ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
Τομέας Εφαρμογών Πληροφορικής

Θέματα σε Χρέωση και Ανάλυση Επίδοσης Κίνησης ATM

Εργασία Μ.Δ.Ε.

Φώτιος Χ. Χαρμαντζής

ΗΡΑΚΛΕΙΟ, ΚΡΗΤΗ
Ιούνιος 1997

Ευχαριστίες

Φτάνοντας στο τέλος ενός εξάχρονου και δύσκολου ταξιδιού, νιώθω πλήρως δικαιωμένος για τις κρίσιμες αποφάσεις και επιλογές που έγιναν τα χρόνια των σπουδών μου. Αισθάνομαι τυχερός που είχα την ευκαιρία να σπουδάσω στο Πανεπιστήμιο Κρήτης και να εργαστώ στο Ίδρυμα Τεχνολογίας - Έρευνας, γνωρίζοντας εξέχοντες πανεπιστημιακούς δασκάλους και διακεκριμένους ερευνητές.

Πρώτα και πάνω απ΄όλα, αισθάνομαι υποχρεωμένος στο Καθηγητή Κώστα Κουρκουμπέτη, τον ακαδημαϊκό μου επόπτη. Σ΄αυτόν οφείλω την πρώτη μου γνωριμία με το συναρπαστικό κόσμο των δικτύων υπολογιστών σ΄ένα καθοριστικό, αρκετά πρόωρο σημείο των προπτυχιακών μου σπουδών. Δεν θα μπορούσα ποτέ να φτάσω σ΄αυτό το σημείο, χωρίς την δικιά του καθοδήγηση, ενθάρρυνση και πίστη στις δυνατότητές μου. Είμαι, επίσης, βαθύτατα ευγνώμων στον Γεώργιο Σταμούλη, Επίκουρο Καθηγητή, γιατί σ΄αυτόν οφείλω τα πρώτα ουσιαστικά βήματα στο χώρο της έρευνας, στα χρόνια των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Με την σχεδόν καθημερινή του επίβλεψη, τις βαθιές μαθηματικές του γνώσεις, την υπομονή και την επιμονή του, συνέβαλε καθοριστικά στην εκπόνηση αυτής της εργασίας. Τον ευχαριστώ επίσης για τις ουσιαστικές παρατηρήσεις στο τρόπο παρουσίασής της. Και τους δύο τους ευχαριστώ τόσο για το ευρύ φάσμα γνώσεων που μου μετέδωσαν μέσα από τις άριστες διαλέξεις τους, όσο και για την ενθάρρυνση για συνέχιση των μεταπτυχιακών μου σπουδών στα πανεπιστήμια της Αμερικής. Θέλω να ευχαριστήσω και τον Δημήτρη Σερπάνο, Επίκουρο Καθηγητή, για την προθυμία του να συμμετάσχει στην εξεταστική επιτροπή, και για τις ουσιαστικές του παρατηρήσεις και τοποθετήσεις.

Επίσης, είμαι ευγνώμων απέναντι στα υπόλοιπα μέλη της Ομάδας Δικτύων για την διαθεσιμότητα, συνεργασιμότητα και το υψηλό επίπεδο γνώσεων που κατείχαν. Θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου ιδιαίτερα στον Απόστολο Τραγανίτη, Αναπληρωτή Καθηγητή και ακαδημαϊκό μου σύμβουλο, στον διδάκτορα Γιώργο Φούσκα, στον υποψήφιο διδάκτορα Βασίλη Σύρρη, στον προπτυχιακό φοιτητή Κώστα Αναγνωστάκη, και στους μεταπτυχιακούς φοιτητές Αντώνη Δημάκη και Πάνο Τριμίντζο. Εύχομαι και στο μέλλον να έχω την ευκαιρία να έρθω σε επαφή με παρόμοιους συνεργάτες. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω το διοικητικό προσωπικό του Τμήματος Επιστήμης Υπολογιστών και του Ινστιτούτου Πληροφορικής, για την αποτελεσματικότητα και το υψηλό αίσθημα ευθύνης με το οποίο χειρίστηκε τις υποθέσεις που με αφορούσαν.

