

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Θέμα της πτυχιακής εργασίας είναι η υλοποίηση συστήματος βίντεο σε πραγματικό χρόνο σε εφαρμογές τηλεϊατρικής. Κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις προκειμένου να διαπιστωθεί κατά πόσο είναι εφικτή η διενέργεια τηλεδιασκέψεων στις υπάρχουσες διαδικτυακές ταχύτητες. Λαμβάνοντας υπόψιν τις σχετικά χαμηλές ταχύτητες που προσφέρονται σε σχέση με τους αντίστοιχους πόρους που διατίθενται στους χρήστες του εξωτερικού, έγινε μια προσπάθεια να εντοπιστούν οι παράγοντες οι οποίοι μπορούν καθορίσουν την ποιότητα υπηρεσίας που προσφέρει η εφαρμογή. Η εισαγωγή τεχνικών χρονικών καθυστερήσεων σε σημεία τα οποία δεν γίνονται αντιληπτές από τον τελικό χρήστη, μειώνουν το σφάλμα που εισάγεται κατά την μετάδοση. Ταυτόχρονα, δίνεται η δυνατότητα κωδικοποίησης από τους ίδιους τους χρήστες προσαρμόζοντας τις παραμέτρους συμπίεσης στις δικές τους ανάγκες.

Δομή Εργασίας

Η εργασία ακολουθεί την εξής δόμηση:

Το 1^ο κεφάλαιο παρέχει μια ιστορική αναδρομή στις υπηρεσίες τηλεδιάσκεψης και τις εφαρμογές τηλεϊατρικής.

Το 2^ο κεφάλαιο αναλύει την διαδικασία αποστολής ψηφιακού βίντεο και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν.

Το 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζει τις υπάρχουσες μεθόδους κωδικοποίησης και τις τεχνικές που χρησιμοποιούν.

Το 4^ο κεφάλαιο περιέχει μια λεπτομερή αναφορά στην υλοποίηση της εφαρμογής.

Το 5^ο κεφάλαιο αναφέρεται στα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Τέλος, στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σενάρια μετρήσεων και τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την εκτέλεση τους.

Άρης Βλοτομάς

Πανεπιστήμιο Κύπρου 2009

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΒΙΝΤΕΟ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ

Άρης Βλοτομας

Η Διατριβή αυτή

Υποβλήθηκε προς Μερική Εκπλήρωση των

Απαιτήσεων για την Απόκτηση

Τίτλου Σπουδών Master

σε Προηγμένες Τεχνολογίες Πληροφορικής

στο

Πανεπιστήμιο Κύπρου

Συστήνεται προς Αποδοχή
από το Τμήμα Πληροφορικής
Ιούνιος 2009

ΣΕΛΙΔΑ ΕΓΚΡΙΣΗΣ

Διατριβή Master

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΒΙΝΤΕΟ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ

Παρουσιάστηκε από
τον Άρη Βλοτομά

Ερευνητικός Σύμβουλος

Όνομα Ερευνητικού Συμβούλου

Μέλος Επιτροπής

Όνομα Μέλους Επιτροπής

Μέλος Επιτροπής

Όνομα Μέλους Επιτροπής

Πανεπιστήμιο Κύπρου

Ιούνιος 2009

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή ξεκίνησε και ολοκληρώθηκε κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2008- 2009 σύμφωνα με τον υπάρχοντα κανονισμό του τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Κύπρου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Παπίχη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, δίνοντας μου τη δυνατότητα να εκπονήσω την διατριβή μου στον επιστημονικό τομέα που επιθυμούσα. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδακτορικό φοιτητή Αντρέα Παναγίδη για την βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων, αλλά και για την συμβολή του στην ανάπτυξη της εφαρμογής, όπου οι γνώσεις του στον τομέα της τηλεϊατρικής και της επεξεργασίας βίντεο ήταν αναγκαίες για την ολοκλήρωση της εφαρμογής. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου για την ηθική συμπαράσταση όχι μόνο κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής μου, αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Εισαγωγή	2
1.1 Γενική Εισαγωγή.....	2
1.2 Στόχος Μελέτης	3
1.3 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	4
Μετάδοση βίντεο και πρωτόκολλα	5
2.1 Εισαγωγή στη μετάδοση ψηφιακού βίντεο	5
2.2 Τρόποι μετάδοσης.....	6
2.3 Πρωτόκολλο επικοινωνίας	9
2.3.1 Βασικές λειτουργίες	10
2.3.2 Δομή RTP πακέτων	11
2.3.3 Σύνοδος RTP	12
2.3.4 Αποστολή/Λήψη πακέτων σε μια σύνοδο RTP.....	13
2.3.5 Πρωτόκολλο περιγραφής συνόδου.....	14
2.3.6 RTCP.....	15
Τεχνικές – Πρότυπα Κωδικοποίησης Ψηφιακού Βίντεο	17
3.1 Κωδικοποίηση ψηφιακού βίντεο	17
3.1.1 Τεχνικές loseless και lossy.....	18
3.1.2 Τεχνικές Ενδοπλαισιακής και Διαπλαισιακής Κωδικοποίησης	18
3.1.3 Τεχνικές κωδικοποίησης με πρόβλεψη	20
3.1.4 Τεχνικές κωδικοποίησης με εκτίμηση κίνησης (Motion Estimation).....	21
3.1.5 Τεχνικές αντιστάθμισης κίνησης (Motion Compensation)	21
3.1.6 Τεχνικές Κωδικοποίησης Εντροπίας	22
3.2 Πρότυπα Κωδικοποίησης	23
3.2.1 Πρότυπα Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης Προτύπων (ISO/IEC)	23
3.2.2 Πρότυπα Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών ITU	24
3.3 Ποιότητα συμπιεσμένου βίντεο	25
Υλοποίηση Εφαρμογής	27
4.1 Εγκατάσταση.....	27
4.2 FFMPEG.....	27
4.2.1 Διεπαφές libavcodec και libavformat	28
4.2.2 Επιλογές γραμμής εντολών	30
4.3 Κωδικοποιητής FFMPEG.....	30
4.4 Κωδικοποιητής SVC	34
4.5 Βιντεοτηλεδιάσκεψη (Video Conference)	36
4.5.1 Αποστολέας.....	37
4.5.2 Παραλήπτης.....	38
4.6 Αποστολή προεπεξεργασμένου βίντεο.....	38
4.6.1 Αποστολέας.....	39
4.6.2 Παραλήπτης.....	41
4.7 Αποκωδικοποίηση πλαισίων	42

Μεθοδολογία.....	43
5.1 Παρακολούθηση κίνησης πακέτων.....	43
5.2 Χρήση τηλεπικοινωνιακών συστημάτων 3 ^{ης} γενιάς.....	46
5.3 Περιορισμοί	46
5.4 Πειραματική διαδικασία	47
Αποτελέσματα και πειραματικές μετρήσεις	48
6.1 Σενάριο 1	48
6.2 Σενάριο 2	53
6.3 Σενάριο 3	55
6.4 Εξαγωγή PSNR	58
Μελλοντική εργασία - Συμπεράσματα	60
Βιβλιογραφία	62

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Σενάριο 1 – 704Χ576.....	49
Πίνακας 2. Σενάριο 1 – 1024Χ768.....	51
Πίνακας 3. Σενάριο 2 – 352Χ288.....	53
Πίνακας 4. Σενάριο 3 – 176Χ144.....	56

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχήμα 1. Αρχιτεκτονική Βίντεο Transmission	5
Σχήμα 2. Μέθοδος Broadcasting	6
Σχήμα 3. Μέθοδος Multicasting	7
Σχήμα 4. Μέθοδος Unicasting.....	7
Σχήμα 5. Μέθοδος Real Time Streaming.....	8
Σχήμα 6. Λειτουργία RTP	11
Σχήμα 7. Δομή RTP Πακέτου.....	11
Σχήμα 8. RTP Session.....	13
Σχήμα 9. Ενδοπλαισιακή Κωδικοποίηση.....	19
Σχήμα 10. Εκτίμηση Κίνησης.....	21
Σχήμα 11. Αντιστάθμιση Κίνησης.....	22
Σχήμα 12. Περιοδική πρόβλεψη H.264.....	25
Σχήμα 13. Κωδικοποιητής H.264.....	25
Σχήμα 12. Κωδικοποιητής FFMPEG - 0 B Frames.....	33
Σχήμα 13. Κωδικοποιητής FFMPEG - 1 B Frames.....	33
Σχήμα 14. Κωδικοποιητής SVC - Δημιουργία configuration files (1).....	35
Σχήμα 15. Κωδικοποιητής SVC - Δημιουργία configuration files (2).....	35
Σχήμα 16. Κωδικοποιητής SVC – Εκτέλεση κωδικοποίησης.....	36
Σχήμα 17. Επιλογή διεπαφών Wireshark.....	43
Σχήμα 18. Εκκίνηση διεπαφών Wireshark.....	44
Σχήμα 19. Καταγραφή πακέτων Wireshark.....	44
Σχήμα 20. Απομόνωση RTP πακέτων στο Wireshark.....	45
Σχήμα 21. Λίστα RTP πακέτων στο Wireshark.....	45
Σχήμα 22. Αποτελέσματα Σεναρίου 1 - 704X576 - Bit rate 2048Kbps.....	49
Σχήμα 23. Αποτελέσματα Σεναρίου 1 - 704X576 - Bit rate 2048Kbps.....	49
Σχήμα 24. Αποτελέσματα Σεναρίου 1 - 1024X768 - Bit rate 1500Kbps	51
Σχήμα 25. Αποτελέσματα Σεναρίου 1 - 1024X768 - Bit rate 2048Kbps.....	52

Σχήμα 26. Αποτελέσματα Σεναρίου 2 - 352X288 - Bit rate 256Kbps.....	53
Σχήμα 27. Αποτελέσματα Σεναρίου 2 - 352X288 - Bit rate 512Kbps.....	54
Σχήμα 28. Αποτελέσματα Σεναρίου 2 - 352X288 - Bit rate 1024Kbps.....	54
Σχήμα 29. Αποτελέσματα Σεναρίου 3 -176X144.....	56
Σχήμα 30. Σύγκριση 3G – LAN για ρυθμό κωδικοποίησης 256Kbps.....	57
Σχήμα 31. Σύγκριση 3G – LAN για ρυθμό κωδικοποίησης 512Kbps.....	57
Σχήμα 32. PSNR για ρυθμό κωδικοποίησης 512Kbps.....	59
Σχήμα 33. PSNR για ρυθμό κωδικοποίησης 1024Kbps.....	59

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

3G	Third Generation
AC	Audio Coding
AVC	Advanced Video Coding
AVI	Audio Video Interleave
CIF	Common Intermediate Format
CSRC	Contributing Source
DSS	Darwin Streaming Server
GOP	Group Of Picture
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IP	Internet Protocol
ISO	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
MPEG	Moving Picture Experts Group
QCIF	Quarter CIF
QoS	Quality of Service

RGB	Red Green Blue
RTCP	RTP Control Protocol
RTP	Real-time Transport Protocol
SAD	Sum of Absolute Differences
SDP	Session Description Protocol
SSRC	Synchronization Source
SVC	Scalable Video Coding
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
WAN	Wireless Area Network

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Γενική Εισαγωγή

Η ανάπτυξη που έλαβε χώρα τα τελευταία χρόνια στον τομέα της τεχνολογίας λόγω της ραγδαίας εξάπλωσης και ανάπτυξης των ευρυζωνικών υπηρεσιών, έχει ανοίξει διάπλους ορίζοντες όσον αφορά στην μεταφορά/μετάδοση ψηφιακού βίντεο. Μέχρι πρόσφατα, η αποστολή/λήψη βίντεο μέσω Internet, προϋπέθετε την παραλαβή ολόκληρου του αρχείου πριν αρχίσει η διαδικασία αναπαραγωγής. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη διατήρηση της ποιότητας του βίντεο ακόμα και από χαμηλής ταχύτητας συνδέσεις, αφού η αναπαραγωγή ήταν εφικτή εάν και μόνο ολοκληρωνόταν η παραλαβή. Το μειονέκτημα είναι ότι ο χρήστης έπρεπε να περιμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα την παραλαβή ολόκληρου του αρχείου. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού αναπτύχθηκε μια νέα τεχνολογία, που επιτρέπει την αποστολή συμπιεσμένου ψηφιακού βίντεο, καθώς και την ταυτόχρονη αναπαραγωγή του κατά την διάρκεια της αποστολής.

Τα πλεονεκτήματα της πιο πάνω υπηρεσίας είναι πάρα πολλά και έχουν ήδη αρχίσει να εφαρμόζονται σε πολλούς τομείς. Συμβούλια, διασκέψεις, συναλλαγές μπορούν πλέον να πραγματοποιούνται χωρίς να είναι απαραίτητη η τόσο χρονοβόρα μετακίνηση και συγκέντρωση των συνδιαλεγόμενων. Ο τομέας, ο οποίος αφορά άμεσα στους σκοπούς της παρούσας εργασίας και ο οποίος επωφελείται ιδιαίτερα από τις εφαρμογές αυτές, είναι η τηλεϊατρική αφού είναι πλέον δυνατή η πραγματοποίηση διαγνώσεων ή ακόμη και επεμβάσεων εξ αποστάσεως παρακάμπτοντας την όποια αδυναμία μετάβασης του ασθενούς σε συγκεκριμένο χώρο. Ταυτόχρονα, είναι δυνατή η αποστολή και αναπαραγωγή βίντεο από δύο ή περισσότερους εμπλεκόμενους φορείς (ασθενοφόρα,

περιφερειακά ιατρικά κέντρα, κλινικές, νοσοκομεία) σε πολύ μικρούς χρόνους με υψηλή ευκρίνεια. Για παράδειγμα, η αποστολή ενός υπέρηχου από κάποιο περιφερειακό ιατρικό κέντρο ήταν αδύνατη λόγω του τεράστιου όγκου δεδομένων που αυτό περιείχε. Οι τεχνικές κωδικοποίησης επιτρέπουν πλέον στον αποστολέα να απομονώσει το σημείο το οποίο περιέχει την σημαντική πληροφορία μειώνοντας έτσι το μέγεθος του βίντεο, και επιτρέποντας ταυτόχρονα την γρήγορη αποστολή του στον παραλήπτη.

1.2 Στόχος Μελέτης

Η συνεχής βελτίωση της ποιότητας της εικόνας, που εξάγεται από τα οπτικά μέσα που χρησιμοποιούνται σήμερα, αλλά και το γεγονός ότι αυξάνεται διαρκώς η ανάγκη για αμεσότητα στην επικοινωνία που τα οπτικοακουστικά δεδομένα μπορούν να προσφέρουν συγκριτικά με ένα απλό κείμενο, οδηγούν σε μια ενισχυμένη πολυπλοκότητα των συστημάτων που χρησιμοποιούνται. Η πολυπλοκότητα αυτή καταλήγει σε μια πληθώρα αδυναμιών και προβλημάτων μετάδοσης, κυρίως λόγω έλλειψης επαρκών διαδικτυακών πόρων που χρειάζονται για την επιτυχή αποστολή τους. Ο απλός χρήστης, αν και είναι σε θέση να γνωρίζει την διαδικασία αποστολής/λήψης ψηφιακού βίντεο, καθώς κυκλοφορούν ολοένα και περισσότερα εργαλεία με εξαιρετικά απλές και φιλικές διεπαφές χρήσης, εντούτοις δεν μπορεί να προσαρμόσει τις ανάγκες του στους διαθέσιμους διαδικτυακούς πόρους. Η παρούσα εργασία σκοπό έχει να παρέχει ένα εργαλείο αποστολής συμπιεσμένου ψηφιακού βίντεο με τις υπάρχουσες ταχύτητες, χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά η ποιότητα του βίντεο, βάσει του γεγονότος ότι υπάρχει αρκετή πλεονάζουσα πληροφορία, η οποία μπορεί να παραληφθεί χωρίς να γίνει αισθητή στον απλό χρήστη.

1.3 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Παρατηρώντας τη διαθέσιμη βιβλιογραφία σχετικά με την κωδικοποίηση ψηφιακού βίντεο διαπιστώνει κανείς τη διαρκώς αυξανόμενη τάση που κυριαρχεί στην ανάπτυξη τεχνικών που επιτυγχάνουν ολοένα και μεγαλύτερους λόγους συμπίεσης. Η επιστημονική κοινότητα έχει ασχοληθεί ενεργά τα τελευταία χρόνια με την εξεύρεση νέων τεχνικών μείωσης των δεδομένων που χρειάζονται, προκειμένου να μη γίνει αισθητή στον τελικό χρήστη. Αν ψάξουμε στο διαδίκτυο θα διαπιστώσουμε ότι υπάρχει πληθώρα διαθέσιμων εργαλείων τηλεδιάσκεψης τα οποία μέσα από συνεχείς αναβαθμίσεις έχουν φτάσει σε σημείο να ικανοποιούν και τους πιο απαιτητικούς σε θέματα ποιότητας υπηρεσίας χρήστες. Ο τομέας της τηλεδιάσκεψης βρίσκεται σε νηπιακό στάδιο ανάπτυξης σε σχέση με τις υπόλοιπες υπηρεσίες πληροφορικής και ο λόγος είναι οι περιορισμένες ταχύτητες που επικρατούσαν μέχρι πρότινος και που περιόριζαν σημαντικά τον όγκο δεδομένων που μπορούσε να διακινηθεί. Η διαρκής αύξηση των ταχυτήτων αποτέλεσε ισχυρό κίνητρο στην επιστημονική κοινότητα να εφαρμόσει τις ίδιες ή και ακόμη καλύτερες τεχνικές που εφάρμοξε για την αποστολή εικόνων. Εντούτοις, αν και υπάρχουν τεράστια περιθώρια βελτίωσης, οι υπάρχουσες τεχνικές είναι αρκετά ικανοποιητικές για την ανάπτυξη συστημάτων τηλεδιάσκεψης.

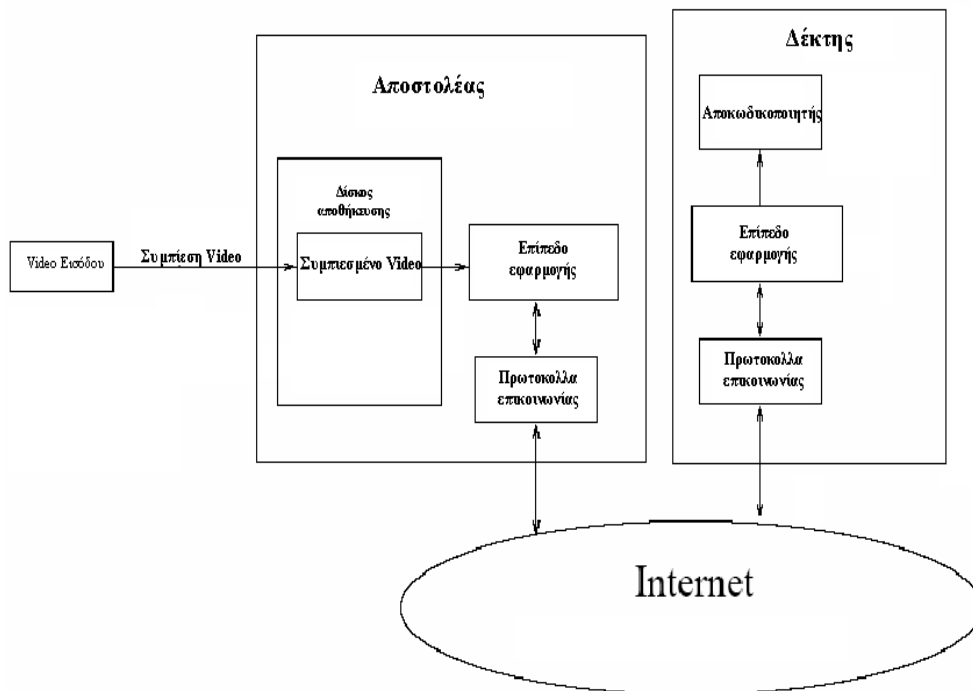
Κεφάλαιο 2

Μετάδοση βίντεο και πρωτόκολλα

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε τα είδη μετάδοσης βίντεο που χρησιμοποιούνται, καθώς και το πρωτόκολλο επικοινωνίας RTP το οποίο χρησιμοποιήθηκε για ανταλλαγή δεδομένων στην εφαρμογή.

