



Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα:
Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών
Τομέας Τηλεπικοινωνιών

Διπλωματική εργασία

**Έλεγχος Αποδοχής Κλήσης για Κίνηση Πολυμέσων πάνω
από Ασύρματα Κυψελωτά Δίκτυα**

Σωτηρόπουλος Ιωάννης

Επιβλέπων: Πολυχρόνης Κουτσάκης
Επίκουρος Καθηγητής

Χανιά, Σεπτέμβριος 2010

Ευχαριστίες

Ξεκινώντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή Πολυχρόνη Κουτσάκη για την συμβολή του στην πορεία της παρούσας εργασίας. Οι υποδείξεις και οι συμβουλές του αποτέλεσαν οδηγό στην προσπάθειά μου για τη μελέτη και κατανόηση των προβλημάτων ελέγχου Αποδοχής Κλήσης (CAC) πάνω από Ασύρματα Κυψελωτά Δίκτυα. Επίσης θέλω να τον ευχαριστήσω για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου.

Περίληψη

Η ασύρματη επικοινωνία είναι ένας από τους τομείς με τη μεγαλύτερη δραστηριότητα στο πεδίο των τηλεπικοινωνιών σήμερα. Παρότι αποτελεί πεδίο έρευνας από τη δεκαετία του 1960, την τελευταία δεκαετία παρατηρείται έξαρση των ερευνητικών δραστηριοτήτων στην περιοχή αυτή. Καθώς η δημοτικότητα των ασύρματων τεχνολογιών αυξάνεται, η επιστημονική κοινότητα έρχεται αντιμέτωπη με ολοένα καινούργιες προκλήσεις. Μια από αυτές είναι και η ενοποιημένη μετάδοση πληροφοριών φωνής, δεδομένων και βίντεο πάνω από ένα ασύρματο δίκτυο.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζουμε ένα μηχανισμό ελέγχου αποδοχής κλήσης για κίνηση πολυμέσων σε ασύρματα κυψελωτά δίκτυα. Ο Έλεγχος Αποδοχής Κλήσης (Call Admission Control, CAC) ορίζεται ως μια σειρά ενεργειών που πραγματοποιούνται από το δίκτυο, προκειμένου να ελεγχθεί αν το αίτημα ενός χρήστη να χρησιμοποιήσει μια συγκεκριμένη υπηρεσία του δικτύου μπορεί να γίνει δεκτό ή όχι. Το νέο αίτημα γίνεται δεκτό όταν το επιθυμητό επίπεδο ποιότητας παρεχόμενης υπηρεσίας (Quality of Service, QoS) μπορεί να επιτευχθεί για την υπηρεσία αυτή, χωρίς βέβαια να προκληθεί παραβίαση στο QoS των υπηρεσιών που απολαμβάνουν άλλοι χρήστες. Η σχεδίαση και προσομοίωση του CAC μηχανισμού πραγματοποιήθηκε για την ταυτόχρονη χρήση του καναλιού από χρήστες φωνής, μηνυμάτων e-mail και ταινίες κωδικοποιημένες με MPEG-4. Ο μηχανισμός CAC έχει στόχο την μεγιστοποίηση της διαπερατότητας (throughput) του καναλιού χωρίς να υπάρξει συμφόρηση στο δίκτυο, που θα οδηγήσει σε παραβίαση των απαιτήσεων QoS των χρηστών. Κάτι τέτοιο καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολο εξαιτίας της διαφορετικής φύσης των πληροφοριών που μεταδίδονται καθώς και των διαφορετικών απαιτήσεων σε QoS της κάθε υπηρεσίας. Η εργασία μας επικεντρώθηκε στην περίπτωση όπου δεν υπάρχουν ικανοποιητικά μοντέλα για την εκτίμηση της συμπεριφοράς της κίνησης βίντεο, γεγονός που δυσκολεύει ακόμα περισσότερο την λειτουργία του μηχανισμού CAC.

Επιπλέον, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, μελετήθηκε και η συμπεριφορά του CAC μηχανισμού στην περίπτωση των χρηστών οι οποίοι έρχονται από διαφορετική κυψέλη (handoff κλήσεις). Ο όρος handoff (μεταπομπή) αναφέρεται στη διαδικασία μεταφοράς μιας κλήσης σε εξέλιξη από μια κυψέλη του δικτύου σε μια άλλη. Στην περίπτωση των handoff κλήσεων η συμπεριφορά του μηχανισμού CAC παίζει σημαντικό ρόλο, προκειμένου να αποφευχθεί ο τερματισμός της κλήσης του μεταπεμπόμενου χρήστη.

Τα αποτελέσματα της εργασίας μας έδειξαν πως ο προτεινόμενος CAC μηχανισμός επιτυγχάνει υψηλή χρήση του εύρους ζώνης (bandwidth) του ασύρματου καναλιού, φροντίζοντας ταυτόχρονα για την ικανοποίηση των απαιτήσεων QoS των χρηστών.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	2
Περίληψη	3
1. Εισαγωγή	5
1.1 Πρώτη κατηγοριοποίηση μηχανισμών CAC	6
1.2 Δεύτερη κατηγοριοποίηση μηχανισμών CAC	7
2. Το μοντέλο του υπό μελέτη συστήματος	8
2.1 Το μοντέλο σφαλμάτων του καναλιού	9
2.2 Η γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών	10
2.3 Το μοντέλο για την κίνηση φωνής	10
2.4 Το μοντέλο για την κίνηση email	11
2.5 Ταινίες mpeg-4	12
3. Ο μηχανισμός CAC.....	13
3.1 Αντιμετώπιση χρηστών προερχόμενων από handoff	16
3.2 Οι δύο διαφορετικοί τρόποι υποβάθμισης χρηστών	17
4. Αποτελέσματα	18
4.1 Πρώτη Κατηγορία Αποτελεσμάτων	18
4.1.1 Αποτελέσματα για τους χρήστες φωνής, δεδομένων και βίντεο	18
4.1.2 Αποτελέσματα για τους χρήστες βίντεο	24
4.1.3 Υποβαθμίσεις-Αναβαθμίσεις Χρηστών Βίντεο	28
4.1.4 Αποτελέσματα για τους χρήστες δεδομένων	39
4.2 Δεύτερη Κατηγορία Αποτελεσμάτων	47
4.2.1 Αποτελέσματα για τους χρήστες φωνής, δεδομένων και βίντεο	47
4.2.2 Αποτελέσματα για τους χρήστες βίντεο	51
4.2.3 Υποβαθμίσεις-Αναβαθμίσεις Χρηστών Βίντεο	54
4.2.4 Αποτελέσματα για τους χρήστες δεδομένων	60
Συμπεράσματα	62
Αναφορές	63

1. Εισαγωγή

Ο αριθμός των ανθρώπων που κάνουν χρήση των υπηρεσιών πολυμέσων που προσφέρονται από την ασύρματη τεχνολογία ολοένα και διευρύνεται, αυξάνοντας την απαίτηση για τη διασφάλιση της ποιότητας (QoS) των παρεχόμενων υπηρεσιών προς τους χρήστες.

Δύο τεχνικές που χρησιμοποιούνται ευρύτατα για τον έλεγχο της κίνησης που μεταδίδουν και λαμβάνουν οι χρήστες μέσα στο ασύρματο δίκτυο είναι ο Έλεγχος Αποδοχής Κλήσης και η Αστυνόμευση της Κίνησης (Traffic Policing), βάσει της οποίας το δίκτυο ελέγχει αν ένας χρήστης τηρεί το συμβόλαιο το οποίο έχει υπογράψει με τον παροχέα όσον αφορά το bandwidth που δικαιούται να χρησιμοποιεί.

Ο Έλεγχος Αποδοχής Κλήσης (Call Admission Control, CAC) ορίζεται ως μια σειρά ενεργειών που πραγματοποιούνται από το δίκτυο, προκειμένου να ελεγχθεί αν το αίτημα ενός χρήστη να χρησιμοποιήσει μια συγκεκριμένη υπηρεσία του δικτύου μπορεί να γίνει δεκτό ή όχι. Το νέο αίτημα γίνεται δεκτό όταν το επιθυμητό επίπεδο ποιότητας παρεχόμενης υπηρεσίας (Quality of Service, QoS) μπορεί να επιτευχθεί για την υπηρεσία αυτή, χωρίς βέβαια να προκληθεί παραβίαση στο QoS των υπηρεσιών που απολαμβάνουν άλλοι χρήστες. Ο μηχανισμός CAC έχει στόχο την αποτροπή της συμφόρησης του δικτύου, σε συνδυασμό με την μέγιστη δυνατή χρήση των πόρων του.

Οι παραπάνω στόχοι καθίστανται ακόμα δυσκολότεροι από το γεγονός ότι οι παροχείς κυψελωτών δικτύων, προκειμένου να διαθέτουν αρκετό εύρος ζώνης για να προσφέρουν υπηρεσίες πολυμέσων σε πολλαπλούς χρήστες, έχουν μειώσει σημαντικά το μέγεθος της ασύρματης κυψέλης (πικοκυψέλες, picocells) [1]. Σε αυτό το περιβάλλον, λόγω της κινητικότητας των χρηστών, οι συνθήκες κίνησης σε μια κυψέλη μπορούν να αλλάξουν πολύ γρήγορα. Επίσης όταν οι χρήστες μετακινηθούν αρκετά μακριά από την περιοχή κάλυψης μιας κυψέλης αλλάζει το σημείο της σύνδεσης (handoff), ενώ οι χρήστες εξακολουθούν να αναμένουν την ίδια ποιότητα υπηρεσίας. Επομένως η μεγάλη πρόκληση είναι να σχεδιασθούν απλοί μηχανισμοί ελέγχου, οι οποίοι να βελτιώνουν την απόδοση του δικτύου υπό οποιεσδήποτε συνθήκες τηλεπικοινωνιακής κίνησης.

Το πρόβλημα της σχεδίασης μηχανισμών Call Admission Control για ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα έχει μελετηθεί εκτενώς στην βιβλιογραφία, και οι προτεινόμενες προσεγγίσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με τους τρόπους που παρουσιάζονται στα δύο επόμενα υποκεφάλαια.

1.1 Πρώτη κατηγοριοποίηση μηχανισμών CAC

Η πρώτη κατηγοριοποίηση αφορά στο είδος των υπηρεσιών που προσφέρονται από το δίκτυο και κατατάσσει τις υπηρεσίες σε τρεις επιμέρους κατηγορίες [4]:

Το παραδοσιακό μοντέλο υπηρεσίας ορίζεται στο [5, 6], ως εγγυημένη υπηρεσία (guaranteed service). Οι αλγόριθμοι CAC για την guaranteed υπηρεσία χρησιμοποιούν τα a priori χαρακτηριστικά των πηγών για τον υπολογισμό της χειρότερης συμπεριφοράς (worst-case) όλων των ροών που προϋπάρχουν στο δίκτυο, καθώς και των εισερχομένων. Η χρησιμοποίηση των πόρων του δικτύου στο πλαίσιο αυτού του μοντέλου είναι συνήθως αποδεκτή, όταν οι ροές είναι ομαλές. Όταν οι ροές είναι εκρηκτικές η guaranteed υπηρεσία οδηγεί αναπόφευκτα σε πολύ χαμηλή αξιοποίηση του δικτύου [7].

Η πιθανοτική υπηρεσία (probabilistic service) που περιγράφεται στο [8], δεν προβλέπει το χειρότερο σενάριο, αλλά αντίθετα εγγυάται ένα όριο για το ρυθμό απώλειας/καθυστέρησης πακέτων, που βασίζεται στα στατιστικά χαρακτηριστικά της κίνησης. Η τυποποιημένη μέθοδος υλοποίησης για αυτό το είδος υπηρεσίας είναι ότι σε κάθε πηγή παραχωρείται ένα ισοδύναμο bandwidth το οποίο είναι μεγαλύτερο από τον μέσο ρυθμό (average rate), αλλά μικρότερο από το peak rate. Στις περισσότερες περιπτώσεις το ισοδύναμο bandwidth υπολογίζεται με βάση ένα στατιστικό μοντέλο [9]. Στο [10], το ισοδύναμο bandwidth ενός συνόλου ροών ορίζεται ως $C(\epsilon)$, το οποίο είναι τόσο όση η απαίτηση του στατιστικού εύρους ζώνης του συνόλου των ροών που υπερβαίνει την τιμή αυτή με πιθανότητα το πολύ ϵ , όπου ϵ είναι ο ρυθμός απώλειας των πακέτων. Ωστόσο σε περίπτωση απουσίας ενός αρκετά ακριβούς στατιστικού μοντέλου για κάθε μεμονωμένη ροή, η εξασφάλιση επαρκούς εύρους ζώνης οδηγεί σε σημαντική υπερεκτίμηση των πραγματικών απαιτήσεων των πηγών και συνεπώς σε ένα συντηρητικό μοντέλο CAC που αδυνατεί να χρησιμοποιήσει αποτελεσματικά όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης, όπως φαίνεται στα [11-15]. Τα αποτελέσματα στο [16] έδειξαν επίσης ότι ένας μηχανισμός CAC βασιζόμενος στον τρόπο υπολογισμού του ισοδύναμου εύρους ζώνης στο [10] για την μετάδοση κίνησης βίντεο είναι πολύ πιο συντηρητικός και ως εκ τούτου επιτυγχάνει πολύ μικρότερη αξιοποίηση του εύρους ζώνης του ασύρματου καναλιού σε σχέση με ένα μηχανισμό ελέγχου της κυκλοφορίας (Traffic policing) που επίσης προτείνεται στο [16]. Ο μηχανισμός ελέγχου της κυκλοφορίας (Traffic policing) όμως δεν είναι αρκετός από μόνος του, καθώς μπορεί μόνο να διορθώσει τα προβλήματα που προκαλούνται από την υπερφόρτωση του δικτύου, χωρίς όμως να μπορεί να εμποδίσει την εμφάνισή τους.

Στην περίπτωση των εφαρμογών οι οποίες είναι ανεκτικές σε περιστασιακές παραβιάσεις του ορίου καθυστέρησης, ένα τρίτο είδος υπηρεσίας προτάθηκε στο [4], η υπηρεσία πρόβλεψης (predictive service). Ο βασιζόμενος σε μετρήσεις CAC που διερευνάται στο [4] χρησιμοποιεί τα a priori χαρακτηριστικά των πηγών μόνο για τις εισερχόμενες ροές και για τις ροές που

πολύ πρόσφατα αποδέχτηκε. Ροές που έχουν ήδη εισαχθεί για κάποιο χρονικό διάστημα προσεγγίζονται από μετρήσεις στην μεταδιδόμενη κυκλοφορίας τους. Η προσέγγιση αυτή δεν μπορεί ποτέ να παρέχει τα απολύτως αξιόπιστα όρια καθυστέρησης που απαιτούνται για την guaranteed ή την probabilistic υπηρεσία, ως εκ τούτου οι προσεγγίσεις που βασίζονται σε μετρήσεις μπορούν μόνο να χρησιμοποιηθούν στο πλαίσιο των χαλαρών δεσμεύσεων του δικτύου προς τον χρήστη.

Ο μηχανισμός CAC τον οποίο μελετήσαμε σε αυτήν την εργασία και θα παρουσιάσουμε στα επόμενα κεφάλαια, ανήκει στη κατηγορία των probabilistic service μηχανισμών, αφού χρησιμοποιεί ένα εύρος ζώνης το οποίο υπολογίζεται από ένα στατιστικό μοντέλο, και κάνει χρήση των στατιστικών παραμέτρων της μεταδιδόμενης πληροφορίας.

1.2 Δεύτερη κατηγοριοποίηση μηχανισμών CAC

Η δεύτερη κατηγοριοποίηση ταξινομεί τους μηχανισμούς CAC σε δύο μεγάλες κατηγορίες, με βάση την προτεραιότητα της handoff πολιτικής τους [17]:

A. Guard Channel (GC) μηχανισμοί

Σε αυτό το είδος μηχανισμών, μερικά από τα κανάλια δεσμεύονται για κλήσεις handoff. Τέσσερις υποκατηγορίες GC CAC μηχανισμών έχουν προταθεί. Αυτές είναι:

Ο μηχανισμός cutoff priority, στο οποίο ένα μέρος του εύρους ζώνης του καναλιού είναι δεσμευμένο για τις κλήσεις handoff. Όταν ένα κανάλι αποδεσμευτεί επιστρέφεται στην κοινή «δεξαμενή» καναλιών [18].

Ο μηχανισμός fractional guard channel, όπου μια νέα κλήση γίνεται δεκτή με μια συγκεκριμένη πιθανότητα, η οποία εξαρτάται από τον αριθμό των κατειλημμένων καναλιών [19].

Ο μηχανισμός rigid division-based [20], όπου όλα τα κανάλια μιας κυψέλης χωρίζονται σε δύο ομάδες, μία για την κοινή χρήση όλων των κλήσεων και μία μόνο για κλήσεις handoff.

Ο μηχανισμός new call bounding [21], όπου ένα κατώφλι επιβάλλεται στον αριθμό των νέων κλήσεων που γίνονται αποδεκτές μέσα στην κυψέλη.

B. Queuing Priority (QP) μηχανισμοί

Σε αυτό το είδος μηχανισμών, κλήσεις γίνονται αποδεκτές εφόσον υπάρχουν ελεύθερα κανάλια. Ανάλογα με την προσέγγιση, είτε οι νέες κλήσεις μπλοκάρονται και οι handoff

κλήσεις μπαίνουν σε ουρά αναμονής [22] ή το αντίστροφο [23] ή όλες οι κλήσεις μπαίνουν σε ουρά αναμονής και η ουρά αναδιατάσσεται με βάση ορισμένες προτεραιότητες [24].

Ο μηχανισμός CAC τον οποίο μελετήσαμε σε αυτήν την εργασία, με βάση την προτεραιότητα της handoff πολιτικής του, ανήκει στη κατηγορία των Queuing Priority μηχανισμών, εφόσον δεν έχουμε δεσμεύσεις καναλιών για κλήσεις handoff. Αντίθετα κάθε φορά που «γεννιέται» μια κλήση handoff στο σύστημα, ο μηχανισμός την κάνει αποδεκτή εφ' όσον καταφέρει να εξασφαλίσει το απαραίτητο εύρος ζώνης για τον handoff χρήστη. Ίδια είναι η αντιμετώπιση του CAC μηχανισμού μας και για τις νέες κλήσεις που γεννιούνται μέσα στην υπό εξέταση κυψέλη.

2. Το μοντέλο του υπό μελέτη συστήματος

Εντός του picocell, χωρικά διασκορπισμένα τερματικά πηγής μοιράζονται ένα ασύρματο κανάλι που τα συνδέει με ένα σταθερό σταθμό βάσης. Ο σταθμός βάσης εκχωρεί τους πόρους του καναλιού και παρέχει πληροφορίες ανάδρασης. Επιπλέον χρησιμεύει ως διεπαφή με το Κέντρο Κινητής Μεταγωγής (Mobile Switching Center, MSC). Το MSC παρέχει πρόσβαση στην υποδομή του σταθερού δικτύου. Η μελέτη στην παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στο κανάλι κατερχόμενης ζεύξης (downlink channel), δηλαδή στην μετάδοση από τον σταθμό βάσης προς τα ασύρματα τερματικά. Ο χρόνος στο downlink διαιρείται σε χρονικά πλαίσια (time frames) ίσου μεγέθους. Κάθε πλαίσιο έχει διάρκεια 12 ms και μπορεί να φιλοξενήσει 566 χρονοθυρίδες (time slots) πληροφορίας. Ο αριθμός των χρονοθυρίδων προκύπτει από τον ρυθμό μετάδοσης του καναλιού ο οποίος είναι 20 Mbps. Κάθε slot πληροφορίας φιλοξενεί ακριβώς ένα πακέτο σταθερού μεγέθους και ίσου με 53 bytes από τα οποία τα 48 bytes είναι η χρήσιμη πληροφορία (payload) και τα υπόλοιπα 5 bytes αντιστοιχούν στην κεφαλίδα (header). Η χρήση του συγκεκριμένου μεγέθους πακέτου είναι ενδεικτική (επιλέχθηκε επειδή έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στην βιβλιογραφία) και δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα της εργασίας μας.

Στην παρούσα εργασία ασχοληθήκαμε με τρία είδη κίνησης: βίντεο, δεδομένα και φωνή. Αναλυτική παρουσίαση κάθε είδους κίνησης και του τρόπου μοντελοποίησης του γίνεται στα υποκεφάλαια 2.3-2.5.

Η δουλειά που έγινε πάνω στον μηχανισμό ελέγχου πολλαπλής πρόσβασης (Multiple Access Control, MAC) στο [25], έδειξε ότι η χρήση ενός μικρού τμήματος του εύρους ζώνης καναλιού (λιγότερο από 3%), για την υποβολή των αιτήσεων στην ανερχόμενη ζεύξη (uplink channel) από τερματικούς σταθμούς που επιθυμούν να αποκτήσουν χρονοθυρίδες είναι συνήθως αρκετή για την υψηλή απόδοση του συστήματος.

2.1 Το μοντέλο σφαλμάτων του καναλιού

Το πιο γνωστό και ευρέως χρησιμοποιούμενο μοντέλο προσομοίωσης των σφαλμάτων σε ασύρματο κανάλι είναι το μοντέλο Gilbert-Elliot [26, 27]. Πρόκειται για ένα Μαρκοβιανό μοντέλο δύο καταστάσεων, όπου το κανάλι εναλλάσσεται μεταξύ «καλής» και «κακής» κατάστασης. Με τον όρο «καλή κατάσταση» εννοούμε την απουσία θορύβου στο κανάλι και με τον όρο «κακή κατάσταση» αναφερόμαστε στην ύπαρξη θορύβου στο κανάλι.

Μια μετάδοση πακέτου θεωρείται επιτυχημένη εφόσον βρισκόμαστε στην «καλή κατάσταση», διαφορετικά θεωρούμε ότι το πακέτο χτυπήθηκε από θόρυβο κι επομένως καταστράφηκε.

Η πιθανότητα να βρεθούμε στην «κακή κατάσταση» δεδομένου ότι βρισκόμαστε στην «καλή κατάσταση» είναι $P_{\text{good-bad}} = 0,0000086$.

Η πιθανότητα να βρεθούμε στην «καλή κατάσταση» δεδομένου ότι βρισκόμαστε στην «κακή κατάσταση» είναι $P_{\text{bad-good}} = 0,172$.

Η steady-state πιθανότητα να βρίσκεται το κανάλι σε «καλή κατάσταση» είναι $P_{\text{good}} = 0,99995$ και η steady-state πιθανότητα να βρίσκεται το κανάλι σε «κακή κατάσταση» είναι $P_{\text{bad}} = 0,00005$.

Ο λόγος που επιλέγουμε αυτή την τιμή του P_{bad} είναι ότι θεωρούμε πως οι χρήστες βίντεο έχουν πολύ υψηλές απαιτήσεις QoS και δεν μπορούν να χάνουν πάνω από 0.01% των πακέτων τους. Συνεπώς, αν το P_{bad} γίνει μεγαλύτερο από 0.0001 τότε αυτομάτως το QoS των βίντεο χρηστών παραβιάζεται, ακόμα και με ιδανική χρησιμοποίηση του bandwidth του καναλιού.

Όταν υπάρχει θόρυβος, οποιοδήποτε πακέτο πρόκειται να μεταδοθεί καταστρέφεται. Αν πρόκειται για πακέτο φωνής ή βίντεο προστίθεται στα χαμένα πακέτα, ενώ αν είναι πακέτο δεδομένων (πιο συγκεκριμένα, e-mail, στην εργασία μας) πρέπει να επαναμεταδοθεί.

2.2 Η γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών

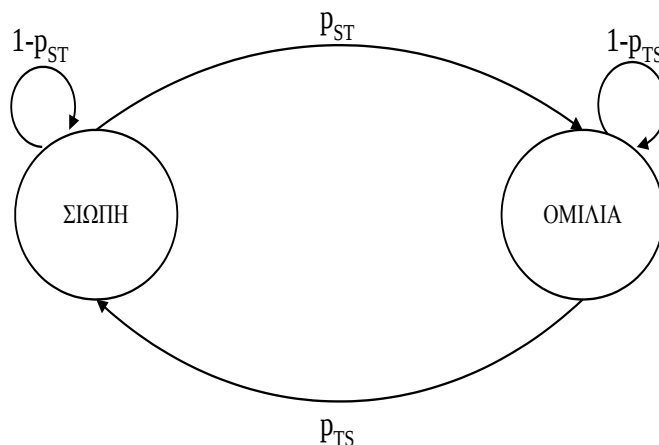
Η γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση του μηχανισμού CAC είναι η **Mersenne twister**.

Η Mersenne twister αναπτύχθηκε το 1997 από τον Makoto Matsumoto και τον Takuji Nishimura και βασίζεται σε ένα πίνακα γραμμικής επανάληψης πάνω από ένα πεπερασμένο δυαδικό πεδίο F_2 . Παρέχει ταχεία παραγωγή πολύ υψηλής ποιότητας ψευδοτυχαίων αριθμών, ενώ σχεδιάστηκε ειδικά για να διορθώσει πολλά από τα ελαττώματα που βρέθηκαν σε προγενέστερους αλγορίθμους. Για μήκος λέξης k-bit, η Mersenne Twister παράγει αριθμούς με σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή στο διάστημα $[0, 2^k-1]$. Η Mersenne twister συχνά είναι η νούμερο ένα επιλογή σε πολλές εφαρμογές. Για παράδειγμα είναι η προεπιλεγμένη γεννήτρια στις γλώσσες προγραμματισμού **R**, **Maple**, **MATLAB**, **Gretl**, **Python** και **Ruby**.

2.3 Το μοντέλο για την κίνηση φωνής

Οι βασικές μας υποθέσεις για το μοντέλο της κίνησης της φωνής είναι εξής:

1. Τα τερματικά φωνής είναι εφοδιασμένα με έναν ανιχνευτή δραστηριότητας φωνής [28]. Οι πηγές φωνής ακολουθούν ένα σχήμα μεταβάσεων μεταξύ περιόδων ομιλίας (talkspurt) και σιωπής (silence), δηλαδή ένα σχήμα on-off. Η έξοδος του ανιχνευτή δραστηριότητας φωνής μοντελοποιείται από μια Μαρκοβιανή αλυσίδα διακριτού χρόνου και δύο καταστάσεων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Το Μαρκοβιανό μοντέλο για την δραστηριότητα των πηγών φωνής.

2. Ο αριθμός των ενεργών τερματικών φωνής N , στο σύστημα θεωρείται σταθερός κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Αυτή η υπόθεση γίνεται επειδή οι αλλαγές στον αριθμό των

κλήσεων στο σύστημα συνήθως γίνονται σε χρόνους της τάξης των δεκάδων δευτερόλεπτων, ενώ η διάρκεια του πλαισίου είναι της τάξης των δεκάδων ms.

3. Όλες οι μεταβολές κατάστασης των πηγών φωνής (π.χ., από ομιλία σε σιωπή) λαμβάνουν χώρα στα όρια μεταξύ του τέλους ενός πλαισίου και της αρχής του επόμενου. Η υπόθεση αυτή είναι σχετικά ακριβής, αν λάβουμε υπ' όψιν μας ότι η διάρκεια ενός πλαισίου είναι ίση με 12 ms, ενώ η μέση διάρκεια των περιόδων ομιλίας και σιωπής υπερβαίνει το 1 sec (1 sec και 1.35 sec, αντίστοιχα).

4. Το όριο για την καθυστέρηση ενός πακέτου φωνής είναι ίσο με 40 ms. Αν ένα πακέτο δεν μεταδοθεί εντός του ορίου αυτού, πετιέται. Η μέγιστη επιτρεπτή απώλεια πακέτων φωνής (packet dropping probability, P_{drop}) είναι ίση με 1% [28, 29].

5. Οι δεσμευμένες χρονοθυρίδες ελευθερώνονται αυτόματα. Αυτό σημαίνει ότι ένα τερματικό φωνής το οποίο έχει δεσμεύσει μια χρονοθυρίδα ενημερώνει τον σταθμό βάσης αμέσως μετά το τέλος της περιόδου ομιλίας του.

6. Ο ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας κάθε χρήστη φωνής είναι 32 kbps. Μαζί με την πρόσθετη πληροφορία από την κεφαλίδα και ουρά των μεταδιδόμενων πακέτων προκύπτει ρυθμός μετάδοσης κάθε τερματικού φωνής ίσος με 35.33 kbps. Ένα τερματικό είναι ενεργό κατά μέσο όρο στο 42.5% (1/2.35 sec) του συνολικού χρόνου. Επομένως ο μέσος ρυθμός μετάδοσης ενός τερματικού ισούται με $35.33 \cdot 0.425 = 15.015$ kbps.