Νιώθω επίσης την ανάγκη να αναφερθώ σε φίλους που μου συμπαραστάθηκαν και θέλησαν να μοιραστούν μαζί μου τον ελεύθερο χρόνο τους. Ευχαριστώ τις Μαρία Μπάστα, Κατερίνα Λιβάνη, Άννα Παπαδοπούλου και Μάνια Κοκολογιαννάκη, τους Τάσο Σοφιά, Γιάννη Χειμαριώτη, Νίκο Χαρδαβέλλα, Σπύρο Σαλπέα, Μανώλη Χατζάκη, Γιώργο Αγγελόπουλο, Πάνο Γκικόπουλο, Κώστα Αναγνωστάκη, Γιώργο Βερνάρδο, Αντώνη Δημάκη, Χρήστο Μανωλάκη και Νίκο Τσατσάκη, για τις μοναδικές στιγμές που μου χάρισαν. Δεν θα ξεχάσω ποτέ τις συζητήσεις, νυχτερινές εξόδους, γιορτές και εκδρομές στην όμορφη Κρήτη, που έκαναν ενδιαφέρουσα την ζωή μου στο Ηράκλειο.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να μην αναφερθώ στην οικογένειά μου για την οικονομική και ψυχολογική συμπαράσταση που μου εξασφάλισε αυτά τα χρόνια: στον αδερφό μου Γιώργο για την αποτελεσματική συγκατοίκηση, στην αδερφή μου Κατερίνα, και στους γονείς μου, Χρήστο και Άννα, για την έμπρακτη αγάπη τους.

Θέματα σε Χρέωση και Ανάλυση Επίδοσης Κίνησης ATM

Φώτιος Χ. Χαρμαντζής

Εργασία Μ.Δ.Ε.

Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Περίληψη

Αυτή η εργασία ΜΔΕ επικεντρώνεται στην ανάπτυξη και την τελειοποίηση υψηλού επιπέδου εργαλείων, βασισμένων σε μοντέλα εφαρμοσμένων πιθανοτήτων, με σκοπό την χρησιμοποίησή τους για αξιολόγηση επιδόσεων δικτύων ATM, για χρέωση και κοστολόγηση υπηρεσιών, και για αποδοτική υποκατάσταση κίνησης.
Η στατιστική πολυπλεξία και η κοινή χρήση πόρων θα είναι ουσιώδη ζητήματα στα δίκτυα ATM του μέλλοντος, και μπορούν να επιτευχθούν με ανάλυση επίδοσης των δικτύων βάσει της έννοιας του ισοδυνάμου εύρους ζώνης. Η σημαντική αυτή έννοια έχει σημαντικό ρόλο, όντας παράμετρος που συνοψίζει τα στατιστικά χαρακτηριστικά της πηγής στις διάφορες χρονικές κλίμακες. Όταν το ισοδύναμο εύρος ζώνης μπορεί να ορισθεί και υπολογισθεί κατάλληλα, τότε προβλήματα όπως ο Έλεγχος Αποδοχής Κλήσης (ΕΑΚ) και η κοστολόγηση, απλοποιούνται πάρα πολύ. Ωστόσο, αναλυτικές μέθοδοι είναι συχνά δύσκολο να εφαρμοσθούν (αν όχι αδύνατο), ειδικά όταν εμπλέκονται πηγές πραγματικής κίνησης. Κατά συνέπεια, η προσομοίωση και οι on-line μέθοδοι είναι εξαιρετικά πολύτιμα εργαλεία για την σχετική διερεύνηση των ζητημάτων αυτών.
Χρησιμοποιούμε εκτεταμένα το *"ασυμπτωτικό μεγάλου πλήθους πηγών"*, που προκύπτει από την Θεωρία των Μεγάλων Αποκλίσεων. Βασίζεται σε ένα μοντέλο πολυπλεξίας, όπου η επαλληλία N τύπων από πηγές κίνησης τροφοδοτούν σύνδεσμο εξόδου μεταγωγέα ATM στον οποίο η χωρητικότητα Nc και ο χώρος ενταμίευσης Nb αυξάνουν αναλογικά με το N. Για τον υπολογισμό της Ποιότητας Εξυπηρέτησης, χρησιμοποιούμε την Πιθανότητα Απώλειας Κελιού (ΠΑΚ), σαν το πρωταρχικό κριτήριο.