2.1 Εισαγωγή στη μετάδοση ψηφιακού βίντεο

Η αρχιτεκτονική ενός συστήματος μετάδοσης φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Αρχιτεκτονική μετάδοσης βίντεο

Αρχικά, το βίντεο συμπιέζεται με κάποια από τις μεθόδους συμπίεσης που αναλύονται παρακάτω. Η συμπίεση αποτελεί το σημαντικότερο μέρος της διαδικασίας μετάδοσης, καθώς από το αποτέλεσμα της θα εξαρτηθεί η ποιότητα του βίντεο που θα λάβει ο

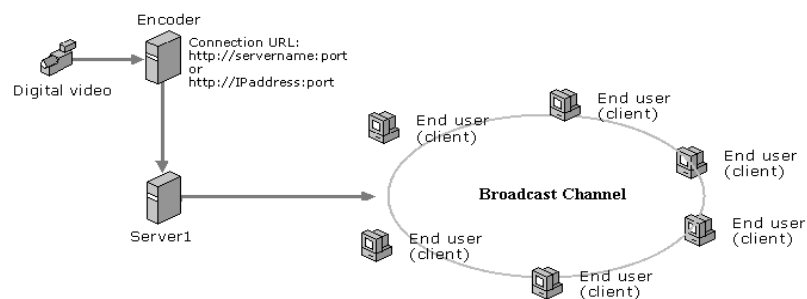
παραλήπτης, αλλά και κατά πόσο είναι εφικτή η μετάδοση του από το διαθέσιμο μέσο λόγω περιορισμών που υπάρχουν σε εύρος ζώνης. Στη συνέχεια, μέσω κάποιου πρωτοκόλλου επικοινωνίας εγκαθίσταται σύνδεση ανάμεσα στον αποστολέα και τον παραλήπτη για ανταλλαγή δεδομένων. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για την μετάδοση βίντεο είναι το RTP, το οποίο θα αναλυθεί στη συνέχεια. Όταν γίνει επιβεβαίωση της σύνδεσης των εμπλεκομένων, ο αποστολέας αρχίζει την διαδικασία αποστολής, η οποία ολοκληρώνεται όταν ο παραλήπτης λάβει όλα τα πακέτα τα οποία έχουν αποσταλεί.

2.2 Τρόποι μετάδοσης

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι τρόποι μετάδοσης του ψηφιακού βίντεο λαμβάνοντας υπόψη κυρίως τον αριθμό των συνδεδεμένων στην επικοινωνία αλλά και το ρόλο που ο καθένας διαδραματίζει. Υπάρχουν πέντε τρόποι μετάδοσης βίντεο:

- Χρήση δημόσιου καναλιού (Broadcast):

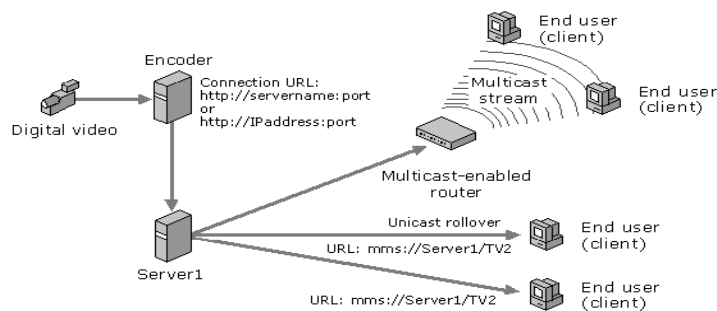
Το βίντεο αποστέλλεται σε κάποιο κανάλι με γνωστή διεύθυνση, από το οποίο μπορεί να αναπαραχθεί από όσους είναι συνδεδεμένοι στο συγκεκριμένο κανάλι. Αποτελεί αρκετά αξιόπιστη λύση σε περιπτώσεις όπου δεν είναι γνωστή η διεύθυνση του παραλήπτη (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Μέθοδος Broadcasting

- Από έναν προς πολλούς (Multicast)

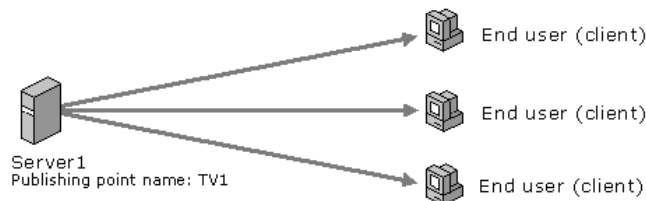
Το βίντεο αποστέλλεται ταυτόχρονα από τον αποστολέα σε περισσότερους από έναν παραλήπτες (Σχήμα 3)[37]. Ο αποστολέας μπορεί να μην γνωρίζει λεπτομέρειες για τη θέση των παραληπτών ,αλλά μόνο ένα σύνολο διευθύνσεων για τις οποίες θα εγκαθιδρύσει σύνδεση επικοινωνίας. Στην περίπτωση αυτή είναι δύσκολη η διαδικασία επαλήθευσης και αναπαραγωγής σε τυχόν απώλειες από κάποιο συγκεκριμένο παραλήπτη[35].



Σχήμα 3. Μέθοδος Multicasting

- Από έναν προς έναν (Unicast)

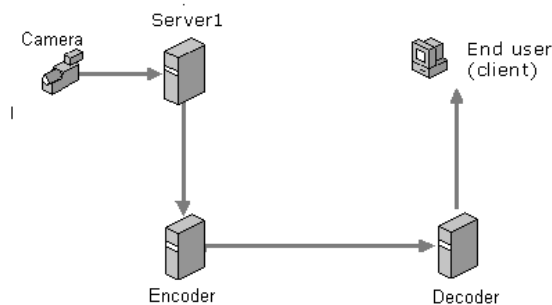
Η επικοινωνία γίνεται αποκλειστικά από έναν αποστολέα προς έναν και μόνο παραλήπτη (Σχήμα 4)[37]. Αυτό σημαίνει ότι ο παραλήπτης λαμβάνει το βίντεο μόνο εάν το ζητήσει. Το βίντεο μπορεί να παραδοθεί είτε κατόπιν παραγγελίας (on-demand) είτε από κάποιο σημείο ραδιοφωνικής εκπομπής (broadcast). Η διαδικασία που ακολουθείται σε περίπτωση σφάλματος αποφασίζεται κατά την εγκατάσταση της σύνδεσης μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη (ανάλογα με το πρωτόκολλο επικοινωνίας) [36].



Σχήμα 4. Μέθοδος Unicasting

- Μετάδοση σε πραγματικό χρόνο

Είναι η μετάδοση βίντεο την ώρα που λαμβάνεται από κάποιο μέσο (κάμερα) (Σχήμα 5). Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών αποτελούν οι ζωντανές τηλεοπτικές εκπομπές, διαλέξεις, υπηρεσίες τηλεδιάσκεψης. Στις εφαρμογές αυτές υπάρχουν περιορισμοί σε θέμα χρόνου, αφού δεν υπάρχει χρόνος επεξεργασίας του βίντεο πριν φτάσει στον δέκτη. Επίσης, δεν υπάρχει δυνατότητα διόρθωσης τυχόν σφαλμάτων, είτε κατά την μετάδοση είτε κατά την επεξεργασία. Ως εκ τούτου στις εν λόγω εφαρμογές απαιτούνται υψηλής ευκρίνειας υπολογιστικά μέσα, μεγάλο εύρος διαδικτυακών πόρων, καθώς και σωστός συγχρονισμός μετάδοσης.



Σχήμα 5. Μέθοδος Real Time Streaming

- Μετάδοση προεπεξεργασμένου βίντεο (Pre-encoded)

Είναι η μετάδοση κάποιου βίντεο που έχει ήδη κωδικοποιηθεί όποτε αυτό ζητήθηκε από τον παραλήπτη. Σε αντίθεση με την μετάδοση σε πραγματικό χρόνο, ο αποστολέας έχει την δυνατότητα επεξεργασίας του βίντεο προτού το διαθέσει, άρα έχει και την πολυτέλεια διόρθωσης σφαλμάτων και συγχρονισμού των πλαισίων που το αποτελούν. Πιο συγκεκριμένα, ο τρόπος αυτός περιλαμβάνει την αποστολή του βίντεο από ένα τερματικό σε έναν ή περισσότερους παραλήπτες, καθώς ο αποστολέας χωρίζει το βίντεο σε πακέτα τα οποία αρχίζει να αποστέλλει στους παραλήπτες. Κατά την διάρκεια της αποστολής, η οποία μπορεί να διαρκέσει αρκετή ώρα, οι παραλήπτες μόλις λάβουν ένα καθορισμένο

αριθμό πακέτων αρχίζουν να τα αναπαράγουν. Υπάρχει μια ροή πακέτων (stream) η οποία εξασφαλίζει την σωστή σειρά μετάδοσης και αναπαραγωγής τους στον παραλήπτη. Η διαφορά με την απλή αποστολή βίντεο έγκειται στο γεγονός ότι η αναπαραγωγή ξεκινά καθώς αυτό ακόμη παραλαμβάνεται χωρίς να χρειάζεται οι παραλήπτες να περιμένουν την ολοκλήρωση της αποστολής. Στην ουσία οι παραλήπτες δεν λαμβάνουν το συνολικό αρχείο, αλλά μια σειρά πακέτων τα οποία αυτούσια δεν μπορούν να αναπαράγουν το βίντεο. Έχουν νόημα στον παραλήπτη αν και μόνο αποσταλούν στην σωστή σειρά τους, εξασφαλίζοντας τον αποστολέα ότι οι παραλήπτες δεν θα αναπαράγουν το βίντεο σε μεταγενέστερο στάδιο.

2.3 Πρωτόκολλο επικοινωνίας

Στην ενότητα που ακολουθεί περιγράφεται το πρωτόκολλο επικοινωνίας RTP που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη εφαρμογή για τη μετάδοση των πακέτων. Η μετάδοση βίντεο σε πραγματικό χρόνο αποτελεί μία από τις πλέον δημοφιλείς εφαρμογές του διαδικτύου και χρησιμοποιείται ευρέως από τους χρήστες, όχι μόνο για σκοπούς ψυχαγωγίας αλλά και για ζωτικής σημασίας εφαρμογές όπως είναι η αποστολή στο χειρουργείο της κατάστασης ενός ασθενούς σε ασθενοφόρο, προκειμένου το χειρουργείο να ετοιμασθεί κατάλληλα για να δεχτεί τον ασθενή. Όπως γίνεται αντιληπτό, στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται υψηλή ευκρίνεια, αλλά με όσο το δυνατό λιγότερη χρήση των δικτυακών πόρων. Πιο συγκεκριμένα, για να είναι λειτουργική μια τέτοια διαδικασία, απαιτούνται μέθοδοι που να εξασφαλίζουν ότι η αναπαραγωγή των δεδομένων στον δέκτη γίνεται χωρίς μεγάλη χρονική καθυστέρηση. Τα δύο γνωστά πρωτόκολλα γενικής χρήσης TCP και UDP δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τέτοιες εφαρμογές. Το μεν TCP αυξάνει την πιθανότητα σφάλματος κατά τη μετάδοση, καθώς επίσης και την καθυστέρηση λόγω των πακέτων επιβεβαίωσης που αποστέλλονται σε περίπτωση σφάλματος, έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση της κίνησης στο δίκτυο. Το UDP δεν απαιτεί μεν επιβεβαίωση από τον παραλήπτη, αλλά έχει ένα άλλο σοβαρό μειονέκτημα το

οποίο το καθιστά ακατάλληλο. Δεν εξασφαλίζει ότι η σειρά άφιξης των πακέτων θα είναι η ίδια με τη σειρά αποστολής τους[19].

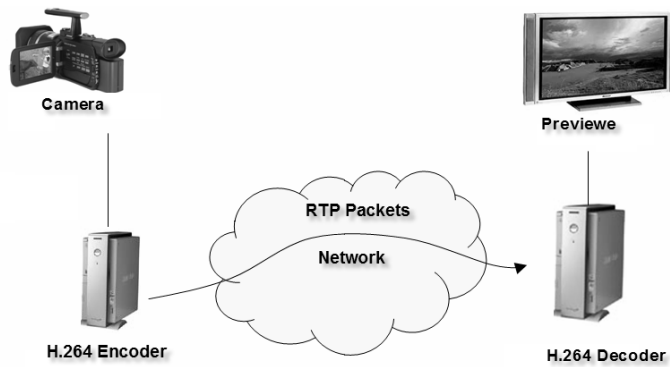
Για τους πιο πάνω λόγους, η ομάδα ερευνών του IETF αποφάσισε να αναπτύξει ένα νέο πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο θα λύσει τα πιο πάνω προβλήματα, το RTP (Real-Time Transport Protocol). Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο επιτρέπει τον καθορισμό της σειράς αναπαραγωγής και το συγχρονισμό της μετάδοσης δεδομένων. Δεν εξασφαλίζει την παράδοση των πακέτων, αλλά προσφέρει μηχανισμούς ανίχνευσης των χαμένων πακέτων προκειμένου αυτά να αναμεταδοθούν.

2.3.1 Βασικές λειτουργίες

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας RTP είναι υπεύθυνο για τα ακόλουθα:

- τον καθορισμό του τύπου των δεδομένων που μεταφέρει,
- την αρίθμηση των πακέτων, ούτως ώστε να είναι δυνατή η αναπαραγωγή τους στον παραλήπτη,
- την εισαγωγή χρονικών αναφορών,
- την παρακολούθηση της διαδικασίας μέχρι την παράδοση των πακέτων.

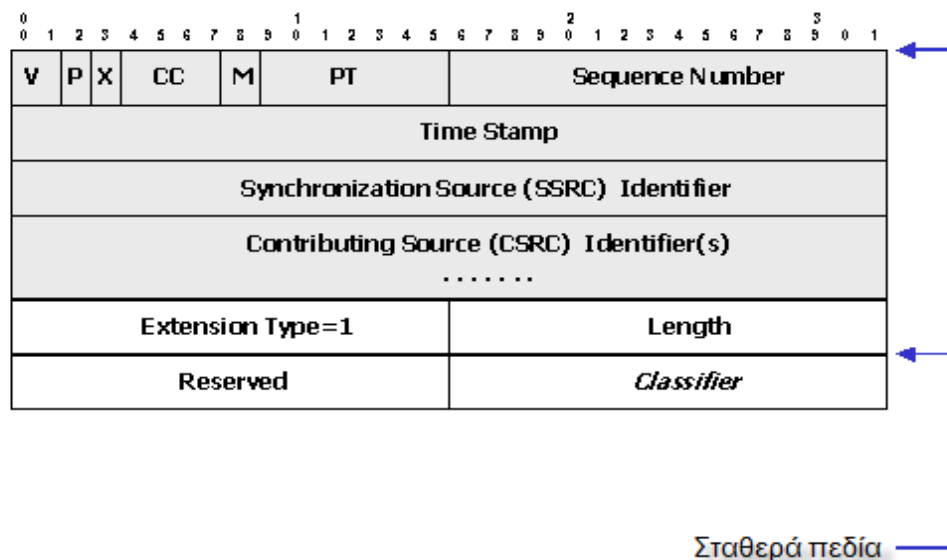
Οι παραπάνω λειτουργίες καθορίζονται στην επικεφαλίδα των πακέτων.



Σχήμα 6. Λειτουργία RTP

2.3.2 Δομή RTP πακέτων

Στο RTP καθορίζονται κάποια βασικά πεδία για την επικεφαλίδα τα οποία είναι υποχρεωτικό να υπάρχουν σε όλα τα πακέτα, ενώ καθορίζονται και κάποια επιπλέον πεδία που μπορούν να καλύψουν τυχόν ανάγκες μιας εφαρμογής. Η γενική δομή ενός πακέτου εμφανίζεται στο Σχήμα 7 [22].



Σχήμα 7. Δομή RTP Πακέτου

- **V** (2 bit): Έκδοση πρωτοκόλλου.
- **P** (1 bit): Επιπλέον bits για σκοπούς ελέγχου. Καθορίζει αν στο τέλος του πακέτου υπάρχουν επιπλέον bytes τα οποία δεν είναι δεδομένα εικόνας ή ήχου.
- **X** (1 bit): Προέκταση της επικεφαλίδας.
- **CC count** (4 bit): Καθορίζει τον αριθμό των CSRC αναγνωριστικών τα οποία περιέχει το πακέτο.
- **M** (1 bit): Πρόσθετα πεδία.
- **Payload type** (7 bit): Τύπος των δεδομένων που περιέχει το πακέτο.
- **Sequence Number** (16 bit): Διατηρεί τη σειρά άφιξης των πακέτων για να μπορεί να διορθωθεί η σειρά παρουσίασης στον παραλήπτη. Επιπλέον μπορούν να ανιχνευθούν τα απολεσθέντα πακέτα.
- **Time Stamp** (32 bit): Χρονική στιγμή δημιουργίας του πακέτου.
- **SSRC** (32 bit): Αναγνωριστικό της πηγής για να γνωρίζει ο παραλήπτης ώστε να συγχρονίσει τα πακέτα.
- **CSRC** (32 bit): Από πού προήλθαν τα πακέτα.

2.3.3 Σύνοδος RTP

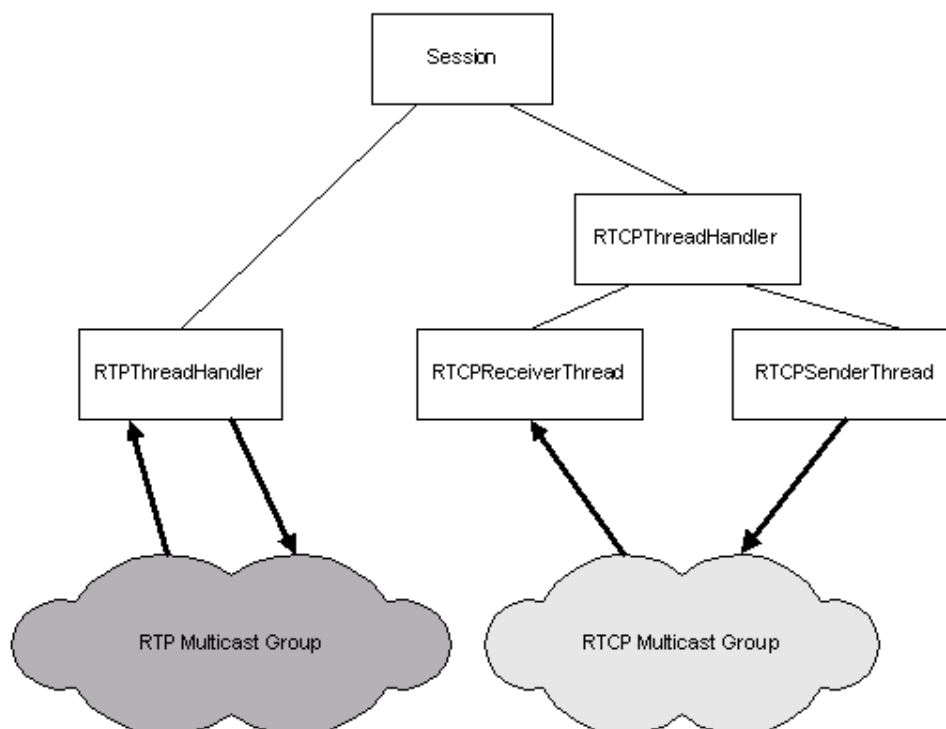
Η επικοινωνία μέσω RTP ξεκινά με την εγκαθίδρυση σύνδεσης μεταξύ αποστολέα – παραλήπτη η οποία λέγεται σύνοδος (RTP Session). Ένα RTP Session αποτελείται από έναν αριθμό εφαρμογών οι οποίες επικοινωνούν μέσω RTP και χαρακτηρίζεται από μια διαδικτυακή διεύθυνση και δύο πύλες. Η μία πύλη χρησιμοποιείται από πακέτα δεδομένων και η άλλη από δεδομένα ελέγχου που αφορούν το πρωτόκολλο RTCP.

Οι εμπλεκόμενοι σε ένα session μπορούν να στείλουν ή να λάβουν ή και τα δύο. Κάθε τύπος δεδομένων αποστέλλεται με διαφορετικά sessions δίνοντας τη δυνατότητα στους εμπλεκόμενους να αποφασίσουν ποιό τύπο δεδομένων θα λάβουν. Για παράδειγμα, στην

εφαρμογή που αναπτύξαμε χρησιμοποιούμε δύο sessions, για βίντεο πακέτα και για audio. Ο παραλήπτης μπορεί να επιλέξει να αγνοεί τα βίντεο πακέτα που παραλαμβάνει για σκοπούς απόδοσης.

2.3.4 Αποστολή/Λήψη πακέτων σε μια σύνοδο RTP

Το Σχήμα 8 [23] παρουσιάζει τη διαδικασία αποστολής/λήψης πακέτων σε ένα RTP Session που χρησιμοποιεί τον **RTPThreadHandler** για την αποστολή/λήψη των RTP πακέτων [24]. Ο **RTPThreadHandler** είναι ένα thread το οποίο μπαίνει σε έναν ατέρμονα βρόγχο. Η διαδικασία ξεκινά με την εντολή Session.Start() η οποία ενημερώνει όλους τους παραλήπτες να αναμένουν πακέτα. Ο **RTPThreadHandler** συμπεριφέρεται και ως αποστολέας με την εντολή SendPacket(). Γενικά έχει την ευθύνη επίβλεψης της επικοινωνία αποστολέα/παραλήπτη.