Κατά συνέπεια, ο CAC μηχανισμός μας θεωρεί ότι ένα τερματικό φωνής που στέλνει αίτηση σύνδεσης στο δίκτυο πρόκειται να δεσμεύσει από το κανάλι ρυθμό ίσο με 15.015 Kbps.

2.4 Το μοντέλο για την κίνηση email

Χρησιμοποιούμε ένα μοντέλο για την κίνηση δεδομένων που βασίζεται στην χρήση email από Πανεπιστήμια της Φινλανδίας. Τα δεδομένα συνέλεξε το FUNET (Finish University and Research Network) [44]. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f(x)$ για το μήκος των μηνυμάτων δεδομένων βρέθηκε ότι μπορεί να περιγραφεί από την κατανομή *Cauchy* (0.8,1). Ο χρόνος ανάμεσα στις αφίξεις πακέτων στο μοντέλο του FUNET είναι εκθετικά κατανομημένος. Οι αφίξεις των e-mail ακολουθούν κατανομή *Poisson*. Ο μέσος αριθμός πακέτων που μεταδίδει ένας χρήστης e-mail είναι 80 πακέτα (θεωρούμε ότι τα e-mails περιέχουν μόνο κείμενο, όχι επισυνάψεις).

Θεωρούμε πως οι χρήστες email έχουν ένα αυστηρό άνω όριο επιτρεπτής καθυστέρησης στην μετάδοση των μηνυμάτων τους, ίσο με 5 δευτερόλεπτα. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε ένα τόσο αυστηρό όριο είναι ότι εκτιμούμε πως οι απαιτήσεις σε QoS των χρηστών που

βρίσκονται εν κινήσει θα είναι παρόμοιες με εκείνες που χαρακτηρίζουν την αποστολή μηνυμάτων SMS.

2.5 Ταινίες mpeg-4

Η καινοτομία του προτύπου mpeg-4 [34] σε σχέση με τα πρότυπα-προκατόχους του mpeg-1 και mpeg-2, είναι η ικανότητα του να αναπαριστά μια σκηνή ως ένα σύνολο οπτικοακουστικών αντικειμένων. Με το mpeg-4 είναι εφικτή η διάσπαση μιας σκηνής σε ξεχωριστά αντικείμενα ήχου, βίντεο, εικόνας, γραφικών και κειμένου καθώς και η πολύπλεξη και ο συγχρονισμός των αντικειμένων αυτών. Το πρότυπο mpeg-4 δεν είναι στενά συνδεδεμένο με συγκεκριμένες εφαρμογές, αντίθετα ενσωματώνει εργαλεία κωδικοποίησης, πολυπλεξίας και παρουσίασης τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν μια ευρεία γκάμα εφαρμογών.

Επιπλέον το mpeg-4 παρέχει προσαρμοστικότητα στις μεταβολές του θορύβου των ασύρματων δικτύων, κωδικοποίηση διαφορετικών μορφών βίντεο αντικειμένων, καθώς και την ικανότητα της τυχαίας πρόσβασης σε αντικείμενα μιας βίντεο σκηνής και διαχείρισής τους.

Στη παρούσα εργασία η προσομοίωση της ροής δεδομένων των βίντεο χρηστών έγινε με τη χρήση βίντεο πλαισίων (video frames) που προέρχονται από πραγματικές ταινίες mpeg-4, οι οποίες είναι διαθέσιμες online [31, 32]. Οι αφίξεις των χρηστών βίντεο γίνονται με Poisson κατανομή ενώ η παραμονή τους στο σύστημα προσομοιώνεται με την κατανομή Weibull με μέση τιμή 10 λεπτά και διασπορά 5 λεπτά (στην αναφορά [33] γίνεται εκτίμηση ότι οι περισσότεροι χρήστες κινητών εφαρμογών βίντεο θα χρησιμοποιούν την υπηρεσία είτε για τρία ως πέντε λεπτά είτε για είκοσι έως τριάντα λεπτά).

Οι απαιτήσεις των χρηστών βίντεο σε Quality of Service (QoS) είναι ότι ένα πακέτο βίντεο πρέπει να μεταδοθεί μέσα σε 40 ms (δηλαδή μέχρι την έλευση του επόμενου video frame). Αν ένα πακέτο δεν μεταδοθεί εντός του ορίου αυτού, πετιέται. Η μέγιστη επιτρεπτή απώλεια πακέτων βίντεο (packet dropping probability, P_{drop}) είναι ίση με 0.01% [29].

Οι ταινίες που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση των βίντεο χρηστών είναι έξι (Silence of the Lambs, Star Wars IV, Die Hard III, Robin Hood, Simpsons, Formula1, τις οποίες αντιστοιχίζουμε στους αριθμούς 1 έως 6). Για κάθε ταινία μελετήθηκαν τρεις τύποι ποιότητας: υψηλή ποιότητα (High Quality, HQ), μεσαία ποιότητα (Medium Quality, MQ) και χαμηλή ποιότητα (Low Quality, LQ). Οι στατιστικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε ταινία είναι ο μέσος ρυθμός μετάδοσης bit, μέσος ρυθμός διακύμανσης bit και η μέγιστη τιμή του ρυθμού μετάδοσης bit..

Οι παραπάνω τιμές απεικονίζονται στον Πίνακα 1. Επιπλέον στον Πίνακα 2 παρατίθενται οι τιμές του αριθμού των frames της κάθε ταινίας, καθώς και του αντίστοιχου μεγέθους και διάρκειας της κάθε ταινίας.

Movies	Average Bit Rate (Mbps)			Variance Bit Rate (Mbps)			Peak Bit Rate (Mbps)		
	HQ	MQ	LQ	HQ	MQ	LQ	HQ	MQ	LQ
1	0,58	0,18	0,11	0,208	0,044	0,031	4,4	2,4	2,3
2	0,28	0,078	0,053	0,033	0,008	0,008	1,9	0,94	0,94
3	0,7	0,25	0,15	0,196	0,044	0,034	3,4	1,6	1,6
4	0,91	0,33	0,19	0,212	0,052	0,052	3,3	2	2
5	1,3	0,42	0,23	0,288	0,104	0,104	8,8	4,4	4
6	0,84	0,29	0,17	0,124	0,034	0,038	2,9	1,4	1,4

Πίνακας 1. Στατιστικές τιμές ταινιών.

Movies	Number of Frames			File Size (MB)			Run Time (sec)
	HQ	MQ	LQ	HQ	MQ	LQ	
1	89998	89998	89998	260	79	48	3600
2	89998	89998	89998	120	35	24	3600
3	89998	89998	89998	310	110	69	3600
4	89998	89998	89798	410	150	84	3600
5	30334	30335	30335	200	64	35	1200
6	44998	44998	44998	190	66	39	1800

Πίνακας 2. Επιπλέον χαρακτηριστικά των ταινιών που χρησιμοποιήθηκαν.

3. Ο μηχανισμός CAC

Οι περισσότεροι πάροχοι ασύρματων υπηρεσιών έχουν υιοθετήσει συμβόλαια διαφοροποιημένων υπηρεσιών (differentiated service contracts), βάσει των απαιτήσεων QoS που έχει και για τις οποίες είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο κάθε χρήστης.

Ο μηχανισμός CAC που σχεδιάστηκε και μελετήθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας λειτουργεί πάνω στη λογική των συμβολαίων διαφοροποιημένων υπηρεσιών, και θεωρεί πως υπάρχουν χρήστες βίντεο που λαμβάνουν ταινίες σε διαφορετικές ποιότητες, καθώς και ότι σε κάθε κατηγορία (HQ, MQ, LQ) χρήστη ένα ποσοστό των χρηστών δέχεται την υποβάθμιση της ποιότητας της παρεχόμενης υπηρεσίας (με αντάλλαγμα μικρότερο οικονομικό κόστος) ενώ το υπόλοιπο ποσοστό δεν δέχεται καμία μεταβολή στην παρεχόμενη

ποιότητα. Ο μηχανισμός CAC επιχειρεί να εκμεταλλευθεί την ύπαρξη χρηστών που δέχονται να «υποβαθμισθούν», ώστε να αυξήσει τον αριθμό των χρηστών που γίνονται δεκτοί στο σύστημα. Χωρίς απώλεια της γενικότητας, θεωρήσαμε πως σε κάθε κατηγορία χρηστών ποσοστό ίσο με 50% δέχεται υποβάθμιση.

Ο αλγόριθμός μας ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία για τους χρήστες βίντεο:

1. Κάθε ένα δευτερόλεπτο γίνεται έλεγχος για την ύπαρξη νέων αιτήσεων χρηστών βίντεο. Για κάθε χρήστη βίντεο που επιχειρεί να μπει στο σύστημα επιλέγεται μια ταινία από τις 6 διαθέσιμες. Η επιλογή γίνεται με ίση πιθανότητα (1/6).
2. Η ποιότητα της συγκεκριμένης ταινίας επιλέγεται να είναι υψηλή, μεσαία ή χαμηλή, με πιθανότητες 10%, 40% και 50% αντίστοιχα.
3. Με πιθανότητα 50% (νόμισμα ίσης πιθανότητας) ο χρήστης χαρακτηρίζεται ως δεχόμενος υποβάθμιση ή όχι.
4. Ο CAC μηχανισμός καλείται να υπολογίσει ποιο θα είναι το ισοδύναμο bandwidth που πρόκειται να δεσμευτεί από τους χρήστες βίντεο, μαζί με την προσθήκη του χρήστη που αιτείται την είσοδο του στο σύστημα. Το ισοδύναμο bandwidth υπολογίζεται από τον τύπο που προτάθηκε στο [10] και έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα στην σχετική βιβλιογραφία:

$$t \sqrt{\sum_i \sigma_i^2} + \sum_i \mu_i < BW \quad (1)$$

Η σταθερά t ορίζεται ως $h(t) = 1 - \text{PLR}$, όπου

PLR: αποδεκτός ρυθμός απώλειας πακέτων

BW: διαθέσιμο εύρος ζώνης

h : αθροιστική κανονικοποιημένη κανονική κατανομή (cumulative normalized normal distribution)

σ_i^2 : διασπορά i ταινίας

μ_i : μέση τιμή i ταινίας

Η μέση τιμή και η διασπορά κάθε ταινίας είναι γνωστές πριν γίνει η είσοδος κάποιου χρήστη στο σύστημα.

Ο τύπος (1) συχνά οδηγεί σε έναν αρκετά συντηρητικό CAC μηχανισμό. Όπως έχει δείχθει στο [16], στην περίπτωση ταινιών βιντεοδιάσκεψης, ο παραπάνω τύπος υπερεκτιμά σημαντικά το bandwidth που πραγματικά θα χρειασθεί να δεσμεύσουν οι χρήστες βίντεο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να εξυπηρετούνται καλά όσοι χρήστες μπαίνουν στο σύστημα (σχεδόν μηδενική απώλεια πακέτων), αλλά λειτουργεί εις βάρος της επιθυμητής μεγιστοποίησης του αριθμού των χρηστών που μπαίνουν στο

σύστημα, και του throughput του δικτύου. Στα πλαίσια της εργασίας μας, εξετάζουμε κατά πόσον τα αποτελέσματα στο [16] όσον αφορά στην συντηρητικότητα του παραπάνω τύπου επαληθεύονται για ταινίες mpeg-4 γενικού περιεχομένου, όπως αυτές που εξετάζουμε εδώ (οι ταινίες βίντεοδιάσκεψης έχουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως σχετικά χαμηλή διασπορά, πολύ υψηλό βαθμό αυτοσυσχέτισης, κλπ., με συνέπεια να μην μπορούν να οδηγήσουν σε ασφαλή γενικά συμπεράσματα). Επίσης, η ερευνητική εργασία στο [35] πρότεινε μια νέα προσέγγιση για μηχανισμούς CAC που εφαρμόζονται πάνω σε κίνηση βίντεοδιάσκεψης, η οποία προϋποθέτει όμως την δυνατότητα να μοντελοποιηθεί με ακρίβεια η κίνηση βίντεο από μοντέλα που έχουν χαμηλή υπολογιστική πολυπλοκότητα. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην αντιμετώπιση του προβλήματος της σχεδίασης ενός μηχανισμού CAC για κίνηση πολυμέσων ελλείπει ακριβούς μοντέλου για την κίνηση βίντεο.

5. Εάν το ισοδύναμο bandwidth της υπέρθεσης των ταινιών που προκύπτει από τον παραπάνω τύπο δεν ξεπερνά το διαθέσιμο bandwidth που έχει παραχωρηθεί από το δίκτυο για την μετάδοση των ταινιών, ο χρήστης εισέρχεται επιτυχώς στο σύστημα.

Διαφορετικά υπάρχουν δυο ενδεχόμενα:

- α. Το συμβόλαιο του χρήστη επιτρέπει την υποβάθμισή του. Αν ο χρήστης είναι HQ, μετατρέπεται σε MQ, ενώ αν είναι MQ μετατρέπεται σε LQ. Στην περίπτωση ενός χρήστη LQ δεν μπορεί να εφαρμοστεί υποβάθμιση επομένως ο χρήστης δεν εισέρχεται στο δίκτυο. Εφόσον πραγματοποιηθεί η υποβάθμιση επαναλαμβάνουμε την διαδικασία της παραγράφου 4 και στη συνέχεια ελέγχουμε ξανά εάν το ισοδύναμο bandwidth της υπέρθεσης των ταινιών δεν ξεπερνά το διαθέσιμο bandwidth του δικτύου. Εάν η παραπάνω υπόθεση ισχύει ο υποβαθμισμένος χρήστης εισέρχεται στο δίκτυο, διαφορετικά η αίτησή του απορρίπτεται. Όπως θα δούμε παρακάτω, στα κεφάλαια όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εργασίας μας, εξετάσαμε δύο διαφορετικές μεθόδους υποβάθμισης των χρηστών.
 - β. Το συμβόλαιο του χρήστη δεν μας επιτρέπει να τον υποβαθμίσουμε. Σε αυτή την περίπτωση η αίτηση του χρήστη απορρίπτεται.
6. Ο προτεινόμενος μηχανισμός CAC προσφέρει και την δυνατότητα αναβάθμισης ενός χρήστη, με στόχο την βελτίωση της ποιότητας της εμπειρίας (Quality of Experience, QoE) του χρήστη, αλλά και την αύξηση του throughput του δικτύου. Εφ' όσον ο χρήστης βίντεο καταφέρει να μπει στο δίκτυο, ο CAC ελέγχει εάν η τρέχουσα χρήση του bandwidth του δικτύου είναι αρκετά χαμηλή ώστε να μπορεί ο χρήστης να αναβαθμιστεί. Η αναβάθμιση ενός χρήστη, όπως και η υποβάθμιση, μπορεί να γίνει κατά ένα επίπεδο μόνο.

3.1 Αντιμετώπιση χρηστών προερχόμενων από handoff

Ο όρος handoff αναφέρεται στη διαδικασία μεταφοράς μιας κλήσης σε εξέλιξη από μια κυψέλη του δικτύου σε μια άλλη. Όταν το κινητό τερματικό απομακρύνεται από την περιοχή που καλύπτει μια κυψέλη και εισέρχεται σε περιοχή κάλυψης από άλλη κυψέλη, η κλήση μεταφέρεται στη δεύτερη κυψέλη προκειμένου να αποφευχθεί ο τερματισμός της κλήσης. Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε την περίπτωση όπου κάποιος χρήστης βρίσκεται σε ένα αυτοκίνητο το οποίο κινείται με μεγάλη ταχύτητα διασχίζοντας διαφορετικές περιοχές κάλυψης. Όπως είναι φυσικό, ο χρήστης περιμένει η κλήση που έχει πραγματοποιήσει να μην διακοπεί. Αυτό πρέπει να διασφαλισθεί μέσω της λειτουργίας του μηχανισμού CAC.

Με δεδομένο ότι την περασμένη δεκαετία έχει γίνει εκτενής μελέτη στην βιβλιογραφία, τόσο σε επίπεδο Ελέγχου Πρόσβασης στο Μέσο (Medium Access Control, MAC) όσο και σε CAC για την κίνηση φωνής, η δική μας μελέτη για την αντιμετώπιση του handoff επικεντρώθηκε στους χρήστες μηνυμάτων e-mail και τους χρήστες ταινιών MPEG-4. Θεωρήσαμε ότι το ποσοστό των χρηστών που μπαίνουν σε handoff είναι το 10% της συνολικής κίνησης.

Στην περίπτωση των handoff χρηστών δεδομένων (e-mails) ο CAC μηχανισμός ελέγχει εάν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth ώστε ο χρήστης να εισέλθει στο σύστημα. Αν ναι, τότε ο χρήστης εισέρχεται επιτυχώς. Διαφορετικά, ο CAC ψάχνει να βρει ενεργούς χρήστες βίντεο που, βάσει συμβολαίου, αποδέχονται υποβάθμιση της ποιότητάς τους. Κάθε φορά που εντοπίζεται ένας τέτοιος χρήστης, ο αλγόριθμος τον υποβαθμίζει και ελέγχεται από την αρχή εάν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth. Η παραπάνω διαδικασία των υποβαθμίσεων συνεχίζεται μέχρι να δημιουργηθεί επαρκές bandwidth έτσι ώστε ο χρήστης να καταφέρει να μπει στο σύστημα. Στην περίπτωση που υποβαθμισθούν όλοι οι χρήστες που ανέχονται υποβάθμιση βάσει συμβολαίου και το bandwidth εξακολουθεί να μην επαρκεί για την είσοδο του χρήστη δεδομένων, η κλήση handoff τερματίζεται.

Στην περίπτωση των handoff χρηστών βίντεο, ο CAC μηχανισμός ελέγχει και πάλι εάν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth ώστε ο χρήστης να εισέλθει στο σύστημα. Αν ναι, τότε ο χρήστης εισέρχεται επιτυχώς. Διαφορετικά ο CAC ελέγχει εάν ο χρήστης αποδέχεται υποβάθμιση, βάσει συμβολαίου. Αν ναι, ο χρήστης υποβαθμίζεται και ο CAC ελέγχει ξανά εάν ο χρήστης χωράει να μπει στο σύστημα. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν δυο ενδεχόμενα: είτε ο χρήστης να καταφέρει να μπει στο σύστημα επιτυχώς, είτε να ξεκινήσει ένας καινούργιος κύκλος υποβαθμίσεων.

Στην περίπτωση που ο χρήστης δεν μπορεί να υποβαθμιστεί ή στην περίπτωση που αποδεχτεί την υποβάθμιση αλλά και πάλι δεν μπορεί να εισέλθει μέσα στο σύστημα λόγω ελλειπών bandwidth, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία.

Ο CAC μηχανισμός ψάχνει να βρει χρήστες βίντεο που στο συμβόλαιο τους αποδέχονται υποβάθμιση της ποιότητας των ταινιών που μεταδίδουν. Κάθε φορά που εντοπίζεται ένας

τέτοιος χρήστης, ο αλγόριθμος τον υποβαθμίζει και ελέγχεται από την αρχή εάν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth. Η παραπάνω διαδικασία των υποβαθμίσεων συνεχίζεται μέχρι να δημιουργηθεί επαρκές bandwidth έτσι ώστε ο χρήστης να καταφέρει να μπει στο σύστημα. Στην περίπτωση που υποβαθμισθούν όλοι οι χρήστες που ανέχονται υποβάθμιση βάσει συμβολαίου και το bandwidth εξακολουθεί να μην επαρκεί για την είσοδο του χρήστη βίντεο, η κλήση handoff τερματίζεται.

3.2 Οι δύο διαφορετικοί τρόποι υποβάθμισης χρηστών

Εξετάσαμε δύο διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους είναι δυνατή η υποβάθμιση των χρηστών βίντεο.

Στην πρώτη περίπτωση, για κάθε ταινία υπάρχουν τρία διαφορετικά αρχεία, που αντιστοιχούν στην HQ, MQ και LQ μορφή της ταινίας, όπως εμφανίζονται στο [32]. Στην περίπτωση που κάποιος χρήστης βίντεο υποβαθμισθεί, ο χρήστης λαμβάνει το επόμενο frame της ταινίας από το trace file που περιέχει την ίδια ταινία αλλά στην αμέσως κατώτερη ποιότητα.

Το παραπάνω είναι θεωρητικά εφικτό, αλλά στην πράξη δύσκολα υλοποιήσιμο. Ο λόγος είναι ότι θα πρέπει κάθε ταινία που επιθυμεί να δει ο χρήστης να είναι cached μέσα σε κάθε κυψέλη (ή έστω σε γειτονική κυψέλη) σε 3 διαφορετικές μορφές, ώστε να γίνεται άμεσα η μετάβαση μεταξύ διαφορετικών ποιότητων. Για τον λόγο αυτό βασιστήκαμε στην δομή του MPEG-4 ώστε να προτείνουμε έναν δεύτερο, πρακτικότερο τρόπο υποβάθμισης της ποιότητας του λαμβανόμενου βίντεο.

Γνωρίζουμε ότι μέσα σε ένα Group of Pictures (GoP) του MPEG-4 υπάρχουν τρία είδη από video frames, τα I, P και B. Τα B δεν έχουν αλληλεξάρτηση με άλλα frames μέσα στο ίδιο GoP, επομένως εάν πεταχτούν τα B frames δεν επηρεάζονται τα I και P. Αν πεταχτούν τα P frames επηρεάζονται τα B, κι αν πεταχτεί το I frame είναι ανώφελη όλη η υπόλοιπη πληροφορία του GoP. Κατά συνέπεια, υλοποιήσαμε την παρακάτω μέθοδο ώστε να είναι δυνατή η υποβάθμιση των χρηστών με την χρήση ενός και μόνο video trace, σε μορφή HQ:

Ένας HQ χρήστης λαμβάνει όλα τα video frames της ταινίας. Ένας MQ χρήστης λαμβάνει όλα τα I και P frames της ταινίας (τα B frames πετιούνται). Ένας LQ χρήστης λαμβάνει μονάχα τα I frames της ταινίας (τα P και B frames πετιούνται, δηλαδή ο χρήστης λαμβάνει μονάχα την απολύτως βασική πληροφορία από κάθε GoP).

Κατά την υλοποίηση της δεύτερης αυτής προσέγγισης, είναι απαραίτητος ο επαναυπολογισμός των στατιστικών παραμέτρων που απαιτούνται για την χρήση του τύπου (1), ώστε να υπολογισθεί το ισοδύναμο bandwidth των ταινιών ποιότητας MQ και LQ.

4. Αποτελέσματα και Συμπεράσματα

Οι προσομοιώσεις έγιναν σε υπολογιστή με επεξεργαστή Intel Core 2 Duo T9400.

Κάθε αποτέλεσμα το οποίο παρουσιάζεται στις επόμενες σελίδες, προέκυψε από το μέσο όρο της εκτέλεσης 10 προσομοιώσεων (Monte-Carlo simulation). Κάθε προσομοίωση έχει διάρκεια 300000 channel frames. Η διάρκεια ενός frame είναι 12 msec.

Μελετήσαμε την συμπεριφορά του CAC μηχανισμού μας στην περίπτωση της ταυτόχρονης χρήσης του καναλιού από χρήστες φωνής, μηνύματα email και ταινίες MPEG-4. Τα τελικά αποτελέσματα χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες (ανάλογα με τον τρόπο υποβάθμισης των χρηστών) ενώ κάθε κατηγορία χωρίζεται σε 3 ενότητες.

4.1 *Πρώτη Κατηγορία Αποτελεσμάτων*

Σε αυτήν τη κατηγορία θεωρούμε ότι κάθε ταινία είναι αποθηκευμένη μέσα σε κάθε κυψέλη σε 3 διαφορετικές μορφές ποιότητας, HQ, MQ και LQ. Στις ενότητες που ακολουθούν βασικό αντικείμενο μελέτης αποτέλεσαν: οι μετρικές απόδοσης του δικτύου όταν το κανάλι χρησιμοποιείται και από τα τρία είδη κίνησης, οι μετρικές απόδοσης όταν το κανάλι χρησιμοποιείται μόνο από τους χρήστες βίντεο και οι μετρικές που αφορούν στους χρήστες δεδομένων για έναν δεδομένο όγκο κίνησης φωνής και βίντεο.

4.1.1 *Αποτελέσματα για τους χρήστες φωνής, δεδομένων και βίντεο*

Προκειμένου να μελετήσουμε τη συμπεριφορά του δικτύου για διαφορετικά φορτία, χρησιμοποιήσαμε ρυθμούς μετάδοσης για φωνή, δεδομένα και βίντεο οι οποίοι αντιστοιχούν στο: 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%, 110%, 120%, 130%, 140% του bandwidth του καναλιού. Για παράδειγμα, το 40% σημαίνει ότι η κίνηση που γεννιέται κατά μέσο όρο στο κανάλι ισούται με 8 Mbps, εφ' όσον το εύρος ζώνης του καναλιού είναι 20 Mbps. Τα παραπάνω 11 ποσοστά αντιστοιχούν σε σενάρια κίνησης. Για κάθε ένα από τα σενάρια δημιουργήσαμε τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς κίνησης για φωνή, δεδομένα και βίντεο (κάθε συνδυασμός γεννάει το ίδιο φορτίο). Τα ποσοστά και όλοι οι συνδυασμοί τους απεικονίζονται στους Πίνακες 3 και 4, στους οποίους θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά παρακάτω. Σε όλα τα σενάρια έχουμε θεωρήσει ότι ο αριθμός των χρηστών φωνής είναι σταθερός σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Ο ρυθμός άφιξης των μηνυμάτων e-mail

μεταβάλλεται ανάλογα με το σενάριο, ενώ θεωρήσαμε έναν υψηλό μέσο ρυθμό άφιξης των χρηστών βίντεο σε όλα τα σενάρια, ίσο με 10 χρήστες ανά λεπτό.

Επιπλέον έχει οριστεί ένα κατώφλι για το bandwidth που μπορούν να καλύψουν οι χρήστες βίντεο. Αυτό σημαίνει ότι ο CAC αλγόριθμος επιτρέπει την είσοδο των χρηστών βίντεο στο δίκτυο μέχρι να καλυφτεί ένα συγκεκριμένο bandwidth, έπειτα από την κάλυψη του οποίου οι αιτήσεις των χρηστών βίντεο απορρίπτονται. Επομένως ο αριθμός των χρηστών βίντεο που βρίσκονται κάθε φορά μέσα στο σύστημα μεταβάλλεται, ενώ ο μέσος χρόνος παραμονής ενός χρήστη βίντεο μέσα στο δίκτυο είναι 10 λεπτά.

Για τον υπολογισμό του ισοδύναμου bandwidth της υπέρθεσης των ταινιών mpeg-4, γίνεται χρήση του τύπου (1).

Στον Πίνακα 3 απεικονίζονται όλα τα σενάρια των προσομοιώσεών μας που αντιστοιχούν στην γέννηση κίνησης με ρυθμό ίσο προς 40%-100% του bandwidth του καναλιού. Η παράμετρος “*Maximum Video Capacity*” του Πίνακα 3 δηλώνει το μέγιστο δυνατό bandwidth που μπορούν να δεσμεύσουν οι χρήστες βίντεο στο δίκτυο. Σε κάθε γραμμή του Πίνακα υπάρχει μια τιμή για το πραγματικό bandwidth που δεσμεύουν όλοι οι χρήστες του δικτύου και μια τιμή για την πρόβλεψη που κάνει ο αλγόριθμος CAC όσον αφορά το bandwidth που θα δεσμευθεί.

Προχωρούμε σε μια ποιοτική εξήγηση ενδεικτικών αποτελεσμάτων του Πίνακα 3.

