



μ

μ

. μ

μ

&

. . . .

,

2008



μ

μ

. μ

μ

: , . , .

, .

μ μ , .

μ

.....

.....

.....

.

μ - . . μ

. . .

. . .

. . .

.....

.....

.....

μ

. . .

. . .

. . .

.....

μ

μ

.....
μ

...

Copyright © μ 2008.
μ . All rights reserved.

μ μ , μ , μ
μ , μ μ . μ
μ μ μ
μ μ μ

στους γονείς και τον αδελφό μου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Φθάνοντας στην Ιθάκη κάθε υποψήφιου διδάκτορα, την υποστήριξη της διδακτορικής διατριβής, αναλογίζομαι πόσο δίκιο έχει ο ποιητής. Στο μυαλό μου έρχονται τα χρόνια που πέρασα μαζί με τους συναδέλφους μου στο εργαστήριο και η έκφραση που μου μένει είναι ένα χαμόγελο ευχαρίστησης. Το ταξίδι αυτό, με τις δύσκολες και εύκολες στιγμές του, με έκανε περισσότερο κοινωνικό, λιγότερο αδρανή και περισσότερο αποτελεσματικό. Τα πρόσωπα που συνάντησα στο ταξίδι του διδακτορικού ήταν όλα αξιόλογα και έκαναν το ταξίδι ομορφότερο. Στο πλοίο που με οδήγησε στο διδακτορικό ο καθένας καταλαμβάνει τη δική του θέση.

Καταρχήν, ο καπετάνιος, ο καθηγητής μου κ. Ιάκωβος Βενιέρης, με έμαθε πώς να πορεύομαι σωστά, να προβλέπω τις καταιγίδες, να αποφεύγω τις ξέρες και να εκμεταλλεύομαι τους ανέμους. Τον ευχαριστώ που μου εμπιστεύτηκε το τιμόνι ακόμη κι όταν ήμουν αρχάριος. Επίσης, ήμουν τυχερός να γνωρίσω άλλους δύο καθηγητές καπετάνιους που εκτιμώ πολύ, την κ. Δήμητρα Κακλαμάνη και τον κ. Σίμο Παπαβασιλείου. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Γιώργο Πρεζεράκο για τις πραγματικά ανεκτίμητες συμβουλές που μου έδινε πάνω στις ρότες και τα σωσίβια επίπλευσης που μου έριχνε στις καταιγίδες.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το πλήρωμα των συναδέλφων μου, γιατί αποκόμισα μόνο θετικά από όλους. Τη Χρύσα Παπαγιάννη για την ευχάριστη και εποικοδομητική συνεργασία που είχαμε και τις αξέχαστες στιγμές που ζήσαμε στα λιμάνια (ευρωπαϊκά ταξίδια) που σταματήσαμε. Το Γιώργο Λεολέη που με συμβούλευε πώς να ακολουθώ τους ούριους ανέμους και να αναγνωρίζω τις θύελλες από την καρακαξοφωλιά. Το Νίκο Τσελικά που μου έδειχνε πάντα την σωστή πορεία ακόμα και όταν τα όργανα έδειχναν λάθος. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τη Σοφία Καπελάκη που πάντα με βοηθούσε όταν το πλοίο έμπαζε νερά και τη Μαρία Στριμπάκου που με εμπύχωνε στις δύσκολες τρικυμίες. Το Γιώργο Λιουδάκη για την εργατικότητα που μου μετέδιδε στο μηχανοστάσιο και το Βαγγέλη Νίκα για την ψυχραιμία που μου δίδαξε στις καταιγίδες. Τον Φάνη Ορφανουδάκη που μου έμαθε να χαράσσω καινούργιες ρότες και την Νέλλη Λελίγκου που μου έμαθε να τις αξιολογώ σωστά. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον Λευτέρη Κουτσολουκά, που μου έμαθε πώς να ανοίγω μεθοδικά τα πανιά και γιατί μου στάθηκε σε στιγμές πιο δύσκολες από το ταξίδι του διδακτορικού. Τη Λίλα Δημοπούλου, που με έμαθε να αγνοώ τους γεωγραφικούς περιορισμούς των ταξιδιών και τη Ζέτα Καπιτσάκη που μου μετέδιδε ψυχική ηρεμία. Θέλω, επίσης, να ευχαριστήσω τον Κώστα Παπαδόπουλο που μου δίδαξε να ερμηνεύω σωστά τους

χάρτες, τον Βαγγέλη Αγγελόπουλο που με δίδαξε ότι για κάθε προορισμό υπάρχουν πάντα πολλές διαδρομές και τον Κώστα Δελήμπαση που μου πρόσφερε απεριόριστες συμβουλές στις ατελείωτες συζητήσεις μας στο αμπάρι. Θέλω, επίσης, να ευχαριστήσω τους Χρήστο Παππά και Φώτη Γώγουλο γιατί μου έδωσαν τη δυνατότητα να μεταφέρω γνώσεις από τα προηγούμενα ταξίδια στα επόμενα. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τους Γιάννη Παπάνη, Χρήστο Κατσιγιάννη, Μαρία Χατζάρα, Νίκο Δέλλα, Δημήτρη Κατέρο, Θεωρή Αθαναηλέα, Δημήτρη Τσιλιμαντό, Κώστα Παππά, Δήμητρα Ζαρμπούτη, Άννα Αντωνακοπούλου και Γιάννη Φουκαράκη, γιατί, παρόλο που δεν έτυχε να συνεργαστούμε άμεσα, πάντα μου χαμογέλαγαν όταν τους συναντούσα στο κατάστρωμα. Από το παλιότερο πλήρωμα, που τώρα κάνει τα δικά του ταξίδια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Σωτήρη Μανιάτη, την Ευγενία Νικολούζου, το Πέτρο Σαμπατάκο και τον Χάρη Τσέτσεκα που με βοήθησαν από μούτσος να γίνω μηχανικός.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου Φωκά Παναγιώτη, Γιαννάκη Παναγιώτη, Χαράλαμπο Πίττα και Αναστάσιο Βαλλιανάτο, που πάντα με ενέπνεαν στις αξέχαστες στιγμές που περνάγαμε στις στάσεις ανεφοδιασμού. Την Αντωνία Νασοπούλου γιατί κοντά στον προορισμό με δίδαξε να πιστεύω στις δυνατότητες του πλοίου και να απολαμβάνω τη θέα από το κατάστρωμα (ακόμα και στις φουρτούνες η θέα εξακολουθεί να είναι ωραία). Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Νεκτάριο Κουτσοκέρα και τον Κώστα Κυρίτση, συνταξιδευτές στο ταξίδι του διπλώματος και φίλους, που με στήριξαν ουσιαστικά με τις συμβουλές και την αγάπη τους τόσο μεσοπέλαγα όσο και στη στεριά (καθημερινή ζωή).

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ναυπηγούς του πλοίου, τους γονείς μου, Άγγελο και Διονυσία, και τον αδελφό μου Χριστόφορο για την αγάπη και συμπαράσταση που μου δίνουν όλα τα χρόνια των ταξιδιών μου και γιατί αποτελούν τα πρότυπο μου, τόσο ως ταξιδευτής όσο και ως άνθρωπος.

Βαγγέλης Κοσμάτος
Αθήνα, 18 Ιανουαρίου 2008

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της διατριβής είναι η εισήγηση νέων αλγόριθμων για την αποτελεσματική και αποδοτική υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας σε δίκτυα πολυμέσων. Αρχικά περιγράφεται το περιβάλλον μετάδοσης στο πλαίσιο του οποίου αναπτύχθηκαν οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι/μηχανισμοί. Το περιβάλλον μετάδοσης διέπεται από σημαντικές ιδιαιτερότητες, δεδομένου ότι περιλαμβάνει έναν αριθμό από ετερογενή δίκτυα και ταυτόχρονα υποστηρίζει την πρόσβαση ετερογενών τερματικών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι υποψήφιοι αλγόριθμοι ποιότητας υπηρεσίας που αναπτύχθηκαν, υλοποιήθηκαν και προσομοιώθηκαν στο πλαίσιο ενός ετερογενούς δικτύου. Για τον επικρατέστερο Αλγόριθμο Επιλογής περιγράφεται το περιβάλλον υλοποίησης και δοκιμών, το δίκτυο προσομοίωσης και οι παράμετροι που επιλέχθηκαν για τη συλλογή των αποτελεσμάτων αποτίμησής του. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αποτίμησης της απόδοσης του Αλγόριθμου Επιλογής και εξηγείται η βελτίωση που επιτυγχάνεται στα σημαντικότερα μεγέθη ποιότητας υπηρεσίας (απώλεια πακέτων, καθυστέρηση, χρησιμοποίηση των πόρων και εξυπηρέτηση χρηστών). Στη συνέχεια η διατριβή εστιάζει στα ευρυζωνικά δίκτυα πρόσβασης και συγκεκριμένα στα παθητικά οπτικά δίκτυα πρόσβασης. Περιγράφεται το περιβάλλον μετάδοσης πολυμέσων στις τεχνολογίες οπτικών παθητικών δικτύων πρόσβασης APON, EPON και GPON. Περιγράφονται οι βασικές αρχές, τα πρωτόκολλα και οι μηχανισμοί που διέπουν τα δίκτυα αυτά σε σχέση με τις δυνατότητές τους για υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας. Στη συνέχεια προτείνεται και αποτιμάται ένας αλγόριθμος / μηχανισμός δέσμευσης πόρων για την υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας σε παθητικά οπτικά δίκτυα τεχνολογίας EPON. Ο προτεινόμενος μηχανισμός υποστηρίζει πολλαπλές κατηγορίες υπηρεσιών, δυναμική δέσμευση εύρους ζώνης για τις υπηρεσίες που παρουσιάζουν μεταβολές ζήτησης εύρους ζώνης μέσα στο χρόνο και εγγυήσεις στις παραμέτρους της ποιότητας υπηρεσίας για τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Επίσης, η διατριβή επικεντρώνεται στη σύγκριση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας των τεχνολογιών EPON και GPON κατά την εφαρμογή σε αυτά του προτεινόμενου αλγόριθμου. Στο τέλος της διατριβής παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων απόδοσης των προτεινόμενων αλγορίθμων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ετερογενές Δίκτυο, Μετάδοση Πολυμέσων, Ποιότητα Υπηρεσίας, Αναπροσαρμογή Υλικού, Παθητικά Οπτικά Δίκτυα Πρόσβασης, Δυναμική Δέσμευση Εύρους Ζώνης, Αξιολόγηση Επίδοσης, Προσομοίωση.

ABSTRACT

The main objective of the dissertation is the proposition of new algorithms for the effective and efficient supporting of Quality of Service in multimedia networks. The dissertation initially offers a description of the multimedia delivery environment in the context of which the proposed algorithms / mechanisms were developed. The multimedia delivery environment is ruled by major peculiarities, considering the fact that it is comprised of a number of different underlying networks, while supporting a variety of heterogeneous terminals. Then follows the presentation of the candidate Quality of Service algorithms, which are developed, implemented and simulated in the context of a heterogeneous network. The implementation network, the testbed, the simulation network and the selected parameters for the collection of the results, of the dominant Selection Algorithm are described. The evaluation results of the Selection Algorithm are presented, while the improvements achieved on the most important QoS metrics (packet loss, delay, resources utilization and number of users served) are demonstrated. Next, the dissertation focuses on the broadband access networks and specifically on the passive optical access networks. The multimedia delivery environment is described for the APON, EPON and GPON access networks. The fundamental concepts, protocols and mechanisms which govern these networks are presented, in association with their abilities of supporting Quality of Service. Then, a resource reservation algorithm / mechanism for supporting Quality of Service in passive optical networks is proposed and evaluated. The proposed mechanism supports multiple classes of services, dynamic bandwidth allocation for services which present fluctuations of requested bandwidth and guaranties on the QoS parameters for real time services. The dissertation also focuses on the comparison of EPON and GPON network effectiveness and performance, after applying the proposed algorithm to them. The dissertation ends with the presentation of conclusions resulting from the analysis of the proposed algorithms performance results.

KEYWORDS: Heterogeneous Network, Multimedia Delivery, Quality of Service, Software Reconfiguration, Passive Optical Access Networks, Dynamic Bandwidth Allocation, Performance Evaluation, Simulation.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT	11
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	13
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	17
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	21
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	23
1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ	25
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΤΕΡΜΑΤΙΚΑ	25
1.1 ΝΟΜΑΔΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	26
1.1.1 Βασικές Αρχές των Νομαδικών Δικτύων	26
1.1.2 Μετάδοση Δεδομένων Πραγματικού Χρόνου σε Νομαδικά Δίκτυα	28
1.1.3 Τερματική Συσκευή Χρήστη Νομαδικού Δικτύου	29
1.1.3.1 Υλικό Τερματικής Συσκευής	30
1.1.3.2 Λογισμικό Τερματικής Συσκευής	31
1.1.3.3 Περιφερειακά	31
1.2 ΣΥΣΚΕΥΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΝΑΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΥΛΙΚΟΥ	32
1.2.1 Αντιπρόσωποι Λογισμικού	33
1.2.2 Αντιπρόσωποι στο Ετερογενές Δίκτυο	34
1.2.3 Επικοινωνία Μεταξύ Αντιπροσώπων	35
1.2.4 Αρχιτεκτονική Επαναπρογραμματισμού	36
1.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	38
1.3.1 Στοιχεία Δικτύου	38
1.3.1.1 Δίκτυο Πρόσβασης	40
1.3.1.2 Αλληλεπιδραστικός Εξυπηρετητής Πολυμέσων (IMS)	42
1.3.1.3 Εξυπηρετητής Προσομοιώσεων	47
1.3.1.4 Δίκτυο Υποδομής	48
1.3.1.5 Περιβάλλον Παραγωγής Περιεχομένου	49
1.3.2 Πρωτόκολλα και Διεπαφές	53
1.3.3 Σενάρια και Υπηρεσίες	55
1.4 ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ	57
1.4.1 Αρχιτεκτονική του Εξυπηρετητή Προσομοιώσεων	58
1.4.1.1 Γενική Περιγραφή Λειτουργίας	58
1.4.1.2 Λειτουργικά Τμήματα του Εξυπηρετητή Προσομοιώσεων	59
1.4.2 Αλληλεπιδράσεις του Εξυπηρετητή Προσομοιώσεων	62
1.4.2.1 Αλληλεπιδράσεις με το Δίκτυο	63
1.4.2.2 Αλληλεπιδράσεις με τον Εξυπηρετητή IMS	65
1.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	68
2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ	71
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΤΕΡΜΑΤΙΚΑ	71
2.1 ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ	72

2.2	ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ	74
2.3	ΑΦΑΙΡΕΤΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΕΠΙΛΟΓΗΣ	78
2.3.1	Μηχανισμός Προσαρμογής Περιεχομένου	79
2.3.2	Υποφορτωμένοι Αλγόριθμοι	81
2.3.3	Φορτωμένοι Αλγόριθμοι	82
2.3.4	Υπερφορτωμένοι Αλγόριθμοι	84
2.4	ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΕΠΙΛΟΓΗΣ	85
2.5	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΕΠΙΛΟΓΗΣ	90
2.5.1	Περιβάλλον Δοκιμών	91
2.5.2	Δίκτυο Προσομοίωσης.....	92
2.5.3	Προσομοιώσεις Μη-Πραγματικού Χρόνου	96
2.5.4	Διαθέσιμο Περιεχόμενο	98
2.5.5	Περιβάλλον Αποτίμησης Επίδοσης Αλγόριθμου Επιλογής.....	100
2.5.6	Ανάλυση Αποτελεσμάτων Επίδοσης.....	101
2.6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	106
3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ		109
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ ΣΕ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ		
ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ		109
3.1	ΕΞΕΛΙΞΗ ΣΤΟ «ΠΡΩΤΟ ΜΙΛΙ»	110
3.2	ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	111
3.3	ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΓΕΝΙΑΣ	112
3.4	ΟΠΤΙΚΑ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΤΜ – ΟΠΤΙΚΑ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΥΡΕΙΑΣ ΖΩΝΗΣ... 114	
3.4.1	Χαρακτηριστικά και Λειτουργιά	114
3.4.2	Δομή πλαισίων και έλεγχος πρόσβασης.....	117
3.4.3	Οφέλη των Οπτικών Παθητικών Δικτύων ΑΤΜ	119
3.5	ΟΠΤΙΚΑ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ETHERNET	120
3.5.1	Χαρακτηριστικά	120
3.5.2	Στοιβα πρωτοκόλλων και λειτουργία	121
3.5.2.1	Λειτουργίες φυσικού στρώματος.....	122
3.5.2.2	Δομή πλαισίων μετάδοσης και πολυπλεξία.....	123
3.5.2.3	Το πρωτόκολλο MPCP	131
3.5.3	Οφέλη των Παθητικών Οπτικών Δικτύων Ethernet.....	132
3.6	ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ GPON	132
3.6.1	Φυσικό υπόστρωμα GPON.....	135
3.6.2	Υπόστρωμα σύγκλισης μετάδοσης	136
3.6.3	Πρωτόκολλο MAC.....	139
3.6.3.1	Διαχείριση ποιότητας υπηρεσίας σε δίκτυα PON	139
3.6.4	Δομή πλαισίου TC.....	143
3.6.4.1	Προς τα κάτω ζεύξη.....	144
3.6.4.2	Προς τα άνω ζεύξη	149
3.7	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ APON, EPON ΚΑΙ GPON	152
3.7.1	Σύγκριση δικτύων APON με EPON	152
3.7.2	Σύγκριση δικτύων EPON με GPON.....	153
3.8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	155
4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ		157
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΕ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ		
ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ.....		157
4.1	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ EPON	158
4.2	ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΠΟΡΩΝ ΣΕ ΟΠΤΙΚΑ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	159
4.3	ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ	160

4.4	ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΙΤΗΣΙΑΣ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ	163
4.4.1	Εξασφαλίζοντας Εγγυήσεις Στατιστικής Επίδοσης	163
4.4.2	Αποδοτική Δυναμική Δέσμευση Εύρους Ζώνης	164
4.4.3	Μείωση της Μεταβολής της Καθυστέρησης.....	168
4.4.4	Η Επίδραση του Ενδό-ONU Χρονοπρογραμματισμού στην Επίδοση του Μηχανισμού	171
4.5	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	172
4.5.1	Καθυστέρηση Πρόσβασης και Χρησιμοποίηση Καναλιού	172
4.5.2	Μεταβολή της Καθυστέρησης.....	178
4.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	184
4.7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	185
5^ο	ΚΕΦΑΛΑΙΟ	187
	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΡΟΝ ΚΑΙ ΓΡΟΝ.....	187
5.1	ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΕΞΕΛΙΣΣΟΜΕΝΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	188
5.1.1	Διαφοροποίηση Υπηρεσιών	188
5.1.2	Δυναμική Δέσμευση Εύρους Ζώνης	190
5.2	ΕΚΡΗΚΤΙΚΗ ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΜΕ ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΧΡΟΝΟΥ.....	193
5.3	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	197
5.3.1	Αποδοτικότητα στην Καθυστέρηση	198
5.3.2	Αποδοτικότητα στην Μεταβολή της Καθυστέρησης	201
5.3.3	Χρησιμοποίηση Καναλιού Ανόδου	210
5.4	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	212
5.5	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	214
6^ο	ΚΕΦΑΛΑΙΟ	217
	ΕΠΙΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	217
6.1	ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	218
6.2	ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΈΡΕΥΝΑΣ	224
6.3	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	226
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	227
	ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ	227
A.1	ΕΓΓΥΗΜΕΝΗ ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΑΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ MAX-MIN	228
A.2	ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ/ΚΥΛΙΣΗΣ ΤΩΝ ΔΕΣΜΕΥΣΕΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ	229
	ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	231
	ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΓΓΛΙΚΩΝ ΌΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ	235
	ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ	239
	ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ	239
	ΣΥΝΕΔΡΙΑ.....	239
	ΒΙΒΛΙΑ 240	

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 - 1: Πακέτο πράκτορα στο OSGI.....	35
Σχήμα 1 - 2: Μονάδα Επεξεργασίας του Τερματικού Αναπροσαρμογής Υλικού	38
Σχήμα 1 - 3: Το περιβάλλον του ετερογενούς δικτύου.....	39
Σχήμα 1 - 4: Λειτουργική Οργάνωση του Εξυπηρετητή IMS.....	43
Σχήμα 1 - 5: Περιβάλλον Παραγωγής Πολυμέσων	52
Σχήμα 1 - 6: Λειτουργική Οργάνωση του Ετερογενούς Δικτύου	58
Σχήμα 1 - 7: Αρχιτεκτονική του Εξυπηρετητή Προσομοιώσεων	59
Σχήμα 1 - 8: Αλληλεπιδράσεις του Εξυπηρετητή Προσομοιώσεων.....	66
Σχήμα 2 - 1: Αρχιτεκτονική Συστήματος Δυναμικού Ελέγχου της Ποιότητας Υπηρεσίας	74
Σχήμα 2 - 2: Αλγόριθμος Ελέγχου Ποιότητας Υπηρεσίας	77
Σχήμα 2 - 3: Πιθανές Καταστάσεις του Δικτύου	79
Σχήμα 2 - 4: Στρατηγική Δέσμευσης Πόρων	83
Σχήμα 2 - 5: Υπερφορτωμένος Αλγόριθμος Προσαρμογής Εγκατεστημένων Συνόδων .	85
Σχήμα 2 - 6: Καταστάσεις Δικτύου στον Αλγόριθμο Επιλογής	89
Σχήμα 2 - 7: Αρχιτεκτονική Δικτύου Δοκιμών	91
Σχήμα 2 - 8: Τοπολογία Δικτύου Προσομοίωσης.....	93
Σχήμα 2 - 9: Δίκτυο Προσομοίωσης.....	94
Σχήμα 2 - 10: Διαδικασία Αλγόριθμου Επιλογής	101
Σχήμα 2 - 11: Απώλειες Πακέτων στο Σενάριο του Δικτύου WLAN.....	103
Σχήμα 2 - 12: Καθυστέρηση Πακέτων στο Σενάριο του Δικτύου WLAN.....	104
Σχήμα 2 - 13: Ενεργοί Χρήστες στο Σενάριο του Δικτύου WLAN	105
Σχήμα 2 - 14: χρησιμοποίηση Καναλιού στο Σενάριο του Δικτύου WLAN	105
Σχήμα 3 - 1: Απαιτήσεις σε Εύρος Ζώνης ανά Χρήστη για τις νέες Υπηρεσίες	112
Σχήμα 3 - 2: Σενάρια Υλοποίησης Δικτύου FTTH.....	113
Σχήμα 3 - 3: Δίκτυο APON (χρησιμοποιήθηκε η αντίστοιχη ονομασία ONT αντί ONU κατά τα πρότυπα του ISDN).....	115
Σχήμα 3 - 4: Ρεύμα ανόδου – καθόδου δικτύου APON.....	116
Σχήμα 3 - 5: Δομή πλαισίου στο ρεύμα καθόδου δικτύου APON	117
Σχήμα 3 - 6: Δομή πλαισίου στο ρεύμα ανόδου δικτύου APON.....	118
Σχήμα 3 - 7: Δομή πλαισίου στο ρεύμα ανόδου δικτύου APON.....	118
Σχήμα 3 - 8: Ρεύμα καθόδου δικτύου EPON.....	121
Σχήμα 3 - 9: Ρεύμα ανόδου δικτύου EPON	121
Σχήμα 3 - 10: Στοιβα πρωτοκόλλων Τεχνολογίας EPON.....	122
Σχήμα 3 - 11: Λειτουργίες φυσικού στρώματος EPON.....	123
Σχήμα 3 - 12: Πλαίσια στο ρεύμα καθόδου δικτύου EPON	124
Σχήμα 3 - 13: Πλαίσια στο ρεύμα ανόδου δικτύου EPON.....	124
Σχήμα 3 - 14: Τροποποιημένη δομή πλαισίου 802.3 στα δίκτυα EPON.....	125
Σχήμα 3 - 15: Εκρηκτική μετάδοση στη ροή ανόδου	125

Σχήμα 3 - 16: Εκτίμηση καθυστέρησης (RTT measurement).....	127
Σχήμα 3 - 17: Εξισορρόπηση καθυστέρησης (ONU Ranging).....	127
Σχήμα 3 - 18: Διαδικασία αδειών/συλλογής αιτήσεων (Interleaved Polling).....	130
Σχήμα 3 - 19: Διαδικασία αδειών-μετάδοσης.....	130
Σχήμα 3 - 20: δομή πλαισίου MPCP (MAC Control frame format).....	131
Σχήμα 3 - 21: Υπόστρωμα φυσικού μέσου.....	135
Σχήμα 3 - 22: Οπτικό δίκτυο ODN.....	136
Σχήμα 3 - 23: Δομή πλαισίων στις δύο ροές (καθόδου/DS, ανόδου/US).....	144
Σχήμα 3 - 24: Συσχέτιση των πλαισίων στις δύο ροές , διαδικασία αδειών.....	144
Σχήμα 3 - 25: Το προς τα κάτω πλαίσιο του GPON.....	145
Σχήμα 3 - 26: Το πλαίσιο μετάδοσης καθόδου του GPON.....	145
Σχήμα 3 - 27: Δομή μηνύματος PLOAM.....	146
Σχήμα 3 - 28: Δομή πεδίου Plend.....	148
Σχήμα 3 - 29: Δομή πεδίου US BW Map.....	149
Σχήμα 3 - 30: Δομή δομής πρόσβασης.....	149
Σχήμα 3 - 31: Δομή προς τα άνω πλαισίου.....	150
Σχήμα 3 - 32: Δομή επικεφαλίδας PLOu.....	150
Σχήμα 3 - 33: Το προς τα κάτω πλαίσιο του GPON.....	151
Σχήμα 3 - 34: Δομή επικεφαλίδας DBRu.....	151
Σχήμα 3 - 35: Δομή πεδίου Payload προς τα άνω πλαισίου.....	152
Σχήμα 4 - 1. Εκρηκτική Δέσμευση στη μονάδα OLT που οδηγεί στο φαινόμενο του «Αχρησιμοποίητου Υπόλοιπου Σχισμής (USR)».....	166
Σχήμα 4 - 2: Λίστα Δεσμεύσεων και ανάλογες Δυναμικά Προγραμματισμένες Μεταδόσεις.....	170
Σχήμα 4 - 3: Μέση Καθυστέρηση στην Ουρά ανά Προτεραιότητα CoS για τον Αλγόριθμο SCR ($UG_{i2} = R_{s2} * D_m$).....	173
Σχήμα 4 - 4: Μέση Καθυστέρηση στην Ουρά ανά Προτεραιότητα CoS για τον Αλγόριθμο SCR/2 ($UG_{i2} = R_{s2}/2 * D_m$).....	174
Σχήμα 4 - 5: Μέση Καθυστέρηση στην Ουρά ανά Προτεραιότητα CoS για τον Αλγόριθμο Ενδό-ONU ($UG_{i2} = R_{s2} * D_m$ και απόλυτη προτεραιότητα στην ONU).....	175
Σχήμα 4 - 6: Μέγιστη Καθυστέρηση στην Ουρά ανά Προτεραιότητα CoS για τον Αλγόριθμο SCR ($UG_{i2} = R_{s2} * D_m$).....	176
Σχήμα 4 - 7: Μέγιστη Καθυστέρηση στην Ουρά ανά Προτεραιότητα CoS για τον Αλγόριθμο SCR/2 ($UG_{i2} = R_{s2}/2 * D_m$).....	176
Σχήμα 4 - 8: Μέγιστη Καθυστέρηση στην Ουρά ανά Προτεραιότητα CoS για τον Αλγόριθμο Ενδό-ONU ($UG_{i2} = R_{s2} * D_m$ και απόλυτη προτεραιότητα στην ONU).....	177
Σχήμα 4 - 9: Χρησιμοποίηση του Καναλιού Ανόδου για τους τρεις Διαφορετικούς Αλγόριθμους.....	178
Σχήμα 4 - 10: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά για την Προτεραιότητα CoS1....	179
Σχήμα 4 - 11: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά για την Προτεραιότητα CoS2....	179
Σχήμα 4 - 12: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά για την Προτεραιότητα CoS3....	180
Σχήμα 4 - 13: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά για την Προτεραιότητα CoS4....	180

Σχήμα 4 - 14: Σ.Π.Π της Μεταβολής της Καθυστέρησης για την Προτεραιότητα CoS1	182
Σχήμα 4 - 15: Σ.Π.Π της Μεταβολής της Καθυστέρησης για την Προτεραιότητα CoS2	183
Σχήμα 5 - 1: Περίπτωση Χρονοπρογραμματισμού με φαινόμενο «Αχρησιμοποίητου Υπόλοιπου Σχισμής (USR)»	196
Σχήμα 5 - 2: Μέση Καθυστέρηση στην Ουρά CoS1 για διαφορετικές τιμές περιόδου D_m	199
Σχήμα 5 - 3: Μέση Καθυστέρηση στην Ουρά CoS2 για διαφορετικές τιμές περιόδου D_m	199
Σχήμα 5 - 4: Μέση Καθυστέρηση στην Ουρά CoS2 για διαφορετικές τιμές περιόδου D_m	200
Σχήμα 5 - 5: Μέση Καθυστέρηση στην Ουρά CoS2 για διαφορετικές τιμές περιόδου D_m	200
Σχήμα 5 - 6: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS1 για Φορτίο 40%	201
Σχήμα 5 - 7: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS2 για Φορτίο 40%	202
Σχήμα 5 - 8: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS3 για Φορτίο 40%	203
Σχήμα 5 - 9: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS4 για Φορτίο 40%	203
Σχήμα 5 - 10: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS1 για Φορτίο 70%	204
Σχήμα 5 - 11: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS2 για Φορτίο 70%	204
Σχήμα 5 - 12: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS3 για Φορτίο 70%	205
Σχήμα 5 - 13: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS4 για Φορτίο 70%	205
Σχήμα 5 - 14: Σ.Π.Π. της Μεταβολής της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS1 για Φορτίο 40%	206
Σχήμα 5 - 15: Σ.Π.Π. της Μεταβολής της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS2 για Φορτίο 40%	206
Σχήμα 5 - 16: Σ.Π.Π. της Μεταβολής της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS1 για Φορτίο 70%	207
Σχήμα 5 - 17: Σ.Π.Π. της Μεταβολής της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS2 για Φορτίο 70%	208
Σχήμα 5 - 18: Σ.Π.Π. της Μεταβολής της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS3 για Φορτίο 40%	208
Σχήμα 5 - 19: Σ.Π.Π. της Μεταβολής της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS4 για Φορτίο 40%	209
Σχήμα 5 - 20: Σ.Π.Π. της Μεταβολής της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS3 για Φορτίο 70%	209
Σχήμα 5 - 21: Σ.Π.Π. της Μεταβολής της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS4 για Φορτίο 70%	210
Σχήμα 5 - 22: Κέρδος της Τεχνολογίας GPON Έναντι της Τεχνολογίας EPON	211
Σχήμα 5 - 23: Σύγκριση των Τεχνολογιών GPON και EPON (διαφορετικές τιμές D_m) στη Χρησιμοποίηση του Καναλιού Ανόδου	212

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 - 1: Συγκριτικά Στοιχεία Δικτύων Πρόσβασης	42
Πίνακας 1 - 2: Στοιβα Πρωτοκόλλων του Εξυπηρετητή IMS.....	53
Πίνακας 1 - 3: Στοιβα Πρωτοκόλλων Χρήστη Δικτύου GPRS.....	54
Πίνακας 1 - 4: Στοιβα Πρωτοκόλλων Χρήστη Δικτύου UMTS	55
Πίνακας 1 - 5: Στοιβα Πρωτοκόλλων Χρήστη Δικτύου WLAN	55
Πίνακας 2 - 1: Μεταβλητές Αλγόριθμου Επιλογής	86
Πίνακας 2 - 2: Παράμετροι Αλγόριθμου Επιλογής	87
Πίνακας 2 - 3: Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το Δίκτυο UMTS	97
Πίνακας 2 - 4: Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το Δίκτυο WLAN	98
Πίνακας 2 - 5: Προφίλ Περιεχομένου	100
Πίνακας 2 - 6: Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα Επίδοσης Αλγόριθμου Επιλογής	103
Πίνακας 3 - 1: Τιμές κωδικών μηνυμάτων MPCP	131
Πίνακας 3 - 2: Συνδυασμοί ρυθμών μετάδοσης για το κανάλι ανόδου/καθόδου στα δίκτυα GPON	133
Πίνακας 3 - 3: Διάκριση κλάσεων υπηρεσιών με χρήση των TCONT στο GPON	141
Πίνακας 3 - 4: Κατανομή εύρους ζώνης ανά TCONT	142
Πίνακας 3 - 5: Σύγκριση APON – EPON	153
Πίνακας 3 - 6: Σύγκριση APON – GPON	154

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα διατριβή προτείνονται μηχανισμοί / αλγόριθμοι για την υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας σε δίκτυα πολυμέσων. Αντικείμενο του πρώτου κεφαλαίου αποτελεί η περιγραφή του περιβάλλοντος μετάδοσης στο πλαίσιο του οποίου θα αναπτυχθούν οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι/μηχανισμοί. Το περιβάλλον μετάδοσης διέπεται από σημαντικές ιδιαιτερότητες, δεδομένου ότι περιλαμβάνει έναν αριθμό από ετερογενή δίκτυα και ταυτόχρονα υποστηρίζει την πρόσβαση ετερογενών τερματικών. Παρουσιάζεται μια τυπική αρχιτεκτονική δικτύου, η οποία αποτελεί την τυπική επιλογή των τηλεπικοινωνιακών παροχών για την ανάπτυξη δικτύων μετάδοσης πολυμέσων πραγματικού χρόνου, ευαίσθητων σε απώλειες και καθυστερήσεις. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αλγόριθμοι ποιότητας υπηρεσίας που αναπτύχθηκαν, υλοποιήθηκαν και προσομοιώθηκαν στο πλαίσιο της αρχιτεκτονικής μετάδοσης πολυμέσων σε ετερογενή δίκτυα και τερματικά. Για τον επικρατέστερο Αλγόριθμο Επιλογής περιγράφεται το περιβάλλον υλοποίησης και δοκιμών, το δίκτυο προσομοίωσης και οι παράμετροι που επιλέχθηκαν για τη συλλογή των αποτελεσμάτων αποτίμησης. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αποτίμησης της απόδοσης του Αλγόριθμου Επιλογής και εξηγείται η βελτίωση που επιτυγχάνεται στα σημαντικότερα μεγέθη ποιότητας υπηρεσίας (απώλεια πακέτων, καθυστέρηση, χρησιμοποίηση των πόρων και εξυπηρέτηση χρηστών). Στη συνέχεια η μελέτη εστιάζει στα δίκτυα πρόσβασης και συγκεκριμένα στα παθητικά οπτικά δίκτυα πρόσβασης. Αντικείμενο του τρίτου κεφαλαίου αποτελεί η περιγραφή του περιβάλλοντος μετάδοσης πολυμέσων στις διάφορες τεχνολογίες οπτικών παθητικών δικτύων πρόσβασης και συγκεκριμένα στα δίκτυα APON, EPON και GPON. Περιγράφονται οι βασικές αρχές, τα πρωτόκολλα, οι μηχανισμοί που διέπουν τα δίκτυα αυτά σε σχέση με τις δυνατότητές τους για υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας. Στο τέταρτο κεφάλαιο προτείνεται και αποτιμάται ένας μηχανισμός δέσμευσης πόρων για την υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας σε παθητικά οπτικά δίκτυα που χρησιμοποιούν την τεχνολογία EPON. Ο προτεινόμενος μηχανισμός υποστηρίζει πολλαπλές κατηγορίες υπηρεσιών, δυναμική δέσμευση εύρους ζώνης για τις υπηρεσίες που παρουσιάζουν μεταβολές ζήτησης εύρους ζώνης μέσα στο χρόνο και εγγυήσεις στις παραμέτρους της ποιότητας υπηρεσίας για τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Στο πέμπτο κεφάλαιο η διατριβή επικεντρώνεται στη σύγκριση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας των τεχνολογιών EPON και GPON μετά την εφαρμογή σε αυτά του αλγόριθμου που παρουσιάστηκε στο τέταρτο κεφάλαιο. Ο στόχος είναι διπλός: αφενός η αποτίμηση και

σύγκριση του πιθανού χειρισμού της κίνησης από καθένα από τις δύο τεχνολογίες και αφετέρου ο προσδιορισμός του εύρους των εφαρμογών που μπορούν αυτές να υποστηρίξουν. Η διατριβή κλείνει με το έκτο κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν, καθώς και οι πιθανές επεκτάσεις των προτεινόμενων αλγορίθμων για μελλοντική έρευνα.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΤΕΡΜΑΤΙΚΑ

Στο παρόν κεφάλαιο θα περιγραφεί η αρχιτεκτονική του περιβάλλοντος μετάδοσης, στο πλαίσιο του οποίου θα αναπτυχθούν οι αλγόριθμοι/μηχανισμοί υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας. Το περιβάλλον μετάδοσης διέπεται από σημαντικές ιδιαιτερότητες, δεδομένου ότι περιλαμβάνει έναν αριθμό από ετερογενή δίκτυα και ταυτόχρονα υποστηρίζει την πρόσβαση ετερογενών τερματικών. Η αρχιτεκτονική που παρουσιάζεται αποτελεί ουσιαστικά την τυπική επιλογή των τηλεπικοινωνιακών παροχών για την άμεση και αξιόπιστη ανάπτυξη δικτύων μετάδοσης πολυμέσων πραγματικού χρόνου, ευαίσθητων σε απώλειες και καθυστερήσεις. Για την υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας στο ετερογενές αυτό περιβάλλον, το οποίο αρχικά αποτελούσε το παθητικό συνονθύλευμα εμπορικών υλοποιήσεων και οντοτήτων, προστέθηκαν επιπλέον λειτουργικές μονάδες, οι οποίες αναπτύχθηκαν με αποκλειστικό σκοπό την υποστήριξη των μηχανισμών εξασφάλισης ποιότητας υπηρεσίας. Οι μηχανισμοί αυτοί επικεντρώθηκαν κυρίως στους αλγόριθμους προσαρμογής περιεχομένου βάσει των αναγκών των χρηστών, στις δυνατότητες των ετερογενών τερματικών και στην κατάσταση των ετερογενών δικτύων.

1.1 Νομαδικά Δίκτυα

Τα νομαδικά δίκτυα αποτελούν σήμερα πραγματικότητα τόσο στη δημόσια όσο και στην ιδιωτική ζωή των ανθρώπων και είναι παρόντα σε ένα μεγάλο κομμάτι δραστηριοτήτων. Η σημαντικότητά τους αυξάνει ραγδαία, τόσο για τον απλό χρήστη, όσο και για το μηχανικό που ενδιαφέρεται για την ανάπτυξη σύγχρονων και χρηστικών εφαρμογών.

Στα επόμενα κεφάλαια περιγράφονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά και οι τύποι των νομαδικών δικτύων. Έμφαση θα δοθεί στα στοιχεία που είναι αναγκαία για την ανάπτυξη των μηχανισμών υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας και προσαρμογής περιεχομένου, ενώ θα σχολιασθούν και εκείνα τα στοιχεία που βοηθούν στην κατανόηση των διαφόρων επιλογών που έγιναν.

1.1.1 Βασικές Αρχές των Νομαδικών Δικτύων

Το κύριο χαρακτηριστικό των νομαδικών δικτύων είναι η κινητικότητα των χρηστών. Οι χρήστες αυτοί αποκτούν πρόσβαση στο ετερογενές δίκτυο μέσω διαφορετικών συσκευών. Η πρόσβασή τους μπορεί να γίνεται εν κινήσει ή να ζητήσουν σταθερή πρόσβαση, αφού μετακινηθούν από μια περιοχή σε μια άλλη.

Το ετερογενές δίκτυο αποτελείται από επιμέρους διασυνδεδεμένα υποκείμενα δίκτυα με εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά. Ως τέτοια μπορούν να θεωρηθούν το Διαδίκτυο (Internet), το Δίκτυο Κορμού (IP Backbone), το νέο Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Universal Mobile Telecommunications System - UMTS) και τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks - WLANs). Πρόκειται για διασύνδεση δικτύων με διαφορετικό προσανατολισμό, που λειτουργούν με διαφορετικά πρωτόκολλα. Η εξασφάλιση της απρόσκοπτης μεταφοράς πακέτων και κατ' επέκταση μετάδοσης υπηρεσιών πραγματικού χρόνου μεταξύ τους, αποτελεί ένα πραγματικά δύσκολο εγχείρημα.

Οι τερματικές συσκευές που μπορεί να χρησιμοποιούν οι κινητοί χρήστες, περιλαμβάνουν όλες τις συσκευές που χρησιμοποιούνται αυτή τη στιγμή, όπως κινητά τηλέφωνα 2^{ης} γενιάς (2G mobile phones), συσκευή ψηφιακής υποβοήθησης (Personal Digital Assistants, PDAs) και φορητούς προσωπικούς υπολογιστές (laptops). Επίσης, το νομαδικό δίκτυο μπορεί να περιλαμβάνει και τηλέφωνα 3^{ης} γενιάς ή μελλοντικές τερματικές συσκευές, όπως τα κινητά πέραν της 3^{ης} γενιάς. Βέβαια, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και πιθανά μελλοντικά τερματικά, τα οποία θα συνδυάζουν τις δυνατότητες προσωπικών φορητών υπολογιστών και κινητών τηλεφώνων.

Η κινητικότητα των χρηστών είναι διττή. Από τη μια οι χρήστες επιζητούν ευρυζωνικές υπηρεσίες, οι οποίες μπορούν να υποστηριχθούν μόνο από σταθερά δίκτυα, όπως τα δίκτυα ATM, οι οπτικές ίνες και τα δίκτυα Ethernet. Στη περίπτωση αυτή, η κινητικότητα έχει την έννοια ότι οι χρήστες μετακινούνται από το ένα σημείο στο άλλο, χωρίς να απαιτούν να είναι συνδεδεμένοι κατά τη μετακίνηση. Εκείνο που απαιτούν είναι, μετά τη μετακίνηση τους, να έχουν τη δυνατότητα να συνδέσουν τον ίδιο τερματικό εξοπλισμό τους (laptop, PDA) και να απολαμβάνουν τις ίδιες υπηρεσίες (όχι αναγκαστικά με την ίδια ποιότητα υπηρεσίας). Το ίδιο μπορεί να απαιτηθεί και με διαφορετική συσκευή. Δηλαδή, μετά τη μετακίνηση, ο χρήστης χρησιμοποιεί μια διαφορετική συσκευή για να αποκτήσει πρόσβαση στις ίδιες υπηρεσίες. Και εδώ βέβαια, η ποιότητα υπηρεσίας μπορεί να διαφέρει. Το είδος όμως των υπηρεσιών παραμένει σταθερό.

Στη δεύτερη περίπτωση, η κινητικότητα εννοείται με παροχή υπηρεσίας καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Κατά τη διάρκεια της μετακίνησης ο χρήστης απαιτεί τη διαρκή υποστήριξη των υπηρεσιών στις οποίες είναι εγγεγραμμένος. Η κίνηση σε αστικό ή μη περιβάλλον επηρεάζει την ποιότητα της εκάστοτε ζεύξης, οπότε και εδώ δεν αναμένεται υποχρεωτικά η ίδια ποιότητα υπηρεσίας ανά πάσα στιγμή για τις εφαρμογές.

Σε κάθε περίπτωση, αυτό που συμβαίνει είναι η υποστήριξη από τη μεριά του παροχέα του δικτύου όλου του φάσματος των υπηρεσιών που επιλέγει ο χρήστης, με διαφορετική ποιότητα υπηρεσίας ([19], [20]) ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν. Οι μηχανισμοί υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας μέσω της προσαρμογής περιεχομένου που θα μελετηθούν αποσκοπούν στην ικανοποίηση του μεγαλύτερου δυνατού αριθμού χρηστών, με την καλύτερη δυνατή ποιότητα υπηρεσίας. Ουσιαστικά, επιλέγουν ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν, το βέλτιστο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας που απαιτείται για να ικανοποιηθεί ο χρήστης.

Η αρχιτεκτονική του δικτύου που θα μελετηθεί στην παρούσα διατριβή αποτελεί μια κλασική αρχιτεκτονική ετερογενούς δικτύου [1]. Αποτελεί τη διασύνδεση τεσσάρων επιμέρους δικτύων, τα είδη και τα χαρακτηριστικά των οποίων θα παρουσιαστούν στη συνέχεια του κεφαλαίου. Επιπρόσθετα, θα εξηγηθεί η λειτουργία και η χρησιμότητα των μηχανισμών υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας / προσαρμογής περιεχομένου μέσα στην αρχιτεκτονική του ετερογενούς δικτύου, ώστε να διαφανεί η σημασία τέτοιων μηχανισμών στα μελλοντικά νομαδικά δίκτυα.

1.1.2 Μετάδοση Δεδομένων Πραγματικού Χρόνου σε Νομαδικά Δίκτυα

Η μετάδοση πολυμέσων πραγματικού χρόνου αποτελεί την κυρίαρχη δραστηριότητα σε ένα πλέγμα νομαδικών δικτύων. Πρόκειται για κίνηση πραγματικού χρόνου, όπως εικόνα και ήχος από γεγονότα που διαδραματίζονται τη στιγμή της μετάδοσης. Τέτοιο περιεχόμενο μπορεί να εμπλουτισθεί με επιπρόσθετη πληροφορία (metadata), όπως για παράδειγμα στατιστικά στοιχεία στην περίπτωση αθλητικού γεγονότος ή ιστορικά στοιχεία στην περίπτωση μετάδοσης ενός γεγονότος επικαιρότητας. Αυτό το είδος της κίνησης αποτελεί αυτή τη στιγμή τη μεγαλύτερη πρόκληση για ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, μιας και απαιτεί αξιόπιστη ευρυζωνική μετάδοση.

Η κατάσταση γίνεται ακόμα δυσκολότερη, αν σκεφθεί κανείς ότι η μεταφορά του περιεχομένου μπορεί να γίνεται μέσω μετάδοσης καθολικής εκπομπής (broadcast) ή μετάδοσης πολλαπλών προορισμών (multicast). Είναι σύνηθες το περιεχόμενο ενός γεγονότος, που διαδραματίζεται σε πραγματικό χρόνο, να απαιτείται να παραδοθεί σε περισσότερους από ένα πελάτες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ένας ποδοσφαιρικός αγώνας. Εκτός της υψηλής ποιότητας εικόνας και τις επιπρόσθετες πληροφορίες (αργές φάσεις, στατιστικά) που πρέπει να μεταδοθούν (που απαιτούν υψηλό εύρος ζώνης για κάθε σύνοδο με ένα συμμετέχοντα), το περιεχόμενο πρέπει να φθάσει σε όλους τους ενδιαφερόμενους, οι οποίοι μπορεί να είναι εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες.

Η διανομή του περιεχομένου μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Ο πρώτος ονομάζεται μοντέλο έλξης (pull model) και ο δεύτερος μοντέλο ώθησης (push model). Στο πρώτο μοντέλο ένας χρήστης περιηγείται (μέσω κάποιας διεπαφής Διαδικτύου) σε ένα κατάλογο με το διαθέσιμο περιεχόμενο και επιλέγει εκείνη την υπηρεσία που επιθυμεί. Συνήθως πρόκειται για προεπεξεργασμένο υλικό που ο πελάτης επιλέγει. Η μετάδοση αρχίζει (αν είναι εφικτή) με την αίτηση του πελάτη. Βέβαια, ταυτόχρονα γίνονται και οι διαδικασίες πιστοποίησης και χρέωσης του πελάτη.

Αντίθετα, στο δεύτερο μοντέλο, ο πελάτης έχει εγγραφεί εκ των προτέρων σε μία ή περισσότερες υπηρεσίες (βάσει συμφωνίας για το περιεχόμενο που περιλαμβάνουν οι υπηρεσίες) και οποτεδήποτε δημιουργείται νέο υλικό που εμπίπτει στην αντίστοιχη κατηγορία, στέλνεται το κατάλληλο περιεχόμενο στον εγγεγραμμένο χρήστη χωρίς τη διαμεσολάβησή του για την εκκίνηση της διαδικασίας.

Το περιεχόμενο προσαρμόζεται ανάλογα με το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας που μπορεί να διατεθεί στο χρήστη. Η προσαρμογή γίνεται με την αλλαγή της

κωδικοποίησης και του ρυθμού μετάδοσης, με βάση τα οποία αποστέλλεται το περιεχόμενο μέσα στο δίκτυο. Αυτό συνεπάγεται ότι ο χρήστης διαθέτει κατάλληλη τερματική συσκευή, που επιτρέπει την αλλαγή (σε λογισμικό ή υλικό επίπεδο) του αποκωδικοποιητή που χρησιμοποιεί, καθώς και ότι μπορεί να υποστηρίξει το νέο ρυθμό μετάδοσης.

1.1.3 Τερματική Συσκευή Χρήστη Νομαδικού Δικτύου

Η ανάπτυξη των τερματικών συσκευών υπήρξε ραγδαία, οδηγώντας σε συσκευές με αρκετές δυνατότητες και διευκολύνσεις. Ωστόσο, κοινό χαρακτηριστικό αποτέλεσε το γεγονός ότι οι δυνατότητες των συσκευών δεν μπορούν να τροποποιηθούν. Η κυκλωματική σχεδίαση παραμένει αμετάβλητη, ενώ στην καλύτερη περίπτωση μπορεί να αλλάξει τμήμα του λογισμικού (firmware αναβαθμίσεις). Επιπρόσθετα, το προσαρμοζόμενο λογισμικό, συνήθως, δεν αφορά σε επιπλέον τηλεπικοινωνιακές δυνατότητες, αλλά περισσότερο σε εφαρμογές χρήστη.

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του ετερογενούς δικτύου φιλοδοξεί να αλλάξει το σκηνικό. Η καινοτομία που επιχειρεί να εισάγει είναι η δυναμική αναπροσαρμογή του υλικού της τερματικής συσκευής, ακόμα και κατά τη διάρκεια παροχής υπηρεσίας, προκειμένου η συσκευή να προσαρμοσθεί καλύτερα στις τρέχουσες τηλεπικοινωνιακές συνθήκες.

Η τεχνολογία αναπροσαρμογής υλικού (hardware reconfiguration) έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα τα τελευταία χρόνια προκειμένου να αντιμετωπισθεί το υψηλό κόστος κατασκευής εξειδικευμένων ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Η τεχνολογία που έχει αναπτυχθεί σε ευρεία κλίμακα είναι αυτή των Προγραμματιζόμενων Διατάξεων Πυλών (Field Programmable Gate Arrays - FPGAs).

Η χρήση της τεχνολογίας FPGA σε τερματικές συσκευές νομαδικών δικτύων, επιτρέπει την κλασική ευελιξία του λογισμικού, αλλά με τη λειτουργική ταχύτητα του υλικού. Η χρήση τέτοιων διατάξεων επιτρέπει την ανάπτυξη νέων εφαρμογών, όπου η χρήση αναπροσαρμογής λογισμικού διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο. Όπως οι σημερινές ροές πολυμέσων δεν μπορούν να λειτουργήσουν με υπολογιστικά συστήματα περασμένων γενεών, έτσι και τα μελλοντικά πολυμέσα θα χρειάζονται περισσότερους υπολογιστικούς πόρους από αυτούς που διαθέτουν οι σημερινές ή άμεσα μελλοντικές συσκευές. Η αναπροσαρμογή υλικού θα βοηθήσει στην εξεύρεση νέων υπολογιστικών πόρων (μέσω νέων, πιο συμπυκνωμένων σχεδιάσεων υλικού), προσφέροντας διαρκή συμβατότητα της πλατφόρμας με το περιεχόμενο. Δηλαδή, οι τεχνολογίες

αναπροσαρμογής υλικού προσφέρουν προσαρμογή της πλατφόρμας στις απαιτήσεις του περιεχομένου.

Στην αγορά υπάρχουν αρκετές κινητές συσκευές διαφόρων τύπων, όπως τα κινητά τηλέφωνα, τα PDA και οι συσκευές τύπου προσωπικού υπολογιστή πινακίδας (TabletPC). Κύρια τάση όλων των κατηγοριών είναι η σύγκλιση των δυνατοτήτων που προσφέρουν, προκειμένου να διεισδύσουν βαθύτερα στην αγορά. Ακολούθως, δίνεται η αρχιτεκτονική μιας σημερινής δικτυακής συσκευής πολυμέσων. Στη συνέχεια θα την επεκτείνουμε ώστε να καλύψει τις ανάγκες αναπροσαρμογής της σχεδιαζόμενης αρχιτεκτονικής.

1.1.3.1 Υλικό Τερματικής Συσκευής

Οι συσκευές που έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα για χρήση σε υπάρχοντα νομαδικά δίκτυα, χαρακτηρίζονται από το κοινό χαρακτηριστικό της μεταφερσιμότητας (portability). Κύριο μέλημα των κατασκευαστών είναι η συσκευή να μπορεί να μεταφερθεί εύκολα και με σχετικά υψηλή αυτονομία, γεγονός που επηρεάζει άμεσα τη σχεδίαση του υλικού τους.

Το σημαντικότερο κομμάτι μιας σχεδίασης υλικού είναι ο επεξεργαστής. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι μικροεπεξεργαστών για κινητές συσκευές είναι ο 68328 Dragonball της Motorola, οι SH-3 και SH-4 των 32-bit τεχνολογίας RISC της Hitachi, οι VR4101 και VR4300 της NEC, ο SA1100 StrongArm της Intel, ο ARM 710 RISC, ο Intel XscalePX250, και ο Phillips TwoChipHCG.

Οι παραπάνω επεξεργαστές χρησιμοποιούνται από αρκετούς κατασκευαστές εμπορικών συσκευών, μεταξύ των οποίων η SONY, η HP, η Hitachi, η Casio, η IBM, η Psion, η Fujitsu, η Siemens, η Compaq και η Sharp.

Η ενσωματωμένη μνήμη των περισσότερων κινητών συσκευών τύπου PDA κυμαίνεται μεταξύ 2MB-64MB. Η μνήμη αυτή είναι αρκετή για τη διατήρηση ευρετηρίου διευθύνσεων και τηλεφώνων, για ημερολόγιο, κράτηση σημειώσεων και αποθήκευση προγραμμάτων. Επειδή μπορεί να χρειαστεί πρόσθετη μνήμη, για το κατέβασμα μεγαλύτερων αρχείων (video, audio, photo), αυτή μπορεί να προστεθεί μέσω ειδικών καρτών μνήμης (memory sticks, flash).

Οι μπαταρίες των συσκευών καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την αυτονομία τους (ίσως πιο σημαντική σε αυτό το σημείο είναι η σχεδίαση υλικού σε επίπεδο transistor). Οι τύποι μπαταρίας που μπορεί να χρησιμοποιηθούν είναι: οι ενσωματωμένες επαναφορτιζόμενες, οι απλές επαναφορτιζόμενες και οι απλές αλκαλικές. Στα νομαδικά δίκτυα έχουν επικρατήσει οι συσκευές με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ορισμένου αριθμού κύκλων επαναφόρτισης. Αυτό σημαίνει ότι η μπαταρία είναι

επαναφορτιζόμενη, αλλά έχει μια διάρκεια ζωής μερικών συνήθως ετών. Ένα αρκετά επιθυμητό χαρακτηριστικό που συνήθως συναντάται σε τέτοιες συσκευές είναι η κανονική λειτουργία κατά τη διάρκεια της επαναφόρτισης.

1.1.3.2 Λογισμικό Τερματικής Συσκευής

Η οργάνωση του λογισμικού δομείται πάνω στη συγκεκριμένη οργάνωση υλικού και περιλαμβάνει δύο υποστρώματα, του λειτουργικού συστήματος και των εφαρμογών. Στο αμέσως ανώτερο στρώμα του υλικού βρίσκεται το λειτουργικό. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία λειτουργικών συστημάτων διαθέσιμων για ενσωματωμένα συστήματα όπως είναι τα κινητά τερματικά, γιατί όλοι σχεδόν οι κατασκευαστές έχουν να προτείνουν τη δική τους εκδοχή.

Τα επικρατέστερα λειτουργικά είναι το Palm OS, το Microsoft Windows CE και το Symbian OS. Τα δύο πρώτα απαντώνται συχνότερα σε συσκευές τύπου PDA, ενώ το τρίτο σε κινητά τηλέφωνα κυψελωτών συστημάτων. Σημαντικό έδαφος έχουν αρχίσει να κερδίζουν και τα λειτουργικά που βασίζονται στο Linux.

Για την υποστήριξη εφαρμογών γενικού σκοπού, έχει επιλεγθεί από τους περισσότερους κατασκευαστές η πλατφόρμα της Java. Το περιβάλλον εκτέλεσης της Java και JRE έχει σχεδιασθεί για την εκτέλεση εφαρμογών Java σε συσκευές PDA, PC και κινητά τηλέφωνα. Μάλιστα με τη χρήση της Java Micro Edition (J2ME) μπορούν να γίνουν αρκετές βελτιστοποιήσεις στην ανάπτυξη διεπαφών APIs υποστήριξης εφαρμογών. Ωστόσο, ένα σημαντικό μειονέκτημα αυτής της πλατφόρμας είναι η εξάρτηση από το υποκείμενο υλικό της συσκευής.

1.1.3.3 Περιφερειακά

Στα περιφερειακά μιας τυπικής συσκευής νομαδικού δικτύου περιλαμβάνονται οι επιπρόσθετες δυνατότητες διεπαφής με το χρήστη και επικοινωνίας με άλλα τμήματα του δικτύου. Επίσης, περιλαμβάνονται δυνατότητες εισόδου/εξόδου και πολυμέσων.

Βασικότερο χαρακτηριστικό είναι μια οθόνη εξόδου. Συνήθως πρόκειται για οθόνη LCD με υποστήριξη χρώματος και μέγεθος 96×64 ως 1024×786, ανάλογα με τον τύπο της συσκευής. Η ενεργός επιφάνεια της οθόνης είναι 3.3-6.9in² για τα PDA και 8.9-10.4in² για τα TabletPC. Οι περισσότερες είναι τύπου ενεργού πίνακα (τεχνολογίας TFT), κατά την οποία είναι ορατές και υπό γωνία, ενώ ορισμένες είναι τύπου παθητικού πίνακα και άρα ορατές μόνο κάθετα. Οι συνθήκες όρασης της οθόνης μεταβάλλονται ανάλογα και το φωτισμό του περιβάλλοντος, στο οποίο γίνεται η χρήση.

Άλλη δυνατότητα εξόδου είναι ο ήχος. Μπορεί να είναι μονοφωνικός ή στερεοφωνικός. Επίσης μπορεί να παράγεται από ενσωματωμένο ή ειδικά προσαρμοσμένο ολοκληρωμένο κύκλωμα.

Στις δυνατότητες εισόδου, περιλαμβάνονται κυρίως τα πληκτρολόγια. Μπορεί να είναι ενσωματωμένα, διατίθενται όμως και εξωτερικά για περισσότερη διευκόλυνση. Συνηθισμένη είναι πλέον και η χρήση οθονών αφής (touch screen), ειδικά σε συσκευές τύπου PDA. Τέλος είναι δυνατόν να παρέχεται είσοδος ήχου.

1.2 Συσκευή Υποστήριξης Αναπροσαρμογής Υλικού

Στο περιβάλλον του ετερογενούς δικτύου, καθορίζεται ένας νέος τύπος συσκευής χρήστη, που επεκτείνει την τυπική συσκευή νομαδικού δικτύου που παρουσιάστηκε παραπάνω. Ο νέος τύπος συσκευής ονομάζεται συσκευή Αναπροσαρμογής Υλικού [5]. Το πρώτο κύριο χαρακτηριστικό μιας συσκευής σύγχρονου δικτύου αποτελεί η κινητικότητα (mobility).

Το δεύτερο σημαντικό χαρακτηριστικό της συσκευής Αναπροσαρμογής Υλικού είναι, όπως λέει και το όνομά της, η αναπροσαρμογή υλικού [8]. Υπάρχουν δύο κύριες κατηγοριοποιήσεις της τεχνολογίας αναπροσαρμογής υλικού: η πλήρως αναπροσαρμοζόμενη και η μερική αναδιάταξη του υλικού. Ειδικότερα η μερική αναπροσαρμογή μπορεί να γίνει στατικά (όταν η συσκευή δεν παρέχει υπηρεσίες) ή δυναμικά, ενώ κατά τη διάρκεια της, το κομμάτι λογικής της συσκευής που δεν αλλάζει συνεχίζει να λειτουργεί κανονικά.

Η λογική των αλγόριθμων / μηχανισμών προσαρμογής που θα περιγραφούν παρακάτω, επιβάλλει την εν λειτουργία αναπροσαρμογή του υλικού της συσκευής του πελάτη. Προκειμένου ο χρήστης να μην παρατηρήσει οποιαδήποτε αλλαγή κατά τη διάρκεια της παροχής υπηρεσίας, είναι αναγκαίο η αναπροσαρμογή να έχει τη μικρότερη δυνατή διάρκεια. Για το λόγο αυτό επιλέγεται δυναμική μερική αναπροσαρμογή υλικού (και πιθανότατα λογισμικού) για τη συσκευή Αναπροσαρμογής Υλικού.

Η πιο ανεπτυγμένη (εμπορικά) τεχνολογία αναπροσαρμογής λογισμικού αυτή τη στιγμή είναι η τεχνολογία FPGA. Έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον για την ανάπτυξη μονάδων DSPs και άλλων εξειδικευμένων επεξεργαστικών μονάδων. Αυτή η τεχνολογία θα χρησιμοποιηθεί και για την αναπροσαρμογή υλικού του τερματικού Αναπροσαρμογής Υλικού. Υπάρχουν αρκετοί κατασκευαστές που υποστηρίζουν την τεχνολογία FPGA. Ανάμεσα στους πιο σημαντικούς είναι η Xilinx, η Atmel, η Altera, η Lattice και Actel. Με βάση τα χαρακτηριστικά κάθε πλατφόρμας που υποστηρίζει η κάθε

εταιρία, τα οποία αναφέρονται στα [1] και [5], οι Xilinx και Atmel, μπορούν να προσφέρουν δυναμική, μερική αναπροσαρμογή. Για αρχιτεκτονικούς λόγους η καλύτερη επιλογή για δυναμική, μερική αναπροσαρμογή είναι τελικά η πλατφόρμα Virtex-II της Xilinx ([9][10]). Ο κυριότερος λόγος είναι ότι η αναπροσαρμογή γίνεται κατά μεγάλα μπλοκ, κάτι που επιτρέπει την αφαιρετική σχεδίαση της αναπροσαρμογής σε λειτουργικές μονάδες και όχι κατά συγκεκριμένες συναρτήσεις και πύλες. Η πλατφόρμα Virtex-II παρέχει και πολλές ευκολίες εισόδου/εξόδου και κρυπτογράφησης, κάτι που την καθιστά περισσότερο ελκυστική.

1.2.1 Αντιπρόσωποι Λογισμικού

Ο όρος αντιπρόσωπος (agent) στην πληροφορική περιγράφει αρκετές διαφορετικές οντότητες. Οι μηχανισμοί προσαρμογής επιβάλλουν, ώστε ο χρήστης να κατεβάζει από το δίκτυο κομμάτια λογικής ελέγχου, με βάση τα οποία γίνεται η αναπροσαρμογή του υλικού της συσκευής του. Το κομμάτι λογικής που κατεβάζει ο χρήστης από το δίκτυο ονομάζεται codec και προσαρμόζει την τερματική συσκευή στο είδος του περιεχομένου που λαμβάνει από το δίκτυο. Στην πραγματικότητα, πρόκειται για ένα Κινητό Αντιπρόσωπο (Mobile Agent), ο οποίος μεταναστεύει στη συσκευή του χρήστη και αναλαμβάνει την προσαρμογή της. Η μόνη διαφορά των αντιπροσώπων της αρχιτεκτονικής του ετερογενούς δικτύου σε σχέση με τη συνηθισμένη χρήση τους σε περιβάλλοντα κατανομημένης επεξεργασίας, είναι ότι λειτουργούν με βάση το περιεχόμενο και όχι τα γεγονότα.

Πιο συγκεκριμένα, ο codec υλοποιεί ένα καινούργιο αποκωδικοποιητή, με τον οποίο θα γίνει αποκωδικοποίηση του περιεχομένου που στέλνεται από το δίκτυο. Έτσι, αν η αρχική μορφή του περιεχομένου είναι MPEG-4 και πρόκειται να μεταβληθεί σε H.263, πρέπει να αλλάξει και ο αποκωδικοποιητής της ροής από MPEG-4 σε H.263.

Οι Κινητοί Αντιπρόσωποι γενικά μπορεί να είναι λογισμικού ή υλικού, ανάλογα με το επίπεδο στο οποίο έχουν υλοποιηθεί και λειτουργούν. Στην αρχιτεκτονική του ετερογενούς δικτύου, η ανάγκη αναπροσαρμογής με μεγάλη ταχύτητα, χωρίς να γίνεται αντιληπτή από το χρήστη επιβάλλει τη χρήση αντιπροσώπων υλικού και όχι λογισμικού (στο λειτουργικό επίπεδο). Η μόνη επίδραση του λογισμικού αφορά στα στάδια λήψης, αποθήκευσης και ενεργοποίησης του αντιπροσώπου υλικού.

Γενικά, από την αρχιτεκτονική του νομαδικού δικτύου που υποστηρίζει αναδιάταξη υλικού, απαιτείται ένα πλαίσιο για την ανάπτυξη, επιλογή, κατέβασμα και ενεργοποίηση των πρακτόρων. Με βάση το ίδιο πλαίσιο θα πρέπει οι αντιπρόσωποι να μπορούν να ανταλλάξουν μεταξύ τους μηνύματα. Τέλος, θα πρέπει να υποστηρίζεται η

ορθή παράδοση των κατάλληλων codec στις συσκευές των πελατών, ανάλογα με τις τρέχουσες συνθήκες κίνησης του δικτύου. Το πλαίσιο για τις παραπάνω απαιτήσεις επιλέχθηκε να είναι το OSGI. Περισσότερες λεπτομέρειες για το OSGI δίνονται στην παράγραφο 1.2.3.

1.2.2 Αντιπρόσωποι στο Ετερογενές Δίκτυο

Οι αντιπρόσωποι στο ετερογενές δίκτυο συγκεντρώνουν όλα τα χαρακτηριστικά των αντιπροσώπων υλικού που περιγράφηκαν παραπάνω. Ακριβέστερα, ο όρος «αντιπρόσωπος» στο περιβάλλον του ετερογενούς δικτύου περιγράφει ένα κομμάτι κινητού κώδικα, το οποίο μπορεί να μεταναστεύσει σε μια απομακρυσμένη πλατφόρμα για να μπορεί να κωδικοποιεί, να αποκωδικοποιεί και να αλλάζει την κωδικοποίηση ενός συγκεκριμένου τύπου πολυμέσων.

Μια σημαντική λεπτομέρεια αφορά στη λειτουργία του αντιπροσώπου σε σχέση με το ολικό περιεχόμενο. Ένας αντιπρόσωπος μπορεί μόνος του να υλοποιεί ένα codec με το οποίο αποκωδικοποιείται το περιεχόμενο που λαμβάνει ο χρήστης. Εδώ, ο όρος του αντιπροσώπου θα πρέπει να κατανοηθεί μέσα από το πρίσμα μιας σειράς διασυνδεδεμένων διαδοχικών σταδίων επεξεργασίας. Έτσι ένας τύπος περιεχομένου, μπορεί να αποκωδικοποιηθεί χρησιμοποιώντας ένα μόνο αντιπρόσωπο codec, ενώ άλλοι τύποι περιεχομένου να απαιτούν μια διαδοχική επεξεργασία από διαφορετικούς, σειριακά συνδεδεμένους αντιπροσώπους, με τρόπο ώστε η έξοδος του ενός να αποτελεί είσοδο του επόμενου στη σειρά. Με αυτή τη λειτουργία, οι αντιπρόσωποι δημιουργούν μια μονάδα επεξεργασίας του περιεχομένου τύπου pipeline. Βέβαια, οι διαφορετικοί αντιπρόσωποι μπορούν να λειτουργούν και παράλληλα για την αποκωδικοποίηση του περιεχομένου και αργότερα να χρησιμοποιηθεί ένα εργαλείο συγχρονισμού δεδομένων, όπως ο δημιουργός σκηνών MPEG-4.

Η παραπάνω θεώρηση συνεπάγεται ότι ο χρήστης μπορεί να κατεβάσει περισσότερα από ένα codec κατά τη διάρκεια της συνόδου με το δίκτυο, να αναπροσαρμόσει τη συσκευή του και αυτό να γίνει διάφανα, χωρίς να το αντιληφθεί.

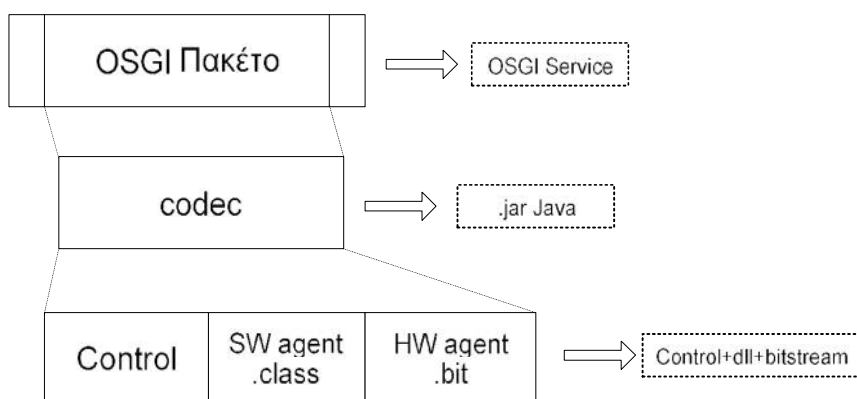
Το μέγεθος του κάθε αντιπροσώπου είναι αρκετά σημαντικό, γιατί καθορίζει την επιβάρυνση που θα έχει συνολικά ο πελάτης και το δίκτυο σε σχέση με το περιεχόμενο στην αλυσίδα των codec. Αν δηλαδή το μέγεθος του αντιπροσώπου είναι αρκετά μεγάλο και το περιεχόμενο είναι μικρό (όπως μια φάση γκολ σε ποδοσφαιρικό αγώνα), μπορεί να είναι προτιμότερο να μην σταλεί ο αντιπρόσωπος και να συνεχίσει ο πελάτης να χρησιμοποιεί το προηγούμενο codec. Για το λόγο αυτό, ο πυρήνας κάθε αντιπροσώπου (που περιέχει τη λογική της αναπροσαρμογής) θα πρέπει να έχει μικρό

μέγεθος, μικρότερο και από το μικρότερο μέγεθος περιεχομένου που μπορεί να διανεμηθεί. Το αναμενόμενο μέγεθος πυρήνα αντιπροσώπου στην αρχιτεκτονική του ετερογενούς δικτύου κυμαίνεται από 30KB μέχρι 2MB. Μια τυπική, καλή τιμή μεγέθους είναι τα 500KB. Άλλωστε αυτή είναι και μια τυπική τιμή των ως τώρα διαθέσιμων plug-in λογισμικού των φυλλομετρητών ιστού.

Η μορφή των αντιπροσώπων είναι δυαδικά αρχεία (ροές από bits) με επέκταση «.bit» τα οποία φορτώνονται δυναμικά στην μονάδα FPGA του τερματικού. Όποτε χρησιμοποιούνται πράκτορες λογισμικού, αυτοί είναι σε μορφή Java κλάσεων, οπότε εκτελούνται από το περιβάλλον εκτέλεσης της γλώσσας JRE.

1.2.3 Επικοινωνία Μεταξύ Αντιπροσώπων

Η επικοινωνία μεταξύ των αντιπροσώπων υλικού και των αντιπροσώπων λογισμικού αλλά και μεταξύ των αντιπροσώπων κάθε κατηγορίας είναι ένα σημαντικό θέμα. Η επικοινωνία μιας εφαρμογής πελάτη με τους αντιπροσώπους λογισμικού μπορεί να γίνει με τη χρήση κατάλληλης διεπαφής (API). Η επικοινωνία μεταξύ δύο αντιπροσώπων λογισμικού απαιτεί την ύπαρξη ενός πρωτοκόλλου IPC για τη μεταφορά πληροφορίας σε επίπεδο λογισμικού. Η επικοινωνία της εφαρμογής με έναν αντιπρόσωπο υλικού μπορεί να γίνει με ένα πρωτόκολλο HAL. Το τελευταίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την ανταλλαγή πληροφορίας σε επίπεδο υλικού μεταξύ αντιπροσώπου υλικού και αντιπροσώπου λογισμικού.



Σχήμα 1 - 1: Πακέτο πράκτορα στο OSGI

Η επικοινωνία των αντιπροσώπων πρέπει να συντονισθεί με βάση κατάλληλο μηχανισμό. Ο μηχανισμός αυτός ταυτόχρονα θα ελέγχει και την παράδοση τους στις πλατφόρμες, ώστε να υπάρχει η αναγκαία διαιτησία και η βέλτιστη δρομολόγησή τους πριν την τελική παράδοση. Ο μηχανισμός που επιλέχθηκε για το ετερογενές δίκτυο είναι το πλαίσιο του OSGI [11]. Κυριότερο πλεονέκτημα του OSGI είναι ότι

ενθυλακώνει όλες τις υπηρεσίες του σε τεχνολογία Java, γεγονός που το καθιστά συμβατό με το περιβάλλον του ετερογενούς δικτύου. Επιπρόσθετα, μπορεί να γίνει καλύτερα ο έλεγχος της λειτουργίας και παράδοσης των αντιπροσώπων, που είναι είτε τύπου υλικού, είτε τύπου λογισμικού. Στο Σχήμα 1 - 1 φαίνεται το πακέτο OSGI που αφορά σε ένα αντιπρόσωπο. Κάθε ένα τέτοιο πακέτο πράκτορα βρίσκεται στη μονάδα IMS (θα παρουσιασθεί στη συνέχεια) του ετερογενούς δικτύου και είναι διαθέσιμο για αποστολή.

1.2.4 Αρχιτεκτονική Επαναπρογραμματισμού

Μετά την περιγραφή των αρχών που διέπουν την αναπροσαρμογή υλικού και των μηχανισμών μέσω των οποίων μπορεί να επιτευχθεί (τα οποία καθορίζουν κατά κύριο λόγο τις λειτουργίες που πρέπει να επιτελεί η συσκευή χρήστη), μπορεί να δοθεί και η αρχιτεκτονική οργάνωση του υλικού στο τερματικό Αναπροσαρμογής Υλικού.

Ως συσκευή, το τερματικό Αναπροσαρμογής Υλικού μπορεί να είναι είτε μια συσκευή τύπου PDA, είτε ένα ασύρματο-φορητό TabletPC. Οι κύριες λειτουργίες του είναι η ασύρματη επικοινωνία με το Κέντρο Διανομής Περιεχομένου, η λήψη και διαχείριση των αντιπροσώπων, η αναδιάταξη της μονάδας FPGA και η προβολή του περιεχομένου. Επομένως, το κυριότερο κομμάτι της αρχιτεκτονικής του (εκτός της τυποποιημένης δομής που ήδη περιγράφηκε) είναι το κομμάτι που αναπροσαρμόζεται και το κομμάτι υποστήριξής του.

Για τη μονάδα FPGA, επιλέχθηκε η Virtex-II της Xilinx. Η αναπροσαρμογή που προσφέρει γίνεται κατά δομικές μονάδες σε μορφή στηλών ([14], [15]). Κάθε στήλη της διάταξης πυλών μπορεί να αποτελεί μια δομική μονάδα, είτε επεξεργαστική, είτε αποθηκευτική, είτε διαχείρισης εισόδου/εξόδου.

Οι υπομονάδες υλικού που περιλαμβάνει το τερματικό Αναπροσαρμογής Υλικού είναι ο επεξεργαστής, η μνήμη (RAM, ROM), η μονάδα FPGA, οι μονάδες επικοινωνίας (ασύρματες), η οθόνη, το πληκτρολόγιο και οι υποδοχές για κάρτες επέκτασης (Flash, memory sticks).

Ο επεξεργαστής μπορεί να είναι ένας από τους ενσωματωμένους επεξεργαστές που ήδη αναφέρθηκαν και χρησιμοποιούν κατά κόρον τα τρέχοντα μοντέλα τερματικών συσκευών. Επίσης, μπορεί να είναι ένας επεξεργαστής ενσωματωμένος στη μονάδα FPGA ή ακόμα και μια δεύτερη μονάδα FPGA, σχεδιασμένη για την εκτέλεση λειτουργιών επεξεργαστή.

Ο επεξεργαστής συνδέεται με δύο μονάδες μνήμης, μια RAM και μία ROM. Τα μεγέθη τους μπορεί να είναι αυτά που χρησιμοποιούνται και σήμερα, μιας και ένας από

τους στόχους της αναπροσαρμογής υλικού είναι η χρήση απλών συσκευών για εκτέλεση όλο και συνθετότερων εργασιών. Ο σκοπός των δύο τύπων μνήμων είναι ο ίδιος με την περίπτωση των προσωπικών υπολογιστών. Η μνήμη RAM χρησιμοποιείται ως βοηθητική μνήμη για την εκτέλεση λειτουργιών, ενώ η μνήμη ROM περιέχει λειτουργικές πληροφορίες για εκκίνηση και τερματισμό της λειτουργίας ή ακόμα και για την υποστήριξη της αναπροσαρμογής υλικού. Η μνήμη, μαζί με το αφαιρούμενο κομμάτι (Flash, memory sticks), χρησιμοποιείται τόσο από τον επεξεργαστή, όσο και από τη μονάδα FPGA για λειτουργίες ανάγνωσης/εγγραφής.

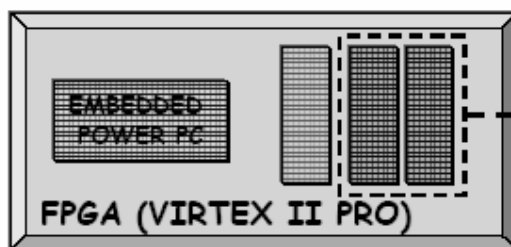
Η μονάδα FPGA συνδέεται και με τον επεξεργαστή, ώστε η αναπροσαρμογή υλικού να ελέγχεται ως ένα βαθμό από τον τελευταίο. Όπως ήδη ειπώθηκε, η μονάδα FPGA αποτελείται από μπλοκ μονάδες πυλών, οι οποίες ονομάζονται στήλες στην ορολογία της πλατφόρμας Virtex-II. Επειδή η αναπροσαρμογή είναι μερική, ορισμένες στήλες αποτελούν τη σταθερή λογική της μονάδας και άρα δεν αναπροσαρμόζονται, ενώ οι υπόλοιπες αποτελούν την αναπροσαρμοζόμενη λογική και υπόκεινται σε επαναπρογραμματισμό των πυλών τους. Η σταθερή λογική χρησιμοποιείται κυρίως για την εκτέλεση του επαναπρογραμματισμού του υλικού. Παράλληλα μπορεί να εκτελεί λειτουργίες I/O για το μη σταθερό κομμάτι, κυρίως από και προς τη μνήμη.

Οι αναπροσαρμοζόμενες στήλες υλοποιούν κάθε μία έναν αντιπρόσωπο υλικού. Αυτό σημαίνει ότι η αναπροσαρμογή δεν γίνεται σε κατώτερο επίπεδο από αυτό της στήλης. Δηλαδή, από τη στιγμή που κατέβει από το δίκτυο ένας αντιπρόσωπος, μπορεί να γίνει αναδιάταξη μίας ή περισσότερων στηλών για να τον υλοποιήσουν, αλλά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθούν μία στήλη και κάποιες επιπλέον (σκόρπιες πύλες) από άλλες στήλες για να ολοκληρωθεί η λογική. Αυτό έχει μεγάλη επίδραση στη σχεδίαση και ανάπτυξη αντιπροσώπων υλικού, μιας και ο σχεδιαστής πληρώνει το τμήμα του αυξημένου μεγέθους κάθε φορά που η σχεδιάσή του χρειάζεται (έστω και για μια πύλη) να επεκταθεί σε νέα στήλη.

Στο Σχήμα 1 - 2 φαίνεται μία πιθανή μονάδα επεξεργασίας συσκευής Αναπροσαρμογής Υλικού. Διακρίνεται ο ενσωματωμένος επεξεργαστής (οικογένεια PowerPC) και η μονάδα FPGA. Στη μονάδα FPGA φαίνονται οι στήλες από τις οποίες αποτελείται. Η στήλη ανοιχτής απόχρωσης αντιπροσωπεύει τη σταθερή λογική, ενώ οι στήλες σκούρας απόχρωσης εντός του διακεκομμένου πλαισίου αντιπροσωπεύουν την αναπροσαρμοζόμενη λογική. Στο σχήμα δεν φαίνονται οι κάθετες στήλες πυλών που αντιπροσωπεύουν τις γραμμές διαύλων επικοινωνίας. Αυτοί οι δίαυλοι χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ των μονάδων των στηλών και για εξωτερική επικοινωνία. Όπως ήδη ειπώθηκε, κάθε στήλη απαρτίζει μια μονάδα codec. Βέβαια, ανάλογα το περιεχόμενο, μια μονάδα codec μπορεί να απαρτίζεται από

επιμέρους μονάδες (σχηματίζοντας μια αλυσίδα τύπου pipeline) και άρα να περιλαμβάνει περισσότερες στήλες.

Το Σχήμα 1 - 2 αποτελεί μία από τις τρεις δυνατές διατάξεις μονάδας επεξεργασίας του τερματικού Αναπροσαρμογής Υλικού. Τα δομικά κομμάτια των άλλων δύο δεν αλλάζουν, αλλάζει όμως η διάταξή τους. Στη δεύτερη διάταξη, ο ενσωματωμένος στην μονάδα FPGA επεξεργαστής, έχει αποχωρισθεί εντελώς από αυτήν και αποτελεί μια εντελώς ανεξάρτητη μονάδα τυπικού εμπορικού επεξεργαστή. Στην τρίτη, ο επεξεργαστής έχει υλοποιηθεί σε μία δεύτερη μονάδα FPGA, ανεξάρτητη της μονάδας FPGA των αντιπροσώπων. Η μονάδα FPGA του επεξεργαστή μπορεί να είναι ταυτόσημη, κατώτερων ή ανώτερων δυνατοτήτων με την μονάδα FPGA των αντιπροσώπων, ανάλογα με τον προσανατολισμό του κατασκευαστή.



Σχήμα 1 - 2: Μονάδα Επεξεργασίας του Τερματικού Αναπροσαρμογής Υλικού

1.3 Αρχιτεκτονική Δικτύου

Μέχρι τώρα παρουσιάσθηκε η αρχιτεκτονική και η λειτουργία της τερματικής συσκευής του χρήστη στο περιβάλλον μηχανισμών προσαρμογής περιεχομένου της αρχιτεκτονικής του ετερογενούς δικτύου. Έμφαση δόθηκε στο κύριο χαρακτηριστικό της, την αναπροσαρμογή υλικού. Στις επόμενες παραγράφους θα περιγραφεί η αρχιτεκτονική του δικτύου που καλείται να υποστηρίξει τους μηχανισμούς προσαρμογής. Επίσης θα γίνει αναφορά στα πρωτόκολλα και τις υπηρεσίες που παρέχει ένα τέτοιο δίκτυο.

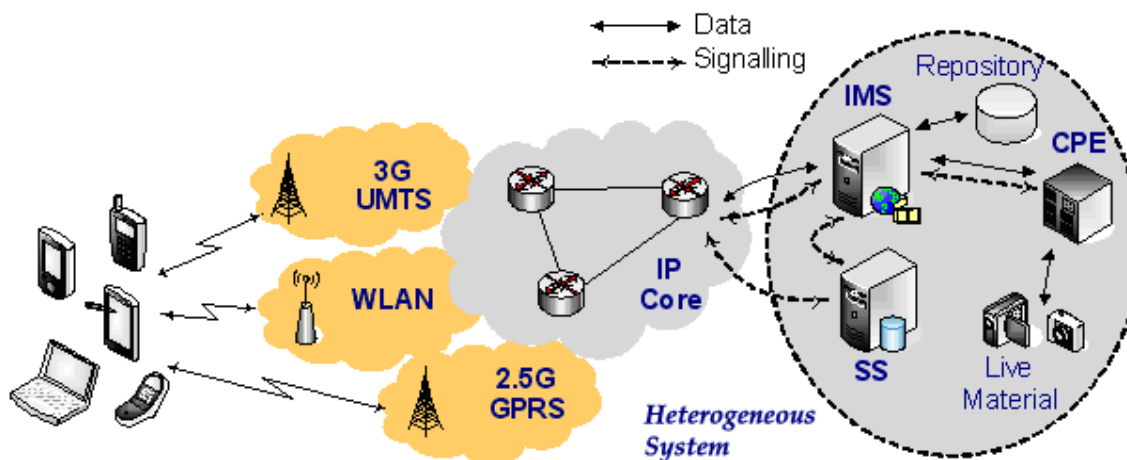
1.3.1 Στοιχεία Δικτύου

Οι αναδυόμενες κινητές και ασύρματες τεχνολογίες θέτουν σημαντικές προκλήσεις στην παράδοση δεδομένων πολυμέσων σε χρήστες νομαδικών δικτύων, ιδιαίτερα αν λάβει κανείς υπόψη την ανάπτυξη της τεχνολογίας στην κατασκευή φορητών τερματικών συσκευών. Για να μπορέσουν να καλυφθούν οι απαιτήσεις των χρηστών και των συσκευών που διαθέτουν, είναι αναγκαίο να συνδυασθούν αρκετές

από τις τρέχουσες τεχνολογίες και να συμπληρωθούν όπου δεν μπορούν να ανταποκριθούν ικανοποιητικά.

Το ετερογενές δίκτυο συνδυάζει ορισμένα διαδεδομένα εμπορικά συστήματα και επεκτείνει το δίκτυο που δημιουργείται από τη διασύνδεσή τους με ένα λειτουργικό υποκείμενο δίκτυο, ικανό να υποστηρίξει τους λειτουργικούς εξυπηρετητές, οι οποίοι εφαρμόζουν τη λογική του.

Σε πρώτο επίπεδο το συνολικό δίκτυο του ετερογενούς δικτύου μπορεί να χωρισθεί σε τρία επιμέρους υποκείμενα δίκτυα. Αυτά περιλαμβάνουν το υποκείμενο δίκτυο πρόσβασης, το δίκτυο πυρήνα και το λειτουργικό υποκείμενο δίκτυο εξυπηρετητών. Το πρώτο αναλαμβάνει την επικοινωνία με τον τελικό χρήστη, ως διεπαφή τελευταίου άλματος (last hop). Αυτό σημαίνει ότι δεν επιτελεί διαχειριστικές λειτουργίες, αλλά μεσολαβεί για την τελική παράδοση περιεχομένου. Το δίκτυο πυρήνα, φροντίζει για τη σωστή δρομολόγηση του πολυμεσικού περιεχομένου με βέλτιστο τρόπο, ώστε να αποφευχθούν καταστάσεις συμφόρησης. Πρόκειται για δίκτυο IP, επεκταμένο με τεχνολογίες υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας. Τέλος το λειτουργικό υποκείμενο δίκτυο εξυπηρετητών αποτελεί την καρδιά του ετερογενούς δικτύου, γιατί ενθυλακώνει και υλοποιεί όλη τη λογική της προσαρμογής περιεχομένου. Επίσης είναι υπεύθυνο για τη συλλογή, δημιουργία και αποθήκευση του περιεχομένου πολυμέσων. Τέλος, αποφασίζει και ελέγχει την αποστολή ροών δεδομένων στον τελικό χρήστη, ενώ ταυτόχρονα εκτελεί χρέη διαχειριστή του συνολικού συστήματος.



Σχήμα 1 - 3: Το περιβάλλον του ετερογενούς δικτύου

Με βάση την αρχιτεκτονική που μόλις περιγράφηκε, γίνεται φανερό ότι το λειτουργικό υποκείμενο δίκτυο εξυπηρετητών μπορεί να χρησιμοποιηθεί εμπορικά για την επέκταση οποιουδήποτε εμπορικού δικτύου, ώστε αυτό να υποστηρίξει δυνατότητες

αναπροσαρμογής υλικού και προσαρμογής περιεχομένου και κατ' επέκταση υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας. Για το λόγο αυτό και για να καταστεί ευκολότερη η προσάρτηση της λογικής του ετερογενούς δικτύου στα υπάρχοντα εμπορικά συστήματα, τα δίκτυα πρόσβασης και πυρήνα επιλέχθηκαν να είναι υπαρκτά, εγκατεστημένα δίκτυα πλήρους ανάπτυξης και λειτουργίας παροχής υπηρεσιών, ώστε τα συμπεράσματα να είναι άμεσα.

Στο Σχήμα 1 - 3 απεικονίζει τη δομή του συνολικού δικτύου της αρχιτεκτονικής του ετερογενούς δικτύου. Σε αυτή φαίνονται τα τρία υποκείμενα δίκτυα που περιγράφηκαν, το δίκτυο πρόσβασης, το δίκτυο πυρήνα και το δίκτυο εξυπηρετητών. Στη συνέχεια περιγράφονται τα τρία υποκείμενα δίκτυα αναλυτικά μαζί με τα τμήματα που τα απαρτίζουν. Αναφέρονται και ποσοτικά στοιχεία για τις υποδομές δικτύων που υποστηρίζουν τους μηχανισμούς προσαρμογής δεδομένων.

1.3.1.1 Δίκτυο Πρόσβασης

Το δίκτυο πρόσβασης, όπως σε κάθε τυπικό νομαδικό δίκτυο είναι ασύρματο. Κάτι τέτοιο είναι αναγκαίο για την υποστήριξη της επιθυμητής κινητικότητας των νομαδικών χρηστών.

Το δίκτυο πρόσβασης του ετερογενούς δικτύου απαρτίζεται από τρία επιμέρους υποκείμενα δίκτυα πρόσβασης. Περιλαμβάνει ένα κυψελωτό δίκτυο μεταφοράς δεδομένων (2.5G GPRS), ένα ασύρματο κυψελωτό δίκτυο 3ης γενιάς (3G UMTS), και ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN).

Το δίκτυο GPRS είναι μια επέκταση του γνωστού και ευρύτατα χρησιμοποιούμενου δικτύου κινητών επικοινωνιών GSM ([6]). Ένα δίκτυο 2ης γενιάς, όπως το GSM μπορεί εύκολα να αναβαθμισθεί σε δίκτυο GPRS, κάτι που έχει ήδη γίνει στα περισσότερα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας στην Ευρώπη. Το δίκτυο GPRS [18] εισάγει δύο καινούργια στοιχεία στην αρχιτεκτονική του GSM: το στοιχείο Serving GPRS Support Node (SGSN) και το στοιχείο Gateway GPRS Support Node (GGSN). Η μονάδα SGSN φροντίζει για την κινητικότητα του τερματικού και για λειτουργίες πιστοποίησης. Η μονάδα GGSN παρέχει πρόσβαση σε εξωτερικά δίκτυα δεδομένων και λαμβάνει μέρος στη δέσμευση IP διευθύνσεων. Η μονάδα SGSN συνδέεται από τη μια μεριά με το υποσύστημα σταθμών βάσης (μέσω ενός δικτύου αναμετάδοσης πλαισίων - Frame Relay Network) και από την άλλη με τη μονάδα GGSN μέσω ενός δικτύου κορμού IP.

Όταν ένας χρήστης θέλει να συνδεθεί με ένα δίκτυο GPRS, ξεκινά μια διαδικασία σύνδεσης. Ως μέρος αυτής της διαδικασίας, ο χρήστης γνωστοποιεί την παρουσία του στη μονάδα SGSN, η οποία είναι πλέον υπεύθυνη για τον εντοπισμό της θέσης του

χρήστη. Το δίκτυο GPRS καθορίζει διαφορετικούς τύπους πακέτων δεδομένων πρωτοκόλλου (Packet Data Protocol - PDP), δηλαδή τύπων πρωτοκόλλων που μπορεί να μεταφερθούν μέσω του δικτύου GPRS. Ορισμένα από τα υποστηριζόμενα πρωτόκολλα είναι το IP, το X.25, το PPP καθώς και ένας αδόμητος τύπος ροής οκτάδων (unstructured octet stream). Το περιεχόμενο PDP είναι ένα στιγμιότυπο ενός τύπου PDP. Έτσι κάθε ενεργό περιεχόμενο PDP τύπου IP PDP, έχει μια διεύθυνση IP δεσμευμένη για το τερματικό του χρήστη. Μπορούν να υπάρχουν μέχρι και 15 ενεργά περιεχόμενα PDP την ίδια στιγμή και άρα μπορούν να υπάρχουν μέχρι και 15 σύνοδοι IP ταυτόχρονα.

Το δίκτυο πρόσβασης UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) αποτελεί ένα κυψελωτό δίκτυο 3ης γενιάς. Για την πρόσβαση του χρήστη χρησιμοποιεί δύο τύπους πρόσβασης: πρόσβαση Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA) και πρόσβαση Time Division CDMA (TD-CDMA). Η αρχιτεκτονική του δικτύου UMTS περιλαμβάνει διαφορετικά επίπεδα δομικών μονάδων. Ο εξοπλισμός του χρήστη (MS) συνδέεται με το επίγειο ασύρματο δίκτυο πρόσβασης (UMTS Terrestrial Radio Access Network - UTRAN). Το δίκτυο UTRAN διαδραματίζει το ρόλο του υποσυστήματος BSS (Base Station Subsystem) στο δίκτυο GSM/GPRS. Δηλαδή, φροντίζει για τη διαχείριση της κινητικότητας του χρήστη. Το δίκτυο UMTS περιλαμβάνει επίσης μια μονάδα 3G-SGSN και μία μονάδα 3G-GGSN, και οι δύο με αντίστοιχες λειτουργίες όπως στην περίπτωση του δικτύου GPRS. Τέλος, υπάρχει και μια βάση δεδομένων για την καταγραφή των στοιχείων των εγγεγραμμένων χρηστών του δικτύου, η οποία ονομάζεται Home Location Register (HLR) και μία βάση δεδομένων για την καταγραφή των περιστασιακών νομαδικών χρηστών με όνομα Visitor Location Register (VLR). Υπάρχουν επίσης και πύλες (gateways) για τη σύνδεση με άλλα δίκτυα.

