

ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΜΕ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΠΟΛΛΩΝ ΑΛΜΑΤΩΝ

Η
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Υποβάλλεται στην

ορισθείσα από τη Γενική Συνέλευση Ειδικής Σύνθεσης
του Τμήματος Πληροφορικής
Εξεταστική Επιτροπή

από τον

Ιωάννη Παπαδόπουλο

ως μέρος των Υποχρεώσεων

για τη λήψη

του

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ
ΜΕ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ιούλιος 2012

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Στην οικογένειά μου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ευάγγελο Παπαπέτρου για τη σημαντική βοήθεια που μου προσέφερε, τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο, και για την υπομονή του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Οφείλω να ευχαριστήσω τον κ. Λυσίμαχο Κόντη για τη βοήθεια και τις γνώσεις που μου προσέφερε οι οποίες με βοήθησαν στη συγγραφή της διατριβής αυτής.

Η παρακολούθηση του μεταπτυχιακού προγράμματος δεν θα ήταν εφικτή αν δεν με είχαν υποστηρίξει πνευματικά και οικονομικά οι γονείς μου Ζαχαρούλα και Κώστας. Τους οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ για όλα όσα έχουν κάνει για εμένα.

Τους συναδέλφους και φίλους στο εργαστήριο NRG και κυρίως τον Νικόλαο Παπανίκο για τη συμπαράσταση και την ακαδημαϊκή και προσωπική βοήθεια που μου προσέφεραν. Ευχαριστώ όλους τους φίλους που έκανα στην πόλη των Ιωαννίνων, για τις όμορφες στιγμές που περάσαμε στο τόπο των Ιωαννίνων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ
ΑΦΙΕΡΩΣΗ	ii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iv
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	vi
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	vii
ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ	viii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ix
EXTENDED ABSTRACT IN ENGLISH	xi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Ασύρματα Δίκτυα και Μετάδοση Βίντεο	1
1.2. Τεχνικές Μετάδοσης	3
1.2. Αντικείμενο Διατριβής	4
1.3. Δομή της Διατριβής	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	7
2.1. Βασικές Τεχνικές Κωδικοποίησης Βίντεο	7
2.2. Κωδικοποίηση Βίντεο Πολλαπλών Περιγραφών	11
2.3. Τεχνικές Ενίσχυσης Ποιότητας	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ MD/PNC	19
3.1 Ο Αλγόριθμος MD/PNC	19
3.2 Κατανομή Ποιότητας Βίντεο σε Δίκτυα με Ομοιογενείς Παραλήπτες	21
3.3 Μετάδοση Ροής Βίντεο σε Δίκτυα με Ετερογενείς Παραλήπτες	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΥΟ ΕΠΙΠΕΔΩΝ	31
4.1 Μειονέκτημα του MD/PNC με Μηνύματα Ενημέρωσης	31
4.2 Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Δύο επιπέδων	35
4.3 Γενίκευση Προτεινόμενης Μεθόδου	43
4.4 Μέθοδοι Αξιολόγησης	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΥΟ ΕΠΙΠΕΔΩΝ	47
5.1 Περιβάλλον Προσομοίωσης	47
5.2 Επέκταση NS-2 – Εφαρμογή mmApp	48
5.3 Ελαχιστοποίηση Συνάρτησης Παραμόρφωσης	49
5.4 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων σε Ενσύρματο Δίκτυο	50
5.5 Προσομοίωση σε Ασύρματο Δίκτυο	61
5.6 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων σε Ασύρματο Δίκτυο Πεταλούδας	62
5.7 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Ασύρματου Δικτύου Πεταλούδας	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	73

6.1 Συμπεράσματα	73
6.2 Μελλοντική Έρευνα	75
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	76
ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ	78
ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ	79

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας	Σελ
Πίνακας 5.1 Αποτελέσματα μέσης ποιότητας βίντεο PSNR για το ενσύρματο δίκτυο	51
Πίνακας 5.2 Πίνακας αποτελεσμάτων για το ασύρματα δίκτυο	67

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα	Σελ
Σχήμα 2.1 Εικόνα αναπαράστασης διαδοχικών εικόνων ενός βίντεο	9
Σχήμα 2.2 Παραμορφωμένες εικόνες με διαφορετικές τιμές PSNR	10
Σχήμα 2.3 Κωδικοποίηση επιπέδων σε πολλαπλές περιγραφές με κωδικές RS	12
Σχήμα 2.4 Χρήση κωδικοποίησης δικτύου σε ασύρματο δίκτυο πεταλούδας	15
Σχήμα 2.5 Γραμμικός συνδυασμός δύο πακέτων στον εξυπηρετητή	17
Σχήμα 2.6 Γραμμικός συνδυασμός σε ενδιάμεσο κόμβο	18
Σχήμα 3.1 Κωδικοποίηση πολλαπλών περιγραφών με τυχαίους κώδικες	20
Σχήμα 3.2 Μετάδοση βίντεο μέσω πολλαπλών σειριακών συνδέσεων	24
Σχήμα 3.3 Μετάδοση βίντεο μέσω πολλαπλών παράλληλων συνδέσεων	25
Σχήμα 3.4 Τοπολογία δικτύου Πεταλούδα	26
Σχήμα 4.1 Γραφικές παραστάσεις της q για παραλήπτες με απώλεια πακέτων 0,2 και 0,7	32
Σχήμα 4.2 Γραφικές παραστάσεις της q' για παραλήπτες με απώλεια πακέτων 0,2 και 0,7	33
Σχήμα 4.3 Γραφική παράσταση της ρ για ετερογενείς παραλήπτες με πιθανότητα απώλειας πακέτων 0,2 και 0,7	34
Σχήμα 4.4 Γραφική παράσταση της ρ' για ετερογενείς παραλήπτες με πιθανότητα απώλειας πακέτων 0,2 και 0,7	35
Σχήμα 4.5 Δομή πολλαπλής περιγραφής	39
Σχήμα 4.6 Προσαρμογή μεγέθους και πλήθους των πολλαπλών περιγραφών	41
Σχήμα 4.7 Προσαρμογή μεγέθους των πολλαπλών περιγραφών.	43
Σχήμα 5.1 Δεδομένα δειγματοληψίας για το βίντεο foreman	49
Σχήμα 5.2 Σύγκριση Δεδομένων δειγματοληψίας με την προσαρμοσμένη συνάρτηση	50
Σχήμα 5.3 Ενσύρματο δίκτυο τοπολογίας πεταλούδας	52
Σχήμα 5.4 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα A	53
Σχήμα 5.5 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα B	55
Σχήμα 5.6 Εικόνα 2 της 7 ^{ης} OE για το αρχικό και τα αποκωδικοποιημένα βίντεο	56
Σχήμα 5.7 Εικόνα 2 της 12 ^{ης} OE για το αρχικό και τα αποκωδικοποιημένα βίντεο	56
Σχήμα 5.8 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Γ	58
Σχήμα 5.9 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Δ	58
Σχήμα 5.10 Εικόνα 2 της 6 ^{ης} OE για το αρχικό και τα αποκωδικοποιημένα βίντεο	59
Σχήμα 5.11 Εικόνα 2 της 7 ^{ης} OE για το αρχικό και τα αποκωδικοποιημένα βίντεο	59
Σχήμα 5.12 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα E	60

Σχήμα 5.13 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Z	61
Σχήμα 5.14 Ασύρματο δίκτυο 5 x 5 Τοπολογίας Mesh	62
Σχήμα 5.15 Ασύρματο δίκτυο τοπολογίας πεταλούδας	63
Σχήμα 5.16 Εικόνα 2 της 6 ^{ης} ΟΕ για το αρχικό και τα αποκωδικοποιημένα βίντεο	65
Σχήμα 5.17 Εικόνα 2 της 7 ^{ης} ΟΕ για το αρχικό και τα αποκωδικοποιημένα βίντεο	65
Σχήμα 5.18 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα A	66
Σχήμα 5.19 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα B	67
Σχήμα 5.20 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Γ	68
Σχήμα 5.21 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Δ	69
Σχήμα 5.22 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Ε	69
Σχήμα 5.23 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Ζ	70
Σχήμα 5.24 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Η	70
Σχήμα 5.25 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Θ	71

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ιωάννης Παπαδόπουλος του Κωνσταντίνου και της Ζαχαρούλας, Msc candidate, Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 2012. Πολλαπλή Μετάδοση Ροής βίντεο σε Δίκτυα με Ετερογενείς Παραλήπτες.

Επιβλέπωντας: Ευάγγελος Παπαπέτρου

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει εντάξει στη ζωή μας την επικοινωνία μέσω διαδικτύου. Οι χρήστες πλέον χρησιμοποιούν σε σημαντικό βαθμό την ασύρματη δικτύωση, μέσω κινητών τηλεφώνων, φορητών υπολογιστών και άλλων φορητών συσκευών, για την επικοινωνία τους μέσω διαδικτύου. Η μετάδοση βίντεο μέσω ασύρματων δικτύων είναι μία εφαρμογή επικοινωνίας που έχει κεντρίσει το επιστημονικό ενδιαφέρον αρκετά, την τελευταία δεκαετία. Τα ασύρματα δίκτυα εμφανίζουν αρκετούς περιορισμούς στους διαθέσιμους πόρους ενώ αντίθετα η μετάδοση βίντεο είναι μία αρκετά απαιτητική εφαρμογή. Πολλές τεχνικές έχουν προταθεί για τη μείωση της παραμόρφωσης του ληφθέντος βίντεο, από το αρχικό βίντεο, το οποίο προβάλλεται στον παραλήπτη.

Η σημαντικότερη τεχνική, για τη μετάδοση βίντεο σε ένα δίκτυο, υιοθετεί τον αλγόριθμο MD/PNC κατά την οποία ο εξυπηρετητής κωδικοποιεί το βίντεο σε πακέτα έτσι ώστε η παραμόρφωση του βίντεο που λαμβάνει ο παραλήπτης να μειώνεται όταν γίνεται λήψη ενός οποιουδήποτε πακέτου. Τα πακέτα αυτά ονομάζονται πολλαπλές περιγραφές. Οι ενδιάμεσοι κόμβοι, που βρίσκονται μεταξύ του κόμβου πηγή και των παραληπτών, εφαρμόζουν κωδικοποίηση δικτύου κατά την οποία παράγονται γραμμικοί συνδυασμοί των ληφθέντων πακέτων και προωθούνται στους γειτονικούς κόμβους. Όταν ο παραλήπτης λάβει αρκετούς γραμμικούς συνδυασμούς τότε αποκωδικοποιεί τα αρχικά πακέτα και προβάλλει το βίντεο. Ωστόσο, λόγω της πιθανότητας κάποια πακέτα να χαθούν ή και του ανεπαρκούς

εύρους ζώνης του παραλήπτη, δεν γίνεται εφικτή η λήψη όλων των πακέτων από τον παραλήπτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το βίντεο να εμφανίζει κάποια παραμόρφωση σε σχέση με το αρχικό βίντεο, είναι δηλαδή χαμηλότερης ποιότητας βίντεο. Ο εξυπηρετητής κατανέμει την ποιότητα του βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές έτσι ώστε, αν ο παραλήπτης πάρει χ πολλαπλές περιγραφές θα μπορεί να αποκωδικοποιήσει βίντεο της ποιότητας που αντιστοιχίθηκε στη χ -ιστή πολλαπλή περιγραφή. Ο αλγόριθμος MD/PNC για έναν παραλήπτη ή πολλούς παραλήπτες με ίδια χαρακτηριστικά, όπως το εύρος ζώνης και η μέση πιθανότητα απώλειας πακέτου, βελτιστοποιεί την κατανομή της ποιότητας βίντεο με βάση τα χαρακτηριστικά του παραλήπτη έτσι ώστε ο παραλήπτης να λάβει βίντεο με τη μικρότερη παραμόρφωση. Ωστόσο, για παραλήπτες με ετερογενή χαρακτηριστικά η βελτιστοποίηση γίνεται βάση χαρακτηριστικών ενός εικονικού κόμβου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μέση παραμόρφωση του βίντεο που λαμβάνουν όλοι οι παραλήπτες να μην είναι η ελάχιστη δυνατή.

Στη διατριβή αυτή, παρουσιάζεται ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης δύο επιπέδων ο οποίος λύνει το πρόβλημα κατανομής της ποιότητας βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές σε δύο επίπεδα. Στο επίπεδο εφαρμογής, ο εξυπηρετητής βελτιστοποιεί την κατανομή της ποιότητας βίντεο με βάση τα χαρακτηριστικά του παραλήπτη K_β που μπορεί να λάβει τις περισσότερες πολλαπλές περιγραφές. Οι παραλήπτες με διαφορετικά χαρακτηριστικά, από αυτά βάση των οποίων έγινε η βελτιστοποίηση της κατανομής, αδυνατούν να λάβουν πλήθος πολλαπλών περιγραφών αντίστοιχο με αυτό του K_β με αποτέλεσμα η μέση παραμόρφωση βίντεο να είναι πολύ μεγάλη. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού οι ενδιαμέσοι κόμβοι προσαρμόζουν το μέγεθος και το πλήθος των πολλαπλών περιγραφών ώστε οι παραλήπτες να λάβουν βίντεο με την ελάχιστη δυνατή μέση παραμόρφωση.

EXTENDED ABSTRACT IN ENGLISH

Papadopoulos, Ioannis, K. Msc candidate, Computer Science Department, University of Ioannina, Greece. 2012. Multicast Video Streaming in Heterogeneous Networks.

Thesis Supervisor: Evangelos Papapetrou

Many people, nowadays, has access to internet and communicate with others. They communicate each other via computers or mobile phone with video streaming. They can even watch their favorite series on their mobile using video streaming. The alteration that occurs to the available resources of each user such as the bandwidth, creates the need of techniques for multicasting scaling video streaming. It is necessary to efficient allocate the quality of video that multicasting to all the clients.

The existing technique is the algorithm MD/PNC with feedback message, which distribute the video rates into multiple descriptions. For the allocation of video qualities on multiple descriptions by the MD/PNC occurred by optimizing the function of expected video distortion for a virtual non-existent user. This distribution is not optimal for the heterogeneous receivers.

We proposed the dual-layer optimization algorithm, which solves the problem of video quality distribution on multiple descriptions in two layers. At the Application Layer, source node optimize the distribution based on the characteristics of the strongest client. At the network Layer, intermediate nodes adjust the size and number of multiple descriptions in order to give the opportunity at weaker users to receive a certain quality video.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ασύρματα Δίκτυα και Μετάδοση Βίντεο

1.2 Τεχνικές Μετάδοσης Βίντεο

1.3 Αντικείμενο της Διατριβής

1.4 Δομή της Διατριβής

1.1 Ασύρματα Δίκτυα και Μετάδοση Βίντεο

Η ασύρματη δικτύωση αναπτύσσεται με ραγδαίους ρυθμούς παράλληλα με την ανάπτυξη συσκευών με δυνατότητες ασύρματης επικοινωνίας όπως οι φορητοί υπολογιστές, τα κινητά τηλέφωνα και οι ταμπλέτες. Τα τελευταία 3 χρόνια χρησιμοποιούνται εκατοντάδες εκατομμύρια έξυπνα κινητά και ταμπλέτες, εφοδιασμένα με δυνατότητα ασύρματης δικτύωσης Wi-Fi. Πλέον όλο και περισσότεροι άνθρωποι επικοινωνούν μεταξύ τους ασύρματα δημιουργώντας τα δικά τους προσωπικά ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN). Η ραγδαία αυτή εξάπλωση των συσκευών ασύρματης δικτύωσης έχει στρέψει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον σε εφαρμογές ασύρματων δικτύων.

Τα ασύρματα δίκτυα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα Δίκτυα Υποδομής (Infrastructure) και τα Κατά Περίπτωση Δίκτυα (Ad hoc). Σε ένα δίκτυο υποδομής υπάρχουν στατικοί κόμβοι, που ονομάζονται πύλες, οι οποίοι συνδέουν τους χρήστες στο τοπικό δίκτυο και στο διαδίκτυο. Οι χρήστες επικοινωνούν πάντα μέσω της πύλης και για το λόγο αυτό θα πρέπει να βρίσκονται στην εμβέλεια εκπομπής αυτής. Αν οι πύλες καταστούν ανενεργές, η δικτύωση διακόπτεται. Ένα Κατά Περίπτωση Δίκτυο απαρτίζεται από χρήστες που συμφωνούν να πάρουν μέρος στο δίκτυο αυτό.

Δεν υπάρχει κάποια καθορισμένη υποδομή και οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους με άμεσο τρόπο. Μία επέκταση των κατά περίπτωση δικτύων είναι τα Κινητά κατά Περίπτωση Δίκτυα (Mobile Ad Hoc Networks-MANET). Στα κινητά κατά περίπτωση δίκτυα οι χρήστες που συμμετέχουν στη δικτύωση παρουσιάζουν κινητικότητα. Λόγω της κινητικότητας αυτής, οι κόμβοι του δικτύου είναι διασκορπισμένοι άτακτα με αποτέλεσμα η επικοινωνία τους να μην είναι άμεση αλλά να γίνεται μέσω άλλων κόμβων του δικτύου. Για το λόγο αυτό οι κόμβοι λειτουργούν ως δρομολογητές. Η συχνή δυναμική αλλαγή της τοπολογίας των κινητών κατά περίπτωση δικτύων αποτελεί πρόκληση για τις υπηρεσίες που εφαρμόζονται πάνω σε αυτά.

Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές εφαρμογές, όπως στις επικοινωνίες του στρατού. Επίσης μια άλλη εφαρμογή είναι η δημιουργία ασύρματων δικτύων αισθητήρων τα οποία εγκαθίσταται σε δασικές περιοχές για την ανίχνευση πυρκαγιάς. Επίσης, η ασύρματη δικτύωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα σώματα Εκτάκτου Ανάγκης όπως πυροσβέστες και ομάδες διάσωσης για το συντονισμό των κινήσεών τους.

Πολλές εφαρμογές των Κατά Περίπτωση Δικτύων απαιτούν τη μετάδοση βίντεο, όπως στα ασύρματα δίκτυα οπτικών αισθητήρων οι οποίοι, σε αντίθεση με τους παραδοσιακούς αισθητήρες που μετράνε θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα του αέρα κτλ, μεταδίδουν μεγάλο όγκο δεδομένων. Στα ασύρματα δίκτυα υπάρχει περιορισμένο εύρος ζώνης αλλά και αποθηκευμένης ενέργειας λειτουργίας των κόμβων. Είναι αναγκαία η μείωση των εκπομπών για τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του δικτύου αλλά και για την πιο γρήγορη μετάδοση των δεδομένων. Μία τεχνική μετάδοσης που εστιάζεται στη μείωση των εκπομπών είναι η πολυδιανομή (multicast) όπου οι ενδιαμέσοι κόμβοι δημιουργούν αντίτυπα των πακέτων που παραλαμβάνουν και τα προωθούν όπου απαιτείται.

Η παρούσα διατριβή εστιάζει στην πολυδιανομή ροής βίντεο πάνω από ασύρματα δίκτυα. Η μετάδοση βίντεο αποτελεί πρόκληση επειδή απαιτεί δέσμευση πολλών πόρων. Αντίθετα, τα ασύρματα δίκτυα εμφανίζουν σημαντικά προβλήματα που επηρεάζουν τη μετάδοση βίντεο. Το εύρος ζώνης είναι μικρό σε ένα ασύρματο δίκτυο λόγω των πιθανών συγκρούσεων, ενώ λόγω της φορητότητας των κόμβων πολλές

φορές υπάρχει περιορισμός αποθηκευτικού χώρου και αυτονομίας. Για τους λόγους αυτούς πρέπει να αναπτυχθούν τεχνικές μετάδοσης, οι οποίες μπορούν να αντεπεξέλθουν στις παραπάνω ιδιαιτερότητες των ασύρματων δικτύων.

1.2 Τεχνικές Μετάδοσης

Η μετάδοση βίντεο στο δίκτυο είναι μία πολύ απαιτητική εφαρμογή που δεσμεύει μεγάλη ποσότητα πόρων (εύρος ζώνης). Ωστόσο, το πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε στα ασύρματα δίκτυα είναι ο περιορισμός των πόρων αυτών με αποτέλεσμα στις περισσότερες περιπτώσεις να μην είναι εφικτή η μετάδοση του βίντεο.

Τεχνικές που αναπτύχθηκαν για να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα έλλειψης πόρων για τη μετάδοση βίντεο εφαρμόζουν κωδικοποίηση βίντεο. Η κωδικοποίηση βίντεο εκμεταλλεύεται το στατιστικό πλεονασμό που υπάρχει στο βίντεο, πχ. δύο ίδιες διαδοχικές εικόνες, παράγοντας έτσι ένα κωδικοποιημένο αρχείο μικρότερου μεγέθους που ονομάζεται ροή bit (bitstream). Όταν ολοκληρωθεί η μετάδοση, εφόσον δεν υπήρξε κάποια απώλεια πακέτου, ο παραλήπτης μπορεί να αποκωδικοποιήσει το βίντεο.

Σε αρκετά αναξιόπιστα δίκτυα και κυρίως στα ασύρματα δίκτυα δεν είναι δυνατόν να γνωρίζουμε τη διαθεσιμότητα των πόρων ενός παραλήπτη. Για το λόγο αυτό ο εξυπηρετητής δεν γνωρίζει πως πρέπει να κωδικοποιήσει το βίντεο ώστε να μπορέσει να το παραλάβει ο παραλήπτης και το αποκωδικοποιημένο βίντεο να έχει την ελάχιστη δυνατή παραμόρφωση. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται κωδικοποίηση κλιμακωτού βίντεο (Scalable Video Coding) για να λαμβάνουν οι παραλήπτες βίντεο με ποιότητα ανάλογη με τις δυνατότητες της σύνδεσής τους. Η πρώτη κατηγορία της κωδικοποίησης κλιμακωτού βίντεο είναι η κωδικοποίηση απλής περιγραφής (Single Description), όπου το βίντεο κωδικοποιείται σε ένα βασικό επίπεδο (Base Layer) και σε επίπεδα ενίσχυσης (Enhancement Layers). Ο χρήστης αφού λάβει το βασικό επίπεδο μπορεί να αποκωδικοποιήσει το βίντεο με τη μεγαλύτερη παραμόρφωση. Όταν παραλάβει το πρώτο επίπεδο ενίσχυσης μπορεί να αποκωδικοποιήσει το βίντεο με μικρότερη παραμόρφωση κ.ο.κ. Το μειονέκτημα της απλής περιγραφής είναι η ιεραρχικότητα των επιπέδων. Για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί ένα επίπεδο

ενίσχυσης θα πρέπει να έχει γίνει λήψη όλων των προηγούμενων επιπέδων. Αν η λήψη του βασικού επιπέδου δεν ήταν δυνατή τότε ο παραλήπτης δεν μπορεί να αποκωδικοποιήσει το βίντεο. Η δεύτερη κατηγορία της κωδικοποίησης κλιμακωτού βίντεο είναι η κωδικοποίηση Πολλαπλών Περιγραφών [2]. Οι πολλαπλές περιγραφές είναι ισοδύναμες μεταξύ τους έτσι ώστε η παραλαβή οποιασδήποτε πολλαπλής περιγραφής συνεπάγεται αποκωδικοποίηση βίντεο ορισμένης παραμόρφωσης. Όσο αυξάνεται το πλήθος των πολλαπλών περιγραφών που λαμβάνει ένας παραλήπτης, τόσο αυξάνεται και η ποιότητα βίντεο που μπορεί τελικά να αποκωδικοποιήσει. Ο σημαντικότερος αλγόριθμος μετάδοσης βίντεο σε δίκτυα με μεγάλη πιθανότητα απώλειας πακέτων, είναι ο αλγόριθμος Πολλαπλών Περιγραφών με Πρακτική Κωδικοποίηση Δικτύου (MD/PNC) ο οποίος προτείνει το συνδυασμό της κωδικοποίησης Πολλαπλών Περιγραφών στον κόμβο εξυπηρετητή με την κωδικοποίηση δικτύου από τους ενδιάμεσους κόμβους έτσι ώστε να επιτευχθεί η μετάδοση βίντεο με τη μικρότερη δυνατή παραμόρφωση.

1.3 Αντικείμενο της Διατριβής

Η παρούσα Διατριβή εστιάζει στο πρόβλημα της κωδικοποίησης του βίντεο σε πολλαπλές περιγραφές, έτσι ώστε κατά τη μετάδοση των πολλαπλών περιγραφών οι παραλήπτες με ετερογενή χαρακτηριστικά, όπως το εύρος ζώνης και η μέση πιθανότητα απώλειας πακέτων, οι οποίοι δεν είναι πάντα άμεσοι γείτονες με τον εξυπηρετητή, να λαμβάνουν βίντεο με την ελάχιστη δυνατή μέση παραμόρφωση. Η ετερογένεια των παραληπτών έχει ως αποτέλεσμα οι παραλήπτες να μην λαμβάνουν το ίδιο πλήθος πολλαπλών περιγραφών. Πρέπει λοιπόν, η κωδικοποίηση του βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε οι παραλήπτες να λάβουν βίντεο με τη μικρότερη μέση παραμόρφωση.

Σκοπός της διατριβής είναι η δημιουργία ενός αλγορίθμου βελτιστοποίησης που θα πετυχαίνει την ελάχιστη δυνατή μέση παραμόρφωση βίντεο που θα λαμβάνουν ετερογενείς παραλήπτες. Ο αλγόριθμος που προτείνουμε είναι ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης δύο επιπέδων. Με βάση τον αλγόριθμο αυτόν, ο εξυπηρετητής κωδικοποιεί το βίντεο σε πολλαπλές περιγραφές έτσι ώστε ο παραλήπτης με τους

περισσότερους πόρους (ρυθμαπόδοση) να λάβει βίντεο με την ελάχιστη δυνατή παραμόρφωση. Η κωδικοποίηση αυτή αποτρέπει τους ετερογενείς παραλήπτες με λιγότερους πόρους (ρυθμαπόδοση) να λάβουν αρκετές πολλαπλές περιγραφές με αποτέλεσμα να λαμβάνουν βίντεο με μεγάλη παραμόρφωση. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού προτείνεται η προσαρμογή της ροής πληροφορίας στο δίκτυο. Με την προσαρμογή του μεγέθους και του πλήθους των πολλαπλών περιγραφών από τους ενδιάμεσους κόμβους επιτυγχάνεται η μείωση της μέσης παραμόρφωσης στο βίντεο που λαμβάνουν οι ετερογενείς παραλήπτες. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων είναι αρκετά ενθαρρυντικά για τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης δύο επιπέδων επιτυγχάνοντας αύξηση της μέσης ποιότητας βίντεο έως και 10 dB σε σχέση με τον υπάρχον αλγόριθμο MD/PNC.

1.4 Δομή της Διατριβής

Η δομή της παρούσας διατριβής είναι η ακόλουθη. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στα είδη κωδικοποίησης βίντεο. Περιγράφεται η κωδικοποίηση κλιμακωτού βίντεο απλής περιγραφής και αναφέρονται τα προβλήματα που εμφανίζονται σε δίκτυα με σημαντικές απώλειες πακέτων. Επίσης περιγράφεται η κωδικοποίηση πολλαπλών περιγραφών που αντιμετωπίζει τα παραπάνω προβλήματα και παρουσιάζεται η πρακτική κωδικοποίηση δικτύου έτσι ώστε να αξιοποιηθεί η μέγιστη ροή δεδομένων σε ένα δίκτυο. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται μια τεχνική μετάδοσης βίντεο, η οποία προτείνει το συνδυασμό κωδικοποίησης βίντεο πολλαπλών περιγραφών και κωδικοποίησης βίντεο για την πολυδιανομή ροής βίντεο σε δίκτυα με απώλειες πακέτων. Η συγκεκριμένη έρευνα προτείνει τον αλγόριθμο MD/PNC για τη βέλτιστη κατανομή της ποιότητας βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται το πρόβλημα του αλγορίθμου MD/PNC και προτείνεται ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης δύο επιπέδων. Στο κεφάλαιο 5 περιγράφεται το περιβάλλον προσομοίωσης και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα πειράματα σε ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα. Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται ένας απολογισμός καθώς επίσης αναφέρονται θέματα προς μελλοντική διερεύνηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΒΙΝΤΕΟ

2.1 Βασικές Τεχνικές Κωδικοποίησης Βίντεο

2.2 Κωδικοποίηση Βίντεο Πολλαπλών Περιγραφών

2.3 Τεχνικές ενίσχυσης ποιότητας

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά σε είδη κωδικοποίησης βίντεο που είναι αναγκαία για τη μείωση των απαιτούμενων πόρων μετάδοσης και αποθήκευσης. Επίσης, παρουσιάζεται η πρακτική κωδικοποίηση δικτύου, μία τεχνική ενίσχυσης ποιότητας η οποία μπορεί να αξιοποιήσει όλη τη χωρητικότητα ενός δικτύου καθώς και ένας συνδυασμός κωδικοποίησης βίντεο πολλαπλών περιγραφών και πρακτικής κωδικοποίησης για τη μείωση των απαιτούμενων πόρων από ένα δίκτυο για τη μετάδοση ροής βίντεο σε αυτό.

