

Σύστημα Μετάδοσης Εικόνας και Video βασισμένο σε προσαρμοστικό JPEG2000 για ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα

Αναστάσιος Κυριλλίδης

Διπλωματική εργασία για την απόκτηση διπλώματος Ηλεκτρονικού Μηχανικού και Μηχανικού
Ηλεκτρονικών Υπολογιστών

Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών

Πολυτεχνείο Κρήτης



Ιούνιος, 2008

Τομέας: Τηλεπικοινωνιών και Συστημάτων

Πρόεδρος Επιτροπής - Επιβλέπων:

Ζερβάκης Μιχάηλ

Μέλη Επιτροπής:

Σιδηρόπουλος Νικόλαος

Διγαλάκης Βασίλειος

Ημ/νία : _____

Πολυτεχνείο Κρήτης

Abstract

Σύστημα Μετάδοσης Εικόνας και Video βασισμένο σε προσαρμοστικό JPEG2000 για ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα

Αναστάσιος Κυριλλίδης

Πρόεδρος Επιτροπής - Επιβλέπων:
Καθηγητής Ζερβάκης Μιχαήλ
Τομέας Τηλεπικοινωνιών και Συστημάτων

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία συστήματος μετάδοσης video σε μορφή JPEG2000. Λόγω εύρους ποικιλίας συσκευών και καναλιών μετάδοσης, μελετάμε την αποστολή/λήψη video τόσο για ενσύρματα (Ethernet) όσο και για ασύρματα δίκτυα (Wireless/Bluetooth) και εκμεταλλευόμαστε κάποιες από τις ιδιότητες που παρέχει το πρότυπο JPEG2000. Οι τέσσερις βασικοί σκοποί της διπλωματικής εργασίας είναι οι εξής:

- Μελέτη του προτύπου JPEG2000 και των δυνατοτήτων που προσφέρει.
- Δημιουργία ενός απλού συστήματος αποστολής/λήψης διαδοχικών αρχείων εικόνας σε κωδικοποίηση JPEG2000 μεταξύ δύο ή περισσότερων χρηστών μέσω ενός τοπικού δικτύου Ethernet.
- Βελτιστοποίηση του συστήματος ως προς τις δυνατότητες που δίνονται στον χρήστη για ρύθμιση της ποιότητας της εφαρμογής, όπως αυτόματη προσαρμογή του ρυθμού αποστολής εικόνων, δυνατότητα επιλογής επιθυμητής ανάλυσης και ποιότητας video, δυνατότητα αυτόματης προσαρμογής του αλγόριθμου κωδικοποίησης/αποκωδικοποίησης σε πομπό και δέκτη ανάλογα με την συμφόρηση δεδομένων στο δίκτυο.
- Μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος σε ασύρματα δίκτυα και πιο συγκεκριμένα σε δίκτυα 802.11 και Bluetooth.

Περιεχόμενα

Σελίδα

Λίστα Σχημάτων	vi
Λίστα Πινάκων	viii
1: Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Στόχοι διπλωματικής εργασίας	3
1.3 Οργάνωση διπλωματικής	4
2: Πρότυπο JPEG2000	6
2.1 Εισαγωγή	6
2.2 Περιγραφή JPEG2000	8
2.2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά JPEG2000	8
2.2.2 Μέρη του JPEG2000	11
2.2.3 Περιγραφή Διαδικασίας Κωδικοποίησης JPEG2000	13
2.2.4 Δομή αρχείων JPEG2000	21
2.2.5 Άλλα χαρακτηριστικά του προτύπου JPEG2000	28
2.3 Σύγκριση JPEG2000 και MJPEG2000 με άλλα πρότυπα εικόνας και video	30
2.3.1 Μέτρα Σύγκρισης	30
2.3.2 Σύγκριση JPEG2000 με JPEG και JPEG-LS	30
2.3.3 Σύγκριση Υλοποιήσεων του Προτύπου JPEG2000	37

2.3.4	Εκτίμηση Απόδοσης του Motion-JPEG2000 σε Σύγκριση με H.264/AVC MPEG-4 Part 10	42
2.4	Μελέτη προτύπων σχετικών με το JPEG2000	52
2.4.1	Εκτίμηση απόδοσης προτύπου JPWL	52
2.5	Συμπεράσματα	63
3:	Ανάλυση Δικτύου	65
3.1	Μοντέλο OSI	65
3.2	Επίπεδο Συνόδου - RTP	69
3.2.1	RTP	69
3.2.2	RTCP	74
3.2.3	JPEG2000 Payload	75
3.2.4	Οργάνωση πακέτων	77
3.3	Επίπεδο Μεταφοράς - UDP/TCP	78
3.3.1	TCP	78
3.3.2	UDP	79
3.3.3	Σύγκριση UDP - TCP	80
3.4	Επίπεδο ζεύξης δεδομένων	80
3.4.1	Ασύρματη vs. Ενσύρματη Μετάδοση	81
3.4.2	Bluetooth	83
4:	Ανάπτυξη Συστήματος	94
4.1	Υλοποίηση συστήματος	94
4.2	Βιβλιοθήκες	95
4.2.1	Βιβλιοθήκη jRTPLib	96
4.2.2	Jasper JPEG2000 decoder	96
4.2.3	ImageMagick	96
4.2.4	X11	97
4.2.5	Bluez	97
4.3	Περιγραφή τρόπων αποστολής	99
4.3.1	Scaler	99
4.3.2	Adaptive encoding/decoding	101
4.4	Περιγραφή λειτουργίας συστήματος	101
4.4.1	Server	101
4.4.2	Client	105
4.5	Περιβάλλον Μετρήσεων	108

4.5.1	Περιγραφή τεματικών	108
4.5.2	Ethernet	110
4.5.3	Πρωτόκολλο 802.11	110
4.5.4	Συσκευές Bluetooth	111
4.6	Περιγραφή περιπτώσεων δοκιμής (test cases)	112
5:	Πειράματα και Μετρήσεις	115
5.1	Περιπτώσεις Λειτουργίας	115
5.2	Μετρήσεις Ethernet	117
5.3	Μετρήσεις 802.11	118
5.4	Μετρήσεις Bluetooth	118
5.5	Συμπεράσματα	118
5.5.1	Ethernet και 802.11	120
5.5.2	Bluetooth	123
6:	Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία	131
6.1	Συμπεράσματα	131
6.2	Μελλοντική Εργασία	133
	Βιβλιογραφία	135

Λίστα Σχημάτων

Εικόνα	Σελίδα
2.1 Δυνατότητες προτύπου JPEG2000 (εικόνα βιβλιογραφίας)	12
2.2 Ευθύς και αντίστροφος μετασχηματισμός RCT	16
2.3 Ευθύς και αντίστροφος μετασχηματισμός ICT	16
2.4 Διάγραμμα κωδικοποιητή JPEG2000	17
2.5 Dataflow	18
2.6 Εφαρμογή του DWT σε δύο διαστάσεις	19
2.7 Παράδειγμα marker segment	23
2.8 Περιγραφές των κυριότερων marker segments	24
2.9 Οργάνωση ακολουθίας JP2	25
2.10 Marker segments βασικής κεφαλίδας	26
2.11 Marker segments κεφαλίδας tile	26
2.12 Περιγραφή boxes	27
2.13 Παράδειγμα ROI	29
2.14 Γραφική αναπαράσταση της μεθόδου MAXSHIFT	29
2.15 Μέτρηση PSNR για JPEG2000 και JPEG σε διάφορα BERs	35
2.16 Τιμές PSNR για όλες τις εικόνες και για όλους τους αλγόριθμους κωδικοποίησης για την περίπτωση της lossy συμπίεσης	40
2.17 Μέτρηση PSNR για την περίπτωση της speedway (CIF) ακολουθίας	46
2.18 Μέτρηση PSNR για την περίπτωση της Walk (CIF) ακολουθίας	46
2.19 Μέτρηση PSNR για την περίπτωση της Walk (QCIF) ακολουθίας	47
2.20 Μέτρηση PSNR για την περίπτωση της Walk (PAL) ακολουθίας	47
2.21 Μέτρηση PSNR για την περίπτωση της Walk (VGA) ακολουθίας	48

2.22	Περιγραφή συστήματος JPWL: κωδικοποιητής και αποκωδικοποιητής	54
2.23	JPWL - BSC για 1.ppm	60
2.24	JPWL - BSC για Zelda24.ppm	60
2.25	JPWL - Gilbert-Elliot κανάλι για 1.ppm	61
2.26	JPWL - Gilbert-Elliot κανάλι για Zelda24.ppm	62
3.1	Μοντέλο OSI	66
3.2	Κεφαλίδα RTP	72
3.3	RTP payload για το JPEG2000	76
3.4	Χρήσεις πεδίου MHF	76
3.5	Οργάνωση πακέτων RTP	78
3.6	Κεφαλίδα TCP	79
3.7	Κεφαλίδα UDP	80
3.8	Σύνδεση εισόδου Bluetooth	84
3.9	Σύνδεση εξόδου Bluetooth	85
3.10	Αρχιτεκτονική Bluetooth	86
3.11	Κατηγορίες ισχύος Bluetooth	88
3.12	Καταστάσεις Bluetooth	91
4.1	Bluetooth Βιβλιοθήκες	98
4.2	Διάγραμμα καταστάσεων για την συμμετοχή των βιβλιοθηκών στην περίπτωση του Ethernet-802.11	99
4.3	Διάγραμμα καταστάσεων για την συμμετοχή των βιβλιοθηκών στην περίπτωση του Bluetooth	100
4.4	Μορφή payload τελευταίου πακέτου εικόνας JPEG2000	104
4.5	Μορφή payload πακέτου εικόνας JPEG2000	104
4.6	Μορφή πακέτου εικόνων JPEG2000	105
4.7	Μορφή πακέτου εικόνων JPEG2000	108
4.8	Διάγραμμα λειτουργίας server-client	109
4.9	Σύνδεση τερματικών για την περίπτωση του Ethernet	110
4.10	Σύνδεση τερματικών για την περίπτωση του 802.11	111
4.11	Σύνδεση τερματικών για την περίπτωση του Bluetooth	112

Λίστα Πινάκων

Πίνακας	Σελίδα
2.1 Lossless Συμπίεση	34
2.2 Error Resilience - Σύγκριση JPEG2000 και JPEG	35
2.3 Πίνακας λειτουργικότητας προτύπων	36
2.4 Σύγκριση υλοποιήσεων για αντοχή σε λάθη	41
2.5 Παραδείγματα videos για την μελέτη προτύπων κωδικοποίησης κινούμενης εικόνας	44
2.6 Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Speedway - Μέρος 1	49
2.7 Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Speedway - Μέρος 2	49
2.8 Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Walk (CIF) - Μέρος 1	49
2.9 Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Walk (CIF) - Μέρος 2	50
2.10 Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Walk (PAL) - Μέρος 1	50
2.11 Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Walk (PAL) - Μέρος 2	50
2.12 Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Walk (QCIF) - Μέρος 1	51
2.13 Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Walk (QCIF) - Μέρος 2	51
2.14 Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Walk (VGA) - Μέρος 1	51
2.15 Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Walk (VGA) - Μέρος 2	52
2.16 Μελέτη JPWL για BSC - 1.ppm	57
2.17 Μελέτη JPWL για BSC - Zelda24.ppm	57
2.18 Μελέτη JPWL για κανάλι Gilber-Elliot - 1.ppm	58
2.19 Μελέτη JPWL για κανάλι Gilber-Elliot - Zelda24.ppm	59
4.1 Περιγραφή Τερματικών	109
4.2 Περιγραφή Συσκευών Ethernet	110

4.3	Περιγραφή Συσκευών 802.11	111
4.4	Περιγραφή Συσκευών Bluetooth	112
4.5	Περιγραφή περιπτώσεων δοκιμής	113
5.1	Adaptive framerate για την περίπτωση Ethernet	124
5.2	Adaptive framerate για την περίπτωση 802.11	125
5.3	Adaptive encoding/decoding για την περίπτωση Ethernet	126
5.4	Adaptive encoding/decoding για την περίπτωση 802.11	126
5.5	Scaler για την περίπτωση Ethernet	127
5.6	Scaler για την περίπτωση 802.11	128
5.7	Framerates για την περίπτωση Bluetooth	130
5.8	Scaler για την περίπτωση Bluetooth	130

Ευχαριστίες

Έχοντας ολοκληρώσει την διπλωματική μου εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επόπτη καθηγητή μου κ. Μιχάλη Ζερβάκη για την καθοδήγηση και ενθάρρυνση που μου παρείχε κατά την διάρκεια της συνεργασίας μας και τους καθηγητές κ. Νικόλαο Σιδηρόπουλο και κ. Βασίλειο Διγαλάκη για τη συμμετοχή τους στην επιτροπή εξέτασης της εργασίας αυτής. Επίσης, ευχαριστώ το Εργαστήριο Ψηφιακής Επεξεργασίας Σήματος και Εικόνας για την υλικοτεχνική υποδομή και τα άτομα του εργαστηρίου για την στήριξη που μου παρείχαν.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ θέλω να το απευθύνω στην οικογένειά μου που με στήριξε ψυχολογικά και υλικά όλα αυτά τα χρόνια. Ως ελάχιστη ένδειξη σεβασμού αφιερώνω την εργασία αυτή στους γονείς μου και στον αδερφό μου.

1

Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η εντυπωσιακή ανάπτυξη του Internet την τελευταία δεκαετία έχει δημιουργήσει την ανάγκη για την ανάπτυξη πληθώρας νέων εφαρμογών, πέραν των συνηθισμένων ασύγχρονης μετάδοσης δεδομένων όπως το e-mail και η ανταλλαγή αρχείων. Εφαρμογές όπως η αποστολή και λήψη real-time streaming video έχουν αυξήσει τις απαιτήσεις ως προς την απόδοση των δικτύων. Το real-time streaming video απαιτεί μεγάλες χωρητικότητες δικτύου για την μεταφορά δεδομένων και έχει υψηλές απαιτήσεις ως προς την καθυστέρηση αποστολής και λήψης δεδομένων, τον συγχρονισμό της εικόνας μεταξύ πομπού και δέκτη και την απώλεια πακέτων λόγω ύπαρξης θορύβου στο κανάλι επικοινωνίας, τα οποία έχουν σαν αποτέλεσμα τη μείωση της ποιότητας της εφαρμογής. Πιο συγκεκριμένα:

- Χωρητικότητα καναλιού: Για την λήψη καλής ποιότητας video, ως προς το ρυθμό αποστολής των εικόνων και του μέτρου SNR, πρέπει να οριστεί η ελάχιστη χωρητικότητα δεδομένων κατά την διάρκεια της σύνδεσης. Κάτι τέτοιο όμως δεν υποστηρίζεται από το Internet, όπως έχει οριστεί στην τωρινή του κατάσταση. Παράλληλα, οι διακομιστές (routers) των δικτύων συνήθως δεν παρέχουν δυνατότητα ελέγχου σε περιπτώσεις υπερφόρτωσης του δικτύου με αποτέλεσμα να πέφτει η ποιότητα του ληφθέντος video.
- Καθυστέρηση αποστολής/λήψης δεδομένων: Η real-time streaming video εφαρμογή απαιτεί συγχρονισμό μεταξύ πομπού και δέκτη ώστε η αποστολή και λήψη των εικόνων

να έχει όσο το δυνατόν ελάχιστη, συγκεκριμένη και σταθερή καθυστέρηση. Επομένως, πρέπει οριστεί μία μέγιστη από άκρο σε άκρο καθυστέρηση κατά την διάρκεια της αποστολής/λήψης δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι τα πακέτα που αποστέλλονται στο δίκτυο πρέπει να ληφθούν, να επεξεργαστούν και να εμφανιστούν στην οθόνη του δέκτη μέσα σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα - διαφορετικά ή τα δεδομένα θεωρούνται άχρηστα ή η αναπαραγωγή διακόπτεται με αποτέλεσμα επόμενα δεδομένα να χαθούν. Ακόμα και στην περίπτωση που η εφαρμογή επιτρέπει μία μικρή καθυστέρηση, το Internet δεν παρέχει μηχανισμό για να εξασφαλίσει την μέγιστη αυτή καθυστέρηση.

