

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής



Πτυχιακή Εργασία

“Μελέτη, σχεδιασμός, υλοποίηση και αξιολόγηση ενός κατανεμημένου συστήματος δυναμικής διαχείρισης των δικτυακών πόρων, σε διαδραστικά συστήματα επίγειας ψηφιακής ευρυεκπομπής”

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΠΙΤΣΙΛΑΛΗ ΑΔΑΜΑΝΤΙΑ (ΑΜ:2408)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 10/10/2013

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΛΛΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

*Στην οικογένεια μου και
σε όσους στάθηκαν δίπλα μου*

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, η οποία υλοποιήθηκε στο Εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων (ΠΑΣΙΦΑΗ) του Τ.Ε.Ι Κρήτης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους οι οποίοι βοήθησαν στην περάτωση αυτής της εργασίας. Θα ήταν παράλειψη να μην αναφερθώ σε όλους εκείνους που συμπαραστάθηκαν σε αυτήν την προσπάθεια.

Κατά κύριο λόγο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου από το Τ.Ε.Ι Κρήτης κ.Πάλλη Ευάγγελο, ο οποίος με υποστήριξε καθ'όλη τη διάρκεια της πτυχιακής εργασίας και μου εξασφάλισε την παροχή πλούσιας υλικοτεχνικής υποδομής, πολύτιμης για μια μελέτη όπως αυτή.

Επίσης χρωστώ μεγάλη ευγνωμοσύνη στον κ.Ανάργυρο Σιδέρη για όλο το χρόνο που επένδυσε σε μένα, προσφέροντας την ανεξάντλητη βοήθειά του, για την εμπιστοσύνη και την κατανόηση που επέδειξε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υποστήριξή τους όλο αυτό το διάστημα καθώς και όλα τα μέλη του εργαστηρίου τα οποία στάθηκαν δίπλα.

Αδαμαντία Πιτσιλαδή
Ηράκλειο, Οκτώβριος 2013

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	12
1.1	Γενικά.....	12
1.2	Στόχος Πτυχιακής Εργασίας.....	12
1.3	Διάρθρωση Πτυχιακής Εργασίας.....	13
2	Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	14
2.1	Ψηφιακή Τηλεόραση.....	14
2.1.1	DVB-T.....	14
2.1.2	Διαδραστική Ψηφιακή Τηλεόραση (Interactive DVB-T).....	15
2.2	Διαχείριση των δικτυακών πόρων.....	16
2.2.1	Δομικά στοιχεία διαχείρισης των δικτυακών πόρων.....	16
2.2.2	Διαχείριση Ουρών (Queuing Disciplines).....	17
2.2.2.1	FIFO.....	17
2.2.2.2	RED.....	18
2.2.2.3	HTB.....	18
2.3	Πρωτόκολλα Μεταφοράς Δεδομένων.....	20
2.3.1	TCP – Transmission Control Protocol.....	20
2.4	Λογισμικό.....	22
2.4.1	TC.....	22
2.4.2	IPTABLES.....	22
2.4.3	TCPDUMP.....	22
2.4.4	IPERF.....	22
2.4.5	TCPTTRACE.....	22
2.4.6	GNU OCTAVE.....	22
3	Κατανεμημένο σύστημα διαχείρισης των δικτυακών πόρων.....	23
3.1	Σχεδιασμός Συστήματος.....	23
3.2	Υλοποίηση συστήματος.....	24
3.2.1	Αλγόριθμοι κατανομής δικτυακών πόρων.....	25
3.2.2	Υλοποίηση με εισαγωγή πολιτικών κατανομής πόρων από χρήστες.....	25
3.2.3	Υλοποίηση με εισαγωγή πολιτικών κατανομής πόρων μέσω δικτυακής μετάδοσης.....	26
4	Αξιολόγηση.....	28
4.1	Πειραματικό Δίκτυο Διαδραστικής Ψηφιακής τηλεόρασης.....	28
4.2	Σενάρια.....	29
4.2.1	Σενάριο 1.....	29
4.2.2	Σενάριο 2.....	29
4.2.3	Σενάριο 3.....	29
4.2.4	Σενάριο 4.....	29
4.2.5	Σενάριο 5.....	30
4.2.6	Σενάριο 6.....	31
4.2.7	Σενάριο 7.....	33
4.2.8	Σενάριο 8.....	34
4.3	Κριτήρια Αξιολόγησης.....	35
4.4	Αποτελέσματα.....	35
4.4.1	Σενάριο 1.....	36
4.4.1.1	2 TCP υπηρεσίες ανά Client.....	36
4.4.1.2	4 TCP υπηρεσίες ανά Client.....	37

4.4.1.3 10 TCP υπηρεσίες ανά Client	39
4.4.1.4 Σύνοψη	40
4.4.2 Σενάριο 2	41
4.4.2.1 2 TCP υπηρεσίες ανά Client	41
4.4.2.2 4 TCP υπηρεσίες ανά Client	42
4.4.2.3 10 TCP υπηρεσίες ανά Client	44
4.4.2.4 Σύνοψη.....	45
4.4.3 Σενάριο 3	46
4.4.3.1 2 TCP υπηρεσίες ανά Client	46
4.4.3.2 4 TCP υπηρεσίες ανά Client	47
4.4.3.3 10 TCP υπηρεσίες ανά Client	49
4.4.4 Σύνοψη	50
4.4.5 Σενάριο 4	51
4.4.5.1 2 TCP υπηρεσίες ανά Client	51
4.4.5.2 4 TCP υπηρεσίες ανά Client	52
4.4.5.3 10 TCP υπηρεσίες ανά Client	54
4.4.5.4 Σύνοψη.....	55
4.4.6 Σενάριο 5	56
4.4.6.1 2 TCP υπηρεσίες ανά Client	56
4.4.6.2 4 TCP υπηρεσίες ανά Client	57
4.4.6.3 10 TCP υπηρεσίες ανά Client	59
4.4.6.4 Σύνοψη.....	60
4.4.7 Σενάριο 6	61
4.4.7.1 2 TCP υπηρεσίες ανά Client	61
4.4.7.2 4 TCP υπηρεσίες ανά Client	62
4.4.7.3 10 TCP υπηρεσίες ανά Client	64
4.4.7.4 Σύνοψη.....	65
4.4.8 Σενάριο 7	66
4.4.9 Σενάριο 8	67
4.4.10 Σύνοψη αποτελεσμάτων	69
5 Συμπεράσματα	71
6 Βιβλιογραφία.....	72
7 Παράρτημα.....	74
7.1 Αποτελέσματα Μετρήσεων.....	74
7.1.1.1 3 TCP υπηρεσίες ανά Client	74
7.1.1.2 5 TCP υπηρεσίες ανά Client	75
7.1.2 8 TCP υπηρεσίες ανά Client	76
7.1.3 Σενάριο 2	77
7.1.3.1 3 TCP υπηρεσίες ανά Client	77
7.1.3.2 5 TCP υπηρεσίες ανά Client	78
7.1.3.3 8 TCP υπηρεσίες ανά Client	79
7.1.4 Σενάριο 3	80
7.1.4.1 3 TCP υπηρεσίες ανά Client	80
7.1.4.2 5 TCP υπηρεσίες ανά Client	81
7.1.4.3 8 TCP υπηρεσίες ανά Client	82
7.1.5 Σενάριο 4	83
7.1.5.1 3 TCP υπηρεσίες ανά Client	83

7.1.5.2 5 TCP υπηρεσίες ανά Client	84
7.1.5.3 8 TCP υπηρεσίες ανά Client	85
7.1.6 Σενάριο 5	86
7.1.6.1 3 TCP υπηρεσίες ανά Client	86
7.1.6.2 5 TCP υπηρεσίες ανά Client	87
7.1.6.3 8 TCP υπηρεσίες ανά Client	88
7.1.7 Σενάριο 6	89
7.1.7.1 3 TCP υπηρεσίες ανά Client	89
7.1.7.2 5 TCP υπηρεσίες ανά Client	90
7.1.7.38 TCP υπηρεσίες ανά Client	91
7.2 Περιγραφή λειτουργίας εφαρμογής.....	92
7.3 Εντολές Δημιουργίας, “Σύλληψης” και Ανάλυσης Κίνησης	102
7.3.1 Δημιουργία.....	102
7.3.2 Σύλληψη	102
7.3.3 Ανάλυση	102
7.3.4 Γραφική Απεικόνιση	102

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Γενική Αρχιτεκτονική ενός DVB-T δικτύου	15
Σχήμα 2: Δομικά στοιχεία διαχείρισης δικτυακών πόρων IDVB-T	16
Σχήμα 3: FIFO	17
.....
Σχήμα 4: RED	18
Σχήμα 5: Σχηματική αναπαράσταση της ιεραρχίας HTB βάση των παραπάνω εντολών	20
Σχήμα 6: Επικεφαλίδα TCP	21
Σχήμα 7: Προτεινόμενο κατανεμημένο δίκτυο διαχείρισης στο IDVB-T	23
Σχήμα 8: Μονάδα σήμανσης.....	24
Σχήμα 9: Μονάδα διαχείρισης ουρών.....	24
Σχήμα 10: Στιγμιότυπο εφαρμογής.....	26
Σχήμα 11: Γραφική αναπαράσταση διαμοιρασμού των δικτυακών πόρων.....	27
Σχήμα 12: Πειραματικό δίκτυο	28
Σχήμα 13: Σενάριο 1 – Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (4 ροών).....	36
Σχήμα 14: Σενάριο 1 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (8 ροών).....	38
Σχήμα 15: Σενάριο 1 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (20 ροών).....	40
Σχήμα 16: Σενάριο 2 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (6 ροών)	41
Σχήμα 17: Σενάριο 2 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (12 ροών)	43
Σχήμα 18: Σενάριο 2 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (30 ροών)	45
Σχήμα 19: Σενάριο 3 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (4 ροών).....	46
Σχήμα 20: Σενάριο 3 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (8 ροών).....	48
Σχήμα 21: Σενάριο 3 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (20 ροών).....	50
Σχήμα 22: Σενάριο 4 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (6 ροών).....	51
Σχήμα 23: Σενάριο 4 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (12 ροών).....	53
Σχήμα 24: Σενάριο 4 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (30 ροών).....	55
Σχήμα 25: Σενάριο 5 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (4 ροών).....	56
Σχήμα 26: Σενάριο 5 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (8 ροών)	58
Σχήμα 27: Σενάριο 5 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (20 ροών)	60
Σχήμα 28: Σενάριο 3 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (6 ροών).....	61
Σχήμα 29: Σενάριο 6 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (12 ροών).....	63
Σχήμα 30: Σενάριο 6 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (24 ροών)	65
Σχήμα 31: Σενάριο 7 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο	66
Σχήμα 32: Σενάριο 8 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο CMN1	67
Σχήμα 33: Σενάριο 8 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο CMN2	68
Σχήμα 34: Δικτυακή απόδοση του δικτύου χωρίς μηχανισμό, με μηχανισμό δίκαιου καταμερισμού και μηχανισμού με βάρη σε 2 CMN, 4 TCP υπηρεσιών.....	69
Σχήμα 35: Δικτυακή απόδοση του δικτύου χωρίς μηχανισμό, με μηχανισμό δίκαιου καταμερισμού και μηχανισμού με βάρη σε 2 CMN, 16 TCP υπηρεσιών.....	70
Σχήμα 36: Σενάριο 1 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (6 ροών).....	74
Σχήμα 37: Σενάριο 1 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (10 ροών).....	75
Σχήμα 38: Σενάριο 1 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (16 ροών).....	76
Σχήμα 39: Σενάριο 2 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (6 ροών)	77
Σχήμα 40: Σενάριο 2 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (15 ροών)	78
Σχήμα 41: Σενάριο 2 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (24 ροών)	79

Σχήμα 42: Σενάριο 3 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (6 ροών).....	80
Σχήμα 43: Σενάριο 3 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (10 ροών).....	81
Σχήμα 44: Σενάριο 3 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (16 ροών).....	82
Σχήμα 45: Σενάριο 4 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (9 ροών).....	83
Σχήμα 46: Σενάριο 4 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (15 ροών).....	84
Σχήμα 47: Σενάριο 4 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (24 ροών).....	85
Σχήμα 48: Σενάριο 5 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (6 ροών).....	86
Σχήμα 49: Σενάριο 5 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (10 ροών)	87
Σχήμα 50: Σενάριο 5 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (16 ροών)	88
Σχήμα 51: Σενάριο 6 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (9 ροών).....	89
Σχήμα 52: Σενάριο 6 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (15 ροών)	90
Σχήμα 53: Σενάριο 6 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (24 ροών)	91
Σχήμα 54: Γραφικό περιβάλλον μηχανισμού.....	92
Σχήμα 55: Κατηγορία Manually - 2 κατηγορίες πειθαρχίας ουρών	93
Σχήμα 56: Δημιουργία FIFO μέσω της εφαρμογής	93
Σχήμα 57: Δημιουργία HTB μέσω της εφαρμογής.....	94
Σχήμα 58: Δημιουργία HTB - class μέσω της εφαρμογής.....	94
Σχήμα 59: Δημιουργία HTB - leaf μέσω της εφαρμογής.....	95
Σχήμα 60: Δημιουργία HTB - Filter μέσω του μηχανισμού	95

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Επεξηγηματικός πίνακας αρχείου	27
Πίνακας 2: Σενάριο 5 - Συντελεστές βαρύτητας των CMN.	30
Πίνακας 3: Σενάριο 5 - Συντελεστές βαρύτητας υπηρεσιών προωθούμενων από το CMN1.	31
Πίνακας 4: Σενάριο 5 - Συντελεστές βαρύτητας υπηρεσιών προωθούμενων από το CMN2.	31
Πίνακας 5: Σενάριο 6 - Συντελεστές βαρύτητας των CMN.	32
Πίνακας 6: Σενάριο 6 - Συντελεστές βαρύτητας υπηρεσιών προωθούμενων από το CMN1.	32
Πίνακας 7: Σενάριο 6 - Συντελεστές βαρύτητας υπηρεσιών προωθούμενων από το CMN2.....	33
Πίνακας 8: Σενάριο 6 - Συντελεστές βαρύτητας υπηρεσιών προωθούμενων από το CMN3.....	33
Πίνακας 9: Σενάριο 8 - Συντελεστές βαρύτητας των CMN.	34
Πίνακας 10: Σενάριο 8 - Συντελεστές βαρύτητας υπηρεσιών προωθούμενων από το CMN1.....	35
Πίνακας 11: Σενάριο 8 - Συντελεστές βαρύτητας υπηρεσιών προωθούμενων από το CMN2.....	35
Πίνακας 12: Σενάριο 1 – Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (4 ροών)	36
Πίνακας 13: Σενάριο 1 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (8 ροών).....	37
Πίνακας 14: Σενάριο 1 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (20 ροών).....	39
Πίνακας 15: Σενάριο 2 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (6 ροών).....	41
Πίνακας 16: Σενάριο 2 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (12 ροών).....	42
Πίνακας 17: Σενάριο 2 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (30 ροών).....	44
Πίνακας 18: Σενάριο 3 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (4 ροών).....	46
Πίνακας 19: Σενάριο 3 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (8 ροών).....	47
Πίνακας 20: Σενάριο 3 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (20 ροών).....	49
Πίνακας 21: Σενάριο 4 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (6 ροών).....	51
Πίνακας 22: Σενάριο 4 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (12 ροών).....	52
Πίνακας 23: Σενάριο 4 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (30 ροών).....	54
Πίνακας 24: Σενάριο 5 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (4 ροών).....	56
Πίνακας 25: Σενάριο 5 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (8 ροών).....	57
Πίνακας 26: Σενάριο 5 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (20 ροών).....	59
Πίνακας 27: Σενάριο 6 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (6 ροών).....	61
Πίνακας 28: Σενάριο 6 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (12 ροών).....	62
Πίνακας 29: Σενάριο 6 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (30 ροών).....	64

Περίληψη

Η έλευση του προτύπου επίγειας ψηφιακής ευρυεκπομπής DVB-T επέτρεψε την δημιουργία αποκεντρωμένων δικτυακών υποδομών διαδραστικής επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης (IDVB-T), ικανών να διασυνδέσουν Παροχείς Υπηρεσιών και Τελικούς Χρήστες. Σε αυτά τα δίκτυα ο ανταγωνισμός των υπηρεσιών για το διαθέσιμο εύρος ζώνης μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση της δικτυακής απόδοσης του IDVB-T, άρα και υποβάθμισης του παρεχόμενου, από το δίκτυο, επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας. Για την αντιμετώπιση αυτού του ενδεχομένου, η αποτελεσματική διαχείριση των δικτυακών πόρων είναι αναγκαία. Προς αυτή την κατεύθυνση, οι μέχρι τώρα ερευνητικές προσπάθειες έχουν οδηγήσει σε κεντροποιημένους και ημικαταμεμημένους τρόπους διαχείρισης, οι οποίοι όμως έχουν--σε διαφορετικό βαθμό--προβλήματα κλιμακοθετησιμότητας και κεντρικού σημείου αποτυχίας. Σε αντιδιαστολή εμείς προτείνουμε ένα πλήρες καταμεμημένο σύστημα διαχείρισης δικτυακών πόρων, το οποίο λόγω του περιφερειακού τρόπου λειτουργίας του αντιμετωπίζει με επιτυχία προβλήματα τέτοιου είδους. Σχεδιάσαμε και υλοποιήσαμε το προτεινόμενο σύστημα διαχείρισης έτσι ώστε να υποστηρίζει δύο τρόπους εισαγωγής πολιτικών καταμερισμού πόρων. Με τον πρώτο τρόπο ο χρήστης, με την χρήση γραφικού περιβάλλοντος, εισάγει και ενεργοποιεί την επιθυμητή πολιτική, ενώ με τον δεύτερο η εκάστοτε πολιτική αποστέλλεται μέσω δικτυακής μετάδοσης και εφαρμόζεται αυτόματα από το σύστημα. Στα πλαίσια της αξιολόγησης, ενσωματώσαμε στο προτεινόμενο σύστημα έναν "δίκαιο" και έναν με "βάρη" αλγόριθμο καταμερισμού πόρων, και εκτελέσαμε μια σειρά από πειράματα σε ένα πραγματικό IDVB-T δίκτυο, τα οποία και απέδειξαν την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου μηχανισμού ακόμα και σε συνθήκες υψηλού δικτυακού φόρτου.

Abstract

The advent of the Digital Video Broadcasting standard for terrestrial application (DVB-T) enabled for the realization of decentralized Interactive DVB-T (IDVB-T) network infrastructures, capable of interconnecting Service Providers and End Users. In such networks, the services competition for the available bandwidth, can result in the degradation of IDVB-T's network performance, and thus degradation of the offered, by the network, Quality of Service (QoS) level. Towards handling such situations, an efficient management of the network resources is mandatory. In this direction, the so far research efforts have been focused to centralized and semi-distributed management approaches, with both of them having--to different degrees--problems of scalability and Single Point of Failure(SPF). In contrast to these approaches, we propose a fully distributed system of managing IDVB-T's network resources, as its peripheral operation will handle better scalability and SPF problems. We designed and implemented the proposed management system to support two modes of importing policies regarding sharing resources. In the first mode the user, using a graphical user interface, imports by hand and activates the desired policy, while in the second mode the policy is sent via the network and is applied automatically by the system. As part of the evaluation process, we integrated in the proposed system a "fair" and a "weighted" algorithm for sharing the network resources, before performing a series of experiments, in a real IDVB-T network, with the results proving the effectiveness of our management system, even under high network traffic.

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η έλευση του προτύπου ψηφιακής ευρυεκπομπής DVB (Digital Video Broadcasting) και η εφαρμογή του σε επίγεια συστήματα (DVB-T), επέτρεψε την δημιουργία δικτυακών υποδομών διαδραστικής επίγεια ψηφιακής τηλεόρασης (Interactive DVB-T), ικανών να διασυνδέσουν τους Παροχείς Υπηρεσιών (Web, Mail, Video, VoIP κ.τ.λ) με τους Τελικούς Χρήστες. Για την υλοποίηση τέτοιων διαδραστικών συστημάτων, υπάρχουν δύο διαφορετικές αρχιτεκτονικές προσεγγίσεις: α) η κεντροποιημένη [1,2,3] και β) η αποκεντρωμένη [4,5,6] αρχιτεκτονική, με την αποκεντρωμένη να υπερέχει της κεντροποιημένης καθώς προσφέρει το πλεονέκτημα της κλιμακοθετησιμότητας (scalability)–αφού μειώνει τον όγκο εργασίας στη DVB-T πλατφόρμα επιτρέποντας τη τοπική διαχείριση χρηστών και υπηρεσιών από ενδιάμεσους κόμβους διανομής (Cell Main Nodes-CMNs), αφήνοντας υπό την άμεση εποπτεία του κεντρικού σημείου εκπομπής μόνο τους CMNs.

Σε τέτοια αποκεντρωμένα IDVB-T δίκτυα–και παρά τα πλεονεκτήματα της κλιμακοθετησιμότητας–όπου ετερογενείς υπηρεσίες προωθούμενες από τους ενδιάμεσους κόμβους διανομής ανταγωνίζονται για τους διαθέσιμους δικτυακούς πόρους, μια Best Effort αντιμετώπιση των υπηρεσιών οδηγεί σε υποβάθμιση της ποιότητας (Quality of Service-QoS) των μεταδιδόμενων υπηρεσιών καθώς και της συνολικής δικτυακής απόδοσης. Για την αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων είναι απαραίτητη η ενσωμάτωση στο IDVB-T συστημάτων διαχείρισης των δικτυακών τους πόρων, τα οποία χρησιμοποιώντας μηχανισμούς σήμανσης πακέτων (Markers) και διαχείρισης ουρών θα επιτρέψουν αντίστοιχα, την ταυτοποίηση/κατηγοριοποίηση των μεταδιδόμενων υπηρεσιών και εν συνεχεία τη δέσμευση/κατανομή του εύρους ζώνης που αντιστοιχεί στις QoS απαιτήσεις τους.

Προς τη κατεύθυνση της διαχείρισης των διαθέσιμων δικτυακών πόρων σε IDVB-T δίκτυα για την παροχή QoS, οι μέχρι τώρα ερευνητικές προσπάθειες έχουν εστιασθεί σε κεντροποιημένα

[7,8,9,10] και ημικατανεμημένα [11] συστήματα διαχείρισης. Στα κεντρικοποιημένα συστήματα οι μηχανισμοί διαχείρισης πόρων (π.χ. ουρές, σημαντές) εδρεύουν εξολοκλήρου σε μονάδες της DVB-T πλατφόρμας, ενώ στα ημικατανεμημένα εδρεύουν τόσο στη DVB-T πλατφόρμα (ουρές) όσο και στους ενδιάμεσους κόμβους διανομής (σημαντές). Η κεντρικοποιημένη διαχείριση δικτυακών πόρων, παρόλο που είναι απλή στο σχεδιασμό μειονεκτεί στα θέματα της κλιμακοθετησιμότητας (ο φόρτος εργασία αυξάνει δυσανάλογα καθώς αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών/υπηρεσιών) και της ανθεκτικότητας σε σφάλματα (η δυσλειτουργία έστω και μιας λειτουργικής μονάδας διαχείρισης πόρων επηρεάζει όλο το σύστημα). Σε αντιδιαστολή, η ημικατανεμημένη προσέγγιση, ναι μεν, αντιμετωπίζει εν μέρει το θέμα της κλιμακοθετησιμότητας, μεταφέροντας μέρος του φόρτου εργασίας στους ενδιάμεσους κόμβους διανομής, αλλά και πάλι η αποτυχία λειτουργίας σε μια κεντρική μονάδα διαχείρισης (ουρά) έχει αρνητικές συνέπειες σε όλο το IDVB-T δίκτυο.

1.2 Στόχος Πτυχιακής Εργασίας

Σε αντιδιαστολή με τις μέχρι τώρα κεντρικοποιημένες και ημικατανεμημένες προσεγγίσεις για την διαχείριση των δικτυακών πόρων σε συστήματα διαδραστικής ψηφιακής ευρυεκπομπής, η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στο σχεδιασμό, ανάλυση, υλοποίηση και αξιολόγηση ενός κατανεμημένου συστήματος διαχείρισης δικτυακών πόρων. Το προτεινόμενο σύστημα θα βελτιστοποιεί την απόδοση του IDVB-T, ως προς τη παροχή της μεγαλύτερης δυνατής ποιότητας υπηρεσίας, και λόγω της κατανεμημένης φύσης του θα επιτρέπει την καλύτερη αντιμετώπιση θεμάτων κλιμακοθετησιμότητας και ανθεκτικότητας σε σφάλματα.

1.3 Διάρθρωση Πτυχιακής Εργασίας

Ακολουθώντας την εισαγωγή, το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζει όλες τις απαραίτητες θεωρητικές πληροφορίες που απαιτούνται ώστε ο αναγνώστης να εξοικειωθεί και να κατανοήσει τη λειτουργία των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη αυτής της πτυχιακής εργασίας. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το προτεινόμενο σύστημα κατανεμημένης διαχείρισης των δικτυακών πόρων σε συστήματα αποκεντρωμένης διαδραστικής ψηφιακής τηλεόρασης και περιγράφεται η υλοποίησή του. Στην συνέχεια, στο τέταρτο κεφάλαιο ακολουθεί η αξιολόγηση του προτεινόμενου συστήματος και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις πειραματικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν. Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο διατυπώνονται τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής και παρατίθενται κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μία περιγραφή των τεχνολογιών, των πρωτοκόλλων και του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της πτυχιακής αυτής.

2.1 Ψηφιακή Τηλεόραση

Η ψηφιακή τηλεόραση τα τελευταία χρόνια έχει μπει δυναμικά στη ζωή των πολιτών της Ευρώπης και ειδικότερα τα τελευταία δύο χρόνια στη ζωή των πολιτών της Ελλάδας. Η μετάβαση στη συγκεκριμένη ψηφιακή τεχνολογία κρίθηκε αναγκαία δεδομένου των πλεονεκτημάτων που υπάρχουν έναντι των παλαιότερων προτύπων. Στον κόσμο υπάρχουν τρεις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την ψηφιακή τηλεόραση. Στην Ευρώπη είναι το πρότυπο DVB,(Digital Video Broadcasting) , στην Αμερική το ATSC(Advanced Television Systems Committee) και στην Ιαπωνία αντίστοιχα το SDB (Integrated Services Digital Broadcasting).

Αναλυτικότερα το πρότυπο DVB (Digital Video Broadcasting) είναι μια οικογένεια προτύπων που ορίζει τις προδιαγραφές για την ψηφιακή μετάδοση οπτικοακουστικών σημάτων και δεδομένων, χρησιμοποιώντας δορυφορικά, καλωδιακά και επίγεια μέσα μετάδοσης. Αναπτύχθηκε από το DVB Project[12] και εγκρίθηκε από το Ευρωπαϊκό Ίδρυμα Προτύπων Τηλεπικοινωνιών (ETSI). Η οικογένεια προτύπων DVB αποτελείται από τα παρακάτω πρότυπα : DVB-S και DVB-S2 (Satelite - δορυφορικά), DVB-C (Cable - καλωδιακό), DVB-T[13] και DVB-T2[14] (Terrestrial -επίγειο) και DVB-H(Handheld Terminal- φορητή ψηφιακή συσκευή). Στην πτυχιακή θα μελετηθεί το πρότυπο DVB-T όπου και ακολουθεί η περιγραφή του στην παρακάτω παράγραφο.

2.1.1 DVB-T

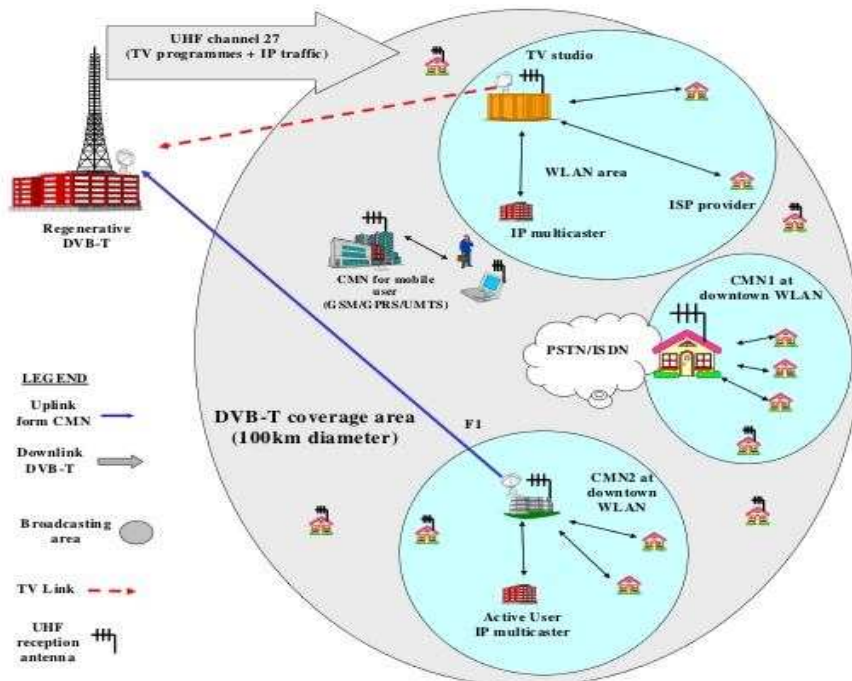
Το πρότυπο με το οποίο θα ασχοληθεί αυτή η εργασία είναι το DVB-T. Όπως φαίνεται και από την ονομασία του (Terrestrial-Επίγειο), χρησιμοποιείται για την επίγεια μετάδοση ψηφιακών

τηλεοπτικών προγραμμάτων. Σε αυτό το σύστημα, το οπτικοακουστικό σήμα μεταδίδεται συμπιεσμένο, χρησιμοποιώντας διαμόρφωση πολλαπλών φερόντων στο σχήμα της πολυπλεξίας με ορθογώνια διαίρεση συχνότητας και κωδικοποίηση καναλιού (COFDM-Coded Orthogonal Frequency). Το OFDM χρησιμοποιεί ένα μεγάλο αριθμό φερόντων ($N=6817$) κάθε ένα από τα οποία διαμορφώνεται κατά QPSK, 16QAM ή 64QAM. Έτσι, η πληροφορία κατανέμεται ομοιόμορφα στο φάσμα και σε συνδυασμό με κωδικοποίηση και διεμπλοκή δύο στρωμάτων, το σήμα αποκτά μεγάλη ισχύ ακόμη και σε περιβάλλοντα με ισχυρές διαλείψεις και φαινόμενα πολυδιαδρομικής μετάδοσης (multipath). Το DVB-T για την κωδικοποίησης πηγής κάνει χρήση του προτύπου MPEG-2 [15], ενώ πρόσφατα άρχισε να χρησιμοποιεί και το H.264[16]. Στα DVB-T συστήματα η μετάδοση επιτυγχάνεται εκπέμποντας σε ένα από τα κανάλια 21-69 της μπάντας των UHF, έχοντας διαθέσιμο εύρος ζώνης 8 Mhz.