Σχήμα 8. RTP Session

Ο αποστολέας `RTCPReceiverThread` είναι όμοιος με τον `RTPThreadHandler` που περιγράφηκε πιο πάνω και παραλαμβάνει πακέτα σε έναν ατέρμονα βρόγχο χωρίς όμως να έχει οποιεσδήποτε δυνατότητες αποστολής, όπως ο `RTPThreadHandler`. Όμοια, για την αποστολή των πακέτων υπάρχει ο `RTCPSenderThread` με την διαφορά όμως ότι δεν μπαίνει στη διαδικασία εισαγωγής σε ατέρμονα βρόγχο, όπως ο `RTCPReceiverThread`. Ο λόγος είναι ότι εάν ο παραλήπτης σταματήσει κάποια στιγμή να είναι στη διαδικασία αναμονής πακέτων και φτάσει κάποιο πακέτο την συγκεκριμένη χρονική στιγμή, τότε αυτό θα χαθεί. Ο αποστολέας έχει τη δυνατότητα να επιλέγει τη χρονική στιγμή που θα στείλει πακέτα. Μόλις ξεκινήσει ο `RTCPSenderThread` δεν αποστέλλει κανένα πακέτο μέχρι η εφαρμογή (ο χρήστης του session) να στείλει κάποιο RTP πακέτο. Όμοια, μόλις ο χρήστης του session αποφασίσει να σταματήσει τη σύνδεση, αποστέλλει ένα πακέτο στον `RTCPReceiverThread` για να τον ενημερώσει ότι ο χρήστης αποφάσισε να τερματίσει το session.

2.3.5 Πρωτόκολλο περιγραφής συνόδου

Το πρωτόκολλο περιγραφής συνόδου SDP [20] αναπτύχθηκε με σκοπό να μπορεί να περιγράφει πλήρως τις λεπτομέρειες μετάδοσης της συνόδου επιτρέποντας σε κάποιο παραλήπτη να συμμετέχει αυτόματα σε αυτή.

Το SDP περιέχει:

- το όνομα και το σκοπό της συνόδου,
- τους χρόνους που η σύνοδος είναι ενεργή,
- τα μέσα που εμπεριέχονται στη σύνοδο,
- πληροφορίες για τα μέσα (διευθύνσεις, θύρες κτλ.).

Πιο κάτω παρουσιάζεται η μορφή μιας SDP περιγραφής:

v= Έκδοση πρωτοκόλλου

o= Χρήστης που δημιούργησε τη σύνοδο και κάποιο αναγνωριστικό της

s= Όνομα της συνόδου

i= Πληροφορίες σχετικά με τη σύνοδο

u= Πού μπορεί κάποιος να βρει περισσότερες πληροφορίες για τη συγκεκριμένη σύνοδο

e= Email του υπεύθυνου για τη σύνοδο

p= Τηλέφωνο του υπεύθυνου για τη σύνοδο

c= Είδος του δικτύου

b= Πληροφορίες σχετικές με το εύρος ζώνης του δικτύου

t= Πότε ξεκινά και πότε τελειώνει η σύνοδος

m= Είδος των μέσων που συμμετέχουν

2.3.6 RTCP

Το RTP control protocol (RTCP) είναι ένα μέρος του πρωτοκόλλου RTP το οποίο μεταφέρει περιοδικά πακέτα ελέγχου σε όλους όσοι συμμετέχουν στη σύνοδο [25]. Είναι υπεύθυνο για τα πιο κάτω:

- Ενημέρωση σχετικά με την ποιότητα της μετάδοσης των πακέτων. Ελέγχει τα σημεία συμφόρησης και την σωστή ροή των πακέτων.
- Μεταφέρει πακέτα *canonical name* (CNAME) τα οποία χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση αλλαγών κατά τη διάρκεια της μετάδοσης.
- Χρησιμοποιούνται από τους συμμετέχοντες για να μπορούν να υπολογίσουν τον αριθμό των εμπλεκομένων στη σύνοδο.

Κεφάλαιο 3

Τεχνικές – Πρότυπα Κωδικοποίησης Ψηφιακού Βίντεο

Ο σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να παρουσιάσουμε μια ανασκόπηση των διαθέσιμων προτύπων κωδικοποίησης που ανέπτυξαν οι δύο μεγάλοι οργανισμοί τυποποίησης προτύπων (ITU και ISO/IEC), ενώ θα επικεντρωθούμε στο πρότυπο κωδικοποίησης H.264, καθώς αυτό χρησιμοποιούμε στην παρούσα εργασία. Αρχικά παρουσιάζεται μια σύντομη περιγραφή των τεχνικών που χρησιμοποιούν τα διάφορα πρότυπα, προκειμένου να επιτύχουν συμπίεση του ψηφιακού βίντεο. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι ιδιαιτερότητες του κάθε προτύπου καθώς επίσης και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες πλεονεκτούν έναντι των υπολοίπων.

3.1 Κωδικοποίηση ψηφιακού βίντεο

Με τον όρο κωδικοποίηση εννοούμε τη μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακή ακολουθία, προκειμένου να μειωθεί ο πλεονασμός μεταξύ των πλαισίων και ταυτόχρονα το εύρος ζώνης που απαιτείται για την αποστολή τους σε εφαρμογές τηλεδιάσκεψης. Πιο πρακτικά, κατά την κωδικοποίηση μειώνουμε την ευκρίνεια της εικόνας, καταλαμβάνοντας λιγότερο χώρο για κάθε πλαίσιο, μια και ο όγκος της πληροφορίας που περιέχει ένα βίντεο είναι τεράστιος και ο ρυθμός μετάδοσης του σε μη κωδικοποιημένη μορφή είναι απαγορευτικά μεγάλος για τα σημερινά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Για παράδειγμα, το εύρος ζώνης που απαιτείται για ένα frame (720 x 576) είναι:

$$(720 \times 576 \text{ pixels}) \times (3 \text{ bytes/pixel για RGB}) = 1.2 \text{ MB για κάθε frame}$$

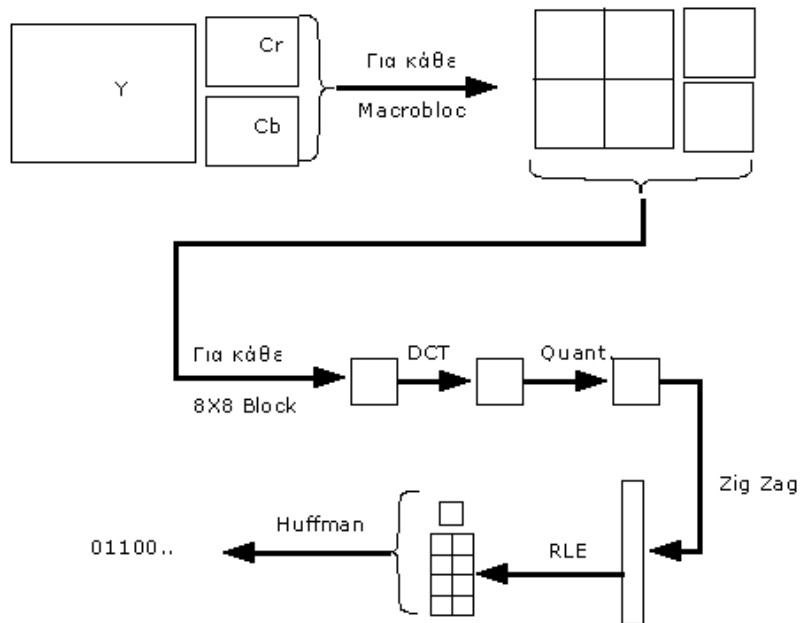
Για 25 frames/second απαιτείται ρυθμός 240 Mbits/sec!! Είναι λοιπόν προφανές ότι απαιτούνται μέθοδοι μείωσης του συνολικού όγκου πληροφορίας που περιέχονται σε ένα βίντεο.

3.1.1 Τεχνικές **loseless** και **lossy**

Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες αλγορίθμων κωδικοποίησης με απώλειες και χωρίς. Οι αλγόριθμοι κωδικοποίησης χωρίς απώλειες (**loseless**) στόχο έχουν να διατηρήσουν την ποιότητα του παραγόμενου βίντεο στα επίπεδα που ήταν πριν την κωδικοποίηση, αγνοώντας περιορισμούς διαδικτυακών πόρων, καθώς δεν χρησιμοποιείται στις εν λόγω εφαρμογές. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι συμπίεζον τα δεδομένα ώστε να μην υπάρχει απώλεια πληροφορίας αλλά έχουν πολύ χαμηλό λόγο συμπίεσης. Οι αλγόριθμοι με απώλειες (**lossy**) είναι η κατηγορία με την οποία θα ασχοληθούμε στην συνέχεια και έχουν ως βασικό στόχο την επίτευξη ικανοποιητικού λόγου- bit προκειμένου να είναι εφικτή η αποθήκευση και αποστολή μέσω δικτύου. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι διαθέσιμοι διαδικτυακοί πόροι είναι γνωστοί από τους παροχείς, άρα προσπαθούμε να προσαρμόσουμε την ποιότητα του παραγόμενου βίντεο στις τιμές αυτές. Εάν θεωρήσουμε δεδομένο ότι το εύρος ζώνης διαφέρει από χώρα σε χώρα, τότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι και η επιλογή της βέλτιστης μεθόδου εναπόκειται στο διαθέσιμο εύρος ζώνης της χώρας που γίνεται η κωδικοποίηση. Στην ενότητα αυτή θα μελετήσουμε τις διαθέσιμες τεχνικές συμπίεσης ψηφιακού βίντεο και ιδιαίτερα αυτές που χρησιμοποιούνται στην εν λόγω εφαρμογή.

3.1.2 Τεχνικές Ενδοπλαισιακής και Διαπλαισιακής Κωδικοποίησης

Όπως είναι ήδη γνωστό, ένα ψηφιακό βίντεο είναι ένα σύνολο διαδοχικών πλαισίων, άρα η κωδικοποίηση του δεν είναι τίποτα άλλο από την επιμέρους κωδικοποίηση των πλαισίων που το αποτελούν. Στην περίπτωση που κάθε πλαίσιο κωδικοποιείται ξεχωριστά από τα υπόλοιπα χωρίς να τα λαμβάνει υπόψη, θεωρώντας το καθένα ως μια ανεξάρτητη εικόνα, τότε αναφερόμαστε σε ενδοπλαισιακή (IntraFrame) κωδικοποίηση (Σχήμα 9) [31].



Σχήμα 9. Ενδοπλαισιακή Κωδικοποίηση

Η μέθοδος αυτή απαιτεί μεγαλύτερο εύρος ζώνης, αφού κάθε πλαίσιο χρειάζεται να περιέχει όλη την πληροφορία που απαιτείται για να κωδικοποιηθεί ως ανεξάρτητη εικόνα και να αναπαρασταθεί στον αποδέκτη κατά την διάρκεια της αποκωδικοποίησης. Στην περίπτωση της διαπλαισιακής κωδικοποίησης (Interframe) κωδικοποιείται το πρώτο πλαίσιο και από αυτά που ακολουθούν λαμβάνονται μόνο οι διαφορές με το πρώτο, οι οποίες κωδικοποιούνται ως ανεξάρτητα πλαίσια. Σε αυτή την περίπτωση τα πλαίσια κλειδιά κωδικοποιούνται με ενδοπλαισιακή κωδικοποίηση γιατί χρειάζονται ολόκληρη την πληροφορία που περιέχουν προκειμένου να αποτελέσουν πλαίσια αναφοράς για αυτά που ακολουθούν.

Υπάρχουν τρεις τύποι κωδικοποιημένων πλαισίων:

- **πλαίσια ή πλαίσια αναφοράς** τα οποία περιέχουν όλη την απαραίτητη πληροφορία που χρειάζεται, ώστε το πλαίσιο να μπορεί να αναπαρασταθεί αυτόνομα χωρίς να εξαρτάται από τα υπόλοιπα.

- **P-πλαίσια** προβλέπεται από τις διαφορές από τα προηγούμενα I ή P πλαίσια.
- **B-πλαίσια** είναι αμφίδρομης κατεύθυνσης άρα μπορεί να προβλεφθεί και από το προηγούμενο και το επόμενο I ή P πλαίσιο.

Συνήθως το πρώτο πλαίσιο είναι τύπου I και τα υπόλοιπα τα οποία απεικονίζουν τις διαφορές με το πρώτο τύπου P,B. Η συχνότητα εμφάνισης πλαισίων αναφοράς είναι ένας παράγοντας που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του συμπιεσμένου βίντεο. Ο αριθμός αυτός (GOP - Group Of Pictures) επιλέγεται σύμφωνα με το περιεχόμενο του βίντεο. Έτσι στις περιπτώσεις όπου το μεγαλύτερο μέρος της ακολουθίας παραμένει σταθερό (δελτίο ειδήσεων) μπορεί να αποσταλεί μόνο ένα πλαίσιο αναφοράς σε όλη τη διάρκεια του πλαισίου επιτυγχάνοντας πολύ πιο γρήγορη και αποτελεσματική συμπίεση.

3.1.3 Τεχνικές κωδικοποίησης με πρόβλεψη

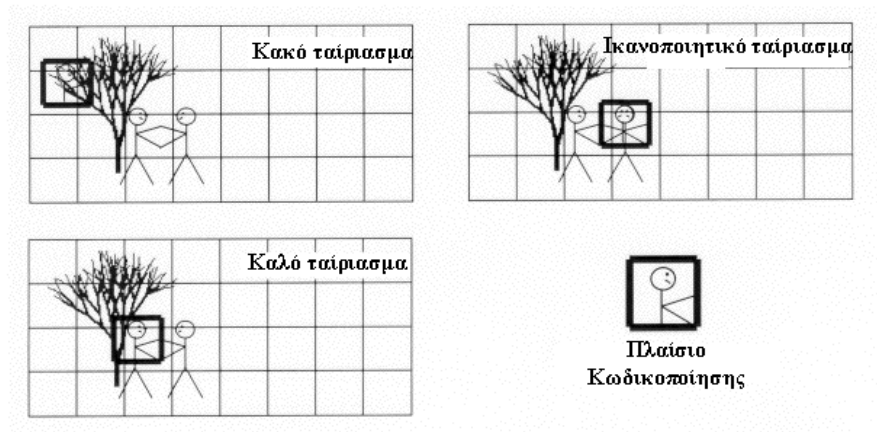
Η πρόβλεψη επιτυγχάνεται αξιοποιώντας τους πλεονασμούς των πλαισίων προκειμένου να μειωθούν τα δεδομένα που θα κωδικοποιηθούν, χωρίς αυτό να έχει αξιοσημείωτη επίδραση στο τελικό αποτέλεσμα. Χρησιμοποιούνται δύο είδη πλεονασμού:

- Στατικός πλεονασμός - Σε μια ροή συνεχόμενων πλαισίων που αποτελούν 1 βίντεο , η εναλλαγή τους γίνεται τόσο γρήγορα που δεν γίνεται αντιληπτό από τους χρήστες. Είναι φυσικό λοιπόν, 2 συνεχόμενα πλαίσια να μην έχουν τόσο σημαντικές διαφορές το ένα από το άλλο. Έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε ένα τμήμα του πλαισίου από κάποιο προηγούμενο, προσθέτοντας απλά τις διαφορές του με αυτό.
- Υποκειμενικός Πλεονασμός - Σε πολλές περιπτώσεις και ειδικότερα σε εφαρμογές όπου ο χρόνος παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στη μετάδοση βίντεο,

μπορούμε να κάνουμε υποχωρήσεις σε σημεία τα οποία δεν επηρεάζουν τους τελικούς χρήστες (π.χ. φωτεινότητα, ήχος).

3.1.4 Τεχνικές κωδικοποίησης με εκτίμηση κίνησης (Motion Estimation)

Η βασική προϋπόθεση της εκτίμησης κίνησης είναι ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, τα διαδοχικά πλαίσια είναι παρόμοια εκτός από τις αλλαγές που προκαλούνται από κινούμενα αντικείμενα (Σχήμα 10) [32]. Κάθε πλαίσιο χωρίζεται σε ένα σύνολο μη επικαλυπτόμενων μπλοκ. Κάθε μπλοκ προβλέπεται έπειτα από μια διαδικασία ταιριάσματος με κάποιο από τα μπλοκ που βρίσκονται σε περιοχή γύρω από τη θέση του. Το κριτήριο ταιριάσματος είναι το άθροισμα απολύτων διαφορών (SAD). Επιλέγεται εκείνο το διάλυμα κίνησης για το οποίο το SAD ελαχιστοποιείται.

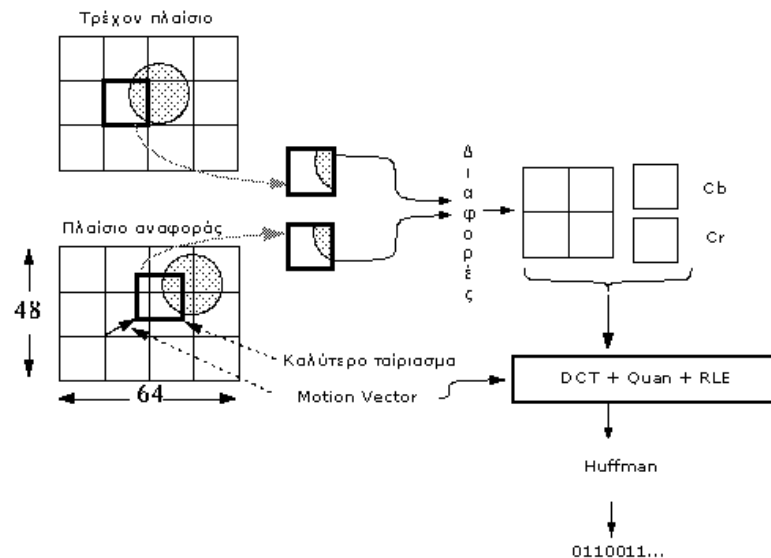


Σχήμα 10. Εκτίμηση Κίνησης

3.1.5 Τεχνικές αντιστάθμισης κίνησης (Motion Compensation)

Στο σημείο αυτό του κωδικοποιητή η ροή πλαισίων περιγράφεται ως μια σειρά ομοιοτήτων και διαφορών (Σχήμα 11) [32]. Πιο συγκεκριμένα, τα πλαίσια χωρίζονται σε ίσα τμήματα και δημιουργείται ένας πίνακας που περιέχει τα αμετάβλητα σημεία δύο

διαδοχικών πλαισίων και ένα διάνυσμα που περιέχει τις νέες θέσεις των σημείων που έχουν μετακινηθεί. Έτσι, το μόνο που χρειάζεται να αποσταλεί σε περίπτωση που έχει ήδη αποσταλεί ένα πλαίσιο είναι ένας πίνακας διανυσμάτων



Σχήμα 11. Αντιστάθμιση Κίνησης

3.1.6 Τεχνικές Κωδικοποίησης Εντροπίας

Η κωδικοποίηση εντροπίας μπορεί να θεωρηθεί σαν μια τεχνική συμπίεσης δεδομένων, αγνοώντας τη φύση των δεδομένων αυτών. Πιο συγκεκριμένα, επιδιώκεται ο περιορισμός επαναλαμβανόμενων ψηφίων. Για παράδειγμα, σε μια ροή bits, αντί 10 συνεχόμενων μηδενικών, εισάγεται ένας ειδικός χαρακτήρας για να προσδιορίζει τον χαρακτήρα και τον αριθμό επαναλήψεων του. Η κωδικοποίηση εντροπίας είναι ένα παράδειγμα κωδικοποίησης χωρίς απώλειες, καθώς η διαδικασία αποκωδικοποίησης αναδημιουργεί τα δεδομένα πλήρως. Η κωδικοποίηση σειρών μεγάλου μήκους (run-length) είναι ένα παράδειγμα κωδικοποίησης εντροπίας, η οποία χρησιμοποιείται για συμπίεση δεδομένων στα συστήματα αρχείων.

3.2 Πρότυπα Κωδικοποίησης

3.2.1 Πρότυπα Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης Προτύπων (ISO/IEC)

MPEG-1

Το MPEG-1 είναι το πρώτο από τα τρία πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί και αρχικά είχε ως σκοπό την συμπίεση μικρών βίντεο και την αποθήκευση τους πάνω σε CD. Είναι αρκετά γρήγορο χωρίς όμως να προσφέρει ικανοποιητική ποιότητα, ούτως ώστε να μπορεί να συναγωνιστεί τα υπόλοιπα. Οι απαιτήσεις του σε bandwidth είναι της τάξης του 1.5Mb/s.

MPEG-2

Το πρότυπο MPEG-2 υλοποιήθηκε το 1994 με σκοπό να καλύψει τις έως τότε αδυναμίες του MPEG-1, προκειμένου να μπορεί να υποστηρίξει τις ανάγκες της ψηφιακής τηλεόρασης. Απευθύνεται σε εφαρμογές με μεγάλες απαιτήσεις στην ποιότητα του βίντεο και ως εκ τούτου έχει αρκετά μεγάλες απαιτήσεις εύρους ζώνης της τάξης των 4 Mbps έως 6Mbps. Έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με το MPEG-1, όπως τη δυνατότητα ανάποδης κίνησης, γρήγορη αναζήτηση μπρος-πίσω και ανοχή σφαλμάτων. Λόγω όμως των υψηλών απαιτήσεων του τείνει να εγκαταλειφθεί.

MPEG-4

Τις υψηλές απαιτήσεις του MPEG-2 έχει ως στόχο να μειώσει το MPEG-4, το οποίο προορίζεται για εφαρμογές με πολύ μικρό διαθέσιμο bandwidth, πχ 4.8 Mbps έως 64Kbps, δηλαδή bandwidth όπου με τους παραδοσιακούς αλγόριθμους η αποστολή βίντεο είναι απαγορευτική. Το γεγονός αυτό το κάνει ιδανικό για εφαρμογές τηλεδιάσκεψης και τηλεκπαίδευσης, όπου οι χρόνοι απόκρισης παίζουν πολύ καθοριστικό ρόλο.