Στην πρώτη γραμμή του Πίνακα βλέπουμε ότι το bandwidth που θεωρητικά θα δεσμευόταν από τα τρία είδη κίνησης είναι το 40% του δικτύου ($16\%+4\%+20\%$). Εξαιτίας της ύπαρξης του μηχανισμού CAC, ο οποίος, όπως και στο [16] αποδεικνύεται ιδιαίτερα συντηρητικός στις εκτιμήσεις του για τις ανάγκες των χρηστών βίντεο, το πραγματικό bandwidth που καταφέρνουν να δεσμεύσουν οι χρήστες είναι το 30%. Στις επόμενες γραμμές του Πίνακα παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το φορτίο της κίνησης από τους συνολικούς χρήστες του δικτύου η διαφορά μεταξύ του θεωρητικού bandwidth και του πραγματικού ξεπερνά το 10% και προσεγγίζει το 15%. Όταν δημιουργήσουμε ως είσοδο συνολικό φορτίο κίνησης που να αγγίζει το 100% του εύρους ζώνης του δικτύου, παρατηρούμε ότι έχουμε τις πρώτες παραβιάσεις των απαιτήσεων που έχουμε θέσει σε QoS. Συγκεκριμένα η μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση για την αποστολή ενός μηνύματος e-mail είναι 5 δευτερόλεπτα. Στην προτελευταία γραμμή του Πίνακα 3 βλέπουμε ότι για δύο μηνύματα e-mail παραβιάστηκε αυτή η απαίτηση. Επιπλέον παρατηρούμε ότι για συνολικό ποσοστό κίνησης του δικτύου ίσο με 100% έχουμε την εμφάνιση των πρώτων απωλειών στα πακέτα των χρηστών φωνής. Ωστόσο η απαίτηση σε QoS που έχουμε θέσει για τους χρήστες φωνής, είναι η απώλεια σε πακέτα να μην ξεπερνά το 1% της κίνησης. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το ποσοστό απωλειών είναι πολύ μικρότερο από 1%.

Ο συντηρητισμός του CAC φαίνεται ακόμα πιο ξεκάθαρα στον Πίνακα 4, όπου παρουσιάζουμε ξανά, στις τρεις πρώτες στήλες, τα ποσοστά του εύρους ζώνης του δικτύου

που επιδιώκουν να δεσμεύσουν τα τρία είδη κίνησης (φωνή, δεδομένα, βίντεο). Στις επόμενες τρεις στήλες φαίνονται τα ποσοστά του εύρους ζώνης του δικτύου που πραγματικά δεσμεύονται από τα τρία είδη κίνησης και είναι σημαντικά χαμηλότερα για τους χρήστες βίντεο και δεδομένων.

Number of Voice Users	Messages per second	Maximum Video Capacity (Mbps)	CAC Bandwidth Estimation (Mbps)	Real Bandwidth (Mbps)	Dropped Voice Packets (%)	Number of messages with excessive delay	Dropped Video Packets (%)
214 (16%)	24 (4%)	4 (20%)	7.891	5.924 (30%)	0	0	0
267 (20%)	24 (4%)	3.2 (16%)	7.909	6.236 (31%)	0	0	0
320 (24%)	24 (4%)	2.4 (12%)	7.916	6.552 (33%)	0	0	0
267 (20%)	30 (5%)	5 (25%)	9.875	7.610 (38%)	0	0	0
334 (25%)	30 (5%)	4 (20%)	9.905	7.947 (40%)	0	0	0
400 (30%)	30 (5%)	3 (15%)	9.908	8.294 (42%)	0	0	0
320 (24%)	36 (6%)	6 (30%)	11.85	9.280 (46%)	0	0	0
400 (30%)	36 (6%)	4.8 (24%)	11.88	9.674 (48%)	0	0	0
480 (36%)	36 (6%)	3.6 (18%)	11.90	10.07 (50%)	0	0	0
374 (28%)	42 (7%)	7 (35%)	13.84	11.04 (55%)	0	0	0
467 (35%)	42 (7%)	5.6 (28%)	13.88	11.42 (57%)	0	0	0
560 (42%)	42 (7%)	4.2 (21%)	13.89	11.89 (59%)	0	0	0
427 (32%)	48 (8%)	8 (40%)	15.82	12.73 (64%)	0	0	0
534 (40%)	48 (8%)	6.4 (32%)	15.87	13.18 (66%)	0	0	0
640 (48%)	48 (8%)	4.8 (24)	15.90	13.71 (68%)	0	0	0
480 (36%)	54 (9%)	9 (45%)	17.79	14.49 (72%)	0	0	0
600 (45%)	54 (9%)	7.2 (36%)	17.86	15.00 (75%)	0	0	0
720 (54%)	54 (9%)	5.4 (27%)	17.91	15.48 (77%)	0	0	0
534 (40%)	59 (10%)	10 (50%)	19.63	16.13 (81%)	0.000046	0	0
667 (50%)	59 (10%)	8 (40%)	19.71	16.61 (83%)	0.000062	1	0
800 (60%)	59 (10%)	6 (30%)	19.76	17.15 (86%)	0.000091	1	0

Πίνακας 3. Σενάρια προσομοιώσεων με φορτία 40%-100% του συνολικού εύρους ζώνης.

Number of Voice Users	Messages per second	Maximum Video Capacity (Mbps)	Voice Real Bandwidth	Data Real Bandwidth	Video Real Bandwidth
214 (16%)	24 (4%)	4 (20%)	16.09%	4.079%	9.448%
267 (20%)	24 (4%)	3.2 (16%)	20.08%	4.058%	7.040%
320 (24%)	24 (4%)	2.4 (12%)	24.05%	4.068%	4.642%
267 (20%)	30 (5%)	5 (25%)	20.07%	5.065%	12.91%
334 (25%)	30 (5%)	4 (20%)	25.12%	5.141%	9.467%
400 (30%)	30 (5%)	3 (15%)	30.06%	5.143%	6.266%
320 (24%)	36 (6%)	6 (30%)	24.07%	6.130%	16.20%
400 (30%)	36 (6%)	4.8 (24%)	30.09%	6.083%	12.20%
480 (36%)	36 (6%)	3.6 (18%)	36.09%	6.155%	8.126%
374 (28%)	42 (7%)	7 (35%)	28.10%	7.172%	19.94%
467 (35%)	42 (7%)	5.6 (28%)	35.11%	7.121%	14.88%
560 (42%)	42 (7%)	4.2 (21%)	42.11%	7.148%	10.17%
427 (32%)	48 (8%)	8 (40%)	32.10%	8.177%	23.36%
534 (40%)	48 (8%)	6.4 (32%)	40.16%	8.184%	17.57%
640 (48%)	48 (8%)	4.8 (24)	48.11%	8.179%	12.24%
480 (36%)	54 (9%)	9 (45%)	36.09%	9.135%	27.20%
600 (45%)	54 (9%)	7.2 (36%)	45.09%	9.156%	20.73%
720 (54%)	54 (9%)	5.4 (27%)	54.14%	9.189%	14.05%
534 (40%)	59 (10%)	10 (50%)	40.14%	9.153%	31.01%
667 (50%)	59 (10%)	8 (40%)	50.14%	9.434%	23.46%
800 (60%)	59 (10%)	6 (30%)	60.15%	9.485%	16.10%

Πίνακας 4. Bandwidth που πραγματικά δεσμεύεται από κάθε είδος κίνησης, με φορτία 40%-100% του συνολικού εύρους ζώνης.

Οι Πίνακες 5 και 6 παρουσιάζουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα με εκείνα τον Πινάκων 3 και 4, αλλά για συνολικό φορτίο κίνησης που επιχειρεί να εισέλθει στο δίκτυο μεγαλύτερο από το 100% του bandwidth του δικτύου (από 110% έως και 140%). Στον Πίνακα 5 αρχικά παρατηρούμε ότι για συνολικό φορτίο κίνησης ίσο με 110% έχουμε παραβιάσεις των απαιτήσεων QoS για τους χρήστες δεδομένων μόνο. Για συνολικό φορτίο κίνησης ίσο με 120% δεν έχουμε καμία παραβίαση σε QoS (αυτό θα εξηγηθεί παρακάτω), ενώ για συνολικό φορτίο κίνησης μεγαλύτερο του 120% έχουμε παραβίαση του QoS των χρηστών φωνής.

Το γεγονός ότι για φορτίο μεγαλύτερο ή ίσο του 120% δεν λαμβάνουν χώρα παραβιάσεις των απαιτήσεων QoS των χρηστών δεδομένων εξηγείται από τον Πίνακα 6, όπου βλέπουμε πως όταν το συνολικό φορτίο κίνησης ξεπεράσει το 110% το πραγματικό ποσοστό εύρους ζώνης που χρησιμοποιούν οι χρήστες δεδομένων πλησιάζει το μηδέν. Με άλλα λόγια δεν έχουμε

παραβιάσεις των απαιτήσεων QoS των χρηστών δεδομένων, γιατί στην ουσία ο αριθμός των χρηστών δεδομένων που τους επιτράπηκε η είσοδος μέσα στο δίκτυο είναι ελάχιστος.

Όσον αφορά στους χρήστες βίντεο, παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει παραβίαση των QoS απαιτήσεών τους. Αυτό το αποτέλεσμα οφείλεται σε δύο λόγους:

- a. Ο συντηρητισμός του αλγόριθμου CAC που οδηγεί σε δέσμευση πολύ μεγαλύτερου (έως 15%, δηλαδή 3 Mbps, όπως φαίνεται από τους Πίνακες) εύρους ζώνης από εκείνο που χρειάζονται οι χρήστες βίντεο. Αυτό σημαίνει πρακτικά πως, ακόμα και στις περιπτώσεις που κάποιος χρήστης βίντεο δεχθεί μια «έκρηξη» (burst) θα υπάρχει ελεύθερο bandwidth ώστε να ληφθεί εξ' ολοκλήρου η πληροφορία από τον χρήστη, χωρίς απώλεια πακέτων.
- b. Οι ταινίες mpeg-4 έχουν τη μεγαλύτερη προτεραιότητα μετάδοσης σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη κίνησης. Αυτό σημαίνει πως αφού μεταδοθούν όλα τα πακέτα των βίντεο χρηστών, η μετάδοση των πακέτων των χρηστών φωνής θα πραγματοποιηθεί στις χρονοθυρίδες που έχουν περισσέψει και τελευταία σε σειρά θα γίνει η μετάδοση των πακέτων των μηνυμάτων e-mail.

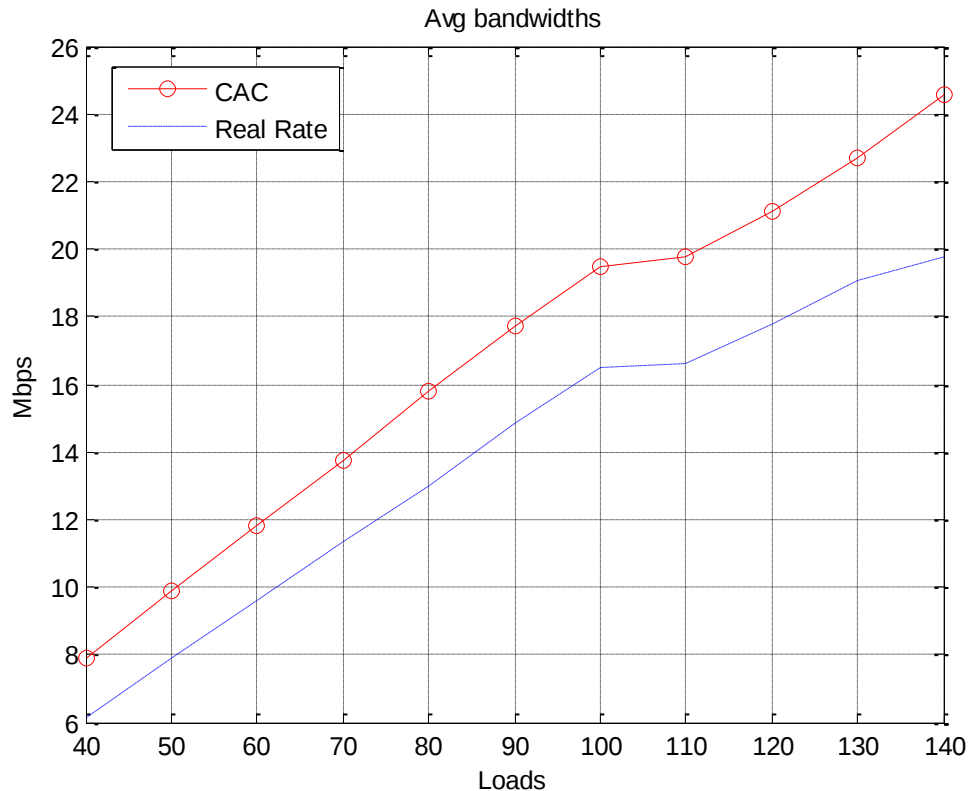
Number of Voice Users	Messages per second	Maximum Video Capacity (Mbps)	CAC Bandwidth Estimation (Mbps)	Real Bandwidth (Mbps)	Dropped Voice Packets (%)	Number of messages with excessive delay	Dropped Video Packets (%)
587 (44%)	65 (11%)	11 (55%)	19.87	16.23 (81%)	0.00045	1	0
734 (55%)	65 (11%)	8.8 (44%)	19.93	16.73 (84%)	0.00054	2	0
880 (66%)	65 (11%)	6.6 (33%)	19.95	17.18 (86%)	0.00097	1	0
640 (48%)	71 (12%)	12 (60%)	21.18	17.35 (87%)	0.02683	0	0
800 (60%)	71 (12%)	9.6 (48%)	21.31	17.91 (89%)	0.01830	0	0
960 (72%)	71 (12%)	7.2 (36%)	21.41	18.54 (93%)	0.03819	0	0
694 (52%)	77 (13%)	13 (65%)	22.90	18.84 (94%)	0.74800	0	0
867 (65%)	77 (13%)	10.4 (52%)	23.04	19.37 (97%)	1.16100	0	0
1040(78%)	77 (13%)	7.8 (39%)	23.17	19.80 (99%)	2.45400	0	0
747 (56%)	83 (14%)	14 (70%)	24.58	19.71 (98%)	6.92700	0	0
934 (70%)	83 (14%)	11.2 (56%)	24.80	19.90 (99%)	8.77600	0	0
1120(84%)	83 (14%)	8.4 (42%)	24.93	19.97 (100%)	10.6100	0	0

Πίνακας 5. Σενάρια προσομοιώσεων με φορτία 110%-140% του συνολικού εύρους ζώνης.

Number of Voice Users	Messages per second	Maximum Video Capacity (Mbps)	Voice Real Bandwidth	Data Real Bandwidth	Video Real Bandwidth
587 (44%)	65 (11%)	11 (55%)	44.13%	2.443%	34.57%
734 (55%)	65 (11%)	8.8 (44%)	55.19%	1.957%	26.50%
880 (66%)	65 (11%)	6.6 (33%)	66.15%	1.834%	17.92%
640 (48%)	71 (12%)	12 (60%)	48.12%	0.464%	38.13%
800 (60%)	71 (12%)	9.6 (48%)	60.16%	0.266%	29.09%
960 (72%)	71 (12%)	7.2 (36%)	72.16%	0.071%	20.36%
694 (52%)	77 (13%)	13 (65%)	51.83%	0.455%	41.93%
867 (65%)	77 (13%)	10.4 (52%)	64.43%	0.242%	32.18%
1040(78%)	77 (13%)	7.8 (39%)	76.28%	0.049%	22.58%
747 (56%)	83 (14%)	14 (70%)	52.27%	0.363%	45.90%
934 (70%)	83 (14%)	11.2 (56%)	64.05%	0.148%	35.24%
1120(84%)	83 (14%)	8.4 (42%)	75.30%	0.000%	24.51%

Πίνακας 6. Bandwidth που πραγματικά δεσμεύεται από κάθε είδος κίνησης, με φορτία 110%-140% του συνολικού εύρους ζώνης.

Στο σχήμα 2 παρουσιάζουμε γραφικά την εκτίμηση του CAC για το απαιτούμενο bandwidth (μέσος όρος των τριών συνδυασμών που δημιουργούν κάθε φορτίο) καθώς και το πραγματικό bandwidth που χρειάζονται οι χρήστες. Για μια ακόμα φορά είναι ξεκάθαρο από το σχήμα το πόσο συντηρητική είναι η εκτίμηση του μηχανισμού CAC. Φυσικά, αυτός ο συντηρητισμός έχει το πλεονέκτημα, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα στους Πίνακες 3-6, όσοι χρήστες επιτύχουν να μπουν στο δίκτυο να απολαμβάνουν πολύ υψηλό QoS, όμως ταυτόχρονα οδηγεί σε σημαντική υποχρησιμοποίηση του bandwidth του δικτύου.



Σχήμα 2. Σύγκριση ανάμεσα στα πραγματικά χρησιμοποιούμενο bandwidth και σε εκείνο που υπολογίζει ο μηχανισμός CAC, για διάφορα φορτία.

4.1.2 Αποτελέσματα για τους χρήστες βίντεο

Σε αυτή την ενότητα επικεντρωνόμαστε στην μελέτη της συμπεριφοράς των χρηστών βίντεο. Για τον λόγο αυτό, στις προσομοιώσεις που ακολουθούν θεωρούμε ότι το βίντεο είναι το μοναδικό είδος κίνησης. Συγκεκριμένα για κάθε δικτυακό φορτίο που μελετάμε, δημιουργούμε χρήστες τους οποίους εισάγουμε μέσα στο δίκτυο μέχρι ο αλγόριθμος CAC να αρχίσει να τους απορρίπτει όταν ξεπερνιέται το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο βίντεο κίνησης. Ο αριθμός των χρηστών, βέβαια, δεν παραμένει σταθερός κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης εφ' όσον οι χρήστες έχουν συγκεκριμένο χρόνο παραμονής μέσα στο δίκτυο. Το 10% των χρηστών βίντεο, σε κάθε προσομοίωση, θεωρούμε πως προέρχεται από κλήσεις handoff. Για κάθε χρήστη βίντεο που επιχειρεί να μπει στο σύστημα ο αλγόριθμος προσομοίωσης επιλέγει μια ταινία από τις 6 διαθέσιμες. Η επιλογή γίνεται με ίση πιθανότητα. Κάθε ταινία έχει τρεις δυνατές εκδοχές ποιότητας (High, Medium και Low Quality). Η επιλογή ποιότητας γίνεται με πιθανότητες 10%, 40% και 50% αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι η κίνηση των χρηστών βίντεο μπορεί να διαφοροποιείται σε κάθε προσομοίωση εξαιτίας της τυχαίας επιλογής ταινιών και ποιότητας της κάθε ταινίας.

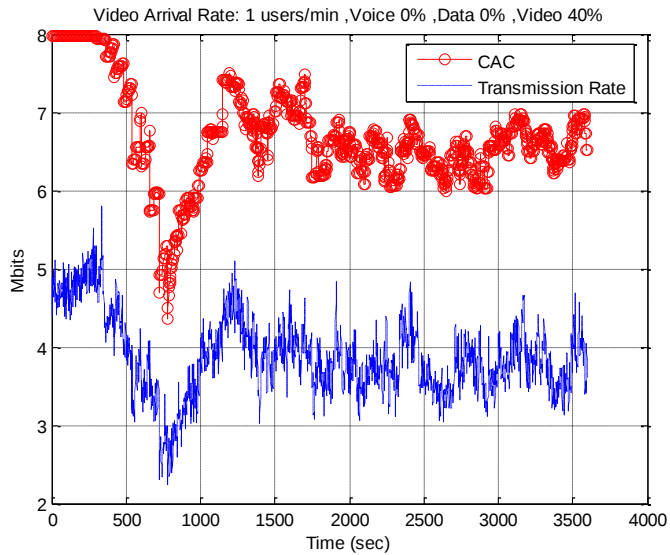
Οι γραφικές παραστάσεις υλοποιούνται για διαφορετικούς μέσους ρυθμούς άφιξης χρηστών βίντεο λ και διαφορετικά μέγιστα φορτία. Αρχικά επιλέγουμε ρυθμό άφιξης των χρηστών βίντεο και μέγιστο φορτίο ίσο με το 40% του καναλιού, δηλαδή 10 Mbps. Στη συνέχεια με τον ίδιο μέσο ρυθμό άφιξης αυξάνουμε το κατώφλι ανά 10%, μέχρι να φτάσει το 110% της χωρητικότητας καναλιού. Στον Πίνακα 7, όπου παρουσιάζουμε αποτελέσματα για ρυθμό άφιξης $\lambda=10$ χρήστες/λεπτό, παρατηρούμε ότι η αύξηση στο μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο βίντεο αυξάνει τον πραγματικό ρυθμό μετάδοσης και τον μέσο αριθμό χρηστών του δικτύου. Επιπλέον όπως είδαμε και στην προηγούμενη ενότητα, ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης των χρηστών απέχει αρκετά από αυτόν που υπολογίζει ο μηχανισμός CAC. Λόγω του συντηρητισμού του CAC, παρατηρούμε, συγκρίνοντας την πρώτη και την τέταρτη στήλη του Πίνακα 7, πως ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης υπολείπεται σημαντικά του μέγιστου επιτρεπτού φορτίου βίντεο. Για μια ακόμα φορά, βέβαια, ο συντηρητισμός του CAC οδηγεί σε μηδενική απώλεια πακέτων βίντεο για φορτίο έως και 70%. Για ποσοστό κάλυψης μεγαλύτερο από 90% έχουμε παραβίαση του QoS.

Maximum Allowed Video Load (Mbps)	Video Arrival Rate (λ) (users/min)	CAC Bandwidth Estimation (Mbps)	Real Bandwidth (Mbps)	Average Number of Users	Dropped Video Packets (%)
8 (40%)	10	7.932	4.832 (24%)	31	0
10 (50%)	10	9.809	6.352 (32%)	39	0
12 (60%)	10	11.78	7.927 (40%)	43	0
14 (70%)	10	13.74	9.637 (48%)	47	0
16 (80%)	10	15.64	11.36 (57%)	54	0.0002
18 (90%)	10	17.58	13.00 (65%)	59	0.0021
20 (100%)	10	19.48	14.78 (74%)	63	0.0571
22 (110%)	10	21.34	16.44 (82%)	69	0.3691

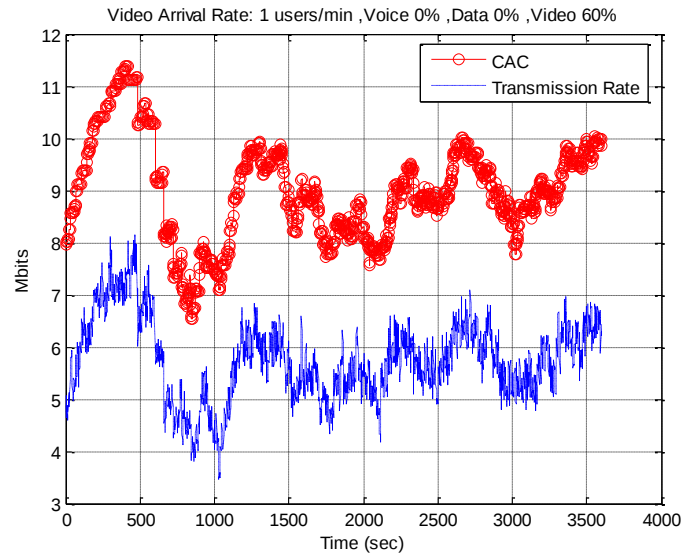
Πίνακας 7. Μέσος αριθμός ενεργών χρηστών στο σύστημα για $\lambda=10$ χρήστες/λεπτό.

Στα σχήματα 3-6, για ρυθμό άφιξης χρηστών βίντεο ίσο με 1 χρήστη/λεπτό και στα σχήματα 7-10, για ρυθμό άφιξης χρηστών βίντεο ίσο με 10 χρήστες/λεπτό παρουσιάζουμε δυο γραφικές παραστάσεις. Η μια αναπαριστά το bandwidth που χρησιμοποιείται πραγματικά από τους χρήστες του δικτύου κάθε δευτερόλεπτο και η άλλη το bandwidth που υπολογίζει ο

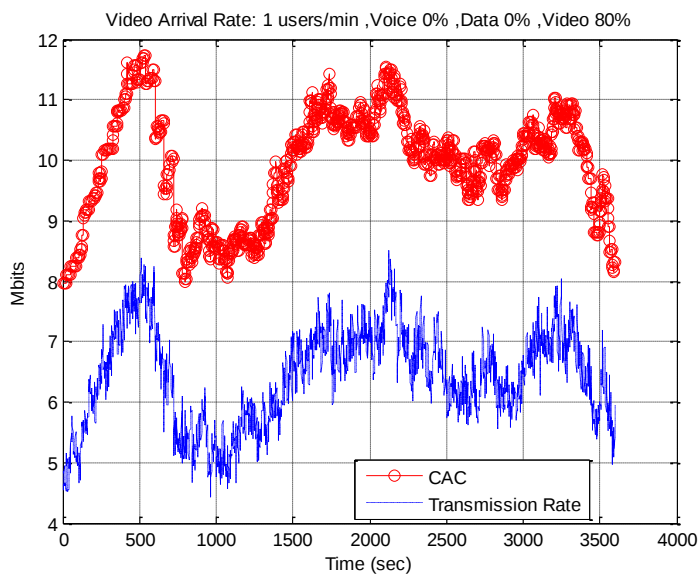
αλγόριθμος CAC. Σε όλα τα Σχήματα, ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης των χρηστών απέχει σημαντικά από αυτόν που υπολογίζει ο συντηρητικός μηχανισμός CAC, και η διαφορά μεγαλώνει για μεγαλύτερο λ .