Στον Πίνακα 1 - 1 δίνονται συγκεντρωτικά ποσοτικά στοιχεία που αφορούν στα μέχρι τώρα αναφερθέντα υποκείμενα δίκτυα πρόσβασης του ετερογενούς δικτύου. Σημαντικότερο είναι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, ο οποίος καθορίζει και το διαθέσιμο εύρος υπηρεσιών που μπορούν να προσφερθούν. Εξάλλου, το μέγεθος αυτό λαμβάνεται υπόψη από τους μηχανισμούς προσαρμογής δεδομένων.

Το ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN) μπορεί να δουλεύει με το πρωτόκολλο HIPERLAN του οργανισμού ETSI ή με το IEEE 802.11. Το δεύτερο υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης μέχρι 2Mbps, μέχρι 11Mbps για το IEEE 802.11b και μέχρι 54Mbps για τα IEEE 802.11g/a. Οι ταχύτητες αυτές είναι θεωρητικές και επιτυγχάνονται πολύ δύσκολα κυρίως λόγω της κίνησης των χρηστών σε περιβάλλοντα με χωρικά εμπόδια (κτίρια, δένδρα) και παρεμβολές (λόγω του ελεύθερου της εκπομπής των συχνοτήτων στις οποίες λειτουργούν). Το δίκτυο WLAN απαρτίζεται από ένα σημείο πρόσβασης

(Access Point - AP) που παρέχει την ονομαστική ταχύτητα του πρωτοκόλλου. Λόγω της σύντομης εμφάνισης των 802.11g/a (και τη μη ευρεία ανάπτυξή τους στην αγορά) η μελέτη θα γίνει για το 802.11b, οπότε και η ταχύτητα του AP θα είναι 11Mbps. Το σημείο πρόσβασης συνδέεται με το δίκτυο IP μέσω ενός modem ADSL (σε αντίθεση με τα δύο άλλα στα οποία η σύνδεση γίνεται μέσω των μονάδων GGSNs). Η ύπαρξη του δικτύου WLAN συνεπάγεται και κάποιες επιπρόσθετες λειτουργίες για τα τερματικά των χρηστών, κυριότερη από τις οποίες είναι η σύνδεση με το σημείο πρόσβασης AP, η πιστοποίηση του χρήστη και η απόκτηση δυναμικής διεύθυνσης IP μέσω ενός εξυπηρετητή DHCP. Όλες οι λειτουργίες από τη μεριά του ασύρματου τοπικού δικτύου γίνονται πάνω από το στρώμα IP, είτε σε επίπεδο HTTP/TCP (για λειτουργίες διαχείρισης), είτε σε επίπεδο RTP/RTCP ([16], [17]) (για την παροχή περιεχομένου). Το πρωτόκολλο IEEE 802.11b αφορά στα επίπεδα ελέγχου ζεύξης και φυσικό στρώμα και ιδιαίτερα στο υπόστρωμα MAC.

Τεχνολογία	Προτυποποίηση	Συχνότητα	Ρυθμός Δεδομένων	Ακτίνα Πρόσβασης	Τυπική χρήση
GSM	ETSI SMG	0.9 / 1.8 / 1.9 GHz	13 kbits για φωνή, 9.6 kbits για δεδομένα	max 25...40 km για τον επόμενο σταθμό βάσης	φωνή, δεδομένα, WAP
GPRS	ETSI SMG	0.9 / 1.8 / 1.9 GHz	171 kbits	max 25...40 km για τον επόμενο σταθμό βάσης	υπηρεσίες δεδομένων, WAP
UMTS(W-CDMA, TD-CDMA)	3GPP	1.90...1.98, 2.01...2.025 2.11...2.17 GHz	144, 384 kbits, 2 Mbits	εξαρτάται από τον αριθμό των χρηστών στην κυψέλη	φωνή, δεδομένα, υπηρεσίες πολυμέσων

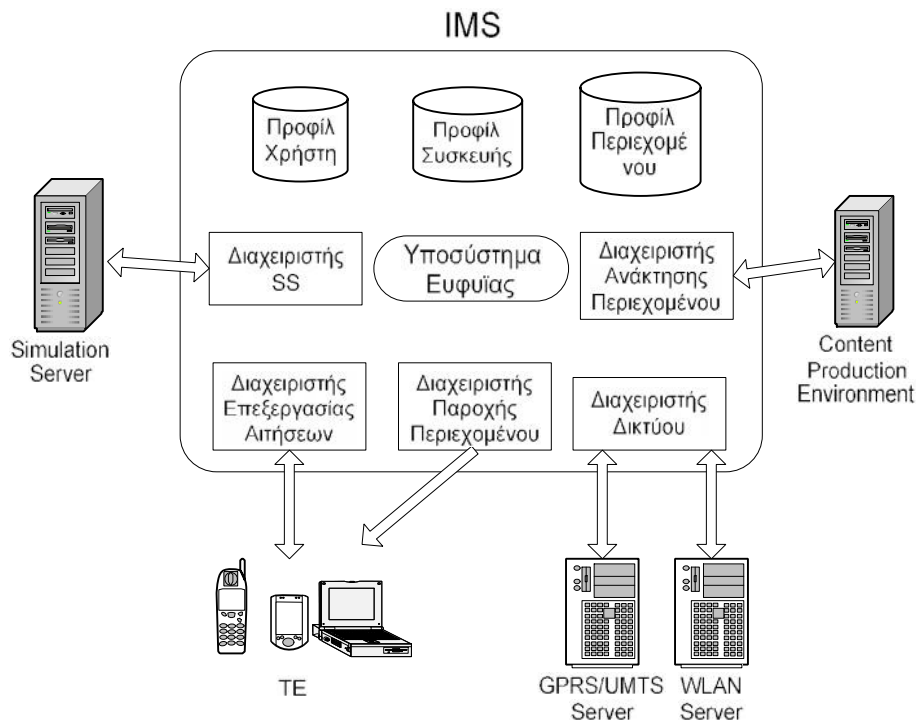
Πίνακας 1 - 1: Συγκριτικά Στοιχεία Δικτύων Πρόσβασης

1.3.1.2 Αλληλεπιδραστικός Εξυπηρετητής Πολυμέσων (IMS)

Το σύστημα του ετερογενούς δικτύου διασυνδέει τους λειτουργικούς εξυπηρετητές μεταξύ τους, ώστε να υλοποιήσει τους μηχανισμούς προσαρμογής που ενθυλακώνει. Από αυτούς δύο είναι οι σημαντικότεροι. Ο πρώτος είναι ο Αλληλεπιδραστικός Εξυπηρετητής Πολυμέσων (Interactive Multimedia Server - IMS). Ο εξυπηρετητής IMS [4] είναι το στοιχείο που αλληλεπιδρά με όλα τα τμήματα του περιβάλλοντος του ετερογενούς δικτύου. Ταυτόχρονα ενσωματώνει ένα βασικό κομμάτι της ευφυΐας του συστήματος.

Η λειτουργία του εξυπηρετητή IMS είναι να λαμβάνει τις αιτήσεις εξυπηρέτησης των πελατών και να τις επεξεργάζεται. Αλληλεπιδρώντας με τον πελάτη και τις βάσεις δεδομένων των προφίλ πελατών/συσκευών/περιεχομένου, συλλέγει πληροφορίες, ώστε να παρέχει το περιεχόμενο πολυμέσων στο χρήστη μαζί με τα αναγκαία προγράμματα και δεδομένα για την προβολή του. Ο εξυπηρετητής IMS συνεργάζεται στενά με τον Εξυπηρετητή Προσομοιώσεων (Simulation Server - SS), για την ανταλλαγή πληροφοριών για την κατάσταση του δικτύου και τη λήψη αποφάσεων, σχετικών με τις ροές περιεχομένου.

Με βάση τα παραπάνω, ο εξυπηρετητής IMS είναι ένα εύρωστο και εύκολα κλιμακούμενο σύστημα, το οποίο πρέπει να διαχειρίζεται με ασφάλεια πολλαπλές αιτήσεις χρηστών (βασισμένο στα προφίλ χρηστών και συσκευών), να εμπλουτίζει τα διαθέσιμα πολυμέσα με επιπρόσθετα στοιχεία (πράκτορες υλικού και λογισμικού) και να τα προωθεί στους πελάτες που αιτούν παροχή υπηρεσίας. Επιπρόσθετα θα πρέπει να ανταλλάζει ποσοτικά δεδομένα με τον Εξυπηρετητή Προσομοιώσεων (περιγράφεται στην παράγραφο 1.3.1.3) και να λαμβάνει δεδομένα ανατροφοδότησης από αυτόν.



Σχήμα 1 - 4: Λειτουργική Οργάνωση του Εξυπηρετητή IMS

Στο Σχήμα 1 - 4 φαίνεται η λειτουργική οργάνωση του εξυπηρετητή IMS (υπομονάδες, επικοινωνίες). Στο σχήμα έχουν παραληφθεί οι επικοινωνίες των υποσυστημάτων του IMS με το υποσύστημα ευφυΐας. Η κάθε μονάδα δεν επικοινωνεί

υποχρεωτικά με όλες τις άλλες, αλλά αναγκαστικά με το υποσύστημα ευφυΐας προκειμένου να συντονισθούν σωστά οι ενέργειες που προορίζεται να εκτελεί.

Οι τρεις βάσεις δεδομένων από προφίλ που περιλαμβάνει ο IMS είναι πολύ σημαντικές γιατί ενθυλακώνουν πληροφορία απαραίτητη τους μηχανισμούς προσαρμογής. Ο εξυπηρετητής IMS τις συμβουλεύεται σε κάθε περίπτωση αίτησης εξυπηρέτησης. Οι βάσεις δεδομένων μοντελοποιούν τα χαρακτηριστικά του περιεχομένου, τις δυνατότητες της συσκευής και τις προτιμήσεις του χρήστη.

Η βάση δεδομένων στην οποία είναι αποθηκευμένα τα προφίλ περιεχομένου, περιλαμβάνει δύο στοιχεία περιγραφής, ένα για τα γεγονότα και ένα για το περιεχόμενο. Το στοιχείο περιγραφής γεγονότων περιέχει πληροφορία για τα γεγονότα που ενδιαφέρουν το χρήστη και για τα οποία επιθυμεί να ειδοποιείται. Το στοιχείο αυτό είναι απαραίτητο για την εφαρμογή του μοντέλου ώθησης για διανομή περιεχομένου. Το στοιχείο περιγραφής περιεχομένου περιέχει πληροφορίες για το περιεχόμενο, όπως ο τίτλος, λέξεις κλειδιά, διάρκεια, codec, μέγεθος, ρυθμός εκπομπής και μια περιγραφή. Είναι αναγκαίο και για τα δύο μοντέλα διανομής (push-pull).

Η βάση που περιέχει τα προφίλ συσκευών περιγράφει τις δυνατότητες των συσκευών που μπορεί να χρησιμοποιηθούν στο ετερογενές δίκτυο. Κάθε συσκευή αποκτά το δικό της μοναδικό κωδικό αναγνώρισης, ώστε να είναι μονοσήμαντα αναγνωρίσιμη από το δίκτυο. Στη βάση καταγράφονται χαρακτηριστικά του υλικού της συσκευής, οι δυνατότητες επικοινωνίας με δίκτυα πρόσβασης και τα διαθέσιμα codec. Ειδικά το τελευταίο στοιχείο είναι πολύ χρήσιμο για την επιλογή του περιεχομένου που θα σταλθεί στο χρήστη ή το είδος του codec που θα σταλθεί σε περίπτωση που δεν είναι εγκατεστημένο.

Η βάση που περιέχει τα προφίλ χρήστη βασίζεται επίσης σε δύο στοιχεία περιγραφής, το στοιχείο περιγραφής χρήστη και το στοιχείο περιγραφής υπηρεσίας. Το στοιχείο περιγραφής χρήστη περιέχει πληροφορίες για την αναγνώριση του (προσωπικά στοιχεία, κωδικούς και όνομα χρήστη), τον τύπο των συσκευών που έχει στην κατοχή του, στοιχεία για κάθε συσκευή ξεχωριστά (όπως οι διαθέσιμες συνδέσεις δικτύων) και προεπιλογές για ορισμένες προτιμήσεις (όπως για τη συσκευή και το δίκτυο). Το στοιχείο περιγραφής υπηρεσιών είναι υπεύθυνο για τις προτιμήσεις υπηρεσιών του χρήστη. Μάλιστα, επειδή ο πελάτης τροποποιεί τις προτιμήσεις υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο, η δομή του στοιχείου περιγραφής υπηρεσιών πρέπει να είναι αποδοτική και ευέλικτη. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται μια δομή και για τα δύο μοντέλα διανομής περιεχομένου. Το στοιχείο περιγραφής υπηρεσιών από ένα σύνολο θεματικών κατηγοριών, όπως τα σπορ, μουσική και καλλιτεχνικές εκδηλώσεις

(για την υλοποίηση μοντέλου έλξης) και ένα σύνολο από γεγονότα για τα οποία ο χρήστης επιθυμεί να ειδοποιείται (για την υλοποίηση μοντέλου ώθησης).

Ο Διαχειριστής Επεξεργασίας Αιτήσεων είναι το εμπρός άκρο του συστήματος. Επεξεργάζεται τις αιτήσεις του χρήστη για να συγκεντρώσει τις πληροφορίες που του παρέχει ο πελάτης. Η πρώτη επαφή μπορεί να οδηγήσει σε παραπέρα αλληλεπίδραση για την επιπλέον συλλογή πληροφοριών από το χρήστη. Όσον αφορά το μοντέλο υπηρεσίας, η μονάδα συμμετέχει μόνο στην υλοποίηση του μοντέλου ώθησης, οπότε και ο πελάτης χρειάζεται να περιηγηθεί σε κάποιο περιβάλλον για να παρακολουθήσει κάποιες περιλήψεις περιεχομένων και τελικά να κάνει την επιλογή του. Επίσης θα πρέπει να μπορεί να επεξεργαστεί τις ήδη αποθηκευμένες προτιμήσεις του. Για την υλοποίηση τέτοιας λειτουργικότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαθέσιμες τεχνολογίες δυναμικών σελίδων στο Διαδίκτυο, όπως οι CGI, JSP, Servlets και ASP.

Ο Διαχειριστής Ανάκτησης Περιεχομένου αναλαμβάνει την ανάκτηση του περιεχομένου από τη μονάδα που το δημιουργεί. Επίσης συγκεντρώνει από το περιβάλλον δημιουργίας του περιεχομένου πληροφορίες για τη μορφή του, πληροφορίες για την κατηγοριοποίησή του και πληροφορίες επέκτασης (καλύτερες στιγμές από αγώνα, ή διαφορετικές όψεις κάμερας). Αποθηκεύει τα αρχεία των πολυμέσων καθώς και τα περιγραφικά δεδομένα (metadata).

Ο Διαχειριστής Επικοινωνίας με τον εξυπηρετητή SS αναλαμβάνει την επικοινωνία με τον Εξυπηρετητή Προσομοιώσεων. Η πληροφορία που του στέλνει αφορά στην κατάσταση του δικτύου και στα προφίλ χρήστη/συσκευής. Οι πληροφορίες που του αποστέλλει είναι πολύ ουσιαστικές. Ως είσοδοι των προσαρμοστικών αλγορίθμων που υλοποιούνται στον Εξυπηρετητή Προσομοιώσεων, ουσιαστικά καθορίζουν το πλαίσιο λήψης αποφάσεων για τις ροές των πολυμέσων. Μεταξύ των μεγεθών που στέλνει ο διαχειριστής επικοινωνίας είναι ο τύπος συσκευής του χρήστη, ο αριθμός των χρηστών, το μέγεθος του περιεχομένου και του αντίστοιχου πράκτορα, οι συνθήκες του δικτύου (από μετρήσεις σε διάφορα σημεία του) και μηχανισμούς cache/proxy για ταχύτητα προώθησης και επικοινωνίας. Το πλαίσιο επικοινωνίας των δύο εξυπηρετητών πρέπει να καθορισθεί με ακρίβεια, μιας και θα πρέπει να είναι γρήγορο και βέλτιστο, όσον αφορά στην ακριβή μετάδοση πληροφορίας με λιγότερη επιβάρυνση.

Ο Διαχειριστής Παροχής Περιεχομένου είναι υπεύθυνος για την παροχή του περιεχομένου των πολυμέσων στον τελικό χρήστη. Κάτι τέτοιο, μπορεί να υλοποιηθεί με πολλούς μηχανισμούς, όπως τα συστήματα διοχέτευσης ροών δεδομένων και τα συστήματα μηνυμάτων πολυμέσων. Στο περιεχόμενο περιλαμβάνονται πάντα, τόσο τα

δεδομένα, όσο και τα εργαλεία για την προβολή τους. Το τελευταίο άλμα στην αλυσίδα δρομολόγησης των ροών διαφέρει, ανάλογα το δίκτυο πρόσβασης του χρήστη. Μπορεί να είναι δίκτυο Bluetooth, LAN, wireless LAN, WiFi, GPRS ή UMTS. Σε κάθε περίπτωση ο κοινός παρονομαστής πριν το τελευταίο άλμα είναι ένα δίκτυο IP. Ο εξυπηρετητής IMS μπορεί να χρησιμοποιήσει έναν εμπορικό εξυπηρετητή διοχέτευσης ροών πολυμέσων. Σε αυτή την περίπτωση ο επιλεγμένος εξυπηρετητής μπορεί να υλοποιεί μόνος του το Διαχειριστή Παροχής Περιεχομένου, αν και η δυνατότητα επέκτασής του (ακόμα και ως πηγαίος κώδικας) θεωρείται απολύτως αναγκαία. Η καταλληλότερη επιλογή για αυτή τη μονάδα αποτελεί ο Helix Universal Server της Real Networks [12]. Ο εξυπηρετητής Helix Server υποστηρίζει τη διοχέτευση ροών δεδομένων (streaming) και προσωρινή αποθήκευση (caching) των επικρατέστερων τύπων πολυμέσων. Υποστηρίζει, επίσης, αποδοτικούς μηχανισμούς ανάνηψης σφάλματος με αυτόματη σύνδεση σε εναλλακτικούς εξυπηρετητές περιεχομένου, ώστε να παρέχει αδιάλειπτες ροές δεδομένων.

Ο Διαχειριστής Δικτύου συγκεντρώνει δεδομένα από τα διάσπαρτα μετρητικά στοιχεία δικτύου. Τα στοιχεία δικτύου που συλλέγουν μετρήσεις και τις προωθούν στον Διαχειριστή Δικτύου εξαρτώνται από την εκάστοτε υποδομή δικτύου, τις περισσότερες φορές όμως πρόκειται για τους κεντρικούς κόμβους των δικτύων (GPRS/UMTS) και των κινητών δικτύων Ad hoc. Τα δεδομένα συγκεντρώνονται στον εξυπηρετητή IMS σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας τους μηχανισμούς PUSH ή GET. Ο τύπος των δεδομένων περιλαμβάνει δεδομένα διαχείρισης δικτύου, τα οποία προορίζονται για τον εξυπηρετητή SS ή δεδομένα συγκεκριμένα για μια υπηρεσία, οπότε χρησιμοποιούνται στα σενάρια παροχής υπηρεσιών.

Το Υποσύστημα Λογικής ενθυλακώνει τη λογική των υπηρεσιών του συστήματος. Η κύρια εργασία του είναι η συλλογή πληροφοριών από τις άλλες υπομονάδες του εξυπηρετητή IMS. Σαρώνει τις τρεις βάσεις δεδομένων και συνδυάζει τις πληροφορίες των τριών διαφορετικών προφίλ ώστε να δημιουργήσει μια συνολική εικόνα δυνατοτήτων και προτιμήσεων δημιουργώντας μια τριπλέτα {χρήστης - συσκευή - περιεχόμενο}. Επίσης δημιουργεί την τρέχουσα εικόνα του δικτύου με βάση τις μετρήσεις που συλλέγει. Ανάλογα με τα δεδομένα που προκύπτουν από την συγκριτική παράθεση αίτησης εξυπηρέτησης και τριπλέτας {χρήστης - συσκευή - περιεχόμενο}, δημιουργεί λίστες με περιεχόμενα και αντίστοιχα εργαλεία υποστήριξης (codec), τις οποίες αποστέλλει στον εξυπηρετητή SS μαζί με την τρέχουσα εικόνα του δικτύου για τη λήψη απόφασης. Ταυτόχρονα διαχειρίζεται τις ήδη υπάρχουσες ροές με όσο το δυνατόν βέλτιστο τρόπο. Αποτελεί λοιπόν την καρδιά του συστήματος του ετερογενούς δικτύου. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να είναι υπεύθυνο και για λειτουργίες

χρέωσης και στατιστικών χρήσης (αφού μπορεί να διαθέτει την υψηλή εποπτεία όλων των γεγονότων).

Η επικοινωνία του Υποσυστήματος Λογικής με τα υπόλοιπα μέρη του εξυπηρετητή IMS και την τερματική συσκευή πρέπει να προκαλεί όσο το δυνατόν μικρότερη επιβάρυνση και να προσφέρει όσο το δυνατόν περισσότερες δυνατότητες. Υπάρχουν δύο τύποι επικοινωνίας που πρέπει να εκτελεστούν: επικοινωνίες ελέγχου και επικοινωνίες μεταφοράς πολυμέσων για την παροχή περιεχομένου στους χρήστες.

Το πρώτο είδος αλληλεπίδρασης μπορεί να υποστηριχθεί από συγκεκριμένο μεσισμικό (middleware) που θα υποστηρίζει συνολικά την υποδομή της επικοινωνίας και θα προσφέρει εξειδικευμένες δυνατότητες. Πιθανές λύσεις αποτελούν το RMI (Remote Method Invocation), CORBA (Common Object Request Broker Architecture) και Web Services. Από τα παραπάνω το RMI είναι τεχνολογίας Java και δεν απαιτεί πολλούς πόρους. Το CORBA είναι περισσότερο γενικό, αλλά προσφέρει περισσότερες δυνατότητες. Τα Web Services στηρίζονται στην τεχνολογία XML (Extensive Markup Language) και SOAP (Simple Object Access Protocol). Επικρατέστερη λύση φαίνεται αυτή του CORBA σε μια λιγότερο απαιτητική έκδοση από πλευράς πόρων συστήματος.

Το δεύτερο είδος αλληλεπίδρασης μπορεί εύκολα να υλοποιηθεί πάνω από επίπεδο IP (όσον αφορά στο στρώμα δικτύου). Σε κατώτερα επίπεδα, μπορεί να υπάρχει ενσύρματη ή ασύρματη (σταθερή ή ad hoc) σύνδεση και η περιγραφή του περιεχομένου να γίνεται με τεχνολογία XML, όπως στην παραπάνω περίπτωση των Web Services.

1.3.1.3 Εξυπηρετητής Προσομοιώσεων

Ο Εξυπηρετητής Προσομοιώσεων (Simulation Server - SS) [2] αποτελεί το δεύτερο κομβικό κομμάτι της αρχιτεκτονικής του ετερογενούς δικτύου. Υλοποιεί την λογική των μηχανισμών προσαρμογής περιεχομένου και αλγόριθμων ποιότητας υπηρεσίας. Πρόκειται για την εφαρμογή της μελέτης των μηχανισμών προσαρμογής και των αλγόριθμων υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας που μελετήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής. Για το λόγο αυτό, η περιγραφή της δομής του, της λογικής που ενθυλακώνει και των αλληλεπιδράσεών του περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 1.4.

Συνοπτικά, η λειτουργία του περιλαμβάνει τη λήψη των λιστών {περιεχομένου – codec}, {τρέχουσα κατάσταση δικτύου} και την χρησιμοποίησή τους ως είσοδο στον προσαρμοστικό αλγόριθμο για τη λήψη απόφασης σχετικά με την αποδοχή ή όχι μιας αίτησης εξυπηρέτησης πελάτη, καθώς και για το είδος των πρακτόρων που πρέπει να του αποσταλεί.

1.3.1.4 Δίκτυο Υποδομής

Το δίκτυο υποδομής (δίκτυο πυρήνα IP), διαδραματίζει το ρόλο που έχει σε όλα τα τυπικά εμπορικά δίκτυα. Παρέχει την αναγκαία διασύνδεση του δικτύου πρόσβασης με το σύστημα του ετερογενούς δικτύου. Όπως και σε άλλα δίκτυα αποτελείται από δρομολογητές (routers), πύλες (gateways) και επαναλήπτες (repeaters), με σκοπό την αποφυγή συμφόρησης κατά τη μεταφορά του όγκου των δεδομένων από το κέντρο αποθήκευσης προς τους χρήστες. Παράλληλα πρέπει να προσφέρει και τους αναγκαίους μηχανισμούς ποιότητας υπηρεσίας. Το πρόβλημα που αντιμετωπίζει σε σχέση με το κάθε δίκτυο πρόσβασης είναι ότι καλείται να μεταφέρει όλη την κίνηση των χρηστών σε αντίθεση με το κάθε δίκτυο πρόσβασης, όπου ο αριθμός των συνολικών χρηστών διαμοιράζεται μεταξύ τους. Το δίκτυο πυρήνα σε κάθε περίπτωση πρέπει να μεταφέρει γρήγορα και αποδοτικά όλη τη μεταφερόμενη κίνηση.

Το δίκτυο πυρήνα IP διαθέτει δρομολογητές, οι οποίοι είναι μεταξύ τους διασυνδεδεμένοι με συνδέσεις Ethernet των 100Mbit. Οι δρομολογητές διαθέτουν δυνατότητες ποιότητας υπηρεσίας, υλοποιώντας το μοντέλο δέσμευσης πόρων (Resource Reservation Protocol - RSVP). Το πρωτόκολλο RSVP [7] διαθέτει αρκετά χαρακτηριστικά που το καθιστούν κατάλληλο για την αρχιτεκτονική του ετερογενούς δικτύου. Υποστηρίζει ετερογενείς δεσμεύσεις σε μια σύνοδο πολλαπλών μερών προς πολλαπλά μέρη. Έτσι διαφορετικοί δέκτες της ίδιας συνόδου (περιεχομένου) μπορούν να ζητήσουν διαφορετική υπηρεσία, κάτι απόλυτα επιθυμητό για τους νομαδικούς χρήστες του ετερογενούς δικτύου. Το πρωτόκολλο RSVP υποστηρίζει δυναμική μεταβολή της ποιότητας υπηρεσίας μιας ροής πακέτων. Αυτό συνάδει απόλυτα με την επιδίωξη του ετερογενούς δικτύου για δυναμική αλλαγή του τερματικού του χρήστη και την προσαρμογή του περιεχομένου (και επομένως της ποιότητας υπηρεσίας) στις τρέχουσες καταστάσεις δικτύου ανάλογα με την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Ένα χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου RSVP, μοναδικό μεταξύ των πρωτοκόλλων ποιότητας υπηρεσίας, είναι ότι η δέσμευση πόρων γίνεται από το δέκτη και όχι από τον πομπό της πληροφορίας. Κάτι τέτοιο είναι απόλυτα επιθυμητό για το σύστημα του ετερογενούς δικτύου και τον εξυπηρετητή IMS ειδικότερα, γιατί με την υιοθέτηση του πρωτοκόλλου RSVP απαλλάσσεται ο εξυπηρετητής IMS από την επιπρόσθετη λειτουργία της δέσμευσης πόρων για τις ροές που αποστέλλει.

Το πρωτόκολλο RSVP τοποθετείται αμέσως πάνω από το στρώμα IP στη στοιβή πρωτοκόλλων TCP/IP καταλαμβάνοντας τη θέση πρωτοκόλλου μεταφοράς. Ωστόσο, παρέχει υπηρεσίες επιπέδου συνόδου με την προϋπόθεση ότι δε μεταφέρει δεδομένα εφαρμογής. Για τη δέσμευση πόρων, ο δέκτης πρέπει να γνωρίζει τα χαρακτηριστικά της κίνησης που πρόκειται να αρχίσει να λαμβάνει. Για αυτό πριν ο δέκτης αρχίσει να

δεσμεύει πόρους, ο πομπός στέλνει ένα ειδικό μήνυμα, το μήνυμα PATH, με σκοπό να ενημερώσει το δέκτη και τους ενδιάμεσους δρομολογητές για τα χαρακτηριστικά της κίνησης που πρόκειται να εκπέμψει. Ο κάθε ενδιάμεσος δρομολογητής ελέγχει την εγκυρότητα του μηνύματος PATH και το αποθηκεύει πριν το προωθήσει στον επόμενο δρομολογητή. Ο λόγος για την ενδιάμεση αποθήκευση του μηνύματος PATH είναι ότι για κάθε ένα μήνυμα PATH που αποθηκεύει ένας ενδιάμεσος δρομολογητής, δέχεται μία ή περισσότερες αιτήσεις για δέσμευση πόρων μέσω μηνυμάτων RESV που λαμβάνει από την πλευρά των δεκτών. Έτσι αν για κάποιο λόγο ο πομπός σταματήσει να στέλνει δεδομένα ο κάθε ενδιάμεσος δρομολογητής μπορεί να αναλάβει κατάλληλη δράση και να καταργήσει όλες τις δεσμεύσεις πόρων που αφορούν στη συγκεκριμένη ροή πακέτων. Όταν το μήνυμα PATH περάσει από όλους τους ενδιάμεσους δρομολογητές και φθάσει στον δέκτη, αυτός στέλνει στο δίκτυο RSVP το κατάλληλο μήνυμα RESV. Κατά την άφιξη των μηνυμάτων RESV στους ενδιάμεσους δρομολογητές γίνονται δύο έλεγχοι. Ένας για να διαπιστωθεί αν ο χρήστης έχει τα δικαιώματα που ζητά και ο δεύτερος αν μπορούν να του εκχωρηθούν οι πόροι που αιτείται. Σε οποιαδήποτε περίπτωση προκύψει σφάλμα στέλνεται ένα μήνυμα λάθους RESV_ERR στον δέκτη που ζήτησε την αντίστοιχη δέσμευση.

Η διασύνδεση που προσφέρει το δίκτυο πυρήνα για τα υπόλοιπα μέρη της αρχιτεκτονικής του ετερογενούς δικτύου είναι πολύ μεγάλης σημασίας, μιας και καθορίζει την ταχύτητα μεταφοράς του περιεχομένου και την επιβολή οποιασδήποτε πολιτικής τηλεπικοινωνιακής κίνησης.

Όσον αφορά στα δίκτυα πρόσβασης, το σημείο πρόσβασης AP του δικτύου WLAN συνδέεται με το δίκτυο πυρήνα μέσω σύνδεσης των 100Mbit. Το δίκτυο UMTS συνδέεται στο δίκτυο πυρήνα μέσω δρομολογητών ATM με συνδέσεις ATM συνολικού εύρους ζώνης 155Mbit. Η σύνδεση ATM συνδέεται στη μονάδα GGSN τόσο του δικτύου UMTS, όσο και του δικτύου GPRS. Ακολούθως κάθε μονάδα GGSN συνδέεται με την αντίστοιχη μονάδα SGSN, προκειμένου να συνδέσει το ασύρματο δίκτυο πρόσβασης κάθε δικτύου με το εξωτερικό δίκτυο πυρήνα IP.

1.3.1.5 Περιβάλλον Παραγωγής Περιεχομένου

Το Περιβάλλον Παραγωγής Περιεχομένου (Content Production Environment - CPE) [3] είναι η μονάδα του συστήματος της αρχιτεκτονικής του ετερογενούς δικτύου που είναι υπεύθυνη για την παραγωγή των πολυμέσων που πρόκειται να διανεμηθούν στους πελάτες του συστήματος. Η λειτουργία της θα πρέπει να γίνεται κατά κύριο λόγο σε πραγματικό χρόνο, μιας και τα περισσότερα γεγονότα που συνήθως ελκύουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον από απόψεως παρακολούθησης, παρακολουθούνται την ώρα

που διαδραματίζονται (ποδοσφαιρικός αγώνας και επικαιρότητα). Βέβαια, θα υπάρχει και περιεχόμενο το οποίο βρίσκεται σε αποθηκευμένη μορφή, οπότε η μονάδα CPE θα πρέπει να το συλλέξει και να το εμπλουτίσει.

Εκτός της πρόκλησης για την αντιμετώπιση των διαρκώς αυξανόμενων απαιτήσεων από τη μεριά του πελάτη, η μονάδα CPE θα πρέπει να αντιμετωπίσει και την πρόκληση της διαρκούς αλλαγής των τύπων πολυμέσων που διατίθενται και προτιμώνται στην αγορά. Ταυτόχρονα, ο παραγωγός έχοντας στη διάθεσή του μόνο ένα περιεχόμενο (την κάλυψη ενός γεγονότος) θέλει να μεγιστοποιήσει τα οφέλη της επένδυσής του. Για να το πετύχει αυτό θα πρέπει το περιεχόμενο να εμπλουτισθεί, να γίνει πιο αλληλεπιδραστικό και ταυτόχρονα να διανεμηθεί σε όσο το δυνατό περισσότερα τερματικά. Επομένως η μονάδα CPE πρέπει:

- Να συλλέγει περιεχόμενο σε πραγματικό χρόνο από διαφορετικές εν γένη πηγές.
- Να εμπλουτίζει το περιεχόμενο με γραφικά, συνθετικά στοιχεία και μετα-πληροφορία (metadata).
- Να παράγει διαφορετικές εκδόσεις του περιεχομένου για διαφορετικές κατηγορίες πελατών και σε διαφορετικές σε διαφορετικές οπτικές αναλύσεις, προκειμένου να υποστηρίζονται διαφορετικές συσκευές παρακολούθησης.
- Να διαχειρίζεται την ποικιλία των παραγόμενων εκδόσεων περιεχομένου και προτιμήσεων των πελατών.
- Να συγκεντρώνει τα δεδομένα για μετάδοση στον τελικό χρήστη.

Όλα τα παραπάνω θα πρέπει να γίνονται σε πραγματικό χρόνο και με υψηλό βαθμό αξιοπιστίας.

Στο Σχήμα 1 - 5 φαίνεται η λειτουργική αρχιτεκτονική της μονάδας CPE σε σχέση με το υπόλοιπο περιβάλλον της αρχιτεκτονικής του ετερογενούς δικτύου. Η μονάδα CPE λαμβάνει διάφορες εισόδους περιεχομένου, τις επεξεργάζεται σε μια διαδικασία δύο βημάτων, κωδικοποιεί το περιεχόμενο των πολυμέσων και το αποθηκεύει σε μία μνήμη για να το ανακτήσει ο εξυπηρετητής IMS και να το διανέμει στους πελάτες. Ειδική μέριμνα θα πρέπει να ληφθεί για τις περιπτώσεις παραδοσιακής εκπομπής περιεχομένου. Αυτή η εκπομπή θα πρέπει να μείνει ανεξάρτητη από τα εργαλεία επέκτασης των συνηθισμένων μορφών περιεχομένου, προκειμένου οι κλασικοί πάροχοι εκπομπών να μην θέσουν σε κίνδυνο τα οφέλη από την κλασική διανομή υλικού.

Η συλλογή ζωντανού υλικού (Live Data Input) για τη δημιουργία περιεχομένου γίνεται από κλασικές συσκευές σύλληψης ήχου και εικόνας. Τα μικρόφωνα και οι κάμερες είναι προτιμότερο να είναι ψηφιακής τεχνολογίας, ώστε να μην μεσολαβεί η

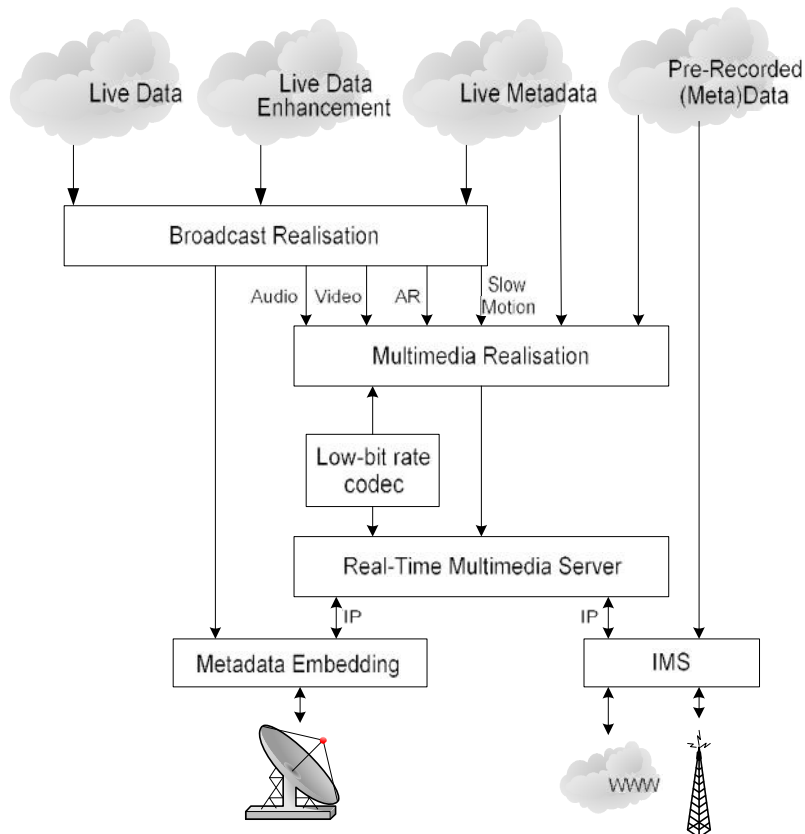
μετατροπή από αναλογικό σε ψηφιακό (Analog-to-Digital - A/D) του συλληφθέντος σήματος. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται γρηγορότερη η διαδικασία συλλογής, κάτι ιδιαίτερα επιθυμητό για την ικανοποίηση της λειτουργίας σε πραγματικό χρόνο. Οι συσκευές συλλογής εικόνας και ήχου βρίσκονται στο χώρο του γεγονότος, και επομένως η μεταφορά των δεδομένων μέχρι την φυσική τοποθεσία του CPE θα γίνεται με τους κλασικούς τρόπους ασύρματης μετάδοσης. Ο αριθμός των συσκευών που διατίθενται στο χώρο του γεγονότος είναι καθοριστικός για την ποιότητα της ανάλυσης των πολυμέσων και της μετάδοσης. Επίσης, καθορίζει το βαθμό στον οποίο μπορούν να επεξεργαστούν τα δεδομένα, ώστε να δημιουργηθεί περιεχόμενο επέκτασης (αργές φάσεις για αγώνες, διαφορετικές λήψεις για γεγονότα επικαιρότητας).

Η εξέλιξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών επέτρεψε την υιοθέτηση της επεξεργασίας γραφικών σε πραγματικό χρόνο, όπως για παράδειγμα ένα βέλος που δείχνει την κίνηση ενός αθλητή σε ένα ποδοσφαιρικό αγώνα, ή ένα βέλος που επισημαίνει ένα σημαντικό στοιχείο ενός γεγονότος επικαιρότητας. Τέτοιου είδους γραφικά είναι ιδιαίτερα επιθυμητά από τους πελάτες. Η είσοδος ζωντανού υλικού με τέτοια γραφικά (Live Data Enhancement) μπορεί να γίνει και αυτή σε πραγματικό χρόνο και θα θεωρείται απαραίτητη σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Τα μετα-δεδομένα (Live Metadata) αποτελούν μια σημαντική πηγή περιεχομένου για τη μονάδα CPE. Πρόκειται για πληροφορία που περιγράφει το πραγματικό περιεχόμενο των πολυμέσων. Τα μετα-δεδομένα δημιουργούν μια βάση για μηχανισμούς ευρετηριοποίησης του περιεχομένου και βοηθούν στη διαχειριστική λειτουργία των πολυμέσων με μεταγενέστερο στάδιο. Ένα παράδειγμα μετα-δεδομένων συναντά κανείς σε σύγχρονα μεγάλα αθλητικά γεγονότα, όπως οι Ολυμπιακοί Αγώνες. Σε τέτοια γεγονότα, τα δεδομένα που δημιουργούνται καταλαμβάνουν αρκετό όγκο. Για να γίνει εύκολα η πιστοποίηση του τηλεοπτικού χρόνου που έχουν συμφωνήσει οι χορηγοί των αγώνων χρειάζεται να δοθούν πειστήρια (σε μορφή video), των στιγμιότυπων στα οποία εμφανίστηκαν τα λογότυπά τους εντός των αγωνιστικών χώρων. Η λύση για το πρόβλημα είναι τα μετα-δεδομένα. Παράλληλα με τη σύλληψη, επεξεργασία, διανομή και αποθήκευση του περιεχομένου, δημιουργούνται μετα-δεδομένα, τα οποία περιγράφουν για τον κάθε χορηγό τις εμφανίσεις στιγμιότυπων, τα αθλήματα που έγιναν και όλες τις αναγκαίες πληροφορίες με αποδοτικό τρόπο. Τα μετα-δεδομένα σε κάθε περίπτωση μπορούν να εισάγονται αυτόματα ή με χειροκίνητο τρόπο.

Το περιεχόμενο που ανακτάται σε πραγματικό χρόνο από το χώρο που διαδραματίζεται μπορεί να εμπλουτισθεί και με υλικό που έχει υποστεί επεξεργασία σε πρωθύστερο χρόνο. Το καταγεγραμμένο υλικό και τα καταγεγραμμένα μετα-δεδομένα

(Pre-Recorded Data/Metadata), εκτός του εμπλουτισμού των ζωντανών δεδομένων αποτελούν από μόνα τους περιεχόμενο για διανομή. Έτσι μπορούν είτε να περάσουν πρώτα από τη μονάδα CPE για εμπλουτισμό ζωντανού περιεχομένου, είτε να οδηγηθούν κατευθείαν στον εξυπηρετητή IMS για παράδοση στον τελικό πελάτη.



Σχήμα 1 - 5: Περιβάλλον Παραγωγής Πολυμέσων

Το σημαντικότερο κομμάτι της μονάδας CPE είναι το τμήμα επεξεργασίας του περιεχομένου που συλλέγεται από τους αντίστοιχους μηχανισμούς. Αποτελείται από δύο επιμέρους βαθμίδες: την Πραγμάτωση Εκπομπής (Broadcast Realization) και την Πραγμάτωση Πολυμέσων (Multimedia Realization). Η πρώτη μονάδα είναι υπεύθυνη για την παραγωγή ελκυστικής πραγμάτωσης περιεχομένου για εκπομπή από τρεις εισόδους, το ζωντανό υλικό, το εμπλουτισμένο υλικό και τα ζωντανά μετα-δεδομένα. Η ροή των δεδομένων εξόδου πρέπει να είναι συνεχής, οπότε σε περιόδους αδράνειας ή διαλειμμάτων χρησιμοποιείται προ-αποθηκευμένο υλικό. Ο τύπος της διανομής είναι ένα- προς- πολλαπλούς προορισμούς. Πρέπει να τονισθεί ότι η έξοδος της Πραγμάτωσης Εκπομπής είναι ενός τύπου πολυμέσων, για παράδειγμα μόνο SD video ή μόνο HD video ή μόνο κωδικοποιημένο σε MPEG-2 (κατάλληλο για ψηφιακή τηλεόραση) περιεχόμενο.

Η μονάδα Πραγμάτωση Πολυμέσων είναι υπεύθυνη για την πραγματοποίηση πολυμέσων πραγματικού χρόνου στην πλατφόρμα του χρήστη. Το υπόβαθρο που υλοποιεί για την παρακολούθηση του περιεχομένου είναι προσανατολισμένο με τα πρότυπα του παγκόσμιου ιστού. Τα γεγονότα αναφέρονται στο χρήστη με τη μορφή έντονων τίτλων σε αντίθεση με την πρακτική που ακολουθείται στην περίπτωση της εκπομπής του περιεχομένου. Επιπρόσθετα, υποστηρίζει χρήσιμα εργαλεία για το χρήστη και κυρίως τα αναγκαία για τη ρύθμιση των προτιμήσεών του.

Η έξοδος που παράγει η μονάδα Πραγμάτωση Πολυμέσων δεν είναι έτοιμη για παράδοση στον τελικό χρήστη. Είναι αναγκαίο να δημιουργηθούν οι πράκτορες υλικού και λογισμικού που το αποκωδικοποιούν. Η διαδικασία για την παραγωγή τους σχετίζεται με την πλατφόρμα στην οποία υλοποιούνται. Όλες οι υπόλοιπες διαδικασίες (διαχείριση, εγκατάσταση) περιγράφηκαν στο κομμάτι ανάλυσης της συσκευής του ετερογενούς δικτύου.

1.3.2 Πρωτόκολλα και Διεπαφές

Ξεκινώντας από τη μεριά του πελάτη και πηγαίνοντας προς τον εξυπηρετητή IMS, το πρώτο πράγμα που συναντά κανείς είναι το δίκτυο πρόσβασης. Λόγω των τριών επιμέρους υποκείμενα δίκτυα που το απαρτίζουν, η στοίβα πρωτοκόλλων για την επικοινωνία του τερματικού με τον εξυπηρετητή IMS δεν παραμένει ίδια. Για το λόγο αυτό εξετάζεται κάθε μία περίπτωση ξεχωριστά.

Σε κάθε περίπτωση η στοίβα πρωτοκόλλων του εξυπηρετητή IMS παραμένει ίδια και φαίνεται στον Πίνακα 1 - 2. Η αναφορά των στρωμάτων γίνεται με βάση το πρότυπο του OSI/ISO.

Επίπεδο OSI	Πρωτόκολλο	
Εφαρμογής	Java, OSGI, XML	Περιεχόμενο
Συνόδου	HTTP	
Μεταφοράς	TCP	
Δικτύου	IP	
Ελέγχου Ζεύξης	10/100 baseT	
Φυσικό	10/100 baseT	

Πίνακας 1 - 2: Στοίβα Πρωτοκόλλων του Εξυπηρετητή IMS

Στην περίπτωση που το δίκτυο πρόσβασης είναι ένα δίκτυο GPRS, πρόκειται για δίκτυο 2/2.5G με υπηρεσία εφαρμογής το πρότυπο WAP. Σε αυτή την περίπτωση η

στοίβα πρωτοκόλλων του χρήστη είναι μια τυπική στοίβα πρωτοκόλλων WAP 1.x, η οποία φαίνεται στον Πίνακα 1 - 3.

Το αναγκαίο κομμάτι που πρέπει να προστεθεί είναι μια πύλη (gateway) WAP, για τη μετατροπή του WAP σε HTTP. Μέχρι το στρώμα δικτύου η πύλη WAP είναι ίδια με τον εξυπηρετητή IMS. Από το στρώμα δικτύου και πάνω έχει το ένα μέρος, προς τη μεριά του IMS ίδιο με αυτόν και από το άλλο στρώμα περιλαμβάνει τα στρώματα 4 και 5 της στοίβας WAP 1.x. Αυτή η πύλη βρίσκεται μεταξύ του εξυπηρετητή IMS και της μονάδας GGSN.

Επίπεδο OSI	Πρωτόκολλο	
Εφαρμογής	WAE	WAE Περιεχόμενο
Συνόδου	WSP	
	WTP	
Μεταφοράς	WTLS	
	WDP	
Δικτύου	IP	
Ελέγχου Ζεύξης	SNDP	
	LLC	
	RLC	
	MAC	
Φυσικό	RF GSM	

Πίνακας 1 - 3: Στοίβα Πρωτοκόλλων Χρήστη Δικτύου GPRS

Στην περίπτωση δικτύου πρόσβασης 3ης γενιάς (UMTS), το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή του χρήστη είναι WAP 2.x. Οι στοίβες των τερματικών των χρηστών τέτοιων δικτύων προσφέρουν τα πρωτόκολλα TCP (WP-TCP) και UDP (WP-UDP) όπως φαίνεται στον Πίνακα 1 - 4, οπότε μπορούν να συνδεθούν απευθείας με τον εξυπηρετητή IMS μέσω των πρωτοκόλλων HTTP ή RTP [21]. Προαιρετικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας εξυπηρετητής WAP proxy μεταξύ της μονάδας GGSN και του εξυπηρετητή IMS, για αύξηση της ταχύτητας σύνδεσης.

Εάν το δίκτυο πρόσβασης είναι ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN), θεωρώντας ότι χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο IEEE 802.11b (συμβατό με τα άλλα 802.11x), η στοίβα πελάτη είναι ίδια με την περίπτωση σύνδεσης από τυπικό Ethernet LAN. Αυτό συμβαίνει γιατί τα πρωτόκολλα της IEEE 802.11x, είναι συμβατά με όλα τα ανώτερα στρώματα πρωτοκόλλων που βασίζονται σε υπόστρωμα MAC. Η παράδοση περιεχομένου σε τέτοιο τερματικό γίνεται με τα πρωτόκολλα RTP/UDP και η επιλογή περιεχομένου με την

διαχείριση και παράδοση των πρακτόρων μέσω πρωτοκόλλων HTTP/TCP. Η στοίβα πρωτοκόλλων του πελάτη φαίνεται στον Πίνακα 1 - 5.

Επίπεδο OSI	Πρωτόκολλο	
Εφαρμογής	Java, OSGI, XML	Περιεχόμενο
Συνόδου	WP-HTTP	RTP
Μεταφοράς	WP-TCP	UDP
Δικτύου	IP	
Ελέγχου Ζεύξης	PDCP	
	RLC	
	MAC	
Φυσικό	L1	

Πίνακας 1 - 4: Στοίβα Πρωτοκόλλων Χρήστη Δικτύου UMTS

Επίπεδο OSI	Πρωτόκολλο	
Εφαρμογής	Java, OSGI, XML	Περιεχόμενο
Συνόδου	HTTP	RTP
Μεταφοράς	TCP	UDP
Δικτύου	IP	
Ελέγχου Ζεύξης	802.11b	
Φυσικό	802.11b	

Πίνακας 1 - 5: Στοίβα Πρωτοκόλλων Χρήστη Δικτύου WLAN

Η σύνδεση του τερματικού με τον εξυπηρετητή IMS γίνεται μέσω ενός modem ADSL και γραμμής ATM. Όλα τα ενδιάμεσα στοιχεία μεταξύ τερματικού-IMS, έχουν στοίβες μέχρι το επίπεδο IP, στο οποίο χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο IP. Στα κατώτερα στρώματα έχουμε μετατροπή του πρωτοκόλλου 802.11b σε 10/100baseT σε ATM/G.221, ATM ATM/MPLS σε δρομολογητές του δικτύου πυρήνα που υλοποιούν την ποιότητα υπηρεσίας και 10/100baseT διαδοχικά μέχρι τον εξυπηρετητή IMS.

1.3.3 Σενάρια και Υπηρεσίες

Τα σενάρια λειτουργίας που θα ληφθούν υπόψη από το δίκτυο για την παροχή υπηρεσιών διαφοροποιούνται ανάλογα με τον τύπο της τερματικής συσκευής χρήση. Αυτό είναι λογικό αν ληφθεί υπόψη ότι οι δυνατότητες των συσκευών καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το είδος των υπηρεσιών που μπορεί να προσφερθεί στο χρήστη.

Το σενάριο πιο απλοποιημένων υπηρεσιών περιλαμβάνει την πρόσβαση του χρήστη στο ετερογενές δίκτυο, μέσω δικτύου GPRS και εφαρμογής μηνυμάτων πολυμέσων (Multimedia Messages - MMS). Οι περιορισμένες δυνατότητες αυτής της πλατφόρμας δεν επιτρέπουν την πλήρη αναδιπλωση των υπηρεσιών του ετερογενούς δικτύου. Έτσι ο χρήστης, μέσω του παροχέα του δικτύου GPRS, συνδέεται με το Διαχειριστή Επεξεργασίας Αιτήσεων του εξυπηρετητή IMS και αναζητεί το περιεχόμενο, αφού πρώτα πιστοποιηθεί η εγκυρότητα των στοιχείων του. Μετά την επιλογή του περιεχομένου, τίθεται από τον εξυπηρετητή IMS το ερώτημα αποδοχής της κλήσης στον εξυπηρετητή SS. Σε περίπτωση καταφατικής απάντησης ο Διαχειριστής Παροχής Περιεχομένου αρχίζει τη διοχέτευση πακέτων της ροής πολυμέσων προς το χρήστη, μέσω του εξυπηρετητή MMS/SMS του δικτύου GPRS. Σε αυτό το στοιχείο δικτύου πρέπει να γίνει και η μετατροπή των πακέτων της ροής πολυμέσων σε περιεχόμενο MMS. Βέβαια, η λίστα των διαθέσιμων περιεχομένων είναι κατά πολύ μειωμένη, γιατί οι περισσότεροι τύποι πολυμέσων δεν μπορούν να αποσταλούν μέσω μηνυμάτων.

Στην περίπτωση του δικτύου πρόσβασης UMTS, ο χρήστης διαθέτει μια ισχυρότερη πλατφόρμα και επομένως έχει πρόσβαση σε περισσότερους τύπους πολυμέσων (πρακτικά σε όλους). Η διαδικασία είναι παρόμοια με το δίκτυο GPRS, μόνο που στο τέλος η ροή των πακέτων δεν μετατρέπεται σε μηνύματα. Εδώ όμως, ακριβώς πριν την προβολή του περιεχομένου απαιτείται η εγκατάσταση των πρακτόρων και η αναπροσαρμογή του υλικού του τερματικού σε περίπτωση που δεν είναι ήδη εγκατεστημένο το κατάλληλο codec. Η περιήγηση στο περιβάλλον αναζήτησης περιεχομένου γίνεται μέσω του συνδυασμού πρωτοκόλλων HTTP/TCP. Η παράδοση του περιεχομένου ακολουθεί την τυπική πλέον τακτική του συνδυασμού πρωτοκόλλων RTP/UDP.

Στην περίπτωση δικτύου WLAN, το σενάριο είναι παρόμοιο με την περίπτωση του δικτύου UMTS. Ο χρήστης συνδέεται μέσω της συσκευής του με το Διαδίκτυο. Η περιήγησή του, βασισμένη στο πρωτόκολλο HTTP, γίνεται μέσω της γρήγορης σύνδεσης που παρέχει η σύνδεση ADSL του δικτύου WLAN με το δίκτυο πυρήνα IP. Μετά την πιστοποίηση, περιήγηση και επιλογή περιεχομένου, λαμβάνεται από τον εξυπηρετητή SS η απόφαση για την αποδοχή ή όχι της αίτησης εξυπηρέτησης. Εάν η απάντηση είναι καταφατική, ο εξυπηρετητή IMS αποστέλλει τη ροή από την αποθήκη της μονάδας CPE στον τελικό χρήστη μέσω της γρήγορης σύνδεσης.

Από τα παραπάνω σενάρια γίνεται εμφανές ότι η αρχιτεκτονική του ετερογενούς δικτύου θα πρέπει να παρέχει έναν αριθμό σταθερών υπηρεσιών, προσαρμοσμένων όμως ανάλογα με τη συσκευή του πελάτη και το δίκτυο πρόσβασης που χρησιμοποιεί. Συνοπτικά οι υπηρεσίες αυτές είναι:

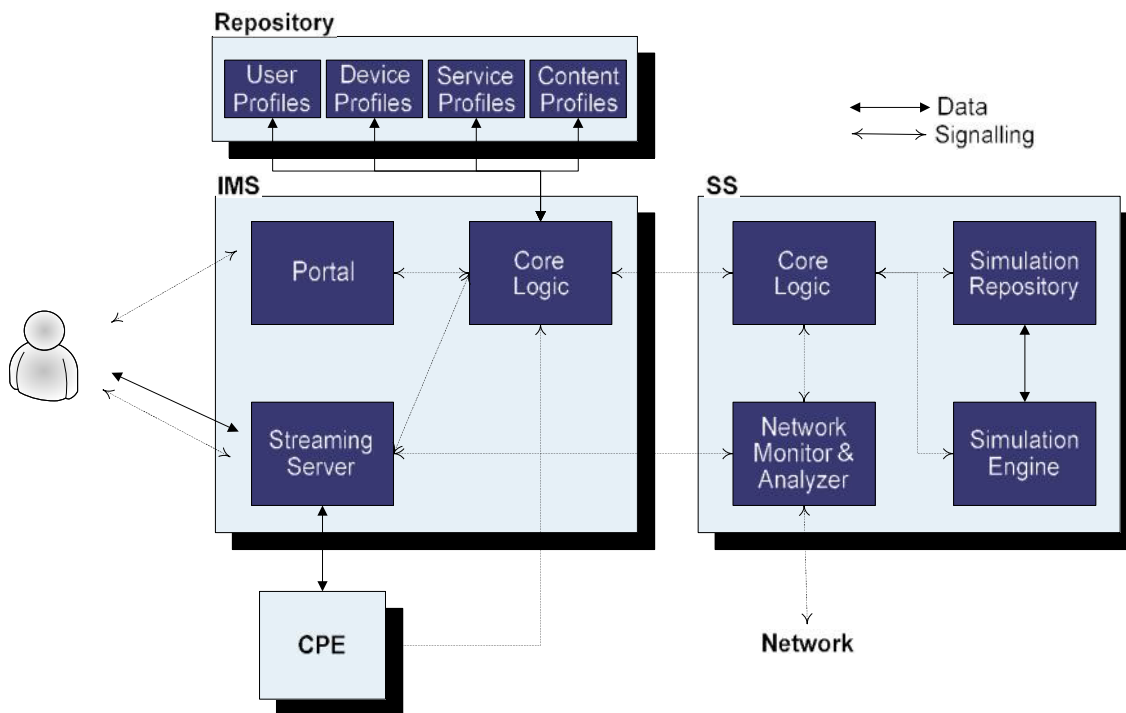
- Σύνδεση τερματικού με (αρμόδιο) εξυηρητητή πιστοποίησης στοιχείων χρήστη.
- Πιστοποίηση στοιχείων (όνομα χρήστη, κωδικός).
- Εξακρίβωση του προφίλ της τρέχουσας συσκευής χρήστη.
- Περιήγηση χρήστη στον κατάλογο περιεχομένου.
- Αίτηση παροχής υπηρεσίας.
- Εξακρίβωση εγκατεστημένων πρακτόρων στη συσκευή.
- Αποστολή αναγκαίων πρακτόρων.
- Τελική παράδοση περιεχομένου.

1.4 Εξυηρητητής Προσομοιώσεων

Ο Εξυηρητητής Προσομοιώσεων (Simulation Server - SS) αποτελεί ένα κεντρικό κομμάτι της αρχιτεκτονικής του ετερογενούς δικτύου. Η λειτουργία του καθορίζει την αποδοχή των αιτήσεων χρηστών για παροχή υπηρεσιών καθώς και την ποιότητα της υπηρεσίας που παρέχεται. Η θέση του στη γενικότερη τοπολογία του ετερογενούς δικτύου, φαίνεται στο Σχήμα 1 - 6, από το οποίο γίνεται φανερή η σημαντικότητα της μονάδας του SS.

Ο σκοπός του εξυηρητητή SS είναι διττός. Αρχικά θα αποτελέσει ένα εργαλείο για την ανάλυση, μοντελοποίηση και δοκιμή του συστήματος. Σε δεύτερο στάδιο θα χρησιμοποιηθεί για την στιγμιαία προσαρμογή του συστήματος κατά τη λειτουργία. Πρόκειται επομένως, για τη μονάδα με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, από την τηλεπικοινωνιακή σκοπιά του δικτύου.

Για την επίτευξη των δύο παραπάνω στόχων, ο εξυηρητητής SS θα πρέπει να βασισθεί σε στέρεες θεωρητικές βάσεις και να συνδυάσει αρκετές σύγχρονες τεχνικές. Μέσα από προσομοιώσεις σε κατάσταση μη-λειτουργίας, θα πραγματοποιηθεί η διαστασιολόγηση και δοκιμή του δικτύου. Επίσης θα προσομοιωθούν σενάρια λειτουργίας και θα δημιουργηθεί μια βάση δεδομένων στην οποία θα αποθηκευθεί η a priori γνώση που δημιουργήθηκε. Εν συνεχεία η γνώση αυτή θα χρησιμοποιηθεί για την επιτόπια προσαρμογή του συστήματος σε πλήρη λειτουργία [22]. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα αιχμής (RTP/RTCP) και εμπορικά εργαλεία προσομοίωσης μεγάλης κλίμακας (OPNET). Ταυτόχρονα αναπτύσσονται μέθοδοι και τεχνικές, οι οποίες αφενός δεν έχουν ξαναπαρουσιαστεί, αφετέρου αποσκοπούν στην αποδοχή τους ως αποδοτικές και εύχρηστες.



Σχήμα 1 - 6: Λειτουργική Οργάνωση του Ετερογενούς Δικτύου

1.4.1 Αρχιτεκτονική του Εξυπηρετητή Προσομοιώσεων

Η αρχιτεκτονική του εξυπηρετητή SS περιλαμβάνει μια σειρά από λειτουργικά κομμάτια, καθένα από τα οποία μπορεί να αναπτυχθεί ξεχωριστά. Κάτι τέτοιο επιτρέπει και την ανεξάρτητη βελτιστοποίησή τους σε μεταγενέστερα στάδια λειτουργίας, ώστε η λειτουργία κάθε κομματιού να μπορεί να βελτιωθεί ανάλογα με την εξέλιξη των απαιτήσεων των πελατών και των διαχειριστών των δικτύων.

1.4.1.1 Γενική Περιγραφή Λειτουργίας

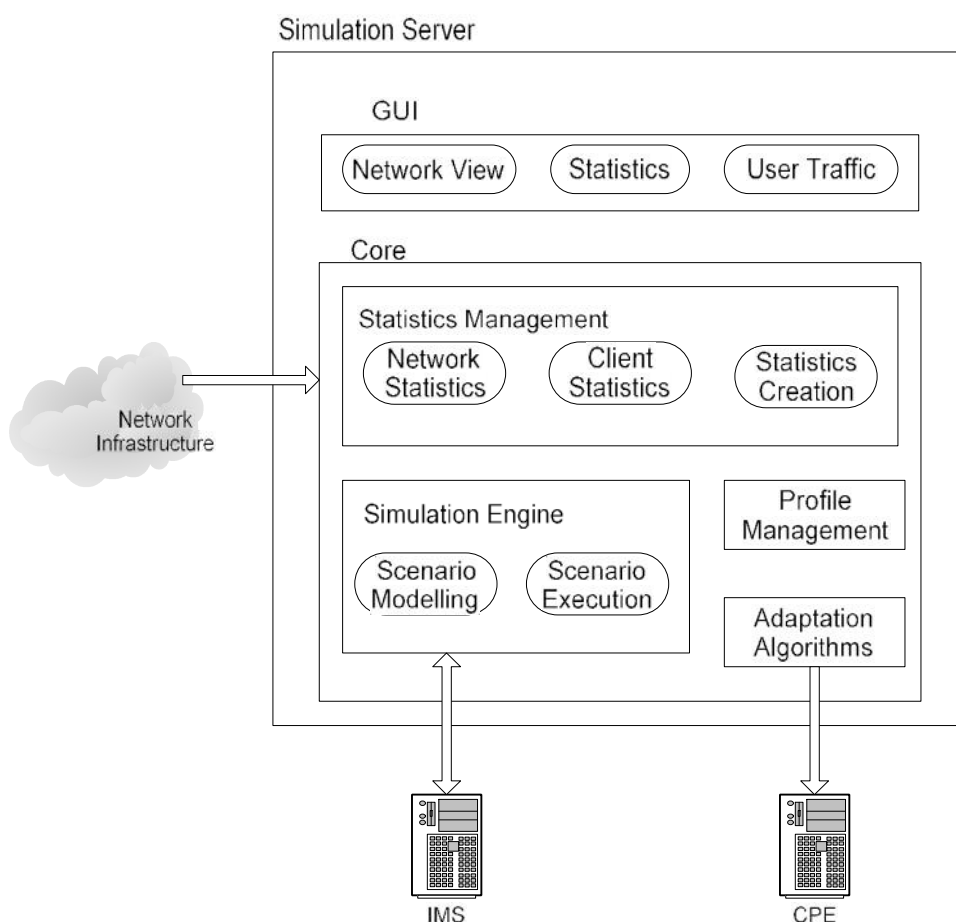
Πριν την κανονική λειτουργία, κατά τη φάση διαστασιολόγησης και δοκιμής του συστήματος ο Εξυπηρετητής Προσομοίωσης δημιουργεί μια βάση πληροφοριών με καταστάσεις δικτύου και διάφορα σενάρια λειτουργίας σε διαφορετικά δίκτυα, προκειμένου να τη συμβουλευτείται σε κανονική λειτουργία για τη λήψη αποφάσεων.

Ο εξυπηρετητής SS, σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας, χρησιμοποιείται επικουρικά από τον εξυπηρετητή IMS. Όταν ο εξυπηρετητής IMS λάβει μια αίτηση από χρήστη, σαρώνει τις λίστες προφίλ συσκευής, χρήστη και περιεχομένου, προκειμένου να εντοπίσει υποψήφια πακέτα περιεχομένου (σωστό περιεχόμενο, κατάλληλο codec, συγκεκριμένη QoS). Τότε ρωτά τον εξυπηρετητή SS ποιο από τα υποψήφια πακέτα είναι το καταλληλότερο με δεδομένες τις συνθήκες δικτύου, εάν μπορεί πράγματι να δοθεί κάποιο πακέτο.

1.4.1.2 Λειτουργικά Τμήματα του Εξυπηρετητή Προσομοιώσεων

Ο εξυπηρετητής SS αποτελείται από ξεχωριστά τμήματα, που συνεργάζονται μεταξύ τους για την εκτέλεση της απαιτούμενης εργασίας. Ορισμένα από αυτά λειτουργούν σε επίπεδο υλικού, ενώ τα περισσότερα σε επίπεδο λογισμικού.

Στο Σχήμα 1 - 7 δίνεται μια αφαιρετική άποψη των λειτουργικών μονάδων του εξυπηρετητή SS, υπό τη μορφή μπλοκ διαγραμμάτων. Επίσης δείχνονται και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των δομικών μονάδων του εξυπηρετητή μεταξύ τους, αλλά και με τα υπόλοιπα στοιχεία της αρχιτεκτονικής του ετερογενούς δικτύου. Στα επόμενα κεφάλαια περιγράφεται κάθε δομική μονάδα και αναλύεται η λειτουργία της.



Σχήμα 1 - 7: Αρχιτεκτονική του Εξυπηρετητή Προσομοιώσεων

1.4.1.2.1 Διαχειριστής Προφίλ

Η μονάδα αυτή είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση των προφίλ που διατηρεί ο εξυπηρετητής IMS. Τα προφίλ είναι τριών κατηγοριών: χρήστη/ συσκευής, υπηρεσίας και περιεχομένου. Με βάση την αρχιτεκτονική που περιγράφηκε παραπάνω, τα προφίλ

χρήστη/ συσκευής, δεν είναι αναγκαία προς το παρόν στον εξυπηρετητή SS για την επιλογή ενός κατάλληλου πακέτου για τον χρήστη.

Η μονάδα θα πρέπει να σαρώσει τις άλλες δύο κατηγορίες προφίλ, φιλτράροντας τα πεδία που περιέχουν πληροφορίες, χρήσιμες για τον προσαρμοστικό αλγόριθμο που επιλέγει το κατάλληλο πακέτο περιεχομένου. Οι πληροφορίες που είναι σημαντικές, από τηλεπικοινωνιακή σκοπιά, είναι το μέγεθος του συγκεκριμένου περιεχομένου, τα codec που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ο τύπος σύνδεσης της συσκευής στο δίκτυο, τα διαθέσιμα codec στη συσκευή και τα προφίλ υπηρεσίας.

Συγκεντρώνοντας όλες αυτές τις πληροφορίες (και ενδεχομένως άλλες που ο πάροχος μπορεί να κάνει διαθέσιμες), η μονάδα διαμορφώνει τη λίστα με τα υποψήφια πακέτα περιεχομένου. Ο προσαρμοστικός αλγόριθμος θα τη χρησιμοποιήσει για να επιλέξει το καταλληλότερο, με βάση τις τρέχουσες συνθήκες δικτύου.

1.4.1.2.2 Διαχειριστής Στατιστικών

Υπάρχουν τρεις διαχειριστές στατιστικών, για την επεξεργασία και αποθήκευση στατιστικών δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικά κομμάτια του περιβάλλοντος του ετερογενούς δικτύου.

Διαχειριστής Στατιστικών Δικτύου:

Η λειτουργία του αφορά την επεξεργασία των δεδομένων που προέρχονται από το δίκτυο. Τα δεδομένα κατάστασης του δικτύου χρησιμοποιούνται για την τελική απόφαση σχετικά με αίτηση χρήστη. Η συλλογή των δεδομένων από το δίκτυο, γίνεται είτε από εξειδικευμένες μετρητικές συσκευές, είτε από δομικά στοιχεία δικτύων που προβλέπουν τη συλλογή δεδομένων ανάδρασης ή έχουν τροποποιηθεί λειτουργικά για αυτό το σκοπό.

Διαχειριστής Στατιστικών Πελάτη:

Μετρικές επίδοσης μπορούν να συλλεχθούν και από τις συσκευές των πελατών. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν στην αντιλαμβανόμενη ποιότητα υπηρεσίας και περιεχομένου (perceived QoS/QoC), περιγράφουν δηλαδή, την πραγματική αντίληψη του πελάτη για την ποιότητα της υπηρεσίας που του προσφέρεται, πέρα από αντικειμενικά μεγέθη δικτύου.

Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να συλλεχθούν εύκολα με εφαρμογή του πρωτοκόλλου RTCP. Επίσης, αποτελούν ιδιαίτερα χρήσιμη πληροφορία για τον IMS και το CPE, προκειμένου να διαμορφώσουν το περιεχόμενο πολυμέσων που προσφέρουν ή να τροποποιήσουν το ήδη υπάρχων, ώστε να ανταποκρίνεται καλύτερα στις απαιτήσεις των πελατών.

Γενική Δημιουργία Στατιστικών:

Ο εξυπηρετητής SS μετά την επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνει από τα διάφορα τμήματα του ετερογενούς δικτύου, πρέπει να δημιουργήσει γενικά στατιστικά στοιχεία που να περιγράφουν την κατάσταση του δικτύου και να συνοψίζουν τις καταστάσεις των συνόδων (τρέχουσες και συνολικές). Οι μονάδες που χρειάζονται τα στοιχεία αυτά (IMS-CPE) θα μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση στα δεδομένα μέσα από καθορισμένες διαπροσωπείες.

Ο εξυπηρετητής SS μπορεί να αποκτήσει στοιχεία για τις τρέχουσες ροές δεδομένων και από τον Εξυπηρετητή Ροών (Streaming Server), ιδιαίτερα σε περιπτώσεις κατά τις οποίες τα στοιχεία από την πλευρά του χρήστη (μέσω RTCP) δεν είναι διαθέσιμα. Επίσης τέτοιου είδους στοιχεία μπορούν να συλλεχθούν και μέσω του μηχανισμού μηνυμάτων SMS/MMS, σε περίπτωση που μια τέτοια πολιτική αποδειχθεί χρήσιμη.

Τέλος, ένα γραφικό περιβάλλον αλληλεπίδρασης (Graphical User Interface - GUI), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανά πάσα στιγμή αξιοποίηση των δεδομένων που δημιουργήθηκαν. Μέσα από το περιβάλλον επίβλεψης ο χρήστης θα μπορεί να έχει άμεση αντίληψη του επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας/ περιεχομένου που έχουν οι πελάτες στις ενεργές συνόδους, ενώ θα μπορεί να αντιλαμβάνεται και την κατάσταση της κίνησης στα επιμέρους υποκείμενα δίκτυα του ετερογενούς δικτύου.

1.4.1.2.3 Μηχανή Προσομοίωσης

Σε αυτό το τμήμα βρίσκονται τα σενάρια μοντελοποίησης και τα σενάρια εκτέλεσης πλήρους λειτουργίας. Η μηχανή τροφοδοτεί το εργαλείο προσομοίωσης OPNET με πληροφορίες για το περιβάλλον του ετερογενούς δικτύου. Επίσης εξάγει αποτελέσματα για τη δημιουργία στατιστικών προσομοίωσης, τα οποία θα χρησιμοποιήσει ο προσαρμοστικός αλγόριθμος για τη λήψη αποφάσεων.

Η μηχανή προσομοίωσης στηρίζεται κυρίως στο λογισμικό OPNET, μιας και οι υπόλοιπες λειτουργίες είναι τετριμμένες. Η αποτελεσματικότητά της εξαρτάται περισσότερο από την αποτελεσματικότητα του πακέτου.

1.4.1.2.4 Προσαρμοστικοί Αλγόριθμοι

Ο ρόλος του προσαρμοστικού αλγόριθμου είναι η ανεύρεση ενός νέου προφίλ επικοινωνίας ανά αίτηση εξυπηρέτησης χρήστη, με βάση τις πληροφορίες που παρέχει ο εξυπηρετητής IMS και τις τρέχουσες συνθήκες δικτύου.

Η προσέγγιση που θα ακολουθηθεί δεν απαιτεί την ύπαρξη συγκεκριμένων μηχανισμών από την πλευρά του δικτύου για τη δέσμευση πόρων και τον έλεγχο

αποδοχής. Λειτουργεί συνολικά και ανεξάρτητα του δικτύου, με αποτέλεσμα να είναι άμεση η χρησιμοποίησή της σε όλα τα υπάρχοντα δίκτυα, χωρίς την παραμικρή τροποποίηση της υπάρχουσας τοπολογίας, παρά μόνο την προσθήκη των εξυπηρετητών της αρχιτεκτονικής που παρουσιάσθηκε.

Η ιδέα στην οποία στηρίχθηκε ο προσαρμοστικός αλγόριθμος είναι η συλλογή δεδομένων ανατροφοδότησης από τη συσκευή του χρήστη και το δίκτυο, προκειμένου να διαγνωσθεί έγκαιρα μια κατάσταση συμφόρησης και να εφαρμοστεί η κατάλληλη τηλεπικοινωνιακή πολιτική. Με άλλα λόγια, θα μπορούσε κανείς να πει, ότι μια συνδυασμένη άποψη της κατάστασης του δικτύου και της αντιλαμβανόμενης ποιότητας υπηρεσίας/ περιεχομένου (perceived QoS/QoC) από τη μεριά του χρήστη, καθοδηγούν την τηλεπικοινωνιακή στρατηγική του συστήματος.

Ο προσαρμοστικός αλγόριθμος αποτελεί την καρδιά του εξυπηρετητή SS. Όλες οι υπόλοιπες λειτουργίες του αποσκοπούν στην ορθή τροφοδότηση δεδομένων του αλγόριθμου, ώστε να αποφασίζει σωστά για κάθε αίτηση εξυπηρέτησης. Για το λόγο αυτό αναλύεται διεξοδικά στο επόμενο κεφάλαιο, μιας και αποτελεί το κεντρικό κομμάτι υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας στον εξυπηρετητή SS.

1.4.1.2.5 Γραφικό Περιβάλλον

Ένα γραφικό περιβάλλον αλληλεπίδρασης (GUI) για τον εξυπηρετητή SS, είναι ένα αρκετά χρήσιμο εργαλείο για το διαχειριστή δικτύου. Μέσα από αυτό το περιβάλλον θα μπορεί ο διαχειριστής να αντιληφθεί άμεσα την κατάσταση του συστήματος, να προβλέψει αστοχίες και να προλάβει καταστάσεις συμφόρησης.

Μια υλοποίηση του περιβάλλοντος GUI θα πρέπει να περιλαμβάνει την τρέχουσα τοπολογία του δικτύου (συμπεριλαμβανομένου του δικτύου πρόσβασης, του δικτύου πυρήνα και της τοπολογίας των λειτουργικών εξυπηρετητών), την κίνηση των χρηστών (τις ενεργές συνόδους με τα χαρακτηριστικά τους) και έναν αριθμό στατιστικών μεγεθών που χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε αντίστοιχα δίκτυα.

Τα παραπάνω στοιχεία θα πρέπει να απεικονίζουν με σαφήνεια και εύληπτο τρόπο, την τρέχουσα χρησιμοποίηση των πόρων του δικτύου, το εύρος ζώνης που καταναλώνουν οι ροές των χρηστών, την κατανομή της κίνησης, τα διαφορετικά προφίλ (συσκευών, χρηστών και υπηρεσιών) και βέβαια τις ρυθμιζόμενες παραμέτρους του συστήματος, ώστε να υπάρχει άμεση επίδραση σε αυτές.

1.4.2 Αλληλεπιδράσεις του Εξυπηρετητή Προσομοιώσεων

Ο εξυπηρετητής SS ουσιαστικά συγκεντρώνει στοιχεία από το δίκτυο και εκτελεί τον προσαρμοστικό αλγόριθμο, προκειμένου να απαντήσει στον εξυπηρετητή IMS για

την ποιότητα υπηρεσίας που είναι προτιμότερο να δοθεί σε ένα χρήστη, εάν είναι δυνατόν να του δοθούν υπηρεσίες του δικτύου. Επομένως ο εξυπηρετητής SS, αλληλεπιδρά κυρίως με την υποδομή του δικτύου (με διάφορα τμήματά του) και τον εξυπηρετητή IMS.

Οι αλληλεπιδράσεις με το δίκτυο είναι σαφώς περισσότερο πολύπλοκες, γιατί προϋποτίθεται επικοινωνία με απομακρυσμένα μέρη και συσκευές οι οποίες δεν είναι απόλυτα προσανατολισμένες για επικοινωνία με τον εξυπηρετητή SS. Μάλιστα αρκετές από αυτές, αποτελούν δομικά κομμάτια των δικτύων που ανήκουν. Από την άλλη η επικοινωνία με τον εξυπηρετητή IMS είναι ιδιαίτερα σημαντική για το δίκτυο και οφείλει να γίνει με βέλτιστο τρόπο, ώστε να μειώνεται η επιβάρυνση με μη αναγκαίες πληροφορίες και να γίνονται γρηγορότερα.

Στα επόμενα δύο κεφάλαια αναλύονται οι αλληλεπιδράσεις του SS με τα διάφορα μέρη του περιβάλλοντος του ετερογενούς δικτύου και δίνεται η χρησιμότητα της κάθε αλληλεπίδρασης. Επίσης διερευνώνται αποδοτικοί τρόποι χρησιμοποίησής τους, καθώς και εκείνα τα μέρη που συμμετέχουν στην ορθή λειτουργία τους.

1.4.2.1 Αλληλεπιδράσεις με το Δίκτυο

Το περιβάλλον του ετερογενούς δικτύου αποτελείται από τρία επιμέρους μεγάλα δίκτυα. Ένα ασύρματο LAN (WLAN), ένα δίκτυο 3^{ης} γενιάς UMTS, το οποίο περιλαμβάνει ένα ασύρματο δίκτυο πρόσβασης (Radio Access Network - RAN) και ένα δίκτυο πυρήνα (Core Network - CN) και ένα δίκτυο IP στο οποίο είναι διασυνδεδεμένοι οι λειτουργικοί εξυπηρετητές (IMS, SS, CPE). Τα παραπάνω δίκτυα συνδέονται όλα μεταξύ τους με ένα δίκτυο ραχοκοκαλιάς IP. Το δίκτυο ραχοκοκαλιάς αποτελείται από διάφορους δρομολογητές που συνδέονται με ζεύξεις Ethernet των 10/100 Mbps και 155Mbps ATM, υποστηρίζοντας πρωτόκολλα IPv4, IPv6 και για ποιότητα υπηρεσίας πολιτικές DiffServ και RSVP.

Το δίκτυο πυρήνα του δικτύου UMTS συνδέεται με το δίκτυο ραχοκοκαλιάς μέσω της πύλης GPRS (Gateway GPRS Service Node - GGSN). Οι μονάδες GGSNs είναι τα σημεία σύνδεσης του δικτύου UMTS με τα εξωτερικά δίκτυα. Μεταφράζουν τα πακέτα GPRS που τους έρχονται από τις μονάδες SGSNs στη σωστή μορφή πακέτου μονάδας πρωτοκόλλου (Packet Data Unit - PDP) και τα παραδίδουν στα εξωτερικά δίκτυα. Ταυτόχρονα εκτελούν και την ανάποδη εργασία, μετατρέποντας τις διευθύνσεις PDP στις αντίστοιχες διευθύνσεις UMTS των χρηστών για τους οποίους προορίζονται εντός του δικτύου UMTS. Οι μονάδες SGSN είναι υπεύθυνα για τη σύνδεση του δικτύου CN με το δίκτυο RAN του UMTS. Παρέχουν παράδοση και αποστολή των πακέτων στους κινητούς σταθμούς της περιοχής υπό την εποπτεία τους. Είναι υπεύθυνα για τη

δρομολόγηση, το λογικό έλεγχο, τη διαχείριση κινητικότητας του χρήστη (σύνδεση, αποσύνδεση, διαχείριση θέσης), την πιστοποίηση και τη χρέωση. Το δίκτυο πυρήνα του δικτύου UMTS μπορεί να εφοδιαστεί με τρία ακόμα στοιχεία, τα UMSC, HLR, VLR, τα οποία έχουν αντίστοιχη λειτουργία με το δίκτυο GSM ([6], [13]). Το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (RAN) αποτελείται από το στοιχείο Node-B και τον ελεγκτή ασύρματου δικτύου (Radio Network Controller - RNC). Το στοιχείο Node-B μετατρέπει τις ροές δεδομένων μεταξύ της συσκευής χρήστη και του στοιχείου RNC. Είναι η λογική οντότητα που είναι υπεύθυνη για την αποστολή και λήψη στις κυψέλες του συστήματος που συνδέονται με το στοιχείο RNC που ανήκει το στοιχείο. Το στοιχείο RNC έχει τον έλεγχο της χρήσης των ασύρματων πόρων της περιοχής του. Αποτελεί το σημείο πρόσβασης υπηρεσίας (Service Access Point - SAP) για όλες τις υπηρεσίες που παρέχονται στα δίκτυα RAN και CN ([6]). Στο περιβάλλον του ετερογενούς δικτύου υπάρχει μια κυψέλη με συνολική χωρητικότητα 2Mbps, κάτι που επιτρέπει την ύπαρξη καναλιών κάτω ζεύξης από 64Kbps (με 32 χρήστες) μέχρι 384 Kbps (με 5 χρήστες). Το κανάλι πάνω ζεύξης είναι σταθερό στα 64Kbps.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι ουσιαστικά υπάρχουν ένα ασύρματο τμήμα και ένα τμήμα IP στην υποδομή του δικτύου. Ο εξυπηρετητής SS αλληλεπιδρά και με τα δύο τμήματα (Σχήμα 1 - 8). Συλλέγει μετρήσεις από αυτά, προκειμένου να δημιουργήσει δεδομένα για την κατάσταση του δικτύου και να εκτελέσει τις κατάλληλες προσομοιώσεις.

Αλληλεπίδραση μεταξύ Εξυπηρετητή SS - Δίκτυο IP:

Για τη συλλογή μετρήσεων σε αυτό το τμήμα διεπαφής χρησιμοποιείται ένα εμπορικό προϊόν της εταιρίας Spirent που ονομάζεται Smart Bits 600. το στοιχείο αυτό επιτρέπει τη συλλογή μετρήσεων απευθείας από το δίκτυο και την άμεση αποστολή τους στο περιβάλλον μέσω διεπαφών APIs ή με καθυστέρηση μέσω αρχείων κειμένου.

Στο συγκεκριμένο περιβάλλον η συσκευή Smart Bits μπορεί να τοποθετηθεί στη γραμμή σύνδεσης του δικτύου ραχοκοκαλιάς με το υποκείμενο δίκτυο των εξυπηρετητών και να παρέχει τον εξυπηρετητή SS με μετρήσεις αυτής της γραμμής.

Αλληλεπίδραση μεταξύ Εξυπηρετητή SS -Ασύρματο Δίκτυο:

Το στοιχείο δικτύου που συλλέγει τις μετρήσεις από το ασύρματο δίκτυο είναι η μονάδα RNC. Η μονάδα RNC συλλέγει πληροφορίες σχετικές με το χρήστη και το επίπεδο ελέγχου για το στοιχείο Node-B που ελέγχει.

Στην περίπτωση των εμπορικών συστημάτων που θα αναπτυχθούν με βάση την πλατφόρμα του ετερογενούς δικτύου, τα στοιχεία εκείνα που θα ασκούν τη διαχείριση των ασύρματων δικτύων πρόσβασης μπορεί να είναι από διαφορετικές γενιές δικτύων (GSM, GPRS, UMTS).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, στο δίκτυο που κατασκευάζει η εταιρία Siemens και θα χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή, διαστασιολόγηση και βελτιστοποίηση του συστήματος, οι αντίστοιχες εργασίες γίνονται στο Κέντρο Λειτουργίας και Διαχείρισης (Operation and Management Center - OMC). Συγκεκριμένα το στοιχείο που λαμβάνει τις μετρήσεις επίδοσης του δικτύου είναι ο Ασύρματος Διοικητής (Radio Commander - RC). Συνήθως τα στοιχεία RCs είναι συνδεδεμένα στις μονάδες RNCs συλλέγοντας πληροφορίες για τις ίδιες τις μονάδες RNCs και τα στοιχεία Node-Bs που ελέγχουν. Το διάστημα μεταξύ των μετρήσεων σε ένα στοιχείο RC μπορεί να ορισθεί μεταξύ 5 και 7200 λεπτών.

Για το σκοπό της αρχιτεκτονικής του ετερογενούς δικτύου λαμβάνονται μετρήσεις που σχετίζονται μόνο με τη χωρητικότητα της κυψέλης. Τέτοιες είναι το δεσμευμένο και το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Το στοιχείο RC επιτρέπει την εξαγωγή των μετρήσεων σε δυαδικά αρχεία ή αρχεία κειμένου ή απευθείας μέσω κατάλληλου λογισμικού. Η διεπαφή επικοινωνίας με την οποία είναι εφοδιασμένο το στοιχείο RC βασίζεται στην τεχνολογία CORBA και επιτρέπει τη σύνδεση με εξωτερικά στοιχεία και επιτρέπει σε πρόσθετο, εξωτερικό εξοπλισμό να στέλνει μετρήσεις σε αυτό. Κατόπιν τις συγκεντρώνει και τις αποστέλλει με τη σειρά του στον εξυπηρετητή SS.

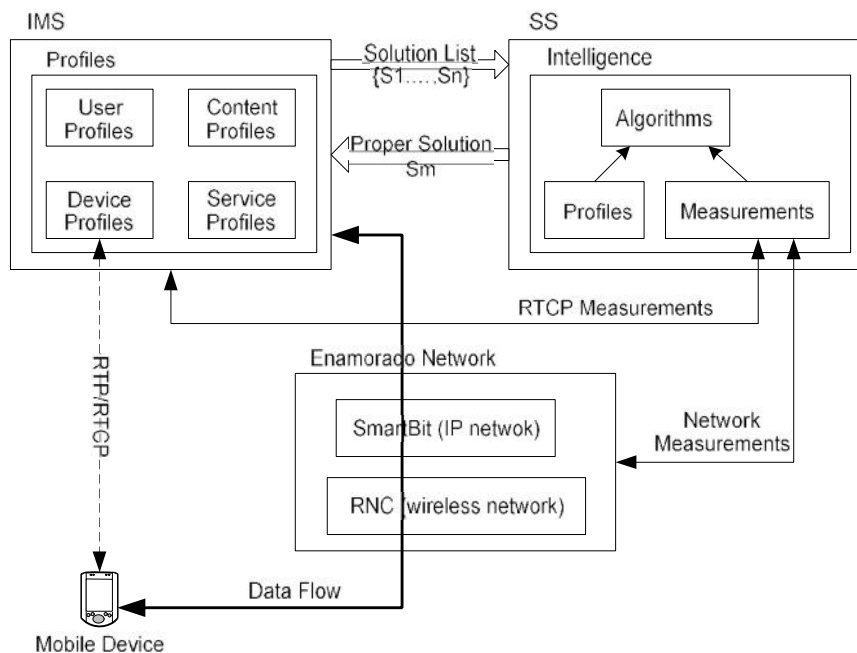
1.4.2.2 Αλληλεπιδράσεις με τον Εξυπηρετητή IMS

Ο εξυπηρετητής IMS έχει πληροφορίες για τη συσκευή χρήστη, τα προφίλ υπηρεσίας και περιεχομένου. Δέχεται τις αιτήσεις των χρηστών και τελικά παραδίδει το περιεχόμενο. Από την άλλη μεριά ο εξυπηρετητής SS έχει πληροφορίες για το δίκτυο που ο εξυπηρετητής IMS αγνοεί. Επομένως είναι αναγκαία η αλληλεπίδρασή τους για να φέρουν εις πέρας το έργο που απαιτείται.

Ο εξυπηρετητής IMS κάνει την πρώτη επεξεργασία δεδομένων όταν δεχθεί μια αίτηση εξυπηρέτησης από ένα χρήστη, προκειμένου να δημιουργήσει ένα υποψήφιο σύνολο λύσεων. Ο εξυπηρετητής IMS συμβουλευέται τον εξυπηρετητή SS για την τελική απόφαση [23]. Η επικοινωνία μεταξύ τους πρέπει να είναι σύγχρονη και βασίζεται στην ανταλλαγή πληροφοριών. Παρόλο που η ανταλλαγή πληροφοριών κάτω από ένα σύγχρονο πρωτόκολλο μπορεί να μειώσει την απόδοση μέσω της επιβάρυνσης της κίνησης, ωστόσο είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί ένα απλό πρωτόκολλο για την επικοινωνία.

Παρά τις παραπάνω δυσκολίες και συμβιβασμούς που πρέπει να αντιμετωπισθούν, η ομοιόμορφη κατανομή της ευφυΐας μεταξύ του IMS και του SS λειτουργεί επικουρικά για την απόδοση του συστήματος και οδηγεί στην καλύτερη αξιοποίηση των πόρων του.

Η επικοινωνία των εξυπηρετητών IMS-SS λαμβάνει χώρα σε δύο στάδια, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1 - 8. Στο πρώτο ο εξυπηρετητής IMS, έχοντας προεπεξεργαστεί την αίτηση του χρήστη και έχοντας διαμορφώσει ένα σύνολο υποψήφιων λύσεων, παραδίδει αυτό το σύνολο στον εξυπηρετητή SS προκειμένου να πάρει την τελική απόφαση για την καταλληλότερη λύση. Ο εξυπηρετητής SS έχοντας επίγνωση των συνθηκών του δικτύου, εκτελεί τον προσαρμοστικό αλγόριθμο και επιλέγει την καταλληλότερη λύση. Είναι δυνατόν να μην μπορεί να γίνει αποδεκτή η κλήση του χρήστη. Οποιαδήποτε από τις δύο περιπτώσεις ισχύει, ο εξυπηρετητής SS επικοινωνεί ξανά με τον εξυπηρετητή IMS για να του αναφέρει την απάντηση. Η λειτουργία αυτή φαίνεται στην επόμενη εικόνα, στην οποία παρουσιάζεται η συνολική αλληλεπίδραση SS, IMS και δικτύου.



Σχήμα 1 - 8: Αλληλεπιδράσεις του Εξυπηρετητή Προσομοιώσεων

Ο εξυπηρετητής SS είναι δυνατόν να επικοινωνήσει με τον εξυπηρετητή IMS και σε άλλες περιπτώσεις, εκτός της περίπτωσης που απαντά για την αποδοχή ή όχι αίτησης εξυπηρέτησης χρήστη. Μια πολύ χρήσιμη επικοινωνία του εξυπηρετητή SS με τον εξυπηρετητή IMS είναι στην περίπτωση αστοχίας ενός ή περισσότερων τμημάτων του δικτύου. Το πλαίσιο επικοινωνίας των δύο εξυπηρετητών σε κατάσταση ανάγκης

είναι πολύ σημαντικό να σχεδιασθεί προσεκτικά και αποδοτικά. Καταρχήν θα πρέπει να καθορισθούν οι καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης, για τις οποίες ο εξυπηρετητής SS πρέπει άμεσα να επικοινωνήσει με τον IMS. Οι καταστάσεις αυτές στηρίζονται στις μετρήσεις του δικτύου που αποκτά ο εξυπηρετητής SS και επομένως πρέπει να γίνει πρόβλεψη για την αντίστοιχη λειτουργία στη λογική ελέγχου του. Τέλος θα πρέπει να καθορισθεί ο τρόπος επικοινωνίας σε τέτοιες περιπτώσεις και η αναγνώριση των καταστάσεων από τη μεριά του εξυπηρετητή IMS, για τη λήψη κατάλληλων μέτρων.

Τέλος ο εξυπηρετητής IMS μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μεσολαβητής για την απόκτηση στοιχείων της κατάστασης του δικτύου. Αυτή η λειτουργία είναι σημαντική στην περίπτωση που αντιμετωπίζεται πρόβλημα στη συλλογή στοιχείων από την πλατφόρμα του πελάτη, όπως ειπώθηκε και παραπάνω. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί και άλλο στάδιο επικοινωνίας μεταξύ των δύο εξυπηρετητών. Επιπρόσθετα θα πρέπει να υπάρξει και κάποιος συγχρονισμός, ώστε η συλλογή των στοιχείων από τον εξυπηρετητή IMS να γίνει σε ανενεργές χρονικές στιγμές για τον ίδιο, ενώ η ανταλλαγή αυτών των πληροφοριών να γίνει σε περίοδο ανάπαυσης για τη μεταξύ τους ζεύξη.