Στο πρότυπο DVB-T, για να μπορούν να παρέχονται αμφίδρομες/διαδραστικές υπηρεσίες απαιτείται και ένα κανάλι επιστροφής(Return Channel Terrestrial) δεδομένου της μονόδρομης φύσης της. Με το κανάλι αυτό δίνεται η δυνατότητα της διαδραστικότητας. Με τη διαδραστικότητα επιτρέπεται στους χρήστες όχι μόνο να ζητούν υπηρεσίες από την πλατφόρμα DVB-T, αλλά και να αποστέλλουν υπηρεσίες προς αυτή, δίνοντας τους έτσι τη δυνατότητα να μετατραπούν σε παροχείς υπηρεσιών. Για την υλοποίηση του καναλιού αυτού, γίνεται χρήση διάφορων διαθέσιμων τεχνολογιών, όπως xDSL, ISDN, WLAN, GPRS.

2.1.2 Διαδραστική Ψηφιακή Τηλεόραση (Interactive DVB-T)

Το γενικό μοντέλο της αρχιτεκτονικής του δικτύου διαδραστικής ψηφιακής τηλεόρασης αποτελείται από 1) την πλατφόρμα DVB-T όπου είναι και το κεντρικό σημείο ευρυεκπομπής, 2) από ένα σύνολο ενδιάμεσων κόμβων διανομής(Cell Main Nodes-CMN's) και 3) από τους τελικούς χρήστες. Σε κάθε περιοχή που εκπέμπεται το ψηφιακό σήμα της DVB-T, η περιοχή διαιρείται σε κυψέλες και σε κάθε κυψέλη βρίσκεται και ένας CMN. Ο κάθε CMN είναι υπεύθυνος για τη δρομολόγηση της κίνησης από και προς τους τελικούς χρήστες. Λαμβάνει την κίνηση από την κάρτα τηλεόρασης(DVB-T) και την προωθεί στους τελικούς χρήστες. Παράλληλα όμως δρομολογεί και την κίνηση από τους τελικούς χρήστες προς την πλατφόρμα μέσω του καναλιού επιστροφής που έχει ο CMN. Η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ κάθε CMN και του κεντρικού σημείου ευρυεκπομπής επιτυγχάνεται με τη χρήση δύο ξεχωριστών μονόδρομων καναλιών επικοινωνίας. Η IP κίνηση ενθυλακώνεται στο ρεύμα μεταφοράς DVB-T MPEG-2 χρησιμοποιώντας την τεχνική Ενθυλάκωσης Πολλαπλών Πρωτοκόλλων (Multi Protocol Encapsulation – MPE) παρέχοντας έτσι ένα ιδεατό δίκτυο κορμού ETHERNET για τις IP υπηρεσίες. Ακολουθεί η πολυπλεξία της IP κίνησης και των τηλεοπτικών προγραμμάτων σε μια ροή DVB-T, η οποία με την σειρά της διαμορφώνεται χρησιμοποιώντας Κωδικοποιημένη Ορθογώνικη Πολύπλεξη Συχνότητας (COFDM) και εκπέμπεται μέσω ενός καναλιού UHF.



Σχήμα 1: Γενική Αρχιτεκτονική ενός DVB-T δικτύου

2.2 Διαχείριση των δικτυακών πόρων

2.2.1 Δομικά στοιχεία διαχείρισης των δικτυακών πόρων

Classifier (Ταξινομητής): Ένας ταξινομητής εξετάζει κάθε εισερχόμενο πακέτο και προσδιορίζει σε ποια ομάδα ανήκει. Τα στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη κατά τον προσδιορισμό είναι η IP διεύθυνση πηγής, η IP διεύθυνση προορισμού και οι αριθμοί θυρών της πηγής και του προορισμού. Ο ταξινομητής είναι επίσης σε θέση να προσδιορίσει την συνολική ροή στην οποία ανήκει το πακέτο, με βάση την τιμή του DS πεδίου του.

Marker (Μαρκάρισμα): Στο πεδίο DS ενός πακέτου τίθεται το κωδικοσημείο (codepoint), που αντιστοιχεί στο συμφωνηθέν επίπεδο παροχής NqoS.

Shaper (Διαμορφωτής): Σε μια ροή όταν υπάρχει πληθώρα πακέτων, ο διαμορφωτής, ο οποίος είναι ένας μηχανισμός που μετράει την κίνηση σε μια συγκεκριμένη ουρά, μπορεί να επιλέξει να επεξεργαστεί τα πακέτα με πολλούς τρόπους. Ο διαμορφωτής μιας ουράς θα αποδεχτεί την κυκλοφορία μέχρι έναν συγκεκριμένο αριθμό. Εάν η κυκλοφορία υπερβεί το ρυθμό αυτό τότε έχει δύο επιλογές. Η μία επιλογή είναι να απορρίψει την παραπάνω κίνηση και η δεύτερη επιλογή να την επαναταξινομήσει σε άλλη ουρά.



Σχήμα 2: Δομικά στοιχεία διαχείρισης δικτυακών πόρων IDVB-T

2.2.2 Διαχείριση Ουρών (Queuing Disciplines)

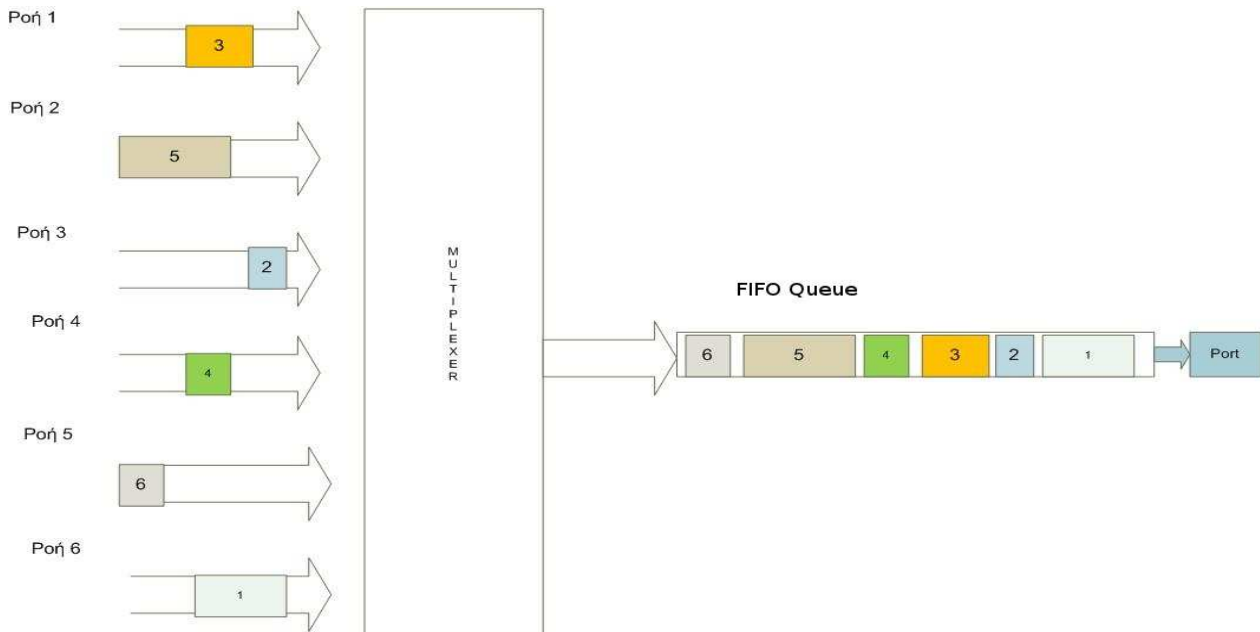
Για να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο ποιότητας σε μία μετάδοση εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι διαχείρισης ουρών (Queuing Disciplines). Η διαχείριση ουρών χρησιμοποιεί ένα σύνολο από αλγόριθμους που ελέγχουν τον τρόπο με τον οποίο θα εισέλθουν, θα αποθηκευτούν αλλά και θα εξέλθουν τα πακέτα από μία ουρά. Υπάρχουν δύο κατηγορίες αλγόριθμων, οι αλγόριθμοι που ο τρόπος λειτουργίας τους περιλαμβάνει την ταξινόμηση της κίνησης των πακέτων που εισέρχονται στην ουρά (classful) κ εκείνων που δεν περιλαμβάνει κάτι ανάλογο (classless).

Οι classless αλγόριθμοι είναι απλοί στην κατανόησή τους. Διαχειρίζονται όλη την κίνηση που τους παρέχεται με τον ίδιο τρόπο. Αντίθετα, οι classful αλγόριθμοι έχουν την ικανότητα να διαχωρίζουν την κίνηση που τους παραδίδεται σε κλάσεις (κατηγορίες). Κάθε κλάση λαμβάνει διαφορετική εξυπηρέτηση από την ουρά ανάλογα με τις ρυθμίσεις που έχουν γίνει στην κάθε κλάση. Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν ενδεικτικά ορισμένες μέθοδοι διαχείρισης ουρών. Αυτές είναι, η FIFO ως η πιο απλή και βασική που υπάρχει, η RED που είναι μια εξέλιξη της FIFO και η HTB στην οποία παρουσιάζεται ένας διαφορετικός τρόπος αντιμετώπισης της κίνησης που εισέρχεται στο δίκτυο.

2.2.2.1 FIFO

Ο αλγόριθμος FIFO (First In – First Out) είναι classless και είναι ο πιο απλός απ' όσους μπορούν να εφαρμοστούν για την διαχείριση της κίνησης σε μια διεπαφή δικτύου. Η λειτουργία του

είναι ιδιαίτερα απλή. Τα εισερχόμενα πακέτα τοποθετούνται σε μια ουρά αναμονής συγκεκριμένου μεγέθους. Η εξυπηρέτηση των πακέτων γίνεται ακριβώς με την ίδια σειρά που τα πακέτα τοποθετήθηκαν στην ουρά, δηλαδή το πακέτο που έφτασε πρώτο θα προωθηθεί και πρώτο. Όταν η ουρά γεμίσει, τα πακέτα που καταφθάνουν απορρίπτονται (tail – drop).[18]



Σχήμα 3: FIFO

2.2.2.2 RED

Ο αλγόριθμος RED (Random Early Detection), είναι ένας classless αλγόριθμος διαχείρισης FIFO ουρών, ο οποίος πρόσφερε μία εναλλακτική μέθοδο απόρριψης πακέτων από αυτή της τεχνικής του drop tail. Πιο συγκεκριμένα, σκοπός του RED είναι να μην αφήνει την ουρά FIFO να γεμίσει, απορρίπτοντας τυχαία επιλεγμένα πακέτα. Πιο συγκεκριμένα ο τρόπος που λειτουργεί είναι ο εξής:

1. Εάν τα πακέτα μέσα σε μια ουρά είναι κάτω από ένα όριο, τότε η πιθανότητα να απορριφθεί ένα πακέτο είναι 0.
2. Εάν τα πακέτα μέσα σε μια ουρά είναι πάνω από ένα όριο, τότε η πιθανότητα να απορριφθεί ένα πακέτο είναι 1.
3. Εάν τα πακέτα μέσα σε μια ουρά είναι μεταξύ του κατώτερου και μέγιστου ορίου τότε η πιθανότητα να απορριφθεί ένα πακέτο είναι μεταξύ του ανοιχτού διαστήματος (0,1). [19]

2.2.2.3 HTB

Ο αλγόριθμος HTB (Hierarchical Token Bucket), έχει σκοπό την κατηγοριοποίηση (classful)

και τον έλεγχο του ρυθμού ροής της εξερχόμενης κίνησης. Ο αλγόριθμος δημιουργεί πάνω σε μία φυσική διεπαφή δικτύου(κάρτα δικτύου), έναν αριθμό από εικονικές κλάσεις, καθεμία με το δικό της αλγόριθμο διαχείρισης ουράς και το δικό της εύρος ζώνης. Κάθε κλάση στην HTB μπορεί να έχει μία ή κ περισσότερες κλάσεις-παιδιά δημιουργώντας έτσι μία ιεραρχική δομή. Τα παιδιά μιας κλάσης μπορούν να μοιραστούν το περίσσειμα εύρους ζώνης του γονέα. Πιο συγκεκριμένα, το διαθέσιμο bitrate μοιράζεται στις κλάσεις-παιδιά/φύλλα (φύλλα – η τελευταία κλάση της HTB) ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες των υπηρεσιών που τρέχουν στο δίκτυο. Σε κάθε κλάση υπάρχουν δύο παράμετροι, η παράμετρος rate και η παράμετρος ceil. Οι παράμετροι αυτοί δείχνουν το ελάχιστο και το μέγιστο bitrate που μπορεί να δεσμευθεί στην κάθε κλάση. Για το ελάχιστο που μπορεί να δεσμευθεί είναι η rate και για το μέγιστο αντίστοιχα η ceil. Κάθε κλάση δεν είναι υποχρεωμένη να χρησιμοποιεί στο μέγιστο το bitrate που της αναλογεί. Κατά συνέπεια η κλάση παιδί/φύλλο μπορεί να κάνει χρήση του περισσευόμενου bitrate. Κάθε κλάση φύλλο για να μπορεί να αποθηκεύει τα πακέτα πρέπει να χρησιμοποιήσει μια πειθαρχία ουρών, συνήθως είναι η FIFO αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες. Κάθε κλάση φύλλο μπορεί να έχει διαφορετική πειθαρχία ουρών.[20] Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικές εντολές δημιουργίας μιας δομής HTB:

Δημιουργία της κύριας πειθαρχίας στην eth0:

```
tc qdisc add dev eth0 root handle 1:0 htb
```

Δημιουργία της κύριας κλάσης στην eth0 ορίζοντας το bitrate:

```
tc class add dev eth0 parent 1:0 classid 1:1 htb rate 2048kbit
```

Δημιουργία της υποκλάσης 1:2 στην eth0 με κλάση γονέα την κλάση 1:1 και ορισμός του ελάχιστου και μέγιστου bitrate για αυτήν την υποκλάση:

```
tc class add dev eth0 parent 1:1 classid 1:2 htb rate 1228kbit ceil 2048kbit  
tc class add dev eth0 parent 1:1 classid 1:3 htb rate 820kbit ceil 2048kbit
```

Δημιουργία της υποκλάσης 1:2 στην eth0 με κλάση γονέα την κλάση 1:1 και ορισμός του ελάχιστου και μέγιστου bitrate για αυτήν την υποκλάση:

```
tc class add dev eth0 parent 1:2 classid 1:21 htb rate 614kbit ceil 1228kbit  
tc class add dev eth0 parent 1:2 classid 1:22 htb rate 614kbit ceil 1228kbit
```

Δημιουργία της πειθαρχίας που έχει η κλάση φύλλο στην eth0 με την κλάση γονέα 1:21 (πειθαρχία ουράς FIFO)

```
tc qdisc add dev eth0 parent 1:2 handle 210: pfifo limit 10  
tc qdisc add dev eth0 parent 1:2 handle 220: pfifo limit 10  
tc qdisc add dev eth0 parent 1:3 handle 30: pfifo limit 10
```

Δημιουργία φίλτρου στο οποίο ορίζονται τα χαρακτηριστικά της κίνησης

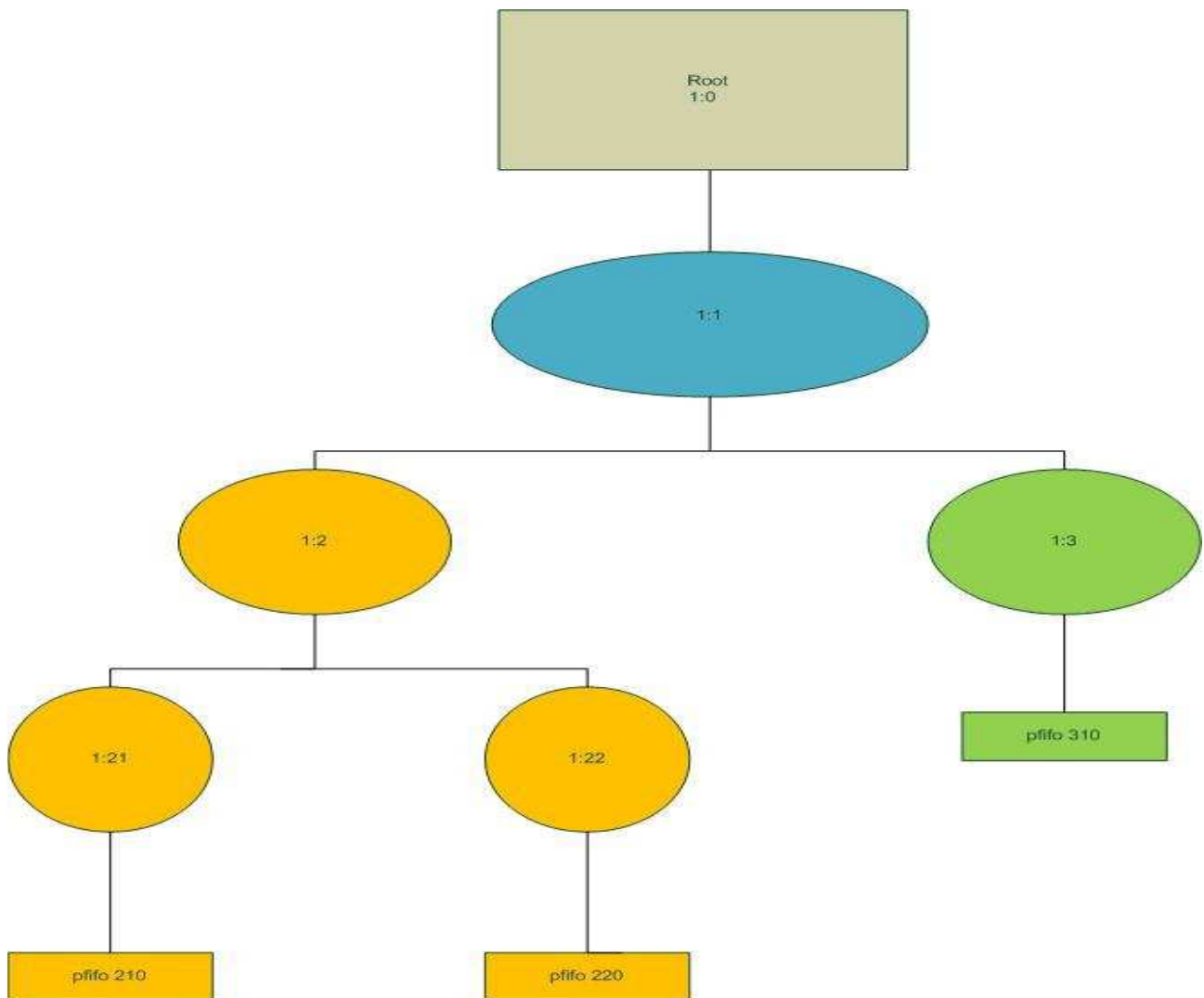
```
tc filter add dev eth0 parent 1:0 protocol ip prio 1 u32 match ip protocol 6 0xff match
```

`ip dst 172.16.20.2 match ip src 192.168.50.3 match ip dport 5007 0xff flowid 1:21`

`tc filter add dev eth0 parent 1:0 protocol ip prio 1 u32 match ip protocol 17 0xff match ip dst 172.16.20.3 match ip src 192.168.50.3 match ip dport 5008 0xff flowid 1:22`

`tc filter add dev eth0 parent 1:0 protocol ip prio 1 u32 match ip protocol 17 0xff match ip dst 172.16.20.3 match ip src 192.168.50.3 match ip dport 5008 0xff flowid 1:31`

Παρακάτω φαίνεται το σχήμα μιας πειθαρχίας ουρών HTB υλοποιημένη βάση των παραπάνω εντολών:



Σχήμα 5: Σχηματική αναπαράσταση της ιεραρχίας HTB βάση των παραπάνω εντολών

2.3 Πρωτόκολλα Μεταφοράς Δεδομένων

2.3.1 TCP – Transmission Control Protocol

Το TCP (Transmission Control Protocol) είναι ένα πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων. Σχεδιάστηκε για πρώτη φορά το 1981 για χρήση στο αμερικανικό DARPA έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ δύο τερματικών. Το TCP παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων με σύνδεση (connection- oriented) και έλεγχο ροής (flow control) χρησιμοποιώντας το IP ως επίπεδο δικτύου. Οργανώνει τα δεδομένα σε τμήματα (segments) με επικεφαλίδα, της οποίας τα πεδία διευκολύνουν τις λειτουργίες ελέγχου ροής και αποφυγής λαθών. Η επικεφαλίδα του TCP φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Source Port (16)		Destination Port (16)	
Sequence Number (32)			
Acknowledgement Number (32)			
Data offset	Reserved (6)	Flags (6)	Window (16)
Checksum (16)		Urgent (16)	
Options and Padding			
Data (Varies)			

Σχήμα 6:

Επικεφαλίδα TCP

Τα πεδία της κεφαλίδας TCP source port (θύρα προέλευσης) και destination port (θύρα προορισμού) καθορίζουν τα τοπικά τερματικά σημεία της σύνδεσης. Για τον εντοπισμό των χαμένων πακέτων, το κάθε τμήμα αριθμείται με έναν συγκεκριμένο αριθμό ακολουθίας (sequence number) τον οποίο κάθε φορά ο αποστολέας αυξάνει κατά τον αριθμό των bytes που έχουν ως τώρα σταλεί επιτυχώς. Ο παραλήπτης απαντά δηλώνοντας στο πεδίο του αριθμού επιβεβαίωσης (acknowledgment number) τον αριθμό ακολουθίας του επόμενου τμήματος που περιμένει. Τμήματα για τα οποία η επιβεβαίωση καθυστερεί περισσότερο από ένα χρονικό διάστημα RTO (Retransmission TimeOut) επανεκπέμπονται.

Προκειμένου να μην καθυστερείτε η ανταλλαγή δεδομένων από τη φυσική καθυστέρηση του καναλιού, το TCP επιχειρεί να στείλει έναν συγκεκριμένο όγκο δεδομένων χωρίς να περιμένει την επιβεβαίωση για το πρώτο τμήμα. Ο όγκος αυτός των δεδομένων που ανά πάσα στιγμή βρίσκονται ανεπιβεβαίωτα στο δίκτυο λέγεται παράθυρο (TCP window) ή παράθυρο συμφόρησης (congestion window). Το παράθυρο συμφόρησης αρχίζει με την τιμή του ενός τμήματος και αυξάνεται με κάθε επιτυχή επιβεβαίωση, αυξάνοντας έτσι και την ταχύτητα μετάδοσης. Η αύξηση είναι αρχικά εκθετική (διαδικασία αργής εκκίνησης - «slow start») και αργότερα γραμμική (διαδικασία αποφυγής συμφόρησης - «congestion avoidance»). Το παράθυρο που χρησιμοποιεί ο αποστολέας δεν μπορεί να υπερβεί την τιμή (receiver advertised window) που δηλώνει ο παραλήπτης σε κάθε επιβεβαίωση χρησιμοποιώντας το αντίστοιχο πεδίο της επικεφαλίδας. Σε περίπτωση απώλειας πακέτου, ο αποστολέας μειώνει το παράθυρο συμφόρησης στο μισό της προηγούμενης τιμής του, με αποτέλεσμα να μειώνεται αντίστοιχα και η ταχύτητα αποστολής. [21][22]

2.4 Λογισμικό

2.4.1 TC

Το TC (Traffic Control) είναι μία εφαρμογή για τα UNIX λειτουργικά συστήματα που περιλαμβάνει μηχανισμούς και λειτουργίες για την επεξεργασία πακέτων αλλά και τη λήψη αποφάσεων. Οι αποφάσεις αυτές είναι αν θα επεξεργαστεί ή απορρίψει κάποιο πακέτο η κάρτα δικτύου. Οι λειτουργίες περιλαμβάνουν ακόμη την τοποθέτηση πακέτων σε ουρά, την εφαρμογή πολιτικών στην κίνηση μιας κάρτας δικτύου, τη διαμόρφωση της κίνησης, την ταξινόμηση συγκεκριμένων ροών, κá. [23]

2.4.2 IPTABLES

Το iptables είναι ένα λογισμικό κατάλληλο για τη διαχείριση της δικτυακής κίνησης. Με αυτό παρέχετε προστασία στο δίκτυο καθώς με τις κατάλληλες ρυθμίσεις ελέγχει κάθε είδους ανεπιθύμητη ή κίνηση που εισέρχεται, εξέρχεται και προωθείται από τις δικτυακές συσκευές. [24]

2.4.3 TCPDUMP

Το tcpdump είναι μια εφαρμογή ανάλυσης της κίνησης ενός δικτύου και εκτελείται σε γραμμή εντολών. Επιτρέπει στους χρήστες να ανιχνεύσουν και να εμφανίσουν κάθε είδους κίνηση, στον υπολογιστή που είναι εγκατεστημένο το πρόγραμμα, καθώς επίσης και την κίνηση πακέτων από άλλα υποδίκτυα. [25]

2.4.4 IPERF

Το iperf είναι ένα εργαλείο για τη δημιουργία δικτυακής κίνησης. Υποστηρίζει τα πρωτόκολλα TCP και UDP και βρίσκει εφαρμογή σε λειτουργικά συστήματα των Unix, Windows και MacOS. Ορισμένα από τα χρήσιμα χαρακτηριστικά είναι ότι δίνει πληροφορίες για το εύρος ζώνης, τις απώλειες, τη διακύμανση της καθυστέρησης και γενικότερα για την απόδοση του δικτύου.[26]

2.4.5 TCPTRACE

Το Tcptrace είναι ένα εργαλείο το οποίο χρησιμοποιείται για την ανάλυση TCP dump αρχείων. Δέχεται πακέτα που έχουν δημιουργηθεί από διάφορα packet-capture προγράμματα όπως είναι το tcpdump. Το tcptrace μπορεί να παράγει αρχεία τα οποία περιέχουν διαφόρους τύπους πληροφοριών για κάθε κίνηση. Όπως για παράδειγμα χρόνος εξομοίωσης, bytes που έχουν σταλεί και παραληφθεί, retransmissions, round trip times, window advertisements, throughput, και άλλα . Μπορεί επίσης να παράγει γραφικές παραστάσεις για κάθε μια από τις παραπάνω πληροφορίες, για περαιτέρω ανάλυση.[27]

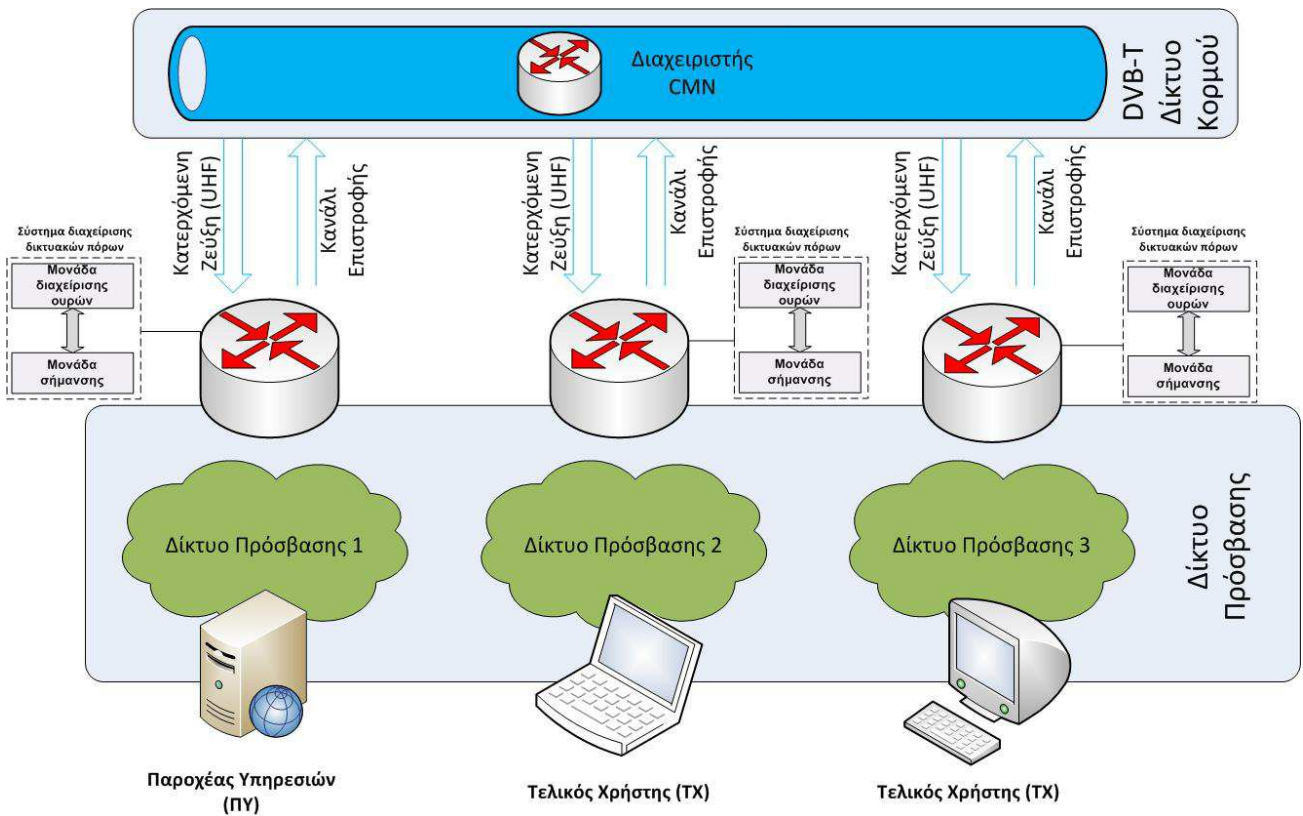
2.4.6 GNU OCTAVE

GNU Octave είναι μία υψηλού επιπέδου γλώσσα, που χρησιμοποιείται κυρίως για αριθμητικούς υπολογισμούς. Παρέχει δυνατότητες για την αριθμητική επίλυση γραμμικών και μη γραμμικών προβλημάτων, καθώς και για την εκτέλεση άλλων αριθμητικών πειραμάτων. Είναι κατάλληλη για εξαγωγή γραφικών παραστάσεων.[28]

3 Καταναμημένο σύστημα διαχείρισης των δικτυακών πόρων

3.1 Σχεδιασμός Συστήματος

Σε αντιδιαστολή με τις μέχρι τώρα κεντροποιημένες και ημικαταναμημένες προσεγγίσεις στη διαχείριση πόρων πάνω από δίκτυα διαδραστικής ψηφιακής τηλεόρασης προτείνουμε ένα καταναμημένο σύστημα του οποίου οι μηχανισμοί σήμανσης πακέτων και διαχείρισης ουρών, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 7, εδρεύουν εξολοκλήρου στους ενδιάμεσους κόμβους διανομής. Ο περιφερειακός τρόπος λειτουργίας του προτεινόμενου συστήματος αντιμετωπίζει προβλήματα: α) κλιμακοθεσιμότητας καθώς αποφεύγει τη συγκέντρωση το φόρτου διαχείρισης σε μια κεντρική μονάδα διαμοιράζοντας τον στους CMNs και β) σφάλματος κεντρικού σημείου (Single Point of Failure-SPF) αφού στη περίπτωση που σε κάποιο μηχανισμό σήμανσης πακέτων ή διαχείρισης ουρών ενός ενδιάμεσου κόμβου προκύψει κάποια δυσλειτουργία, οι συνέπειες είναι τοπικές χωρίς να επηρεάσουν συνολικά τη λειτουργία του υπόλοιπου συστήματος.

