Πολυτεχνείο Κρήτης

Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ

Τομέας Τηλεπικοινωνιών

<u>Θέμα Διπλωματικής Εργασίας</u>

Σύγκριση μεθόδων Call Admission Control για μετάδοση κίνησης βίντεο πάνω σε ασύρματα κυψελωτά δίκτυα

Στάμος Χαράλαμπος

Επιβλέπων : Πολυχρόνης Κουτσάκης

Επίκουρος Καθηγητής

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη

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 να προκληθεί παραβίαση στο QoS των υπηρεσιών που απολαμβάνουν άλλοι χρήστες.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήσαμε και συγκρίναμε δύο είδη μηχανισμών ελέγχου αποδοχής κλήσης για κίνηση πολυμέσων σε ασύρματα κυψελωτά δίκτυα, τόσο για την περίπτωση όπου όλο το διαθέσιμο bandwidth (BW) διατίθεται από κοινού σε νέους χρήστες και handoff χρήστες, όσο και για την περίπτωση όπου ένα ποσοστό του BW είναι αποκλειστικά αφιερωμένο στους handoff χρήστες.

Η σχεδίαση και η προσομοίωση των CAC μηχανισμών πραγματοποιήθηκαν για την ταυτόχρονη χρήση του καναλιού από χρήστες φωνής, μηνυμάτων email και ταινιών κωδικοποιημένων με MPEG-4. Οι μηχανισμοί αυτοί έχουν ως 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 τύπων κίνησης που μεταδίδονται καθώς και των διαφορετικών απαιτήσεων σε QoS της κάθε υπηρεσίας.

Το πρώτο είδος CAC με το οποίο ασχοληθήκαμε, αφορούσε στις περιπτώσεις όπου δεν έχουμε μοντέλα για την εκτίμηση της συμπεριφοράς της κίνησης βίντεο. Το δεύτερο είδος CAC που μελετήσαμε και συγκρίναμε με το πρώτο είδος, αφορούσε περιπτώσεις όπου έχουμε στην διάθεσή μας μοντέλα που εκτιμούν την συμπεριφορά της κίνησης βίντεο στο δίκτυο. Όπως αναφέραμε και παραπάνω, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε και η συμπεριφορά του CAC μηχανισμού στην περίπτωση χρηστών που προέρχονται από διαφορετική κυψέλη (handoff κλήσεις). Στην περίπτωση των handoff κλήσεων, η συμπεριφορά του CAC μηχανισμού είναι ιδιαίτερα σημαντική, προκειμένου να αποφευχθεί ο τερματισμός της κλήσης του handoff χρήστη.

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των δύο ειδών CAC μηχανισμών έδειξαν πως όταν έχουμε στην διάθεσή μας μοντέλα για την εκτίμηση της συμπεριφοράς της κίνησης βίντεο στο δίκτυο, ακόμα και όταν αυτά δεν είναι ιδιαίτερα ακριβή, επιτυγχάνουμε καλύτερη χρήση του εύρους ζώνης (bandwidth utilization) του ασύρματου καναλιού, φροντίζοντας παράλληλα για την ικανοποίηση των απαιτήσεων QoS των χρηστών. Παράλληλα, μελετώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν, είδαμε ότι ανάλογα με τον σχεδιασμό του CAC μηχανισμού, μπορούμε να πετύχουμε καλύτερη εξυπηρέτηση των handoff χρηστών. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού,

προτείνουμε έναν μηχανισμό που εξασφαλίζει την διάθεση ενός ποσοστού του εύρους ζώνης του καναλιού σε handoff χρήστες, και συγκρίνουμε τις επιδόσεις όλων των μηχανισμών CAC που μελετήθηκαν.

1. Εισαγωγή

Τα τεράστια κόστη που καλούνται οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας να πληρώσουν για το στήσιμο δικτύων 4ης γενιάς, σε συνδυασμό με την ραγδαία αύξηση του αριθμού των χρηστών πολυμέσων που απαιτούν να έχουν πρόσβαση στο internet από το κινητό τους τηλέφωνο, και το γεγονός ότι οι πόροι ενός ασύρματου τηλεπικοινωνιακού δικτύου είναι περιορισμένοι, κάνουν απαραίτητη την εύρεση τεχνικών που να κάνουν αποδοτικότερη χρήση των πόρων αυτών. Για το λόγο αυτό, η επιστημονική κοινότητα έχει επικεντρωθεί στη μελέτη τεχνικών που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της κίνησης που μεταδίδουν οι χρήστες μέσα στο δίκτυο.

Δύο τεχνικές που χρησιμοποιούνται ευρύτατα για τον έλεγχο της κίνησης των δεδομένων που μεταδίδουν και λαμβάνουν οι χρήστες μέσα στο ασύρματο δίκτυο είναι ο Έλεγχος Αποδοχής Κλήσης (Call Admission Control, CAC) 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 πάροχο όσον αφορά στο bandwidth που δικαιούται να χρησιμοποιεί.

Στην παρούσα διπλωματική μελετήσαμε και συγκρίναμε εκτενώς δύο μηχανισμούς Ελέγχου Αποδοχής Κλήσης(CAC). Επιπλέον, σχεδιάσαμε και υλοποιήσαμε μια βελτιωμένη τεχνική του CAC ώστε να εξυπηρετούνται καλύτερα οι μεταπεμπόμενοι χρήστες (handoff users).

Για να καταλάβουμε πώς λειτουργεί ο μηχανισμός Call Admission Control, αρκεί να σκεφτούμε ένα οικονομικό ανάλογο. Ας φανταστούμε έναν αυτοκινητόδρομο του οποίου την κατασκευή και λειτουργία υποστηρίζουν οι πελάτες που πληρώνουν τα διόδια. Σκοπός της κατασκευαστικής εταιρείας είναι η μεγιστοποίηση των εσόδων, συνεπώς ο στόχος της είναι η μεγιστοποίηση του ρυθμού διέλευσης των οχημάτων. Δηλαδή, ο ρυθμός διέλευσης των οχημάτων να είναι τέτοιος ώστε να υπάρχει πλήρης χρήση του αυτοκινητόδρομου. Από την άλλη μεριά, οι πελάτες (οδηγοί) ενδιαφέρονται για το αντίθετο: την άνετη, εύκολη και γρήγορη διέλευση από τον αυτοκινητόδρομο. Στην πραγματικότητα, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των οχημάτων τόσο πιο αργή θα είναι η διέλευσή τους και τόσο μεγαλύτερη θα είναι η πιθανότητα καθυστερήσεων. Παρομοίως, ένα ασύρματο δίκτυο έχει έναν περιορισμένο αριθμό πόρων (π.χ. εύρος ζώνης), κι έτσι υπάρχει ένας μέγιστος αριθμός πακέτων που μπορούν να μεταδίδονται μέσα στο δίκτυο σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Σκοπός του μηχανισμού Ελέγχου Αποδοχής Κλήσης είναι η καλύτερη δυνατή χρήση των πόρων και η όσο το δυνατόν καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών του δικτύου.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, μπορούμε να ορίσουμε τον Έλεγχο Αποδοχής Κλήσης (Call Admission Control, CAC) 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 ως στόχο την αποτροπή της συμφόρησης του δικτύου σε συνδυασμό με την μέγιστη δυνατή χρήση των πόρων του. Οι στόχοι αυτοί ωστόσο καθίστανται ακόμα δυσκολότεροι από το γεγονός ότι οι πάροχοι υπηρεσιών 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. Επιπλέον, όταν οι χρήστες μετακινηθούν αρκετά μακριά από την περιοχή κάλυψης μιας κυψέλης αλλάζει το σημείο σύνδεσης (handoff), οι ίδιοι όμως 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 στη 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 τις κατατάσσει σε τρεις επιμέρους κατηγορίες [5]:

1. Το παραδοσιακό μοντέλο υπηρεσίας ορίζεται στα [6, 7], 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 [8].

2. Η πιθανοτική υπηρεσία (probabilistic service) που περιγράφεται στο [9], 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 [10]. Στο [11], 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 [12-16]. Τα αποτελέσματα στο [17] έδειξαν επίσης ότι ένας μηχανισμός CAC βασιζόμενος στον τρόπο υπολογισμού του ισοδύναμου εύρους ζώνης στο [11] 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 [17]. 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.

3. Στην περίπτωση των εφαρμογών οι οποίες είναι ανεκτικές σε περιστασιακές παραβιάσεις του ορίου καθυστέρησης, ένα τρίτο είδος υπηρεσίας προτάθηκε στο [5], η υπηρεσία πρόβλεψης (predictive service). Ο βασισμένος σε μετρήσεις CAC που διερευνάται στο [5] 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 κυκλοφορία 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 στην 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 [18]:

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:

1. 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 [19].
2. Ο μηχανισμός fractional guard channel, όπου μια νέα κλήση γίνεται δεκτή με μια συγκεκριμένη πιθανότητα, η οποία εξαρτάται από τον αριθμό των κατειλημμένων καναλιών [20].
3. Ο μηχανισμός rigid division-based [21], όπου όλα τα κανάλια μιας κυψέλης χωρίζονται σε δύο ομάδες, μία για την κοινή χρήση όλων των κλήσεων και μία μόνο για κλήσεις handoff.
4. Ο μηχανισμός new call bounding [22], όπου ένα κατώφλι (μέγιστο όριο) 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 [23] ή το αντίστροφο [24] είτε όλες οι κλήσεις μπαίνουν σε ουρά αναμονής και η ουρά αναδιατάσσεται με βάση ορισμένες προτεραιότητες [25].

Ο βασικός μηχανισμός CAC με χρήση μοντέλων για την κίνηση βίντεο χρηστών που μελετήσαμε σε αυτή την εργασία, ανήκει - με βάση την προτεραιότητα της handoff πολιτικής του - στην κατηγορία των Queuing Priority μηχανισμών, εφόσον δεν έχουμε αποκλειστικές δεσμεύσεις καναλιών για κλήσεις handoff. Αντίθετα, κάθε φορά που γεννιέται μια κλήση handoff στο σύστημα, ο μηχανισμός την κάνει αποδεκτή, εφόσον 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.

Όπως αναφέραμε και στην Περίληψη, για να βελτιώσουμε την εξυπηρέτηση των handoff χρηστών σχεδιάσαμε και κατασκευάσαμε μία βελτιωμένη έκδοση του μηχανισμού που μελετήσαμε στην παρούσα εργασία (CAC με χρήση μοντέλων για την κίνηση βίντεο χρηστών) δίνοντας 10% του καναλιού που δεσμεύουν οι χρήστες βίντεο και οι χρήστες δεδομένων για αποκλειστική χρήση από τους handoff χρήστες βίντεο και δεδομένων. Η βελτιωμένη αυτή έκδοση του CAC ανήκει στην κατηγορία rigid division-based CAC μηχανισμών.

2. Το μοντέλο του υπό μελέτη συστήματος

Μέσα σε ένα 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 2.2-2.4.

Η δουλειά που έγινε πάνω στον μηχανισμό ελέγχου πολλαπλής πρόσβασης (Multiple Access Control, MAC) στο [26], 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. Για τον λόγο αυτό θεωρούμε κι εμείς στη δουλειά μας ότι το 3% του downlink χρησιμοποιείται για να δίνει ο σταθμός βάσης σήμα ανάδρασης σχετικό με τις αιτήσεις, και το υπόλοιπο 97% είναι διαθέσιμο για μετάδοση πληροφορίας.

2.1 Το μοντέλο σφαλμάτων του καναλιού

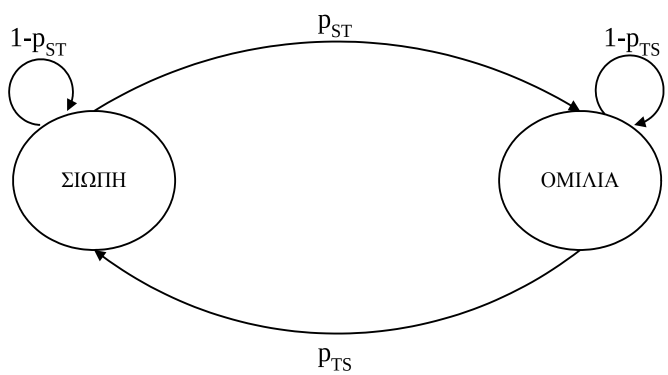
Το πιο γνωστό και ευρέως χρησιμοποιούμενο μοντέλο προσομοίωσης των σφαλμάτων σε ασύρματο κανάλι είναι το μοντέλο Gilbert-Elliot [27, 28]. Πρόκειται για ένα Μαρκοβιανό μοντέλο δύο καταστάσεων, όπου το κανάλι εναλλάσσεται μεταξύ *«καλής» και «κακής» κατάστασης*. Με τον όρο «καλή κατάσταση» εννοούμε την απουσία θορύβου στο κανάλι και με τον όρο «κακή κατάσταση» αναφερόμαστε στην ύπαρξη θορύβου σε αυτό.

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 $P_{good\text{-}bad} = 0.0000086$.
Η πιθανότητα να βρεθούμε στην «καλή κατάσταση» δεδομένου ότι βρισκόμαστε στην «κακή κατάσταση» είναι $P_{bad\text{-}good} = 0.172$.
Η steady-state πιθανότητα να βρίσκεται το κανάλι σε «καλή κατάσταση» είναι $P_{good} = 0.99995$ και η steady-state πιθανότητα να βρίσκεται το κανάλι σε «κακή κατάσταση» είναι $P_{bad} = 0.00005$.
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 Το μοντέλο για την κίνηση φωνής

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

1. Τα τερματικά φωνής είναι εφοδιασμένα με έναν ανιχνευτή δραστηριότητας φωνής [29]. 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 N των ενεργών τερματικών φωνής 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 υπόψη 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% [29, 30].
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*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.

2.3 Το μοντέλο για την κίνηση email

Χρησιμοποιούμε ένα μοντέλο για την κίνηση δεδομένων που βασίζεται σε δεδομένα που συνέλεξε το FUNET (Finish University and Research Network) [31]. 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 κατανεμημένος. 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 ακόμα 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.

2.4 Ταινίες MPEG-4

Η καινοτομία του προτύπου mpeg-4 [35] σε σχέση με τα πρότυπα-προκατόχους του mpeg-1 και mpeg-2, είναι η ικανότητά 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 δυνατότητα 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 έχουν αναλυθεί στα [32, 33]. 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 [34] 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% [30].

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).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, κατασκευάσαμε μοντέλα για την κίνηση των ταινιών αυτών. Παρακάτω παρουσιάζουμε την διαδικασία κατασκευής μοντέλων.

2.4.1 Ανάλυση στατιστικής συμπεριφοράς της κάθε ταινίας

Το πρώτο βήμα για την διαδικασία μοντελοποίησης των ταινιών που χρησιμοποιούν οι χρήστες βίντεο είναι η ανάλυση της στατιστικής συμπεριφοράς κάθε ταινίας και κάθε είδους ποιότητας ταινίας.

Η ανάλυση της στατιστικής συμπεριφοράς της κάθε ταινίας γίνεται, στην εργασία μας, με την χρήση Q-Q plots. Το Q-Q plot είναι ένα πολύ καλό goodness-of-fit τεστ, το οποίο συγκρίνει γραφικά δύο σύνολα δεδομένων προκειμένου να καθορίσει αν τα δύο αυτά σύνολα προέρχονται από ένα πληθυσμό δεδομένων που περιγράφονται από μία κοινή κατανομή. Πιο συγκεκριμένα, σε ένα σύστημα δύο αξόνων, στον y άξονα αναπαριστούμε τα δεδομένα της πραγματικής ταινίας και στον x άξονα αναπαριστούμε τα δεδομένα που προκύπτουν από την κάθε κατανομή που χρησιμοποιήσαμε, επιχειρώντας να μοντελοποιήσουμε κάθε ταινία.

Ο Πίνακας 1 που ακολουθεί, περιέχει τις ταινίες που μελετήσαμε καθώς και στατιστικές πληροφορίες (mean, standard deviation) για την κάθε ταινία. Ο Πίνακας 2 περιέχει τις κατανομές που παρήγαγαν τα στατιστικά δεδομένα τα οποία συγκρίναμε με τα πραγματικά δεδομένα της κάθε ταινίας ξεχωριστά μέσω της χρήσης Q-Q plots.

Movie names	**Mean (Mbps)**	**Standard Deviation (Mbps)**
1. Silence of the Lambs – Low Quality	0.106	0.175
2. Silence of the Lambs – Medium Quality	0.175	0.212
3. Silence of the Lambs – High Quality	0.575	0.458
4. Star Wars IV – Low Quality	0.053	0.089
5. Star Wars IV – Medium Quality	0.078	0.091
6. Star Wars IV – High Quality	0.275	0.181
7. Die Hard III – Low Quality	0.154	0.186
8. Die Hard III – Medium Quality	0.246	0.208
9. Die Hard III – High Quality	0.697	0.441
10. Robin Hood – Low Quality	0.188	0.228
11. Robin Hood – Medium Quality	0.331	0.231
12. Robin Hood – High Quality	0.914	0.461
13. Simpsons – Low Quality	0.233	0.323
14. Simpsons – Medium Quality	0.425	0.320
15. Simpsons – High Quality	1.303	0.538
16. Formula1 – Low Quality	0.175	0.195
17. Formula1 – Medium Quality	0.291	0.185
18. Formula1 – High Quality	0.836	0.352

Πίνακας 1: Ταινίες που χρησιμοποιήθηκαν.

Distribution Names (parameters)	**PDF**	**Mean**	**Variance**
Uniform (a, b)	$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & \text{for } x \in [a, b] \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$	$\frac{a+b}{2}$, $a < b$	$\frac{1}{12}(b-a)^2$, $a < b$
Exponential (b)	$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b} e^{-\frac{x}{b}}, & \text{for } x \geq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$	b, $b > 0$	b^2, $b > 0$
Gamma (a, b)	$f(x) = \begin{cases} \frac{b^{-a} x^{a-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)}}{\Gamma(a)}, & \text{for } x \geq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$	ab, $a>0, b>0$	ab^2, $a>0, b>0$
Log-normal (μ, σ^2)	$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{x\sqrt{(2\pi\sigma^2)}} e^{\left(-\frac{(\ln x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)}, & \text{for } x \geq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$	$e^{\mu+\frac{\sigma^2}{2}}$, $\mu > 0, \sigma > 0$	$e^{2\mu+\sigma^2}\left(e^{\sigma^2}-1\right)$, $\mu > 0, \sigma > 0$
Weibull (a, b)	$f(x) = \begin{cases} ab^{-a} x^{a-1} e^{\left(-\frac{x}{b}\right)^a}, & \text{for } x \geq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$	$\left(\frac{b}{a}\right)\Gamma\left(\frac{1}{a}\right)$, $a > 0, b > 0$	$\frac{b^2}{a}\left\{2\Gamma\left(\frac{2}{a}\right) - \frac{1}{a}\left[\Gamma\left(\frac{1}{a}\right)\right]^2\right\}$, $a > 0, b > 0$
Pearson V (a, b)	$f(x) = \begin{cases} \frac{x^{-(a+1)} e^{-\frac{b}{x}}}{b^{-a}\Gamma(a)}, & \text{for } x \geq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$	$\frac{b}{a-1}$, $a > 1$	$\frac{b^2}{(a-1)^2(a-2)}$, $a > 2$
Geometric (p)	$f(x) = \begin{cases} p(1-p)^x, & \text{for } x \in (0, \infty) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$	$\frac{1-p}{p}$, $p \in (0,1)$	$\frac{1-p}{p^2}$, $p \in (0,1)$

Negative Binomial (s, p)	$f(x) = \begin{cases} \binom{s+x-1}{x} p^s (1-p)^x, & \text{for } x \in (0,1) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$	$\frac{s(1-p)}{p}$, $p \in (0,1)$	$\frac{s(1-p)}{p^2}$, $p \in (0,1)$

Πίνακας 2 : Χαρακτηριστικά κατανομών που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση των ταινιών.

Σύντομη περιγραφή υλοποίησης Q-Q plot

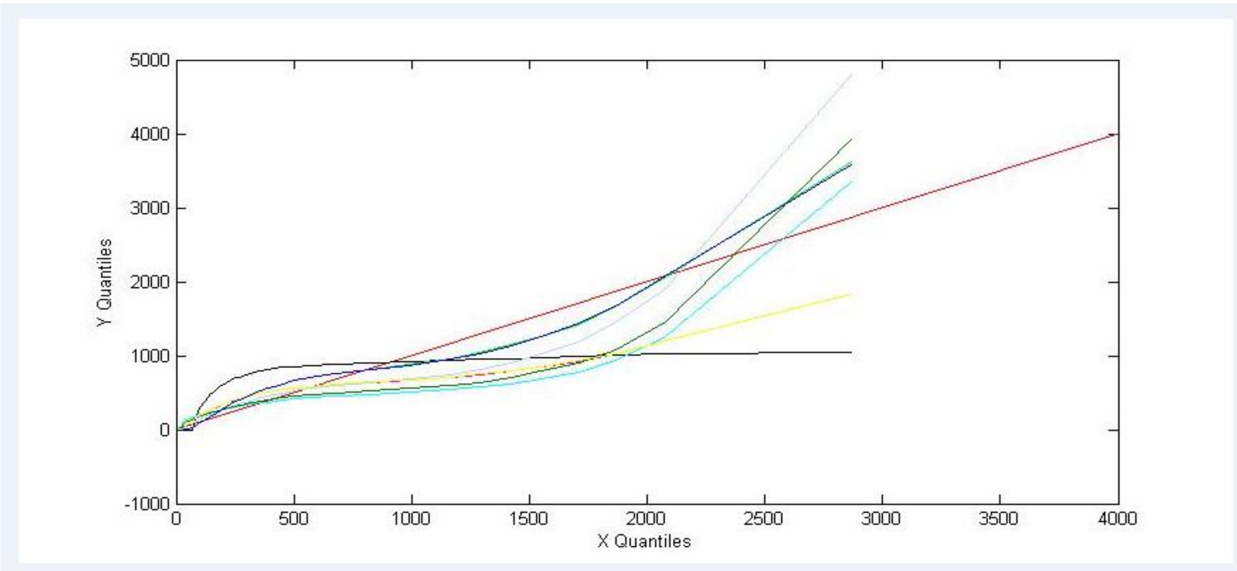
Μια κατανομή “γεννάει ” δεδομένα βάσει των παραμέτρων της. Έτσι, για να παράγουμε στατιστικά δεδομένα βάσει των ταινιών που θέλουμε να μοντελοποιήσουμε αρκεί να βρούμε τις τιμές των παραμέτρων της κάθε κατανομής βασιζόμενοι στις στατιστικές πληροφορίες της κάθε ταινίας. Για να το καταφέρουμε αυτό, εξισώσαμε το mean και το variance (δηλαδή το standard deviation εις το τετράγωνο) της κάθε ταινίας με τους τύπους των mean και variance της κάθε κατανομής ξεχωριστά και λύσαμε ως προς τις παραμέτρους των κατανομών. Έπειτα, χρησιμοποιήσαμε τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF) της κάθε κατανομής για να "γεννήσουμε" τα στατιστικά δεδομένα. Σε μια κοινή γραφική παράσταση εισάγαμε τα πραγματικά δεδομένα των ταινιών στον y άξονα και τα στατιστικά δεδομένα που γεννούσε η κάθε κατανομή στον x άξονα. Με δεδομένο ότι μία εξιδανικευμένη μοντελοποίηση της ταινίας από μία κατανομή θα είχε γραφική παράσταση μία ευθεία 45^o (reference line) από την αρχή των αξόνων, ελέγξαμε ποια γραφική παράσταση ποιας κατανομής βρίσκεται πιο κοντά στη reference line. Αυτή η κατανομή θα χρησιμοποιηθεί, όπως θα δούμε στη συνέχεια, για την μοντελοποίηση της ταινίας.

Εύρεση της “βέλτιστης” κατανομής

Ενδεικτικά, παρουσιάζουμε κάποιες γραφικές παραστάσεις που προέκυψαν μετά τη χρήση του ποιοτικού εργαλείου Q-Q plot για την εύρεση της “βέλτιστης” κατανομής για την κάθε ταινία. Παρακάτω φαίνονται περιπτώσεις όπου είχαμε κακό matching, μέτριο matching και καλό matching. Όταν καμία κατανομή δεν βρίσκεται κοντά στην reference line αναγκαζόμαστε να μοντελοποιήσουμε κάθε είδος frames (I, P, B) της ταινίας ξεχωριστά.

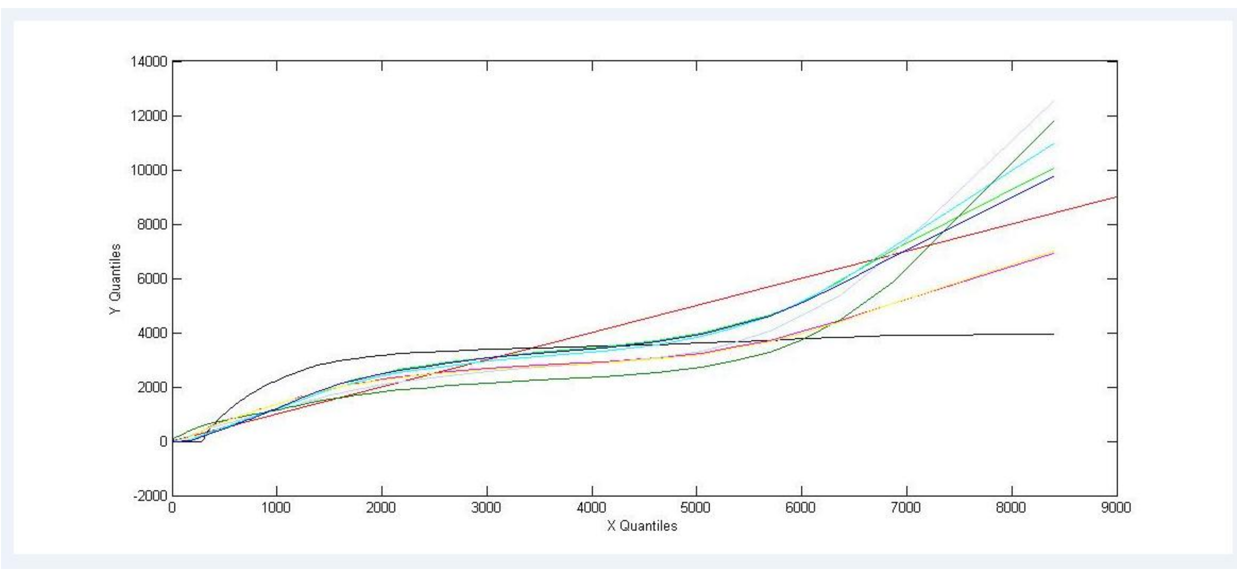
- <u>Κακό matching</u>

1) Star Wars IV – Low Quality



Σχήμα 2 : Καμία από τις κατανομές δεν είναι κοντά στην reference line

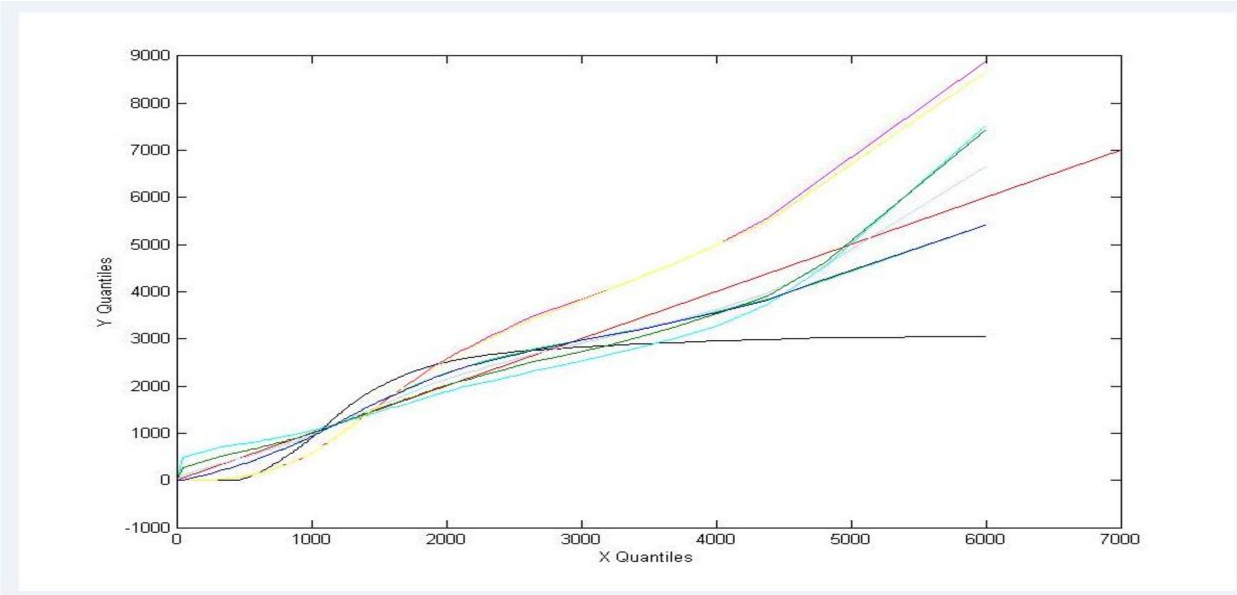
2) The Simpsons – Low Quality



Σχήμα 3 : Καμία από τις κατανομές δεν είναι κοντά στην reference line

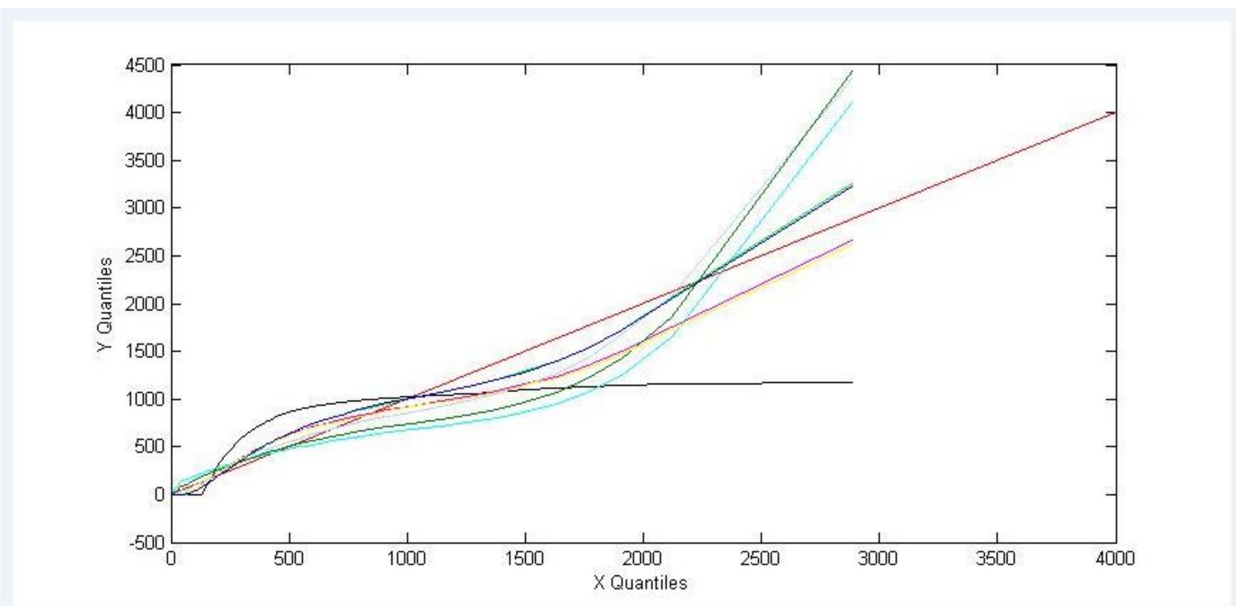
- <u>Μέτριο Matching</u>

1) Formula 1 – Medium Quality



Σχήμα 4 : Η log-normal κατανομή (γκρι – μπλε) είναι πιο κοντά στην reference line

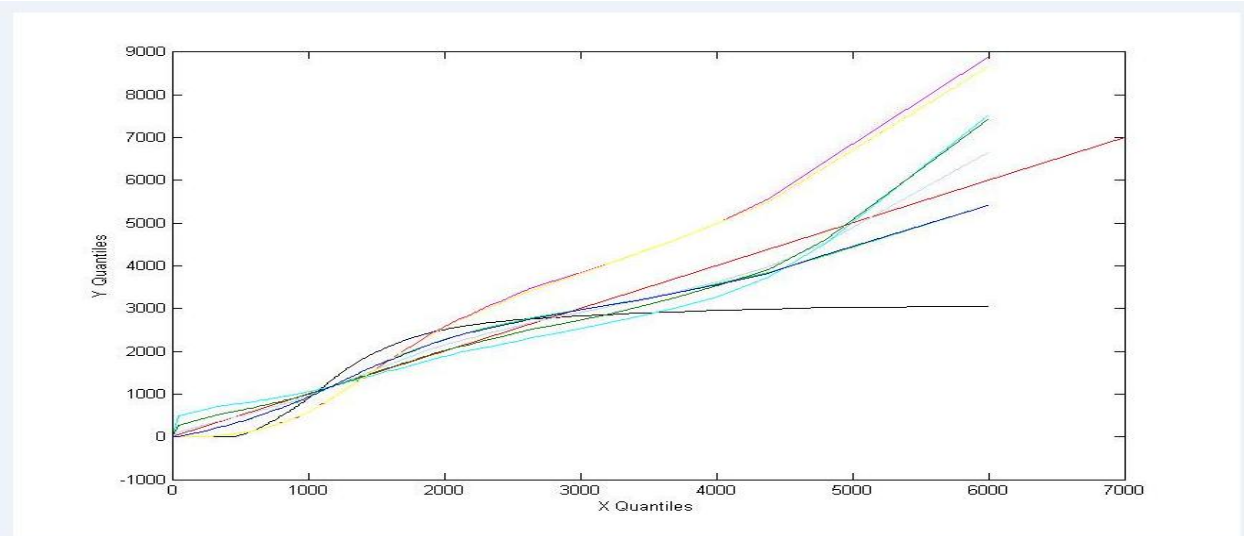
2) Star Wars IV – Medium Quality



Σχήμα 5 : Η gamma κατανομή (πράσινο) είναι πιο κοντά στην reference line

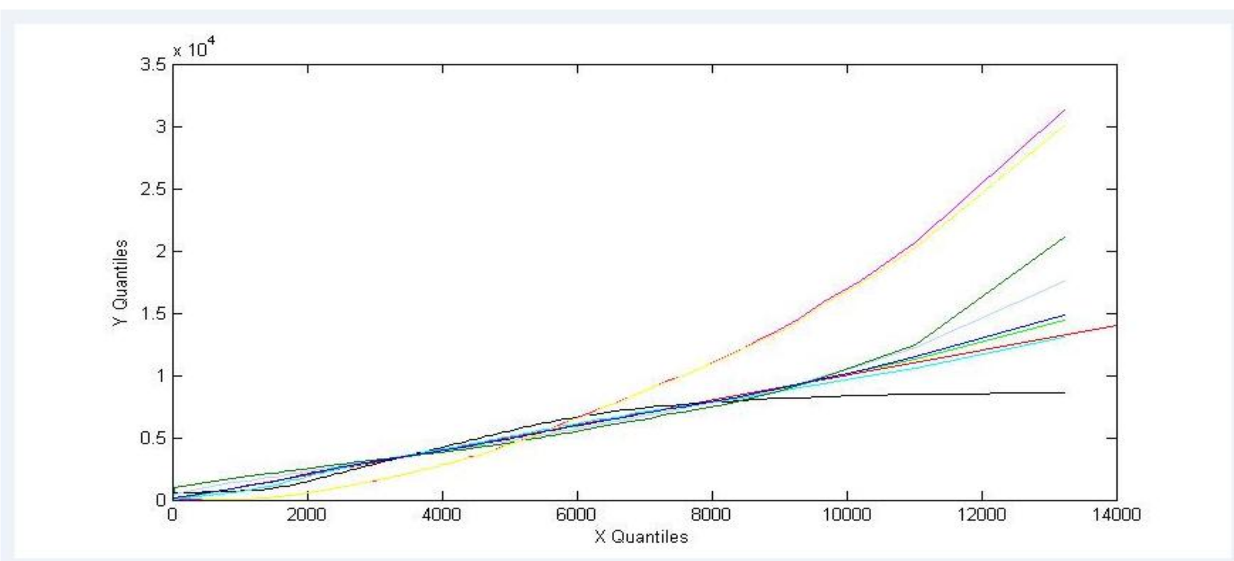
- <u>Καλό Matching</u>

1) Silence of the Lambs – Low Quality



Σχήμα 6 : Η Weibull κατανομή (γαλάζιο) βρίσκεται σχεδόν πάνω στην reference line

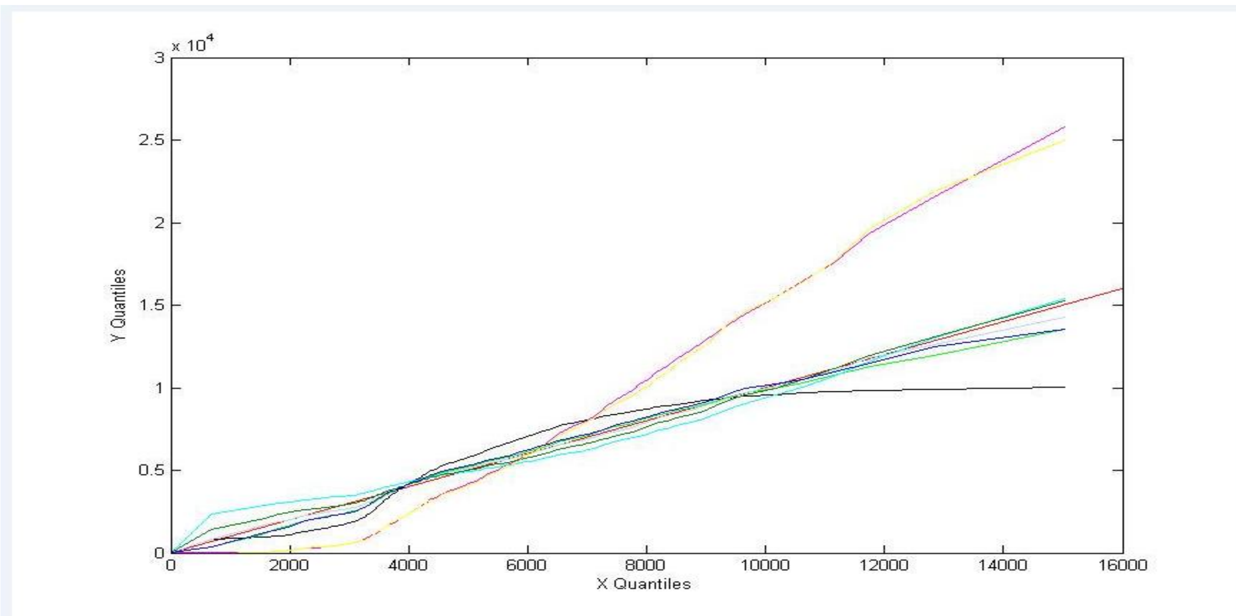
2) Robin Hood – High Quality



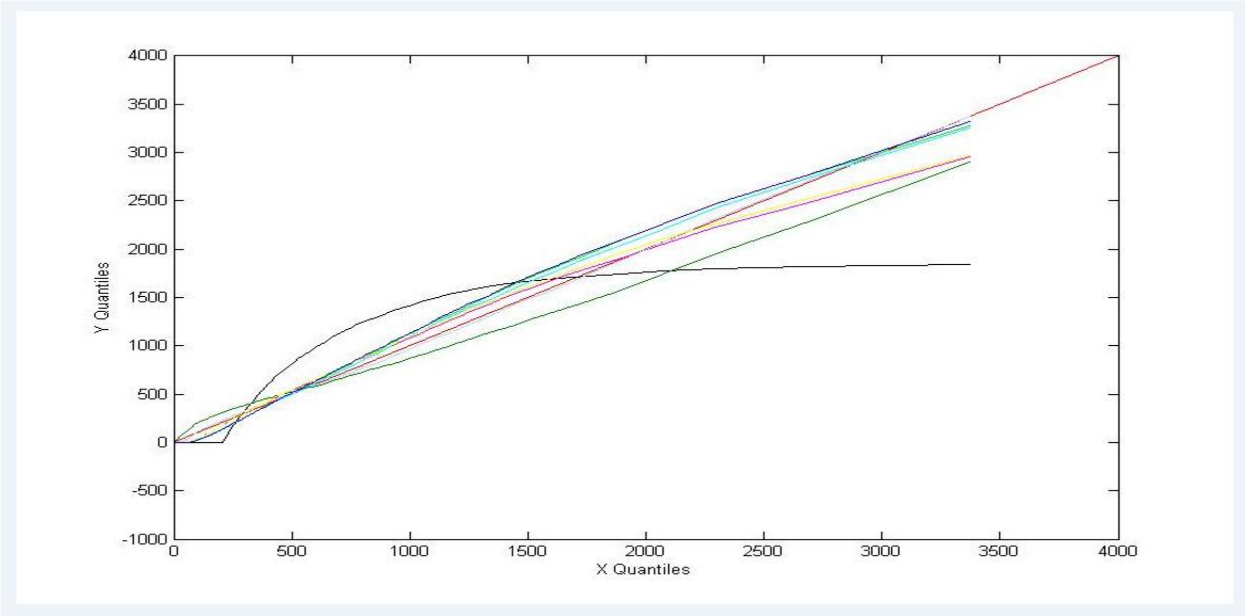
Σχήμα 7 : Η Weibull κατανομή (γαλάζιο) είναι η βέλτιστη κατανομή αφού βρίσκεται σχεδόν πάνω στην reference line

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, υπήρξαν περιπτώσεις που καμία κατανομή δεν ήταν αρκετά κοντά στην reference line. Έτσι αναγκαστήκαμε να μοντελοποιήσουμε το κάθε είδος video frame (I, P, B) της κάθε ταινίας ξεχωριστά. Η βελτίωση που προκύπτει με αυτή την προσέγγιση μας οδήγησε να πράξουμε το ίδιο για όλες τις ταινίες που θελήσαμε να μοντελοποιήσουμε (άσχετα με το αν είχαν καλό matching) προκειμένου να έχουμε όσο το δυνατόν καλύτερα μοντέλα των ταινιών που θα "κατεβάζουν" οι χρήστες βίντεο του CAC μηχανισμού. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν όμοια με την παραπάνω, με τη μόνη διαφορά ότι έπρεπε να υπολογίσουμε το μέσο όρο(mean) και την διασπορά(variance) των I frames, των P frames και των B frames για την κάθε ταινία και έπειτα να εξισώσουμε τα αποτελέσματα αυτά με τους τύπους mean και variance των κατανομών ώστε να λύσουμε ως προς τις παραμέτρους τους.

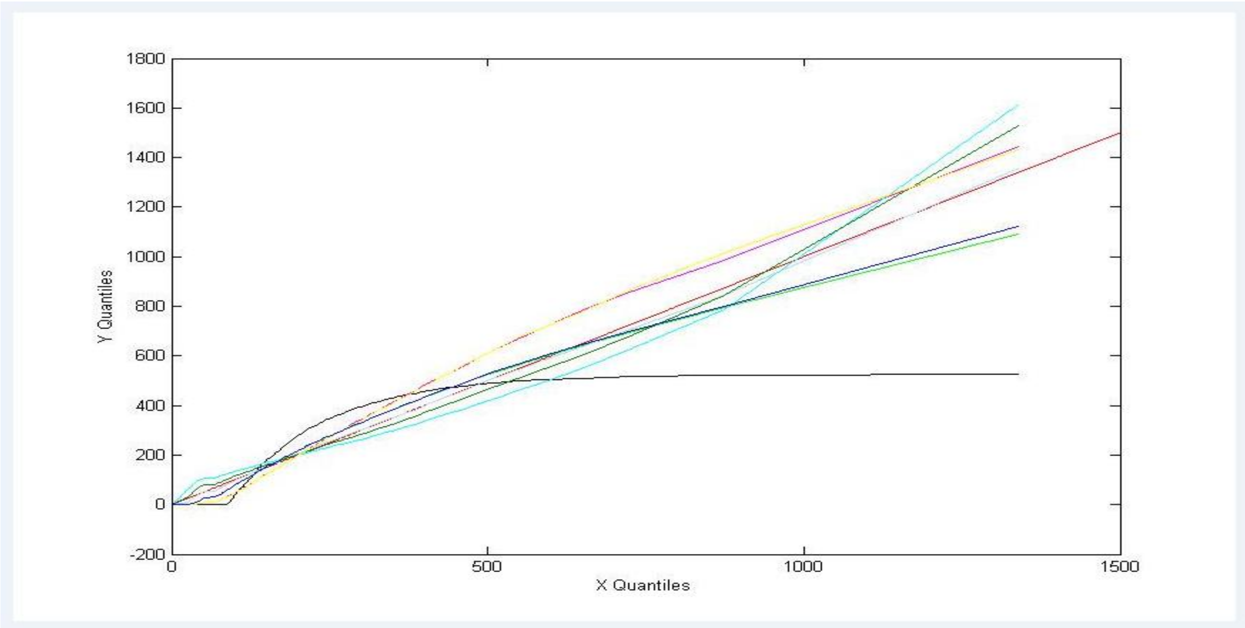
Ενδεικτικά παρουσιάζουμε ορισμένα από τα αποτελέσματα:



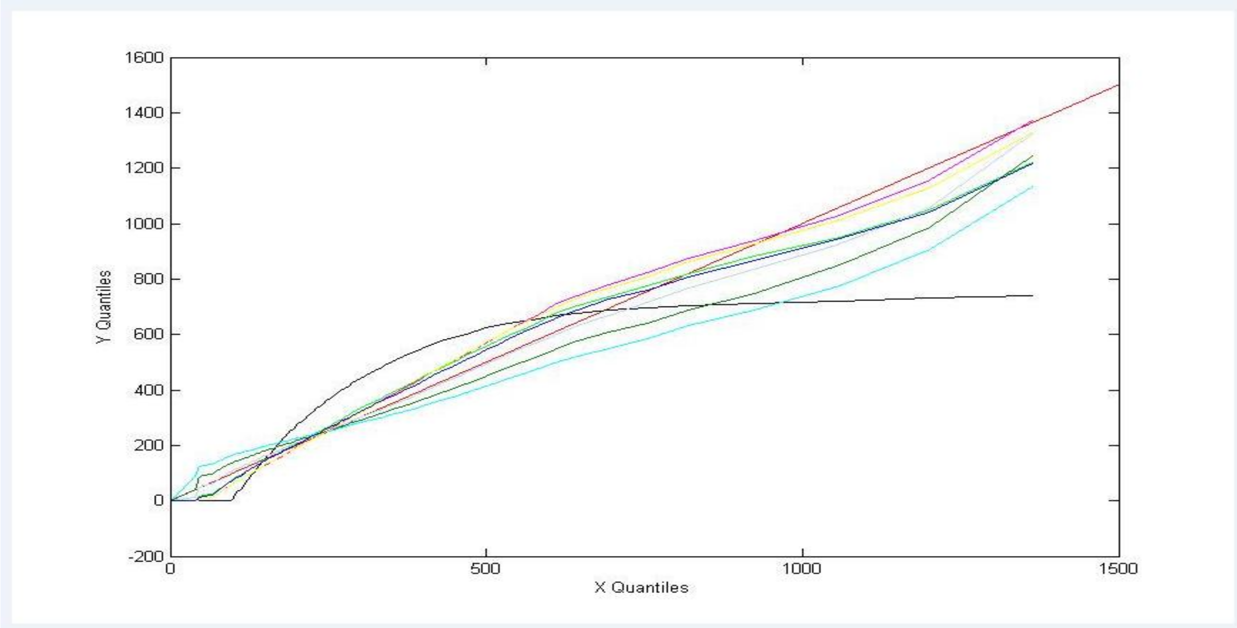
Σχήμα 8 : Q-Q plot test για τα I frames της ταινίας Silence of the Lambs – High Quality. Η log-normal κατανομή (γκρι - μπλε) είναι πιο κοντά στην reference line



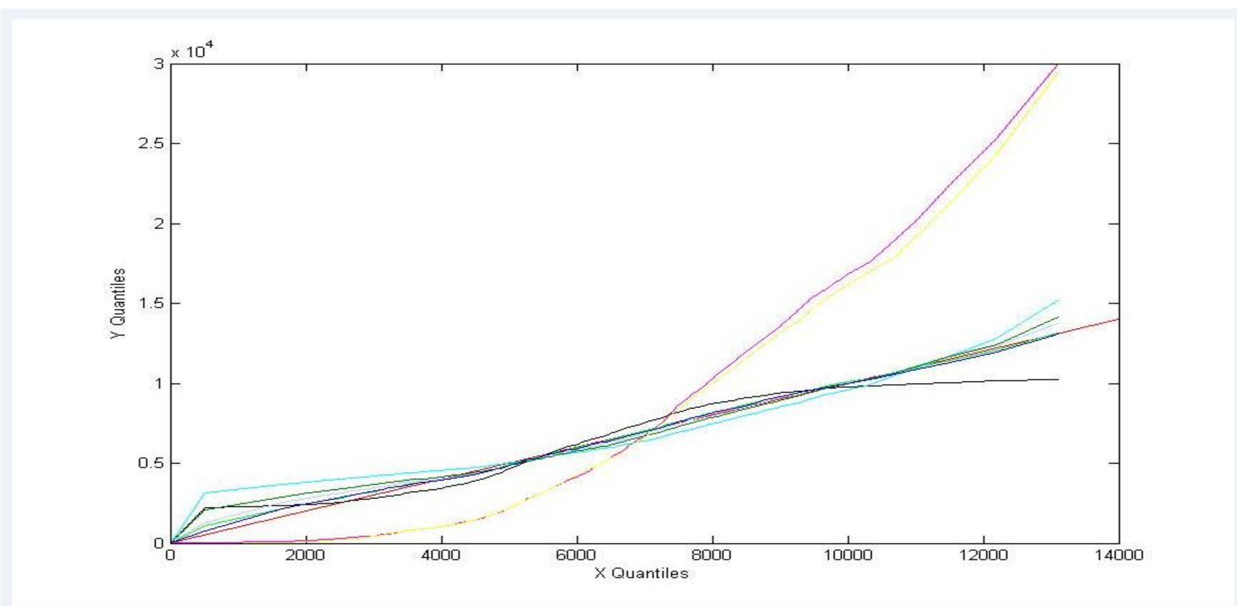
Σχήμα 9 : Q-Q plot test για τα P frames της ταινίας Silence of the Lambs – Low Quality. Η log-normal κατανομή (γκρι - μπλε) είναι πιο κοντά στην reference line



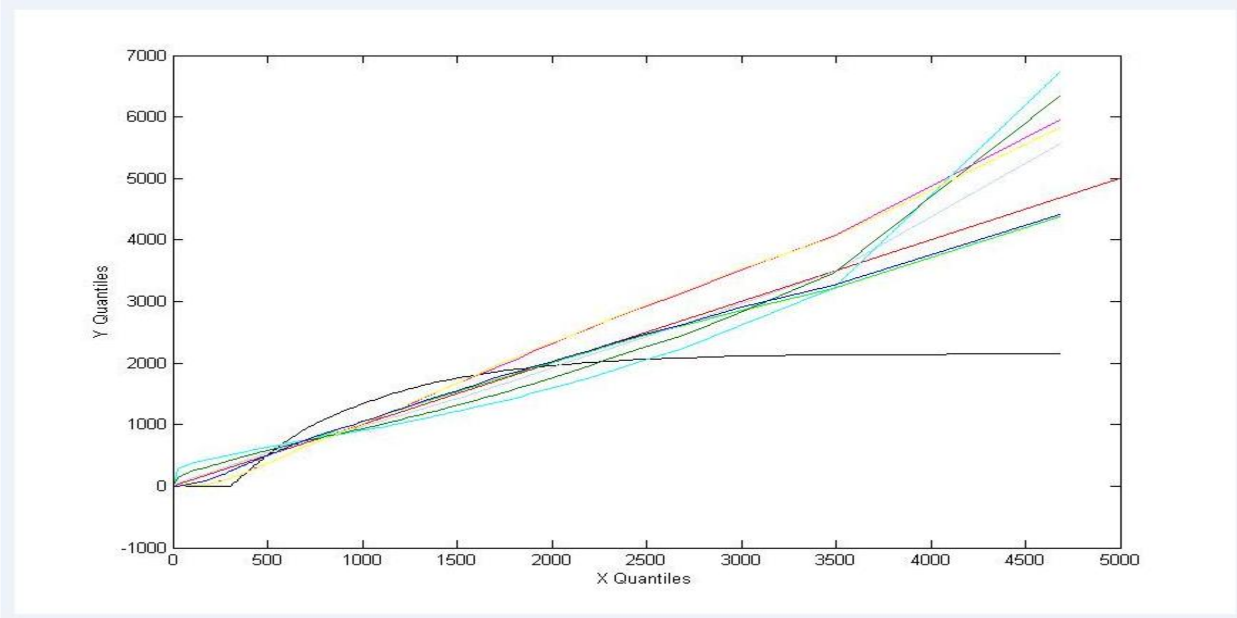
Σχήμα 10 : Q-Q plot test για τα B frames της ταινίας Star Wars IV – Medium Quality. Η log-normal κατανομή (γκρι - μπλε) είναι πιο κοντά στην reference line



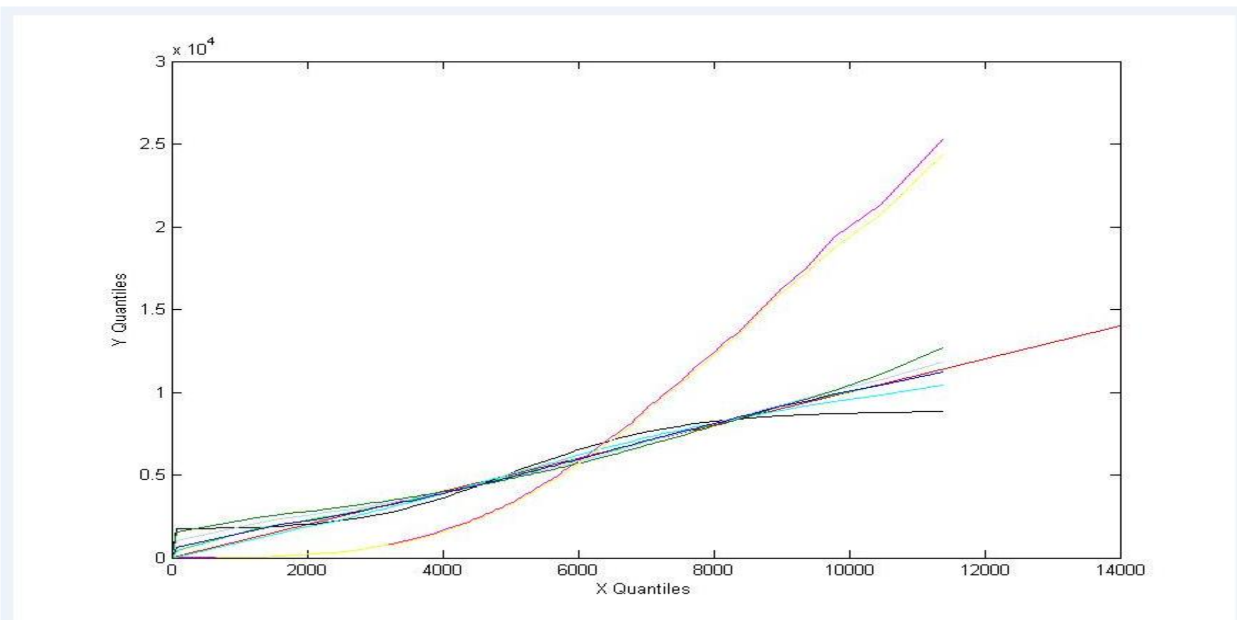
Σχήμα 11 : Q-Q plot test για τα P frames της ταινίας Star Wars IV – Low Quality. Καμία από τις κατανομές δε δίνει καλά αποτελέσματα, ωστόσο η exponential κατανομή (μωβ) φαίνεται να βρίσκεται πιο κοντά στην reference line σε σχέση με τις υπόλοιπες



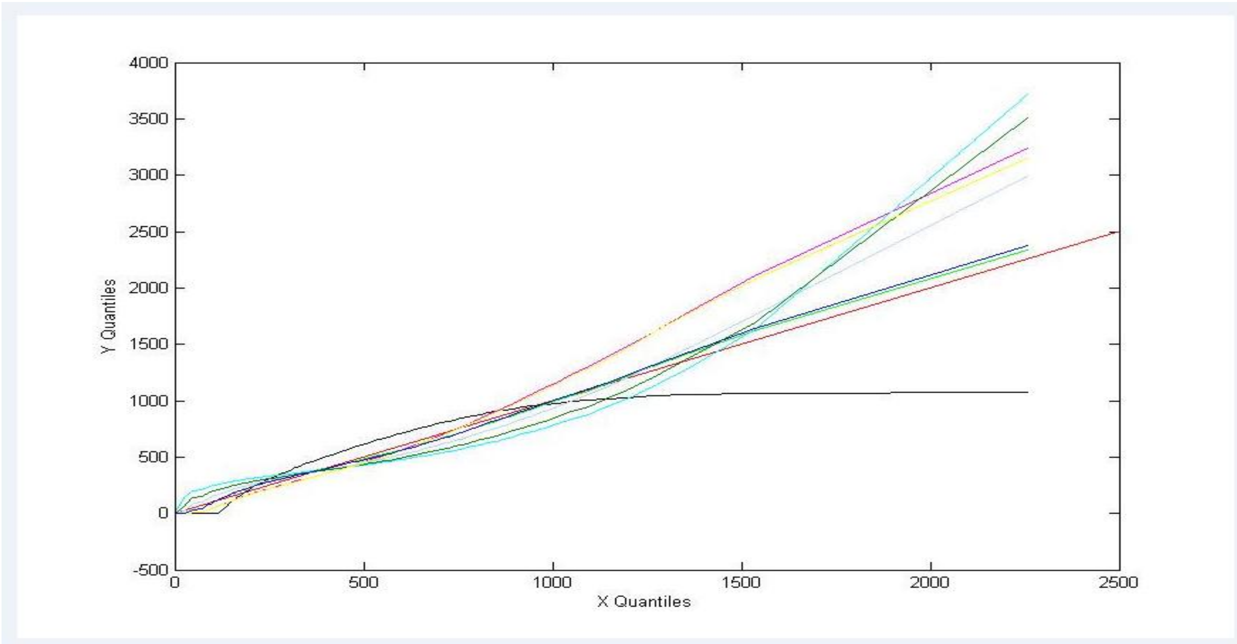
Σχήμα 12 : Q-Q plot test για τα I frames της ταινίας Die Hard III – High Quality. Η negative binomial κατανομή (μπλε) είναι πιο κοντά στην reference line