- Απώλεια πακέτων: Ένας από του κυριότερους λόγους μείωσης της ποιότητας video είναι η απώλεια πακέτων δεδομένων κατά την αποστολή τους από τον πομπό στον δέκτη. Δεδομένης, όμως, της χρονικής τοπικότητας μεταξύ διαδοχικών εικόνων, υπάρχουν μηχανισμοί που μπορούν και ελαχιστοποιούν την επίδραση που έχει η απώλεια μικρού αριθμού πακέτων στην ποιότητα εικόνας.

Από την άλλη πλευρά, το Internet παρουσιάζει μεγάλη ετερογένεια καθώς αποτελείται από συνδέσεις μεταξύ τερματικών που ποικίλουν ως προς την χωρητικότητα δεδομένων και τα χαρακτηριστικά του καναλιού επικοινωνίας. Επιπρόσθετα, οι συσκευές που συνδέονται στο δίκτυο και συμμετέχουν στην εφαρμογή διαφέρουν ως προς τις δυνατότητες που προσφέρουν και τη διαθέσιμη ισχύ επεξεργασίας. Συνεπώς, μία πρόκληση που δημιουργείται στο τομέα του real-time video streaming είναι η δημιουργία εφαρμογής που εκμεταλλεύεται σε μέγιστο βαθμό ταυτόχρονα τις δυνατότητες του δικτύου και προσαρμόζεται στις δυνατότητες των συσκευών που είναι συνδεδεμένες σε αυτό [2].

Δεδομένων όλων των παραπάνω και εξαιτίας της αυξανόμενης απαίτησης για διαδραστικές εφαρμογές πολυμέσων, τόσο σε ενσύρματα όσο και σε ασύρματα δίκτυα, έγινε απαραίτητο να συμπεριληφθούν κάποιες επιθυμητές ιδιότητες στους αλγόριθμους κωδικοποίησης εικόνας/video. Έτσι, οι αλγόριθμοι κωδικοποίησης εικόνας/video όχι μόνο πρέπει να παρουσιάζουν εξαιρετική ποιότητα και απόδοση, αλλά πρέπει να παρέχουν πλήθος δυνατοτήτων όπως καλή απόδοση σε χαμηλά bit-rates, δυνατότητα lossless και lossy συμπίεσης από το ίδιο αρχείο, ασφάλεια, ανοχή σε λάθη, σταδιακή μετάδοση, region-of-interest, κτλ. Υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι κωδικοποίησης εικόνας/video που μπορούν να δώσουν καλά αποτελέσματα καθώς

εκμεταλλεύονται την χρονική και χωρική τοπικότητα της κινούμενης εικόνας όπως το MPEG-2, H.263 και H.264/AVC MPEG-4 Part 10 ή παρουσιάζουν χαμηλή πολυπλοκότητα επεξεργασίας κατά την κωδικοποίηση/αποκωδικοποίηση όπως το MJPEG. Παρ'όλα αυτά, δεν παρέχουν τις προαναφερθείσες επιθυμητές ιδιότητες. Αντίθετα, το JPEG2000 είναι ένα σχετικά πρόσφατο πρότυπο κωδικοποίησης εικόνας του οποίου η αρχιτεκτονική έχει οριστεί με τέτοιο τρόπο ώστε ο ίδιος αλγόριθμος να επιτρέπει πληθώρα επιλογών και δυνατοτήτων. Παράλληλα, εκμεταλλεύεται τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα των πολυμέσων και των επικοινωνιών σε αντίθεση με παλαιότερα πρότυπα που εμφανίστηκαν πριν την έξαρση του φαινομένου του διαδικτύου.

Το πρότυπο JPEG2000 βασίζεται στον μετασχηματισμό DWT (Discrete Wavelet Transform) αντίθετα με JPEG που βασίζεται στον μετασχηματισμό DCT (Discrete Cosine Transform). Η αρχιτεκτονική του DWT επιτρέπει ταυτόχρονα lossless και lossy κωδικοποίηση στην ίδια ακολουθία bits και δομεί τα πακέτα των bits με κατάλληλο τρόπο επιτρέποντας διαφορετικά είδη επεξεργασίας της εικόνας τόσο στην κωδικοποίηση όσο και στην αποκωδικοποίηση.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία συστήματος μεταδόσης video σε μορφή JPEG2000. Λόγω εύρους ποικιλίας συσκευών και καναλιών μετάδοσης, μελετάμε την αποστολή/λήψη video τόσο για ενσύρματα (Ethernet) όσο και για ασύρματα δίκτυα (Wireless/Bluetooth) και εκμεταλλευόμαστε κάποιες από τις ιδιότητες που παρέχει το πρότυπο JPEG2000.

1.2 Στόχοι διπλωματικής εργασίας

Οι τέσσερις βασικοί στόχοι της διπλωματικής εργασίας είναι εξής: Πρώτον, η μελέτη του προτύπου JPEG2000 και των δυνατοτήτων που προσφέρει. Δεύτερον, είναι η δημιουργία ενός απλού συστήματος αποστολής/λήψης διαδοχικών αρχείων εικόνας σε κωδικοποίηση JPEG2000 μεταξύ δύο ή περισσότερων χρηστών μέσω ενός τοπικού δικτύου Ethernet. Τρίτον, είναι η βελτιστοποίηση του συστήματος ως προς τις δυνατότητες που δίνονται στον χρήστη για ρύθμιση της ποιότητας της εφαρμογής, όπως αυτόματη προσαρμογή του ρυθμού αποστολής εικόνων, δυνατότητα επιλογής επιθυμητής ανάλυσης και ποιότητας video, δυνατότητα αυτόματης προσαρμογής του αλγόριθμου κωδικοποίησης/αποκωδικοποίησης σε πομπό και δέκτη ανάλογα με την συμφόρηση δεδομένων στο δίκτυο. Τέταρτον, είναι η μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος σε ασύρματα δίκτυα και πιο συγκεκριμένα σε δίκτυα 802.11 και Bluetooth.

Το σύστημα αποτελείται από ένα πομπό και δύο ή περισσότερους δέκτες στην περίπτωση του Ethernet και 802.11 και από ένα πομπό/δέκτη στην περίπτωση του Bluetooth. Ως πρωτόκολλο επικοινωνίας χρησιμοποιείται το RTP/RTCP, το οποίο είναι κατάλληλο για multimedia εφαρμογές, ενώ σε επίπεδο sockets χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο UDP. Ο πομπός είναι υπεύθυνος για την δημιουργία πακέτων και την αποστολή τους στο δίκτυο. Από την άλλη πλευρά, ο δέκτης τοποθετεί τα πακέτα που δέχεται σε σειρά για την δημιουργία των frames και ενημερώνει τον πομπό για την ποιότητα της λήψης. Παράλληλα, παρέχονται στον δέκτη μία σειρά επιλογών:

- Adaptive encoding/decoding: Δεδομένου ότι η κωδικοποίηση/αποκωδικοποίηση του προτύπου JPEG2000 παρουσιάζει υψηλότερη πολυπλοκότητα σε σχέση με άλλα πρότυπα εικόνες, δίνεται η επιλογή στον δέκτη να επιλέξει αυτόματη επιλογή κωδικοποίησης εικόνες. Πιο συγκεκριμένα, ανάλογα με την ποιότητα λήψης στον δέκτη, επιλέγεται το πρότυπο κωδικοποίησης/αποκωδικοποίησης ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη ποιότητα λήψης.
- Resolution/Components/Quality Scalability: Όπως θα δούμε και παρακάτω, το JPEG-2000 παρέχει στον χρήστη διάφορες επιλογές στον τρόπο με τον οποίο δομείται το αρχείο. Εκμεταλλευόμενοι αυτή την ιδιότητα, δίνουμε στον χρήστη την δυνατότητα να επιλέξει τον τρόπο αποστολής των πακέτων της εικόνας. Έτσι, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να αποκωδικοποιεί την εικόνα σε χαμηλότερη ανάλυση ή σε χαμηλότερη ποιότητα σε σχέση με την πρωτότυπη εικόνα από την ίδια ακολουθία bits με αποτέλεσμα να κερδίζει χρόνο επεξεργασίας στον δέκτη. Επίσης, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να αποκωδικοποιήσει μία συνιστώσα της εικόνας πετώντας την πληροφορία των άλλων συνιστωσών.

1.3 Οργάνωση διπλωματικής

Το κείμενο αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνει περιγραφή του JPEG2000 προτύπου, περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών του και της διαδικασίας που ακολουθείται για την κωδικοποίηση της εικόνας, παρουσίαση της βασική δομής με την οποία οργανώνονται τα JPEG2000 αρχεία και περιγραφή πρόσθετων χαρακτηριστικών που παρέχει το πρότυπο. Ακολουθεί μία σειρά συγκρίσεων του προτύπου με άλλα πρότυπα και σε

διάφορες συνθήκες, μέσω προσομοιώσεων που έγιναν στην εργασία αυτή: σύγκριση του προτύπου JPEG2000 με άλλες κωδικοποιήσεις εικόνας JPEG, JPEG-LS ως προς την συμπίεση εικόνας και την επίδοση τους σε lossy συμπίεση και ανοχή σε λάθη, σύγκριση των υλοποιήσεων JPEG2000 για την επιλογή μίας κατάλληλης για την υλοποίηση του συστήματος, σύγκριση του MJPEG2000 με το πρότυπο κωδικοποίησης video H.264/AVC MPEG-4 Part 10. Τέλος, μελετάται το πρότυπο JPWL και οι δυνατότητες που προσφέρει για μετάδοση μέσα από κανάλια που εισάγουν λάθη στην ακολουθία.

Το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει περιγραφή των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται στα διάφορα στρώματα του δικτύου για την υλοποίηση του συστήματος: TCP/UDP για το επίπεδο μεταφοράς, RTP για το επίπεδο συνόδου και Ethernet, 802.11, Bluetooth για το επίπεδο ζεύξης δεδομένων.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται το σύστημα μετάδοσης εικόνας και video: περιγραφή βιβλιοθηκών που χρησιμοποιήθηκαν, περιγραφή τρόπου αποστολής (scaler ή adaptive encoding/decoding) και λεπτομερής περιγραφή του τρόπου αποστολής και λήψης δεδομένων από τον πομπό στον δέκτη.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται μετρήσεις από την λειτουργία του συστήματος για τις διάφορες επιλογές όπου διαπιστώνουμε ότι το JPEG2000 παρέχει πληθώρα δυνατοτήτων στις σύγχρονες διαδραστικές εφαρμογές και αποτελεί πολύ καλή επιλογή ως πρότυπο εικόνας και video για την αποστολή και λήψη πολυμέσων.

2

Πρότυπο JPEG2000

2.1 Εισαγωγή

Το JPEG2000 αποτελεί ένα νέο διεθνές πρότυπο κωδικοποίησης εικόνας το οποίο αναπτύχθηκε από τους διεθνείς οργανισμούς ISO (International Organization for Standardization) και IEC (International Electrotechnical Commission) ενώ υποστηρίζεται από την διεθνή ένωση τηλεπικοινωνιών ως προτεινόμενο μέσο κωδικοποίησης πολυμέσων (ITU).

Η αρχή στην δημιουργία προτύπων κωδικοποίησης εικόνας έγινε το 1982 και μετά από 5 χρόνια ιδρύθηκε η ερευνητική ομάδα JPEG (Joint Photographic Experts Group). Παρ'όλα αυτά, το πρότυπο JPEG αναγνωρίστηκε ως πρότυπο πολύ αργότερα το 1992 - πιο συγκεκριμένα θεωρήθηκε ως μια οικογένεια τεχνικών κωδικοποίησης και όχι σαν ένας αλγόριθμος κωδικοποίησης. Το JPEG παρέχει μια γκάμα τεχνικών και ιδιοτήτων από τις οποίες επιλέγει κάθε εφαρμογή ανάλογα με τις απαιτήσεις της. Το πρότυπο παρέχει 4 βασικούς τρόπους χρήσης του και κάθε ένας περιλαμβάνει πληθώρα άλλων παραλλαγών με αποτέλεσμα να δίνεται στον χρήστη η δυνατότητα να κωδικοποιήσει την εικόνα με 44 τρόπους, καθένας από τους οποίους χαρακτηρίζεται από διαφορετικές ιδιότητες. Έρευνες έχουν δείξει ότι το 90% το χρηστών χρησιμοποιούν την baseline JPEG κωδικοποίηση, η οποία αποτελεί μια περιορισμένη μορφή του μετασχηματισμού sequential Discrete Cosine Transform (DCT), με αποτέλεσμα οι υπόλοιπες επιλογές να μην εξελιχθούν περαιτέρω. Παρά το γεγονός ότι το JPEG θεωρείται πρότυπο εικόνας με συγκεκριμένη κωδικοποίηση, η επιτροπή προτυποποίησης ορίζει διαφορετική σύνταξη της ακολουθίας δεδομένων στην κωδικοποιημένη εικόνα και του τρόπου αποκωδικοποίησης

για κάθε μία διαφορετική παραλλαγή του προτύπου. Το τμήμα της διαδικασίας που επιδέχεται αλλαγές με σκοπό την αύξηση της επίδοσης του προτύπου είναι το σύστημα συμπίεσης. Από αυτή την άποψη, το JPEG αποτελεί ένα πρότυπο αποκωδικοποίησης με το οποίο πρέπει να είναι συμβατή κάθε καινοτομία στον τομέα της συμπίεσης δεδομένων.

Από την περίοδο ορισμού του JPEG, η τεχνολογία έχει γνωρίσει σημαντικές αλλαγές λόγω της ανάπτυξης του παγκόσμιου ιστού, της εκτεταμένης χρήσης του καθημερινά, της εξέλιξης στον τομέα των πολυμέσων, των τηλεπικοινωνιών και των συστημάτων. Παρά το γεγονός ότι σε όλη την διάρκεια ύπαρξής του αποτέλεσε το βασικό πρότυπο κωδικοποίησης εικόνας με επιτυχία, το JPEG δεν παρέχει μια σειρά χαρακτηριστικών που είναι απαραίτητα σήμερα στις διαδραστικές εφαρμογές πολυμέσων και δεν εκμεταλλεύεται με τον καλύτερο τρόπο τις ιδιότητες των ασύρματων και ενσύρματων δικτύων. Ένα σημαντικό βήμα στον τομέα της συμπίεσης εικόνας έγινε με την επανεκτίμηση των ιδιοτήτων του DWT (Discrete Wavelet Transform) από το οποίο έχουν προκύψει πολλοί αλγόριθμοι κωδικοποίησης εικόνας. Με σκοπό να υπερσκελιστούν οι αδυναμίες του JPEG και να χρησιμοποιηθεί στις σύγχρονες εφαρμογές των κινητών και διαδικτυακών εφαρμογών, το JPEG2000 αναπτύχθηκε πάνω στις βασικές αρχές του DWT ενώ πολλές προεκτάσεις βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης από την επιτροπή ISO/IEC. Καταφέρνει να συνδυάζει τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα της συμπίεσης εικόνας παρέχοντας ένα ενωποιημένο εργαλείο τόσο για lossless όσο και lossy συμπίεση/αποσυμπίεση από την ίδια ακολουθία δεδομένων και χρησιμοποιώντας τον ίδιο αλγόριθμο. Η αρχιτεκτονική του αλγορίθμου εκτός της ικανότητας συμπίεσης σε οσοδήποτε χαμηλό bit-rate, παρέχει δυνατότητες που το κάνουν κατάλληλο μέσο για μεταφορά πολυμέσων ακόμα και σε θορυβώδη ασύρματα δίκτυα. Το JPEG2000 προβλέπεται να βρει εφαρμογή σε μια μεγάλη γκάμα εφαρμογών όπως Internet, ψηφιακή φωτογραφία, γραφικά, ιατρικές εφαρμογές, ψηφικές βιβλιοθήκες, βάσεις δεδομένων πολυμέσων, δορυφορική εικονογράφηση, κινητή επικοινωνία πολυμέσων, εφαρμογές 3G, client-server εφαρμογές, e-commerce, color reprography (printing, scanning, facsimile) κτλ.

