



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

ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗ **ΖΩΝΤΑΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΩΝ ΡΟΩΝ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Μηνόγιαννης Νικόλαος

Αθήνα, Ιούνιος 2006

ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΖΩΝΤΑΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΩΝ ΡΟΩΝ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Μηνόγιαννης Νικόλαος

Συμβουλευτική Επιτροπή:

B. Λούμος

E. Καγιάφας

E. Πρωτονοτάριος

Αθήνα, Ιούνιος 2006

Μηνόγιαννης Νικόλαος

Μηχανικός Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής

Copyright © Μηνόγιαννης Νικόλαος, 2006.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της παρούσης εργασίας δεν θα ήταν δυνατή αν δεν είχα την καθοδήγηση και συμπαράσταση κάποιων ανθρώπων.

Θα ήθελα, λοιπόν, να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Β. Λούμο καθώς και τα μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής, τους καθηγητές κ. Ε. Καγιάφα και κ. Ε. Πρωτονοτάριο για την πολύτιμη βοήθειά τους.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συνεργάτες μου όλα αυτά τα χρόνια στο Εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών και συγκεκριμένα τους κ. κ. Χ. Πατρικάκη, Ν. Ιγουμενίδη, Ι. Αγγελόπουλο, Σ. Βροντή, Κ. Καραπέτσα, Α. Λαμπίρη, Α. Ρομποτή, Ι. Δεσποτόπουλο, Π. Φάφαλη και Γ. Κουκουβάκη.

Περιεχόμενα

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	19
1.1	Αντικείμενο	19
1.2	Δομή.....	19
1.3	Αναφορές	20
2.	ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ.....	23
2.1	Πρότυπα / Πρωτόκολλα	23
2.1.1	Κωδικοποίηση	23
2.1.1.1	Εικόνα.....	23
2.1.1.2	Ήχος	25
2.1.1.3	Η Οικογένεια MPEG	26
2.1.2	Μετάδοση.....	27
2.1.2.1	RTP/RTCP.....	27
2.1.2.2	RTSP.....	28
2.1.3	MPEG-4.....	29
2.1.3.1	Κωδικοποίηση και Σύνθεση	30
2.1.3.2	Συγχρονισμός και Μετάδοση	32
2.1.3.3	Αλληλεπίδραση	33
2.1.3.4	Τεχνικά	33
2.2	Συμπληρωματικές Τεχνικές.....	35
2.2.1	Πολυεκπομπή	35
2.2.1.1	Πρωτόκολλα Πυκνής Διάταξης.....	37
2.2.1.2	Πρωτόκολλα Αραιής Διάταξης	40
2.2.1.3	Προβλήματα	41
2.2.2	Υπερκείμενα Δίκτυα.....	41
2.2.2.1	Τεχνολογίες	43
2.3	Μηχανισμοί Ποιότητας	44
2.3.1	Γενικές Προσεγγίσεις	45
2.3.2	Προσέγγιση Ελέγχου Ροής	45

2.3.2.1	Source-based.....	46
2.3.2.2	Receiver-based	47
2.3.2.3	Hybrid-based	48
2.3.3	Μορφοποίησης Ροής	48
2.3.4	Προσαρμόσιμη Κωδικοποίηση.....	48
2.3.4.1	SNR	50
2.3.4.2	Temporal.....	50
2.3.4.3	Spatial	51
2.3.4.4	Fine Granularity Scalability.....	51
2.4	Εμπορικές Λύσεις	51
2.4.1	Content Delivery Networks	51
2.4.2	Apple QuickTime Server.....	52
2.4.3	Microsoft Windows Media Services	53
2.4.4	RealNetworks Helix	54
2.4.5	Άλλες Πλατφόρμες.....	54
2.4.5.1	PacketVideo.....	54
2.4.5.2	Envio	54
2.4.5.3	Dicas Mpegable	54
2.5	Ανασκόπηση.....	55
2.6	Αναφορές	55
3.	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	61
3.1	Γενικά	61
3.2	Υπερκείμενο Δίκτυο	63
3.2.1	Γενικά	63
3.2.2	Σχεδίαση	64
3.2.3	Κριτήρια απόφασης.....	65
3.3	Έλεγχος Ροής	68
3.3.1	Γενικά	68
3.3.2	Βασικός Αλγόριθμος	70
3.3.3	Πολιτική Διαμόρφωσης Ρυθμού.....	72
3.3.4	Προσομοίωση.....	74
3.3.4.1	Πρώτο Σενάριο	75

3.3.4.2	Δεύτερο Σενάριο.....	78
3.3.4.3	Αποτελέσματα	80
3.4	Εφαρμογή	80
3.4.1	Υπερκείμενο Δίκτυο	81
3.4.2	Απλός Έλεγχος Ροής	82
3.4.3	Έλεγχος Ροής με Προσαρμόσιμη Κωδικοποίηση	86
3.4.4	Έλεγχος Ροής με Διαδραστικό Περιεχόμενο.....	87
3.4.5	Σύνθετος Έλεγχος Ροής με Προσαρμόσιμη Κωδικοποίηση και Διαδραστικό Περιεχόμενο	89
3.5	Ανασκόπηση.....	90
3.6	Αναφορές	90
4.	Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ OLYMPIC.....	91
4.1	Αρχιτεκτονική.....	91
4.1.1	Επισκόπηση	91
4.1.2	Δίκτυο Κωδικοποίησης και Συνεισφοράς	93
4.1.3	Δίκτυο Διανομής	94
4.1.3.1	Εξυπηρετητές Πολυμέσων και Πύλη MPEG-X.....	94
4.1.3.2	Σταθμοί Αναμετάδοσης SAS.....	94
4.1.3.3	Διαμορφωτής Ροής	97
4.1.4	Δίκτυο Πρόσβασης και Αναπαραγωγής	97
4.1.5	Κέντρο Μετάδοσης	98
4.1.5.1	Διαχειριστής Περιεχομένου.....	98
4.1.5.2	Διαχειριστής Μετάδοσης.....	98
4.1.5.3	Εφαρμογή Χρήστη	99
4.2	Μετάδοση Περιεχομένου	99
4.2.1	Απαιτήσεις.....	99
4.2.2	Περιγραφή	100
4.3	Ανάπτυξη Πλατφόρμας	101
4.3.1	Σύλληψη	103
4.3.2	Κωδικοποίηση	103
4.3.3	Διανομή	104
4.3.4	Μετρήσεις κατά τη Διάρκεια των Ολυμπιακών Αγώνων.....	105

4.3.5	Μετρήσεις κατά τη Διάρκεια των Παραολυμπιακών Αγώνων	111
4.4	Ανασκόπηση.....	115
4.5	Αναφορές	116
5.	Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ISMUS.....	117
5.1	Αρχιτεκτονική.....	118
5.1.1	Γενικά	118
5.1.2	Δίκτυο Διανομής / Μετάδοση	119
5.1.2.1	Στοιχεία Υλοποίησης.....	120
5.1.2.2	Εξυπηρετητής Πολυμέσων	122
5.1.2.3	Εφαρμογή Πελάτη	123
5.1.3	Κωδικοποίηση	124
5.1.3.1	Wavelets	124
5.1.4	Έλεγχος Ροής.....	128
5.1.4.1	Προσαρμόσιμη Κωδικοποίηση.....	128
5.1.4.2	Διαδραστικό Περιεχόμενο	129
5.2	Διανομή.....	130
5.2.1	Μετάδοση Ζωντανών Ροών.....	131
5.2.2	Υπηρεσία Video on Demand.....	132
5.3	Ανασκόπηση.....	134
5.4	Αναφορές	134
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	137
6.1	Σύνοψη της Προτεινόμενης Αρχιτεκτονικής	137
6.2	Καινοτομία και Σύγκριση με Υπάρχουσες Λύσεις	138
6.2.1	Συμβατότητα και Διαλειτουργικότητα	138
6.2.2	Υποστήριξη Χρηστών με Ετερογενή Χαρακτηριστικά.....	139
6.2.3	Υποστήριξη Μεγάλων Ομάδων Χρηστών	139
6.2.4	Υποστήριξη Μηχανισμών Ποιότητας Υπηρεσίας.....	140
6.2.5	Εκμετάλλευση του προτύπου MPEG-4.....	140
6.3	Θέματα προς Μελλοντική Διερεύνηση	141

6.3.1	Συχνότητα Αντίδρασης Αλγόριθμου Διαμόρφωσης Ροής.....	141
6.3.2	Βελτιστοποίηση Δομών Υπερκείμενου Δικτύου και Μη Κεντρικοποιημένη Διαχείριση	141
6.3.3	Επεκτάσεις για την Υποστήριξη Υπηρεσιών Video on Demand	142
6.4	Αναφορές	142
7.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	143
7.1	Βιογραφικό Σημείωμα.....	143
7.2	Δημοσιεύσεις σε Διεθνή Περιοδικά.....	144
7.3	Άρθρα σε Συλλογικούς Τόμους και Βιβλία	144
7.4	Ανακοινώσεις σε Συνέδρια.....	145

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1 – Τυπική διάταξη I, P και B frame με τις αναφορές τους.....	25
Σχήμα 2 – Δομή επικεφαλίδας πακέτου RTP.....	28
Σχήμα 3 – Τυπική MPEG-4 σκηνή.....	31
Σχήμα 4 – Συγχρονισμός και μετάδοση στο MPEG-4.....	32
Σχήμα 5 – Σχηματική απεικόνιση ενός υπερκείμενου δικτύου.....	42
Σχήμα 6 – Απόδοση χωρίς προσαρμόσιμη κωδικοποίηση.....	49
Σχήμα 7 – Απόδοση με προσαρμόσιμη κωδικοποίηση δύο επιπέδων.....	50
Σχήμα 8 – Απεικόνιση της αρχιτεκτονικής υπερκείμενου δικτύου.....	64
Σχήμα 9 – Κατηγοριοποίηση του βασικού αλγόριθμου ελέγχου ροής.....	70
Σχήμα 10 – Παράδειγμα εφαρμογής με 3 ροές.....	71
Σχήμα 11 – Τοπολογία 1 ^{ου} σεναρίου.....	75
Σχήμα 12 – Χρήση καναλιού RN->R1 και απώλειες πακέτων 1 ^{ου} σεναρίου.....	76
Σχήμα 13 – Μεταφορές που πραγματοποιούνται στο σταθμό αναμετάδοσης 1 ^{ου} σεναρίου... ..	77
Σχήμα 14 – Τοπολογία 2 ^{ου} σεναρίου.....	78
Σχήμα 15 – Χρήση καναλιών και απώλειες πακέτων 2 ^{ου} σεναρίου.....	79
Σχήμα 16 – Μεταφορές που πραγματοποιούνται στο σταθμό αναμετάδοσης 2 ^{ου} σεναρίου... ..	80
Σχήμα 17 – Μετάδοση όλων των εκδόσεων μιας ροής και διαχωρισμός στα άκρα.....	83
Σχήμα 18 – Μετάδοση μόνο των απαραίτητων από τα άκρα εκδόσεων μιας ροής.....	84
Σχήμα 19 – Έλεγχος Ροής με χρήση Διαμορφωτών Ροής.....	85
Σχήμα 20 – Πλήρης επεξεργασία εισερχόμενης ροής και παραγωγή εξερχόμενων ροών.....	86
Σχήμα 21 – Παραγωγή εξερχόμενων ροών με απλή αποκοπή πακέτων εισερχόμενης ροής..	87
Σχήμα 22 – Έλεγχος ροής με διαδραστικό περιεχόμενο.....	88
Σχήμα 23 – Συνδυασμός διαδραστικότητας με προσαρμόσιμη κωδικοποίηση.....	89
Σχήμα 24 – Αρχιτεκτονική OLYMPIC.....	93
Σχήμα 25 – Αρχιτεκτονική Σχεδίαση του SAS.....	95
Σχήμα 26 – Μετάδοση ροής από ένα δίκτυο SAS.....	96
Σχήμα 27 – Σχέδιο Δοκιμών της Πλατφόρμας OLYMPIC.....	102
Σχήμα 28 – Δίκτυο Διανομής κατά τη Διάρκεια των Δοκιμών.....	104
Σχήμα 29 – Κατανομή αιτήσεων ανά διαθέσιμη ροή.....	106
Σχήμα 30 – Κατανομή αιτήσεων ανά SAS.....	106
Σχήμα 31 – Συχνότητα αριθμού αιτήσεων ανά IP.....	107
Σχήμα 32 – Αθροιστική Κατανομή (CDF) συχνότητας αριθμού αιτήσεων ανά IP.....	107
Σχήμα 33 – Αθροιστική Κατανομή (CDF) της διάρκειας των συνεδριών.....	108
Σχήμα 34 – Αριθμός συνεδριών στο πεδίο του χρόνου.....	108

Σχήμα 35 – Αθροιστική Κατανομή (CDF) του διαστήματος μεταξύ των αφίξεων πελατών	109
Σχήμα 36 – Μέση απώλεια πακέτων και πλήθος συνεδριών στο χρόνο για SAS Θεσσαλονίκης.....	110
Σχήμα 37 – Μέση απώλεια πακέτων και πλήθος συνεδριών στο χρόνο για SAS Αθήνας ...	110
Σχήμα 38 – Μέση απώλεια πακέτων και πλήθος συνεδριών στο χρόνο για SAS ΕΜΠ.....	111
Σχήμα 39 – Ποσοστό δημοτικότητας των ροών στο σύνολο των αιτήσεων	112
Σχήμα 40 – Αριθμός χρηστών και σύνολο αιτήσεων ανά μέρα δοκιμής	112
Σχήμα 41 – Κατανομή αιτήσεων ανά ρυθμό κωδικοποίησης και SAS ανά μέρα δοκιμής ...	113
Σχήμα 42 – Αθροιστική Κατανομή (CDF) της διάρκειας των συνεδριών	113
Σχήμα 43 – Χρόνος ικανοποίησης RTSP αίτησης για όλες τις μέρες δοκιμών	114
Σχήμα 44 – Αριθμός συνεδριών κατά τη διάρκεια της ημέρας (22/9)	114
Σχήμα 45 – Φόρτος Επεξεργαστή και Κατανάλωση Μνήμης.....	115
Σχήμα 46 – Απεικόνιση της πλατφόρμας ISMuS.....	117
Σχήμα 47 – Μετάδοση διαδραστικού περιεχομένου με προσαρμόσιμη κωδικοποίηση	118
Σχήμα 48 – Δίκτυο Διανομής της πλατφόρμας ISMuS.....	119
Σχήμα 49 – Ανάπτυξη του υπερκείμενου δικτύου	120
Σχήμα 50 – Αρχιτεκτονική του Εξυπηρετητή Πολυμέσων	122
Σχήμα 51 – Αρχιτεκτονική της Εφαρμογής Πελάτη	123
Σχήμα 52 – Μετασχηματισμός Wavelet σε 2 διαστάσεις	125
Σχήμα 53 – Η αρχική εικόνα μετά το 1ο στάδιο του μετασχηματισμού	125
Σχήμα 54 – Η αρχική εικόνα μετά από 2 στάδια του μετασχηματισμού	126
Σχήμα 55 – Η αρχική εικόνα μετά από 5 στάδια του μετασχηματισμού	127
Σχήμα 56 – Ανακατασκευή μετά από 2 στάδια του μετασχηματισμού	127
Σχήμα 57 – Εφαρμογή της προσαρμόσιμης κωδικοποίησης στην πλατφόρμα ISMuS.....	129
Σχήμα 58 – Εφαρμογή ελέγχου ροής με διαδραστικό περιεχόμενο στην πλατφόρμα ISMuS	130
Σχήμα 59 – Μετάδοση Ζωντανών Ροών από το υπερκείμενο δίκτυο	132
Σχήμα 60 – Παροχή VoD περιεχομένου με χρήση του υπερκείμενου δικτύου	133

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1 – Εύρος και χρήση διευθύνσεων πολυεκπομπής IP.....	36
Πίνακας 2 – Παράμετροι Τοπολογίας 1 ^ο σεναρίου.....	75
Πίνακας 3 – Παράμετροι Ποιοτικού Ελέγχου 1 ^ο σεναρίου.....	75
Πίνακας 4 – Παράμετροι Προσομοίωσης 1 ^ο σεναρίου.....	75
Πίνακας 5 – Παράμετροι Τοπολογίας 2 ^ο σεναρίου.....	78
Πίνακας 6 – Παράμετροι Ποιοτικού Ελέγχου 2 ^ο σεναρίου.....	78
Πίνακας 7 – Παράμετροι Προσομοίωσης 2 ^ο σεναρίου.....	79
Πίνακας 8 – Παράμετροι Κωδικοποίησης MPEG-4.....	103
Πίνακας 9 – Παράμετροι Κωδικοποίησης MPEG-2.....	103
Πίνακας 10 – SAS που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις δοκιμές.....	105

Ευρετήριο Εξισώσεων

Εξίσωση 1 – Πολυώνυμο εκτίμησης κριτηρίων.....	65
Εξίσωση 2 – Πρακτική εφαρμογή της εκτίμησης κριτηρίων	66
Εξίσωση 3 – Υπολογισμός κριτηρίου Γεωγραφικής Εγγύτητας.....	66
Εξίσωση 4 – Υπολογισμός κριτηρίου Γεωγραφικής Εγγύτητας με πολλαπλά επίπεδα.....	66
Εξίσωση 5 – Υπολογισμός κριτηρίου Ποιότητας Ροής.....	66
Εξίσωση 6 – Υπολογισμός κριτηρίου Φόρτου Σταθμού.....	67
Εξίσωση 7 – Υπολογισμός διαθέσιμης επεξεργαστικής ισχύος.....	67
Εξίσωση 8 – Υπολογισμός διαθέσιμης μνήμης.....	67
Εξίσωση 9 – Υπολογισμός κριτηρίου Επιπέδου Ιεραρχίας.....	67
Εξίσωση 10 – Υπολογισμός κριτηρίου Εύρους Ζώνης.....	68
Εξίσωση 11 – Υπολογισμός κριτηρίου Δικτυακής Εγγύτητας.....	68
Εξίσωση 12 – Υπολογισμός βαρών για το MPL_L	73
Εξίσωση 13 – Μέσο μακροπρόθεσμο ποσοστό απώλειας πακέτων MPL_L	73
Εξίσωση 14 – Μέσο μακροπρόθεσμο ποσοστό απώλειας πακέτων για τιμή κλίσης μηδέν ...	73

1. Εισαγωγή

Το Διαδίκτυο, από ένα σχετικά περιορισμένο δίκτυο δεδομένων με κύρια αποστολή τη μεταφορά ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, έχει εξελιχθεί σήμερα στο κύριο μέσο επικοινωνίας εκατομμύριων ανθρώπων σε όλο τον κόσμο.

Οι διαδικτυακές εφαρμογές που αναπτύσσονται συνεχώς καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα αναγκών και αντικαθιστούν σιγά σιγά παραδοσιακότερους τρόπους επικοινωνίας. Με δεδομένο ότι η αρχική σχεδίαση του Διαδικτύου και των πρωτοκόλλων που στηρίζουν τη λειτουργία του αδυνατούσε να προβλέψει τη σημερινή διάδοση του, πολλά προβλήματα παρουσιάζονται όσο οι εφαρμογές γίνονται πολύπλοκες και απαιτητικότερες.

Η μετάδοση πολυμέσων μέσω του Διαδικτύου αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα υπηρεσίας, που η εφαρμογή και διάδοση της συναντά ιδιαίτερα προβλήματα, εξαιτίας της δομής και των μηχανισμών που επιλέχθηκαν όταν η χρήση μιας τέτοιας υπηρεσίας ήταν αδιανόητη.

1.1 Αντικείμενο

Στα πλαίσια της διατριβής θα μελετηθούν οι δυνατότητες μετάδοσης “ζωντανών” πολυμεσικών ροών (live streaming) σε πολλούς αποδέκτες. Ορίζουμε ως “ζωντανή” μια πολυμεσική ροή όταν η μετάδοση, η λήψη και η αναπαραγωγή της εκτελούνται σε πραγματικό χρόνο. Οι ζωντανές ροές αποτελούνται από πληροφορία χρονικά ευαίσθητη που καθίσταται άχρηστη (redundant) όταν ξεπεραστεί στον άξονα του χρόνου.

Η εργασία θα διερευνήσει τις τεχνικές και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται σήμερα για τη μετάδοση ζωντανών ροών και θα προτείνει μια λύση που θα προσαρμόζεται στους περιορισμούς που θέτει το Διαδίκτυο ώστε να εξασφαλίζεται η άμεση εφαρμογή της χωρίς να απαιτούνται αλλαγές στη δομή και τα πρωτόκολλα που έχουν επικρατήσει.

1.2 Δομή

Η παρούσα εργασία είναι δομημένη σε 5 κεφάλαια των οποίων τα περιεχόμενα συνοψίζονται ως εξής:

- Το Κεφάλαιο 2 λειτουργεί ως εισαγωγή στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σήμερα για τη μετάδοση ζωντανών πολυμεσικών ροών στο διαδίκτυο. Περιλαμβάνει την παρουσίαση των βασικών προτύπων και πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση (οικογένεια MPEG [1]) και την μετάδοση (RTP/RTCP [2], RTSP [3]) του περιεχομένου στους τελικούς χρήστες καθώς και τις συμπληρωματικές τεχνικές της πολυεκπομπής (multicast) [4] και των υπερκείμενων δικτύων (overlay networks). Στη συνέχεια περιγράφονται οι διαδεδομένοι μηχανισμοί που

εφαρμόζονται για την εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service) σε πολυμεσικές μεταδόσεις. Τέλος, παρουσιάζονται οι κυρίαρχες εμπορικές λύσεις στο συγκεκριμένο πεδίο (CDNs [5], Apple [6], Microsoft [7], RealNetworks [8]) και αναλύονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.

- Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η προτεινόμενη αρχιτεκτονική. Το κεφάλαιο ξεκινάει με την ανάπτυξη των στόχων της προτεινόμενης λύσης και συνεχίζει με την παρουσίαση της γενικής αρχιτεκτονικής που στηρίζεται σε δύο βασικά μέρη: την ανάπτυξη ενός υπερκείμενου δικτύου και τον σχεδιασμό ενός μηχανισμού ελέγχου ροής για την παροχή ποιότητας υπηρεσίας. Η παρουσίαση περιλαμβάνει τόσο την αλγοριθμική ανάπτυξη όσο και προσομοίωση στο περιβάλλον NS-2 [9]. Το κεφάλαιο κλείνει με την παράθεση πρακτικών εφαρμογών της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής για την υλοποίηση μιας πραγματικής πλατφόρμας μετάδοσης πολυμεσικού περιεχομένου.
- Το Κεφάλαιο 4 περιγράφει την πλατφόρμα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος IST OLYMPIC [10] για την παροχή ζωντανών ροών κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών και Παραολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας το 2004. Η πλατφόρμα OLYMPIC αποτελεί μια ολοκληρωμένη λύση για την παροχή πολυμεσικών υπηρεσιών. Το υποσύστημα της πλατφόρμας που ασχολείται με τη μετάδοση του περιεχομένου στους τελικούς χρήστες ενσωματώνει σε μεγάλο βαθμό την αρχιτεκτονική που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το κεφάλαιο κλείνει με την παράθεση και σχολιασμό των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν σε πραγματικές συνθήκες και με συμμετοχή αληθινών χρηστών κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών και Παραολυμπιακών Αγώνων για την αξιολόγηση της πλατφόρμας.
- Το Κεφάλαιο 5 περιγράφει την πλατφόρμα παροχής ζωντανών πολυμεσικών ροών που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος ISMuS [11]. Η πλατφόρμα ISMuS στηρίζεται εξ ολοκλήρου στο πρότυπο MPEG-4 [12] και ενσωματώνει πλήρως την προτεινόμενη αρχιτεκτονική σε συνδυασμό με τις προηγμένες τεχνικές της διαδραστικότητας του περιεχομένου και της προσαρμοστικής κωδικοποίησης.
- Το Κεφάλαιο 6 περιλαμβάνει μια σύνοψη της προτεινόμενης λύσης, επισημαίνει τις καινοτομίες της και περιλαμβάνει τη σύγκριση με τις υπάρχουσες αρχιτεκτονικές ενώ ολοκληρώνεται με τη αναφορά θεμάτων που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης και προδιαγράφει τις μελλοντικές κατευθύνσεις.

1.3 Αναφορές

[1] Moving Picture Experts Group (MPEG), <http://www.chiariglione.org/mpeg/>.

- [2] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, “RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications”, RFC 3550, Internet Engineering Task Force, July 2003.
- [3] H. Schulzrinne, A. Rao, R. Lanphier, “Real Time Streaming Protocol (RTSP)”, RFC 2326, Internet Engineering Task Force, April 1998.
- [4] S. Deering and D. Cheriton, “Multicast Routing in Datagram Inter-Networks and Extended LANs,” ACM Trans. Comp. Sys., vol. 8, no. 2, pp. 85–110, May 1990.
- [5] Akamai Technologies, Inc., <http://www.akamai.com>.
- [6] Apple Computer, Inc., <http://developer.apple.com/darwin/projects/streaming/>
- [7] Microsoft Corporation, <http://www.microsoft.com/windows/windowsmedia/default.aspx>
- [8] RealNetworks, Inc., <http://helixcommunity.org/2002/intro/platform>.
- [9] The Network Simulator - ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [10] Olympics Multimedia Personalized for the Internet Community (OLYMPIC), <http://olympic.sema.es/>.
- [11] Interactive Scalable MULTimedia Streaming platform (ISMuS), <http://www.etri.re.kr/>.
- [12] MPEG-4, ISO/IEC 14496, 1999.

2. Μετάδοση Πολυμέσων στο Διαδίκτυο

Η μετάδοση πολυμέσων στο διαδίκτυο είναι μια σύνθετη διαδικασία που αποτελείται από πολλά στάδια και απαιτεί ένα σύνολο μηχανισμών και τεχνικών που χρειάζεται να συνεργασθεί για την επίτευξη του αποτελέσματος.

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφουμε τα δημοφιλή πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στα δύο βασικά στάδια της διαδικασίας, την κωδικοποίηση και τη μετάδοση, παραθέτουμε τους συμπληρωματικούς μηχανισμούς μετάδοσης της πολυεκπομπής και των υπερκείμενων δικτύων που χρησιμοποιούνται στις ζωντανές ροές, μελετούμε το ζήτημα της ποιότητας και παρουσιάζουμε τις εμπορικές λύσεις που διατίθενται.

2.1 Πρότυπα / Πρωτόκολλα

Πλήθος προτύπων και πρωτοκόλλων έχει αναπτυχθεί και εφαρμοσθεί στη μετάδοση πολυμέσων. Οι δύο βασικοί τομείς που επικεντρώνονται οι προσπάθειες είναι στην ψηφιοποίηση/κωδικοποίηση της πληροφορίας και στους μηχανισμούς μετάδοσης αυτής.

2.1.1 Κωδικοποίηση

Η κωδικοποίηση του αρχικού, αναλογικού συνήθως, σήματος σε μορφή κατάλληλη για μετάδοση αποτελεί το πλέον σημαντικό στάδιο της διαδικασίας αφού αποτελεί το αρχικό σημείο πάνω στο οποίο θα χτιστεί η υπηρεσία που θα προσφερθεί στο χρήστη.

Στις παρακάτω παραγράφους περιγράφουμε τις γενικές αρχές πάνω στις οποίες στηρίζεται η κωδικοποίηση εικόνας και ήχου, παραθέτουμε μια περίληψη των προτύπων MPEG που αποτελούν τα κυρίαρχα πρότυπα στο χώρο και επικεντρώνουμε στο πρότυπο MPEG-4 που χρησιμοποιείται στη λύση που προτείνεται σε αυτήν τη διατριβή.

2.1.1.1 Εικόνα

Η βασική ιδέα που εφαρμόζεται στην συμπίεση κινούμενης εικόνας (video) είναι η αφαίρεση της πλεονάζουσας πληροφορίας στο χώρο (spatial redundancy) ενός καρέ (frame) και η αφαίρεση της χρονικά πλεονάζουσας πληροφορίας (temporal redundancy) μεταξύ των καρέ. Όπως και στο πρότυπο JPEG, που χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση μη κινούμενων εικόνων, ο διάκριτος μετασχηματισμός συνημιτόνου¹ (Discrete Cosine Transformation – DCT) εφαρμόζεται για την πλεονάζουσα πληροφορία στο χώρο ενώ για την πλεονάζουσα πληροφορία στο χρόνο εφαρμόζεται η τεχνική της αντιστάθμισης κίνησης (motion compensation). Η τεχνική της αντιστάθμισης κίνησης στηρίζεται στο γεγονός ότι η μια ροή

¹ Ο διάκριτος μετασχηματισμός συνημιτόνου DCT είναι ένας μετασχηματισμός Fourier, παραπλήσιος με τον διακριτό μετασχηματισμό Fourier (Discrete Fourier Transformation – DFT), ο οποίος χρησιμοποιεί όμως πραγματικούς αριθμούς.

κινούμενης εικόνας δεν αλλάζει δραματικά μέσα σε μικρά χρονικά διαστήματα οπότε μπορούμε να συμπίεσουμε ένα καρέ σε σχέση με τα γειτονικά του.

Τα καρέ που απαρτίζουν μια κινούμενη εικόνα ψηφιοποιούνται στο πρότυπο RGB που χρησιμοποιεί 24bits, 8bits για κάθε ένα από τα 3 κανάλια (Κόκκινο, Πράσινο και Μπλε) που απαρτίζουν την πληροφορία. Για την κωδικοποίηση, γίνεται μετατροπή στο πρότυπο YUV που επίσης χρησιμοποιεί 3 κανάλια, όπου Y είναι η φωτεινότητα (luminance) και U, V είναι η χρωματικότητα (chrominance). Η πληροφορία απαιτεί ακόμα 24bits (3 x 8bits) για κάθε σημείο (pixel) του καρέ. Εκμεταλλευόμενοι το γεγονός ότι το ανθρώπινο μάτι είναι λιγότερο ευαίσθητο σε διαφορές στο χρώμα από ότι σε διαφορές στην ένταση, μπορούμε να μειώσουμε τη χρωματική πληροφορία χωρίς ορατή απώλεια ποιότητας. Η διαδικασία λέγεται chroma subsampling και μετά την εφαρμογή της απαιτούνται 12bits για κάθε σημείο (8bits για τη φωτεινότητα και 4bits για την χρωματικότητα). Η πληροφορία που χάνεται κατά τη μετατροπή προσεγγίζεται συνήθως κατά την αναπαραγωγή με παρεμβολή (interpolation), ενώ ο όγκος πληροφορίας που απαιτείται έχει ήδη μειωθεί στο μισό.

Η συμπίεση εφαρμόζεται σε γενικές γραμμές με τον εξής τρόπο: Το κάθε καρέ χωρίζεται σε μπλοκ (π.χ. 16 x 16 σημείων), εφαρμόζεται ο DCT και η πληροφορία μεταφέρεται από το χώρο στο πεδίο της συχνότητας. Στη συνέχεια, οι συντελεστές που έχουν προκύψει από τον μετασχηματισμό κβαντίζονται (quantized). Κατά την κβαντοποίηση (quantization) διαιρούμε ουσιαστικά τους συντελεστές με κάποια τιμή (τον κβαντιστή – quantizer) ώστε να απορριφθούν τα χαμηλής τάξης (low-order) bits και να απαιτείται λιγότερος χώρος για την αποθήκευσή τους.

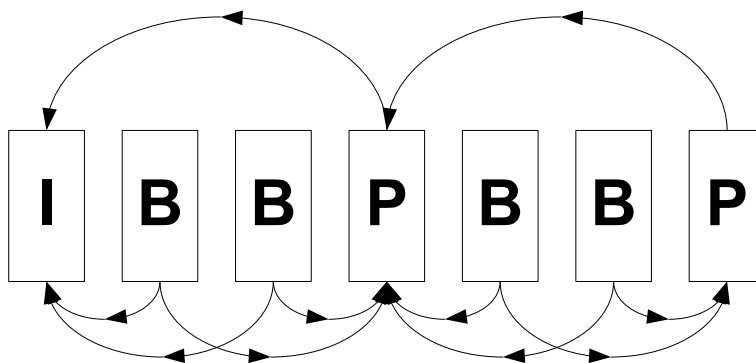
Τα καρέ συμπιέζονται με 3 τρόπους.

- Τα I-Frame (intra frame) τα οποία συμπιέζονται ως ακίνητη εικόνα με την τεχνική που περιγράφηκε προηγουμένως, χωρίς αναφορές σε προηγούμενα ή μελλοντικά καρέ.
- Τα P-Frame (predicted frame) τα οποία στηρίζονται στο πλέον πρόσφατο I ή P-Frame, το οποίο ονομάζεται καρέ αναφοράς (reference frame). Τα μπλοκ που απαρτίζουν ένα P-Frame μπορούν να συμπεστούν είτε ως I-μπλοκ είτε ως P-μπλοκ. Τα I-μπλοκ υπολογίζονται ακριβώς όπως υπολογίζονται και τα μπλοκ ενός I-Frame. Τα P-μπλοκ χρησιμοποιούν την τεχνική της αντιστάθμισης κίνησης και υπολογίζονται ως ένα μπλοκ από το καρέ αναφοράς (μπλοκ αναφοράς) συν τυχόν διαφορά των DCT συντελεστών. Για να υποδειχθεί το μπλοκ αναφοράς χρησιμοποιείται ένα διάνυσμα κίνησης (motion vector). Αν το διάνυσμα κίνησης είναι (0, 0) τότε το μπλοκ που κωδικοποιούμε είναι στην ίδια θέση με το μπλοκ αναφοράς. Ο αποτελεσματικότητα της συμπίεσης εξαρτάται από την ικανότητα του

κωδικοποιητή να εντοπίζει μπλοκ που δεν άλλαξαν ή άλλαξαν ελάχιστα¹ λαμβάνοντας υπόψη ταυτόχρονα τυχόν μετακίνηση τους στο χώρο. Αν ο κωδικοποιητής αδυνατεί να βρει ικανοποιητικές τιμές (διάνυσμα κίνησης και διαφορά συντελεστών) για ένα P-μπλοκ, αυτό κωδικοποιείται ως I-μπλοκ.

- Τα B-Frame (bi-directional frame) συμπεριφέρονται ανάλογα με τα P-Frame με τη διαφορά ότι χρησιμοποιούν 2 καρέ αναφοράς, το πλέον πρόσφατο στο παρελθόν και το πλέον κοντινό στο μέλλον. Τα καρέ αναφοράς μπορούν να είναι είτε I είτε P-Frame. Τα μπλοκ σε ένα B-Frame μπορούν να χρησιμοποιήσουν διάνυσμα κίνησης που αναφέρεται είτε στο παρελθόν, είτε στο μέλλον είτε σε κάποια στάθμιση αυτών των δύο. Αν δεν προκύπτει ικανοποιητική συμπίεση, το μπλοκ συμπίεζεται ως I-μπλοκ.

Μία τυπική διάταξη I, P και B καρέ εμφανίζεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1 – Τυπική διάταξη I, P και B frame με τις αναφορές τους.

Είναι προφανές ότι σε μια ροή καρέ είναι απαραίτητη η παρουσία ενός τουλάχιστον I-Frame. Συνήθως οι κωδικοποιητές εισάγουν περιοδικά I-Frame (π.χ. κάθε 5-10 δευτερόλεπτα) για την αποφυγή δημιουργίας μακρών αλυσίδων εξάρτησης, ενώ επίσης διευκολύνεται η τυχαία αναζήτηση κάποιου σημείου στη ροή αφού απαιτείται λιγότερη επεξεργαστική προσπάθεια για την ανάκτηση της πληροφορίας στο ζητούμενο σημείο.

2.1.1.2 Ήχος

Η κωδικοποίηση του ήχου χρησιμοποιεί ψυχοακουστικά (psychoacoustic) μοντέλα που προσπαθούν να προσεγγίσουν τον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου αυτιού. Η ακοή μας παρουσιάζει ιδιαιτερότητες όπως π.χ. μικρότερη ευαισθησία στις πολύ χαμηλές ή πολύ υψηλές συχνότητες, αδυναμία διάκρισης κοντινών, χρονικά, συχνοτήτων με σημαντική διαφορά στην ένταση, κτλ. Τα ψυχοακουστικά μοντέλα εφαρμόζονται στο ψηφιακό σήμα και προσπαθούν να απαλείψουν πληροφορία που δεν θα γινόταν ούτως ή άλλως αντιληπτή κατά την αναπαραγωγή.

¹ Εφόσον η κωδικοποίηση σε ένα P-μπλοκ χρησιμοποιεί τη διαφορά των DCT συντελεστών με τους συντελεστές του μπλοκ αναφοράς, μικρές αλλαγές ισοδυναμούν με μικρότερες διαφορές μεταξύ των συντελεστών και ως εκ τούτου μικρότερο χώρο αποθήκευσης αυτών.

2.1.1.3 Η Οικογένεια MPEG

Η ομάδα εργασίας MPEG (Moving Picture Experts Group) συστήθηκε από τον διεθνή οργανισμό ISO/IEC το 1988, με σκοπό την παραγωγή προτύπων για την ψηφιοποιημένη αναπαράσταση κινούμενης εικόνας και ήχου.

Τα πρότυπα MPEG έχουν τύχει καθολικής αποδοχής και χρησιμοποιούνται σήμερα στην πλειονότητα των πολυμεσικών εφαρμογών της αγοράς. Παρακάτω δίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των προτύπων αυτών:

- **MPEG-1**

Το MPEG-1 [13] δημιουργήθηκε με σκοπό την προδιαγραφή μιας κωδικοποίησης για αποθήκευση και αναπαραγωγή κινούμενης εικόνας και ήχου με ρυθμό μέχρι 1.5Mbps, κατάλληλο για την αποθήκευση σε CD. Οι προδιαγραφές για την εικόνα προέβλεπαν ποιότητα VHS σε ρυθμό 1.15Mbps ενώ για τον ήχο προβλεπόταν 2 κανάλια (στερεοφωνικός) με ρυθμούς μέχρι 384Kbps σε ποιότητα αντίστοιχη του αρχικού σήματος. Το πρότυπο περιγράφει επίσης τις διαδικασίες πολύπλεξης και συγχρονισμού ροών εικόνας και ήχου. Το MPEG-1 χρησιμοποιήθηκε και χρησιμοποιείται ακόμα σε πολλά προϊόντα και υπηρεσίες πολυμέσων. Οι πλέον γνωστές εφαρμογές του προτύπου είναι τα Video CD και η συμπίεση MP3 (MPEG-1 Audio Layer III).

- **MPEG-2**

Το MPEG-2 [14], συνεχίζοντας από εκεί που σταμάτησε το MPEG-1, προδιέγραψε την κωδικοποίηση εικόνας σε ρυθμούς μέχρι 10Mbps και ικανοποιητική ποιότητα για τις περισσότερες χρήσεις ενώ πρόσθεσε υποστήριξη για πολυκάναλο ήχο. Επίσης, για πρώτη φορά, υπήρξε πρόβλεψη για μετάδοση πάνω από μη αξιόπιστα δίκτυα. Το πρότυπο περιλαμβάνει και το πρωτόκολλο DSM-CC (Digital Storage Media Command and Control) για την υποστήριξη συνεδριών και τον απομακρυσμένο έλεγχο εξυπηρετητών με MPEG-2 περιεχόμενο. Οι πλέον διαδεδομένες χρήσεις του MPEG-2 είναι η παροχή υπηρεσιών ψηφιακής τηλεόρασης και το DVD.

- **MPEG-4**

Το MPEG-4 [15] παρήγαγε πρότυπα που εξασφαλίζουν υψηλή ποιότητα εικόνας και ήχου ακόμα και για χαμηλούς ρυθμούς (<1Mbps), περιοχή που δεν καλυπτόταν από το MPEG-2. Η σημαντικότερη όμως καινοτομία του MPEG-4 είναι η χρήση αντικειμένων. Η αναπαράσταση μιας σκηνής μπορεί να δημιουργηθεί από ένα πλήθος αντικειμένων τα οποία συνδυάζονται και αλληλεπιδρούν με το χρήστη. Τα αντικείμενα δεν περιορίζονται σε εικόνες και ήχους αλλά περιλαμβάνουν κείμενο, γραφικά, συνθετική ομιλία, κτλ. Επίσης, προδιαγράφεται το DMIF (Delivery Multimedia Integration Framework), σε αντιστοιχία με το DSM-CC, το οποίο χρησιμοποιείται για την μετάδοση σύνθετου MPEG-4 περιεχομένου και παρέχει υποστήριξη για εφαρμογή μηχανισμών ποιότητας. Το MPEG-4 τελεί ακόμα υπό ανάπτυξη αλλά κατέχει ήδη μεγάλο μερίδιο στην αγορά

πολυμεσικών εφαρμογών, κυρίως στις εφαρμογές που απευθύνονται σε κινητές συσκευές. Περισσότερα για το MPEG-4 μπορούν να βρεθούν στην παράγραφο 2.1.3.

- MPEG-7

Το MPEG-7 [16], το οποίο βρίσκεται ακόμα υπό ανάπτυξη, δεν ασχολείται με θέματα κωδικοποίησης και μετάδοσης αλλά λειτουργεί συμπληρωματικά στα άλλα πρότυπα και περιγράφει τρόπους έκφρασης μετα-πληροφοριών (metadata).

- MPEG-21

Το MPEG-21 είναι το πλέον πρόσφατο MPEG πρότυπο και βρίσκεται ακόμα στα πρώτα στάδια ανάπτυξης του. Το MPEG-21 θα προσπαθήσει να προδιαγράψει μια πλατφόρμα για μετάδοση και αναπαραγωγή πολυμέσων. Μια πρώτη περιγραφή των στόχων του μπορεί να βρεθεί στο [17].

2.1.2 Μετάδοση

Ο οργανισμός IETF (Internet Engineering Task Force) έχει συσταθεί για την ομαλή εξέλιξη και προώθηση του Διαδικτύου μέσω της ανάπτυξης ανοικτών προτύπων. Στα πλαίσια αυτά και μέσα από τις σχετικές ομάδες εργασίας, έχουν προκύψει τα πλέον διαδεδομένα ανοικτά πρότυπα για μετάδοση πολυμέσων, τα RTP/RTCP και RTSP.

2.1.2.1 RTP/RTCP

Το Real-time Transmission Protocol (RTP) [18] είναι το βασικό πρότυπο που μαζί με το Real-time Transmission Control Protocol (RTCP) προδιαγράφει υπηρεσίες για τη μεταφορά περιεχομένου σε πραγματικό χρόνο. Οι υπηρεσίες αυτές περιλαμβάνουν χρονική αποκατάσταση (timing recovery), ανίχνευση απωλειών και διόρθωση, εξακρίβωση της ταυτότητας της πηγής και του φορτίου (payload), ενημέρωση για την ποιότητα λήψης, συγχρονισμό των διαφόρων μέσων και διαχείριση της ιδιότητας μέλους. Αν και το RTP αρχικά σχεδιάστηκε για χρήση σε εφαρμογές συνδιάσκεψης με πολυεκπομπή χρησιμοποιώντας ένα ελαφρύ μοντέλο για συνεδρίες, σήμερα έχει αποδειχθεί χρήσιμο για ένα μεγάλο σύνολο από εφαρμογές και για εκπομπή από σημείο σε σημείο.

ροές, αλλά ενεργεί ως «δικτυακό τηλεκοντρόλ» απέναντι στους εξυπηρετητές πολυμέσων. Το RTSP χρησιμοποιεί τη σύνταξη του HTTP αλλά διαφέρει ως προς αυτό σε αρκετά σημεία, με βασικότερο το ότι κρατάει την κατάσταση (state) για κάθε συνεδρία που διαχειρίζεται. Στο πρωτόκολλο δεν ορίζεται η έννοια της σύνδεσης, αλλά αυτή της συνεδρίας, καθώς μπορεί κανείς με περισσότερες από μία συνδέσεις στο επίπεδο μεταφοράς να εκτελέσει αιτήσεις RTSP που αφορούν την ίδια συνεδρία. Εφόσον χρειάζεται αξιόπιστο μέσο μεταφοράς πάνω από ένα δίκτυο, χρησιμοποιεί το TCP και παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να ζητήσει από τον εξυπηρετητή την περιγραφή της ροής (DESCRIBE), την προετοιμασία της σύνδεσης (SETUP), την αποστολή της ροής (PLAY) και τον τερματισμό της σύνδεσης (TEARDOWN). Επιπλέον λειτουργίες που ορίζει το πρωτόκολλο, όπως η ανακατεύθυνση (REDIRECT), συνήθως, δεν υλοποιούνται από τις εμπορικές εφαρμογές των εταιριών. Σε μια προσπάθεια καλύτερου ορισμού των επιπλέον λειτουργιών, οι ομάδες εργασίας AVT (Audio/Video Transport) και MMUSIC (Multiparty Multimedia Session Control) της IETF βρίσκονται στο στάδιο του αναλυτικότερου καθορισμού του πρωτοκόλλου.

2.1.3 MPEG-4

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το MPEG-4 κατέχει ήδη μεγάλο μέρος της αγοράς στο χώρο των πολυμεσικών εφαρμογών και είναι σίγουρο ότι θα αποτελέσει το κυρίαρχο πρότυπο στο άμεσο μέλλον. Η λύση που προτείνεται σε αυτή τη διατριβή χρησιμοποιεί το MPEG-4 και στις δύο πρακτικές υλοποιήσεις της. Για αυτό το λόγο, σε αυτή την παράγραφο δίνεται μια πιο εκτεταμένη περιγραφή.

Οι στόχοι του MPEG-4 είναι η παροχή ενός πλαισίου τεχνολογιών που καλύπτει τους δημιουργούς περιεχομένου, τους πάροχους δικτυακών υπηρεσιών και τους τελικούς χρήστες.

- Για τους δημιουργούς, το MPEG-4 επιτρέπει τη δημιουργία περιεχομένου με μεγαλύτερη ευελιξία και επαναχρησιμότητα από ότι άλλες λύσεις όπως η ψηφιακή τηλεόραση και οι τεχνολογίες του παγκόσμιου ιστού (World Wide Web). Επίσης, προσφέρονται μηχανισμοί για διαχείριση και προστασία των πνευματικών δικαιωμάτων.
- Για τους πάροχους δικτυακών υπηρεσιών, παρέχει τους μηχανισμούς που εξασφαλίζουν ανεξαρτησία και διαφανή λειτουργία πάνω από κάθε δικτυακή υποδομή. Πρόβλεψη υπάρχει και για την ενσωμάτωση μηχανισμών ποιότητας.
- Για τους τελικούς χρήστες προσφέρεται η δυνατότητα αλληλεπίδρασης με το περιεχόμενο στα όρια που έχει θέσει ο δημιουργός. Επίσης η ευελιξία του προτύπου διευκολύνει την προσφορά πολυμεσικών εφαρμογών σε δίκτυα χαμηλής χωρητικότητας και στις κινητές επικοινωνίες.

Για την εξασφάλιση των παραπάνω, το MPEG-4 προδιαγράφει τεχνολογίες που καθορίζουν:

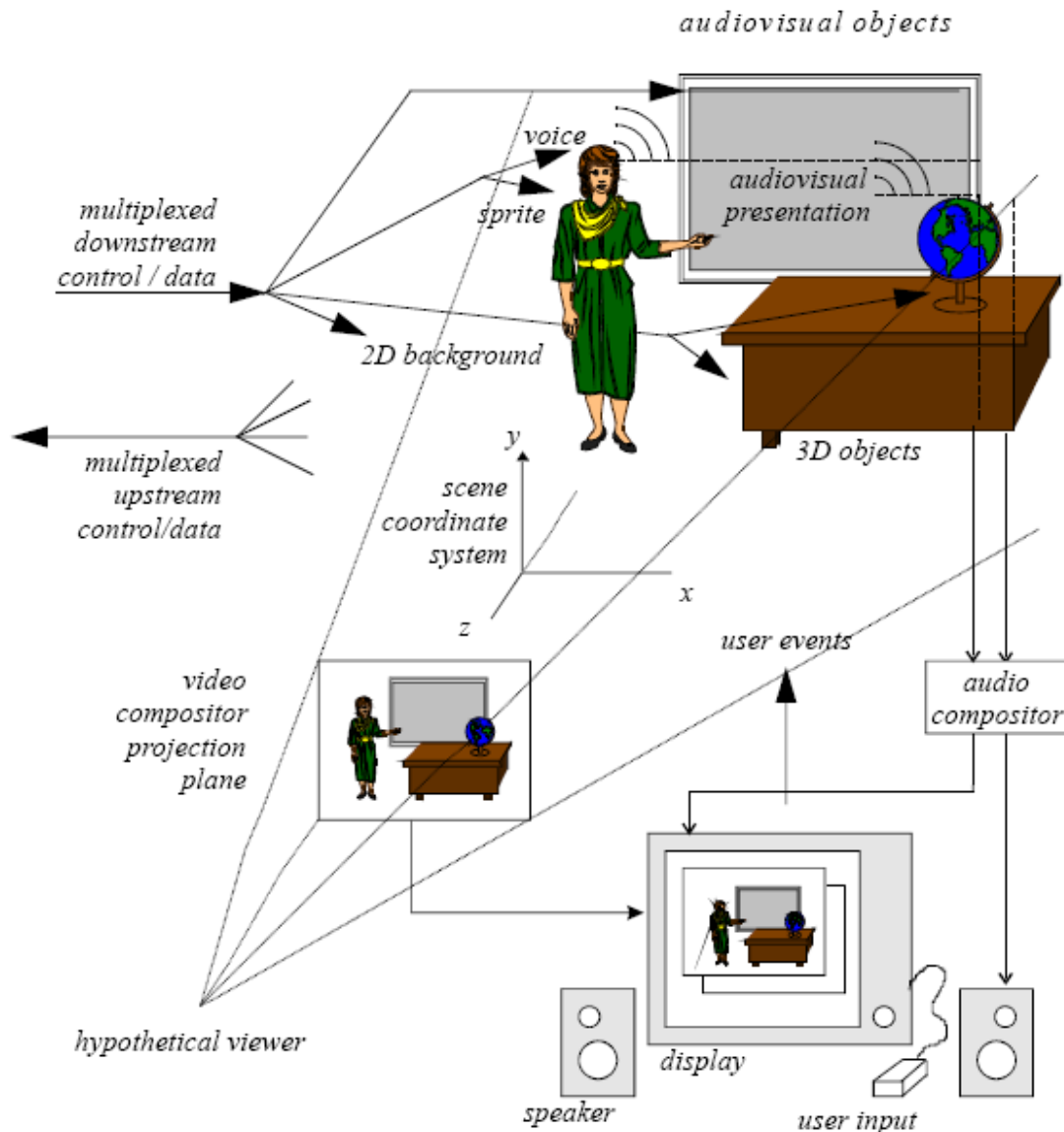
- Την αναπαράσταση οπτικών και ακουστικών μονάδων που ονομάζονται, στα πλαίσια του προτύπου, πολυμεσικά αντικείμενα (media objects). Τα αντικείμενα μπορεί να είναι είτε ψηφιοποιημένες αναπαραστάσεις από φυσικές πηγές (π.χ. βιντεοσκοπημένη εικόνα) είτε συνθετικά (δηλαδή να έχουν παραχθεί από υπολογιστή).
- Τη σύνθεση των αντικειμένων για τη δημιουργία πολυπλοκότερων αντικειμένων και το συνδυασμό αυτών στη δημιουργία οπτικοακουστικών παραστάσεων/σκηνών (audiovisual scenes).
- Την πολύπλεξη και τον συγχρονισμό των δεδομένων που αποτελούν τα αντικείμενα, ώστε να επιτευχθεί η μετάδοση τους πάνω από κάποιο δίκτυο προσφέροντας και τη δυνατότητα για εφαρμογή μηχανισμών ποιότητας.
- Τις δυνατότητες αλληλεπίδρασης του τελικού χρήστη με τα αντικείμενα που απαρτίζουν μια οπτικοακουστική σκηνή.

2.1.3.1 Κωδικοποίηση και Σύνθεση

Οι σκηνές στο MPEG-4 αποτελούνται από πολλά αντικείμενα ιεραρχικά τοποθετημένα. Στα χαμηλότερα στάδια της ιεραρχίας βρίσκονται στοιχειώδη (primitive) αντικείμενα όπως στατικές εικόνες (π.χ. ένα φόντο), κινούμενες εικόνες (π.χ. ένα άτομο που μιλάει), ήχοι (π.χ. η φωνή του προαναφερθέντος ατόμου), κτλ. Το MPEG-4, εκτός από τα προηγούμενα στοιχειώδη αντικείμενα, ορίζει και μια σειρά άλλων αντικειμένων όπως κείμενο και γραφικά, συνθετικά πρόσωπα και σώματα (με προδιαγραφές για την κίνηση τους), συνθετική ήχοι (μουσική και φωνή), κτλ.

Κάθε αντικείμενο, στην κωδικοποιημένη του μορφή, μπορεί να περιλαμβάνει πληροφορίες για το χειρισμό του στα πλαίσια μιας σκηνής και παραμέτρους σχετικά με τη μετάδοση του. Το κάθε αντικείμενο κωδικοποιείται ανεξάρτητα από το περιβάλλον του επιτρέποντας την επαναχρησιμοποίηση του.

Στο Σχήμα 3 αναπαρίσταται η τυπική δομή μιας MPEG-4 σκηνής. Η σκηνή αποτελείται από στοιχειώδη αντικείμενα τα οποία συνδυάζονται και συνθέτουν πολυπλοκότερα για να απαρτίσουν το τελικό αποτέλεσμα.



Σχήμα 3 – Τυπική MPEG-4 σκηνή

Συγκεκριμένα, το MPEG-4 παρέχει στους δημιουργούς περιεχομένου τις εξής δυνατότητες για να περιγράψουν μια σκηνή:

- Να τοποθετούν αντικείμενα οπουδήποτε χρησιμοποιώντας ένα σύστημα συντεταγμένων με 2 ή 3 διαστάσεις.
- Να εφαρμόζουν μετασχηματισμούς είτε στην γεωμετρική είτε στην ακουστική αναπαράσταση των αντικειμένων.
- Να συνδυάζουν στοιχειώδη αντικείμενα και να σχηματίζουν πολυπλοκότερα.
- Να διαμορφώνουν το περιεχόμενο σύμφωνα με την αλληλεπίδραση του χρήστη.

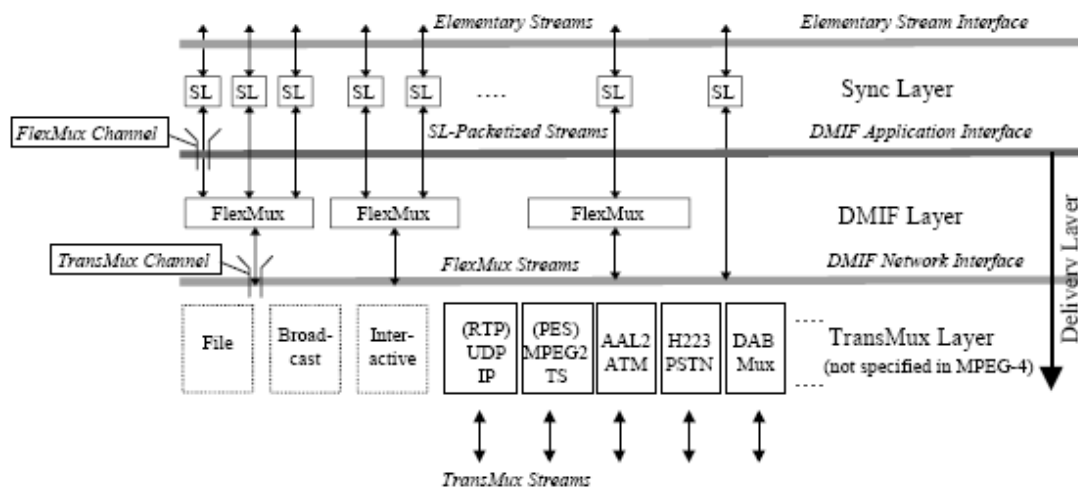
Για την υλοποίηση των παραπάνω χαρακτηριστικών καθορίζεται μια προδιαγραφή που στηρίζεται στις αρχές της VRML [20] και επεκτείνεται για την πλήρη κάλυψη τους.

2.1.3.2 Συγχρονισμός και Μετάδοση

Κατά τη μετάδοση, η πληροφορία που απαρτίζει κάποιο αντικείμενο μεταφέρεται μέσω στοιχειωδών ροών (elementary streams). Οι ροές που απαιτούνται ορίζονται από τον περιγραφέα αντικειμένου (object descriptor). Στην περιγραφή του αντικειμένου μπορούν να περιληφθούν και άλλες πληροφορίες όπως π.χ. στοιχεία σχετικά με τα πνευματικά δικαιώματα. Επίσης, για κάθε στοιχειώδη ροή μπορούν να περιληφθούν στοιχεία όπως οι απαιτήσεις αποκωδικοποίησης, το απαιτούμενο εύρος ζώνης, το μέγιστο ανεκτό σφάλμα κατά τη μετάδοση, προτεραιότητες, κτλ.