Η εργασία εστιάζει σε δύο προβλήματα τα οποία σχετίζονται με τις παραπάνω έννοιες: στην χρέωση και κοστολόγηση υπηρεσιών και στην υποκατάσταση ροής πραγματικής κίνησης με ισοδύναμη ροή μοντέλου κίνησης.

Το πρώτο μέρος, ασχολείται με την αποτίμηση σχημάτων χρέωσης για υπηρεσίες ευρυζώνιων δικτύων. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας ζήτημα για τις μοντέρνες τηλεπικοινωνίες, και τελευταία έχει τύχει αξιοσημείωτης προσοχής. Συγκεκριμένα, μελετούμε, υλοποιούμε και επαληθεύουμε δύο συναρτήσεις χρέωσης βασιζόμενες σε μοντέλα τα οποία εκφράζουν απαιτήσεις για δίκαιη χρέωση, σύμφωνη με την αποδοτική χρήση των δικτυακών πόρων. Αυτές οι συναρτήσεις χρέωσης βασίζονται σε άνω φράγματα του ισοδυνάμου εύρους ζώνης. Υπολογίζουμε αριθμητικά αυτές τις τελικές χρεώσεις, και τις συγκρίνουμε με αυτή που βασίζεται στον ακριβή υπολογισμό του ισοδυνάμου εύρους ζώνης στο τέλος της κλήσης. Μέσω αυτής της συγκριτικής μελέτης, προσεγγίζουμε την καταλληλότητα αυτών των σχημάτων για χρέωση διαφορετικών πηγών κίνησης. Πειράματα προσομοίωσης για τυπικές κλήσεις πραγματικών (MPEG video) και μοντελοποιημένων Markov-Modulated Fluid (MMF) πηγών, παρουσιάζονται. Τα σχήματα που εξετάζονται, έχουν χαμηλό κόστος υλοποίησης και μπορεί να οδηγήσουν στην αποδοτική χρήση των δικτυακών πόρων, όταν η χρέωση συνδυαστεί με τον ΕΑΚ.

Το δεύτερο μέρος αυτής της εργασίας, θίγει ζητήματα υποκατάστασης κίνησης, παραγωγής ισοδύναμης κίνησης, και αξιολόγησης μοντέλων για πραγματικές MPEG πηγές video. Συγκεκριμένα, για την παραγωγή ισοδύναμης κίνησης, αναζητούμε μοντελοποιημένη πηγή (γνωστών στατιστικών), ικανή να αντικαταστήσει σε ένα πολυπλέκτη, ένα υποσύνολο πραγματικών πηγών, χωρίς να μεταβληθεί η Ποιότητα Εξυπηρέτησης. Θεωρούμε δύο διαφορετικά μοντέλα, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως για να χαρακτηρίσουν υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Δημιουργήθηκε κίνηση από ΑυτοΠαλινδρομούμενες(1) και ON/OFF Markov-Modulated Fluid πηγές, για να καταφέρουμε την ισοδύναμη κίνηση. Για την εύρεση κατάλληλων τιμών για τις παραμέτρους των μοντέλων, εφαρμόστηκαν δύο μέθοδοι, μια παραδοσιακή και μια νέα πιο προχωρημένη. Η εκτίμηση των δύο αυτών μεθόδων, βασίζεται σε πειράματα προσομοίωσης για πραγματική και μοντελοποιημένη κίνηση εισόδου σε ένα σύνδεσμο ATM, πολιτικής εξυπηρέτησης FCFS. Μέσω μελέτης προσομοίωσης διερευνήθηκαν τόσο η προτεινόμενη νέα μέθοδος όσο και η παραδοσιακή, και συγκρίθηκαν οι αντίστοιχες αποδόσεις τους.

Επόπτης Καθηγητής:
Κώστας Κουρκουμπέτης,
Καθηγητής Επιστήμης Υπολογιστών,
Πανεπιστήμιο Κρήτης.