1.5 Βιβλιογραφία

- [1] ENAMORADO Deliverable 1: Enamorado Environment, the ENAMORADO Consortium.
- [2] ENAMORADO Deliverable 2: Simulation Tools Specification, the ENAMORADO Consortium.
- [3] ENAMORADO Deliverable 3: Content Production Environment, the ENAMORADO Consortium.
- [4] ENAMORADO Deliverable 4: The Interactive Multimedia Server, the ENAMORADO Consortium.
- [5] ENAMORADO Deliverable 5: Client Platform specification, The ENAMORADO Consortium
- [6] Θεολόγου, Μ. Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών. Ε.Μ.Π. Τμ. ΗΜΜΥ Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής Αθήνα Μάρτιος 2002.
- [7] Τεχνολογίες Διαδικτύου. Ιάκωβος Σ. Βενιέρης & Ευγενία Νικολούζου. Εκδόσεις Τζιόλα.
- [8] M. Mehta, N. Drew, G. Vardoulis and N. Greco, "Reconfigurable Terminals: An Overview of Architectural Solutions," IEEE Communications Magazine, no. 8, pp. 82-89, August 2001
- [9] Xilinx XAPP 151: Virtex Series Configuration Architecture User Guide, March 2003, Διαθέσιμο: <http://www.xilinx.com/bvdocs/appnotes/xapp151.pdf>
- [10] Xilinx Virtex-II 1.5 V Field Programmable Gate Arrays, October 2001, Διαθέσιμο: <http://www-corot.obspm.fr/COROT-ETC/Files/Xilinx/Virtex-II-1.5V.pdf>
- [11] Open Service Gateway Initiative (OSGi), Specification Overview, Release 3, March 2003, Διαθέσιμο: <http://www.osgi.org>
- [12] Real Networks Helix Server, Διαθέσιμο: <https://www.helixcommunity.org/>
- [13] Puuskari, M. Quality of Service Framework in GPRS and Evolution Towards UMTS. 3rd European Personal Mobile Communications Conference, Paris, 9-11 March, 1999.
- [14] Yana E. Krasteva, Ana B. Jimeno, E. de la Torre, Teresa Riesgo, "Flexible Complex Core Reallocation for Virtex II Structures", "Reconfigurable Hardware Operating Systems: From Design Concepts to Realization", Proc. of Engineering

- of Reconfigurable Systems and Algorithms (ERSA'05), Las Vegas, Nevada, USA, June 2005.
- [15] Yana E. Krasteva, Ana B. Jimeno, E. de la Torre, Teresa Riesgo "Straight Method for Reallocation of Complex Cores by Dynamic Reconfiguration of Virtex II FPGAs", Proc. of the IEEE Intl. Workshop on Rapid System Prototyping (RSP'05), Montreal, Canada, June 2005.
- [16] RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control. IETF RFC 1890. January 1996.
- [17] Rosenberg, J. Schultzrinne, H. Timer Reconsideration for Enhanced RTP Scalability. IETF Draft. July 1997.
- [18] Puuskari, M. Quality of Service Framework in GPRS and Evolution Towards UMTS. 3rd European Personal Mobile Communications Conference, Paris, 9-11 March, 1999.
- [19] Resource Management and Quality of Service in Third-Generation Wireless Networks. Sudhir Dixit, Yile Guo, and Zoe Antoniou, Nokia Research Center. IEEE Communications Magazine. February 2001.
- [20] The 3GPP and 3GPP2 Movements Toward an All-IP Mobile Network. Girish Patel, Nortel Networks. Steven Dennett, Motorola. IEEE Personal Communications. August 2000.
- [21] Audio/ Video Transport (avt) Working Group, URL: <http://www.ietf.org/html.charters/avt-charter.html>
- [22] Wei-Yung Ma, I. Bedner, et. al, "A Framework for Adaptive Content Delivery in Heterogeneous Network Environments," in Hewlett Packard Labs, May 2000
- [23] "Μηχανισμοί Προσαρμογής Δεδομένων Μετάδοσης Βάσει Συνθηκών Μεταξύ του Χρήστη και του Δικτύου", Β. Καρυώτης, Ε.Μ.Π. Ιούλιος 2004

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΤΕΡΜΑΤΙΚΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αλγόριθμοι ποιότητας υπηρεσίας που αναπτύχθηκαν, υλοποιήθηκαν και προσομοιώθηκαν στο πλαίσιο της αρχιτεκτονικής μετάδοσης πολυμέσων σε ετερογενή δίκτυα και τερματικά. Αρχικά περιγράφεται το πλαίσιο μέσα στο οποίο αναπτύχθηκαν, επικεντρώνοντας στο μηχανισμό του δυναμικού έλεγχου ποιότητας υπηρεσίας με ανατροφοδότηση. Έπειτα παρουσιάζεται μια αρχική αφαιρετική σχεδίαση του Αλγόριθμου Επιλογής, ο οποίος αποτελείται από τρεις περιοχές δράσης ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου. Για κάθε περιοχή περιγράφονται οι αντίστοιχοι αλγόριθμοι (Υποφορτωμένοι, Φορτωμένοι και Υπερφορτωμένοι) καταλήγοντας στην συγκεκριμενοποίηση του προτεινόμενου Αλγόριθμου Επιλογής. Στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία αποτίμησης της απόδοσης του αλγόριθμου. Συγκεκριμένα, περιγράφεται το περιβάλλον υλοποίησης και δοκιμών, το δίκτυο προσομοίωσης και οι παράμετροι που επιλέχθηκαν για τη συλλογή των αποτελεσμάτων αποτίμησης. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αποτίμησης της απόδοσης του Αλγόριθμου Επιλογής και εξηγείται η βελτίωση που επιτυγχάνεται στα σημαντικότερα μεγέθη ποιότητας υπηρεσίας όπως η απώλεια πακέτων, η καθυστέρηση, η χρησιμοποίηση των πόρων και η εξυπηρέτηση χρηστών.

2.1 Πλαίσιο Αλγόριθμων Υποστήριξης Ποιότητας Υπηρεσίας

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο εξυπηρετητής SS τροφοδοτείται από τον εξυπηρετητή IMS με ένα σύνολο από υποψήφιες λύσεις για το επίπεδο της ποιότητας υπηρεσίας του περιεχομένου και επιλέγει το καταλληλότερο προφίλ περιεχομένου. Ο στόχος του είναι να επιλεγεί το προφίλ που μπορεί να μεταφερθεί από το δίκτυο, χωρίς να «θυσιαστεί» η ποιότητα του περιεχομένου για τις υπάρχουσες και την νέα ροή δεδομένων. Ταυτόχρονα, επιζητείται η μεγιστοποίηση του αριθμού των χρηστών στο σύστημα.

Η διαδικασία επιλογής προφίλ περιεχομένου αποτελεί την κυριότερη λειτουργία του εξυπηρετητή SS. Όλες οι υπόλοιπες είναι επικουρικές για την ορθή εκτέλεση της επιλογής. Η λειτουργία επιλογής προφίλ ποιότητας υπηρεσίας υλοποιείται από τη μονάδα Λογικής Πυρήνα (Core Logic - CL). Η μονάδα Λογικής Πυρήνα ενθυλακώνει τους μηχανισμούς προσαρμογής περιεχομένου του συστήματος. Στην καρδιά της βρίσκεται ο αλγόριθμος επιλογής προφίλ περιεχομένου. Για την επιλογή χρησιμοποιούνται και οι προσομοιώσεις μη-πραγματικού χρόνου που παρέχονται από τα SE, SR. Επίσης η μονάδα CL δέχεται ως είσοδο δεδομένα μετρήσεων για την κατάσταση του δικτύου. Τα δεδομένα μπορεί να είναι είτε πραγματικού χρόνου (μέσω κατάλληλων συσκευών), είτε δεδομένα που προέρχονται από τα μηνύματα ελέγχου του πρωτοκόλλου RTCP.

Από τα παραπάνω, γίνεται εμφανές ότι το πιο σημαντικό κομμάτι της μονάδας CL είναι ο αλγόριθμος προσαρμογής περιεχομένου. Πρόκειται για έναν αλγόριθμο απόφασης, ο οποίος ανήκει στους αλγόριθμους υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας και εφαρμόζει συγκεκριμένη τηλεπικοινωνιακή πολιτική εξασφαλίζοντας την κατάλληλη ποιότητα υπηρεσίας στους τελικούς χρήστες.

Στο περιβάλλον του ετερογενούς δικτύου, το ζητούμενο είναι η πρόσβαση νομαδικών χρηστών σε ετερογενές δίκτυο και η προσαρμοστική παράδοση περιεχομένου σε αυτούς. Οι δύο αυτές απαιτήσεις είναι οι βασικές ενός μηχανισμού προσαρμογής περιεχομένου ([14] - [18]). Επομένως, ο αλγόριθμος επιλογής περιεχομένου μπορεί να είναι ένας μηχανισμός προσαρμογής περιεχομένου πολυμέσων βασισμένος σε παρακολούθηση του δικτύου.

Ο μηχανισμός παρακολούθησης στο συγκεκριμένο περιβάλλον είναι συνδυασμός μετρήσεων που λαμβάνονται από στοιχεία του δικτύου και τη συσκευή πελάτη (μέσω του πρωτοκόλλου RTCP) ([19] - [24]).

Η επίτευξη της προσαρμογής επιτυγχάνεται με την τεχνική της Αλλαγής Κωδικοποίησης των Δεδομένων. Βέβαια, θα μπορούσε κάποιος να ισχυρισθεί ότι ο

αναπρογραμματισμός της συσκευής συνιστά μια τεχνική αφαίρεσης πληροφορίας, μιας και μετά τον αναπρογραμματισμό, το περιεχόμενο μπορεί να έχει συμπιεστεί περισσότερο και άρα να έχει αφαιρεθεί πληροφορία από αυτό. Αυτό όμως συμβαίνει μόνο σε περίπτωση που κρίνεται αναγκαία η μείωση του επιπέδου ποιότητας περιεχομένου που δίνεται στο χρήστη. Πολύ συχνά συμβαίνει το εντελώς αντίθετο, όταν οι πόροι του δικτύου υποχρησιμοποιούνται, οπότε τότε θα έλεγε κανείς ότι προστίθεται πληροφορία. Επιπρόσθετα, ο αναπρογραμματισμός που εκτελεί ένας αντιπρόσωπος υλικού ή λογισμικού (εγκατάσταση νέου codec) δεν αλλάζει μόνο τη συμπίεση των δεδομένων αλλά και την κωδικοποίηση. Αυτό σημαίνει ότι το περιεχόμενο λαμβάνεται υπό νέα μορφή, η οποία από μόνη της μπορεί να χρειάζεται λιγότερη ή περισσότερη συμπίεση δεδομένων για τη διατήρηση της ίδιας ποιότητας υπηρεσίας.

Η αλλαγή αυτή του τύπου των δεδομένων συνεπάγεται ότι ο αλγόριθμος που εφαρμόζεται δεν ανήκει σε κάποια από τις άλλες τεχνικές προσαρμογής (Προτεραιότητες Δεδομένων, Μετατροπή Μορφής, Κατηγοριοποίηση Σκοπού). Αυτό συμβαίνει γιατί οι μηχανισμοί αυτοί επιδρούν πάνω στο ίδιο προφίλ περιεχομένου για να αφαιρέσουν πληροφορία.

Ο αλγόριθμος παροχής ποιότητας υπηρεσίας ανήκει καθαρά στην κατηγορία των μηχανισμών Αλλαγής Κωδικοποίησης Δεδομένων, αφού η προσαρμογή γίνεται για να αλλάξει η πλατφόρμα ακρόασης (συσκευή), ώστε να διαθέτει καινούργιες δυνατότητες. Επίσης, στο ετερογενές δίκτυο ο επαναπρογραμματισμός και άρα η προσαρμογή είναι αναγκαίο να γίνεται στιγμιαία κατά τη λειτουργία της μετάδοσης των δεδομένων (on-the-fly).

Στο ετερογενές δίκτυο όλη η λογική ελέγχου, η μονάδα Ελέγχου Διεπαφής Χρήστη, η μονάδα Διαχειριστή και η μονάδα Παρακολούθησης Δικτύου και Τερματικής Συσκευής διαμοιράζεται στους εξυπηρετητές IMS και SS. Την παρακολούθηση του δικτύου την αναλαμβάνει ο εξυπηρετητής SS, ενώ την παρακολούθηση της τερματικής συσκευής (μέσω RTCP) η μονάδα διοχέτευσης ροών πολυμέσων του εξυπηρετητή IMS. Η μονάδα Ελέγχου Διεπαφής Χρήστη υλοποιείται στον εξυπηρετητή IMS, ενώ η λογική του Διαχειριστή μοιράζεται μεταξύ των δύο. Ο εξυπηρετητής IMS διαχειρίζεται τις ροές, ο εξυπηρετητής SS όμως αποφασίζει για την εγκατάστασή τους ή όχι. Για την επιλογή του προφίλ περιεχομένου βοηθά ο εξυπηρετητής IMS καθορίζοντας τις υποψήφιες λύσεις.

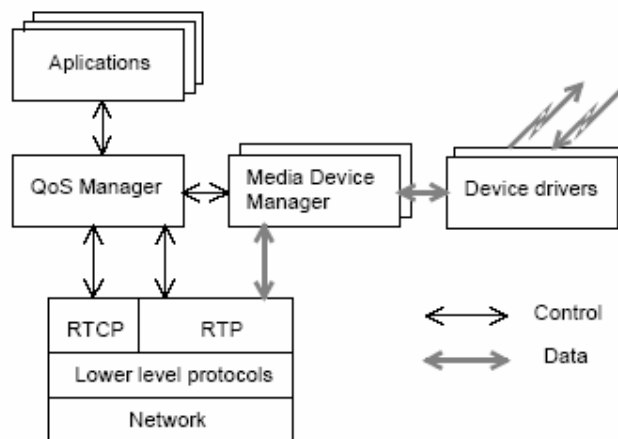
Στην αρχιτεκτονική του ετερογενούς δικτύου για την υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας υιοθετούνται μηχανισμοί και εφαρμόζονται αλγόριθμοι δυναμικού ελέγχου

του επιπέδου της προσφερόμενης ποιότητας υπηρεσίας. Η αρχιτεκτονική των μηχανισμών / αλγορίθμων αυτών στηρίζεται στην παρακολούθηση του δικτύου (η οποία κατά κύριο λόγο γίνεται με το πρωτόκολλο RTP/RTCP) και προσαρμόζει τα χαρακτηριστικά των ροών δεδομένων με βάση μια κλίμακα ποιότητας υπηρεσίας.

2.2 Δυναμικός Έλεγχος Ποιότητας Υπηρεσίας

Το πλαίσιο στο οποίο στηρίζεται ο δυναμικός έλεγχος της ποιότητας υπηρεσίας καθορίζεται από δύο κατευθυντήριες γραμμές: τη διαφοροποίηση των μεθόδων προσαρμογής ποιότητας υπηρεσίας για συγκεκριμένους τύπους πολυμέσων (τεχνικές αφαίρεσης πληροφορίας και προτεραιότητας δεδομένων) από το γενικό μηχανισμό ελέγχου ποιότητας υπηρεσίας και την απεικόνιση του γενικού σχήματος ποιότητας υπηρεσίας (σε επίπεδο χρήστη) σε μεγέθη κατώτερων επιπέδων που εξαρτώνται από τον τύπο του περιεχομένου.

Η αρχιτεκτονική για την επίτευξη δυναμικού ελέγχου ποιότητας υπηρεσίας φαίνεται στο Σχήμα 2 - 1. Τα τμήματα που την απαρτίζουν είναι ο Διαχειριστής Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS Manager), ο Διαχειριστής Περιεχομένου Συσκευής (Media Device Manager - MDM), ένα στοιχείο πρωτοκόλλων (Protocol Component) και ένα τμήμα με τα προγράμματα οδηγών συσκευής (Device Drivers).



Σχήμα 2 - 1: Αρχιτεκτονική Συστήματος Δυναμικού Ελέγχου της Ποιότητας Υπηρεσίας

Ο Διαχειριστής Ποιότητας Υπηρεσίας και ο Διαχειριστής Περιεχομένου Συσκευής είναι συγκεκριμένα για αυτή την αρχιτεκτονική και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως θα παρουσιασθούν γενικά. Το στοιχείο πρωτοκόλλων παρέχει μια διεπαφή προς τα χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα, ενώ το τμήμα με τα προγράμματα οδηγών συσκευής παρέχει διεπαφές για προγράμματα οδηγών συσκευής για διαφορετικούς

τύπους περιεχομένου. Ο ρόλος του διαχειριστή MDM είναι να λαμβάνει πληροφορία για το δίκτυο από το στοιχείο πρωτοκόλλων (που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο RTP/RTCP) και για τις συσκευές των χρηστών από το τμήμα προγραμμάτων οδηγών συσκευής και να καθιστά τον υπόλοιπο μηχανισμό ελέγχου ανεξάρτητο από αυτή την πληροφορία. Διαδραματίζει αντίστοιχο ρόλο με τον εξυπηρετητή IMS της αρχιτεκτονικής του ετερογενούς δικτύου, συλλέγοντας την απαραίτητη πληροφορία δικτύου και συσκευής.

Ο Διαχειριστής Ποιότητας Υπηρεσίας προσαρμόζει το επίπεδο εξυπηρέτησης στις τρέχουσες συνθήκες δικτύου. Οι συνθήκες δικτύου προκύπτουν από τα μηνύματα ελέγχου του πρωτοκόλλου RTCP. Επίσης, είναι υπεύθυνος για την διαχείριση των συνόδων RTP. Η λειτουργία του γίνεται σε τρία στάδια. Αρχικά, προσδιορίζεται η κατάσταση του δικτύου μέσω των μετρήσεων σε κομβικά σημεία του δικτύου. Στη συνέχεια, χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος απόφασης για τον έλεγχο της ποιότητας υπηρεσίας. Τέλος, χρησιμοποιούνται κάποια σενάρια που επενεργούν στα δεδομένα για να αλλάξουν τις συνθήκες με επιθυμητό τρόπο. Στη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική η διαχείριση, ο έλεγχος και η επίβλεψη της ποιότητας υπηρεσίας γίνεται μόνο από τη μεριά του πομπού με βάση τα μεγέθη που λαμβάνει μέσω των μηνυμάτων RTCP.

Η ρύθμιση της ποιότητας υπηρεσίας, μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Ένας από αυτούς είναι ο επαναπρογραμματισμός της συσκευής που περιγράφηκε, για την υποστήριξη μεταβαλλόμενης κωδικοποίησης από τη μεριά του περιεχομένου. Ουσιαστικά μπορούν να μεταβληθούν διάφορα μεγέθη που συνδέονται με το περιεχόμενο, όπως η ανάλυση του video, το βάθος χρώματος και η ποιότητα του ήχου. Ωστόσο, μπορούν να μεταβληθούν και δικτυακά μεγέθη, είτε με ενέργειες που αφορούν το δίκτυο καθαυτό, είτε με ενέργειες που αφορούν το περιεχόμενο που διακινείται από το δίκτυο.

Με βάση τα παραπάνω, οι παράμετροι ποιότητας υπηρεσίας σε δίκτυα μετάδοσης πολυμέσων μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: παράμετροι επιπέδου προγραμματισμού και παράμετροι επιπέδου συστήματος (λειτουργικού προγράμματος ή δικτύου). Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τη διαπραγμάτευση ποιότητας υπηρεσίας μεταξύ εφαρμογής και Διαχειριστή Ποιότητας Υπηρεσίας, όπως ο ρυθμός των πλαισίων (frame rate σε κινούμενη εικόνα), ο ρυθμός απωλειών πλαισίων και ο παράγοντας Q. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν παράμετροι όπως το μέγεθος πακέτου, το εύρος ζώνης, ο ρυθμός απωλειών πακέτου. Τέτοιες παράμετροι έχουν νόημα για το σύστημα (τη λογική που το διέπει) αλλά όχι για το χρήστη. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η αντιστοίχιση των μεγεθών του ενός συνόλου σε όρους του άλλου και αντίστροφα.

Στην αλληλεπίδραση της εφαρμογής με το Διαχειριστή Ποιότητας Υπηρεσίας πρέπει η εφαρμογή να καθορίσει για κάθε ροή δεδομένων μια κλίμακα ποιότητας υπηρεσίας, δηλαδή μια σειρά επιπέδων ποιότητας υπηρεσίας η οποία καθορίζει τις καταστάσεις της ροής. Σε αυτή τη σειρά κάθε επίπεδο είναι χαμηλότερο σε ποιότητα από αυτό που προηγείται στην αλυσίδα.

Μια συνδυασμένη ροή δεδομένων αποτελείται από πολλές ροές δεδομένων διαφορετικού περιεχομένου η κάθε μία. Η συνδυασμένη ροή χρησιμοποιείται από το Διαχειριστή Ποιότητας Υπηρεσίας για να ορισθούν σχέσεις κατάταξης μεταξύ των ροών και επομένως να γίνει ευκολότερη η διαχείρισή τους. Οι σχέσεις μεταξύ των ροών καθορίζονται σε όρους προτεραιοτήτων. Ο Διαχειριστής Ποιότητας Υπηρεσίας αλληλεπιδρά με την εφαρμογή σε δύο περιπτώσεις. Κατά την αρχικοποίηση μιας συνόδου RTP γίνονται διαπραγματεύσεις για την ποιότητα υπηρεσίας που ζητά ο χρήστης. Αναγκαία σε αυτό το σημείο είναι η αντιστοίχιση των δύο συνόλων παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας που περιγράφηκαν παραπάνω. Για την αποφυγή της εξειδίκευση του Διαχειριστή Ποιότητας Υπηρεσίας στη διαπραγμάτευση συμμετέχει και ο διαχειριστής MDM. Τελικά, αποφασίζεται ή όχι, η αποδοχή της αίτησης του πελάτη. Η δεύτερη περίπτωση αλληλεπίδρασης είναι κατά το χρόνο εκτέλεσης της εργασίας της μεταφοράς του περιεχομένου. ο Διαχειριστής Ποιότητας Υπηρεσίας μπορεί να ενεργοποιήσει διάφορα γεγονότα στην εφαρμογή και η εφαρμογή μπορεί να προκαλέσει λειτουργίες, όπως ο τερματισμός αποστολής μιας ροής ή η αλλαγή προτεραιοτήτων.

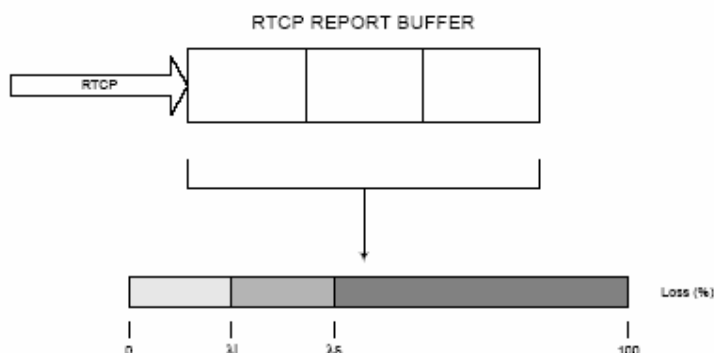
Η αλληλεπίδραση του Διαχειριστή Ποιότητας Υπηρεσίας με τον διαχειριστή MDM γίνεται με την επισήμανση των παραμέτρων αρχικοποίησης του πρώτου επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας στην καθορισμένη κλίμακα. Μια άλλη λειτουργία μεταξύ των δύο μονάδων είναι για την τροποποίηση των χαρακτηριστικών μιας ροής δεδομένων. Οι αλλαγές αφορούν είτε σε περιπτώσεις όπου το ζητούμενο είναι η αλλαγή του επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας, είτε σε περιπτώσεις που η αλλαγή γίνεται για να μην αλλάξει το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας.

Η διαχείριση ποιότητας υπηρεσίας πραγματοποιείται με αλγόριθμους παρακολούθησης και ελέγχου. Οι πρώτοι είναι υπεύθυνοι για την παρατήρηση των συνθηκών τηλεπικοινωνιακής κίνησης, ενώ οι δεύτεροι επεμβαίνουν και ρυθμίζουν διάφορες παραμέτρους του συστήματος. Η βασική ιδέα για την προσαρμογή βασίζεται στην παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου. Όταν παρατηρείται συμφόρηση ο Διαχειριστής Ποιότητας Υπηρεσίας πρέπει να αναλάβει δράση και να τροποποιήσει το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας κάποιων ροών δεδομένων. Η εντολή που δίνεται στον διαχειριστή MDM είναι είτε να αναλάβει κάποιο μέτρο μικρής εμβέλειας ή σε περίπτωση

σοβαρών προβλημάτων να μειώσει το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας ορισμένων ροών. Από την άλλη πλευρά σε περίπτωση υποχρησιμοποίησης των πόρων του δικτύου, η κατάλληλη αντίδραση είναι η αύξηση του επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας.

Η παρακολούθηση του τρέχοντος επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας γίνεται με ένα από άκρο-σε-άκρο κλειστό βρόχο ελέγχου. Ο αλγόριθμος είναι κυκλικός και αντιδρά κάθε φορά που λαμβάνεται ένα πακέτο RTCP [9] - [13]). Η μονάδα παρακολούθησης ελέγχει τόσο τα δικτυακά μεγέθη, όσο και τα γεγονότα που συμβαίνουν από τη μεριά της εφαρμογής. Ειδικά για την πραγματοποίηση της δεύτερης λειτουργίας είναι αναγκαία η επέκταση του πακέτου RTCP με δύο πεδία. Το πρώτο πεδίο (*too_late*) περιέχει τον αριθμό των πλαισίων (*frames*) της ροής πολυμέσων που χάθηκαν ή καθυστέρησαν στη μεριά του δικτύου ή του αποστολέα, ενώ το δεύτερο (*nshown*) δείχνει τον αριθμό των πακέτων που χάθηκαν λόγω υπερφόρτωσης της μηχανής που τρέχει η εφαρμογή.

Ο συνολικός αριθμός χαμένων πλαισίων προκύπτει από το άθροισμα του αριθμού των χαμένων πακέτων στο δίκτυο και των πεδίων *too_late* και *nshown*. Για να αποφευχθούν αιχμές στην τιμή εξόδου, κάτι που θα οδηγούσε τη συμπεριφορά του αλγόριθμου σε ταλαντώσεις, πραγματοποιείται ο μέσος όρος των τελευταίων αθροισμάτων. Η τιμή που προκύπτει λέγεται φιλτραρισμένη απώλεια και αποτελεί την έξοδο του συστήματος παρακολούθησης ποιότητας υπηρεσίας. Είναι επίσης, το μέγεθος που εξετάζει ο αλγόριθμος προσαρμογής για τη λήψη αποφάσεων.



Σχήμα 2 - 2: Αλγόριθμος Ελέγχου Ποιότητας Υπηρεσίας

Ο τύπος αλγόριθμου προσαρμογής που ακολουθείται σε τέτοιες προσεγγίσεις έχει συνήθως τρεις περιοχές λειτουργίας, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2 - 2. Στην πρώτη, με όνομα ζώνη υποβιβασμού, το μέγεθος εισόδου (εδώ η φιλτραρισμένη απώλεια), είναι μεταξύ του κατωφλίου λ_5 και του 100%. Η δεύτερη περιοχή λειτουργίας, με

όνομα ζώνη λειτουργίας, βρίσκεται για τιμές εισόδου μεταξύ των δύο κατωφλίων λι και λς. Στην τρίτη περιοχή, τη ζώνη βελτίωσης η είσοδος έχει τιμές από 0% μέχρι λι.

Σε αυτή την αφαιρετική μορφή οι τιμές κατωφλίων του αλγόριθμου πρέπει να ρυθμιστούν για να εξασφαλίσουν μια βιώσιμη και σταθερή λειτουργία. Από την άλλη, δεν πρέπει να παρουσιάζεται υπερβολική ευαισθησία, οπότε η εξαντλητική δοκιμή μέσω προσομοιώσεων και πειραμάτων κρίνεται αναγκαία για την ορθή επιλογή των τιμών τους.

Όποτε είναι αναγκαία μια αλλαγή των παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας, ο αλγόριθμος κινείται στην κλίμακα ποιότητας υπηρεσίας. Η κίνηση είναι προς τα κάτω όταν η κίνηση του δικτύου είναι τέτοια, ώστε να μην είναι δυνατόν η εφαρμογή να συνεχίσει με την τρέχουσα ποιότητα υπηρεσίας ή προς τα πάνω σε αντίθετη περίπτωση.

Οι ζώνες βελτίωσης και υποβιβασμού δεν είναι συμμετρικές. Αυτό συμβαίνει γιατί τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται ως είσοδος δεν έχουν πάντα γραμμική συμπεριφορά. Έτσι, η έκταση κάθε ζώνης είναι αντικείμενο θεωρητικών μελετών, αλλά και εξαντλητικών δοκιμών.

Αξίζει να επισημανθεί ό,τι η μορφή που δόθηκε για αυτόν τον αλγόριθμο είναι απόλυτα γενική. Μπορεί να εφαρμοσθεί και σε άλλες αρχιτεκτονικές, αρκεί να υπάρχει η μονάδα παρακολούθησης και κατάλληλο μέγεθος που θα χρησιμοποιηθεί ως είσοδος. Συνήθως ως τέτοιο χρησιμοποιείται ένα μέγεθος απώλειας με επικρατέστερο το ποσοστό χαμένων πακέτων.

2.3 Αφαιρετική Σχεδίαση Αλγόριθμου Επιλογής

Ένας από τα κύρια σημεία του αλγόριθμου επιλογής είναι η εκτίμηση της κατάστασης του δικτύου με βάση μετρήσεις από το δίκτυο και τη συσκευή του πελάτη. Ο αλγόριθμος λειτουργεί σε τρεις ζώνες (κατά το πρότυπο του δυναμικού ελέγχου ποιότητας υπηρεσίας που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο). Οι τρεις ζώνες περιγράφουν την κατάσταση του δικτύου. Οι μετρήσεις που προέρχονται από το δίκτυο (ανεξάρτητα του τρόπου με τον οποίο αποκτούνται, π.χ. RTCP/Smart Bits 600, RNC) και αφορούν μεγέθη όπως το ποσοστό απωλειών πακέτου, η καθυστέρηση λήψης πακέτου και η μεταβολή της καθυστέρησης (jitter) μπορούν να συνδυαστούν σε ένα μετρικό μέγεθος, το οποίο χαρακτηρίζει την κατάσταση του δικτύου και άρα τη ζώνη λειτουργίας.

Επειδή δεν μπορεί να μεταβληθεί η υποδομή του δικτύου αλλά μόνο οι πόροι που δεσμεύονται για κάθε χρήστη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ένα μετρικό μέγεθος, το οποίο ονομάζεται γενικά Κατάσταση Δικτύου (Network State - NS). Η τιμή

0% για το NS δηλώνει δίκτυο χωρίς καθόλου κίνηση, ενώ η τιμή 100% δηλώνει δίκτυο με κατάσταση βαριάς συμφόρησης. Μεταξύ των δύο ακραίων τιμών ορίζονται δύο κατώφλια με βάση τα οποία γίνεται ο χαρακτηρισμός του NS και καθορίζεται η ζώνη λειτουργίας του αλγόριθμου. Αν το κάτω κατώφλι ονομαστεί th_u και το πάνω th_o , τότε οι τρεις καταστάσεις του δικτύου (ζώνες λειτουργίας) φαίνονται στο Σχήμα 2 - 3 και ονομάζονται κατάσταση Υποφόρτωσης, Φόρτωσης και Υπερφόρτωσης.

Συμπληρωματικά, μπορεί να οριστεί η αντιλαμβανόμενη ποιότητα υπηρεσίας και ποιότητα περιεχομένου (perceived QoS/QoC) των ενεργών συνόδων RTP από την πλευρά του χρήστη, ώστε να γίνει μια σύγκριση της αντίληψης του χρήστη για την ποιότητα που λαμβάνει με την εικόνα που φαίνεται από τα δικτυακά δεδομένα. Τα πακέτα αναφορών παραλήπτη του πρωτοκόλλου RTCP (Receiver Report - RR) που παράγονται στην πλατφόρμα πελάτη, παρέχουν το ποσοστό της απώλειας πακέτων, την καθυστέρηση πακέτου, τη μεταβολή της καθυστέρησης πακέτου και το χρόνο συνολικής διαδρομής για ένα χρήστη, μεγέθη ικανά να χαρακτηρίσουν την κίνηση και την ποιότητα υπηρεσίας (περιεχομένου) από τη σκοπιά του συγκεκριμένου χρήστη που τα δημιουργεί.



Σχήμα 2 - 3: Πιθανές Καταστάσεις του Δικτύου

Ο αλγόριθμος επιλογής δέχεται ως είσοδο τις απευθείας μετρήσεις δικτύου, τις μετρήσεις δικτύου από τα μηνύματα RTCP και μια λίστα από πιθανά προφίλ περιεχομένου, η οποία έχει προκύψει με φιλτράρισμα της λίστας περιεχομένου από τη μονάδα Διαχείρισης Προφίλ Περιεχομένου του εξυπηρετητή IMS. Η λειτουργία του έγκειται στην απόφαση αποδοχής ή απόρριψης της αίτησης χρήστη. Σε περίπτωση αποδοχής νέας συνόδου, πρέπει να υποδείξει και τον τύπο του περιεχομένου που πρέπει να δοθεί, δηλαδή να επιλέξει το καταλληλότερο προφίλ από τη λίστα των υποψήφιων που παρέλαβε από τον εξυπηρετητή IMS.

2.3.1 Μηχανισμός Προσαρμογής Περιεχομένου

Στο σημείο αυτό πρέπει να διευκρινιστεί μια σημαντική παράμετρος της λειτουργίας του αλγόριθμου. Η λεπτομέρεια έγκειται στην ικανότητα του αλγόριθμου και του υλοποιημένου μηχανισμού να υποστηρίζει την αναπροσαρμογή ενεργών συνόδων που έγιναν αποδεκτές σε προηγούμενο χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι ο αλγόριθμος μπορεί να χρειαστεί να μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά μια συνόδου που

βρίσκεται σε εξέλιξη μετά τη λήψη μιας απόφασης. Με αυτόν τον τρόπο η ποιότητα υπηρεσίας ενεργών συνόδων μπορεί να μειώνεται προκειμένου να γίνει αποδεκτή μια αίτηση νέου πελάτη ή μπορεί να αυξάνεται εάν κάποιος τερματίζει τα σύνοδό του και το δικτύου είναι σε κατάσταση μη-συμφόρησης. Στην άλλη εκδοχή του ο αλγόριθμος δεν μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά των ενεργών συνόδων αλλά ενδιαφέρεται μόνο για τη νέα σύνοδο και την κατάσταση στην οποία θα βρεθεί το δίκτυο με την αποδοχή της.

Η λειτουργία του αλγόριθμου διαφοροποιείται σημαντικά με την εφαρμογή μιας εκ των παραπάνω δύο στρατηγικών αναπροσαρμογής. Έτσι αν υποστηρίζεται προσαρμογή των ήδη εγκατεστημένων συνόδων RTP υπάρχουν τρεις δυνατότητες όταν φθάνει μια αίτηση νέου χρήστη:

- Εάν το δίκτυο είναι σε κατάσταση μη-συμφόρησης και υπάρχουν οι αναγκαίοι πόροι, εγκαθίσταται η νέα σύνοδος RTP χωρίς να χρειαστεί να μειωθεί η ποιότητα υπηρεσίας/περιεχομένου των ήδη εγκατεστημένων συνόδων.
- Σε περίπτωση που με τη νέα άφιξη δεν υπάρχουν οι αναγκαίοι πόροι δικτύου για την αποδοχή της συνόδου αλλά είναι δυνατή η μείωση του επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας των εγκατεστημένων συνόδων, ο μηχανισμός προσαρμογής προχωρά στην ελάττωση της ποιότητας για όσες συνόδους είναι επιτρεπτό και εγκαθιστά τη νέα σύνοδο (με την ελάχιστη δυνατή ποιότητα για αυτή).
- Σε περίπτωση που κατά την άφιξη νέας αίτησης το δίκτυο είναι σε κατάσταση συμφόρησης η αίτηση θα απορριφθεί λόγω έλλειψης πόρων.

Οι ενέργειες που περιγράφηκαν παραπάνω αντιστοιχούνται απευθείας στις τρεις ζώνες λειτουργίας στις οποίες μπορεί να βρεθεί ο αλγόριθμος (Υποφόρτωσης, Φόρτωσης και Υπερφόρτωσης). Προφανώς, όταν η κατάσταση χαρακτηρίζεται ως Υποφόρτωση η αίτηση γίνεται αποδεκτή χωρίς αλλαγές. Στην κατάσταση Φόρτωσης γίνεται ο έλεγχος για να διαπιστωθεί εάν η νέα σύνοδος προκαλεί υπερφόρτωση, οπότε και θα πρέπει να μειωθεί η ποιότητα των εγκατεστημένων συνόδων και στην κατάσταση υπερφόρτωσης δεν επιτρέπεται επιπλέον δέσμευση πόρων.

Στην περίπτωση που ο μηχανισμός επιλογής δεν υποστηρίζει την προσαρμογή των ήδη εγκατεστημένων συνόδων, τότε καθίσταται απλούστερος αλλά και λιγότερο προσαρμοστικός, με την έννοια ότι δεν αντιδρά με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο (όσον αφορά τον αριθμό των ενεργών συνόδων) στις αλλαγές κατάστασης του δικτύου. Ο λόγος για αυτή τη συμπεριφορά θα φανεί παρακάτω. Η αντίδραση του μηχανισμού σε περίπτωση νέας αίτησης περιλαμβάνει τρεις επιλογές:

- Εάν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι για την ικανοποίηση της συνόδου στο μέγιστο βαθμό, τότε η αίτηση γίνεται δεκτή και η επιλογή γίνεται από τη διαθέσιμη λίστα προφίλ περιεχομένου, επιλέγοντας το υψηλότερο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας.
- Εάν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι στο δίκτυο, αλλά δεν επαρκούν για την κάλυψη της αίτησης στον υψηλότερο βαθμό της, η σύνοδος εγκαθίσταται και αναζητείται το προφίλ που μπορεί να υποστηριχθεί χωρίς προβλήματα. Εάν δεν υπάρχει τέτοια επιλογή και οποιοδήποτε προφίλ και αν επιλεγεί οδηγεί το σύστημα σε συμφόρηση, η αίτηση απορρίπτεται.
- Αν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι στο σύστημα τότε η αίτηση εξυπηρέτησης απορρίπτεται αμέσως.

Για μια ακόμη φορά οι τρεις πιθανές ενέργειες αντιστοιχίζονται απευθείας στις τρεις ζώνες λειτουργίας που διαθέτει ο προσαρμοστικός αλγόριθμος. Σε κάθε περίπτωση υπάρχουν διαφορετικές επιλογές που μπορεί να ακολουθεί ένας αλγόριθμος όταν βρίσκεται σε μια κατάσταση δικτύου. Αυτές οι επιλογές αναλύονται στις επόμενες τρεις παραγράφους.

2.3.2 Υποφορτωμένοι Αλγόριθμοι

Η διαφοροποίηση των αλγορίθμων ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου είναι βολική γιατί επιτρέπει την επιλογή διαφορετικής τηλεπικοινωνιακής πολιτικής σε κάθε περίπτωση. Στην περίπτωση που η κατάσταση του δικτύου χαρακτηριστεί ως Υποφορτωμένη, μπορούν να ακολουθηθούν τρεις επιλογές.

Στην πρώτη προσέγγιση επιχειρείται η μέγιστη δυνατή χρησιμοποίηση των πόρων του δικτύου, ώστε στον χρήστη να φτάσει το καλύτερο δυνατό μίγμα ποιότητας υπηρεσίας, ποιότητας περιεχομένου. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος ο αλγόριθμος του εξυπηρετητή SS επιλέγει το προφίλ περιεχομένου που μεγιστοποιεί την ποιότητα υπηρεσίας και ποιότητα περιεχομένου όταν φθάνει μια αίτηση νέου χρήστη. Παράλληλα, δεν γίνεται καμία ρύθμιση στις εγκατεστημένες ροές δεδομένων. Η πολιτική αυτή συνεχίζεται μέχρι το δίκτυο να μεταπέσει στην κατάσταση φόρτωσης. Πρόκειται για άπληστο αλγόριθμο, ο οποίος προκαλεί τη γρήγορη μετάπτωση του συστήματος σε καταστάσεις συμφόρησης. Το πρόβλημα αυξάνεται με τη αύξηση πελατών στο σύστημα, ιδιαίτερα όταν αυτή γίνεται μαζικά, όπως στην περίπτωση αθλητικών γεγονότων και επικαιρότητας, όπου οι χρήστες παρουσιάζουν την τάση να προσέρχονται μαζικά κατά την έναρξη και να αποχωρούν το ίδιο μαζικά με το τέλος του γεγονότος. Το δίκτυο μεταπίπτει στην κατάσταση φόρτωσης γρηγορότερα από κάθε άλλη περίπτωση αλγορίθμου, οπότε ανάλογα με την πολιτική προσαρμογής, είτε

μειώνει σε σύντομο χρονικό διάστημα την ποιότητα των υπόλοιπων υπηρεσιών, είτε απορρίπτει καινούργιες αιτήσεις.

Σε μια δεύτερη προσέγγιση, ακολουθείται η ακριβώς αντίθετη στρατηγική δέσμευσης πόρων. Επιλέγεται το προφίλ με το μικρότερο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας/περιεχομένου, ώστε να αποφευχθούν οι προηγούμενες συχνές αναπροσαρμογές περιεχομένου και καταστάσεις υψηλής κίνησης. Η επιλογή αυτή είναι κατάλληλη για την περίπτωση δικτύου χωρίς προσαρμογή εγκατεστημένων συνόδων με πολλούς ενεργούς χρήστες.

Η τρίτη προσέγγιση είναι μια ενδιάμεση των δύο παραπάνω περιπτώσεων. Η επιλογή στρατηγικής δέσμευσης πόρων εξαρτάται από την κατάσταση του δικτύου. Όσο το δίκτυο κινείται σε χαμηλές περιοχές κίνησης, ο αλγόριθμος λειτουργεί επιθετικά και δεσμεύει το υψηλότερο δυνατό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας/περιεχομένου. Όσο η κατάσταση του προσεγγίζει την κατάσταση φόρτωσης και η κίνηση αυξάνεται ο αλγόριθμος καθίσταται λιγότερο άπληστος και επιλέγει προφίλ με μέτριο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας/περιεχομένου. Αυτή η λειτουργία συνεχίζεται μέχρι η κατάσταση δικτύου (NS) να φτάσει στο πρώτο κατώφλι th_u . Η ζώνη που καλύπτει η προσέγγιση αυτή για τον αλγόριθμο Υποφορτωμένης κατάστασης φαίνεται στο Σχήμα 2 - 4. Από αυτή φαίνεται ότι αρχικά γίνονται άπληστες επιλογές για να περιορισθούν από το μισό περίπου της κατάσταση και άνω. Η κλίση της γραμμής στο διάγραμμα εξαρτάται από την υποστήριξη ή όχι της προσαρμογής ήδη εγκατεστημένων συνόδων.

2.3.3 Φορτωμένοι Αλγόριθμοι

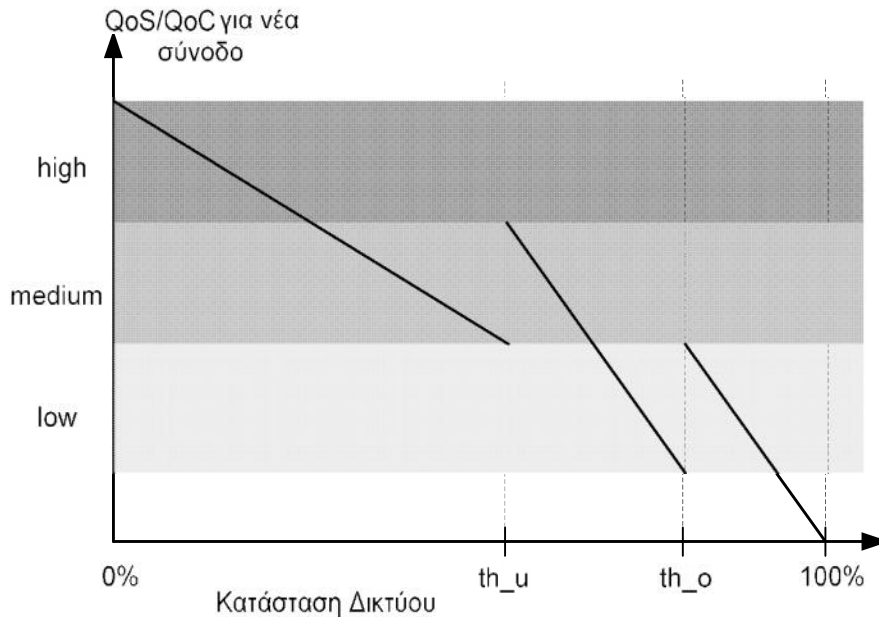
Η κύρια μέριμνα των αλγορίθμων φορτωμένης κατάστασης είναι να κρατήσουν την κατάσταση του δικτύου μεταξύ των δύο κατωφλίων. Επειδή εδώ το δίκτυο είναι πάντοτε κοντά σε κατάσταση συμφόρησης, δηλαδή κοντά στο ανώτερο κατώφλι (λαμβάνομένης υπόψη και της ασυμμετρίας στο χωρισμό του διαστήματος 0-100%), ο αλγόριθμος επιλέγει πάντα τη λύση με το κατώτερο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας/περιεχομένου. Προηγουμένως βέβαια έχει ελέγξει ότι η λύση που επιλέγει δεν οδηγεί σε κατάσταση συμφόρησης.

Σε περίπτωση αναπροσαρμογής των εγκατεστημένων συνόδων ο αλγόριθμος έχει την τάση να ελαττώσει την ποιότητα μιας ή περισσοτέρων εγκατεστημένων συνόδων. Για να πάρει την απόφαση επιλογής πρέπει να γνωρίζει το τρέχων δεσμευμένο εύρος ζώνης b_{cur} και το ελάχιστο αναγκαίο εύρος ζώνης b_{min} για την εξασφάλιση μιας ελάχιστης ποιότητας υπηρεσίας για μια νέα σύνοδο. Η πρώτη τιμή δίνεται από τα πακέτα αναφοράς RTCP και η δεύτερη αποτελεί την ελάχιστη

εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας/περιεχομένου που δίνει ο διαχειριστής του δικτύου. Σε αυτή την περίπτωση, το διαθέσιμο εύρος ζώνης μετά από μια υποθετική μείωση ποιότητας στη σύνοδο δίνεται από τη σχέση:

$$b_{av} = b_{cur} - b_{min}$$

Το διαθέσιμο εύρος b_{av} μπορεί να λάβει τιμές σε ένα διάστημα από μια ελάχιστη μέχρι μια μέγιστη. Έτσι ο αλγόριθμος ελαττώνει το b_{av} από την τρέχουσα στην ελάχιστη προκειμένου να κάνει αποδεκτή τη νέα αίτηση. Αυτό βέβαια μπορεί να οδηγήσει στη σταδιακή μείωση της ποιότητας που έχουν οι εγκατεστημένες ροές, ωστόσο κάνει τον αλγόριθμο γρηγορότερο (μιας και αρκεί η μείωση ορισμένων μόνο συνόδων για την εξεύρεση των πόρων που απαιτεί η νέα) και παράγει λιγότερη σηματοδοσία στο δίκτυο.



Σχήμα 2 - 4: Στρατηγική Δέσμευσης Πόρων

Σε μια δεύτερη προσέγγιση, ο αλγόριθμος ελευθερώνει πόρους, ελαττώνοντας αργά το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας/περιεχομένου σε ορισμένες εγκατεστημένες συνόδους. Η λογική που ακολουθεί κάνει μια ελάττωση, ώστε μόνο ένα μέρος του διαθέσιμου εύρους ζώνης b_{av} να ελευθερώνεται. Επειδή συνήθως μια νέα αίτηση χρειάζεται αρκετούς πόρους, οι οποίοι δεν μπορούν να εξασφαλισθούν με μία ελαφριά μείωση του επιπέδου μιας μόνο ροής, χρειάζεται η μείωση να γίνει σε περισσότερες εγκατεστημένες ροές. Πιο συγκεκριμένα, εάν επιλεγεί ένα προφίλ με αναγκαίο εύρος ζώνης b_{req} , τότε το δεσμευμένο εύρος κάθε εγκατεστημένης συνόδου ελαττώνεται στην τιμή $b_{cur} = b_{cur} - cxb_{av}$, όπου ο παράγοντας c είναι $0 < c < 1$ και καθορίζεται

πειραματικά. Αν τώρα το b_{req} είναι μικρότερο από το $c \times b_{av}$, η αίτηση απορρίπτεται. Αν όμως το b_{req} είναι μεγαλύτερο από το $c \times b_{av}$, το b_{req} λαμβάνει νέα τιμή την τιμή που προκύπτει από την τρέχουσα με αφαίρεση του μέγιστου b_{av} , οπότε πλέον το b_{cur} λαμβάνει ξανά νέα τιμή με βάση την παραπάνω σχέση και ακολουθεί ο ίδιος έλεγχος με την προηγούμενη περίπτωση.

Το μειονέκτημα αυτής της εκδοχής είναι η παραγωγή μεγάλης σηματοδοσίας στο δίκτυο, η οποία επιβαρύνει την ήδη υπάρχουσα τεταμένη κατάσταση, ενώ παράλληλα και η απόδοσή του είναι πιο αργή. Το πλεονέκτημα που διαθέτει είναι η ομαλή συμπεριφορά στην αλλαγή της ποιότητας υπηρεσίας, κάτι που δεν αποτελεί ενόχληση για τους τελικούς χρήστες.

2.3.4 Υπερφορτωμένοι Αλγόριθμοι

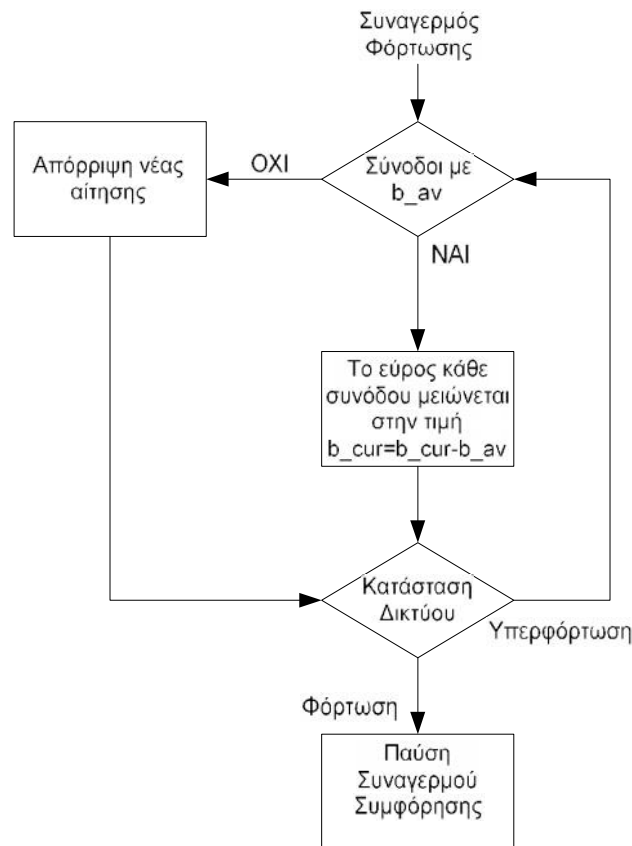
Όταν το δίκτυο βρεθεί σε κατάσταση υπερφόρτωσης ο μοναδικός στόχος που έχει ο αλγόριθμος επιλογής είναι να το επαναφέρει σε κατάσταση φόρτωσης. Για το λόγο αυτό αν δεν υποστηρίζεται η αναπροσαρμογή των εγκατεστημένων συνδέσεων μόνη επιλογή είναι η απόρριψη νέων αιτήσεων μέχρι οι έξοδοι από συνόδους ελευθερώσουν τους αναγκαίους πόρους για τη μετάπτωση στην επιθυμητή κατάσταση.

Σε περίπτωση που υποστηρίζεται αναπροσαρμογή εγκατεστημένων συνδέσεων μπορούν να ακολουθηθούν άλλες μέθοδοι λιγότερο επιθετικές από την απευθείας απόρριψη των αιτήσεων. Η πιο άμεση κίνηση που μπορεί να γίνει είναι η μείωση της ποιότητας των συνόδων που υπάρχουν στο σύστημα. Ωστόσο, ο αλγόριθμος μείωσης των επιπέδων των συνόδων πρέπει να είναι γρήγορος, μιας και η κατάσταση του δικτύου δεν επιτρέπει καθυστερήσεις.

Η ποιότητα υπηρεσίας/περιεχομένου των συνόδων με υψηλό b_{av} πρέπει να μειωθεί ώστε το δίκτυο να επανέλθει το συντομότερο δυνατό στην κατάσταση φόρτωσης. Σε περίπτωση που όλες οι σύνοδοι είναι στο ελάχιστο επίπεδό τους, δηλαδή δεν υπάρχει b_{av} κάθε νέα αίτηση απορρίπτεται αμέσως. Στην περίπτωση που ορισμένες σύνοδοι δεν είναι σε κατάσταση φόρτωσης, το εύρος κάθε συνόδου μειώνεται στην τιμή $b_{cur} = b_{cur} - b_{av}$. Εάν η κατάσταση του δικτύου εξακολουθεί να είναι υπερφορτωμένη, συνεχίζεται η ίδια διαδικασία. Εάν όμως η κατάσταση μεταπέσει στην κατάσταση φόρτωσης, τότε σταματά η κατάσταση συναγερμού και πλέον εφαρμόζονται αλγόριθμοι φορτωμένης κατάστασης.

Η παραπάνω λειτουργία περιγράφεται συνοπτικά στο διάγραμμα ροής του Σχήμα 2 - 5. Παρατηρείται ότι μετά την απόρριψη μιας νέας αίτησης, λόγω μη διαθέσιμου b_{av} ο έλεγχος της κατάστασης του δικτύου γίνεται ξανά, μιας και μπορεί ένας

χρήστης να τερματίσει τη σύνδοδό του και έτσι να ελευθερωθούν τόσοι πόροι, ώστε το σύστημα να μεταπέσει κατευθείαν στην φορτωμένη κατάσταση.



Σχήμα 2 - 5: Υπερφορτωμένος Αλγόριθμος Προσαρμογής Εγκατεστημένων Συνόδων

2.4 Συγκεκριμενοποίηση Αλγόριθμου Επιλογής

Μέχρι τώρα παρουσιάστηκε το πλαίσιο σχεδίασης του αλγόριθμου επιλογής του Εξυπηρετητή Προσομοιώσεων. Στην παρούσα παράγραφο αναλύονται οι συγκεκριμένες επιλογές που ακολουθήθηκαν και δίνεται μια πλήρως λειτουργική περιγραφή του στο περιβάλλον της αρχιτεκτονικής του ετερογενούς δικτύου.

Ο αλγόριθμος του εξυπηρετητή SS ανήκει στην κατηγορία των μηχανισμών δυναμικού ελέγχου της ποιότητας υπηρεσίας με ανατροφοδότηση (περισσότερα στις μελέτες [1] - [5]). Χαρακτηρίζεται από τρεις ζώνες λειτουργίας που αντιστοιχούν σε τρεις καταστάσεις δικτύου (Υποφορτωμένη, Φορτωμένη, Υπερφορτωμένη), όπως παρουσιάστηκαν σε προηγούμενες παραγράφους και φαίνονται στο Σχήμα 2 - 3.

Όσον αφορά στη στρατηγική δέσμευσης πόρων, στην παρούσα φάση δεν υποστηρίζεται αναπροσαρμογή των εγκατεστημένων συνόδων RTP. Αν και η υποστήριξη αυτής της δυνατότητας θα επέτρεπε τη μεγιστοποίηση του αριθμού των

χρηστών, κάτι τέτοιο δεν αποτελεί αυτοσκοπό της αρχιτεκτονικής του ετερογενούς δικτύου και για το λόγο αυτό σε πρώτο στάδιο μελετάται η λειτουργία χωρίς μεταβολή των χαρακτηριστικών των ήδη εγκατεστημένων συνόδων.

Όπως ήδη ειπώθηκε, ο εξυπηρετητής SS (και άρα ο αλγόριθμος που υλοποιεί) δέχεται ως είσοδο μια λίστα από υποψήφια προφίλ περιεχομένου και στοιχεία για την κατάσταση του δικτύου. Εξετάζοντας τα στοιχεία με τη βοήθεια και κάποιων δεδομένων προσομοιώσεων μη-πραγματικού χρόνου, επιλέγει ένα προφίλ περιεχομένου, δηλαδή τη μορφή του και τον αντίστοιχο αντιπρόσωπο υλικού (ή λογισμικού). Τέλος, ειδοποιεί τον εξυπηρετητή IMS για την επιλογή του και αν χρειάζεται εκτελεί πρόσθετες προσομοιώσεις. Η λειτουργία αυτή γίνεται με κάθε νέα αίτηση χρήστη.

Η λογική ελέγχου του εξυπηρετητή SS για την επιλογή ενός προφίλ περιεχομένου, υλοποιείται από τον αλγόριθμο επιλογής. Ο αλγόριθμος δέχεται ως είσοδο μια λίστα L , με τα υποψήφια προφίλ περιεχομένου. Έστω i , ένα υποψήφιο προφίλ από τα διαθέσιμα στη λίστα L . Στο προφίλ περιλαμβάνεται, τόσο ένας τύπος περιεχομένου (κωδικοποίηση-συμπύεση), όσο και ο αντίστοιχος αντιπρόσωπος υλικού/λογισμικού (codec) που χρειάζεται για την εκτέλεσή του. Συγκεντρωτικά οι μεταβλητές του αλγόριθμου φαίνονται στον Πίνακας 2 - 1.

i	δείκτης συγκεκριμένου προφίλ περιεχομένου
L	λίστα με τα υποψήφια προφίλ περιεχομένου

Πίνακας 2 - 1: Μεταβλητές Αλγόριθμου Επιλογής

Στον Πίνακας 2 - 2 δίνονται συγκεντρωτικά οι παράμετροι και οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για την οριοθέτηση της λογικής του αλγόριθμου. Η εξήγησή τους δίνεται στη συνέχεια.

Για τον καθορισμό της λίστας L θεωρείται ότι υπάρχουν N διαθέσιμα διαφορετικά περιεχόμενα (video αθλητικών γεγονότων, ταινίες, επικαιρότητα), τα οποία είναι αποθηκευμένα στον εξυπηρετητή CPE. Κάθε περιεχόμενο υπάρχει διαθέσιμο σε M διαφορετικούς τύπους κωδικοποίησης (MPEG-4, H.263, AVI, MP3). Ο εξυπηρετητής IMS αναζητεί το περιεχόμενο που ζήτησε ο χρήστης μέσα στα N διαθέσιμα και μόλις το εντοπίσει ξεχωρίζει ανάμεσα στους M διαφορετικούς τύπους του περιεχομένου εκείνους που εμπίπτουν στο προφίλ συσκευής που διαθέτει. Αυτά τα τελευταία προφίλ περιεχομένου που διαχωρίζει αποτελούν τη λίστα L που λαμβάνει ο SS για τον καθορισμό του καταλληλότερου.

Ο κάθε διαφορετικός τύπος περιεχομένου που αναφέρθηκε παραπάνω, συμβολίζεται με το σύμβολο P_i και περιγράφεται από το σύνολο παραμέτρων

$P_i = \{c_i, t_i, d_i, QoS\}$. Οι παράμετροι είναι διαδοχικά: το μέγεθος του codec που χρειάζεται για την αποκωδικοποίηση του συγκεκριμένου τύπου περιεχομένου c_i , η επιβάρυνση του codec t_i , δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται για να μεταφερθεί το codec μέσω του δικτύου και να εγκατασταθεί προτού αρχίσει η εκπομπή της ροής πακέτων, η διάρκεια του περιεχομένου ακρόασης d_i σε msec και τέλος το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας για το συγκεκριμένο τύπο περιεχομένου QoS, όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από το χρήστη. Για τον καθορισμό της τελευταίας παραμέτρου χρησιμοποιούνται κυρίως τα μεγέθη που προέρχονται από το πακέτο αναφοράς αποδέκτη του πρωτοκόλλου RTP.

P_i	ένας συγκεκριμένος τύπος περιεχομένου
c_i	μέγεθος codec
d_i	διάρκεια περιεχομένου
t_i	χρόνος για να κατέβει ένα συγκεκριμένο codec και να εγκατασταθεί στη συσκευή (πριν την εγκατάσταση ροής πολυμέσων)
S_h^i	η επιβάρυνση του codec για κατέβασμα και εγκατάσταση
λ	τρέχων ρυθμός απωλειών (%) που αντιμετωπίζουν οι ροές που ανήκουν στο ίδιο δίκτυο πρόσβασης με το νέο χρήστη
δ	τρέχουσα καθυστέρηση (msec) που αντιμετωπίζουν οι ροές που ανήκουν στο ίδιο δίκτυο πρόσβασης με το νέο χρήστη
$w1, w2$	κατώφλια για τον καθορισμό του επιπέδου συμφόρησης δικτύου
$QoS \in [low, medium, high]$	χαρακτηρίζει το επίπεδο της Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS) κάθε τύπου περιεχομένου όπως γίνεται αντιληπτό από το χρήστη
$l \in [low, high]$	ρυθμός άφιξης αιτήσεων χρήστη

Πίνακας 2 - 2: Παράμετροι Αλγόριθμου Επιλογής

Εκτός από τη λίστα L, ο αλγόριθμος δέχεται ως είσοδο, ένα σύνολο πινάκων με δεδομένα προσομοιώσεων μη-πραγματικού χρόνου για την κατάσταση του δικτύου. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν την επόμενη κατάσταση δικτύου σε όρους καθυστέρησης πακέτου, μεταβολής της καθυστέρησης και ποσοστού απωλειών πακέτων για κάθε ένα προφίλ περιεχομένου και για κάθε δίκτυο πρόσβασης. Η μορφή των πινάκων είναι NSC,AN[λ, δ][Pi], όπου οι δείκτες C, AN υποδηλώνουν τον τύπο του δικτύου πρόσβασης. Δηλαδή για ένα σύνολο προαποφασισμένων καταστάσεων δικτύου, για

κάθε ένα δίκτυο πρόσβασης ξεχωριστά, εξετάζεται η επίπτωση που έχει το κάθε προφίλ στο δίκτυο και καθορίζεται η αναμενόμενη επόμενη κατάσταση (με τους ίδιους όρους δικτυακών μεγεθών), στην οποία αναμένεται να περάσει το δίκτυο μετά την αποδοχή της αίτησης χρήστη και την εγκατάσταση της ροής πακέτων.

Με βάση την πολιτική που καθορίστηκε για τη διαχείριση εγκατεστημένων ροών και τον τρόπο που χρησιμοποιούνται τα δεδομένα προσομοιώσεων, διαφαίνεται ξεκάθαρα ο στόχος του αλγόριθμου. Αναζητείται η επιλογή του καλύτερου δυνατού προφίλ περιεχομένου για ένα νέο χρήστη κάτω από τις τρέχουσες συνθήκες δικτύου, η οποία όμως εξασφαλίζει και την καλύτερη κατάσταση ποιότητας υπηρεσίας για το δίκτυο. Παράλληλα, μελετάται η επίδραση της νέας ροής (αφού εγκατασταθεί), στην κατάσταση δικτύου που αντιλαμβάνονται οι υπόλοιπες ροές (μέσω των πακέτων RTCP).

Ακολουθως δίνεται η πλήρης λειτουργία του αλγόριθμου όπως σχεδιάστηκε για άμεση υλοποίηση στον εξυπηρετητή SS και με τη μορφή ψευδοκώδικα.

Βήματα Αλγόριθμου Επιλογής:

- 1) Καθορισμός των παραμέτρων λ (απώλειες πακέτων) και δ (καθυστερήσεις πακέτων) με βάση τις μετρήσεις που λαμβάνονται κατευθείαν από το δίκτυο και της αναφορές των μηνυμάτων RTCP.
- 2) Με βάση τον πίνακα NSC,AN, εξαιρούνται όλοι οι τύποι ενός περιεχομένου που οδηγούν το σύστημα σε μη αποδεκτή κατάσταση ποιότητας υπηρεσίας. Όλες οι υπόλοιπες μορφές περιεχομένου συμπεριλαμβάνονται στη λίστα L ως υποψήφιος για επιλογή.

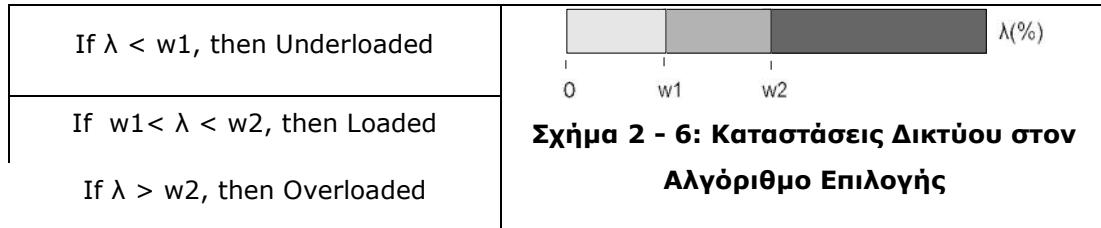
- 3) Για κάθε ένα υποψήφιο προφίλ περιεχομένου στη λίστα L, υπολογίζεται η επιβάρυνση για το κατέβασμα και την εγκατάσταση του codec από τον τύπο:

$$S_h^i = \frac{t_i}{d_i}. \text{ Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι σε περίπτωση που ένας codec}$$

είναι ήδη εγκατεστημένος στη συσκευή του χρήστη, τότε $t_i = 0$ και $S_h^i = 0$.

- 4) Η κατάσταση του δικτύου μπορεί να χαρακτηριστεί ως Υποφορτωμένη (Underloaded), Φορτωμένη (Loaded) και Υπερφορτωμένη (Overloaded). Η μετρική που χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό αυτό δεν είναι συνδυασμός παραμέτρων αλλά αποκλειστικά και μόνο ο ρυθμός απωλειών πακέτων. Η επιλογή αυτή έγινε για την επιτάχυνση της λήψης απόφασης, μιας και αν εξετάζονταν και άλλα μεγέθη θα προκαλούνταν πρόσθετη καθυστέρηση για τη σύγκριση όλων των δυνατών συνδυασμών μεγεθών που θα χρησιμοποιούνταν. Ο χαρακτηρισμός γίνεται ως εξής:

Τα κατώφλια w_1 και w_2 δεν είναι συμμετρικά τοποθετημένα στην περιοχή τιμών του ποσοστού απωλειών λ όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2 - 6. Μάλιστα, η ρύθμιση των δύο τιμών των w_1 και w_2 καθορίζει και την πολιτική διαμοιρασμού εύρους ζώνης του συστήματος. Έτσι αν επιλεχθούν να είναι μικρές, τότε η πολιτική θα είναι συντηρητική, μιας και το σύστημα θα φτάνει γρηγορότερα στην κατάσταση υπερφόρτωσης, οπότε και θα δίνει στους νέους χρήστες το μικρότερο δυνατό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας.



ς αιτήσεων χρήση I . Ο ρυθμός μπορεί να ή ως υψηλός (high). Σε περίπτωση υψηλού πρέπει να είναι συντηρητικός σε σχέση με το προφίλ που επιλέγεται για τη νέα σύνοδο. ντες που περιγράφηκαν παραπάνω, πρέπει να άστασης. Συνολικά ο αλγόριθμος επιλογής έχει

$$P_i \in L, \text{ with } \text{high}(QoS) \wedge \min(Sh^i)$$

$$P_i \in L, \text{ with } \text{medium}(QoS) \wedge \min(Sh^i)$$

$$P_i \in L, \text{ with } \text{medium}(QoS) \wedge \min(Sh^i)$$

$$P_i \in L, \text{ with } \text{low}(QoS) \wedge \min(Sh^i)$$

$$P_i \in L, \text{ with } \text{low}(QoS) \wedge \min(Sh^i)$$

μest

ως προς την εκχώρηση επιπέδου ποιότητας τρεις ζώνες λειτουργίας στο Σχήμα 2 - 4. Η / που έχει γίνει για κάθε περιοχή, είναι η ρ, προσαρμοστικότητα, αριθμού χρηστών και

Έτσι, στην περίπτωση Υποφορτωμένης κατάστασης επιλέχθηκε ο τρίτος αλγόριθμος, ο οποίος αρχικά εκχωρεί το μέγιστο δυνατό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας, ενώ όσο η κατάσταση πλησιάζει αυτή της Φορτωμένης εκχωρείται μέτριο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας. Στην περίπτωση της Φορτωμένης κατάστασης ακολουθείται η ίδια στρατηγική (με μειωμένο όμως το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας που εκχωρείται). Δηλαδή, επεκτείνεται η λογική του προηγούμενου αλγόριθμου σε μια χαμηλότερη κλίμακα επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας. Τέλος, στην περίπτωση της Υπερφορτωμένης κατάστασης χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος που αφορά στη μη προσαρμογή εγκατεστημένων συνόδων. Εάν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι για να εκχωρηθεί το κατώτατο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας αυτό γίνεται πράξη. Διαφορετικά η αίτηση απορρίπτεται.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι ο αλγόριθμος παρέχει ένα σχετικά απλό αλλά έξυπνο τρόπο για να επιλέγει κάθε φορά το καλύτερο διαθέσιμο προφίλ περιεχομένου σε όρους αντιλαμβανόμενης ποιότητας υπηρεσίας, τρέχουσας κατάστασης δικτύου, ρυθμού αφίξεων αιτήσεων και χρόνου επαναπρογραμματισμού του codec. Μάλιστα, η κατάλληλη ρύθμιση των κατωφλίων επιτρέπει την επιβολή διαφορετικών τηλεπικοινωνιακών πολιτικών σχετικά με την αποδοχή αιτήσεων εξυπηρέτησης.

Η απλότητα που χαρακτηρίζει τον αλγόριθμο συνάδει με τη βασική απαίτηση για ταχύτητα λήψης των αποφάσεων από τον εξυπηρετητή SS. Με τον τρόπο που δομήθηκε η λειτουργία του, όλο το υπολογιστικό κόστος έγκειται στη γρήγορη ανίχνευση του κατάλληλου προφίλ περιεχομένου σε μια (γραμμική) λίστα περιεχομένων. Βέβαια, το κόστος προσαυξάνεται με την ανάγκη σάρωσης του πίνακα των δεδομένων προσομοίωσης μη-πραγματικού χρόνου, ο οποίος εν γένη είναι πολυδιάστατος (ανάλογα με τα δίκτυα πρόσβασης που χρησιμοποιούνται). Πάντως σε κάθε περίπτωση πίνακα δεδομένων προσομοίωσης η εκτίμηση της κατάστασης του δικτύου και ιδιαίτερα η επιλογή του κατάλληλου προφίλ περιεχομένου γίνονται ταχύτατα και με άμεσο τρόπο.

Ο παραπάνω αλγόριθμος χρησιμοποιήθηκε αυτούσιος στην κατασκευή της μονάδας Λογικής Πυρήνα (CL) του εξυπηρετητή SS του ετερογενούς δικτύου.

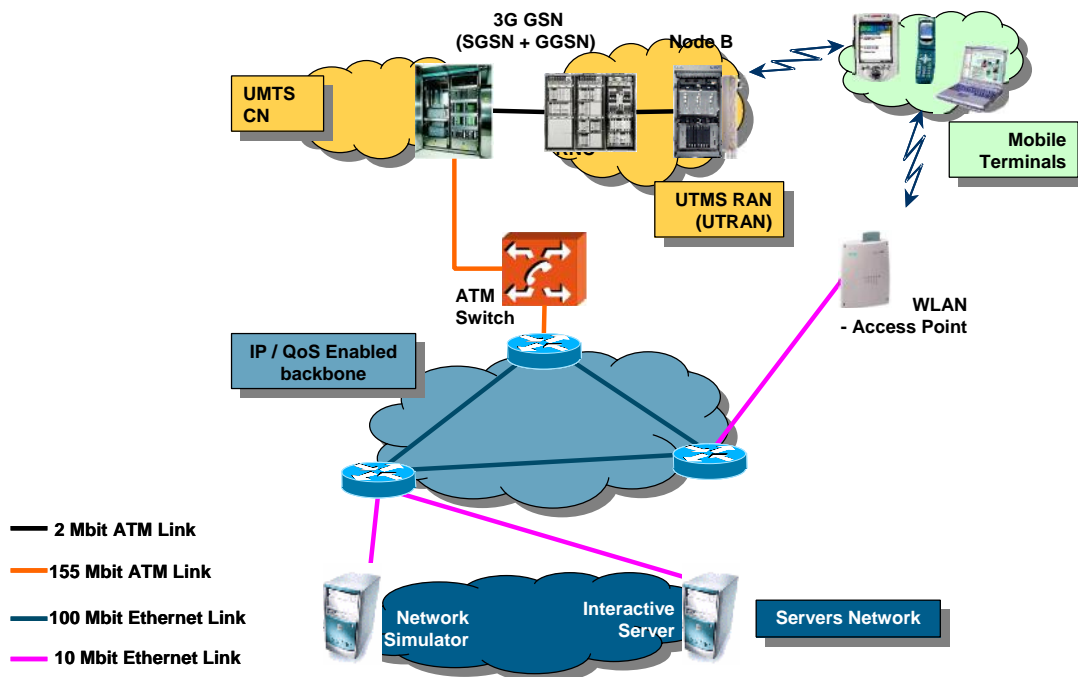
2.5 Αποτίμηση Επίδοσης Αλγόριθμου Επιλογής

Αν και ο αλγόριθμος που προτάθηκε στην προηγούμενη παράγραφο φαίνεται απλός και γρήγορος στην εφαρμογή είναι αναγκαία η επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας του και της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της επίδοσής του. Ορθή

λειτουργία δεν συνεπάγεται βέλτιστη προσαρμοστικότητα, αλλά την επίτευξη μιας προσαρμογής του επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας του περιεχομένου ανάλογα με την κίνηση που επικρατεί στο δίκτυο. Από την άλλη η αποτίμηση της επίδοσης αφορά σε αυτό ακριβώς το κομμάτι του βαθμού προσαρμογής που επιτυγχάνεται. Για την διερεύνηση των δύο παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω (και την τελική τεκμηρίωση του αλγόριθμου) είναι αναγκαία αρχικά η προσομοίωση της λειτουργίας του αλγόριθμου σε ένα όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικό περιβάλλον και μετέπειτα η αποτίμηση της επίδοσης της λειτουργίας του αλγόριθμου σε πραγματικό δίκτυο που ακολουθεί την αρχιτεκτονική του ετερογενούς δικτύου.

2.5.1 Περιβάλλον Δοκιμών

Η συνολική αρχιτεκτονική του ετερογενούς δικτύου υλοποιήθηκε και παρουσιάστηκε σε περιβάλλον δοκιμών στις εγκαταστάσεις της εταιρίας Siemens στο Μιλάνο το Μάιο του 2005.



Σχήμα 2 - 7: Αρχιτεκτονική Δικτύου Δοκιμών

Το δίκτυο δοκιμών ονομάζεται Siemens mobiLAB [6] και αποτελείται από τρία βασικά υποκείμενα δίκτυα: το δίκτυο πρόσβασης, το οποίο υποστηρίζει συνδέσεις ενσύρματες LAN και ασύρματες UMTS, GPRS, EDGE, IEEE 802.11b, το δίκτυο κορμού IP και το δίκτυο των εξυπηρετητών. Το συνολικό δίκτυο φαίνεται στο Σχήμα 2 - 7.

Το δίκτυο πρόσβασης αποτελείται από τα στοιχεία μετάδοσης των διαφορετικών τεχνολογιών (στοιχεία Node-B, σημεία πρόσβασης AP) και από το δίκτυο κορμού (Core Network – CN) του δικτύου UMTS/GPRS. Στο ασύρματο δίκτυο UMTS, το φέρον ασύρματης πρόσβασης (Radio Access Bearer – RAB) για την μεταφορά κίνησης πακέτων αποτελείται από ένα δεσμευμένο (dedicated) κανάλι DCH που υποστηρίζει ρυθμούς μέχρι 384 Kbps στο κανάλι καθόδου, 64 Kbps στο κανάλι ανόδου ανά σύνοδο και 2 Mbps συνολικά. Η μονάδα UMTS RAN συνδέεται στο δίκτυο κορμού με δεσμευμένο κανάλι ATM 2Mbps. Το δίκτυο κορμού CN αποτελείται από τις μονάδες SGSN και GGSN. Η μονάδα GGSN συνδέεται με το δίκτυο κορμού IP και το δίκτυο εξυπηρετητών μέσω δεσμευμένης γραμμής ATM. Η πρόσβαση στο δίκτυο WLAN επιτυγχάνεται μέσω ενός σημείου πρόσβασης AP με διαμοιραζόμενα κανάλια ανόδου / καθόδου ρυθμού 11 Mbps. Το δίκτυο κορμού IP αποτελείται από τρεις δρομολογητές CISCO 7200 διασυνδεδεμένους με γραμμές 100 Mbps. Το δίκτυο εξυπηρετητών περιλαμβάνει τους εξυπηρετητές SS και IMS, οι οποίοι συνδέονται στο δίκτυο IP με γραμμές Ethernet 10Mbps.

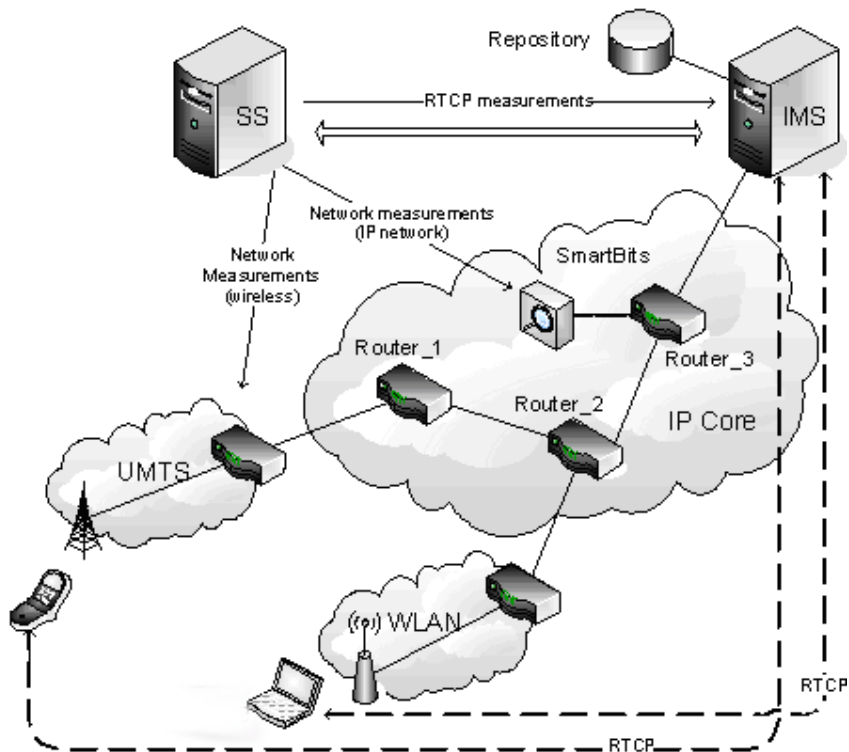
2.5.2 Δίκτυο Προσομοίωσης

Πρώτο μέλημα για την ορθή προσομοίωση είναι ο καθορισμός μια τοπολογίας δικτύου, πάνω στην οποία θα βασισθεί η λειτουργία του αλγόριθμου. Με βάση την αρχιτεκτονική του ετερογενούς δικτύου, κρίνεται αναγκαίο το δίκτυο της προσομοίωσης να αντικατοπτρίζει το πραγματικό δίκτυο (Σχήμα 2 - 7) και επομένως να αποτελείται από τρία επιμέρους υποκείμενα δίκτυα. Πρέπει να περιλαμβάνει ένα ασύρματο δίκτυο πρόσβασης, ένα δίκτυο IP πυρήνα και το δίκτυο εξυπηρετητών του ετερογενούς δικτύου. Φυσικά, δε χρειάζεται κάθε υποκείμενο δίκτυο να προσομοιωθεί στην πλήρη λειτουργία και μέγεθος που αναμένεται να έχει στην πραγματικότητα. Αρκεί μια βασική υποδομή που θα είναι ενδεικτική της οργάνωσης και των χαρακτηριστικών που διακρίνουν το δίκτυο.

Το δίκτυο πρόσβασης είναι και αυτό ετερογενές. Στην κανονική αρχιτεκτονική αποτελείται από τρία διαφορετικά είδη δικτύων, ένα GPRS (2.5G), ένα UMTS (3G), και ένα WLAN. Τα δύο πρώτα έχουν παρόμοια λειτουργία και για το λόγο αυτό δεν χρειάζονται και τα δύο στην τοπολογία προσομοίωσης. Κάτι τέτοιο είναι αποδεκτό αν σκεφτεί κανείς ότι η αρχιτεκτονική τους διαφέρει σε λίγα σημεία, ενώ η τάση είναι μελλοντικά το δίκτυο GPRS να μετεξελιχθεί σε UMTS.

Επομένως το δίκτυο πρόσβασης δομικά αποτελείται από ένα δίκτυο UMTS και ένα δίκτυο WLAN. Οι συσκευές χρήστη που μπορεί να υποστηρίξει κάθε δίκτυο πρόσβασης είναι διαφορετικές και αυτό λαμβάνεται υπόψη στην προσομοίωση (με την

έννοια του ρυθμού κατεβάσματος που επιτυγχάνει ο χρήστης στο κάθε δίκτυο). Στο δίκτυο του UMTS θεωρείται ότι η πρόσβαση γίνεται από μία κινητή συσκευή (με τις προδιαγραφές του τερματικού Αναπροσαρμογής Υλικού). Μια κατάλληλη συσκευή μπορεί να είναι ένα PDA ή ένα κινητό τηλέφωνο νέας γενιάς (3G). Η πρόσβαση στο δίκτυο WLAN γίνεται με ένα φορητό προσωπικό υπολογιστή (laptop) ο οποίος διαθέτει δυνατότητες WiFi (αλλά και τις προδιαγραφές τερματικού Αναπροσαρμογής Υλικού), ώστε να μπορέσει να συνδεθεί με το σημείο πρόσβασης AP του δικτύου (Σχήμα 2 - 8).

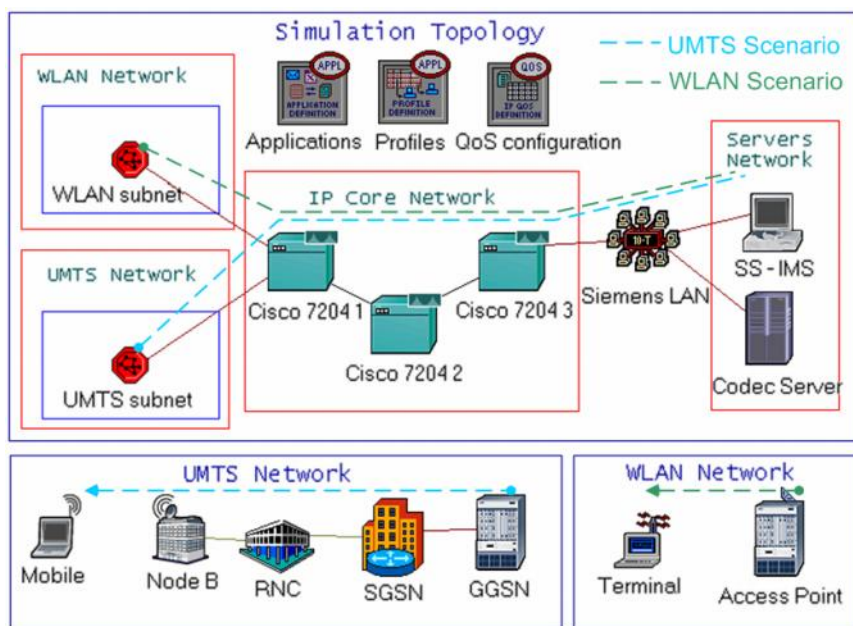


Σχήμα 2 - 8: Τοπολογία Δικτύου Προσομοίωσης

Στην τοπολογία που χρησιμοποιήθηκε ελήφθη υπόψη και η εσωτερική αρχιτεκτονική του κάθε υποκείμενου δικτύου. Έτσι, στο δίκτυο WLAN ο πελάτης συνδέεται κατευθείαν μέσω του σημείου πρόσβασης AP και της αντίστοιχης γραμμής Ethernet των 100Mbit στο δίκτυο κορμού. Ο ίδιος ο πελάτης έχει σύνδεση με το σημείο AP στα 11Mbps, όσο θεωρητικά προβλέπει το πρωτόκολλο IEEE 802.11b. Στο δίκτυο UMTS, ο χρήστης συνδέεται μέσω του Node-B με το αντίστοιχο RNC. Τα δύο αυτά στοιχεία αποτελούν το ασύρματο τμήμα του δικτύου (RAN). Το στοιχείο RNC αποτελεί και το σημείο πρόσβασης υπηρεσίας (Service Access Point - SAP) και είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση των ασύρματων πόρων του δικτύου. της σύνδεσης με το υπόλοιπο δίκτυο. Η σύνδεση του τερματικού περνά μετά από το RNC στο SGSN και από αυτό στο GGSN για να συνδεθεί με κάποιο δρομολογητή του IP δικτύου κορμού (Σχήμα 2 - 9). Η

σύνδεση του δικτύου UMTS με το δικτύου IP κορμού, δηλαδή η σύνδεση του GGSN με ένα δρομολογητή του δικτύου κορμού είναι στα 155Mbit.

Το δίκτυο κορμού απαρτίζεται από διασυνδεδεμένους δρομολογητές, ορισμένοι από τους οποίους είναι ενεργοποιημένοι για την εφαρμογή πρωτοκόλλων RSVP/DiffServ για την εφαρμογή πολιτικής ποιότητας υπηρεσίας. Στην περίπτωση της προσομοίωσης δεν είναι αναγκαία η εισαγωγή πολυπλοκότητας τέτοιου βαθμού, ούτε είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί σε πραγματική (και άρα μεγάλη κλίμακα, μιας και όλα τα μεγέθη θα είναι περιορισμένα). Το δίκτυο κορμού που χρησιμοποιήθηκε στην προσομοίωση αποτελείται από τρεις δρομολογητές (μοντέλο Cisco 7204) στη διάταξη που φαίνεται στο Σχήμα 2 - 8. Επίσης περιλαμβάνει και μια συσκευή παρακολούθησης το μοντέλο Smart Bits 600. Φυσικά στην προσομοίωση δεν χρειάζεται να προστεθεί επιπλέον συσκευή παρακολούθησης, αφού όλα τα πακέτα προσομοίωσης (και το OPNET) παρέχουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της κατάστασης του δικτύου σε επιθυμητά σημεία, χωρίς τη χρήση εξοπλισμού, αλλά με την επισήμανση του επίμαχου σημείου. Η παρουσία του Smart Bits 600 αναφέρεται μόνο για λόγους κατανόησης του σεναρίου προσομοίωσης που αναφέρεται παρακάτω.



Σχήμα 2 - 9: Δίκτυο Προσομοίωσης

Το δίκτυο εξυπηρετητών θεωρείται ότι αποτελείται μόνο από τους εξυπηρετητές IMS και τον SS. Έτσι κι αλλιώς οι υπόλοιποι εξυπηρετητές δεν προκαλούν κίνηση στο δίκτυο των εξυπηρετητών μιας και η κίνηση των συνόδων προς τους χρήστες περνά από τον IMS, όπου γίνεται και η διαχείρισή της. Η όποια επιβάρυνση στο δίκτυο εξυπηρετητών μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητη της συμπεριφοράς του υπόλοιπου

συστήματος που μελετάται. Η σύνδεση IMS, SS πραγματοποιείται με γραμμή Ethernet των 100Mbit. Στην προσομοίωση με το λογισμικό OPNET δεν περιλαμβάνεται ο εξυπηρετητής SS (Σχήμα 2 - 9) γιατί δεν συνεισφέρει καθόλου στην κίνηση του δικτύου. Η εκπομπή γίνεται από τον εξυπηρετητή IMS και μόνο προς τους τελικούς χρήστες. Αυτό αληθεύει απόλυτα μιας και ο εξυπηρετητής SS απλά ερωτάται από τον IMS για την επιλογή προφίλ περιεχομένου, χωρίς να εμπλέκεται ο ίδιος στη διαχείριση της ροής πακέτων.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ότι όλο το σύστημα υποστηρίζει τη χρήση του πρωτοκόλλου RTP/RTCP για τη μεταφορά των δεδομένων των ροών και τη συλλογή στατιστικών στοιχείων χρήσης και κατάστασης του δικτύου. Στο Σχήμα 2 - 8 δείχνονται τα μονοπάτια που ακολουθούν τα πακέτα αναφορών και ελέγχου του RTCP προκειμένου να συλλέξει ο εξυπηρετητής SS (μέσω της μονάδας Network Monitor & Analyzer - NMA) στοιχεία για την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου.

Ο εξυπηρετητής IMS αναλαμβάνει διάφορους ρόλους στο πεδίο προσομοιώσεων, συμπεριλαμβανομένης της αλληλεπίδρασης με τον SS για την επιλογή προφίλ περιεχομένου, αλλά και με τον εξυπηρετητή CPE που λειτουργεί ως αποθήκη των διαφόρων τύπων περιεχομένων. Κύρια λειτουργία του IMS όσον αφορά στο σύστημα είναι η διαχείριση των ροών δεδομένων. Είναι υπεύθυνος για τη διοχέτευση των πακέτων κάθε ροής, οπότε προκειμένου αυτή η δουλειά να γίνεται ικανοποιητικά και απρόσκοπτα, παράλληλα με τις υπόλοιπες (δημιουργία λίστας υποψήφιων προφίλ για νέα αίτηση) είναι αναγκαία η ενσωμάτωση ενός εξυπηρετητή διοχέτευσης ροής πακέτων (streaming server), ο οποίος μάλιστα να μπορεί να επεκταθεί (ως λογική και άρα ως πηγαίος κώδικας) για να αναλάβει αυτή την εργασία. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε ο εξυπηρετητής Helix DNA, ο οποίος επιτρέπει τη δημιουργία πακέτων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και την εκπομπή τους στο δίκτυο, για όλους του υποστηριζόμενους τύπους πολυμέσων της αρχιτεκτονικής του ετερογενούς δικτύου, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο RTP/RTCP. Επομένως, με όρους τηλεπικοινωνιακής κίνησης ο εξυπηρετητής IMS μπορεί να θεωρηθεί ως μια πηγή δεδομένων, η οποία μπορεί να είναι σταθερού (Constant Bit Rate - CBR) ή μεταβλητού ρυθμού (Variable Bit Rate - VBR).

Εκτός της κίνησης που παράγεται από τις αιτήσεις πελατών και μοντελοποιείται ως κίνηση τύπου CBR ή VBR στο δίκτυο κορμού κυκλοφορεί και επιπρόσθετη κίνηση που δεν προέρχεται από αιτήσεις στο σύστημα του ετερογενούς δικτύου. Πρόκειται για κίνηση που μεταφέρεται με ποιότητα βέλτιστης προσπάθειας (best-effort) και αναφέρεται είτε σε ενέργειες των χρηστών του ετερογενούς δικτύου που δεν αφορούν στο σύστημά του (για παράδειγμα επικοινωνία με άλλα πρόσωπα για σχολιασμό της

ακρόασης, ή προσωπικές εργασίες στο Διαδίκτυο), είτε στην κίνηση που μεταφέρει το δίκτυο κορμού ως δίκτυο πυρήνα ενός τηλεπικοινωνιακού φορέα προοριζόμενο να υποστηρίξει πολλές διαφορετικές υπηρεσίες και συστήματα. Η κίνηση υποβάθρου (background traffic) όπως ονομάζεται τέτοιου είδους κίνηση, λαμβάνεται υπόψη στην προσομοίωση και επηρεάζει τα τελικά αποτελέσματα. Στο Σχήμα 2 - 9 φαίνεται το δίκτυο προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε όπως δημιουργήθηκε μέσα στο λογισμικό OPNET.

2.5.3 Προσομοιώσεις Μη-Πραγματικού Χρόνου

Το πρώτο βήμα της προσομοίωσης είναι η δημιουργία δεδομένων προσομοίωσης μη-πραγματικού χρόνου. Αυτό γίνεται με το εργαλείο προσομοίωσης OPNET. Χρησιμοποιώντας το, επιχειρείται η εξέταση των προκυπτουσών συνθηκών ποιότητας υπηρεσίας στο δίκτυο.

Η μελέτη γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο. Για διαφορετικές αρχικές καταστάσεις δικτύου, υπολογίζεται η κατάσταση στην οποία θα βρεθεί το δίκτυο, με την επιλογή καθενός από τα διαθέσιμα τέσσερα προφίλ περιεχομένου. Η κατάσταση ποιότητας υπηρεσίας του δικτύου ορίζεται με βάση την τριάδα παραμέτρων {καθυστέρηση, jitter, απώλεια πακέτου}.

Η εξέταση έγινε για τα δύο διαφορετικά είδη σεναρίων, που περιγράφηκαν. Παράγονται αποτελέσματα για πρόσβαση μέσω UMTS και μέσω WLAN δικτύου. Τα δεδομένα που προέκυψαν για τα δύο δίκτυα πρόσβασης φαίνονται στους επόμενους πίνακες. Στον Πίνακα 2 - 3 δείχνονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης για πρόσβαση από το δίκτυο UMTS, ενώ στον Πίνακα 2 - 4 φαίνονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης για το WLAN.