Ο συγχρονισμός των στοιχειωδών ροών επιτυγχάνεται με την χρονοσφράγιση (time stamping) των μονάδων πρόσβασης (access units) που περιέχουν οι ροές. Οι μονάδες πρόσβασης εξαρτώνται από το είδος του αντικειμένου που περιγράφεται και μπορεί να αντιστοιχούν σε ένα καρέ εικόνας ή ήχου ή σε μια εντολή σύνθεσης σκηνης. Η διαδικασία της χρονοσφράγισης των μονάδων είναι ανεξάρτητη του τύπου τους και η επεξεργασία και ο συγχρονισμός των στοιχειωδών ροών μπορεί να γίνει με ενιαίο τρόπο.

Για τη μετάδοση των στοιχειωδών ροών ορίζονται δύο επίπεδα, το επίπεδο συγχρονισμού (Sync Layer) και το επίπεδο μεταφοράς (Delivery Layer). Το επίπεδο μεταφοράς χωρίζεται σε δύο υποεπίπεδα, το επίπεδο DMIF και το επίπεδο TransMux. Η διασύνδεση μεταξύ των επιπέδων ορίζεται από την προδιαγραφή DMIF (Delivery Multimedia Integration Framework) που αποτελεί μέρος του MPEG-4. Το Σχήμα 4 επιδεικνύει την αρχιτεκτονική:



Σχήμα 4 – Συγχρονισμός και μετάδοση στο MPEG-4

Στο επίπεδο συγχρονισμού εκτελείται η χρονοσφράγιση όπως αυτή περιγράφηκε παραπάνω. Τα δεδομένα που προκύπτουν μεταφέρονται στο επόμενο επίπεδο, το επίπεδο μετάδοσης χρησιμοποιώντας τη διασύνδεση που ορίζει το DAI (DMIF Application Interface).

Προαιρετικά, οι στοιχειώδεις ροές μπορούν να ομαδοποιηθούν ώστε να οριστεί μια κοινή πολιτική ποιότητας ή να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των συνδέσεων που θα απαιτηθεί για τη μετάδοσή τους. Η ομαδοποίηση μπορεί να γίνει με το εργαλείο FlexMux που ορίζει το MPEG-4.

Το MPEG-4 δεν ορίζει το επίπεδο TransMux το οποίο αναλαμβάνει και το πρακτικό μέρος της μετάδοσης. Ορίζει όμως την προδιαγραφή μέσω της οποίας θα πρέπει να γίνεται η επικοινωνία του επιπέδου DMIF με το επίπεδο αυτό. Η προδιαγραφή αυτή ονομάζεται DNI (DMIF Network Interface). Η αφαίρεση αυτή επιτρέπει την εφαρμογή οποιασδήποτε υλοποίησης κριθεί κατάλληλη (π.χ. RTP/RTCP/RTSP), χωρίς να επηρεαστεί η υλοποίηση των ανωτέρω επιπέδων.

2.1.3.3 Αλληλεπίδραση

Ο δημιουργός μιας σκηνής μπορεί να την σχεδιάσει ενσωματώνοντας δυνατότητες αλληλεπίδρασης της σκηνής και των αντικειμένων που την αποτελούν με το χρήστη. Μερικές από τις δυνατότητες που παρέχονται είναι η πλοήγηση στο χώρο (π.χ. σε μια τρισδιάστατη σκηνή), η μετακίνηση αντικειμένων στο χώρο, ο έλεγχος μιας σειράς γεγονότων πιέζοντας κάποιο πλήκτρο όπως π.χ. η έναρξη και το σταμάτημα ενός βίντεο, η επιλογή γλώσσας σε σκηνές που υποστηρίζουν πολλαπλές ροές ήχου, κτλ.

2.1.3.4 Τεχνικά

Το πρότυπο του MPEG-4 είναι χωρισμένο στα εξής τμήματα:

1. Systems
2. Visual
3. Audio
4. Conformance Testing
5. Reference Software
6. Delivery Multimedia Integration Framework
7. Optimized reference software for coding of audio-visual objects
8. Carriage of ISO/IEC 14496 contents over IP networks
9. Reference hardware description
10. Advanced Video Coding
11. Scene Description and Application Engine
12. ISO base media file format
13. Intellectual Property Management and Protection (IPMP) extensions
14. MP4 file format
15. Advanced Video Coding (AVC) file format
16. Animation Framework eXtension (AFX)

17. Timed Text subtitle format
18. Font compression and streaming
19. Synthesized texture stream
20. Lightweight Scene Representation (LAsER)
21. MPEG-J Extension for Rendering

Η ανάπτυξη του προτύπου δεν έχει ολοκληρωθεί, πολλά από τα παραπάνω τμήματα είναι ακόμα ημιτελή, ενώ νέα τμήματα ενδέχεται να προστεθούν. Το βασικό μέρος όμως, που αποτελείται από τα τμήματα 1, 2, 3 και 6, έχει σταθεροποιηθεί και χρησιμοποιείται ευρέως στην αγορά.

Παρακάτω ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των βασικών τμημάτων:

- Τμήμα 1 – Systems

Το τμήμα Systems ασχολείται με τις σχέσεις ανάμεσα στα οπτικοακουστικά μέλη που αποτελούν μια σκηνή. Στα πλαίσια αυτά καθορίζεται το πρωτόκολλο BIFS (Binary Format for Scenes) που καθορίζει τη διάταξη στο χώρο και στο χρόνο των αντικειμένων και επιτρέπει την αναδιοργάνωση τους στα πλαίσια της αλληλεπίδρασης με το χρήστη. Επίσης καθορίζονται οι περιγραφείς αντικειμένων (object descriptors) που συνδέουν τα αντικείμενα με τις στοιχειώδεις ροές που μεταφέρουν την πληροφορία για την αναπαράστασή τους. Άλλα θέματα που καλύπτει το τμήμα Systems είναι η αλληλεπίδραση, οι μηχανισμοί για την διασφάλιση των πνευματικών δικαιωμάτων, το εργαλείο FlexMux, το εργαλείο για την αποθήκευση MPEG-4 περιεχομένου σε αρχείο, διασυνδέσεις (interfaces) για διάφορα τμήματα τις πλατφόρμας σε Java, κτλ.

- Τμήμα 2 – Visual

Το τμήμα Visual ασχολείται με πρότυπα σχετικά με την κωδικοποίηση κινούμενης εικόνας. Τα πρότυπα υποστηρίζουν τόσο φυσικές όσο και συνθετικές πηγές και προβλέπουν τους μηχανισμούς για την διάφανη ανάμειξη τους σε μια ενιαία παρουσίαση. Οι ρυθμοί που υποστηρίζονται ξεκινούν από τα 5Kbps και φτάνουν τα 10Mbps σε επίπεδα ποιότητας από ανεκτό μέχρι εφάμιλλο της αρχικής πηγής. Επίσης υποστηρίζεται προσαρμόσιμη (scalable) κωδικοποίηση σε διάφορες μορφές (complexity/temporal/spatial /quality scalability). Ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στην αποτελεσματική λειτουργία σε δικτυακά περιβάλλοντα όπου ενδέχεται να σημειωθεί απώλεια πληροφορίας.

- Τμήμα 3 – Audio

Το τμήμα Audio ασχολείται με πρότυπα για την κωδικοποίηση ήχου. Όπως και για την εικόνα, το MPEG-4 υποστηρίζει πολυφωνικό ήχο που προέρχεται είτε από ηχογράφιση από φυσική πηγή είτε παράγεται συνθετικά. Οι ρυθμοί που χρησιμοποιούνται στην κωδικοποίηση ξεκινούν από 2Kbps. Η κωδικοποίηση μπορεί να είναι και εδώ

προσαρμόσιμη ενώ προβλέπονται και μορφές συμπίεσης με χαμηλή καθυστέρηση και ανοχή στα λάθη μετάδοσης που είναι κατάλληλες για τηλεδιάσκεψη.

- Τμήμα 6 – Delivery Multimedia Integration Framework

Το DMIF προδιαγράφει τις διασυνδέσεις μιας εφαρμογής MPEG-4 και επιβάλλει την απομόνωση των τμημάτων της συμπίεσης, της πολύπλεξης/συγχρονισμού και της μετάδοσης, προσφέροντας μεγαλύτερη ευελιξία στις υλοποιήσεις του προτύπου.

2.2 Συμπληρωματικές Τεχνικές

Η μετάδοση ζωντανών ροών σε μεγάλο αριθμό αποδεκτών συχνά συνδυάζεται με τη πολυεκπομπή (multicast) ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος μετάδοσης. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται η πολυεκπομπή, οι τρόποι εφαρμογής της και τα προβλήματα που παρουσιάζει καθώς και η εναλλακτική λύση των υπερκείμενων (overlay) δικτύων.

2.2.1 Πολυεκπομπή

Η δυνατότητες μετάδοσης πάνω από ένα δίκτυο δεδομένων χωρίζονται σε 3 βασικές κατηγορίες: μονοεκπομπή (unicast), πολυεκπομπή (multicast) και ευρυεκπομπή (broadcast). Η πρώτη αναφέρεται σε εκπομπή από σημείο σε σημείο μεταξύ δύο κόμβων του δικτύου και είναι η συνηθέστερη, η δεύτερη αναφέρεται στην εκπομπή από ένα σημείο σε περισσότερα και η τελευταία από ένα σημείο σε όλα.

Όταν μία υπηρεσία απευθύνεται σε μεγάλο αριθμό χρηστών, ένα από τα βασικά προβλήματα που πρέπει να επιλυθεί είναι η αποδοτική μετάδοση των δεδομένων σε πολλαπλούς αποδέκτες. Το πρόβλημα υπάρχει είτε η υπηρεσία είναι αλληλεπιδραστικής (interactive), είτε παθητικής (passive) μορφής. Η πολλαπλή μετάδοση πρέπει να γίνεται χωρίς να υπερφορτώνεται η δικτυακή υποδομή με πανομοιότυπα πακέτα για αποδέκτες που βρίσκονται πάνω στο ίδιο φυσικό δικτυακό μονοπάτι. Η εισαγωγή της παραμέτρου των πολλαπλών αποδεκτών, καθιστά απαραίτητη την χρήση ενός τρόπου διαχείρισης και ομαδοποίησης τους, τόσο στο επίπεδο της εφαρμογής όσο και στο επίπεδο του δικτύου για την μεταφορά των δεδομένων. Ορίζουμε την λειτουργία αυτή ως διανομή δεδομένων σε πολλαπλά σημεία (multipoint data delivery).

Τα τρία βασικά θέματα τα οποία πρέπει να ικανοποιεί επιτυχώς η διανομή δεδομένων σε πολλαπλά σημεία είναι τα ακόλουθα:

- Καθορισμός ομάδων

Οι αποδέκτες μιας ροής δεδομένων πρέπει να υπάγονται σε κάποιας μορφής ομαδοποίηση, ώστε να επιτρέπεται στους αποστολείς να γνωρίζουν σε ποιους μεταδίδουν τα δεδομένα. Για να ικανοποιηθεί η ανάγκη για ομαδοποίηση είναι απαραίτητη η χρήση:

- Ενός πρωτοκόλλου ελέγχου για την κατασκευή και διαχείριση/συντήρηση των ομάδων.

- Ενίστε, ενός μηχανισμού πιστοποίησης για τα μέλη κάθε ομάδας.
- Αντιγραφή πακέτων

Το κάθε πακέτο της ροής δεδομένων αποστέλλεται μία φορά από τον “πομπό” και είναι υποχρέωση του δικτύου να παράγει πιστά αντίγραφα των πακέτων όταν αυτά απευθύνονται σε πολλαπλούς χρήστες.

- Δρομολόγηση Πολυεκπομπής

Καθώς η ροή των δεδομένων μεταδίδεται προς τους αποδέκτες, είναι απαραίτητο σε διάφορα σημεία του δικτύου να διαιρεθεί σε μία ή περισσότερες πανομοιότυπες ροές ώστε να φτάσει στους χρήστες. Για τον λόγο αυτό πρέπει να εισαχθούν αλγόριθμοι και πρωτόκολλα δρομολόγησης τέτοια ώστε:

- Να κατασκευάζουν και να διατηρούν ένα δένδρο διανομής από τον αποστολέα στους δέκτες.
- Να ελαχιστοποιούν την πλεονάζουσα κίνηση στο δίκτυο.

Για να επιλύσει τα θέματα που συσχετίζονται με την αποστολή δεδομένων σε πολλαπλά σημεία στο Διαδίκτυο, ο S. Deering [21], πρότεινε την ενσωμάτωση πολυεκπομπής στο πρωτόκολλο IP. Η πολυεκπομπή IP αποτελεί μία επέκταση στο μοντέλο παράδοσης δεδομένων με μονοεκπομπή και προτείνει μία αρχιτεκτονική για διανομή πακέτων δεδομένων σε πολλαπλά σημεία στο επίπεδο δικτύου. Η πρόταση του Deering καθορίζει και χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο Internet Group Management Protocol (IGMP) [22] για να την κατασκευή των ομάδων συμμετοχής (membership groups) στην πολυεκπομπή. Οι ομάδες συμμετοχής χαρακτηρίζονται από ένα σύνολο δεσμευμένων διευθύνσεων του IP με εύρος από 224.0.0.0 έως 239.255.255.255, οι οποίες και αυτές είναι χωρισμένες σε 3 κατηγορίες για διαφορετική χρήση (Πίνακας 1).

Εύρος	Χρήση
224.0.0.0 - 224.0.0.255	Δεσμευμένες για πρωτόκολλα τοπικών δικτύων, ώστε να επιτρέπεται η δυναμική αναζήτηση υπηρεσιών όπως το DHCP. Οι δρομολογητές είναι συνήθως ρυθμισμένοι να φράζουν την έξοδο από το δίκτυο των πακέτων με αυτές της διευθύνσεις.
224.0.1.0 - 238.255.255.255	Διευθύνσεις με παγκόσμιο φάσμα, χρησιμοποιούνται για πολυεκπομπή στο Διαδίκτυο
239.0.0.0 - 239.255.255.255	Διευθύνσεις με περιορισμένο φάσμα, χρησιμοποιούνται μέσα σε διαχειριζόμενους τομείς (domains), οπότε επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση σε διαφορετικούς τομείς.

Πίνακας 1 – Εύρος και χρήση διευθύνσεων πολυεκπομπής IP

Για την κατασκευή και διατήρηση της κατάστασης των ομάδων χρησιμοποιούνται μηνύματα σύνδεσης και περικοπής. Ένας κόμβος που θέλει να συμμετέχει σε κάποια ομάδα πολυεκπομπής στέλνει ένα μήνυμα REPORT στον τοπικό δρομολογητή, ενώ αντίστοιχα όταν θέλει να αποσυνδεθεί από μία ομάδα στέλνει μήνυμα LEAVE. Οι δρομολογητές για να γνωρίζουν την κατάσταση που επικρατεί στους κόμβους που συνδέονται επάνω τους,

στέλνουν και αυτοί με τη σειρά τους μηνύματα QUERY ώστε να εντοπίσουν τυχόν κόμβους που έχουν αποσυνδεθεί από ομάδες χωρίς να στείλουν τα απαραίτητα μηνύματα.

Εκτός από την δημιουργία των ομάδων συμμετοχής, για να λειτουργήσει η πολυεκπομπή είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί ένα δένδρο διανομής μεταξύ των δρομολογητών, για την μεταφορά των δεδομένων. Στην βιβλιογραφία έχουν προταθεί αρκετά πρωτόκολλα δρομολόγησης πολυεκπομπής, μια γενική περιγραφή των οποίων μπορεί να βρεθεί στο [23].

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης πολυεκπομπής μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες. Κάθε κατηγορία στοχεύει να δώσει λύση για συγκεκριμένη περίπτωση. Τα κριτήρια κατηγοριοποίησης μπορούν να χωριστούν ανάλογα με το πλήθος των κόμβων που συμμετέχουν στην πολυεκπομπή ή με το πλήθος των κόμβων που μεταδίδουν σε μία ομάδα πολυεκπομπής. Για περιπτώσεις συμμετοχής πολλών (ή των περισσότερων) κόμβων ενός δικτύου, υπάρχουν πρωτόκολλα για πυκνή διάταξη (dense mode). Αντίστοιχα υπάρχουν πρωτόκολλα για αραιή διάταξη κόμβων μέσα στο συνολικό δίκτυο (sparse mode). Ο λόγος διαχωρισμού ανάλογα με το πλήθος των κόμβων που συμμετέχουν είναι η απόδοση και ο αλγόριθμος κατασκευής του δένδρου διανομής, όπως παρουσιάζεται στις επόμενες παραγράφους. Άλλος τρόπος κατηγοριοποίησης βασίζεται στο αν η πολυεκπομπή γίνεται από ένα σημείο προς πολλά (single source) ή αν μεταδίδουν όλοι οι συμμετέχοντες στις ομάδες. Όταν ένα πρωτόκολλο πολυεκπομπής εφαρμόζεται σε ένα αυτόνομο σύστημα αναφέρεται ως inter-domain πρωτόκολλο, ενώ όταν σχεδιάζεται για εφαρμογή σε πολλαπλά αυτόνομα συστήματα αναφέρεται ως intra-domain. Η ουσιαστική διαφορά επικεντρώνεται στις διαδικασίες διαλειτουργικότητας που πρέπει να επιτευχθούν στα intra-domain πρωτόκολλα, καθώς κάθε αυτόνομο σύστημα είναι δυνατόν να εφαρμόζει στο εσωτερικό του δίκτυο διαφορετικό πρωτόκολλο.

2.2.1.1 Πρωτόκολλα Πυκνής Διάταξης

Σκοπός των πρωτοκόλλων πυκνής διάταξης είναι η εφαρμογή της πολυεκπομπής σε δίκτυα όπου οι χρήστες – πελάτες είναι πολυπληθείς. Λόγω της ανωτέρω θεώρησης, τα πρωτόκολλα αυτά βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε σχετικά μικρά δίκτυα (MAN – LAN) και θεωρείται δεδομένη η ύπαρξη διαθέσιμου εύρους ζώνης στους διαύλους για τη μετάδοση επιπλέον πληροφορίας σχετικής με τη διαμόρφωση της διαδρομής – τοπολογίας που θα ακολουθηθεί από τα πακέτα πολυεκπομπής. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα εξής πρωτόκολλα: DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol) [24], MOSPF (Multicast Open Shortest Path First) [25], PIM-DM (Protocol Independent Multicast – Dense Mode) [26].

- Distance Vector Multicast Routing Protocol (DVMRP)

Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο που υποθέτει πυκνή συμμετοχή των κόμβων και αναλαμβάνει να κατασκευάσει ένα δένδρο συντομότερου μονοπατιού (Shortest Path Tree) ανακαλύπτοντας γειτονικούς δρομολογητές και ανταλλάσσοντας πληροφορίες για

τις αποστάσεις τους. Το DVMRP κρατά σε κάθε δρομολογητή πληροφορία για τους επόμενους δέκτες – για το παρακάτω τμήμα του δένδρου – με σκοπό την εκ των προτέρων γνώση της ελάχιστης διαδρομής προς αυτούς. Αυτό γίνεται προκειμένου να αναστείλει την αποστολή δεδομένων προς αυτούς μέσω και άλλων διεπαφών (interfaces) και με αυτόν τον τρόπο μειώνεται στο ελάχιστο ο αριθμός των διπλών πακέτων προς κάθε δρομολογητή πριν από την αποστολή των μηνυμάτων διακοπής (pruning). Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο για τη δημιουργία του δένδρου διανομής της κίνησης ακολουθεί την τεχνική δημιουργίας δένδρου ανάστροφης συντομότερης διαδρομής (reverse shortest path tree) εφαρμόζοντας πλημμύρα με ευρυεκπομπή (broadcast-flooding) και αποκοπή (pruning). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, μία πηγή που θέλει να στείλει δεδομένα σε μία ομάδα πολυεκπομπής (multicast group) στέλνει τα πακέτα με ευρυεκπομπή στο τοπικό της δίκτυο. Όταν κάποιος δρομολογητής που είναι προσδεμένος στο σύστημα λάβει αυτά τα πακέτα ελέγχει, μέσω του πρωτοκόλλου απλής εκπομπής που χρησιμοποιεί, αν έφτασαν σε αυτόν μέσω της συντομότερης δυνατής διαδρομής από το συγκεκριμένο αποστολέα – διεπαφή. Αν αυτή η συνθήκη είναι αληθής, ο δρομολογητής αναλαμβάνει να τα προωθήσει προς όλες τις υπόλοιπες διεπαφές, οι οποίες με τη σειρά τους πραγματοποιούν την ίδια διαδικασία, αν όχι τα αγνοεί. Αυτό επαναλαμβάνεται μέχρι τα πακέτα να φτάσουν σε κάποιο δρομολογητή ο οποίος έχει ως άλλες διεπαφές (εκτός από αυτήν από την οποία ήρθαν τα πακέτα) μόνο τελικούς χρήστες (clients). Αυτός ο δρομολογητής είναι επομένως ένας ακραίος (leaf) δρομολογητής στο δένδρο και εξετάζει αν κάποιος από τους χρήστες ζητούν τα συγκεκριμένα δεδομένα. Αν υπάρχουν χρήστες, μεταδίδει τα πακέτα προς αυτούς, διαφορετικά στέλνει ένα μήνυμα διακοπής (prune message) προς τη διεπαφή από την οποία έρχονται τα δεδομένα η οποία και σταματά να στέλνει δεδομένα προς αυτόν. Αυτό κάνει και κάθε δρομολογητής που όλες οι διεπαφές του (εκτός της πηγής) του έχουν στείλει μήνυμα διακοπής. Η όλη διαδικασία έχει ως τελικό αποτέλεσμα τη μετάδοση και λήψη των πακέτων μόνο προς τους χρήστες που το επιθυμούν. Σημειώνουμε ότι το μήνυμα διακοπής διαρκεί για δεδομένο χρόνο και μόνο, επομένως υπάρχει περιοδικά μετάδοση των δεδομένων προς κάθε διεπαφή δίνοντας τη δυνατότητα με αυτόν τον τρόπο να πραγματοποιείται έλεγχος για μεταβολή της κατάστασης των χρηστών.

- Protocol Independent Multicast-Dense Mode (PIM-DM)

Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο που όπως και το DVMRP στοχεύει σε πυκνή συμμετοχή κόμβων. Οι πληροφορίες για την κατασκευή του δένδρου διανομής προέρχονται από τους πίνακες δρομολόγησης που διαθέτει ο δρομολογητής για μονοεκπομπή, οπότε δε χρειάζεται αυτός να ανακαλύψει το δίκτυο, όπως γίνεται στο DVMRP και επομένως πρακτικά μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε δρομολογητή. Και πάλι χρησιμοποιείται η τεχνική του πλημμυρίσματος των πακέτων, και εδώ εφαρμόζεται η δρομολόγηση

αντίστροφου ελάχιστου μονοπατιού (Reverse Shortest Path). Η δρομολόγηση αυτή ορίζει ότι για την κατασκευή του ελάχιστου μονοπατιού, ένας δρομολογητής που λαμβάνει πακέτα σε κάποια διεπαφή του, τα αντιγράφει σε όλες τις διεπαφές εξόδου και περιμένει από αυτόν που τα λαμβάνει να τον ενημερώσει κατά πόσο αυτή η διεπαφή βρίσκεται στο ελάχιστο μονοπάτι μεταξύ τους. Στην περίπτωση που αυτό δεν ισχύει, ο αρχικός δρομολογητής λαμβάνει μήνυμα περικοπής, ώστε να σταματήσει να στέλνει προς αυτή την διεπαφή. Το αποτέλεσμα είναι η κατασκευή ενός δέντρου το οποίο εκτείνεται πάνω από το ελάχιστο μονοπάτι. Σε αντίθεση με το DVMRP, το οποίο κρατά σε κάθε δρομολογητή πληροφορία για τους επόμενους δέκτες, στο PIM-DM, θεωρώντας ότι η ανάγκη για απλότητα είναι σημαντικότερη από τη δημιουργία κάποιων διπλών πακέτων πριν τη δημιουργία των μηνυμάτων διακοπής οπότε και η δημιουργία αυτών των διπλών πακέτων θα σταματήσει, ο κάθε δρομολογητής δεν έχει γνώση του δικτύου κάτω από αυτόν.

- Multicast extensions to Open Shortest Path First (MOSPF)

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι πρακτικά το πρωτόκολλο Open Shortest Path First (OSPF) στο οποίο έχουν προστεθεί δυνατότητες πολυεκπομπής. Στο πρωτόκολλο αυτό κάθε MOSPF δρομολογητής έχει πλήρη γνώση της τοπολογίας του υπάρχοντος τοπικού δικτύου καθώς και των δεκτών/πελατών της κίνησης πολυεκπομπής. Αυτό επιτυγχάνεται με την περιοδική μετάδοση της απαραίτητης πληροφορίας με ευρυεκπομπή για την ενημέρωση όλων των MOSPF δρομολογητών σχετικά με τις τυχόν αλλαγές που έχουν σημειωθεί στο δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο, κάθε δρομολογητής σχηματίζει το ίδιο δένδρο μετάδοσης της πληροφορίας (με την εφαρμογή του αλγόριθμου του Dijkstra για εύρεση ελάχιστου) και επομένως όταν κάποιος πελάτης ζητήσει να αρχίσει να λαμβάνει δεδομένα από μια δεδομένη κίνηση πολυεκπομπής τότε θα λάβει αυτήν την κίνηση από ένα και μόνο δρομολογητή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα δεδομένα για μηνύματα ελέγχου, με σκοπό τον προσδιορισμό της τοπολογίας, να μεταδίδονται με τη μέθοδο της πλημμύρας (flooding) και τα δεδομένα να αποστέλλονται μέσω άμεσων συνδέσεων των πελατών με κάποιον MOSPF δρομολογητή.

2.2.1.2 Πρωτόκολλα Αραιής Διάταξης

Τα πρωτόκολλα αραιής διάταξης στοχεύουν στην εξυπηρέτηση διαφορετικά δομημένων δικτύων, μεγαλύτερων ή/και με αραιά διασπαρμένους χρήστες πολυεκπομπής. Για να διαπιστώσουμε τον ακριβή προσανατολισμό αυτών των πρωτοκόλλων, κρίνεται σκόπιμο να εξετάσουμε δύο από τα πιο διαδεδομένα, το PIM-SM (Protocol Independent Multicast – Sparse Mode) [27] και το CBT (Core Based Trees) [28].

- Protocol Independent Multicast – Sparse Mode (PIM-SM)

Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο το οποίο, όπως και το αντίστοιχο για πυκνή συμμετοχή (PIM-DM), στηρίζεται στους ήδη υπάρχοντες πίνακες δρομολόγησης. Η διαφορά του έγκειται στο ότι θεωρεί την συμμετοχή κόμβων αραιή, στην ουσία δηλαδή ότι δεν επιθυμούν όλοι οι κόμβοι που συνδέονται στις διεπαφές ενός δρομολογητή να συμμετέχουν στην πολυεκπομπή. Εδώ η σχεδίαση ορίζει ότι κάποιος δρομολογητής πρέπει ρητά να ζητήσει, και να λάβει, τα δεδομένα της πολυεκπομπής. Το PIM-SM υποστηρίζει διαμοιραζόμενα δέντρα (shared trees) για να επιτύχει την πολυεκπομπή από πολλαπλές πηγές. Ένα διαμοιραζόμενο δέντρο καθορίζεται από το ζεύγος πηγής και ομάδας (S-G), οπότε για πολλαπλά δέντρα έχουμε τα αναγνωριστικά (*, G). Οι δρομολογητές αντιστοιχίζουν το αναγνωριστικό σε έναν δρομολογητή που ονομάζεται σημείο συνάντησης RP, (Rendez-vous Point). Το σημείο συνάντησης ενεργεί ως πηγή στο δέντρο ελάχιστου μονοπατιού (SPT) που κατασκευάζεται ώστε να διαμοιραστούν τα δεδομένα αυτής της ομάδας. Οι κόμβοι που επιθυμούν να αποστείλουν δεδομένα στην ομάδα, τα στέλνουν στο RP και αυτό στη συνέχεια τα μεταδίδει πάνω από το δέντρο με αναγνωριστικό (*, G) σε όλους τους συμμετέχοντες. Αν υπάρχει μεγάλος όγκος δεδομένων στο σημείο συνάντησης τότε αυτό μπορεί να μεταφερθεί πιο κοντά στον αποστολέα S με νέα μηνύματα σύνδεσης σε άλλο δέντρο όπως π. χ. JOIN(S, G).

- Core Based Trees (CBT)

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο, σε αντίθεση με τα προηγούμενα δεν υποστηρίζει τεχνικές δημιουργίας του δένδρου μετάδοσης με βάση μία συγκεκριμένη πηγή και τους πελάτες της. Αντίθετα δημιουργεί ένα και μοναδικό δένδρο στο οποίο οποιοσδήποτε κόμβος μπορεί είτε να λάβει κίνηση είτε να μεταδώσει, χωρίς η δομή του δένδρου να αλλάξει. Όταν σχηματίζεται μία ομάδα πολυεκπομπής τότε ένας από τους δρομολογητές που εξυπηρετούν τα μέλη της ομάδας αναλαμβάνει το ρόλο του πυρήνα (core). Όλοι οι υπόλοιποι εξυπηρετητές στέλνουν μήνυμα προς αυτόν για να συνδεθούν μαζί του. Αυτός στη συνέχεια θα στείλει απάντηση ενημερώνοντας τον αιτούντα ότι η σύνδεση έχει επιτευχθεί. Το μήνυμα αυτό όμως δεν είναι απαραίτητο να φτάσει μέχρι τον πυρήνα. Αν στην ενδιάμεση διαδρομή το μήνυμα περάσει από έναν κόμβο ο οποίος ανήκει ήδη στο δένδρο τότε η σύνδεση πραγματοποιείται με αυτόν, ενώ στέλνει ο ίδιος την επιβεβαίωση της σύνδεσης. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται πρακτικά ένα δένδρο με ρίζα τον

πυρήνα (core) και φύλλα τα μέλη της ομάδας πολυεκπομπής. Όταν ένα από τα μέλη – φύλλα θέλει να μεταδώσει προς ένα υποσύνολο της ομάδας, τότε η κίνηση δεν περνάει απαραίτητα από τον πυρήνα αλλά μόνο από τα κλαδιά μέσω των οποίων ενώνονται τα φύλλα αυτά.

2.2.1.3 Προβλήματα

Παρόλο που η πολυεκπομπή IP προτάθηκε και χρησιμοποιείται από τις αρχές της δεκαετίας του '90, δεν έχει επιτύχει ακόμα ευρεία αποδοχή και πραγματική παγκόσμια εξάπλωση [29]. Οι λόγοι που δεν της το επέτρεψαν συνοψίζονται ως εξής:

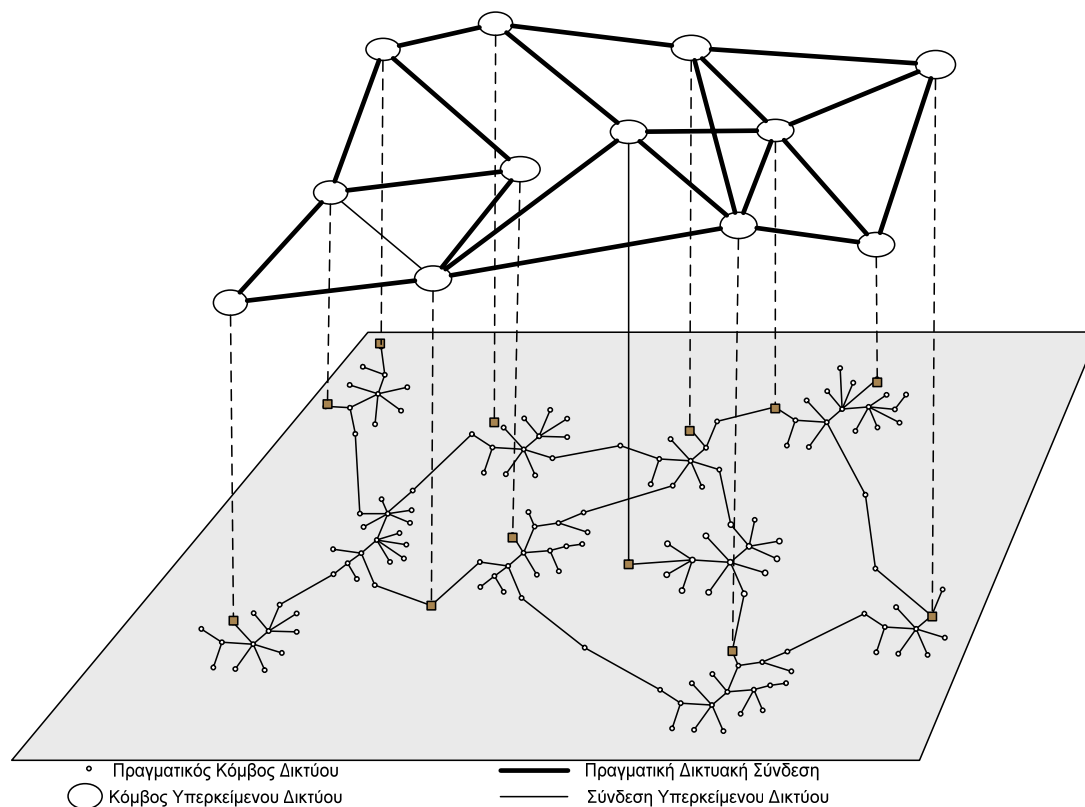
- Η απουσία της δυνατότητας κλιμάκωσης της αρχιτεκτονικής αναφορικά με τους πόρους υλικού που απαιτούνται για την υποστήριξη πολλών ομάδων. Συχνά, πολλές ομάδες με μικρό αριθμό μελών ξεπερνούν σε βάρος την πολυπλοκότητα που συσχετίζεται με τη δημιουργία και διατήρηση των ομάδων.
- Δεν υπάρχει αρκετά ευέλικτο σχήμα για την ανάθεση διευθύνσεων. Οι διευθύνσεις πολυεκπομπής IP δεν είναι συνολικά διαχειριζόμενες από κάποια αρχή, με αποτέλεσμα να αποδίδονται ελεύθερα.
- Η διατήρηση της κατάστασης συμμετοχών σε κάθε ομάδα καταστρατηγεί την ακαταστασιακή (stateless) αρχιτεκτονική του IP και αποτελεί ένα επιπλέον βάρος (overhead) για τους δρομολογητές.
- Έλλειψη αποτελεσματικών πολιτικών ελέγχου πρόσβασης. Στην αρχική αρχιτεκτονική υπήρχε παντελής έλλειψη ελέγχου πρόσβασης.
- Δεν έχει υιοθετηθεί κάποιο καθολικό πρωτόκολλο για την διατομεακή (inter-domain) δρομολόγηση πολυεκπομπής.

Καινοτόμες προσθήκες στην πολυεκπομπή IP όπως το EXPLICITLY REquested Single-Source (EXPRESS) Multicast [30] και Source Specific Multicast (SSM) [31] επιλύουν προβλήματα όπως η ανάθεση διευθύνσεων και η πιστοποίηση των μελών των ομάδων. Ακόμα, νέα πρωτόκολλα όπως το MASC/BGMP (Border Gateway Multicast Protocol) [32] δίνουν λύσεις και ξεπερνούν τα θέματα της διατομεακής δρομολόγησης. Παρόλα αυτά όμως κανένα από τα παραπάνω δεν έχει τύχει ευρείας αποδοχής, καθώς τέτοιες προσθήκες και βελτιώσεις στο επίπεδο δικτύου απαιτούν μείζονες αλλαγές και ενημερώσεις σε λογισμικό και υλικό, κάτι που οι παροχείς υπηρεσιών διαδικτύου δεν επιθυμούν [29].

2.2.2 Υπερκείμενα Δίκτυα

Για να ξεπεραστούν τα προβλήματα που συσχετίζονται με την αρχιτεκτονική και το μοντέλο υπηρεσιών της πολυεκπομπής στο IP, από το 2000 και μετά υπάρχουν αρκετές προτάσεις για την μεταφορά της πολυσημειακής διανομής δεδομένων στο επίπεδο εφαρμογής. Ο στόχος αυτών των προτάσεων είναι η πολλαπλή μετάδοση στο επίπεδο εφαρμογής η οποία

υποστηρίζεται με την κατασκευή υπερκείμενων δικτύων πάνω από την φυσική δικτυακή υποδομή (Σχήμα 5).



Σχήμα 5 – Σχηματική απεικόνιση ενός υπερκείμενου δικτύου

Με τον όρο υπερκείμενα δίκτυα αναφερόμαστε σε δίκτυα μεταξύ υπολογιστών τα οποία κατασκευάζονται και διαχειρίζονται στο τελευταίο επίπεδο της στοίβας αναφοράς του OSI, το επίπεδο εφαρμογής. Χωρίς να υπάρχει σαφής και αυστηρός περιορισμός στο επίπεδο εφαρμογής, τα υπερκείμενα δίκτυα στηρίζονται βασικά σε λειτουργίες που μπορούν να εκτελεστούν από τις εφαρμογές που τα χρησιμοποιούν. Η επέκταση των υπερκείμενων δικτύων με υποστήριξη από λειτουργίες χαμηλότερων επιπέδων, μπορεί να προσθέσει χαρακτηριστικά που επιτρέπουν πιο ευέλικτη διάρθρωση και χρήση, πράγμα όμως που ταυτόχρονα αλλοιώνει την αμιγώς υπερκείμενη φύση τους με αποτέλεσμα να χάνονται μερικές από τις βασικές ιδιότητές τους (προς όφελος κάποιων άλλων ιδιοτήτων).

Η χρήση υπερκείμενων δικτύων επιτρέπει ή/και προσφέρει:

- Υποστήριξη ποικιλότητας εφαρμογών, με διαφορετικές απαιτήσεις, ακροατήριο και πληθυσμό.
- Καλύτερη εκμετάλλευση της δικτυακής υποδομής χωρίς την ανάγκη τροποποίησής της.
- Ελαχιστοποίηση του κόστους της υποδομής.
- Δυνατότητα τμηματικής τους ανάπτυξης, ανάλογα με τις ανάγκες που παρουσιάζονται.

- Δυνατότητα προσαρμογής των συνδέσεων και του δένδρου διανομής ανάλογα με τις ανάγκες της υπηρεσίας και επιλογής των μετρικών στοιχείων επιδόσεων με σκοπό την βελτιστοποίηση αυτών των αναγκών.
- Ταχύτερη αντιμετώπιση της βλάβης ενός κόμβου που συμμετέχει στο υπερκείμενο δίκτυο.
- Υλοποίηση πάνω από τυποποιημένα δικτυακά πρωτόκολλα και υποδομές και χρησιμοποίηση του ελάχιστου κοινού συνόλου από τις υπηρεσίες αυτές.
- Δυνατότητα παροχής, όπου είναι επιθυμητό, ροών φιλικών ως προς το TCP.

Ο σκοπός των υπερκείμενων δικτύων είναι η εύκολη, γρήγορη και προπάντων οικονομική κατασκευή ενός δικτύου που θα παρέχει συγκεκριμένες υπηρεσίες πάνω από την ήδη υπάρχουσα δικτυακή υποδομή ενός φορέα, ενός παροχού διαδικτυακών υπηρεσιών ή ακόμα πάνω από ολόκληρο το Διαδίκτυο.

Υπηρεσίες που παρέχονται πάνω από υπερκείμενα δίκτυα μπορούν να είναι οι ακόλουθες:

- Ανταλλαγές αρχείων (file sharing).
- Διανομή στατικού ή δυναμικού περιεχομένου (content delivery).
- Διανομή περιεχομένου ροής σε πραγματικό χρόνο ή κατά απαίτηση του χρήστη.

Η ανάπτυξη των υπερκείμενων δικτύων σε ένα λειτουργικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται εύκολη και γρήγορη σε σχέση με την ανάπτυξη μίας λύσης που στηρίζεται σε πρωτόκολλα χαμηλότερου επιπέδου διότι, αφενός, στηρίζονται μόνο σε λογισμικό οπότε δεν είναι απαραίτητη η χρήση επιπλέον υλικού από αυτό που προϋπάρχει, αφετέρου, το λογισμικό εγκαθίσταται είτε στο σύστημα του τελικού χρήστη είτε στα άκρα του δικτύου ενός φορέα οπότε δεν χρειάζονται αλλαγές στον πυρήνα του δικτύου. Η ανάπτυξη χαρακτηρίζεται γρήγορη διότι δεν απαιτούνται ιδιαίτερες ρυθμίσεις.

2.2.2.1 Τεχνολογίες

Τα τελευταία 3 χρόνια έχουν εμφανιστεί στην βιβλιογραφία αρκετές τεχνικές για την κατασκευή υπερκείμενων δικτύων. Η κατηγοριοποίηση ακολουθεί τις προτάσεις που βρίσκονται στις εργασίες [33] και [34].

Κάθε αρχιτεκτονική χαρακτηρίζεται από τις τοπολογίες που κατασκευάζει για τον έλεγχο και την διανομή των δεδομένων. Η δομή των τοπολογιών ορίζει την βασική κατηγοριοποίηση των διαφόρων προτάσεων. Στο κομμάτι του ελέγχου, οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους ώστε να μεταφέρονται δεδομένα ελέγχου όπως μηνύματα παλμών (heartbeat), ανανέωσης, δικτυακής ανίχνευσης (network probe) και ανίχνευσης δεδομένων. Η τοπολογία που κατασκευάζεται για τον έλεγχο δεν είναι απαραίτητα η ίδια με αυτήν που χρησιμοποιείται για τη διαμοίραση των δεδομένων. Μπορεί να θεωρηθεί ένα υπερσύνολο της τοπολογίας διανομής των δεδομένων, όπου συμμετέχουν περισσότεροι κόμβοι. Αναφορικά με την προσέγγιση που χρησιμοποιείται, μπορούμε να χωρίσουμε τις αρχιτεκτονικές σε τρεις

κατηγορίες: Δένδρου (Tree), Πλέγματος-Δένδρου (Mesh-Tree), Ενσωματωμένης Δομής (Embedded Structure).

Στην περίπτωση της τοπολογίας Δένδρου, τα μέλη της ομάδας οργανώνονται σε μία δενδρική δομή από μόνα τους, επιλέγοντας το καθένα από ένα γονέα για κάθε ομάδα. Οι κόμβοι που συμμετέχουν σε ένα δένδρο έχουν συνδέσεις ελέγχου και με τους υπολοίπους ανεξάρτητα από την τοπολογία για τα δεδομένα. Το αποτέλεσμα είναι το δέντρο και οι συνδέσεις αυτές να αποτελούν την τοπολογία ελέγχου. Η προσέγγιση αυτή είναι αρκετά απλή και επιτρέπει την δημιουργία αποδοτικών δένδρων διαμοίρασης, όμως ο αλγόριθμος κατασκευής του δέντρου πρέπει να προβλέπει την αποφυγή δημιουργίας βρόγχων και τις περιπτώσεις κατακερματισμού της δομής κατά την αποχώρηση ενός κόμβου. Χαρακτηριστικές αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιούν την τοπολογία Δένδρου είναι οι Application Layer Multicast Infrastructure (ALMI) [35], Banana Tree Protocol (BTP) [36] και Overcast [37].

Η περίπτωση τοπολογίας Πλέγματος-Δένδρου, όπως δηλώνει και η ονομασία της, προσεγγίζει την κατασκευή του υπερκείμενου δικτύου σε δύο στάδια. Αρχικά οι κόμβοι οργανώνονται σε μία τοπολογία σε μορφή πλέγματος και πάνω σε αυτή την τοπολογία τρέχουν αλγόριθμοι δρομολόγησης ώστε να κατασκευαστεί ένα μοναδικό υπερκείμενο μονοπάτι για κάθε έναν κόμβο. Εδώ χρησιμοποιούνται γνωστά πρωτόκολλα πολυεκπομπής που έχουν εφαρμοστεί και στην πολυεκπομπή IP όπως το DVMRP. Η κατασκευή είναι πιο περίπλοκη, παρόλα αυτά η χρήση γνωστών πρωτοκόλλων την κάνει περισσότερο αξιόπιστη και απομακρύνει την ανάγκη για λειτουργίες διαχείρισης των ομάδων για πολλά δέντρα, παρέχοντας μεγαλύτερη ανεκτικότητα κατά την απομάκρυνση κόμβων. Χαρακτηριστικές αρχιτεκτονικές είναι τα End System Multicast (ESM) [38] και Yoid [39].

2.3 Μηχανισμοί Ποιότητας

Αρκετές δημοσιεύσεις [40], [41], [42] έχουν ασχοληθεί με το ζήτημα της ποιότητας υπηρεσίας (QoS) στη μετάδοση ζωντανών ροών πάνω από το Διαδίκτυο. Οι βασικοί παράγοντες μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

- Εύρος Ζώνης (Bandwidth)

Για την επίτευξη ικανοποιητικής ποιότητας παρουσίασης, η μετάδοση ζωντανών ροών προϋποθέτει συνήθως κάποιο ελάχιστο εύρος ζώνης. Στην γενική περίπτωση, το Διαδίκτυο δεν προσφέρει κανέναν μηχανισμό εξασφάλισης εύρους ζώνης.

- Καθυστέρηση (Delay)

Σε αντίθεση με τη συνηθισμένη μετάδοση δεδομένων, η μετάδοση ζωντανών ροών υπόκειται αυστηρά σε περιορισμούς καθυστέρησης. Η λήψη, αποκωδικοποίηση και εμφάνιση των πακέτων οφείλει να πραγματοποιείται μέσα σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα αλλιώς η μεταδιδόμενη πληροφορία καθίσταται ξεπερασμένη και περιττή.

Όπως και παραπάνω, το Διαδίκτυο δεν περιλαμβάνει μηχανισμούς που να εγγυώνται όρια στην καθυστέρηση.

- Απώλεια Πληροφορίας (Packet Loss)

Οι ζωντανές ροές είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην απώλεια πληροφορίας. Εξαιτίας των περιορισμών στην καθυστέρηση, η αναμετάδοση πληροφορίας είναι απαγορευτική. Επίσης οι σύγχρονες τεχνικές κωδικοποίησης, στην προσπάθεια να περιορίσουν τον όγκο της μεταδιδόμενης πληροφορίας, επιβάλλουν μηχανισμούς εξάρτησης μεταξύ των πακέτων μιας ροής δημιουργώντας αλυσίδες πληροφορίας που καθίστανται άχρηστες στο σύνολο τους με την απώλεια ενός και μόνο πακέτου.

- Ετερογένεια

Πολλές φορές, η μετάδοση μιας ζωντανής ροής απευθύνεται σε ένα πλήθος αποδεκτών που βρίσκονται σε απομακρυσμένα σημεία και χρησιμοποιούν διαφορετικό εξοπλισμό. Αυτή η δικτυακή ετερογένεια δυσκολεύει τη συνολική αντιμετώπιση των προβλημάτων της ζωντανής μετάδοσης και απαιτεί την ταυτόχρονη επιβολή πολλών και συχνά αντικρουόμενων πολιτικών για την αποδοτική διεκπεραίωση της μετάδοσης.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται κάποιες δημοφιλείς προσεγγίσεις με σκοπό την παροχή ποιότητας σε ζωντανές ροές. Οι τεχνικές που παρουσιάζονται δεν είναι αυτοαποκλειόμενες και συνήθως χρησιμοποιούνται σε διάφορους συνδυασμούς για την επίτευξη του στόχου της ποιότητας.

2.3.1 Γενικές Προσεγγίσεις

Το ζήτημα της ποιότητας δεν αποτελεί “προνόμιο” μόνο των ζωντανών ροών αλλά απασχολεί γενικότερα την κοινότητα του Διαδικτύου. Υπό αυτό το πρίσμα, κάποιες από τις λύσεις που έχουν προταθεί για τον έλεγχο της ποιότητας σε ευρύτερο φάσμα μπορούν να εφαρμοσθούν στην περίπτωση μας. Από τις πλέον διαδεδομένες προσεγγίσεις, που συχνά χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση εικόνας και ήχου, είναι οι Ενοποιημένες Υπηρεσίες (Integrated Services) [43], [44] που στηρίζονται στη χρήση του πρωτόκολλου RSVP [45], [46] και οι Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες (Differentiated Services) [47], [48], [49], [50] που στηρίζονται στην εφαρμογή ομάδων προτεραιότητας. Δυστυχώς, η εφαρμογή των παραπάνω λύσεων απαιτεί υποστήριξη από τον δικτυακό εξοπλισμό, όπως και η πολυεκπομπή, ενώ παρεμβάλλονται σημαντικά θέματα πολιτικής από τους παροχούς (ISPs), γεγονός που περιορίζει τη χρησιμότητα τους σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα και όχι στο Διαδίκτυο.

2.3.2 Προσέγγιση Ελέγχου Ροής

Η προσέγγιση ελέγχου ροής (rate control) στηρίζεται στον έλεγχο της ποιότητας μετάδοσης είτε από τον πομπό (source-based) είτε από τον δέκτη (receiver-based) είτε υβριδικά και από τους δύο (hybrid). Η προσέγγιση ελέγχου ροής απαιτεί κάποιον μηχανισμό ανάδρασης

ανάμεσα στα εμπλεκόμενα μέρη (π.χ. RTCP), ο οποίος μεταφέρει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της μετάδοσης (εύρος ζώνης, καθυστέρηση, απώλεια πληροφορίας) ώστε να γίνουν οι απαραίτητες προσαρμογές.

2.3.2.1 Source-based

Στον source-based έλεγχο ροής, ο πομπός είναι υπεύθυνος για την προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης. Ο έλεγχος προσβλέπει στην ελαχιστοποίηση της απώλειας πακέτων με την ταυτοποίηση του ρυθμού μετάδοσης με το διαθέσιμο εύρος ζώνης.

Για την περίπτωση της μονοεκπομπής δύο τεχνικές χρησιμοποιούνται: η τεχνική με βολιδοσκόπηση (probe-based) και η τεχνική με μοντελοποίηση (model-based).

Η τεχνική της βολιδοσκόπησης προβλέπει την αυξομείωση του ρυθμού μετάδοσης με την ταυτόχρονη παρακολούθηση των δεδομένων του καναλιού ανάδρασης έως τη στιγμή που το ζητούμενο ποιοτικό χαρακτηριστικό (π.χ. ποσοστό απώλειας πακέτων) ικανοποιηθεί. Η αυξομείωση του ρυθμού μετάδοσης συνήθως ακολουθεί είτε τη μέθοδο της προσθετικής αύξησης και πολλαπλασιαστικής μείωσης (additive increase and multiplicative decrease - AIMD¹) [51] είτε τη μέθοδο της πολλαπλασιαστικής αύξησης και πολλαπλασιαστικής μείωσης (multiplicative increase and multiplicative decrease - MIMD) [52].

Η τεχνική της μοντελοποίησης [53] προσπαθεί να εκτιμήσει το διαθέσιμο εύρος ζώνης χρησιμοποιώντας το μοντέλο απόδοσης (throughput) του TCP:

$$T(t_{RTT}, s, p) = \frac{c \cdot s}{t_{RTT} \cdot \sqrt{p}} \text{ όπου } s \text{ μέγεθος πακέτου, } t_{RTT} \text{ Round-Trip χρόνος, } p \text{ ποσοστό}$$

απωλειών και c προσεγγίζεται συνήθως από το $1.5\sqrt{2/3}$. Το συγκεκριμένο μοντέλο αναφέρεται επίσης ως “TCP friendly” και αποτελεί αντικείμενο έρευνας στα πλαίσια της ανάπτυξης του Datagram Congestion Control Protocol (DCCP) [54], [55].

Στην περίπτωση της πολυεκπομπής μόνο η τεχνική της βολιδοσκόπησης χρησιμοποιείται [56]. Αν και η πολυεκπομπή προσφέρει αποδοτική χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης αδυνατεί να προσφέρει διαφοροποιημένες υπηρεσίες και περιορίζεται σε ένα κοινό επίπεδο εξυπηρέτησης για όλους τους δέκτες.

¹ Η τεχνική AIMD είναι η τεχνική που χρησιμοποιεί για τον έλεγχο ροής και το TCP. Το TCP χρησιμοποιεί τον μηχανισμό παραθύρου. Η μετάδοση δεδομένων καταναλώνει θέσεις στο παράθυρο και είναι εφικτή εφόσον υπάρχουν ελεύθερες θέσεις σε αυτό. Όταν λαμβάνεται επιβεβαίωση (acknowledgement, μήνυμα ACK) για κάποιο πακέτο, το παράθυρο μετατοπίζεται ώστε τα επιβεβαιωμένα πακέτα να αφήσουν τις θέσεις τους και αυτές να είναι πάλι ελεύθερες προς χρήση. Εφόσον δεν υπάρχει απώλεια πακέτων, το μέγεθος του παραθύρου αυξάνεται κατά μία θέση κάθε RTT χρόνο (προσθετική αύξηση). Αν υπάρξει απώλεια (που αναγνωρίζεται με την έλλειψη επιβεβαίωσης – μήνυμα ACK), τότε το παράθυρο μειώνεται κατά μια θέση. Αν υπάρξει απώλεια 3 ACK μηνυμάτων, τότε το παράθυρο μειώνεται στο μισό του μεγέθους του (πολλαπλασιαστική μείωση).

2.3.2.2 Receiver-based

Για την περίπτωση της μονοεκπομπής, ο source-based έλεγχος ροής συνήθως είναι αρκετός. Για την πολυεκπομπή όμως πρέπει να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της ετερογένειας των δεκτών αλλιώς, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, όλοι οι δέκτες πρέπει να συμβιβαστούν με το ελάχιστο κοινό επίπεδο εξυπηρέτησης. Σε αυτές τις περιπτώσεις πιο κατάλληλος είναι ο receiver-based έλεγχος ροής, ο οποίος εφαρμόζεται από τους δέκτες και όχι τον πομπό.

Στον receiver-based έλεγχο χρησιμοποιείται η κωδικοποίηση του σήματος σε επίπεδα (layered based). Η κωδικοποίηση σε επίπεδα προβλέπει την συμπίεση του αρχικού σήματος σε ένα βασικό επίπεδο (base layer) και σε ένα ή περισσότερα επίπεδα βελτίωσης (enhancement layers). Το βασικό επίπεδο όταν αποκωδικοποιηθεί από τους δέκτες παρέχει το ελάχιστο επίπεδο ποιότητας, ενώ η λήψη επιπλέον επιπέδων βελτιώνει το αποτέλεσμα¹. Κάθε επίπεδο αποστέλλεται σε διαφορετική ομάδα πολυεκπομπής. Οι δέκτες προσπαθούν να μεγιστοποιήσουν τον αριθμό των ομάδων στις οποίες είναι εγγεγραμμένοι χωρίς να έχουν απώλεια πληροφορίας.

Ο receiver-based έλεγχος μπορεί να εφαρμοσθεί είτε με την τεχνική της βολιδοσκόπησης, είτε με την τεχνική της μοντελοποίησης.

Η τεχνική της βολιδοσκόπησης για receiver-based έλεγχο ροής πρωτοεφαρμόστηκε στο Receiver-driven Layered Multicast (RLM) [57] και λειτουργεί ως εξής:

- Όταν δεν παρατηρείται συμφόρηση στο δίκτυο μετάδοσης, ο δέκτης εγγράφεται στην αμέσως επόμενη ομάδα πολυεκπομπής οπότε η εισερχόμενη ροή αυξάνει σε εύρος. Αν δεν παρατηρηθούν απώλειες η βολιδοσκόπηση θεωρείται επιτυχής. Αλλιώς ο δέκτης αποσύρεται από την καινούρια ομάδα και επιστρέφει στο προηγούμενο επίπεδο εξυπηρέτησης.
- Αν παρατηρηθεί συμφόρηση, ο δέκτης διακόπτει την εγγραφή του στην ανώτερη ομάδα πολυεκπομπής και μειώνει το εύρος της εισερχόμενης ροής.

Η διαδικασία της βολιδοσκόπησης επιβαρύνει το δίκτυο μετάδοσης, ιδιαίτερα όταν αποδεικνύεται ανεπιτυχής. Το πρόβλημα μεγεθύνεται όταν ο αριθμός των δεκτών είναι μεγάλος. Στο [57] προτείνονται κάποιες λύσεις που στηρίζονται στη δημοσιοποίηση (με χρήση της πολυεκπομπής) των αποτελεσμάτων της βολιδοσκόπησης ώστε να αποφεύγεται η άσκοπη χρήση τους από άλλους κοντινούς δέκτες.

Η τεχνική της μοντελοποίησης για receiver-based έλεγχο χρησιμοποιεί το μοντέλο απόδοσης του TCP και λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με τον source-based έλεγχο που παρουσιάστηκε προηγουμένως.

¹ Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την κωδικοποίηση σε επίπεδα βλ. 2.3.4.

