Πανεπιστήμιο Κρήτης
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών

Περιβάλλον για την Εκτέλεση Πειραμάτων Χρέωσης Video Προσαρμοζόμενου Ρυθμού με Δυνατότητα Επαναδιαπραγμάτευσης

Χρήστος Κ. Μανωλάκης

Μεταπτυχιακή Εργασία

Ηράκλειο, Ιούνιος 1998

Πανεπιστήμιο Κρήτης
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών

Περιβάλλον για την Εκτέλεση Πειραμάτων Χρέωσης Video Προσαρμοζόμενου Ρυθμού με Δυνατότητα Επαναδιαπραγμάτευσης

Εργασία που υποβλήθηκε από τον
Χρήστο Κ. Μανωλάκη
ως μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων
για την απόκτηση
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Συγγραφέας:

Χρήστος Κ. Μανωλάκης
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Εισηγητική Επιτροπή:

Κωνσταντίνος Κουρκουμπέτης
Καθηγητής

Γεώργιος Δ. Σταμούλης
Επίκουρος Καθηγητής

Δημήτριος Σερπάνος
Επίκουρος Καθηγητής

Δεκτή:

Πάνος Κωνσταντόπουλος
Πρόεδρος Επιτροπής Μεταπτυχιακών Σπουδών

Ιούνιος 1998

αφιερώνεται στην οικογένειά μου.

.

Περιβάλλον για την Εκτέλεση Πειραμάτων Χρέωσης Video Προσαρμοζόμενου Ρυθμού με Δυνατότητα Επαναδιαπραγμάτευσης

Χρήστος Κ. Μανωλάκης

Μεταπτυχιακή Εργασία

Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζουμε την δημιουργία ενος περιβάλλοντος για την εκτέλεση πειραμάτων χρέωσης υπηρεσιών ABR, με προσομοίωση της λειτουργικότητας αυτών. Η κίνηση που εξυπηρετείται απο τις υπηρεσίες είναι video με ρυθμό προσαρμοζόμενο στον επιτρεπτό απο το δίκτυο ρυθμό μετάδοσης. Αναλύουμε τις απαιτήσεις και τους στόχους ενος τέτοιου περιβάλλοντος και παρουσιάζουμε την αρχιτεκτονική και την ανάπτυξή του. Παρουσιάζουμε διάφορα πειράματα χρέωσης που εκτελέστηκαν και παραθέτουμε τα συμπεράσματά μας, όσον αφορά την κατανομή του εύρους ζώνης σε οικονομική βάση και την συμπεριφορά των χρηστών.

Τέλος παρουσιάζουμε την χρήση ενός ευφυούς αντιπροσώπου στην πλευρά του χρήστη, που τον βοηθάει στην αποτελεσματικότερη χρέωσή του, εκμεταλλευόμενος την δυνατότητα επαναδιαπραγμάτευσης που του παρέχει ένα απο τα σχήματα χρέωσης. Παρουσιάζουμε τους στόχους ενός τέτοιου εργαλείου, την ανάπτυξή του και διάφορα πειραματικά αποτελέσματα που προέκυψαν απο περιβάλλον προσομοίωσης.

Επόπτης:
Κωνσταντίνος Κουρκουμπέτης
Καθηγητής Τμήματος Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

An Environment for Performing Chrarging Experiments of Adaptive-Rate Video with Renegotiation

Christos K. Manolakis

Master of Science Thesis

Computer Science Department
University of Crete

Abstract

In this Master's thesis, we present the development of an environment for performing experiments of ABR charging services by emulating the functionality of such services. The traffic employed in the experiments is video whose transmission rate is adapted to the bit-rate allowed by the network. We study the requirements and the objectives of such an environment, and we present both its architecture and its development and implementation process. Furthermore, we describe several charging exepriments carried out, along with our conclusions concerning economic sharing of bandwidth and users' behaviour.

Finally we investigate the usage of an intelligent agent at the user side, which will aid the user in being charge-efficient, by exploiting the renegotiation feature of one of the ABR charging schemes. We present the main ideas for such a tool, its development and implementation, as well as experimental results from simulations.

Supervisor:
Costas Courcoubetis
Professor of Computer Science Department
University of Crete

Ευχαριστίες

Απο την θέση αυτή, θα ήθελα καταρχάς να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου κ.κ. Κ. Κουρκουμπέτη και Γ.Δ. Σταμούλη, για την πολύτιμη και ουσιαστική καθοδήγηση που μου παρείχαν κατα την διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Ευχαριστώ επίσης την ομάδα Δικτύων και Τηλεπικοινωνιών καθώς και το Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας στο σύνολό του, για την υλικοτεχνική υποδομή που μου παρείχε. Θα ήθελα επίσης, να αναφερθώ στην πολύτιμη βοήθεια των συμφοιτητών και φίλων μου Αρτέμη Βογιατζή, Παναγιώτη Αντωνιάδη, Βασίλη Τσώνη και Αντώνη Δημάκη οι οποίοι με βόηθησαν σε πολλές και δύσκολες περιπτώσεις. Τέλος δεν θα μπορούσα να μήν αναφερθώ σε όλους του φίλους μου που με συμπαραστάθηκαν σε τόσες πολλές και δύσκολες στιγμές. Αλλά πάνω απο όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, στην οποία οφείλω την ύπαρξη και την υπόστασή μου.
Τούτη η εργασία αφιερώνεται σ' αυτήν.

Περιεχόμενα

Περίληψη **i**

Abstract **ii**

Ευχαριστίες **iii**

Περιεχόμενα **iv**

Κατάλογος Σχημάτων **viii**

1 Εισαγωγή **1**

1.1 Η σύγχρονη τεχνολογία 1

1.2 Σκοπός της δημιουργίας ενός περιβάλλοντος για την εκτέλεση πειραμάτων χρέωσης 2

1.3 Οι υπηρεσίες ABR 3

1.4 Απαιτήσεις ενός περιβάλλοντος εκτέλεσης πειραμάτων χρέωσης ABR υπηρεσιών 4

1.4.1 Λειτουργικότητα ABR και απαιτήσεις εφαρμογών 4

1.4.2 Απαιτήσεις στις λειτουργίες χρέωσης 5

1.4.3 Απαιτήσεις στην υποκείμενη πλατφόρμα 5

1.5 Βασικά χαρακτηριστικά ενός περιβάλλοντος χρέωσης σε υπηρεσίες ABR 5

1.6 Περίληψη και συνεισφορά της παρούσας εργασίας 6

2 Υπόβαθρο **9**

2.1 Σχήματα Χρέωσης υπηρεσιών ABR 9

2.1.1 Χρέωση ανάλογη του MCR 10

2.1.2 Δυναμική Χρέωση 10

2.1.2.1 Χρέωση με στόχο την βελτιστοποίηση της ευημερίας . . . 11

2.1.2.2 Το επαναληπτικό σχήμα χρέωσης 12
2.2 Εφαρμογές για πειράματα χρέωσης υπηρεσιών ABR 13
2.2.1 Η κωδικοποίηση MPEG-I 15
2.3 Το εργαλείο VCR 17

3 Ο αλγόριθμος επιλεκτικής μετάδοσης πλαισίων 21
3.1 Τροποποιήσεις στο εργαλείο VCR 21
3.2 Ο αλγόριθμος επιλεκτικής μετάδοσης πλαισίων 23

4 Η αρχιτεκτονική του συστήματος 29
4.1 Τα βασικά μέρη της αρχιτεκτονικής του συστήματος 30
4.1.1 Λειτουργική Μονάδα Καταμερισμού Χωρητικότητας - Resource Allocation Module 30
4.1.1.1 Χρέωση Ανάλογη του MCR 31
4.1.1.2 Δυναμική Χρέωση 32
4.1.2 Η λειτουργική μονάδα Ζήτησης - Demand Module 34
4.1.2.1 Ζήτηση σε χρέωση ανάλογη του MCR 34
4.1.2.2 Ζήτηση σε Δυναμική Χρέωση 34
4.1.3 Μονάδα Προσαρμογής του Ρυθμού Αποστολής και Μετάδοσης Video 35
4.1.4 Μονάδα Λήψης και Απεικόνισης Video 35
4.1.5 Λειτουργική μονάδα Μεταβολής της ABR Χωρητικότητας 36
4.1.6 Η Μονάδα Απόδοσης Χρέωσης - Charging Agent 36
4.2 Σύνοψη 37
4.3 Διασύνδεση Μονάδων 38
4.4 Διεπιφάνειες Χρήσης 38
4.4.1 Διεπιφάνεια του Διαχειριστή του συστήματος 38
4.4.2 Διεπιφάνεια Χρήσης του Χρήστη 39
4.5 Στοιχεία Υλοποίησης 40

5 Πειραματικά Αποτελέσματα 43
5.1 Χρήστης σταθερού χρόνου και χρέωσης 44
5.2 Χρήστες με χαμηλό διαθέσιμο ποσό 45
5.3 Χρήστες με υψηλό διαθέσιμο ποσό 46
5.4 Διαδοχική είσοδος των χρηστών στο σύστημα 47
5.5 Επαναδιαπραγμάτευση του MCR 48

5.6 Συμπεράσματα 49

6 Η χρήση ενός ευφυούς αντιπροσώπου, για την χρέωση υπηρεσιών 51

6.1 Το μοντέλο του χρήστη 52

6.2 Ο ευφυής αντιπρόσωπος 54

6.3 Προσαρμογή στην καμπύλη 55

6.4 Υλοποίηση - Πειραματικά Αποτελέσματα 57

6.4.1 Μοντελοποίηση του δικτύου 58

6.4.2 Μοντελοποίηση των χρηστών 59

6.4.2.1 Ο χρήστης U που διαθέτει ΕΑ 59

6.4.2.2 Οι υπόλοιποι χρήστες 61

6.4.3 Η λειτουργία του Ευφυούς Αντιπροσώπου 62

6.4.3.1 Ομαδοποίηση σημείων και υποβάθμιση παλαιοτέρων επιλογών 63

6.4.3.2 Ο αλγόριθμος της Αντιτονικής Παλινδρόμησης 64

6.4.3.3 Εκτίμηση του ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης από τον ΕΑ 65

6.4.3.4 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων 66

6.5 Συμπεράσματα 69

6.6 Στοιχεία Υλοποίησης 70

7 Επίλογος 71

7.1 Συμπεράσματα 71

7.2 Μελλοντικές Κατευθύνσεις 72

Βιβλιογραφία 73

Κατάλογος Σχημάτων

2.1 Τρεις τύποι πλαισίων στην κωδικοποίηση MPEG-I 15
2.2 Η οργάνωση των πλαισίων σε ένα MPEG-I αρχείο 16
2.3 Σειρά Κωδικοποίησης 17
2.4 Η αρχιτεκτονική του εργαλείου VCR 18

3.1 Ο αλγόριθμος επιλεκτικής αποστολής/απόρριψης 25
3.2 Αλγόριθμος Επιλεκτικής Μετάδοσης: Φάση Πρώτη 26
3.3 Αλγόριθμος Επιλεκτικής Μετάδοσης: Φάση Δεύτερη 27

4.1 Η αρχιτεκτονική του συστήματος 31
4.2 Διασύνδεση των Μονάδων του συστήματος 38
4.3 Η Διεπιφάνεια του Διαχειριστή του Συστήματος 39
4.4 Η διεπιφάνεια χρήσης του χρήστη του συστήματος 40

6.1 Οι καμπύλες των βέλτιστων σημείων 53
6.2 Ο αλγόριθμος για τον Ευφυή Αντιπρόσωπο 55
6.3 Ο αλγόριθμος Συγκέντρωσης Διαδοχικών Παραβιαστών 57
6.4 Εκτίμηση του νέου ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης, από τον ΕΑ 58
6.5 Η αρχιτεκτονική του συστήματος προσομοίωσης 59
6.6 Το σύνολο των ζευγών (x, w) που ο ΕΑ κατέγραψε από τον χρήστη 63
6.7 Περιοχές λύσεων του αλγορίθμου Αντιτονικής Παλινδρόμησης 66
6.8 Σύγκριση των επιλογών του ΕΑ και των αντιστοίχων βέλτιστων, ως προς το ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης 67
6.9 Σύγκριση των επιλογών του ΕΑ και των αντιστοίχων βέλτιστων, ως προς το ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης, περιοχή μετάβασης του w 69

6.10 Σύγκριση των επιλογών του ΕΑ και ενός ‘απλού αντιπροσώπου’, με τις αντίστοιχες βέλτιστες επιλογές 70

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Η σύγχρονη τεχνολογία

Τα ευρυζώνια δίκτυα μετάδοσης τα οποία βασίζονται στην τεχνολογία του Ασύγχρονου Τρόπου Μετάδοσης (Asynchronous Transfer Mode - ATM), επέτρεψαν την ολοκλήρωση της μετάδοσης κυκλοφορίας με διαφορετικά χαρακτηριστικά μέσω του ιδίου δικτύου επικοινωνίας.
Πολλές κλάσεις υπηρεσιών δημιουργήθηκαν για να υποστηρίξουν τους διαφορετικούς τύπους εφαρμογών στα δίκτυα ATM, ξεκινώντας από την πραγματικού-χρόνου μετάδοση πληροφορίας video με απαιτήσεις για εγγύηση στην ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service) και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κυκλοφορίας και καταλήγοντας στην απλή μεταφορά δεδομένων όπως για παράδειγμα το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο η οποία δεν απαιτεί εγγυήσεις στην ποιότητα υπηρεσίας και δεν έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κυκλοφορίας.

Η υπηρεσία Διαθέσιμου Ρυθμού Μετάδοσης (Available Bit Rate Service), ορίστηκε για να υποστηρίξει εφαρμογές που έχουν την δυνατότητα να προσαρμόζουν τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων τους ανάλογα με το διαθέσιμο στο δίκτυο εύρος ζώνης [For96]. Η παραπάνω κλάση υπηρεσιών αποφέρει την πλήρη χρησιμοποίηση της χωρητικότητας των συνδέσμων, χωρίς να προκαλεί συμφόρηση σε αυτούς και διαμοιράζοντας δίκαια τους πόρους τους.

Η δυνατότητα προσαρμογής του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων των εφαρμογών ABR συγκέντρωσε το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών όσον αφορά την ανάπτυξη διαφόρων σχημάτων χρέωσης τα οποία θα εκμεταλλεύονται την παραπάνω ιδιότητα και θα αποδίδουν δίκαιη χρέωση σε αυτές [CSS96], [Kel97], [KMT98] και θα καθιστούν την εν

λόγω υπηρεσία ελκυστική. Τα σχήματα χρέωσης που αναπτύχθηκαν για τις παραπάνω εφαρμογές, ελάμβαναν υπόψιν τους τον χρόνο και τον συνολικό όγκο πληροφορίας που αυτές μετέδιδαν [Kel96] ενώ άλλα βασίστηκαν σε έννοιες τις μικροϊκονομικής θεωρίας στοχεύοντας να βελτιστοποιήσουν την κοινωνική ευημερία [CSS96],[KMT98] .

Η ανάπτυξη των παραπάνω θεωρητικών σχημάτων χρέωσης, δημιούργησε πολλά ερωτήματα όσον αφορά την συμπεριφορά των χρηστών των εφαρμογών ABR όταν χρησιμοποιούνται διάφορα σχήματα χρέωσης και τις συνέπειες για την λειτουργία και την επίδοση του δικτύου. Έτσι, δημιουργήθηκε η ανάγκη για την ανάπτυξη ενός περιβάλλοντος, το οποίο θα είναι σε θέση να επιδείξει την συμπεριφορά αυτή, σε όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικές συνθήκες.

1.2 Σκοπός της δημιουργίας ενός περιβάλλοντος για την εκτέλεση πειραμάτων χρέωσης

Ένα περιβάλλον για την εκτέλεση πειραμάτων χρέωσης είναι μία πλατφόρμα, τα βασικά μέρη της οποίας αποτελούν το μέρος του δικτύου και το μέρος του χρήστη. Το μέρος του δικτύου πρέπει να επιτρέπει την υλοποίηση των αλγορίθμων χρέωσης και την μελέτη της συμπεριφοράς του δικτύου, ενώ το μέρος του χρήστη πρέπει να παρέχει μία κατάλληλα δομημένη διεπιφάνεια χρήσης (user interface), που θα παρέχει όλες τις απαραίτητες, στον χρήστη, πληροφορίες χρέωσης και τις ανάλογες παραμέτρους της.

Τα κίνητρα για την δημιουργία ενός τέτοιου περιβάλλοντος, ήταν αφ' ενός μεν η ανάγκη για πειραματική επαλήθευση της σωστής συμπεριφοράς των διαφόρων σχημάτων χρέωσης όσον αφορά την κατανομή του εύρους ζώνης σε οικονομική βάση, που έχουν αναλυθεί σε θεωρητικό επίπεδο, αφ' ετέρου δε, η μελέτη της αλληλεπίδρασης του χρήστη με το δίκτυο, όταν αυτός υπόκειται στα διάφορα σχήματα χρέωσης. Σε προηγούμενη εργασία, δημιουργήθηκε μία πλατφόρμα εκτέλεσης πειραμάτων, η οποία όμως ήταν σε πρωτογενή μορφή καθώς ο σκοπός της ήταν να εξετάσει την προσαρμογή του ρυθμού αποστολής δεδομένων στα σήματα ανάδρασης του δικτύου και της χρέωσης, χωρίς όμως την πραγματική μετάδοση πληροφορίας και την δυνατότητα επαναδιαπραγμάτευσης των παραμέτρων χρέωσης. Το παρόν περιβάλλον αποτελεί ευρεία επέκταση της παραπάνω εργασίας, εφαρμόζοντας χρέωση σε πραγματική κίνηση video πληροφορίας και προσφέροντας την δυνατότητα επαναδιαπραγμάτευσης των παραμέτρων χρέωσης στους χρήστες.

1.3 Οι υπηρεσίες ABR

Μία από τις κλάσεις υπηρεσιών ATM που έχουν ορισθεί από το ATM Forum ονομάζεται **Υπηρεσία Διαθέσιμου Ρυθμού - Available Bite Rate (ABR)** [For96]. Αναφέρεται για πηγές κυκλοφορίας σε δίκτυα ATM, οι οποίες έχουν την δυνατότητα να μειώνουν ή να αυξάνουν το ρυθμό αποστολής δεδομένων σύμφωνα με τα σήματα ελέγχου συμφόρησης που λαμβάνουν από το δίκτυο. Οι χρήστες των υπηρεσιών ABR έχουν την δυνατότητα να δηλώσουν τον ελάχιστο ρυθμό αποστολής δεδομένων (Minimum Cell Rate - MCR), ο οποίος, αν η σύνδεσή τους γίνει αποδεκτή από το δίκτυο κατά την φάση εγκατάστασης σύνδεσης (connection set-up phase), τους είναι διαθέσιμος ανά πάσα στιγμή. Το δίκτυο είναι δυνατόν να μεταβάλλει τον ρυθμό αποστολής δεδομένων για μία σύνδεση ABR από την στιγμή της εγκατάστασης της σύνδεσης και έπειτα. Οι χρήστες προσαρμόζουν τον ρυθμό αποστολής δεδομένων από την στιγμή που θα λάβουν τα σήματα ανάδρασης του δικτύου. Με βάση την παραπάνω διαδικασία, αναμένεται, οι χρήστες που θα προσαρμόσουν το ρυθμό αποστολής δεδομένων με τα σήματα ανάδρασης του δικτύου να έχουν χαμηλή απώλεια κελιών (cell loss ratio). Οι παράμετροι της μεταβολής της καθυστέρησης ενός κελλιού (cell delay variation) και καθυστέρησης μετάδοσης κελλιού (cell transfer delay) δεν ελέγχονται.

Η συνολική χωρητικότητα που δεσμεύεται για τις συνδέσεις ABR από το δίκτυο ATM είναι το άθροισμα της ήδη δεσμευμένης χωρητικότητας από τις συνδέσεις αυτές (που εκφράζεται από το άθροισμα των MCRs των συνδέσεων) και της χωρητικότητας που μένει ανεκμετάλλευτη από τις υπόλοιπες κλάσεις υπηρεσιών του ATM εγγυημένης υπηρεσίας (CBR, rt-VBR, nrt-VBR). Η υπηρεσία ABR έχει το πλεονέκτημα ότι εκμεταλλεύεται αποτελεσματικά την διαθέσιμη χωρητικότητα του συνδέσμου ενώ ικανοποιεί τις απαιτήσεις σε απόδοση πολλών εφαρμογών, με την προϋπόθεση ότι οι τελευταίες είναι ικανές να ανταποκρίνονται, κατά τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω, στα σήματα ανάδρασης του δικτύου.

Μια ουσιαστική διαφορά μεταξύ των υπηρεσιών ABR και των υπηρεσιών εγγυημένης υπηρεσίας (CBR, rt-VBR, nrt-VBR), είναι ότι μπορούν να παρέχουν σε μία σύνδεση ABR, χωρητικότητα μεγαλύτερη από το προκαθορισμένο ελάχιστο ρυθμό αποστολής (MCR). Το μέγεθος της επιπλέον χωρητικότητας που είναι δυνατόν να αποδοθεί στις συνδέσεις ABR εξαρτάται από την ζήτηση, σε χωρητικότητα, των άλλων υπηρεσιών κάθε χρονική στιγμή και για τον λόγο αυτό, δεν μπορεί να είναι εγγυημένη και προκαθορισμένη. Συνεπώς λόγω της παραπάνω, ουσιαστικής, διαφοράς των υπηρεσιών ABR

από τις άλλες υπηρεσίες δεν μπορούν να εφαρμοστούν τα ίδια σχήματα χρέωσης που εφαρμόζονται σε συνδέσεις εγγυημένης υπηρεσίας.

1.4 Απαιτήσεις ενός περιβάλλοντος εκτέλεσης πειραμάτων χρέωσης ABR υπηρεσιών

Οι απαιτήσεις ενός συστήματος χρέωσης ABR υπηρεσιών μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Απαιτήσεις από τις εφαρμογές που θα χρησιμοποιηθούν.
- Απαιτήσεις στις λειτουργίες χρέωσης.
- Απαιτήσεις στην υποκείμενη πλατφόρμα.

1.4.1 Λειτουργικότητα ABR και απαιτήσεις εφαρμογών

Όπως έγινε φανερό και στην προηγούμενη παράγραφο, το εύρος ζώνης που αποδίδεται σε κάθε σύνδεση ABR, είναι δυνατόν να μεταβάλλεται σε κάθε χρονική στιγμή. Με βάση τα σήματα ανάδρασης, η προσαρμογή του ρυθμού αποστολής πραγματοποιείται σε επίπεδο ATM, στις κάρτες ABR. Οι εν λόγω κάρτες, προσαρμόζουν τον ρυθμό αποστολής δεδομένων, κάθε φορά που αυτός ξεπερνά τον αντίστοιχο επιτρεπτό από το δίκτυο ρυθμό. Σε ορισμένες εφαρμογές όμως, όπως η μετάδοση πληροφορίας video, η προσαρμογή του ρυθμού αποστολής με την παραπάνω διαδικασία, οδηγεί σε απώλεια σημαντικής πληροφορίας. Έτσι είναι αναγκαία η ανάπτυξη ενός μηχανισμού προσαρμογής του ρυθμού αποστολής δεδομένων, σε επίπεδο εφαρμογής πλέον, ο οποίος θα προσαρμόζει τον ρυθμό αποστολής στα σήματα ανάδρασης του δικτύου με την ελάχιστη δυνατή απώλεια πληροφορίας. Το παραπάνω αποτελεί βασική απαίτηση στην σχεδίαση του περιβάλλοντος: Η παροχή όσο το δυνατόν καλύτερης ποιότητας υπηρεσίας σε σχέση με τις τιμές των παραμέτρων χρέωσης που δηλώνει ο χρήστης. Τέλος, η εφαρμογή που θα επιλεχθεί για να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση πειραμάτων θα πρέπει να είναι σε θέση να αναπαριστά οπτικά οποιαδήποτε αλλαγή της χωρητικότητας που κάθε χρονική στιγμή λαμβάνει.

1.4.2 Απαιτήσεις στις λειτουργίες χρέωσης

Όσον αφορά τις λειτουργίες χρέωσης, θα πρέπει οποιοδήποτε σχήμα χρέωσης υλοποιηθεί, να είναι διαθέσιμο στην πλατφόρμα οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Η επίδειξη απαιτεί, όχι μόνο να υπολογίζεται η χρέωση αλλά και υποδηλώνεται στον χρήστη. Θα πρέπει επίσης να παρέχεται η δυνατότητα στον χρήστη να μεταβάλλει τις παραμέτρους χρέωσής του όταν αυτές δεν αποτελούν μία ικανοποιητική επιλογή γι' αυτόν. Η παροχή της δυνατότητας επαναδιαπραγμάτευσης απο το περιβάλλον επιτρέπει στον χρήστη να βελτιστοποιήσει την ποιότητα υπηρεσίας σε σχέση με τα χρήματα που πληρώνει όπως θα δούμε και σε επόμενο κεφάλαιο.

1.4.3 Απαιτήσεις στην υποκείμενη πλατφόρμα

Η εκτέλεση πειραμάτων χρέωσης σε υπηρεσίες ABR, προϋποθέτει την ύπαρξη του κατάλληλου υλικού (hardware) και λογισμικού (software) στο μέρος του δικτύου το οποίο να υλοποιεί όλη την λειτουργικότητα της ABR υπηρεσίας. Το σύνολο αυτό του υλικού και του λογισμικού, που εδώ αφαιρετικά, το ονομάζουμε ''υποκείμενη πλατφόρμα'', είναι υπεύθυνο για την αποστολή των σημάτων ανάδρασης και την προσαρμογή του ρυθμού αποστολής δεδομένων των ABR συνδέσεων.

Δεδομένου ότι μέχρι σήμερα δεν έχει αναπτυχθεί μία πραγματική πλατφόρμα ABR, η υποκείμενη πλατφόρμα εξομοιώνει την λειτουργία ABR με την χρήση λογισμικού. Η χρήση του λογισμικού για την εξομοίωση της ABR λειτουργικότητας απαιτεί τον έλεγχο του ρυθμού μετάδοσης της εφαρμογής ABR πλέον σε επίπεδο εφαρμογής και όχι σε επίπεδο ATM το οποίο θα ήταν πολύ δυσκολότερο.

1.5 Βασικά χαρακτηριστικά ενός περιβάλλοντος χρέωσης σε υπηρεσίες ABR

Με βάση τα παραπάνω, τα βασικά χαρακτηριστικά ενός περιβάλλοντος για την εκτέλεση πειραμάτων χρέωσης σε υπηρεσίες ABR είναι τα εξής:

- Εξομοίωση της λειτουργίας των υπηρεσιών ABR
- Παροχή της δυνατότητας επαναδιαπραγμάτευσης των παραμέτρων χρέωσης
- Οπτική επίδειξη των συνεπειών της χρέωσης στην ποιότητα υπηρεσίας που λαμβάνει ο χρήστης

1.6 Περίληψη και συνεισφορά της παρούσας εργασίας

Η συνεισφορά της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία ενός περιβάλλοντος για την εκτέλεση πειραμάτων χρέωσης σε υπηρεσίες ABR. Το περιβάλλον αυτό, εξομοιώνει την λειτουργικότητα των υπηρεσιών ABR, με αποστολή σημάτων ανάδρασης που αφορούν τόσο την χρέωση όσο και τον καταμερισμό της χωρητικότητας στις συνδέσεις ABR. Παρέχει την δυνατότητα επαναδιαπραγμάτευσης των παραμέτρων χρέωσης, προσαρμόζοντας τον ρυθμό αποστολής πραγματικής MPEG-I κυκλοφορίας, στα σήματα ανάδρασης του δικτύου με την ελάχιστη δυνατή απώλεια κυκλοφορίας. Απεικονίζει τις αλλαγές στο δεσμευόμενο εύρος ζώνης με αποτελεσματικό τρόπο και τέλος, συνεισφέρει στην ανάπτυξη λογισμικού για την αποτελεσματικότερη χρέωση του χρήστη, στις περιπτώσεις των υπηρεσιών ABR και για σχήματα χρέωσης που παρέχουν την δυνατότητα επαναδιαπραγμάτευσης των παραμέτρων χρέωσης απο τον χρήστη.