Initial State (pkt loss %, delay msec)		Profiles		
		Mpeg4 64Kbps 12.5f/s	Mpeg4 128Kbps 12.5f/s	Mpeg4 384Kbps 12.5f/s
(0, 113)	delay (msec)	117	117	123
	jitter (msec)	0.38	10	12
	packet loss (%)	0	0	0
(0, 410)	delay (msec)	412	433	423
	jitter (msec)	12	13	46
	packet loss (%)	0	7.9	7.73
(0.02, 430)	delay (msec)	373	428	437
	jitter (msec)	1.5	1.68	1.47
	packet loss (%)	1.25	17.08	16.55
(0.1, 435)	delay (msec)	374	430	434
	jitter (msec)	1.89	1.75	2.2
	packet loss (%)	3.62	21.93	22.09

(2.26, 431)	delay (msec)	388	430	433
	jitter (msec)	1.4	1.59	1.29
	packet loss (%)	19.71	36.89	36.8
(6.9, 431)	delay (msec)	392	431	432
	jitter (msec)	1.25	0.8	0.87
	packet loss (%)	42.27	40.05	40.23

Πίνακας 2 - 3: Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το Δίκτυο UMTS

Initial State			Profiles								
			64Kbps H.263 12.5f/s			256Kbps H.263 12.5f/s			384Kbps Mpeg4 12.5f/s		
delay (msec)	ploss (%)	jitter (msec)	delay (msec)	ploss (%)	jitter (msec)	delay (msec)	ploss (%)	jitter (msec)	delay (msec)	ploss (%)	jitter (msec)
4.8472	0	0.001	5.4851	0	0.003	9.4453	0	3e-04	11.867	0	4e-04
5.785	0	0.003	6.7793	0	0.006	9.1805	0	0.002	10.795	0	0.002
7.1468	0	0.006	8.1574	0	0.009	9.9954	0	0.005	11.204	0	0.005
8.1953	0	0.01	9.3246	0	0.014	10.706	0	0.009	11.676	0	0.009
9.4947	0	0.016	10.504	0	0.02	11.792	0	0.015	12.598	0	0.015
10.784	0	0.023	11.794	0	0.028	12.932	0	0.021	13.626	0	0.021
11.886	0	0.027	13.026	0	0.036	13.909	0	0.029	14.516	0	0.029
13.141	0	0.035	14.24	0	0.046	15.08	0	0.039	15.622	0	0.038
14.272	0	0.043	15.448	0	0.058	16.134	0	0.049	16.621	0	0.048
15.546	0	0.048	16.648	0	0.069	17.353	0	0.059	17.793	0	0.057
16.814	0	0.054	17.864	0	0.08	18.571	0	0.07	18.974	0	0.068
17.964	0	0.061	19.137	0	0.093	19.678	0	0.081	20.05	0	0.078
19.124	0	0.069	20.265	0	0.103	20.801	0	0.094	21.145	0	0.088
20.4	0	0.077	21.526	0	0.118	22.049	0	0.103	22.373	0	0.101
21.588	0	0.087	22.807	0	0.128	23.208	0	0.114	23.511	0	0.113
22.724	0	0.095	23.942	0	0.141	24.315	0	0.125	24.601	0	0.125
24.021	0	0.107	25.161	0	0.155	25.593	0	0.142	25.862	0	0.139
25.189	0	0.118	26.362	0	0.171	26.74	0	0.155	26.996	0	0.149
26.457	0	0.133	27.596	0	0.188	27.994	0	0.171	28.323	0	0.163
27.604	0	0.144	28.744	0	0.228	29.123	0	0.177	29.899	0	0.174
28.845	0	0.153	30.028	0	0.214	30.68	0	0.191	32.627	0	0.192
30.013	0	0.174	31.243	0	0.231	32.792	0	0.21	36.176	0	0.21
31.363	0	0.185	32.863	0	0.246	35.86	0	0.217	41.356	0	0.248
32.829	0	0.202	35.014	0	0.251	39.541	0	0.248	46.74	0	0.319
34.326	0	0.222	36.669	0	0.277	42.338	0	0.278	50.414	0	0.368
35.928	0	0.235	38.344	0	0.296	45.128	0	0.312	53.898	0	0.452
37.398	0	0.254	40.319	0	0.304	48.007	0	0.35	57.862	0	0.487
39.18	0	0.26	42.318	0	0.331	51.38	0	0.4	62.312	0.0464	0.535
41.09	0	0.266	44.689	0	0.335	55.06	0	0.415	65.504	0.63	0.582
43.059	0	0.28	47.162	0	0.328	58.829	0.025	0.462	68.094	1.6436	0.622
45.236	0	0.298	49.644	0	0.341	61.861	0.3976	0.509	69.783	2.8657	0.655
47.273	0	0.306	52.556	0	0.374	63.951	1.1999	0.524	71.892	4.1415	0.726
50.203	0	0.33	55.308	0.1129	0.392	65.869	2.1896	0.572	73.648	5.6709	0.75

53.268	0.0376	0.34	57.897	0.4937	0.416	67.664	3.6798	0.616	75.263	7.1392	0.774
55.954	0.3703	0.345	59.94	1.3244	0.425	69.578	4.8949	0.639	78.164	8.9175	0.831
58.749	0.9244	0.393	61.495	2.3264	0.459	71.444	6.7955	0.674	79.21	10.506	0.871
59.274	1.8291	0.41	62.866	3.4735	0.457	73.162	7.9915	0.683	81.75	12.016	0.884
60.983	2.943	0.414	64.384	4.6644	0.495	75.187	9.6516	0.729	84.133	13.88	0.944
62.375	4.0819	0.427	66.015	6.0838	0.506	77.297	11.242	0.787	85.579	15.378	0.986
63.226	5.4518	0.472	66.92	7.3636	0.559	79.122	12.826	0.819	86.466	16.758	0.965
64.883	6.708	0.474	68.481	8.8073	0.562	80.89	14.693	0.839	89.22	18.763	1.047
66.713	7.9273	0.491	69.396	10.165	0.591	82.746	16.021	0.849	90.194	20.22	1.049
67.916	9.395	0.529	70.658	11.585	0.574	83.801	17.884	0.896	90.478	21.603	1.072
69.113	10.978	0.538	71.719	13.031	0.653	85.445	19.349	0.892	91.451	23.254	1.098
70.624	12.192	0.583	73.257	14.354	0.659	86.114	20.816	0.93	92.25	24.556	1.092
72.152	13.641	0.602	74.745	15.833	0.669	87.461	22.406	0.974	92.526	25.978	1.163
73.23	14.73	0.613	75.903	17.093	0.779	88.301	23.758	1.011	92.973	27.282	1.174
76.391	17.813	0.643	77.445	19.101	0.721	93.918	28.127	1.048	98.38	31.717	1.179
75.479	17.655	0.631	77.951	21.142	0.762	89.494	26.6	1.007	93.571	29.891	1.134
76.672	19.596	0.68	79.194	21.932	0.822	89.41	27.735	1.052	94.187	31.281	1.178
77.164	20.724	0.697	79.058	22.624	0.832	90.448	29.243	1.099	94.448	32.381	1.214
78.481	22.162	0.731	80.047	24.171	0.861	90.688	30.287	1.121	94.309	33.43	1.201
78.544	23.435	0.744	80.271	25.223	0.866	90.611	31.496	1.124	94.405	34.448	1.238
79.314	24.811	0.774	81.066	26.556	0.895	91.222	33.033	1.113	94.526	35.673	1.249
80.019	26.073	0.82	81.7	27.822	0.927	91.626	34.104	1.198	94.891	36.769	1.319
79.685	27.005	0.806	81.819	28.94	0.92	90.949	34.747	1.243	94.426	37.371	1.269
81.001	28.457	0.84	82.325	30.184	0.915	91.822	36.097	1.194	94.762	38.586	1.252

Πίνακας 2 - 4: Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το Δίκτυο WLAN

Η τοπολογία που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων δείχνεται στο Σχήμα 2 - 9. Όπως παρατηρείται εύκολα υπάρχουν λιγότερα σενάρια για συνθήκες χαμηλού φορτίου και περισσότερα για συνθήκες υψηλού φορτίου, γιατί με την αύξηση της συμφόρησης, η αντιλαμβανόμενη ποιότητα υπηρεσίας χειροτερεύει γρηγορότερα από την περίπτωση χαμηλής δικτυακής κίνησης. Αυτό συμβαίνει γενικότερα και για το μέγεθος της απώλειας πακέτου, το οποίο όσο είναι σε χαμηλά και μέτρια επίπεδα δεν φανερώνει κατάσταση συμφόρησης, αλλά από ένα σημείο και πάνω το δίκτυο παρουσιάζει ξαφνικά κατάσταση υπερφόρτωσης.

2.5.4 Διαθέσιμο Περιεχόμενο

Το διαθέσιμο περιεχόμενο της αρχιτεκτονικής του ετερογενούς δικτύου που βρίσκεται αποθηκευμένο στον εξυπηρετητή CPE αναμένεται να είναι τεράστιο. Μόνο το υλικό που θα μεταδίδεται σε πραγματικό χρόνο μπορεί να δημιουργήσει αρκετά διαφορετικά περιεχόμενα. Εδώ ο όρος περιεχόμενο αναφέρεται στο πραγματικό περιεχόμενο που μεταφέρεται, είτε είναι το video ενός ποδοσφαιρικού αγώνα, είτε ο ήχος από μία ζωντανή συναυλία. Κατά την περιγραφή του αλγόριθμου επιλογής

περιεχομένου, ο αριθμός των διαφορετικών περιεχομένων (ως πληροφορία) περιγράφηκε με το N .

Από την άλλη ένα πληροφοριακό περιεχόμενο μπορεί να βρίσκεται σε πολλούς διαφορετικούς τύπους, ανάλογα με το πρότυπο στο οποίο έχει αποφασισθεί να μετατραπεί μετά την επεξεργασία του. Έτσι για παράδειγμα ο ίδιος ποδοσφαιρικός αγώνας μπορεί να διατίθεται σε μορφή MPEG-4 με 12.5 frames/sec (πλαίσια video ανά δευτερόλεπτο) και ρυθμό μετάδοσης της ροής 256 Kbps ή σε μορφή H.263 με επίσης 12.5 frames/sec και ρυθμό μετάδοσης 64Kbps. Η διαφορά στο τηλεπικοινωνιακό προφίλ είναι εμφανής, όπως και η διαφορά στην ποιότητα που αντιλαμβάνεται ο χρήστης. Η μορφή της κωδικοποίησης καθορίζει προφανώς και το codec που χρειάζεται για την ακρόαση του συγκεκριμένου προφίλ περιεχομένου. Ο αριθμός των διαφορετικών μορφών στις οποίες μπορεί να διατίθεται ένα πληροφοριακό περιεχόμενο συμβολίζεται σε όρους της αρχιτεκτονικής με το σύμβολο M .

Λόγω της πληθώρας περιεχομένου και διαφορετικών μορφών που αναμένεται να υπάρχει διαθέσιμο σε κατάσταση κανονική λειτουργίας δεν είναι δυνατό να προσομοιωθεί η πλήρης λειτουργία με τα N , M να λαμβάνουν ρεαλιστικές τιμές. Αντίθετα για την εξαγωγή αποτελεσμάτων χρειάζονται λίγα και αντιπροσωπευτικά μεγέθη, ώστε τα αποτελέσματα να είναι άμεσης εποπτείας και ελέγχου.

Με αυτό το σκεπτικό στην προσομοίωση που έγινε θεωρήθηκε η ύπαρξη ενός μόνο πληροφοριακού περιεχομένου, οπότε $N = 1$. Η ύπαρξη ενός μόνο περιεχομένου πληροφορίας δεν επηρεάζει σε τίποτα τη λειτουργία του συστήματος, γιατί πολύ απλά είναι ένα ενδεχόμενο που θα μπορούσε να συμβεί στην πραγματικότητα.

Οι διαφορετικοί τύποι προφίλ περιεχομένου (P_i), επιλέγονται να είναι έξι, τρεις για κάθε ασύρματο δίκτυο πρόσβασης (UMTS, WLAN) οπότε $M = 6$. Μιας και το περιεχόμενο είναι ένα δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί κάποιο είδος περιγραφής του περιεχομένου. Τα χαρακτηριστικά των διαφορετικών προφίλ φαίνονται στον Πίνακα 2 - 5, και περιλαμβάνουν τα στοιχεία που είναι αναγκαία για την εφαρμογή του αλγόριθμου, δηλαδή, όνομα codec, ρυθμός που εξασφαλίζει (r_i), ποιότητα υπηρεσίας (QoS), και μέγεθος του codec (c_i). Επίσης κάθε προφίλ χαρακτηρίζεται από το επίπεδο ποιότητας περιεχομένου (QoC level) όπως αυτό γίνεται αντιληπτό από τους χρήστες (low, medium, high).

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων που απαιτεί ο αλγόριθμος χρειάζεται ακόμα το μέγεθος της διάρκειας του περιεχομένου και του χρόνου που χρειάζεται για να κατέβει το codec και να εγκατασταθεί. Τα δύο μεγέθη χρειάζονται για το υπολογισμό του $S h_i$ που αποτελεί την επιβάρυνση που προκαλεί το κατέβασμα και ο

επαναπρογραμματισμός της συσκευής του χρήστη. Για την προσομοίωση μπορούμε κατευθείαν να ορίσουμε την επιβάρυνση. Το κριτήριο για τον καθορισμό της ορίζεται το μέγεθος του codec, γιατί υποτίθεται ότι το κατέβασμά του από το δίκτυο γίνεται υπό τις ίδιες συνθήκες για κάθε ένα.

Προφίλ	Codec	Δίκτυο Πρόσβασης	Ρυθμός (Kbps)	Ρυθμός Πλαισίων(fps)	Επίπεδο Ποιότητας Περιεχομένου	Μέγεθος Codec (Kbits)
1	H.263	IEEE 802.11b	64	12.5	low	760
2	H.263	IEEE 802.11b	256	12.5	medium	760
3	MPEG-4	IEEE 802.11b	384	12.5	high	1000
4	MPEG-4	UMTS	64	12.5	low	1000
5	MPEG-4	UMTS	128	12.5	medium	1000
6	MPEG-4	UMTS	384	12.5	high	1000

Πίνακας 2 - 5: Προφίλ Περιεχομένου

2.5.5 Περιβάλλον Αποτίμησης Επίδοσης Αλγόριθμου Επιλογής

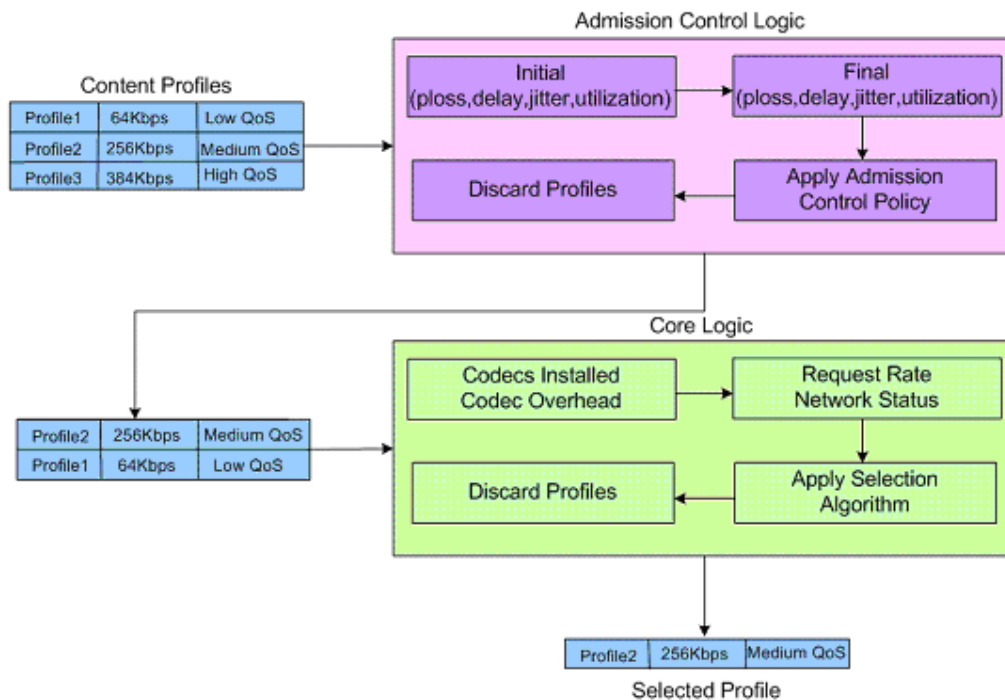
Η μέτρηση της επίδοσης του Αλγόριθμου Επιλογής του εξυπηρετητή SS πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του περιβάλλοντος προσομοίωσης που περιγράφηκε στην παράγραφο 2.5.2.

Η μοντελοποίηση και προσομοίωση της κίνησης του δικτύου πραγματοποιήθηκε θεωρώντας ότι οι αιτήσεις από τους νέους χρήστες σχηματίζουν μια διαδικασία Poisson χωρίς μνήμη με μέσω ρυθμό άφιξης λ και ανταγωνίζονται για την εξυπηρέτησή τους σε μια ουρά FIFO. Ο ρυθμός εξυπηρέτησης των χρηστών ακολουθεί κατανομή Poisson με μέση τιμή μ . Επομένως μπορεί να ορισθεί ένα προφίλ κίνησης που να καθορίζει τον ρυθμό άφιξης και αναχώρησης των χρηστών κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων.

Σύμφωνα με το επιλεγμένο προφίλ κίνησης, ο συνολικός χρόνος προσομοίωσης χωρίζεται σε τρεις περιόδους. Στην πρώτη περίοδο ο ρυθμός άφιξης υπερβαίνει το ρυθμό αναχώρησης ($\lambda=0.5$, $\mu=0.35$). Κατά τη διάρκεια της δεύτερης περιόδου ο ρυθμός άφιξης νέων χρηστών στο δίκτυο υπερβαίνει κατά πολύ το ρυθμό αναχώρησης ($\lambda=0.6$, $\mu=0.35$), ενώ στην τρίτη περίοδο το σκηνικό αλλάζει και ο ρυθμός εξυπηρέτησης υπερβαίνει το ρυθμό άφιξης ($\lambda=0.4$, $\mu=0.6$).

Ο Αλγόριθμος Επιλογής (Selection Algorithm) εφαρμόζει συγκεκριμένες πολιτικές με ιεραρχικό τρόπο οδηγώντας στην επιλογή του καταλληλότερου προφίλ περιεχομένου για κάθε αίτηση νέου χρήστη. Στο περιβάλλον αποτίμησης επίδοσης, ο Αλγόριθμος Επιλογής εφαρμόζεται σε κάθε νέο χρήστη που φτάνει στο δίκτυο με σκοπό να επιλεγεί το κατάλληλο προφίλ περιεχομένου, ώστε είτε να ξεκινήσει μια νέα

συνόδος είτε να απορριφθεί η αίτηση. Ο καθορισμός της τρέχουσας κατάστασης του δικτύου πραγματοποιείται με τη βοήθεια προσομοιώσεων μη πραγματικού χρόνου που βρίσκονται αποθηκευμένες στην βάση προσομοιώσεων του εξυπηρετητή SS. Επίσης όλες οι απαραίτητες πληροφορίες που αφορούν παραμέτρους όπως η χρησιμοποίηση καναλιού, ο αριθμός των χρηστών στο σύστημα κ.α. ενημερώνονται κάθε φορά που λαμβάνει χώρα ένα συμβάν (άφιξη ή αναχώρηση χρήστη). Στο φαίνεται συνοπτικά η διαδικασία Επιλογής η οποία περιγράφηκε αναλυτικά στην παράγραφο 2.4.



Σχήμα 2 - 10: Διαδικασία Αλγόριθμου Επιλογής

2.5.6 Ανάλυση Αποτελεσμάτων Επίδοσης

Τα αποτελέσματα της αποτίμησης του αλγόριθμου επιλογής χρησιμοποιούνται στην επιλογή των παραμέτρων w_1 και w_2 (παράγραφος 2.4) που παίζουν το ρόλο κατωφλίων και καθορίζουν το επίπεδο της από άκρο-σε-άκρο συμφόρησης του δικτύου. Επιπλέον είναι αναγκαίος ο έλεγχος πρόσβασης (admission control) ώστε να διατηρηθούν οι απώλειες πακέτων των συνόδων κάτω από ένα κοινά αποδεκτά όριο. Στα δίκτυα UMTS, η μονάδα Διαχείρισης Ασύρματων Πόρων (Radio Resource Management - RRM) είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο πρόσβασης, χρησιμοποιώντας τους ασύρματους πόρους για να εγγυηθεί ποιότητα υπηρεσίας στους χρήστες. Σε ένα ετερογενές περιβάλλον όμως, είναι απαραίτητο να εξασφαλιστούν από άκρο-σε-άκρο

εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας δια μέσου διαφορετικών δικτύων. Η πολιτική ελέγχου πρόσβασης του Αλγόριθμου Επιλογής λειτουργώντας συμπληρωματικά με τη μονάδα RRM του δικτύου UMTS, ικανοποιεί την απαίτηση αυτή.

Τα αποτελέσματα επικεντρώνονται επίσης στην επίδραση που έχουν τα δύο αυτά κατώφλια στην κατανομή των χρηστών και των διάφορων μετρικών του δικτύου όπως είναι η απώλεια πακέτων, η καθυστέρηση και η χρησιμοποίηση του καναλιού. Επιπρόσθετα, κύριος σκοπός είναι η παρουσίαση της αποτελεσματικότητας του αλγόριθμου σε ετερογενή περιβάλλοντα πρόσβασης μέσω της μεγιστοποίησης του αριθμού των χρηστών, της αύξησης της χρησιμοποίησης των πόρων του δικτύου και της διατήρησης της καθυστέρησης και της απώλειας πακέτων σε χαμηλά επίπεδα όσων αφορά τους ήδη εξυπηρετούμενους χρήστες.

Μελετήθηκαν ως προς την απόδοσή τους τέσσερα ζευγάρια κατωφλίων (w_1 , w_2) που καθορίζουν τον χαρακτηρισμό της κατάστασης του δικτύου ως υποφορτωμένο, φορτωμένο και υπερφορτωμένο. Η επιλογή των τιμών αυτών βασίστηκε σε προηγούμενες μελέτες ([7], [8]) και σε αποτελέσματα προσομοιώσεων. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι η επιλεγμένη ζώνη [w_1 , w_2] επεκτάθηκε αρκετά ώστε να αποφευχθούν τα φαινόμενα ταλάντωσης του επιπέδου της προσφερόμενης ποιότητας υπηρεσίας.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος που ονομάζεται Αλγόριθμος Επιλογής (Selection Algorithm – SA) συγκρίθηκε με ένα άλλο αποτελεσματικό αλγόριθμο που ονομάζεται Αλγόριθμος Κατωφλίου Χρησιμοποίησης (Utilization Threshold Algorithm – UTA). Ο αλγόριθμος UTA επιλέγει το κατάλληλο προφίλ περιεχομένου βασισμένος σε δύο κατώφλια (th_1 , th_2) της χρησιμοποίησης καναλιού σε αντίθεση με τον αλγόριθμο SA που χρησιμοποιεί κατώφλια απώλειας πακέτων. Πιο συγκεκριμένα ο αλγόριθμος UTA ενεργεί ως εξής: όσο η χρησιμοποίηση της γραμμής που παρουσιάζεται η συμφόρηση δεν υπερβαίνει την τιμή th_1 , κάθε χρήστης εξυπηρετείται με το υψηλό (high) προφίλ περιεχομένου. Αν η χρησιμοποίηση αυξηθεί και βρεθεί μεταξύ των τιμών th_1 και th_2 , οι νέοι χρήστες γίνονται δεκτοί με το προφίλ της ενδιάμεσης (medium) ποιότητας υπηρεσίας. Τέλος, μόλις η χρησιμοποίηση υπερβεί την τιμή th_2 , ο αλγόριθμος UTA εισάγει χρήστες με το χαμηλό προφίλ περιεχομένου.

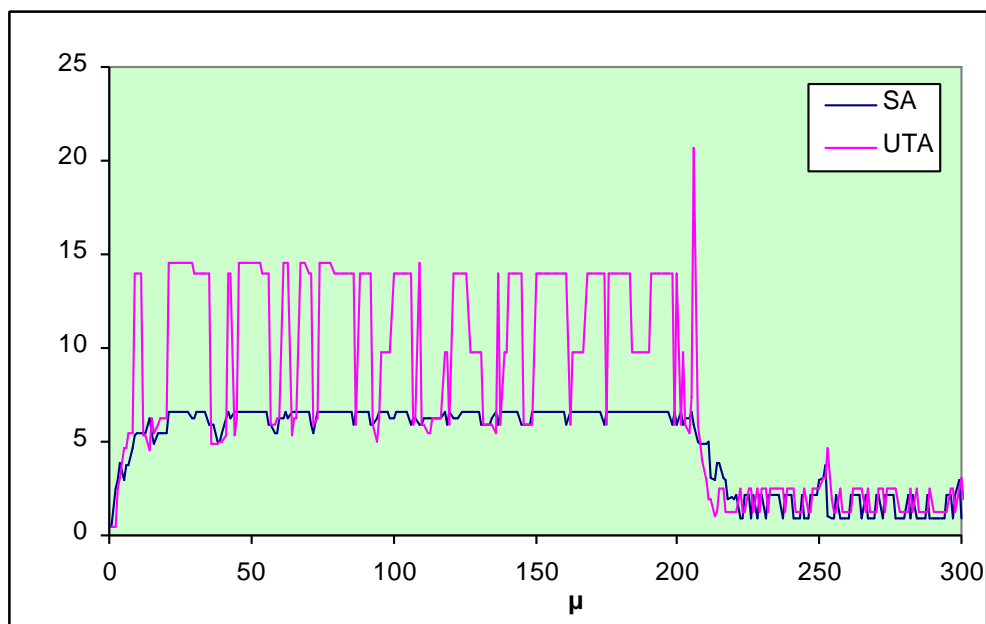
Ο αλγόριθμος UTA εξετάστηκε για ένα μεγάλο αριθμό ζευγαριών κατωφλίων και επιλέχθηκε το ζευγάρι με την καλύτερη επίδοση $\{th_1=85\%, th_2=95\%\}$ ώστε να είναι δίκαιη η σύγκριση με τον προτεινόμενο αλγόριθμο SA. Τα αποτελέσματα της αποτίμησης της επίδοσης των δύο αλγορίθμων φαίνεται στον Πίνακας 2 - 6. Από τα αποτελέσματα αυτά γίνεται εμφανές ότι ο αλγόριθμος SA επιτυγχάνει την διατήρηση σε

χαμηλά επίπεδα των μετρικών συμφόρησης του δικτύου και παράλληλα την αύξηση της χρησιμοποίησης του καναλιού που εμφανίζεται η συμφόρηση.

	max ploss (%)	w1	w2	sessions rejected (%)	sessions accepted (%)	mean values			max values		
						utilization (%)	packet loss (%)	delay (msec)	utilization (%)	packet loss (%)	delay (msec)
Selection Algorithm (SA)	12	1	5	29.63	70.37	69.75	4.30	47.51	99.47	11.59	79.21
		2	4	30.86	69.14	69.54	4.07	47.17	99.36	11.59	78.16
		2	10	20.37	79.63	76.82	5.58	52.78	99.47	11.59	79.21
		5	10	30.86	69.14	69.68	5.72	48.87	99.47	11.59	79.21
	15	1	5	25.93	74.07	71.62	4.62	49.05	99.36	14.35	78.16
		2	4	32.10	67.90	69.61	4.29	47.14	99.69	14.35	81.75
		2	10	23.46	76.54	78.35	6.52	53.56	99.69	14.69	81.75
		5	10	31.48	68.52	70.29	6.04	50.26	99.77	14.35	84.13
Utilization Threshold Algorithm (UTA)	-	-	-	21.60	78.40	76.51	8.62	54.79	99.41	17.09	80.89

Πίνακας 2 - 6: Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα Επίδοσης Αλγόριθμου Επιλογής

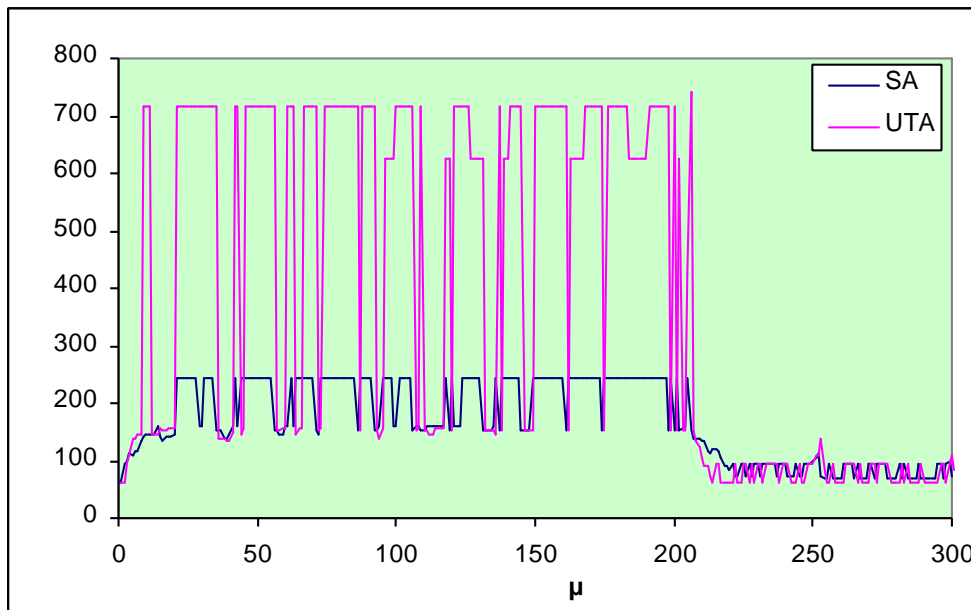
Γενικά όταν τα κατώφλια (w_1 , w_2) και η παράμετρος μέγιστης απώλειας πακέτων max_ploss είναι ικανοποιητικά καθορισμένα, ο αλγόριθμος επιλογής αποδεικνύεται πιο αποτελεσματικός και αποδοτικός από τον αλγόριθμο UTA.



Σχήμα 2 - 11: Απώλειες Πακέτων στο Σενάριο του Δικτύου WLAN

Πιο συγκεκριμένα, όταν είναι $max_ploss = 12\%$ και $[w_1, w_2] = [2, 10]$, τότε ο προτεινόμενος αλγόριθμος SA επιτυγχάνει μείωση τις απώλειες πακέτων κατά 35.3%. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στην περίπτωση του αλγόριθμου UTA, οι απώλειες

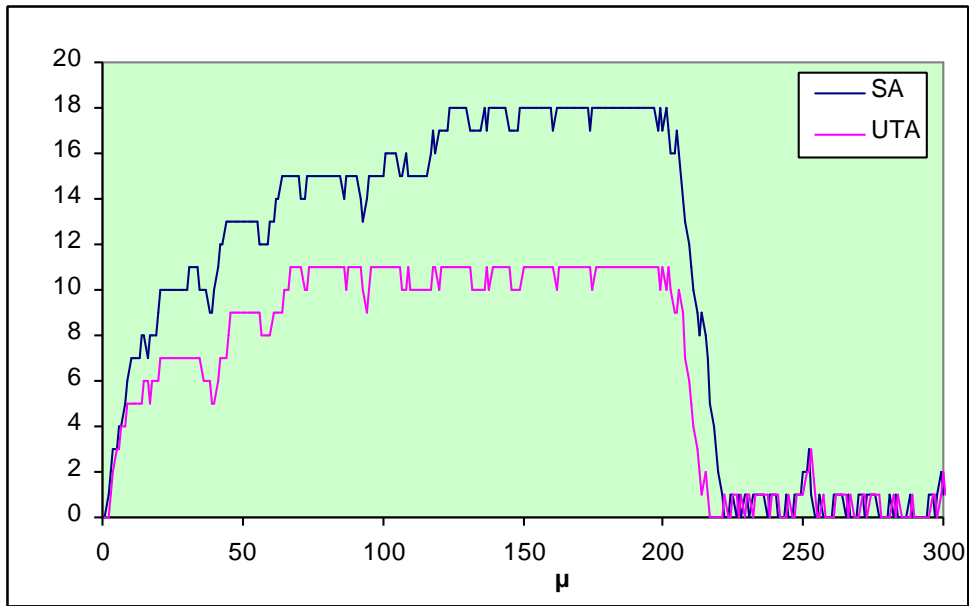
πακέτων ανεβαίνουν ανεξέλεγκτα μέχρι το 17.09% καταλήγοντας στην εξαθλίωση της προσφερόμενης ποιότητας υπηρεσίας (Σχήμα 2 - 11), ενώ την ίδια στιγμή ο αλγόριθμος SA επιτυγχάνει να διατηρήσει τις απώλειες πακέτων αυστηρά κάτω από το επιλεγμένο όριο του ελεγκτή πρόσβασης (στην περίπτωση αυτή είναι 12%). Επίσης εφαρμόζοντας τον Αλγόριθμο Επιλογής η μέση από άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση ελαττώνεται κατά 3.67% (Σχήμα 2 - 12), το ποσοστό των εισαχθέντων χρηστών αυξάνεται κατά 1.23% (Σχήμα 2 - 13), ενώ η χρησιμοποίηση του καναλιού αυξάνεται κατά 0.4% (Σχήμα 2 - 14) σε σύγκριση με τον αλγόριθμο UTA.



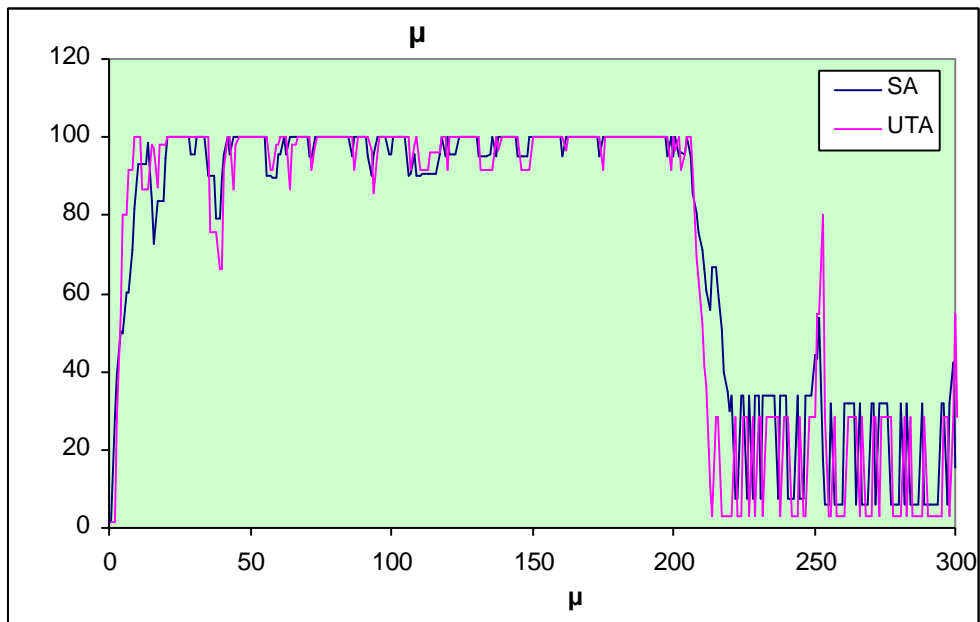
Σχήμα 2 - 12: Καθυστέρηση Πακέτων στο Σενάριο του Δικτύου WLAN

Στην περίπτωση του δικτύου UMTS η αποτίμηση της απόδοσης των δύο αλγορίθμων αποδεικνύει την ανωτερότητα του Αλγόριθμου Επιλογής έναντι του αλγόριθμου UTA. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος εξακολουθεί να διατηρεί χαμηλά τα μεγέθη συμφόρησης του δικτύου, ενώ βελτιώνει την χρησιμοποίηση του συστήματος. Επιλέγοντας τις ίδιες τιμές με την προηγούμενη περίπτωση ($\max_ploss = 12\%$, $[w1, w2] = [2, 10]$) ο αλγόριθμος SA αυξάνει ελαφρώς την χρησιμοποίηση του καναλιού κατά 1.87%.

Επιπλέον, σύμφωνα με τα αποτελέσματα από το δίκτυο δοκιμών, καθώς ο αλγόριθμος SA κάνει διαχωρισμό μεταξύ υψηλού και χαμηλού ρυθμού αφίξεων, επιτυγχάνει να κατανέμει αποτελεσματικότερα την διαθέσιμη ποιότητα περιεχομένου και να διατηρεί τις απώλειες πακέτων κάτω από το κατώφλι που ορίζει η πολιτική ελέγχου πρόσβασης (12%).



Σχήμα 2 - 13: Ενεργοί Χρήστες στο Σενάριο του Δικτύου WLAN



Σχήμα 2 - 14: χρησιμοποίηση Καναλιού στο Σενάριο του Δικτύου WLAN

2.6 Βιβλιογραφία

- [1] Ch. Bouras, A. Gkamas, "Multimedia transmission with adaptive QoS based on real-time protocols", *International Journal of communication systems*, Wiley InterScience, vol.16, pp. 225-248, 2003
- [2] N. Shaha, A. Dessai, M. Parashar, "Multimedia Content Adaptation for QoS Management over Heterogeneous Networks", *Proceedings of the International Conference on Internet Computing (IC 2001)*, Nevada, USA, June 2001
- [3] H. Zhang, "Adaptive Content Delivery: A New Research Area in Media Computing", *Technical paper*, Microsoft, January 2000
- [4] R. Mohan, J. R. Smith, Ch.-Sh. Li, "Adapting Multimedia Internet Content for Universal Access", *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 1, no. 1, March 1999
- [5] I. Busse, B. Deffner, H. Schulzrinne, "Dynamic QoS Control of Multimedia Applications based on RTP", *Computer Communications*, vol. 19, no. 1, pp. 49-58, January 1996
- [6] Deliverable 2d, IST Project ENAMORADO
- [7] C. Papagianni, E. Kosmatos, E. Nikolouzou, I.S.Venieris, "Intelligent Multimedia Content Provision for Nomadic Users", *European Wireless 2005*, Nicosia, Cyprus, April 2005.
- [8] E. Kosmatos, C. Papagianni, E. Nikolouzou, P. Sampatakos, S. Maniatis, I.S.Venieris, "Enamorado: An intelligent multimedia content delivery system", *13th IST Mobile and Wireless Communications Summit 2004*, Lyon, France, June 2004.
- [9] RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control. IETF RFC 1890. January 1996.
- [10] Rosenberg, J. Schulzrinne, H. Timer Reconsideration for Enhanced RTP Scalability. IETF Draft. July 1997.
- [11] Schulzrinne, H. Rosenberg, J. Sampling of the Group Membership in RTP. IETF Draft. November 1998.
- [12] Compressing IP/UDP/RTP Headers for Low-Speed Serial Links. IETF RFC 2508. February 1999.
- [13] Busse, I. Deffner, B. Schulzrinne, H. Dynamic QoS Control of Multimedia Applications based on RTP.

- [14] End-to-End Quality of Service Control Using Adaptive Applications. Dorgham Sisalem. GMD Fokus. IFIP Fifth International Workshop on Quality of Service (IWQOS '97).
- [15] Multimedia Content Adaptation for QoS Management. Narendra Shaha, Ashish Desai & Manish Parashar.
- [16] End-to-End QoS Support for Adaptive Applications over the Internet. Baochun Li, Dongyan Xu, Klara Nahrstedt, Jane W.-S. Liu
- [17] Quality of Service Terminology in IP Networks. Janusz Gozdecki, Andrzej Jajszczyk, and Rafal Stankiewicz, AGH University of Technology. IEEE Communications Magazine, March 2003.
- [18] QoS Support for an All-IP System Beyond 3G. Tomás Robles, Arndt Kadelka, Hector Velayos, Antti Lappetelainen, Andreas Kessler, Hui Li, Davide Mandato, Jussi Ojala, Bernhard Wegmann. IEEE Communications Magazine. August 2001.
- [19] S. Casner, C. Alaettinoglu, C. Kuan, "A fine-grained view of high-performance networking", Packet Design, NANOG 22, May 20-22, 2001
- [20] I. Busse, B. Deffner, H. Schulzrine, "Dynamic QoS Control of Multimedia Applications based on RTP", Computer Communications, vol. 19, no. 1, pp. 49-58, January 1996
- [21] S. Ardon, P. Gunningberg, B. Landefeldt, Y. Ismailov, M. Portmann, A. Seneviratne, "MARCH: A distributed content adaptation architecture", International Journal of Communication Systems, 2003, vol. 16, pp. 97-115
- [22] H. Zhang, "Adaptive Content Delivery: A New Research Area in Media Computing", Technical paper, Microsoft, January 2000
- [23] R. Mohan, J. R. Smith, Ch.-Sh. Li, "Adapting Multimedia Internet Content for Universal Access", IEEE Transactions on Multimedia, vol. 1, no. 1, March 1999
- [24] M. Mehta, N. Drew, G. Vardoulis and N. Greco, "Reconfigurable Terminals: An Overview of Architectural Solutions," IEEE Communications Magazine, no. 8, pp. 82-89, August 2001

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΟΛΥΜΕΣΣΩΝ ΣΕ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Παρά την αξιοσημείωτη πρόοδο και την αύξηση της χωρητικότητας που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στα - διαφόρων ειδών - δίκτυα πρόσβασης, η δραματική αύξηση της συνολικής κίνησης στο διαδίκτυο, επιβαρύνει σημαντικά τη θέση των δικτύων πρόσβασης. Το «τελευταίο μίλι» εξακολουθεί να παραμένει η στενωπός μεταξύ των τοπικών δικτύων (LAN) και του δικτύου κορμού. Σήμερα τις πιο διαδεδομένες λύσεις δικτύων πρόσβασης ευρείας ζώνης αποτελούν τα δίκτυα γραμμής ψηφιακού συνδρομητή (Digital Subscriber Line – DSL) και τα δίκτυα καλωδιακής πρόσβασης (Cable Modem – CM). Παρότι αποτελούν βελτίωση των απαρχαιωμένων διαμορφωτών των 56 Kbps, εντούτοις είναι ανίκανα να παρέχουν επαρκές εύρος ζώνης για την ικανοποίηση των νέων διαδεδομένων εφαρμογών, όπως η τηλεφωνία IP (Voice over IP – VOIP), το βίντεο κατ' απαίτηση (Video On Demand – VOD), τα αλληλεπιδραστικά παιχνίδια και η βιντεοδιάσκεψη. Το σίγουρο είναι βέβαια ότι στις ημέρες μας υπάρχει η ανάγκη για μια νέα τεχνολογία, η οποία θα είναι φθηνή, απλή, κλιμακούμενη και παράλληλα κατάλληλη για τη διανομή υπηρεσιών Triple Play (πακέτων φωνής, δεδομένων και βίντεο) σε συνδρομητές πάνω από ένα ενοποιημένο δίκτυο. Τα παθητικά οπτικά δίκτυα πρόσβασης (Passive Optical Networks – PON) και κυρίως τα παθητικά Ethernet δίκτυα πρόσβασης (Ethernet PON – EPON), τα οποία αποτελούν τη σύγκλιση μεταξύ του φθηνού εξοπλισμού Ethernet και της χαμηλού κόστους υποδομής οπτικών ινών, εμφανίζονται ως η πλέον υποσχόμενη τεχνολογία για να καλύψει το υπάρχον αυτό κενό.

3.1 Εξέλιξη στο «Πρώτο Μίλι»

Παλαιότερα ονομαζόταν «Τελευταίο Μίλι» (last mile), σήμερα έχει μετονομαστεί από την κοινότητα Ethernet σε «Πρώτο Μίλι» (first mile), για να συμβολίσει τη σπουδαιότητα και την προτεραιότητά του, σε ανάγκη εξέλιξης σε σχέση με το υπόλοιπο δίκτυο. «Πρώτο Μίλι» ονομάζεται το δίκτυο που συνδέει τα γραφεία του παροχέα της υπηρεσίας και των εμπορικών ή οικιακών συνδρομητών. Ονομάζεται επίσης δίκτυο πρόσβασης συνδρομητή ή τοπικός βρόγχος και αποτελεί την υποδομή διαδικτύου σε επίπεδο γειτονιάς. Οι οικιακοί συνδρομητές απαιτούν λύσεις πρόσβασης για το «Πρώτο Μίλι», οι οποίες θα πρέπει να παρέχουν υπηρεσίες ευρείας ζώνης και να είναι ανταγωνιστικές στην τιμή σε σχέση με τις υπάρχουσες τεχνολογίες πρόσβασης.

Οι εταιρίες παροχής τηλεφωνίας απάντησαν στην αυξημένη ζήτηση για πρόσβαση στο διαδίκτυο υλοποιώντας την τεχνολογία DSL (Digital Subscriber Line). Η τεχνολογία DSL χρησιμοποιεί το ίδιο συνεστραμμένο χάλκινο καλώδιο με τις τηλεφωνικές γραμμές και απαιτεί την ύπαρξη διαμορφωτή DSL από την πλευρά του συνδρομητή καθώς και την ύπαρξη πολυπλέκτη πρόσβασης DSL (DSL Access Multiplexer – DSLAM) από την πλευρά της εταιρίας. Οι ρυθμοί μετάδοσης που υποστηρίζονται από την τεχνολογία DSL κυμαίνονται από 128 Kb/s μέχρι και 24 Mb/s. Αν και τέτοιες ταχύτητες είναι σημαντικά μεγαλύτερες σε σχέση με έναν αναλογικό διαμορφωτή, εντούτοις δεν μπορούν να θεωρηθούν πλήρως ευρυζωνικές αφού δεν υποστηρίζουν πλήρεις υπηρεσίες Triple Play (φωνής, δεδομένων και βίντεο). Επιπλέον η φυσική επιφάνεια που μπορεί να καλύψει ένα κέντρο τεχνολογίας DSL περιορίζεται σε ακτίνα 5.5 χιλιομέτρων, γεγονός που σημαίνει ότι έτσι καλύπτεται μόνο ένα μέρος των συνολικών συνδρομητών. Προς την λύση αυτού του προβλήματος, οι παροχείς δικτύου προσπαθούν να υλοποιήσουν απομακρυσμένες συσκευές DSLAM πιο κοντά στους απομακρυσμένους συνδρομητές. Στην πράξη όμως, ένας παροχέας υπηρεσιών παρέχει υπηρεσίες DSL μόνο σε συνδρομητές που βρίσκονται μερικά μίλια μακριά από τα κέντρα του λόγω κόστους [1].

Οι εταιρίες παροχής καλωδιακής τηλεόρασης απάντησαν στην αυξημένη ζήτηση για πρόσβαση στο διαδίκτυο με την ενοποίηση υπηρεσιών δεδομένων πάνω στα ομοαξονικά καλωδιακά δίκτυά τους, τα οποία είχαν αρχικά κατασκευαστεί για την μετάδοση αναλογικού βίντεο. Συνήθως, αυτά τα υβριδικά ομοαξονικά καλωδιακά δίκτυα (Hybrid Fiber Coax – HFC) χρησιμοποιούν οπτική ίνα μεταξύ του παροχέα βίντεο και του τοπικού οπτικού κόμβου, ο οποίος μεταδίδει τα δεδομένα στο συνδρομητή μέσω ομοαξονικού καλωδίου, επαναληπτών και συνδέσμων. Το μειονέκτημα αυτής της τεχνολογία αποτελεί το γεγονός ότι κάθε οπτικός κόμβος μπορεί

να υποστηρίξει μέχρι 36 Mb/s ωφέλιμο εύρος ζώνης, το οποίο τυπικά διαιρείται με 2000 συνδρομητές, καταλήγοντας σε αρκετά περιορισμένο εύρος ζώνης ανά συνδρομητή σε ώρες αιχμής. Προσπαθώντας να λύσουν το παραπάνω πρόβλημα οι εταιρίες παροχής καλωδιακής τηλεόρασης όλο και περισσότερο εγκαθιστούν οπτικούς κόμβους μέσα στο «Πρώτο Μίλι».

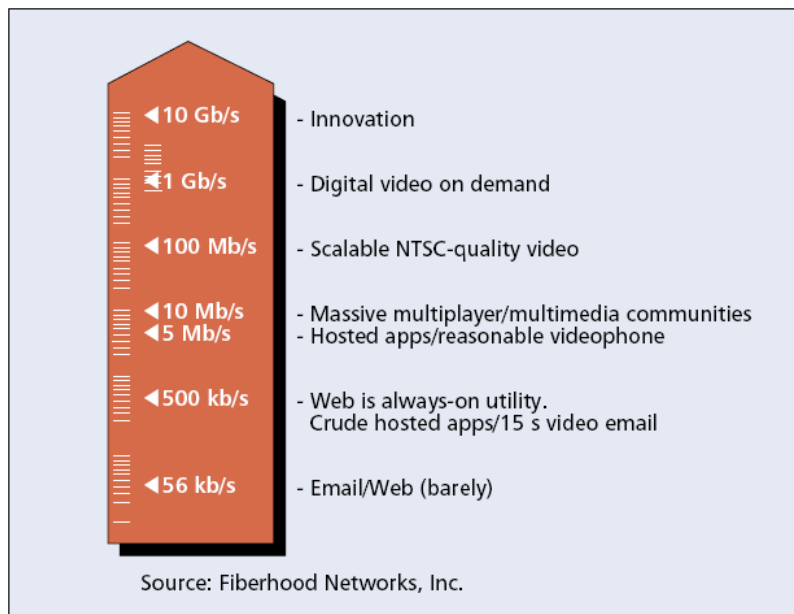
Το επόμενο κύμα τεχνολογιών τοπικής πρόσβασης υπόσχεται να φέρει την οπτική ίνα στα κτίρια (Fiber to the Building – FTTB) και στα σπίτια (Fiber to the Home – FTTN). Σε αντίθεση με προηγούμενες αρχιτεκτονικές, όπου η οπτική ίνα χρησιμοποιούνταν για να τροφοδοτήσει τα χάλκινα και ομοαξονικά καλώδια, στις νέες αρχιτεκτονικές χρησιμοποιείται σε όλο το μήκος του δικτύου πρόσβασης. Οι νέες τεχνολογίες οπτικής ίνας παρέχουν ταχύτητες Gigabit/sec με κόστη συγκρίσιμα με τις τεχνολογίες DSL και HFC.

3.2 Αύξηση του όγκου κίνησης

Η κίνηση δεδομένων αυξάνεται με πρωτοφανείς ρυθμούς. Μεγάλες αυξήσεις του όγκου κίνησης πάνω από 100% ανά χρόνο παρατηρούνται από το 1990. Σε κάποιες περιόδους μάλιστα, όπου υπήρξε ένας συνδυασμός οικονομικών και τεχνολογικών παραγόντων, ο όγκος της κίνησης αυξήθηκε με ακόμα μεγαλύτερους ρυθμούς (π.χ. το 1995 και 1996 οι ρυθμοί αύξησης του όγκου κίνησης ήταν μεγαλύτεροι από 1000%) [2]. Αυτή η τάση είναι πολύ πιθανόν να συνεχιστεί και στο μέλλον και ουσιαστικά αποτυπώνει το γεγονός ότι όλο και πιο πολλοί χρήστες χρησιμοποιούν το διαδίκτυο, ενώ - αυτοί που το χρησιμοποιούν ήδη - αυξάνουν τις ώρες παραμονής τους σε αυτό. Έρευνες αγοράς έχουν δείξει ότι οι χρήστες μετά την αναβάθμιση της σύνδεσής τους σε ευρυζωνική, παραμένουν 35% παραπάνω στο διαδίκτυο από ότι προηγουμένως [3]. Οι υπηρεσίες φωνής εξελίσσονται και αυτές, αλλά με πολύ μικρότερο ρυθμό, γύρω στο 8% ετησίως. Σύμφωνα με πολλούς αναλυτές, η κίνηση δεδομένων έχει υπερκεράσει την κίνηση φωνής. Όλο και περισσότεροι συνδρομητές επιλέγουν ευρυζωνικές συνδέσεις και απαιτούν όμοιες επιδόσεις από το δίκτυο σε σύγκριση με ένα τοπικό δίκτυο LAN. Περισσότερες υπηρεσίες και εφαρμογές εμφανίζονται και θα εμφανιστούν, καθώς το διαθέσιμο εύρος ζώνης ανά συνδρομητή αυξάνεται (Σχήμα 3 - 1).

Οι τεχνολογίες DSL και CM δεν μπορούν πλέον να ακολουθήσουν αυτή την αύξηση της ζήτησης. Και οι δυο, δημιουργήθηκαν πάνω από υπάρχουσες υποδομές χαλκού που δεν είναι βέλτιστες για μεταφορά δεδομένων. Στα ομοαξονικά καλωδιακά δίκτυα, μερικά μόνο κανάλια RF προορίζονται για μεταφορά δεδομένων, ενώ το μεγαλύτερο κομμάτι του εύρους ζώνης χρησιμοποιείται για μεταφορά αναλογικού βίντεο στους συνδρομητές. Από την άλλη, οι τεχνολογίες DSL δεν υποστηρίζουν

υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης σε ικανοποιητικά μεγάλες αποστάσεις. Οι περισσότεροι παροχείς έχουν αντιληφθεί ότι απαιτείται μια πιο δεδομένο-κεντρική λύση. Μια τέτοια λύση θα ήταν βελτιστοποιημένη για την μεταφορά κίνησης IP. Οι υπόλοιπες υπηρεσίες, όπως η φωνή και το βίντεο θα συνέκλιναν σε μια ψηφιακή μορφή και θα εμφανιζόταν ένα πραγματικό δίκτυο πλήρους υπηρεσίας Triple Play.



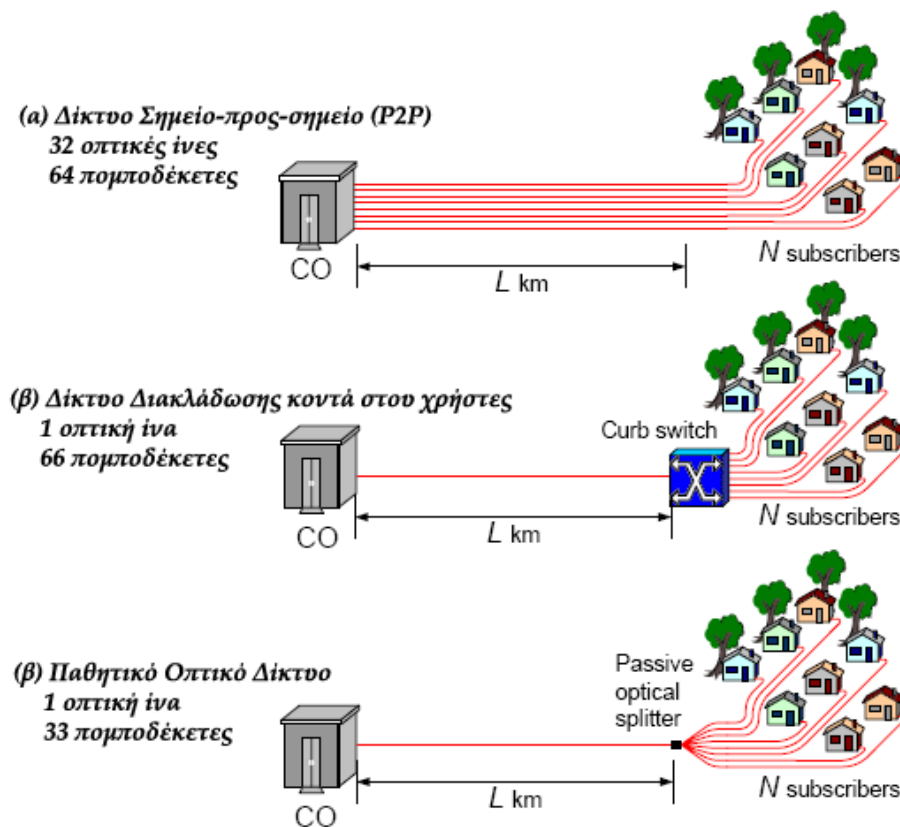
Σχήμα 3 - 1: Απαιτήσεις σε Εύρος Ζώνης ανά Χρήστη για τις νέες Υπηρεσίες

3.3 Τα δίκτυα πρόσβασης επόμενης γενιάς

Η τεχνολογία οπτικών ινών είναι ικανή να μεταφέρει ενοποιημένες - ευαίσθητες σε εύρος ζώνης - υπηρεσίες δεδομένων, φωνής και βίντεο σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 20 χιλιόμετρα μέσα στο δίκτυο πρόσβασης των συνδρομητών. Ο πιο λογικός τρόπος εφαρμογής οπτικής ίνας στο τοπικό δίκτυο πρόσβασης είναι χρησιμοποιώντας τοπολογία σημείο προς σημείο (Point-to-point - P2P) με οπτικές ίνες από το κέντρο του παροχέα σε κάθε τελικό συνδρομητή (Σχήμα 3 - 2α). Παρόλο που αυτή αποτελεί την απλούστερη αρχιτεκτονική, στις περισσότερες περιπτώσεις είναι πολύ δαπανηρή αφού προϋποθέτει την τοποθέτηση μεγάλου μήκους οπτικών ινών και την εξοικονόμηση τερματικού σημείου στο κέντρο του παροχέα. Έτσι, αν θεωρήσουμε N συνδρομητές σε μέση απόσταση L χιλιόμετρα από το κέντρο του παροχέα, για την εφαρμογή της τοπολογίας P2P απαιτούνται $2N$ πομποδέκτες και $N \cdot L$ συνολικό μήκος οπτικής ίνας (θεωρώντας ότι κάθε ίνα εξασφαλίζει αμφίδρομη μετάδοση).

Προκειμένου να μειωθεί η δαπανηρή τοποθέτηση οπτικής ίνας, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ένας απομακρυσμένος διακλαδωτής / συγκεντρωτής (switch /

concentrator) κοντά στη γειτονιά. Μια τέτοια λύση μειώνει το μήκος της οπτικής ίνας σε L χιλιόμετρα (θεωρώντας μικρές αποστάσεις μεταξύ διακλαδωτή και συνδρομητών) και παράλληλα αυξάνει σε $2N+2$ τον αριθμό των πομποδεκτών, αφού προστίθεται μία παραπάνω σύνδεση στην τοπολογία (Σχήμα 3 - 2β). Επιπλέον, μια αρχιτεκτονική που διακλαδίζεται κοντά στους χρήστες (curb-switched) απαιτεί την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και ενέργειας backup στον διακλαδωτή. Σήμερα, ένα από τα υψηλότερα κόστη για τους παροχείς διαδικτύου είναι ο εφοδιασμός και η διατήρηση ηλεκτρικής ενέργειας στον τοπικό βρόγχο.



Σχήμα 3 - 2: Σενάρια Υλοποίησης Δικτύου FTTH

Επομένως, είναι λογικό να αντικατασταθεί ο ενεργός διακλαδωτής με ένα φθινό παθητικό οπτικό στοιχείο. Το οπτικό παθητικό δίκτυο (Passive Optical Network – PON) [6] αποτελεί μια τεχνολογία, η οποία θεωρείται από πολλούς ως μια πολύ ελκυστική λύση για το πρόβλημα του πρώτου μιλίου ([4], [5]). Η τεχνολογία PON ελαχιστοποιεί τον αριθμό των οπτικών πομποδεκτών, των τερματισμών στο κέντρο του παροχέα και του μήκους της οπτικής ίνας που χρησιμοποιείται. Το δίκτυο PON αποτελεί ένα οπτικό δίκτυο σημείο-προς-πολλαπλά σημεία (Point-to-Multipoint) χωρίς ενεργά στοιχεία κατά

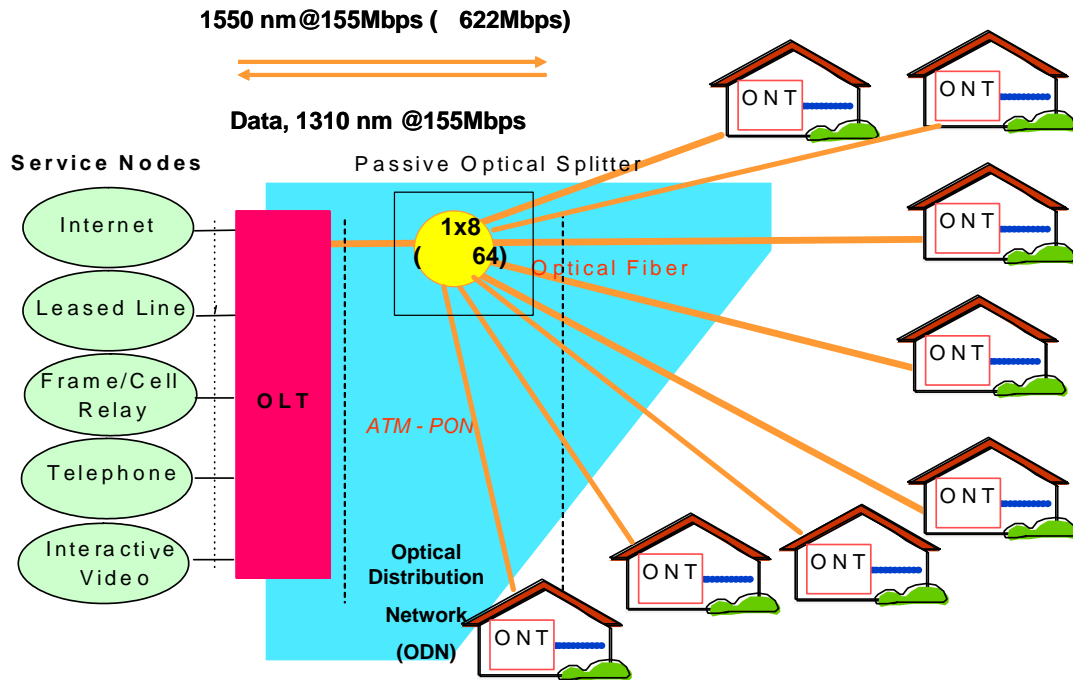
μήκος της διαδρομής από πηγή σε προορισμό. Τα μόνα εσωτερικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται σε ένα δίκτυο PON, είναι παθητικά οπτικά στοιχεία όπως οπτικές ίνες, παθητικοί ζεύκτες (couplers), διαιρέτες (splitters) και συνδυαστές (combiners). Τα δίκτυα πρόσβασης που βασίζονται σε δίκτυα PON μονής ίνας απαιτούν N+1 πομποδέκτες και L χιλιόμετρα οπτικής ίνας (Σχήμα 3 - 2γ).

3.4 Οπτικά Παθητικά Δίκτυα ATM – Οπτικά Παθητικά Δίκτυα Ευρείας Ζώνης

3.4.1 Χαρακτηριστικά και Λειτουργιά

Ο συνδυασμός της τεχνολογίας PON με τον ασύγχρονο τρόπο μεταφοράς (ATM) αναπτύχθηκε το 1995 από την FSAN, διότι θεωρήθηκε τότε ως η πλέον υποσχόμενη τεχνολογία για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις σε υπηρεσίες των διαφόρων χρηστών, οπότε δημιουργήθηκαν τα δίκτυα APON τα οποία υποστήριζαν διάφορες αρχιτεκτονικές όπως τις FTTH, FTTB/C και FTTH/CAB ([7], [8]). Η θεώρηση αυτή βασίστηκε στο γεγονός ότι εκείνη την εποχή οι λογικότερες και πιο συμφέρουσες επιλογές ήταν για τον τρόπο μεταφοράς δεδομένων ο ATM και για την τοπολογία των δικτύων πρόσβασης τα δίκτυα PON. Η τεχνολογία ATM θεωρείτο η καταλληλότερη για να υποστηρίξει πολλαπλά πρωτόκολλα και τα δίκτυα PON η οικονομικότερη ευρυζωνική οπτική λύση. Η πρόταση της FSAN έγινε αποδεκτή ως πρότυπο από την ITU και περιγράφεται στο ITU-T Rec.G.983, όπου δίνονται οι προδιαγραφές για την αρχιτεκτονική, τον εξοπλισμό και τη διαστρωμάτωση του δικτύου APON, και συγκεκριμένα η περιγραφή του υποστρώματος σύγκλισης μετάδοσης δεδομένων και του φυσικού υποστρώματος.

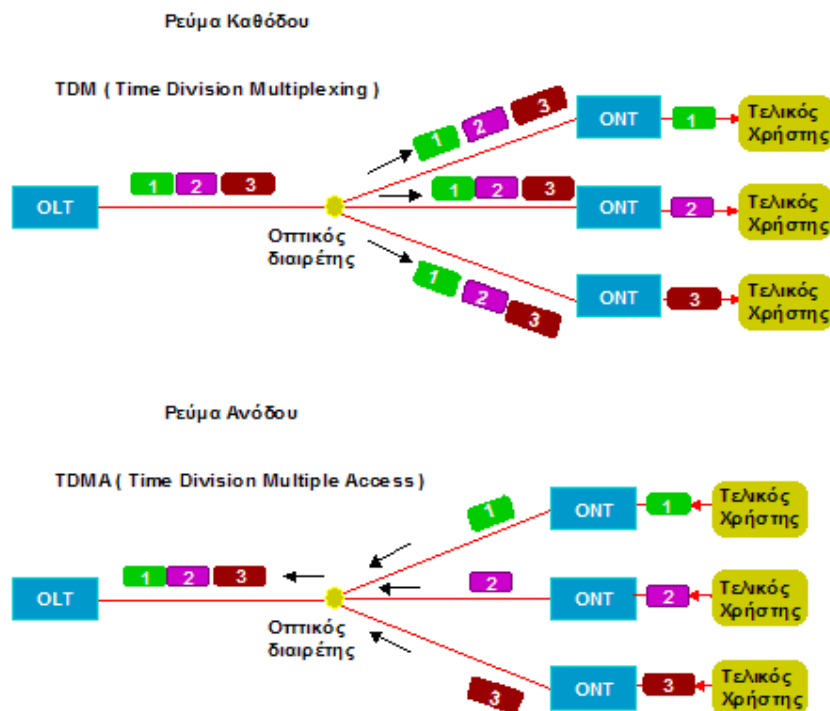
Στο APON με κριτήρια την απλότητα και το κόστος επιλέχθηκαν η τεχνική TDM για την προς τα κάτω (downstream) ζεύξη και για την πολλαπλή προσπέλαση στο μέσο για την προς τα άνω (upstream) ζεύξη η TDMA τεχνική. Στο Σχήμα 3 - 3 φαίνονται τα βασικά στοιχεία του δικτύου: OLT (Optical Line Termination), ONU (Optical Network Unit)/ONT (Optical Network Termination) και παθητικός οπτικός διαιρέτης. Στη τεχνολογία APON μία οπτική ίνα διαιρείται παθητικά μέχρι και 64 φορές με αποτέλεσμα 64 ONU/ONT να μοιράζονται τη χωρητικότητα της. Η παθητική διαίρεση επιτρέπει στους χρήστες να μοιράζονται το εύρος ζώνης και κατ' επέκταση το κόστος. Το κόστος μειώνεται ακόμα περισσότερο με την ελάττωση του αριθμού των οπτο-ηλεκτρονικών στοιχείων που απαιτούνται για το OLT δεδομένου ότι μία διεπαφή μοιράζονται περισσότερα του ενός ONU/ONT.



Σχήμα 3 - 3: Δίκτυο APON (χρησιμοποιήθηκε η αντίστοιχη ονομασία ONT αντί ONU κατά τα πρότυπα του ISDN)

Το δίκτυο APON χρησιμοποιεί τοπολογία διπλού αστέρα. Ο πρώτος αστέρας βρίσκεται στη μονάδα OLT, όπου η διεπαφή του δικτύου ευρείας ζώνης για τις υπηρεσίες διαιρείται λογικά και οδηγείται στη διεπαφή ATM-PON. Ο δεύτερος αστέρας υλοποιείται στον διαιρέτη όπου η πληροφορία διαιρείται παθητικά και οδηγείται σε κάθε μονάδα ONT. Η μονάδα OLT, που τοποθετείται στο κέντρο μεταγωγής, είναι το σημείο διασύνδεσης μεταξύ του Δικτύου Πρόσβασης και των σημείων υπηρεσιών στο δίκτυο κορμού (backbone). Όταν δεδομένα από το δίκτυο φθάνουν στη μονάδα OLT οδηγούνται στον παθητικό διαιρέτη χρησιμοποιώντας την τεχνική TDM (Σχήμα 3 - 4). Η μονάδα OLT λειτουργεί ως ATM τελικός μεταγωγέας με ATM-σύγχρονη οπτική (SONET) διεπαφή από την πλευρά του δικτύου κορμού και ATM-PON διεπαφή από την πλευρά του συνδρομητή.

Κάθε μονάδα ONT φιλτράρει τα κελιά που φθάνουν και ανακτά μόνο αυτά που προορίζονται για αυτό. Κάθε κελί έχει ένα 28-bit πεδίο που καθορίζει τις τιμές που αφορούν στη νοητή διαδρομή και στο νοητό δίαυλο, που αναφέρονται ως VPI/VCI. Κάθε μονάδα OLT αρχικά στέλνει ένα μήνυμα στη μονάδα ONT για να τη προετοιμάσει να δεχτεί κελιά με συγκεκριμένες τιμές VPI/VCI. Τα πεδία VPI/VCI, της επικεφαλίδας του πακέτου ATM, χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της πολυπλεξίας πακέτων σε μια κοινή ζεύξη.



Σχήμα 3 - 4: Ρεύμα ανόδου – καθόδου δικτύου APON

Στο δίκτυο APON χρησιμοποιείται μία οπτική ίνα τόσο για το ανοδικό κανάλι όσο και για το καθοδικό κανάλι οπότε χρησιμοποιούνται δύο μήκη κύματος-1550 nm για το κανάλι καθόδου και 1310nm για το κανάλι ανόδου. Συμπληρωματικά αναφέρουμε ότι θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθεί ένα μήκος κύματος η επιλογή όμως για δύο παρέχει καλύτερη οπτική απομόνωση για τους πομπούς και τους δέκτες laser και εξαλείφει την ανάγκη των ακριβών διαιρετών δέσμης φωτός.

Τα κελιά ATM μετατρέπονται απευθείας σε οπτικό κύμα και στέλνονται στο δίκτυο PON. Αυτό επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο ηλεκτροοπτικό εξοπλισμό, ειδικό για τη μετάδοση κίνησης σε ταχύτητες Mbit/sec. Επιπλέον δεδομένου ότι υπάρχουν καθοδικά κανάλια κοινοποίησης (broadcast channels) στα δίκτυα PON χρησιμοποιούνται τεχνικές κρυπτογράφησης για να επιτευχθεί ασφάλεια.

Η αρχιτεκτονική του δικτύου APON δεν εξαρτάται από τις διάφορες υπηρεσίες με αποτέλεσμα να μπορούν να υλοποιηθούν τόσο οι κλασικές όσο και μελλοντικές υπηρεσίες. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι μπορεί να μεταφέρει πακέτα Ethernet και να υποστηρίζει γραμμές μεταφοράς T1.

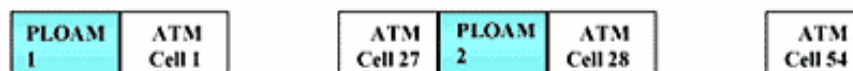
Τέλος, θα πρέπει να αναφερθούμε στον όρο Broadband PON (BPON) που με την πάροδο του χρόνου εισήχθη και χρησιμοποιείται, είναι ταυτόσημος με τον όρο APON με τη μοναδική διαφοροποίηση ότι περιγράφονται δίκτυα που έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίζουν επιπλέον ευρυζωνικές υπηρεσίες , όπως υπηρεσίες video.

3.4.2 Δομή πλαισίων και έλεγχος πρόσβασης

Τα δίκτυα APON εφαρμόζουν τις συνήθεις μεθόδους πολύπλεξης. Η πολύπλεξη των δεδομένων υποστηρίζει μόνο την τεχνολογία ATM και ορίζονται αντίστοιχα μεγέθη σχισμών μετάδοσης και τεχνικές ανάθεσης διευθύνσεων (MAC) με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Η τεχνική TDMA εφαρμόζεται σε χρονοθυρίδες διάρκειας 53Bytes (data payload).
- Οι διευθύνσεις στο επίπεδο MAC αναφέρονται στο αναγνωριστικό της ONT: Transmit Enable Address/Terminal Endpoint Address (TEA)
 - Μήκος TEA 6bit , μέχρι 64 ONT
- Υποστηρίζονται επιπλέον 4 κλάσεις υπηρεσιών (ονομάζονται T-CONT Traffic Containers) συμβατά με τα πρότυπα του ATM
- Περαιτέρω πολύπλεξη ροών σε κάθε ONT βασίζεται στο αναγνωριστικό σύνδεσης VPI/VCI που εγκαθίσταται σε επίπεδο ATM Αντίστοιχη μεταγωγή δεδομένων (ATM) προς το δίκτυο κορμού

Η μετάδοση στη ροή καθόδου γίνεται με ενθυλάκωση κελιών (cells) ATM σε μια μορφή πλαισίου η οποία επαναλαμβάνεται περιοδικά και έχει τη δομή που φαίνεται στο Σχήμα 3 - 5. Καθώς το πλαίσιο περιλαμβάνει 56 κελιά ATM (53 Bytes χρήσιμη πληροφορία) με ρυθμό μετάδοσης 155Mbps ο ρυθμός επανάληψής του είναι 152,67μsec (ανάλογα στην περίπτωση ρυθμού 622Mbps).



Σχήμα 3 - 5: Δομή πλαισίου στο ρεύμα καθόδου δικτύου APON

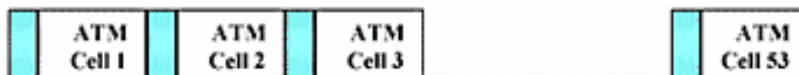
Τα κελιά PLOAM είναι ειδικής χρήσης και χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο πολλαπλής πρόσβασης των μονάδων ONT. Περιλαμβάνουν:

- 53 Άδειες μετάδοσης (προσδιορίζοντας και το μελλοντικό πλαίσιο στο ρεύμα ανόδου)
- 12 ειδικά μηνύματα
- CRC
- πληροφορία συγχρονισμού

Συνεπώς η αξιοποιήσιμη χωρητικότητα της ροής καθόδου για μετάδοση δεδομένων μειώνεται στα: $155 \cdot 54 / 56 = 149,97$ Mbps. Ο προγραμματισμός αδειών

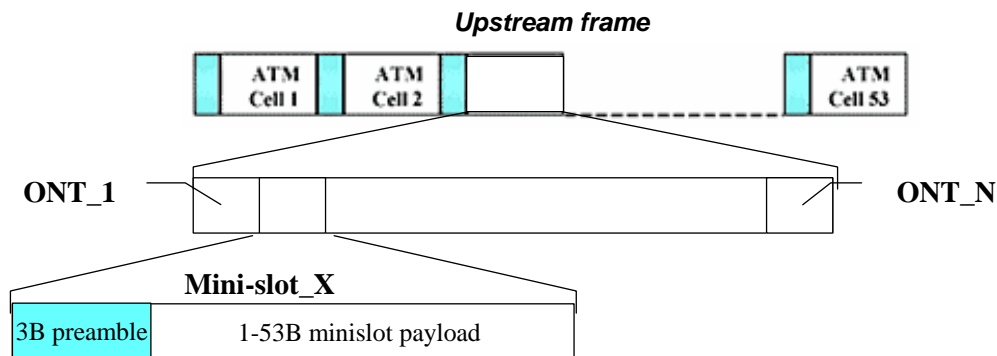
αφήνεται στη βούληση της κάθε υλοποίησης να χρησιμοποιήσει κατάλληλο αλγόριθμο με χρήση των μηχανισμών που προβλέπει το πρότυπο.

Αντίστοιχα η μετάδοση στη ροή ανόδου γίνεται με TDMA πολύπλεξη σε χρονοθυρίδες μήκους 56 Bytes (3 Bytes preamble και payload 1 ATM cell) από κάθε μονάδα ONT που έχει προηγουμένως λάβει άδεια στο προηγούμενο πλαίσιο στη ροή καθόδου (Σχήμα 3 - 6) και ρυθμός επανάληψης 152,67μsec (53 ATM cells *56 Bytes @155Mbps). Η αξιοποιήσιμη χωρητικότητα καναλιού καθόδου μειώνεται στα: $155 \cdot 53 / 56 = 149,19$ Mbps.



Σχήμα 3 - 6: Δομή πλαισίου στο ρεύμα ανόδου δικτύου APON

Εάν ο προγραμματισμός αδειών ήταν προκαθορισμένος στατικά στο χρόνο, αυτό θα αντιστοιχούσε σε μια υπηρεσία σταθερού ρυθμού (μισθωμένη γραμμή – leased line). Το πρότυπο προβλέπει την ειδική χρήση (κατά βούληση) σχισμών του καναλιού ανόδου για την μετάδοση αιτήσεων από συγκεκριμένες κάθε φορά μονάδες ONU.



Σχήμα 3 - 7: Δομή πλαισίου στο ρεύμα ανόδου δικτύου APON

Δυναμικά επίσης ο ελεγκτής πρόσβασης (MAC controller) στην μονάδα OLT μπορεί να δεσμεύει χρονοθυρίδες στο πλαίσιο ανόδου για την συλλογή αιτήσεων για δυναμική δέσμευση επιπλέον εύρους ζώνης με τη μέθοδο των μικροσχισμών. Για εξοικονόμηση εύρους ζώνης χρησιμοποιείται η μέθοδος των μικροσχισμών όπου πολλαπλές μονάδες ONT μπορούν να μεταδώσουν αιτήσεις στη διάρκεια μιας κανονικής σχισμής «διάρκειας» 56Byte. Η δομή του πλαισίου όταν περιλαμβάνονται και χρονοθυρίδες διαιρεμένες σε μικροσχισμές προς μετάδοση αιτήσεων φαίνεται στο Σχήμα 3 - 7.

3.4.3 Οφέλη των Οπτικών Παθητικών Δικτύων ATM

Η συντήρηση της οπτικής ίνας είναι οικονομικότερη από αυτή των συστημάτων που βασίζονται στο χαλκό με αποτέλεσμα οι παροχείς να μειώνουν το κόστος και να αυξάνεται το κέρδος τους ή να έχουν τη δυνατότητα να χαμηλώνουν τις τιμές με αποτέλεσμα να γίνονται πιο ανταγωνιστικοί.

Στα δίκτυα ATM-PON οι οπτικές διεπαφές βρίσκονται στις μονάδες OLT οπότε μία μόνο ίνα χρησιμοποιείται για να εξυπηρετήσει μέχρι 64 τελικές τοποθεσίες χρηστών. Συνεπώς έχουμε μείωση των οπτικών διεπαφών από 64 σε 1 σε σχέση με τα σημείο – προς – σημείο (point-to-point) οπτικά συστήματα.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι στα δίκτυα APON πραγματοποιείται συσσώρευση κελιών ATM στις μονάδες OLT. Η συσσώρευση αυτή επιτρέπει στους παροχείς να εξυπηρετούν πολύ περισσότερους χρήστες από ότι στην περίπτωση που θα χρησιμοποιούνταν μόνο τεχνικές βασισμένες στην πολύπλεξη TDM. Έχει υπολογιστεί ότι η τεχνολογία APON μπορεί να είναι από 20% έως 40% οικονομικότερη από συστήματα πρόσβασης με κυκλώματα. Η οικονομία οφείλεται στην προαναφερθείσα συγκέντρωση του ATM και τη στατιστική πολυπλεξία σε συνδυασμό με την από κοινού χρήση των ενεργητικών όπτο-ηλεκτρονικών εξαρτημάτων μεταξύ των διαιρετών.

Επιπλέον επειδή οι μονάδες ONT μοιράζονται την ίδια ίνα και οπτικό διαιρέτη, μοιράζονται κατ' επέκταση και το εύρος ζώνης οπότε με κατάλληλα πρωτόκολλα δυναμικής ανάθεσης του εύρους ζώνης είναι δυνατό να εξυπηρετεί ο παροχέας ακόμα περισσότερους χρήστες.

Το δίκτυο APON έχει ως πυρήνα την τεχνολογία ATM συνεπώς ένα απλό σύστημα διαχείρισης μπορεί να προβλέψει το απαιτούμενο εύρος από άκρο σε άκρο. Ακόμα κρίνεται εύκολη η αύξηση του εύρους ζώνης μιας δεδομένης ζεύξης αν αυτό απαιτηθεί μελλοντικά. Επιπλέον μπορεί να εξυπηρετήσει σχεδόν κάθε επιθυμητή υπηρεσία.

Τέλος τα ενεργητικά εξαρτήματα του δικτύου APON τοποθετούνται στο κτίριο του πελάτη ή στο κέντρο μεταγωγής και όχι σε εξωτερικά εγκατεστημένα τερματικά. Με τον τρόπο αυτό εξαιρούνται οι δαπάνες για συστήματα εφεδρικών μπαταριών και τα ενεργητικά στοιχεία που πρέπει να είναι ανθεκτικά στις μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας.

3.5 Οπτικά Παθητικά Δίκτυα Ethernet

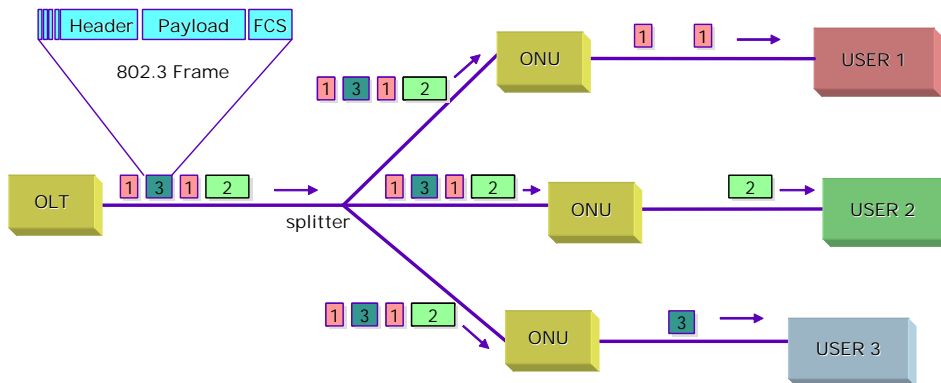
3.5.1 Χαρακτηριστικά

Με το πέρασμα του χρόνου τα δίκτυα APON θεωρήθηκαν ως ακατάλληλη λύση για τον τοπικό βρόχο εξαιτίας της αδυναμίας του να υποστηρίξει υπηρεσίες video, το ανεπαρκές του εύρος, την πολυπλοκότητά του και το κόστος του. Η ευρεία χρήση της τεχνολογίας Ethernet έδινε την εντύπωση ότι η χρήση των οπτικών παθητικών δικτύων Ethernet (Ethernet Passive Optical Networks - EPON) θα εξάλειφε την ανάγκη για μετατροπή από ATM σε IP πρωτόκολλο στην σύνδεση WAN/LAN. Οι κατασκευαστές τεχνολογίας EPON εστίαζαν αρχικά στην ανάπτυξη λύσεων FTTB και FTTC με μακροπρόθεσμο στόχο την ανάπτυξη μίας λύσης FTTH για τη διανομή δεδομένων, video και φωνής πάνω από την ίδια πλατφόρμα. Το δίκτυο EPON παρέχει μεγαλύτερο εύρος ζώνης, ελάττωση κόστους και ευρύτερες υπηρεσίες από το APON ενώ η αρχιτεκτονική του είναι παρόμοια και κληρονομεί πολλά χαρακτηριστικά του G.983 που αφορά στα δίκτυα APON ([9]).

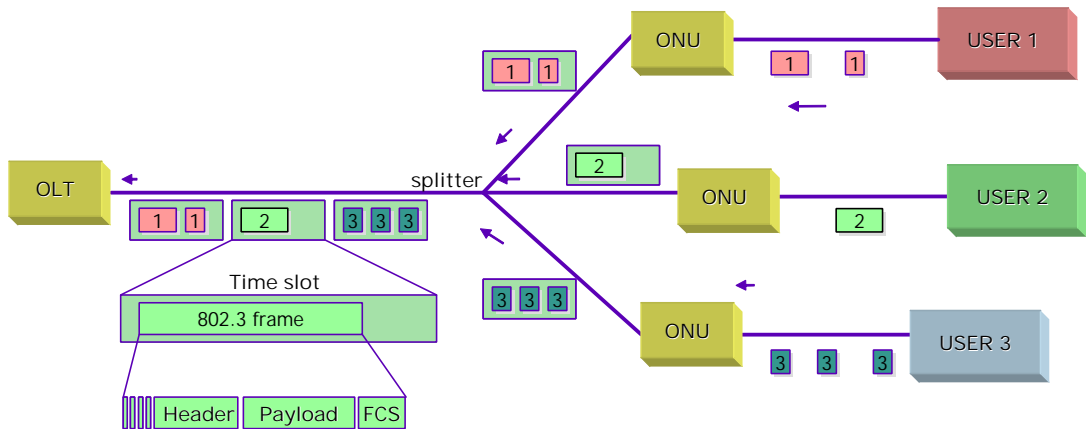
Η κύρια διαφορά μεταξύ των τεχνολογιών APON και EPON είναι ότι τα δεδομένα στο δίκτυο EPON μεταφέρονται σε πακέτα μεταβλητού μήκους ως και 1518 bytes σύμφωνα με το πρωτόκολλο της IEEE 802.3 για το Ethernet. Ενώ στο δίκτυο APON σε κελιά ATM των 53 bytes, όπως επιβάλλεται από το πρωτόκολλο ATM, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι δύσκολη και όχι αποδοτική η μεταφορά σε ένα δίκτυο APON κίνησης που βασίζεται στο IP όπου τα δεδομένα χωρίζονται σε πακέτα μεταβλητού μήκους ως και 65535 bytes. Για να μεταφερθεί η κίνηση IP στο APON τα πακέτα θα πρέπει να καταμηθούν σε κομμάτια των 48-bytes και στο κάθε ένα από αυτά να προσαρτηθεί επικεφαλίδα ATM των 5-bytes. Η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα, πολύπλοκη και προσθέτει επιπλέον κόστος στις μονάδες ONT και OLT. Επιπλέον για κάθε τμήμα δεδομένων των 48-bytes έχουμε σπατάλη εύρους 5-bytes. Αντίθετα το Ethernet είναι φτιαγμένο για να καλύψει κίνηση IP και μειώνει δραστικά τις επικεφαλίδες σε σχέση με το ATM.

Στο δίκτυο EPON η διαδικασία εκπομπής δεδομένων προς τα κάτω από τη μονάδα OLT στις μονάδες ONU είναι διαφορετική από την αντίστοιχη προς τα άνω. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 - 8 τα δεδομένα εκπέμπονται από τη μονάδα OLT προς τις μονάδες ONU σε πακέτα μεταβλητού μήκους με μέγιστο μήκος 1518 bytes, σύμφωνα με το πρωτόκολλο IEEE 802.3. Κάθε πακέτο φέρει μία επικεφαλίδα που καθορίζει την μονάδα ONU για την οποία προορίζεται το πακέτο.

Επιπλέον κάποια πακέτα είναι δυνατό να προορίζονται για όλες τις μονάδες ONU (broadcast packets) ενώ άλλα για μία δεδομένη ομάδα ONU (multicast packets).



Σχήμα 3 - 8: Ρεύμα καθόδου δικτύου EPON



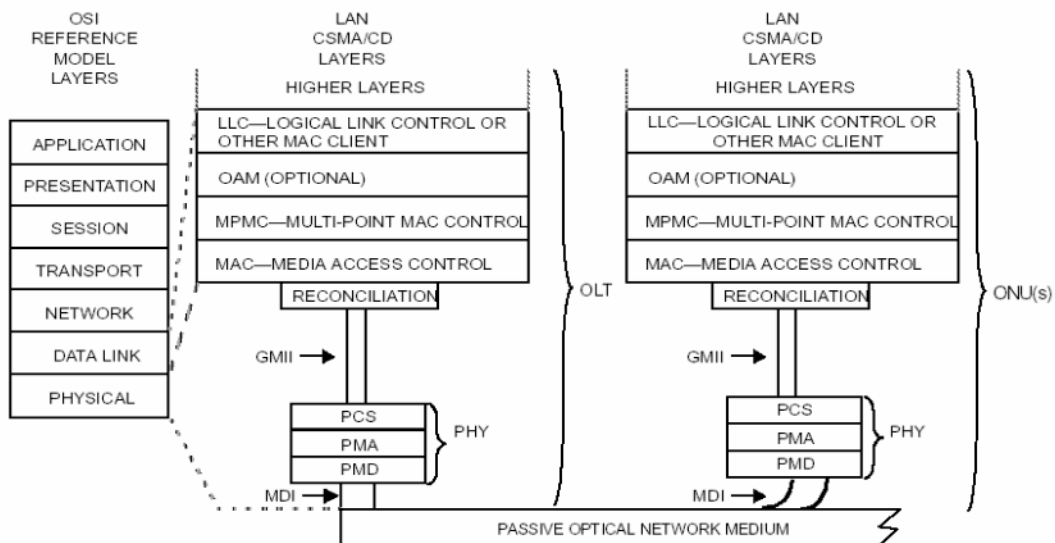
Σχήμα 3 - 9: Ρεύμα ανόδου δικτύου EPON

Όσον αφορά την προς τα άνω ζεύξη η λειτουργία της οποίας συνοψίζεται στο Σχήμα 3 - 9, χρησιμοποιείται τεχνική TDM, κατά την οποία χρονικές σχισμές εκπομπής ανατίθενται σε κάθε μονάδα ONU. Οι χρονικές σχισμές είναι συγχρονισμένες έτσι ώστε να μην υπάρχουν συγκρούσεις όταν τα πακέτα από διαφορετικές μονάδες ONU συνδυάζονται στην κοινή ίνα.

3.5.2 Στοιβα πρωτοκόλλων και λειτουργία

Η στοιβα πρωτοκόλλων της τεχνολογίας EPON είναι πλήρως συμβατή με την αρχιτεκτονική διαστρωμάτωσης των προδιαγραφών IEEE 802.3. Η λειτουργία της βασίζεται στην αναγκαία προσαρμογή των πρωτοκόλλων όπως έχουν προκύψει από τα τοπικά δίκτυα Ethernet για να καλύψουν τις νέες απαιτήσεις λόγω της τοπολογίας και των ιδιοτήτων στις τεχνικές μετάδοσης του δικτύου EPON με κύρια επίδραση στα

χαμηλότερα στρώματα (φυσικό και υπόστρωμα ελέγχου πολλαπλής προσπέλασης) όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 - 10.



Σχήμα 3 - 10: Στοιβά πρωτοκόλλων Τεχνολογίας EPON

3.5.2.1 Λειτουργίες φυσικού στρώματος

Το φυσικό στρώμα όπως είδαμε υποδιαιρείται σε τρία επί μέρους υπο-στρώματα όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 - 11.

3.5.2.1.1 Physical Coding Sublayer (PCS)

Αποτελεί το υπόστρωμα όπου υλοποιείται η κατάλληλη κωδικοποίηση γραμμής (line coding) σύμφωνα με τον κώδικα 8b/10b και αποστολή της συμβολοσειράς δεδομένων ως κατάλληλα διαμορφωμένης ηλεκτρονικής παλμοσειράς. Εκτελεί επίσης έναν αριθμό λειτουργιών για την ομαλή ροή των δεδομένων πάνω από το δίκτυο:

Έλεγχος Ροής (Flow Control)

- Χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο 802.3x για να διακόπτει τη ροή πακέτων
- Αποτρέπει την υπερχειλίση των ενταμιευτών όταν βρίσκεται σε κατάσταση «pause» μεταξύ ευκαιριών μετάδοσης

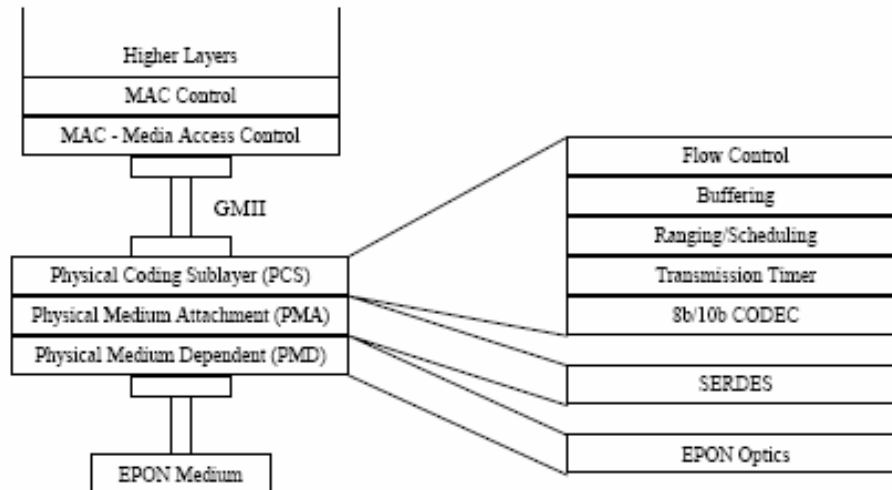
Ενταμίευση (Buffering)

- Προσαρμογή ρυθμών ροής (rate matching)
- Πρέπει να είναι δυνατή η ενταμίευση τουλάχιστον ενός πακέτου μέγιστου μήκους

Χρονοστής μετάδοσης (Transmission Timer)

- Προσδιορίζει με ακρίβεια την έναρξη μεταδόσεων (transmission bursts)

- Επιτρέπει τη μέγιστη χρησιμοποίηση του καναλιού
- Εξασφαλίζει την επάρκεια της σχισμής που έχει εγκριθεί σε σχέση με το μέγεθος του πακέτου προς μετάδοση
- Αποτρέπει την παρεμβολή μεταξύ διαφορετικών πομπών



Σχήμα 3 - 11: Λειτουργίες φυσικού στρώματος EPON

3.5.2.1.2 Physical Medium Attachment (PMA)

Αποτελεί μια απλή σειριακή διεπαφή για την αποστολή των υψίσυχνων σημάτων στον οπτικό διαμορφωτή και αντίστροφα.

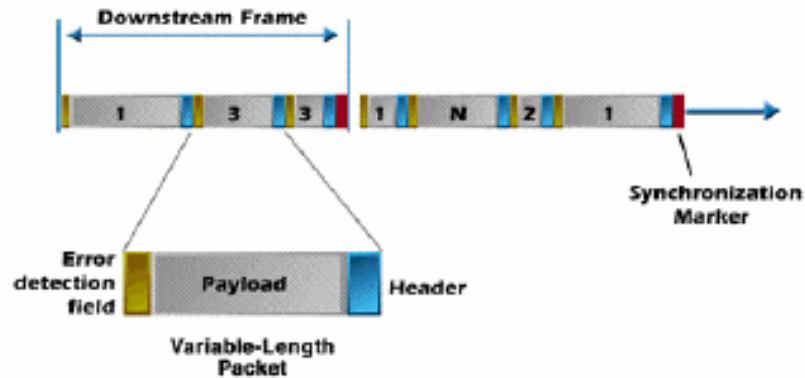
3.5.2.1.3 Physical Medium Dependent (PMD)

Περιλαμβάνει τις προδιαγραφές λειτουργίας του οπτικού αποδιαμορφωτή και όλα τα χαρακτηριστικά του οπτικού συστήματος μετάδοσης.

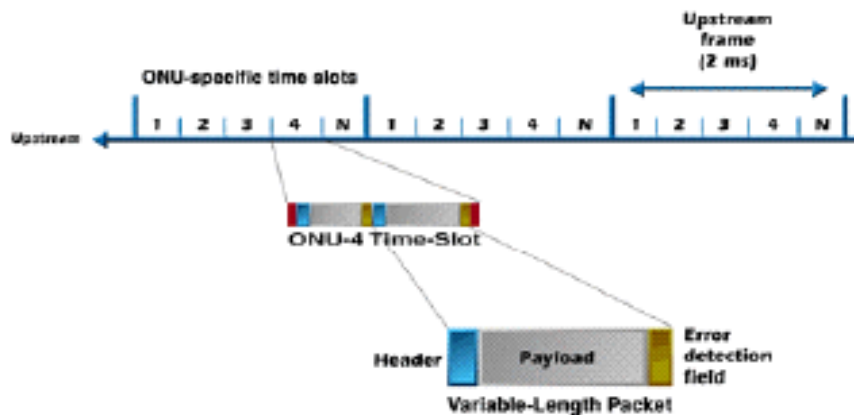
3.5.2.2 Δομή πλαισίων μετάδοσης και πολυπλεξία

Τα πλαίσια (frames) δεδομένων στο δίκτυο EPON είναι συμβατά (πλην μίας τροποποίησης η οποία παρουσιάζεται στη συνέχεια) με το πρωτόκολλο IEEE 802.3 και αποτελούν συνένωση ενός ή περισσότερων πλαισίων Ethernet σε ένα πλαίσιο με την προσθήκη μιας επικεφαλίδας συγχρονισμού (synchronization marker, 1-byte κάθε 2 ms για τον συγχρονισμό των μονάδων ONUs με την μονάδα OLT), όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 - 12.