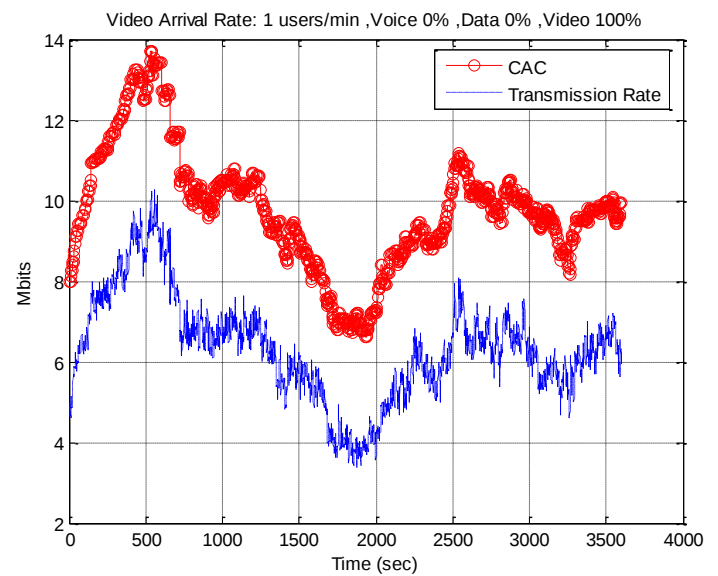
Σχήμα 3



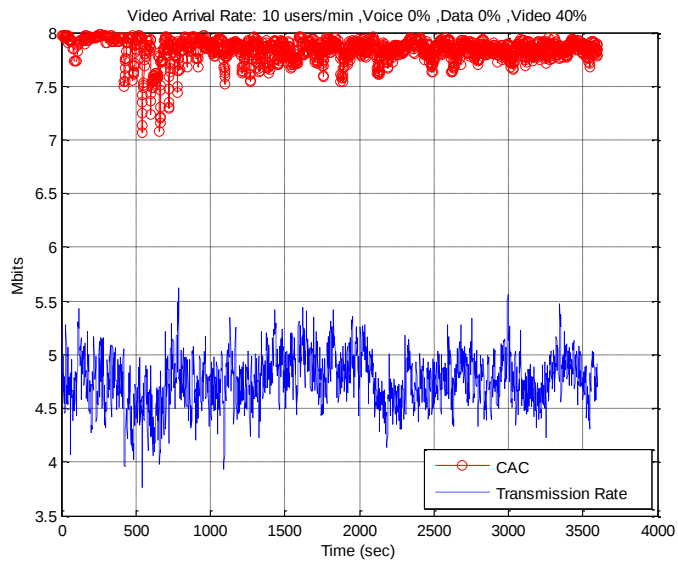
Σχήμα 4



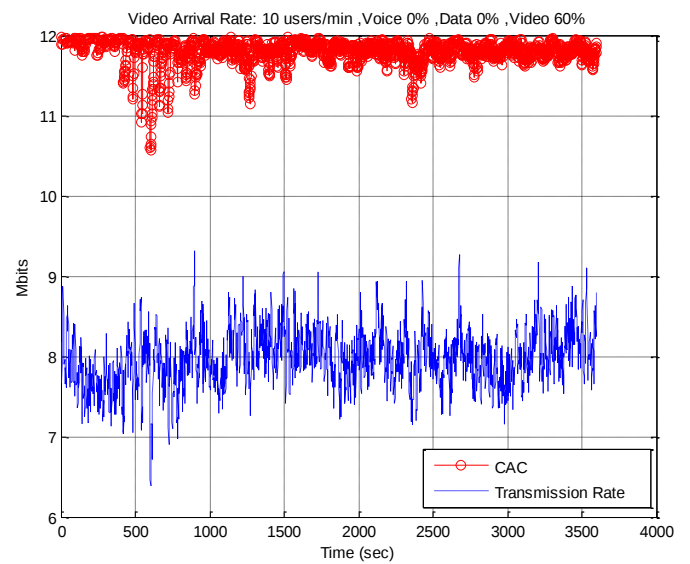
Σχήμα 5



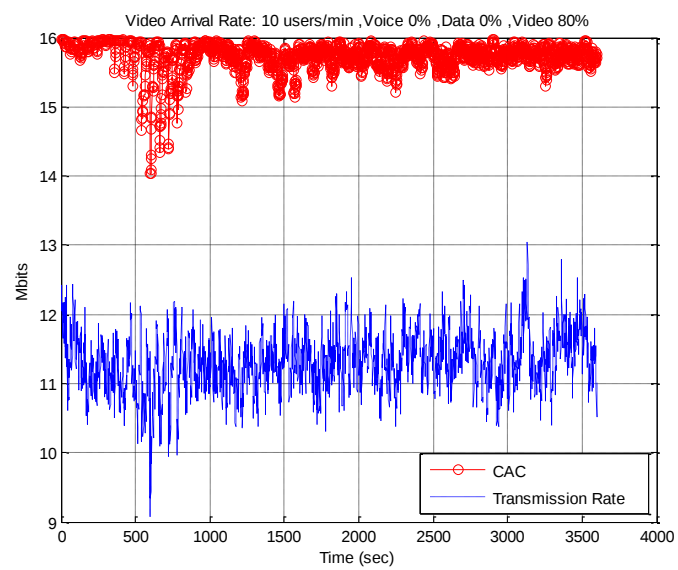
Σχήμα 6



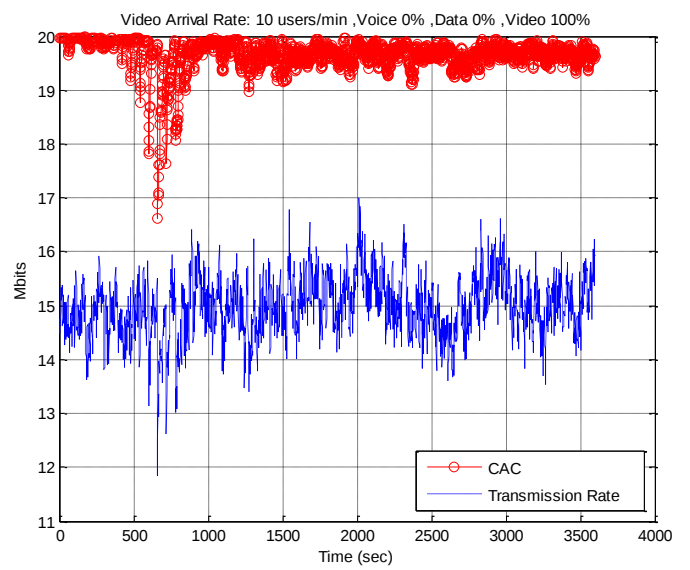
Σχήμα 7



Σχήμα 8



Σχήμα 9



Σχήμα 10

4.1.3 Υποβαθμίσεις-Αναβαθμίσεις Χρηστών Βίντεο

Όπως έχουμε εξηγήσει, στην περίπτωση που ένας νέος χρήστης βίντεο, στην αίτησή του για είσοδο στο δίκτυο, ζητά μεγαλύτερο bandwidth από αυτό που είναι διαθέσιμο, μπορεί να γίνει δεκτός με υποβάθμιση της ποιότητας της ταινίας που κάνει download, εφ' όσον το συμβόλαιό του το επιτρέπει.

Για την μεγιστοποίηση του throughput του δικτύου, προσθέσαμε στον μηχανισμό CAC μια επιπλέον δυνατότητα. Εφ' όσον η αίτηση ενός χρήστη γίνει δεκτή, ο CAC ελέγχει εάν μπορεί ο χρήστης να αναβαθμιστεί. Όπως εξηγήσαμε και στην αρχή του Κεφαλαίου 3, η αναβάθμιση ενός χρήστη, όπως και η υποβάθμιση μπορεί να γίνει κατά ένα επίπεδο ποιότητας μόνο, και ο έλεγχος για πιθανή αναβάθμιση λαμβάνει χώρα κάθε 1 sec. Παρακάτω παρουσιάζουμε αποτελέσματα σχετικά με τις απαιτούμενες υποβαθμίσεις και προσφερόμενες αναβαθμίσεις στους χρήστες βίντεο.

Οι τιμές του Πίνακα 8 προέκυψαν από προσομοιώσεις για διαφορετικά φορτία βίντεο, με μέσο ρυθμό άφιξης 1 χρήστη/λεπτό. Η στήλη “Active Users” του Πίνακα απεικονίζει τον συνολικό αριθμό χρηστών οι οποίοι έγιναν αποδεκτοί από το δίκτυο. Όπως είναι λογικό, η αύξηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης οδηγεί σε αύξηση του συνολικού αριθμού των ενεργών χρηστών. Οι τιμές της τρίτης και τέταρτης στήλης του Πίνακα 8 απεικονίζουν το ποσοστό των HQ και MQ χρηστών βίντεο οι οποίοι έχουν υποβαθμιστεί (το ποσοστό υπολογίζεται επί των χρηστών που βάσει συμβολαίου μπορούν να υποβαθμισθούν). Οι τιμές στις τελευταίες δυο στήλες του Πίνακα απεικονίζουν το degradation ratio, δηλαδή το μέσο ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο ένας χρήστης βίντεο είναι υποβαθμισμένος στη διάρκεια παραμονής του στο δίκτυο. Όπως μπορούμε να δούμε από τον Πίνακα 8 τα ποσοστά των υποβαθμίσεων είναι αρκετά χαμηλά, ενώ για επιτρεπόμενο φορτίο μεγαλύτερο από 70% τα ποσοστά των υποβαθμίσεων είναι ίσα με το μηδέν (αφού αυξάνουμε την «ανεκτικότητα» του CAC, χωρίς να αυξάνεται ο ρυθμός άφιξης).

Maximum Allowed Video Load (Mbps)	Active Users	Downgrade percentage HQ	Downgrade percentage MQ	Degradation Ratio HQ	Degradation Ratio MQ
8 (40%)	47	33%	19%	48%	39%
10 (50%)	53	6%	8%	15%	26%
12 (60%)	58	6%	2%	20%	20%
14 (70%)	62	0%	4%	0%	8%
16 (80%)	56	0%	0%	0%	0%
18 (90%)	60	0%	0%	0%	0%
20 (100%)	62	0%	0%	0%	0%
22 (110%)	64	0%	0%	0%	0%

Πίνακας 8. Ποσοστό υποβαθμίσεων και degradation ratio για $\lambda=1$ χρήστης/λεπτό.

Στην περίπτωση που έχουμε μέσο ρυθμό άφιξης ίσο με 5 χρήστες/λεπτό, όπως είναι αναμενόμενο ο συνολικός αριθμός των χρηστών βίντεο που γίνονται αποδεκτοί από το δίκτυο είναι μεγαλύτερος. Παράλληλα όμως μεγαλώνει και το ποσοστό των χρηστών που υποβαθμίζονται από τον μηχανισμό CAC. Όπως μπορούμε να δούμε από τον Πίνακα 9, για διαθέσιμο bandwidth ίσο με 40% το ποσοστό των υποβαθμίσεων αγγίζει για τις HQ ταινίες το 98%, ενώ για τις MQ ταινίες το 93%. Όταν το διαθέσιμο bandwidth γίνει ίσο με 100% το ποσοστό των υποβαθμίσεων για τις HQ ταινίες μειώνεται στο μισό ενώ για τις MQ ταινίες γίνεται ίσο με 26%. Για μικρό διαθέσιμο bandwidth εξίσου μεγάλο είναι και το degradation ratio. Επιπλέον παρατηρούμε ότι το ποσοστό των υποβαθμίσεων είναι μεγαλύτερο για τις HQ ταινίες σε σχέση με τις MQ. Ο λόγος είναι ότι η εύρεση διαθέσιμου εύρους ζώνης για την μετάδοση μιας HQ ταινίας καθίσταται πιο δύσκολος εξαιτίας του μεγάλου όγκου πληροφορίας που περιέχει. Αντίθετα το μικρότερο μέγεθος μιας MQ ταινίας αυξάνει τις πιθανότητες ο χρήστης βίντεο να εισέρθει στο δίκτυο χωρίς να υποστεί υποβάθμιση.

Maximum Allowed Video Load (Mbps)	Active Users	Downgrade percentage HQ	Downgrade percentage MQ	Degradation Ratio HQ	Degradation Ratio MQ
8 (40%)	120	98%	93%	90%	72%
10 (50%)	148	95%	80%	90%	66%
12 (60%)	174	84%	63%	85%	61%
14 (70%)	191	65%	44%	78%	60%
16 (80%)	214	56%	42%	80%	55%
18 (90%)	222	55%	34%	78%	57%
20 (100%)	248	45%	26%	76%	61%
22 (110%)	250	38%	21%	72%	56%

Πίνακας 9. Ποσοστό υποβαθμίσεων και degradation ratio για $\lambda=5$ χρήστες/λεπτό.

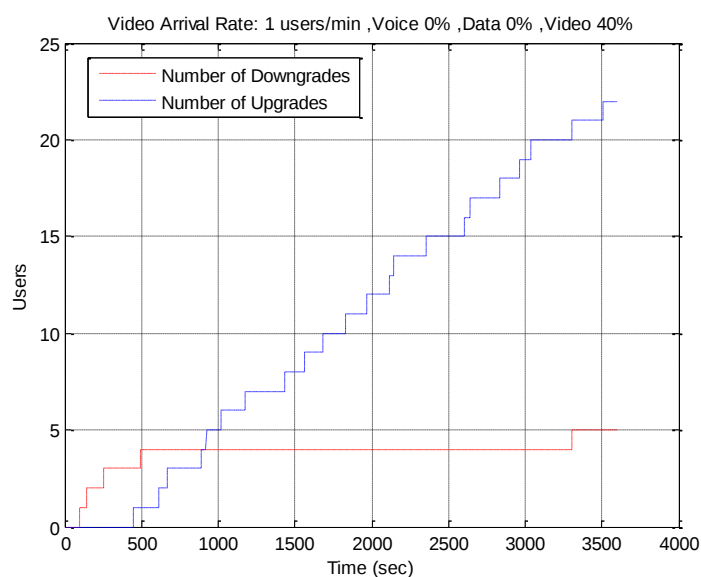
Ο αριθμός των υποβαθμίσεων και του degradation ratio είναι, όπως αναμενόταν, ακόμα μεγαλύτερος για ρυθμό άφιξης ίσο με 10 χρήστες/λεπτό. Τα σχετικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 10.

Maximum Allowed Video Load (Mbps)	Active Users	Downgrade percentage HQ	Downgrade percentage MQ	Degradation Ratio HQ	Degradation Ratio MQ
8 (40%)	154	100%	100%	95%	89%
10 (50%)	197	100%	100%	96%	86%
12 (60%)	233	100%	97%	90%	77%
14 (70%)	258	93%	89%	80%	69%
16 (80%)	294	93%	84%	81%	67%
18 (90%)	317	96%	76%	82%	64%
20 (100%)	348	93%	64%	82%	57%
22 (110%)	369	82%	62%	85%	57%

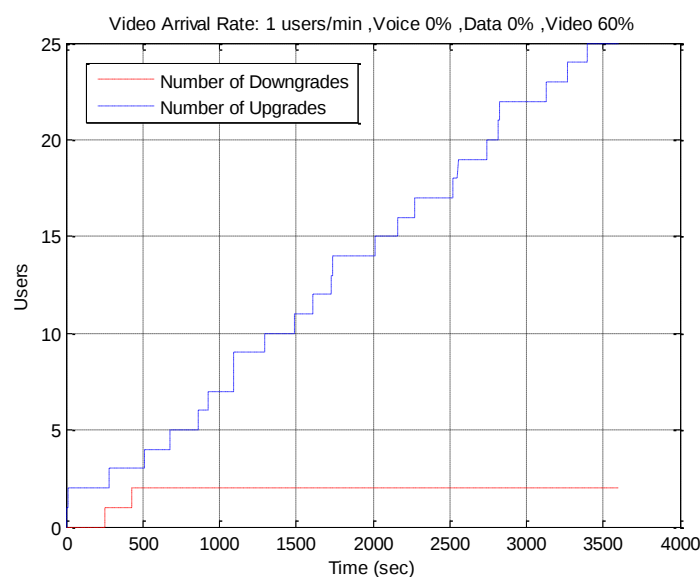
Πίνακας 10. Ποσοστό υποβαθμίσεων και degradation ratio για $\lambda=10$ χρήστες/λεπτό.

Τα σχήματα 11-22 απεικονίζουν τον αριθμό των αναβαθμίσεων και υποβαθμίσεων των ταινιών mpeg-4 που αντιστοιχούν στα στοιχεία των Πινάκων 8-10, για ρυθμούς άφιξης βίντεο χρηστών ίσους με ένα, πέντε και δέκα χρήστες ανά λεπτό, αντίστοιχα.

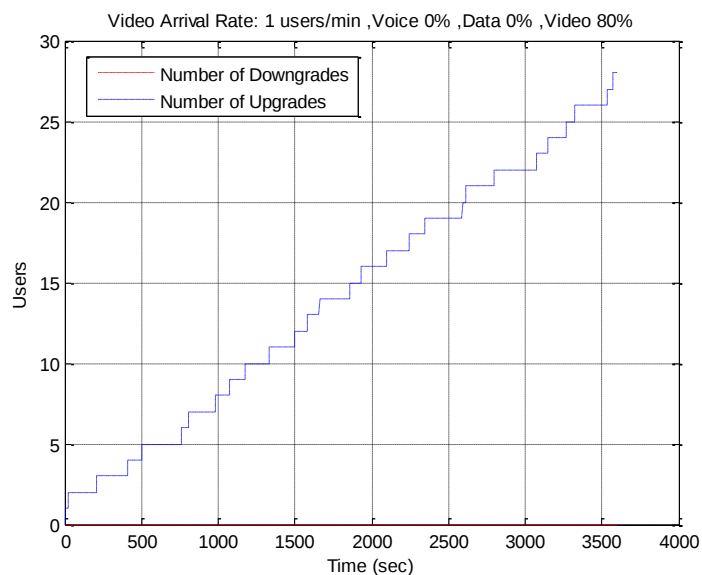
Στα σχήματα 11-14 παρατηρούμε ότι ο συνολικός αριθμός των υποβαθμίσεων είναι πολύ μικρότερος από τον συνολικό αριθμό των αναβαθμίσεων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο ρυθμός αφίξεων των χρηστών βίντεο είναι πολύ μικρός με αποτέλεσμα να γίνονται εύκολα αποδεκτοί από το δίκτυο. Από τον Πίνακα 8 βλέπουμε ότι όταν το διαθέσιμο bandwidth ξεπεράσει το 70% της μέγιστης χωρητικότητας του δικτύου ο αριθμός των υποβαθμίσεων μηδενίζεται. Στο ίδιο συμπέρασμα μπορούμε να καταλήξουμε παρατηρώντας τα σχήματα 13 και 14. Αυτό είναι αναμενόμενο, εφ'όσον το εύρος ζώνης που παραχωρείται από το δίκτυο είναι αρκετά μεγάλο ώστε να επαρκεί για την είσοδο όλων των χρηστών και παράλληλα επιτρέπει και την αναβάθμισή τους.



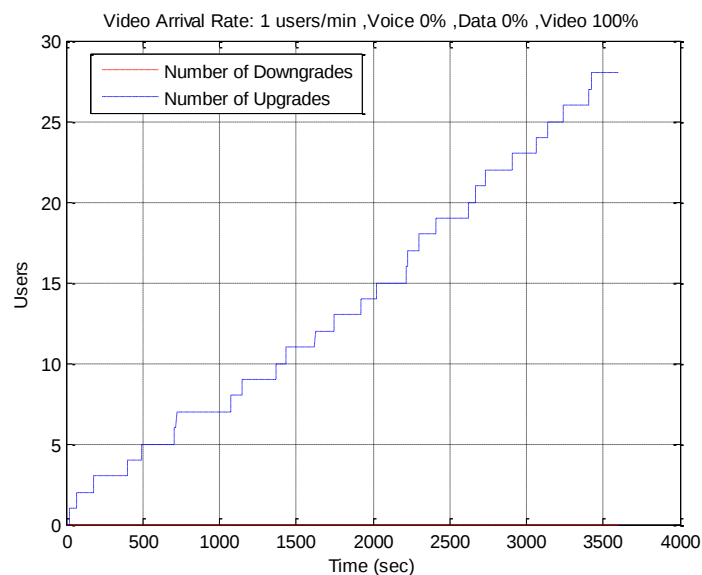
Σχήμα 11



Σχήμα 12

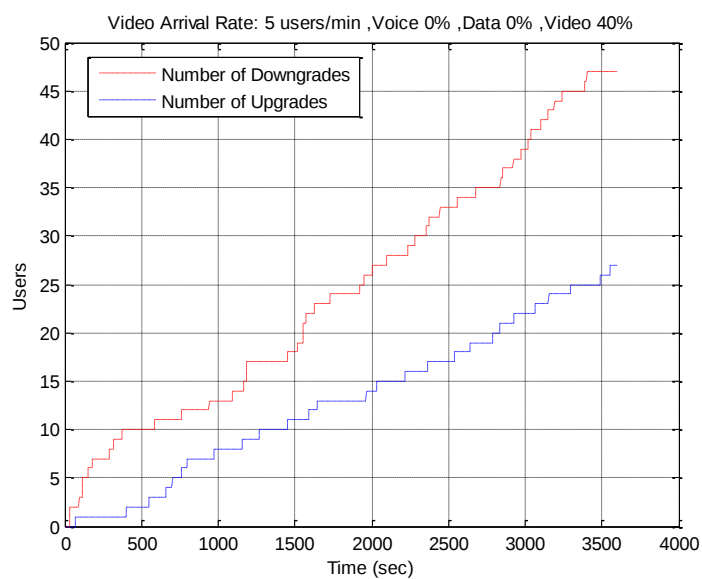


Σχήμα 13

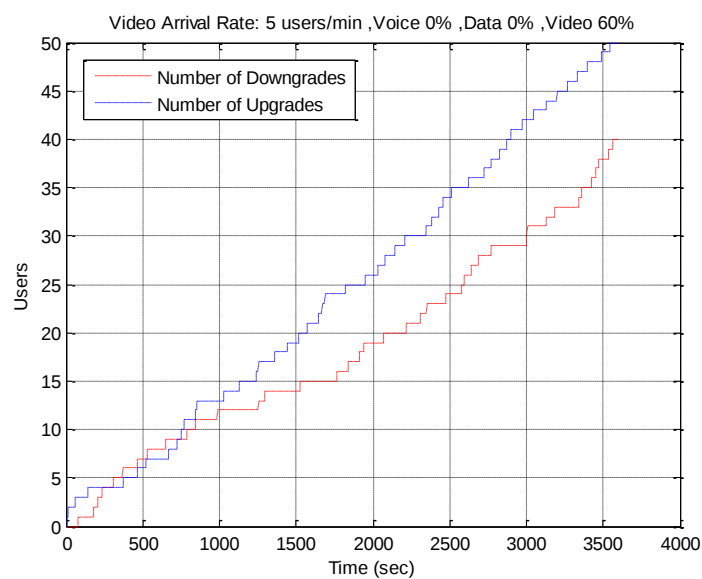


Σχήμα 14

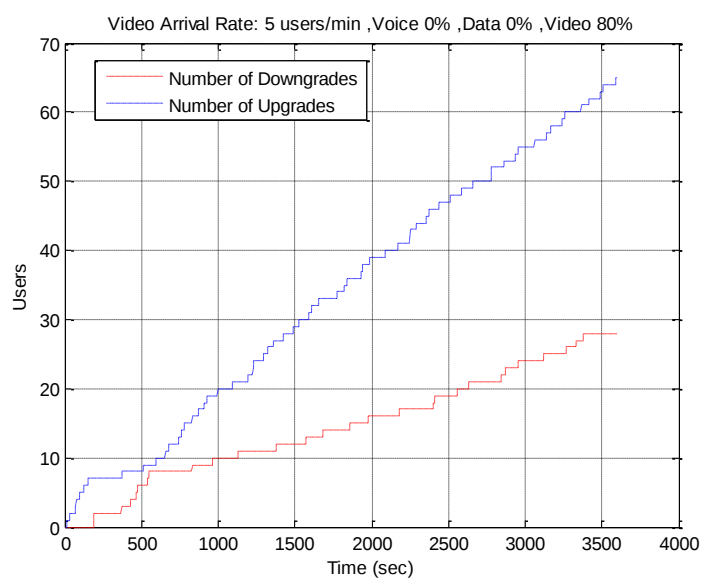
Τα σχήματα 15-18 απεικονίζουν τον αριθμό των αναβαθμίσεων και υποβαθμίσεων των ταινιών mpeg-4 για ρυθμό άφιξης χρηστών βίντεο ίσο με 5 χρήστες/λεπτό. Στο σχήμα 15 βλέπουμε ότι στην περίπτωση που το διαθέσιμο bandwidth για τους χρήστες βίντεο είναι αρκετά μικρό (40%), ο μηχανισμός CAC προβαίνει σε μαζικές υποβαθμίσεις προκειμένου να μπορέσουν να εισέρθουν στο δίκτυο όσο το δυνατόν περισσότεροι χρήστες. Αντίθετα, για ποσοστό κάλυψης του εύρους ζώνης μεγαλύτερο από 50% παρατηρούμε ότι ο συνολικός αριθμός των αναβαθμίσεων είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των υποβαθμίσεων. Από τον Πίνακα 9 και τα σχήματα 15-18 βλέπουμε ότι η αύξηση του διαθέσιμου bandwidth οδηγεί σε αύξηση του συνολικού αριθμού χρηστών που εισήρθαν στο δίκτυο και μείωση του συνολικού αριθμού των χρηστών που υποβαθμίστηκαν.



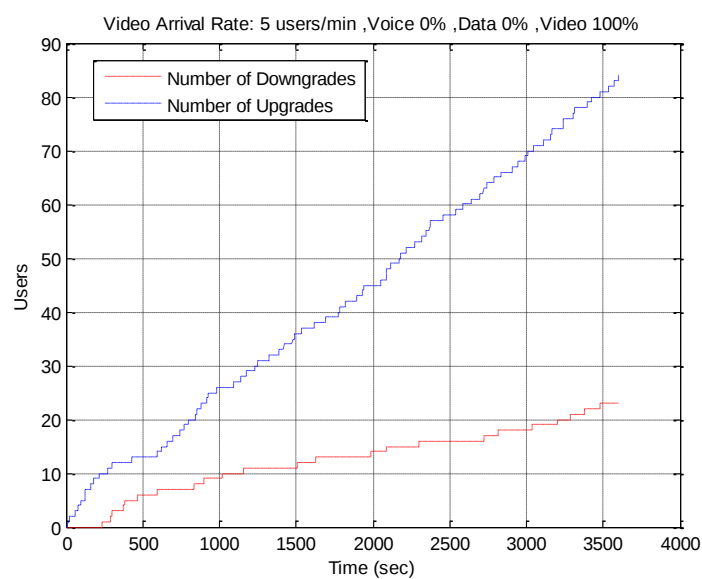
Σχήμα 15



Σχήμα 16

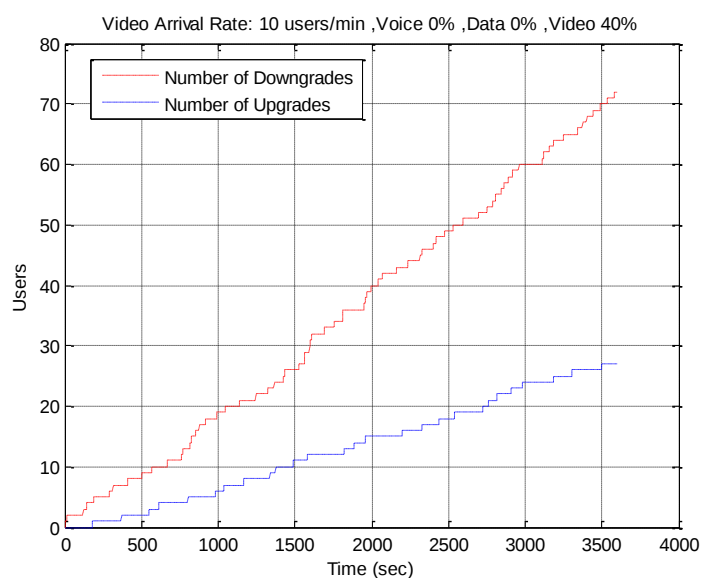


Σχήμα 17

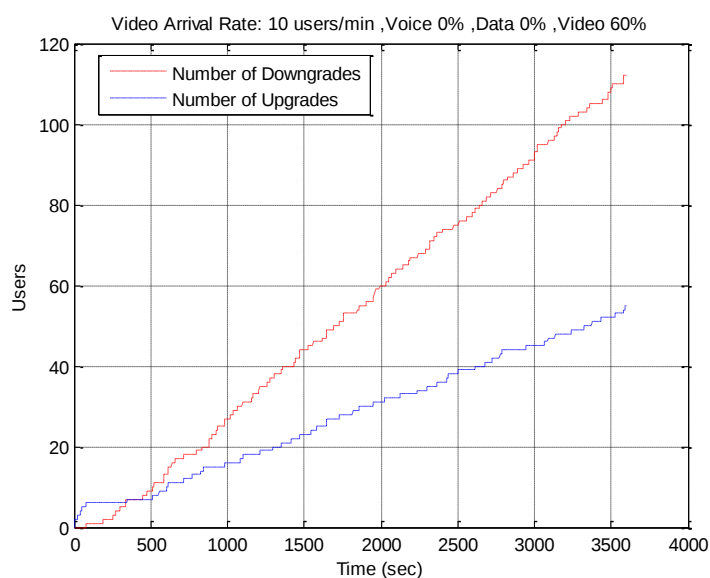


Σχήμα 18

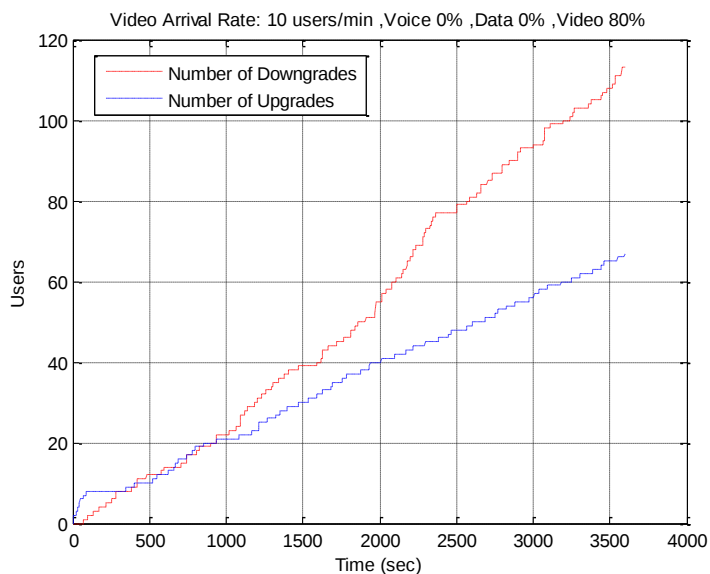
Τα σχήματα 19-22 απεικονίζουν τον αριθμό των αναβαθμίσεων και υποβαθμίσεων των ταινιών mpeg-4 για ρυθμό άφιξης χρηστών βίντεο ίσο με 10 χρήστες/λεπτό. Παρατηρούμε ότι για διαθέσιμο bandwidth μικρότερο του 100% ο συνολικός αριθμός των υποβαθμίσεων ξεπερνά το συνολικό αριθμό των αναβαθμίσεων. Ο υψηλός ρυθμός άφιξης των χρηστών αναγκάζει τον μηχανισμό CAC να υποβαθμίσει όλους τους χρήστες που το συμβόλαιό τους το επιτρέπει, προκειμένου να μπορέσουν να εισέρθουν στο δίκτυο όσο περισσότεροι χρήστες είναι εφικτό. Μόνο στην περίπτωση που το ποσοστό κάλυψης του εύρους ζώνης γίνει ίσο με 100% παρατηρούμε ότι ο συνολικός αριθμός των αναβαθμίσεων είναι παραπλήσιος του συνολικού αριθμού των υποβαθμίσεων.



