

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*Δυναμικοί Μηχανισμοί Προσωρινής Αποθήκευσης Τμηματοποιημένης Πληροφορίας
Βίντεο σε Κρυφή Μνήμη για Παροχή κατ' Απαίτηση Υπηρεσιών Βίντεο*

ΑΛΕΞΙΟΥ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ

Εξεταστική επιτροπή:

Καθ. Μιχαήλ Πατεράκης, Επιβλέπων

Καθ. Αθανάσιος Λιάβας

Αναπλ. Καθ. Άγγελος Μπλέτσας

Χανιά, 2016

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ολοκληρώνονται και οι σπουδές μου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πολυτεχνείου Κρήτης. Θα ήθελα λοιπόν να ευχαριστήσω αρχικά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας κ. Μιχαήλ Πατεράκη που μου έδωσε την δυνατότητα να ασχοληθώ με κάτι που μου αρέσει και με ενδιαφέρει, αλλά και για την εμπιστοσύνη και την αφιέρωση πολύτιμου χρόνου ώστε να ολοκληρωθεί η εργασία αυτή. Επίσης, αισθάνομαι την ανάγκη να επισημάνω την απέραντη ευγνωμοσύνη σε ολόκληρη την οικογένεια για όλα όσα μου έχουν προσφέρει στην διάρκεια των μαθητικών και φοιτητικών μου χρόνων και την άμεση υποστήριξη τους σε κάθε μου επιλογή. Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω όλους τους συμφοιτητές και φίλους μου καθώς χωρίς την αλληλοϋποστήριξη και την ανταλλαγή ιδεών αλλά και εμπειριών, η περάτωση της σχολής θα ήταν αδύνατη. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής κ. Αθανάσιο Λιάβα και κ. Άγγελο Μπλέτσα για το χρόνο που διέθεσαν για να διαβάσουν και να εξετάσουν την διπλωματική μου εργασία.

Περίληψη

Η εκτεταμένη ανάπτυξη των δικτύων και η εύκολη πρόσβαση σε αυτά έχει οδηγήσει στη συμφόρηση και στην καθυστέρηση που υπόκεινται διάφορες εφαρμογές που απαιτούν την έγκαιρη μετάδοση δεδομένων. Μερικοί χρήστες παρακολουθούν online βίντεο με ταινίες, διαλέξεις, ποδοσφαιρικούς αγώνες κτλ. Οι συγκεκριμένες αιτήσεις απαιτούν τη μετάδοση δεδομένων από το δίκτυο χωρίς καθυστέρηση. Αν υπάρχει χρονική καθυστέρηση στη μεταφορά των δεδομένων ο χρήστης θα παρακολουθεί το βίντεο με συχνές παύσεις, πράγμα το οποίο είναι αρκετά ενοχλητικό. Για να μπορούν να εξυπηρετηθούν οι χρήστες οι οποίοι απαιτούν μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο έχουν ενσωματωθεί στο δίκτυο οι διακομιστές μεσολάβησης (proxy servers).

Η παρούσα διπλωματική εργασία προτείνει μηχανισμούς προσωρινής αποθήκευσης τμηματοποιημένης πληροφορίας βίντεο στην κρυφή μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης για παροχή κατ' απαίτηση υπηρεσιών βίντεο. Οι προτεινόμενοι μηχανισμοί στοχεύουν στην διατήρηση των δημοφιλών βίντεο στη κρυφή μνήμη. Οι μηχανισμοί εξετάζονται κάτω από την υπόθεση ότι οι χρήστες παρακολουθούν σειριακά ολόκληρα τα βίντεο. Για κάθε βίντεο ορίζεται μια μεταβλητή η οποία μας βοηθά να εκτιμήσουμε την δημοτικότητα του (caching value), με βάση την τιμή της οποίας παίρνονται αποφάσεις για την επιλογή των κατωφλίων διαχωρισμού ζήτησης των διαφόρων τμημάτων του βίντεο. Η επιλογή των κατάλληλων κατωφλίων διαχωρισμού για τους δύο προτεινόμενους μηχανισμούς είναι σημαντικό ζήτημα για την λειτουργία του συστήματος. Σε σχέση με προηγούμενη μελέτη κάτω από τις ίδιες συνθήκες και σύστημα, η μέθοδος που προτείνουμε πετυχαίνει σημαντική βελτίωση σε ότι αφορά τις παρακάτω μετρικές απόδοσης του συστήματος: (i) Byte-Hit Ratio και (ii) αριθμός τμημάτων που αντικαθίστανται στην κρυφή μνήμη του συστήματος (Number of Segment Replacements), η τελευταία μετρική αντιστοιχεί σε overhead του συστήματος.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Σχημάτων.....	
-------------------------	--

Κεφάλαιο 1:

1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Σχετική έρευνα.....	2
1.2.1 Μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και τα προβλήματα που προκύπτουν.....	2
1.2.2 Αποθήκευση βίντεο σε διακομιστή μεσολάβησης.....	3
1.3 Οργάνωση της εργασίας.....	8

Κεφάλαιο 2:

2.1 Εισαγωγή.....	9
2.2 Περιγραφή συστήματος.....	10
2.2.1 Τοπολογία συστήματος.....	10
2.2.2 Μηχανισμοί Προσωρινής Αποθήκευσης Τμηματοποιημένης Πληροφορίας Βίντεο DAS1 και DAS2.....	11
2.3 Η κατανομή Mandelbrot Zipf.....	12
2.4 Τεχνικές Εισαγωγής και Αντικατάστασης.....	13
2.5 Τεχνικές Τμηματοποίησης Πληροφορίας.....	15

Κεφάλαιο 3:

3.1 Μετρικές Απόδοσης του Συστήματος.....	16
3.2 Μοντέλο Προσομοίωσης.....	17

3.3 Αποτελέσματα Προσομοίωσης.....	20
3.3.1 Η επίδραση διαφορετικών τιμών του παράγοντα q της κατανομής M-Zipf.....	26
3.3.2 Η επίδραση αλλαγής πιθανοτήτων ζήτησης κατά διαφορετικά επίπεδα αιτήσεων με τον χρόνο.....	28
Κεφάλαιο 4:	
4.1 Συνεισφορά διπλωματικής εργασίας.....	30
4.2 Ιδέες για μελλοντική εργασία.....	31
Βιβλιογραφία.....	32

Κατάλογος Σχημάτων

Κεφάλαιο 1 :

Σχ.1.2.2(α) : Αρχιτεκτονική Prefetching μεθόδου

Σχ.1.2.2(β) : Η δομή ενός βίντεο για Partial Aggressive Prefetching

Σχ.1.2.2(γ) : Αρχιτεκτονική Συστήματος Dynamic Popularity-based Partial Caching

Κεφάλαιο 2 :

Σχ.2.1 : Αρχιτεκτονική συστήματος για μετάδοση δεδομένων

Σχ.2.3 : Η κατανομή Mandelbrot Zipf για διάφορες τιμές του q και για $s = 1$

Σχ.2.5 : Εκθετική τμηματοποίηση – Pyramid Segmentation

Κεφάλαιο 3 :

Πίνακας 3.2 : Παράμετροι του συστήματος και οι προκαθορισμένες τιμές τους

Σχ.3.3.1(α) : Κατανομή caching values των αποθηκευμένων βίντεο στην Cache_B για LRLFU (τυπική στιγμή κρυφής μνήμης)

Σχ.3.3.1(β) : Κατανομή caching values των αποθηκευμένων βίντεο στην Cache_B για LRU_i (τυπική στιγμή κρυφής μνήμης)

Σχ.3.3.2 : Byte Hit Ratio για τον μηχανισμό DAS1 σαν συνάρτηση των τιμών του κατωφλίου διαχωρισμού CV1

Σχ.3.3.3 : Number of Segment Replacements για τον μηχανισμό DAS1 σαν συνάρτηση των τιμών του κατωφλίου διαχωρισμού CV1

Σχ.3.3.4 : Byte Hit Ratio για τον μηχανισμό DAS2 σαν συνάρτηση των διαστημάτων μεταξύ των κατωφλίων διαχωρισμού CV1 και CV2

Σχ.3.3.5 : Number of Segment Replacements για τον μηχανισμό DAS2 σαν συνάρτηση των διαστημάτων μεταξύ των κατωφλίων διαχωρισμού CV1 και CV2

Σχ.3.3.6 : Byte Hit Ratio σαν συνάρτηση της παραμέτρου q της M-Zipf κατανομής δημοτικότητας των βίντεο με $s = 0.2$, $CV1 = 9 \cdot 10^{-6}$

Σχ.3.3.7 : Byte Hit Ratio για τον μηχανισμό DAS1 σαν συνάρτηση της μέγιστης μετατόπισης στην δημοτικότητα των βίντεο, $CV1 = 9 \cdot 10^{-6}$, $R = 200$

Κεφάλαιο 1

1.1 Εισαγωγή

Τα δίκτυα επικοινωνίας υπολογιστών σχεδιάστηκαν για να συνδέουν υπολογιστές που βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες έτσι ώστε να μπορούν να επικοινωνούν και να ανταλλάσσουν δεδομένα. Η εκτεταμένη ανάπτυξη των δικτύων υψηλής ταχύτητας και η εύκολη πρόσβαση σε αυτά έχει οδηγήσει στη συμφόρηση του δικτύου και στην καθυστέρηση που υπόκεινται διάφορες εφαρμογές οι οποίες απαιτούν την έγκαιρη μετάδοση δεδομένων. Ο χρήστης μπορεί πλέον εύκολα να συνδεθεί στο διαδίκτυο όπου και αν βρίσκεται μέσω φορητού υπολογιστή, smartphone, tablet κ.α. Στις πρώιμες εποχές των δικτύων επικοινωνιών το μεγαλύτερο μέρος των δεδομένων που διακινούνταν ήταν μορφής κειμένου. Σήμερα, με την ανάπτυξη των πολυμέσων και των δικτυακών τεχνολογιών, τα δεδομένα πολυμέσων είναι αυτά που κυριαρχούν και καταναλώνουν στην πλειονότητα τους το διαθέσιμο εύρος ζώνης (bandwidth). Μεγάλο μερίδιο χρηστών όταν συνδέεται στο διαδίκτυο θέλει να παρακολουθήσει σε πραγματικό χρόνο ταινίες, τηλεόραση, διαλέξεις κ.ο.κ. Με τη ραγδαία αύξηση των χρηστών που μπορούν να έχουν εύκολα πρόσβαση στο διαδίκτυο, μπορεί η μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο να γίνει προβληματική, εξαιτίας της μεγάλης καθυστέρησης και της αδυναμίας του συστήματος να εξυπηρετήσει όλους τους χρήστες παρέχοντάς τους τη μετάδοση που ζητούν σε συνεχή ροή και χωρίς καθυστερήσεις. Σημαντικό ρόλο στη δυσκολία που έχει το σύστημα να εξυπηρετήσει άμεσα όλες τις αιτήσεις είναι η μεγάλη διάρκεια που έχουν συνήθως τα βίντεο, οι απαιτήσεις μεγάλου εύρους ζώνης για την υλοποίηση της μετάδοσης των δεδομένων τους σε πραγματικό χρόνο και η ελευθερία των κινήσεων που έχουν οι χρήστες όταν παρακολουθούν ένα βίντεο. Στην παράγραφο 1.2.1 γίνεται αναφορά στους παράγοντες αυτούς οι οποίοι περιορίζουν την μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Τα τελευταία χρόνια η μετάδοση δεδομένων βίντεο σε πραγματικό χρόνο αποτελεί αντικείμενο αρκετών ερευνών. Έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές για τη μείωση των προβλημάτων που προκύπτουν από τη μεγάλη αύξηση του αριθμού των χρηστών και τις επιπλέον προσδοκίες που αυτοί έχουν από κάποιες ιστοσελίδες όπως για παράδειγμα σε εφαρμογές live streaming, αναπτύσσοντας και ενσωματώνοντας στο δίκτυο τους διακομιστές μεσολάβησης (proxy servers).

Οι διακομιστές μεσολάβησης τοποθετούνται κοντά στους χρήστες και αποσκοπούν στην χωρίς καθυστέρηση εξυπηρέτηση του μεγαλύτερου ποσοστού αιτήσεων των χρηστών. Για να το επιτύχουν αυτό προσπαθούν να αποθηκεύσουν τα πιο δημοφιλή βίντεο. Εκτός από την έγκαιρη ικανοποίηση των αιτήσεων των χρηστών αποσκοπούν και στη μείωση της κίνησης του δικτύου.

1.2 Σχετική έρευνα

1.2.1 Μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και τα προβλήματα που προκύπτουν

Για να υπάρχει αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και να είναι ικανοποιημένοι οι χρήστες που τα ζητούν, πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω στόχοι που αφορούν μετρικές απόδοσης με βάση τις οποίες κρίνονται οι μέθοδοι διαχείρισης μνήμης που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 3:

- Υψηλό Byte Hit Ratio
- Χαμηλή καθυστέρηση κατά την εκκίνηση της αναπαραγωγής του βίντεο, μετά από αίτηση ενός χρήστη
- Μείωση φορτίου κίνησης του δικτύου

Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες οι οποίοι περιορίζουν τη μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο [13] σε δίκτυα επικοινωνιών. Ένας σημαντικός τέτοιος παράγοντας είναι η ελευθερία των κινήσεων που έχουν οι χρήστες όταν παρακολουθούν το βίντεο. Από έρευνες στην βιβλιογραφία ([6] και [11]), προκύπτει ότι οι περισσότεροι χρήστες δεν παρακολουθούν το βίντεο σειριακά από την αρχή μέχρι το τέλος. Ειδικότερα, προκύπτει ότι οι χρήστες παρακολουθούν ένα μέρος του βίντεο ή χρησιμοποιούν κινήσεις προς τα εμπρός και προς τα πίσω (forward and backward). Επειδή οι χρήστες τις περισσότερες φορές δε γνωρίζουν το περιεχόμενο του βίντεο που ζητούν οι κινήσεις αυτές είναι τυχαίες. Το αποτέλεσμα είναι ότι περιπλέκεται ο τρόπος που πρέπει το σύστημα να διαχειρίζεται τη μνήμη ενός διακομιστή μεσολάβησης ώστε αυτή να αξιοποιείται αποδοτικά.

Ένας δεύτερος παράγοντας που προκαλεί προβλήματα στη μετάδοση δεδομένων πραγματικού χρόνου είναι το μεγάλο μέγεθος των δεδομένων που συνήθως περιέχουν τα βίντεο. Για παράδειγμα, ένα MPEG1 βίντεο έχει περίπου 675 MBytes, ενώ 1 ώρα ταινία με κωδικοποίηση MPEG4, μπορεί να αντιστοιχεί σε περισσότερο από 1 GByte.