Το JPEG2000 αποτελείται από 12 μέρη, όπως θα περιγραφούν παρακάτω. Τα βασικά στοιχεία του αλγορίθμου περιλαμβάνονται στο Part 1, στο οποίο θα επικεντρωθεί και η παρακάτω περιγραφή. Για τα υπόλοιπα μέρη, σας παραπέμπουμε στην διεθνή βιβλιογραφία.

Το βασικό μειονέκτημα του JPEG2000 σε σχέση με το τωρινό JPEG είναι η αυξημένη

πολυπλοκότητα και οι αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ κατά την διάρκεια της κωδικοποίησης. Η διαδικασία κωδικοποίησης JPEG2000 παρουσιάζει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα σε σχέση με JPEG και άλλα πρότυπα εικόνas, όπως θα περιγραφεί παρακάτω. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ανάγκη για ανάπτυξη αρχιτεκτονικών υψηλών επιδόσεων σε επίπεδο hardware και VLSI-chips που εκμεταλλεύονται τον παραλληλισμό δεδομένων με σκοπό την επιτάχυνση της διαδικασίας κωδικοποίησης στις real-time εφαρμογές.

2.2 Περιγραφή JPEG2000

2.2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά JPEG2000

Η βασική φιλοσοφία πάνω στην οποία βασίστηκε το JPEG2000 είναι η δυνατότητα κωδικοποίησης της εικόνας με ένα τρόπο και αποκωδικοποίησης της ίδιας εικόνας με πολλούς τρόπους με σκοπό να καλυφθούν απαιτήσεις διαφορετικών εφαρμογών. Μερικά από τα χαρακτηριστικά που παρέχει το JPEG2000 και χρησιμοποιούνται ευρέως περιγράφονται παρακάτω:

- Εξαιρετική απόδοση σε χαμηλά bit-rates: Προσφέρει υψηλή απόδοση ως προς την ποιότητα εικόνας και του μέτρου PSNR (peak signal-to-noise ratio) σε πολύ χαμηλά bit-rates (0.25 bit/pixel) σε σχέση με άλλα πρότυπα εικόνas. Στην περίπτωση που έχουμε ίδια ποιότητα εικόνας σε JPEG2000 και JPEG, το JPEG2000 κατορθώνει μεγαλύτερη συμπίεση δεδομένων (εώς και 20-25%), χαρακτηριστικό που είναι απαραίτητο στην μετάδοση συμπιεσμένων εικόνων σε χαμηλής χωρητικότητας κανάλι.
- Συμπίεση εικόνας συνεχούς χρώματος και δυαδικής εικόνας: Το JPEG2000 συμπιέζει/αποσυμπιέζει εικόνες τόσο συνεχούς χρώματος (grayscale και έγχρωμες) όσο και δυαδικές εικόνες. Το πρότυπο JBIG2 έχει ορισθεί για την συμπίεση δυαδικών εικόνων χρησιμοποιώντας τον ίδιο MQ-coder που χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση των wavelet συντελεστών των ασπρόμαυρων και έγχρωμων.
- Lossless και lossy συμπίεση: Η αρχιτεκτονική του προτύπου δίνει την δυνατότητα για lossless και lossy συμπίεση εικόνας και μάλιστα από την ίδια ακολουθία δεδομένων χρησιμοποιώντας αναστρέψιμους μετασχηματισμούς χρώματος και wavelet (reversible color

transform και reversible wavelet transform). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, η ίδια αρχιτεκτονική να χρησιμοποιείται για εφαρμογές που απαιτούν μη-απώλεια πληροφορίας, όπως οι ιατρικές εφαρμογές, και για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή συμπίεση με απώλεια πληροφορίας, όπως τα θορυβώδη ασύρματα δίκτυα.

- Δυνατότητα δημιουργίας συμπιεσμένης εικόνας προκαθορισμένου μεγέθους: Το JPEG 2000 επιτρέπει στους χρήστες να διαλέξουν συγκεκριμένο μέγεθος της συμπιεσμένης εικόνας. Αυτό είναι δυνατό από την αρχιτεκτονική κωδικοποίησης bit-plane και ελέγχοντας το bit-rate μέσω του rate control. Η συμπίεση μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα bit-planes σε όλα τα codeblocks έως ότου το επιθυμητό μέγεθος αρχείου επιτευχθεί. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι χρήσιμο για υλοποιήσεις hardware με περιορισμένο μέγεθος buffer όπως εκτυπωτές, σαρωτές κτλ.
- Σταδιακή μετάδοση ως προς την ποιότητα εικόνας, την ανάλυση και των χρωματικών συντελεστών: Χρησιμοποιώντας το πρότυπο JPEG2000, είναι δυνατή η οργάνωση της ακολουθίας δεδομένων και πακέτων προς αποστολή με τέτοιο τρόπο ώστε όσο περισσότερα δεδομένα φτάνουν και αποκωδικοποιούνται στον δέκτη, να αυξάνεται σταδιακά είτε η ποιότητα της εικόνας (ως προς SNR), είτε η ανάλυση της λαμβανόμενης εικόνας, είτε η χρωματική συνιστώσα της εικόνας είτε συνδυασμός αυτών. Αυτό γίνεται με την σταδιακή αποκωδικοποίηση από τα πιο σημαντικά bit-planes προς τα λιγότερα σημαντικά, έως ότου αποκωδικοποιηθεί ολόκληρη η εικόνα. Ως προς την χρωματική συνιστώσα της εικόνας, για παράδειγμα, μία εφαρμογή είναι η λήψη εικόνας σε YCbCr χρωματικό πρότυπο και η αποστολή μόνο του Y συντελεστή για ασπρόμαυρη απεικόνιση στον δέκτη. Όλα αυτά βρίσκουν εφαρμογή σε real-time αναζήτηση εικόνων στο διαδίκτυο, σε real-time μετάδοση εικόνων μέσα από κανάλια με περιορισμένο bandwidth, σε αποκωδικοποίηση εικόνας για συσκευή με συγκεκριμένη ανάλυση, κτλ.
- Region-of-Interest (ROI): Δεδομένου ότι κατά την συμπίεση των δεδομένων υπάρχει περίπτωση να χαθεί πληροφορία από τμήματα εικόνας που έχουν ιδιαίτερη σημασία στην εφαρμογή, το JPEG2000 παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα να επιλέγει περιοχές της εικόνας από τις οποίες δεν θα χαθεί πληροφορία κατά την διαδικασία της κωδικοποίησης.

Παράλληλα, κατά την διάρκεια της αποκωδικοποίησης, ο χρήστης επιλέγει τον βαθμό στον οποίο οι περιοχές θα αποκωδικοποιηθούν με μερικά ή όλα τα δεδομένα. Για παράδειγμα, στον πομπό μιας ιατρικής εφαρμογής μια σειρά περιοχών ενός ραδιογραφήματος θεωρούνται σημαντικές και για αυτές αποφασίζεται να μην χαθεί καμία πληροφορία κατά την κωδικοποίηση - για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το χαρακτηριστικό του ROI. Πιο συγκεκριμένα, οι μη σημαντικές περιοχές κωδικοποιούνται εισάγωντας λάθη στην απεικόνιση τους ώστε να μειωθεί το συνολικό μέγεθος της τελικής εικόνας. Από την άλλη, στον δέκτη μπορεί να επιλεγεί να αποκωδικοποιηθεί η εικόνα με όλη την πληροφορία που του απεστάλλει ή κάνοντας μείωση της ποιότητας εικόνας επιλέγοντας τα κομμάτια της πληροφορίας που είναι πιο σημαντικά.

- Πρόσβαση και επεξεργασία σε τυχαία τμήματα της εικόνας: Από το προηγούμενο χαρακτηριστικό, παρατηρούμε ότι είναι δυνατή η εξαγωγή και επεξεργασία οποιουδήποτε τμήματος της ακολουθίας δεδομένων. Μερικές από τις επιλογές επεξεργασίας είναι η αποκοπή τμημάτων εικόνας, η περιστροφή τους, η εξαγωγή χαρακτηριστικών από αυτές, η μεγέθυνση και σμίκρυνσή τους, κτλ. Με τον ίδιο τρόπο, είναι δυνατή η αντικατάσταση τμημάτων εικόνας με άλλα τμήματα, δυνατότητα που είναι σημαντική σε εφαρμογές όπως animation, γραφικά, εργαλεία επεξεργασίας εικόνας κτλ.
- Ασφάλεια: Αν και ο βασικός ορισμός του προτύπου JPEG2000 δεν περιλαμβάνει πληροφορίες για τεχνικές ασφάλειας, είναι δυνατόν να εισάγουμε χαρακτηριστικά ασφαλείας στην ακολουθία δεδομένων JPEG2000. Ένα από τα τμήματα του JPEG2000 είναι το τμήμα ασφάλειας των δεδομένων JPEG2000 (Part 8), το οποίο όμως βρίσκεται σε επίπεδο ανάπτυξης και δεν θα αναφερθούμε περισσότερο. Μερικά από τα εργαλεία που μπορεί να χρησιμοποιηθούν είναι watermarks, δακτυλικά αποτυπώματα ή όροι πνευματικών δικαιωμάτων.
- Μηχανισμοί διόρθωσης λαθών μετάδοσης σε ασύρματες ζεύξεις (JPWL): Η ανάπτυξη των κινητών συσκευών και τηλεπικοινωνιών έκανε απαραίτητη την δυνατότητα αποστολής αρχείων πολυμέσων μέσα από ασύρματες ζεύξεις που υπόκεινται σε πολλά λάθη επικοινωνίας. Για τον λόγο αυτό, καθίσταται απαραίτητο η ανάπτυξη εργαλείων διόρθωσης λαθών

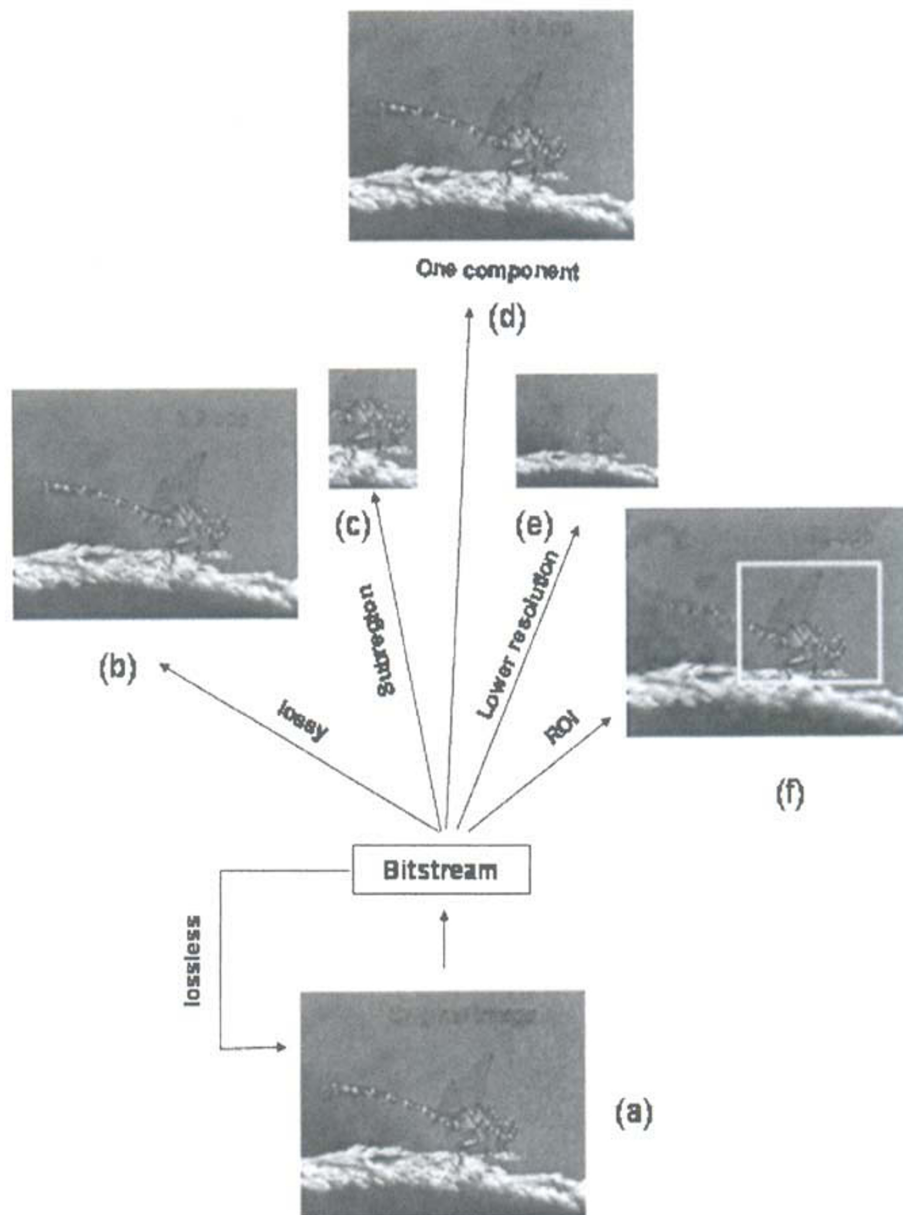
κατά την μετάδοση στον δέκτη. Το τμήμα 11 του JPEG2000 (JPWL) ασχολείται με τους μηχανισμούς διόρθωσης λαθών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μελετούν την συμπεριφορά αυτών στις διάφορες απαιτήσεις των εφαρμογών. Περισσότερες πληροφορίες δίνονται στην συνέχεια [1].

Στην εικόνα 2.1, φαίνονται μερικές από τις ιδιότητες που περιγράφηκαν παραπάνω. Ως είσοδο θεωρείται μία έγχρωμη εικόνα τυπου RGB, όπως φαίνεται στην εικόνα (a). Εφαρμόζεται μετασχηματισμός DWT τριών επιπέδων και εφαρμόζεται ROI επεξεργασία σε επιλεγμένη περιοχή. Η κωδικοποίηση γίνεται χωρίς απώλεια πληροφορίας. Το αποτέλεσμα της αποκωδικοποίησης φαίνεται στην εικόνα (b). Στην εικόνα (c) φαίνεται η δυνατότητα της τυχαίας πρόσβασης στα δεδομένα, όπου επιλέγονται συγκεκριμένα πακέτα δεδομένων της ακολουθίας και αποκωδικοποιούνται ξεχωριστά. Η αποκωδικοποίηση μίας ‘μπάντας’ χρωμάτων μας δίνει το ασπρόμαυρο αποτέλεσμα της εικόνας (d) ενώ αν αποκωδικοποιήσουμε δύο από τα τρία επίπεδα ανάλυσης, παίρνουμε μία εικόνα στην μισή ανάλυση της πρωτότυπης εικόνας (εικόνα (e)). Αποκωδικοποιώντας την εικόνα χωρίς απώλεια πληροφορίας στις κρίσιμες ROI περιοχές, έχουμε το αποτέλεσμα της εικόνας (f). Από όλα αυτά, συμπεραίνουμε τις πολλές δυνατότητες που παρέχονται στον χρήστη με το πρότυπο JPEG2000.

2.2.2 Μέρη του JPEG2000

Το πρότυπο αποτελείται από 12 μέρη, καθένα από τα οποία προσθέτει νέα χαρακτηριστικά και δυνατότητες στον πυρήνα του αλγορίθμου κωδικοποίησης (εκτός από ένα που εγκαταλήφθηκε). Τα 12 μέρη και τα χαρακτηριστικά τους περιγράφονται παρακάτω:

- Part-1: Πυρήνας του αλγορίθμου JPEG2000 ο οποίος εκδόθηκε απο την διεθνή επιτροπή ISO/IEC 15444-1:2000. Εδώ ορίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά και η σύνταξη των αρχείων JPEG2000.
- Part-2: Αποτελεί επέκταση του μέρους 1, προσθέτει πολλές νέες δυνατότητες στον βασικό πυρήνα.
- Part-3: Πρόκειται για το πρότυπο Motion-JPEG2000 που χρησιμοποιείται για video εφαρμογές. Το τμήμα αυτό του προτύπου ορίζει το format των αρχείων MJPEG2000 τα οποία αποτελούνται απο ακολουθίες εικόνων JPEG2000 με αποτέλεσμα να δημιουργείται



Σχήμα 2.1: Δυνατότητες προτύπου JPEG2000 (εικόνα βιβλιογραφίας)

η αίσθηση της κίνησης. Κυρίως χρησιμοποιείται για εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή ποιότητα εικόνας.