2.1 Βασικές Τεχνικές Κωδικοποίησης Βίντεο

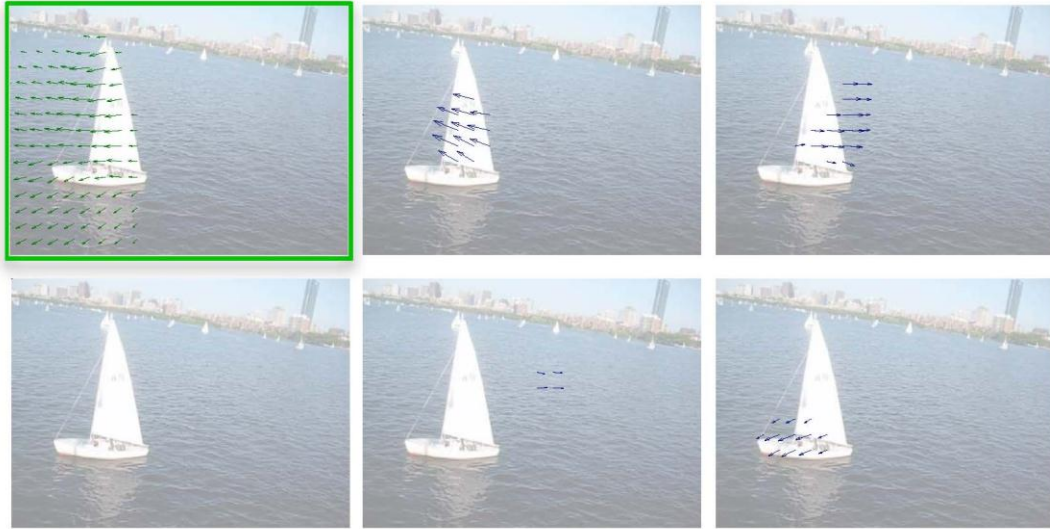
Τα τελευταία χρόνια η ραγδαία ανάπτυξη των συσκευών οπτικής οδήγησε στην παραγωγή μεγάλων αρχείων βίντεο για την ανταλλαγή πληροφοριών. Το βίντεο αποτελεί μία αλληλουχία εικόνων. Κάθε εικόνα έχει ένα πλήθος εικονοστοιχείων (pixels) τα οποία παίρνουν διάφορες τιμές, ανάλογα με το πρότυπο αναπαράστασης, έτσι ώστε να αναπαραστήσουν χρωματικά μία εικόνα. Ο ρυθμός απεικόνισης των εικόνων ενός βίντεο μετριέται σε fps (καρέ ανά δευτερόλεπτο). Η ποιότητα ή ρυθμός bits ενός βίντεο είναι τα συνολικά bits των εικόνων του βίντεο που αντιστοιχούν σε ένα δευτερόλεπτο και μετριέται σε bps (bits ανά δευτερόλεπτο). Η ποιότητα μπορεί

να μετριέται σε dB χαρακτηρίζοντας την ομοιότητα δύο βίντεο. Χαρακτηριστικό των αρχείων βίντεο είναι το μεγάλο τους μέγεθος, για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε η ανάγκη για μείωση του απαιτούμενου όγκου αποθήκευσης της πληροφορίας που περιέχουν τα αρχεία βίντεο έτσι ώστε να καταναλώνουν μικρότερο χώρο αποθήκευσης και να απαιτούν μικρότερο εύρος ζώνης για τη μετάδοση σε ένα δίκτυο. Το πρώτο πρότυπο κωδικοποίησης H. 120 δημοσιεύτηκε το 1984 από την CCITT [13].

Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις για την κωδικοποίηση βίντεο, η κωδικοποίηση χωρίς απώλειες και η κωδικοποίηση με απώλειες, οι οποίες εφαρμόζονται στο επίπεδο εφαρμογής. Στην κωδικοποίηση βίντεο χωρίς απώλειες ο παραλήπτης θα λάβει ένα βίντεο πανομοιότυπο με το αρχικό. Όταν όμως η κωδικοποίηση χωρίς απώλειες δεν αρκεί για τη μετάδοση του βίντεο τότε χρησιμοποιείται η κωδικοποίηση βίντεο με απώλειες, δηλαδή ο παραλήπτης λαμβάνει ένα βίντεο όπου κάποια εικόνα του δεν είναι η ίδια με την αντίστοιχη του αρχικού βίντεο. Η διαφοροποίηση των εικόνων που απαρτίζουν το αποκωδικοποιημένο βίντεο από τις αντίστοιχες του αρχικού βίντεο ονομάζεται παραμόρφωση. Η κωδικοποίηση με απώλειες μπορεί να παραμορφώνει το αποκωδικοποιημένο βίντεο όμως μας επιτρέπει στις περισσότερες περιπτώσεις να μειώσουμε περισσότερο το μέγεθος του bitstream σε σχέση με την κωδικοποίηση χωρίς απώλειες.

Στην κωδικοποίηση βίντεο χωρίς απώλειες (παραμόρφωση) το βίντεο κωδικοποιείται με την χρήση στατιστικού πλεονασμού για να το αναπαραστήσει σε ένα κωδικοποιημένο αρχείο ροής bit (bitstream) με λιγότερα Bytes. Κατά την αποκωδικοποίηση γίνεται ανάκτηση του αρχικού βίντεο. Η κωδικοποίηση χωρίς απώλειες μπορεί να εφαρμοστεί στα περισσότερα βίντεο γιατί πάντα υπάρχει στατιστικός πλεονασμός στον πραγματικό κόσμο. Για παράδειγμα στην εικόνα 2.1 υπάρχουν 6 διαδοχικές εικόνες στις οποίες το μεγαλύτερο τμήμα τους παραμένει το ίδιο. Στο αρχικό βίντεο αποθηκεύονται οι τιμές για όλα τα εικονοστοιχεία κάθε εικόνας. Με την κωδικοποίηση χωρίς απώλειες αποθηκεύονται οι τιμές για όλα τα εικονοστοιχεία μόνο της πρώτης εικόνας. Για τις υπόλοιπες εικόνες αποθηκεύονται μόνο οι τιμές των εικονοστοιχείων που έχουν διαφορετικές τιμές από τα αντίστοιχα εικονοστοιχεία της πρώτης εικόνας, μειώνοντας έτσι το μέγεθος των Bytes που

απαιτούνται για την αποθήκευση του βίντεο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η κωδικοποίηση χωρίς απώλειες εκμεταλλεύτηκε το στατιστικό πλεονασμό όπου μεγάλο τμήμα της θάλασσας, τα κτίρια και τα άλλα αντικείμενα στο βάθος

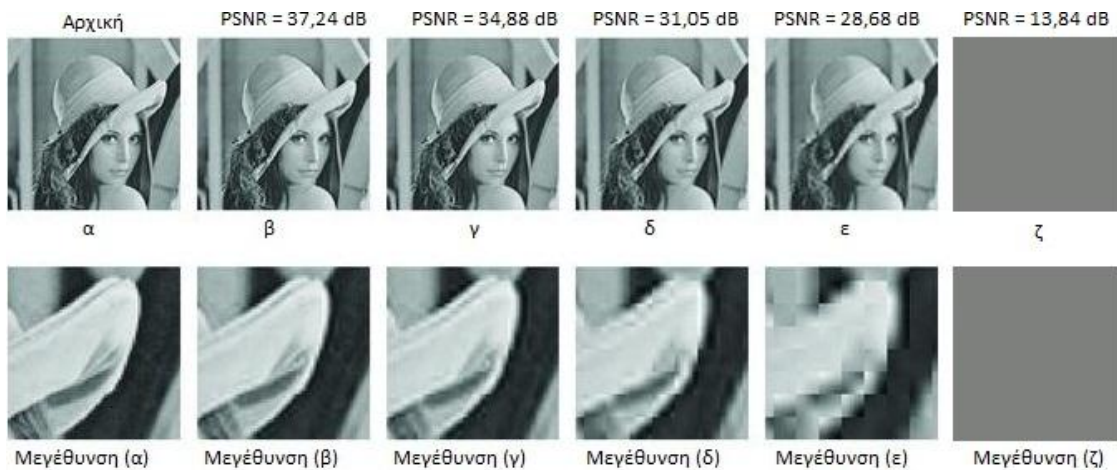


Σχήμα 2.1 Εικόνα αναπαράστασης διαδοχικών εικόνων ενός βίντεο

της εικόνας παρέμειναν «ακίνητα». Για το λόγο αυτό οι τιμές των εικονοστοιχείων που παρέμειναν οι ίδιες αποθηκεύτηκαν μόνο μία φορά. Κατά την αποκωδικοποίηση του βίντεο δημιουργούνται 6 στιγμιότυπα της πρώτης εικόνας και για κάθε εικόνα πλην της πρώτης ενημερώνουμε τις τιμές των εικονοστοιχείων, που υπήρξε διαφοροποίηση στην τιμή τους, με τις τιμές που είναι αποθηκευμένες στο κωδικοποιημένο αρχείο. Με αυτόν τον τρόπο μειώσαμε το απαιτούμενο μέγεθος αποθήκευσης του βίντεο χωρίς να υπάρχει κάποια απώλεια.

Σε αντίθεση με την κωδικοποίηση χωρίς απώλειες, ένα βίντεο μπορεί να κωδικοποιηθεί έτσι ώστε κατά την αποκωδικοποίηση του να μην είναι εφικτή η ανάκτηση του αρχικού βίντεο. Σε εφαρμογές όπου επιτρέπουν την αλλοίωση των δεδομένων η χρήση της κωδικοποίησης με απώλειες επιφέρει μεγαλύτερη μείωση του απαιτούμενου μεγέθους αποθήκευσης σε σχέση με την κωδικοποίηση χωρίς απώλειες. Η κωδικοποίηση με απώλειες έχει εφαρμογή σε ψηφιακές κάμερες με την κωδικοποίηση εικόνας JPEG ώστε να αυξηθούν οι αποθηκευτικές δυνατότητες της κάμερας (αποθήκευση περισσότερων εικόνων). Αντίστοιχα, τα DVD χρησιμοποιούν την κωδικοποίηση με απώλειες MPEG-2. Κατά την αποκωδικοποίηση γίνεται

ανάκτηση ενός παραμορφωμένου βίντεο (Σχήμα 2.2). Μετρική σύγκρισης του παραμορφωμένου βίντεο είναι η μέγιστη τιμή της αναλογίας σήματος προς θόρυβο, η οποία δίνεται από το τύπο $10 \log_{10}(\frac{MAX}{MSE})$ όπου MAX η μέγιστη τιμή για κάθε εικονοκύτταρο της κάθε εικόνας του βίντεο και MSE η μέση τιμή του τετραγώνου σφάλματος (παραμόρφωση)[14].



Σχήμα 2.2 Παραμορφωμένες εικόνες με διαφορετικές τιμές PSNR

Οι βασικές αρχές κωδικοποίησης δεν μπόρεσαν να αντιμετωπίσουν τα βασικά ζητήματα σε ένα δίκτυο. Συγκεκριμένα, οι ταχύτητες μετάδοσης που προσφέρει το διαδίκτυο στους χρήστες του δεν είναι πάντα και παντού οι ίδιες. Η διαφοροποίηση εύρων ζώνης παρατηρούνται μεταξύ χωρών, πόλεων ακόμα και διαμερισμάτων της ίδιας πολυκατοικίας, οπότε ένας εξυπηρετητής δεν γνωρίζει το εύρος ζώνης που διαθέτει ένας παραλήπτης όταν επιθυμεί να του στείλει μία ροή βίντεο. Η κωδικοποίηση πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε ακόμα και αν δεν μπορεί να λάβει ολόκληρο το κωδικοποιημένο βίντεο ο παραλήπτης να μπορέσει να αποκωδικοποιήσει το βίντεο με μια ορισμένη παραμόρφωση. Για την επίλυση του προβλήματος του αναξιόπιστου δικτύου με άγνοια των διαθέσιμων εύρων ζώνης παρουσιάστηκαν οι κλιμακωτές κωδικοποιήσεις βίντεο (Scalable Video Coding) [15]. Ο εξυπηρετητής κωδικοποιεί το βίντεο σε ένα βασικό επίπεδο (Base Layer) και σε πολλά ενισχυτικά επίπεδα (Enhancement Layers). Το βασικό επίπεδο αποκωδικοποιεί το βίντεο σε μία ελάχιστη ποιότητα ενώ τα υπόλοιπα ενισχυτικά επίπεδα ενισχύουν την ποιότητα του βίντεο, μειώνοντας δηλαδή την παραμόρφωση του. Η κωδικοποίηση αυτή ονομάζεται κωδικοποίηση απλής περιγραφής (Single

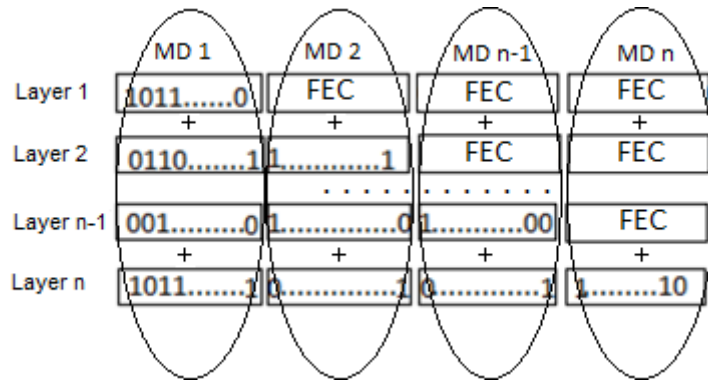
Description). Τα επίπεδα είναι ιεραρχικά κωδικοποιημένα έτσι ώστε κάθε επίπεδο να ενισχύει την ποιότητα βίντεο μόνο όταν ο χρήστης έχει παραλάβει όλα τα προηγούμενα. Συγκεκριμένα, ο παραλήπτης για να μπορέσει να αποκωδικοποιήσει το βίντεο θα πρέπει να παραλάβει το βασικό επίπεδο. Αν για κάποιο λόγο η λήψη του βασικού επιπέδου ήταν αδύνατη, τότε το βίντεο δεν είναι αποκωδικοποιήσιμο. Τέλος, για να μπορέσει το επίπεδο 2 (Layer 2) να ενισχύσει το βίντεο που θα δει ο χρήστης είναι αναγκαίο να έχει γίνει η λήψη του βασικού επιπέδου (επίπεδο 1). Η κωδικοποίηση απλής περιγραφής σε δίκτυα με μεγάλη πιθανότητα απώλειας πακέτων, όπως στα ασύρματα δίκτυα, δεν είναι αποδοτική. Αυτό ισχύει γιατί υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ο παραλήπτης να μην μπορέσει να παραλάβει το βασικό επίπεδο με αποτέλεσμα το βίντεο που έλαβε να μην μπορεί να αποκωδικοποιηθεί. Για το σκοπό αυτό έχουν προταθεί μηχανισμοί ιεραρχικής κωδικοποίησης μετάδοσης (PET) [16,17] βάση των οποίων γίνεται η αποστολή επιπλέον κωδικοποιημένων πακέτων για τα σημαντικότερα επίπεδα έτσι ώστε ο παραλήπτης να έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να λάβει τα σημαντικότερα επίπεδα. Η εξέλιξη της κωδικοποίησης απλής περιγραφής με μηχανισμούς προστασίας είναι η κωδικοποίηση Πολλαπλών Περιγραφών [2].

2.2 Κωδικοποίηση Βίντεο Πολλαπλών Περιγραφών

Η κωδικοποίηση Πολλαπλών Περιγραφών (Multiple Descriptions – MD) προτάθηκε ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της ιεραρχίας των επιπέδων κατά την κωδικοποίηση κλιμακωτού βίντεο. Η κωδικοποίηση πολλαπλών περιγραφών κωδικοποιεί τα επίπεδα βίντεο με κώδικες Πρόωρης Διόρθωσης Λάθους (FEC) (Σχήμα 2.3). Όσο πιο σημαντικό είναι ένα επίπεδο τόσο μεγαλύτερη προστασία προστίθεται με κώδικες FEC. Οποιαδήποτε πολλαπλή περιγραφή κι αν παραλάβει ο παραλήπτης θα μπορέσει να αποκωδικοποιήσει το βίντεο με μια ορισμένη παραμόρφωση. Κάθε επόμενη πολλαπλή περιγραφή που παραλαμβάνεται, ανεξαρτήτως σειράς, ενισχύει την τελική ποιότητα που θα δει ο χρήστης.

Οι πιο δημοφιλείς κώδικες FEC είναι οι Reed-Solomon (RS) κώδικες οι οποίοι κωδικοποιώντας τα δεδομένα προσθέτουν χ σύμβολα ελέγχου. Κατά την

αποκωδικοποίηση ένας κώδικας RS μπορεί να ανιχνεύσει χ εσφαλμένα σύμβολα και να διορθώσει έως $\frac{\chi}{2}$ σύμβολα. Στο Σχήμα 2.3 το βασικό επίπεδο 1 κωδικοποιείται n-1



Σχήμα 2.3 Κωδικοποίηση επιπέδων σε πολλαπλές περιγραφές με κώδικες RS.

φορές και κάθε παραγόμενος κώδικας αποθηκεύεται σε ένα από τις n πολλαπλές περιγραφές. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα το βασικό επίπεδο 1 να μπορεί να αποκωδικοποιηθεί με τη λήψη μιας οποιασδήποτε πολλαπλής περιγραφής. Με τη λήψη δύο πολλαπλών περιγραφών ο παραλήπτης μπορεί να αποκωδικοποιήσει το πρώτο επίπεδο ενίσχυσης (Layer 2) και το βασικό επίπεδο (Layer 1). Ο χρήστης μπορεί να αποκωδικοποιήσει το βίντεο στην ποιότητα που αντιστοιχεί στο επίπεδο δύο. Όσες λιγότερες πολλαπλές περιγραφές απαιτούνται για την αποκωδικοποίηση ενός επιπέδου τόσο μεγαλύτερη είναι η επίπτωση στο τελικό μέγεθος των πολλαπλών περιγραφών. Αυτό συμβαίνει γιατί η μεγαλύτερη προστασία απαιτεί μεγαλύτερο πλήθος κωδικών FEC. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η βέλτιστη κατανομή της ποιότητας του βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές ώστε να πετύχουμε τη μέγιστη ποιότητα δεδομένης μίας χωρητικότητας.

Στο παρακάτω παράδειγμα παρουσιάζουμε την επίδραση που έχει η κατανομή ποιότητας του βίντεο σε 3 πολλαπλές περιγραφές. Έστω ότι επιλέγουμε να κωδικοποιήσουμε 3 διαφορετικά επίπεδα ποιότητας του βίντεο. Η ποιότητα R_1 ισούται με ποιότητα βίντεο 100 kbps και καταλαμβάνει μέγεθος 100 KBytes R_2 ισούται 200 kbps και καταλαμβάνει μέγεθος 200 KBytes και R_3 ισούται με 300 kbps και καταλαμβάνει μέγεθος 300KBytes. Το αρχείο που περιέχει την ποιότητα R_1 είναι υποσύνολο του R_2 (τα πρώτα 100KBytes) και το R_2 είναι υποσύνολο του R_3 (τα πρώτα 200KBytes).

Αν κωδικοποιήσουμε και τα 3 επίπεδα ποιότητας στις 3 πολλαπλές περιγραφές η ποιότητα R_1 αποθηκεύεται ολόκληρη σε μία περιγραφή και παράγονται 2 κώδικες RS μεγέθους 100 KBytes οι οποίοι αποθηκεύονται στις υπόλοιπες 2 πολλαπλές περιγραφές (Σχήμα 2.3). Η ποιότητα R_{2-1} περιέχει τα 100 KBytes έτσι ώστε προσθέτοντας το αρχείο της R_{2-1} ποιότητας στο τέλος του αρχείου R_1 να μας δημιουργεί το αρχείο ποιότητας R_2 . Η ποιότητα R_{2-1} χωρίζεται σε 2 ίσα τμήματα 50KBytes και παράγεται ένας κώδικας RS μεγέθους 50KBytes. Κάθε τμήμα αποθηκεύεται σε μία πολλαπλή περιγραφή. Η ποιότητα R_{3-1} περιέχει 100KBytes τα οποία χωρίζονται σε 3 τμήματα των 34 KBytes και αποθηκεύεται κάθε ένα σε μια διαφορετική πολλαπλή περιγραφή. Το συνολικό μέγεθος κάθε πολλαπλής περιγραφής ισούται με $100 + 50 + 34 = 184$ KBytes. Η κατανομή αυτή μας παρέχει 3 επίπεδα ποιότητας του βίντεο για κάθε περιγραφή που παραλαμβάνουμε. Αν κάποιος χρήστης παραλάβει μία πολλαπλή περιγραφή τότε μπορεί να αποκωδικοποιήσει βίντεο ποιότητας 100Kbps. Ωστόσο, αν ένας παραλήπτης έχει περιορισμένους πόρους (περιορισμένος αποθηκευτικός χώρος τη συγκεκριμένη στιγμή) και μπορεί να λάβει μόνο 170 KBytes τότε αδυνατεί να παραλάβει έστω μία πολλαπλή περιγραφή και δεν θα μπορεί να αποκωδικοποιήσει το βίντεο.

Είναι εφικτό με μια διαφορετική κατανομή ο συγκεκριμένος παραλήπτης να είναι σε θέση να αποκωδικοποιήσει το βίντεο. Αντιστοιχίζουμε την R_1 σε δύο περιγραφές, δηλαδή χωρίζουμε το αρχείο της ποιότητας R_1 σε δύο ίσα τμήματα των 50 KBytes και παράγουμε έναν κώδικα RS μεγέθους 50Kbytes. Κάθε τμήμα αποθηκεύεται σε μία διαφορετική περιγραφή. Αντίστοιχα, για την ποιότητα R_{2-1} την χωρίζουμε σε τρία ίσα τμήματα των 34 KBytes και αποθηκεύουμε το καθένα σε μία διαφορετική πολλαπλή περιγραφή. Με την κατανομή αυτή κατασκευάσαμε 3 πολλαπλές περιγραφές μεγέθους $50+34 = 84$ Kbytes. Ο παραλήπτης μπορεί να παραλάβει δύο περιγραφές που ισούνται με 168 KBytes. Τώρα ο παραλήπτης θα μπορεί να αποκωδικοποιήσει τις δύο πολλαπλές περιγραφές και να προβάλει το βίντεο ποιότητας 100Kbps.

Λόγω της απώλειας πακέτων και του περιορισμού των πόρων ενός παραλήπτη (όπως εύρος ζώνης, αποθηκευτικός χώρος κτλ.) είναι σημαντική η βέλτιστη κατανομή της ποιότητας του βίντεο σε πολλαπλές περιγραφές για να μπορέσει ο παραλήπτης να

αποκωδικοποιήσει τη μέγιστη μέση δυνατή ποιότητα βίντεο. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται ένας αλγόριθμος κατανομής της ποιότητας βίντεο σε πολλαπλές περιγραφές [2].

2.3 Τεχνικές ενίσχυσης ποιότητας

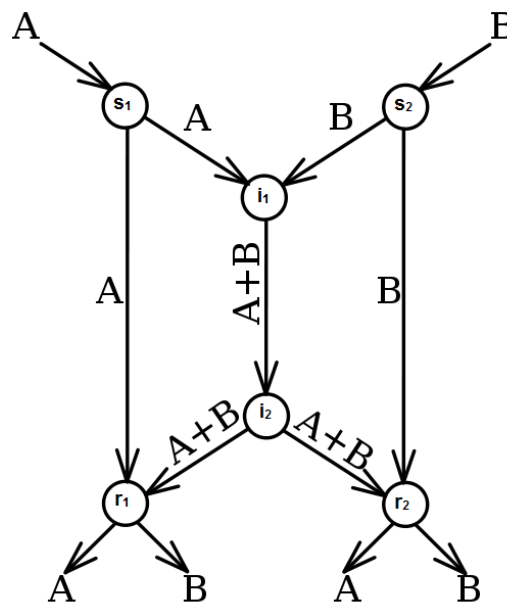
Αρκετοί αλγόριθμοι στην προσπάθεια τους να βελτιώσουν την ποιότητα του αποκωδικοποιημένου βίντεο, προτείνουν τεχνικές βελτίωσης της λειτουργίας του δικτύου μετάδοσης. Μία από αυτές της τεχνικές είναι η κωδικοποίηση δικτύου η οποία βάση των Ahlswede, et al. [1] είναι εφικτό να αξιοποιήσει τη μέγιστη ροή δεδομένων ενός δικτύου για όλους τους παραλήπτες σε δίκτυο με πολλαπλά άλματα. Η επικοινωνία παραλήπτη και εξυπηρετητή, όταν γίνεται μέσω άλλων ενδιάμεσων κόμβων, ονομάζεται επικοινωνία με πολλαπλά άλματα. Αυξάνοντας της δυνατότητες του δικτύου ενισχύεται το εύρος ζώνης των παραληπτών. Με την αύξηση των πόρων των παραληπτών είναι εφικτό η αποστολή βίντεο μεγαλύτερου όγκου, άρα με μικρότερη παραμόρφωση.

Η κωδικοποίηση δικτύου είναι μία τεχνική όπου οι κόμβοι, αντί απλά να προωθούν τα πακέτα που λαμβάνουν, μπορούν να τα συνδυάσουν γραμμικά και να προωθήσουν τους γραμμικούς συνδυασμούς μειώνοντας έτσι τις απαιτούμενες εκπομπές. Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες [1, 3, 10] για την κωδικοποίηση δικτύου χρησιμοποιώντας δίκτυο τοπολογίας πεταλούδας. Η συγκεκριμένη είναι ευρέως αποδεκτή από την επιστημονική κοινότητα και θεωρείται αντιπροσωπευτική τοπολογία για πολλά δίκτυα. Σε ένα ασύρματο δίκτυο πεταλούδας (Σχήμα 2.4) για να παραλάβουν οι κόμβοι r_1 και r_2 τα πακέτα A και B, με απλή δρομολόγηση, θα πρέπει οι ενδιάμεσοι κόμβοι i_1 και i_2 να εκπέμπουν δύο φορές, μία για κάθε πακέτο. Με την χρήση της κωδικοποίησης δικτύου ο κόμβος i_1 εκπέμπει ένα συνδυασμό των πακέτων A και B σε μία μόνο εκπομπή. Ο κόμβος i_2 θα προωθήσει το γραμμικό συνδυασμό A και B στους παραλήπτες r_1 και r_2 σε μία μόνο εκπομπή. Τέλος, οι παραλήπτες r_1 και r_2 έχουν πάρει τα πακέτα A και B, αντίστοιχα, μπορούν να ανακτήσουν το πακέτο που τους λείπει. Η μείωση του πλήθους εκπομπών παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση των ασύρματων δικτύων. Οι Li et al. [19] απέδειξαν ότι χρησιμοποιώντας

γραμμικούς κώδικες κάθε παραλήπτη σε ένα σενάριο πολυδιανομής μπορεί να πετύχει το πάνω όριο της ροής δεδομένων προς αυτόν.

2.3.1 Πρακτική Κωδικοποίηση Δικτύου

Η Πρακτική Κωδικοποίηση Δικτύου (PNC) αναπτύχθηκε από τους Chou et al. [10] σε πραγματικά δίκτυα με απώλειες πακέτων και καθυστερήσεις. Τα πακέτα του εξυπηρετητή ομαδοποιούνται σε ομάδες, οι οποίες ονομάζονται γενιές (generations), και η κωδικοποίηση εφαρμόζεται ανά ομάδα. Το πλήθος των πακέτων που ανήκουν σε μία γενιά ονομάζεται μέγεθος της γενιάς. Οι Chou et al. προτείνουν τη χρήση τυχαίων γραμμικών κωδίκων. Οι κόμβοι του δικτύου επιλέγουν ανεξάρτητους τυχαίους γραμμικούς συντελεστές για να συνδυάσουν τα πακέτα και αποθηκεύουν τους συντελεστές σε πίνακες που επισυνάπτονται πάνω στα κωδικοποιημένα πακέτα.



Σχήμα 2.4 Χρήση κωδικοποίησης δικτύου σε ασύρματο δίκτυο πεταλούδας

Οι παραλήπτες μπορούν να αποκωδικοποιήσουν τα πακέτα αν παραλάβουν τόσους ανεξάρτητους γραμμικούς συνδυασμούς όσα και τα πακέτα που παρήγαγε ο εξυπηρετητής, έτσι ώστε να είναι αντιστρέψιμος ο πίνακας με τους γραμμικούς συντελεστές (Γκαουσιανή απαλοιφή).

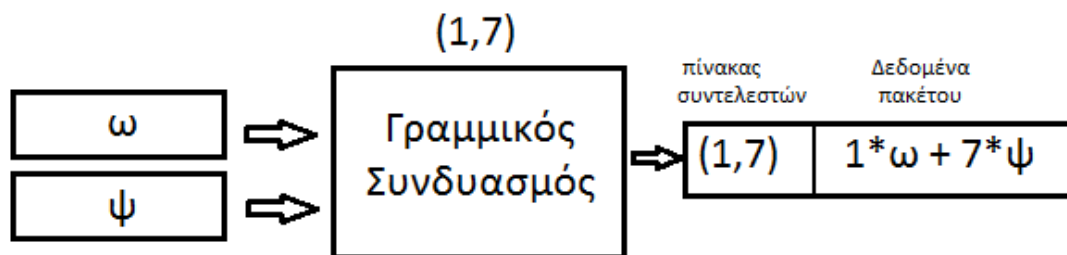
Οι γραμμικοί συνδυασμοί που παράγονται με βάση την εξίσωση (2.1) μπορούν να αποτελούν ένα σύστημα γραμμικών εξισώσεων με τόσες γραμμικές εξισώσεις όσοι και οι γραμμικοί συνδυασμοί. Το πλήθος (N) των αγνώστων που έχει κάθε εξίσωση ισούται με το πλήθος των αρχικών πακέτων. Για την επίλυση του συστήματος αυτού θα πρέπει να εφαρμόσουμε την Γκαουσιανή απαλοιφή δηλαδή να εφαρμόζουμε πράξεις πρόσθεσης και πολλαπλασιασμού μεταξύ των εξισώσεων ώστε να απαλείφουμε έναν άγνωστο κάθε φορά από τις εξισώσεις. Μετατρέποντας το σύστημα σε ένα σύστημα γραμμικών εξισώσεων όπου η πρώτη εξίσωση θα έχει N αγνώστους, η δεύτερη εξίσωση $N-1$ αγνώστους, η τρίτη $N-2$ αγνώστους κ.ο.κ. Καταλήγοντας έτσι η τελευταία εξίσωση να έχει έναν μόνο άγνωστο, όπου πλέον μπορούμε να επιλύσουμε το σύστημα.