Topics on Charging and Performance Analysis of ATM Traffic

Fotios C. Harmantzis

M.Sc. Thesis Dissertation

Department of Computer Science
University of Crete

Abstract

This Master's thesis concentrates on the development and refinement of sophisticated tools, based on applied probability models, to be used for the evaluation of the performance of ATM networks, for charging and pricing services, and for the effective traffic substitution.
Statistical multiplexing and resource sharing, will be essential aspects in future ATM networks. These can be attained by analysing the performance of such networks on the basis of the concept of effective bandwidth. In fact, this concept has a unifying role as a parameter summarising the statistical characteristics of sources over different time scales. When an effective bandwidth can be appropriately defined and measured, then problems such as Call Admission Control (CAC) and pricing greatly simplify. However, analytical methods are usually hard to apply (if at all possible), particularly when real traffic sources are involved. Thus, simulation and on-line methods are invaluable tools for related investigations.
An existing asymptotic result, justified by the theory of large deviations, is employed in our work. This is based on a multiplexing model, where the superposition of N groups of traffic sources feeds an ATM link in which the capacity Nc and buffer size Nb also increase proportionally to N; this result is known as the *large N asymptotic*. A measure of the Quality-of-Service (QoS) offered, is the cell loss probability (CLP), which is used as the primary QoS criterion.

This thesis focuses on two main problems related to the concepts mentioned above: charging and pricing network services, and substitution of real traffic streams with an equivalent stream of modelled traffic.

The first part, deals with evaluating charging schemes for broadband network services. This is an extremely vital subject in modern telecommunications an has recently attracted considerable attention. More specifically, we study, implement and validate two charging formulae based on models that address needs such as fair charging according to effective usage of network resources. The charging formulae are based on bounds for the effective bandwidth. We compute these charges, and compare them to those based on the accurate calculation of the effective bandwidth of the source at the end of the call. Through this comparative study, we assess appropriateness of these schemes for charging different traffic sources. Simulation experiments for typical calls from real (MPEG video) and Markov-Modulated Fluid (MMF) sources, are performed. The schemes investigated have low implementation cost, and can lead to efficient usage of network resources when pricing is combined with CAC.

The second part of this thesis concerns aspects on traffic substitution, derivation of equivalent traffic, and assessment of models for real MPEG video sources. In particular, in deriving the equivalent traffic, we are seeking for a modelled source (with known statistics) that may replace a given subset of real sources feeding a multiplexer, without affecting the QoS. Two different models, which are widely used to characterize real-time services are considered. We generate

traffic from AutoRegressive(1) and 'ON/OFF MMF' sources, in order to achieve equivalent traffic. Two methods, a traditional one and a more elaborate new method, are employed to derive values of the appropriate model parameters. Evaluation of these methods is based on simulation experiments for real and modelled input traffic in an ATM link which serves a single buffer in a FCFS manner. A simulation study was conducted which investigated both the proposed new methodology and the traditional, and compared their respective performance.

Su*per***v***isor***:**
Costas Courcoubetis,
Professor of Computer Science,
University of Crete.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες
ii
Περίληψη iv
Abstract vi

Εισαγωγή 1
1.1 Χρέωση και κοστολόγηση δικτυακών υπηρεσιών 4
1.2 Η σημασία κατανόησης και μοντελοποίησης της κίνησης ATM 10
1.3 Η οργάνωση του κειμένου και η συνεισφορά της παρούσας εργασίας .. 12

Ισοδύναμο εύρος ζώνης πηγής 15
2.1 Εισαγωγή στην έννοια του ισοδυνάμου εύρους ζώνης 17
2.2 Χρέωση βασισμένη στο ισοδύναμο εύρος ζώνης 20
2.3 Ασυμπτωτικό μοντέλο πολυπλεξίας 23

Μηχανισμοί Χρέωσης για Δίκτυα ATM
27
3.1 Η "Απλή" φόρμουλα χρέωσης 29
3.2 Σχήμα χρέωσης βασισμένο στην "Φορολόγηση με Διαβαθμίσεις" ("Tax-Band") 35
3.3 Στοχαστικά μοντέλα προσομοίωσης 40
3.4 Ρεαλιστική κίνηση video με κωδικοποίηση MPEG 46
3.5 Σύγκριση των σχημάτων χρέωσης με αριθμητικά αποτελέσματα 49
3.6 Συμπεράσματα - Μελλοντικές κατευθύνσεις 54

Υποκατάσταση Κίνησης ATM 55
4.1 Ορισμός του προβλήματος 57
4.2 Χαρακτηρισμός ρεαλιστικής κίνησης 58
4.3 Το αθροιστικό MMF μοντέλο 63
4.4 Το αυτοπαλινδρομούμενο Gaussian μοντέλο AR(1) 66
4.5 Υποκατάσταση βάσει στατιστικών χαρακτηριστικών 68
4.6 Υποκατάσταση με βάση με βάση τις ασυμπτωτικές ιδιότητες του ισοδυνάμου εύρους ζώνης 70
4.7 Πειραματική αξιολόγηση των μεθόδων υποκατάστασης 73
4.8 Συμπεράσματα - Μελλοντικές κατευθύνσεις 77