Η παρούσα εργασία δομείται ώς εξής: Στο κεφάλαιο 2, παρουσιάζουμε δυο βασικά σχήματα χρέωσης τα οποία υλοποιήθηκαν στο σύστημά μας. Το πρώτο σχήμα περιγράφει τον τρόπο χρέωσης εκρηκτικών πηγών και με βάση την έννοια του ισοδυνάμου εύρους ζώνης, η χρέωση που αποδίδει στους χρήστες εκφράζεται ώς συνάρτηση της διάρκειας της σύνδεσής τους και του συνολικού όγκου που η σύνδεση αυτή μεταφέρει. Το δεύτερο σχήμα χρησιμοποιεί έννοιες της μικροϊκονομικής θεωρίας και στην κατάσταση ισορροπίας, η χρέωση που αποδίδεται στους χρήστες, μεγιστοποιεί την κοινωνική ευημερία. Στην συνέχεια, εξετάζουμε ποιές από τις εφαρμογές είναι κατάλληλες για την εκτέλεση πειραμάτων χρέωσης. Παρουσιάζουμε τα βασικά στοιχεία της κωδικοποίησης MPEG-I και το εργαλείο VCR, για την μετάδοση κωδικοποιημένης πληροφορίας video πάνω από internet.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφουμε έναν αλγόριθμο προσαρμογής του ρυθμού αποστολής πληροφορίας video με βάση τα σήματα ανάδρασης του δικτύου. Παρουσιάζουμε τις κατάλληλες τροποποιήσεις στο εργαλείο VCR με σκοπό την προσαρμογή του ρυθμού αποστολής στα σήματα ανάδρασης του δικτύου και παρουσιάζουμε τον αλγόριθμο επιλεκτικής μετάδοσης καρέ που υλοποιήθηκε στο παραπάνω εργαλείο.

Στο κεφάλαιο 4, παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του υλοποιηθέντος συστήματος. Παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι λειτουργικές μονάδες αυτού και η ακριβής λειτουργία τους.

Στο κεφάλαιο 5, περιγράφουμε τα αποτελέσματα των πειραμάτων που εκτελέστηκαν στο σύστημα που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4. Θέτουμε τις παραμέτρους των

πειραμάτων και σχολιάζουμε τα αποτελέσματα της χρέωσης σχετικά με την λαμβανόμενη εικόνα και στο λαμβανόμενο εύρος ζώνης.

Στο κεφάλαιο 6, παρουσιάζεται η χρήση ενός ευφυούς αντιπροσώπου στην πλευρά του χρήστη, όταν αυτός δέχεται και χρεώνεται ABR υπηρεσίες. Ο ευφυής αντιπρόσωπος καταγράφει την διαθέσιμη πληροφορία που αφορά την χρέωση του χρήστη, με σκοπό να μιμηθεί αργότερα τις επιλογές χρήστη όσον αφορά την χρέωσή του. Με βάση τις παραπάνω πληροφορίε ς και με ειδικούς αλγορίθμους, εκτιμά την νέο ποσό που είναι διαθέσιμος να πληρώσει ο χρήστης με σκοπό την μεγιστοποίηση της συνολικής χρησιμότητας που παρέχει η εφαρμογή αυτή στον χρήστη και στην συνέχεια υποδυκνείει την επιλογή αυτή στον χρήστη.

Τέλος στο κεφάλαιο 7, παρουσιάζουμε τα βασικά συμπεράσματα της παρούσας εργασίας και σχετικές μελλοντικές κατευθύνσεις.

Η παρούσα εργασία έγινε στα πλαίσια του ευρωπαικού έργου ACTS-039 CA$hMAN (Charging and Accounting Schemes in Multi-Service ATM Networks).

Κεφάλαιο 2

Υπόβαθρο

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάσαμε τις βασικές απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά ενός περιβάλλοντος χρέωσης υπηρεσιών ABR, καθώς και τους στόχους που θα πρέπει να ικανοποιηθούν από την διεξαγωγή πειραμάτων στο περιβάλλον αυτό.

Στο κεφάλαιο αυτό, θα παρουσιάσουμε τα βασικά σχήματα χρέωσης των υπηρεσιών ABR τα οποία έχουν υλοποιηθεί και βάσει των οποίων πραγματοποιήθηκαν τα διάφορα πειράματα χρέωσης. Στην συνέχεια παρουσιάζουμε τα βασικά χαρακτηριστικά της κωδικοποίησης video MPEG-I και το εργαλείο VCR για την μετάδοση πληροφορίας video το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των πειραμάτων.

2.1 Σχήματα Χρέωσης υπηρεσιών ABR

Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζουμε δύο βασικά σχήματα χρέωσης. Στο πρώτο σχήμα [Kel96] η χρέωση που αποδίδεται, εκφράζεται ώς συνάρτηση της διάρκειας της σύνδεσης και του συνολικού όγκου δεδομένων που η σύνδεση αυτή μετέδωσε.

Το δεύτερο σχήμα [CSS96], εφαρμόζεται σε συνδέσεις με μηδενικό MCR (Minimum Cell Rate), εκμεταλλεύεται τους ήδη υπάρχοντες μηχανισμούς ελέγχου ροής των υπηρεσιών ABR και η χρέωση που αποδίδει στοχεύει στην βελτιστοποίηση της ‘‘κοινωνικής ευημερίας’’. Με βάση το παραπάνω σχήμα, η τιμή ανά μονάδα εύρους ζώνης μεταβάλλεται δυναμικά, σαν συνέπεια της μεταβολής του φόρτου του δικτύου, με τέτοιο τρόπο, ώστε στην κατάσταση ισορροπίας η ζήτηση για εύρος ζώνης να ισούται με την αντίστοιχη παροχή της από το δίκτυο (supply). Χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες συναρτήσεις που περιγράφουν την ζήτηση των χρηστών σε χωρητικότητα, στη κατάσταση ισορροπίας, τόσο το εισόδημα του δικτύου, όσο και η ευημερία των χρηστών, μεγιστοποιούνται.

2.1.1 Χρέωση ανάλογη του MCR

Το σχήμα αυτό, αποτελεί επέκταση του σχήματος χρέωσης για συνδέσεις εγγυημένης υπηρεσίας [Kel96], όπου η χρέωση που αποδίδεται σε μία σύνδεση, εκφράζεται σαν συνάρτηση της διάρκειας της σύνδεσης και του συνολικού όγκου που μεταφέρει. Δηλαδή η χρέωση, σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα εκφράζεται από την σχέση

$$\text{charge} \quad = \quad \alpha \cdot T \quad + \quad b \cdot V. \tag{2.1}$$

Όπως εξηγήσαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, σαν ABR συνδέσεις ονομάζουμε όλες εκείνες τις συνδέσεις, οι οποίες προσαρμόζουν τον ρυθμό αποστολής δεδομένων, στα σήματα ανάδρασης του δικτύου. Στις υπηρεσίες αυτές, ο χρήστης μπορεί να δηλώσει ένα ελάχιστο ρυθμό αποστολής δεδομένων (Minimum Cell Rate - MCR), τον οποίο, εάν η σύνδεσή του γίνει αποδεκτή, το δίκτυο του εγγυάται. Με βάση το παραπάνω σχήμα χρέωσης, η χρέωση για τις ABR υπηρεσίες, γίνεται με ένα ορισμένο τρόπο για ρυθμό αποστολής μέχρι το MCR και με ένα άλλο, διαφορετικό, για ρυθμό αποστολής δεδομένων μεγαλύτερου του MCR. Αυτό σημαίνει ότι ορίζεται μία χρέωση α ανά μονάδα χρόνου για το MCR και μια χρέωση b ανά μονάδα όγκου, όπου το b μπορεί να είναι και μηδέν. Δηλαδή, η εξίσωση χρέωσης για τις ABR υπηρεσίες, σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα δίνεται από την εξίσωση:

$$\text{charge} \quad = \quad \alpha \cdot MCR \cdot T \quad + \quad b \cdot V, \tag{2.2}$$

όπου T, είναι η συνολική διάρκεια της σύνδεσης και V ο συνολικός όγκος δεδομένων που η σύνδεση αυτή μετέδωσε. Έτσι, σε περιπτώσεις συμφόρησης, ο χρήστης μπορεί να αυξήσει την τιμή του MCR, προκειμένου να βελτιώσει την ποιότητα της σύνδεσής του, αλλά, όπως φαίνεται και από την σχέση (2.2), να χρεωθεί από το δίκτυο περισσότερο.

2.1.2 Δυναμική Χρέωση

Στην παράγραφο αυτή, περιγράφεται ένα σχήμα χρέωσης για τις υπηρεσίες ABR το οποίο βασίζεται στην μικροοϊκονομική θεωρία και συγκεκριμένα στην μεγιστοποίηση της κοινωνικής ευημερίας. Το σχήμα αυτό, εκμεταλλεύεται τους ήδη υπάρχοντες μηχανισμούς που παρέχονται από τον έλεγχο ροής βάσει ρυθμού (rate-based flow control) των ABR υπηρεσιών, όπως αυτοί καθορίστηκαν από το ATM Forum [For96] και γι' αυτό η επιβάρυνση του στο σύστημα είναι πολύ μικρή.

Το τελευταίο, υποδηλώνει και μια δεύτερη διάσταση της χρέωσης γενικά, καθώς συνδιαζόμενη με τους μηχανισμούς ελέγχου ροής και αποφυγής συμφόρησης, οδηγεί σε

οικονομικά αποτελεσματική χρησιμοποίηση των πόρων.

Οι τιμές εξαρτώνται από την απαίτηση για χωρητικότητα και υπολογίζονται με κατανεμημένο και επαναληπτικό τρόπο.

2.1.2.1 Χρέωση με στόχο την βελτιστοποίηση της ευημερίας

Έστω L το σύνολο όλων των συνδέσμων και C_l, η διαθέσιμη χωρητικότητα για τις ABR υπηρεσίες που διασχίζουν τον σύνδεσμο l. Έστω VC το σύνολο των συνδέσεων στο δίκτυο. Υποθέτουμε ότι η ζήτηση για χωρητικότητα μιας σύνδεσης c εκφράζεται από τον τύπο:

$$D_c(w_c) = v_c exp(-p_c). \tag{2.3}$$

Όπου, p_c, είναι η τιμή ανά μονάδα χωρητικότητας και ανά μονάδα χρόνου με την οποία χρεώνεται η σύνδεση c και v_c είναι η μέγιστη χωρητικότητα που απαιτεί η σύνδεση, όταν η τιμή είναι μηδέν, και ισούται με τον μέγιστο ρυθμό αποστολής δεδομένων που ζητά η σύνδεση. Έστω x_c, η χωρητικότητα που χρησιμοποιεί η σύνδεση c τότε το εισόδημα του δικτύου και το πλεόνασμα του χρήστη είναι:

$$\text{Network Revenue} = \sum_c x_c p_c \qquad \text{User Surplus} = \sum_c \int_{p_c}^{\infty} D_c(u)du. \tag{2.4}$$

Η κοινωνική ευημερία μπορεί να γραφεί τότε ώς:

$$W'(p,x) = \sum_{c \in VC} \int_{p_c}^{\infty} min(x_c, D_c(u))du + \sum_{c \in VC} x_c p_c. \tag{2.5}$$

Σαν κατάσταση ισορροπίας, ορίζεται η κατάσταση στην οποία οι απαιτήσεις των χρηστών ικανοποιούνται (δηλ. $x_c = D_c(p_c)$) και το δίκτυο μεγιστοποιεί το εισόδημά του. Εάν α είναι το διάνυσμα των τιμών σε όλους τους συνδέσμους τότε ισχύουν τα παρακάτω:

$$x_c = v_c exp(-p_c) \quad \forall c \in VC, \tag{2.6}$$

$$\sum_{c:l \in R_c} x_c \leq C_l \quad \forall l \in L, \tag{2.7}$$

$$p_c = \sum_{l \in R_c} \alpha_l \quad \forall c \in VC, \tag{2.8}$$

$$\alpha_l (C_l - \sum_{c:l \in R_c} x_c) = 0 \quad \forall l \in L. \tag{2.9}$$

Μπορεί να αποδειχθεί, ότι το σημείο ισορροπίας είναι μοναδικό και μεγιστοποιεί το W'. Από τις (2.5), (2.6), (2.8), η μέγιστη ευημερία μπορεί να γραφεί ώς:

$$W = \sum_{c \in VC} x_c + < \alpha, C > . \tag{2.10}$$

Από τις (2.6), (2.7), και την κυρτότητα της $G(\alpha)$ συνεπάγεται ότι η μέγιστη ευημερία μπορεί να γραφεί και ώς:

$$W = min_{\alpha \geq 0} G(\alpha), \tag{2.11}$$

όπου $G(\alpha) = \sum_{c \in VC} v_c exp[-\sum_{l \in R_c} \alpha_l] + < \alpha, C >$.

2.1.2.2 Το επαναληπτικό σχήμα χρέωσης

Προκειμένου να βελτιστοποιήσουμε την κοινωνική ευημερία, το δίκτυο πρέπει να επιλέξει τις τιμές ανάλογα με την (2.11). Μια αναγκαία συνθήκη για την ελαχιστοποίηση της $G(\alpha)$ είναι:

$$\frac{\partial G}{\partial \alpha_l} = C_l - \sum_{c: l \in R_c} D_c = 0, \quad \forall l \in L \quad with \quad \alpha_l \neq 0. \tag{2.12}$$

Επομένως, η ελαχιστοποίηση της (2.11) μπορεί να γίνει κατανεμημένα για κάθε σύνδεσμο l, η τιμή ανά μονάδα εύρους ζώνης α_l, αυξάνεται ή μειώνεται αν $C_l < \sum D_c$ ή $C_l > \sum D_c$ αντίστοιχα. Κάθε σύνδεσμος υπολογίζει την νέα τιμή ανά χρονικά διαστήματα T, τα οποία ονομάζονται ''διαστήματα χρέωσης'' και συμβολίζονται με $n = 1, 2, ...$ και τα οποία καθορίζονται δυναμικά ώστε να είναι σε διάρκεια, τουλάχιστον ο χρόνος που απαιτείται από το δίκτυο να ανακοινώσει στους χρήστες την νέα τιμή συν τον χρόνο που απαιτείται για να υποδηλώσουν οι χρήστες στο δίκτυο την αντίδρασή τους στην νέα αυτή τιμή. Συγκεκριμένα, για τον σύνδεσμο l, η τιμή ανά μονάδα εύρους ζώνης α_l^n κατά το χρονικό διάστημα χρέωσης n, δίνεται από την σχέση:

$$\alpha_l^n = \begin{cases} max\left\{(1 + h\frac{\sum_{c: l \in R_c} D_c^{n-1} - C_l}{C_l})\alpha_l^{n-1}, 0\right\} & if \quad \alpha_l^{n-1} \neq 0 \\ max\left\{k\frac{\sum_{c: l \in R_c} D_c^{n-1} - C_l}{C_l}, 0\right\} & if \quad \alpha_l^{n-1} = 0 \end{cases}, \tag{2.13}$$

όπου C_l η χωρητικότητα του συνδέσμου l, D_c^{n-1} η απαίτηση για εύρος ζώνης από την σύνδεση c κατά το χρονικό διάστημα χρέωσης $n-1$ και $\alpha_l^0 = 0$ για κάθε $l \in L$. Η παράμετρος k, εκφράζει την τάση αύξησης, όταν η τιμή είναι μηδέν ενώ η h εκφράζει το πόσο οι τιμές αλλάζουν σε κάθε χρονικό διάστημα χρέωσης.

Από την σχέση (2.8), η τιμή ανά μονάδα εύρους ζώνης p_c^n για την σύνδεση n, κατά την διάρκεια του χρονικού διαστήματος χρέωσης n, είναι το άθροισμα όλων των τιμών

α_l^n των συνδέσμων κατά μήκος της σύνδεσης. Έτσι, στην κατάσταση ισορροπίας, οι τιμές καθορίζονται από τους συνδέσμους εκείνους οι οποίοι υπόκεινται σε συμφόρηση. Το παραπάνω, με βάση την (2.9) σημαίνει ότι:

- $\alpha_l = 0$ για τους συνδέσμους που δεν υπόκεινται σε συμφόρηση ($\sum D_c < C_l$)
- $\alpha_l \neq 0 \wedge C_l = \sum D_c = \sum x_c$ για τους συνδέσμους που υπόκεινται σε συμφόρηση.

Αν $x_c(t)$ είναι ο ρυθμός αποστολής δεδομένων της σύνδεσης c την χρονική στιγμή t, τότε η συνολική χρέωση για το χρονικό διάστημα n είναι:

$$\text{charge} = w_c^n \int_{(n-1)T}^{nT} x_c(t)dt = p_c^n V_c^n, \tag{2.14}$$

όπου V_c^n είναι το πλήθος των κελιών ATM που μεταδόθηκαν από την σύνδεση c κατά το χρονικό διάστημα n.

Έστω w_c το ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης της σύνδεσης c, Αν υποθέσουμε ότι η σύνδεση c χρησιμοποιεί ένα μόνο σύνδεσμο, και για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το πλήθος των συνδέσεων VC, η συνολική χωρητικότητα C και οι παράμετροι χρέωσης των χρηστών παραμένουν αμετάβλητες, ο επαναληπτικός υπολογισμός της (2.13), οδηγεί σε κατάσταση ισορροπίας και το εύρος ζώνης κατανέμεται ανάλογα με το ποσό w_c που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης [Kel97]. Τότε θα ισχύει:

$$w_c = p_c D(p_c)p = p_c \cdot x_c, \tag{2.15}$$

και ο αντίστοιχος ρυθμός αποστολής δεδομένων x_c που λαμβάνει είναι:

$$x_c = \frac{w_c}{p_c} = \frac{w_c}{\sum_i w_i} C, \tag{2.16}$$

ενώ,

$$\sum_i x_i = C. \tag{2.17}$$

Στο κεφάλαιο 4, θα περιγράψουμε την αρχιτεκτονική του συστήματος. Εκεί, θα εξετάσουμε το πώς τα παραπάνω σχήματα χρέωσης εφαρμόζονται στην περίπτωση του συστήματος μας, υπό τους περιορισμούς, τις δυνατότητες και την διαθέσιμη πληροφορία που αυτό παρέχει.

2.2 Εφαρμογές για πειράματα χρέωσης υπηρεσιών ABR

Όπως αναφέραμε και στο πρώτο κεφάλαιο, οι υπηρεσίες ABR, αποστέλλουν σήματα ανάδρασης στις εφαρμογές που χρησιμοποιούν την υπηρεσία αυτή, καθορίζοντας τον

ρυθμό αποστολής δεδομένων τους, κάθε χρονική στιγμή. Η προσαρμογή του ρυθμού αποστολής δεδομένων εγγυάται από αντίστοιχο υλικό στο επίπεδο ATM, τις κάρτες ABR, οι οποίες προσαρμόζουν το ρυθμό αποστολής των εφαρμογών, όταν αυτός ξεπερνά τον αντίστοιχο του σήματος ανάδρασης. Η προσαρμογή αυτή πραγματοποιείται με απόρριψη πληροφορίας κάθε φορά που ο ρυθμός μετάδοσης ξεπερνά αυτόν του σήματος ανάδρασης.

Δεδομένου ότι κατα την διάρκεια ανάπτυξης του περιβάλλοντος αυτού, δεν υπήρχε πλήρες υλικό ή λογισμικό το οποίο προσαρμόζει τον ρυθμό αποστολής δεδομένων σε επίπεδο ATM, η προσαρμογή αυτή ραγματοποιήθηκε σε επίπεδο εφαρμογής.

Ένα δεύτερο ζήτημα που προκύπτει είναι το πώς θα γίνεται η προσαρμογή αυτή. Ακολουθώντας τον τρόπο προσαρμογής ρυθμού της κάρτας ABR, θα μπορούσαμε να απορίπτουμε πληροφορία κάθε φορά που ο ρυθμός αποστολής δεδομένων ξεπερνάει τον αντίστοιχο του σήματος ανάδρασης. Σε περιπτώσεις εφαρμογών όμως, όπως η μετάδοση κωδικοποιημένης video πληροφορίας MPEG-I, ο παραπάνω τρόπος προσαρμογής μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια σημαντικής πληροφορίας. Από την άλλη, όπως θα δούμε και στην επόμενη παράγραφο η πληροφορία MPEG-I οργανώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η προσαρμογή της πληροφορίας απορρίπτοντας πληροφορία η οποία δεν επειρεάζει πολύ την ποιότητα της εικόνας. Συνεπώς είναι απαραίτητη η ανάπτυξη ενός μηχανισμού ο οποίος θα προσαρμόζει τον ρυθμό αποστολής δεδομένων με όσο το δυνατόν ελάχιστη απώλεια πληροφορίας. Η παραπάνω προσέγγιση ικανοποιεί και ένα από τους βασικούς στόχους που θέσαμε στο πρώτο κεφάλαιο για την σχεδίαση του περιβάλλοντος χρέωσης, που αφορά την παροχή όσο το δυνατόν καλύτερης ποιότητας στην υπηρεσία του χρήστη, σε σχέση με τις παραμέτρους που αυτός δηλώνει.

Ένα τελευταίο ζήτημα όσον αφορά τις εφαρμογές για την εκτέλεση πειραμάτων χρέωσης υπηρεσιών ABR, το οποίο προκύπτει από τις απαιτήσεις που θέσαμε στο πρώτο κεφάλαιο για την δημιουργία του περιβάλλοντος, αφορά την δυνατότητα απεικόνισης των αλλαγών στην κατάσταση του δικτύου. Η εφαρμογή θα πρέπει να είναι σε θέση να απεικονίσει οπτικά με αποτελεσματικό τρόπο τόσο τις αλλαγές στην κατάσταση του δικτύου, όσο και τις συνέπειες που θα έχει στην ποιότητα της υπηρεσίας οι τιμές των παραμέτρων χρέωσης που δηλώνει ο χρήστης.

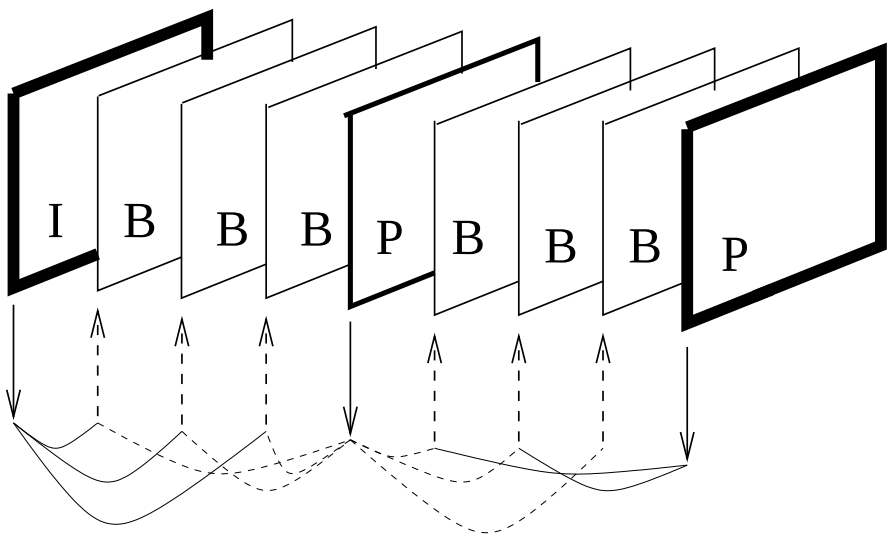
Συνεπώς λοιπόν η καταλληλότερη, σύμφωνα με τα κριτήρια που θέσαμε παραπάνω, εφαρμογή για την εκτέλεση πειραμάτων χρέωσης είναι η μετάδοση κωδικοποιημένης πληροφορίας video. Η παραπάνω εφαρμογή, έχει την δυνατότητα να απεικονίζει με αποτελεσματικό τρόπο τις αλλαγές στην κατάσταση του δικτύου, ενώ, με την ανάπτυξη

κατάλληλου μηχανισμού, η προσαρμογή του ρυθμού αποστολής δεδομένων στα σήματα ανάδρασης των υπηρεσιών ABR, μπορεί να πραγματοποιηθεί με την ελάχιστη δυνατή σημαντική απώλεια πληροφορίας.

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφουμε τα βασικά σημεία της κωδικοποίησης MPEG-I και παρουσιάζουμε το εργαλείο το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση των πειραμάτων.

2.2.1 Η κωδικοποίηση MPEG-I

Η τεχνική συμπίεσης video που αναπτύχθηκε από το MPEG-I (Moving Pictures Expert Group), καλύπτει αρκετές εφαρμογές μετάδοσης video, από δίκτυα δεδομένων, καθώς και αποθήκευσης CD-ROMs [Gal91], [Cha97], [Sik97]. Για να υποστηριχθεί το μεγάλο εύρος από εφαρμογές video, αρκετές παράμετροι που καθορίζουν την συμπίεση όπως η ευελιξία του μεγέθους της εικόνας και ο ρυθμός των πλαισίων, είναι δυνατόν να καθοριστούν από τον χρήστη. Οποιοσδήποτε κωδικοποιητής MPEG-I θα πρέπει να υποστηρίζει τουλάχιστον όλες εκείνες τις παραμέτρους που καθορίζουν την μετάδοση εικόνας σε κανονική τηλεόραση: ελάχιστο πλήθος pixels ανά γραμμή 720, ελάχιστο πλήθος γραμμών ανά εικόνα 576, ελάχιστο ρυθμό αποστολής πλαισίων ανά δευτερόλεπτο 30.

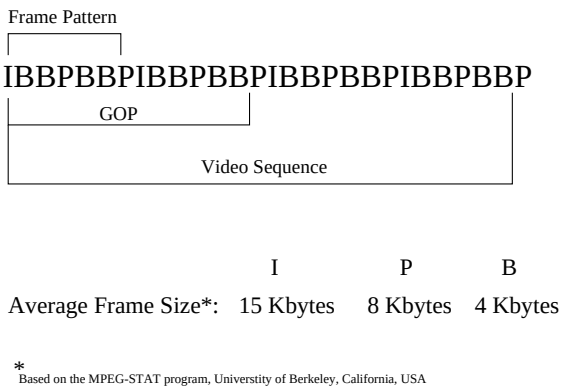


Σχήμα 2.1: Τρεις τύποι πλαισίων στην κωδικοποίηση MPEG-I

Η κωδικοποίηση των I-καρέ γίνεται ανεξάρτητα από την ύπαρξη άλλων καρέ, σε αντίθεση με την κωδικοποίηση των P και B καρέ, η κωδικοποίηση των οποίων προϋποθέτει την ύπαρξη προηγούμενων ή επόμενων I ή P-καρέ.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1, ο κωδικοποιητής MPEG-I, κωδικοποιεί τα πλαίσια σε τρεις κατηγορίες:

- **I-πλαίσια:** Δεν χρησιμοποιούν πληροφορία από τα γειτονικά πλαίσια και κωδικοποιούνται σαν μία μεμονωμένη εικόνα και όχι σαν μέρος ταινίας, αφού χρησιμοποιείται μόνο κωδικοποίηση εσωτερικά στο πλαίσιο, βασισμένη σε DCT (Descrete Cosine Transform) ή Huffman.
- **P-πλαίσια:** Χρησιμοποιούν τον ίδιο αλγόριθμο κωδικοποίησης με τα I-πλαίσια αλλά με προσθήκη αποκατάστασης κίνησης με βάση τις διαφορές στην κίνηση από το προηγούμενο I ή P-πλαίσιο.
- **B-πλαίσια:** Είναι όμοια με τα P-πλαίσια, με την διαφορά ότι η κίνηση προβλέπεται από το προηγούμενο I ή P-πλαίσιο, το επόμενο I ή P-πλαίσιο ή κάποιο συνδυασμό αυτών.