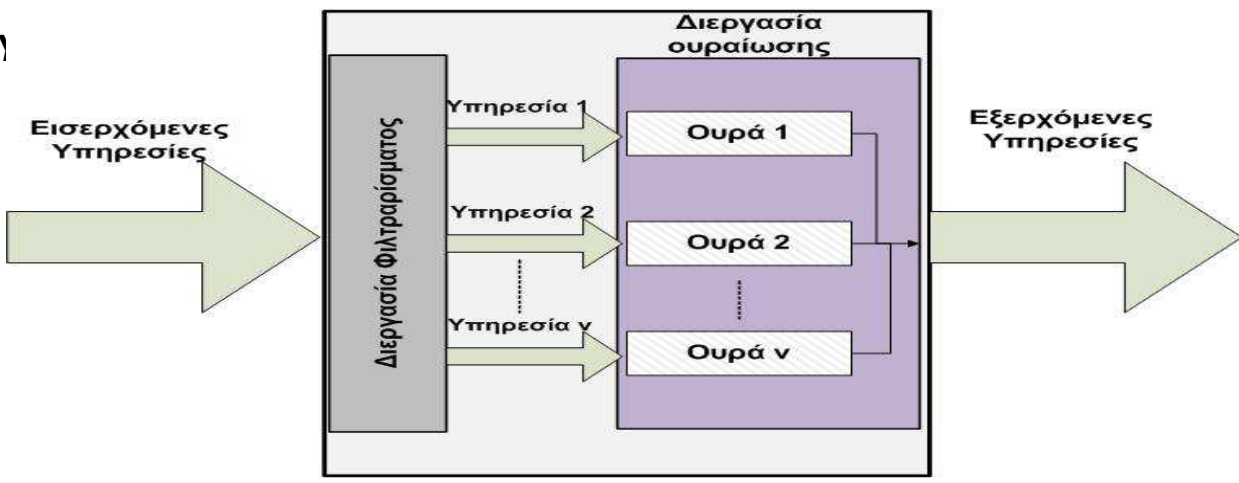


Σχήμα 7: Προτεινόμενο καταναμημένο δίκτυο διαχείρισης στο IDVB-T

Πιο αναλυτικά και όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 8, η μονάδα σήμανσης πακέτων βασισμένος στα περιεχόμενα της επικεφαλίδας (πχ. διεύθυνση πηγής/προορισμού, θύρα προορισμού/πηγής) του κάθε πακέτου που εισέρχεται στους CMNs θα το μαρκάρει με μια ειδική τιμή, η οποία και θα το αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη πολιτική καταμερισμού των διαθέσιμων δικτυακών πόρων. Επισημαίνεται ότι υπάρχει η δυνατότητα διαφορετικές ροές να αντιστοιχίζονται στην ίδια πολιτική διαχείρισης εάν μοιράζονται τις ίδιες απαιτήσεις για ποιότητα υπηρεσίας. Εν συνεχεία, η μονάδα

διαχείρισης ουρών, η οποία απεικονίζεται στο Σχήμα 9, τοποθετεί τα πακέτα των υπηρεσιών στην ουρά που υλοποιεί την πολιτική καταμερισμού πόρων που αντιστοιχεί στην ετικέτα που τους έχει εισαγάγει η μονάδα σήμανσης.

3.2
λοπ
οίση
η
συσ
τήμ
ατος



α 9: Μονάδα διαχείρισης ουρών

Σχήμ

Το
προτε
ινόμε
νο
σύστη

μα διαχείρισης δικτυακών πόρων υλοποιήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Java. Η υλοποίηση έγινε δίνοντας έμφαση στη υποστήριξη διαφορετικών αλγορίθμων δέσμευσης πόρων. Στα πλαίσια αυτά υλοποιήθηκαν ένας "δίκαιος" και ένας με "βάρη" αλγόριθμος κατανομής πόρων. Επίσης και όσον αφορά τις πολιτικές διαχείρισης πόρων, το υλοποιημένο σύστημα παρέχει δύο τρόπους λειτουργίας εισαγωγής των πολιτικών: α) από τον χρήστη απευθείας με τη χρήση γραφικού περιβάλλοντος και β) απομακρυσμένα με τη δικτυακή μετάδοση των παραμέτρων των πολιτικών καταμερισμού πόρων. Ο τελευταίος τρόπος παρέχει την δυνατότητα εκμετάλλευσης του συστήματος από μηχανισμούς αποφάσεων για τη βέλτιστη πολιτική κατανομής πόρων.

3.2.1 Αλγόριθμοι κατανομής δικτυακών πόρων

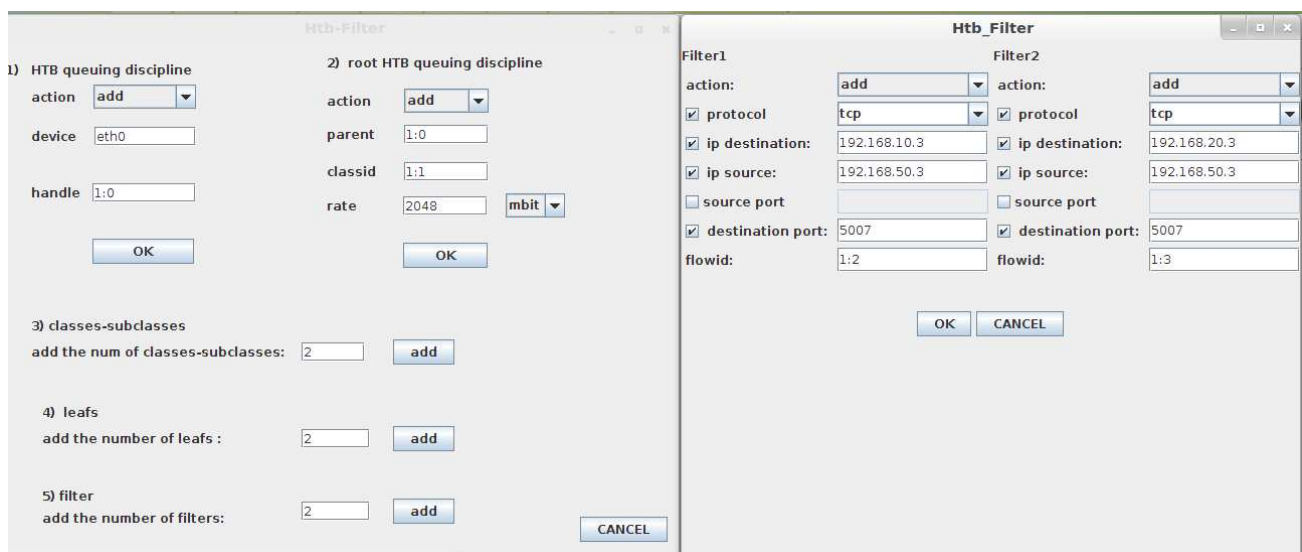
Στον αλγόριθμο του "δίκαιου" καταμερισμού πόρων οι υπηρεσίες που έχουν ζητηθεί από τους πελάτες θα εξυπηρετηθούν έχοντας τον ίδιο bitrate. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού γίνεται διαμοιρασμός σε δύο επίπεδα. Αρχικά γίνεται σε επίπεδο ενδιάμεσων κόμβων (CMNs). Ανάλογα με τον αριθμό των CMN του IDVB-T δικτύου, γίνεται αντιστοίχως και ο δίκαιος καταμερισμός του bitrate. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που υπάρχουν δύο CMN και το συνολικό bitrate είναι 8Mbps, τότε κάθε CMN θα πάρει 4Mbps, αν στο δίκτυο υπάρχουν τρεις CMN κάθε ένας θα έχει 2.66Mbps κοκ. Στο δεύτερο επίπεδο η κατανομή γίνεται σε επίπεδο υπηρεσιών ανά CMN. Σε κάθε υπηρεσία θα αντιστοιχίζεται το ίδιο bitrate. Έτσι για παράδειγμα, αν στο δίκτυο υπάρχουν δύο CMN και οι πελάτες αιτούνται από πέντε υπηρεσίες έκαστος, τότε σε κάθε υπηρεσία αντιστοιχίζεται το 1/5 του διαθέσιμου bitrate του CMN αντίστοιχα (0.8Mbps).

Ο άλλος αλγόριθμος που παρέχεται είναι αυτός του καταμερισμού πόρων με "βάρη". Εδώ, οι υπηρεσίες που έχουν ζητηθεί από τους clients έχουν διαφορετικές ανάγκες σε bitrate. Κάθε

μία, ανάλογα με το είδος της, ζητά ένα συγκεκριμένο ποσοστό από το διαθέσιμο bitrate. Μία υπηρεσία μπορεί να θέλει το 60% του διαθέσιμου bitrate και άλλη 15%. Η κατανομή λαμβάνει μέρος σε δύο επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο κάθε CMN παίρνει το ποσοστό από το συνολικό ελεύθερο bitrate του δικτύου, το οποίο αντιστοιχεί στο ειδικό “βάρος” του. Έτσι σαν παράδειγμα, στην περίπτωση που υπάρχουν δύο CMN στο δίκτυο με βάρη 0.4 και 0.6 αντίστοιχα, και το διαθέσιμο bitrate είναι 8Mbps, ο ένας CMN παίρνει ενδεικτικά 3.2Mbps και ο άλλος το 4.8Mbps. Στο δεύτερο επίπεδο η κατανομή γίνεται σε επίπεδο υπηρεσιών ανά CMN. Σε κάθε υπηρεσία θα αντιστοιχίζεται το bitrate που αντιστοιχεί στο ειδικό “βάρος” της. Έτσι για παράδειγμα, αν ζητηθούν δύο υπηρεσίες με συντελεστή βάρους 0.7 και 0.3 αντίστοιχα και το διαθέσιμο bitrate του CMN είναι 3.2Mbps τότε σε κάθε υπηρεσία αντιστοιχίζεται 2.24Mbps και 0.96Mbps αντίστοιχα.

3.2.2 Υλοποίηση με εισαγωγή πολιτικών κατανομής πόρων από χρήστες

Αναλυτικότερα, στην περίπτωση κατανομής πόρων από τους χρήστες, παρέχονται μέσω ενός ComboBox menu οι αλγόριθμοι FIFO, RED, TBF και SFQ στην κατηγορία classless και ομοίως μέσω ενός ComboBox menu οι αλγόριθμοι HTB και GRED στην κατηγορία classful. Επιλέγοντας έναν αλγόριθμο, όπως τον αλγόριθμο FIFO από την κατηγορία classless, εμφανίζεται ένα παράθυρο με όλες τις παραμέτρους που δέχεται ο αλγόριθμος αυτός. Συμπληρώνοντας τα πεδία και πατώντας το κουμπί “OK” της εφαρμογής ο αλγόριθμος FIFO έχει πλέον δημιουργηθεί. Συνεχίζοντας με την κατηγορία classful υπάρχει η δυνατότητα χρήσης των αλγορίθμων HTB και GRED. Διαλέγοντας πχ. την HTB εμφανίζεται ένα παράθυρο με τα χαρακτηριστικά της HTB που πρέπει να συμπληρωθούν ώστε να δημιουργηθεί.



Σχήμα 10: Στιγμιότυπο εφαρμογής

3.2.3 Υλοποίηση με εισαγωγή πολιτικών κατανομής πόρων μέσω δικτυακής μετάδοσης

Ο άλλος τρόπος που παρέχει η εφαρμογή που κατασκευάστηκε, είναι η κατανομή πόρων μέσω δικτυακής μετάδοσης. Εδώ, ο μηχανισμός είναι ικανός να δημιουργεί την πειθαρχία ουρών HTB παίρνοντας τις απαραίτητες πληροφορίες από ένα αρχείο που του αποστέλλεται δικτυακά. Πιο συγκεκριμένα, η πλευρά του server δέχεται ένα αρχείο της μορφής text. Οι πληροφορίες που περιλαμβάνει το αρχείο είναι το διαθέσιμο bitrate που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αυτές τις ροές, το πρωτόκολλο που θα χρησιμοποιηθεί, η διεύθυνση πηγής/προορισμού και η θύρα προορισμού/πηγής

8mbit

id1:1 id2:1 60

id1:1 id2:2 40

id2:1 id3:1 , protocol tcp dst 192.168.10.3 src 192.168.50.3 dport 5001 0.6

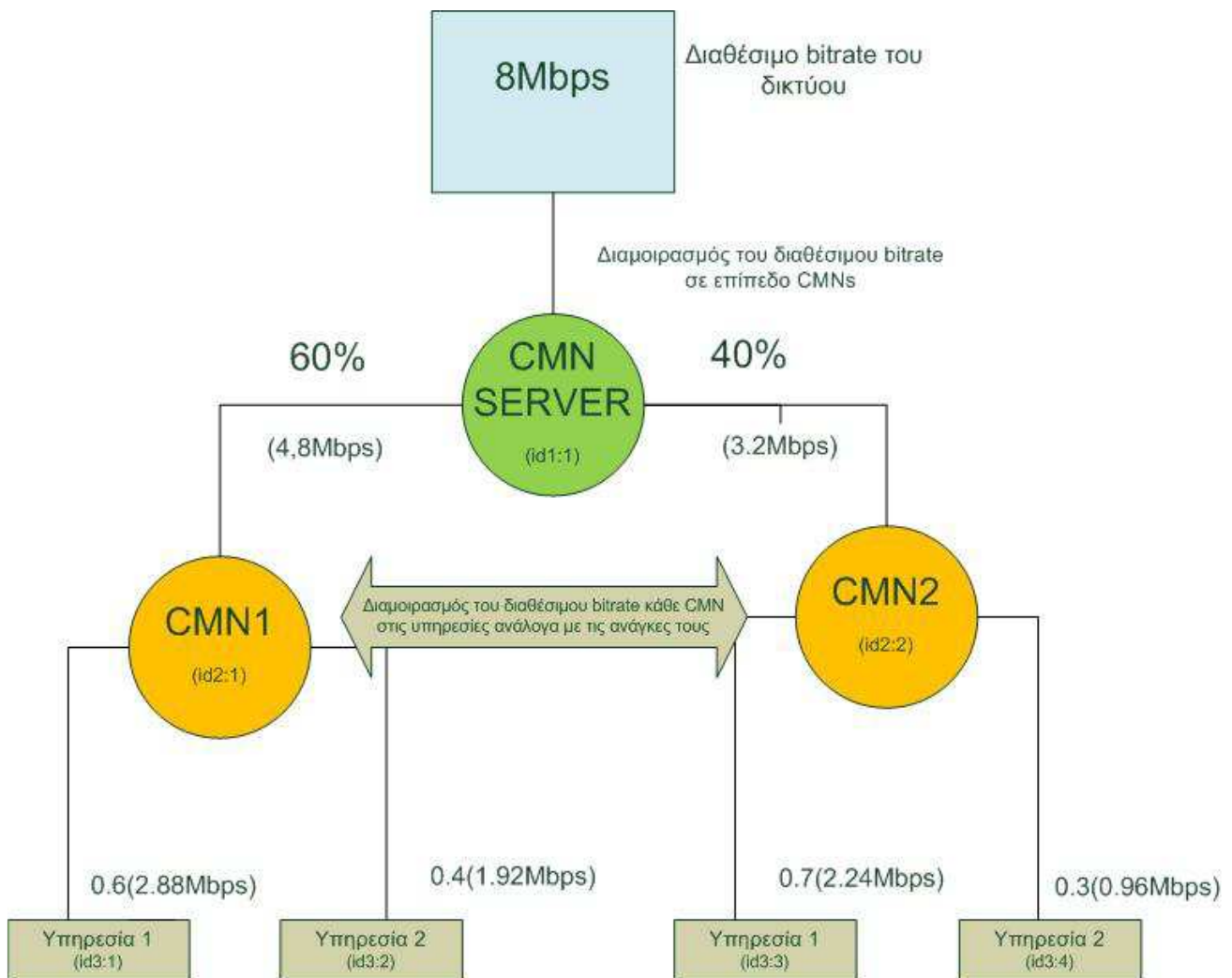
id2:1 id3:2 , protocol tcp dst 192.168.10.3 src 192.168.50.3 dport 5002 0.4

id2:2 id3:3 , protocol tcp dst 192.168.20.3 src 192.168.50.3 dport 5001 0.7

id2:2 id3:4 , protocol tcp dst 192.168.20.3 src 192.168.50.3 dport 5002 0.3

8mbit	Διαθέσιμο bitrate
id1:1 id2:1 60	Δημιουργία κλάσης 1:1 με κλάση παιδί 1:2 και θα έχει το 60% του διαθέσιμου bitrate
id2:1 id3:1, protocol tcp dst 192.168.10.3 src 192.168.50.3 dport 5001 0.6	Το φίλτρο με τα χαρακτηριστικά της ροής. Το 0.6 δηλώνει το “βάρος” αυτής της ροής. Η ροή αυτή ζητάει ουσιαστικά το 60% από το διαθέσιμο bitrate που έχει οριστεί για την κλάση στην οποία ανήκει η ροή αυτή.

Πίνακας 1: Επεξηγηματικός πίνακας αρχείου



Σχήμα 11: Γραφική αναπαράσταση διαμοιρασμού των δικτυακών πόρων

4 Αξιολόγηση

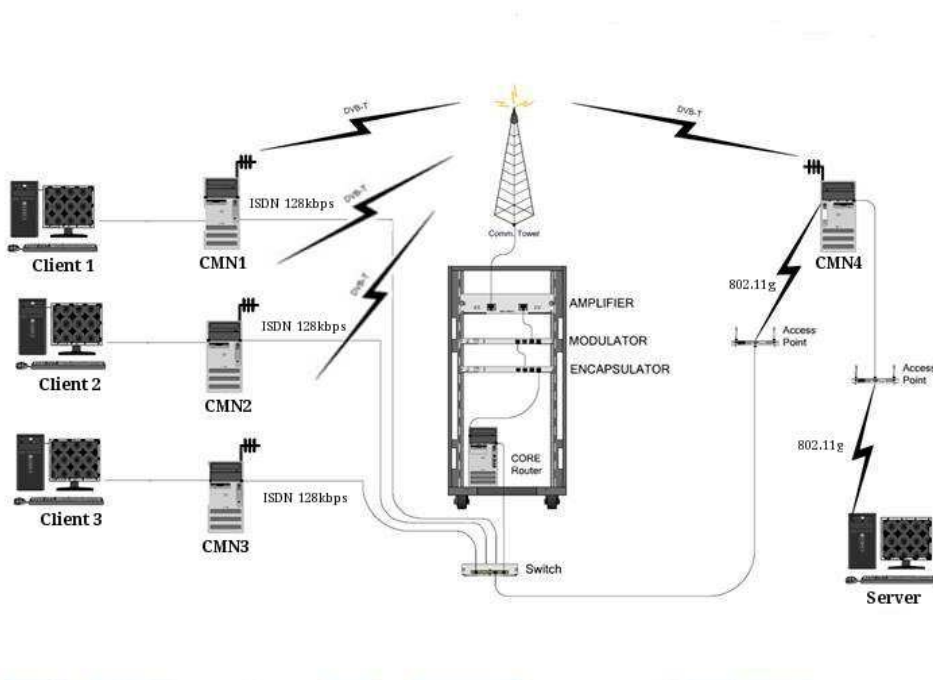
Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η παρουσίαση του πειραματικού δικτύου διαδραστικής ψηφιακής τηλεόρασης, των σεναρίων αξιολόγησης του συστήματος κατανομής διαχειρίσιμης δικτυακών πόρων και των πειραματικών αποτελεσμάτων.

4.1 Πειραματικό Δίκτυο Διαδραστικής Ψηφιακής τηλεόρασης

Το πειραματικό IDVB-T δίκτυο απεικονίζεται στο Σχήμα 14 και αποτελείται από ένα Server, τρεις τελικούς χρήστες (Client1, Client2, Client3), τη πλατφόρμα DVB-T και τέσσερις ενδιάμεσους

κόμβους διανομής (CMN1, CMN2, CMN3, CMN4).

Οι Client1, Client2 και Client3 διασυνδέονται με τους CMN1, CMN2 και CMN3 μέσω της τεχνολογίας ADSL(1024/8128)Kbps ενώ ο Server επικοινωνεί με το CMN4 μέσω ασύρματου δικτύου WLAN(802.11g). Οι CMN1, CMN2, CMN3 αξιοποιούν σαν μονόδρομο κανάλι επιστροφής τεχνολογία ISDN 128kbps. Τέλος για την επικοινωνία από την DVB-T πλατφόρμα προς τους ενδιάμεσους κόμβους διανομής αξιοποιείται το DVB-T κανάλι (8Mbps). Σε αυτό το πειραματικό δίκτυο, οι Τελικοί Χρήστες αποστέλλουν τις αιτήσεις τους στους διασυνδεδεμένους με αυτούς CMNs. Οι CMNS με την σειρά τους προωθούν μέσω των καναλιών επιστροφής τους τις αιτήσεις στη DVB-T πλατφόρμα. Εκεί οι αιτήσεις πολυπλέκονται σε ένα κοινό ρεύμα μεταφοράς (MPEG-TS), το οποίο και διαμορφώνεται κατά το πρότυπο DVB-T, πριν ενισχυθεί και μεταδοθεί σε όλη την περιοχή εκπομπής. Το εκπεμπόμενο σήμα λαμβάνεται από το CMN4, αποπολυπλέκεται και προωθείται στο Server. Η ανάλογη διαδικασία ακολουθείται και για την αποστολή των υπηρεσιών από το Server προς τους Τελικούς Χρήστες.



Σχήμα 12: Πειραματικό δίκτυο

4.2 Σενάρια

Τα παρακάτω σενάρια περιγράφουν τα πειράματα που εκτελέστηκαν για να αξιολογηθεί το - ενσωματωμένο στο πειραματικό IDVB-T δίκτυο- προτεινόμενο σύστημα κατανεμημένης διαχείρισης των δικτυακών πόρων. Πιο συγκεκριμένα κάθε σενάριο αναφέρει το στόχο του, τους κόμβους που θα χρησιμοποιηθούν, το είδος της δικτυακής κίνησης που θα διακινηθεί μεταξύ των κόμβων, καθώς και το εάν και πως χρησιμοποιήθηκε το σύστημα διαχείρισης των δικτυακών πόρων. Για τα σενάρια 1-6 οι υπηρεσίες που αποτελούσαν τη δικτυακή κίνηση είχαν διάρκεια πέντε λεπτά, ενώ για τα σενάρια 7 και 8 η διάρκεια ήταν 120 δευτερόλεπτα. Όλες οι υπηρεσίες αξιοποιούσαν το πρωτόκολλο TCP και

δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας την εντολή iperf. Τέλος υπενθυμίζεται, ότι εκτός και εάν αναφερθεί ρητώς κάτι άλλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης του DVB-T καναλιού είναι 8Mbps.

4.2.1 Σενάριο 1

Σε αυτό το σενάριο χρησιμοποιούνται οι κόμβοι: Server, Client1 και Client2. Ο Client1 και ο Client2 αιτούνται ταυτόχρονα και με την εξής σειρά: α) 2 TCP υπηρεσίες β) 3 TCP υπηρεσίες γ) 4 TCP υπηρεσίες δ) 5 TCP υπηρεσίες ε) 8 TCP υπηρεσίες και στ) 10 TCP υπηρεσίες έκαστος, χωρίς τη χρήση του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης δικτυακών πόρων. Ο σκοπός αυτού του σεναρίου είναι η αξιολόγηση της δικτυακής απόδοσης του IDVB-T σε συνθήκες μέτριου και υψηλού δικτυακού φόρτου.

4.2.2 Σενάριο 2

Σε αυτό το σενάριο χρησιμοποιούνται οι κόμβοι: Server, Client1, Client2 και Client3. Οι Client1, Client2 και Client3 αιτούνται ταυτόχρονα και με την εξής σειρά: α) 2 TCP υπηρεσίες β) 3 TCP υπηρεσίες γ) 4 TCP υπηρεσίες δ) 5 TCP υπηρεσίες ε) 8 TCP υπηρεσίες και στ) 10 TCP υπηρεσίες έκαστος, χωρίς την χρήση του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης δικτυακών πόρων. Ο σκοπός αυτού του σεναρίου είναι να ελέγξει κατά πόσο η είσοδος ενός επιπλέον κόμβου διανομής επηρεάζει τη δικτυακή απόδοση του IDVB-T σε συνθήκες μέτριου και υψηλού δικτυακού φόρτου.

4.2.3 Σενάριο 3

Σε αυτό το σενάριο χρησιμοποιούνται οι κόμβοι: Server, CMN1, Client1, CMN2 και Client2. Οι Client1 και Client2 αιτούνται ταυτόχρονα και με την εξής σειρά: α) 2 TCP υπηρεσίες β) 3 TCP υπηρεσίες γ) 4 TCP υπηρεσίες δ) 5 TCP υπηρεσίες ε) 8 TCP υπηρεσίες και στ) 10 TCP υπηρεσίες έκαστος. Στα 150 δευτερόλεπτα από την έναρξη της δικτυακής κίνησης ενεργοποιείται το προτεινόμενο σύστημα διαχείρισης δικτυακών πόρων εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο "δίκαιου" καταμερισμού. Παίρνοντας υπόψη ότι το DVB-T κανάλι (bottleneck) έχει χωρητικότητα 8Mbps, οι κόμβοι CMN1 και CMN2 θα έχουν στη διάθεσή τους από 4Mbps έκαστος, τα οποία θα διαμερίσουν εξίσου στις υπηρεσίες που αιτείται ο πελάτη τους. Ο σκοπός αυτού του σεναρίου είναι διττός: α) η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης δικτυακών πόρων να κατανέμει δίκαια το διαθέσιμο εύρος ζώνης και β) η αξιολόγηση της δικτυακής απόδοσης του IDVB-T σε συνθήκες μέτριου και υψηλού δικτυακού φόρτου ενώ χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος "δίκαιου" καταμερισμού.

4.2.4 Σενάριο 4

Σε αυτό το σενάριο χρησιμοποιούνται οι κόμβοι: Server, CMN1, Client1, CMN2, Client2, CMN3 και Client3. Οι Client1, Client2 και Client3 αιτούνται ταυτόχρονα και με την εξής σειρά: α) 2 TCP υπηρεσίες β) 3 TCP υπηρεσίες γ) 4 TCP υπηρεσίες δ) 5 TCP υπηρεσίες ε) 8 TCP υπηρεσίες και στ) 10 TCP υπηρεσίες έκαστος. Στα 150 δευτερόλεπτα από την έναρξη της δικτυακής κίνησης ενεργοποιείται το προτεινόμενο σύστημα διαχείρισης δικτυακών πόρων εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο "δίκαιου" καταμερισμού. Παίρνοντας υπόψη ότι το DVB-T κανάλι (bottleneck) έχει χωρητικότητα 8 Mbps, οι κόμβοι CMN1, CMN2 και CMN3 θα έχουν στη διάθεσή τους από 2.66Mbps έκαστος, τα οποία θα διαμερίσουν εξίσου στις υπηρεσίες που αιτείται ο πελάτη τους. Ο σκοπός αυτού του σεναρίου είναι να ελέγξει κατά πόσο η είσοδος ενός επιπλέον κόμβου διανομής επηρεάζει: α) την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης δικτυακών πόρων να κατανέμει δίκαια το διαθέσιμο εύρος ζώνης και β) τη δικτυακή απόδοση του IDVB-T σε συνθήκες μέτριου και υψηλού δικτυακού φόρτου ενώ χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος "δίκαιου" καταμερισμού.