Αν τα βίντεο αποθηκεύονται ολόκληρα στη μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης, αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα να εξαντληθεί γρήγορα η παραπάνω μνήμη. Αντίθετα, αν η αποθήκευση των βίντεο γίνεται τμηματικά, τότε η μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης θα εξαντληθεί πιο αργά. Σε κάθε περίπτωση, σημασία έχουν οι κινήσεις του χρήστη. Για παράδειγμα αν το βίντεο είναι ολόκληρο αποθηκευμένο στον διακομιστή, ο τελευταίος μπορεί εύκολα να εξυπηρετήσει μια αίτηση στην οποία ο χρήστης παρακολουθεί ολόκληρο το περιεχόμενο του βίντεο. Όμως, εάν το συγκεκριμένο βίντεο ήταν μόνο μερικώς αποθηκευμένο, απαιτείται μεταφορά δεδομένων μέσω του δικτύου για να υλοποιηθεί η μετάδοση δεδομένων πραγματικού χρόνου στον χρήστη. Στο σενάριο κατά το οποίο ο χρήστης επιθυμεί να παρακολουθήσει μόνο ένα πολύ μικρό τμήμα του βίντεο, εάν ολόκληρο το βίντεο είναι αποθηκευμένο στον διακομιστή μεσολάβησης, το σύστημα μπορεί να εξυπηρετήσει την αίτηση του χρήστη έχοντας όμως δεσμεύσει αρκετή μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης. Στην περίπτωση κατά την οποία το βίντεο είναι μερικώς αποθηκευμένο στον διακομιστή μεσολάβησης, υπάρχει πιθανότητα να εξυπηρετηθεί η αίτηση χωρίς να γίνεται κατάχρηση της μνήμης.

Ένας επιπλέον παράγοντας που περιορίζει την μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο είναι η επιλογή του εκάστοτε χρήστη να παρακολουθήσει το βίντεο κατά ένα μέρος ή ολόκληρο. Ο παράγοντας αυτός σχετίζεται άμεσα και με το μέγεθος του βίντεο. Από την μελέτη στο [6], προκύπτει ότι η πλήρης αποθήκευση των βίντεο στην κρυφή μνήμη είναι πιο αποδοτική μόνο στην περίπτωση που ένα μεγάλο ποσοστό των χρηστών παρακολουθεί ολόκληρο το βίντεο, ακόμα και αν το υπόλοιπο ποσοστό των χρηστών παρακολουθεί ένα μικρό μέρος του βίντεο το οποίο μπορεί να αντιστοιχεί ακόμα και σε μερικά δευτερόλεπτα. Από την ίδια μελέτη προέκυψε ότι στην περίπτωση που το μεγαλύτερο ποσοστό των χρηστών παρακολουθεί ένα μόνο μικρό αρχικό μέρος του βίντεο, τότε είναι πιο αποδοτικό να αποθηκεύονται στη μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης τα λίγα πρώτα τμήματα από αρκετά βίντεο.

Τέλος ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που περιορίζει τη μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στα δίκτυα επικοινωνιών είναι η απαίτηση για εκτεταμένη χρήση σημαντικού εύρους ζώνης του δικτύου που απαιτείται για να γίνει η μετάδοση. Το δίκτυο εξυπηρετεί ταυτόχρονα πολλούς χρήστες το οποίο επιβαρύνει περισσότερο την κατάσταση, εφόσον αυξάνεται το απαιτούμενο εύρος ζώνης.

1.2.2 Αποθήκευση βίντεο σε διακομιστή μεσολάβησης

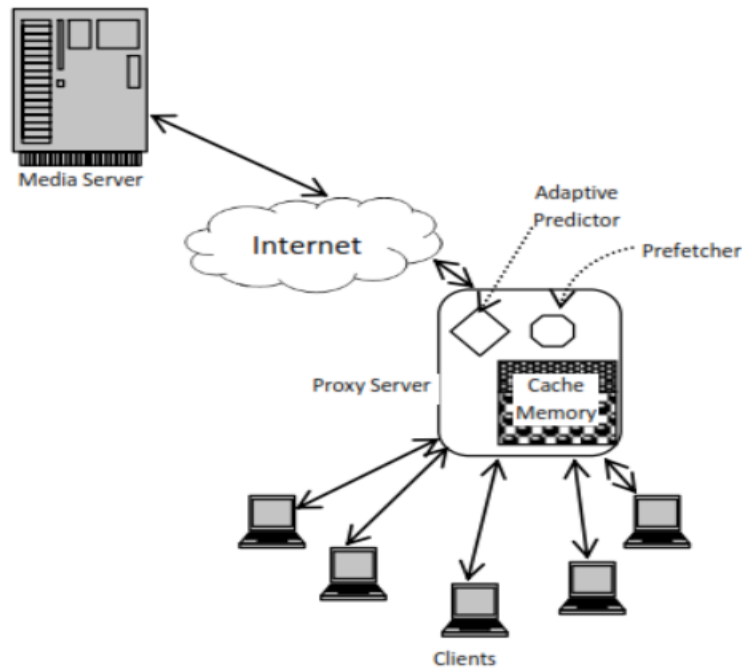
Αρκετές εργασίες στην βιβλιογραφία εστιάζουν το ενδιαφέρον τους στη χρήση των διακομιστών μεσολάβησης για αποθήκευση των πιο δημοφιλών βίντεο, είτε αποθηκεύοντας κάποια τμήματά τους είτε αποθηκεύοντας ολόκληρα τα βίντεο, για υποστήριξη των αιτήσεων των χρηστών για παροχή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Στην συνέχεια παρουσιάζονται σημαντικές τεχνικές από διάφορες μεθόδους αποθήκευσης των βίντεο στους διακομιστές μεσολάβησης.

- **Prefix caching**

Στο [14] προτάθηκε η ιδέα να αποθηκεύονται στον διακομιστή μεσολάβησης τα αρχικά τμήματα των βίντεο, τα λεγόμενα προθέματα (prefixes), ώστε να μειωθούν οι καθυστερήσεις κατά την εκκίνηση αναπαραγωγής των βίντεο στους χρήστες. Το μέγεθος του προθέματος καθορίζεται με βάση την καθυστέρηση που θα υπάρχει κατά την εκκίνηση του βίντεο και μέχρι να ολοκληρωθεί η μεταφορά του τμήματος αυτού, αν δεν ήταν ήδη αποθηκευμένο, μέσω του δικτύου από τον διακομιστή περιεχομένου στον οποίο είναι αποθηκευμένο. Ορίζετε ως $\max\{d_{\max}-s, 0\}$, όπου d_{\max} είναι η μέγιστη καθυστέρηση από τον διακομιστή περιεχομένου (media server) στον διακομιστή μεσολάβησης (σε αριθμό από εικόνες - frames) και s ορίζεται η καθυστέρηση αναπαραγωγής στον πελάτη (σε αριθμό από εικόνες - frames). Όταν έρθει αίτηση για κάποιο βίντεο, το σύστημα θα ξεκινήσει τη μεταφορά του προθέματος στον χρήστη, αν αυτό είναι ήδη αποθηκευμένο στη μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης και θα ζητήσει να προσκομιστεί το υπόλοιπο βίντεο (suffix) από τον διακομιστή περιεχομένου.

- **Prefetching methods**

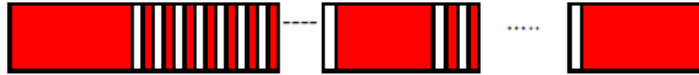
Έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές οι οποίες ως στόχο έχουν την βελτίωση της υποστήριξης μετάδοσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Αυτές οι τεχνικές προσπαθούν να προβλέψουν το επόμενο τμήμα του βίντεο το οποίο θα ζητηθεί από τον χρήστη, ώστε να έχει γίνει η μεταφορά από τον διακομιστή περιεχομένου στον διακομιστή μεσολάβησης πριν ακόμα ζητηθεί το συγκεκριμένο τμήμα. Το μοντέλο το οποίο προτείνεται στο [15] αποτελείται από δύο κύρια μέρη, τον predictor engine και τον prefetching engine. Ο predictor προβλέπει την επόμενη πρόσβαση του χρήστη χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες από το ιστορικό των προηγούμενων προσβάσεων του. Επίσης κρατά τις προσβάσεις που γίνονται από τον διακομιστή περιεχομένου και υιοθετεί τις τρέχουσες αλλαγές στο αρχείο πρόσβασης, οι οποίες θα είναι διαθέσιμες στον διακομιστή μεσολάβησης. Ο prefetcher προσπαθεί να μεταφέρει κάποια τμήματα από το βίντεο πριν αυτά ζητηθούν. Η αρχιτεκτονική που προτείνεται φαίνεται στο Σχ.1.2.2(α).



Σχ.1.2.2(α) Αρχιτεκτονική Prefetching μεθόδου

Ο διακομιστής μεσολάβησης φροντίζει για την πρόβλεψη και την προσκόμιση των τμημάτων κάθε βίντεο, με τη βοήθεια του prefetcher και του predictor. Κανονικά ο διακομιστής μεσολάβησης αποθηκεύει το βίντεο που έχει ήδη μεταδώσει σε ένα πελάτη ώστε να μεταδοθεί αργότερα αν κάποιος άλλος πελάτης ζητήσει το ίδιο βίντεο. Στην αρχιτεκτονική που προτείνεται, κάποιο τμήμα της συνολικής μνήμης του διακομιστή μεσολάβησης προορίζεται για την αποθήκευση τμημάτων πριν ακόμα ζητηθούν (prefetched media chunks) και για τα οποία υπάρχει πρόβλεψη ότι θα ζητηθούν αργότερα. Ο προσαρμοστικός predictor ενημερώνεται συνέχεια από τον διακομιστή περιεχομένου και ενημερώνει την πρόβλεψή του για το μέλλον, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον διακομιστή μεσολάβησης. Ο prefetcher λαμβάνει την ενημέρωση συνεχούς ροής που προβλέφθηκε από τον predictor και ζητά από την μνήμη να επαληθεύσει τα τμήματα τα οποία είναι ήδη αποθηκευμένα σε αυτόν. Μετά την ενημέρωση, ο prefetcher προσπαθεί να προσκομίσει από πριν τα προβλεπόμενα τμήματα στη μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης, εφόσον γίνει μεταφορά από τον διακομιστή περιεχομένου. Ο prefetcher δεν εισάγει ολόκληρο το περιεχόμενο στη μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης αλλά φέρνει το 10% του βίντεο από την αρχή, την μέση και το τέλος.

Τα τμήματα τα οποία έχουν προσκομιστεί πριν ακόμα ζητηθούν θα μπορούν να εξυπηρετήσουν τον πελάτη όταν κάνει αίτηση για το συγκεκριμένο βίντεο. Κατά τη διάρκεια που προβάλλονται τα αρχικά τμήματα ενός βίντεο στον πελάτη, ο διακομιστής μεσολάβησης είναι έτοιμος να προσκομίσει και τα υπόλοιπα τμήματα τα οποία δεν έχουν αποθηκευτεί στη μνήμη του. Η μορφή ενός βίντεο που προσκομίστηκε μερικώς φαίνεται στο Σχ.1.2.2(β).



Σχ.1.2.2(β) : Η δομή ενός βίντεο για Partial Aggressive Prefetching

Στο Σχ.1.2.2(β) τα συμπαγή τμήματα αντιστοιχούν στα τμήματα του βίντεο που έχουν προσκομιστεί και αποθηκευτεί στον διακομιστή μεσολάβησης, ενώ τα μη συμπαγή σε αυτά που δεν έχουν ακόμα προσκομιστεί. Στο [15] επιλέχτηκε να αποθηκεύεται από πριν το 10% ενός βίντεο γιατί οι περισσότερες αιτήσεις παρακολουθούν συνήθως το αρχικό τμήμα των βίντεο και στη συνέχεια μπορεί να μεταβούν στη μέση ή στο τέλος του, ανάλογα με το ενδιαφέρον του χρήστη. Με αυτόν τον τρόπο το σύστημα μπορεί να εξυπηρετήσει τυχαίες προσπελάσεις του βίντεο από έναν χρήστη. Επιπλέον, με αυτόν τον τρόπο το σύστημα πετυχαίνει μείωση του απαιτούμενου εύρους ζώνης γιατί δεν ζητά από την αρχή την μεταφορά μέσω του δικτύου ολόκληρου το περιεχομένου του βίντεο αλλά μόνο κάποιων τμημάτων του.

Στο [16] προτείνεται μια Aggressive Prefetching μέθοδος, η οποία προσπαθεί να διατηρεί αποθηκευμένα τα πιο δημοφιλή τμήματα των βίντεο στη μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης πριν ακόμα αυτά ζητηθούν, έτσι ώστε να μπορεί να υποστηρίξει χωρίς καθυστέρηση τη μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, σε περίπτωση που υπάρξουν αιτήσεις για αυτά. Ο διακομιστής περιεχομένου μπορεί να γνωρίζει τα δημοφιλή βίντεο με βάση το αρχείο καταχώρησης που έχει για κάθε βίντεο. Σε κάθε αίτηση του διακομιστή μεσολάβησης προς τον διακομιστή περιεχομένου στέλνεται η λίστα με τα πιο δημοφιλή βίντεο στον διακομιστή μεσολάβησης. Ακολουθώντας ο διακομιστής μεσολάβησης θα μπορεί να ελέγχει το περιεχόμενο της λίστας και τα προφίλ των πελατών και να αποφασίζει αν πρέπει να αποθηκεύσει στη μνήμη του κάποια τμήματα των βίντεο πριν αυτά ζητηθούν. Κάθε βίντεο στο προτεινόμενο σύστημα, μπορεί να προσκομίζει μόνο τα αρχικά τμήματα του, γιατί αν εισάγονταν ολόκληρα λόγω του μεγάλου μεγέθους τους θα εξαντλούσαν τη μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης. Η λειτουργία prefetching πρέπει να έχει χαμηλότερη προτεραιότητα από την εξυπηρέτηση μιας αίτησης χρήστη και εκτελείται όταν το φόρτος εργασίας του διακομιστή μεσολάβησης δεν είναι μεγάλος.

- **Dynamic Popularity-based Partial Caching**

Στο [5] προτείνεται μια τεχνική δυναμικής αποθήκευσης τμημάτων των βίντεο στην κρυφή μνήμη, η οποία χωρίζει την κρυφή μνήμη σε δύο τμήματα, Cache₁ και Cache₂, για την αποφυγή διαγραφής των δημοφιλέστερων βίντεο από τον διακομιστή μεσολάβησης. Στην Cache₁ αποθηκεύονται τα τμήματα των βίντεο τα οποία έχουν ζητηθεί από τους χρήστες.