Σχήμα 2.2: Η οργάνωση των πλαισίων σε ένα MPEG-I αρχείο

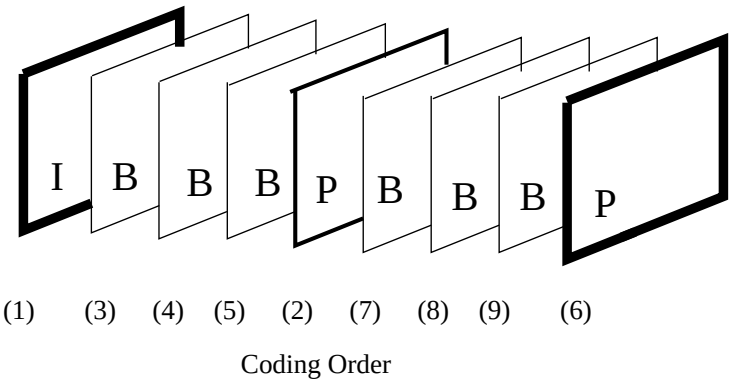
Τα πλαίσια επαναλαμβάνονται ανά frame pattern, ένα ή περισσότερα frame patterns συνιστούν ένα GOP, ένα ή περισσότερα GOP συνιστούν ένα Sequence, ένα ή περισσότερα Sequence συνιστούν μία MPEG-I ταινία.

Η οργάνωση των πλαισίων σε μία MPEG-I ταινία βασίζεται στις παρακάτω έννοιες (σχήμα 2.2)

- **Frame Pattern**: Είναι μία ακολουθία τύπων πλαισίων η οποία επαναλαμβάνεται. Καθορίζεται κατά την διάρκεια της κωδικοποίησης και είναι παράμετρος που καθορίζει την ποιότητα και τον όγκο της παραγόμενης ταινίας.
- **Group Of Pictures (GOP)**: Είναι μία ακολουθία από πλαίσια που είναι δυνατόν να περιλαμβάνει περισσότερα του ενός frame pattern. Είναι ένα κομμάτι της ταινίας το οποίο κωδικοποιείται ανεξάρτητα από τα άλλα κομμάτια της ταινίας.
- **Sequence**: Είναι μία ακολουθία πλαισίων, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει περισσότερα του ενός GOP. Συνήθως, ένα sequence είναι μία ολόκληρη ταινία.

Από την εικόνα 2.1 επίσης μπορούμε να παρατηρήσουμε πως η κωδικοποίηση των I-πλαισίων γίνεται ανεξάρτητα από από την ύπαρξη άλλου τύπου πλαισίου, σε αντίθεση με τα P και B-πλαίσια για τα οποία, η κωδικοποίηση τους προϋποθέτει την ύπαρξη προηγούμενων ή επόμενων I ή P-πλαισίων. Αυτό γίνεται γιατί τα P και B πλαισίων κωδικοποιούν, όχι κανονικές εικόνες, αλλά διαφορές μεταξύ προηγούμενων και επόμενων I ή P πλαισίων, με σκοπό την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη συμπίεση των δεδομένων. Τυπικά, σε μέγεθος τα I-πλαίσια καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο από τα P, τα οποία με την σειρά τους καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο από τα B. Από πλευράς πληροφορίας τα I-πλαίσια κατέχουν την πιο σημαντική πληροφορία ενώ στην συνέχεια ακολουθούν τα P και τέλος τα B-πλαίσια.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό πως για να κωδικοποιηθούν τα B-πλαίσια απαιτείται πρώτα η κωδικοποίηση των I και P-πλαισίων ενώ για να κωδικοποιηθούν τα P-πλαίσια απαιτείται η κωδικοποίηση των I-πλαισίων (σχήμα 2.3).



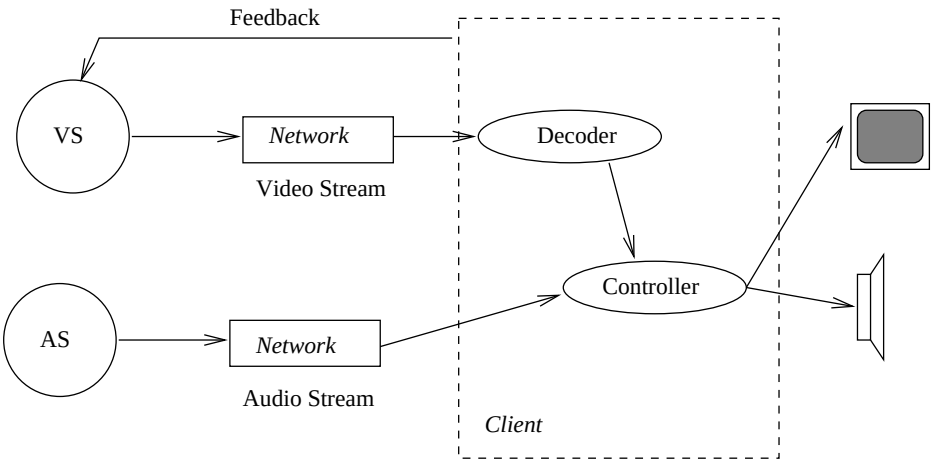
Σχήμα 2.3: Σειρά Κωδικοποίησης

Τα I-πλαίσια κωδικοποιούνται πρώτα, εν συνεχεία τα P-πλαίσια και τέλος τα B-πλαίσια.

2.3 Το εργαλείο VCR

Στην ενότητα αυτή, θα παρουσιάσουμε το εργαλείο, το οποίο χρησιμοποιήθηκε (με κατάλληλες τροποποιήσεις) για την εκτέλεση πειραμάτων στο περιβάλλον χρέωσης ABR. Το εργαλείο VCR [PC95] είναι μία πλατφόρμα μετάδοσης video πληροφορίας σε περιβάλλον internet (UDP/IP). Δεδομένων των προβλημάτων που αντιμετωπίζει η ανάπτυξη μιας εφαρμογής μετάδοσης video στο internet, όπως η έλλειψη συγχρονισμού, οι χαμηλής χωρητικότητας σύνδεσμοι και η συμφόρηση, απαιτείται η ανάπτυξη ειδικού λογισμικού για τον συγχρονισμό μεταξύ των δύο άκρων της σύνδεσης, με σκοπό την

αποτελεσματική μετάδοση της video πληροφορίας από την πηγή στον προορισμό. Η αρχιτεκτονική του VCR εργαλείου απεικονίζεται στο σχήμα 2.4



Σχήμα 2.4: Η αρχιτεκτονική του εργαλείου VCR

Η video πληροφορία μεταδίδεται από την πηγή (Video Server - VS, Audio Server - AS) στον προορισμό (client), ενώ σήματα ανάδρασης αποστέλλονται από τον προορισμό στην πηγή όταν υπάρχει στο δίκτυο συμφόρηση.

Το σύστημα αποτελείται από πέντε βασικά μέρη: ένα σύστημα αποστολής εικόνας (Video Server - VS) ένα σύστημα αποστολής ήχου (Audio Server - AS), έναν πελάτη (Client) και τις αντίστοιχες συσκευές ήχου και εικόνας. Ο client αποτελείται από έναν αποκωδικοποιητή video (decoder) και μία συσκευή ελέγχου της μετάδοσης εικόνας και ήχου και παρέχει το κατάλληλο interface. Τα τρία πρώτα μέρη του συστήματος είναι δυνατόν να βρίσκονται σε διαφορετικά μηχανήματα του δικτύου.

Το εργαλείο VCR, υλοποιεί ένα μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή για την μετάδοση video πραγματικού χρόνου (real-time video) (το οποίο είναι αποθηκευμένο στον VS) από τον εξυπηρετητή στον πελάτη χρησιμοποιώντας UDP/IP. Το κριτήριο της ποιότητας υπηρεσίας είναι ο ρυθμός αποστολής πλαισίων ανά δευτερόλεπτο. Στην περίπτωση που συμβεί συμφόρηση, το σύστημα θα πρέπει να αντιδράσει κατάλληλα και να προσαρμόσει το ρυθμό αποστολής πλαισίων στο αντίστοιχο επίπεδο συμφόρησης. Στο internet και στο αντίστοιχο πρωτόκολλο επιπέδου δικτύου IP, η απώλεια καρέ ή η καθυστέρηση άφιξης τους, υποδηλώνει την ύπαρξη συμφόρησης στο δίκτυο. Όταν το σύστημα διαπιστώσει την ύπαρξη συμφόρησης, τότε ο Video Server ελλατώνει το ρυθμό αποστολής πλαισίων ανά δευτερόλεπτο υπολογίζοντας εκ νέου ένα νέο frame pattern το οποίο οδηγεί σε μικρότερη αποστολή πλαισίων ανά δευτερόλεπτο επηρεάζοντας και τον ρυθμό αποστολής bits ανά δευτερόλεπτο. Έτσι, αν κάποια χρονική στιγμή ο επιτρεπόμενος ρυθμός αποστολής

δεδομένων από το δίκτυο, είναι 1 Mbit/sec και η μετάδοση πληροφορίας video γίνεται με το frame pattern ‘‘IBBPBB’’, απώλεια ενός ή περισσοτέρων πλαισίων οδηγεί στην δημιουργία του frame pattern ‘‘I-BP-B’’, το οποίο οδηγεί γενικά, σε μικρότερο ρυθμό μετάδοσης. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει συμφόρηση στο σύστημα, ο Video Server αυξάνει σταδιακά και με μικρό ρυθμό, τον ρυθμό αποστολής πλαισίων με αποτέλεσμα την αποτελεσματική αποφυγή και ανάρρωση σε περίπτωση συμφόρησης. Ένα απλό σχήμα ελέγχου με σήματα ανάδρασης που αποστέλλονται από τον client στον Video Server (μέσω TCP/IP), χρησιμοποιείται στην περίπτωση συμφόρησης και για την προσαρμογή του ρυθμού αποστολής καρέ, καθώς σε περιβάλλον internet, μόνο ο client είναι σε θέση να διαπιστώσει την ύπαρξη συμφόρησης. Το σύστημα λειτουργεί ικανοποιητικά πάνω από το Internet, δεδομένου ότι το τελευταίο δεν είναι ακόμα ικανό να εξυπηρετήσει εφαρμογές πραγματικού χρόνου, ακόμα και σε περιπτώσεις μετάδοσης video σε συνδέσμους με χαμηλή χωρητικότητα.

Στην περίπτωση των εφαρμογών ABR, δεν είναι απαραίτητη η ανάπτυξη μηχανισμών για παρακολούθηση και ανίχνευση συμφόρησης στο δίκτυο, καθώς το ίδιο το δίκτυο, με τους μηχανισμούς ελέγχου ροής των υπηρεσιών ABR, παρέχει τα κατάλληλα σήματα ανάδρασης για τον ακριβές ρυθμό αποστολής δεδομένων που το δίκτυο αντιστοιχεί στην εφαρμογή. Συνεπώς είναι αναγκαία η ανάπτυξη εκ νέου, ενός μηχανισμού ο οποίος θα προσαρμόζει τον ρυθμό αποστολής video πληροφορίας στα σήματα ανάδρασης του δικτύου, για το συγκεκριμένο εργαλείο με βάση όμως τις προϋποθέσεις που θέσαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφουμε τον βασικό αλγόριθμο προσαρμογής του ρυθμού αποστολής δεδομένων στα σήματα ανάδρασης του δικτύου χρησιμοποιώντας τις δομές και τους μηχανισμούς αποθήκευσης του VCR.

Κεφάλαιο 3

Ο αλγόριθμος επιλεκτικής μετάδοσης πλαισίων

Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξηγήσαμε την ανάγκη της δημιουργίας ενός μηχανισμού, στο εργαλείο VCR, ο οποίος θα προσαρμόζει το ρυθμό αποστολής δεδομένων στα σήματα ανάδρασης ABR του δικτύου. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος, θα πρέπει καταρχάς, δεδομένου ότι η μετάδοση πληροφορίας video, από το εργαλείο VCR γίνεται μέσω UDP/IP, στην αρχιτεκτονική του περιβάλλοντος η μετάδοση video από το εργαλείο VCR να γίνεται μέσω IP/ATM (classical IP ή LAN Emulation). Έτσι, η προσαρμογή του ρυθμού αποστολής video του εργαλείου VCR θα πραγματοποιείται σε επίπεδο TCP/IP και άνω. Ο αλγόριθμος αυτός θα πρέπει να προσαρμόζει τον ρυθμό αποστολής δεδομένων με όσο το δυνατόν λιγότερο σημαντική απώλεια πληροφορίας. Πριν παρουσιάσουμε τον αλγόριθμο επιλεκτικής μετάδοσης καρέ, παρουσιάζουμε στην επόμενη παράγραφο τις αλλαγές στο εργαλείο VCR οι οποίες είναι απαραίτητες και προηγούνται της υλοποίησης και της εφαρμογής του αλγορίθμου.

3.1 Τροποποιήσεις στο εργαλείο VCR

Με βάση τα προηγούμενα, τα βασικά μέρη του VCR συστήματος είναι το σύστημα μετάδοσης της video πληροφορίας (VS, AS) το οποίο θα το ονομάζουμε server και το σύστημα λήψης, απεικόνισης και ελέγχου συμφόρησης, το οποίο το ονομάζουμε client. Επίσης όπως αναφέραμε και παραπάνω, ο ρυθμός αποστολής δεδομένων θα πρέπει να προσαρμόζεται στα σήματα ανάδρασης του δικτύου και όχι στα σήματα ανάδρασης του client.

Η πρώτη βασική τροποποίηση αφορά την τελευταία απαίτηση. Στην πλατφόρμα ABR, τα σήματα ανάδρασης, καθορίζονται από το δίκτυο και όχι από τον παραλήπτη, και έτσι δεν είναι αναγκαία η παρακολούθηση και η ανίχνευση τυχόν συμφόρησης στο δίκτυο καθώς και η αποστολή σημάτων ανάδρασης από τον client στον server.

Η δεύτερη βασική τροποποίηση, αφορά την δημιουργία ενός μηχανισμού προσαρμογής του ρυθμού αποστολής video στον server. Εδώ έχουμε δύο βασικές απαιτήσεις. Πρώτον, η προσαρμογή του ρυθμού αποστολής δεδομένων θα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τα σήματα ανάδρασης του δικτύου και όχι του client και δεύτερον, η προσαρμογή αυτή θα πρέπει να γίνεται με κριτήριο την αποστολή bits/sec και όχι πλαισίων/sec όπως κάνει το VCR. Και αυτό γιατί, αφενός μεν, τα σήματα ανάδρασης του δικτύου εκφράζονται σε bits/sec, αφετέρου δε, δεν υπάρχει μονοσήμαντη αντιστοιχία μεταξύ των πλαισίων/sec και των bits/sec. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το μέγεθος των πλαισίων (ακόμα και του ιδίου τύπου) είναι δυναμικά μεταβαλλόμενο λόγω του τρόπου της κωδικοποίησης. Αυτό σημαίνει ότι είναι πολύ πιθανό εάν κάποια χρονική στιγμή ο server στέλνει με 20 πλαίσια/sec τα οποία αντιστοιχούν π.χ. σε ρυθμό 1 Mbit/sec, τότε κάποια άλλη χρονική στιγμή, ο ρυθμός των 20 πλαισίων/sec να αντιστοιχεί σε ρυθμό κατά πολύ διαφορετικό από το 1 Mbit/sec.

Αν βασιστούμε στο μηχανισμό προσαρμογής πλαισίων/sec, όπως κάνει το VCR, με υπολογισμό ενός νέου frame pattern, τότε δεδομένου του γεγονότος ότι ο ρυθμός αποστολής δεδομένων video δεν είναι σταθερός, ένα σήμα ανάδρασης το οποίο επιβάλλει ρυθμό αποστολής π.χ. 1 Mbit/sec, δεν μπορεί να οδηγήσει σε υπολογισμό ενός νέου frame pattern με σκοπό την ελλάτωση του ρυθμού κάτω από 1 Mbit/sec. Ο υπολογισμός ενός νέου frame pattern θα οδηγούσε στην αποστολή λιγότερων πλαισίων ανά δευτερόλεπτο γεγονός που, όπως εξηγήσαμε και παραπάνω, δεν σημαίνει προσαρμογή στον ρυθμό αποστολής που καθορίζεται από το σήμα ανάδρασης ABR. Επομένως, δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τους ήδη υπάρχοντες μηχανισμούς προσαρμογής του ρυθμού αποστολής δεδομένων του VCR.

Τέλος είναι αναγκαίο, η προσαρμογή αυτή να πραγματοποιείται με όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες στην ποιότητα της εικόνας δηλαδή με όσο το δυνατόν μικρότερη απώλεια σημαντικής πληροφορίας.

3.2 Ο αλγόριθμος επιλεκτικής μετάδοσης πλαισίων

Στην ενότητα αυτή, περιγράφουμε έναν απλό αλγόριθμο προσαρμογής του ρυθμού αποστολής δεδομένων, με βάση τα σήματα ανάδρασης του δικτύου στον server, στην περίπτωση των υπηρεσιών ABR.[1]

Το εργαλείο VCR, προκειμένου να μεταδώσει μία ταινία, μέσω του δικτύου, σε κάποιον VCR Client, αναλύει και αποθηκεύει στις κατάλληλες δομές όλες εκείνες τις παραμέτρους που καθορίζουν την κωδικοποίηση, και τον τρόπο μετάδοσης της ταινίας και που είναι αποθηκευμένες στην κεφαλή της. Από τις παραμέτρους αυτές, μας ενδιαφέρει κυρίως αυτή που καθορίζει πόσα πλαίσια το δευτερόλεπτο πρέπει να μεταδίδει ο server για να έχει σε ικανοποιητική απόδοση η απεικόνιση της πληροφορίας στον client. Την παράμετρο αυτή θα την συμβολίσουμε με FR (*Frame Rate*) και οι τυπικές τιμές της για κωδικοποίηση MPEG-I είναι 30 frames/sec και 33 frames/sec. Η τιμή της παραμέτρου αυτής τίθεται κατά την κωδικοποίηση της ταινίας. Επίσης μας ενδιαφέρει το frame pattern (βλέπε παρ. 2.2.1) καθώς και το μέγεθος καθενός από τα πλαίσια ξεχωριστά. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, το VCR επεξεργάζεται και αποθηκεύει την πληροφορία αυτή σε κατάλληλες δομές.

Η βασική ιδέα του αλγορίθμου, είναι ανά FR και σε κάθε χρονική στιγμή να μεταδίδεται η πιο σημαντική πληροφορία που αφορά την κωδικοποίηση του video ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν λιγότερο σημαντική απώλεια πληροφορίας. Στην παράγραφο 2.2.1, είδαμε ότι οι τύποι κωδικοποίησης πλαισίου είναι τρεις: I, P, B. Από αυτούς, η πιο σημαντική πληροφορία είναι αποθηκευμένη στα I-τύπου πλαίσια, στην συνέχεια στα τύπου P και τέλος στα τύπου B. Επομένως, ένας αλγόριθμος προσαρμογής του ρυθμού αποστολής δεδομένων, θα πρέπει να δίνει προτεραιότητα στην μετάδοση, πρώτα των I πλαισίων στην συνέχεια των P πλαισίων και τέλος των B πλαισίων έτσι ώστε να επιτυγχάνει την όσο το δυνατόν λιγότερο σημαντική απώλεια πληροφορίας.

Η προσαρμογή του ρυθμού αποστολής δεδομένων στα σήματα ανάδρασης του ABR, πραγματοποιείται σε ακολουθία πλαισίων μήκους FR. Στις δομές που διατηρεί το VCR με πληροφορία σχετική με τα πλαίσια υπάρχει μεταξύ άλλων, ένα πεδίο στο οποίο είναι αποθηκευμένος ο τύπος του πλαισίου (I, P, B) και το οποίο θα το ονομάζουμε $frame_type$, και ένα πεδίο που υποδηλώνει το μέγεθος του αντίστοιχου καρέ, το οποίο θα το ονομάζουμε $frame_size$. Οι παραπάνω παράμετροι λαμβάνουν τιμή κατά την φάση ανάλυσης της ταινίας από τον server, αμέσως μετά την επιλογή της από τον χρήστη, πριν

[1] Στο παρόντα αλγόριθμο συνεργάστηκε ο κ. Κωνσταντίνος Αναγνωστάκης

την μετάδοση της video πληροφορίας στο client.

Στην περίπτωση των ABR υπηρεσιών, η αποστολή πληροφορίας video με ρυθμό FR frames/sec από τον server (για την κανονική απεικόνιση της πληροφορίας video στον client), είναι δυνατόν να παράγει έναν ρυθμό αποστολής bits/sec που ξεπερνά τον αντίστοιχο του σήματος ανάδρασης (όπως εξηγήθηκε στην προηγούμενη παράγραφο). Στην περίπτωση αυτή, ο server θα πρέπει να αποφασίσει από την ακολουθία πλαισίων μήκους FR, ποιά θα μεταδώσει και ποιά θα απορρίψει.

Ο αλγόριθμος επιλεκτικής μετάδοσης πλαισίων βασίζεται στην εξής αρχή: Σε χρόνο ενός δευτερολέπτου και σε πλήθος πλαισίων, FR, ο server μεταδίδει αρχικά όσο το δυνατόν περισσότερα I-πλαίσια. Αν μεταδώσει όλα τα I-πλαίσια στην ακολουθία μεγέθους FR, μεταδίδει όσο το δυνατόν περισσότερα P-πλαίσια. Αν μεταδώσει και όλα τα P-πλαίσια, μεταδίδει όσο το δυνατόν περισσότερα B-πλαίσια. Έτσι, εξασφαλίζεται η μετάδοση όσο το δυνατόν της πιο σημαντικής πληροφορίας: Αφού εξασφαλίζουμε την μετάδοση πρώτα των I-πλαισίων, στα οποία είναι αποθηκευμένη και η πιο σημαντική πληροφορία, μετά των P-πλαισίων, η αμέσως σημαντικότερη, μετά τα I-πλαίσια πληροφορία και τέλος των B-πλαισίων, που περιέχουν την λιγότερο σημαντική πληροφορίας.

Προκειμένου να επιτύχουμε την επιλεκτική μετάδοση, εισάγουμε στις δομές του VCR, στις οποίες είναι αποθηκευμένες πληροφορίες για τα καρέ, ένα νέο πεδίο το οποίο θα το ονομάζουμε $bytes_sent$ σε κάθε ένα πλαίσιο. Το πεδίο αυτό για το πλαίσιο υπ. αρ. x, εκφράζει το μέγεθος (σε bytes/sec) των πλαισίων που έχουν μεταδοθεί από το πλησιέστερο πλαίσιο που μεταδόθηκε και που απέχει ακέραιο πολλαπλάσιο του FR από το πρώτο, πλαίσιο μέχρι το πλαίσιο x.

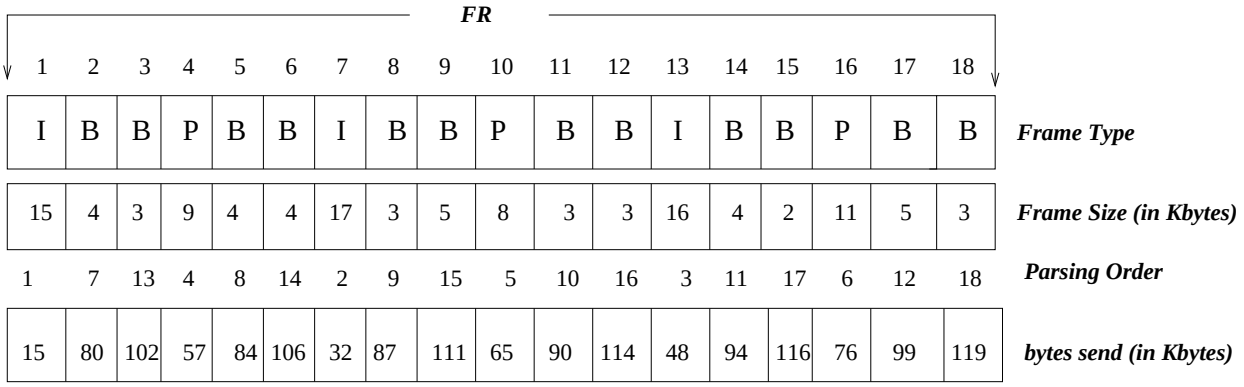
Ο αλγόριθμος δουλεύει ώς εξής: Πριν την μετάδοση της ταινίας από το δίκτυο, ξεκινώντας από το πρώτο πλαίσιο και ανά FR, για το πλαίσιο n θέτουμε:

$$bytes_sent_n = \begin{cases} bytes_sent_{n-1} + frame_size_n & , \text{ αν το n μεταδοθεί} \\ bytes_sent_{n-1} & , \text{ αν το n δεν μεταδοθεί} \end{cases} . \qquad (3.1)$$

Όπου για το πλαίσιο y που απέχει ακέραιο πολλαπλάσιο του FR απο το πρωτο πλαίσιο, θέτουμε $bytes_sent_y = frame_size_y$.

Η παραπάνω εξίσωση εκφράζει το εξής: Έστω ότι κάποια χρονική στιγμή, ο server πρόκειται να μεταδώσει το πλαίσιο υπ. αρ. l, και έστω επίσης ότι εκείνη την χρονική στιγμή, το σήμα ανάδρασης του δικτύου καθορίζει ότι ο επιτρεπτός ρυθμός αποστολής πρέπει να μήν ξεπερνά τα ACR bits/sec. Εάν το $bytes_sent_l$ (σε bits/sec), δεν ξεπερνά την τιμή ACR, το πλαίσιο l μεταδίδεται, αλλιώς απορρίπτεται.

Έτσι, με την χρήση της μεταβλητής $bytes_send$, μπορούμε να επιτύχουμε την επιλεκτική μετάδοση ώς εξής.



Σχήμα 3.1: Ο αλγόριθμος επιλεκτικής αποστολής/απόρριψης

Το πεδίο $bytes_sent$, ενημερώνεται αρχικά για όλα τα I-πλαίσια, στην συνέχεια για όλα τα P-πλαίσια και τέλος για όλα τα B-πλαίσια

Ξεκινώντας από το πρώτο πλαίσιο (το οποίο στην MPEG-I κωδικοποίηση είναι πάντα I-καρέ), ενημερώνουμε πρώτα το πεδίο $bytes_sent$, όλων των I-πλαισίων σε μήκος FR σύμφωνα με την εξίσωση 3.1. Στην συνέχεια ενημερώνουμε το παραπάνω πεδίο σε όλα τα P-πλαίσια και τέλος σε όλα τα B-πλαίσια πάντα σε μήκος FR. Για τα B-πλαίσια, η σειρά με την οποία τα ενημερώνουμε καθορίζεται με βάση την απόστασή τους από το πλησιέστερο I ή P πλαίσιο (δηλ. ομοιόμορφα κατανεμημένα μεταξύ I και P πλαισίων) (εικόνα 3.1). Το παραπάνω γίνεται γιατί, δεδομένου ότι τα B πλαίσια ενημερώνονται τελευταία, έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να απορριφθούν από τον αλγόριθμο και έτσι η απόρριψη τους γίνεται όσο πιο ‘‘ομοιόμορφα διασκορπισμένα’’, ώστε η απώλεια τους να μήν γίνεται εύκολα αντιληπτή από τον χρήστη στην ποιότητα εικόνας που λαμβάνει. Σημαντικό εδώ, είναι να επαναλάβουμε ότι η παραπάνω διεργασία πραγματοποιείται πριν από την αποστολή των πλαισίων στο δίκτυο.

Κατά την διάρκεια, τώρα, της αποστολής πλαισίων από τον server, ελέγχεται η τιμή του πεδίου $bytes_sent$, και αν αυτό είναι μικρότερο από το ACR, εκείνη την χρονική στιγμή, το αντίστοιχο πλαίσιο αποστέλλεται, αλλιώς απορρίπτεται. Φυσικά, ο αλγόριθμος εφαρμόζεται ανά FR, όπως αναφέραμε, δηλαδή, αν FR=30, τότε η παραπάνω διαδικασία εκτελείται από το πρώτο ώς το τριακοστό πλαίσιο στην συνέχεια από το τριακοστό πρώτο έως το εξηκοστό κ.ο.κ.

Από την παραπάνω διαδικασία γίνεται φανερό ότι η προσαρμογή του ρυθμού αποστολής δεδομένων, γίνεται σε κλίμακα του ενός δευτερολέπτου.