Παράρτημα 79
Σχέση σχημάτων χρέωσης με φράγματα του ισοδυνάμου εύρους ζώνης

Βιβλιογραφία 83
Αντιστοιχία Αγγλικών - Ελληνικών όρων 91

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Τα δίκτυα επικοινωνίας στηρίζονται είτε σε *μεταγωγή κυκλωμάτων* είτε σε *μεταγωγή πακέτων*. Τα πρώτα δεσμεύουν τους απαιτούμενους για τον χρήστη πόρους, ώστε να του εξασφαλίσουν την αναμενόμενη Ποιότητα Εξυπηρέτησης.
Και ενώ Σταθερού Ψηφιακού Ρυθμού δεδεμένα, όπως αυτά που εκπέμπονται από μια πηγή φωνής, ταιριάζουν σε αυτό τον τύπο μεταγωγής, κίνηση εκρηκτικών πηγών, π.χ. δεδομένα από υπηρεσίες υπολογιστών, υποχρησιμοποιούν τους πόρους λόγω της απρόβλεπτης φύσης τους. Για αυτό το λόγο δίκτυα δεδομένων, στηριζόμενα σε μεταγωγή πακέτων, αναπτύχθηκαν στα μέσα της δεκαετίας του '60. Έτσι οι κοινόχρηστοι πόροι του δικτύου αξιοποιούνταν με πιο αποδοτικό τρόπο. Άμεση συνέπεια αυτού του τρόπου μεταγωγής, ήταν η αδυναμία εξασφάλισης (με μόνο ενδεχόμενο κάποια προσεγγιστική πρόβλεψη) κάποιας Ποιότητας Εξυπηρέτησης (π.χ. καθυστέρηση) για τους χρήστες, δεδομένου ότι κάτι τέτοιο ήταν άμεσα εξαρτώμενο από την ταυτόχρονη χρήση πόρων από άλλους χρήστες.
Αυτός ο διαχωρισμός των δικτύων τείνει να εκλείψει, με την ανάπτυξη τηλεπικοινωνιακών δικτύων υψηλών ταχυτήτων (βασισμένων σε οπτικές ίνες) που ήδη έχουν τεθεί σε λειτουργία ή σχεδιάζονται για το άμεσο μέλλον. Ενα πρώτο χαρακτηριστικό αυτών των δικτύων είναι η ικανότητά τους να εξυπηρετούν ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών, π.χ. φωνή, video, δεδομένα, με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Αυτή η τάση για *ενοποίηση* διαφορετικών τεχνολογιών δικτύων και υπηρεσιών, είναι μια νέα πρόκληση για την κοινότητα (ερευνητική και βιομηχανική) των ανθρώπων που ασχολούνται με τηλεπικοινωνίες. Μέσα από αυτή την κοινή προσπάθεια που βρίσκεται σε εξέλιξη, έχουν σχηματοποιηθεί τα χαρακτηριστικά αυτών των μελλοντικών δικτύων, που θα είναι ικανά να υποστηρίζουν:

- Υπηρεσίες κατανεμημένου λογισμικού και αλληλεπιδραστικές υπηρεσίες πολυμέσων
- Ευρυζώνιους ρυθμούς και ρυθμούς στενού εύρους
- Εκρηκτική κίνηση και κίνηση σταθερού ψηφιακού ρυθμού
- Υπηρεσίες με σύνδεση και χωρίς σύνδεση
- Συνδέσεις από σημείο-σε-σημείο, από σημείο-σε-πολλαπλά σημεία και πολλαπλής αποστολής