2.3.2.3 Hybrid-based

Στον υβριδικό έλεγχο ροής, οι δέκτες εγγράφονται σε ομάδες μετάδοσης για να διαμορφώσουν το εύρος λήψης τους ενώ ο πομπός διαμορφώνει το εύρος ζώνης για κάθε επίπεδο που μεταδίδει. Αντίθετα με τον source-based έλεγχο όπου υπάρχει μόνο ένα κανάλι (επίπεδο) μετάδοσης, στον υβριδικό έλεγχο υπάρχουν πολλά επίπεδα και αντίθετα με τον receiver-based έλεγχο ο ρυθμός μετάδοσης σε κάθε κανάλι δεν είναι σταθερός, αλλά διαμορφώνεται δυναμικά από τον πομπό. Εργασίες πάνω στον υβριδικό έλεγχο ροής μπορούν να βρεθούν στα [58] και [59].

2.3.3 Μορφοποίησης Ροής

Η μορφοποίηση ροής (rate shaping) προσπαθεί να προσαρμόσει το ρυθμό μετάδοσης μιας ροής στο διαθέσιμο εύρος ζώνης. Ο διαμορφωτής ροής (rate shaper) λειτουργεί ως φίλτρο ανάμεσα στον κωδικοποιητή και το δίκτυο. Ο διαμορφωτής λειτουργεί ανεξάρτητα από τον κωδικοποιητή και μπορεί να προσαρμοσθεί κατάλληλα για διάφορους τύπους κωδικοποίησης. Η μορφοποίηση ροής ακολουθεί δύο προσεγγίσεις, την δικτυακή (transport perspective) [60], [61], [62] και αυτήν της συμπίεσης (compression perspective) [63].

Σε συνθήκες συμφόρησης πακέτα πληροφορίας απορρίπτονται τυχαία από το δίκτυο, ενώ πακέτα που τελικά φτάνουν στον δέκτη υπάρχει περίπτωση να έχουν ήδη καταστεί άχρηστα είτε λόγω καθυστέρησης είτε επειδή η πληροφορία που περιέχουν δεν μπορεί να αξιοποιηθεί επειδή στηρίζεται σε πακέτα που έχουν χαθεί προηγουμένως.

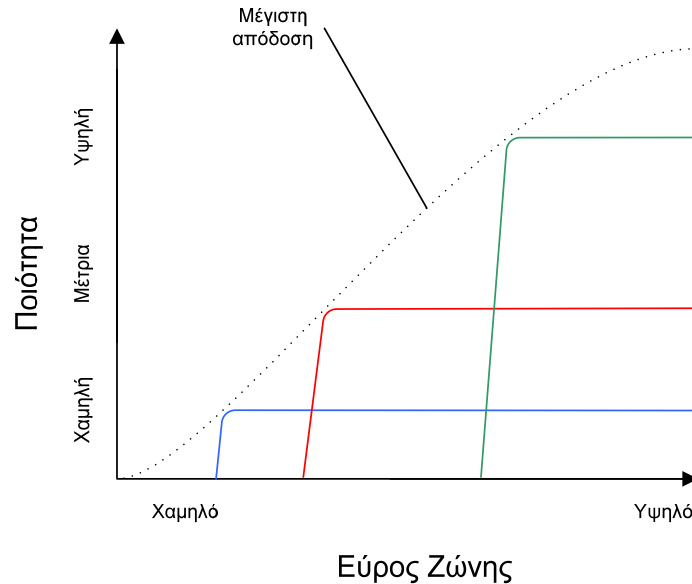
Στην διαμόρφωση ροής με δικτυακή προσέγγιση ο διαμορφωτής απορρίπτει επιλεκτικά πακέτα πληροφορίας πριν αυτά φτάσουν στο δίκτυο μειώνοντας το συνολικό εύρος ζώνης που απαιτείται για τη ροή και κατά συνέπεια και την πιθανότητα να απορριφθούν πακέτα λόγω συμφόρησης. Η πρόωρη απόρριψη πακέτων από τον διαμορφωτή πλεονεκτεί από την απόρριψη πακέτων από το δίκτυο εφόσον η δεύτερη δεν έχει τη δυνατότητα να εκτιμήσει την αξία της πληροφορίας που χάνεται. Για παράδειγμα, ο διαμορφωτής (με τη χρήση του καναλιού ανάδρασης) μπορεί να απορρίπτει καθυστερημένα και συνεπώς άχρηστα πακέτα ενώ σε μια αλυσίδα αλληλοεξαρτώμενων πακέτων να απορρίπτει τα λιγότερα σημαντικά.

Για την προσέγγιση συμπίεσης ένας αντιπροσωπευτικός μηχανισμός περιγράφεται στο [63]. Η τεχνική που περιγράφεται απαλείφει από το κωδικοποιημένο σήμα τις υψηλές συχνότητες (στις οποίες το ανθρώπινο μάτι είναι λιγότερο ευαίσθητο) μέχρι το απαιτούμενο εύρος ζώνης για τη μετάδοση ταιριάζει με το διαθέσιμο.

2.3.4 Προσαρμόσιμη Κωδικοποίηση

Πολλά πρότυπα συμπίεσης που χρησιμοποιούνται για μετάδοση ζωντανών ροών είναι μη προσαρμοστικά (non-adaptive), δηλαδή ο κωδικοποιητής παράγει ροές που απαιτούν συγκεκριμένο εύρος ζώνης και το οποίο δεν αλλάζει κατά τη διάρκεια του χρόνου. Αυτού του

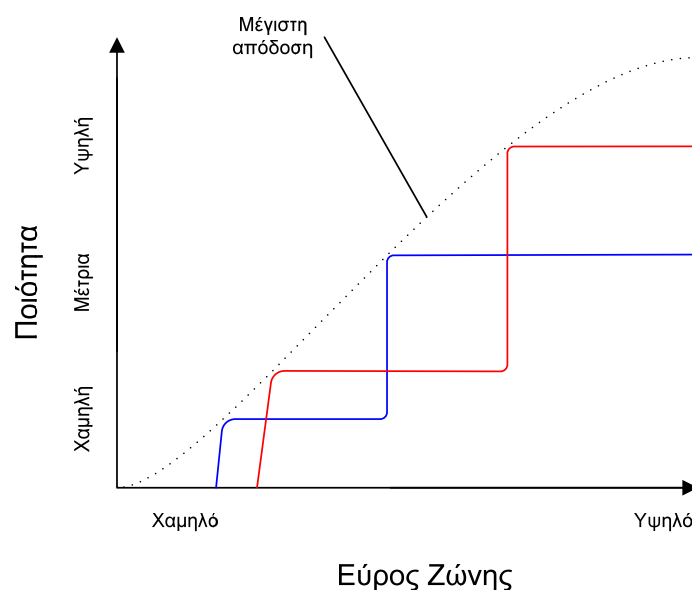
είδους η συμπίεση αδυνατεί να εκμεταλλευτεί αποτελεσματικά τη δυναμική φύση του δικτύου, όπου το εύρος ζώνης συνήθως δεν είναι γνωστό από πριν, ενώ μπορεί επίσης να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια μιας μετάδοσης. Στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται ενδεικτικά διαγράμματα απόδοσης της μη προσαρμόσιμης κωδικοποίησης.



Σχήμα 6 – Απόδοση χωρίς προσαρμόσιμη κωδικοποίηση

Στον οριζόντιο άξονα του σχήματος παρουσιάζονται οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης της κωδικοποίησης ενώ στον κάθετο άξονα η ποιότητα που αντιλαμβάνεται ο δέκτης. Η καμπύλη της μέγιστης απόδοσης υποδηλώνει το μέγιστο επίπεδο ποιότητας που μπορούμε να επιτύχουμε για κάποιο συγκεκριμένο εύρος ζώνης. Με τη μη προσαρμόσιμη κωδικοποίηση η απόδοση μεγιστοποιείται μόνο για το συγκεκριμένο εύρος ζώνης που χρησιμοποιήθηκε κατά την κωδικοποίηση. Αν το διαθέσιμο εύρος ζώνης στο δίκτυο είναι μικρότερο, τότε η ποιότητα πέφτει απότομα σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Αν αντιθέτως το εύρος είναι μεγαλύτερο, η ποιότητα παραμένει σταθερή και ο χρήστης δεν έχει κανένα όφελος.

Για τη βελτίωση της απόδοσης του κωδικοποιητή έχουν προταθεί διάφορα πρότυπα προσαρμόσιμης (adaptive) κωδικοποίησης. Η προσαρμόσιμη κωδικοποίηση προβλέπει τη συμπίεση του αρχικού σήματος σε ένα βασικό επίπεδο (base layer) και σε ένα επίπεδο βελτίωσης (enhancement layer). Το επίπεδο βελτίωσης, όπως και το βασικό επίπεδο, πρέπει να ληφθεί εξολοκλήρου από τον δέκτη για να μπορέσει να συνεισφέρει στην αύξηση της ποιότητας του σήματος. Στο Σχήμα 7, όπου παρουσιάζεται το διάγραμμα απόδοσης της προσαρμόσιμης κωδικοποίησης.



Σχήμα 7 – Απόδοση με προσαρμόσιμη κωδικοποίηση δύο επιπέδων

Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσαρμόσιμη κωδικοποίηση εκμεταλλεύεται καλύτερα το διαθέσιμο εύρος ζώνης από την απλή κωδικοποίηση.

Οι πιο διαδεδομένες τεχνικές προσαρμόσιμης κωδικοποίησης είναι η SNR (Signal-to-Noise Ratio), η temporal και η spatial κωδικοποίηση.

2.3.4.1 SNR

Η SNR τεχνική προβλέπει την κωδικοποίηση του δυο επιπέδων με το ίδιο frame-rate και για στο ίδιο μέγεθος πλαισίου αλλά με διαφορετική κβαντική ακρίβεια (quantization accuracy) [64], [65], [66].

2.3.4.2 Temporal

Η temporal τεχνική προβλέπει την κωδικοποίηση των δυο επιπέδων με το ίδιο μέγεθος πλαισίου αλλά διαφορετικό frame-rate. Το βασικό επίπεδο περιέχει την πληροφορία σε χαμηλό frame-rate και το επίπεδο βελτίωσης περιέχει επιπλέον frames ώστε ο συνδυασμός τους να δώσει εικόνα υψηλού frame-rate [67], [68], [69].

2.3.4.3 Spatial

Η spatial τεχνική προβλέπει την κωδικοποίηση των επιπέδων στο ίδιο frame-rate αλλά σε διαφορετικό μέγεθος πλαισίου. Το βασικό επίπεδο είναι συμπιεσμένο σε μικρό πλαίσιο το οποίο “μεγεθύνεται” (up-sampled) στο μέγεθος του πλαισίου που μεταφέρει το επίπεδο βελτίωσης. Η πληροφορία που περιέχει το επίπεδο βελτίωσης συνδυάζεται για την παραγωγή εικόνας μεγαλύτερης ευκρίνειας [67], [70].

2.3.4.4 Fine Granularity Scalability

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι τεχνικές προσαρμόσιμης κωδικοποίησης προϋποθέτουν ότι το επίπεδο βελτίωσης πρέπει να ληφθεί εξολοκλήρου, διαφορετικά δεν παρέχεται καμία βελτίωση στην ποιότητα. Επίσης, σημαντικό ζήτημα προκύπτει και κατά την επιλογή του εύρους ζώνης κάθε επιπέδου το οποίο πρέπει να καλύπτει ποιοτικώς το σύνολο των δεκτών και να μεγιστοποιεί τη χρήση εύρους.

Στο [71] περιγράφεται η FGS (Fine Granularity Scalability) τεχνική για το MPEG-4 η οποία, όπως και οι άλλες τεχνικές, προβλέπει την κωδικοποίηση σε 2 επίπεδα με τη διαφορά ότι το επίπεδο βελτίωσης μπορεί να ληφθεί μερικώς και να βελτιώσει την εισερχόμενη ροή ανάλογα με τον αριθμό των bits που ελήφθησαν. Το διάγραμμα απόδοσης της FGS προσεγγίζει την καμπύλη μέγιστης απόδοσης στα Σχήμα 6 και Σχήμα 7. Περισσότερα για την FGS μπορούν να βρεθούν στο [72].

2.4 Εμπορικές Λύσεις

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται μερικές από τις πλέον διαδεδομένες εμπορικές πλατφόρμες για μετάδοση ζωντανών ροών.

2.4.1 Content Delivery Networks

Ένα Content Delivery Network (CDN) [73], αποτελείται από ένα σύνολο εξυπηρετητών που αναλαμβάνουν να διαθέσουν περιεχόμενο εκ μέρους ενός αρχικού εξυπηρετητή. Οι εξυπηρετητές ενός CDN, που μπορούν να βρίσκονται είτε στο ίδιο δίκτυο με τον αρχικό εξυπηρετητή είτε καταναμημένοι σε απομακρυσμένα σημεία, περιέχουν ακριβές αντίγραφα της πληροφορίας που διαθέτει ο αρχικός εξυπηρετητής. Για κάθε αίτηση περιεχομένου το CDN αναλαμβάνει να ανακαλύψει τον “κοντινότερο” εξυπηρετητή με κριτήρια γεωγραφικής εγγύτητας, δικτυακής εγγύτητας, κατανομής φόρτου, κτλ. Η συνήθης πρακτική που εφαρμόζεται για την ανακατεύθυνση των αιτήσεων είναι η χρήση του μηχανισμού DNS.

Όταν ένας πελάτης ζητήσει κάποιο περιεχόμενο (π.χ. μια ιστοσελίδα), ο μηχανισμός DNS αναλαμβάνει να μετατρέψει το όνομα του εξυπηρετητή στο ζητούμενο URL στην IP διεύθυνση του εξυπηρετητή. Αν η μετατροπή του ονόματος σε IP διεύθυνση δεν είναι δυνατή

τοπικά, ο εξυπηρετητής DNS προωθεί την αίτηση στον υπερκείμενο¹ DNS εξυπηρετητή. Το CDN, που ελέγχει τον υπερκείμενο DNS εξυπηρετητή, επιστρέφει την IP διεύθυνση ενός εξυπηρετητή που διαθέτει αντίγραφο το ζητούμενου περιεχομένου και πληρεί κάποιο κριτήριο από αυτά που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Συνήθως στην αντιστοίχιση που επιστρέφει ο υπερκείμενος DNS εξυπηρετητής επιβάλλεται μικρό όριο ζωής (Time-to-Live – TTL) ώστε ο τοπικός εξυπηρετητής να αναγκάζεται να συχνά να “συμβουλευεται” το CDN.

Οι εξυπηρετητές που απαρτίζουν ένα CDN οφείλουν να διαθέτουν το περιεχόμενο με τους ίδιους μηχανισμούς που θα το διέθετε και ο αρχικός εξυπηρετητής. Τα πρωτόκολλα που υποστηρίζονται κυρίως είναι τα HTTP και FTP που χρησιμοποιούνται για την διανομή στατικού περιεχομένου όπως ιστοσελίδες, εικόνες, μεγάλα αρχεία, κτλ. Η διανομή ζωντανών ροών απαιτεί άλλους μηχανισμούς (π.χ. RTSP) που συνήθως δεν συναντιούνται στις εμπορικές υλοποιήσεις.

Τα CDNs απευθύνονται κυρίως σε παροχούς (ISPs) εξαιτίας του υψηλού κόστους τους.

Η πιο διαδεδομένη CDN πλατφόρμα είναι της Akamai [74] και υποστηρίζει τις τεχνολογίες διανομής ζωντανών ροών των Apple, Microsoft και RealNetworks.

2.4.2 Apple QuickTime Server

Η Apple διαθέτει τον QuickTime Streaming Server (QTSS) [75] ως μέρος του λειτουργικού της συστήματος MacOS X Server. Παρέχεται επίσης μια open-source έκδοση της πλατφόρμας, γνωστή ως Darwin Streaming Server [76], που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λειτουργικά Linux, Windows και Solaris. Ο QTSS υποστηρίζει ζωντανές ροές όσο και ροές κατά απαίτηση. Στις υποστηριζόμενες μορφές κωδικοποίησης ανήκει και η κωδικοποίηση MPEG-4.

Για τη μετάδοση ζωντανών ροών χρησιμοποιούνται τα πρωτόκολλα RTP/RTCP και RTSP. Με αυτόν τον τρόπο ο QTSS είναι συμβατός με τους περισσότερους MPEG-4 πελάτες που κυκλοφορούν στην αγορά. Στα επιπλέον χαρακτηριστικά συμπεριλαμβάνονται η δυνατότητα για αξιόπιστη μετάδοση πάνω από το πρωτόκολλο HTTP και μηχανισμοί όπως το Fast Start Delivery. Το Fast Start Delivery χρησιμοποιείται σε αξιόπιστες συνδέσεις με εύρος ζώνης μεγαλύτερο από το απαιτούμενο για τη μετάδοση και προβλέπει την ταχύτερη μετάδοση της ροής, ώστε ο πελάτης να διατηρεί πάντα στην ενδιάμεση μνήμη του αρκετό περιεχόμενο και να αντιμετωπίζονται προβλήματα λόγω προσωρινής συμφόρησης του δικτύου. Επίσης, παρέχονται δυνατότητες σχηματισμού απλών υπερκείμενων δικτύων χωρίς αυτοματοποιημένη διαχείριση.

¹ Ο μηχανισμός DNS χρησιμοποιεί δένδρική δομή.

2.4.3 Microsoft Windows Media Services

Η πρόταση της Microsoft αποτελείται από την πλατφόρμα Windows Media Services [77] που διατίθεται μαζί με το λειτουργικό Windows 2003. Η Microsoft διατηρεί πελάτες για την πλατφόρμα σε όλα τα λειτουργικά της συστήματα συμπεριλαμβανομένων και των Windows Mobile που χρησιμοποιούνται σε κινητές συσκευές.

Αν και εταιρία συμμετείχε στη διαδικασία για την προτυποποίηση του MPEG-4, η πλατφόρμα της στηρίζεται στο ιδιόκτητο πρότυπο Windows Media. Το Windows Media έχει σαν βάση του το MPEG-4 αλλά είναι ασύμβατο με τους MPEG-4 πελάτες της αγοράς.

Ο εξυπηρετητής Windows Media υποστηρίζει, όπως και οι άλλες πλατφόρμες, τα πρότυπα RTP/RTCP, RTSP αλλά γενικά προτιμάται το ιδιόκτητο Microsoft Media Server (MMS) πρότυπο, το οποίο είναι βελτιστοποιημένο για την μετάδοση Windows Media περιεχομένου. Στον τομέα της ποιότητας, υποστηρίζεται η τεχνική της κωδικοποίησης σε πολλούς ρυθμούς (multiple bitrate encoding) που προβλέπει την κωδικοποίηση διαφορετικών εκδόσεων του ίδιου περιεχομένου με διαφορετικές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης. Οι διαφορετικές εκδόσεις συμπεριλαμβάνονται στο ίδιο αρχείο και ο εξυπηρετητής αποφασίζει ποια έκδοση θα αποσταλεί στον πελάτη. Αν η μετάδοση παρουσιάσει προβλήματα λόγω συμφόρησης, γίνεται αυτόματα μεταφορά σε έκδοση που απαιτεί λιγότερο εύρος ζώνης ενώ αν η μετάδοση είναι απροβλημάτιστη επιχειρείται μεταφορά σε ποιοτικότερη έκδοση. Η όλη διαδικασία είναι διαφανής στον τελικό χρήστη. Άλλες τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι η μείωση της ποιότητας (και του απαιτούμενου εύρους ζώνης) για την εικόνα με σκοπό να προφυλαχθεί η ροή ήχου (stream thinning) και οι τεχνολογίες Fast Start, Fast Cache, Fast Recovery και Fast Reconnect, οι οποίες αναφέρονται στο σύνολο τους ως Fast Streaming.

Οι τεχνικές Fast Start και Fast Cache είναι παρόμοιες με την Fast Start Delivery που χρησιμοποιεί ο QuickTime Streaming Server. Η τεχνική Fast Recovery χρησιμοποιείται σε δίκτυα με μεγάλη καθυστέρηση (π.χ. τα ασύρματα) και προβλέπει τη μετάδοση πλεοναζόντων (redundant) πακέτων πληροφορίας, τα οποία σε συνδυασμό με την τεχνική Forward Error Correction (FEC) επιτρέπουν στον πελάτη να ανακάμψει από απώλεια πακέτων. Τέλος, η Fast Reconnect τεχνική προβλέπει την ύπαρξη εφεδρικών εξυπηρετητών, στους οποίους ο πελάτης συνδέεται αυτόματα αν η σύνδεση με τον αρχικό εξυπηρετητή χαθεί λόγω συμφόρησης. Η μετάδοση συνεχίζει από το ίδιο σημείο που διακόπηκε και, με την προϋπόθεση της αρκετής ενδιάμεσης μνήμης στον πελάτη, η όλη διαδικασία είναι διαφανής.

Η Microsoft παρέχει ένα πλήθος προγραμματιστικών εργαλείων για έλεγχο και προσαρμογή των Windows Media Services. Η διασυνδέσεις που παρέχονται προβλέπουν και τη δημιουργία προσαρμοσμένων υλοποιήσεων στηριγμένες σε υπερκείμενα δίκτυα, δυνατότητα που δεν παρέχεται εγγενώς στην πλατφόρμα.

2.4.4 RealNetworks Helix

Η RealNetworks διαθέτει την πλατφόρμα Helix [78] για Windows, Linux, MacOS και UNIX λειτουργικά συστήματα. Τα βασικά μέρη της πλατφόρμας διατίθενται ως ανοιχτό λογισμικό ενώ η RealNetworks παρέχει επιπλέον ιδιόκτητα εμπορικά προϊόντα με επιπλέον επεκτάσεις.

Η Helix υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα προτύπων που συμπεριλαμβάνουν τόσο το MPEG-4, το ιδιόκτητο RealMedia όσο και τα ανταγωνιστικά QuickTime και Windows Media. Για τη μετάδοση χρησιμοποιούνται τα RTP/RTCP, RTSP, MMS (για Windows Media) και PNA (για RealMedia).

Για την εξασφάλιση ποιότητας, χρησιμοποιείται η τεχνολογία SureStream που είναι λειτουργεί αντίστοιχα με την τεχνική multiple bitrate encoding που χρησιμοποιείται από την πλατφόρμα της Microsoft. Επίσης υποστηρίζονται διάφοροι μηχανισμοί ανάκαμψης από λάθη στη μετάδοση αντίστοιχες με τις Fast Streaming τεχνολογίες που εφαρμόζονται στα Windows Media Services. Τέλος, οι ακριβές εμπορικές προτάσεις της RealNetworks περιλαμβάνουν δυνατότητα για σχηματισμό υπερκείμενων δικτύων.

2.4.5 Άλλες Πλατφόρμες

2.4.5.1 PacketVideo

Η PacketVideo [79] διατηρεί μια πλατφόρμα βασισμένη στο MPEG-4. Υποστηρίζονται όλα τα αναμενόμενα πρότυπα και υπάρχει συμβατότητα με τους περισσότερους MPEG-4 πελάτες. Ο κύριος προσανατολισμός της πλατφόρμας είναι σε κινητά και ασύρματα δίκτυα και παρέχονται προϊόντα τόσο για Symbian όσο και Windows Mobile συσκευές.

2.4.5.2 Envivio

Η πλατφόρμα της Envivio [80] στηρίζεται και αυτή στο MPEG-4. Η εταιρία διαθέτει λύσεις τόσο σε λογισμικό όσο και σε υλικό που εστιάζονται κυρίως σε υπηρεσίες παροχής ψηφιακής τηλεόρασης σε μεγάλους οργανισμούς.

2.4.5.3 Dicas Mpegable

Η Dicas [81] παρέχει την πλατφόρμα Mpegable που υποστηρίζει το πρότυπο MPEG-4. Τα προϊόντα της εταιρίας απαιτούν λειτουργικό Windows. Η Dicas παρέχει προγραμματιστικά εργαλεία για την προσαρμογή των εφαρμογών.

2.5 Ανασκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν:

- Τα βασικά πρότυπα και πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες της κωδικοποίησης και της μετάδοσης των ζωντανών ροών

Περιγράφηκαν οι βασικές αρχές που διέπουν την κωδικοποίηση κινούμενης εικόνας και ήχου και παρουσιάστηκαν τα κύρια χαρακτηριστικά των προτύπων της οικογένειας MPEG. Στο πεδίο της μετάδοσης, παρατέθηκαν τα πρωτόκολλα RTP/RTCP και RTSP που χρησιμοποιεί η μεγάλη πλειοψηφία των υλοποιήσεων. Τέλος, παρουσιάστηκε εκτενώς το πρότυπο MPEG-4, το οποίο προσπαθεί να καλύψει τόσο το στάδιο της κωδικοποίησης όσο και της μετάδοσης και το οποίο χρησιμοποιείται με αυξανόμενο ρυθμό στις σύγχρονες υλοποιήσεις.

- Οι συμπληρωματικές τεχνικές της Πολυεκπομπής και των Υπερκειμένων Δικτύων

Περιγράφηκε η τεχνική της πολυεκπομπής, η οποία προσπάθησε να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της μετάδοσης περιεχομένου σε μεγάλες ομάδες χρηστών και τα κυριότερα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται κατά την εφαρμογή της. Αφού παρατέθηκαν τα προβλήματα που περιορίζουν την υιοθέτηση της πολυεκπομπής, παρουσιάστηκε η εναλλακτική προσέγγιση των υπερκειμένων δικτύων και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται κατά την εφαρμογή τους.

- Οι δημοφιλείς προσεγγίσεις σε ζητήματα ελέγχου ποιότητας υπηρεσίας με πολυμεσικές ροές

Περιγράφηκαν οι τεχνικές του ελέγχου της παρεχόμενης επίπεδου υπηρεσίας κατά τη μετάδοση από τα συμβαλλόμενα μέρη (πομπός και δέκτες) και οι τεχνικές μορφοποίησης του περιεχομένου για την δυναμική προσαρμογή του στις τρέχουσες δικτυακές συνθήκες. Ιδιαίτερη μνεία έγινε στην προσαρμόσιμη κωδικοποίηση και τις διάφορες μορφές της που επιπλέον υποστηρίζονται από το πρότυπο MPEG-4.

- Οι εμπορικές πλατφόρμες παροχής πολυμεσικού περιεχομένου

Παρουσιάστηκαν οι δημοφιλέστερες εμπορικές λύσεις για παροχή πολυμεσικού περιεχομένου (CDNs, Apple, Microsoft, RealNetworks), δόθηκαν εν συντομία τα χαρακτηριστικά τους, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους και ο βαθμός ενσωμάτωσης των τεχνολογιών που είχαν ήδη περιγραφεί.

2.6 Αναφορές

[13] MPEG-1, ISO/IEC 11172, 1993.

[14] MPEG-2, ISO/IEC 13818, 1996.

[15] MPEG-4, ISO/IEC 14496, 1999.

[16] MPEG-7, ISO/IEC 15938, 2002.

- [17] MPEG-21, “Vision, Technologies and Strategy”, ISO/IEC TR 21000-1, 2004.
- [18] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, “RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications”, RFC 3550, Internet Engineering Task Force, July 2003.
- [19] H. Schulzrinne, A. Rao, R. Lanphier, “Real Time Streaming Protocol (RTSP)”, RFC 2326, Internet Engineering Task Force, April 1998.
- [20] Virtual Reality Modeling Language (VRML), ISO/IEC 14772, 1997.
- [21] S. Deering and D. Cheriton, “Multicast Routing in Datagram Inter-Networks and Extended LANs,” ACM Trans. Comp. Sys., vol. 8, no. 2, pp. 85–110, May 1990.
- [22] W. Fenner, “Internet Group Management Protocol, Version 2,” RFC 2236, Internet Engineering Task Force, Nov. 1997.
- [23] K. Almeroth, “The evolution of multicast: From the MBone to inter-domain multicast to Internet2 deployment”, IEEE Network, vol. 14 , no. 1, pp. 10-20, Jan./Feb. 2000.
- [24] D. Waitzman, C. Partridge, and S. Deering, “Distance Vector Multicast Routing Protocol (DVMRP)”, RFC 1075, Internet Engineering Task Force, Nov. 1988.
- [25] Adams, J. Nicholas, W. Siadak “Protocol Independent Multicast - Dense Mode (PIM-DM): Protocol Specification (Revised)”, Internet draft, Internet Engineering Task Force, June 2004.
- [26] J. Moy, “Multicast Extensions to OSPF”, RFC 1584, Internet Engineering Task Force, Mar. 1994.
- [27] D. Estrin et al., “Protocol Independent Multicast Sparse-Mode (PIM-SM): Protocol Specification”, RFC 2362, Internet Engineering Task Force, June 1998.
- [28] A. Ballardie, “Core Based Trees (CBT version 2) Multicast Routing”, RFC 2189, Internet Engineering Task Force, Sept. 1997.
- [29] Ch. Diot, B. N. Levine, B. Lyles H. Kassem, D. Balensiefen, “Deployment Issues for the IP Multicast Service and Architecture”, IEEE Network, vol. 14, no. 1, pp. 78-88, Jan./Feb. 2000.
- [30] H. Holbrook and D. Cheriton, “IP multicast channels: EXPRESS support for large-scale single-source applications”, In Proc. ACM SIGCOMM '99, Cambridge, MA., pp. 65-78, Sept. 1999.
- [31] S. Bhattacharyya, “An Overview of Source-Specific Multicast (SSM)”, RFC 3569, Internet Engineering Task Force, July 2003.
- [32] S. Kumar et al., “The MASC/BGMP architecture for inter-domain multicast routing”, In Proc. ACM SIGCOMM '98, Vancouver, Canada, pp. 93-104, Sept. 1998.
- [33] A. El-Sayed, V. Roca, “A survey of Proposals for an Alternative Group Communication Service”, IEEE Network, vol. 17, no. 1, pp. 46-51, Jan. 2003.
- [34] C.K. Yeo, B.S. Lee, M.H. Er, “A survey of application level multicast techniques”, Computer Communications vol. 27, pp. 1547–1568, 2004.

- [35] D. Pendarakis, S. Shi, D. Verma, M. Waldvogel, “ALMI: an Application Level Multicast Infrastructure”, in Proc. 3rd Usenix Symposium on Internet Technologies and Systems (USITS), March 2001.
- [36] D.A. Helder, S. Jamin, “Banana tree protocol, an end-host multicast protocol”, Technical Report, University of Michigan, CSE-TR-429-00, July 2000.
- [37] J. Jannotti, D.K. Gifford, K.L. Johnson, “Overcast: Reliable Multicasting with an Overlay Network”, in Proc. Oper. Syst. Des. Implement. (OSDI) October 2000.
- [38] Y. Chu, S.G. Rao, S. Seshan, H. Zhang, “A case for end system multicast”, IEEE J. Select. Areas Commun. vol. 20 no. 8, 2002.
- [39] P. Francis, “Yoid: Extending the Internet multicast architecture”, <http://www.isi.edu/div7/yoid/>.
- [40] Dapeng Wu, Yiwei Hou, Ya-Qin Zhang, “Transporting Real-Time Video over the Internet: Challenges and Approaches”, Proceedings of the IEEE, pp1855-1874, December 2000.
- [41] Dapeng Wu, Yiwei Hou, Yiwei Hou, Ya-Qin Zhang, Jon M. Peha, “Streaming Video over the Internet: Approaches and Directions”, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 11, No. 3, pp 282-300, March 2001.
- [42] Ch. Z. Patrikakis, G. Koukouvakis, A. Lambiris, N Minogiannis, "A report on media streaming for large numbers of users", Annual review of telecommunications, IEC ISBN:1-931695-28-8, Vol. 57, November 2004.
- [43] R. Braden, D. Clark, “Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview”, RFC1633, Internet Engineering Task Force, June 1994.
- [44] Y. Bernet et al, “A framework for Integrated Services Operation over DiffServ Networks,” RFC2998, Internet Engineering Task Force, November 2000.
- [45] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin, “Resource ReSerVation Protocol (RSVP)“, RFC2205, Internet Engineering Task Force, September 1997.
- [46] J. Wroclawski, “The Use of RSVP with IETF Integrated Services“, RFC2210, Internet Engineering Task Force, September 1997.
- [47] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, and W. Weiss, “An architecture for differentiated services,” RFC 2475, Internet Engineering Task Force, Dec. 1998.
- [48] K. Nichols et al, "Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers", RFC2474, Internet Engineering Task Force, December 1998.
- [49] V. Jacobson et al, "An Expedited Forwarding PHB Group," RFC2598, Internet Engineering Task Force, June 1999.
- [50] J. Heinanen et al, "Assured Forwarding PHB Group," RFC2597, Internet Engineering Task Force, June 1999.

- [51] D. Wu, Y. T. Hou, W. Zhu, H.-J. Lee, T. Chiang, Y.-Q. Zhang, and H. J. Chao, “On end-to-end architecture for transporting MPEG-4 video over the Internet,” *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 10, pp. 923–941, Sept. 2000.
- [52] T. Turetti and C. Huitema, “Videoconferencing on the Internet,” *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 4, pp. 340–351, June 1996.
- [53] S. Floyd and K. Fall, “Promoting the use of end-to-end congestion control in the Internet,” *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 7, pp. 458–472, Aug. 1999.
- [54] Eddie Kohler, Mark Handley, Sally Floyd, “Datagram Congestion Control Protocol (DCCP),” Internet Draft, Internet Engineering Task Force, March 2005.
- [55] Sally Floyd, Eddie Kohler, Jitendra Padhye, “Profile for DCCP Congestion Control ID 3: TFRC Congestion Control”, Internet Draft, Internet Engineering Task Force, March 2005.
- [56] J. -C. Bolot, T. Turetti, and I. Wakeman, “Scalable feedback control for multicast video distribution in the Internet,” in *Proc. ACM SIG-COMM’94*, London, U.K. , pp. 58–67, Sept. 1994.
- [57] S. McCanne, V. Jacobson, and M. Vetterli, “Receiver-driven layered multicast,” in *Proc. ACM SIGCOMM’96*, pp. 117–130, Aug. 1996.
- [58] H. M. Smith, M. W. Mutka, and E. Torng, “Bandwidth allocation for layered multicasted video,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Multimedia Computing Syst.*, vol. 1, pp. 232–237, June 1999.
- [59] S. Y. Cheung, M. Ammar, and X. Li, “On the use of destination set grouping to improve fairness in multicast video distribution”, in *Proc. IEEE INFOCOM’96*, San Francisco, CA, pp. 553–560, Mar. 1996.
- [60] M. Hemy, U. Hengartner, P. Steenkiste, and T. Gross, “MPEG system streams in best-effort networks,” in *Proc. IEEE Packet Video’99*, New York, Apr. 26–27, 1999.
- [61] K. Sripanidkulchai and T. Chen, “Network-adaptive video coding and transmission,” in *SPIE Proc. Visual Communications and Image Processing (VCIP’99)*, San Jose, CA, Jan. 1999.
- [62] Z.-L. Zhang, S. Nelakuditi, R. Aggarwa, and R. P. Tsang, “Efficient server selective frame discard algorithms for stored video delivery over resource constrained networks,” in *Proc. IEEE INFOCOM’99*, pp. 472–479, New York, Mar. 1999.
- [63] A. Eleftheriadis and D. Anastassiou, “Meeting arbitrary QoS constraints using dynamic rate shaping of coded digital video,” in *Proc. IEEE Int. Workshop Network and Operating System Support for Dig-ital Audio and Video (NOSSDAV’95)* , pp. 95–106, Apr. 1995.
- [64] B. G. Haskell, A. Puri, and A. N. Netravali, “Digital Video: An Introduction to MPEG-2”, New York: Chapman & Hall, Sept. 1996.

- [65] “Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio, Part-2 Video”, ISO/IEC 13 818-2, Nov. 1994.
- [66] R. Aravind, M. R. Civanlar, and A. R. Reibman, “Packet loss resilience of MPEG-2 scalable video coding algorithm,” IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 6, pp. 426–435, Oct. 1996.
- [67] M. Domanski, A. Luczak, and S. Mackowiak, “Spatial-temporal scalability for MPEG video coding,” IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 10, pp. 1088–1093, Oct. 2000.
- [68] H. Katata, N. Ito, and H. Kusao, “Temporal-scalable coding based on image content,” IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 7, pp. 52–59, Feb. 1997.
- [69] G. J. Conklin and S. S. Hemami, “A comparison of temporal scalability techniques,” IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 9, pp. 909–919, Sept. 1999.
- [70] U. Benzler, “Spatial scalable video coding using a combined subband-DCT approach,” IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 10, pp. 1080–1087, Oct. 2000.
- [71] “Coding of Audio-Visual Objects, Part-2 Visual, Amendment 4: Streaming Video Profile”, ISO/IEC 14 496-2/FPDAM4, July 2000.
- [72] Weiping Li, “Overview of Fine Granularity Scalability in MPEG-4 Video Standard”, IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 11, pp. 301–316, March 2001.
- [73] Athena Vakali, George Pallis, “Content Delivery Networks: Status and Trends”, IEEE Internet Computing, vol.7, no. 6, pp. 68–74, December 2003.
- [74] Akamai Technologies, Inc., <http://www.akamai.com>.
- [75] Apple Computer, Inc., <http://www.apple.com/quicktime/streamingserver/>.
- [76] Apple Computer, Inc., <http://developer.apple.com/darwin/projects/streaming/>
- [77] Microsoft Corporation, <http://www.microsoft.com/windows/windowsmedia/default.aspx>
- [78] RealNetworks, Inc., <http://helixcommunity.org/2002/intro/platform>.
- [79] PacketVideo Corporation, <http://www.packetvideo.com>.
- [80] Envivio, Inc., <http://www.envivio.com>.
- [81] Ducas Digital Image Coding GmbH, <http://www.mpegable.com>.

3. Προτεινόμενη Αρχιτεκτονική

3.1 Γενικά

Είναι εμφανές, ότι παρόλο που το θέμα της μετάδοσης ζωντανών ροών στο Διαδίκτυο έχει μελετηθεί αρκετά, δεν υπάρχει κάποια συνολική πρόταση που να υπερέχει αισθητά των υπολοίπων. Τα επιμέρους προβλήματα που υπάρχουνε καθιστούν πολύπλοκή την ανάπτυξη μιας λύσης που να καλύπτει ικανοποιητικά όλους τους τομείς που εμπλέκονται, την κωδικοποίηση, τη μετάδοση, την εξασφάλιση ποιότητας, τη συμβατότητα με ανοικτά πρότυπα, κτλ. Το παραπάνω συμπέρασμα ενισχύεται από το γεγονός ότι οι κυρίαρχες εμπορικές προτάσεις στο χώρο προσεγγίζουν διαφορετικά τα παραπάνω θέματα (και με διαφορετικό βαθμό επιτυχίας) και είναι ως επί το πλείστον ασύμβατες μεταξύ τους.

Οι βασικές αρχές στις οποίες θα στηριχθεί η λύση που προτείνεται στη διατριβή είναι:

- Συμβατότητα και Διαλειτουργικότητα

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική πρέπει να χρησιμοποιεί διαδεδομένα πρότυπα και πρωτόκολλα για την εξασφάλιση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης συμβατότητας (compatibility) και διαλειτουργικότητας (interoperability) με υπάρχουσες λύσεις. Ως συνέχεια των προηγούμενων, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική πρέπει να έχει την ικανότητα να αναπτυχθεί διαφανώς (transparent deployment) και να παρεμβάλλεται σε ήδη υπάρχοντα συστήματα βελτιώνοντας τη λειτουργία τους χωρίς να απαιτούνται αλλαγές από τις εξωτερικές εφαρμογές. Ως δεδομένο λαμβάνεται ότι η λύση δεν θα απαιτεί αλλαγές στο δικτυακό εξοπλισμό και στα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα.

- Υποστήριξη Χρηστών με Ετερογενή Χαρακτηριστικά

Η ετερογένεια των χρηστών επεκτείνεται τόσο στο λογισμικό όσο και στο υλικό. Όσον αφορά το λογισμικό, σε συνδυασμό και με την προηγούμενη αρχή, οι χρήστες πρέπει να έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες που θα προσφέρει η προτεινόμενη λύση ανεξαρτήτως (στο μέτρο του δυνατού) της εφαρμογής που θα χρησιμοποιούν. Όσον αφορά την ετερογένεια υλικού, αυτή αναλύεται σε δικτυακό εξοπλισμό πρόσβασης και συσκευή πρόσβασης. Στόχος της λύσης είναι η υποστήριξη ετερογενών συνδέσεων με βάση το διαθέσιμο εύρος ζώνης (π.χ. PSTN/ISDN/DSL/LAN) αλλά και τη φύση της πρόσβασης (π.χ. ενσύρματη, ασύρματη). Για τον τερματικό εξοπλισμό του χρήστη, στόχος αποτελεί η υποστήριξη τόσο σταθερών (σταθμοί εργασίας, laptop) όσο και κινητών συσκευών (PDAs, κινητά τηλέφωνα).

- Υποστήριξη Μεγάλων Ομάδων Χρηστών

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική πρέπει να υποστηρίζει αποδοτικά τη ταυτόχρονη συμμετοχή μεγάλων ομάδων χρηστών. Η απαίτηση για υποστήριξη πολλών χρηστών

πηγάξει από τον βασικό τομέα χρήσης των ζωντανών ροών που είναι η ψηφιακή τηλεόραση και η ζωντανή κάλυψη γεγονότων μεγάλου ενδιαφέροντος. Η αρχιτεκτονική πρέπει να είναι εύκολα επεκτάσιμη και να υπάρχει η δυνατότητα κλιμάκωσης (scalability). Η υποστήριξη πολλών και ταυτόχρονα ετερογενών χρηστών αποτελεί επίσης στόχο της προτεινόμενης λύσης.

- Υποστήριξη Μηχανισμών Ποιότητας Υπηρεσίας

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι ζωντανές ροές είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στα προβλήματα μετάδοσης. Η προτεινόμενη λύση πρέπει να ενσωματώνει μηχανισμούς ελέγχου και εξασφάλισης ποιότητας υπηρεσίας περιλαμβάνοντας τις τεχνικές και τις μεθόδους που αναλύθηκαν στο σχετικό κεφάλαιο.

- Εκμετάλλευση του προτύπου MPEG-4

Το πρότυπο MPEG-4 αποτελεί μια ιδιαίτερα φιλόδοξη προσπάθεια με σκοπό τη συνολική αντιμετώπιση της κωδικοποίησης, μετάδοσης και αναπαραγωγής πολυμέσων. Η πολυπλοκότητα του προτύπου έχει αποθαρρύνει την ανάπτυξη λύσεων που το ενσωματώνουν πλήρως αλλά αυτό αναμένεται να αλλάξει στο μέλλον καθώς υπάρχει ισχυρή στήριξη από τις εταιρίες και τους οργανισμούς που απαρτίζουν το MPEG-4 Industry Forum. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική πρέπει να συμβαδίζει με το πρότυπο στον βαθμό που εξασφαλίζει συμβατότητα με τις υπάρχουσες λύσεις, εκμεταλλευόμενη ταυτόχρονα τις προηγμένες δυνατότητες και λειτουργίες που προδιαγράφονται από αυτό.

Με οδηγό τα παραπάνω η προτεινόμενη αρχιτεκτονική θα στηριχτεί στην ανάπτυξη ενός υπερκείμενου δικτύου σχεδιασμένου για τη μετάδοση ζωντανών ροών, του οποίου οι κόμβοι θα ενσωματώνουν τις απαραίτητες λειτουργίες που ικανοποιούν τις παραπάνω απαιτήσεις.

Η ύπαρξη του υπερκείμενου δικτύου εξασφαλίζει την ανεξαρτησία από τα δικτυακά πρωτόκολλα στα χαμηλότερα στρώματα και διευκολύνει την ανάπτυξη (deployment) πάνω στον ήδη υπάρχον εξοπλισμό. Επίσης, αντιμετωπίζει την απαίτηση για υποστήριξη μεγάλων ομάδων χρηστών.

Οι κόμβοι που θα αποτελούν το υπερκείμενο δίκτυο θα επικοινωνούν με τα προδιαγεγραμμένα και δημοφιλή πολυμεσικά πρωτόκολλα RTP, RTCP και RTSP. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η συμβατότητα με τις υπάρχουσες λύσεις και η διαφανής παρεμβολή του δικτύου σε συστήματα που ακολουθούν τα συγκεκριμένα πρότυπα.

Οι κόμβοι του υπερκείμενου δικτύου δεν αποτελούν απλώς κόμβους αντιγραφής και αναμετάδοσης πακέτων. Θα παρακολουθούν ενεργά την ποιότητα μετάδοσης και θα παρεμβαίνουν στη μεταδιδόμενη ροή, προσαρμόζοντας τη στα χαρακτηριστικά του πελάτη και στις δικτυακές συνθήκες.

Το MPEG-4 θα είναι το βασικό υποστηριζόμενο πρότυπο της πλατφόρμας, τόσο στην κωδικοποίηση, όσο και στην μετάδοση, όπως αυτή προδιαγράφεται από το DMIF. Θα

υπάρχει επίσης υποστήριξη για τα προηγμένα, ποιοτικά χαρακτηριστικά του όπως η προσαρμόσιμη κωδικοποίηση με χρήση της Fine Granularity Scalability.

3.2 Υπερκείμενο Δίκτυο

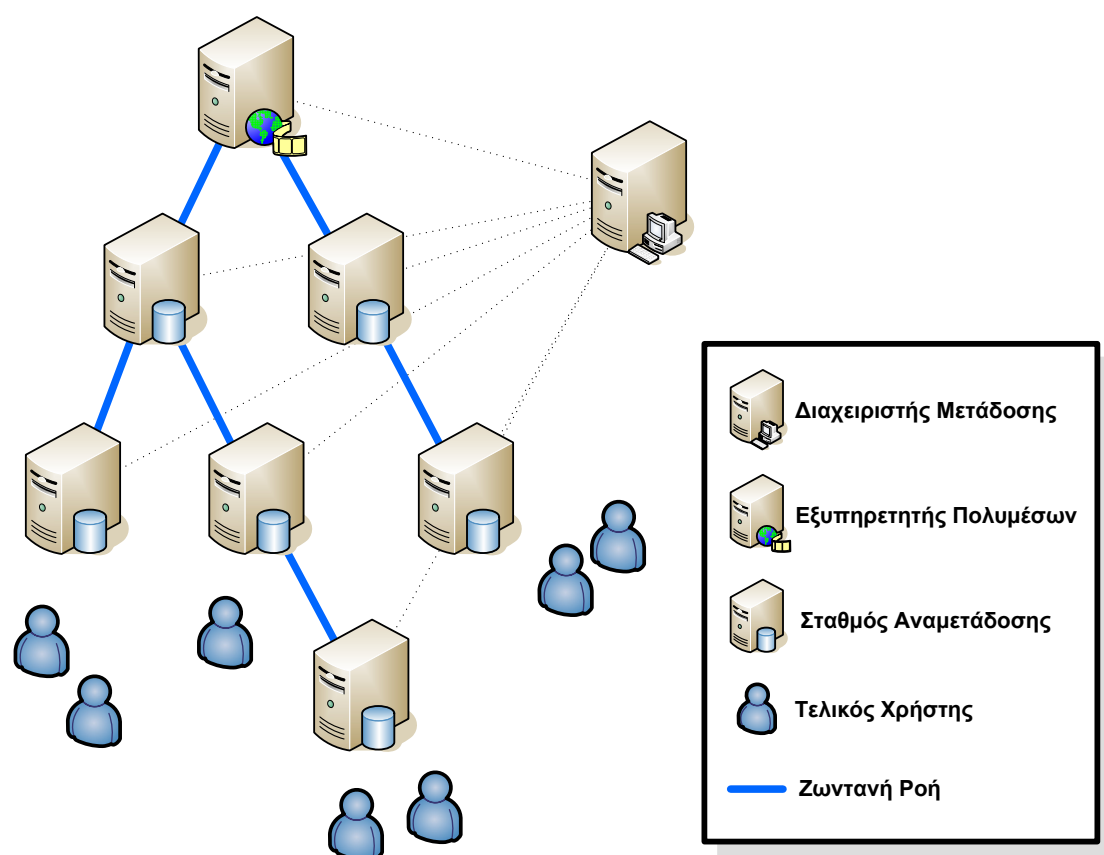
3.2.1 Γενικά

Η μετάδοση ζωντανών ροών στο Διαδίκτυο ως προσφερόμενη υπηρεσία ενδιαφέρει πρωτίστως παροχούς, εταιρίες και οργανισμούς παρά ομάδες απλών χρηστών που ενδιαφέρονται να ανταλλάξουν πολυμεσικό περιεχόμενο μεταξύ τους. Βασικό λόγο αποτελεί, προφανώς, το κόστος διάθεσης μιας τέτοιας υπηρεσίας τόσο σε εξοπλισμό (υλικό και δικτυακό), όσο και στην κάλυψη των πνευματικών δικαιωμάτων που ενδεχομένως διέπουν το περιεχόμενο προς μετάδοση. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική στηρίζεται στην υπόθεση ότι οι απλοί χρήστες συμμετέχουν στην υπηρεσία μόνο ως καταναλωτές και όχι ως παραγωγοί αυτής.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η σχεδίαση του υπερκείμενου δικτύου, που αποτελεί το μέσο διανομής του περιεχομένου στους χρήστες, ακολουθεί μια δομημένη μορφή με κεντρική διαχείριση και έλεγχο πρόσβασης για τους χρήστες. Η συγκεκριμένη σχεδίαση διευκολύνει τον παραγωγό της υπηρεσίας στην εφαρμογή γενικών πολιτικών διαχείρισης (π.χ. χρέωση) και αποτρέπει την ανεξέλεγκτη διάδοση του περιεχομένου.

3.2.2 Σχεδίαση

Το προτεινόμενο υπερκείμενο δίκτυο είναι δενδρικής δομής με ρίζα τον εξυπηρετητή πολυμέσων (streaming server) που διαθέτει το περιεχόμενο. Οι κόμβοι του δένδρου αποτελούνται από σταθμούς αναμετάδοσης που αντιγράφουν και αναμεταδίδουν τις εισερχόμενες ζωντανές ροές στους χαμηλότερους ιεραρχικά κόμβους. Η κατασκευή του δένδρου μετάδοσης τηρεί υπό την επιτήρηση μιας κεντρικής οντότητας, του Διαχειριστή Μετάδοσης, που κατέχει γενική γνώση του δικτύου μετάδοσης και καθοδηγεί τους κόμβους του υπερκείμενου δικτύου στη δημιουργία των δενδρικών δομών. Οι τελικοί χρήστες της υπηρεσίας αιτούνται για τη λήψη περιεχομένου στον Διαχειριστή Μετάδοσης, ο οποίος τους ανακατευθύνει στον κατάλληλο σταθμό αναμετάδοσης. Η γενική αυτή περιγραφή απεικονίζεται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 8 – Απεικόνιση της αρχιτεκτονικής υπερκείμενου δικτύου

Για την κατασκευή των δένδρων μετάδοσης και για την ανακατεύθυνση των χρηστών στους κατάλληλους σταθμούς αναμετάδοσης, ο Διαχειριστής Μετάδοσης διατηρεί μια βάση δεδομένων που καταγράφονται στοιχεία για τους διαθέσιμους πόρους της πλατφόρμας καθώς και για την ποιότητα υπηρεσίας που προσφέρεται. Τα στοιχεία αυτά παρέχονται και ανανεώνονται περιοδικά από τους σταθμούς αναμετάδοσης. Κάθε φορά που πρέπει να ληφθεί μια απόφαση για τη λήψη μιας ροής από κάποιον σταθμό αναμετάδοσης ή από έναν τελικό χρήστη, οι υποψήφιοι πομποί αποτιμούνται με βάση τα στοιχεία που διαθέτει ο Διαχειριστής

Μετάδοσης και προκρίνεται ο ισχυρότερος ανάλογα με τη βαρύτητα που επιλέγεται να διαθέτουν τα μεμονωμένα στοιχεία.

3.2.3 Κριτήρια απόφασης

Για την επιλογή της πηγής μιας εισερχόμενης ροής σε κάποιο σταθμό αναμετάδοσης ή την επιλογή του σταθμού αναμετάδοσης που θα εξυπηρετήσει κάποιον χρήστη χρησιμοποιείται μια σειρά κριτηρίων. Τα κριτήρια αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν:

- Γεωγραφική Εγγύτητα

Η εκτιμώμενη γεωγραφική απόσταση μεταξύ του σταθμού αναμετάδοσης και των υποψήφιων κόμβων. Για την εκτίμηση απαιτείται από κάθε κόμβο να δηλώνει την γεωγραφική του θέση.

- Ποιότητα Ροής

Η ποιότητα της συγκεκριμένης ροής σε κάθε κόμβο. Η ποιότητα μπορεί να υπολογίζεται από κάποιο μηχανισμό ανάδρασης όπως π.χ. το RTCP.

- Φόρτος Σταθμού

Το τρέχον φορτίο κάθε σταθμού. Το φορτίο είναι συνδυασμός της ελεύθερης επεξεργαστικής ισχύος και μνήμης.

- Επίπεδο Ιεραρχίας

Το βάθος του κόμβου στο δέντρο μετάδοσης για τη συγκεκριμένη ροή. Κόμβοι με μεγάλο βάθος συσσωρεύουν τυχόν προβλήματα στη μετάδοση (π.χ. απώλεια πακέτων και καθυστέρηση) από τα προηγούμενα επίπεδα.

- Εύρος Ζώνης

Το εκτιμώμενο διαθέσιμο εύρος ζώνης μεταξύ του σταθμού αναμετάδοσης και των υποψήφιων κόμβων. Το εύρος ζώνης μπορεί να εκτιμηθεί είτε στατικά από πίνακες που ανανεώνονται από τον NDM, είτε εφαρμόζοντας τεχνικές εκτίμησης όπως το packet pair [82].

- Δικτυακή Εγγύτητα

Η εκτιμώμενη δικτυακή απόσταση μεταξύ του σταθμού αναμετάδοσης και των υποψήφιων κόμβων. Η απόσταση μπορεί να εκτιμηθεί με κάποιο μηχανισμό τύπου RTT (Round-Trip Time).

Τα μοντελοποίηση των παραπάνω κριτηρίων, ώστε να μπορούν να εκτιμηθούν, στηρίζεται στον υπολογισμό της τιμής ενός πολυώνυμου για κάθε κόμβο όπου οι συντελεστές του αντιπροσωπεύουν τα κριτήρια (Εξίσωση 1).

$$w_0 \times p_0 + w_1 \times p_1 + \dots + w_{n-2} \times p_{n-2} + w_{n-1} \times p_{n-1}$$

Εξίσωση 1 – Πολυώνυμο εκτίμησης κριτηρίων

Κεφάλαιο 3 – Προτεινόμενη Αρχιτεκτονική

Στην παραπάνω εξίσωση, η παράμετρος p_i αντιπροσωπεύει την υπολογιστική εκτίμηση του καθενός από τα n διαφορετικά κριτήρια που λαμβάνουμε υπόψη. Για τη διάταξη των κριτηρίων σε σειρά προτεραιότητας χρησιμοποιούμε μια σειρά από βάρη w_i .

Μια πρακτική προσέγγιση του παραπάνω τύπου φαίνεται στην Εξίσωση 2.

$$10^{n-1} \times p_{n-1} + 10^{n-2} \times p_{n-2} + \dots + 10^1 \times p_1 + 10^0 \times p_0$$

Εξίσωση 2 – Πρακτική εφαρμογή της εκτίμησης κριτηρίων

Στην παραπάνω εξίσωση, η παράμετρος p_i λαμβάνει τιμές από 0 έως 10 με τα άκρα 0 και 10 να αντιπροσωπεύουν συνήθως ειδικές περιπτώσεις. Τα βάρη w_i αντικαθίστανται με δυνάμεις του 10. Το παραπάνω σχήμα ορίζει μια αυστηρή διάταξη των κριτηρίων ώστε η τιμή του πολυωνύμου και κατ' επέκταση η απόφαση να λαμβάνεται πάντα στα υψηλότερα επίπεδα εκτός και αν υπάρχει ισοβαθμία μεταξύ κόμβων ή πολύ χαμηλές τιμές (μικρότερες του 1) στο τρέχον επίπεδο απόφασης.

Ο υπολογισμός των κριτηρίων που αναφέρθηκαν προηγουμένως στην μπορεί να μοντελοποιηθεί ως εξής:

- Γεωγραφική Εγγύτητα

$$GE = \begin{cases} 10, \text{ αν } \pi_1 = \pi_2 \\ 0, \text{ διαφορετικά} \end{cases}$$

Εξίσωση 3 – Υπολογισμός κριτηρίου Γεωγραφικής Εγγύτητας

όπου π_1 η γεωγραφική περιοχή του σταθμού απόφασης και π_2 η περιοχή του υποψήφιου κόμβου.