Παρομοίως τα πλαίσια δεδομένων ανόδου υποδιαιρούνται σε χρονοσχισμές (slots) αφιερωμένες σε κάθε μία από τις μονάδες ONU που είναι ενεργές στο δίκτυο. Κάθε μονάδα ONU μπορεί να μεταδώσει ένα ή και περισσότερα πλαίσια Ethernet στη διάρκεια της αντίστοιχης σχισμής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 - 13.



Σχήμα 3 - 12: Πλαίσια στο ρεύμα καθόδου δικτύου EPON

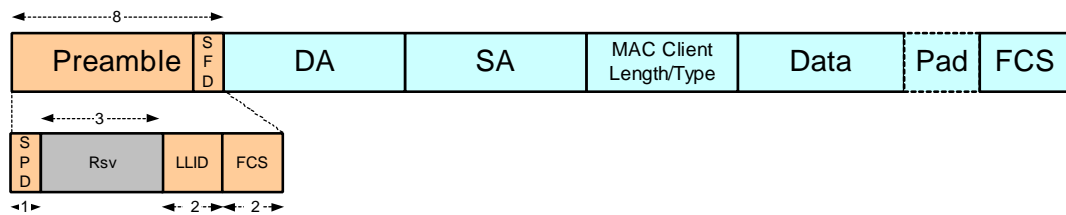


Σχήμα 3 - 13: Πλαίσια στο ρεύμα ανόδου δικτύου EPON

Αντί να χρησιμοποιούνται επιπλέον επικεφαλίδες ενθυλάκωσης το δίκτυο EPON τοποθετεί την αναγκαία πληροφορία πλαισίου (PON-tag) στο πεδίο Preamble της δομής του πλαισίου 802.3. Καθώς η οπτική ίνα είναι μονοκατευθυντικό μέσο δεν απαιτείται η συνήθης χρήση του. Αυτό αποτελεί παραβίαση του πρωτοκόλλου, η οποία όμως είναι καθ' όλα επιτρεπτή στα όρια λειτουργίας του συγκεκριμένου δικτύου. Η δομή του τροποποιημένου πλαισίου φαίνεται στο Σχήμα 3 - 14 και τα πεδία έχουν την παρακάτω χρήση:

- **SPD:** Start Packet Delimiter. Έχει μήκος 1 byte, σταθερή τιμή 0xD5 και χρησιμοποιείται για ευθυγράμμιση πλαισίου.
- **LLID:** Logical Link ID. Τα 15 λιγότερο σημαντικά bits (Least Significant Bits - LSB) του LLID[14:0] χρησιμοποιούνται ως αναγνωριστική διεύθυνση μονάδας ONU (μία ανά ONU ή και περισσότερες), ενώ το MSB χρησιμοποιείται ως Mode bit (0 υποδεικνύει ONU MAC, 1 OLT MAC). Η διεύθυνση 0x7FFF δεσμεύεται ως διεύθυνση broadcast.

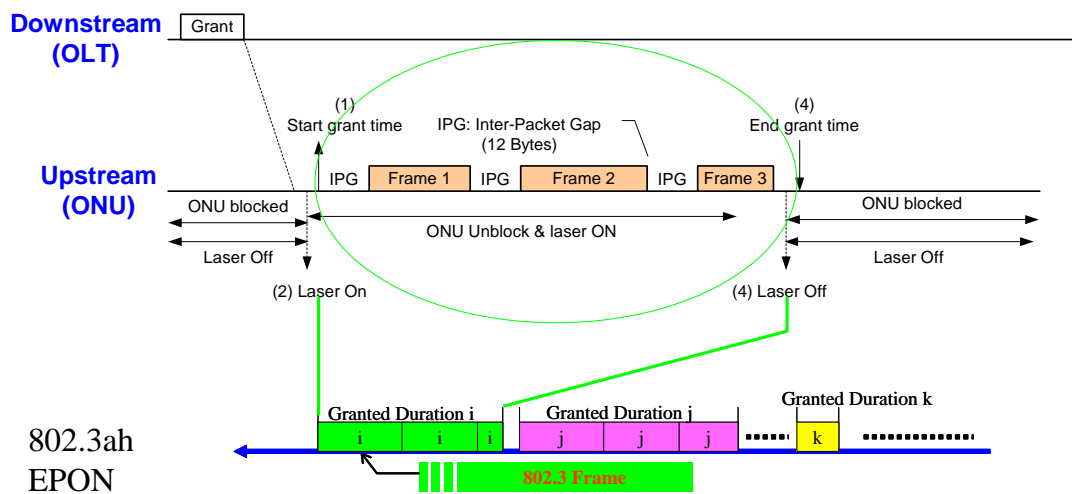
- **FEC:** Forward Error Correction. Αποτελεί το αποτέλεσμα εφαρμογής ενός κώδικα κυκλικού ελέγχου σφάλματος με χρήση πολωνύμου 8-bit (CRC-8).



Σχήμα 3 - 14: Τροποποιημένη δομή πλαισίου 802.3 στα δίκτυα EPON

Η λειτουργία του δικτύου EPON βασίζεται σε μερικά βασικά χαρακτηριστικά

- Απόδοση αδειών προς μετάδοση στο κανάλι upstream
- Αναγνώριση/αρχικοποίηση ONU (discovery/ID assignment)
- Περιοδικός έλεγχος ενεργών ONU
- Κατανομή εύρους ζώνης (Bandwidth allocation)
- Ασφάλεια (Security) (δεν προδιαγράφεται από το 802.3ah standard)
- Αντιμετώπιση σφαλμάτων (Error handling)



Σχήμα 3 - 15: Εκρηκτική μετάδοση στη ροή ανόδου

Για την λειτουργία του αναπτύχθηκε το πρωτόκολλο MPCP (Multipoint Control protocol) το οποίο προδιαγράφει συγκεκριμένα μηνύματα που μεταδίδονται ως εμβόλιμα στη ροή δεδομένων πλαίσια Ethernet σταθερού μεγέθους 64 Bytes. Τα μηνύματα MAC μεταφέρονται όμοια με τα πακέτα δεδομένων. Όπως προαναφέρθηκε η πολύπλεξη των δεδομένων βασίζεται στην τεχνική TDMA. Στη ροή ανόδου κάθε μονάδα ONU μεταδίδει πλαίσια Ethernet μόνο σε κάθε αφιερωμένη σε αυτή -από την

μονάδα OLT- σχισμή. Η μονάδα OLT υποδεικνύει πότε μπορεί να ξεκινήσει η μετάδοση (Gigabit Ethernet) στο οπτικό μέσο. Η παραπάνω τεχνική έχει σαν αποτέλεσμα τον πλήρη έλεγχο της λειτουργίας του οπτικού πομπού (laser) κάθε μονάδας ONU από την μονάδα OLT σύμφωνα με τα μηνύματα επικοινωνίας του πρωτοκόλλου MPCP. Η διακοπτόμενη αυτή λειτουργία και εκπομπή σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (slots) ονομάζεται “εκρηκτική μετάδοση” (burst mode transmission).

Για να λειτουργήσει αυτός ο μηχανισμός ελέγχου πρόσβασης προβλέπεται η αναγκαία αποτίμηση της απόστασης (ranging) και η απόδοση σχισμών χρόνου για την είσοδο νέων μονάδων ONU με τη μέθοδο του ανταγωνισμού (contention). Στατιστική πολυπλεξία επιτυγχάνεται με τη χρήση (απόδοση από την μονάδα OLT) μεταβλητού μεγέθους σχισμών ανάλογα με τις απαιτήσεις (στατικά υπολογισμένες ή δυναμικά κατόπιν αιτήσεων) μετάδοσης δεδομένων.

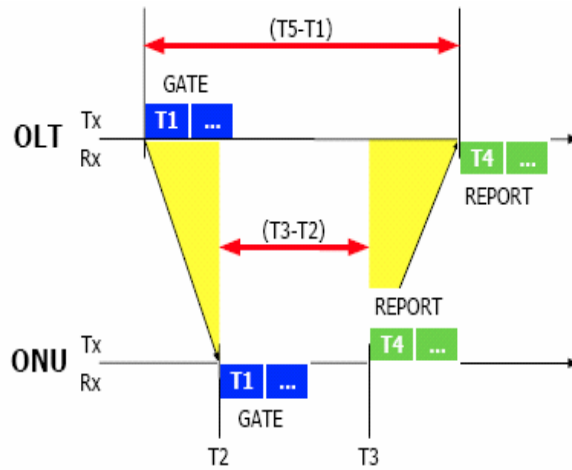
3.5.2.2.1 Εκτίμηση καθυστέρησης (RTT measurement) και εξισορρόπηση καθυστέρησης (Ranging)

Για την εκτίμηση της καθυστέρησης διάδοσης και συνεπώς της απόστασης κάθε μονάδας ONU κατά την ενεργοποίηση αυτή προηγείται η ανταλλαγή συγκεκριμένων μηνυμάτων (πρωτόκολλο MPCP) τα οποία επιτυγχάνουν τον συγχρονισμό των μονάδων ONU μεταξύ τους (delay compensation) σύμφωνα με τον χρόνο αναφοράς της μονάδας OLT. Η διαδικασία περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια (Σχήμα 3 - 16):

- Η μονάδα OLT στέλνει άδεια (μήνυμα GATE) στον (απόλυτο) χρόνο T1
- Η μονάδα ONU το λαμβάνει στο χρόνο T2, and συγχρονίζει (reset) το ρολόι της στον χρόνο T1
- Η μονάδα ONU στέλνει μήνυμα (REPORT) στο χρόνο T3 την ένδειξη (timestamp) T4
- Η μονάδα OLT λαμβάνει το μήνυμα στον (απόλυτο) χρόνο T5 και υπολογίζει τον χρόνο διάδοσης μέχρι την ONU (μετέπιστροφής, RTT)
- Ο χρόνος RTT εκφράζεται απευθείας από τη διαφορά T5-T4 (η οποία μπορεί να υπολογιστεί από την μονάδα OLT χρησιμοποιώντας την τιμή του τοπικού ρολογιού και αφαιρώντας την τιμή που περιλαμβάνεται στο μήνυμα REPORT που έχει λάβει).

Η παραπάνω διαδικασία εισάγει την αναγκαία χρονική υστέρηση (delay compensation) στην ανταπόκριση κάθε μονάδας ONU στις μελλοντικές άδειες για μετάδοση στα όρια συγκεκριμένων χρονοθυρίδων σύμφωνα με τον τοπικό χρόνο που αναγγέλει η μονάδα OLT. Εκτελείται την πρώτη φορά που ενεργοποιείται μια νέα μονάδα ONU στο δίκτυο και για το λόγο αυτό προβλέπονται ειδικές διαδικασίες

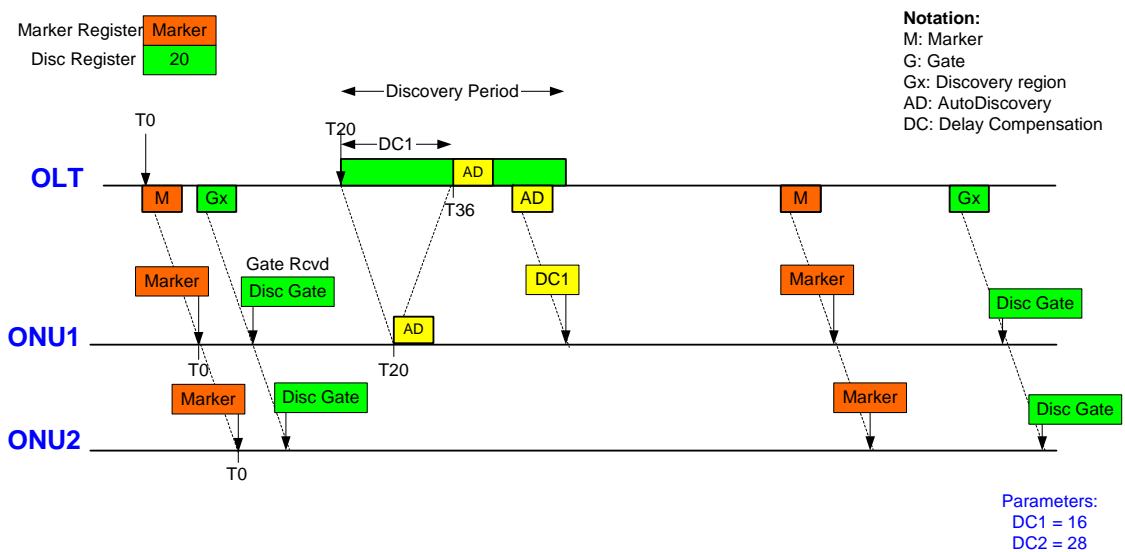
(discovery region) για την ανίχνευση νέων μονάδων ONU οι οποίες δεν έχουν ρυθμιστεί για να συμμετέχουν στην κανονική διαδικασία ελέγχου πρόσβασης. Ένα παράδειγμα χρονικής εξέλιξης αυτής της διαδικασίας παριστάνεται στο Σχήμα 3 - 17 (η ακριβής χρήση των μηνυμάτων συμπεριλαμβάνεται στην αντίστοιχη ενότητα παρουσίασης του πρωτοκόλλου MPCP).



$$RTT = T2 - T1 + T5 - T3 \quad \text{AND} \quad T3 - T2 = T4 - T1$$

$$\Rightarrow RTT = T5 - T4$$

Σχήμα 3 - 16: Εκτίμηση καθυστέρησης (RTT measurement)



Σχήμα 3 - 17: Εξισορρόπηση καθυστέρησης (ONU Ranging)

3.5.2.2.2 Μηχανισμός αιτήσεων (Reservation)

Η πρόσβαση στο κανάλι ανόδου ελέγχεται από την μονάδα OLT. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται δύο ειδικά πακέτα/τύποι μηνυμάτων (MAC control frames) που μεταφέρουν χρονική σήμανση (timestamp):

- Άδειες (Grants) από την μονάδα OLT στις μονάδες ONU
 - Αποτελούν μηνύματα που προσδιορίζουν τους κανόνες πρόσβασης (κατανομή χρόνου μετάδοσης στο κανάλι ανόδου κλπ.)
- Αιτήσεις-ενημέρωση κατάστασης (Reports) από τις μονάδες ONU στην μονάδα OLT
 - Αποτελούν αιτήσεις για δέσμευση επιπλέον εύρους ζώνης

Η χρήση του καναλιού upstream περιλαμβάνει τρεις φάσεις (regions)

- Discovery regions:
 - Στοχεύει στην αναγνώριση και κατάλληλη διαμόρφωση πρόσφατα ενεργοποιημένων μονάδων ONUs, για τις οποίες πρέπει να προηγηθεί η διαδικασία εξισορρόπησης καθυστέρησης
- Contention regions:
 - Μετάδοση με ανταγωνισμό για τις μονάδες ONU οι οποίες προηγουμένως δεν είχαν άλλη ανταλλαγή reports
- Reserved regions:
 - Δεσμευμένες σχισμές για μετάδοση ανά μονάδα ONU

Η μονάδα OLT στις συγκεκριμένες διαδικασίες εκτελεί τις παρακάτω λειτουργίες:

- Γέννηση μηνυμάτων με χρονικά σήμαντρα (timestamps) για καθολικό συγχρονισμό (global time reference)
- Γέννηση παραθύρων ανίχνευσης νέων μονάδων ONU (discovery windows) προς εξισορρόπηση καθυστέρησης (ranging)
- Εκτελεί εξισορρόπηση καθυστέρησης (ranging) και υπολογισμό της τιμής αντιστάθμισης (ONU delay compensation)
- Ελέγχει την καταγραφή (registration) των μονάδων ONU
- Κατανομή εύρους ζώνης (MPCP allocation)
 - Γέννηση παραθύρων αδειών προς τις registered μονάδες ONUs
 - Ο χρόνος της άδειας προσαρμόζεται σύμφωνα με το προσδιορισμένη κατά την προηγούμενη φάση τιμή αντιστάθμισης (ONU delay compensation)

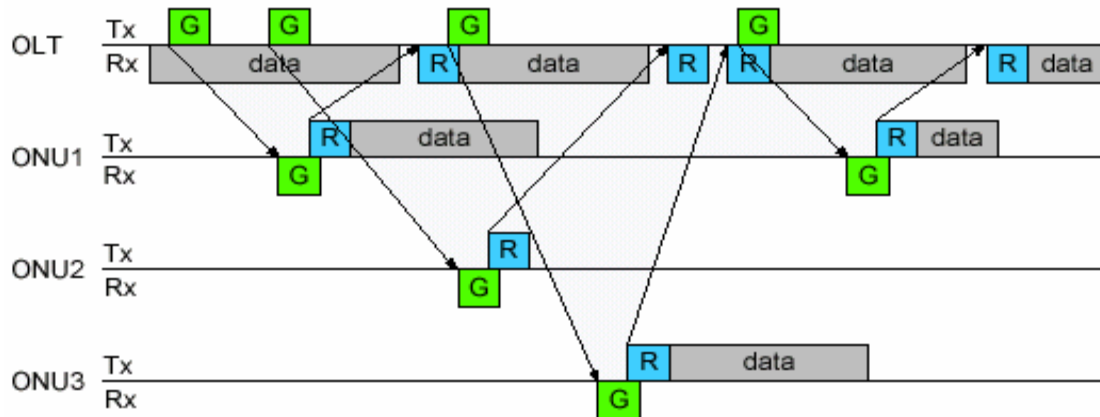
Η μονάδα ONU αντίστοιχα συμμετέχει στις παραπάνω διαδικασίες εκτελώντας τις παρακάτω λειτουργίες:

- Συγχρονισμό
- Η μονάδα ONU συγχρονίζεται με την μονάδα OLT μέσω των μηνυμάτων (MAC-control frames) με χρονικά σήμαντρα (timestamps) στο κανάλι downstream
- Η μονάδα ONU περιμένει για τη φάση ανίχνευσης (discovery gate)
- Η μονάδα ONU εκτελεί τη διαδικασία αναγνώρισης (discovery process), που περιλαμβάνει τις ακόλουθες λειτουργίες:
 - Ranging
 - Ανάθεση LLIDs
 - Απονομή εύρους ζώνης για να λειτουργήσει (Απαιτείται κατ'ελάχιστον το εύρος ζώνης που θα επιτρέψει την επικοινωνία για λόγους διαχείρισης και δικαιώματος αποστολής νέων αιτήσεων για τη δυναμική δέσμευση επιπλέον εύρους ζώνης)
- Αναμονή αδειών προς μετάδοση
 - Μετάδοση πλαισίων σύμφωνα με τις άδειες
 - Πιθανόν αποστολή αιτήσεων (report frames) επιπλέον εύρους ζώνης

Ο βασικός μηχανισμός όπως περιγράφηκε ήδη για την κατανομή του εύρους ζώνης στο κανάλι ανόδου στις μονάδες ONU βασίζεται στον προγραμματισμό αδειών από την μονάδα OLT. Αυτό βέβαια δημιουργεί ένα πρόβλημα σχετικά με την κατανομή των χρόνων μετάδοσης καθώς δεν μπορεί να είναι γνωστή εκ των προτέρων η κατανομή των πακέτων στην ουρά και η κατάσταση συμφόρησης σε κάθε μονάδα ONU. Ο μόνος τρόπος για την εκτίμηση της κατάστασης του φορτίου κάθε μονάδας ONU είναι η δειγματοληπτική αποστολή αδειών, ώστε να δοθεί η ευκαιρία σε αυτή να ανακοινώσει επιπλέον αιτήσεις για την εξυπηρέτηση τυχόν κίνησης που έχει συσσωρευτεί στις ουρές αναμονής στις εισόδους της από το δίκτυο πρόσβασης. Η διαδικασία αυτή συλλογής αιτήσεων αποκαλείται «δειγματοληψία» – rolling. Ένα παράδειγμα εξέλιξης της διαδικασίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 3 - 18.

Στο προηγούμενο παράδειγμα στο δίκτυο βρίσκονται τρεις ενεργές μονάδες ONU. Έχει προηγηθεί η φάση ανίχνευσης και η μονάδα OLT έχει προγραμματίσει άδειες για κάθε μία. Η πρώτη έχει δεδομένα, οπότε με την άφιξη της πρώτης άδειας για μετάδοση προς αυτήν αιτείται (μήνυμα REPORT) περισσότερου χρόνου μετάδοσης (επιπλέον σχισμές σε μελλοντικά πλαίσια ανόδου). Η δεύτερη δεν έχει δεδομένα (στέλνει κενό REPORT), ενώ η τρίτη έχει και αυτή δεδομένα και αιτείται περισσότερου

χρόνου μετάδοσης (επιπλέον σχισμές σε μελλοντικά πλαίσια ανόδου). Η τελευταία αυτή αίτηση θα εξυπηρετηθεί στο μέλλον καθώς η μονάδα OLT έχει ήδη προγραμματίσει επιπλέον άδειες προς εξυπηρέτηση της αίτησης της μονάδας ONU1 την οποία έχει ήδη επεξεργαστεί.

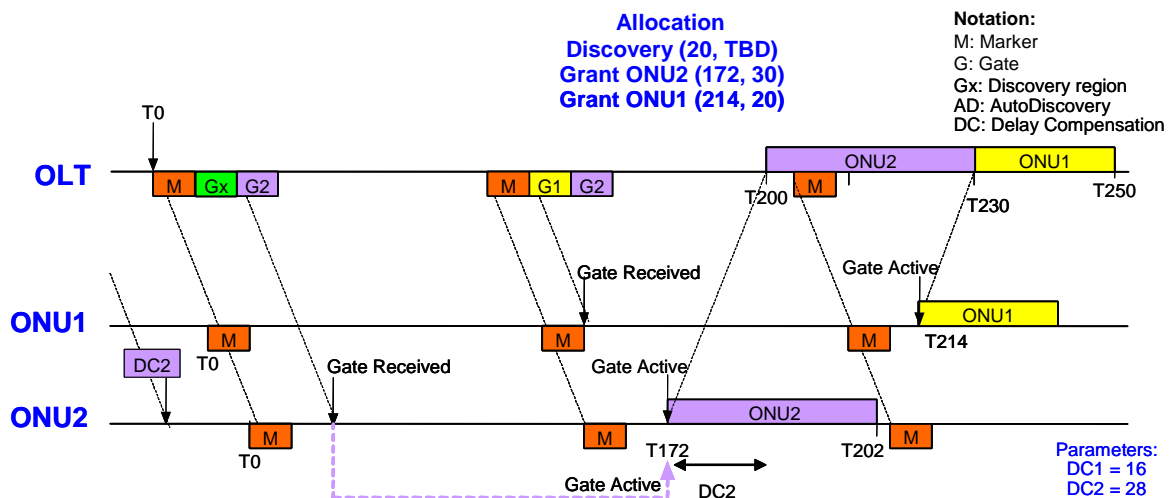


G - Grant (μήνυμα GATE σύμφωνα με το πρωτόκολλο MPCP)

R - Request (μήνυμα REPORT σύμφωνα με το πρωτόκολλο MPCP)

data - User's data(packet train)

Σχήμα 3 - 18: Διαδικασία αδειών/συλλογής αιτήσεων (Interleaved Polling)



Σχήμα 3 - 19: Διαδικασία αδειών-μετάδοσης

Κάθε άδεια υποδεικνύει:

- την ακριβή χρονική στιγμή έναρξης μετάδοσης (σύμφωνα με το τοπικό ρολόι της μονάδας ONU) σχετικά με τον χρόνο αναφορά της μονάδας OLT (global time) και

- Το ακριβές μέγεθος του upstream burst (Bytes)

Ένα παράδειγμα εξέλιξης της διαδικασίας παριστάνεται στο Σχήμα 3 - 19 σε συνάρτηση και με το παράδειγμα που προηγήθηκε στο Σχήμα 3 - 17.

3.5.2.3 Το πρωτόκολλο MPCP

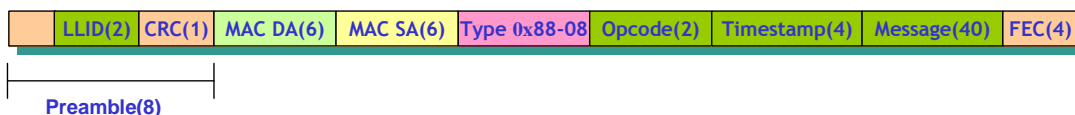
Το πρωτόκολλο Multi-Point Control Protocol (MPCP) προδιαγράφει ένα μηχανισμό ελέγχου μεταξύ δύο μονάδων που λειτουργούν ως Master & Slave συνδεδεμένοι σε μια τοπολογία σημείο-προς-πολλαπλά σημεία (Point-to-Multi-Point - P2MP) για την αποδοτική μεταφορά δεδομένων. Το πρωτόκολλο MPCP υλοποιείται στο MAC Control layer.

Το πρωτόκολλο MPCP χρησιμοποιεί πέντε τύπους μηνυμάτων (MAC Control messages):

- Από την μονάδα OLT στις μονάδες ONU αποστέλλονται τα:
 - GATE και REGISTER
- Ενώ από τις μονάδες ONU στην μονάδα OLT αποστέλλονται τα:
 - REPORT , REGISTER_REQUEST και REGISTER_ACK

	Opcode
GRANT	00 02
REPORT	00 03
REGISTER_REQ	00 04
REGISTER	00 05
REGISTER_ACK	00 06

Πίνακας 3 - 1: Τιμές κωδικών μηνυμάτων MPCP



Σχήμα 3 - 20: δομή πλαισίου MPCP (MAC Control frame format)

Τα μηνύματα αυτά μεταφέρονται ως πλαίσια Ethernet σταθερού μεγέθους 64 Bytes. Η αντίστοιχη δομή του πλαισίου που μεταφέρει μήνυμα MPCP φαίνεται στο Σχήμα 3 - 20 ενώ ο Πίνακας 3 - 1 περιέχει τις ακριβείς τιμές των κωδικών (opcodes) για κάθε έναν από τους πέντε τύπους μηνυμάτων. Προφανώς όλα τα μηνύματα περιλαμβάνουν χρονοσφραγίδες (timestamp) για συγχρονισμό.

3.5.3 Οφέλη των Παθητικών Οπτικών Δικτύων Ethernet

Τα δίκτυα EPON θεωρήθηκαν απλούστερα, πιο αποδοτικά και λιγότερο δαπανηρά από οποιαδήποτε εναλλακτική λύση πολλαπλών υπηρεσιών δικτύου πρόσβασης την εποχή που προτάθηκαν. Τα δίκτυα EPON προσέφεραν το υψηλότερο εύρος ζώνης στους πελάτες συγκριτικά με οποιοδήποτε άλλο δίκτυο PON. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μπορούν να υποστηριχθούν περισσότεροι συνδρομητές από τα δίκτυα EPON, να διατίθεται περισσότερο εύρος ανά συνδρομητή, καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας και να υπάρχει η δυνατότητα υποστήριξης υπηρεσιών video.

Επιπλέον τα δίκτυα EPON οδηγούσαν σε μείωση των δαπανών μέσω της εξάλειψης των πολύπλοκων και ακριβών στοιχείων ATM και SONET και δραματική απλοποίηση της αρχιτεκτονικής του δικτύου. Ακόμα η εξάλειψη του κόστους συντήρησης των εξωτερικών εγκαταστάσεων δεδομένου ότι δεν χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικά στοιχεία σε αυτές λόγω χρήσης των μεγάλης διάρκειας ζωής παθητικών εξαρτημάτων οδηγούσε σε μείωση της συνολικής δαπάνης. Τέλος, οι διεπαφές Ethernet εξάλειψαν την ανάγκη για επιπλέον μονάδες DSL ή cable modems γεγονός που οδηγούσε σε περαιτέρω μείωση του κόστους.

Η τεχνολογία EPON δεδομένου ότι μπορεί να υποστηρίξει υπηρεσίες, βίντεο και φωνής έδινε τη δυνατότητα στους παροχείς να προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών και κατ' επέκταση να αυξήσουν τα έσοδά τους. Συγκεκριμένα, εκτός τις υπηρεσίες POTS, T1, 10/100BASE-T και DS3 τα δίκτυα EPON υποστηρίζουν και εξελιγμένες λειτουργίες όπως μεταγωγή και δρομολόγηση επιπέδου 2 και 3, voice over IP, IP multicast, VPN 802.1Q και κατανομή και μορφοποίηση του εύρους ζώνης. Συνοψίζοντας τα δίκτυα EPON εξαιτίας της απλότητας τους, που προέρχεται από τη χρήση των τοπολογιών Ethernet, έδιναν τη δυνατότητα στους παροχείς να μπορούν εύκολα να αναπτύσσουν, να προβλέπουν και να διαχειρίζονται τις υπηρεσίες.

3.6 Παθητικά Οπτικά Δίκτυα GPON

Το 2001 η FSAN ξεκίνησε μία προσπάθεια έτσι ώστε να αναγνωριστούν ως standard τα δίκτυα PON τα οποία λειτουργούσαν σε ταχύτητες μεγαλύτερες του 1Gbps. Εκτός από την ανάγκη να υποστηριχθούν υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης το συνολικό πρωτόκολλο θα έπρεπε να είναι ανοιχτό για επανεξέταση έτσι ώστε η τελική μορφή που αυτό θα λάμβανε να είναι η βέλτιστη και η πιο αποδοτική όσον αφορά στην υποστήριξη πολλαπλών υπηρεσιών και λειτουργιών διαχείρισης, συντήρησης και πρόβλεψης. Το αποτέλεσμα της προσπάθειας της FSAN ήταν μία νέα λύση στην αγορά οπτικών δικτύων πρόσβασης τα δίκτυα GPON (Gigabit PON) που προσφέρουν πολύ υψηλούς

ρυθμούς μετάδοσης, έως και 2,048 Gbps, ενώ ταυτόχρονα υποστηρίζουν τη μεταφορά πολλαπλών υπηρεσιών, ιδιαίτερα δεδομένων και TDM, σε απλές διατάξεις και με μεγάλη αποδοτικότητα ([10], [11], [12]).

Η τεχνολογία GPON διατηρεί, όπου αυτό είναι δυνατό, τα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών που χρονικά προηγήθηκαν αυτού και περιγράφονται στα ITU-T G.982 και τη σειρά G.983.x Recommendations έτσι ώστε να είναι συμβατά με όλες τις τεχνολογίες PON που προηγήθηκαν. Για να είναι δυνατή η μεταφορά δεδομένων με ρυθμό Gbit/sec σχεδιάστηκε εκ νέου το υπόστρωμα σύγκλισης μετάδοσης (Transmission Convergence) και προδιαγράφηκαν οι απαιτήσεις για το υπόστρωμα φυσικού μέσου ώστε να είναι εφικτή η μετάδοση σε τέτοιους υψηλούς ρυθμούς.

Τα δίκτυα GPON εξαιτίας του μεγάλου εύρους ζώνης που παρέχουν υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών συμπεριλαμβανομένων υπηρεσιών φωνής, TDM, βίντεο, Ethernet, 10/100BASE-T, μισθωμένες γραμμές και επεκτάσεις χωρίς καλώδιο. Επίσης είναι δυνατό να εξυπηρετήσουν αποστάσεις των 60 km μεταξύ μονάδων ONT/ONU και μονάδων OLT, η απόσταση όμως αυτή υπολογίζεται χωρίς να ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί του φυσικού μέσου και αποτελεί τη λογική απόσταση. Σε αντίθεση με την τιμή αυτή η μέγιστη φυσική απόσταση που είναι δυνατό να καλυφθεί είναι ίση με 20 km. Τα δίκτυα GPON υποστηρίζουν 7 διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης χρησιμοποιώντας για όλα το ίδιο πρωτόκολλο. Οι δυνατοί συνδυασμοί για το κανάλι ανόδου και το κανάλι καθόδου δίνονται στον Πίνακα 3 - 2.

Κανάλι Ανόδου	Κανάλι Καθόδου
155 Mbit/s up	1.2 Gbit/s down
622 Mbit/s up	1.2 Gbit/s down
1.2 Gbit/s up	1.2 Gbit/s down
155 Mbit/s up	2.4 Gbit/s down
622 Mbit/s up	2.4 Gbit/s down
1.2 Gbit/s up	2.4 Gbit/s down
2.4 Gbit/s up	2.4 Gbit/s down

Πίνακας 3 - 2: Συνδυασμοί ρυθμών μετάδοσης για το κανάλι ανόδου/καθόδου στα δίκτυα GPON

Όσον αφορά τη διαίρεση του σήματος της οπτικής ίνας στον οπτικό διαιρέτη μία ρεαλιστική υλοποίηση με βάση το κόστος είναι η διαίρεση 1:64, ενώ παρά το γεγονός

αυτό προβλέποντας τις μελλοντικές τεχνολογικές εξελίξεις το στρώμα TC πρέπει να λαμβάνει μέριμνα για διαίρεση 1:128.

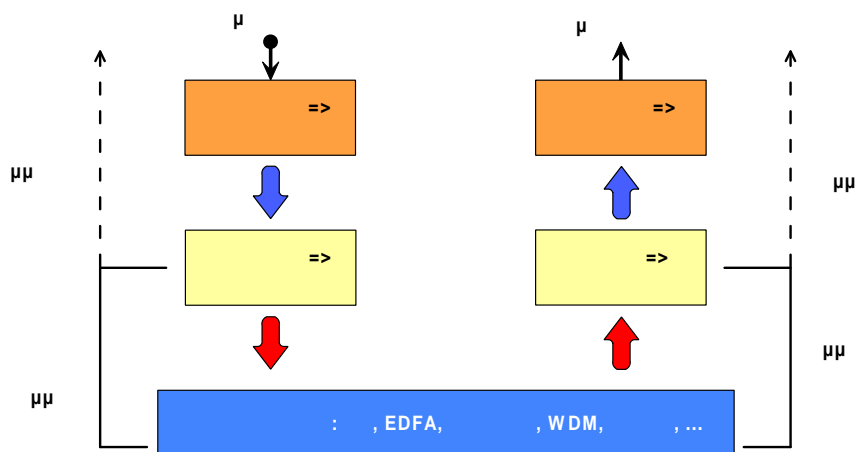
Επιπλέον το δίκτυο GPON έχει μεγάλες δυνατότητες όσον αφορά στις λειτουργίες ανάπτυξης, πρόβλεψης και διαχείρισης του δικτύου ενώ παρέχει και ασφάλεια σε επίπεδο πρωτοκόλλου για την καθοδική κίνηση. Συγκεκριμένα δεδομένου του multicast χαρακτήρα του μεριμνά ώστε να μην είναι εύκολη η αποκωδικοποίηση των δεδομένων καθόδου από όλους τους χρήστες παρά μόνο από αυτόν για τον οποίο προορίζονται τα δεδομένα και επιτρέπει προς την κατεύθυνση αυτή οικονομικά αποδοτικές υλοποιήσεις.

Το δίκτυο GPON βασίζεται στη μεταφορά πακέτων αλλά με ένα πιο γενικό τρόπο σε σύγκριση με τους άλλους τύπους δικτύων (EPON, APON). Πιο συγκεκριμένα το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπως το δίκτυο EPON, αλλά μπορεί να μεταδώσει και απευθείας πακέτα IP (χωρίς να είναι απαραίτητη η ενθυλάκωση σε πλαίσια Ethernet), με την προσθήκη μιας επικεφαλίδας MPLS (Multi Protocol Label Switching – Μεταγωγή Ετικέτας Πολλαπλών Πρωτοκόλλων), ή ακόμα και πακέτων ATM. Αυτό είναι εφικτό επειδή το πλαίσιο του στρώματος μετάδοσης σχεδιάστηκε εκ νέου, χωρίς να βασιστεί σε κάποια ήδη υπάρχουσα δομή που αφορούσε σε προγενέστερο δίκτυο (EPON, APON), με βασικό κριτήριο την αποδοτική και οικονομική υποστήριξη μεταβλητού μήκους πακέτων κάνοντας χρήση διαδοχικών σχισμών σταθερού μήκους. Η διαχείριση των πακέτων γίνεται από ένα πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC – Medium Access Protocol) που λειτουργεί με γνώμονα την Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS – Quality of Service), έτσι το GPON είναι ένα πλήρες δίκτυο πρόσβασης σε αντίθεση με το EPON που δεν λαμβάνει υπόψη του τη ποιότητα υπηρεσίας. Η καινούργια αυτή σχεδίαση του πλαισίου επιτρέπει την αποδοτικότερη εκμετάλλευση του εύρους ζώνης για την παροχή υπηρεσιών πακέτου από παθητικά δίκτυα υψηλής ταχύτητας. Κατά τον καινούριο αυτό σχεδιασμό λήφθηκαν υπόψη διάφοροι περιορισμοί όπως το επίπεδο ισχύος, η λήψη δεδομένων σε εκρηκτική μετάδοση (burst mode), ο συγχρονισμός των ρολογιών καθώς επίσης και ζητήματα όπως η μειωμένη πολυπλοκότητα του συστήματος και ο περιορισμός του κόστους. Στο ρεύμα ανόδου (από τις μονάδες ONU προς τη μονάδα OLT) χρησιμοποιείται μη γραμμική κωδικοποίηση σε συνδυασμό με διόρθωση λαθών. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι ο συνδυασμός των δύο αυτών μεθόδων χρησιμοποιείται για πρώτη φορά σε δίκτυο PON με εκρηκτική λειτουργία στο ρεύμα ανόδου. Αυτό γίνεται έτσι ώστε να υπάρχει μεγαλύτερο απόθεμα ισχύος, που είναι απαραίτητο για να αυξηθεί η μέγιστη απόσταση καθώς και ο λόγος της διαίρεση του σήματος της οπτικής ίνας στον οπτικό διαιρέτη, με

τελικό και σημαντικό αποτέλεσμα να εξυπηρετούνται από το δίκτυο περισσότεροι χρήστες.

3.6.1 Φυσικό υπόστρωμα GPON

Το φυσικό υπόστρωμα αποτελεί το χαμηλότερο στρώμα στην ιεραρχία και περιλαμβάνει το οπτικό στρώμα καθώς και ένα μέρος του ηλεκτρικού στρώματος του συστήματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 - 21. Το οπτικό μέρος περιλαμβάνει τις οπτικές ίνες, τους διαχωριστές σήματος, τους πολυπλέκτες και αποπολυπλέκτες μήκους κύματος, τους εξασθενητές και τα οπτικά φίλτρα. Πάνω από το οπτικό στρώμα υπάρχει ένα υπόστρωμα υπεύθυνο για την ηλεκτρο-οπτική και οπτο-ηλεκτρική μετατροπή των σημάτων. Η μετατροπή γίνεται από μια ημιαγωγική δίοδο laser. Το ανώτερο στρώμα επιτελεί την μετατροπή από αναλογικό σε ψηφιακό και αντίστροφα.



Σχήμα 3 - 21: Υπόστρωμα φυσικού μέσου

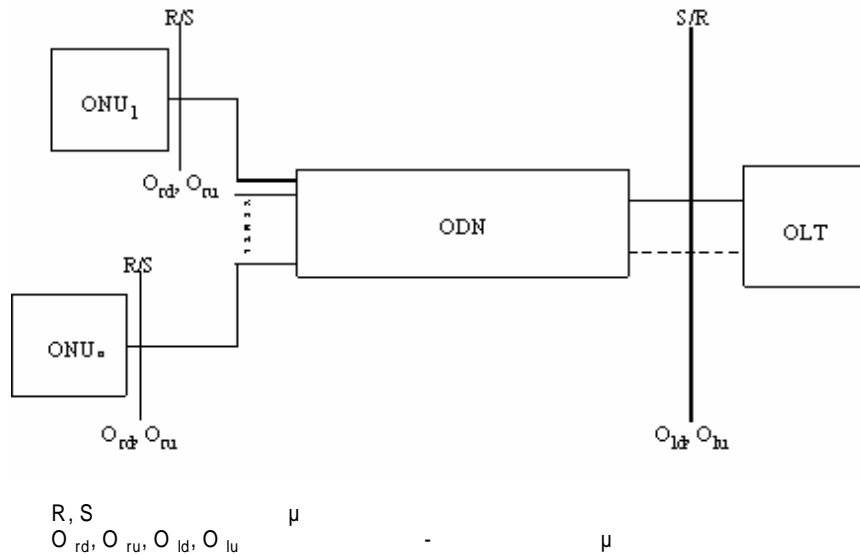
Το φυσικό υπόστρωμα είναι κατάλληλο για να μεταδώσει δεδομένα με ρυθμό Gbit/s. Η μετάδοση προς τα δύο ρεύματα μπορεί να γίνει είτε με τη χρήση πολυπλεξίας μήκους κύματος σε μια οπτική ίνα, είτε με τη χρήση δύο ινών. Το μήκος κύματος είναι 1480-1500 nm για το ρεύμα καθόδου και 1260-1360 nm για το ρεύμα ανόδου. Ο δέκτης έχει μια ανοχή 1dB για τις απώλειες οπτικού δρόμου, που οφείλονται σε ανακλάσεις, διασυμβολική παρεμβολή, θόρυβο και διαμόρφωση της φάσης του laser.

Στο Σχήμα 3 - 22 φαίνεται το οπτικό δίκτυο ODN (Optical Distribution Network) ανάμεσα στα σημεία προσαρμογής S/R και R/S.

Το οπτικό δίκτυο ODN αποτελείται :

- πολυπλέκτη/αποπολυπλεκτη μήκους κύματος του OLT
- πολυπλέκτη/αποπολυπλεκτη μήκους κύματος του ONU
- οπτική ίνα

- οπτικός διαχωριστής
- οπτικός ζεύκτης



Σχήμα 3 - 22: Οπτικό δίκτυο ODN

3.6.2 Υπόστρωμα σύγκλισης μετάδοσης

Το υπόστρωμα σύγκλισης μετάδοσης (Transmission Convergence - TC) επιτελεί κυρίως δύο λειτουργίες. Πρώτον, καλύπτει την ανάγκη για απόκρυψη της φυσικής δομής του δικτύου από τα ανώτερα στρώματα. Συγκεκριμένα επειδή τα παθητικά οπτικά δίκτυα, και ειδικά το δίκτυο GPON, χρησιμοποιούν τοπολογία δένδρου έχουμε στο ρεύμα ανόδου μια δομή πολλαπλών σημείων προς σημείο, γεγονός που σημαίνει ότι δημιουργούνται πολλά ανεξάρτητα μονοπάτια από τους χρήστες προς τη μονάδα OLT, το οποίο είναι επιθυμητό να μην είναι ορατό στα ανώτερα στρώματα. Η δεύτερη λειτουργία είναι ο καθορισμός μιας δομής πλαισίου, η οποία να υποστηρίζει μεγάλο πλήθος υπηρεσιών που σε κάθε μια αντιστοιχεί και κάποια συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας (QoS). Ο ρόλος του υποστρώματος μετάδοσης είναι καθοριστικός και για την οικονομική αποδοτικότητα του συστήματος ενός παθητικού οπτικού δικτύου, αφού είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία του συστήματος μετάδοσης που θα εξυπηρετεί την απαιτούμενη μεταφορά δεδομένων. Το υπόστρωμα μετάδοσης δεδομένων αντιστοιχεί στο στρώμα 1.5 και 2 της διαστρωμάτωσης σύμφωνα με το OSI. Το υπόστρωμα σύγκλισης μετάδοσης σχεδόν πάντα συναντάται ως μέρος του στρώματος ATM και γι' αυτό ορίζεται ως υπόστρωμα.

Οι βασικές αρχές του υποστρώματος σύγκλισης είναι :

- Δημιουργία του πλαισίου μετάδοσης και επανάκτησή του
- Προσαρμογή του πλαισίου μετάδοσης
- Αποσυσχέτιση του ρυθμού των πακέτων
- Δημιουργία αλληλουχίας ελέγχου λάθους επικεφαλίδας και επαλήθευση
- Οριοθέτηση των πακέτων

Οι βασικές αρχές που υλοποιεί το υποστρώμα μετάδοσης ενός δικτύου GPON είναι οι παρακάτω:

Αντιστάθμιση της διαφορετικής απόστασης των μονάδων ONU

Στο ρεύμα ανόδου ενός δικτύου PON, το οποίο χρησιμοποιεί την αρχιτεκτονική πολλαπλών σημείων προς σημείο, στέλνονται τα δεδομένα από τους χρήστες στη μονάδα OLT κάνοντας χρήση του πρωτοκόλλου TDMA. Τον έλεγχο όλων αυτών των μεταδόσεων τον έχει η μονάδα OLT. Προκειμένου να αποφευχθούν οι συγκρούσεις μεταξύ της αποστολής δεδομένων από δύο διαφορετικές μονάδες ONU και για να έχουμε αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης, η μονάδα OLT πρέπει να γνωρίζει με ακρίβεια τη θέση κάθε μονάδας ONU, και συγκεκριμένα την απόσταση μιας ONU από τη μονάδα OLT. Το μέγιστο της απόστασης μεταξύ OLT και ONU μπορεί να είναι 60 km, ενώ η μέγιστη διαφορά μεταξύ δύο μονάδων ONU μπορεί να είναι 20 km. Για μήκος ίνας 20 km έχουμε μια καθυστέρηση διάδοσης μεταξύ της πιο κοντινής μονάδας ONU και της πιο απομακρυσμένης περίπου ίση με $2 \times 100\mu\text{s}$ (διαδρομή από OLT σε ONU και αντιστρόφως). Με δεδομένο ότι σε ρυθμό 1.24416 Gb/s η μετάδοση ενός byte διαρκεί 6.43 ns, υπάρχει μια διαφορά 31100 "byte slots" (σχισμών) μεταξύ της πιο κοντινής και του πιο απομακρυσμένης μονάδας ONU. Για το λόγο αυτό η μονάδα OLT πρέπει να γνωρίζει το χρόνο μετάδοσης με επιστροφή για κάθε μονάδα ONU. Αυτό γίνεται μέσω της διαδικασίας της αποστασιομέτρησης (ranging). Έτσι εφόσον η μονάδα OLT γνωρίζει την καθυστέρηση με επιστροφή για κάθε μονάδα ONU, επιβάλλει σε κάθε μονάδα ONU να τηρεί μια συγκεκριμένη καθυστέρηση στην αποστολή δεδομένων. Η καθυστέρηση αυτή τηρείται από τη στιγμή που θα λάβει την άδεια για να στείλει δεδομένα (grant) έως ότου ξεκινήσει η αποστολή δεδομένων. Για κάθε μονάδα ONU η καθυστέρηση είναι διαφορετική αφού εξαρτάται από τη θέση της στο δίκτυο.

Ευθυγράμμιση bit/byte και συγχρονισμός εκρηκτικής κίνησης

Στο ρεύμα καθόδου ο συρμός bit, κωδικοποιημένος με μηχανισμό NRZ, επιτρέπει τον εύκολο συγχρονισμό για τις μονάδες ONU. Ο συγχρονισμός byte βασίζεται στην αναγνώριση της διάταξης του πλαισίου καθόδου. Στο ρεύμα ανόδου χρησιμοποιείται η επικεφαλίδα (upstream overhead) για το συγχρονισμό, η οποία έχει μήκος 12 bytes στα δίκτυα GPON και χωρίζεται σε τρία πεδία ως εξής :

- **Χρόνος επιτήρησης:** σκοπός του είναι να παρέχει επαρκή απόσταση μεταξύ δύο συνεχόμενων εκρήξεων (μεταφορά δεδομένων από τους χρήστες που υπακούει σε εκρηκτική κίνηση) από δύο διαφορετικές μονάδες ONU, ώστε να μην υπάρξει σύγκρουση. Επίσης λαμβάνει υπόψη τον αριθμό που θα αναβοσβήσει το laser μιας μονάδας ONU.
- **Εισαγωγή (preamble):** η εισαγωγή επιτελεί δύο λειτουργίες. Πρώτον εξάγει τη φάση του συρμού bit ανοδικού ρεύματος που φθάνει σε σχέση με την τοπική ώρα στη μονάδα OLT, επιτρέποντας έτσι το συγχρονισμό των bits. Δεύτερον συμβάλλει στην επαναφορά της ισχύος. Η διαφορά θέσης των μονάδων ONU σε σχέση με τη μονάδα OLT έχει ως αποτέλεσμα τη διαφορετική εξασθένιση των οπτικών σημάτων όταν φθάνουν στη μονάδα OLT.
- **Ένδειξη αρχής:** υπάρχει ένα μοναδικό χαρακτηριστικό που υποδεικνύει την αρχή του συρμού ανόδου, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το συγχρονισμό των bytes.

Ανάθεση εύρους ζώνης – MAC

Το πρωτόκολλο MAC επιτελεί ένα σημαντικό ρόλο στα δίκτυα PON, όπου υπάρχουν πολλές υπηρεσίες με διαφορετικές απαιτήσεις σε ποιότητα να εξυπηρετηθούν. Ο ελεγκτής MAC, που υλοποιεί το πρωτόκολλο, δέχεται ως είσοδο διάφορες παραμέτρους σχετικές με τη ποιότητα υπηρεσίας για κάθε συνθήκη κίνησης, καθώς και στοιχεία από τις διάφορες μονάδες ONU και αναλαμβάνει τη σωστή ανάθεση εύρους ζώνης σε κάθε μονάδα ONU.

Ακεραιότητα των πληροφοριών

Χρησιμοποιείται ένας μηχανισμός πρόβλεψης λαθών (FEC – Forward Error Detection), δηλαδή μια τεχνική κωδικοποίησης που επιτρέπει την εξασφάλιση του ίδιου ρυθμού λαθών (Bit Error Rate) αλλά σε μικρότερη ευαισθησία. Όμως έτσι έχουμε μείωση του ωφέλιμου εύρους ζώνης. Ο μηχανισμός FEC χρησιμοποιείται αντί ενός πρωτοκόλλου επανάληψης, δηλαδή ενός πρωτοκόλλου που ζητά την επανεκπομπή δεδομένων σε περίπτωση λάθους. Ο μηχανισμός FEC παρέχει επαρκή bit, ώστε να γίνει διόρθωση λαθών μέχρι ενός αριθμού, όπου αυτό απαιτείται.

Ασφάλεια

Εξαιτίας της κοινοποίησης της πληροφορίας σε όλες τις μονάδες ONU στο κανάλι καθόδου, υπάρχει η δυνατότητα κάποια μονάδα ONU να διαβάσει την πληροφορία που προορίζεται για άλλες. Για το λόγο αυτό η πληροφορία πρέπει να υφίσταται κρυπτογράφηση, κάνοντας χρήση ενός κλειδιού κωδικοποίησης διαφορετικό για κάθε μονάδα ONU.

3.6.3 Πρωτόκολλο MAC

Όπως έχει ήδη αναφερθεί λόγο της δεντρικής τοπολογίας τους στα δίκτυα GPON, όπως και σε όλες τις περιπτώσεις PON που περιγράψαμε έως τώρα η πολλαπλή πρόσβαση στο ρεύμα ανόδου επιτυγχάνεται μέσω πολυπλεξίας TDMA. Για να επιτευχθεί η διαιτησία της πρόσβασης είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός πρωτοκόλλου ελέγχου της πρόσβασης στο μέσο. Το πρωτόκολλο αυτό ρυθμίζει την πρόσβαση αναθέτοντας σχισμές στα τερματικά των χρηστών ανάλογα με τη ζήτηση.

Ο ελεγκτής MAC συλλέγει της αιτήσεις για πρόσβαση στο μέσο από τα διάφορες μονάδες ONU/ONT και διανέμει τον αριθμό των χρονοθυρίδων του ρεύματος ανόδου ανάλογα με τα δεδομένα που έχει συλλέξει. Κύριος παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη για την κατανομή του εύρους ζώνης είναι η διασφάλιση της Ποιότητας Υπηρεσίας που έχει συμφωνηθεί ανάμεσα στη μονάδα OLT και τις μονάδες ONU/ONT.

3.6.3.1 Διαχείριση ποιότητας υπηρεσίας σε δίκτυα PON

Ένα χαμηλό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας είναι το αποτέλεσμα της ανεπάρκειας πόρων, που οδηγεί στην απώλεια πληροφορίας ή την καθυστέρηση μετάδοσης, και των σφαλμάτων μετάδοσης. Τα σφάλματα μετάδοσης διορθώνονται στο βαθμό που είναι δυνατό με χρήση μηχανισμού πρόβλεψης ή διόρθωσης λαθών (forward ή backward error correction). Η ανεπάρκεια πόρων γίνεται φανερή στα σημεία συσσώρευσης από την υπερχειλίση των προσωρινών καταχωρητών. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν συναρτήσεις ελέγχου είτε ανοιχτού (πρόβλεψης) είτε κλειστού (αντίδρασης) βρόχου. Με τον πρώτο τρόπο γίνεται δέσμευση πόρων πριν αρχίσει η μετάδοση δεδομένων, γι' αυτό απαιτείται η διατήρηση πληροφοριών για την κατάσταση στα σημεία μεταγωγής, σε συνδυασμό με τον έλεγχο συμμόρφωσης της πηγής δεδομένων προς τις παραμέτρους μετάδοσης που έχουν συμφωνηθεί και έχουν χρησιμοποιηθεί για την κράτηση των πόρων. Με το δεύτερο τρόπο υλοποιούνται αλγόριθμοι οι οποίοι προσαρμόζουν το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων από της πηγές ανάλογα με τους διαθέσιμους πόρους στα σημεία συμφόρησης. Η επιλογή της μεθόδου δε αφήνεται στη διακριτικότητα του σχεδιαστή του συστήματος αλλά υπαγορεύεται από το είδος των υπηρεσιών που θα εξυπηρετούνται. Η μετάδοση κίνησης πραγματικού χρόνου δεν μπορεί να γίνει με χρήση ελέγχου κλειστού βρόχου, ενώ η μετάδοση κίνησης βέλτιστης προσπάθειας έχει καλά αποτελέσματα με αυτό το είδος ελέγχου. Δεν είναι δυνατή η χρήση και των δύο μεθόδων, αφού με τη μέθοδο του κλειστού βρόχου καταλαμβάνεται όλο και περισσότερο εύρος ζώνης έως ότου αρχίσουν οι απώλειες μετάδοσης. Παρόλο που η

μέθοδος κλειστού βρόχου καλύπτει τις απώλειες, η κίνηση πραγματικού χρόνου θα είχε ελλιπή ποιότητα.

Το πρωτόκολλο MAC είναι ένας γενικός ρυθμιστής κίνησης στα δίκτυα PON, ο οποίος δε μπορεί να λειτουργήσει σωστά αν δε γνωρίζει το είδος και τις ιδιότητες της ροής στην οποία ανήκουν τα προς μετάδοση πακέτα. Αν η πληροφορία αυτή δεν είναι διαθέσιμη στον ελεγκτή MAC είναι δυνατόν να δώσει άδεια για μετάδοση σε ένα πακέτο μιας εφαρμογής δεδομένων ανεκτικής σε καθυστέρηση (π.χ. ανταλλαγή αρχείων FTP με χρήση TCP) μιας μονάδας ONU, ενώ σε κάποια κοντινή μονάδα ONU ένα πακέτο που ανήκει σε ροή μετάδοσης δεδομένων πραγματικής κίνησης να ανταγωνίζεται για την ίδια σχισμή. Αφού δεν είναι δυνατό για τον ελεγκτή MAC να ελέγχει και να ταξινομεί το κάθε πακέτο προς μετάδοση σε πιο είδος κίνησης ανήκει, είναι επιθυμητό η ταξινόμηση των πακέτων να γίνεται από την τερματική συσκευή. Έτσι υπάρχουν μερικές κατηγορίες στις οποίες ταξινομούνται τα πακέτα ανάλογα με την προτεραιότητά τους από τη μονάδα ONU/ONT. Ο ελεγκτής MAC ελέγχει τώρα μόνο το μήκος της κάθε ουράς αναμονής για την κάθε κατηγορία και παραχωρεί προτεραιότητα στις ουρές υψηλής προτεραιότητας κάθε μονάδας ONU. Η τοπική ταξινόμηση των πακέτων σε κάθε ONU δε έχει τόση σημασία, όσο η καθολική ταξινόμηση ανάμεσα σε όλες τις ONU, αφού σκοπός είναι να εξυπηρετηθούν τα πακέτα υψηλής προτεραιότητας νωρίτερα από τα υπόλοιπα σε όλες τις ουρές των μονάδων ONU.

Ο αριθμός των κατηγοριών που μπορεί να ταξινομηθούν τα διάφορα πακέτα είναι πέντε, ονομάζονται (Traffic Containers - TCONT) και τη χρήση κάθε μίας περιγράφει ο Πίνακας 3 - 3. Η ταξινόμηση των προτεραιοτήτων αυτών έχει καθοριστεί από την ITU στο G983.5 και έχουν υιοθετηθεί και από την FSAN. Για κάθε κατηγορία TCONT που υποστηρίζεται θα πρέπει να υπάρχει μια ξεχωριστή ουρά. Οι ροές δεδομένων με απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσιών πρέπει να αναγνωρίζονται και να εξυπηρετούνται διαφορετικά από τα υπόλοιπα δεδομένα. Αυτό επιτυγχάνεται στη μονάδα ONU με την τοποθέτηση των δεδομένων αυτών στη σωστή ουρά της αντίστοιχης κατηγορίας TCONT.

Οι αντίστοιχοι παράμετροι των κατηγοριών αυτών είναι:

- Max SDI : Μέγιστο διάστημα μεταξύ επιτυχούς μετάδοσης δεδομένων
- Min SDI : Ελάχιστο διάστημα μεταξύ επιτυχούς μετάδοσης δεδομένων
- Max TB : Μέγιστος αριθμός byte που μεταδίδονται
- Min TB : Ελάχιστο αριθμός byte που μεταδίδονται

Ο αλγόριθμος απόδοσης αδειών στις μονάδες ONU θα πρέπει να προσαρμόζεται στις παραπάνω απαιτήσεις και ο προγραμματισμός αδειών θα πρέπει να χρησιμοποιεί τις

αναγκαίες παραμέτρους κατά περίπτωση, για να επιτύχει κάλυψη των απαιτήσεων των υπηρεσιών. Για τους τύπους TCONT 3, 4 και 5 το άνω όριο του εύρους ζώνης είναι ίσο με το μέγιστο και είναι προκαθορισμένο. Στην ανάθεση εύρους ζώνης (προγραμματισμό αδειών) εξυπηρετούνται πρώτα όσοι έχουν διαπραγματευτεί σταθερό εύρος ζώνης, χρησιμοποιώντας και σχισμές για τη μείωση της καθυστέρησης και της μεταβολής της καθυστέρησης ανά μετάδοση.

TCONT	Υπηρεσίες	Παράμετροι	Εγγυήσεις
1	DS-1, E1 υπηρεσίες	Μέγιστο SDI = Ελάχιστο SDI = προκαθορισμένη και σταθερή τιμή Μέγιστο TB = Ελάχιστο TB = προκαθορισμένη σταθερή τιμή	καθορισμένο σταθερό εύρος ζώνης καθορισμένη σταθερή καθυστέρηση
2	μη πραγματικού χρόνου κίνηση	Μέγιστο SDI = Ελάχιστο SDI = προκαθορισμένη σταθερή τιμή Μέγιστο TB = Ελάχιστο TB = προκαθορισμένη σταθερή τιμή	καθορισμένο εύρος ζώνης περιορισμένο CTD, CDV
3	μεταβλητού ρυθμού μετάδοση	Μέγιστο SDI = προκαθορισμένη τιμή Ελάχιστο SDI = προκαθορισμένη τιμή Μέγιστο TB = προκαθορισμένη τιμή Ελάχιστο TB = προκαθορισμένη τιμή	προκαθορισμένο, εγγυημένο εύρος ζώνης μη εγγυημένο δεσμευμένο σε αναλογία με το εγγυημένο
4	καλύτερες δυνατές υπηρεσίες	Μέγιστο SDI = άπειρο Ελάχιστο SDI = προκαθορισμένη τιμή Μέγιστο TB = προκαθορισμένη τιμή Ελάχιστο TB = 0	ίση κατανομή του μη δεσμευμένου εύρους ζώνης
5	όλα τα παραπάνω		

Πίνακας 3 - 3: Διάκριση κλάσεων υπηρεσιών με χρήση των TCONT στο GPON

Κατόπιν εξυπηρετείται το εγγυημένο εύρος ζώνης, εφόσον έχουν εγκατασταθεί TCONT που το προβλέπουν. Το υπόλοιπο εύρος ζώνης διανέμεται στο μη εγγυημένο και το καλύτερο δυνατό. Το μη εγγυημένο έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα εξυπηρέτησης έναντι του καλύτερου δυνατού. Ο Πίνακας 3 - 4 δείχνει τη σχέση μεταξύ της κάθε κατηγορίας εύρους ζώνης και των πέντε τύπων TCONT.

- **Κατηγορία TCONT τύπου 1:** η κατηγορία TCONT τύπου 1 χαρακτηρίζεται από σταθερό εύρος ζώνης μόνο. Σε αυτήν το εύρος ζώνης πρέπει να διανέμεται υποχρεωτικά, με σταθερό ρυθμό και ελεγχόμενη καθυστέρηση κελιών. Η κατηγορία TCONT αυτού του τύπου χρησιμοποιείται για εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Η μονάδα OLT πάντα αναθέτει το προκαθορισμένο εύρος ζώνης στις συνδέσεις με TCONT 1 ανεξαρτήτως αν υπάρχουν δεδομένα να σταλούν ή όχι. Για τη κατηγορία αυτή δε γίνεται δυναμική ανάθεση του εύρους ζώνης.
- **Κατηγορία TCONT τύπου 2:** η κατηγορία T -CONT τύπου 2 χαρακτηρίζεται από εγγυημένο εύρος ζώνης μόνο. Το εγγυημένο εύρος ζώνης είναι ίδιο με το σταθερό με τη διαφορά ότι δεν υπάρχει ευαισθησία ως προς το χρόνο. Η κατηγορία TCONT 1 εγγυάται τόσο το ρυθμό μετάδοσης όσο και τη καθυστέρηση ανά κελί και τη μεταβολή της καθυστέρησης αυτής. Ενώ η κατηγορία TCONT 2 εγγυάται μόνο το ρυθμό μετάδοσης.

	Ευαισθησία στην καθυστέρηση	Τύπος ανάθεσης	Τύποι TCONT				
			1	2	3	4	5
Σταθερό	Ναι	Προκαθορισμένος	✓				✓
Εγγυημένο	Όχι	Προκαθορισμένος		✓	✓		✓
Μη Εγγυημένο	Όχι	Δυναμικός			✓		✓
Καλύτερο Δυνατό	Όχι	Δυναμικός				✓	✓

Πίνακας 3 - 4: Κατανομή εύρους ζώνης ανά TCONT

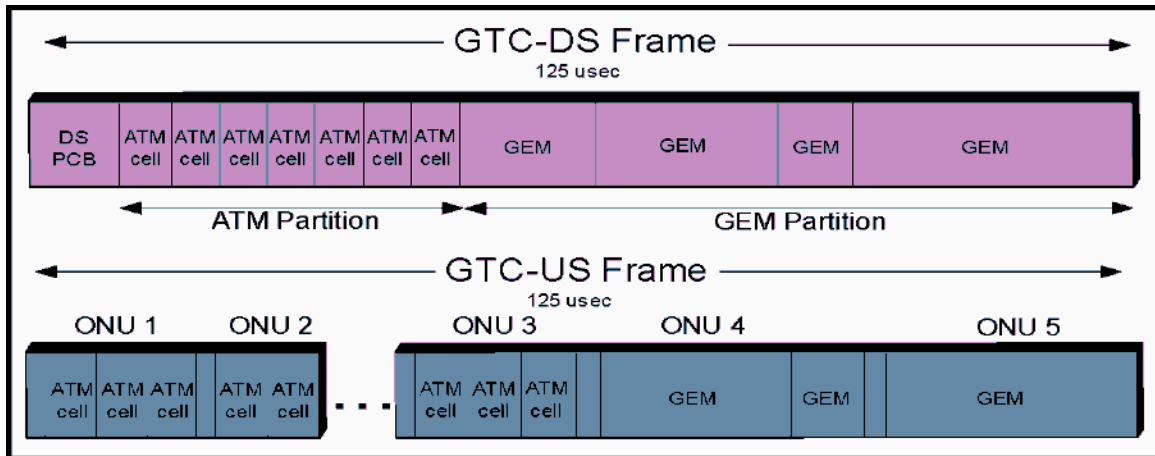
- **Κατηγορία TCONT τύπου 3:** η κατηγορία TCONT τύπου 3 χαρακτηρίζεται τόσο από εγγυημένο όσο και από μη εγγυημένο εύρος ζώνης. Η κατηγορία TCONT τύπου 3 διανέμεται τόσο εύρος ζώνης ίσο με το εγγυημένο μόνο όταν ο ρυθμός είναι ίσος ή μεγαλύτερος από αυτόν του εγγυημένου εύρους ζώνης. Αν υπάρχει απαίτηση για επιπλέον εύρος ζώνης θα διανεμηθεί ως μη - εγγυημένο. Η κατανομή αυτή θα γίνει από το εύρος ζώνης που αφιερώνεται στο μη - εγγυημένο και στο καλύτερο δυνατό και σε αναλογία με το εγγυημένο εύρος ζώνης. Το άθροισμα του εγγυημένου και μη - εγγυημένου δε θα πρέπει να ξεπερνάει το μέγιστο εύρος ζώνης το οποίο και είναι προκαθορισμένο. Με τη κατηγορία TCONT 3 μπορεί να μεταδοθεί κίνηση μεταβλητού ρυθμού, εκτός από κίνηση πραγματικού χρόνου.

- **Κατηγορία TCONT τύπου 4:** η κατηγορία TCONT τύπου 4 δεν έχει εγγυημένο εύρος ζώνης και μεταφέρει μόνο κίνηση βέλτιστης προσπάθειας. Η κατηγορία TCONT τύπου 4 θα έχει διαθέσιμο εύρος ζώνης μόνο αν εξυπηρετηθούν όλες οι άλλες κατηγορίες (σταθερό, εγγυημένο, μη - εγγυημένο) και υπάρχει πλεόνασμα.
- **Κατηγορία TCONT τύπου 5:** η κατηγορία TCONT τύπου 5 είναι ένας συνδυασμός όλων των παραπάνω κατηγοριών. Το Η κατηγορία TCONT τύπου 5 μπορεί να εξυπηρετήσει κάθε είδος κίνησης συμπεριλαμβανομένης και της μετάδοσης σε πραγματικό χρόνο

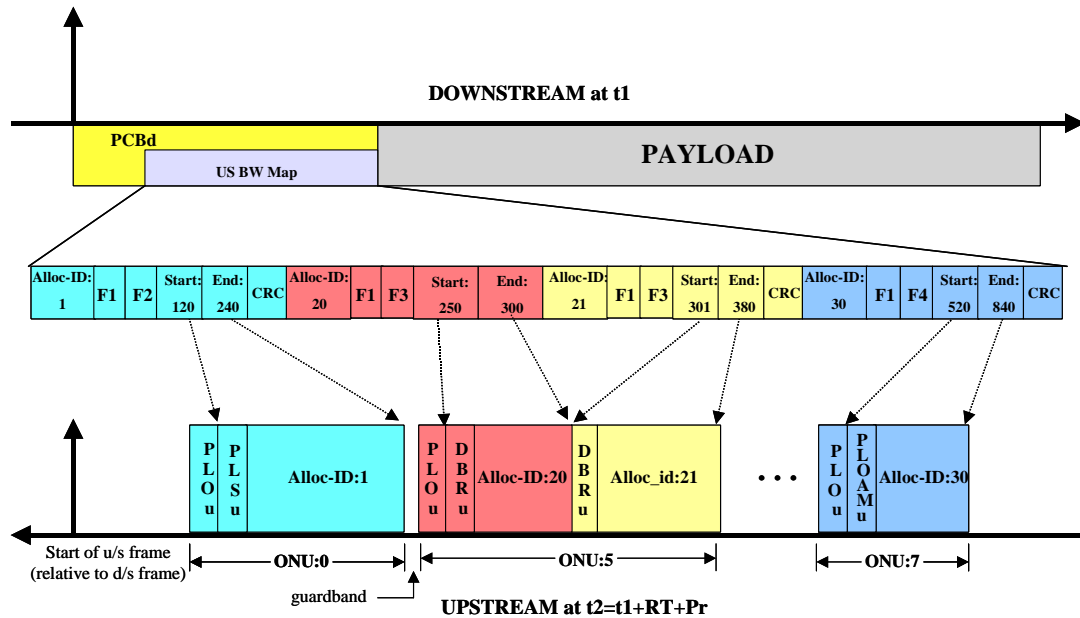
3.6.4 Δομή πλαισίου TC

Στην ενότητα αυτή θα αναλύσουμε τη δομή και τη λειτουργία κάθε πεδίου του πλαισίου του TC τόσο όσον αφορά στην προς τα άνω όσο και στην προς τα κάτω ζεύξη. Χαρακτηριστικά διατηρείται η περιοδική επανάληψη μιας δομής πλαισίου συγχρονισμένα και στις δύο ροές με περίοδο επανάληψης 125μsec, ενώ παρέχεται συμβατότητα τόσο με δίκτυα ATM όσο και πακέτου (μεταβλητού μήκους) με χρήση της τεχνικής ενθυλάκωσης GEM (GPON Encapsulation Method), όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 - 23. Μάλιστα οι δύο τύποι μπορούν να υποστηρίζονται ταυτόχρονα, αφού στο ίδιο πλαίσιο μπορεί να οριστούν δύο ανεξάρτητες περιοχές που η κάθε μία χρησιμοποιεί τον δικό της τύπο ενθυλάκωσης.

Η συσχέτιση των δύο ροών προκύπτει από τη διαδικασία πολύπλεξης TDMA κατόπιν αδειών από τον κεντρικό ελεγκτή στην μονάδα OLT, όπως ισχύει σε κάθε τύπο PON που εξετάσαμε μέχρι τώρα. Οι ακριβείς προδιαγραφές των αδειών μετάδοσης προσεγγίζουν περισσότερο τη μορφή των αδειών μετάδοσης της τεχνολογίας EPON καθώς πρέπει να προσδιορίζουν επακριβώς το χρόνο που είναι διαθέσιμος σε κάθε μονάδα ONU για μετάδοση στο επόμενο πλαίσιο της ροής προς τα άνω εκπεφρασμένο σε μήκος Bytes. Επίσης άλλη μια ομοιότητα με τη λειτουργία του πρωτοκόλλου του EPON και τη χρήση του αντίστοιχου αναγνωριστικού LLID για τη διευθυνσιοδότηση και την ανταλλαγή αιτήσεων/αδειών μεταξύ συγκριμένων ουρών μέσα στην ίδια μονάδα ONU (αφιερωμένων στην εξυπηρέτηση συγκεκριμένων κατηγοριών εισερχόμενης κίνησης) είναι η χρήση των αναγνωριστικών που στο πρότυπο GPON ονομάζονται AllocID. Όλες οι αναγκαίες πληροφορίες των αδειών περιέχονται σε ένα αντίστοιχο πεδίο στην επικεφαλίδα του πλαισίου στη ροή προς τα κάτω που αποκαλείται «χάρτης κατανομής εύρους ζώνης ανόδου» (upstream bandwidth map) του αντίστοιχου πλαισίου στη ροή προς τα άνω που θα ακολουθήσει και το οποίο προσδιορίζουν. Ένα παράδειγμα εξέλιξης της διαδικασίας παριστάνεται στο Σχήμα 3 - 24.



Σχήμα 3 - 23: Δομή πλαισίων στις δύο ροές (καθόδου/DS, ανόδου/US)

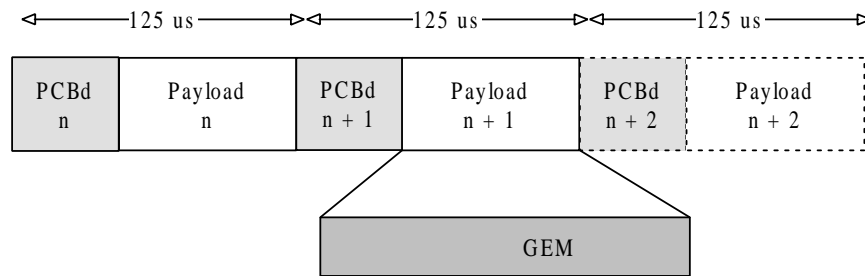


Σχήμα 3 - 24: Συσχέτιση των πλαισίων στις δύο ροές , διαδικασία αδειών

3.6.4.1 Προς τα κάτω ζεύξη

Το πλαίσιο στη ζεύξη αυτή είναι σταθερού μήκους 125 us και αποτελείται από δύο μέρη το PCBd (Physical Control Block D/S) και το GEM (G-PON Encapsulation Method) που αποτελεί τη χρήσιμη πληροφορία (payload) του πλαισίου αυτού. Το μήκος τους δεν είναι σταθερό και εξαρτάται από το είδος και τον αριθμό των πελατών που έχουν ζητήσει εξυπηρέτηση ή αλλιώς από τις δομές ανάθεσης εύρους ζώνης στους διάφορους πελάτες που μεταφέρει το συγκεκριμένο πλαίσιο. Τα μέρη αυτά τα οποία

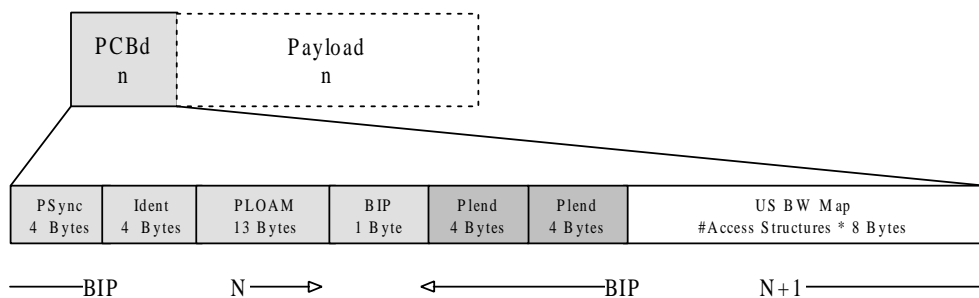
φαινονται στο Σχήμα 3 - 25 χωρίζονται με τη σειρά τους σε μία σειρά πεδίων των οποίων η περιγραφή και η λειτουργικότητα θα γίνει αμέσως παρακάτω.



Σχήμα 3 - 25: Το προς τα κάτω πλαίσιο του GPON

Πεδίο PCBd

Το PCBd που εκπέμπεται από την μονάδα OLT προς όλες τις μονάδες ONU και στη συνέχεια το κάθε ένα από αυτά αξιοποιεί τις πληροφορίες που προορίζονται για αυτό χωρίζεται σε πεδία τα οποία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις επιμέρους κατηγορίες.



Σχήμα 3 - 26: Το πλαίσιο μετάδοσης καθόδου του GPON

Το πεδίο PCBd περιλαμβάνει:

- Πεδία με πληροφορίες που αφορούν στο ίδιο το πλαίσιο που στέλνεται (PSync, Ident, BIP)
- Πεδία με πληροφορίες που αφορούν στο payload του πλαισίου (PLOAMd, Plend)
- Πεδίο με πληροφορίες που αφορούν στον καθορισμό της πρόσβασης στο μέσο από τις διαφορετικές ONU (US BW Map)

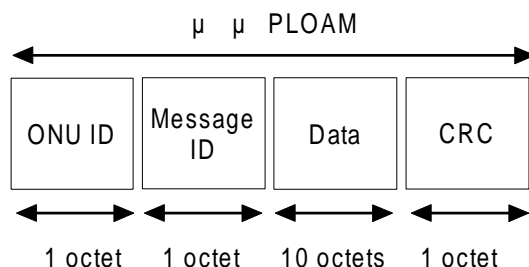
Η δομή του PCBd με τα διάφορα πεδία φαίνεται στο Σχήμα 3 - 26.

Η δομή PCBd του προς τα κάτω πλαισίου περιλαμβάνει:

- **Πεδίο PSync:** Το πεδίο αυτό που ονομάζεται Physical synchronization field είναι σταθερού μήκους 32-bit έχει σταθερή τιμή, τοποθετείται στην αρχή του PCBd

ώστε να μπορούν τα ONU να αντιλαμβάνονται την αρχή ενός νέου πλαισίου και να συγχρονίζονται με την εκπομπή. Ο συγχρονισμός γίνεται με την υλοποίηση σε κάθε ONU μηχανής καταστάσεων που προορίζεται για τον σκοπό αυτό.

- **Πεδίο Ident:** Το πεδίο αυτό είναι σταθερού μήκους 32-bit και χρησιμοποιείται ώστε να υποστηριχθούν μεγαλύτερες δομές πλαισίων (super-frames). Για να έχει τη δυνατότητα το κάθε ONU να αναγνωρίζει αν δύο πλαίσια ανήκουν στο ίδιο super-frame τα 30 λιγότερο σημαντικά bit του πεδίου αυτού υλοποιούν έναν αύξοντα μετρητή όπου για κάθε επόμενο πλαίσιο που ανήκει στο ίδιο super-frame έχει τιμή κατά ένα μεγαλύτερη. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται και πάλι μηχανή καταστάσεων στο ONU για συγχρονισμό. Το σημαντικότερο bit του πεδίου αυτού χρησιμοποιείται για να δείξει αν χρησιμοποιείται κωδικοποίηση FEC στην προς τα κάτω ζεύξη.
- **Πεδίο BIP:** Το πεδίο αυτό έχει μήκος 8-bit και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ισοτιμίας όλων των bytes από το αμέσως προηγούμενο πεδίο BIP μέχρι το υπό εξέταση, έτσι ώστε να μετρηθεί ο αριθμός των λαθών στη ζεύξη.
- **Πεδίο PLOAM:** Το πεδίο αυτό έχει μήκος 13 bytes και μεταφέρει τα μηνύματα λειτουργίας, διαχείρισης και συντήρησης του φυσικού επιπέδου (Physical Layer OAM ή PLOAM). Συγκεκριμένα μεταφέρουν πληροφορίες σχετικές με προειδοποιήσεις κινδύνου (alarms), προειδοποίηση για παραβίαση κατωφλιού και μηνύματα ενεργοποίησης. Η δομή ενός μηνύματος PLOAM φαίνεται στο Σχήμα 3 - 27.



Σχήμα 3 - 27: Δομή μηνύματος PLOAM

Τα πεδία ενός μηνύματος PLOAM είναι:

- **ONU ID:** έχει τη διεύθυνση ενός συγκεκριμένου ONU. Κατά τη διαδικασία της αποστασιομέτρησης κάθε ONU αντιστοιχίζεται σε ένα αριθμό από το μηδέν (0)

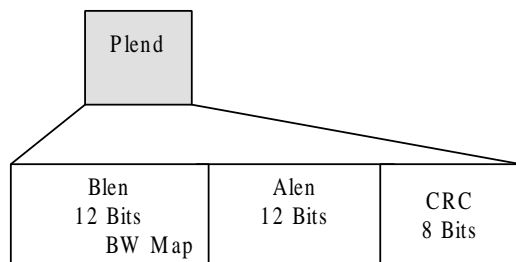
έως το διακόσια πενήντα τρία (253), τον ONU ID. Για τη λειτουργία της κοινοποίησης (broadcasting) το πεδίο αυτό γίνεται ίσο με 0xFF.

- **Message ID:** δείχνει τον τύπο του μηνύματος. Το πεδίο αυτό περιέχει ένα αριθμό 8 bit που αντιστοιχεί σε ένα είδος μηνύματος. Τα μηνύματα αυτά μπορεί να είναι : μήνυμα επικεφαλίδας ρεύματος ανόδου (Upstream_Overhead), μήνυμα μάσκας σειριακού αριθμού (Serial_Number_Mask), μήνυμα ανάθεσης ONU ID (Assign_ONU-ID), μήνυμα χρόνου αποστασιομέτρησης (Ranging_Time), μήνυμα απενεργοποίησης ONU ID (Deactivate_ONU-ID), μήνυμα απενεργοποίησης σειριακού αριθμού (Disable_serial_number), μήνυμα απόκρυψης ID θύρας (Encrypted Port-ID), μήνυμα αίτησης κωδικού (Request_Password), μήνυμα ανάθεσης AllocId (Assign_AllocId), Κανένα Μήνυμα, Μήνυμα POPUP, μήνυμα Configure-Port-ID, μήνυμα λάθους εξοπλισμού (Physical Equipment Error (PEE)), μήνυμα αλλαγής στάθμης ισχύος (Change Power Level (CPL)), μήνυμα PST, μήνυμα BER Interval, μήνυμα Key_Switching_Time
- **Data:** περιέχει την πληροφορία του μηνύματος
- **CRC:** περιέχει τα bit του κυκλικού κώδικα πλεονασμού και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο λαθών.

Πεδίο Plend

Το πεδίο αυτό που ονομάζεται Payload Length στέλνεται δύο φορές σε κάθε πλαίσιο για την αποφυγή τυχόν λαθών. Καθορίζει το μέγεθος του χάρτη εύρους ζώνης (BW Map) και ATM μέρους (του οποίου το μέγεθος στο GPON δίκτυο που περιγράφεται στην υλοποίηση GIANT είναι μηδενικό) που στέλνεται στο πεδίο US BW Map. Συγκεκριμένα το πεδίο αυτό, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3 - 28 χωρίζεται στα παρακάτω υποπεδία:

- **Blen:** αποτελείται από τα 12 σημαντικότερα bit και δείχνει το μέγεθος του BW Map. Η ύπαρξη των 12-bit έχει ως συνέπεια να μπορούν να εξυπηρετηθούν μέχρι 4095 TCONT το καθένα από τα οποία αναγνωρίζεται από έναν αντίστοιχο αριθμό που ονομάζεται AllocId.
- **Alen:** αποτελείται από τα 12 επόμενα bit και δείχνει το μέγεθος του ATM μέρους
- **CRC:** αποτελείται από τα 8 τελευταία bit, που υλοποιούν κυκλικό κώδικα ελέγχου λαθών με βάση το πολυώνυμο $g(x)=x^8+x^2+x+1$.



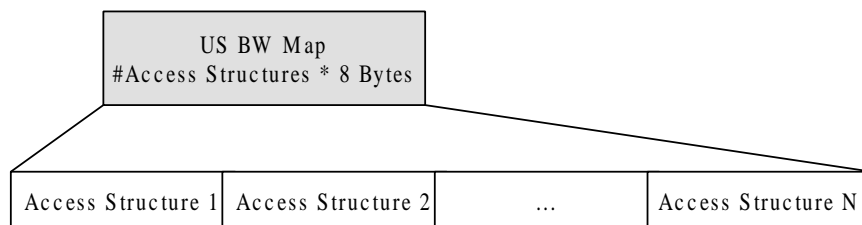
Σχήμα 3 - 28: Δομή πεδίου Plend

Πεδίο US BW Map

Το πεδίο αυτό αποτελείται από ομάδες των 8 bytes που αποτελούν τις δομές πρόσβασης (Access Structures), ο αριθμός των ομάδων αυτών είναι μεταβλητός και δίνεται στο πεδίο Plend. Η κάθε δομή πρόσβασης προορίζεται για κάποιο συγκεκριμένο TCONT, που προσδιορίζεται από το AllocId του, και αναθέτει εύρος ζώνης στο δεδομένο TCONT. Η ανάθεση του εύρους ζώνης υλοποιείται με τη δυνατότητα που παρέχεται στο TCONT να καταλάβει κάποια bytes στο πλαίσιο της προς τα άνω ζεύξης. Η δομή περιλαμβάνει τα παρακάτω πεδία.

- **AllocId:** αποτελείται από τα 12 σημαντικότερα bit, ορίζει μία διεύθυνση και καθορίζει μονοσήμαντα ένα TCONT. Τα 12 bit συνεπάγονται ότι οι διευθύνσεις αυτές παίρνουν τιμές από 0 έως 4095.
- **Flags:** αποτελείται από τα επόμενα 12 bit και καθορίζει μηνύματα που θα πρέπει με εντολή του OLT να συμπεριληφθούν στο προς τα άνω πλαίσιο και έχουν να κάνουν με μετρήσεις του δικτύου (μηνύματα PLSu, PLOAMu, DBRu) ή ενέργειες στις οποίες θα πρέπει να προβεί το ONU (υπολογισμός και εισαγωγή FEC).
- **StartTime:** αποτελείται από τα επόμενα 16 bit και καθορίζει το byte από το οποίο θα πρέπει να αρχίσει να μεταδίδει το συγκεκριμένο TCONT. Η αρίθμηση των bytes αρχίζει από το μηδέν (αρχή του προς τα άνω πλαισίου) και έχει μέγιστη τιμή 65536 (τιμή που δίνει το μέγιστο του προς τα άνω πλαισίου λαμβάνοντας υπόψη ρυθμό μετάδοσης στην προς τα άνω ζεύξη ίσο με 2.488 Gb/s)
- **StopTime:** αποτελείται από τα επόμενα 16 bit και καθορίζει το byte του προς τα άνω πλαισίου στο οποίο θα πρέπει να σταματήσει να μεταδίδει το συγκεκριμένο TCONT
- **CRC:** αποτελείται από τα τελευταία 8-bit και υλοποιεί κυκλικό κώδικα μείωσης λαθών προστατεύοντας τη κάθε δομή πρόσβασης. Χρησιμοποιείται το πολυώνυμο $g(x)=x^8+x^2+x+1$ και αν εντοπιστεί λάθος το οποίο δεν είναι δυνατό να διορθωθεί απορρίπτεται η δομή πρόσβασης.

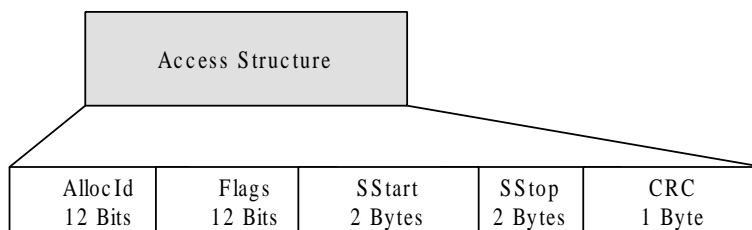
Στο πεδίο US BW Map, οι δομές πρόσβασης και τα πεδία της δομής πρόσβασης φαίνονται στο Σχήμα 3 - 29 και Σχήμα 3 - 30.



Σχήμα 3 - 29: Δομή πεδίου US BW Map

Payload

Το πεδίο αυτό του προς τα κάτω πλαισίου ξεκινά αμέσως μετά το τέλος του PCBd και έχει μέγεθος όσα bytes έχουν απομείνει για να συμπληρωθεί το μήκος του πλαισίου. Το πεδίο αυτό μπορεί να καταλαμβάνεται από πακέτα ATM (cells) ή/και από πλαίσια GEM (G-PON Encapsulation Method).



Σχήμα 3 - 30: Δομή δομής πρόσβασης

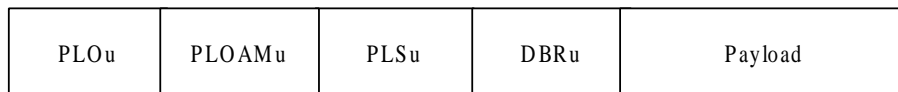
3.6.4.2 Προς τα άνω ζεύξη

Το πλαίσιο στη ζεύξη αυτή έχει το ίδιο μήκος με το πλαίσιο στην προς τα κάτω ζεύξη για όλους τους ρυθμούς μεταφοράς. Το πλαίσιο φαίνεται στο Σχήμα 3 - 31 και αποτελείται από κομμάτια που προέρχονται από διαφορετικές μονάδες ONU και ο τρόπος διάταξης τους στο πλαίσιο υπαγορεύεται από το προς τα κάτω πλαίσιο με βάση όσα εξηγήσαμε στην προηγούμενη ενότητα. Επιπλέον κάθε μονάδα ONU, με εντολή της μονάδας OLT, όποτε υποδεικνύουν τα Flags στο προς τα κάτω πλαίσιο, αποστέλλει κατάλληλες επικεφαλίδες με πρόσθετη πληροφορία πρωτοκόλλου.

Οι επικεφαλίδες αυτές παρατίθενται παρακάτω και η χρήση και η λειτουργικότητά τους θα αναλυθούν στη συνέχεια.

- Επικεφαλίδα φυσικού στρώματος PLOu

- Επικεφαλίδα φυσικού στρώματος λειτουργίας, διαχείρισης και συντήρησης του φυσικού επιπέδου PLOAMu
- Επικεφαλίδα για μετρήσεις της ενέργειας PLSu
- Επικεφαλίδα αναφοράς δυναμικού εύρους DBRu

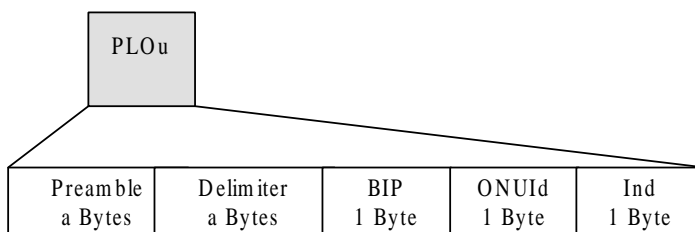


Σχήμα 3 - 31: Δομή προς τα άνω πλαισίου

PLOu

Η επικεφαλίδα αυτή στέλνεται από κάθε μονάδα ONU όταν αυτή αποκτά πρόσβαση στο μέσο. Ειδική μέριμνα λαμβάνεται στην περίπτωση που μία μονάδα ONU έχει περισσότερα του ενός AllocId τα οποία πρέπει να στείλουν δεδομένα στο ίδιο προς τα άνω πλαίσιο. Συγκεκριμένα στην περίπτωση αυτή στέλνεται ένα μόνο PLOu και οι εκπομπές των διαφορετικών AllocId ακολουθεί η μία την άλλη ή αλλιώς το δίκτυο συμπεριφέρεται σαν να πρόκειται για AllocId διαφορετικών ONU και στέλνει αντίστοιχο αριθμό PLOu. Το PLOu αποτελείται από τα πεδία εισαγωγής (preamble) και χαρακτήρα αρχής/τέλους (delimiter) που απευθύνονται στο φυσικό επίπεδο και χρησιμοποιούνται για το συγχρονισμό καθώς και από τρία πεδία δεδομένων που απευθύνονται στο ONU (Σχήμα 3 - 32). Συγκεκριμένα τα πεδία αυτά είναι τα παρακάτω:

- **BIP**, 8-bit: χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ισοτιμίας όλων των bytes (εξαιρούνται τα preamble και delimiter) από το αμέσως προηγούμενο πεδίο BIP μέχρι το υπό εξέταση έτσι ώστε να μετρηθεί ο αριθμός των λαθών στη ζεύξη.
- **ONU-ID**, 8-bit: αποτελεί τη διεύθυνση της ONU και χρησιμοποιείται για το μονοσήμαντο προσδιορισμό της.
- **Ind**, 8-bit: παρέχει σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες της ONU στην OLT. Οι πληροφορίες αυτές έχουν να κάνουν με επείγοντα μηνύματα PLOAM, το είδος του TCONT που αναμένει εξυπηρέτηση και πληροφορία σχετική με το FEC.

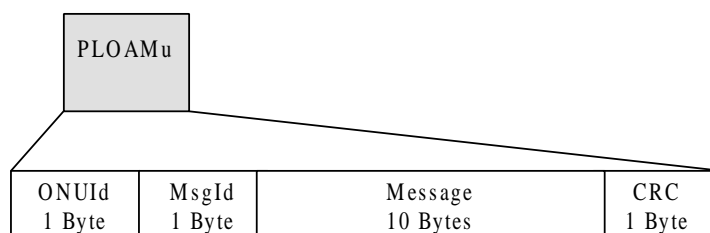


Σχήμα 3 - 32: Δομή επικεφαλίδας PLOu

PLOAMu

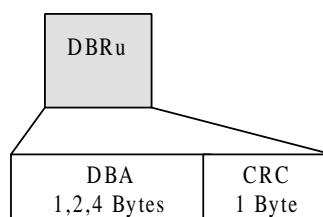
Έχει μήκος 13 bytes και μεταφέρει τα μηνύματα λειτουργίας, διαχείρισης και συντήρησης του φυσικού επιπέδου (Physical Layer OAM ή PLOAM). Η δομή του φαίνεται στο Σχήμα 3 - 33. Αποτελείται από τα πεδία:

- **PLSu:** Έχει μήκος 120 bytes, μεταφέρει μηνύματα σχετικά με την ενέργεια και το περιεχόμενό του καθορίζεται από το ίδιο το ONU ανάλογα με το σχεδιασμό του. Οι έλεγχοι ενέργειας είναι απαραίτητοι στη περίπτωση τόσο στην περίπτωση που ένα ONU είναι ενεργό όσο και κατά την εγκατάσταση αυτού στο δίκτυο.



Σχήμα 3 - 33: Το προς τα κάτω πλαίσιο του GPON

- **DBRu:** Η επικεφαλίδα αυτή σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά του TCONT που εκπέμπει και αποτελείται από δύο επιμέρους υποπεδία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 - 34. Το πεδίο DBA παρέχει την κατάσταση της κίνησης στο συγκεκριμένο TCONT.
- **CRC:** Προστατεύει με κυκλικό κώδικα μείωσης λαθών που χρησιμοποιεί το πολυώνυμο $g(x)=x^8+x^2+x+1$ την DBRu. Αν εντοπισθεί σφάλμα το οποίο δεν είναι δυνατό να διορθωθεί απορρίπτεται η πληροφορία που περιέχεται στην επικεφαλίδα DBRu.



Σχήμα 3 - 34: Δομή επικεφαλίδας DBRu

Payload

Το μέγεθος του πεδίου αυτού είναι μεταβλητό και καθορίζεται από τα byte που απομένουν αν από τα byte που συνολικά αναθέτονται σε ένα TCONT αφαιρεθούν τα byte που αφορούν στις επικεφαλίδες. Το πεδίο payload μεταφέρει δύο ειδών πληροφορίας και μέσω αυτών χαρακτηρίζεται.