Το δεύτερο χαρακτηριστικό των δικτύων υψηλών επιδόσεων, εκτός της υποστήριξης ποικίλων εφαρμογών, θα είναι η υποστήριξη *Ποιότητας Εξυπηρέτησης* για κάθε τελικό χρήστη. Για κάθε κατηγορία εφαρμογής, ορίζεται κάποιο διάνυσμα παραμέτρων απόδοσης που αναφέρονται σε επιθυμητή καθυστέρηση (μέγιστη, ελάχιστη, διακύμανη, ή/και συγκεκριμένη τιμή), πιθανότητα φραγής κλήσεως, πιθανότητα απόρριψης πακέτου (ή κελιού), διέλευση κτλ.
Αυτή τη στιγμή, η προσπάθεια εξάλειψης του διαχωρισμού των δικτύων μεταγωγής προσεγγίζεται
με δυο τρόπους:

1. Ο πρώτος, ο **Ασύγχρονος Τρόπος Μετάδοσης** (ATM), βασίζεται σε ένα μικρό, σταθερού μήκους πακέτο (48-bytes πεδίο πληροφορίας + 5-bytes επικεφαλίδα), που ονομάζεται κελί. Ο ATM είχε επιλεγεί από την ITU-T (πρώην CCITT), σαν ο κατάλληλος τρόπος μετάδοσης για τα *Ευρυζώνια Ψηφιακά Δίκτυα Ενοποιημένων Υπηρεσιών* (B-ISDNs), ([32]). Η παγκοσμιοποίηση των προιόντων ATM έχει επισπευσθεί τα τελευταία χρόνια κυρίως λόγω των προσπαθιών του ATM-Forum, μιας ομάδας μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα που αποτελείται από μερικές εκατοντάδες κατασκευαστών, πωλητών, τηλεπικοινωνιακών φορέων, και άλλων στελεχών οργανισμών. Αυτός ο τρόπος, ο οποίος προβάλλεται σαν μια αρχιτεκτονική μακράς διαρκείας, βασίζεται σε υψηλές ταχύτητες μεταγωγής και εγγυάται υψηλά επίπεδα Ποιότητας Εξυπηρέτησης. Σαν σοβαρό μειονέκτημα τονίζεται από τους επικριτές του η πολυπλοκότητα της σηματοδότησης, ειδικά για πολλαπλή αποστολή.
2. Συγχρόνως, σημαντική προσπάθεια καταβάλλεται για την αναβάθμιση της σημερινής αρχιτεκτονικής του Internet. Κεντρικό ρόλο παίζει το πρωτόκολλο **IP** (Internet Protocol) ([19]). Παρότι είναι δίκτυο μεταγωγής πακέτων, το Internet ήδη παρέχει υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, όπως φωνής και video, ιδιαίτερα μέσω του Mbone. Αυτή η βασισμένη στο IP προσπάθεια, τυγχάνει σοβαρής υποστήριξης από διάφορα ερευνητικά κέντρα και εταιρείες, λόγω της ευρείας αποδοχής και δημοσιότητας των υπηρεσιών και προιόντων Internet (τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια αλματώδη εξάπλωση). Παρόλα αυτά, πολλά ζητήματα είναι ακόμα ανοιχτά, κυρίως γύρω από προβλήματα δρομολόγησης, μεταγωγής ετικετών και υποστήριξης εγγυημένης Ποιότητας Εξυπηρέτησης ([63]).

Μια περιεκτική ανασκόπηση της εξέλιξης των δικτύων μέσα από συγκεκριμένες τεχνολογίες, και της πορείας σύγκλισης προς τα ενοποιημένα δίκτυα του μέλλοντος, περιέχεται στο βιβλίο των Warland and Varaiya (1996).