Τόσο η αντικατάσταση των τμημάτων από την Cache₁, όσο και η προαγωγή τους στην Cache₂ γίνεται βάση της τιμής του Utility₁, το οποίο ορίζεται από την μαθηματική έκφραση

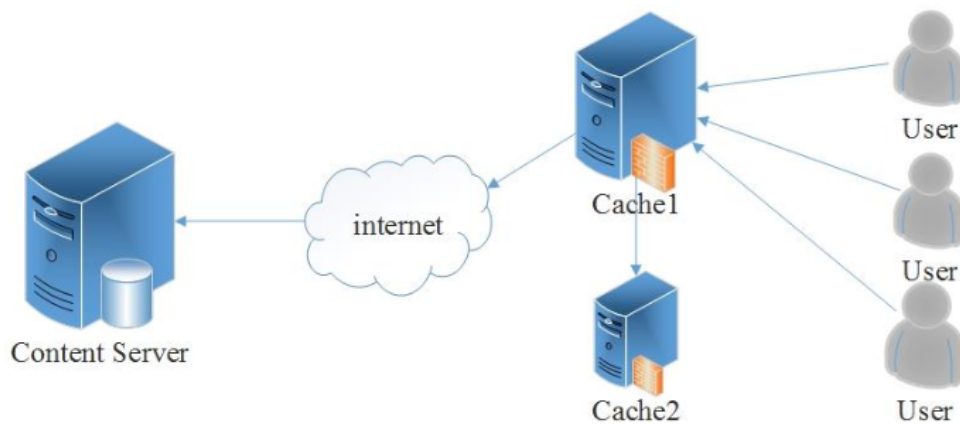
$$Utility_1 = \frac{N_{chunksPlayed} \times F_{recency}}{N_{chunksInSegment} \times N_{request}}, F_{recency} = \frac{1}{1 + \frac{T_{current} - T_{lastAccessed}}{\beta}}$$

όπου η παράμετρος N_{request} δηλώνει τον αριθμό των αιτήσεων που έχουν δεχθεί τα τμήματα βίντεο, το N_{chunksPlayed} αντιστοιχεί στον αριθμό των διαχωρισμένων τμημάτων βίντεο chunks τα οποία έχουν παρακολουθηθεί από τους χρήστες, το N_{chunksInSegment} αντιστοιχεί στο αριθμό των διαχωρισμένων κομματιών σε ένα τμήμα βίντεο, η μεταβλητή F_{recency} υποδηλώνει κατά πόσο ένα τμήμα είναι πρόσφατα αποθηκευμένο στην μνήμη, ενώ T_{current} και T_{lastAccessed} είναι οι χρόνοι άφιξης της αίτησης για ένα τμήμα βίντεο και πρόσβασης του ίδιου τμήματος βίντεο από κάποιον χρήστη, αντίστοιχα. Η παράμετρος β χρησιμοποιείται για την εξομάλυνση της μεταβλητής F_{recency}. Έτσι, εξασφαλίζεται ότι η χρησιμότητα ενός τμήματος βίντεο δεν μεταβάλλεται κατά ένα μεγάλο ποσοστό σε σύντομο χρονικό διάστημα, διαφορετικά θα οδηγούσε σε μια λανθασμένη πρόβλεψη της δημοτικότητας του. Η συνάρτηση ζήτησης Utility₁ μειώνεται όσο τα τμήματα των βίντεο χρησιμοποιούνται πιο σπάνια από τους χρήστες.

Εφόσον έρχονται αιτήσεις από μια μεγάλη μερίδα χρηστών, ορισμένα βίντεο γίνονται αρκετά δημοφιλή με αποτέλεσμα να προωθούνται στην Cache₂. Η συγκεκριμένη προώθηση γίνεται όταν η συνάρτηση ζήτησης Utility₁ μέσω κάποιου κατωφλίου το οποίο είναι βασισμένο στην δημοτικότητα των βίντεο (*popularity-based threshold*). Φυσικά εάν είναι απαραίτητη η αντικατάσταση κάποιου τμήματος από το δεύτερο τμήμα της μνήμης τότε αποφασίζεται πιο τμήμα βίντεο θα διαγραφεί βάση της συνάρτησης ζήτησης Utility₂. Η συνάρτηση ζήτησης Utility₂ των τμημάτων βίντεο που αποθηκεύονται στην Cache₂ δίνεται από την μαθηματική έκφραση

$$Utility_2 = \frac{N_{chunksPlayed} \times P_{nextRequest}}{N_{chunksInSegment} \times N_{request}}, P_{nextRequest} = \frac{1/\lambda}{\max\{1/\lambda, T_{sinceLastRequest}\}}$$

όπου P_{nextRequest} είναι η πιθανότητα η επόμενη αίτηση να αφορά το εκάστοτε τμήμα βίντεο και εξαρτάται από την μέση τιμή (1 / λ) των χρόνων μεταξύ διαδοχικών αφίξεων αιτήσεων αλλά και από την τιμή της μεταβλητής T_{sinceLastRequest} η οποία αντιστοιχεί στον χρόνο άφιξης της τελευταίας αίτησης για ένα τμήμα βίντεο. Ουσιαστικά η παρούσα τεχνική με τον διαχωρισμό της κρυφής μνήμης αποφεύγει να διαγράψει τα τμήματα των βίντεο τα οποία ζητούνται από το μεγαλύτερο ποσοστό των χρηστών. Στο Σχ.1.2.2(γ) απεικονίζεται η αρχιτεκτονική του συστήματος στο [5].



Σχ.1.2.2(γ) : Αρχιτεκτονική Συστήματος Dynamic Popularity-based Partial Caching

1.3 Οργάνωση της εργασίας

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι κύριες ιδέες της εργασίας, δηλαδή οι προτεινόμενοι και εξεταζόμενοι για λόγους σύγκρισης μηχανισμοί αποθήκευσης μαζί με το μοντέλο του συστήματος και τις διάφορες υποθέσεις που γίνονται στην μελέτη. Αρχικά, στην παράγραφο 2.1 εισάγουμε τις βασικές ιδέες για αποθήκευση στο διακομιστή μεσολάβησης και τον τρόπο χειρισμού της μνήμης του. Στην παράγραφο 2.2 παρουσιάζουμε την τοπολογία του συστήματος στην οποία βασιστήκαμε, ωστόσο αναλύουμε τους προτεινόμενους μηχανισμούς δυναμικής αποθήκευσης πληροφορίας βίντεο στον διακομιστή μεσολάβησης. Μια σύντομη αναφορά στην κατανομή ζήτησης των αντικειμένων βίντεο που θα εξετασθεί γίνεται στην παράγραφο 2.3. Ενώ, στις παραγράφους 2.4 και 2.5 γίνεται αναφορά τόσο σε παλαιότερες τεχνικές εισαγωγής και αντικατάστασης βίντεο όσο και σε γενικές τεχνικές τμηματοποίησης πληροφορίας βίντεο στην κρυφή μνήμη.

Το Κεφάλαιο 3 παρουσιάζει το προσομοιωμένο σύστημα και τους προτεινόμενους μηχανισμούς δυναμικής αποθήκευσης. Αρχικά γίνεται αναφορά στην προσομοίωση μαζί με τις παραμέτρους και τις προκαθορισμένες τιμές τους. Στην παράγραφο 3.2 παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων μας. Στην ίδια παράγραφο, σχολιάζεται η πολυπλοκότητα των προτεινόμενων αλγορίθμων ως προς την υλοποίηση τους και την ποσότητα πληροφορίας που χρειάζεται να διατηρούν. Το σύστημα μελετάτε για διαφορετικά σενάρια και τα λαμβανόμενα αποτελέσματα οδηγούν σε ορισμένα συμπεράσματα τα οποία συζητούνται.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται ο επίλογος της διπλωματικής εργασίας. Στην ενότητα 4.1 αναλύονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα των προτεινόμενων μηχανισμών. Ενώ στην επόμενη και τελευταία ενότητα της εργασίας καταγράφονται και συζητούνται μερικές ιδέες για μελλοντικές επεκτάσεις.

Κεφάλαιο 2

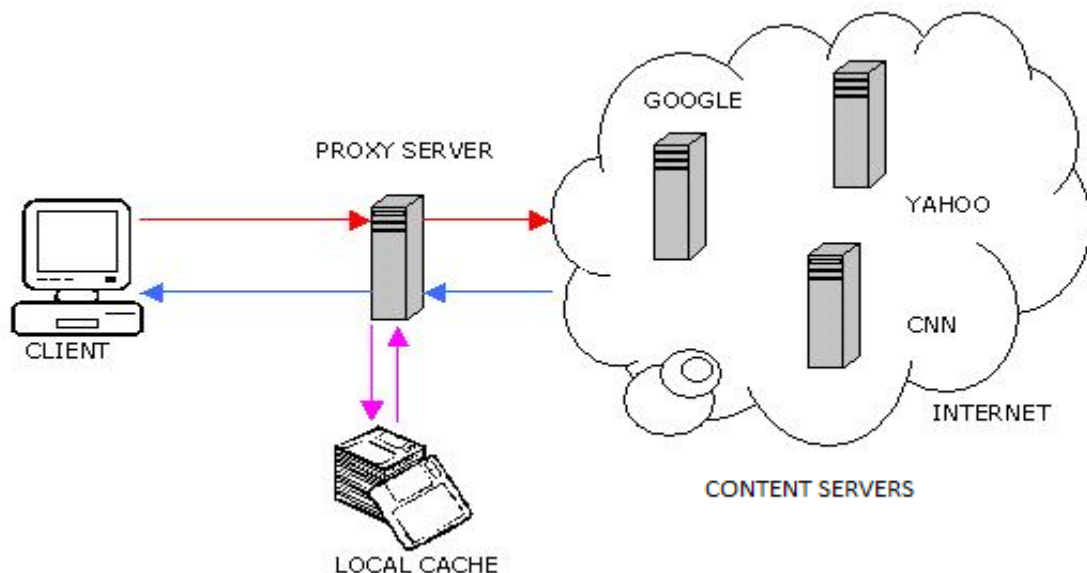
2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα συζητηθούν οι αλγοριθμικές ιδέες για την δυναμική εισαγωγή της εκάστοτε προσκομιζόμενης πληροφορίας στην κρυφή μνήμη, έτσι ώστε να έχουμε αποδοτική αξιοποίηση της μνήμης. Κύριος στόχος είναι να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή αξιοποίηση της κρυφής μνήμης, το οποίο θα συμβεί αν ο μηχανισμός πετυχαίνει να αποθηκεύει στην κρυφή μνήμη τμήματα των δημοφιλέστερων βίντεο του διακομιστή περιεχομένου. Στην μελέτη μας έχει γίνει η υπόθεση ότι κάθε χρήστης παρακολουθεί σειριακά το βίντεο το οποίο ζήτησε από την αρχή μέχρι το τέλος, χωρίς παύσεις ή άλλες κινήσεις από τη μεριά του χρήστη. Επίσης, η κρυφή μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης χωρίζεται σε δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα ονομάζεται $Cache_A$ και μπορεί να αποθηκεύει ένα μικρό τμήμα του κάθε βίντεο, το οποίο αντιστοιχεί στο πρόθεμα του. Το δεύτερο τμήμα της μνήμης ονομάζεται $Cache_B$ και μπορεί να αποθηκεύει ένα μεγαλύτερο τμήμα του βίντεο, το οποίο είναι τμήμα του υπολοίπου μέρους δηλαδή του επιθέματος (suffix) του βίντεο. Κάθε βίντεο έχει μια πιθανότητα ζήτησης, η οποία αποτελεί εκτίμηση της δημοτικότητας του. Στην μελέτη μας η συγκεκριμένη μεταβλητή θα αναφέρεται ως *caching value*. Για τον υπολογισμό του *caching value* ενός τμήματος βίντεο λαμβάνονται υπόψη σημαντικές παράμετροι, όπως ο αριθμός των συνολικών αιτήσεων για το βίντεο, ο αριθμός του τελευταίου τμήματος του βίντεο που αποθηκεύτηκε στην κρυφή μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης, καθώς επίσης και ο χρόνος που έχει παρέλθει μεταξύ της στιγμής της τελευταίας αίτησης για το βίντεο μέχρι την στιγμή της τρέχουσας αίτησης για το ίδιο βίντεο. Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων προκύπτει ότι το προτεινόμενο σχήμα δυναμικής αποθήκευσης στην κρυφή μνήμη επιτυγχάνει σημαντική βελτίωση όσον αφορά τις μετρικές απόδοσης: (i) Byte-Hit Ratio (ii) αριθμός τμημάτων που αντικαθίστανται στην μνήμη του συστήματος, η οποία ορίζεται και ως *overhead* για το σύστημα, σε σχέση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα σχημάτων δυναμικής αποθήκευσης στην κρυφή μνήμη της βιβλιογραφίας. Ωστόσο η απόδοση του συστήματος για την μετρική (iii) ποσοστό αιτήσεων των χρηστών που υπόκεινται καθυστερήσεις στην λήψη των βίντεο, παραμένει στα ίδια επίπεδα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και συζητούνται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3.

2.2 Περιγραφή Συστήματος

2.2.1 Τοπολογία Συστήματος

Η αρχιτεκτονική του συστήματος για δυναμική εισαγωγή της πληροφορίας στην κρυφή μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης φαίνεται στο Σχ.2.1. Κοντά στους χρήστες τοποθετείται διακομιστής μεσολάβησης για την μετάδοση δεδομένων. Όταν ένα αρχείο βίντεο βρίσκεται ήδη αποθηκευμένο στην κρυφή μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης, τότε ο χρήστης μπορεί άμεσα να εξυπηρετηθεί από το σύστημα. Το βίντεο μπορεί να είναι αποθηκευμένο στον διακομιστή μεσολάβησης μερικώς ή ολόκληρο. Στην περίπτωση που ο χρήστης ζητήσει να παρακολουθήσει ένα βίντεο, ενώ το βίντεο δεν βρίσκεται αποθηκευμένο στη κρυφή μνήμη (ολόκληρο ή μερικώς), τότε πρέπει να γίνει μεταφορά του περιεχομένου που ζητήθηκε από τον διακομιστή περιεχομένου προς τον διακομιστή μεσολάβησης. Σε αυτήν την περίπτωση το σύστημα υπόκειται σε σημαντικές καθυστερήσεις με σοβαρές επιπτώσεις στην εκκίνηση της αναπαραγωγής του βίντεο στους χρήστες και με δημιουργία φόρτου εξαιτίας της διακινούμενης πληροφορίας στο δίκτυο. Όταν οι καθυστερήσεις αυτές συμβαίνουν κατά την διάρκεια παρακολούθησης του βίντεο από ένα χρήστη, το αποτέλεσμα θα είναι να μην υπάρχει συνεχής μετάδοση δεδομένων και να διακόπτεται η ροή παρακολούθησης του βίντεο πράγμα που θα κάνει τον χρήστη να δυσφορεί.



Σχ.2.1 : Αρχιτεκτονική συστήματος για μετάδοση δεδομένων

2.2.2 Μηχανισμοί Προσωρινής Αποθήκευσης Τμηματοποιημένης Πληροφορίας Βίντεο DAS1 και DAS2

Στην παρούσα εργασία οι προτεινόμενοι μηχανισμοί προσωρινής αποθήκευσης για το σύστημα, σχεδιάζονται για την περίπτωση που οι χρήστες παρακολουθούν τα βίντεο στην ολότητα τους. Η βασική ιδέα του αλγορίθμου είναι να αποθηκεύει στην κρυφή μνήμη όσο το δυνατόν περισσότερα τμήματα των δημοφιλέστερων βίντεο, δηλαδή αυτών με την μεγαλύτερη πιθανότητα ζήτησης (caching value). Ο προτεινόμενος αλγόριθμός βασίζεται σε ιδέες από τις μελέτες κυρίως στα άρθρα [1] και [2]. Οι προτεινόμενοι μηχανισμοί υλοποίησης δημιουργήθηκαν έτσι ώστε να προσαρμόσουμε στο σύστημα μια πιο επιθετική και δυναμική εισαγωγή των πληροφοριών στην κρυφή μνήμη. Αυτοί οι μηχανισμοί ονομάστηκαν *Dynamic Admission State1* και *Dynamic Admission State2*.