Σε περίπτωση που η περιοχή δίνεται με πολλαπλά επίπεδα (π.χ. χώρα στο πρώτο επίπεδο και πόλη στο δεύτερο) η παραπάνω εξίσωση μπορεί να δοθεί ως εξής:

$$GE = \begin{cases} 10, \text{ αν } \pi_{11} = \pi_{21} \text{ και } \pi_{12} = \pi_{22} \\ 5, \text{ αν } \pi_{11} = \pi_{21} \text{ και } \pi_{12} \neq \pi_{22} \\ 0, \text{ διαφορετικά} \end{cases}$$

Εξίσωση 4 – Υπολογισμός κριτηρίου Γεωγραφικής Εγγύτητας με πολλαπλά επίπεδα

όπου π_{11}, π_{12} οι γεωγραφικές περιοχές του σταθμού απόφασης και π_{21}, π_{22} οι περιοχές του υποψήφιου κόμβου.

- Ποιότητα Ροής

$$IP = 10 \times (1 - \alpha)$$

Εξίσωση 5 – Υπολογισμός κριτηρίου Ποιότητας Ροής

όπου α το ποσοστό απώλειας πακέτων.

- Φόρτος Σταθμού

$$\Phi\Sigma = (10 \times \Delta E + \Delta M) \times \frac{1}{11}$$

Εξίσωση 6 – Υπολογισμός κριτηρίου Φόρτου Σταθμού

όπου ΔE η εκτίμηση της διαθέσιμης επεξεργαστικής ισχύος και ΔM η εκτίμηση της διαθέσιμης μνήμης.

Τα μεγέθη ΔE και ΔM υπολογίζονται σε κλίμακα 0-10 ως εξής:

$$\Delta E = \begin{cases} 0, \text{αν } \phi > M\Phi \\ 10, \text{αν } \phi < E\Phi \\ \frac{10 \times (M\Phi - \phi)}{M\Phi - E\Phi}, \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

Εξίσωση 7 – Υπολογισμός διαθέσιμης επεξεργαστικής ισχύος

όπου ϕ το ποσοστό τρέχουσας επεξεργαστικής κατανάλωσης, $M\Phi$ το ανώτατο επιτρεπόμενο ποσοστό κατανάλωσης και $E\Phi$ το ελάχιστο ποσοστό κατανάλωσης.

$$\Delta M = \begin{cases} 0, \text{αν } \phi > M\Phi \\ 10, \text{αν } \phi < E\Phi \\ \frac{10 \times (M\Phi - \phi)}{M\Phi - E\Phi}, \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

Εξίσωση 8 – Υπολογισμός διαθέσιμης μνήμης

όπου ϕ το ποσοστό τρέχουσας κατανάλωσης μνήμης, $M\Phi$ το ανώτατο επιτρεπόμενο ποσοστό κατανάλωσης και $E\Phi$ το ελάχιστο ποσοστό κατανάλωσης.

- Επίπεδο Ιεραρχίας

$$EI = \begin{cases} 0, \text{αν } \varepsilon > ME \\ 10, \text{αν ο κόμβος είναι εξυπηρετητής} \\ 10 \times \frac{ME - \varepsilon}{ME}, \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

Εξίσωση 9 – Υπολογισμός κριτηρίου Επιπέδου Ιεραρχίας

όπου ε το τρέχον επίπεδο ιεραρχίας και ME το μέγιστο επιτρεπόμενο επίπεδο.

- Εύρος Ζώνης

$$EZ = \begin{cases} 0, \text{ αν } \varepsilon < EP \\ 10 \times \left(1 - \frac{ME - \varepsilon}{ME}\right), \text{ διαφορετικά} \end{cases}$$

Εξίσωση 10 – Υπολογισμός κριτηρίου Εύρους Ζώνης

όπου ε το μετρηθέν εύρος ζώνης, EP το απαιτούμενο εύρος ζώνης για τη συγκεκριμένη ροή και ME το μέγιστο εύρος ζώνης διαθέσιμο από τον σταθμό αναμετάδοσης στον υποψήφιο κόμβο.

- Δικτυακή Εγγύτητα

$$\Delta E = \begin{cases} 0, \text{ αν } \chi > MX \\ 10 \times \left(1 - \frac{\chi}{MX}\right) \end{cases}$$

Εξίσωση 11 – Υπολογισμός κριτηρίου Δικτυακής Εγγύτητας

όπου χ ο μετρηθείς χρόνος από τον σταθμό αναμετάδοσης στον υποψήφιο κόμβο και MX ο μέγιστος επιτρεπόμενος χρόνος.

3.3 Έλεγχος Ροής

3.3.1 Γενικά

Στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική, οι σταθμοί αναμετάδοσης δεν περιορίζονται στην απλή αντιγραφή και αναμετάδοση των εισερχόμενων ροών. Αντιθέτως, παρακολουθούν την ποιότητα μετάδοσης των εξερχόμενων ροών και παρεμβαίνουν όταν διαπιστώνεται απώλεια πακέτων.

Για να είναι δυνατή η παρέμβαση στην εισερχόμενη ροή, οι σταθμοί αναμετάδοσης ενσωματώνουν την απαραίτητη λειτουργικότητα που τους επιτρέπει να ενεργοποιούνται ως μια μικρογραφία του πλήρη εξυπηρετητή πολυμέσων. Μπορούν να αναλύσουν τις εισερχόμενες ροές, να διακρίνουν την εικόνα από τον ήχο, να υπολογίσουν το εύρος ζώνης, κτλ. Ουσιαστικά, ένας σταθμός αναμετάδοσης λειτουργεί όπως μια εφαρμογή τελικού χρήστη (χωρίς το κομμάτι της αναπαραγωγής) για τις εισερχόμενες ροές και ως ένας εξυπηρετητής πολυμέσων (χωρίς τις διαδικασίες του χρονισμού, της πολύπλεξης και της ενθυλάκωσης σε πακέτα) για τις εξερχόμενες ροές.

Έχοντας πλήρη γνώση των χαρακτηριστικών της εισερχόμενης ροής, ο σταθμός αναμετάδοσης μπορεί να διαφοροποιεί τα χαρακτηριστικά των εξερχόμενων ροών για να αντιμετωπίσει περιπτώσεις συμφόρησης και απώλειας πληροφορίας. Η διαφοροποίηση των εξερχόμενων ροών πραγματοποιείται ατομικά για κάθε ροή. Με αυτόν τον τρόπο, από τη μία έκδοση της ζωντανής ροής που λαμβάνει ο σταθμός αναμετάδοσης μπορεί να προκύπτουν

πολλαπλές εκδόσεις της αρχικής ροής για τους δέκτες των εξερχόμενων ροών, η κάθε μία προσαρμοσμένη στις ατομικές δυνατότητες του δέκτη. Η προσαρμογή της εισερχόμενης ροής σε πολλαπλές εκδόσεις γίνεται ατομικά από τον σταθμό αναμετάδοσης και χωρίς την παρέμβαση του αρχικού εξυπηρετητή πολυμέσων, ο οποίος αντιμετωπίζει τον σταθμό αναμετάδοσης ως μια απλή εφαρμογή αναπαραγωγής. Αυτό επιτρέπει την διασύνδεση στην αρχιτεκτονική εξωτερικών/εμπορικών εξυπηρετητών πολυμέσων χωρίς την απαίτηση προσαρμογής τους στην πλατφόρμα.

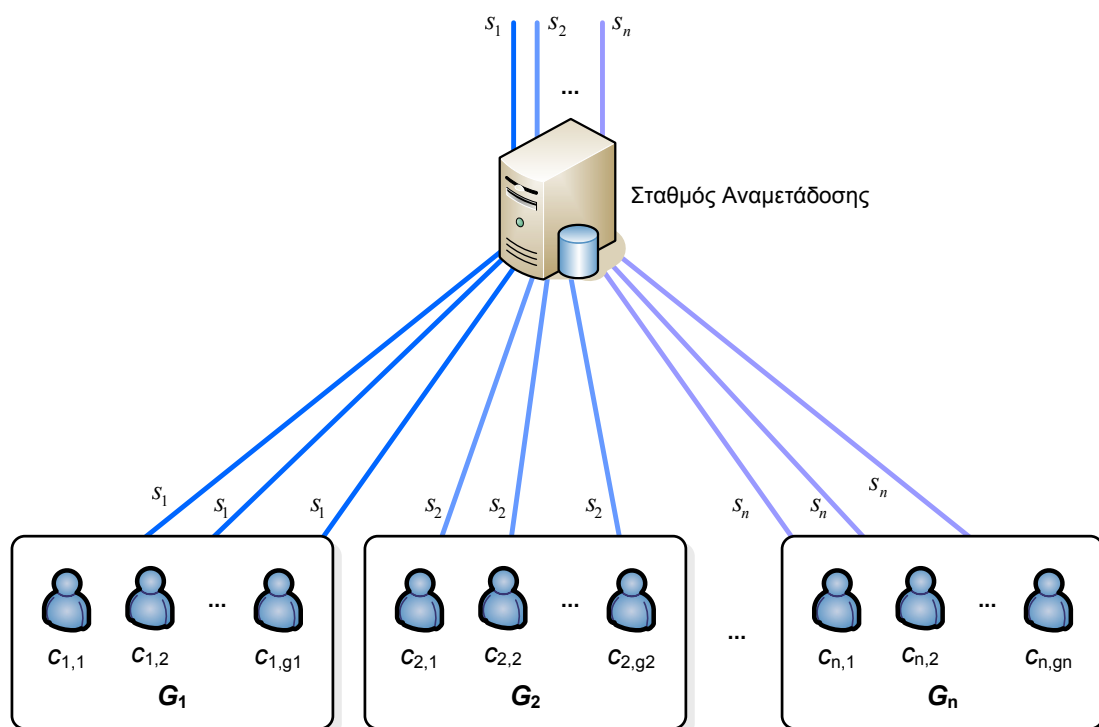
Η διαφοροποίηση των εξερχόμενων ροών από έναν σταθμό αναμετάδοσης μπορεί να λάβει διάφορες μορφές. Για παράδειγμα, σε ένα δίκτυο που υποστηρίζει κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας όπως το DiffServ, ο σταθμός αναμετάδοσης μπορεί να μαρκάρει κατάλληλα, σε συνεννόηση με τον Διαχειριστή Μετάδοσης, κάθε εξερχόμενη ροή ανάλογα με το προφίλ του πελάτη/δέκτη.

Στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική, η διαφοροποίηση των εξερχόμενων ροών έγκειται στο εύρος ζώνης. Ο σταθμός αναμετάδοσης έχει τη δυνατότητα να διαμορφώνει το εύρος ζώνης της αρχικής ροής και να το προσαρμόζει ατομικά στις απαιτήσεις του κάθε πελάτη. Η δυνατότητα για διαμόρφωση του εύρους ζώνης επιτρέπει τόσο την εξυπηρέτηση χρηστών με ετερογενή δικτυακά χαρακτηριστικά όσο και τη ικανότητα της δυναμικής αντιμετώπισης προβλημάτων δικτυακής συμφόρησης και απώλειας πληροφοριών από τους δέκτες.

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται ο δυναμικός αλγόριθμος κατάταξης των χρηστών σύμφωνα με το διαθέσιμο εύρος ζώνης ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται οι πρακτικές δυνατότητες εφαρμογής του.

3.3.2 Βασικός Αλγόριθμος

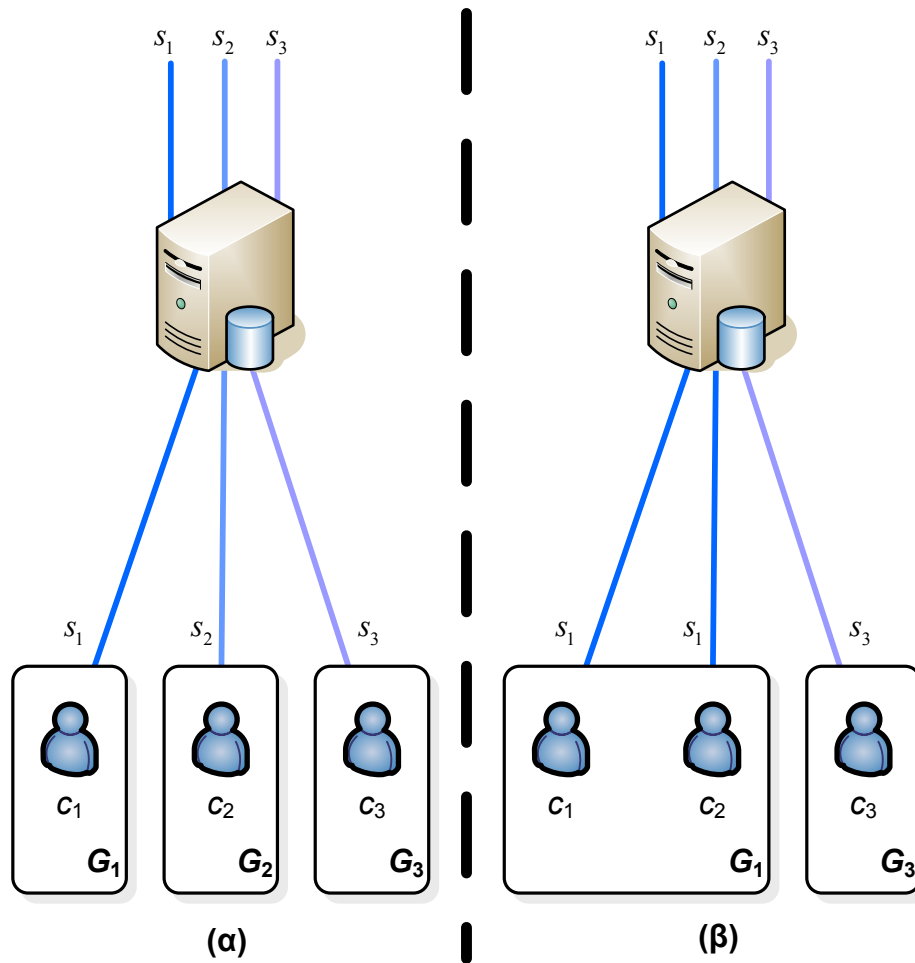
Υποθέτουμε ότι μια πολυμεσική ροή S κωδικοποιείται σε n διαφορετικούς ρυθμούς (bitrates) b_i με αποτέλεσμα τη δημιουργία n ροών s_i με $i \in \{1, \dots, n\}$. Ο σταθμός αναμετάδοσης μεταφέρει τη ροή σε έναν ή περισσότερους πελάτες χρησιμοποιώντας ένα μη αξιόπιστο πρωτόκολλο μετάδοσης (π.χ. UDP). Οι πελάτες κατηγοριοποιούνται σε n ομάδες G_i ανάλογα με τη ροή s_i που λαμβάνουν (δηλαδή κάθε πελάτης που λαμβάνει τη ροή s_k , η οποία είναι κωδικοποιημένη με ρυθμό b_k , ανήκει στην ομάδα G_k). Συμβολίζουμε με g_k το πλήθος των πελατών που ανήκει στην ομάδα G_k και τους πελάτες ως c_{kj} όπου $k \in \{1, \dots, n\}$ και $j \in \{1, \dots, g_k\}$. Η παραπάνω μοντελοποίηση απεικονίζεται στο Σχήμα 9.



Σχήμα 9 – Κατηγοριοποίηση του βασικού αλγόριθμου ελέγχου ροής

Ο σκοπός μας είναι η ανεύρεση της βέλτιστης κατανομής των πελατών στις ομάδες G_i που ελαχιστοποιεί τις απώλειες πακέτων και μεγιστοποιεί την χρήση των δικτυακών πόρων. Ο αλγόριθμος οφείλει να αντιδρά δυναμικά στις αλλαγές συνθηκών που μπορεί να προκύψουν στο χρόνο και να ανακατανέμει ανάλογα τους πελάτες.

Ας υποθέσουμε ότι ένας σταθμός αναμετάδοσης μεταφέρει μια ροή S κωδικοποιημένη σε 3 υπο-ροές s_1 με ρυθμό 64Kbps, s_2 με ρυθμό 128Kbps και s_3 με ρυθμό 256Kbps. Οι ροές εξυπηρετούν 3 πελάτες c_1 , c_2 και c_3 αντίστοιχα όπως φαίνεται στο Σχήμα 10 (α).



Σχήμα 10 – Παράδειγμα εφαρμογής με 3 ροές

Σε κάποιο χρονικό σημείο, ο σταθμός αναμετάδοσης πληροφορείται από τον μηχανισμό ανάδρασης και ελέγχου ποιότητας (π.χ. RTCP) ότι ο πελάτης c_2 παρουσιάζει απώλεια πακέτων που καθιστούν την ποιότητα μετάδοσης μη αποδεκτή. Ως απάντηση σε αυτό, ο σταθμός μεταφέρει τον πελάτη c_2 από την ομάδα G_2 στην ομάδα G_1 που έχει χαμηλότερες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης (64Kbps έναντι 128Kbps) όπως φαίνεται στο Σχήμα 10 (β). Εφόσον οι απώλειες πακέτων που εμφανίσθηκαν στον c_2 οφείλονται σε συμφόρηση, η μεταφορά αναμένεται να τις εξαφανίσει ή να τουλάχιστον να τις μειώσει. Η μεταφορά ενός πελάτη σε διαφορετική ομάδα επηρεάζει το συνολικό εύρος ζώνης που απαιτεί ο σταθμός αναμετάδοσης για τη μετάδοση και επηρεάζει έμμεσα και τους υπόλοιπους πελάτες Έτσι, η μεταφορά του c_2 στην ομάδα G_1 αναμένεται να επηρεάσει θετικά την ποιότητα μετάδοσης

προς τους πελάτες c_1 και c_3 , εφόσον το συνολικό εύρος ζώνης που απαιτεί πλέον ο σταθμός αναμετάδοσης μειώθηκε κατά 64Kbps.

Η αποτελεσματικότητα της παραπάνω βασικής ιδέας εξαρτάται από τον αλγόριθμο πολιτικής που ακολουθεί ο σταθμός για να μεταφέρει πελάτες ανάμεσα στις ομάδες G_i . Για παράδειγμα, ένας απλοποιημένος αλγόριθμος μπορεί να ταξινομεί τους πελάτες μιας ομάδας ανάλογα με τις απώλειες πακέτων που παρουσιάζουν και να μεταφέρει αυτόν με τις χειρότερες επιδόσεις στην αμέσως κατώτερη ομάδα ενώ ο πελάτης με την καλύτερη επίδοση να μεταφέρεται στην αμέσως ανώτερη. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται ένας αλγόριθμος πολιτικής διαμόρφωσης ρυθμού που χρησιμοποιεί άνω και κάτω όρια για την κατανομή πελατών σε ομάδες.

3.3.3 Πολιτική Διαμόρφωσης Ρυθμού

Ορίζουμε τη διαδικασία επεξεργασίας της πληροφορίας ποιότητας (π.χ. μέσω των αναφορών RTCP) για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και με σκοπό την εύρεση του ποσοστού απώλειας πακέτων ως “ποιοτικό έλεγχο”. Επίσης ορίζουμε τη διαδικασία μεταφοράς ενός πελάτη στην αμέσως υψηλότερη (σε απαιτήσεις εύρους ζώνης) ροή ως “μεταφορά προς τα πάνω”. Αντίστοιχα, η μεταφορά ενός πελάτη στην αμέσως χαμηλότερη ροή ορίζεται ως “μεταφορά προς τα κάτω”.

Ορίζουμε ένα χρονικό διάστημα I . Το συγκεκριμένο διάστημα καθορίζει τη συχνότητα των ποιοτικών ελέγχων. Επιπλέον, καθορίζουμε δύο όρια U και L . Τα όρια αυτά εκφράζονται ως ποσοστό απώλειας πακέτων κατά τη μετάδοση της ροής στον πελάτη.

Το όριο U καθορίζει το μέγιστο ποσοστό απώλειας που μπορεί να υφίσταται ένας πελάτης για να του επιτραπεί να δοκιμάσει λήψη σε υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Για κάθε πελάτη στον οποίο παρατηρείται ποσοστό απωλειών μικρότερο του U , ο επόμενος ποιοτικός έλεγχος θα προκαλέσει μια μεταφορά προς τα πάνω. Συνήθης πρακτική τιμή για το U είναι το 0 (μηδέν), δηλαδή μεταφορά προς τα πάνω επιτρέπεται μόνο σε πελάτες με μηδαμινές απώλειες πακέτων.

Το όριο L καθορίζει το ελάχιστο ποσοστό απώλειας που μπορεί να υφίσταται ένας πελάτης για να του επιτραπεί να δοκιμάσει λήψη σε χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Για κάθε πελάτη στον οποίο παρατηρείται ποσοστό απωλειών μεγαλύτερο του L , ο επόμενος ποιοτικός έλεγχος θα προκαλέσει μία μεταφορά προς τα κάτω. Συνήθεις πρακτικές τιμές για το L είναι μεταξύ 0,05 και 0,10, δηλαδή ποσοστό απώλειας πακέτων από 5-10%.

Κάθε φορά που πραγματοποιείται ένας ποιοτικός έλεγχος, το μέσο ποσοστό απώλειας πακέτων υπολογίζεται για κάθε πελάτη και η τιμή του συγκρίνεται με τα U και L . Δύο διαφορετικά ποσοστά απώλειας υπολογίζονται, το βραχυπρόθεσμο ποσοστό MPL_s και το μακροπρόθεσμο MPL_L .

Το βραχυπρόθεσμο μέσο ποσοστό απώλειας MPL_s υπολογίζεται ως ο μέσος όρος όλων των απωλειών που παρατηρήθηκαν στον πελάτη στο χρονικό διάστημα I από τον προηγούμενο ποιοτικό έλεγχο.

Το μακροπρόθεσμο μέσο ποσοστό απώλειας MPL_L προκύπτει από προηγούμενες μετρήσεις απωλειών που σταθμίζονται ανάλογα με το χρονικό διάστημα που έχει παρέλθει από το χρόνο υπολογισμού τους. Κατά τον υπολογισμό του MPL_L οι παλαιότερες μετρήσεις σταθμίζονται με μικρότερο βάρος σε σχέση με τις πιο πρόσφατες. Ο μηχανισμός που καθορίζει τα βάρη που λαμβάνουν οι μετρήσεις χρησιμοποιεί τις παραμέτρους n και s , όπου n το πλήθος των διαθέσιμων μετρήσεων και s η “κλίση” τους. Η παράμετρος της κλίσης s παίρνει τιμές από 0 έως $\frac{2}{n(n-1)}$ και καθορίζει πόσο σημαντικά σταθμίζονται οι μετρήσεις σε σχέση με την παλαιότητα τους. Μεγάλες τιμές για το s ισοδυναμούν με μεγαλύτερο βάρος στις νεότερες μετρήσεις. Η συνάρτηση υπολογισμού των βαρών w_i με $i = 1, \dots, n$ είναι η εξής:

$$w_i = s \cdot i + \frac{1}{n} - \frac{s(n+1)}{2}, i \in \{1, \dots, n\}$$

Εξίσωση 12 – Υπολογισμός βαρών για το MPL_L

Από την Εξίσωση 12 προκύπτει εύκολα ότι $\sum_{i=1}^n w_i = 1, \forall n \in \{1, 2, \dots\}$.

Αν έχουμε διαθέσιμες n_0 μετρήσεις απώλειας πακέτων PL_i με $i = 1, \dots, n_0$, το μέσο μακροπρόθεσμο ποσοστό απώλειας πακέτων MPL_L δίνεται από την Εξίσωση 13.

$$MPL_L = \sum_{i=1}^{n_0} w_i \cdot PL_i$$

Εξίσωση 13 – Μέσο μακροπρόθεσμο ποσοστό απώλειας πακέτων MPL_L

Αν η τιμή της κλίσης s είναι 0 (μηδέν) τότε από την Εξίσωση 12 έχουμε

$s = 0 \Rightarrow w_i = \frac{1}{n_0}, i \in \{1, \dots, n_0\}$ και η Εξίσωση 13 γίνεται:

$$MPL_L = \sum_{i=1}^{n_0} \frac{1}{n_0} \cdot PL_i = \frac{PL_1 + \dots + PL_{n_0}}{n_0}$$

Εξίσωση 14 – Μέσο μακροπρόθεσμο ποσοστό απώλειας πακέτων για τιμή κλίσης μηδέν

Η Εξίσωση 14 είναι ο μέσος όρος όλων των μετρήσεων.

Αν η τιμή της κλίσης s τείνει στο άνω όριο $\frac{2}{n(n-1)}$, τότε το βάρος της n -οστής (και παλαιότερης μέτρησης) τείνει στο 0.

Ο υπολογισμός του βραχυπρόθεσμου ποσοστού απώλειας MPL_s συγκρίνεται με το όριο L και καθορίζει τους πελάτες που θα υποστούν μεταφορά προς τα κάτω. Το μακροπρόθεσμο ποσοστό MPL_L συγκρίνεται με το όριο U και καθορίζει τους πελάτες που θα υποστούν μεταφορά προς τα πάνω. Ουσιαστικά, μεταφορές προς τα κάτω συμβαίνουν όταν κάποιος πελάτης παρουσιάσει απώλειες πακέτων, έστω και βραχυπρόθεσμα, ενώ για μεταφορές προς τα πάνω συνυπολογίζεται η μακροχρόνια ποιοτική συμπεριφορά του πελάτη.

Το παραπάνω μοντέλο ομοιάζει με το μοντέλο της προσθετικής αύξησης και πολλαπλασιαστικής μείωσης που ακολουθεί το TCP: η μείωση του ρυθμού είναι άμεση ενώ η αύξηση αυτού απαιτεί περισσότερο χρόνο.

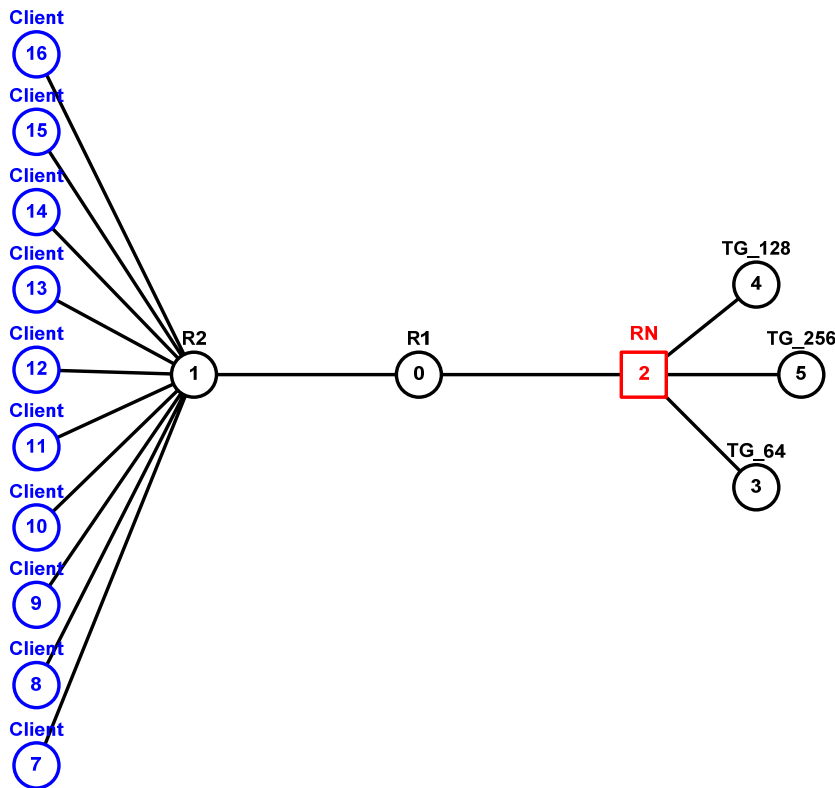
3.3.4 Προσομοίωση

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται η διαδικασία προσομοίωσης του παραπάνω αλγορίθμου και τα αποτελέσματά της που επιβεβαιώνουν το ορθό της λειτουργίας του. Η προσομοίωση έγινε στην πλατφόρμα NS-2 [83].

Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν 3 γεννήτριες ροών σταθερού ρυθμού (CBR traffic generators) με ρυθμούς 64Kbps, 128Kbps και 256Kbps. Οι αφίξεις πελατών γίνονται με μέσο χρόνο 0,5 δευτερόλεπτα, εκθετικά κατανεμημένες (αφίξεις Poisson). Οι δοκιμές περιλαμβάνουν δύο σενάρια.

3.3.4.1 Πρώτο Σενάριο

Σε αυτό το σενάριο χρησιμοποιούμε την τοπολογία που φαίνεται στο Σχήμα 11 και τις παραμέτρους στους πίνακες Πίνακας 2, Πίνακας 3 και Πίνακας 4.



Σχήμα 11 – Τοπολογία 1^{ου} σεναρίου

Κλάδος	Εύρος Ζώνης (Mbps)	Μέγεθος Ουράς (σε πακέτα)	Τύπος Ουράς
RN->R1	40	300	Drop Tail
R1->R2	40	300	Drop Tail
Πελάτες->R2	384	default	default

Πίνακας 2 – Παράμετροι Τοπολογίας 1^{ου} σεναρίου

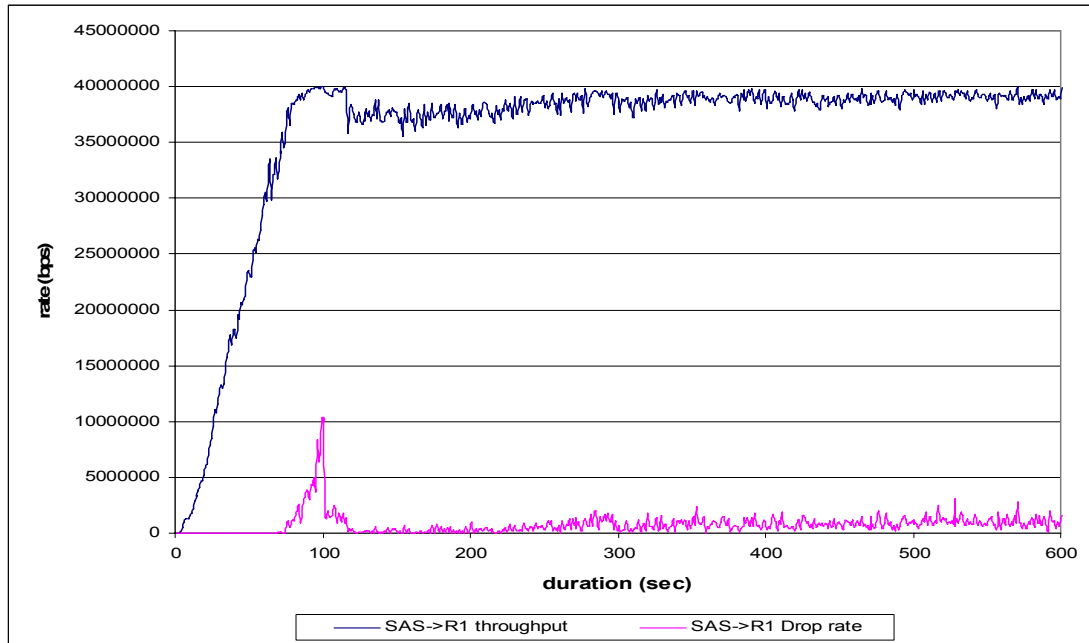
Παράμετρος	Τιμή
L	8%
U	1%
I	15
Αγνοούμενες αναφορές ύστερα από μετάβαση	2

Πίνακας 3 – Παράμετροι Ποιοτικού Ελέγχου 1^{ου} σεναρίου

Παράμετρος	Τιμή
Αριθμός Πελατών	200
Διάστημα μεταξύ αφίξεων	0.5sec (exponentially distributed)
Χρονική στιγμή ενεργοποίησης μηχανισμού	20 sec
Διάρκεια Εξομοίωσης	600sec (10 minutes)

Πίνακας 4 – Παράμετροι Προσομοίωσης 1^{ου} σεναρίου

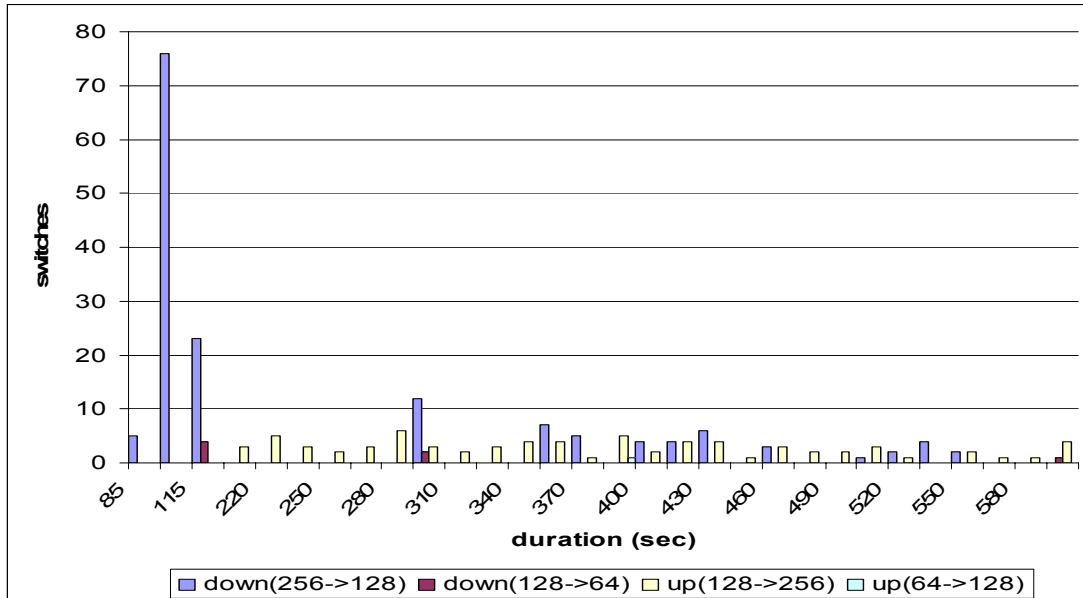
Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω παραμέτρους προσομοιώσαμε τον αλγόριθμο διαμόρφωσης πάνω από μια σύνδεση εύρους 40Mbps με 200 πελάτες να ζητούν μια ροή στα 256Kbps. Στο Σχήμα 12 απεικονίζεται η χρήση του καναλιού και ο ρυθμός απόρριψης πακέτων λόγω συμφόρησης.



Σχήμα 12 – Χρήση καναλιού RN->R1 και απώλειες πακέτων 1^{ου} σεναρίου

Όπως παρατηρούμε, μετά την αρχική περίοδο όπου ο σταθμός αναμετάδοσης επεξεργάζεται τις RTCP αναφορές και μέχρι να πραγματοποιήσει τον πρώτο ποιοτικό έλεγχο, το ποσοστό απωλειών είναι μεγάλο. Από το σημείο αυτό και μετά, ο σταθμός πραγματοποιεί τις απαραίτητες μεταφορές και το σύστημα έρχεται σε ισορροπία, γεγονός που αποδεικνύει το χαμηλό ποσοστό απωλειών και η μεγιστοποίηση της χρήσης του καναλιού.

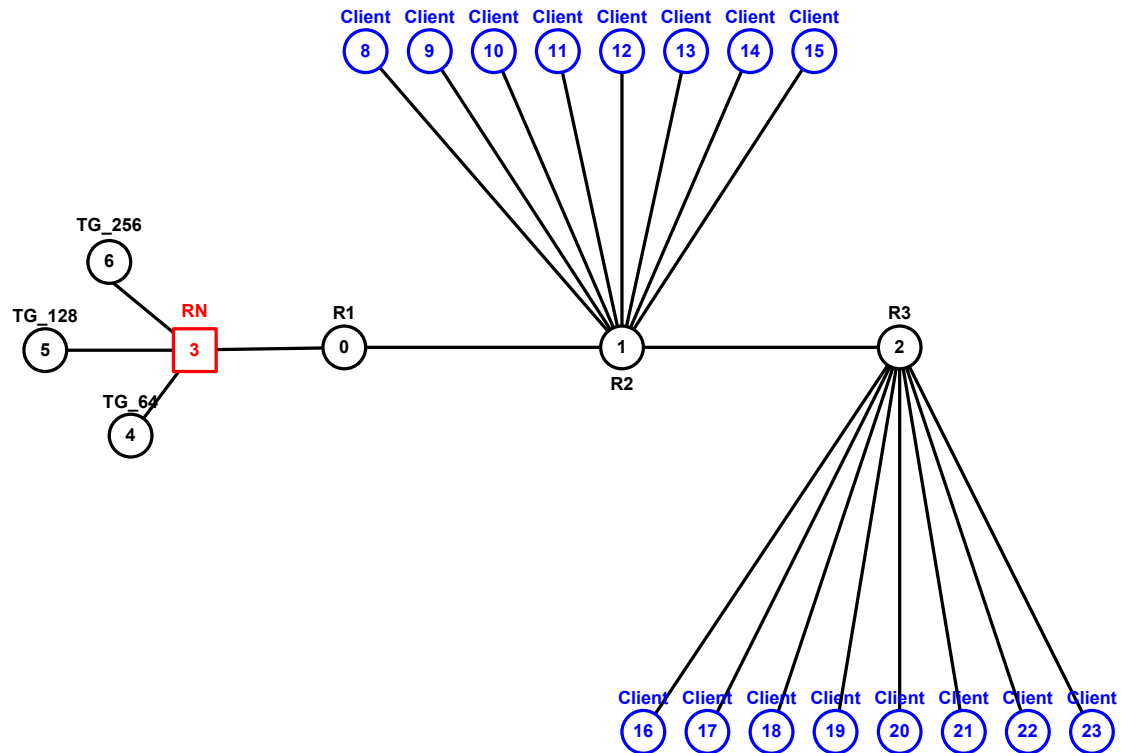
Στο Σχήμα 13 παρουσιάζονται οι μεταφορές που πραγματοποιεί ο σταθμός αναμετάδοσης στην πάροδο του χρόνου. Παρατηρούμε ότι στην αρχή περίπου οι μισοί από τους 200 πελάτες υφίστανται μεταφορά προς τα κάτω, εφόσον το συνολικό εύρος ζώνης που απαιτεί για να τους εξυπηρετήσει ξεπερνά τη χωρητικότητα του καναλιού. Κατά τους επόμενους ποιοτικούς ελέγχους το σύστημα ισορροπεί, μεταφέροντας πελάτες κυρίως προς τα πάνω ώστε να μεγιστοποιηθεί η χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης.



Σχήμα 13 – Μεταφορές που πραγματοποιούνται στο σταθμό αναμετάδοσης 1^ο σεναρίου

3.3.4.2 Δεύτερο Σενάριο

Το δεύτερο σενάριο χρησιμοποιεί μια ελαφρώς διαφοροποιημένη τοπολογία όπως φαίνεται και στο Σχήμα 14. Σε αυτήν την τοπολογία, οι μισοί πελάτες μεταφέρουν κίνηση μέσω του καναλιού R2->R3 πριν φτάσουν στο σταθμό αναμετάδοσης. Στο συγκεκριμένο σενάριο επιθυμούμε να αξιολογήσουμε τη χρήση του ενδιάμεσου καναλιού. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση βρίσκονται στους πίνακες Πίνακας 5, Πίνακας 6 και Πίνακας 7.



Σχήμα 14 – Τοπολογία 2^{ου} σεναρίου

Κλάδος	Εύρος Ζώνης (Mbps)	Μέγεθος Ουράς (σε πακέτα)	Τύπος Ουράς
RN->R1	100	300	Drop Tail
R1->R2	40	300	Drop Tail
R2->R3	20	300	Drop Tail
ΠΕΛΑΤΕΣ	384	default	default

Πίνακας 5 – Παράμετροι Τοπολογίας 2^{ου} σεναρίου

Παράμετρος	Τιμή
L	8%
U	1%
I	15
Αγνοούμενες αναφορές ύστερα από μετάβαση	2

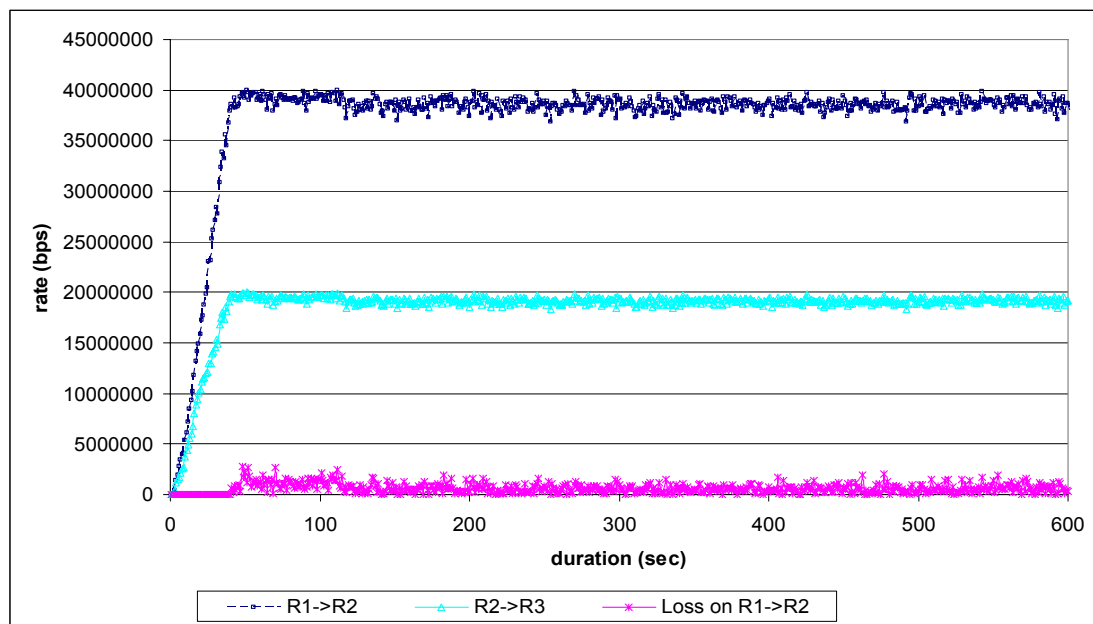
Πίνακας 6 – Παράμετροι Ποιοτικού Ελέγχου 2^{ου} σεναρίου

Παράμετρος	Τιμή
Αριθμός Πελατών	80 σε R2 & 80 σε R3
Διάστημα μεταξύ αφίξεων	0.5 sec (εκθετικά κατανομημένο)
Χρονική στιγμή ενεργοποίησης μηχανισμού	20 sec
Διάρκεια Εξομοίωσης	600sec (10minutes)

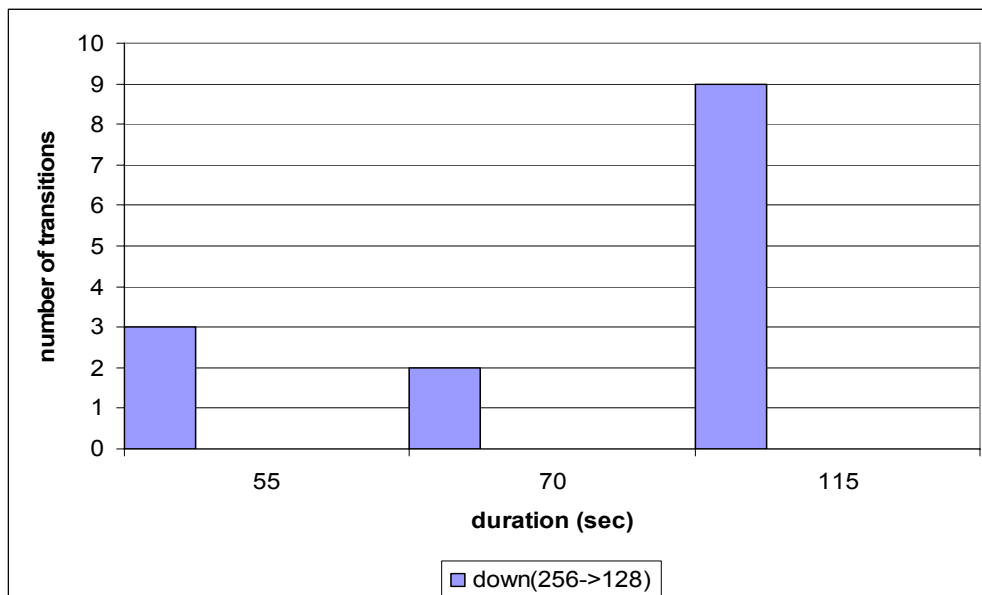
Πίνακας 7 – Παράμετροι Προσομοίωσης 2^{ου} σεναρίου

Για το δεύτερο σενάριο αναμέναμε πολύ καλή χρήση των καναλιών R1->R2 και R2->R3 εφόσον το απαιτούμενο εύρος ζώνης για όλους τους πελάτες στα 256Kbps μόλις και ξεπερνάει τη χωρητικότητα του καναλιού R1->R2.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 15, η χρήση του εύρους ζώνης των καναλιών πλησιάζει τη μέγιστη χωρητικότητά τους.

Σχήμα 15 – Χρήση καναλιών και απώλειες πακέτων 2^{ου} σεναρίου

Εφόσον το διαθέσιμο εύρος ζώνης είναι σχεδόν ίσο με το απαιτούμενο, παρατηρούμε στο Σχήμα 16 ότι οι μεταφορές κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης δεν ξεπερνούν τις 15. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει τη σταθερότητα του συστήματος όταν οι απώλειες πακέτων είναι αμελητέες.



Σχήμα 16 – Μεταφορές που πραγματοποιούνται στο σταθμό αναμετάδοσης 2^ο σεναρίου

3.3.4.3 Αποτελέσματα

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις μπορούμε να παρατηρήσουμε:

- Η εκμετάλλευση του διαθέσιμου εύρους ζώνης στις συνδέσεις πλησιάζει τη χωρητικότητά τους, προσεγγίζοντας τη μέγιστη δυνατή απόδοση.
- Παράλληλα, οι απώλειες πακέτων στις συνδέσεις ελαχιστοποιούνται μετά την εφαρμογή των πρώτων – μεταβατικών – ποιοτικών ελέγχων.
- Επιπλέον, με την παρέλευση του μεταβατικού σταδίου, το σύστημα σταθεροποιείται και ο αριθμός των μεταφορών στο χρόνο σε σχέση με το πλήθος των πελατών διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι ο αλγόριθμος διαμόρφωσης που χρησιμοποιήσαμε είναι αποτελεσματικός και εκπληρώνει τους στόχους που έχουμε θέσει.

3.4 Εφαρμογή

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφουμε πώς οι τεχνικές και οι αλγόριθμοι που παρουσιάστηκαν προηγουμένως εφαρμόζονται πρακτικά στην ανάπτυξη μιας πραγματικής πλατφόρμας.

3.4.1 Υπερκείμενο Δίκτυο

Υποθέτουμε ότι αντιμετωπίζουμε το πρόβλημα της διάθεσης μίας ή περισσότερων ζωντανών ροών σε έναν μεγάλο αριθμό χρηστών κατανεμημένο σε απομακρυσμένα γεωγραφικά σημεία (π.χ. διαφορετικές πόλεις).

Διανέμουμε μια σειρά σταθμών αναμετάδοσης στα σημεία πρόσβασης των χρηστών και δημιουργούμε τα δέντρα μετάδοσης περιεχομένου ξεκινώντας από το κεντρικό σημείο διάθεσης (δηλ. τον εξυπηρετητή πολυμέσων) λαμβάνοντας υπόψη την δικτυακή δομή και την αναμενόμενη ζήτηση στα σημεία ενδιαφέροντος. Οι σταθμοί αναμετάδοσης πραγματοποιούν περιοδικά ένα πλήθος μετρήσεων σχετικά με τους ελεύθερους πόρους (π.χ. επεξεργαστική ισχύς, μνήμη, δικτυακός φόρτος) και τους αναφέρουν στον Διαχειριστή Μετάδοσης.

Οι χρήστες που ενδιαφέρονται να λάβουν το πολυμεσικό περιεχόμενο εισάγονται στην πλατφόρμα μέσω μιας ιστοσελίδας και επιλέγουν τη ροή που τους ενδιαφέρει. Η αίτηση του χρήστη προωθείται στον Διαχειριστή Μετάδοσης που εφαρμόζει την εξίσωση που περιγράφεται στην παράγραφο 3.2.3 για κάθε έναν από τους σταθμούς αναμετάδοσης που διαθέτει την ζητούμενη ροή και προκρίνεται ο σταθμός με τη μεγαλύτερη βαθμολογία. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στην εξίσωση απόφασης έχουν ληφθεί από τις μετρήσεις των σταθμών αναμετάδοσης και από τα γνωστά χαρακτηριστικά του πελάτη (π.χ. γεωγραφική θέση¹). Μια πιθανή ιεράρχηση των κριτηρίων απόφασης για τη συγκεκριμένη περίπτωση μπορεί να είναι (α) η γεωγραφική εγγύτητα, (β) ο φόρτος του σταθμού αναμετάδοσης και (γ) η ποιότητα σήματος.

Εναλλακτικά, ο Διαχειριστής Μετάδοσης μπορεί να εφαρμόζει τα κριτήρια απόφασης στο σύνολο των σταθμών αναμετάδοσης, χωρίς να λαμβάνει υπόψη αν διαθέτουν τη ζητούμενη ροή ή όχι, εξασφαλίζοντας ότι η τελική επιλογή ικανοποιεί κάποιο άλλο κριτήριο (π.χ. την γεωγραφική εγγύτητα). Ως αποτέλεσμα ο χρήστης μπορεί να ανακατευθυνθεί σε σταθμό αναμετάδοσης που δεν διαθέτει τη ζητούμενη ροή. Σε αυτήν την περίπτωση ο σταθμός αναμετάδοσης θα επικοινωνήσει με τη σειρά του με τον Διαχειριστή Μετάδοσης και θα ζητήσει τους κόμβους που διαθέτουν το ζητούμενο περιεχόμενο. Ο Διαχειριστής Δικτύου θα επιστρέψει μια λίστα υποψήφιων κόμβων και των χαρακτηριστικών τους πάνω στην οποία ο σταθμός αναμετάδοσης θα εφαρμόσει την εξίσωση απόφασης. Με τη λήψη της απόφασης, ο σταθμός αναμετάδοσης θα ζητήσει τη ροή από τον επιλεγμένο κόμβο και όταν τη λάβει θα την προωθήσει στον τελικό χρήστη. Η ιεράρχηση των κριτηρίων απόφασης από τον σταθμό αναμετάδοσης μπορεί να διαφέρει από την ιεράρχηση που πραγματοποιεί ο Διαχειριστής Μετάδοσης για λογαριασμό του τελικού χρήστη, π.χ. μπορεί να είναι (α) η ποιότητα σήματος, (β) η δικτυακή εγγύτητα και (γ) ο φόρτος του σταθμού αναμετάδοσης. Όταν ο τελικός χρήστης αποσυρθεί και με την προϋπόθεση ότι η ροή δεν εξυπηρετεί άλλους πελάτες, ο

¹ Η γεωγραφική θέση του χρήστη μπορεί να δηλώνεται από τον ίδιο μέσω της ιστοσελίδας πρόσβασης είτε να ανιχνεύεται αυτόματα από την IP διεύθυνση του.

σταθμός αναμετάδοσης διακόπτει τη σύνδεση του με το παραπάνω επίπεδο, εξοικονομώντας δικτυακούς και υπολογιστικούς πόρους.

Το προηγούμενο σενάριο μπορεί να επεκταθεί αν επιτρέψουμε στον σταθμό αναμετάδοσης να ζητά ροές από άλλους σταθμούς που δεν τις διαθέτουν αλλά ικανοποιούν κάποιο άλλο κριτήριο. Θεωρητικά, τα δένδρα μετάδοσης μπορούν να δημιουργούνται αυτόματα κάθε φορά που ζητείται μια ροή σε διαδοχικά στάδια αποφάσεων και με βάση την ιεράρχηση των κριτηρίων απόφασης στους σταθμούς αναμετάδοσης. Στην πράξη, για να αποφεύγονται οι αναπόφευκτες καθυστερήσεις που επιφέρουν οι διαδοχικές διαδικασίες απόφασης, προτείνεται να χτίζεται ο βασικός κορμός του δέντρου μετάδοσης από τον διαχειριστή της πλατφόρμας και να επιτρέπεται η αυτόματη δημιουργία κλάδων στα χαμηλά επίπεδα ιεραρχίας.

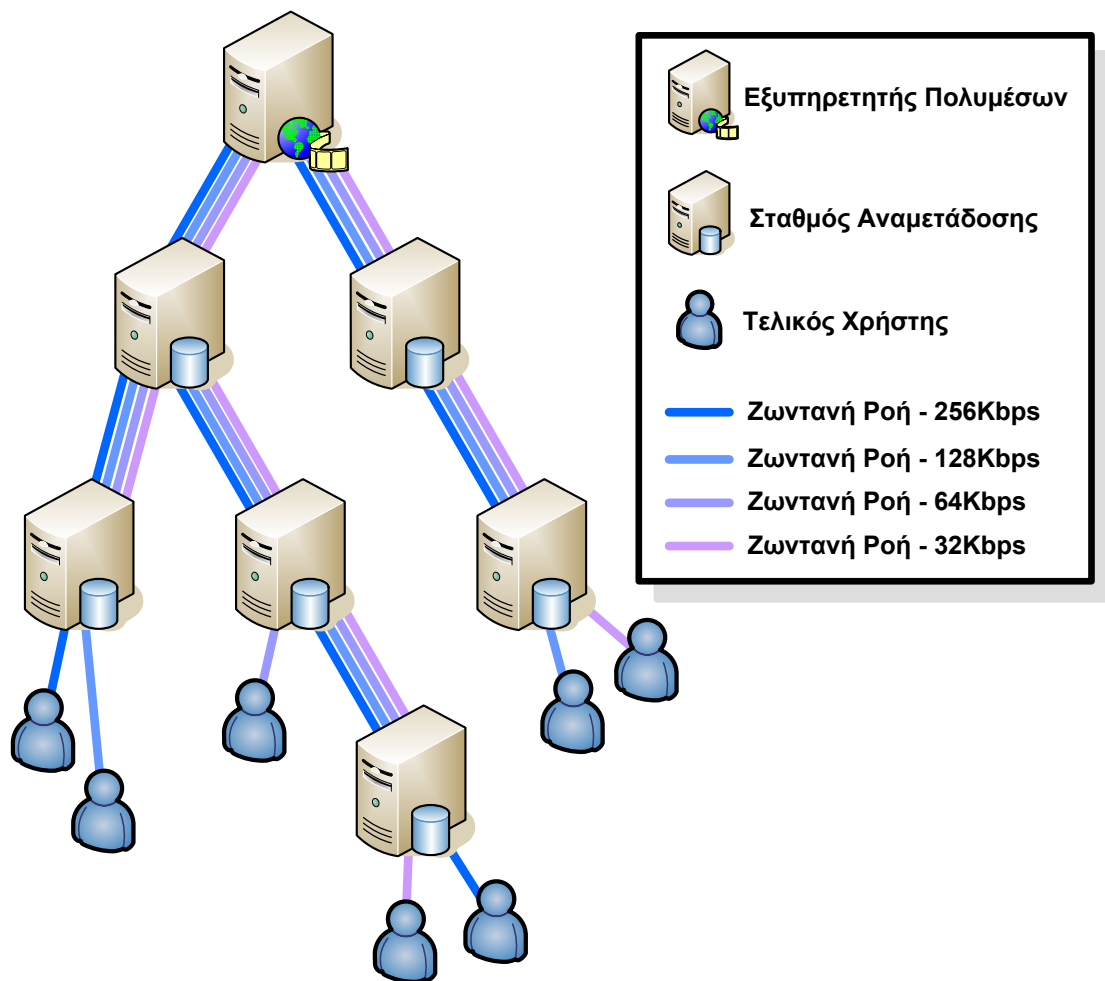
3.4.2 Απλός Έλεγχος Ροής

Όπως προαναφέρθηκε, οι σταθμοί αναμετάδοσης παρακολουθούν την ποιότητα μετάδοσης για κάθε εξερχόμενη ροή και παρεμβαίνουν, όταν χρειάζεται, διαμορφώνοντας κατάλληλα το εύρος ζώνης ώστε να μεγιστοποιείται η ποιότητα της υπηρεσίας. Ο έλεγχος της ποιότητας μετάδοσης πραγματοποιείται περιοδικά με κάποιο πρωτόκολλο αναφοράς, π.χ. το RTCP. Τα αποτελέσματα της ποιοτικής ανάλυσης διοχετεύονται στον αλγόριθμο που περιγράφεται στην παράγραφο 3.3.3 ο οποίος αποφασίζει αν το απαιτούμενο εύρος ζώνης της ροής απαιτεί μεταβολή.

