός πακέτων: μέση τιμή 15, τυπική απόκλιση 1.

8.2 Περιγραφή Στατιστικών

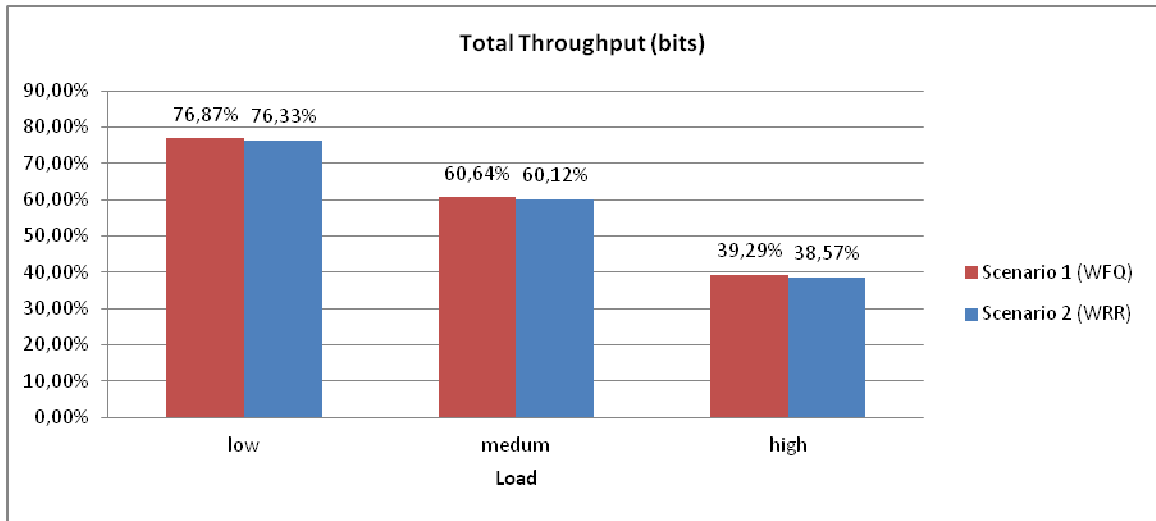
Κατά την διάρκεια εκτέλεσης της προσομοίωσης συλλέγονται στατιστικά σε μέγεθος bits και αριθμό πακέτων συνολικά αλλά και για κάθε σύνδεση ξεχωριστά που αφορούν: το φόρτο(load) των συνδέσεων, την ρυθμαπόδοση (throughput) τους, το μέγεθος πακέτων που δεν εξυπηρετούνται (drop), τον μέσο χρόνο πρόσβασης των πακέτων στο frame(frame access time). Η παρουσίαση στατιστικών γίνεται σε ποσοστιαία κλίμακα με βάση το σύνολο του load, για το throughput και για το μέγεθος και σε millisecond(ms) για το χρόνο πρόσβασης στο frame.

Για την επιβεβαίωση της αξιοπιστίας των στατιστικών πραγματοποιήθηκαν πέντε συνολικά εκτελέσεις του κάθε σεναρίου προσομοίωσης και τέλος υπολογίστηκε ο μέσος όρος αποτελεσμάτων της κάθε κατηγορίας στατιστικών ξεχωριστά.

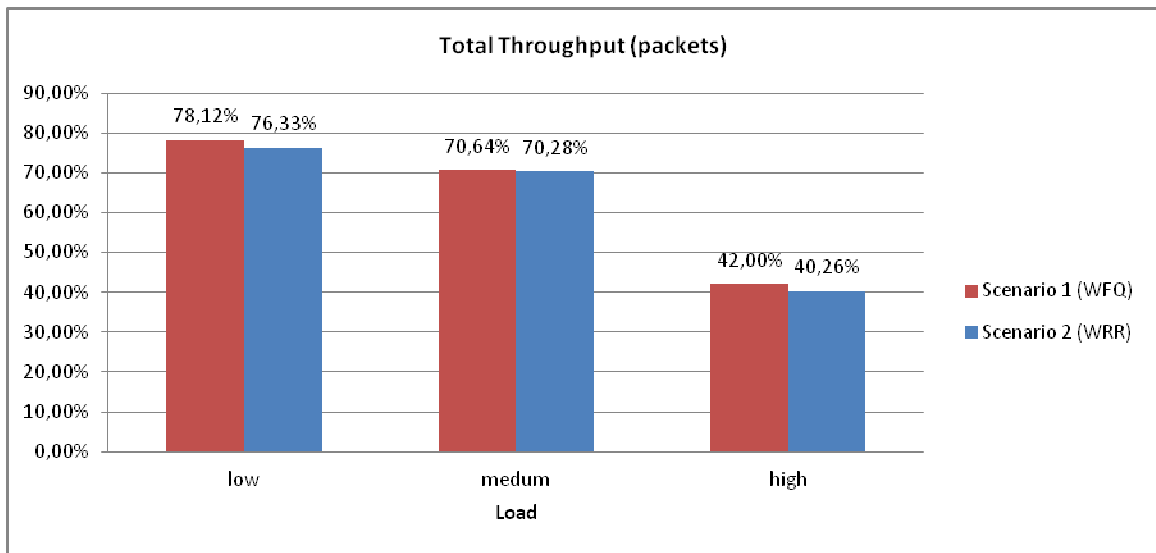
Σε ξεχωριστούς πίνακες αποτελεσμάτων κρατούνται ποια πακέτα έχουν γίνει schedule, ποια πακέτα έχουν γίνει drop καθώς και ο χρόνος πρόσβασης στο frame του κάθε πακέτου ξεχωριστά με σκοπό την διασταύρωση ορθής λειτουργίας των αλγορίθμων.