Η πρακτική κωδικοποίηση δικτύου χρησιμοποιεί ένα πεπερασμένο πεδίο για να εκτελέσει τους γραμμικούς συνδυασμούς και την Γκαουσιανή απαλοιφή. Τα αρχεία βίντεο αποτελούνται από Bytes τα οποία μπορούν να αναπαρασταθούν ως στοιχεία του πεπερασμένου Galois πεδίου (Galois Field) $GF(2^8)$. Ένα πεπερασμένο πεδίο είναι ένα πεπερασμένο σύνολο p^k στοιχείων όπου p είναι πρώτος αριθμός και k θετικός ακέραιος. Ένα αρχείο μπορεί να θεωρηθεί ως ένας πίνακας u_n , με $n = 1, 2 \dots N$ όπου N το μέγεθος της γενιάς, και η τιμή του κάθε στοιχείου του πίνακα u_n αντιστοιχεί στην τιμή του κάθε Byte (0 έως 255) που απαρτίζει το αρχείο. Οι γραμμικοί συνδυασμοί x_k που παράγονται υπολογίζονται από την εξίσωση:

$$x_k = \sum_{i=1}^N c_k(i)u_n \quad (2.1)$$

Όπου $k \geq N$ και $c_k(i)$ υποδηλώνει το i -στο στοιχείο του πίνακα των γραμμικών συντελεστών η τιμή του οποίου επιλέγεται τυχαία από το $GF(2^8)$. Για την αποκωδικοποίηση των πακέτων απαιτούνται τουλάχιστον N ανεξάρτητοι γραμμικοί συνδυασμοί και χρησιμοποιείται η Γκαουσιανή απαλοιφή για να υπολογιστούν τα αρχικά πακέτα. Η επιλογή του πεδίου είναι πολύ σημαντική για την ανεξαρτησία μεταξύ των γραμμικών συνδυασμένων πακέτων. Υπάρχει πιθανότητα να μην είναι εφικτή η αποκωδικοποίηση των πακέτων επειδή οι γραμμικοί συνδυασμοί τους είναι εξαρτημένοι μεταξύ τους. Η πιθανότητα δύο γραμμικοί συνδυασμοί να είναι εξαρτημένοι μεταξύ τους στο πεδίο $GF(2^8)$ ισούται με 0,004 και θεωρείται αμελητέα.

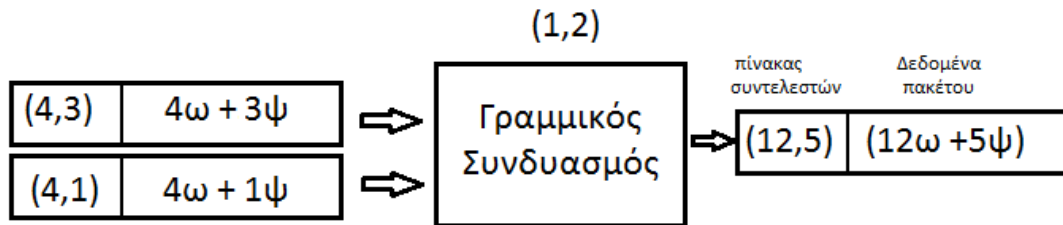
Ο εξυπηρετητής χωρίζει τα πακέτα που θέλει να μεταδώσει σε γενιές και κωδικοποιεί τα πακέτα, που ανήκουν σε ίδια γενιά, με τη χρήση γραμμικών συνδυασμών. Το πλήθος N των πακέτων που ανήκουν σε μία γενιά ονομάζεται μέγεθος της γενιάς. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5 ο εξυπηρετητής επιλέγει τυχαία 2 γραμμικούς συντελεστές $(1,7)$ από το Galois πεδίο, συνδυάζει γραμμικά τα δύο πακέτα ω και ψ και επισυνάπτει στο κωδικοποιημένο πακέτο τον πίνακα συντελεστών που περιέχει τους γραμμικούς συντελεστές 1 και 7. Ο εξυπηρετητής θα πρέπει να επιλέξει τόσους γραμμικούς συντελεστές όσο και το πλήθος των πακέτων που ανήκουν σε μία γενιά. Έπειτα, γίνεται η μετάδοση των γραμμικών συνδυασμών στο δίκτυο.



Σχήμα 2.5 Γραμμικός συνδυασμός δύο πακέτων στον εξυπηρετητή

Οι ενδιάμεσοι κόμβοι όταν παραλάβουν αρκετά κωδικοποιημένα πακέτα συνδυάζουν γραμμικά τα πακέτα που ανήκουν στην ίδια γενιά (δεδομένα και πίνακες γραμμικών συντελεστών), χωρίς όμως να επισυνάπτουν τον πίνακα των γραμμικών συντελεστών που χρησιμοποίησαν (Σχήμα 2.6). Έχει αποδειχθεί [3] ότι δεν απαιτείται η επισύναψη του πίνακα γραμμικών συντελεστών από τους ενδιάμεσους κόμβους. Είναι σημαντικό ο ενδιάμεσος κόμβος να περιμένει να παραλάβει ορισμένο πλήθος γραμμικών συνδυασμών πριν τους συνδυάσει μεταξύ τους για να μειωθεί η πιθανότητα ο παραλήπτης να λάβει γραμμικώς εξαρτημένους συνδυασμούς, με αποτέλεσμα η εφαρμογή της Γκαουσιανής απαλοιφής να αδυνατεί να αποκωδικοποιήσει τα πακέτα.

Οι παραλήπτες όταν παραλάβουν N κωδικοποιημένα πακέτα που ανήκουν στην ίδια γενιά, τα οποία είναι γραμμικώς ανεξάρτητα μεταξύ τους, χρησιμοποιούν την Γκαουσιανή απαλοιφή για να ανακτήσουν τα αρχικά πακέτα. Αν κάποιος παραλήπτης δεν λάβει N γραμμικώς ανεξάρτητα κωδικοποιημένα πακέτα τότε δεν μπορεί να ανακτήσει τα αρχικά πακέτα.



Σχήμα 2.6 Γραμμικός συνδυασμός στους ενδιάμεσους κόμβους

Μία σημαντική τεχνική η οποία συνδύασε την κωδικοποίηση δικτύου με την κωδικοποίηση βίντεο με πολλαπλές περιγραφές, για την ενίσχυση της ποιότητας βίντεο κατά τη μετάδοση στο δίκτυο είναι ο αλγόριθμος Πολλαπλών Περιγραφών με Πρακτική Κωδικοποίηση Δικτύου (MD/PNC) των Ramasubramonian και Woods [3].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ MD/PNC

3.1 Ο Αλγόριθμος MD/PNC

3.2 Κατανομή Ποιότητας Βίντεο σε Δίκτυα με Ομοιογενείς Παραλήπτες

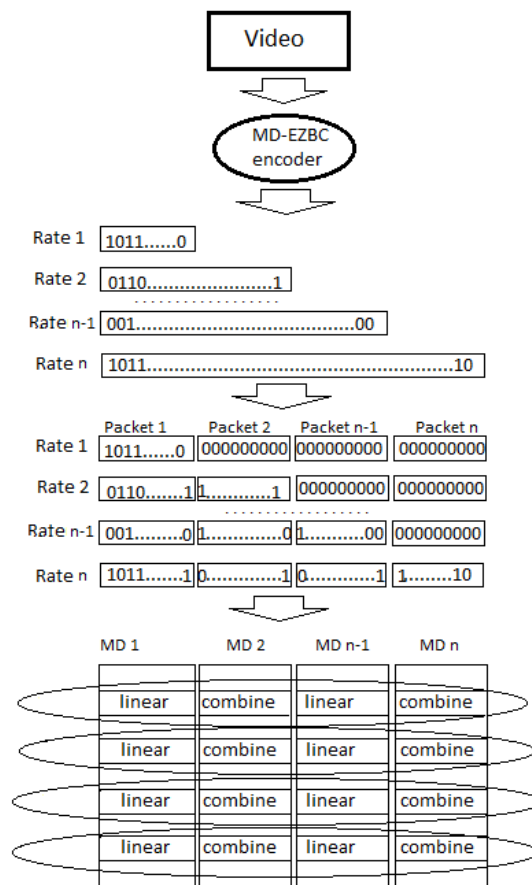
3.3 Μετάδοση Ροής Βίντεο σε Δίκτυα με Ετερογενείς Παραλήπτες

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο αλγόριθμος MD/PNC κατανομής της ποιότητας βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές για δίκτυα με ομοιογενείς παραλήπτες και για δίκτυα με ετερογενείς παραλήπτες. Όπως προαναφέραμε στο δεύτερο κεφάλαιο, είναι απαραίτητη η βέλτιστη κατανομή της ποιότητας του βίντεο ώστε να έχουμε μία αξιόλογη εξυπηρέτηση των παραληπτών με τη μέγιστη δυνατή μέση ποιότητα βίντεο (μετρημένη σε dB).

3.1 Ο Αλγόριθμος MD/PNC

Οι Puri και Ramchandran [2] προτείνουν ο εξυπηρετητής να κωδικοποιεί το βίντεο σε πολλαπλές περιγραφές, με τη χρήση κωδικών Reed-Solomon, για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα ιεραρχίας που εμφανίζεται κατά την κωδικοποίηση κλιμακωτού βίντεο απλής περιγραφής. Οι Ramasubramonian και Woods [3] προτείνουν τον αλγόριθμο MD/PNC ο οποίος συνδυάζει την κωδικοποίηση δικτύου με τις πολλαπλές περιγραφές. Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος MD/PNC εφαρμόζει την τεχνική των Puri et al. για την κωδικοποίηση του βίντεο σε πολλαπλές περιγραφές από τον εξυπηρετητή, με τη χρήση τυχαίων κωδικών αντί των Reed-Solomon. Αντικαθιστά τα

τμήματα FEC (Σχήμα 2.3) με μηδενικά bits, τα οποία ονομάζονται μηδενικά ισοτιμίας. Με την αντικατάσταση των κωδικών RS με μηδενικά ισοτιμίας και την αντιστοίχιση κάθε πολλαπλής περιγραφής σε ένα πακέτο μετάδοσης, ο εξυπηρετητής και οι ενδιάμεσοι κόμβοι μπορούν να εφαρμόζουν κωδικοποίηση δικτύου στις πολλαπλές περιγραφές χωρίς να απαιτείται η επισύναψη νέου πίνακα γραμμικών συντελεστών από τους ενδιάμεσους κόμβους. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1 τα επίπεδα ποιότητας (Layer 1 έως n) βίντεο συνδυάζονται γραμμικά (τα τμήματα οριζόντια), δηλαδή το επίπεδο ένα θα συνδυαστεί γραμμικά με τα υπόλοιπα τμήματα μηδενικών ισοτιμίας. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα το επίπεδο ένα να μπορεί να αποκωδικοποιηθεί με τη λήψη μιας οποιασδήποτε πολλαπλής περιγραφής. Το



Σχήμα 3.1 Κωδικοποίηση πολλαπλών περιγραφών με τυχαίους κώδικες

δεύτερο επίπεδο για να αποκωδικοποιηθεί απαιτούνται δύο οποιοσδήποτε πολλαπλές περιγραφές, ταυτόχρονα όμως μπορεί να αποκωδικοποιηθεί από τη μία περιγραφή το βασικό επίπεδο (Layer 1). Ο χρήστης μπορεί να αποκωδικοποιήσει το βίντεο στην ποιότητα που αντιστοιχεί στο επίπεδο δύο κ.ο.κ. Με το συνδυασμό κωδικοποίησης

πολλαπλών περιγραφών και κωδικοποίησης δικτύου επιτυγχάνεται ενίσχυση της ποιότητας του βίντεο που πολυδιανέμεται, λόγω της αύξησης του εύρους ζώνης του κάθε παραλήπτη. Είναι σημαντικό, όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 2, η βέλτιστη κατανομή της ποιότητας του βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές έτσι ώστε οι παραλήπτες να λάβουν βίντεο με τη ελάχιστη δυνατή μέση παραμόρφωση.

3.2 Κατανομή Ποιότητας Βίντεο σε Δίκτυα με Ομοιογενείς Παραλήπτες

Ο αλγόριθμος MD/PNC υπολογίζει τη βέλτιστη κατανομή της ποιότητας βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές για έναν παραλήπτη, με σκοπό την ελαχιστοποίηση της μέσης παραμόρφωσης του βίντεο που θα λάβει ο παραλήπτης. Οι πολλαπλές περιγραφές που παράγονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν (με πολλαπλή εκπομπή) για την αποστολή της ροής βίντεο και σε άλλους παραλήπτες οι οποίοι έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά (απώλεια πακέτων και εύρος ζώνης) βάση των οποίων έγινε η βελτιστοποίηση.

3.2.1 Βελτιστοποίηση Συνάρτησης Παραμόρφωσης

Έστω ένας εξυπηρετητής π_1 και ένας κόμβος δέκτης δ_1 συνδεδεμένοι μεταξύ τους με κανάλι επικοινωνίας το οποίο παρουσιάζει απώλεια πακέτων ρ και εύρος ζώνης B . Το βίντεο κωδικοποιείται σε N πολλαπλές περιγραφές και κάθε περιγραφή αντιστοιχεί σε ένα πακέτο. Η παραμόρφωση δίνεται από την παρακάτω συνάρτηση:

$$E[D] = \sum_{\kappa=1}^N q[\kappa]D(R_{\kappa}) \quad (3.1)$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$R_1 \leq R_2 \leq \dots \leq R_N \quad (3.2) \quad \text{και} \quad \sum_{\kappa=1}^N \alpha_{\kappa} R_{\kappa} \leq B \quad \text{για} \quad \kappa = 1, \dots, N \quad (3.3)$$

$$\alpha_k = \frac{N}{k(k+1)} \quad k = 1, \dots, N-1 \quad \text{και} \quad \alpha_N = 1 \quad (3.4)$$

Όπου $q[k]$ η πιθανότητα ο δέκτης να παραλάβει k πακέτα, $D(R_k)$ είναι η συνάρτηση παραμόρφωσης του βίντεο, η οποία είναι ένα μοντέλο ποιότητας – παραμόρφωσης (Rate – Distortion) που πρέπει να προσαρμοστεί στο εκάστοτε βίντεο που επρόκειτο να κωδικοποιηθεί. R_k η ποιότητα του βίντεο που αντιστοιχήθηκε στην k πολλαπλή περιγραφή. Το άθροισμα των γινομένων $a_k R_k$ δηλώνει το συνολικό μέγεθος όλων των πολλαπλών περιγραφών το οποίο δεν πρέπει να ξεπερνάει το μέγεθος του εύρους ζώνης της σύνδεσης του παραλήπτη..

Όπως αναφέραμε και στο δεύτερο κεφάλαιο η ποιότητα R_k μετριέται σε ρυθμό bit (kbps). Όταν θα αναφέρεται παρακάτω ότι ο αλγόριθμος κατένειμε την ποιότητα βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές θα εννοείται ότι αποθήκευσε το επίπεδο ποιότητας Layer k στις πολλαπλές περιγραφές έτσι ώστε αν παραληφθούν k πολλαπλές περιγραφές θα αποκωδικοποιηθεί μέχρι και το Layer k . Η ποιότητα του Layer k ισούται με την τιμή της μεταβλητής R_k . Το μέγεθος της πολλαπλής περιγραφής εξαρτάται από το μέγεθος όλων των Layers και δίνεται από τη σχέση:

$$P_{MD} = \sum_{k=1}^N \frac{P_k}{k} \quad (3.5)$$

Όπου P_k το μέγεθος του Layer k . Όπως παρατηρείται από την εξίσωση 3.5, όταν αυξάνεται το μέγεθος ενός Layer αυξάνεται και το συνολικό μέγεθος της πολλαπλής περιγραφής. Όσο πιο σημαντικό είναι ένα Layer (μικρότερο k) τόσο μεγαλύτερη επίδραση έχει το μέγεθος του για τον υπολογισμό του P_{MD} .

Η συνάρτηση παραμόρφωσης ισούται με το άθροισμα των N πολλαπλών περιγραφών στις οποίες έχουν προστεθεί συντελεστές βαρύτητας ($q[k]$). Ο αλγόριθμος θα προσπαθήσει να αντιστοιχήσει την ελάχιστη δυνατή παραμόρφωση στην πολλαπλή περιγραφή με το μεγαλύτερο συντελεστή βαρύτητας $q[x]$, δηλαδή την πιθανότητα ο παραλήπτης να λάβει x πολλαπλές περιγραφές.

Με βάση την τεχνική των πολλαπλών περιγραφών η ποιότητα του βίντεο που λαμβάνει ο παραλήπτης θα πρέπει να αυξάνεται ή να παραμένει η ίδια, με τη λήψη

κάθε επιπλέον πολλαπλής περιγραφής. Η αναγκαιότητα αυτή εντάσσεται στον αλγόριθμο με τον περιορισμό (3.2).

Κατά τη μετάδοση ροής βίντεο ο παραλήπτης έχει ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα που μπορεί να περιμένει να λάβει τις πολλαπλές περιγραφές ενός βίντεο πριν το αποκωδικοποιήσει. Για το λόγο αυτό, πρέπει ο ρυθμός bits (ποιότητα) του βίντεο που μεταδίδεται να είναι ίσος ή μικρότερος από το ρυθμό bits του εύρους ζώνης του παραλήπτη. Για το λόγο αυτό εντάσσεται ο περιορισμός 3.3 στο πρόβλημα βέλτιστης κατανομής της ποιότητας του βίντεο.

Το πρόβλημα ελαχιστοποίησης της συνάρτησης (3.1) υπό τον περιορισμό (3.3) λύνεται με τη μέθοδο των Langrange πολλαπλασιαστών [4] με τη συνάρτηση κόστους Lagrangian να δίνεται από τη σχέση:

$$L(R, \lambda) = \sum_{\kappa=1}^N q[\kappa]D(R_{\kappa}) + \lambda(\sum_{\kappa=1}^N \alpha_{\kappa}R_{\kappa} - B) \quad (3.6)$$

με στάσιμα σημεία της συνάρτησης τα:

$$q_{\kappa} \frac{dD}{dR_{\kappa}} + \lambda \alpha_{\kappa} = 0 \quad (3.7)$$

Η ποιότητα του βίντεο που παραλαμβάνεται με κάθε επόμενη περιγραφή πρέπει να αυξάνεται ή να παραμένει σταθερή ώστε να τηρείται ο περιορισμός (3.2). Για να ισχύει ο περιορισμός (3.2) πρέπει η συνάρτηση $\frac{\alpha_{\kappa}}{q_{\kappa}}$ να είναι γνησίως φθίνουσα.

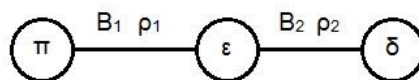
Χρησιμοποιώντας το λήμμα που απέδειξαν οι Puri και Ramchandrar [2], όταν $\frac{\alpha_{\kappa}}{q_{\kappa}} \leq \frac{\alpha_{\kappa+1}}{q_{\kappa+1}}$ τότε η ποιότητα $R_{\kappa+1}$ ισούται με R_{κ} , η συνάρτηση $\frac{\alpha_{\kappa}}{q_{\kappa}}$ μετατρέπεται σε γνησίως φθίνουσα και το πρόβλημα ελαχιστοποίησης μετατρέπεται σε πρόβλημα ελαχιστοποίησης με λιγότερους αγνώστους.

3.2.2 Βελτιστοποίηση συνάρτησης παραμόρφωσης για πολλά άλματα

Η βελτιστοποίηση που περιγράφηκε παραπάνω κατανέμει την ποιότητα του βίντεο για μία μόνο σύνδεση μεταξύ εξυπηρετητή και παραλήπτη. Στις περιπτώσεις όπου

υπάρχουν πολλές σειριακές συνδέσεις (παρουσία ενδιάμεσου κόμβου) όπως το δίκτυο στο Σχήμα 3.2 μπορούμε να θεωρήσουμε μία εικονική σύνδεση έτσι ώστε ο παραλήπτης να εμφανίζει τα ίδια χαρακτηριστικά (απώλεια πακέτων ρ_1, ρ_2 και εύρος ζώνης B_1, B_2) με πριν. Το εύρος ζώνης θα ισούται με το μικρότερο από τα B_1 και B_2 . Αυτό συμβαίνει επειδή αν $B_1 > B_2$ ο κόμβος ε μπορεί να λαμβάνει γρηγορότερα τα πακέτα από τον κόμβο π αλλά δεν μπορεί να τα μεταδώσει με την ίδια ταχύτητα επειδή το εύρος ζώνης της σύνδεσης του με τον κόμβο δ είναι μικρότερη. Αν $B_1 < B_2$ τότε ο κόμβος ε μεταδίδει τα πακέτα πιο γρήγορα από ότι τα λαμβάνει, με αποτέλεσμα να υπάρχουν χρονικές στιγμές που δεν μεταδίδει επειδή δεν υπάρχουν πακέτα προς μετάδοση. Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις ο κόμβος δ λαμβάνει πακέτα με το ρυθμό μετάδοσης του μικρότερου εύρους ζώνης. Κατά τη μετάδοση Z πακέτων από τον κόμβο π στον ενδιάμεσο κόμβο ε χάνονται $Z \cdot \rho_1$ πακέτα κατά μέσο όρο. Ο κόμβος ε θα λάβει $Z \cdot (1 - \rho_1)$, επειδή η πιθανότητα να λάβει πακέτο είναι $(1 - \rho_1)$. Αντίστοιχα, η πιθανότητα του δ να λάβει ένα πακέτο είναι $(1 - \rho_2)$, όμως ο κόμβος ε μπορεί να μεταδώσει $Z \cdot (1 - \rho_1)$ πακέτα. Ο κόμβος δ θα λάβει κατά μέσο όρο $Z \cdot (1 - \rho_1) \cdot (1 - \rho_2)$ πακέτα. Η πιθανότητα απώλειας πακέτων από τον παραλήπτη θα είναι $1 - (1 - \rho_1)(1 - \rho_2)$.

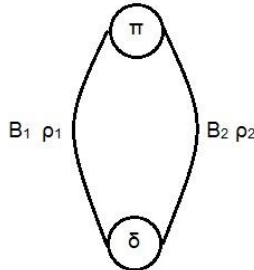
Όταν η ροή των πακέτων χωρίζεται σε πολλές παράλληλες συνδέσεις, όπως στο Σχήμα 3.3, τότε το εύρος ζώνης της εικονικής σύνδεσης ισούται με το άθροισμα $B_1 + B_2$ αφού ο κόμβος δ μπορεί να λαμβάνει ταυτόχρονα πακέτα και από τις δύο συνδέσεις. Λόγω των πιθανοτήτων απώλειας πακέτων ρ_1 και ρ_2 τα εύρη ζώνης που παρατηρεί ο κόμβος δ είναι $B_1(1 - \rho_1)$ και $B_2(1 - \rho_2)$ αντίστοιχα για τις δύο συνδέσεις του. Πρέπει λοιπόν να ισχύει $(B_1 + B_2)(1 - \rho') = B_1(1 - \rho_1) + B_2(1 - \rho_2)$. Η απώλεια πακέτων υπολογίζεται $\rho' = (B_1\rho_1 + B_2\rho_2)/(B_1 + B_2)$ (Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.2 Μετάδοση βίντεο μέσω πολλαπλών σειριακών συνδέσεων

3.2.3 Μετάδοση Ροής Βίντεο στο Δίκτυο με Ομοιογενείς Παραλήπτες

Οι Ramasubramonian και Woods [3] για τη μετάδοση της ροής βίντεο σε ένα ενσύρματο δίκτυο προτείνουν το συνδυασμό πολλαπλών περιγραφών, με χρήση τυχαίων κωδικών, και της πρακτικής κωδικοποίησης δικτύου. Ο εξυπηρετητής σε ένα δίκτυο, όπως για παράδειγμα στο δίκτυο πεταλούδα (Σχήμα 3.4), χωρίζει το βίντεο σε ομάδες εικόνων ΟΕ (GOP) οι οποίες αποτελούν υποσύνολα του βίντεο έτσι ώστε οι παραγόμενες πολλαπλές περιγραφές να έχουν το επιθυμητό μέγεθος (πχ. περίπου 1000KBytes για πρωτόκολλο Ethernet). Αφού υπολογίσει την κατανομή της ποιότητας του βίντεο και κατασκευάσει τις N πολλαπλές περιγραφές, τις αποθηκεύει σε N πακέτα (μία περιγραφή σε ένα πακέτο). Μεταδίδει γραμμικούς συνδυασμούς των πακέτων προς τους ενδιάμεσους κόμβους (I_1, I_0) με το μέγιστο δυνατό ρυθμό. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι γραμμικοί συνδυασμοί που προωθεί ο εξυπηρετητής προς τις θύρες εξόδου του είναι διαφορετικοί για κάθε θύρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ενδιάμεσοι κόμβοι να λάβουν διαφορετικούς γραμμικούς συνδυασμούς.

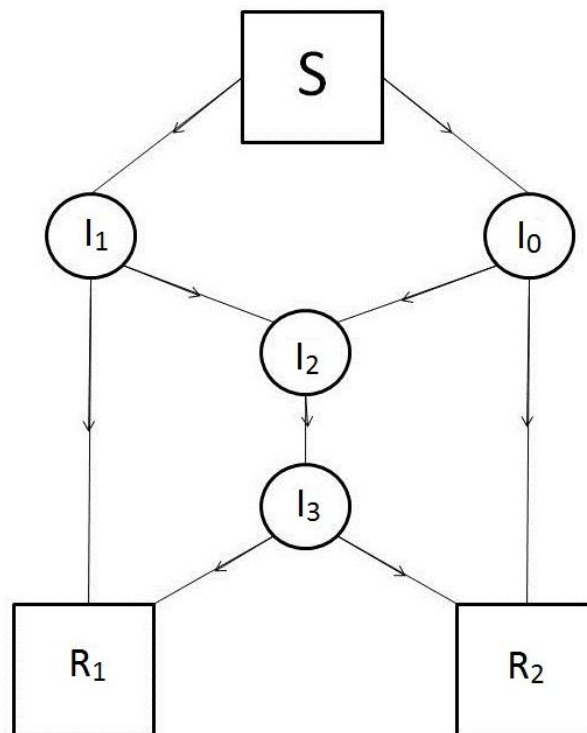


Σχήμα 3.3 Μετάδοση βίντεο μέσω πολλαπλών παράλληλων συνδέσεων

Οι ενδιάμεσοι κόμβοι καθώς παραλαμβάνουν πακέτα τα αποθηκεύουν στη μνήμη τους σε ομάδες, όπου κάθε ομάδα αντιστοιχεί σε μία γενιά γραμμικών συνδυασμών. Όταν, ένας ενδιάμεσος κόμβος παραλάβει αρκετά πακέτα από μία γενιά τότε ξεκινάει να συνδυάζει γραμμικά τα πακέτα αυτά και να τα προωθεί. Το πλήθος των πακέτων που πρέπει να περιμένει ο ενδιάμεσος κόμβος να παραλάβει, πριν ξεκινήσει την προώθηση, ονομάζεται επιθετικότητα (aggressiveness) και ορίζεται εμπειρικά. Ο αριθμός αυτός επηρεάζει το πλήθος των γραμμικών συσχετισμένων πακέτων που θα

παραλάβουν οι δέκτες R_1 και R_2 καθώς επίσης και την καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων αυτών. Αν είναι μικρός, σε σχέση με το πλήθος των πολλαπλών περιγραφών N , τότε οι παραλήπτες R_1 και R_2 θα παραλαμβάνουν γρήγορα τα πακέτα αλλά θα υπάρχουν αρκετά γραμμικώς συσχετισμένα πακέτα. Αν είναι μεγάλος, οι παραλήπτες R_1 και R_2 θα λάβουν ελάχιστα γραμμικώς συσχετισμένα πακέτα αλλά θα υπάρξει μεγάλη καθυστέρηση. Αν οι ενδιάμεσοι κόμβοι παραλάβουν πακέτα που ανήκουν σε γενιές παλιότερες από αυτήν που εκπέμπουν τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή τότε διαγράφουν τα πακέτα αυτά.

Οι παραλήπτες αφού παραλάβουν N πακέτα από μία γενιά τα αποκωδικοποιούν κατευθείαν με Γκαουσιανή απαλοιφή. Όταν οι παραλήπτες έχουν λάβει πλήθος πακέτων μιας γενιάς μικρότερου από N , τότε περιμένουν ένα χρονικό διάστημα και ξεκινάνε την αποκωδικοποίηση των πακέτων της συγκεκριμένης γενιάς. Τα αποκωδικοποιημένα πακέτα αποθηκεύονται σε αρχεία για μεταγενέστερη προβολή του βίντεο στον παραλήπτη. Στην περίπτωση όπου ένας παραλήπτης λάβει πακέτο μιας γενιάς που έχει ήδη αποκωδικοποιηθεί τότε το διαγράφει.