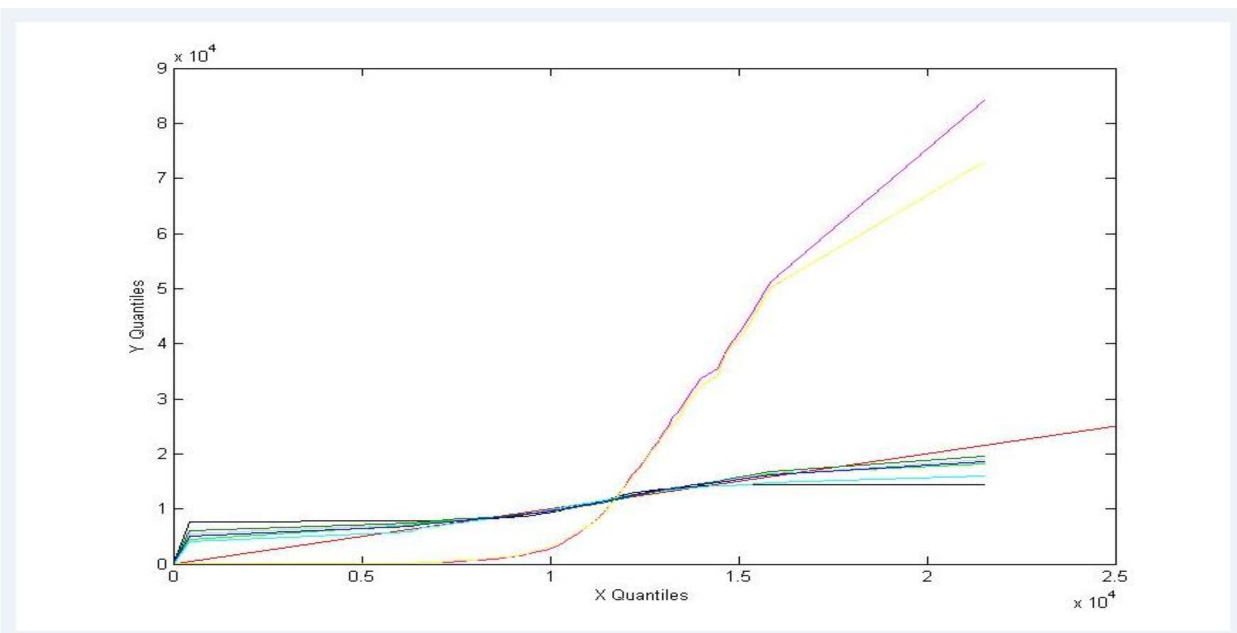
Σχήμα 13 : Q-Q plot test για τα B frames της ταινίας Die Hard III – Medium Quality. Η negative binomial κατανομή (μπλε) είναι πιο κοντά στην reference line



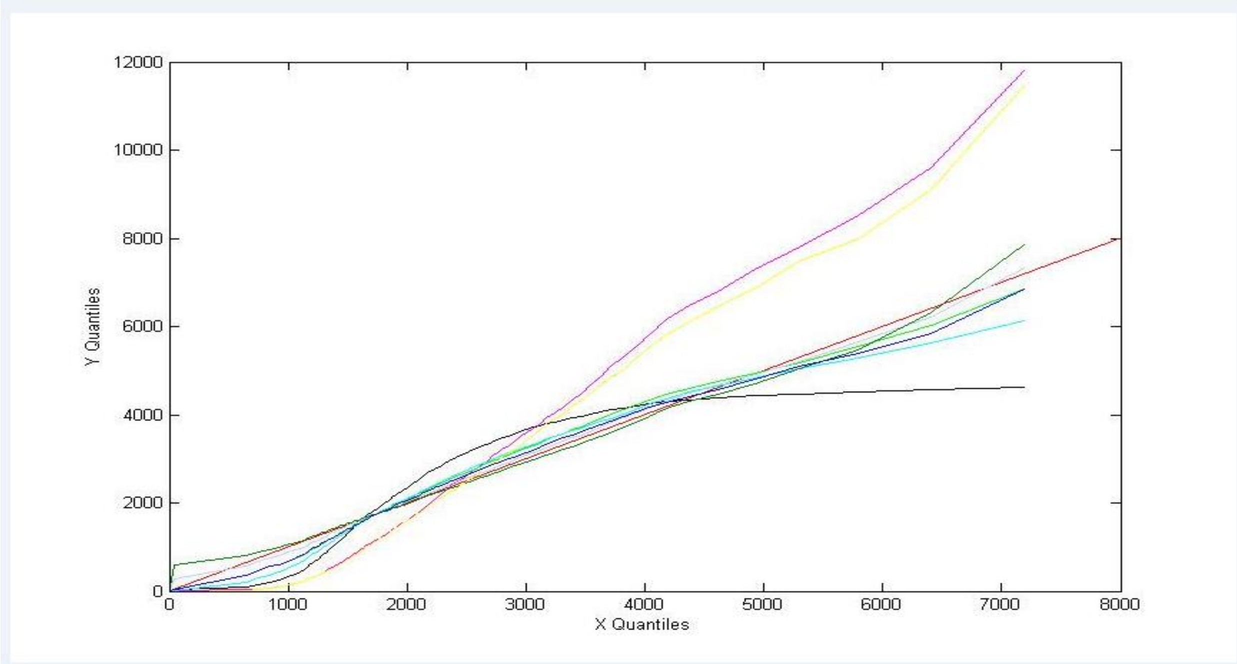
Σχήμα 14 : Q-Q plot test για τα P frames της ταινίας Robin Hood – High Quality. Η gamma κατανομή (πράσινο) είναι πιο κοντά στην reference line



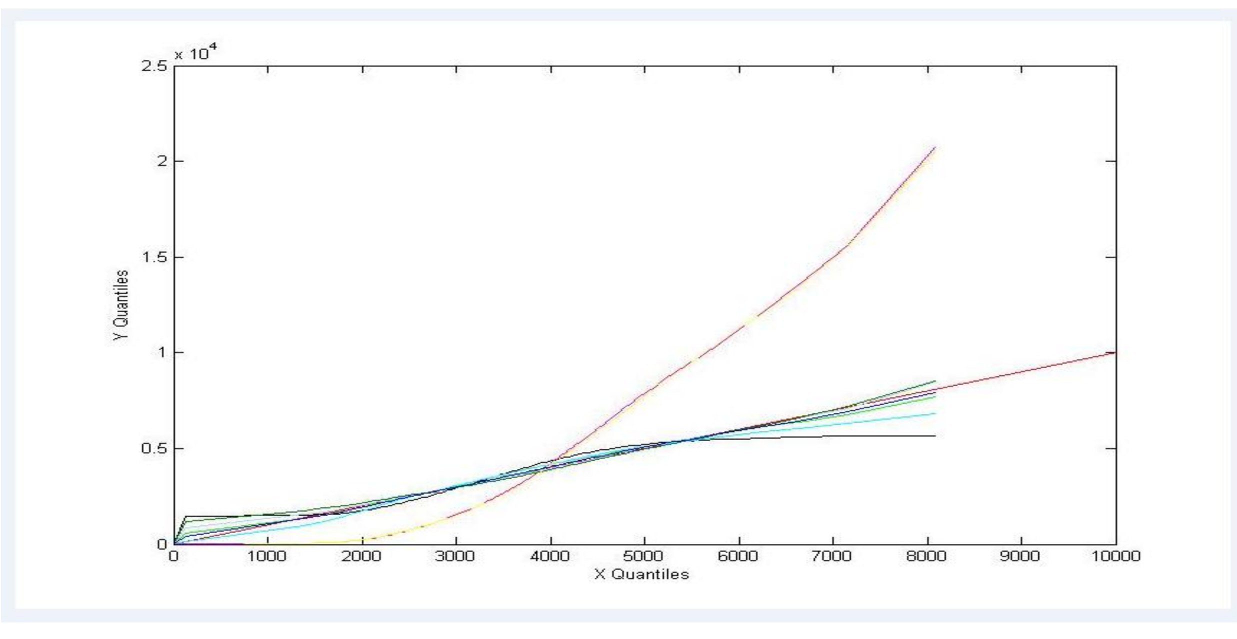
Σχήμα 15 : Q-Q plot test για τα B frames της ταινίας Robin Hood – Low Quality. Η gamma κατανομή (πράσινο) είναι πιο κοντά στην reference line



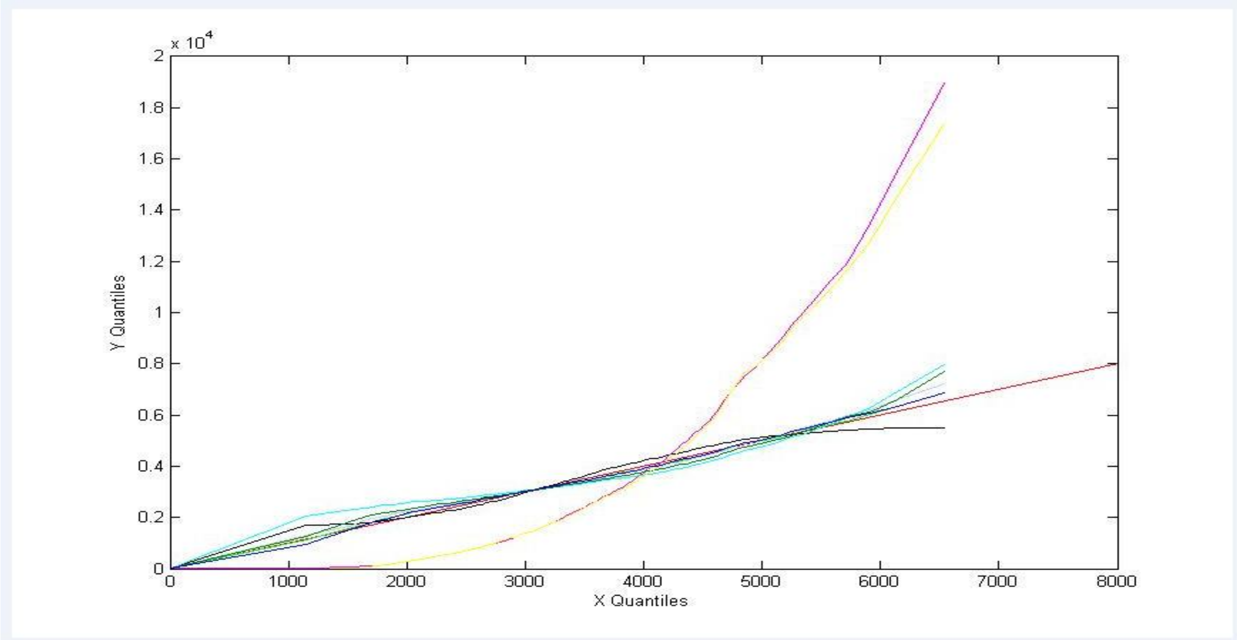
Σχήμα 16 : Q-Q plot test για τα I frames της ταινίας The Simpsons – High Quality. Η negative binomial κατανομή (μπλε) είναι πιο κοντά στην reference line



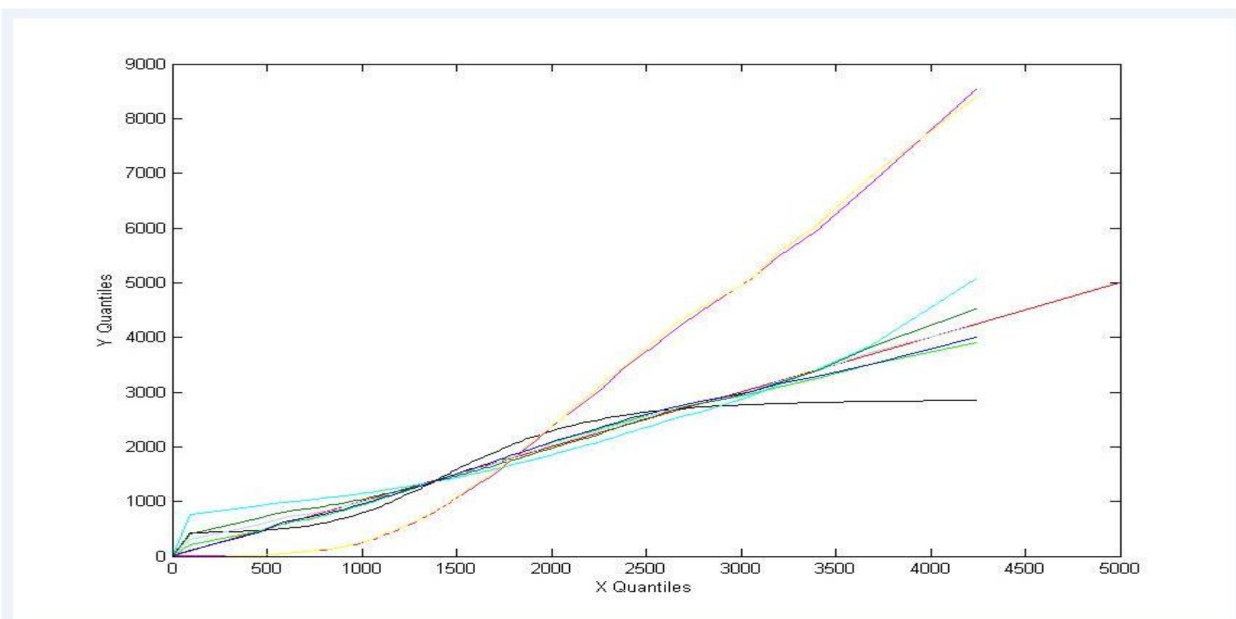
Σχήμα 17 : Q-Q plot test για τα P frames της ταινίας The Simpsons – Medium Quality. Η log-normal κατανομή (γκρι - μπλε) είναι πιο κοντά στην reference line



Σχήμα 18 : Q-Q plot test για τα B frames της ταινίας Formula 1– High Quality. Η negative binomial κατανομή (μπλε) είναι πιο κοντά στην reference line



Σχήμα 19 : Q-Q plot test για τα I frames της ταινίας Formula 1– Low Quality. Η gamma κατανομή (πράσινο) είναι πιο κοντά στην reference line



Σχήμα 20 : Q-Q plot test για τα P frames της ταινίας Formula 1– Medium Quality. Η negative binomial κατανομή (μπλε) είναι πιο κοντά στην reference line

2.4.2 Το DAR(1) μοντέλο

Αν και τα παραπάνω αποτελέσματα έδειξαν πως όταν μοντελοποιούμε τον κάθε τύπο βίντεο frame ξεχωριστά έχουμε καλύτερα αποτελέσματα από το να μοντελοποιούμε ολόκληρη την ταινία ομοιόμορφα, τα μοντέλα μας δεν θα είναι ποτέ ακριβή, γιατί δεν λαμβάνουμε υπ' όψιν την αυτοσυσχέτιση των βίντεο frames. Όταν χρησιμοποιούμε κατανομές για να παράγουμε μεγέθη βίντεο frames ανεξάρτητα το ένα από το άλλο σύμφωνα με τη μέση τιμή και την διασπορά του μεγέθους των frames της ταινίας, τα αποτελέσματα μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο ικανοποιητικά, αλλά καμία κατανομή δεν θα πετυχαίνει απόλυτη ακρίβεια. Έτσι, οδηγηθήκαμε στην χρήση του DAR(1) μοντέλου [3], το οποίο εγγενώς χρησιμοποιεί τον συντελεστή αυτοσυσχέτισης του lag-1 στην εκτίμησή του. Έχει αποδειχθεί [4] ότι το μοντέλο αυτό είναι ικανό να "συλλάβει" με ακρίβεια την συμπεριφορά πολυπλεγμένων ταινιών βιντεοδιάσκεψης (videoconference) για κάθε τύπο frame (I, B, P) και κατά συνέπεια για ολόκληρη την ταινία. Ωστόσο, για να δουλέψει με ακρίβεια το DAR(1) μοντέλο είναι αναγκαίο να βρούμε ποια κατανομή κάνει το καλύτερο matching στα πραγματικά δεδομένα της ταινίας που μελετάμε.

Περιγραφή DAR(1) μοντέλου

Το DAR(1) (Discrete Autoregressive model) είναι μία ειδική περίπτωση της DAR(p) διαδικασίας και ορίζεται ως εξής: Έστω $\{V_n\}$ και $\{Y_n\}$ δύο ακολουθίες ανεξάρτητων τυχαίων μεταβλητών. Η τυχαία μεταβλητή V_n μπορεί να πάρει δύο τιμές, 0 και 1, με πιθανότητα $1 - \rho$ και ρ αντίστοιχα. Η τυχαία μεταβλητή Y_n έχει μια διακριτή κατάσταση S και $P\{Y_n = i\} = \pi(i)$. Η ακολουθία τυχαίων μεταβλητών $\{X_n\}$ που διαμορφώνεται βάσει του γραμμικού μοντέλου:

$$X_n = V_n X_{n-1} + (1 - V_n) Y_n \qquad (1)$$

είναι μία DAR(1) διαδικασία.

Μία DAR(1) διαδικασία είναι μία αλυσίδα Markov με διακριτό χώρο καταστάσεων S και πίνακα μεταβάσεων:

$$P = \rho I + (1 - \rho) Q, \qquad (2)$$

όπου ρ είναι ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης, I είναι ο ταυτοτικός πίνακας και Q είναι ο πίνακας με $Q_{ij} = \pi(j)$, για i, j στο S.

Η αυτοσυσχέτιση μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$\rho(W) = \frac{E[(Xi - \mu)(Xi + w - \mu)])}{\sigma^2}, \qquad (3)$$

όπου μ είναι ο μέσος όρος και σ^2 είναι η διασπορά του μεγέθους του frame για κάθε βίντεο.

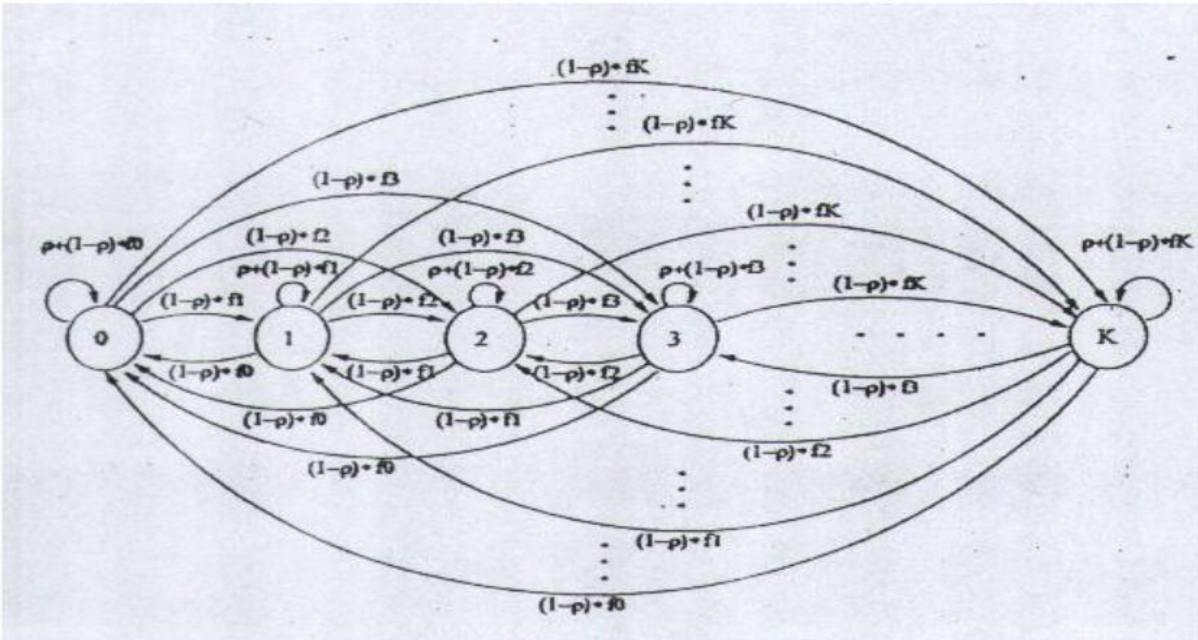
Το DAR(1) μοντέλο παρέχει μία εύκολη και πρακτική μέθοδο για τον υπολογισμό του πίνακα μετάβασης και μας δίνει ένα μοντέλο που βασίζεται μόνο σε τέσσερις σημαντικές φυσικές παραμέτρους: τον μέσο όρο (mean), το peak, την διακύμανση(variance) και τον συντελεστή αυτοσυσχέτισης (autocorrelation coefficient) της προς μελέτη κίνησης βίντεο.

Κατασκευάσαμε το DAR(1) μοντέλο για κάθε ένα από τα είδη frames(I, P, B) των ταινιών που μελετήσαμε. Πιο συγκεκριμένα, στο μοντέλο μας οι γραμμές του πίνακα μετάβασης Q περιέχουν τις πιθανότητες της βέλτιστης κατανομής (f_0, f_1, f_2, … ,f_k, f_K), όπου $F_K = \Sigma_k > Kf_k$ και K είναι το peak rate. Κάθε k, k < K αντιστοιχεί σε ένα πιθανό ρυθμό πηγής μικρότερο από το peak rate.

Από τον πίνακα μετάβασης στη σχέση $P=\rho I + (1 - \rho)Q$ είναι εμφανές ότι αν το παρόν frame που μελετάμε έχει για παράδειγμα i κελιά, τότε και το επόμενο frame θα έχει και αυτό i κελιά με πιθανότητα $\rho + (1 - \rho)f_i$ και θα έχει k κελιά, $k \neq i$, με πιθανότητα $(1 - \rho)f_K$. Οπότε, ο αριθμός των κελιών ανά video frame παραμένει σταθερός από το ένα video frame (I, P, B) στο επόμενο με πιθανότητα μεγαλύτερη από ρ.

Η Markov αλυσίδα που δημιουργείται από το DAR(1) μοντέλο παρουσιάζεται στο Σχήμα 21. Ο αριθμός μιας κατάστασης είναι ο αριθμός των βίντεο πακέτων ανά frame. Έτσι, ο μέγιστος αριθμός των πακέτων που μπορούν να δημιουργηθούν από το μοντέλο προκύπτει διαιρώντας το μέγεθος του μεγαλύτερου βίντεο frame της πραγματικής υπό μελέτη ταινίας με τον αριθμό 48 (μέγεθος πακέτου).

Ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης του lag-1 υπολογίζεται για όλους τους τύπους των βίντεο frames όλων των ταινιών, χρησιμοποιώντας τη σχέση $\rho(W) = \frac{E[(Xi-\mu)(Xi+w-\mu)])}{\sigma^2}$ με w=1, ο οποίος δείχνει το βαθμό της συσχέτισης μεταξύ συνεχόμενων frames.



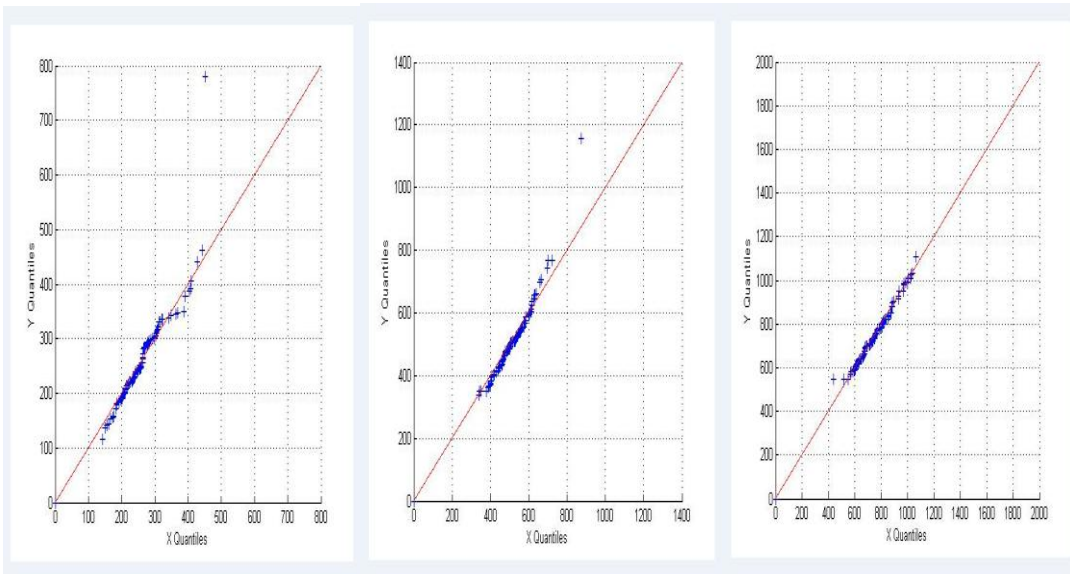
Σχήμα 21 : Markov αλυσίδα δημιουργούμενη από το DAR(1) μοντέλο

Στόχος της παραπάνω δουλειάς, όπως εξηγήσαμε, ήταν η δημιουργία μοντέλων όσο το δυνατόν υψηλότερης ακρίβειας για τα μεγέθη των frames των ταινιών που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1, ώστε τα μοντέλα μας να χρησιμοποιηθούν στον μηχανισμό CAC. Μετά την κατασκευή των μοντέλων για (I, P, B) frames ξεχωριστά, ήταν απαραίτητη η ανασύνθεση της κάθε ταινίας από τα μοντέλα των I, P, B frame types βάσει της αλληλουχίας των frames στην πραγματική ταινία (δομή Group of Pictures).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την κατασκευή του DAR(1) μοντέλου για κάθε είδος frame (I, P, B) των ταινιών που μελετήσαμε για 5, 10 και 15 χρήστες.

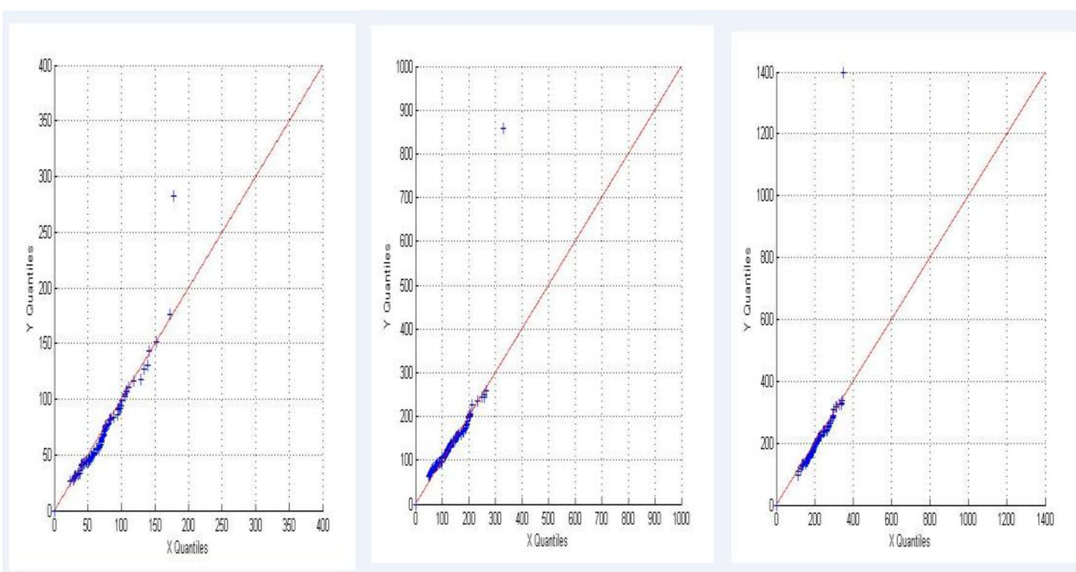
1) *Silence of the Lambs – Low Quality*

i. *I Frames*



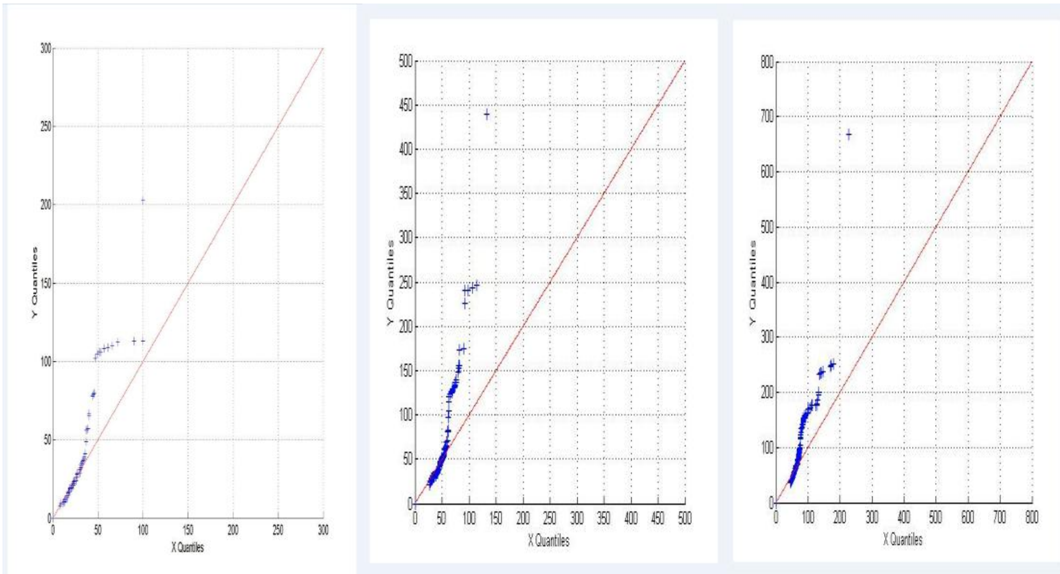
Σχήμα 22: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας Silence of the Lambs – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. *P Frames*



Σχήμα 23: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας Silence of the Lambs – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

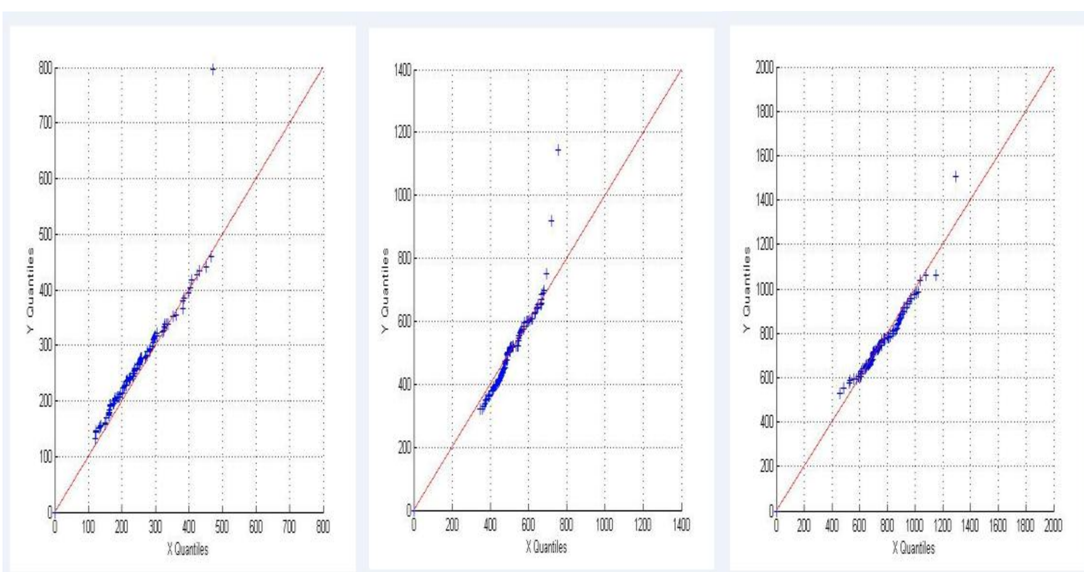
iii. *B Frames*



Σχήμα 24: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας Silence of the Lambs – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

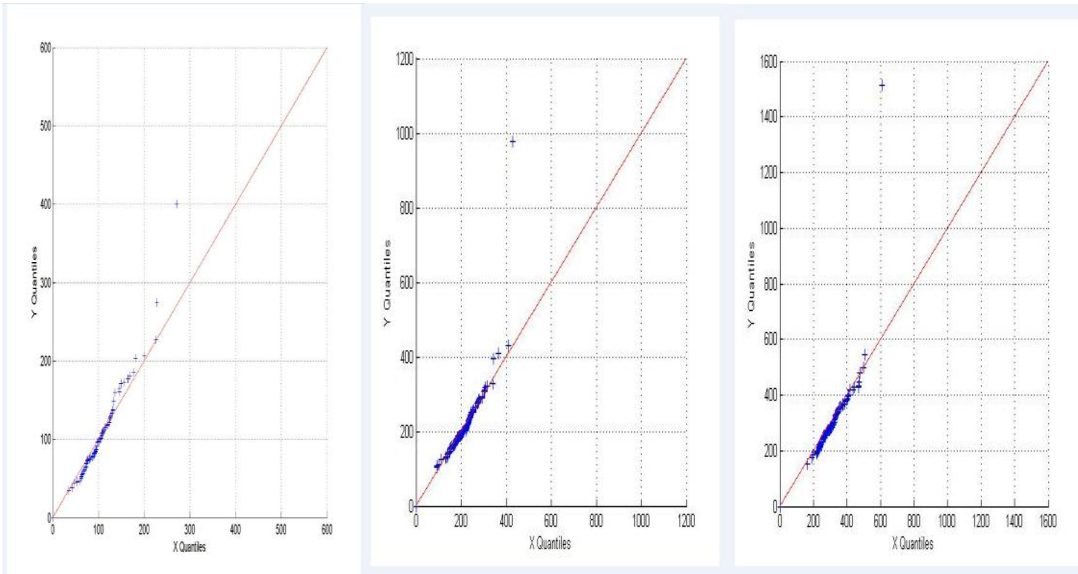
2) Silence of the Lambs – Medium Quality

i. *I Frames*



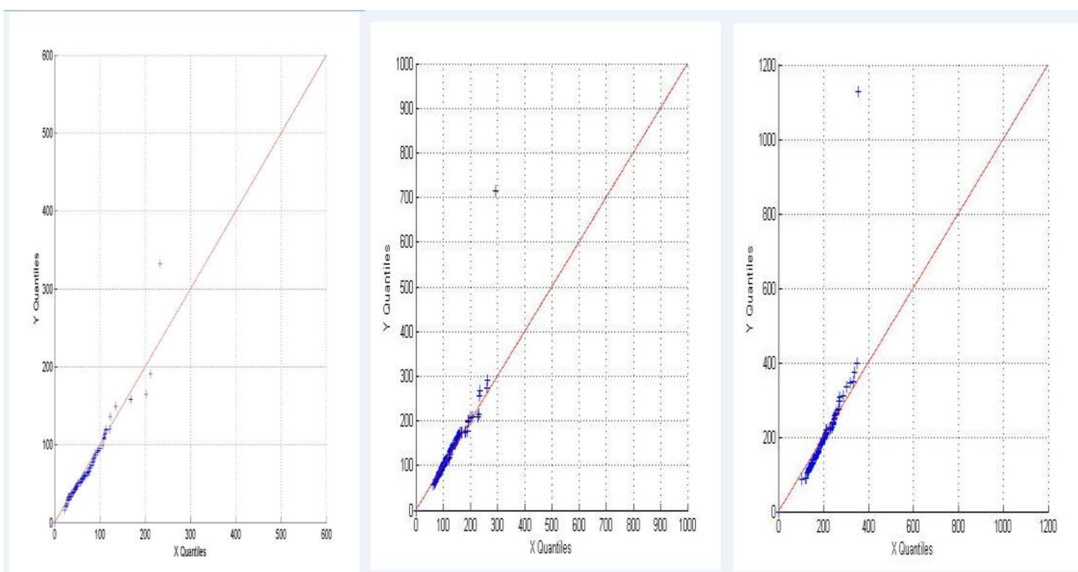
Σχήμα 25: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας Silence of the Lambs – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. *P Frames*



Σχήμα 26: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας Silence of the Lambs – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

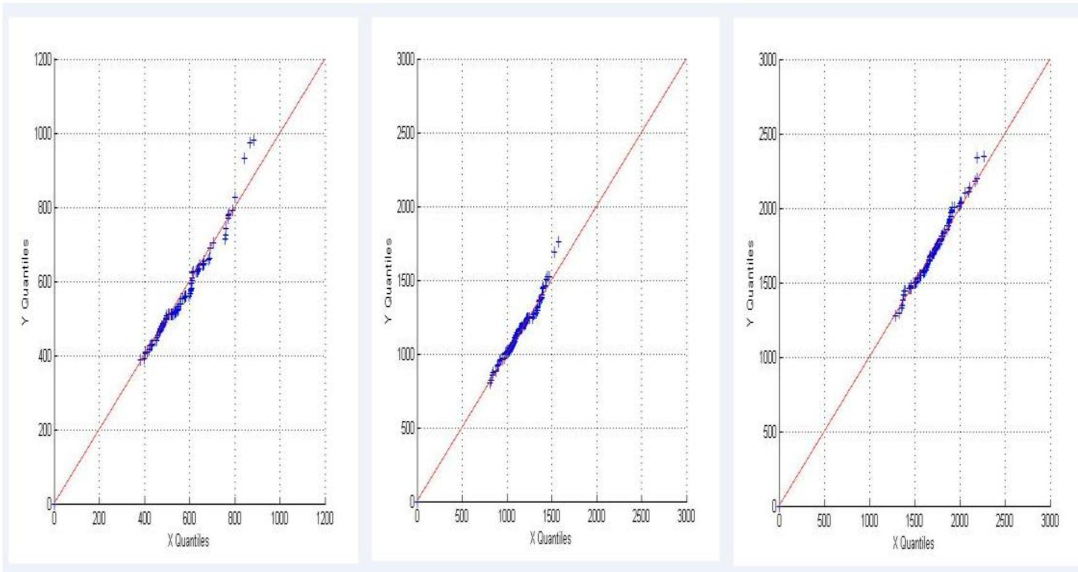
iii. *B Frames*



Σχήμα 27: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας Silence of the Lambs – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

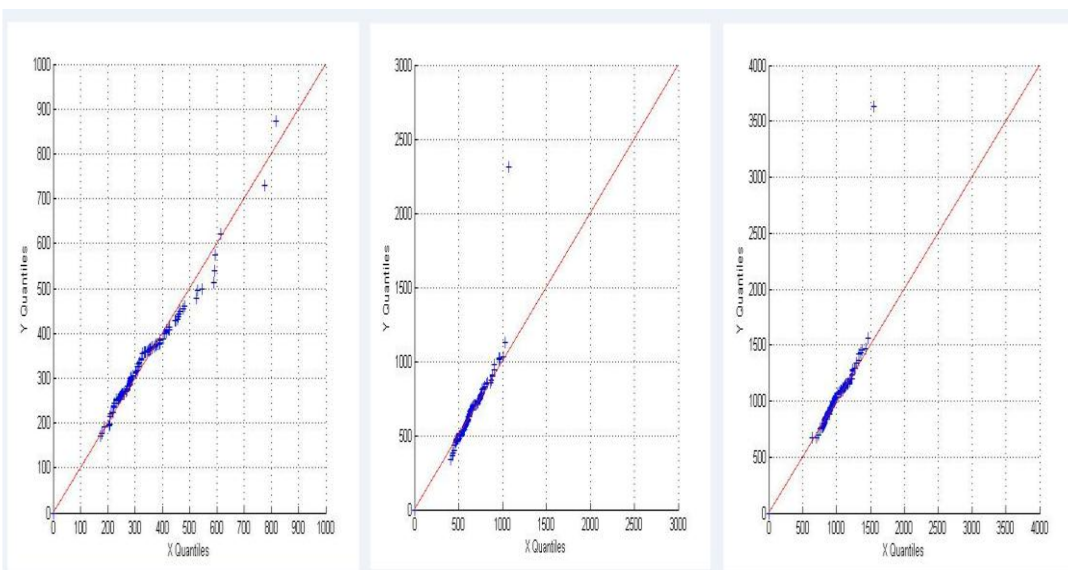
3) Silence of the Lambs – High Quality

i. I Frames



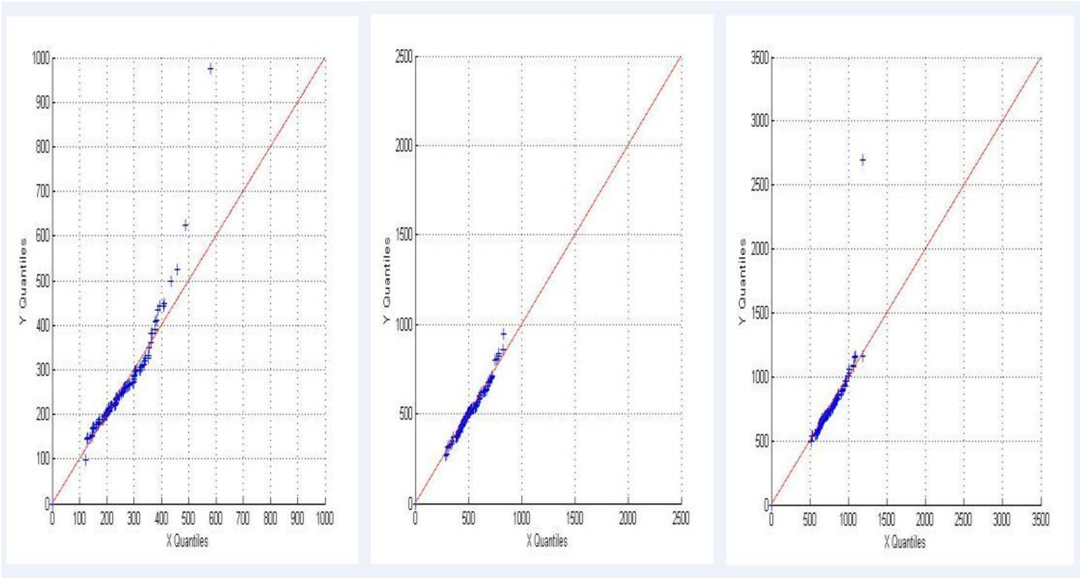
Σχήμα 28: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας Silence of the Lambs – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. P Frames



Σχήμα 29: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας Silence of the Lambs – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

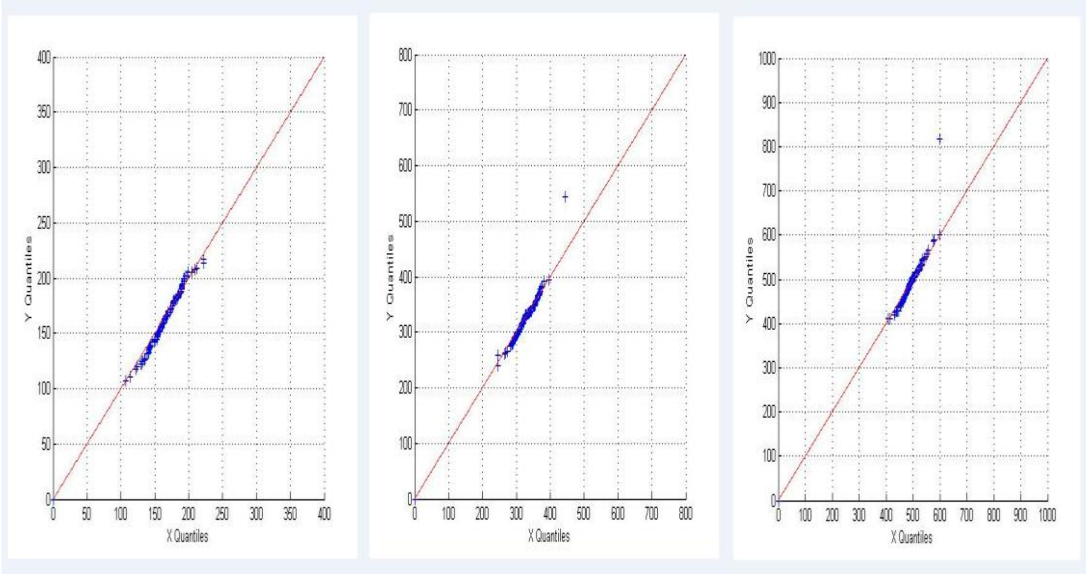
iii. B Frames



Σχήμα 30: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας Silence of the Lambs – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

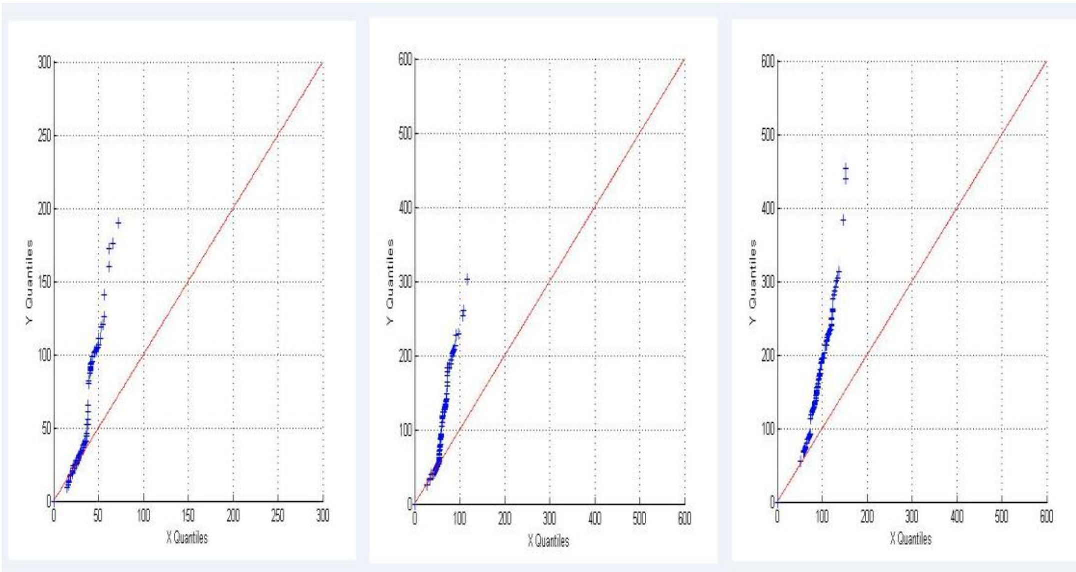
4) Star Wars IV – Low Quality

i. I Frames



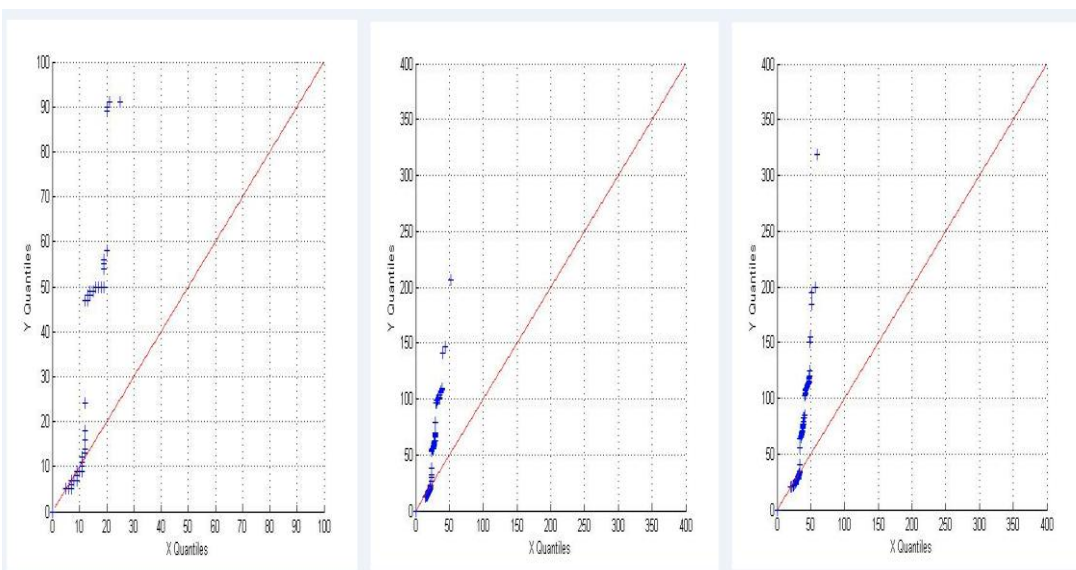
Σχήμα 31: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας Star Wars IV – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. P Frames



Σχήμα 32: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας Star Wars IV – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

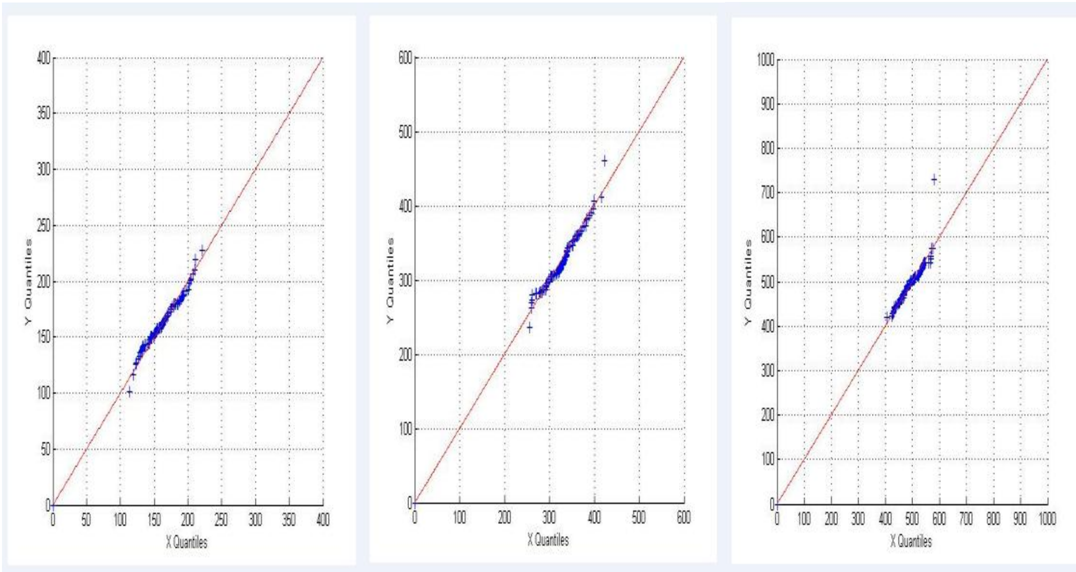
iii. B Frames



Σχήμα 33: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας Star Wars IV – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

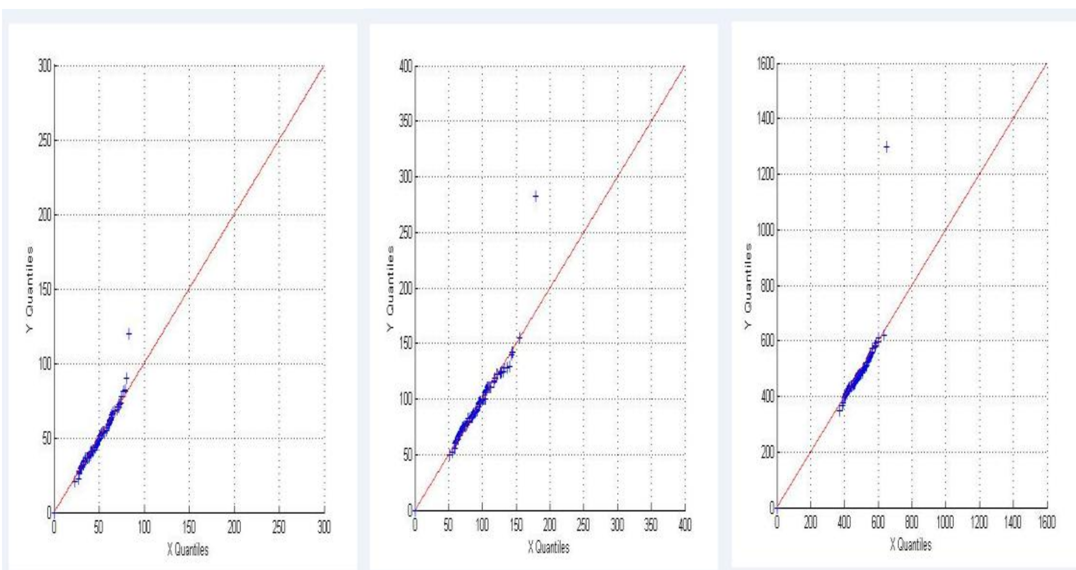
5) Star Wars IV – Medium Quality

i. I Frames



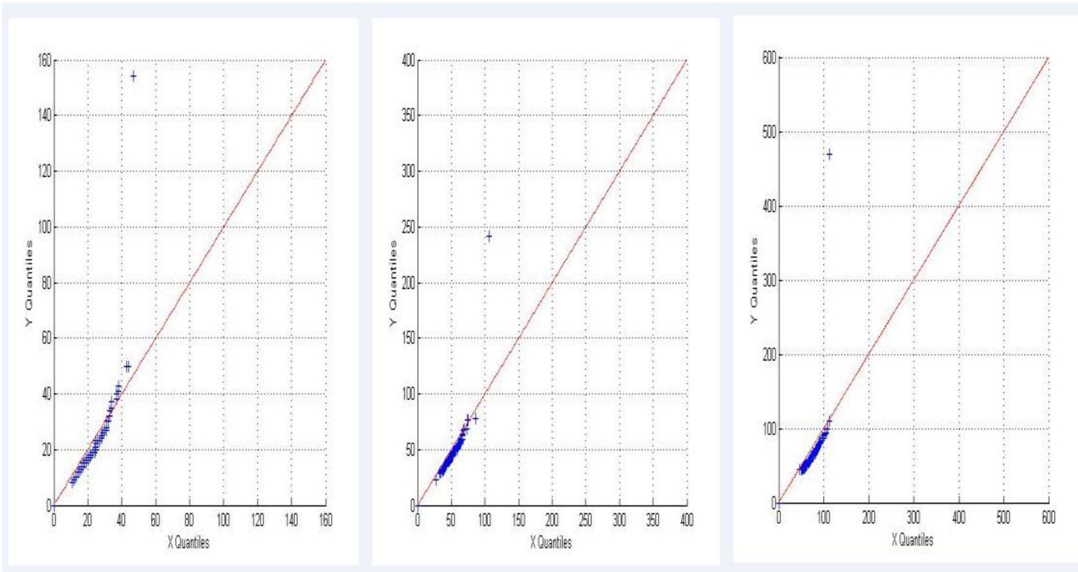
Σχήμα 34: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας Star Wars IV – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. P Frames



Σχήμα 35: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας Star Wars IV – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

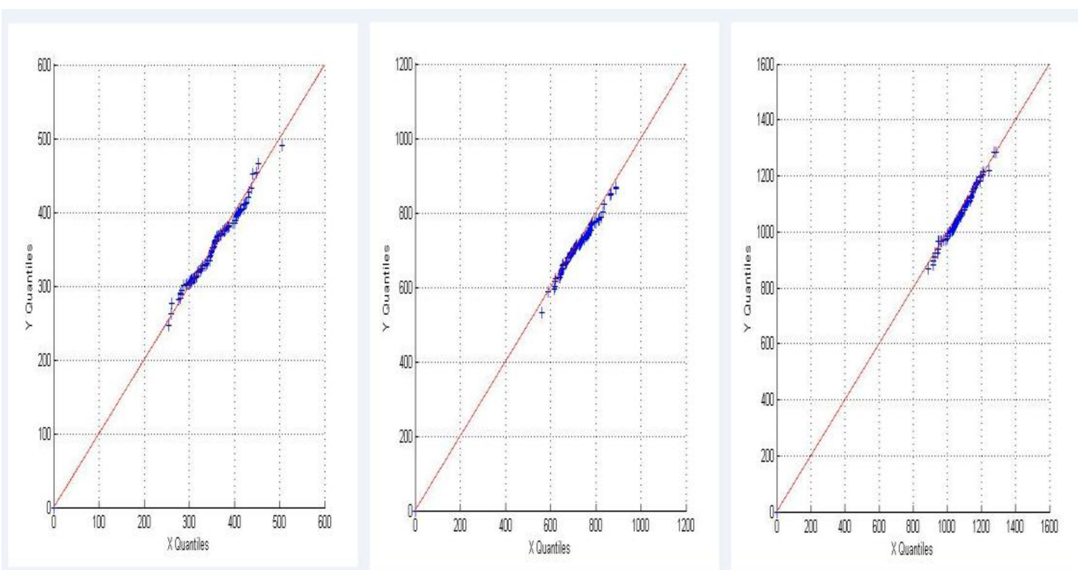
iii. B Frames



Σχήμα 36: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας Star Wars IV – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