8.3 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Συλλογής Στατιστικών

Στο υποκεφάλαιο αυτό περιέχονται τα διαγράμματα των στατιστικών που συλλέχθηκαν ώστε να σχολιαστούν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται μέσω αυτών. Θα παρουσιαστούν αρχικά τα συνολικά στατιστικά που περιγράφουν το throughput και το drop όλων των κλάσεων QoS του δικτύου, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα ξεχωριστά για κάθε έναν από τους δύο αλγόριθμους WRR και WFQ με γνώμονα την αύξηση φόρτου. Εν συνεχεία, θα γίνει παρουσίαση των αντίστοιχων διαγραμμάτων που αφορούν το throughput και το drop μεμονωμένα για τις τέσσερις συνολικά συνδέσεις που ανήκουν στις κλάσεις rtPS και nrtPS και οι οποίες χρησιμοποιούν τους εξεταζόμενους αλγόριθμους που αναφέρθηκαν παραπάνω για τον χρονοπρογραμματισμό των πακέτων τους. Τέλος, θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα χρόνου πρόσβασης των πακέτων στο frame για το σύνολο των συνδέσεων αλλά και ειδικά για τις συνδέσεις κλάσεων rtPS και nrtPS και επιπρόσθετα παρατίθεται το διάγραμμα που παρουσιάζει το throughput των δύο κλάσεων σε πλήθος πακέτων.



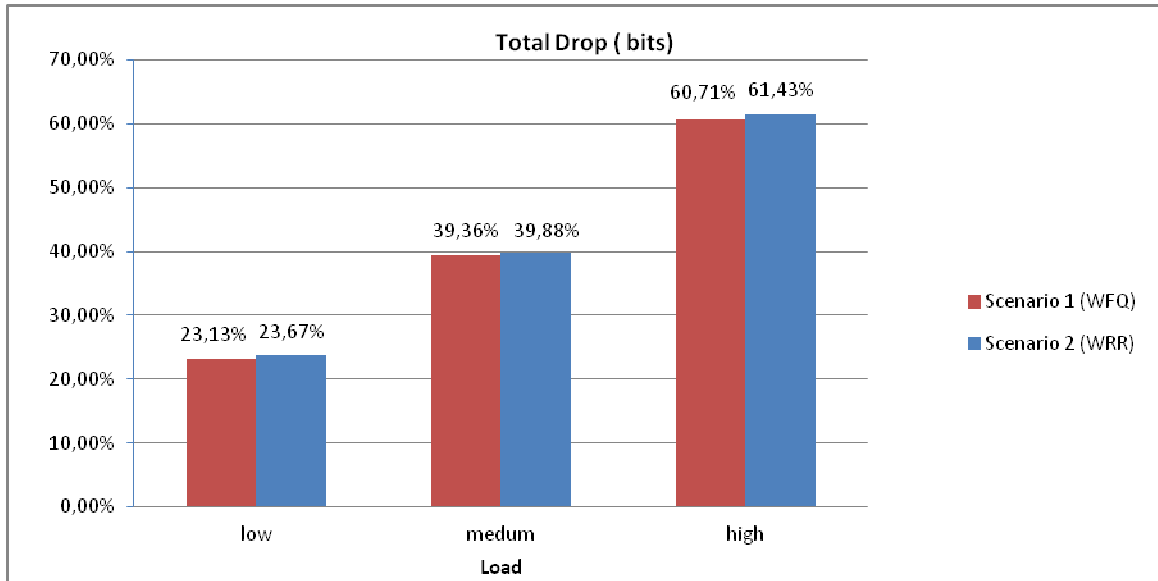
Σχήμα 33 "Συνολικό ποσοστό throughput (bits)"



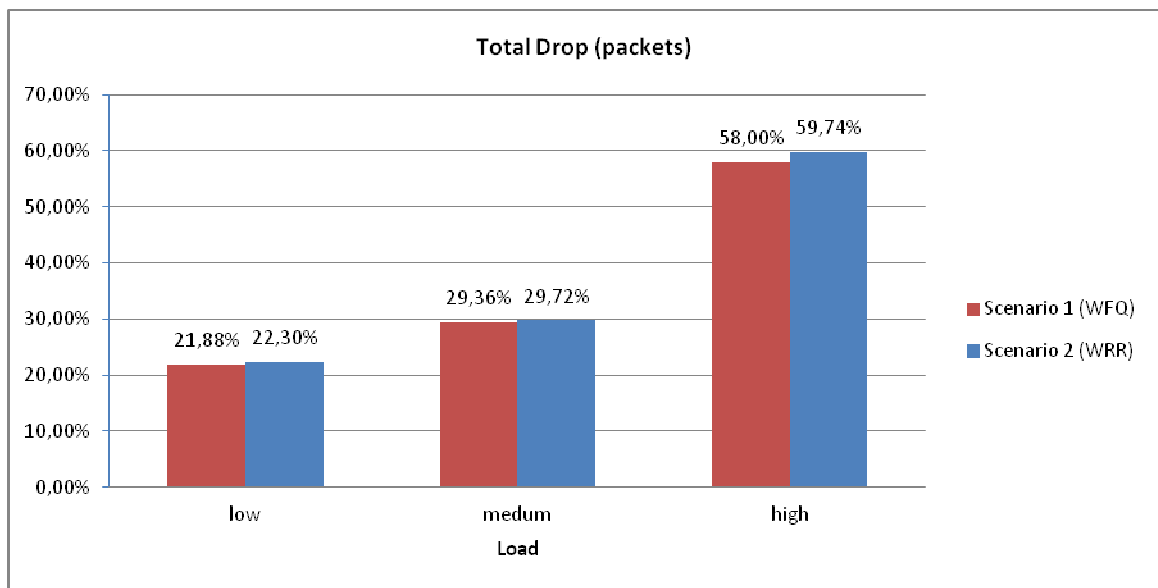
Σχήμα 34 "Συνολικό ποσοστό throughput (packets)"