Ο αλγόριθμος σε ψευδοκώδικα περιγράφεται στα σχήματα 3.2 και 3.3: Στο σχήμα 3.2 περιγράφεται η διαδικασία ενημέρωσης του πεδίου $bytes_sent$ (όπως περιγράψαμε και παραπάνω). Ξεκινώντας απο τα πλαίσια τύπου I, ενημερώνουμε το πεδίο του καθενός ώς το άθροισμα του μεγέθους του πλαισίου αυτού και του συνολικού μεγέθους τνω προηγούμενων I πλαισίων που έχουν ήδη ενημερωθεί. Στην συνέχεια η διαδικασία επαναλαμβάνεται και στα P πλαίσια όπου τώρα το πεδίο $bytes_sent$ ισούται με το άθροισμα του μεγέθους του αντιστοίχου P πλαισίου και του συνολικού μεγέθους όλων των I πλαισίων (έχουν ήδη ενημερωθεί) και όλων των P πλαισίων που έχουν ήδη ενημερωθεί πρίν απο αυτό. Τέλος η διαδικασία επαναλαμβάνεται στα B πλαίσια όπου τώρα η τιμή του πεδίου $bytes_sent$ είναι ίση με το άθροισμα του μεγέθους του B πλαισίου και του συνολικού μεγέθους των I και P πλαισίων που έχουν ήδη ενημερωθεί και των B πλαισίων που έχουν προηγηθεί. Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται πριν την αποστολή της ταινίας από τον server. Στο σχήμα 3.3 περιγράφεται η διαδικασία που εκτελείται κατά την διάρκεια της αποστολής της ταινίας, όπου το πεδίο $bytes_sent$ συγκρίνεται με τον επιτρεπόμενο ρυθμό αποστολής από το δίκτυο. Εάν ο επιτρεπόμενος ρυθμός που αποστέλλει το δίκτυο είναι μεγαλύτερος απο την τιμή του πεδίου $bytes_sent$ τότε το αντίστοιχο πλαίσιο μεταδίδεται αλλιώς απορρίπτεται.

```
While (not end of movie)
BEGIN
  Every FR do
    BEGIN
       Find all I-Frames
           for i=1; to Number of I-Frames (no_I) do
             for the I-Frame j, set bytes_sent(j)      = Frame_Size(j) + total_size of I-frames 1 to j-1

      Find all P-Frames
           for i=1; to Number of P-Frames (no_P) do
             for the P-Frame j, set bytes_sent(j)      = Frame_Size(j) + total_size of I-frames 1 to no_I
                                                                       + total_size of P-frames 1 to j-1
     Find all B-Frames
          for i=1; to Number of B-Frames (no_B) do
            for the B-Frame j, set bytes_sent(j)      = Frame_Size(j) + total_size of I-frames 1 to no_I
                                                                      + total_size of P-frames 1 to no_P
                                                                      + total_size of B-frames 1 to j-1

    END
END
```

Σχήμα 3.2: Αλγόριθμος Επιλεκτικής Μετάδοσης: Φάση Πρώτη

Ενημέρωση του πεδίου $bytes_sent$, για κάθε πλαίσιο δίνοντας προτεραιότητα στα I-πλαίσια, εν συνεχεία των P-πλαίσια και τέλος των B-πλαίσια

Έτσι, αν για παράδειγμα, έχουμε την διάταξη του σχήματος 3.1, όπου αρχικά

```
If at the end of FR
    Check if network fed back with new ACR
else
BEGIN
   For frame j
    if (bytes_sent(j) < ACR)
      Send_Frame(j)
    else
      Drop_Frame(j)
END
```

Σχήμα 3.3: Αλγόριθμος Επιλεκτικής Μετάδοσης: Φάση Δεύτερη

Κατά την φάση αποστολής των πλαισίων, ελέγχεται το αντίστοιχο πεδίο $bytes_sent$, του πλαισίου που πρόκειται να σταλεί στο δίκτυο. Εάν η τιμή του είναι μεγαλύτερη από το ACR, το πλαίσιο απορρίπτεται, αλλιώς μεταδίδεται

έχουμε ενημερώσει το πεδίο $bytes_sent$ όπως φαίνεται στην τελευταία γραμμή, και το δίκτυο στείλει σήμα ανάδρασης για ACR=800 Kbits/sec (=100 Kbytes/sec), τότε ο αλγόριθμος θα αποστείλει όλα τα καρέ σε μήκος FR, εκτός από τα B-καρέ υπ. αρ. 3, 6, 9, 12, 15, 18, γιατί σε αυτά το πεδίο $bytes_sent$, έχει τιμή μεγαλύτερη από (100x8=)800 Kbits. Στην περίπτωση που δεν εφαρμοζόταν ο αλγόριθμος επιλεκτικής μετάδοσης, θα εφαρμοζόταν αστυνόμευση μέγιστου ρυθμού (περίπτωση της ABR κάρτας), οπότε κάθε φορά που ο ρυθμός αποστολής ξεπερνούσε εκείνον του σήματος ανάδρασης, τα υπόλοιπα καρέ θα απορρίπτονταν. Τότε αναγκαστικά τα καρέ υπ. αρ. 16, 17, 18 δεν θα μεταδιδόταν, με αποτέλεσμα να είχαμε απώλεια σημαντικής πληροφορίας που περιέχεται στο P-καρέ υπ. αρ. 16. Παρόλο λοιπόν, που στην περίπτωση του αλγορίθμου επιλεκτικής μετάδοσης τελικώς απορρίπτονται περισσότερα πλαίσια απ' ό,τι στην στην περίπτωση που δεν εφαρμόζεται ο αλγόριθμος, δεν απορρίπτεται σημαντική πληροφορία (I,P-καρέ), με αποτέλεσμα η ποιότητα της εικόνας να είναι καλύτερη από εκείνη της απλής προσαρμογής του ρυθμού αποστολής με αστυνόμευση μέγιστου ρυθμού αποστολής. Έτσι ο παραπάνω αλγόριθμος επιτυγχάνει την ικανοποίηση μιας από τις βασικές παραμέτρους της σχεδίασης του περιβάλλοντος που είναι η παροχή όσο το δυνατόν καλύτερης ποιότητας υπηρεσίας σε σχέση με τις παραμέτρους που δηλώνει ο χρήστης.

Κεφάλαιο 4

Η αρχιτεκτονική του συστήματος

Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφουμε την αρχιτεκτονική του συστήματος για την εκτέλεση πειραμάτων χρέωσης[1]. Σε ένα πραγματικό ABR δίκτυο, ο ρυθμός με τον οποίο αποστέλλει δεδομένα μία πηγή καθορίζεται από το δίκτυο, βάσει των σημάτων ανάδρασης. Επομένως, προκειμένου να εκτελέσουμε τα πειράματα χρέωσης θα πρέπει να υλοποιήσουμε τους μηχανισμούς ελέγχου του ρυθμού αποστολής δεδομένων και καταμερισμού της χωρητικότητας των συνδέσμων, βάση τόσο της χρέωσης, όσο και του ίδιου του μηχανισμού καταμερισμού της χωρητικότητας του ABR.

Δεδομένου, ότι οι παραπάνω μηχανισμοί δεν παρέχονται ακόμη με την μορφή καρτών δικτύου και λογισμικού ή υλικού στους μεταγωγείς, υλοποιήθηκαν ώς λογισμικό εξομοίωσης σε επίπεδο διαχείρισης.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος, θα πρέπει να ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις που περιγράψαμε σε προηγούμενα κεφάλαια, δεδομένου ότι υπόκεινται στους περιορισμούς της υπάρχουσας τεχνολογίας.

Συνοψίζοντας όλα τα προηγούμενα, η αρχιτεκτονική του συστήματος θα πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής:

- Να παρέχει στον χρήστη ένα ευέλικτο γραφικό περιβάλλον που θα του παρέχει την δυνατότητα να δηλώνει όλες τις παραμέτρους που αφορούν τόσο την σύνδεσή του, όσο και της παραμέτρους χρέωσης.

- Να παρέχει στον χρήστη όλα τα απαραίτητα σήματα ανάδρασης τόσο για την προσαρμογή του ρυθμού αποστολής των δεδομένων του (δηλ. σήματα ανάδρασης του ABR) όσο και πληροφορία για την χρέωση του (όπως για παράδειγμα την

[1] Η παρούσα αρχιτεκτονική παρουσιάζεται και στο [CKS+97]

τρέχουσα τιμή ανά μονάδα εύρους ζώνης ανά μονάδα χρόνου και την συνολική του χρέωση στο τέλος της σύνδεσης).

- Να έχει την δυνατότητα να επιδείξει οπτικά με αποτελεσματικό τρόπο, τις συνέπειες των ενεργειών του χρήστη τόσο στην ποιότητα της υπηρεσίας που λαμβάνει, όσο και στην τελική του χρέωση αλλά και να συγκρίνει την ποιότητα υπηρεσίας μεταξύ χρηστών που δηλώνουν διαφορετικές παραμέτρους χρέωσης.

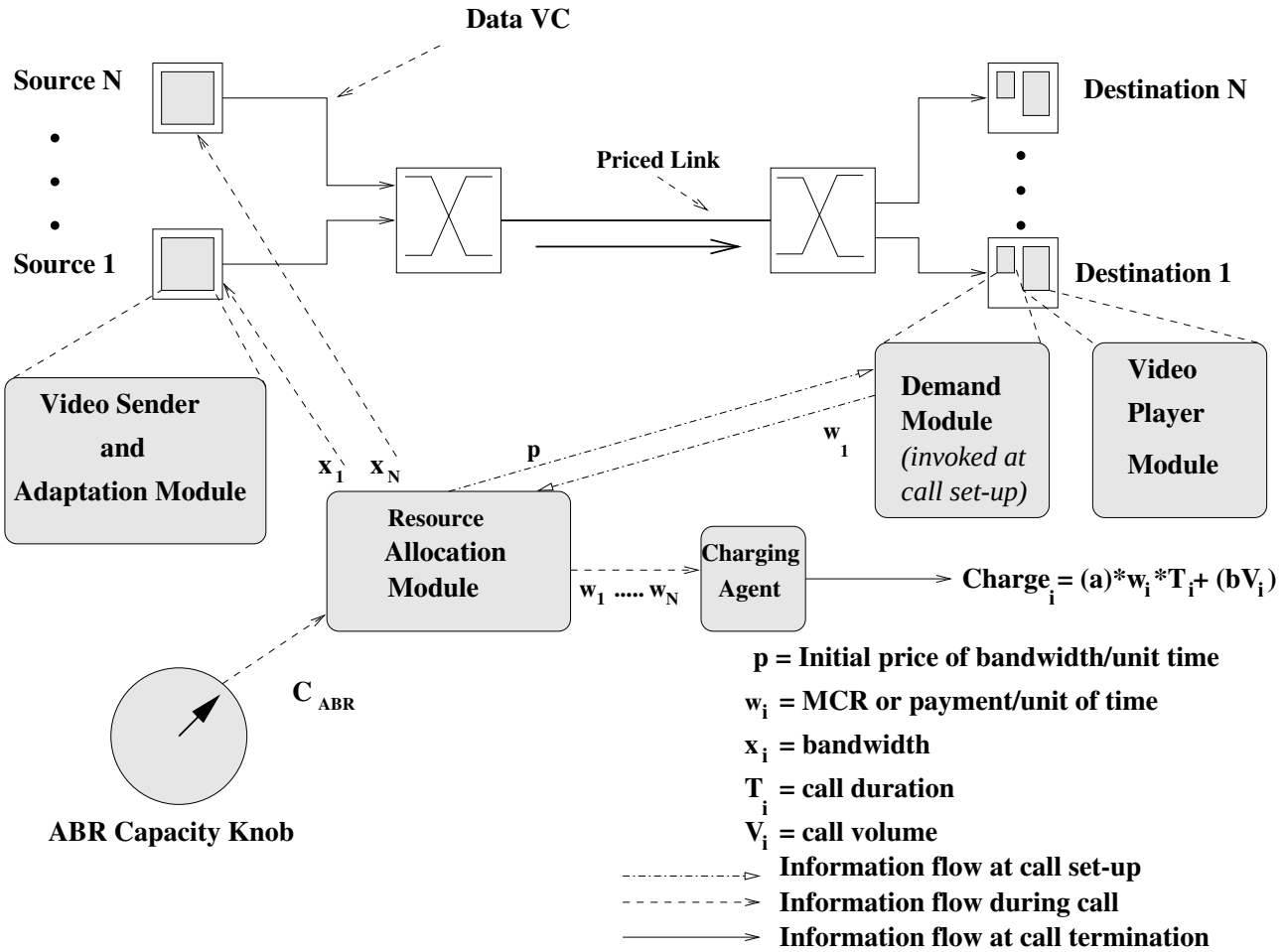
- Να δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να επαναδιαπραγμετεύεται με το δίκτυο της παραμέτρους χρέωσής του

4.1 Τα βασικά μέρη της αρχιτεκτονικής του συστήματος

Τα βασικά μέρη της αρχιτεκτονικής του συστήματος για την χρέωση ενός συνδέσμου, απεικονίζονται στο σχήμα (4.1). Στις επόμενες υποπαραγράφους, αναλύουμε την λειτουργία των παραπάνω οντοτήτων.

4.1.1 Λειτουργική Μονάδα Καταμερισμού Χωρητικότητας - Resource Allocation Module

Η μονάδα Καταμερισμού Χωρητικότητας, είναι υπεύθυνη για το καταμερισμό της διαθέσιμης, ανά πάσα χρονική στιγμή, χωρητικότητας για τις ABR συνδέσεις, στις επιμέρους συνδέσεις ανάλογα με τις παραμέτρους της χρέωσης που αυτές δηλώνουν. Ο καταμερισμός της χωρητικότητας γίνεται με βάση τα σχήματα καταμερισμού της χωρητικότητας των υπηρεσιών ABR, με ισοκατανομή του διαθέσιμου εύρους ζώνης στους χρήστες και η οποία ανάγεται σε καταμερισμό της χωρητικότητας με τρόπο αναλογικό ως προς τις δηλώσεις των χρηστών στο ποσό που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν στα σχήματα χρέωσης τα οποία περιγράφονται στο κεφάλαιο 2. Έτσι, βάσει του παραπάνω τρόπου διαμοιρασμού της χωρητικότητας, οι χρήστες έχουν το κίνητρο να δηλώσουν υψηλό ποσό προκειμένου να λάβουν και μεγάλο εύρος ζώνης. Εδώ θα δούμε πώς τα σχήματα χρέωσης που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 2, λειτουργούν με βάση την υπάρχουσα πλατφόρμα. Τα βασικά σχήματα χρέωσης που χρησιμοποιήθηκαν είναι δύο: η δυναμική χρέωση και η χρέωση ανάλογη του MCR. Η μονάδα Καταμερισμού Χωρητικότητας, συνδέεται με τις αντίστοιχες μονάδες των χρηστών (τις οποίες περιγράφουμε παρακάτω), ώστε αφενός μεν να πληροφορείται τις τιμές των διαφόρων παραμέτρων χρέωσης που θέτουν οι χρήστες, αφετέρου δε για να ενημερώνει, κάθε χρονική στιγμή τους χρήστες



Σχήμα 4.1: Η αρχιτεκτονική του συστήματος

για το εύρος ζώνης που αντιστοιχεί στην σύνδεσή τους. Στις επόμενες υποπαραγράφους περιγράφουμε πώς λειτουργούν τα σχήματα χρέωσης που περιγράψαμε στο κεφάλαιο 2 βάσει της διαθέσιμης πληροφορίας από την πλατφόρμα.

4.1.1.1 Χρέωση Ανάλογη του MCR

Κατά την έναρξη της σύνδεσης, κάθε χρήστης i, δηλώνει τον ελάχιστο ρυθμό αποστολής δεδομένων που επιθυμεί να του εγγυηθεί το δίκτυο, δηλ. $w_i = MCR_i$. Με βάση την πληροφορία αυτή, η χρέωση που το δίκτυο αποδίδει στον χρήστη i ισούται με $\alpha \cdot w_i \cdot T_i + b \cdot V_i$, όπου α είναι η τιμή ανά μονάδα MCR ανά μονάδα χρόνου, T_i είναι η διάρκεια της σύνδεσης του χρήστη i, b είναι η τιμή ανά μονάδα όγκου και V_i είναι ο συνολικός όγκος δεδομένων που μεταφέρθηκε από την σύνδεση του χρήστη i. Στην περίπτωση της χρέωσης με βάση την διάρκεια της σύνδεσης, θέτουμε $b = 0$, ενώ στην

περίπτωση της χρέωσης με βάση τον συνολικό όγκο μεταφοράς δεδομένων, θέτουμε $\alpha = 0$. Στο παρόν περιβάλλον, χάριν απλότητος, εκτελέστηκαν πειράματα με $b = 0$.

Το δίκτυο εγγυάται το MCR των χρηστών κατά την διάρκεια του Ελέγχου Αποδοχής Κλήσης (Connection Admission Control), ελέγχοντας την ανισότητα:

$$\sum_j w_j \leq \bar{C}_{ABR}. \tag{4.1}$$

Το αριστερό μέρος της παραπάνω εξίσωσης είναι το άθροισμα των MCRs όλων των χρήστων που είναι συνδεδεμένοι εκείνη την χρονική στιγμή στο δίκτυο συν το χρήστη του οποίου ελέγχεται η αίτηση για σύνδεση. Το δεξιό μέλος, είναι η ελάχιστη τιμή της συνολικής χωρητικότητας η οποία πάντοτε εγγυάται το δίκτυο.

Το εύρος ζώνης x_i που λαμβάνει ο χρήστης i, είναι ανάλογη του w_i και προκύπτει από την εξίσωση:

$$x_i = C_{ABR}\frac{w_i}{\sum_{j=1}^{N} w_j}. \tag{4.2}$$

Με βάση το παραπάνω σχήμα χρέωσης, η χωρητικότητα που αντιστοιχεί στην σύνδεση i, υπολογίζεται κατά την είσοδο της σύνδεσης αυτής στο δίκτυο και υπολογίζεται ξανά, κάθε φορά που: (i) κάποια άλλη σύνδεση εισέρχεται στο δίκτυο ή τερματίζει κάποια σύνδεση που είναι μέσα στο δίκτυο, (ii) Μεταβάλλεται η τιμή του C_{ABR} (iii) κάθε φορά που η ίδια η σύνδεση ή κάποια άλλη επαναδιαπραγματεύεται την τιμή του MCR της.

4.1.1.2 Δυναμική Χρέωση

Κατά την διάρκεια της εγκατάστασης της σύνδεσης, ο χρήστης i πληροφορείται από την μονάδα Καταμερισμού Χωρητικότητας για την τρέχουσα τιμή p ανά μονάδα εύρους ζώνης και ανά μονάδα χρόνου. Στην γενική περίπτωση αυτή είναι ίση με το άθροισμα των αντιστοίχων τιμών σε όλους τους συνδέσμους που διατρέχει η σύνδεση. Στην συγκεκριμένη πλατφόρμα υπάρχει μόνο ένας σύνδεσμος ο οποίος χρεώνεται (σχήμα 4.1). Επομένως η τιμή p, είναι ίδια για όλες τις συνδέσεις που εισέρχονται ταυτόχρονα στο δίκτυο. Βασιζόμενος στην τιμή αυτή και στην συνάρτηση χρησιμότητας (utility function), ο χρήστης δηλώνει την ποσότητα των χρημάτων w_i που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ανά μονάδα χρόνου. Υποτίθεται ότι για όλους τους χρήστες ισχύει MCR=0.

Η χρέωση για τον χρήστη i ισούται με $w_i \cdot T_i$, όπου T_i είναι η διάρκεια της σύνδεσης του χρήστη i. Το δίκτυο δεσμεύει χωρητικότητα x_i για τον χρήστη i, όπου:

$$x_i = \frac{w_i}{p} \tag{4.3}$$

Η παραπάνω τιμή, υπολογίζεται κάθε φορά που μία νέα σύνδεση εισέρχεται στο δίκτυο ή μία παλιά σύνδεση τερματίζεται και βασίζεται στην αθροιστική ζήτηση για χωρητικότητα, έτσι όπως υπολογίζεται από το δίκτυο. Συγκεκριμένα, αν η αθροιστική ζήτηση για χωρητικότητα στον σύνδεσμο είναι μικρότερη από από τη διαθέσιμη χωρητικότητα για τις συνδέσεις ABR στον σύνδεσμο αυτό, C_{ABR}, η τιμή p μειώνεται, αλλιώς αυξάνεται. Επιπλέον η τιμή p, υπολογίζεται κάθε φορά που το C_{ABR} μεταβάλλεται. Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, όλα τα x_i που αντιστοιχούν στους χρήστες του δικτύου υπολογίζονται εκ νέου. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι χρήστες ενημερώνονται για την τιμή p, μόνο κατά την φάση εισόδου τους στο σύστημα, με σκοπό να υπολογίσουν πόσα χρήματα είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν παρόλα αυτά έμμεσα, παρατηρώντας τις αυξομοιώσεις στο εύρος ζώνης είναι σε θέση να διαπιστώσουν πότε η τιμή αυξάνεται ή μειώνεται.

Η υπολογισμός της νέας τιμής p γίνεται ώς εξής:

- Αρχικά, όταν στον σύνδεσμο χρέωσης δεν υπάρχει καμμία σύνδεση, η τιμή p έχει την μικρότερη δυνατή τιμή p_{min} η οποία για λόγους συνέπειας στους υπολογισμούς τίθεται σε μια πολύ μικρή τιμή (διαφορετική του μηδενός). Κατά την διάρκεια της λειτουργίας του, η μονάδα Καταμερισμού Χωρητικότητας διατηρεί μία μεταβλητή D_{tot} η οποία εκφράζει την εκτίμηση του δικτύου για την συνολική ζήτηση σε χωρητικότητα από τους χρήστες. Δηλαδή:

$$D_{tot} = \sum_i \frac{w_i}{p}. \tag{4.4}$$

- Κάθε φορά που η τιμή της παραπάνω μεταβλητής μεταβάλλεται, λόγω της εισόδου στο σύστημα μιας νέας σύνδεσης, του τερματισμού μιας παλιάς ή την μεταβολή του C_{ABR}, η νέα τιμή p υπολογίζεται ως εξής:

$$p = max\{p_{min}, p - p \cdot k \cdot (1 - \frac{D_{tot}}{C_{ABR}})\}, \tag{4.5}$$

όπου k μία παράμετρος με προκαθορισμένη τιμή, π.χ. $k = 0.8$ η οποία καθορίζει το πόσο θα μεταβάλλονται οι τιμές σε κάθε υπολογισμό τους.

Στην συνέχεια, όλες οι τιμές x_i υπολογίζονται ξανά με βάση την νέα τιμή. Στην περίπτωση όπου η τιμή της μεταβλητής D_{tot}, υπερβαίνει την συνολική χωρητικότητα, η τιμή p θα πρέπει να αυξάνεται με σκοπό να αναγκάσει τις συνδέσεις να ελλατώσουν τις απαιτήσεις σε χωρητικότητα. Αντίθετα, όταν η τιμή του D_{tot} μειώνεται και η τιμή p μειώνεται επίσης ώστε να δίνει το κίνητρο στους χρήστες

να αυξήσουν τις απαιτήσεις τους. Στην περίπτωση όπου η τιμή p υπολογίζεται για μεγάλο χρονικό διάστημα στο οποίο δεν μεταβάλλονται τόσο οι απαιτήσεις των χρηστών όσο και η συνολική χωρητικότητα, το σύστημα οδηγείται σε ισορροπίας και τότε η τιμή p ισούται:

$$p = \frac{\sum_j w_j}{C_{ABR}}. \tag{4.6}$$

Έτσι, κάθε φορά που η τιμή της μεταβλητής D_{tot} μεταβάλλεται, η νέα τιμή p στο περιβάλλον εκτέλεσης πειραμάτων, υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$p = max\{p_{min}, \frac{\sum_j w_j}{C_{ABR}}\}. \tag{4.7}$$

4.1.2 Η λειτουργική μονάδα Ζήτησης - Demand Module

Η λειτουργική μονάδα Ζήτησης βρίσκεται στην πλευρά του χρήστη και είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο της ζήτησης της πηγής για εύρος ζώνης από το σύστημα. Η ζήτηση της πηγής σε εύρος ζώνης καθορίζεται από τα σχήματα χρέωσης τα οποία χρησιμοποιεί το δίκτυο για να χρεώσει τις συνδέσεις.

4.1.2.1 Ζήτηση σε χρέωση ανάλογη του MCR

Στην περίπτωση που το δίκτυο χρησιμοποιεί σχήμα χρέωσης ανάλογης του MCR, η λειτουργική μονάδα Ζήτησης μέσω της διεπιφάνειας χρήσης, ζητά από το χρήστη να δηλώσει το MCR που επιθυμεί να του εγγυηθεί το δίκτυο. Στην συνέχεια, η μονάδα Ζήτησης θέτει $w_i = MCR$, για τον χρήστη i και μεταβιβάζει την παράμετρο αυτή στην μονάδα Καταμερισμού Χωρητικότητας.

Στην συνέχεια δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να μεταβάλλει την αρχική τιμή του MCR, όταν οι συνθήκες του δικτύου και το εύρος ζώνης που λαμβάνει δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις του: ο χρήστης κρίνει ότι είτε πρέπει να αυξήσει την τιμή του w, γιατί η ποιότητα της υπηρεσίας που λαμβάνει είναι χαμηλή, είτε να μειώσει την τιμή του w, γιατί λαμβάνει πολύ υψηλό συνολικό εύρος ζώνης λόγω χαμηλής συνολικής ζήτησης των υπολοίπων.

4.1.2.2 Ζήτηση σε Δυναμική Χρέωση

Στην περίπτωση της Δυναμικής Χρέωσης, η λειτουργική μονάδα Ζήτησης ενεργοποιείται μόνο στην φάση εγκατάστασης κλήσης. Εμπεριέχει μία συνάρτηση με την οποία

υπολογίζει την ζήτηση του χρήστη ώς:

$$d_i(p) = PCR_i \cdot e^{-p \cdot v_i}, \tag{4.8}$$

όπου v_i είναι μια παράμετρος ελαστικότητας και p είναι η τιμή ανά μονάδα χωρητικότητας και ανά μονάδα χρόνου, που πληροφορείται ο χρήστης από το δίκτυο, κατά την φάση εισόδου του στο σύστημα. Η παράμετρος v_i εκφράζει το πόσο διαθέσιμος είναι ο χρήστης να μεταβάλλει την απαίτησή του σε εύρος ζώνης, κάθε φορά που μεταβάλλεται η τιμή p. Αν η τιμή της μεταβλητής v_i είναι υψηλή τυχόν αύξηση της τιμής p θα οδηγήσει σε απότομη μείωση της ζήτησης ενώ τυχόν μείωση της οδηγεί σε απότομη αύξηση της ζήτησης (δηλ. ο χρήστης είναι αρκετά ελαστικός στις επιλογές του). Αντίθετα, αν η τιμή της v_i είναι αρκετά χαμηλή, τυχόν αυξομειώσεις της τιμής p, δεν μεταβάλλουν κατά πολύ την ζήτηση του χρήστη σε εύρος ζώνης.

Μέσω της διεπιφάνειας χρήσης, ο χρήστης i δηλώνει τον μέγιστο ρυθμό αποστολής δεδομένων της σύνδεσής του, PCR_i, καθώς και την παράμετρο ελαστικότητας, v_i. Με βάση τις παραπάνω παραμέτρους και την τιμή p, η μονάδα Ζήτησης καθορίζει την χωρητικότητα την οποία ο χρήστης επιθυμεί να λάβει, βάσει της εξίσωσης 4.8. Έτσι, το ποσό των χρημάτων που ο χρήστης είναι διατεθειμένος να πληρώσει ανά μονάδα χωρητικότητας και ανά μονάδα χρόνου, ισούται με:

$$w_i = p \cdot d_i(p). \tag{4.9}$$

Στην συνέχεια, η τιμή της μεταβλητής w_i μεταβιβάζεται στην μονάδα Καταμερισμού Χωρητικότητας προκειμένου να υπολογιστεί η το εύρος ζώνης x_i που αποδίδεται στην σύνδεση του χρήστη i.

4.1.3 Μονάδα Προσαρμογής του Ρυθμού Αποστολής και Μετάδοσης Video

Η λειτουργική μονάδα Προσαρμογής του Ρυθμού Αποστολής και Μετάδοσης Video, είναι υπεύθυνη για την μετάδοση της πληροφορίας video στο άλλο άκρο της σύνδεσης. Είναι ο server του εργαλείου VCR ο οποίος μεταδίδει πληροφορία MPEG-I με επιλεκτική μετάδοση και με ρυθμό ο οποίος καθορίζεται από τα σήματα ανάδρασης που αποστέλει η μονάδα Καταμερισμού Χωρητικότητας.