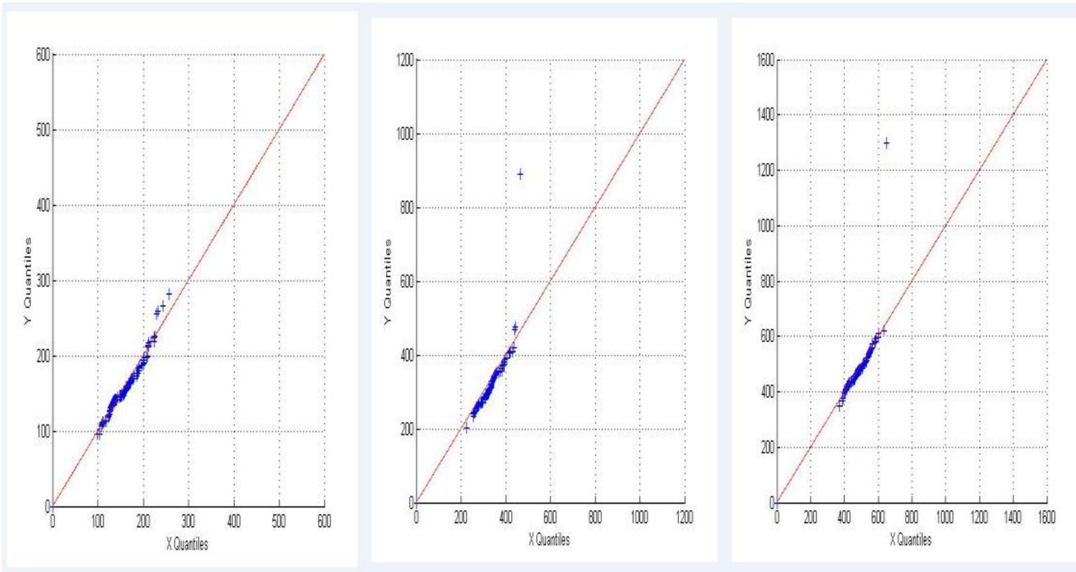
6) Star Wars IV – High Quality

i. I Frames



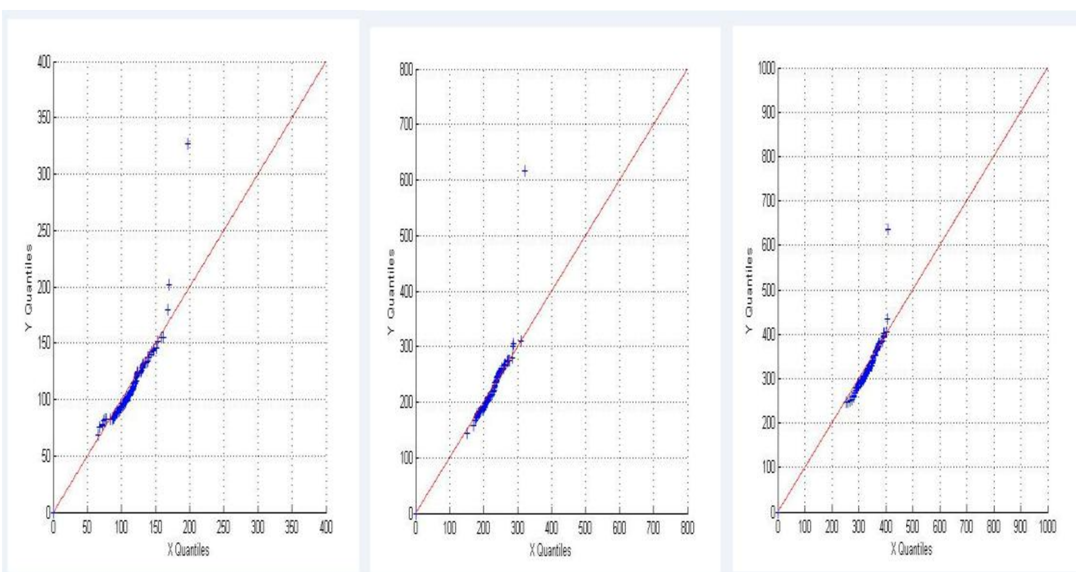
Σχήμα 37: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας Star Wars IV – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. P Frames



Σχήμα 38: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας Star Wars IV – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

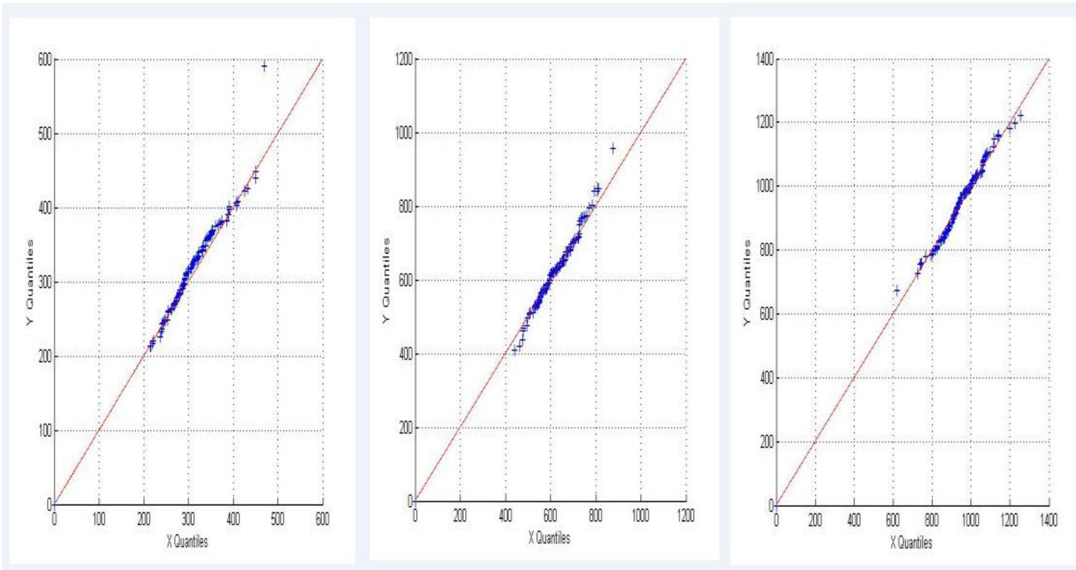
iii. B Frames



Σχήμα 39: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας Star Wars IV – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

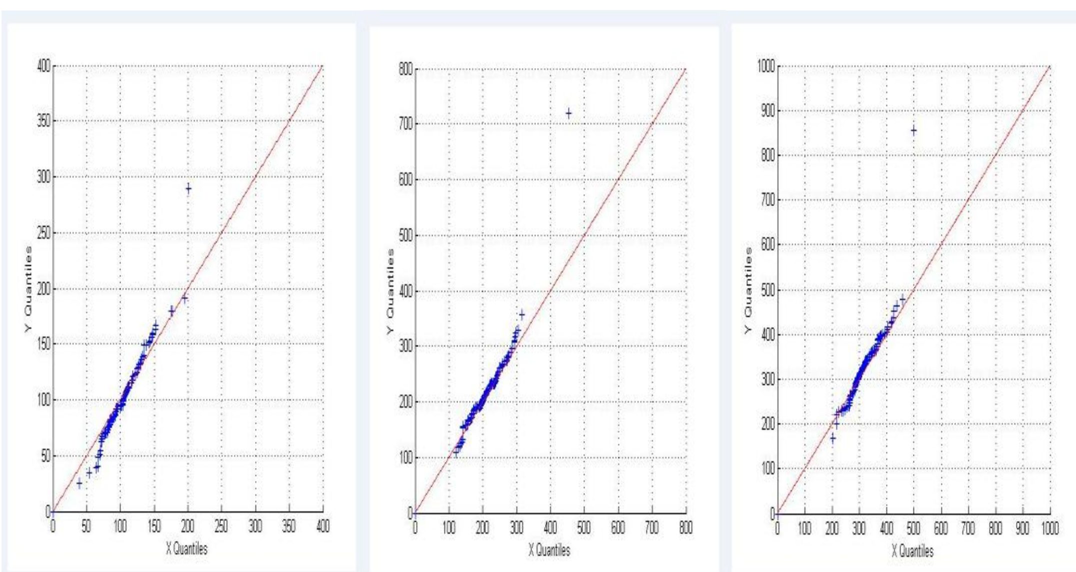
7) Die Hard III – Low Quality

i. I Frames



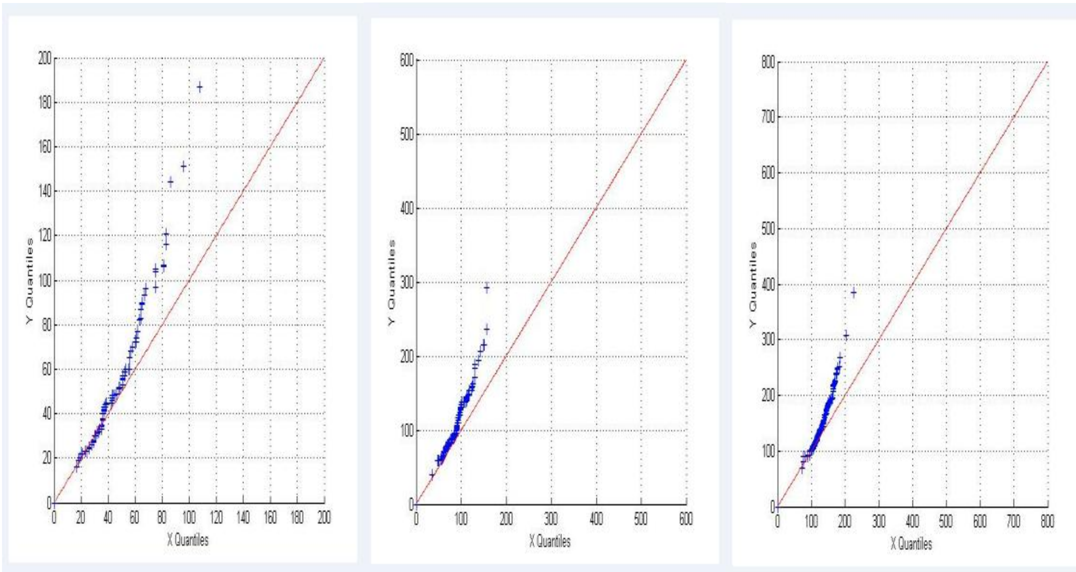
Σχήμα 40: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας Die Hard III – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. P Frames



Σχήμα 41: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας Die Hard III – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

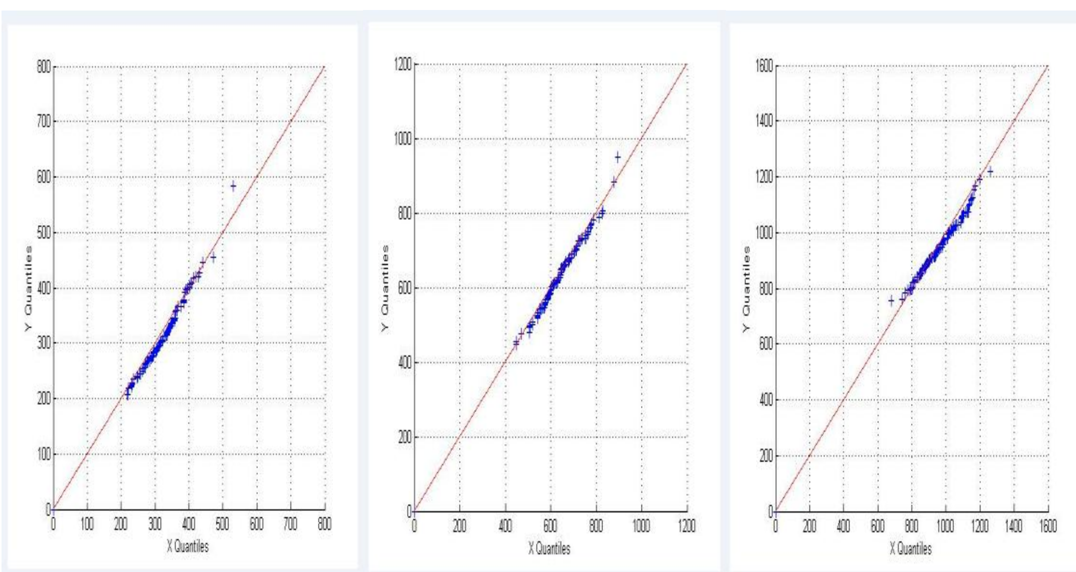
iii. B Frames



Σχήμα 42: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας Die Hard III – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

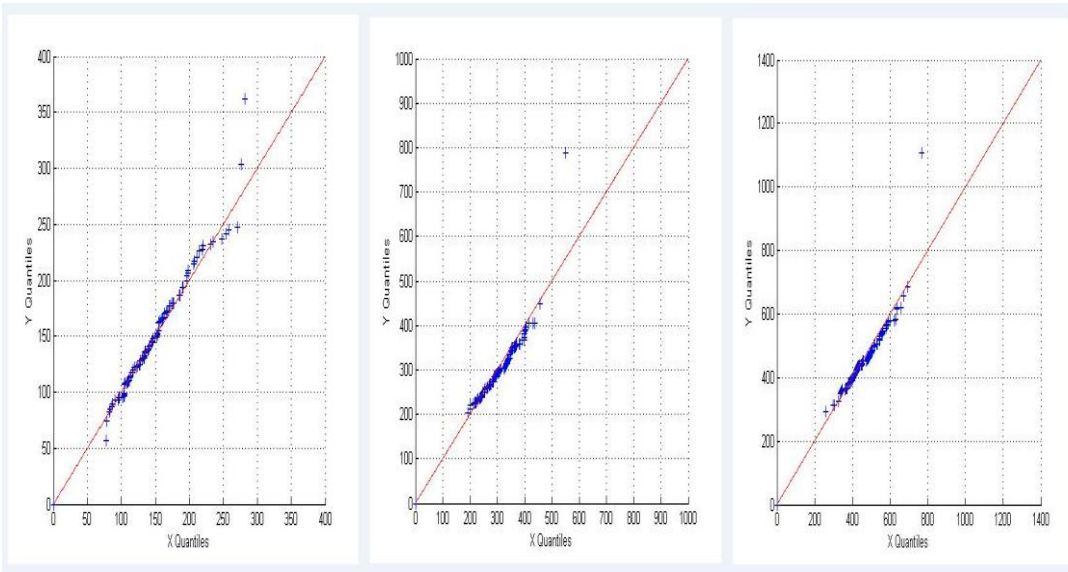
8) Die Hard III – Medium Quality

i. I Frames



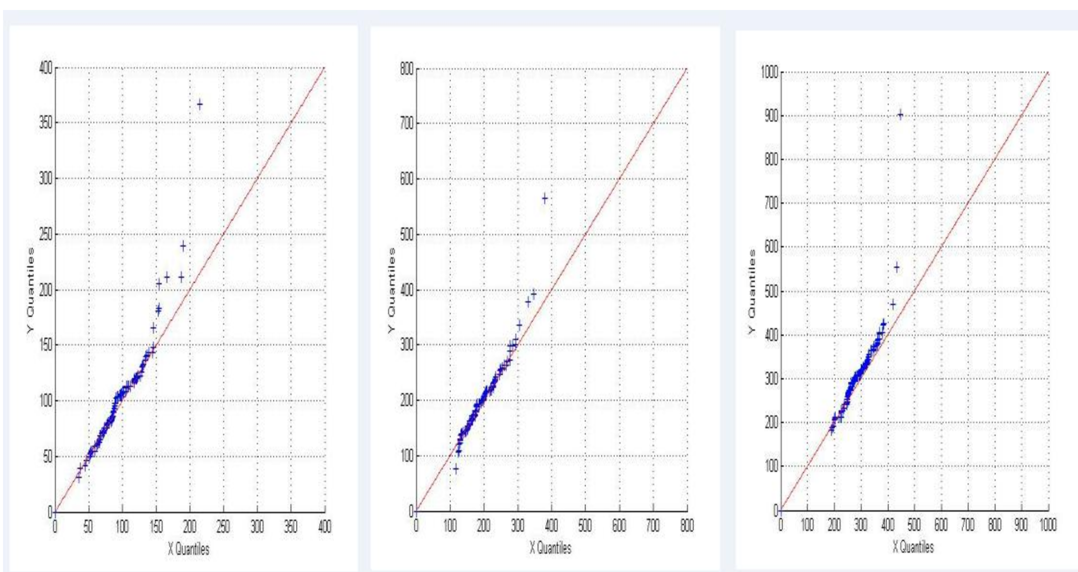
Σχήμα 43: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας Die Hard III – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. P Frames



Σχήμα 44: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας Die Hard III – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

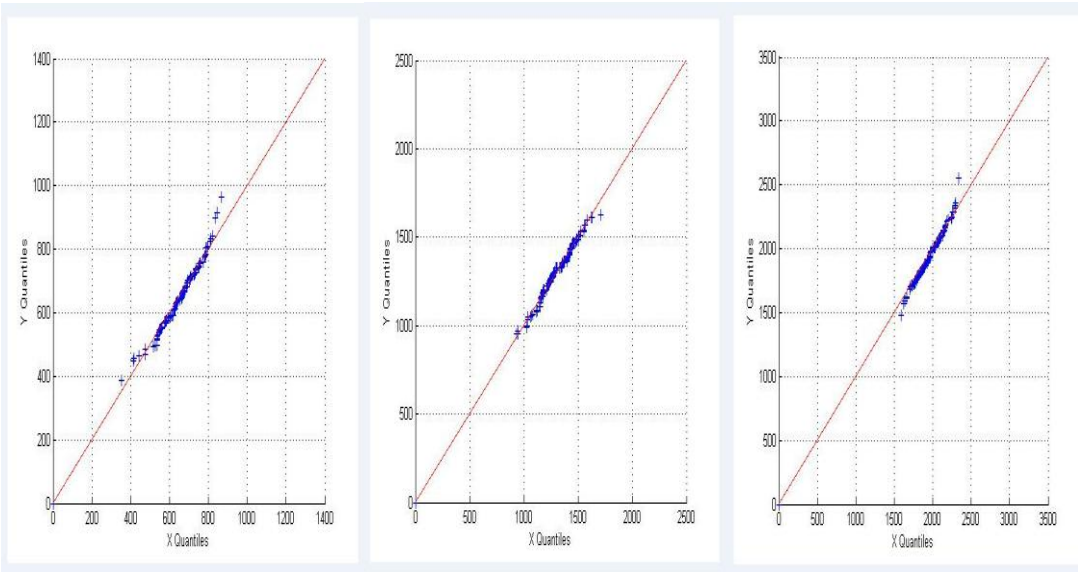
iii. B Frames



Σχήμα 45: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας Die Hard III – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

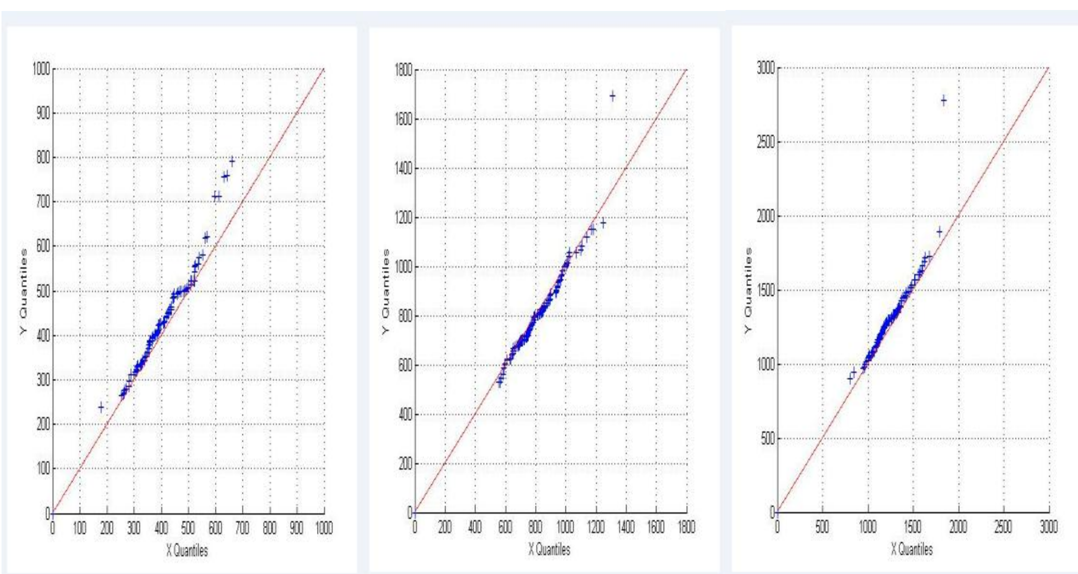
9) Die Hard III – High Quality

i. I Frames



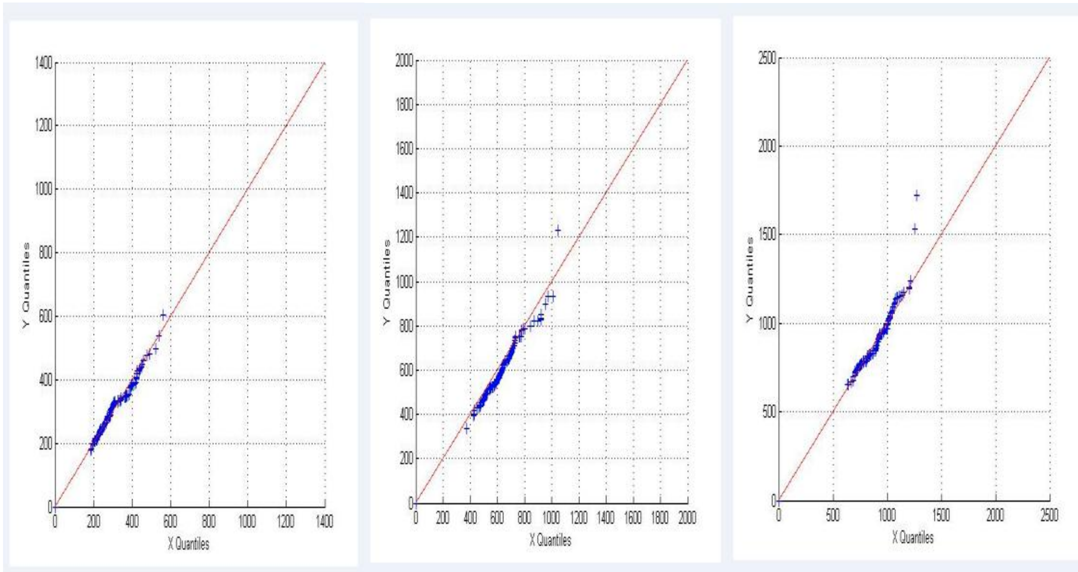
Σχήμα 46: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας Die Hard III – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. P Frames



Σχήμα 47: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας Die Hard III – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

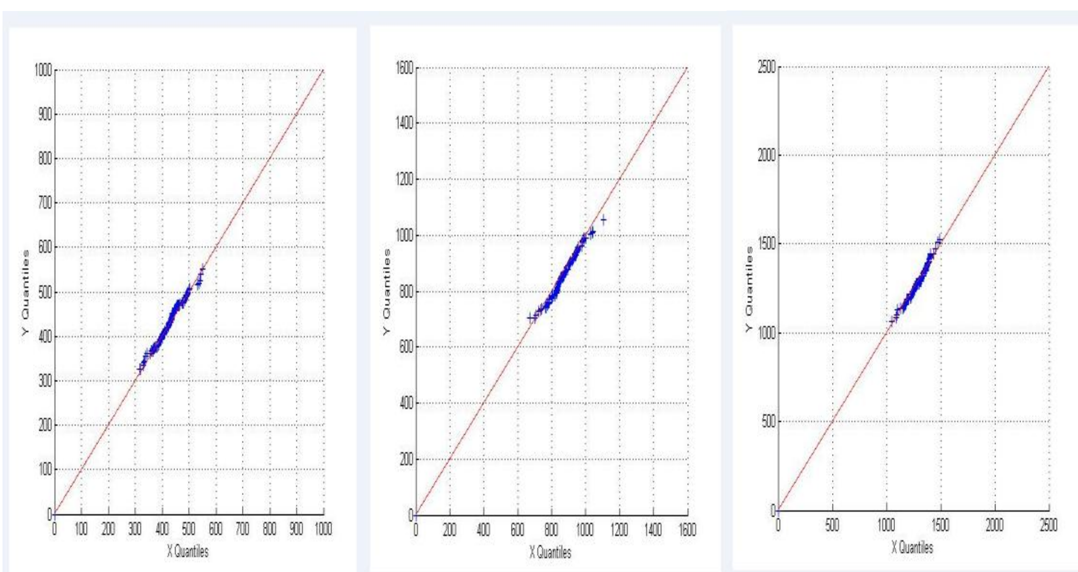
iii. B Frames



Σχήμα 48: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας Die Hard III – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

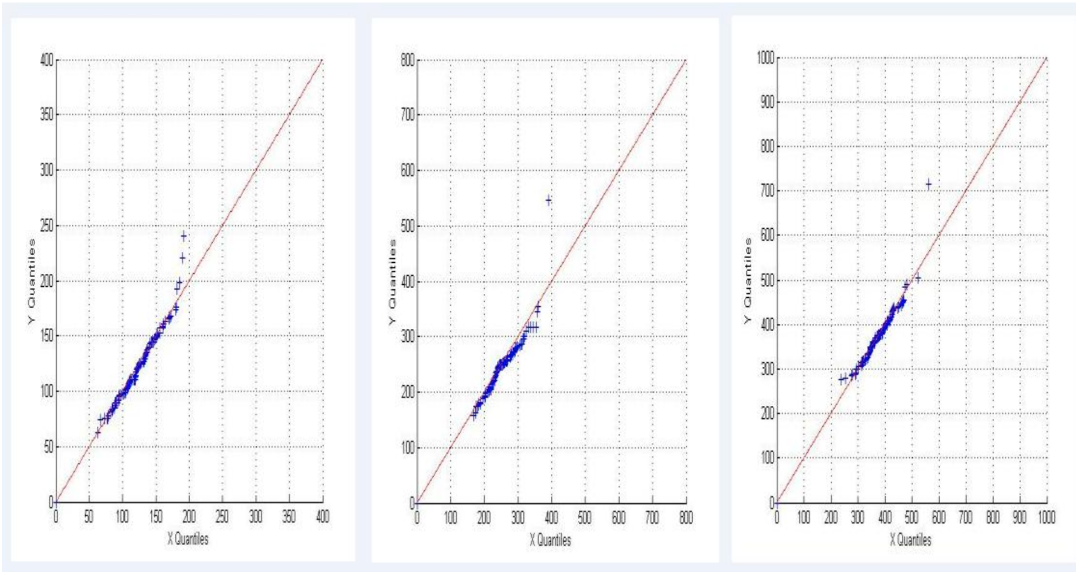
10) Robin Hood – Low Quality

i. I Frames



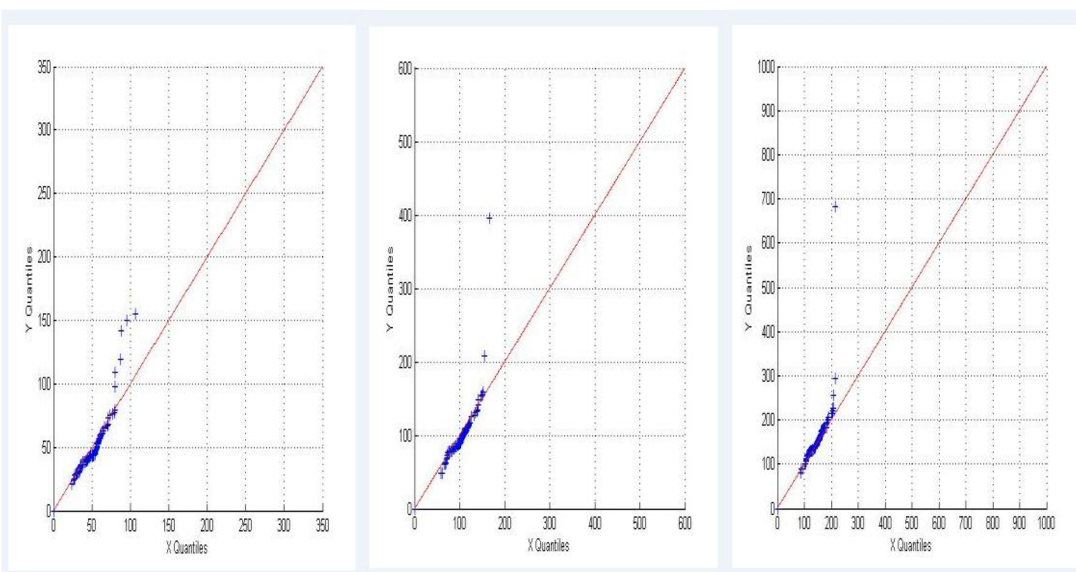
Σχήμα 49: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας Robin Hood – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. P Frames



Σχήμα 50: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας Robin Hood – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

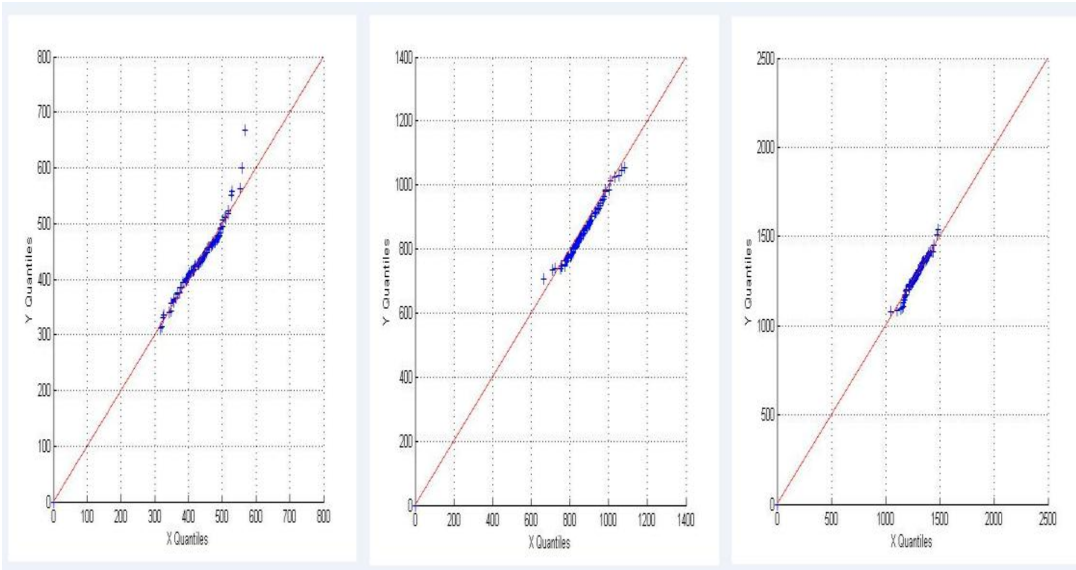
iii. B Frames



Σχήμα 51: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας Robin Hood – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

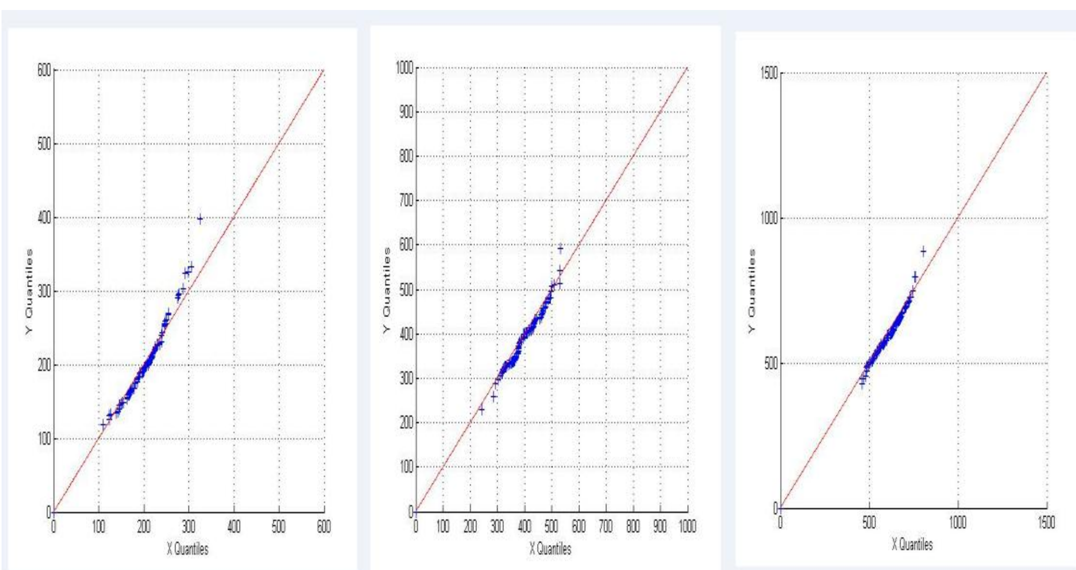
11) Robin Hood – Medium Quality

i. I Frames



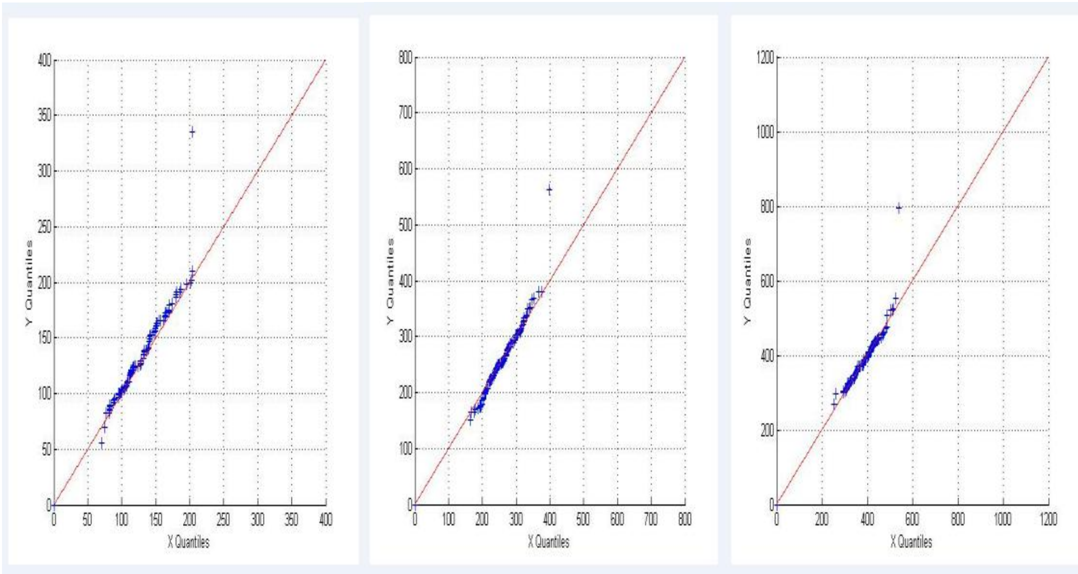
Σχήμα 52: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας Robin Hood – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. P Frames



Σχήμα 53: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας Robin Hood – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

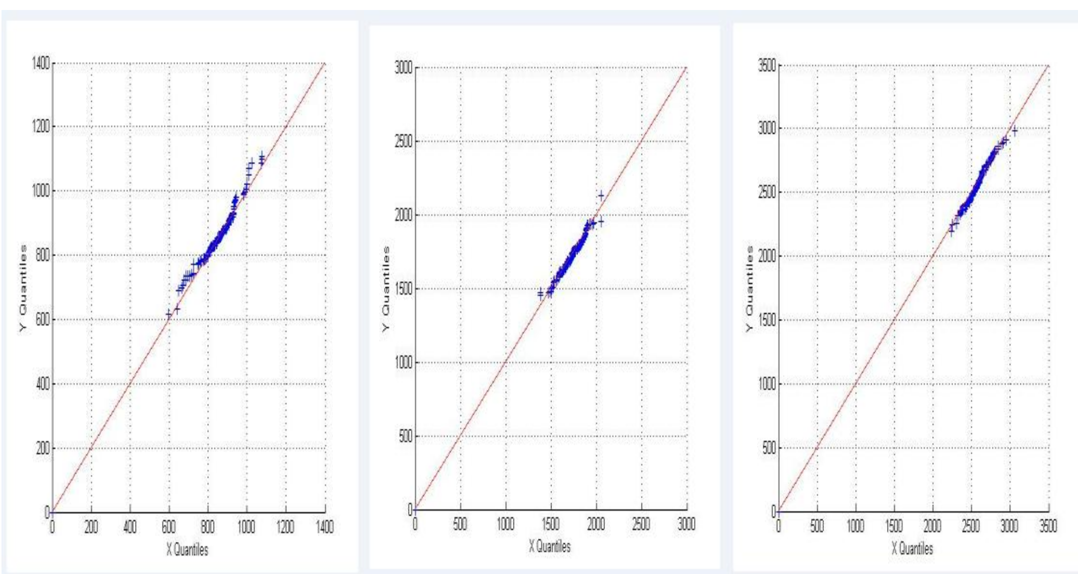
iii. B Frames



Σχήμα 54: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας Robin Hood – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

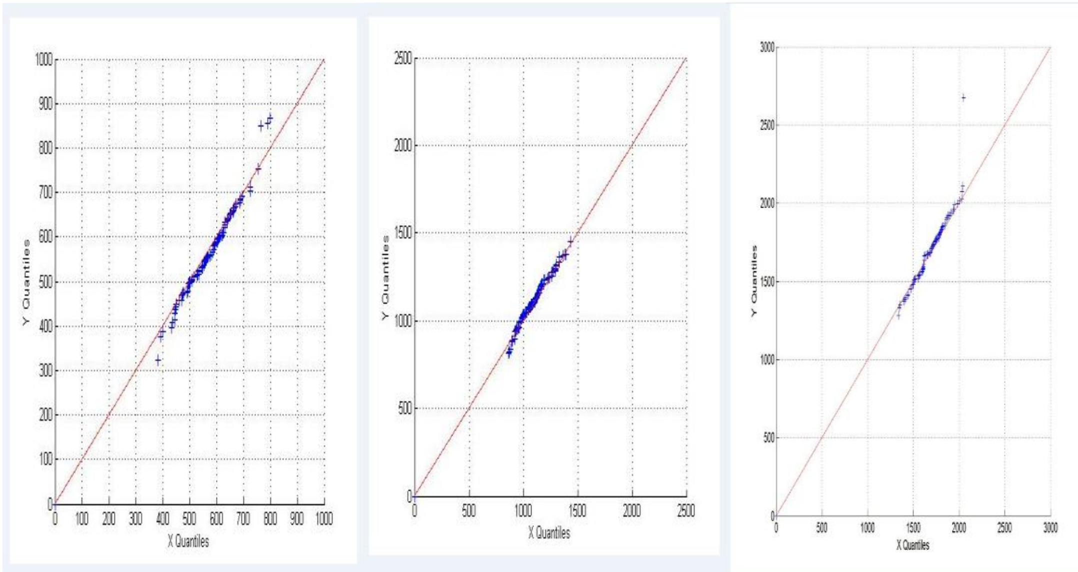
12) Robin Hood – High Quality

i. I Frames



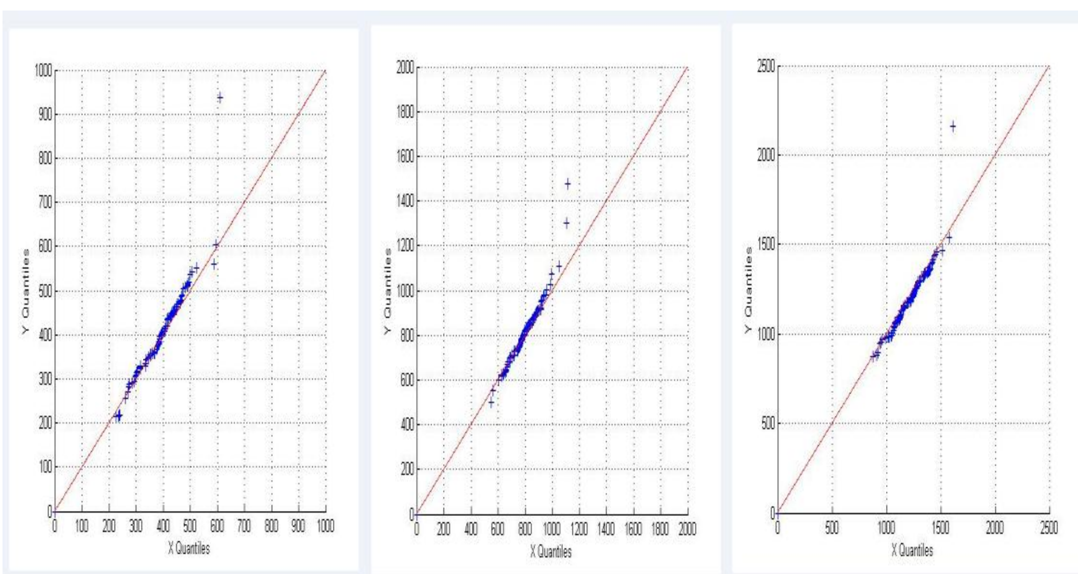
Σχήμα 55: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας Robin Hood – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. P Frames



Σχήμα 56: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας Robin Hood – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

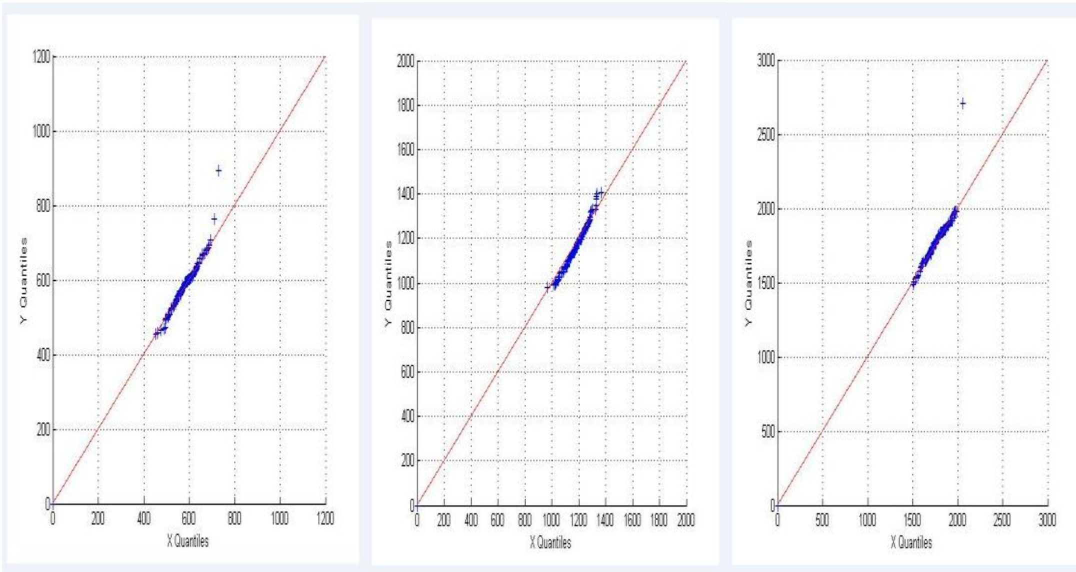
iii. B Frames



Σχήμα 57: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας Robin Hood – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

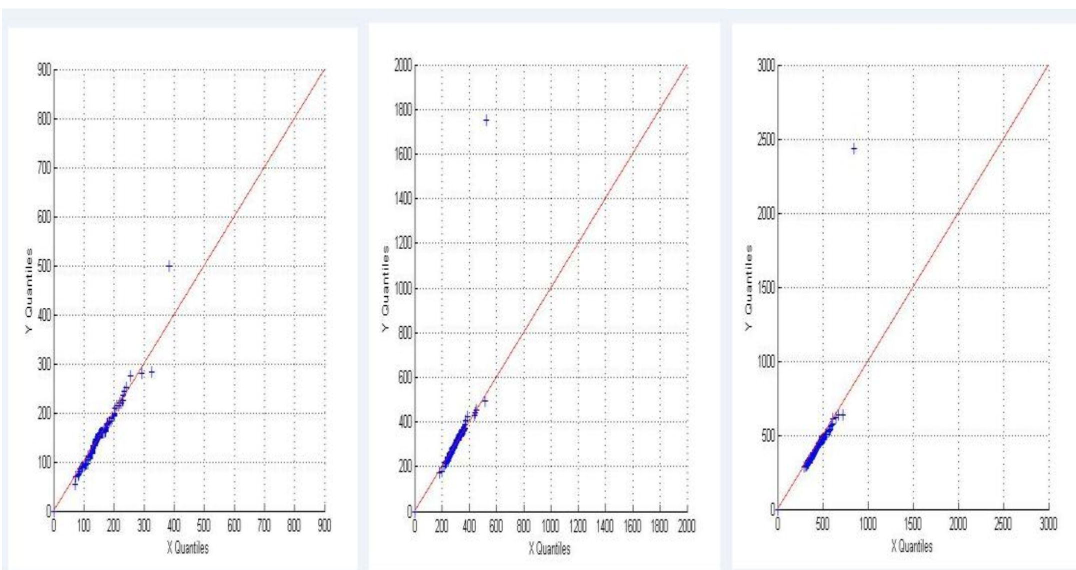
13) The Simpsons – Low Quality

i. I Frames



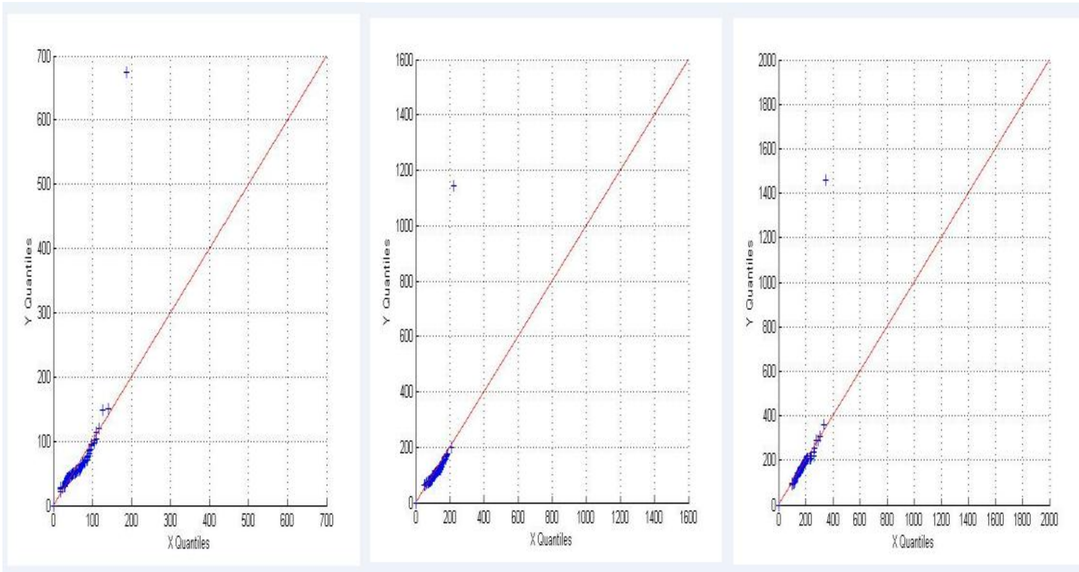
Σχήμα 58: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας The Simpsons – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. P Frames



Σχήμα 59: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας The Simpsons – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

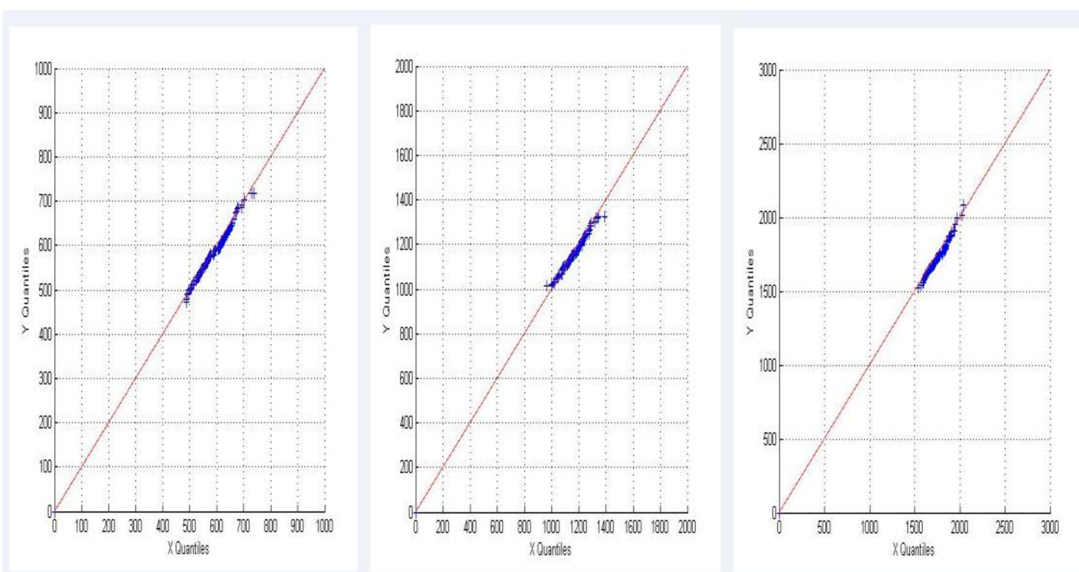
iii. B Frames



Σχήμα 60: : Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας The Simpsons – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

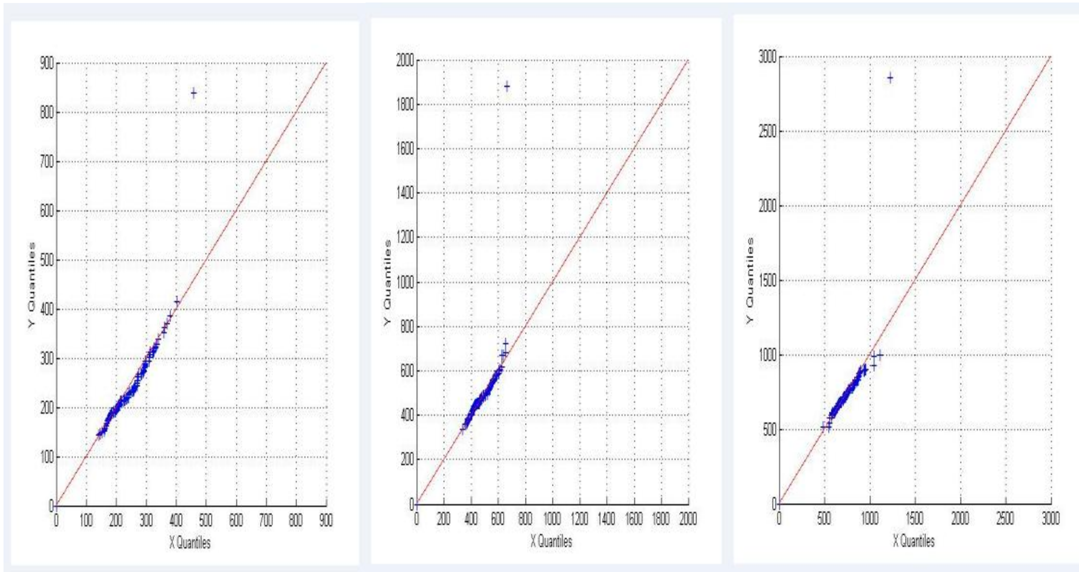
14) The Simpsons – Medium Quality

i. I Frames



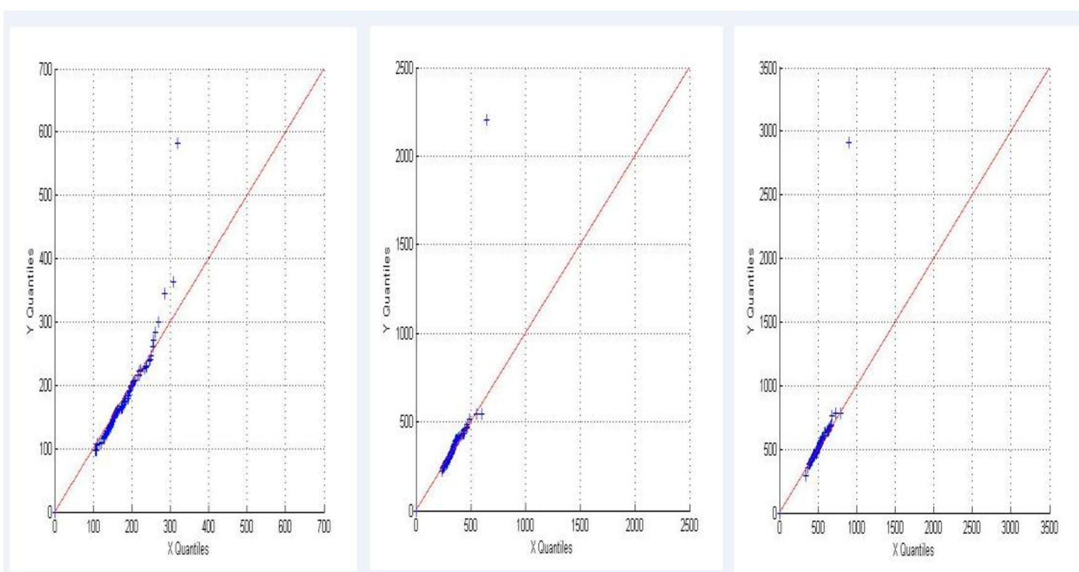
Σχήμα 61: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας The Simpsons – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. P Frames



Σχήμα 62: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας The Simpsons – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

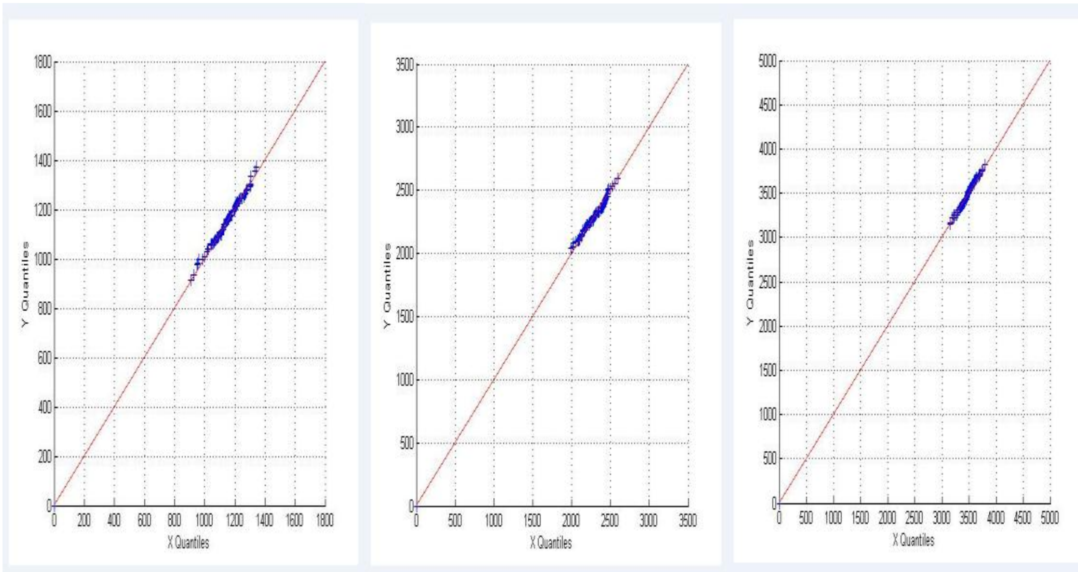
iii. B Frames



Σχήμα 63: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας The Simpsons – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

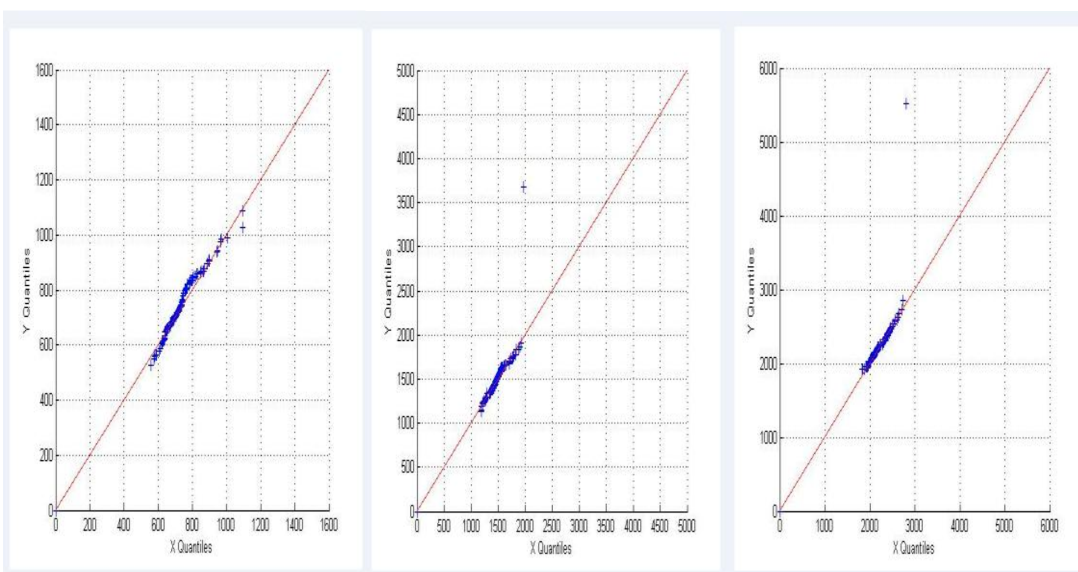
15) The Simpsons – High Quality

i. I Frames



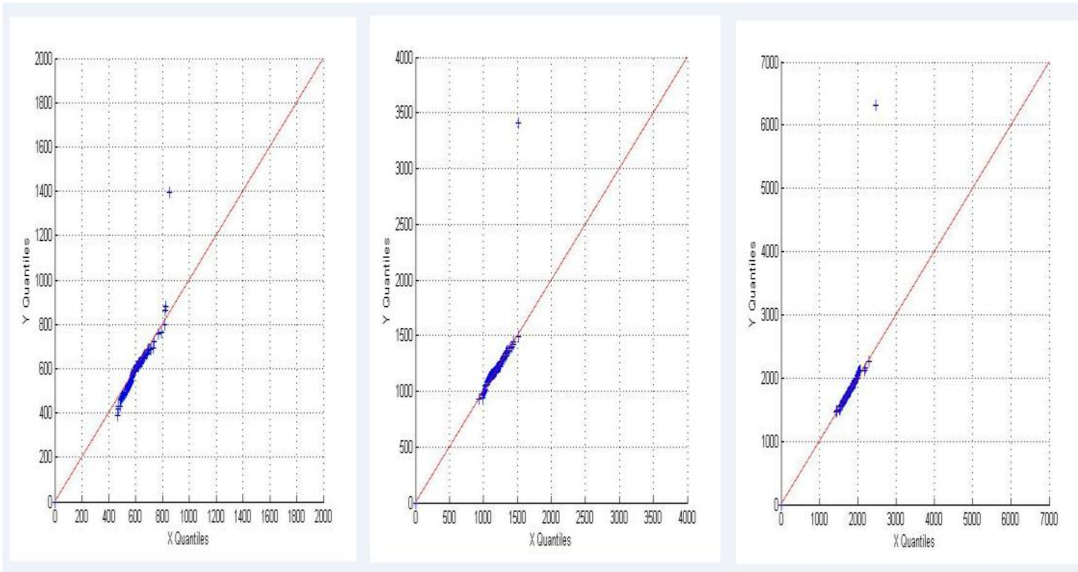
Σχήμα 64: : Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας The Simpsons – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. P Frames



Σχήμα 65: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας The Simpsons – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