Στα διαγράμματα παρουσιάζεται η ρυθμαπόδοση σε ποσοστιαία κλίμακα των δύο αλγορίθμων, όσο αφορά το συνολικό μέγεθος των πακέτων σε bits και το συνολικό αριθμό των πακέτων, όπως διαφοροποιείται με την μεταβολή του τύπου κίνησης που περιγράφηκε νωρίτερα (low, medium, high). Μελετώντας την μεταβολή της ρυθμαπόδοσης για κάθε αλγόριθμο ξεχωριστά παρατηρούμε όπως είναι εύλογο ότι όσο αυξάνεται ο φόρτος τόσο μειώνεται το ποσοστό που προκύπτει από το μέγεθος (σε bits) των πακέτων που έχουν γίνει schedule προς το συνολικό load. Συγκρίνοντας τους δύο αλγόριθμους, παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος WFQ έχει καλύτερη απόδοση κατά προσέγγιση 0,50% και στους τρεις τύπους κίνησης στα στατιστικά κίνησης που έχουν κρατηθεί με βάση το μέγεθος πακέτων σε bits, ενώ με βάση το πλήθος των πακέτων η διαφορά αυτή είναι ακόμα μεγαλύτερη. Αυτό οφείλεται στον τρόπο λειτουργίας των δύο αλγορίθμων που θα σχολιαστεί παρακάτω. Σε επόμενα διαγράμματα θα δούμε πόσο επηρεάζει το συνολικό ποσοστό αυτό η απόδοση που αφορά μόνο τα πακέτα των

συνδέσεων κλάσεων ποιότητας rtPS και nrPS ώστε να έχουμε μια πιο ξεκάθαρη σύγκριση.

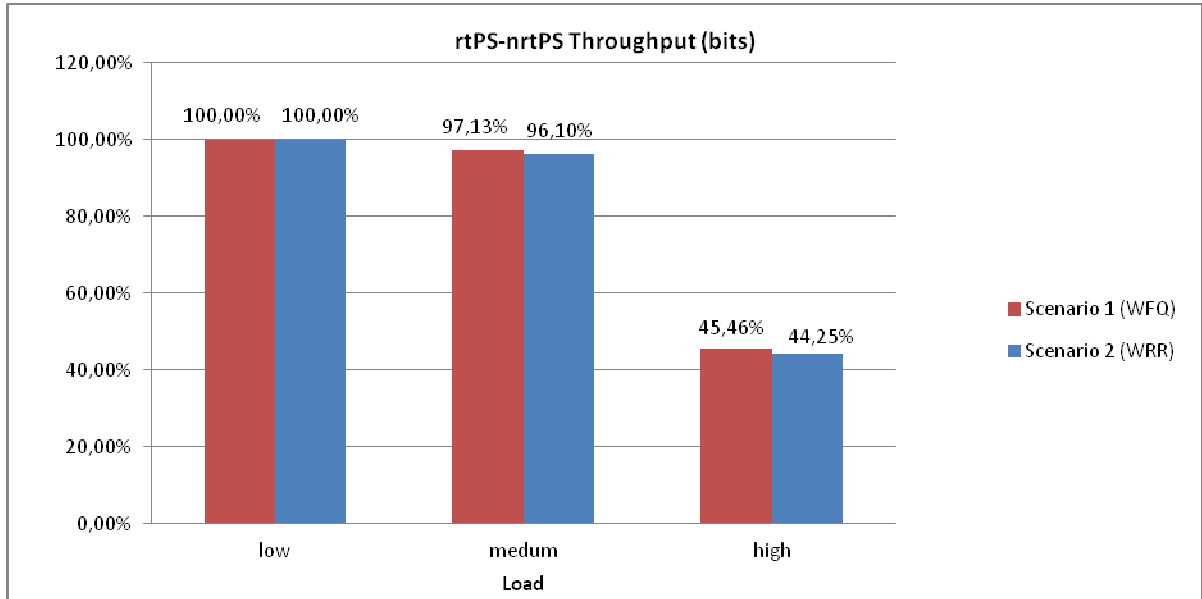


Σχήμα 35 "Συνολικό ποσοστό μεγέθους χαμένων πακέτων"