4.2.5 Σενάριο 5

Σε αυτό το σενάριο χρησιμοποιούνται οι κόμβοι: Server, CMN1, Client1, CMN2 και Client2. Οι Client1 και Client2 αιτούνται ταυτόχρονα και με την εξής σειρά: α) 2 TCP υπηρεσίες β) 3 TCP υπηρεσίες γ) 4 TCP υπηρεσίες δ) 5 TCP υπηρεσίες ε) 8 TCP υπηρεσίες και στ) 10 TCP υπηρεσίες έκαστος. Στα 150 δευτερόλεπτα από την έναρξη της δικτυακής κίνησης ενεργοποιείται το προτεινόμενο σύστημα διαχείρισης δικτυακών πόρων εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο καταμερισμού με "βάρη". Οι συντελεστές βαρύτητας για τους ενδιάμεσους κόμβους διανομής και τις TCP υπηρεσίες καταγράφονται στους Πίνακες 2, 3 και 4. Ο σκοπός αυτού του σεναρίου είναι διττός: α) η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης δικτυακών πόρων να κατανέμει το διαθέσιμο εύρος ζώνης σύμφωνα με το "βάρος" του κάθε CMN και της κάθε υπηρεσίας και β) η αξιολόγηση της δικτυακής απόδοσης του IDVB-T σε συνθήκες μέτριου και υψηλού δικτυακού φόρτου ενώ χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος καταμερισμού με "βάρη". Πρέπει να αναφερθεί ότι σε αυτό το σενάριο το συνολικά διαθέσιμο εύρος ζώνης του DVB-T καναλιού ήταν 7Mbps.

	Συντελεστής Βαρύτητας
CMN1	0.71 (5Mbps)
CMN2	0.29 (2Mbps)

Πίνακας 2: Σενάριο 5 - Συντελεστές βαρύτητας των CMN.

	2 TCP Υπηρ.	3 TCP Υπηρ.	4 TCP Υπηρ.	5 TCP Υπηρ.	8 TCP Υπηρ.	10 TCP Υπηρ.
5001	0.6 (3Mbps)	0.2 (1Mbps)	0.3 (1.5Mbps)	0.1 (0.5Mbps)	0.1 (0.5Mbps)	0.01 (0.05Mbps)
5002	0.4 (2Mbps)	0.3 (1.5Mbps)	0.1 (0.5Mbps)	0.1 (0.5Mbps)	0.2 (1Mbps)	0.05 (0.25Mbps)
5003	-	0.5 (2.5Mbps)	0.2 (1Mbps)	0.4 (2Mbps)	0.05 (0.25Mbps)	0.04 (0.2Mbps)
5004	-	-	0.4 (2Mbps)	0.2 (1Mbps)	0.05 (0.25Mbps)	0.1 (0.5Mbps)
5005	-	-	-	0.2 (1Mbps)	0.3 (1.5Mbps)	0.05 (0.25Mbps)
5006	-	-	-	-	0.1 (0.5Mbps)	0.03 (0.15Mbps)
5007	-	-	-	-	0.1(0.5Mbps)	0.02 (0.1Mbps)
5008	-	-	-	-	0.1 (0.5Mbps)	0.1 (0.5Mbps)
5009	-	-	-	-	-	0.2 (1Mbps)
5010	-	-	-	-	-	0.4 (2Mbps)

Πίνακας 3: Σενάριο 5 - Συντελεστές βαρύτητας υπηρεσιών προωθούμενων από το CMN1.

	2 TCP	3 TCP	4 TCP	5 TCP	8 TCP	10 TCP
--	-------	-------	-------	-------	-------	--------

	Υπηρ.	Υπηρ.	Υπηρ.	Υπηρ.	Υπηρ.	Υπηρ.
5001	0.7 (1.4Mbps)	0.1 (0.2Mbps)	0.2 (0.4Mbps)	0.2 (0.4Mbps)	0.2 (0.4Mbps)	0.2 (0.4Mbps)
5002	0.3 (0.6Mbps)	0.2 (0.4Mbps)	0.5 (1Mbps)	0.2 (0.4Mbps)	0.08 (0.16Mbps)	0.1 (0.2Mbps)
5003	-	0.7 (1.4Mbps)	0.1 (0.2Mbps)	0.2 (0.4Mbps)	0.02 (0.04Mbps)	0.1 (0.2Mbps)
5004	-	-	0.2 (0.4Mbps)	0.1 (0.2Mbps)	0.1 (0.2Mbps)	0.1 (0.2Mbps)
5005	-	-	-	0.3 (0.6Mbps)	0.2 (0.4Mbps)	0.05 (0.1Mbps)
5006	-	-	-	-	0.1 (0.2Mbps)	0.05 (0.1Mbps)
5007	-	-	-	-	0.1 (0.2Mbps)	0.03 (0.06Mbps)
5008	-	-	-	-	0.2 (0.2Mbps)	0.07 (0.14Mbps)
5009	-	-	-	-	-	0.2 (0.4Mbps)
5010	-	-	-	-	-	0.1 (0.2Mbps)

Πίνακας 4: Σενάριο 5 - Συντελεστές βαρύτητας υπηρεσιών προωθούμενων από το CMN2.

4.2.6 Σενάριο 6

Σε αυτό το σενάριο χρησιμοποιούνται οι κόμβοι: Server, CMN1, Client1, CMN2, Client2, CMN3 και Client3. Οι Client1, Client2 και Client3 αιτούνται ταυτόχρονα και με την εξής σειρά: α) 2 TCP υπηρεσίες β) 3 TCP υπηρεσίες γ) 4 TCP υπηρεσίες δ) 5 TCP υπηρεσίες ε) 8 TCP υπηρεσίες και στ) 10 TCP υπηρεσίες έκαστος. Στα 150 δευτερόλεπτα από την έναρξη της δικτυακής κίνησης ενεργοποιείται το προτεινόμενο σύστημα διαχείρισης δικτυακών πόρων εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο καταμερισμού με "βάρη". Οι συντελεστές βαρύτητας για τους ενδιάμεσους κόμβους διανομής και τις TCP υπηρεσίες καταγράφονται στον, Πίνακα 5, Πίνακα 6, Πίνακα 7 και Πίνακα 8 . Ο σκοπός αυτού του σεναρίου είναι να ελέγξει κατά πόσο η είσοδος ενός επιπλέον κόμβου διανομής επηρεάζει: α) την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης δικτυακών πόρων να κατανέμει το διαθέσιμο εύρος ζώνης σύμφωνα με το "βάρος" του κάθε CMN και της κάθε υπηρεσίας, και β) τη δικτυακή απόδοση του IDVB-T σε συνθήκες μέτριου και υψηλού δικτυακού φόρτου ενώ χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος καταμερισμού με "βάρη". Πρέπει να αναφερθεί ότι σε αυτό το σενάριο το συνολικά διαθέσιμο εύρος ζώνης του DVB-T καναλιού ήταν 7Mbps.

	Συντελεστής Βαρύτητας
CMN1	0.57 (4Mbps)
CMN2	0.29 (2Mbps)
CMN3	0.14(1Mbps)

Πίνακας 5: Σενάριο 6 - Συντελεστές βαρύτητας των CMN.

	2 TCP	3 TCP	4 TCP	5 TCP	8 TCP	10 TCP
--	-------	-------	-------	-------	-------	--------

	Υπηρ.	Υπηρ.	Υπηρ.	Υπηρ.	Υπηρ.	Υπηρ.
5001	0.7 (2.8Mbps)	0.1 (0.4Mbps)	0.2 (0.8Mbps)	0.2 (0.8Mbps)	0.2 (0.8Mbps)	0.2 (0.8Mbps)
5002	0.3 (1.2Mbps)	0.2 (0.8Mbps)	0.5 (2Mbps)	0.2 (0.8Mbps)	0.08 (0.32Mbps)	0.1 (0.4Mbps)
5003	-	0.7 (2.8Mbps)	0.1 (0.4Mbps)	0.2 (0.8Mbps)	0.02 (0.08Mbps)	0.1 (0.4Mbps)
5004	-	-	0.2 (0.8Mbps)	0.1 (0.4Mbps)	0.1 (0.4Mbps)	0.1 (0.4Mbps)
5005	-	-	-	0.3 (1.2Mbps)	0.2 (0.8Mbps)	0.05 (0.2Mbps)
5006	-	-	-	-	0.1 (0.4Mbps)	0.05 (0.2Mbps)
5007	-	-	-	-	0.1 (0.4Mbps)	0.03 (0.12Mbps)
5008	-	-	-	-	0.2 (0.8Mbps)	0.07 (0.28Mbps)
5009	-	-	-	-	-	0.2 (0.8Mbps)
5010	-	-	-	-	-	0.1 (0.4Mbps)

Πίνακας 6: Σενάριο 6 - Συντελεστές βαρύτητας υπηρεσιών προωθούμενων από το CMN1.

	2 TCP Υπηρ.	3 TCP Υπηρ.	4 TCP Υπηρ.	5 TCP Υπηρ.	8 TCP Υπηρ.	10 TCP Υπηρ.
5001	0.7 (1.4Mbps)	0.1 (0.2Mbps)	0.2 (0.4Mbps)	0.2 (0.4Mbps)	0.2 (0.4Mbps)	0.2 (0.4Mbps)
5002	0.3 (0.6Mbps)	0.2 (0.4Mbps)	0.5 (1Mbps)	0.2 (0.4Mbps)	0.08 (0.16Mbps)	0.1 (0.2Mbps)
5003	-	0.7 (1.4Mbps)	0.1 (0.2Mbps)	0.2 (0.4Mbps)	0.02 (0.04Mbps)	0.1 (0.2Mbps)
5004	-	-	0.2 (0.4Mbps)	0.1 (0.2Mbps)	0.1 (0.2Mbps)	0.1 (0.2Mbps)
5005	-	-	-	0.3 (0.6Mbps)	0.2 (0.4Mbps)	0.05 (0.1Mbps)
5006	-	-	-	-	0.1 (0.2Mbps)	0.05 (0.1Mbps)
5007	-	-	-	-	0.1 (0.2Mbps)	0.03 (0.06Mbps)
5008	-	-	-	-	0.2 (0.2Mbps)	0.07 (0.14Mbps)
5009	-	-	-	-	-	0.2 (0.4Mbps)
5010	-	-	-	-	-	0.1 (0.2Mbps)

Πίνακας 7: Σενάριο 6 - Συντελεστές βαρύτητας υπηρεσιών προωθούμενων από το CMN2.

	2 TCP Υπηρ.	3 TCP Υπηρ.	4 TCP Υπηρ.	5 TCP Υπηρ.	8 TCP Υπηρ.	10 TCP Υπηρ.
5001	0.7 (0.7Mbps)	0.1 (0.1Mbps)	0.2 (0.2Mbps)	0.2 (0.2Mbps)	0.2 (0.2Mbps)	0.2 (0.2Mbps)
5002	0.3 (0.3Mbps)	0.2 (0.2Mbps)	0.5 (0.5Mbps)	0.2 (0.2Mbps)	0.08 (0.08Mbps)	0.1 (0.1 Mbps)

5003	-	0.7 (0.7Mbps)	0.1 (0.1Mbps)	0.2 (0.2Mbps)	0.02 (0.02Mbps)	0.1 (0.1Mbps)
5004	-	-	0.2 (0.2Mbps)	0.1 (0.1Mbps)	0.1 (0.1Mbps)	0.1 (0.1Mbps)
5005	-	-	-	0.3 (0.3Mbps)	0.2 (0.2Mbps)	0.05 (0.05Mbps)
5006	-	-	-	-	0.1 (0.1Mbps)	0.05 (0.05Mbps)
5007	-	-	-	-	0.1 (0.1Mbps)	0.03 (0.03Mbps)
5008	-	-	-	-	0.2 (0.2Mbps)	0.07 (0.07Mbps)
5009	-	-	-	-	-	0.2 (0.2Mbps)
5010	-	-	-	-	-	0.1 (0.1Mbps)

Πίνακας 8: Σενάριο 6 - Συντελεστές βαρύτητας υπηρεσιών προωθούμενων από το CMN3.

4.2.7 Σενάριο 7

Σε αυτό το σενάριο χρησιμοποιούνται οι κόμβοι: Server, CMN1, Client1, CMN2 και Client2. Σε αυτό το σενάριο όλες οι TCP υπηρεσίες έχουν διάρκεια 120 δευτερόλεπτα. Οι Client1 και Client2 αιτούνται ταυτόχρονα 2 TCP υπηρεσίες έκαστος. Στα 20 δευτερόλεπτα από την έναρξη της δικτυακής κίνησης ενεργοποιείται το προτεινόμενο σύστημα διαχείρισης δικτυακών πόρων εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο "δίκαιου" καταμερισμού. Στα 60 δευτερόλεπτα οι Client1 και Client2 αιτούνται ταυτόχρονα για μια νέα TCP υπηρεσία έκαστος. Στα 120 δευτερόλεπτα οι πρώτες υπηρεσίες ολοκληρώνουν τη κίνησή τους, έτσι μέσα στο δίκτυο υπάρχει μόνο μία υπηρεσία. Τέλος στα 180 δευτερόλεπτα από την έναρξη του πειράματος οι Client1 και Client2 αιτούνται από δύο νέες υπηρεσίες έκαστος. Παίρνοντας υπόψη ότι το DVB-T κανάλι (bottleneck) έχει χωρητικότητα 8Mbps, οι κόμβοι CMN1 και CMN2 θα έχουν στη διάθεσή τους από 4Mbps έκαστος, τα οποία θα διαμερίσουν εξίσου στις υπηρεσίες που αιτείται ο πελάτης τους. Ο σκοπός αυτού του σεναρίου είναι να ελέγξει κατά πόσο η διακύμανση της δικτυακής κίνησης επηρεάζει: α) την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης δικτυακών πόρων να κατανέμει δίκαια το διαθέσιμο εύρος ζώνης και β) τη δικτυακή απόδοση του IDVB-T σε συνθήκες μέτριου και υψηλού δικτυακού φόρτου ενώ χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος "δίκαιου" καταμερισμού.

4.2.8 Σενάριο 8

Σε αυτό το σενάριο χρησιμοποιούνται οι κόμβοι: Server, CMN1, Client1, CMN2 και Client2. Σε αυτό το σενάριο όλες οι TCP υπηρεσίες έχουν διάρκεια 120 δευτερόλεπτα. Οι Client1 και Client2 αιτούνται ταυτόχρονα 2 TCP υπηρεσίες έκαστος. Στα 20 δευτερόλεπτα από την έναρξη της δικτυακής κίνησης ενεργοποιείται το προτεινόμενο σύστημα διαχείρισης δικτυακών πόρων εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο καταμερισμού με "βάρη". Στα 60 δευτερόλεπτα οι Client1 και Client2 αιτούνται ταυτόχρονα για μια νέα TCP υπηρεσία έκαστος. Στα 120 δευτερόλεπτα οι πρώτες υπηρεσίες ολοκληρώνουν τη κίνησή τους, έτσι μέσα στο δίκτυο υπάρχει μόνο μία υπηρεσία. Τέλος στα 180 δευτερόλεπτα από την έναρξη του πειράματος οι Client1 και Client2 αιτούνται από δύο νέες υπηρεσίες έκαστος. Οι συντελεστές βαρύτητας για τους ενδιάμεσους κόμβους διανομής και τις TCP υπηρεσίες καταγράφονται στους πίνακες Πίνακα 8, Πίνακα 9 και Πίνακα 10. Ο σκοπός αυτού του σεναρίου να ελέγξει κατά πόσο η διακύμανση της δικτυακής κίνησης επηρεάζει: α) την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης δικτυακών πόρων να κατανέμει το διαθέσιμο εύρος ζώνης σύμφωνα με το "βάρη" του κάθε CMN και της κάθε υπηρεσίας και β) τη δικτυακή απόδοση του IDVB-T σε συνθήκες μέτριου και υψηλού δικτυακού φόρτου ενώ χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος

καταμερισμού με "βάρη". Πρέπει να αναφερθεί ότι σε αυτό το σενάριο το συνολικά διαθέσιμο εύρος ζώνης του DVB-T καναλιού ήταν 7Mbps.

	Συντελεστής Βαρύτητας
CMN1	0.71 (5Mbps)
CMN2	0.29 (2Mbps)

Πίνακας 9: Σενάριο 8 - Συντελεστές βαρύτητας των CMN.

	20sec	60sec	120sec	180sec
5001	0.6 (3Mbps)	0.2 (1Mbps)	-	-
5002	0.4 (2Mbps)	0.3 (1.5Mbps)	-	-
5003	-	0.5 (2.5Mbps)	0.6 (3Mbps)	-
5004	-	-	-	0.7 (3.5Mbps)
5005	-	-	-	0.3 (1.5Mbps)

Πίνακας 10: Σενάριο 8 - Συντελεστές βαρύτητας υπηρεσιών προωθούμενων από το CMN1.

	20sec	60sec	120sec	180sec
5001	0.7(1.4Mbps)	0.3 (0.6Mbps)	-	-
5002	0.3(0.6Mbps)	0.2 (0.4Mbps)	-	-
5003	-	0.5 (1Mbps)	0.6 (1.2Mbps)	-
5004	-	-	-	0.7(1.4Mbps)
5005	-	-	-	0.3 (0.6Mbps)

Πίνακας 11: Σενάριο 8 - Συντελεστές βαρύτητας υπηρεσιών προωθούμενων από το CMN2.

4.3 Κριτήρια Αξιολόγησης

Για την αξιολόγηση τόσο της δικτυακής απόδοσης όσο και της αποτελεσματικότητας του καταναμημένου συστήματος διαχείρισης πόρων θα χρησιμοποιηθούν τα εξής κριτήρια: α) Ρυθμοαπόδοση (Throughput), β) Απώλειες (Losses), γ) ο χρόνος αμφίδρομης μεταφοράς (Round Trip Time-RTT) και δ) ο δείκτης δικαιοσύνης (fairness index). Αναλυτικότερα:

1. Ρυθμοαπόδοση: όγκος μεταδιδόμενης πληροφορίας άλλο ανά μονάδα χρόνου.
2. Απώλειες: αριθμός των επανεπεμπεμπόμενων TCP πακέτων.
3. RTT: ο χρόνος που διανύεται μεταξύ της αποστολής ενός TCP πακέτου και της λήψης της επιβεβαίωσης του.
4. Δείκτης δικαιοσύνης: Σε ένα σύνολο n ρυθμοαποδόσεων $X=\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ο δείκτης δικαιοσύνης υπολογίζεται ως εξής, $\Delta=(\max(X)-\min(X))/\text{mean}(X)$. Δείχνει τη διακύμανση της ρυθμοαπόδοσης των μεταδιδόμενων υπηρεσιών γύρω από την μέση τιμή τους. Τιμές πολύ

κοντά στο 0 υποδεικνύουν μικρή διακύμανση άρα και δίκαιο (εξίσου) καταμερισμό του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Θα χρησιμοποιηθεί για τα Σενάρια 1, 2 για να δείξει το που οδηγεί ο χωρίς όρια ανταγωνισμός των TCP υπηρεσιών για τους διαθέσιμους δικτυακούς πόρους.

4.4 Αποτελέσματα

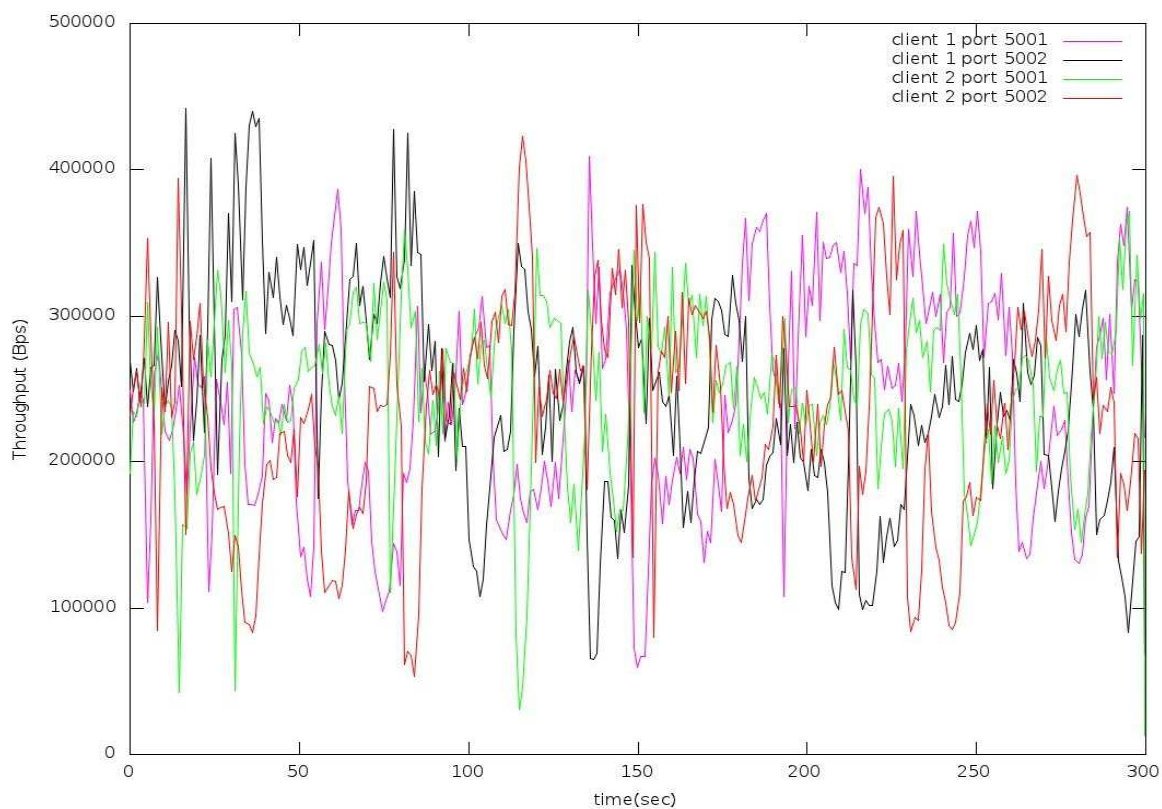
Για την αποφυγή της παρουσίας πλεοναζόντων αποτελεσμάτων οι γραφικές της β), δ) και ε) περίπτωσης των Σεναρίων 1-6 παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

4.4.1 Σενάριο 1

4.4.1.1 2 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RTT (msec)
Client 1	5001	227999	431	213.4
	5002	228074	503	214.8
Client 2	5001	234124	532	213.2
	5002	219285	472	214.7

Πίνακας 12: Σενάριο 1 – Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (4 ρωών)



Σχήμα 13: Σενάριο 1 – Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (4 ροών)

Οι διακυμάνσεις στο ρυθμό ροής των υπηρεσιών (βλ. Σχήμα 13) είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα του πρωτοκόλλου TCP και υποδεικνύει τον ανταγωνισμό που υπάρχει μεταξύ των TCP ροών για τους διαθέσιμους δικτυακούς πόρους (8Mbps). Επιπλέον ο Πίνακας 12 δείχνει ότι μακροπρόθεσμα ο χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος αποφυγής συμφόρησης του TCP (TCP Congestion Avoidance Algorithm - Cubic) οδηγεί σε ένα σχεδόν "δίκαιο" καταμερισμό του εύρους ζώνης μεταξύ των CMNs και των TCP υπηρεσιών, τον οποίο και καταγράφει ο δείκτης δικαιοσύνης με τιμές CMN1: 0.00, CMN2: 0.06 και 0.07 αντίστοιχα.

4.4.1.2 4 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RTT (msec)
Client 1	5001	105594	331	254.0
	5002	125226	360	255.0
	5003	109297	315	252.8
	5004	120297	342	255.1
Client 2	5001	109150	354	252.4
	5002	106825	304	255.5
	5003	109765	362	251.1
	5004	121971	357	252.1

Πίνακας 13: Σενάριο 1 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (8 ροών)

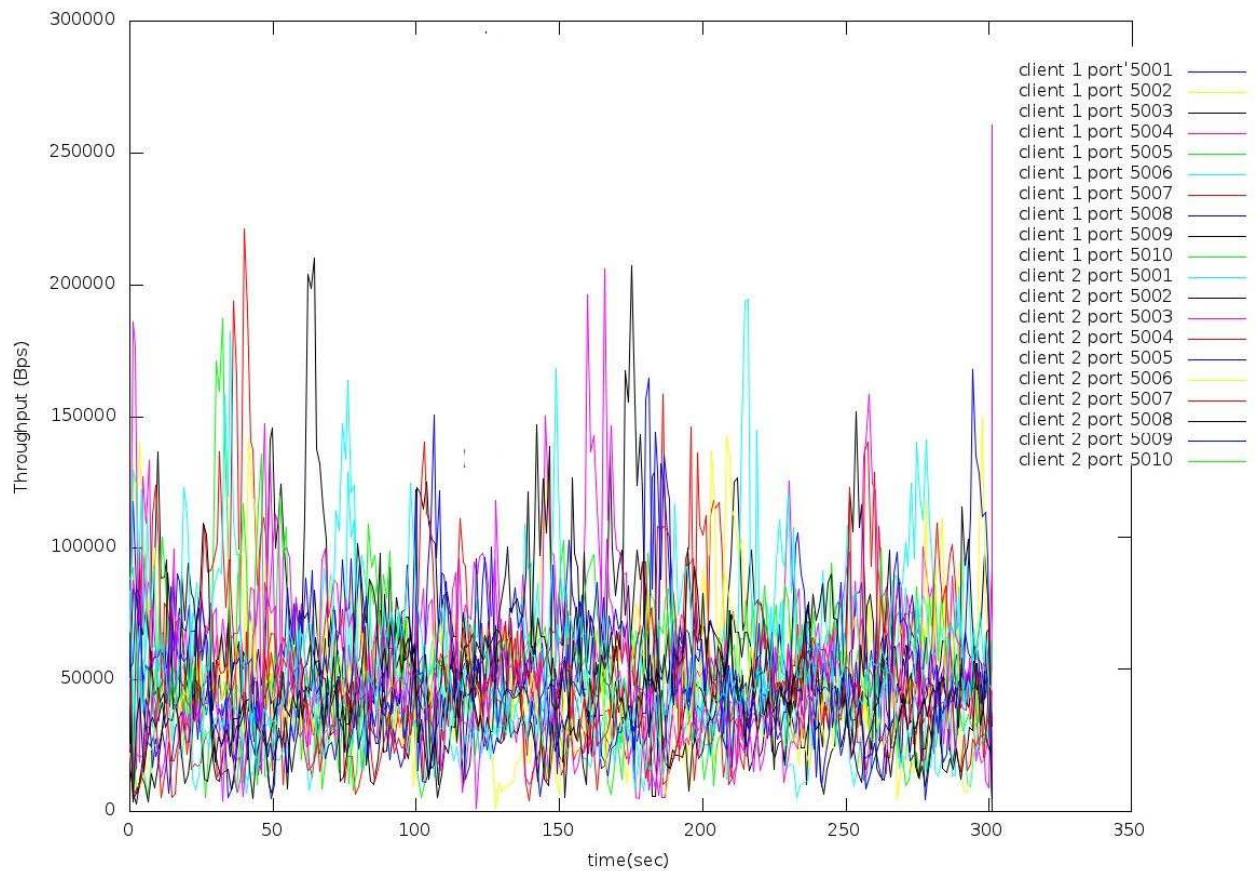
Η αύξηση των αιτούμενων υπηρεσιών οδηγεί σε πιο έντονο ανταγωνισμό (βλ. Σχήμα 14) για τους διαθέσιμους δικτυακούς πόρους του DVB-T καναλιού. Επίσης σύμφωνα με τον Πίνακα 13 και τον δείκτη δικαιοσύνης (CMN1: 0.17, CMN2: 0.14 , υπηρεσίες: 0.17) διαφαίνεται ότι ο αλγόριθμος αποφυγής συμφόρησης του TCP δεν επαρκεί για την διασφάλιση ενός "δίκαιου" ή έστω ελεγχόμενου διαμοιρασμού των πόρων

4.4.1.3 10 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RTT (msec)
Client 1	5001	43644	439	293.7
	5002	53339	451	284.5
	5003	44907	411	292.8
	5004	45929	407	289.1
	5005	43142	419	287.0
	5006	46832	352	291.7
	5007	46366	365	296.6

	5008	43748	387	290.2
	5009	55448	425	288.9
	5010	47946	404	285.5
Client 2	5001	52287	355	291.1
	5002	46466	407	291.9
	5003	37517	328	297.1
	5004	36860	354	296.5
	5005	41684	357	289.1
	5006	40870	378	290.5
	5007	50704	366	292.9
	5008	39994	409	294.6
	5009	42305	339	292.2
	5010	43530	378	293.2

Πίνακας 14: Σενάριο 1 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (20 ροών)



Σχήμα 15: Σενάριο 1 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (20 ροών)

Το Σχήμα 15, ο Πίνακας 14 και ο δείκτης δικαιοσύνης (CMN1: 0.26, CMN2: 0.36, υπηρεσίες: 0.41) κάνουν εμφανή την αδυναμία του TCP αλλά και του IDVB-T δικτύου να διασφαλίσουν ένα "δίκαιο" ή έστω ελεγχόμενο καταμερισμό του διαθέσιμων δικτυακών πόρων με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της δικτυακής απόδοσης του IDVB-T δικτύου.