PLI 12 Bits	Port Id 12 Bits	PTI 3 Bits	HEC 13 Bits	μ μ Payload N Bytes
----------------	--------------------	---------------	----------------	------------------------

Σχήμα 3 - 35: Δομή πεδίου Payload προς τα άνω πλαίσιο

Payload τύπου GEM περιέχει πακέτα τύπου GEM. Τα πλαίσια που στέλνονται από τις μονάδες ONU στη μονάδα OLT υφίστανται κατάτμηση για να διασχίσουν το δίκτυο και στη συνέχεια η μονάδα OLT ενώνει τα διάφορα τμήματα. Τα διάφορα αυτά τμήματα αποτελούν το payload των GEM πακέτων το οποίο συμπληρώνεται με την προσθήκη της επικεφαλίδας GEM όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 - 35 και αποτελείται από τα πεδία:

- Το πεδίο Payload length indicator (PLI) μήκους 12-bit που δείχνει σε bytes το μέγεθος του τμήματος
- Το πεδίο Port ID που καθορίζει το TCONT μήκους 12-bit από το οποίο προήλθε το τμήμα αυτό έτσι ώστε να είναι δυνατή η πολυπλεξία της κίνησης
- Το πεδίο Payload type indicator (PTI) το είδος του μεταφερόμενου payload
- Το πεδίο Header error control (HEC) μήκους 13-bit που διασφαλίζει την ορθότητα της επικεφαλίδας

3.7 Σύγκριση τεχνολογιών APON, EPON και GPON

Στην ενότητα αυτή θα δοθούν οι συγκρίσεις, με βάση τη σειρά εμφάνισής τους, των τεχνολογιών που αναφέρθηκαν στις παραπάνω ενότητες σε μία προσπάθεια να καταστεί συνολικά κατανοητή η μετάβαση από τη μία τεχνολογία στην άλλη καθώς και οι ανάγκες που οδήγησαν στην εξέλιξη αυτή. Σε ένα πρώτο στάδιο θα συγκριθούν οι τεχνολογίες APON και EPON ενώ σε ένα δεύτερο οι EPON και GPON. Ακόμα στην ενότητα αυτή δίνονται συνοπτικά και τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών που αναφέρθηκαν στις παραπάνω ενότητες.

3.7.1 Σύγκριση δικτύων APON με EPON

3 - 5

	EPON	APON
	EFM (Ethernet in the First Mile)	NTT,BC,etc.
	-	1995
2	Ethernet	ATM

	Frame	Fixed Cell
	1.25/1.25 Gbps	155/622 Mbps
	CLECs, ELECs, DLECs, MSOs, ILECs	FSAN ILECs
Standard	IEEE 803.2ah	FSAN , ITU G.983
Upstream	TDMA, . .	TDMA
IP		
μ	10Gbps	
ONU	μ , . .	-
	Ethernet Switch	ATM Switch
	POTS, Data VOIP, IP Video	POTS, Data

Πίνακας 3 - 5: Σύγκριση APON – EPON

3.7.2 Σύγκριση δικτύων EPON με GPON

3 - 6

G .

	EPON	GPON
	EFM (Ethernet in the First Mile)	FSAN
ODN classes ODN = Optical Distribution Network = μ	A,B	A , B , C ODN class C μ μ μ end-users μ
	1.25/1.25 Gbps	1.25,2.5Gbps(d)/155,622 Mbps 1.25,2.5Gbps(u)
μ	10Gbps	
Upstream	1.25Gbps → upstream	μ μ

	→ μ μ	
	TDM μ Hardware/Software VoIP schemes→	TDM (μ μ E1/T1 μ STM1/OC3) standard Jitter

Πίνακας 3 - 6: Σύγκριση APON – GPON

3.8 Βιβλιογραφία

- [1] "Access Network Systems: North America — Optical Access. DLC and PON Technology and Market Report" RHK-RPT-0548, RHK Telecommun. Industry Analysis, San Francisco, CA, June 2001.
- [2] K. G. Coffman and A. M. Odlyzko, "Internet Growth: Is There a "Moore's Law" for Data Traffic?" Handbook of Massive Data Sets, J. Abello, P. M. Pardalos, and M. G. C. Resende, Eds., Kluwer, 2001.
- [3] JP Morgan Securities, Inc., Broadband 2001, A Comprehensive Analysis of Demand, Supply, Economics, and Industry Dynamics in the U.S. Broadband Market," Apr. 2001.
- [4] G. Pesavento and M. Kelsey, "PONs for the Broadband Local Loop," Lightwave, vol. 16, no. 10, Sept. 1999, pp. 68–74
- [5] B. Lung, "PON Architecture 'Futureproofs' FTTH," Lightwave, vol. 16, no. 10, Sept. 1999, pp. 104-7.
- [6] "Ενσύρματα Δίκτυα Πρόσβασης Ευρείας Ζώνης", Θεοφάνης Γ. Ορφανουδάκης
- [7] ITU Rec. G.983.1, Study Group 15, "Broadband Optical Access Systems Based on Passive Optical Networks (PON)," Oct. 1998.
- [8] ITU-T Rec. G.983.4, "A Broadband Optical Access System with Increased Service Capability Using Dynamic Bandwidth Assignment," Geneva, Switzerland, Oct. 15–26, 2001.
- [9] Glen Kramer and Gerry Pesavento, "Ethernet Passive Optical Network (EPON): Building a Next-Generation Optical Access Network", IEEE Communications Magazine , February 2002
- [10] ITU Rec. G.984.3, Study Group 15, "Gigabit-Capable Passive Optical Networks (G-PON): Transmission Convergence Layer Specification," Geneva, Switzerland, Oct. 21–31, 2003.
- [11] ITU-T Rec. G.7041, "Generic Framing Procedure," Dec. 2001.
- [12] J. Angelopoulos, et Al., "Efficient Transport of Packets with QoS in an FSAN-Aligned GPON", IEEE Communications Magazine, February 2004.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΕ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο προτείνεται και αποτιμάται ένας μηχανισμός δέσμευσης πόρων για την υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας σε παθητικά οπτικά δίκτυα (*Passive Optical Networks – PONs*) που χρησιμοποιούν την τεχνολογία Πολύπλεξης με Διαίρεση Χρόνου (*Time Division Multiplexing – TDM*). Ο προτεινόμενος μηχανισμός υποστηρίζει πολλαπλές κατηγορίες υπηρεσιών, Δυναμική Δέσμευση Εύρους Ζώνης (*Dynamic Bandwidth Allocation – DBA*) για τις υπηρεσίες που παρουσιάζουν μεταβολές ζήτησης εύρου ζώνης μέσα στο χρόνο και εγγυήσεις στις παραμέτρους της Ποιότητας Υπηρεσίας για τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Αν και πολλοί αλγόριθμοι έχουν προταθεί, οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τις παραπάνω παραμέτρους ξεχωριστά, ο προτεινόμενος μηχανισμός εστιάζει κυρίως στο ουσιαστικό πρόβλημα της εξισορρόπησης (*trade-off*) μεταξύ της χρησιμοποίησης του ανοδικού (*upstream*) καναλιού από τη μία και των αυστηρών ορίων στην καθυστέρηση και στη μεταβολή της καθυστέρησης (*jitter*) από την άλλη που παρουσιάζεται, όταν το δίκτυο υποστηρίζει ένα δυναμικά μεταβαλλόμενο σύνολο από υπηρεσίες με διαφορετικές απαιτήσεις.

4.1 Παράμετροι Λειτουργίας του δικτύου EPON

Σε ένα δίκτυο EPON δεντρικής μορφής, το καθοδικό (downstream) κανάλι λειτουργεί ως ένα κανάλι καθοδικής μετάδοσης (broadcast) εξομοιώνοντας επικοινωνία από σημείο-σε-σημείο (Point-to-Point – P2P), ενώ στο ανοδικό (upstream) κανάλι μεταδίδεται ένα σύνολο από ροές δεδομένων που σχηματίζονται από τις εκρηκτικές μεταδόσεις των ενεργών μονάδων ONU ακολουθώντας την τεχνολογία Πολλαπλής Πρόσβασης με Διαίρεση Χρόνου (Time Division Multiple Access –TDMA). Η ενεργοποίηση του πομπού και το χρονικό παράθυρο λειτουργίας κάθε μονάδας ONU καθορίζεται και ελέγχεται αποκλειστικά από τη μονάδα OLT. Με στόχο να εφαρμοστεί ένα σχήμα διαιτησίας ώστε να γίνει δυνατή η εκρηκτική μετάδοση δεδομένων από πολλές μονάδες ONU, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο MPCP (παράγραφος 3.5.2.3). Το πρωτόκολλο MPCP χρησιμοποιεί δυο τύπους μηνυμάτων στην κανονική λειτουργία του για την εφαρμογή διαιτησίας κατά την μετάδοση πακέτων:

- το μήνυμα REPORT: αποστέλλεται από την μονάδα ONU στην μονάδα OLT για να την πληροφορήσει για την κατάσταση των ουρών αναμονής της. Κάθε μήνυμα REPORT μπορεί να περιέχει μέχρι οχτώ αναφορές κατάστασης.
- το μήνυμα GATE: αποστέλλεται από τη μονάδα OLT στη μονάδα ONU και καθορίζει πότε και για πιο χρονικό διάστημα μπορεί η μονάδα ONU να στέλνει δεδομένα στο κανάλι ανόδου. Κάθε μήνυμα GATE μπορεί να περιέχει μέχρι τέσσερις άδειες μετάδοσης, κάθε μία από τις οποίες αφορά μια συγκεκριμένη οντότητα (π.χ. ουρά δεδομένων) μέσα στην ίδια μονάδα ONU.

Στο κανάλι ανόδου η μονάδα ONU, που έχει την άδεια κάθε στιγμή μεταδίδει πολλαπλά πλαίσια Ethernet - συγκεκριμένα όσα χωρούν μέσα στο χρονικό διάστημα που καθορίζει η άδεια - από μία ή περισσότερες από τις ουρές της, προσθέτοντας πάντα τις απαιτούμενες επικεφαλίδες φυσικού στρώματος. Επίσης, μπορεί να μεταδώσει μηνύματα REPORT ζητώντας επιπρόσθετες άδειες. Στα δίκτυα EPON οι ροές δεδομένων που καταφθάνουν στις μονάδες ONU από τους τελικούς χρήστες διατηρούνται σε ουρές πριν μεταδοθούν στο κανάλι ανόδου. Σύμφωνα με το σχήμα προτεραιοποίησης που περιγράφεται στο 802.1p, είναι δυνατόν η κίνηση αυτή να ταξινομηθεί σε μέχρι οκτώ λογικά ξεχωριστές ουρές δεδομένων, ανάλογα με τις απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας της κάθε ροής δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό γίνεται δυνατή η εφαρμογή διαφορετικών μηχανισμών ποιότητας υπηρεσίας.

Στον προτεινόμενο μηχανισμό θεωρήθηκαν τέσσερις ουρές προτεραιότητας σε κάθε μονάδα ONU και αποδείχθηκε ότι ο αριθμός αυτός είναι αρκετός για την

αποδοτική λειτουργία του μηχανισμού πολύπλεξης της τεχνολογίας EPON καθώς και για την εξυπηρέτηση πλήθους υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις.

Τόσο η τεχνολογία EPON όσο και η τεχνολογία GPON έχουν σχεδιαστεί για να ικανοποιούν όλες της λύσεις FTTx με παραμέτρους που ποικίλουν από χώρα σε χώρα. Για παράδειγμα στην Ιαπωνία, η λύση Οπτική Ίνα στο Σπίτι (Fiber To The Home – FTTH) είναι ήδη πολύ διαδεδομένη, ενώ στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες οι πιο διαδεδομένες λύσεις είναι η Οπτική Ίνα στο Κτίριο (Fiber To The Building – FTTB) και η Οπτική Ίνα στο Πεζοδρόμιο (Fiber To The Curb – FTTC). Από την πλευρά του μηχανικού, η διαφορά ανάμεσα στις διαφορετικές λύσεις έγκειται στον αριθμό των ροών δεδομένων που μοιράζονται το ίδιο κανάλι ανόδου και των απαιτήσεων των τελικών χρηστών σε ποιότητα υπηρεσίας σε συνδυασμό με το αντίτιμο που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν για αυτές. Στην περίπτωση της λύσης FTTH, εκατοντάδες συνδρομητές μοιράζονται το κοινό ανοδικό κανάλι ενώ οι απαιτήσεις τους είναι για παροχή υπηρεσιών Triple Play. Συγκεκριμένα, οι πιο απαιτητικές υπηρεσίες είναι η φωνή (VoIP), το βίντεο και τα αλληλεπιδραστικά παιχνίδια με απαιτήσεις για 1.5msec προς μια κατεύθυνση, ενώ μεταγενέστερες μελέτες έχουν δείξει ότι η καθυστέρηση μετάδοσης είναι μέσα σε ανεκτά πλαίσια όταν δεν υπερβαίνει τα 2msec [1][2]. Στην περίπτωση της λύσης FTTB, οι απαιτήσεις γίνονται ακόμα πιο αυστηρές πλησιάζοντας αυτές των υπηρεσιών μισθωμένων γραμμών. Με σκοπό να μειωθεί η πολυπλοκότητα στις περιπτώσεις τέτοιων ευαίσθητων σε κόστος συστημάτων, οι υπηρεσίες συνενώνονται σε σύνολα (behavior aggregates) με παρόμοιες απαιτήσεις, διατηρώντας έτσι την κλιμάκωση και την ευελιξία των συστημάτων.

4.2 Πλαίσιο Δυναμικής Δέσμευσης Πόρων σε Οπτικά Παθητικά Δίκτυα

Πολλές πρόσφατες μελέτες ερευνούν τόσο ζητήματα αρχιτεκτονικής όσο και πρωτόκολλα επιπέδου MAC για την δυναμική δέσμευση πόρων στα οπτικά παθητικά δίκτυα (μια αναφορά των πιο διαδεδομένων υπάρχει στη μελέτη [3]). Οι αρχικές προσπάθειες για αποδοτική εφαρμογή μηχανισμών DBA βασίστηκαν κυρίως στην καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση των αιτήσεων [4]. Οι περισσότερες μελέτες εστιάζουν στο πρόβλημα του δίκαιου ή με βάρη διαμοιρασμού του εύρους ζώνης στους χρήστες (π.χ. [5]) ή των διαφοροποιημένων υπηρεσιών μέσω της διάκρισης διαφορετικών κλάσεων υπηρεσίας κατά την εφαρμογή του μηχανισμού DBA (π.χ. [6]). Μόλις πρόσφατα υπήρξαν προτάσεις για πλήρη απομόνωση της κίνησης πραγματικού χρόνου από την ελαστική, ανεκτική σε καθυστέρηση κίνηση, μέσω της εφαρμογής κρατήσεων

εύρου ζώνης σε κάθε κύκλο χρονοπρογραμματισμού της τεχνολογίας EPON (π.χ. [7], [8], [9]). Οι μελέτες αυτές εύστοχα αναγνώρισαν την προ-δέσμευση εύρου ζώνης για τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου ως την μοναδική λύση για την παροχή ικανοποιητικών καθυστερήσεων πρόσβασης. Η προ-δέσμευση εύρου ζώνης ουσιαστικά υπερπηδά το εμπόδιο της μεγάλης κυκλικής καθυστέρησης (Round Trip Delay) που παρουσιάζεται στα δίκτυα EPON κατά την δυναμική αίτηση εύρους ζώνης σε περιπτώσεις μεταβολής του φόρτου.

Σκοπός της προτεινόμενης λύσης είναι να ερευνηθούν οι λειτουργικές παράμετροι που επηρεάζουν την αποδοτικότητα του δικτύου EPON ως ενός δικτύου πρόσβασης ευρείας ζώνης που υποστηρίζει ποικιλία υπηρεσιών θεωρώντας τα παρακάτω μεγέθη επίδοσης ισάξια σε σπουδαιότητα:

- Μέση καθυστέρηση ανά κλάση υπηρεσίας (Class of Service)
- Διακύμανση της καθυστέρησης για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου
- Χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης του καναλιού ανόδου
- Κόστη εφαρμογής, λειτουργίας και παραμετροποίησης του συστήματος

Προς στην κατεύθυνση αυτή, η προτεινόμενη λύση βασίστηκε στην έννοια των τεσσάρων τεχνικών δέσμευσης μέσω της χρήσης κατάλληλων ουρών δεδομένων, του χρονοπρογραμματισμού στις μονάδες OLT/ONU και της χρησιμοποίησης των ανάλογων μηνυμάτων MPCP. Η προτεινόμενη λύση υιοθετεί την προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη [9] επεκτείνοντας το πρωτόκολλο που περιγράφηκε σε αυτή ώστε να εφαρμόζονται τέσσερις στρατηγικές δέσμευσης ώστε να καταλήξουμε σε αυξημένη αποδοτικότητα δέσμευσης εύρους ζώνης. Επιπλέον, προτάθηκε η χρήση ενός απλού αλγόριθμου DBA με αποδοτικό χρονοπρογραμματισμό των χρονικών παραθύρων της ανοδικής μετάδοσης ως επέκταση της μελέτης [10].

4.3 Στρατηγικές Δέσμευσης Εύρους Ζώνης

Τα δίκτυα PON μπορούν να θεωρηθούν ως μια ώριμη τεχνολογία δικτύου πρόσβασης που μπορούν να υποστηρίξουν όχι μόνο εφαρμογές διαδικτύου αλλά μπορούν να λειτουργήσουν ως πλατφόρμες μετάδοσης υπηρεσιών Triple Play, ως συγκεντρωτές εφαρμογών που στηρίζονται στην τεχνολογία TDM και ως δίκτυα κορμού (π.χ. στα δίκτυα κινητών υπηρεσιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτική λύση σε σχέση με την δαπανηρή αρχιτεκτονική SDH). Η διαφοροποίηση στην ποιότητα υπηρεσίας βάση της καθυστέρησης και των δύο μόνο κλάσεων υπηρεσίας δεν επαρκούν στα δίκτυα PON, ώστε να υποστηρίξουν τις αναδυόμενες υπηρεσίες. Επομένως από την πλευρά του χειρισμού της κίνησης, κάθε υποστηριζόμενη υπηρεσία

πρέπει να αντιστοιχηθεί σε μια ξεχωριστή κλάση υπηρεσίας (Class of Service – CoS), η οποία θα πρέπει να υποστηρίζεται από τους μηχανισμούς πολύπλεξης του δικτύου EPON. Για να μειωθεί η πολυπλοκότητα σε ένα δίκτυο πρόσβασης ευαίσθητο στο κόστος, οι υπηρεσίες πρέπει να ομαδοποιηθούν σε σύνολα με παρόμοιες ιδιότητες και απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, καθυστέρησης και μεταβολής της καθυστέρησης. Δεδομένης της ρευστότητας στο ορισμό μιας κλάσης υπηρεσίας, στην παρούσα μελέτη έχουν υλοποιηθεί τέσσερις κλάσεις προτεραιότητας στο επίπεδο MAC, δίνοντας την δυνατότητα να μπορούν να υλοποιηθούν στις άκρες του συστήματος EPON επιπρόσθετοι μηχανισμοί διαχωρισμού και πολύπλοκες πολιτικές μετάδοσης [11]. Το μόνο που απαιτείται από την πλευρά του επιπέδου MAC είναι να διατηρείται η δυνατότητα πρόσβασης σε όλα τα ήδη ρωών και να εξασφαλίζεται η συμφωνημένη ποιότητα υπηρεσίας σύμφωνα με τις Συμφωνίες σε Επίπεδο Υπηρεσίας (Service Level Agreements – SLAs) που έχουν καθοριστεί στη φάση παραμετροποίησης της υπηρεσίας. Η προτεινόμενη λύση βασίζεται στη χρήση προτεραιοτήτων πρόσβασης στο σύστημα διαχείρισης εύρους ζώνης. Οι προτεραιότητες μπορούν να οργανωθούν ώστε να ικανοποιούν τους απαραίτητους περιγραφητές κίνησης μέσω του προγραμματισμού σε επίπεδο υλικού και την αντιστοίχιση των ρωών σε λογικές ουρές που βρίσκονται σε κάθε μονάδα ONU.

Οι ομάδες από υπηρεσίες με παρόμοιες συμπεριφορές αντιστοιχίζονται σε διακριτές κλάσεις υπηρεσίας (Classes of Service – CoS), οι οποίες θα πρέπει να υποστηρίζονται από το μηχανισμό πολυπλεξίας της αρχιτεκτονικής EPON, μέσω κατάλληλων μηχανισμών τοποθέτησης σε ουρές αναμονής και αλγόριθμων χρονοπρογραμματισμού. Στη μελέτη σχεδιάστηκε και αποτιμήθηκε ένας αλγόριθμος για δίκτυα πρόσβασης EPON, που στοχεύει στην αποδοτική υποστήριξη όλων των τύπων υπηρεσίας (από υπηρεσίες ευαίσθητες στην καθυστέρηση μέχρι υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας) με τη χρήση τεσσάρων επιπέδων/ομάδων υπηρεσίας με ταυτόχρονη εξοικονόμηση εύρους ζώνης. Οι τέσσερις κλάσεις υπηρεσίας που χρησιμοποιούνται στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική είναι:

- Κλάση μέγιστης προτεραιότητας (CoS1): χρησιμοποιείται για υπηρεσίες ευαίσθητες στην καθυστέρηση, σταθερού ρυθμού μετάδοσης (Constant Bit Rate – CBR). Η κλάση αυτή στοχεύει σε υπηρεσίες με πολύ αυστηρές απαιτήσεις για μικρή καθυστέρηση, οι οποίες απαιτείται να υποστούν αυστηρό έλεγχο του προφίλ της κίνησης τους (traffic conditioning). Από την πλευρά του παροχέα υπηρεσιών αποτελεί το εργαλείο για προσφορά Εικονικών Μισθωμένων Γραμμών (Virtual Leased Lines) μέσω της δέσμευσης εύρους ζώνης ίσο με τον συμφωνημένο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης R_{p1} .

- Η δεύτερη κλάση (CoS2): χρησιμοποιείται σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπως υπηρεσίες βίντεο και φωνή (VoIP) που χαρακτηρίζονται από μεταβλητούς ρυθμούς μετάδοσης. Στις υπηρεσίες αυτές εξασφαλίζεται ένα υποφερτό (sustainable) εύρος ζώνης R_{s2} και όρια καθυστέρησης στατιστικά καταναμημένα. Για την ικανοποίηση των αναγκών των εφαρμογών αυτών παρέχεται αρκετό εύρος ζώνης (ίσο με το συμφωνημένο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης R_{p2}), αλλά δεσμεύεται όχι εξ αρχής αλλά κατόπιν αίτησης υλοποιώντας έτσι ένα σχήμα δυναμικής δέσμευσης.
- Η τρίτη κλάση (CoS3): χρησιμοποιείται σε εφαρμογές δεδομένων με μεγαλύτερες αιτήσεις από της εφαρμογές βέλτιστης προσπάθειας (best-effort). Ο έλεγχος το προφίλ της κίνησης στις εφαρμογές αυτές στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των απωλειών πακέτων και στην ελαχιστοποίηση της ενόχλησης που μπορεί να έχουν σε άλλες εφαρμογές. Οι παράμετροι κίνησης της κλάσης αυτής, περιλαμβάνουν ένα προκαθορισμένο ελάχιστο όχι δεσμευμένο εξ αρχής εύρος ζώνης R_{g3} (συμφωνημένο στη φάση παραμετροποίησης της εφαρμογής). Κάθε αίτηση για εύρος ζώνης πέραν αυτού αντιμετωπίζεται ως κίνηση βέλτιστης προσπάθειας.
- Η τέταρτη κλάση (CoS4): χρησιμοποιείται για απλές εφαρμογές δεδομένων βέλτιστης προσπάθειας καθώς και για εφαρμογές που βασίζονται πάνω στο μηδενικών απωλειών πακέτου πρωτόκολλο TCP. Οι εφαρμογές αυτές μπορεί να γίνουν πολύ επιθετικές προς άλλες εφαρμογές όταν μοιράζονται την ίδια ουρά αναμονής.

Στο πλαίσιο των Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (DiffServ), οι τέσσερις παραπάνω κλάσεις μπορούν να αντιστοιχηθούν στην Ανεμπόδιστα Προωθημένη (Expedited Forwarded – EF) υπηρεσία, την μέγιστη Εξασφαλισμένα Προωθημένη (Assured Forwarding – AF) υπηρεσία, την ελάχιστα Εξασφαλισμένα Προωθημένη υπηρεσίας και την υπηρεσίας Βέλτιστης Προσπάθειας αντίστοιχα. Πρέπει να τονισθεί ότι οποιαδήποτε ενέργεια πραγματοποιηθεί κατά την διάρκεια της δέσμευσης εύρους ζώνης για να εξασφαλιστεί η μετάδοση ευαίσθητων σε καθυστέρηση υπηρεσιών, δεν επηρεάζει με κανένα τρόπο το συνολικό κόστος υλοποίησης του συστήματος αφού πραγματοποιείται αλλαγή του αλγόριθμου δέσμευσης εύρους ζώνης μόνο στην πλευρά της μονάδας OLT.

4.4 Αποδοτικός Μηχανισμός Διαιτησίας στο Μέσο Πρόσβασης

4.4.1 Εξασφαλίζοντας Εγγυήσεις Στατιστικής Επίδοσης

Ο προτεινόμενος μηχανισμός στοχεύει στην εξασφάλιση στατιστικών περιορισμών στην καθυστέρηση και στην μεταβολή της καθυστέρησης σε κίνηση πραγματικού χρόνου, ενώ παράλληλα δυναμικά κατανέμει το υπόλοιπο αδιάθετο εύρος ζώνης σε εκρηκτική κίνηση, η οποία δεν έχει αυστηρούς περιορισμούς σε ποιότητα υπηρεσίας. Κάθε μία από τις τέσσερις κλάσεις υπηρεσίας που περιγράφηκαν παραπάνω εξυπηρετούνται με χρήση διαφορετικού μηχανισμού δέσμευσης στην πλευρά της μονάδας OLT. Ξεκινώντας με την κλάση μέγιστης προτεραιότητας ακολουθήθηκε η φιλοσοφία των μελετών [8] και [9], αφού ο μοναδικός τρόπος για να ξεπεραστεί το εμπόδιο των μεγάλων καθυστερήσεων κυκλικού δρόμου στα συστήματα PON είναι η εξαρχής δέσμευση εύρους ζώνης για της εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Οι προσεγγίσεις αυτές μοιάζουν αρκετά με την Εκούσια Κράτησης Υπηρεσία (Unsolicited Grant Service – UGS) του πρωτοκόλλου DOCSIS 1.1 [12]. Ο μηχανισμός UGS χρησιμοποιείται στα υβριδικά δίκτυα οπτικής ίνας/ομοαξονικού καλωδίου (Hybrid Fiber Coaxial – HFC), όπου ο ελεγκτής επιπέδου MAC δεσμεύει περιοδικά ένα προκαθορισμένο αριθμό από μικροσχισμές για την εξυπηρέτηση ροών πληροφορίας σταθερού ρυθμού. Αν και ο προτεινόμενος αλγόριθμος DBA επίσης ακολουθεί την παραπάνω τακτική της εξυπηρέτησης εφαρμογών πραγματικού χρόνου μέσω περιοδικών δεσμεύσεων, επιπρόσθετα εξασφαλίζει αυστηρά όρια χαμηλής καθυστέρησης και μεταβολής της καθυστέρησης μέσω μιας επεκταμένης δομής πλαισίου που θα περιγραφεί αργότερα.

Στην περίπτωση των υπηρεσιών μέγιστης ποιότητας (οι οποίες ουσιαστικά αναλογούν στις μεγαλύτερες χρεώσεις) ο παροχές εγγυάται το συμφωνημένο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης $Rp1$ και ένα αυστηρό όριο καθυστέρησης D_{max} . Για να εξασφαλιστεί αυτό, οι ανάλογες ουρές διατηρούν περιοδικά (κάθε D_m) παράθυρα μετάδοσης στο ανοδικό κανάλι, δεδομένο που μας ώθησε να θεωρήσουμε την περίοδο χρονοπρογραμματισμού ίση με το χρόνο D_m . Είναι φανερό ότι η παράμετρος αυτή είναι στενά συνδεδεμένη με το επιθυμητό όριο για την καθυστέρηση D_{max} όπως θα φανεί και από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Η διάρκεια του παραθύρου που δεσμεύεται για κάθε μονάδα ONU υπολογίζεται σαν συνάρτηση του διαπραγματευμένου ρυθμού μετάδοσης και της περιόδου D_m . Η τιμή της περιόδου D_m επιλέγεται ως η βέλτιστη τιμή της εξισορρόπησης (trade-off) μεταξύ δύο βασικών παραμέτρων: της αποδεκτής τιμής ορίου για την καθυστέρηση στις ροές πραγματικού χρόνου και της μείωσης της επιβάρυνσης (overhead) του χρονοπρογραμματισμού και των μεταδόσεων που

δημιουργείται λόγω των μεγάλων μεταβολών στο ρυθμό μετάδοσης της εκρηκτικής κίνησης.

Στην περίπτωση της δεύτερης κλάσης υπηρεσίας, η οποία χαρακτηρίζεται από ένα υποφερτό ρυθμό μετάδοσης R_{s2} και ένα μέγιστο ρυθμό μετάδοσης R_{p2} , ένας κομμάτι εύρους ζώνης δεσμεύεται εξαρχής όπως και στην περίπτωση της κλάσης μέγιστης προτεραιότητας, ενώ το υπόλοιπο και μέχρι το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεσμεύεται κατ' απαίτηση. Τόσο το αρχικό όσο και το υπολειπόμενο κομμάτι εύρους ζώνης υπολογίζεται ως συνάρτηση του συνολικού ρυθμού μέσα σε μια περίοδο D_m . Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι ενώ στην περίπτωση της πρώτης κλάσης το εξαρχής δεσμευμένο εύρος ζώνης καλύπτει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης της εφαρμογής, στην περίπτωση της δεύτερης καλύπτει τον ανεκτό ρυθμό μετάδοσης ή μπορεί να είναι και μικρότερο, εξισορροπώντας την εξοικονόμηση εύρος ζώνης έναντι της καθυστέρησης. Έτσι, αν θεωρήσουμε Εκούσια Κράτηση ίση με το ανεκτό ρυθμό μετάδοσης των υπηρεσιών δεύτερης κλάσης, ο συνολικός αριθμός εκούσιων κρατήσεων (UG) για την i μονάδα ONU (UG_i) δίνεται από την σχέση:

$$UG_i = (R_{p1i} + R_{s2i}) \cdot D_m$$

Η σχέση αυτή πρέπει να ικανοποιεί την εξίσωση:

$$N \cdot T_{pre} + \sum_1^N UG_i < 1 \text{ Gbps} \cdot \frac{D_m}{8}$$

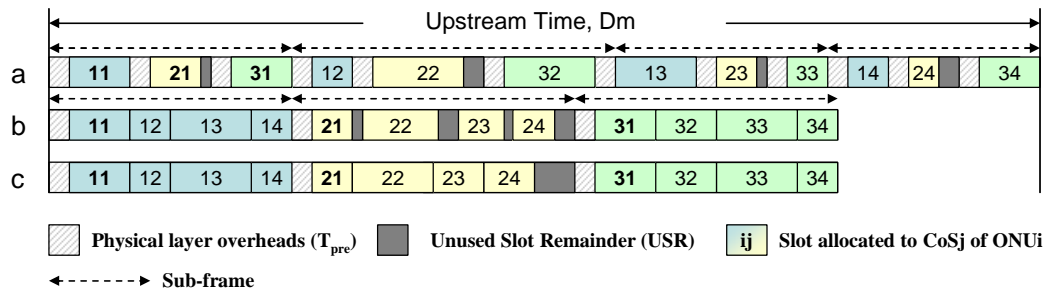
όπου T_{pre} είναι το χρονικό διάστημα που καταναλώνεται στην μετάδοση του preamble - ο οροθέτης (deliminer) και το διάστημα φύλαξης (guard time) μαζί- το οποίο εκφράζεται σε bytes, ενώ το N είναι ο αριθμός των ενεργών μονάδων ONU. Οι μονάδες ONU που έχουν αποφασίσει να μην πληρώσουν για τις δύο υψηλής προτεραιότητας κλάσης, έχουν μόνο την δυνατότητα να στείλουν ένα μήνυμα report κάθε χρονικό διάστημα D_m στην μονάδα OLT για να την ενημερώσουν για την κατάσταση στις ουρές τους. Μόλις ο ελεγκτής πρόσβασης ενημερωθεί για μια μη κενή ουρά σε κάποια μονάδα ONU, θα στείλει ένα μήνυμα δέσμευσης ώστε η μονάδα ONU να μεταδώσει στο κανάλι ανόδου την επόμενη περίοδο χρονοπρογραμματισμού.

4.4.2 Αποδοτική Δυναμική Δέσμευση Εύρους Ζώνης

Η κεντρική ιδέα στον προτεινόμενο αλγόριθμο είναι να εξυπηρετηθούν όλες οι ουρές μιας μονάδας ONU σε διαδοχικά παράθυρα μετάδοσης, επομένως να προγραμματιστεί μόνο ένα μήνυμα δέσμευσης (GATE) σε κάθε μονάδα ONU. Με τον τρόπο αυτό θα εξοικονομηθεί εύρος ζώνης αφού θα ελαχιστοποιηθεί το εύρος ζώνης που σπαταλάτε στο φυσικό επίπεδο λόγω των πολλαπλών μεταδόσεων. Ο λόγος που

οδήγησε στο σκεπτικό αυτό εξηγείται γραφικά στο Σχήμα 4 - 1 στο οποίο φαίνονται οι δεσμεύσεις εύρους ζώνης από τις εκρήξεις κίνησης στο κανάλι ανόδου για διαφορετικές μονάδες ONU και ουρές CoS μέσα σε μια χρονική περίοδο D_m . Στο Σχήμα 4 - 1.α, φαίνεται ένας πιθανός χρονοπρογραμματισμός των δεσμεύσεων που ικανοποιούν τις αιτήσεις που έχουν συλλεχθεί σε προηγούμενες κύκλους. Η σειρά των δεσμεύσεων που (απευθύνονται σε συγκεκριμένες ουρές) επηρεάζουν την συνολική αποδοτικότητα του συστήματος. Στο Σχήμα 4 - 1.α δεσμεύσεις με μεγαλύτερη προτεραιότητα προηγούνται αυτών με χαμηλότερη προτεραιότητα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η διάρκεια της δέσμευσης CoS1 είναι πάντα σταθερή, η θέση στο χρόνο των δύο πρώτων σε προτεραιότητα δεσμεύσεων είναι συγκεκριμένη σε κάθε κύκλο του αλγόριθμου διάρκειας D_m , δημιουργώντας έτσι υποπλάισια για κάθε CoS (αυτή η αρχή χρονοπρογραμματισμού ακολουθείται επίσης από τις μελέτες [8][9] και [9]. Σε ένα δίκτυο EPON, ένα μέρος των δεσμεύσεων είναι πιθανόν να αναλωθεί άσκοπα επειδή δεν είναι γνωστά στον ελεγκτή της μονάδας OLT η κατάληψη κάθε ουράς των μονάδων ONU και η διόρθωση των πακέτων σε κάθε ουρά. Έτσι είναι πολύ πιθανόν στο τέλος κάθε παραθύρου μετάδοσης, το υπολειπόμενο εύρος ζώνης να είναι μικρότερο από το μέγεθος του επόμενου πακέτου στην ουρά Πρώτος Μέσα Πρώτος Έξω (First In First Out), ένα φαινόμενο που αποκαλείται Αχρησιμοποίητο Υπόλοιπο Σχισμής (Unused Slot Remainder – USR). Στο παράδειγμα του Σχήμα 4 - 1 αυτό συμβαίνει στην δεύτερη μονάδα ONU (Σχήμα 4 - 1.α). Ένας εναλλακτικός τρόπος χρονοπρογραμματισμού φαίνεται στο Σχήμα 4 - 1.β κατά τον οποίον εξυπηρετούνται όλες οι δεσμεύσεις για CoS της ίδιας μονάδας ONU προτού δεσμευτούν πόροι για την επόμενη μονάδα ONU. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται υποπλάισια ανά μονάδα ONU. Είναι φανερό ότι ο δεύτερος τρόπος χρονοπρογραμματισμού εισάγει μικρότερη επιβάρυνση (overhead) φυσικού στρώματος. Ο χρονοπρογραμματισμός γίνεται ακόμα πιο αποδοτικός αν κάθε μονάδα ONU έχει τη δυνατότητα να αποφασίσει για την κατανομή των ουρών CoS της μέσα σε κάθε δεσμευμένο υποπλάισιο (που έχει προγραμματιστεί για αυτήν). Ο τρόπος αυτός που ονομάζεται Ενδό-ONU Χρονοπρογραμματισμός) ακολουθείται στην μελέτη [6] και απεικονίζεται στο Σχήμα 4 - 1.γ. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται δραματικά το Αχρησιμοποίητο Υπόλοιπο Σχισμής αφού υπάρχει η δυνατότητα το κενό που μένει να γεμίσει με κάποιο από τα επικεφαλής πακέτα οποιαδήποτε από τις ουρές της μονάδας ONU ανάλογα με το μέγεθος του κενού και του πακέτου. Στην παράγραφο των αποτελεσμάτων θα φανεί ότι ακολουθώντας αυτό το μηχανισμό χρονοπρογραμματισμού μειώνονται οι καθυστερήσεις των υψηλών σε προτεραιότητα υπηρεσιών. Η επιλογή (α) επιτυγχάνει το πλήρη έλεγχο της μεταβολής της καθυστέρησης εις βάρος όμως της χρησιμοποίησης του εύρους ζώνης στο κανάλι

ανόδου. Στον αλγόριθμο που παρουσιάζεται παρακάτω συνδυάστηκαν τα θετικά των επιλογών (α) και (β) ώστε να καταλήξουμε σε ένα πιο αποδοτικό σχήμα.



Σχήμα 4 - 1. Εκρηκτική Δέσμευση στη μονάδα OLT που οδηγεί στο φαινόμενο του «Αχρησιμοποίητου Υπόλοιπου Σχισμής (USR)»

Ο βαθμός αποδοτικότητας του αλγόριθμου εξαρτάται από την τιμή του χρονικού διαστήματος D_m , καθώς και τον αριθμό των υποστηριζόμενων ουρών και μονάδων ONU. Στα δίκτυα EPON, οι περισσότεροι αλγόριθμοι δέσμευσης εύρους ζώνης επιλέγουν ως περίοδο χρονοπρογραμματισμού εκείνη που αντιστοιχεί στην χρονική διάρκεια του παραθύρου μετάδοσης που έχει δεσμευτεί και επομένως εξυπηρετούν μια ουρά κάθε κύκλο χρονοπρογραμματισμού [9]. Γενικά όσο πιο μεγάλη είναι η περίοδος χρονοπρογραμματισμού τόσο μεγαλύτερη είναι και η αποδοτικότητα που επιτυγχάνεται, αφού περιορίζονται οι επιβαρύνσεις του φυσικού επιπέδου. Όμως επειδή η περίοδος αυτή καθορίζει και τον χρόνο εξυπηρέτησης όλων των υπηρεσιών (ακόμα και των ευαίσθητων σε καθυστέρηση), ουσιαστικά επηρεάζει άμεσα την καθυστέρηση των υπηρεσιών μέγιστη προτεραιότητας, σταθερού ρυθμού μετάδοσης (CBR). Για να επιτευχθούν εγγυήσεις καθυστέρησης κάτω από 1.5msec για υπηρεσίες φωνής ([1], [2]) πρέπει να επιλεγεί μια περίοδος χρονοπρογραμματισμού ανάλογης διάρκειας. Ας θεωρήσουμε δίκτυο EPON με 16 μονάδες ONU, κάθε μία από τις οποίες έχει 8 ουρές προτεραιότητας και περίοδο χρονοπρογραμματισμού 1.5msec. Αν η δέσμευση εύρους ζώνης στις ουρές δεν γίνεται διαδοχικά τότε η επιβάρυνση λόγω φυσικού στρώματος είναι $16 \cdot 8 \cdot 1 \mu\text{sec}$, που αντιπροσωπεύει το 8.5% του διαθέσιμου εύρους ζώνης στο κανάλι ανόδου. Επομένως αν επιλέξουμε να δεσμεύονται διαδοχικά παράθυρα μετάδοσης για όλες τις ουρές κάθε μονάδας ONU, το εύρος ζώνης που αναλώνεται σε επιβαρύνσεις του φυσικού στρώματος μπορεί να μειωθεί μέχρι και οκτώ φορές, και συνεπώς να μειωθεί από το 8.5% στο 1.2% του συνολικού διαθέσιμου εύρους ζώνης στο κανάλι ανόδου.

Αρχικά για την προετοιμασία του μηχανισμού δέσμευσης στο κανάλι ανόδου, το ελεγκτής MAC της μονάδας OLT διατηρεί μια λίστα δεσμεύσεων, η οποία περιέχει τιμές

προϋπολογισμένων δεσμεύσεων (εκφρασμένες σε bytes ανά μονάδα ONU και ανά ουρά) και η οποία προσπελάζεται με κυκλικό τρόπο. Ο συνολικός αριθμός bytes που σχηματίζουν ένα παράθυρο μετάδοσης διάρκειας D_m ονομάζεται λίστα Δεσμευμένων Bytes (Allocation List Bytes - ALB) και μπορούν να χρονοπρογραμματίσουν την μετάδοση μέχρι και $1\text{Gbps} \cdot D_m$ bits κίνησης στο κανάλι ανόδου. Η λίστα δεσμεύσεων αποτελείται από δύο καταχωρήσεις ανά μονάδα ONU, τουτέστιν $2 \cdot N$ καταχωρήσεις (όπου N ο αριθμός των ενεργών μονάδων ONU). Η πρώτη καταχώρηση περιέχει τον αριθμό των bytes που θα δεσμευτούν εξαρχής, χωρίς να περιμένει από την μονάδα ONU να στείλει τις ανάλογες αιτήσεις. Εκεί είναι καταχωρημένες οι εκούσιες κρατήσεις (UG) της πρώτης και της δεύτερης σε προτεραιότητα κλάσεων υπηρεσίας. Η δεύτερη καταχώρηση περιέχει τον αριθμό των bytes που μπορούν να δεσμευτούν δυναμικά κατ' απαίτηση. Εκεί περιέχονται το επιπλέον εύρος ζώνης που μπορεί να ζητήσει η δεύτερη κλάση μέχρι το μέγιστο ρυθμό μετάδοσής της, και οι δεσμεύσεις για την τρίτη και τέταρτη κλάση υπηρεσίας. Οι δεσμεύσεις αυτές ονομάζονται Αρχικά Δεσμευμένη Σχισμή (Initially Allocated Slot - IAS) και υπολογίζονται ανά μονάδα ONU βάση των συμφωνημένων ρυθμών εξυπηρέτησης για την τρίτη και τέταρτη κλάση ως εξής:

$$IAS_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \cdot (ALB - \sum_{i=1}^N \{UG_i + T_{pre} + T_{report}\})$$

όπου w_i είναι το βάρος υπηρεσίας που αντιπροσωπεύει την κατανομή του συνολικού διαθέσιμου εύρους ζώνης του ανοδικού καναλιού στο επιπρόσθετο εύρος ζώνης για την εξυπηρέτηση της δεύτερης κλάσης ($R_{p2} - R_{s2}$), το εγγυημένο ελάχιστο εύρος ζώνης για την εξυπηρέτηση της τρίτης κλάσης (και υποθετικά για την εξυπηρέτηση της τέταρτης κλάσης) της μονάδα ONU i . Το T_{report} είναι ο χρόνος που απαιτείται για την μετάδοση ενός μηνύματος report του πρωτοκόλλου MPCP (μήκους 64 bytes). Το βάρος υπηρεσίας w_i μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την κατανομή του διαθέσιμου παραθύρου μετάδοσης ανά μονάδα ONU. Τα παραπάνω αποτελούν την αρχική δέσμευση του εύρους ζώνης του καναλιού ανόδου, αφού μετά από χρόνο D_m ο αλγόριθμος επανακατανέμει δυναμικά τα παράθυρα μετάδοσης βασισμένος στις πραγματικές αιτήσεις από τις μονάδες ONU χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Δίκαιης Κατανομής Μέγιστου-Ελάχιστου (Max-Min Fair Sharing).

Πρέπει να σημειωθεί ότι σε κάθε μονάδα ONU i , εκτός από τα UG_i bytes που θα δεσμεύονται πάντα για την πρώτη σε προτεραιότητα κλάση, μπορεί επίσης να γίνει μια δέσμευση μεγέθους 0 έως IAS_i bytes (άσχετα αν χρησιμοποιηθούν ή όχι). Κάθε αχρησιμοποίητο κομμάτι της IAS_i μπορεί να δεσμευθεί δυναμικά για κάποια άλλη μονάδα ONU. Επομένως βάση των πραγματικών αιτήσεων ανά πλαίσιο

χρονοπρογραμματισμού ανά μονάδα ONU, το τελικό δυναμικό πλαίσιο μετάδοσης που ονομάζεται Δυναμικά Δεσμευμένη Σχισμή (Dynamically allocated Slot – DAS_i), εμπεριέχει το επιπρόσθετο εύρος ζώνης ώστε να εξυπηρετηθεί η δεύτερη ουρά CoS μέχρι και τον ρυθμό R_{p2} , το εύρος ζώνης κατ' απαίτηση για την εξυπηρέτηση της τρίτης ουράς CoS μέχρι και τον ρυθμό R_{g3} , συν ένα μέρος τους αθροίσματος των επιπρόσθετων αιτήσεων της τρίτης ουρά και των συνολικών αιτήσεων της τέταρτης ουράς CoS.

Η δέσμευση του εύρους ζώνης του καναλιού ανόδου αποφασίζεται βάση των αρχικών δεσμεύσεων που είναι καταχωρημένες στη μονάδα OLT και των πραγματικών αιτήσεων που στέλνονται από τις μονάδες ONU ακολουθώντας δύο βήματα:

1. Αρχικά υπολογίζεται ο αριθμός των bytes που θα δεσμευθούν για κάθε μονάδα ONU και κάθε ουρά
2. Μετά καθορίζεται η ακριβής θέση των δεικτών αρχής και τέλους του παραθύρου μετάδοσης. Στη διάρκεια της διαδικασίας αυτής πραγματοποιούνται μετακινήσεις των δεικτών ώστε να διατηρηθεί η μεταβολή της καθυστέρησης στα ελάχιστα δυνατά επίπεδα και να αποφύγουμε παραμορφώσεις των υπηρεσιών πραγματικού χρόνου.

Ο υπολογισμός του αριθμού των bytes που θα δεσμευθούν σε κάθε ουρά σε κάθε μονάδα ONU του δικτύου, περιγράφεται με τη βοήθεια ψευδοκώδικα στο Α.1.

4.4.3 Μείωση της Μεταβολής της Καθυστέρησης

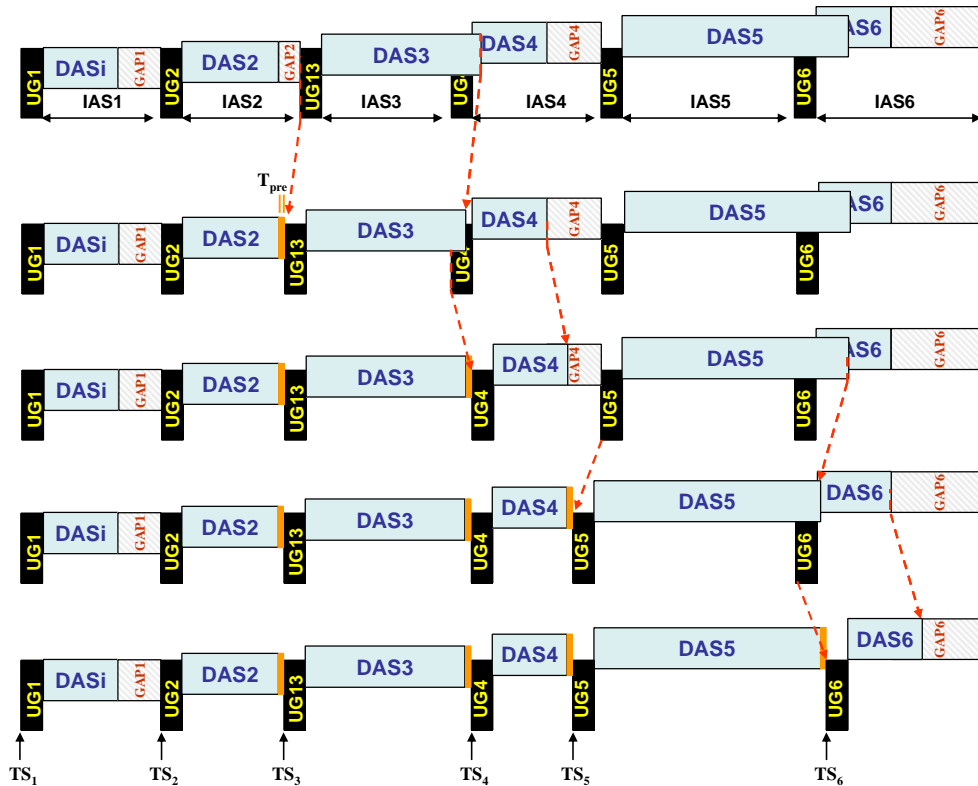
Ο αλγόριθμος που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, ουσιαστικά υπολογίζει και καθορίζει το ακριβές μέγεθος των δεσμεύσεων μετάδοσης σε κάθε μονάδα ONU κατά τη διάρκεια της περιόδου D_m . Αυτό που απομένει για να καθοριστούν απόλυτα οι μεταδόσεις είναι ο υπολογισμός της χρονικής στιγμής έναρξης της μετάδοσης για κάθε μονάδα ONU. Ο υπολογισμός αυτός λαμβάνει υπόψη του τις παρακάτω απαιτήσεις:

- Διατήρηση ενός χαμηλού άνω ορίου για την καθυστέρηση και την μεταβολή της καθυστέρησης ώστε να εξυπηρετούνται αδιάλειπτα οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου.
- Χρονοπρογραμματισμός των μεταδόσεων από όλες τις ουρές CoS κάθε μονάδας ONU σε διαδοχικά παράθυρα μετάδοσης ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιβαρύνσεις του φυσικού στρώματος που δημιουργούνται εξαιτίας της εκρηκτικής φύσης της κίνησης.

Επομένως σε κάθε γύρο χρονοπρογραμματισμού (κάθε χρονικό διάστημα D_m), η χρονικής στιγμή έναρξης της μετάδοσης κάθε μονάδας ONU αρχικοποιείται σε μια σταθερή προϋπολογισμένη τιμή ($\sum_1^k (UG_i + IAS_i)$ για την μονάδα ONU k). Στην περίπτωση χαμηλού και μεσαίου φόρτου κίνησης, τα $UG_i + IAS_i$ bytes επαρκούν για την εξυπηρέτηση κάθε ενεργής μονάδας ONU μέσα σε μια περίοδο D_m . Επομένως οι αρχικές χρονικές θέσεις έναρξης μετάδοσης διατηρούνται στις τιμές που είχαν υπολογιστεί εξ αρχής, και κάθε μονάδα ONU μεταδίδει περιοδικά σε κάθε χρόνο D_m . Στην περίπτωση αυτή η κίνηση μέγιστης προτεραιότητας εξυπηρετείται ακολουθώντας ένα απόλυτα περιοδικό τρόπο, ενώ οι μεταβολές στην καθυστέρηση προέρχονται από το γεγονός ότι η περίοδος δέσμευσης δεν συμπίπτει με το χρόνο μεταξύ της μετάδοσης δυο διαδοχικών πακέτων (interrarrival). Η κατανομημένη φύση του μηχανισμού ελέγχου πρόσβασης εισάγει εκρηκτικότητα στην κίνηση, οπότε δημιουργείται καθυστέρηση στην πρόσβαση, η οποία συντελεί στην δημιουργία μεταβολής στην καθυστέρηση (jitter), ένα φαινόμενο αναπόφευκτο στο πρωτόκολλο MAC ενός δικτύου EPON. Ακόμα και στην περίπτωση που δεν εφαρμόζεται άλλη πολυπλεξία, εξαιτίας της ροής κίνησης στις ουρές FIFO, η δέσμευση εύρους ζώνης ανά χρονικό διάστημα D_m εισάγει την πιθανότητα πολλά πακέτα που καταφθάνουν στην ουρά CoS (ακόμα και αν αυτά συμμορφώνονται σε κάποιο συγκεκριμένο προφίλ κίνησης) πρέπει να περιμένουν μέχρι να μεταδοθούν όλα μαζί ως μία ριπή κίνησης στο κανάλι ανόδου.

Στην περίπτωση υψηλού φόρτου κίνησης (π.χ. πάνω από 80% όπως φαίνεται και στην παράγραφο των αποτελεσμάτων), οι χωρικές μεταβολές είναι πιο σημαντικές ενώ η περίοδος σιγής (off-period) κάποιων μονάδων ONU μπορεί να εκμεταλλευθεί για την εξυπηρέτηση της περιόδου αιχμής κάποιων άλλων, υλοποιώντας έτσι ένα σχήμα δυναμικής δέσμευσης εύρους ζώνης. Παρόλο που κατά μέσο όρο ο φόρτος κίνησης μπορεί να εξυπηρετηθεί, σε μικρά χρονικά διαστήματα είναι πιθανόν οι αιτήσεις κάποιων μονάδων ONU να μην μπορούν να εξυπηρετηθούν χρησιμοποιώντας μόνο το αρχικά υπολογισμένο ($UG_i + IAS_i$) πλαίσιο μετάδοσης. Στην περίπτωση αυτή, το εύρος ζώνης που δεν χρησιμοποιείται από της ουρές που βρίσκονται σε κατάσταση αδράνειας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις φορτωμένες ουρές, για τις οποίες θα δεσμευθεί περισσότερα από ($UG_i + IAS_i$) bytes (ψευδοκώδικας Παραρτήματος Α.1). Για να διατηρηθούν διαδοχικές οι κρατήσεις μεταξύ ουρών της ίδιας μονάδας ONU, οι χρόνοι έναρξης μετάδοσης θα μετακινηθούν από τις αρχικές τιμές τους, εισάγοντας μεταβολή στην καθυστέρηση στο χρονοπρογραμματισμό των υψηλής προτεραιότητας δεσμεύσεων (ένα πρόβλημα που περιγράφεται στη μελέτη [7]). Για να ελαχιστοποιηθεί αυτή η μεταβολή στην καθυστέρηση, ο ζητούμενος χώρος εξοικονομείται σε γειτονικές

περιοχές δεσμεύσεων. Αυτό επιτυγχάνεται με την επαναληπτική ολίσθηση των χρόνων μετάδοσης είτε δεξιά είτε αριστερά εξαλείφοντας τις περιοχές αδράνειας (τα ονομαζόμενα «GAPs» στο Σχήμα 4 - 2). Στο Σχήμα 4 - 2 φαίνεται η περίπτωση κατά την οποία εφαρμόζεται χρονοπρογραμματισμός σε έξι ενεργές μονάδες ONU.



Σχήμα 4 - 2: Λίστα Δεσμεύσεων και ανάλογες Δυναμικά Προγραμματισμένες Μεταδόσεις

Οι μονάδες ONU 1, 2, 4 και 6 στο συγκεκριμένο γύρο χρονοπρογραμματισμού έχουν ζητήσει λιγότερα bytes από την αρχική εκτιμώμενη τιμή IAS, ενώ οι μονάδες ONU 3 και 5 έχουν ζητήσει περισσότερα bytes από τα IAS₃ και IAS₅ αντίστοιχα. Οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης της μονάδας ONU 3 ικανοποιούνται ολισθαίνοντας την δέσμευση της μονάδας ONU 4 και εξαλείφοντας το κενό (GAP) που δημιουργήθηκε από το αχρησιμοποίητο εύρος ζώνης της μονάδας ONU 2. Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι οι χρονικές στιγμές έναρξης μετάδοσης των δεσμεύσεων που αφορούν τις μονάδες ONU 1 και 2 δεν έχουν μετακινηθεί από τις αρχικές τους θέσεις. Ο μηχανισμός της τεχνικής αυτής περιγράφεται με τη βοήθεια ψευδοκώδικα στο Α.2. Το τελικό αποτέλεσμα της εφαρμογής της τεχνικής αυτής είναι ότι η ολίσθηση στο χρόνο παρόλο που εισάγει ένα είδος παρέκκλισης από την ιδεατή υπηρεσία μετάδοσης σταθερού ρυθμού, υλοποιείται με ομοιόμορφο και ομαλό τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η ελάχιστη μεταβολή στην καθυστέρηση της υπηρεσίας μέγιστης προτεραιότητας.

4.4.4 Η Επίδραση του Ενδό-ONU Χρονοπρογραμματισμού στην Επίδοση του Μηχανισμού

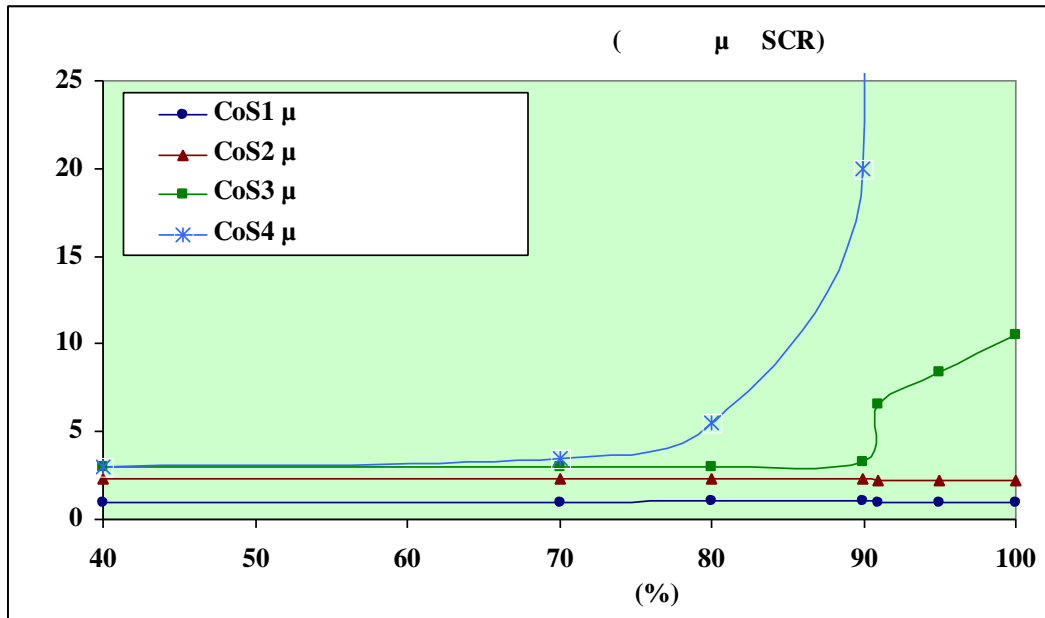
Για να εξυπηρετηθεί η κίνηση δεύτερης και τρίτης προτεραιότητας είναι απαραίτητο οι μονάδες ONU να αναφέρουν στην μονάδα OLT το μέγεθος των ουρών που είναι κατειλημμένο, ώστε ο ελεγκτής δέσμευσης εύρους ζώνης να αποφασίσει τις δεσμεύσεις που θα πραγματοποιήσει ανά μονάδα ONU και ανά ουρά CoS. Αν αφεθεί κάθε μονάδα ONU να αποφασίσει την τελικά κατανομή στις ουρές του εύρους ζώνης που έχει δεσμευθεί για αυτήν, τότε βελτιώνεται η απόδοση του αλγόριθμου σε επίπεδο αποτελεσματικότητας και καθυστέρησης πρόσβασης. Κάτι τέτοιο όμως προϋποθέτει χρονοπρογραμματιστική ικανότητα και διαχείριση ουρών στην πλευρά κάθε μονάδας ONU, γεγονός που προσθέτει πολυπλοκότητα στην μονάδα ONU. Μια τέτοια λύση είναι ανεκτή αν διατηρηθεί σε χαμηλά επίπεδα η πολυπλοκότητα του μηχανισμού χρονοπρογραμματισμού. Στην περίπτωση λοιπόν του Ενδό-ONU χρονοπρογραμματισμού η μονάδα OLT υπολογίζει τους δείκτες έναρξης μετάδοσης και το μέγεθος της μετάδοσης ανά ουρά. Η μονάδα ONU διατηρεί από αυτά μόνο το δείκτη έναρξης για την ουρά υψηλής προτεραιότητας και το συνολικό μέγεθος μετάδοσης για την συγκεκριμένη μονάδα ONU, ενώ για να αποφασίσει ποιες ουρές θα εξυπηρετήσει εφαρμόζει αυστηρό Χρονοπρογραμματισμό Προτεραιότητας (Priority Scheduling) στο σύνολο των ενεργών ουρών της. Ο μηχανισμός αυτός μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα και ανέξοδα εξαιτίας της χαμηλής πολυπλοκότητάς του. Ο Ενδό-ONU χρονοπρογραμματισμός οδηγεί σε μείωση της καθυστέρησης αφού το μέγεθος δέσμευσης που περιέχεται στο μήνυμα GATE είχε αποφασιστεί με βάση την κατάσταση στις ουρές μια περίοδο χρονοπρογραμματισμού νωρίτερα και είναι πολύ πιθανόν να έχει αλλάξει τη στιγμή που θα αρχίσει η μετάδοση π.χ. στο ενδιάμεσο διάστημα ένα πακέτο έχει φτάσει στην δεύτερη ουρά προτεραιότητας. Σε μια τέτοια περίπτωση σύμφωνα με την Ενδό-ONU λύση, το πακέτο θα μεταδοθεί χρησιμοποιώντας ένα κομμάτι χρόνου από αυτόν που έχει δεσμευθεί για την ουρά τρίτης προτεραιότητας της ίδιας μονάδας ONU. Η καθυστερημένη (μη εξυπηρετημένη) κίνηση χαμηλότερης προτεραιότητας θα ξανακάνει αίτηση και θα εξυπηρετηθεί στο επόμενο μήνυμα GATE. Αφήνοντας κάθε μονάδα ONU να αποφασίσει την κατανομή του χρόνου μετάδοσης ανάμεσα στις ουρές της, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης του καναλιού ανόδου αφού δεν σπαταλιέται άσκοπα εύρος ζώνης από το μη ταίριασμα του μεγέθους του υπολειπόμενου χρόνου και του πακέτου επικεφαλής σειράς. Στον προτεινόμενο αλγόριθμο θεωρήθηκαν ουρές άπειρης χωρητικότητας, αλλά μπορούν να εφαρμοστούν μηχανισμοί αποκοπής πακέτων στις ουρές με ανεξάρτητο τρόπο.

4.5 Αποτίμηση Αποδοτικότητας

Η αποτίμηση αποδοτικότητας του προτεινόμενου μηχανισμού πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ενός μοντέλου προσομοίωσης που αναπτύχθηκε στο περιβάλλον του λογισμικού προσομοίωσης OPNET. Το μοντέλο περιλαμβάνει 16 μονάδες ONU, κάθε μία από τις οποίες είναι εξοπλισμένοι με τέσσερις διαφορετικές ουρές. Το προσφερόμενο φορτίο κίνησης μοιράζεται ομοιόμορφα ανάμεσα στις μονάδες ONU. Η χρονική περίοδος χρονοπρογραμματισμού D_m τέθηκε ίση με 2msec, ενώ η χρονική διάρκεια της ζώνης φύλαξης και της επιβάρυνσης φυσικού στρώματος (T_{pre}) τέθηκε ίση με 1msec. Εκτελέστηκε ένα σύνολο από διαφορετικά σενάρια για να αποτιμηθεί η απόδοση του προτεινόμενου σχήματος σύμφωνα με τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Για να επιτύχουμε ρεαλιστική κίνηση χρησιμοποιήθηκε μίγμα κίνησης στο οποίο η κίνηση πρώτης προτεραιότητας κατέχει το 10% της συνολικής προσφερόμενης κίνησης. Η κίνηση δεύτερης, τρίτης και τέταρτης προτεραιότητας κατέχουν το 15%, 20% και 55% της συνολικής προσφερόμενης κίνησης αντίστοιχα. Οι πηγές μέγιστης προτεραιότητας είναι τύπου σταθερού ρυθμού μετάδοσης και παράγουν περιοδικά μικρά σταθερού μήκους πακέτα, ένα μοντέλο που αντιπροσωπεύει υπηρεσίες φωνής. Οι υπόλοιπες πηγές (δεύτερης, τρίτης και τέταρτης προτεραιότητας) είναι τύπου On-Off, μοντέλο που αντιπροσωπεύει υπηρεσίες διαδικτύου και κίνησης Αυτο-Πανομοιότυπης (Self - Similar). Ανάλογα με το είδος της προτεραιότητας επιλέχθηκε και διαφορετικός παράγοντας εκρηκτικότητας, έτσι επιλέχθηκαν παράγοντες εκρηκτικότητας 2, 5 και 5 για την δεύτερη, τρίτη και τέταρτη προτεραιότητα αντίστοιχα. Αν εξαιρεθούν οι πηγές μέγιστης προτεραιότητας, οι οποίες παράγουν σταθερού μήκους πακέτα, οι υπόλοιπες παράγουν πακέτα με μέγεθος που ακολουθεί την κατανομή Tri-modal. Η κατανομή Tri-modal χαρακτηρίζει πακέτα που παράγονται σε υπηρεσίες τύπου IP και περιγράφεται από μεγέθη πακέτων 64, 500 και 1500 bytes που εμφανίζονται με πιθανότητες 0.6, 0.2 και 0.2 αντίστοιχα ([13]).

4.5.1 Καθυστέρηση Πρόσβασης και Χρησιμοποίηση Καναλιού

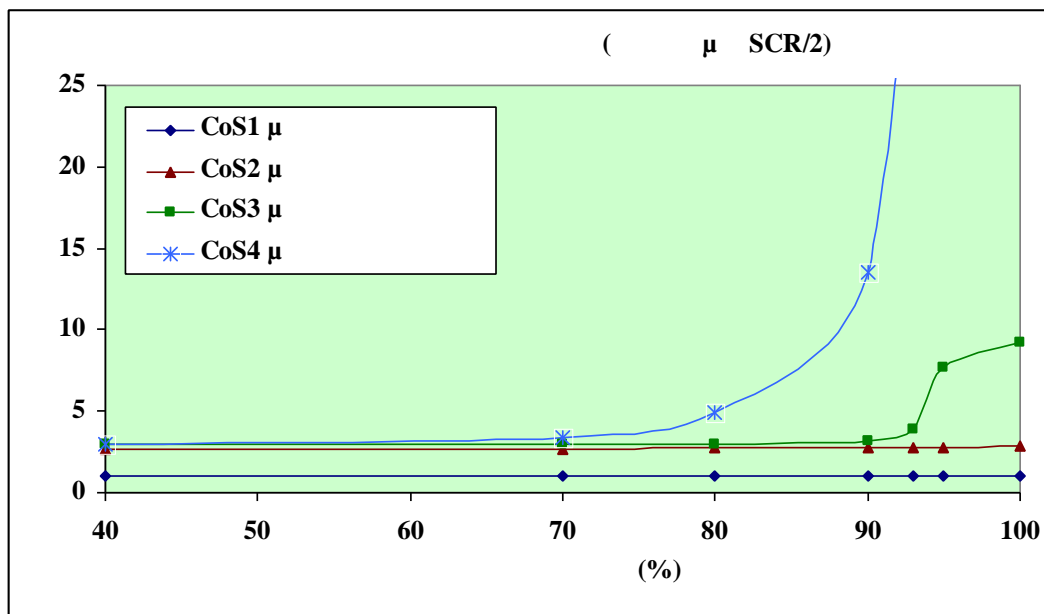
Πρωταρχικός στόχος της μελέτης ήταν να μετρηθεί η μέση καθυστέρηση πρόσβασης συναρτήσει του προσφερόμενου φόρτου κίνησης και να ερευνηθούν τα όρια της χρησιμοποίησης καναλιού που επιτυγχάνεται. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων φαίνονται στα Σχήμα 4 - 3, Σχήμα 4 - 4 και Σχήμα 4 - 5, στα οποία απεικονίζονται οι μέσες καθυστερήσεις πρόσβασης για κάθε μία από τις τέσσερις κλάσεις υπηρεσίας συγκεντρωτικά για όλες τις μονάδες ONU.



Σχήμα 4 - 3: Μέση Καθυστέρηση στην Ουρά ανά Προτεραιότητα CoS για τον Αλγόριθμο SCR ($UG_{i2} = R_{s2} * D_m$)

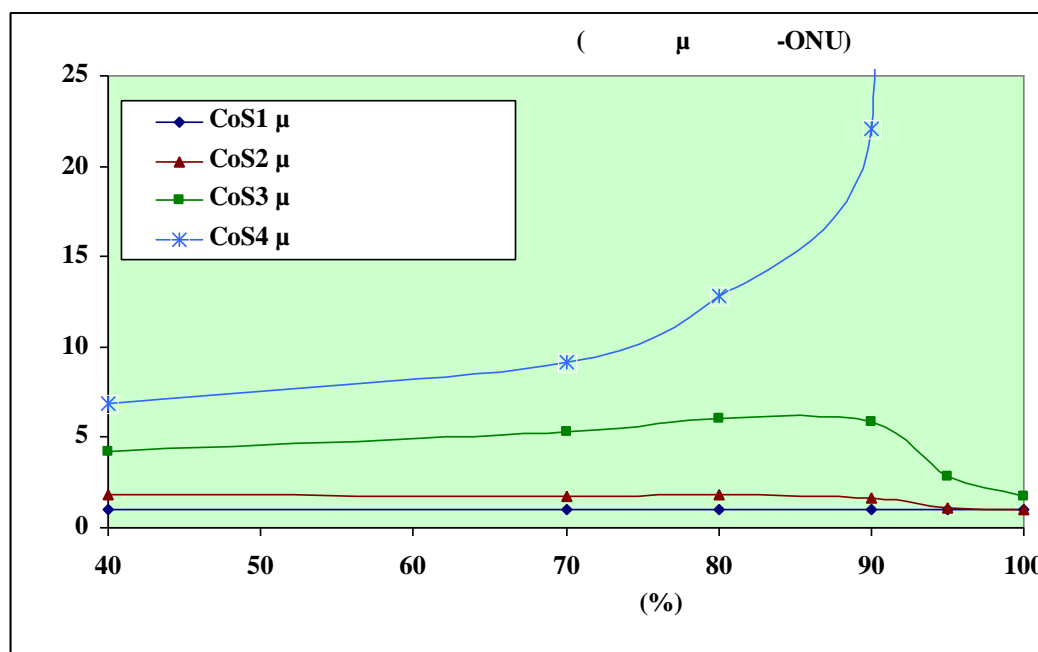
Μια πρώτη εκτίμηση είναι ότι το σύστημα μπορεί να δεχθεί χωρίς να καταρρεύσει προσφερόμενη κίνηση πάνω από το 90% της χωρητικότητας του καναλιού (1Gbps). Όσον αφορά τις ιδιότητες του μηχανισμού για διαφοροποίηση των υπηρεσιών, παρατηρούμε ότι σε φορτία κίνησης πάνω από το 90% της χωρητικότητας, η συμφόρηση που πραγματοποιείται περιορίζεται μόνο στην κίνηση ελάχιστης προτεραιότητας, ενώ οι υπόλοιπες τρεις προτεραιότητες επιτυγχάνουν 100% χρησιμοποίηση σε σχέση με την συνεισφορά τους στο συνολικό προσφερόμενο φορτίο κίνησης. Η κίνηση βέλτιστης προσπάθειας (ελάχιστης προτεραιότητας) ξεκινάει να παρουσιάζει μεγάλες τιμές καθυστέρησης όταν το προσφερόμενο φορτίο κίνησης ξεπεράσει το 70% της χρησιμοποίησης. Το πιο σημαντικό φαινόμενο είναι ότι η κίνηση μέγιστης προτεραιότητας παρουσιάζει ελάχιστη, απόλυτα ανεκτή μέση καθυστέρηση τόσο σε χαμηλά όσο και σε υψηλά φορτία (ακόμα και στην περίπτωση που το προσφερόμενο φορτίο κίνησης είναι το 100% του εύρους ζώνης του καναλιού). Το φαινόμενο αυτό ικανοποιεί πλήρως τους αρχικούς στόχους της μελέτης για εγγυήσεις στο άνω όριο της καθυστέρησης, ενώ επιτυγχάνεται πλήρης απομόνωση της πρώτης από τις υπόλοιπες προτεραιότητες. Η κίνηση της τρίτης προτεραιότητας ξεκινάει να παρουσιάζει συμφόρηση σε φορτία άνω του 90% της χρησιμοποίησης, ενώ την ίδια στιγμή η κίνηση πρώτης και δεύτερης προτεραιότητας εμφανίζεται σταθερή, χαμηλή καθυστέρηση. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι αντιπροσωπεύει το 10% και το 15%

αντίστοιχα του συνολικού προσφερόμενου φόρτου ενώ η εξυπηρέτησή γίνεται εγγυημένα με την χρήση προγραμματισμένων δεσμεύσεων εύρους ζώνης.



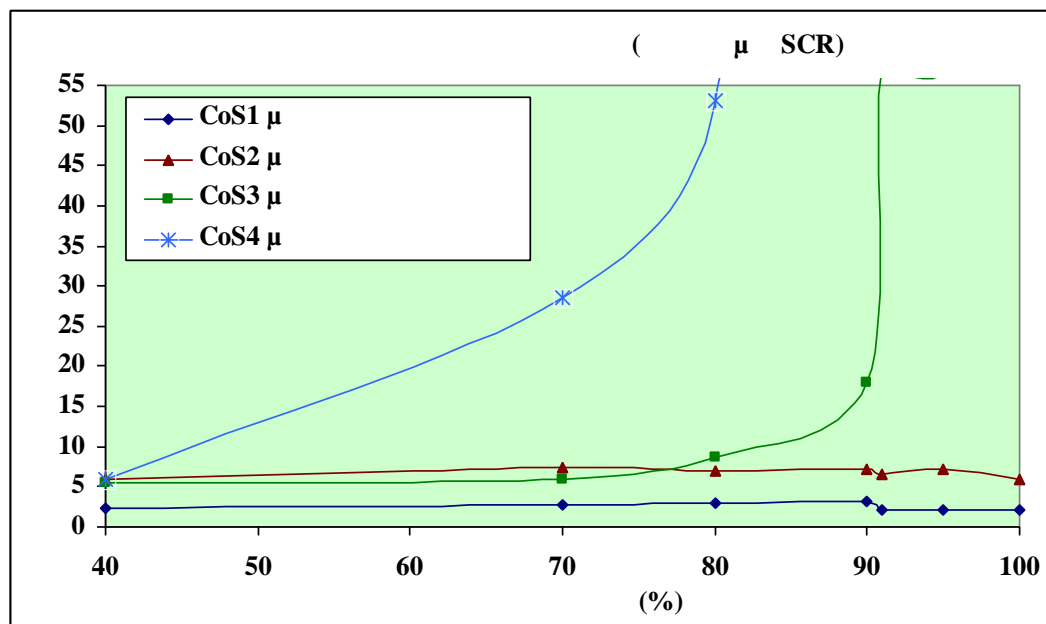
Σχήμα 4 - 4: Μέση Καθυστέρηση στην Ουρά ανά Προτεραιότητα CoS για τον Αλγόριθμο SCR/2 ($UG_{i2} = R_{s2}/2 * D_m$)

Μια ενδιαφέρων παράμετρος που επηρεάζει την καθυστέρηση και το ποσοστό χρησιμοποίησης είναι το ποσοστό του υποφερτού (sustainable) ρυθμού της κίνησης δεύτερης προτεραιότητας που εξυπηρετείται με εκούσιες δεσμεύσεις (unsolicited grants). Για να μελετηθεί η επιρροή της παραμέτρου αυτής στην επίδοση του τελικού μηχανισμού, εκτελέστηκαν δύο είδη σεναρίων. Στο πρώτο τύπο σεναρίου, οι ουρές δεύτερης προτεραιότητας εξυπηρετούνται εκούσια (UG) με τον υποφερτό ρυθμό μετάδοσής τους ($UG_{i2} = R_{s2} * D_m$), ενώ στον δεύτερο τύπο με τον μισό υποφερτό ρυθμό ($UG_{i2} = R_{s2}/2 * D_m$). Τα αποτελέσματα στις τιμές της καθυστέρησης φαίνονται στα Σχήμα 4 - 3 και Σχήμα 4 - 4 αντίστοιχα, ενώ η χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης φαίνεται στο Σχήμα 4 - 9. Στα σεναρία του δεύτερου τύπου επιτυγχάνεται μεγαλύτερη χρησιμοποίηση χωρίς σημαντική επίδραση στην καθυστέρηση και στη μεταβολή της καθυστέρησης στην κίνηση δεύτερης προτεραιότητας (όπως θα φανεί και από τα αποτελέσματα της επόμενης παραγράφου). Η βελτίωση της χρησιμοποίησης εξηγείται από το γεγονός ότι μεγαλύτερο μέγεθος εκούσιων κρατήσεων για την κίνηση εκρηκτικής φύσης δεύτερης προτεραιότητας αυξάνει την πιθανότητα να δεσμευθεί μεγαλύτερο εύρος ζώνης από αυτό που καταφθάνει στην μονάδα ONU στην διάρκεια της περιόδου χρονοπρογραμματισμού.

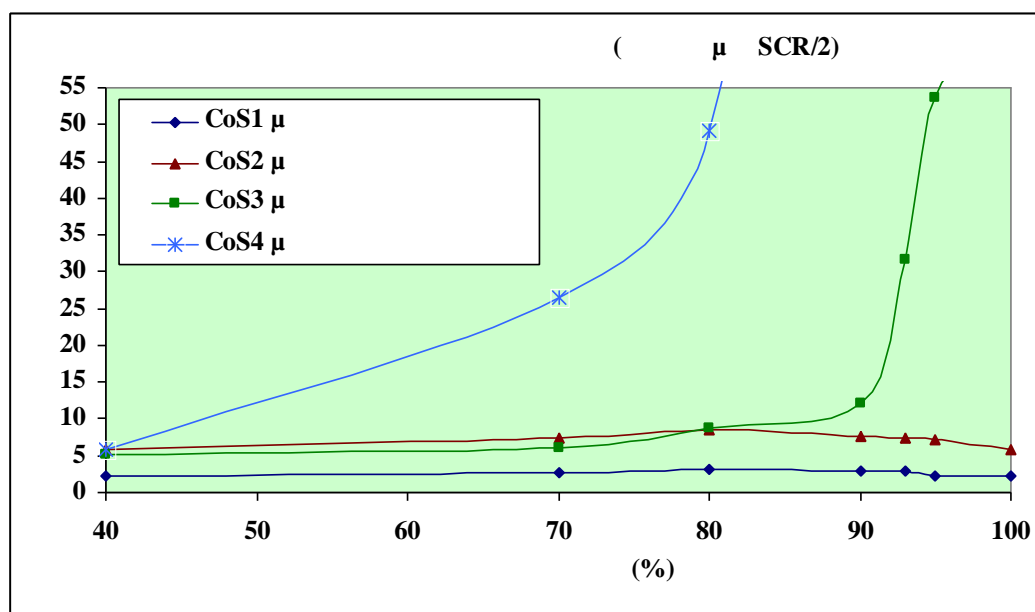


Σχήμα 4 - 5: Μέση Καθυστέρηση στην Ουρά ανά Προτεραιότητα CoS για τον Αλγόριθμο Ενδό-ONU ($UG_{i2} = R_{s2} * D_m$ και απόλυτη προτεραιότητα στην ONU)

Αυτό το μη ταίριασμα μεταξύ δεσμευμένου εύρους ζώνης και πραγματικού μπορεί να εξαλειφθεί αν χρησιμοποιηθεί Ενδό-ONU χρονοπρογραμματισμός. Στην περίπτωση αυτή θα εφαρμόζεται μηχανισμός αυστηρής προτεραιότητας σε κάθε ONU, τα αποτελέσματα του οποίου φαίνονται στο Σχήμα 4 - 5. Ο μηχανισμός αυτός είναι υπεύθυνος για την ξαφνική ελάττωση της καθυστέρησης της τρίτης προτεραιότητας (Σχήμα 4 - 5) μεταξύ των φορτίων 90% και 100%. Πιο συγκεκριμένα, καθώς αυξάνεται το προσφερόμενο φορτίο, αυξάνεται παράλληλα και το μέγεθος των αιτήσεων ανά μονάδα ONU (κυρίως εξαιτίας της κίνησης CoS4 που κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό στο συνολικό φορτίο) προκαλώντας την ομοιόμορφη κατανομή σχεδόν όλου του διαθέσιμου εύρους του καναλιού ανόδου ανάμεσα στις μονάδες ONU. Μόλις εμφανιστεί μια κατάσταση συμφόρησης, παρατηρείται ότι επηρεάζεται μόνο η κίνηση τέταρτης προτεραιότητας, η οποία από το σημείο αυτό και πάνω παραμένει συνεχώς σε κατάσταση συμφόρησης, ενισχύοντας την απόδοση των ουρών μεγάλης προτεραιότητας αφού συνεχώς αυξάνει τις αιτήσεις για εξυπηρέτηση. Η ενίσχυση αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι οι δεσμεύσεις που πραγματοποιούνται επαρκούν για να ικανοποιήσουν πλήρως ακόμα και τα νεοαφιχθέντα (μη αναφερόμενα στο μήνυμα αίτησης) πακέτα της ουράς CoS3. Επομένως τα πακέτα CoS3 «κλέβουν» το εύρος ζώνης η δέσμευση του οποίο προκλήθηκε από τα πακέτα αίτησης της ουράς CoS4, και αφήνουν την ουρά CoS4 να υποφέρει από την συμφόρηση.



Σχήμα 4 - 6: Μέγιστη Καθυστέρηση στην Ουρά ανά Προτεραιότητα CoS για τον Αλγόριθμο SCR ($UG_{i2} = R_{s2} * D_m$)

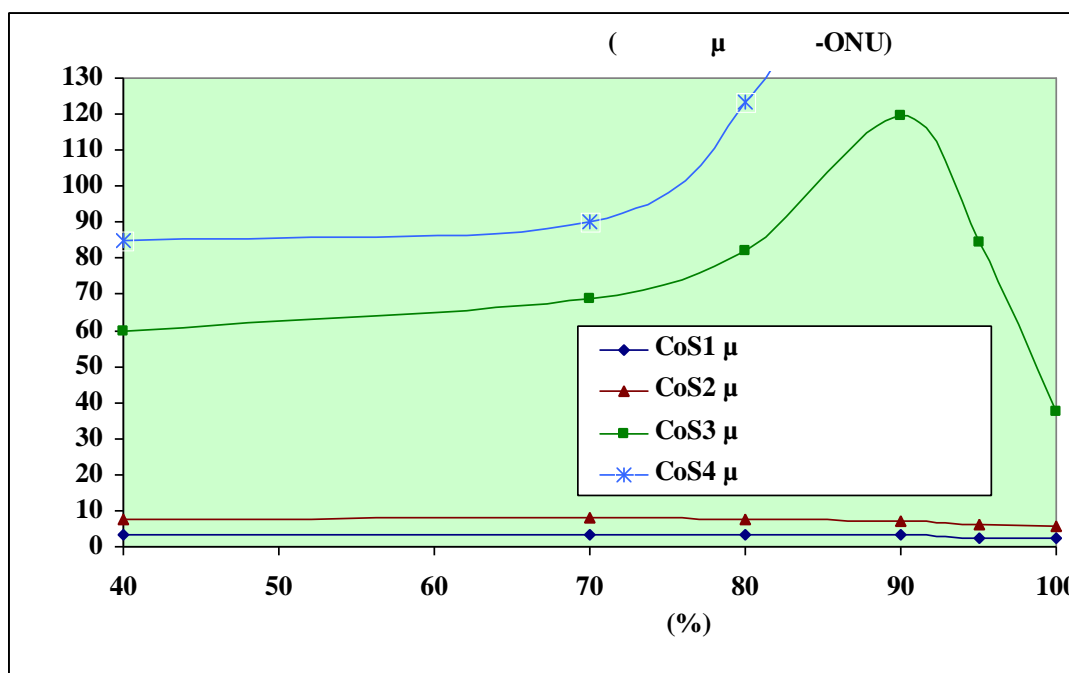


Σχήμα 4 - 7: Μέγιστη Καθυστέρηση στην Ουρά ανά Προτεραιότητα CoS για τον Αλγόριθμο SCR/2 ($UG_{i2} = R_{s2}/2 * D_m$)

Χρησιμοποιώντας Ενδό-ONU χρονοπρογραμματισμό επιτυγχάνεται καλύτερη χρησιμοποίηση του καναλιού και καλύτερη επίδοση της προτεραιότητας CoS3, εις βάρος της επίδοσης της προτεραιότητας CoS4. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί έναν από τους στόχους του προτεινόμενου αλγόριθμου αφού οι εγγυήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας

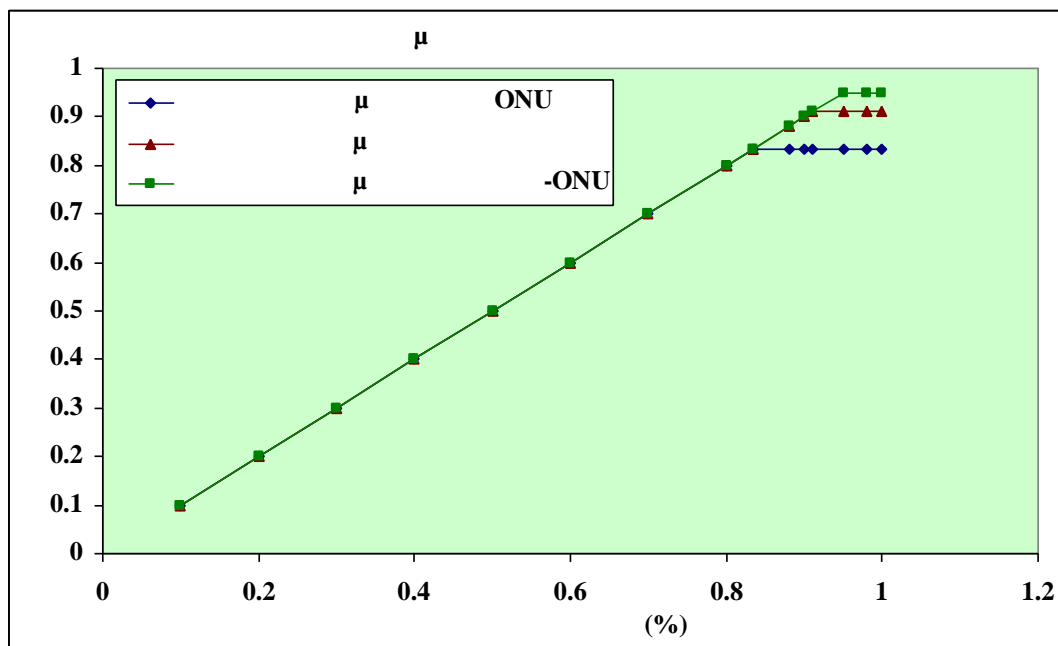
ανά προτεραιότητα είναι άριχτα συνδεδεμένες με τις ανάλογες χρεώσεις από την πλευρά που παροχέα, οι οποίες αποτελούν τις Συμφωνίες σε Επίπεδο Υπηρεσίας (SLAs) που πραγματοποιούνται στη φάση αρχικοποίησης της υπηρεσίας.

Επίσης στα Σχήμα 4 - 6, Σχήμα 4 - 7, Σχήμα 4 - 8 παρουσιάζεται η μέγιστη τιμή της καθυστέρησης για τις τρεις διαφορετικές υλοποιήσεις του αλγόριθμου (SCR, SCR/2 και Ενδό-ONU).



Σχήμα 4 - 8: Μέγιστη Καθυστέρηση στην Ουρά ανά Προτεραιότητα CoS για τον Αλγόριθμο Ενδό-ONU ($UG_{i2} = R_{s2} * D_m$ και απόλυτη προτεραιότητα στην ONU)

Τα αποτελέσματα του συνολικού ποσοστού χρησιμοποίησης του καναλιού ανόδου για τις δύο πρώτες περιπτώσεις αλγόριθμου φαίνονται στο Σχήμα 4 - 9 σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της μελέτης που περιγράφεται στο [9] (αντιγράφηκαν τα αποτελέσματα/γραφική παράσταση του αλγόριθμου «Πολλαπλές Δεσμεύσεις ανά Μονάδα ONU»). Είναι φανερό ότι υιοθετώντας τον προτεινόμενο αλγόριθμο, επιτυγχάνεται υψηλότερη χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης του καναλιού ανόδου (91% έναντι 83.5% στο [9]). Αυτό οφείλετε στη χαλάρωση των απαιτήσεων για αυστηρά σταθερό χρονοπρογραμματισμό των κρατήσεων της ουράς CoS1, το οποίο έχει ασήμαντες επιπτώσεις στη μεταβολή της καθυστέρησης, όπως θα φανεί στην επόμενη παράγραφο. Η αύξηση της χρησιμοποίησης βασίζεται στο γεγονός της δέσμευσης συνεχόμενων παραθύρων μετάδοσης για της ουρές της ίδιας μονάδας ONU. Επιπλέον κέρδος (μέχρι 95%) επιτυγχάνεται όταν χρησιμοποιείται Ενδό-ONU χρονοπρογραμματισμός.

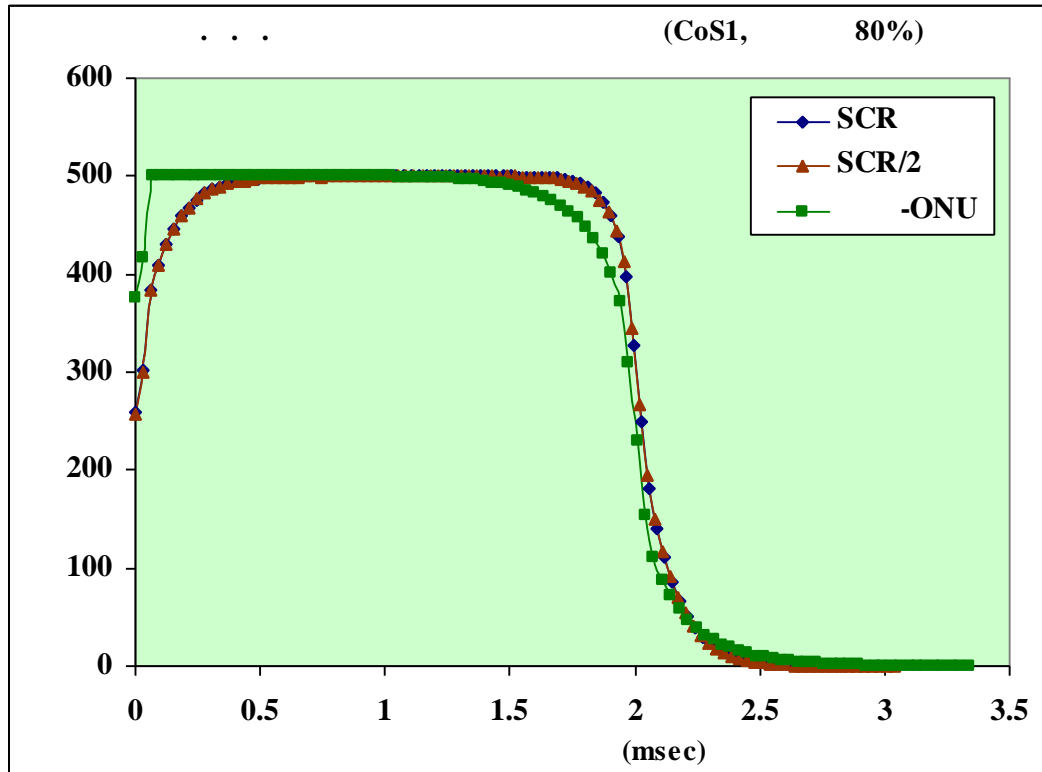


Σχήμα 4 - 9: Χρησιμοποίηση του Καναλιού Ανόδου για τους τρεις Διαφορετικούς Αλγόριθμους

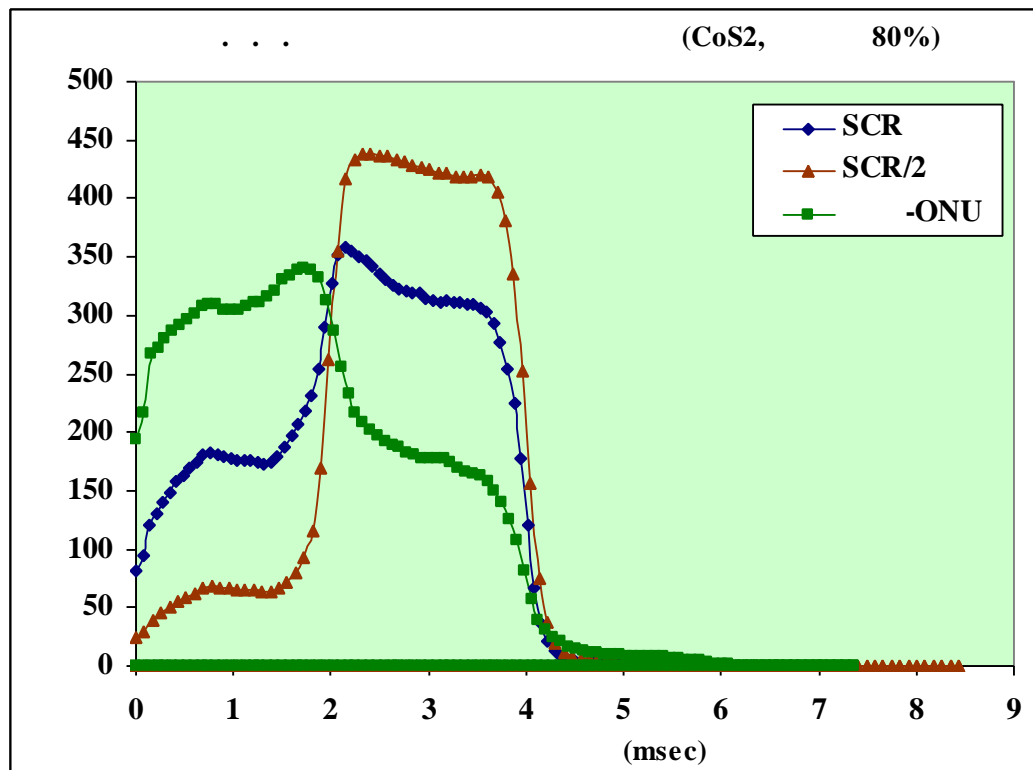
4.5.2 Μεταβολή της Καθυστέρησης

Η διαδικασία χρονοπρογραμματισμού που υιοθετείται από τον προτεινόμενο αλγόριθμο μπορεί να οδηγήσει σε απόκλιση από την ιδανική υπηρεσία σταθερού ρυθμού μετάδοσης (CBR) για την προτεραιότητα CoS1, αντίθετα ο αλγόριθμος ολίσθησης στο χρόνο που παρουσιάστηκε στις προηγούμενες παραγράφους συμβάλλει προς μία ομοιόμορφη και ομαλή κατανομή της καθυστέρησης η οποία ελαχιστοποιεί τη μεταβολή της καθυστέρησης. Η συμβολή αυτή φαίνεται στις γραφικές παραστάσεις της Συνάρτησης Πυκνότητας Πιθανότητας (PDF) της (συνολικής για όλες τις μονάδες ONU) καθυστέρησης ανά ουρά CoS που παρουσιάζονται στα Σχήμα 4 - 10, Σχήμα 4 - 11, Σχήμα 4 - 12 και Σχήμα 4 - 13. Τα αποτελέσματα των γραφικών παραστάσεων πραγματοποιήθηκαν για προσφερόμενο φορτίο κίνησης 80% του εύρους ζώνης του καναλιού ανόδου, τιμή κοντά στην κατάσταση κορεσμού του δικτύου.