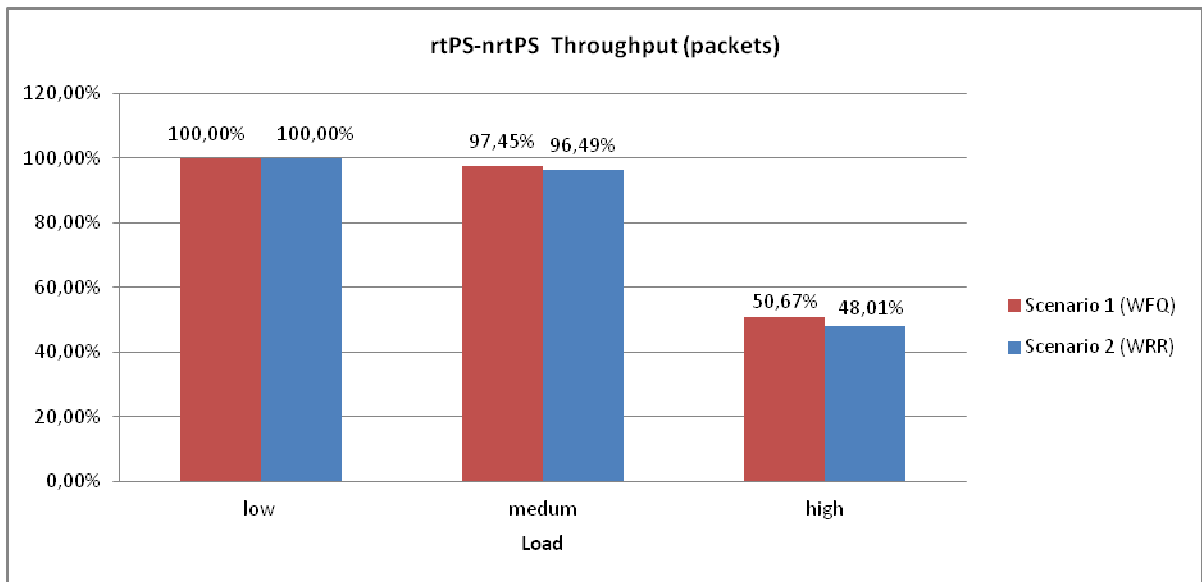


Σχήμα 36 "Συνολικό ποσοστό πλήθους χαμένων πακέτων"

Όπως είναι εύκολο να παρατηρηθεί, τα ποσοστά των διαγραμμάτων αποτελούν το συμπλήρωμα των ποσοστών των αντίστοιχων διαγραμμάτων που παρουσιάστηκαν παραπάνω καθώς περιέχουν το ποσοστό του μεγέθους πακέτων που δεν μπόρεσαν να γίνουν schedule σε κάθε frame λόγω υπερχειλίσης των buffer των τεσσάρων συνδέσεων. Όσο αυξάνεται το load τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό του μεγέθους των πακέτων που χάνονται για κάθε αλγόριθμο μεμονωμένα, ενώ αντιπαραθέτοντας σε σύγκριση τους δύο αλγόριθμους παρατηρούμε την καλύτερη απόδοση του WFQ.



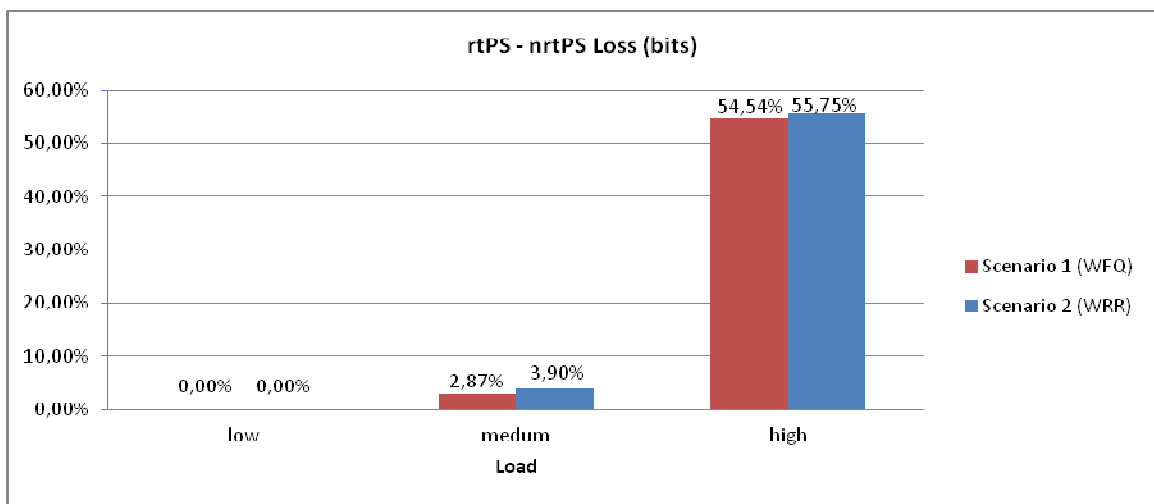
Σχήμα 37 "Συνολικό ποσοστό throughput για τις συνδέσεις QoS κλάσεων rtPS-nrtPS"