4.4.1.4 Σύνοψη

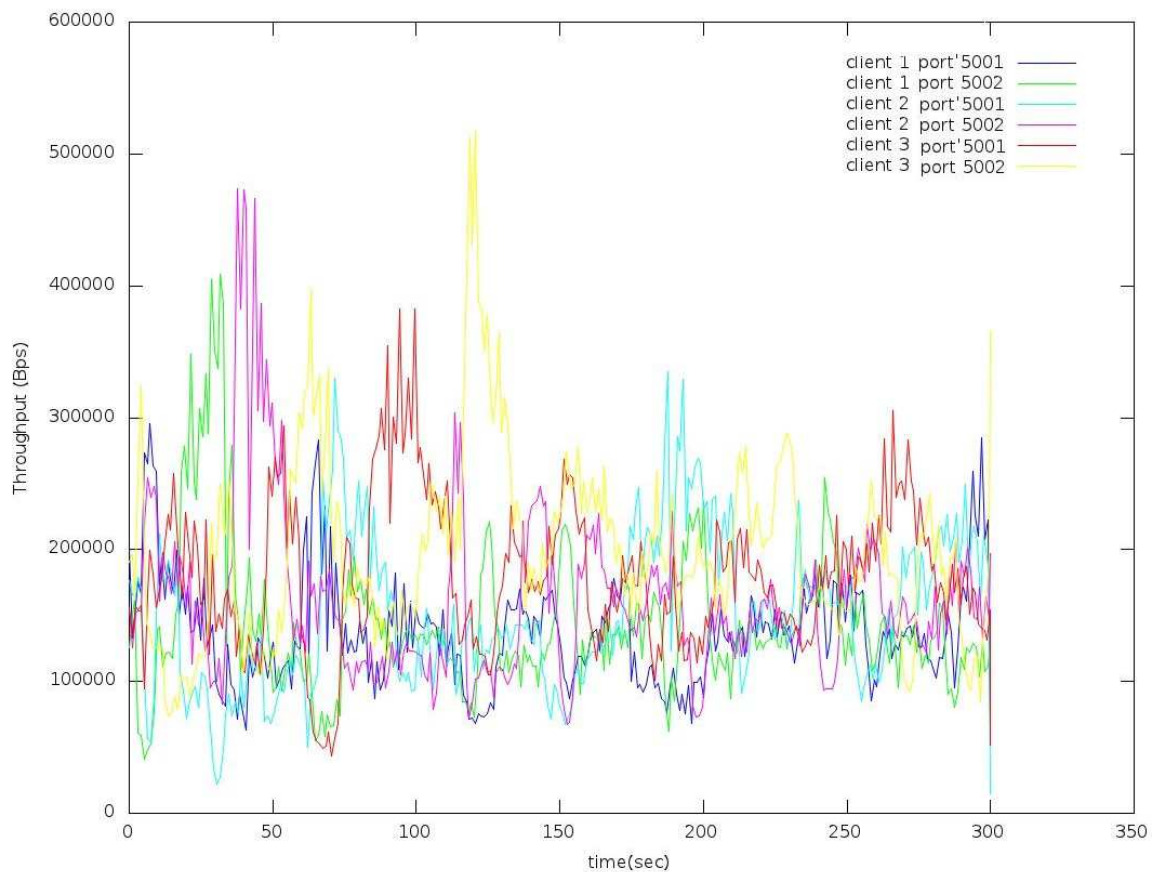
Σε συνθήκες αυξανόμενου φόρτου εργασίας, ο ανταγωνισμός των ροών για τους διαθέσιμους δικτυακούς πόρους οδηγεί σε υποβάθμιση της δικτυακής απόδοσης του IDVB-T δικτύου, καθώς ούτε ο αλγόριθμος αποφυγής συμφόρησης του TCP αλλά ούτε και η "Best Effort" προσέγγιση που υιοθετεί το IDVB-T δίκτυο μπορούν να διασφαλίσουν ένα "δίκαιο" ή έστω ελεγχόμενο τρόπο καταμερισμού του διαθέσιμου εύρους ζώνης.

4.4.2 Σενάριο 2

4.4.2.1 2 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RTT (msec)
Client 1	5001	127954	374	246.4
	5002	133398	404	245.7
Client 2	5001	142106	368	244.4
	5002	150609	461	239.8

Πίνακας 15: Σενάριο 2 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (6 ροών)



Σχήμα 16: Σενάριο 2 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (6 ροών)

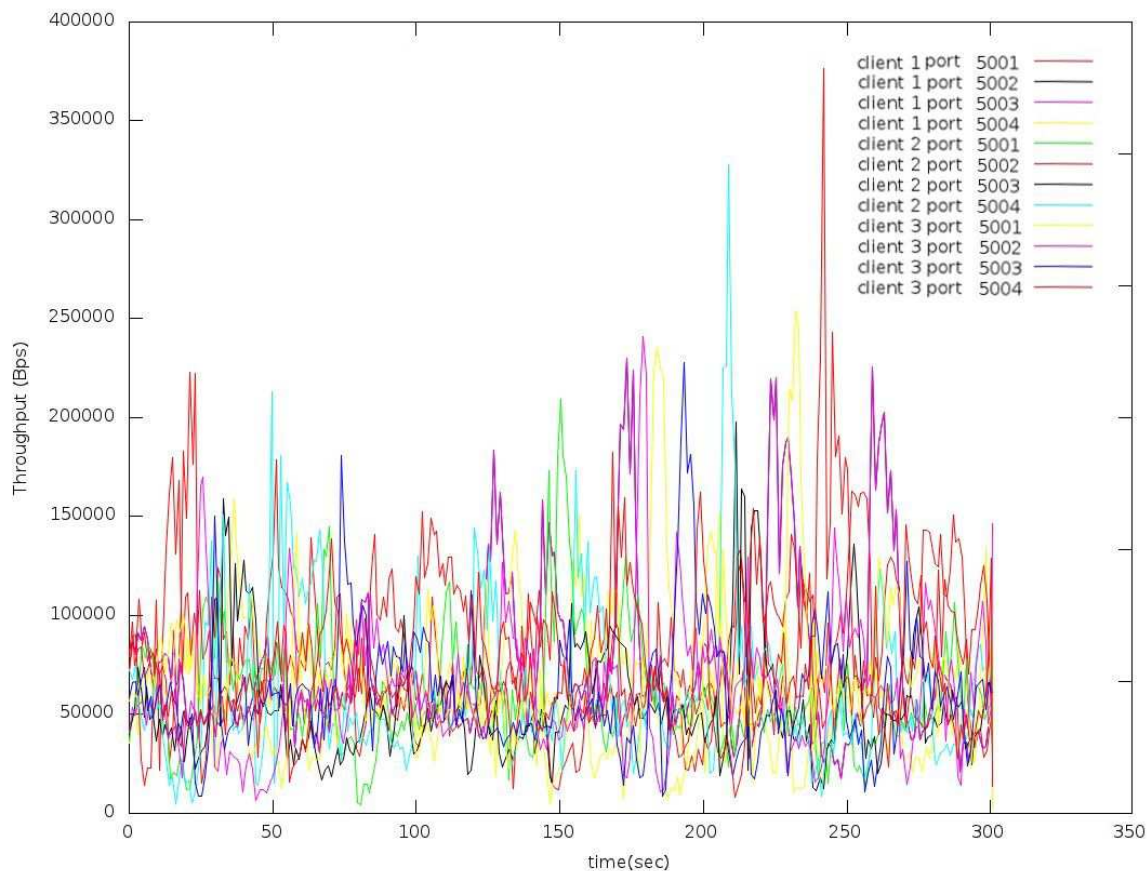
Η προσθήκη του CMN επηρεάζει την εικόνα του δικτύου. Ο ανταγωνισμός γίνεται εντονότερος και ο αλγόριθμος συμφόρησης του TCP παρουσιάζει αδυναμία να διαμοιράσει δίκαια τους δικτυακούς

πόρους (σύμφωνα με το δείκτη δικαιοσύνης CMN1: 0.04, CMN2: 0.05 υπηρεσίες; 0.16).

4.4.2.2 4 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RTT (msec)
Client 1	5001	67146	361	274.4
	5002	68835	333	276.2
	5003	72252	353	270.8
	5004	71708	356	276.6
Client 2	5001	65668	439	276.5
	5002	66409	372	276.3
	5003	73395	380	275.0
	5004	68168	379	273.4
Client 3	5001	99102	310	276.0
	5002	90954	321	277.3
	5003	80099	288	277.1
	5004	82364	302	274.2

Πίνακας 16: Σενάριο 2 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (12 ροών)



Σχήμα : Σενάριο 2 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (12 ροών)

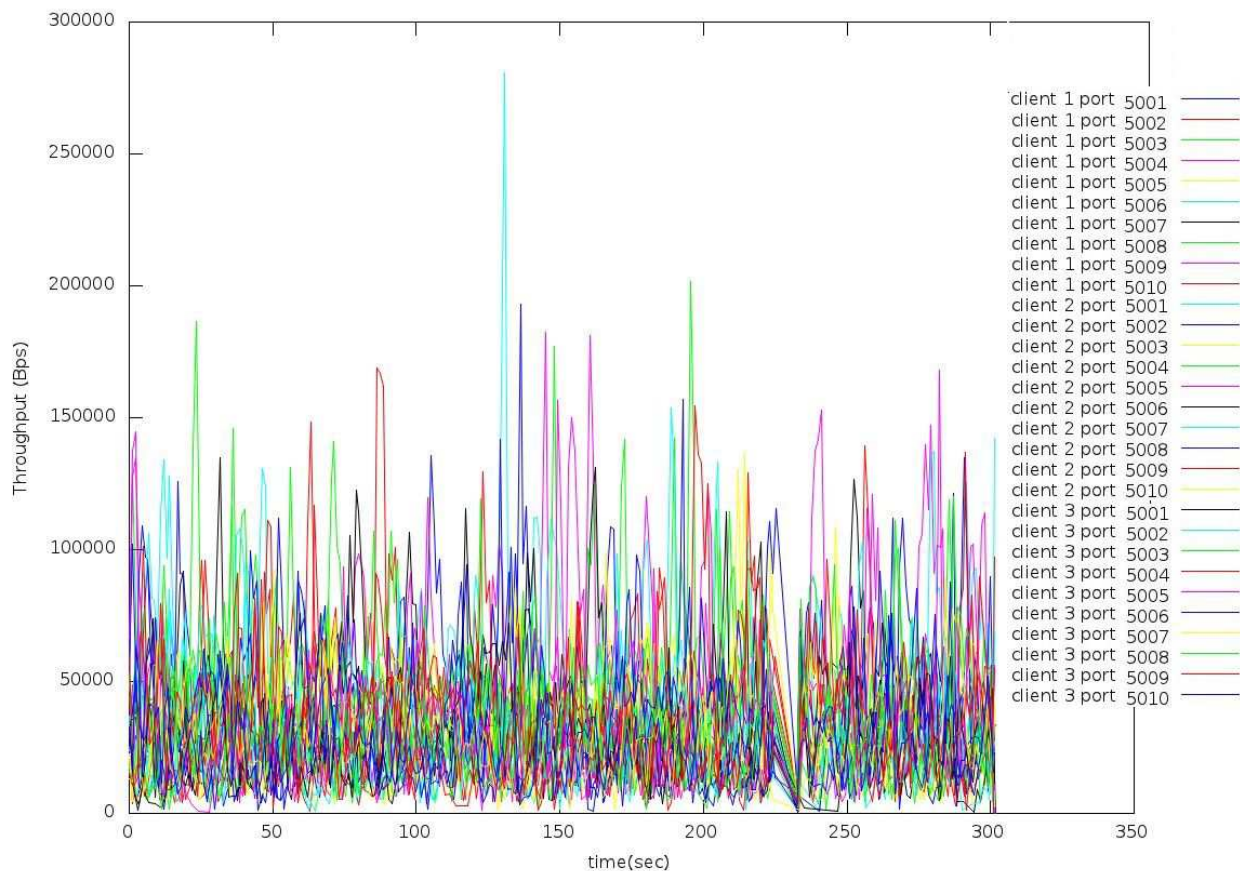
Το Σχήμα 17, ο Πίνακας 16 και ο δείκτης δικαιοσύνης (CMN1: 0.07, CMN2: 0.11 CMN3: 0.21, υπηρεσίες: 0.44) φανερώνουν την αδυναμία του αλγορίθμου συμφόρησης στον όσο το δυνατό πιο “δίκαιο” διαμοιρασμό των δικτυακών πόρων του IDVB-T δικτύου.

4.4.2.3 10 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RTT (msec)
Client 1	5001	27389	475	290.4
	5002	26607	442	294.3
	5003	23304	383	290.4
	5004	24411	440	292.2
	5005	28816	420	294.0
	5006	24434	399	291.5
	5007	26120	470	294.8

	5008	27817	430	294.7
	5009	27041	468	292.7
	5010	27341	481	292.3
Client 2	5001	26124	468	291.5
	5002	32361	536	289.3
	5003	31055	501	292.2
	5004	29803	497	295.3
	5005	35283	487	289.4
	5006	33135	584	290.1
	5007	32807	565	293.4
	5008	27606	585	296.9
	5009	32829	525	288.9
	5010	29743	537	293.4
Client 3	5001	31170	419	302.3
	5002	30346	376	301.7
	5003	33602	356	297.6
	5004	30851	359	299.8
	5005	32550	400	298.9
	5006	33157	374	293.7
	5007	26406	360	298.9
	5008	27922	375	292.7
	5009	28843	368	306.6
	5010	28328	365	300.7

Πίνακας : Σενάριο 2 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (30 ροών)



Σχήμα : Σενάριο 2 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (30 ροών)

Η αύξηση των αιτούμενων υπηρεσιών συμβάλλει στην αύξηση της ανταγωνιστικότητας των υπηρεσιών. Εντονότερες διακυμάνσεις(βλ. Σχήμα 18), μεγάλη τιμή του δείκτη δικαιοσύνης(CMN1: 0.21, CMN2: 0.29, CMN3: 0.24, υπηρεσίες: 0.41) συντελούν σε ένα δίκτυο μη ικανό να αντεπεξέλθει στις ανάγκες των υπηρεσιών.

4.4.2.4 Σύνοψη

Η προσθήκη ενός επιπλέον CMN σε συνθήκες αυξανόμενου φόρτου εργασίας συμβάλλει στον ανταγωνισμό των ροών για τους διαθέσιμους δικτυακούς πόρους. Αποτέλεσμα αυτού η υποβάθμιση της δικτυακής απόδοσης του IDVB-T δικτύου, καθώς ούτε ο αλγόριθμος αποφυγής συμφόρησης του TCP(TCP Congestion Avoidance - Cubic) αλλά ούτε και η "Best Effort" προσέγγιση που υιοθετεί το IDVB-T δίκτυο μπορούν να διασφαλίσουν ένα "δίκαιο" ή έστω ελεγχόμενο τρόπο καταμερισμού του διαθέσιμου εύρους ζώνης.

4.4.3 Σενάριο 3

4.4.3.1 2 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RTT (msec)
client 1	5001	173126	421	224.2
	5002	173880	437	216.5
client 2	5001	175430	468	224.0
	5002	179419	455	216.7

Πίνακας : Σενάριο 3 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (4 ροών)

Η προσθήκη του μηχανισμού στα 150 δευτερόλεπτα, συμβάλλει στην ήπια διεξαγωγή της κίνησης. Σύμφωνα με το Σχήμα 19 και Πίνακα 18. Οι υπηρεσίες διασφάλισαν ένα σταθερό ρυθμό μετάδοσης στα 1754601Bps.

4.4.3.2 4 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RTT (msec)
client 1	5001	119474	361	301.9
	5002	111075	362	296.0
	5003	114828	306	305.0
	5004	112121	369	270.4
client 2	5001	112651	369	289.4
	5002	113199	366	294.9
	5003	119744	332	351.7
	5004	113224	405	261.9

Πίνακας : Σενάριο 3 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT,

Αριθμός Επανεκπομπών (8 ροών)

Οι διακυμάνσεις των υπηρεσιών αυξάνονται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των αιτούμενων υπηρεσιών. Στα 150 δευτερόλεπτα από την επιβολή του μηχανισμού για δίκαιη κατανομή των πόρων ανά CMN και ανά υπηρεσία, ο ρυθμός μετάδοσης σταθεροποιείται σε ένα μέσο όρο 114541Bps (βλ. Σχήμα 20, Πίνακα 19).

4.4.3.3 10 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RTT (msec)
Client 1	5001	46291	283	377.1
	5002	43872	310	351.4
	5003	44467	265	375.3
	5004	44980	269	348.6
	5005	42953	283	378.4
	5006	45448	284	368.1
	5007	43679	356	362.9
	5008	43074	287	382.0
	5009	43526	284	316.9
	5010	44296	332	371.8
Client 2	5001	43883	308	312.1
	5002	46440	299	350.1
	5003	48115	350	337.4
	5004	49731	313	306.7
	5005	49213	336	307.8
	5006	46443	309	352.1
	5007	44376	277	353.0
	5008	43952	403	305.0
	5009	46540	316	307.7
	5010	45218	334	346.7

Πίνακας : Σενάριο 3 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (20 ροών)

Στο Σχήμα 21 και στον Πίνακα 20 φαίνονται τα αποτελέσματα της επιβολής του μηχανισμού από τα 150 δευτερόλεπτα μέχρι τα 300 δευτερόλεπτα. Οι υπηρεσίες παρουσιάζουν σταθερό ρυθμό μετάδοσης. Οι διακυμάνσεις που παρουσιάζονται είναι χαρακτηριστικό του TCP.

4.4.4 Σύνοψη

Η χρήση μηχανισμού δίκαιης κατανομής των διαθέσιμων δικτυακών πόρων του IDVB-T δικτύου σε συνθήκες αυξανόμενου φόρτου εργασίας συμβάλλει στη μείωση του ανταγωνισμού των υπηρεσιών. Αποτέλεσμα κάθε υπηρεσία διασφαλίζει ότι θα φτάσει στον προορισμό της με το μέγιστο δυνατό ρυθμό μετάδοσης που επιτρέπει η επιβολή του μηχανισμού.

4.4.5 Σενάριο 4

4.4.5.1 2 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RTT (msec)
Client 1	5001	147974	383	300.0
	5002	151682	370	302.7
Client 2	5001	152275	358	237.7
	5002	149241	340	263.6
Client 3	5001	148461	322	257.7
	5002	148782	459	244.6

Πίνακας : Σενάριο 4 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (6 ροών)

Σχήμα : Σενάριο 4 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (6 ροών)

Η προσθήκη ενός επιπλέον CMN(CMN3) και κατά συνέπεια η αύξηση των υπηρεσιών, προκαλεί αύξηση των διακυμάνσεων της κίνησης μέχρι τα 150 δευτερόλεπτα. Η χρήση του μηχανισμού συμβάλλει στο δίκαιο διαμοιρασμό των δικτυακών πόρων του IDVB-T δικτύου, όπως φαίνεται από το Σχήμα 22 και Πινάκα 21.

4.4.5.2 4 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RTT (msec)
Client 1	5001	77683	311	280.0
	5002	77953	292	288.8
	5003	77673	289	288.0
	5004	77191	319	295.3
Client 2	5001	77417	293	294.1
	5002	77390	317	293.1
	5003	77204	294	333.6
	5004	77428	290	283.6
	5001	77059	284	280.4

Client 3	5002	77266	292	278.7
	5003	77995	337	298.0
	5004	77480	282	283.1

Πίνακας : Σενάριο 4 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (12 ροών)

Στο Σχήμα 23 μέχρι τα 150 δευτερόλεπτα η εικόνα του IDVB-T δικτύου δε φαντάζει ιδανική καθώς υπάρχουν έντονες διακυμάνσεις κατά τη διεκδίκηση του απαιτούμενου bitrate από κάθε υπηρεσία. Στα 150 δευτερόλεπτα και μέχρι το τέλος της δικτυακής κίνησης αποδίδεται στις υπηρεσίες το ανάλογο bitrate σύμφωνα με την πολιτική του αλγορίθμου που χρησιμοποιήθηκε.

4.4.5.3 10 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RTT (msec)
Client 1	5001	26606	316	322.4
	5002	26243	287	306.3
	5003	25736	261	322.8
	5004	28054	321	298.6
	5005	27271	281	310.2
	5006	26692	245	391.2
	5007	25892	257	328.5
	5008	28848	270	330.8
	5009	27032	255	325.3
	5010	26206	264	315.5
Client 2	5001	35161	426	370.0
	5002	35474	398	329.5
	5003	33844	360	309.2
	5004	37343	422	304.7
	5005	32582	363	317.1
	5006	36901	401	305.8
	5007	32703	380	315.8

	5008	33044	393	308.3
	5009	33332	443	308.6
	5010	32129	348	348.3
Client 3	5001	30789	339	317.8
	5002	28147	362	294.3
	5003	29456	336	299.6
	5004	27095	380	295.9
	5005	29385	336	317.5
	5006	28220	332	312.8
	5007	28623	298	298.7
	5008	26013	355	307.1
	5009	29191	329	301.8
	5010	28641	352	306.4

Πίνακας : Σενάριο 4 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (30 ροών)

Η μη χρήση μηχανισμού για κατανομή των δικτυακών πόρων του IDVB-T δικτύου και η αύξηση των αιτούμενων υπηρεσιών (βλ Σχήμα 24) δεν συντελούν σε ένα αποδοτικό δίκτυο IDVB-T. Η επιβολή πολιτικής για την κατανομή των δικτυακών πόρων φαίνεται στα 150 δευτερόλεπτα με κάθε υπηρεσία να αποκτά σταθερό ρυθμό μετάδοσης.

4.4.5.4 Σύνοψη

Η χρήση ενός επιπλέον κόμβου διανομής (CMN) επηρεάζει το δίκτυο ως προς τους δικτυακούς πόρους που είναι διαθέσιμοι. Με την επιβολή του μηχανισμού διασφαλίζεται η ισόποση κατανομή των δικτυακών πόρων, κάτι που ο αλγόριθμος συμφόρησης του TCP δυσκολεύεται να παρέχει καθώς αυξάνονται οι υπηρεσίες.

4.4.6 Σενάριο 5

4.4.6.1 2 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	Δείκτης Βάρους	Avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RTT (msec)
Client 1	5001	0.6	290048	343	131.6
	5002	0.4	228791	323	163.3
	5001	0.7	204249	406	197.7

Client 2	5002	0.3	148281	422	251.8
-----------------	------	-----	--------	-----	-------

Πίνακας : Σενάριο 5 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (4 ροών)

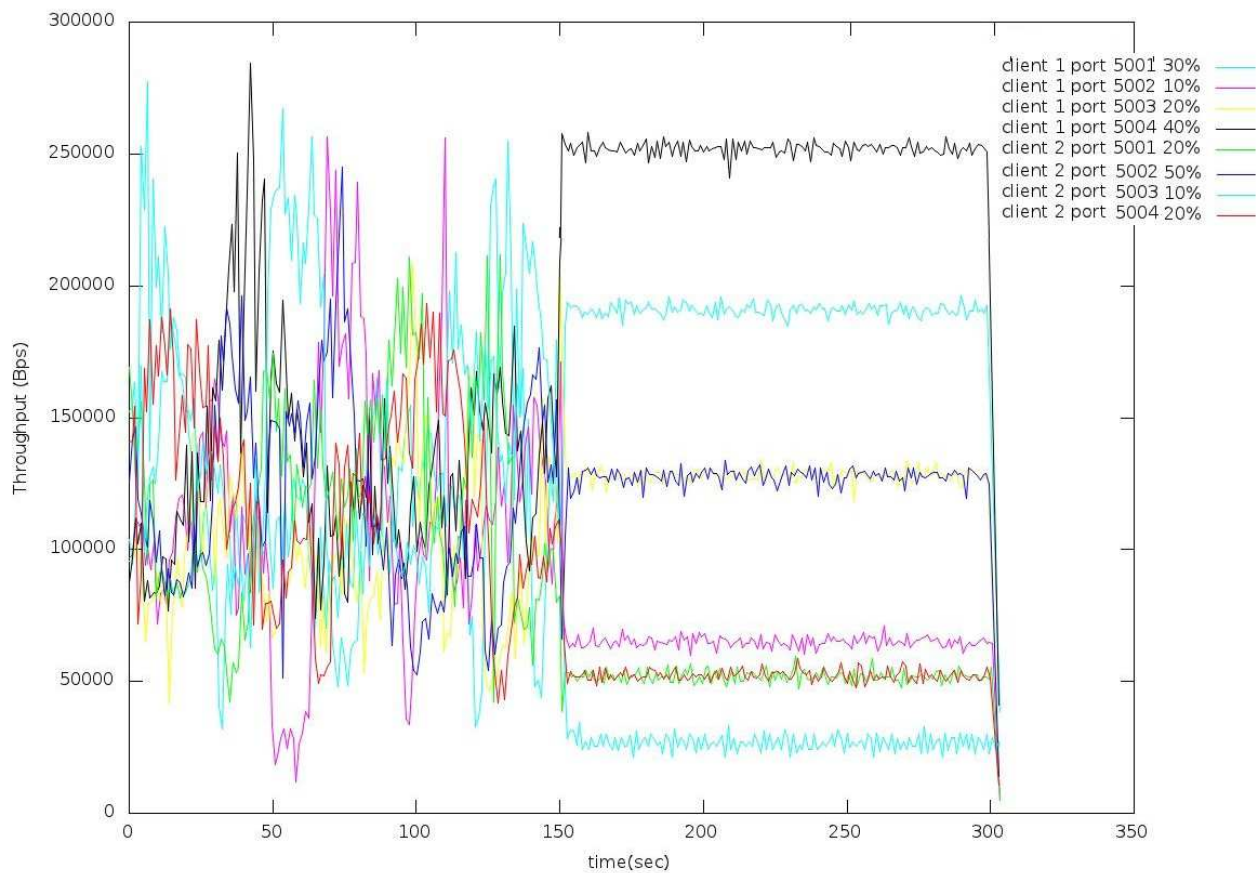
Ο μηχανισμός που επιβλήθηκε στα 150 δευτερόλεπτα από την έναρξη της κίνησης διασφάλισε την κατανομή των δικτυακών πόρων σύμφωνα με τις ανάγκες της εκάστοτε υπηρεσίας(βλ Σχήμα 25, Πίνακα 24) .

Σχήμα : Σενάριο 5 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (4 ροών)

4.4.6.2 4 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	Δείκτης Βάρους	avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RTT (msec)
Client 1	5001	0.3	146593	419	219.6
	5002	0.1	83139	336	220.8
	5003	0.2	106233	380	218.3
	5004	0.4	180449	382	211.6
Client 2	5001	0.2	79283	343	253.7
	5002	0.5	113867	467	232.4
	5003	0.1	78155	288	285.7
	5004	0.2	81133	333	229.7

Πίνακας : Σενάριο 5 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (8 ροών)



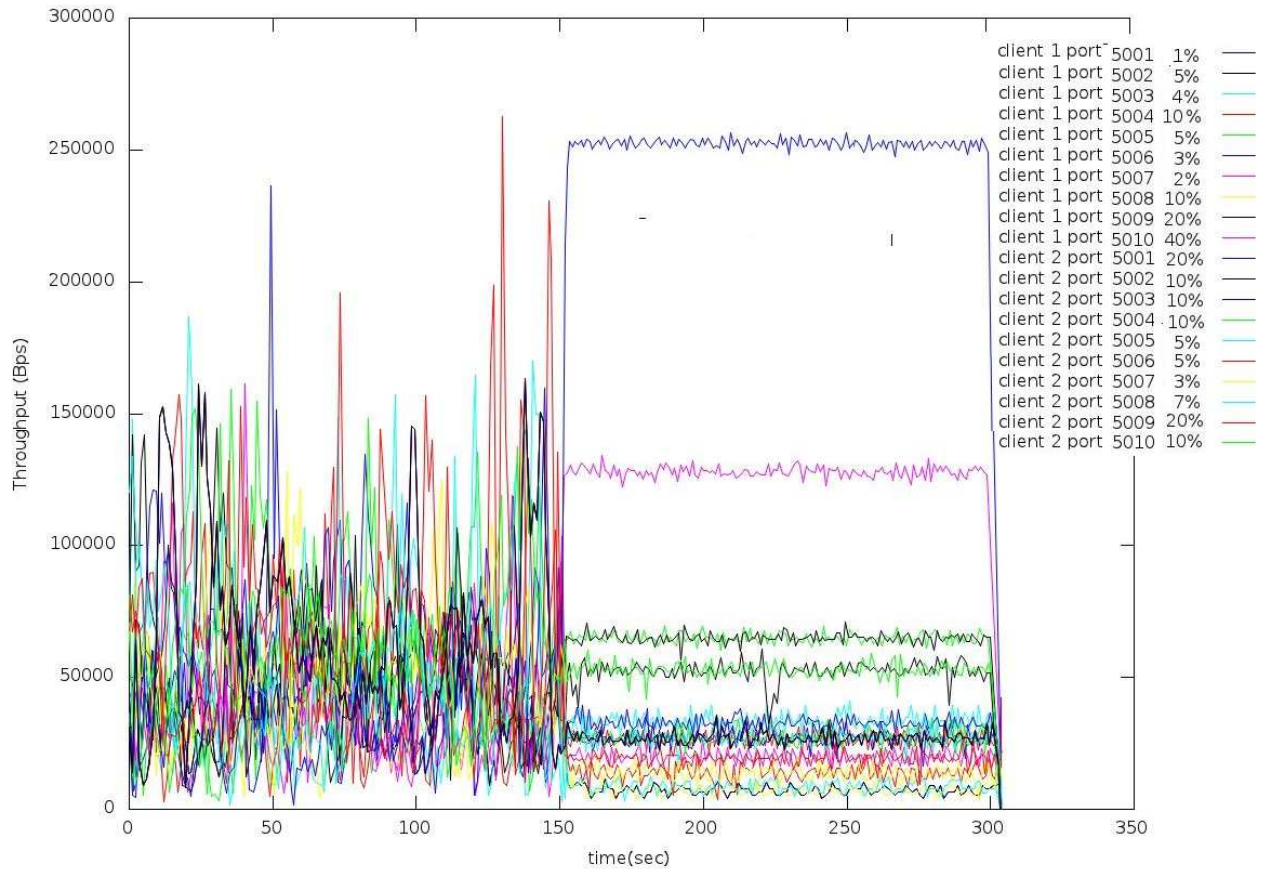
Σχήμα : Σενάριο 5 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (8 ροών)

Η αύξηση των αιτούμενων υπηρεσιών προκαλεί έντονες διακυμάνσεις στην κίνηση μέχρι και πριν εφαρμοστεί η πολιτική για διαμοιρασμό των δικτυακών πόρων του IDVB-T δικτύου ανάλογα με τις ανάγκες τις εκάστοτε υπηρεσίας. Από τα 150 δευτερόλεπτα κάθε υπηρεσία ολοκληρώνει την κίνησή της σύμφωνα με το ποσοστό από τους διαθέσιμους δικτυακούς όρους που απαιτήσε.