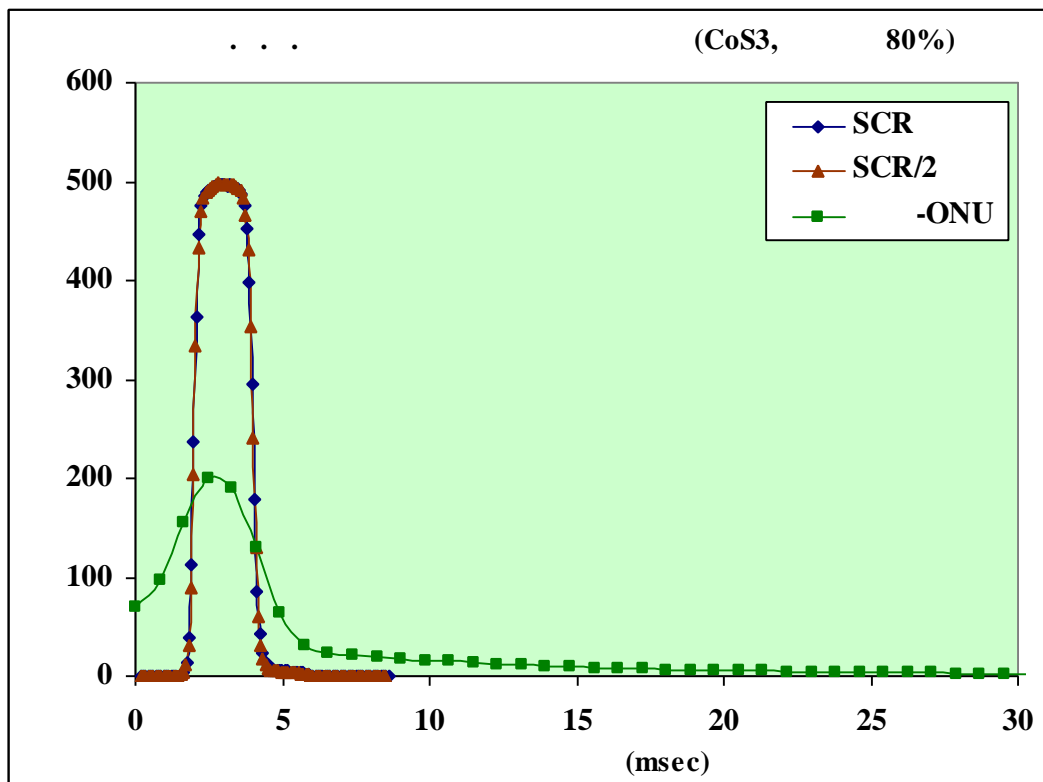
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4 - 10, η μέγιστη τιμή της καθυστέρησης για τα πακέτα μέγιστης προτεραιότητας πολύ σπάνια υπερβαίνει το όριο $D_m=2msec$. Η τιμή του ορίου D_m επιλέχθηκε κατάλληλα ώστε να επιτυγχάνεται στατιστικά άνω όρια στην καθυστέρηση για τις ευαίσθητες σε καθυστέρηση υπηρεσίες με παράλληλη αύξηση της αποτελεσματικότητας του αλγόριθμου.



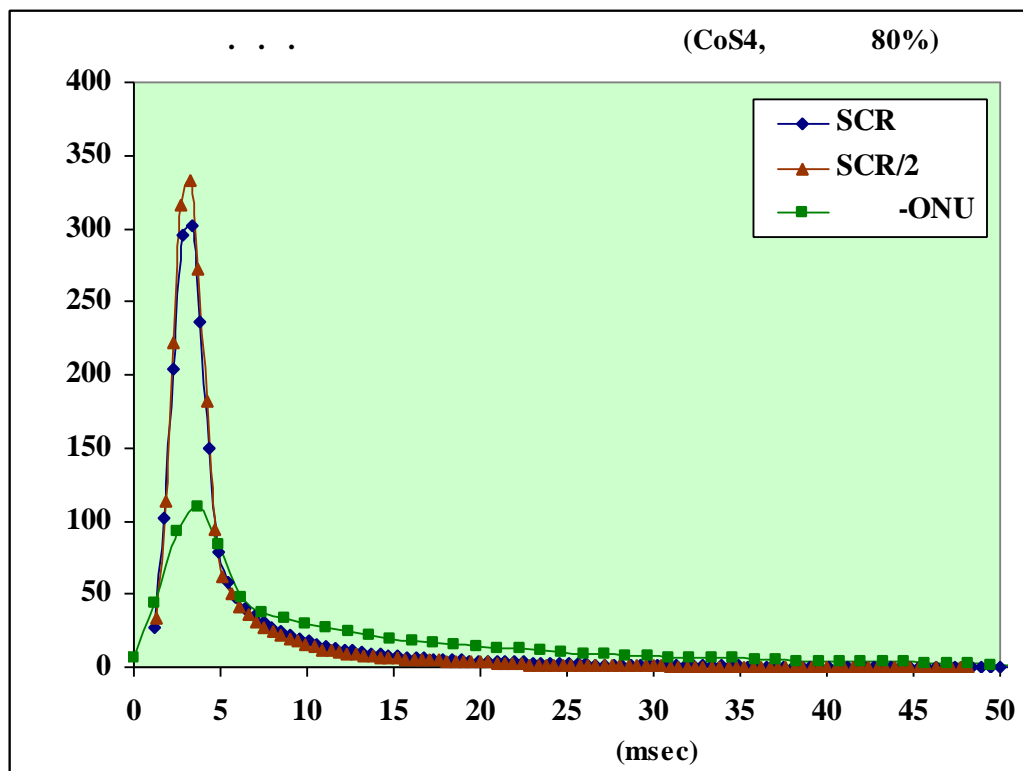
Σχήμα 4 - 10: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά για την Προτεραιότητα CoS1



Σχήμα 4 - 11: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά για την Προτεραιότητα CoS2



Σχήμα 4 - 12: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά για την Προτεραιότητα CoS3



Σχήμα 4 - 13: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά για την Προτεραιότητα CoS4

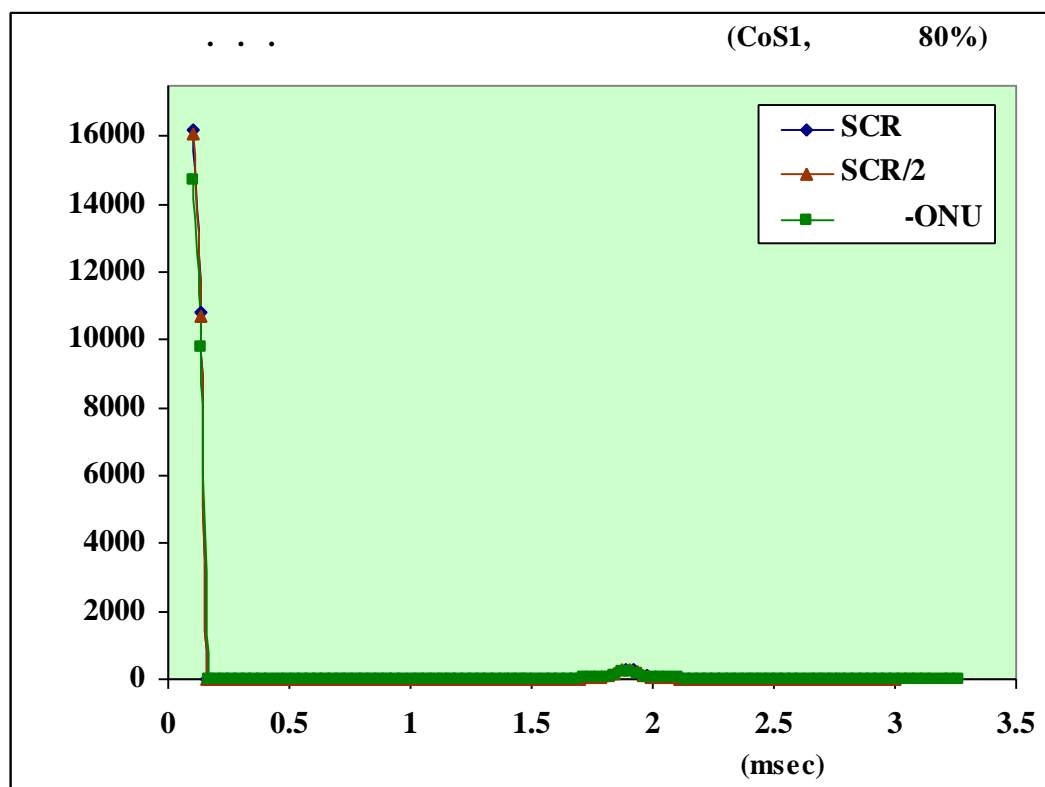
Η τιμή αυτή της καθυστέρησης εμφανίζεται σε όλα τα σενάρια ανεξάρτητα από το φόρτο της προσφερόμενης κίνησης, ακόμα και όταν η προσφερόμενη κίνηση υπερβαίνει τα όρια του εύρους ζώνης του καναλιού ανόδου.

Η καθυστέρηση της κίνησης μέγιστης προτεραιότητας είναι σχεδόν ομοιόμορφα κατανομημένη μέσα στο διάστημα 0 και 2 msec, ενώ ένα μικρό, αμελητέο ποσοστό πακέτων παρουσιάζει καθυστέρηση μεγαλύτερη από 2msec και μέχρι 2.4msec. Είναι αναγκαίο να σημειωθεί εδώ ότι η κατανομή της καθυστέρησης μέσα σε όλο το εύρος τιμών του διαστήματος (0, 2msec) οφείλεται αποκλειστικά στην εκρηκτική φύση του πρωτοκόλλου MAC των δικτύων EPON αφού στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η περίοδος χρονοπρογραμματισμού δεν συμπίπτει με την περίοδο μετάδοσης της πηγής. Το φαινόμενο αυτό εξηγείται και περιγράφεται αναλυτικά στη μελέτη [9] και συγκεκριμένα αποδεικνύεται από τις περιοδικές αιχμές της γραφικής παράστασης της αυτοσυσχέτισης της καθυστέρησης. Επίσης αν χρησιμοποιηθεί Ενδό-ONU χρονοπρογραμματισμός βελτιώνεται ακόμα περισσότερο η μεταβολή της καθυστέρησης που παρουσιάζεται στην ουρά μέγιστης προτεραιότητας CoS1 ενώ η μέση καθυστέρηση παραμένει σχεδόν αμετάβλητη.

Στην δεύτερη κλάση κίνησης, παρατηρούνται τιμές καθυστέρησης μεγαλύτερες από 2msec εξαιτίας της δυναμικής δέσμευσης εύρους ζώνης, οι οποίες όμως δεν ξερνούν την τιμή $2 \cdot D_m$ (αφού δεσμεύεται το κατάλληλο εύρος ζώνης ώστε να εξυπηρετηθεί το υπόλοιπο κομμάτι κίνησης που δεν εξυπηρετείται άμεσα στην πρώτη περίοδο χρονοπρογραμματισμού). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4 - 11, όταν οι εκούσιες δεσμεύσεις (UG) εξυπηρετήσουν την ουρά CoS2 μέχρι τον ανεκτό ρυθμό μετάδοσής της, η πιθανότητα να είναι η τιμή της καθυστέρησης μεταξύ D_m και $2D_m$ είναι μεγαλύτερη από την πιθανότητα να είναι μεταξύ 0 και D_m . Το φαινόμενο αυτό αναστρέφεται όταν εφαρμοστεί Ενδό-ONU χρονοπρογραμματισμός. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται ότι όταν οι εκούσιες δεσμεύσεις της ουράς CoS2 εξυπηρετούν σε μισό ρυθμό από τον ανεκτό ρυθμό των πηγών, η γραφική παράσταση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της καθυστέρησης μετατοπίζεται περισσότερο προς τις τιμές μεταξύ D_m και $2 \cdot D_m$.

Η διαφορά μεταξύ των τιμών στην καθυστέρηση των προτεραιοτήτων CoS2 και CoS3 (Σχήμα 4 - 12) οφείλεται στο γεγονός της ύπαρξης εκούσιων κρατήσεων για την προτεραιότητα CoS2 και την απουσίας εκούσιων κρατήσεων για την προτεραιότητα CoS3. Επομένως η προτεραιότητα CoS3 δεν μπορεί να επιτύχει μικρότερες τιμές καθυστέρησης από 2msec αφού οι αιτήσεις της δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν πριν την επόμενη περίοδο χρονοπρογραμματισμού. Αντίθετα στην περίπτωση του Ενδό-ONU χρονοπρογραμματισμού που εφαρμόζεται σχήμα απόλυτης προτεραιότητας η ουρά

CoS3 μπορεί να «κλέψει» εύρος ζώνης που δημιουργήθηκε από τις αιτήσεις της κίνησης CoS4, αφού βρίσκεται παραπάνω σε προτεραιότητα από αυτή. Στο Σχήμα 4 - 13 φαίνεται η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της καθυστέρησης για την κίνησης βέλτιστης προσπάθειας που βρίσκεται στην ουρά CoS4. Η καθυστέρηση αυτή ακολουθεί κατανομή μορφής καμπάνας και παρουσιάζει την χειρότερη καθυστέρηση σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες ουρές.

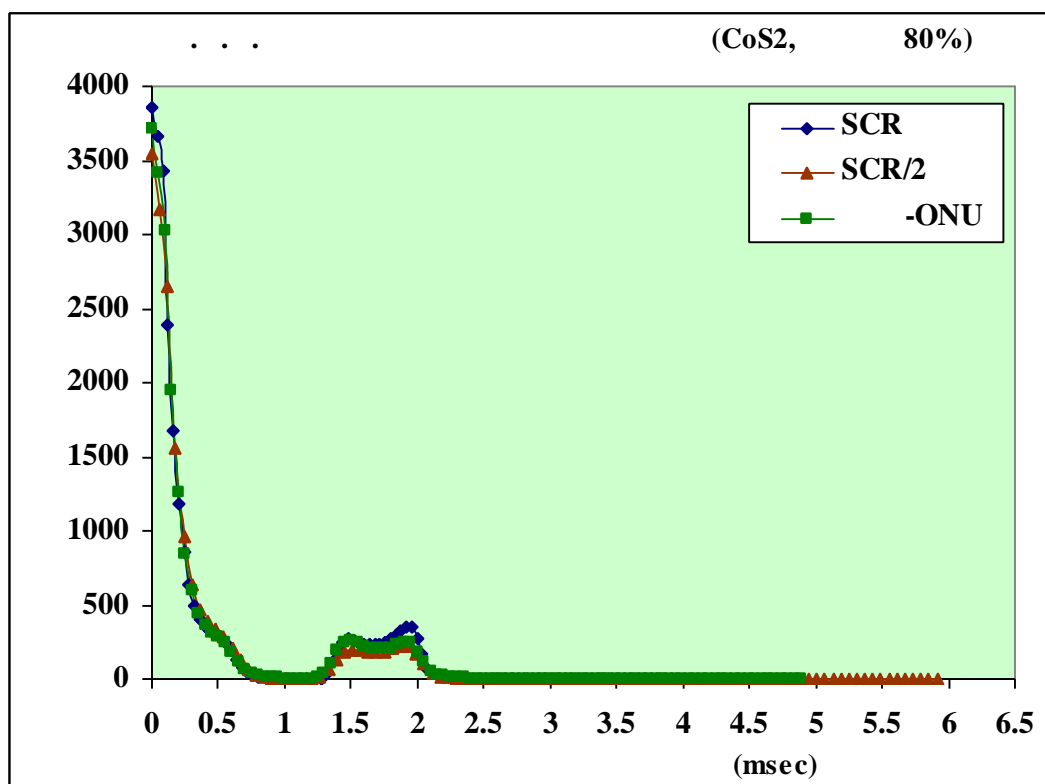


Σχήμα 4 - 14: Σ.Π.Π της Μεταβολής της Καθυστέρησης για την Προτεραιότητα CoS1

Προκειμένου να εξηγηθεί αναλυτικότερα η επίδραση του προτεινόμενου αλγόριθμου στη επίδοση της μεταβολής της καθυστέρησης, παρουσιάζονται στα Σχήμα 4 - 14 και Σχήμα 4 - 15 η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της συνολικής (για όλες της μονάδες ONU) μεταβολή της καθυστέρησης (jitter) για της κλάσεις προτεραιότητας πραγματικού χρόνου (κλάσεις CoS1 και CoS2).

Η μεταβολή της καθυστέρησης εκφράζεται ως μεταβολή στην καθυστέρηση που παρουσιάζεται μεταξύ διαδοχικών πακέτων της ίδιας πηγής (interpacket delay variation - one-way-ipdn), για όλες της πηγές της ίδιας κλάσης όπως ορίζεται στην μελέτη [14]. Στην γραφική παράσταση είναι εμφανής η διαφορά στην μεταβολή της καθυστέρησης για της προτεραιότητες CoS1 και CoS2. Η προτεραιότητα CoS2 παρουσιάζει

μεγαλύτερη μεταβολή στην καθυστέρηση φθάνοντας οριακά μέχρι την τιμή 6msec, ενώ η προτεραιότητα CoS1 διατηρεί χαμηλή τιμή κάτω από 3.5msec. Μια δεύτερη παρατήρηση είναι ότι όταν εφαρμοστεί Ενδό-ONU χρονοπρογραμματισμός, οι τιμές της μεταβολής της καθυστέρησης μεταβάλλονται ελαφρά, γεγονός που οφείλεται στην τυχαία περιοδική εξυπηρέτηση ουρών υψηλής προτεραιότητας που προκαλείται από το φαινόμενο του «κλεισίματος εύρου ζώνης». Οι μικρές αιχμές που παρουσιάζονται στις καμπύλες των Σχήμα 4 - 14 και Σχήμα 4 - 15 στο διάστημα (1.5msec, 2msec) οφείλονται στην εφαρμογή του αλγόριθμου ολίσθησης των δεσμεύσεων. Οι παρατηρούμενες τιμές κοντά στο σημείο αυτό προκαλούνται από τη σποραδική ολίσθηση δεσμεύσεων υψηλής προτεραιότητας αργότερα ή νωρίτερα από το αρχικό τους σημείο έναρξης που έχουν ως αποτέλεσμα κάποια πακέτα να χάσουν την προγραμματισμένη σχισμή μετάδοσης.



Σχήμα 4 - 15: Σ.Π.Π της Μεταβολής της Καθυστέρησης για την Προτεραιότητα CoS2

Στην περίπτωση της προτεραιότητας CoS1, η οποία έχει αυστηρές απαιτήσεις απόδοσης, το φαινόμενο αυτό είναι αμελητέο όπως φαίνεται από τις γραφικές παραστάσεις. Εντούτοις, ένας τρόπος για την μείωση αυτού του φαινομένου είναι η επιλογή μικρότερης τιμής για την περίοδο D_m . Μια τέτοια επιλογή θα έχει όμως

αρνητικές επιπτώσεις λόγω αυξημένης επιβάρυνσης στην χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης του καναλιού ανόδου. Επομένως μια τέτοια επιλογή θα μπορούσε να εφαρμοστεί αποδοτικότερα με τη χρήση ενός πρωτοκόλλου με λιγότερη επιβάρυνση φυσικού επιπέδου και πιο ευέλικτους μηχανισμούς ενθυλάκωσης. Ένα υποψήφιο πρωτόκολλο είναι το πρωτόκολλο GPON [15], οι διαφορές στην απόδοση του οποίου (μεταξύ πρωτοκόλλων EPON και GPON) θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο.

4.6 Συμπεράσματα

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος επιπέδου MAC προκειμένου να υποστηρίξει αποδοτικά κάθε είδους υπηρεσία, προτείνει ταξινόμηση της κίνησης στην πλευρά της μονάδας ONU και δέσμευση εύρους ζώνης βασισμένη σε διακριτές κλάσεις υπηρεσίας. Ο αλγόριθμος εγγυάται αυστηρά άνω όρια στην καθυστέρηση για τις ευαίσθητες σε καθυστέρηση εφαρμογές και αποδοτική δυναμική πολύπλεξη με όρια στην καθυστέρηση για τις υπόλοιπες εφαρμογές, διατηρώντας παράλληλα αναλογική διανομή του εύρους ζώνης. Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων φαίνεται ότι η διαφοροποίηση μεταξύ των κλάσεων υπηρεσίας επιτυγχάνει αποδοτικά αποτελέσματα (ακόμα και στην περίπτωση των εφαρμογών πραγματικού χρόνου που έχουν πιο αυστηρές απαιτήσεις), ενώ υποστηρίζονται διαφορετικές μορφές ρυθμών μετάδοσης ανά μονάδα ONU και ανά κλάση υπηρεσίας.

4.7 Βιβλιογραφία

- [1] ITU-T, Rec. G.984.1, Study Group 15, "Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics", March 2003.
- [2] A. Shami, X. Bai, N. Ghani, C. M. Assi, and H. T. Mouftah, "QoS Control Schemes for Two-Stage Ethernet Passive Optical Access Networks" *IEEE J. Selected Areas In Comm.* 23, 1467-1478 (2005).
- [3] M. P. McGarry, M. Maier, and M. Reisslein, "Ethernet PONs: A Survey of Dynamic Bandwidth Allocation (DBA) Algorithms," *IEEE Commun. Mag.* 42, S8-S15 (2004).
- [4] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "Interleaved polling with adaptive cycle time (IPACT): a dynamic bandwidth distribution scheme in an optical access network," *IEEE Commun. Mag.* 40, 74-80 (2002).
- [5] X. Bai, A. Shami, C. Assi, "Statistical Bandwidth Multiplexing in Ethernet Passive Optical Networks," in *Proc. Globecom 2005*, St. Luis, U.S.A., Nov. 2005
- [6] H N. Ghani, A. Shami, C. Assi, M. Raja, "Intra-ONU bandwidth scheduling in Ethernet Passive Optical Networks," *IEEE communication let.* 8, 683-685 (2004).
- [7] M. Ma, Y. Zhu, T. H. Cheng, "A Bandwidth Guaranteed Polling MAC Protocol for Ethernet Passive Optical Networks," in *Proc. Infocom 2003*, April 1 - 3, San Francisco, CA, USA, 2003
- [8] F. An et al., "A new dynamic bandwidth allocation protocol with quality of service in ethernet-based passive optical networks," in *Proc. Int. Conf. on Wireless & Optical Comm. (WOC03)*, Banff, Canada, Jul. 2003
- [9] A. Shami, X. Bai, C. M. Assi, and N. Ghani, "Jitter Performance in Ethernet Passive Optical Networks," *IEEE J. of Lightwave Techn.* 23, 1745-1753 (2005).
- [10] T. Orphanoudakis, H.C. Leligou, E. Kosmatos, G.Prezerakos, "Dynamic Traffic Multiplexing over EPONs Achieving Guranteed QoS and Optimal Bandwidth Utilization", *International Conference on Photonics in Switching 2006*, Herakleion (Crete), Greece, 16-18 October 2006.
- [11] J. D. Angelopoulos, H. C. Leligou, T.G. Orphanoudakis, J. Pikramenos "Using a multiple priority reservation MAC to support differentiated services over HFC systems," *International Journal of Communication Systems.* 15, 325-340 (2002).

-
- [12] Data-Over-Cable Service Interface Specifications, Operations Support System Interface Specification, SP-OSSIV1.1-I02-000714, available at www.cablemodem.com
 - [13] K. Claffy, G. Miller and K. Thompson, "The nature of the beast: recent traffic measurements from an Internet backbone," in Proc. of ISOC INET'98, Washington, DC, 1998.
 - [14] C. Demichelis, P. Chimento, "IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM)", IETF RFC 3393, November 2002
 - [15] S. Lallukka and P. Raatikainen "Link Utilization and Comparison of EPON and GPON Access Network Cost," in Proc. of Globecom 2005, St. Luis, MO, USA, 28November-2 December 2005.

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ EPON ΚΑΙ GPON

Οι οργανισμοί προτυποποίησης ITU και IEEE, προσπαθώντας να βελτιώσουν την απόδοση της ήδη προτυποποιημένης τεχνολογίας PON Ευρείας Ζώνης (Broadband PON), η οποία χρησιμοποιούσε ως μονάδες μεταφοράς δεδομένων κελιά ATM, κατέληξαν πρόσφατα στην προτυποποίηση ξεχωριστών λύσεων για τα παθητικά οπτικά δίκτυα που λειτουργούν σε γραμμές μεταφοράς ρυθμού gigabit ανά δευτερόλεπτο και είναι βελτιστοποιημένα για τη μεταφορά κίνησης πακέτων δεδομένων. Η αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα ενός συστήματος παθητικού οπτικού δικτύου εξαρτάται από το επίπεδο σύγκλισης μετάδοσης και ιδιαίτερα από το υλοποιημένο πρωτόκολλο πρόσβασης στο μέσο. Τα πρωτόκολλα αυτά δεν καθορίζονται πλήρως μέσα στα πρότυπα, αλλά αφήνονται ανοικτά σε υλοποιήσεις. Παρόλα αυτά τα δύο πρότυπα ορίζουν ένα σύνολο από πεδία ελέγχου στις επικεφαλίδες των πακέτων, που αποτελούν τα εργαλεία για την υλοποίηση της λειτουργικότητας ενός πρωτοκόλλου πρόσβασης στο μέσο (Medium Access Protocol – MAC). Παρόλο που τα δύο πρότυπα δημιουργήθηκαν πάνω στην ίδια βάση, εντούτοις παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, το πρότυπο του οργανισμού IEEE, που ονομάζεται EPON (Ethernet

PON) επικεντρώνεται στην αρχή του σηματοδότητος των πακέτων, ενώ ο οργανισμός ITU με το πρότυπο GPON (Gigabit PON) δίνει βαρύτητα στις απαιτητικές εφαρμογές. Τα δύο πρότυπα παρουσιάστηκαν αναλυτικά στις παραγράφους 3.5 και 3.6 αντίστοιχα. Στο κεφάλαιο αυτό επικεντρωνόμαστε στη σύγκριση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας των δύο προτεινόμενων συστημάτων, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο MAC με παρόμοιο τρόπο. Ο στόχος είναι διπλός: η αποτίμηση και σύγκριση του πιθανού χειρισμού της κίνησης από καθένα από τα δύο πρότυπα και ο προσδιορισμός του εύρους των εφαρμογών που μπορούν αυτά να υποστηρίξουν. Επίσης, η σύγκριση αυτή κάτω από τη σκέπη παρόμοιου μηχανισμού MAC, δίνει ενδιαφέρουσες πληροφορίες για το πώς πρέπει να σχεδιαστούν τα εργαλεία επιπέδου MAC της επόμενης γενιάς οπτικών παθητικών δικτύων εξαιρετικά μεγάλης κλίμακας (Extra Large PONs).

5.1 Θεωρήσεις Σχεδιασμού για την Αποτελεσματική Υποστήριξη Δυναμικά Εξελισσόμενων Εφαρμογών

Από την αναλυτική περιγραφή των δύο προτύπων που παρουσιάστηκε στις παραγράφους 3.5 και 3.6 γίνεται φανερό ότι υπάρχουν πολλές ομοιότητες στην λειτουργία των τεχνολογιών EPON ([4]) και GPON ([2], [3]), ενώ υπάρχουν και αρκετές διαφορές που οφείλονται στις διαφορετικές απαιτήσεις και επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος. Στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι να πραγματοποιηθεί μια – κατά το δυνατόν – δίκαιη σύγκριση των δυο πρωτοκόλλων με τη βοήθεια παρόμοιων σεναρίων υλοποίησης καθώς και να εξαχθούν ποιοτικά αποτελέσματα από την σύγκριση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητάς τους. Στην παράγραφο αυτή πραγματοποιείται ταξινόμηση των κοινών απαιτήσεων και ιδιαιτεροτήτων των μηχανισμών δέσμευσης εύρους ζώνης. Επίσης, καθορίζονται οι επιλεγμένες παράμετροι λειτουργίας για την υλοποίηση και προσομοίωση του πρωτοκόλλου MAC σε κάθε περίπτωση, κάνοντας έτσι δυνατή την άμεση αποτίμηση και σύγκριση των δύο τεχνολογιών.

5.1.1 Διαφοροποίηση Υπηρεσιών

Αμφότερες οι τεχνολογίες EPON και GPON έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίζουν όλες τις υλοποιήσεις τεχνολογίας FTTx και όλες τις κατηγορίες υπηρεσιών/εφαρμογών. Από την οπτική γωνία ενός μηχανικού, οι διαφορές ανάμεσα σε ποικίλες περιπτώσεις είναι ο αριθμός των ροών εισόδου που μοιράζονται το ίδιο κανάλι ανόδου και οι απαιτήσεις των χρηστών σε ποιότητα υπηρεσίας σε συνδυασμό με

τις χρεώσεις που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν. Οι πιο απαιτητικές αλληλεπιδραστικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου απαιτούν καθυστέρηση μόνης κατεύθυνσης μικρότερης από 1.5msec, ενώ πολλές μελέτες έχουν επιβεβαιώσει ότι τα 2msec αποτελούν ένα ανεκτό άνω όριο για την καθυστέρηση ([4], [5]) σε τέτοιες περιπτώσεις. Επίσης, οι παροχείς προσδοκούν να μπορούν να προσφέρουν εφαρμογές μισθωμένης γραμμής πάνω από οπτικά παθητικά δίκτυα. Για την παροχή ποιότητα υπηρεσίας με λιγότερη πολυπλοκότητα και κόστος, οι υπηρεσίες ομαδοποιούνται σε κλάσεις υπηρεσίας (Classes of Services) με παρόμοιες απαιτήσεις, εξασφαλίζοντας ελαστικότητα και κλιμάκωση (ακολουθώντας την προσέγγιση 802.1PQ).

Στη μελέτη [3] παρουσιάστηκε ένα πρωτόκολλο επιπέδου MAC σύμφωνα με την τεχνολογία GPON, που για την εξυπηρέτηση κίνησης PON, υιοθετούσε την έννοια των τεσσάρων διαφορετικών κλάσεων υπηρεσίας που αντιστοιχίζονται στις ανάλογες κλάσεις TCONT του προτύπου. Στο προηγούμενο κεφάλαιο και στη μελέτη [13] προτάθηκε ένας μηχανισμός δυναμικής δέσμευσης εύρους ζώνης (σύμφωνα με το πρότυπο 802.3ah) για την τεχνολογία EPON, ο οποίος χρησιμοποιεί τέσσερις διακριτές πολιτικές εξυπηρέτησης υπηρεσίας βασισμένες στις τέσσερις διαφορετικές κλάσεις υπηρεσίας και κίνηση που συγκεντρώνεται σε τέσσερις αντίστοιχες ουρές των μονάδων ONU. Αποδείχθηκε ότι χρησιμοποιώντας τα εργαλεία ελέγχου επιπέδου MAC που προδιαγράφονται στο πρότυπο EPON είναι δυνατόν να υποστηριχθεί αποδοτικά κάθε είδους απαίτηση μιας εφαρμογής. Στο παρόν κεφάλαιο, για τη σύγκριση των δύο τεχνολογιών χρησιμοποιούνται τέσσερις προτεραιότητες, όμοιες με αυτές του μηχανισμού που προτάθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Όλα τα πακέτα κίνησης που παράγονται από τις πηγές ταξινομούνται σε τέσσερις διακριτές κλάσεις υπηρεσίας (Classes of Service – CoS) και εξυπηρετούνται με την ανάλογη προτεραιότητα από το μηχανισμό πολυπλεξίας του συστήματος οπτικού παθητικού δικτύου. Η τεχνολογία EPON υποστηρίζει αυτή την λειτουργικότητα με τη χρήση διαδικασιών αίτησης/δέσμευσης για μέχρι οκτώ ουρές προτεραιότητας ανά μονάδα ONU, ενώ στην περίπτωση της τεχνολογίας GPON υπάρχει η δυνατότητα δέσμευσης με προτεραιότητα ανά αναγνωριστικό Alloc-ID. Το αναγνωριστικό Alloc-ID εκχωρείται σε κάθε διακριτή ουρά που ενεργοποιείται σε κάποια μονάδα ONU και είναι μοναδικό ανά ουρά και ONU. Το πρότυπο GPON δίνει την δυνατότητα πολλαπλών ουρών ανά μονάδα ONU, που θεωρητικά περιορίζεται μόνο από το χώρο διεύθυνσιοδότησης του πεδίου Alloc-ID μεγέθους 12 bits. Στην πράξη ο αριθμός των ουρών ανά μονάδα ONU περιορίζεται από το κόστος, την πολυπλοκότητα και την αποδοτικότητα, που μειώνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των διαχειριζόμενων ουρών. Φυσιολογικά, στο πρότυπο GPON κάθε αναγνωριστικό Alloc-ID αντιστοιχίζεται σε έναν από τους πέντε Τύπους Μεταφοράς

Κίνησης (Traffic Container Types – T-CONT), που έχουν διατηρηθεί από το πρότυπο G.984.3 [23] του μηχανισμού DBA της τεχνολογίας BPON. Οι περιγραφητές κάθε τύπου T-CONT πρέπει στη συγκεκριμένη περίπτωση να επεκταθούν ώστε περιλαμβάνουν εκτός από την περίοδο εξυπηρέτησης και την διάρκεια της δεσμευμένης εκρηκτικής μετάδοσης για κάθε ουρά προτεραιότητας (για κάθε αναγνωριστικό Alloc-ID). Το χαρακτηριστικό αυτό (T-CONT) ουσιαστικά χρησιμοποιείται για να καθορίσει την κλάση υπηρεσίας CoS. Χρησιμοποιούνται μόνο τέσσερις κλάσεις υπηρεσίας (CoS1 – CoS4), καθώς ο τύπος T-CONT5 δεν χρησιμοποιείται αφού δεν αποτελεί ξεχωριστή κλάση αλλά περιγράφει τις δεσμεύσεις που κατανομούνται σε όλες τις ουρές CoS ανά ONU, αφήνοντας την μονάδα ONU να αποφασίσει για τον χρονοπρογραμματισμό τους.

5.1.2 Δυναμική Δέσμευση Εύρους Ζώνης

Ο όρος «Δυναμική Δέσμευση Εύρους Ζώνης» (Dynamic Bandwidth Allocation – DBA), αναφέρεται γενικά σε πρωτόκολλα και αλγόριθμους που επιτρέπουν στην μονάδα OLT να δεσμεύσει δυναμικά τις σχισμές μετάδοσης καναλιού ανόδου κάθε μονάδα ONU προσαρμοζόμενη στις μεταβολές που παρουσιάζει το φορτίο κίνησης και κατ' επέκταση στις μεταβολές που παρουσιάζουν τα μεγέθη των ουρών στις μονάδες ONU. Μια στατική περιοδική δέσμευση εύρους ζώνης βασισμένη σε αρχικές διαπραγματεύσεις θα αποτελούσε την πιο απλή λύση που θα εγγυάτο αμφίδρομη επικοινωνία στις μονάδες ONU (π.χ. μια εικονική δεσμευμένη γραμμή). Μια τέτοια λύση όμως θα είχε πολύ μικρή αποδοτικότητα, αφού η στατική δέσμευση δεν επιφέρει κέρδος πολυπλεξίας και απαιτεί δεσμεύσεις ίσες με το μέγιστο εύρος ζώνης που αναμένεται να συγκεντρωθεί σε κάθε ουρά. Η Δυναμική Δέσμευση Πόρων έχει μελετηθεί στα οπτικά δίκτυα πρόσβασης σε μελέτες που αφορούν τα δίκτυα BPON ([20], [24], [25]), ενώ τα δίκτυα EPON προκάλεσαν την εμφάνιση νέων μελετών και προσεγγίσεων βασισμένες στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Αρκετά άρθρα που παρουσιάστηκαν πρόσφατα ερευνούν αρχιτεκτονικά ζητήματα και ζητήματα πρωτοκόλλου MAC (στη μελέτη [6] παρουσιάζονται τα πιο επικρατέστερα). Οι αρχικές προσπάθειες υλοποίησης μηχανισμών δυναμικής δέσμευσης επικεντρώθηκαν απόλυτα ή μερικώς στην βέλτιστη εξυπηρέτηση των αιτήσεων [7]. Οι περισσότερες ερευνητικές προσπάθειες εστιάζουν στην δίκαιη ή με βάρη κατανομή του εύρους ζώνης ανάμεσα στους τελικούς χρήστες (π.χ. στη μελέτη [8]) ή στις διαφοροποιημένες υπηρεσίες μέσω της χρήσης κλάσεων υπηρεσίας στο μηχανισμό δυναμικής δέσμευσης εύρους ζώνης (π.χ. στη μελέτη [9]). Μόλις πρόσφατα παρουσιάστηκαν κάποιες προτάσεις για την πλήρη απομόνωση της κίνησης πραγματικού χρόνου από την ελαστικού τύπου, ανεκτική σε καθυστερήσεις κίνηση μέσω συγκεκριμένων δεσμεύσεων εύρους ζώνης

στον κύκλο χρονοπρογραμματισμού των δικτύων EPON ([10], [11], [12]). Οι μελέτες αυτές έχουν επιτυχώς αναγνωρίσει την ανάγκη για αρχική εκούσια δέσμευση εύρους ζώνης στην περίπτωση της κίνησης πραγματικού χρόνου ως τον μοναδικό τρόπο για διατήρηση ανεκτής καθυστέρησης πρόσβασης και υπέρβασης του ορίου στην καθυστέρηση λόγω των μεγάλων χρόνων κυκλικής διαδρομής που παρουσιάζονται στα δίκτυα EPON κατά τη δυναμική δέσμευση εύρους ζώνης σε συνθήκες μεταβολής του φόρτου κίνησης. Οι προσεγγίσεις αυτές μοιάζουν αρκετά με την Υπηρεσία Εκούσιων Δεσμεύσεων (Unsolicited Grand Service – UGS) που χρησιμοποιείται στα πρωτόκολλα επιπέδου MAC για την εξυπηρέτηση ροών σταθερού ρυθμού μετάδοσης. Η υπηρεσία UGS εμφανίζεται στα πρότυπα DOCSIS 1.1 [16] και IEEE 802.16 [22] που αναφέρονται στην καλωδιακή τεχνολογία Υβριδική Οπτική Ομοαξονική (Hybrid Fiber Coaxial – HFC) και στα Ασύρματα δίκτυα Πρόσβασης Ευρείας Ζώνης (Broadband Wireless Access – BWA) αντίστοιχα.

Στα πλαίσια ενός τέτοιου μηχανισμού ουρών και προτεραιοτήτων, πραγματοποιούνται οι κατάλληλες αντιστοιχίσεις μεταξύ των προτεραιοτήτων/κλάσεων υπηρεσίας και των τύπων κίνησης. Η κλάση υπηρεσίας CoS1 αντιστοιχίζεται σε περιοδική πραγματικού χρόνου, σταθερού ρυθμού κίνηση, ευαίσθητη στην καθυστέρηση. Η κλάση CoS2 αντιστοιχίζεται σε πραγματικού χρόνου, μεταβλητού ρυθμού μετάδοσης κίνηση, όπως είναι η μετάδοση video ή η τηλεφωνία μέσα από το διαδίκτυο (VoIP). Η κλάση CoS3 αντιστοιχίζεται σε εφαρμογές δεδομένων με υψηλότερες απαιτήσεις από την κίνηση βέλτιστης προσπάθειας, ενώ η κλάση CoS4 αντιστοιχίζεται σε απλές εφαρμογές βέλτιστης προσπάθειας. Η παραπάνω αντιστοίχιση ακολουθεί την ταξινόμηση που προγράφεται στην μελέτη [3]. Επομένως η μονάδα OLT θα δεσμεύσει το συμφωνημένο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης R_{p1} για την προτεραιότητα CoS1 ώστε να αντεπεξέλθει στις απαιτήσεις μιας Εικονικής Μισθωμένης Γραμμής (Virtual Leased Line), η οποία αντιστοιχίζεται στη μεγαλύτερη χρέωση για τους τελικούς χρήστες. Η κίνηση που ανήκει στην κλάση CoS2 χαρακτηρίζεται από δύο παραμέτρους, τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης R_{p2} και τον ανεκτό ρυθμό μετάδοσης R_{s2} και απαιτεί στατιστικό άνω όριο στην καθυστέρηση. Η μονάδα OLT πρέπει να προγραμματίσει αρχικά έναν επαρκή αριθμό δεσμεύσεων εύρους ζώνης για να εγγυηθεί τον ανεκτό ρυθμό μετάδοσης, και παράλληλα πρέπει να δεσμεύσει δυναμικά κατόπιν αιτήσεων αρκετό εύρος ζώνης (μέχρι το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης). Στην περίπτωση αυτή λαμβάνουν χώρα τόσο σταθερές εκούσιες δεσμεύσεις, όσο και δυναμικές δεσμεύσεις κατ' απαίτηση. Ο χρονοπρογραμματισμός των δεσμεύσεων για την κλάση CoS3 πρέπει να λαμβάνει υπόψη ένα προσημωπημένο ελάχιστο ρυθμό εξυπηρέτησης (R_{g3}), ο οποίος καθορίζεται στη φάση της παραμετροποίησης της υπηρεσίας, ενώ

παραπάνω αιτήσεις για δέσμευση μεταχειρίζονται ως κίνηση βέλτιστης προσπάθειας. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται χαμηλή τιμή καθυστέρησης για τα πακέτα που ανήκουν στην κλάση αυτή ενώ παράλληλα ελαχιστοποιούνται οι παρεμβολές στην κίνηση μεγαλύτερης προτεραιότητας. Η κίνηση της κλάσης CoS4 θεωρείται κίνηση βέλτιστης προσπάθειας (best effort) και εξυπηρετείται όταν υπάρχουν αδιάθετες σχισμές μετάδοσης. Είναι φανερό ότι απαιτείται φάση παραμετροποίησης των υπηρεσιών πριν την λειτουργία του συστήματος, στην οποία θα λαμβάνει χώρα διαπραγμάτευση των προαναφερθέντων παραμέτρων, έλεγχος αποδοχής και δέσμευσης πόρων του συστήματος.

Ο μηχανισμός που περιγράφηκε είναι εφαρμόσιμος τόσο στην τεχνολογία EPON όσο και στην τεχνολογία GPON. Σε αντιστοιχία με τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, το πρωτόκολλο MAC εξυπηρετεί τις ουρές κλάση CoS1 περιοδικά, δεσμεύοντας επαρκή αριθμό από εκούσιες δεσμεύσεις εύρους ζώνης σε κάθε περίοδο χρονοπρογραμματισμού D_m . Με τον τρόπο αυτό ο παροχέας εγγυάται ρυθμό εξυπηρέτησης ίσο με το συμφωνημένο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης R_{p1} και αυστηρό όριο D_{max} για την καθυστέρηση (το οποίο υπολογίζεται συναρτήσει της τιμής του D_m). Για την εξυπηρέτηση της κλάσης CoS2, πραγματοποιείται ένας αριθμός εκούσιων δεσμεύσεων, όπως στην περίπτωση της κλάσης CoS1, για να εξυπηρετηθεί σίγουρα ένα τμήμα του ρυθμού μετάδοσης, ενώ το υπόλοιπο τμήμα μέχρι το συμφωνημένο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεσμεύεται κατόπιν αιτήσεων. Τόσο το τμήμα που δεσμεύεται εκούσια, όσο και το τμήμα που δεσμεύεται κατ' απαίτηση υπολογίζονται συναρτήσει της περιόδου D_m . Έτσι θεωρώντας την περίπτωση κατά την οποία οι εκούσιες δεσμεύσεις καλύπτουν τον ανεκτό ρυθμό της κλάση CoS2, ο συνολικός αριθμός των Εκούσιων Δεσμεύσεων (Unsolicited Grants – UGS) για την μονάδα ONU i (UG_i) εκφράζεται σε bytes από την σχέση:

$$UG_i = (R_{p1i} + R_{S2i}) \cdot D_m$$

Το υπόλοιπο μη δεσμευμένο τμήμα του εύρους ζώνης μέσα στην περίοδο D_m κατανέμεται δυναμικά χρησιμοποιώντας βάρη, ακολουθώντας την προσέγγιση της μελέτης [13]. Το βάρος εξυπηρέτησης w_i χρησιμοποιείται για να εγδυθεί αναλογική κατανομή του παραθύρου μετάδοσης καναλιού ανόδου ανάμεσα στις μονάδες ONU όσων αφορά τις ουρές προτεραιότητας που εξυπηρετούν τα πακέτα κλάσης CoS3. Ο παραπάνω μηχανισμός αντιπροσωπεύει μια αρχική κατανομή δεσμεύσεων του εύρους ζώνης, βασισμένο στην υπόθεση ότι όλες οι μονάδες ONU έχουν να στείλουν πακέτα ν μέσα στο διάστημα D_m . Στην πραγματικότητα ο αλγόριθμος αναδιανέμει δυναμικά τα διαστήματα μετάδοσης βάση των πραγματικών αιτήσεων των ουρών προτεραιότητας

CoS3 και CoS4, εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο Δίκαιης Κατανομής Μέγιστου-Ελάχιστου (Max-Min Fair Sharing).

Στην παράγραφο που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά οι λειτουργίες τεχνολογίας Πολλαπλής Πρόσβασης με Διαίρεση Χρόνου (Time Division Multiple Access – TDMA) του πρωτοκόλλου MAC για κάθε περίπτωση, ώστε να αναδειχθούν οι κρίσιμες παράμετροι κάθε τεχνολογίας (EPON και GPON) που επηρεάζουν τη απόδοση ενός αλγόριθμου δέσμευσης εύρους ζώνης. Οι παράμετροι αυτοί θα χρησιμοποιηθούν σε επόμενη παράγραφο για τον σχεδιασμό των σεναρίων προσομοίωσης ώστε να γίνει δυνατή η σύγκριση των δύο τεχνολογιών μέσα από τα ποιοτικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

5.2 Εκρηκτική Δέσμευση βασισμένη σε Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Χρόνου

Στην περίπτωση της τεχνολογίας EPON, η Δυναμική Δέσμευση Εύρους Ζώνης υποστηρίζεται με τη βοήθεια των μηνυμάτων REPORT του πρωτοκόλλου MPCP, ενώ στη τεχνολογία GPON από τα πεδία των επικεφαλίδων DBRu. Και στις δύο τεχνολογίες, χρησιμοποιούνται για να ενημερώσουν/αιτηθούν για επιπρόσθετο εύρος ζώνης ώστε να εξυπηρετηθούν τα πακέτα που βρίσκονται στην αντίστοιχη ουρά της μονάδας ONU. Δεδομένου ότι αμφότερες οι τεχνολογίες υποστηρίζουν μεταβλητού μήκους πακέτα, οι δεσμεύσεις που πραγματοποιούνται εκφράζονται σε αριθμό από bytes. Το εύρος ζώνης που δεσμεύεται για κάθε μονάδα ONU από την μονάδα OLT εξαρτάται από τον αριθμό των δεσμευμένων bytes και τον χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών περιόδων δέσμευσης. Ο αριθμός των bytes καθορίζεται από το μήνυμα GATE του πρωτοκόλλου MPCP στην περίπτωση της τεχνολογίας EPON και του Χάρτη Εύρους Ζώνης Καναλιού Ανόδου (Upstream Bandwidth Map) των πλαισίων καθόδου στην περίπτωση της τεχνολογίας GPON. Ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών περιόδων δέσμευσης καθορίζεται από τον αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού που υλοποιείται στην μονάδα OLT. Ο χρονοπρογραμματισμός που πραγματοποιείται στην μονάδα OLT λαμβάνει υπόψη συγκεκριμένες παραμέτρους που αποτελούν την Συμφωνία σε Επίπεδο Υπηρεσίας (Service Level Agreement – SLA) και αποφασίζει για την διανομή του διαθέσιμου εύρους ζώνης ανάμεσα στις μονάδες ONU και ανάμεσα στις ουρές κάθε μονάδας ONU. Ο χρονοπρογραμματισμός που εκτελείται κυκλικά ανάμεσα στις μονάδες ONU καθορίζει επίσης την διάρκεια των δεσμεύσεων και την ανάλογη κατανομή των δεσμευμένων bytes στο χρόνο ώστε να σχηματίζουν διαδοχικά προγραμματισμένα παράθυρα μετάδοσης στο κανάλι ανόδου. Τα προγραμματισμένα

παράθυρα μπορεί να δεσμεύονται περιοδικά με καθορισμένη περίοδο προγραμματισμού, στην διάρκεια της οποίας εξυπηρετούνται ένας αριθμός από συσσωρευμένες αιτήσεις από προηγούμενες περιόδους, ενώ παράλληλα συλλέγονται νέες αιτήσεις.

Στην περίπτωση της τεχνολογίας GPON, κάθε ουρά συσχετίζεται με ένα τύπο T-CONT και τυπικά ενεργοποιείται από το μηχανισμό MAC κατά τη διάρκεια του χρόνου ενεργοποίησής της που καθορίζεται από την ανάλογη πληροφορία στη συμφωνία SLA. Ο χρόνος ενεργοποίησης καθορίζεται από δύο παραμέτρους: το Διαδοχικό Διάστημα Δεδομένων (Successive Data Interval – SDI) που καθορίζει το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών δεσμεύσεων και τα προς Μετάδοση Bytes (Transmit Bytes – TB) που καθορίζει πόσα bytes θα σταλούν στην συγκεκριμένη δέσμευση. Οι παράμετροι SDI και TB έχουν συγκεκριμένα κάτω και άνω όρια στην τιμή τους, τα οποία καθορίζονται στη συμφωνία SLA και σχετίζονται με τους μέγιστους και μέσους ρυθμούς μετάδοσης καθώς και την επιτρεπτή μεταβολή στην τιμή τους. Οι τιμές αυτές παρέχουν το εργαλείο για να καθοριστεί η δέσμευση ενός εγγυημένου εύρους ζώνης (βασισμένη στις τιμές TB_{min} και SDI_{max}) αφήνοντας το υπόλοιπο εύρος ζώνης να καταναμηθεί δυναμικά μέχρι το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης (που καθορίζεται από το TB_{max} και SDI_{min}) μεταβάλλοντας τις πραγματικές τιμές TB και SDI σε κάθε δέσμευση.

Στο πρότυπο IEEE 802.3ah δεν υπάρχουν προδιαγραφές για προφίλ κίνησης. Εντούτοις, οι προδιαγεγραμμένες διαδικασίες του πρωτόκολλο MPCP, ευνοούν τον περιοδικό προγραμματισμό κρατήσεων υπολογίζοντας δεσμεύσεις για όλες της μονάδες ONU αθροιστικά μέσα σε μια σταθερή περίοδο χρονοπρογραμματισμού D_m . Το φαινόμενο αυτό είναι κοινό στους περισσότερους αλγόριθμους χρονοπρογραμματισμού επιπέδου MAC της τεχνολογίας EPON (μελέτες [5] – [13]), αφού άλλες μελέτες που προτείνουν μεταβλητή περίοδο D_m είναι ακατάλληλες για την εξασφάλιση εγγυήσεων σε απαιτητικές εφαρμογές.

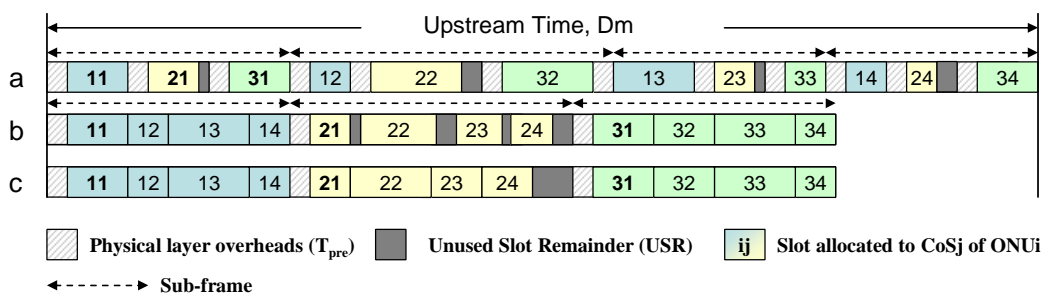
Η σύγκριση που περιγράφεται και πραγματοποιείται στο παρόν κεφάλαιο βασίζεται στον προτεινόμενο αλγόριθμο επιπέδου MAC για δίκτυα EPON του προηγούμενου κεφαλαίου, ο οποίος παρουσιάστηκε στο άρθρο [13] και επεκτείνει την προσέγγιση που παρουσιάστηκε στην μελέτη [12]. Ο αλγόριθμος υλοποιεί τέσσερις στρατηγικές δεσμεύσεων που αποσκοπούν στην αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης και στην βελτιστοποίηση του χρονοπρογραμματισμού των δεσμευμένων παραθύρων μετάδοσης του καναλιού ανόδου. Το πρωτόκολλο MAC που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι πλήρως ευθυγραμμισμένο με το πρωτόκολλο MAC τεχνολογίας GPON που περιγράφεται στη μελέτη [3], σε σχέση με την θεώρηση των κλάσεων υπηρεσίας, ενώ μόνη διαφορά αποτελεί ο χρονοπρογραμματισμός των

δεσμεύσεων στο χρόνο εξαιτίας των διαφορετικών μηχανισμών MAC που υλοποιούνται σε κάθε πρότυπο. Η διαφορά στην υλοποίηση του χρονοπρογραμματισμού των δεσμεύσεων οφείλετε σε δύο ουσιαστικές διαφορές ανάμεσα στις δύο τεχνολογίες ([19]). Ο πρώτος λόγος είναι η εισαγωγή μεγαλύτερης επιβάρυνσης στην περίπτωση της τεχνολογίας EPON. Συγκεκριμένα στην περίπτωση εκρηκτικών μεταδόσεων από πολλές μονάδες ONU, το εύρος ζώνης που σπαταλιέται για την μετάδοση της επικεφαλίδας preamble, της επικεφαλίδας delimiter, συν το απαιτούμενο χρόνο επιτήρησης (guard time) είναι πολύ μεγάλος. Ο δεύτερος λόγος είναι η δυνατότητα της τεχνολογίας GPON για τεμαχισμό των πακέτων μέσω του μηχανισμού ενθυλάκωσης GEM. Ο μηχανισμός GEM επιτρέπει την χρήση ολόκληρου του μήκους της δέσμησης εύρους ζώνης ανεξάρτητα από το μέγεθός της, σε αντίθεση με τη τεχνολογία EPON όπου μικρές δεσμεύσεις μεγαλώνουν την πιθανότητα δημιουργίας αχρησιμοποίητου εύρους ζώνης.

Η επιβάρυνση που εισάγεται ακολουθώντας διαφορετικούς τρόπους χρονοπρογραμματισμού απεικονίζεται στο Σχήμα 5 - 1, στο οποίο φαίνονται γραφικά οι εκρηκτικές δεσμεύσεις εύρους ζώνης και η πραγματικές μεταδόσεις δεδομένων από διαφορετικές μονάδες ONU και διαφορετικές ουρές CoS μέσα σε χρονικό διάστημα D_m . Στο Σχήμα 5 - 1a φαίνεται ένας πιθανός χρονοπρογραμματισμός των δεσμεύσεων που ικανοποιούν τις αιτήσεις που συλλέχτηκαν σε προηγούμενους κύκλους εκτέλεσης. Η σειρά των δεσμεύσεων (που αφορούν συγκεκριμένες ουρές) επηρεάζει την αποτελεσματικότητα του μηχανισμού. Στην περίπτωση του Σχήμα 5 - 1a, οι δεσμεύσεις που αφορούν πακέτα μεγαλύτερης προτεραιότητας προηγούνται αυτών που αφορούν πακέτα μικρότερης προτεραιότητας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η χρονική διάρκεια των δεσμεύσεων CoS1 είναι σταθερή, οι θέσεις στο χρόνο των δεσμεύσεων των δύο υψηλότερων σε προτεραιότητα δεσμεύσεων είναι συγκεκριμένες, σχηματίζοντας υποπλαίσια ανά προτεραιότητα CoS (η προσέγγιση αυτή έχει ακολουθηθεί από τις μελέτες [11] και [12]). Στην περίπτωση της τεχνολογίας EPON ένας κομμάτι της δέσμησης είναι πιθανόν να μείνει αχρησιμοποίητο επειδή το ακριβές μέγεθος της κατάληψης της ουράς και η κατανομή των πακέτων στην ουρά δεν είναι γνωστά στη μονάδα OLT. Επομένως είναι πολύ πιθανό το υπολειπόμενο κομμάτι του παραθύρου δέσμησης να είναι μικρότερο από το μέγεθος του επόμενου πακέτου στην ουρά FIFO. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται Αχρησιμοποίητο Υπόλοιπο Σχισμής (Unused Slot Remainder - USR) και στο Σχήμα 5 - 1 εμφανίζεται στην δεύτερη μονάδα ONU. Στο Σχήμα 5 - 1β φαίνεται ένας εναλλακτικός τρόπος χρονοπρογραμματισμού στον οποίο εξυπηρετούνται όλες οι ουρές CoS κάθε μονάδας ONU προτού αρχίσει η δέσμηση

εύρους ζώνης για την επόμενη μονάδα ONU, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό υποπλαίσια ανά μονάδα ONU.

Είναι φανερό ότι δεύτερος τρόπος χρονοπρογραμματισμού εισάγει λιγότερη επιβάρυνση φυσικού στρώματος, ενώ η αύξηση της αποδοτικότητας του μηχανισμού εξαρτάται από την τιμή της περιόδου χρονοπρογραμματισμού D_m και των αριθμό των ενεργών ουρών και μονάδων ONU. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη είναι η περίοδος χρονοπρογραμματισμού D_m , τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση που επιτυγχάνεται αφού ελαχιστοποιούνται οι επιβαρύνσεις φυσικού στρώματος. Όμως, επειδή η περίοδος D_m αποτελεί και την περίοδο εξυπηρέτησης για όλες τις υπηρεσίες -ακόμα και αυτές που είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση- επηρεάζει αναπόφευκτα την καθυστέρηση των εφαρμογών σταθερού ρυθμού μετάδοσης πραγματικού χρόνου. Επομένως για να επιτευχθούν εγγυήσεις καθυστέρησης 1.5msec για εφαρμογές video και φωνής ([4], [5]), απαιτείται περίοδος χρονοπρογραμματισμού ανάλογης τιμής.



Σχήμα 5 - 1: Περίπτωση Χρονοπρογραμματισμού με φαινόμενο «Αχρησιμοποίητου Υπόλοιπου Σχισμής (USR)»

Το πρωτόκολλο GPON όπως περιγράφεται στη μελέτη [3] επιτρέπει τον χρονοπρογραμματισμό για κάθε ουρά μονάδας ONU (με χρήση του αναγνωριστικού Alloc-ID) με αυθαίρετα μικρή περίοδο χρονοπρογραμματισμού ανάλογα με τις ανάγκες, έχοντας με το τρόπο αυτό τη δυνατότητα να συμμορφώνεται με τις παραμέτρους SDI_{max} . Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι προδιαγραφές της τεχνολογίας GPON υποστηρίζουν ακόμα και υπηρεσίες Πολυπλεξίας Διάρθρωσης Χρόνου (Time Division Multiplexing), εξηγώντας έτσι την επιλογή στο πρότυπο για πλαίσια χρονικής διάρκειας 125μsec. Για να πραγματοποιηθεί με επιτυχία μια δίκαιη σύγκριση ανάμεσα στο πρωτόκολλο GPON MAC που παρουσιάζεται στη μελέτη [3] και στο πρωτόκολλο EPON MAC που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, επιλέχθηκε η περίοδος χρονοπρογραμματισμού D_m να είναι αρκετά μικρή ώστε να υποστηρίζεται παρόμοιοι ρυθμοί μετάδοσης πηγών. Η προϋπόθεση για μικρή τιμή της περιόδου παρέχει τα εχέγγυα για μια ουσιαστική σύγκριση της απόδοσης των δύο μηχανισμών, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται στην επόμενη παράγραφο.

5.3 Αποτίμηση Αποδοτικότητας

Κεντρικός σκοπός στο παρόν κεφάλαιο είναι η σύγκριση της αποδοτικότητας των τεχνολογιών EPON και GPON ως ενός συστήματος ευρείας ζώνης πρόσβασης πολλαπλών υπηρεσιών. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε σε κατάσταση λειτουργίας κατά την οποία αξιοποιούνται οι δυνατότητες για δυναμική δέσμευση εύρους ζώνης που προσφέρει το πρωτόκολλο MPCP της τεχνολογίας EPON και ο μηχανισμός DBA επιπέδου MAC της τεχνολογίας GPON αντίστοιχα. Η αποτίμηση της επίδοσης βασίστηκε στα παρακάτω μετρούμενα μεγέθη:

- μέση καθυστέρηση ανά κλάση υπηρεσίας CoS
- μεταβολή της καθυστέρησης στην περίπτωση των εφαρμογών πραγματικού χρόνου
- χρησιμοποίηση (σε εύρος ζώνης) του καναλιού ανόδου

Στα πλαίσια της σύγκρισης αναπτύχθηκαν δύο μοντέλα προσομοίωσης με χρήση του λογισμικού προσομοιώσεων OPNET, για καθεμιά από τις δύο τεχνολογίες EPON και GPON. Κάθε μοντέλο περιλαμβάνει μία μονάδα OLT, 16 μονάδες ONU, κάθε μία από τις οποίες είναι εφοδιασμένη με τέσσερις ουρές προτεραιότητας CoS και την ανάλογη λειτουργικότητα σε σηματοδότηση, πρωτόκολλα και μηχανισμούς.

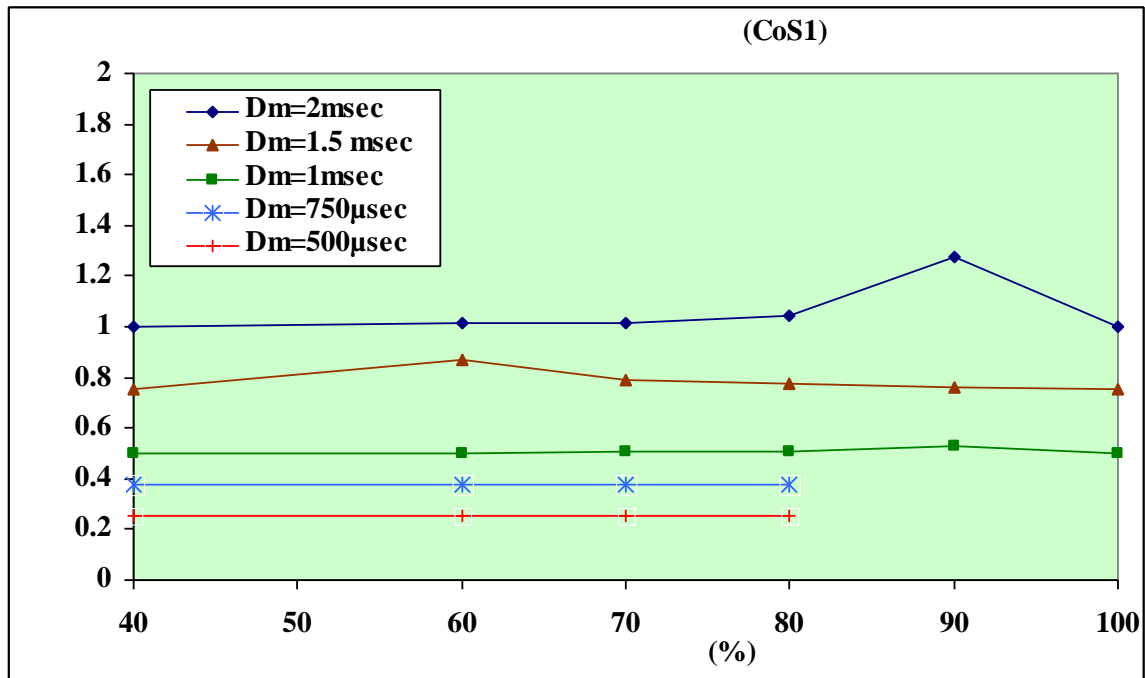
Το προσφερόμενο φορτίο κίνησης στο σύστημα κατανέμεται ομοιόμορφα ανάμεσα στις μονάδες ONU. Εκτελέστηκαν ένας αριθμός από σύνολα σεναρίων με διαφορετικό σύνολο παραμέτρων ώστε να καλύπτονται πολλές καταστάσεις του συστήματος. Όσον αφορά το μίγμα κίνησης που εισάγεται στο σύστημα, η κλάση πρώτης προτεραιότητας καταλαμβάνει το 10% του συνολικού φορτίου κίνησης, ενώ οι κλάσεις 2ης, 3ης και 4ης προτεραιότητας καταλαμβάνουν το 15%, 20% και 55% του συνολικού φορτίου αντίστοιχα. Οι πηγές που σημαίνονται ως πηγές μέγιστης προτεραιότητας παράγουν περιοδικά σταθερού μήκους πακέτα με σταθερό ρυθμό (μοντέλο που αντικατοπτρίζει τις υπηρεσίες φωνής), ενώ οι υπόλοιπες πηγές (2ης, 3ης και 4ης προτεραιότητας) μεταδίδουν με μεταβλητό ρυθμό ακολουθώντας το μοντέλο ON-OFF (μοντέλο κατάλληλο για κίνηση διαδικτύου Αυτο-Πανομοιότυπης (Self – Similar)). Οι πηγές 2ης, 3ης και 4ης προτεραιότητας μεταδίδουν εκρηκτικά με παράγοντα εκρηκτικότητας 2, 5 και 5 αντίστοιχα. Στην περίπτωση τους το μέγεθος των πακέτων ακολουθεί την κατανομή tri-modal που χαρακτηρίζει κίνηση που προέρχεται από εφαρμογές τύπου IP. Η κατανομή tri-modal ορίζει μεγέθη πακέτων 64, 500 και

1500 bytes που εμφανίζονται με πιθανότητα 0.6, 0.2 και 0.2 αντίστοιχα σύμφωνα με τη μελέτη [17].

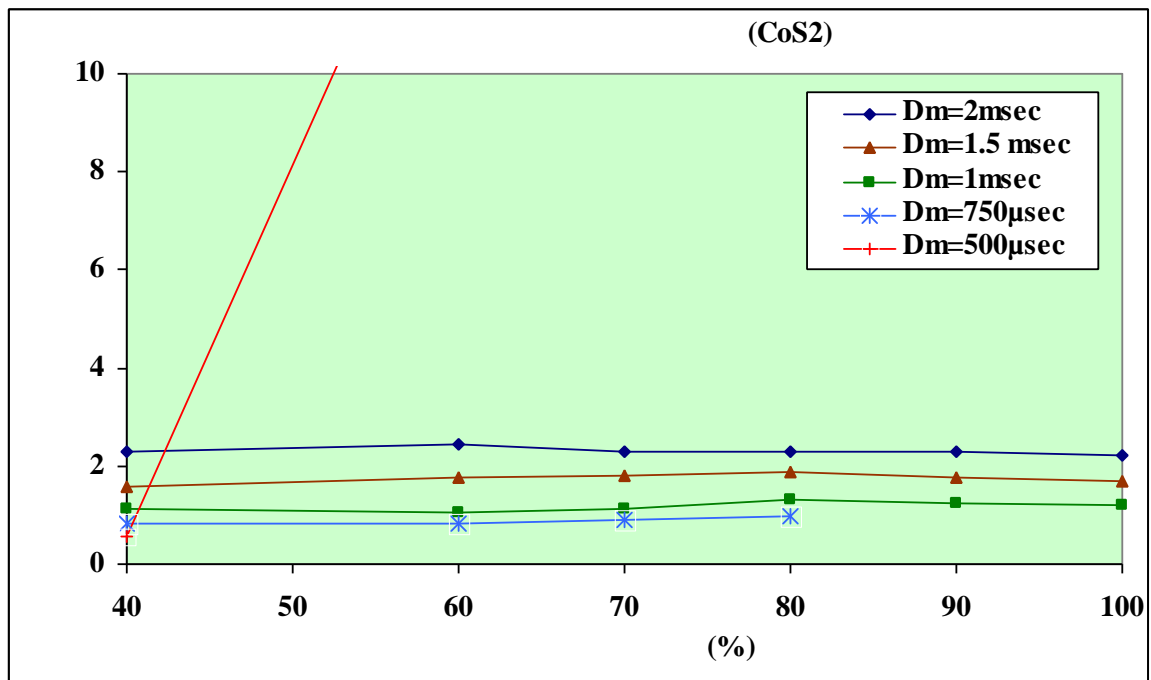
Επιλέχθηκαν τυπικές τιμές για την επιβάρυνση σύμφωνα με τις παραμέτρους λειτουργίας επιπέδου MAC που καθορίζονται σε κάθε πρότυπο. Στην περίπτωση της τεχνολογίας EPON, η επιβάρυνση λόγω περιοχής επιτήρησης και φυσικού στρώματος θεωρήθηκαν ίσες με 1μsec, ενώ στην τεχνολογία GPON οι επιβαρύνσεις αυτές είναι μια τάξης μεγέθους λιγότερες (η επιβάρυνση είναι 15 bytes για κάθε εκρηκτική μετάδοση της μονάδας ONU). Επίσης σημαντική παράμετρος αποτελεί και η τιμή της περιόδου χρονοπρογραμματισμού D_m . Στην τεχνολογία EPON, με σκοπό να επιδειχθούν οι απαιτήσεις για δυναμική δέσμευση εύρους ζώνης σε όσο μεγαλύτερα διαστήματα (εκρηκτικές μεταδόσεις) ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη αποδοτικότητα, ακολουθήθηκε η πιο δημοφιλής προσέγγιση που περιγράφεται στις μελέτες ([5] – [12]). Δεδομένου ότι το πρωτόκολλο MAC της τεχνολογίας GPON έχει υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας το μικρότερο δυνατό παράθυρο μετάδοσης [2], για να είναι δίκαια η σύγκριση θα πρέπει να μετρηθεί η αποδοτικότητα του μηχανισμού EPON MAC σε διαφορετικές τιμές περιόδου D_m , από υποδιαιρέσεις του msec (750μsec) μέχρι 2msec (οι τιμές 1 και 2 msec αποτελούν τις πιο δημοφιλείς τιμές στην βιβλιογραφία). Θεωρήθηκε ένας κεντρικοποιημένος μηχανισμός δέσμευση εύρους ζώνης που εδρεύει στην μονάδα OLT, ενώ δεν λήφθηκαν υπόψη ο Ενδό-ONU χρονοπρογραμματισμός (EPON) και η δέσμευση τύπου T-CONT5 (GPON) που πραγματοποιείται στις μονάδες ONU.

5.3.1 Αποδοτικότητα στην Καθυστέρηση

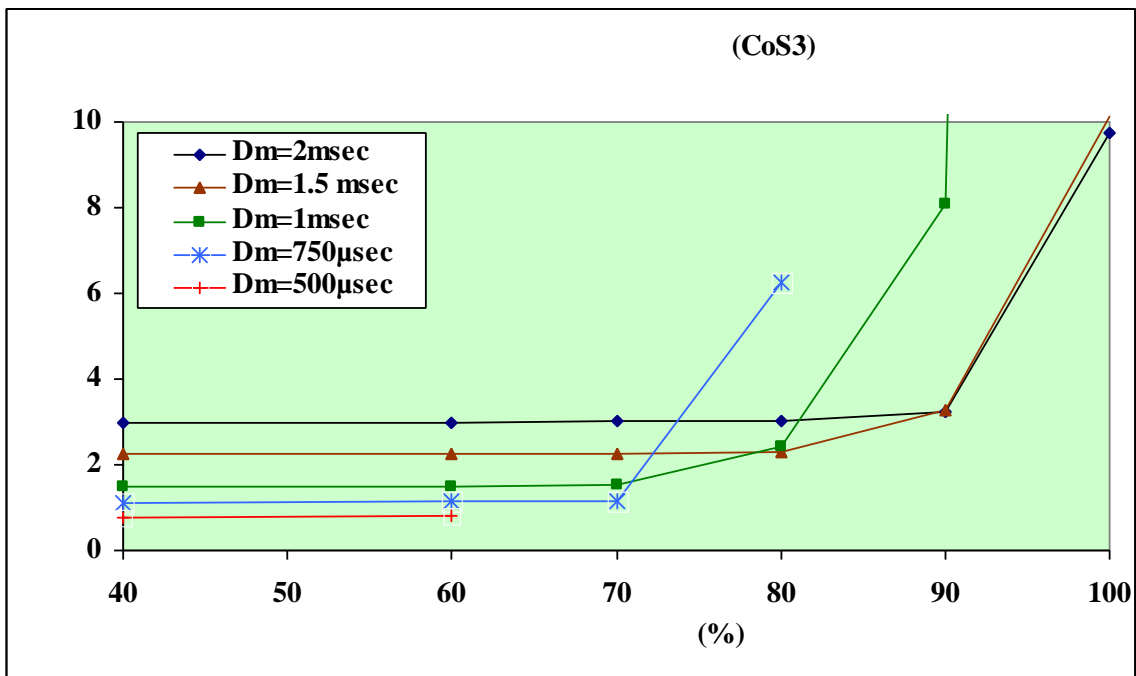
Αρχικά μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα για την αποδοτικότητα των πρωτοκόλλων και την χρησιμοποίηση που επιτυγχάνουν με τη βοήθεια των αποτελεσμάτων της μέσης καθυστέρησης πρόσβασης συναρτήσεως του μεγέθους της προσφερόμενης κίνησης για κάθε προτεραιότητα CoS. Τα αποτελέσματα (συγκεντρωτικά για όλες τις μονάδες ONU) για κάθε προτεραιότητα CoS απεικονίζονται στα Σχήμα 5 - 2, Σχήμα 5 - 3, Σχήμα 5 - 4 και Σχήμα 5 - 5. Παρατηρείται ότι η τιμή της μέσης καθυστέρησης των τριών κλάσεων μεγαλύτερης προτεραιότητας είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη περίοδο χρονοπρογραμματισμού D_m . Επομένως η βελτίωση στην μέση καθυστέρηση των προτεραιοτήτων CoS1 και CoS2 (εφαρμογές πραγματικού χρόνου) έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της χρησιμοποίησης του καναλιού ανόδου. Η μείωση αυτή γίνεται φανερή από την αύξηση της μέσης καθυστέρησης της προτεραιότητας CoS4 (κίνηση βέλτιστης προσπάθειας) και την εμφάνιση καταστάσεων συμφόρησης σε τιμές του φορτίου κίνησης γύρω στο 70% (στην περίπτωση την χαμηλότερης τιμής για την περίοδο $D_m = 750\mu\text{sec}$).



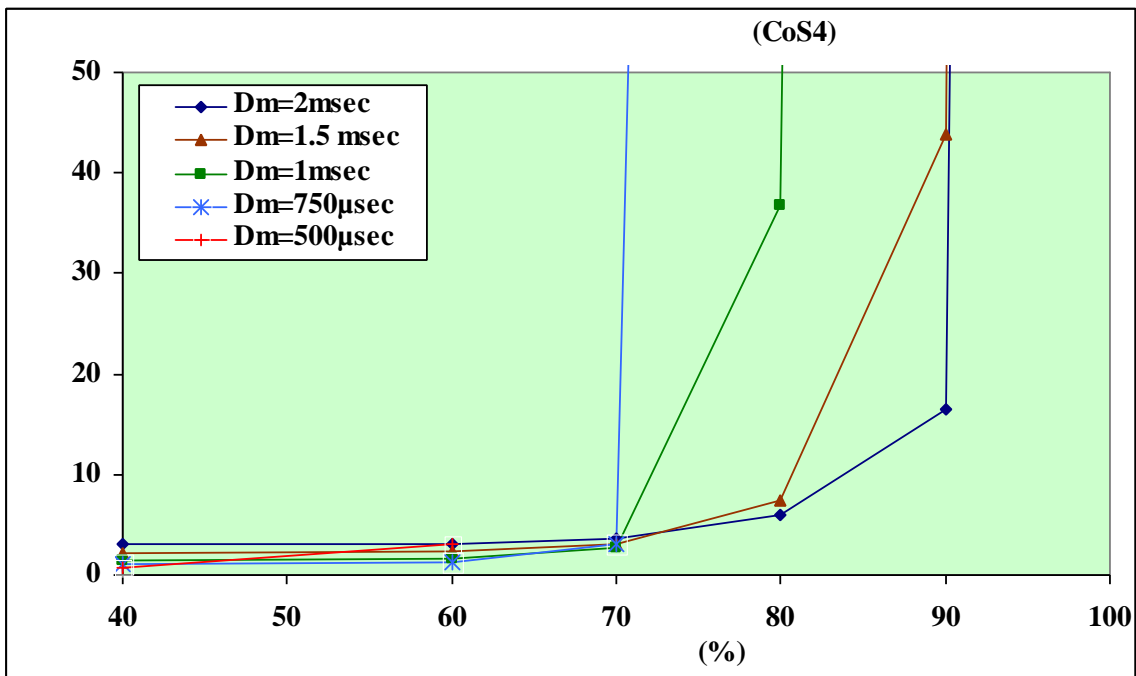
Σχήμα 5 - 2: Μέση Καθυστέρηση στην Ουρά CoS1 για διαφορετικές τιμές περιόδου D_m



Σχήμα 5 - 3: Μέση Καθυστέρηση στην Ουρά CoS2 για διαφορετικές τιμές περιόδου D_m



Σχήμα 5 - 4: Μέση Καθυστέρηση στην Ουρά CoS2 για διαφορετικές τιμές περιόδου D_m



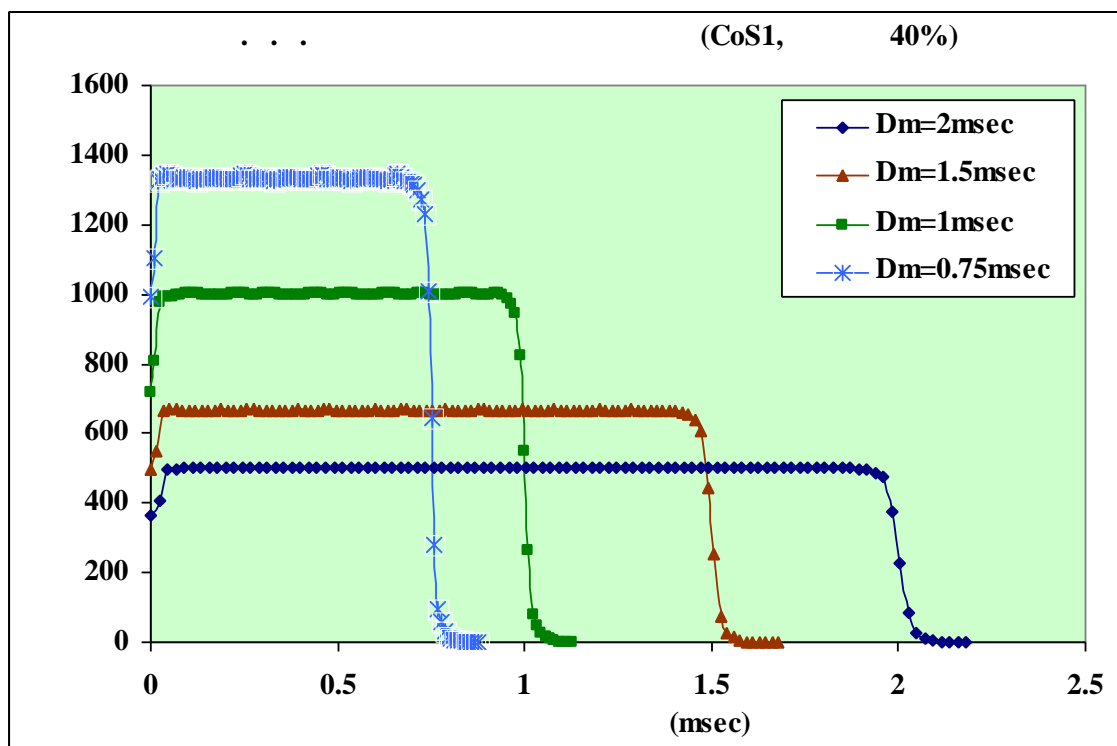
Σχήμα 5 - 5: Μέση Καθυστέρηση στην Ουρά CoS2 για διαφορετικές τιμές περιόδου D_m

Βέβαια ακόμα και σε μια τέτοια περίπτωση ο αλγόριθμος δυναμικής δέσμευσης εύρους ζώνης επιτυγχάνει απόλυτη απομόνωση των άλλων προτεραιοτήτων

προφυλάσσοντας τες από μεγάλες τιμές της καθυστέρησης. Η κίνηση 3ης προτεραιότητας ξεκινά να αντιμετωπίζει κατάσταση συμφόρησης (αρχίζει να μεγαλώνει η καθυστέρηση) σε μεγέθη φορτίου κίνησης μεγαλύτερα από 80% και 90% του συνολικού μεγέθους του καναλιού ανόδου για την μικρότερη και μεγαλύτερη τιμή της περιόδου D_m αντίστοιχα. Οι κινήσεις 1ης και 2ης προτεραιότητας διατηρούν σταθερή καθυστέρηση ακόμα και σε καταστάσεις πλήρους φορτίου (100% του καναλιού ανόδου) αφού αντιπροσωπεύουν το 10% και 15% του συνολικού φορτίου κίνησης αντίστοιχα ενώ η εξυπηρέτησή του γίνεται εγγυημένα πλήρως ή μερικώς (1η και 2η προτεραιότητα αντίστοιχα) με χρήση εκουσιων δεσμεύσεων εύρους ζώνης.

5.3.2 Αποδοτικότητα στην Μεταβολή της Καθυστέρησης

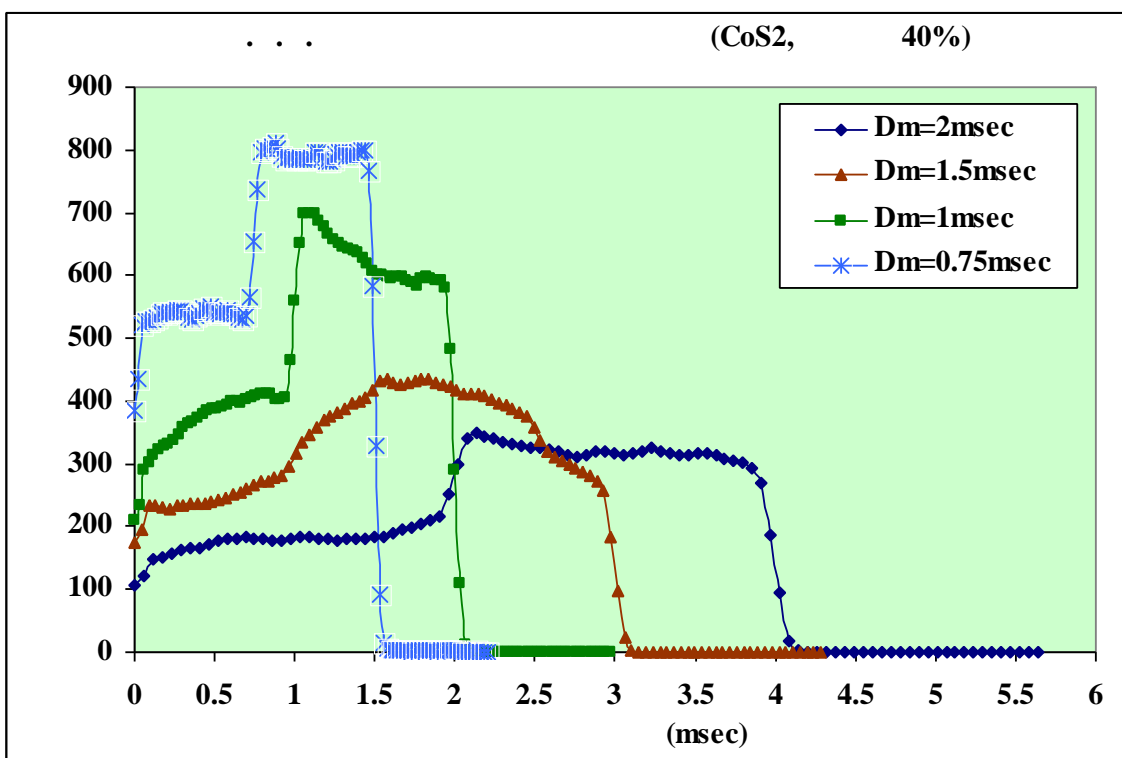
Στην περίπτωση της προτεραιότητας CoS1, εκτός από τη μέση καθυστέρηση, είναι εξίσου σημαντική η μελέτη της απόκλισης που παρουσιάζει από την ιδεατή εφαρμογή σταθερού ρυθμού μετάδοσης (CBR). Η απόκλιση αυτή μπορεί να εκφραστεί μέσω της Συνάρτησης Πυκνότητας Πιθανότητας (Probability Density Function – PDF) της καθυστέρησης που αντιπροσωπεύει την μεταβολή της καθυστέρησης (jitter).



Σχήμα 5 - 6: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS1 για Φορτίο 40%

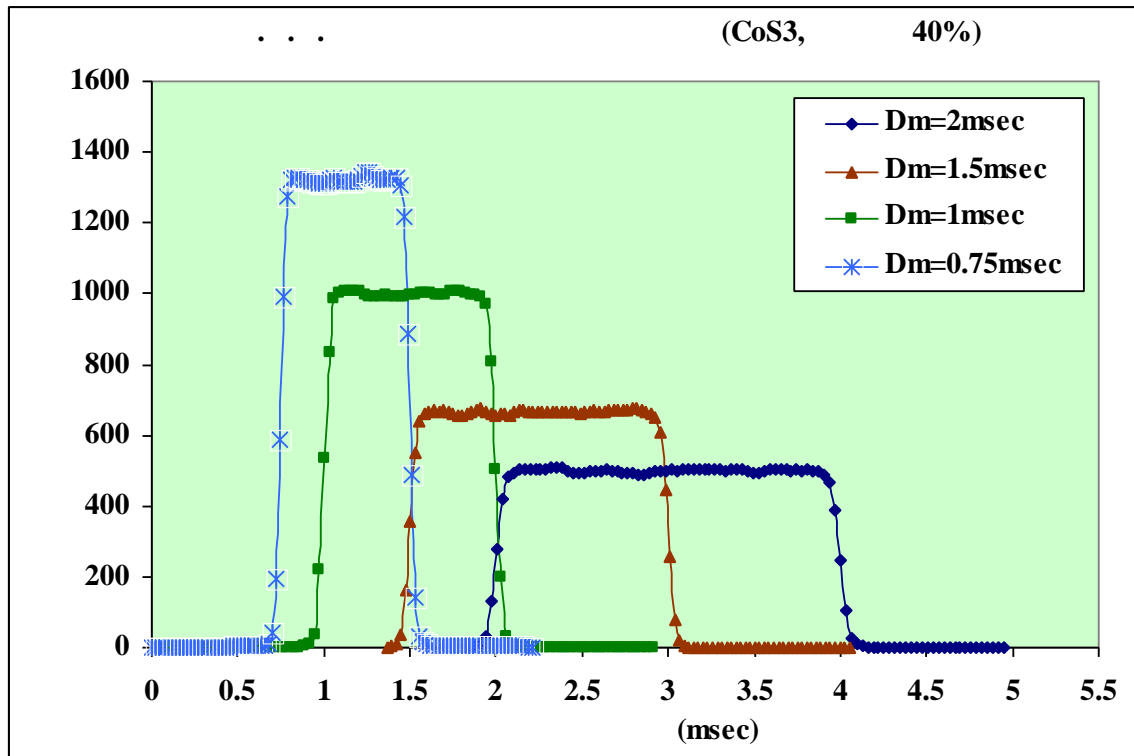
Στα Σχήμα 5 - 6, Σχήμα 5 - 7, Σχήμα 5 - 8 και Σχήμα 5 - 9 παρουσιάζεται η Συνάρτησης Πυκνότητας Πιθανότητας (Σ.Π.Π.) της καθυστέρησης (συγκεντρωτικά για

όλες τις μονάδες ONU) για κάθε προτεραιότητα CoS στην περίπτωση ελαφρού φορτίου κίνησης ίσο με το 40% του συνολικού εύρους ζώνης του καναλιού ανόδου. Αντίστοιχα, στα Σχήμα 5 - 10, Σχήμα 5 - 11, Σχήμα 5 - 12 και Σχήμα 5 - 13 παρουσιάζεται η Σ.Π.Π. της καθυστέρησης για κάθε προτεραιότητα CoS στην περίπτωση υψηλού φορτίου κίνησης 70%, τιμή που πλησιάζει την κατάσταση κορεσμού (εμφάνιση συμφόρησης) του συστήματος. Στην περίπτωση της κίνησης μέγιστης προτεραιότητας, αν και η μέγιστη τιμή της καθυστέρησης σπάνια υπερβαίνει το όριο D_m (στην πραγματικότητα επιλέχθηκε μικρή τιμή D_m ώστε να διατηρηθεί η καθυστέρηση της ευαίσθητης κίνησης κάτω από ένα όριο), παρατηρείται ότι η Σ.Π.Π της καθυστέρησης είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη μέσα στο διάστημα από μηδέν μέχρι D_m . Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αφίξεις πακέτων μπορούν να εμφανιστούν σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή του παράθυρου χρονοπρογραμματισμού που καθορίζεται από την τιμή του D_m του πρωτοκόλλου MAC της τεχνολογίας EPON ([12], [13]).

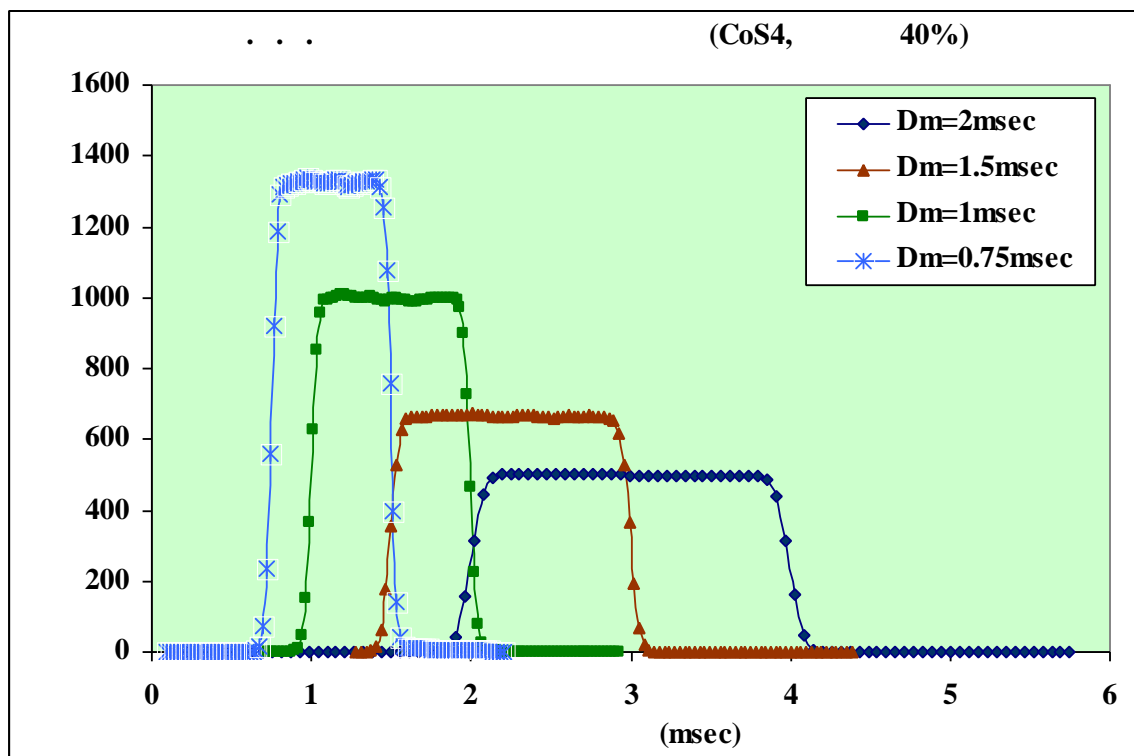


Σχήμα 5 - 7: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS2 για Φορτίο 40%

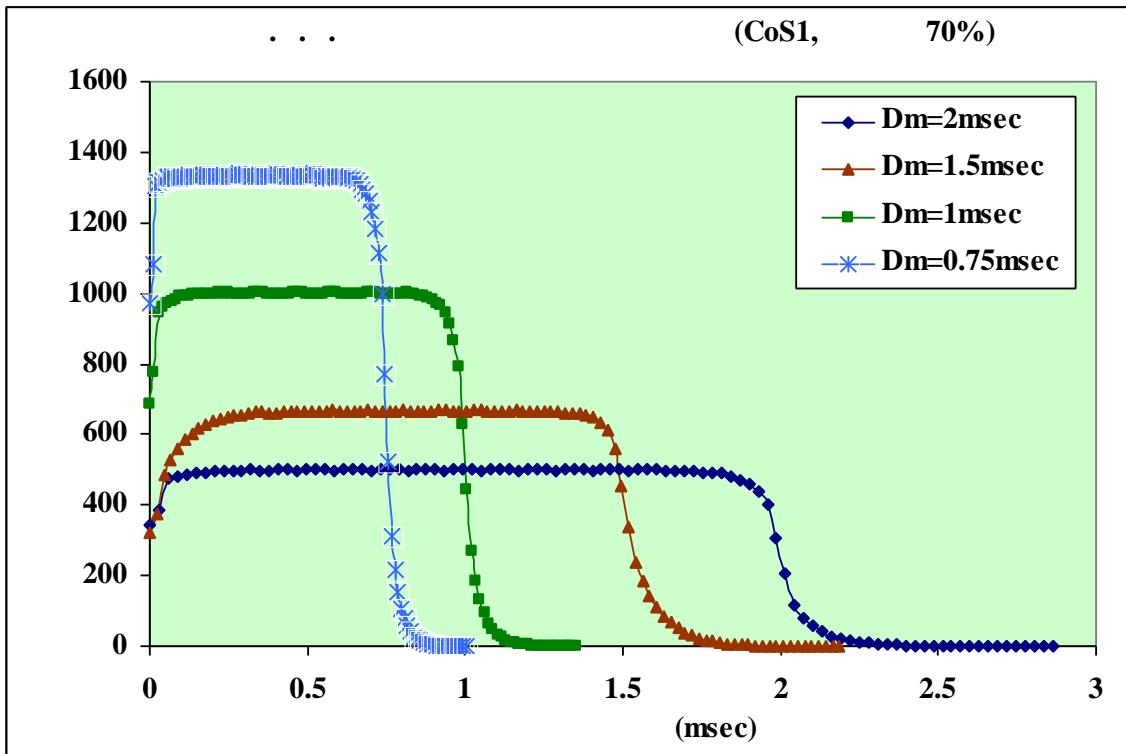
Η επιρροή του πρωτοκόλλου MAC στην απόδοση της μεταβολής της καθυστέρησης φαίνεται στα Σχήμα 5 - 14, Σχήμα 5 - 15, Σχήμα 5 - 16 και Σχήμα 5 - 17, όπου απεικονίζεται η Σ.Π.Π. της συνολικής (για όλες τις μονάδες ONU) μεταβολή της καθυστέρησης για τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου (κλάσεις υπηρεσίας CoS1 και CoS2) για δύο φορτία κίνησης (40%, 70%).