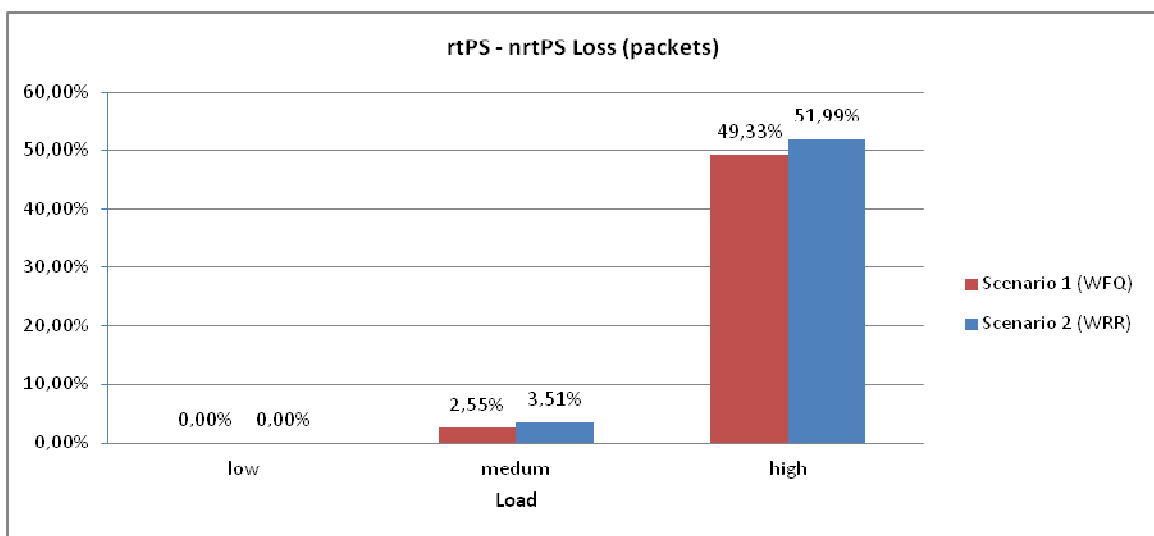
Σχήμα 38 "Συνολικό ποσοστό throughput (packets) για τις συνδέσεις QoS κλάσεων rtPS-nrtPS"

Παρατηρώντας μεμονωμένα το throughput των συνδέσεων που ανήκουν στις κλάσεις rtPS και nrtPS διακρίνουμε ότι στην περίπτωση του χαμηλού φόρτου όλα τα πακέτα εξυπηρετούνται χωρίς να υπάρχει διαφορά σε σύγκριση των δύο αλγορίθμων. Στον μεσαίο φόρτο κίνησης (medium) διακρίνεται βελτιωμένη απόδοση του WFQ έναντι του WRR με διαφορά λίγο παραπάνω από το 1%, ενώ στο σενάριο με το μεγαλύτερο φόρτο κίνησης η διαφορά απόδοσης των δύο αλγορίθμων αυξάνεται στο ~1,2%. Η αιτία της διαφοράς αυτής βρίσκεται στον τρόπο που πραγματοποιούν οι δύο αλγόριθμοι την κατανομή διαθέσιμων πόρων. Στην περίπτωση του WRR η κατανομή γίνεται με βάση τα πακέτα που μπορούν να εισέλθουν στο κάθε frame κατά προσέγγιση υπολογιζόμενα από το διαθέσιμο

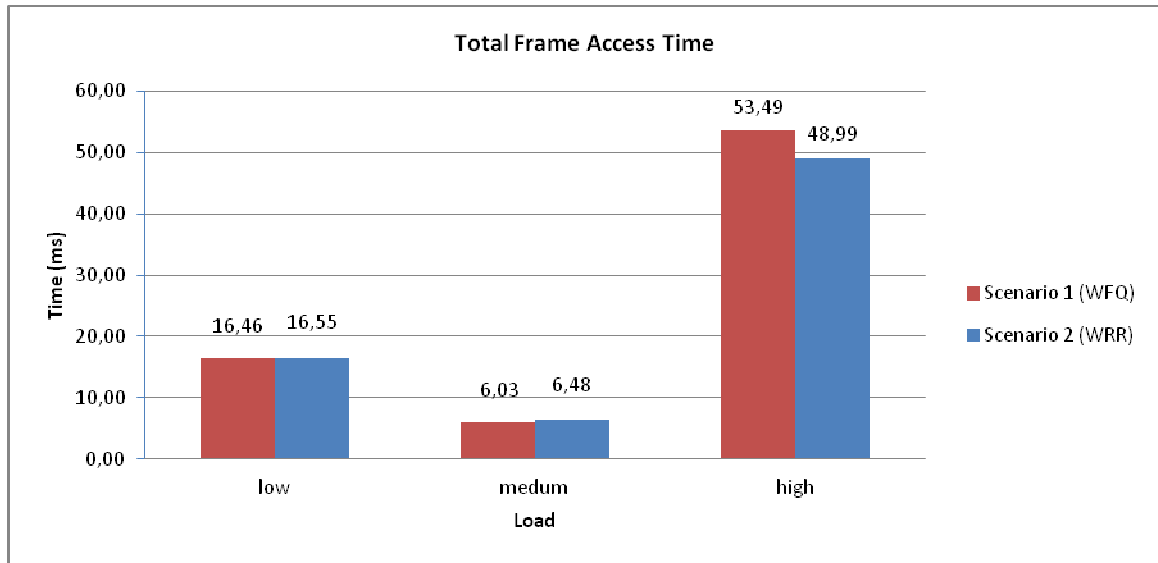
bandwidth και το μέσο μέγεθος τους. Στην περίπτωση του αλγόριθμου WFQ ο χρονοπρογραμματισμός των πακέτων πραγματοποιείται με γνώμονα το συνολικό μέγεθος τους. Με τον τρόπο αυτό ο WFQ αλγόριθμος έχει σαφώς καλύτερη απόδοση έναντι του WRR σε συνδέσεις που μεταδίδουν πακέτα μεταβλητού μεγέθους, καθώς ο δεύτερος λαμβάνει υπόψη του μόνο το μέσο μέγεθος των πακέτων. Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια για την αναπαράσταση των πακέτων μεταβλητού μεγέθους στην προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε γεννήτρια τυχαίων αριθμών κανονικής κατανομής με διασπορά που αυξάνεται όσο μεταβάλλεται και το load, για τον λόγο αυτό παρατηρούμε και την αύξηση 0.2% της διαφοράς των δύο αλγορίθμων στο σενάριο υψηλού φόρτου σε σχέση με εκείνο του μεσαίου φόρτου. Η διαφορά αυτή είναι πιο εμφανής στο διάγραμμα throughput που βασίζεται στην μελέτη του πλήθους των πακέτων. Ίδιες διαφορές παρατηρούμε και στα αντίστοιχα διαγράμματα μεγέθους και πλήθους πακέτων που έχουν χαθεί και παρουσιάζονται παρακάτω.