3.2.2 Πρότυπα Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών ITU

H.261

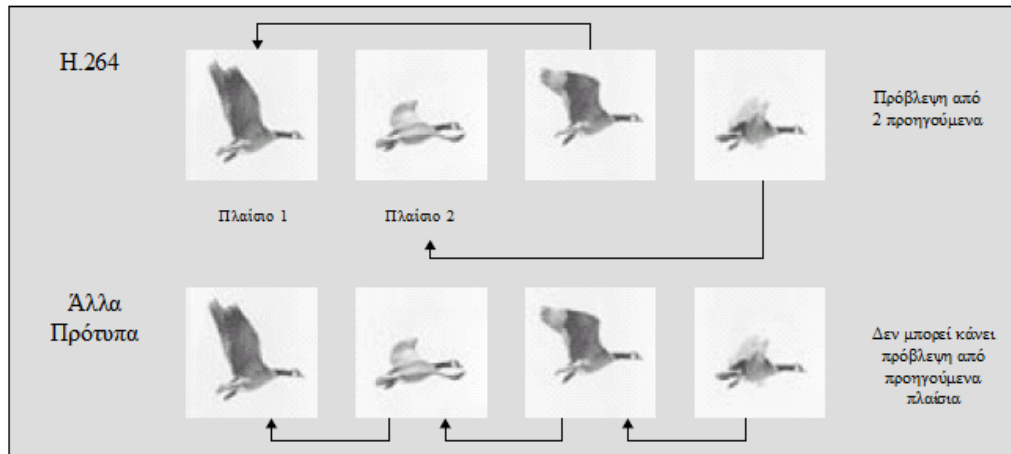
Είναι το πρότυπο που καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο η εικόνα συμπιέζεται και κωδικοποιείται για μετάδοση σε δίκτυα χαμηλών ταχυτήτων. Εφαρμόζει συμπίεση μετασχηματισμού DCT και αντιστάθμιση κίνησης. Χρησιμοποιείται κυρίως σε δίκτυα ISDN. Υποστηρίζει τα πρότυπα CIF και QCIF.

H.263

Αναπτύχθηκε το 1994 και αποτελεί την εξέλιξη του H.261. Το πλεονέκτημα του σε σχέση με το H.261 είναι η υποστήριξη για μικρότερα bit rates και η καλύτερη αξιοποίηση του bandwidth, παρέχοντας ταυτόχρονα μηχανισμούς ανάκτησης από λάθη (error recovery). Χρησιμοποιείται επίσης σε δίκτυα χαμηλών ταχυτήτων (64 – 128 Kbps).

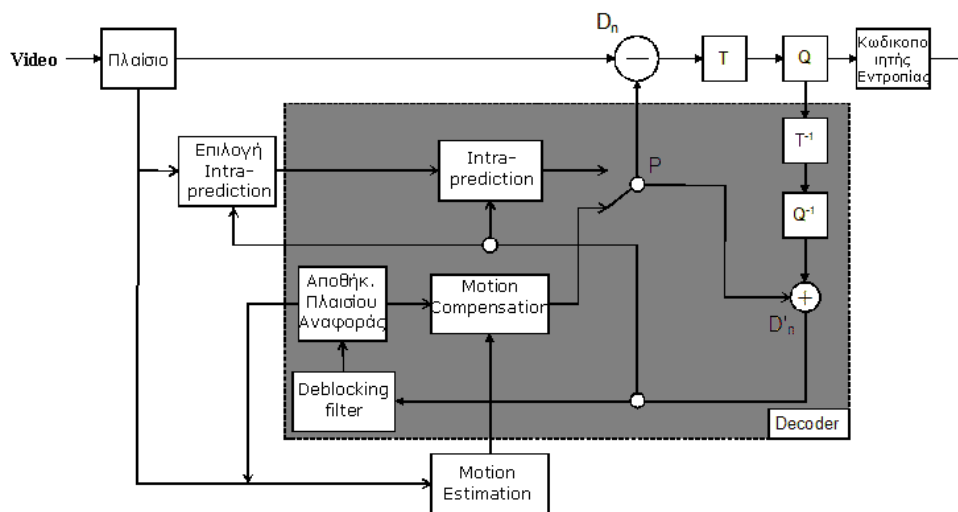
H.264

Αναπτύχθηκε για να αντικαταστήσει τα προηγούμενα πρότυπα με σκοπό την αύξηση της ποιότητας του παραγόμενου βίντεο σε χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης και είναι το πρότυπο το οποίο αναμένεται να κυριαρχήσει τα επόμενα χρόνια στον τομέα της κωδικοποίησης. Έχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα προηγούμενα πρότυπα. Τα κυριότερα από αυτά είναι οι αρκετά μεγαλύτεροι λόγοι συμπίεσης που επιτυγχάνει και η αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης 50-70% καλύτερα σε σχέση με το πρότυπο MPEG-2 και 40% σε σχέση με το H.263. Ο λόγος είναι ότι χρησιμοποιεί πολλαπλά πλαίσια αναφοράς για την πρόβλεψη κίνησης. Συγκεκριμένα, έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύει μέχρι και στα πέντε προηγούμενα πλαίσια, προκειμένου να επιλέξει ποιο από αυτά θα χρησιμοποιήσει στην πρόβλεψη. Το γεγονός αυτό αυξάνει σημαντικά την απόδοση της περιοδικής πρόβλεψης όπως φαίνεται στο Σχήμα 12.



Σχήμα 12. Περιοδική πρόβλεψη H.264

Επίσης, το πρωτόκολλο H.264 μας επιτρέπει μεγαλύτερο χρόνο καταγραφής, κατά συνέπεια μειώνει τις δαπάνες αποθήκευσης (HDD). Το μειονέκτημα του προτύπου σε σχέση με τα προηγούμενα είναι ο χρόνος ο οποίος χρειάζεται για την κωδικοποίηση. Η ροή δεδομένων στον κωδικοποιητή φαίνεται στο Σχήμα 13 [14].



Σχήμα 13. Κωδικοποιητής H.264

3.3 Ποιότητα συμπιεσμένου βίντεο

Η επιλογή των κατάλληλων τεχνικών προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητικός λόγος συμπίεσης δεν αρκεί για να ολοκληρώσει τη διαδικασία αποστολής. Εάν η ποιότητα του

τελικού βίντεο δεν είναι επαρκώς ικανοποιητική, ανάλογα με τις ανάγκες του παραλήπτη, οποιαδήποτε μέθοδος κωδικοποίησης και αν χρησιμοποιήσουμε, η προσπάθεια μας θεωρείται αποτυχημένη. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του συμπιεσμένου βίντεο και οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την κωδικοποίηση, είναι οι εξής:

- Χρωματική ανάλυση (Color Resolution): Αριθμός των χρωμάτων που εμφανίζονται ταυτόχρονα στην οθόνη. Κάθε χρώμα χωρίζεται σε τρεις διαφορετικές συνιστώσες, οι οποίες κωδικοποιούνται με ένα αριθμό bits. Ο αριθμός αυτός καθορίζει τη μέγιστη τιμή των διαφορετικών χρωμάτων που υποστηρίζονται από την συγκεκριμένη οθόνη.
- Spatial Resolution: Το μέγεθος σε pixels των πλαισίων που αποτελούν το video, και τα οποία καθορίζουν στην ουσία το μέγεθος της εικόνας.
- Bit Rate: Ο ρυθμός μετάδοσης του βίντεο, ο οποίος εξαρτάται από το διαθέσιμο εύρος ζώνης.
- Frame Rate: Είναι ο αριθμός των πλαισίων που εμφανίζονται στην οθόνη ανά δευτερόλεπτο, ούτως ώστε να μη γίνεται αντιληπτή η εναλλαγή εικόνων, δίνοντας την αίσθηση στο ανθρώπινο μάτι ότι παρακολουθεί μια συνεχή κίνηση.
- Compression ratio: Ο λόγος μεγέθους του παραγόμενου βίντεο προς το αρχικό, ο οποίος καθορίζει το ποσοστό μείωσης των δεδομένων. Σε περιπτώσεις μεγάλης συμπίεσης υπάρχουν αρκετές απώλειες στο παραγόμενο βίντεο και μειώνεται ταυτόχρονα το απαιτούμενο bandwidth κατά την αποστολή.

Κεφάλαιο 4

Υλοποίηση Εφαρμογής

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί γίνεται μια λεπτομερής αναφορά στο λογισμικό της εφαρμογής και τις βασικές λειτουργίες προκειμένου να γίνουν κατανοητά τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Παράλληλα, θα παρουσιαστούν τα εργαλεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες αυτής της διπλωματικής εργασίας, και τα οποία αποτελούν ελεύθερο λογισμικό (open source) και δεν υπόκεινται σε περιοριστικούς όρους χρήσης.

4.1 Εγκατάσταση

Για την εγκατάσταση της εφαρμογής χρειάζεται τα παρακάτω αρχεία να συμπεριληφθούν στον φάκελο στον οποίο περιέχεται το εκτελέσιμο αρχείο της εφαρμογής.

- Microsoft.VC80.CRT
- Msvcm80d.dll
- Msvcp80d.dll
- Msvcr80d.dll

4.2 FFMPEG

Για την κωδικοποίηση/αποκωδικοποίηση των πλαισίων χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο FFMPEG. Το FFMPEG είναι ένα ελεύθερο εργαλείο που προσφέρει ποικίλες επιλογές για πολλές μορφές αρχείων βίντεο και ήχου. Μπορεί να κωδικοποιήσει και να αποκωδικοποιήσει σχεδόν οποιοδήποτε τύπου αρχεία σε πολύ ικανοποιητικούς

χρόνους, προσφέροντας ταυτόχρονα αρκετά μεγάλους λόγους συμπίεσης. Είναι υλοποιημένο σε γλώσσα C. Στην ενότητα που ακολουθεί θα παρουσιαστούν οι κυριότερες λειτουργίες του εργαλείου. Εκτός από την κωδικοποίηση του βίντεο, ο FFMPEG προσφέρει και μια μεγάλη ποικιλία συναρτήσεων που δίνουν τη δυνατότητα αλλαγής του ρυθμού πλαισίων, του μεγέθους, της ανάλυσης των πλαισίων, της αποκοπής συγκεκριμένων σημείων που δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον για σκοπούς απόδοσης κτλ. Αυτές οι συναρτήσεις μπορούν να εφαρμοστούν είτε κατά την διάρκεια της κωδικοποίησης ή της αποκωδικοποίησης είτε ακόμη και αυτούσιες σε αρχεία όπου δεν επιθυμούμε να εφαρμόσουμε κωδικοποίηση.

Το FFMPEG περιέχει τις πιο κάτω βιβλιοθήκες [1]

- `libavcodec`: Περιέχονται όλες οι λειτουργίες κωδικοποίησης/ αποκωδικοποίησης βίντεο και audio.
- `libavformat`: Περιέχει λειτουργίες πολυπλεξίας.
- `libavutil`: Περιέχει χρήσιμα εργαλεία του FFMPEG.

4.2.1 Διεπαφές `libavcodec` και `libavformat`

Στην ενότητα αυτή ακολουθεί μια επεξήγηση των λειτουργιών των βασικών βιβλιοθηκών του `ffmpeg` [4]. Δεν συμπεριλαμβάνονται όλες οι λειτουργίες, αλλά οι πιο βασικές για κωδικοποίηση/ αποκωδικοποίηση βίντεο που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή.

- `Libavcodec`
 - ✓ `AvDnUtils.RegisterAll()`; - Αρχικοποιεί την `libavcodec` και `libavformat`.
 - ✓ `codecCtx.OpenDecoder()` - Αρχικοποιεί τον κωδικοποιητή.

- ✓ *img convert(AVPicture *dst, int dst pix fmt, const AVPicture*src, int src pix fmt, int src width, int src height)* - Μετατρέπει την εικόνα dst με διαστάσεις width×height σε src τύπου src pix fmt και διαστάσεις src width xsrc height.
 - ✓ *av_free(pFrameRGB)* - Αποδεσμεύει το πακέτο.
 - ✓ *codecCtx.Close();* - Αποδεσμεύει τον κωδικοποιητή. Πάντα επιστρέφει 0.
 - ✓ *codecCtx.DecodeΒίντεο(frame, packet, out frameFinished);* - Αποκωδικοποιεί ένα πλαίσιο και το αποτέλεσμα της αποκωδικοποίησης αποθηκεύεται στο packet το οποίο είναι μια δομή AvDnPacket.
- Libavformat
 - ✓ *formatCtx = new AvDnFormatContext(filename)* - Φορτώνει το αρχείο filename στην δομή VFormatContext.
 - ✓ *formatCtx.CloseInputFile()* - Κλείνει το αρχείο (όχι όμως τους codecs).
 - ✓ *formatCtx.FindStreamInfo()* - Διαβάζει το αρχείο εισόδου και επιστρέφει ακέραιο μεγαλύτερο του μηδέν εάν το αρχείο αυτό περιέχει ροή πλαισίων.
 - ✓ *formatCtx.ReadFrame(packet)* - Διαβάζει το επόμενο πλαίσιο μιας ροής. Το παραγόμενο πακέτο ισχύει μέχρι την επόμενη κλήση της εντολής ή το κλείσιμο του αρχείου εισόδου. Η αποδέσμευση του γίνεται με την εντολή *av_free(pFrameRGB)*.

4.2.2 Επιλογές γραμμής εντολών

Οι κύριες επιλογές της γραμμής εντολών του FFMPEG είναι οι εξής:

- -h: Εμφάνιση βοήθειας
- -i: Αρχείο εισόδου στο οποίο θα εφαρμοστεί η εντολή
- -g: GOP size
- -s: Μέγεθος πλαισίων
- -t: Καθορισμός ώρας εγγραφής
- -fs: Περιορισμός του μεγέθους του αρχείου εξόδου
- -target: Καθορισμός του τύπου αρχείου εισόδου
- -b: bitrate σε bit/s (προεπιλεγμένο = 200 kb/s)
- -vframes: Αριθμός πλαισίων που θα εγγραφούν
- -r: Πλαίσια ανά δευτερόλεπτο (προεπιλεγμένο = 25).

4.3 Κωδικοποιητής FFMPEG

Για να είναι δυνατή η αποστολή προεπεξεργασμένου βίντεο το πηγαίο αρχείο χρειάζεται να κωδικοποιηθεί με την αντίστοιχη μέθοδο με την οποία θα αποκωδικοποιηθεί στον παραλήπτη. Στη συγκεκριμένη οθόνη γίνεται κωδικοποίηση του πηγαίου αρχείου με την χρήση του FFMPEG, προκειμένου να είναι έτοιμο να αποσταλεί από την εφαρμογή προεπεξεργασμένου βίντεο. Δίνονται συγκεκριμένες επιλογές στο χρήστη για την κωδικοποίηση βίντεο, ούτως ώστε να γίνει πιο απλή η διαδικασία κωδικοποίησης με κάποιο γραφικό περιβάλλον και όχι με γραμμές εντολών, που εκτελείται ο FFMPEG. Απαραίτητα πεδία προκειμένου να εκτελεστεί η κωδικοποίηση είναι τα αρχεία εισόδου και εξόδου.

Η κωδικοποίηση είναι απαραίτητη πριν αρχίσει η διαδικασία αποστολής προς τον παραλήπτη. Ο λόγος είναι για να υπάρχει ταύτιση μεταξύ των παραγόντων που χρησιμοποιεί ο κωδικοποιητής και αυτών που χρησιμοποιεί ο αποκωδικοποιητής κατά την διάρκεια της αποκωδικοποίησης. Ο κυριότερος από αυτούς τους παράγοντες είναι το GOP. Εάν το κωδικοποιημένο αρχείο περιέχει λιγότερα πλαίσια αναφοράς από τον αριθμό των πλαισίων που αναμένει να λάβει ο παραλήπτης προτού αρχίσει την αποκωδικοποίηση ενός συνόλου πλαισίων, τότε η αποκωδικοποίηση θα αλλοιώσει το παραχθέν βίντεο, γιατί η πρόβλεψη των B και P πλαισίων θα αποτύχει, αφού θα απουσιάζουν από το σύνολο αυτό τα πλαίσια αναφοράς. Επίσης, ο καθορισμός του bitrate κατά την κωδικοποίηση βοηθά στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων κατά την αποκωδικοποίηση, αφού είναι γνωστός ο απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης του βίντεο χωρίς απώλειες. Έτσι, εάν ένα βίντεο κωδικοποιηθεί με ρυθμό μετάδοσης 200Kbps, ενώ το διαθέσιμο εύρος ζώνης είναι κατά πολύ μικρότερο, θα υπάρχει απώλεια πακέτων. Αντίστοιχα, εάν το διαθέσιμο εύρος ζώνης είναι κατά πολύ μεγαλύτερο του ρυθμού κωδικοποίησης, τότε δε γίνεται σωστή αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Για τους πιο πάνω λόγους, η διαδικασία κωδικοποίησης είναι απαραίτητο να γίνει με την αντίστοιχη μέθοδο αποκωδικοποίησης, δηλαδή τον FFMPEG, προκειμένου να γίνεται σωστή αξιοποίηση των πόρων αλλά και να αποφεύγονται λάθη.

Η γνώση των παραμέτρων κωδικοποίησης είναι πολύ σημαντική κατά τη διάρκεια αποστολής προεπεξεργασμένου βίντεο, καθώς ο παραλήπτης γνωρίζει εκ των προτέρων την ποιότητα των πλαισίων που θα λαμβάνει σε σχέση με το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Οι παράγοντες που ορίζονται κατά την κωδικοποίηση είναι οι εξής:

- Input - Αρχείο εισόδου (βίντεο format)
- Output - Παραγόμενο αρχείο(h264 format)
- Resolution - Μέγεθος πλαισίων
- Bit rate - Ρυθμός μετάδοσης

- Frame rate - Αριθμός πακέτων ανά δευτερόλεπτο
- GOP - Συχνότητα εμφάνισης πλαισίων αναφοράς
- B Frames - Αριθμός B Frames που θα εμφανίζονται σε κάθε GOP
- Crop - Αποκοπή βίντεο από τις 4 πλευρές για μείωση του μεγέθους.

Στο παράδειγμα που ακολουθεί φαίνεται η λειτουργία του κωδικοποιητή και περιγράφονται τα αποτελέσματα που εξάγονται προκειμένου να επαληθευθεί η ορθότητα τους σε σχέση με τα αναμενόμενα αποτελέσματα βάση των παραμέτρων εισόδου. Η κωδικοποίηση εφαρμόζεται σε κάποιο συγκεκριμένο ιατρικό βίντεο με τις παρακάτω παραμέτρους.

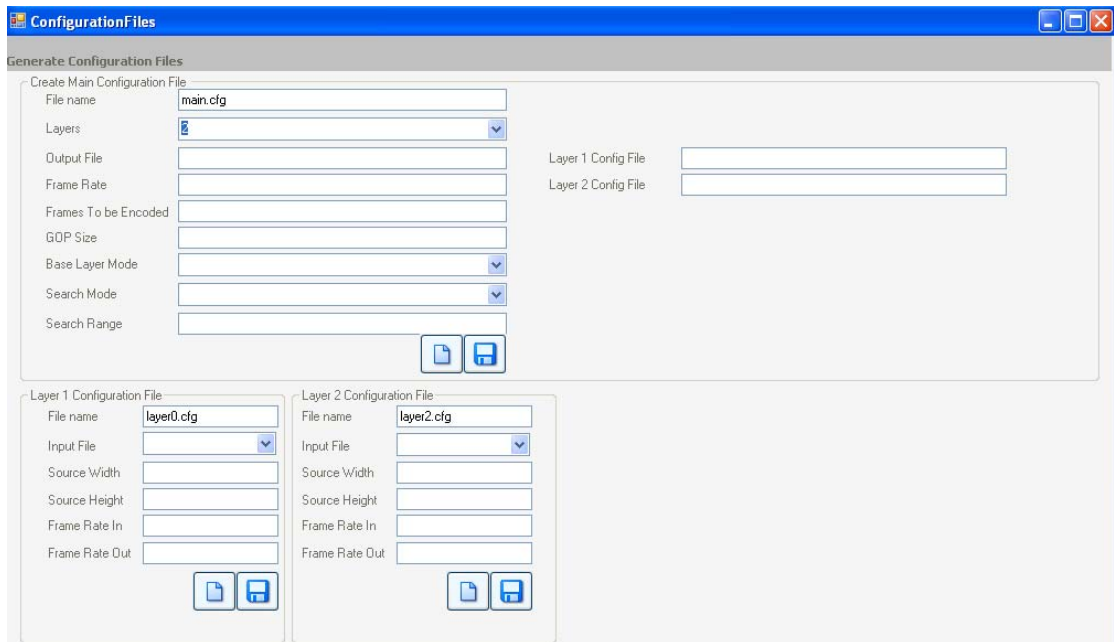
- Bit rate : 96Kbps
- Resolution : 176X144
- Frame rate : 15Hz
- GOP Size : 16.