Σχήμα 3.4 Τοπολογία δικτύου Πεταλούδα

3.3 Μετάδοση Ροής Βίντεο σε Δίκτυο με Ετερογενείς Παραλήπτες

Κατά τη μετάδοση βίντεο σε παραλήπτες με ετερογενή χαρακτηριστικά, όπως το εύρος ζώνης και η μέση πιθανότητα απώλειας πακέτων, οι παραλήπτες παρουσιάζουν διαφορετική ρυθμαπόδοση (throughput), όπου προσεγγιστικά υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{ρυθμαπόδοση} = \text{εύρος ζώνης} * (1 - \text{απώλεια πακέτων}) \quad (3.8)$$

με αποτέλεσμα να λαμβάνουν κατά μέσο όρο διαφορετικό πλήθος πολλαπλών περιγραφών. Για το λόγο αυτό πρέπει να γίνει η κατανομή της ποιότητας βίντεο έτσι ώστε η μέση ποιότητα βίντεο που θα λαμβάνουν οι παραλήπτες να είναι η βέλτιστη δυνατή.

Οι Ramasubramonian και Woods [5] επέκτειναν την αρχική τους έρευνα [3] για δίκτυα με ετερογενείς παραλήπτες, προτείνοντας τον αλγόριθμο MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης. Ο αλγόριθμος MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης για να μπορέσει να υποστηρίξει ετερογενείς κόμβους, ανάγει το εύρος ζώνης όλων των ετερογενών κόμβων στο εύρος ζώνης του κόμβου με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση. Προσαρμόζει την πιθανότητα απώλειας πακέτων για κάθε ένα από τους παραπάνω ετερογενείς κόμβους έτσι ώστε η ρυθμαπόδοσή τους να παραμένει η ίδια. Αφού υπολογίσει τις δυνωμικές κατανομές για κάθε ετερογενή παραλήπτη υπολογίζει τη μέση κατανομή αυτών. Με την τεχνική αυτή, μείωσε το πλήθος των διαφορετικών εύρων ζώνης των ετερογενών παραληπτών σε ένα, το εύρος ζώνης B_δ του παραλήπτη με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση, και τις δυνωμικές κατανομές σε μία, που ισούται με ρ τη μέση τιμή όλων δυνωμικών κατανομών. Δημιούργησε δηλαδή έναν εικονικό κόμβο με εύρος ζώνης B_δ και κατανομή ρ . Με τον τρόπο αυτό μπορεί ο αλγόριθμος MD/PNC να επιλύσει το πρόβλημα ελαχιστοποίησης της παραμόρφωσης για έναν εικονικό κόμβο και να κατανέμει την ποιότητα βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές.

Σύμφωνα με τον αλγόριθμο MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης, ο εξυπηρετητής συλλέγει πληροφορίες, με μηνύματα ενημέρωσης (feedback), για το εύρος ζώνης και την πιθανότητα απώλειας πακέτων που παρουσιάζουν M παραλήπτες που εξυπηρετεί.

Ανάγει τα εύρη ζώνης όλων τον παραλήπτων στο εύρος ζώνης B' του παραλήπτη με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση. Έπειτα, υπολογίζει τις νέες πιθανότητες απώλειας πακέτων έτσι ώστε να ισχύει $(1 - p) * B = (1 - p') * B'$, όπου B το πραγματικό εύρος ζώνης του παραλήπτη, p η πραγματική πιθανότητα απώλειας πακέτων και p' η πιθανότητα απώλειας πακέτων μετά την αναγωγή. Υπολογίζεται η μέση παραμόρφωση από την παρακάτω συνάρτηση:

$$D_{avg} = \sum_{\kappa=1}^N \rho[\kappa] D(R_{\kappa}) \quad (3.9)$$

όπου $\rho(\kappa)$ να ισούται με $\frac{1}{M} \sum_{\kappa=1}^M q[\kappa]$. Υπό τους περιορισμούς

$$R_1 \leq R_2 \leq \dots \leq R_N \quad (3.10)$$

$$\beta N^2 + \sum_{\kappa=1}^N \alpha_{\kappa} R_{\kappa} \leq \max\{m_{\mu}\} \quad (3.11)$$

όπου β ισούται με $8 \frac{fps}{fpg}$. Το fps δηλώνει το ρυθμό των εικόνων του βίντεο που προβάλλονται και το fpg δηλώνει το πλήθος των εικόνων που αποτελούν ένα ΟΕ. Το βN^2 , στον περιορισμό 3.11, είναι τα έξτρα Bytes των συντελεστών κωδικοποίησης που επισυνάπτονται, κατά την κωδικοποίηση, στις πολλαπλές περιγραφές. Το $\max\{m_{\mu}\}$ είναι το μεγαλύτερο εύρος ζώνης από τους παραλήπτες.

Για τον υπολογισμό της κατανομής ρ κάθε παραλήπτης στέλνει μηνύματα ενημέρωσης (feedback), με την πιθανότητα απώλειας πακέτων που παρατηρεί, για κάθε ΟΕ πίσω στον κόμβο εξυπηρετητή. Ο εξυπηρετητής υπολογίζει τις κατανομές λήψης πακέτων για κάθε παραλήπτη q_{μ} χρησιμοποιώντας τη διωνυμική κατανομή pmf με παραμέτρους το πλήθος των περιγραφών N και I_r την πιθανότητα απώλειας πακέτων.

Έχοντας υπολογίσει την κατανομή ρ ο εξυπηρετητής επιλύει τη συνάρτηση ελαχιστοποίησης της παραμόρφωσης για $\max\{m_{\mu}\}$ και ρ και κατανέμει την ποιότητα βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές, τις οποίες προωθεί στο δίκτυο. Η δημιουργία ενός εικονικού κόμβου και η ελαχιστοποίηση της παραμόρφωσης βάση των

χαρακτηριστικών του εικονικού κόμβου δεν είναι αποδοτική. Η βελτιστοποίηση έγινε για έναν μη υπάρχον παραλήπτη και όχι για κάποιον από τους πραγματικούς παραλήπτες, άρα δεν είναι η βέλτιστη για κανέναν. Όσο αυξάνεται η διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών για τους ετερογενείς παραλήπτες τόσο επιβαρύνεται το πρόβλημα αυτό, με τον αλγόριθμο MD/PNC με μηνύματα ενημερώσεων να αδυνατεί να κατανέμει βέλτιστα την ποιότητα του βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές. Η μέση ποιότητα του βίντεο που λαμβάνουν οι ετερογενείς παραλήπτες δεν είναι η μέγιστη δυνατή. Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύουμε το μειονέκτημα του MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης και προτείνουμε τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης δύο επιπέδων για την αντιμετώπιση του προβλήματος κατανομής της ποιότητας που παρουσιάζεται κατά τη μετάδοση βίντεο σε δίκτυο με ετερογενείς κόμβους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΥΟ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

4.1 Μειονέκτημα του MD/PNC

4.2 Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Δύο επιπέδων

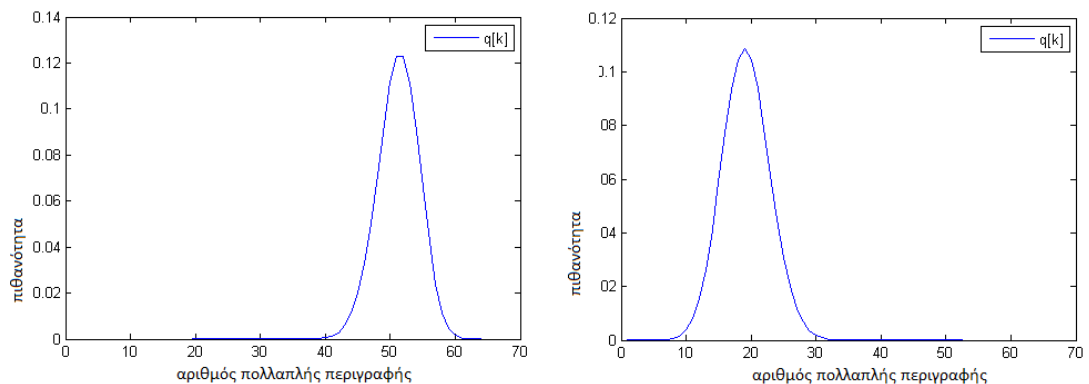
4.3 Γενίκευση Προτεινόμενης Μεθόδου

4.4 Μέθοδοι Αξιολόγησης

Στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι να παρουσιάσει το πρόβλημα του αλγόριθμου MD/PNC των Ramasubramonian και Woods [5] κατά τη μετάδοση ροής βίντεο σε δίκτυο με ετερογενείς κόμβους και να προτείνει έναν αλγόριθμο επίλυσης του προβλήματος κατανομής της ποιότητας βίντεο για ετερογενείς παραλήπτες. Ο αλγόριθμος MD/PNC σε δίκτυα με ετερογενείς παραλήπτες βελτιστοποιεί τη συνάρτηση παραμόρφωσης βάση χαρακτηριστικών, το εύρος ζώνης και την κατανομή λήψης πακέτων, ενός εικονικού παραλήπτη. Αυτό συνεπάγεται, ότι η βέλτιστη λύση του αλγόριθμου MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης δεν είναι η καλύτερη δυνατή για τους ετερογενείς παραλήπτες αφού δεν υπολογίστηκε με βάση κάποιον από αυτούς. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο προτεινόμενος αλγόριθμος βελτιστοποίησης δύο επιπέδων που επιμερίζει το πρόβλημα σε δύο υποπροβλήματα και τα επιλύει ξεχωριστά.

4.1 Μειονέκτημα του MD/PNC με Μηνύματα Ενημέρωσης

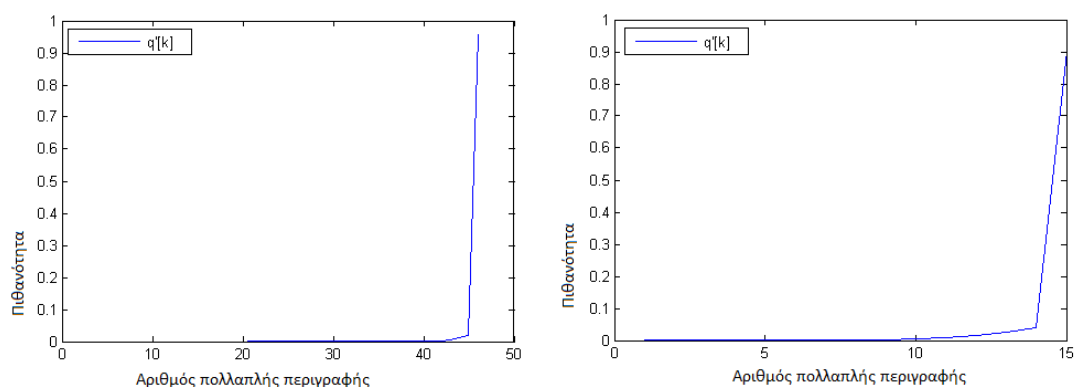
Όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο ο αλγόριθμος MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης, λαμβάνει μηνύματα ενημέρωσης με πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά των παραλήπτων που εξυπηρετεί. Δημιουργεί έναν εικονικό κόμβο με εύρος ζώνης το μεγαλύτερο εύρος ζώνης από τους M ετερογενείς παραλήπτες και πιθανότητα $\rho(k)$ που ισούται με $\frac{1}{M} \sum_{k=1}^M q[k]$. Ο αλγόριθμος MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης υπολογίζοντας τη νέα κατανομή λήψης πακέτων δημιουργεί ένα φαινόμενο ανταγωνισμού, όπως θα περιγραφεί παρακάτω, όπου κάθε παραλήπτης, από τους ετερογενείς παραλήπτες, «απαιτεί» να αντιστοιχηθεί η μέγιστη δυνατή ποιότητα βίντεο στη πολλαπλή περιγραφή, που έχει τη μεγαλύτερη πιθανότητα $q[k]$ λήψης για αυτόν. Στο παρακάτω παράδειγμα περιγράφεται το πρόβλημα αυτό για δύο ετερογενείς κόμβους με ίδιο εύρος ζώνης 500kbps αλλά μέση πιθανότητα απώλειας πακέτων 0,2 και 0,7 για 64 πολλαπλές περιγραφές.



Σχήμα 4.1 Γραφικές παραστάσεις της q για παραλήπτες με 0,2 και 0,7 πιθανότητα απώλειας πακέτων

Αν η βελτιστοποίηση της κατανομής ποιότητας βίντεο εφαρμόζονταν ξεχωριστά για τους δυο παραλήπτες με μέση πιθανότητα απώλειας πακέτων 0,2 (βελτιστοποίηση α) και 0,7 (βελτιστοποίηση β) οι κατανομές πιθανότητας λήψης πακέτων q απεικονίζονται στο Σχήμα 4.1. Για να πληρείται ο περιορισμός, να μην μειώνεται η ποιότητα βίντεο όταν γίνεται λήψη μιας επιπλέον πολλαπλής περιγραφής, για τις δύο βελτιστοποιήσεις (α) και (β) υπολογίζονται οι νέες κατανομές q' βάση του λήμματος που απέδειξαν οι Puri et al. [2], όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 4.2. Οι τιμές της κατανομής q' λειτουργούν ως συντελεστές βαρύτητας με αποτέλεσμα ο αλγόριθμος MD/PNC επιλύοντας τη συνάρτηση ελαχιστοποίησης παραμόρφωσης να αναθέτει

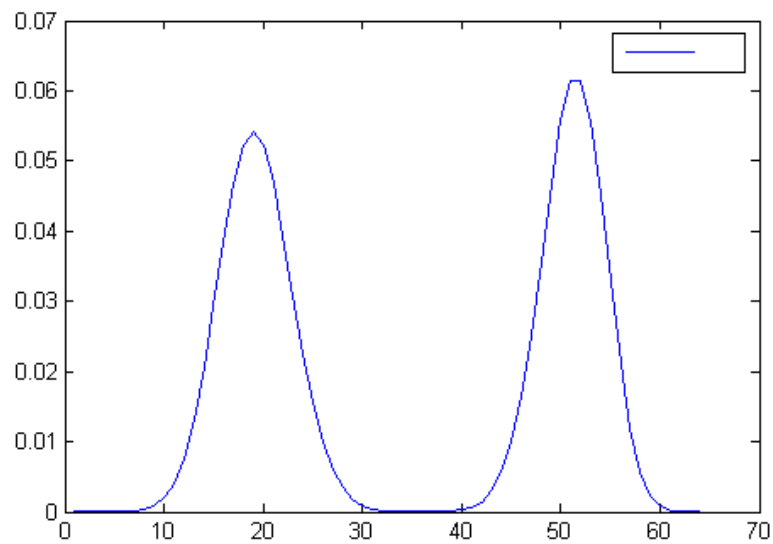
την ποιότητα με την μικρότερη δυνατή παραμόρφωση στην πολλαπλή περιγραφή στην οποία αντιστοιχεί η μεγαλύτερη πιθανότητα λήψης. Συγκεκριμένα, η βελτιστοποίηση (α) κατανέμει την ποιότητα του βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές 39 έως 64, με το επίπεδο μέγιστης ποιότητας να αντιστοιχίζεται στην 46^η πολλαπλή περιγραφή. Η βελτιστοποίηση (β) κατανέμει την ποιότητα του βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές 13 έως 64 με το επίπεδο μέγιστης ποιότητας να αντιστοιχίζεται στη 17^η πολλαπλή περιγραφή. Η κατανομή της ποιότητας του βίντεο στις βελτιστοποιήσεις (α) και (β) έγινε με το βέλτιστο δυνατό τρόπο.



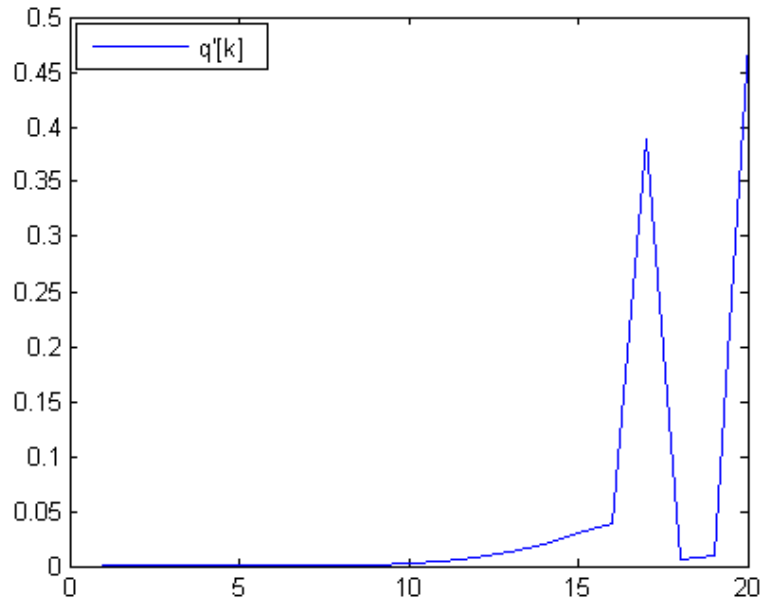
Σχήμα 4.2 Γραφικές παραστάσεις της q' για παραλήπτες με πιθανότητες απώλειας πακέτων 0,2 και 0,7

Αν η βελτιστοποίηση γινόταν και για του δύο παραλήπτες μαζί (βελτιστοποίηση γ) οι τιμές $\rho(k)$ απεικονίζονται στο Σχήμα 4.3. Για να πληρείται ο περιορισμός, ότι με τη λήψη επιπλέον πολλαπλής περιγραφής η ποιότητα του βίντεο πρέπει να αυξάνεται ή να παραμένει σταθερή, υπολογίζεται η νέα ρ' (Σχήμα 4.4). Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στη 17^η πολλαπλή περιγραφή αντιστοιχούν οι πολλαπλές περιγραφές 17 έως 43, δηλαδή θα παραμένει η ίδια παραμόρφωση κατά τη λήψη 18 έως 43 πολλαπλών περιγραφών. Η πολλαπλή περιγραφή 18 της ρ' αντιστοιχεί στη 44^η πολλαπλή περιγραφή της ρ , η 19^η πολλαπλή περιγραφή στην 45 και η 20^η περιγραφή στις πολλαπλές περιγραφές 46 έως 64. Η καμπύλη της ρ' παρουσιάζει δύο ακρότατα, ένα στη 17^η πολλαπλή περιγραφή και ένα στην 20^η. Ο αλγόριθμος MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης θα αναγκαστεί να μοιράζει τους διαθέσιμους πόρους (ρυθμός bit) στα δύο αυτά ακρότατα με αποτέλεσμα να δημιουργείται το φαινόμενο ανταγωνισμού όπου η ποιότητα του βίντεο που αντιστοιχίστηκε στις πολλαπλές

περιγραφές να είναι μικρότερη από ότι αντιστοιχήθηκε στις βελτιστοποιήσεις (α) και (β).



Σχήμα 4.3 Γραφική παράσταση της ρ για ετερογενείς παραλήπτες με πιθανότητα απώλειας πακέτων 0,2 και 0,7



Σχήμα 4.4 Γραφική παράσταση της ρ' για ετερογενείς παραλήπτες με πιθανότητα απώλειας πακέτων 0,2 και 0,7

Ένα επιπλέον πρόβλημα που εμφανίζεται κατά την εφαρμογή του αλγόριθμου MD/PNC είναι ότι η ποιότητα που αντιστοιχίστηκε στις πολλαπλές περιγραφές (13 έως 43) είναι πολύ χαμηλή (μικρότερη των 75kbps). Ο κωδικοποιητής δεν μπορεί να κωδικοποιήσει το βίντεο για τόσο χαμηλή ποιότητα με αποτέλεσμα να μην κατανέμεται κάποια ποιότητα βίντεο στις περιγραφές 13 έως 43. Ο παραλήπτης με πιθανότητα απώλειας πακέτων 0,7 λαμβάνει κατά μέσο όρο 19 πακέτα, ωστόσο επειδή δεν αντιστοιχίστηκε κανένα επίπεδο ποιότητας του βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές 1 έως 43, το βίντεο που λαμβάνει ο παραλήπτης είναι μη αποκωδικοποιήσιμο.

Για τον παραλήπτη με πιθανότητα απώλειας πακέτων 0,2 μειώθηκε το εύρος των πολλαπλών περιγραφών στο οποίο μπορεί να αποκωδικοποιήσει το βίντεο. Συγκεκριμένα, κατά τη βελτιστοποίηση (α) ο παραλήπτης μπορούσε να αποκωδικοποιήσει το βίντεο αν λάμβανε 39 έως 64 πολλαπλές περιγραφές. Ωστόσο, με βάση τον αλγόριθμο MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης, ο παραλήπτης μπορεί να αποκωδικοποιήσει το βίντεο μόνο αν λάβει πάνω από 43 πολλαπλές περιγραφές. Επειδή υπάρχει πιθανότητα ο παραλήπτης να λαμβάνει 39 έως 43 πολλαπλές περιγραφές, αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ελάχιστη μέση παραμόρφωση του βίντεο που λαμβάνει ο παραλήπτης, βάση της βελτιστοποίησης (γ) να είναι μεγαλύτερη από αυτή βάση της βελτιστοποίησης (α).

Ο αλγόριθμος προσπαθεί να κατανέμει τους πόρους έτσι ώστε να επωφεληθούν όλοι οι ετερογενείς παραλήπτες. Όμως όταν επωφελείται ένας παραλήπτης τότε αδικούνται οι υπόλοιποι ετερογενείς παραλήπτες. Όσο αυξάνεται η διαφορά στα χαρακτηριστικά των ετερογενών παραληπτών (ρυθμαπόδοση) τόσο μεγαλύτερη επίπτωση έχει το φαινόμενο αυτό στη βελτιστοποίηση, καθιστώντας αδύνατο τον υπολογισμό της βέλτιστης κατανομής της ποιότητας βίντεο σε πολλαπλές περιγραφές.

4.2 Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Δύο επιπέδων

Ο Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Δύο Επιπέδων (ΑΒΔΕ) επιμερίζει το πρόβλημα κατανομής της ποιότητας του βίντεο σε πολλαπλές περιγραφές σε δύο επιμέρους προβλήματα. Το ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης είναι η κατανομή της ποιότητας

βίντεο σε πολλαπλές περιγραφές, με βάση τον κόμβο με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση. Η βελτιστοποίηση αυτή γίνεται στο επίπεδο εφαρμογής, και εκτελείται από την εφαρμογή του κόμβου εξυπηρετητή. Το δεύτερο πρόβλημα, η αδυναμία των υπόλοιπων ετερογενών παραληπτών να λάβουν τις απαιτούμενες πολλαπλές περιγραφές λόγω της μικρότερης ρυθμαπόδοσης τους, επιλύεται σε επίπεδο δικτύου από τους ενδιάμεσους κόμβους προσαρμόζοντας τη ροή των δεδομένων στο δίκτυο. Παρακάτω θα γίνει περιγραφή της μεθόδου του προτεινόμενου αλγόριθμου για δύο ετερογενείς παραλήπτες και έπειτα θα περιγραφεί η γενίκευσή της.

4.2.1 Μηχανισμός Ενημερώσεων

Τα χαρακτηριστικά του δικτύου, όπως το εύρος ζώνης και η μέση πιθανότητα απώλειας πακέτων, δεν είναι πάντα σταθερά. Θα πρέπει ο εξυπηρετητής και οι ενδιάμεσοι κόμβοι να ενημερώνονται δυναμικά για τις αλλαγές των χαρακτηριστικών του κάθε παραλήπτη που εξυπηρετούν, για να προσαρμόζουν τις βελτιστοποιήσεις σε επίπεδο εφαρμογής και δικτύου αντίστοιχα, ώστε η μέση ποιότητα του βίντεο που θα λάβουν όλοι οι παραλήπτες να είναι η μέγιστη δυνατή.

Κάθε παραλήπτης δημιουργεί ένα μήνυμα ελέγχου για κάθε ΟΕ που λαμβάνει, στο οποίο αποθηκεύει το εύρος ζώνης και τη μέση πιθανότητα απώλειας πακέτων που παρατηρήθηκε, και το μεταδίδει προς τον εξυπηρετητή. Όταν ένας ενδιάμεσος κόμβος λάβει ένα μήνυμα ελέγχου, αποθηκεύει στην τοπική μνήμη του τον αποστολέα του μηνύματος, το εύρος ζώνης και την πιθανότητα απώλειας πακέτων. Με τον τρόπο αυτό ο ενδιάμεσος κόμβος κατασκευάζει ένα πίνακα με πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά των παραληπτών που εξυπηρετεί έτσι ώστε να μπορεί να προσαρμόσει το πλήθος και το μέγεθος των πολλαπλών περιγραφών, όπου αυτό χρειαστεί. Ο πίνακας ενημερώνεται με κάθε μήνυμα ελέγχου που περνάει από τον ενδιάμεσο κόμβο.

Ο εξυπηρετητής, από τα μηνύματα ελέγχου που λαμβάνει, επιλέγει το εύρος ζώνης και τη μέση πιθανότητα απώλειας πακέτων του παραλήπτη με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση και βελτιστοποιεί την συνάρτηση παραμόρφωσης με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά. Αν από τα μηνύματα ελέγχου που λαμβάνει ο εξυπηρετητής,

παρατηρηθεί αλλαγή της μέγιστης ρυθμαπόδοσης τότε ο εξυπηρετητής θα βελτιστοποιήσει τη συνάρτηση παραμόρφωσης για την επόμενη ΟΕ με βάση τη νέα μέγιστη ρυθμαπόδοση. Κατά την δημιουργία των πολλαπλών περιγραφών ο εξυπηρετητής αποθηκεύει στην κεφαλίδα κάθε πολλαπλής περιγραφής το εύρος ζώνης και τη μέση πιθανότητα απώλειας πακέτων βάση των οποίων έγινε η βελτιστοποίηση. Αυτό απαιτείται για να γνωρίζει ο ενδιάμεσος κόμβος όταν λάβει μία πολλαπλή περιγραφή αν θα πρέπει να προσαρμόσει το μέγεθος ή και το πλήθος των πολλαπλών περιγραφών που θα προωθήσει.

4.2.2 Βελτιστοποίηση στο Επίπεδο Εφαρμογής

Ο εξυπηρετητής συλλέγει τα χαρακτηριστικά των ετερογενών παραληπτών μέσω μηνυμάτων ελέγχου. Οι ετερογενείς παραλήπτες τοποθετούν το εύρος ζώνης και το ποσοστό απώλειας πακέτων που παρατηρούν σε μήνυμα ελέγχου που το αποστέλλουν στον εξυπηρετητή. Ο εξυπηρετητής υπολογίζει την κατανομή q των πιθανοτήτων λήψης πολλαπλής περιγραφής χρησιμοποιώντας τη δυνωμική κατανομή pmf με παραμέτρους το πλήθος των παραγόμενων πολλαπλών περιγραφών (N) και τη μέση πιθανότητα απώλειας πακέτων (ρ) του παραλήπτη με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση. Για τον περιορισμό:

$$\sum_{\kappa=1}^N \alpha_{\kappa} R_{\kappa} \leq B_{\max} \quad (4.1)$$

η παράμετρος B_{\max} ισούται με το εύρος ζώνης του παραλήπτη με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση. Ο εξυπηρετητής ελαχιστοποιεί τη συνάρτηση παραμόρφωσης του βίντεο

$$E[D] = \sum_{\kappa=1}^N q_{\max}[\kappa] D(R_{\kappa}) \quad (4.2)$$

και παράγει τις πολλαπλές περιγραφές βάση της βέλτιστης κατανομής ποιότητας που υπολογίστηκε. Πριν προωθήσει τις πολλαπλές περιγραφές προσθέτει στην επικεφαλίδα τους το εύρος ζώνης και την πιθανότητα απώλειας πακέτων βάση των οποίων έγινε η κατανομή της ποιότητας στις πολλαπλές περιγραφές. Η πληροφορία αυτή θα χρειαστεί στους ενδιάμεσους κόμβους για να προσαρμόσουν τη ροή

δεδομένων, έτσι ώστε οι υπόλοιποι ετερογενείς παραλήπτες με μικρότερη ρυθμαπόδοση να μπορέσουν να αποκωδικοποιήσουν τη βέλτιστη δυνατή ποιότητα βίντεο για αυτούς. Τέλος, ο εξυπηρετητής μεταδίδει τις πολλαπλές περιγραφές με το μέγιστο ρυθμό.

4.2.3 Βελτιστοποίηση στο Επίπεδο Δικτύου

Όπως αναφέρθηκε οι πολλαπλές περιγραφές που μεταδίδονται από τον κόμβο εξυπηρετητή έχουν δημιουργηθεί με βάση τον παραλήπτη με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση (Π_{\max}). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι παραλήπτες με μικρότερη ρυθμαπόδοση, είτε λόγω μικρότερου εύρους ζώνης είτε λόγω μεγαλύτερης πιθανότητας απώλειας πακέτων, αδυνατούν να παραλάβουν τα απαιτούμενα πακέτα ώστε να αποκωδικοποιήσουν το βίντεο. Για το λόγο αυτό οι ενδιάμεσοι κόμβοι, που εξυπηρετούν τους παραλήπτες με μικρότερη ρυθμαπόδοση από αυτήν του Π_{\max} , προσαρμόζουν το μέγεθος και το πλήθος των πολλαπλών περιγραφών που προωθούν. Κάθε ενδιάμεσος κόμβος πριν προωθήσει το μήνυμα ελέγχου ενός παραλήπτη προς τον εξυπηρετητή, αποθηκεύει τα χαρακτηριστικά (εύρος ζώνης και πιθανότητα απώλειας πακέτου) στη μνήμη του. Με τον τρόπο αυτό κάθε ενδιάμεσος κόμβος γνωρίζει αν θα πρέπει να προσαρμόσει το μέγεθος ή και το πλήθος των περιγραφών πριν τις προωθήσει.