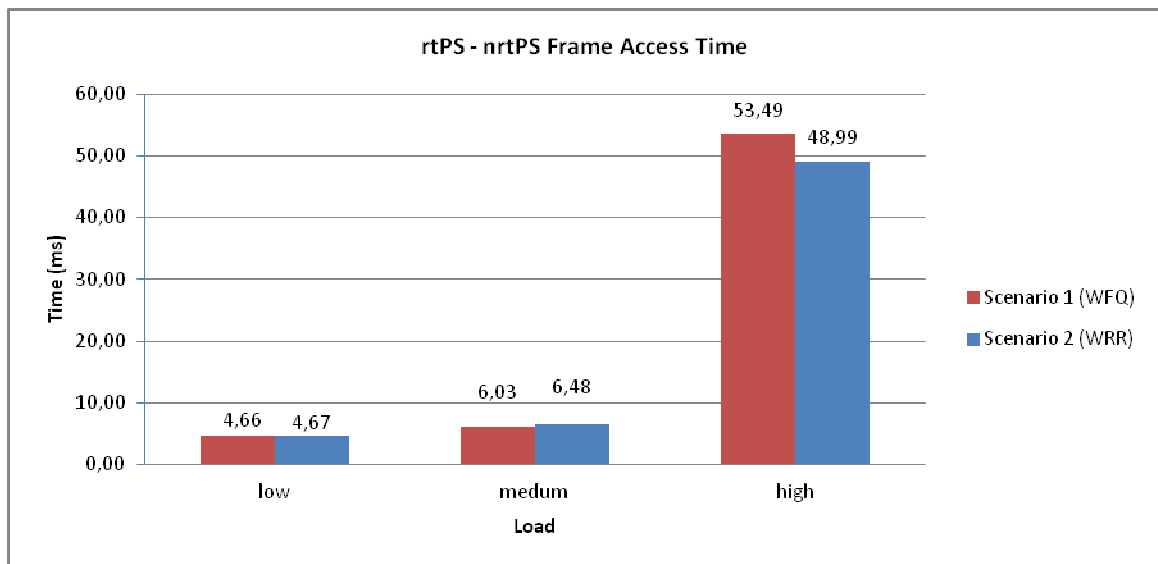
Σχήμα 39 "Ποσοστό μεγέθους χαμένων πακέτων για τις συνδέσεις QoS κλάσεων rtPS-nrtPS"



Σχήμα 40 Ποσοστό πλήθους χαμένων πακέτων για τις συνδέσεις QoS κλάσεων rtPS-nrtPS"



Σχήμα 41 "Συνολικός χρόνος πρόσβασης πακέτων στο frame"



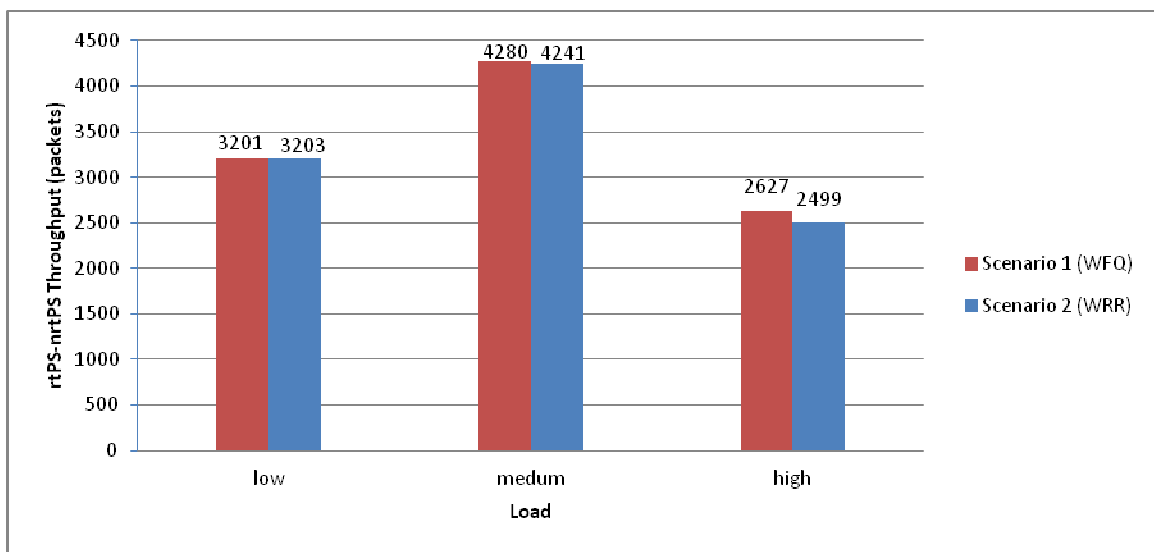
Σχήμα 42 "Χρόνος πρόσβασης πακέτων στο frame για τις συνδέσεις QoS κλάσεων rtPS-nrtPS"

Για τον υπολογισμό της καθυστέρησης πρόσβασης των πακέτων στο frame αρχικά υπολογίστηκε ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης όλων των πακέτων σε χρόνο προσομοίωσης. Γνωρίζοντας ότι η διάρκεια ενός frame είναι 10 ms και εκτείνεται σε χρόνο προσομοίωσης 400 τότε προκύπτει ότι ο 1 χρόνος προσομοίωσης αντιστοιχεί σε 0,025 ms. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω υπολογίζουμε τον μέσο όρο πρόσβασης των πακέτων στο frame σε millisecond και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παραπάνω διάγραμμα.