Προκειμένου να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα του κωδικοποιητή εκτελούμε την κωδικοποίηση 3 φορές αλλάζοντας κάθε φορά τον αριθμό των B frames, 0,1 και 2.

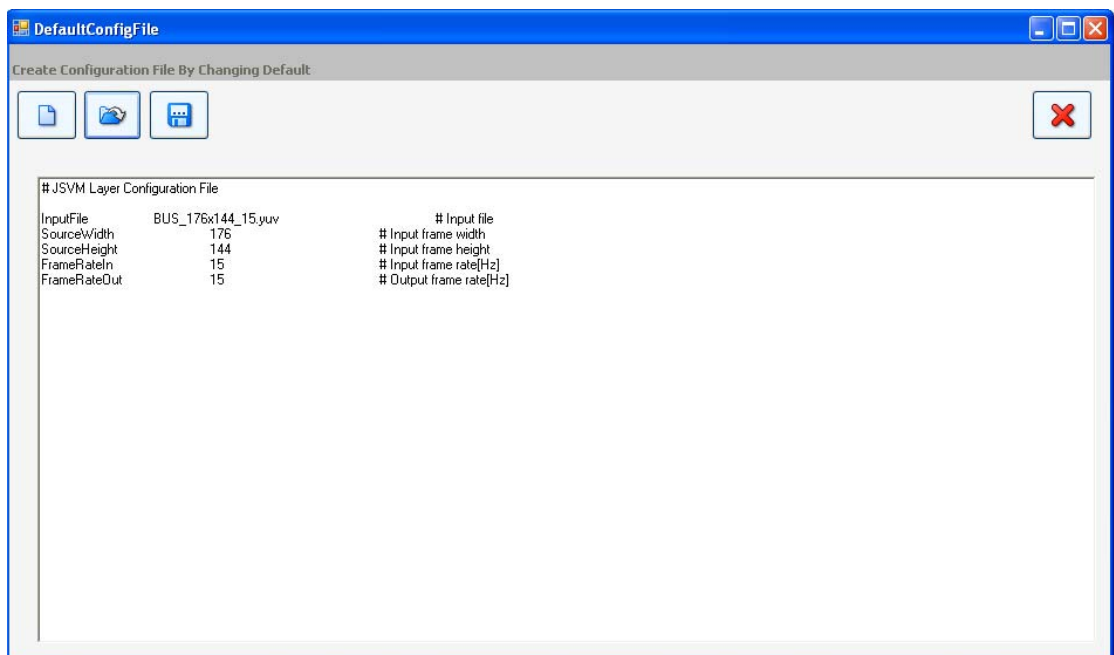
4.4 Κωδικοποιητής SVC

Αρχικά, μελετήθηκε η κλιμακοθετίσιμη κωδικοποίηση βίντεο (Scalable Video Coding), η οποία δίνει την δυνατότητα δημιουργίας πολλών αναπαραστάσεων του βίντεο με διαφορετική ποιότητα, ανάλυση και ρυθμό πλαισίων, αναλόγως της επεξεργαστικής και δικτυακής ισχύος των χρηστών. Η κωδικοποίηση περιλαμβάνει δύο στάδια, τη δημιουργία configuration files, τα οποία περιέχουν όλες τις λεπτομέρειες σχετικά με τα αρχεία που θα κωδικοποιηθούν, και την εκτέλεση της κωδικοποίησης, λαμβάνοντας σαν είσοδο τα πιο πάνω αρχεία. Ο αριθμός των αρχείων που παράγονται σχετίζεται με τον αριθμό των ροών που θα προκύψουν από την κωδικοποίηση.

Η δημιουργία των configuration files μπορεί να γίνει είτε επιλέγοντας τις παραμέτρους κωδικοποίησης του πηγαίου αρχείου και των αριθμό των παραγόμενων αρχείων (Σχήμα 12) είτε αλλάζοντας κάποιο ήδη υπάρχον αρχείο (Σχήμα 14). Το main configuration file περιέχει πληροφορίες σχετικές με το πηγαίο αρχείο ενώ τα layer configuration files τις παραμέτρους κάτω από τις οποίες θα εκτελεστεί κωδικοποίηση για καθεμία από τις παραγόμενες ροές.

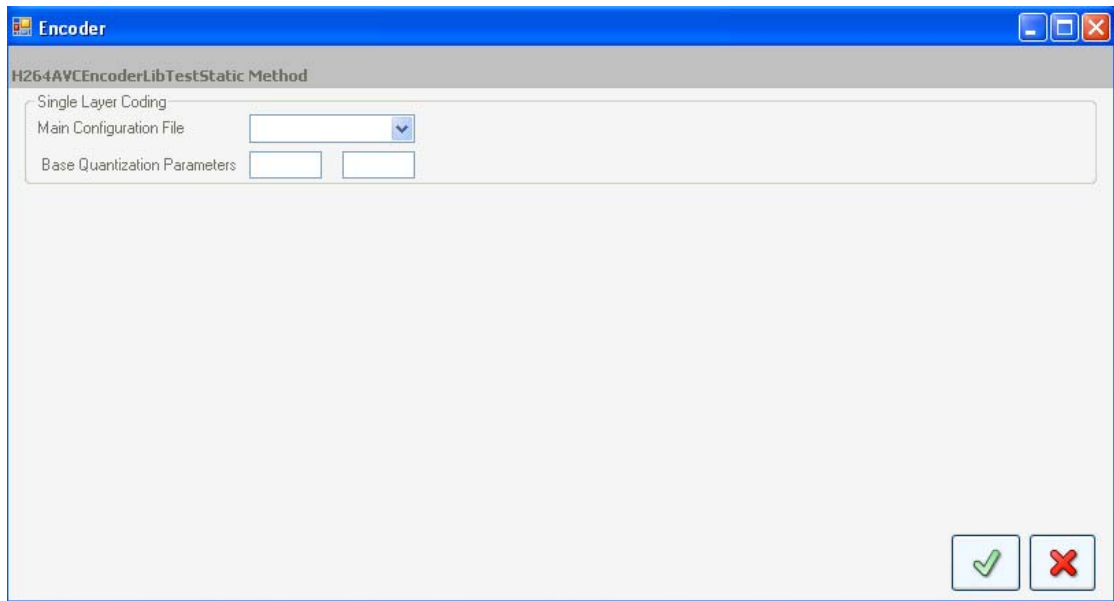


Σχήμα 14. Κωδικοποιητής SVC - Δημιουργία configuration files (1)



Σχήμα 15. Κωδικοποιητής SVC - Δημιουργία configuration files (2)

Η κωδικοποίηση περιλαμβάνει την εισαγωγή του main configuration file και τις τιμές που θα κυμανθεί η παράμετρος κβαντοποίησης των ρών εξόδου.



Σχήμα 16. Κωδικοποιητής SVC – Εκτέλεση κωδικοποίησης

Η πιο πάνω μέθοδος κωδικοποίησης δεν συμμετέχει στη διαδικασία αποστολής βίντεο που περιγράφεται στις επόμενες ενότητες. Το πρόβλημα προέκυψε στην αποκωδικοποίηση των πλαισίων στον τελικό χρήστη όπου δεν υπήρχε η δυνατότητα αποκωδικοποίησης κάθε πλαισίου ξεχωριστά. Ο παραλήπτης περιμένει τη λήψη ολόκληρου του κωδικοποιημένου αρχείου πριν αρχίσει τη διαδικασία αποκωδικοποίησης του, καθιστώντας το ανούσιο για real time εφαρμογές. Κωδικοποιητής και αποκωδικοποιητής SVC έχουν υλοποιηθεί και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για απλή μεταφορά συμπιεσμένου βίντεο.

4.5 Βιντεοτηλεδιάσκεψη (Video Conference)

Είναι η πρώτη από τις δύο βασικές λειτουργίες της εφαρμογής, η οποία δίνει σε κάθε χρήστη τη δυνατότητα να εκτελέσει κλήσεις (με φωνή και εικόνα) χρησιμοποιώντας τη camera του υπολογιστή του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η σύνδεση γίνεται με δύο μόνο υπολογιστές (point-to-point). Η συμμετοχή περισσότερων μερών (multi-point) απαιτεί

συνήθως και τη χρήση κάποιου ενδιάμεσου εξυπηρετητή στον οποίο συνδέονται οι χρήστες. Αρχικά ζητείται από το χρήστη να επιλέξει μια IP διεύθυνση με την οποία θα επικοινωνεί κατά τη διάρκεια της συνδιάλεξης. Τότε δημιουργείται μια RTP σύνδεση μεταξύ του χρήστη και του IP, το οποίο έχει επιλέξει. Συνολικά για την επικοινωνία 2 χρηστών με φωνή και εικόνα χρειάζονται να δημιουργηθούν 4 σύνοδοι RTP, δύο στον κάθε χρήστη (ένα για φωνή και ένα για εικόνα). Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει πολλαπλές συνδέσεις με οποιαδήποτε IP διεύθυνση. Μόλις εγκατασταθεί η σύνδεση, ο χρήστης μπορεί να στείλει πακέτα στον παραλήπτη. Η ανταλλαγή πακέτων μεταξύ των συνδιαλεγόμενων αρχίζει μόλις εγκατασταθεί η σύνδεση RTP Session. Τα πακέτα, τα οποία αποστέλλουν πριν να αρχίσουν την συνδιάλεξη, είναι κυρίως ελέγχου και μπορούν να ανιχνευθούν αφού είναι μικρά σε μέγεθος και παρατηρούνται μόλις γίνει εγκατάσταση σύνδεσης. Η σύνδεση παραμένει ενεργή σε κατάσταση αναμονής ορίζοντας τη συνάρτηση **FrameReceived** ως υπεύθυνη παραλαβής των πακέτων.

4.5.1 Αποστολέας

Στις εφαρμογές βίντεο τηλεδιάσκεψης, τα δεδομένα τα οποία αποστέλλονται, λαμβάνονται απευθείας από την camera. Η διαδικασία αυτή είναι σταθερή και επαναλαμβανόμενη. Για την συλλογή των πλαισίων χρησιμοποιείται ένα ρολόι το οποίο κάθε 50 ms λαμβάνει ένα πλαίσιο από την camera. Έτσι, δίνεται στο χρήστη η αίσθηση συνεχόμενης ροής πλαισίων. Το χρονικό διάστημα των 50 ms μπορεί να αλλάξει ανάλογα με τον χρόνο που χρειάζεται να κωδικοποιηθεί και να αποσταλεί το πλαίσιο στον παραλήπτη. Εάν ο χρόνος αυτός είναι μεγαλύτερος από αυτόν του timer, τότε θα υπάρχει απώλεια πακέτων. Όταν ολοκληρωθεί η επεξεργασία του πλαισίου από τον αποστολέα, αυτό κωδικοποιείται με την συνάρτηση **ConvertToH264** και αποστέλλεται μέσω RTP πακέτων στον παραλήπτη. Λόγω του ότι κάθε πλαίσιο θεωρείται ανεξάρτητο από τα προηγούμενα, εκτελείται Intra κωδικοποίηση, γεγονός που αυξάνει τον όγκο της πληροφορίας που περιέχεται στα πακέτα.

Σε αντίθεση με την αποστολή προεπεξεργασμένου βίντεο, όπου οι ρόλοι αποστολέα και παραλήπτη είναι ξεχωριστοί, στη βίντεοτηλεδιάσκεψη, ο αποστολέας είναι ταυτόχρονα και παραλήπτης πακέτων, άρα η κωδικοποίηση των σταλμένων πλαισίων ακολουθεί αποκωδικοποίηση κάποιων ληφθέντων, αυξάνοντας την ανάγκη συγχρονισμού των 2 λειτουργιών.

4.5.2 Παραλήπτης

Ο παραλήπτης έχοντας εγκαταστήσει μια σύνοδο RTP με τον αποστολέα, ενεργοποιεί την συνάρτηση **FrameReceived**, η οποία αναμένει την παραλαβή πακέτων. Η συνάρτηση αυτή λειτουργεί παράλληλα με όποιαδήποτε λειτουργία θελήσει να εκτελέσει ο παραλήπτης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια threads. Τα threads δίνουν τη δυνατότητα ταυτόχρονης εκτέλεσης εργασιών από τη ίδια μηχανή χωρίς να είναι καθορισμένη η σειρά εκτέλεσης τους. Όταν ληφθεί ένα πακέτο, αποκωδικοποιείται με την συνάρτηση **GetImageFromH264** και παρουσιάζεται στην οθόνη του παραλήπτη. Κάθε πακέτο που παραλαμβάνεται αποκωδικοποιείται ξεχωριστά από τα υπόλοιπα. Το τελικό βίντεο που λαμβάνεται είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από αυτό που παράγεται στο προεπεξεργασμένο βίντεο λόγω της ύπαρξης μόνο 1 πλαισίων, αυξάνοντας το απαιτούμενο εύρος ζώνης που απαιτείται.

4.6 Αποστολή προεπεξεργασμένου βίντεο

Στην περίπτωση της αποστολής προεπεξεργασμένου βίντεο, η βασική διαφορά με τη βίντεοτηλεδιάσκεψη είναι ο τρόπος με τον οποίο ομαδοποιούνται τα πλαίσια και όχι η διαδικασία κωδικοποίησης τους και αποκωδικοποίησης τους. Όμοια με την βίντεοτηλεδιάσκεψη, αρχικά δημιουργείται μια RTP σύνοδος για ανταλλαγή των δεδομένων, ενώ οι ρόλοι του αποστολέα και του παραλήπτη είναι μοναδικοί και καθορισμένοι πριν αρχίσει η διαδικασία αποστολής. Μπορούν βέβαια και οι δύο να δρουν

ως αποστολές ή ως παραλήπτες με βασική όμως προϋπόθεση την ολοκλήρωση της αποστολής ολόκληρου του βίντεο πριν αρχίσει η επόμενη.

4.6.1 Αποστολέας

Αρχικά, επιλέγεται το ήδη κωδικοποιημένο βίντεο το οποίο θα αποσταλεί. Το βίντεο θα πρέπει να είναι σε μορφή H.264 για να μπορεί να αποκωδικοποιηθεί από τον παραλήπτη. Η διαδικασία κωδικοποίησης παραβλέπεται στο στάδιο αυτό αφού θεωρείται ότι έχει ήδη γίνει από τον αποστολέα. Η γνώση όμως των παραμέτρων κωδικοποίησης του προεπεξεργασμένου βίντεο είναι αναγκαία για τον καθορισμό της καθυστέρησης μεταξύ των πακέτων όπως θα δούμε στη συνέχεια. Όταν επιλεγθεί το προς αποστολή αρχείο, αρχίζει η σάρωση του με σκοπό αυτό να διασπαστεί σε RTP πακέτα. Οι λόγοι συμπίεσης που επιτυγχάνονται στην περίπτωση αυτή είναι αρκετά μεγαλύτεροι, γιατί τα RTP πακέτα περιέχουν μόνο μερικά πλαίσια αναφοράς (I frames) ενώ τα υπόλοιπα είναι μόνο P και B, των οποίων το μέγεθος των πακέτων είναι αρκετά μικρότερο σε σχέση με την εφαρμογή βίντεοτηλεδιάσκεψης, όπου αποστέλλονται μόνο I frames.

Κάθε πακέτο περιέχει ένα μόνο πλαίσιο. Έτσι μειώνεται σημαντικά η συμφόρηση του δικτύου δίνοντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα χειρισμού λαθών που πιθανόν να προκύψουν. Πιο συγκεκριμένα, σε περίπτωση απώλειας κάποιου πακέτου λόγω σφάλματος στο δίκτυο, χάνεται μόνο ένα πλαίσιο, κάτι που δεν επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα του τελικού αποτελέσματος. Ενδιάμεσα της αποστολής των πλαισίων εισάγεται κάποια μικρή καθυστέρηση, ούτως ώστε να προλάβει το προηγούμενο πακέτο που έχει αποσταλεί να παραληφθεί από τον παραλήπτη. Η καθυστέρηση αυτή εξαρτάται κυρίως από το διαθέσιμο εύρος ζώνης του δικτύου, αλλά και τον χρόνο που χρειάζεται ο παραλήπτης να αποκωδικοποιήσει ένα set από πλαίσια. Σε αντίθετη περίπτωση, η αποστολή είναι γρηγορότερη με κίνδυνο όμως να υπάρχει απώλεια πακέτων.

Τα μέσα τα οποία αναλαμβάνουν την μετάδοση των πακέτων εισάγουν καθυστερήσεις κυρίως λόγω φυσικής φθοράς αλλά και παρεμβολής εξωγενών παραγόντων (καιρικές συνθήκες, συμφόρηση δικτύου κτλ.). Σαν καθυστέρηση ορίζουμε το χρόνο που χρειάζεται ένα πακέτο να μεταδοθεί, από τη στιγμή που επιλέγεται από τον αποστολέα μέχρι τη στιγμή που εξέρχεται του συστήματος από την οθόνη του δέκτη. Υπάρχουν τρεις τύποι καθυστέρησης.

- *Καθυστέρηση διάδοσης.* Προκαλείται από το μέσον διάδοσης (καιρικές συνθήκες, συμφόρηση δικτύου).
- *Καθυστέρηση επεξεργασίας.* Υπεισέρχεται από τα στάδια επεξεργασίας του βίντεο (συμπύεση, κβαντοποίηση, ενθυλάκωση σε πακέτα).
- *Καθυστέρηση δρομολόγησης.* Προκαλείται από τους δρομολογητές ενός δικτύου για να προωθήσουν τα πακέτα, από τη διεπαφή εισόδου στη διεπαφή εξόδου.

Ο άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη διαδικασία είναι το **Jitter**, το οποίο είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ της παραλαβής διαδοχικών πακέτων στον παραλήπτη. Ο διαχωρισμός του βίντεο σε πακέτα γίνεται στον αποστολέα και εάν λάβουμε υπόψη ότι το μέγεθος των πακέτων ποικίλει (I, P και B πακέτα), τότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ο χρόνος που χρειάζεται να περιμένει ο δέκτης μέχρι την παραλαβή του επόμενου πακέτου δεν είναι γνωστός από τα προηγούμενα.

Για να αντιμετωπίσουμε τα δύο αυτά προβλήματα και να επιτύχουμε την αποστολή του βίντεο με όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες, εισάγαμε στην εφαρμογή μεταβλητή καθυστέρηση μεταξύ διαδοχικών πακέτων, προκειμένου να ολοκληρώνεται η παραλαβή των πακέτων προτού αρχίσει η αποστολή των επόμενων. Η μεταβλητή αυτή μπορεί να αλλάζει από τον αποστολέα πριν αρχίσει η διαδικασία αποστολής ανάλογα με τα

χαρακτηριστικά του δικτύου. Σε τοπικά δίκτυα με μεγάλο εύρος ζώνης, η καθυστέρηση μπορεί να είναι μικρή, αφού η καθυστέρηση διάδοσης είναι αρκετά χαμηλή. Αντίθετα, σε περιοχές με χαμηλό εύρος ζώνης χρειάζεται μεγαλύτερη καθυστέρηση. Επίσης, εκτός από το διαθέσιμο εύρος ζώνης, τα χαρακτηριστικά του βίντεο καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την καθυστέρηση μεταξύ των πακέτων. Ο λόγος είναι η καθυστέρηση επεξεργασίας που εισάγουν βίντεο με υψηλή ανάλυση, αφού η κωδικοποίηση/αποκωδικοποίηση τους είναι αρκετά χρονοβόρα σε σχέση με βίντεο χαμηλής ανάλυσης. Ως εκ τούτου και η επεξεργαστική ισχύς των εμπλεκόμενων μπορεί να μειώσει τις καθυστερήσεις καταναλώνοντας μικρότερο χρόνο κατά την επεξεργασία.

4.6.2 Παραλήπτης

Ο παραλήπτης λαμβάνει πακέτα τα οποία αποθηκεύει προσωρινά σε κάποιο buffer. Η διαδικασία αποκωδικοποίησης δεν γίνεται ανά πακέτο. Δεν μπορεί να ανασκευαστεί το βίντεο σε κάθε πακέτο που παραλαμβάνεται, γιατί σε αντίθεση με τη βίντεοτηλεδιάσκεψη, τα πλαίσια που αποστέλλονται δεν περιέχουν ολόκληρη την πληροφορία που χρειάζεται για να ανακατασκευαστούν αυτούσια. Άρα, ο αριθμός των πακέτων που πρέπει να αποκωδικοποιηθούν μαζί, θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με το GOP προκειμένου κάθε set πλαισίων να περιέχει τουλάχιστον ένα πλαίσιο αναφοράς. Ο αριθμός αυτός είναι ανάλογος με το GOP του κωδικοποιημένου βίντεο. Άρα, κατά τη διαδικασία κωδικοποίησης θα πρέπει να ορίζεται το GOP και αυτό να είναι γνωστό στον παραλήπτη.

Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία παραλαβής ενός set πακέτων, αποκωδικοποιείται με τη συνάρτηση ***GetImageFromH264***.