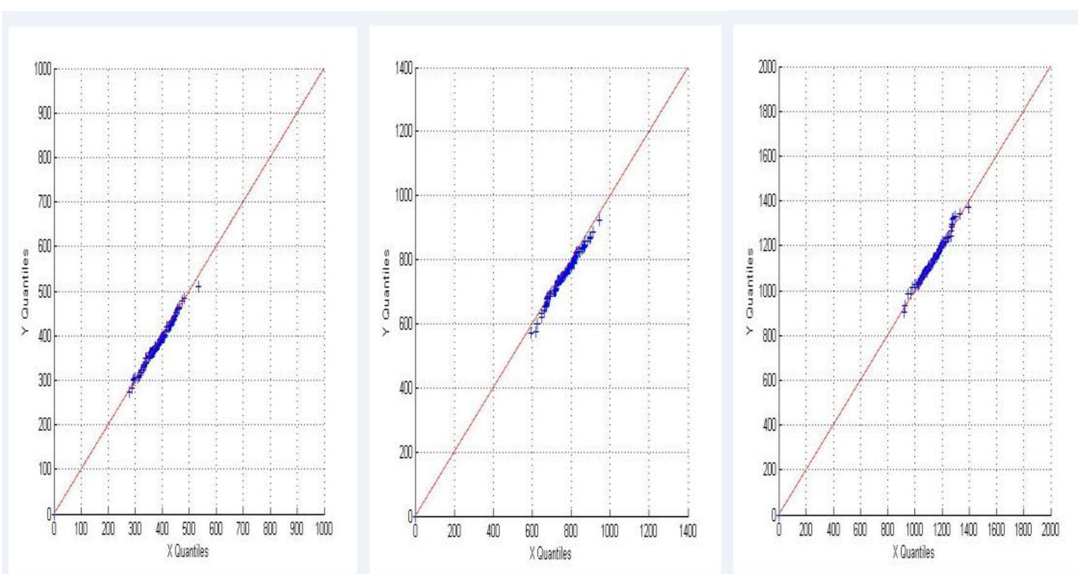
iii. B Frames



Σχήμα 66: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας The Simpsons – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

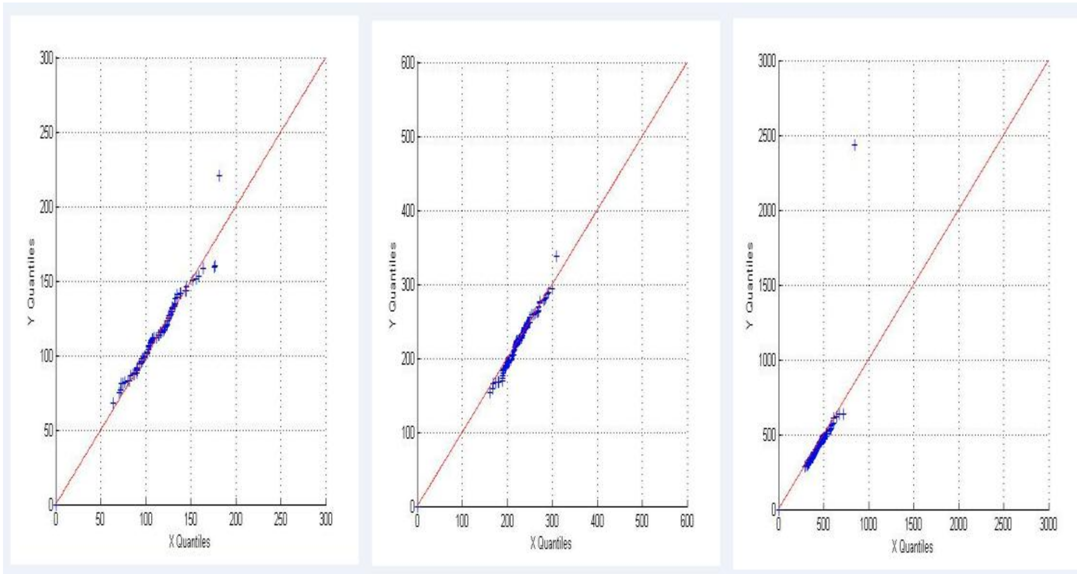
16) Formula 1 – Low Quality

i. I Frames



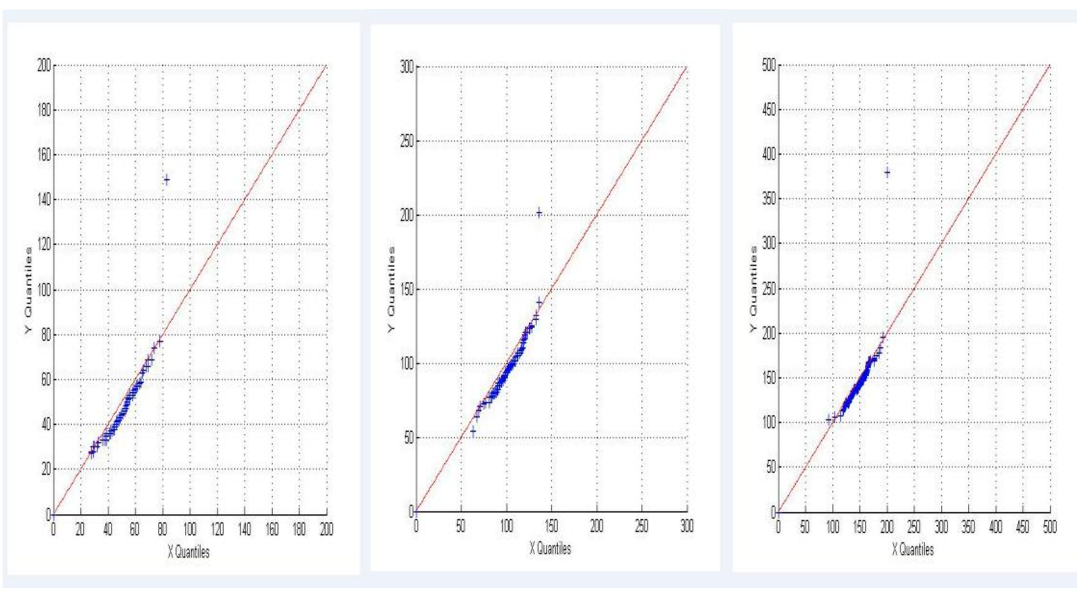
Σχήμα 67: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας Formula 1 – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. P Frames



Σχήμα 68: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας Formula 1 – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

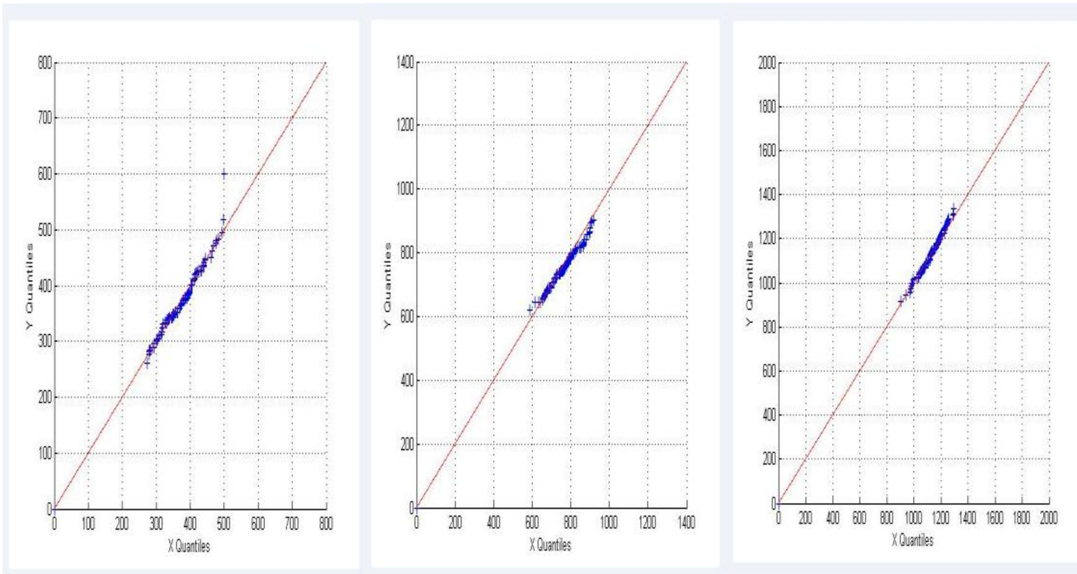
iii. B Frames



Σχήμα 69: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας Formula 1 – Low Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

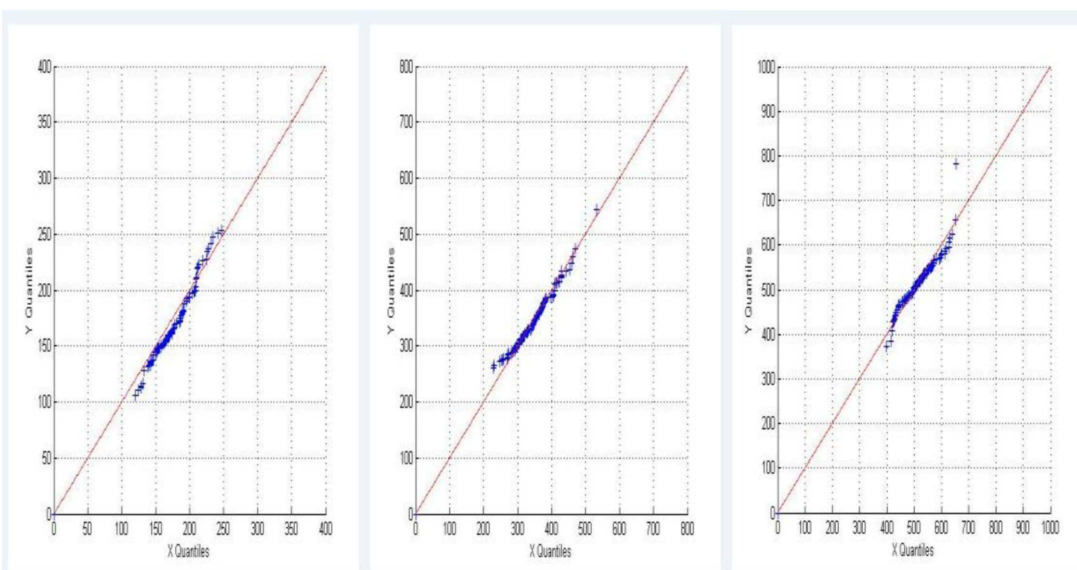
17) Formula 1 – Medium Quality

i. I Frames



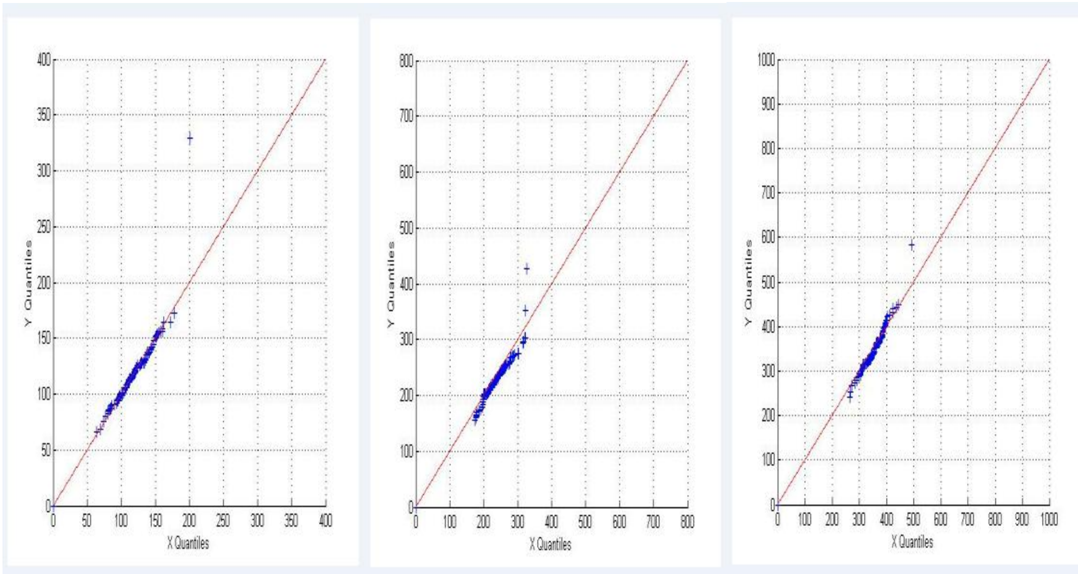
Σχήμα 70: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας Formula 1 – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. P Frames



Σχήμα 71: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας Formula 1 – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

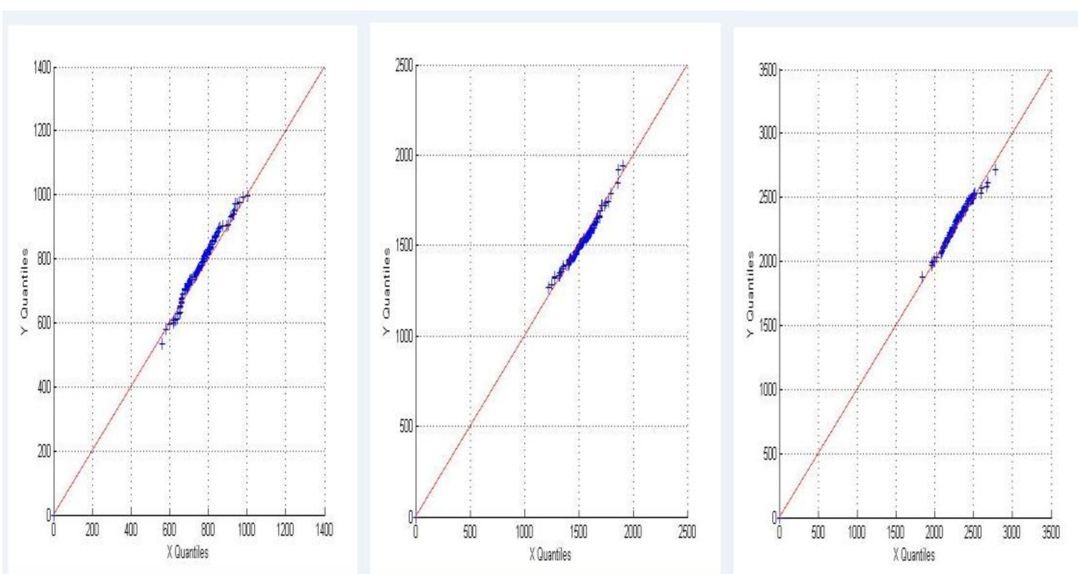
iii. B Frames



Σχήμα 72: : Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας Formula 1 – Medium Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

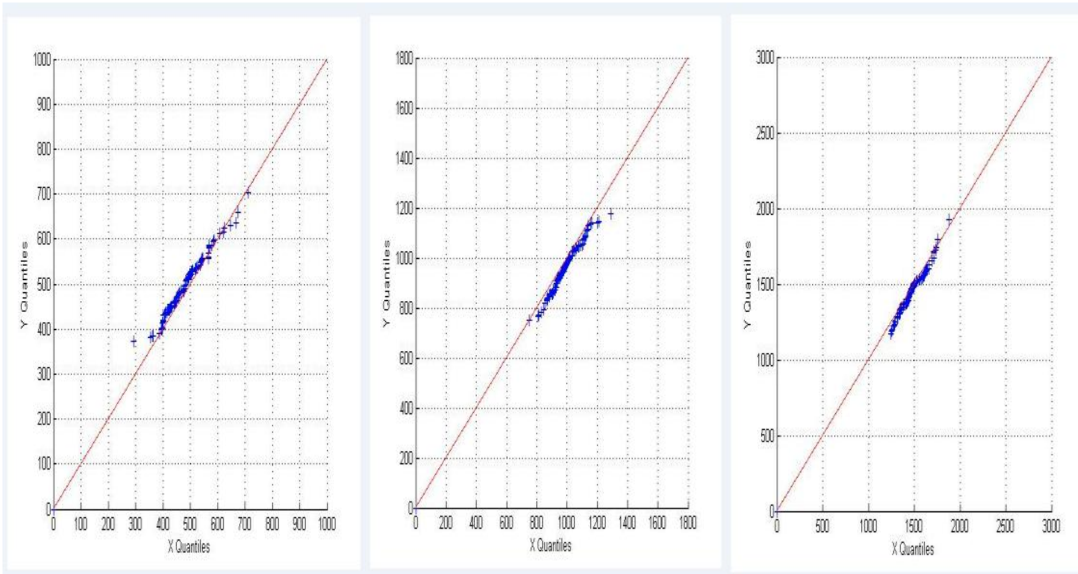
18) Formula 1 – High Quality

i. I Frames



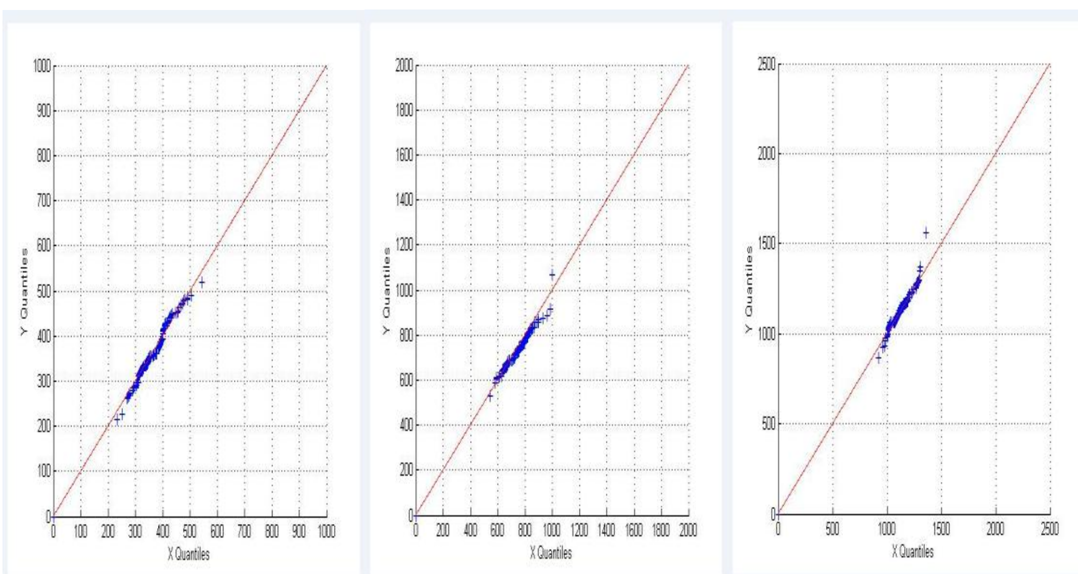
Σχήμα 73: : Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα I frames της ταινίας Formula 1 – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

ii. P Frames



Σχήμα 74: : Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα P frames της ταινίας Formula 1 – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

iii. B Frames



Σχήμα 75: Q-Q plots DAR(1) μοντέλου για τα B frames της ταινίας Formula 1 – High Quality για 5, 10 και 15 χρήστες αντίστοιχα

Στα παραπάνω γραφήματα παρατηρούμε ότι για κάθε τύπο frame των ταινιών, τα στατιστικά δεδομένα ακολουθούν τα πραγματικά στις περισσότερες των περιπτώσεων, καθώς τα σημεία των Q-Q plots βρίσκονται κατά μήκος της reference line ή πολύ κοντά σε αυτήν. Το καλό αυτό matching φανερώνει ότι το DAR(1) μοντέλο είναι καλό μοντέλο για την μοντελοποίηση πολυπλεγμένων MPEG-4 ταινιών. Ωστόσο, σε μερικές περιπτώσεις, όπως στα Σχήματα 24, 32, 33, 42, 45 φαίνεται ότι το μοντέλο δεν λειτουργεί καθόλου ικανοποιητικά, και σε άλλες περιπτώσεις (κυρίως για λίγες πηγές) το matching είναι μέτριο. Ο λόγος που υφίσταται αυτή η διαφοροποίηση οφείλεται στο γεγονός ότι δεν υπήρχε κάποια κατανομή που να ακολουθεί τα πραγματικά δεδομένα των αντίστοιχων ταινιών, όπως μπορούμε να διακρίνουμε για παράδειγμα στα Σχήματα 32 και 11.

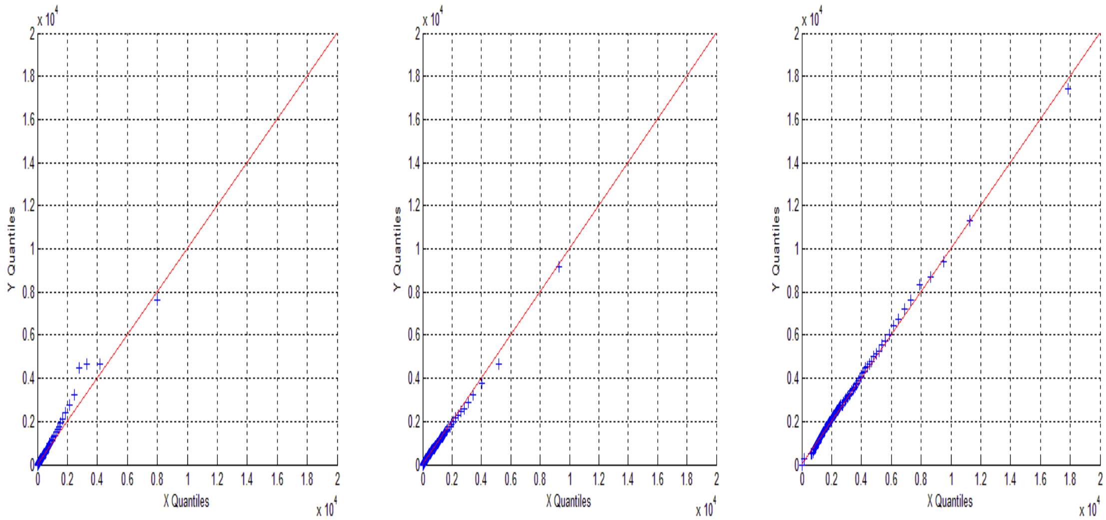
Επιπλέον, παρατηρούμε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, τα αποτελέσματα είναι καλύτερα όσο αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών (οι συγγραφείς στο [3] έχουν φτάσει σε παρόμοια συμπεράσματα για το DAR(1) μοντέλο και παρουσιάζουν τα αποτελέσματά τους για 20 χρήστες). Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα για 5 χρήστες είναι καλύτερα από αυτά για 15 χρήστες. Αυτό συμβαίνει, γιατί δεν υπήρχε καμία κατανομή που να περιγράφει αρκετά καλά τα πραγματικά δεδομένα των αντίστοιχων ταινιών, με αποτέλεσμα όσο αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών να υπάρχει μεγαλύτερη απόκλιση των σημείων από τη reference line παρουσιάζοντας το μοντέλο ως ανακριβές για μεγάλο αριθμό χρηστών.

Στη συνέχεια, παρουσιάζουμε στα Σχήματα 76-81 τα Q-Q plots που προέκυψαν από την ανασύνθεση της κάθε ταινίας από τα μοντέλα των I, P, B frame types βάσει της αλληλουχίας των frames στην πραγματική ταινία για έναν χρήστη (δομή Group of Pictures).

Τα στατιστικά και τα πραγματικά δεδομένα των παρακάτω ταινιών αποτέλεσαν την είσοδο στον CAC μηχανισμό που υλοποιήσαμε στη συγκεκριμένη εργασία. Όπως φαίνεται στα σχήματα που ακολουθούν, τα στατιστικά δεδομένα των ταινιών βρίσκονται πολύ κοντά στα πραγματικά δεδομένα σε όλες τις περιπτώσεις high και medium quality χρηστών, και σε αρκετές περιπτώσεις low quality χρηστών. Παρ' όλο που τα αποτελέσματά μας υστερούν σε ακρίβεια σε σχέση με εκείνα του [4] και του [36] (όπου μοντελοποιήθηκαν ταινίες βιντεοδιάσκεψης), η ακρίβεια που επιτυγχάνει το DAR(1) ακόμα και για γενικού τύπο MPEG-4 ταινίες είναι σημαντική, χάρη στο "σπάσιμο" σε I, P, B frames. Η ακρίβεια αυτή θα αποδειχθεί πολύ χρήσιμη στην υλοποίηση του CAC μηχανισμού μας, τον οποίο περιγράφουμε στο Κεφάλαιο 3.

1) *Silence of the Lambs*

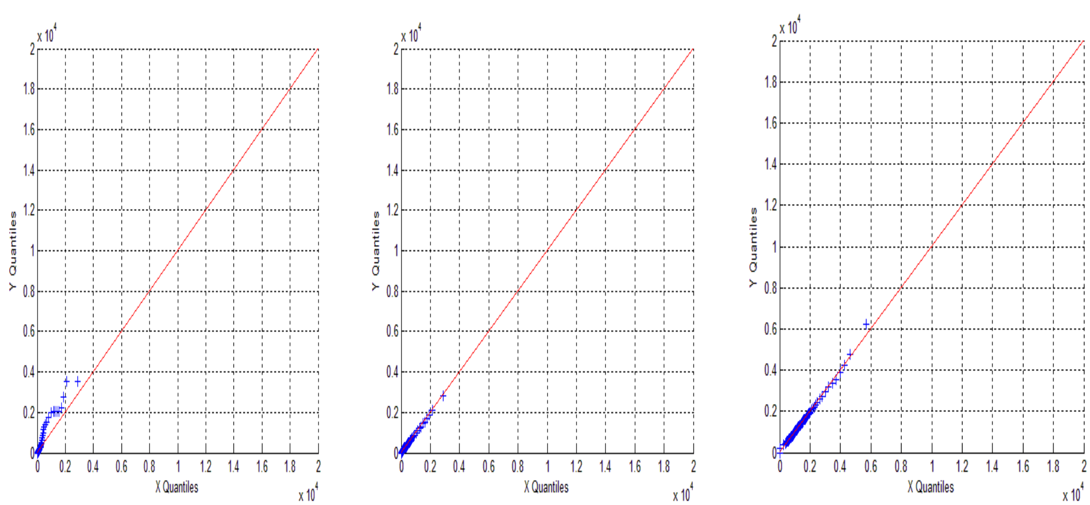
Low Quality *Medium Quality* *High Quality*



Σχήμα 76: Q-Q plots για την ταινία Silence of the Lambs

2) *Star Wars IV*

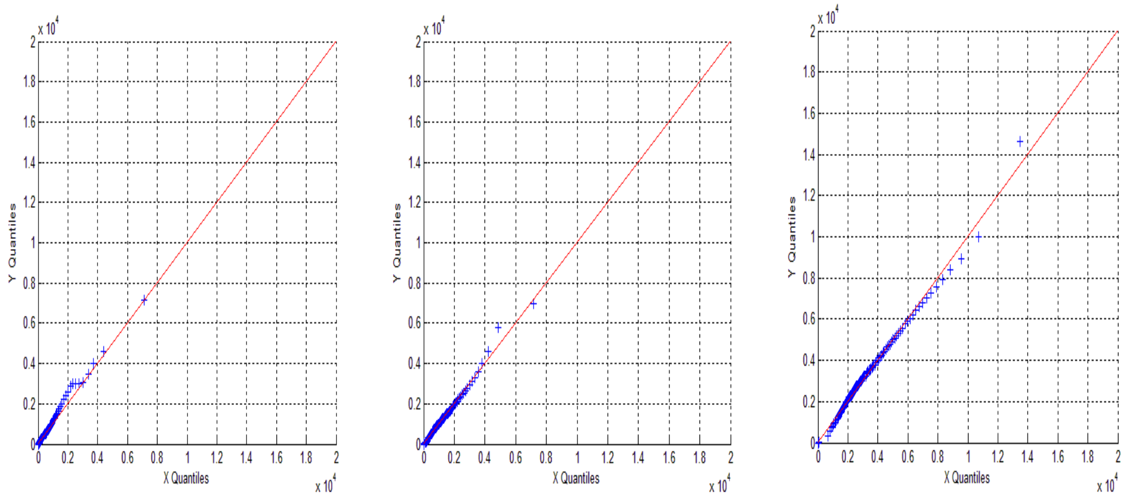
Low Quality *Medium Quality* *High Quality*



Σχήμα 77: Q-Q plots για την ταινία Star Wars IV

3) *Die Hard III*

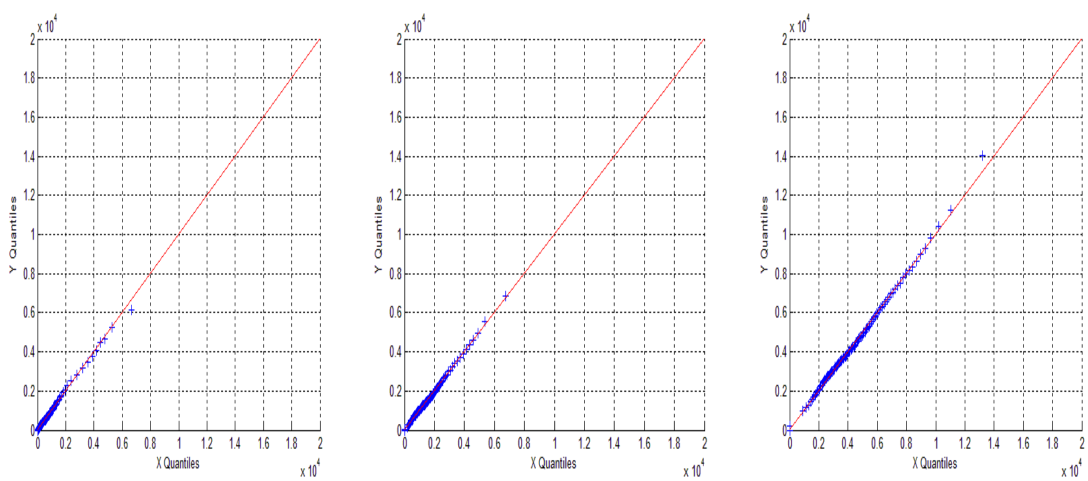
Low Quality *Medium Quality* *High Quality*



Σχήμα 78: Q-Q plots για την ταινία Die Hard

4) *Robin Hood*

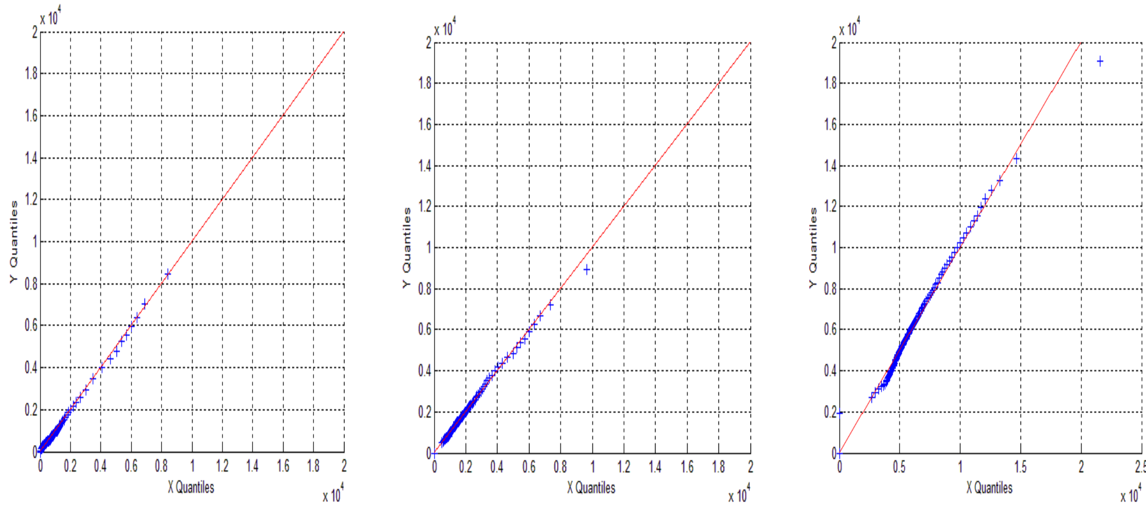
Low Quality *Medium Quality* *High Quality*



Σχήμα 79: Q-Q plots για την Robin Hood

5) The Simpsons

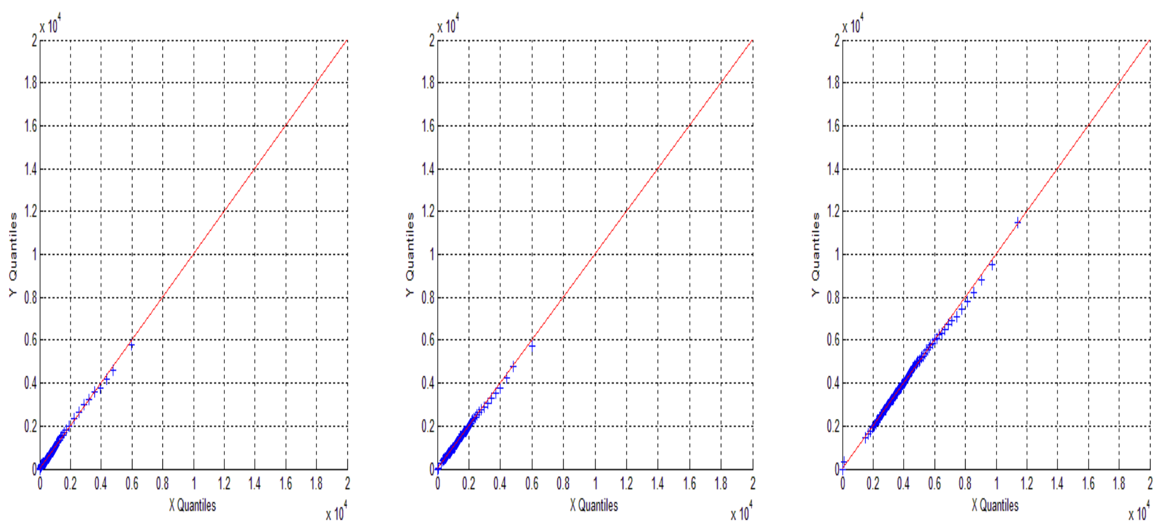
Low Quality *Medium Quality* *High Quality*



Σχήμα 80: Q-Q plots για την ταινία The Simpsons

6) Formula 1

Low Quality *Medium Quality* *High Quality*



Σχήμα 81: Q-Q plots για την ταινία Formula 1

3. Μηχανισμοί CAC

3.1 Ο προτεινόμενος μηχανισμός

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 σχεδιάσθηκε 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: High Quality (HQ), Medium Quality (MQ), και Low Quality (LQ). 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% ο χρήστης χαρακτηρίζεται ως δεχόμενος υποβάθμιση ή όχι.
4. Ο CAC μηχανισμός καλείται να υπολογίσει ποιο θα είναι το bandwidth που πρόκειται να δεσμευτεί από τους χρήστες βίντεο, μαζί με την προσθήκη του χρήστη που αιτείται την είσοδό του στο σύστημα. *Το bandwidth υπολογίζεται βάσει των αντίστοιχων μοντέλων κίνησης video που χρησιμοποιούν οι χρήστες, την κατασκευή των οποίων περιγράψαμε στην ενότητα 2.4.*
5. Εάν το bandwidth της υπέρθεσης των ταινιών που προκύπτει από τα μοντέλα δεν ξεπερνά το διαθέσιμο bandwidth που έχει παραχωρηθεί από το δίκτυο για την μετάδοση των ταινιών, ο χρήστης εισέρχεται επιτυχώς στο σύστημα. Διαφορετικά υπάρχουν δύο 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 τη διαδικασία του βήματος 4, παραπάνω, και στη συνέχεια ελέγχουμε ξανά εάν το 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 αίτηση του απορρίπτεται. Σε επόμενα κεφάλαια της εργασίας μας παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα για δύο διαφορετικές μεθόδους υποβάθμισης χρηστών που εξετάσαμε. .

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. Εφόσον 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 υποβάθμισή του, μπορεί να γίνει κατά ένα επίπεδο μόνο.

3.1.1 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 ίδιος ο handoff χρήστης αποδέχεται υποβάθμιση, βάσει συμβολαίου. Αν ναι, ο χρήστης υποβαθμίζεται και ο CAC ελέγχει ξανά εάν ο χρήστης χωράει να μπει στο σύστημα. Στην περίπτωση που ο χρήστης δεν μπορεί να υποβαθμιστεί ή αποδέχεται την υποβάθμιση αλλά και πάλι δεν μπορεί να εισέλθει μέσα στο σύστημα λόγω ελλιπούς bandwidth, ακολουθείται η εξής διαδικασία: ο CAC μηχανισμός ψάχνει να βρει χρήστες βίντεο που στο συμβόλαιο τους αποδέχονται υποβάθμιση. 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 έως ότου βρεθεί 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 Ο μηχανισμός CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth

Σε αυτή την ενότητα θα περιγράψουμε το μηχανισμό CAC που προτάθηκε στο [2], τα αποτελέσματα του οποίου συγκρίναμε με τον υπό μελέτη προτεινόμενο μηχανισμό (χρήση μοντέλων για την προσομοίωση κίνησης video) .

Ο μηχανισμός CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth ανήκει στην κατηγορία των probabilistic service μηχανισμών, αφού χρησιμοποιεί ένα εύρος ζώνης το οποίο υπολογίζεται από ένα στατιστικό μοντέλο κάνοντας χρήση των στατιστικών παραμέτρων της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Το μοντέλο για την κίνηση φωνής, το μοντέλο για την κίνηση email καθώς και η εξυπηρέτηση των μεταπεμπόμενων χρηστών (handoff users) είναι όμοια με αυτά του μηχανισμού CAC που χρησιμοποιεί μοντέλα για την προσομοίωση κίνησης βίντεο. Η διαφορά ανάμεσα στο [2] και στον προτεινόμενο μηχανισμό είναι ο τρόπος υπολογισμού του απαιτούμενου bandwidth από τους χρήστες βίντεο, όπως εξηγείται στο βήμα 4 της παραγράφου

3.1. Στον δικό μας μηχανισμό, το bandwidth υπολογίζεται βάσει των αντίστοιχων μοντέλων κίνησης βίντεο που χρησιμοποιούν οι χρήστες. Αντίθετα, ο μηχανισμός που προτάθηκε στο [2] καλείται να υπολογίσει ποιο θα είναι το ισοδύναμο bandwidth που πρόκειται να δεσμευτεί από τους χρήστες βίντεο, χρησιμοποιώντας τον τύπο που προτάθηκε στο [11] και έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα στην σχετική βιβλιογραφία:

$$t\sqrt{\sum_i \sigma_i^{\,2}} + \sum_i \mu_i < BW \qquad (4)$$

Η σταθερά t ορίζεται ως h(t) = 1 – 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 παραπάνω τύπος συχνά οδηγεί σε έναν αρκετά συντηρητικό CAC μηχανισμό. Όπως έχει δειχθεί στα [2, 17], ο τύπος αυτός 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.

3.3 Οι δύο διαφορετικοί τρόποι υποβάθμισης χρηστών

Εξετάσαμε δύο διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους είναι δυνατή η υποβάθμιση των χρηστών βίντεο, ακολουθώντας τις αντίστοιχες προτάσεις του [2].

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 ποιοτήτων. Για το λόγο αυτό βασιστήκαμε στην δομή του MPEG-4 ώστε να προτείνουμε ένα 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 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 του δεύτερου τρόπου υποβάθμισης είναι απαραίτητος ο επαναϋπολογισμός των στατιστικών παραμέτρων που απαιτούνται για την χρήση του τύπου (4), ώστε να υπολογισθεί το ισοδύναμο bandwidth των ταινιών ποιότητας MQ και LQ.

4. Σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο τεχνικών CAC

Κάθε αποτέλεσμα που παρουσιάζεται στις επόμενες σελίδες, πρόεκυψε 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. [2]

Μελετήσαμε και συγκρίναμε τις συμπεριφορές των παραπάνω CAC μηχανισμών 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) και κάθε κατηγορία χωρίζεται σε 4 ενότητες.

4.1 Πρώτη Κατηγορία Αποτελεσμάτων

Σε αυτή την 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 – σύγκρισης 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 και να συγκρίνουμε 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, εφόσον το εύρος ζώνης του καναλιού είναι 20 Mbps. Τα παραπάνω 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.

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 στο bandwidth που θα δεσμευθεί, για κάθε έναν από τους δύο CAC μηχανισμούς.

Φορτία Κίνησης			**CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth**		**CAC με χρήση μοντέλων**	
Number of Voice Users	**Messages per second**	**Maximum Video Capacity (Mbps)**	**CAC Bandwidth Estimation (Mbps)**	**Real Bandwidth (Mbps)**	**CAC Bandwidth Estimation (Mbps)**	**Real Bandwidth (Mbps)**
214 (16%)	24 (4%)	4 (20%)	7.891	5.924 (30%)	7.872	8.113 (40.56%)
267 (20%)	24 (4%)	3.2 (16%)	7.909	6.236 (31%)	7.91	8.114 (40.57%)
320 (24%)	24 (4%)	2.4 (12%)	7.916	6.552 (33%)	7.927	8.057 (40.28%)
267 (20%)	30 (5%)	5 (25%)	9.875	7.610 (38%)	9.837	10.2 (51.02%)
334 (25%)	30 (5%)	4 (20%)	9.905	7.947 (40%)	9.895	10.12 (50.58%)
400 (30%)	30 (5%)	3 (15%)	9.908	8.294 (42%)	9.91	10.02 (50.1%)
320 (24%)	36 (6%)	6 (30%)	11.85	9.280 (46%)	11.81	12.23 (61.16%)
400 (30%)	36 (6%)	4.8 (24%)	11.88	9.674 (48%)	11.86	12.16 (60.77%)
480 (36%)	36 (6%)	3.6 (18%)	11.90	10.07 (50%)	11.91	12.08 (60.41%)
374 (28%)	42 (7%)	7 (35%)	13.84	11.04 (55%)	13.79	14.35 (71.74%)
467 (35%)	42 (7%)	5.6 (28%)	13.88	11.42 (57%)	13.84	14.14 (70.71%)
560 (42%)	42 (7%)	4.2 (21%)	13.89	11.89 (59%)	13.9	14.15 (70.76%)
427 (32%)	48 (8%)	8 (40%)	15.82	12.73 (64%)	15.8	16.41 (82.03%)
534 (40%)	48 (8%)	6.4 (32%)	15.87	13.18 (66%)	15.85	16.29 (81.44%)
640 (48%)	48 (8%)	4.8 (24)	15.90	13.71 (68%)	15.91	16.19 (80.94%)
480 (36%)	54 (9%)	9 (45%)	17.79	14.49 (72%)	17.86	18.18 (90.88%)
600 (45%)	54 (9%)	7.2 (36%)	17.86	15.00 (75%)	17.98	18.24 (91.19%)
720 (54%)	54 (9%)	5.4 (27%)	17.91	15.48 (77%)	18.02	18.13 (90.63%)
534 (40%)	59 (10%)	10 (50%)	19.63	16.13 (81%)	19.57	19.43 (97.16%)
667 (50%)	59 (10%)	8 (40%)	19.71	16.61 (83%)	19.72	19.55 (97.76%)
800 (60%)	59 (10%)	6 (30%)	19.76	17.15 (86%)	19.79	19.55 (97.74%)

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

Στην πρώτη γραμμή του Πίνακα 3 βλέπουμε ότι το bandwidth που θέλουμε να επιτρέψουμε να δεσμευθεί από τα τρία είδη κίνησης είναι το 40% του συνολικού. Στην πρώτη περίπτωση, ο μηχανισμός CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth αποδεικνύεται ιδιαίτερα συντηρητικός στις εκτιμήσεις του για τις ανάγκες των χρηστών βίντεο, αφού το πραγματικό bandwidth που καταφέρνουν να δεσμεύσουν οι χρήστες είναι το 30%. *Χρειάζεται να τονίσουμε εδώ ότι, παρ' όλο που το "CAC Bandwidth Estimation" είναι παραπλήσιο για τους δύο μηχανισμούς, η εκτίμηση του μηχανισμού μας αφορά στην είσοδο πολύ μεγαλύτερου αριθμού χρηστών βίντεο σε σχέση με την εκτίμηση που γίνεται μέσω ισοδύναμου bandwidth. Αυτό θα δειχθεί αναλυτικά στην παράγραφο 4.1.2.*

Στις επόμενες γραμμές του Πίνακα 3 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%. Ο προτεινόμενος δικός μας μηχανισμός CAC με χρήση μοντέλων φαίνεται να είναι πολύ ακριβής στις εκτιμήσεις του για τις ανάγκες των χρηστών βίντεο, αφού το πραγματικό bandwidth που καταφέρνουν να δεσμεύσουν οι χρήστες για το πρώτο σενάριο κίνησης είναι 40.56%. Η διαφορά 0.56% από το bandwidth που θεωρητικά θα δεσμευόταν από τα τρία είδη κίνησης (40%) οφείλεται σε μία ελαφρά υποεκτίμηση του μηχανισμού CAC (δηλαδή των μοντέλων μας) όσον αφορά στις ανάγκες των χρηστών βίντεο. Η ακρίβεια του συγκεκριμένου μηχανισμού φαίνεται και στις επόμενες γραμμές του Πίνακα 3. Συγκρίνοντας τους δύο μηχανισμούς είναι εμφανές ότι ο μηχανισμός CAC που χρησιμοποιεί μοντέλα για τη δέσμευση του bandwidth από τους χρήστες βίντεο κάνει πολύ καλύτερη χρήση του καναλιού (channel utilization) σε σχέση με τον CAC που υπολογίζει το ισοδύναμο bandwidth για την κίνηση των βίντεο χρηστών στο δίκτυο.

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται αποτελέσματα αντίστοιχα με εκείνα του Πίνακα 3, αλλά για συνολικό φορτίο κίνησης που επιχειρεί να εισέλθει στο δίκτυο μεγαλύτερο από το 100% του bandwidth του δικτύου (από 110% έως και 140%).

Φορτία Κίνησης			**CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth**		**CAC με χρήση μοντέλων**	
Number of Voice Users	**Messages per second**	**Maximum Video Capacity (Mbps)**	**CAC Bandwidth Estimation (Mbps)**	**Real Bandwidth (Mbps)**	**CAC Bandwidth Estimation (Mbps)**	**Real Bandwidth (Mbps)**
587 (44%)	65 (11%)	11 (55%)	19.87	16.23 (81.15%)	19.35	19.67 (98.35%)
734 (55%)	65 (11%)	8.8 (44%)	19.93	16.73 (83.65%)	19.91	19.76 (98.8%)
880 (66%)	65 (11%)	6.6 (33%)	19.95	17.18 (85.9%)	19.99	19.8 (99%)
640 (48%)	71 (12%)	12 (60%)	21.18	17.35 (86.75%)	20.97	19.8 (99%)
800 (60%)	71 (12%)	9.6 (48%)	21.31	17.91 (89.55%)	20.67	19.9 (99.5%)
960 (72%)	71 (12%)	7.2 (36%)	21.41	18.54 (92.7%)	21.46	19.96 (99.8%)
694 (52%)	77 (13%)	13 (65%)	22.90	18.84 (94.2%)	22.77	19.84 (99.2%)
867 (65%)	77 (13%)	10.4 (52%)	23.04	19.37 (96.85%)	23.4	19.94 (99.7%)
1040(78%)	77 (13%)	7.8 (39%)	23.17	19.80 (99%)	23.09	19.98 (99.9%)

747 (56%)	83 (14%)	14 (70%)	24.58	19.71 (98.55%)	24.48	19.88 (99.4%)
934 (70%)	83 (14%)	11.2 (56%)	24.80	19.90 (99.5%)	24.77	19.95 (99.75%)
1120(84%)	83 (14%)	8.4 (42%)	24.93	19.97 (99.85%)	25.04	19.99 (99.95%)

Πίνακας 4 : Σενάρια προσομοιώσεων με φορτία 110%-140% του συνολικού εύρους ζώνης.

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 4 για σενάρια προσομοιώσεων με φορτία 110% - 140% του συνολικού εύρους ζώνης δείχνουν, όπως και τα αποτελέσματα του Πίνακα 3, τη συντηρητικότητα του CAC μηχανισμού που κάνει χρήση του ισοδύναμου bandwidth και την ακρίβεια του CAC μηχανισμού που χρησιμοποιεί μοντέλα για τη δέσμευση του bandwidth των βίντεο χρηστών. Είναι εμφανές ότι και για αυτά τα σενάρια προσομοιώσεων, ο δεύτερος μηχανισμός κάνει καλύτερη χρήση του καναλιού.

Στον Πίνακα 5 που ακολουθεί, απεικονίζονται όλα τα σενάρια προσομοιώσεών μας που αντιστοιχούν στην γέννηση κίνησης με ρυθμό ίσο προς 40% - 100% του bandwidth του καναλιού και περιέχουν το ποσοστό των απωλειών στα πακέτα των χρηστών φωνής, τον αριθμό των μηνυμάτων email για την αποστολή των οποίων ο χρόνος ξεπερνάει τη μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση, και το ποσοστό των πακέτων βίντεο που παραβιάζουν τα QoS των βίντεο χρηστών. Για την αποστολή ενός μηνύματος email η μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση είναι 5 δευτερόλεπτα. Η απαίτηση σε QoS για τους χρήστες φωνής είναι η απώλεια σε πακέτα να μην ξεπερνά το 1% της κίνησης. Τέλος, για τους χρήστες βίντεο η μέγιστη επιτρεπτή απώλεια πακέτων βίντεο είναι ίση με 0.01% [30].

Φορτία Κίνησης			**CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth**			**CAC με χρήση μοντέλων**		
Number of Voice Users	**Messages per second**	**Maximum Video Capacity (Mbps)**	**Dropped Voice Packets (%)**	**Number of messages with excessive delay**	**Dropped Video Packets (%)**	**Dropped Voice Packets (%)**	**Number of messages with excessive delay**	**Dropped Video Packets (%)**
214 (16%)	24 (4%)	4 (20%)	0	0	0	0	0	0
267 (20%)	24 (4%)	3.2 (16%)	0	0	0	0	0	0
320 (24%)	24 (4%)	2.4 (12%)	0	0	0	0	0	0
267 (20%)	30 (5%)	5 (25%)	0	0	0	0	0	0
334 (25%)	30 (5%)	4 (20%)	0	0	0	0	0	0
400 (30%)	30 (5%)	3 (15%)	0	0	0	0	0	0
320 (24%)	36 (6%)	6 (30%)	0	0	0	0	0	0
400 (30%)	36 (6%)	4.8 (24%)	0	0	0	0	0	0
480 (36%)	36 (6%)	3.6 (18%)	0	0	0	0	0	0
374 (28%)	42 (7%)	7 (35%)	0	0	0	0.000630	0	0.000029
467 (35%)	42 (7%)	5.6 (28%)	0	0	0	0	0	0
560 (42%)	42 (7%)	4.2 (21%)	0	0	0	0	0	0

427 (32%)	48 (8%)	8 (40%)	0	0	0	0.001389	1	0
534 (40%)	48 (8%)	6.4 (32%)	0	0	0	0.000242	0	0
640 (48%)	48 (8%)	4.8 (24)	0	0	0	0.000002	0	0
480 (36%)	54 (9%)	9 (45%)	0	0	0	0.021080	285	0
600 (45%)	54 (9%)	7.2 (36%)	0	0	0	0.003444	263	0
720 (54%)	54 (9%)	5.4 (27%)	0	0	0	0.000176	114	0
534 (40%)	59 (10%)	10 (50%)	0.000046	0	0	0.510500	3228	0.000212
667 (50%)	59 (10%)	8 (40%)	0.000062	1	0	0.178600	2966	0
800 (60%)	59 (10%)	6 (30%)	0.000091	1	0	0.069000	2145	0

Πίνακας 5 : Ποσοστό μηνυμάτων, πακέτων φωνής και βίντεο που παραβιάζουν τα QoS με φορτία 40% - 100% του συνολικού εύρους ζώνης

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 5, όσον αφορά στον πρώτο μηχανισμό CAC (χρήση ισοδύναμου bandwidth) δείχνουν πως, όταν έχουμε ως είσοδο συνολικό φορτίο κίνησης που αγγίζει το 100% του bandwidth του δικτύου, έχουμε τις πρώτες απώλειες πακέτων χρηστών φωνής. Στην προτελευταία και στην τελευταία γραμμή του πίνακα παρατηρούμε ότι δύο μηνύματα email παραβίασαν τη μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση για την αποστολή ενός μηνύματος email. Ωστόσο, σε κανένα από τα σενάρια του παραπάνω πίνακα για τον συγκεκριμένο μηχανισμό δεν έχουμε παραβιάσεις στις απαιτήσεις σε QoS για τους χρήστες φωνής και βίντεο. Όσον αφορά στον δεύτερο μηχανισμό CAC (χρήση μοντέλων), έχουμε τις πρώτες απώλειες πακέτων χρηστών φωνής όταν η είσοδος του συνολικού φορτίου κίνησης αγγίζει το 70% του καναλιού. Επίσης, παρατηρούμε πως για φορτίο κίνησης που αγγίζει το 90% έχουμε τις πρώτες παραβιάσεις σε QoS για τα μηνύματα email. Επιπλέον, είδαμε ότι σε δύο σενάρια είχαμε απώλειες πακέτων χρηστών βίντεο. Σε κανένα από τα σενάρια του παραπάνω πίνακα και για αυτόν το μηχανισμό δεν έχουμε παραβιάσεις στις απαιτήσεις σε QoS για τους χρήστες φωνής και βίντεο.

Συγκρίνοντας τους δύο μηχανισμούς, παρατηρούμε ότι το ποσοστό των απωλειών των πακέτων των χρηστών φωνής και βίντεο, καθώς και το ποσοστό των μηνυμάτων email που παραβιάζουν τη μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση για την αποστολή ενός μηνύματος, είναι μικρότερο για το μηχανισμό που κάνει χρήση ισοδύναμου bandwidth σε σχέση με το μηχανισμό CAC που χρησιμοποιεί μοντέλα για τη δέσμευση του bandwidth των βίντεο χρηστών. Αυτό οφείλεται στη συντηρητικότητα του πρώτου μηχανισμού έναντι του δεύτερου, η οποία οδηγεί σε δέσμευση πολύ μεγαλύτερου (έως 15%, δηλαδή 3 Mbps, όπως φαίνεται από τους Πίνακες 3 και 4) 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. Όμως, ο Πίνακας 5 σε συνδυασμό με τον Πίνακα 3, φανερώνει ότι ο προτεινόμενος μηχανισμός, με χρήση του DAR(1) μοντέλου για την εκτίμηση της κίνησης βίντεο, επιτυγχάνει πολύ καλύτερη χρήση του bandwidth του καναλιού, χωρίς να παραβιάζονται τα QoS των χρηστών για φορτία μικρότερα του 90%.

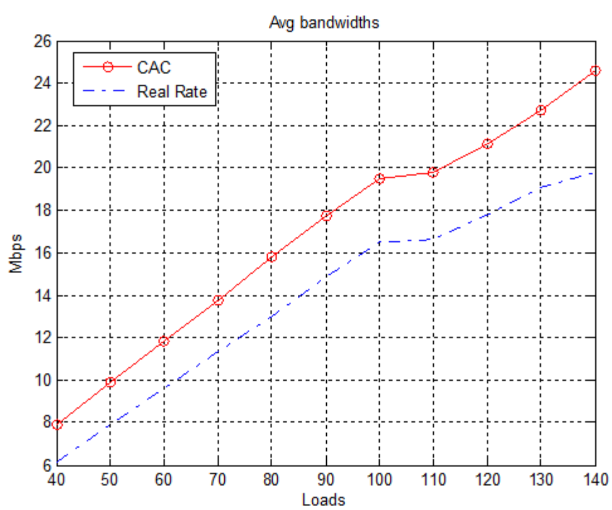
Στον Πίνακα 6 απεικονίζονται όλα τα σενάρια προσομοιώσεων μας που αντιστοιχούν στην γέννηση κίνησης με ρυθμό ίσο προς 110% - 140% του bandwidth του καναλιού και περιέχουν το ποσοστό των απωλειών στα πακέτα των χρηστών φωνής, τον αριθμό των μηνυμάτων email, των οποίων ο χρόνος για την αποστολή ξεπερνάει τη μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση, και το ποσοστό των πακέτων βίντεο που παραβιάζουν τα QoS των βίντεο χρηστών.