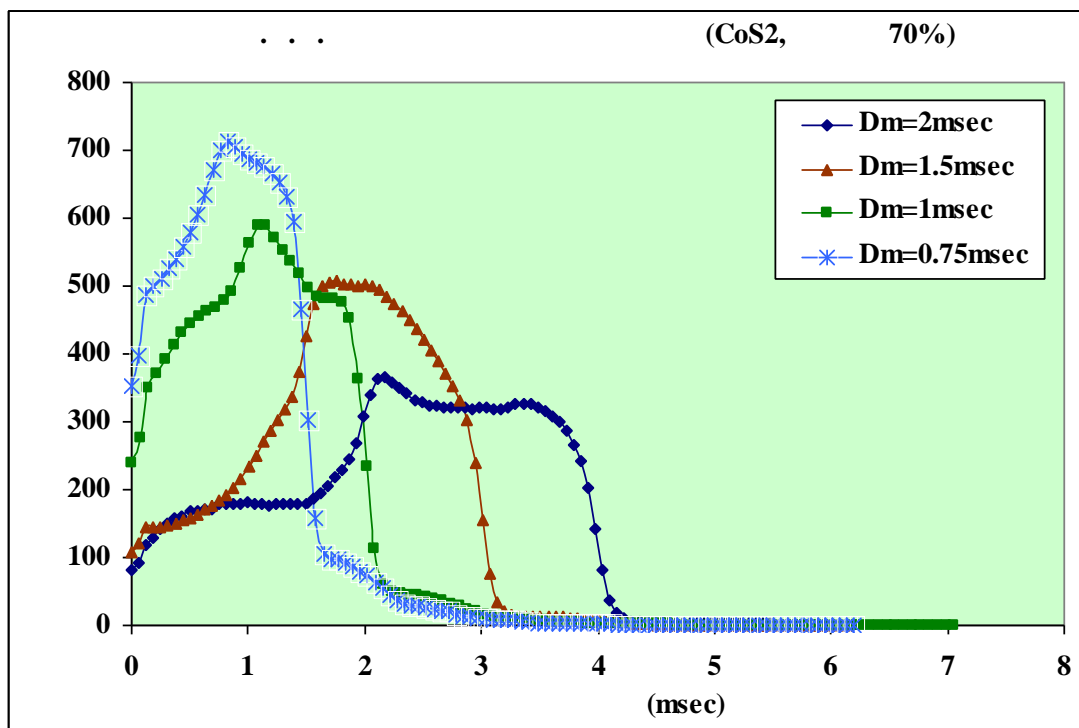
Σχήμα 5 - 8: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS3 για Φορτίο 40%



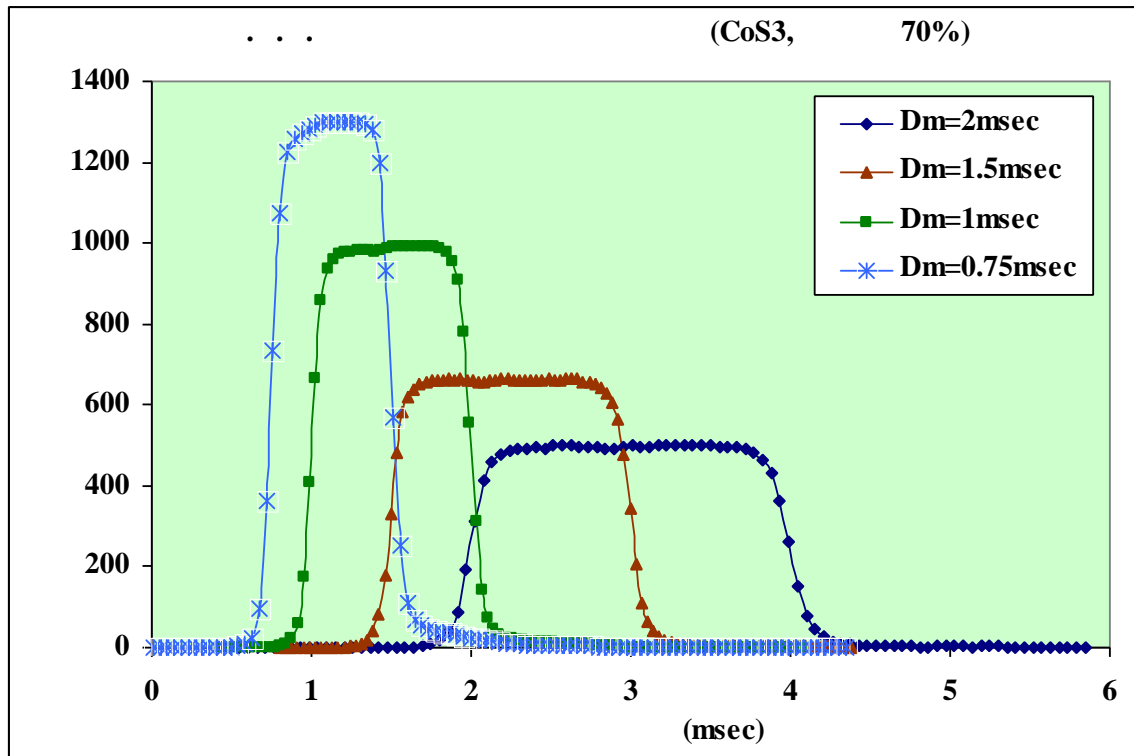
Σχήμα 5 - 9: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS4 για Φορτίο 40%



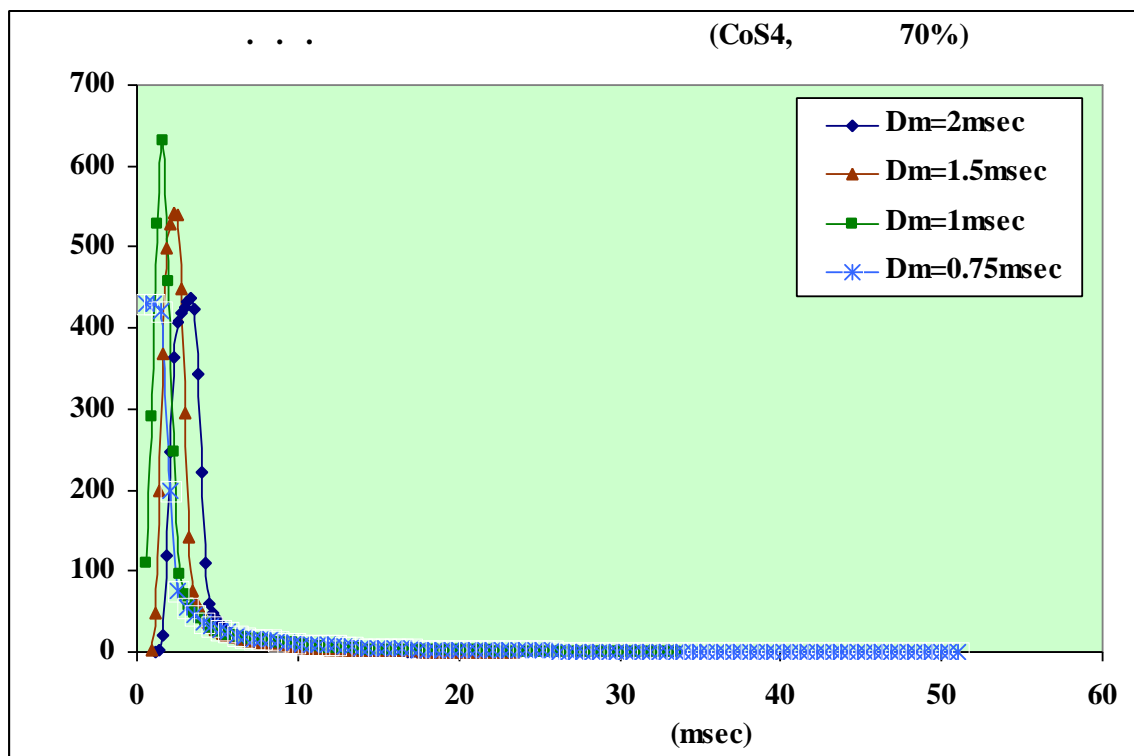
Σχήμα 5 - 10: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS1 για Φορτίο 70%



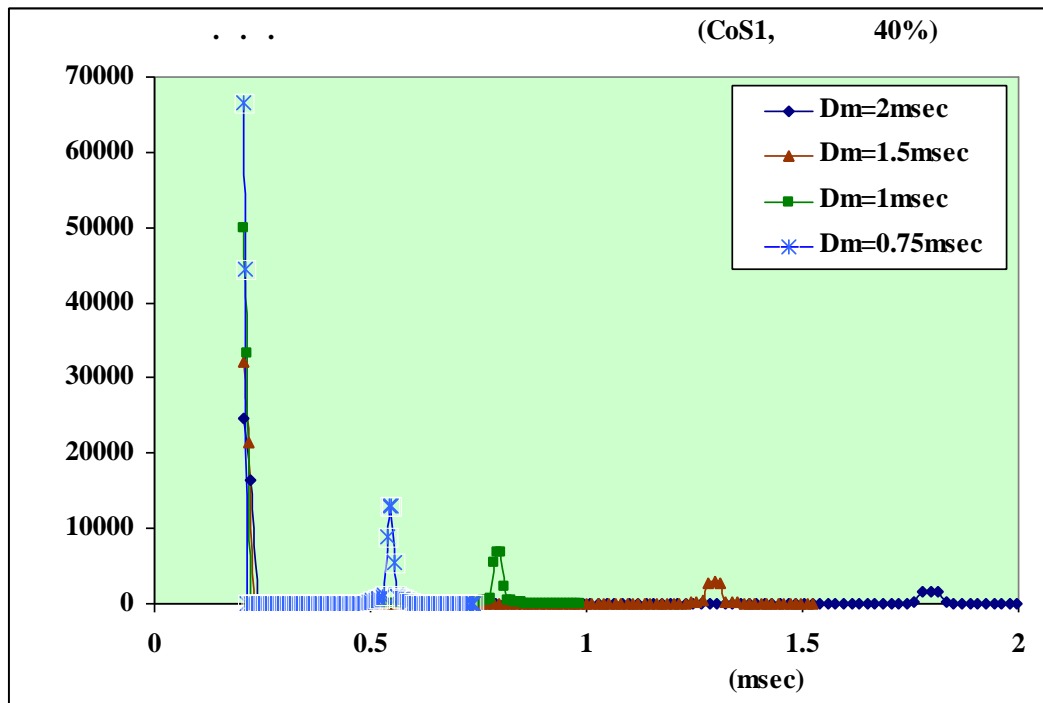
Σχήμα 5 - 11: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS2 για Φορτίο 70%



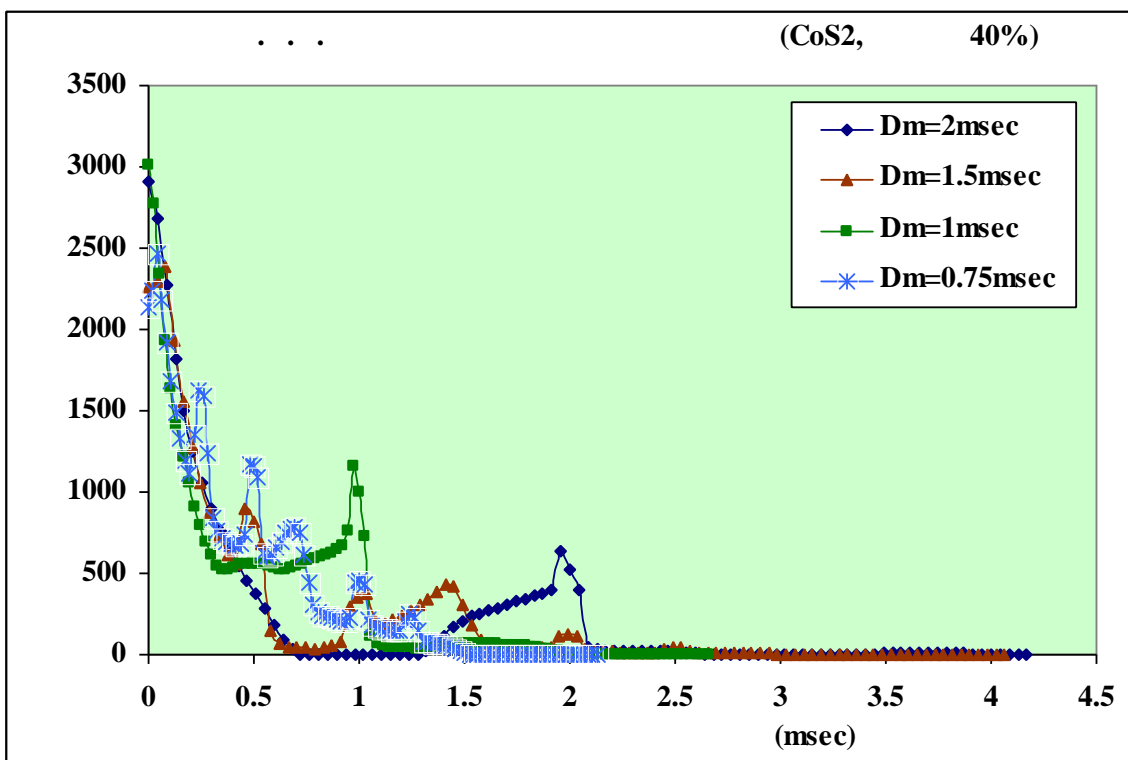
Σχήμα 5 - 12: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS3 για Φορτίο 70%



Σχήμα 5 - 13: Σ.Π.Π της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS4 για Φορτίο 70%

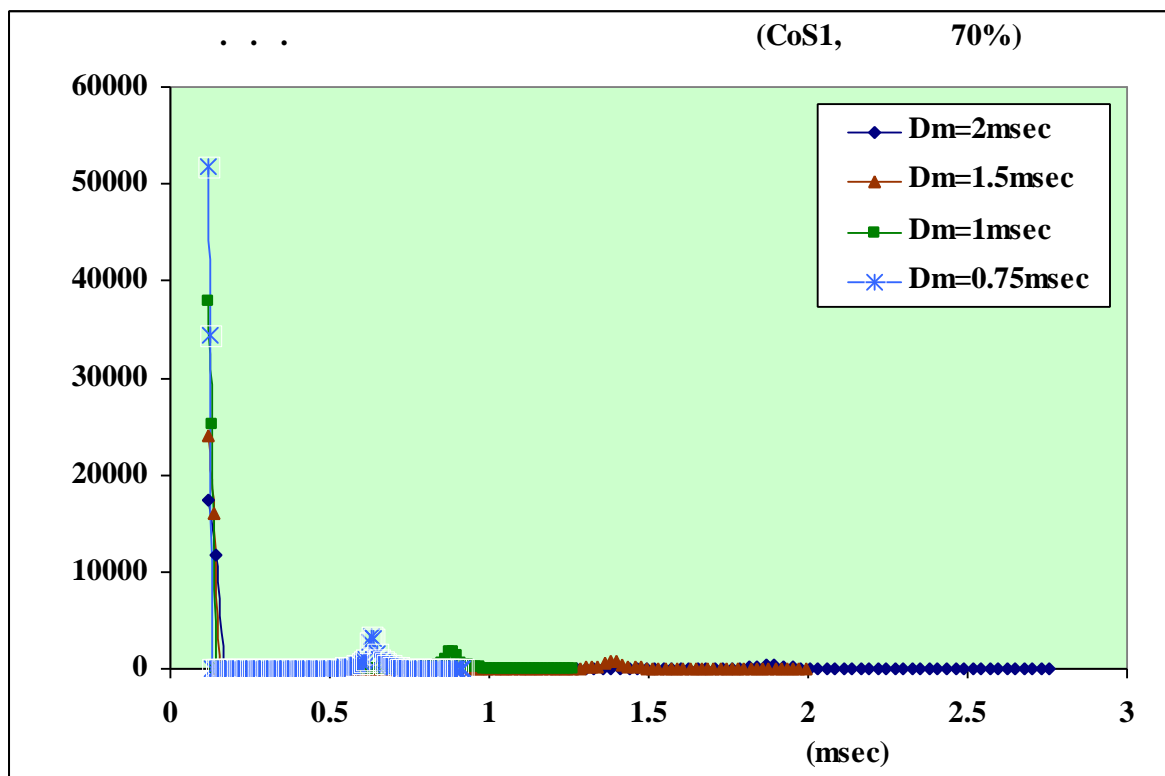


Σχήμα 5 - 14: Σ.Π.Π. της Μεταβολής της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS1 για Φορτίο 40%

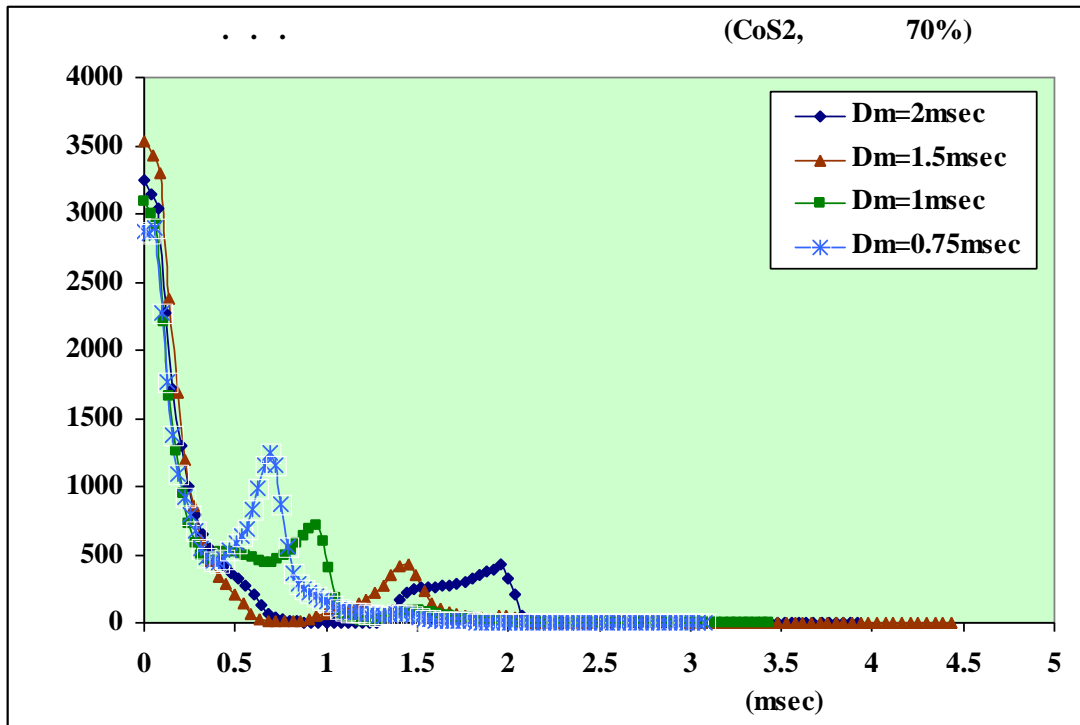


Σχήμα 5 - 15: Σ.Π.Π. της Μεταβολής της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS2 για Φορτίο 40%

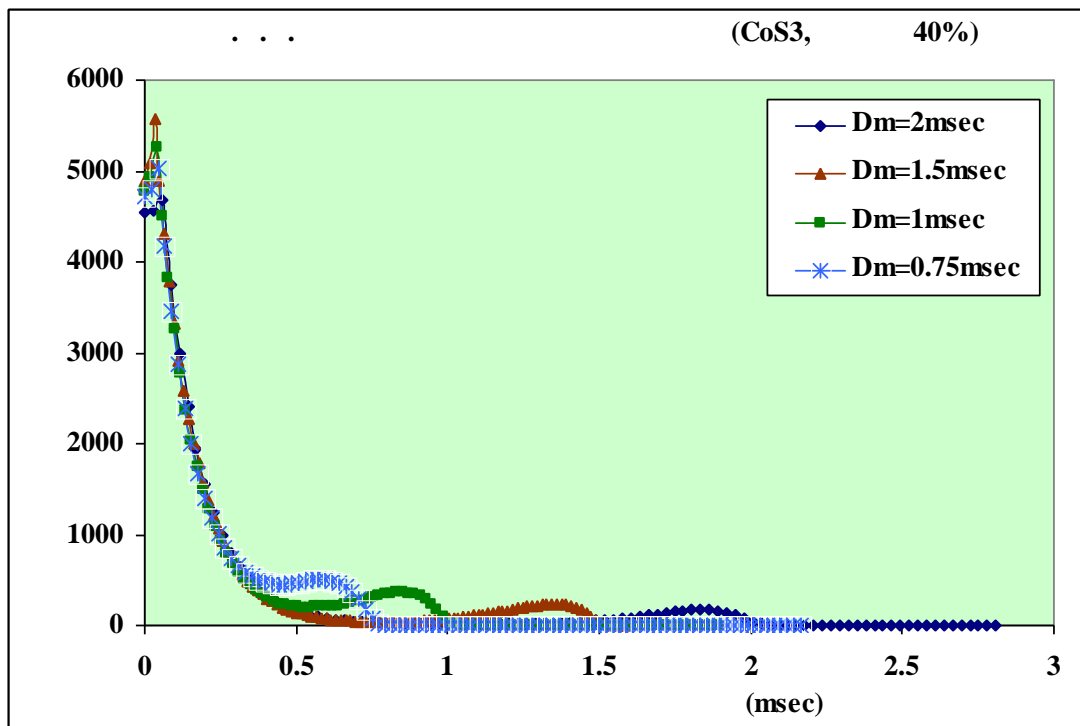
Η μεταβολή της καθυστέρησης εκφράζεται ως καθυστέρηση μιας κατεύθυνσης μεταξύ δύο αφίξεων πακέτων σύμφωνα με τη μελέτη [18]. Η διαφορά στην μεταβολή της καθυστέρησης ανάμεσα στις κλάσεις CoS1 και CoS2 είναι εμφανής από την κλίση της κάθε γραφικής παράστασης. Στην περίπτωση της ιδανικής απόδοσης η Σ.Π.Π. της μεταβολής της καθυστέρησης θα ήταν κεντραρισμένη με απότομη κλίση στο κέντρο των αξόνων, πλησιάζοντας την τιμή μηδέν. Στην πραγματικότητα παρουσιάζεται απόκλιση από την ιδανική κατάσταση, η οποία όπως φαίνεται και από τα σχήματα εμφανίζεται με μικρές αιχμές γύρω από συγκεκριμένες τιμές. Η απόκλιση αυτή είναι αποτέλεσμα των αναπόφευκτων ανακρίβειών που εισάγονται κατά των υπολογισμών των δεικτών έναρξης ([12] και [13]) κατά την πρακτική εφαρμογή του μηχανισμού. Στην περίπτωση της προτεραιότητας CoS1, που έχει αυστηρές απαιτήσεις επίδοσης, οι αποκλίσεις μπορούν να εξαλειφθούν σε αμελητέες τιμές μειώνοντας την περίοδο χρονοπρογραμματισμού Dm , εις βάρος φυσικά της χρησιμοποίησης του καναλιού. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να διαχειρίζεται καλύτερα από πρωτόκολλα με πιο ευέλικτους μηχανισμούς ενημέρωσης όπως η τεχνολογία GPON, όπως θα παρουσιαστεί στην επόμενη παράγραφο.



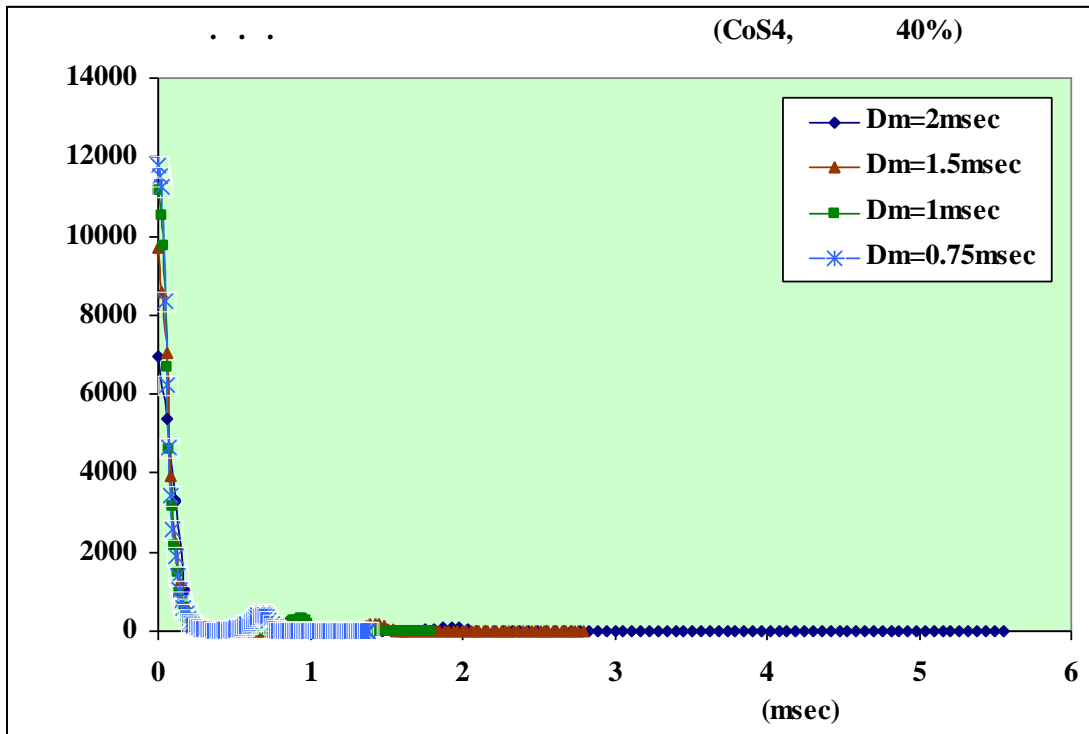
Σχήμα 5 - 16: Σ.Π.Π. της Μεταβολής της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS1 για Φορτίο 70%



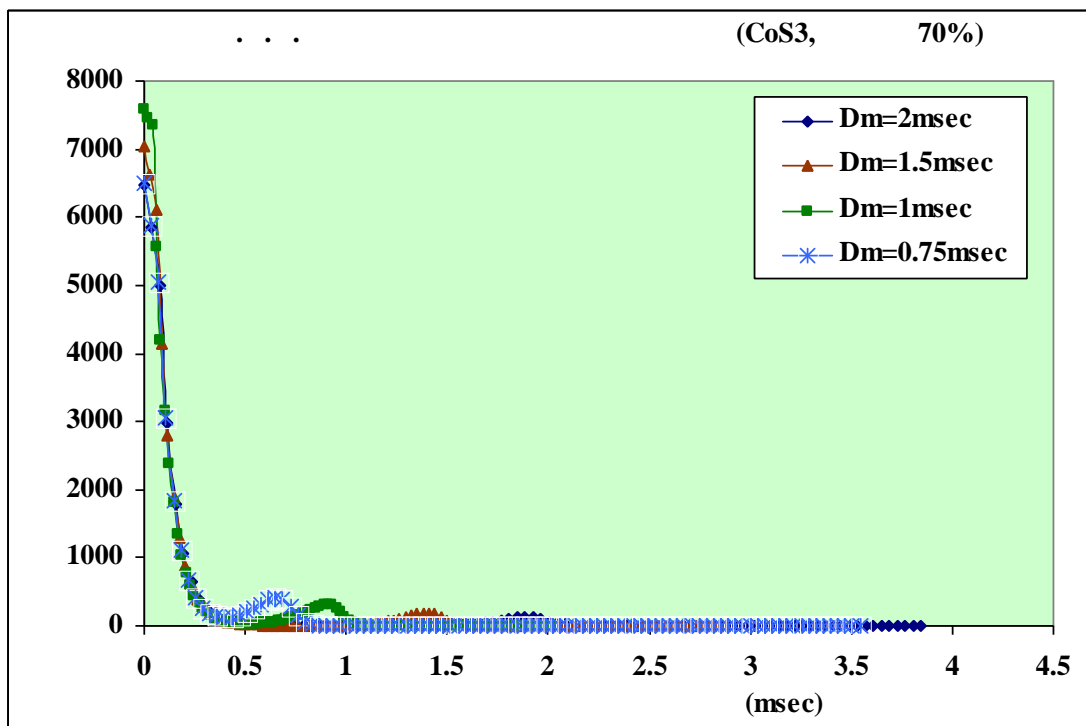
Σχήμα 5 - 17: Σ.Π.Π. της Μεταβολής της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS2 για Φορτίο 70%



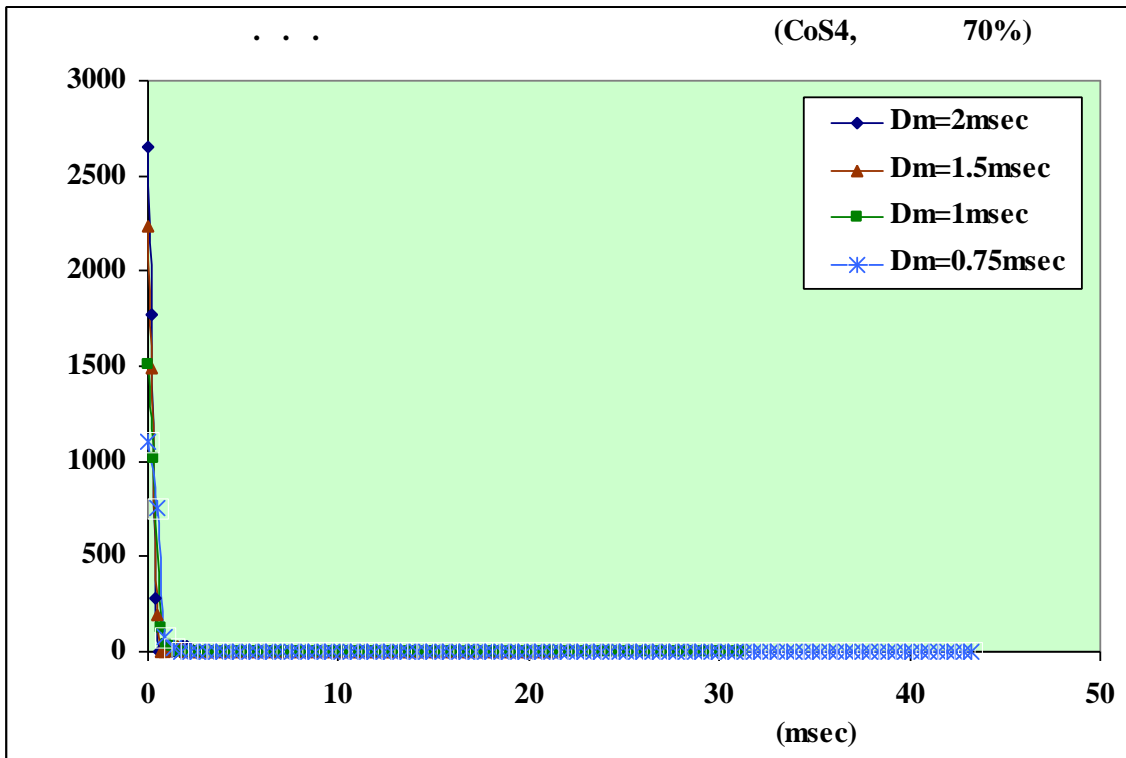
Σχήμα 5 - 18: Σ.Π.Π. της Μεταβολής της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS3 για Φορτίο 40%



Σχήμα 5 - 19: Σ.Π.Π. της Μεταβολής της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS4 για Φορτίο 40%



Σχήμα 5 - 20: Σ.Π.Π. της Μεταβολής της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS3 για Φορτίο 70%



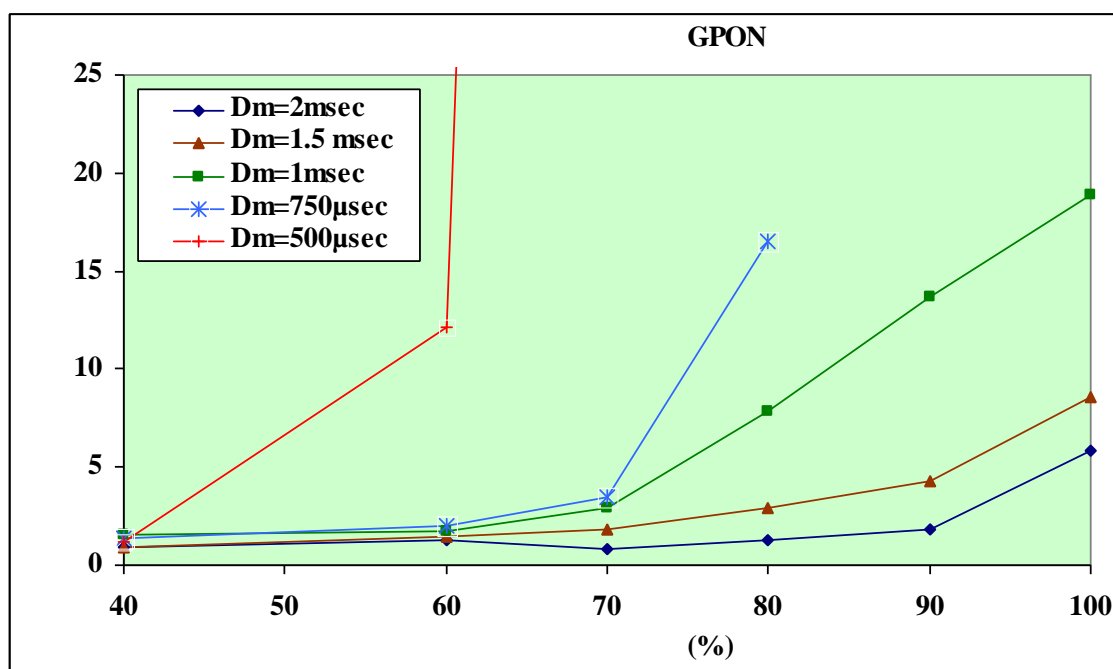
Σχήμα 5 - 21: Σ.Π.Π. της Μεταβολής της Καθυστέρησης στην Ουρά CoS4 για Φορτίο 70%

Για λόγους αρτιότητας παραθέτουμε στα Σχήμα 5 - 18, Σχήμα 5 - 19, Σχήμα 5 - 20 και Σχήμα 5 - 21 τα αποτελέσματα για την Σ.Π.Π. της συνολικής (για όλες τις μονάδες ONU) μεταβολή της καθυστέρησης για τις εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου (κλάσεις υπηρεσίας CoS3 και CoS4) για δύο φορτία κίνησης (40%, 70%)

5.3.3 Χρησιμοποίηση Καναλιού Ανόδου

Όσον αφορά την αποδοτικότητα του συστήματος η τεχνολογία GPON παρουσιάζει σαφώς καλύτερα αποτελέσματα. Αρχικά η κωδικοποίηση 8/10 bit που εφαρμόζεται στην τεχνολογία EPON περιορίζει το ρυθμό μετάδοσης του καναλιού ανόδου σε 1 Gb/sec, σε αντίθεση με την τεχνολογία GPON με ρυθμό μετάδοσης 1.24 Gb/sec. Επίσης η αποδοτικότητα σε χρησιμοποίηση καναλιού κατά την μεταφορά πλαισίων Ethernet είναι καλύτερη στην περίπτωση της τεχνολογίας GPON επειδή χρησιμοποιώντας τον μηχανισμό ενθυλάκωσης GEM αντιμετωπίζεται αποτελεσματικά το φαινόμενο της «αχρησιμοποίητης χρονικής σχισμής». Στην περίπτωση του μηχανισμού ενθυλάκωσης GEM, αν και εισάγεται μια επιπρόσθετη επικεφαλίδα 5 bytes σε κάθε πλαίσιο ή κομμάτι πλαισίου, εντούτοις επιτρέπει τεμαχισμό και επανένωση πακέτων Ethernet πετυχαίνοντας σχεδόν τέλεια προσαρμογή μεταξύ υπόλοιπου σχισμής και

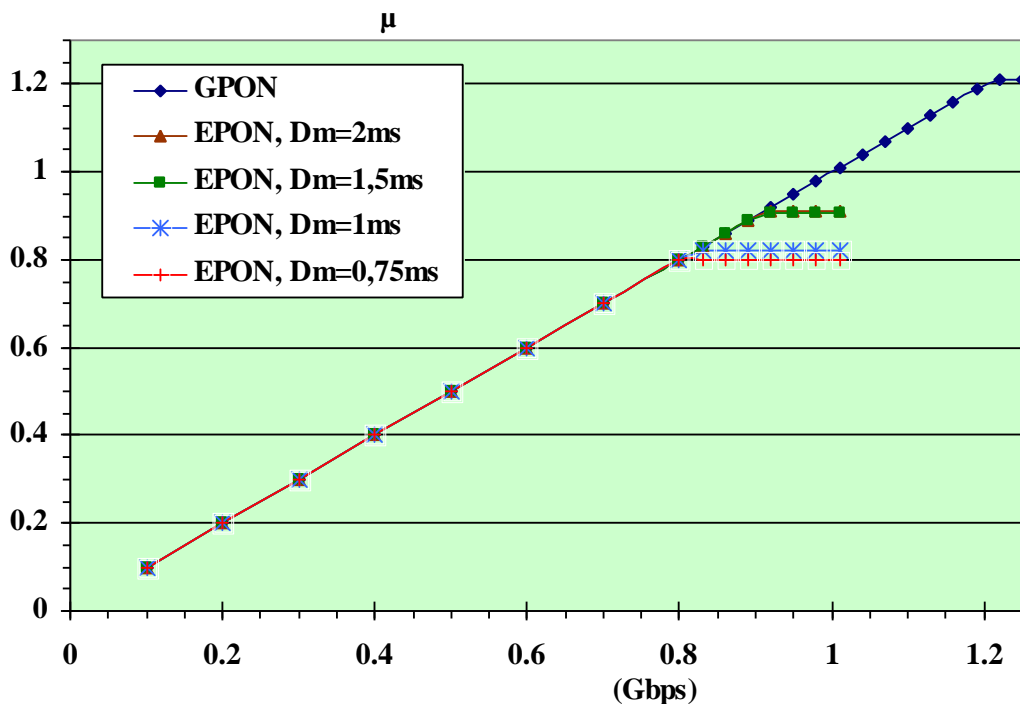
μέγεθος πακέτου. Επομένως στην περίπτωση της τεχνολογίας GPON η συνολική επιβάρυνση προέρχεται μόνο από τις επικεφαλίδες του μηχανισμού GEM, ενώ στην τεχνολογία EPON η συνολική επιβάρυνση προέρχεται από το φαινόμενο της «αχρησιμοποίητης χρονικής σχισμής», την επιβάρυνση σε φυσικό επίπεδο και το μεγαλύτερο μέγεθος των πακέτων αναφοράς (3 bytes ανά ουρά στο GPON, 64 bytes για όλες τις 8 ουρές κάθε μονάδας ONU στο EPON).



Σχήμα 5 - 22: Κέρδος της Τεχνολογίας GPON Έναντι της Τεχνολογίας EPON

Το κέρδος σε εύρος ζώνης που παρουσιάζει η τεχνολογία GPON φαίνεται ποιοτικά στο Σχήμα 5 - 22, που δείχνει τα το ποσοστό επί τις εκατό των επιπρόσθετων bytes που θα μετέδιδε μια μονάδα ONU τεχνολογίας GPON σε σύγκριση με ανάλογη μονάδα ONU τεχνολογίας EPON, για την ίδια διαδοχή δεσμεύσεων εύρους ζώνης, σε σχέση με τα συνολικά bytes που έχουν μεταδοθεί. Το κέρδος προέρχεται από την εξάλειψη του φαινομένου «αχρησιμοποίητης χρονικής σχισμής» (USR) αφού το αχρησιμοποίητο κομμάτι του παραθύρου μετάδοσης γεμίζει από το πλαίσιο GEM, και εξοικονομείται περισσότερο εύρος ζώνης παρά τις επικεφαλίδες 5 bytes των πακέτων. Το κέρδος αυτό μειώνεται ελαφρώς καθώς το φορτίο της κίνησης αυξάνεται από 35% σε 65% επειδή δεσμεύονται μεγαλύτερα παράθυρα μετάδοσης σε κάθε ONU και επομένως το κομμάτι USR (που περιορίζεται από το μέγιστο μέγεθος πακέτου) μειώνεται ως ποσοστό του συνολικού δεσμευμένου χρόνου. Το συνολικό κέρδος της τεχνολογίας GPON που οφείλεται στην χρήση του μηχανισμού τεμαχισμού και επανένωσης κυμαίνεται μεταξύ 2% και 20% ανάλογα με την τιμή της περιόδου D_m . Το

κέρδος αυτό πρέπει να προστεθεί στο κέρδος του 25% που επιτυγχάνει η τεχνολογία GPON σε φυσικό επίπεδο σε σχέση με την τεχνολογία EPON που χρησιμοποιεί κωδικοποίηση 8/10 bit. Η συνολική αποδοτικότητα σε χρησιμοποίηση του καναλιού ανόδου (η μέγιστη διέλευση που επιτυγχάνεται σε κάθε περίπτωση) λαμβάνοντας υπόψη όλα τα προηγούμενα φαινόμενα, φαίνεται στο Σχήμα 5 - 23.



Σχήμα 5 - 23: Σύγκριση των Τεχνολογιών GPON και EPON (διαφορετικές τιμές D_m) στη Χρησιμοποίηση του Καναλιού Ανόδου

Γίνεται φανερό ότι στη περίπτωση της τεχνολογίας EPON είναι δυνατόν να αυξηθεί η χρησιμοποίηση του καναλιού ανόδου (όχι όμως να φτάσει την χρησιμοποίηση στην περίπτωση της τεχνολογίας GPON) αυξάνοντας την περίοδο χρονοπρογραμματισμού D_m εις βάρος φυσικά της επίδοσης στην καθυστέρηση και στην μεταβολή της καθυστέρησης. Απ' την άλλη μια μείωση στην περίοδο D_m οδηγεί σε σχετικά μεγάλες απώλειες στην τεχνολογία EPON λόγω της έλλειψης μηχανισμού τεμαχισμού/επανένωσης και επομένως εμφάνισης φαινομένων USR.

5.4 Επίλογος

Η εξέλιξη των παθητικών οπτικών δικτύων επιτρέπει μετάδοση δεδομένων μεγαλύτερη από 1 Gbps και νέες δυνατότητες για ευέλικτη παροχή υπηρεσιών. Η τεχνολογία EPON σχεδιάστηκε με στόχο να εκμεταλλευθεί τις ιδιότητες της ώριμης και

διαδεδομένης τεχνολογίας Ethernet ώστε να ελαττωθεί ο χρόνος ανάπτυξης υλικού και το συνολικό κόστος. Η τεχνολογία GPON απ' την άλλη, σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης, αποδεχόμενη μεγαλύτερα κόστη για το κύκλωμα δέκτη, ενώ στοχεύει στην ανάπτυξη μηχανισμών ευέλικτης πολυπλεξίας της κίνησης, στην περιγραφή λεπτομερών πρότυπων διαχείρισης κίνησης και ποιότητας υπηρεσίας καθώς και στον καλύτερο έλεγχο των πόρων του δικτύου, της λειτουργίας και της συντήρησής του. Στα πλαίσια του κεφαλαίου αυτού έγινε σύγκριση των δύο τεχνολογιών σε επίπεδο αποδοτικότητας πρωτοκόλλου MAC χρησιμοποιώντας εργαλεία προσομοίωσης για την μελέτη τη συμπεριφοράς της κίνησης και την ανάδειξη των παραμέτρων καθορισμού (trade-off) της απόδοσής τους. Στην περίπτωση της τεχνολογίας GPON επιτυγχάνεται βελτιωμένη αποδοτικότητα εξαιτίας των πιο περίπλοκων χαρακτηριστικών MAC που έχουν εισαχθεί στο πρότυπο και πιο συγκεκριμένα:

- μηχανισμοί τεμαχισμού και επανένωσης
- μειωμένη επιβάρυνση φυσικού στρώματος λόγω της χρήσης προοιμίων έκρηξης και κωδικοποίησης γραμμής
- μειωμένη επιβάρυνση στο πρωτόκολλο MAC

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά της τεχνολογίας GPON βελτιώνουν τόσο τις συνηθισμένες παραμέτρους δηλαδή χρησιμοποίηση του καναλιού ανόδου και καθυστέρηση όσο και παραμέτρους κρίσιμες για την υποστήριξη εφαρμογών πραγματικού χρόνου όπως η μεταβολή στην καθυστέρηση. Η υποστήριξη τέτοιων εφαρμογών είναι ουσιαστικό προαπαιτούμενο για την ανάπτυξη νέων δικτύων πρόσβασης ευρείας ζώνης πολλαπλών εφαρμογών. Βεβαίως η συνολική αξία των δύο ανταγωνιζόμενων τεχνολογιών δεν μπορεί να κριθεί μόνο από την αποτίμηση της αποδοτικότητάς τους. Το κόστος (εγκατάστασης και λειτουργίας), η ευκολία στην εγκατάσταση, η απαιτούμενη εμπειρία του προσωπικού και η υποστήριξη των χρηστών παίζουν και αυτά σημαντικό ρόλο στην επιλογή κάθε τεχνολογίας.

5.5 Βιβλιογραφία

- [1] ITU-T, Rec. G.983.1. Study group 15: Broadband optical access systems based on passive optical networks (PON), October 1998
- [2] ITU-T, Rec. G.984.1, Study Group 15, "Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics", March 2003.
- [3] J. Angelopoulos, H. Leligou, T. Argyriou, S. Zontos, E. Ringoot, T. Van Caenegem, "Efficient transport of packets with QoS in an FSAN-aligned GPON", IEEE Communications mag. 42, 92-98, (2004).
- [4] "802.3 Media Access Control (MAC) parameters and minimal augmentation of the MAC operation", IEEE Std 802.3ah-2004 (IEEE, 2004).
- [5] A. Shami, X. Bai, N. Ghani, C. M. Assi, and H. T. Mouftah, "QoS Control Schemes for Two-Stage Ethernet Passive Optical Access Networks" IEEE J. Selected Areas In Comm. 23, 1467-1478 (2005).
- [6] M. P. McGarry, M. Maier, and M. Reisslein, "Ethernet PONs: A Survey of Dynamic Bandwidth Allocation (DBA) Algorithms," IEEE Commun. Mag. 42, S8-S15 (2004).
- [7] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "Interleaved polling with adaptive cycle time (IPACT): a dynamic bandwidth distribution scheme in an optical access network," IEEE Commun. Mag. 40, 74-80 (2002).
- [8] X. Bai, A. Shami, C Assi, "Statistical Bandwidth Multiplexing in Ethernet Passive Optical Networks," in Proc.Globecom 2005, St. Luis, U.S.A., Nov. 2005
- [9] H N. Ghani, A. Shami, C. Assi, M. Raja, "Intra-ONU bandwidth scheduling in Ethernet Passive Optical Networks," IEEE communication let. 8, 683-685 (2004).
- [10] M. Ma, Y. Zhu, T. H. Cheng, "A Bandwidth Guaranteed Polling MAC Protocol for Ethernet Passive Optical Networks," in Proc. Infocom 2003, April 1 - 3, San Francisco, CA, USA, 2003
- [11] F. An et al., "A new dynamic bandwidth allocation protocol with quality of service in ethernet-based passive optical networks," in Proc. Int. Conf. on Wireless & Optical Comm. (WOC03), Banff, Canada, Jul. 2003
- [12] A. Shami, X. Bai, C. M. Assi, and N. Ghani, "Jitter Performance in Ethernet Passive Optical Networks," IEEE J. of Lightwave Techn. 23, 1745-1753 (2005).

- [13] T. Orphanoudakis, H.-C. Leligou, E. Kosmatos, J. D. Angelopoulos, K. Kanonakis, G. Prezerakos, I. Venieris, "Efficient Resource Allocation with Service Guarantees in Passive Optical Networks", OSA Journal of Optical Networking, Vol. 6, No. 6, June 2007.
- [14] H.-C. Leligou, T. Orphanoudakis, J. D. Angelopoulos, "Design Complexity Evaluation of an Access Control Mechanism Targeting the Performance Enhancement of Packet-Based GPONs", WSEAS Transactions on Computers, Issue 4, Vol. 3, Oct. 2004, pp. 1113-1119.
- [15] J. D. Angelopoulos, H. C. Leligou, T.G. Orphanoudakis, J. Pikramenos "Using a multiple priority reservation MAC to support differentiated services over HFC systems," International Journal of Communication Systems. 15, 325-340 (2002).
- [16] Data-Over-Cable Service Interface Specifications, Operations Support System Interface Specification, SP-OSSiv1.1-I02-000714, available at www.cablemodem.com
- [17] K. Claffy, G. Miller and K. Thompson, "The nature of the beast: recent traffic measurements from an Internet backbone," in Proc. of ISOC INET'98, Washington, DC, 1998.
- [18] C. Demichelis, P. Chimento, "IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM)", IETF RFC 3393, November 2002
- [19] S. Lallukka and P. Raatikainen "Link Utilization and Comparison of EPON and GPON Access Network Cost," in Proc. of Globecom 2005, St. Luis, MO, USA, 28November-2 December 2005.
- [20] J.D. Angelopoulos, I.S. Venieris, G.I. Stassinopoulos, "A TDMA based Access Control Scheme for APON's," IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, Special Issue: Broadband Optical Networks, Vol. 11, No. 5/6, May/June 1993, pp. 1095-1103.
- [21] I. Van de Voorde et al., "The SuperPON Demonstrator: An Exploration of Possible Evolution Paths for Optical Access Networks," IEEE Commun. Mag., Feb. 2000, pp.74-82.
- [22] IEEE 802.16-2001, IEEE Standard for Local and Metropolitan Access Networks part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Apr. 8, 2002.

- [23] ITU-T Rec. G.983.4, "A Broadband Optical Access System with Increased Service Capability Using Dynamic Bandwidth Assignment," Geneva, Switzerland, Oct. 15–26, 2001.
- [24] J.D.Angelopoulos, G.C. Boukis, I.S.Venieris, "Delay priorities enhance utilization of ATM PON Access Systems", Computer Communications Journal, Elsevier, Vol. 20, No. 11 , December 1997, pp. 937-949.
- [25] J. D. Angelopoulos, N. I. Lepidas, E. K. Fragoulopoulos, I.S. Venieris, "TDMA multiplexing of ATM cells in a residential access SuperPON", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Special issue on high capacity optical transport networks, Vol. 16, No. 7, September, 1998.

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΠΙΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται συνοπτικά το αντικείμενο της διατριβής, εστιάζοντας στα σημαντικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν, καθώς και στις επεκτάσεις και στις ανοιχτές περιοχές για πιθανή μελλοντική έρευνα.

6.1 Σύνοψη και Συμπεράσματα

Στις μέρες μας τα σύγχρονα δίκτυα επικοινωνιών έχουν ξεφύγει από την αρχική μορφή ενός ομοιογενούς δικτύου που εκτείνεται στα όρια της δικαιοδοσίας ενός παροχέα και απευθύνεται σε χρήστες με παρόμοιες απαιτήσεις. Οι νέες μορφές δικτύων αποτελούνται από πολλά ετερογενή μεταξύ τους δίκτυα, που συνεργάζονται για να προσφέρουν στο χρήστη υπηρεσίες. Η ετερογενής φύση των σημερινών δικτύων δεν περιορίζεται μόνο στην πλευρά του δικτύου, στην οποία συνεργάζονται μεταξύ τους ένα σύνολο παροχέων, αλλά και στην πλευρά του χρήστη, ο οποίος πλέον έχει τη δυνατότητα να εισέλθει στο δίκτυο με διαφορετικούς τύπους τερματικής συσκευής. Επεκτείνοντας περαιτέρω αυτή τη λογική, οι χρήστες απαιτούν από τα σύγχρονα δίκτυα να υποστηρίζουν τη μεγαλύτερη δυνατή γκάμα υπηρεσιών. Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι η ετερογενής φύση των σύγχρονων δικτύων κινείται ταυτόχρονα πάνω σε τρεις άξονες και συγκεκριμένα στη διαφορετικότητα της αρχιτεκτονικής των δικτύων, στη διαφορετικότητα των τερματικών και στη μεγάλη ποικιλία των προσφερόμενων υπηρεσιών.

Η απρόσκοπτη λειτουργία ενός τέτοιου δικτύου απαιτεί τη σωστή συνεργασία των επιμέρους υποκείμενων δικτύων που το απαρτίζουν, ώστε να προσφέρονται οι υποστηριζόμενες υπηρεσίες κατά το βέλτιστο δυνατό τρόπο. Για την επίτευξη της βελτιστοποίησης απαιτείται από το ετερογενές αυτό οικοδόμημα να εξασφαλίζεται ποιότητα υπηρεσίας στους τελικούς χρήστες. Οι απλοϊκοί μηχανισμοί υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας, αν και λειτουργούν αποτελεσματικά για τα επιμέρους υποκείμενα δίκτυα, δεν εξασφαλίζουν την ποιότητα υπηρεσίας του συνολικού ετερογενούς δικτύου. Στην περίπτωση αυτή απαιτούνται μηχανισμοί υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας, οι οποίοι να μπορούν να εφαρμοστούν στα άκρα των μεταδόσεων και να είναι ανεξάρτητοι από τα υποκείμενα δίκτυα που μπορεί να διέλθει μια ροή πακέτων για να φτάσει στον προορισμό της. Προς την κατεύθυνση αυτή, η παρούσα διατριβή προτείνει αλγόριθμους και μηχανισμούς που έχουν τα εν λόγω χαρακτηριστικά και μπορούν να σταθούν αποτελεσματικά σε ένα περιβάλλον ετερογενούς δικτύου.

Αρχικά η μελέτη ξεκινάει προτείνοντας ένα μηχανισμό / αλγόριθμο υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας σε ένα κλασικό ετερογενές δίκτυο μετάδοσης πολυμεσικού περιεχομένου. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος, που ονομάζεται Αλγόριθμος Επιλογής, εφαρμόζεται στα άκρα των μεταδόσεων και συγκεκριμένα στον εξυπηρετητή. Ο Αλγόριθμος Επιλογής κατά πρώτον εφαρμόζει έλεγχο πρόσβασης και κατά δεύτερον επιλέγει το καταλληλότερο προφίλ περιεχομένου ανάλογα με την κατάσταση του υποκείμενου δικτύου του νέου χρήστη. Η πληροφορία της κατάστασης του

υποκείμενου δικτύου προκύπτει από την πληροφορία που περιέχεται στα μηνύματα του πρωτοκόλλου RTCP. Το πρωτόκολλο RTP/RTCP βρίσκεται στο επίπεδο εφαρμογής του OSI και επομένως είναι ένα από-άκρο-σε-άκρο πρωτόκολλο, ανεξάρτητο από τα υποκείμενα δίκτυα.

Στη συνέχεια, η διατριβή συγκεκριμενοποιεί το δίκτυο πρόσβασης της αρχιτεκτονικής του ετερογενούς δικτύου, εξετάζοντας την περίπτωση του οπτικού παθητικού δικτύου πρόσβασης. Η επιλογή αυτή έγινε για το λόγο ότι η τεχνολογία των οπτικών παθητικών δικτύων αποτελεί μία από τις πλέον ελπιδοφόρες μορφές ενσύρματου δικτύου πρόσβασης λόγω των μεγάλων ρυθμών μετάδοσης που υποστηρίζει σε συνδυασμό με το μικρό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Οι μηχανισμοί / αλγόριθμοι υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας που προτείνονται είναι επιπέδου MAC και επιτυγχάνουν βέλτιστο χρονοπρογραμματισμό των πακέτων στις μονάδες ONU, ανάλογα με την κλάση υπηρεσίας που ανήκει κάθε πακέτο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται διαφοροποίηση των υπηρεσιών και εφαρμογή διαφορετικής στρατηγικής παροχής ποιότητας υπηρεσίας ανά κλάση υπηρεσίας.

Τέλος, στο πλαίσιο της διατριβής, ο επικρατέστερος από τους προτεινόμενους αλγόριθμους εφαρμόζεται σε δύο διαφορεικές τεχνολογίες οπτικών παθητικών δικτύων (τεχνολογίες EPON και GPON). Παρουσιάζεται η απόδοση του αλγόριθμου σε κάθε τεχνολογία, καθώς και η σύγκριση των τεχνολογιών μεταξύ τους.

Από όλα τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι παρουσιάστηκαν λύσεις για τρεις διαφορετικές όψεις του προβλήματος της υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας σε ετερογενή δίκτυα. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα των προτεινόμενων αλγορίθμων υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας. Πιο συγκεκριμένα ο προτεινόμενος Αλγόριθμος Επιλογής:

- Λαμβάνει υπόψη του την ετερογενή φύση της τερματικής συσκευής του χρήστη. Στο πλαίσιο του αλγόριθμου επιλέγεται ο κωδικοποιητής / αποκωδικοποιητής που μπορεί να υποστηριχθεί από τη συγκεκριμένη τερματική συσκευή. Έτσι μπορεί να επιλεγεί ένας codec που απαιτεί μεγάλη υπολογιστή ισχύ στην περίπτωση ενός laptop, ενώ στην περίπτωση κινητού τηλεφώνου να επιλεγεί ένας codec μικρότερης πολυπλοκότητας.
- Λαμβάνει υπόψη του τον ρυθμό μετάδοσης μεταξύ χρήστη – εξυπηρετητή. Στην περίπτωση μικρών ρυθμών επιλέγει codec μικρότερου μεγέθους ή επιλέγει τη μη αλλαγή του codec. Σε αντίθετη περίπτωση επιλέγει πιο σύνθετους codec που παρέχουν μεγαλύτερη ποιότητα περιεχομένου.

- Λαμβάνει υπόψη του το ρυθμό αφίξεων στο σύστημα νέων αιτήσεων. Έτσι, στην περίπτωση που ο αλγόριθμος παρατηρήσει αύξηση του ρυθμού αφίξεων αρχίζει να γίνεται πιο συντηρητικός στην απόδοση ποιότητας υπηρεσίας (ακόμα και σε κατάσταση υποφόρτωσης αποδίδει την ελάχιστη ποιότητα υπηρεσίας).
- Πραγματοποιεί έλεγχο πρόσβασης. Ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου, ο Αλγόριθμος Επιλογής κάνει δεκτή ή όχι μια νέα αίτηση χρήστη. Συγκεκριμένα σε κατάσταση συμφόρησης ή σε κατάσταση που επίκειται συμφόρηση ο αλγόριθμος αρνείται την πρόσβαση ή γίνεται επιλεκτικός στις νέες αιτήσεις αντίστοιχα.
- Ο έλεγχος πρόσβασης που πραγματοποιείται στον Αλγόριθμο Επιλογής είναι συμπληρωματικός των ελέγχων πρόσβασης των υποκείμενων δικτύων. Συγκεκριμένα, στην υλοποίησή μας ο αλγόριθμος δρα συμπληρωματικά με το μηχανισμό ελέγχου πρόσβασης του δικτύου UMTS.
- Επιλέγει το κατάλληλο προφίλ περιεχομένου (ρυθμός μετάδοσης, codec) ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου. Έτσι, σε κατάσταση υποφόρτωσης ο αλγόριθμος αποδίδει στις νέες ροές τη μέγιστη ποιότητα υπηρεσίας. Σε κατάσταση φόρτωσης, αρχικά ελέγχει αν η νέα ροή θα φέρει το δίκτυο σε κατάσταση συμφόρησης. Αν ναι, η ροή δεν γίνεται δεκτή αλλιώς αποδίδει μέτρια ποιότητα υπηρεσίας. Σε κατάσταση υπερφόρτωσης ο αλγόριθμος αρνείται την πρόσβαση σε κάθε νέα αίτηση.
- Οι μετρήσεις που καθορίζουν την κατάσταση του δικτύου βασίζονται στα μηνύματα του πρωτοκόλλου RTCP και επομένως είναι ανεξάρτητες των υποκείμενων δικτύων. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι βασικό για την υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας σε ετερογενή δίκτυα, αφού κάθε άλλος μηχανισμός θα δρούσε τμηματικά σε επιμέρους δίκτυα και όχι καθολικά.
- Η επιλογή του κατάλληλου προφίλ περιεχομένου πραγματοποιείται στις εγκαταστάσεις του εξυπηρετητή και δεν απαιτεί την αλλαγή κάποιου στοιχείου των υποκείμενων δικτύων.
- Η εφαρμογή του προτεινόμενου αλγόριθμου δεν είναι δαπανηρή, αφού απαιτεί την εγκατάσταση του μηχανισμού σε επίπεδο λογισμικού στην πλευρά του εξυπηρετητή.
- Στην πλευρά του χρήστη προτείνεται η υποστήριξη του πρωτοκόλλου RTCP, αν και δεν είναι προαπαιτούμενο για την εφαρμογή του μηχανισμού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η έλλειψη μετρήσεων RTCP ενός χρήστη μπορεί

να καλυφθεί από την υποστήριξη μετρήσεων RTCP ενός άλλου χρήστη που συνδέεται στο ίδιο σημείο πρόσβασης.

- Τα δύο κατώφλια του μηχανισμού υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας που καθορίζουν την κατάσταση του δικτύου επιλέχθηκαν να αντιστοιχίζονται σε τιμές της απώλειας πακέτων. Η επιλογή αυτή αποδείχθηκε αποτελεσματική για την μετάδοση πολυμεσικού περιεχομένου αφού καθορίζει με σαφήνεια την περιοχή συμφόρησης του δικτύου. Η σύγκριση του Αλγόριθμου Επιλογής με έναν αλγόριθμο (UTA), του οποίου τα κατώφλια καθορίζονται από τιμές της χρησιμοποίησης καναλιού, αποδεικνύει την ανωτερότητα του προτεινόμενου αλγόριθμου. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος διατηρεί τις απώλειες πακέτων κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνει καλύτερες επιδόσεις στην καθυστέρηση.

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων επίδοσης των προτεινόμενων αλγόριθμων επιπέδου MAC των οπτικών παθητικών δικτύων (SCR, SCR/2 και Ενδό-ONU) απορρέουν τα εξής συμπεράσματα:

- Με τη χρήση εκούσιων δεσμεύσεων (UG) για τις ροές μέγιστης προτεραιότητας επιτυγχάνεται περιορισμός της καθυστέρησης κάτω από το όριο των 2msec. Η τιμή των 2msec, όπως παρουσιάστηκε από μελέτες ([1], [2]), αποτελεί τη μέγιστη ανεκτή τιμή της καθυστέρησης για μεταδόσεις πολυμέσων πραγματικού χρόνου.
- Εφαρμόζεται ένας συνδυασμός δύο μηχανισμών. Ένας μηχανισμός προδέσμευσης εύρους ζώνης ικανοποιεί τις απαιτήσεις των ευαίσθητων σε καθυστέρηση υπηρεσιών, ενώ ένας μηχανισμός δυναμικής δέσμευσης εύρους ζώνης επιτυγχάνει στατιστική πολύπλεξη των υπηρεσιών μέσης και κατώτερης προτεραιότητας.
- Επιτυγχάνεται πλήρης διαχωρισμός των ροών μέγιστης προτεραιότητας, σταθερού ρυθμού μετάδοσης από τις υπόλοιπες, μέσω της εκούσιας δέσμευσης εύρους ζώνης. Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι ακόμα και στην περίπτωση πλήρους συμφόρησης του δικτύου (φορτίο 100% της χρησιμοποίησης του καναλιού) οι ροές μέγιστης προτεραιότητας εξακολουθούν να μεταδίδονται ενώ οι υπόλοιπες μένουν κολλημένες στις μονάδες ONU.
- Ο αλγόριθμος ολίσθησης στο χρόνο (που εφαρμόζεται και στους τρεις μηχανισμούς) συμβάλλει προς μία ομοιόμορφη και ομαλή κατανομή της καθυστέρησης, η οποία ελαχιστοποιεί τη μεταβολή της καθυστέρησης. Η

συμβολή αυτή φαίνεται στις γραφικές παραστάσεις της Συνάρτησης Πυκνότητας Πιθανότητας (PDF) της (συνολικής για όλες τις μονάδες ONU) καθυστέρησης ανά ουρά CoS.

- Με την υιοθέτηση της δέσμευσης συνεχόμενων παραθύρων μετάδοσης για της ουρές της ίδιας μονάδας ONU επιτυγχάνεται αύξηση της χρησιμοποίησης του καναλιού. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η μέθοδος αυτή εξαλείφει τα επαναλαμβανόμενα πακέτα σηματοδοσίας (preamble) και επικεφαλίδας από την δεύτερη και μετά ουρά της ίδιας μονάδας ONU. Η εξοικονόμηση αυτή σε εύρος ζώνης γίνεται ωφέλιμο φορτίο και αυξάνεται η χρησιμοποίηση του καναλιού.
- Στην περίπτωση του Ενδό-ONU χρονοπρογραμματισμού, επιτυγχάνονται ακόμα καλύτερες επιδόσεις στις υπηρεσίες μέσης και μεγάλης προτεραιότητας, αφού οι αιτήσεις των ροής βέλτιστης προσπάθειας βοηθούν στη μετάδοσή τους.
- Η επιλογή σταθερής τιμής για την περίοδο χρονοπρογραμματισμού έχει ως αποτέλεσμα τη διατήρηση της καθυστέρησης και της μεταβολής της καθυστέρησης σε χαμηλά επίπεδα.
- Η επιλογή της τιμής της περιόδου χρονοπρογραμματισμού είναι καταλυτικός παράγοντας στην επίδοση του αλγόριθμου. Μικρή τιμή σημαίνει μεγάλη σηματοδοσία στο δίκτυο και μεγάλη επιβάρυνση επικεφαλίδων αλλά παράλληλα μικρή καθυστέρηση. Για το λόγο αυτό, η τιμή της περιόδου χρονοπρογραμματισμού επιλέχθηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη ανεκτή καθυστέρηση σε συνδυασμό με τη μικρότερη δυνατή επιβάρυνση επικεφαλίδων. Η επιτυχία της επιλογής αποδεικνύεται από την σύγκριση του αλγόριθμου με άλλο αλγόριθμο ανάλογων χαρακτηριστικών.

Από τη σύγκριση των τεχνολογιών EPON και GPON κατά την εφαρμογή του ίδιου αλγόριθμου υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας (SCR) απορρέουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η τιμή της μέσης καθυστέρησης των τριών κλάσεων μεγαλύτερης προτεραιότητας είναι αντιστρόφως ανάλογη με την περίοδο χρονοπρογραμματισμού D_m . Έτσι μπορούμε να επιτύχουμε μικρότερη καθυστέρηση επιλέγοντας κατάλληλα την τιμή της περιόδου D_m .
- Στην περίπτωση της κλάσης μέγιστης προτεραιότητας, η Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας (Σ.Π.Π) της καθυστέρησης είναι κατανομημένη μέσα στο διάστημα από μηδέν μέχρι D_m , ενώ για τις επόμενες

- προτεραιότητες η Σ.Π.Π της καθυστέρησης είναι κατανομημένη μέσα σε διάστημα πολλαπλάσιο της D_m . Επομένως η τιμή D_m καθορίζει πλήρως την κατανομή της καθυστέρησης για τις υπηρεσίες μεγάλης και μέσης προτεραιότητας.
- Η Σ.Π.Π της μεταβολής της καθυστέρησης ακολουθεί τα χαρακτηριστικά της καθυστέρησης και εξαρτάται και αυτή πλήρως από την επιλογή της τιμής της περιόδου D_m .
 - Στην περίπτωση της τεχνολογίας GPON η συνολική επιβάρυνση προέρχεται μόνο από τις επικεφαλίδες του μηχανισμού GEM, ενώ στην τεχνολογία EPON η συνολική επιβάρυνση προέρχεται από το φαινόμενο της «αχρησιμοποίητης χρονικής σχισμής», την επιβάρυνση σε φυσικό επίπεδο και το μεγαλύτερο μέγεθος των πακέτων αναφοράς (3 bytes ανά ουρά στο GPON, 64 bytes για όλες τις 8 ουρές κάθε μονάδας ONU στο EPON).
 - Η αποδοτικότητα σε χρησιμοποίηση καναλιού κατά την μεταφορά πλαισίων Ethernet είναι καλύτερη στην περίπτωση της τεχνολογίας GPON, επειδή - χρησιμοποιώντας τον μηχανισμό ενθυλάκωσης GEM - αντιμετωπίζεται αποτελεσματικά το φαινόμενο της «αχρησιμοποίητης χρονικής σχισμής». Στην περίπτωση του μηχανισμού ενθυλάκωσης GEM, αν και εισάγεται μια επιπρόσθετη επικεφαλίδα 5 bytes σε κάθε πλαίσιο ή κομμάτι πλαισίου, εντούτοις επιτρέπεται τεμαχισμός και επανένωση πακέτων Ethernet επιτυγχάνοντας σχεδόν τέλεια προσαρμογή μεταξύ υπόλοιπου σχισμής και μέγεθος πακέτου.
 - Η τεχνολογία GPON με τη χρήση του μηχανισμού τεμαχισμού και επανένωσης επιτυγχάνει - ανάλογα και με την τιμή της περιόδου D_m - κέρδος στη χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης που κυμαίνεται από 2% μέχρι 20% σε σχέση με την τεχνολογία EPON. Συγκεκριμένα για μικρές τιμές του φορτίου κίνησης η τεχνολογία GPON παρουσιάζει σχεδόν σταθερό κέρδος για διάφορες τιμές της περιόδου D_m . Σε μεγάλες τιμές φορτίου κίνησης (μεγαλύτερες από 70%) για μικρότερες τιμές της περιόδου D_m επιτυγχάνεται μεγαλύτερο κέρδος σε σχέση με την τεχνολογία EPON.
 - Η τεχνολογία GPON επιτυγχάνει κέρδος 25% σε φυσικό επίπεδο σε σχέση με την τεχνολογία EPON που χρησιμοποιεί κωδικοποίηση 8/10 bit.

6.2 Περιοχές Μελλοντικής Έρευνας

Οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι επιτυγχάνουν την αντιμετώπιση μιας πλειάδας προβλημάτων που σχετίζονται με την υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας σε ετερογενή δίκτυα και τερματικά. Εντούτοις υπάρχουν κάποια σημεία που επιδέχονται επιπλέον διερεύνησης και περαιτέρω επέκτασης.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά τον Αλγόριθμο Επιλογής, στην παρούσα φάση αποτελεί έναν στατικό αλγόριθμο με την έννοια ότι αποφασίζει για την εισαγωγή ή όχι νέων μεταδόσεων περιεχομένου και για την ποιότητα υπηρεσίας που παρέχεται στην νέα ροή. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος θα μπορούσε να μετατραπεί σε δυναμικό, αν είχε τη δυνατότητα να αλλάξει την ποιότητα υπηρεσίας ήδη εισαγμένων στο σύστημα ροών (ήδη εγκατεστημένων συνόδων RTP). Έτσι, αν υποστηρίζεται προσαρμογή των ήδη εγκατεστημένων συνόδων RTP, υπάρχουν τρεις δυνατότητες όταν φθάνει μια αίτηση νέου χρήστη:

- Εάν το δίκτυο είναι σε κατάσταση μη-συμφόρησης και υπάρχουν οι αναγκαίοι πόροι, εγκαθίσταται η νέα σύνοδος RTP χωρίς να χρειαστεί να μειωθεί η ποιότητα υπηρεσίας/περιεχομένου των ήδη εγκατεστημένων συνόδων.
- Σε περίπτωση που με τη νέα άφιξη δεν υπάρχουν οι αναγκαίοι πόροι δικτύου για την αποδοχή της συνόδου, αλλά είναι δυνατή η μείωση του επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας των εγκατεστημένων συνόδων, ο μηχανισμός προσαρμογής προχωρά στην ελάττωση της ποιότητας για όσες συνόδους είναι επιτρεπτό και εγκαθιστά τη νέα σύνοδο (με την ελάχιστη δυνατή ποιότητα για αυτή).
- Σε περίπτωση που κατά την άφιξη νέας αίτησης το δίκτυο είναι σε κατάσταση συμφόρησης η αίτηση θα απορριφθεί λόγω έλλειψης πόρων.

Επιπρόσθετα, ο Αλγόριθμος Επιλογής θα μπορούσε να επεκταθεί, ώστε να υποστηρίζει μετάδοση πολλαπλών προορισμών. Στην περίπτωση αυτή, οι προσομοιώσεις μη πραγματικού χρόνου γίνονται πολύπλοκες και απαιτείται η υιοθέτηση άλλου μηχανισμού για τη δημιουργία των αντίστοιχων πινάκων. Ο αλγόριθμος επιλογής πρέπει να επεκταθεί, ώστε να εξετάζει εάν η νέα αίτηση ανήκει σε κάποια ήδη εγκατεστημένη σύνοδο πολλαπλών προορισμών και εάν στο ίδιο σημείο πρόσβασης με τον νέο χρήστη υπάρχει κάποιος άλλος χρήστης που είναι ήδη μέλος της συνόδου. Οι υπολογισμοί που βασίζονται στο πρωτόκολλο RTCP μένουν αμετάβλητοι [3] και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έχουν.

Στην περίπτωση των αλγορίθμων υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας σε παθητικά οπτικά δίκτυα, υπάρχουν κάποιες παράμετροι που μπορεί να μεταβληθούν, ώστε να εξεταστεί κατά πόσο επηρεάζουν την απόδοση των προτεινόμενων αλγορίθμων. Συγκεκριμένα, στην διατριβή κατά την εκτέλεση των προσομοιώσεων, για να επιτευχθεί ρεαλιστική κίνηση χρησιμοποιήθηκε μίγμα κίνησης στο οποίο, η κίνηση πρώτης προτεραιότητας κατέχει το 10% της συνολικής προσφερόμενης κίνησης. Η κίνηση δεύτερης, τρίτης και τέταρτης προτεραιότητας κατέχουν το 15%, 20% και 55% της συνολικής προσφερόμενης κίνησης αντίστοιχα. Αυτό το μίγμα κίνησης θα μπορούσε να μεταβληθεί, ώστε να μελετηθεί με ποιον τρόπο η κατανομή των χρηστών σε διάφορες κατηγορίες χρέωσης επηρεάζουν την απόδοση του συνολικού συστήματος. Η κίνηση πρώτης προτεραιότητας θα μπορούσε να αυξηθεί, όχι βέβαια κατά πολύ αφού αντικατοπτρίζει την κατηγορία μεγάλης χρέωσης. Ενδιαφέρον θα αποτελούσε η σταδιακή αύξηση ή μείωση της κίνησης βέλτιστης προσπάθειας, καθώς και η αύξηση της κίνησης δεύτερης προτεραιότητας. Επίσης κατά την εκτέλεση των προσομοιώσεων η κίνηση μέγιστης προτεραιότητας μοντελοποιήθηκε από πηγές σταθερού ρυθμού μετάδοσης που παράγουν περιοδικά μικρά πακέτα σταθερού μήκους. Οι υπόλοιπες πηγές (δεύτερης, τρίτης και τέταρτης προτεραιότητας) είναι τύπου On-Off με διάφορες τιμές εκρηκτικότητας, ενώ το μέγεθος των πακέτων ακολουθεί την κατανομή Tri-modal. Η μελέτη των αλγορίθμων θα μπορούσε να επεκταθεί, αν κατά την προσομοίωση χρησιμοποιούνταν αρχεία ιχνών (trace files) για τη μοντελοποίηση των πηγών. Τα αρχεία ιχνών προέρχονται από μετάδοση πραγματικών πολυμεσικών ροών, και σε αυτά είναι αποθηκευμένα το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο μεταδόσεων πακέτων και το μέγεθος κάθε πακέτου. Έτσι, στην περίπτωση της κίνησης δεύτερης, τρίτης και τέταρτης προτεραιότητας, που χαρακτηρίζεται ως κίνηση Αυτο-Πανομοιοτύπη (Self – Similar) θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αρχεία ιχνών για τη μοντελοποίηση των πηγών.

6.3 Βιβλιογραφία

- [1] ITU-T, Rec. G.984.1, Study Group 15, "Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics", March 2003.
- [2] A. Shami, X. Bai, N. Ghani, C. M. Assi, and H. T. Mouftah, "QoS Control Schemes for Two-Stage Ethernet Passive Optical Access Networks" IEEE J. Selected Areas In Comm. 23, 1467-1478 (2005).
- [3] Ch. Bouras, A. Gkamas, "Multimedia transmission with adaptive QoS based on real-time protocols", International Journal of communication systems, Wiley InterScience, vol.16, pp. 225-248, 2003.

Παράρτημα Α

ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ

A.1 Εγγυημένη δέσμευση εύρους ζώνης και δίκαια κατανομή του επιπρόσθετου εύρους ζώνης χρησιμοποιώντας το κριτήριο Max-min

/* allocate unsolicited grants to 1st and 2nd priority queues of ONU i */

For i=1 to N

$$G_{i1} = UG_{i1}, G_{i2} = UG_{i2}, Req_{i2} = \min\{0, Req_{i2} - UG_{i2}\}$$

$$BW_{avail} = \sum_{i=1}^N \{IAS_i\}$$

/* allocate surplus bandwidth to 2nd priority queues up to their peak rate */

For i=1 to N

$$G_{i2} = G_{i2} + \max\{R_{p2i} * D_m, Req_{i2}\}$$

$$BW_{avail} = BW_{avail} - \max\{R_{p2i} * D_m, Req_{i2}\}$$

$$Req_{i2} = \min\{0, R_{p2i} * D_m - Req_{i2}\}$$

/* allocate initial bandwidth (minimum guaranteed rate) to 3rd priority queues */

For i:=1 to N

$$G_{i3} = \max\{R_{g3i} * D_m, Req_{i3}\}$$

$$BW_{avail} = BW_{avail} - \max\{R_{g3i} * D_m, Req_{i3}\}$$

$$Req_{i3} = \min\{0, R_{g3i} * D_m - Req_{i3}\}$$

/* Max-Min subroutine

/* init */

For i=1 to N

$$contending_i = 1, R_3 = Req_{i3}, R_4 = Req_{i4}, Req_i = R_3 + R_4$$

end = 0

/* max-min */

while not end /* Recalculate shares */

$$sum_w = \sum_{i \in Contending} \{w_i\} \quad /* i \in Contending | contending_i = 1 */$$

end = 1 /* If all requests are below FairShare then end */

For i=1 to N

$$FairShare = (BW_{avail} * w_i) / sum_w$$

If $Req_i < FairShare$ and (contending_i)

$$GBE_i = Req_i$$

$$contending_i = 0$$

$$BW_{avail} = BW_{avail} - GBE_i$$

$$end = 0$$

Else if (contending_i)

$$GBE_i = FairShare$$

$$G_{i3} = G_{i3} + GBE_i * R_3 / Req_i$$

$$G_{i4} = GBE_i * R_4 / Req_i$$

$$Req_{i3} = \min\{0, Req_{i3} - (GBE_i * R_3 / Req_i)\}$$

$$Req_{i4} = \min\{0, Req_{i3} - (GBE_i * R_3 / Req_i)\}$$

Συμβολισμός	Παράμετροι/Συναρτήσεις
IAS_i	Initially Allocated Slot για την ONU i (bytes)
DAS_i	Dynamically Adjusted Slot για την ONU i (bytes)
UG_i	Unsolicited Grant για την ONU I (bytes)
Req_{ij}	ONU j , Ουρά i μη ικανοποιημένες αιτήσεις εύρους ζώνης (bytes)
G_{ij}	Grant για την ουρά j της ONU i (bytes)
EXC_i	Επιπρόσθετες (σε σύγκριση με το IAS_i) αιτήσεις της ONU i (bytes)
GAP_i	Κενές σχισμές (υπόλοιπο της IAS_i for ONU i) (bytes)
TN	Χρονικής στιγμή έναρξης επόμενης μετάδοσης
TS_i	ONU i χρονικής στιγμή έναρξης μετάδοσης (εκφρασμένη σε bytes για ευκολία)
T_{pre}	Χρονική διάρκεια της επιβάρυνσης του φυσικού στρώματος (bytes)

A.2 Τεχνική μετακίνησης/κύλισης των δεσμεύσεων και υπολογισμός της θέσης των δεικτών μετάδοσης

MAX-MIN(Req)

For $i=1$ to N

$$DAS_i = IAS_i, GAP_i = 0, EXC_i = 0$$

If $IAS_i > G_{i3} + G_{i4}$

$$GAP_i = IAS_i - (G_{i3} + G_{i4}) + T_{pre}$$

Else

$$EXC_i = G_{i3} + G_{i4} - IAS_i$$

k=0

For i=1 to N

While $GBE_i > DAS_i$

If (k mod 2) /* ShiftLeft */

$$j = i - (\lfloor k/2 \rfloor + 1)$$

If $i > 0$ Then ReduceGap(i, j)

Else /* ShiftRight */

$$j = i + (\lfloor k/2 \rfloor + 1)$$

If $j < N$ Then ReduceGap(i, j)

k = k+1

/* Update final schedule... */

TN=0

For i=1 to N

$$TS_i = TN$$

$$TN = TN + G_{i1} + G_{i2} + G_{i3} + G_{i4} + GAP_i + T_{pre}$$

/* ReduceGap(i, j) subroutine

$$prevEXC_i = EXC_i$$

If $prevEXC_i > GAP_j$ and $GAP_j > T_{pre}$

$$EXC_i = prevEXC_i - (GAP_j - T_{pre})$$

$$GAP_j = T_{pre}$$

Else If $GAP_j - prevEXC_i > T_{pre}$

$$GAP_j = GAP_j - prevEXC_i$$

$$EXC_i = 0$$

$$DAS_i = DAS_i + (prevEXC_i - EXC_i)$$

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

AFS	Assured Forwarding Service
ALB	Allocation List Bytes
AP	Access Point
APON	ATM Passive Optical Network
BER	Bit Error Rate
BPON	Broadband Passive Optical Network
BSS	Base Station Subsystem
CBR	Constant Bit Rate
CDM	Code Division Multiplexing
CM	Cable Modem
CN	Core Network
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
CoS	Class of Service
CPE	Content Production Environment
CRC	Cyclic Redundant Code
DAS	Dynamically Allocated Slot
DBA	Dynamic Bandwidth Allocation
DCH	Dedicated Channel
DSL	Digital Subscriber Line
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	DSL Access Multiplexer
DSP	Digital Signal Processing
EFM	Ethernet in the First Mile
EFS	Expedited Forwarded Service
EPON	Ethernet Passive Optical Network
FEC	Forward Error Correction
FPGA	Field Programmable Gate Arrays
FTTB	Fiber to the Building
FTTC	Fiber To The Curb
FTTH	Fiber to the Home
GEM	GPON Encapsulation Method
GGSN	Gateway GPRS Supporting Node
GPON	Gigabit Passive Optical Network
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications

GUI	Graphical User Interface
HD	High Definition
HFC	Hybrid Fiber Coax
HLR	Home Location Register
IAS	Initially Allocated Slot
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IMS	Interactive Multimedia Server
MAC	Medium Access Control
MDM	Media Device Manager
MMS	Multimedia Message
MPCP	Multi-Point Control Protocol
MPEG	Moving Picture Experts Group
MPLS	Multi Protocol Label Switching
ODN	Optical Distribution Network
OLT	Optical Line Termination
OMC	Operation and Management Center
ONT	Optical Network Termination
ONU	Optical Network Unit
OSGI	Open Service Gateway Initiative
P2MP	Point-to-Multipoint
P2P	Point-to-Point
PDA	Personal Digital Assistant
PDF	Probability Density Function
PDP	Packet Data Protocol
PON	Passive Optical Network
QoS	Quality of Service
RAB	Radio Access Bearer
RAN	Radio Access Network
RMI	Remote Method Invocation
RNC	Radio Network Controller
RRM	Radio Resource Management
RSVP	Resource Reservation Protocol
RTCP	Real Time Control Protocol
RTP	Real Time Protocol
SA	Selection Algorithm

SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SGSN	Serving GPRS Supporting Node
SLA	Service Level Agreement
SS	Simulation Server
TC	Transmission Convergence
T-CONT	Traffic Containers
TCP	Transmission Control Protocol
TD-CDMA	Time Division Code Division Multiple Access
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
UDP	User Datagram Protocol
UGS	Unsolicited Grant Service
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USR	Unused Slot Remainder
UTA	Utilization Threshold Algorithm
VBR	Variable Bit Rate
VCI	Virtual Channel Identifier
VLR	Visitor Location Register
VOD	Video On Demand
VOIP	Voice over IP
VPI	Virtual Path Identifier
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WDM	Wideband Division Multiplexing
WLAN	Wireless Local Area Network

ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΓΓΛΙΚΩΝ ΌΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ

<i>Access Point</i>	Σημείο Πρόσβασης
<i>Admission Control</i>	Έλεγχος Πρόσβασης
<i>Agent</i>	Αντιπρόσωπος
<i>Application Layer</i>	Στρώμα Εφαρμογής
<i>ATM</i>	Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς
<i>Background Traffic</i>	Κίνηση Υποβάθρου
<i>Bandwidth Map</i>	Χάρτης Κατανομής Εύρους Ζώνης
<i>Best-effort</i>	Βέλτιστη Προσπάθεια
<i>Broadband</i>	Ευρυζωνικός
<i>Broadcast</i>	Καθολική Μετάδοση
<i>Buffer</i>	Ενταμιευτής
<i>Burst Mode Transmission</i>	Εκρηκτική Μετάδοση
<i>Cell ATM</i>	Κελί Τεχνολογίας ATM
<i>Class of Service</i>	Κλάση Υπηρεσίας
<i>Code Division Multipleing</i>	Πολυπλεξία Κώδικα
<i>Combiner</i>	Συνδυαστής
<i>Content Production Environment</i>	Περιβάλλον Παραγωγής Περιεχομένου
<i>Coupler</i>	Ζεύκτης
<i>Curb-switch</i>	Διακλάδωση κοντά στους Χρήστες
<i>Frame</i>	Πλαίσιο Εφαρμογής
<i>Frame Relay Network</i>	Δίκτυο Αναμετάδοσης Πλαισίων
<i>Gateway</i>	Πύλη
<i>Graphical User Interface</i>	Γραφικό Περιβάλλον Αλληλεπίδρασης
<i>Hardware Reconfiguration</i>	Αναπροσαρμογή Υλικού
<i>Heterogeneous</i>	Ετερογενές
<i>Interactive Multimedia Server</i>	Αλληλεπιδραστικός Εξυπηρετητής Πολυμέσων
<i>Interface</i>	Διεπαφή
<i>Internet</i>	Διαδίκτυο
<i>Internet Protocol (IP)</i>	Πρωτόκολλο Διαδικτύου
<i>IP Backbone</i>	Δίκτυο Κορμού
<i>Jitter</i>	Μεταβολή της Καθυστέρησης
<i>Leased Line</i>	Μισθωμένη Γραμμή
<i>Link Layer</i>	Στρώμα Ζεύξης Δεδομένων

<i>Metadata</i>	Μεταδιδόμενα / Επιπρόσθετη Πληροφορία
<i>Middleware</i>	Μεσισμικό
<i>Mobile Agent</i>	Κινητός Αντιπρόσωπος
<i>Mobility</i>	Κινητικότητα
<i>Multicast</i>	Μετάδοση Πολλαπλών Προορισμών
<i>Multiplexer</i>	Πολυπλέκτης
<i>Network Layer</i>	Στρώμα Δικτύου
<i>Nomadic Network</i>	Νομαδικό Δίκτυο
<i>Passive Optical Network</i>	Παθητικό Οπτικό Δίκτυο
<i>Personal Digital Assistants</i>	Συσκευή Ψηφιακής Υποβοήθησης
<i>Point-to-Multipoint</i>	Σημείο-Προς- Πολλαπλά Σημεία
<i>Point-to-Point</i>	Σημείο-Προς-Σημείο
<i>Polling</i>	Δειγματοληψία
<i>Portability</i>	Μεταφερισιμότητα
<i>Preamble</i>	Εισαγωγή
<i>Probability Density Function</i>	Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας (Σ.Π.Π.)
<i>Quality of Service</i>	Ποιότητα Υπηρεσίας
<i>Ranging</i>	Αποτίμηση Απόστασης / Αποστασιομέτρηση
<i>Real Time</i>	Πραγματικού Χρόνου
<i>Repeater</i>	Επαναλήπτης
<i>Round-Trip Time</i>	Χρόνος Πλήρους Διαδρομής
<i>Router</i>	Δρομολογητής
<i>Self - Similar</i>	Αυτο-Πανομοιότυπος
<i>Service Level Agreement</i>	Συμφωνία σε Επίπεδο Υπηρεσίας
<i>Simulation Server</i>	Εξυπηρετητής Προσομοιώσεων
<i>Splitter</i>	Διαιρέτης
<i>Time Division Multiplexing</i>	Πολυπλεξία Χρόνου
<i>Timeslot</i>	Χρονοθυρίδα / Χρονοσφραγίδα
<i>Timestamp</i>	Χρονικό Σήμαντρο
<i>Transport Layer</i>	Στρώμα Μεταφοράς
<i>Triple Play</i>	Υπηρεσίες Δεδομένων, Φωνής και Βίντεο
<i>Unused Slot Remainder</i>	Αχρησιμοποίητο Υπόλοιπο Σχισμής
<i>Virtual Channel Identifier</i>	Νοητός Δίαυλος
<i>Virtual Leased Line</i>	Εικονική Μισθωμένη Γραμμή

Virtual Path Identifier Νοητή Διαδρομή
Wideband Division Multiplexing Πολυπλεξία Μήκους Κύματος

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

Περιοδικά

- [1] "Efficient resource allocation with service guarantees in passive optical networks", T. Orphanoudakis, H.-C. Leligou, E. Kosmatos, J. D. Angelopoulos, K. Kanonakis, G. Prezerakos, I.S. Venieris, Journal of Optical Networking, June 2007, Vol. 6, No. 6
- [2] "Constraint-based Media Content Delivery over Heterogeneous Networks and Devices", E. Nikolouzou, P. Sampatakos, E. Kosmatos, S. Maniatis, I.S. Venieris, International Journal of Wireless and Mobile Computing 2007 - Vol. 2, No.2/3 pp. 224 – 234

Συνέδρια

- [3] "Enamorado: An intelligent multimedia content delivery system", E. Kosmatos, C. Papagianni, E. Nikolouzou, P. Sampatakos, S. Maniatis, I.S.Venieris, Proceedings of Mobile Summit 2004, June 2004
- [4] "Intelligent multimedia content provision for nomadic users", C. Papagianni, E. Kosmatos, E. Nikolouzou, I.S.Venieris, Proceedings of European Wireless 2005, April 2005
- [5] "Triple Play Service Simulation and Packet Scheduling Performance Evaluation", G. P. Sotiropoulos, D. K. Styliaras, E. A. Kosmatos, C. A. Papagianni, N. D. Tselikas, I. S. Venieris, Proceedings of International Conference on Digital Telecommunications 2006, August 2006
- [6] "ENAMORADO: Enabling Nomadic Agents in a Multimedia ORiented Architecture of Distributed Objects", Yana E. Krasteva, Chrysa Papagianni, Evangelos Kosmatos, Eduardo de la Torre, Iakovos S. Venieris, Teresa Riesgo, Proceedings of eChallenges 2005, October 2005
- [7] "Resource management techniques for dynamic multimedia content adaptation in heterogeneous networks", E. Nikolouzou, P. Sampatakos, V. Kosmatos, I.S. Venieris, SPIE ITCOM 2003, September 2003

Βιβλία

- [8] Ι. Βενιέρης "Συστήματα Μεταγωγής Πληροφορίας σε Δίκτυα Ευρείας Ζώνης" (συμμετοχή στη συγγραφή των κεφαλαίων 3 - Μεταγωγείς με ενταμίευση στις μονάδες εισόδου και 5 - Μεταγωγείς Banyan)
- [9] "Live Video and On-demand Streaming" I.S. Venieris, E. Kosmatos, C. Papagianni, G. N. Prezerakos, "Handbook of Mobile Broadcasting: DVB-H, DMB, ISDB-T and MediaFLO"