Στο απλό έλεγχο ροής, υποθέτουμε ότι το περιεχόμενο προς μετάδοση παρέχεται από την πλατφόρμα σε διαφορετικές εκδόσεις που διαφέρουν μεταξύ τους στο απαιτούμενο εύρος ζώνης. Για παράδειγμα, μπορεί να υπάρχει η βασική έκδοση που απαιτεί 256Kbps και απευθύνεται σε χρήστες με ευρυζωνικές συνδέσεις ADSL και μικρότερες εκδόσεις του ίδιου περιεχομένου στα 128, 64 και 32Kbps για χρήστες ISDN, PSTN, κινητούς χρήστες μέσω GPRS, κτλ. Οι διαθέσιμες εναλλακτικές εκδόσεις για κάθε ροή υποδεικνύονται στους σταθμούς αναμετάδοσης από τον Διαχειριστή Μετάδοσης. Όταν ο αλγόριθμος διαμόρφωσης ρυθμού υποδείξει “μεταφορά προς τα κάτω” για κάποια εξερχόμενη ροή, ο σταθμός αναμετάδοσης ζητά και λαμβάνει με κάποιο τρόπο τη “χαμηλότερη” ροή και αντικαθιστά με αυτήν την προβληματική. Η όλη διαδικασία οφείλει να είναι διάφανη ως προς τον δέκτη της ροής, ο οποίος δεν παρεμβαίνει σε κανένα σημείο. Άμα το πρόβλημα συμφόρησης συνεχίζεται, ο σταθμός αναμετάδοσης ενδέχεται να χαμηλώσει και άλλο το απαιτούμενο εύρος ζώνης, επιλέγοντας την επόμενη “χαμηλότερη” ροή. Όταν το πρόβλημα συμφόρησης ξεπεραστεί και ο αλγόριθμος διαμόρφωσης υποδείξει “μεταφορά προς τα πάνω”, ο σταθμός αναμετάδοσης αντικαθιστά, διάφανα πάντα, την εξερχόμενη “χαμηλή” ροή με την αμέσως υψηλότερη έκδοση της.

Τα προφανή ερωτήματα της παραπάνω διαδικασίας είναι δύο: πώς τροφοδοτείται ο σταθμός αναμετάδοσης με τις διαφορετικές εκδόσεις του περιεχομένου και πώς η όλη διαδικασία παραμένει διάφανη ως προς την εφαρμογή αναπαραγωγής που λαμβάνει τη ροή.

Για το πρώτο ερώτημα υπάρχουν αρκετές λύσεις. Οι εμπορικοί εξυπηρετητές πολυμέσων Windows Media Server και RealNetworks Helix χρησιμοποιούν τις τεχνικές Multiple Bitrate Encoding και SureStream που προβλέπουν την αποθήκευση όλων των εκδόσεων μιας ροής στο ίδιο αρχείο. Στην περίπτωση μας, το δένδρο μετάδοσης θα διατρέχονταν από ροή που θα συμπεριλάμβανε όλες τις πιθανές εκδοχές του περιεχομένου και ο τελευταίος, πριν τον τελικό χρήστη, σταθμός αναμετάδοσης θα αναλάμβανε να διαχωρίσει και να αναμεταδώσει την κατάλληλη έκδοση προς κάθε πελάτη (Σχήμα 17).

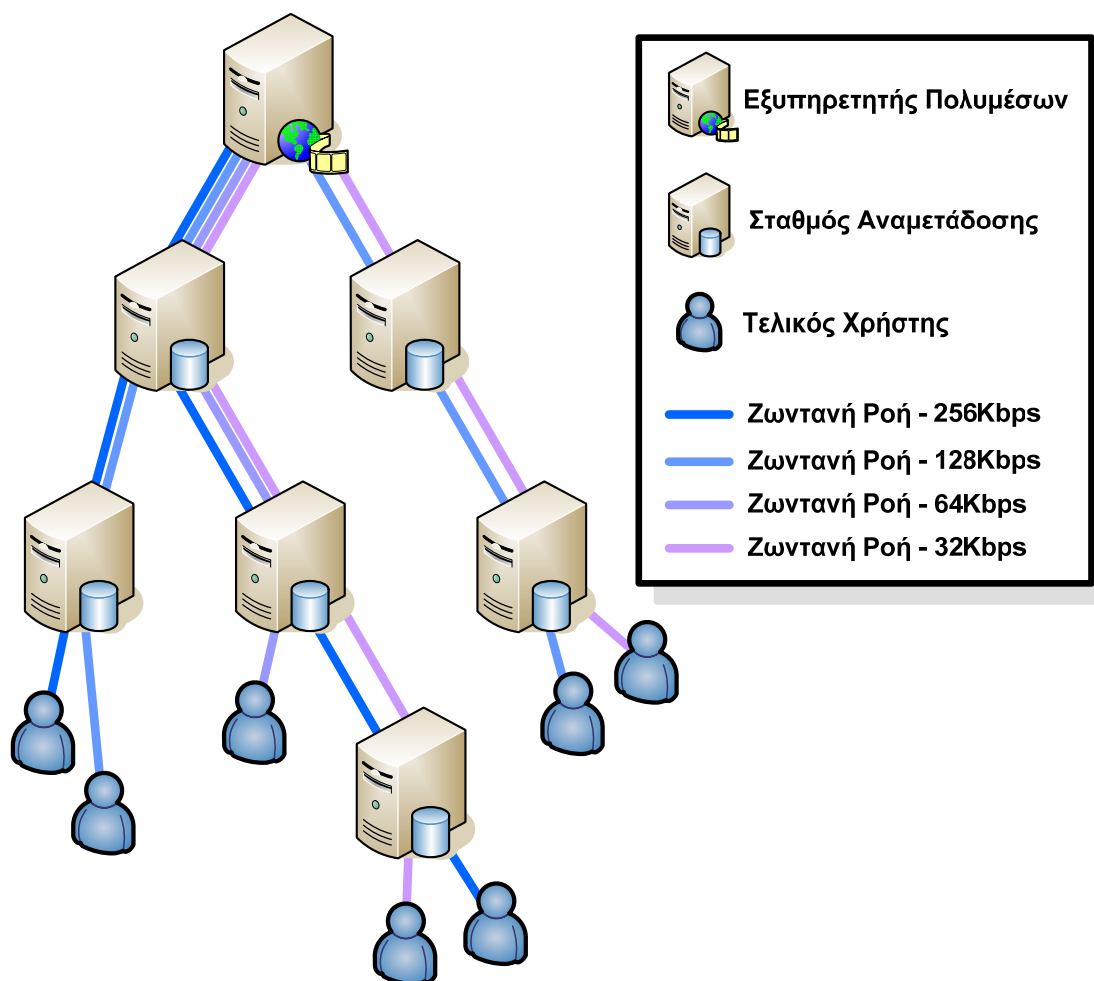


Σχήμα 17 – Μετάδοση όλων των εκδόσεων μιας ροής και διαχωρισμός στα άκρα

Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι όλες οι ροές είναι άμεσα διαθέσιμες στον σταθμό αναμετάδοσης, ο οποίος μπορεί να πραγματοποιήσει την μεταφορά “προς τα πάνω” ή “προς τα κάτω” χωρίς καθυστέρηση. Τα μειονεκτήματα της είναι ότι σπαταλούνται δικτυακοί πόροι στο δίκτυο κορμού (για την μετάδοση των πολλαπλών εκδόσεων), χωρίς να εξασφαλίζεται ότι όλες οι ροές είναι τελικά αξιοποιήσιμες από τον τελικό σταθμό

αναμετάδοσης, ενώ απαιτείται υπολογιστική ισχύς για το διαχωρισμό των ροών, ακόμα και στην περίπτωση που δεν είναι αναγκαία η παρέμβαση στο εύρος ζώνης.

Διαφοροποιώντας την παραπάνω τεχνική μπορούμε να αποθηκεύουμε τις διαφορετικές εκδόσεις της ροής σε ξεχωριστά αρχεία, να μεταδίδονται μόνο οι απαραίτητες εκδόσεις και όταν επιβάλλεται η χρήση μιας εναλλακτικής έκδοσης, αυτή να ζητείται μέσω του Διαχειριστή Μετάδοσης και του υπερκείμενου δικτύου όπως περιγράφηκε προηγουμένως (Σχήμα 18).

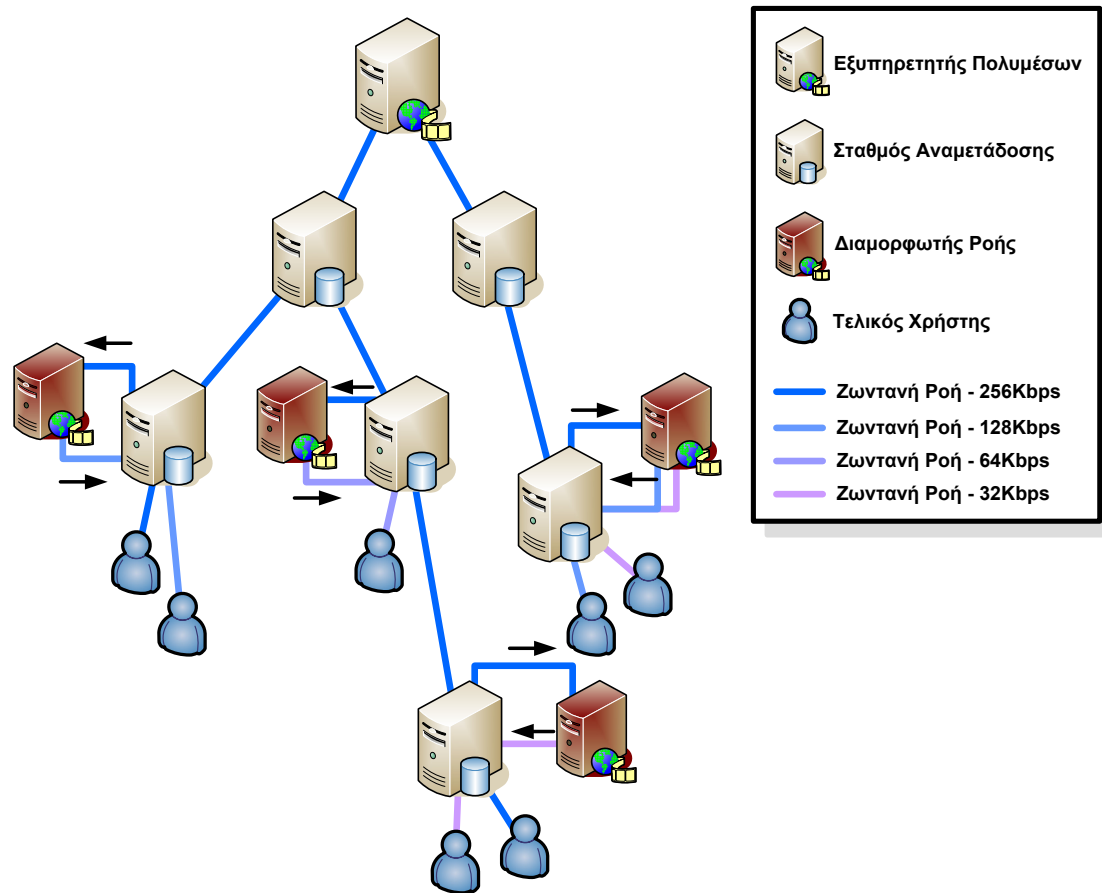


Σχήμα 18 – Μετάδοση μόνο των απαραίτητων από τα άκρα εκδόσεων μιας ροής

Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η καθυστέρηση που προκύπτει κατά τις εναλλαγές ροών, όταν η ζητούμενη εκδοχή δεν είναι τοπικά διαθέσιμη.

Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα OLYMPIC (βλ. κεφάλαιο 4) εισήγαγε μια διαφορετική μεθοδολογία. Οι σταθμοί αναμετάδοσης στα χαμηλότερα επίπεδα (δηλ. ακριβώς πριν τους τελικούς χρήστες) εξοπλίστηκαν με έναν διαμορφωτή ροής (transcoder). Ο διαμορφωτής ροής είχε την ικανότητα να λαμβάνει μια πολυμεσική ροή και να την επανακωδικοποιεί σε πραγματικό χρόνο σε ένα ζητούμενο εύρος ζώνης. Οι διαμορφωτές ροής τοποθετήθηκαν “κοντά” στους σταθμούς αναμετάδοσης (π.χ. στο ίδιο τοπικό δίκτυο,

ακόμα και στο ίδιο μηχάνημα). Οι σταθμοί αναμετάδοσης τροφοδοτούνται με τη υψηλότερη (σε κατανάλωση εύρους ζώνης) ροή και όταν παρίσταται η ανάγκη για μια διαφορετική, χαμηλότερη, έκδοση, χρησιμοποιούνται ο διαμορφωτής ροής για να την παράγει (Σχήμα 19).



Σχήμα 19 – Έλεγχος Ροής με χρήση Διαμορφωτών Ροής

Η συγκεκριμένη τεχνική εξασφαλίζει μεγαλύτερη οικονομία δικτυακών πόρων, εφόσον μία μόνο εκδοχή κάθε ροής μεταδίδεται ανά στιγμή στον κορμό του δικτύου, ενώ η καθυστέρηση εναλλαγής περιορίζεται στην επικοινωνία μηχανημάτων στο ίδιο δίκτυο. Το μειονέκτημα της μεθόδου, εκτός από το επιπλέον κόστος της τοποθέτησης των διαμορφωτών ροής, είναι η χαμηλότερη ποιότητα των παραγόμενων ροών εφόσον χρησιμοποιείται ως αρχικό σήμα μια ήδη κωδικοποιημένη ροή.

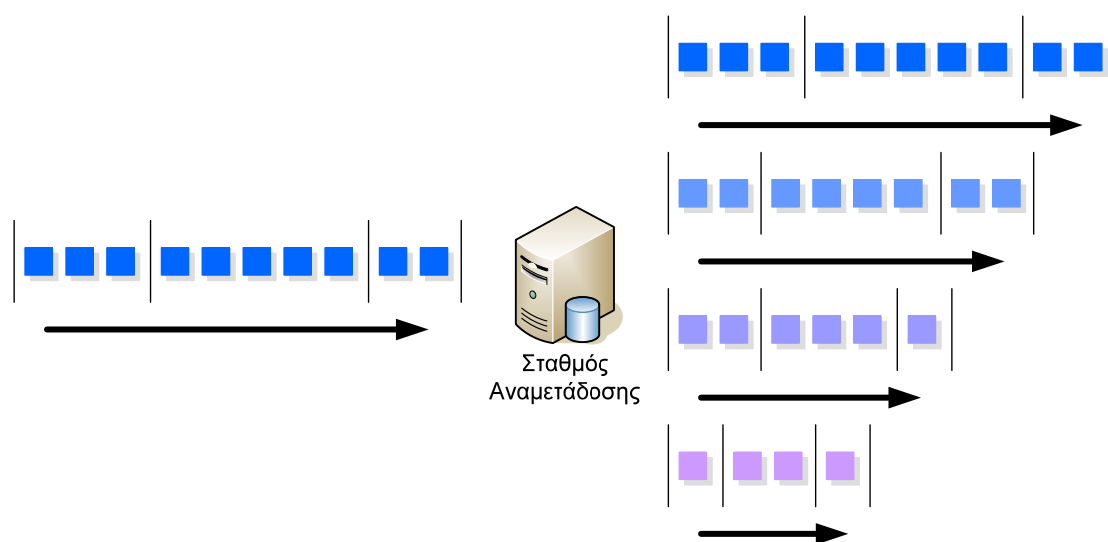
Το δεύτερο ερώτημα σχετικά με τον έλεγχο ροής είναι πώς εξασφαλίζεται η διαφάνεια της διαδικασίας εναλλαγής ροών από την εφαρμογή αναπαραγωγής του τελικού χρήστη. Η διαφάνεια εξασφαλίζεται με την παραγωγή “συμβατών” μεταξύ τους εκδόσεων σε επίπεδο κωδικοποίησης. Ουσιαστικά, οι διαφορετικές εκδόσεις διατηρούν κάποια κοινά χαρακτηριστικά (π.χ. μέγεθος πλαισίου, βάθος χρώματος) και διαφοροποιούνται σε χαρακτηριστικά που επιτρέπεται ούτως ή άλλως να αλλάζουν κατά την κωδικοποίηση μιας ροής (π.χ. κβαντιστής των DCT συντελεστών και ρυθμός εναλλαγής πλαισίων – FPS). Επίσης, ο σταθμός αναμετάδοσης φροντίζει ώστε οι επικεφαλίδες του πρωτοκόλλου

μετάδοσης (π.χ. RTP) να διατηρούνται συνεπείς πριν και μετά την εναλλαγή ροής. Έτσι η εφαρμογή πελάτη αντιλαμβάνεται μια συνεχής ροή με εναλλαγές στο απαιτούμενο εύρος ζώνης ως να είχε κωδικοποιηθεί με αυτόν τον τρόπο από τον αρχικό κωδικοποιητή.

3.4.3 Έλεγχος Ροής με Προσαρμόσιμη Κωδικοποίηση

Ο έλεγχος ροής απλουστεύεται, σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση, όταν η πλατφόρμα χρησιμοποιεί κάποια μορφή προσαρμόσιμης κωδικοποίησης για τις πολυμεσικές ροές. Ο τελικός σταθμός αναμετάδοσης, πριν προωθήσει τη ροή στην εφαρμογή χρήστη, αναλαμβάνει να απορρίψει ένα μέρος από την διαθέσιμη πληροφορία ώστε το απαιτούμενο εύρος ζώνης να ανταποκρίνεται στις δυνατότητες του πελάτη. Η χρήση προσαρμόσιμης κωδικοποίησης πλεονεκτεί του απλού ελέγχου που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, εφόσον με μια μόνο ροή από τον αρχικό εξυπηρετητή και χωρίς την ανάγκη εξωτερικής βοήθειας (διαμορφωτές ροές), επιτρέπεται στον σταθμό αναμετάδοσης να παράγει ροές με διαφορετικές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης.

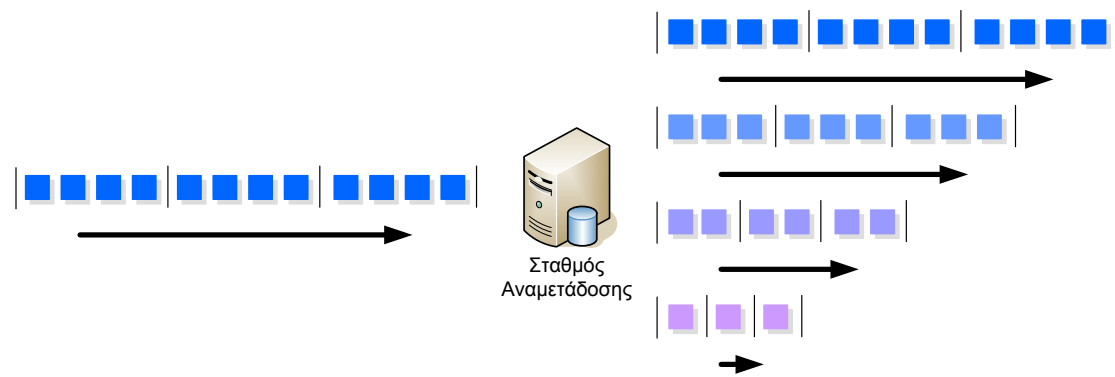
Στη θεωρία, ο σταθμός αναμετάδοσης μπορεί να διαμορφώνει το εύρος ζώνης σε οποιαδήποτε τιμή απαιτείται. Το πρακτικό κόστος της εφαρμογής ενός παρόμοιου ελέγχου είναι υψηλό εφόσον ο σταθμός οφείλει να αποθυλακώνει (de-packetize) τη ροή από το δικτυακό πρωτόκολλο (π.χ. RTP), να απορρίπτει το κατάλληλο ποσό πληροφορίας (ποσό το οποίο υπολογίζεται από ενεργή παρακολούθηση) και τέλος να ενθυλακώνει (packetize) την προσαρμοσμένη ροή με βάση το δικτυακό πρωτόκολλο. Η όλη διαδικασία πραγματοποιείται ατομικά για κάθε πελάτη και το υπολογιστικό κόστος της πολλαπλασιάζεται για πολλούς χρήστες (Σχήμα 20).



Σχήμα 20 – Πλήρης επεξεργασία εισερχόμενης ροής και παραγωγή εξερχόμενων ροών

Μια πιο πρακτική προσέγγιση μπορεί να εφαρμοσθεί αν κάνουμε κάποιες παραχωρήσεις όσον αφορά τον βαθμό “προσαρμοστικότητας” της κωδικοποίησης. Συγκεκριμένα, ορίζουμε

κάποια προκαθορισμένα επίπεδα (π.χ. 256, 128, 64 και 32Kbps) στις απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και πραγματοποιούμε κατάλληλα την ενθυλάκωση στον αρχικό εξυπηρετητή πολυμέσων ώστε ο αριθμός των δικτυακών πακέτων που αντιστοιχεί σε κάθε σκηνή να καθορίζει την ποιότητα και κατά συνέπεια το απαιτούμενο εύρος ζώνης. Για παράδειγμα, αν προκαθορίζουμε 4 επίπεδα κωδικοποίησης, κάθε σκηνή περιγράφεται πλήρως από 4 δικτυακά πακέτα που αντιστοιχούν στη μέγιστη ποιότητα. Αν ο σταθμός αναμετάδοσης κρίνει ότι κάποιος πελάτης αντιμετωπίζει προβλήματα συμφόρησης και δεν μπορεί να λάβει την πληροφορία στον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης τότε στέλνει τα 3 από τα 4 πακέτα που περιγράφουν τη σκηνή και το απαιτούμενο εύρος ζώνης μειώνεται αυτόματα στο χαμηλότερο προκαθορισμένο επίπεδο (Σχήμα 21).



Σχήμα 21 – Παραγωγή εξερχόμενων ροών με απλή αποκοπή πακέτων εισερχόμενης ροής

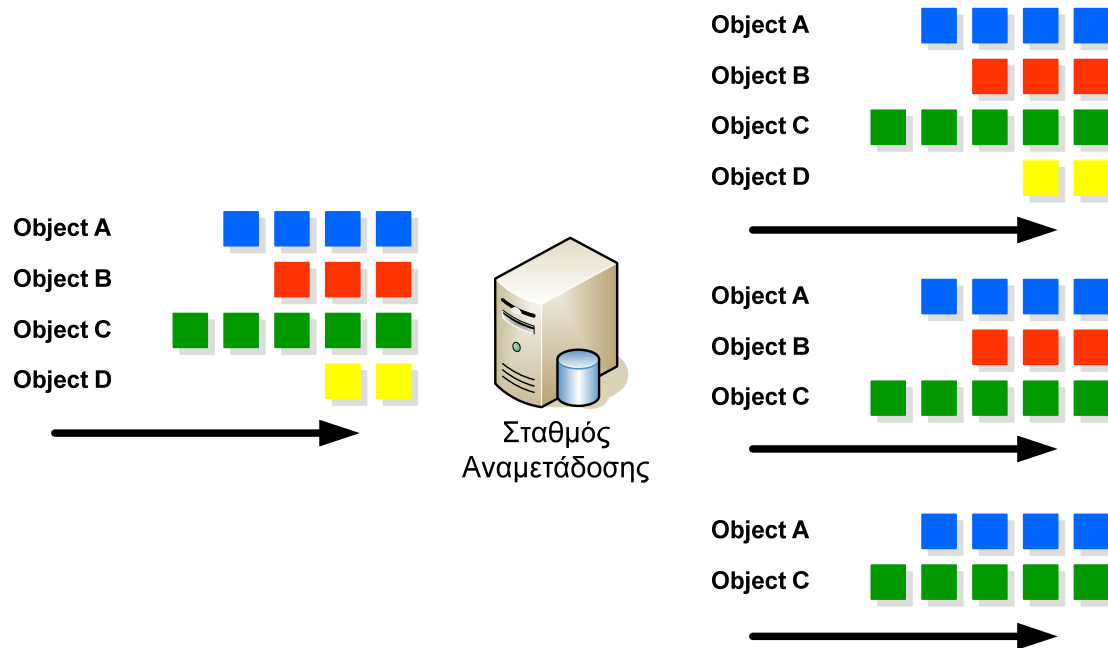
Ως αποτέλεσμα, το υπολογιστικό κόστος για τον σταθμό αναμετάδοσης μειώνεται δραματικά αφού δεν χρειάζεται πλέον η διαδικασία της αποθυλάκωσης/ενθυλάκωσης, ούτε είναι απαραίτητη η ενεργής παρακολούθηση του ρυθμού μετάδοσης για τον υπολογισμό του ποσού πληροφορίας που πρέπει να αποκοπεί. Μειονεκτήματα της μεθόδου αποτελούν η προϋπόθεση για ύπαρξη προκαθορισμένων επιπέδων (που περιορίζει την προσαρμοστικότητα της κωδικοποίησης σε αυστηρώς ορισμένο βαθμό) και η απαραίτητη παρέμβαση στη διαδικασία της ενθυλάκωσης στον εξυπηρετητή πολυμέσων.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται το πρόγραμμα ISMuS που εφαρμόζει τον έλεγχο ροής με προσαρμόσιμη κωδικοποίηση.

3.4.4 Έλεγχος Ροής με Διαδραστικό Περιεχόμενο

Η διαδραστικότητα που προβλέπεται για τις κωδικοποιημένες σύμφωνα με το πρότυπο MPEG-4 πολυμεσικές ροές επιτρέπει την εφαρμογή “πρωτότυπων” τεχνικών ελέγχου ροής. Στο MPEG-4, μια σκηνή μπορεί να περιγραφεί ως συνδυασμός αυτόνομων αντικειμένων. Το ποσό πληροφορίας που απαιτείται για την αναπαράσταση των μεμονωμένων αντικειμένων συνεισφέρει στο συνολικό εύρος ζώνης της ροής. Ο σταθμός αναμετάδοσης μπορεί να αυξομειώνει το απαιτούμενο εύρος ζώνης μεταδίδοντας επιλεκτικά ένα υποσύνολο των αντικειμένων που απαρτίζουν μια σκηνή.

Η εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνικής προαπαιτεί ιδιαίτερη επεξεργασία κατά το στάδιο της κωδικοποίησης όπου καθορίζονται τα αντικείμενα. Συγκεκριμένα, πρέπει να καταγραφεί το εύρος ζώνης που απαιτεί κάθε αντικείμενο και στη συνέχεια τα αντικείμενα να ιεραρχηθούν με βάση τη σημαντικότητα τους στην σύνθεση της σκηνής και το αντίστοιχο κέρδος σε εύρος ζώνης. Η ιεράρχηση των αντικειμένων δημιουργεί ουσιαστικά τα επίπεδα πάνω στα οποία μπορεί να λειτουργήσει ο έλεγχος ροής (Σχήμα 22). Οι σταθμοί αναμετάδοσης ενημερώνονται από τον Διαχειριστή Μετάδοσης για τα αντικείμενα που προβλέπει κάθε επίπεδο.



Σχήμα 22 – Έλεγχος ροής με διαδραστικό περιεχόμενο

Η εφαρμογή ελέγχου ροής στηριζόμενου στις δυνατότητες για σύνθεση που προσφέρει το MPEG-4 παρουσιάζει το προφανές μειονέκτημα ότι δεν εφαρμόζεται εύκολα σε οποιοδήποτε περιεχόμενο, εφόσον απαιτεί την ανάλυση κάθε σκηνής σε αντικείμενα, διαδικασία που δεν είναι δυνατή πάντοτε. Επιπλέον, ο βαθμός ανάλυσης σε αντικείμενα και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους εξαρτώνται άμεσα από το περιεχόμενο της ροής και ενδέχεται σε αρκετές περιπτώσεις να περιορίζουν σημαντικά τις δυνατότητες παραγωγής επίπεδων ποιότητας. Τέλος, ο έλεγχος ροής περιπλέκεται σημαντικά για δυναμικό περιεχόμενο, όπου τα αντικείμενα που αποτελούν τις σκηνές μεταβάλλονται στον χρονικό άξονα και η αποτελεσματικότητα του διαχωρισμού σε επίπεδα διαφοροποιείται στο χρόνο.

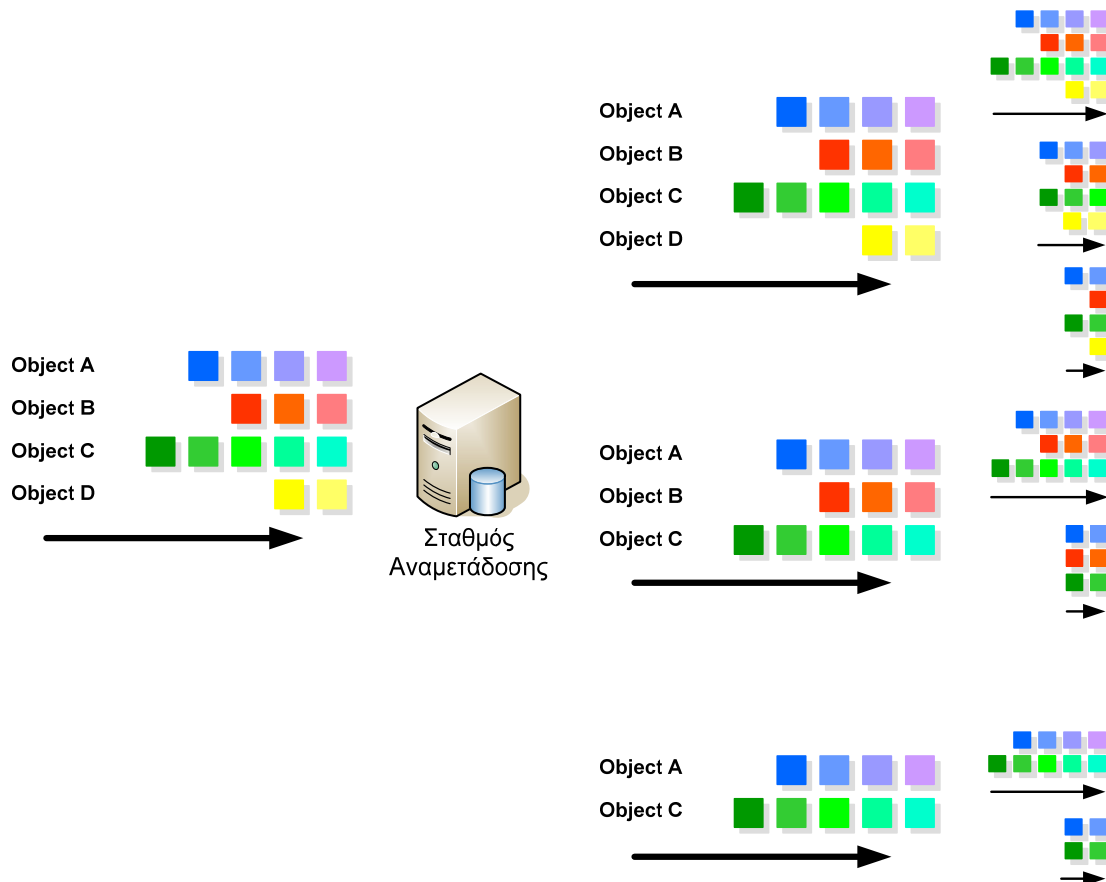
Η πλατφόρμα ISMuS που παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 5 εφαρμόζει έλεγχο ροής με διαδραστικό περιεχόμενο.

3.4.5 Σύνθετος Έλεγχος Ροής με Προσαρμόσιμη Κωδικοποίηση και Διαδραστικό Περιεχόμενο

Όπως περιγράφηκε προηγουμένως, ο έλεγχος ροής που εκμεταλλεύεται τη διαδραστικότητα του MPEG-4 δεν είναι εφαρμόσιμος πάντα σε όλες τις περιπτώσεις. Σε περιπτώσεις που το περιεχόμενο επιτρέπει έστω και περιορισμένη προσαρμοστικότητα μπορούμε να αυξήσουμε τα διαθέσιμα επίπεδα ελέγχου με τη χρήση προσαρμόσιμης κωδικοποίησης για την αναπαράσταση των αντικειμένων.

Η χρήση προσαρμόσιμης κωδικοποίησης για τα αντικείμενα μιας σκηνής σε συνδυασμό με τις τεχνικές που περιγράφηκαν στην παράγραφο 3.4.3 επιτρέπουν τον πολλαπλασιασμό των αρχικών επιπέδων που δημιουργούνται από τη διαδραστικότητα του περιεχομένου με τις πιθανές εκδοχές κάθε αντικειμένου.

Ο συνδυασμός προσαρμόσιμης κωδικοποίησης και διαδραστικού περιεχομένου προϋποθέτει, όπως και προηγουμένως, τη διαδικασία της επεξεργασίας του περιεχομένου και της ιεράρχησης των αντικειμένων για τον καθορισμό των αρχικών επιπέδων ελέγχου. Στη συνέχεια τα επίπεδα που προκύπτουν αναλύονται περαιτέρω με βάση τους συνδυασμούς που μπορούν δώσουν οι διαφορετικές εκδοχές ποιότητας των αντικειμένων. Οι συνδυασμοί που προκύπτουν ιεραρχούνται και δημιουργούνται τα τελικά επίπεδα ελέγχου (Σχήμα 23).



Σχήμα 23 – Συνδυασμός διαδραστικότητας με προσαρμόσιμη κωδικοποίηση

Όπως και προηγουμένως, για δυναμικό περιεχόμενο, τα παραγόμενα επίπεδα μπορεί να διαφοροποιούνται στον άξονα του χρόνου.

3.5 Ανασκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν:

- Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική για την ανάπτυξη ενός υπερκείμενου δικτύου στο δίκτυο μετάδοσης

Περιγράφονται οι απαιτήσεις που υπάρχουν από ένα υπερκείμενο δίκτυο για την υποστήριξη της υπηρεσίας που θέλουμε να προσφέρουμε και παρουσιάζεται η δομή και τα κριτήρια που διέπουν το σχηματισμό και τη λειτουργία του.

- Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική για την υλοποίηση του ελέγχου ροής στο δίκτυο μετάδοσης

Περιγράφεται ο βασικός αλγόριθμος ελέγχου ροής που εφαρμόζει η προτεινόμενη αρχιτεκτονική. Η παρουσίαση περιλαμβάνει τόσο την αλγοριθμική ανάπτυξη όσο και τα αποτελέσματα προσομοίωσης του στο περιβάλλον NS-2.

- Η πρακτική εφαρμογή των παραπάνω για την υλοποίηση μιας ολοκληρωμένης πλατφόρμας μετάδοσης πολυμεσικού περιεχομένου

Περιγράφεται πρακτικά πώς το υπερκείμενο δίκτυο και ο προτεινόμενος έλεγχος ροής μπορούν να συνδυασθούν στην ανάπτυξη μιας πλατφόρμας παροχής πολυμεσικού περιεχομένου και συγκεκριμένα ζωντανών ροών. Η παρουσίαση περιλαμβάνει τα σενάρια εφαρμογής του ελέγχου ροής τόσο με χρήση προσαρμόσιμης κωδικοποίησης όσο και διαδραστικού περιεχομένου.

3.6 Αναφορές

[82] Kevin Lai, Mary Baker, “Measuring Link Bandwidths Using a Deterministic Model of Packet Delay”, in Proceedings of ACM SIGCOMM, August 2000.

[83] The Network Simulator - ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.

4. Η προσέγγιση OLYMPIC

Η ανάπτυξη των δικτύων και των πολυμεσικών τεχνολογιών έχουν καταστήσει εφικτή τη ζωντανή μετάδοση γεγονότων πάνω από το Διαδίκτυο. Η μετάδοση, αν και συνήθως υστερεί σε ποιότητα εικόνας της τηλεόρασης, προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και χαμηλότερο κόστος. Το Διαδίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί, παράλληλα με την τηλεόραση, ως συμπληρωματικό μέσο μετάδοσης σε γεγονότα που απαιτούν ευρεία κάλυψη, όπως οι Ολυμπιακοί Αγώνες.

Η ανάπτυξη μιας δικτυακής πλατφόρμας για τη μετάδοση γεγονότων μεγάλης έκτασης πρέπει να καλύπτει ένα ευρύ φάσμα εξοπλισμού από την πλευρά του τελικού χρήστη (end-user equipment) περιλαμβάνοντας τόσο υλικό (δίκτυο πρόσβασης, συσκευή) όσο και λογισμό (λειτουργικό σύστημα, πρόγραμμα αναπαραγωγής) εξοπλισμό. Επίσης, η πλατφόρμα πρέπει να συνυπολογίζει την ευμετάβλητη και ασταθής φύση του Διαδικτύου και να αντιμετωπίζει επιτυχώς τα προβλήματα που μπορούν να δημιουργηθούν. Τα παραπάνω αποτέλεσαν την κεντρική ιδέα πάνω στην οποία στηρίχθηκε το πρόγραμμα IST Olympic [84].

Οι βασικοί στόχοι του προγράμματος OLYMPIC είναι να σχεδιάσει, υλοποιήσει και ενοποιήσει καινοτόμες δικτυακές και πολυμεσικές τεχνολογίες, με σκοπό την ανάπτυξη μιας πλατφόρμας ικανής για την σύλληψη, κωδικοποίηση και μετάδοση πολυμεσικού περιεχομένου από ζωντανές πηγές μέσω του Διαδικτύου σε πολλούς αποδέκτες. Η πλατφόρμα απευθύνεται σε ομάδες χρηστών με ειδικά ενδιαφέροντα που επιθυμούν να παρακολουθήσουν σημαντικά γεγονότα που δεν καλύπτονται επαρκώς από τα παραδοσιακά μέσα ενημέρωσης. Η πλατφόρμα αξιοποιήθηκε στα πλαίσια της κάλυψης των Ολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας, τον Αύγουστο του 2004.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του συστήματος που αναπτύχθηκε, ο ρόλος των υπερκείμενων δικτύων και της διαμόρφωσης ροής στην πλατφόρμα και τέλος η εφαρμογή της κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών αγώνων.

4.1 Αρχιτεκτονική

4.1.1 Επισκόπηση

Η πλατφόρμα OLYMPIC χωρίζεται στα παρακάτω τμήματα:

- Δίκτυο Κωδικοποίησης και Συνεισφοράς (Encoding/Contribution Network)

Στο Δίκτυο Κωδικοποίησης και Συνεισφοράς προετοιμάζεται το πολυμεσικό περιεχόμενο που προσφέρεται από την πλατφόρμα. Στο συγκεκριμένο τμήμα γίνεται η σύλληψη και κωδικοποίηση ζωντανού περιεχομένου πριν αυτό περάσει ως πολυμεσική ζωντανή ροή στο επόμενο τμήμα.

- Δίκτυο Διανομής (Distribution Network)

Το Δίκτυο Διανομής λαμβάνει ως είσοδο τις ζωντανές ροές που παράγει το Δίκτυο Κωδικοποίησης και Συνεισφοράς και τις μεταφέρει στους εξυπηρετητές πολυμέσων (media servers). Για την διάδοση του περιεχομένου μέχρι τους τελικούς χρήστες, παρεμβάλλεται ένα υπερκείμενο δίκτυο που αποτελείται από τους σταθμούς αναμετάδοσης SAS (Streaming Access Server). Οι SAS εκτός από απλή μεταφορά περιεχομένου διαθέτουν διάφορους μηχανισμούς ποιότητας με σημαντικότερο τη δυνατότητα ελέγχου ροής και διαμόρφωσης του απαιτούμενου εύρους ζώνης σε συνεργασία με έναν διαμορφωτή ροής (Transcoder).

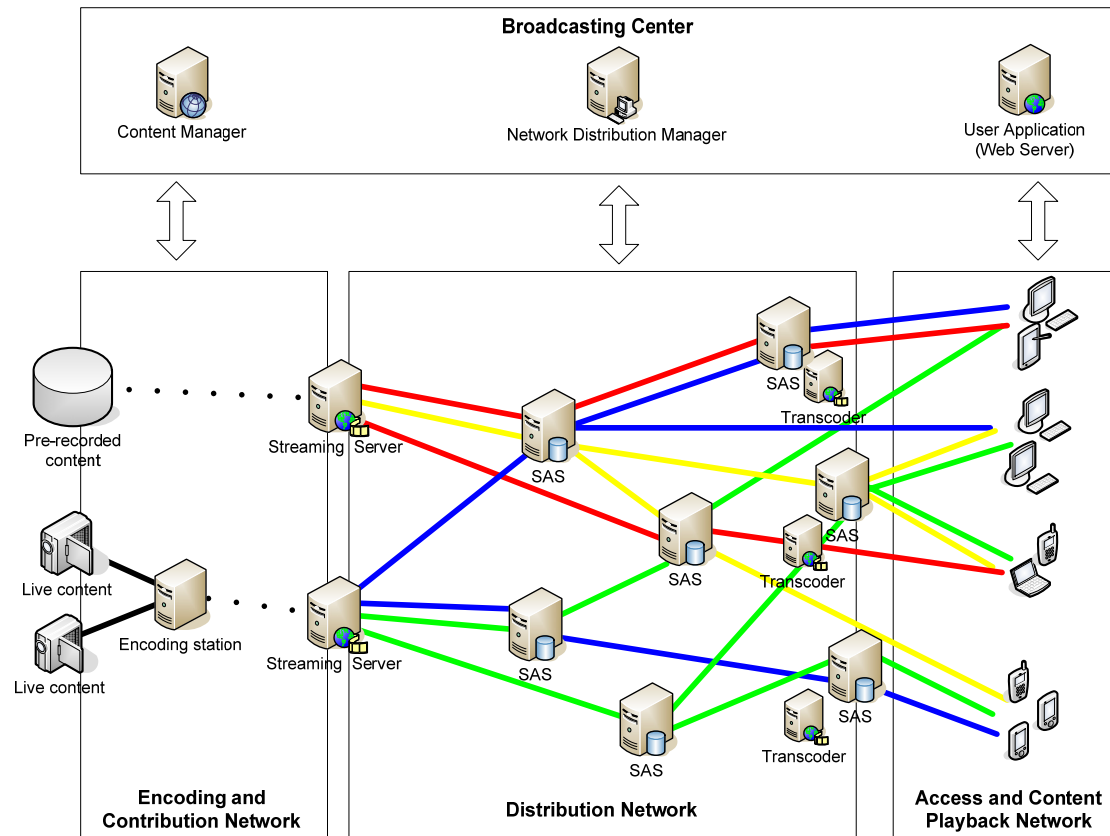
- Δίκτυο Πρόσβασης και Αναπαραγωγής (Access and Content Playback Network)

Το Δίκτυο Πρόσβασης και Αναπαραγωγής αποτελείται από τον υλικό και λογισμικό εξοπλισμό των χρηστών της πλατφόρμας. Ο υλικός εξοπλισμός περιλαμβάνει ετερογενή δίκτυα όπως PSTN, ISDN, ADSL, Ethernet, WLAN, GPRS και UMTS. Ο λογισμικός εξοπλισμός των χρηστών περιλαμβάνει τις περισσότερες εμπορικές εφαρμογές που περιγράφονται στο κεφάλαιο 2.4 αλλά και μια ειδική εφαρμογή που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του προγράμματος για την αποδοτικότερη εκμετάλλευση του παρόντος υπερκείμενου δικτύου.

- Κέντρο Μετάδοσης (Broadcasting Center)

Το Κέντρο Μετάδοσης είναι το τμήμα διαχείρισης και ελέγχου της πλατφόρμας. Αποτελείται από τρία υποσυστήματα, τον Διαχειριστή Περιεχομένου (Content Manager) που ελέγχει και προγραμματίζει τη διαθεσιμότητα του περιεχομένου, τον Διαχειριστή Μετάδοσης (Network Distribution Manager) που είναι υπεύθυνος για την μετάδοση και το υπερκείμενο δίκτυο και την Εφαρμογή Χρήστη (User Application) που με τη μορφή ενός δικτυακού τόπου αποτελεί το σημείο πρόσβασης του τελικού χρήστη στο περιεχόμενο.

Η παραπάνω σχεδίαση απεικονίζεται στο Σχήμα 24.



Σχήμα 24 – Αρχιτεκτονική OLYMPIC

4.1.2 Δίκτυο Κωδικοποίησης και Συνεισφοράς

Για την κάλυψη όσο το δυνατόν μεγαλύτερου εύρους χρηστών, η πλατφόρμα υποστηρίζει 2 πρότυπα συμπίεσης με αντίστοιχους σταθμούς κωδικοποίησης, το MPEG-2 και το MPEG-4.

- Ο σταθμός κωδικοποίησης MPEG-2 χρησιμοποιείται για την παραγωγή ροών υψηλής ποιότητας και φυσικά με τις αντίστοιχες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης (1-2Mbps). Οι ροές που παράγονται είναι τύπου MPEG-2 TS και περικλείονται σε πακέτα RTP σύμφωνα με την προδιαγραφή που ορίζεται στο [85]. Στα προφίλ κωδικοποίησης περιλαμβάνονται τα QCIF, CIF και Full D1. Ο κωδικοποιητής MPEG-2 διαθέτει επίσης τη δυνατότητα διαμόρφωσης της παραγόμενης ροής σύμφωνα με τις απώλειες πακέτων που ανιχνεύονται με τη χρήση των αναφορών του RTCP.
- Ο σταθμός κωδικοποίησης MPEG-4 χρησιμοποιείται για την παραγωγή ροών μεσαίας και χαμηλής ποιότητας με απαιτήσεις σε εύρος ζώνης από 32-512Kbps. Οι παραγόμενες ροές ακολουθούν τα προφίλ 3GPP, ISMA-0 και ISMA-1 που έχει ορίσει ο οργανισμός ISMA (Internet Streaming Media Alliance) [86].

4.1.3 Δίκτυο Διανομής

Το Δίκτυο Διανομής περιλαμβάνει τους Εξυπηρετητές Πολυμέσων (Media Servers), την Πύλη MPEG-X (MPEG-X Gateway), τους Σταθμούς Αναμετάδοσης SAS (Streaming Access Servers) και τους Διαμορφωτές Ροής (Transcoders).

4.1.3.1 Εξυπηρετητές Πολυμέσων και Πύλη MPEG-X

Οι ροές που λαμβάνονται από το Δίκτυο Κωδικοποίησης και Συνεισφοράς παραλαμβάνονται από τους Εξυπηρετητές Πολυμέσων του Δικτύου Διανομής. Το σύνολο των διαθέσιμων Εξυπηρετητών Πολυμέσων αποτελεί την Πύλη MPEG-X (MPEG-X Gateway). Η Πύλη MPEG-X είναι το σημείο που συνδέει το Δίκτυο Συνεισφοράς με το Δίκτυο Διανομής για την προώθηση των MPEG-2 και MPEG-4 ροών.

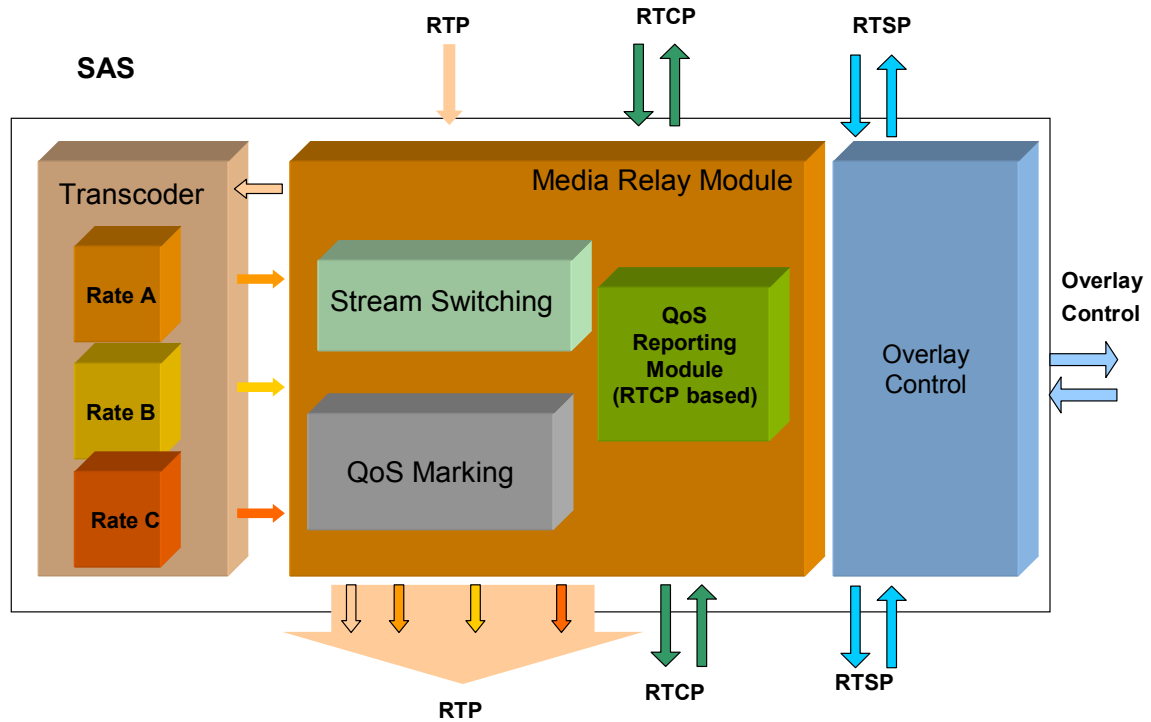
Η Πύλη MPEG-X υποστηρίζει τη διανομή ζωντανών ροών σε πραγματικό χρόνο, όπως αυτές φθάνουν από το Δίκτυο Συνεισφοράς (VoD). Επιπλέον, οι εισερχόμενες ροές μπορούν να αποθηκευτούν και είτε να γίνουν διαθέσιμες σε μορφή αρχείου (offline-download), είτε να προγραμματιστεί η μετάδοση τους σε μέλλοντα χρόνο (near VoD). Η διαδικασία χρονοπρογραμματισμού των ζωντανών ροών μπορεί να πραγματοποιηθεί επιτόπου ή απομακρυσμένα μέσω του Κέντρου Μετάδοσης.

Για τη μετάδοση των ζωντανών ροών, οι Εξυπηρετητές Πολυμέσων, χρησιμοποιούν τα διαδεδομένα πρωτόκολλα RTP, RTCP και RTSP. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η συμβατότητα με την πλειονότητα των εμπορικών ή/και ανοικτών εφαρμογών αναπαραγωγής πολυμέσων.

4.1.3.2 Σταθμοί Αναμετάδοσης SAS

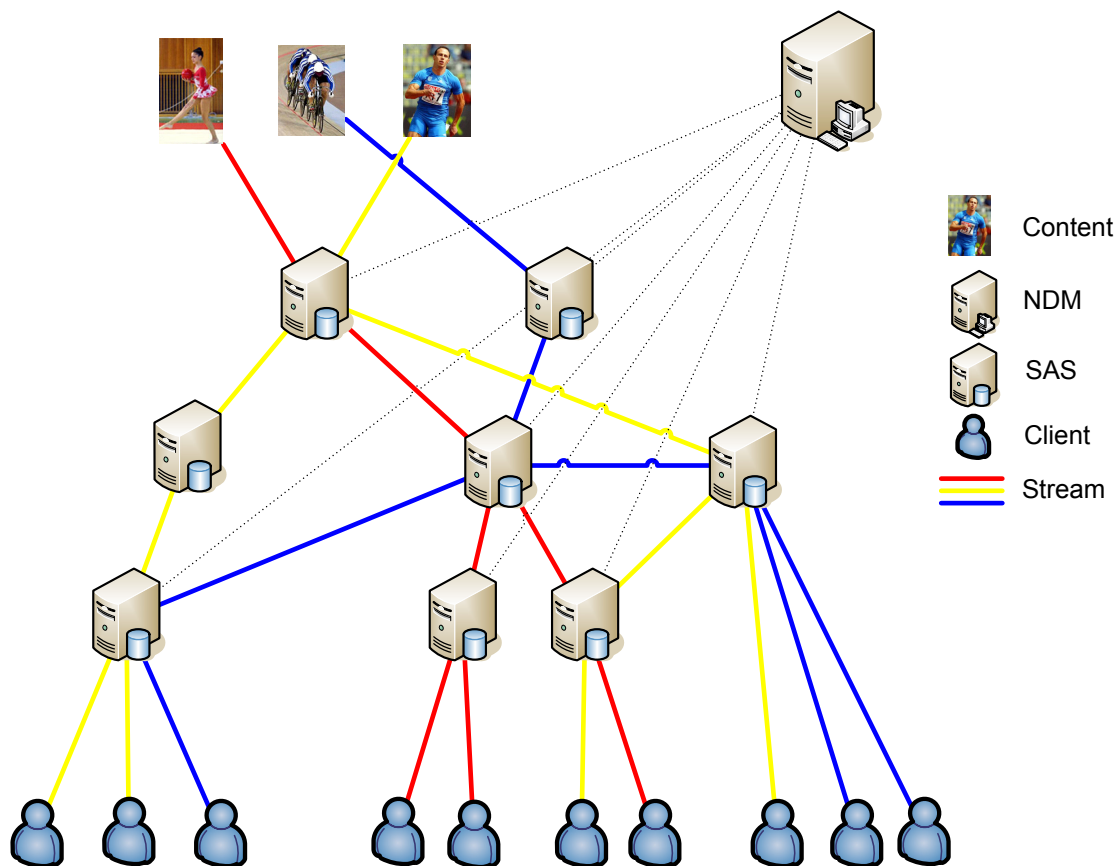
Ο Σταθμός Αναμετάδοσης SAS (Streaming Access Server) αποτελεί το σημαντικότερο τμήμα της πλατφόρμας OLYMPIC. Ο SAS έχει σχεδιαστεί ώστε να υποστηρίζει το σχηματισμό υπερκείμενων δικτύων για την μετάδοση ζωντανών ροών για όλα τα πρότυπα και πρωτόκολλα που υποστηρίζει η πλατφόρμα.

Οι SAS που υποστηρίζουν το Δίκτυο Διανομής δεν περιορίζονται στην απλή μεταφορά των ζωντανών ροών πάνω από το υπερκείμενο δίκτυο, αλλά συνεισφέρουν ποικιλοτρόπως στη διαδικασία της μετάδοσης με την εφαρμογή μηχανισμών όπως η εναλλαγή ροής (stream switching), η σήμανση ποιότητας (QoS Marking) και τον έλεγχο ροής μέσω διαμόρφωσης (transcoding). Η σχεδίαση του SAS απεικονίζεται στο Σχήμα 25.



Σχήμα 25 – Αρχιτεκτονική Σχεδίαση του SAS

Στο κατώτερο επίπεδο ο SAS διαχωρίζει και αναμεταδίδει μια εισερχόμενη ροή σε έναν ή παραπάνω πελάτες. Πολλοί SAS μπορούν να συνεργαστούν για την προώθηση μιας ροής σχηματίζοντας δενδρικές δομές όπως φαίνεται και στο Σχήμα 26.



Σχήμα 26 – Μετάδοση ροής από ένα δίκτυο SAS

Οι SAS επικοινωνούν με τους ανώτερους και κατώτερους κόμβους, που απαρτίζουν την ιεραρχία μετάδοσης, με το πρωτόκολλο RTSP. Από λειτουργικής πλευράς, ένας SAS διαθέτει δύο διασυνδέσεις (interfaces): μία για τον χειρισμό των εισερχόμενων ροών και μία για την εξυπηρέτηση των εξερχόμενων. Στην πρώτη περίπτωση, ο SAS συμπεριφέρεται ως πελάτης RTSP, ενώ στη δεύτερη ως εξυπηρετητής RTSP.

Εφαρμόζοντας έναν συνδυασμό χειροκίνητου (manual) και δυναμικού/αυτόματου προγραμματισμού, ένα σύνολο από SAS μπορεί να σχηματίσει ένα αποδοτικό υπερκείμενο δίκτυο για τη διανομή ζωντανών ροών, ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση δικτυακών και υλικών πόρων. Ο προγραμματισμός και έλεγχος των SAS έχει ανατεθεί στον Διαχειριστή Μετάδοσης NDM (Network Distribution Manager).

Οι SAS διαχωρίζονται σε δύο παραλλαγές: τους SAS Κορμού (Core SAS) και τους SAS Άκρων (Edge SAS). Ο SAS Κορμού είναι βελτιστοποιημένος για μετάδοση στον κορμό του δικτύου (core network). Τα χαρακτηριστικά που ενσωματώνει περιλαμβάνουν σήμανση ποιότητας (QoS Marking), αξιόπιστη μετάδοση μέσω HTTP/TCP και τους μηχανισμούς Fast Streaming και Fast Setup [87]. Ο SAS Άκρων τοποθετείται στα άκρα του δικτύου, κοντά

στους τελικούς χρήστες και τα χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν δυναμικό προγραμματισμό και δυνατότητες ελέγχου και διαμόρφωσης ροής σε συνεργασία με τον Διαμορφωτή Ροής (Transcoder).

4.1.3.3 Διαμορφωτής Ροής

Ο Διαμορφωτής Ροής (Transcoder) είναι ένας εξυπηρετητής με τη δυνατότητα να μετατρέπει μια ροή MPEG-4, κωδικοποιημένη με συγκεκριμένες παραμέτρους, σε μια καινούρια ροή με διαφορετικές παραμέτρους (συνήθως με χαμηλότερες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης). Ο Διαμορφωτής Ροής χρησιμοποιείται στην πλατφόρμα OLYMPIC για την δημιουργία ροών προσαρμοσμένων στο διαθέσιμο εύρος ζώνης των τελικών χρηστών. Οι Διαμορφωτές δέχονται μια ροή εισόδου με υψηλό εύρος ζώνης και παράγουν μία ή περισσότερες ροές εξόδου με χαμηλότερο εύρος.