Φορτία Κίνησης			**CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth**			**CAC με χρήση μοντέλων**		
Number of Voice Users	**Messages per second**	**Maximum Video Capacity (Mbps)**	**Dropped Voice Packets (%)**	**Number of messages with excessive delay**	**Dropped Video Packets (%)**	**Dropped Voice Packets (%)**	**Number of messages with excessive delay**	**Dropped Video Packets (%)**
587 (44%)	65 (11%)	11 (55%)	0.00045	1	0	6.777	1962	0.000249
734 (55%)	65 (11%)	8.8 (44%)	0.00054	2	0	3.671	1706	0
880 (66%)	65 (11%)	6.6 (33%)	0.00097	1	0	2.496	1519	0
640 (48%)	71 (12%)	12 (60%)	0.02683	0	0	20.58	161	0.002609
800 (60%)	71 (12%)	9.6 (48%)	0.01830	0	0	15.51	100	0.000020
960 (72%)	71 (12%)	7.2 (36%)	0.03819	0	0	12.61	58	0
694 (52%)	77 (13%)	13 (65%)	0.74800	0	0	34.66	128	0.014900
867 (65%)	77 (13%)	10.4 (52%)	1.16100	0	0	27.98	100	0.000123
1040(78%)	77 (13%)	7.8 (39%)	2.45400	0	0	22.57	26	0.000005
747 (56%)	83 (14%)	14 (70%)	6.92700	0	0	46.9	93	0.063290
934 (70%)	83 (14%)	11.2 (56%)	8.77600	0	0	37.68	74	0.000678
1120(84%)	83 (14%)	8.4 (42%)	10.6100	0	0	31.57	35	0

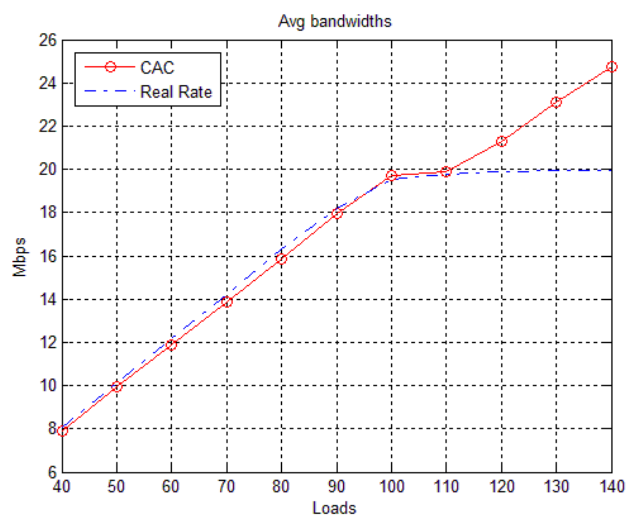
Πίνακας 6 : Ποσοστό μηνυμάτων, πακέτων φωνής και βίντεο που παραβιάζουν τα QoS με φορτία 110% - 140% του συνολικού εύρους ζώνης

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 6 όσον αφορά στον πρώτο μηχανισμό CAC (χρήση ισοδύναμου bandwidth), δείχνουν ότι για σενάρια προσομοιώσεων με φορτία 110% - 140% του συνολικού εύρους ζώνης έχουμε τις πρώτες παραβιάσεις όσον αφορά στα QoS χρηστών φωνής και χρηστών δεδομένων. Οι χρήστες βίντεο δεν έχουν καμία απώλεια πακέτων σε κανένα από τα σενάρια του Πίνακα 6 για τον συγκεκριμένο μηχανισμό. Όσον αφορά στον προτεινόμενο μηχανισμό CAC, εκτός από τις μεγάλες παραβιάσεις των QoS των χρηστών φωνής και δεδομένων, έχουμε και παραβιάσεις σε δύο σενάρια στα QoS των χρηστών βίντεο. Όπως εξηγήσαμε και παραπάνω, οι καλύτερες μετρικές του πρώτου μηχανισμού CAC έναντι του δεύτερου οφείλονται στην συντηρητικότητα του πρώτου. Το γεγονός ότι παρατηρούμε πιο συχνά παραβιάσεις στα QoS των χρηστών δεδομένων και φωνής έναντι των χρηστών βίντεο οφείλεται στο ότι οι ταινίες mpeg-4 έχουν τη μεγαλύτερη προτεραιότητα μετάδοσης σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη κίνησης. Αυτό σημαίνει ότι 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. Όμως, πρέπει να σημειώσουμε ότι τα αποτελέσματα του Πίνακα 6 δεν έχουν ιδιαίτερη πρακτική σημασία, καθώς φορτία άνω του 100% είναι αναμενόμενο να δυσκολεύουν ιδιαίτερα το δίκτυο. Επίσης, η μεγάλη μείωση στον αριθμό των μηνυμάτων που δεν μεταδίδονται εγκαίρως οφείλεται στο γεγονός ότι όσο αυξάνεται το φορτίο, τόσο λιγότεροι χρήστες δεδομένων γίνονται δεκτοί στο δίκτυο.

Στο Σχήμα 82 παρουσιάζεται γραφικά η εκτίμηση του πρώτου μηχανισμού CAC (χρήση ισοδύναμου bandwidth) για κάθε σενάριο (μέσος όρος και των τριών συνδυασμών που δημιουργούν κάθε φορτίο) καθώς και το πραγματικό bandwidth που χρειάζονται οι χρήστες. Όμοια, στο Σχήμα 83 απεικονίζεται η εκτίμηση του δεύτερου μηχανισμού CAC (χρήση μοντέλων) για κάθε σενάριο, όπως επίσης και το πραγματικό bandwidth που χρειάζονται οι χρήστες.



Σχήμα 82. Πρώτος μηχανισμός CAC vs. πραγματικό bandwidth



Σχήμα 83. Δεύτερος μηχανισμός CAC vs. πραγματικό bandwidth

Είναι ξεκάθαρο από το Σχήμα 82 το πόσο συντηρητική είναι η εκτίμηση του μηχανισμού CAC που χρησιμοποιεί την τεχνική του ισοδύναμου bandwidth. Φυσικά, αυτός ο συντηρητισμός έχει το πλεονέκτημα, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα στους Πίνακες 5 και 6, όσοι χρήστες επιτύχουν να μπουν στο δίκτυο να απολαμβάνουν πολύ υψηλό QoS, όμως ταυτόχρονα οδηγεί σε σημαντική υποχρησιμοποίηση του bandwidth του δικτύου. Αντίθετα στο Σχήμα 83 είναι εμφανής η ακρίβεια της εκτίμησης του δεύτερου μηχανισμού CAC (χρήση μοντέλων). Αυτή η ακρίβεια στην εκτίμηση οδηγεί σε πολύ καλή χρήση του καναλιού (channel utilization), ωστόσο όσοι χρήστες καταφέρουν να εισέλθουν στο δίκτυο δεν απολαμβάνουν εξίσου υψηλό QoS σε σχέση με τον πρώτο μηχανισμό CAC.

Λαμβάνοντας υπ’ όψιν ότι η καλύτερη δυνατή αξιοποίηση του bandwidth του καναλιού είναι ιδιαίτερα σημαντικός στόχος ενός μηχανισμού CAC και δεδομένου ότι και στους δύο μηχανισμούς οι χρήστες λαμβάνουν υψηλής ποιότητας QoS, ο μηχανισμός CAC που χρησιμοποιεί μοντέλα κίνησης για την δέσμευση του bandwidth από τους χρήστες βίντεο είναι ξεκάθαρα πιο αποδοτικός.

4.1.2 Αποτελέσματα για τους χρήστες βίντεο

Σε αυτή την ενότητα επικεντρωνόμαστε στην μελέτη της συμπεριφοράς των χρηστών βίντεο. Για το 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 ξεπεραστεί το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο βίντεο κίνησης. Ο αριθμός των χρηστών δεν παραμένει σταθερός κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης εφόσον 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.

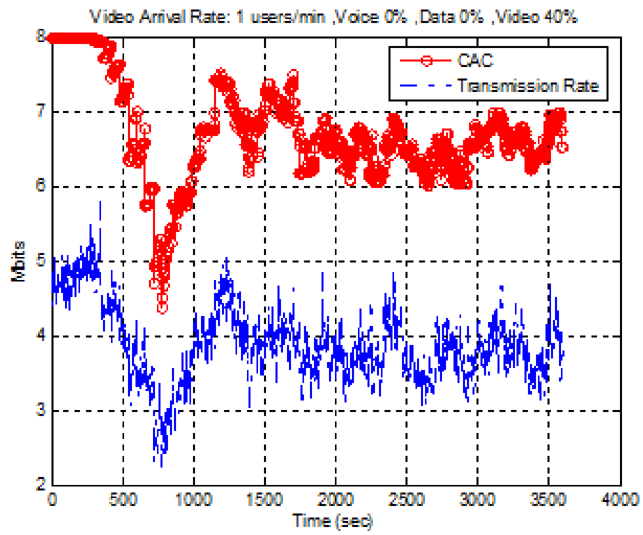
Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται αποτελέσματα για τους δύο μηχανισμούς CAC που αφορούν στην εκτίμηση του εκάστοτε μηχανισμού για το απαιτούμενο bandwidth, το bandwidth που δεσμεύεται στην πραγματικότητα, τον μέσο αριθμό ενεργών χρηστών στο σύστημα και το ποσοστό απώλειας πακέτων βίντεο χρηστών. Αρχικά, επιλέγουμε ρυθμό άφιξης των χρηστών βίντεο (λ=10 βίντεο χρήστες/λεπτό) και μέγιστο φορτίο ίσο με 40% του καναλιού, δηλαδή 10 Mbps. Στη συνέχεια, με τον ίδιο ρυθμό άφιξης αυξάνουμε το κατώφλι ανά 10% μέχρι να φτάσει το 110% της χωρητικότητας του καναλιού.

Φορτία Κίνησης		CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth				CAC με χρήση μοντέλων			
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 (%)**	**CAC Bandwidth Estimation (Mbps)**	**Real Bandwidth (Mbps)**	**Average Number of Users**	**Dropped Video Packets (%)**
8 (40%)	10	7.932	4.832 (24%)	31	0	7.965	8.345 (42%)	46	0
10 (50%)	10	9.809	6.352 (32%)	39	0	9.587	10.57 (53%)	51	0.00007
12 (60%)	10	11.78	7.927 (40%)	43	0	11.43	12.71 (64%)	55	0.00485
14 (70%)	10	13.74	9.637 (48%)	47	0	13.29	14.66 (73%)	64	0.07532
16 (80%)	10	15.64	11.36 (57%)	54	0.0002	15.09	16.57 (83%)	65	0.6686
18 (90%)	10	17.58	13.00 (65%)	59	0.0021	16.88	18.05 (90%)	73	3.068
20 (100%)	10	19.48	14.78 (74%)	63	0.0571	18.67	18.94 (95%)	75	8.753
22 (110%)	10	21.34	16.44 (82%)	69	0.3691	20.22	19.05 (95%)	79	15.31

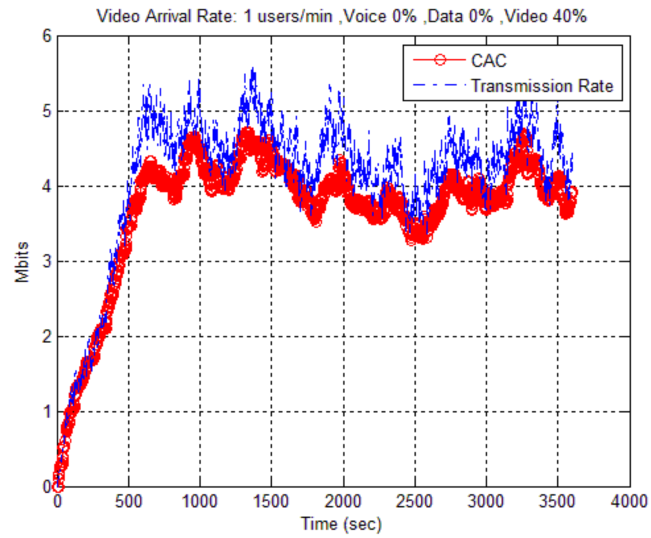
Πίνακας 7 : Μέσος αριθμός ενεργών χρηστών στο σύστημα, ποσοστό χαμένων πακέτων βίντεο χρηστών και εκτίμηση των δύο μηχανισμών για λ=10 χρήστες/λεπτό

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 7 αποδεικνύουν για άλλη μια φορά τη συντηρητικότητα του πρώτου μηχανισμού (χρήση ισοδύναμου bandwidth). Αυτό φαίνεται συγκρίνοντας την πρώτη και την τέταρτη στήλη του πίνακα - ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης υπολείπεται σημαντικά του μέγιστου επιτρεπτού φορτίου βίντεο. Ο συντηρητισμός του συγκεκριμένου μηχανισμού CAC οδηγεί σε μηδενική απώλεια πακέτων βίντεο για φορτίο έως και 70%, ενώ οι παραβιάσεις του μηχανισμού ξεκινούν για φορτία μεγαλύτερα του 100%. Συγκρίνοντας την πρώτη και την όγδοη στήλη του πίνακα είναι για ακόμη μια φορά εμφανής η πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια του μηχανισμού CAC που χρησιμοποιεί μοντέλα για τη δέσμευση του bandwidth των βίντεο χρηστών. Παρατηρούνται παραβιάσεις των απαιτήσεων που έχουμε θέσει σε QoS στα πακέτα των χρηστών βίντεο για φορτία μεγαλύτερα ή ίσα του 70% (έναντι 100% του πρώτου), ωστόσο ο μέσος αριθμός των χρηστών που εξυπηρετεί ο μηχανισμός μας χωρίς να παραβιάζεται το QoS των χρηστών βίντεο υπερτερεί του πρώτου μηχανισμού σε ποσοστό που φτάνει μέχρι το 32%. Αυτό οφείλεται στην καλύτερη χρήση του καναλιού που πετυχαίνει ο δεύτερος μηχανισμός.

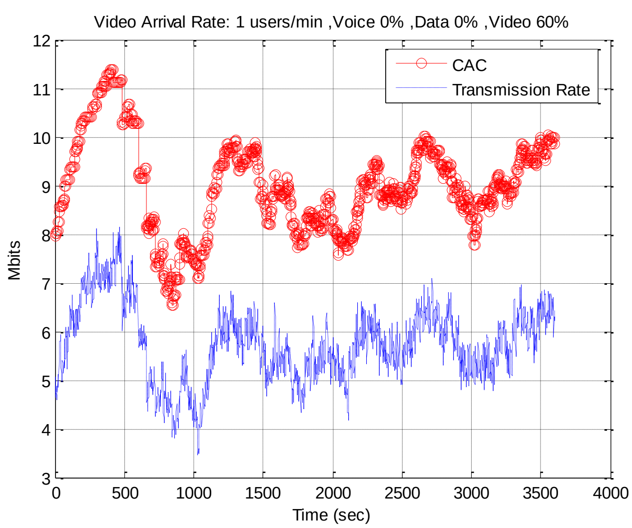
Σε καθένα από τα Σχήματα 84, 86, 88, 90 παρουσιάζονται δύο γραφικές παραστάσεις που αφορούν στον CAC μηχανισμό που κάνει χρήση του ισοδύναμου bandwidth ενώ στα Σχήματα 85, 87, 89, 91 οι γραφικές αφορούν στον μηχανισμό CAC που κάνει χρήση μοντέλων. Η μία (μπλε κυματομορφή) αναπαριστά το bandwidth που χρησιμοποιείται πραγματικά από τους χρήστες βίντεο του δικτύου και η άλλη (κόκκινη κυματομορφή) το bandwidth που εκτιμά ο CAC μηχανισμός ότι θα δεσμευτεί από τους βίντεο χρήστες. Όλα τα παρακάτω σχήματα αναπαριστούν τις γραφικές που περιγράψαμε για ρυθμό άφιξης χρηστών λ=1 βίντεο χρήστης / λεπτό.



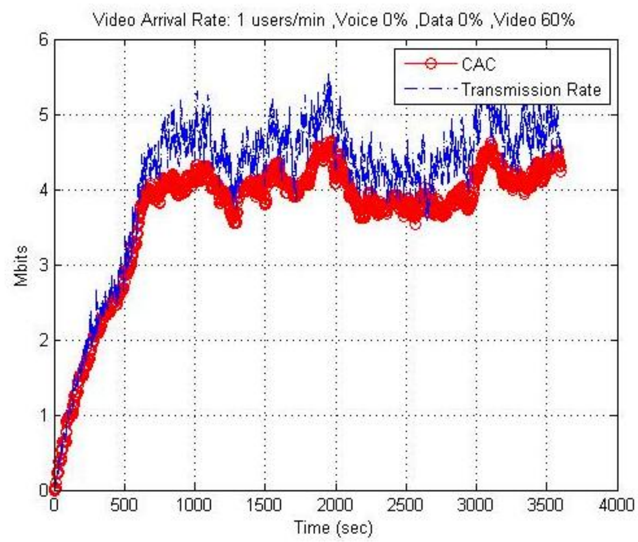
Σχήμα 84



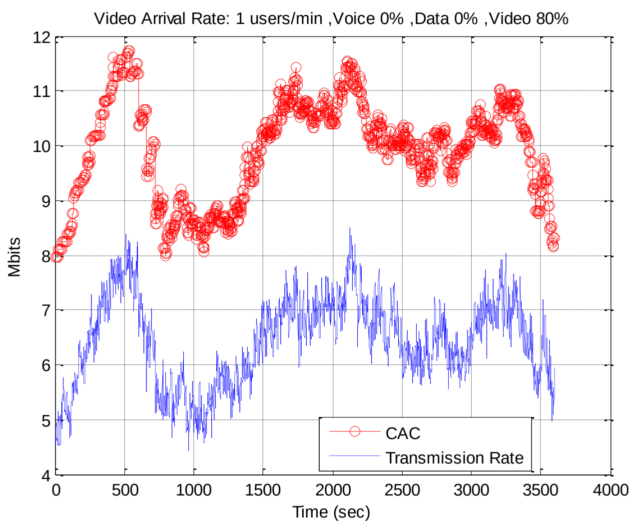
Σχήμα 85



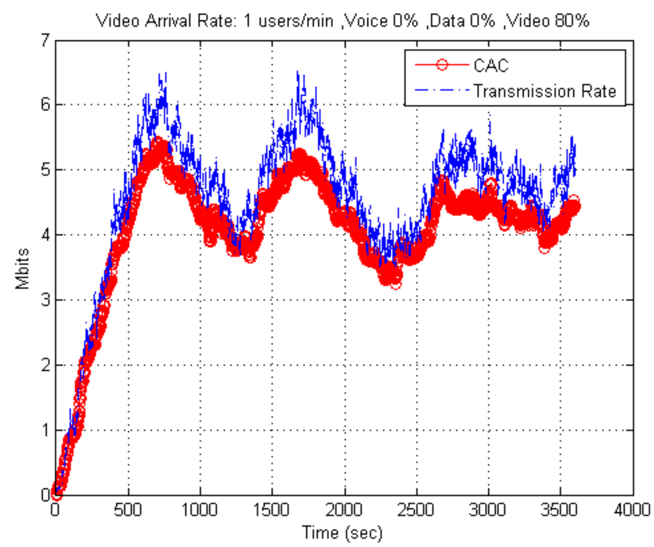
Σχήμα 86



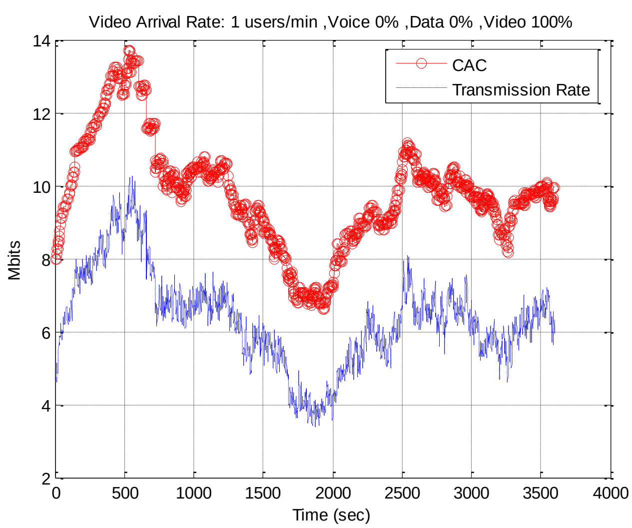
Σχήμα 87



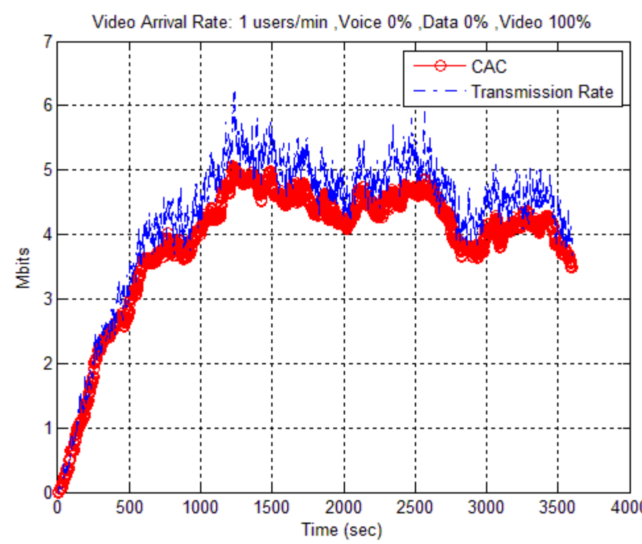
Σχήμα 88



Σχήμα 89

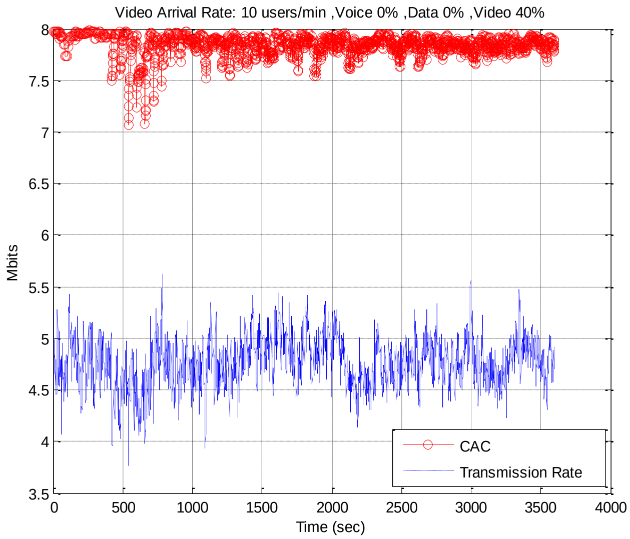


Σχήμα 90

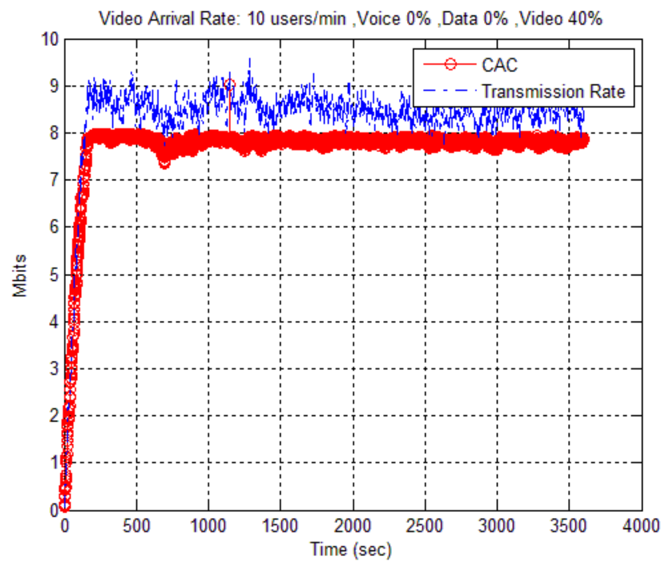


Σχήμα 91

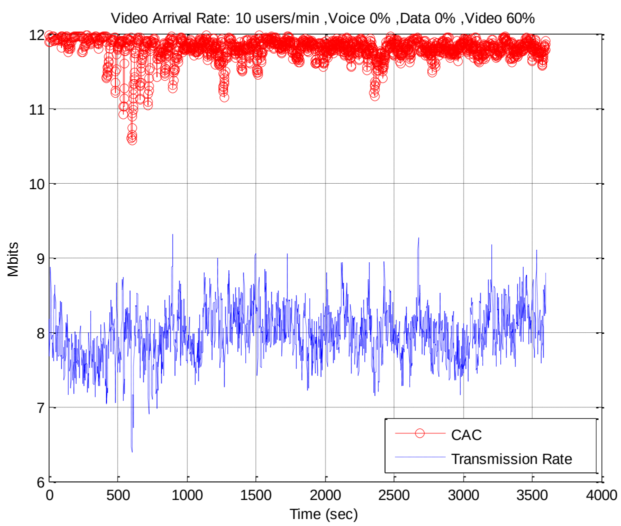
Στα Σχήματα 92, 94, 96, 98 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις που αφορούν στον CAC που κάνει χρήση του ισοδύναμου bandwidth ενώ τα Σχήματα 93, 95, 97, 99 αφορούν στον μηχανισμό CAC που κάνει χρήση μοντέλων για τη δέσμευση του bandwidth των βίντεο χρηστών. Όπως και στις παραπάνω περιπτώσεις, η μπλε κυματομορφή αναπαριστά το πραγματικό bandwidth που δεσμεύεται ενώ η κόκκινη, το εκτιμώμενο. Τα παρακάτω σχήματα αναπαριστούν τις γραφικές που περιγράψαμε, για ρυθμό άφιξης χρηστών λ=10 βίντεο χρήστες / λεπτό.



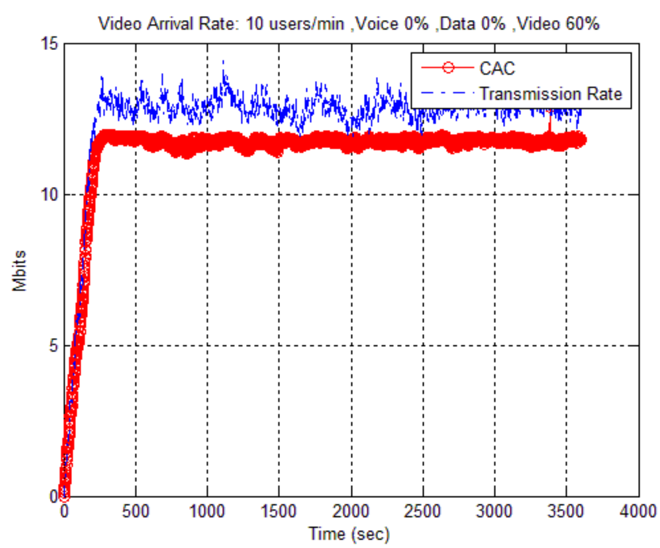
Σχήμα 92



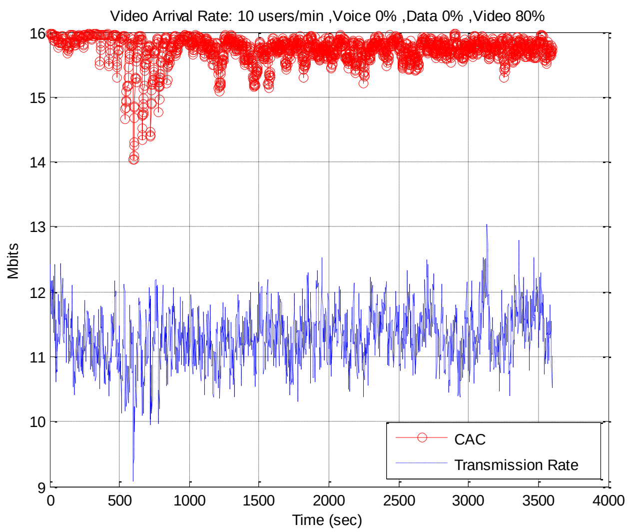
Σχήμα 93



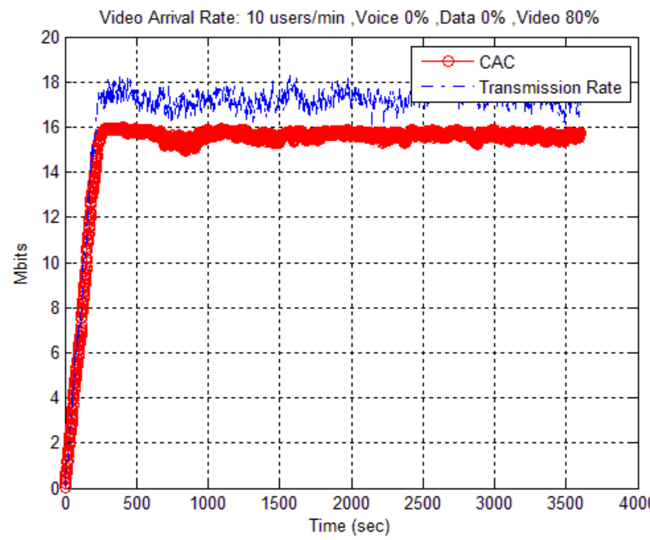
Σχήμα 94



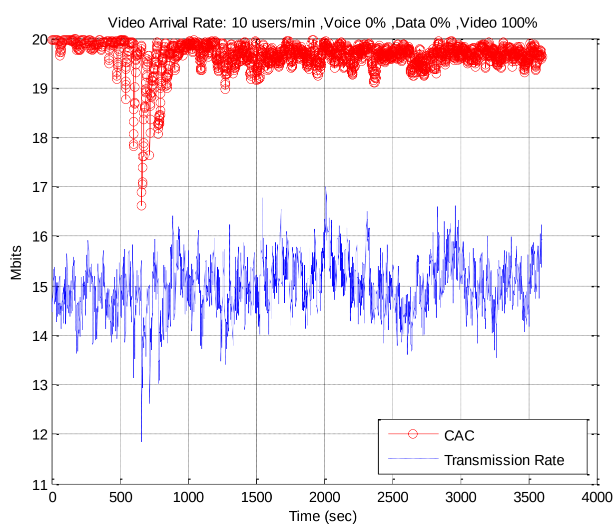
Σχήμα 95



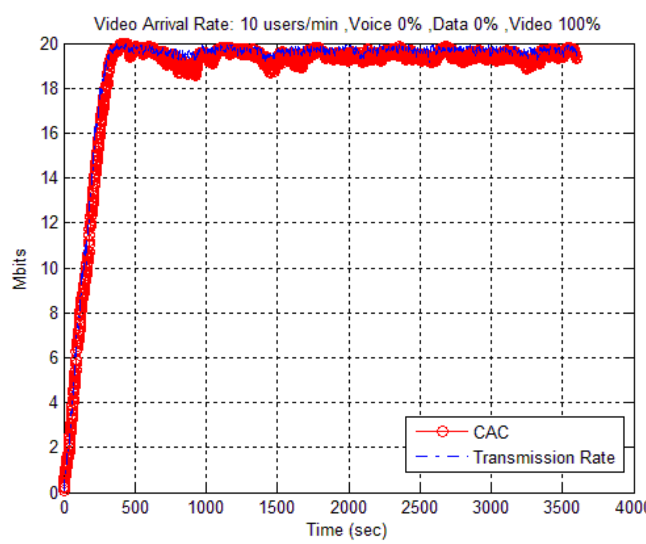
Σχήμα 96



Σχήμα 97



Σχήμα 98



Σχήμα 99

Όσον αφορά στον πρώτο μηχανισμό, σε όλα τα Σχήματα ο πραγματικός ρυθμός των χρηστών απέχει σημαντικά από αυτόν που υπολογίζει ο συντηρητικός μηχανισμός CAC, και η διαφορά μεγαλώνει για μεγαλύτερο λ. Αντίθετα, η ακρίβεια του προτεινόμενου δεύτερου μηχανισμού φαίνεται σε όλα τα Σχήματα ανεξαρτήτως της τιμής του λ. Ο πραγματικός ρυθμός παραμένει σε όλα τα Σχήματα λίγο μεγαλύτερος από την εκτίμηση που κάνει ο μηχανισμός, δηλαδή τα μοντέλα μας (λόγω της έλλειψης πολύ υψηλής ακρίβειας) κάνουν μια μικρή υποεκτίμηση του απαιτούμενου bandwidth. Συγκρίνοντας τους δύο μηχανισμούς είναι εμφανής η ακρίβεια στην εκτίμηση του δεύτερου έναντι του πρώτου και κατ’ επέκταση και η αποδοτικότητά του.

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, εφόσον το συμβόλαιό του το επιτρέπει.

Για την μεγιστοποίηση του throughput του δικτύου, προσθέσαμε στο μηχανισμό CAC μια επιπλέον δυνατότητα, όπως έγινε και στο [2]. Εφόσον η αίτηση ενός χρήστη γίνει δεκτή, ο CAC ελέγχει εάν μπορεί ο χρήστης να αναβαθμιστεί. Όπως εξηγήσαμε στο Κεφάλαιο 3, η αναβάθμιση ενός χρήστη, όπως και η υποβάθμισή του, 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 τις προσφερόμενες αναβαθμίσεις στους χρήστες βίντεο.

Οι τιμές του Πίνακα 8 πρόεκυψαν από προσομοιώσεις για διαφορετικά φορτία βίντεο με μέσο ρυθμό άφιξης λ=1 χρήστης/λεπτό. Η στήλη “Active Users” του πίνακα απεικονίζει τον συνολικό αριθμό χρηστών οι οποίοι έγιναν αποδεκτοί από το δίκτυο. Οι τιμές της τρίτης και τέταρτης στήλης αντιστοιχούν στο 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.

Φορτία Κίνησης	**CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth**					**CAC με χρήση μοντέλων**				
Maximum Allowed Video Load (Mbps)	**Active Users**	**Downgrade percentage HQ**	**Downgrade percentage MQ**	**Degradation Ratio HQ**	**Degradation Ratio MQ**	**Active Users**	**Downgrade percentage HQ**	**Downgrade percentage MQ**	**Degradation Ratio HQ**	**Degradation Ratio MQ**
8 (40%)	47	33%	19%	48%	39%	63	3 %	0 %	10 %	0 %
10 (50%)	53	6%	8%	15%	26%	66	0 %	0 %	0 %	0 %
12 (60%)	58	6%	2%	20%	20%	64	0 %	0 %	0 %	0 %
14 (70%)	62	0%	4%	0%	8%	62	0 %	0 %	0 %	0 %
16 (80%)	56	0%	0%	0%	0%	62	0 %	0 %	0 %	0 %
18 (90%)	60	0%	0%	0%	0%	63	0 %	0 %	0 %	0 %
20 (100%)	62	0%	0%	0%	0%	63	0 %	0 %	0 %	0 %
22 (110%)	64	0%	0%	0%	0%	58	0 %	0 %	0 %	0 %

Πίνακας 8 : Ποσοστό υποβαθμίσεων και degradation ratio για λ=1 χρήστης/λεπτό

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του Πίνακα 8 παρατηρούμε ότι για τον μηχανισμό CAC που κάνει χρήση ισοδύναμου bandwidth ο αριθμός των active users είναι μικρότερος σε σχέση με τον δικό μας μηχανισμό CAC. Επίσης, τα ποσοστά υποβαθμίσεων των βίντεο χρηστών είναι μικρότερα για τον μηχανισμό μας. Αυτό συμβαίνει διότι όταν χρησιμοποιούμε μοντέλα για την δέσμευση του bandwidth των βίντεο χρηστών, κάνουμε καλύτερη χρήση του καναλιού με αποτέλεσμα όλοι οι χρήστες βίντεο να καταφέρνουν να εισέλθουν στο σύστημα και συνεπώς δεν είναι απαραίτητη η υποβάθμιση χρηστών ώστε να εισέλθουν περισσότεροι. Όσο αυξάνουμε το επιτρεπόμενο φορτίο τα ποσοστά υποβαθμίσεων μειώνονται και για τους δύο μηχανισμούς, λόγω της αύξησης της ανεκτικότητας του CAC, χωρίς να αυξάνεται ο ρυθμός άφιξης.

Ο Πίνακας 9 παρουσιάζει ότι ακριβώς και ο Πίνακας 8 με τη μόνη διαφορά ότι ο ρυθμός άφιξης των βίντεο χρηστών είναι λ=5 βίντεο χρήστες/λεπτό.

Φορτία Κίνησης	**CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth**					**CAC με χρήση μοντέλων**				
Maximum Allowed Video Load (Mbps)	**Active Users**	**Downgrade percentage HQ**	**Downgrade percentage MQ**	**Degradation Ratio HQ**	**Degradation Ratio MQ**	**Active Users**	**Downgrade percentage HQ**	**Downgrade percentage MQ**	**Degradation Ratio HQ**	**Degradation Ratio MQ**
8 (40%)	120	98%	93%	90%	72%	187	87 %	49 %	92 %	58 %
10 (50%)	148	95%	80%	90%	66%	211	71 %	39 %	94 %	57 %
12 (60%)	174	84%	63%	85%	61%	233	54 %	26 %	85 %	59 %
14 (70%)	191	65%	44%	78%	60%	245	35 %	16 %	80 %	62 %
16 (80%)	214	56%	42%	80%	55%	260	34 %	15 %	96 %	64 %
18 (90%)	222	55%	34%	78%	57%	272	16 %	10 %	65 %	51 %
20 (100%)	248	45%	26%	76%	61%	286	16 %	7 %	76 %	53 %
22 (110%)	250	38%	21%	72%	56%	277	7 %	3 %	26 %	39 %

Πίνακας 9 : Ποσοστό υποβαθμίσεων και degradation ratio για λ=5 χρήστες/λεπτό

Όταν αυξάνουμε τον ρυθμό άφιξης βίντεο χρηστών από λ=1 σε λ=5 χρήστες βίντεο/λεπτό, ο συνολικός αριθμός των χρηστών βίντεο που γίνονται αποδεκτοί από το δίκτυο είναι μεγαλύτερος και για τους δύο μηχανισμούς. Παράλληλα όμως μεγαλώνει και το ποσοστό των χρηστών που υποβαθμίζονται και από τους δύο μηχανισμούς. 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 δύσκολη εξαιτίας του μεγάλου όγκου πληροφορίας που περιέχει. Αντίθετα, το μικρότερο μέγεθος μιας MQ ταινίας αυξάνει τις πιθανότητες ο χρήστης βίντεο να εισέλθει στο δίκτυο χωρίς να υποστεί υποβάθμιση. Παρατηρούμε ότι και για λ=5 βίντεο χρήστες/λεπτό ο αριθμός των ενεργών χρηστών για τον μηχανισμό μας είναι αρκετά μεγαλύτερος σε σχέση με τον πρώτο μηχανισμό. Επίσης, το ποσοστό υποβαθμίσεων για τον μηχανισμό μας είναι μικρότερο έναντι του πρώτου.

Αυτό συμβαίνει για τους λόγους που εξηγήθηκαν και νωρίτερα (καλύτερο channel utilization με χρήση μοντέλων).

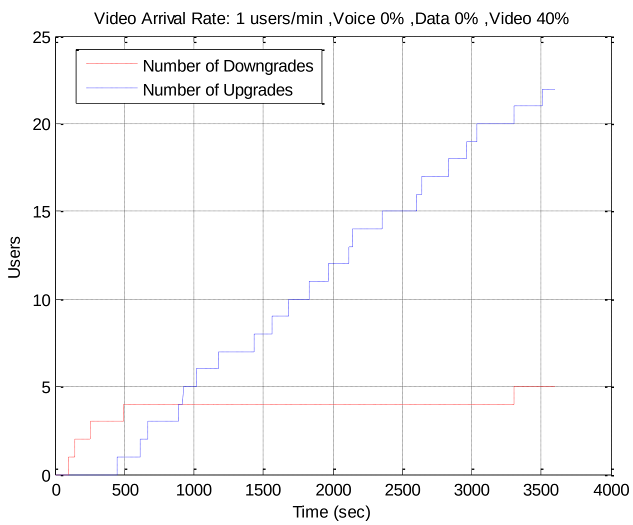
Ο Πίνακας 10 παρουσιάζει ότι ακριβώς και οι Πίνακες 8 και 9 με τη διαφορά ότι ο ρυθμός άφιξης των βίντεο χρηστών είναι λ=10 βίντεο χρήστες/λεπτό.

Φορτία Κίνησης	**CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth**					**CAC με χρήση μοντέλων**				
Maximum Allowed Video Load (Mbps)	**Active Users**	**Downgrade percentage HQ**	**Downgrade percentage MQ**	**Degradation Ratio HQ**	**Degradation Ratio MQ**	**Active Users**	**Downgrade percentage HQ**	**Downgrade percentage MQ**	**Degradation Ratio HQ**	**Degradation Ratio MQ**
8 (40%)	154	100%	100%	95%	89%	260	94 %	93 %	90 %	74 %
10 (50%)	197	100%	100%	96%	86%	287	93 %	85 %	85 %	63 %
12 (60%)	233	100%	97%	90%	77%	318	90 %	68 %	88 %	58 %
14 (70%)	258	93%	89%	80%	69%	350	84 %	61 %	82 %	56 %
16 (80%)	294	93%	84%	81%	67%	372	79 %	53 %	78 %	54 %
18 (90%)	317	96%	76%	82%	64%	406	65 %	42 %	83 %	54 %
20 (100%)	348	93%	64%	82%	57%	424	62 %	39 %	82 %	52 %
22 (110%)	369	82%	62%	85%	57%	443	52 %	28 %	75 %	55 %

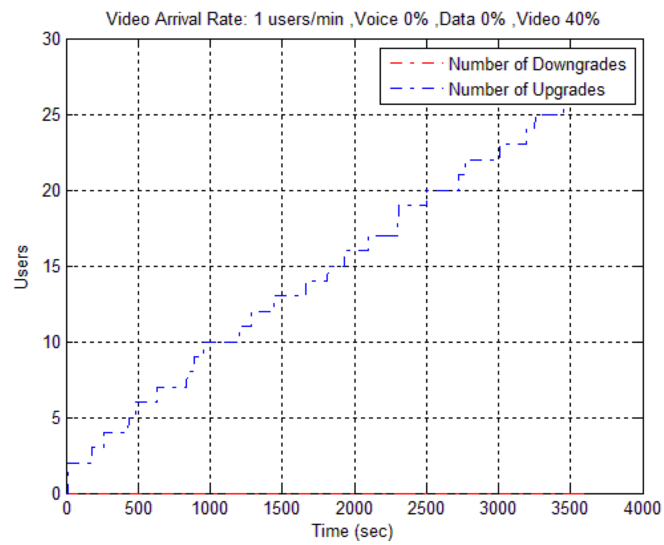
Πίνακας 10 : Ποσοστό υποβαθμίσεων και degradation ratio για λ=10 χρήστες/λεπτό

Παρατηρούμε ότι και για λ=10 βίντεο χρήστες/λεπτό, ο αριθμός των ενεργών χρηστών για το δεύτερο μηχανισμό είναι σημαντικά μεγαλύτερος σε σχέση με τον πρώτο. Παρατηρούμε ακόμη ότι όσο αυξάνεται ο ρυθμός άφιξης των βίντεο χρηστών, η αποδοτικότητα του μηχανισμού μας είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη του πρώτου CAC. Επίσης, το ποσοστό υποβαθμίσεων για τον δεύτερο μηχανισμό είναι μικρότερο έναντι του πρώτου. Αυτό συμβαίνει για τους λόγους που εξηγήθηκαν παραπάνω.

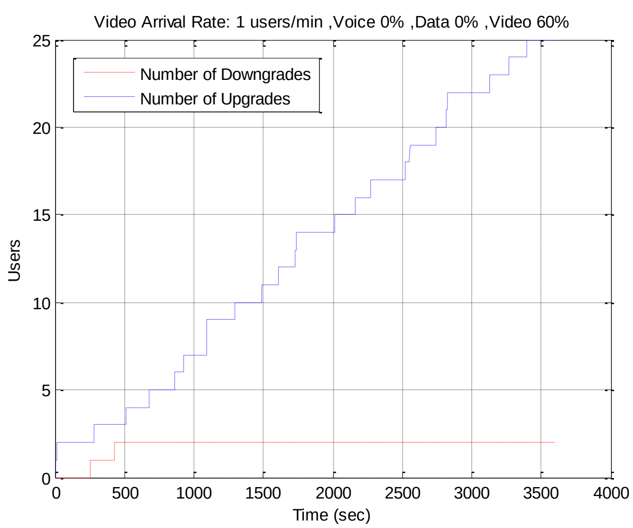
Τα Σχήματα 100, 102, 104, 106 που ακολουθούν αφορούν στον πρώτο μηχανισμό CAC και απεικονίζουν τον αριθμό των αναβαθμίσεων (μπλέ κυματομορφή) και των υποβαθμίσεων (κόκκινη κυματομορφή) των χρηστών βίντεο για ρυθμό άφιξης λ=1 βίντεο χρήστης/λεπτό, ενώ τα Σχήματα 101, 103, 105, 107 αφορούν στον δεύτερο μηχανισμό CAC (χρήση μοντέλων).



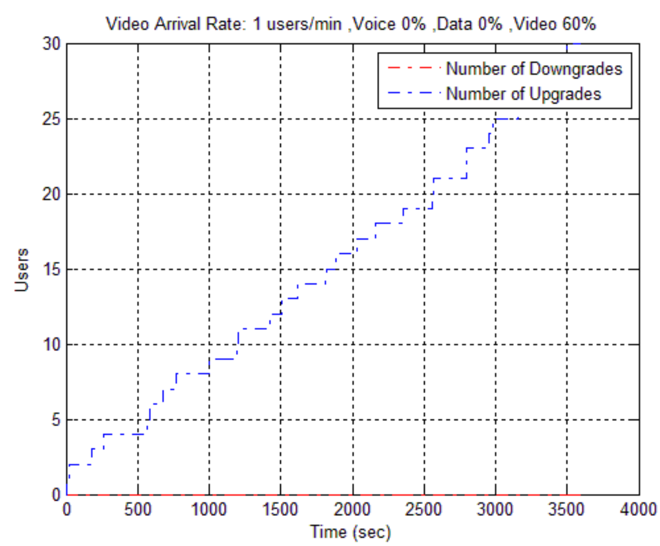
Σχήμα 100



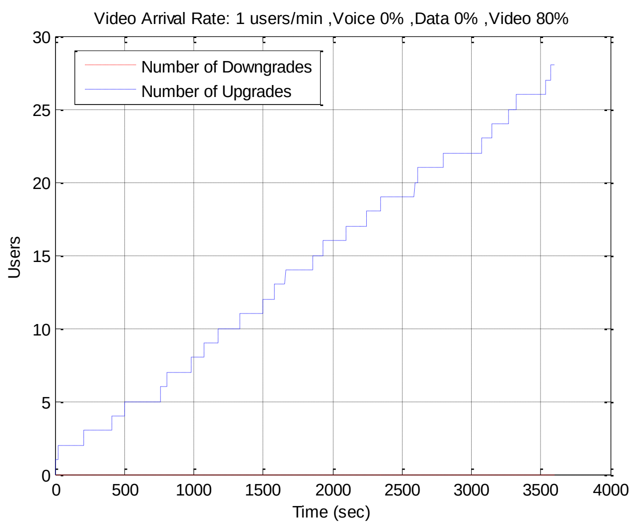
Σχήμα 101



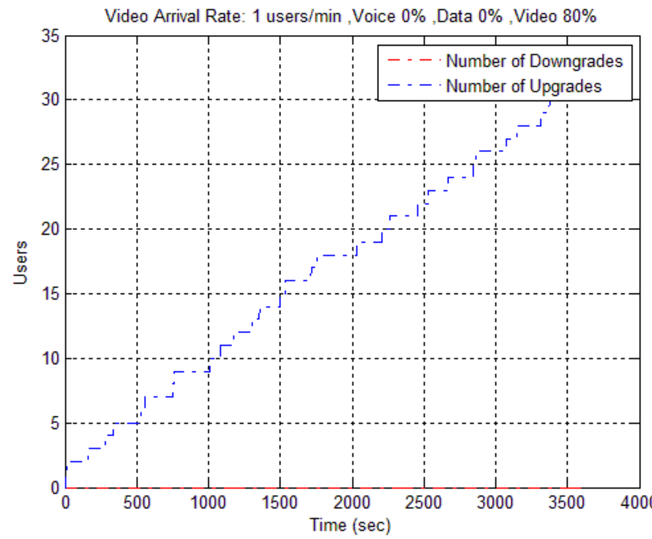
Σχήμα 102



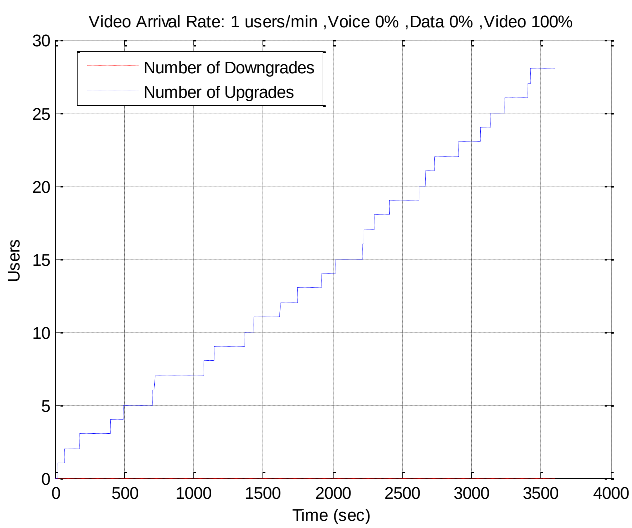
Σχήμα 103



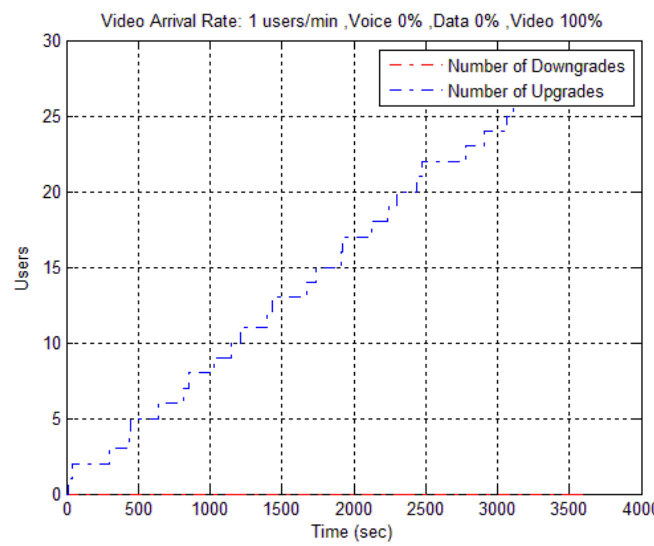
Σχήμα 104



Σχήμα 105



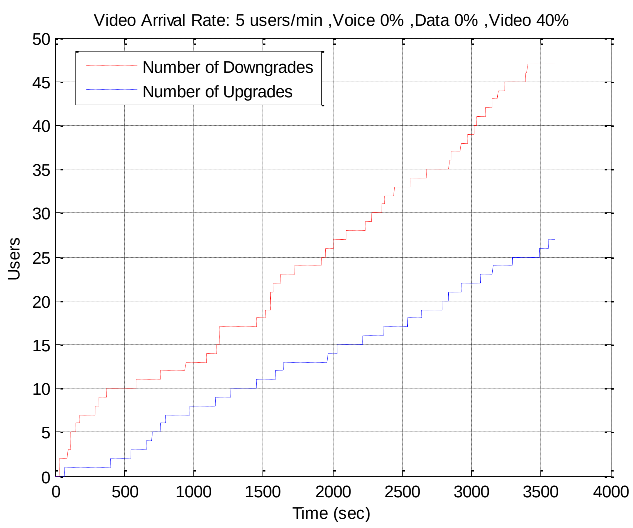
Σχήμα 106



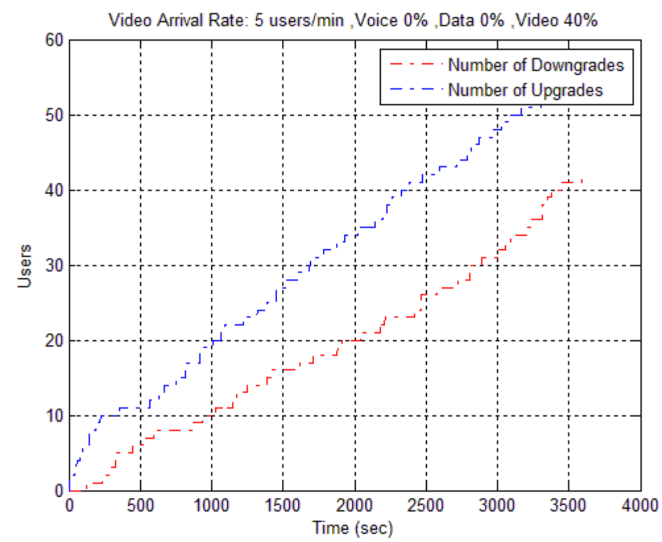
Σχήμα 107

Στα Σχήματα 100 – 107 παρατηρούμε ότι ο συνολικός αριθμός των υποβαθμίσεων είναι πολύ μικρότερος από τον συνολικό αριθμό των αναβαθμίσεων και για τους δύο μηχανισμούς. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο ρυθμός αφίξεων των χρηστών βίντεο είναι σχετικά μικρός με αποτέλεσμα να γίνονται εύκολα αποδεκτοί από το δίκτυο.

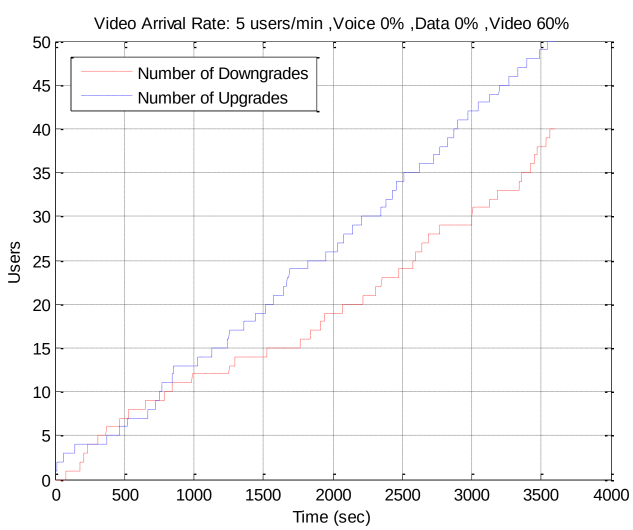
Τα Σχήματα 108, 110, 112, 114 που ακολουθούν αφορούν στον πρώτο μηχανισμό CAC και απεικονίζουν τον αριθμό των αναβαθμίσεων (μπλέ κυματομορφή) και των υποβαθμίσεων (κόκκινη κυματομορφή) των χρηστών βίντεο για ρυθμό άφιξης λ=5 βίντεο χρήστης/λεπτό, ενώ τα Σχήματα 109, 111, 113, 115 αφορούν στον δεύτερο μηχανισμό CAC (χρήση μοντέλων).



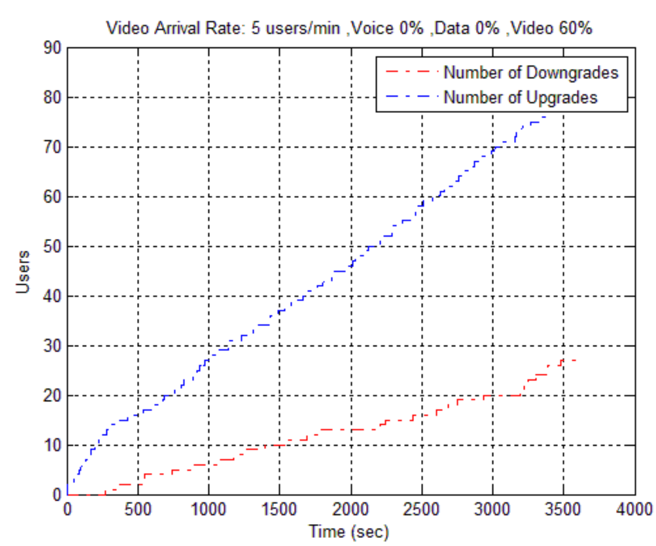
Σχήμα 108



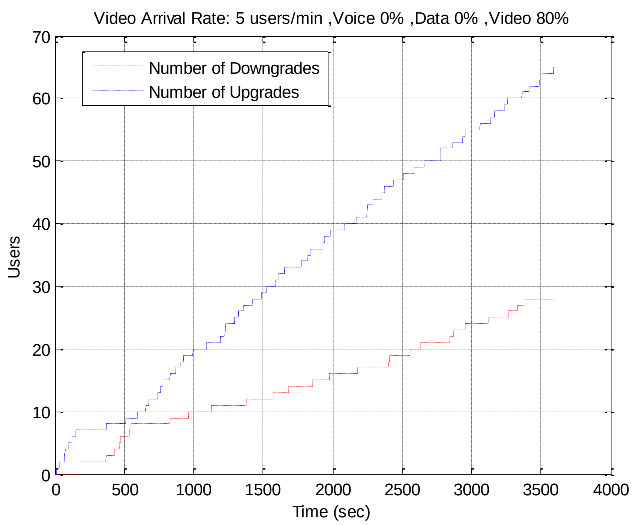
Σχήμα 109



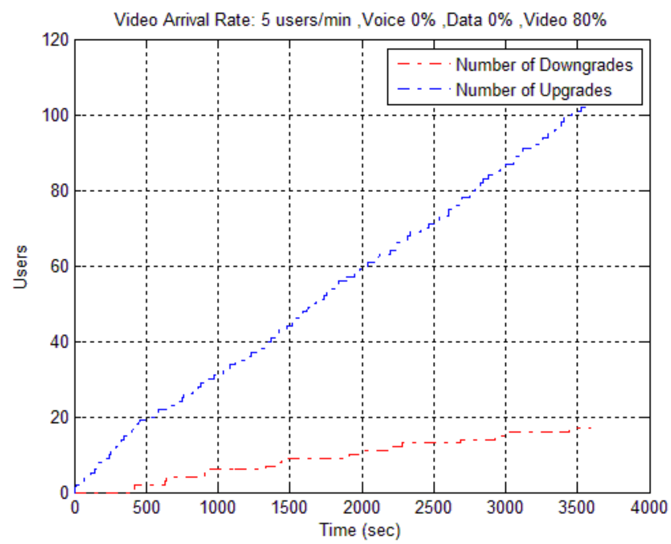
Σχήμα 110



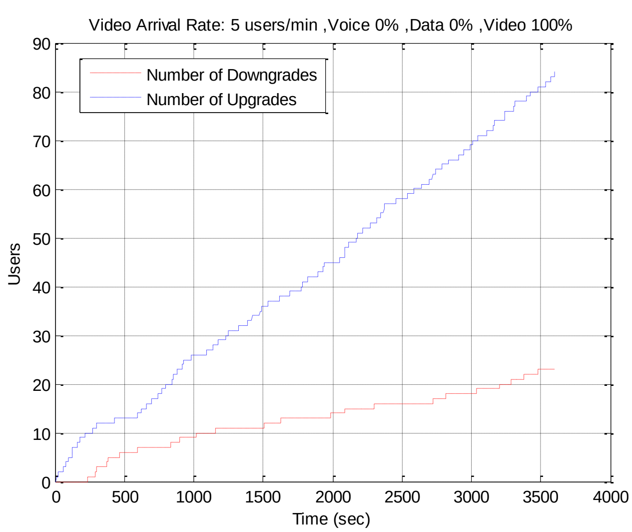
Σχήμα 111



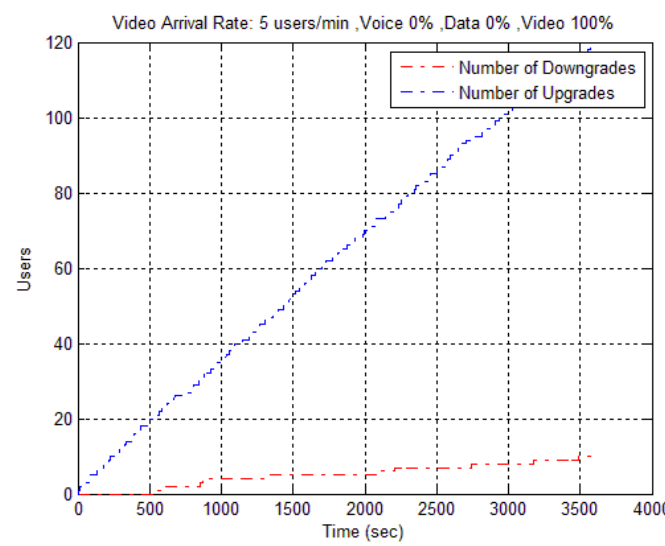
Σχήμα 112



Σχήμα 113



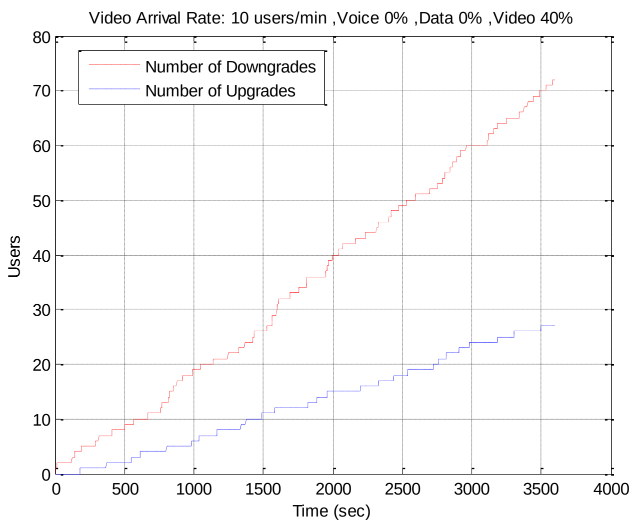
Σχήμα 114



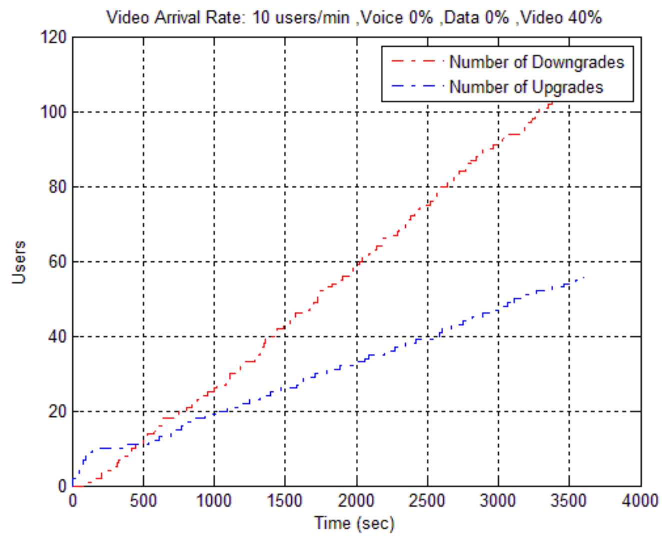
Σχήμα 115

Όσον αφορά στον πρώτο μηχανισμό (χρήση ισοδύναμου bandwidth) στο Σχήμα 108 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 εισέλθουν 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. Όσον αφορά στον δεύτερο μηχανισμό CAC (χρήση μοντέλων) για όλες τις περιπτώσεις ο αριθμός των αναβαθμίσεων είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των υποβαθμίσεων λόγω της καλής χρήσης του bandwidth του καναλιού.