Όταν ο χρήστης κάνει αίτηση για να παρακολουθήσει ένα βίντεο, το σύστημα ψάχνει στην κρυφή μνήμη για το πρόθεμα αυτού του βίντεο στην Cache_A. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει αποθηκευμένο, το πρόθεμα μεταφέρεται από τον εξυπηρετητή περιεχομένου στην κρυφή μνήμη και αποθηκεύεται. Εφόσον το πρόθεμα υπάρχει αποθηκευμένο τότε στο δεύτερο τμήμα η κρυφή μνήμη Cache_B εξετάζεται για να διαπιστωθεί εάν υπάρχουν αποθηκευμένα σε αυτήν επόμενα τμήματα του βίντεο (suffixes). Η εισαγωγή τμημάτων του βίντεο στην Cache_B γίνεται σειριακά. Σε αυτό το σημείο ο μηχανισμός της κρυφής μνήμης *Dynamic Admission State1 (DAS1)* διαχωρίζει τα βίντεο τα οποία βρίσκονται αποθηκευμένα στην κρυφή μνήμη βάσει ενός threshold (CV1) σε 2 επίπεδα ζήτησης. Αντίστοιχα, ο μηχανισμός *Dynamic Admission State2 (DAS2)* διαχωρίζει τα βίντεο τα οποία βρίσκονται αποθηκευμένα στην κρυφή μνήμη βάσει δύο thresholds (CV1 και CV2) σε 3 επίπεδα ζήτησης. Οι τιμές των thresholds χαρακτηρίζονται και υπολογίζονται βάσει του caching value του βίντεο ενώ ο αριθμός των αιτήσεων δεν μεταβάλλεται για τα τμήματα του εκάστοτε βίντεο τα οποία αποθηκεύονται προσωρινά στην κρυφή μνήμη.

Η βασική λογική και των δύο προτεινόμενων μηχανισμών είναι παρόμοια. Ουσιαστικά αυτό που τους χαρακτηρίζει είναι η “επιθετική” εισαγωγή της πληροφορίας δηλαδή η προσομοίωση στην κρυφή μνήμη περισσότερων τμημάτων των εκάστοτε βίντεο έτσι ώστε να επιτραπεί στους χρήστες η παρακολούθηση των δημοφιλέστερων βίντεο όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Κατά την αίτηση κάποιου χρήστη για παρακολούθηση ενός βίντεο ο μηχανισμός DAS1 αποφασίζει να αποθηκεύσει στην κρυφή μνήμη ένα επιπλέον suffix για αυτό το βίντεο εφόσον το caching value του βίντεο ξεπερνά το CV1, αντίστοιχα ο DAS2 αποφασίζει να αποθηκεύσει στην κρυφή μνήμη ένα επιπλέον suffix αυτού του βίντεο εφόσον το caching value του βίντεο βρίσκεται μεταξύ CV1 και CV2.

Όμως στην περίπτωση που το επίπεδο ζήτησης ξεπερνά το όριο CV2 τότε ο μηχανισμός DAS2 αποφασίζει να αποθηκεύσει δύο επιπλέον suffixes. Για την προσωρινή αποθήκευση επιπλέον τμημάτων στην κρυφή μνήμη γίνεται έλεγχος στην Cache_B εάν το βίντεο είναι αποθηκευμένο ολόκληρο ή η Cache_B είναι γεμάτη. Στην περίπτωση όπου η Cache_B είναι γεμάτη ενώ είναι απαραίτητη η δυναμική αποθήκευση τμημάτων βίντεο, τότε ο προσομοιωτής αποφασίζει να διαγράψει τμήματα βίντεο με το μικρότερο caching value από την κρυφή μνήμη, έως ότου να βρεθεί η απαραίτητη χωρητικότητα για την εισαγωγή των νέων τμημάτων.

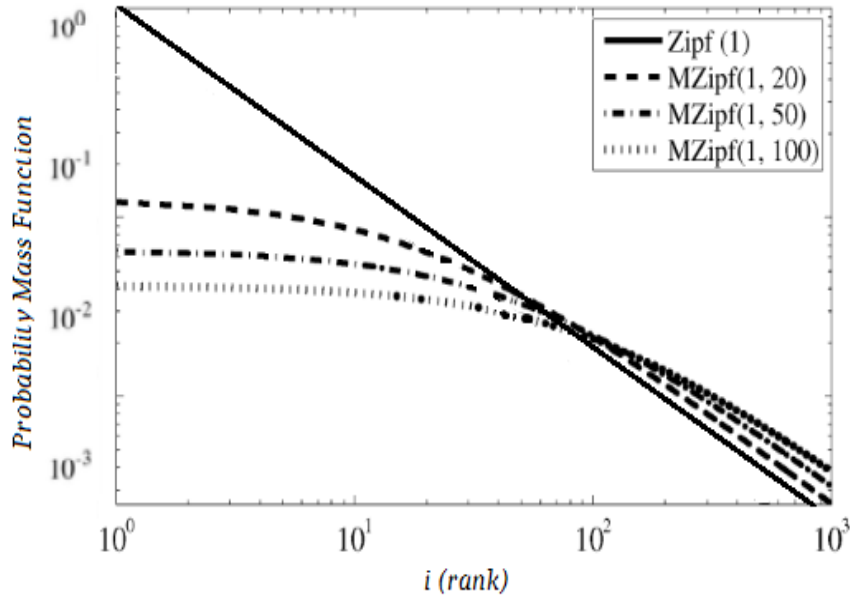
2.3 Η κατανομή Mandelbrot Zipf

Οι πιθανότητες ζήτησης των αντικειμένων βίντεο από τους χρήστες μοντελοποιούνται από την κατανομή Mandelbrot Zipf. Όπως προκύπτει από την βιβλιογραφία, [5] και [8]-[10], η δημοτικότητα των αντικειμένων βίντεο και γενικότερα των πολυμέσων συνεχούς ροής διαφέρει από τις συχνά χρησιμοποιούμενες Zipf-like κατανομές. Σε παλαιότερα άρθρα [1]-[4], η δημοτικότητα των αντικειμένων βίντεο υπολογιζόταν σύμφωνα με την κατανομή Zipf, ωστόσο στην παρούσα εργασία εξετάζεται και μια πιο γενικευμένη μορφή της, η Mandelbrot Zipf. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία ([5], [8] και [10]), η M-Zipf ενισχύει την δημοτικότητα των αντικειμένων με μικρή πιθανότητα ζήτησης ενώ η πιθανότητα ζήτησης των αντικειμένων υψηλής δημοτικότητας μειώνεται ελάχιστα σε σχέση με την κατανομή Zipf. Έτσι προτείνεται η M-Zipf ως ένα μοντέλο που αποτυπώνει καλύτερα την ομαλότητα της καμπύλης των πιθανοτήτων ζήτησης των αντικειμένων από τους χρήστες. Η Mandelbrot Zipf κατανομή ορίζεται ως εκείνη για την οποία η πιθανότητα ζήτησης του βίντεο i από ένα σύνολο N διαθέσιμων βίντεο, δίνεται από την μαθηματική έκφραση

$$P_i = \frac{K}{(i+q)^s}, \text{ όπου } K = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{(i+q)^s}}, i = 1, 2, \dots, N;$$

όπου s η παράμετρος skew που καθορίζει την πολικότητα της κατανομής και q η παράμετρος plateau η οποία καθορίζει την καμπυλότητα της κατανομής.

Αξίζει να σημειωθεί ότι όσο μεγαλύτερη είναι η παράμετρος q τόσο πιο πεπλατυσμένο γίνεται το αριστερό τμήμα της καμπύλης δημοτικότητας. Όταν η παράμετρος q γίνει ίση με μηδέν τότε η M-Zipf κατανομή εκφυλίζεται στην Zipf κατανομή. Για τις τιμές των παραμέτρων της M-Zipf που χρησιμοποιούνται στην εργασία αυτή γίνεται αναφορά στη παράγραφο 3.3. Στο Σχ.2.3 απεικονίζεται η κατανομή Mandelbrot Zipf για διάφορες τιμές της παραμέτρου q και για $s = 1$.



Σχ.2.3 : Η κατανομή Mandelbrot Zipf για διάφορες τιμές του q και για $s = 1$

2.4 Τεχνικές Εισαγωγής και Αντικατάστασης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε σε γνωστές τεχνικές εισαγωγής και αντικατάστασης αντικειμένου ή τμήματος αυτού στην κρυφή μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης, οι οποίες έχουν μελετηθεί στην βιβλιογραφία [1], [2] και [7], τις μεθόδους LRLFU, LRU $_i$ και LFU.

- **Λιγότερο προσφάτως χρησιμοποιημένο τμήμα i (Least Recently Used – LRU $_i$)**

Η χρησιμότητα ενός τμήματος βίντεο δίνεται από την έκφραση $\frac{1}{(T_c - T_r) \times i}$, όπου

T_c είναι η τρέχουσα χρονική στιγμή, T_r είναι η χρονική στιγμή της τελευταίας αίτησης για το τμήμα και i είναι ο αριθμός του τελευταίου τμήματος του βίντεο στην κρυφή μνήμη. Ως κριτήριο για την επιλογή του τμήματος αντικατάστασης χρησιμοποιείται η χρονική στιγμή κατά την οποία ένα τμήμα αντικειμένου που βρίσκεται στη μνήμη είχε την πιο πρόσφατη αίτηση από κάποιον χρήστη. Επίσης σημαντικό ρόλο για την επιλογή του προς αντικατάσταση τμήματος παίζει και ο αριθμός του τελευταίου αποθηκευμένου στην κρυφή μνήμη τμήματος του εκάστοτε βίντεο.

Όπως φαίνεται για το ίδιο βίντεο το πρώτο τμήμα έχει μεγαλύτερο caching value σε σχέση με το τελευταίο τμήμα. Θύμα επιλέγεται εκείνο το τμήμα βίντεο που έχει την μικρότερη χρησιμότητα.

- **Λιγότερο συχνά χρησιμοποιημένο (Least Frequently Used – LFU)**

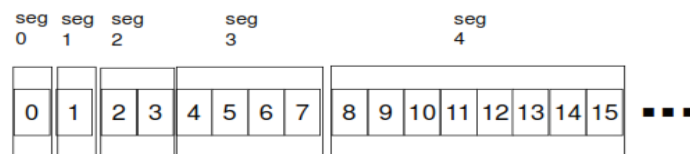
Η LFU προσπαθεί να αντικαταστήσει τα τμήματα βίντεο από την κρυφή μνήμη τα οποία οι χρήστες χρησιμοποιούν λιγότερο συχνά (*frequency based*) ενώ παράλληλα εισάγει στην κρυφή μνήμη τα δημοφιλέστερα τμήματα βίντεο βάσει της συχνότητας ζήτησης τους. Ως κριτήριο για την επιλογή του τμήματος αντικατάστασης, χρησιμοποιείται μόνο ο αριθμός των αιτήσεων για τα διάφορα τμήματα βίντεο που βρίσκονται στην κρυφή μνήμη (RF). Θύμα επιλέγεται εκείνο το τμήμα που έχει τον μικρότερο αριθμό αιτήσεων σε κάποιο χρονικό διάστημα. Ωστόσο, η τεχνική LFU έχει ένα σοβαρό μειονέκτημα το οποίο αναφέρεται στην εργασία [12] και ως hot cache pollution. Αυτή η περίπτωση συμβαίνει όταν κάποια τμήματα βίντεο έχουν συσσωρεύσει ένα μεγάλο αριθμό αιτήσεων στην αρχή της λειτουργίας του συστήματος ενώ με την πάροδο του χρόνου έχουν πάψει να είναι δημοφιλή για τους χρήστες. Το αποτέλεσμα είναι να παραμένουν στην κρυφή μνήμη για μεγάλο χρονικό διάστημα ορισμένα τμήματα βίντεο τα οποία δεν είναι πλέον αρκετά δημοφιλή για τους χρήστες.

- **Λιγότερο πιο πρόσφατα και συχνά χρησιμοποιημένο (Least Recently Least Frequency Used – LRLFU)**

Η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου είναι αυξημένη σε σχέση με αυτήν στις τεχνικές LRU και LFU, δεδομένου ότι χρησιμοποιεί ένα σύνθετο κριτήριο απόφασης για την επιλογή του τμήματος που θα βγει από την κρυφή μνήμη. Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψη του τη συχνότητα με την οποία ζητούνται τα διάφορα τμήματα των βίντεο και τις χρονικές στιγμές κατά τις οποίες κάθε τμήμα βίντεο που βρίσκεται αποθηκευμένο στην κρυφή μνήμη είχε την πιο πρόσφατη αναζήτηση από κάποιον χρήστη. Η χρησιμότητα ενός τμήματος δίνεται από την έκφραση $\frac{RF}{(T_c - T_r)}$, όπου RF είναι η μεταβλητή που αντιστοιχεί στον αριθμό των αιτήσεων που το τμήμα έχει ζητηθεί από τη χρονική στιγμή που εισήχθη στη κρυφή μνήμη μέχρι τον τρέχοντα χρόνο, και T_c , T_r , είναι όπως ορίστηκαν στην συζήτηση της μεθόδου LRUi παραπάνω. Αν ένα τμήμα βίντεο απομακρυνθεί από την κρυφή μνήμη, τότε ο αντίστοιχος μετρητής του αριθμού αναζητήσεων μηδενίζεται και όταν το τμήμα ξαναμπει αργότερα στην κρυφή μνήμη η καταγραφή του αριθμού των αναζητήσεων του θα ξεκινήσει από το ένα. Η μέθοδοι αντικατάστασης που προτείνονται και εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική είναι οι LRLFU και LRUi.

2.5 Τεχνικές Τμηματοποίησης Πληροφορίας

Στο [11] προτάθηκε η τμηματοποίηση του βίντεο με τέτοιο τρόπο ώστε το μέγεθος του κάθε τμήματος να αυξάνεται εκθετικά με τον δείκτη του, όπως φαίνεται στο Σχ.2.5. Η ιδέα αυτή στηρίζεται στην παρατήρηση ότι τα αρχικά τμήματα των βίντεο είναι πιο πιθανόν να προσπελαστούν από τους χρήστες σε αντίθεση με τα τελευταία τμήματα. Έτσι όταν απαιτείται αφαίρεση κάποιου βίντεο θύματος θα μπορεί να αφαιρεθεί ένα μεγάλο τελευταίο τμήμα του βίντεο χωρίς αυτό να επηρεάζει σημαντικά την δυνατότητα υποστήριξης μελλοντικών αιτήσεων για το ίδιο βίντεο.



Σχ.2.5 : Εκθετική τμηματοποίηση – Pyramid Segmentation

Στις εργασίες [1] και [2] προτάθηκε και η τμηματοποίηση του βίντεο με βάση ένα σταθερό αριθμό από blocks (Fixed Segmentation). Επιπλέον έχει προταθεί η ιδέα να αφιερώνεται ένα μέρος της συνολικής μνήμης για την αποθήκευση του προθέματος κάθε βίντεο (prefix) και το υπόλοιπο μέρος της μνήμης να προορίζεται για τα υπόλοιπα τμήματα των βίντεο (suffixes). Το πρόθεμα αντιστοιχεί σε ένα σταθερό αριθμό K_{min} από τα αρχικά blocks του βίντεο και υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την καθυστέρηση που θα υπάρχει στο σύστημα αν τα blocks αυτά δεν βρίσκονται αποθηκευμένα στον διακομιστή μεσολάβησης την στιγμή που έρχεται η αίτηση για το συγκεκριμένο βίντεο. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα λιγότερες καθυστερήσεις κατά το ξεκίνημα αναπαραγωγής των βίντεο. Η ιδέα είναι να αποθηκεύονται στη μνήμη μόνο τα δημοφιλή βίντεο. Βασικός παράγοντας είναι η απόσταση του τμήματος από τη αρχή του βίντεο (segment number). Κάθε τμήμα με αριθμό μικρότερο από το όριο K_{min} (δηλαδή κάθε τμήμα που ανήκει στο prefix ενός βίντεο) θα είναι πάντα επιλέξιμο για αποθήκευση. Αν ο αριθμός αυτός είναι μεγαλύτερος από K_{min} τότε το τμήμα θα είναι επιλέξιμο μόνο αν το caching value που έχει είναι μεγαλύτερο από το caching value κάποιων άλλων τμημάτων που είναι ήδη αποθηκευμένα στη μνήμη και τα οποία έχουν επίσης αριθμό τμήματος μεγαλύτερο από K_{min} .