- Part-4: Θεωρείται ήδη πρότυπο και σκοπό είχε τον καθορισμό συμβατών προς το πρότυπο JPEG2000 υλοποιήσεων κωδικοποίησης/αποκωδικοποίησης.
- Part-5: Σε αυτό το μέρος, δύο υλοποιήσεις (σε Java και C) ορίζονται επίσημες υλοποιήσεις JPEG2000 και γίνονται διαθέσιμες για επαλήθευση σωστής λειτουργίας των JPEG2000 συστημάτων που δημιουργούνται από προγραμματιστές.
- Part-6: Ορίζει ένα άλλο format για την αποθήκευση εικόνων JPEG2000.
- Part-7: Έχει εγκαταληφθεί.
- Part-8: Ασχολείται με τη ασφάλεια των δεδομένων, όπως περιγράφηκε παραπάνω.
- Part-9: Το τμήμα αυτό ορίζει ένα διαδραστικό πρωτόκολλο επικοινωνίας και παρέχει εργαλεία για αποτελεσματική ανταλλαγή εικόνων και metadata.
- Part-10: Αναφέρεται στις 3-D εφαρμογές τρισδιάστατη απεικόνιση ιατρικών εικόνων.
- Part-11: Ασχολείται με τη διόρθωση λαθών κατά την μετάδοση δεδομένων σε ασύρματα κανάλια (JPWL), όπως περιγράφηκε παραπάνω.
- Part-12: Ορίζει ένα άλλο format για την αποθήκευση εικόνων JPEG2000.

Τα μέρη από 8 έως 11 βρίσκονται ακόμα σε επίπεδο ανάπτυξης. Η περιγραφή παρακάτω αναφέρεται κυρίως στον πυρήνα του αλγορίθμου κωδικοποίησης Part-1.

2.2.3 Περιγραφή Διαδικασίας Κωδικοποίησης JPEG2000

Όπως κάθε πρότυπο εικόνας και video (JPEG, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4), έτσι και το πρότυπο JPEG2000 έχει οριστεί λεπτομερώς από την πλευρά της αποκωδικοποίησης. Έτσι, ο αποκωδικοποιητής ορίζεται με κάθε λεπτομέρεια γεγονός που επιτρέπει να δεικτοδοτηθούν οι δυνατότητες του κωδικοποιητή. Παρ'όλα αυτά είναι πολύ δύσκολο να γίνει κατανοητή η διαδικασία κωδικοποίησης/αποκωδικοποίησης από την οπτική του αποκωδικοποιητή. Για αυτό, περιγράφουμε τον μηχανισμό από την οπτική του κωδικοποιητή. Το όλο σύστημα μηχανισμού συμπίεσης χωρίζεται σε τρεις φάσεις: (1) προεπεξεργασία εικόνας, (2) συμπίεση και (3) σχηματισμός της ακολουθίας δεδομένων. Η περιγραφή των φάσεων γίνεται στις επόμενες υποενότητες [1],[3].

Προεπεξεργασία εικόνας

Η φάση της προεπεξεργασίας εικόνας αποτελείται από τρεις διαδικασίες: πρώτα tiling, στην συνέχεια DC level shifting και τέλος multicomponent transformation.

Tiling: Η πρώτη διαδικασία της προεπεξεργασίας, η οποία είναι προαιρετική, είναι η διαδικασία tiling. Σε αυτό το στάδιο, η εικόνα προς κωδικοποίηση χωρίζεται σε ένα αριθμό από μη-επικαλυπτόμενα τετράγωνα τμήματα της εικόνας σε περίπτωση που η εικόνα είναι πολύ μεγάλη. Κάθε ένα από αυτά τα τμήματα ονομάζεται tile. Όλα τα τμήματα μίας εικόνας έχουν ίδιο μέγεθος εκτός από εκείνα που βρίσκονται στα όρια της εικόνας, σε περίπτωση που οι διαστάσεις της εικόνας δεν είναι πολλαπλάσιο του μεγέθους του tile. Το μέγεθος των tiles μπορεί να είναι αυθαίρετα μεγάλο με άνω όριο το μέγεθος της πρωτότυπης εικόνας. Για την περίπτωση των πολύχρωμων εικόνων που αποτελούνται από περισσότερες από μία συνιστώσες, κάθε tile αποτελείται από tiles για κάθε χρωματική συνιστώσα της εικόνας. Μόλις σχηματιστούν τα tiles, καθένα από αυτά κωδικοποιείται ξεχωριστά με αποτέλεσμα, στις περιπτώσεις της υψηλής συμπίεσης, να παρατηρούνται ασυνέχειες στα όρια των tiles μεταξύ τους. Έτσι, μικρότερα tiles απαιτούν μικρότερη υπολογιστική ισχύ και μνήμη αλλά στις περιπτώσεις υψηλής συμπίεσης δημιουργούν ασυνέχειες σε αντίθεση με τα μεγαλύτερα tiles που έχουν καλύτερη απεικόνιση αλλά υψηλή πολυπλοκότητα κωδικοποίησης. Προφανώς, η ιδανική λύση είναι η χρήση ενός tile με μέγεθος ίσο με τις διαστάσεις της εικόνας προς κωδικοποίηση. Τυπικές τιμές των tiles είναι 256x256 και 512x512.

DC Level Shifting: Αρχικά, τα pixels της εικόνας είναι αποθηκευμένα με την μορφή των μη προσημασμένων ακεραίων. Για σκοπούς μαθηματικής πολυπλοκότητας, είναι βασικό να μετατρέψουμε τα δείγματα σε αναπαράσταση συμπληρώματος ως προς 2 πριν οποιονδήποτε μετασχηματισμό ή μαθηματικό υπολογισμό της εικόνας. Στόχος του DC level shifting είναι η διασφάλιση ότι τα δείγματα της εικόνας έχουν δυναμικό εύρος που τοποθετείται με κέντρο το μηδέν. Η φάση αυτή είναι προαιρετική και δεν χρησιμοποιήθηκε κατά την διάρκεια των πειραμάτων.

Multicomponent Transformations: Στις πολύχρωμες εικόνες, οι πληροφορίες που υπάρχουν σε κάθε χρωματική συνιστώσα της εικόνας παρουσιάζουν συσχέτιση μεταξύ τους και επο-

μένως υπάρχει πλεονασμός πληροφορίας που αυξάνει την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου. Το στάδιο αυτό προσπαθεί να εξαλείψει τον πλεονασμό αυτό μεταξύ των συνιστωσών. Στην πραγματικότητα, βέβαια, ο αλγόριθμος κωδικοποίησης δεν αντιλαμβάνεται τις συνιστώσες ακριβώς ως χρωματικές αποχρώσεις της εικόνας. Παρόλα αυτά, επειδή ορίζεται ένας μετασχηματισμός για τις τρεις πρώτες συνιστώσες (που μπορούν να συσχετιστούν για παράδειγμα με τις συνιστώσες R, G και B), η φάση αυτή ονομάζεται *multicomponent transformation*. Το JPEG2000 Part 1 υποστηρίζει δύο διαφορετικούς μετασχηματισμούς: τον αναστρέψιμο μετασχηματισμό (RCT - *reversible color transform*) και τον μη-αναστρέψιμο μετασχηματισμό (ICT - *irreversible color transform*). Ο μετασχηματισμός RCT μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για *lossless* όσο και για *lossy* συμπίεση εικόνων, ενώ ο μετασχηματισμός ICT μόνο για *lossy* συμπίεση εικόνων. Περισσότερες πληροφορίες παρακάτω.

RCT: Πρόκειται για τον μετασχηματισμό που επιτρέπει *lossless* και *lossy* συμπίεση εικόνας. Με τον τρόπο αυτό, η πληροφορία για την απεικόνιση των pixels μπορεί να ανακτηθεί πλήρως. Παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιείται κυρίως για τις *lossless* εφαρμογές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στις περιπτώσεις που η απώλεια πληροφορίας δεν είναι σημαντική, μόνο που τα λάθη δεν εισάγονται από τον ίδιο τον RCT αλλά από άλλες διαδικασίες (βήμα κβάντισης κτλ). Ο ευθύς και αντίστροφος μετασχηματισμός RCT φαίνεται στο σχήμα 2.2.

ICT: Πρόκειται για τον μετασχηματισμό που επιτρέπει μόνο *lossy* συμπίεση εικόνας. Με τον τρόπο αυτό, η πληροφορία για την απεικόνιση των pixels δεν μπορεί να ανακτηθεί πλήρως. Τα λάθη στην πληροφορία εισάγονται από τον μετασχηματισμό ICT χρησιμοποιώντας μη-ακέραιους συντελεστές σαν βάρη στον πίνακα μετασχηματισμού, όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα. Ο μετασχηματισμός ICT είναι παρόμοιος με τον *lumimance-chrominance* μετασχηματισμό που χρησιμοποιείται στο JPEG, όπου οι συντελεστές Cb και Cr μπορούν να υποδειγματοληπτηθούν για να μειωθεί η πληροφορία προς συμπίεση, χάνοντας πληροφορία μόνο ως προς την χρωματική απόχρωση της εικόνας. Κάτι παρόμοιο γίνεται και στο JPEG2000, χωρίς να γίνεται όμως υποδειγματοληψία. Ο ICT φαίνεται στο σχήμα 2.3.

Forward RCT:

$$\left. \begin{aligned} Y_r &= \lfloor \frac{R+2G+B}{4} \rfloor \\ U_r &= B - G \\ V_r &= R - G \end{aligned} \right\}$$

Inverse RCT:

$$\left. \begin{aligned} G &= Y_r - \lfloor \frac{U_r+V_r}{4} \rfloor \\ R &= V_r + G \\ B &= U_r + G \end{aligned} \right\}$$

Σχήμα 2.2: Ευθύς και αντίστροφος μετασχηματισμός RCT

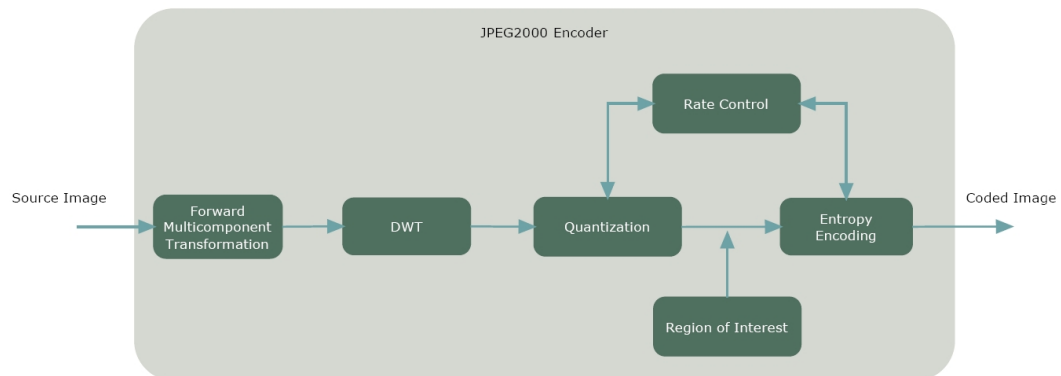
Forward ICT:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299000 & 0.587000 & 0.114000 \\ -0.168736 & -0.331264 & 0.500000 \\ 0.500000 & -0.418688 & -0.081312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Inverse ICT:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.0 & 1.402000 \\ 1.0 & -0.344136 & -0.714136 \\ 1.0 & 1.772000 & 0.0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix}$$

Σχήμα 2.3: Ευθύς και αντίστροφος μετασχηματισμός ICT

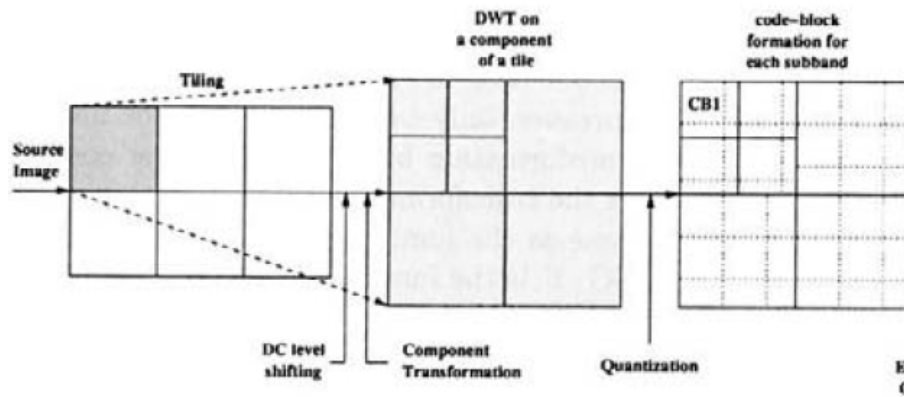


Σχήμα 2.4: Διάγραμμα κωδικοποιητή JPEG2000

Συμπίεση Εικόνας

Μετά το προαιρετικό στάδιο της προεπεξεργασίας της εικόνας, ακολουθεί η φάση της συμπίεσης που ουσιαστικά δημιουργεί την συμπίεσμένη ακολουθία δεδομένων. Τα βασικά βήματα που ακολουθούνται φαίνονται στο διάγραμμα 2.4 ενώ η διαδρομή των δεδομένων μέσα από το στάδιο της συμπίεσης φαίνονται στο σχήμα 2.5. Όπως φαίνεται στο σχήμα, κάθε προεπεξεργασμένη συνιστώσα συμπίεζεται και αποστέλλεται ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες.

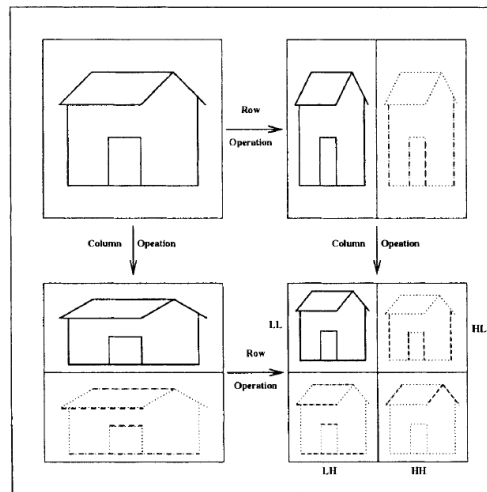
Η φάση της συμπίεσης χωρίζεται βασικά σε 3 διαδοχικά βήματα: το βήμα του DWT (Discrete Wavelet Transform), το βήμα της κβάντισης και τέλος το βήμα του entropy encoding. Πιο συγκεκριμένα, κάθε συνιστώσα που έρχεται από το στάδιο της προεπεξεργασίας, αναλύεται από τον μετασχηματισμό DWT σε ένα αριθμό από subbands, κάθε ένα από τα οποία αναφέρεται σε διαφορετική ανάλυση της εικόνας. Κάθε ένα από τα subbands, στην συνέχεια, κβαντίζεται από το στάδιο της κβάντισης στην περίπτωση και μόνο που έχουμε lossy συμπίεση. Το αποτέλεσμα της κβάντισης χωρίζεται σε έναν αριθμό από μικρότερα ισομεγέθη τμήματα της εικόνας, εκτός από εκείνα που βρίσκονται στα όρια της εικόνας, τα ονομαζόμενα code-blocks. Τυπικό μέγεθος των code-blocks είναι 32x32, 64x62 ή και 128x128. Βέβαια, για λόγους μνήμης και υπολογιστικής ισχύος, προτιμούνται τα δύο πρώτα μεγέθη. Τέλος, κάθε ένα από τα code-blocks κωδικοποιείται ξεχωριστά για την δημιουργία της συμπίεσμένης ακολουθίας. Πιο αναλυτικά, περιγράφουμε τα στάδια αυτά στις επόμενες υποενότητες.