Μελετώντας το frame access time στον low φόρτο διακρίνουμε πως ο χρόνος αυτός της συνολικής κίνησης επηρεάζεται κυρίως από την κλάση BE, καθώς παρατηρούμε ότι ο αντίστοιχος χρόνος για τις κλάσεις rtPS και nrtPS είναι σχεδόν ίσος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στα σενάρια χαμηλού φόρτου γίνεται χρονοπρογραμματισμός όλων των πακέτων των 4 συνδέσεων των δύο κλάσεων

αυτών, καθώς το bandwidth είναι πάντα επαρκές. Έτσι και εφόσον στα δύο σενάρια των δύο αλγορίθμων WFQ και WRR για την κλάση BE χρησιμοποιείται ο ίδιος αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού(FIFO) τότε ο χρόνος πρόσβασης των πακέτων που ανήκουν στις συνδέσεις του(Web Browsing, Email) έχει πολύ μικρή διαφορά και κατ' επέκταση την ίδια διαφορά παρουσιάζει και χρόνος πρόσβασης του frame για όλες τις συνδέσεις. Η διαφορά αυτή οφείλεται αποκλειστικά στο γεγονός ότι τα πακέτα αυτά δημιουργούνται σε τυχαίες χρονικές στιγμές και δεν οφείλεται στην λειτουργία των αλγορίθμων που εξετάζονται. Ακολουθως, στον μεσαίο και στον υψηλό φόρτο κίνησης ο συνολικός χρόνος πρόσβασης ισούται με τον χρόνο πρόσβασης των κλάσεων rtPS και nrtPS, καθώς όλα τα πακέτα της κλάσης BE και στους 2 τύπους κίνησης γίνονται drop λόγω περιορισμένου bandwidth.

Για την ευκολότερη κατανόηση του διαγράμματος «rtPS - nrtPS Frame Access Time» παραθέεται παρακάτω το Throughput των rtPS και nrtPS υπολογιζόμενο σε πλήθος πακέτων. Για τα σενάρια μικρού και μεσαίου φόρτου για τους δύο αλγόριθμους συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι παρόλο που με τον αλγόριθμο WFQ εξυπηρετούνται περισσότερα πακέτα από ότι με την χρησιμοποίηση του WRR, το frame access time του δεύτερου αλγόριθμου είναι ελαφρώς μεγαλύτερο. Αυτό οφείλεται όπως αναφέρθηκε και παραπάνω λόγω της δημιουργίας πακέτων σε τυχαίο χρόνο προσομοίωσης.



Σχήμα 43 "Throughput των συνδέσεων QoS κλάσεων rtPS-nrtPS"

Η σύγκριση του εξεταζόμενου χρόνου γίνεται πιο ξεκάθαρη στην περίπτωση του υψηλού φόρτου με υψηλότερο κατά 4,5 ms εκείνο του αλγόριθμου WFQ έναντι του WRR. Η αιτιολόγηση της διαφοράς αυτής βρίσκεται στο γεγονός ότι στην περίπτωση του πρώτου αλγόριθμου εξυπηρετούνται 128 πακέτα περισσότερα από ότι στον δεύτερο.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην πτυχιακή αυτή παρουσιάστηκε η λειτουργία του μηχανισμού εξασφάλισης ποιότητας υπηρεσιών στο WiMAX που αποτελεί ένα από τα πιο ζωτικά υποσυστήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Ο μηχανισμός αυτός αναπαραστάθηκε με την ανάπτυξη συστήματος προσομοίωσης στην πλατφόρμα Simulink με απώτερο σκοπό την σύγκριση απόδοσης των δύο δημοφιλέστερων αλγόριθμων, WFQ και WRR, για την κατανομή πόρων μεταξύ των συνδέσεων κλάσεων QoS rtPS και nrtPS σε τρεις διαφορετικούς τύπους φόρτου low, medium και high. Από τα αποτελέσματα των σεναρίων που αναπτύχθηκαν προκύπτει ότι ο αλγόριθμος WFQ έχει σαφές προβάδισμα απόδοσης όσο αφορά συνδέσεις μέσω των οποίων μεταδίδονται πακέτα μεταβλητού μεγέθους και πλήθους. Με την μεταβολή της κίνησης σύμφωνα με τις τρεις τύπους φόρτου διαπιστώνεται ότι όσο αυτή αυξάνεται τόσο αυξάνεται και η διαφορά του throughput μεταξύ των δύο αλγόριθμων πάντα με την καλύτερη απόδοση να ανήκει στα σεναρία που εφαρμόζεται ο αλγόριθμος WFQ. Επιπρόσθετα, μελετώντας τον χρόνο πρόσβασης των πακέτων στο frame παρατηρούμε πως ο αλγόριθμος WFQ στην περίπτωση του υψηλότερου φόρτου παρουσιάζει μικρό μειονέκτημα έναντι του WRR. Αυτό οφείλεται στο μεγαλύτερο throughput σε πλήθος πακέτων που επιτυγχάνει ο πρώτος αλγόριθμος. Σύμφωνα με τα παραπάνω, εξάγουμε το συμπέρασμα πως ο αλγόριθμος WFQ είναι ιδανικός για την κατανομή διαθέσιμων πόρων και επομένως την διασφάλιση απαιτήσεων QoS μεταξύ συνδέσεων μετάδοσης εικόνας αλλά και μεταφοράς αρχείων με την χρήση FTP και TFTP που χρησιμοποιούν μη σταθερό πλήθος πακέτων μεταβλητού μεγέθους.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] <http://old.ctcco.com/Wimax/WimaxcoverageMap.htm>
- [2] <http://en.wikipedia.org/wiki/>
- [3] http://engweb.info/courses/wdt/lecture04/WIMAX_Technology_r.html
- [4] http://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax_standards.htm
- [5] WiMAX Jeffrey G. Andrews, Ph.D., Arunabha Ghosh, Ph.D. and Rias Muhamed (2007), Fundamentals of WiMAX p. 33-37
- [6] http://stargazer.bridgeport.edu/sed/projects/cs597/Spring_2004/khaildu/index.htm
- [7] <http://etutorials.org/Networking/wimax+technology+broadband+wireless+access/Part+Three+WiMAX+Multiple+Access+MAC+Layer+and+Qos+Management/Chapter+7+Convergence+Sublayer+CS/>
- [8] <http://etutorials.org/Networking/wimax+technology+broadband+wireless+access/Part+One+Global+Introduction+to+WiMAX/Chapter+3+Protocol+Layers+and+Topologies/3.3+Medium+Access+Control+Common+Part+Sublayer+MAC+CPS/>
- [9] <http://etutorials.org/Networking/wimax+technology+broadband+wireless+access/Part+One+Global+Introduction+to+WiMAX/Chapter+3+Protocol+Layers+and+Topologies/3.4+Security+Sublayer/>
- [10] http://radar.ee.auth.gr/Applied_Telecom_Systems/Wi-Max/Wi-MAX3
- [11] WiMAX Jeffrey G. Andrews, Ph.D., Arunabha Ghosh, Ph.D. and Rias Muhamed (2007), Fundamentals of WiMAX, pp. 79
- [12] Mai M. Abu Alfoul, Wail Mardini (2010), Modified WRR Scheduling Algorithm for WiMAX Networks, Vol. 3, No. 2 pp. 29-31
- [13] Roger L. Freeman (2005), Fundamentals Of Telecommunications, pp. 355-356
- [14] Masood Khosroshahy and Vivien Nguyena (2006), Study of WiMax QoS Mechanisms, pp. 5