4.7 Αποκωδικοποίηση πλαισίων

Η αποκωδικοποίηση των πλαισίων, όπως αναφέρθηκε προηγουμένα, γίνεται στον παραλήπτη με τη βοήθεια των διεπαφών που προσφέρει ο `ffmpeg`. Πρώτα, αρχικοποιούνται οι βιβλιοθήκες του `ffmpeg` με τη μέθοδο

```
AvDnUtils.RegisterAll();
```

Η κλάση ***AvDnUtils*** περιέχει όλες τις απαραίτητες μεθόδους κωδικοποίησης με την χρήση του `ffmpeg`. Όταν ολοκληρωθεί η λήψη ικανοποιητικού αριθμού πακέτων, ο παραλήπτης αρχίζει τη διαδικασία αποκωδικοποίησης και παραγωγής του ληφθέντος αρχείου υπό την μορφή `jpeg` εικόνων. Όταν αρχικοποιηθούν οι βιβλιοθήκες του `ffmpeg`, είμαστε σε θέση να σαρώσουμε το ληφθέν αρχείο. Διαβάζουμε ένα προς ένα τα πλαίσια που περιέχονται στο αρχείο και εφαρμόζουμε αποκωδικοποίηση `ffmpeg`.

```
codecCtx.DecodeBίντεο(frame, packet, out frameFinished);
```

Η αποκωδικοποίηση έχει ως αποτέλεσμα να πάρουμε το πλαίσιο στην αρχική του μορφή και ως εκούτου με την εντολή `convert` μετατρέπεται σε `RGB24`.

```
frameRGB.Convert(Av.PIX_FMT_RGB24, frame, pixFmt, width, height);
```

Τέλος, το παραχθέν πλαίσιο αποθηκεύεται προσωρινά στον παραλήπτη και εμφανίζεται στην οθόνη.

Κεφάλαιο 5

Μεθοδολογία

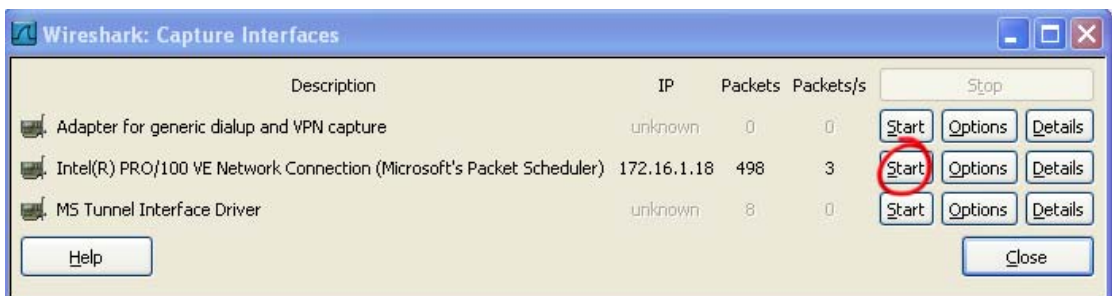
5.1 Παρακολούθηση κίνησης πακέτων

Πριν αρχίσουμε να αναλύουμε την πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, παραθέτουμε μια σύντομη αναφορά στο εργαλείο, που χρησιμοποιήθηκε για την παρακολούθηση των πακέτων, το Ethereal, που πλέον είναι γνωστό ως Wireshark. Το Wireshark είναι ένα πρόγραμμα που καταγράφει κάθε πλαίσιο που φτάνει στην κάρτα δικτύου μας, χωρίς να παρεμβαίνει στη ροή των δεδομένων.

Κάθε τερματικό, το οποίο βρίσκεται συνδεδεμένο σε κάποιο δίκτυο, λαμβάνει πληθώρα πακέτων, είτε από τον κεντρικό εξυπηρετητή του δικτύου (συνήθως πακέτα επιβεβαίωσης), είτε από άλλα τερματικά τα οποία είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο. Για να απομονώσουμε την παρακολούθηση των πακέτων ανάμεσα στους εμπλεκόμενους της εφαρμογής, επιλέγουμε τις διεπαφές που μας ενδιαφέρουν. Αρχικά επιλέγονται οι διεπαφές του δικτύου που θα συμμετέχουν στην καταγραφή των πακέτων (Σχήμα 17,18).

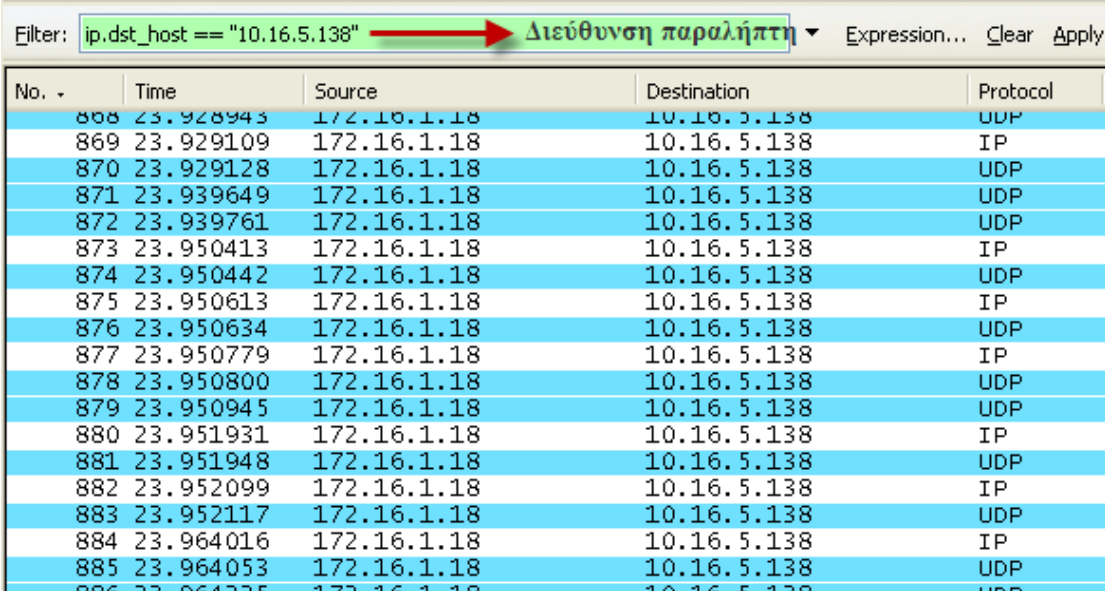


Σχήμα 17.Επιλογή διεπαφών Wireshark



Σχήμα 18.Εκκίνηση διαπεφών Wireshark

Ξεκινώντας την καταγραφή των πακέτων, αρχίζουν να εμφανίζονται τα πακέτα που ανταλλάσσονται μεταξύ των διαπεφών που έχουν επιλεγεί προς παρακολούθηση. Για την απομόνωση των πακέτων μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη εισάγουμε το κριτήριο φιλτραρίσματος, το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 19. Στην προκειμένη περίπτωση θέλουμε να παρακολουθήσουμε τη ροή των πακέτων στη διεύθυνση 10.16.5.138, όπου πρόκειται να αποστείλουμε το βίντεο.

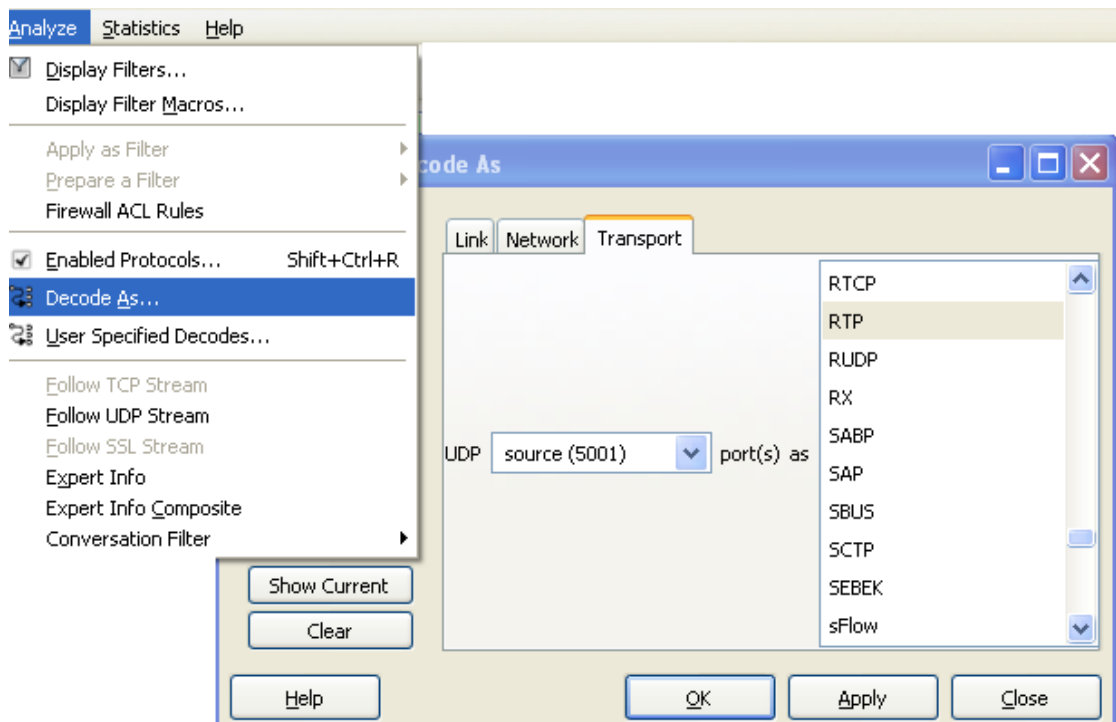


The screenshot shows the Wireshark interface with a filter applied to the packet list. The filter is 'ip.dst_host == "10.16.5.138"'. A red arrow points from the filter text to the 'Destination' column of the packet list. The packet list contains 20 entries, all with source IP 172.16.1.18 and destination IP 10.16.5.138. The protocols are alternating between UDP and IP.

No.	Time	Source	Destination	Protocol
868	23.928943	172.16.1.18	10.16.5.138	UDP
869	23.929109	172.16.1.18	10.16.5.138	IP
870	23.929128	172.16.1.18	10.16.5.138	UDP
871	23.939649	172.16.1.18	10.16.5.138	UDP
872	23.939761	172.16.1.18	10.16.5.138	UDP
873	23.950413	172.16.1.18	10.16.5.138	IP
874	23.950442	172.16.1.18	10.16.5.138	UDP
875	23.950613	172.16.1.18	10.16.5.138	IP
876	23.950634	172.16.1.18	10.16.5.138	UDP
877	23.950779	172.16.1.18	10.16.5.138	IP
878	23.950800	172.16.1.18	10.16.5.138	UDP
879	23.950945	172.16.1.18	10.16.5.138	UDP
880	23.951931	172.16.1.18	10.16.5.138	IP
881	23.951948	172.16.1.18	10.16.5.138	UDP
882	23.952099	172.16.1.18	10.16.5.138	IP
883	23.952117	172.16.1.18	10.16.5.138	UDP
884	23.964016	172.16.1.18	10.16.5.138	IP
885	23.964053	172.16.1.18	10.16.5.138	UDP

Σχήμα 19.Καταγραφή πακέτων Wireshark

Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 19, η λίστα περιέχει όλα τα πακέτα που αποστέλλονται, χωρίς να μπορούν να απομονωθούν τα πακέτα δεδομένων τα οποία θέλουμε να μελετήσουμε. Σε αυτό το σημείο επιλέγουμε να αναλύσουμε τα πακέτα, τα οποία αποκωδικοποιήθηκαν ως RTP (Σχήμα 20), έχοντας την τελική λίστα με τα πακέτα δεδομένων(Σχήμα 21).



Σχήμα 20. Απομόνωση RTP πακέτων στο Wireshark

Filter: `ip.dst_host == "10.16.5.138" && rtp` Expression... Clear Apply

No. ↓	Time	Source	Destination	Protocol
67	5.952431	172.16.1.18	10.16.5.138	RTP
174	17.951186	172.16.1.18	10.16.5.138	RTP
187	20.373229	172.16.1.18	10.16.5.138	RTP
936	25.913306	172.16.1.18	10.16.5.138	RTP
999	31.126247	172.16.1.18	10.16.5.138	RTP
1060	35.804899	172.16.1.18	10.16.5.138	RTP
1108	41.212240	172.16.1.18	10.16.5.138	RTP
1169	47.327389	172.16.1.18	10.16.5.138	RTP
1199	51.352176	172.16.1.18	10.16.5.138	RTP
1250	57.219985	172.16.1.18	10.16.5.138	RTP
1335	63.136952	172.16.1.18	10.16.5.138	RTP
1380	67.774651	172.16.1.18	10.16.5.138	RTP
1454	72.617463	172.16.1.18	10.16.5.138	RTP
1475	75.736600	172.16.1.18	10.16.5.138	RTP
1505	78.773726	172.16.1.18	10.16.5.138	RTP
1507	78.976312	172.16.1.18	10.16.5.138	RTP

Σχήμα 21. Λίστα RTP πακέτων στο Wireshark

5.2 Χρήση τηλεπικοινωνιακών συστημάτων 3^{ης} γενιάς

Τα ασύρματα τηλεπικοινωνιακά συστήματα 3^{ης} γενιάς (3G) παρέχουν αρκετά αυξημένες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και σημαντικά αυξημένη ευελιξία παροχής μεγάλου αριθμού υπηρεσιών στον ασύρματο χρήστη, παρά το υψηλό κόστος χρήσης τους. Η βασική αρχή, στην οποία στηρίζονται τα συστήματα αυτά, είναι αυτή του συντεταγμένου συστήματος (coordinate system). Με βάση αυτή την αρχή, οι υπηρεσίες παρέχονται με ενσύρματο, επίγειο ασύρματο ή δορυφορικό μέσο, παρέχοντας κάλυψη σε απομακρυσμένα σημεία, όπου τα συστήματα 2^{ης} γενιάς αδυνατούν να προσφέρουν στους χρήστες.

Κατά τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων, ένα από τα σενάρια που εξετάζονται και ίσως το πλέον ενδιαφέρον, είναι η αποστολή από ασύρματο δίκτυο 3^{ης} γενιάς του οποίου οι ταχύτητες φτάνουν τα 384Kbps.

5.3 Περιορισμοί

Κατά την διάρκεια της έρευνάς μας πριν την υλοποίηση της εφαρμογής επιχειρήσαμε να χρησιμοποιήσουμε μερικά open source εργαλεία, τα οποία θα μπορούσαν να προσθέσουν ευελιξία και επιπλέον δυνατότητες στην εφαρμογή. Ένα από αυτά ήταν ο Darwin Streaming Server, ο οποίος δίνει την δυνατότητα στο διαχειριστή να φορτώνει βίντεο σε έναν κεντρικό εξυπηρετητή, προκειμένου αυτά να είναι διαθέσιμα στους χρήστες μέσω κάποιου εξυπηρετητή ιστού. Ο βασικός περιορισμός, ο οποίος υπήρχε στον DSS ήταν το περιβάλλον (Unix) αλλά και η γλώσσα υλοποίησης του (Pure C), καθώς επίσης και η αδυναμία παρακολούθησης της διαδικασίας αποστολής/ λήψης των πακέτων. Το ληφθέν αρχείο στον DSS δεν μπορούσε να παραληφθεί αυτούσιο από τον χρήστη, ούτως ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για την ποιότητα του. Τέλος, δεν υπήρχαν διαθέσιμες βιβλιοθήκες σε γλώσσα υψηλού επιπέδου, ούτως ώστε να υλοποιηθεί σε περιβάλλον .NET.

5.4 Πειραματική διαδικασία

Για την πραγματοποίηση των πειραματικών μετρήσεων που ακολουθούν χρησιμοποιήθηκε ιατρικό βίντεο 560X438 όπως αυτό λήφθηκε από ultra sound του γενικού νοσοκομείου Λευκωσίας. Η εξέταση του ίδιου βίντεο σε όλα τα σενάρια που εξετάζονται, δίνει τη δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων που αφορούν τις ιδιαιτερότητες της μεθόδου κωδικοποίησης και της συμπεριφοράς των πακέτων σε διαφορετικές δικτυακές συνθήκες.

Η κωδικοποίηση του βίντεο έγινε με σταθερό ρυθμό ανανέωσης 25 Hz και συχνότητα εμφάνισης πλαισίων αναφοράς (GOP) 16. Στα σενάρια που ακολουθούν, τα κωδικοποιημένα βίντεο αποστέλλονται στον παραλήπτη αφού πρώτα διασπαστούν σε πλαίσια εξασφαλίζοντας την σωστή σειρά αποστολής αλλά και το γεγονός ότι κάθε πακέτο αποστέλλεται μόνο μια φορά. Παράλληλα, η σειρά παραλαβής θα είναι η ίδια με την σειρά αποστολής σε περίπτωση απουσίας σφαλμάτων. Εάν όλα τα πακέτα παραληφθούν με την ίδια σειρά αποστολής, τότε θεωρούμε ότι το βίντεο έχει παραδοθεί χωρίς σφάλματα. Εάν όμως ο αποστολέας στέλνει σε ρυθμούς μεγαλύτερους από αυτούς που μπορεί να παραλάβει ο δέκτης, τότε θα υπάρχει απώλεια πακέτων και αλλοίωση του βίντεο. Σκοπός των παρακάτω μετρήσεων είναι η ελαχιστοποίηση της απώλειας σε σχέση με την καθυστέρηση που εισάγει ο αποστολέας σε κάθε πακέτο που προωθεί. Οι παράγοντες που εξετάζονται είναι η ταχύτητα παραλήπτη/αποστολέα (Sender Upload Speed/Receiver Download Speed), η καθυστέρηση που εισάγεται μεταξύ των πλαισίων, καθώς και ο αριθμός των B πλαισίων που αποτελούν το βίντεο. Το όριο ανοχής σφάλματος προκειμένου το βίντεο να είναι ικανοποιητικό για εξαγωγή διάγνωσης, έχει οριστεί σύμφωνα με μετρήσεις σε 15%. Σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται καλύτερη ποιότητα το όριο μπορεί να μειωθεί με κόστος βέβαια την εισαγωγή επιπλέον καθυστέρησης διάδοσης.

Κεφάλαιο 6

Αποτελέσματα και πειραματικές μετρήσεις

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια λεπτομερής περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας μέσω ενός συνόλου σεναρίων που αρκούν για να αποδώσουν τις περισσότερες πιθανές συνθήκες χρήσης της εφαρμογής με διαφορετική δικτυακή κάλυψη. Σκοπός είναι να καθοριστούν εκείνοι οι παράγοντες, οι οποίοι καθιστούν δυνατή την επικοινωνία σε κάθε περίπτωση, αξιοποιώντας ταυτόχρονα τους διαθέσιμους δικτυακούς πόρους και επιτυγχάνοντας παράλληλα υψηλή ποιότητα λήψης. Τα σενάρια τα οποία επιλέχθηκαν καλύπτουν κατά ένα μεγάλο ποσοστό τις περιπτώσεις τηλεδιάσκεψης στον τομέα της ιατρικής, κάτι που καθιστά την εφαρμογή εύχρηστη σε πραγματικές συνθήκες με δικτυακές ταχύτητες, οι οποίες επικρατούν στην Κύπρο κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

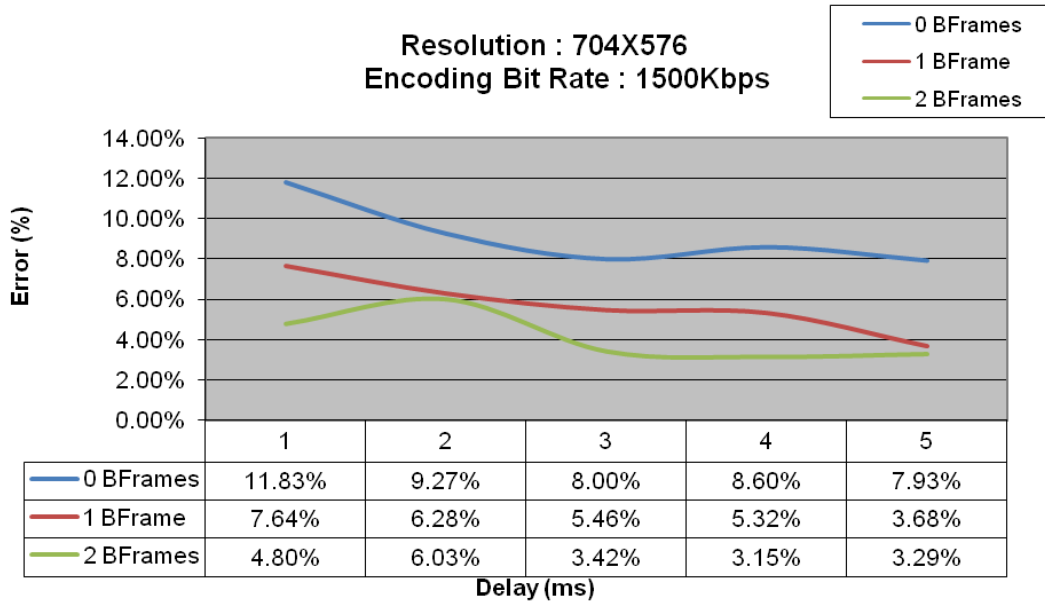
6.1 Σενάριο 1

Στο πρώτο σύνολο πειραμάτων χρησιμοποιήσαμε ένα ασύρματο φορητό υπολογιστή (PCW1), ο οποίος λαμβάνει μια σειρά κωδικοποιημένων ροών από ένα ενσύρματο σταθερό υπολογιστή (PCL1) στο ίδιο δίκτυο πολύ υψηλών ταχυτήτων. Λόγω του υψηλού εύρους ζώνης του δικτύου που έγιναν οι μετρήσεις, οι απώλειες πακέτων είναι ελάχιστες για βίντεο μικρής ανάλυσης (QCIF,CIF) και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούμε κατά κύριο λόγο βίντεο με αρκετά υψηλή ανάλυση κωδικοποιημένα σε μεγάλο εύρος ζώνης.