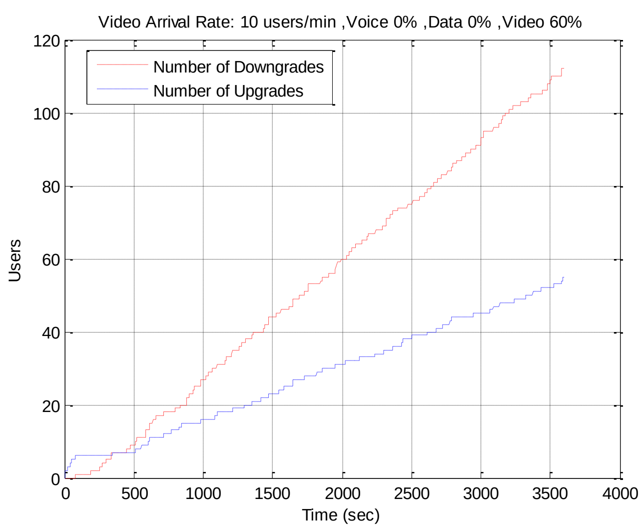
Τα Σχήματα 116, 118, 120, 122 αφορούν στον πρώτο μηχανισμό CAC και απεικονίζουν τον αριθμό των αναβαθμίσεων (μπλε κυματομορφή) και των υποβαθμίσεων (κόκκινη κυματομορφή) των χρηστών βίντεο για ρυθμό άφιξης λ=10 βίντεο χρήστες/λεπτό, ενώ τα Σχήματα 117, 119, 121, 123 αφορούν στον δεύτερο μηχανισμό CAC (χρήση μοντέλων).



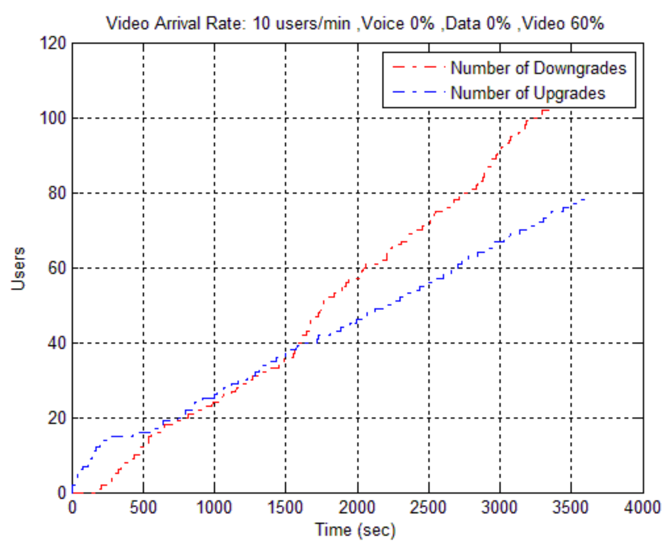
Σχήμα 116



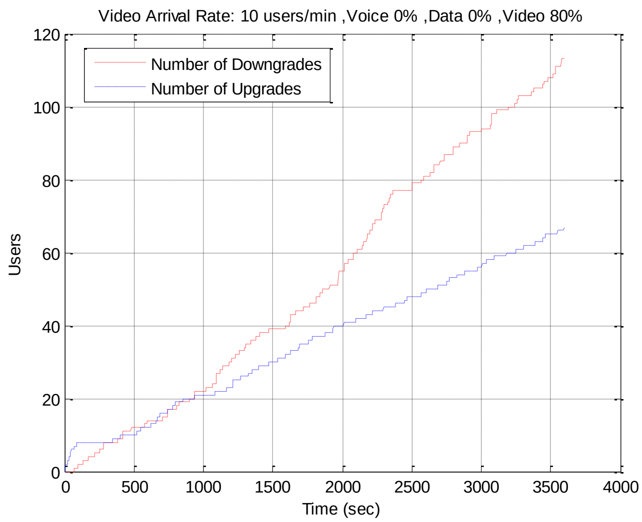
Σχήμα 117



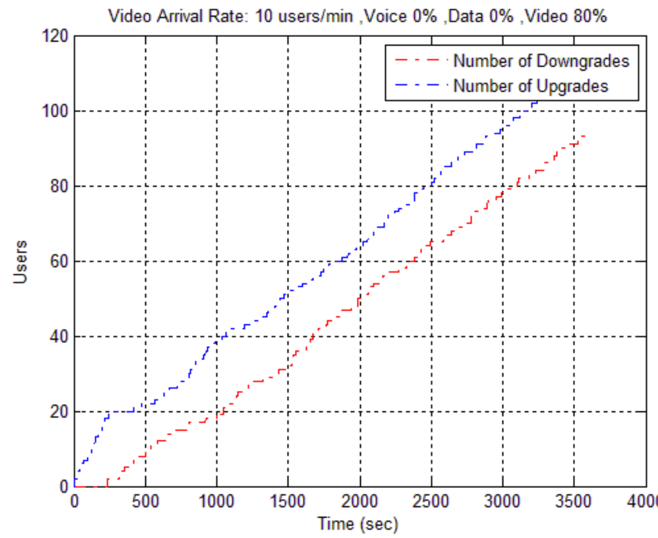
Σχήμα 118



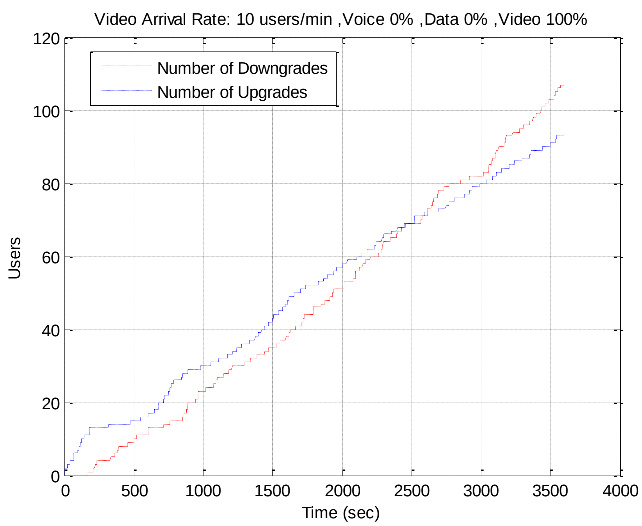
Σχήμα 119



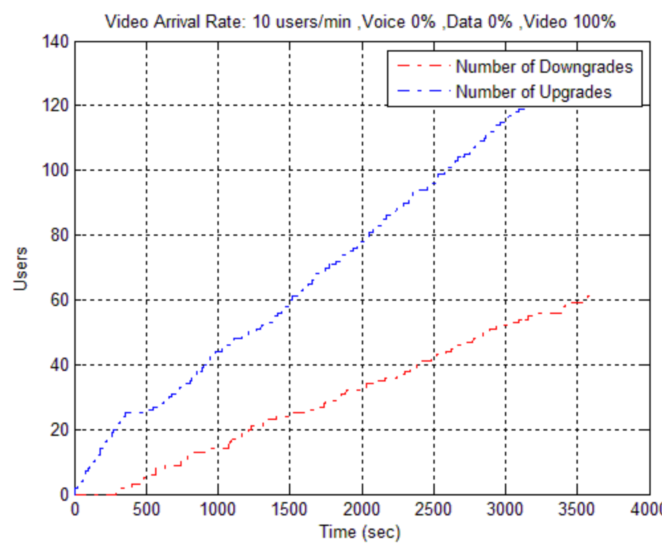
Σχήμα 120



Σχήμα 121



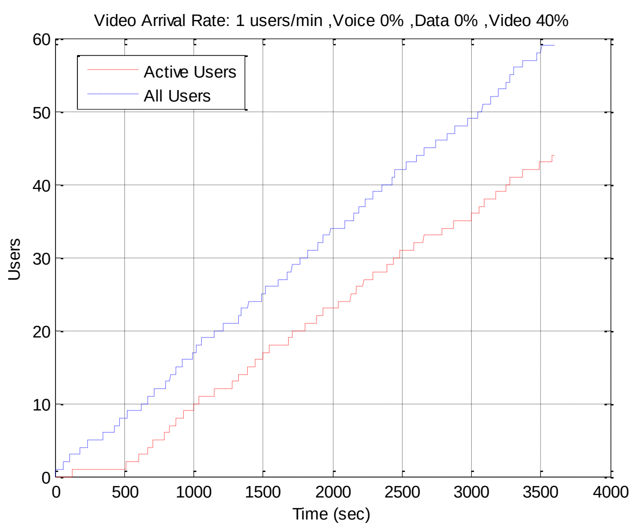
Σχήμα 122



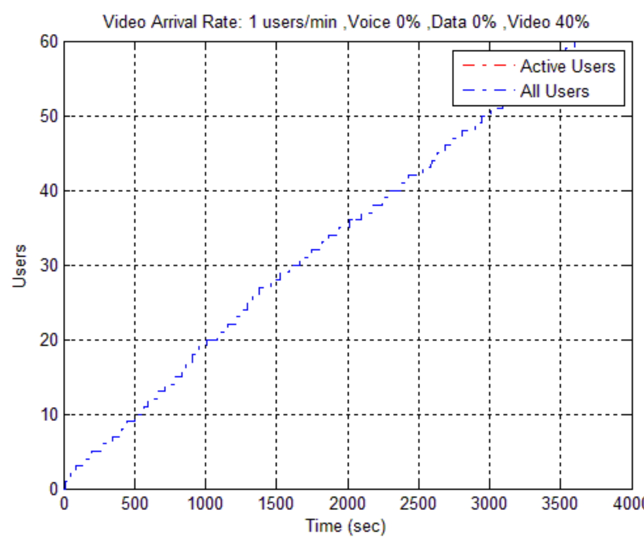
Σχήμα 123

Όσον αφορά στον πρώτο μηχανισμό 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 συμβόλαιο τους το επιτρέπει, προκειμένου να μπορέσουν να εισέλθουν στο δίκτυο όσο περισσότεροι χρήστες είναι εφικτό. Μόνο στην περίπτωση που το επιτρεπόμενο ποσοστό κάλυψης του εύρους ζώνης γίνει ίσο με 100% παρατηρούμε ότι ο συνολικός αριθμός των αναβαθμίσεων είναι παραπλήσιος του συνολικού αριθμού των υποβαθμίσεων. Αντίθετα, για τον δικό μας μηχανισμό παρατηρούμε ότι για διαθέσιμο bandwidth μεγαλύτερο ή ίσο του 80% όταν το εύρος ζώνης γίνει ίσο με 80% ο συνολικός αριθμός των αναβαθμίσεων είναι αρκετά μεγαλύτερος από τον αριθμό των υποβαθμίσεων. Συγκρίνοντας τους δύο μηχανισμούς μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε πως όταν χρησιμοποιούμε μοντέλα για τη δέσμευση του bandwidth των βίντεο χρηστών, ο μηχανισμός CAC έχει καλύτερη αποδοτικότητα αφού ο λόγος του αριθμού των αναβαθμίσεων προς τον αριθμό των υποβαθμίσεων είναι αρκετά μεγαλύτερος έναντι του αντίστοιχου λόγου του μηχανισμού CAC που χρησιμοποιεί ισοδύναμο bandwidth.

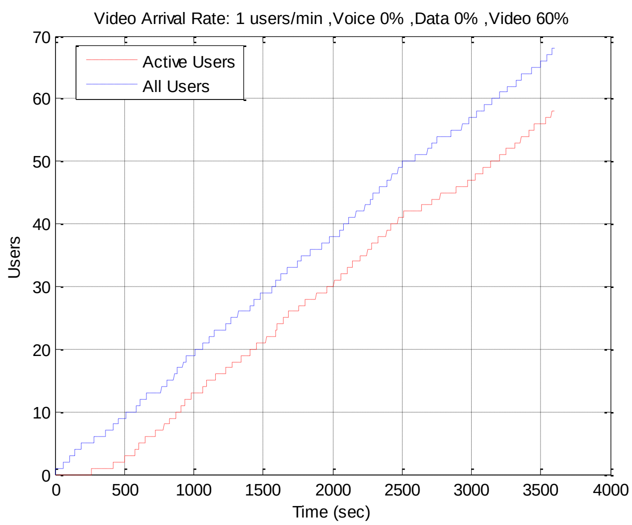
Σε καθένα από τα Σχήματα 124 – 131 που ακολουθούν παρουσιάζουμε δυο κυματομορφές: η μία (κόκκινη κυματομορφή) απεικονίζει τους ενεργούς χρήστες βίντεο, δηλαδή όλους τους χρήστες βίντεο οι οποίοι έχουν επιχειρήσει επιτυχημένα να εισέρθουν στο δίκτυο από την αρχή της προσομοίωσης, και η άλλη (μπλε κυματομορφή) 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). Τα Σχήματα 124, 126, 128, 130 αφορούν στον πρώτο μηχανισμό CAC (χρήση ισοδύναμου bandwidth) ενώ τα Σχήματα 125, 127, 129, 131 αφορούν στον δικό μας μηχανισμό, για ρυθμό άφιξης βίντεο χρηστών ίσο με λ=1 βίντεο χρήστη/λεπτό.



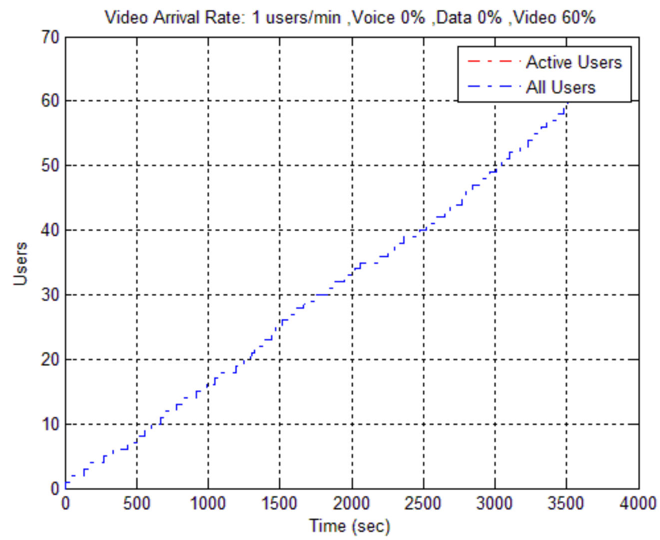
Σχήμα 124



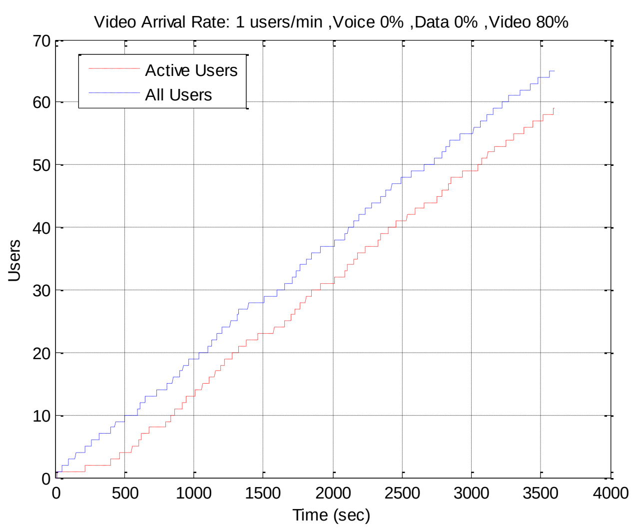
Σχήμα 125



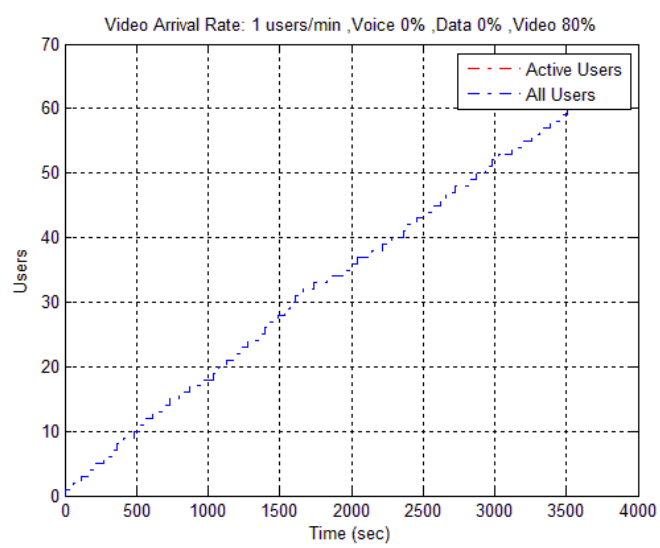
Σχήμα 126



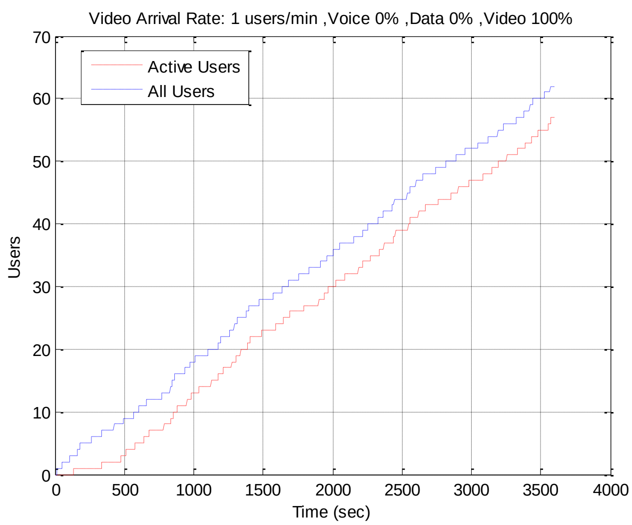
Σχήμα 127



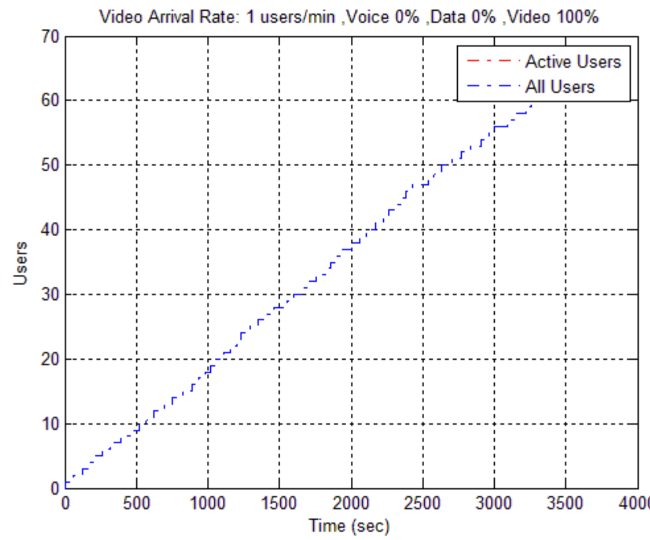
Σχήμα 128



Σχήμα 129

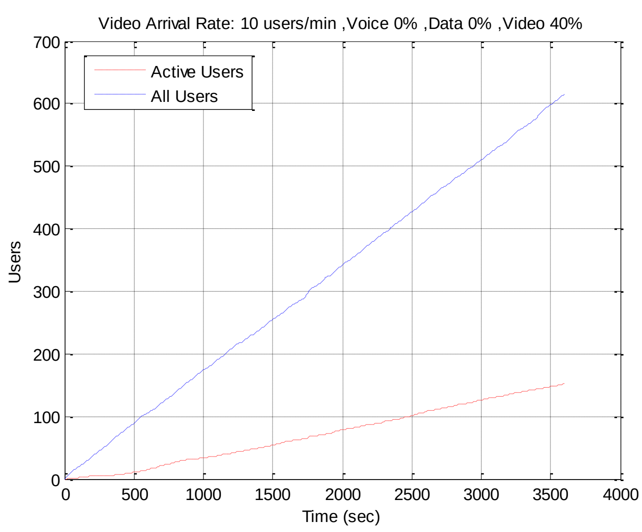


Σχήμα 130

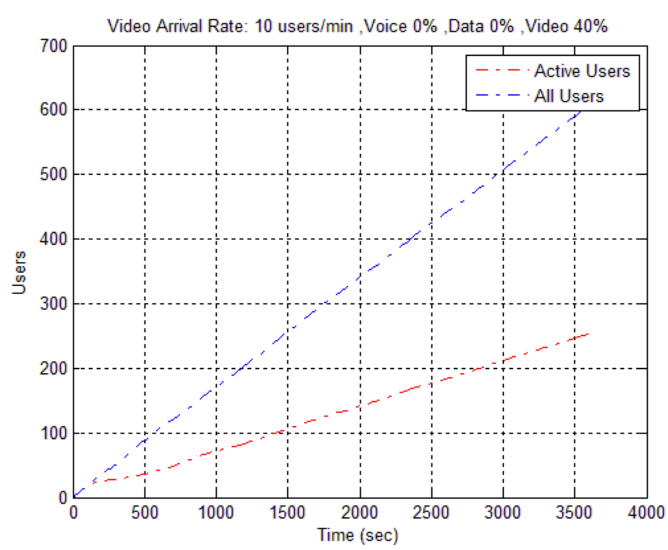


Σχήμα 131

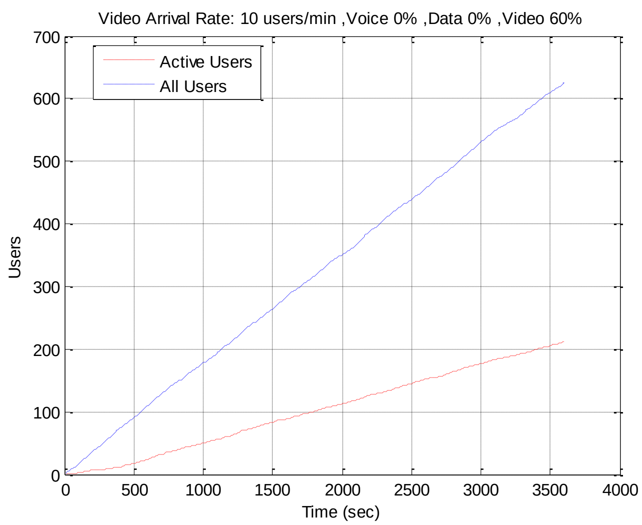
Όμοια με παραπάνω, ακολουθούν οι κυματομορφές που απεικονίζουν τον αριθμό των ενεργών χρηστών και τον συνολικό αριθμό των χρηστών για ρυθμό άφιξης βίντεο χρηστών ίσο με λ=10 βίντεο χρήστες/λεπτό. Τα Σχήματα 132, 134, 136, 138 αφορούν στον πρώτο μηχανισμό CAC ενώ τα Σχήματα 133, 135, 137, 139 αφορούν στον δικό μας μηχανισμό.



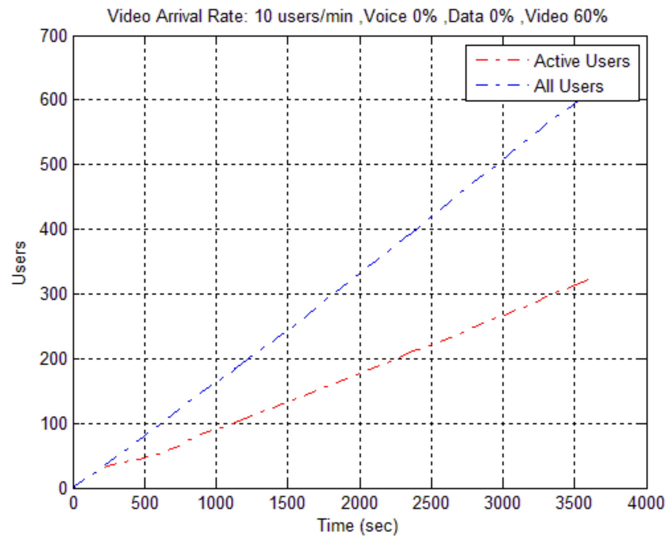
Σχήμα 132



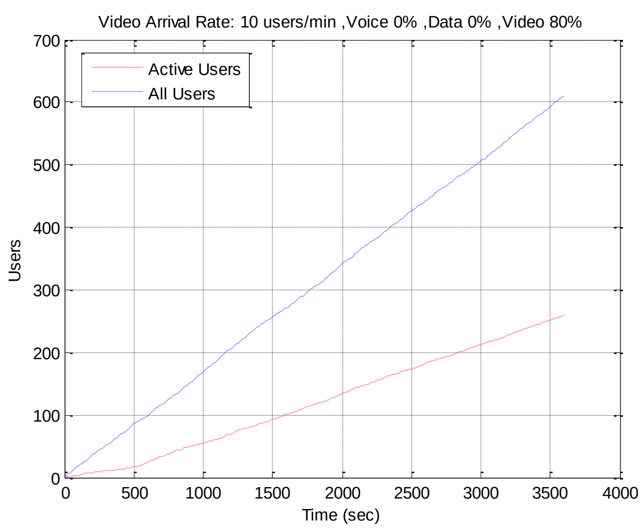
Σχήμα 133



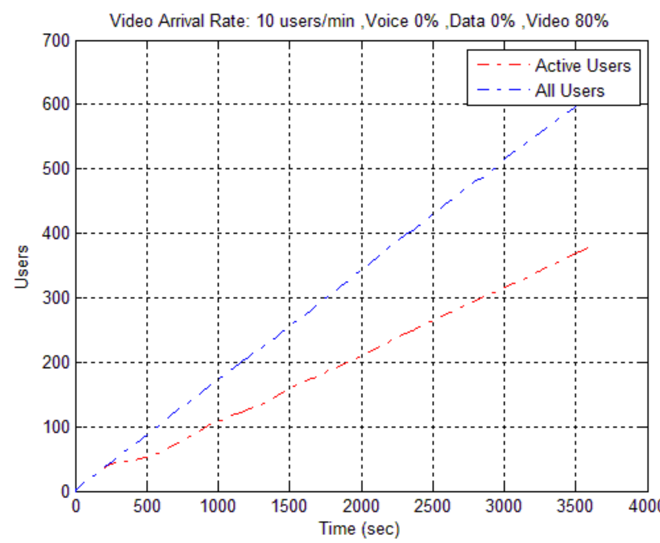
Σχήμα 134



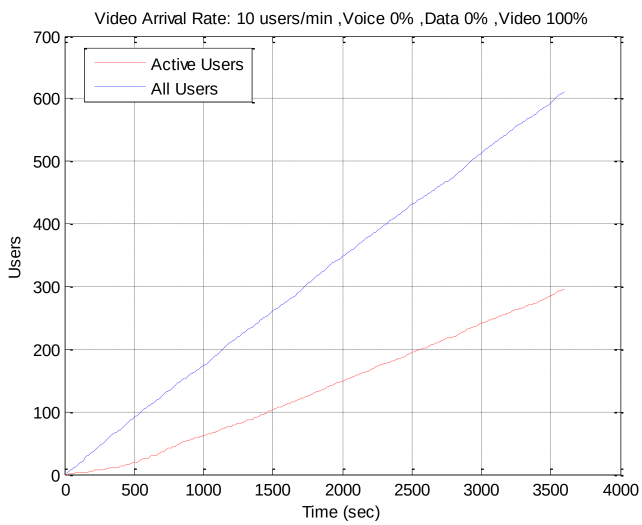
Σχήμα 135



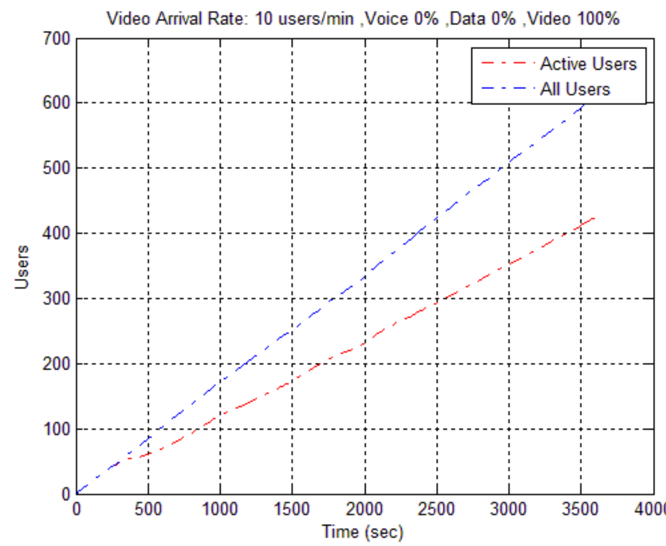
Σχήμα 136



Σχήμα 137



Σχήμα 138



Σχήμα 139

Στο σημείο αυτό θα αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα των παραπάνω σχημάτων λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση ανάμεσα στις δύο κυματομορφές, τόσο λιγότεροι χρήστες κατάφεραν να εισέλθουν στο δίκτυο. Είναι εμφανές ότι η απόσταση ανάμεσα στις δύο κυματομορφές στα Σχήματα 124 – 131 είναι πολύ μικρότερη από ότι στα Σχήματα 132 – 139 και ο λόγος είναι ότι στην πρώτη περίπτωση ο ρυθμός άφιξης λ των χρηστών βίντεο είναι υποδεκαπλάσιος με αποτέλεσμα να οδηγεί σε σημαντικά μικρότερο αριθμό αιτήσεων εισόδου άρα και σε σημαντικά μικρότερο αριθμό αιτήσεων που απορρίπτονται. Συγκρίνοντας τους δύο μηχανισμούς φαίνεται ξεκάθαρα ότι η απόσταση των δύο κυματομορφών είναι αρκετά μικρότερη στην περίπτωση του μηχανισμού CAC που χρησιμοποιεί μοντέλα. Αυτό είναι λογικό καθώς ο συγκεκριμένος μηχανισμός κάνει καλύτερη χρήση του καναλιού με αποτέλεσμα να μπορούν να εισαχθούν περισσότεροι χρήστες βίντεο που κάνουν αίτηση για είσοδο στο σύστημα σε σχέση με τον πρώτο μηχανισμό (χρήση ισοδύναμου bandwidth). Μάλιστα, όσον αφορά στον μηχανισμό που χρησιμοποιεί μοντέλα, στις περιπτώσεις όπου ο ρυθμός άφιξης των βίντεο χρηστών είναι λ=1 βίντεο χρήστης/λεπτό, ο αριθμός των χρηστών που έγιναν δεκτοί είναι ίσος με τον συνολικό αριθμό των χρηστών βίντεο που έκαναν αίτηση.

Τέλος, ο Πίνακας 11 περιέχει τρεις μετρικές που αφορούν στους handoff video χρήστες: το ποσοστό των χρηστών που καταφέρνουν να εισέλθουν στο δίκτυο χωρίς υποβάθμιση, το ποσοστό των χρηστών που καταφέρνουν να εισέλθουν στο δίκτυο χάρις σε υποβάθμιση δική τους ή/και άλλων χρηστών βίντεο και το ποσοστό αυτών των χρηστών που δεν καταφέρνουν να εισέλθουν στο δίκτυο εξαιτίας της αδυναμίας εύρεσης επαρκούς εύρους ζώνης. Ο ρυθμός άφιξης των βίντεο χρηστών είναι λ=10 βίντεο χρήστες/λεπτό, ώστε να εξετάσουμε το σύστημα υπό ιδιαίτερα μεγάλο φόρτο.

Φορτία Κίνησης	**CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth**			**CAC με χρήση μοντέλων**		
Maximum Video Capacity (Mbps)	**Video Users without Degradation**	**Video Users Degraded by CAC**	**Video Users rejected by CAC**	**Video Users without Degradation**	**Video Users Degraded by CAC**	**Video Users rejected by CAC**
8 (40%)	36.36%	7.58%	56.06%	70.97%	14.52%	14.52%
10 (50%)	48.43%	10.93%	40.62%	78.69%	16.39%	4.92%
12 (60%)	70.00%	15.00%	15.00%	85%	13.33%	1.67%
14 (70%)	76.19%	17.46%	6.340%	85.25%	14.75%	0%
16 (80%)	78.33%	18.33%	3.330%	86.67%	13.33%	0%
18 (90%)	80.64%	16.12%	3.220%	88.33%	11.67%	0%
20 (100%)	83.33%	15.15%	1.515%	88.52%	11.48%	0%
22 (110%)	83.58%	16.41%	0.000%	90.48%	9.52%	0%

Πίνακας 11 : Μετρικές για handoff βίντεο χρήστες

Μελετώντας τα αποτελέσματα του Πίνακα 11 παρατηρούμε ότι η αύξηση του επιτρεπόμενου φορτίου κίνησης των βίντεο χρηστών οδηγεί, όπως είναι αναμενόμενο, σε αύξηση του ποσοστού των επιτυχημένων handoff κλήσεων. Συγκρίνοντας τους δύο μηχανισμούς παρατηρούμε ότι για τον πρώτο μηχανισμό CAC (χρήση ισοδύναμου bandwidth) το ποσοστό των handoff χρηστών που απορρίπτονται από το σύστημα γίνεται μηδέν όταν το επιτρεπόμενο φορτίο κίνησης των βίντεο χρηστών είναι 110%, ενώ το ποσοστό αυτό για τον δικό μας μηχανισμό μηδενίζεται όταν το επιτρεπόμενο φορτίο είναι 70%. Επίσης, το ποσοστό των χρηστών βίντεο που γίνονται δεκτοί χωρίς υποβάθμιση είναι σημαντικά υψηλότερο με τη χρήση του μηχανισμού μας. Τα αποτελέσματα του Πίνακα 11 φανερώνουν ξανά την καλύτερη απόδοση του CAC μηχανισμού μας.

4.2 Δεύτερη Κατηγορία Αποτελεσμάτων

Σε αυτήν 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. Επίσης, συγκρίναμε τα αποτελέσματα των παραπάνω μετρικών για τους δύο μηχανισμούς CAC.

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% του bandwidth του καναλιού. Τα παραπάνω 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 16 και 17. 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.

Ο Πίνακας 12, όπως ακριβώς και ο Πίνακας 3 (Κεφάλαιο 4.1.1), εμφανίζει μία 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 στο bandwidth που θα δεσμευθεί για κάθε μία από τις τεχνικές.

Ο Πίνακας 13, όπως ακριβώς και ο Πίνακας 5 (Κεφάλαιο 4.1.1), απεικονίζει όλα τα σενάρια προσομοιώσεών μας που αντιστοιχούν στην γέννηση κίνησης με ρυθμό ίσο προς 40% - 100% του bandwidth του καναλιού και περιέχουν το ποσοστό των απωλειών στα πακέτα των χρηστών φωνής, τον αριθμό των μηνυμάτων email, των οποίων ο χρόνος για την αποστολή τους ξεπερνάει τη μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση, και το ποσοστό των πακέτων βίντεο που παραβιάζουν τα QoS των βίντεο χρηστών.

Φορτία Κίνησης			**CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth**		**CAC με χρήση μοντέλων**	
Number of Voice Users	**Messages per second**	**Maximum Video Capacity (Mbps)**	**CAC Bandwidth Estimation (Mbps)**	**Real Bandwidth (Mbps)**	**CAC Bandwidth Estimation (Mbps)**	**Real Bandwidth (Mbps)**
214 (16%)	24 (4%)	4 (20%)	7.914	7.130 (36%)	7.89	8.277 (41.38%)
267 (20%)	24 (4%)	3.2 (16%)	7.919	7.223 (36%)	7.906	8.219 (41.09%)
320 (24%)	24 (4%)	2.4 (12%)	7.951	7.391 (37%)	7.932	8.154 (40.77%)
267 (20%)	30 (5%)	5 (25%)	9.889	8.869 (44%)	9.862	10.36 (51.77%)
334 (25%)	30 (5%)	4 (20%)	9.912	9.202 (46%)	9.89	10.25 (51.23%)
400 (30%)	30 (5%)	3 (15%)	9.929	9.329 (47%)	9.924	10.19 (50.93%)
320 (24%)	36 (6%)	6 (30%)	11.87	10.88 (54%)	11.83	12.37 (61.82%)

400 (30%)	36 (6%)	4.8 (24%)	11.9	11.04 (55%)	11.87	12.31 (61.56%)
480 (36%)	36 (6%)	3.6 (18%)	11.93	11.20 (56%)	11.91	12.27 (61.33%)
374 (28%)	42 (7%)	7 (35%)	13.85	12.60 (63%)	13.8	14.47 (72.32%)
467 (35%)	42 (7%)	5.6 (28%)	13.90	12.99 (65%)	13.956	14.36 (71.78%)
560 (42%)	42 (7%)	4.2 (21%)	13.91	13.16 (65%)	13.9	14.33 (71.62%)
427 (32%)	48 (8%)	8 (40%)	15.85	14.51 (72%)	15.82	16.52 (82.61%)
534 (40%)	48 (8%)	6.4 (32%)	15.88	14.67 (73%)	15.87	16.43 (82.13%)
640 (48%)	48 (8%)	4.8 (24)	15.93	14.96 (75%)	15.91	16.32 (81.61%)
480 (36%)	54 (9%)	9 (45%)	17.83	16.33 (81%)	17.85	18.34 (91.69%)
600 (45%)	54 (9%)	7.2 (36%)	17.91	16.61 (83%)	17.94	18.32 (91.6%)
720 (54%)	54 (9%)	5.4 (27%)	17.96	16.98 (84%)	18.02	18.31 (91.55%)
534 (40%)	59 (10%)	10 (50%)	19.65	17.97 (89%)	19.03	19.48 (97.41%)
667 (50%)	59 (10%)	8 (40%)	19.71	18.32 (92%)	19.72	19.61 (98.06%)
800 (60%)	59 (10%)	6 (30%)	19.77	18.56 (93%)	19.79	19.66 (98.3%)

Πίνακας 12 : Σενάρια προσομοιώσεων με φορτία 40%-100% του συνολικού εύρους ζώνης

Φορτία Κίνησης			**CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth**			**CAC με χρήση μοντέλων**		
Number of Voice Users	**Messages per second**	**Maximum Video Capacity (Mbps)**	**Dropped Voice Packets (%)**	**Number of messages with excessive delay**	**Dropped Video Packets (%)**	**Dropped Voice Packets (%)**	**Number of messages with excessive delay**	**Dropped Video Packets (%)**
214 (16%)	24 (4%)	4 (20%)	0	0	0	0	0	0.000006
267 (20%)	24 (4%)	3.2 (16%)	0	0	0	0	0	0
320 (24%)	24 (4%)	2.4 (12%)	0	0	0	0	0	0
267 (20%)	30 (5%)	5 (25%)	0	0	0	0.000543	0	0.000053
334 (25%)	30 (5%)	4 (20%)	0	0	0	0	0	0
400 (30%)	30 (5%)	3 (15%)	0	0	0	0	0	0
320 (24%)	36 (6%)	6 (30%)	0	0	0	0.03583	0	0.04091
400 (30%)	36 (6%)	4.8 (24%)	0	0	0	0.000913	0	0.000207
480 (36%)	36 (6%)	3.6 (18%)	0	0	0	0	0	0
374 (28%)	42 (7%)	7 (35%)	0.007	0	0.0001	0.03151	0	0.0011
467 (35%)	42 (7%)	5.6 (28%)	0.002	0	0	0.004943	0	0.000153
560 (42%)	42 (7%)	4.2 (21%)	0.002	0	0	0.00233	0	0
427 (32%)	48 (8%)	8 (40%)	0.027	0	0.001	0.2549	0	0.01866
534 (40%)	48 (8%)	6.4 (32%)	0.014	0	0.001	0.07033	1	0.002979
640 (48%)	48 (8%)	4.8 (24)	0.019	0	0.001	0.00318	0	0
480 (36%)	54 (9%)	9 (45%)	0.059	0	0.019	1.371	127	0.07215
600 (45%)	54 (9%)	7.2 (36%)	0.034	1	0.026	0.3913	63	0.0137
720 (54%)	54 (9%)	5.4 (27%)	0.052	2	0.016	0.06372	46	0.000685
534 (40%)	59 (10%)	10 (50%)	0.312	15	0.055	4.398	1986	0.2907

667 (50%)	59 (10%)	8 (40%)	0.156	12	0.043	1.791	2201	0.05423
800 (60%)	59 (10%)	6 (30%)	0.336	17	0.077	0.4031	2262	0.000723

Πίνακας 13 : Ποσοστό μηνυμάτων, πακέτων φωνής και βίντεο που παραβιάζουν τα QoS, με φορτία 40%-100% του συνολικού εύρους ζώνης

Όσον αφορά στον πρώτο μηχανισμό CAC (χρήση ισοδύναμου bandwidth) η σύγκριση των αποτελεσμάτων των Πινάκων 12 - 13 με εκείνα των Πινάκων 3 και 5 της ενότητας 4.1.1 φανερώνει ότι με τον τρόπο υποβάθμισης που προτάθηκε στο [2], υπάρχει σημαντική αύξηση (4%-8%) στο πραγματικά χρησιμοποιούμενο bandwidth του καναλιού. Η διαφορά αυτή έγκειται εξ' ολοκλήρου στη μεγαλύτερη χρήση του bandwidth από τους χρήστες βίντεο. Από την σύγκριση των Πινάκων 13 και 5, 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.

Όσον αφορά στον δεύτερο μηχανισμό CAC (χρήση μοντέλων) η σύγκριση των αποτελεσμάτων των Πινάκων 12 – 13 με εκείνα των Πινάκων 3 και 5 δείχνει ότι με αυτόν τον τρόπο υποβάθμισης των βίντεο χρηστών έχουμε μία αύξηση της τάξης του 1% - 1,5% στο πραγματικό χρησιμοποιούμενο bandwidth του καναλιού. Συγκρίνοντας τις τιμές των Πινάκων 13 και 5, παρατηρούμε ότι οι παραβιάσεις σε QoS είναι περισσότερες με τον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης.

Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα που λάβαμε όταν το συνολικό φορτίο κίνησης που επιχειρεί να εισέλθει στο δίκτυο είναι 100% έως 140% τόσο για τον πρώτο όσο και για τον δεύτερο μηχανισμό CAC.

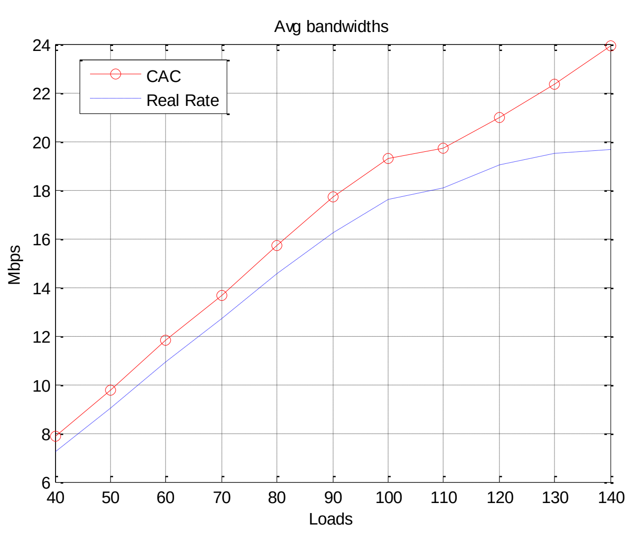
Συγκρίνοντας τους δύο μηχανισμούς, παρατηρούμε ότι ο πρώτος μηχανισμός (χρήση ισοδύναμου bandwidth) έχει βελτιωμένη απόδοση όταν χρησιμοποιούμε τον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης των χρηστών βίντεο, αφού κάνει καλύτερη χρήση του καναλιού. Ουσιαστικά, με τον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης μειώνουμε την συντηρητικότητα του πρώτου μηχανισμού με αποτέλεσμα να τον κάνουμε πιο αποδοτικό. Ο λόγος θα εξηγηθεί παρακάτω. Το ακριβώς αντίθετο συμβαίνει με τον δεύτερο μηχανισμό (χρήση μοντέλων). Ο μηχανισμός μας, όπως έχουμε εξηγήσει, κάνει μία υποεκτίμηση στο bandwidth που πρέπει να δεσμευθεί από τους χρήστες βίντεο. Η υποεκτίμηση είναι μεγαλύτερη για τις "αυθεντικές" HQ ταινίες απ' ότι για τις MQ και LQ. Επειδή λοιπόν με τον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης οι MQ και LQ μορφές της ταινίας αποτελούν "υποσύνολα" της HQ, με τον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης αυξάνουμε την υποεκτίμηση που κάνει ο μηχανισμός μας. Έτσι, οδηγούμαστε σε μεγαλύτερες παραβιάσεις στα QoS των χρηστών που εισέρχονται στο δίκτυο. Τελικώς, καταλήγουμε, όπως και στον πρώτο τρόπο υποβάθμισης (Ενότητα 4.1.1), ότι ο δεύτερος μηχανισμός οδηγεί σε περισσότερες παραβιάσεις στα QoS των χρηστών αλλά κάνει πολύ καλύτερη χρήση του καναλιού έναντι του πρώτου μηχανισμού.

Η βελτιωμένη απόδοση του πρώτου μηχανισμού CAC οφείλεται στον τρόπο υλοποίησης του δεύτερου τρόπου υποβάθμισης. Πιο συγκεκριμένα:

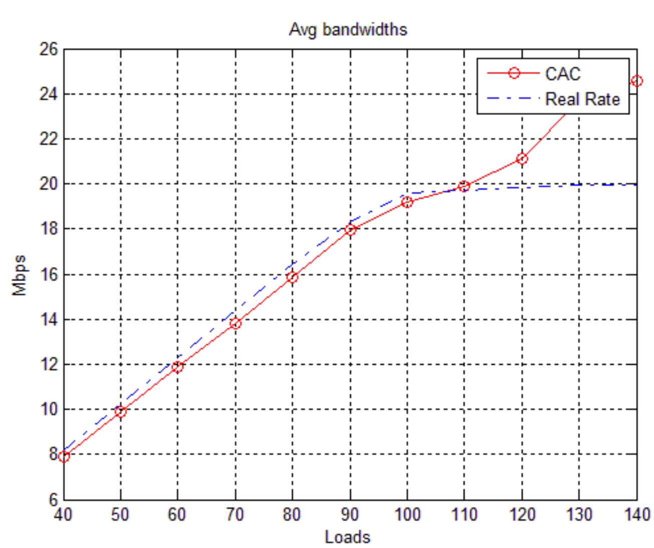
α. Η επιλεκτική μετάδοση των video frames ενός GoP οδηγεί στην ύπαρξη μονάχα I και P frames σε μια MQ ταινία, και μονάχα I frames σε μια LQ ταινία. Με δεδομένο ότι ο μεγάλος όγκος της μεταδιδόμενης πληροφορίας σε κάθε GoP ενυπάρχει στο I frame, αυτό σημαίνει πως η τυπική απόκλιση (σ) της κάθε ταινίας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

Τα παραπάνω αποτελέσματα σχετικά με την αποδοτικότητα των δύο μηχανισμών CAC για τον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης αναπαριστώνται και στα Σχήματα 140 και 141, όπου παρουσιάζουμε γραφικά την εκτίμηση του CAC για το απαιτούμενο bandwidth (κόκκινη κυματομορφή) καθώς και το πραγματικό bandwidth (μπλε κυματομορφή) που χρειάζονται οι χρήστες. Το Σχήμα 140 αφορά στον πρώτο μηχανισμό CAC (χρήση ισοδύναμου bandwidth) ενώ το Σχήμα 141 αφορά στον δεύτερο μηχανισμό CAC (χρήση μοντέλων).



Σχήμα 140



Σχήμα 141

Μελετώντας το ποσοστό των παραβιάσεων στα QoS των χρηστών του δικτύου και την χρήση του καναλιού που κάνει ο κάθε μηχανισμός, μπορούμε να συμπεράνουμε ποιος από τους δύο μηχανισμούς εμφανίζει τη μεγαλύτερη απόδοση και καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών και με ποιο τρόπο υποβάθμισης των βίντεο χρηστών επιτυγχάνεται αυτό. Ουσιαστικά, έχουμε τέσσερις επιλογές :

1. <u>Πρώτος μηχανισμός CAC (χρήση ισοδύναμου bandwidth) – Πρώτος τρόπος υποβάθμισης βίντεο χρηστών.</u>

   Σε αυτή την περίπτωση παρέχουμε υψηλής ποιότητας υπηρεσίες στους χρήστες που καταφέρνουν να μπουν στο δίκτυο, αλλά υποχρησιμοποιούμε το bandwidth του καναλιού λόγω της συντηρητικότητας του συγκεκριμένου μηχανισμού.

2. <u>Δεύτερος μηχανισμός CAC (χρήση μοντέλων) - Πρώτος τρόπος υποβάθμισης βίντεο χρηστών.</u>

   Σε αυτή την περίπτωση παρέχουμε αρκετά καλή ποιότητα υπηρεσιών στους χρήστες του δικτύου και επιτυγχάνουμε υψηλή χρήση του bandwidth του καναλιού λόγω της ακρίβειας στην εκτίμηση του bandwidth που θα δεσμευθεί από τους βίντεο χρήστες.

3. <u>Πρώτος μηχανισμός CAC (χρήση ισοδύναμου bandwidth) – Δεύτερος τρόπος υποβάθμισης βίντεο χρηστών.</u>

   Σε αυτή την περίπτωση παρέχουμε χειρότερης ποιότητας υπηρεσίες στους χρήστες του δικτύου σε σχέση με την πρώτη περίπτωση αλλά κάνουμε καλύτερη χρήση του bandwidth του καναλιού αφού μειώνεται ο συντηρητισμός του μηχανισμού για τους λόγους που αναφέραμε παραπάνω.

4. <u>Δεύτερος μηχανισμός CAC (χρήση μοντέλων) - Δεύτερος τρόπος υποβάθμισης βίντεο χρηστών.</u>

   Σε αυτή την περίπτωση παρέχουμε την χειρότερη ποιότητα υπηρεσιών στους χρήστες του δικτύου σε σύγκριση με τις υπόλοιπες υλοποιήσεις του CAC, αλλά επιτυγχάνουμε υψηλή χρήση του bandwidth του καναλιού.

Συνεπώς, καλύτερα αποτελέσματα έχουμε με τον μηχανισμό CAC που χρησιμοποιεί μοντέλα για την πρόβλεψη της κίνησης των πακέτων των βίντεο χρηστών και η υποβάθμιση των χρηστών βίντεο γίνεται με βάση τον πρώτο τρόπο, ο οποίος όμως είναι δυσκολότερο να εφαρμοσθεί στην πράξη σε σχέση με τον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης. Η αμέσως καλύτερη επιλογή, η οποία είναι και περισσότερο εφαρμόσιμη στην πράξη, είναι η υλοποίηση του μηχανισμού μας με τον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης των χρηστών βίντεο.

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 14 παρουσιάζουμε και πάλι αποτελέσματα για λ=10 χρήστες/λεπτό, ομοίως με τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 7.

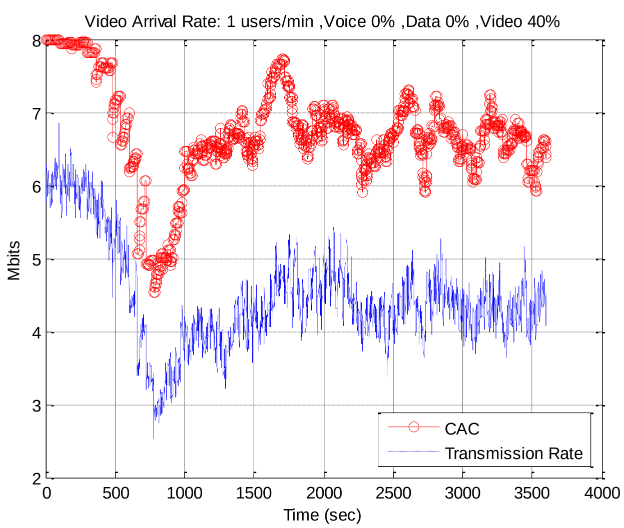
Φορτία Κίνησης		**CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth**				**CAC με χρήση μοντέλων**			
Maximum Allowed Video Load (Mbps)	**Video Arrival Rate (λ) (users/min)**	**CAC Bandwidth Estimation (Mbps)**	**Real Bandwidth (Mbps)**	**Average Number of Users**	**Dropped Video Packets (%)**	**CAC Bandwidth Estimation (Mκρbps)**	**Real Bandwidth (Mbps)**	**Average Number of Users**	**Dropped Video Packets (%)**
8 (40%)	10	7.907	6.736 (34%)	46	0.0062	7.713	8.483 (42.4%)	50	0.01497
10 (50%)	10	9.793	8.354 (42%)	53	0.0149	9.604	10.48 (52.41%)	54	0.133
12 (60%)	10	11.76	10.07 (50%)	57	0.0987	11.48	12.62 (63.07%)	60	0.5572
14 (70%)	10	13.71	11.7 (58%)	62	0.4075	13.29	14.39 (71.95%)	64	1.902
16 (80%)	10	15.62	13.22 (66%)	64	1.0690	15.15	16.04 (80.17%)	68	4.041
18 (90%)	10	17.56	14.84 (74%)	68	2.0240	16.96	17.34 (86.7%)	76	7.446
20 (100%)	10	19.43	16.20 (81%)	70	3.5820	18.72	18.25 (91.23%)	77	11.94
22 (110%)	10	21.33	17.21 (86%)	72	6.4840	20.46	18.72 (93.59%)	79	17.25

Πίνακας 14 : Μέσος αριθμός ενεργών χρηστών στο σύστημα, ποσοστό χαμένων πακέτων βίντεο χρηστών και εκτίμηση των δύο μηχανισμών για λ=10 χρήστες/λεπτό

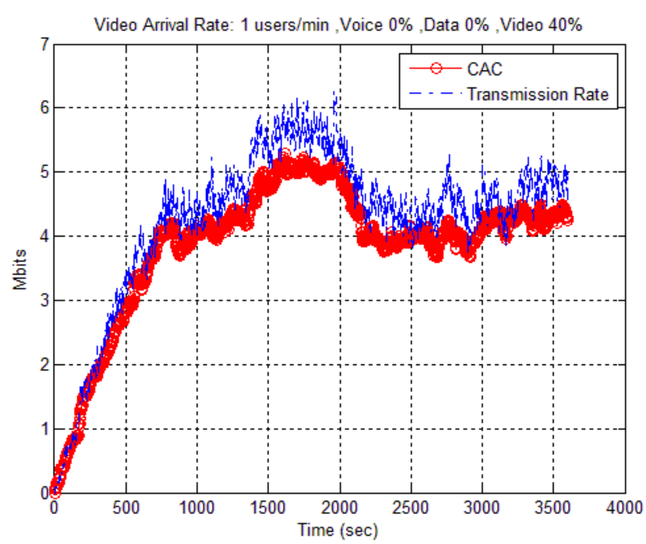
Όσον αφορά στον πρώτο μηχανισμό CAC (χρήση ισοδύναμου bandwidth), συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των Πινάκων 14 και 7, επιβεβαιώνονται για μια ακόμα φορά τα συμπεράσματά μας που αναφέρονται στην αμέσως προηγούμενη ενότητα, τα οποία δείχνουν ότι με το δεύτερο τρόπο υποβάθμισης των χρηστών το πραγματικό bandwidth που καταναλώνουν οι χρήστες είναι πολύ πιο κοντά στην εκτίμηση του CAC (αν και αυτή 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%. Όσον αφορά στο δεύτερο μηχανισμό CAC (χρήση μοντέλων) , συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των Πινάκων 14 και 7, καταλήγουμε στο ότι με το δεύτερο τρόπο υποβάθμισης των χρηστών βίντεο το πραγματικό bandwidth που καταναλώνουν οι χρήστες είναι αρκετά μεγαλύτερο σε σχέση με την εκτίμηση του CAC, μεγενθύνοντας την υποεκτίμηση που κάνει ο μηχανισμός για το εύρος ζώνης που θα δεσμευτεί από τους βίντεο χρήστες. Αυτό, όπως είναι φυσικό οδηγεί σε σημαντικές παραβιάσεις του QoS των βίντεο χρηστών για φορτία ≥40%, όταν με τον πρώτο τρόπο υποβάθμισης είχαμε παραβιάσεις όταν το φορτίο ξεπερνούσε το 65%. Αξίζει να σημειωθεί πως και ο συντηρητικός πρώτος μηχανισμός αποτυγχάνει να προσφέρει το απαιτούμενο QoS στους βίντεο χρήστες για φορτία ≥50%. Συγκρίνοντας τους δύο μηχανισμούς CAC για τον συγκεκριμένο τρόπο υποβάθμισης είναι εμφανές από τα αποτελέσματα του Πίνακα 14, ότι ο μεν πρώτος εξυπηρετεί καλύτερα τους χρήστες που εισέρχονται στο δίκτυο (στήλες **Dropped Video Packets (%)**), ο δε δεύτερος κάνει καλύτερη χρήση του καναλιού εξυπηρετώντας μεγαλύτερο αριθμό χρηστών (στήλες **Average Number of Users).**

Τα παραπάνω συμπεράσματα σχετικά με την χρήση του καναλιού φαίνονται και γραφικά στα παρακάτω Σχήματα, όπου παρουσιάζονται δύο κυματομορφές. Η μία κυματομορφή αναπαριστά το bandwidth που χρησιμοποιείται πραγματικά από τους χρήστες του δικτύου (μπλε κυματομορφή) και η άλλη το bandwidth που εκτιμά ο CAC μηχανισμός (κόκκινη κυματομορφή) ότι θα δεσμευτεί από τους χρήστες. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση των δύο κυματομορφών τόσο χειρότερη είναι η εκτίμηση του μηχανισμού, άρα και η χρήση του καναλιού από τον μηχανισμό. Τα Σχήματα 142, 144, 146, 148, 50, 152, 154, 156 αφορούν στον πρώτο μηχανισμό CAC (χρήση ισοδύναμου bandwidth) ενώ τα Σχήματα 143, 145, 147, 149, 151, 153, 155, 157 αφορούν στον δεύτερο μηχανισμό CAC (χρήση μοντέλων).