Οι Διαμορφωτές τοποθετούνται στα άκρα του Δικτύου Διανομής, κοντά στους SAS Άκρων. Ο SAS ενεργοποιεί τον Διαμορφωτή όταν λαμβάνει αίτηση για κάποια ροή, από χρήστη με διαθέσιμο εύρος ζώνης χαμηλότερο του ρυθμού κωδικοποίησης της ζητούμενης ροής. Το διαθέσιμο εύρος ζώνης για κάθε χρήστη είναι μέρος του Προφίλ Χρήστη που κρατά ο Διαχειριστής Μετάδοσης (NDM). Ο Διαμορφωτής χρησιμοποιείται επίσης από τον SAS όταν διαπιστώνεται απώλεια πακέτων σε ροή προς κάποιον πελάτη. Σε αυτήν την περίπτωση, ο SAS ζητάει από τον Διαμορφωτή μια έκδοση της ροής, η οποία να απαιτεί χαμηλότερο εύρος ζώνης, και εναλλάσσει, διάφανα προς τον πελάτη, την προβληματική ροή με την καινούρια.

4.1.4 Δίκτυο Πρόσβασης και Αναπαραγωγής

Η πλατφόρμα έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι προσβάσιμη από μια πληθώρα εξοπλισμού στον τελικό χρήστη. Χρησιμοποιώντας καθιερωμένα πρότυπα, εξασφαλίστηκε η συμβατότητα με πολλές εμπορικές και ελεύθερα διατιθέμενες εφαρμογές αναπαραγωγής.

Η λίστα συμβατότητας περιλαμβάνει τις εφαρμογές QuickTime [88], Windows Media Player [89], Mpegable [90], Philips Platform 4 [91], MPEG4-IP [92], MPlayer [93], PacketVideo [94] σε λειτουργικά συστήματα Microsoft Windows, Linux και Apple MacOS. Η συμβατότητα επεκτείνεται και στις εκδόσεις των παραπάνω εφαρμογών για κινητές συσκευές όπως υπολογιστές χειρός (PDA) και κινητά τηλέφωνα.

Επίσης, για την περαιτέρω αξιοποίηση του Δικτύου Διανομής και της παρουσίας του υπερκείμενου δικτύου, αναπτύχθηκε μια ειδική εφαρμογή, που ενσωματώνει δημοφιλείς εφαρμογές αναπαραγωγής όπως QuickTime, Windows Media Player, η οποία επιτρέπει άμεση επικοινωνία του SAS με σκοπό τη βελτιστοποίηση της ποιότητας μετάδοσης.

Επιπλέον, η εισαγωγή του Διαμορφωτή Ροής στο Δίκτυο Διανομής σε συνδυασμό με τις δυνατότητες του SAS, επιτρέπει την μετάδοση μιας ροής περιεχομένου σε χρήστες με

διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης, από σταθερές συνδέσεις χωρητικότητας πολλών Mbit μέχρι δίκτυα GPRS των 40Kbps.

4.1.5 Κέντρο Μετάδοσης

Το κέντρο Μετάδοσης (Broadcasting Center) είναι το κεντρικό σημείο ελέγχου και διαχείρισης της πλατφόρμας OLYMPIC. Επίσης, αποτελεί το σημείο εισόδου για τους τελικούς χρήστες της πλατφόρμας. Αποτελείται από τρία υποσυστήματα: τον Διαχειριστή Περιεχομένου, τον Διαχειριστή Μετάδοσης και την Εφαρμογή Χρήστη.

4.1.5.1 Διαχειριστής Περιεχομένου

Ο Διαχειριστής Περιεχομένου (Content Manager) ασχολείται με τα θέματα παραγωγής και διάθεσης του περιεχομένου που προσφέρεται από την πλατφόρμα και φροντίζει την ενημέρωση του Δικτύου Διανομής και του Δικτύου Πρόσβασης για την διαθεσιμότητά του.

Από τις διασυνδέσεις (interfaces) που προσφέρει ο Διαχειριστής προγραμματίζονται οι κωδικοποιητές του Δικτύου Κωδικοποίησης και οι Εξυπηρετητές Πολυμέσων που αποτελούν την Πύλη MPEG-X στο Δίκτυο Διανομής. Όλα τα θέματα που αφορούν κωδικοποίηση, χρονοπρογραμματισμό (scheduling) και εγγραφή για μελλοντική διάθεση περιεχομένου περνάνε από τον Διαχειριστή Περιεχομένου. Τέλος, ο Διαχειριστής ενημερώνει για την διαθεσιμότητα περιεχομένου τον Διαχειριστή Μετάδοσης (που ελέγχει τη διάθεση του στο Δίκτυο Διανομής) και την Εφαρμογή Χρήστη (που το προβάλλει στους τελικούς χρήστες).

4.1.5.2 Διαχειριστής Μετάδοσης

Ο Διαχειριστής Μετάδοσης (Network Distribution Manager – NDM) διατηρεί μια μικρή βάση δεδομένων με το διαθέσιμο περιεχόμενο και το σημείο διάθεσης του (π.χ. τον Εξυπηρετητή Πολυμέσων). Ο NDM ενημερώνεται συνεχώς για αλλαγές που προκύπτουν από τον Διαχειριστή Περιεχομένου και τους SAS. Οι διασυνδέσεις (interfaces) που προσφέρει ο NDM επιτρέπουν στους διαχειριστές της πλατφόρμας να ελέγξουν τους SAS και να δημιουργήσουν τα δέντρα διανομής των διαθέσιμων ζωντανών ροών από τους Εξυπηρετητές προς τους τελικούς χρήστες.

Η διαθέσιμη πληροφορία, που φυλάσσεται στον NDM, δεν περιορίζεται μόνο στη διαθεσιμότητα περιεχομένου αλλά περιλαμβάνει στατιστικά στοιχεία για το Δίκτυο Διανομής (π.χ. απώλειες πακέτων, διακύμανση – jitter) και μετρήσεις απόδοσης (όπως υπολογιστικό φόρτο και διαθέσιμη μνήμη), πληροφορίες που αποκτώνται και ανανεώνονται περιοδικά από τους SAS.

Με βάση την αυξημένη γνώση του για το Δίκτυο Διανομής, ο NDM μπορεί να καταναίμει αυτόματα τους τελικούς χρήστες, που εισέρχονται από την Εφαρμογή Χρήστη, σε κάποιον εξυπηρετητή, είτε τον αρχικό Εξυπηρετητή Πολυμέσων είτε κάποιον SAS. Επίσης, όταν χρειάζεται, προσφέρει μέρος της διαθέσιμης πληροφορίας στους SAS ώστε να τους επιτραπεί

να δημιουργήσουν δυναμικά τα δέντρα διανομής των ροών, σχηματίζοντας το υπερκείμενο δίκτυο.

4.1.5.3 Εφαρμογή Χρήστη

Η Εφαρμογή Χρήστη (User Application) αποτελεί το σημείο εισόδου των τελικών χρηστών στην πλατφόρμα. Η Εφαρμογή Χρήστη έχει σχεδιαστεί ως εφαρμογή ιστού (web application) ώστε να εξασφαλίζεται η εύκολη πρόσβαση, ανεξάρτητα από τον τερματικό εξοπλισμό του χρήστη, και να είναι δυνατή η χρήση των υπηρεσιών που προσφέρονται με τον οικείο τρόπο της πλοήγησης στο Διαδίκτυο.

Ο χρήστης εγγράφεται στην Εφαρμογή, δηλώνει το προφίλ του (δικτυακός εξοπλισμός, γεωγραφικά στοιχεία, γλωσσική προτίμηση, κτλ.) και του παρουσιάζεται το περιεχόμενο μαζί με όλα τα διαθέσιμα στοιχεία ώστε να διευκολυνθεί στην επιλογή του. Όταν ο χρήστης επιλέξει περιεχόμενο, η Εφαρμογή Χρήστη μεταφέρει την απόφαση μαζί με το προφίλ του στον NDM, ο οποίος αποφασίζει σε ποιον εξυπηρετητή πρέπει να συνδεθεί.

4.2 Μετάδοση Περιεχομένου

Η αρχιτεκτονική υπερκείμενων δικτύου, η οποία αποτελείται από τους SAS και τον NDM, είναι το πλέον σημαντικό κομμάτι της πλατφόρμας OLYMPIC. Η αρχική ιδέα είναι εμπνευσμένη από τη λειτουργία των Content Delivery Networks (CDN). Στην απλούστερη της μορφή, ένας κεντρικός μηχανισμός (παρόμοιος με τον DNS μηχανισμό που χρησιμοποιούν τα CDN) ανακατευθύνει τους χρήστες στον κοντινότερο εξυπηρετητή που διαθέτει το ζητούμενο περιεχόμενο. Η αρχιτεκτονική υπερκείμενων δικτύων του OLYMPIC, συμπληρώνει τον βασικό αυτό μηχανισμό με ενεργούς εξυπηρετητές SAS αλλά και εφαρμογές αναπαραγωγής (Media Players) που μπορούν να βελτιώσουν την κεντρική επιλογή, μελετώντας μια σειρά παραμέτρων απόφασης. Μια πρώτη έκδοση της αρχιτεκτονικής υπάρχει στο [95].

4.2.1 Απαιτήσεις

Το σύνολο των βασικών απαιτήσεων που ακολουθήθηκε κατά τη σχεδίαση της αρχιτεκτονικής ήταν:

- Αυτό-οργάνωση

Η κατασκευή του υπερκείμενου δικτύου πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν κατανεμημένα και να είναι ανθεκτική σε δυναμικές αλλαγές στις ομάδες αποδεκτών. Επίσης, οι κόμβοι που αποτελούν το δίκτυο πρέπει να συνδέονται διάφανα στο χρήστη και χωρίς να απαιτείται η παρέμβαση του.

- Αποδοτικότητα

Τα δέντρα διανομής που δημιουργούνται πρέπει να είναι αποδοτικά τόσο ως προς την κατανάλωση δικτυακών πόρων όσο και ως προς την εφαρμογή που καλούνται να εξυπηρετήσουν. Από δικτυακής απόψεως, το υπερκείμενο δίκτυο πρέπει να εξασφαλίζει ότι η πλεονάζουσα (redundant) μετάδοση στους συνδέσμους στο φυσικό επίπεδο είναι ελάχιστη. Από την πλευρά της εφαρμογής, πρέπει να εξασφαλίζεται ότι πόροι όπως η υπολογιστική ισχύς και η μνήμη χρησιμοποιούνται με μέτρο διατηρώντας ισορροπημένη την κατανομή φόρτου (load-balancing) στους κόμβους που αποτελούν το δίκτυο μετάδοσης.

- Έλεγχος Ποιότητας

Οι κόμβοι του υπερκείμενου δικτύου πρέπει να συγκεντρώνουν μετρήσεις ποιότητας σχετικά με τις μεταδιδόμενες ροές. Οι μετρήσεις αποστέλλονται στον διαχειριστή (NDM) ώστε να ληφθούν υπόψη κατά τη διαδικασία κατασκευής και αναπροσαρμογής του δικτύου.

- Συμβατότητα και Διαλειτουργικότητα

Η πλατφόρμα πρέπει να χρησιμοποιεί διαδεδομένα πρότυπα και πρωτόκολλα για την εξασφάλιση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης συμβατότητας (compatibility) και διαλειτουργικότητας (interoperability) με υπάρχουσες λύσεις.

4.2.2 Περιγραφή

Το Δίκτυο Μετάδοσης προβλέπει την ύπαρξη σταθμών αναμετάδοσης SAS που συνεργάζονται για να δημιουργήσουν ένα υπερκείμενο δίκτυο, πάνω από το υπάρχον φυσικό δίκτυο. Το υπερκείμενο δίκτυο λειτουργεί ανεξάρτητα από το φυσικό και μπορεί να εκμεταλλευθεί τους υπάρχοντες μηχανισμούς υποστήριξης ποιότητας που μπορεί να διατίθενται στα χαμηλότερα επίπεδα. Τον έλεγχο και τη διαχείριση του υπερκείμενου δικτύου αναλαμβάνει ένας κεντρικός μηχανισμός, ο Διαχειριστής Μετάδοσης NDM.

Οι SAS διατηρούν μόνιμη σύνδεση με τον NDM. Χρησιμοποιώντας τη συγκεκριμένη σύνδεση μπορούν να ενημερώσουν για τις μετρήσεις ποιότητας μετάδοσης που διεξάγουν άλλα και να αναφέρουν τη διαθεσιμότητα πόρων όπως υπολογιστική ισχύς, μνήμη και εύρος ζώνης (fan-out). Η κύρια όμως χρήση της σύνδεσης μεταξύ SAS και NDM είναι για την ικανοποίηση αιτημάτων για λήψη ζωντανών ροών από πελάτες.

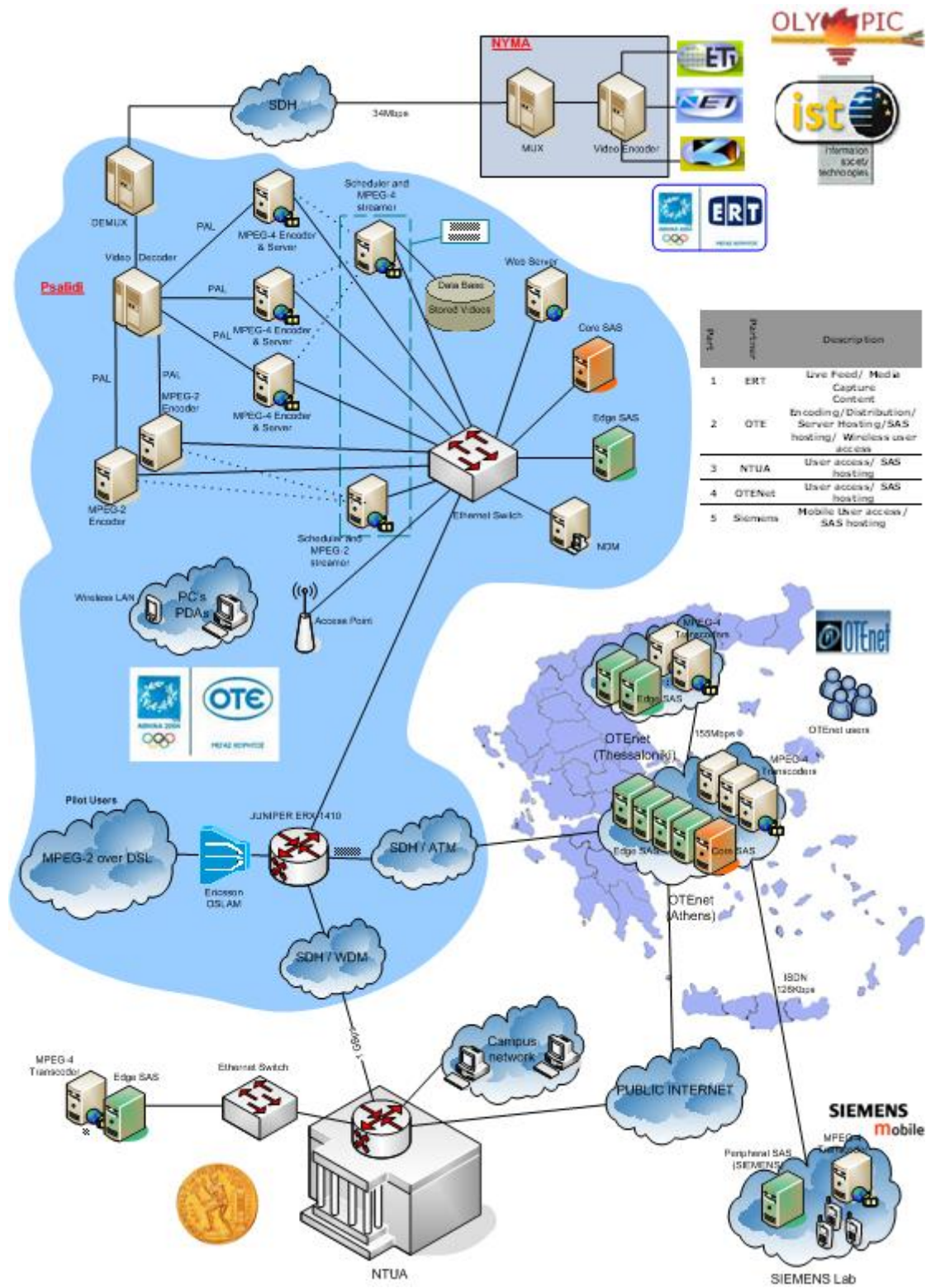
Κάθε αίτηση για ζωντανή ροή κατευθύνεται και επεξεργάζεται στον NDM. Αν η αίτηση προέρχεται από κάποιον πελάτη που δεν έχει δυνατότητες για χρήση του υπερκείμενου δικτύου (π.χ. διαθέτει κάποια εμπορική εφαρμογή αναπαραγωγή πολυμέσων), ο NDM επιλέγει κάποιον εξυπηρετητή (είτε τον αρχικό Εξυπηρετητή Πολυμέσων που διαθέτει την ζητούμενη ροή, είτε κάποιον SAS) και ανακατευθύνει τον πελάτη. Αν η αίτηση προέρχεται από κάποιον SAS ή από την ειδική εφαρμογή αναπαραγωγής που αναπτύχθηκε για τις

ανάγκες του προγράμματος, ο NDM επιστρέφει μία λίστα υποψήφιων εξυπηρετητών και αφήνει την τελική επιλογή στον πελάτη. Επειδή όλες οι αιτήσεις περιλαμβάνουν γεωγραφική πληροφορία, ο NDM μπορεί να επιστρέψει μόνο τους εξυπηρετητές που βρίσκονται κοντά στον πελάτη. Η λίστα του NDM περιλαμβάνει και άλλες πληροφορίες όπως μετρήσεις ποιότητας και διαθεσιμότητα πόρων για κάθε υποψήφιο εξυπηρετητή. Ο πελάτης που λαμβάνει τη λίστα μπορεί είτε να αποφασίσει αμέσως, με βάση τα δεδομένα που του παρουσιάζονται, είτε να βελτιστοποιήσει την απόφαση του πραγματοποιώντας πειράματα με τους υποψήφιους κόμβους όπως μετρήσεις RTT (π.χ. με κάποιο μηχανισμό ring) και εκτιμήσεις εύρους ζώνης (π.χ. με την τεχνική racket-pair). Οι παράμετροι που υπολογίζονται για την εξαγωγή της τελικής απόφασης είναι οι ίδιες που περιγράφονται και στο Κεφάλαιο 3.2.3.

4.3 Ανάπτυξη Πλατφόρμας

Για τη δοκιμή και αξιολόγηση της πλατφόρμας OLYMPIC, το πρόγραμμα οργάνωσε επιδείξεις στις οποίες συμμετείχαν πραγματικοί χρήστες με συνδέσεις ευρείας ζώνης (broadband). Με την ευκαιρία των Ολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας και εκμεταλλευόμενοι το γεγονός ότι στο πρόγραμμα συμμετείχαν τόσο ο ΟΤΕ, που παρείχε τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες στους αγώνες, όσο και η ΕΡΤ, η οποία κατείχε τα δικαιώματα αναμετάδοσης, οι επιδείξεις εκτελέστηκαν κατά το διάστημα των Ολυμπιακών και Παραολυμπιακών Αγώνων.

Στο Σχήμα 27 απεικονίζεται η πλατφόρμα των δοκιμών.



Σχήμα 27 – Σχέδιο Δοκιμών της Πλατφόρμας OLYMPIC

Στο παραπάνω σχήμα ορίζονται 5 τμήματα που καλύπτουν όλες τις λειτουργίες της πλατφόρμας, από τη σύλληψη του περιεχομένου, μέχρι την αναπαραγωγή του στους τελικούς χρήστες. Το σχέδιο των δοκιμών προβλέπει την πρόσβαση στις υπηρεσίες της πλατφόρμας

από χρήστες με ετερογενή χαρακτηριστικά όπως κινητές συσκευές σε GSM και UMTS δίκτυα, υπολογιστές γραφείου με ADSL συνδέσεις και υπολογιστές σε μισθωμένες γραμμές υψηλών ταχυτήτων.

4.3.1 Σύλληψη

Κατά τη διάρκεια των αγώνων, η ΕΡΤ κάλυπτε τους αγώνες με 3 κανάλια, παρέχοντας ζωντανό περιεχόμενο από τα στάδια μέσα και γύρω από την Αθήνα. Το περιεχόμενο συγκεντρώνονταν στο κέντρο μετάδοσης (Athens Olympic Broadcasting Center – AOB) στο Μαρούσι και από εκεί στο κέντρο διανομής του ΟΤΕ.

4.3.2 Κωδικοποίηση

Από το κέντρο διανομής του ΟΤΕ, το σήμα των τριών καναλιών περιπλέκονταν πάνω από ένα κύκλωμα ATM και μέσω μιας E3 σύνδεσης τροφοδοτούσε το ερευνητικό εργαστήριο του ΟΤΕ στο Ψαλίδι, όπου ήταν εγκατεστημένοι οι κωδικοποιητές MPEG-2 και MPEG-4.

Οι κωδικοποιητές προγραμματίζονταν από τον Διαχειριστή Περιεχομένου όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Οι παράμετροι κωδικοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Εικόνα	
Ανάλυση	QCIF
Καρέ	12.5fps
Ρυθμός	256Kbps
Ήχος	
Ρυθμός	32Kbps

Πίνακας 8 – Παράμετροι Κωδικοποίησης MPEG-4

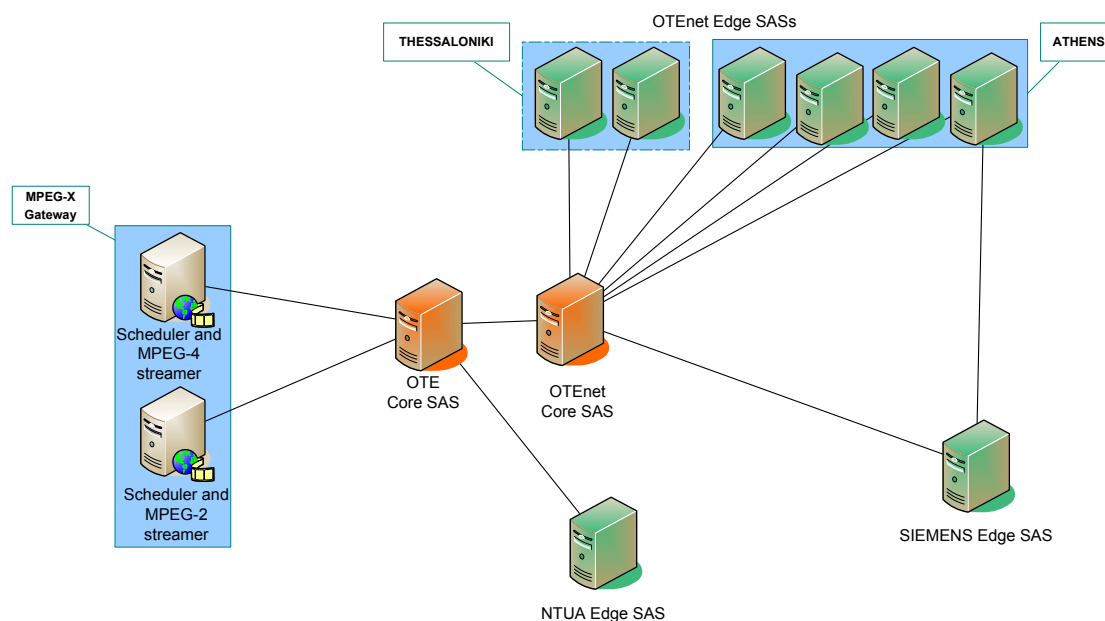
Εικόνα	
Ανάλυση	CIF
Καρέ	25fps
Εικόνα & Ήχος	
Ρυθμός	2Mbps

Πίνακας 9 – Παράμετροι Κωδικοποίησης MPEG-2

Η επιλογή της ανάλυσης QCIF και ο χαμηλός ρυθμός κωδικοποίησης του ήχου (32Kbps) για το MPEG-4 έγινε για την εξασφάλιση καλύτερων αποτελεσμάτων από τους Διαμορφωτές Ροής (Transcoders).

4.3.3 Διανομή

Το δίκτυο διανομής της πλατφόρμας, αποτελούμενο από SAS Κορμού και SAS Άκρων, απεικονίζεται στο Σχήμα 28.



Σχήμα 28 – Δίκτυο Διανομής κατά τη Διάρκεια των Δοκιμών

Το αρχικό σημείο διανομής περιεχομένου αποτελούσαν οι Πολυμεσικοί Εξυπηρετητές MPEG-4 και MPEG-2 στις εγκαταστάσεις του ΟΤΕ. Τα δίκτυα των συμμετεχόντων στις δοκιμές εταιριών και οργανισμών (ΟΤΕ, ΟΤΕnet, ΕΜΠ και Siemens) διέθεταν τοπικούς SAS για να μεταφέρουν τις διαθέσιμες ροές στους πιλοτικούς χρήστες τους.

Ο ΟΤΕ χρησιμοποίησε έναν SAS Κορμού για τους πελάτες του δικτύου του και για να παράσχει περιεχόμενο στα δίκτυα των ΟΤΕnet και ΕΜΠ. Οι χρήστες του ΟΤΕ ήταν συνδεδεμένοι είτε ενσύρματα (πάνω από Ethernet στα 100Mbps) είτε ασύρματα (πάνω από WLAN στα 54Mbps). Επίσης, στις δοκιμές συμμετείχαν και πιλοτικοί χρήστες πάνω από DSL σε κυκλώματα των 2Mbps.

Το ΕΜΠ διατηρεί μισθωμένη σύνδεση Gigabit Ethernet με τα εργαστήρια του ΟΤΕ στο Ψαλίδι. Τη διανομή περιεχομένου σε χρήστες εντός του ΕΜΠ ανέλαβε ένας SAS Άκρων που τροφοδοτούνταν από τον SAS Κορμού του ΟΤΕ, πάνω από τη Gigabit Ethernet σύνδεση. Οι χρήστες στο ΕΜΠ είχαν πρόσβαση μέσω Ethernet στα 10 και 100Mbps.

Η ΟΤΕnet επέλεξε ως πιλοτικούς χρήστες τους DSL συνδρομητές της με ταχύτητες 384, 512 και 1024Kbps. Λόγω του πλήθους των χρηστών, χρησιμοποιήθηκαν 3 SAS Άκρων (συν έναν εφεδρικό) στην Αθήνα και 1 (συν έναν εφεδρικό) στη Θεσσαλονίκη. Οι συγκεκριμένοι SAS τροφοδοτούνταν από έναν SAS Κορμού στο δίκτυο της ΟΤΕnet που συνδέονταν απευθείας με τον SAS Κορμού στον ΟΤΕ, πάνω από μισθωμένο κύκλωμα ATM στα 10Mbps.

Το εργαστήριο της Siemens στο Μιλάνο διατηρούσε ADSL σύνδεση με την OTEnet. Οι εισερχόμενες ροές διανέμονταν από έναν SAS Άκρων κυρίως σε χρήστες με κινητές συσκευές σε GPRS και UMTS δίκτυα.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών. Στον Πίνακα 10 απεικονίζονται οι κωδικοί των SAS όπως αυτοί εμφανίζονται στις μετρήσεις.

Κωδικός SAS	Περιγραφή
SAS - 82	Edge SAS στις εγκαταστάσεις της OTEnet στην Αθήνα
SAS - 84	Edge SAS στις εγκαταστάσεις της OTEnet στην Αθήνα
SAS - 86	Edge SAS στις εγκαταστάσεις της OTEnet στην Αθήνα
SAS - 34	Edge SAS στις εγκαταστάσεις της OTEnet στη Θεσσαλονίκη
SAS - 101	Edge SAS στο εργαστήριο τηλεπικοινωνιών του Ε. Μ. Π.

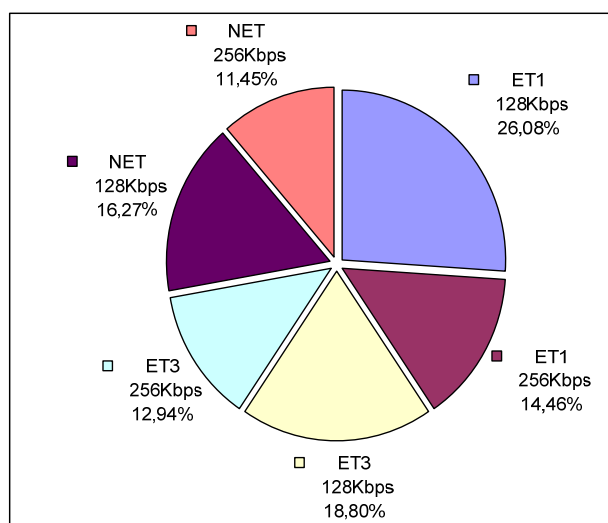
Πίνακας 10 – SAS που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις δοκιμές

4.3.4 Μετρήσεις κατά τη Διάρκεια των Ολυμπιακών Αγώνων

Τα υποσυστήματα που αποτελούν την πλατφόρμα έχουν τη δυνατότητα συγκέντρωσης διαφόρων στατιστικών στοιχείων, επιτρέποντας την ανάλυση της λειτουργίας της κατά τη διάρκεια των δοκιμών και την εξαγωγή συμπερασμάτων για τους πελάτες της και την συμπεριφορά τους.

Η μελέτη των διαθέσιμων στοιχείων από τα αρχεία καταγραφής (logs) έδειξε ότι χρήστες από 451 διαφορετικές IP διευθύνσεις είχαν πρόσβαση στην πλατφόρμα. Οι χρήστες αυτοί δημιούργησαν 3885 αιτήσεις RTSP για ροές, οι οποίες, σε ποσοστό 99,6% ήταν επιτυχημένες. Η υπόθεση ότι κάθε IP διεύθυνση αντιστοιχεί σε έναν χρήστη ισχύει για την πλειοψηφία των IP διευθύνσεων, καθώς οι περισσότερες έχουν πραγματοποιήσει λιγότερες από 70 αιτήσεις κατά τη διάρκεια των 4,5 ωρών που διήρκεσε η δοκιμή. Αντίθετα, παρατηρήθηκε ότι το 0,8% των IP διευθύνσεων ήταν υπεύθυνο για το 23% του συνόλου των αιτήσεων, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι ένα σημαντικό πλήθος χρηστών είχε πρόσβαση μέσω NAT (Network Address Translation).

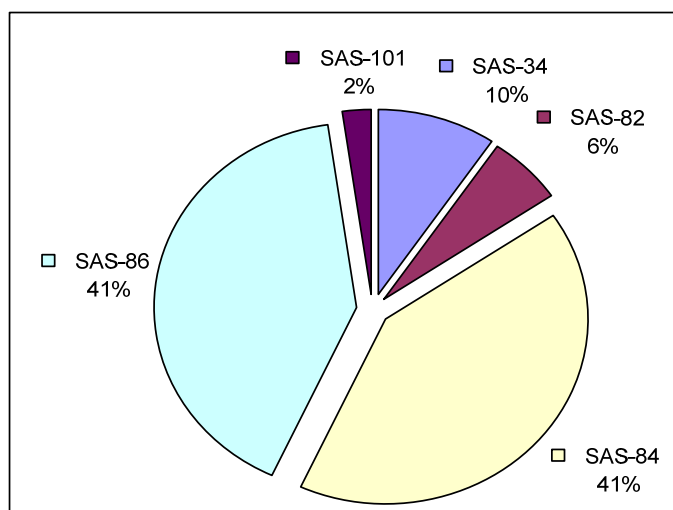
Στο Σχήμα 29 απεικονίζεται η κατανομή των αιτήσεων ανά διαθέσιμη ροή.



Σχήμα 29 – Κατανομή αιτήσεων ανά διαθέσιμη ροή

Από το παραπάνω γράφημα παρατηρούμε ότι το 60% περίπου των χρηστών αιτήθηκε για ροές με ρυθμό 128Kbps, ενώ το υπόλοιπο 40% για ροές με ρυθμό 256Kbps. Αν λάβουμε υπόψη ότι η πλατφόρμα επιλέγει αυτόματα τον ρυθμό μετάδοσης ανάλογα με το διαθέσιμο εύρος ζώνης, συμπεραίνουμε ότι το 60% ανήκει στους ADSL χρήστες της ΟΤΕnet με εύρος ζώνης 384Kbps, ενώ το υπόλοιπο 40% αντιστοιχεί στους ADSL χρήστες με εύρος ζώνης 512 και 1024Kbps και στους χρήστες από τα εσωτερικά δίκτυα του ΕΜΠ και της ΟΤΕnet.

Στο Σχήμα 30 απεικονίζεται η κατανομή των αιτήσεων ανά SAS.

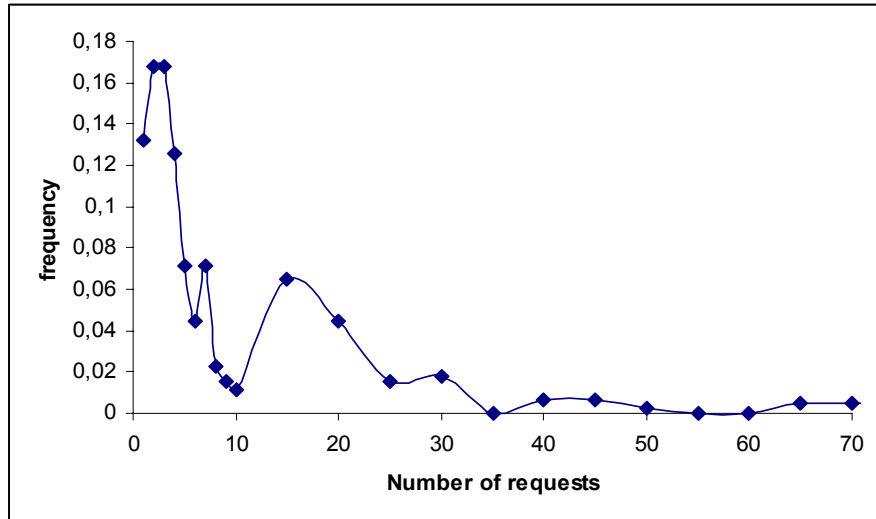


Σχήμα 30 – Κατανομή αιτήσεων ανά SAS

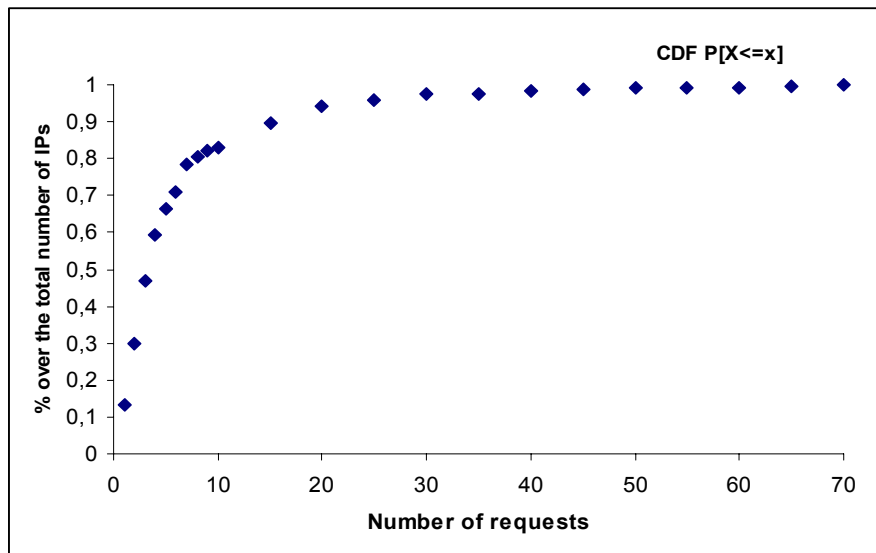
Η επιλογή του SAS γίνεται επίσης αυτόματα από την πλατφόρμα ανάλογα με την τοποθεσία του χρήστη. Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι το 88% των αιτήσεων έγινε από χρήστες της ΟΤΕnet στην Αθήνα, το 10% από χρήστες της ΟΤΕnet στη Θεσσαλονίκη και το υπόλοιπο 2% από χρήστες εντός του ΕΜΠ. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αιτήσεις των χρηστών

της OTEnet στην Αθήνα μοιράστηκαν ισομερώς από την πλατφόρμα στους δύο διαθέσιμους SAS.

Στα Σχήμα 31 και Σχήμα 31 απεικονίζεται η συχνότητα αιτήσεων ανά IP. Παρατηρούμε ότι το 60% των χρηστών πραγματοποίησε τουλάχιστον 4 αιτήσεις. Με δεδομένο ότι οι διαθέσιμες ροές ήταν 3, συμπεραίνουμε ότι η πλειοψηφία των χρηστών ζήτησε όλες τις διαθέσιμες ροές.



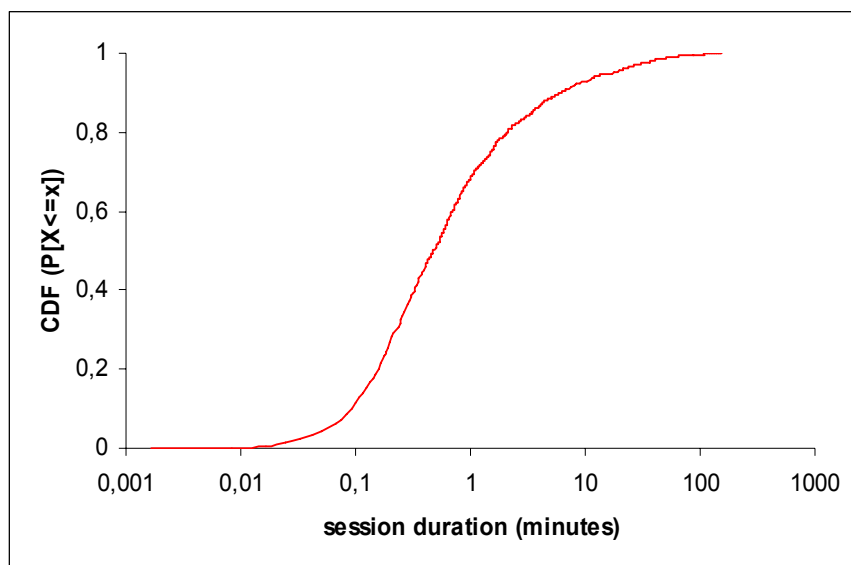
Σχήμα 31 – Συχνότητα αριθμού αιτήσεων ανά IP



Σχήμα 32 – Αθροιστική Κατανομή (CDF) συχνότητας αριθμού αιτήσεων ανά IP

Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζονται κάποια από τα στοιχεία που προέκυψαν από την ανάλυση των RTSP συνεδριών (sessions) που εξυπηρετήθηκαν από την πλατφόρμα. Ως RTSP συνεδρία ορίζουμε το χρόνο που μεσολαβεί από την RTSP αίτηση ενός πελάτη μέχρι τη χρονική στιγμή που ο εξυπηρετητής SAS λαμβάνει το RTSP μήνυμα TEARDOWN.

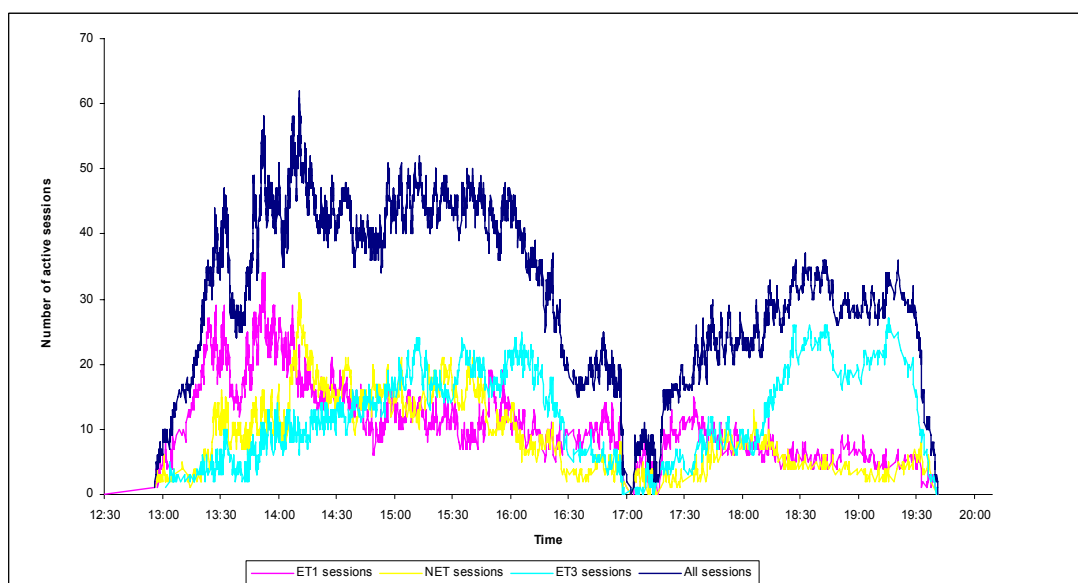
Το Σχήμα 33 απεικονίζει την αθροιστική κατανομή (CDF) της διάρκειας των συνεδριών.



Σχήμα 33 – Αθροιστική Κατανομή (CDF) της διάρκειας των συνεδριών

Παρατηρούμε ότι το 60% των συνεδριών είχαν διάρκεια μικρότερη ή ίση του ενός λεπτού. Συμπεραίνουμε ότι οι χρήστες επέδειξαν “τηλεοπτική” συμπεριφορά, μεταπηδώντας συχνά ανάμεσα στα περιεχόμενα της πλατφόρμας (zapping). Ως αντιστάθμισμα, ένα 10% των χρηστών διατήρησε συνεδρίες για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 10 λεπτών, ενώ υπήρχαν και συνεδρίες που ξεπέρασαν τη μία ώρα. Η μέση διάρκεια συνεδρίας υπολογίσθηκε στα 3,4 λεπτά.

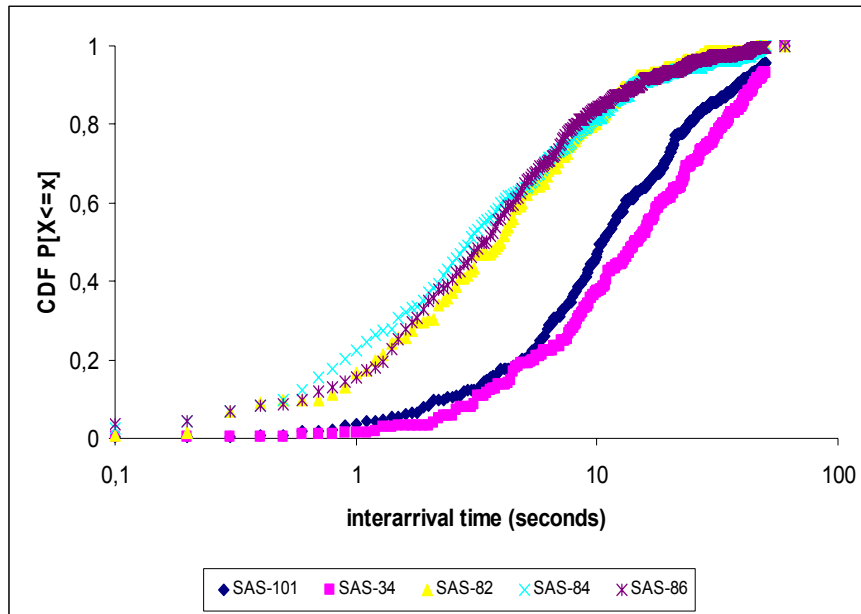
Το Σχήμα 34 απεικονίζει τον αριθμό των συνεδριών στο πεδίο του χρόνου ανά διαθέσιμο περιεχόμενο και συνολικά.



Σχήμα 34 – Αριθμός συνεδριών στο πεδίο του χρόνου

Η καμπή που παρατηρείται στον άξονα του χρόνου γύρω στις 17:00 οφείλεται σε ένα πρόβλημα δικτυακής φύσης που παρατηρήθηκε στο Κέντρο Μετάδοσης στον ΟΤΕ. Το πρόβλημα αποκαταστάθηκε άμεσα και η πλατφόρμα ανέκαμψε (όπως φαίνεται και στο διάγραμμα) αυτόματα, χωρίς χειροκίνητη παρέμβαση.

Το Σχήμα 35 απεικονίζει την αθροιστική κατανομή (CDF) του μέσου χρονικού διαστήματος που παρεμβάλλεται μεταξύ των αφίξεων πελατών και σύστασης συνεδριών (inter-arrival time).

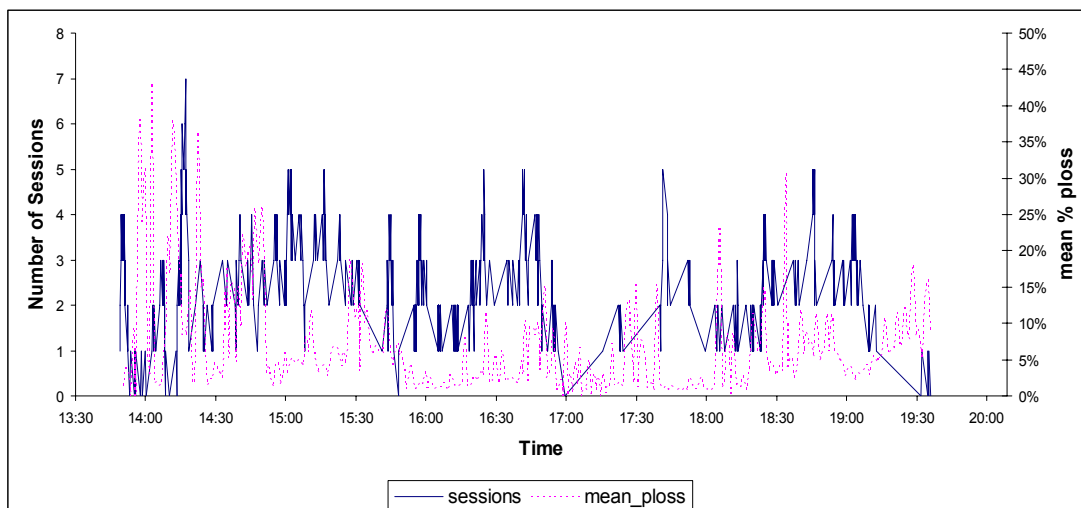


Σχήμα 35 – Αθροιστική Κατανομή (CDF) του διαστήματος μεταξύ των αφίξεων πελατών

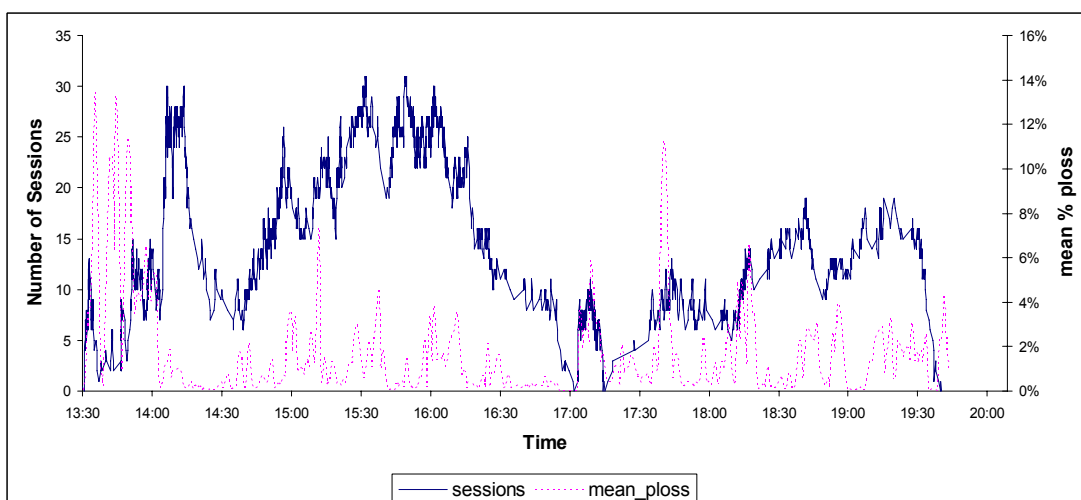
Όπως είχε διαφανεί και προηγουμένως από το Σχήμα 30, οι SAS της ΟΤΕnet στην Αθήνα κλήθηκαν να εξυπηρετήσουν τον μεγαλύτερο όγκο χρηστών της πλατφόρμας με συνέπεια ο χρόνος μεταξύ των αφίξεων να είναι πολύ μικρότερος από τον αντίστοιχο χρόνο στον SAS του ΕΜΠ και στον SAS της Θεσσαλονίκης.

Κεφάλαιο 4 – Η προσέγγιση OLYMPIC

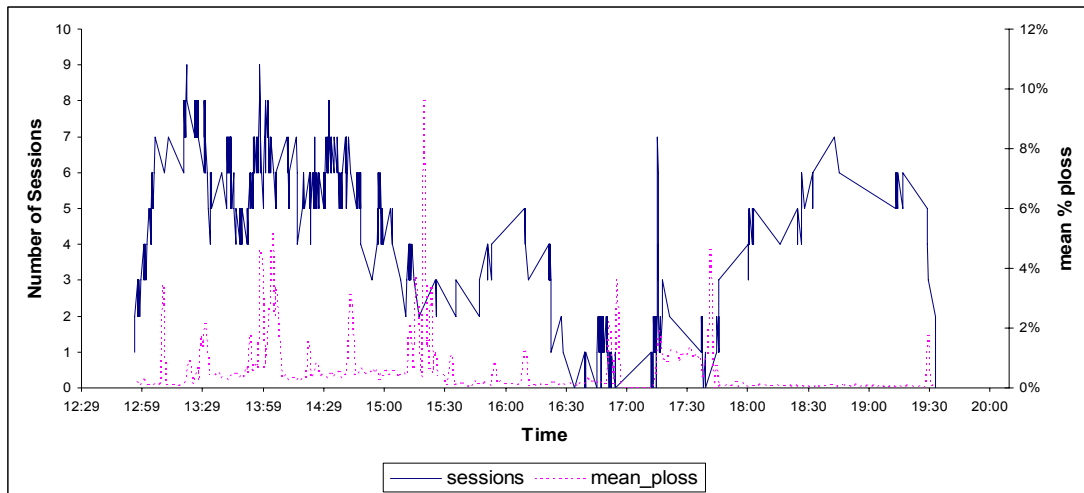
Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, οι SAS κατέγραφαν τις αναφορές RTCP που έστελναν οι πελάτες. Από την ανάλυση των αναφορών προέκυψαν τα Σχήμα 36, Σχήμα 37 και Σχήμα 38 που καταγράφουν στον άξονα του χρόνου τις μέσες απώλειες σε πακέτα των ενεργών συνεδριών. Στα σχήματα, μαζί με την καταγραφή των απωλειών, απεικονίζεται και ο αριθμός των ενεργών συνεδριών ανά χρονική στιγμή.



Σχήμα 36 – Μέση απώλεια πακέτων και πλήθος συνεδριών στο χρόνο για SAS Θεσσαλονίκης



Σχήμα 37 – Μέση απώλεια πακέτων και πλήθος συνεδριών στο χρόνο για SAS Αθήνας



Σχήμα 38 – Μέση απώλεια πακέτων και πλήθος συνεδριών στο χρόνο για SAS EMPI

Από την μελέτη των παραπάνω διαγραμμάτων προκύπτει ότι οι μέσες απώλειες που παρατηρούνται δεν παρουσιάζουν κάποια συσχέτιση με τον αριθμό των συνεδριών. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι απώλειες προκύπτουν από εξωγενή αίτια (π.χ. δικτυακό φόρτο) και δεν προκαλούνται από αδυναμία της πλατφόρμας να εξυπηρετήσει τους χρήστες της.

4.3.5 Μετρήσεις κατά τη Διάρκεια των Παραολυμπιακών Αγώνων

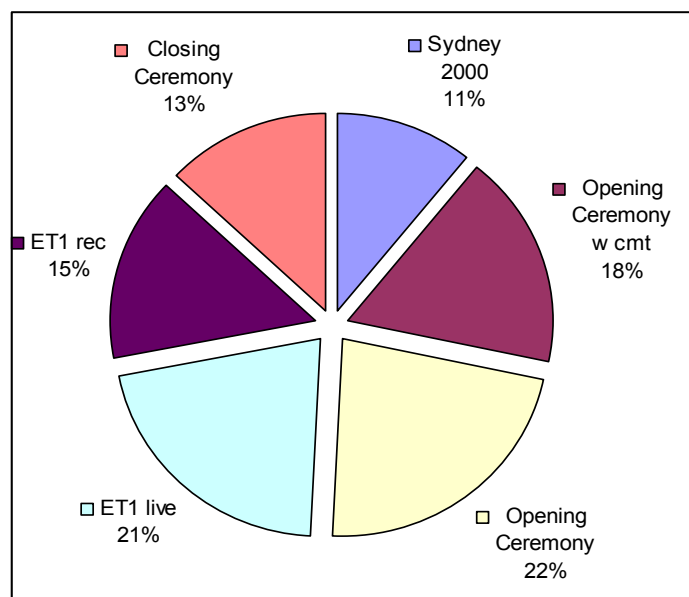
Κατά τη διάρκεια των Παραολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας, έλαβαν χώρα μία ακόμα σειρά δοκιμών. Οι συγκεκριμένες δοκιμές εκτελέστηκαν για σύντομο χρονικό διάστημα ανά μέρα, σε σχέση με τις αντίστοιχες για τους Ολυμπιακούς Αγώνες, αλλά επεκτάθηκαν σε 3 μέρες, από 22-24 Σεπτεμβρίου, 2004. Οι ομάδες χρηστών που συμμετείχαν περιλάμβαναν χρήστες από το EMPI, ADSL συνδρομητές της OTEnet και χρήστες με κινητές συσκευές στα εργαστήρια της Siemens στο Μιλάνο.

Οι συγκεκριμένες δοκιμών, εκτός από τη ζωντανή μετάδοση των αγώνων, περιλάμβανε και την χρήση προγεγραμμένου υλικού που χρονοπρογραμματίστηκε και διατέθηκε στους χρήστες της πλατφόρμας ως near-VoD περιεχόμενο. Το προγεγραμμένο περιεχόμενο περιλάμβανε τις Τελετές Έναρξης και Λήξης των Ολυμπιακών Αγώνων, επιλεγμένο υλικό από τους Παραολυμπιακούς Αγώνες του Σύνδνεϋ και, ξεκινώντας από τη 2^η μέρα των δοκιμών, επιλεγμένα στιγμιότυπα από την προηγούμενη μέρα. Για την εγγραφή, τον προγραμματισμό και την διάθεση του near-VoD περιεχομένου χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά εφαρμογές και εργαλεία που είχαν αναπτυχθεί στα πλαίσια του προγράμματος OLYMPIC.

Οι μετρήσεις στηρίχθηκαν, όπως και προηγουμένως, στα αρχεία καταγραφής των SAS. Επίσης, σε συγκεκριμένα μηχανήματα καταγράφηκε ο υπολογιστικός φόρτος (φόρτος επεξεργαστή και χρήση μνήμης) με σκοπό την αξιολόγηση των επιδόσεων της υλοποίησης.

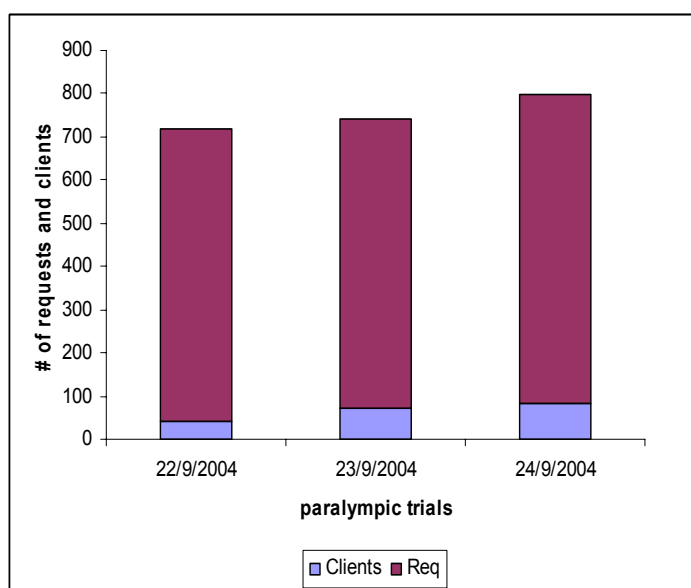
Κεφάλαιο 4 – Η προσέγγιση OLYMPIC

Στο Σχήμα 39 απεικονίζεται η δημοτικότητα των προσφερόμενων ροών στους χρήστες. Παρατηρούμε ότι οι προτιμήσεις είναι μοιρασμένες σχεδόν ισομερώς.