Σχήμα 2.5: Dataflow

Discrete Wavelet Transform (DWT): Όπως περιγράφηκε περιληπτικά παραπάνω, το στάδιο του μετασχηματισμού DWT αναλύει την εικόνα σε ένα αριθμό από subbands, διαφορετικής ανάλυσης το κάθε ένα σε σχέση με την αρχική εικόνα. Για να γίνει πιο κατανοητή η διαδικασία του DWT, θα περιγράψουμε την περίπτωση του δισδιάστατου μετασχηματισμού DWT που χρησιμοποιείται στην περίπτωσή μας και φαίνεται στην εικόνα 2.6. Ο δισδιάστατος μετασχηματισμός DWT πραγματοποιείται εφαρμόζοντας μονοδιάστατο μετασχηματισμό DWT οριζόντια και κάθετα σε κάθε συνιστώσα της εικόνας, όπως φαίνεται και στο σχήμα. Στο πρώτο στάδιο της ανάλυσης, δημιουργούνται τέσσερις subbands LL1, HL1, LH1 και HH1. Το LL1 αποτελεί μία υποδειγματοληπτική έκδοση της εικόνας τόσο σε οριζόντιο όσο και σε κάθετο άξονα σε υποδιπλάσια ανάλυση ενώ τα υπόλοιπα HL1, LH1, και HH1 απεικονίζουν την πληροφορία/λεπτομέρεια που χρειάζεται η υποδιπλάσια εικόνα LL1 για να γίνει ίδια με την πρωτότυπη εικόνα. Το LL1 subband μπορεί να αναλυθεί σε ένα δεύτερο επίπεδο σε subbands LL2, HL2, LH2, και HH2. Η διαδικασία ανάλυσης με μετασχηματισμό DWT μπορεί να συνεχιστεί με τον

ίδιο τρόπο για όσα στάδια ανάλυσης επιθυμούμε αλλά συνήθως δεν κερδίσουμε τίποτα ως προς την συμπίεση μετά από πέντε στάδια ανάλυσης για τις συνηθισμένες εικόνες. Το Part-1 έχει ορίσει ως μέγιστο αριθμό επιτρεπόμενων αναλύσεων τις 32.



Σχήμα 2.6: Εφαρμογή του DWT σε δύο διαστάσεις

Κβάντιση: Μετά την φάση του μετασχηματισμού και για την περίπτωση της lossy συμπίεσης, τα subbands κβαντίζονται με σκοπό να μειωθεί η ποσότητα της πληροφορίας και να επιτευχθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη συμπίεση. Το στάδιο της κβάντισης είναι ένας από τους κύριους λόγους απώλειας πληροφορίας στον κωδικοποιητή. Εντονότερη κβάντιση προκαλεί μεγαλύτερη απώλεια πληροφορίας και άρα χειρότερη ποιότητα στη τελική εικόνα αλλά και έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη συμπίεση (για τις περιπτώσεις που το μέγεθος του αρχείου είναι σημαντικός παράγοντας της εφαρμογής). Αντίθετα, ηπιότερη κβάντιση προκαλεί μεγαλύτερα αρχεία εικόνas με μεγαλύτερη πιστότητα και ποιότητα (για τις περιπτώσεις που η ακρίβεια της απεικόνισης είναι σημαντική - ιατρικές εφαρμογές, κτλ). Για την κβάντιση χρησιμοποιείται ομοιόμορφη scalar κβάντιση με 'νεκρή' ζώνη. Το πρότυπο υποστηρίζει διαφορετικό βήμα κβάντισης για τις διάφορες συνιστώσες και για τα διάφορα subbands. Όλοι οι υπολογισμοί μέχρι το στάδιο της

κβάντισης γίνονται με αριθμούς σε μορφή συμπληρώματος ως προς 2. Μετά το στάδιο της κβάντισης, οι κβαντισμένοι συντελεστές του μετασχηματισμού DWT μετατρέπονται σε ακεραίους, οι οποίοι θα επεξεργαστούν bit προς bit από το στάδιο κωδικοποίησης.

Δημιουργία Ακολουθίας Δεδομένων

Το αποτέλεσμα της προηγούμενης διαδικασίας είναι μία συλλογή από subbands τα οποία αναπαριστούν διαφορετικές αναλύσεις της εικόνας και περιέχουν την πληροφορία που χρειάζεται για την μετάβαση από μία ανάλυση σε μία μεγαλύτερη. Μια subband είναι ένα σύνολο συντελεστών - πραγματικών αριθμών που αναπαριστούν την εικόνα σε συγκεκριμένη συχνότητα και σε συγκεκριμένη ανάλυση. Τα κβαντισμένα subbands χωρίζονται περαιτέρω σε precincts, ορθογώνιες περιοχές στο πεδίο του wavelet. Τα precincts διαλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε οι συντελεστές τους εγγαρσίως όλων των subbands να σχηματίζουν προσεγγιστικά blocks χωρικά συσχετισμένα μεταξύ τους ως προς την απεικόνιση της εικόνας, χωρίς να είναι υποχρεωτικό. Τα precincts χωρίζονται περαιτέρω στα λεγόμενα code-blocks. Τα code-blocks αφορούν μία subband και έχουν ίσα μεγέθη εκτός από αυτά που βρίσκονται στα άκρα της εικόνας. Ο κωδικοποιητής πρέπει να κωδικοποιήσει τα bits όλων των κβαντισμένων συντελεστών του code-block, ξεκινώντας από τα πιο σημαντικά bits και προχωρώντας προς τα λιγότερα σημαντικά, χρησιμοποιώντας την κωδικοποίηση EBCOT. Στην διαδικασία EBCOT (Embedded Block Coding with Optimal Truncation), κάθε bit-plane των code-blocks κωδικοποιείται σε τρία βήματα: αρχικά κωδικοποιούνται bits των μη-σημαντικών συντελεστών που έχουν σημαντικούς γείτονες (για παράδειγμα, με τιμή 1 στα bits των σημαντικών bit-planes), στην συνέχεια κωδικοποιούνται τα bits βελτιστοποίησης των σημαντικών συντελεστών και τέλος οι συντελεστές χωρίς σημαντικούς γείτονες. Τα τρία αυτά βήματα ονομάζονται Significance Propagation, Magnitude Refinement και Cleanup Pass, αντίστοιχα.

Στην περίπτωση της lossless συμπίεσης, όλα τα bit-planes πρέπει να κωδικοποιηθούν από τον EBCOT, χωρίς απώλεια πληροφορίας.

Το αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας κωδικοποιείται περαιτέρω από ένα δυαδικό αριθμητικό κωδικοποιητή, τον MQ-coder. Το περιεχόμενο κάθε συντελεστή διαμορφώνεται από την κατάσταση καθενός από τους εννιά γείτονες του codeblocks. Η έξοδος του MQ-coder

χωρίζεται σε πακέτα όπου κάθε πακέτο περιέχει πληροφορίες των codeblocks από τα precincts σε μία ανεξάρτητη μονάδα. Η ιδιότητα αυτή αποτελεί το κλειδί για την ιδιότητα του scalability - πακέτα με λιγότερο σημαντικά bits μπορούν να παραλειφθούν για να μειωθεί το μέγεθος αρχείου αλλά ταυτόχρονα να μειωθεί η ποιότητα της εικόνας. Τα πακέτα από όλα τα subbands συγκεντρώνονται σε επίπεδα ποιότητας (layers). Ο τρόπος με τον οποίο τα πακέτα ομαδοποιούνται δεν ορίζεται απόλυτα από το πρότυπο JPEG2000, αλλά γενικά οι κωδικοποιητές οργανώνουν τα layers με τρόπο ώστε η ποιότητα της εικόνας να αυξάνεται μονοτονικά με την προσθήκη ολοένα περισσότερων layers.

Όλα τα παράπανω αποτελούν μία περιληπτική περιγραφή της διαδικασίας κωδικοποίησης εικόνων κατά το πρότυπο JPEG2000 από τα οποία συμπεραίνουμε είναι τα εξής: Η οργάνωση των πακέτων προσδίδει ελαστικότητα στον τρόπο με τον οποίο κωδικοποιημένες εικόνες μπορούν να αποσταλλούν σε διόδους επικοινωνίας και δίκτυα. Από την άλλη, φαίνεται η αυξημένη πολυπλοκότητα του αλγορίθμου γεγονός που δυσκολεύει τις εφαρμογές που είναι ευαίσθητες σε καθυστερήσεις, όπως real-time εφαρμογές.

2.2.4 Δομή αρχείων JPEG2000

Όπως κάθε άλλο πρότυπο εικόνας και video, το πρότυπο JPEG2000 ορίζει την σύνταξη των δεδομένων και τους κανόνες τους οποίους πρέπει να ακολουθούν τα συμπιεσμένα bits ώστε τα δεδομένα να αποκωδικοποιούνται μοναδικά από κάθε σύστημα συμβατό προς το πρότυπο. Η σύνταξη των συμπιεσμένων αρχείων βασίζεται στο προαιρετικό format αρχείων που πρότεινε η επιτροπή του προτύπου JPEG2000 και ονομάζεται JP2.

Στην συνέχεια, θα περιγράψουμε την βασική οργάνωση (σύνταξη και κανόνες) που πρέπει να ακολουθείται για συμβατότητα με το Part-1 του JPEG2000. Η σύνταξη των δεδομένων παρέχει όλες τις πληροφορίες που χρειάζονται για την αποκωδικοποίηση των αρχείων στην πλευρά του δέκτη και προτείνει τον τρόπο με τον οποίο οι εφαρμογές μπορούν να ενθυλακώνουν τη συμπιεσμένη ακολουθία [1].

Σύνταξη και Κανόνες

Βασικά χαρακτηριστικά της σύνταξης αποτελούν οι ειδικές ακολουθίες bits που σηματοδοτούν την έναρξη και λήξη συγκεκριμένου μέρους της ακολουθίας των bits, το οποίο είτε περιέχει δεδομένα του αρχείου είτε δίνει πληροφορίες για το αρχείο όπως μέγεθος εικόνας, αριθμός συνιστωσών, μέγεθος tile, μέγεθος code-blocks, μέγεθος precinct, βήμα κβάντισης, αριθμός αναλύσεων της εικόνας κτλ. Οι ειδικές αυτές ακολουθίες νομάζονα markers ενώ οι ακολουθίες bits μεταξύ των markers ονομάζονται marker segments. Συλλογή ενός συγκεκριμένου αριθμού markers και marker segments αποτελεί μία κεφαλίδα της εικόνας. Υπάρχουν δύο είδη κεφαλίδων που μπορούν να παρατηρηθούν σε ένα JPEG2000 codestream:

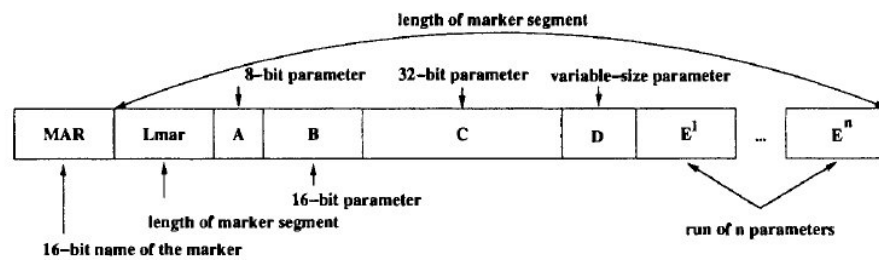
1. Βασική κεφαλίδα: Η βασική κεφαλίδα βρίσκεται στην αρχή του αρχείου JP2. Το τέλος της κεφαλίδας αυτής σηματοδοτεί την αρχή των δεδομένων και περιέχει γενικές πληροφορίες για το συμπιεσμένο αρχείο.
2. Κεφαλίδα tile: Πρόκειται για την κεφαλίδα που προηγείται των δεδομένων κάθε tile του συμπιεσμένου αρχείου. Σηματοδοτεί την έναρξη των δεδομένων των tiles και περιλαμβάνει πληροφορίες για το συγκεκριμένο tile.

Κάθε marker έχει μήκος 2 bytes. Το πρώτο byte έχει πάντα την τιμή 0xFF και το δεύτερο τιμή που κυμαίνεται μεταξύ 0x01 και 0xFE. Σύμφωνα με τον ορισμό του JPEG2000, υπάρχουν έξι τύποι marker segments οι οποίοι περιγράφονται παρακάτω:

1. Marker segments οριοθέτησης: χρησιμοποιούνται για την οριοθέτηση μεταξύ κεφαλίδων και δεδομένων.
2. Marker segments συγκεκριμένης πληροφορίας: πρόκειται για marker segments που περιέχουν πληροφορίες για την κωδικοποιημένη εικόνα. Για παράδειγμα, ένα από αυτά είναι το SIZ που περιέχει το μέγεθος του αρχείου.
3. Marker segments διαδικασίας: περιγράφει τον τρόπο κωδικοποίησης συγκεκριμένων τμημάτων του συμπιεσμένου αρχείου. Για παράδειγμα, το marker segment COD δεικτοδοτεί ότι χρησιμοποιήθηκε ο εξ'ορισμού τρόπος κωδικοποίησης.
4. Marker segments δεικτοδότησης: λειτουργούν σαν δείκτες στην ακολουθία των bits. Είναι προαιρετικοί και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εύρεση μεγέθους από την αρχή της ακολουθίας μέχρι το σημείο του δείκτη.

5. Marker segments πληροφόρησης: παρέχουν επιπλέον πληροφορίες για την εικόνα που μπορούν να προστεθούν και από το χρήστη, όπως σχόλια.

Ένα παράδειγμα marker segment φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 2.7. Οι περιγραφές των κυριότερων marker segments φαίνονται στην εικόνα 2.8.



Σχήμα 2.7: Παράδειγμα marker segment

Ορισμός κεφαλίδας

Η βασική κεφαλίδα, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.9, αποτελείται από segments γνωστά και ως marker segments βασικής κεφαλίδας. Κάποια από αυτά είναι απαραίτητα και άλλα προαιρετικά. Για παράδειγμα, τα SOC και SIZ πρέπει να τοποθετούνται ως πρώτο και δεύτερο marker segment υποχρεωτικά ενώ το PLT είναι προαιρετικό. Τα marker segments της βασικής κεφαλίδας περιγράφονται στην εικόνα 2.10.

Αντίστοιχα, ο header των tiles περιέχει συγκεκριμένα marker segments, κάποια από τα οποία είναι υποχρεωτικά και άλλα προαιρετικά. Περιγραφή των tile marker segments φαίνεται στην εικόνα 2.11 ενώ η θέση του tile header στην ακολουθία δεδομένων φαίνεται στην εικόνα 2.9.