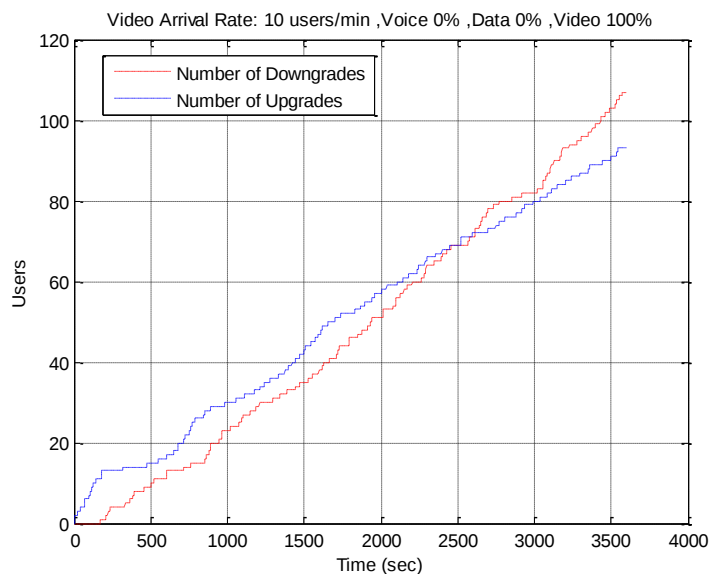
Σχήμα 19



Σχήμα 20

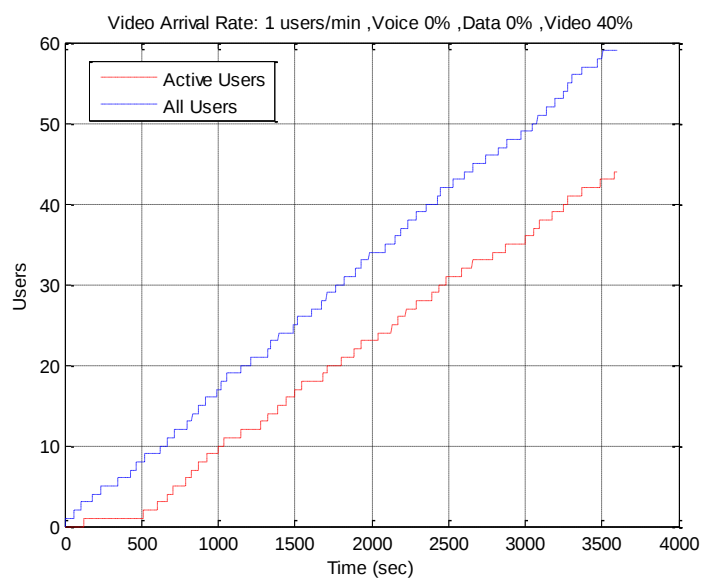


Σχήμα 21

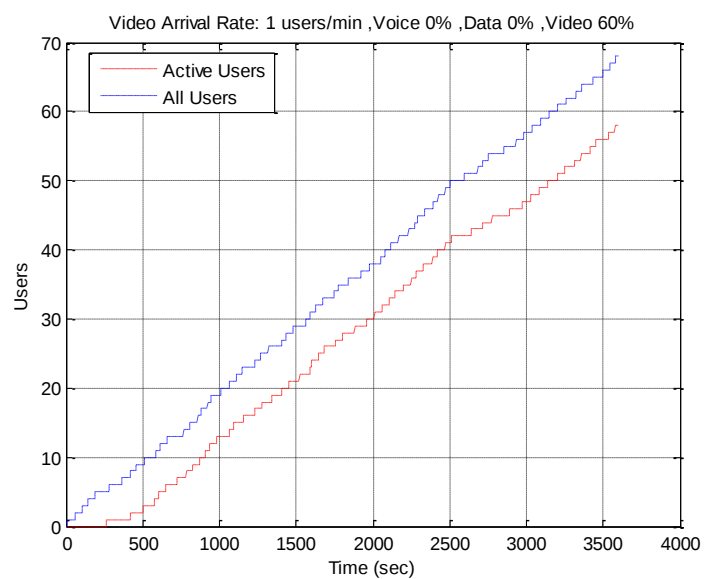


Σχήμα 22

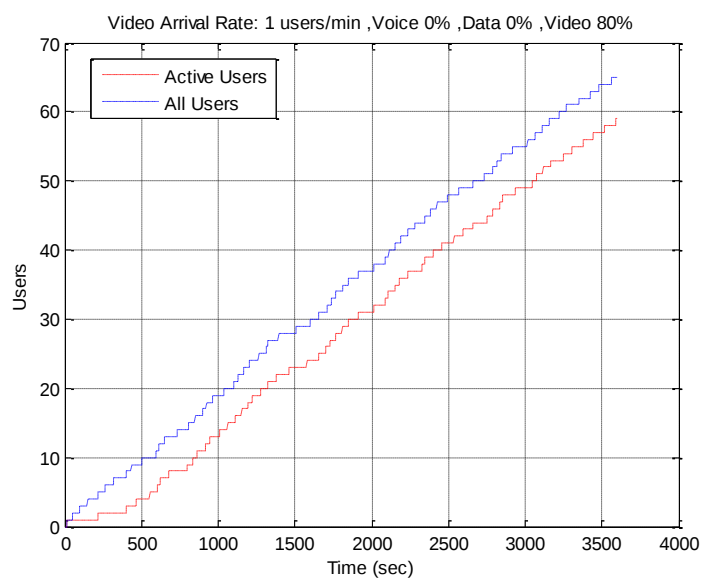
Σε καθένα από τα σχήματα 23-30 παρουσιάζουμε δυο γραφικές: η μια απεικονίζει τους ενεργούς χρήστες βίντεο που δεχόμαστε στο σύστημα και η άλλη τον συνολικό αριθμό των χρηστών βίντεο που έχουν επιχειρήσει να εισέλθουν στο σύστημα από την αρχή της προσομοίωσης (είτε επιτυχημένα είτε έχουν απορριφθεί οι αιτήσεις τους από τον CAC). Με τον όρο «ενεργοί χρήστες» αναφερόμαστε σε όλους τους χρήστες βίντεο οι οποίοι έχουν επιχειρήσει επιτυχημένα να εισέρθουν στο δίκτυο από την αρχή της προσομοίωσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση ανάμεσα στις 2 γραφικές παραστάσεις, τόσο λιγότεροι χρήστες κατάφεραν να μπουν μέσα στο δίκτυο. Αυτή η απόσταση είναι φανερό πως είναι μεγαλύτερη στα σχήματα 27-30 απ' ότι στα σχήματα 23-26, και ο λόγος είναι ότι στην πρώτη περίπτωση ο ρυθμός άφιξης λ είναι δεκαπλάσιος, με συνέπεια να οδηγεί σε σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό αιτήσεων εισόδου που απορρίπτονται.



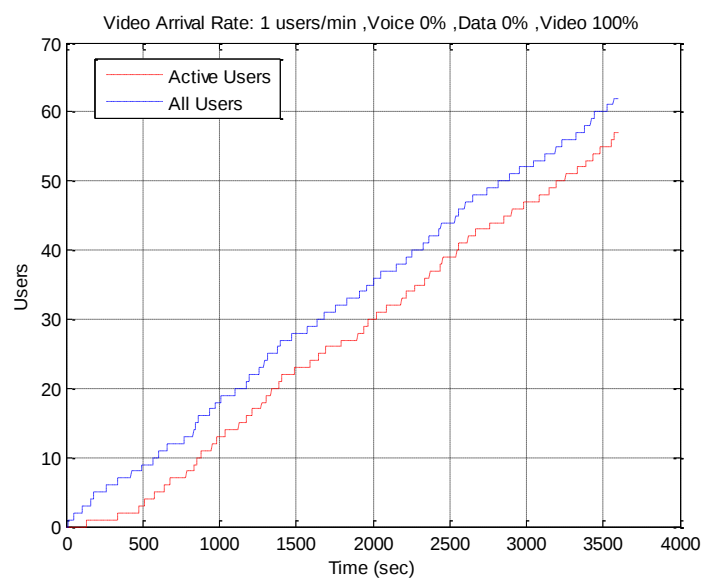
Σχήμα 23



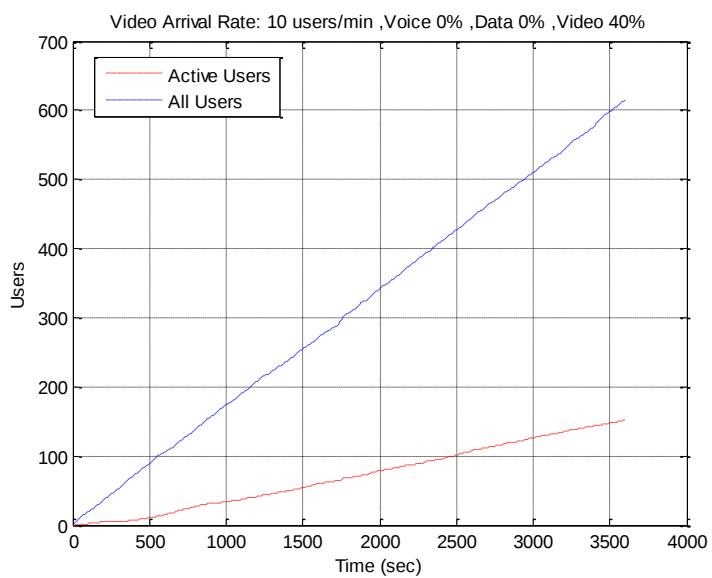
Σχήμα 24



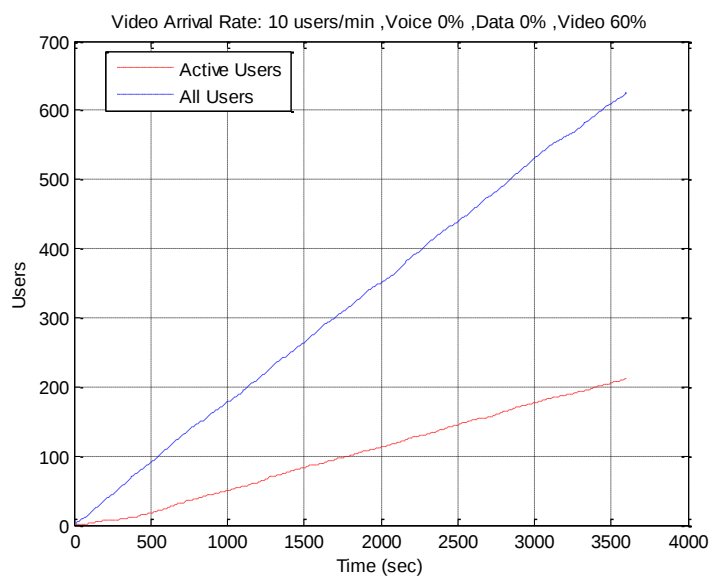
Σχήμα 25



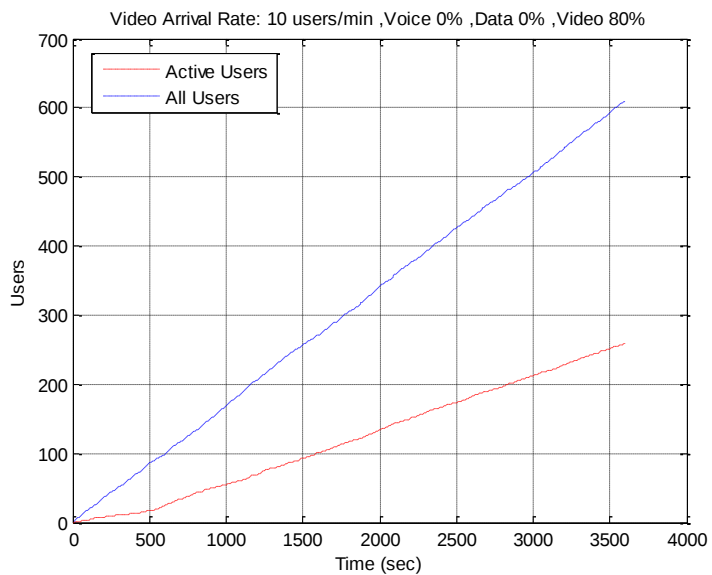
Σχήμα 26



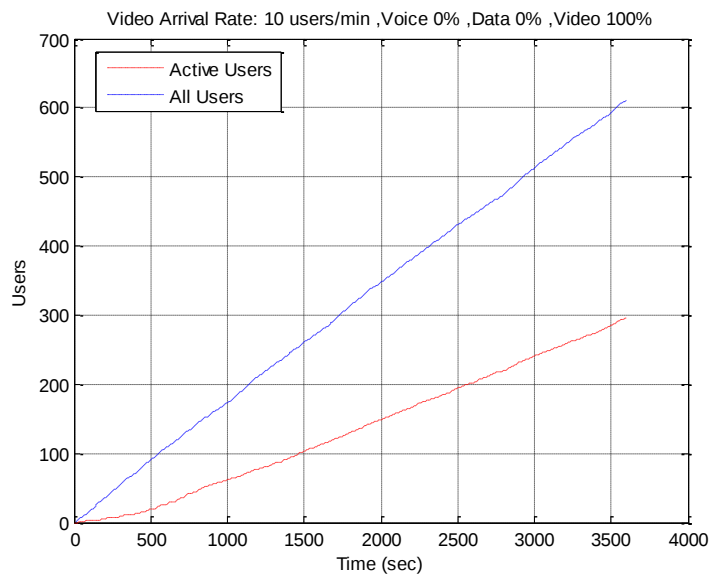
Σχήμα 27



Σχήμα 28



Σχήμα 29



Σχήμα 30

Τέλος, επικεντρωνόμαστε στους handoff χρήστες βίντεο για να υπολογίσουμε τρεις μετρικές:

- Το ποσοστό αυτών των χρηστών που καταφέρνουν να εισέλθουν στο δίκτυο χωρίς υποβάθμιση.
- Το ποσοστό αυτών των χρηστών που καταφέρνουν να εισέλθουν στο δίκτυο χάρις σε υποβάθμιση δική τους ή υποβάθμιση άλλων χρηστών βίντεο.
- Το ποσοστό αυτών των χρηστών που δεν καταφέρνουν να εισέλθουν στο δίκτυο, εξαιτίας της αδυναμίας εύρεσης επαρκούς εύρους ζώνης.

Στον Πίνακα 11 απεικονίζονται οι μετρικές αυτές, για μέσο ρυθμό άφιξης χρηστών βίντεο ίσο με 10 χρήστες ανά λεπτό και για διαφορετικά φορτία βίντεο.

Maximum Video Capacity (Mbps)	Video Users without Degradation	Video Users Degraded by CAC	Video Users rejected by CAC
8 (40%)	36.36%	7.575%	56.06%
10 (50%)	48.43%	10.93%	40.62%
12 (60%)	70.00%	15.00%	15.00%
14 (70%)	76.19%	17.46%	6.340%
16 (80%)	78.33%	18.33%	3.330%
18 (90%)	80.64%	16.12%	3.220%
20 (100%)	83.33%	15.15%	1.515%
22 (110%)	83.58%	16.41%	0.000%

Πίνακας 11. Μετρικές για handoff βίντεο χρήστες.

Από τον Πίνακα 11 βλέπουμε ότι η αύξηση του επιτρεπόμενου φορτίου κίνησης των βίντεο χρηστών, οδηγεί σε αύξηση του ποσοστού των επιτυχημένων handoff κλήσεων. Συγκεκριμένα στην τέταρτη στήλη του πίνακα παρατηρούμε ότι για φορτίο κίνησης ίσο με 110% του δικτύου το ποσοστό των χρηστών που απορρίπτουμε είναι 0%. Επιπλέον, παράλληλα με τη μείωση της απόρριψης των handoff κλήσεων παρατηρούμε αύξηση των χρηστών που εισέρχονται στο δίκτυο χωρίς υποβάθμιση.

4.1.4 Αποτελέσματα για τους χρήστες δεδομένων

Σε αυτή την ενότητα επικεντρωνόμαστε στην μελέτη της συμπεριφοράς των χρηστών δεδομένων (κίνηση email).

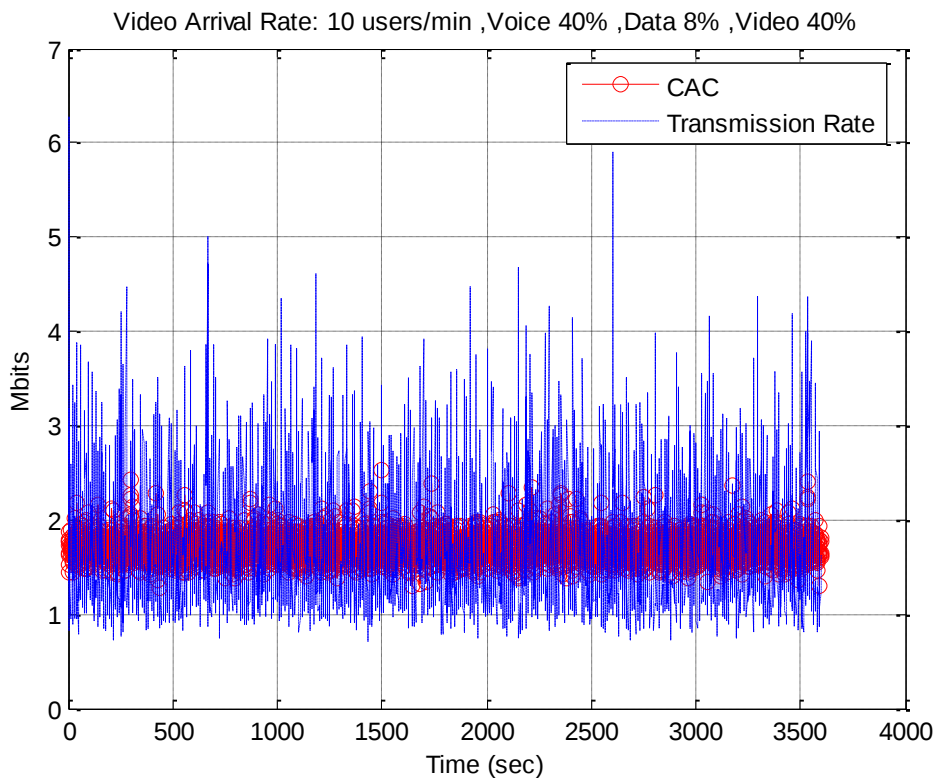
Στις προσομοιώσεις που ακολουθούν, ο αριθμός των χρηστών φωνής είναι σταθερός και ίσος με 534, και το bandwidth που καταλαμβάνουν είναι ίσο με το 40% της χωρητικότητας του καναλιού (8 Mbps). Ο αριθμός των χρηστών βίντεο που βρίσκεται μέσα στο σύστημα μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Ο μέσος ρυθμός άφιξης των χρηστών βίντεο είναι ίσος με 10 χρήστες ανά λεπτό, ενώ η μέση διάρκεια παραμονής ενός χρήστη στο δίκτυο είναι 10 λεπτά. Το μέγιστο επιτρεπτό bandwidth που μπορούν να καταλάβουν οι χρήστες βίντεο είναι το 40% του καναλιού (8 Mbps). Επομένως η φωνή και το βίντεο έχουν, αθροιστικά, περιθώρια κάλυψης έως και του 80% του bandwidth του καναλιού, όμως εξαιτίας του συντηρητικού CAC αλγορίθμου το πραγματικό εύρος ζώνης που καταλαμβάνουν οι χρήστες βίντεο είναι κατά κανόνα μικρότερο. Προκειμένου να μελετήσουμε τη συμπεριφορά των χρηστών δεδομένων, υλοποιούμε προσομοιώσεις με διαφορετικό ρυθμό άφιξης μηνυμάτων e-mail (Πίνακας 12).

Η τέταρτη στήλη του Πίνακα 12 παρουσιάζει την τιμή του πραγματικού αθροιστικού ρυθμού μετάδοσης από τους χρήστες φωνής και βίντεο. Βλέπουμε ότι πρακτικά δεσμεύουν μόνο το 64% του bandwidth του καναλιού, συνεπώς οι χρήστες δεδομένων θεωρητικά έχουν στη διάθεση τους το υπόλοιπο 36%. Παρατηρώντας την τρίτη στήλη βλέπουμε ότι ενώ αρχικά ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων αυξάνεται, όταν επιλέξουμε φορτίο μεγαλύτερο από 110 μηνύματα/δευτερόλεπτο ο ρυθμός μετάδοσης σταθεροποιείται στο 20%, παρόλο που υπάρχει επιπλέον διαθέσιμο εύρος ζώνης ίσο με 16%. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι η ύπαρξη του μηχανισμού CAC, ο οποίος δεσμεύει για το βίντεο μεγαλύτερο bandwidth από εκείνο που χρειάζεται. Παρατηρούμε ακόμα ότι δεν έχουμε καμία παραβίαση του QoS των χρηστών δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι όλα τα μηνύματα μπόρεσαν να μεταδοθούν σε λιγότερο από 5 δευτερόλεπτα. Η μέση καθυστέρηση αποστολής μηνύματος για όλα τα φορτία που εμφανίζονται στον Πίνακα 12 κυμαίνεται από 134 έως 315 msec.

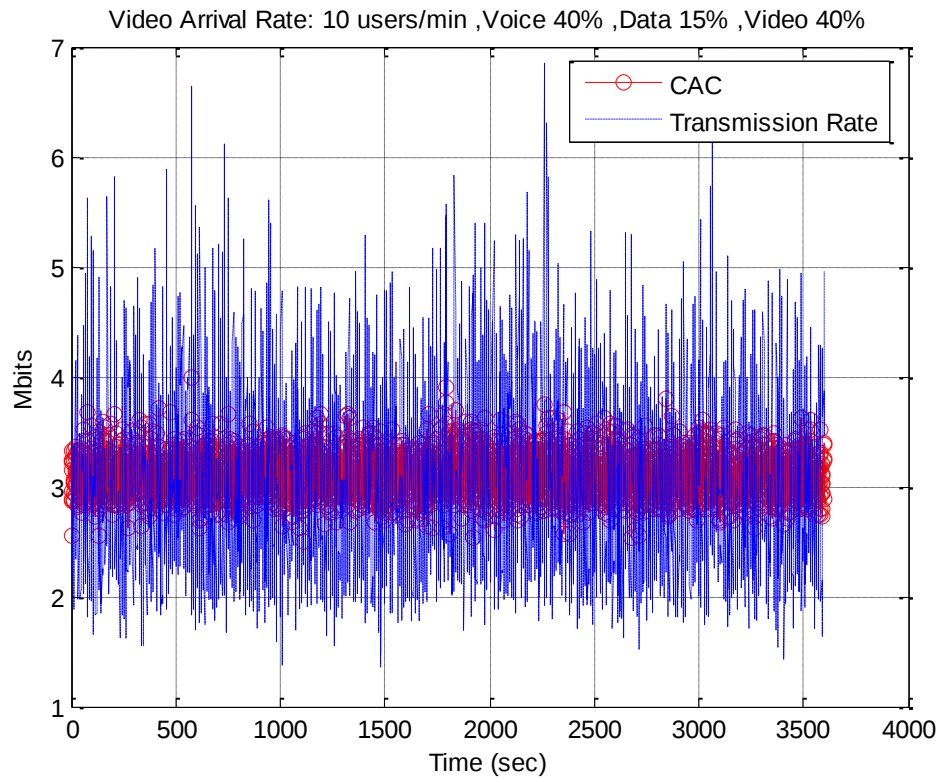
Data Arrival Rate (Messages/sec)	CAC Bandwidth Estimation (Mbps)	Real Bandwidth for Data Users (Mbps)	Voice+Video Real Bandwidth (Mbps)	Avg Message delay (msec)	Number of messages with excessive delay
50 (8%)	1.712	1.696 (8.5%)	12.75 (63.7%)	134	0
70 (12%)	2.410	2.362 (12%)	12.78 (63.9%)	187	0
90 (15%)	3.100	3.041 (15%)	12.70 (63.5%)	237	0
110 (18%)	3.735	3.610 (18%)	12.68 (63.4%)	279	0
130 (22%)	4.089	3.934 (20%)	12.70 (63.5%)	304	0
150 (25%)	4.173	4.028 (20%)	12.65 (63.2%)	310	0
170 (29%)	4.185	4.050 (20%)	12.68 (63.4%)	315	0
190 (32%)	4.201	4.051 (20%)	12.70 (63.5%)	315	0

Πίνακας 12. Χρησιμοποιούμενο bandwidth από χρήστες δεδομένων, φωνής και βίντεο για διαφορετικά φορτία δεδομένων.

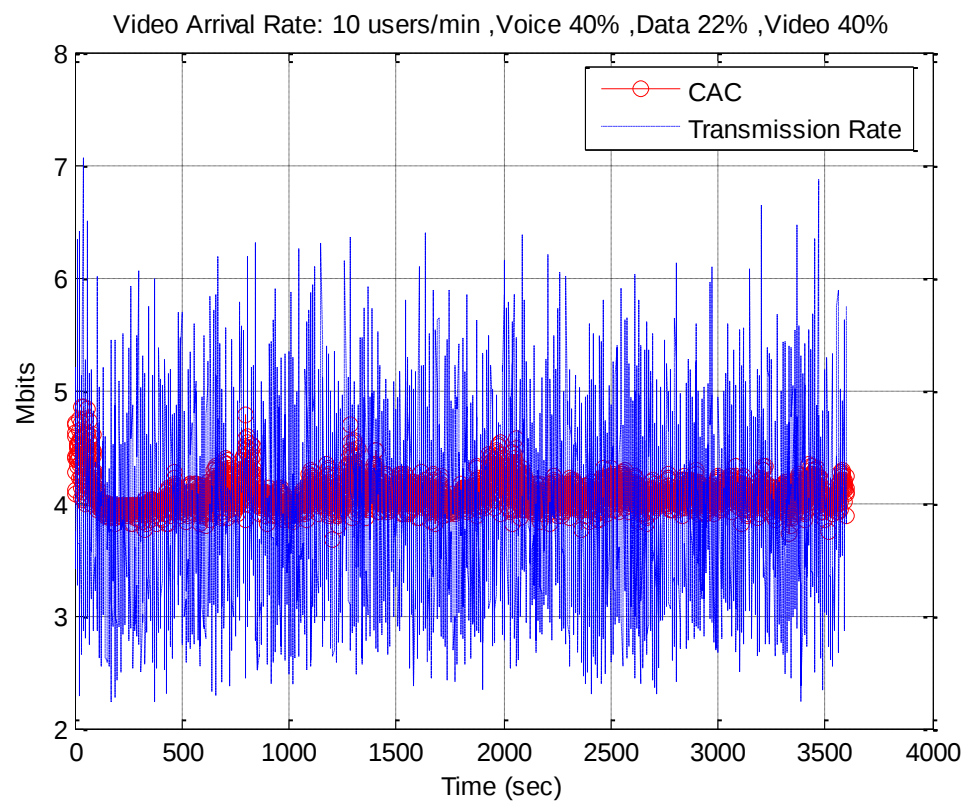
Στα σχήματα 31-34 στον άξονα x έχουμε το χρόνο προσομοίωσης, ενώ στον άξονα y έχουμε τον πραγματικό ρυθμό μετάδοσης των χρηστών δεδομένων και τον ρυθμό μετάδοσης που υπολογίζει ο CAC μηχανισμός, βάσει του μέσου ρυθμού άφιξης τους. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε η μετάδοση των πακέτων των μηνυμάτων e-mail εμφανίζει μεγάλη εκρηκτικότητα (λόγω της κατανομής Cauchy).