4.4.6.3 10 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	Δείκτης Βάρους	avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RT (msec)
Client 1	5001	0.01	20002	299	318.7
	5002	0.05	31774	351	289.2
	5003	0.04	32166	317	301.4
	5004	0.1	50409	339	275.8
	5005	0.05	35011	294	275.5
	5006	0.03	24174	241	312.1
	5007	0.02	20771	231	282.0
	5008	0.1	51589	345	238.6
	5009	0.2	79151	351	252.5
	5010	0.4	132526	381	240.9
Client 2	5001	0.2	46603	492	229.9
	5002	0.1	38628	445	281.0
	5003	0.1	37234	412	283.1
	5004	0.1	37003	428	282.0
	5005	0.05	38614	400	291.5
	5006	0.05	30696	365	336.8
	5007	0.03	27296	337	331.3
	5008	0.07	31171	409	265.4
	5009	0.2	52133	439	236.5
	5010	0.1	42862	383	280.9

Πίνακας : Σενάριο 5 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (20 ροών)



Σχήμα : Σενάριο 5 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (20 ροών)

Βάση του Πίνακα 26 και του Σχήματος 27, οι αιτούμενες υπηρεσίες λόγω της αύξησής τους, διεκδικούν μικρότερο μερίδιο από τους δικτυακούς πόρους. Ο μηχανισμός παρέχει το ανάλογο bitrate σε κάθε υπηρεσία.

4.4.6.4 Σύνοψη

Η επιβολή του μηχανισμού καταμερισμού των διαθέσιμων δικτυακών πόρων συμβάλει στην ομαλή διεξαγωγή της δικτυακής κίνησης παρέχοντας σε κάθε υπηρεσία το bitrate που χρειάζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις της. Χωρίς τη χρήση του μηχανισμού το δίκτυο παρουσιάζει αστάθεια επιβολής ενός πιο ομαλού διαμοιρασμού των δικτυακών πόρων.

4.4.7 Σενάριο 6

4.4.7.1 2 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	Δείκτης Βάρους	avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RTT (msec)
Client 1	5001	0.6	217329	345	220.2
	5002	0.4	174556	310	220.9
Client 2	5001	0.7	174230	368	234.9
	5002	0.3	103546	317	241.5
Client 3	5001	0.4	93824	429	239.6
	5002	0.6	107708	417	230.8

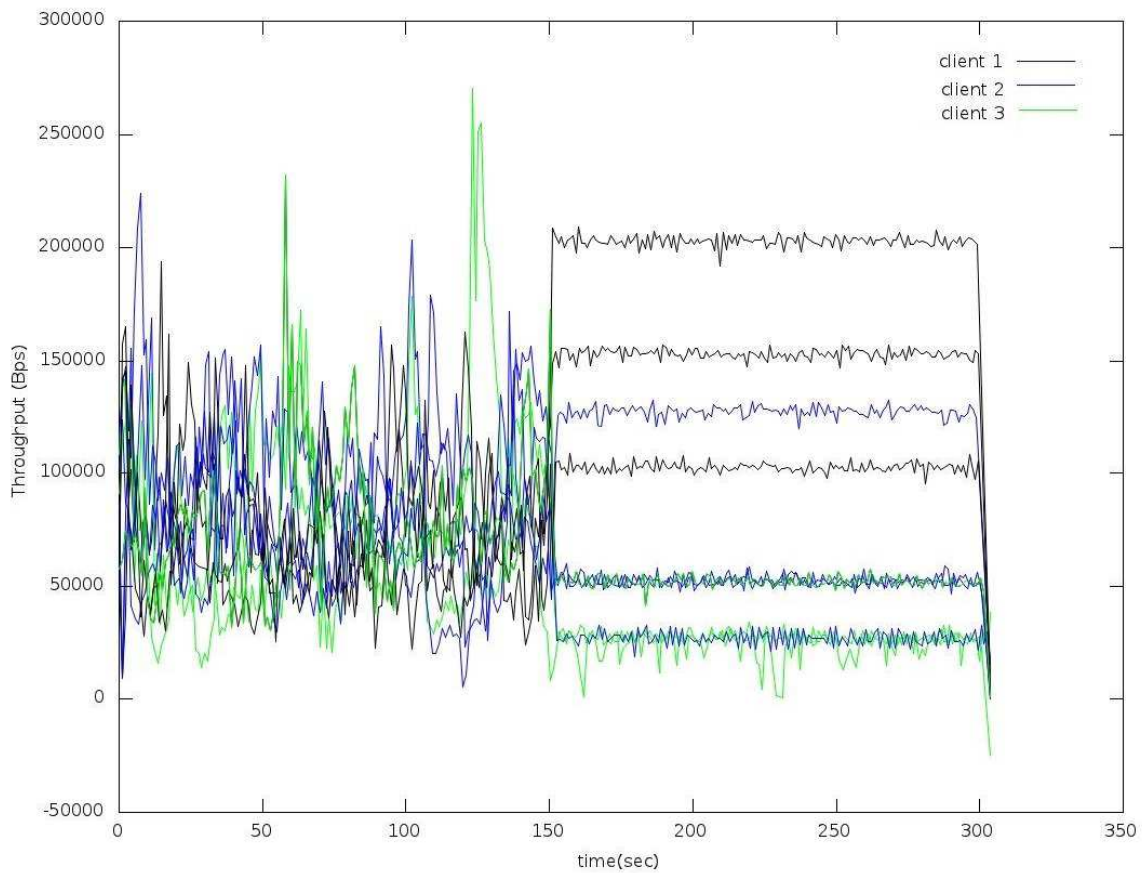
Πίνακας : Σενάριο 6 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (6 ροών)

Ο ανταγωνισμός μεταξύ των υπηρεσιών είναι εμφανής με έντονες διακυμάνσεις. Ο μηχανισμός στα 150 δευτερόλεπτα παρέχει σε κάθε μία υπηρεσία το ζητούμενο ποσοστό από το διαθέσιμο bitrate του δικτύου. Η προσθήκη ενός ακόμη CMN στο δίκτυο επιφέρει αλλαγές ως προς το προσφερόμενο bitrate που έχει κάθε CMN για την εξυπηρέτηση των υπηρεσιών.

4.4.7.2 4 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	Δείκτης Βάρους	avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RTT (msec)
Client 1	5001	0.1	108487	332	240.5
	5002	0.1	60750	281	267.4
	5003	0.4	80411	390	264.2
	5004	0.2	124172	312	258.8
Client 2	5001	0.2	66687	360	268.1
	5002	0.5	95399	424	217.0
	5003	0.1	51975	388	299.5
	5004	0.2	58373	392	268.9
Client 3	5001	0.3	55283	573	234.5
	5002	0.1	50273	578	216.2
	5003	0.2	55582	431	223.7
	5004	0.4	60420	552	233.5

Πίνακας : Σενάριο 6 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (12 ροών)

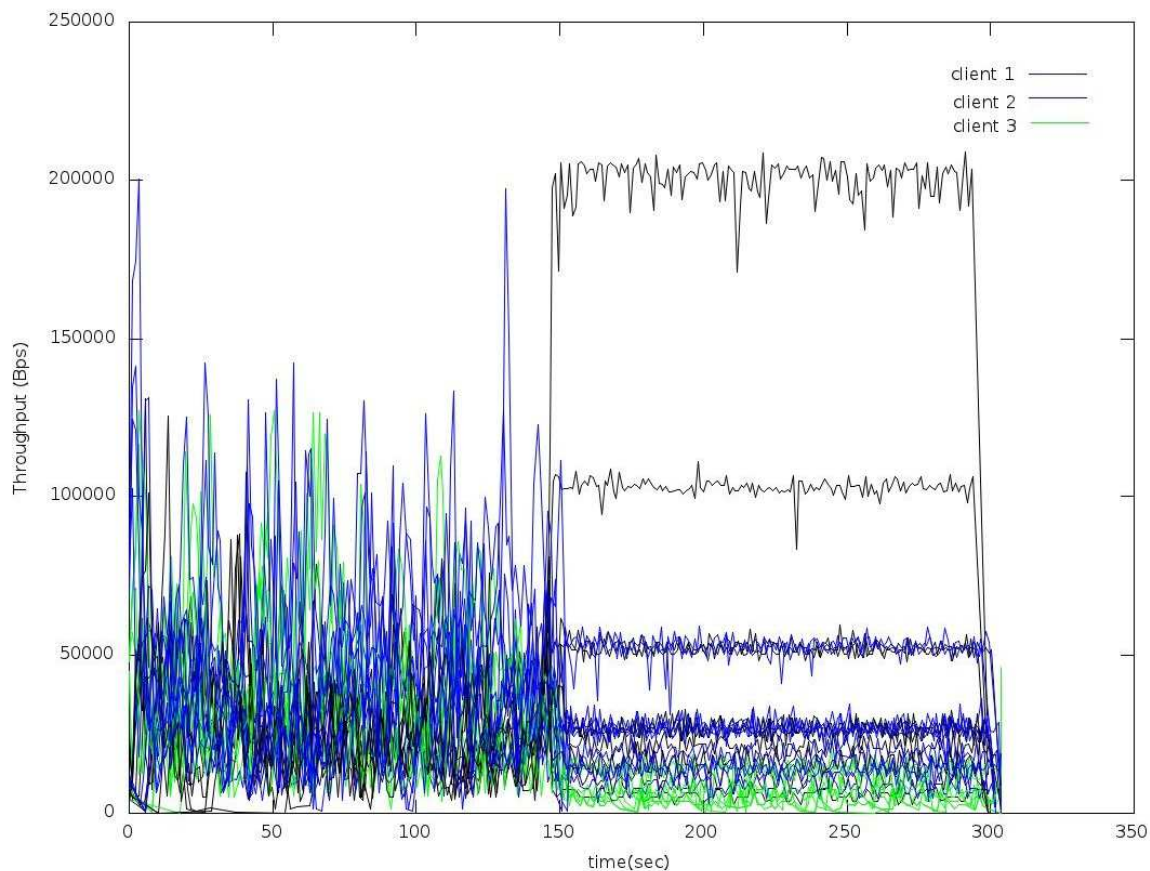


Αύξηση των αιτούμενων υπηρεσιών, έντονος ανταγωνισμός ως προς τη διεκδίκηση των δικτυακών πόρων του IDVB-T δικτύου χωρίς να ικανοποιούνται οι ανάγκες των υπηρεσιών στο ρυθμό μετάδοσης που επιθυμούν. Από την εφαρμογή του μηχανισμού οι υπηρεσίες ικανοποιούν τις ανάγκες τους ως προς το bitrate και κινούνται μέχρι τα 300 δευτερόλεπτα όπου και τελειώνει η κίνησή τους σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους(βλ. Σχήμα 29 και Πίνακα28).

4.4.7.3 10 TCP υπηρεσίες ανά Client

	Port	Δείκτης Βάρους	avg Throughput (Bps)	Retransmissions (pkts)	avg RTT (msec)
Client 1	5001	0.01	15210	226	329.6
	5002	0.05	22747	313	292.7
	5003	0.04	21332	275	317.4
	5004	0.1	35197	295	272.5
	5005	0.05	22409	255	289.3
	5006	0.03	16224	232	351.6
	5007	0.02	17143	245	319.7
	5008	0.1	36562	301	274.4
	5009	0.2	58477	377	155.8
	5010	0.4	101503	415	180.0
Client 2	5001	0.2	38597	443	244.5
	5002	0.1	29164	438	269.9
	5003	0.1	31016	370	281.9
	5004	0.1	29890	377	291.0
	5005	0.05	25904	378	305.4
	5006	0.05	27607	445	299.2
	5007	0.03	17441	291	361.0
	5008	0.07	22478	349	314.2
	5009	0.2	41612	544	259.6
	5010	0.1	33462	471	296.6
Client 3	5001	0.01	32856	611	215.3
	5002	0.05	25590	575	204.0
	5003	0.04	16984	302	367.7
	5004	0.1	21755	379	256.7
	5005	0.05	19493	332	320.8
	5006	0.03	17029	324	341.1
	5007	0.02	14429	302	403.3
	5008	0.1	21483	415	255.3
	5009	0.2	20167	429	217.0
	5010	0.4	27265	524	195.8

Πίνακας : Σενάριο 6 - Μέσο Throughput, Μέσο RTT, Αριθμός Επανεκπομπών (30 ροών)



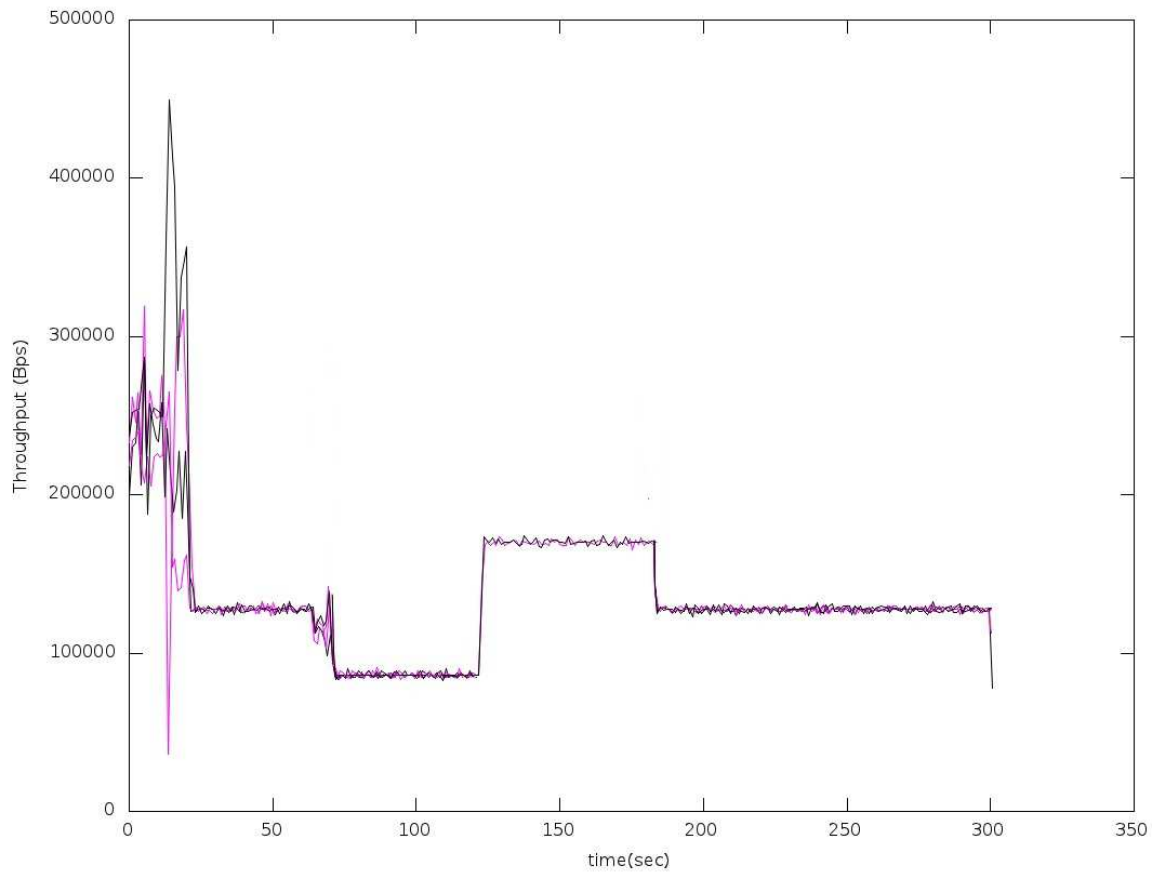
Σχήμα : Σενάριο 6 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (24 ροών)

Χωρίς την επιβολή μηχανισμού για την κατανομή των δικτυακών πόρων, οι υπηρεσίες ανταγωνίζονται έντονα μεταξύ τους για τη διεκδίκηση των δικτυακών πόρων με σκοπό την ικανοποίηση των αναγκών τους. Το πρωτόκολλο μεταφοράς TCP και ο αλγόριθμος για τον έλεγχο συμφόρησης δεν συμβάλλουν στην ομαλή διεξαγωγή της κίνησης. Ο μηχανισμός από τα 150 δευτερόλεπτα προσφέρει στις υπηρεσίες σταθερό ρυθμό μετάδοσης σύμφωνα με τις ανάγκες της κάθε υπηρεσίας.

4.4.7.4 Σύνοψη

Η προσθήκη ενός επιπλέον CMN στο IDVB-T δίκτυο, καθώς και ο αυξανόμενος αριθμός των ζητούμενων υπηρεσιών συμβάλουν σε ένα μη αξιόπιστο δίκτυο (βλ Σενάριο 2). Με την επιβολή της συγκεκριμένης πολιτικής το δίκτυο ανταποκρίνεται στις ανάγκες των υπηρεσιών και κατά συνέπεια των χρηστών καθώς οι υπηρεσίες αποκτούν ένα σταθερό ρυθμό μετάδοσης βάση των αναγκών τους.

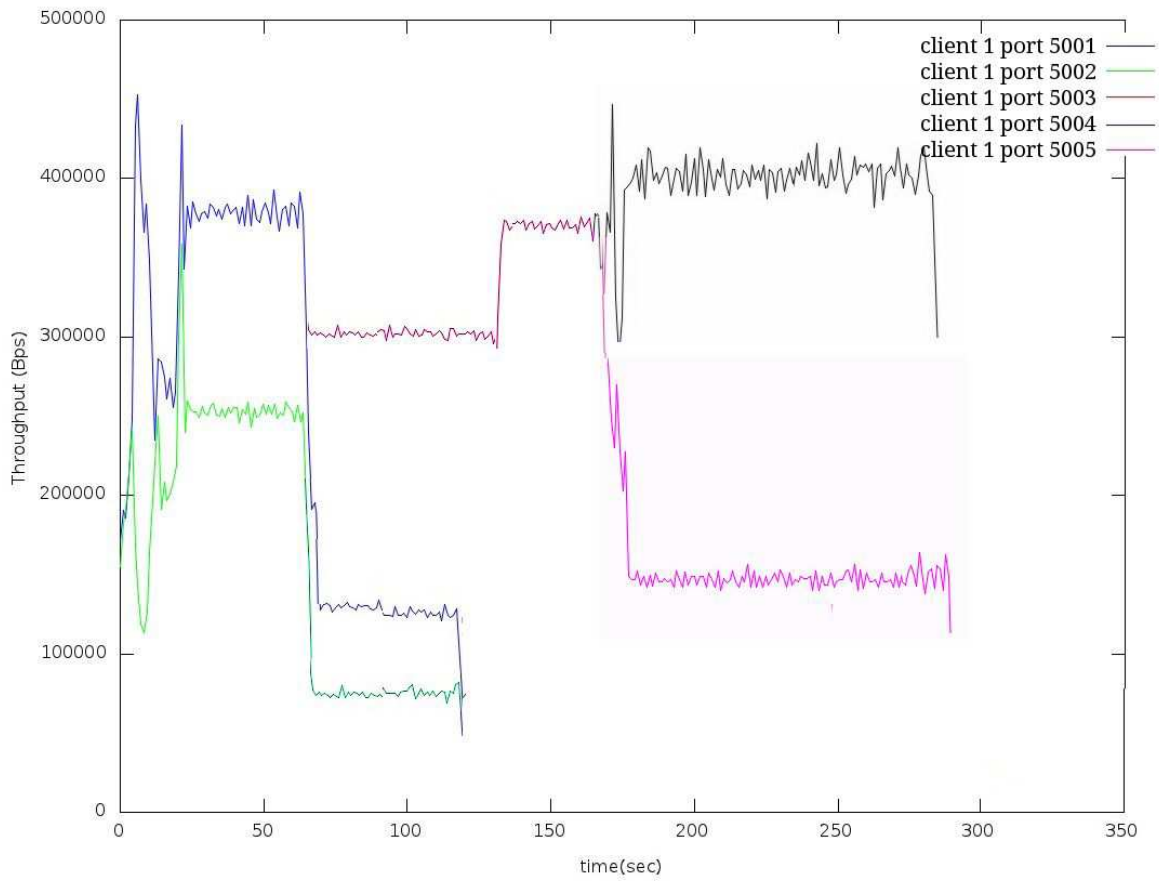
4.4.8 Σενάριο 7



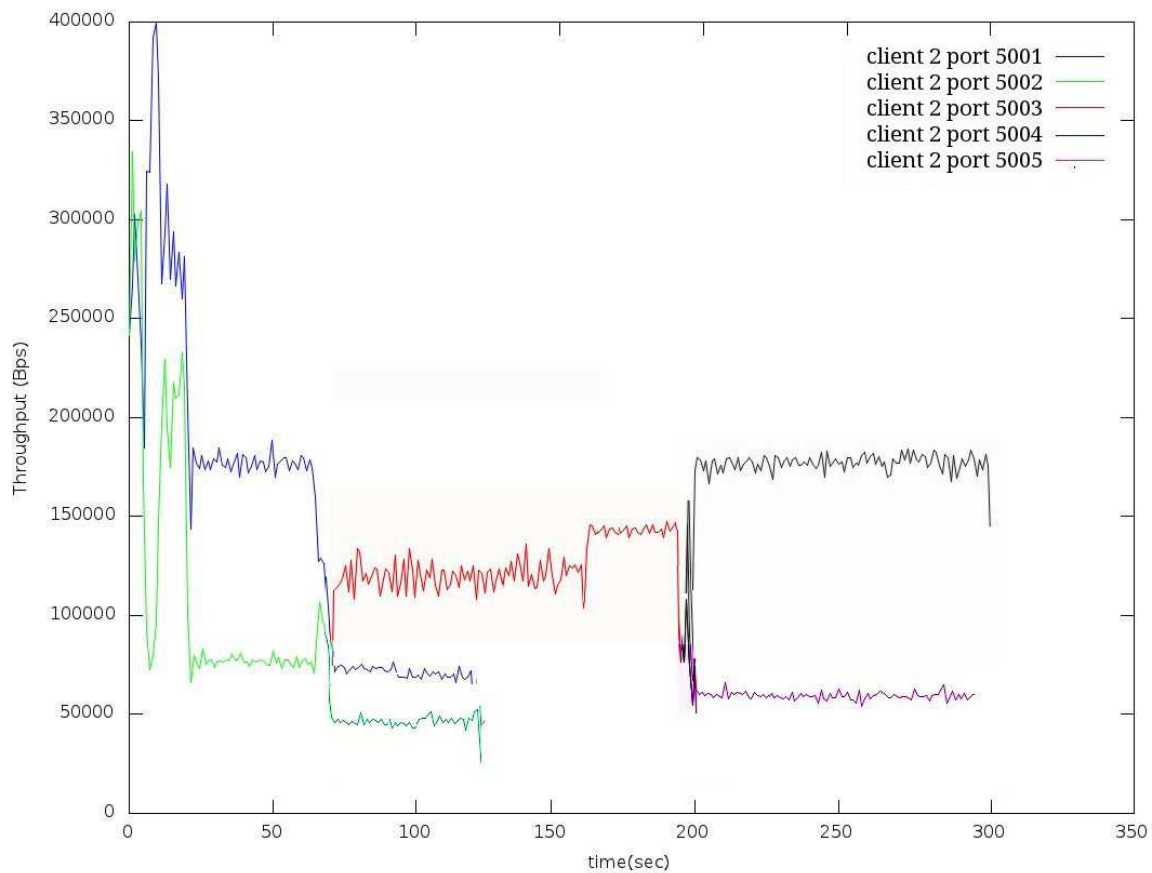
Σχήμα : Σενάριο 7 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο

Στο Σχήμα 31, φαίνεται η αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης των δικτυακών πόρων ώστε να κατανέμει το διαθέσιμο εύρος ζώνης σύμφωνα με την πολιτική εύρος ζώνης του κάθε CMN, όπου σε αυτήν την περίπτωση είναι το ίδιο. Επιπλέον, το IDVB-T δίκτυο καθώς εισέρχονται και αποχωρούν υπηρεσίες διαμοιράζει εκ νέου το διαθέσιμο εύρος ζώνης του κάθε CMN ανάλογα με τον αριθμό των υπηρεσιών.

4.4.9 Σενάριο 8



Σχήμα : Σενάριο 8 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο CMNI



Σχήμα : Σενάριο 8 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο CMN2

Στο Σχήμα 32 και Σχήμα 33 παρουσιάζεται η αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης των δικτυακών πόρων ώστε να κατανέμει το διαθέσιμο εύρος ζώνης σύμφωνα με το βάρος του κάθε CMN. Το IDVB-T δίκτυο ανταποκρίνεται στο μεταβαλλόμενο αριθμό των υπηρεσιών που εισέρχονται στο δίκτυο, καθώς διαμοιράζει το εύρος ζώνης σύμφωνα με την απαίτηση της κάθε υπηρεσίας.

4.4.10 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Παρακάτω παρατίθενται μια σύνοψη των παραπάνω αποτελεσμάτων. Η πρώτη γραφική παράσταση υποδεικνύει τη συμπεριφορά του IDVB-T δικτύου χωρίς την επιβολή μηχανισμού καταμερισμού των δικτυακών πόρων. Η δεύτερη και τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζουν τη συμπεριφορά του δικτύου έχοντας επιβάλει πολιτική καταμερισμού των δικτυακών πόρων (δίκαιος αλγόριθμος και αλγόριθμος με βάρη).

Από τις γραφικές παραστάσεις και μετά την επιβολή των μηχανισμών καθώς δημιουργήθηκε.

διαφαίνεται η συμπεριφορά του δικτύου πριν και η αποτελεσματικότητα του μηχανισμού που

5 Συμπεράσματα

Σκοπός αυτής της πτυχιακή ήταν ο σχεδιασμός, ανάλυση, υλοποίηση, ενσωμάτωση στο IDVB-T και αξιολόγηση ενός καταναμημένου συστήματος διαχείρισης δικτυακών πόρων το οποίο θα βελτιστοποιούσε την παρεχόμενη ποιότητας υπηρεσίας και θα αντιμετώπιζε, λόγω της περιφερειακής λειτουργίας του, καλύτερα τα θέματα κλιμακοθετησιμότητας και ανοχής σε σφάλματα. Στα πλαίσια αυτά υλοποιήθηκαν σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν ένας μηχανισμός σήμανσης πακέτων και ένας διαχείρισης ουρών, οι οποίοι και ενσωματώθηκαν στους ενδιάμεσους κόμβους διανομής--οι οποίοι βρίσκονται στην περιφέρεια του IDVB-T δικτύου--επιτρέποντας έτσι την καταναμημένη διαχείριση των διαθέσιμων δικτυακών πόρων. Το σύστημα διαχείρισης σχεδιάστηκε ώστε να δέχεται τις πολιτικές διαχείρισης των δικτυακών πόρων με δύο τρόπους: α) με απευθείας εισαγωγή από τον εκάστοτε χρήστη της επιθυμητής πολιτικής κατανομής των πόρων και β) με αποστολή της πληροφορίας δικτυακά αξιοποιώντας την τεχνολογία web service.

Στα πλαίσια της αξιολόγησης του συστήματος διαχείρισης σχεδιάστηκαν, υλοποιήθηκαν και ενσωματώθηκαν σε αυτό ένας "δίκαιος" και ένας με "βάρη" αλγόριθμος κατανομής πόρων. Μια σειρά από πειράματα τα οποία έλαβαν χώρα σε ένα πραγματικό IDVB-T δίκτυο απέδειξαν την αποτελεσματικότητα--ακόμα και σε καταστάσεις απρόβλεπτης και υψηλής διακύμανσης του δικτυακού φόρτου--του προτεινόμενου συστήματος, δίνοντας αποτελέσματα βελτιωμένης δικτυακής απόδοσης,

άρα και κατά επέκταση βελτιωμένης ποιότητας υπηρεσίας, από το διαδραστικό δίκτυο της ψηφιακής τηλεόρασης.

Σαν μελλοντική έρευνα, σκοπεύουμε να συγκρίνουμε το κατακεκομημένο σύστημα μας με τα κεντροποιημένα και τα ημικατακεκομημένα συστήματα που έχουν ήδη προταθεί. Επίσης, μέσα στα σχέδια μας είναι και η ενσωμάτωση και υποστήριξη από το σύστημα μας διαφορετικών του ΗΤΒ τρόπου διαχείρισης ουρών, όπως για παράδειγμα το ΗSFC (Hierarchical Fair Service Curve) και το PCQ (Per Connection Queuing).

6 Βιβλιογραφία

[1] "ETSI, "ETSI EN 301 958 v.1.1.1 Digital Video Broadcasting (DVB): Interaction Channel for Digital Terrestrial Television (RCT) Incorporating Multiple Access OFDM," 2002."

[2] ETS 300 801 — Digital Video Broadcasting (DVB), "Interaction channel through Public Switched Telecommunications Network (PSTN) / Integrated Services Digital Networks," (ISDN)."

[3] "G. Xilouris et al., "Reverse Path Technologies in Interactive DVB-T Broadcasting," Proc. IST Mobile and Wireless Telecommun. Summit, Thessaloniki, Greece, June 2002, pp. 292–95."

[4] "Digital Switchover: Developing Infrastructures for Broadband Access, 6th Information Society Technologies, 6th Framework Programme (ATHENA FP6-507312), (<http://www.ist-athena.org>)."