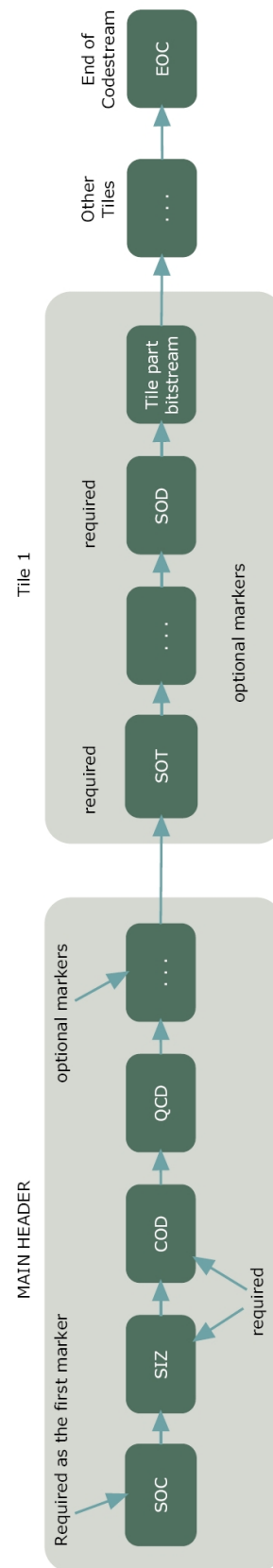
JP2 Format

Αν και το διάγραμμα στην εικόνα 2.9 αποτελεί μία συμβατή σύνταξη αρχείου JPEG2000, η επιτροπή του JPEG2000 έχει προτείνει ένα format που βασίζεται στην σύνταξη που περιγράψαμε,

	Name	Code Value
Delimiting Marker Segments		
Start of Code-stream	SOC	0xFF4F
Start of tile-part	SOT	0xFF90
Start of data	SOD	0xFF93
End of code-stream	EOC	0xFFD9
Fixed Info Marker Segments		
Image and tile size	SIZ	0xFF51
Functional Marker Segments		
Coding style default	COD	0xFF52
Coding style component	COC	0xFF53
Region of interest	RGN	0xFF5E
Quantization default	QCD	0xFF5C
Quantization component	QCC	0xFF5D
Progression order default	POD	0xFF5F
Pointer Marker Segments		
Tile-part lengths, main header	TLM	0xFF55
Packet length, main header	PLM	0xFF57
Packet length, tile-part header	PLT	0xFF58
Packed packet header, main header	PPM	0xFF60
Packed packet header, tile-part header	PPT	0xFF61
In Bitstream Marker Segments		
Start of packet	SOP	0xFF91
End of packet header	EPH	0xFF92
Informational Marker Segment		
Comment and extension	CME	0xFF64

Σχήμα 2.8: Περιγραφές των κυριότερων marker segments

το ονομαζόμενο JP2. Θεμελιώδες στοιχείο του format JP2 ονομάζεται box που ενθυλακώνει διάφορα στοιχεία της παραπάνω σύνταξης όπως δεδομένα, ιδιότητες της εικόνας κτλ. Η εικόνα 2.12 περιγράφει τον ορισμό των boxes. Έχοντας σαν βάση το box, ένα JP2 αρχείο οργάνωνται σαν μία ακολουθία από boxes. Κάποια από αυτά είναι υποχρεωτικά, ενώ άλλα είναι προαιρετικά ανάλογα με τις ιδιότητες που επιθυμούμε να έχει η συμπίεσμένη εικόνα. Η ίδια εικόνα παρουσιάζει μία οπτική της οργάνωσης των υποχρεωτικών boxes ενός JP2 αρχείου. Το JP2 Signature Box πρέπει να βρίσκεται πρώτο στην ακολουθία ακολουθούμενο από το Profile Box. Το JP2 Header Box μπορεί να περιέχει άλλα boxes, όπως τα Image Header Box και Color Specification Box. Τέλος, ακολουθεί το Contiguous Code-stream Box που περιέχει και τα δεδομένα προς αποκωδικοποίηση.



Σχήμα 2.9: Οργάνωση ακολουθίας JP2

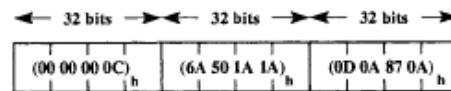
Name	Description	Required/Optional
SOC	Start of code-stream	Required as the first marker
SIZ	Image and tile size	Required as the second marker segment
COD	Coding style default	Required
COC	Coding style component	Optional and no more than one COC per component
QCD	Quantization default	Required
QCC	Quantization component	Optional and no more than one QCC per component
RGN	Region of interest	Optional
POD	Progression order change	Required in the main or tile-part header if any progression order changes
PPM	Packed packet headers	Optional, either PPM or PPT or code-stream packet headers are required
TLM	Tile-part lengths	Optional
PLM	Packet length	Optional
CME	Comments and extension	Optional

Σχήμα 2.10: Marker segments βασικής κεφαλίδας

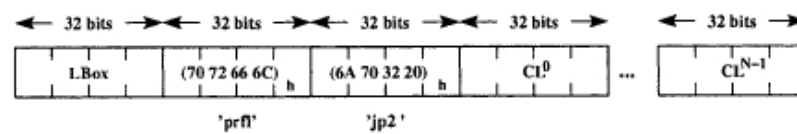
Name	Description	Required/Optional
SOT	Start of tile	Required as the first marker segment of the tile-part header
COD	Coding style default	Optional and no more than one COD per tile
COC	Coding style component	Optional and no more than one COC per component
QCD	Quantization default	Optional and no more than one QCD per tile
QCC	Quantization component	Optional and no more than one QCD per component
RGN	Region of interest	Optional and no more than one QCD per component
POD	Progression order change	Required if any progression order changes from main POD
PPT	Packed packet headers	Optional, either PPM or PPT or code-stream packet headers required
PLT	Packet length, tile-part header	Optional
CME	Comments and extension	Optional
SOD	Start of data	Required, marks the beginning of the current tile-part data

Σχήμα 2.11: Marker segments κεφαλίδας tile

JP2 Signature box: (fixed 12 bytes)



Profile box:



JP2 Header box: (a superbox)

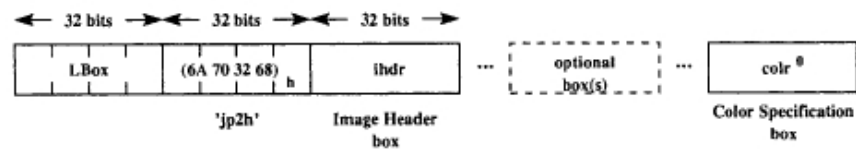
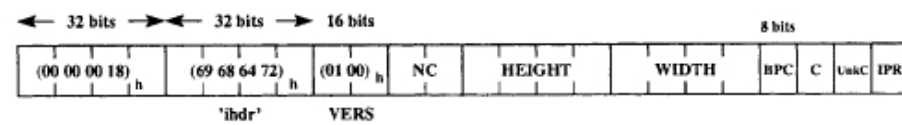
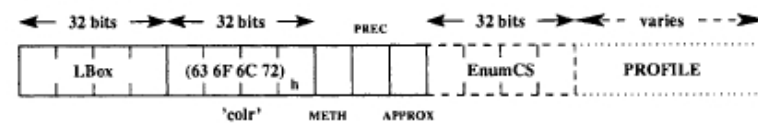


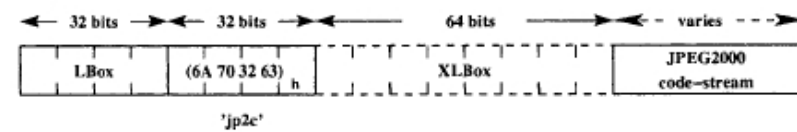
Image Header box: (fixed 24 bytes)



Color Specification box:



Contiguous Code-stream box:



Σχήμα 2.12: Περιγραφή boxes

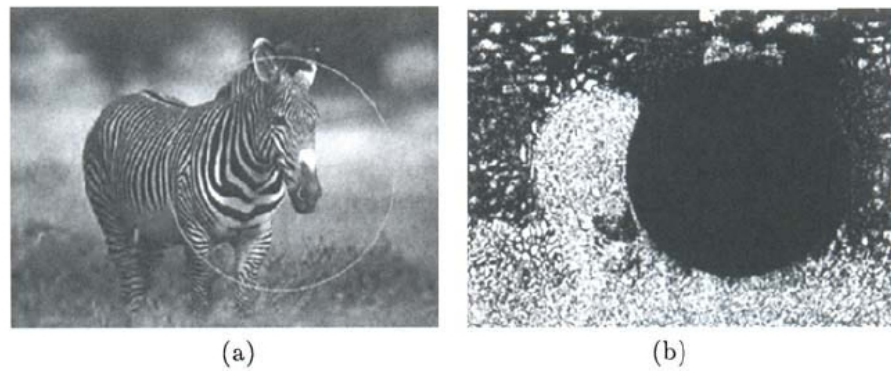
2.2.5 Άλλα χαρακτηριστικά του προτύπου JPEG2000

Region Of Interest - ROI

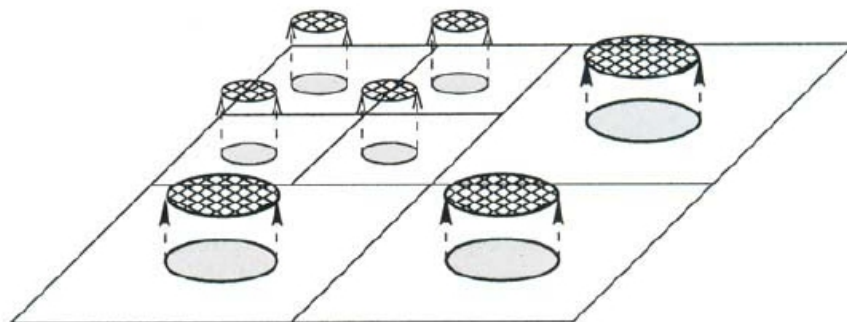
Η ιδιότητα του Region Of Interest είναι μοναδικό χαρακτηριστικό του JPEG2000. Επιτρέπει διαφορετικές περιοχές της εικόνας να κωδικοποιούνται με διαφορετικά κριτήρια πιστότητας. Οι περιοχές αυτές μπορεί να έχουν αυθαίρετα σχήματα και μεγέθη και μπορεί να είναι τελείως ανεξάρτητες μεταξύ τους. Ένα παράδειγμα χρήσης του ROI, φαίνεται στην εικόνα 2.13. Στην εικόνα αυτή, η περιοχή της ζέβρας κωδικοποιείται χωρίς λάθη συμπίεσης ενώ η υπόλοιπη εικόνα, που έχει και μικρότερο πληροφοριακό ενδιαφέρον, κωδικοποιείται με λάθη. Η αποκωδικοποιημένη εικόνα στον δέκτη φαίνεται στην εικόνα 2.13α. Για να καταλάβουμε γενικά την διαδικασία ROI, στην εικόνα 2.13β απεικονίζουμε την διαφορά μεταξύ της πρωτότυπης εικόνας και της εικόνας μετά την εφαρμογή του ROI.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή του ROI ονομάζεται MAXSHIFT. Η βασική ιδέα είναι η μετατόπιση σε υψηλότερα bit-planes των bits της σημαντικής περιοχής έτσι ώστε τα ROI bit-planes να κωδικοποιούνται και να μεταδίδονται σταδιακά πριν κωδικοποιηθούν και αποσταλλούν τα bit-planes των μη-σημαντικών περιχών. Αυτό φαίνεται και στο διάγραμμα της εικόνας 2.14. Σαν αποτέλεσμα, κατά την διάρκεια της αποκωδικοποίησης, τα πιο σημαντικά bit-planes του ROI αποκωδικοποιούνται πριν τα bit-planes της περιοχής του φόντου με αποτέλεσμα να δημιουργείται μεγαλύτερη πιστότητα και ποιότητα στην σημαντική περιοχή. Με την εφαρμογή του ROI, η διαδικασία αποκωδικοποίησης μπορεί να σταματήσει σε οποιαδήποτε στιγμή και η περιοχή του ROI θα έχει περισσότερη πληροφορία και μεγαλύτερη ευκρίνεια από τις μη-σημαντικές περιοχές [1].

Σε γενικές γραμμές, η μέθοδος έχει ως εξής: αρχικά αναζητούνται οι ελάχιστες τιμές της σημαντικής περιοχής και οι μέγιστες τιμές των μη-σημαντικών περιχών. Στην συνέχεια, οι wavelet συντελεστές της ROI περιοχής 'ανυψώνονται' με τέτοιο τρόπο ώστε οι μικρότεροι σε τιμή συντελεστές του ROI να είναι μεγαλύτεροι από τους μέγιστους συντελεστές των μη-σημαντικών περιχών. Με τον τρόπο αυτό, τα πρώτα bit-planes που κωδικοποιούνται και αποκωδικοποιούνται είναι αυτά των σημαντικών περιχών. Στον αποκωδικοποιητή, τα bits που διαπιστώνονται ότι ανήκουν σε ROI περιοχή επιδέχονται επεξεργασία μέσω μιας μάσκας για να αποκτήσουν την πραγματική τους τιμή.



Σχήμα 2.13: Παράδειγμα ROI



Σχήμα 2.14: Γραφική αναπαράσταση της μεθόδου MAXSHIFT

2.3 Σύγκριση JPEG2000 και MJPEG2000 με άλλα πρότυπα εικόνας και video

2.3.1 Μέτρα Σύγκρισης

PSNR: Το PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) είναι το μέτρο που εκφράζει την μέγιστη τιμή της αναλογίας μεταξύ της ενέργειας του σήματος προς την ενέργεια του θορύβου. Επειδή οι τιμές που μπορεί να πάρει αυτή αναλογία έχει μεγάλο δυναμικό εύρος, το PSNR εκφράζεται σε λογαριθμική κλίμακα. Το PSNR αποτελεί την παράμετρο που χρησιμοποιείται παγκοσμίως για την εκτίμηση της ποιότητας της αποκωδικοποίησης εικόνων και ορίζεται ως εξής:

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right)$$

όπου η ποσότητα MAX εκφράζει την μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει ένα pixel της εικόνας I ενώ το MSE εκφράζει την ποσότητα του mean square error μεταξύ δύο εικόνων I και K και ορίζεται ως εξής:

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

2.3.2 Σύγκριση JPEG2000 με JPEG και JPEG-LS

Το πρότυπο JPEG2000 έχει ολοκληρωθεί από το 2000. Το πρότυπο αυτό δημιουργήθηκε με σκοπό να αντικαταστήσει (σταδιακά) το πρότυπο JPEG. Άλλα standards για επεξεργασία εικόνας έχουν επίσης παρουσιαστεί, όπως το JPEG-LS. Παρακάτω γίνεται μία σύγκριση των δυνατοτήτων και χαρακτηριστικών του JPEG2000 σε σχέση με τα πρότυπα JPEG και JPEG-LS. Η μελέτη επικεντρώνεται πάνω στην συμπεριφορά των προτύπων σε καταστάσεις συμπίεσης χωρίς απώλεια πληροφορίας, συμπίεσης με απώλεια πληροφορίας και σε κατάστασεις λαθών κατά την μετάδοση. Παράλληλα, γίνεται μία αναφορά στα χαρακτηριστικά των προτύπων που παρουσιάζονται ([3],[4],[5],[6]).

Γενικά

Προσπάθειες έχουν γίνει ώστε το πρότυπο JPEG2000 να είναι συμβατό και κατάλληλο τόσο με τις τωρινές όσο και τις μελλοντικές εφαρμογές, παρέχοντας χαρακτηριστικά και δυνατότητες που

δεν υπήρχαν στα προηγούμενα πρότυπα, όπως επίσης παρέχοντας λύσεις σε χαρακτηριστικά που υποστηρίζονται από τα τωρινά επικρατέστερα πρότυπα. Η ερώτηση που προκύπτει είναι το κατά πόσο τα έα χαρακτηριστικά του JPEG2000 υπερκαλύπτουν τις ανάγκες επεξεργασίας εικόνας σε σχέση με τα άλλα πρότυπα.

Περιγραφή άλλων προτύπων κωδικοποίησης εικόνων

Για τους σκοπούς της μελέτης, συγκρίνουμε το πρότυπο κωδικοποίησης JPEG2000 με τα εξής πρότυπα: JPEG και JPEG-LS. Το JPEG είναι το δημοφιλέστερο πρότυπο κωδικοποίησης εικόνας και βρίσκει εφαρμογή σε ποικιλία εφαρμογών, από διαδικτυακές εφαρμογές μέχρι ψηφιακή φωτογραφία. Το JPEG-LS είναι ένα σχετικά πρόσφατο πρότυπο που έχει αρχίσει να εμφανίζεται σε αρκετές εφαρμογές. Είναι λογικό να συγκρίνουμε τα χαρακτηριστικά του JPEG2000 όχι μόνο σε σχέση με το παλιότερο JPEG αλλά και με τις πρόσφατες υλοποιήσεις, όπως αυτή του JPEG-LS.

Αν και το JPEG2000 υποστηρίζει κωδικοποίηση δυαδικών και έγχρωμων εικόνων, περιορίζουμε την μελέτη σε εικόνες συνεχούς χρώματος, αφού είναι η πιο συνηθισμένη μορφή για εικόνες. Άλλα πρότυπα κωδικοποίησης δυαδικών εικόνων είναι το JBIG και το JBIG2. Αν και αυτά τα πρότυπα αποδίδουν πολύ καλά σε δυαδικές εικόνες, δεν υποστηρίζουν αποδοτική κωδικοποίηση εικόνων συνεχούς χρώματος. Επομένως, τα πρότυπα αυτά αποκλείονται από την μελέτη.