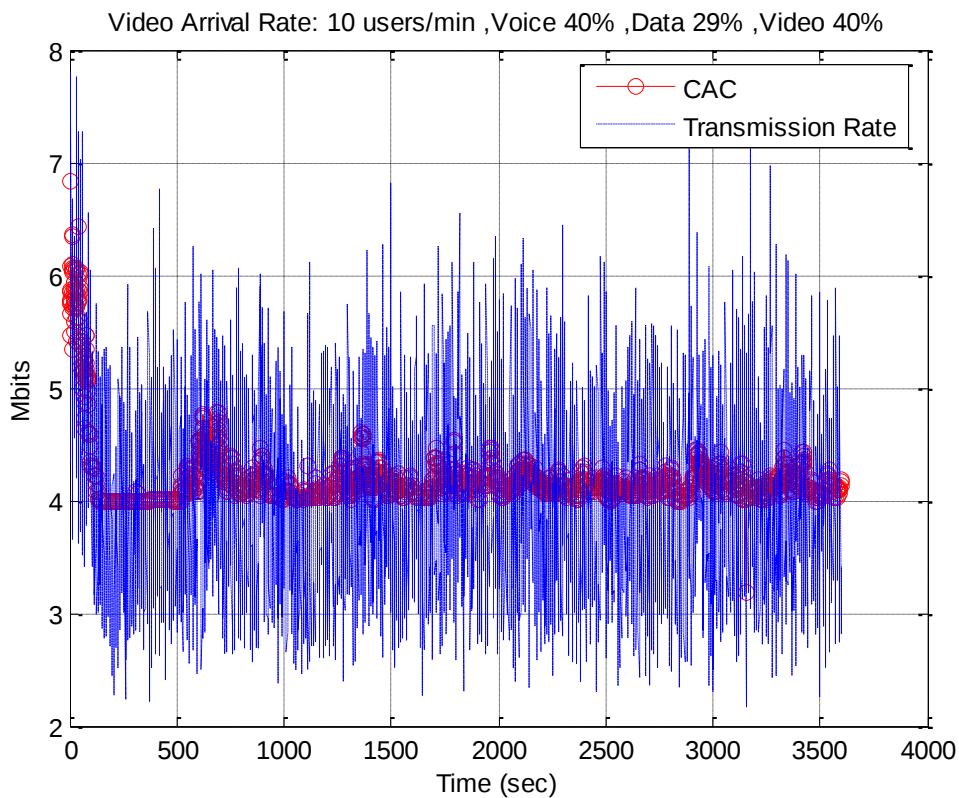
Σχήμα 31



Σχήμα 32

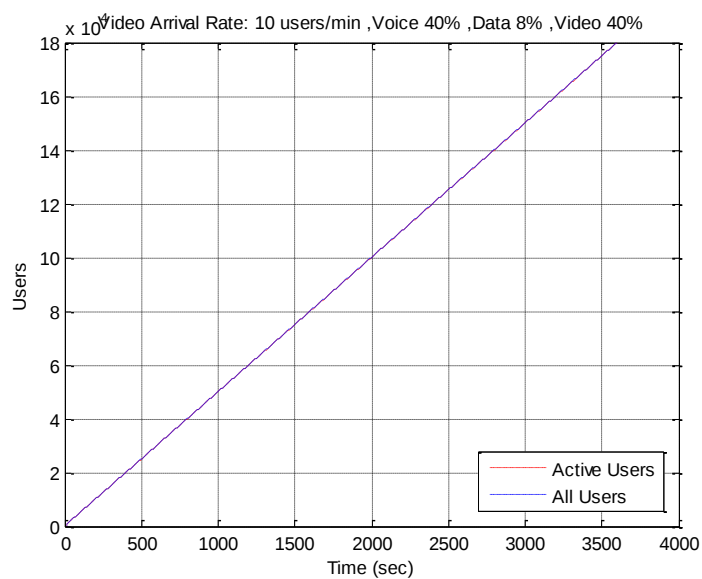


Σχήμα 33

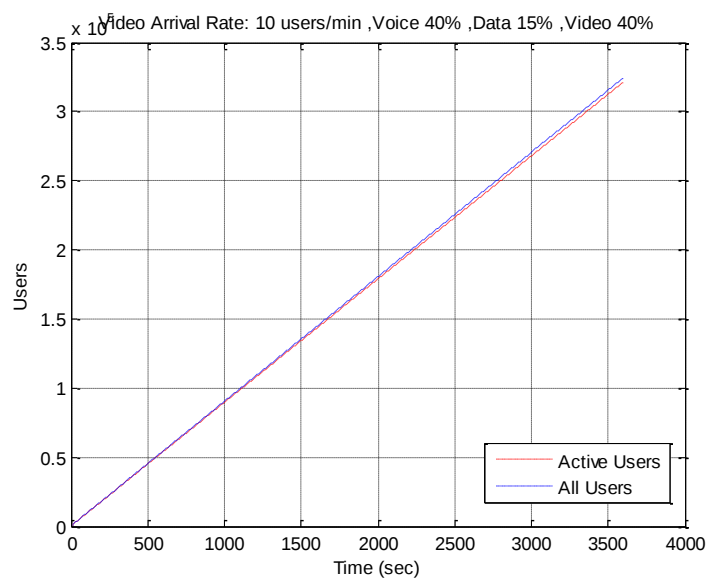


Σχήμα 34

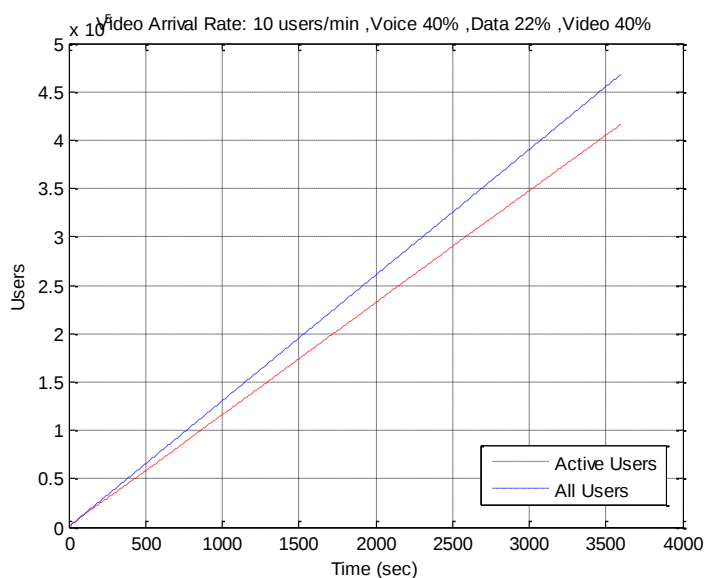
Σε καθένα από τα σχήματα 34-37 παρουσιάζουμε δυο γραφικές: η μια απεικονίζει τους ενεργούς χρήστες e-mail που γίνονται δεκτοί σύστημα και η άλλη τον συνολικό αριθμό των χρηστών e-mail (συμπεριλαμβανόμενων δηλαδή και των χρηστών οι αιτήσεις των οποίων έχουν απορριφθεί από τον CAC μηχανισμό). Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση ανάμεσα στις 2 γραφικές παραστάσεις, τόσο λιγότεροι χρήστες κατάφεραν να μπουν μέσα στο δίκτυο. Στο σχήμα 34 βλέπουμε ότι η μια γραμμή βρίσκεται πάνω στην άλλη, πράγμα που σημαίνει ότι καμία αίτηση δεν απορρίφθηκε. Στα σχήματα 35-37 παρατηρούμε ότι η αύξηση του ρυθμού άφιξης των μηνυμάτων e-mail οδηγεί σε μείωση του συνολικού αριθμού των χρηστών δεδομένων που γίνονται αποδεκτοί από το δίκτυο.



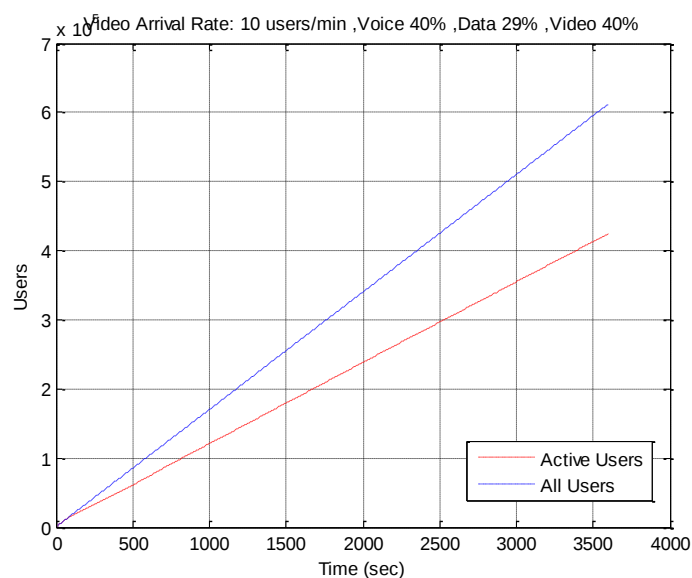
Σχήμα 34



Σχήμα 35

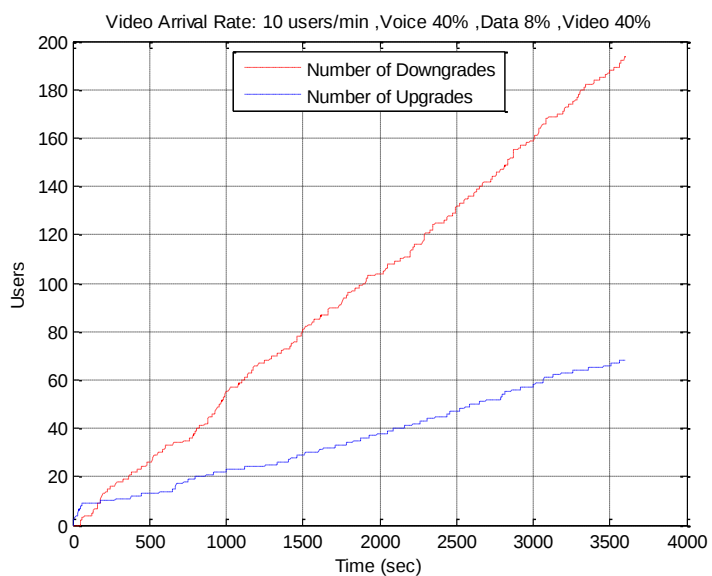


Σχήμα 36

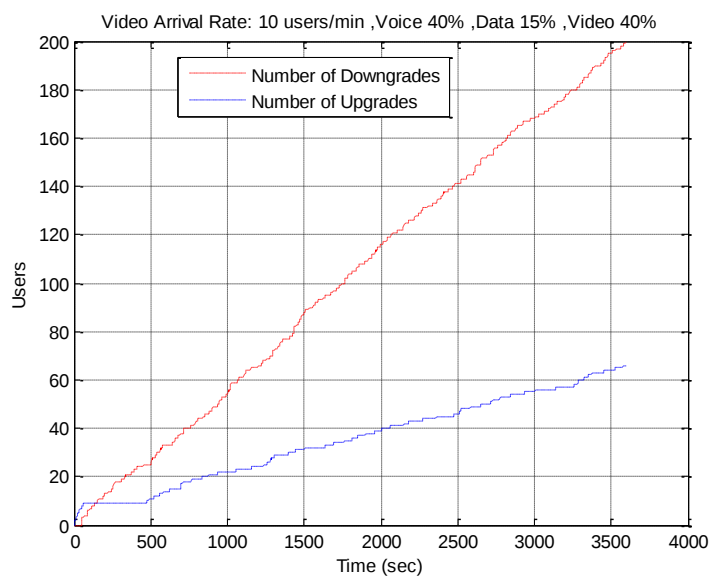


Σχήμα 37

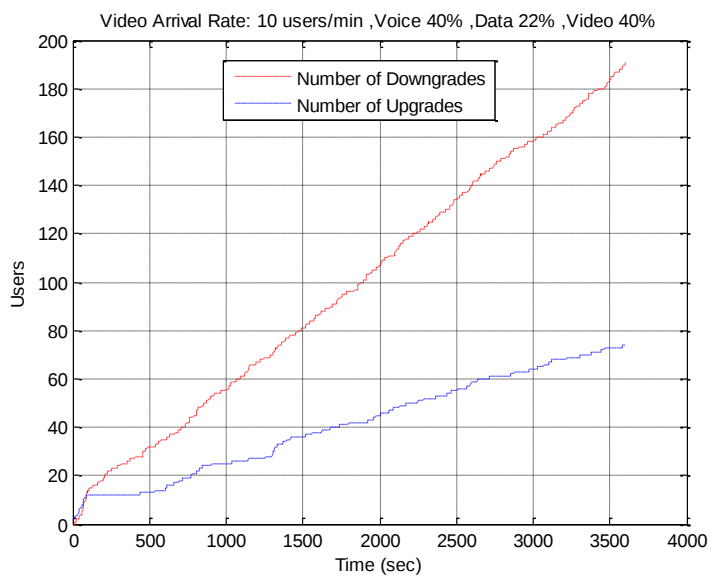
Τα σχήματα 38-41 απεικονίζουν τον αριθμό των αναβαθμίσεων και υποβαθμίσεων των ταινιών mpeg-4 που αντιστοιχούν στις προσομοιώσεις που μελετάμε σε αυτήν την ενότητα. Ο μέσος ρυθμός άφιξης των χρηστών βίντεο είναι ίσος με 10 χρήστες ανά λεπτό. Από τα σχήματα βλέπουμε ότι ο συνολικός αριθμός των υποβαθμίσεων και αναβαθμίσεων των ταινιών δεν επηρεάζεται από τις διαφορετικές τιμές του ρυθμού άφιξης των μηνυμάτων e-mail.



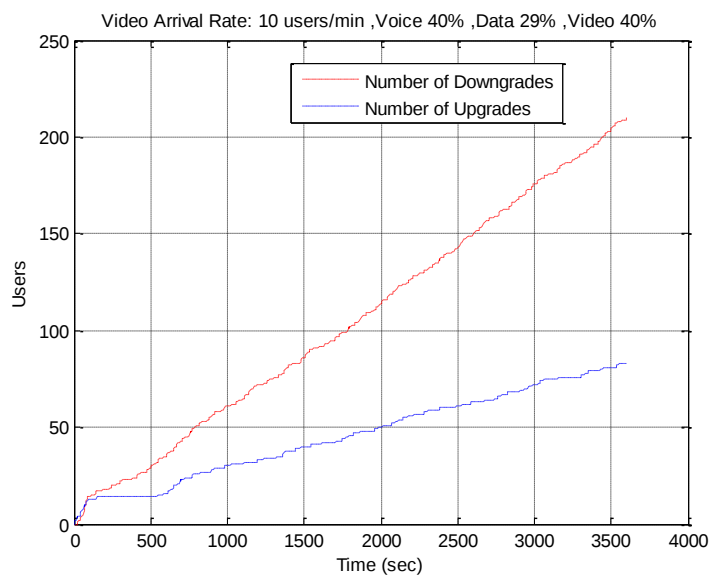
Σχήμα 38



Σχήμα 39



Σχήμα 40



Σχήμα 41

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 13 παρατηρούμε ότι η αύξηση του ρυθμού άφιξης μηνυμάτων e-mail, οδηγεί αρχικά σε αύξηση των απορριφθεισών handoff αιτήσεων βίντεο. Όταν ο ρυθμός άφιξης των χρηστών ξεπεράσει τους 130 χρήστες/δευτερόλεπτο, το ποσοστό των απορριφθέντων χρηστών βίντεο σταθεροποιείται κοντά στο 70%. Ο λόγος, όπως φαίνεται από τον Πίνακα 12, είναι ότι για τα συγκεκριμένα φορτία δεδομένων ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων σταθεροποιείται στο 20%. Αυτό σημαίνει ότι για μικρότερους ρυθμούς άφιξης οι χρήστες δεδομένων καταλαμβάνουν το διαθέσιμο bandwidth, οδηγώντας στην αύξηση των απορριφθέντων χρηστών βίντεο. Όταν όμως εκτελέσουμε προσομοιώσεις για μεγαλύτερους ρυθμούς άφιξης ο CAC απορρίπτει τους επιπλέον (πέραν του 20%) χρήστες δεδομένων, διατηρώντας τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων σταθερό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την σταθεροποίηση του ποσοστού των αποτυχημένων handoff κλήσεων. Επιπλέον εξαιτίας της παραπάνω διαδικασίας σταθεροποιείται, για υψηλό ρυθμό άφιξης δεδομένων και το ποσοστό των υποβαθμισμένων ταινιών βίντεο.

Data Arrival Rate (Messages/sec)	Video Users without Degradation	Video Users Degraded by CAC	Video Users rejected by CAC
50 (8%)	44.11%	8.823%	47.05%
70 (12%)	40.35%	10.52%	49.12%
90 (15%)	33.33%	7.936%	58.73%
110 (18%)	29.23%	4.615%	66.15%
130 (22%)	26.22%	3.278%	70.49%
150 (25%)	26.14%	4.285%	69.57%
170 (29%)	24.13%	3.448%	72.41%
190 (32%)	24.57%	4.761%	70.70%

Πίνακας 13. Επιρροή του ρυθμού άφιξης μηνυμάτων πάνω στην handoff κίνηση βίντεο (για λ=10 χρήστες βίντεο/λεπτό)

Τέλος, ο Πίνακας 14 απεικονίζει το ποσοστό των handoff συνδέσεων δεδομένων που γίνονται αποδεκτές από το μηχανισμό CAC και το αντίστοιχο ποσοστό που απορρίπτεται. Συγκεκριμένα στην δεύτερη στήλη του Πίνακα 14 παρατηρούμε την σταδιακή μείωση (όταν αυξάνεται ο ρυθμός άφιξης email) του ποσοστού των χρηστών δεδομένων που καταφέρνουν να εισέλθουν στο δίκτυο χωρίς την υποβάθμιση κάποιου χρήστη βίντεο. Στην τρίτη στήλη του Πίνακα εμφανίζεται το ποσοστό των χρηστών δεδομένων που καταφέρνουν να εισέρθουν

στο δίκτυο εξαιτίας της υποβάθμισης κάποιων χρηστών βίντεο (πολύ μικρό ποσοστό, αφού το απαιτούμενο bandwidth από έναν χρήστη email είναι της τάξης των 34 Kbps μόλις, συνεπώς σπάνια θα χρειαστεί να υποβαθμιστεί χρήστης βίντεο για να βρεθεί ένα τόσο μικρό, συγκριτικά, ελεύθερο bandwidth). Στην τέταρτη στήλη του Πίνακα εμφανίζεται το ποσοστό των χρηστών δεδομένων που δεν καταφέρνουν να εισέλθουν στο δίκτυο, εξαιτίας της αδυναμίας εύρεσης επαρκούς εύρους ζώνης.

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το πραγματικό διαθέσιμο bandwidth που δυνητικά θα μπορούσαν να αξιοποιήσουν οι χρήστες δεδομένων είναι 36%. Από την τέταρτη στήλη του Πίνακα 14 βλέπουμε ότι για φορτίο κίνησης ίσο με 8.5%, σχεδόν όλοι οι χρήστες γίνονται αποδεκτοί από το μηχανισμό CAC, αλλά αυξανόμενου του φορτίου κίνησης αυξάνεται και ο αριθμός των χρηστών που απορρίπτονται από το δίκτυο. Παρ' όλο που το θεωρητικό διαθέσιμο bandwidth είναι 36% του συνολικού, όταν ο ρυθμός αφίξεων αυξηθεί τόσο ώστε να αντιστοιχεί σε bandwidth μεγαλύτερο του 20% το ποσοστό των απορριφθέντων χρηστών αυξάνεται πολύ σημαντικά. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στην λειτουργία του μηχανισμού CAC, που, για να διατηρήσει υψηλό το QoS των χρηστών βίντεο, αφήνει ένα κομμάτι του εύρους ζώνης αδέσμευτο.

Data Arrival Rate (Messages/sec)	Data Users accepted without Video Degradation	Data Users accepted with Video Degradation	Data Users rejected by CAC
50 (8%)	99.98%	0.0055%	0.0055%
70 (12%)	99.86%	0.0596%	0.0755%
90 (15%)	99.16%	0.1200%	0.7140%
110 (18%)	97.24%	0.1545%	2.6053%
130 (22%)	89.54%	0.1389%	10.314%
150 (25%)	79.17%	0.1276%	20.692%
170 (29%)	69.78%	0.1079%	30.102%
190 (32%)	62.80%	0.1036%	37.092%

Πίνακας 14. Επιρροή του ρυθμού άφιξης μηνυμάτων πάνω στην handoff κίνηση δεδομένων και στις υποβαθμίσεις χρηστών βίντεο.

4.2 Δεύτερη Κατηγορία Αποτελεσμάτων

Στη αυτή την κατηγορία αποτελεσμάτων, όπως έχουμε εξηγήσει, οι υποβαθμίσεις των ταινιών γίνονται με επιλεκτική μετάδοση των video frames ενός GoP.

Ένας HQ χρήστης λαμβάνει όλα τα video frames της ταινίας. Ένας MQ χρήστης λαμβάνει όλα τα I και P frames της ταινίας (τα B frames πετιούνται). Ένας LQ χρήστης λαμβάνει μονάχα τα I frames της ταινίας (τα P και B frames πετιούνται, δηλαδή ο χρήστης λαμβάνει μονάχα την απολύτως βασική πληροφορία από κάθε GoP).

Στις ενότητες που ακολουθούν βασικό αντικείμενο μελέτης αποτέλεσαν: οι μετρικές απόδοσης του δικτύου όταν το κανάλι χρησιμοποιείται και από τα τρία είδη κίνησης, οι μετρικές απόδοσης όταν το κανάλι χρησιμοποιείται μόνο από τους χρήστες βίντεο και οι μετρικές που αφορούν στους χρήστες δεδομένων για έναν δεδομένο όγκο κίνησης φωνής και βίντεο.

4.2.1 Αποτελέσματα για τους χρήστες φωνής, δεδομένων και βίντεο

Ομοίως με το Κεφάλαιο 4.1.1, χρησιμοποιήσαμε ρυθμούς μετάδοσης για φωνή, δεδομένα και βίντεο οι οποίοι αντιστοιχούν στο: 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%, 110%, 120%, 130%, 140% του bandwidth του καναλιού. Τα παραπάνω 11 ποσοστά αντιστοιχούν σε σενάρια κίνησης. Για κάθε ένα από τα σενάρια δημιουργήσαμε τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς κίνησης για φωνή, δεδομένα και βίντεο (κάθε συνδυασμός γεννάει το ίδιο φορτίο). Τα ποσοστά και όλοι οι συνδυασμοί τους απεικονίζονται στους Πίνακες 15 και 16, στους οποίους θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά παρακάτω. Σε όλα τα σενάρια έχουμε θεωρήσει ότι ο αριθμός των χρηστών φωνής είναι σταθερός σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Ο ρυθμός άφιξης των μηνυμάτων e-mail μεταβάλλεται ανάλογα με το σενάριο, ενώ θεωρήσαμε έναν υψηλό μέσο ρυθμό άφιξης των χρηστών βίντεο σε όλα τα σενάρια, ίσο με 10 χρήστες ανά λεπτό. Οι Πίνακες 15 και 16 ουσιαστικά εμφανίζουν τα αποτελέσματα για τα ίδια ακριβώς σενάρια και μετρικές που παρουσιάζονται στους Πίνακες 3 και 4, με μόνη διαφορά τον τρόπο υποβάθμισης των χρηστών.

Number of Voice Users	Messages per second	Maximum Video Capacity (Mbps)	CAC Bandwidth Estimation (Mbps)	Real Bandwidth (Mbps)	Dropped Voice Packets (%)	Number of messages with excessive delay	Dropped Video Packets (%)
214 (16%)	24 (4%)	4 (20%)	7.914	7.130 (36%)	0	0	0
267 (20%)	24 (4%)	3.2 (16%)	7.919	7.223 (36%)	0	0	0
320 (24%)	24 (4%)	2.4 (12%)	7.951	7.391 (37%)	0	0	0
267 (20%)	30 (5%)	5 (25%)	9.889	8.869 (44%)	0	0	0
334 (25%)	30 (5%)	4 (20%)	9.912	9.202 (46%)	0	0	0
400 (30%)	30 (5%)	3 (15%)	9.929	9.329 (47%)	0	0	0
320 (24%)	36 (6%)	6 (30%)	11.87	10.88 (54%)	0	0	0
400 (30%)	36 (6%)	4.8 (24%)	11.9	11.04 (55%)	0	0	0
480 (36%)	36 (6%)	3.6 (18%)	11.93	11.20 (56%)	0	0	0
374 (28%)	42 (7%)	7 (35%)	13.85	12.60 (63%)	0.007	0	0.0001
467 (35%)	42 (7%)	5.6 (28%)	13.90	12.99 (65%)	0.002	0	0
560 (42%)	42 (7%)	4.2 (21%)	13.91	13.16 (65%)	0.002	0	0
427 (32%)	48 (8%)	8 (40%)	15.85	14.51 (72%)	0.027	0	0.001
534 (40%)	48 (8%)	6.4 (32%)	15.88	14.67 (73%)	0.014	0	0.001
640 (48%)	48 (8%)	4.8 (24)	15.93	14.96 (75%)	0.019	0	0.001
480 (36%)	54 (9%)	9 (45%)	17.83	16.33 (81%)	0.059	0	0.019
600 (45%)	54 (9%)	7.2 (36%)	17.91	16.61 (83%)	0.034	1	0.026
720 (54%)	54 (9%)	5.4 (27%)	17.96	16.98 (84%)	0.052	2	0.016
534 (40%)	59 (10%)	10 (50%)	19.65	17.97 (89%)	0.312	15	0.055
667 (50%)	59 (10%)	8 (40%)	19.71	18.32 (92%)	0.156	12	0.043
800 (60%)	59 (10%)	6 (30%)	19.77	18.56 (93%)	0.336	17	0.077

Πίνακας 15. Σενάρια προσομοιώσεων με φορτία 40%-100% του συνολικού εύρους ζώνης.

Number of Voice Users	Messages per second	Maximum Video Capacity (Mbps)	Voice Real Bandwidth	Data Real Bandwidth	Video Real Bandwidth
214 (16%)	24 (4%)	4 (20%)	16.10%	4.018%	15.50%
267 (20%)	24 (4%)	3.2 (16%)	20.08%	4.054%	11.94%
320 (24%)	24 (4%)	2.4 (12%)	24.06%	4.063%	8.834%
267 (20%)	30 (5%)	5 (25%)	20.07%	5.083%	19.25%
334 (25%)	30 (5%)	4 (20%)	25.14%	5.074%	15.70%
400 (30%)	30 (5%)	3 (15%)	30.06%	5.103%	11.41%
320 (24%)	36 (6%)	6 (30%)	24.05%	6.099%	24.24%
400 (30%)	36 (6%)	4.8 (24%)	30.09%	5.999%	19.00%
480 (36%)	36 (6%)	3.6 (18%)	36.10%	6.118%	13.74%
374 (28%)	42 (7%)	7 (35%)	28.12%	7.280%	27.82%
467 (35%)	42 (7%)	5.6 (28%)	35.11%	7.064%	22.70%
560 (42%)	42 (7%)	4.2 (21%)	42.10%	7.152%	16.58%
427 (32%)	48 (8%)	8 (40%)	32.07%	8.209%	32.21%
534 (40%)	48 (8%)	6.4 (32%)	40.13%	8.165%	24.93%
640 (48%)	48 (8%)	4.8 (24)	48.12%	8.134%	18.61%
480 (36%)	54 (9%)	9 (45%)	36.10%	9.151%	36.46%
600 (45%)	54 (9%)	7.2 (36%)	45.11%	9.261%	28.83%
720 (54%)	54 (9%)	5.4 (27%)	54.09%	9.150%	21.54%
534 (40%)	59 (10%)	10 (50%)	40.01%	9.174%	40.65%
667 (50%)	59 (10%)	8 (40%)	50.06%	9.051%	32.49%
800 (60%)	59 (10%)	6 (30%)	60.11%	8.866%	23.84%

Πίνακας 16. Bandwidth που πραγματικά δεσμεύεται από κάθε είδος κίνησης, με φορτία 40%-100% του συνολικού εύρους ζώνης.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των Πινάκων 15-16 με εκείνα των Πινάκων 3-4 φανερώνει ότι με τον τρόπο υποβάθμισης των χρηστών που προτείνουμε, υπάρχει σημαντική αύξηση (4%-8%) στο πραγματικό χρησιμοποιούμενο bandwidth του καναλιού, και η διαφορά αυτή έγκειται εξ' ολοκλήρου στην μεγαλύτερη χρήση του bandwidth από τους χρήστες βίντεο. Από την σύγκριση των Πινάκων 15 και 3, βλέπουμε ότι η αύξηση της χρήσης του bandwidth του καναλιού από τους χρήστες βίντεο συνδυάζεται, όπως είναι φυσικό, με την ύπαρξη χειρότερου QoS για όλους τους χρήστες. Παρατηρούμε όμως πως, ακόμα και για συνολικό φορτίο ίσο με 100% δεν παραβιάζονται οι απαιτήσεις QoS της κίνησης φωνής, ενώ το ίδιο συμβαίνει και με τις απαιτήσεις QoS της κίνησης βίντεο για συνολικά φορτία μικρότερα ή ίσα με 80%. Επίσης, σημαντική διαφορά στο QoS των χρηστών δεδομένων εμφανίζεται μόνο

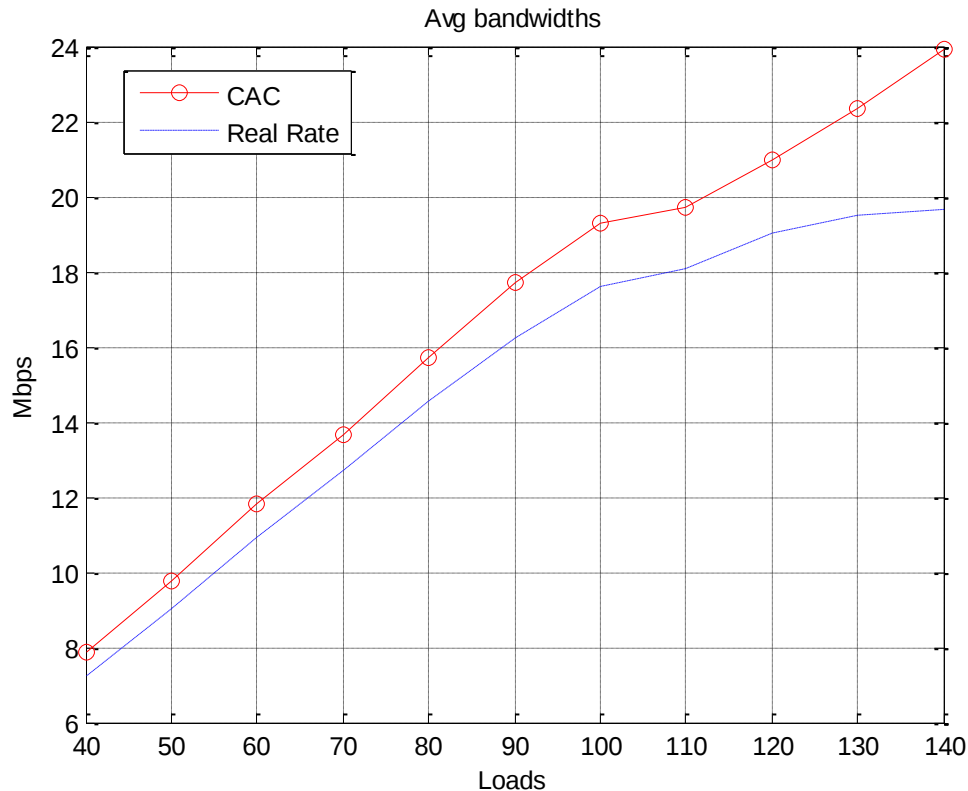
για φορτίο ίσο με 100%, όπου αρκετά μηνύματα δεν μεταδίδονται εντός προθεσμίας, αλλά για όλα τα μικρότερα φορτία οι παραβιάσεις του QoS είναι από μηδενικές έως ελάχιστες.