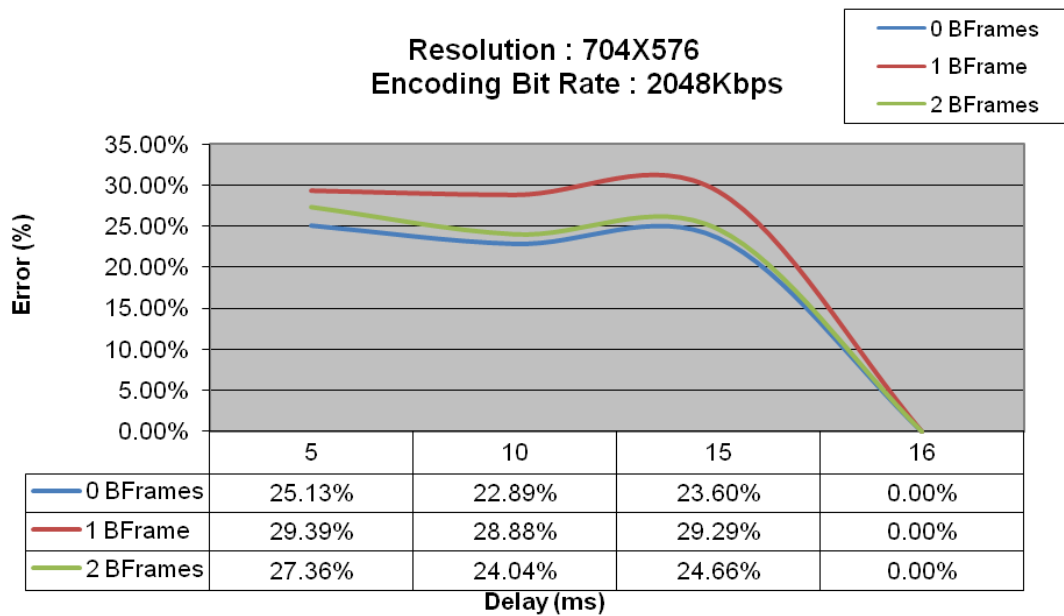
SEQUENCE INFORMATION	
Image format	4CIF(704X576)
B Frames	0,1,2
GOP	16
Bitrate	1500Kbps , 2048Kbps

QP Range	1-51
Frame rate	25
NETWORK PARAMETERS	
Sender Upload	3000Kbps
Receiver Download	1700Kbps

Πίνακας 1. Σενάριο 1 – 704X576



Σχήμα 22. Αποτελέσματα Σεναρίου 1 - 704X576 - Bit rate 2048Kbps



Σχήμα 23. Αποτελέσματα Σεναρίου 1 - 704X576 - Bit rate 2048Kbps

Οι πρώτες μετρήσεις του σεναρίου αφορούν κωδικοποιημένο βίντεο σε 1500Kbps ανάλυσης 704X576. Όπως παρατηρούμε από το Σχήμα 22, το σφάλμα που προκύπτει

εισάγοντας πολύ μικρές καθυστερήσεις μεταξύ των πλαισίων βρίσκεται εντός του ορισθέντος ορίου ανοχής σφάλματος. Ταυτόχρονα η εισαγωγή Β πλαισίων, όπως είναι φυσικό, μειώνει το ποσοστό σφάλματος αφού εξ ορισμού τα Β πλαίσια δε λαμβάνουν μέρος στην πρόβλεψη, έτσι, σε περίπτωση σφάλματος κάποιου Β πλαισίου, δεν επηρεάζεται η πρόβλεψη των υπολοίπων. Παρατηρώντας τη γραφική παράσταση του Σχήματος 22, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι με τις διαδικτυακές ταχύτητες που ισχύουν στα σημεία των μετρήσεων και με κωδικοποίηση των ροών σε ρυθμό 1500Kbps, οι απώλειες δεν ξεπερνούν τα όρια που θέσαμε προκειμένου να παραδοθεί το βίντεο σε μορφή που να είναι εφικτή η πραγματοποίηση διάγνωσης.

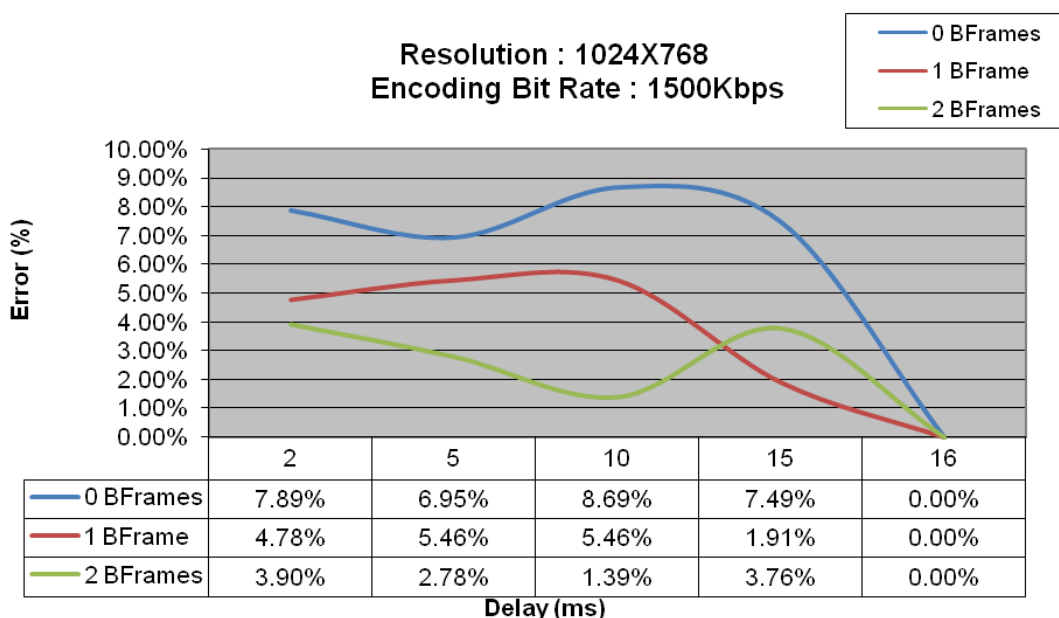
Στο δεύτερο σύνολο μετρήσεων αυξάνουμε το ρυθμό μετάδοσης του κωδικοποιημένου βίντεο από 1500 σε 2048Kbps. Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 23, το ποσοστό σφάλματος αυξάνεται δραματικά, έστω και εάν εισάγουμε περισσότερη καθυστέρηση μεταξύ των πλαισίων. Ο λόγος είναι ότι η κωδικοποίηση έχει γίνει σε ρυθμούς μεγαλύτερους από το διαθέσιμο εύρος ζώνης του παραλήπτη. Παρατηρούμε ότι στα 16ms καθυστέρηση, το σφάλμα μηδενίζεται γιατί προφανώς τόσος είναι ο χρόνος ο οποίος χρειάζεται για την παραλαβή, αποκωδικοποίηση και παρουσίαση κάθε πλαισίου.

Αν παρατηρήσουμε τα αποτελέσματα του Σχήματος 23 διαπιστώνουμε ότι ενώ αναμέναμε, με την αύξηση της χρονικής καθυστέρησης μεταξύ των πλαισίων από 5ms σε 10ms, να μειωθεί το σφάλμα, αυτό αυξάνεται. Αυτό συμβαίνει γιατί ανάλογα με το είδος του πλαισίου που χάνεται, το ποσοστό σφάλματος που αυτό εισάγει, διαφέρει. Αν, για παράδειγμα, χαθεί κάποιο Β πλαίσιο, τότε δεν εισάγεται επιπλέον ποσοστό στα επόμενα πλαίσια, αφού δεν συμμετέχει σε πιθανές προβλέψεις επόμενων πλαισίων. Αντίθετα, αν το απολεσθέν πλαίσιο είναι πλαίσιο αναφοράς, τότε το σφάλμα θα είναι κατά πολύ μεγαλύτερο αφού το πλαίσιο τύπου I αποτελεί πλαίσιο αναφοράς για τα υπόλοιπα πλαίσια του ίδιου μπλοκ. Συνεπώς, αν το μέγεθος του μπλοκ είναι 16, όπως στις περιπτώσεις που εξετάζουμε, τότε μια πιθανή απώλεια του πλαισίου αναφοράς, θα έχει ως αποτέλεσμα τα υπόλοιπα 15 πλαίσια που ακολουθούν να είναι λανθασμένα.

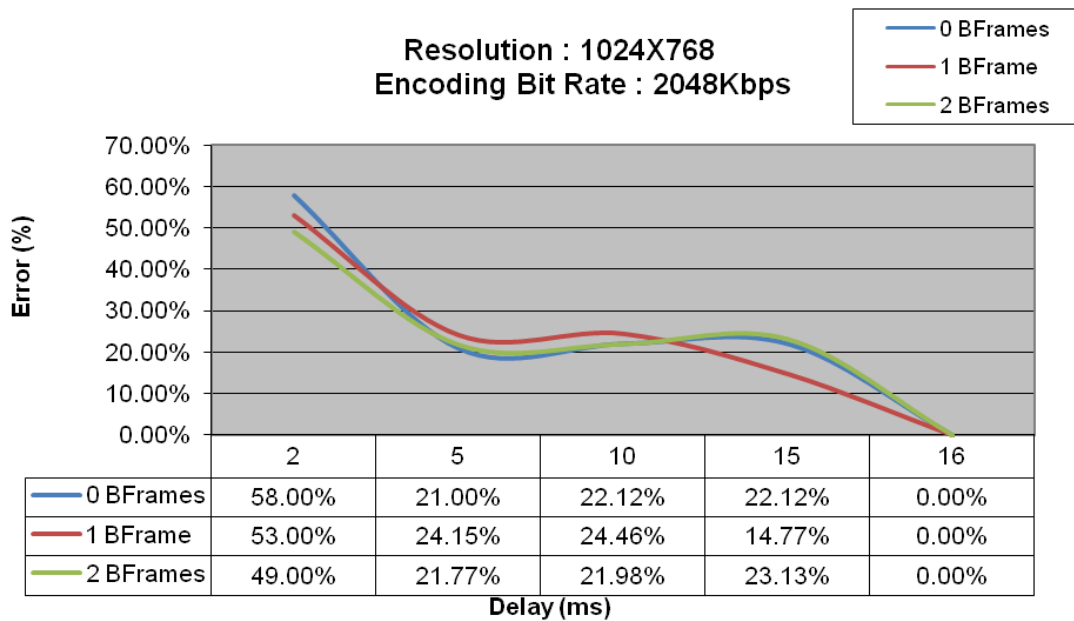
SEQUENCE INFORMATION	
Image format	XGA(1024X768)
B Frames	0,1,2
GOP	16
Bitrate	1500Kbps , 2048Kbps
QP Range	1-51
Frame rate	25
NETWORK PARAMETERS	
Sender Upload	3000Kbps
Receiver Download	1700Kbps

Πίνακας 2. Σενάριο 1 – 1024X768

Στο σημείο αυτό επαναλαμβάνουμε τις ίδιες μετρήσεις εξετάζοντας αυτή τη φορά βίντεο μεγαλύτερης ανάλυσης από το προηγούμενο (1024X768). Αναμένουμε αύξηση του σφάλματος κατά τη μετάδοση λόγω αύξησης του όγκου πληροφορίας που περιέχεται στο κωδικοποιημένο βίντεο. Οι υπόλοιπες παράμετροι του σεναρίου παραμένουν σταθερές, ούτως ώστε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με την συμπεριφορά του συστήματος στην αύξηση του όγκου δεδομένων.



Σχήμα 24. Αποτελέσματα Σεναρίου 1 - 1024X768 - Bit rate 1500Kbps



Σχήμα 25. Αποτελέσματα Σεναρίου 1 - 1024X768 - Bit rate 2048Kbps

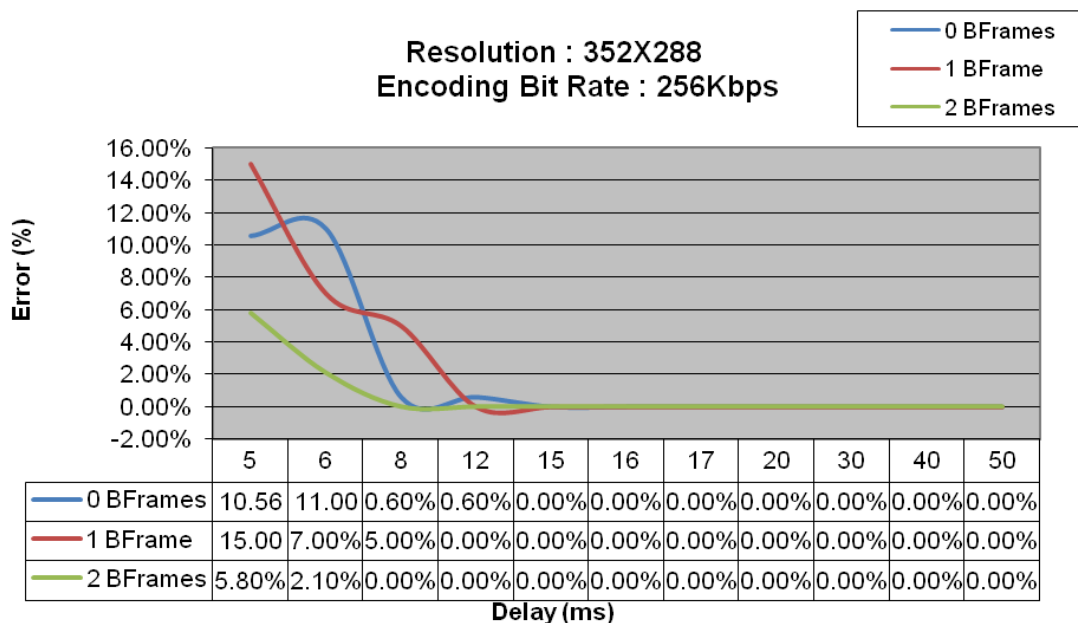
Τα αποτελέσματα των Σχημάτων 24 και 25 επιβεβαιώνουν την αύξηση του σφάλματος σε σχέση με βίντεο μικρότερης ανάλυσης. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των 2 περιπτώσεων, όμως, παρατηρούμε ότι για ρυθμό κωδικοποίησης 1500 Kbps, οι απώλειες είναι περίπου οι ίδιες για τα δύο βίντεο. Στην αντίστοιχη σύγκριση των δύο για ρυθμούς 2048Kbps, η αύξηση του σφάλματος είναι δραματική στην αύξηση της ανάλυσης. Οδηγούμαστε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι αν ο ρυθμός κωδικοποίησης ξεπεράσει το διαθέσιμο εύρος ζώνης του παραλήπτη, η μείωση της ανάλυσης δε συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό του σφάλματος. Αυτό που παραμένει σταθερό σε όλες τις μέχρι τώρα μετρήσεις του σεναρίου είναι η χρονική καθυστέρηση μεταξύ των πλαισίων, η οποία μηδενίζει το σφάλμα. Ενώ, δηλαδή, το ποσοστό σφάλματος σε μερικές περιπτώσεις αγγίζει το 70%, χρονική καθυστέρηση 16ms πάντοτε μηδενίζει το σφάλμα.

6.2 Σενάριο 2

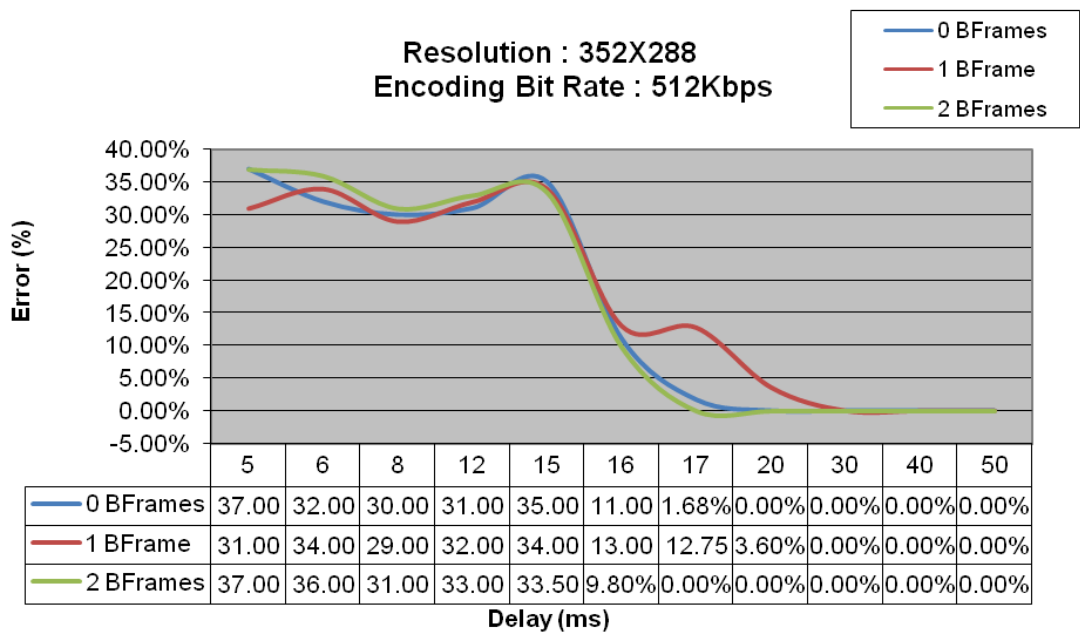
Στο δεύτερο σενάριο χρησιμοποιήθηκαν αρκετά πιο χαμηλές ταχύτητες από το σενάριο 1, προκειμένου να αναλυθεί η συμπεριφορά των ροών σε δίκτυα χαμηλού εύρους ζώνης, τα οποία είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα σύμφωνα με τις υπάρχουσες συνθήκες. Ο αποστολέας χρησιμοποιεί ενσύρματο υπολογιστή (PCL1) σε εταιρικό δίκτυο, ο οποίος αποστέλλει μια σειρά κωδικοποιημένων ροών σε ένα ενσύρματο υπολογιστή (PCL2) σε προσωπικό δίκτυο. Οι απώλειες πακέτων αναμένουμε να είναι αρκετά περισσότερες από το δίκτυο υψηλών ταχυτήτων του σεναρίου 1 και ως εκ τούτου χρησιμοποιούμε βίντεο μικρής ανάλυσης (CIF).

SEQUENCE INFORMATION	
Image format	CIF(352X288)
B Frames	0,1,2
GOP	16
Bitrate	256Kbps , 512Kbps , 1024Kbps
QP Range	1-51
Frame rate	25
NETWORK PARAMETERS	
Sender Upload	512Kbps
Receiver Download	1500Kbps

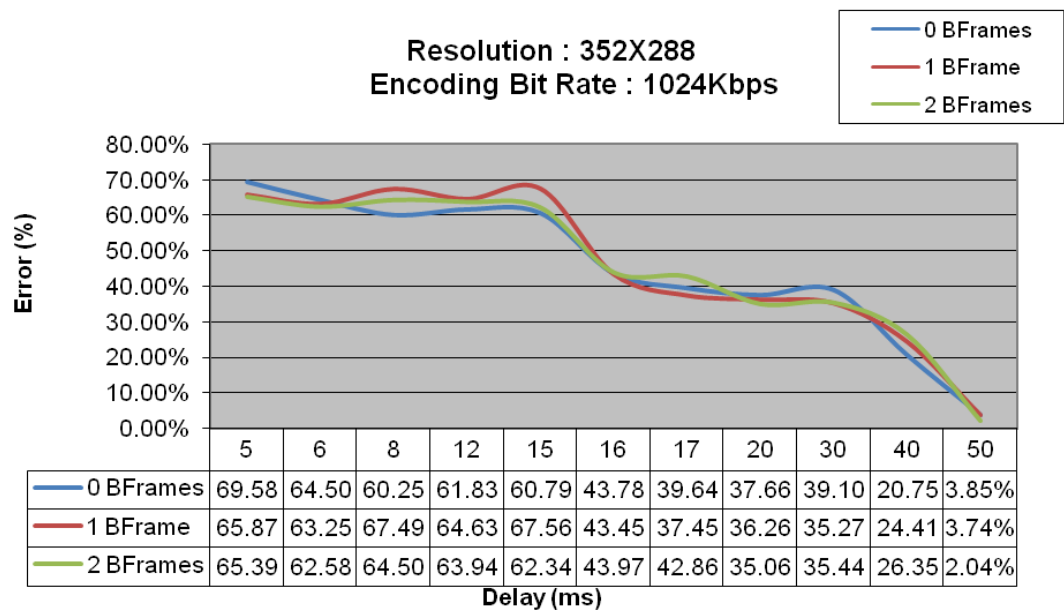
Πίνακας 3. Σενάριο 2 – 352X288



Σχήμα 26. Αποτελέσματα Σεναρίου 2 - 352X288 - Bit rate 256Kbps



Σχήμα 27. Αποτελέσματα Σεναρίου 2 - 352X288 - Bit rate 512Kbps



Σχήμα 28. Αποτελέσματα Σεναρίου 2 - 352X288 - Bit rate 1024Kbps

Τα αποτελέσματα του Σεναρίου 2 είναι αναμενόμενα, αν λάβουμε υπόψη τα αντίστοιχα του πρώτου σεναρίου. Στο Σχήμα 26 κωδικοποιείται το video σε ρυθμό 256Kbps, ο οποίος είναι χαμηλότερος του διαθέσιμου εύρους ζώνης του αποστολέα. Με άλλα λόγια, ο ρυθμός που χρειάζεται για να σταλεί το βίντεο, ορίζεται σε 256Kbps, ενώ το διαθέσιμο

είναι 512Kbps. Το ποσοστό σφάλματος στην περίπτωση αυτή είναι στα επιτρεπτά όρια ανοχής σφάλματος σε χαμηλή καθυστέρηση μεταξύ των πλαισίων, ενώ μηδενίζεται σε 15ms.