Κεφάλαιο 3

3.1 Μετρικές Απόδοσης του Συστήματος

Κύριος στόχος της παρούσας εργασίας είναι η αποδοτική αξιοποίηση της κρυφής μνήμης του διακομιστή μεσολάβησης έτσι ώστε το σύστημα να αποθηκεύει επιπλέον τμήματα των πιο δημοφιλών βίντεο στη μνήμη, ενώ παράλληλα να προσαρμόζεται εύκολα και γρήγορα σε τυχόν αλλαγές στη δημοτικότητα των βίντεο με απώτερο σκοπό να μειωθεί ο όγκος πληροφορίας που μεταφέρεται από τον διακομιστή περιεχομένου στον διακομιστή μεσολάβησης. Κύρια μετρική απόδοσης για το σύστημά μας είναι το Byte-Hit Ratio (*BHR*) το οποίο ορίζεται ως ο συνολικός αριθμός από bytes που βρίσκονται στον διακομιστή μεσολάβησης όταν έρθει μια αίτηση για κάποιο βίντεο, σε σχέση με το συνολικό αριθμό από bytes που ζητήθηκαν (δηλαδή το συνολικό μέγεθος του βίντεο, γιατί στην περίπτωση μας έχουμε υποθέσει ότι ο χρήστης παρακολουθεί ολόκληρο το βίντεο). Η μετρική αυτή δίνει μια συνολική εικόνα για την κίνηση του δικτύου, γιατί όσο αυξάνεται η τιμή της τόσο λιγότερη πληροφορία θα απαιτείται να μεταφερθεί από τον διακομιστή περιεχομένου στον διακομιστή μεσολάβησης μέσω του δικτύου. Επιπλέον όσο μεγαλύτερο είναι το BHR τόσο λιγότερο εύρος ζώνης απαιτείται, γιατί θα χρειάζεται μεταφορά λιγότερων blocks από τον διακομιστή περιεχομένου στον διακομιστή μεσολάβησης. Το BHR παίρνει τιμές μεταξύ του 0 και 1.

Μια δεύτερη μετρική απόδοσης που εξετάζεται στην βιβλιογραφία είναι οι καθυστερημένες εκκινήσεις αναπαραγωγής των βίντεο στις οποίες υπόκεινται οι χρήστες (*Delayed Starts*). Η μετρική αυτή ορίζεται ως το ποσοστό των συνολικών αιτήσεων που έχουν υποστεί καθυστέρηση κατά το ξεκίνημα του αντίστοιχου βίντεο σε σχέση με τις συνολικές αιτήσεις που εξυπηρετήθηκαν από το σύστημα. Αν έρθει αίτηση για κάποιο βίντεο και δεν είναι ήδη αποθηκευμένο το πρόθεμα του στο τμήμα της κρυφής μνήμης $Cache_A$, τότε η αίτηση αυτή υφίσταται καθυστέρηση κατά το ξεκίνημα του βίντεο. Αν η μετρική αυτή έχει μεγάλη τιμή, σημαίνει ότι το σύστημα τείνει να αποθηκεύει τα λάθος βίντεο στη μνήμη A και όχι τα πιο δημοφιλή. Οι καθυστερήσεις αυτές είναι ενοχλητικές για τους χρήστες και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να τους αποτρέψουν από το να συνεχίσουν να περιμένουν για να δουν το βίντεο. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία δεν εστιάζουμε στην συγκεκριμένη μετρική απόδοσης γιατί το ποσοστό των καθυστερημένων εκκινήσεων αναπαραγωγής των βίντεο κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα από τις εργασίες [1] και [2], τα οποία ορίζουμε ως σημεία αναφοράς και σύγκρισης με τα δικά μας αποτελέσματα.

Τα αποτελέσματα μας για την μετρική απόδοσης Delayed Starts συμπίπτουν με αυτά στην βιβλιογραφία για τον απλούστατο λόγο ο,τι οι προτεινόμενοι από εμάς μηχανισμοί δεν είναι υπεύθυνοι για την αποθήκευση προθεμάτων των βίντεο, έτσι δεν επιδρούν καθόλου με την κρυφή μνήμη Cache_A.

Η τελευταία μετρική απόδοσης που εξετάζουμε είναι ο αριθμός των συνολικών αντικαταστάσεων των τμημάτων (*Number of Segment Replacements*) που γίνονται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Αν η μετρική αυτή έχει μικρή τιμή σημαίνει ότι είναι μικρό το κόστος σε ότι αφορά τη διαχείριση της μνήμης και οι στρατηγικές που εφαρμόζονται είναι αποτελεσματικές σε αυτόν τον τομέα. Θεωρούμε ότι η αφαίρεση ενός προθέματος (prefix) του βίντεο από τη κρυφή μνήμη A και η αφαίρεση ενός επιθέματος (suffix) του βίντεο από τη κρυφή μνήμη B αντιστοιχούν σε μια αντικατάσταση.

3.2 Μοντέλο Προσομοίωσης

Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των μηχανισμών *DAS1* και *DAS2* με βάση το μοντέλο προσομοίωσης το οποίο περιγράφεται στην παρούσα ενότητα. Οι προτεινόμενοι μηχανισμοί χρησιμοποιούν τόσο τεχνικές εισαγωγής και αντικατάστασης (*LRLFU* και *LRUi*) όσο και τεχνικές τμηματοποίησης βίντεο (*Fixed* και *Pyramid Segmentation*) τις οποίες συζητήσαμε στις ενότητες 2.4 και 2.5 αντίστοιχα. Για να μπορεί να γίνει η αξιολόγηση των μηχανισμών χρησιμοποιούμε το ίδιο μοντέλο προσομοίωσης με τις καλύτερες μεθόδους από τα [1], [2]. Έχουμε υποθέσει ότι οι αφίξεις αιτήσεων για τα διάφορα βίντεο μοντελοποιούνται σύμφωνα με κατανομή Poisson και άρα οι χρόνοι μεταξύ διαδοχικών αφίξεων είναι εκθετικά κατανομημένοι με μέση τιμή $1 / \lambda$. Η παράμετρος $1 / \lambda$ θεωρείται ίση με 60sec. Στο σύστημά μας υποτίθεται ότι υπάρχουν *V* διαφορετικά βίντεο τα οποία αρχικά είναι αποθηκευμένα στη μνήμη του διακομιστή περιεχομένου. Το μέγεθος των βίντεο καθορίζεται με βάση μια ομοιόμορφη (*Uniform*) κατανομή μεταξύ $0.5 * M$ και $1.5 * M$ blocks. Το *M* ορίζεται ίσο με 2.000 και αντιστοιχεί στο μέσο μέγεθος βίντεο. Ο χρόνος που αντιστοιχεί σε ένα block υποτίθεται ίσος με 1.8 δευτερόλεπτα, το οποίο σημαίνει ότι η διάρκεια των βίντεο κυμαίνεται μεταξύ 30 και 90 λεπτών. Το πρόθεμα όπως ήδη αναφέρθηκε αντιστοιχεί σε *Bp* blocks. Το *Bp* θεωρείται ίσο με 32 το οποίο δηλώνει ότι η συνολική διάρκεια του προθέματος είναι 57.6 δευτερόλεπτα. Η δημοτικότητα των βίντεο μπορεί να προσεγγιστεί με μια Zipf-like κατανομή. Η κατανομή αυτή ακολουθεί ένα προβλέψιμο πιθανοτικό πρότυπο. Το πρότυπο ανακαλύφθηκε από τον George Zipf και ονομάζεται νόμος του Zipf.

Ο νόμος αυτός ορίζει ότι, αν έχουμε V αντικείμενα τα οποία μπορούμε να διατάξουμε σύμφωνα με τη δημοτικότητά τους, ώστε το αντικείμενο 1 να είναι το πιο δημοφιλές και το αντικείμενο V το λιγότερο δημοφιλές, τότε στη γενική περίπτωση η πιθανότητα εμφάνισης του i -πιο δημοφιλούς αντικειμένου ισούται με, [9] :

$$P_i = \frac{K}{i^s}, \text{ όπου } K = \frac{1}{\sum_{i=1}^V \frac{1}{i^s}}$$

Από την εξίσωση παρατηρούμε ότι όσο πιο μικρός είναι ο εκθέτης s (skew), τόσο πιο σκεβρωμένη είναι η κατανομή. Ενώ όσο το s πλησιάζει το 1, τόσο περισσότερο η κατανομή πλησιάζει την ομοιόμορφη (για $s = 1$, ταυτίζεται με την ομοιόμορφη κατανομή). Όλα τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο αυτό αντιστοιχούν σε $s = 0.2$. Η συνολική χωρητικότητα της κρυφής μνήμης του διακομιστή μεσολάβησης έχει οριστεί ίση με 400.000 blocks, το οποίο αντιστοιχεί κατά μέσο όρο στο 10% του συνολικού όγκου που καταλαμβάνουν όλα τα βίντεο. Το τμήμα της μνήμης $Cache_A$ έχει διαθέσιμη μνήμη το 10% της συνολικής χωρητικότητας της cache, δηλαδή 40.000 blocks και το υπόλοιπο 90% είναι διαθέσιμο στην $Cache_B$.

Κατά την προσομοίωση του συστήματος, εάν το πρόθεμα ενός βίντεο υπάρχει ήδη στην $Cache_A$ ενώ παράλληλα ο χρήστης έχει παρακολουθήσει το αρχικό μέρος του βίντεο, τότε το σύστημα αποθηκεύει το επόμενο επίθεμα (suffix) του βίντεο προς παρακολούθηση στην $Cache_B$. Στο σημείο αυτό οι μηχανισμοί DAS1/DAS2 (ανάλογα ποιον χρησιμοποιεί το σύστημα κάθε φορά) ελέγχουν το επίπεδο ζήτησης του συγκεκριμένου βίντεο βάση των thresholds CV1 και CV2. Όσο μικρότερες είναι οι τιμές των thresholds τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των βίντεο για τα οποία το σύστημα δυναμικά αποφασίζει να αποθηκεύσει παραπάνω τμήματα στην $Cache_B$. Κάθε φορά που υπάρχει μια νέα αίτηση στο σύστημα ελέγχεται η χωρητικότητα του τμήματος της κρυφής μνήμης $Cache_B$. Εάν, ο χρησιμοποιούμενος μηχανισμός θεωρεί αναγκαία την αποθήκευση ενώ η $Cache_B$ είναι γεμάτη, τότε διαγράφονται τα τελευταία τμήματα βίντεο μέχρις ότου υπάρξει ελεύθερος χώρος. Τα συγκεκριμένα τμήματα των βίντεο διαγράφονται βάση του caching value του εκάστοτε βίντεο ανάλογα με την τεχνική αντικατάστασης που χρησιμοποιείτε. Οι τεχνικές εισαγωγής και αντικατάστασης συζητήθηκαν αναλυτικά στην παράγραφο 2.4. Όλες οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου του συστήματος φαίνονται στον πίνακα 3.2.

Παράμετροι	Περιγραφή (προκαθορισμένες τιμές)
Bp	Μέγεθος προθέματος (32 blocks)
1/λ = mean	Μέση τιμή μεταξύ διαδοχικών αφίξεων αιτήσεων για τα διάφορα βίντεο (60 sec)
V	Αριθμός διακριτών βίντεο στο σύστημα (2.000)
s	Παράμετρος skew στη Zipf-like κατανομή (0.2)
M	Μέσο μέγεθος βίντεο (2000 blocks)
kminseg	Αρχικά τμήματα αποθήκευσης των βίντεο στην cacheA (1 ή 6)
CV1	Κατώφλι διαχωρισμού των βίντεο σε δημοφιλή για τον μηχανισμό DAS1 και DAS2 ($9 \cdot 10^{-7}$ έως $9 \cdot 10^{-2}$)
CV2	Κατώφλι διαχωρισμού των βίντεο σε αρκετά δημοφιλή για τον μηχανισμό DAS2 ($9 \cdot 10^{-5}$ έως $9 \cdot 10^{-2}$)
CacheCapacity	Συνολική χωρητικότητα μνήμης (400.000 blocks)
Portion	Ποσοστό συνολικής μνήμης το οποίο είναι διαθέσιμο για αποθήκευση των αρχικών τμημάτων των βίντεο στην cacheA (10%)
TotalReq	Αριθμός συνολικών αιτήσεων προσομοίωσης (100.000 αιτήσεις)

Πίνακας 3.2 : Παράμετροι του συστήματος και οι προκαθορισμένες τιμές τους

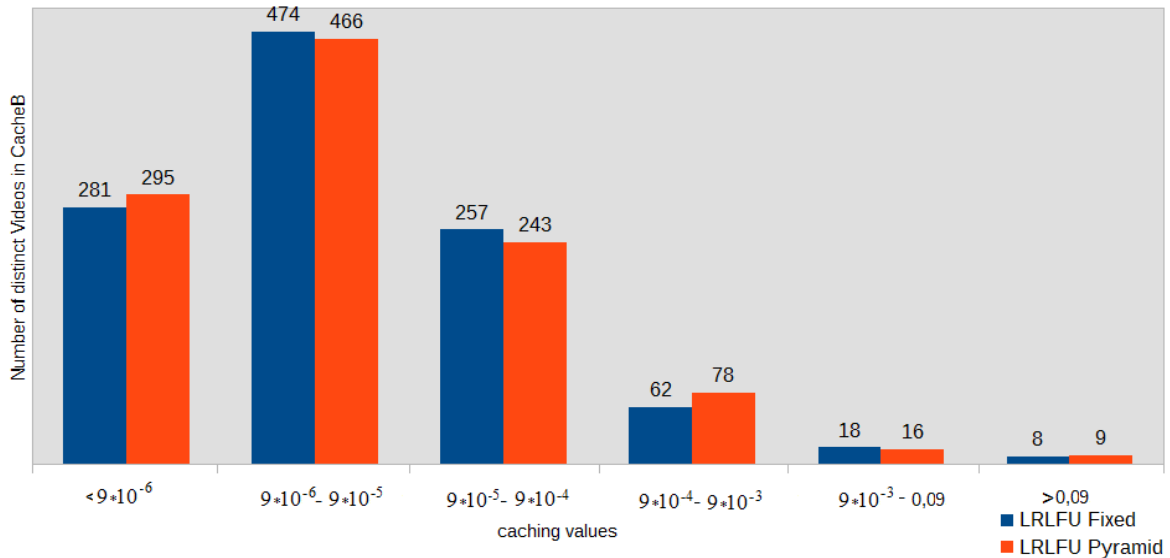
3.3 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και συζητείται η αποδοτικότητα των προτεινόμενων μηχανισμών DAS1 και DAS2 μαζί με τα αντίστοιχα αποτελέσματα από τα [1] και [2] για λόγους σύγκρισης. Τα αποτελέσματα των [1] και [2] αποτυπώνονται στα Σχ.3.3.2-3.3.5 για τιμές των thresholds ίσες με μηδέν για λόγους διευκόλυνσης των συγκρίσεων. Οι μηχανισμοί που εφαρμόστηκαν για τις τεχνικές αντικατάστασης τμημάτων είναι οι LRLFU και LRU_i, επίσης εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικές τεχνικές τμηματοποίησης των βίντεο στην κρυφή μνήμη (Fixed και Pyramid). Για την διευκόλυνση της παρουσίασης των αποτελεσμάτων θα ορίσουμε ανάλογα με την διαφοροποίηση των μεθόδων τους μηχανισμούς σε *DAS1/DAS2 in LRLFU with Fixed Segmentation*, *DAS1/DAS2 in LRLFU with Pyramid Segmentation*, *DAS1/DAS2 in LRU_i with Fixed Segmentation* και *DAS1/DAS2 in LRU_i with Pyramid Segmentation*.