Παρόμοια, ποιοτικά, ήταν και τα αποτελέσματα που λάβαμε όταν το συνολικό φορτίο κίνησης που επιχειρεί να εισέλθει στο δίκτυο είναι πάνω από 100%.

Στο Σχήμα 42 παρουσιάζουμε γραφικά την εκτίμηση του CAC για το απαιτούμενο bandwidth (μέσος όρος των τριών συνδυασμών που δημιουργούν κάθε φορτίο) καθώς και το πραγματικό bandwidth που χρειάζονται οι χρήστες. Παρατηρούμε από το σχήμα (το ίδιο είναι φανερό και από τον Πίνακα 15) ότι, σε αντίθεση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τον πρώτο τρόπο υποβάθμισης των χρηστών, η πρόβλεψη που κάνει ο αλγόριθμος CAC για το απαιτούμενο εύρος ζώνης είναι σημαντικά πιο κοντά στις πραγματικές απαιτήσεις των χρηστών. Η διαφορά που προκύπτει στα αποτελέσματα των δύο τρόπων υποβάθμισης έγκειται στην πρότασή μας για τον τρόπο υλοποίησης του δεύτερου τρόπου υποβάθμισης. Πιο συγκεκριμένα:

α) Η επιλεκτική μετάδοση των video frames ενός GoP οδηγεί στην ύπαρξη μονάχα I και P frames σε μια MQ ταινία, και μονάχα I frames σε μια LQ ταινία. Με δεδομένο ότι ο μεγάλος όγκος της μεταδιδόμενης πληροφορίας σε κάθε GoP ενυπάρχει στο I frame, αυτό σημαίνει πως η τυπική απόκλιση (σ) της κάθε ταινίας μειώνεται σημαντικά, και ο τύπος (1) γίνεται πιο ακριβής στην πρόβλεψή του.

β) Με τον πρώτο τρόπο υποβάθμισης, οι MQ και LQ μορφές κάθε ταινίας περιλαμβάνουν I, P και B frames τα οποία έχουν μικρότερο μέγεθος από τα frames αντίστοιχου τύπου ταινιών υψηλότερης ποιότητας. Αντίθετα, με τον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης, τα frames που δεν πετιούνται (I, P για MQ και I για LQ) είναι τα frames της αρχικής HQ ταινίας, δηλαδή περιλαμβάνουν σημαντικά μεγαλύτερη πληροφορία.



Σχήμα 42. Σύγκριση ανάμεσα στο πραγματικά χρησιμοποιούμενο bandwidth και σε εκείνο που υπολογίζει ο μηχανισμός CAC, για διάφορα φορτία, με τον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης των χρηστών.

4.2.2 Αποτελέσματα για τους χρήστες βίντεο

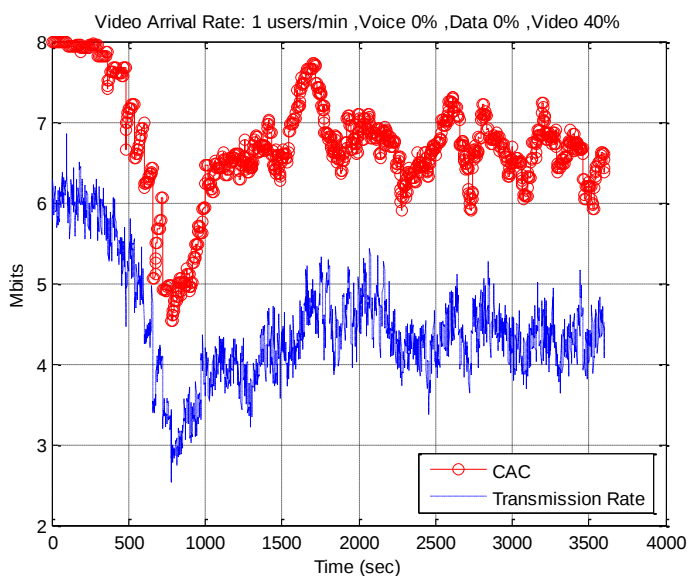
Όπως και στο κεφάλαιο 4.1.2, επικεντρωνόμαστε σε αυτή την ενότητα στη μελέτη της συμπεριφοράς χρηστών βίντεο μόνο (θεωρούμε πως δεν υπάρχουν άλλα είδη κίνησης στο κανάλι). Στον Πίνακα 17 παρουσιάζουμε και πάλι αποτελέσματα για $\lambda=10$ χρήστες/λεπτό, ομοίως με τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 7. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο Πινάκων, επιβεβαιώνονται για μια ακόμα φορά τα αποτελέσματά μας στην αμέσως προηγούμενη ενότητα, που δείχνουν ότι με τον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης των χρηστών το πραγματικό bandwidth που καταναλώνουν οι χρήστες είναι πολύ πιο κοντά στην εκτίμηση του CAC (που παραμένει συντηρητική) σε σχέση με τα αποτελέσματα του πρώτου τρόπου υποβάθμισης.

Το «κόστος» όμως που πληρώνουμε σε αυτή την περίπτωση είναι ότι η εκρηκτικότητα της κίνησης βίντεο οδηγεί σε σημαντικές απώλειες πακέτων και σε παραβίαση του απαιτούμενου QoS των χρηστών βίντεο ($<0.01\%$ απώλεια πακέτων βίντεο) για φορτία $>45\%$, τη στιγμή που με τον πρώτο τρόπο υποβάθμισης η αντίστοιχη παραβίαση λάμβανε χώρα για φορτία $>90\%$.

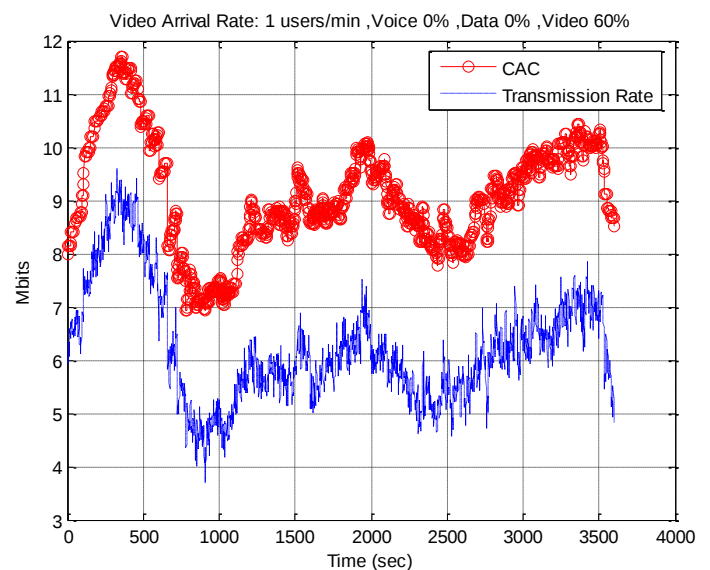
Maximum Video Capacity (Mbps)	Video Arrival Rate (λ)	Video CAC Bandwidth Estimation (Mbps)	Video Real Bandwidth (Mbps)	Avg Number of Users	Video Dropped Packets (%)
8 (40%)	10	7.907	6.736 (34%)	46	0.0062
10 (50%)	10	9.793	8.354 (42%)	53	0.0149
12 (60%)	10	11.76	10.07 (50%)	57	0.0987
14 (70%)	10	13.71	11.7 (58%)	62	0.4075
16 (80%)	10	15.62	13.22 (66%)	64	1.0690
18 (90%)	10	17.56	14.84 (74%)	68	2.0240
20 (100%)	10	19.43	16.20 (81%)	70	3.5820
22 (110%)	10	21.33	17.21 (86%)	72	6.4840

Πίνακας 17. Μέσος αριθμός ενεργών χρηστών στο σύστημα για $\lambda=10$ χρήστες/λεπτό.

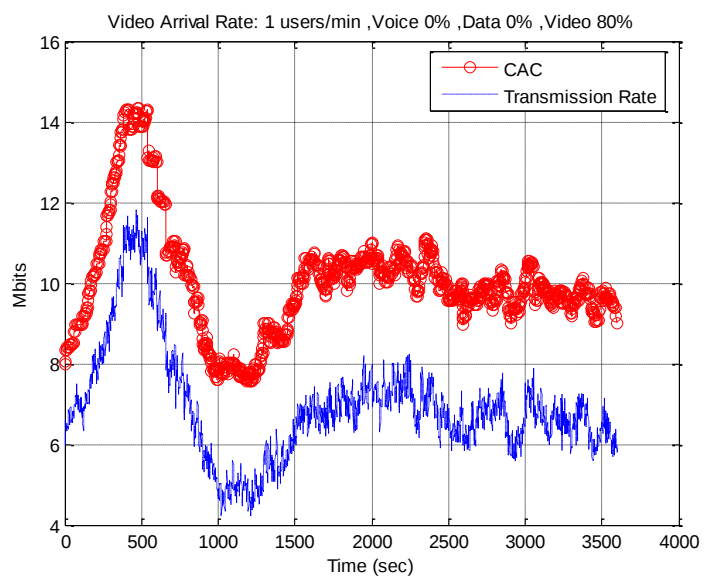
Στα σχήματα 43-46, για ρυθμό άφιξης χρηστών βίντεο ίσο με 1 χρήστη/λεπτό και στα σχήματα 47-50, για ρυθμό άφιξης χρηστών βίντεο ίσο με 10 χρήστες/λεπτό παρουσιάζουμε δυο γραφικές παραστάσεις. Η μια αναπαριστά το bandwidth που χρησιμοποιείται πραγματικά από τους χρήστες του δικτύου κάθε δευτερόλεπτο και η άλλη το bandwidth που υπολογίζει ο αλγόριθμος CAC. Σε όλα τα Σχήματα, η απόσταση ανάμεσα στον πραγματικό ρυθμό μετάδοσης των χρηστών και στην εκτίμηση του CAC είναι μικρότερη από την αντίστοιχη απόσταση στα σχήματα 3-10, αλλά και πάλι ο CAC είναι αρκετά συντηρητικός, οδηγώντας σε υποχρησιμοποίηση του διαθέσιμου bandwidth.



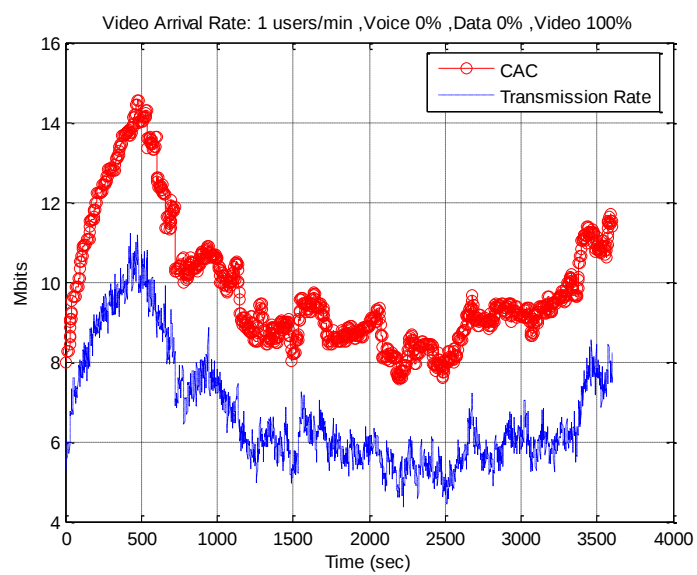
Σχήμα 43



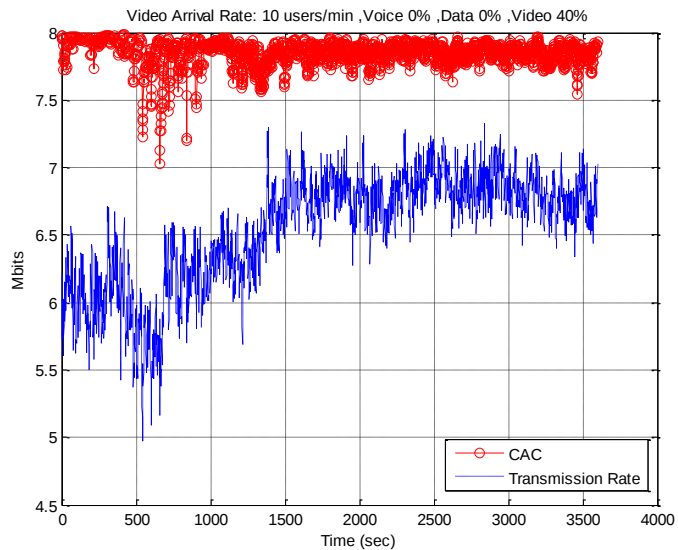
Σχήμα 44



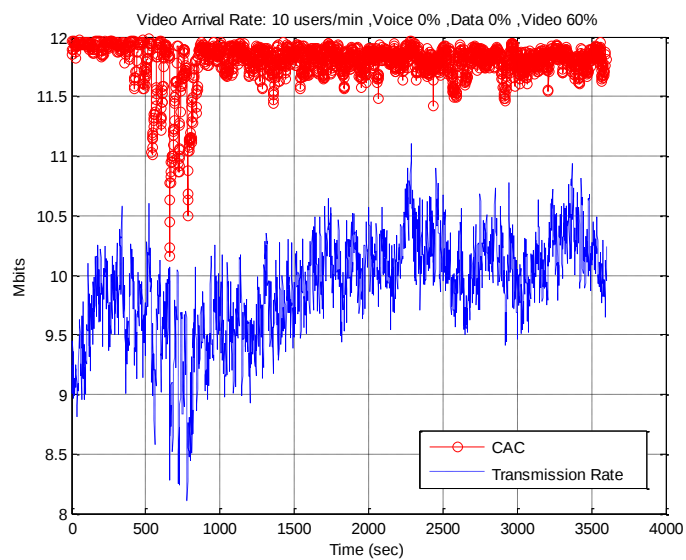
Σχήμα 45



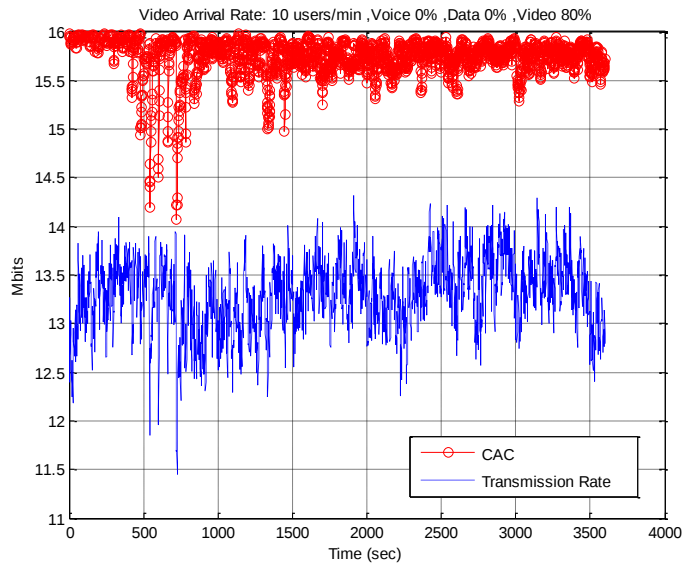
Σχήμα 46



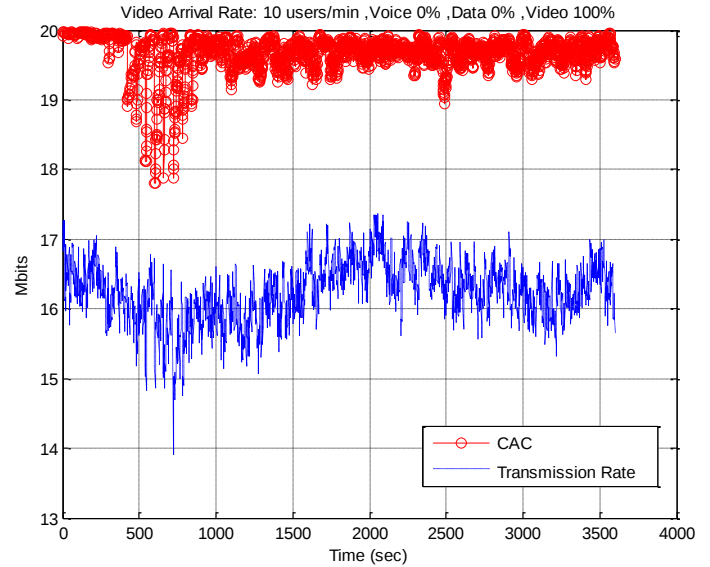
Σχήμα 47



Σχήμα 48



Σχήμα 49



Σχήμα 50

4.2.3 Υποβαθμίσεις-Αναβαθμίσεις Χρηστών Βίντεο

Εκτελέσαμε για τον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης των χρηστών τις αντίστοιχες προσομοιώσεις με εκείνες του Κεφαλαίου 4.1.3.

Οι τιμές των μετρικών στους Πίνακες 18-19 προέκυψαν από προσομοιώσεις για διαφορετικά φορτία βίντεο, με μέσο ρυθμό άφιξης 5 και 10 χρήστες/λεπτό αντίστοιχα. Συγκρίνοντας τις τιμές των μετρικών αυτών με τις αντίστοιχες των Πινάκων 9 και 10, για τον πρώτο τρόπο υποβάθμισης, καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα:

α) Ο αριθμός των χρηστών βίντεο που γίνονται δεκτοί στο σύστημα είναι μεγαλύτερος (για τους λόγους που έχουμε ήδη εξηγήσει και έχουν να κάνουν με την λογική του δεύτερου τρόπου υποβάθμισης).

β) Το ποσοστό των χρηστών HQ που υποβαθμίζονται και το degradation ratio είναι σημαντικά μικρότερο όταν χρησιμοποιείται ο δεύτερος τρόπος υποβάθμισης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι χρήστες βίντεο έχουν στην διάθεση τους μεγαλύτερο εύρος ζώνης σε σχέση με τον πρώτο τρόπο υποβάθμισης.

γ) Το ποσοστό των χρηστών MQ που υποβαθμίζονται είναι παραπλήσιο με εκείνο του πρώτου τρόπου υποβάθμισης, ενώ το degradation ratio είναι μεγαλύτερο με την χρήση του δεύτερου τρόπου υποβάθμισης – συνεπώς υποβαθμίζεται περίπου το ίδιο ποσοστό χρηστών, αλλά παραμένουν υποβαθμισμένοι για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Ο λόγος είναι ότι οι χρήστες MQ, με τον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης, είναι περισσότερο εκρηκτικοί απ' ό,τι με

τον πρώτο (η απουσία των B frames οδηγεί σε μεγαλύτερο ποσοστό I frames επί του συνόλου των μεταδιδόμενων frames).

Τα ίδια ποιοτικά αποτελέσματα προκύπτουν και από την σύγκριση των σχημάτων 51-62 με τα αποτελέσματα των σχημάτων 11-22 που αφορούσαν στον πρώτο τρόπο υποβάθμισης των χρηστών βίντεο.

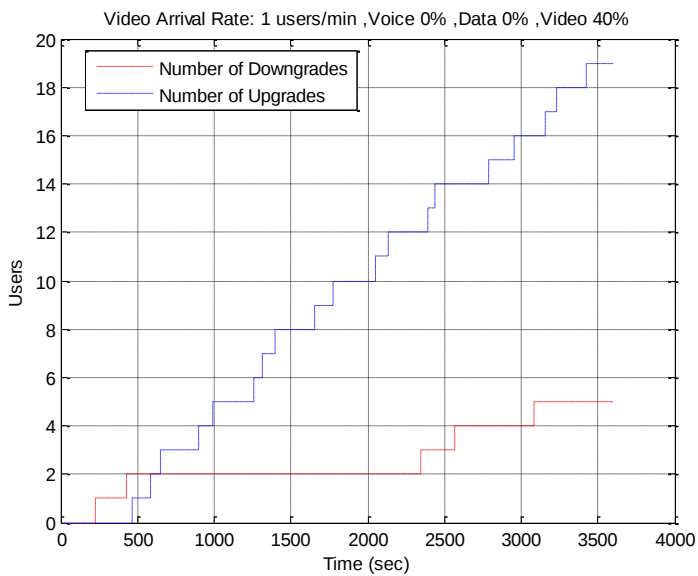
Maximum Video Capacity (Mbps)	Active Users	Downgrade percentage HQ	Downgrade percentage MQ	Degradation Ratio HQ	Degradation Ratio MQ
8 (40%)	162	96%	83%	90%	80%
10 (50%)	177	83%	70%	88%	79%
12 (60%)	197	77%	59%	88%	76%
14 (70%)	212	73%	45%	87%	75%
16 (80%)	223	55%	38%	84%	72%
18 (90%)	238	47%	34%	87%	72%
20 (100%)	247	36%	26%	80%	76%
22 (110%)	259	21%	19%	66%	74%

Πίνακας 18. Ποσοστό υποβαθμίσεων και degradation ratio για $\lambda=5$ χρήστες/λεπτό.

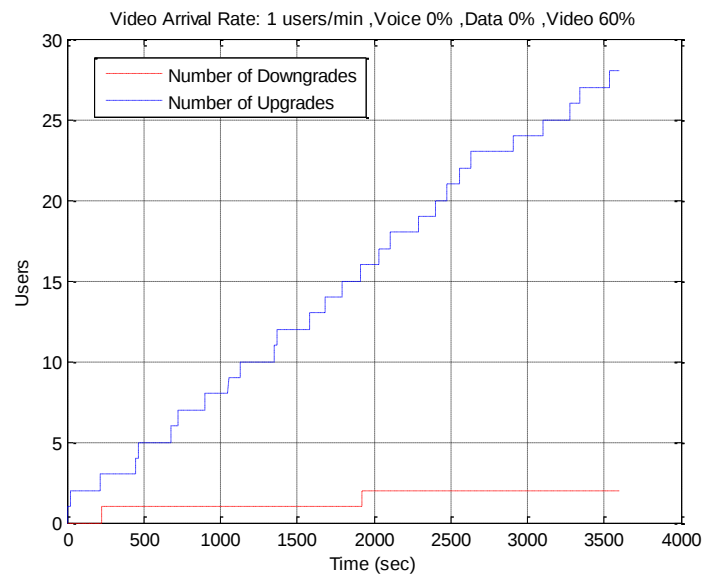
Maximum Video Capacity (Mbps)	Active Users	Downgrade percentage HQ	Downgrade percentage MQ	Degradation Ratio HQ	Degradation Ratio MQ
8 (40%)	237	100%	100%	94%	93%
10 (50%)	274	99%	94%	90%	86%
12 (60%)	310	93%	93%	88%	83%
14 (70%)	323	91%	84%	92%	79%
16 (80%)	338	90%	77%	88%	74%
18 (90%)	370	86%	74%	85%	74%
20 (100%)	382	80%	64%	83%	73%
22 (110%)	399	74%	58%	85%	75%

Πίνακας 19. Ποσοστό υποβαθμίσεων και degradation ratio για $\lambda=10$ χρήστες/λεπτό.

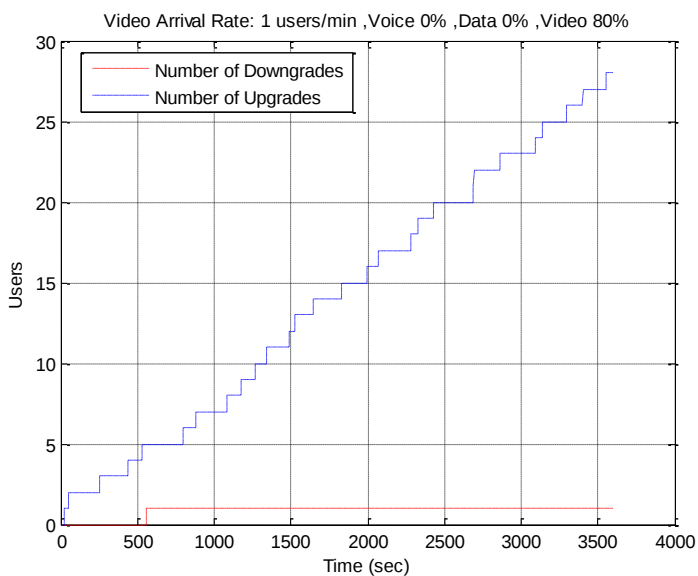
Τα σχήματα 51-62 απεικονίζουν τον αριθμό των αναβαθμίσεων και υποβαθμίσεων των ταινιών mpeg-4 για ρυθμό άφιξης χρηστών βίντεο ίσο με 1, 5 και 10 χρήστες/λεπτό. Οι παρατηρήσεις που κάνουμε είναι οι ίδιες με τα αντίστοιχα σχήματα της πρώτης κατηγορίας υποβάθμισης.