4.1.4 Μονάδα Λήψης και Απεικόνισης Video

Η μονάδα αυτή βρίσκεται στην πλευρά του χρήστη και είναι υπεύθυνη για την αποκωδικοποίηση και την απεικόνιση της λαμβανόμενης πληροφορίας video.

4.1.5 Λειτουργική μονάδα Μεταβολής της ABR Χωρητικότητας

Η λειτουργική μονάδα Μεταβολής της Χωρητικότητας ABR είναι υπεύθυνη για την μεταβολή της συνολικής χωρητικότητας που είναι, κάθε χρονική στιγμή, διαθέσιμη στις ABR συνδέσεις. Όπως είχαμε αναφέρει και στο κεφάλαιο 1, η συνολική χωρητικότητα που είναι διαθέσιμη, σε κάθε χρονική στιγμή, για τις συνδέσεις ABR σε κάποιον σύνδεσμο, είναι το υπόλοιπο της συνολικής χωρητικότητας του συνδέσμου μείον την χωρητικότητα που καταλαμβάνουν οι υπηρεσίες εγγυημένης υπηρεσίας (CBR, rt-VBR, nrt-VBR). Η μονάδα Μεταβολής της χωρητικότητας ABR εξομοιώνει το επίπεδο της συνολικής ζήτησης σε χωρητικότητα ABR και επιδυκνείει τα αποτελέσματα των μεταβολών της συνολικής χωρητικότητας ABR στις εφαρμογές. Απαρτίζεται από δύο βασικά μέρη: (i) την Μονάδα Μεταβολής Χωρητικότητας μέσω Διεπιφάνειας Χρήσης και (ii) Την μονάδα προσομοίωσης άφιξης/αναχώρησης συνδέσεων εγγυημένης υπηρεσίας.

Η Μονάδα Μεταβολής Χωρητικότητας μέσω διεπιφάνειας χρήσης, παρέχει ένα γραφικό περιβάλλον στον διαχειριστή του συστήματος, που του παρέχει την δυνατότητα να μεταβάλλει δια χειρός την συνολική χωρητικότητα ABR (C_{ABR}).

Η μονάδα προσομοίωσης άφιξης/αναχώρησης, προσομοιώνει την διαδικασία αφίξεων και αναχωρήσεων συνδέσεων σταθερής ζήτησης σε εύρος ζώνης 65 Kbps, μιας Poisson διαδικασίας με εκθετικά κατανεμημένη διάρκεια. Οι παράμετροι του συστήματος, ο ρυθμός άφιξης των συνδέσεων (το οποίο τον συμβολίζουμε με λ και ο ρυθμός εξυπηρέτησης (τον οποίο συμβολίζουμε με μ δίδονται από τον διαχειριστή του συστήματος (περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο). Όταν συμβεί ένα γεγονός (άφιξη ή αναχώρηση), το είδος του αποφασίζεται ως εξής: Μία τυχαία μεταβλητή r, η οποία λαμβάνει τιμές στο διάστημα [0,1], συγκρίνεται με την ποσότητα $\frac{\lambda}{\mathrm{N}\cdot\mu+\lambda}$, όπου N, είναι ο αριθμός των συνδέσεων των 65 Kbps που εκείνη την χρονική στιγμή είναι μέσα στο σύστημα. Αν η τιμή της μεταβλητής r είναι μεγαλύτερη από το παραπάνω κλάσμα, τότε πραγματοποιείται αναχώρηση από το σύστημα μιας σύνδεσης των 65 kbps. Αλλιώς πραγματοποιείται μία άφιξη. Στην συνέχεια η μονάδα προσομοίωσης αδρανοποιείται για τυχαίο χρονικό διάστημα, έως το επόμενο γεγονός.

4.1.6 Η Μονάδα Απόδοσης Χρέωσης - Charging Agent

Η μονάδα Απόδοσης Χρέωσης, ασχολείται με την τελική απόδοση της χρέωσης στο χρήστη, δηλαδή το πόσο θα πληρώσει συνολικά για την σύνδεσή του. Η συνολική

χρέωση για την σύνδεση του χρήστη i, υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$Charge_i = \alpha \cdot w_i \cdot T_i + b \cdot V_i. \tag{4.10}$$

Η παραπάνω εξίσωση είναι γενική και εφαρμόζεται και στις δύο περιπτώσεις των σχημάτων χρέωσης: Είναι η εξίσωση (2.2) για το σχήμα χρέωσης με βάση το MCR, όπου α, είναι η τιμή ανά μονάδα MCR ανά μονάδα χρόνου, T_i, είναι η διάρκεια της σύνδεσης του χρήστη i, b είναι η τιμή ανά μονάδα όγκου και V_i είναι ο συνολικός όγκος δεδομένων που μετέφερε η σύνδεση του χρήστη i.

Στην περίπτωση του σχήματος της Δυναμικής Χρέωσης, οι παράμετροι χρέωσης έχουν τις τιμές: $\alpha = 1$ και $b = 0$. Στην περίπτωση επαναδιαπραγμάτευσης των παραμέτρων χρέωσης, η συνολική χρέωση είναι το άθροισμα των επιμέρους χρώσεων στα χρονικά διαστήματα στα οποία οι τιμές των παραμέτρων είναι σταθερές.

4.2 Σύνοψη

Στις προηγούμενες παραγράφους, περιγράψαμε αναλυτικά, τα μέρη της αρχιτεκτονικής του συστήματος. Συνοψίζοντας, τα βασικά μέρη της αρχιτεκτονικής του συστήματος είναι τα παρακάτω:

- **Μονάδα Προσαρμογής Ρυθμού Αποστολής και Μετάδοσης Video**: Είναι υπεύθυνη για την αποστολή κωδικοποιημένης πληροφορίας MPEG-I. Προσαρμόζει τον ρυθμό αποστολής δεδομένων σύμφωνα με το εύρος ζώνης x_i που λαμβάνει από την Μονάδα Καταμερισμού Χωρητικότητας.

- **Μονάδα Λήψης και Απεικόνισης MPEG-I**: Απεικονίζει την πληροφορία MPEG-I που μεταδίδει η μονάδα Αποστολής Δεδομένων στην οθόνη.

- **Μονάδα Καταμερισμού Χωρητικότητας**: Δεσμεύει εύρος ζώνης x_i για τις διάφορες συνδέσεις. Εξομοιώνει την πολιτική δέσμευσης χωρητικότητας ενός συστήματος ABR. Έχει την δυνατότητα να ενεργεί σύμφωνα διάφορες πολιτικές δέσμευσης.

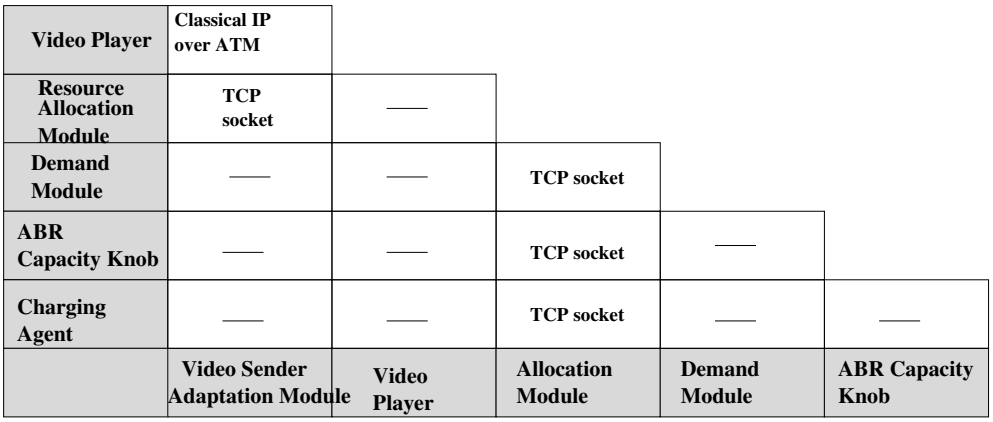
- **Μονάδα Ζήτησης** Καθορίζει την ζήτηση του χρήστη σε εύρος ζώνης Έχει την δυνατότητα να ενεργεί με διάφορες πολιτικές ζήτησης

- **Μονάδα Μεταβολής της Χωρητικότητας ABR**: Ελέγχει και μεταβάλλει την συνολική χωρητικότητα που δεσμεύεται για τις συνδέσεις ABR. Η τιμή που αποδίδει η μονάδα αυτή, στην συνολική χωρητικότητα C_{ABR}, χρησιμοποιείται από την μονάδα Καταμερισμού Χωρητικότητας.

- **Μονάδα Απόδοσης Χρέωσης**: Υπολογίζει την συνολική χρέωση για κάθε σύνδεση.

4.3 Διασύνδεση Μονάδων

Από τις προηγούμενες παραγράφους, γίνεται φανερό πώς είναι απαραίτητη η επικοινωνία των διαφόρων λειτουργικών μονάδων του συστήματος, με σκοπό την ανταλλαγή πληροφορίας. Το παρακάτω σχήμα, περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο επικοινωνούν οι διάφορες λειτουργικές μονάδες μεταξύ τους.



Σχήμα 4.2: Διασύνδεση των Μονάδων του συστήματος

4.4 Διεπιφάνειες Χρήσης

Το σύστημα που περιγράψαμε παραπάνω, προσφέρει δύο διεπιφάνειες χρήσης: (i) την Διεπιφάνεια του Διαχειριστή του συστήματος και (ii) την Διεπιφάνεια του Χρήστη.

4.4.1 Διεπιφάνεια του Διαχειριστή του συστήματος

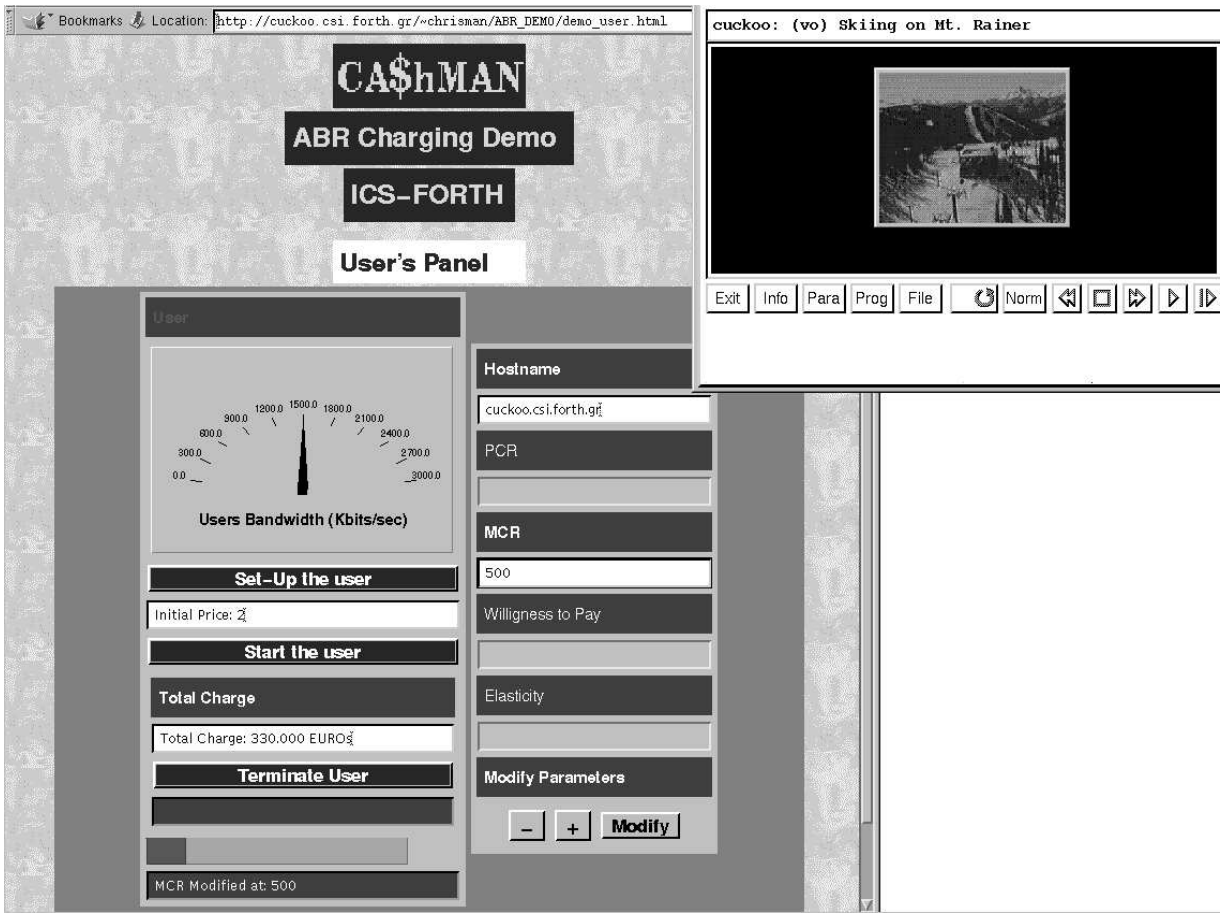
Ο διαχειριστής του συστήματος καθορίζει το μοντέλο χρέωσης με το οποίο θα χρεωθούν οι συνδέσεις των χρηστών, τον ρυθμό αφίξεων και εξυπηρέτησης των συνδέσεων CBR, μεταβάλει από την μονάδα μεταβολής, την χωρητικότητα C_{ABR} και εγκαταθηστά τις παραμέτρους των συνδέσεων (π.χ. τα sockets για την επικοινωνία των λειτουργικών μονάδων, την αρχική χωρητικότητα του συνδέσμου πριν από τα πειράματα). Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει την διεπιφάνεια χρήσης του συστήματος, για τον διαχειριστή.

Σχήμα 4.3: Η Διεπιφάνεια του Διαχειριστή του Συστήματος

4.4.2 Διεπιφάνεια Χρήσης του Χρήστη

Η Διεπιφάνεια του Χρήστη, θα πρέπει να του παρέχει την δυνατότητα να δηλώνει όλες τις παραμέτρους χρέωσης (για το αντίστοιχο σχήμα χρέωσης), να επαναδιαπραγματευεται τις αρχικές παραμέτρους της σύνδεσής του και να τον πληροφορεί για το εύρος ζώνης που λαμβάνει σε κάθε χρονική στιγμή και την τελική του χρέωση. Η εικόνα 4.4 απεικονίζει την διεπιφάνεια χρήσης του συστήματος για τον χρήστη. Όπως φαίνεται στην εικόνα, ο χρήστης ενημερώνεται και για το εύρος ζώνης που λαμβάνει. Αυτό γίνεται γιατί αφενός μεν η εξομοίωση του ελέγχου ροής των υπηρεσιών ABR το προσφέρει αφετέρου, όπως θα δούμε η γνώση του εύρους ζώνης ωφελεί τον χρήστη καθώς αυτή

μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ευφυή προγράμματα, στην πλευρά του χρήστη, για την βελτιστοποίηση του τελευταίου.



Σχήμα 4.4: Η διεπιφάνεια χρήσης του χρήστη του συστήματος

4.5 Στοιχεία Υλοποίησης

Τα λειτουργικά μέρη των μονάδων που περιγράφηκαν παραπάνω (πλήν των διεπιφανειών χρήσης), υλοποιήθηκαν με την γλώσσα προγραμματισμού C. Η επικοινωνία μεταξύ τους πραγματοποιείται με sockets. Οι Διεπιφάνειες Διαχειριστή και Χρήστη δημιουργήθηκαν με την γλώσσα προγραμματισμού Java και η επικοινωνία τους με τις υπόλοιπες λειτουργικές μονάδες πραγματοποιείται μέσω ενός CORBA server υλοποιημένου σε Orbix Web 2.1. Το συνολικό πλήθος γραμμών κώδικα για τις λειτουργικές μονάδες είναι περίπου 4000 και καταλαμβάνουν χώρο μνήμης περίπου 90 Kbytes. Οι Διεπιφάνειες Διαχειριστή και Χρήστη είναι σε μέγεθος περίπου 5000 γραμμές και καταλαμβάνουν χώρο μνήμης

περίπου 130 Kbytes. Η υλοποίηση του CORBA server είναι περίπου 2600 γραμμές και καταλαμβάνει χώρο περίπου 70 Kbytes. Το εργαλείο VCR, είναι σε μέγεθος περίπου 45000 γραμμές και καταλαμβάνει χώρο περίπου 1.2 Mbytes. Για την τροποποίηση του εργαλείου VCR και την υλοποίηση του αλγορίθμου επιλεκτικής μετάδοσης προστέθηκαν επιπλέον 1000 γραμμές. Το εργαλείο VCR είναι υλοποιημένο σε γλώσσα C.
Στα παραπάνω, δεν συμπεριλαμβάνεται το μέγεθος των εκτελέσιμων αρχείων.

Κεφάλαιο 5

Πειραματικά Αποτελέσματα

Στην ενότητα αυτή, περιγράφουμε διάφορα πειράματα χρέωσης που εκτελέστηκαν στο σύστημα που περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο και σχολιάζουμε τα αποτελέσματα αυτών.

Στο κεφάλαιο 1, είχαμε θέσει τους στόχους του περιβάλλοντος εκτέλεσης πειραμάτων χρέωσης. Η εκπλήρωση των στόχων αυτών είναι, ουσιαστικά, η παροχή, από το σύστημα της δυνατότητας εκτέλεσης πειραμάτων τα οποία θα επιδεικνύουν τις συνέπειες της χρέωσης και της κατανομής του εύρους ζώνης σε οικονομική βάση στον χρήστη και στο δίκτυο, υπό διάφορες συνθήκες με ένα οπτικά αποτελεσματικό τρόπο.

Έτσι, οι στόχοι του περιβάλλοντος εκτέλεσης πειραμάτων χρέωσης είναι ουσιαστικά και στόχοι των πειραμάτων

- Να επιδείξουν το γεγονός ότι η χρέωση, αν εφαρμοστεί με κατάλληλο τρόπο, είναι δυνατόν οι χρήστες που πληρώνουν περισσότερο, να λαμβάνουν καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας.

- Να επισημάνουν τις ιδιότητες των διαφόρων σχημάτων χρέωσης υπηρεσιών ABR, να επιδείξουν τις συνέπειες του κάθε σχήματος χρέωσης και να απαντήσουν σε πολλές ενδιαφέρουσες ερωτήσεις που σχετίζονται με την χρέωση υπηρεσιών ABR.

- Να επιδείξουν το γεγονός ότι η επαναδιαπραγμάτευση των παραμέτρων χρέωσης επιτρέπει στον χρήστη να βελτιστοποιήσει την ποιότητα της υπηρεσίας και την τελική χρέωσή του για αυτή.

Στις παρακάτω παραγράφους, περιγράφουμε τα πειράματα που εκτελέστηκαν και σχολιάζουμε τα αποτελέσματά τους. Για την εκτέλεση των πειραμάτων, χρησιμοποιήθηκε η αρχιτεκτονική που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τα πειράματα

διεξήχθησαν κάτω από διάφορες συνθήκες, μεταβάλλοντας τόσο την συνολική χωρητικότητα C_{ABR}, όσο και το συνολικό πλήθος των χρηστών στο σύστημα. Η συνολική χωρητικότητα C_{ABR} μεταβλήθηκε τόσο με την χρήση της μονάδας μεταβολής της συνολικής χωρητικότητας, όσο και με την μονάδα προσομοίωσης αφίξεων και αναχωρήσεων μίας διαδικασίας Poisson με εκθετικά κατανεμημένη διάρκεια, συνδέσεων CBR με απαίτηση εύρους ζώνης 65 Kbps (βλ.παρ. 4.1.4). Τα είδη των χρηστών που χρησιμοποιήθηκαν στα παρακάτω πειράματα είναι δύο: (i) οι χρήστες των οποίων η συμπεριφορά παρατηρήθηκε και (ii) απλοί χρήστες συνδεμένοι στο σύστημα. Οι πρώτοι δήλωναν τις παραμέτρους χρέωσης για την σύνδεσή τους και στην συνέχεια ελάμβαναν πληροφορία video από τον VCR server (βλ. παρ. 3.3) ο οποίος προσάρμοζε τον ρυθμό αποστολής δεδομένων με βάση τον αλγόριθμο επιλεκτικής μετάδοσης/απόρριψης (βλ. παρ. 3.4.1). Οι δεύτεροι, δήλωναν τις παραμέτρους χρέωσης, δέσμευαν εύρος ζώνης αλλά δεν ελάμβαναν video πληροφορία από τον VCR server. Σε όλα τα πειράματα εφαρμόστηκε χρονοχρέωση ($b = 0$). Το κριτήριο για την εξαγωγή των συμπερασμάτων ήταν η ποιότητα στην απεικόνιση της πληροφορίας video. Στις περιπτώσεις όπου ο χρήστης λάμβανε υψηλό εύρος ζώνης, τέτοιο ώστε να μήν απορρίπτεται κανένα πλαίσιο, η ποιότητα της εικόνας ήταν καλή ενώ στην περίπτωση που ο χρήστης λάμβανε μικρό εύρος ζώνης, τέτοιο ώστε να απορρίπτονται πλαίσια, η απεικόνιση της πληροφορίας video παρουσίαζε ‘‘πάγωμα’’ της εικόνας για ορισμένο χρονικό διάστημα. Η διάρκεια του χρονικού διαστήματος στο οποίο συνέβαινε το παραπάνω φαινόμενο καθορίζονταν από τον τύπο του πλαισίου που απορίπτονταν (I-P πλαίσια μεγάλο χρονικό διάστημα, B-πλαίσια μικρό).

5.1 Χρήστης σταθερού χρόνου και χρέωσης

Στο πείραμα αυτό, εξετάζουμε τις συνέπειες του φόρτου του δικτύου στην ποιότητα υπηρεσίας και στην τελική χρέωση του χρήστη, όταν αυτός χρεώνεται ανάλογα με το MCR (βλέπε 2.1.1). Εκτελούμε δύο διαδοχικά πειράματα ίδιας χρονικής διάρκειας.
Η οργάνωση του πειράματος έχει ώς εξής:

- Μεταφορά πληροφορίας video μέσω classical IP/ATM.
- Σύνδεση ABR με μικρό MCR.
- Δεδομένου χρόνου διάρκεια σύνδεσης.

- Στην εκτέλεση του πρώτου πειράματος, η συνολική απαίτηση σε εύρος ζώνης από τις υπόλοιπες συνδέσεις είναι υψηλή ενώ στο δεύτερο πείραμα χαμηλή.

Η εκτέλεση του παραπάνω πειράματος έδειξε τα εξής:

- Όταν υπάρχει αυξημένη ζήτηση σε εύρος ζώνης ABR, ή όταν το C_{ABR} είναι ιδιαίτερα μικρό, ο χρήστης λαμβάνει εύρος ζώνης λίγο μεγαλύτερο από το MCR που δήλωσε στην αρχή της σύνδεσης και έτσι η ποιότητα της εικόνας που λαμβάνει είναι κακή.

- Όταν υπάρχει μειωμένη ζήτηση σε εύρος ζώνης ABR ή όταν το C_{ABR} είναι μεγάλο, ο χρήστης λαμβάνει εύρος ζώνης πολύ μεγαλύτερο από το MCR που δήλωσε, με αποτέλεσμα, η ποιότητα της εικόνας του είναι πολύ καλύτερη από την προηγούμενη περίπτωση.

- Στις δύο περιπτώσεις αυτές, αν η χρέωση ανά μονάδα εύρους ζώνης και ανά μονάδα χρόνου α είναι σταθερή, τότε και η συνολική χρέωση είναι ίδια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η συνολική χρέωση για τον χρήστη i εκφράζεται από την εξίσωση: $charge_i = \alpha \cdot w_i \cdot T + b \cdot V_i$. Δεδομένου ότι έχουμε χρονοχρέωση ($b = 0$), η τελική χρέωση εξαρτάται μόνο από την διάρκεια της σύνδεσης T, το $MCR_i (= w_i)$, και την τιμή ανά μονάδα εύρους ζώνης ανά μονάδα χρόνου α. Και στις δύο περιπτώσεις, οι τιμές των παραπάνω παραμέτρων είναι οι ίδιες, επομένως και η τελική χρέωση θα είναι η ίδια. Παρόλα αυτά η ποιότητα που λαμβάνουμε στις δύο περιπτώσεις είναι διαφορετική.

5.2 Χρήστες με χαμηλό διαθέσιμο ποσό

Στο πείραμα αυτό, εξετάζουμε πότε ένας χρήστης οποίος είναι διατεθειμένος να πληρώσει λίγο, λαμβάνει ικανοποιητική απόδοση και πότε όχι.
Η οργάνωση του πειράματος έχει ώς εξής:

- Μεταφορά video πληροφορίας μέσω classical IP/ATM

- ABR σύνδεση με χαμηλό MCR (τόσο ώστε να εξασφαλίζεται η ικανοποιητική απεικόνιση της πληροφορίας video δηλ. ο αλγόριθμος να μήν απορρίπτει I-πλαίσια. Για την ταινία των πειραμάτων ο ρυθμός αυτός ήταν λίγο μεγαλύτερος από 500 Kbps)

Η εκτέλεση του παραπάνω πειράματος έδειξε τα εξής:

- Σε περιόδους χαμηλής ζήτησης σε εύρος ζώνης από τις συνδέσεις ABR, ή όταν το C_{ABR} είναι υψηλό, ο χρήστης λαμβάνει εύρος ζώνης σημαντικά μεγαλύτερο του MCR που δήλωσε και η ποιότητα της εικόνας που λαμβάνει είναι ιδιαίτερα καλή.

- Σε περιόδους υψηλής ζήτησης σε εύρος ζώνης από τις συνδέσεις ABR, ή όταν το C_{ABR} είναι χαμηλό, ο χρήστης λαμβάνει εύρος ζώνης μόλις λίγο μεγαλύτερο από το MCR το οποίο δήλωσε και η ποιότητα της εικόνας που λαμβάνει είναι κακή.

- Όταν ο χρήστης είναι διατεθειμένος να πληρώσει ένα μικρό ποσό, η συνολική χρέωση είναι χαμηλή, ενώ λαμβάνει ικανοποιητική ποιότητα υπηρεσίας, μόνο όταν η ζήτηση σε εύρος ζώνης από τις υπόλοιπες συνδέσεις ABR είναι χαμηλή ή η τιμή του C_{ABR} είναι υψηλή. Σε άλλες περιπτώσεις, η ποιότητα της εικόνας που λαμβάνει είναι κακή.

5.3 Χρήστες με υψηλό διαθέσιμο ποσό

Το παρόν πείραμα, εξετάζει τις συνέπειες στην ποιότητα της λαμβανόμενης εικόνας, στις περιπτώσεις όπου ο χρήστης δηλώνει υψηλό ή χαμηλό MCR. Εκτελούμε δύο πειράματα όπου στο πρώτο ο χρήστης είναι διατεθειμένος να πληρώσει λίγο και στο δεύτερο πολύ. Η οργάνωση του πειράματος έχει ώς εξής:

- Μετάδοση πληροφορίας video μέσω classical IP/ATM

Για το πείραμα στο οποίο ο χρήστης είναι διατεθειμένος να πληρώσει πολύ ορίζουμε:

- Υψηλό MCR (μεγαλύτερο από τον ελάχιστο ρυθμό που απαιτεί το video για την μετάδοσή του, βλέπε πείραμα 5.2)

Για τον παραπάνω χρήστη παρατηρούμε τα εξής:

- Σε περιόδους χαμηλής ζήτησης σε εύρος ζώνης από τις υπόλοιπες συνδέσεις ABR, ή όταν το C_{ABR} είναι υψηλό, το εύρος ζώνης που λαμβάνει ο παραπάνω χρήστης είναι ιδιαίτερα υψηλό (σημαντικά μεγαλύτερο από το MCR) και η ποιότητα της λαμβανόμενης εικόνας είναι καλή.

- Σε περιόδους υψηλής ζήτησης σε εύρος ζώνης από τις υπόλοιπες συνδέσεις ABR, ή C_{ABR} χαμηλό, το εύρος ζώνης που λαμβάνει ο χρήστης είναι λίγο μεγαλύτερο από το MCR που δήλωσε. Παρόλα αυτά η ποιότητα της εικόνας που λαμβάνει, είναι αρκετά καλή.