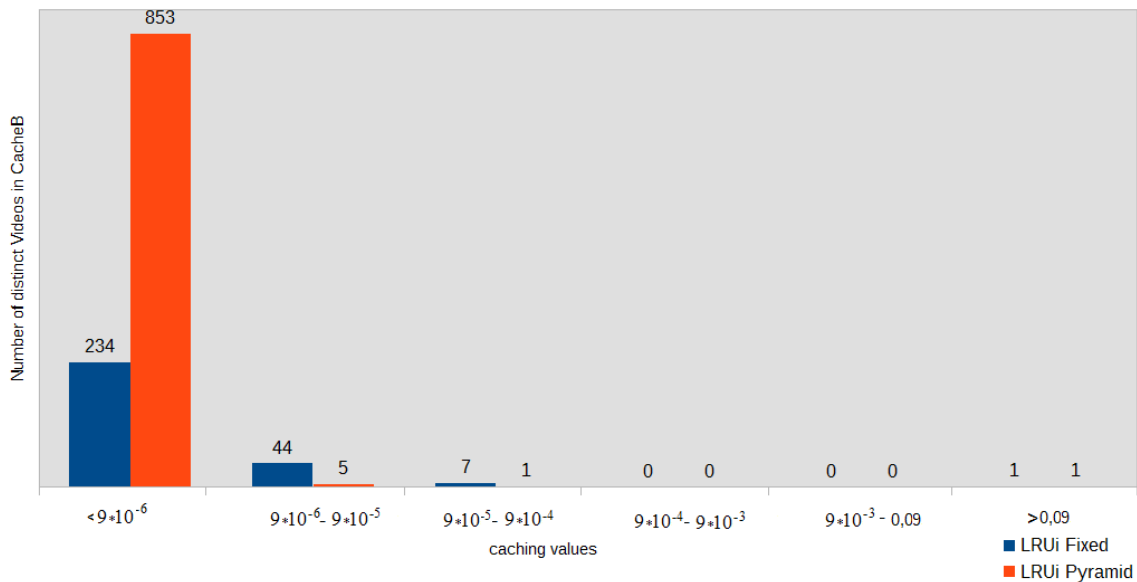
Η επιλογή των τιμών των thresholds έγινε μετά από αρκετές δοκιμές μέσω προσομοιώσεων. Στο τέλος κάθε προσομοίωσης έγινε έλεγχος των caching values των αντικειμένων βίντεο, τα οποία ήταν αποθηκευμένα στην Cache_B του διακομιστή μεσολάβησης. Με αυτόν τον τρόπο ξεχωρίσαμε τα βίντεο, τα οποία δεν επιλέχθηκαν από οποιονδήποτε χρήστη, όπως επίσης και τα αντικείμενα βίντεο που δεν ήταν αρκετά δημοφιλή για να παραμείνουν στην κρυφή μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης. Στα Σχ.3.3.1(α), (β) παρατηρούμε τα ιστογράμματα του αριθμού των βίντεο που είναι αποθηκευμένα στην Cache_B στο τέλος της προσομοίωσης με τις δύο τεχνικές αντικατάστασης και τις τεχνικές τμηματοποίησης Fixed και Pyramid, για διαφορετικά διαστήματα τιμών των κατωφλίων των caching values.

Με βάση τα αποτελέσματα των ιστογραμμάτων παρατηρούμε ότι στις τεχνικές εισαγωγής και αντικατάστασης LRLFU ανεξαρτήτως της τεχνικής τμηματοποίησης των βίντεο, αποθηκεύονται περισσότερα τμήματα βίντεο στην κρυφή μνήμη Cache_B για μικρές τιμές του caching value. Δηλαδή, για επιλογή κατωφλίων διαχωρισμού στο διάστημα τιμών $9 \cdot 10^{-6}$ έως $9 \cdot 10^{-5}$ παρατηρούμε ότι έχουν αποθηκευθεί στην κρυφή μνήμη περίπου 470 βίντεο (**23%** των συνολικών βίντεο του διακομιστή περιεχομένου). Στην τεχνική εισαγωγής και αντικατάστασης LRU_i(Σχ.3.3.1β) παρατηρούμε ότι όσο μικρότερη είναι η επιλογή των διαστημάτων των caching values, όλο και περισσότερα τμήματα βίντεο αποθηκεύονται στην κρυφή μνήμη.

Στο Σχ.3.3.1(β) παρατηρούμε ότι για επιλογή κατωφλίων διαχωρισμού με τιμές μικρότερες από $9 \cdot 10^{-6}$, η LRUi Fixed αποθηκεύει στην κρυφή μνήμη μόλις **12%** των συνολικών βίντεο του διακομιστή περιεχομένου σε αντίθεση με την LRUi Pyramid η οποία αποθηκεύει το **43%**.



Σχ.3.3.1(α) : Κατανομή caching values των αποθηκευμένων βίντεο στην Cache_B για LRLFU (τυπική στιγμή κρυφής μνήμης)

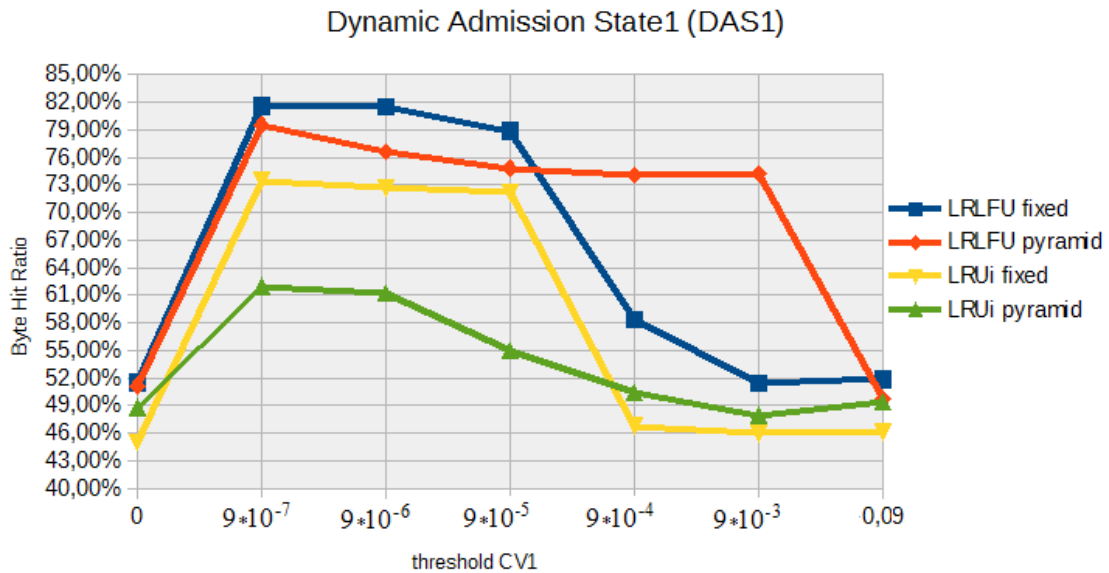


Σχ.3.3.1(β) : Κατανομή caching values των αποθηκευμένων βίντεο στην Cache_B για LRUi (τυπική στιγμή κρυφής μνήμης)

Από τα αποτελέσματα στο Σχ.3.3.2 παρατηρούμε ότι όσον αφορά στην μετρική BHR και οι δύο προτεινόμενοι μηχανισμοί που υλοποιούν προσωρινή δυναμική αποθήκευση τμηματοποιημένης πληροφορίας υπερτερούν των μεθόδων στα [1] και [2]. Επίσης από τα αποτελέσματα στο Σχ.3.3.3 παρατηρούμε ότι ο αριθμός των τμημάτων που αντικαθίστανται στην μνήμη του συστήματος (*Number of Segment Replacements*) μειώνεται σημαντικά με αποτέλεσμα το σύστημα να επιβαρύνεται λιγότερο. Όπως φαίνεται στα Σχ.3.3.2 - Σχ.3.3.5, τα αποτελέσματα των μετρικών BHR και *Number of Segment Replacements* είναι αντιστρόφως ανάλογα. Η εξήγηση είναι απλή αφού στην περίπτωση που το σύστημα λειτουργεί καλύτερα (υψηλό BHR), έχει ως αποτέλεσμα να εισάγει περισσότερα τμήματα των δημοφιλέστερων βίντεο στην κρυφή μνήμη. Έτσι το σύστημα θα αντικαθιστά λιγότερα τμήματα βίντεο από την κρυφή μνήμη αφού οι περισσότεροι χρήστες θα βρίσκουν στην κρυφή μνήμη τα βίντεο που ζητούν να παρακολουθήσουν.

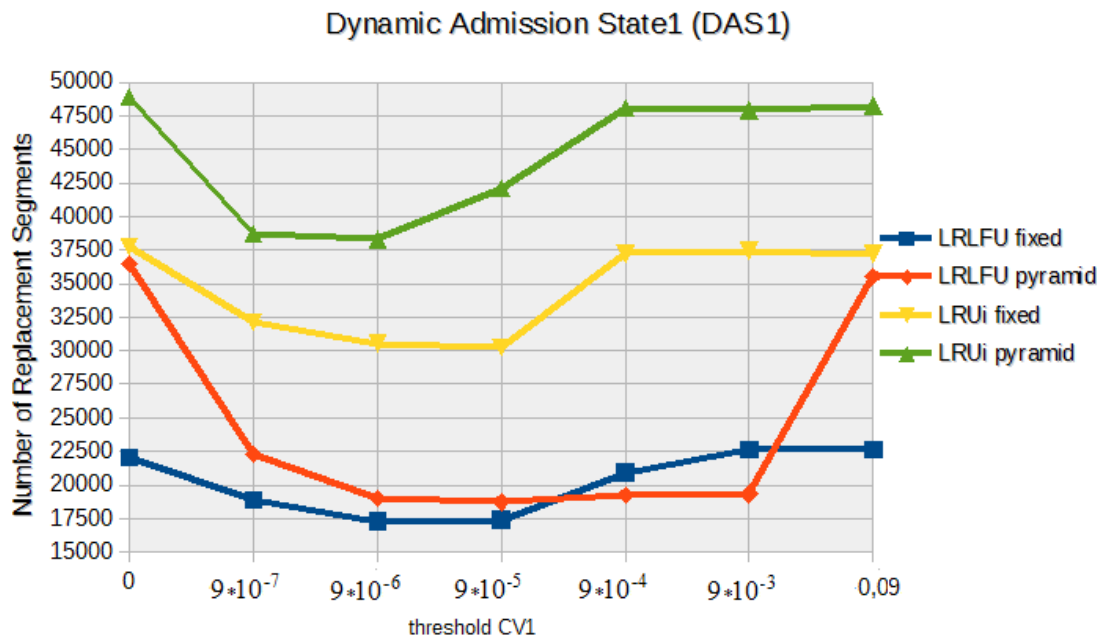
Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, όσο μικρότερη είναι τιμή που επιλέγεται στο όριο CV1, τόσο καλύτερα επιτυγχάνεται αποθήκευση περισσότερων τμημάτων δημοφιλών βίντεο. Πιο συγκεκριμένα από τα αποτελέσματα στο Σχ.3.3.2, για τιμές του CV1 έως και $9 \cdot 10^{-5}$, παρατηρείτε ότι ο μηχανισμός DAS1 με την εφαρμογή των μεθόδων, *LRLFU with Fixed Segmentation* επιτυγχάνει βελτίωση στο BHR κατά μέσο όρο **29%** σε σχέση με τα αποτελέσματα των [1], [2]. Ενώ ο ίδιος μηχανισμός με την εφαρμογή των μεθόδων *LRLFU with Pyramid Segmentation* και *LRUi with Fixed Segmentation* επιτυγχάνει βελτίωση στο BHR των [1], [2] κατά μέσο όρο **25.5%** και **27.5%**, αντίστοιχα. Η μέθοδος *DAS1 in LRUi with Pyramid Segmentation* επιτυγχάνει την μικρότερη βελτίωση, δηλαδή κατά μέσο όρο **10.5%**. Η μεγάλη βελτίωση που παρατηρείται στην εφαρμογή των δύο πρώτων μεθόδων, οφείλεται στην στρατηγική εισαγωγής και αντικατάστασης της Cache_B, η οποία επιτρέπει στα δημοφιλή βίντεο να αποθηκεύσουν γρήγορα τα τμήματα τους στην κρυφή μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης. Η μέθοδος *LRUi with Fixed Segmentation* επιτυγχάνει παραπλήσιες τιμές βελτίωσης με αυτές των *LRUi with Pyramid/ Fixed Segmentation* αφού η τεχνική τμηματοποίησης βίντεο σταθερού μήκους επιτρέπει την αποθήκευση περισσότερων τμημάτων στην κρυφή μνήμη. Με την επιλογή μεγαλύτερης τιμής του κατωφλίου διαχωρισμού CV1 από το $9 \cdot 10^{-5}$, τα αποτελέσματα επιτυγχάνουν ελάχιστη βελτίωση ή και καθόλου.

Σε αυτήν την περίπτωση το σύστημα αποθηκεύει ελάχιστα επιπλέον τμήματα από τα δημοφιλή βίντεο. Βέβαια αξίζει να σημειωθεί ότι η μέθοδος *LRLFU with Pyramid Segmentation* συνεχίζει να επιτυγχάνει βελτίωση σε σχέση με τα αποτελέσματα των [1] και [2] κατά μέσο όρο **15%** για τιμές του κατωφλίου διαχωρισμού CV1 μέχρι και $9 \cdot 10^{-3}$.