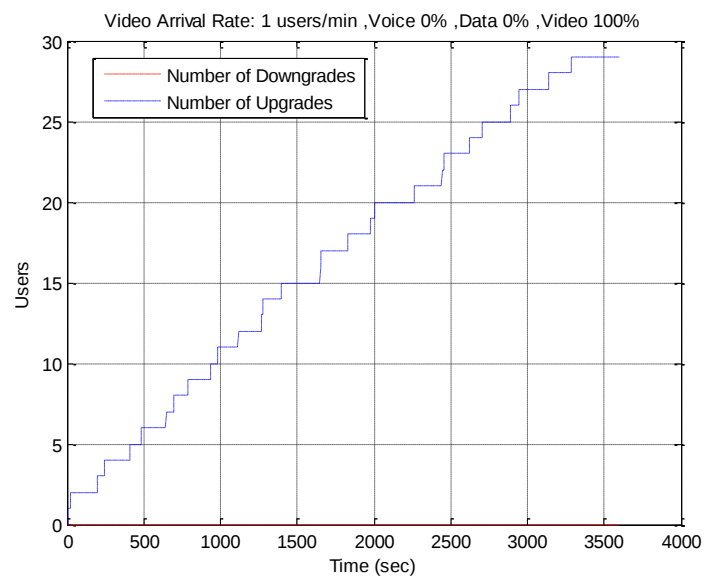
Σχήμα 51



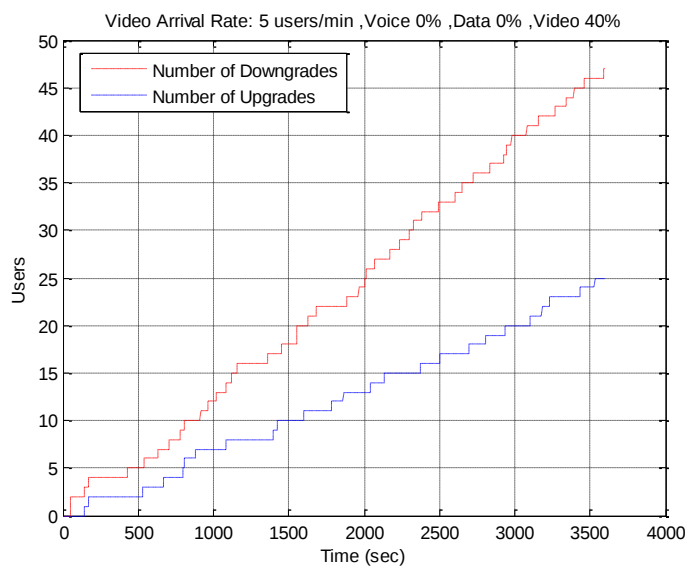
Σχήμα 52



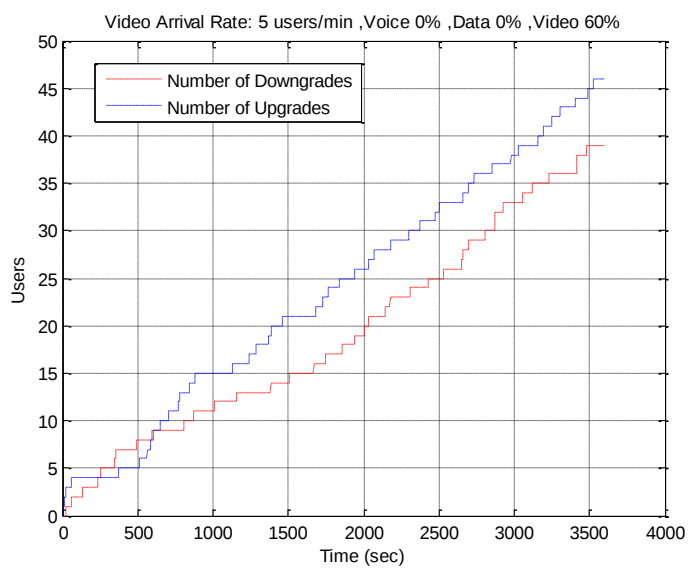
Σχήμα 53



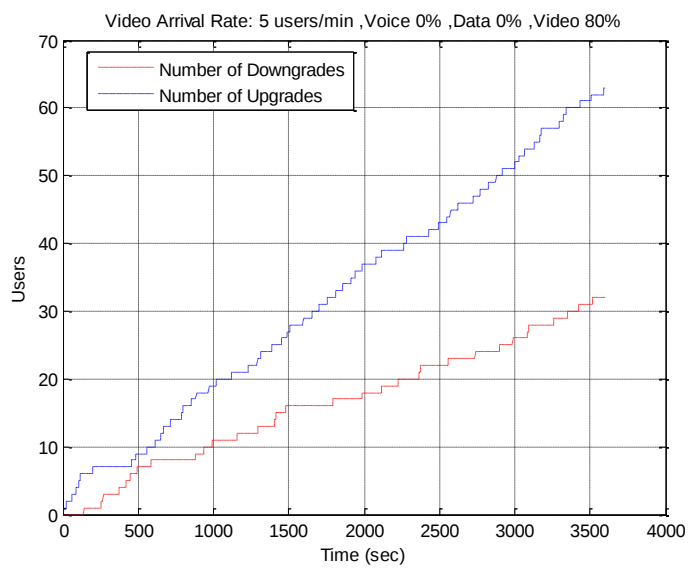
Σχήμα 54



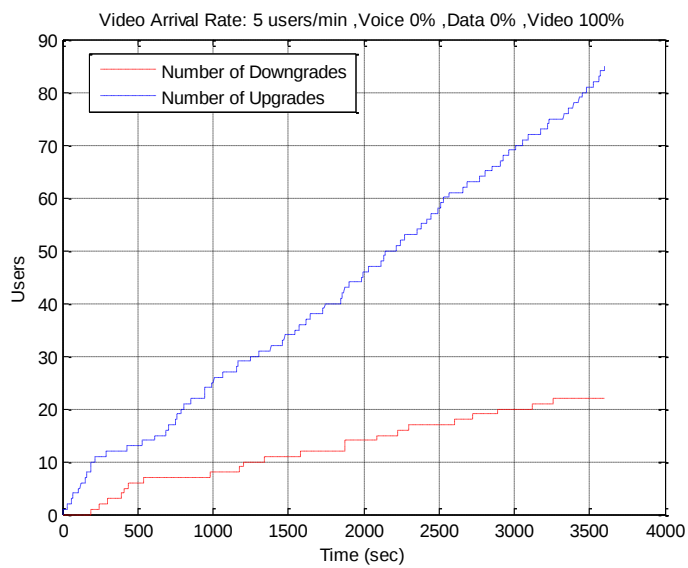
Σχήμα 55



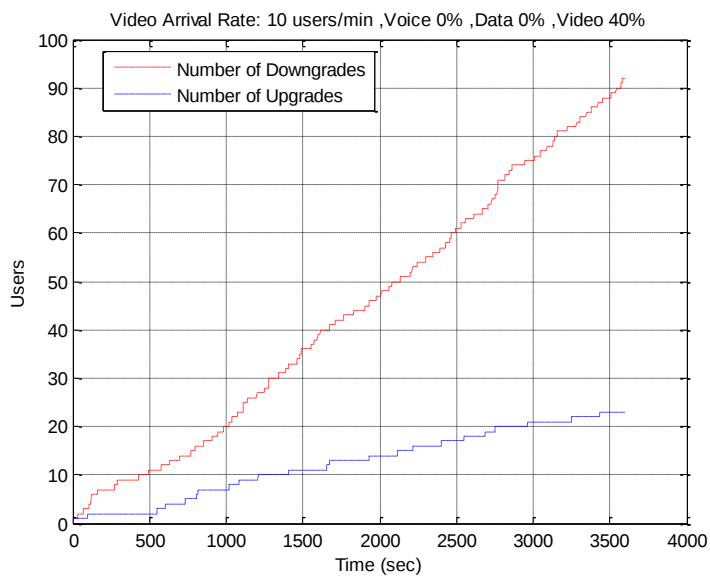
Σχήμα 56



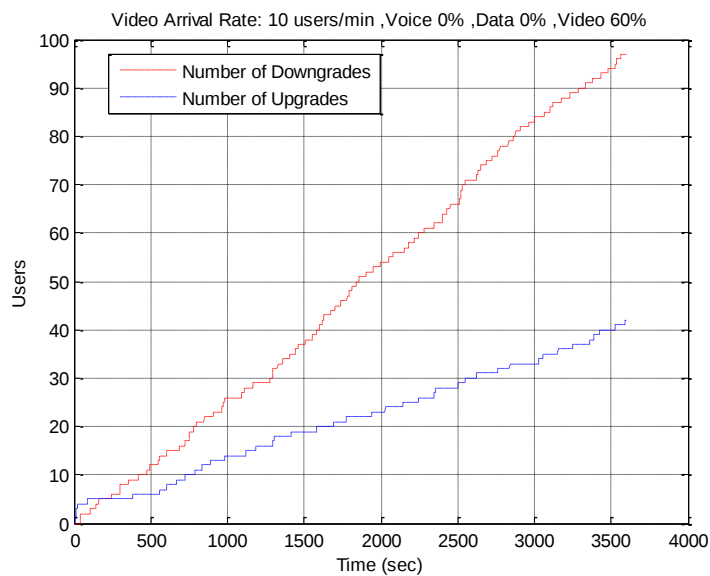
Σχήμα 57



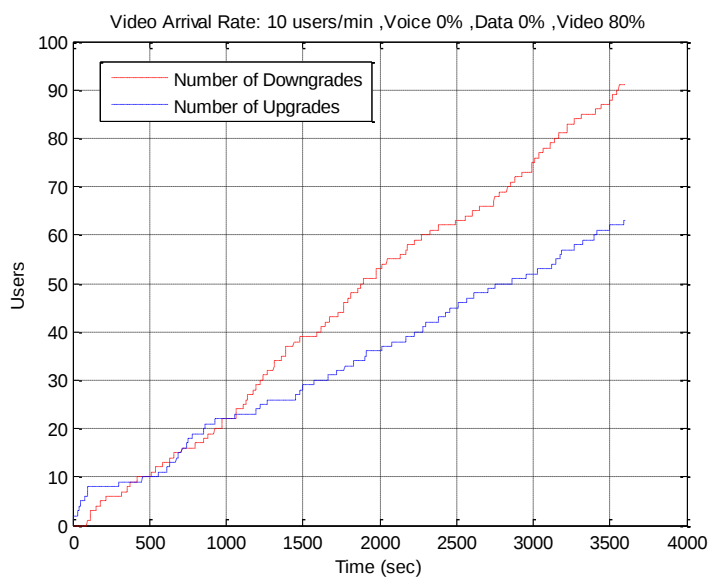
Σχήμα 58



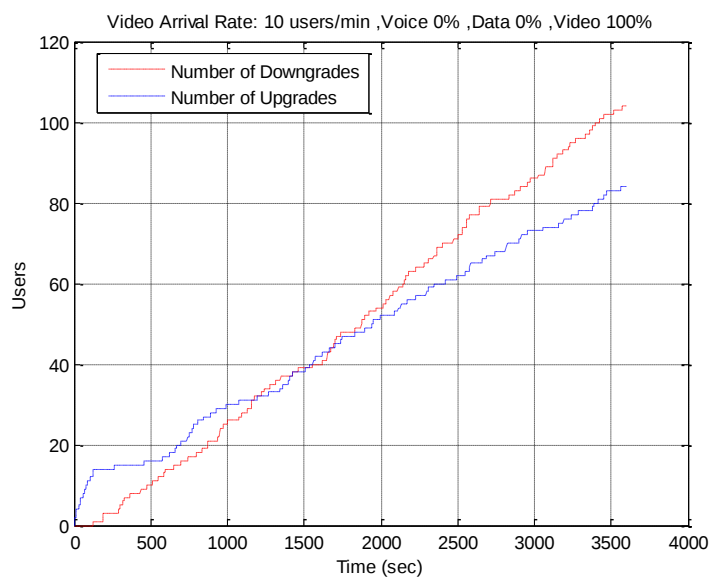
Σχήμα 59



Σχήμα 60



Σχήμα 61



Σχήμα 62

Τέλος, επικεντρωνόμαστε ξανά στους handoff χρήστες βίντεο για να υπολογίσουμε τρεις μετρικές:

- α. Το ποσοστό αυτών των χρηστών που καταφέρνουν να εισέλθουν στο δίκτυο χωρίς υποβάθμιση.
- β. Το ποσοστό αυτών των χρηστών που καταφέρνουν να εισέλθουν στο δίκτυο χάρις σε υποβάθμιση δική τους ή υποβάθμιση άλλων χρηστών βίντεο.
- γ. Το ποσοστό αυτών των χρηστών που δεν καταφέρνουν να εισέλθουν στο δίκτυο, εξαιτίας της αδυναμίας εύρεσης επαρκούς εύρους ζώνης.

Στον Πίνακα 20 απεικονίζονται οι μετρικές αυτές, για μέσο ρυθμό άφιξης χρηστών βίντεο ίσο με 10 χρήστες ανά λεπτό και για διαφορετικά φορτία βίντεο.

Maximum Video Capacity (Mbps)	Video Users without Degradation	Video Users Degraded by CAC	Video Users rejected by CAC
8 (40%)	50.81%	16.39%	32.78%
10 (50%)	67.21%	18.03%	14.75%
12 (60%)	75.75%	18.18%	6.060%
14 (70%)	78.33%	20.00%	1.666%
16 (80%)	78.68%	19.67%	1.639%
18 (90%)	83.07%	16.92%	0%
20 (100%)	83.60%	16.39%	0%
22 (110%)	83.15%	16.84%	0%

Πίνακας 20. Μετρικές για handoff βίντεο χρήστες.

Στον Πίνακα 20 βλέπουμε ότι, όπως και στον Πίνακα 11, η αύξηση του επιτρεπόμενου φορτίου κίνησης των βίντεο χρηστών, οδηγεί σε αύξηση του ποσοστού των επιτυχημένων handoff κλήσεων. Η διαφορά, με την χρήση του δεύτερου τρόπου υποβάθμισης, είναι ότι το ποσοστό των αιτήσεων των χρηστών βίντεο που απορρίπτεται είναι πολύ μικρότερο, καθώς γίνεται σημαντικά μεγαλύτερη χρήση του bandwidth του καναλιού.

4.2.4 Αποτελέσματα για τους χρήστες δεδομένων

Ομοίως με το Κεφάλαιο 4.1.4, επικεντρωνόμαστε εδώ στην μελέτη της συμπεριφοράς των χρηστών δεδομένων, με την υλοποίηση των αντίστοιχων προσομοιώσεων (8 Mbps θεωρούμε πως καταλαμβάνουν οι χρήστες φωνής, και 8 Mbps είναι το μέγιστο επιτρεπτό bandwidth που μπορούν να καταλάβουν οι χρήστες βίντεο. Προκειμένου να μελετήσουμε τη συμπεριφορά των χρηστών δεδομένων, υλοποιούμε προσομοιώσεις με διαφορετικό ρυθμό άφιξης μηνυμάτων e-mail.

Η τέταρτη στήλη του Πίνακα 21 παρουσιάζει την τιμή του πραγματικού αθροιστικού ρυθμού μετάδοσης από τους χρήστες φωνής και βίντεο. Βλέπουμε ότι πρακτικά δεσμεύουν περίπου το 73% του bandwidth του καναλιού (7% περισσότερο απ' ό τι με τον πρώτο τρόπο υποβάθμισης, όπως δείχνει η σύγκριση με τα αποτελέσματα του Πίνακα 12). Η μέση καθυστέρηση αποστολής μηνύματος για όλα τα φορτία που εμφανίζονται στον Πίνακα 12 κυμαίνεται από 200 έως 467 msec (50-100 msec αυξημένη σε σχέση με την αντίστοιχη καθυστέρηση με τον πρώτο τρόπο υποβάθμισης, λόγω της αύξησης της χρήσης του bandwidth του καναλιού από χρήστες βίντεο). Επίσης, σε αντίθεση με τα αποτελέσματα που παρουσιάσαμε στον Πίνακα 12, για φορτία δεδομένων μεγαλύτερα των 110 μηνυμάτων/δευτερόλεπτο (δηλ. μεγαλύτερα των 3.7 Mbps) υπάρχουν μηνύματα τα οποία δεν κατορθώνουν να μεταδοθούν εντός του ορίου των 5 δευτερολέπτων (με τον πρώτο τρόπο υποβάθμισης δεν υπήρχε παραβίαση των απαιτήσεων QoS για κανένα μήνυμα). Ωστόσο, εάν λάβουμε υπ' όψιν ότι τα μηνύματα που μεταδόθηκαν συνολικά σε κάθε προσομοίωση είναι πάνω από 300000, η παραβίαση της μέγιστης επιτρεπόμενης καθυστέρησης από 10 μηνύματα e-mail υπό συνθήκες πολύ υψηλού συνολικού φορτίου μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο κόστος.

Data Arrival Rate (Messages/sec)	CAC Bandwidth Estimation (Mbps)	Real Bandwidth for Data Users (Mbps)	Voice+Video Real Bandwidth (Mbps)	Avg Message delay (msec)	Number of messages with excessive delay
50 (8%)	1.743	1.709 (8%)	14.64 (73.2%)	202	0
70 (12%)	2.474	2.365 (12%)	14.69 (73.4%)	286	0
90 (15%)	3.177	2.964 (15%)	14.70 (73.5%)	361	0
110 (18%)	3.789	3.465 (17%)	14.70 (73.5%)	419	0
130 (22%)	4.138	3.749 (19%)	14.65 (73.3%)	456	5
150 (25%)	4.227	3.842 (19%)	14.58 (73.0%)	457	7
170 (29%)	4.258	3.855 (19%)	14.56 (72.8%)	457	6
190 (32%)	4.272	3.857 (19%)	14.65 (73.3%)	467	10

Πίνακας 21. Χρησιμοποιούμενο bandwidth από χρήστες δεδομένων, φωνής και βίντεο για διαφορετικά φορτία δεδομένων.

Τα υπόλοιπα αποτελέσματα που λάβαμε από τις προσομοιώσεις με επίκεντρο τους χρήστες δεδομένων επιβεβαιώνουν, ποιοτικά, τις διαφορές που ήδη έχουμε διαπιστώσει ανάμεσα στα αποτελέσματα των δύο τρόπων υποβάθμισης. Προς αποφυγή επανάληψης δεν παραθέτουμε τα αποτελέσματα αυτά (π.χ. σχήματα αντίστοιχα με εκείνα των σχημάτων 31-41, που αφορούν στον πρώτο τρόπο υποβάθμισης).

Παρουσιάζουμε μόνο, στον Πίνακα 22, για τον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης χρηστών βίντεο τα αποτελέσματα που αφορούν στην handoff κίνηση δεδομένων (αποτελέσματα δηλαδή αντίστοιχα με εκείνα του Πίνακα 14). Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο Πινάκων, παρατηρούμε ότι είναι μικρότερο το ποσοστό των handoff χρηστών δεδομένων που γίνονται δεκτοί χωρίς να χρειάζεται υποβάθμιση χρηστών βίντεο, και μεγαλύτερο το ποσοστό των handoff χρηστών δεδομένων των οποίων οι αιτήσεις απορρίπτονται από τον μηχανισμό CAC. Ο λόγος, για μια ακόμα φορά, είναι ότι με την χρήση του δεύτερου τρόπου υποβάθμισης χρηστών βίντεο γίνεται σημαντικά μεγαλύτερη χρήση του bandwidth του καναλιού από χρήστες βίντεο, με συνέπεια οι handoff χρήστες δεδομένων να βρίσκουν λιγότερο bandwidth ελεύθερο και είτε να απορρίπτονται οι αιτήσεις τους είτε να μπορούν να γίνουν δεκτές μόνο μετά από υποβάθμιση των χρηστών βίντεο.

Data Arrival Rate (Messages/sec)	Data Users accepted without Video Degradation	Data Users accepted with Video Degradation	Data Users rejected by CAC
50 (8%)	99.92%	0.0333%	0.0445%
70 (12%)	99.14%	0.1305%	0.7238%
90 (15%)	97.14%	0.1548%	2.7041%
110 (18%)	93.30%	0.1589%	6.5326%
130 (22%)	85.03%	0.1583%	14.803%
150 (25%)	75.53%	0.1294%	24.333%
170 (29%)	67.03%	0.1176%	32.842%
190 (32%)	59.85%	0.0965%	40.045%

Πίνακας 22. Επιρροή του ρυθμού άφιξης μηνυμάτων πάνω στην handoff κίνηση δεδομένων και στις υποβαθμίσεις χρηστών βίντεο.

Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάσαμε ένα μηχανισμό ελέγχου αποδοχής κλήσης για κίνηση πολυμέσων (φωνή, βίντεο, δεδομένα) σε ασύρματα κυψελωτά δίκτυα.

Ο μηχανισμός CAC έχει στόχο την μεγιστοποίηση της διαπερατότητας (throughput) του καναλιού χωρίς να υπάρξει συμφόρηση στο δίκτυο, που θα οδηγήσει σε παραβίαση των απαιτήσεων QoS των χρηστών. Κάτι τέτοιο καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολο εξαιτίας της διαφορετικής φύσης των πληροφοριών που μεταδίδονται καθώς και των διαφορετικών απαιτήσεων σε QoS της κάθε υπηρεσίας. Η εργασία μας επικεντρώθηκε στην περίπτωση όπου δεν υπάρχουν ικανοποιητικά μοντέλα για την εκτίμηση της συμπεριφοράς της κίνησης βίντεο, γεγονός που δυσκολεύει ακόμα περισσότερο την λειτουργία του μηχανισμού CAC.

Η μελέτη μας έδειξε ότι η χρήση της ευρύτατα διαδεδομένης προσέγγισης του υπολογισμού «ισοδύναμου bandwidth» οδηγεί τον CAC σε πολύ συντηρητικές εκτιμήσεις όσον αφορά στο bandwidth που χρειάζονται οι χρήστες βίντεο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα όσοι χρήστες επιτυγχάνουν να στείλουν επιτυχημένα τις αιτήσεις τους να απολαμβάνουν πολύ υψηλή ποιότητας παρεχόμενης υπηρεσίας, όμως ταυτόχρονα ένα σημαντικό ποσοστό από το bandwidth του καναλιού παρέμεινε αναξιοποίητο.

Για τον λόγο αυτό προτείναμε έναν τρόπο υποβάθμισης της ποιότητας εκείνων των χρηστών βίντεο που ανέχονται, βάσει συμβολαίου, να υποβαθμισθούν, ο οποίος οδηγεί σε σημαντική αύξηση του χρησιμοποιούμενου bandwidth του καναλιού. Η αποδοτικότητα του προτεινόμενου μηχανισμού CAC έγκειται στο ότι συνδυάζει την αύξηση της διαπερατότητας με ελάχιστη έως μηδαμινή χειροτέρευση στο QoS των ασύρματων χρηστών πολυμέσων.

Αναφορές

1. J. Misić, T. Y. Bun, "Adaptive admission control in wireless multimedia networks under nonuniform traffic conditions", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 18, No. 11, 2000, pp. 2429-2442.
2. D. M. Lucantoni, M. F. Neuts, and A. R. Reibman, "Methods for performance evaluation of VBR video traffic models," *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol. 2, No. 2, 1994, pp. 176-180.
3. P. Koutsakis, "On Modeling VBR videoconferencing traffic from H.263 video coders", *Computer Communications Journal*, Vol. 31, No. 1, 2008, pp. 1-4.
4. S. Jamin, P. B. Danzig, S. J. Shenker and L. Zhang, "A measurement-based admission control algorithm for integrated service packet networks", *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol. 5, No. 1, 1997, pp. 56-70.
5. D. D. Clark, S. J. Shenker and L. Zhang, "Supporting real-time applications in an integrated services packet network: architecture and mechanism", in *Proc. of the ACM SIGCOMM*, 1992, Baltimore, USA, pp. 14-26.
6. D. Ferrari and D. C. Verma, "A scheme for real-time channel establishment in wide-area networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 8, No. 3, 1990, pp. 368-379.
7. H. Zhang and D. Ferrari, "Improving utilization for deterministic service in multimedia communication", in *Proc. of the IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*, 1994, Boston, USA.
8. H. Zhang and E. W. Knightly, "Providing end-to-end statistical performance guarantee with bounding interval dependent stochastic models", in *Proc. of the ACM SIGMETRICS*, 1994, Nashville, USA.
9. H. Saito and K. Shiimoto, "Dynamic call admission control in ATM networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 9, No. 7, 1991, pp. 982-989.
10. W. Verbiest, L. Pinoo and B. Voeten, "The impact of the ATM concept on video coding", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. SAC-6, 1988, pp. 1623-1632.
11. R. Guérin, H. Ahmadi and M. Naghsineh, "Equivalent capacity and its application to bandwidth allocation in high-speed networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 9, No. 7, 1991, pp. 968-981.
12. R. Guérin and L. Gu, "A Unified Approach to Bandwidth Allocation and Access Control in Fast Packet-Switched Networks", in *Proceedings of the IEEE Infocom' 92*, pp.1-12, Florence, Italy, 1992.
13. M. Naghsineh, and R. Guérin, "Fixed versus variable packet sizes in fast packet-switched networks", in *Proceedings of the IEEE Infocom' 93*, pp.217-226, San Francisco, USA, March 1993.
14. E. Gelenbe, X. Mang and R. Onvural, "Diffusion Based Call Admission Control in ATM", *Performance Evaluation*, Vol. 27&28, pp. 411-436, 1996.

15. J. Q.-J. Chak and W. Zhuang, "Capacity Analysis for Connection Admission Control in Indoor Multimedia CDMA Wireless Communications", *Wireless Personal Communications*, Vol. 12, 2000, pp. 269-282.
16. P. Koutsakis and M. Paterakis, "Call Admission Control and Traffic Policing Mechanisms for the Transmission of Videoconference Traffic from MPEG-4 and H.263 Video Coders in Wireless ATM Networks", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 53, No.5, 2004, pp. 1525-1530.
17. Y. Fang and Y. Zhang, "Call Admission Control Schemes and Performance Analysis in Wireless Mobile Networks", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 51, No.2, 2002, pp. 371-382.
18. D. Hong and S. S. Rappaport, "Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and nonprioritized handoff procedures", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. VT-35, No.3, 1986, pp. 77-92.
19. R. Ramjee, D. Towsley and R. Nagarajan, "On optimal call admission control in cellular networks", *Wireless Networks*, Vol. 3, 1997, pp. 29-41.
20. M. D. Kulavaratharajah and A. H. Aghvami, "Teletraffic performance evaluation of microcellular personal communication networks (PCN's) with prioritized handoff procedures", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 48, No.1, 1999, pp. 137-152.
21. J. Hou and Y. Fang, "Mobility-Based Call Admission Control Schemes for Wireless Mobile Networks," *Wireless Communications and Mobile Computing Journal*, Vol. 1, No. 3, pp. 269-282, 2001.
22. R. A. Guerin, "Queuing-blocking system with two arrival streams and guard channels", *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 36, No.2, 1988, pp. 153-163.
23. E. Del Re, R. Fantacci, and G. Giambene, "Handover Queuing Strategies with Dynamic and Fixed Channel Allocation Techniques in Low Earth Orbit Mobile Satellite Systems," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 47, No. 1, pp. 89-102, 1999.
24. C. Chang, C.J. Chang, and K.R. Lo, "Analysis of a Hierarchical Cellular System with Reneging and Dropping for Waiting New Calls and Handoff Calls," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 48, No. 4, pp. 1080-1091, 1999.
25. N.M. Mitrou, G.L. Lyberopoulos, and A.D. Panagopoulou, "Voice and Data Integration in the Air-Interface of a Microcellular Mobile Communication System," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 42, No. 1, pp. 1-13, 1993.
26. E.N. Gilbert, "Capacity of a Burst-Noise Channel," *Bell Systems Technical Journal*, Vol. 39, pp. 1253-1265, 1960.
27. E.O. Elliot, "Estimates of Error Rates for Codes on Burst-Noise Channels," *Bell Systems Technical Journal*, Vol. 42, pp. 1977-1997, 1963.
28. S. Nanda, D. J. Goodman and U. Timor, "Performance of PRMA: A packet voice protocol for cellular systems", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 40, pp. 584-598, 1991.

29. P. Koutsakis, S. Psychis and M. Paterakis, "Integrated Wireless Access for Videoconference from MPEG-4 and H.263 Video Coders with Voice, E-mail and Web Traffic over Wireless Networks", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 54, No. 5, pp. 1863-1874, 2005.
30. Q Pang, A. Bigloo et. al., "Service Scheduling for General Packet Radio Service Classes", in *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference 1999 (WCNC'99)*, New Orleans, USA.
31. F. H. P. Fitzek and M. Reisslein, "MPEG-4 and H.263 video traces for network performance evaluation," *IEEE Network*, vol. 15, no. 6, pp. 40–54, 2001.
32. [Online]: <http://www-tkn.ee.tu-berlin.de/research/trace/trace.html>
33. E. C. Baig, "Will consumers tune in to a tiny TV in their hand? July 2006, [Online] http://www.usatoday.com/tech/wireless/2006-08-17-mobile-tv_x.htm
34. S. Gringeri, R. Egorov, K. Shuaib, A. Lewis and B. Basch, "Robust compression and transmission of MPEG-4 video", [Online] <http://www.kom.e-technik.tu-darmstadt.de/acmmm99/ep/gringeri/>
35. S. Chatziperis, P. Koutsakis and M. Paterakis, "A New Call Admission Control Mechanism for Multimedia Traffic over Next-Generation Wireless Cellular Networks", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 7, No. 1, 2008, pp. 95-112.