- Η χρέωση είναι υψηλή εξαιτίας του γεγονότος ότι δήλωσε υψηλό MCR.

Για το πείραμα στο οποίο ο χρήστης είναι διατεθειμένος να πληρώσει λίγο, ορίζουμε:

- Χαμηλό MCR (της τάξεως του ελάχιστου ρυθμού αποστολής για την μετάδοση του video).

Για τον παραπάνω χρήστη, παρατηρούμε τα εξής:

- Σε περιόδους χαμηλής ζήτησης σε εύρος ζώνης από τις υπόλοιπες συνδέσεις ABR, ή όταν το C_{ABR} είναι υψηλό, το εύρος ζώνης που λαμβάνει ο χρήστης είναι υψηλό, μεγαλύτερο του MCR που δήλωσε και η ποιότητα της λαμβανόμενης εικόνας καλή
- Σε περιόδους υψηλής απαίτησης σε εύρος ζώνης από τις υπόλοιπες συνδέσεις ή C_{ABR} χαμηλό, το εύρος ζώνης που λαμβάνει ο χρήστης είναι χαμηλό, λίγο παραπάνω από το MCR που δήλωσε και η ποιότητα της εικόνας κακή.

Από το παραπάνω πείραμα, συμπεραίνουμε τα εξής:

- Οι χρήστες που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν πολύ, λαμβάνουν καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας από αυτούς που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν λίγο.
- Για τους χρήστες που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν πολύ, η ποιότητα υπηρεσίας που λαμβάνουν δεν επηρεάζεται από τις αλλαγές της κατάστασης του δικτύου τόσο πολύ όσο η ποιότητα υπηρεσίας των χρηστών που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν λίγο.
- Η συνολική χρέωση του χρήστη 1 είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη συνολική χρέωση του χρήστη 2.

5.4 Διαδοχική είσοδος των χρηστών στο σύστημα

Στο πείραμα αυτό, εξετάζουμε τις συνέπειες στο εύρος ζώνης και την ποιότητα υπηρεσίας που λαμβάνει ένας χρήστης πριν και μετά την είσοδο ενός δεύτερου χρήστη στο σύστημα. Η οργάνωση του πειράματος έχει ώς εξής:

- Μετάδοση πληροφορίας video μέσω classical IP/ATM.
- Ο χρήστης 1, είναι ο πρώτος χρήστης που συνδέεται στο σύστημα και δηλώνει ελάχιστο ρυθμό αποστολής δεδομένων MCR_1.

- Ο χρήστης 2, συνδέεται μετά τον χρήστη 1 και δηλώνει ελάχιστο ρυθμό αποστολής δεδομένων MCR_2. Και οι δύο τιμές των MCRs είναι τέτοιες, ώστε να εξασφαλίζουν τον ελάχιστο ρυθμό που απαιτείται για την μετάδοση της video πληροφορίας. Υποθέτουμε ότι $MCR_1 < MCR_2$.

- Υποθέτουμε ότι $MCR_1 + MCR_2 < \bar{C}_{ABR}$.

Η εκτέλεση του πειράματος έδειξε τα εξής:

- Όταν ο χρήστης 1 συνδεθεί στο σύστημα, το εύρος ζώνης που λαμβάνει είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από το αρχικό MCR που δήλωσε, καθώς στο σύστημα δεν υπάρχει άλλος χρήστης συνδεμένος στο σύστημα.

- Όταν συνδεθεί ο χρήστης 2 στο σύστημα, ο χρήστης 1 λαμβάνει μικρότερο εύρος ζώνης απ' ότι στην προηγούμενη περίπτωση και η ποιότητα της εικόνας που λαμβάνει είναι χειρότερη από την πρώτη περίπτωση.

- Αν ο χρήστης 1, δεν έχει την δυνατότητα να επαναδιαπραγματευθεί το ποσό των χρημάτων που είναι διατεθειμένος να πληρώσει, η ποιότητα της εικόνας που θα λαμβάνει θα είναι χαμηλή, για το χρονικό διάστημα που ο χρήστης 2 είναι συνδεμένος στο σύστημα.

5.5 Επαναδιαπραγμάτευση του MCR

Στο πείραμα αυτό, εξετάζουμε τις συνέπειες στο εύρος ζώνης και στην ποιότητα της υπηρεσίας που λαμβάνει ο χρήστης, όταν έχει την δυνατότητα να επαναδιαπραγματευθεί το ποσό των χρημάτων που είναι διατεθειμένος να πληρώσει, ανά μονάδα εύρους ζώνης ανά μονάδα χρόνου.
Η οργάνωση του πειράματος είναι η ίδια με αυτήν του ανωτέρω εκτός του ότι ο χρήστης 1 έχει την δυνατότητα επαναδιαπραγμάτευσης του MCR που δήλωσε αρχικά. Η εκτέλεση του πειράματος έδειξε τα εξής:

- Όταν ο χρήστης 1 συνδεθεί στο σύστημα, το εύρος ζώνης που λαμβάνει είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από το αρχικό MCR που δήλωσε, καθώς στο σύστημα δεν υπάρχει άλλος χρήστης συνδεμένος στο σύστημα.

- Όταν συνδεθεί ο δεύτερος χρήστης στο σύστημα, ο χρήστης 1 λαμβάνει μικρότερο εύρος ζώνης απ' ό,τι στην προηγούμενη περίπτωση και η ποιότητα της εικόνας που λαμβάνει είναι χειρότερη από την πρώτη περίπτωση.

- Αν ο χρήστης 1 επιθυμεί την επαναδιαπραγμάτευση του MCR με σκοπό να αυξήσει το εύρος ζώνης που λαμβάνει και να βελτιώσει την ποιότητα της εικόνας του, αυξάνει την τιμή του MCR (έστω $MCR_{1_new} > MCR_1$ και $MCR_{1_new} + MCR_2 < \bar{C}_{ABR}$) ώστε να εξασφαλίσει την ποιότητα της εικόνας που επιθυμεί.

- Η συνολική χρέωση για τον χρήστη 1 στην περίπτωση του πειράματος αυτού, είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του πειράματος 5.4 αν τα δύο πειράματα εκτελεστούν για το ίδιο χρονικό διάστημα. Και αυτό γιατί στην περίπτωση του πειράματος 5.4, η συνολική χρέωση είναι $\alpha \cdot MCR_1 \cdot T_1$ όπου T_1 είναι η χρονική διάρκεια της σύνδεσης του χρήστη 1, ενώ στην περίπτωση του παρόντος πειράματος η συνολική χρέωση είναι $\alpha \cdot (MCR_1 \cdot t_1 + MCR_{1_new} \cdot t_{1_new})$ όπου την χρονική στιγμή t_1 ο χρήστης 1 μεταβάλλει το MCR του και $t_1 + t_{1_new} = T_1$. Δεδομένου ότι $MCR_{1_new} > MCR_1$, ο χρήστης 1 πληρώνει περισσότερο στην περίπτωση του παρόντος πειράματος απ' ότι στην περίπτωση του πειράματος 5.4.

5.6 Συμπεράσματα

Η εκτέλεση των παραπάνω πειραμάτων επέδειξε τα σημαντικά αποτελέσματα της χρέωσης υπηρεσιών ABR και του διαμοιρασμού των πόρων με βάση διάφορα οικονομικά μοντέλα. Οι σημαντικότερες παρατηρήσεις συνοψίζονται παρακάτω:

- Η ποιότητα της υπηρεσίας που λαμβάνει ένας χρήστης που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ένα μικρό ποσό ένα μονάδα εύρους ζώνης και ένα μονάδα χρόνου, είναι κακή μόνο αν η συνολική ζήτηση σε εύρος ζώνης από τις υπόλοιπες συνδέσεις του δικτύου είναι υψηλή ή η συνολική χωρητικότητα που είναι διαθέσιμη στις υπηρεσίες ABR είναι χαμηλή. Αλλιώς η ποιότητα της υπηρεσίας είναι ανεκτή.

- Η ποιότητα υπηρεσίας ενός χρήστη ο οποίος είναι διατεθειμένος να πληρώσει ένα μεγάλο ποσό ανά μονάδα εύρους ζώνης και ανά μονάδα χρόνου, παραμένει υψηλή για όλη την διάρκεια της σύνδεσής του και επηρεάζεται λιγότερο από τις αλλαγές στο δίκτυο (την αύξηση της συνολικής ζήτησης σε εύρος ζώνης από τις υπόλοιπες συνδέσεις του δικτύου ή την μείωση της συνολικής χωρητικότητας για τις ABR συνδέσεις)

- Η επαναδιαπραγμάτευση του ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ένας χρήστης παρέχει την δυνατότητα σε αυτόν να λαμβάνει συνεχώς την ποιότητα της υπηρεσίας που επιθυμεί και ταυτόχρονα η συνολική του χρέωση να είναι

μικρότερη από την αντίστοιχη ενός χρήστη που είναι διατεθειμένος να πληρώσει μεγάλο ποσό, προκειμένου να λαμβάνει συνεχώς υψηλή ποιότητα.

Κεφάλαιο 6

Η χρήση ενός ευφυούς αντιπροσώπου, για την χρέωση υπηρεσιών

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζουμε την χρήση ενός ευφυούς αντιπροσώπου, στην πλευρά του χρήστη, για την αποτελεσματικότερη χρέωση του, όταν αυτός δέχεται υπηρεσίες ABR και χρεώνεται γι' αυτές[1].

Στο δυναμικό σχήμα χρέωσης για τις υπηρεσίες ABR, κάθε χρήστης i, δηλώνει το ποσό που είναι διαθέσιμος να πληρώσει w_i, και με βάση την δήλωση αυτή το δίκτυο αποδίδει εύρος ζώνης για την εφαρμογή του x_i, από την συνολική χωρητικότητα που δίδεται για τις υπηρεσίες ABR, C_{ABR}. Το ίδιο ισχύει και για την χρέωση υπηρεσιών με βάση το MCR, όπου τώρα ισχύει ότι $w_i = \alpha \cdot MCR_i$ και ότι το άθροισμα $\sum_i MCR_i$ είναι πάντα μικρότερο από την συνολική χωρητικότητα που διατίθεται για τις συνδέσεις ABR. Τα παραπάνω δύο σχήματα χρέωσης περιγράφονται με περισσότερες λεπτομέρειες στο κεφάλαιο 2 και στα [CSS96],[Kel96].

Δεδομένου ότι οι συνθήκες ζήτησης/συμφόρησης μεταβάλλονται με τον χρόνο, το ίδιο ποσό χρημάτων ανά μονάδα χρόνου, δεν οδηγεί σε βελτιστοποίηση της σχέσεως χρημάτων-ποιότητας υπηρεσίας κάτω από οποιαδήποτε συνθήκη. Έτσι, είναι απαραίτητο να παρέχεται η δυνατότητα στον χρήστη, να μπορεί να μεταβάλλει το ποσό ανά μονάδα εύρους ζώνης που δηλώνει w_i, όταν αυτό δεν αποτελεί μία ικανοποιητική επιλογή. Το γεγονός ότι το w_i δεν αποτελεί ικανοποιητική επιλογή, σημαίνει ότι, είτε η παρούσα ποιότητα υπηρεσίας που λαμβάνει ο χρήστης δεν ''αξίζει πλέον τα χρήματά της'' (γιατί στοιχίζει περισσότερο από πριν λόγω της αυξημένης ζήτησης σε εύρος ζώνης ή λόγω αυξημένης συμφόρησης), είτε με λίγο περισσότερο κόστος ο χρήστης μπορεί να

[1] Η παρούσα εργασία παρουσιάζεται εκτενώς στα [CMS98] και [CSMK98]

λάβει πολύ καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας (εξ' αιτίας του ότι η ζήτηση σε εύρος ζώνης από τις υπόλοιπες συνδέσεις μειώθηκε ή ότι δεν υπάρχει πλέον συμφόρηση).

Σε ένα μεγάλο σύστημα με πολλούς χρήστες αναμένεται να είναι απαραίτητες μικρές και συχνές μεταβολές του w_i. Στην περίπτωση αυτή, είναι δύσκολο (και πολλές φορές ενοχλητικό) τις μεταβολές αυτές να τις πραγματοποιεί ο χρήστης χειρονακτικά.

Από την άλλη, οι παραπάνω μεταβολές θα μπορούσαν να είναι μία κατάλληλη εργασία για έναν *ευφυή αντιπρόσωπο* υλοποιημένο σε λογισμικό (*intelligent software agent*) ο οποίος θα βρίσκεται στο μέρος του χρήστη. Στην περίπτωση αυτή, ο παραπάνω αντιπρόσωπος θα μπορούσε να αποδειχθεί ένα χρήσιμο εργαλείο, το οποίο θα παρέχει συνεχώς την βέλτιστη ποιότητα υπηρεσίας σε σχέση με το ποσό των χρημάτων που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης. Φυσικά, ο χρήστης θα μπορεί να αγνοήσει την επιλογή του αντιπροσώπου, όταν αυτή δεν τον ικανοποιεί.

6.1 Το μοντέλο του χρήστη

Για έναν συγκεκριμένο χρήστη U, ο οποίος διαμοιράζεται έναν ATM σύνδεσμο μαζί με άλλες συνδέσεις και ο οποίος είναι διατεθειμένος να πληρώσει w ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα εύρους ζώνης το εύρος ζώνης που λαμβάνει από το δίκτυο είναι:

$$x(w; W, C_{ABR}) = \frac{w}{w + W} C_{ABR}, \tag{6.1}$$

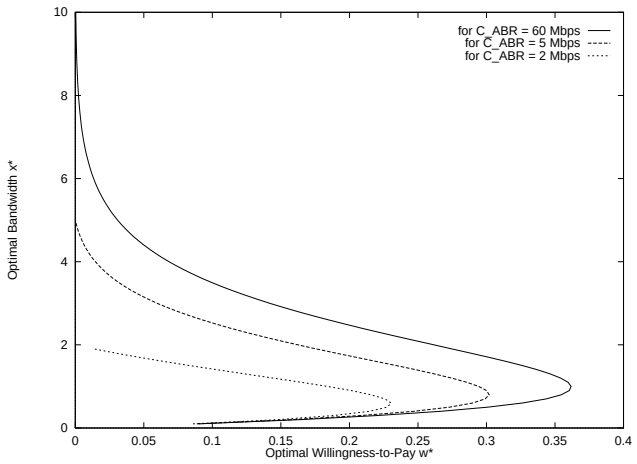
όπου W, είναι το συνολικό ποσό που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν οι υπόλοιποι χρήστες και C_{ABR} η συνολική χωρητικότητα που δίδεται για τις συνδέσεις ABR εκείνη την χρονική στιγμή. Η συνάρτηση καθαρής χρησιμότητας ανά μονάδα χρόνου για το συγκεκριμένο χρήστη υποθέτουμε ότι είναι ημιγραμμική και εκφράζεται από την σχέση: $u(x) - w$, όπου $u(x)$, είναι η συνάρτηση που εκφράζει την χρησιμότητα εξαιτίας της ποιότητας υπηρεσίας που λαμβάνει ο χρήστης όταν το εύρος ζώνης που του αποδίδει το δίκτυο είναι ίσο με x. Υποθέτουμε ότι η παραπάνω συνάρτηση είναι μη-φθίνουσα, και κοίλη ώς προς x. Μία μορφή της $u(x)$, την οποία θα χρησιμοποιήσουμε για τους αναλυτικούς υπολογισμούς είναι η: $u(x) = \widetilde{u}(1 - e^{-x/B})$, όπου $\widetilde{u}, B$ σταθερές, για την οποία υποθέτουμε ότι δεν μεταβάλλεται για τον ίδιο χρήστη από σύνδεση σε σύνδεση.

Ο σκοπός του χρήστη U, είναι να επιλέξει το ποσό w που είναι διατεθειμένος να πληρώσει έτσι ώστε το εύρος ζώνης x που θα του αποδοθεί από το δίκτυο σύμφωνα με τον τύπο (6.1) να οδηγεί σε μεγιστοποίηση της $u(x) - w$. Επομένως, το πρόβλημα του χρήστη

είναι το παρακάτω:

$$max_{w\geq 0}\left\{u(\frac{w}{w+W}C_{ABR})-w\right\}. \tag{6.2}$$

Το παραπάνω πρόβλημα έχει μοναδική λύση $w^*(W,C_{ABR})$, εξαιτίας της μονοτονικότητας και της κοιλότητας της συνάρτησης $u(x)$. Έτσι, λαμβάνουμε ζεύγη σημείων $(w^*(W,C_{ABR}),x^*(W,C_{ABR}))$ τα οποία συνιστούν ένα σύνολο $\mathcal{O}$ το οποίο, για την συνάρτηση $u(x)=\widetilde{u}(1-e^{-x/B})$ και για διάφορες τιμές του C_{ABR}, απεικονίζεται στο σχήμα 6.1.



Σχήμα 6.1: Οι καμπύλες των βέλτιστων σημείων

Μια σημαντική ειδική περίπτωση προκύπτει όταν

$$w \ll W, \tag{6.3}$$

(ή ισοδύναμα $x \ll C_{ABR}$). Στην περίπτωση αυτή, η εξίσωση (6.1) μετασχηματίζεται στην:

$$x(w;W,C_{ABR}) \approx w\frac{C_{ABR}}{W} = \frac{w}{p}, \tag{6.4}$$

και η (6.2) στην

$$max_{w\geq 0}\left\{u(w\frac{C_{ABR}}{W})-w\right\}. \tag{6.5}$$

Από τις εξισώσεις (6.4) και (6.5), συμπεραίνουμε ότι το βέλτιστο σημείο του απλοποιημένου προβλήματος του χρήστη εξαρτάται από το πηλίκο $\frac{W}{C_{ABR}}$, δηλαδή από την τιμή p ανά μονάδα εύρους ζώνης και ανά μονάδα χρόνου.

6.2 Ο ευφυής αντιπρόσωπος

Ο ευφυής αντιπρόσωπος ΕΑ, θα πρέπει (i) αρχικά να μάθει την συμπεριφορά του χρήστη και (ii) να είναι σε θέση στην συνέχεια να μιμηθεί την συμπεριφορά του χρήστη, ώς προς τις επιλογές του για το ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει. Όμως, παρόλο που απαιτούμε ο ΕΑ να είναι σε θέση να μιμηθεί τις επιλογές του χρήστη, η πληροφορία η οποία καθορίζει την επιλογή του ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης, είναι διαφορετική στην περίπτωση του χρήστη και στην περίπτωση του ΕΑ. Συγκεκριμένα, ο χρήστης παρατηρεί την ποιότητα υπηρεσίας που δέχεται, καθορίζει τον βαθμό ικανοποίησης του και στην συνέχεια, επιλέγει το w ώστε να μεγιστοποιήσει το $u(x) - w$. Από την άλλη, ο ΕΑ μπορεί, με βάση τα σήματα ανάδρασης που δέχεται από το δίκτυο, να παρατηρήσει την εύρος ζώνης x που το δίκτυο αποδίδει στον χρήστη, βάσει της επιλογής του ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει. Έτσι, πριν την ενεργοποίηση του, ο ΕΑ, πρέπει να μάθει την συμπεριφορά του χρήστη καταγράφοντας τις βέλτιστες επιλογές του (δηλ. σημεία του συνόλου $\mathcal{O}$), χωρίς όμως να γνωρίζει τις τιμές (W, C_{ABR}). Στην πραγματικότητα όμως, το σύνολο των σημείων που καταγράφει ο ΕΑ (έστω $\mathcal{R}$), δεν περιέχει μόνο τις βέλτιστες επιλογές του χρήστη αλλά και σημεία εκτοπιστές, δηλαδή μη βέλτιστα σημεία, καθώς ο χρήστης επιλέγει την βέλτιστη τιμή w^* με διαδοχικές προσπάθειες. Έτσι, ένα επιπλέον καθήκον του ΕΑ, είναι να φιλτράρει κατάλληλα την χρήσιμη πληροφορία (δηλ. τις μετρήσεις που είναι οι βέλτιστες και αυτές που είναι κοντά στις βέλτιστες), από την μη χρήσιμη (δηλ. αυτές που απέχουν πολύ από τις βέλτιστες επιλογές). Το παραπάνω φιλτράρισμα πραγματοποιείται με προσέγγιση επί του συνόλου των διαθέσιμων μετρήσεων, της καμπύλης των βέλτιστων επιλογών, όπως θα δούμε και στις επόμενες παραγράφους.

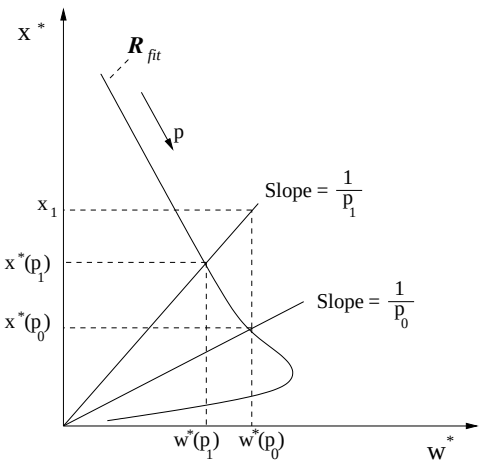
Ας υποθέσουμε ότι αρχικά το σύστημα είναι σε ισορροπία, π.χ. για συγκεκριμένες συνθήκες ζήτησης/συμφόρησης (W^0, C^0_{ABR}) (οι τιμές των οποίων δεν είναι γνωστές), ο ΕΑ έχει επέλθει σε ισορροπία και το αντίστοιχο βέλτιστο σημείο για τον χρήστη είναι (w_0^*, x_0^*). Η αρχική εκτίμηση για την τιμή είναι $p_0 = w_0^*/x_0^*$. Επομένως, το παραπάνω βέλτιστο σημείο γράφεται ώς $(w_0^*(p_0), x_0^*(p_0))$. Σε κάποια χρονική στιγμή, οι συνθήκες ζήτησης/συμφόρησης αλλάζουν σε (W^1, C^1_{ABR}) (επίσης μη γνωστές τιμές). Η αλλαγή αυτή θα γίνει αντιληπτή από τον ΕΑ από την αλλαγή του εύρους ζώνης που αποδίδει το δίκτυο από $x_0^*(p_0)$ σε x_1. Έτσι, ο χρήστης U βρίσκεται τώρα στο σημείο $(w_0^*(p_0), x_1)$. Το σημείο αυτό είναι γενικά ένα μη-βέλτιστο σημείο υπό τις παραπάνω συνθήκες.

Ο ΕΑ θα προσαρμόσει την νέα τιμή του ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει

ο χρήστης, μαντεύοντας την νέα τιμή ώς εξής:

$$p_1 = \frac{w_0^*(p_0)}{x_1}. \tag{6.6}$$

Τότε, ο ΕΑ θα επιλέξει το ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης $w^*(p_1)$ το οποίο αντιστοιχεί στο σημείο εκείνο του $\mathcal{R}$ το οποίο αντιστοιχεί στην τιμή p_1 (σχήμα 6.2).



Σχήμα 6.2: Ο αλγόριθμος για τον Ευφυή Αντιπρόσωπο

6.3 Προσαρμογή στην καμπύλη

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, σκοπός του ΕΑ είναι να εξάγει το βέλτιστο ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης $w^*(p)$, με βάση την διαθέσιμη πληροφορία, δηλαδή ζεύγη της μορφής (x^*, w^*). Για μία δεδομένη τιμή p, γνωρίζουμε ότι $p = w^*/x^* = u'(x^*)$, όπου $u'(\cdot)$, η παράγωγος της συνάρτησης χρησιμότητας. Επιπλέον, λόγω της υπόθεσης ότι η $u(x)$ είναι κοίλη, η συνάρτηση $u'(x^*)$ είναι μη αύξουσα συνάρτηση ως προς x^*. Δεδομένου ότι η συνάρτηση $x^*(p)$ είναι η αντίστροφη συνάρτηση της u', η $x^*(p)$ είναι επίσης μία μη αύξουσα συνάρτηση ως προς p. Επομένως, προκειμένου να επιτύχουμε προσαρμογή στην καμπύλη, στο επίπεδο (w, x), είναι ισοδύναμο με το να επιτύχουμε προσαρμογή στην καμπύλη $x^*(p)$ στο επίπεδο (p, x) το οποίο είναι γενικά πιο εύκολο, καθώς περιοριζόμαστε στο σύνολο των μη αύξουσών συναρτήσεων και μπορούμε να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα χρησιμοποιώντας ειδικούς αλγορίθμους. Έτσι, εξάγουμε μία τιμή $g^*(p)$, η οποία αποτελεί μία προσέγγιση του εύρους ζώνης x^* το οποίο αποδίδεται όταν η τιμή είναι ίση με p. Έχοντας την καμπύλη $g^*(p)$, ο

ΕΑ λειτουργεί ώς εξής: Η αρχική προσέγγιση του ΕΑ, στην τιμή είναι $p_0 = m_0/x_0$, σε κάποιο σημείο ισορροπίας. Αν οι συνθήκες ζήτησης/συμφόρησης μεταβληθούν π.χ. το διαθέσιμο εύρος ζώνης για την εφαρμογή μεταβληθεί από x_0 σε x_1, ο ΕΑ προσεγγίζει την νέα τιμή ώς $p_1 = m_0/x_1$ και υποδεικνύει το $g^*(p_1) * p_1$ ώς το νέο ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης. Η καμπύλη $g^*(p)$ αναφέρεται ώς *αντιτονική παλινδρόμηση* [BDH72] [CSMK98] της συνάρτησης $g(p)$ (όπου $g(p) = x$ είναι οι τιμές του εύρους ζώνης που κατέγραψε ο ΕΑ). Η $g^*(p)$ αποτελεί μία προσέγγιση της $g(p)$ με σκοπό την ελαχιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος της πρώτης από την δεύτερη. Είναι μία βηματική συνάρτηση η οποία προκύπτει από τον αλγόριθμο της Ομαδοποίησης Διαδοχικών Παραβατών (Pool Adjacent Violators) [BDH72] στα ταξινομημένα, ως προς την τιμή p, ζεύγη (p, x). Σύμφωνα με τον παραπάνω αλγόριθμο, η αντιτονική παλινδρόμηση g^*, χωρίζει το σύνολο $X = \{p_0, p_1, ..., p_k\}, \quad p_0 > p_1 >, ..., > p_k$ σε υποσύνολα, για τα οποία η τιμή της είναι σταθερή, δηλ. σε σύνολα επιπέδων, τα οποία καλούνται *Τμήματα Λύσεως-Solution Blocks*. Σε κάθε ένα από τα παραπάνω τμήματα, η τιμή της συνάρτησης g^*, είναι το σταθμισμένο άθροισμα των τιμών της συνάρτησης g στο τμήμα αυτό, χρησιμοποιώντας βάρη $\beta(p)$ για κάθε ζεύγος (p, x) (κατά την στιγμή της καταγραφής του ζεύγους (p_l, x_l), τίθεται $\beta(p_l) = 1$). Αν αρχικά ισχύει $g(p_0) \geq g(p_1) \geq ... \geq g(p_k)$, τότε η αρχική διαμέριση αρκεί και $g^*(p) = g(p)$, αλλιώς ο αλγόριθμος αντικαθιστά ένα ζεύγος των παραβατών της μονοτονικότητας με το σταθμισμένο τους άθροισμα (εικόνα 6.3). Έτσι, αν το ζεύγος $(g(p_l), g(p_{l+1}))$ παραβιάζει την μονοτονικότητα (δηλ. $(g(p_l) < g(p_{l+1}))$ ο αλγόριθμος αντικαθιστά τις παραπάνω δύο τιμές με την τιμή:

$$\frac{\beta(p_l) \cdot g(p_l) + \beta(p_{l+1}) \cdot g(p_{l+1})}{\beta(p_l) + \beta(p_{l+1})}, \tag{6.7}$$

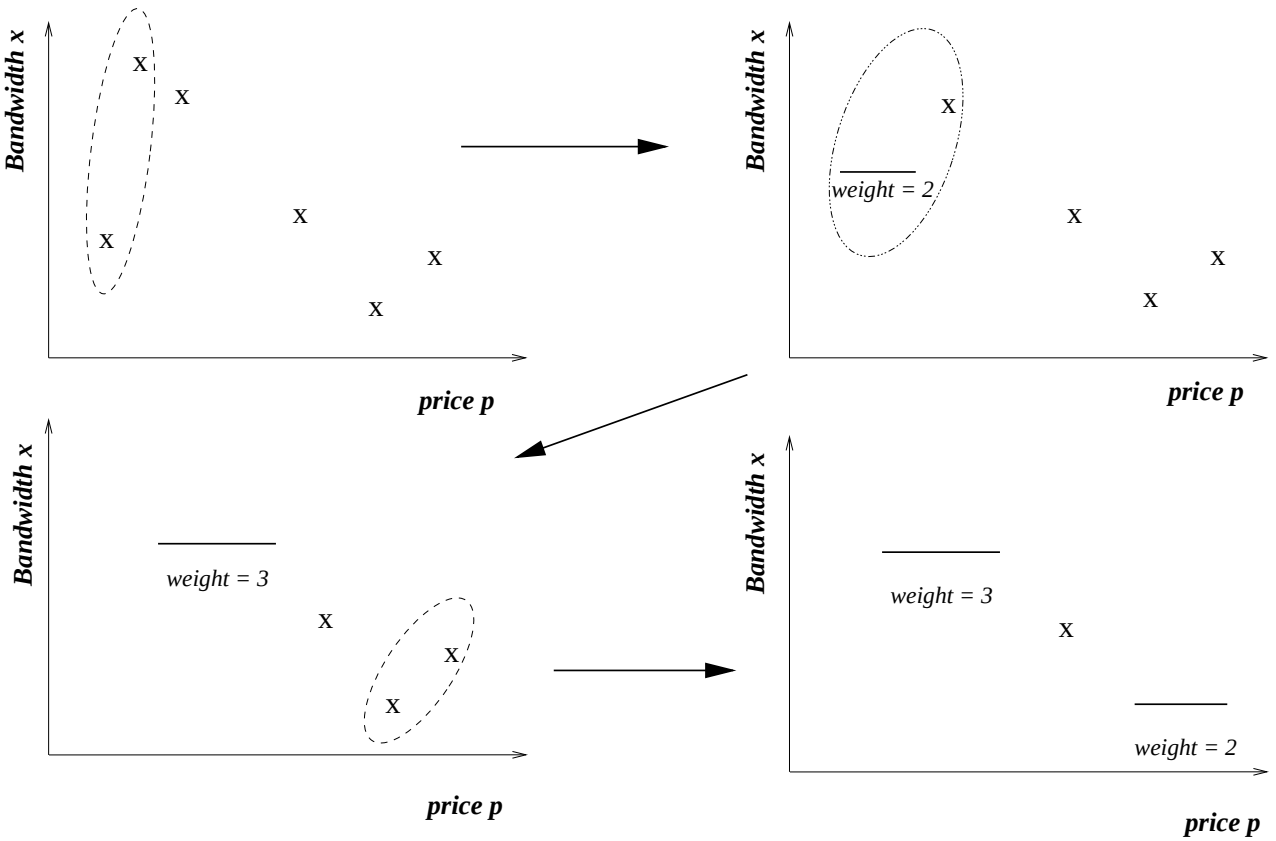
και με αντίστοιχο βάρος: $\beta(p_l) + \beta(p_{l+1})$. Πριν εφαρμοστεί ο αλγόριθμος, τα βάρη όλων των ζευγών είναι 1.