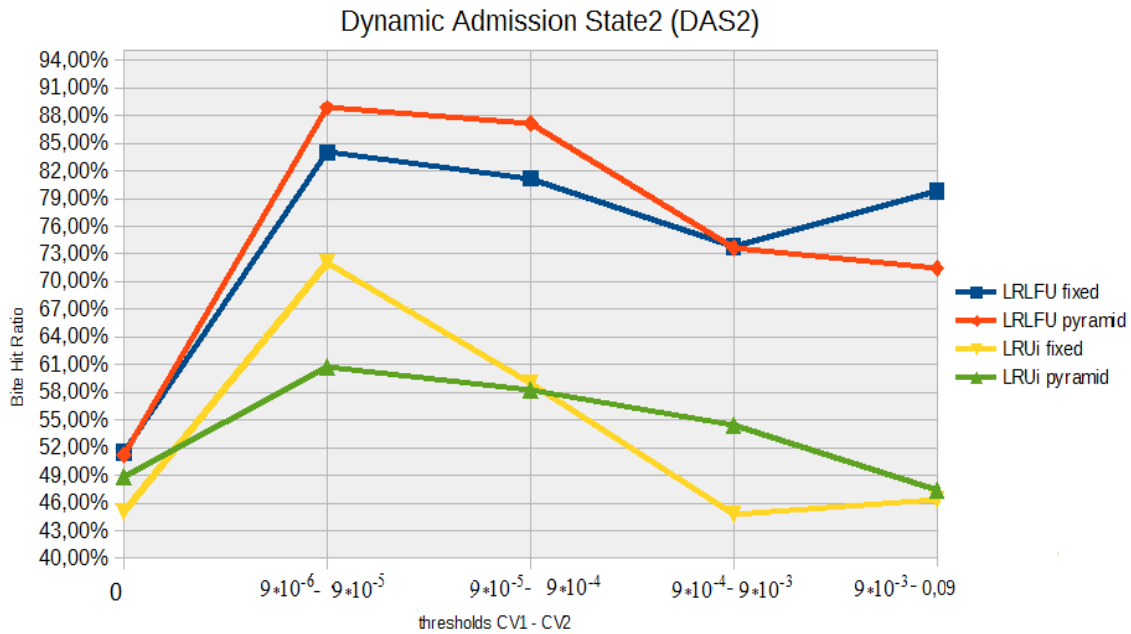
Σχ.3.3.2 : Byte Hit Ratio για τον μηχανισμό DAS1 σαν συνάρτηση των τιμών του κατωφλίου διαχωρισμού CV1

Στο Σχ.3.3.3 φαίνεται ότι ο μηχανισμός DAS1 με την τεχνική εισαγωγής και αντικατάστασης LRLFU επιφέρει τον μικρότερο συνολικό αριθμό αντικαταστάσεων τμημάτων βίντεο στην κρυφή μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης. Ωστόσο ελαφρά μεγαλύτερη ποσοστιαία βελτίωση σε σχέση με τα αποτελέσματα στα [1] και [2], επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της μεθόδου *LRLFU with Pyramid Segmentation* με μέσο όρο **47%**, ενώ οι υπόλοιπες τεχνικές (LRLFU Fixed, LRUi Pyramid και LRUi Fixed) επιτυγχάνουν ποσοστά βελτίωσης περίπου **11%**. Η γραφική της μεθόδου *LRLFU with Pyramid Segmentation* επιτυγχάνει σχεδόν σταθερή τιμή για την μετρική Number of Segment Replacements για τιμές του κατωφλίου διαχωρισμού CV1 μεταξύ των $9 \cdot 10^{-7}$ και $9 \cdot 10^{-3}$, διότι στο σύστημα με την εκθετική τμηματοποίηση τα τελευταία τμήματα των βίντεο αποτελούνται από μεγάλο αριθμό από μπλοκ. Έτσι με το πέρασμα του χρόνου η αντικατάσταση τέτοιων τμημάτων από την κρυφή μνήμη ελευθερώνει περισσότερη χωρητικότητα στην $Cache_B$ για την προσωρινή αποθήκευση άλλων τμημάτων βίντεο.



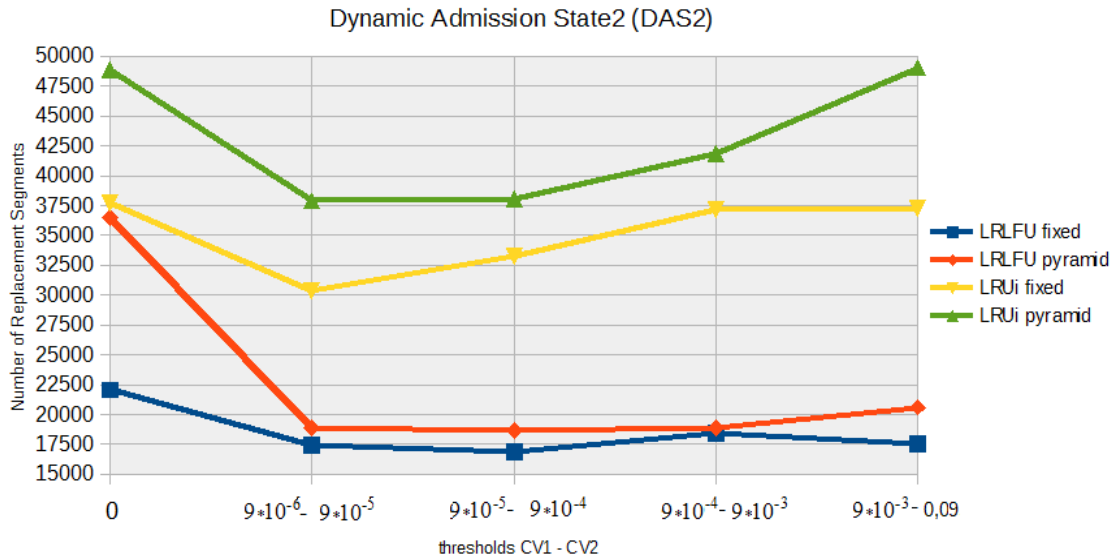
Σχ.3.3.3 : Number of Segment Replacements για τον μηχανισμό DAS1 σαν συνάρτηση των τιμών του κατωφλίου διαχωρισμού CV1

Στα Σχ.3.3.4 και Σχ.3.3.5 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των προτεινόμενων μεθόδων για τον μηχανισμό δυναμικής αποθήκευσης DAS2. Παρατηρούμε ότι και με αυτόν τον προτεινόμενο μηχανισμό επιτυγχάνει παρόμοια βελτίωση των μετρικών BHR και Number of Segment Replacements με αυτή του DAS1. Πιο συγκεκριμένα, ο μηχανισμός DAS2 επιτυγχάνει καλύτερα αποτελέσματα με την τεχνική αντικατάστασης LRLFU έναντι της LRUi. Ο DAS2 επιτυγχάνει βελτίωση σε σχέση με τα ποσοστά BHR των [1], [2], κατά μέσο όρο **28%**(LRLFU Fixed), **29%**(LRLFU Pyramid), **10.5%**(LRUi Fixed) και **6%**(LRUi Pyramid). Όμως ο μηχανισμός DAS2 δρά πιο επιθετικά από τον DAS1, αφού για τα δημοφιλέστερα βίντεο αποφασίζει να αποθηκεύσει δύο επιπλέον τμήματα στην κρυφή μνήμη για κάθε νέα αίτηση για αυτά. Γι αυτό τον λόγο παρατηρείτε απότομη μείωση της απόδοσης του συστήματος κατά την επιλογή μεγαλύτερων τιμών μεταξύ των thresholds CV1 και CV2 ($9 \cdot 10^{-4} - 0.09$). Όμως σε αυτήν την περίπτωση, όταν ο μηχανισμός χρησιμοποιεί τις μεθόδους *LRUi with Fixed Segmentation* και *LRUi with Pyramid Segmentation* επιτυγχάνει παρόμοια αποτελέσματα με αυτά των [1], [2], δηλαδή περίπου **45%** και **48.5%** για το BHR, αντίστοιχα. Συνεπώς, στην περίπτωση χρήσης της μεθόδου LRUi άσχετα από την χρησιμοποιούμενη τεχνική τμηματοποίησης η επιτυγχανόμενη βελτίωση είναι πολύ μικρή έως ανύπαρκτη.



Σχ.3.3.4 : Byte Hit Ratio για τον μηχανισμό DAS2 σαν συνάρτηση των διαστημάτων μεταξύ των κατωφλίων διαχωρισμού CV1 και CV2

Όσον αφορά τον αριθμό συνολικών αντικαταστάσεων τμημάτων βίντεο στην κρυφή μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης, ο μηχανισμός DAS2 επιτυγχάνει βελτίωση για εφαρμογή οποιασδήποτε μεθόδου αντικατάστασης, συγκριτικά με τα αποτελέσματα των [1], [2]. Σημείο αναφοράς στο Σχ.3.3.5 είναι ο μικρός αριθμός Number of Segment Replacements που επιτυγχάνεται με τις μεθόδους *LRLFU with Fixed Segmentation* και *LRLFU with Pyramid Segmentation* για οποιαδήποτε επιλεγόμενη τιμή των κατωφλίων διαχωρισμού CV1 και CV2, με μέσο όρο βελτίωσης **20.5%** και **47%**, αντίστοιχα. Υπενθυμίζουμε ότι η τεχνική εισαγωγής και αντικατάστασης LRLFU χρησιμοποιεί ένα σύνθετο και αποτελεσματικό κριτήριο απόφασης για την επιλογή του τμήματος που θα αντικατασταθεί στην κρυφή μνήμη. Έτσι ο μηχανισμός DAS2 σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να εισάγει επιθετικά πολλά από τα τμήματα των δημοφιλέστερων βίντεο με αποτέλεσμα να ικανοποιούνται από την κρυφή μνήμη οι περισσότερες αιτήσεις των χρηστών.

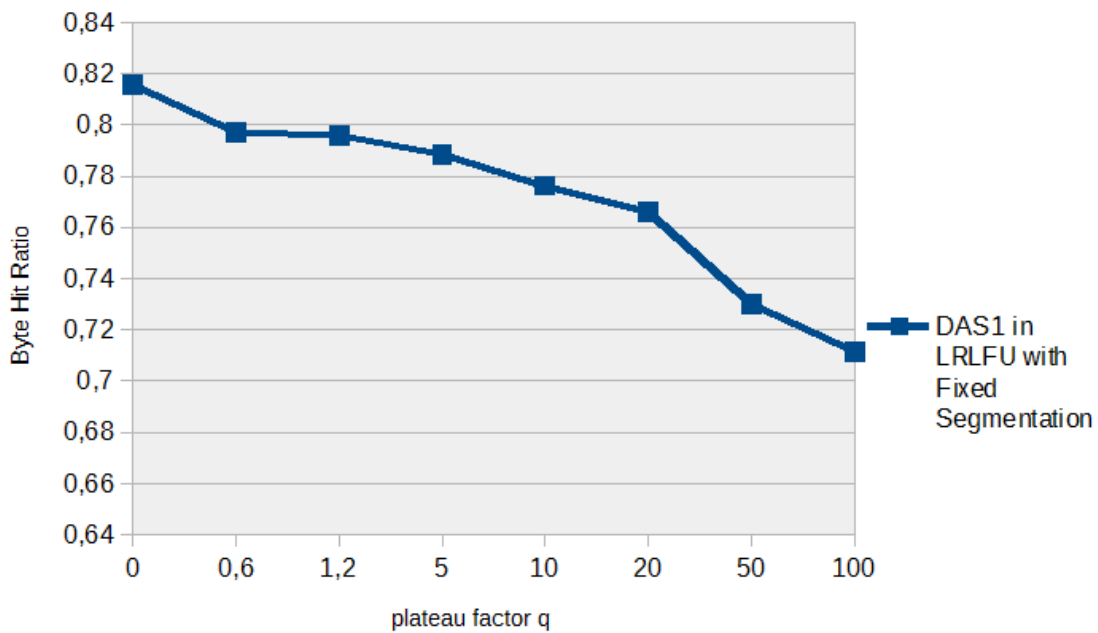


Σχ.3.3.5 : Number of Segment Replacements για τον μηχανισμό DAS2 σαν συνάρτηση των διαστημάτων μεταξύ των κατωφλίων διαχωρισμού CV1 και CV2

3.3.1 Η επίδραση διαφορετικών τιμών του παράγοντα q της κατανομής M-Zipf

Στην ενότητα αυτή προσομοιώνουμε την λειτουργία του συστήματος χρησιμοποιώντας την κατανομή Mandelbrot Zipf, για διαφορετικές τιμές του παράγοντα καμπυλότητας q . Εστιάζουμε την μελέτη μας στον μηχανισμό *DAS1 in LRLFU with Fixed Segmentation* γιατί φαίνεται να παρουσιάζει εξίσου καλές τιμές BHR με αυτές της μεθόδου *LRLFU with Pyramid Segmentation*. Παρόλα αυτά ο *DAS1 in LRLFU with Fixed Segmentation* υπερισχύει της δεύτερης μεθόδου όσον αφορά τον συνολικό αριθμό αντικαταστάσεων τμημάτων στην κρυφή μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης. Όσο η παράμετρος s της Zipf κατανομής πλησιάζει το 0, τόσο πιο εύκολο είναι να ξεχωρίζουν τα δημοφιλή βίντεο γιατί οι πιθανότητες εμφάνισής τους είναι αρκετά υψηλότερες από την περίπτωση με μεγαλύτερο s . Αντίστοιχα, όσο η παράμετρος s πλησιάζει το 1 η κατανομή Zipf, πλησιάζει την ομοιόμορφη και οι πιθανότητες εμφάνισης κάθε βίντεο είναι πιο κοντινές. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν σε $s = 0.2$, τιμή που έχει χρησιμοποιηθεί συχνά στην βιβλιογραφία [1], [2].

Στην γραφική του Σχ.3.3.6 που ακολουθεί, παρατηρούμε την συμπεριφορά του μηχανισμού *DAS1 in LRLFU with Fixed Segmentation* όταν αλλάζει η παράμετρος *plateau* q στην M-Zipf κατανομή. Το σενάριο αυτό είναι σημαντικό, καθώς μπορεί να μας δώσει εικόνα για τη συμπεριφορά του μηχανισμού σε ένα περιβάλλον στο οποίο οι χρήστες έχουν διαφορετικές προτιμήσεις για τα διαφορετικά βίντεο. Από τα αποτελέσματα στο Σχ.3.3.6 παρατηρούμε ότι όσο η παράμετρος q αυξάνεται τόσο μειώνεται το BHR του συστήματος. Όπως, αναφέραμε και στην ενότητα 2.3, η κατανομή M-Zipf με παράμετρο $q = 0$ εκφυλίζεται στην κατανομή Zipf. Υπενθυμίζουμε ότι η παράμετρος q ελέγχει το αριστερό τμήμα της κατανομής, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του q τόσο πιο πεπλατυσμένη είναι η καμπύλη δημοτικότητας στα αντικείμενα βίντεο μεγάλης δημοτικότητας. Αυτό σημαίνει ότι σε μια τέτοια περίπτωση οι αιτήσεις των χρηστών για βίντεο χαμηλότερης δημοτικότητας είναι περισσότερες, με αποτέλεσμα να έχουμε μικρότερο όφελος από την προσωρινή αποθήκευση των πλέον δημοφιλών βίντεο.