Σχήμα 39 – Ποσοστό δημοτικότητας των ροών στο σύνολο των αιτήσεις

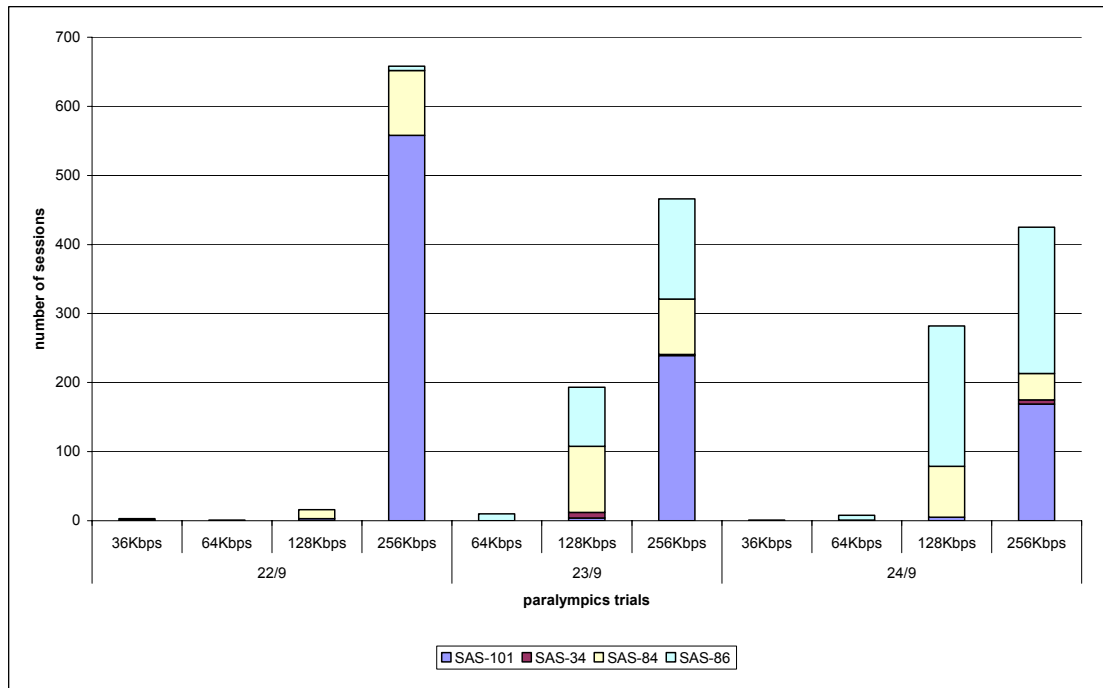
Στο Σχήμα 40 απεικονίζεται ο αριθμός των πελατών (όπως προκύπτει από την ανάλυση των IP διευθύνσεων) και το σύνολο των αιτήσεων που υποβλήθηκαν ανά μέρα δοκιμής.



Σχήμα 40 – Αριθμός χρηστών και σύνολο αιτήσεων ανά μέρα δοκιμής

Παρατηρώντας το σύνολο των αιτήσεων σε σχέση με τον αριθμό των χρηστών, συμπεραίνουμε ότι και εδώ, όπως και στις δοκιμές κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών Αγώνων, οι χρήστες επιδεικνύουν τηλεοπτική συμπεριφορά, μεταπηδώντας συνεχώς ανάμεσα στα περιεχόμενα της πλατφόρμας.

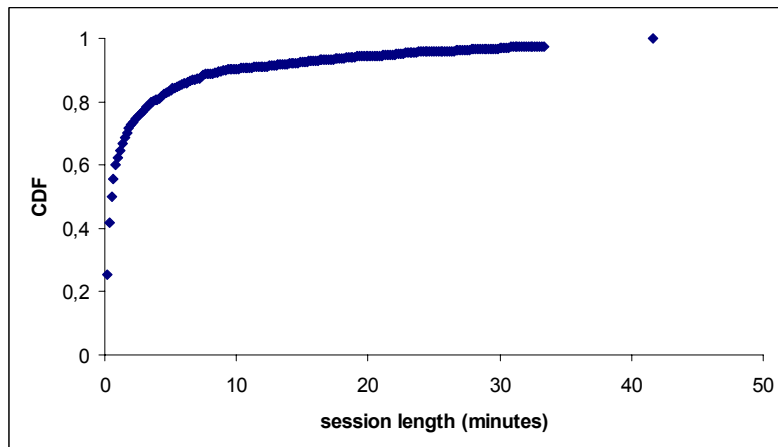
Στο Σχήμα 41 απεικονίζεται, για κάθε μία από τις μέρες που διήρκεσαν οι δοκιμές, ο αριθμός των αιτήσεων ανά διαθέσιμο ρυθμό κωδικοποίησης καθώς και ο SAS που ικανοποίησε την αίτηση.



Σχήμα 41 – Κατανομή αιτήσεων ανά ρυθμό κωδικοποίησης και SAS ανά μέρα δοκιμής

Την πρώτη μέρα των δοκιμών, όπου συμμετείχαν μόνο χρήστες από το ΕΜΠ, παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των αιτήσεων αφορά τον μέγιστο ρυθμό κωδικοποίησης (256kbps). Τις υπόλοιπες μέρες, όπου τον κύριο όγκο των χρηστών αποτελούσαν ADSL συνδρομητές, οι αιτήσεις για χαμηλότερους ρυθμούς (128Kbps) είναι περισσότερες. Τέλος, οι αιτήσεις για πολύ χαμηλούς ρυθμούς (36 και 64Kbps) χρεώνονται κυρίως στους κινητούς χρήστες από το εργαστήριο της Siemens με GPRS ως δίκτυο πρόσβασης.

Το Σχήμα 42 απεικονίζει την αθροιστική κατανομή (CDF) της διάρκειας των συνεδριών κατά τη διάρκεια των δοκιμών.

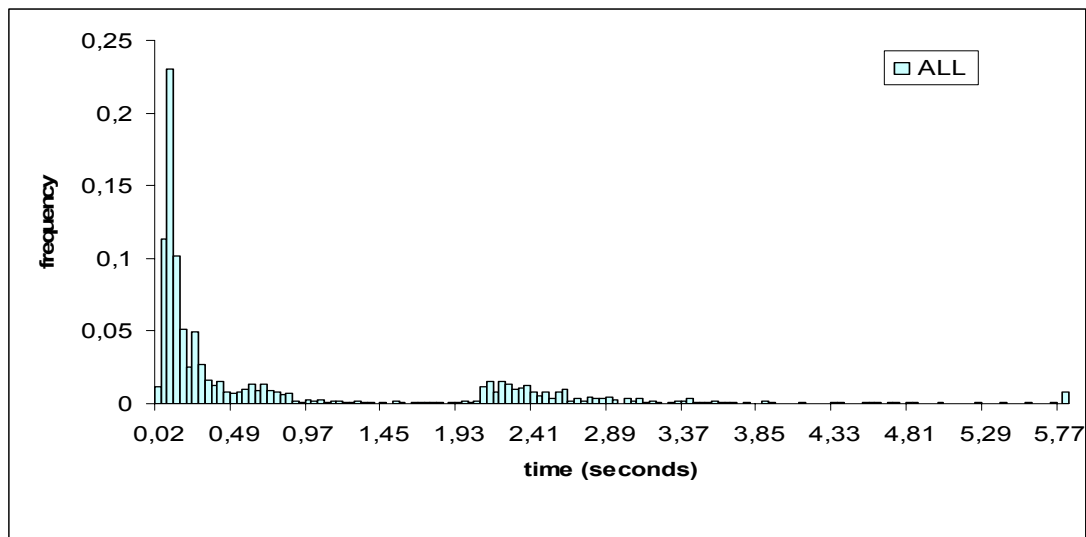


Σχήμα 42 – Αθροιστική Κατανομή (CDF) της διάρκειας των συνεδριών

Κεφάλαιο 4 – Η προσέγγιση OLYMPIC

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η συνεχής εναλλαγή περιεχομένου από τους χρήστες είχε ως αποτέλεσμα η πλειοψηφία των συνεδριών να έχει πολύ μικρή διάρκεια.

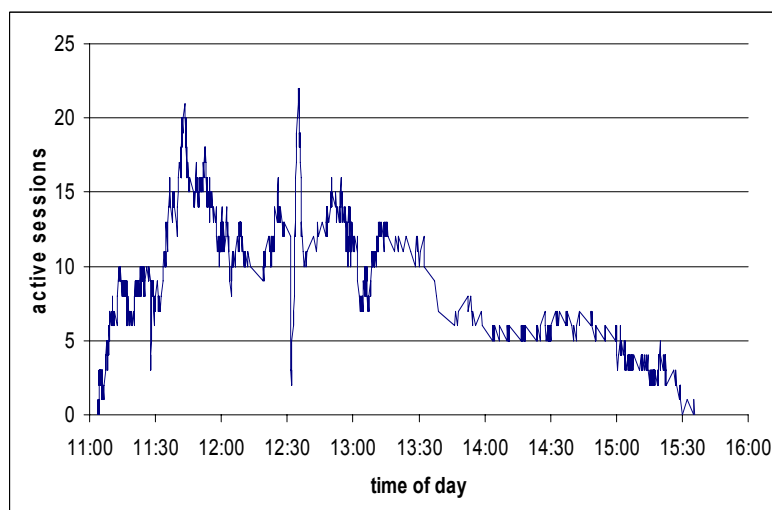
Το Σχήμα 43 απεικονίζει την κατανομή του χρόνου ικανοποίησης κάθε RTSP αίτησης (από το μήνυμα DESCRIBE μέχρι το μήνυμα PLAY).



Σχήμα 43 – Χρόνος ικανοποίησης RTSP αίτησης για όλες τις μέρες δοκιμών

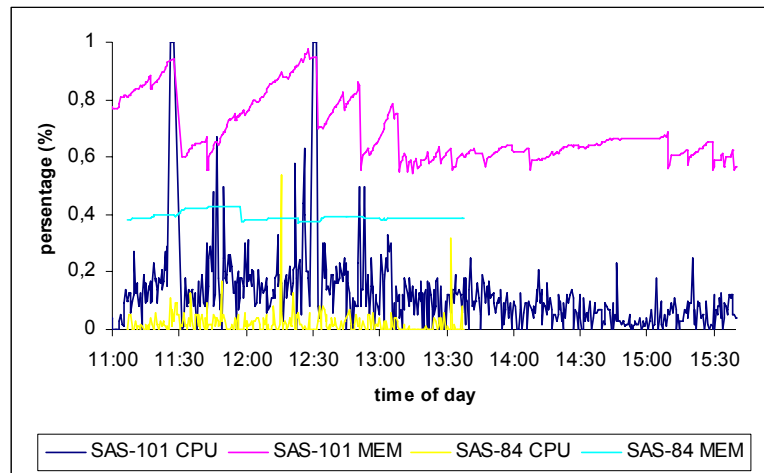
Όπως προκύπτει, η πλειοψηφία των χρηστών ικανοποιείται σε χρόνο μικρότερο του 0,5sec.

Το Σχήμα 44 απεικονίζει τον αριθμό των συνεδριών κατά τη διάρκεια της πρώτης μέρας των δοκιμών (22/9).



Σχήμα 44 – Αριθμός συνεδριών κατά τη διάρκεια της ημέρας (22/9)

Κατά τη διάρκεια της ίδιας μέρας, το Σχήμα 45 απεικονίζει τον φόρτο του επεξεργαστή και την κατανάλωση μνήμης στους SAS με το μεγαλύτερη συμμετοχή τη συγκεκριμένη μέρα, τον SAS του ΕΜΠ και τον έναν από τους δύο SAS της ΟΤΕnet στην Αθήνα.



Σχήμα 45 – Φόρτος Επεξεργαστή και Κατανάλωση Μνήμης

4.4 Ανασκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν:

- Η αρχιτεκτονική της πλατφόρμας OLYMPIC

Περιγράφεται η γενική αρχιτεκτονική που σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε για την υλοποίηση της πλατφόρμας. Παρουσιάζονται τα υποσυστήματα που υλοποιούν τις λειτουργίες σε όλα τα εμπλεκόμενα στάδια, από την κωδικοποίηση και παραγωγή του περιεχομένου, τη διανομή και τον έλεγχο της μετάδοσης, μέχρι την πρόσβαση και την αναπαραγωγή στους τελικούς χρήστες.

- Οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για τη μετάδοση του περιεχομένου

Περιγράφονται οι ανάγκες που κλήθηκε να ικανοποιήσει η πλατφόρμα και πώς αυτές αντιμετωπίστηκαν από την υλοποίηση στο κρίσιμο στάδιο της διανομής του περιεχομένου με χρήση των τεχνικών που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

- Η πρακτική ανάπτυξη και χρήση της πλατφόρμας κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών και Παραολυμπιακών Αγώνων

Περιγράφονται οι δοκιμές που έγιναν σε πραγματικές συνθήκες και με συμμετοχή αληθινών χρηστών κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών και Παραολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας το 2004. Η περιγραφή συμπληρώνεται με μετρήσεις και συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά των χρηστών και την αποτελεσματικότητα της πλατφόρμας.

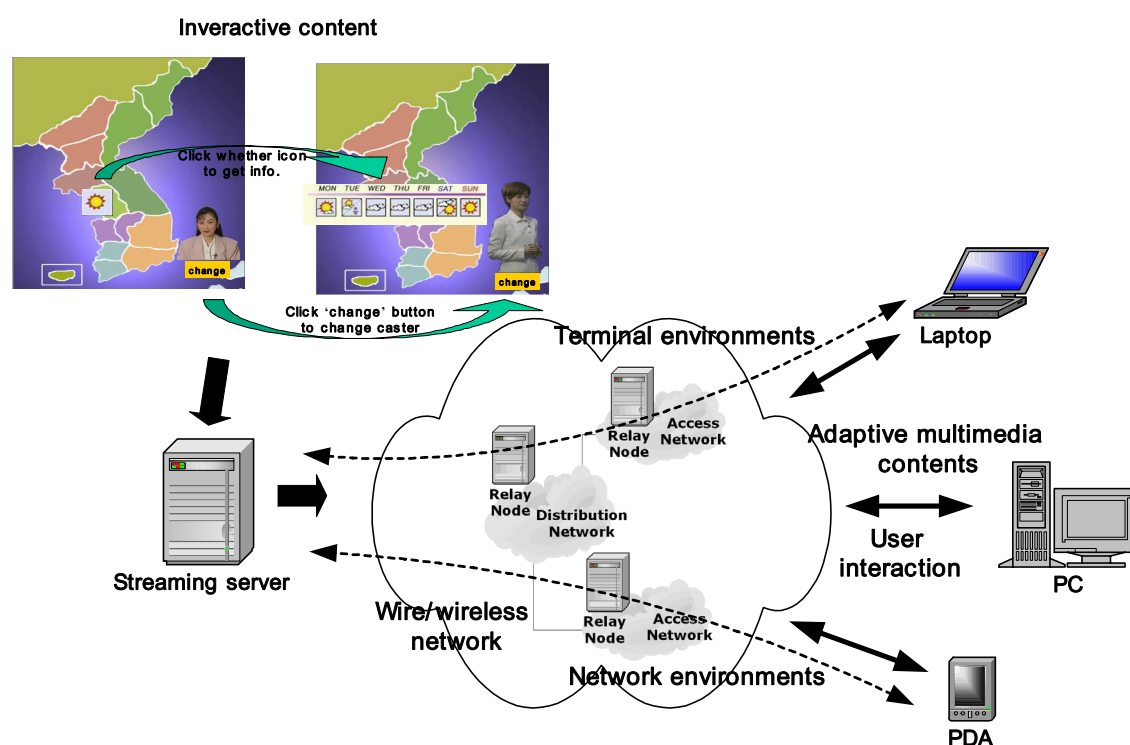
4.5 Αναφορές

- [84] IST-2000-30046, Olympics Multimedia Personalised for the Internet Community (OLYMPIC), <http://olympic.sema.es>.
- [85] D. Hoffman et al, “RTP Payload Format for MPEG1/MPEG2 Video”, RFC2250, Internet Engineering Task Force, January 1998.
- [86] ISMA, Internet Streaming Media Alliance, <http://www.isma.tv/>.
- [87] J. Monteiro, M. Nunes, “An Overlay Architecture for Live Video Distribution over Heterogeneous IP Networks”, IEEE Conference Packet Video 2003 (PV 2003), Nantes, France, April 2003.
- [88] Apple Computer, Inc., QuickTime Player, <http://www.apple.com/quicktime/products/qt/>.
- [89] Microsoft Corporation, Windows Media Player, <http://www.microsoft.com/windows/windowsmedia/default.aspx>.
- [90] Ducas Digital Image Coding GmbH, Mpegable, <http://www.mpegable.com>.
- [91] Philips Electronics N. V., Philips Platform 4, <http://www.software.philips.com/mp4net/>.
- [92] MPEG4-IP, <http://www.mpeg4ip.net/>.
- [93] MPlayer, <http://www.mplayerhq.hu/>.
- [94] PacketVideo Corporation, <http://www.pv.com/>.
- [95] Ch. Z. Patrikakis, Y. Despotopoulos, A. M. Rompotis, N. Minogiannis, A. L. Lambiris, A. D. Salis, “An Implementation of an Overlay Network Architecture Scheme for Streaming Media Distribution”, EUROMICRO 2003 Conference.

5. Η προσέγγιση ISMuS

Το πρόγραμμα ISMuS αποτελεί μια διεθνής συνεργασία μεταξύ του ερευνητικού ινστιτούτου ETRI¹ από τη Ν. Κορέα, του ΕΜΠ και του πανεπιστημίου UCLA² από τις ΗΠΑ.

Σκοπός του προγράμματος είναι ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη μιας πλατφόρμας παροχής πολυμεσικού περιεχομένου μέσω του Διαδικτύου που να υποστηρίζει διαδραστικότητα (interactivity) με το χρήστη και να ενσωματώνει μηχανισμούς εξασφάλισης ποιότητας. Η διαδραστικότητα υποστηρίζεται μέσω της υιοθέτησης του προτύπου MPEG-4. Εκτός από τη διαδραστικότητα, το MPEG-4 συνεισφέρει και στον στόχο της ποιότητας καθώς η πλατφόρμα χρησιμοποιεί τις τεχνικές προσαρμόσιμης κωδικοποίησης που προβλέπει το πρότυπο. Επιπλέον, η εξασφάλιση της ποιότητας υποστηρίζεται με την ανάπτυξη ενός υπερκείμενου δικτύου ανάμεσα στους εξυπηρετητές πολυμέσων και τους τελικούς χρήστες. Στο Σχήμα 46 απεικονίζεται η πλατφόρμα.



Σχήμα 46 – Απεικόνιση της πλατφόρμας ISMuS

Μια περιορισμένη παρουσίαση της πλατφόρμας μπορεί να βρεθεί στο [102].

¹ Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), <http://www.etri.re.kr/>.

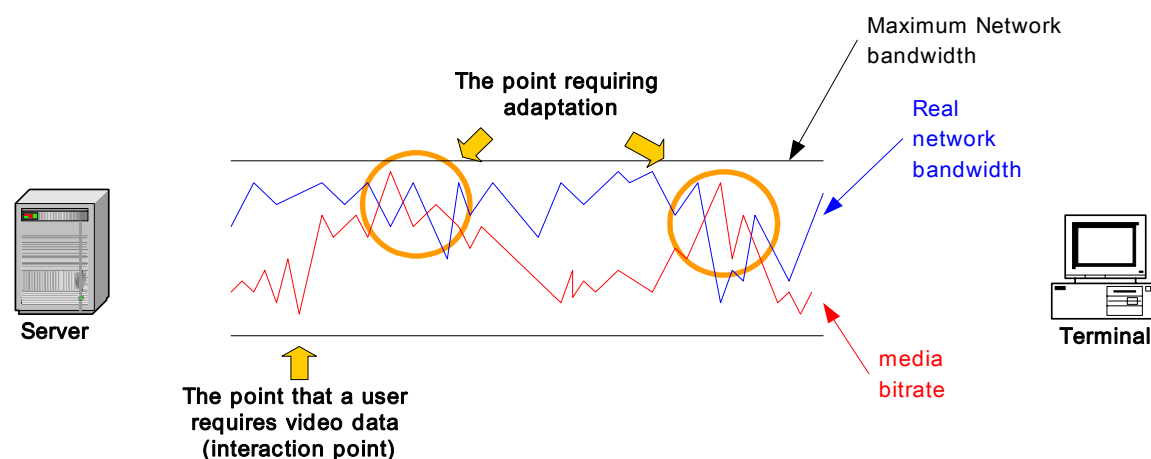
² UCLA Electrical Engineering Department, <http://www.ee.ucla.edu/>,

5.1 Αρχιτεκτονική

5.1.1 Γενικά

Όπως έχει αναφερθεί, το πρότυπο MPEG-4 και τα παράγωγα του προβλέπεται να αποτελέσουν τη κυρίαρχη βάση για τις πολυμεσικές εφαρμογές που θα αναπτυχθούν στο προσεχές μέλλον. Η βελτιστοποίηση του προτύπου για μετάδοση περιεχομένου με χαμηλές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, το καθιστά κατάλληλο για χρήση στο Διαδίκτυο αλλά και στις νέες υπηρεσίες που αναπτύσσονται για κινητά περιβάλλοντα. Η πλατφόρμα ISMuS υιοθετεί πλήρως το MPEG-4, παρέχοντας υποστήριξη και για τα προηγμένα χαρακτηριστικά του, τη σύνθεση σκηνών (scene composition) και τη διαδραστικότητα με το χρήστη.

Η υποστήριξη των παραπάνω δυνατοτήτων του προτύπου, σε συνδυασμό με την απαίτηση της μετάδοσης με ποιότητα υπηρεσίας στους χρήστες, παρουσιάζει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα από τις διαδεδομένες προσεγγίσεις όπως φαίνεται και στο Σχήμα 47.



Σχήμα 47 – Μετάδοση διαδραστικού περιεχομένου με προσαρμόσιμη κωδικοποίηση

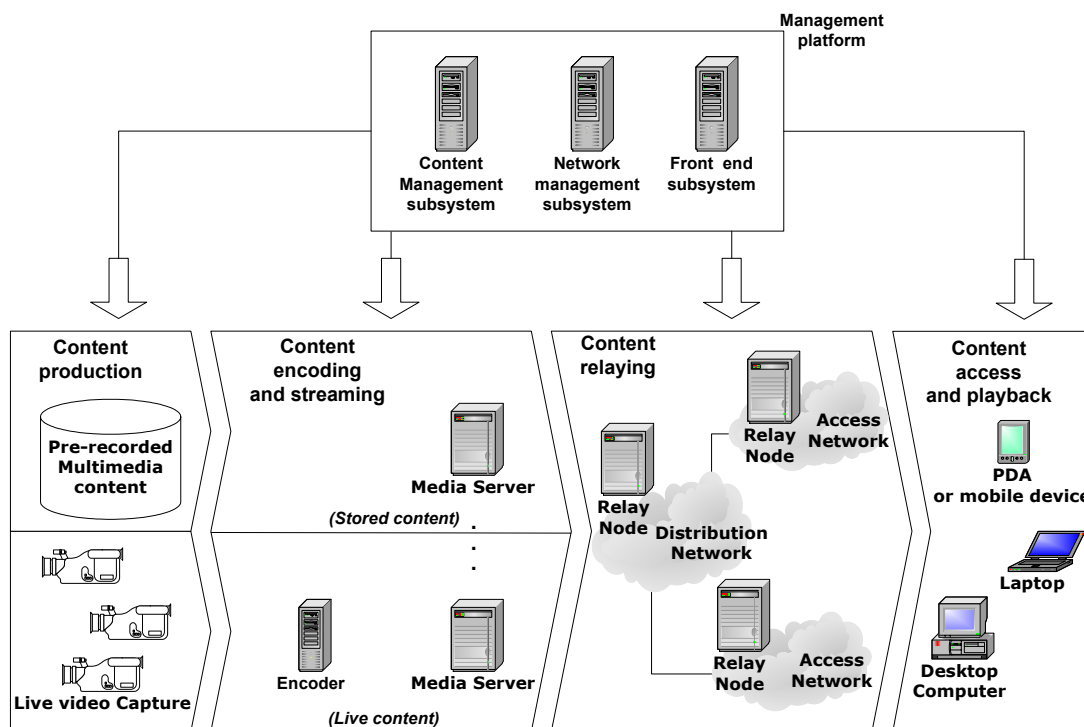
Το παραπάνω σχήμα απεικονίζει τις απαιτήσεις σε εύρος ζώνης για μια υποθετική πολυμεσική ροή MPEG-4 και το διαθέσιμο εύρος ζώνης στον άξονα του χρόνου. Εκτός από τις διακυμάνσεις της διαθέσιμης χωρητικότητας λόγω εξωτερικών παραγόντων (π.χ. συμφόρηση), οι δυνατότητες για σύνθεση σκηνής και διαδραστικότητα από το χρήστη μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά το απαιτούμενο εύρος ζώνης.

Η πλατφόρμα ISMuS αντιμετωπίζει τα παραπάνω σε δύο στάδια. Τα πρώτο στάδιο είναι το στάδιο της κωδικοποίησης του περιεχομένου, το οποίο γίνεται με τις τεχνικές της προσαρμόσιμης κωδικοποίησης όπως αυτή προβλέπεται από το πρότυπο MPEG-4. Το δεύτερο στάδιο είναι το στάδιο της μετάδοσης όπου το δίκτυο διανομής ανιχνεύει προβλήματα στη μετάδοση και αναλαμβάνει να προσαρμόσει δυναμικά το απαιτούμενο εύρος ζώνης.

5.1.2 Δίκτυο Διανομής / Μετάδοση

Το Δίκτυο Διανομής της πλατφόρμας ISMuS στηρίζεται στην ανάπτυξη ενός υπερκείμενου δικτύου ανάμεσα στους εξυπηρετητές πολυμέσων και τους τελικούς χρήστες. Το υπερκείμενο δίκτυο συμβάλλει στην αποδοτικότερη δρομολόγηση του πολυμεσικού περιεχομένου με την κατασκευή βέλτιστων δέντρων διανομής και εξοικονομεί δικτυακούς πόρους. Οι κόμβοι που αποτελούν το υπερκείμενο δίκτυο συμμετέχουν ενεργά στη μετάδοση, συλλέγοντας πληροφορίες για την προσφερόμενη ποιότητα υπηρεσίας και παρεμβαίνοντας στα χαρακτηριστικά των μεταδιδόμενων ροών για να ανταποκριθούν στην ετερογένεια των χρηστών και τυχόν προβλήματα (π.χ. συμφόρηση) που μπορεί να προκύψουν.

Το Δίκτυο Διανομής απεικονίζεται στο Σχήμα 48.



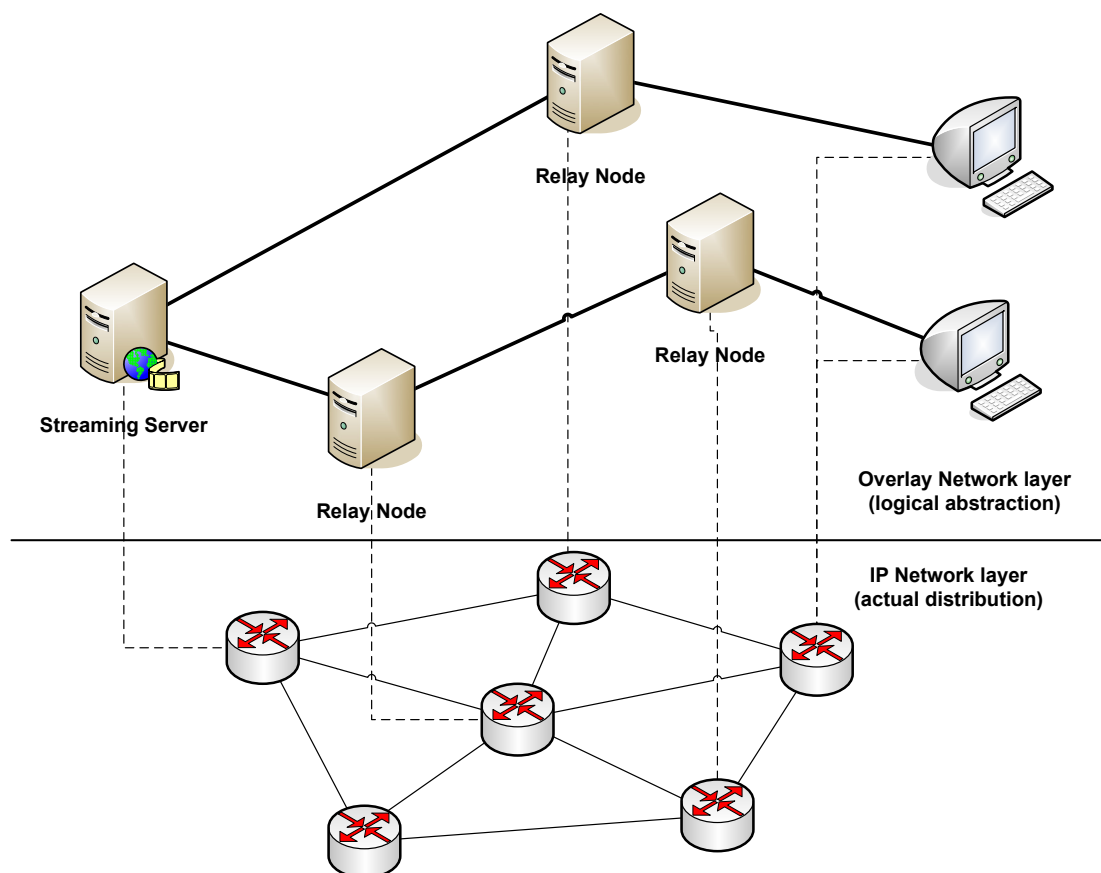
Σχήμα 48 – Δίκτυο Διανομής της πλατφόρμας ISMuS

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, οι κόμβοι του υπερκείμενου δικτύου επικοινωνούν με το Κέντρο Ελέγχου της πλατφόρμας που έχει υπό την εποπτεία του όλα τα υποσυστήματα της πλατφόρμας. Το Κέντρο Ελέγχου, το οποίο επιτηρεί όλα τα στάδια παραγωγής και διάθεσης του περιεχομένου, ενημερώνει το υπερκείμενο δίκτυο για τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε πολυμεσικής ροής (παράμετροι κωδικοποίησης, δυνατότητες αλληλεπίδρασης) ώστε να είναι δυνατή η δυναμική προσαρμογή τους στα χαρακτηριστικά του τελικού χρήστη και στην κατάσταση του δικτύου μετάδοσης.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα στοιχεία που απαρτίζουν το δίκτυο διανομής: ο εξυπηρετητής πολυμέσων (Streaming Server), οι σταθμοί αναμετάδοσης (Relay Nodes), η

εφαρμογή του τελικού χρήστη (End-user Application) και ο διαχειριστής μετάδοσης (Network Distribution Manager).

Το Σχήμα 49 απεικονίζει ένα ιδεατό υπερκείμενο δίκτυο.



Σχήμα 49 – Ανάπτυξη του υπερκείμενου δικτύου

Το υπερκείμενο δίκτυο είναι διαφανές τόσο στην ανάπτυξη του πάνω από το φυσικό δικτυακό εξοπλισμό όσο και σε στοιχεία της πλατφόρμας όπως οι εξυπηρετητές πολυμέσων και η εφαρμογή των χρηστών.

5.1.2.1 Στοιχεία Υλοποίησης

Στους στόχους που τέθηκαν κατά τη σχεδίαση της πλατφόρμας συμπεριλαμβανόταν η συμβατότητα με τις υπάρχουσες, στηριγμένες στο MPEG-4, προτάσεις. Η πλατφόρμα έπρεπε να είναι εκμεταλλεύσιμη και ικανή να συνεργαστεί με τις λύσεις που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 2.4. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκαν τα πρωτόκολλα RTP/RTCP για τη μετάδοση των δεδομένων και το RTSP για τον έλεγχο των συνεδριών.

Όπως έχει αναφερθεί, τα προηγμένα χαρακτηριστικά του MPEG-4, η διαδραστικότητα με το χρήστη και η χρήση προσαρμόσιμης κωδικοποίησης, δεν υποστηρίζονται από τις διαδεδομένες εμπορικές λύσεις. Στα πλαίσια του ISMuS, αναπτύχθηκε ξεχωριστή εφαρμογή αναπαραγωγής MPEG-4 περιεχομένου, βασισμένη στην υλοποίηση αναφοράς που περιγράφεται στο τμήμα 5 του προτύπου. Τα προηγμένα χαρακτηριστικά της πλατφόρμας,

ενεργοποιούνται μόνο όταν ανιχνεύεται η χρήση της συγκεκριμένης εφαρμογής από τον πελάτη.

- RTP/RTCP

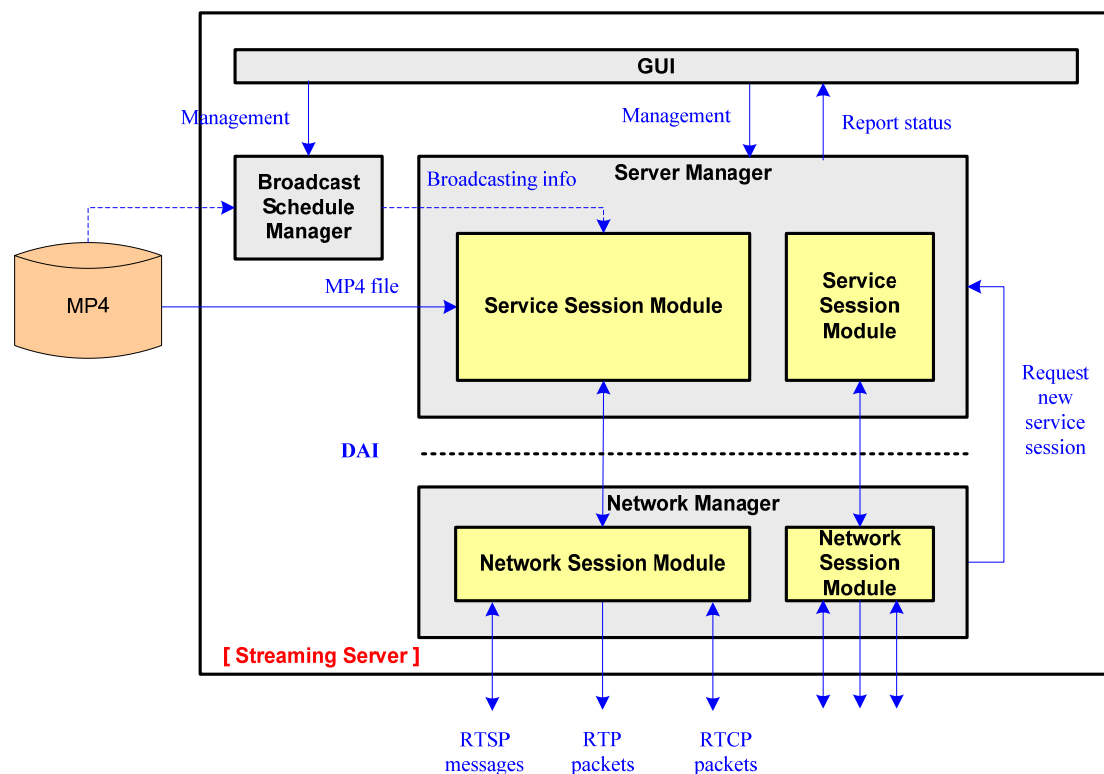
Οι στοιχειώδεις ροές (elementary streams) τακτοποιούνται σε πακέτα RTP προς μετάδοση σύμφωνα με το RFC 3640 [96]. Στο [96] περιγράφεται μια γενική μέθοδος παραγωγής RTP πακέτων από στοιχειώδεις ροές MPEG-4.

- Αντιστοίχιση DMIF με RTSP

Ο εξυπηρετητής πολυμέσων και η εφαρμογή πελάτη χρησιμοποιούν εσωτερικά το DMIF για την διαμόρφωση και τον έλεγχο της διανομής του περιεχομένου, όπως προβλέπεται από το πρότυπο του MPEG-4. Όπως έχει αναφερθεί, το DMIF δεν προβλέπει τον τρόπο με τον οποίο οι λειτουργίες του μεταφράζονται στο δίκτυο μετάδοσης. Στην υλοποίηση της πλατφόρμας επιλέχθηκε το πρωτόκολλο RTSP για να ενώσει το κενό που δημιουργείται ανάμεσα στο επίπεδο της εφαρμογής και το επίπεδο δικτύου. Η αντιστοίχιση του DMIF στο RTSP έγινε με τις εντολές DESCRIBE, SETUP, PLAY για τις βασικές λειτουργίες, ενώ οι προηγμένες λειτουργίες (π.χ. διαδραστικότητα) υλοποιήθηκαν μέσω των GET_PARAMETER και SET_PARAMETER που το περιεχόμενό τους δεν ορίζεται από το πρωτόκολλο αλλά ερμηνεύεται ανά εφαρμογή. Ως αποτέλεσμα, η πλατφόρμα παρέμεινε συμβατή με τις υπάρχουσες λύσεις για τις βασικές λειτουργίες, ενώ οι επιπλέον υπηρεσίες ενεργοποιούνται μόνο με την ύπαρξη της εφαρμογής πελάτη ISMuS που μπορεί να αποκωδικοποιήσει σωστά τις επιπρόσθετες εντολές.

5.1.2.2 Εξυπηρετητής Πολυμέσων

Η αρχιτεκτονική σχεδίαση του εξυπηρετητή πολυμέσων απεικονίζεται στο Σχήμα 50.



Σχήμα 50 – Αρχιτεκτονική του Εξυπηρετητή Πολυμέσων

Τα κυρίως μέρη του εξυπηρετητή πολυμέσων είναι ο Διαχειριστής Εξυπηρετητή (Server Manager) και ο Διαχειριστής Δικτύου (Network Manager). Τα δύο αυτά μέρη αντιστοιχούν στα βασικά μέρη που ορίζονται από το πρότυπο MPEG-4, το Επίπεδο Συγχρονισμού (Sync Layer) όπου εκτελούνται η χρονοσφράγιση και ο συγχρονισμός και το Επίπεδο Μετάδοσης (Delivery Layer) όπου εκτελείται η μετάδοση του περιεχομένου. Η διασύνδεση ανάμεσα στα δύο μέρη είναι, όπως ορίζεται από το MPEG-4, το πρωτόκολλο DAI (DMIF Application Interface).

Η κύρια λειτουργία του Διαχειριστή Εξυπηρετητή είναι η ανάλυση του ζητούμενου MPEG-4 περιεχομένου και η παραγωγή πακέτων στο Επίπεδο Συγχρονισμού για μετάδοση.

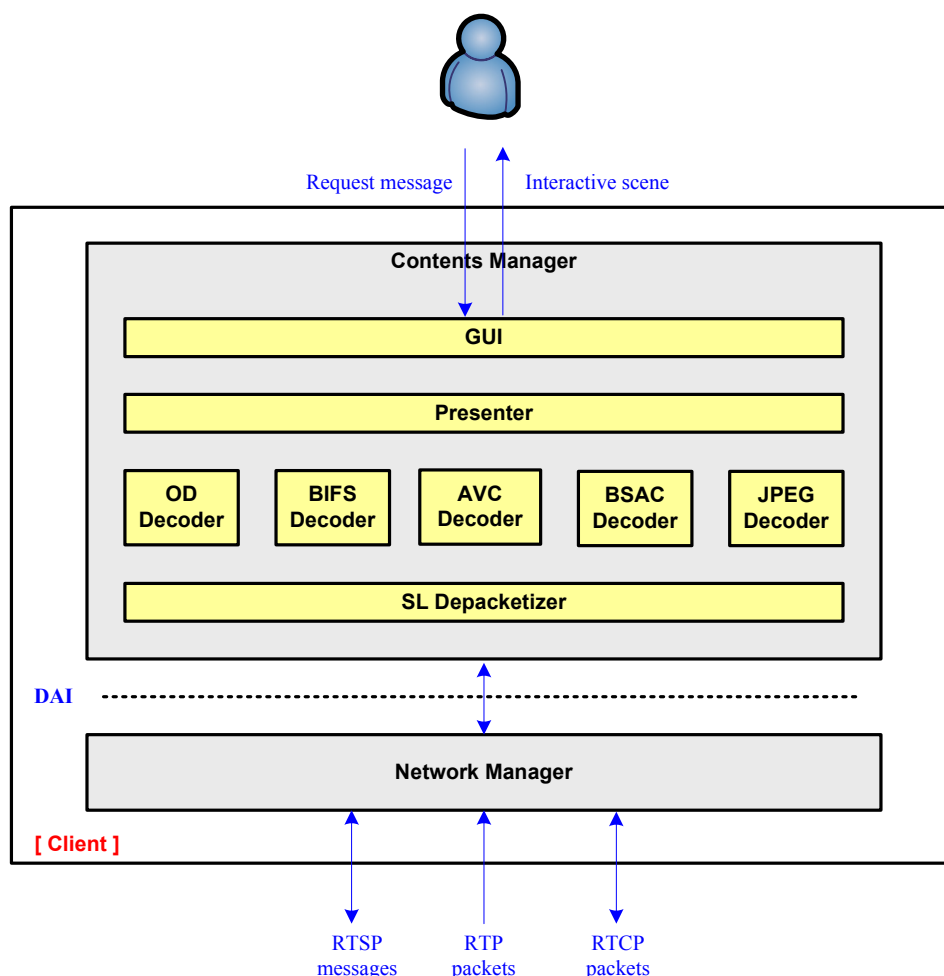
Ο Διαχειριστής Δικτύου είναι υπεύθυνος για την μετάδοση του περιεχομένου διαχειριζόμενος τις συνεδρίες με τους πελάτες, διαπραγματεύεται τις δικτυακές παραμέτρους, πακετάρει και μεταδίδει τα δεδομένα, παρακολουθώντας ταυτόχρονα την ποιότητα υπηρεσίας. Οι λειτουργίες του Διαχειριστή Δικτύου υλοποιούνται με τα πρωτόκολλα RTP, RTCP και RTSP μέσα από την κατάλληλη αντιστοίχιση του DMIF και των προδιαγραφών του MPEG-4, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

Ο ξεκάθαρος διαχωρισμός του Διαχειριστή Εξυπηρετητή και του Διαχειριστή Δικτύου μέσω της διασύνδεσης DAI επιτρέπει την μελλοντική εισαγωγή άλλων πρωτοκόλλων (π.χ. του DCCP [97]), χωρίς να επηρεάζεται η σχεδίαση του εξυπηρετητή.

Τον προγραμματισμό των ζωντανών ροών αναλαμβάνει ο Διαχειριστής Προγραμματισμού Μετάδοσης (Broadcast Schedule Manager) είτε τοπικά μέσω της αντίστοιχης διασύνδεσης, είτε κεντρικά μέσω της διασύνδεσης που προσφέρεται από τον Κεντρικό Διαχειριστή της πλατφόρμας.

5.1.2.3 Εφαρμογή Πελάτη

Τα αρχιτεκτονική της Εφαρμογής Πελάτη απεικονίζεται στο Σχήμα 51. Αντίστοιχα με τον εξυπηρετητή πολυμέσων, τα κυρίως μέρη είναι δύο: ο Διαχειριστής Περιεχομένου (Content Manager) και ο Διαχειριστής Δικτύου (Network Manager). Η διασύνδεση μεταξύ των μερών ορίζεται από το DMIF Application Interface (DAI).



Σχήμα 51 – Αρχιτεκτονική της Εφαρμογής Πελάτη

Ο Διαχειριστής Περιεχομένου αναλαμβάνει την επεξεργασία των εισερχόμενων πακέτων, την αποκωδικοποίηση και την παρουσίαση. Η υλοποίηση του βασίζεται στο λογισμικό αναφοράς που περιγράφεται στο πρότυπο MPEG-4. Οι υποστηριζόμενες μορφές κωδικοποίησης περιλαμβάνουν τα MPEG-4 AVC (Advanced Video Coding) [98] για εικόνα και MPEG-4 BSAC (Bit Sliced Arithmetic Coding) [99] για ήχο. Η αρχιτεκτονική επιτρέπει την επέκταση των υποστηριζόμενων προτύπων μέσω plug-ins.

Ο Διαχειριστής Δικτύου παρουσιάζει αντίστοιχη συμπεριφορά με το αντίστοιχο μέρος του εξυπηρετητή, δηλαδή αναλαμβάνει όλες τις δικτυακές λειτουργίες μέσω των πρωτοκόλλων RTP, RTCP και RTSP. Όπως και στον εξυπηρετητή, ο καθαρός διαχωρισμός των δύο μερών μέσω DAI επιτρέπει την μελλοντική εισαγωγή εναλλακτικών δικτυακών πρωτοκόλλων χωρίς να επηρεάζεται ο σχεδιασμός της εφαρμογής.

5.1.3 Κωδικοποίηση

Με τις νέες τεχνολογίες στο χώρο των δικτύων, ιδιαίτερα των ασύρματων, πολυμεσικό περιεχόμενο μπορεί να μεταδοθεί σε μια πληθώρα συσκευών με διαφορετικές απαιτήσεις και δυνατότητες (μέγεθος οθόνης, επεξεργαστική ισχύς, μνήμη, κτλ). Στην υλοποίηση μιας πλατφόρμας πολυμέσων, οι μέθοδοι προσαρμόσιμης κωδικοποίησης μπορούν να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της ετερογένειας των χρηστών. Η προσαρμόσιμη κωδικοποίηση για μετάδοση πολυμέσων μπορεί να στοχεύει στο δικτυακό κομμάτι (προσαρμογή με το εύρος ζώνης), το κομμάτι των τερματικών (προσαρμογή με την πολυπλοκότητα) ή και τα δύο μαζί.

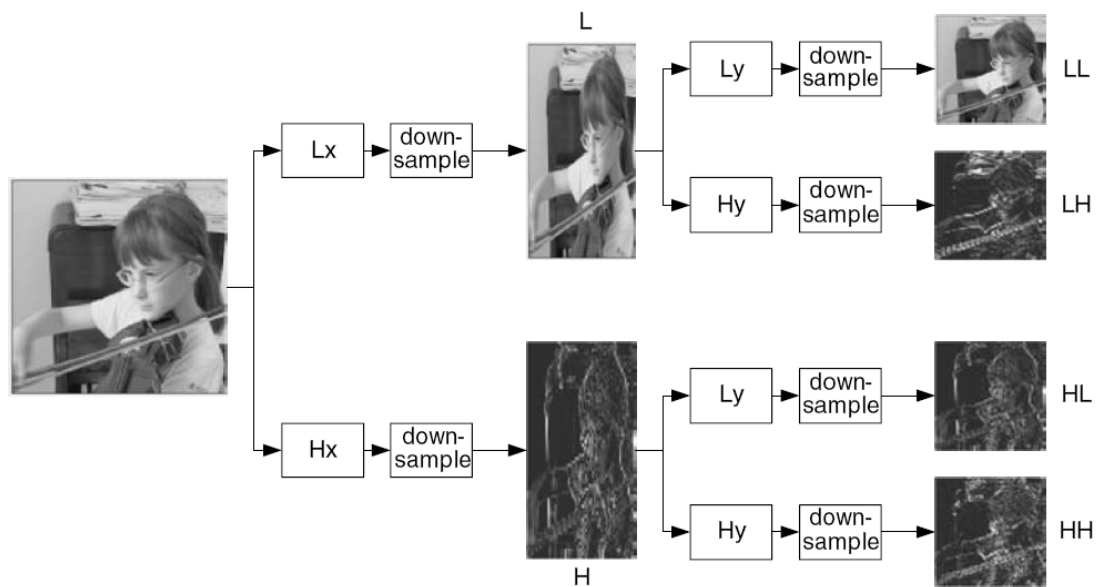
Αρκετές μέθοδοι για προσαρμόσιμη κωδικοποίηση έχουν προταθεί, ιδιαίτερα στα πλαίσια του προτύπου MPEG-4. Οι περισσότερες από αυτές τις τεχνικές βασίζονται είτε στον διακριτό μετασχηματισμό συνημιτόνου (Discrete Cosine Transformation, DCT) με την κατάλληλη μετατροπή ανάλυσης (π.χ. temporal ή spatial, βλ. 2.3.4.2, 2.3.4.3), είτε στην κωδικοποίηση με wavelets. Η πλατφόρμα ISMuS χρησιμοποιεί κωδικοποίηση με wavelets.

5.1.3.1 Wavelets

Η χρήση wavelets για τον μετασχηματισμό και την αναπαράσταση σημάτων είναι μια τεχνική που αναπτύχθηκε κυρίως τα τελευταία 20 χρόνια. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται μια περίληψη της τεχνικής και του τρόπου που εφαρμόζεται στην προσαρμόσιμη κωδικοποίηση εικόνας. Εκτενέστερες αναλύσεις μπορούν να βρεθούν στα [100] και [101].

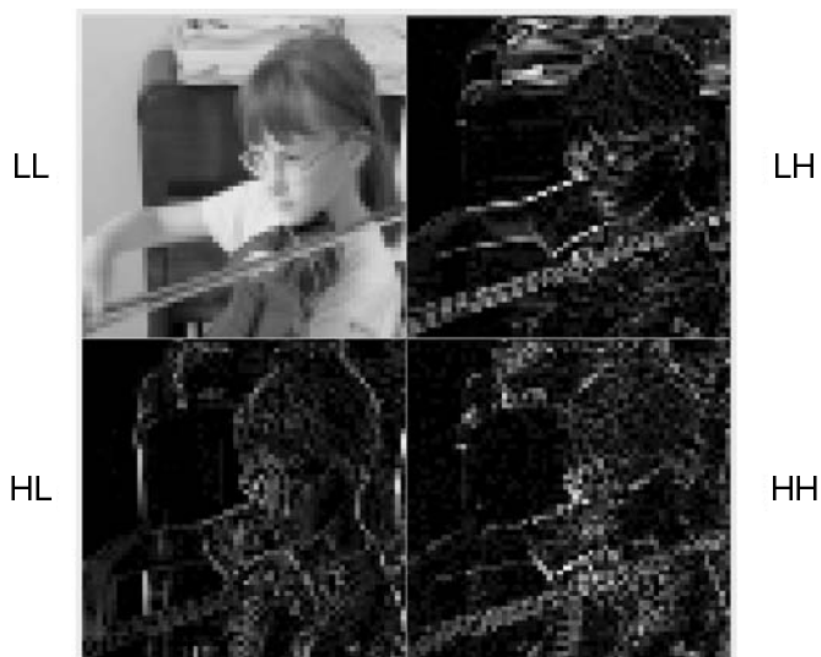
Αντίστοιχα με τη χρήση του DCT, η κωδικοποίηση με wavelets χρησιμοποιεί τον διακριτό μετασχηματισμό Wavelet (Discrete Wavelet Transform, DWT). Σε ένα διακριτό σήμα με N δείγματα (samples), εφαρμόζουμε ένα χαμηλοπερατό (low-pass) και ένα υψηλοπερατό (high-pass) φίλτρο με σκοπό να διαχωρίσουμε το σήμα σε χαμηλές και υψηλές συχνότητες. Ο διαχωρισμός αφαιρεί τις μισές συχνότητες του σήματος οπότε σύμφωνα με τον κανόνα του Nyquist μπορούμε να αναπαραστήσουμε τα σήματα που προκύπτουν από το διαχωρισμό με $N/2$ δείγματα εκτελώντας υποδειγματοληψία (subsampling). Η όλη διαδικασία (φιλτράρισμα και υποδειγματοληψία) επαναλαμβάνεται έως ότου ο αριθμός των δειγμάτων που διαθέτουμε δεν διαιρείται πλέον με το 2. Ο μετασχηματισμός DWT είναι αντιστρέψιμος, δηλαδή μπορούμε να ανακτήσουμε το αρχικό σήμα με αντιστροφή των βημάτων που ακολουθήσαμε.

Η εφαρμογή του μετασχηματισμού DWT στην περίπτωση που το σήμα είναι δυδιάστατο (π.χ. μια εικόνα) απεικονίζεται στο Σχήμα 52.



Σχήμα 52 – Μετασχηματισμός Wavelet σε 2 διαστάσεις

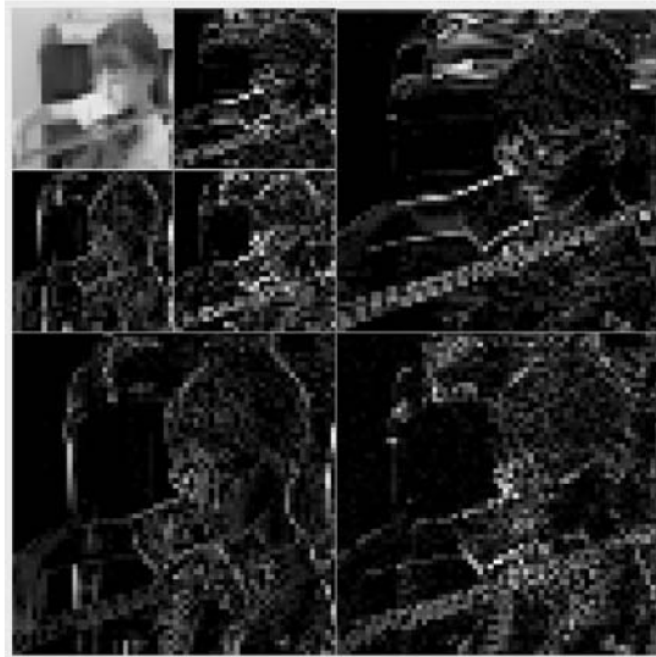
Κάθε γραμμή της εικόνας φιλτράρεται από ένα χαμηλοπερατό και ένα υψιπερατό φίλτρο και προκύπτουν τα σήματα Lx και Hx αντίστοιχα, τα οποία υφίστανται υποδειματοληψία στον άξονα x για να προκύψουν τα σήματα L και H . Οι στήλες των L και H φιλτράρονται και υφίστανται υποδειματοληψία στον άξονα y και προκύπτουν τα σήματα LL , LH , HL και HH (Σχήμα 53).



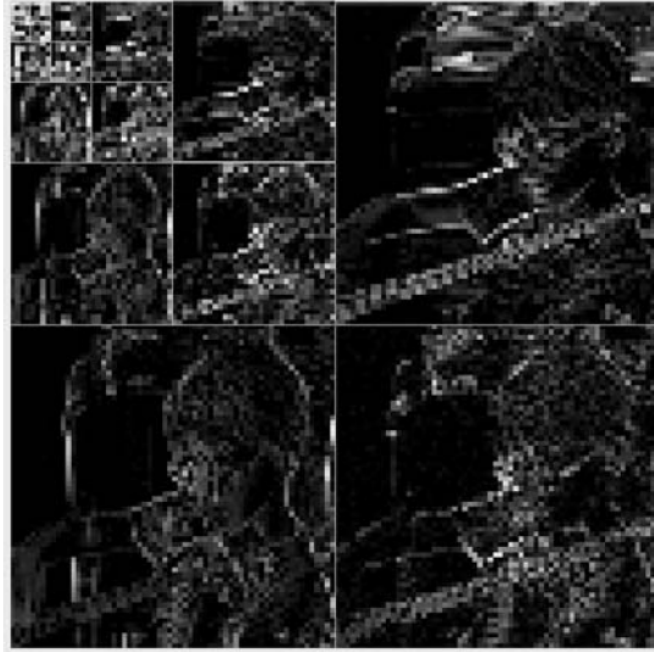
Σχήμα 53 – Η αρχική εικόνα μετά το 1ο στάδιο του μετασχηματισμού

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και στο προηγούμενο σχήμα, το μεγαλύτερο μέρος της αρχικής πληροφορίας περιέχεται στο σήμα LL που προέκυψε από το φιλτράρισμα των υψηλών συχνοτήτων στους άξονες x και y . Η συγκεκριμένη παρατήρηση ισχύει γενικότερα, δηλαδή οι χαμηλές συχνότητες περιέχουν τη βασική πληροφορία, ενώ οι υψηλές περιέχουν τις λεπτομέρειες. Το σήμα LL απαιτεί μόλις το $\frac{1}{4}$ των δειγμάτων της αρχικής εικόνας. Ο αριθμός των δειγμάτων που απαιτούν τα αραιά (sparse) σήματα HH , HL και LH που προέκυψαν από υπερπαρατά φίλτρα μπορεί να μειωθεί σημαντικά μέσω άλλων διαδικασιών, π.χ. του κβαντισμού (quantization). Ως αποτέλεσμα όλων των παραπάνω, η ανακατασκευή του αρχικού σήματος απαιτεί συνήθως σημαντικά μικρότερο αριθμό δειγμάτων από τον αρχικό.

Ο μετασχηματισμός επεκτείνεται με επανάληψη των παραπάνω βημάτων στο σήμα LL . Το Σχήμα 54 παρουσιάζει την αρχική εικόνα μετά από 2 μετασχηματισμούς, ενώ το Σχήμα 55 μετά από 5 μετασχηματισμούς.