4.2.3.1 Προσαρμογή Μεγέθους και Πλήθους των Πολλαπλών Περιγραφών

Ένας ενδιάμεσος κόμβος αποθηκεύει στη μνήμη του τους γραμμικούς συνδυασμούς που παραλαμβάνει. Όταν λάβει αρκετούς γραμμικούς συνδυασμούς ξεκινάει να παράγει καινούργιους γραμμικούς συνδυασμούς. Αν οι παραλήπτες που εξυπηρετεί απαιτούν τη μείωση του μεγέθους των πολλαπλών περιγραφών τότε μειώνει το μέγεθος των γραμμικών συνδυασμών που παράγει και τους προωθεί. Αν απαιτείται η αποστολή μεγαλύτερου πλήθους πολλαπλών περιγραφών τότε παράγει περισσότερους γραμμικούς συνδυασμούς. Όταν τα χαρακτηριστικά του παραλήπτη που εξυπηρετεί είναι ίδια με τα χαρακτηριστικά που είναι αποθηκευμένα στην επικεφαλίδα των πολλαπλών περιγραφών τότε προωθεί τους γραμμικούς συνδυασμούς χωρίς να τους μειώσει το μέγεθος ή να κατασκευάσει περισσότερους.

Ο ενδιάμεσος κόμβος επιλέγει το τμήμα που θα αφαιρέσει πάντα σε σχέση με το μέγεθος των επιπέδων ποιότητας του βίντεο που είναι αποθηκευμένα στις πολλαπλές περιγραφές. Έστω $P_x = 700$ Bytes το μέγιστο μέγεθος του μειωμένου πακέτου που μπορούμε να στείλουμε και τα τέσσερα επίπεδα ποιότητας που αποθηκεύτηκαν στις περιγραφές έχουν τα μεγέθη $P_1 = 300$ Bytes , $P_2 = 650$ Bytes, $P_3 = 880$ Bytes και $P_4 = 1000$ Bytes (Σχήμα 4.5) τότε θα πρέπει να ισχύει ότι :

$$P_i \leq P_x < P_{i+1} \quad (4.3)$$

όπου P_i το μέγεθος στο οποίο επιλέγουμε να μειώσουμε την πολλαπλή περιγραφή. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, ο ενδιάμεσος κόμβος θα αφαιρέσει τα τελευταία 350 Bytes από τις πολλαπλές περιγραφές και θα τις μεταδώσει. Κάθε πολλαπλή περιγραφή θα έχει μειωμένο μέγεθος των 650 Bytes και θα περιέχει τμήματα μόνο των δύο πρώτων επιπέδων ποιότητας του βίντεο.



Σχήμα 4.5 Δομή πολλαπλής περιγραφής

Έστω B_1 το εύρος ζώνης και p_1 η πιθανότητα απώλειας πακέτων του παραλήπτη R_1 με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση και B_2 το εύρος ζώνης και p_2 η πιθανότητα απώλειας πακέτων του ετερογενή παραλήπτη R_2 έτσι ώστε να ισχύει πάντα $B_1 * (1 - p_1) > B_2 * (1 - p_2)$. Τα δεδομένα που μεταδίδει ο εξυπηρετητής είναι $N * P_{\max}$ όπου N το πλήθος των πολλαπλών περιγραφών και P_{\max} το μέγεθος της κάθε πολλαπλής περιγραφής. Ο ενδιάμεσος κόμβος υπολογίζει το πλήθος και το μέγεθος των πολλαπλών περιγραφών για τρεις περιπτώσεις με $p_2 > p_1$, $p_2 = p_1$ και $p_2 < p_1$.

Κόμβος Χαμηλότερης Ρυθμαπόδοσης με Μεγαλύτερη Πιθανότητα Απώλειας Πακέτων

Στην περίπτωση που η πιθανότητα p_2 είναι μεγαλύτερη από την πιθανότητα p_1 ο παραλήπτης R_2 χάνει περισσότερα πακέτα από τον R_1 . Για το λόγο αυτό θα πρέπει ο ενδιάμεσος κόμβος να μεταδώσει N' περιγραφές, όπου $N' > N$ (Σχήμα 4.6). Για τον

υπολογισμό του πλήθους των περιγραφών ερευνήθηκε η χρήση των 2 παρακάτω εξισώσεων:

$$N * B_2 = N' * B'_2 \quad (4.4)$$

και

$$N' = \frac{1}{1-(p_2-p_1)} N \quad (4.5)$$

όπου B'_2 το εύρος ζώνης του παραλήπτη R_2 που προκύπτει από την αναγωγή της πιθανότητας απώλειας πακέτου p_2 στο p_1 από την παρακάτω εξίσωση:

$$(1 - p_2) * B_2 = (1 - p_1) * B'_2 \quad (4.6)$$

Με βάση την εξίσωση (4.4) η προσαρμογή των πολλαπλών περιγραφών θα γίνει έτσι ώστε ο παραλήπτης να λάβει κατά μέσο όρο N πολλαπλές περιγραφές. Ωστόσο, αυτό δεν είναι αναγκαίο πάντα. Η βελτιστοποίηση που έγινε για τον παραλήπτη με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση έλαβε υπόψη της ότι θα παραληφθούν κατά μέσο όρο $N(1 - p_1)$ πολλαπλές περιγραφές. Η εξίσωση (4.5), σε αντίθεση με την (4.4), λαμβάνει υπόψη ότι κατά τη βελτιστοποίηση έχει συνυπολογιστεί η πιθανότητα απώλειας πακέτων p_1 οπότε μπορούν να σταλούν λιγότερα πακέτα σε σχέση με το πλήθος N' που υπολογίζεται από την εξίσωση (4.4). Αυτό δίνει τη δυνατότητα μεγαλύτερου μεγέθους πακέτων P_x .

Αν η βελτιστοποίηση είχε γίνει για τον R_2 το αποτέλεσμα θα ήταν ίδιο πλήθος πολλαπλών περιγραφών N αλλά μικρότερου μεγέθους πολλαπλών περιγραφών P'_{max} έτσι ώστε να ισχύει:

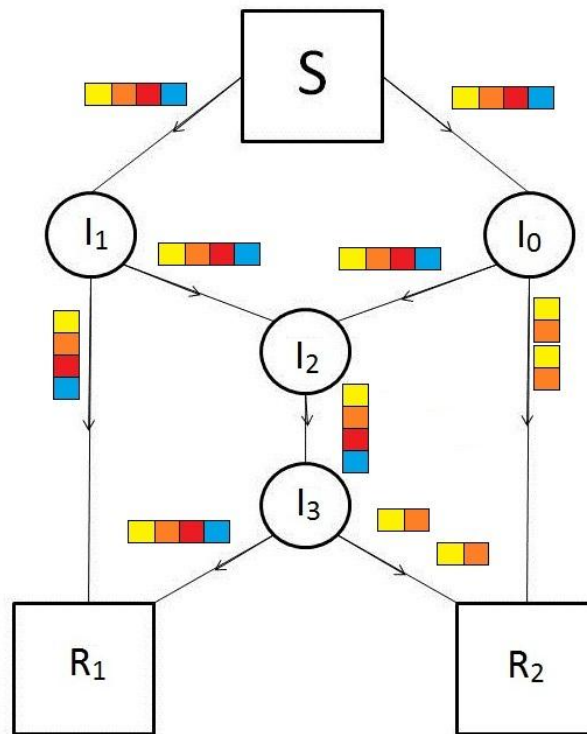
$$\frac{N * P_{max}}{s} * \frac{1}{B_1} = \frac{N * P'_{max}}{s} * \frac{1}{B_2} \quad (4.7)$$

όπου s το χρονικό διάστημα εκπομπής.

Επειδή η πιθανότητα p_2 είναι μεγαλύτερη από p_1 το πλήθος των περιγραφών είναι N' , όπως υπολογίστηκε παραπάνω. Για να υπάρχει ίδια ροή δεδομένων προς τον R_2 θα

πρέπει να μειωθεί το μέγεθος των περιγραφών σε P_x έτσι ώστε να ισχύει:

$$N * P'_{max} = N' * P_x \quad (4.8)$$



Σχήμα 4.6 Προσαρμογή μεγέθους και πλήθους των πολλαπλών περιγραφών

Τέλος, το μέγεθος των μειωμένων περιγραφών P_i υπολογίζεται με βάση την ανισότητα (4.3). Αν το P_i που υπολογίστηκε είναι μικρότερο από P_x το πλήθος των πακέτων N' θα αυξηθεί έτσι ώστε να ισχύει $N'' * P_i = N' * P_x$. Με τον υπολογισμό αυτόν εκμεταλλευόμαστε τα Bytes που περισσεύουν για την αποστολή παραπάνω πολλαπλών περιγραφών (αν αυτό είναι εφικτό). Η αποστολή περισσότερων πολλαπλών περιγραφών αυξάνει την πιθανότητα ο παραλήπτης να αποκωδικοποιήσει τη βέλτιστη ποιότητα βίντεο (που υπάρχει στις μειωμένου μεγέθους πολλαπλές περιγραφές). Όπως θα αναφερθεί και στο επόμενο κεφάλαιο σε ασύρματο δίκτυο η χρήση της εξίσωσης (4.5) επιτυγχάνει μεγαλύτερη μέση ποιότητα βίντεο στους παραλήπτες από την εξίσωση (4.4). Αυτό συμβαίνει επειδή με βάση την εξίσωση (4.4) το P_i που επιλέχτηκε ήταν το αμέσως μικρότερο από το P'_i που επιλέχτηκε με βάση την (4.5). Στα υπόλοιπα πειράματα του επόμενου κεφαλαίου υπολογιζόταν το ίδιο P_i .

Κόμβος χαμηλότερης ρυθμαπόδοσης με Ίση Πιθανότητα Απώλειας Πακέτων

Στην περίπτωση που η πιθανότητα p_2 ίση από την πιθανότητα p_1 το πλήθος των πολλαπλών περιγραφών που θα σταλούν παραμένει N πολλαπλές περιγραφές (Σχήμα 4.7). Το P_x υπολογίζεται με βάση τις εξισώσεις (4.7) και (4.8) ως:

$$P_x = \frac{B_2}{B_1} P_{max} \quad (4.9)$$

Υπολογίζεται το μειωμένο μέγεθος των μειωμένων πολλαπλών περιγραφών P_i με τη χρήση της ανισότητας (4.3) και αν το P_i που υπολογίστηκε είναι μικρότερο από P_x το πλήθος των πακέτων N θα αυξηθεί έτσι ώστε να ισχύει $N' * P_i = N * P_x$ αυξάνοντας το πλήθος των πολλαπλών περιγραφών που θα παραλάβει ο παραλήπτης με μικρότερη ρυθμαπόδοση.

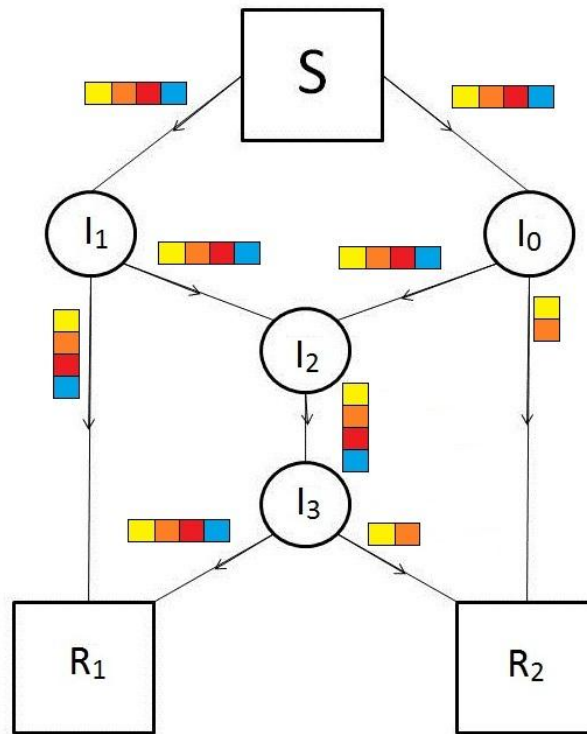
Κόμβος Χαμηλότερης Ρυθμαπόδοσης με Μικρότερη Πιθανότητα Απώλειας Πακέτων

Τέλος, αν η πιθανότητα p_2 είναι μικρότερη από την πιθανότητα p_1 ο παραλήπτης R_2 χάνει λιγότερα πακέτα από τον R_1 . Για το λόγο αυτό μπορούν να του σταλούν N' πολλαπλές περιγραφές, όπου $N' < N$. Για τον υπολογισμό του P_x και του πλήθους των πολλαπλών περιγραφών N' που θα σταλούν στον R_2 χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις (4.5) έως (4.8).

Υπολογίζεται το μειωμένο μέγεθος των πολλαπλών περιγραφών P_i με την χρήση της ανισότητας (4.3) και αν το P_i που υπολογίστηκε είναι μικρότερο από P_x το πλήθος των πακέτων N θα αυξηθεί έτσι ώστε να ισχύει $N' * P_i = N * P_x$.

Με τη μείωση του μεγέθους των πολλαπλών περιγραφών αλλά και τη μετάδοση διαφορετικού πλήθους πολλαπλών περιγραφών εξισώνεται η πιθανότητα απώλειας πακέτων του παραλήπτη με μικρή ρυθμαπόδοση, με την πιθανότητα απώλειας πακέτων του παραλήπτη με τη μεγάλη ρυθμαπόδοση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο παραλήπτης με μικρότερη ρυθμαπόδοση να μπορεί να πάρει αρκετά πακέτα ώστε να αποκωδικοποιήσει και να λάβει κάποιας ποιότητας βίντεο. Όμως, επειδή η κάθε πολλαπλή περιγραφή έχει μειωμένο μέγεθος ο παραλήπτης μπορεί να

αποκωδικοποιήσει μόνο όσα επίπεδα ποιότητας του βίντεο περιέχονται στις μειωμένου μεγέθους πολλαπλές περιγραφές.



Σχήμα 4.7 Προσαρμογή μεγέθους των πολλαπλών περιγραφών.

4.3 Γενίκευση Προτεινόμενης Μεθόδου

Η μέθοδος που περιγράφηκε παραπάνω μπορεί να γενικευτεί για μεγαλύτερο πλήθος ετερογενών δεκτών, όπου B_{\max} και p_{\max} θα είναι το εύρος ζώνης και η πιθανότητα απώλειας πακέτων του κόμβου με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση και B_i και p_i θα είναι το εύρος ζώνης και η πιθανότητα απώλειας πακέτων του καθενός ετερογενούς κόμβου με μικρότερη ρυθμαπόδοση. Ο ενδιαμέσος κόμβος όταν λάβει μία πολλαπλή περιγραφή διαβάζει τα χαρακτηριστικά (B_{\max} και p_{\max}) βάση των οποίων έγινε η βελτιστοποίηση. Έπειτα ελέγχει αν ο πρώτος παραλήπτης που εξυπηρετεί έχει εύρος ζώνης B_{\max} και μέση πιθανότητα απώλειας πακέτων p_{\max} . Αν ισχύει αυτό, προωθεί την πολλαπλή περιγραφή χωρίς να προσαρμόσει το μέγεθος της ούτε το συνολικό πλήθος πολλαπλών περιγραφών που θα στείλει προς αυτόν τον παραλήπτη. Αν δεν ισχύει, τότε προσαρμόζει το μέγεθος της πολλαπλής περιγραφής και το πλήθος των

πολλαπλών περιγραφών που θα στείλει στον παραλήπτη, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Ακολουθείτε η ίδια διαδικασία για όλους τους παραλήπτες που εξυπηρετεί.

Στα ασύρματα δίκτυα κατά την εκπομπή ενός πακέτου όλοι οι γειτονικοί κόμβοι λαμβάνουν το πακέτο αυτό. Σε αντίθεση με το ενσύρματο δίκτυο, ο ενδιάμεσος κόμβος δεν μπορεί να στείλει ξεχωριστές πολλαπλές περιγραφές σε κάθε γείτονα. Λόγω του περιορισμού αυτού στα ασύρματα δίκτυα ο ενδιάμεσος κόμβος θα προσαρμόσει το μέγεθος και το πλήθος των πολλαπλών περιγραφών με βάση τα χαρακτηριστικά του παραλήπτη με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση.

4.4 Μέθοδοι αξιολόγησης

Για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου βελτιστοποίησης δύο επιπέδων και του αλγορίθμου MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης χρησιμοποιείται ο μέγιστος λόγος σήματος προς θορύβου (PSNR), με μονάδα μέτρησης τα dB. Όσα περισσότερα dB έχει ένα βίντεο τόσο καλύτερη η ποιότητά του, με το άπειρο να αντιστοιχεί στη μέγιστη ποιότητα (το αποκωδικοποιημένο βίντεο είναι πανομοιότυπο με το αρχικό).

Σε περιπτώσεις όπου ο παραλήπτης δεν καταφέρει να λάβει αρκετά πακέτα για να αποκωδικοποιήσει κάποια OE (υποσύνολα του αρχικού βίντεο) τότε εφαρμόζονται τεχνικές απαλοιφής σφαλμάτων. Αυτό γίνεται για να μειωθούν οι αλλοιώσεις κατά την προβολή του βίντεο όταν δεν έχει γίνει παραλαβή όλων των υποσυνόλων OE. Συγκεκριμένα, όταν ο παραλήπτης δεν έχει λάβει αρκετά πακέτα για την αποκωδικοποίηση του πρώτου OE τότε δημιουργεί ένα αντίστοιχο OE του οποίου οι εικόνες έχουν εικονοστοιχεία με την τιμή 127 και για τα τρία κανάλια (Y, U, V). Όταν ένα ενδιάμεσο OE δεν είναι αποκωδικοποιήσιμο τότε χρησιμοποιείται η τεχνική της γραμμικής παρεμβολής [6] μεταξύ της τελευταίας εικόνας του προηγούμενου OE και της πρώτης εικόνας του επόμενου OE. Σε περίπτωση που δύο διαδοχικά OE δεν είναι αποκωδικοποιήσιμα τότε ανακατασκευάζουμε το πρώτο έτσι ώστε όλες οι εικόνες που το απαρτίζουν να είναι ίδιες με την τελευταία εικόνα του προηγούμενου αποκωδικοποιημένου OE. Για το δεύτερο μη αποκωδικοποιήσιμο OE εφαρμόζουμε την τεχνική της γραμμικής παρεμβολής μεταξύ του ανακατασκευασμένου OE και του

επόμενου αποκωδικοποιήσιμου ΟΕ. Αν τα δύο πρώτα ΟΕ του βίντεο δεν μπορούν να αποκωδικοποιηθούν τότε ολόκληρο το βίντεο θεωρείτε κατεστραμμένο και δεν προβάλλεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΥΟ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

5.1 Περιβάλλον Προσομοίωσης

5.2 Επέκταση NS-2 – Εφαρμογή mmApp

5.3 Ελαχιστοποίηση Συνάρτησης Παραμόρφωσης

5.4 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων σε Ενσύρματο Δίκτυο

5.5 Προσομοίωση σε Ασύρματο Δίκτυο

5.8 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων σε Ασύρματο Δίκτυο Πεταλούδας

5.9 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Ασύρματου Δικτύου Πεταλούδας

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε το περιβάλλον προσομοίωσης στο οποίο εκτελέστηκαν τα πειράματα για τον αλγόριθμο MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης των Ramasubramonian και Woods [5] και για τον προτεινόμενο αλγόριθμο βελτιστοποίησης δύο επιπέδων. Καταγράφονται τα αποτελέσματα σε ενσύρματο και ασύρματο δίκτυο τοπολογίας πεταλούδας (Σχήμα 5.3) και αξιολογείται η βελτίωση ποιότητας του λαμβανόμενου βίντεο που παρουσιάζει ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης δύο επιπέδων σε σχέση με τον MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης.

5.1 Περιβάλλον Προσομοίωσης

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο πρόγραμμα προσομοίωσης δικτύων NS-2 [7]. Ο NS-2 είναι ένας ευρέως χρησιμοποιημένος προσομοιωτής, από την επιστημονική κοινότητα, ενσωματωμένη τη δομή TCP/IP, γεγονός που καθιστά τις προσομοιώσεις

του αξιόπιστες. Στα πειράματα που προσομοιώθηκαν χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο UDP [8] για τη μεταφορά των πακέτων και τροποποιήθηκε η εφαρμογή mmApp [9] για τη δημιουργία των πολλαπλών περιγραφών και την κωδικοποίηση δικτύου.

5.2 Επέκταση NS-2 – Εφαρμογή mmApp

Η εφαρμογή mmApp στον εξυπηρετητή χωρίζει το βίντεο σε ομάδες εικόνων και εκτελεί τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης κατανομής της ποιότητα βίντεο σε πολλαπλές περιγραφές για μία ομάδα εικόνων. Αφού δημιουργήσει τις πολλαπλές περιγραφές τις προωθεί στο UDP πρωτόκολλο. Μόλις τελειώσει η αποστολή των πολλαπλών περιγραφών της συγκεκριμένης ομάδας εικόνων ακολουθείται η ίδια διαδικασία και για την επόμενη ομάδα εικόνων μέχρις ότου αποσταλούν όλες.

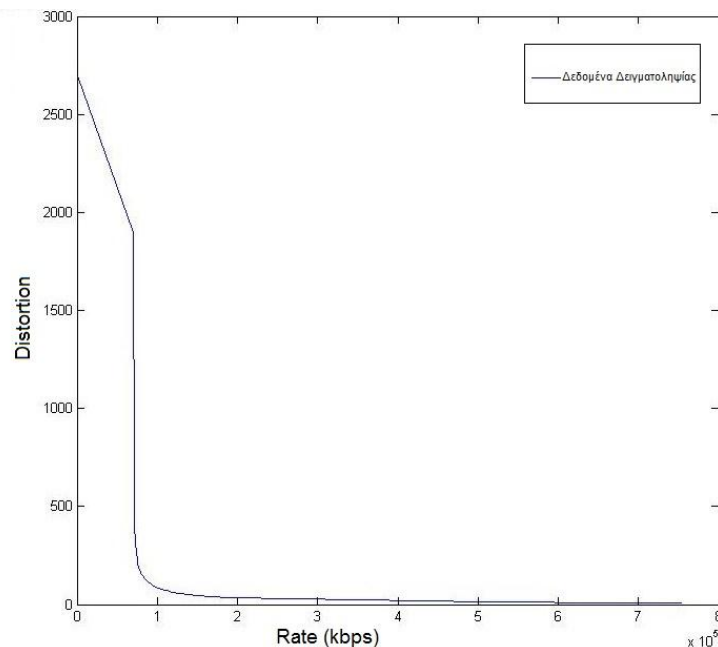
Στους ενδιάμεσους κόμβους, όταν η εφαρμογή mmApp λάβει αρκετές πολλαπλές περιγραφές από μία ομάδα εικόνων τότε αποθηκεύει τον αριθμό γενιάς σε έναν τοπικό μετρητή και ξεκινάει να αποστέλει νέους γραμμικούς συνδυασμούς των πολλαπλών περιγραφών της τρέχουσας γενιάς που έχει λάβει. Αν παραλάβει μία πολλαπλή περιγραφή με αριθμό γενιάς μικρότερο από της τρέχουσας, τότε την απορρίπτει. Το πλήθος των πολλαπλών περιγραφών (E) που περιμένει ένας ενδιάμεσος κόμβος πριν ξεκινήσει την αποστολή νέων γραμμικών συνδυασμών ορίζεται εμπειρικά και όπως αναφέραμε στην υποενότητα 3.2.3 επηρεάζει το πλήθος των πολλαπλών περιγραφών που λαμβάνουν οι παραλήπτες. Στα πειράματα μας θέσαμε τις τιμές 6, 15, 23 στην παράμετρο E.

Στους παραλήπτες, η εφαρμογή mmApp όταν λάβει όλες τις πολλαπλές περιγραφές μιας γενιάς τις αποκωδικοποιεί με τη χρήση της Γκαουσιανής απαλοιφής, αποθηκεύει την ομάδα εικόνας σε αρχείο για προβολή και ενημερώνει έναν τοπικό μετρητή για τον αριθμό της τρέχουσας γενιάς. Αν λάβει μια πολλαπλή περιγραφή με αριθμό γενιάς μικρότερο από της τρέχουσας τότε την απορρίπτει. Τέλος, αν περάσει ένας συγκεκριμένος χρόνος από τη χρονική στιγμή που έλαβε την πρώτη πολλαπλή περιγραφή μιας γενιάς τότε η εφαρμογή mmApp προσπαθεί να αποκωδικοποιήσει το

βίντεο με όσες πολλαπλές περιγραφές έχει λάβει. Ο χρόνος αυτός στα πειράματά μας είναι 0,5 δευτερόλεπτο.

5.3 Ελαχιστοποίηση Συνάρτησης Παραμόρφωσης

Χρησιμοποιήθηκε ο κωδικοποιητής MC-EZBC για την κωδικοποίηση Πολλαπλών Περιγραφών του βίντεο foreman (30fps, CIF 352x288, 288 frames, 16 frames/GOP). Το βίντεο χωρίστηκε σε 18 OE (GOP) και κωδικοποιήθηκε σε N=64 πολλαπλές περιγραφές. Για τον υπολογισμό της συνάρτησης παραμόρφωσης $D(R)$ έγινε δειγματοληψία στο βίντεο foreman για διάφορες τιμές ποιότητας και υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες παραμορφώσεις (Σχήμα 5.1). Με τα δεδομένα της δειγματοληψίας έγινε προσαρμογή καμπύλης για το μοντέλο συνάρτησης παραμόρφωσης [12] $D(R) = ae^{-bR}$ με $a = 188,4$ και $b = 8,777e-006$ (Σχήμα 5.2).

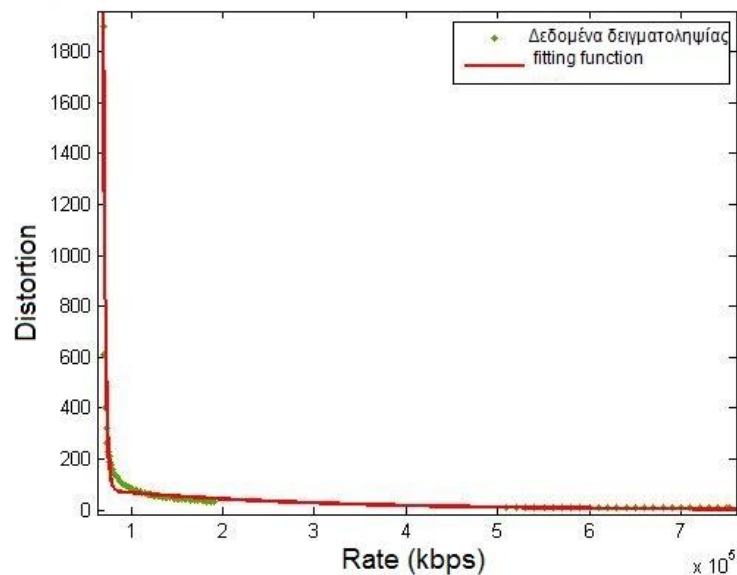


Σχήμα 5.1 Δεδομένα δειγματοληψίας για το βίντεο foreman

Κατά τη βελτιστοποίηση όταν η καμπύλη a_i/q_i δεν είναι γνησίως φθίνουσα εφαρμόζεται το λήμμα των Puri και Ramchandran ώστε να μετατραπεί η καμπύλη σε γνησίως φθίνουσα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μία νέα συνάρτηση ελαχιστοποίησης παραμόρφωσης με λιγότερους αγνώστους (R_k). Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης μπορεί να υπολογίζει τιμές ποιότητας (σε Kbit ανά δευτερόλεπτο) για τις οποίες ο

κωδικοποιητής MC-EZBC αδυνατεί να κατασκευάσει βίντεο, είτε επειδή η τιμές είναι αρνητικές είτε πολύ μικρές. Στις περιπτώσεις αυτές η ποιότητα του βίντεο αντιστοιχίζεται σε 0 kbps. Για παράδειγμα, σε πείραμα με εύρος ζώνης 1mbps και πιθανότητα απώλεια πακέτων 0,2 οι μεταβλητές R_k για k από 0 έως 38 αντιστοιχίζονται σε 0 kbps ενώ για k από 46 έως 64 ισούνται με τη μέγιστη ποιότητα βίντεο R_{46} .

Για κάθε σενάριο εκτελέστηκαν 30 προσομοιώσεις και καταγράφηκαν οι μέσες τιμές του μέγιστου λόγου σήματος-θορύβου (PSNR) και για τα 18 OE του βίντεο.