Στην παρούσα εργασία μελετάμε θέματα χρέωσης υπηρεσιών δικτύων ATM και αξιολόγησης επιδόσεων των δικτύων αυτών. Μερικά βασικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας αυτών των δικτύων αναφέρονται στα επόμενα κεφάλαια και τα θεωρούμε δεδομένα. Για περισσότερο τεχνικές και λεπτομερείς αναφορές συστήνουμε στον αναγνώστη να καταφύγει στα [2], [54].
Όσο αφορά την χρέωση και κοστολόγηση των υπηρεσιών, μελετάμε, υλοποιούμε με βοήθεια προσομοίωσης και αποτιμάμε δύο σχήματα χρέωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μηχανισμοί χρέωσης βάσει χρήσεως των δικτυακών πόρων. Η ποσοτικοποίηση της χρήσης βασίζεται στην θεμελιώδη έννοια του ισοδυνάμου εύρους ζώνης πηγής. Η συνεισφορά της παρούσας εργασίας είναι να επαληθεύσει την καταλληλότητα και ορθότητα αυτών των μηχανισμών, μέσω πειραμάτων χρέωσης κλήσεων πηγών σε περιβάλλοντα ATM.
Η δεύτερη ενότητα αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο πρωτότυπο πρόβλημα υποκατάστασης πραγματικής κίνησης ATM, με μια ισοδύναμη ώστε να διατηρείται η παρεχόμενη Ποιότητα Εξυπηρέτησης. Για την επίλυση αυτού του ζητήματος, θίγονται θέματα χαρακτηρισμού κίνησης video, μοντελοποίησης των ανάλογων πηγών και παραγωγής κίνησης σε εξομοιούμενα δικτυακά περιβάλλοντα. Αρχικά επιχειρείται μια μέθοδος υποκατάστασης που στηρίζεται σε παραδοσιακές τεχνικές, και κατόπιν παρουσιάζεται μία νέα μέθοδος που στηρίζεται σε ασυμπτωτικές ιδιότητες του μοντέλου πολυπλεξίας πηγών. Οι μέθοδοι και τα μοντέλα κίνησης αξιολογούνται ως προς την επίδοσή τους, με πειράματα προσομοίωσης.

Χρέωση και κοστολόγηση δικτυακών υπηρεσιών

Υπηρεσίες δικτύων ATM

Ανασκόπηση βασικών μοντέλων Μικροοικονομίας για κοστολόγηση υπηρεσιών ευρυζώνιων δικτύων

Η σημασία κατανόησης και μοντελοποίησης της κίνησης ATM

Η οργάνωση του κειμένου και η συνεισφορά της παρούσας εργασίας

Εισαγωγή στην έννοια του ισοδύναμου εύρους ζώνης πηγής

Χρέωση βασισμένη στο ισοδύναμο εύρος ζώνης
Ασυμπτωτικά μοντέλα πολυπλεξίας
Σύστημα με μεγάλο πλήθος πηγών
Οι παράμετροι s *και* t
Η "Απλή" φόρμουλα χρέωσης
Σχολιασμός-Επεκτάσεις
Προσαρμογή της "Απλής" Φόρμουλας Χρέωσης στις σημερινές τεχνολογίες
Σχήμα χρέωσης βασισμένο στην "Φορολόγηση με Διαβαθμίσεις" ("Tax-Band")
Το φορολογικό ανάλογο
Χρέωση Δικτυακών Υπηρεσιών
Στοχαστικά μοντέλα προσομοίωσης
Μοντέλα πηγών
Προσομοίωση των αλγορίθμων χρέωσης
Οι προσομοιωτές της παρούσας εργασίας
Ρεαλιστική κίνηση video με κωδικοποίηση MPEG
Η κωδικοποίηση MPEG-I
Ταινίες που χρησιμοποιήθηκαν για χρέωση
Σύγκριση των σχημάτων χρέωσης με αριθμητικά αποτελέσματα
Χρέωση κίνησης MPEG
Χρέωση κίνησης ON/OFF πηγής με την "Απλή" φόρμουλα
Χρέωση κίνησης πηγής 3-καταστάσεων
Συμπεράσματα - Μελλοντικές Κατευθύνσεις
Ορισμός του Προβλήματος
Χαρακτηρισμός ρεαλιστικής κίνησης video
Στατιστικά εργαλεία
Στατιστική ανάλυση ταινιών MPEG-I
Το αθροιστικό MMF μοντέλο
Ο προσομοιωτής για το MMF μοντέλο
Το αυτοπαλινδρομούμενο Gaussian μοντέλο AR(1)
Ο προσομοιωτής AR(1) πηγής
Υποκατάσταση βάσει στατιστικών χαρακτηριστικών
Πηγές αθροιστικού MMF μοντέλου
Οι AR(1) πηγές
Υποκατάσταση με βάση τις ασυμπτωτικές ιδιότητες του ισοδυνάμου εύρους ζώνης
Πειραματική αξιολόγηση των μεθόδων υποκατάστασης

Η προσομοίωση του FCFS συνδέσμου
Αριθμητικά Αποτελέσματα Μεθόδου Στατιστικών
Αριθμητικά Αποτελέσματα Μεθόδου Ασυμπτωτικών Ιδιοτήτων
Συμπεράσματα - Μελλοντικές κατευθύνσεις