- [15] http://www.h3c.com/portal/Technical_Support_Documents/Technical_Documents/Switches/H3C_S3100_Series_Switches/Configuration/Operation_Manual/H3C_S3100-52P_OM-Release_1500%28V1.02%29/200711/211014_1285_0.htm
- [16] http://wimax-made-simple.blogspot.gr/2010_09_21_archive.html
- [17] Weiss M. (2006), General Information About The Standard 802.16 pp. 22
- [18] Ashraf A.Ali Konstantinos, Ntagkounakis and Spyridon Vassilaras (2009), A Comparative Study of Bandwidth Requirements of VoIP Codecs Over WiMAX Access Networks pp. 199
- [19] Motorola (2008), Video Solutions: Understanding Video Quality pp. 4

ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Qiang Ni, Alexey Vinel, Yang Xiao, Andrey Turlikov and Tao Jiang (2007), Mechanisms under Point-to-Multipoint Mode of WiMAX Networks.

Jung-Ryun Lee and Dong-Ho Cho (2007), Performance Evaluation of Energy-Saving Mechanism Based on Probabilistic Sleep Interval Decision Algorithm in IEEE 802.16e.

Claudio Cicconetti, Alessandro Erta, Luciano Lenzini, and Enzo Mingozzi (2007), Performance Evaluation of the IEEE 802.16 MAC for QoS Support.

WiMAX Jeffrey G. Andrews, Ph.D., Arunabha Ghosh, Ph.D. and Rias Muhamed (2007), Fundamentals of WiMAX.

Yi-Neng Lin, Shih-Hsin Chien, Ying-Dar Lin, Yuan-Cheng Lai and Mingshou Liu(2009) Dynamic Bandwidth Allocation for 802.16E-2005 MAC.

Ashish Jain¹ and Anil K. Verma² (2008), Comparative Study of Scheduling Algorithms for WiMAX.

Juliana Freitag and Nelson L. S. da Fonseca (2001), Uplink Scheduling with Quality of Service in IEEE 802.16 Networks.

Pratik Dhrona (2007), A Performance Study of Uplink Scheduling Algorithms in Point to Multipoint WiMAX Networks.

Kitti Wongthavarawat and Aura Ganz (2003), Packet scheduling for QoS support in IEEE 802.16 broadband wireless access systems.

Eugen Borcoci (2008), WiMAX Technologies: Architectures, Protocols, Resource Management and Applications.

Ayman Khalil and Adlen Ksentini (2008), Classification of the Uplink Scheduling Algorithms in IEEE 802.16.

Amir Esmailpour and Nidal Nasser (2011), A Novel Scheme for Packet Scheduling and Bandwidth Allocation in WiMAX Networks.

Riri Fitri Sari, Nur Mukhayaroh and Dewi Laksmiati (2008), Performance Evaluation of Weighted Round Robin based Scheduler over Wimax.

P.Saravanaselvi and Tirunelveli (2012), Weighted Fair Queue Scheduling Algorithm for IEEE802.16Wireless Networks.

P.Saravanaselvi and Tirunelveli (2011), Comparative Study of Scheduling Algorithms in WiMAX