Σχήμα 5.2 Σύγκριση Δεδομένων δειγματοληψίας με την προσαρμοσμένη συνάρτηση

5.4 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων σε Ενσύρματο Δίκτυο

Για κάθε σενάριο χρησιμοποιούμε σταθερά χαρακτηριστικά 1mbps εύρος ζώνης και 0,1 πιθανότητα απώλειας πακέτων για τον παραλήπτη με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση ενώ μεταβάλλουμε τα χαρακτηριστικά του παραλήπτη με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση. Η τοπολογία του δικτύου που χρησιμοποιήθηκε είναι η τοπολογία πεταλούδας όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.3. Για κάθε πείραμα εκτελέστηκαν 30 προσομοιώσεις και τα αποτελέσματα είναι ο μέσος όρος από αυτές. Στις γραφικές παραστάσεις οι τιμές με την ένδειξη ABΔE Low's PSNR αντιστοιχούν στην ποιότητα του βίντεο που παρέλαβε ο παραλήπτης με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση, όταν η

μετάδοση έγινε με τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης δύο επιπέδων. Οι τιμές με την ένδειξη MD/PNC Low's PSNR αντιστοιχούν στην ποιότητα του βίντεο που παρέλαβε ο κόμβος με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης. Οι τιμές με την ένδειξη ABΔΕ High's PSNR αντιστοιχούν στην ποιότητα βίντεο που αποκωδικοποίησε ο κόμβος με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση, όταν η μετάδοση του βίντεο έγινε με τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης δύο επιπέδων. Τέλος, οι τιμές με την ένδειξη MD/PNC High's PSNR αντιστοιχούν στην ποιότητα βίντεο που αποκωδικοποίησε ο παραλήπτης με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης.

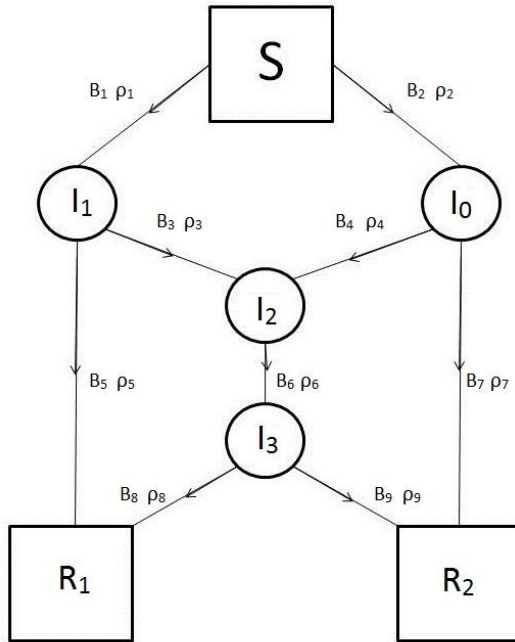
Πείραμα	Παραλήπτης με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση	Παραλήπτης με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση	ABΔΕ Low's PSNR	MD/PNC Low's PSNR	ABΔΕ High's PSNR	MD/PNC High's PSNR	ABΔΕ Μέσο PSNR	MD/PNC Μέσο PSNR
A	1mbps 0,1	1mbps 0,1	41,14	41,14	41,15	41,15	41,15	41,15
B	1mbps 0,2	1mbps 0,1	40,33	40,33	41,21	40,41	40,77	40,37
Γ	0,3mbps 0,1	1mbps 0,1	36,89	35,03	41,15	37,33	39,02	36,18
Δ	0,3mbps 0,34	1mbps 0,1	33,05	13,74	40,84	40,75	36,94	27,25
E	0,3mbps 0,5	1mbps 0,1	18,57	13,74	40,80	40,61	29,69	27,18
Z	1,5mbps 0,82	1mbps 0,1	36,73	34,79	41,20	37,24	38,97	36,01

Πίνακας 5.1 Αποτελέσματα μέσης ποιότητας βίντεο PSNR για το ενσύρματο δίκτυο

Η μετάδοση γίνεται με πολυδιανομή, κατά την οποία κάθε κόμβος παράγει διαφορετικούς γραμμικούς συνδυασμούς, για κάθε γείτονά του, και τους μεταδίδει.

Παρακάτω ακολουθούν οι παράμετροι του δικτύου (Σχήμα 5.3) για κάθε πείραμα και οι γραφικές παραστάσεις των αποτελεσμάτων ποιότητας βίντεο:

- A. Όλες οι συνδέσεις του δικτύου έχουν εύρος ζώνης 500kbps και πιθανότητα σφάλματος 8%. Με τη χρήση της κωδικοποίησης δικτύου οι κόμβοι R_1 και R_2 έχουν μέγιστη ροή δεδομένων 1mbps και πιθανότητα σφάλματος 10%.
- B. Οι συνδέσεις I_3-R_2 και I_0-R_2 έχουν πιθανότητα σφάλματος 17%, οι υπόλοιπες συνδέσεις παραμένουν οι ίδιες, αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο κόμβος R_2 να λαμβάνει κατά μέσο όρο το 80% των πακέτων.



Πίνακας πιθανότητας απώλειας πακέτων ανά σύνδεση

Πείραμα Πιθανότητα	A	B	Γ	Δ	Ε	Ζ
ρ_1	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
ρ_2	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
ρ_3	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
ρ_4	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
ρ_5	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
ρ_6	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
ρ_7	0,08	0,17	0,08	0,38	0,44	0,80
ρ_8	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
ρ_9	0,08	0,17	0,08	0,38	0,44	0,80

Πίνακας εύρους ζώνης (σε kbps) ανά σύνδεση

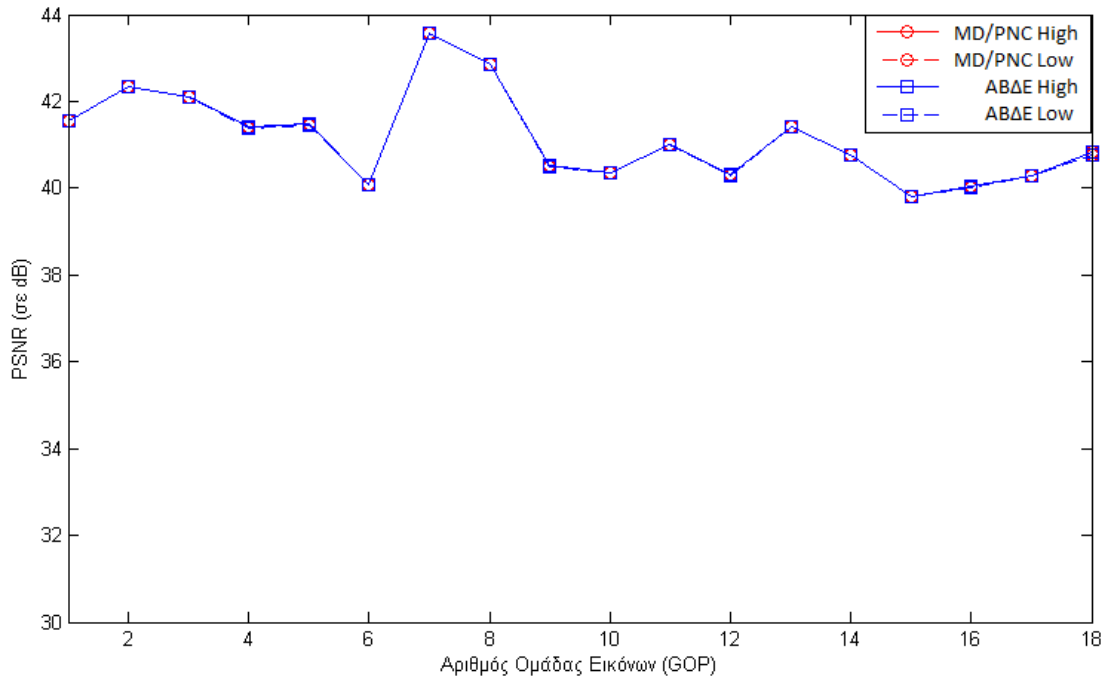
Πείραμα Εύρος ζώνης	A	B	Γ	Δ	Ε	Ζ
B_1	500	500	500	500	500	750
B_2	500	500	500	500	500	750
B_3	500	500	500	500	500	750
B_4	500	500	500	500	500	750
B_5	500	500	500	500	500	500
B_6	500	500	500	500	500	750
B_7	500	500	150	150	150	750
B_8	500	500	500	500	500	500
B_9	500	500	150	150	150	750

Σχήμα 5.3 Ενσύρματο δίκτυο τοπολογίας πεταλούδας

- Γ. Οι συνδέσεις I_3-R_2 και I_0-R_2 έχουν πιθανότητα σφάλματος 8% και εύρος ζώνης 150kbps, οι υπόλοιπες συνδέσεις παραμένουν οι ίδιες, αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο κόμβος R_2 να λαμβάνει κατά μέσο όρο το 27% των πακέτων.
- Δ. Οι συνδέσεις I_3-R_2 και I_0-R_2 έχουν πιθανότητα σφάλματος 38% και εύρος ζώνης 150kbps, οι υπόλοιπες συνδέσεις παραμένουν οι ίδιες, αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο κόμβος R_2 να λαμβάνει κατά μέσο όρο το 20% των πακέτων.
- Ε. Οι συνδέσεις I_3-R_2 και I_0-R_2 έχουν πιθανότητα σφάλματος 44% και εύρος ζώνης 150kbps, οι υπόλοιπες συνδέσεις παραμένουν οι ίδιες, αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο κόμβος R_2 να λαμβάνει κατά μέσο όρο το 15% των πακέτων.
- Ζ. Οι συνδέσεις I_3-R_1 και I_1-R_1 έχουν πιθανότητα σφάλματος 8% και εύρος ζώνης 500kbps, οι συνδέσεις I_3-R_2 και I_0-R_2 έχουν πιθανότητα σφάλματος 80% και εύρος ζώνης 750kbps, ενώ οι υπόλοιπες συνδέσεις έχουν πιθανότητα σφάλματος 8% και εύρος ζώνης 750kbps, αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο κόμβος R_2 να λαμβάνει κατά μέσο όρο το 18% των πακέτων και ο R_1 το 90% των πακέτων.

Στη γραφική παράσταση του σχήματος 5.4 παρουσιάζεται η μέση τιμή PSNR για κάθε ΟΕ για το πείραμα Α, όπου τα χαρακτηριστικά και για τους δύο κόμβους είναι 1mbps εύρος ζώνης και 0,1 πιθανότητα σφάλματος. Σε αυτήν την περίπτωση και οι

δου αλγόριθμοι παρουσιάζουν τα ίδια αποτελέσματα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι κόμβοι είναι ομοιογενείς και οι ενδιάμεσοι κόμβοι δεν χρειάζεται να προσαρμόσουν το μέγεθος και το πλήθος των πολλαπλών περιγραφών με αποτέλεσμα να γίνεται μόνο βελτιστοποίηση σε επίπεδο εφαρμογής.



Σχήμα 5.4 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Α

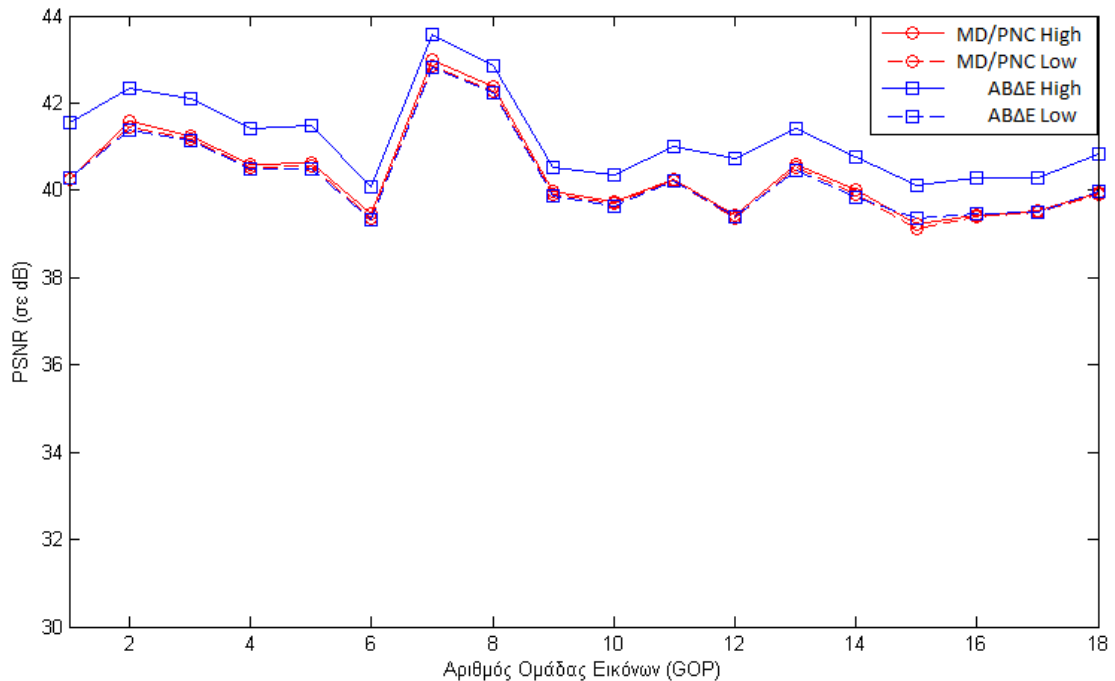
Στη γραφική παράσταση του σχήματος 5.5 απεικονίζονται οι μέσες τιμές PSNR για κάθε ΟΕ του πειράματος Β, όπου και οι δύο παραλήπτες έχουν το ίδιο εύρος ζώνης αλλά ο παραλήπτης με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση έχει διπλάσια πιθανότητα σφάλματος. Με τον αλγόριθμο MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης η βελτιστοποίηση της κατανομής της ποιότητας βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές κατανέμεται σε λιγότερες πολλαπλές περιγραφές (από τη 40^η έως τη 47^η) σε αντίθεση με τη βελτιστοποίηση κατανομής του αλγόριθμου ABDE (από τη 47^η έως την 53^η). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο παραλήπτης με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση να λάβει βίντεο χαμηλότερης ποιότητας, επειδή συναγωνίζεται τον παραλήπτη με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση κατά τη βελτιστοποίηση με τον MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης προσθέτοντας παραπάνω προστασία (ανάγκη λιγότερων πολλαπλών περιγραφών για αποκωδικοποίηση). Προστασία που ο παραλήπτης με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση

δεν τη χρειάζεται. Όσο αυξάνουμε την προστασία των επιπέδων ποιότητας του βίντεο, δηλαδή τη δυνατότητα αποκωδικοποίησης με λιγότερες πολλαπλές περιγραφές, κρατώντας το μέγεθος των πολλαπλών περιγραφών σταθερό τόσο μειώνεται η ποιότητα που μπορεί να αποθηκευτεί στις πολλαπλές περιγραφές.

Με βάση τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης δύο επιπέδων, ο εξυπηρετητής κατανέμει την ποιότητα του βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές με βάση τη βελτιστοποίηση για το παραλήπτη με την μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση. Οι ενδιάμεσοι κόμβοι I_0 και I_3 , μέσω των μηνυμάτων ελέγχου, έχουν πληροφορηθεί για τα χαρακτηριστικά του παραλήπτη R_2 . Όταν παραλάβουν κάποια πολλαπλή περιγραφή που έχει μεταδώσει ο εξυπηρετητής S , διαβάζουν την επικεφαλίδα της πολλαπλής περιγραφής. Η επικεφαλίδα της πολλαπλής περιγραφής περιέχει το εύρος ζώνης και την πιθανότητα απώλειας πακέτων του παραλήπτη R_1 βάση των οποίων έγινε η βελτιστοποίηση. Για να μπορέσει ο R_2 να παραλάβει τις απαιτούμενες πολλαπλές περιγραφές (47 έως 53 πολλαπλές περιγραφές) ώστε να αποκωδικοποιήσει το βίντεο, οι ενδιάμεσοι κόμβοι I_0 και I_3 αφαιρούν από τις πολλαπλές περιγραφές που παραλαμβάνουν τα επίπεδα ποιότητας του βίντεο που έχουν αντιστοιχηθεί στην $52^{\text{η}}$ και $53^{\text{η}}$ πολλαπλή περιγραφή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειωθεί το μέγεθος του πακέτου κατά 340 περίπου Bytes.

Οι ενδιάμεσοι κόμβοι I_0 και I_3 παράγουν περισσότερους γραμμικούς συνδυασμούς για τις πολλαπλές περιγραφές μειωμένου μεγέθους, ώστε να χρησιμοποιήσουν πλήρως τη χωρητικότητα των καναλιών $I_0 - R_2$ και $I_3 - R_2$, και τις προωθούν στον παραλήπτη R_2 . Με την προσαρμογή του μεγέθους και του πλήθους των περιγραφών ο παραλήπτης R_2 παραλαμβάνει αρκετές πολλαπλές περιγραφές, κατά μέσο όρο 54. Ωστόσο μπορεί να αποκωδικοποιήσει μέχρι την ποιότητα που έχει αντιστοιχηθεί στην $51^{\text{η}}$ πολλαπλή περιγραφή, αφού από τις περιγραφές που παρέλαβε έχουν αφαιρεθεί τα επίπεδα ποιότητας βίντεο που αντιστοιχούν στις $52^{\text{η}}$ και $53^{\text{η}}$ πολλαπλές περιγραφές. Ο ενδιάμεσος κόμβος I_0 προωθεί κανονικά τις πολλαπλές περιγραφές που παραλαμβάνει προς τον ενδιάμεσο κόμβο I_2 και ο ενδιάμεσος κόμβος I_3 προωθεί, χωρίς να μειώσει το μέγεθος, τις πολλαπλές περιγραφές προς τον παραλήπτη R_1 .

Στο πείραμα Γ ο παραλήπτης με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση έχει ίδια πιθανότητα



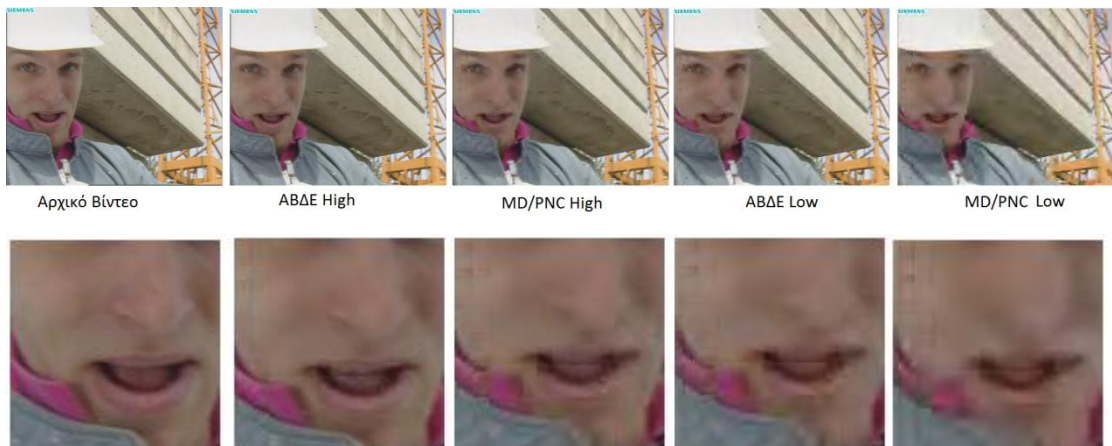
Σχήμα 5.5 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Β

απώλειας πακέτων αλλά μικρότερο εύρος ζώνης. Η βελτιστοποίηση MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης κατανέμει την ποιότητα του βίντεο σε λιγότερες πολλαπλές περιγραφές (από 48^η έως 53^η) σε αντίθεση με τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης δύο επιπέδων, επειδή ο παραλήπτης με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση έχει λιγότερους πόρους, δηλαδή μικρότερο εύρος ζώνης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αντιστοιχεί στις πολλαπλές περιγραφές 47 έως 53 επίπεδα ποιότητας βίντεο με λιγότερα kbps, αντιστοιχίζοντας στην 47^η περιγραφή βίντεο 71 kbps για την οποία ο κωδικοποιητής δεν μπορεί να παράγει το συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας βίντεο. Η βελτιστοποίηση προσπαθεί να κατανέμει χαμηλής ποιότητας βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές 47 έως 53, για να αποκωδικοποιήσει ο παραλήπτης με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση, αλλά ταυτόχρονα και υψηλής ποιότητας βίντεο για να εξυπηρετηθεί και ο παραλήπτης με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση. Το αποτέλεσμα είναι ο παραλήπτης με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση να μην μπορεί να παραλάβει πολλές πολλαπλές περιγραφές (μέσο όρο 49 περιγραφές) και ο παραλήπτης με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση να παραλαμβάνει πολλαπλές περιγραφές με ποιότητα βίντεο μικρότερη σε σχέση με αυτή που θα έπαιρνε αν η βελτιστοποίηση κατανομής ποιότητας βίντεο γινόταν μόνο για αυτόν (Σχήμα 5.8). Στα Σχήματα 5.6 και 5.7 απεικονίζεται η δεύτερη εικόνα των ΟΕ 7 και

12 για το αρχικό βίντεο και τα αποκωδικοποιημένα βίντεο που λαμβάνουν οι παραλήπτες και για τους δύο αλγόριθμους, μαζί με τη μεγέθυνση ενός τμήματος.



Σχήμα 5.6 Εικόνα 2 της 7^{ης} ΟΕ για το αρχικό και τα αποκωδικοποιημένα βίντεο



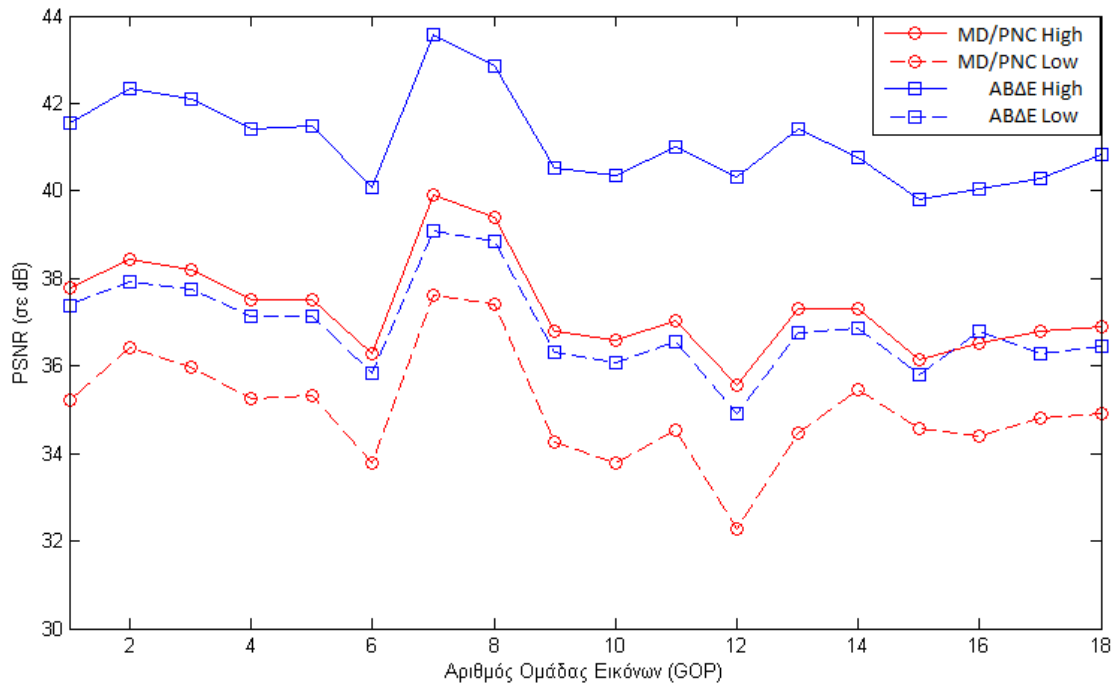
Σχήμα 5.7 Εικόνα 2 της 12^{ης} ΟΕ για το αρχικό και τα αποκωδικοποιημένα βίντεο

Στο πείραμα που χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης δύο επιπέδων, οι ενδιάμεσοι κόμβοι I_0 και I_3 αφαιρούν από τις πολλαπλές περιγραφές που προορίζονται για τον παραλήπτη R_2 τα επίπεδα ποιότητας βίντεο που αντιστοιχήθηκαν στις 50^η έως 53^η πολλαπλές περιγραφές. Με τη μείωση του μεγέθους των πολλαπλών περιγραφών ο παραλήπτης με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση προλαβαίνει να παραλάβει αρκετές περιγραφές πριν έρθουν πολλαπλές περιγραφές του επόμενου ΟΕ, και καταφέρνει να αποκωδικοποιήσει το βίντεο. Στο πείραμα Γ ο παραλήπτης με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση δεν χάνει πακέτα λόγω μεγαλύτερης πιθανότητας σφάλματος αλλά λόγω του μικρότερου εύρους ζώνης. Για αυτό δεν θα

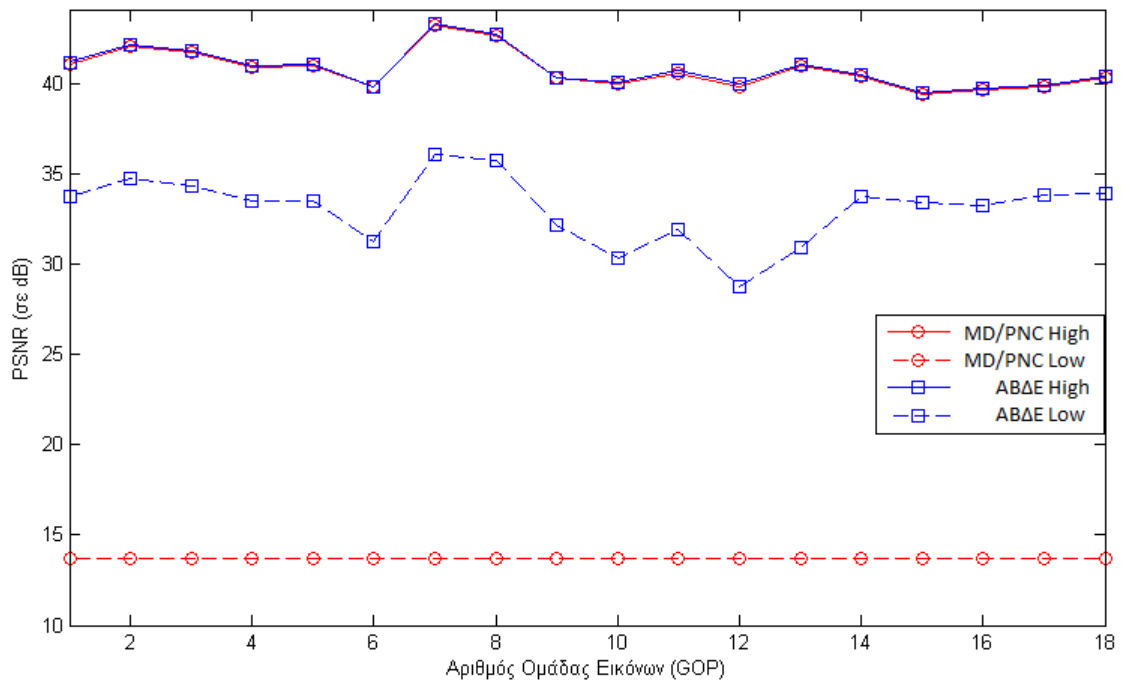
προλάβαινε να παραλάβει αρκετές πολλαπλές περιγραφές (περίπου 1000KByte μέγεθος πολλαπλής περιγραφής) σε χρόνο 0,5 δευτερολέπτου, πριν φτάσουν δηλαδή οι πολλαπλές περιγραφές της επόμενης Ομάδας Εικόνων, αν δεν είχε γίνει μείωση του μεγέθους των πολλαπλών περιγραφών. Παρατηρείται βελτίωση κατά 2,82 dB (Πίνακας 5.1) για τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης δύο επιπέδων σε αντίθεση με το MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης. Όσο αυξάνεται η διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών των ετερογενών παραληπτών (αύξηση διαφοράς ρυθμαπόδοσης) τόσο αυξάνεται η βελτίωση που παρατηρούμε για τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης δύο επιπέδων.

Στο πείραμα Δ ο αλγόριθμος MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης κατά τη βελτιστοποίηση αντιστοιχεί επίπεδα ποιότητας του βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές που παραλαμβάνει ο παραλήπτης με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση (περίπου 18) αρνητικές τιμές ή τιμές μικρότερες των 75 kbps. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο παραλήπτης με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση να μην μπορεί ποτέ να αποκωδικοποιήσει το βίντεο. Οι μετρήσεις του μέγιστου λόγου σήματος-θορύβου για τον παραλήπτη με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση έγινε για βίντεο στο οποίο όλα τα εικονοστοιχεία (των 288 εικόνων) έχουν τιμή 127 και για τα τρία κανάλια (Y,U,V). Ο MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης αδυνατεί να εξυπηρετήσει τον παραλήπτη με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση.