[5] "E. Pallis, "Digital Switchover in UHF: the ATHENA Concept for Broadband Access" European Transactions on Telecommunications, vol. 17, no. 2, March 2006, pp. 175–182"

[6] "G. Mastorakis, G. Kormentzas, E. Pallis, A Fusion IP/DVB Networking Environment for Providing Always-On Connectivity and Triple-Play Services to Urban and Rural Areas, IEEE Network Magazine,

vol. 21, no. 2, March-April 2007, pp. 21-27"

[7] "D. Negru, A. Mehaoua, Y. Hadjadj-aoul and C. Berthelot, Dynamic bandwidth allocation for efficient support of concurrent digital TV and IP multicast services in DVB-T networks, Computer Communications, Sciencedirect, Volume29, Issue6, 31March2006, pp. 741-756."

[8] "Guowang Miao, Zhisheng Niu, Satisfaction oriented resource management in integrated Internet and DVB-T network providing high mobility broadband access services, Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM 05. IEEE, 2 December 2005, Volume 6, pp. 5- 3845"

[9] "Guowang Miao, Zhisheng Niu, Profit oriented multichannel resource management for integrated Internet and DVB-T network, Global Telecommunications Conference 2005. GLOBECOM 05. IEEE, 2 December 2005, Volume 2, pp. 5"

[10] "Bria, A. Font, A.G., Cost-Based Resource Management for Filecasting Services in Hybrid DVB-H and 3G systems, Wireless Communication Systems ISWCS 08, 21-24 October 2008, pp. 159 - 163"

[11] "G. Mastorakis, G. Kormentzas, E. Pallis, End-to-End quality of service in a DVB/IP backhaul environment, Wireless Personal Communications, Springer 2008, Pages 1-13"

[12] ETS 300 744: Digital Video Broadcasting (DVB): Framing structure, channel coding and modulation for Digital Terrestrial Television (DVB-T), ETSI, 1997

[13] ETSI EN 300 744, "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television", v1.5.1, ETSI, 2004.

[14] DVB-T2 <http://en.wikipedia.org/wiki/DVB-T2>
(τελευταία πρόσβαση 2/08/2013)

[15] ISO/IEC 14496-10:2003, "Coding of Audiovisual Objects—Part 10: Advanced Video Coding," 2003, also ITU-T Recommendation H.264 "Advanced video coding for generic audiovisual services."

[16] ISO/IEC 13818-2: "Generic coding of moving pictures and associated audio information—Part 2: Video," 1994, also ITU-T Recommendation H.262.

[17] Differentiated Service on Linux HOWTO, <http://www.softwareopal.com/qos/default.php?p=ds-22>
(τελευταία πρόσβαση 27/09/2013)

[18] Differentiated Service on Linux HOWTO, <http://www.softwareopal.com/qos/default.php?p=ds-26>
(τελευταία πρόσβαση 27/09/2013)

[19] Differentiated Service on Linux HOWTO, <http://www.softwareopal.com/qos/default.php?p=ds-28>
(τελευταία πρόσβαση 27/09/2013)

[20] A.S.Tanenbaum, "Δίκτυα Υπολογιστών", 4η αμερικάνικη έκδοση

[21] Transmission Control Protocol,

http://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_Control_Protocol,(τελευταία πρόσβαση 15/06/2013)

[22] tc - traffic control, <http://www.arvanta.net/~mps/linux-tc.html>, (τελευταία πρόσβαση 2/08/2013)

[23] Iptables Tutorial 1.2.2 , <http://www.frozentux.net/iptables-tutorial/iptables-tutorial.html>,
(τελευταία πρόσβαση 2/08/2013)

[24] TCPDUMP - The Easy Tutorial, <http://openmaniak.com/tcpdump.php>, (τελευταία πρόσβαση 2/08/2013)

[25] IPERF – The Easy Tutorial, <http://openmaniak.com/iperf.php> ,(τελευταία πρόσβαση 2/08/2013)

[26] tcptrace – Official Homepage, <http://www.tcptrace.org/>, (τελευταία πρόσβαση 2/08/2013)

[27] GNU Octave, <http://www.gnu.org/software/octave/> ,(τελευταία πρόσβαση 30/09/2013)

7 Παράρτημα

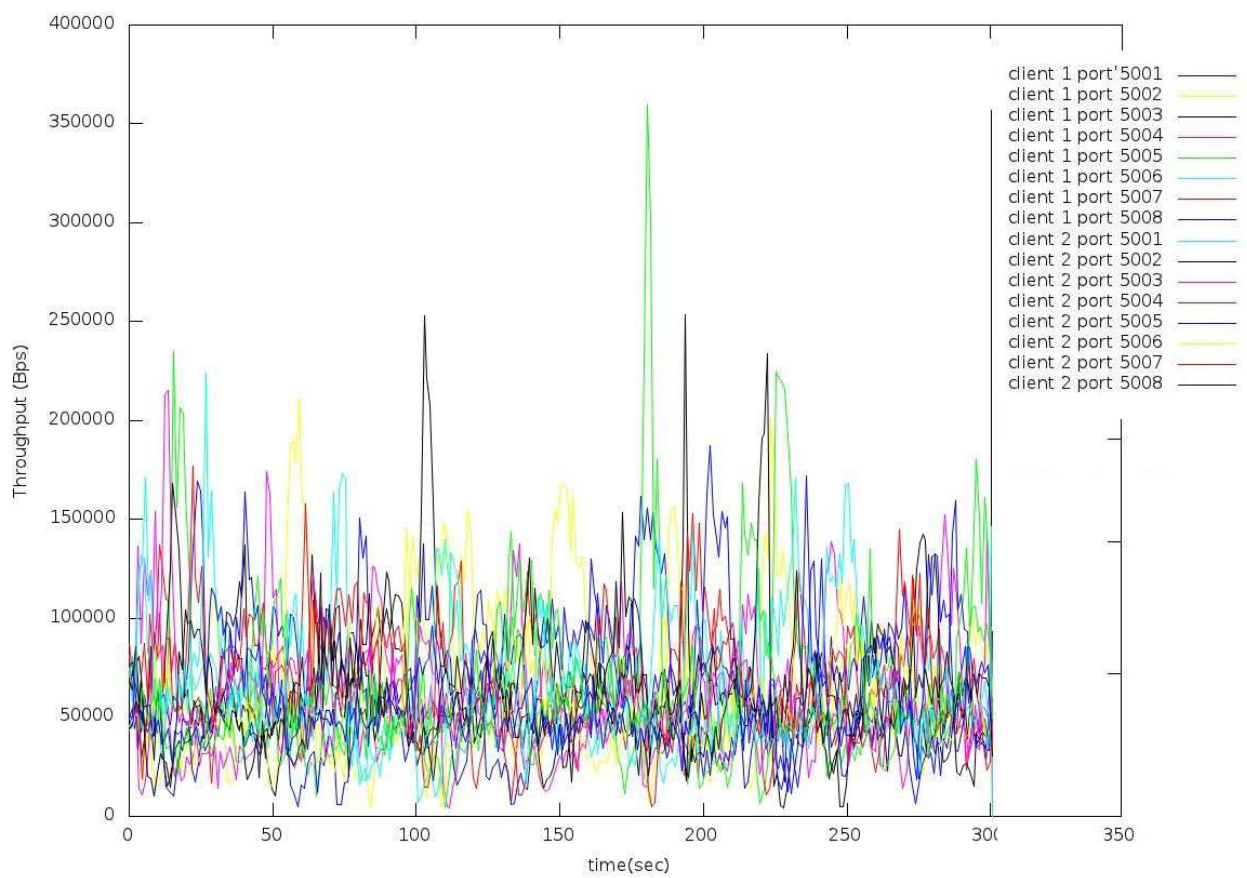
7.1 Αποτελέσματα Μετρήσεων

Παρατίθενται οι γραφικές παραστάσεις και των υπόλοιπων κινήσεων που πραγματοποιήθηκαν.Σενάριο 1

7.1.1.1 3 TCP υπηρεσίες ανά Client

7.1.1.2 5 TCP υπηρεσίες ανά Client

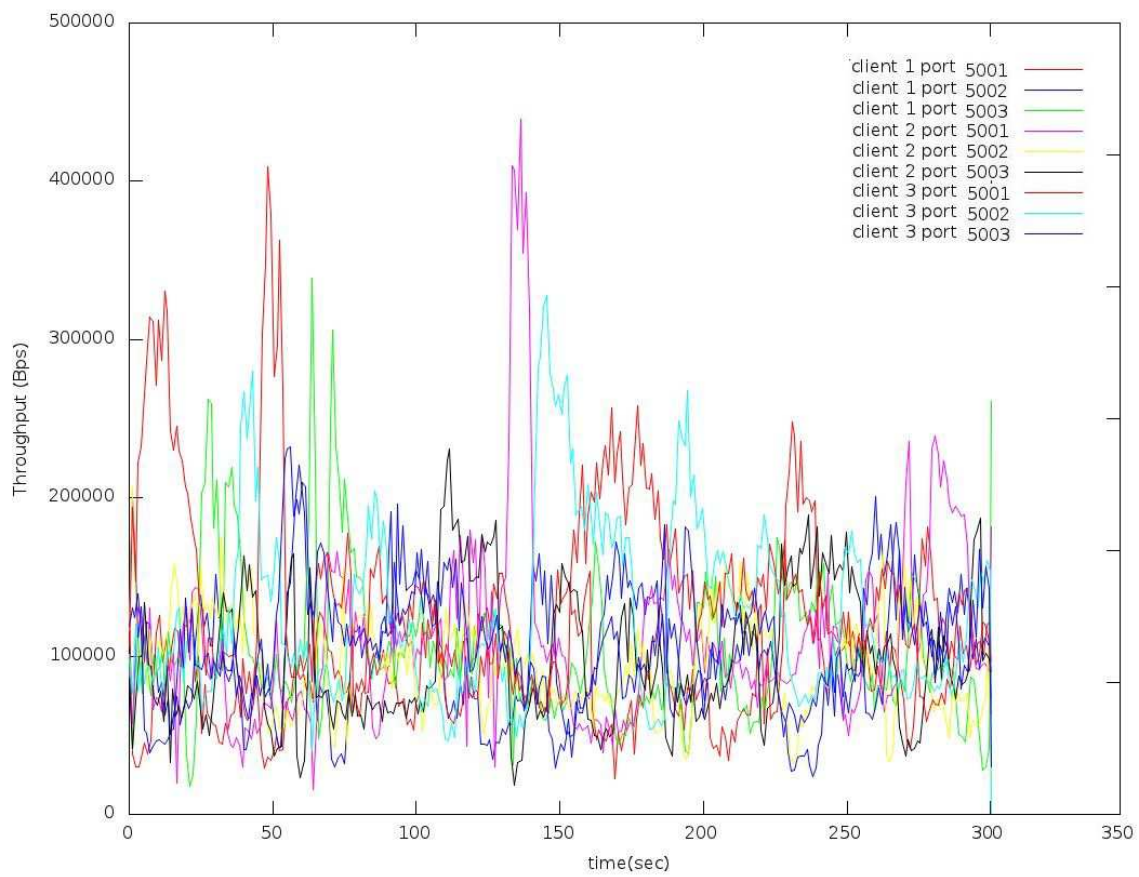
7.1.2 8 TCP υπηρεσίες ανά Client



Σχήμα : Σενάριο 1 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (16 ροών)

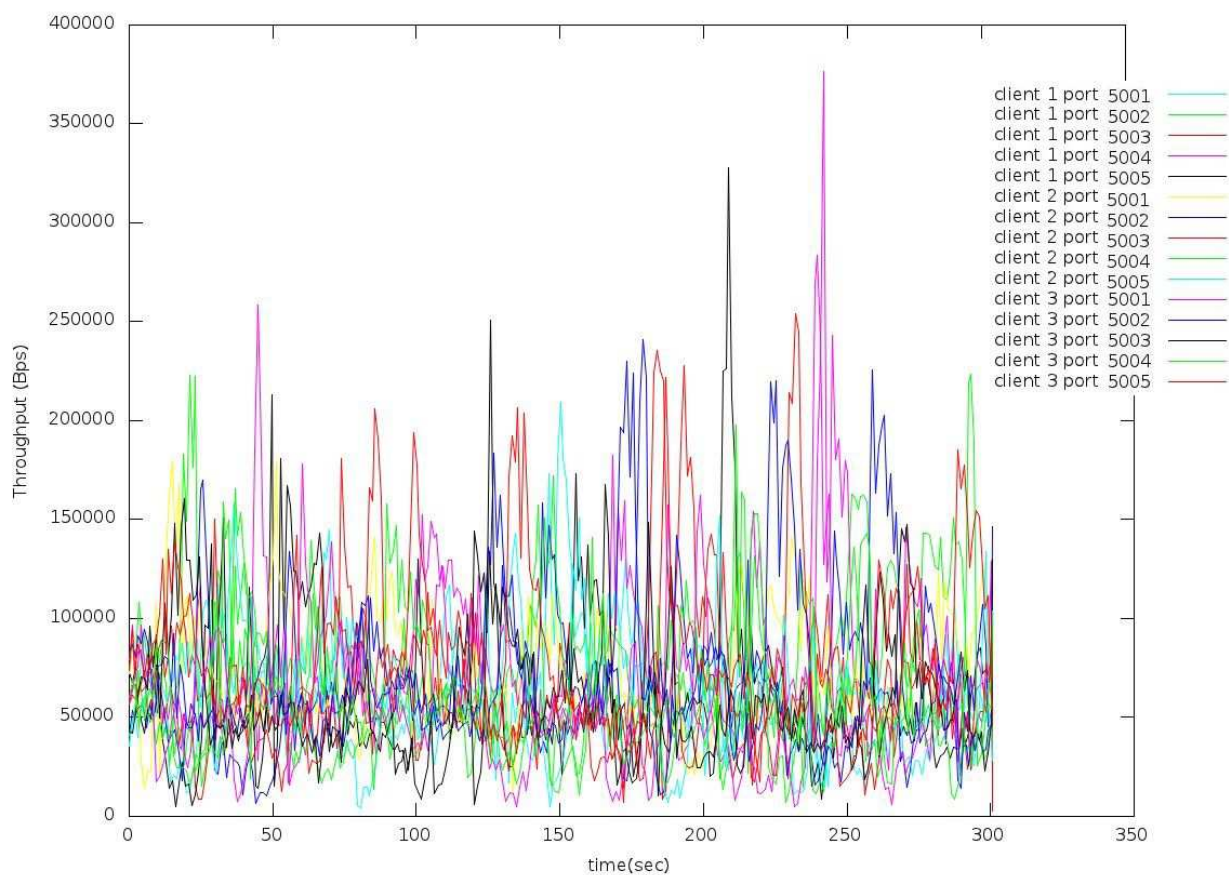
7.1.3 Σενάριο 2

7.1.3.1 3 TCP υπηρεσίες ανά Client



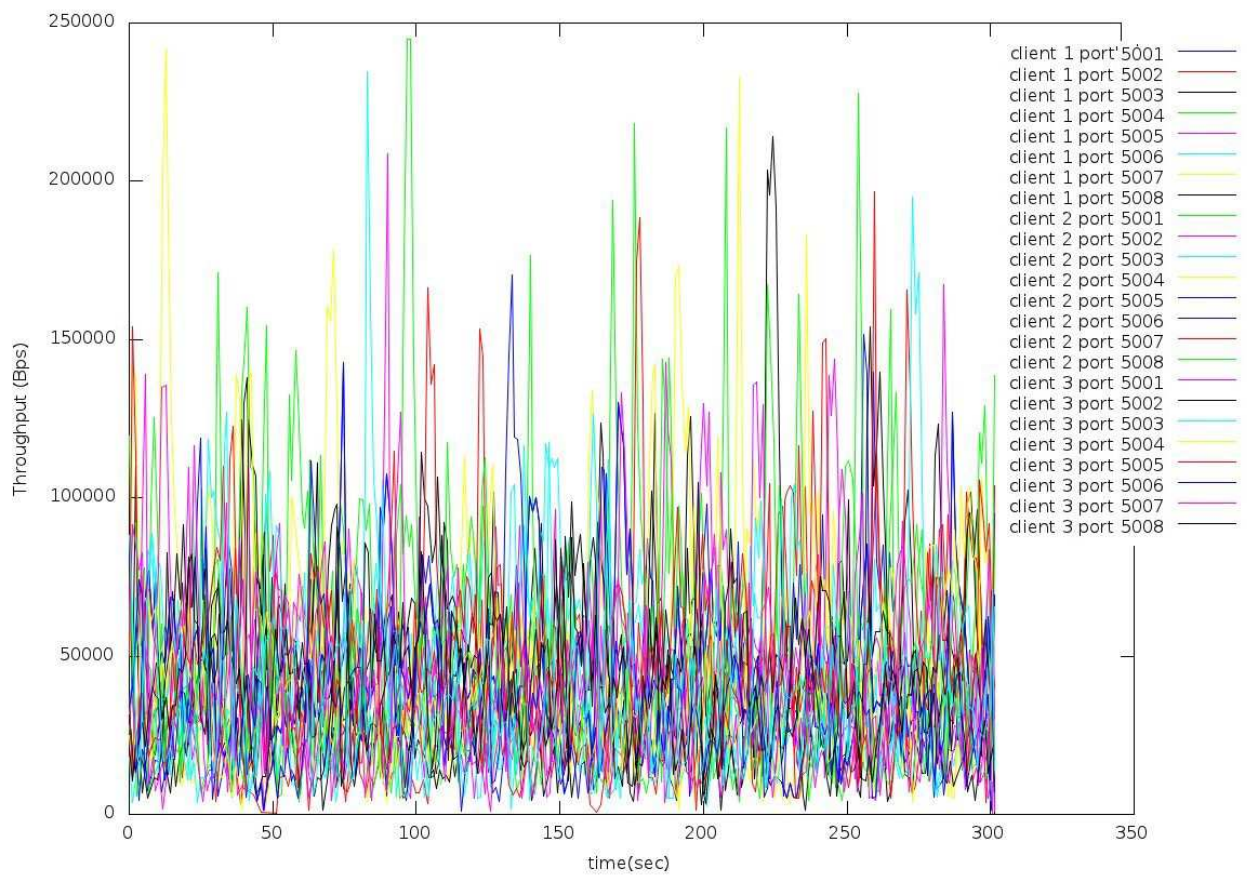
Σχήμα : Σενάριο 2 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (6 ροών)

7.1.3.2 5 TCP υπηρεσίες ανά Client



Σχήμα : Σενάριο 2 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (15 ροών)

7.1.3.3 8 TCP υπηρεσίες ανά Client



Σχήμα : Σενάριο 2 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (24 ροών)

7.1.4 Σενάριο 3

7.1.4.1 3 TCP υπηρεσίες ανά Client

7.1.4.2 5 TCP υπηρεσίες ανά Client

7.1.4.3 8 TCP υπηρεσίες ανά Client

7.1.5 Σενάριο 4

7.1.5.1 3 TCP υπηρεσίες ανά Client

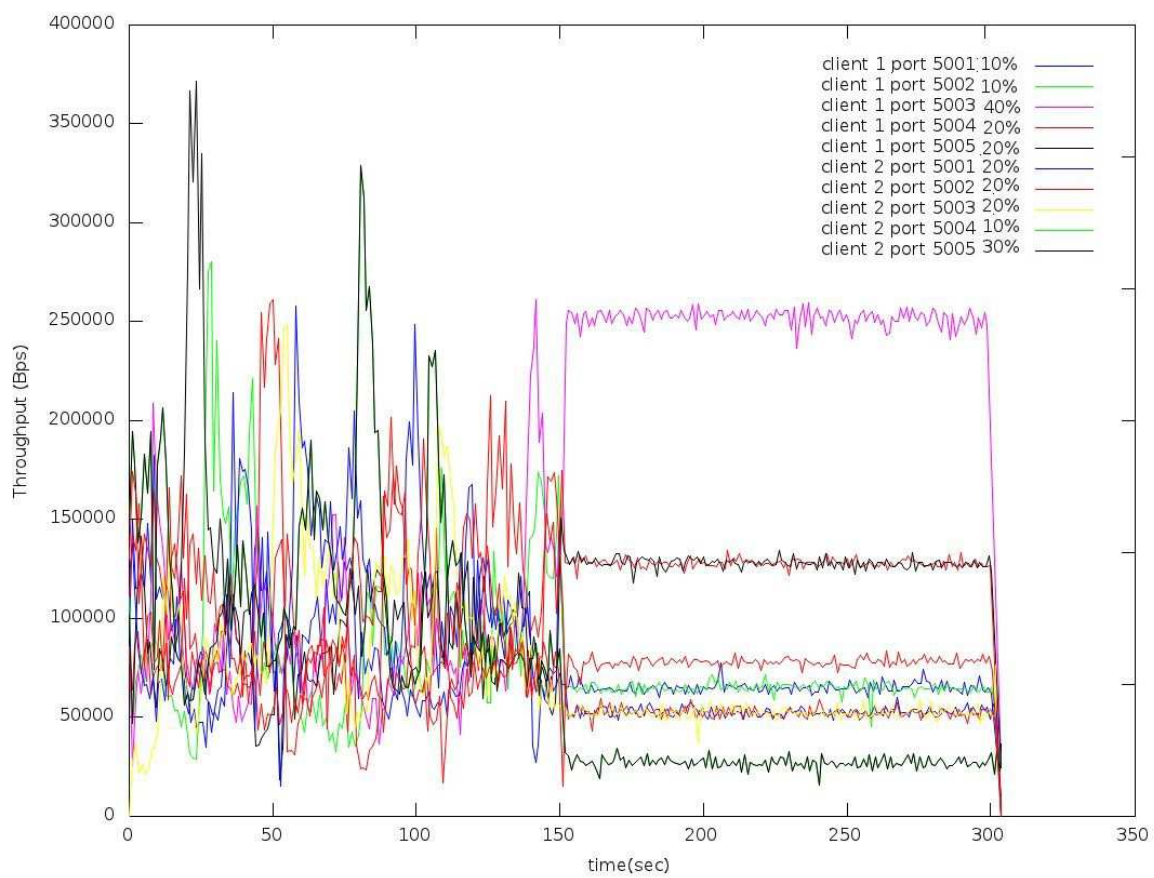
7.1.5.2 5 TCP υπηρεσίες ανά Client

7.1.5.3 8 TCP υπηρεσίες ανά Client

7.1.6 Σενάριο 5

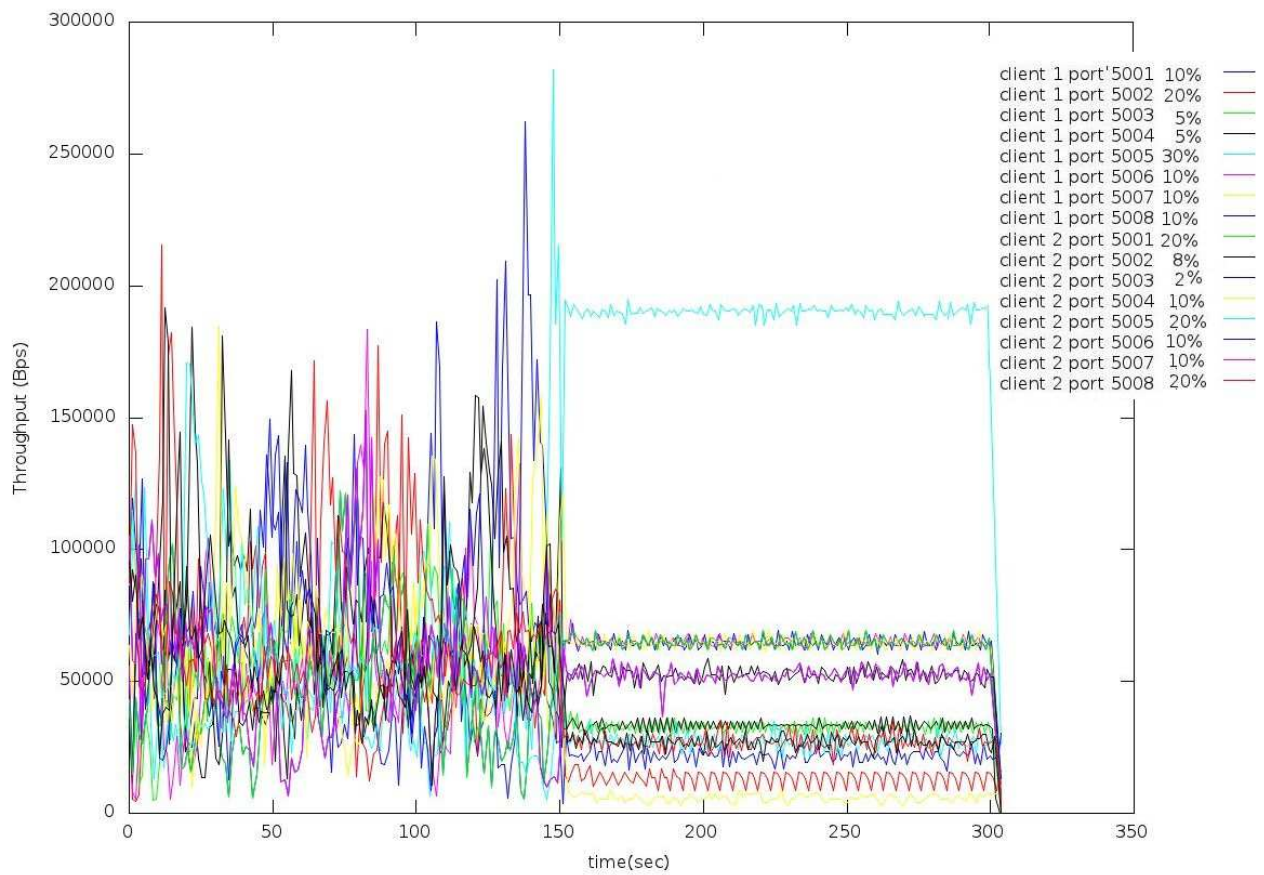
7.1.6.1 3 TCP υπηρεσίες ανά Client

7.1.6.2 5 TCP υπηρεσίες ανά Client



Σχήμα : Σενάριο 5 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (10 ροών)

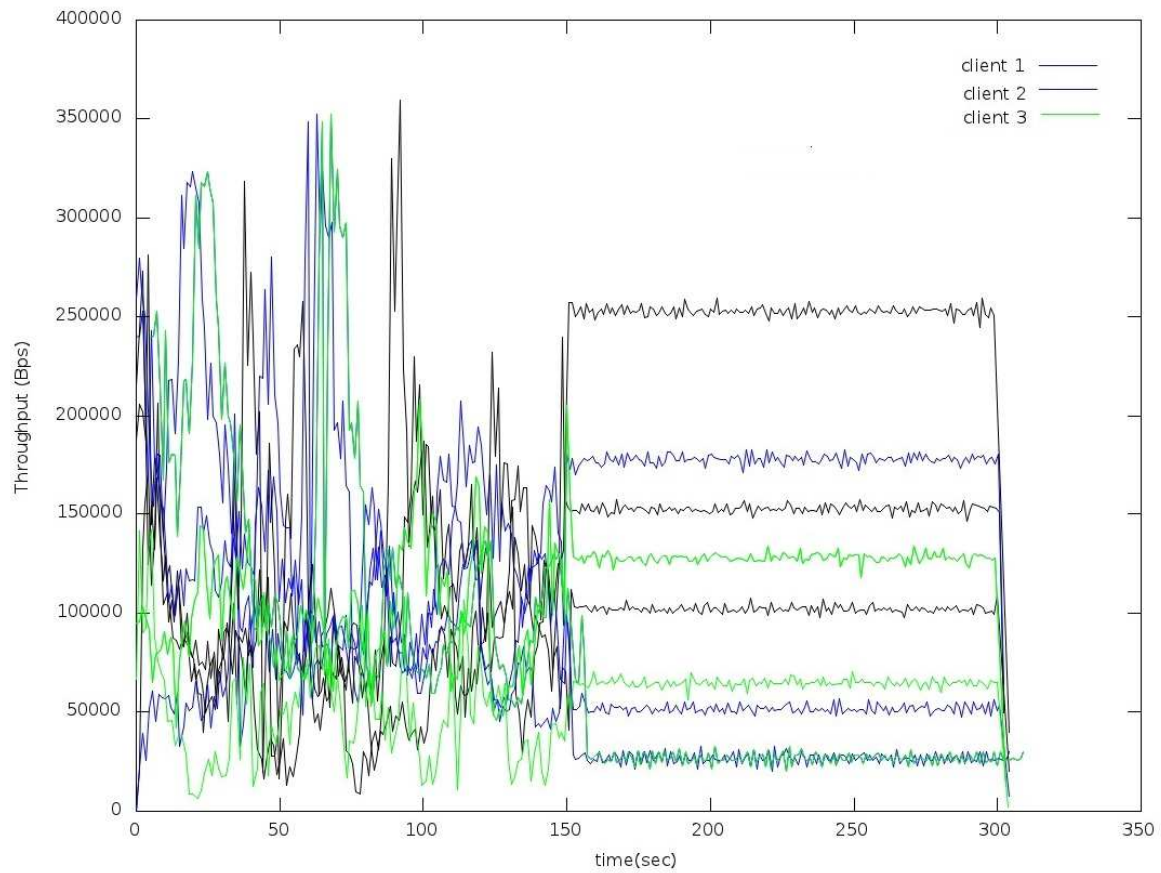
7.1.6.3 8 TCP υπηρεσίες ανά Client



Σχήμα : Σενάριο 5 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (16 ροών)