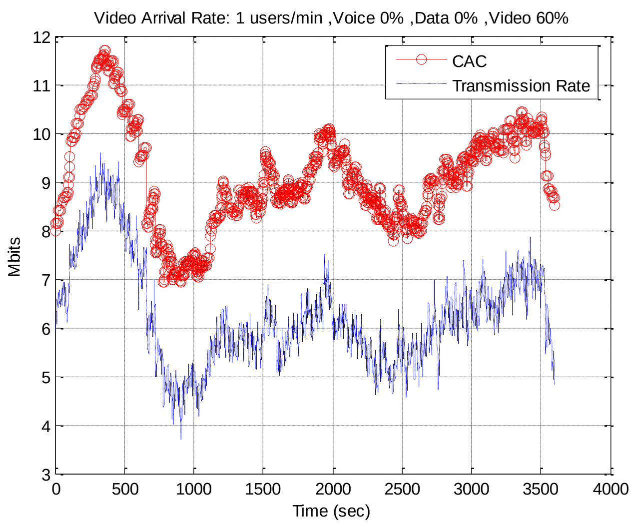
- *λ=1 βίντεο χρήστης / λεπτό*



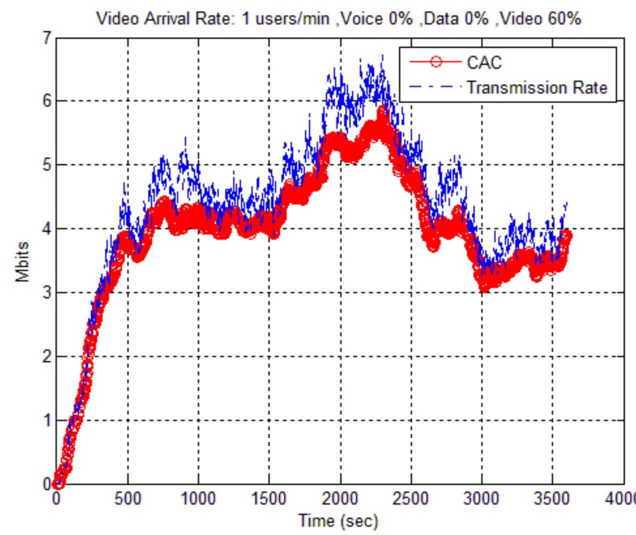
Σχήμα 142



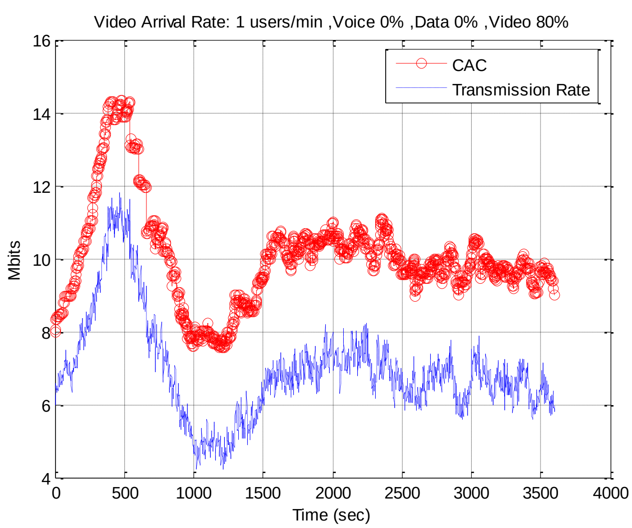
Σχήμα 143



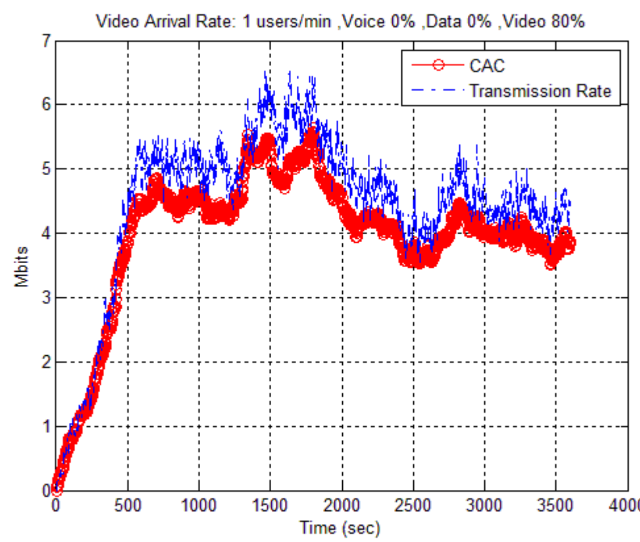
Σχήμα 144



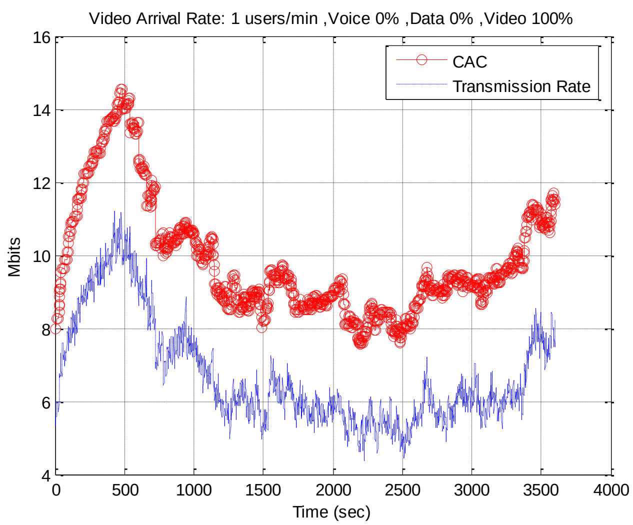
Σχήμα 145



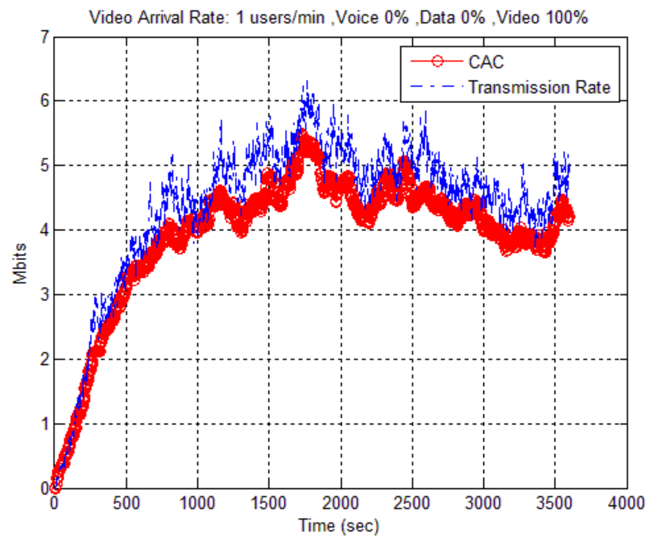
Σχήμα 144



Σχήμα 147

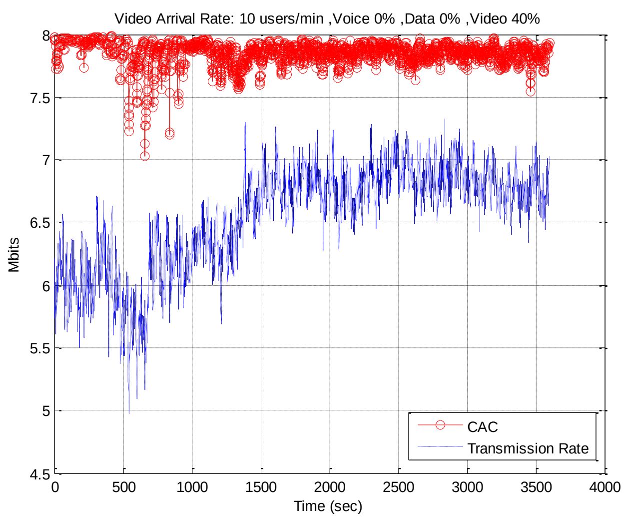


Σχήμα 148

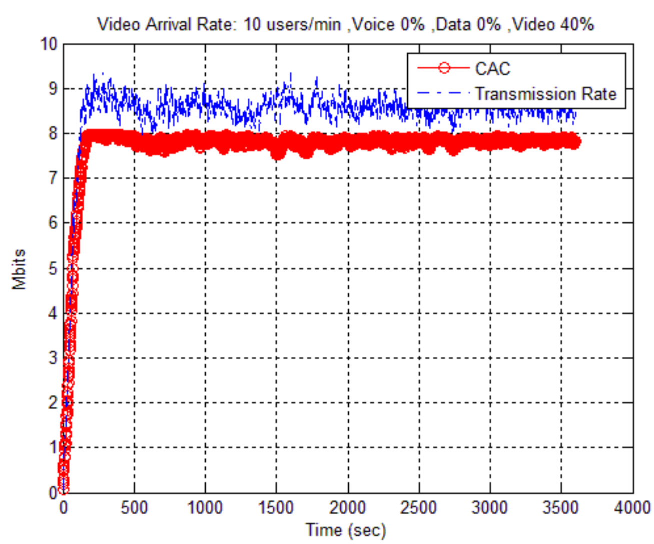


Σχήμα 149

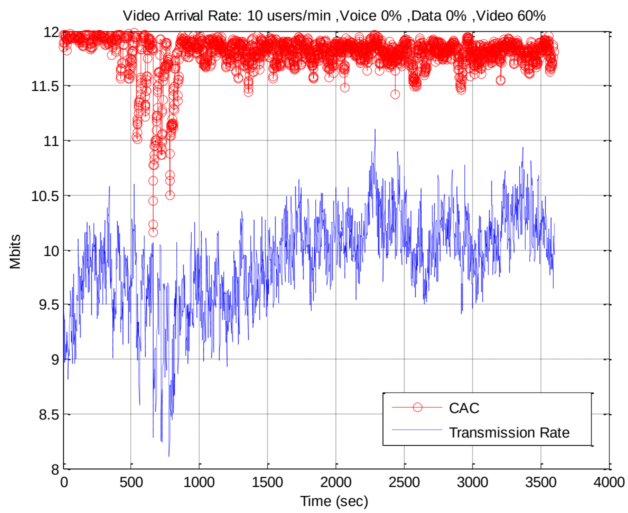
- *λ=10 βίντεο χρήστες / λεπτό*



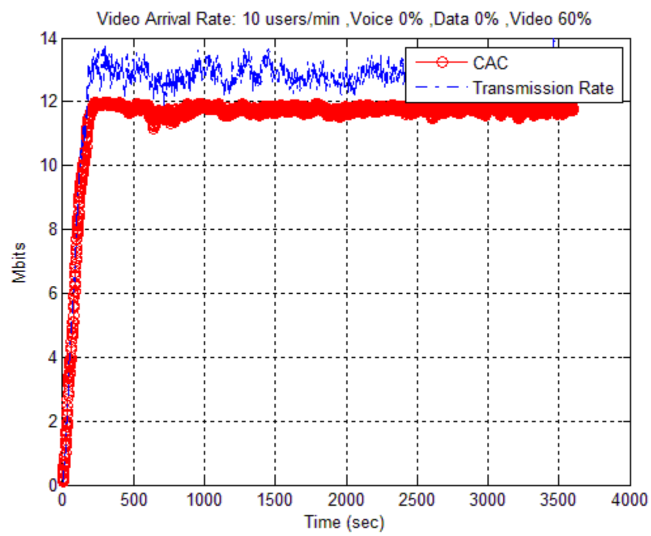
Σχήμα 150



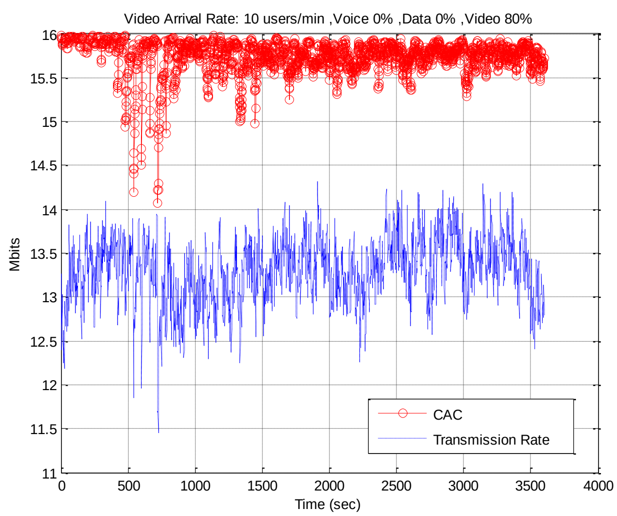
Σχήμα 151



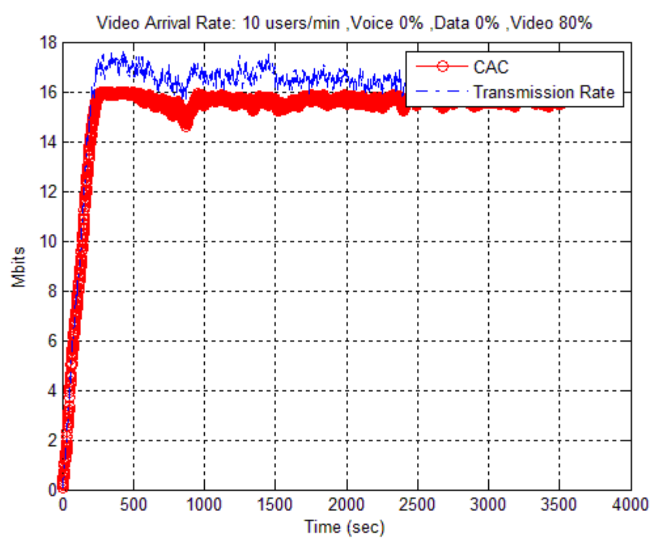
Σχήμα 152



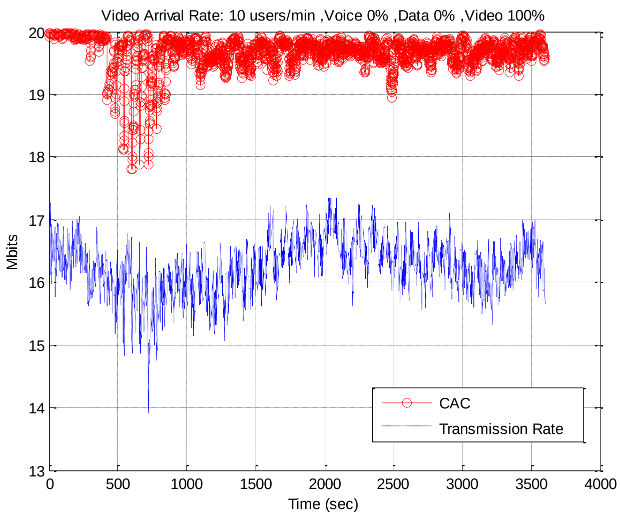
Σχήμα 153



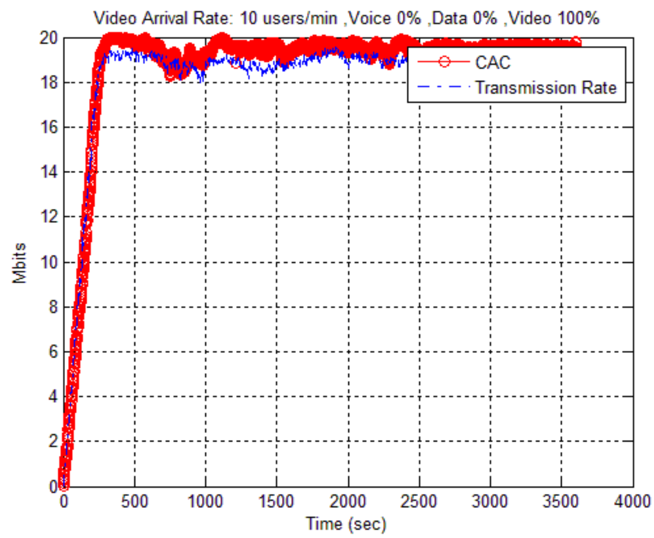
Σχήμα 154



Σχήμα 155



Σχήμα 156



Σχήμα 157

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 του Πίνακα 15 πρόεκυψαν από προσομοιώσεις για διαφορετικά φορτία βίντεο με μέσο ρυθμό άφιξης 5 χρήστες/λεπτό. Η στήλη "Active Users" του Πίνακα απεικονίζει τον συνολικό αριθμό χρηστών οι οποίοι έγιναν αποδεκτοί από το δίκτυο. Οι τιμές της τρίτης και τέταρτης στήλης του Πίνακα 15 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 15 απεικονίζουν το degradation ratio, δηλαδή το μέσο ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο ένας χρήστης βίντεο είναι υποβαθμισμένος στη διάρκεια παραμονής του στο δίκτυο. Ο Πίνακας 16 περιέχει τα ίδια αποτελέσματα με τον Πίνακα 15 με τη μόνη διαφορά ότι ο ρυθμός άφιξης των βίντεο χρηστών είναι λ=10 χρήστες/λεπτό. Στους παρακάτω Πίνακες παρουσιάζονται μετρικές και για τους δύο μηχανισμούς CAC.

Φορτία Κίνησης	**CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth**					**CAC με χρήση μοντέλων**				
Maximum Allowed Video Load (Mbps)	**Active Users**	**Downgrade percentage HQ**	**Downgrade percentage MQ**	**Degradation Ratio HQ**	**Degradation Ratio MQ**	**Active Users**	**Downgrade percentage HQ**	**Downgrade percentage MQ**	**Degradation Ratio HQ**	**Degradation Ratio MQ**
8 (40%)	162	96%	83%	90%	80%	190	72 %	56 %	75 %	77 %
10 (50%)	177	83%	70%	88%	79%	215	60 %	47 %	91 %	79 %
12 (60%)	197	77%	59%	88%	76%	226	53 %	36 %	94 %	77 %
14 (70%)	212	73%	45%	87%	75%	249	51 %	28 %	88 %	74 %
16 (80%)	223	55%	38%	84%	72%	264	27 %	26 %	91 %	78 %
18 (90%)	238	47%	34%	87%	72%	270	18 %	16 %	75 %	63 %
20 (100%)	247	36%	26%	80%	76%	285	25 %	12 %	73 %	72 %
22 (110%)	259	21%	19%	66%	74%	292	13 %	8 %	66 %	74 %

Πίνακας 15 : Ποσοστό υποβαθμίσεων και degradation ratio για λ=5 χρήστες/λεπτό

Φορτία Κίνησης	**CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth**					**CAC με χρήση μοντέλων**				
Maximum Allowed Video Load (Mbps)	**Active Users**	**Downgrade percentage HQ**	**Downgrade percentage MQ**	**Degradation Ratio HQ**	**Degradation Ratio MQ**	**Active Users**	**Downgrade percentage HQ**	**Downgrade percentage MQ**	**Degradation Ratio HQ**	**Degradation Ratio MQ**
8 (40%)	237	100%	100%	94%	93%	280	99 %	97 %	79 %	84 %
10 (50%)	274	99%	94%	90%	86%	313	91 %	86 %	84 %	78 %
12 (60%)	310	93%	93%	88%	83%	338	81 %	78 %	81 %	75 %
14 (70%)	323	91%	84%	92%	79%	356	72 %	64 %	81 %	75 %
16 (80%)	338	90%	77%	88%	74%	381	60 %	58 %	89 %	75 %
18 (90%)	370	86%	74%	85%	74%	406	69 %	52 %	85 %	78 %
20 (100%)	382	80%	64%	83%	73%	423	45 %	45 %	84 %	77 %
22 (110%)	399	74%	58%	85%	75%	437	47 %	41 %	81 %	77 %

Πίνακας 16 : Ποσοστό υποβαθμίσεων και degradation ratio για λ=10 χρήστες/λεπτό

Όσον αφορά στον πρώτο μηχανισμό CAC (χρήση ισοδύναμου bandwidth), συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των Πινάκων 15 και 16 με τα αποτελέσματα των Πινάκων 9 και 10 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 τη 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.

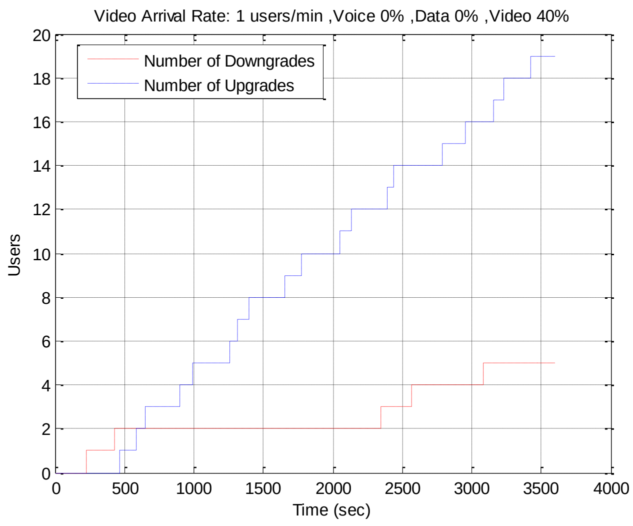
γ. Το ποσοστό των χρηστών MQ που υποβαθμίζονται είναι παραπλήσιο με εκείνο του πρώτου τρόπου υποβάθμισης, ενώ το degradation ratio είναι μεγαλύτερο για τον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης – συνεπώς υποβαθμίζεται περίπου το ίδιο ποσοστό χρηστών, αλλά παραμένουν υποβαθμισμένοι για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι χρήστες MQ, με τον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης, είναι περισσότερο εκρηκτικοί απ' ότι με τον πρώτο (η απουσία των B frames οδηγεί σε μεγαλύτερο ποσοστό I frames επί του συνόλου των μεταδιδόμενων frames).

Όσον αφορά στον δεύτερο μηχανισμό CAC (χρήση μοντέλων) παρατηρούμε ότι ο αριθμός των χρηστών που γίνονται δεκτοί στο δίκτυο είναι μεγαλύτερος για φορτία κίνησης έως και 70%. Για φορτία μεγαλύτερα του 70% ο αριθμός των χρηστών είναι περίπου ίσος και για τους δύο τρόπους υποβάθμισης των βίντεο χρηστών. Περίπου ίδιο είναι και το ποσοστό των χρηστών HQ και MQ που υποβαθμίζονται, όπως επίσης και το degradation ratio για τους HQ και MQ χρήστες βίντεο. Αυτό οφείλεται στο ότι η εκτίμηση που κάνει ο δεύτερος μηχανισμός CAC με τον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης είναι περίπου ίδια με την εκτίμηση που κάνει και για τον πρώτο τρόπο υποβάθμισης των βίντεο χρηστών (υπάρχει μία απόκλιση της τάξης του 1 – 1.5%). Αυτή η διαφορά δικαιολογεί την ομοιότητα των αποτελεσμάτων και για τους δύο τρόπους υποβάθμισης για τον συγκεκριμένο μηχανισμό.

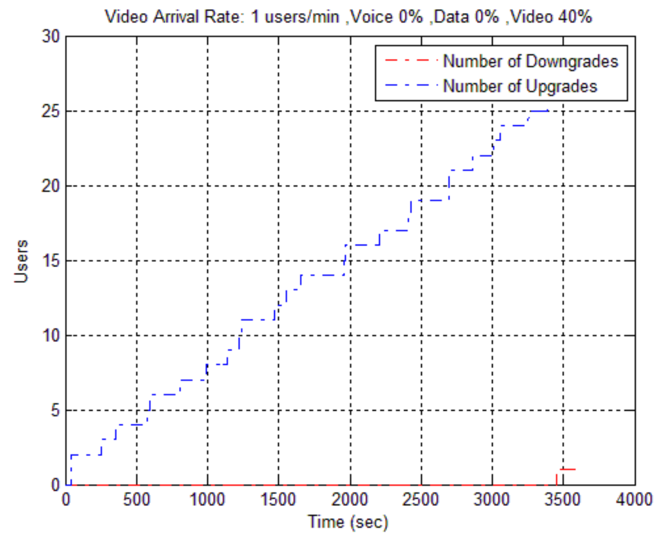
Συγκρίνοντας τους δύο μηχανισμούς είναι εμφανές ότι ο μηχανισμός CAC που προτείνουμε εξυπηρετεί αρκετά μεγαλύτερο αριθμό χρηστών αφού κάνει καλύτερο channel utilization. Το γεγονός όμως αυτό έχει και το τίμημά του, αφού, όπως φάνηκε στα αποτελέσματα της ενότητας 4.2.1, έχουμε αρκετά μεγαλύτερο αριθμό παραβιάσεων σε QoS για τον δεύτερο μηχανισμό σε σχέση με τον πρώτο μηχανισμό CAC.

Τα παραπάνω συμπεράσματα σχετικά με τις υποβαθμίσεις και αναβαθμίσεις των βίντεο χρηστών αναπαριστώνται στα σχήματα που ακολουθούν, σε καθένα από τα οποία παρουσιάζονται δύο κυματομορφές. Η μία κυματομορφή αφορά στις αναβαθμίσεις (μπλε κυματομορφή) και η άλλη αφορά στις υποβαθμίσεις (κόκκινη κυματομορφή). Τα Σχήματα με άρτιο αριθμό αφορούν στον πρώτο μηχανισμό (χρήση ισοδύναμου bandwidth), ενώ εκείνα με περιττό αριθμό αφορούν στον δεύτερο μηχανισμό CAC (χρήση μοντέλων). Παρουσιάζονται περιπτώσεις για ρυθμό άφιξης βίντεο χρηστών ίσο με 1, 5 και 10 χρήστες/λεπτό. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη των κυματομορφών αυτών είναι όμοια με τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τον πρώτο τρόπο υποβάθμισης χρηστών.

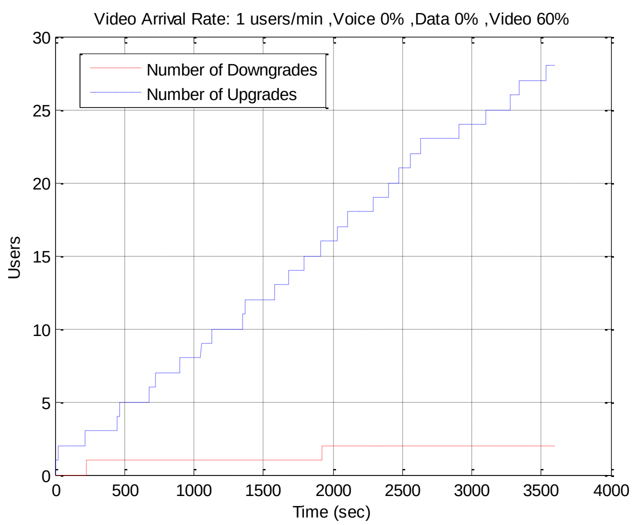
- *λ=1 βίντεο χρήστης/λεπτό*



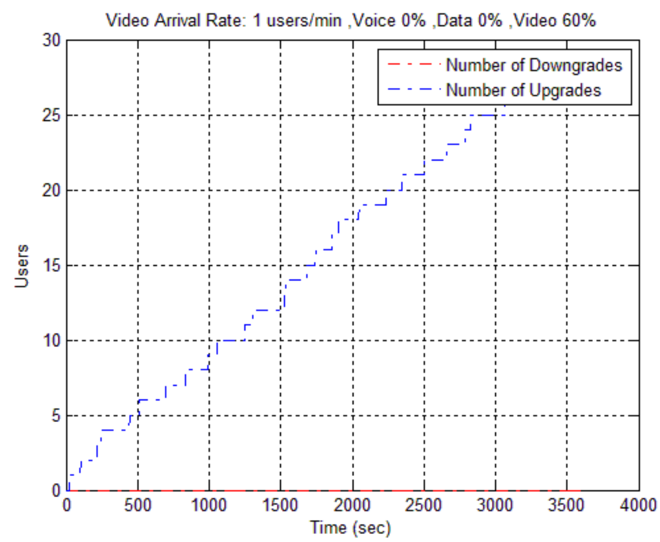
Σχήμα 158



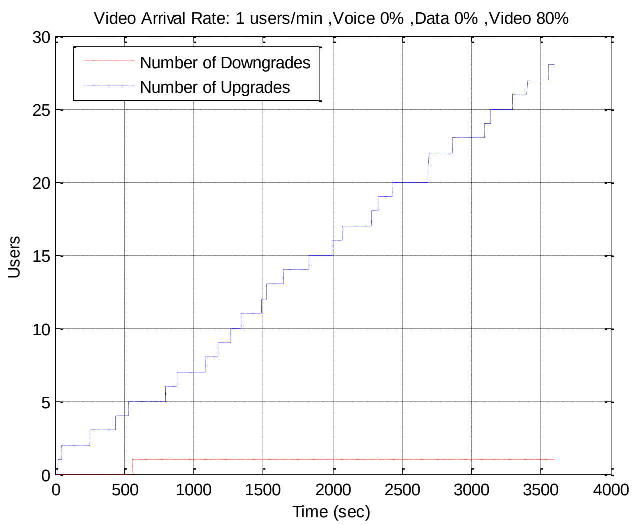
Σχήμα 159



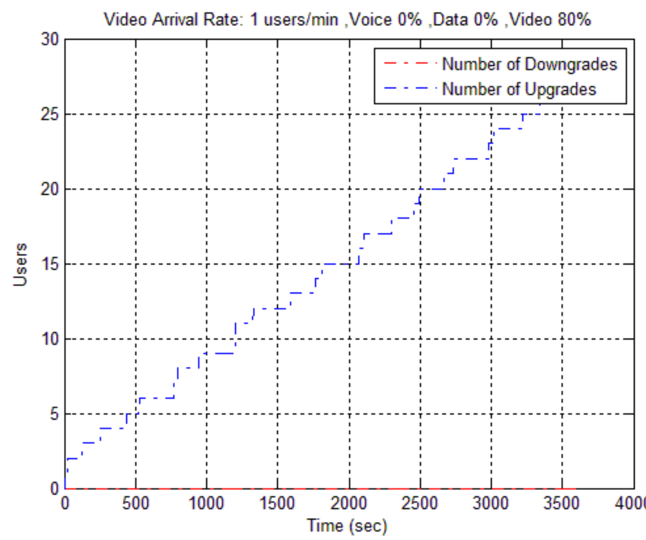
Σχήμα 160



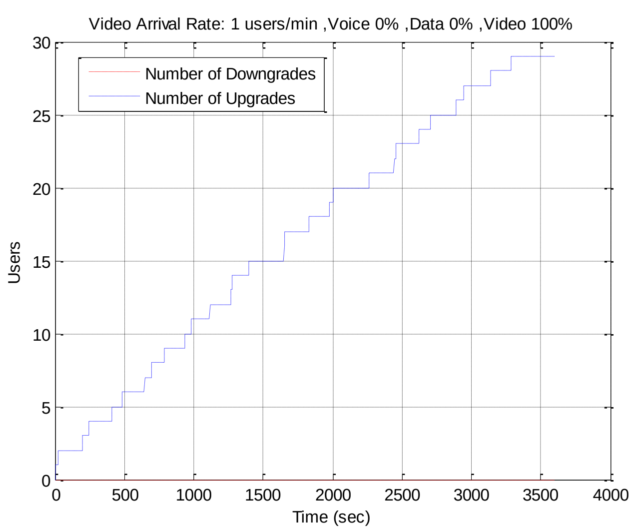
Σχήμα 161



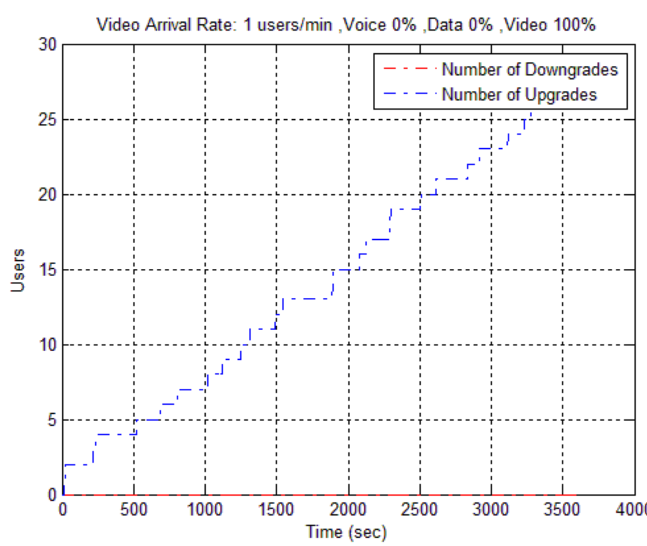
Σχήμα 162



Σχήμα 163

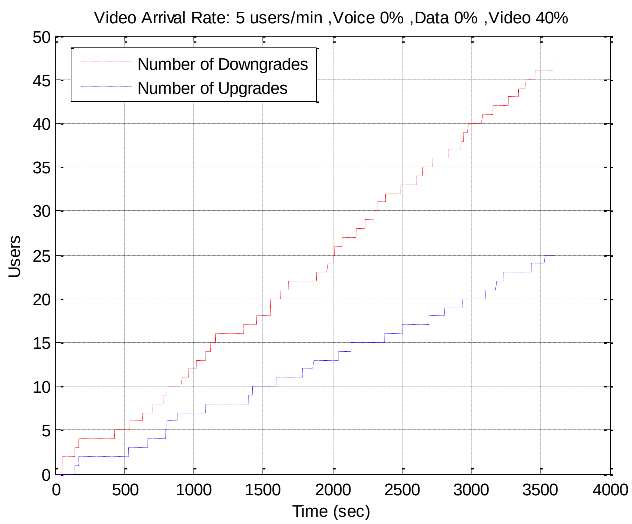


Σχήμα 164

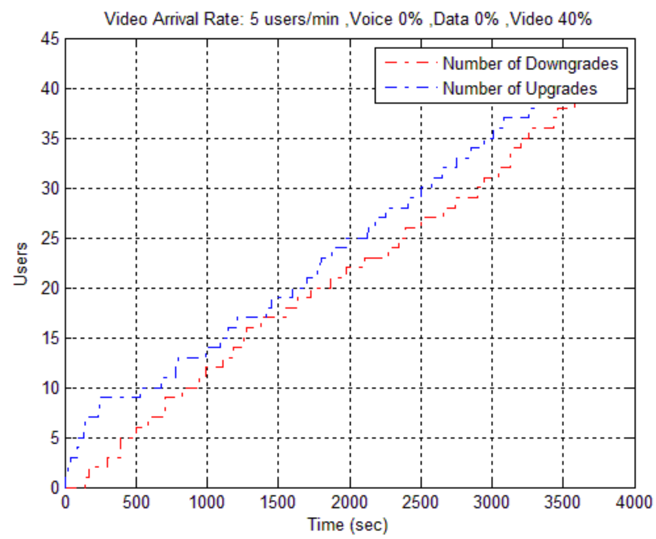


Σχήμα 165

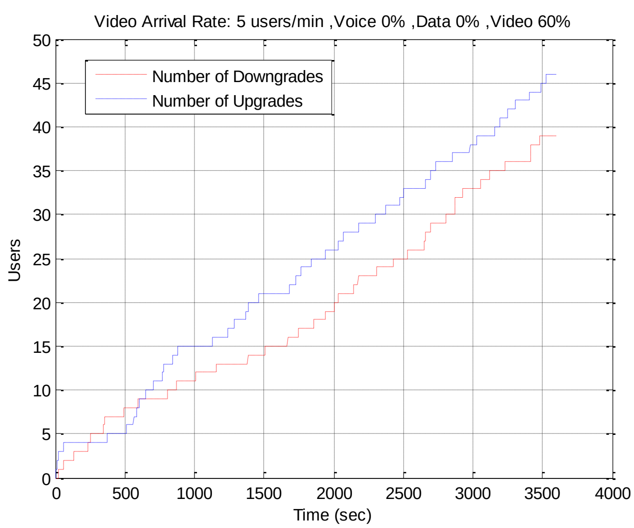
- *λ=5 βίντεο χρήστες/λεπτό*



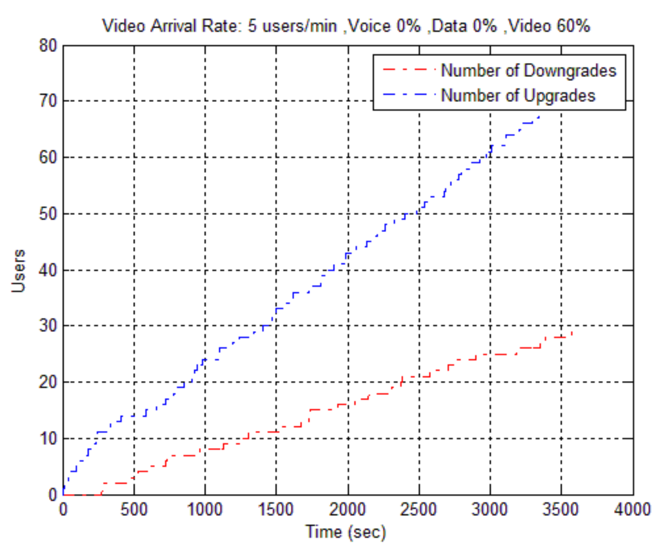
Σχήμα 166



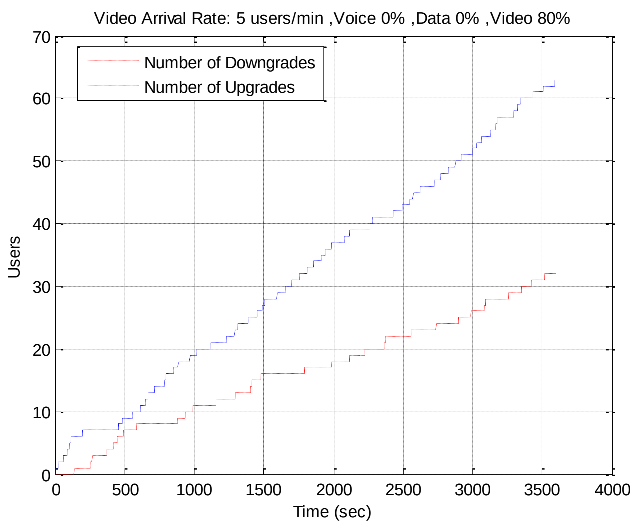
Σχήμα 167



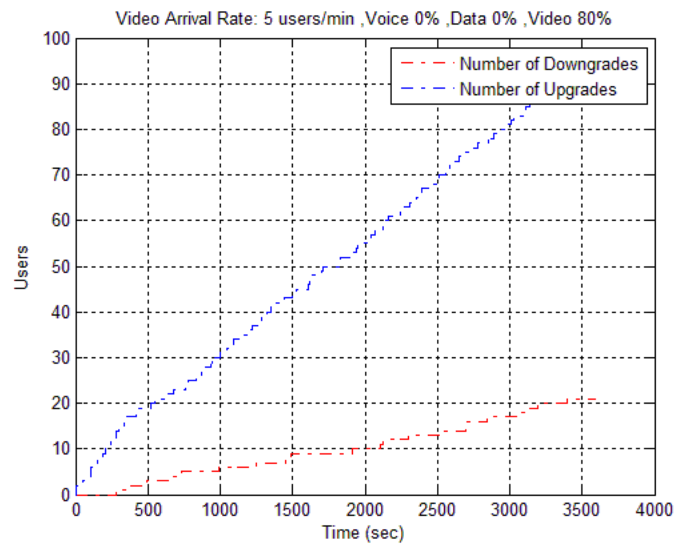
Σχήμα 168



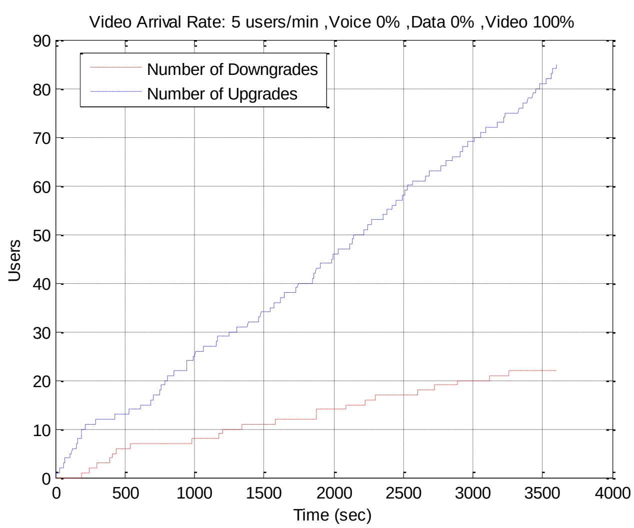
Σχήμα 169



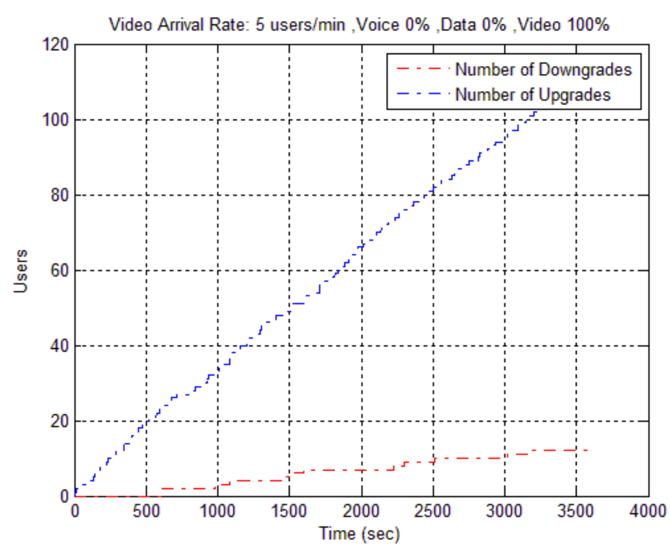
Σχήμα 170



Σχήμα 171

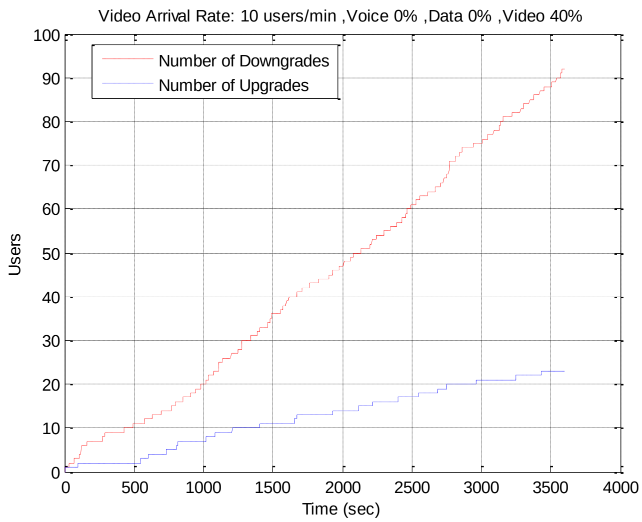


Σχήμα 172

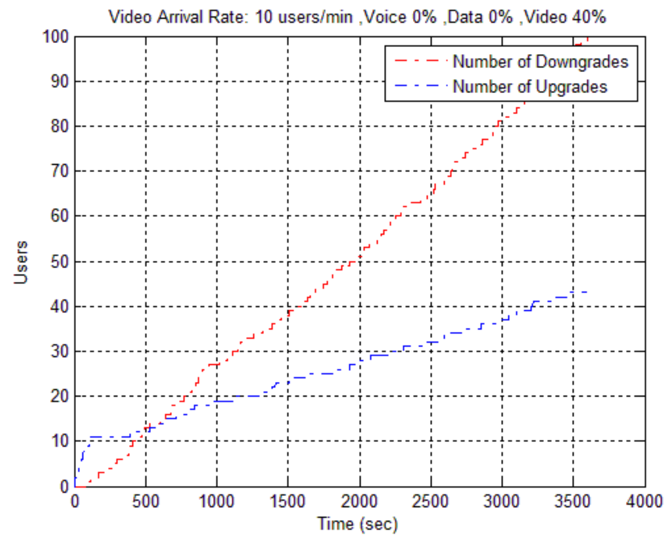


Σχήμα 173

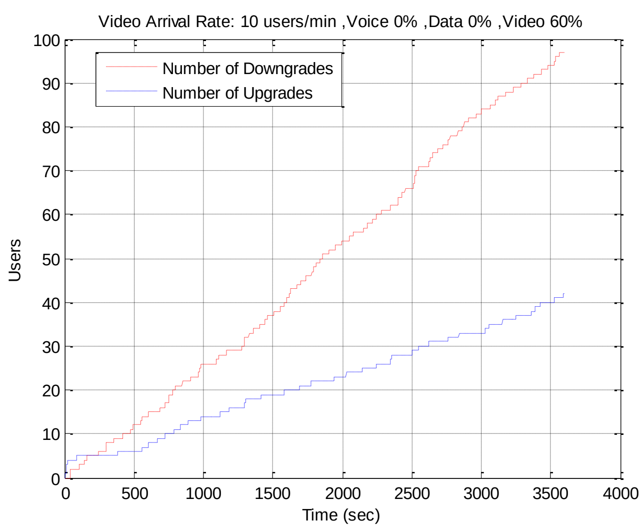
- *λ=10 βίντεο χρήστες/λεπτό*



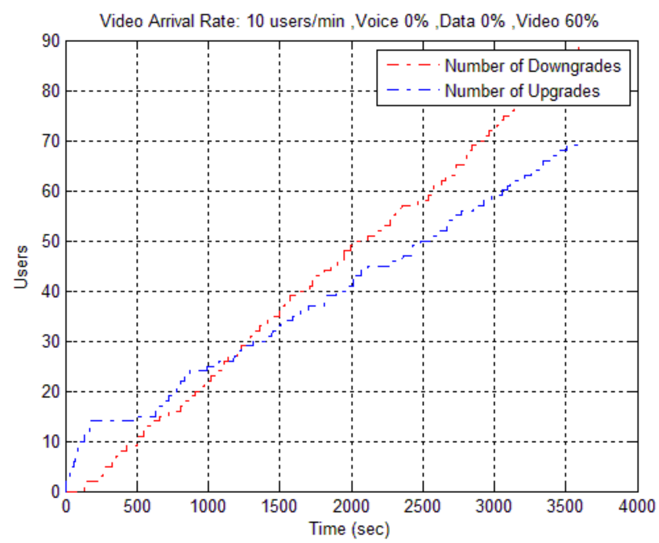
Σχήμα 174



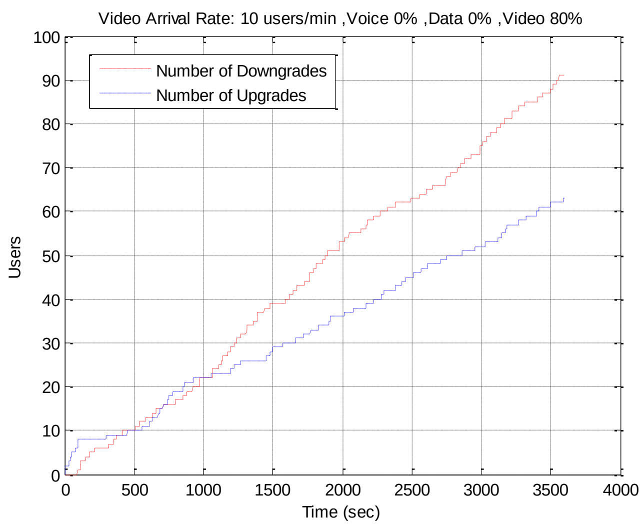
Σχήμα 175



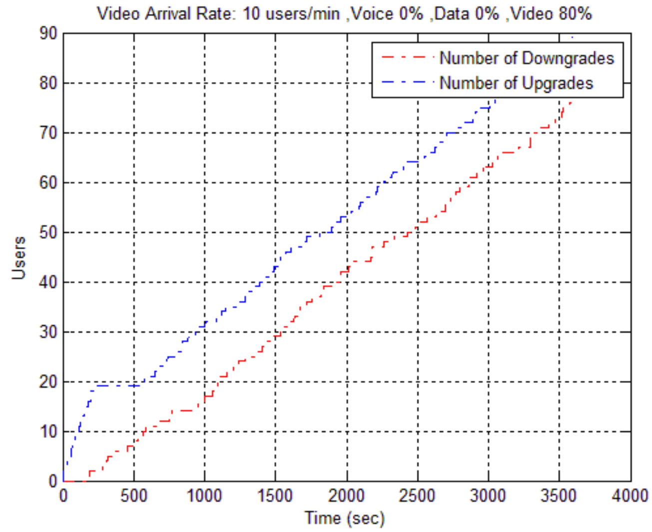
Σχήμα 176



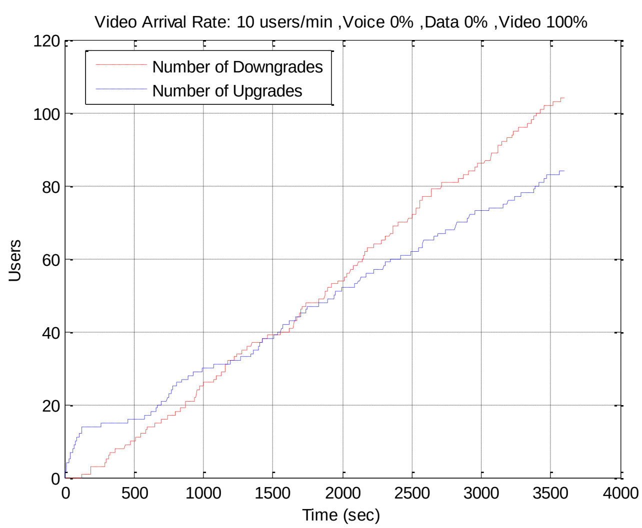
Σχήμα 177



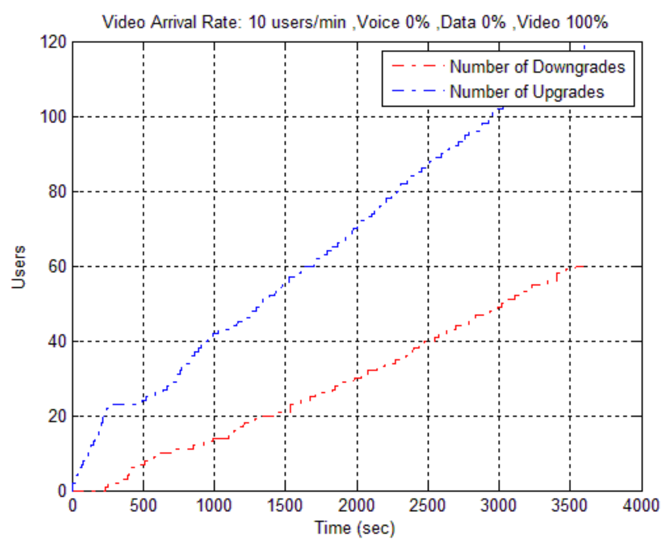
Σχήμα 178



Σχήμα 179



Σχήμα 180



Σχήμα 181

Τέλος, επικεντρωνόμαστε ξανά στους handoff χρήστες βίντεο. Ο Πίνακας 17 περιέχει τρεις μετρικές που αφορούν αυτό το είδος χρηστών, όπως ακριβώς και ο Πίνακας 11 στην ενότητα 4.1.3 :

1. Το ποσοστό των χρηστών που καταφέρνουν να εισέλθουν στο δίκτυο χωρίς υποβάθμιση.

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

Ο ρυθμός άφιξης των βίντεο χρηστών είναι λ=10 βίντεο χρήστες/λεπτό.

Φορτία Κίνησης	**CAC με χρήση ισοδύναμου bandwidth**			**CAC με χρήση μοντέλων**		
Maximum Video Capacity (Mbps)	**Video Users without Degradation**	**Video Users Degraded by CAC**	**Video Users rejected by CAC**	**Video Users without Degradation**	**Video Users Degraded by CAC**	**Video Users rejected by CAC**
8 (40%)	50.81%	16.39%	32.78%	72.7273%	19.697%	7.57576%
10 (50%)	67.21%	18.03%	14.75%	77.7778%	20.6349%	1.5873%
12 (60%)	75.75%	18.18%	6.060%	81.25%	17.1875%	1.5625%
14 (70%)	78.33%	20.00%	1.666%	81.9672%	18.0328%	0%
16 (80%)	78.68%	19.67%	1.639%	81.3559%	18.6441%	0%
18 (90%)	83.07%	16.92%	0%	84.375%	15.625%	0%
20 (100%)	83.60%	16.39%	0%	86.2069%	13.7931%	0%
22 (110%)	83.15%	16.84%	0%	85.2459%	14.7541%	0%

Πίνακας 17 : Μετρικές για handoff βίντεο χρήστες

Όσον αφορά στον πρώτο μηχανισμό CAC (χρήση ισοδύναμου bandwidth) συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του Πίνακα 17 με τα αποτελέσματα του Πίνακα 11 παρατηρούμε ότι με τη χρήση του δεύτερου τρόπου υποβάθμισης, το ποσοστό των αιτήσεων των χρηστών βίντεο που απορρίπτεται είναι πολύ μικρότερο, καθώς γίνεται καλύτερη χρήση του bandwidth του καναλιού. Όσον αφορά στον δεύτερο μηχανισμό CAC (χρήση μοντέλων) τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τους handoff χρήστες είναι περίπου ίδια και για τους δύο τρόπους υποβάθμισης των βίντεο χρηστών. Αυτό συμβαίνει διότι και στις δύο περιπτώσεις η εκτίμηση που κάνει ο δεύτερος μηχανισμός είναι περίπου ίδια με μία μεγαλύτερη υποεκτίμηση στον δεύτερο τρόπο υποβάθμισης όσον αφορά στο bandwidth που εκτιμά ότι θα δεσμευτεί από τους βίντεο χρήστες. Αυτό δικαιολογεί και τις μικρές αποκλίσεις στα αποτελέσματα. Για μια ακόμα φορά, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του Πίνακα 17, ο μηχανισμός μας επιτυγχάνει πολύ καλύτερα αποτελέσματα.

5. Rigid Division – Based CAC

Όπως αναφέρθηκε στην περίληψη της διπλωματικής εργασίας, αλλά και εμβόλιμα στο κείμενο, σχεδιάσαμε και υλοποιήσαμε ένα βελτιωμένο CAC μηχανισμό που χρησιμοποιεί μοντέλα για την δέσμευση του bandwidth των βίντεο χρηστών με σκοπό την παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών στους μεταπεμπόμενους χρήστες (handoff users). Στην περίπτωση των handoff κλήσεων, η συμπεριφορά του CAC μηχανισμού είναι ιδιαίτερα σημαντική προκειμένου να αποφευχθεί ο τερματισμός της κλήσης του μεταπεμπόμενου χρήστη.

Ο βελτιωμένος μηχανισμός CAC ανήκει στην κατηγορία rigid division-based CAC μηχανισμών, αφού δεσμεύουμε ένα ποσοστό του bandwidth του καναλιού για αποκλειστική χρήση από τους handoff χρήστες βίντεο και δεδομένων. Ο αριθμός των χρηστών φωνής είναι σταθερός κατά την διάρκεια της προσομοίωσης άρα θεωρούμε ότι δεν υπάρχουν handoff χρήστες φωνής.

5.1 Περιγραφή του Rigid Division – Based CAC

Για να επιλέξουμε ποιον μηχανισμό θα βελτιώσουμε σχετικά με την εξυπηρέτηση των handoff χρηστών εκμεταλλευτήκαμε τα αποτελέσματα της σύγκρισης των δύο μηχανισμών CAC στο Κεφάλαιο 4. Εκεί, δείξαμε ότι ο πιο αποδοτικός μηχανισμός είναι εκείνος ο οποίος χρησιμοποιεί μοντέλα για τη δέσμευση του bandwidth των βίντεο χρηστών καθώς εκμεταλλεύεται με τον καλύτερο τρόπο το bandwidth του καναλιού διατηρώντας σε χαμηλό επίπεδο τις παραβιάσεις σε QoS των χρηστών του συστήματος. Επιπρόσθετα, εξυπηρετούμε καλύτερα τους χρήστες του δικτύου όταν χρησιμοποιούμε τον πρώτο τρόπο υποβάθμισης των βίντεο χρηστών. Έτσι, επιλέξαμε να υλοποιήσουμε τον rigid division-based μηχανισμό πάνω στον δεύτερο μηχανισμό CAC με τον πρώτο τρόπο υποβάθμισης βίντεο χρηστών. Τον μηχανισμό αυτό ονομάζουμε Basic CAC για το υπόλοιπο της διπλωματικής.