Σε αντίθεση με τον αλγόριθμο MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης, ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης δύο επιπέδων μπόρεσε να εξυπηρετήσει και τους δύο παραλήπτες. Οι ενδιάμεσοι κόμβοι I_0 και I_3 αφαιρούν τα επίπεδα ποιότητας βίντεο που αντιστοιχούν στις 49^η έως και 53^η περιγραφές και μεταδίδουν περισσότερες πολλαπλές περιγραφές μειωμένου μεγέθους προς τον παραλήπτη R_2 . Έτσι, ο παραλήπτης R_2 παραλαμβάνει περίπου 50 πολλαπλές περιγραφές μειωμένου μεγέθους



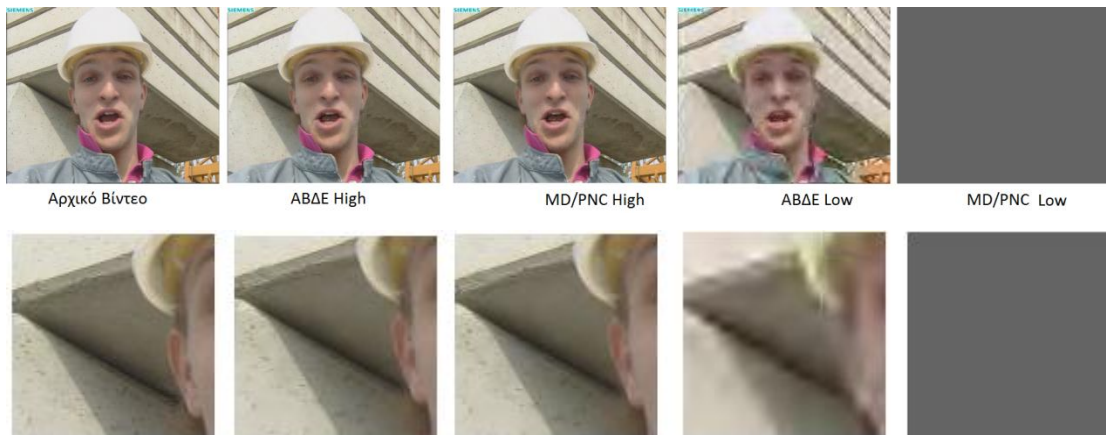
Σχήμα 5.8 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Γ



Σχήμα 5.9 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Δ

και μπορεί να αποκωδικοποιήσει τα δύο πρώτα επίπεδα ποιότητας βίντεο που έχουν αντιστοιχηθεί στις πολλαπλές περιγραφές 47 και 48. Η αύξηση του μέγιστου λόγου σήματος-θορύβου για το πείραμα Δ είναι 9,69 dB. Παρατηρήθηκε ότι η

βελτιστοποίηση MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης αντιστοίχησε επίπεδα υψηλότερης ποιότητας βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές 51 έως 53, σε σχέση με τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης δύο επιπέδων. Δεν παρουσιάστηκε όμως μεγαλύτερη τιμή μέγιστου λόγου σήματος-θορύβου για τον MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης. Αυτό συνέβη επειδή ο αλγόριθμος MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης κατένεμε λιγότερα επίπεδα ποιότητας βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές. Συγκεκριμένα, κατένεμε τέσσερα επίπεδα ποιότητας βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές 51^η έως 53^η. Στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν αρκετές φορές ο παραλήπτης με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση παρέλαβε 47 με 50 πολλαπλές περιγραφές με αποτέλεσμα, βάση του αλγορίθμου MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης, να μην μπορέσει να αποκωδικοποιήσει τα συγκεκριμένα ΟΕ. Αντίθετα, με βάση τον αλγόριθμο

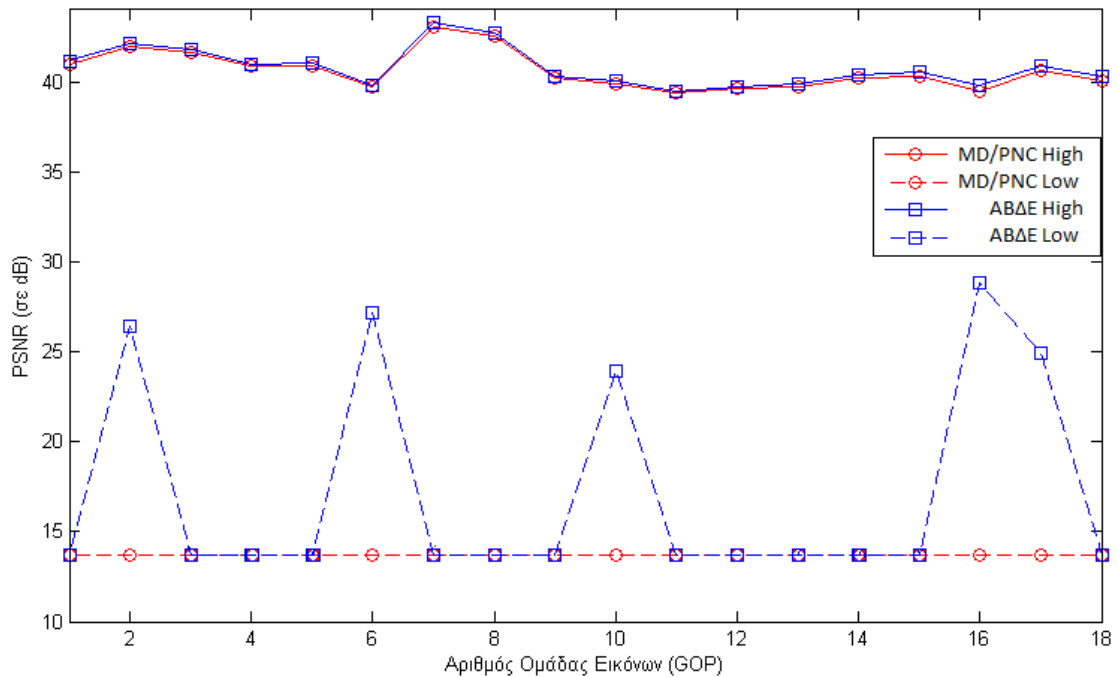


Σχήμα 5.10 Εικόνα 2 της 6^{ης} ΟΕ για το αρχικό και τα αποκωδικοποιημένα βίντεο



Σχήμα 5.11 Εικόνα 2 της 7^{ης} ΟΕ για το αρχικό και τα αποκωδικοποιημένα βίντεο

βελτιστοποίησης δύο επιπέδων παρότι είχε αντιστοιγήσει επίπεδα χαμηλότερης ποιότητας βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές 51^η έως 53^η μπόρεσε να αποκωδικοποιήσει βίντεο όταν παραλάμβανε 47 με 50 περιγραφές (Σχήμα 5.9). Στα Σχήματα 5.10 και 5.11 απεικονίζεται η δεύτερη εικόνα των ΟΕ 6 και 7 για το αρχικό βίντεο και τα αποκωδικοποιημένα βίντεο που λαμβάνουν οι παραλήπτες και για τους δύο αλγόριθμους, μαζί με τη μεγέθυνση ενός τμήματος.

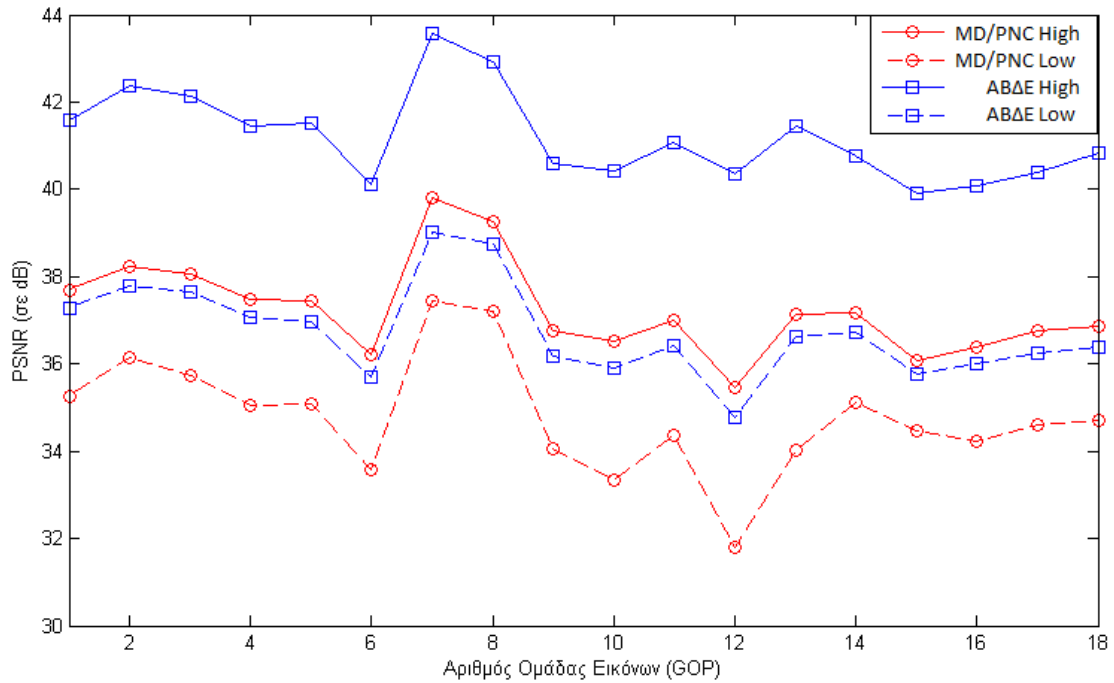


Σχήμα 5.12 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα E

Στο πείραμα E, αυξάνοντας ακόμα περισσότερο τη διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών των ετερογενών παραληπτών, παρατηρούμε ότι και οι δύο αλγόριθμοι δεν μπορούν να εξυπηρετήσουν τον παραλήπτη με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση, πλην ελάχιστων ΟΕ που μπόρεσε να αποκωδικοποιήσει στα πειράματα με βελτιστοποίηση βάση του αλγόριθμου βελτιστοποίησης δύο επιπέδων (Σχήμα 5.12).

Στο πείραμα Z ο παραλήπτης με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση έχει μεγαλύτερο εύρος ζώνης από το δυνατό παραλήπτη αλλά παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη απώλεια πακέτων. Στα πειράματα που έγιναν με βάση τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης δύο επιπέδων, οι ενδιάμεσοι κόμβοι I_0 και I_3 , αφού παραλάβουν πολλαπλές περιγραφές,

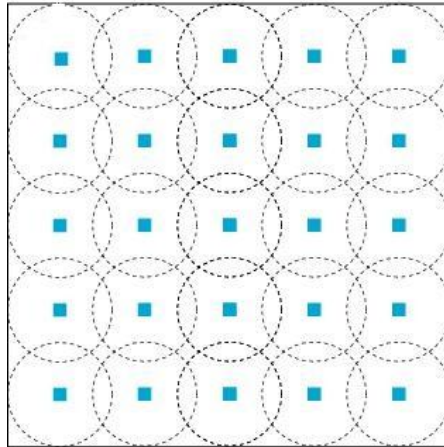
προσαρμόζουν το μέγεθος των πολλαπλών περιγραφών και παράγουν περισσότερους γραμμικούς συνδυασμούς για τις πολλαπλές περιγραφές που προορίζονται για τον παραλήπτη R_2 . Παρόλο της μεγάλης απώλειας πακέτων του παραλήπτη R_2 , οι ενδιάμεσοι κόμβοι μειώνοντας το μέγεθος των πολλαπλών περιγραφών και λόγω του μεγάλου εύρους ζώνης μπόρεσαν να σταλούν αρκετές πολλαπλές περιγραφές ώστε να αποκωδικοποιησει ο R_2 το βίντεο (Σχήμα 5.13).



Σχήμα 5.13 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Z

5.5 Προσομοίωση σε Ασύρματο Δίκτυο

Εκτελέστηκαν πειράματα σε ασύρματο δίκτυο πλέγματος (Mesh) (Σχήμα 5.14) και σε ασύρματο δίκτυο πεταλούδας (Σχήμα 5.15). Ενώ στο ασύρματό δίκτυο πλέγματος παρουσιάστηκαν ανάλογα αποτελέσματα με αυτά των πειραμάτων στο ενσύρματο δίκτυο, στα πειράματα σε ασύρματο δίκτυο πεταλούδας υπήρχαν διαφοροποιήσεις. Η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων στο ασύρματο δίκτυο πεταλούδας δημιουργήθηκε λόγω των περιορισμών που υπάρχουν στα ασύρματα δίκτυα με κοινόχρηστα κανάλια μετάδοσης.



Σχήμα 5.14 Ασύρματο δίκτυο 5 x 5 Τοπολογία Mesh

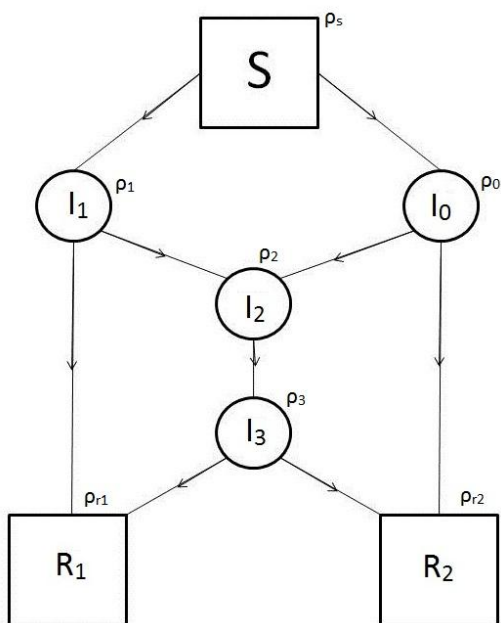
Σε ένα ενσύρματο δίκτυο, ένας κόμβος που έχει δύο διαφορετικούς γείτονες μπορεί την ίδια χρονική στιγμή να στείλει δύο διαφορετικά πακέτα, ένα για τον κάθε γείτονά του. Ωστόσο στα ασύρματα δίκτυα ένας κόμβος μπορεί να εκπέμψει μόνο ένα πακέτο την ίδια χρονική στιγμή σε όλους τους γείτονες τους. Επίσης, στο ενσύρματο δίκτυο δύο κόμβοι μπορούν να μεταδίδουν πακέτα την ίδια χρονική στιγμή σε έναν κοινό τους γείτονα, αλλά στο ασύρματο δίκτυο επειδή το κανάλι είναι κοινό, πρέπει να μοιράζονται το χρόνο χρήσης του. Η μέθοδος του αλγορίθμου βελτιστοποίησης δύο επιπέδων βασίζεται στη ροή διαφορετικών πακέτων στο δίκτυο. Για αυτό το λόγο μελετήθηκε το ασύρματο δίκτυο με τοπολογία πεταλούδας Σχήμα 5.15, όπου υπάρχουν μονοπάτια που δεν είναι ανεξάρτητα (για τους κόμβους I_2 και I_3) για τους δύο παραλήπτες με διαφορετικές ρυθμαποδόσεις. Όταν ένας ενδιάμεσος κόμβος εξυπηρετεί δύο κόμβους εκ των οποίων ο ένας έχει μικρότερη ρυθμαπόδοση τότε εκπέμπει μειωμένου μεγέθους πολλαπλές περιγραφές. Το εύρος ζώνης του καναλιού είναι 2mbps και η πιθανότητα απώλειας πακέτων 0%. Τοποθετείται πιθανότητα σφάλματος σε κάποιους κόμβους ανάλογα με το πείραμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.15, πραγματοποιώντας δύο σενάρια τοποθέτησης σφάλματος.

5.6 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων σε Ασύρματο Δίκτυο Πεταλούδας

Στο πρώτο σενάριο η πιθανότητα σφάλματος τοποθετείται στους κόμβους I_0 , I_3 και I_1 . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο R_1 να λαμβάνει τις περισσότερες πολλαπλές

περιγραφές από τη διαδρομή $S - I_1 - R_1$. Στο σενάριο αυτό οι περιορισμοί που υπάρχουν για τα ασύρματα δίκτυα δεν επηρεάζουν σημαντικά τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης δύο επιπέδων.

- A. Τοποθετήθηκε πιθανότητα σφάλματος 8% στον κόμβο I_1 και πιθανότητα σφάλματος 18% στους κόμβους I_0 και I_3 , με αποτέλεσμα ο κόμβος R_1 να παραλαμβάνει κατά μέσο όρο το 90% των περιγραφών ενώ ο R_2 το 80%.
- B. Τοποθετήθηκε πιθανότητα σφάλματος 8% στον κόμβο I_1 και πιθανότητα σφάλματος 78% στους κόμβους I_0 και I_3 , με αποτέλεσμα ο κόμβος R_1 να παραλαμβάνει κατά μέσο όρο το 90% των περιγραφών ενώ ο R_2 το 20%.



Πίνακας πιθανότητας σφάλματος ανά κόμβο

Πείραμα Πιθανότητα	A	B	Γ	Δ	Ε	Z	H	Θ
ρ_s	0	0	0	0	0	0	0	0
ρ_0	0,18	0,78	0,87	0,76	0,95	0,87	0,58	0,58
ρ_1	0,08	0,08	0,45	0,45	0,45	0,75	0,45	0,45
ρ_2	0	0	0	0	0	0	0	0
ρ_3	0,18	0,78	0	0	0	0	0	0
ρ_{r1}	0	0	0	0	0	0	0	0
ρ_{r2}	0	0	0	0	0,24	0	0	0

Εύρος ζώνης καναλιού 2mbps

Σχήμα 5.15 Ασύρματο δίκτυο τοπολογίας πεταλούδας

Στο δεύτερο σενάριο τοποθετείται η πιθανότητα σφάλματος στους κόμβους I_1 και I_0 . Τώρα ο κόμβος R_1 παραλαμβάνει πακέτα εξίσου το ίδιο και από τα δύο μονοπάτια $S - I_1 - R_1$ και $S - I_0 - I_2 - I_3 - R_1$. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην μπορεί να συμπληρώσει τις απαιτούμενες πολλαπλές περιγραφές πλήρους μεγέθους αποκωδικοποιώντας έτσι μόνο τα επίπεδα ποιότητας βίντεο που υπάρχουν μέσα στις μειωμένου μεγέθους πολλαπλές περιγραφές που έρχονται από τον I_3 :

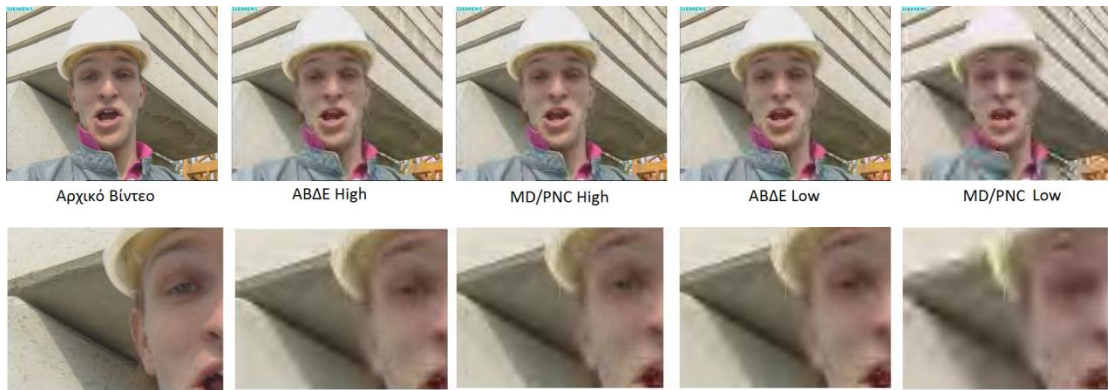
- Γ. Τοποθετήθηκε πιθανότητα σφάλματος 45% στον κόμβο I_1 και πιθανότητα σφάλματος 87% στον κόμβο I_0 , με αποτέλεσμα ο κόμβος R_1 να παραλαμβάνει κατά μέσο όρο το 50% των περιγραφών ενώ ο R_2 το 20%.

- Δ. Τοποθετήθηκε πιθανότητα σφάλματος 45% στον κόμβο I_1 και πιθανότητα σφάλματος 76% στον κόμβο I_0 , με αποτέλεσμα ο κόμβος R_1 να παραλαμβάνει κατά μέσο όρο το 50% των περιγραφών ενώ ο R_2 το 30%.
- Ε. Τοποθετήθηκε πιθανότητα σφάλματος 45% στον κόμβο I_1 και πιθανότητα σφάλματος 95% στον κόμβο I_0 και πιθανότητα σφάλματος 24% στον R_2 , με αποτέλεσμα ο κόμβος R_1 να παραλαμβάνει κατά μέσο όρο το 50% των περιγραφών ενώ ο R_2 το 10%.
- Ζ. Τοποθετήθηκε πιθανότητα σφάλματος 75% στον κόμβο I_1 και πιθανότητα σφάλματος 87% στον κόμβο I_0 , με αποτέλεσμα ο κόμβος R_1 να παραλαμβάνει κατά μέσο όρο το 30% των περιγραφών ενώ ο R_2 το 20%.
- Η. Τοποθετήθηκε πιθανότητα σφάλματος 45% στον κόμβο I_1 και πιθανότητα σφάλματος 58% στον κόμβο I_0 , με αποτέλεσμα ο κόμβος R_1 να παραλαμβάνει κατά μέσο όρο το 50% των περιγραφών ενώ ο R_2 το 40%. Χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (4.4).
- Θ. Τοποθετήθηκε πιθανότητα σφάλματος 45% στον κόμβο I_1 και πιθανότητα σφάλματος 58% στον κόμβο I_0 , με αποτέλεσμα ο κόμβος R_1 να παραλαμβάνει κατά μέσο όρο το 50% των περιγραφών ενώ ο R_2 το 40%. Χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (4.5).

5.7 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Ασύρματου Δικτύου Πεταλούδας

Στα πειράματα Α και Β η κύρια ροή πακέτων για του παραλήπτη R_1 μεταδίδεται από τα κανάλια $S-I_1-R_1$ επειδή ο κόμβος I_3 παρουσιάζει μεγάλη πιθανότητα σφάλματος. Η διαδρομή $S-I_1-R_1$ είναι ανεξάρτητη από τη διαδρομή που ακολουθούν οι πολλαπλές περιγραφές μειωμένου μεγέθους με προορισμό τον R_2 . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να μην εμφανίζεται το πρόβλημα του κοινόχρηστου καναλιού. Παρατηρούμε την ίδια συμπεριφορά με το ενσύρματο δίκτυο. Όσο αυξάνεται η διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών για τους δύο παραλήπτες τόσο αυξάνεται και η βελτίωση του μέγιστου λόγου σήματος-θορύβου, που παρατηρείται, για τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης δύο επιπέδων (Σχήμα 5.18 κ 5.19 αντίστοιχα). Στα Σχήματα 5.16 και 5.17 απεικονίζεται η δεύτερη εικόνα των ΟΕ 6 και 7 για το αρχικό

βίντεο και τα αποκωδικοποιημένα βίντεο που λαμβάνουν οι παραλήπτες και για τους δύο αλγόριθμους, μαζί με τη μεγέθυνση ενός τμήματος.



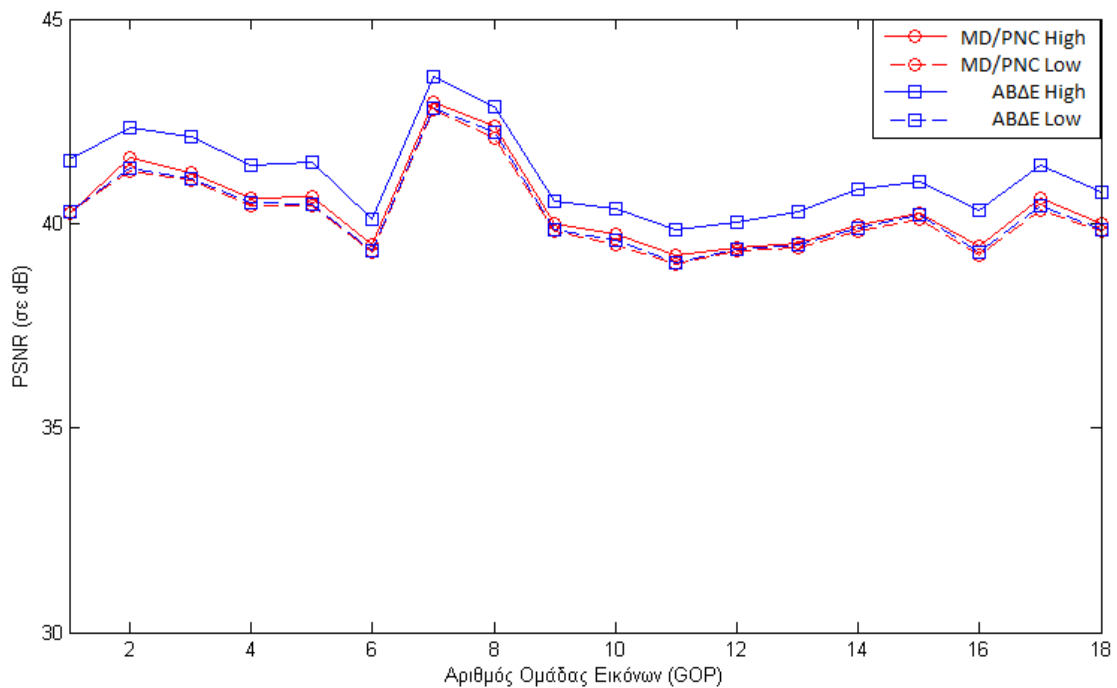
Σχήμα 5.16 Εικόνα 2 της 6^{ης} ΟΕ για το αρχικό και τα αποκωδικοποιημένα βίντεο



Σχήμα 5.17 Εικόνα 2 της 7^{ης} ΟΕ για το αρχικό και τα αποκωδικοποιημένα βίντεο

Στα πειράματα Γ έως Θ, οι πιθανότητες σφάλματος τοποθετήθηκαν έτσι ώστε να υπάρχει σημαντική ροή πακέτων, για τον παραλήπτη R_1 , που περνάει από τον κόμβο I_3 . Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, εμφανίζεται το πρόβλημα χρήσης κοινόχρηστου καναλιού μετάδοσης. Συγκεκριμένα, ο ενδιάμεσος κόμβος I_3 συναγωνίζεται πλέον των ενδιάμεσο κόμβο I_1 για να λάβει δικαίωμα εκπομπής. Στα πειράματα Α και Β, ο I_3 λόγω της μεγάλης πιθανότητας σφαλμάτων δεν είχε να μεταδώσει αρκετές πολλαπλές περιγραφές, και ο I_1 είχε τη δυνατότητα να εκπέμψει συνέχεια τις πολλαπλές περιγραφές που είχε παραλάβει. Ωστόσο, μεταφέροντας ένα ποσοστό της ροής πακέτων από τον I_3 , πλέον ο ενδιάμεσος κόμβος I_3 συναγωνίζεται

τον ενδιάμεσο κόμβο I_1 για να δεσμεύσει χρόνο για την εκπομπή των πολλαπλών περιγραφών του.

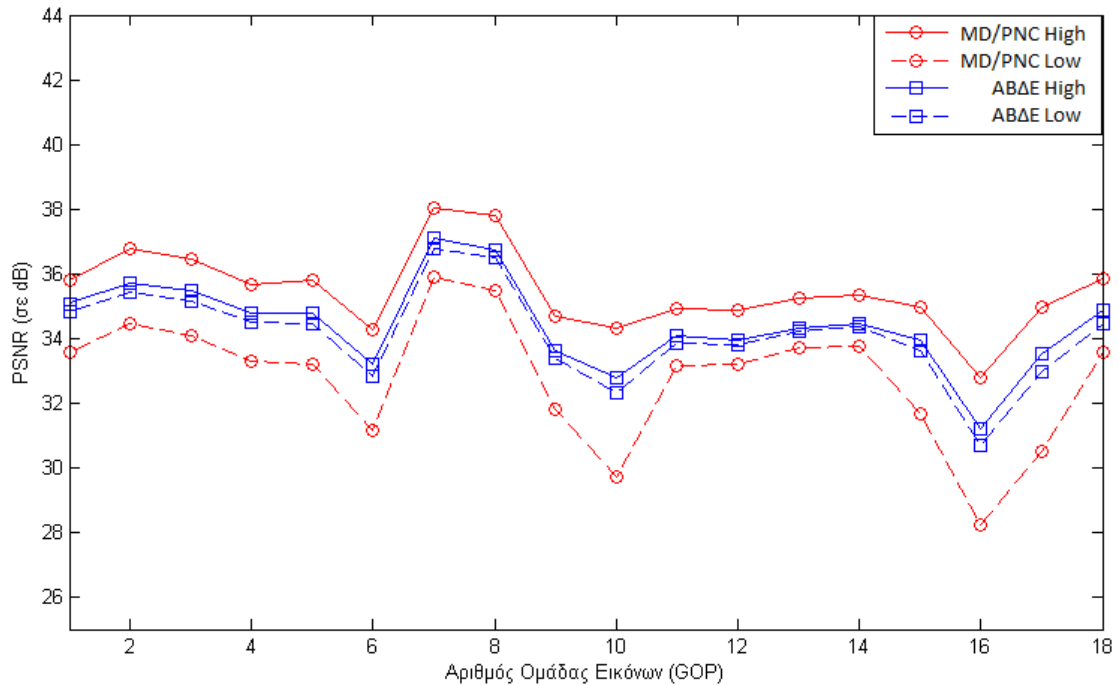


Σχήμα 5.18 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Α.

Κατά συνέπεια, ο παραλήπτης R_1 λαμβάνει λιγότερες πολλαπλές περιγραφές από τον ενδιάμεσο κόμβο I_1 σε σχέση με τα πειράματα Α και Β. Όταν δύο κόμβοι θέλουν να εκπέμπουν πακέτα σε έναν κοινό τους γείτονα θα πρέπει ο καθένας να περιμένει τον άλλον να τελειώσει την εκπομπή του. Αν εκπέμπουν και οι δύο την ίδια χρονική στιγμή τότε υπάρχει σύγκρουση και ο κοινός τους γείτονας δεν μπορεί να λάβει κανένα από τα δύο πακέτα σωστά. Επίσης, ενώ στο ενσύρματο δίκτυο ο I_3 μπορούσε να στείλει διαφορετικά πακέτα στον R_1 και R_2 στο ασύρματο δίκτυο την ίδια χρονική στιγμή μπορεί να εκπέμψει μόνο ένα πακέτο, ίδιο για όλους τους γείτονες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, σε αντίθεση με το ενσύρματο δίκτυο, ο R_1 να παραλαμβάνει μειωμένου μεγέθους πολλαπλές περιγραφές από τον I_3 .