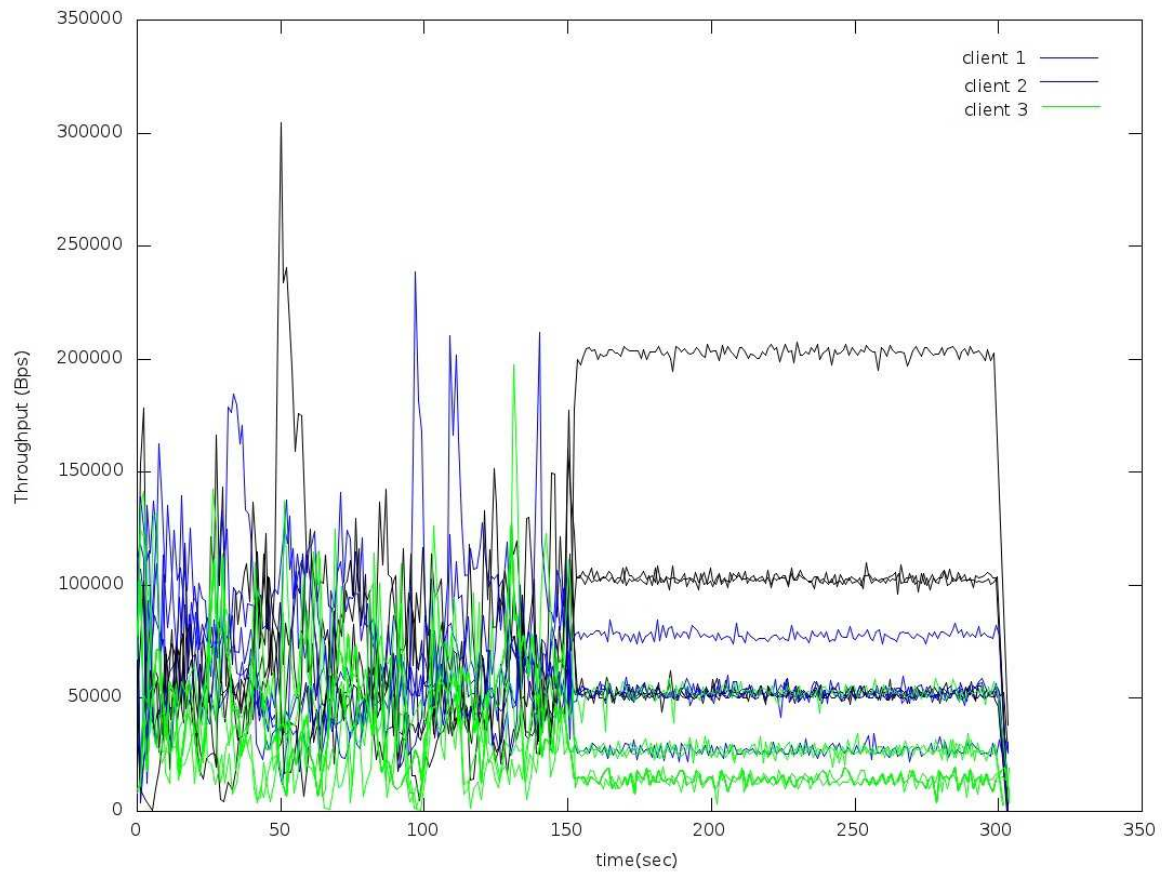
7.1.7 Σενάριο 6

7.1.7.1 3 TCP υπηρεσίες ανά Client



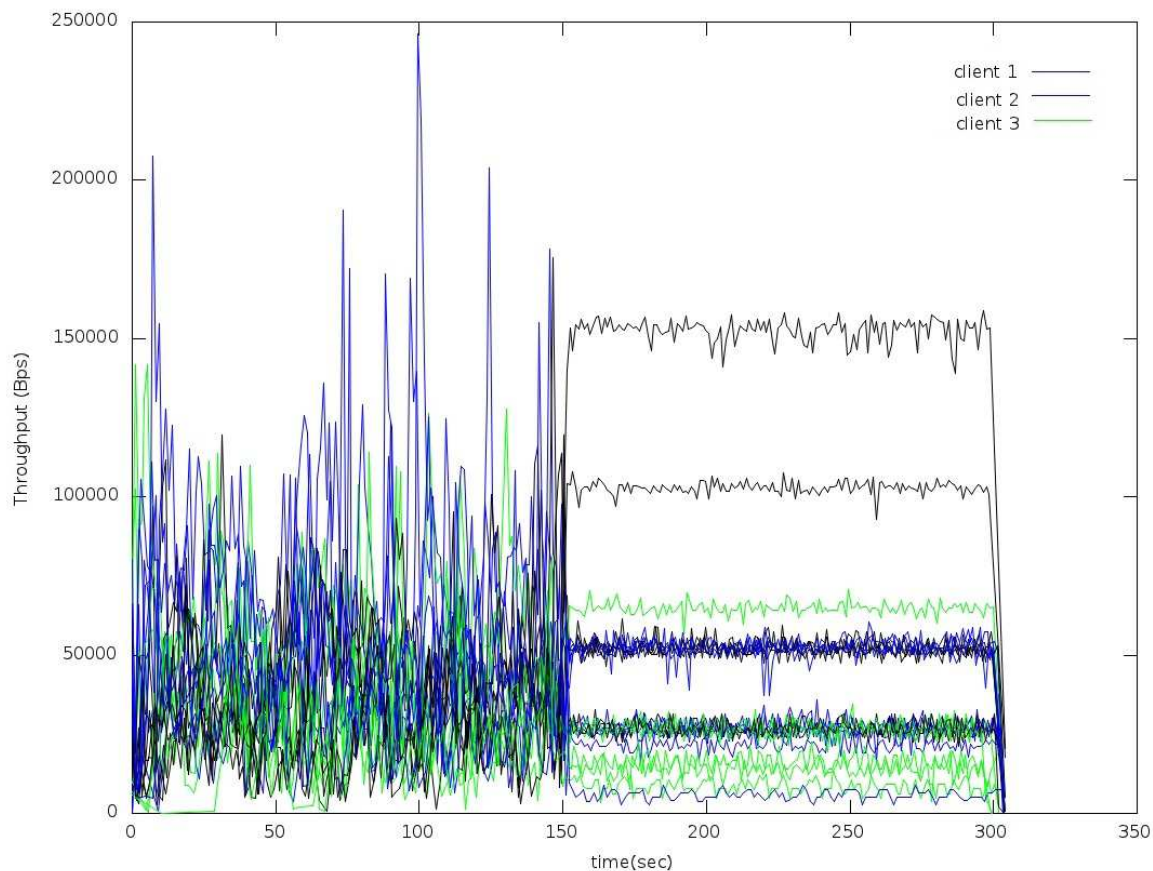
Σχήμα : Σενάριο 6 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (9 ροών)

7.1.7.2 5 TCP υπηρεσίες ανά Client



Σχήμα : Σενάριο 6 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (15 ροών)

7.1.7.3 8 TCP υπηρεσίες ανά Client



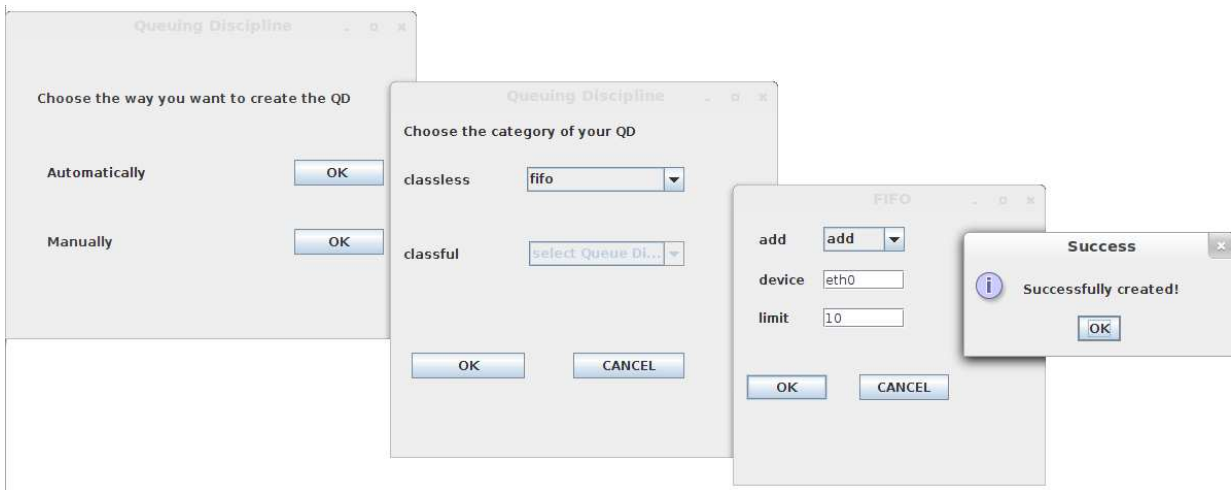
Σχήμα : Σενάριο 6 - Ρυθμός μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο (24 ροών)

7.2 Περιγραφή λειτουργίας εφαρμογής

περιβάλλον και παρέχει δύο τρόπους για για τη δέσμευση πόρων, τον αυτόματο, όπου μέσω δικτύου η πλευρά του server λαμβάνει ένα αρχείο και τον μη αυτόματο όπου συμπληρώνονται χειρωνακτικά τα πεδία των αλγορίθμων.

Επιλέγοντας την επιλογή “Manually” υπάρχουν δύο επιλογές αλγορίθμων διαχείρισης από την κατηγορία classless τη FIFO πρέπει να συμπληρωθούν ώστε να δημιουργεί

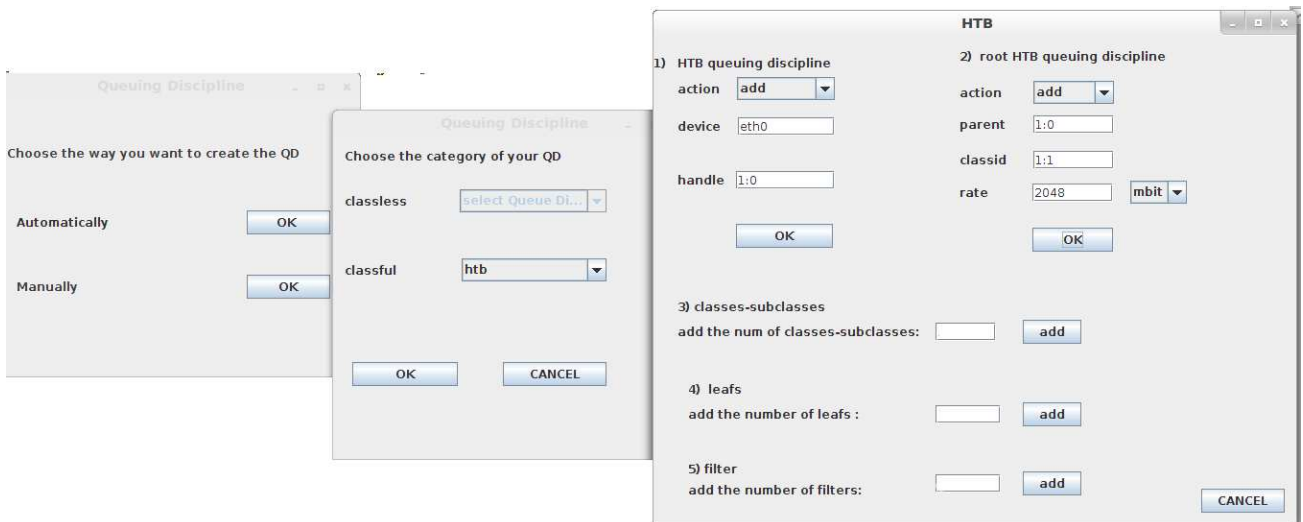
Η εφαρμογή αποτελείται από γραφικό περιβάλλον, τον αυτόματο, όπου μέσω δικτύου η πλευρά του server λαμβάνει ένα αρχείο και τον μη αυτόματο όπου συμπληρώνονται χειρωνακτικά τα πεδία των αλγορίθμων. εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο στο οποίο ορίζονται οι classless και οι classful.Επιλέγοντας εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο με τα πεδία που ορίζονται στην αυτή η πειθαρχία.



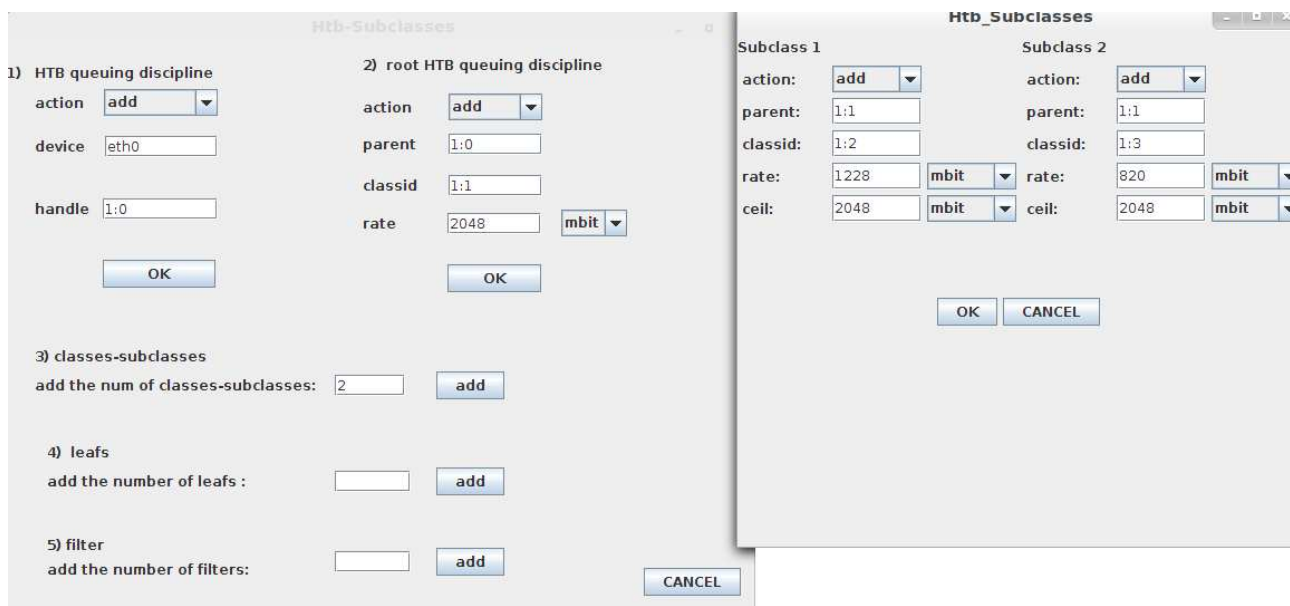
Σχήμα : Δημιουργία FIFO μέσω της εφαρμογής

Αφού συμπληρωθούν τα πεδία εμφανίζεται μήνυμα που μας ενημερώνει ότι δημιουργήθηκε με επιτυχία.

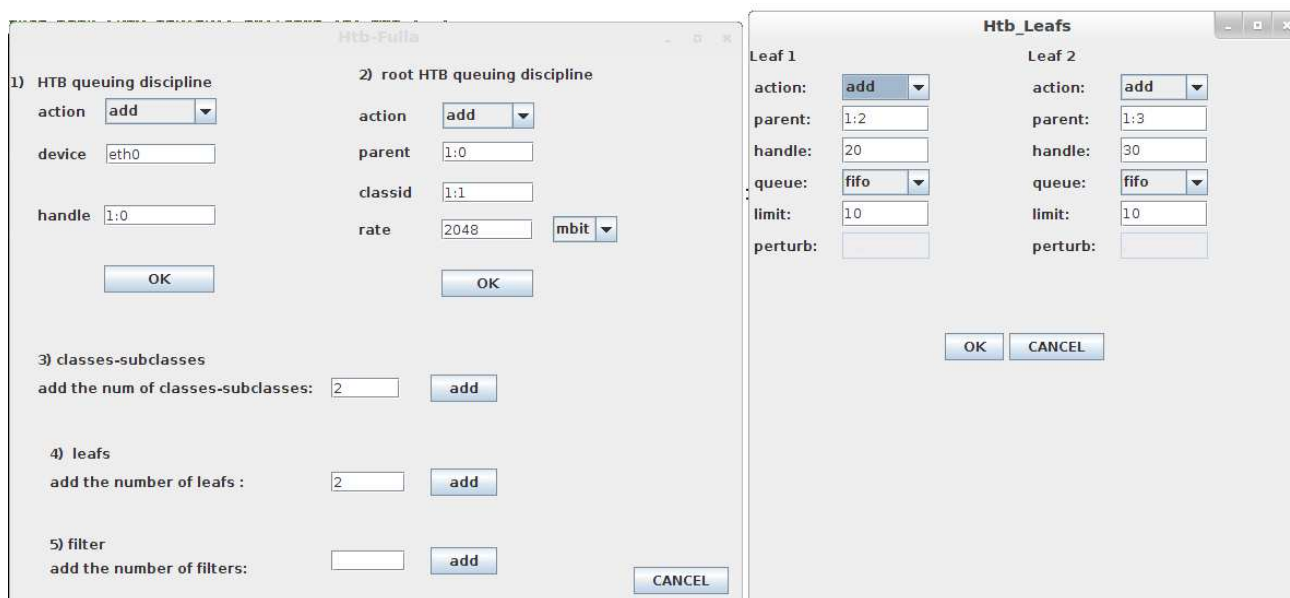
Αν επιλέξουμε την άλλη κατηγορία που είναι η classful και από την κατηγορία αυτή επιλέξουμε την πειθαρχία HTB τότε έχουμε τα παρακάτω:



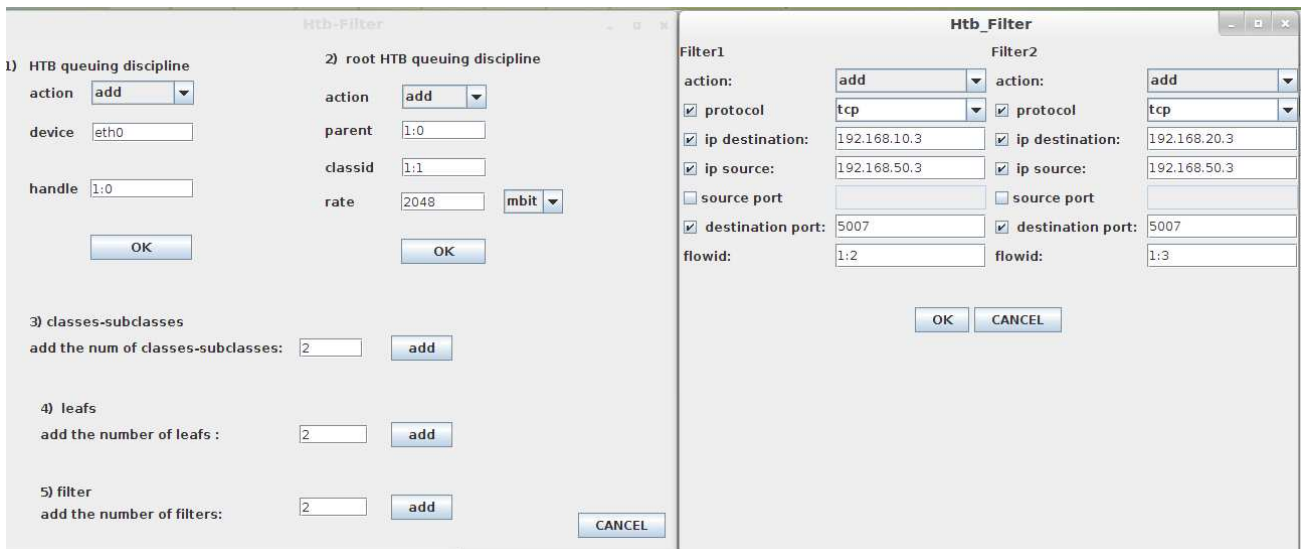
Σχήμα : Δημιουργία HTB μέσω της εφαρμογής



Σχήμα : Δημιουργία HTB - class μέσω της εφαρμογής



Σχήμα : Δημιουργία HTB - leaf μέσω της εφαρμογής



Σχήμα : Δημιουργία HTB - Filter μέσω του μηχανισμού

Κώδικας

Δίκαιος καταμερισμός του εύρους ζώνης

Από το αρχείο διαβάζονται οι πληροφορίες για τις ροές που αιτούνται οι χρήστες και γίνονται οι απαραίτητες διεργασίες για το δίκαιο καταμερισμό.

```
package Fair;
import com.fasterxml.jackson.core.type.TypeReference;
import com.fasterxml.jackson.databind.ObjectMapper;
import java.io.BufferedReader;
import java.io.IOException;
import java.io.InputStreamReader;
import java.util.ArrayList;
import java.util.HashMap;
import java.util.Map;
import miniclient.APIClient;
import org.json.simple.JSONObject;
```

```
/**
```

```

*
* @author manto
*/
public class FairTcEntolesFair {

    public int valueTimh;
    public double katanomi;
    public Process tc;
    public BufferedReader input;
    public BufferedReader inputError;
    public String line;
    public ArrayList<Double> fairclass = new ArrayList<Double>();

    public FairTcEntolesFair() throws IOException {
        FairDiabasmaArxeiouBandwidth bandwidth = new FairDiabasmaArxeiouBandwidth();
        FairDiavasmaArxeiou num = new FairDiavasmaArxeiou();
        katanomi = bandwidth.getValueBW() / num.getNum();

        double number = num.getNum();

        fairclass.add(katanomi);
        fairclass.add(number);

        JSONObject obj = new JSONObject();
        obj.put("fairclass", fairclass);

        APIClient apiclient = new APIClient();
        System.out.println("fairclass json" + obj);

        try {
            String response = apiclient.send("fair_auto_htb_class", obj.toJSONString());
            System.out.println("RESPONCE JSON FROM SERVER:" + response);
            Map<String, Object> parameterMap = new HashMap<String, Object>();

```

```

try {
    ObjectMapper mapper = new ObjectMapper();
    parameterMap = mapper.readValue(responce, new TypeReference<Map<String, Object>>() {
    });
} catch (Exception e) {
    e.printStackTrace();
}
} catch (Exception e) {
    System.out.println("provlima");
}
}
}

```

Αποστέλλονται τα παραπάνω δεδομένα και γίνεται η δημιουργία της πειθαρχίας ουράς για το δίκαιο καταμερισμό του εύρους ζώνης.

```

public String fair_auto_htb_class(RequestState state) throws IOException, InterruptedException {
    ArrayList<Double> fairclass = (ArrayList) state.getRequestArgs().get("fairclass");
    int exit_code = -1;
    String msg = "";
    String command1 = null;
    for (int i = 0; i < fairclass.size(); i++) {
        System.out.println(fairclass.get(i));
    }
    int k = 0;

    try {
        for (int i = 0; i < fairclass.get(fairclass.size() - 1); i++) {
            k = 2 + i;
            int classid = k;
            command1 = "tc " + "class " + "add " + "dev " + "eth0 " + "parent " + "1: " + "classid " + "1:"
+ String.valueOf(classid) + " htb " + "rate " + fairclass.get(0) + "mbit " + "ceil " + fairclass.get(0) +
"mbit";

            System.out.println(" COMMAND: " + command1);
            tc = Runtime.getRuntime().exec(command1);
        }
    }
}

```

```

        BufferedReader inputStream = new BufferedReader(new
InputStreamReader(tc.getInputStream()));
        BufferedReader errorStream = new BufferedReader(new
InputStreamReader(tc.getErrorStream()));
        exit_code = tc.waitFor();
        if (exit_code > 0) {
            msg = errorStream.readLine();
        }
    } catch (Exception e) {
        System.out.println("TC EXCEPTION ERROR");
        e.printStackTrace();
    }

    JSONObject return_msg = new JSONObject();
    return_msg.put("exitcode", exit_code);
    return_msg.put("msg", msg);
    return return_msg.toJSONString();

}

```

Καταμερισμός με “βάρη”

Από το αρχείο διαβάζονται οι πληροφορίες για τις ροές που αιτούνται οι χρήστες και γίνονται οι απαραίτητες διεργασίες για τον καταμερισμό με “βάρη”.

```

package weight;

import com.fasterxml.jackson.core.type.TypeReference;
import com.fasterxml.jackson.databind.ObjectMapper;
import java.io.BufferedReader;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.io.IOException;
import java.io.InputStreamReader;
import java.util.ArrayList;
import java.util.HashMap;
import java.util.Map;
import miniclient.APIClient;

```



```

import org.json.simple.JSONObject;
/**
 *
 * @author manto
 */
public class KatanomiBitrate {
    private int valueTimh;
    private double katanomi;
    private Process tc;
    private BufferedReader input;
    private BufferedReader inputError;
    private String line;
    private double athroisma = 0;
    DiabasmaArxeiouBandwidth bandwidth = new DiabasmaArxeiouBandwidth(); // bitrate 100
    ReadFileYphresies numYphresiwn = new ReadFileYphresies(); // pairnei ton ari8mo tw n upohresiwn
    public ArrayList<Double> katanomes = new ArrayList<Double>();
    public ArrayList<Double> weightclass = new ArrayList<Double>();
    public KatanomiBitrate() throws FileNotFoundException, IOException {

        for (int i = 0; i < numYphresiwn.getNum(); i++) {
            athroisma = athroisma + numYphresiwn.getPinakasBarwn().get(i);
            double epiEkato = numYphresiwn.getPinakasBarwn().get(i).doubleValue() * 100;
            katanomi = epiEkato * bandwidth.getValueBW() / 100.0;
            weightclass.add(katanomi);
        }
        JSONObject obj = new JSONObject();
        obj.put("weightclass", weightclass);

        APIClient apiclient = new APIClient();
        System.out.println("weightclass json" + obj);
        try {
            String response = apiclient.send("weight_auto_htb_class", obj.toJSONString());
            System.out.println("RESPONCE JSON FROM SERVER:" + response);
        }
    }
}

```

```

Map<String, Object> parameterMap = new HashMap<String, Object>();
try {
    ObjectMapper mapper = new ObjectMapper();
    parameterMap = mapper.readValue(response, new TypeReference<Map<String, Object>>() {
    });
} catch (Exception e) {
    e.printStackTrace();
}
} catch (Exception e) {
    System.out.println("provlima");
}
}
}

```

Αποστέλλονται τα παραπάνω δεδομένα και γίνεται η δημιουργία της πειθαρχίας ουράς για τον καταμερισμό του εύρους ζώνης.

```

public String weight_auto_htb_class(RequestState state) throws IOException, InterruptedException {

    ArrayList<Double> weightclass = (ArrayList) state.getRequestArgs().get("weightclass");
    int exit_code = -1;
    String msg = "";
    String command1 = null;

    for (int i = 0; i < weightclass.size(); i++) {
        System.out.println(weightclass.get(i));
    }
    int k = 0;
    try {
        for (int i = 0; i < weightclass.size(); i++) {
            k = 2 + i; // 2,3,4,5,6,7,8 klp
            int classid = k;

```

```

        command1 = "tc " + "class " + "add " + "dev " + "eth0 " + "parent " + "1: " + "classid " + "1:"
+ String.valueOf(classid) + " htb " + "rate " + weightclass.get(i) + "mbit " + "ceil " + weightclass.get(i)
+ "mbit";

        System.out.println(" COMMAND: " + command1);
        tc = Runtime.getRuntime().exec(command1);
    }

    BufferedReader inputStream = new BufferedReader(new
InputStreamReader(tc.getInputStream()));
    BufferedReader errorStream = new BufferedReader(new
InputStreamReader(tc.getErrorStream()));
    exit_code = tc.waitFor();
    if (exit_code > 0) {
        msg = errorStream.readLine();
    }

} catch (Exception e) {
    System.out.println("TC EXCEPTION ERROR");
    e.printStackTrace();
}
JSONObject return_msg = new JSONObject();
return_msg.put("exitcode", exit_code);
return_msg.put("msg", msg);
return return_msg.toJSONString();
}
}

```

7.3 **Εντολές Δημιουργίας, “Σύλληψης” και Ανάλυσης Κίνησης**

7.3.1 **Δημιουργία**

Για την δημιουργία της TCP κίνησης χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο iperf. Από την πλευρά του τελικού χρήστη εκτελείται το iperf σαν server, όπου “ακούει” π.χ. στην port 5003 για με την εντολή :

```
iperf -s -p 5003
```

Από την πλευρά του Service Provider εκτελείται το iperf σαν client, δηλώνοντας σαν παραμέτρους την IP διεύθυνση του server και τον χρόνο που θα διαρκέσει η επικοινωνία, με την εντολή :

```
iperf -c <ip_address_of_server> -t <time_in_seconds>
```

π.χ : iperf -c 192.168.10.3 -t 300

7.3.2 Σύλληψη

Με το εργαλείο tcpdump θα “συλληφθεί” η κίνηση και θα αποθηκευτεί σε ένα dump αρχείο, ώστε να μπορέσει έπειτα να γίνει η ανάλυση της. Η εντολή είναι η εξής :

```
tcpdump -vvn -n -i <network_interface> -w <filename>
```

π.χ : tcpdump -vvn -n -i eth0 tcp -w dump_file

7.3.3 Ανάλυση

Το dump αρχείο που δημιουργήθηκε από το tcpdump θα χρησιμοποιηθεί από το εργαλείο tcptrace, ώστε να αναλυθεί η κίνηση, δίνοντας πληροφορίες για το throughput:

```
tcptrace -zxy -xtraffic'-B -i1' <dump_file>
```

7.3.4 Γραφική Απεικόνιση

Κάθε εντολή tcptrace δημιουργεί ένα σύνολο αρχείων με κατάληξη .xpl.

Έπειτα με το εργαλείο xpl2gpl -s δημιουργούμε έναν αριθμό από αρχεία με πληροφορίες για το throughput(traffic_bytes.dataset.blue.dot), τα losses και το RTT.

Στη συνέχεια με το εργαλείο gedit <όνομα_αρχείου> εξάγουμε τις πληροφορίες του αρχείου σε ένα αρχείο gedit:

```
xpl2gpl -s traffic_bytes.xpl
```

```
gedit traffic_bytes.dataset.blue.dot
```

Με χρήση του octave θα γίνει η εξαγωγή των γραφικών παραστάσεων.

Αρχικά θα παίρνει τις τιμές από το αρχείο “traffic_bytes.dataset.blue.dot” και έπειτα θα δημιουργεί τη γραφική παράσταση.

```
data=load("traffic_bytes.dataset.blue.dot");
```

```
plot(data(:,1),data(:,2),'b');
```

```
xlabel('time(sec)');
```

```
ylabel('Throughput (Bps)');
```