Όσον αφορά στους handoff χρήστες δεσμεύουμε γι’ αυτούς bandwidth που αντιστοιχεί στο 10% της συνολικής κίνησης των χρηστών δεδομένων και βίντεο για το εκάστοτε σενάριο προσομοίωσης. Το υπόλοιπο 90% καλύπτεται από τους regular χρήστες βίντεο και δεδομένων, από τους χρήστες φωνής, που όπως αναφέραμε και παραπάνω θεωρούμε τον αριθμό τους σταθερό κατά την διάρκεια της κάθε προσομοίωσης, καθώς και από τους handoff χρήστες βίντεο και δεδομένων. Αρχικά θεωρήσαμε ότι το ποσοστό των χρηστών handoff είναι το 5% της συνολικής κίνησης, έπειτα αυξήσαμε αυτό το ποσοστό σε 10% και τέλος σε 20%. Για χάριν συντομίας, στο παρακάτω κείμενο, ο Rigid Division – Based μηχανισμός όπου θεωρούμε ότι το ποσοστό των handoff χρηστών είναι το 5% της συνολικής κίνησης θα ονομάζεται Rigid Division – Based CAC (1) και οι άλλοι δύο θα ονομάζονται Rigid Division – Based CAC (2) και (3) αντίστοιχα. Επίσης, προσομοιώσαμε και τον Basic CAC όταν το ποσοστό των handoff χρηστών είναι το 5% της συνολικής κίνησης και όταν αυτό το ποσοστό είναι το 20% της συνολικής κίνησης, έτσι ώστε η σύγκριση των αποτελεσμάτων των Basic CAC και Rigid Division – Based CAC να γίνει επί ίσοις όροις. Για χάριν συντομίας στο παρακάτω κείμενο, ο μηχανισμός Basic CAC όπου θεωρούμε ότι το ποσοστό των handoff χρηστών είναι το 5% της συνολικής κίνησης θα ονομάζεται Basic CAC (1) και οι άλλοι δύο θα ονομάζονται Basic CAC (2) και (3) αντίστοιχα.

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

- Στην περίπτωση των handoff χρηστών βίντεο, ο CAC μηχανισμός ελέγχει και πάλι εάν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth στο κανάλι αποκλειστικής χρήσης από τους handoff (10%) έτσι ώστε ο χρήστης να εισέλθει στο σύστημα. Αν ναι, τότε ο χρήστης εισέρχεται επιτυχώς. Διαφορετικά, ο μηχανισμός ελέγχει αν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth στο κανάλι για τους regular χρήστες (90%). 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 αποδέχεται την υποβάθμιση αλλά και πάλι δεν μπορεί να εισέλθει μέσα στο σύστημα λόγω ελλιπούς bandwidth, ακολουθείται η εξής διαδικασία: ο CAC μηχανισμός ψάχνει να βρει χρήστες βίντεο που έχουν εισέλθει στο κανάλι των regular χρηστών (90%) και 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 έως ότου βρεθεί 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, τότε ξεκινάει η ίδια διαδικασία υποβαθμίσεων για το κανάλι αποκλειστικής χρήσης από τους handoff χρήστες (10%). Στην περίπτωση που υποβαθμισθούν όλοι οι δεχόμενοι, βάσει συμβολαίου, υποβάθμιση χρήστες που βρίσκονται στο κανάλι αποκλειστικής χρήσης και το bandwidth εξακολουθεί να μην είναι αρκετό για την είσοδο του χρήστη, η κλήση handoff τερματίζεται.

- Στην περίπτωση των handoff χρηστών δεδομένων (e-mails), ακολουθείται η ίδια διαδικασία, με μόνη διαφορά ότι δεν εξετάζεται η δυνατότητα υποβάθμισης ενός χρήστη δεδομένων, αφού τέτοια δυνατότητα δεν υπάρχει στο σύστημά μας.

5.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων Rigid Division – Based CAC και Basic CAC

Κάθε αποτέλεσμα που παρουσιάζεται στις επόμενες σελίδες, πρόεκυψε 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 και συγκρίναμε τις συμπεριφορές των Simple CAC και Rigid Division – Based CAC μηχανισμών στην περίπτωση της ταυτόχρονης χρήσης του καναλιού από χρήστες φωνής, email και βίντεο MPEG-4. Τα τελικά αποτελέσματα χωρίζονται σε τρείς μεγάλες ενότητες (ανάλογα με το ποσοστό του δεσμευόμενου bandwidth για handoff – 5%, 10%, 20%) ενώ κάθε κατηγορία χωρίζεται σε 3 υποενότητες.

5.2.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων Rigid Division – Based CAC (1) και Basic CAC (1)

Σε αυτή την Ενότητα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα του Rigid Division – Based CAC και του Basic CAC, όταν το ποσοστό της handoff κίνησης αποτελεί το 5% της συνολικής κίνησης του δικτύου.

Προκειμένου να μελετήσουμε και να συγκρίνουμε τη συμπεριφορά του δικτύου για τους handoff χρήστες 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 κάθε ένα από τα σενάρια δημιουργήσαμε τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς κίνησης για φωνή, δεδομένα και βίντεο. Τα ποσοστά των handoff χρηστών βίντεο και δεδομένων για όλα τα σενάρια απεικονίζονται στους Πίνακες 18 και 19. 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.

Στον Πίνακα 18 απεικονίζονται όλα τα σενάρια των προσομοιώσεών μας που αντιστοιχούν στη γέννηση κίνησης με ρυθμό ίσο προς 40%-140% του bandwidth του καναλιού. Η στήλη με το όνομα “**Video Users without Degradation**” του Πίνακα 18 δηλώνει το ποσοστό των handoff χρηστών βίντεο που εισέρχονται στο σύστημα χωρίς υποβάθμιση. Η στήλη με το όνομα “**Video Users Degraded by CAC**” δηλώνει το ποσοστό των handoff χρηστών βίντεο που εισέρχονται στο σύστημα χάρις στην υποβάθμισή τους. Τέλος, η στήλη “**Video Users Rejected by CAC**” δηλώνει το ποσοστό των handoff χρηστών βίντεο που δεν καταφέρνουν να εισέλθουν στο δίκτυο.

Φορτία Κίνησης			Basic CAC results for handoff video users			Rigid division – based CAC results for handoff video users		
Number of Voice Users	**Messages per second**	**Maximum Video Capacity (Mbps)**	**Video Users without Degradation**	**Video Users Degraded by CAC**	**Video Users rejected by CAC**	**Video Users without Degradation**	**Video Users Degraded by CAC**	**Video Users rejected by CAC**
214 (16%)	24 (4%)	4 (20%)	55.1724%	13.7931%	31.0345%	72.973%	8.10811%	18.9189%
267 (20%)	24 (4%)	3.2 (16%)	32.2581%	12.9032%	54.8387%	74.0741%	7.40741%	18.5185%
320 (24%)	24 (4%)	2.4 (12%)	34.4828%	3.44828%	62.069%	37.1429%	11.4286%	51.4286%
267 (20%)	30 (5%)	5 (25%)	61.2903%	12.9032%	25.8065%	81.8182%	12.1212%	6.06061%
334 (25%)	30 (5%)	4 (20%)	44.8276%	17.2414%	37.931%	70.9677%	16.129%	12.9032%
400 (30%)	30 (5%)	3 (15%)	23.5294%	14.7059%	61.7647%	56.4103%	10.2564%	33.3333%
320 (24%)	36 (6%)	6 (30%)	60.7143%	21.4286%	17.8571%	81.25%	15.625%	3.125%
400 (30%)	36 (6%)	4.8 (24%)	55.2632%	18.4211%	26.3158%	80%	13.3333%	6.66667%
480 (36%)	36 (6%)	3.6 (18%)	43.2432%	13.5135%	43.2432%	60.7143%	14.2857%	25%
374 (28%)	42 (7%)	7 (35%)	71.4286%	20%	8.57143%	86.2069%	10.3448%	3.44828%
467 (35%)	42 (7%)	5.6 (28%)	71.4286%	14.2857%	14.2857%	75%	19.4444%	5.55556%
560 (42%)	42 (7%)	4.2 (21%)	46.4286%	10.7143%	42.8571%	73.3333%	20%	6.66667%
427 (32%)	48 (8%)	8 (40%)	67.6471%	26.4706%	5.88235%	85.2941%	11.7647%	2.94118%
534 (40%)	48 (8%)	6.4 (32%)	75.8621%	10.3448%	13.7931%	88.8889%	11.1111%	0%
640 (48%)	48 (8%)	4.8 (24%)	75%	10.7143%	14.2857%	71.875%	21.875%	6.25%
480 (36%)	54 (9%)	9 (45%)	65.625%	9.375%	25%	80.7692%	3.84615%	15.3846%
600 (45%)	54 (9%)	7.2 (36%)	53.125%	12.5%	34.375%	82.3529%	8.82353%	8.82353%
720 (54%)	54 (9%)	5.4 (27%)	33.3333%	13.3333%	53.3333%	62.5%	9.375%	28.125%
534 (40%)	59 (10%)	10 (50%)	51.2195%	4.87805%	43.9024%	74.1935%	0%	25.8065%
667 (50%)	59 (10%)	8 (40%)	33.3333%	5.55556%	61.1111%	54.5455%	3.0303%	42.4242%
800 (60%)	59 (10%)	6 (30%)	31.0345%	3.44828%	65.5172%	53.3333%	3.33333%	43.3333%
587 (44%)	65 (11%)	11 (55%)	55.1724%	3.44828%	41.3793%	77.4194%	3.22581%	19.3548%
734 (55%)	65 (11%)	8.8 (44%)	50%	5.88235%	44.1176%	80%	0%	20%
880 (66%)	65 (11%)	6.6 (33%)	37.1429%	2.85714%	60%	52.7778%	2.77778%	44.4444%
640 (48%)	71 (12%)	12 (60%)	72.4138%	3.44828%	24.1379%	81.25%	3.125%	15.625%
800 (60%)	71 (12%)	9.6 (48%)	44.1176%	8.82353%	47.0588%	80%	0%	20%
960 (72%)	71 (12%)	7.2 (36%)	40.4762%	4.7619%	54.7619%	75%	0%	25%
694 (52%)	77 (13%)	13 (65%)	60.6061%	6.06061%	33.3333%	70.5882%	2.94118%	26.4706%
867 (65%)	77 (13%)	10.4 (52%)	55.1724%	6.89655%	37.931%	75.8621%	0%	24.1379%
1040(78%)	77 (13%)	7.8 (39%)	46.875%	3.125%	50%	62.5%	0%	37.5%
747 (56%)	83 (14%)	14 (70%)	56.0976%	4.87805%	39.0244%	75.7576%	3.0303%	21.2121%

934 (70%)	83 (14%)	11.2 (56%)	46.4286%	7.14286%	46.4286%	58.5366%	7.31707%	34.1463%
1120(84%)	83 (14%)	8.4 (42%)	42.3077%	3.84615%	53.8462%	65.8537%	0%	34.1463%

Πίνακας 18 : Μετρικές για τους handoff βίντεο χρήστες, για ποσοστό handoff κίνησης 5%.

Στον Πίνακα 19 απεικονίζονται όλα τα σενάρια των προσομοιώσεών μας που αντιστοιχούν στην γέννηση κίνησης με ρυθμό ίσο προς 40%-140% του bandwidth του καναλιού. Η στήλη με το όνομα “**Accepted Data Users**” του Πίνακα 19 δηλώνει το ποσοστό των handoff χρηστών δεδομένων που καταφέρνουν να εισέλθουν στο σύστημα. Τέλος, η στήλη “ **Data Users Rejected by CAC**” δηλώνει το ποσοστό των handoff χρηστών δεδομένων που δεν καταφέρνουν να εισέλθουν στο δίκτυο.

Φορτία Κίνησης			**Basic CAC results for handoff data users**		**Rigid division – based CAC results for handoff data users**	
Number of Voice Users	**Messages per second**	**Maximum Video Capacity (Mbps)**	**Accepted Data Users**	**Data Users rejected by CAC**	**Accepted Data Users**	**Data Users rejected by CAC**
214 (16%)	24 (4%)	4 (20%)	100%	0%	100%	0%
267 (20%)	24 (4%)	3.2 (16%)	100%	0%	100%	0%
320 (24%)	24 (4%)	2.4 (12%)	100%	0%	100%	0%
267 (20%)	30 (5%)	5 (25%)	100%	0%	100%	0%
334 (25%)	30 (5%)	4 (20%)	100%	0%	100%	0%
400 (30%)	30 (5%)	3 (15%)	100%	0%	100%	0%
320 (24%)	36 (6%)	6 (30%)	100%	0%	100%	0%
400 (30%)	36 (6%)	4.8 (24%)	100%	0%	100%	0%
480 (36%)	36 (6%)	3.6 (18%)	100%	0%	100%	0%
374 (28%)	42 (7%)	7 (35%)	100%	0%	100%	0%
467 (35%)	42 (7%)	5.6 (28%)	100%	0%	100%	0%
560 (42%)	42 (7%)	4.2 (21%)	100%	0%	100%	0%
427 (32%)	48 (8%)	8 (40%)	100%	0%	100%	0%
534 (40%)	48 (8%)	6.4 (32%)	100%	0%	100%	0%
640 (48%)	48 (8%)	4.8 (24)	100%	0%	100%	0%
480 (36%)	54 (9%)	9 (45%)	97.6819%	2.3180%	98.6701%	1.32986%
600 (45%)	54 (9%)	7.2 (36%)	99.2446%	0.7554%	99.6155%	0.384517%
720 (54%)	54 (9%)	5.4 (27%)	98.341%	1.659%	98.6509%	1.34912%
534 (40%)	59 (10%)	10 (50%)	70.943%	29.057%	69.3742%	30.6258%

667 (50%)	59 (10%)	8 (40%)	71.408	28.592	69.933%	30.067%
800 (60%)	59 (10%)	6 (30%)	70.012%	29.988%	68.35%	31.65%
587 (44%)	65 (11%)	11 (55%)	22.540%	77.460%	28.1367%	71.8633%
734 (55%)	65 (11%)	8.8 (44%)	14.600%	85.400%	24.5575%	75.4425%
880 (66%)	65 (11%)	6.6 (33%)	13.371%	86.629%	14.3157%	85.6843%
640 (48%)	71 (12%)	12 (60%)	4.717%	95.283%	8.45611%	91.5439%
800 (60%)	71 (12%)	9.6 (48%)	5.009%	94.991%	4.37417%	95.6258%
960 (72%)	71 (12%)	7.2 (36%)	2.885%	97.115%	2.18055%	97.8194%
694 (52%)	77 (13%)	13 (65%)	6.479%	93.521%	5.06733%	94.9327%
867 (65%)	77 (13%)	10.4 (52%)	5.475%	94.525%	2.38845%	97.6116%
1040(78%)	77 (13%)	7.8 (39%)	2.371%	97.629%	1.48993%	98.5101%
747 (56%)	83 (14%)	14 (70%)	4.648%	95.352%	5.54813%	94.4519%
934 (70%)	83 (14%)	11.2 (56%)	4.295%	95.705%	2.40153%	97.5985%
1120(84%)	83 (14%)	8.4 (42%)	1.194%	98.806%	0.80526%	99.1947%

Πίνακας 19 : Μετρικές για τους handoff χρήστες δεδομένων, για ποσοστό handoff κίνησης 5%.

Στον Πίνακα 20 που ακολουθεί, απεικονίζονται όλα τα σενάρια προσομοιώσεών μας που αντιστοιχούν στην γέννηση κίνησης με ρυθμό ίσο προς 40% - 140% του bandwidth του καναλιού και περιέχουν το ποσοστό των απωλειών στα πακέτα των χρηστών φωνής, τον αριθμό των μηνυμάτων email, των οποίων ο χρόνος για την αποστολή τους ξεπερνάει τη μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση (5 δευτερόλεπτα), και το ποσοστό των πακέτων βίντεο που παραβιάζουν τα QoS των βίντεο χρηστών. Ο Πίνακας 20 περιέχει τις παραβιάσεις σε QoS για όλους τους χρήστες του δικτύου και όχι μόνο για τους handoff.

Φορτία Κίνησης			**Basic CAC results for all users**			**Rigid division – based CAC results for all users**		
Number of Voice Users	**Messages per second**	**Maximum Video Capacity (Mbps)**	**Dropped Voice Packets (%)**	**Number of messages with excessive delay**	**Dropped Video Packets (%)**	**Dropped Voice Packets (%)**	**Number of messages with excessive delay**	**Dropped Video Packets (%)**
214 (16%)	24 (4%)	4 (20%)	0	0	0	0	0	0
267 (20%)	24 (4%)	3.2 (16%)	0	0	0	0	0	0
320 (24%)	24 (4%)	2.4 (12%)	0	0	0	0	0	0
267 (20%)	30 (5%)	5 (25%)	0	0	0	0	0	0
334 (25%)	30 (5%)	4 (20%)	0	0	0	0	0	0
400 (30%)	30 (5%)	3 (15%)	0	0	0	0	0	0

320 (24%)	36 (6%)	6 (30%)	0	0	0	0	0	0
400 (30%)	36 (6%)	4.8 (24%)	0	0	0	0	0	0
480 (36%)	36 (6%)	3.6 (18%)	0	0	0	0	0	0
374 (28%)	42 (7%)	7 (35%)	0.000630	0	0.000029	0.000171	0	0
467 (35%)	42 (7%)	5.6 (28%)	0	0	0	0.000013	0	0
560 (42%)	42 (7%)	4.2 (21%)	0	0	0	0	0	0
427 (32%)	48 (8%)	8 (40%)	0.001389	1	0	0.01506	77	0
534 (40%)	48 (8%)	6.4 (32%)	0.000242	0	0	0.000221	0	0
640 (48%)	48 (8%)	4.8 (24)	0.000002	0	0	0	1	0
480 (36%)	54 (9%)	9 (45%)	0.021080	285	0	0.07588	850	0.000024
600 (45%)	54 (9%)	7.2 (36%)	0.003444	263	0	0.003836	186	0
720 (54%)	54 (9%)	5.4 (27%)	0.000176	114	0	0.000546	410	0
534 (40%)	59 (10%)	10 (50%)	0.510500	3228	0.000212	0.9866	9190	0
667 (50%)	59 (10%)	8 (40%)	0.178600	2966	0	0.4355	7083	0
800 (60%)	59 (10%)	6 (30%)	0.069000	2145	0	0.3902	6437	0
587 (44%)	65 (11%)	11 (55%)	6.777	1962	0.000249	6.044	6528	0.0002018
734 (55%)	65 (11%)	8.8 (44%)	3.671	1706	0	4.129	5672	0
880 (66%)	65 (11%)	6.6 (33%)	2.496	1519	0	5.087	3700	0
640 (48%)	71 (12%)	12 (60%)	20.58	161	0.002609	20.25	983	0.001743
800 (60%)	71 (12%)	9.6 (48%)	15.51	100	0.000020	16.83	168	0.0001139
960 (72%)	71 (12%)	7.2 (36%)	12.61	58	0	11.43	101	0
694 (52%)	77 (13%)	13 (65%)	34.66	128	0.014900	32.79	436	0.00556
867 (65%)	77 (13%)	10.4 (52%)	27.98	100	0.000123	28.14	121	0
1040(78%)	77 (13%)	7.8 (39%)	22.57	26	0.000005	23.94	34	0
747 (56%)	83 (14%)	14 (70%)	46.9	93	0.063290	45.08	99	0.0594
934 (70%)	83 (14%)	11.2 (56%)	37.68	74	0.000678	39.58	73	0.0005765
1120(84%)	83 (14%)	8.4 (42%)	31.57	35	0	31.39	34	0

Πίνακας 20 : Μετρικές για παραβιάσεις σε QoS για όλα τα είδη κίνησης, για ποσοστό handoff κίνησης 5%.

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 18 δείχνουν ότι ο Rigid Division – Based CAC εξυπηρετεί πολύ καλύτερα τους handoff βίντεο χρήστες σε σχέση με τον Basic CAC. Το ποσοστό των handoff βίντεο χρηστών που απορρίπτονται από τον Basic CAC είναι ακόμα και 42% μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό του Rigid Division – Based CAC. Αυτό, όπως είναι φυσικό, έγκειται στην ύπαρξη του καναλιού αποκλειστικής χρήσης από τους handoff χρήστες. Όσον αφορά στους χρήστες δεδομένων (Πίνακας 19) παρατηρούμε ότι το ποσοστό των απορριφθέντων χρηστών δεδομένων είναι μικρότερο για τον Rigid Division – Based CAC κατά ένα ποσοστό της τάξης του 1-1.5%, ενώ σε ελάχιστες περιπτώσεις ο Basic CAC φαίνεται να εξυπηρετεί καλύτερα τους handoff χρήστες δεδομένων. Αυτό συμβαίνει διότι σχεδόν όλο το κανάλι αποκλειστικής χρήσης (10% του συνολικού) καλύπτεται πρώτα από τους handoff βίντεο χρήστες, αφού έχουν προτεραιότητα έναντι των χρηστών δεδομένων και ένα μικρό ποσοστό καλύπτεται από τους τελευταίους. Ο Πίνακας 20 όπως αναφέραμε και παραπάνω παρουσιάζει τις παραβιάσεις σε QoS για όλα τα είδη κίνησης στο σύστημα. Μελετώντας τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου

Πίνακα παρατηρούμε ότι για τους χρήστες φωνής και βίντεο οι παραβιάσεις σε QoS είναι περίπου ίδιες και για τους δύο μηχανισμούς CAC. Αντίθετα, για τον μηχανισμό Rigid Division – Based CAC ο αριθμός των μηνυμάτων email των οποίων ο χρόνος για την αποστολή τους ξεπερνάει τη μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση των 5 δευτερολέπτων είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τον Basic CAC.

5.2.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων Rigid Division – Based CAC (2) και Basic CAC (2)

Σε αυτή την Ενότητα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα του Rigid Division – Based CAC και του Basic CAC, όταν το ποσοστό της handoff κίνησης αποτελεί το 10% της συνολικής κίνησης του δικτύου.

Παρακάτω παρουσιάζονται πίνακες που περιέχουν τα ίδια στοιχεία με αυτά των Πινάκων 18, 19 και 20 με την μόνη διαφορά ότι σε αυτή την περίπτωση το ποσοστό της handoff κίνησης είναι το 10% της συνολικής.

Φορτία Κίνησης			**Basic CAC results for handoff video users**			**Rigid division – based CAC results for handoff video users**		
Number of Voice Users	**Messages per second**	**Maximum Video Capacity (Mbps)**	**Video Users without Degradation**	**Video Users Degraded by CAC**	**Video Users rejected by CAC**	**Video Users without Degradation**	**Video Users Degraded by CAC**	**Video Users rejected by CAC**
214 (16%)	24 (4%)	4 (20%)	37.0968%	8.06452%	54.8387%	52.459%	8.19672%	39.3443%
267 (20%)	24 (4%)	3.2 (16%)	26.2295%	6.55738%	67.2131%	36.0656%	11.4754%	52.459%
320 (24%)	24 (4%)	2.4 (12%)	21.3115%	4.91803%	73.7705%	35%	8.33333%	56.6667%
267 (20%)	30 (5%)	5 (25%)	44.6154%	9.23077%	46.1538%	59.0164%	14.7541%	26.2295%
334 (25%)	30 (5%)	4 (20%)	35.5932%	8.47458%	55.9322%	47.8873%	11.2676%	40.8451%
400 (30%)	30 (5%)	3 (15%)	26.7857%	5.35714%	67.8571%	46.2963%	11.1111%	42.5926%
320 (24%)	36 (6%)	6 (30%)	52.459%	14.7541%	32.7869%	67.6471%	16.1765%	16.1765%
400 (30%)	36 (6%)	4.8 (24%)	45.76257%	10.1695%	44.0678%	64.2857%	10.7143%	25%
480 (36%)	36 (6%)	3.6 (18%)	31.25%	6.25%	62.5%	51.7241%	13.7931%	34.4828%
374 (28%)	42 (7%)	7 (35%)	57.5758%	13.6364%	28.7879%	79.661%	10.1695%	10.1695%
467 (35%)	42 (7%)	5.6 (28%)	49.1803%	9.83607%	40.9836%	71.4286%	11.1111%	17.4603%
560 (42%)	42 (7%)	4.2 (21%)	38.7097%	6.45161%	54.8387%	52.459%	9.83607%	37.7049%
427 (32%)	48 (8%)	8 (40%)	70%	15%	15%	76.6667%	13.3333%	10%
534 (40%)	48 (8%)	6.4 (32%)	55.1724%	13.7931%	31.0345%	72.5806%	12.9032%	14.5161%
640 (48%)	48 (8%)	4.8 (24%)	40.3226%	9.67742%	50%	62.7119%	15.2542%	22.0339%

480 (36%)	54 (9%)	9 (45%)	60.3175%	7.93651%	31.746%	72.0588%	7.35294%	20.5882%
600 (45%)	54 (9%)	7.2 (36%)	46.3768%	7.24638%	46.3768%	59.1549%	9.85915%	30.9859%
720 (54%)	54 (9%)	5.4 (27%)	38.806%	7.46269%	53.7313%	50%	3.22581%	46.7742%
534 (40%)	59 (10%)	10 (50%)	51.6667%	5%	43.3333%	60%	3.33333%	36.6667%
667 (50%)	59 (10%)	8 (40%)	38.0952%	4.7619%	57.1429%	54.8387%	4.83871%	40.3226%
800 (60%)	59 (10%)	6 (30%)	34.375%	4.6875%	60.9375%	44.1176%	1.47059%	54.4118%
587 (44%)	65 (11%)	11 (55%)	54.4118%	4.41176%	41.1765%	69.5652%	2.89855%	27.5362%
734 (55%)	65 (11%)	8.8 (44%)	43.5484%	4.83871%	51.6129%	48.6111%	2.77778%	48.6111%
880 (66%)	65 (11%)	6.6 (33%)	34.9206%	4.7619%	60.3175%	45.4545%	3.0303%	51.5152%
640 (48%)	71 (12%)	12 (60%)	60%	5%	35%	70.1754%	3.50877%	26.3158%
800 (60%)	71 (12%)	9.6 (48%)	46.6667%	5%	48.3333%	57.377%	1.63934%	40.9836%
960 (72%)	71 (12%)	7.2 (36%)	35.8209%	4.47761%	59.7015%	50%	4.6875%	45.3125%
694 (52%)	77 (13%)	13 (65%)	60%	5%	35%	73.1343%	2.98507%	23.8806%
867 (65%)	77 (13%)	10.4 (52%)	52.459%	4.91803%	42.623%	63.1579%	3.50877%	33.3333%
1040(78%)	77 (13%)	7.8 (39%)	36.6667%	5%	58.3333%	50%	4.54545%	45.4545%
747 (56%)	83 (14%)	14 (70%)	66.6667%	5%	28.3333%	78.4615%	1.53846%	20%
934 (70%)	83 (14%)	11.2 (56%)	53.9683%	4.7619%	41.2698%	66.6667%	0%	33.3333%
1120(84%)	83 (14%)	8.4 (42%)	42.623%	4.91803%	52.459%	49.2308%	3.07692%	47.6923%

Πίνακας 21 : Μετρικές για τους handoff βίντεο χρήστες, για ποσοστό handoff κίνησης 10%.

Φορτία Κίνησης			**Basic CAC results for handoff data users**		**Rigid division – based CAC results for handoff data users**	
Number of Voice Users	**Messages per second**	**Maximum Video Capacity (Mbps)**	**Accepted Data Users**	**Data Users rejected by CAC**	**Accepted Data Users**	**Data Users rejected by CAC**
214 (16%)	24 (4%)	4 (20%)	100%	0%	100%	0%
267 (20%)	24 (4%)	3.2 (16%)	99.9885%	0.01153%	100%	0%
320 (24%)	24 (4%)	2.4 (12%)	100%	0%	100%	0%
267 (20%)	30 (5%)	5 (25%)	100%	0%	100%	0%
334 (25%)	30 (5%)	4 (20%)	99.9907%	0.0092850%	100%	0%
400 (30%)	30 (5%)	3 (15%)	100%	0%	100%	0%
320 (24%)	36 (6%)	6 (30%)	100%	0%	100%	0%
400 (30%)	36 (6%)	4.8 (24%)	10%	0%	100%	0%
480 (36%)	36 (6%)	3.6 (18%)	100%	0%	100%	0%
374 (28%)	42 (7%)	7 (35%)	100%	0%	100%	0%
467 (35%)	42 (7%)	5.6 (28%)	100%	0%	100%	0%

560 (42%)	42 (7%)	4.2 (21%)	99.993%	0.007%	100%	0%
427 (32%)	48 (8%)	8 (40%)	99.994%	0.006%	100%	0%
534 (40%)	48 (8%)	6.4 (32%)	99.994%	0.006%	100%	0%
640 (48%)	48 (8%)	4.8 (24)	99.9942%	0.0058%	100%	0%
480 (36%)	54 (9%)	9 (45%)	98.501%	1.499%	98.4561%	1.54387%
600 (45%)	54 (9%)	7.2 (36%)	98.3396%	1.6604%	98.3043%	1.6957%
720 (54%)	54 (9%)	5.4 (27%)	98.6812%	1.3188%	98.5504%	1.44965%
534 (40%)	59 (10%)	10 (50%)	71.5731%	28.4269%	63.3754%	36.6246%
667 (50%)	59 (10%)	8 (40%)	71.2792%	28.7208%	68.0631%	31.9369%
800 (60%)	59 (10%)	6 (30%)	73.1894%	26.8106%	73.3207%	26.6793%
587 (44%)	65 (11%)	11 (55%)	19.5324%	80.4676%	21.7433%	78.2567%
734 (55%)	65 (11%)	8.8 (44%)	16.84%	83.16%	15.0632%	84.93685
880 (66%)	65 (11%)	6.6 (33%)	13.8739%	86.1261%	15.9239%	84.0761%
640 (48%)	71 (12%)	12 (60%)	7.1741%	92.8259%	7.45655%	92.5434%
800 (60%)	71 (12%)	9.6 (48%)	4.473%	95.527%	4.92191%	95.0781%
960 (72%)	71 (12%)	7.2 (36%)	3.1466%	96.8534%	2.98257%	97.0174%
694 (52%)	77 (13%)	13 (65%)	6.1582%	93.8418%	5.42381%	94.5762%
867 (65%)	77 (13%)	10.4 (52%)	3.9212%	96.0788%	3.62627%	96.3737%
1040(78%)	77 (13%)	7.8 (39%)	2.1923%	97.8077%	2.10105%	97.8989%
747 (56%)	83 (14%)	14 (70%)	5. 5.8741%	94.1259%	5.92605%	94.074%
934 (70%)	83 (14%)	11.2 (56%)	3.6913%	96.3087%	3.18621%	96.8138%
1120(84%)	83 (14%)	8.4 (42%)	1.14233%	98.8577%	1.30856%	98.6914%

Πίνακας 22 : Μετρικές για τους handoff χρήστες δεδομένων, για ποσοστό handoff κίνησης 10%.

Φορτία Κίνησης			**Basic CAC results for all users**			**Rigid division – based CAC results for all users**		
Number of Voice Users	**Messages per second**	**Maximum Video Capacity (Mbps)**	**Dropped Voice Packets (%)**	**Number of messages with excessive delay**	**Dropped Video Packets (%)**	**Dropped Voice Packets (%)**	**Number of messages with excessive delay**	**Dropped Video Packets (%)**
214 (16%)	24 (4%)	4 (20%)	0	0	0	0	0	0
267 (20%)	24 (4%)	3.2 (16%)	0	0	0	0	0	0
320 (24%)	24 (4%)	2.4 (12%)	0	0	0	0	0	0
267 (20%)	30 (5%)	5 (25%)	0	0	0	0	0	0
334 (25%)	30 (5%)	4 (20%)	0	0	0	0	0	0

400 (30%)	30 (5%)	3 (15%)	0	0	0	0	0	0
320 (24%)	36 (6%)	6 (30%)	0	0	0	0	0	0
400 (30%)	36 (6%)	4.8 (24%)	0	0	0	0	0	0
480 (36%)	36 (6%)	3.6 (18%)	0	0	0	0	0	0
374 (28%)	42 (7%)	7 (35%)	0.0006304	0	0.000029	0.001877	0	0
467 (35%)	42 (7%)	5.6 (28%)	0	0	0	0	0	0
560 (42%)	42 (7%)	4.2 (21%)	0	0	0	0.000078	0	0
427 (32%)	48 (8%)	8 (40%)	0.001389	1	0	0.009836	161	0
534 (40%)	48 (8%)	6.4 (32%)	0.000242	0	0	0.00078	80	0
640 (48%)	48 (8%)	4.8 (24)	0.0000024	0	0	0.001103	1	0
480 (36%)	54 (9%)	9 (45%)	0.02108	285	0	0.06426	1191	0
600 (45%)	54 (9%)	7.2 (36%)	0.003444	263	0	0.007476	748	0
720 (54%)	54 (9%)	5.4 (27%)	0.0001763	114	0	0.002879	396	0
534 (40%)	59 (10%)	10 (50%)	0.5105	3228	0.0002116	1.411	10889	0.0006438
667 (50%)	59 (10%)	8 (40%)	0.1786	2966	0	0.3221	7687	0
800 (60%)	59 (10%)	6 (30%)	0.069	2145	0	0.1951	5202	0
587 (44%)	65 (11%)	11 (55%)	6.777	1962	0.0002492	8.503	6720	0.0001285
734 (55%)	65 (11%)	8.8 (44%)	3.671	1706	0	6.429	4950	0
880 (66%)	65 (11%)	6.6 (33%)	2.496	1519	0	3.327	5089	0
640 (48%)	71 (12%)	12 (60%)	20.58	161	0.002609	20.58	725	0.002001
800 (60%)	71 (12%)	9.6 (48%)	15.51	100	0.0000219	17.43	323	0
960 (72%)	71 (12%)	7.2 (36%)	12.61	58	0	14.13	175	0
694 (52%)	77 (13%)	13 (65%)	34.66	128	0.0149	35.99	338	0.01584
867 (65%)	77 (13%)	10.4 (52%)	27.98	100	0.0001229	29.34	145	0
1040(78%)	77 (13%)	7.8 (39%)	22.57	26	0.0000045	25.2	67	0
747 (56%)	83 (14%)	14 (70%)	46.9	93	0.06329	47.23	315	0.08832
934 (70%)	83 (14%)	11.2 (56%)	37.68	74	0.0006782	38.69	144	0.0007843
1120(84%)	83 (14%)	8.4 (42%)	31.57	35	0	33.38	36	0

Πίνακας 23 : Μετρικές για παραβιάσεις σε QoS για όλα τα είδη κίνησης, για ποσοστό handoff κίνησης 10%.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη των Πινάκων 21, 22 και 23 είναι ίδια με τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη των αποτελεσμάτων των Πινάκων 18, 19 και 20. Είναι εμφανές ότι οι handoff χρήστες εξυπηρετούνται καλύτερα με την χρήση του μηχανισμού Rigid Division – Based CAC (2) σε σχέση με τον Basic CAC (2). Ωστόσο όσον αφορά τις παραβιάσεις σε QoS των χρηστών του δικτύου παρατηρούμε ότι αυξάνονται όταν το ποσοστό της handoff κίνησης γίνει 10% από 5% της συνολικής κίνησης στο δίκτυο. Αυτό είναι λογικό διότι αυξάνεται ο αριθμός των handoff χρηστών και με δεδομένο ότι το κανάλι αποκλειστικής χρήσης παραμένει το ίδιο (10%), περισσότεροι handoff χρήστες αναγκάζονται να εισέλθουν στο κανάλι αποκλειστικής χρήσης αλλά και στο κανάλι που εξυπηρετεί τους regular χρήστες του δικτύου με αποτέλεσμα να συνωστίζεται μεγαλύτερος αριθμός χρηστών και στα δύο κανάλια, γεγονός που με τη σειρά του οδηγεί σε αύξηση των παραβιάσεων σε QoS. Μεγαλύτεροι “χαμένοι” αυτού του γεγονότος είναι οι χρήστες δεδομένων καθώς έχουν την μικρότερη προτεραιότητα να στείλουν τα δεδομένα τους σε σχέση με τους χρήστες φωνής και βίντεο, πράγμα το οποίο φαίνεται και από τα αποτελέσματα του Πίνακα 23.

5.2.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων Rigid Division – Based CAC (3) και Basic CAC (3)

Σε αυτή την Ενότητα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα του Rigid Division – Based CAC και του Basic CAC, όταν το ποσοστό της handoff κίνησης αποτελεί το 20% της συνολικής κίνησης του δικτύου.

Παρακάτω παρουσιάζονται πίνακες που περιέχουν τα ίδια στοιχεία με αυτά των Πινάκων 18, 19 και 20 με την μόνη διαφορά ότι σε αυτή την περίπτωση το ποσοστό της handoff κίνησης είναι το 20% της συνολικής.

Φορτία Κίνησης			Basic CAC results for handoff video users			Rigid division – based CAC results for handoff video users		
Number of Voice Users	**Messages per second**	**Maximum Video Capacity (Mbps)**	**Video Users without Degradation**	**Video Users Degraded by CAC**	**Video Users rejected by CAC**	**Video Users without Degradation**	**Video Users Degraded by CAC**	**Video Users rejected by CAC**
214 (16%)	24 (4%)	4 (20%)	29.7521%	6.61157%	63.636%	34.5324%	5.7554%	59.7122%
267 (20%)	24 (4%)	3.2 (16%)	23.4783%	5.21739%	71.3043%	30.0813%	2.43902%	67.4797%
320 (24%)	24 (4%)	2.4 (12%)	16.1765%	2.94118%	80.882%	16.7883%	5.83942%	77.3723%
267 (20%)	30 (5%)	5 (25%)	37.5%	4.41176%	58.088%	43.8017%	7.43802%	48.7603%
334 (25%)	30 (5%)	4 (20%)	22.5564%	5.26316%	72.180%	33.7838%	7.43243%	58.7838%
400 (30%)	30 (5%)	3 (15%)	15.7025%	4.13223%	80.165%	27.3438%	6.25%	66.4063%
320 (24%)	36 (6%)	6 (30%)	42.8571%	8.40336%	48.739%	50.4425%	8.84956%	40.708%
400 (30%)	36 (6%)	4.8 (24%)	33.5938%	3.90625%	62.5%	44.8529%	6.61765%	48.5294%
480 (36%)	36 (6%)	3.6 (18%)	25%	3.78788%	71.212%	36.6667%	6.66667%	56.6667%
374 (28%)	42 (7%)	7 (35%)	57.8125%	10.1563%	32.033%	61.7886%	11.3821%	26.8293%
467 (35%)	42 (7%)	5.6 (28%)	39.1304%	7.82609%	53.043%	47.7612%	7.46269%	44.7761%
560 (42%)	42 (7%)	4.2 (21%)	30.0813%	5.69106%	64.227%	33.8583%	6.29921%	59.8425%

427 (32%)	48 (8%)	8 (40%)	56.6372%	8.84956%	34.513%	54.9296%	9.15493%	35.9155%
534 (40%)	48 (8%)	6.4 (32%)	42.1053%	9.02256%	48.872%	54.918%	5.7377%	39.3443%
640 (48%)	48 (8%)	4.8 (24%)	34.9206%	6.34921%	58.730%	49.2063%	5.55556%	45.2381%
480 (36%)	54 (9%)	9 (45%)	54.4643%	8.92857%	36.607%	62.9921%	7.87402%	29.1339%
600 (45%)	54 (9%)	7.2 (36%)	41.2214%	6.10687%	52.6718%	48.4375%	7.8125%	43.75%
720 (54%)	54 (9%)	5.4 (27%)	34.8837%	3.10078%	62.0155%	39.5161%	8.06452%	52.4194%
534 (40%)	59 (10%)	10 (50%)	51.6667%	5%	43.3333%	54.8387%	4.03226%	41.129%
667 (50%)	59 (10%)	8 (40%)	49.1803%	3.27869%	47.541%	45.2991%	2.5641%	52.1368%
800 (60%)	59 (10%)	6 (30%)	30.0752%	3.7594%	66.1654%	31.3043%	2.6087%	66.087%
587 (44%)	65 (11%)	11 (55%)	55.0388%	3.10078%	41.8605%	61.1111%	3.1746%	35.7143%
734 (55%)	65 (11%)	8.8 (44%)	47.541%	4.09836%	48.3607%	45.1128%	3.00752%	51.8797%
880 (66%)	65 (11%)	6.6 (33%)	39.4737%	2.63158%	57.8947%	38.0952%	2.38095%	59.5238%
640 (48%)	71 (12%)	12 (60%)	57.1429%	5.88235%	36.9748%	62.6866%	3.73134%	33.5821%
800 (60%)	71 (12%)	9.6 (48%)	47.8992%	5.04202%	47.0588%	48.2143%	4.46429%	47.3214%
960 (72%)	71 (12%)	7.2 (36%)	34.1667%	4.16667%	61.6667%	41.4063%	1.5625%	57.0313%
694 (52%)	77 (13%)	13 (65%)	66.9492%	2.54237%	30.5085%	64.8438%	3.125%	32.0313%
867 (65%)	77 (13%)	10.4 (52%)	30.5085%	5.83333%	45.8333%	56.1983%	2.47934%	41.3223%
1040(78%)	77 (13%)	7.8 (39%)	35.4331%	6.29921%	58.2677%	43.8462%	5.38462%	50.7692%
747 (56%)	83 (14%)	14 (70%)	68.1416%	4.42478%	27.4336%	64.9254%	2.23881%	32.8358%
934 (70%)	83 (14%)	11.2 (56%)	53.2258%	5.64516%	41.129%	55.303%	3.78788%	40.9091%
1120(84%)	83 (14%)	8.4 (42%)	43.3333%	4.16667%	52.5%	49.1379%	2.58621%	48.2759%

Πίνακας 24 : Περιέχει μετρικές για τους handoff βίντεο χρήστες, για ποσοστό handoff κίνησης 20%.

Φορτία Κίνησης			**Basic CAC results for handoff data users**		**Rigid division – based CAC results for handoff data users**	
Number of Voice Users	**Message s per second**	**Maximum Video Capacity (Mbps)**	**Accepted Data Users**	**Data Users rejected by CAC**	**Accepted Data Users**	**Data Users rejected by CAC**
214 (16%)	24 (4%)	4 (20%)	100%	0%	100%	0%
267 (20%)	24 (4%)	3.2 (16%)	100%	0%	100%	0%
320 (24%)	24 (4%)	2.4 (12%)	100%	0%	100%	0%
267 (20%)	30 (5%)	5 (25%)	100%	0%	100%	0%
334 (25%)	30 (5%)	4 (20%)	100%	0%	100%	0%

400 (30%)	30 (5%)	3 (15%)	100%	0%	100%	0%
320 (24%)	36 (6%)	6 (30%)	100%	0%	100%	0%
400 (30%)	36 (6%)	4.8 (24%)	100%	0%	100%	0%
480 (36%)	36 (6%)	3.6 (18%)	100%	0%	100%	0%
374 (28%)	42 (7%)	7 (35%)	100%	0%	100%	0%
467 (35%)	42 (7%)	5.6 (28%)	100%	0%	100%	0%
560 (42%)	42 (7%)	4.2 (21%)	100%	0%	100%	0%
427 (32%)	48 (8%)	8 (40%)	100%	0%	99.9942%	0.00575573%
534 (40%)	48 (8%)	6.4 (32%)	99.977%	0.0233%	99.9942%	0.00577301%
640 (48%)	48 (8%)	4.8 (24)	99.9883%	0.0116898%	99.9654%	0.0345523%
480 (36%)	54 (9%)	9 (45%)	98.600%	1.400%	98.4049%	1.59506%
600 (45%)	54 (9%)	7.2 (36%)	98.950%	1.050%	98.3924%	1.6076%
720 (54%)	54 (9%)	5.4 (27%)	98.486 %	1.514%	97.2328%	2.76722%
534 (40%)	59 (10%)	10 (50%)	71.275 %	28.725%	63.9054%	36.0946%
667 (50%)	59 (10%)	8 (40%)	68.882 %	31.118%	58.9848%	41.0152%
800 (60%)	59 (10%)	6 (30%)	77.878%	22.122%	62.4829%	37.5171%
587 (44%)	65 (11%)	11 (55%)	19.917 %	80.083%	20.8624%	79.1376%
734 (55%)	65 (11%)	8.8 (44%)	13.773%	86.227%	17.6779%	82.3221%
880 (66%)	65 (11%)	6.6 (33%)	14.953%	85.047%	14.8935%	85.1065%
640 (48%)	71 (12%)	12 (60%)	5.495%	94.505%	5.9663%	94.0337%
800 (60%)	71 (12%)	9.6 (48%)	5.523%	94.477%	4.55677%	95.4432%
960 (72%)	71 (12%)	7.2 (36%)	1.784%	98.216%	4.2356%	95.7644%
694 (52%)	77 (13%)	13 (65%)	5.098%	94.902%	5.17837%	94.8216%
867 (65%)	77 (13%)	10.4 (52%)	3.262%	96.738%	2.38517%	97.6148%
1040(78%)	77 (13%)	7.8 (39%)	1.748%	98.252%	2.01419%	97.9858%
747 (56%)	83 (14%)	14 (70%)	6.404%	93.596%	4.05179%	95.9482%
934 (70%)	83 (14%)	11.2 (56%)	2.546%	97.454%	3.00458%	96.9954%
1120(84%)	83 (14%)	8.4 (42%)	0.723%	99.277%	1.28663%	98.7134%

Πίνακας 25 : Μετρικές για τους handoff χρήστες δεδομένων, για ποσοστό handoff κίνησης 20%.

Φορτία Κίνησης			Basic CAC results for all users			Rigid division – based CAC results for all users		
Number of Voice Users	**Messages per second**	**Maximum Video Capacity (Mbps)**	**Dropped Voice Packets (%)**	**Number of messages with excessive delay**	**Dropped Video Packets (%)**	**Dropped Voice Packets (%)**	**Number of messages with excessive delay**	**Dropped Video Packets (%)**
214 (16%)	24 (4%)	4 (20%)	0	0	0	0	0	0
267 (20%)	24 (4%)	3.2 (16%)	0	0	0	0	0	0
320 (24%)	24 (4%)	2.4 (12%)	0	0	0	0	0	0
267 (20%)	30 (5%)	5 (25%)	0	0	0	0	0	0
334 (25%)	30 (5%)	4 (20%)	0	0	0	0	0	0
400 (30%)	30 (5%)	3 (15%)	0	0	0	0	0	0
320 (24%)	36 (6%)	6 (30%)	0	0	0	0.000098	0	0
400 (30%)	36 (6%)	4.8 (24%)	0	0	0	0.00000196	0	0
480 (36%)	36 (6%)	3.6 (18%)	0	0	0	0	0	0
374 (28%)	42 (7%)	7 (35%)	0	0	0	0.001453	0	0
467 (35%)	42 (7%)	5.6 (28%)	0	0	0	0	0	0
560 (42%)	42 (7%)	4.2 (21%)	0	0	0	0	0	0
427 (32%)	48 (8%)	8 (40%)	0.0001653	0	0	0.002525	1	0
534 (40%)	48 (8%)	6.4 (32%)	0.0000499	0	0	0.0003023	1	0
640 (48%)	48 (8%)	4.8 (24)	0	0	0	0	33	0
480 (36%)	54 (9%)	9 (45%)	0.01695	193	0	0.04701	818	0
600 (45%)	54 (9%)	7.2 (36%)	0.001888	66	0	0.01354	638	0
720 (54%)	54 (9%)	5.4 (27%)	0.0009446	90	0	0.004117	776	0
534 (40%)	59 (10%)	10 (50%)	0.4896	3182	0	1.494	11082	0.0002417
667 (50%)	59 (10%)	8 (40%)	0.2185	3675	0	1.184	10078	0.0000632
800 (60%)	59 (10%)	6 (30%)	0.02525	1247	0	0.4693	7986	0
587 (44%)	65 (11%)	11 (55%)	5.893	2076	0.0000668	9.03	7232	0.01144
734 (55%)	65 (11%)	8.8 (44%)	4.632	1649	0	5.602	5789	0.00015
880 (66%)	65 (11%)	6.6 (33%)	2.621	1577	0	4.145	4742	0
640 (48%)	71 (12%)	12 (60%)	20.76	145	0.001727	23.48	661	0.00425
800 (60%)	71 (12%)	9.6 (48%)	15.95	128	0	16	456	0.0000764
960 (72%)	71 (12%)	7.2 (36%)	12.53	164	0	14.9	116	0
694 (52%)	77 (13%)	13 (65%)	35.91	37	0.006883	36.98	193	0.01447
867 (65%)	77 (13%)	10.4 (52%)	29.05	58	0.0001942	30.84	211	0.0006174
1040(78%)	77 (13%)	7.8 (39%)	23.72	95	0	24.33	104	0

747 (56%)	83 (14%)	14 (70%)	46.73	197	0.04727	52.85	166	0.06352
934 (70%)	83 (14%)	11.2 (56%)	38.37	107	0.0001079	39.44	55	0.000605
1120(84%)	83 (14%)	8.4 (42%)	31.96	41	0	32.98	122	0

Πίνακας 26 : Μετρικές για παραβιάσεις σε QoS για όλα τα είδη κίνησης, για ποσοστό handoff κίνησης 20%.

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 24 αποδεικνύουν για ακόμα μία φορά το γεγονός ότι ο Rigid Division – Based CAC εξυπηρετεί καλύτερα τους handoff χρήστες βίντεο απ' ότι ο Basic CAC. Ωστόσο, όσο αυξάνεται το ποσοστό των handoff χρηστών προς τη συνολική κίνηση (20%), παρατηρούμε ότι οι διαφορές στα ποσοστά των handoff που απορρίπτονται από το σύστημα ανάμεσα στους δύο μηχανισμούς μειώνονται. Αυτό συμβαίνει διότι, όπως εξηγήσαμε και στα προηγούμενα αποτελέσματα, μεγαλώνει ο αριθμός των handoff χρηστών που επιχειρούν να εισέλθουν στο σύστημα με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο το κανάλι των regular χρηστών αφού το κανάλι αποκλειστικής χρήσης δεν αρκεί για την εξυπηρέτηση όλων των handoff χρηστών. Επίσης, στον Πίνακα 26 φαίνεται ξεκάθαρα η αύξηση των παραβιάσεων σε QoS από τους χρήστες δεδομένων για τον μηχανισμό Rigid Division – Based CAC έναντι των παραβιάσεων για τον Basic CAC. Βλέπουμε όμως ότι πρέπει το συνολικό φορτίο να φθάσει στο 100% για να παραβιασθεί το QoS των χρηστών, κατά συνέπεια ο rigid-division based CAC είναι ιδιαίτερα αποδοτικός μηχανισμός.

6. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύξαμε αρχικά ένα μηχανισμό ελέγχου αποδοχής κλήσης για κίνηση πολυμέσων (φωνή, βίντεο, δεδομένα) σε ασύρματα κυψελωτά δίκτυα που χρησιμοποιεί μοντέλα για τη δέσμευση του bandwidth από τους χρήστες βίντεο και τον συγκρίναμε με τον μηχανισμό CAC που χρησιμοποιεί υπολογισμό ισοδύναμου bandwidth για τον υπολογισμό του εύρους ζώνης που δεσμεύουν οι χρήστες βίντεο.

Γενικότερα, ο μηχανισμός CAC έχει στόχο την μεγιστοποίηση της διαπερατότητας (throughput) του καναλιού χωρίς να υπάρξει συμφόρηση στο δίκτυο, που θα οδηγούσε 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 στο [2] 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 αλλά και η εργασία στο [2] 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 ποιότητα παρεχόμενης υπηρεσίας, όμως ταυτόχρονα ένα σημαντικό ποσοστό από το bandwidth του καναλιού παρέμενε αναξιοποίητο. Αντίθετα, η εργασία μας έδειξε πως όταν έχουμε στη διάθεσή μας ικανοποιητικά μοντέλα, ακόμα και αν αυτά δεν προσφέρουν πολύ υψηλή ακρίβεια, μπορούμε να σχεδιάσουμε CAC μηχανισμούς που κάνουν πολύ καλύτερη χρήση του καναλιού από το [2], με αποτέλεσμα να μπορεί να εισέλθει μεγάλος αριθμός χρηστών στο σύστημα. Ανάλογα με το πόσο ακριβή είναι τα μοντέλα, οι χρήστες του δικτύου μπορούν να απολαμβάνουν και υψηλά επίπεδα παρεχόμενων υπηρεσιών.

Στην εργασία [2] προτάθηκαν δύο τρόποι υποβάθμισης της ποιότητας εκείνων των χρηστών βίντεο που δέχονται, βάσει συμβολαίου, να υποβαθμισθούν. Τους συγκεκριμένους τρόπους υποβάθμισης χρησιμοποιήσαμε και στην παρούσα διπλωματική εργασία για να μελετήσουμε τις διαφορές στα αποτελέσματα ανάμεσα στους δύο μηχανισμούς. Όσον αφορά στον μηχανισμό CAC του [2], ο πιο πρακτικός τρόπος υποβάθμισης οδήγησε σε σημαντική αύξηση του χρησιμοποιούμενου bandwidth του καναλιού, σε σχέση με τον λιγότερο πρακτικό τρόπο υποβάθμισης. Παρά την αύξηση της διαπερατότητας, όμως, ο μηχανισμός παρέμεινε συντηρητικός. Όσον αφορά στον μηχανισμό CAC με χρήση μοντέλων κίνησης βίντεο, τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν παρόμοια με τα αποτελέσματα του πρώτου τρόπου υποβάθμισης των χρηστών βίντεο και ο αριθμός των παραβιάσεων σε QoS ήταν μεγαλύτερος σε σχέση με τον πρώτο τρόπο υποβάθμισης. Τα καλύτερα αποτελέσματα (χρήση καναλιού και ποιότητα παρεχόμενων υπηρεσιών στους χρήστες) παρέχονται από τον μηχανισμό CAC που χρησιμοποιεί μοντέλα για την δέσμευση του bandwidth των χρηστών βίντεο και αυτό επιτυγχάνεται όταν χρησιμοποιούμε τον πρώτο τρόπο υποβάθμισης των χρηστών.

Επιπλέον, σε αυτή την εργασία αναπτύξαμε ένα μηχανισμό ελέγχου αποδοχής κλήσης για κίνηση πολυμέσων (φωνή, βίντεο, δεδομένα) σε ασύρματα κυψελωτά δίκτυα που χρησιμοποιεί μοντέλα για τη δέσμευση του bandwidth από τους χρήστες βίντεο και ανήκει στους Rigid Division – Based CAC μηχανισμούς, αφού χρησιμοποιεί ένα κανάλι αποκλειστικής χρήσης για τους handoff χρήστες ίσο με το 10% του συνολικού εύρους ζώνης. Τον μηχανισμό αυτό τον συγκρίναμε με τον αντίστοιχο μηχανισμό CAC που δεν περιέχει κανάλι αποκλειστικής χρήσης για τους handoff.

Γενικότερα, στόχος του Rigid Division – Based CAC είναι η όσο το δυνατόν καλύτερη εξυπηρέτηση των handoff χρηστών βίντεο και δεδομένων χωρίς να υπάρξει συμφόρηση στο δίκτυο, που θα οδηγήσει σε παραβίαση των απαιτήσεων QoS των χρηστών.

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης έδειξαν ότι με την χρήση του Rigid Division – Based CAC μηχανισμού μπορούμε να μειώσουμε τον αριθμό των απορριφθέντων handoff χρηστών κατά ποσοστό που φτάνει ως και το 42%. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δεν ήταν τόσο καλά για τους handoff χρήστες δεδομένων, καθώς για ποσοστό handoff κίνησης ίσο με το 10% και με το 20% της συνολικής κίνησης υπήρξε αύξηση των απορριφθέντων handoff χρηστών δεδομένων. Τέλος, όσον αφορά στα ποσοστά των παραβιάσεων σε QoS για τους χρήστες φωνής και βίντεο, αυτά παρέμειναν περίπου με την χρήση του Rigid Division – Based CAC.

Καταλήγοντας, συμπεραίνουμε ότι τόσο ο μηχανισμός που προτείναμε με την χρήση μοντέλων για την κίνηση βίντεο, όσο και η Rigid Division – Based παραλλαγή του, βοηθούν σημαντικά στην αύξηση του throughput του δικτύου και του QoS των χρηστών βίντεο στην μεγάλη πλειοψηφία των περιπτώσεων (φορτίων κίνησης), με tradeoff όμως την παροχή σημαντικά χειρότερου QoS στους χρήστες δεδομένων.

Αναφορές

1. J. Misic, 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. J. Sotiropoulos, A. Delimargas and P. Koutsakis, “Exploiting GoP Patterns for Video Traffic Control over Wireless Networks”, in Proc. Of the IEEE WCNC 2012, Paris, France.

3. D. P. Heyman, A. Tabatabai and T. V. Lakshman, “Statistical Analysis and Simulation Study of Video Teleconference Traffic in ATM Networks”, IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 2, No. 1, 1992, pp. 49-59.

4. A. Lazaris and P. Koutsakis, “Modelling Video Traffic from Multiplexed H.264 Videoconference Streams”, in Proc. of the IEEE GLOBECOM 2008, December 2008, New Orleans, USA

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. H. Saito and K. Shiomoto, “Dynamic call admission control in ATM networks”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications,* Vol. 9, No. 7, 1991, pp. 982-989.

11. 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.

12. R. Guerin, 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.

13. R. Guerin and L. Gun, “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.

14. M. Naghshineh, and R. Guerin, “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.

15. E. Gelenbe, X. Mang and R. Onvural, “Diffusion Based Call Admission Control in ATM”, *Performance Evaluation*, Vol. 27&28, pp. 411-436, 1996.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. R. Ramjee, D. Towsley and R. Nagarajan, “On optimal call admission control in cellular networks”, *Wireless Networks*, Vol. 3, 1997, pp. 29-41.

21. M. D. Kulavaratharasah 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.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. 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.

26. 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.

27. E.N. Gilbert, “Capacity of a Burst-Noise Channel,” Bell Systems Technical Journal, Vol. 39, pp. 1253-1265, 1960.

28. E.O. Elliot, “Estimates of Error Rates for Codes on Burst-Noise Channels,” Bell Systems Technical Journal, Vol. 42, pp. 1977-1997, 1963.

29. 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.

30. 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.

31. 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*.

32. 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.

33. [Online]: http://www-tkn.ee.tu-berlin.de/research/trace/trace.html

34. 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

35. 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/

36. 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.