Ο παραπάνω αλγόριθμος, μπορεί να αποδώσει αποτελεσματικότερα προσθέτοντας μερικά βήματα προεπεξεργασίας του συνόλου των ζευγών (p, x), όπως η χρονική έκπτωση των βαρών των σημείων που καταγράφονται και η ομαδοποίηση γειτονικών σημείων, δηλαδή σημείων για τα οποία ισχύει $p_k - p_{k+1} < \epsilon$, όπου ϵ, ένα προκαθορισμένο κατώφλι.

Με βάση τα παραπάνω, ο αλγόριθμος του ΕΑ λειτουργεί ως εξής:

- Καταγραφή σημείων (x, w) και προσέγγιση της αντίστοιχης τιμής p ώς $p = w/x$.
  Σε πραγματικό χρόνο:

  -- Ομαδοποίηση όλων των ζευγών (p, x) τα οποία έχουν τις τιμές p σχεδόν όμοιες.



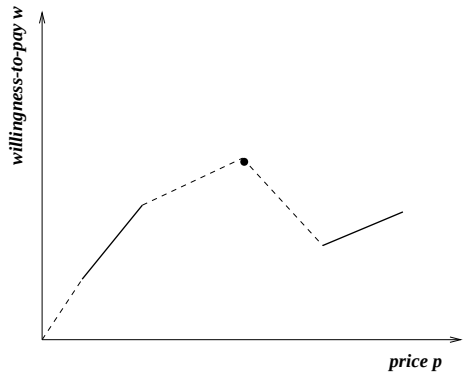
Σχήμα 6.3: Ο αλγόριθμος Συγκέντρωσης Διαδοχικών Παραβιαστών

-- Χρονική έκπτωση των βαρών των σημείων που καταγράφονται.

- Εφαρμογή του αλγόριθμου Αντιτονικής Παλινδρόμησης
- Υπολογισμός του μέσου τετραγωνικού σφάλματος και εκτίμηση της ακρίβειας προσέγγισης
- Με βάση την συνάρτηση $g^*(p)$ (η οποία προκύπτει από την διαδικασία παλινδρόμησης), εκτίμηση του νέου ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης ώς $g^*(p) \cdot p$, εκτελώντας ταυτόχρονα γραμμική παρεμβολή όπου κρίνεται απαραίτητο (εικόνα 6.4).

6.4 Υλοποίηση - Πειραματικά Αποτελέσματα

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζουμε την υλοποίηση του ΕΑ και μελετάμε την συμπεριφορά του υπό διάφορες συνθήκες μέσω προσομοίωσης. Για την ακριβή μελέτη της



Σχήμα 6.4: Εκτίμηση του νέου ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης, από τον ΕΑ

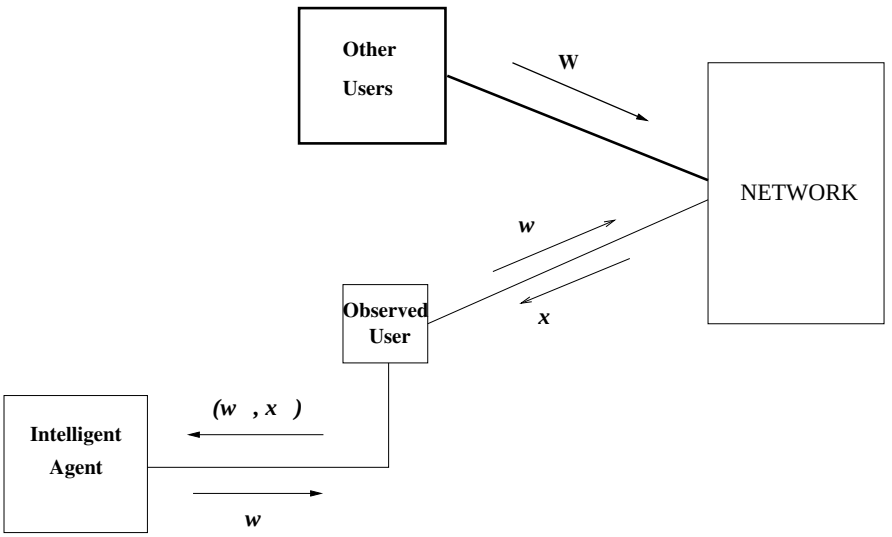
συμπεριφοράς του ΕΑ, είναι αναγκαίο να προσομοιωθεί όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά η συμπεριφορά τόσο του χρήστη όσο και του δικτύου. Στις επόμενες υποπαραγράφους, περιγράφουμε τα μοντέλα συμπεριφοράς του χρήστη και του δικτύου και αναλύουμε την συμπεριφορά του ΕΑ μέσω πειραματικών αποτελεσμάτων. Η αρχιτεκτονική του συστήματος απεικονίζεται στην εικόνα 6.5. Η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει 1) τον χρήστη U ο οποίος δηλώνει το ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει, λαμβάνει από το δίκτυο το αντίστοιχο εύρος ζώνης για το ποσό που δήλωσε και δέχεται τις υποδείξεις του ΕΑ, 2) τους υπόλοιπους χρήστες του δικτύου οι οποίοι δηλώνουν (συνολικά) το ποσό που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν και λαμβάνουν και το αντίστοιχο (αθροιστικό) εύρος ζώνης που τους αποδίδει το δίκτυο.

6.4.1 Μοντελοποίηση του δικτύου

Όταν ο χρήστης U δηλώσει ότι είναι διατεθειμένος να πληρώσει w_i ανά μονάδα εύρους ζώνης ανά μονάδα χρόνου, το δίκτυο του αποδίδει εύρος ζώνης:

$$x = \frac{w}{w + W} C_{ABR}, \tag{6.8}$$

όπου W είναι το συνολικό ποσό που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν οι υπόλοιποι χρήστες και C_{ABR} η συνολική χωρητικότητα για τις συνδέσεις ABR εκείνη την χρονική στιγμή. Η χωρητικότητα αυτή μεταβάλλεται με δύο τρόπους: Πρώτον με μεταβολές της τάξεως των 5-40 Mbps σε προκαθορισμένα διαστήματα $T_1, T_2, ..., T_k$ (προσομοιώνοντας την άφιξη και την αναχώρηση, συνδέσεων εγγυημένης ποιότητας υπηρεσίας (CBR, VBR)) και δεύτερον με την μονάδα προσομοίωσης μιας τυχαίας διαδικασίας Poisson αφίξεων,



Σχήμα 6.5: Η αρχιτεκτονική του συστήματος προσομοίωσης

κλήσεων εκθετικά κατανεμημένης διάρκειας και σταθερής απαίτησης σε εύρος ζώνης 1 Mbps. Η αρχική τιμή της χωρητικότητας για την εκτέλεση των πειραμάτων τίθεται στα 80 Mpbs και κυμαίνεται μεταξύ 60 και 120 Mbps.

6.4.2 Μοντελοποίηση των χρηστών

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, στο σύστημα υπάρχει ο χρήστης U ο οποίος δέχεται τις υποδείξεις του ΕΑ, δηλώνει το ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει και δέχεται το αντίστοιχο εύρος ζώνης που του αποδίδει το δίκτυο για την δήλωση αυτή και οι υπόλοιποι χρήστες οι οποίοι δηλώνουν αθροιστικά το ποσό που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν και λαμβάνουν, πάλι αθροιστικά, το αντίστοιχο εύρος ζώνης που τους αποδίδει το δίκτυο για την δήλωση αυτή.

6.4.2.1 Ο χρήστης U που διαθέτει ΕΑ

Ο χρήστης U ο οποίος διαθέτει έναν ΕΑ, δηλώνει το ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει w με τέτοιον τρόπο, ώστε το αντίστοιχο εύρος ζώνης που θα του αποδοθεί από το δίκτυο x, να μεγιστοποιεί την συνολική συνάρτηση καθαρής χρησιμότητας $u(x) - w$. Όπου $u(x)$, είναι η συνάρτηση που εκφράζει την χρησιμότητα της υπηρεσίας που λαμβάνει ο χρήστης, όταν το εύρος ζώνης που λαμβάνει είναι x. Για την παραπάνω

συνάρτηση υποθέτουμε ότι έχει την μορφή :

$$u(x) = \widetilde{u}(1 - e^{-x/B}). \tag{6.9}$$

Για την εκτέλεση των πειραμάτων θέτουμε $\widetilde{u}$ = B = 1, ενώ το x εκφράζεται σε Mbps. Με βάση την παραπάνω την εξίσωση, μπορούμε να εξάγουμε το βέλτιστο ποσό $w^*(p)$, ώς εξής:

Το βέλτιστο εύρος ζώνης $x^*(p)$, προκύπτει από την παραγώγιση της συνάρτησης $u(x)$ – $m(= u(x) - px)$, για την συνάρτηση χρησιμότητας (6.9) με $\widetilde{u}$ = B = 1, και είναι ίσο με $x^*(p) = max\{log(1/p), 0\}$. Επομένως, το βέλτιστο ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης ανά μονάδα χρόνου, προκύπτει από την παραπάνω εξίσωση:

$$w^*(p) = \begin{cases} plog(1/p) & : \quad \text{για} \quad p \leq 1 \\ 0 & : \quad \text{για} \quad p > 1 \end{cases} . \tag{6.10}$$

Ο χρήστης ο οποίος συνεργάζεται με τον ΕΑ υπολογίζει το βέλτιστο ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ανά μονάδα εύρους ζώνης και ανά μονάδα χρόνου σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση. Επειδή όμως σε μία πιο ρεαλιστική κατάσταση, ο χρήστης δεν είναι δυνατόν να επιλέγει πάντοτε το βέλτιστο ποσό (στην πραγματικότητα δεν το γνωρίζει πάντα ακριβώς), η επιλογή του προκύπτει από την εξίσωση (6.10) πολλαπλασιαζόμενη με έναν συντελεστή c_n, που εισάγει ένα είδος 'θορύβου' στην επιλογή του χρήστη. Ο συντελεστής αυτός, προκύπτει από την κανονική κατανομή με μέση τιμή 1 και τυπική απόκλιση $0.1 + 0.2e^{-(\Delta T/4)}$ ($c_n \sim N(1, 0.1 + 0.2e^{-(\Delta T/4)})$ όπου ΔT είναι το χρονικό διάστημα από την τελευταία μεγάλη αλλαγή του C_{ABR}. Ο παραπάνω συντελεστής πολλαπλασιαζόμενος με την βέλτιστη επιλογή w^* υποδηλώνει τα εξής: Αν ο χρήστης επιλέξει το ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία, την χρονική στιγμή t_c, όπου $T_m < t_c < T_l$, τότε ο χρόνος ΔT στον τύπο της κανονικής κατανομής ισούται με $\Delta T = t_c$ – T_m. Αμέσως μετά από την μεγάλη αλλαγή του C_{ABR} την χρονική στιγμή T_m, ($\Delta T \rightarrow 0 \Rightarrow 0.1 + 0.2e^{-(\Delta T/4)} \approx 0.3$), η ποιότητα της υπηρεσίας που λαμβάνει ο χρήστης θα μεταβληθεί σημαντικά. Εκείνη την στιγμή, ο χρήστης είναι πολύ πιθανό να επιλέξει ένα ποσό το οποίο είναι διατεθειμένος να πληρώσει και το οποίο απέχει κατά πολύ από την βέλτιστη επιλογή (λόγω του ότι δεν έχει κατανοήσει ακόμη την νέα κατάσταση στην οποία περιήλθε το δίκτυο). Έτσι στην περίπτωση αυτή, η τυπική απόκλιση από την βέλτιστη τιμή είναι μεγάλη (προσεγγίζει το 0.3). Μετά την πάροδο του χρόνου από την τελευταία αλλαγή του C_{ABR}, ο χρήστης 'κατανοεί' την παρούσα κατάσταση του δικτύου και έτσι η επιλογή του ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει είναι πιο κοντά στην βέλτιστη επιλογή (και η τυπική απόκλιση κοντά στο

0.1). Η συχνότητα με την οποία ο χρήστης καθορίζει εκ νέου το ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει καθορίζεται από το πόσο ο συντελεστής της κανονικής κατανομής c_n απέχει από την μονάδα (δηλ. από το να επιλέξει ο χρήστης ακριβώς το βέλτιστο ποσό). Η παραπάνω υπόθεση αντανακλά την διαφορά στον χρόνο που απαιτείται για ένας χρήστη να διαπιστώσει την μη βέλτιστη επιλογή του, όταν η επιλογή αυτή απέχει πολύ από την βέλτιστη απ' ότι όταν απέχει λίγο. Έτσι, ο χρόνος s, που παρεμβάλλεται μεταξύ δύο διαδοχικών επιλογών του χρήστη καθορίζεται από τον τύπο: $s = (50 - |1 - c_n|10)$secs, όπου c_n είναι ο συντελεστής κανονικής κατανομής. Συνοψίζοντας τα παραπάνω, ο χρήστης που επικοινωνεί με τον ΕΑ, συμπεριφέρεται ώς εξής

- Επιλέγει το ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει βάσει της εξίσωσης:

$$w^*(p) = \begin{cases} c_n \times plog(1/p) & : \quad p \leq 1 \\ 0 & : \quad p > 1 \end{cases}, \tag{6.11}$$

  όπου $c_n \sim N(1, 0.1 + 0.2e^{-(\Delta T/4)})$

- Υποδηλώνει εκ νέου το ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει μετά από χρόνο $s = (50 - |1 - c_n|10)$secs.

6.4.2.2 Οι υπόλοιποι χρήστες

Οι υπόλοιποι χρήστες του συστήματος, ''υποδηλώνουν'' (αθροιστικά) το ποσό W που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν ανά μονάδα εύρους ζώνης και ανά μονάδα χρόνου, βάσει κανονικής κατανομής με τυπική απόκλιση 0.75 και μέση τιμή m. Στην αρχική τιμή του C_{ABR} (C_{ABR} = 80 Mbps), η μέση τιμή m, προκύπτει από την ομοιόμορφη κατανομή στο διάστημα [6.5, 9.5]. Όταν το C_{ABR} μεταβάλλεται, το παράθυρο της ομοιόμορφης κατανομής ολισθαίνει στην αντίθετη, από την φορά μεταβολής του C_{ABR}, κατεύθυνση, εκφράζοντας την 'αντίδραση' των χρηστών, ώς προς το ποσό που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν, στις μεταβολές του C_{ABR}. Συγκεκριμένα, η μέση τιμή m προκύπτει από την ομοιόμορφη κατανομή με κάτω όριο το v – 1.5 και άνω όριο το v – 1.5, όπου $v = 8 \cdot \left\{1 - (\frac{C_{ABR}}{80} - 1) \cdot 0.8\right\}$. Αύξηση του C_{ABR} πάνω από τα 80 Mbps, προκαλεί μείωση της τιμής της μεταβλητής v και ολίσθηση του παραθύρου της ομοιόμορφης κατανομής ($[v - 1.5, v + 1, 5]$) προς τα κάτω. Αυτό έχει ώς αποτέλεσμα, την μείωση της μέσης τιμής m και άρα τάση μείωσης του συνολικού ποσού W που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν οι υπόλοιποι χρήστες. Από την άλλη, μείωση του C_{ABR} κάτω από τα 80 Mbps, προκαλεί αύξηση της τιμής v, ολίσθηση του παραθύρου της ομοιόμορφης κατανομής προς τα πάνω,

αύξηση της μέσης τιμής m και άρα τάση αύξησης του ποσού που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν οι υπόλοιποι χρήστες. Η μέση τιμή m υπολογίζεται, σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία, ανά δέκα επιλογές των χρηστών.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, το ποσό W, που επιλέγουν οι υπόλοιποι (πλην εκείνου που συνεργάζεται με τον ΕΑ) χρήστες του συστήματος ακολουθεί την κανονική κατανομή και συγκεκριμένα $W \sim N(m, 0.75), \quad m \sim U(v - 1.5, v + 1.5), \quad v = 8 \cdot \left\{1 - (\frac{C_{ABR}}{80} - 1) \cdot 0.8\right\}$.

6.4.3 Η λειτουργία του Ευφυούς Αντιπροσώπου

Στην παράγραφο 6.3 είχαμε αναλύσει τον τρόπο λειτουργίας του ΕΑ:

- Καταγραφή σημείων (x, w) και προσέγγιση της τιμής p ώς $p = w/x$.
  Κατά το χρονικό διάστημα καταγραφής:

  -- Ομαδοποίηση όλων των ζευγών (p, x) τα οποία έχουν τις τιμές p σχεδόν όμοιες.

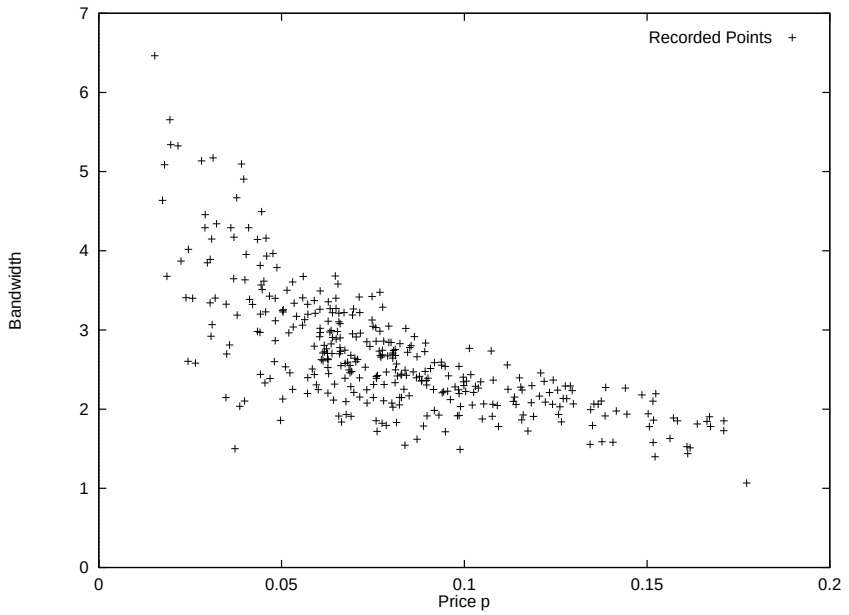
  -- Χρονική έκπτωση των βαρών των σημείων που καταγράφονται.

- Εφαρμογή του αλγόριθμου Αντιτονικής Παλινδρόμησης

- Υπολογισμός του μέσου τετραγωνικού σφάλματος και εκτίμηση της ακρίβειας προσέγγισης

- Με βάση την συνάρτηση $g^*(p)$ (η οποία προκύπτει από την διαδικασία παλινδρόμησης), εκτίμηση του νέου ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης ώς $g^*(p) \cdot p$, εκτελώντας ταυτόχρονα γραμμική παρεμβολή όπου κρίνεται απαραίτητο.

Αρχικά ο ΕΑ καταγράφει τις επιλογές του χρήστη (x, w) για ένα ορισμένο χρονικό διαστημα πριν εφαρμόσει τον αλγόριθμο της Αντιτονικής Παλινδρόμησης, εκτιμώντας την τρέχουσα τιμή και αποθηκεύοντας το αντίστοιχο ζεύγος $(p(= w/x), x)$. Στην εικόνα 6.6 απεικονίζεται το πλήθος των σημείων που ο ΕΑ έχει καταγράψει από τον χρήστη συνολικά (το πλήθος των σημείων είναι 350). Ο ΕΑ εφαρμόζει τον αλγόριθμο της αντιτονικής παλινδρόμησης στο παραπάνω σύνολο των ζευγών (p, x). Πριν όμως εφαρμόσει τον αλγόριθμο αντιτονικής παλινδρόμησης, έχει δύο επιπλέον καθήκοντα: (i) χρονική έκπτωση των βαρών των σημείων (p, x) που καταγράφονται (ii) ομαδοποίηση όλων των ζευγών (p, x) τα οποία έχουν περίπου ίδιες τιμές στην μεταβλητή p.



Σχήμα 6.6: Το σύνολο των ζευγών (x, w) που ο ΕΑ κατέγραψε από τον χρήστη

6.4.3.1 Ομαδοποίηση σημείων και υποβάθμιση παλαιοτέρων επιλογών

Είναι πιθανόν, κάποιες από τις αρχικές επιλογές του χρήστη, να μήν είναι τόσο επιτυχείς, με την έννοια ότι απέχουν πολύ από τις αντίστοιχες βέλτιστες, καθώς δεν γνωρίζουν επακριβώς την κατάσταση του δικτύου.

Στην παράγραφο 6.3 αναφέραμε πως ο αλγόριθμος της αντιτονικής παλινδρόμησης εφαρμόζεται πάνω στα ζεύγη (p_i, x_i) στα οποία αντιστοιχίζεται ένα βάρος $\beta(i)$ και κάθε ζεύγος σημείων τα οποία παραβιάζουν την μονοτονικότητα αντικαθίσταται από ένα ισοδύναμο ζεύγος και ένα ισοδύναμο βάρος, τα οποία υπολογίζονται σύμφωνα με τον τύπο (6.7). Το πόσο ένα ζεύγος (p_j, x_j) επηρεάζει την τιμή του νέου ζεύγους το οποίο υπολογίζει ο αλγόριθμος αντιτονικής παλινδρόμησης, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το βάρος του $\beta(j)$.

Συνεπώς, θα πρέπει οι αρχικές επιλογές να 'υποβαθμίζονται' με κάποιο τρόπο, ώστε να μήν επηρεάζουν πολύ το αποτέλεσμα του αλγορίθμου της αντιτονικής παλινδρόμησης. Η εφαρμογή ενός συντελεστή χρονικής έκπτωσης στα βάρη των σημείων θα έχει ώς αποτέλεσμα, όταν εφαρμοστεί ο αλγόριθμος αντιτονικής παλινδρόμησης, τα πρώτα σημεία τα οποία καταγράφηκαν από τον ΕΑ, να έχουν μικρό βάρος και άρα να επηρεάζουν ελάχιστα το αποτέλεσμα του αλγορίθμου της αντιτονικής παλινδρόμησης (τα αρχικά βάρη των σημείων είναι 1). Ο συντελεστής χρονικής έκπτωσης υπολογίζεται

κάθε φορά που καταγράφεται από τον ΕΑ ένα καινούργιο ζεύγος (p_{i+1}, x_{i+1}) και εφαρμόζεται στα βάρη β όλων των σημείων που μέχρι εκείνη την στιγμή κατέγραψε ο ΕΑ πολλαπλασιάζοντας τα με την ποσότητα $e^{(t_{i+1}-t_i)/1000}$, όπου t_{i+1} είναι η χρονική στιγμή άφιξης των ζεύγους (p_{i+1}, x_{i+1}) και t_i η χρονική στιγμή άφιξης του ζεύγους (p_i, x_i). Έτσι, με την πάροδο του χρόνου, καταγράφοντας συνεχώς νέα σημεία (p, x), το βάρος των αρχικών σημείων (τα οποία πολύ πιθανόν να απέχουν σημαντικά από τις αντίστοιχες βέλτιστες τιμές), μειώνεται συνεχώς και έτσι δεν επηρεάζουν πολύ το αποτέλεσμα του αλγορίθμου.

Δεύτερο καθήκον του ΕΑ είναι η ομαδοποίηση των ζευγών (p, x) τα οποία έχουν τιμές p περίπου ίσες. Η ομαδοποίηση γίνεται για δύο κυρίως λόγους. Πρώτον, γιατί ίσως αργότερα καταστεί αναγκαίο για τον ίδιο τον αλγόριθμο για να ομαδοποιήσει τα ζεύγη με τιμές p περίπου ίσες και δεύτερον γιατί, είναι προτιμότερο να βρούμε *γρήγορα* μία καλή επιλογή του ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης, παρά την βέλτιστη αλλά *αργά*. Έτσι, η ομαδοποίηση κατά την φάση της καταγραφής θα μειώσει το συνολικό πλήθος των σημείων τα οποία θα λάβει υπ'όψιν του ο αλγόριθμος αντιτονικής παλινδρόμησης και άρα θα μειώσει το υπολογιστικό κόστος.

Η ομαδοποίηση των γειτονικών τιμών γίνεται με την χρήση ενός κατωφλίου ϵ π.χ. ($\epsilon = 0.001$). Εάν για δύο ζεύγη (p_j, x_j) και (p_l, x_l) ισχύει $|p_j - p_l| < \epsilon$, τότε αυτά ομαδοποιούνται σε ένα ζεύγος σύμφωνα με την εξίσωση (6.7) και με αντίστοιχο βάρος $\beta(j) + \beta(l)$.