Αυξάνοντας τον ρυθμό κωδικοποίησης, ούτως ώστε να φτάσει το διαθέσιμο εύρος ζώνης, το σφάλμα αυξάνεται κατά πολύ αναγκάζοντας την εισαγωγή καθυστέρησης τουλάχιστον 15 ms για την ασφαλή μεταφορά των πακέτων. Τέλος ξεπερνώντας κατά πολύ τα 512Kbps σε ρυθμό κωδικοποίησης, το Σχήμα 28 παρουσιάζει τη δραματική αλλοίωση του βίντεο που οδηγεί σε χρονικές καθυστερήσεις μεταξύ των πλαισίων της τάξεως των 50ms.

6.3 Σενάριο 3

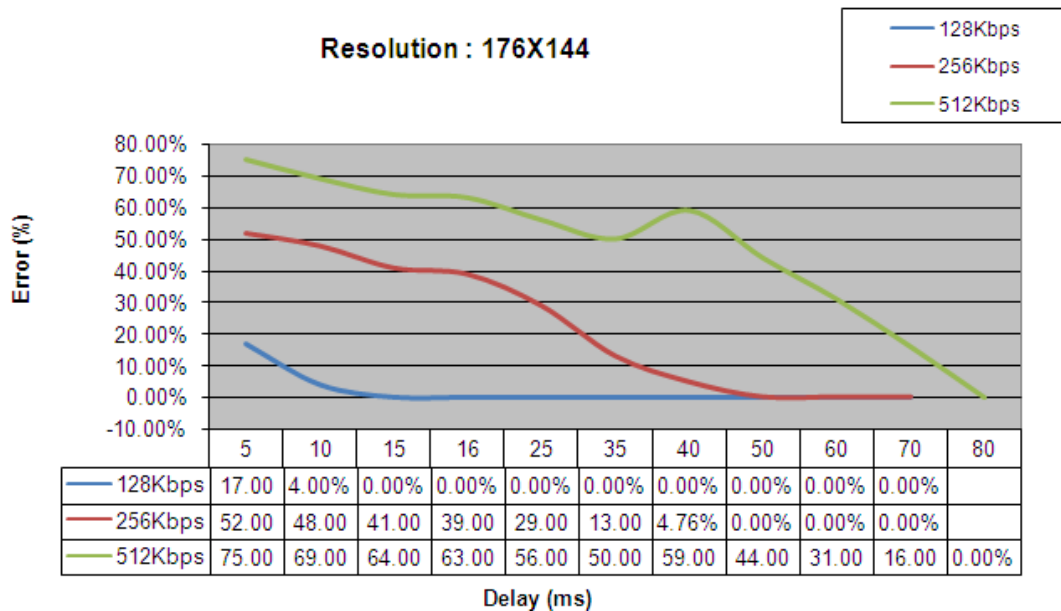
Το 3^ο και τελευταίο σύνολο πειραμάτων που έχει μελετηθεί περιλαμβάνει αποστολή μέσω ασύρματου τηλεπικοινωνιακού συστήματος 3^{ης} γενιάς (PCW1) σε σταθερό ενσύρματο υπολογιστή (PCL1). Παραθέτοντας τις δικτυακές παραμέτρους του σεναρίου με τις αντίστοιχες του 2^{ου} σεναρίου, παρατηρούμε ότι οι ταχύτητες που επικρατούν στις 2 περιπτώσεις είναι περίπου οι ίδιες, δίνοντας τη δυνατότητα εξαγωγής χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τη συμπεριφορά των συστημάτων 3^{ης} γενιάς. Ταυτόχρονα, για να είναι δυνατή η σύγκριση των δύο σεναρίων, χρησιμοποιήσαμε τους ίδιους υπολογιστές, ούτως ώστε να κρατήσουμε σταθερό το χρόνο επεξεργασίας, απομονώνοντας το χρόνο διάδοσης που είναι το ζητούμενο στο σενάριο αυτό.

SEQUENCE INFORMATION	
Image format	QCIF(176X144)
B Frames	0
GOP	16
Bitrate	128Kbps , 256Kbps
QP Range	1-51
Frame rate	25

NETWORK PARAMETERS	
Sender Upload	300Kbps
Receiver Download	1500Kbps

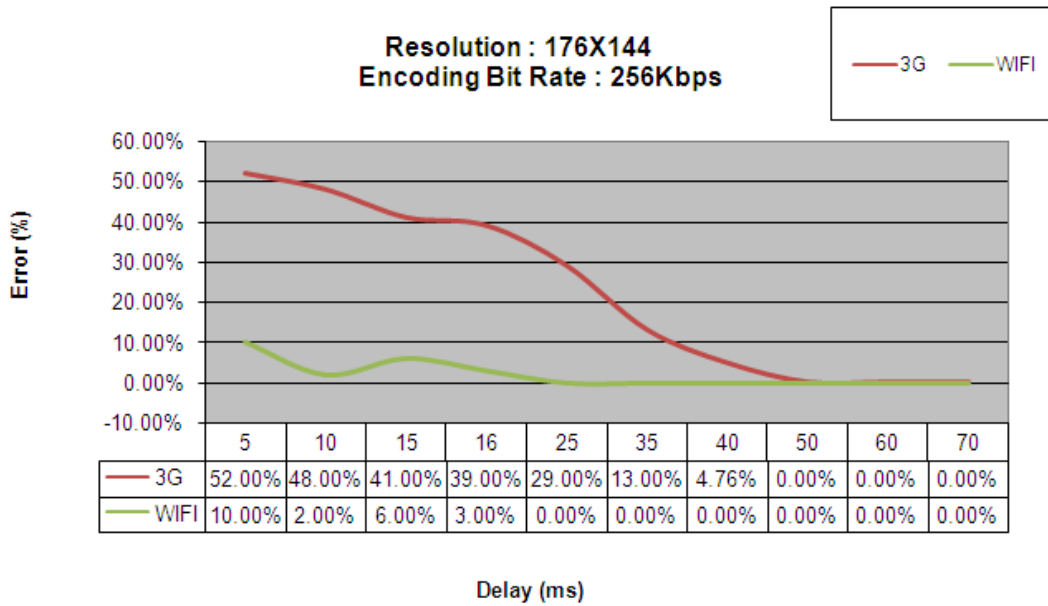
Πίνακας 4. Σενάριο 3 – 176X144

Όπως παρατηρήσαμε στα δύο προηγούμενα σενάρια, ο καθοριστικός παράγοντας βελτίωσης της ποιότητας στον παραλήπτη είναι ο ρυθμός κωδικοποίησης. Λόγω του πολύ αυξημένου κόστους της υπηρεσίας 3G το οποίο δε μας δίνει τη δυνατότητα αποστολής πολλαπλών ροών, μεταβάλλουμε μόνο τον ρυθμό κωδικοποίησης κρατώντας σταθερό τον αριθμό των Β πλαισίων.

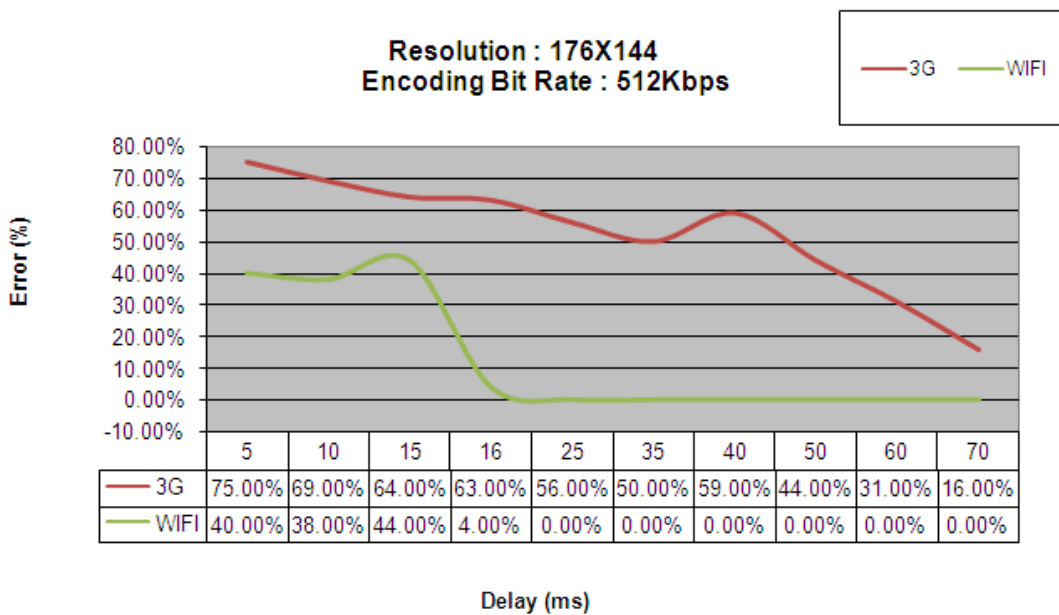


Σχήμα 29. Αποτελέσματα Σεναρίου 3 -176X144

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα του Σχήματος 29 διαπιστώνουμε μια δραματική αύξηση του ποσοστού σφάλματος του συστήματος 3G σε σχέση με τα αντίστοιχα του σεναρίου 2 (LAN). Η αύξηση του ποσοστού σφάλματος αυξάνεται ακόμη περισσότερο εάν αυξηθεί ο ρυθμός κωδικοποίησης, ούτως ώστε να ξεπεράσει τον ρυθμό αποστολής. Τα Σχήματα 30 και 31 παρουσιάζουν μια σύγκριση των δύο συστημάτων κάτω από τις ίδιες συνθήκες αποστολής.



Σχήμα 30. Σύγκριση 3G – LAN για ρυθμό κωδικοποίησης 256Kbps



Σχήμα 31. Σύγκριση 3G – LAN για ρυθμό κωδικοποίησης 512Kbps

6.4 Εξαγωγή PSNR

Το μέτρο εκτίμησης της επίδρασης των σφαλμάτων σε ένα σύστημα μετάδοσης βίντεο είναι ο PSNR (peak signal-to-noise ratio). Προκειμένου να είναι δυνατή η μέτρηση της παραμόρφωσης των πλαισίων, στο τέλος της διαδικασίας αναπαραγωγής χρησιμοποιούμε το πρόγραμμα MSU video quality measure. Με τη βοήθεια αυτού του προγράμματος, υπολογίζουμε το λόγο του σήματος προς το θόρυβο (– PSNR) για κάθε κανάλι χρώματος (R, G, B) και στη συνέχεια το συνολικό PSNR.

Αρχικά υπολογίζεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ 2 πλαισίων

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (I_{(i,j)} - K_{(i,j)})^2$$

Το PSNR υπολογίζεται με τον τύπο

$$PSNR(db) = 10 \log_{10} \frac{(2^n - 1)^2}{MSE}$$

όπου n είναι ο αριθμός των bits που απαιτούνται για την αναπαράσταση ενός εικονοστοιχείου και MSE το μέσο τετραγωνικό λάθος ανάμεσα στο παραμορφωμένο και το αρχικό πλαίσιο.

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του PSNR για την αποστολή QCIF και CIF βίντεο σε κωδικοποίηση 512 και 1024 Kbps. Όπως φαίνεται από τις γραφικές παραστάσεις, το PSNR είναι χαμηλότερο για βίντεο υψηλότερης ανάλυσης λόγω αυξημένου σφάλματος στην μετάδοση.



Σχήμα 32. PSNR για ρυθμό κωδικοποίησης 512Kbps



Σχήμα 33. PSNR για ρυθμό κωδικοποίησης 1024Kbps

Κεφάλαιο 7

Μελλοντική εργασία - Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια να εντοπιστούν οι παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν τα συστήματα τηλεδιάσκεψης, με σκοπό να εξευρεθούν λύσεις σε προβλήματα που αντιμετωπίζουν, αξιοποιώντας υπάρχουσες τεχνικές κωδικοποίησης. Οι τεχνικές αυτές, αν και μπορούν να επιτύχουν αρκετά μεγάλους λόγους συμπίεσης, εντούτοις δεν μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε συστήματα τηλεδιάσκεψης, κυρίως λόγω της χαμηλού επιπέδου γλώσσας υλοποίησης τους, που τους επιτρέπουν να επιτυγχάνουν αρκετά υψηλές ταχύτητες κωδικοποίησης. Οι μετρήσεις που έχουν γίνει, καταλήγουν σε μια σειρά χρήσιμων συμπερασμάτων, τα οποία μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα υπηρεσίας που προσφέρουν τα συστήματα αυτά.

Το βασικότερο συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι ο ρυθμός κωδικοποίησης που εφαρμόζεται πριν αποσταλεί μια ροή πλαισίων, δεν πρέπει να ξεπερνά το διαθέσιμο ρυθμό αποστολής που μπορεί να έχει ο αποστολέας. Εάν χρειάζεται να γίνει αυτό για βελτίωση της ποιότητας στον παραλήπτη, τότε χρειάζεται εισαγωγή χρονικής καθυστέρησης μεταξύ των πλαισίων, ούτως ώστε να εξασφαλιστεί η έγκυρη παράδοση στον παραλήπτη.

Ένα άλλο βασικό συμπέρασμα, το οποίο εξάγεται από τα αποτελέσματα των σεναρίων, είναι η σχετικά μικρή βελτίωση που παρατηρείται στη μείωση του σφάλματος κατά την εισαγωγή πλαισίων τύπου B στην κωδικοποίηση. Ενώ αναμέναμε πριν την εκτέλεση των μετρήσεων, η συμβολή των B πλαισίων να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα του τελικού βίντεο, αυτό δεν επαληθεύτηκε.

Μελλοντικά διερευνάται η επέκταση του συστήματος, ούτως ώστε να έχει τη δυνατότητα επιλογής μεθόδου κωδικοποίησης και πιο συγκεκριμένα την εισαγωγή του Scalable Video Coding, το οποίο δίνει τη δυνατότητα ταυτόχρονης παραγωγής πολλαπλών ροών δίνοντας την επιλογή στον χρήστη να επιλέξει το βίντεο που θα λάβει ανάλογα με το διαθέσιμο εύρος ζώνης, ή ακόμη και το είδος της συσκευής το οποίο χρησιμοποιεί (κυρίως για mobile devices). Όσον αφορά την λειτουργία της βίντεοτηλεδιάσκεψης, η εισαγωγή εκτέλεσης πρόβλεψης των πλαισίων από προηγούμενα θα μειώσει τον όγκο των δεδομένων και θα αυξήσει το λόγο συμπίεσης τους. Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση κάποιου buffer, ο οποίος θα κρατά τα προηγούμενα πλαίσια και θα αξιοποιεί τις ιδιότητες του H.264 προκειμένου να μειώσει το μέγεθος.

Βιβλιογραφία

FFMPEG

- [1] FFMPEG Documentation, <http://ffmpeg.mplayerhq.hu/ffmpeg-doc.html>
- [2] FFMPEG Tutorial, <http://www.dranger.com/ffmpeg/>
- [3] Using FFMPEG with C#, http://ffmpeg.arozcru.org/wiki/index.php?title=C_Sharp
- [4] Audio and Video Wrapper for .NET with FFMPEG Functionalities, <http://www.informikon.com/tutorials/>

H.264

- [5] Babionitakis, K., Doumenis, G., Georgakarakos, G., Lentaris, G., Nakos, K., Reisis, D., Sifnaios, I., Vlassopoulos, N., “A real-time H.264/AVC VLSI encoder architecture”
- [6] Chen, Y.K., Li, E.Q., Zhou, X.S, Ge, S., “Implementation of H.264 encoder and decoder on personal computers”
- [7] N. Ozbek ,T. Tunali, “A Survey on the H.264/AVC Standard ”
- [8] T. Stockhammer, M. M. Hannuksela, and T. Wiegand, “H.264/AVC in wireless environments”
- [9] S. Wenger, “H.264/AVC over IP”
- [10] H. Yu, Z. Lin,F. Pan, “Applications and Improvement of H.264 in Medical Video Compression”
- [11] H.264/AVC JM Reference Software, <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/>

[12] T. Wiegand, G. J. Sullivan, G. Bjøntegaard, A. Luthra, "Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard"

[13] Ku, C.W., Cheng, C.C., Yu, G.S., Tsai, M.C., Chang, T.S., "A High-Definition H.264/AVC Intra-Frame Codec IP for Digital Video and Still Camera Applications"

[14] T. Diamond , "Meet the Challenges of H.264 Encoding of High Definition Video"
http://www.fpgajournal.com/articles_2007/20070731_mathstar.htm

[15] Yang, C.L., Po, L.M., Lam, W.H., "A fast H.264 intra prediction algorithm using macroblock properties"

[16] T. Stockhammer, M. Hannuksela, T. Wiegand, "H.264/AVC in wireless environments"

RTP Protocol

[17] H. Schulzrinne, "RTP Profile for Audio and Video Conferences With Minimal Control"

[18] S. Wenger, "Common Conditions for Wire-Line, Low Delay IP/UDP/RTP Packet Loss Resilient Testing." [Online] ftp://ftp.imtc-files.org/jvt-experts/0109_San/VCEG-N79r1.doc

[19] Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R., V. Jacobson, "RTP "A Transport Protocol for Real-Time Applications"

[20] Handley, M. and V. Jacobson, "SDP: Session Description Protocol"

[21] Schulzrinne, H. S. Casner, "RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control"

[22] Fadi Abdelqader, "Create an Audio/Video Conferencing System using .NET"
http://www.codeproject.com/KB/IP/Video_Voice_Conferencing.aspx

[23] Akhil Nigam, Waqar Ali ,“Implementation of RTP protocol”

http://www.cs.columbia.edu/~hgs/teaching/ais/1998/projects/java_rtp/report.html

[24] Fadi Abdelqader “How to use the managed RTP classes in .NET”

http://www.socketcoder.com/Download/Tutorials/Conferencing_Systems/RTP/296PDFArticle_RTP_Programming_P1.pdf

[com/Download/Tutorials/Conferencing_Systems/RTP/296PDFArticle RTP Programming](http://www.socketcoder.com/Download/Tutorials/Conferencing_Systems/RTP/296PDFArticle_RTP_Programming_P1.pdf)

[_P1.pdf](http://www.socketcoder.com/Download/Tutorials/Conferencing_Systems/RTP/296PDFArticle_RTP_Programming_P1.pdf)

[25] RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications

<http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt>

Video Streaming

[26] S. H. Kang and A. Zakhor, “Packet scheduling algorithm for wireless video streaming”

[27] M. Chen and A. Zakhor, “Rate Control for Streaming Video over Wireless”

[28] J. Apostolopoulos, “Reliable Video Communication over Lossy Packet Networks using Multiple State Encoding and Path Diversity”

[29] G. Conklin, G. Greenbaum, K. Lillevold, A. Lippman, and Y. Reznik, “Video Coding for Streaming Media Delivery on the Internet”

[30] D. Wu, Y. Hou, W. Zhu, Y.-Q. Zhang, and J. Peha, “Streaming Video over the Internet: Approaches and Directions”

Video Transmission

[31] Dr. Mark S. Drew, Multimedia Systems Nodes <http://www.cs.sfu.ca/CC/365/mark/>

[32] Marshall D. "Multimedia Course" Cardiff School of Computers Science
<http://www.cs.cf.ac.uk/Dave/Multimedia/>

[33] Spinsante S., Gambi E. , Ciccarelli L. , "Advances in Video Coding for Broadcast Applications"

[34] University of California, "Multipath Unicast and Multicast Video Communication Over Wireless Ad Hoc Networks"

[35] Bettahar H. , "Tutorial on Multicast Video Streaming Techniques"

[36] Majumda A, Sachs DG, Kozintsev IV, Ramchandran K, Yeung MM , "Multicast and unicast real-time video streaming over wireless LANs"

[37] Microsoft Technet Website , <http://technet.microsoft.com/en-us/library/default.aspx>

[38] William L, Lee W. McKnight , "Wireless Internet access: 3G vs. WiFi"