Ο R_1 παραλαμβάνει λιγότερες πολλαπλές περιγραφές πλήρους μεγέθους από τον ενδιάμεσο κόμβο I_1 επειδή γίνεται λήψη πολλαπλών περιγραφών μειωμένου μεγέθους

που τις εκτέμπει ο ενδιάμεσος κόμβος I_3 , δεσμεύοντας χρόνο εκπομπής. Σε αρκετές ΟΕ αδυνατεί να λάβει τις απαιτούμενες πολλαπλές περιγραφές πλήρους μεγέθους με αποτέλεσμα να αποκωδικοποιεί μόνο τα επίπεδα ποιότητας βίντεο που παρέμειναν στις μειωμένου μεγέθους πολλαπλές περιγραφές. Στις γραφικές παραστάσεις που

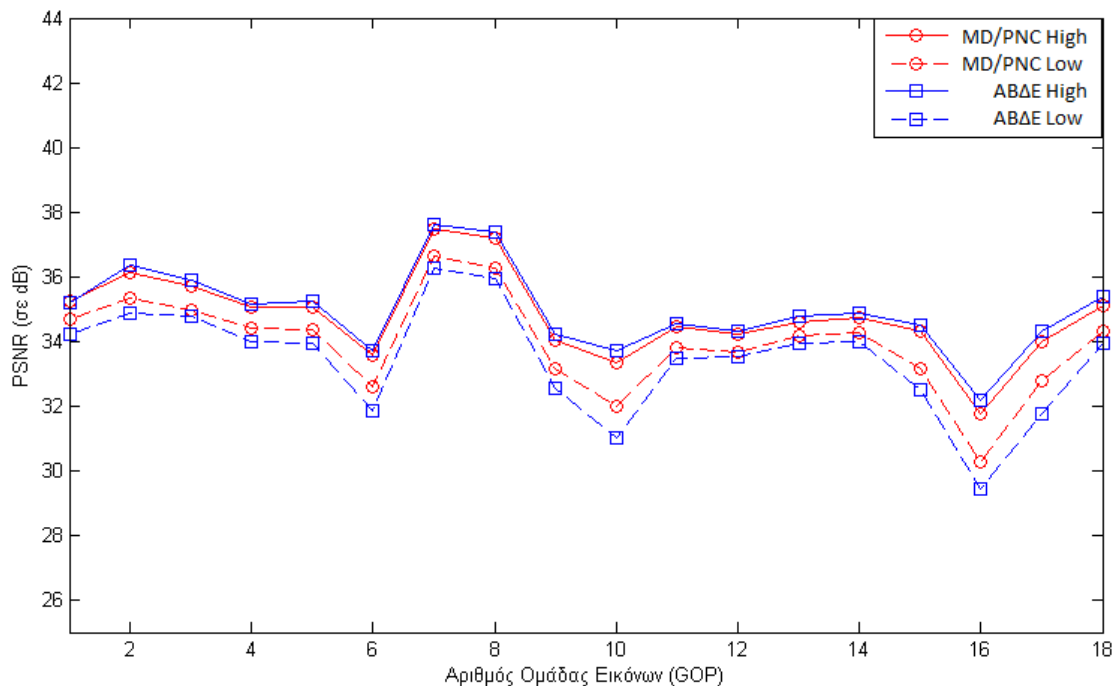


Σχήμα 5.19 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Β.

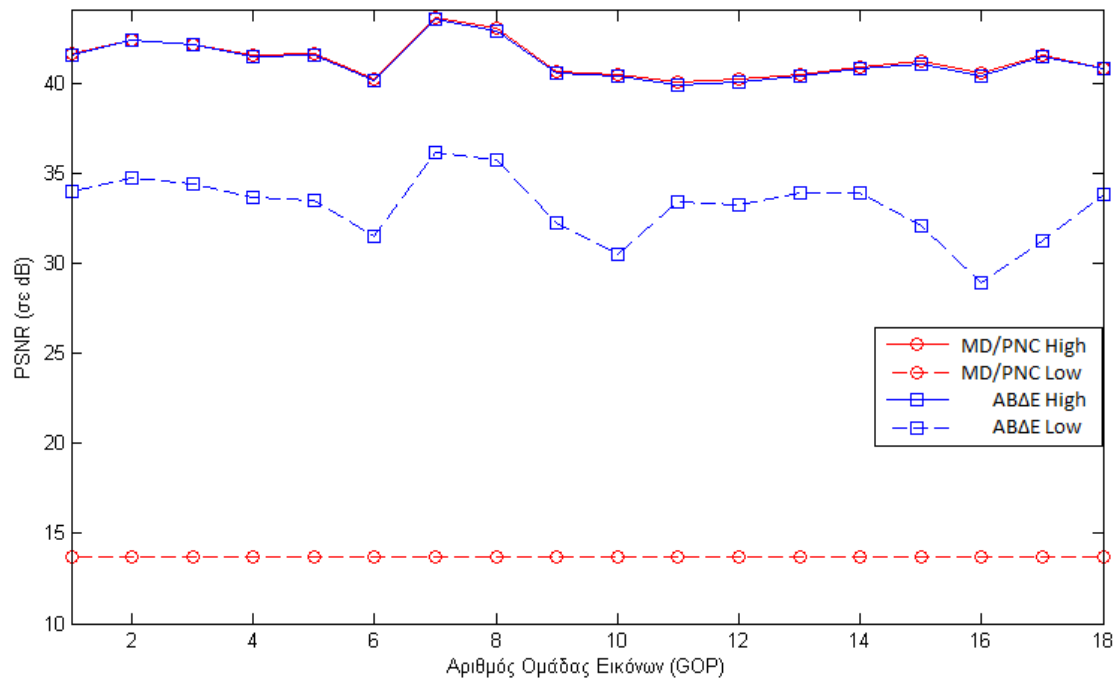
Πείραμα	Παραλήπτης με τη μικρότερη ρυθμαπόδοση	Παραλήπτης με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση	ABΔE Low's PSNR	MD/PNC Low's PSNR	ABΔE High's PSNR	MD/PNC High's PSNR	ABΔE Μέσο PSNR	MD/PNC Μέσο PSNR
A	1mbps 0,2	1mbps 0,1	40,28	40,22	41,16	40,41	40,72	40,32
B	1mbps 0,8	1mbps 0,1	34,11	32,80	34,42	35,48	34,27	34,14
Γ	1mbps 0,8	1mbps 0,5	33,65	33,94	34,97	34,67	34,31	34,31
Δ	1mbps 0,7	1mbps 0,5	33,16	13,74	41,18	41,27	37,17	27,51
E	1mbps 0,9	1mbps 0,1	13,74	13,74	38,37	38,26	26,06	26,00
Z	1mbps 0,8	1mbps 0,7	36,50	35,44	36,72	36,42	36,61	35,93
H	1mbps 0,6	1mbps 0,5	36,75	37,32	36,76	37,47	36,76	37,40
Θ	1mbps 0,6	1mbps 0,5	37,40	37,36	37,55	37,50	37,48	37,43

Πίνακας 5.2 Πίνακας αποτελεσμάτων για το ασύρματα δίκτυο

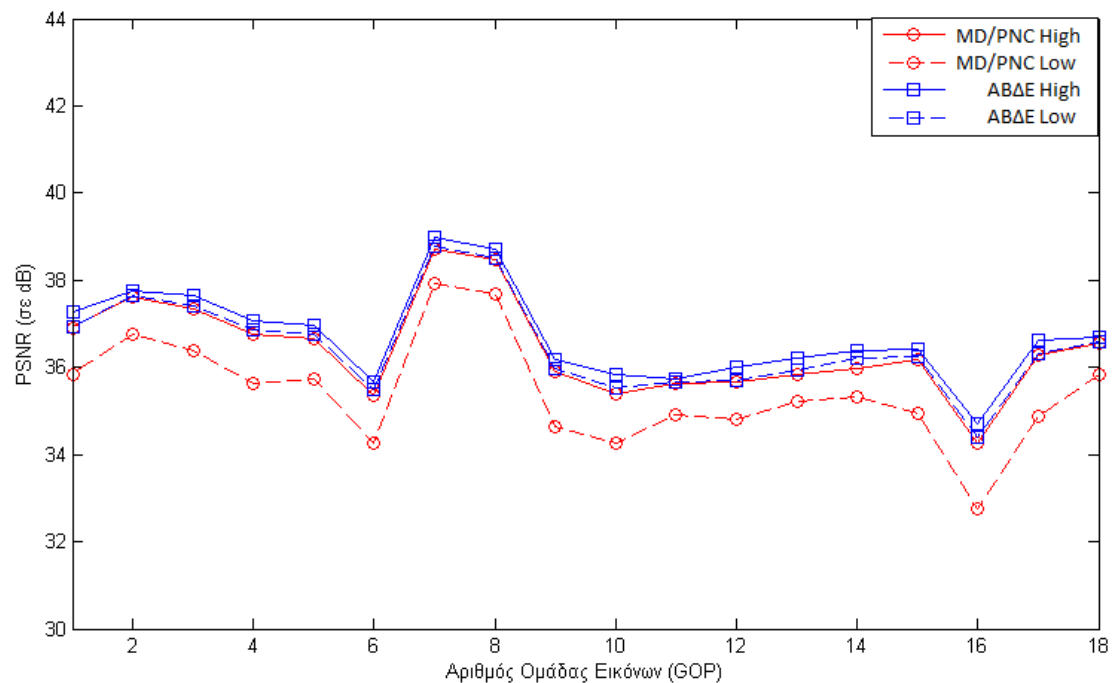
ακολουθούν και στον πίνακα 5.2 παρατηρείται μειωμένη βελτίωση του μέγιστου λόγου σήματος-θορύβου σε σχέση με τα πειράματα σε ενσύρματα δίκτυα και ασύρματα δίκτυα με ανεξάρτητα μονοπάτια (Mesh, πειράματα A και B). Η μείωση αυτή οφείλεται στη λήψη μικρότερου πλήθους πολλαπλών περιγραφών πλήρους μεγέθους από τον παραλήπτη με τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση. Ο ενδιάμεσος κόμβος I_3 επηρεάζει τη μετάδοση πακέτων μέσω του ενδιάμεσο κόμβο I_1 καθώς δεσμεύει χρόνο χρήσης για το κοινό κανάλι μετάδοσης. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων δείχνουν τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης δύο επιπέδων να υπερέχει του MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης. Οι εφαρμογές μετάδοσης βίντεο είναι πολύ απαιτητικές, για αυτό απαιτείται περαιτέρω έρευνα σε μελλοντική εργασία για τη βελτίωση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης δύο επιπέδων ώστε να επιτύχουμε περαιτέρω αύξηση της ποιότητας του βίντεο για τους παραλήπτες.



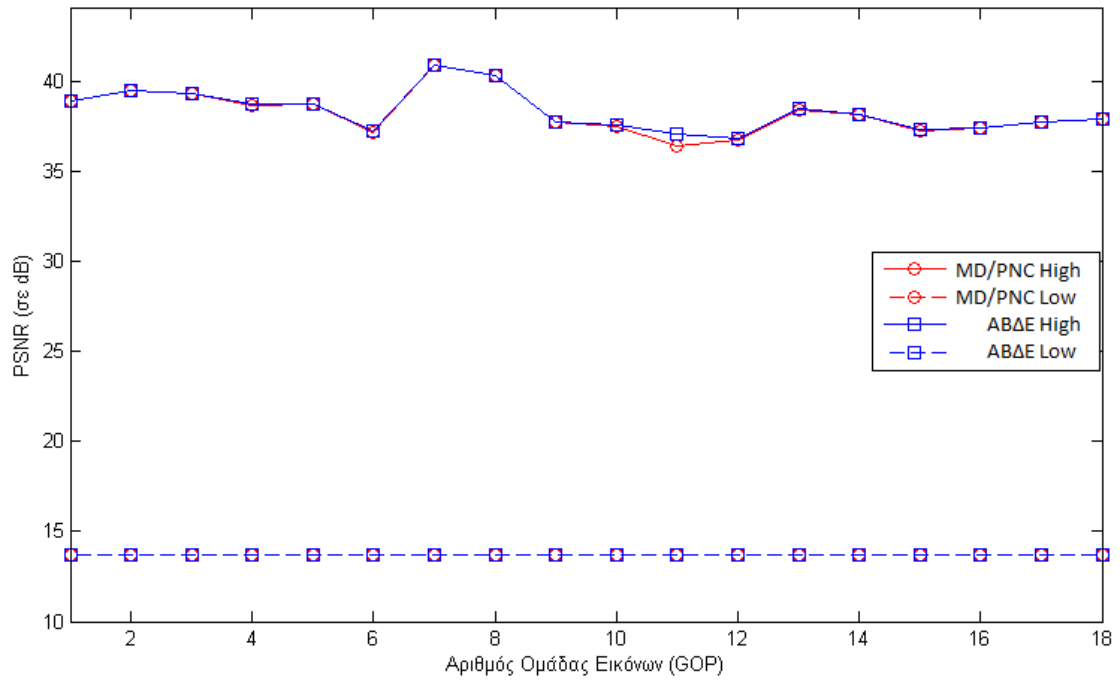
Σχήμα 5.20 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Γ



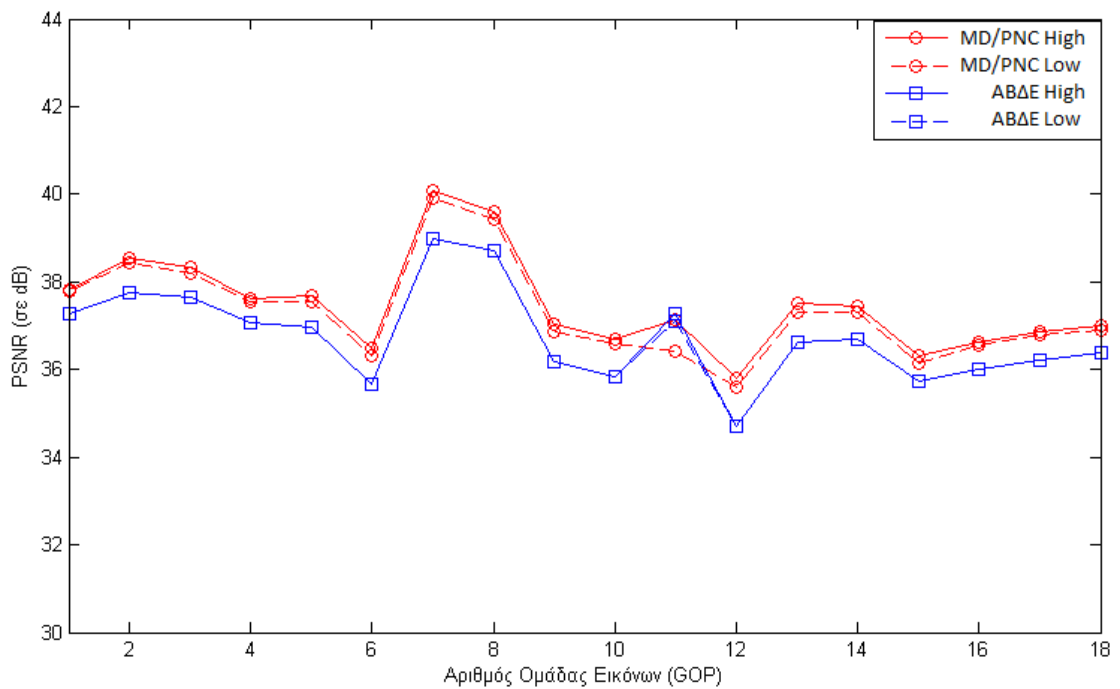
Σχήμα 5.21 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Δ



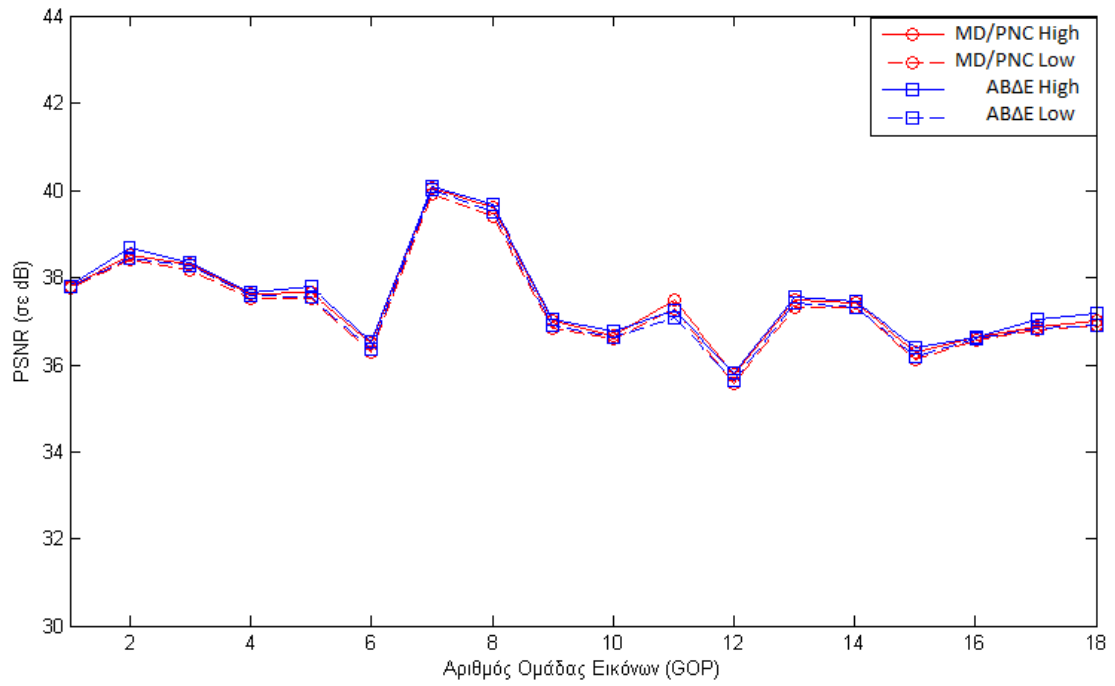
Σχήμα 5.22 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Ε



Σχήμα 5.23 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Z



Σχήμα 5.24 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα H



Σχήμα 5.25 Γραφική παράσταση PSNR ανά GOP για το πείραμα Θ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

6.1 Συμπεράσματα

6.2 Μελλοντική Έρευνα

Στην παρούσα διατριβή εξετάστηκε η πολυδιανομή ροής βίντεο σε δίκτυο με ετερογενείς παραλήπτες. Είναι μία αρκετά απαιτητική διαδικασία που δεσμεύει μεγάλο μέρος των πόρων ενός δικτύου. Σε δίκτυα με παραλήπτες οι οποίοι παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση στα χαρακτηριστικά τους, απαιτείται ροή βίντεο κλιμακωτής ποιότητας ώστε να μπορούν να εξυπηρετηθούν όσο το δυνατόν περισσότεροι ετερογενείς παραλήπτες. Η χρήση της κωδικοποίησης πολλαπλών περιγραφών σε συνδυασμό με την πρακτική κωδικοποίηση δικτύου είναι μια αξιόλογη πρόταση, για τη μετάδοση βίντεο σε δίκτυα όπου αλλάζουν δυναμικά η τοπολογία και τα χαρακτηριστικά των κόμβων (πιθανότητα σφάλματος και εύρος ζώνης). Με τη χρήση της πρακτικής κωδικοποίησης δικτύου δεν απαιτείται η διατήρηση και ενημέρωση δένδρων δρομολόγησης ενώ οι πολλαπλές περιγραφές προσφέρουν περισσότερη προστασία από την αδυναμία αποκωδικοποίησης βίντεο, λόγω της ισοτιμίας μεταξύ τους.

6.1 Συμπεράσματα

Ο αλγόριθμος MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης είναι μία πρόταση των Ramasubramonian και Woods για τη μετάδοση ροής βίντεο, αξιοποιώντας τη

μέγιστη δυνατή χωρητικότητα του δικτύου και αποφεύγοντας την ανάγκη τήρησης δένδρων δρομολόγησης. Ο αλγόριθμος ελαχιστοποιεί τη μέση αναμενόμενη παραμόρφωση βίντεο στους παραλήπτες χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά ενός εικονικού παραλήπτη, προσπαθώντας να εξυπηρετήσει όσο το δυνατόν δίκαια τους ετερογενείς παραλήπτες. Η βελτιστοποίηση που προτείνουν γίνεται στο επίπεδο εφαρμογής, δηλαδή ο εξυπηρετητής προσπαθεί να κατανέμει βέλτιστα τα επίπεδα ποιότητας του βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές, ώστε να επιτευχθεί η ελάχιστη δυνατή μέση παραμόρφωση του βίντεο στους παραλήπτες. Η βελτιστοποίηση δεν έχει γίνει με βάση κάποιον από τους υπαρκτούς παραλήπτες, επομένως δεν είναι η βέλτιστη δυνατή για αυτούς.

Προτείνουμε τη βελτιστοποίηση σε δύο επίπεδα. Στο επίπεδο εφαρμογής, όπου ο εξυπηρετητής κατανέμει την ποιότητα του βίντεο σε πολλαπλές περιγραφές, και ανανεώνεται περιοδικά η βελτιστοποίηση αν αλλάξουν τα χαρακτηριστικά κάποιων παραληπτών όπως και στον MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης. Ωστόσο, η βελτιστοποίηση της κατανομής της ποιότητας βίντεο στις πολλαπλές περιγραφές γίνεται με βάση έναν υπαρκτό παραλήπτη, αυτόν που διαθέτει τη μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση. Επειδή, οι υπόλοιποι ετερογενείς παραλήπτες δεν έχουν τους απαραίτητους πόρους για να αντεπεξέλθουν σε αυτήν την κατανομή εφαρμόζεται βελτιστοποίηση σε επίπεδο δικτύου. Οι ενδιάμεσοι κόμβοι προσαρμόζουν το μέγεθος και το πλήθος των πολλαπλών περιγραφών όπου χρειάζεται, έτσι ώστε οι παραλήπτες που εξυπηρετούν να αποκωδικοποιήσουν το βίντεο.

Η βελτιστοποίηση σε επίπεδο δικτύου προσφέρει επίσης γρηγορότερη ενημέρωση αλλαγών του δικτύου. Στην περίπτωση του αλγορίθμου MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης αν ο εξυπηρετητής παραλάβει μήνυμα ενημέρωσης ότι έγινε αλλαγή στα χαρακτηριστικά κάποιου παραλήπτη ενημερώνει τη βέλτιστη κατανομή ποιότητας βίντεο στο επόμενο OE. Σε αντίθεση, με τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης δύο επιπέδων η ενημέρωση αυτή γίνεται στον τρέχων χρόνο. Αν δηλαδή ένας ενδιάμεσος κόμβος παραλάβει μήνυμα ελέγχου από έναν παραλήπτη που εξυπηρετεί και υπάρχει αλλαγή στα χαρακτηριστικά του παραλήπτη, τότε ο ενδιάμεσος κόμβος πραγματοποιεί νέα προσαρμογή στο μέγεθος και στο πλήθος των πολλαπλών περιγραφών.

6.2 Μελλοντική Έρευνα

Η παρούσα διατριβή πρότεινε έναν αλγόριθμο κατανομής της ποιότητας βίντεο σε πολλαπλές περιγραφές ο οποίος εφαρμόζει βελτιστοποίηση σε δύο επίπεδα. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων σε σύγκριση με τον ήδη υπάρχον αλγόριθμο MD/PNC με μηνύματα ενημέρωση είναι ενθαρρυντικά με αυξήσεις του μέγιστου λόγου σήματος-θορύβου έως και 10 dB. Όπως παρατηρήσαμε στα πειράματα σε ασύρματο δίκτυο πεταλούδας, όταν υπάρχει ροή δεδομένων (πολλαπλών περιγραφών) από ένα κοινόχρηστο μονοπάτι δύο ετερογενών παραληπτών η βελτίωση του μέγιστου λόγου σήματος-θορύβου του προτεινόμενου αλγόριθμου από το MD/PNC με μηνύματα ενημέρωσης είναι μικρότερη.

Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την εύρεση τεχνικών που θα μπορούσαν να επιφέρουν στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης δύο επιπέδων ακόμα καλύτερα αποτελέσματα σε ασύρματα δίκτυα με μη ανεξάρτητα μονοπάτια μεταξύ ετερογενών παραληπτών. Η ενσωμάτωση πολλών μειωμένων περιγραφών σε ένα πακέτο (aggregation) αποτελεί αντικείμενο μελλοντικής έρευνας, έτσι ώστε, να υπάρχει μείωση των εκπομπών από κοινόχρηστους κόμβους (όπως ο I_3 στο δίκτυο πεταλούδας Σχήμα 3.4) πετυχαίνοντας ίσως μεγαλύτερη ροή πολλαπλών περιγραφών πλήρους πακέτων από άλλους μη κοινόχρηστους κόμβους (I_1 δίκτυο πεταλούδας).

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] A. Albanese, J. Blomer, J. Edmonds, M. Luby, and M. Sudan, “Priority encoding transmission,” in IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, pp. 604–612, 1994.
- [2] R. Puri and K. Ramchandran, “Multiple description source coding through forward error correction,” in Proc. of the 33rd Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, October 1999.
- [3] A. Ramasubramonian and J. Woods, “Video multicast using network coding,” in Proc. of Visual Communication and Image Processing, SPIE, San Jose, CA, January 2009.
- [4] D. P. Bertsekas, “Non Linear Programming”, Athena Scientific, 1995.
- [5] A. Ramasubramonian and J. Woods, “MD/PNC with feedback for heterogeneous video multicast in lossy networks”, Visual Information Processing and Communication II, 2011.
- [6] Meijering Erik, "A chronology of interpolation: from ancient astronomy to modern signal and image processing", *Proceedings of the IEEE B* (3): 319–342.
- [7] Network Simulator 2 <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [8] L. Peterson and B. S. Davie, "Δίκτυα Υπολογιστών: Μια προσέγγιση από τη σκοπιά των συστημάτων", 4η Αμερικανική έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2009.
- [9] mmApp http://nile.wpi.edu/NS/new_app_agent.html
- [10] P. Chou, Y. Wu, K. Jain, “Practical Network coding, 2003.
- [11] C. Fragouli, J. Wildmer, J. Boudec, “ Efficient Broadcasting using Network Coding”, IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 16, num. 2, p. 450-463, 2008.

- [12] Y. Chen, B. Wang, K. Liu, "Multisuer Rate Allocation Games for Multimedia Communications", IEEE Transactions on Multimedia, Volume 11 Issue 6, Pages 1170-1181, 2009.
- [13] Gary J. Sullivan, "Overview of International Video Coding Standars (preceding H.264/AVC)", ITU, 2005.
- [14] Video Processing and Communications, Y. Wang, J. Ostermann, Y.-Q. Zhang, Prentice-Hall, 2002.
- [15] X. Zgu, T. Schierl, T Wiegand, B. Girod "Video Multicast over Wireless Mesh Networks with Scalable Video Coding(SVC)", Visual Communication Systems, 2008
- [16] A. Albanese, J. Bloemer, J. Edmonds, M. Luby, and M.Sudan. "Priority encoding transmission", IEEE Trans. on Inf. Theory, 42(6):1737 1747, Nov. 1996
- [17] Christian Leicher, "Hierarchical Encoding of MPEG Sequences Using Priority Encoding Transmission (PET)" (1994)
- [18] Reed Irving, Solomon Gustave, "Polynomial Codes over Certain Finite Fields", Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM): 300–30, 1960
- [19] Αποτελέσματα - βίντεο <http://nrg.cs.uoi.gr/research/ipapadop/>

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

[1] Μελέτη Χωρικής Απόδοσης Δικτύων Μεγάλης Κλίμακας μέσω Προσομοιώσεων", Βασίλης Λαπατάς, Ιωάννης Παπαδόπουλος, Εύρηκα 2008, Σάμος 2008.

ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ

Ο Ιωάννης Παπαδόπουλος γεννήθηκε το 1987 στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Αποφοίτησε το 2004 από το 3^ο Ενιαίο Λύκειο Ευόσμου. Εγγράφηκε στο προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών του τμήματος Πληροφορικής του Ιονίου Πανεπιστημίου ολοκληρώνοντας τις ακαδημαϊκές υποχρεώσεις του το 2008 με την απόκτηση πτυχίου της επιστήμης της πληροφορικής. Το Νοέμβριο του 2008 κατατάχθηκε στις Ειδικές Δυνάμεις Ορεινών Καταδρομών των Ένοπλων Δυνάμεων του Ελληνικού στρατού. Το Φεβρουάριο του 2010 έγινε δεκτός στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών του τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα εστιάζονται στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Έχει δημοσιεύσει το άρθρο "Μελέτη Χωρικής Απόδοσης Δικτύων Μεγάλης Κλίμακας μέσω Προσομοιώσεων", Βασίλης Λαπατάς, Ιωάννης Παπαδόπουλος αποκομίζοντας βραβείο καλύτερης εργασίας στο Φοιτητικό Συνέδριο Εύρηκα 2008 στη Σάμο.