JPEG: Πρόκειται για το γνωστό ISO/ITU-T πρότυπο που δημιουργήθηκε στο τέλος της δεκαετίας του '80. Υπάρχουν διάφορα modes που έχουν οριστεί για το JPEG, όπως baseline, lossless, progressive και hierarchical. Το baseline είναι το πιο διάσημο και υποστηρίζει μόνο lossy κωδικοποίηση. Βασίζεται σε 8x8 DCT, zig-zag scanning, uniform scalar quantization και Huffman coding. Το lossless mode δεν είναι ιδιαίτερα δημοφιλές αλλά προσφέρει συμπίεση χωρίς απώλεια πληροφορίας. Βασίζεται πάνω σε predictive scheme και Huffman coding. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα modes lossy και lossless βασίζονται σε τελείως διαφορετικούς αλγόριθμους υλοποίησης. Τα modes progressive και hierarchical είναι και τα δύο lossy και διαφέρουν μόνο στο τρόπο κωδικοποίησης και υπολογισμού των DCT συντελεστών, σε σχέση με το baseline mode.

JPEG-LS: Το JPEG-LS είναι το τελευταίο ISO/ITU-T πρότυπο για lossless κωδικοποίηση εικόνων και παρέχει δυνατότητα 'near-lossless' κωδικοποίησης. Το Part-I βασίζεται σε adaptive prediction, context modelling και Golomb coding. Το Part-II εισάγει επεκτάσεις όπως arithmetic coder κτλ. Ο αλγόριθμος έχει σχεδιαστεί για low-complexity αποδόσεις και υψηλή συμπίεση ταυτόχρονα. Παρόλα αυτά, δεν παρέχει scalability, error resilience και άλλες λειτουργίες που παρέχει το JPEG2000.

Σύγκριση

Ένας από τους κύριους στόχους των κωδικοποιήσεων είναι η απόδοση αυτών ως προς την συμπίεση, το οποίο αποτελεί μία από τις προτεραιότητες στον σχεδιασμό προϊόντων εικόνας. Στην σύγκριση αυτή, αναφέρουμε αποτελέσματα από lossless compression για να εκτιμήσουμε πόσο αποδοτικά κωδικοποιούν οι αλγόριθμοι προς εξέταση διάφορους τύπους εικόνων και σε διάφορα modes (μετάδοση σε θορυβώδη κανάλια). Η περίπτωση της lossy συμπίεσης μεταξύ JPEG2000 και JPEG, JPEG-LS δεν μελετήθηκε καθώς τα εργαλεία για τα δύο τελευταία δεν παρείχαν δυνατότητα ορισμού του bit-rate - στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιήθηκαν συμπεράσματα άλλων μελετών.

Για τις προσομοιώσεις των αλγορίθμων, έχουν χρησιμοποιηθεί οκτώ εικόνες από το standard test image set, οι οποίες καλύπτουν διάφορους τύπους εικόνας. Οι εικόνες αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές επίσημες μετρήσεις και πειράματα για σύγκριση κωδικοποιητών εικόνας με αποτέλεσμα να μπορούμε να συγκρίνουμε αποτελέσματα, τόσο με αντικειμενικά όσο και με υποκειμενικά κριτήρια. Οι εικόνες που έχουν επιλεγεί αναπαριστούν φυσικές και συνηθισμένες παραστάσεις, καθώς αυτού του είδους οι εικόνες παρουσιάζονται στην πλειοψηφία των εφαρμογών. Οι εικόνες είναι διαστάσεων 512x512 και 787x576, PPM format, 24-bits per pixel βάθος χρώματος. Οι εικόνες είναι οι παρακάτω:

- Baboon.ppm
- Lenna.ppm
- Tiffany.ppm
- Peppers.ppm
- Sailboat.ppm
- Zelda.ppm

- Barbara.ppm
- Boats.ppm

Για περισσότερες πληροφορίες, παραπέμπουμε στο <http://en.wikipedia.org/wiki/Standard-test-image>.

Οι software υλοποιήσεις των προσομοιώσεων είναι οι εξής:

JPEG2000

- JasPer
- JJ2000
- OpenJPEG
- JJ2000

JPEG-LS

- HP LOCO Implementation

JPEG

- The Independent JPEG Group JPEG Implementation
- Lossless JPEG Codec of Cornell University

Lossless συμπίεση: Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζονται ομαδοποιημένα τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για lossless συμπίεση των εικόνων για τους κωδικοποιητές των JPEG, JPEG-LS και JPEG2000 προτύπων. Από τον πίνακα αυτόν, παρατηρούμε ότι στη πλειοψηφία των περιπτώσεων, την καλύτερη επίδοση ως προς το χαρακτηριστικό της συμπίεσης την έχουν οι codecs του JPEG-LS, εκτός από την περίπτωση του Kakadu που πρόκειται για εμπορική διανομή. Πρέπει να τονίσουμε ότι το JPEG-LS παρουσιάζει καλή επίδοση στις μικρές εικόνες. Όσο αυξάνεται το μέγεθος της εικόνας, το JPEG-LS δεν εκμεταλλεύεται την τοπική σχετικότητα μεγάλων περιοχών των εικόνων και έτσι είναι λιγότερο αποδοτικό σε σχέση με το JPEG2000. Σε όλες τις περιπτώσεις, όμως, το JPEG-LS έχει καθαρό πλεονέκτημα ως προς την κατανάλωση υπολογιστικής ισχύος και μνήμης. Το πρότυπο JPEG 2000, γενικά, παρουσιάζει ανταγωνιστικές επιδόσεις με το πρόσθετο χαρακτηριστικό του scalability.

Πίνακας 2.1: Lossless Συμπίεση

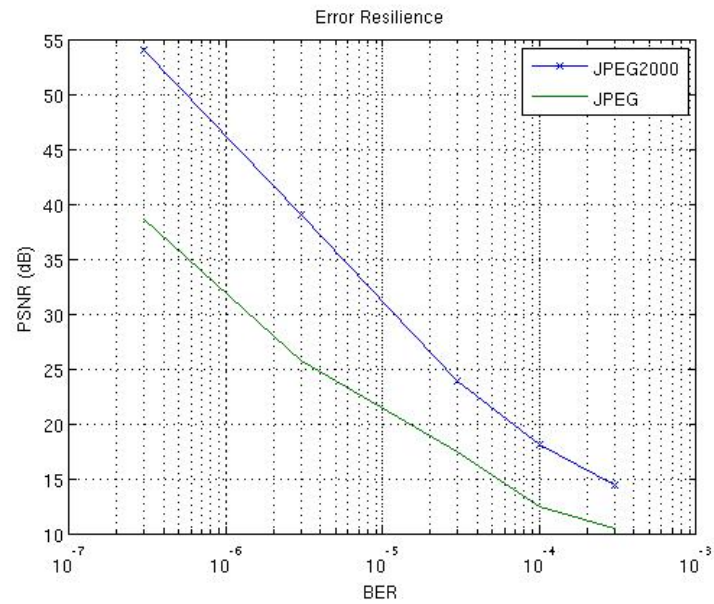
Εικόνες	JPEG	JasPer	JJ2000	Kakadu	OpenJPEG	HP-LOCO	JPEGCornell
Baboon	1.7066	1.3273	1.9450	1.5246	1.3272	1.5963	1.2298
Barbara	1.5669	2.0670	2.7010	2.9564	2.0670	2.0234	1.4935
Boats	1.9877	2.2917	2.0033	3.4896	2.2916	2.1650	1.7751
Lena	1.6714	1.7665	1.5810	2.2993	1.7663	1.9642	1.6239
Tiffany	1.6743	1.7368	1.5953	2.3143	1.7366	2.1737	1.8113
Peppers	1.8918	2.6444	2.5740	4.8600	2.6441	2.4309	2.0579
Sailboat	1.1113	1.4986	1.5189	1.8505	1.4985	1.7290	1.4137
Zelda	1.1758	2.2915	2.2443	3.4807	2.2914	2.1583	1.8643
Μέση Τιμή	1.5985	1.9530	2.0206	2.8469	1.9528	2.0301	1.6587

Από την άλλη, παρατηρούμε ότι στην περίπτωση του JPEG (με επιλογή για best quality) και του L-JPEG (Lossless JPEG) έχουμε την χειρότερη επίδοση σε σχέση με τις υπόλοιπες υλοποιήσεις. Από τα παραπάνω φαίνεται ότι το πρότυπο JPEG2000 δείχνει να αποδίδει σχετικά ανταγωνιστικά σε σχέση με τα άλλα πρότυπα για μία μεγάλη ποικιλία ειδών εικόνων για την περίπτωση του lossless compression.

Error resilience: Για να εκτιμήσουμε την ικανότητα των υλοποιήσεων που έχουμε για error resilience, προσομοιώνουμε ένα κανάλι μετάδοσης που προσθέτει τυχαία λάθη στην ακολουθία και εκτιμούμε την μέση ποιότητα της εικόνας, μετά από αποσυμπίεση. Στον πίνακα 2.2, φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της υλοποίησης JPEG2000, Kakadu, και εκείνης του JPEG σε θορυβώδες κανάλι BSC (εκτιμούμε ότι το JPEG-LS παρουσιάζει την ίδια επίδοση με το JPEG σε θέματα ανοχής λαθών και δεν μελετήθηκε εδώ). Ο τρόπος με τον οποίο το JPEG2000 αντιμετωπίζει την παρουσία λαθών στην ακολουθία είναι ο εξής: μόλις διαπιστωθεί ένα λάθος σε συγκεκριμένο block συγκεκριμένου layer, δεν αποκωδικοποιεί δεδομένα που λαμβάνονται στην συνέχεια για το συγκεκριμένο block, αποφεύγοντας έτσι υποβάθμιση της

Πίνακας 2.2: Error Resilience - Σύγκριση JPEG2000 και JPEG

BER	JPEG2000	JPEG
0	Inf	Inf
3×10^{-6}	54.053	38.6408
3×10^{-5}	39.042	25.668
3×10^{-4}	23.936	17.473
1×10^{-3}	18.156	14.404
3×10^{-3}	14.352	10.455



Σχήμα 2.15: Μέτρηση PSNR για JPEG2000 και JPEG σε διάφορα BERs

ποιότητας της εικόνας από λανθασμένα δεδομένα.

Από τις μετρήσεις διαπιστώνουμε ότι για σχετικά χαμηλά BERs, το JPEG2000 υπερσχύει του JPEG κατά πολύ. Όμως, όσο αυξάνεται η πιθανότητα λάθους, τόσο μειώνεται η επίδοση του JPEG2000. Αντίθετα, το JPEG παρουσιάζει χειρότερη επίδοση, για όλες τις τιμές του BER. Αυτά φαίνονται και στην εικόνα 2.15 (η μορφή του διαγράμματος οφείλεται σε έλλειψη ικανοποιητικού αριθμού επαναλήψεων της προσομοίωσης). Πρέπει να τονίσουμε ότι στις περιπτώσεις που διαπιστώθηκαν λάθη σε κεφαλίδες της εικόνας, η αποκωδικοποίηση ήταν αδύνατη και γι'αυτό ένας σημαντικός αριθμός επαναλήψεων οδηγούσε σε αδυναμία αποκωδικοποίησης. Η προστασία των κεφαλίδων από λάθη μελετάται στο πρότυπο JPWL σε επόμενη ενότητα.

Πίνακας 2.3: Πίνακας λειτουργικότητας προτύπων

Λειτουργία	JPEG	JPEG-LS	JPEG2000
Lossless Performance	+	++++	+++
Lossy Performance	+++	+	+++++
Progressive Bitstreams	-	-	+++++
ROI coding	-	-	+++
Arbitrary Objects	-	-	-
Random Access	-	-	++
Low Complexity	+++++	+++++	++
Error Resilience	++	++	+++
Non-iter. Rate Control	-	-	+++
Genericity	++	+++	+++

Λειτουργικότητα

Ο πίνακας 2.3 συγκεντρώνει τα αποτελέσματα της σύγκρισης μαζί με κάποια άλλα αποτελέσματα από άλλες μετρήσεις που έγιναν σε σχετικές έρευνες. Ο πίνακας δείχνει ολοκάθαρα ότι το πρότυπο JPEG2000 προσφέρει την πιο πλούσια συλλογή από χαρακτηριστικά με αποδοτικό τρόπο και

μέσα σε ένα ολοκληρωμένο αλγόριθμο. Αν και στον πίνακα περιγράφονται αρκετά αναλυτικά τα διάφορα πεδία, αξίζει να αναφερθούμε σε κάποια από αυτά.

Το JPEG2000 δημιουργεί ακολουθίες δεδομένων ώστε να είναι επεξεργάσιμες με τον πιο εύκολο τρόπο. Παρέχει την δυνατότητα για πρόσβαση σε οποιοδήποτε σημείο στα δεδομένα με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η αποκωδικοποίηση μέρους της εικόνας χωρίς να είναι απαραίτητη η αποκωδικοποίηση όλης της εικόνας. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά, μαζί με την ιδιότητα του ROI είναι πολύ χρήσιμα για εφαρμογές όπως Internet imaging, ψηφιακές βιβλιοθήκες, ασύρματη μετάδοση κτλ.

2.3.3 Σύγκριση Υλοποιήσεων του Προτύπου JPEG2000

Στην ενότητα αυτή, γίνεται παρουσίαση των κυριότερων υλοποιήσεων του JPEG2000. Τον τελευταίο καιρό έχουν παρουσιαστεί πολλές open source και εμπορικές υλοποιήσεις JPEG2000, μεταξύ των οποίων Kakadu, OpenJPEG, JJ2000, Jasper κτλ. Όλες οι υλοποιήσεις παρουσιάζουν διαφορετικά και ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά, όπως επίσης και ελλείψεις, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η επιλογή ενός encoder/decoder. Το παρακάτω κείμενο προσπαθεί να ξεκαθαρίσει λίγο το τοπίο στον χώρο των JPEG2000 κωδικοποιητών ([7],[8],[9],[10],[11],[12],[13]).

Kakadu

Περιγραφή: Το σύστημα Kakadu είναι μια βελτιστοποιημένη και εύκολη σε χρήση υλοποίηση του προτύπου JPEG2000. Αποτελεί μία πλήρη υλοποίηση του προτύπου JPEG 2000 Part 1. Το Kakadu παρέχει μία σειρά από ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά του JPEG2000, συμπεριλαμβανομένου των ROI, scalability, κτλ. Πρόκειται για ένα framework που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη γκάμα εμπορικών και μη-εμπορικών εφαρμογών.

Παρατηρήσεις: Θα πρέπει να τονιστεί ότι το Kakadu αποτελεί εμπορική εφαρμογή και δεν παρέχεται ο πηγαίος κώδικας μετά την αγορά του licence.

Jasper

Περιγραφή: Το JasPer Project αποτελεί μια open-source πρωτοβουλία με σκοπό να δημιουργηθεί μια ελεύθερη υλοποίηση αναφοράς ενός κωδικοποιητή JPEG2000 Part-1. Το JasPer

περιλαμβάνεται στο Part-5 του προτύπου JPEG2000 που έχει ορίσει τις επίσημες υλοποιήσεις αναφοράς του JPEG2000 codec Part-1. Η υλοποίηση JasPer έχει γίνει σε γλώσσα C.

Παρατηρήσεις:

- Αποτελεί μέρος του Part-5 του προτύπου JPEG2000.
- Αποτελεί open-source project που σημαίνει ότι ο πηγαίος κώδικας είναι ελεύθερος προς χρήση. Αυτό επιτρέπει την μελέτη του JPEG2000 με αλλαγή διαφόρων παραμέτρων κατά την προσομοίωση.
- Είναι υλοποιημένο σε γλώσσα προγραμματισμού C, γεγονός που έχει θετική επίδραση στην ταχύτητα λειτουργίας του codec.
- Ο κώδικας δεν είναι δομημένος με τον καλύτερο δυνατό τρόπο – αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δύσκολη ανάγνωσή του και περαιτέρω μετατροπή του.
- Δεν υπάρχει επίσημο documentation για την συγκεκριμένη υλοποίηση με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η μελέτη του κώδικα.
- Δεν υπάρχει υποστήριξη για motion JPEG2000 αρχεία – δεν είναι γνωστό αν υπάρχει σκέψη για μια υλοποίηση προς αυτήν την κατεύθυνση.