6.4.3.2 Ο αλγόριθμος της Αντιτονικής Παλινδρόμησης

Όπως αναφέραμε και στις προηγούμενες παραγράφους, ο αλγόριθμος αντιτονικής παλινδρόμησης προσεγγίζει το σύνολο των ζευγών (p, x) που καταγράφει ο ΕΑ, με μία μη αύξουσα καμπύλη $g^*(p)$, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος. Το κανονικοποιημένο μέσο τετραγωνικό σφάλμα, στην περίπτωση του αλγόριθμου αντιτονικής παλινδρόμησης ορίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$NMSE = \frac{\sum_{p \in P} [x(p) - g^*(p)]^2 \beta(p)}{\sum_{p \in P} \beta(p)}, \tag{6.12}$$

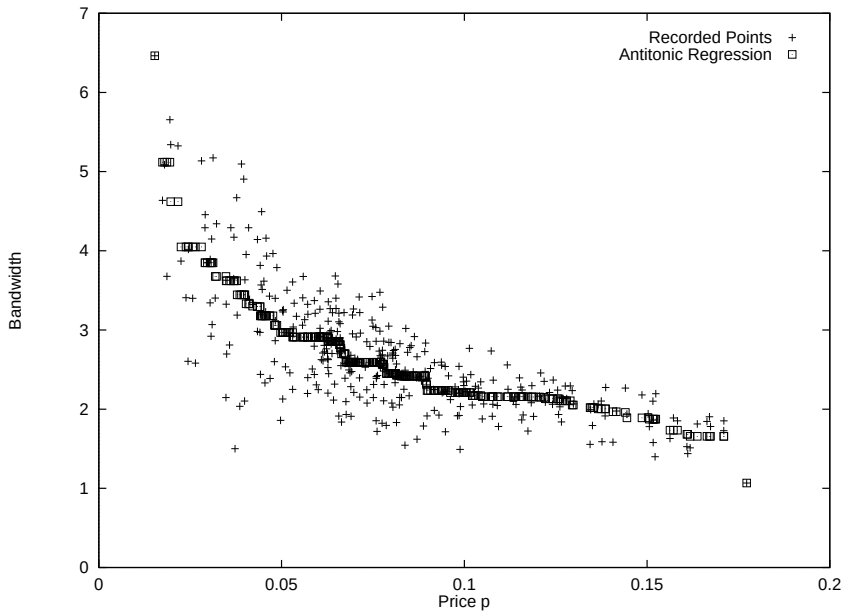
όπου P, το σύνολο των ζευγών p_i, των ζευγών (p_i, x_i) που κατέγραψε ο ΕΑ. Εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο της αντιτονικής παλινδρόμησης σε ένα προκαθορισμένο σύνολο από ζεύγη (p, x), η τιμή του NMSE θα καθορίσει εάν η προσέγγιση $g^*(p)$, είναι ικανοποιητική: Εάν η τιμή του NMSE είναι αρκετά μικρή σε σχέση με την μέση τιμή των μετρήσεων $x(p)$, τότε η προσέγγιση στην συνάρτηση $g(p) = x(p)$ είναι ικανοποιητική, αλλιώς απαιτείται

συλλογή επιπλέον σημείων (p, x). Στην διεξαγωγή των πειραμάτων, η εφαρμογή του αλγορίθμου μετά την συλλογή 100 σημείων (p, x), έδειξε πως η τιμή του NMSE είναι πολύ μικρή σε σχέση με την μέση τιμή των μετρήσεων $x(p)$ (περίπου το 4% της μέσης τιμής των μετρήσεων $x(p)$), γεγονός που υποδεικνύει πως η καταγραφή τουλάχιστον 100 σημείων (p, x), οδηγεί σε αποτελεσματική προσέγγιση της συνάρτησης $g(p)$, από τον αλγόριθμο αντιτονικής παλινδρόμησης. Έτσι μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου της αντιτονικής παλινδρόμησης, το σύνολο των μετρήσεων $g(p)$, προσεγγίζεται με μία μη αύξουσα καμπύλη $g^*(p)$, η οποία αποτελείται από τμήματα λύσης στα οποία η τιμή της είναι σταθερή (σχήμα 6.7).

Στην συνέχεια καταγράφοντας ένα καινούργιο ζεύγος (p, x), θα πρέπει να ενημερώσουμε τις περιοχές λύσης της συνάρτησης $g^*(p)$, με την νέα εισαγωγή. Η ενημέρωση γίνεται με τον εξής τρόπο: Μετά την ταξινόμηση του νέου ζεύγους ώς προς την τιμή p, εάν το σημείο αυτό δεν ανήκει σε καμμία από τις περιοχές λύσης, τότε θα πρέπει να εκτελεστεί ο αλγόριθμος της αντιτονικής παλινδρόμησης με σκοπό την δημιουργία (σε περίπτωση παραβίασης της μονοτονικότητας) των νέων τμημάτων λύσης. Στην περίπτωση που το νέο ζεύγος, μετά την ταξινόμησή του, ανήκει σε ένα τμήμα λύσης (έστω S), τότε το τμήμα αυτό αναλύεται στα σημεία τα οποία το απαρτίζουν και στο σύνολο αυτό, μαζί με το νέο ζεύγος, εκτελείται ο αλγόριθμος της αντιτονικής παλινδρόμησης. Στην συνέχεια ελέγχεται, αν η μονοτονικότητα παραβιάζεται μεταξύ του τμήματος S και των γειτονικών του S_{left} και S_{right}. Εάν σε κάποιο από αυτά παραβιάζεται (π.χ. S_{left}), τότε ο αλγόριθμος εκτελείται στην περιοχή $\{S_{left}, S\}$ κ.ο.κ.μέχρις ότου σε κανένα τμήμα λύσης δεν παραβιάζεται η μονοτονικότητα. Η παραπάνω διαδικασία, δεδομένου ότι το αποτέλεσμα του αλγορίθμου δεν εξαρτάται από την σειρά με την οποία λαμβάνουμε τα ζεύγη των παραβατών [BDH72], έχει ώς αποτέλεσμα την αποδοτικότερη λειτουργία του αλγορίθμου, καθώς περιοριζόμαστε μόνο στα τμήματα λύσης στις οποίες παραβιάζεται η μονοτονικότητα.

6.4.3.3 Εκτίμηση του ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης από τον ΕΑ

Εκτελώντας τον αλγόριθμο αντιτονικής παλινδρόμησης επί του συνόλου των ζευγών (p_i, x_i), ο ΕΑ υπολογίζει μία προσέγγιση στο εύρος ζώνης $g(p)$, το οποίο αντιστοιχεί στην τιμή p. Στην συνέχεια θα πρέπει να υποδείξει στον χρήστη ποια είναι η νέα τιμή του ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης ανά μονάδα χρόνου υπό τις παρούσες συνθήκες. Ανακεφαλαιώνοντας τα παραπάνω, η νέα υπόδειξη αυτή γίνεται από τον ΕΑ



Σχήμα 6.7: Περιοχές λύσεων του αλγορίθμου Αντιτονικής Παλινδρόμησης

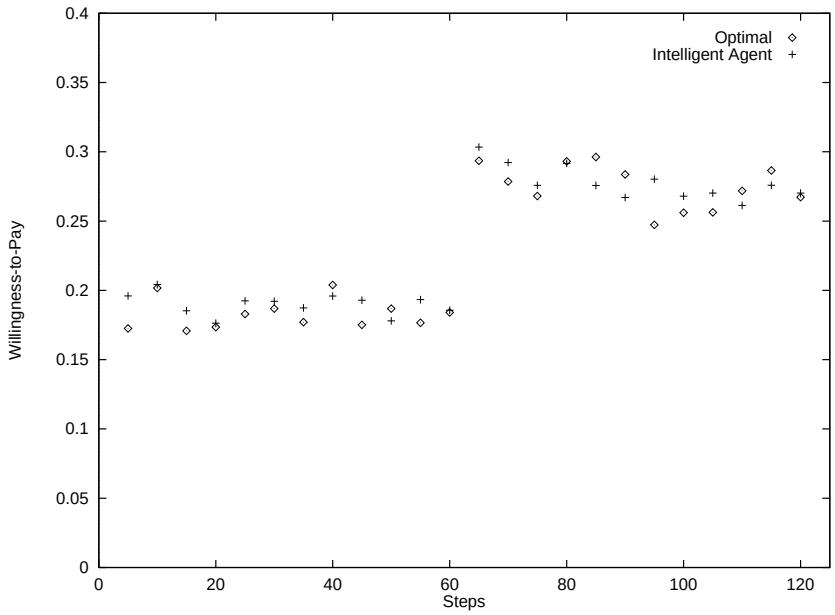
ώς εξής: Μετά την καταγραφή του ζεύγους (w_t, x_t), ο ΕΑ εκτιμάει την νέα τιμή p_t, ώς $p_t = m_t/x_t$ και αποθηκεύει το ζεύγος (p_t, x_t) στο σύνολο των ήδη καταγεγραμένων ζευγών ταξινομώντας το ως προς την τιμή p. Στην συνέχεια εκτελεί τον αλγόριθμο αντιτονικής παλινδρόμησης και υπολογίζει τα νέα τμήματα λύσης. Έτσι η τιμή p_t ανήκει τώρα σε ένα τμήμα λύσης Β στο οποίο η τιμή της συνάρτησης $g(\cdot)$ έχει σταθερή τιμή $g(p_{\mathrm{B}})$ για όλες τις τιμές p_{B} που ανήκουν στο τμήμα λύσης Β (συμπεριλαμβανομένου και της τιμής p_t). Στην συνέχεια υποδεικνύει ώς νέα τιμή του ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης την:

$$w_{t+1} = g(p_t) \cdot p_t. \tag{6.13}$$

Στο σχήμα 6.8 απεικονίζονται οι επιλογές που υποδεικνύει ο ΕΑ στον χρήστη ώς το ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει και οι αντίστοιχες βέλτιστες επιλογές (με βάση την εξίσωση (6.10)).

6.4.3.4 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 6.8, οι επιλογές του ΕΑ ως προς το ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης, είναι πολύ κοντά στις αντίστοιχες βέλτιστες επιλογές, όπως αυτές καθορίζονται από την εξίσωση (6.10). Η διεξαγωγή των πειραμάτων έδειξε πώς η απόκλιση των επιλογών του ΕΑ από τις αντίστοιχες βέλτιστες επιλογές κυμαίνεται



Σχήμα 6.8: Σύγκριση των επιλογών του ΕΑ και των αντιστοίχων βέλτιστων, ως προς το ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης

στο 10%. Σημαντικό είναι επίσης το γεγονός ότι οι επιλογές του ΕΑ είναι πολύ κοντά στις αντίστοιχες βέλτιστες, όταν, λόγω των μεγάλων μεταβολών του C_{ABR}, η βέλτιστη τιμή του ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης μεταβαίνει σε μία διαφορετική στάθμη, όπως φαίνεται στην εικόνα 6.9. Στην εικόνα αυτή απεικονίζεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια, η περιοχή μετάβασης των βέλτιστων επιλογών, της εικόνας 6.8. Παρατηρούμε ότι καθώς η περιοχή τιμών του βέλτιστου ποσού μεταβαίνει από 0.2 σε 0.3, οι επιλογές του ΕΑ ακολουθούν την μετάβαση αυτή.

Επιπλέον πειράματα εκτελέστηκαν, στα οποία υπολογίστηκε η αθροιστική χρησιμότητα $\sum_t u(x_t)\Delta t$, το συνολικό ποσό χρημάτων $\sum_t w_t \Delta t$ και η συνολική καθαρή χρησιμότητα (δηλ. η διαφορά της χρησιμότητας μείον τα χρήματα), σε διαστήματα 20 διαδοχικών μετρήσεων, του χρήστη και του ΕΑ. Ο αλγόριθμος της αντιτονικής παλινδρόμησης ενεργοποιήθηκε όταν συλλέχθηκαν συνολικά 100 ζεύγη (p, x). Οι πίνακες 1-5 παρουσιάζουν την σύγκριση αυτή. Ο χρήστης επιλέγει το ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει, σύμφωνα με την βέλτιστη επιλογή όπως αυτή εκφράζεται με τον τύπο (6.10). Οι παραπάνω ποσότητες συγκρίνονται επιπλέον και με τις επιλογές ενός 'απλού αντιπροσώπου'(ΑΑ) ο οποίος δηλώνει ένα σταθερό ποσό το οποίο είναι διατεθειμένος να πληρώσει και το οποίο είναι ίσο με τον μέσο ποσό που προκύπτει από την εκτέλεση 10 προηγουμένων, μεγάλης διάρκειας, πειραμάτων. Το σταθερό αυτό ποσό είναι ίσο

με $m_c = 0.2547$. Τόσο στα 10 προηγούμενα πειράματα, όσο και στα πειράματα που παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες, οι μεταβολές όλων των τυχαίων μεταβλητών είναι όμοια κατανεμημένες.

Από τους πίνακες παρατηρούμε πως οι επιλογές του ΕΑ είναι πολύ κοντά και πάντοτε ακολουθούν τις μεταβολές των επιλογών του χρήστη, ο οποίος επιλέγει το ποσό βέλτιστα. Δεν συμβαίνει το ίδιο στην περίπτωση του 'απλού αντιπροσώπου' όπου αντίστοιχες τιμές του απέχουν τόσο από τις βέλτιστες επιλογές, όσο και από τις επιλογές του ΕΑ. Βέβαια, στις περιπτώσεις όπου κατά την διάρκεια καταγραφής των παραπάνω ποσοτήτων η βέλτιστη τιμή του ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης ανά μονάδα χρόνου ήταν πολύ κοντά στην σταθερή m_c που έδινε ο ΑΑ, και η καθαρή χρησιμότητα του ΑΑ ήταν πολύ κοντά στην αντίστοιχη βέλτιστη, όπως φαίνεται και από τον τελευταίο πίνακα. Στο σχήμα 6.10, απεικονίζονται γραφικά οι βέλτιστες επιλογές μαζί με τις αντίστοιχες επιλογές του ΕΑ και του 'απλού αντιπροσώπου', στην περίπτωση του πειράματος που περιγράφεται στον πίνακα 4.

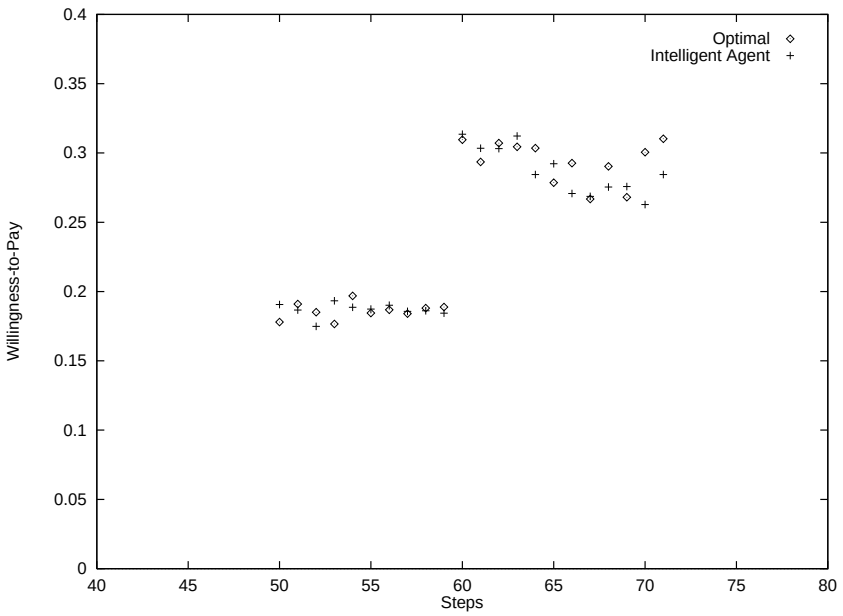
Πίνακας 1			
	Αθροιστική Χρησιμότητα	Αθροιστικό Ποσό	Καθαρή Χρησιμότητα Κέρδος
ΕΑ	71.05	11.21	59.84
Βέλτιστο	70.72	10.67	60.04
ΑΑ	74.14	18.32	55.82

Πίνακας 2			
	Αθροιστική Χρησιμότητα	Αθροιστικό Ποσό	Καθαρή Χρησιμότητα
ΕΑ	71.12	10.7	60.42
Βέλτιστο	70.97	9.95	61.01
ΑΑ	75.59	18.67	56.92

Πίνακας 3			
	Αθροιστική Χρησιμότητα	Αθροιστικό Ποσό	Καθαρή Χρησιμότητα
ΕΑ	65.62	28.44	37.19
Βέλτιστο	65.72	28.50	37.22
ΑΑ	57.43	21.53	35.90

Πίνακας 4			
	Αθροιστική Χρησιμότητα	Αθροιστικό Ποσό	Καθαρή Χρησιμότητα
ΕΑ	72.26	9.64	62.62
Βέλτιστο	71.72	8.35	63.36
ΑΑ	75.13	18.99	56.19

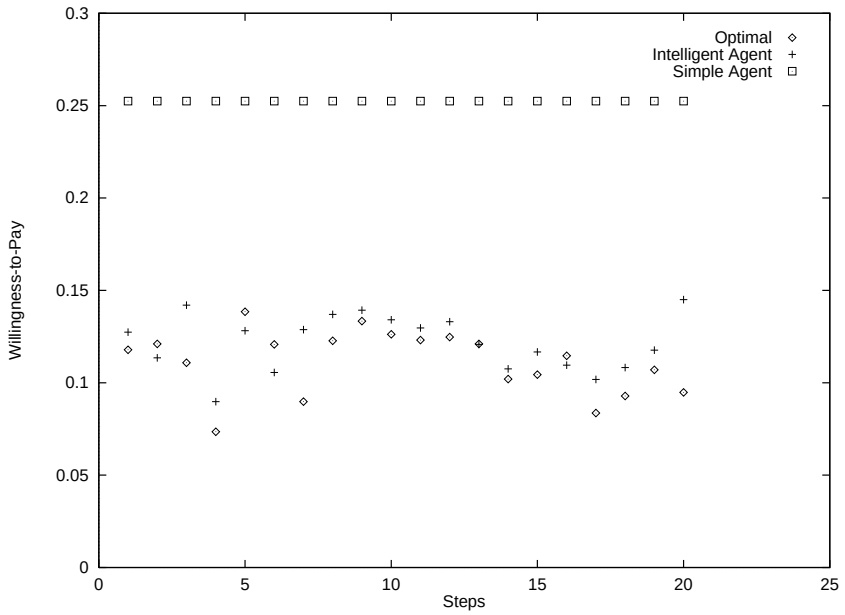
Πίνακας 5			
	Αθροιστική Χρησιμότητα	Αθροιστικό Ποσό	Καθαρή Χρησιμότητα
ΕΑ	75.04	21.31	53.73
Βέλτιστο	75.06	21.3	53.76
ΑΑ	75.05	21.41	53.64



Σχήμα 6.9: Σύγκριση των επιλογών του ΕΑ και των αντιστοίχων βέλτιστων, ως προς το ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης, περιοχή μετάβασης του w

6.5 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό, εξετάσαμε την χρήση ενός ευφυούς αντιπροσώπου ο οποίος αντικαθιστά τον χρήστη στις επιλογές του ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει.



Σχήμα 6.10: Σύγκριση των επιλογών του ΕΑ και ενός 'απλού αντιπροσώπου', με τις αντίστοιχες βέλτιστες επιλογές

Μέσω της υλοποίησης και των πειραματικών αποτελεσμάτων αποδείχθηκε ότι το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίχθηκε η υλοποίηση, το οποίο αναλύεται εκτενώς στο [CSMK98], οδηγεί στην δημιουργία ενός εργαλείου που λειτουργεί με σχεδόν βέλτιστο τρόπο όσον αφορά την επιλογή του ποσού που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ανά μονάδα χρόνου. Επιπλέον πειραματικά αποτελέσματα, απέδειξαν ότι αποτελεσματική χρέωση, δηλαδή μεγιστοποίηση της συνάρτησης καθαρής χρησιμότητας, μπορεί πάντοτε επιτευχθεί με την χρήση ενός ΕΑ.

6.6 Στοιχεία Υλοποίησης

Ο ΕΑ, υλοποιήθηκε σε γλώσσα C. Το μέγεθός του είναι περίπου 1800 γραμμές και καταλαμβάνει χώρο περίπου 50 Kbytes. Το σύστημα προσομοίωσης των χρηστών υλοποιήθηκε σε C και η επικοινωνία του με τον ΕΑ πραγματοποιείται με sockets. Το μέγεθος του είναι περίπου 4000 γραμμές και καταλαμβάνει χώρο περίπου 100 Kbytes. Για την εξαγωγή των πειραματικών αποτελεσμάτων εκτελέστηκαν περίπου 170 πειράματα, υπό διάφορες συνθήκες, η έξοδος των οποίων υπολογίζεται σε περίπου 40000 γραμμές, οι οποίες αποθηκευόμενες σε αρχεία καταλαμβάνουν χώρο περίπου 800 Kbytes.

Κεφάλαιο 7

Επίλογος

7.1 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα περιβάλλον εκτέλεσης πειραμάτων χρέωσης υπηρεσιών ABR. Η εκτέλεση των πειραμάτων βοήθησε στην κατανόηση της συμπεριφοράς των χρηστών, όταν αυτοί δέχονται ABR υπηρεσίες και χρεώνονται για αυτές. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικές συνθήκες και έδειξαν πώς:

- Οι χρήστες οι οποίοι είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν ένα μικρό ποσό, λαμβάνουν ικανοποιητική ποιότητα υπηρεσίας μόνο σε περιόδους μικρής ζήτησης σε εύρος ζώνης από τις υπόλοιπες συνδέσεις ή σε περιόδους όπου το C_{ABR} είναι υψηλό
- Οι χρήστες που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν ένα μεγάλο ποσό λαμβάνουν συνεχώς πολύ καλή ποιότητα υπηρεσίας, που επηρεάζεται πολύ λίγο από τις αλλαγές στην κατάσταση του δικτύου
- Η δυνατότητα επαναδιαπραγμάτευσης του ποσού που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν οι χρήστες, τους επιτρέπει να απολαμβάνουν την επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας, ανεξαρτήτως της κατάστασης του δικτύου και να βελτιστοποιήσουν την καθαρή χρησιμότητα της υπηρεσίας αυτής.

Παρουσιάσαμε επίσης, την χρήση ενός ευφυούς αντιπροσώπου στην πλευρά του χρήστη, ο οποίος μαθαίνει την συμπεριφορά του χρήστη και στην συνέχεια προτείνει, βάσει της γνώσης που απέκτησε από την συμπεριφορά του χρήστη και από την διαθέσιμη πληροφορία του δικτύου, ένα ποσό που αν ο χρήστης πληρώσει για την υπηρεσία που λαμβάνει, θα βελτιστοποιήσει την καθαρή χρησιμότητα του.

7.2 Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Η συμπεριφορά του χρήστη θα μελετηθεί σε πιο ρεαλιστικές από τις παραπάνω συνθήκες, όταν θα είναι διαθέσιμο το κατάλληλο υλικό που θα υλοποιεί την μετάδοση υπηρεσιών ABR μέσω ενός δικτύου ATM. Η παραπάνω μελέτη μπορεί να επεκταθεί στην μελέτη της συμπεριφοράς των χρηστών και του δικτύου και για άλλα σχήματα χρέωσης και για διαφορετικές υπηρεσίες πλην τη μετάδοσης video πληροφορίας. Επίσης είναι δυνατόν, αποδοτικότεροι αλγόριθμοι οι οποίοι θα προσαρμόζουν κατά διαφορετικό τρόπο τον ρυθμό αποστολής πληροφορίας video, να μειώσουν ακόμη περισσότερο την απώλεια της video πληροφορίας κατά την προσαρμογή του ρυθμού αποστολής.

Τέλος από την πλευρά των εργαλείων τα οποία θα βοηθούν τον χρήστη στην χρέωσή του, όπως ο ευφυής αντιπρόσωπος που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 6, μία ολοκληρωμένη μελέτη θα προκύψει όταν μελετηθεί η συμπεριφορά των χρηστών όσο και των εφαρμογών και των παραπάνω εργαλείων σε ένα πραγματικό δίκτυο. Τέλος, η φιλοσοφία των ευφυών αντιπροσώπων μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας του δικτύου με ευφυείς αντιπροσώπους, για την αποδοχή κλήσεων, την δρομολόγηση και την επέκταση της χωρητικότητας.

Βιβλιογραφία

[BDH72] R.E Barlow, D.J.Bartolomew, and H.D.Brunk. *Statistical Inference under Order Restrictions: the Theory and Application of Isotonic Regression.* Willey, London, 1972.

[CAS97] CASHMAN. Design specification of testing platform for ROUND-II experiments. Deliverable D9, April 1997.

[CAS98] CASHMAN. Design specification of testing platform for ROUND-III. Deliverable D16, February 1998.

[Cha97] Fotios Charmantzis. Topics on charging and performance analysis of ATM traffic. TR-202, ICS-FORTH, July 1997.

[CKS+97] C. Courcoubetis, F. P. Kelly, V. A. Siris, G. D. Stamoulis, and R. Weber. ABR Pricing Experiments in a Real Network. In *Proc. of International Conference on Telecommunications (ICT'97)*, Melbourne, Australia, April 1997.

[CLS96] T. M. Chen, S. S. Liu, and V. K. Samalam. The Available Bit Rate service for data in ATM networks. *IEEE Commun. Mag.*, pages 56--70, May 1996.

[CMS98] C. Courcoubetis, C. Manolakis, and G. D. Stamoulis. An Intelligent Agent for Negotiating QoS in Priced ABR Connections. In *Proc. of International Conference on Telecommunications (ICT'98)*, Halkidiki, Greece, June 1998.

[CSEZ93] Ron Cocchi, Scott Shenker, Deborah Estrin, and Lixia Zhang. Pricing in Computer Networks: Motivation, Formulation, and Example. *IEEE-TN*, 1(6):614--627, December 1993.

[CSMK98] C. Courcoubetis, G. D. Stamoulis, C. Manolakis, and F. P. Kelly. An Intelligent Agent for Optimizing QoS-for-Money in Priced ABR Connections. TR-218, ICS-FORTH, May 1998. Submitted to Telecom. Systems.

[CSS96] C. Courcoubetis, V. A. Siris, and G. D. Stamoulis. Integration of Pricing and Flow Control for Available Bit Rate Services in ATM Networks. In *Proc. of IEEE GLOBECOM'96*, pages 644--648, London, U.K., November 1996.

[CSSM95] C. Courcoubetis, V. A. Siris, G. D. Stamoulis, and Y. Markopoulos. Charging Issues for Services in Broadband Networks. In *OECD Conference on the Economics of the Information Society*, Instabul, Turkey, December 1995.

[For96] The ATM Forum. Traffic management specification version 4.0. AF-TM-0056.000, April 1996.

[Gal91] D. Le Gall. MPEG: A Video Compression Standard for Multimedia Applications. *Communications of the ACM*, 4(34):46--58, April 1991.

[JKGV97] R. Jain, S. Kalyanaraman, R. Goyal, and R. Vismanathan. The ERICA switch algorithm for ABR traffic management in ATM networks. Part i: Description, The Ohio State University, Department of CIS, January 1997.

[jRL87] Peter j. Rousseeuw and Annick M. Leroy. *Robust Regression and Outlier Detection.* John Willey & Sons, 1987.

[Kel96] F. P. Kelly. Charging and accounting for bursty connections. In J. P. Bailey and L. Mcknight, editors, *Internet Economics.* MIT Press, 1996.

[Kel97] F. P. Kelly. Charging and rate control for elastic traffic. In *European Transactions on Telecommunications*, volume 8, pages 33--37, January 1997.

[KMT98] F. P. Kelly, A. Maullo, and D. Tan. Rate control in communication networks: shadow prices, proportional fairness and stability. *Journal of Operational Research Society*, ?(49), 1998.

[MMV95] J. K. Mackie-Mason and H. R. Varian. *Pricing the Internet.* Public Access to the Internet. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1995.

[MMV97] J. K. Mackie-Mason and H. R. Varian. Some FAQs about usage-based pricing. available at <http://www.spp.umich.edu/ipps/papers/info-nets/usefaqs/afaqs.html>, September 1997.

[PC95] C. Pu and C. Cowan. A Distributed Real-Time MPEG Video Audio Player. In *Proceedings of the Fifth International Workshop on Network and Operating*

System Support of Digital Audio and Video (NOSSDAV'95), Durham NH, USA, April 1995.

[PTVF92] William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, and Brian P. Flannery. *Numerical Recipies in C. The art of scientific Computing. Second Edition.* Campridge University Press, 1992.

[Sik97] Thomas Sikora. MPEG Digital Video-Coding Standards. *IEEE Signal Processing Magazine*, pages 56--70, September 1997.

[Var92] Hal R. Varian. *Microeconomic Analysis.* W. W. Norton & Company Inc., 1992.

[WV96] J. Walrand and P. Varaiya. *High-Performance Communication Networks.* Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Francisco, CA., 1996.