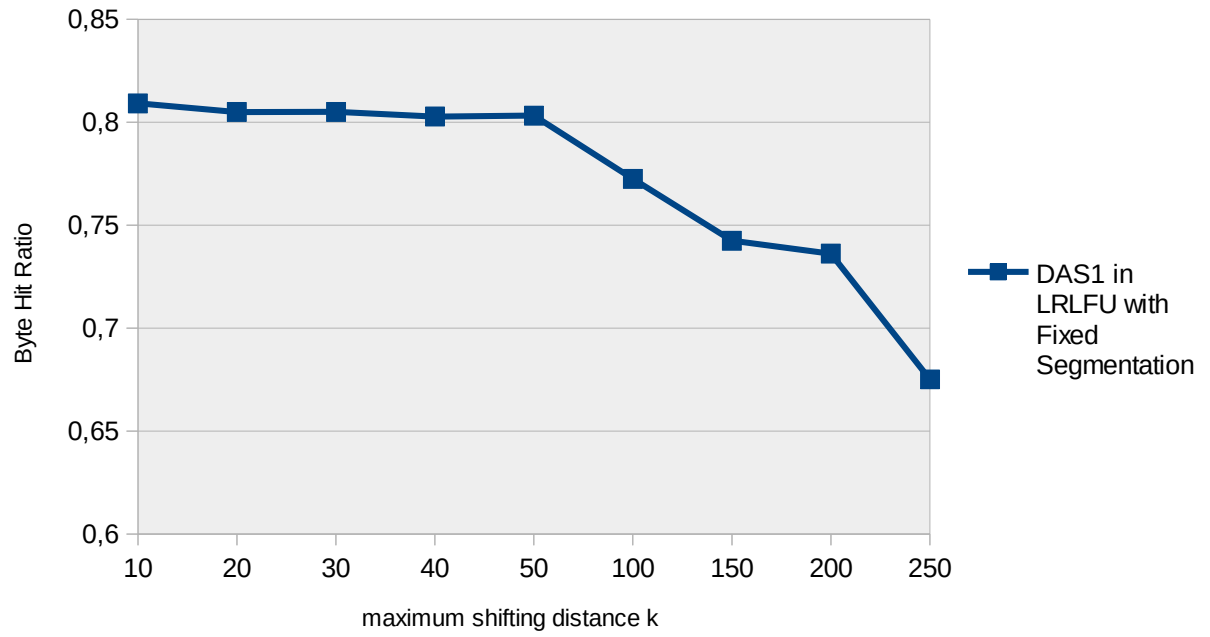


Σχ.3.3.6 : Byte Hit Ratio σαν συνάρτηση της παραμέτρου q της M-Zipf κατανομής δημοτικότητας των βίντεο με $s = 0.2$, $CV1 = 9 \cdot 10^{-6}$

3.3.2 Η επίδραση διαφορετικών μέγιστων μετατοπίσεων κατά την αλλαγή δημοτικότητας των βίντεο με τον χρόνο

Είδαμε στην προηγούμενη ενότητα την συμπεριφορά του συστήματος με την κατανομή της Mandelbrot-Zipf. Σε αυτήν την ενότητα επιστρέφουμε στην επιλογή της αρχικής κατανομής Zipf και υποθέτουμε, όπως και στα [1] και [2], ότι η δημοτικότητα των βίντεο αλλάζει κάθε R αιτήσεις χρηστών. Όταν συμβεί αυτό, υπολογίζεται μια δεύτερη Zipf-like κατανομή με τις ίδιες παραμέτρους s και V . Για να συσχετίσουμε τις δύο κατανομές χρησιμοποιούμε μια σταθερά k η οποία παίρνει ακέραιες τιμές μεταξύ 1 και V . Το πρώτο πιο δημοφιλές βίντεο στην πρώτη Zipf-like κατανομή θα αντιστοιχεί στο r_1 πιο δημοφιλές βίντεο στη δεύτερη Zipf-like κατανομή, το r_1 επιλέγεται ομοιόμορφα μεταξύ 1 και k . Ακολούθως το δεύτερο πιο δημοφιλές βίντεο στην πρώτη Zipf-like κατανομή θα αντιστοιχεί στο r_2 πιο δημοφιλές βίντεο στη δεύτερη Zipf-like κατανομή, το r_2 επιλέγεται ομοιόμορφα μεταξύ 1 και $\min(V, k+1)$, εκτός από την τιμή r_1 η οποία δεν επιτρέπεται. Αυτό επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί η αλλαγή δημοτικότητας και των V βίντεο. Η τιμή k αντιστοιχεί στη μέγιστη μετατόπιση στην δημοτικότητα που μπορεί να συμβεί σε ένα βίντεο όταν γίνεται η αντιστοιχία από την πρώτη στη δεύτερη Zipf-like κατανομή. Για $k = 1$ έχουμε τέλεια συσχέτιση και για $k = V$ δεν υπάρχει συσχέτιση. Στην προσομοίωση μας θεωρούμε $R = 200$. Έχουμε δηλαδή υιοθετήσει το σενάριο στο οποίο η δημοτικότητα των βίντεο αλλάζει περίπου κάθε 3 ώρες. Η προσομοίωση μας εξετάζει τη συμπεριφορά του μηχανισμού *DASI in LRLFU with Fixed Segmentation* σαν συνάρτηση της τιμής της μέγιστης μετατόπισης στην δημοτικότητα των βίντεο (k).

Από τα αποτελέσματα στο Σχ.3.3.7 παρατηρούμαι ότι το BHR μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός της μέγιστης μετατόπισης στη δημοτικότητα των βίντεο. Όπως αναφέραμε πιο πριν όσο αυξάνεται η τιμή της παραμέτρου k , τόσο μεγαλώνει η πιθανότητα για ένα βίντεο να βρεθεί ανάμεσα στα τελευταία στις προτιμήσεις των χρηστών ενώ προηγουμένως είχε υψηλή πιθανότητα ζήτησης. Σαν αποτέλεσμα, όλο και περισσότερα τμήματα των δημοφιλών βίντεο, τα οποία ήταν αποθηκευμένα στην κρυφή μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης, αντικαθίστανται κάθε R αιτήσεις. Από το Σχ.3.3.7 παρατηρούμε ότι για $R = 200$ και $k = 250$ ο μηχανισμός *DASI in LRLFU with Fixed Segmentation* επιτυγχάνει BHR μειωμένο κατά **13.5%** από αυτό της περίπτωσης $R = 200$ και $k = 10$.



Σχ.3.3.7 : Byte Hit Ratio για τον μηχανισμό DAS1 σαν συνάρτηση της μέγιστης μετατόπισης στην δημοτικότητα των βίντεο, $CV1 = 9 \cdot 10^{-6}$, $R = 200$

Κεφάλαιο 4

Στο Κεφάλαιο αυτό αναλύεται η συμβολή της διπλωματικής εργασίας και προτείνονται ιδέες για μελλοντικές επεκτάσεις.

4.1 Συνεισφορά διπλωματικής εργασίας

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάσαμε δύο μηχανισμούς τους DAS1 και DAS2, οι οποίοι προτάθηκαν με σκοπό να βελτιώσουν την απόδοση των υπαρχόντων μηχανισμών στα [1] και [2] δρώντας πιο επιθετικά από τους τελευταίους, αφού οι προτεινόμενοι μηχανισμοί αποθηκεύουν στην κρυφή μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης επιπλέον τμήματα των δημοφιλέστερων βίντεο. Χρησιμοποιήσαμε τεχνικές εισαγωγής και αντικατάστασης τμημάτων αλλά και τεχνικές τμηματοποίησης των βίντεο για αποθήκευση στην κρυφή μνήμη από αυτές που συζητούνται στα [1], [2].

Η επιλογή κατάλληλων τιμών για τα κατώφλια που χρησιμοποιούν οι δύο προτεινόμενοι μηχανισμοί είναι σημαντική για την επίδοση του συστήματος, αφού η επιλογή μεγάλης τιμής επιτυγχάνει μικρές βελτιώσεις τόσο στην μετρική απόδοσης BHR όσο και στην μετρική Number of Segment Replacements. Στην τελευταία περίπτωση, το σύστημα αποφασίζει να αποθηκεύσει στην κρυφή μνήμη του διακομιστή μεσολάβησης μόλις έως και 5% των βίντεο του διακομιστή περιεχομένου. Από τις προσομοιώσεις συμπεραίνουμε ότι η καλύτερη επιλογή τιμών κατωφλίου διαχωρισμού του συστήματος είναι στο διάστημα από $9 \cdot 10^{-6}$ έως $9 \cdot 10^{-5}$.

Οι μέθοδοι *LRLFU with Fixed/ Pyramid Segmentation* είναι καλύτερες από τις μεθόδους *LRU_i with Fixed/ Pyramid Segmentation* και αυτό γιατί το κριτήριο εισαγωγής και αντικατάστασης τμημάτων βίντεο των πρώτων μεθόδων λαμβάνει υπόψη του τη συχνότητα με την οποία ζητούνται τα διάφορα τμήματα των βίντεο και τις χρονικές στιγμές κατά τις οποίες κάθε βίντεο που βρίσκεται αποθηκευμένο στην κρυφή μνήμη είχε την πιο πρόσφατη αναζήτηση από κάποιον χρήστη.

Ο μηχανισμός DAS2 λειτουργεί με σκοπό την πιο “επιθετική” εισαγωγή τμημάτων στην κρυφή μνήμη σε σχέση με τον DAS1. Παρόλα αυτά και οι δύο προτεινόμενοι μηχανισμοί (DAS1 και DAS2) επιτυγχάνουν παρόμοια βελτίωση αποτελεσμάτων στην μετρική BHR σε σχέση με τα αποτελέσματα των [1], [2].

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο προτεινόμενων μηχανισμών όσον αφορά την τεχνική τμηματοποίησης των βίντεο παρατηρούμε ότι ο *DASI in LRLFU with Fixed Segmentation* επιτυγχάνει παρόμοια βελτίωση στην μετρική BHR με τον *DASI in LRLFU with Pyramid Segmentation* για επιλογή τιμής κατωφλίου $9 \cdot 10^{-5}$. Παρόλα αυτά προτιμάτε ο *DASI in LRLFU with Fixed Segmentation* γιατί επιτυγχάνει μικρότερο CPU Overhead, αφού χρειάζεται έως και 1.000 λιγότερες αντικαταστάσεις τμημάτων βίντεο στην κρυφή μνήμη στην διάρκεια της προσομοίωσης. Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο πιο αποδοτικός μηχανισμός για το σύστημα είναι ο *DASI in LRLFU with Fixed Segmentation* και για τιμή κατωφλίου μικρότερη από $9 \cdot 10^{-5}$.

Επίσης από τα αποτελέσματα προσομοιώσεων φαίνεται ότι η κατανομή M-Zipf παρουσιάζει παρόμοια αποτελέσματα BHR με αυτά της κατανομής Zipf στην περίπτωση με τιμή της παράμετρου q μικρότερη από 10. Βέβαια η τιμή της παραμέτρου καμπυλότητας q είναι αρκετά μικρότερη της μονάδας στις περισσότερες περιπτώσεις στην πράξη. Τέλος, παρατηρήσαμε ότι οι προτεινόμενοι μηχανισμοί υφίστανται μείωση του BHR με την αύξηση των μέγιστων μετατοπίσεων κατά την αλλαγή δημοτικότητας των βίντεο με τον χρόνο.

4.2 Ιδέες για μελλοντική εργασία

Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η υλοποίηση αλγορίθμων που μπορούν να υποστηρίξουν περισσότερες κινήσεις των χρηστών στο βίντεο όπως pause, rewind, fast forward. Είναι λογικό ότι ένα βίντεο που είναι εξ' ολοκλήρου αποθηκευμένο στην κρυφή μνήμη μπορεί να εξυπηρετήσει όλες τις κινήσεις του χρήστη. Θα ήταν ενδιαφέρον να εξεταστεί αν μέθοδοι που εισάγουν ολόκληρο το περιεχόμενο των βίντεο στην κρυφή μνήμη, μπορούν να εξυπηρετήσουν τις αιτήσεις χρηστών οι οποίοι θα χρησιμοποιούν όλους τους βαθμούς ελευθερίας κινήσεων. Ένα επιπλέον, ενδιαφέρον χαρακτηριστικό που θα μπορούσε να προστεθεί στο σύστημα είναι η υποστήριξη περισσότερων της μίας εκδόσεων για κάθε αντικείμενο βίντεο, όπου η κάθε έκδοση θα αντιστοιχεί σε διαφορετική ποιότητα ανάλυσης και φυσικά θα έχει διαφορετικό μέγεθος.

Βιβλιογραφία

- [1] A. Satsiou, M. Paterakis, “Impact of Frequency-Based Cache Management Policies on the Performance of Segment Based Video Caching Proxies”, in Proc. of the 2004 IFIP Networking Conference, pp. 1120-1131, 2004, Athens, Greece.
- [2] A. Satsiou, M. Paterakis “Frequency-based cache management policies for collaborative and non-collaborative topologies of segment based video caching proxies”, in Springer Multimedia Systems, vol. 12, pp. 117-133, Sept. 2006.
- [3] S.M. Bhandarkar, L. Ramaswamy, H. K. Devulapally “Collaborative caching for efficient dissemination of personalized video streams in resource constrained environments”, in Springer Multimedia Systems, vol.20, pp. 1-23, Jan. 2013.
- [4] S. Chen, Bo Shen, S. Wee, X. Zhang “Adaptive and Lazy Segmentation Based Proxy Caching for Streaming Media Delivery”, in NOSSDAV’03, pp. 22-31, June 1-3, 2003, Monterey, California, USA.
- [5] K. M. Agrawal, T. Venkatesh, D. Medhi “A Dynamic Popularity-based Partial Caching Scheme fir Video on Demand Service in IPTV Networks”, in Proceedings of the Sixth International Conference on Communication Systems and Networks, January 2014, Bangalore, India.
- [6] M. Theodorou, M. Paterakis “Efficient Cache Management Policies for Streaming Proxies Supporting Complete and Partial Video Playback”, in Proceedings of the 2014 Fifth International Conference on Next Generation Networks (NGNS), pp. 270-277, May 28-30, 2014, Casablanca, Morocco.
- [7] J. Li, J. Wu, G. Dan, A. Arvidsson, M. Kihl “Performance Analysis of Local Caching Replacemnet Policies for Internet Video Streaming Services”, in Proceedings of the 22nd International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCom 2014), pp. 341-348, 17-19 Sept. 2014, Split, Croatia.
- [8] M. Hefeeda, O. Saleh “Traffic Modeling and Proportional Partial Caching for Peer-to-Peer Systems” in IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.16, No.6, pp. 1447-1460, December 2008.

- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Zipf%E2%80%93Mandelbrot_law
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/Zipf%27s_law
- [11] S. Chen, H. Wang, X. Zhang, B. Shen and S. Wee, “Segment-based proxy caching for internet streaming media delivery,” *IEEE Multimedia*, vol. 12, no. 3, pages 59–67, July 2005.
- [12] R. Ayani, Y. M. Teo, Y. Seen Ng, “Cache Pollution in Web Proxy Servers”, in *International Parallel and Distributed Processing Symposium*, IEEE Computer Society, pp. 248 , Apr 2003.
- [13] J. Liu, J. Xu, “Proxy caching for Media Streaming over the Internet”, *IEEE Communications*, pages 88-94, August 2004
- [14] S. Sen, J. Rexford and D. Towsley, “Proxy prefix caching for multimedia streams”, in *Proc. IEEE INFOCOM Conf.*, pages 1310-1319, 1999.
- [15] P. Ponnusamy, E. Karthikeyan, “An Observed Study on Improved Caching by Adaptive and Partial Aggressive Prefetching”, in *International Journal Computer Science and Applications*, vol 1, pages 190-194, 2010.
- [16] J. Yuan, Q. Sun, S. Rahardja, “A More Aggressive Prefetching Scheme for Streaming Media Delivery over the Internet”, in *Proc. Visual Communications and Image Processing*, vol. 6508, pp. 650818-1–8, Feb. 2007.