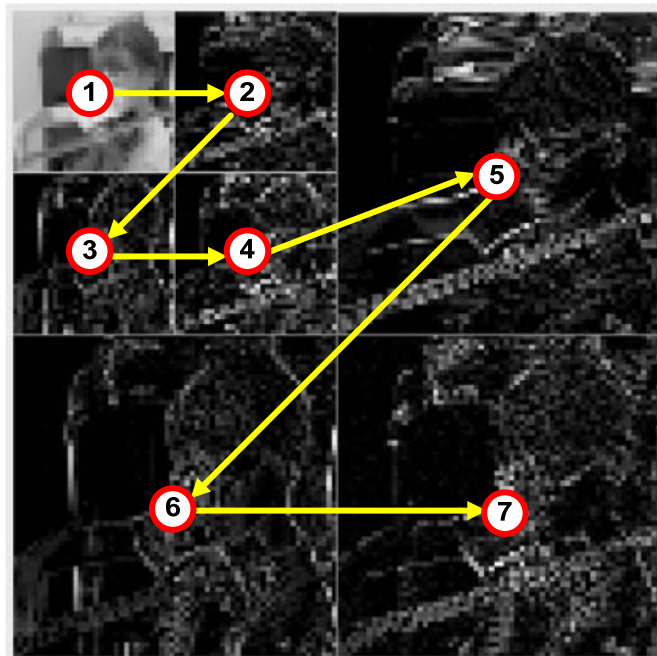


Σχήμα 54 – Η αρχική εικόνα μετά από 2 στάδια του μετασχηματισμού



Σχήμα 55 – Η αρχική εικόνα μετά από 5 στάδια του μετασχηματισμού

Όπως φαίνεται και στα παραπάνω σχήματα, η ανακατασκευή του αρχικού σχήματος ξεκινά από την πάνω αριστερά γωνία και κατευθύνεται στην κάτω δεξιά. Το Σχήμα 56 απεικονίζει τα βήματα που ακολουθούνται για την ανακατασκευή μετά από 2 στάδια μετασχηματισμού.



Σχήμα 56 – Ανακατασκευή μετά από 2 στάδια του μετασχηματισμού

Σε κάθε βήμα προστίθενται οι υψηλές συχνότητες και προκύπτει ένα σήμα με αυξημένη λεπτομέρεια σε σχέση με το προηγούμενο. Η προσαρμόσιμη κωδικοποίηση με χρήση wavelets εκμεταλλεύεται την σταδιακή αποκατάσταση του σήματος για να δημιουργήσει τα

επίπεδα κωδικοποίησης. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 56, από την κωδικοποίηση του σήματος σε 2 στάδια προκύπτουν 7 εκδοχές του αρχικού σήματος με αυξανόμενες ανάγκες σε εύρος ζώνης αλλά και βελτιωμένη ευκρίνεια.

5.1.4 Έλεγχος Ροής

Η πλατφόρμα ISMuS υποστηρίζει δύο μεθόδους για την εφαρμογή του ελέγχου ροής: τον έλεγχο ροής με προσαρμόσιμη κωδικοποίηση και τον έλεγχο ροής με διαδραστικό περιεχόμενο.

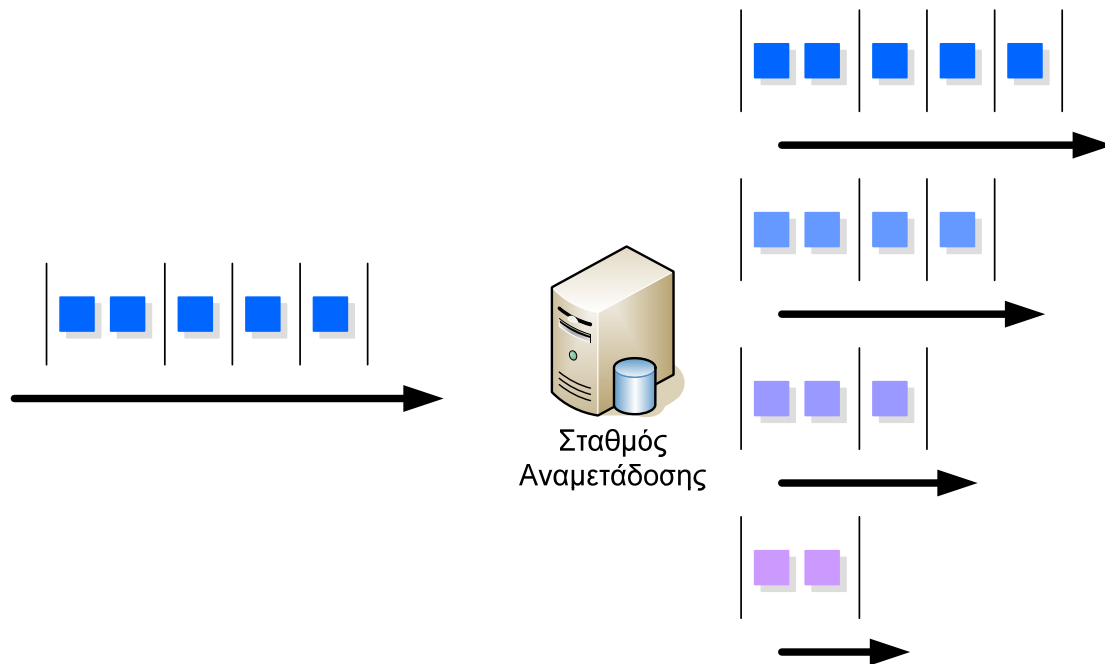
5.1.4.1 Προσαρμόσιμη Κωδικοποίηση

Όπως περιγράφεται και στην παράγραφο 5.1.3, η πλατφόρμα χρησιμοποιεί την προσαρμόσιμη κωδικοποίηση με χρήση wavelets για την παραγωγή περιεχομένου.

Κατά τη διάρκεια της κωδικοποίησης, αναλύουμε τα παραγόμενα επίπεδα ποιότητας και το υπολογίζουμε το απαιτούμενο εύρος ζώνης που απαιτείται για κάθε ένα από αυτά. Από τον υπολογισμό του εύρους ζώνης για κάθε επίπεδο και με βάση το μέγιστο μήκος πακέτου¹, προκύπτει ο αριθμός των RTP πακέτων που απαιτείται για τη μετάδοση του κάθε επιπέδου.

¹ 1500 bytes για δίκτυα Ethernet.

Για παράδειγμα, από την εφαρμογή της προσαρμόσιμης κωδικοποίησης με χρήση wavelets σε 4 επίπεδα, μπορεί να προκύψει ότι το βασικό επίπεδο ποιότητας απαιτεί 2 πακέτα RTP ενώ η πληροφορία για τα επόμενα 3 επίπεδα απαιτεί 1 πακέτο για κάθε επίπεδο. Οι συγκεκριμένες παρατηρήσεις εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια της ενθυλάκωσης της πληροφορίας σε πακέτα και ο Διαχειριστής Μετάδοσης αναλαμβάνει να μεταφέρει τη συγκεκριμένη γνώση στους Σταθμούς Αναμετάδοσης, οι οποίοι θα εφαρμόσουν τη μέθοδο που περιγράφεται στην παράγραφο 3.4.3 (Σχήμα 57).



Σχήμα 57 – Εφαρμογή της προσαρμόσιμης κωδικοποίησης στην πλατφόρμα ISMuS

5.1.4.2 Διαδραστικό Περιεχόμενο

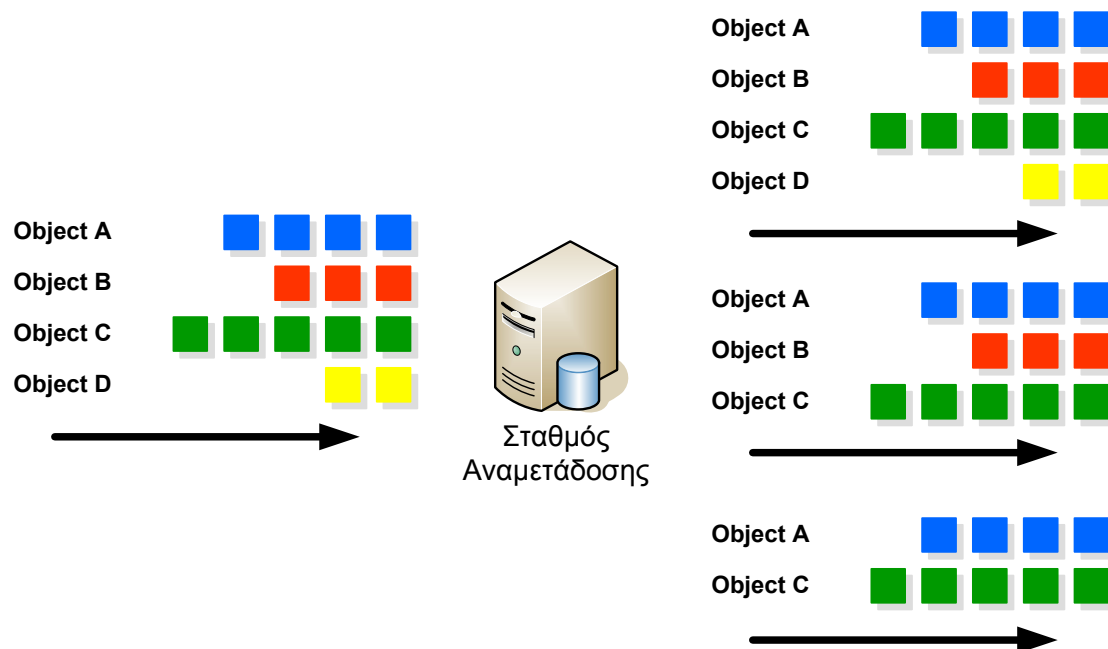
Η δεύτερη μέθοδος για την εφαρμογή του ελέγχου ροής στην πλατφόρμα στηρίζεται στα αντικειμενοστραφή χαρακτηριστικά του MPEG-4 και τη δυνατότητα για διαδραστικό περιεχόμενο που αυτά προσφέρουν.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι αυτή που παρουσιάζεται στην παράγραφο 3.4.4. Το περιεχόμενο αναλύεται στις σκηνές που το προσδιορίζουν στο πεδίο του χρόνου και κάθε σκηνή στα αυτόνομα αντικείμενα που την αποτελούν. Για την μείωση της πολυπλοκότητας, εξαιρούνται από την όλη διαδικασία τα αντικείμενα που απαιτούν αξιόπιστη μετάδοση (π.χ. BIFS, OD, εικόνες, κείμενα¹), τα αντικείμενα που χρειάζονται μικρό εύρος ζώνης και τα αντικείμενα που έχουν μικρή διάρκεια ζωής (και ως εκ τούτου δεν επηρεάζουν μακροπρόθεσμα το συνολικό εύρος ζώνης). Τα εναπομείναντα αντικείμενα διαχωρίζονται σύμφωνα με την προσφορά τους στην απεικόνιση της σκηνής σε απαραίτητα και αναλώσιμα. Τα αναλώσιμα αντικείμενα ιεραρχούνται ως προς τη σπουδαιότητά τους και το εύρος ζώνης

¹ Τα συγκεκριμένα αντικείμενα μεταφέρονται ενθυλακωμένα στο RTSP.

που απαιτεί η μετάδοσή τους. Ο διαχωρισμός και η ιεράρχηση εκτελούνται για κάθε σκηνή στο πεδίο του χρόνου.

Το Σχήμα 58 απεικονίζει την εφαρμογή της μεθόδου για την παραγωγή επιπέδων ποιότητας και την εκτέλεση του ελέγχου ροής.



Σχήμα 58 – Εφαρμογή ελέγχου ροής με διαδραστικό περιεχόμενο στην πλατφόρμα ISMuS

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, ο Σταθμός Αναμετάδοσης μεταδίδει μια σκηνή που αποτελείται από 4 αντικείμενα και μπορεί να παράγει 3 επίπεδα ποιότητας. Από τον διαχωρισμό έχει προκύψει ότι τα αντικείμενα A και C είναι απαραίτητα και περιλαμβάνονται και στα 3 επίπεδα. Από τα 2 εναπομείναντα αντικείμενα το B έχει ιεραρχηθεί υψηλότερα από το D και περιλαμβάνεται στα 2 από τα 3 επίπεδα ποιότητας, ενώ το D μόνο σε ένα.

Καθώς οι σκηνές που αποτελούν το περιεχόμενο αλλάζουν, μεταβάλλονται και τα διαθέσιμα αντικείμενα οπότε και τα επίπεδα ποιότητας αναδιαμορφώνονται. Κατά τη μετάβαση στη νέα σκηνή, ο Σταθμός Αναμετάδοσης φροντίζει να μεταφέρει τους πελάτες που εξυπηρετούνται από κάποιο συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας στο αντίστοιχο σε κατανάλωση εύρους ζώνης επίπεδο της καινούριας σκηνής.

Όπως και στην περίπτωση του ελέγχου ροής με προσαρμόσιμη κωδικοποίηση, ο Διαχειριστής Μετάδοσης είναι αυτός που αναλαμβάνει να μεταφέρει όλη την απαραίτητη γνώση για το χειρισμό του περιεχομένου στους Σταθμούς Αναμετάδοσης.

5.2 Διανομή

Η πλατφόρμα ISMuS χρησιμοποιεί ένα υπερκείμενο δίκτυο που αναλαμβάνει το έργο της διανομής του περιεχομένου από τους εξυπηρετητές πολυμέσων στην εφαρμογή αναπαραγωγής του τελικού χρήστη. Η αρχιτεκτονική του χρησιμοποιούμενου υπερκείμενου

δικτύου ορίζει δύο συστατικά, τον Σταθμό Αναμετάδοσης (Relay Node) και τον Διαχειριστή Μετάδοσης (Network Distribution Manager – NDM). Όπως και με το μοντέλο που εφαρμόστηκε στην πλατφόρμα OLYMPIC, η λειτουργία του υπερκείμενου δικτύου ομοιάζει με τη λειτουργία των CDNs: το περιεχόμενο διανέμεται σε μια σειρά εξυπηρετητών, τους σταθμούς αναμετάδοσης, και μια κεντρική οντότητα διαχείρισης (όπως ο μηχανισμός DNS των CDN), ο Διαχειριστής Μετάδοσης, χρησιμοποιείται για τον προσανατολισμό των πελατών στον “κοντινότερο” εξυπηρετητή που μπορεί να διαθέσει το ζητούμενο περιεχόμενο. Η διάκριση του “κοντινότερου” ή “καλύτερου” εξυπηρετητή επιτυγχάνεται μέσω της εφαρμογής μια σειράς κριτηρίων/παραμέτρων.

Η πλατφόρμα εκμεταλλεύεται το υπερκείμενο δίκτυο για την παροχή της βασικής υπηρεσίας που είναι η μετάδοση ζωντανών ροών (live και near-VoD) αλλά και για τη συμπληρωματική υπηρεσία VoD.

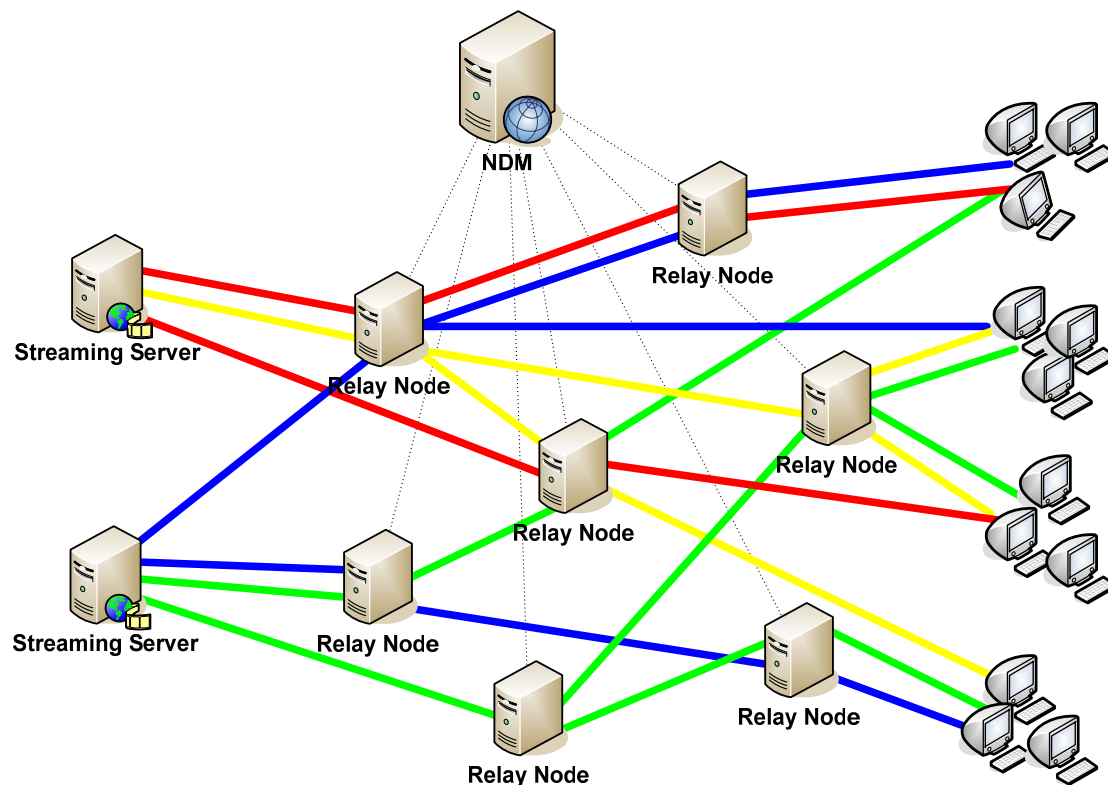
5.2.1 Μετάδοση Ζωντανών Ροών

Η βασική υπηρεσία της μετάδοσης ζωντανών ροών καλύπτει την διανομή του περιεχομένου είτε σε πραγματικό χρόνο είτε σε near-VoD. Οι χρονικές στιγμές της έναρξης και λήξης της μετάδοσης είναι προγραμματισμένες και οι πελάτες μπορούν να συνδεθούν στην πλατφόρμα οποιαδήποτε στιγμή ενδιάμεσα, με αντίστοιχο τρόπο όπως θα έκαναν και για την παρακολούθηση ενός τηλεοπτικού προγράμματος.

Οι κόμβοι που αποτελούν το υπερκείμενο δίκτυο (σταθμοί αναμετάδοσης και Διαχειριστής Μετάδοσης) λειτουργούν με αντίστοιχο τρόπο όπως και στην πλατφόρμα OLYMPIC και εφαρμόζουν τις τεχνικές που περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 3.

Συνοπτικά, ο διαχειριστής της πλατφόρμας μέσω του Κέντρου Ελέγχου, ρυθμίζει, για τις ροές πραγματικού χρόνου, τους κωδικοποιητές, εκτελεί τον χρονικό προγραμματισμό των ροών στους εξυπηρετητές πολυμέσων και ανανεώνει τις ιστοσελίδες που παρέχουν πρόσβαση στο περιεχόμενο για τους τελικούς χρήστες. Όλες οι ενέργειες του διαχειριστή καταχωρούνται σε μια βάση δεδομένων στην οποία έχει πρόσβαση ο Διαχειριστής Μετάδοσης.

Από το σημείο αυτό και μετά οι διαδικασίες αυτοματοποιούνται, εφόσον ο Διαχειριστής Μετάδοσης φροντίζει για τη διανομή του περιεχομένου στους σταθμούς αναμετάδοσης και την δημιουργία των δεντρικών δομών (Σχήμα 59) στο υπερκείμενο δίκτυο, ενώ καθοδηγεί κατάλληλα τους τελικούς χρήστες στον βέλτιστο εξυπηρετητή ανάλογα με τις διαθέσιμες πληροφορίες για την κατάσταση του δικτύου.



Σχήμα 59 – Μετάδοση Ζωντανών Ροών από το υπερκείμενο δίκτυο

Καθ' όλη τη διάρκεια της μετάδοσης, οι σταθμοί αναμετάδοσης συλλέγουν πληροφορίες για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της υπηρεσίας, πληροφορίες τις οποίες διαθέτουν στον Διαχειριστή Μετάδοσης για την βελτιστοποίηση της απόδοσης του δικτύου. Επιπλέον, σε τοπικό επίπεδο και όταν διαπιστώνεται χαμηλή ποιότητα υπηρεσίας, οι σταθμοί αναμετάδοσης παρεμβαίνουν άμεσα στις μεταδιδόμενες ροές εκμεταλλευόμενοι την προσαρμόσιμη κωδικοποίηση και τη διαδραστικότητα του MPEG-4 όπως περιγράφεται αναλυτικότερα στην παράγραφο 5.1.4.

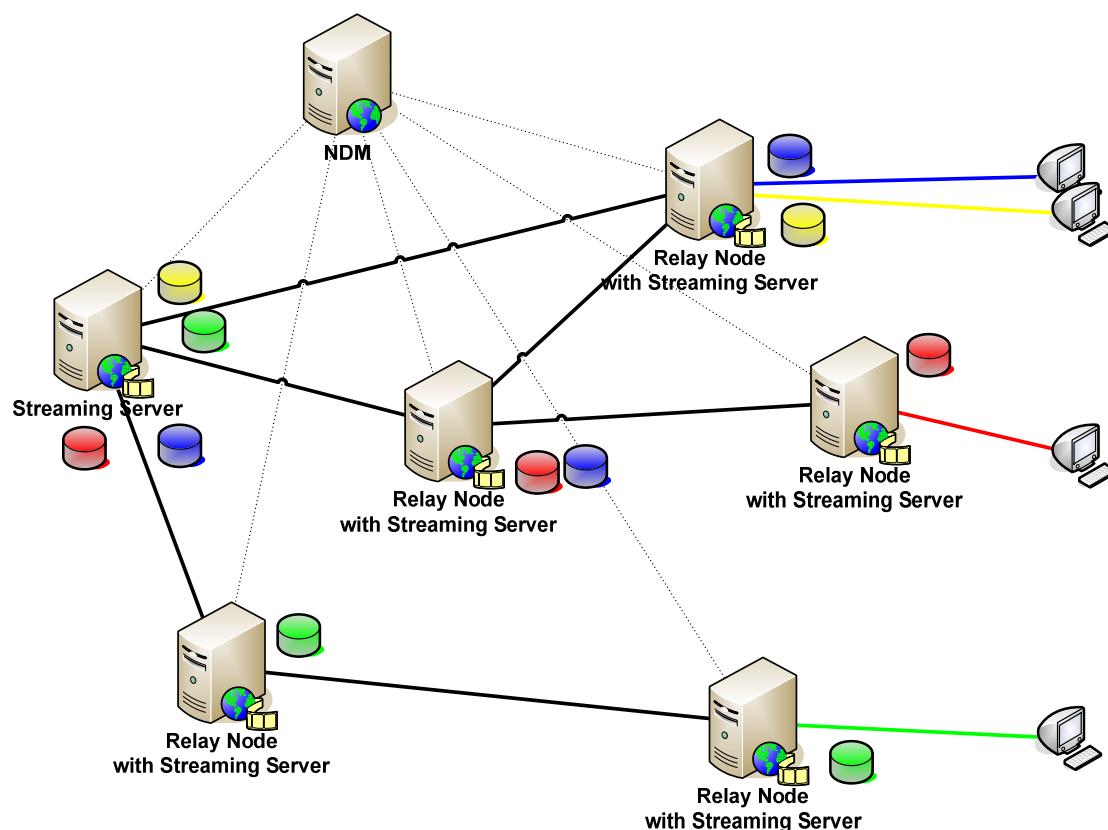
5.2.2 Υπηρεσία Video on Demand

Η υπηρεσία Video on Demand (VoD) προσφέρεται στους χρήστες της πλατφόρμας συμπληρωματικά ως προς την κύρια υπηρεσία της παροχής ζωντανών ροών. Προφανώς, δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις ίδιες τεχνικές που εφαρμόζονται στη κύρια υπηρεσία. Εφόσον η μετάδοση δεν προγραμματίζεται χρονικά και οι χρήστες μπορούν να ζητήσουν οποιοδήποτε περιεχόμενο, οποιαδήποτε χρονική στιγμή, οι ροές που προκύπτουν δεν μπορούν να αναπαραχθούν στους σταθμούς αναμετάδοσης ώστε να καλύψουν πολλαπλούς

χρήστες εφόσον κάθε ροή απευθύνεται σε έναν και μόνο χρήστη. Μπορούμε όμως να εκμεταλλευτούμε την ύπαρξη του υπερκείμενου δικτύου και να χρησιμοποιήσουμε τους κόμβους του αυτόνομα για τον κατοπτρισμό (mirroring) του VoD περιεχομένου.

Η μετάδοση VoD περιεχομένου απαιτεί την παρουσία ενός εξυπηρετητή πολυμέσων στα σημεία διάθεσης του περιεχομένου. Τοποθετούμε “δίπλα” στον κάθε εξυπηρετητή (δηλ. στον ίδιο υπολογιστή) έναν σταθμό αναμετάδοσης. Οι σταθμοί αναμετάδοσης που χρησιμοποιούνται στην υπηρεσία VoD ελέγχονται από τον Διαχειριστή Μετάδοσης, όπως και στην υπηρεσία ζωντανών ροών, και περιοδικά πραγματοποιούν μετρήσεις και αναφέρουν τα αποτελέσματα σχετικά με τους διαθέσιμους πόρους (επεξεργαστική ισχύς, μνήμη, διαθέσιμο εύρος ζώνης, κτλ).

Χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο παρόμοιο με το FTP, οι σταθμοί αναμετάδοσης μπορούν να ανταλλάξουν VoD περιεχόμενο μεταξύ τους και να το διαθέσουν στον γειτονικό εξυπηρετητή πολυμέσων (mirroring) όπως φαίνεται και στο Σχήμα 60. Οι εντολές για μεταφορά περιεχομένου δίνονται από τον διαχειριστή της πλατφόρμας, μέσω του Κέντρου Ελέγχου και του Διαχειριστή Μετάδοσης.



Σχήμα 60 – Παροχή VoD περιεχομένου με χρήση του υπερκείμενου δικτύου

Η υλοποίηση της συγκεκριμένης υπηρεσίας προσεγγίζει σημαντικά την υλοποίηση των CDNs. Όμως στην περίπτωση μας, ο Διαχειριστής Μετάδοσης, που ανακατευθύνει τους χρήστες εκτελεί περισσότερα από μια απλή αναζήτηση DNS όπως συμβαίνει στα CDNs.

Λόγω της ύπαρξης των ενεργών κόμβων (σταθμοί αναμετάδοσης) του υπερκείμενου δικτύου, τα στοιχεία που έχει στη διάθεση του ο Διαχειριστής Μετάδοσης επιτρέπουν την λήψη μιας βελτιστοποιημένης απόφασης για το σημείο σύνδεσης του κάθε χρήστη στην πλατφόρμα, ακολουθώντας μια κατάλληλη παραλλαγή της διαδικασία που περιγράφεται στην παράγραφο 3.3.2.

5.3 Ανασκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν:

- Η αρχιτεκτονική της πλατφόρμας ISMuS

Περιγράφονται οι στόχοι που τέθηκαν από την πλατφόρμα ISMuS και η γενική αρχιτεκτονική που σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε για την εκπλήρωσή τους.

- Οι μηχανισμοί εξασφάλισης ποιότητας και η χρήση προσαρμόσιμης κωδικοποίησης και διαδραστικού περιεχομένου για την επίτευξη του ελέγχου ροής

Περιγράφηκαν οι τεχνικές προσαρμόσιμες κωδικοποίησης με χρήση wavelets που εφαρμόστηκαν στην πλατφόρμα και η αλληλεπίδρασή τους με το σύστημα ελέγχου ροής κατά τη διάρκεια της μετάδοσης για την παροχή ποιότητας υπηρεσίας. Επίσης παρουσιάστηκε η εναλλακτική μέθοδος της χρήση διαδραστικού περιεχομένου για την επίτευξη του ίδιου στόχου.

- Οι υπηρεσίες διανομής του περιεχομένου

Αναλύθηκαν οι μηχανισμοί διανομής περιεχομένου τόσο σε επίπεδο ζωντανών ροών, όσο και στην παροχή προ-εγγεγραμμένων ροών της υπηρεσίας VoD.

5.4 Αναφορές

- [96] J. van der Meer, D. Mackie, V. Swaminathan, D. Singer, P. Gentric, “RTP Payload Format for Transport of MPEG-4 Elementary Streams”, RFC 3640, Internet Engineering Task Force, November 2003.
- [97] Eddie Kohler, Mark Handley, Sally Floyd, “Datagram Congestion Control Protocol”, Internet Draft, Internet Engineering Task Force, March 2005.
- [98] ISO/IEC 14496-10, N5555, “Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 10: Advanced Video Coding,” FDIS, 2003.
- [99] ISO/IEC 14496-3 “Information technology - Coding of audio-visual objects – Part 3: Audio,” 1999.
- [100] Burrus, C. S. and R. A. Gopinath, H. Guo, “INTRODUCTION TO WAVELETS AND WAVELET TRANSFORMS, A PRIMER”, Upper Saddle River, NJ (USA): Prentice Hall, 1998.

- [101] Daubechies, I., “TEN LECTURES ON WAVELETS. 2nd ed.”, Philadelphia: SIAM, 1992. CBMS-NSF regional conference series in applied mathematics 61.
- [102] Hyun-Cheol Kim, Charalampos Patrikakis, Nikos Minogiannis, Pantelis Karamolegos, Alexis Lambiris, and Kyuheon Kim, “An MPEG-4 compliant interactive multimedia streaming platform using overlay networks”, ETRI Journal, ISSN 1225-6463 (υπό δημοσίευση).

6. Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο ολοκληρώνουμε την παρούσα εργασία δίνοντας μια σύνοψη της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής, όπως αυτή παρουσιάστηκε στις προηγούμενες ενότητες, επισημαίνουμε τις καινοτομίες που εισάγουμε, κυρίως σε σχέση με τις υπάρχουσες λύσεις και αναφερόμαστε σε θέματα που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης για την βελτίωση της λύσης μας.

6.1 Σύνοψη της Προτεινόμενης Αρχιτεκτονικής

Στα πλαίσια της διατριβής μελετήθηκαν οι δυνατότητες μετάδοσης “ζωντανών” πολυμεσικών ροών (live streaming) σε πολλούς αποδέκτες.

Η αρχιτεκτονική που προτείνεται στηρίζεται στην ανάπτυξη ενός υπερκείμενου δικτύου μεταξύ των εξυπηρετητών πολυμέσων και της εφαρμογής αναπαραγωγής του τελικού χρήστη. Οι κόμβοι που αποτελούν το υπερκείμενο δίκτυο παρακολουθούν την ποιότητα μετάδοσης και δύνανται να παρεμβληθούν, διαμορφώνοντας τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των διερχόμενων ροών, με σκοπό να αντιμετωπιστούν περιπτώσεις συμφόρησης και απώλειας πληροφορίας. Το υπερκείμενο δίκτυο παρεμβάλλεται διάφανα στη διαδικασία της μετάδοσης, δεν απαιτεί αλλαγές στο δικτυακό εξοπλισμό και είναι συμβατό με πολυμεσικές πλατφόρμες που χρησιμοποιούν ανοικτά πρότυπα. Η προτεινόμενη λύση εκμεταλλεύεται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του MPEG-4 για την βελτιστοποίηση της παρεχόμενης υπηρεσίας.

Τα θέματα που παρουσιάστηκαν χωρίζονται σε 3 ενότητες.

Η 1^η ενότητα (Κεφάλαιο 2) περιλαμβάνει τα δημοφιλή πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στα δύο βασικά στάδια της διαδικασίας, την κωδικοποίηση και τη μετάδοση. Παρατίθενται οι συμπληρωματικοί μηχανισμοί μετάδοσης της πολυεκπομπής και των υπερκείμενων δικτύων που χρησιμοποιούνται στις ζωντανές ροές και μελετάται το ζήτημα της ποιότητας καθώς και οι υπάρχουσες εμπορικές λύσεις. Από τα περιεχόμενα της 1^{ης} ενότητας προκύπτει ως συμπέρασμα ότι παρόλο που το θέμα της μετάδοσης ζωντανών ροών στο Διαδίκτυο έχει μελετηθεί αρκετά, δεν υπάρχει κάποια συνολική πρόταση που να υπερέχει αισθητά των υπολοίπων.

Στη 2^η ενότητα (Κεφάλαιο 3), παρουσιάζεται η προτεινόμενη αρχιτεκτονική που ακολουθεί μια συνολική αντιμετώπιση και προσπαθεί να καλύψει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος των θεμάτων που έχουν αναλυθεί. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική στηρίζεται στην ανάπτυξη ενός υπερκείμενου δικτύου σχεδιασμένου για τη μετάδοση ζωντανών ροών, του οποίου οι κόμβοι ενσωματώνουν τις λειτουργίες για τον έλεγχο της ποιότητας μετάδοσης.

Η 3^η ενότητα (Κεφάλαια 4 και 5) περιγράφει πρακτικές υλοποιήσεις της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής όπως αυτές εφαρμόστηκαν για τις ανάγκες των ερευνητικών προγραμμάτων IST-OLYMPIC και ISMuS. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στις μετρήσεις και δοκιμές που προέκυψαν κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας το 2004, στις οποίες συμμετείχαν πραγματικοί χρήστες.

6.2 Καινοτομία και Σύγκριση με Υπάρχουσες Λύσεις

Όπως αναφέρθηκε και στα Κεφάλαια 2 και 3, το θέμα της μετάδοσης ζωντανών ροών στο Διαδίκτυο έχει μελετηθεί αρκετά, αλλά δεν υπάρχει κάποια συνολική πρόταση που να υπερτερεί αισθητά των υπολοίπων. Οι κυρίαρχες εμπορικές προτάσεις στο χώρο προσεγγίζουν με διαφορετικό βαθμό επιτυχίας τα θέματα που εμπλέκονται (κωδικοποίηση, μετάδοση, εξασφάλιση ποιότητας, συμβατότητα με ανοικτά πρότυπα, κτλ) και είναι ως επί το πλείστον ασύμβατες μεταξύ τους.

Κατά τη φάση του σχεδιασμού της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής, τέθηκαν μια σειρά απαιτήσεων, που πιστεύουμε ότι ικανοποιήθηκαν σε μεγάλο βαθμό, και το συνολικό αποτέλεσμα υπερέχει των υπάρχουσων λύσεων.

6.2.1 Συμβατότητα και Διαλειτουργικότητα

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική χρησιμοποιεί διαδεδομένα πρότυπα και πρωτόκολλα για την εξασφάλιση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης συμβατότητας (compatibility) και διαλειτουργικότητας (interoperability) με τις υπάρχουσες λύσεις. Ως αποτέλεσμα των προηγούμενων, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική έχει την ικανότητα να αναπτυχθεί διαφανώς (transparent deployment) και να παρεμβάλλεται σε ήδη υπάρχοντα συστήματα βελτιώνοντας τη λειτουργία τους χωρίς να απαιτούνται αλλαγές από τις εξωτερικές εφαρμογές. Η λύση δεν απαιτεί αλλαγές στο δικτυακό εξοπλισμό και στα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα.

Η ύπαρξη του υπερκείμενου δικτύου εξασφαλίζει την ανεξαρτησία από τα δικτυακά πρωτόκολλα στα χαμηλότερα στρώματα και διευκολύνει την ανάπτυξη (deployment) πάνω στον ήδη υπάρχον εξοπλισμό.

Οι κόμβοι που αποτελούν το υπερκείμενο δίκτυο επικοινωνούν με τα προδιαγεγραμμένα και δημοφιλή πολυμεσικά πρωτόκολλα RTP, RTCP και RTSP. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η συμβατότητα με τις υπάρχουσες λύσεις και η διαφανής παρεμβολή του δικτύου σε συστήματα που ακολουθούν τα συγκεκριμένα πρότυπα.

Από τις κυρίαρχες εμπορικές προτάσεις, οι πλατφόρμες των Apple και RealNetworks χρησιμοποιούν τα συγκεκριμένα πρωτόκολλα. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική είναι συμβατή με αυτές και μπορεί να αναπτυχθεί συμπληρωματικά. Εν αντιθέσει, η πλατφόρμα της Microsoft στηρίζεται κυρίως σε ιδιόκτητα πρωτόκολλα και παρέχει επιφανειακή μόνο υποστήριξη για τα RTP, RTCP και RTSP.

6.2.2 Υποστήριξη Χρηστών με Ετερογενή Χαρακτηριστικά

Η ετερογένεια των χρηστών επεκτείνεται τόσο στο λογισμικό όσο και στο υλικό. Όσον αφορά το λογισμικό, σε συνδυασμό και με την προηγούμενη απαίτηση, οι χρήστες έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες που προσφέρει η προτεινόμενη λύση ανεξαρτήτως (στο μέτρο του δυνατού) της εφαρμογής που χρησιμοποιούν. Όσον αφορά την ετερογένεια υλικού, αυτή αναλύεται σε δικτυακό εξοπλισμό πρόσβασης και συσκευή πρόσβασης. Η λύση υποστηρίζει ετερογενείς συνδέσεις με βάση το διαθέσιμο εύρος ζώνης (π.χ. PSTN/ISDN/DSL/LAN) αλλά και τη φύση της πρόσβασης (π.χ. ενσύρματη, ασύρματη). Για τον τερματικό εξοπλισμό του χρήστη, υποστηρίζονται τόσο σταθερές (σταθμοί εργασίας, laptop) όσο και κινητές συσκευές (PDAs, κινητά τηλέφωνα) με τις ιδιαιτερότητες που αυτές παρουσιάζουν.

Οι κόμβοι του υπερκείμενου δικτύου δεν αποτελούν απλώς κόμβους αντιγραφής και αναμετάδοσης πακέτων. Παρακολουθούν ενεργά την ποιότητα μετάδοσης και παρεμβαίνουν στη μεταδιδόμενη ροή, προσαρμόζοντας τη στα χαρακτηριστικά του πελάτη.

Όλες οι διαδεδομένες εμπορικές λύσεις προσφέρουν τη δυνατότητα υποστήριξης ετερογενών χρηστών με τη χρήση της τεχνικής multiple bitrate encoding. Η διαφορά της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής έγκειται στο γεγονός ότι η προσαρμογή της ροής στις απαιτήσεις του πελάτη πραγματοποιείται δυναμικά και λαμβάνει χώρα στο τελικό στάδιο της μετάδοσης χωρίς να υπερφορτώνεται ολόκληρο το δίκτυο μετάδοσης με τις πολλαπλές εκδόσεις του αρχικού περιεχομένου.

6.2.3 Υποστήριξη Μεγάλων Ομάδων Χρηστών

Η απαίτηση για υποστήριξη πολλών χρηστών πηγάζει από τον βασικό τομέα χρήσης των ζωντανών ροών που είναι η ψηφιακή τηλεόραση και η ζωντανή κάλυψη γεγονότων μεγάλου ενδιαφέροντος. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική υποστηρίζει αποδοτικά τη ταυτόχρονη συμμετοχή μεγάλων ομάδων χρηστών, είναι επεκτάσιμη και υπάρχει η δυνατότητα κλιμάκωσης (scalability). Σε συνδυασμό με την προηγούμενη απαίτηση, υποστηρίζονται πολλοί και ταυτόχρονα ετερογενείς χρήστες.

Η ύπαρξη του υπερκείμενου δικτύου αντιμετωπίζει την απαίτηση για υποστήριξη μεγάλων ομάδων χρηστών. Η ανάπτυξη του υπερκείμενου δικτύου ανάμεσα στους εξυπηρετητές πολυμέσων και τους τελικούς χρήστες προσφέρει στην πλατφόρμα τη δυνατότητα της κλιμάκωσης.

Η πλέον διαδεδομένη εμπορική πρακτική για την επίτευξη της κλιμάκωσης είναι η ανάπτυξη ενός CDN δικτύου, πρακτική που συνοδεύεται και με σημαντικό κόστος. Εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι δυνατότητες δημιουργίας ενός υπερκείμενου δικτύου, όπως αυτές προσφέρονται από τις πλατφόρμες των Apple, RealNetworks και Microsoft. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική ενσωματώνει τη δυνατότητα δημιουργίας υπερκείμενου δικτύου

με δυναμικό όμως τρόπο και σε αντιστοιχία με τις τρέχουσες ανάγκες, εν αντιθέσει με τη χειροκίνητη ρύθμιση που απαιτούν οι συγκεκριμένες πλατφόρμες.

6.2.4 Υποστήριξη Μηχανισμών Ποιότητας Υπηρεσίας

Οι ζωντανές ροές είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στα προβλήματα μετάδοσης. Η προτεινόμενη λύση ενσωματώνει μηχανισμούς ελέγχου και εξασφάλισης ποιότητας υπηρεσίας περιλαμβάνοντας διάφορες τεχνικές και μεθόδους όπως αυτές αναλύθηκαν στο σχετικό κεφάλαιο.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι κόμβοι του υπερκείμενου δικτύου παρακολουθούν ενεργά την ποιότητα μετάδοσης και παρεμβαίνουν στη μεταδιδόμενη ροή, προσαρμόζοντας τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά της, ανάλογα με τις δικτυακές συνθήκες.

Όπως περιγράφηκε εκτενώς στο 3.4, οι μηχανισμοί ποιότητας που ενσωματώνει η προτεινόμενη αρχιτεκτονική εκμεταλλεύονται την ύπαρξη του υπερκείμενου δικτύου και μπορούν να εφαρμοσθούν πιο εύελικτα από τις καθιερωμένες τεχνικές που στηρίζονται, σχεδόν αποκλειστικά, στο multiple bitrate encoding.

6.2.5 Εκμετάλλευση του προτύπου MPEG-4

Το πρότυπο MPEG-4 αποτελεί μια ιδιαίτερα φιλόδοξη προσπάθεια με σκοπό τη συνολική αντιμετώπιση της κωδικοποίησης, μετάδοσης και αναπαραγωγής πολυμέσων. Η πολυπλοκότητα του προτύπου έχει αποθαρρύνει την ανάπτυξη λύσεων που το ενσωματώνουν πλήρως αλλά αυτό αναμένεται να αλλάξει στο μέλλον καθώς υπάρχει ισχυρή στήριξη από τις εταιρίες και τους οργανισμούς που απαρτίζουν το MPEG-4 Industry Forum. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική συμβαδίζει με το πρότυπο στον βαθμό που εξασφαλίζει συμβατότητα με τις υπάρχουσες λύσεις, εκμεταλλεύομενη ταυτόχρονα τις προηγμένες δυνατότητες και λειτουργίες που προδιαγράφονται από αυτό.

Το MPEG-4 είναι το βασικό υποστηριζόμενο πρότυπο της πλατφόρμας, τόσο στην κωδικοποίηση, όσο και στην μετάδοση, όπως αυτή προδιαγράφεται από το DMIF. Υπάρχει επίσης υποστήριξη για τα προηγμένα, ποιοτικά χαρακτηριστικά του όπως η προσαρμόσιμη κωδικοποίηση με χρήση της Fine Granularity Scalability.

Όπως περιγράφηκε και στο Κεφάλαιο 5, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική εκμεταλλεύεται ουσιαστικά τις δυνατότητες που προσφέρονται από τη χρήση του προτύπου MPEG-4 (διαδραστικότητα, αντικειμενοστραφής παρουσίαση, προσαρμόσιμη κωδικοποίηση), κυρίως για την υποστήριξη των μηχανισμών ποιότητας, εν αντιθέσει με τις καθιερωμένες προτάσεις που περιορίζονται στην υποστήριξη των βασικών σημείων του προτύπου.

6.3 Θέματα προς Μελλοντική Διερεύνηση

Ασφαλώς, η μελέτη των δυνατοτήτων για μετάδοση ζωντανών ροών μέσω του Διαδικτύου δεν εξαντλείται στα πλαίσια της παρούσης εργασίας. Στις ακόλουθες παραγράφους αναφερόμαστε σε κάποια θέματα που επιδέχονται περαιτέρω διερεύνησης.

6.3.1 Συχνότητα Αντίδρασης Αλγόριθμου Διαμόρφωσης Ροής

Στην παράγραφο 3.3.3 περιγράφηκε η πολιτική διαχείρισης και διαμόρφωσης ροής που ακολουθείται από την προτεινόμενη αρχιτεκτονική. Στη συγκεκριμένη παράγραφο ορίστηκε η έννοια του ποιοτικού ελέγχου ως η εφαρμογή του αλγορίθμου διαμόρφωσης ροής. Οι συχνότητα εκτέλεσης των ποιοτικών ελέγχων καθορίζει την ικανότητα της πλατφόρμας να αντιδρά άμεσα σε τυχόν δικτυακές αναταραχές.

Οι απαραίτητες πληροφορίες για την εκτέλεση του ποιοτικού ελέγχου μεταφέρονται με το μηχανισμό ανάδρασης που στις προτεινόμενες υλοποιήσεις είναι το πρωτόκολλο RTCP. Η συχνότητα ανταλλαγής RTCP μηνυμάτων, όπως ορίζεται από το πρότυπο, κυμαίνεται συνήθως από 5 έως 15 δευτερόλεπτα και όπως είναι προφανές η συχνότητα των ποιοτικών ελέγχων συμβαδίζει με αυτόν τον χρόνο.

Θα ήταν επιθυμητό, να μπορούσαμε να εκτελούμε ποιοτικούς ελέγχους πιο συχνά ώστε να αντιμετωπίζονται πιο άμεσα οι μεταβολές στην ποιότητα μετάδοσης. Η χρήση του RTCP με μικρότερη συχνότητα ανάδρασης δεν είναι δυνατή εφόσον θα υφιστάμεθα μεγάλο κόστος σε μηνύματα.

Ως εναλλακτικός μηχανισμό ανάδρασης προτείνεται η χρήση του πρωτοκόλλου DCCP [54]. Το DCCP είναι πρωτόκολλο που ανήκει στο επίπεδο μεταφοράς (transport layer) του προτύπου OSI και συνδυάζει την μη-αξιόπιστη μετάδοση του UDP με τον έλεγχο συμμόρφωσης του TCP. Η χρήση του DCCP καθιστά τον συνδυασμό UDP/RTCP περιττό, εφόσον η πληροφορία που μεταφέρει το RTCP και η οποία επεξεργάζεται στο επίπεδο εφαρμογής, παρέχεται απευθείας από το επίπεδο μεταφοράς.

6.3.2 Βελτιστοποίηση Δομών Υπερκείμενου Δικτύου και Μη Κεντρικοποιημένη Διαχείριση

Το υπερκείμενο δίκτυο που υποστηρίζει την προτεινόμενη αρχιτεκτονική ακολουθεί δενδρική δομή και η λειτουργία του επιβλέπεται και καθοδηγείται από μια κεντρική οντότητα, τον Διαχειριστή Μετάδοσης. Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 3.2.1, το συγκεκριμένο μοντέλο ταιριάζει σε παροχούς, εταιρίες και οργανισμούς και είναι αποδοτικό για πλατφόρμες που απαιτούν κεντρική διαχείριση όπως οι αρχιτεκτονικές που παρουσιάστηκαν στα Κεφάλαια 4 και 5.

Είναι φανερό ότι η μετάβαση της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής από κεντρικοποιημένη σε μια κατανεμημένη δομή, χωρίς κεντρικό έλεγχο, παρουσιάζει ιδιαίτερο ερευνητικό

ενδιαφέρον και θα επέτρεπε την υιοθέτηση των πλεονεκτημάτων που προσφέρονται από την πλατφόρμα σε ένα ευρύτερο πλήθος χρηστών.

6.3.3 Επεκτάσεις για την Υποστήριξη Υπηρεσιών Video on Demand

Η αρχιτεκτονική που παρουσιάστηκε υποστηρίζει τη μετάδοση ζωντανών ροών. Χαρακτηριστικό των ζωντανών ροών αποτελεί το γεγονός ότι σε κάθε χρονική στιγμή, το δίκτυο μετάδοσης μεταφέρει, στο σύνολο του, πληροφορία που αντιστοιχεί περίπου στην ίδια χρονική στιγμή. Οι πελάτες που συνδέονται στο σύστημα δεν λαμβάνουν το περιεχόμενο από την αρχή αλλά σε αντιστοιχία με το χρονικό σημείο που συνδέθηκαν.

Η υποστήριξη υπηρεσιών Video on Demand απαιτεί την τροποποίηση αυτής της αρχής, εφόσον ο πελάτης οφείλει να λάβει το περιεχόμενο από την αρχή, ανεξαρτήτως του χρόνου εισαγωγής του στην πλατφόρμα. Το γεγονός αυτό απαιτεί σημαντικές τροποποιήσεις στην λειτουργία του υπερκείμενου δικτύου εφόσον οι ροές που διακινούνται πολλαπλασιάζονται πλέον και στον άξονα του χρόνου. Επίσης, η μετάδοση πρέπει να υπακούει και στις υπόλοιπες αρχές που διέπουν τις πολυμεσικές ροές, δηλαδή μετάδοση με καθορισμένη σειρά και συγκεκριμένο χρονικό περιθώριο λήψης.

Ορισμένες ερευνητικές προσπάθειες στο συγκεκριμένο θέμα μπορούν να βρεθούν στα [103] και [104].

6.4 Αναφορές

[103] Eddie Kohler, Mark Handley, Sally Floyd, “Datagram Congestion Control Protocol (DCCP)”, Internet Draft, Internet Engineering Task Force, March 2005.

[104] End System Multicast, Carnegie Mellon University, <http://esm.cs.cmu.edu/>.

[105] SplitStream, Microsoft Research, <http://research.microsoft.com/~antr/SplitStream/>.

7. Παράρτημα

7.1 Βιογραφικό Σημείωμα

Ο υποψήφιος διδάκτορας κ. Νικόλαος Μηνόγιαννης γεννήθηκε στην Αθήνα στις 30 Μαΐου του 1977. Αποφοίτησε από το 4^ο Γενικό Λύκειο Ιωαννίνων το 1995 με χαρακτηρισμό απολυτηρίου «Άριστα». Το 1995, εισήχθη στο τμήμα Μηχανικών Υπολογιστών και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών. Αποφοίτησε το 2000 με βαθμό πτυχίου 8,1 και διάκριση «Λίαν Καλώς». Η διπλωματική του εργασία έφερε τον τίτλο «Ανάπτυξη πιλοτικού γραφικού περιβάλλοντος για πλοήγηση σε Digital Library και σε συλλογές δομημένων εγγράφων (structured documents collections) αξιοποιώντας τεχνολογίες user profiling & filtering (πολλαπλές / επιλεγόμενες διαδρομές πλοήγησης, guided tours)» με επιβλέποντα τον κ. Θ. Παπαθεοδώρου.

Τον Νοέμβριο του 2000, έγινε δεκτός για μεταπτυχιακές σπουδές στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η περιοχή της διδακτορικής του διατριβής εντοπίζεται στη μελέτη και την ανάπτυξη τεχνικών για την αποδοτικότερη μετάδοση πολυμεσικού περιεχομένου πάνω από το Διαδίκτυο.

Παράλληλα, εργάζεται ως ερευνητικός συνεργάτης στο εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ στα πλαίσια Ελληνικών και Ευρωπαϊκών ερευνητικών προγραμμάτων. Ειδικότερα:

- Κατά την περίοδο 2001-2003 συμμετείχε στο πρόγραμμα IST-MOICANE με σκοπό την ανάπτυξη προηγμένης πλατφόρμας τηλε-εκπαίδευσης, στηριζόμενη στην χρήση διαδραστικών πολυμεσικών εφαρμογών πάνω από δίκτυα νέας γενιάς.
- Την περίοδο 2003-2004 συμμετείχε στο πρόγραμμα IST-OLYMPIC στο σχεδιασμό πλατφόρμας για μετάδοση πολυμεσικού περιεχομένου πραγματικού χρόνου σε μεγάλο αριθμό χρηστών μέσω του Διαδικτύου.
- Τέλος, από το 2004 και μέχρι σήμερα, συμμετέχει στο διεθνές ερευνητικό πρόγραμμα ISMuS που μελετά την μετάδοση πολυμεσικού περιεχομένου με διαδραστικότητα στηριζόμενο στις τεχνολογίες του προτύπου MPEG-4.

Στα πλαίσια της επιστημονικής του ενασχόλησης απέκτησε εμπειρία σε θέματα ανάπτυξης και διαχείρισης πολυμεσικών εφαρμογών, ιδιαίτερα σε σχέση με την μετάδοση περιεχομένου πάνω από δίκτυα. Επίσης, μελέτησε τους μηχανισμούς εξασφάλισης ποιότητας σε δίκτυα IP και τις ιδιαιτερότητες της εφαρμογής τους σε πολυμεσικό περιεχόμενο. Η διδακτορική διατριβή του κ. Μηνόγιαννη προέκυψε ως συνισταμένη των παραπάνω και τα αποτελέσματα της έχουν δημοσιευθεί σε διεθνή έγκριτα περιοδικά και συλλογικούς τόμους, ενώ έχουν παρουσιαστεί και σε επιστημονικά συνέδρια

7.2 Δημοσιεύσεις σε Διεθνή Περιοδικά

- [1] Ch. Patrikakis, P. Fafali, N. Minogiannis, Y. Despotopoulos, "Report on the introduction of an application layer multicast scheme for streaming media delivery in e-Learning environments", *Scientific Journal on Applied Information Technology*, Volume 3, Issue 2, 2003.
- [2] P. Fafali, Y. Despotopoulos, Ch. Patrikakis, N. Minogiannis, "Traffic Engineering towards the assurance of Quality in IP networks: Trends and Perspectives", *RCC - The Colombian Journal of Computation*, ISSN 1657 - 2831, vol. 4/2, pp. 7-20, December 2003.
- [3] Ch. Z. Patrikakis, N. Minogiannis, Y. Despotopoulos, P. Fafali, "Implementing a media relay scheme for real time streaming at the application layer", *Acta Tehnica Napocensis-Electronics and Telecommunications*, ISSN: 1221-6542, vol. 45/2, pp. 11-17, 2004.
- [4] Y. Despotopoulos, Ch. Patrikakis, P. Fafali, N. Minogiannis, A. Anagnostou, "An Overlay Scheme for Live Streaming Media Distribution Using Minimum Spanning Tree Properties", *Journal of Internet Technology*, ISSN 1607-9264, vol. 5, pp. 351-362, October 2004.
- [5] Nikos Minogiannis, Hyun-Cheol Kim, Charalampos Patrikakis, Pantelis Karamolegos, Alexis Lambiris, and Kyuheon Kim, "An MPEG-4 compliant interactive multimedia streaming platform using overlay networks", *ETRI Journal*, ISSN 1225-6463 (υπό δημοσίευση).

7.3 Άρθρα σε Συλλογικούς Τόμους και Βιβλία

- [1] Ch. Patrikakis, K. Karapetsas, N. Minogiannis, S. Vrontis, N. Igoumenidis, G. Diakonikolaou, "A QoS aware e-learning service framework: The MOICANE case", *Cross-Media Service Delivery*, ISBN 1-4020-7480-8, Kluwer International Series in Engineering and Computer Science, vol. 740, pp. 109-120, 2003.
- [2] N. Minogiannis, Ch. Patrikakis, A. Rompotis, F. Ninos, "An e-tutoring service architecture based on overlay networks", *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag Heidelberg, ISSN: 0302-9743, Volume 2869 / 2003, pp. 59-68, October 2003.
- [3] Ch. Z. Patrikakis, G. Koukouvakis, A. Lambiris, N. Minogiannis, "A report on media streaming for large numbers of users", *Annual Review of Communications*, IEC ISBN:1-931695-28-8, Vol. 57, November 2004.
- [4] Ch. Z. Patrikakis, P. Fafali, N. Minogiannis, N. Kourbelis, "Ubiquitous access to information through portable, mobile and handheld devices: a challenge for Portals", *Encyclopaedia of Portal Technology and Applications*, Idea Group (υπό δημοσίευση).

7.4 Ανακοινώσεις σε Συνέδρια

- [1] Charalampos Patrikakis, Mario Nunes, Yannis Despotopoulos, Janio Monteiro, Nikos Minogiannis, "Real Time Data Streaming over Heterogeneous Networks: The OLYMPIC Project Media Distribution Approach", Work in Progress Session of the EUROMICRO /DSD conference event, Antalya, Turkey, 2, September 2003.
- [2] Ch. Z. Patrikakis, Y. Despotopoulos, A. M. Rompotis, N. Minogiannis, A. L. Lambiris, A. D. Salis, "An implementation of an overlay network architecture scheme for streaming media distribution", Multimedia Telecommunications Track of EuroMicro 2003, Antalya, Turkey, pp. 207 - 214, September 2003.
- [3] Ch. Z. Patrikakis, Y. Despotopoulos, J. Angelopoulos, C. Karaikos, N. Minogiannis, "Simulating Server Performance for Media Streaming", 1st International Conference on Experiments / Process / System Modelling / Simulation / Optimization, Athens, July 2005.
- [4] Hyun-Cheol Kim, Kyuheon Kim, Patrikakis, C., Minogiannis, N., van der Schaar, M., "Object-based interactive multimedia streaming platform using overlay networks", IEEE International Conference on Consumer Electronics, 2006. ICCE '06, ISBN: 0-7803-9459-3, pp. 267- 268, January 2006.