OpenJPEG

Περιγραφή: Η OpenJPEG βιβλιοθήκη αποτελεί μία open-source υλοποίηση του JPEG2000 κωδικοποιητή σε γλώσσα C. Πέρα από την βασική υλοποίηση του κωδικοποιητή, η βιβλιοθήκη περιλαμβάνει και άλλα χαρακτηριστικά που βρίσκονται υπό ανάπτυξη, όπως η υποστήριξη των JP2 και MJ2 τύπων αρχείων, ανάπτυξη εργαλείου για το JPIP πρωτόκολλο, εργαλεία για υποστήριξη προτύπου JPWL ένας Java viewer για j2k-images, κτλ.

Παρατηρήσεις:

- Παρουσιάζει τα ίδια πλεονεκτήματα που παρουσιάστηκαν για το JasPer (open-source, C implementation, κτλ.).
- Δεν αποτελεί μέρος του Part-5 του προτύπου JPEG2000 – παρόλα αυτά παρουσιάζει περισσότερες λειτουργίες γεγονός που καλύπτει αυτό το μειονέκτημα.
- Υποστηρίζει αρχεία video MJ2 – έτσι, γίνεται δυνατή η επεξεργασία video.

- Είναι η μόνη υλοποίηση που υποστηρίζει εργαλεία JPWL για error-resilience.
- Υπάρχει επίσημο documentation για την συγκεκριμένη υλοποίηση με αποτέλεσμα να είναι σχετικά εύκολη η μελέτη του κώδικα.

JJ2000

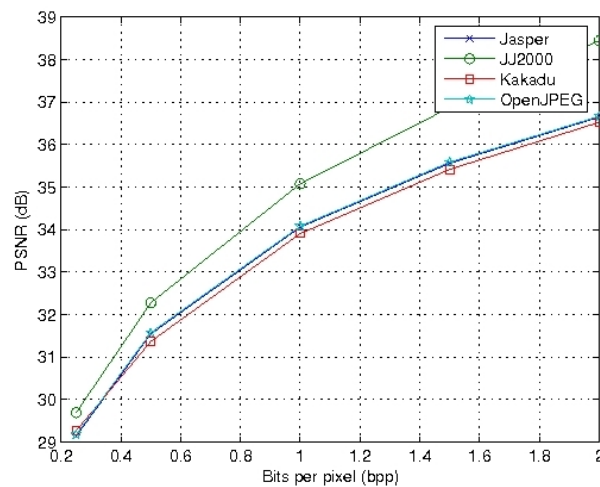
Περιγραφή: Το JJ2000 αποτελεί την Java υλοποίηση του JPEG2000 προτύπου. Πιο συγκεκριμένα, υλοποιεί τον πυρήνα του συστήματος Part-1, όπως αυτό περιγράφεται στο ISO/IEC 15444-1. Αν και στην επίσημη εκδοχή του προτύπου αναφέρεται μόνο η διαδικασία της αποκωδικοποίησης, το JJ2000 υλοποιεί ένα encoder για πρακτικές εφαρμογές.

Παρατηρήσεις:

- Παρουσιάζει τα ίδια πλεονεκτήματα που παρουσιάστηκαν για το JasPer, OpenJPEG (open-source).
- Η μόνη υλοποίηση σε Java – έτσι παρουσιάζει την μεταφερσιμότητα κώδικα και ανεξαρτησία συστήματος.
- Αποτελεί μέρος του Part-5 του προτύπου JPEG2000.
- Δεν υποστηρίζει αρχεία video MJ2, JPWL tools – έτσι, δεν είναι δυνατή η επεξεργασία video και δεν υπάρχει υλοποίηση του προτύπου για ασύρματα κανάλια.
- Υπάρχει επίσημο documentation για την συγκεκριμένη υλοποίηση με αποτέλεσμα να είναι σχετικά εύκολη η μελέτη του κώδικα.

Σύγκριση υλοποιήσεων JPEG2000

Lossless Συμπίεση: Τα αποτελέσματα για τη lossless συμπίεση έχουν αναφερθεί στην προηγούμενη ενότητα (πίνακας 2.1) όπου παρατηρούμε ότι η υλοποίηση του Kakadu αποδίδει πολύ καλά. Ακολουθεί η υλοποίηση του JJ2000, η οποία όμως είναι πολύ πιο αργή σε σχέση με την Kakadu (ίσως αυτό είναι και το κύριο μειονέκτημα της Java υλοποίησης). Τέλος, με παραπλήσιες επιδόσεις ακολουθούν οι υλοποιήσεις των OpenJPEG και JasPer.



Σχήμα 2.16: Τιμές PSNR για όλες τις εικόνες και για όλους τους αλγόριθμους κωδικοποίησης για την περίπτωση της lossy συμπίεσης

Lossy Συμπίεση: Για την περίπτωση της lossy συμπίεσης, τα αποτελέσματα φαίνονται στην εικόνα 2.16.

Όπως φαίνεται από το σχήμα, η υλοποίηση JJ2000 παρουσιάζει αισθητά καλύτερη επίδοση σε σχέση με υπόλοιπες υλοποιήσεις. Οι υπόλοιπες τρεις έχουν ίδιες επιδόσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι ακόμα και η χειρότερη επίδοση των open source υλοποιήσεων είναι ανταγωνιστική ως προς εκείνη των εμπορικών υλοποιήσεων.

Error Resilience: Για να εκτιμήσουμε την ικανότητα των υλοποιήσεων που έχουμε για error resilience, προσομοιώνουμε ένα BSC κανάλι μετάδοσης που προσθέτει τυχαία λάθη στο bitstream και εκτιμούμε την μέση ποιότητα της εικόνας, μετά από αποσυμπίεση.

Στον πίνακα 2.4, φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε θορυβώδες κανάλι BSC των υλοποιήσεων JPEG2000 της μελέτης: JasPer, JJ2000, Kakadu και OpenJPEG. Η πιθανότητα λανθασμένης αποστολής bit μέσα από το κανάλι κυμαίνεται από 3×10^{-5} μέχρι 3×10^{-3} . Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση των αποτελεσμάτων, πρέπει να τονίσουμε ότι μεγάλο ποσοστό των εκτελέσεων του κώδικα δεν τελείωνε με επιτυχία, καθώς λόγω αλλοίωσης των markers του codestream, πολλές από τις αποκωδικοποιήσεις δεν ήταν δυνατές. Από τον πίνακα, διαπι-

Πίνακας 2.4: Σύγκριση υλοποιήσεων για αντοχή σε λάθη

bpp	Codec	BER = 3x10e-5	BER = 3x10e-4	BER = 3x10e-3
0.25	JasPer	29.763	19.094	unable to decode
	JJ2000	29.457	12.488	unable to decode
	Kakadu	28.077	18.998	10.879
	OpenJPEG	28.033	17.890	unable to decode
0.5	JasPer	30.027	19.246	10.024
	JJ2000	24.697	5.6903	unable to decode
	Kakadu	29.546	17.760	12.003
	OpenJPEG	28.528	17.810	unable to decode
1	JasPer	29.621	19.646	11.198
	JJ2000	21.984	12.040	unable to decode
	Kakadu	29.420	19.310	13.405
	OpenJPEG	29.428	18.348	unable to decode
1.5	JasPer	30.950	22.610	11.854
	JJ2000	32.730	17.143	unable to decode
	Kakadu	32.560	19.790	13.726
	OpenJPEG	30.574	18.740	unable to decode
2	JasPer	31.174	21.400	12.996
	JJ2000	26.650	unable to decode	unable to decode
	Kakadu	34.824	19.180	14.324
	OpenJPEG	29.720	18.900	10.584

στώνουμε ότι, για όλα τα επίπεδα BER και (σχεδόν) για όλες τις τιμές bpp, την καλύτερη επίδοση παρουσιάζει η υλοποίηση Jasper και ακολουθούν οι Kakadu, OpenJPEG και JJ2000. Όμως, όσο αυξάνεται η πιθανότητα λάθους (BER), τόσο μειώνονται οι επιδόσεις των codecs. Μάλιστα, διαπιστώθηκε ότι στην πλειοψηφία των εκτελέσεων για $BER = 0.003$, η αποκωδικοποίηση ήταν ανεπιτυχής (unable to decode). Για τις περιπτώσεις που δεν τυχαίνει να γίνεται αλλοίωση σε βασικά κομμάτια του codestream, την καλύτερη επίδοση εξακολουθεί να έχει το Jasper. Επίσης, διαπιστώθηκε από το πείραμα ότι οι περισσότερες ανολοκλήρωτες αποκωδικοποιήσεις παρουσίασαν οι υλοποιήσεις των JJ2000 και OpenJPEG - μάλιστα το JJ2000 παρουσίασε πολύ ασταθή συμπεριφορά και δεν προτείνεται ως επιλογή κωδικοποιητή. Αντίθετα, τα Kakadu και Jasper οδηγούνται σε ανεπιτυχή αποκωδικοποίηση με μικρότερη συχνότητα.

Συνοψζοντας, μπορούσαμε να αναφέρουμε κάποια συμπεράσματα με υποθέσεις. Για την περίπτωση που έχουμε χαμηλό ή μέσο bpp και χαμηλά BER, η καλύτερη επιλογή είναι αυτή του Jasper. Για την περίπτωση που έχουμε υψηλό bpp και χαμηλό BER, καλύτερη λύση είναι το Kakadu. Για την περίπτωση που έχουμε είτε υψηλό bpp είτε χαμηλό bpp και υψηλό BER, οι καλύτερες λύσεις είναι αυτή του Kakadu (εμφανίζει μεγαλύτερη ανοχή στα λάθη).

2.3.4 Εκτίμηση Απόδοσης του Motion-JPEG2000 σε Σύγκριση με H.264/AVC MPEG-4 Part 10

Εφαρμογές όπως επεξεργασία ακολουθίας εικόνων για ιατρικές εφαρμογές ή παραγωγή επαγγελματικών videos απαιτούν ένα εργαλείο επεξεργασίας video, το οποίο επιτρέπει πρόσβαση σε οποιοδήποτε frame της ακολουθίας εικόνων. Το Motion-JPEG2000 αποτελεί μία επέκταση του προτύπου JPEG2000 και, επομένως, προσφέρει το παραπάνω χαρακτηριστικό, ταυτόχρονα με την δυνατότητα υποστήριξης τόσο lossy όσο και lossless απεικόνισης χρησιμοποιώντας την ίδια ακολουθία. Παράλληλα, επιπρόσθετα χαρακτηριστικά του προτύπου JPEG2000 μπορεί να θεωρηθούν χρήσιμα σε διάφορες εφαρμογές που περιλαμβάνουν κωδικοποίηση video. Παρ'όλα αυτά, η επιτυχία του προτύπου JPEG2000 έχει παρατηρηθεί κυρίως ως προς η απόδοση κωδικοποίησης σε σχέση με άλλα πρότυπα εικόνας που υπάρχουν. Οι μέχρι τώρα έρευνες έχουν επικεντρωθεί στην απόδοση του JPEG2000 (και κατ'επέκταση Motion-JPEG2000) σε σχέση με παλαιότερα πρότυπα JPEG στον τομέα της κωδικοποίησης εικόνας - δεν έχουν γίνει πολλές

μελέτες για την απόδοση του Motion-JPEG2000 σε σχέση με άλλα πρότυπα, τα οποία δεν προ-ορίζονται μόνο για εικόνα. Από την άλλη μεριά, το νέο πρότυπο H.264/AVC MPEG-4 Part 10 παρουσιάζει εξαιρετικές επιδόσεις σε πολλούς τομείς και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η μελέτη του. Και σε αυτή την περίπτωση, οι μελέτες που έχουν γίνει έχουν να κάνουν με την εκτίμηση απόδοσης του H.264 σε σχέση με τα προηγούμενα πρότυπα H.263 ή MPEG-4 Part 2 ([14],[15],[16],[17],[18],[19],[20],[21]).

Στην ενότητα αυτή, μελετάται η απόδοση του Motion-JPEG2000 και του H.264/AVC MPEG-4 Part 10 πάνω σε περιοχές εφαρμογής τους που είναι κοινές και για τα δύο πρότυπα. Χρησιμοποιώντας το πρότυπο H.264/AVC MPEG-4 Part 10 με την επιλογή pure intra coding, δημιουργούμε ένα κοινό πλαίσιο πάνω στο οποίο μπορούμε να συγκρίνουμε τα πρότυπα ως προς την κωδικοποίηση ανεξαρτητων μεταξύ τους εικόνων. Η προσομοίωση έγινε κάνοντας χρήση video υλικού που καλύπτει μία μεγάλη γκάμα διαφορετικών εφαρμογών (διαφορετικές αναλύσεις εικόνας).

H.264/AVC MPEG-4 Part 10

Το H.264/AVC MPEG-4 Part 10 είναι ένα πρότυπο κωδικοποίησης video, γνωστό και ως MPEG-4 Part 10 ή MPEG-4 AVC. Πρόκειται για το τελευταίο block-oriented motion estimation based κωδικοποιητή που δημιουργήθηκε από την συνεργασία των ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) και ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG).

Σκοπός του H.264/AVC MPEG-4 Part 10 είναι η δημιουργία ενός προτύπου ικανού να προσφέρει καλή ποιότητα εικόνας σε πολύ χαμηλά bit rates σε σχέση με τα πρότυπα MPEG-2, H.263, MPEG-4 Part 2, χωρίς όμως να αυξάνει σε υπερβολικό βαθμό την πολυπλοκότητα σχεδιασμού του αλγορίθμου ώστε να είναι αδύνατο ή εξαιρετικά ασύμφορο να υλοποιηθεί. Στόχος του προτύπου είναι χρήση του σε μεγάλο εύρος εφαρμογών που λειτουργούν σε διάφορα δίκτυα και συστήματα, όπως αποστολή και λήψη video για χαμηλά και ψηλά bit rates και αναλύσεις, DVD, RTP/IP δίκτυα, τηλεφωνικά συστήματα, κτλ.

Προσομοιώσεις

Test cases και test materials: Στα πειράματα που κάναμε, εξετάσαμε τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις video, κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχούσε σε διαφορετική ανάλυση εικόνας. Τα πρώτα δύο πειράματα είχαν να κάνουν με χαμηλής ανάλυσης video CIF (352x288 pixels), που συνήθως χρησιμοποιείται σε videoconferencing και video streaming εφαρμογές. Το επόμενο πείραμα εξέταζε την περίπτωση του video πολύ χαμηλής ανάλυσης QCIF (176x144 pixels) η οποία χρησιμοποιείται για εφαρμογές όπου η χωρητικότητα του καναλιού μετάδοσης είναι εξαιρετικά χαμηλή. Το τέταρτο πείραμα περιλαμβάνει video με ανάλυση standard TV PAL (720x576 pixels). Τέλος, εξετάσαμε την περίπτωση video για VGA ανάλυση (640x480 pixels) που χρησιμοποιείται σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Τα παραπάνω συνοψίζονται στο παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.5: Παραδείγματα videos για την μελέτη προτύπων κωδικοποίησης κινούμενης εικόνας

Αρχείο	Ανάλυση	Αριθμός frames
Speedway	352x288 pixels	200
Walkcif	352x288 pixels	360
Walkqcif	176x144 pixels	360
Walkpal	720x576 pixels	360
Walksvga	640x480 pixels	360

Υλοποιήσεις και παράμετροι: Για την προσομοίωση των παραπάνω πειραμάτων, χρησιμοποιήσαμε τις παρακάτω υλοποιήσεις και παραμέτρους για τα δύο πρότυπα:

Motion-JPEG2000

Χρησιμοποιήθηκε το OpenJPEG v0.97 για την δημιουργία αρχείων .mj2. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής:

- Lossless compression, 1 layer of quality
- 1 tile

- 1 precinct
- Size of code-block 64 x 64
- Number of resolution (i.e. DWT decomposition level) : 6
- No SOP marker in the codestream
- No EPH marker in the codestream
- No sub-sampling in x and y direction
- No mode switch activated
- Progression order : LRCP
- No index file
- No ROI upshifted
- No offset of the origin of the image
- No offset of the origin of the tiles
- Reversible DWT 5-3

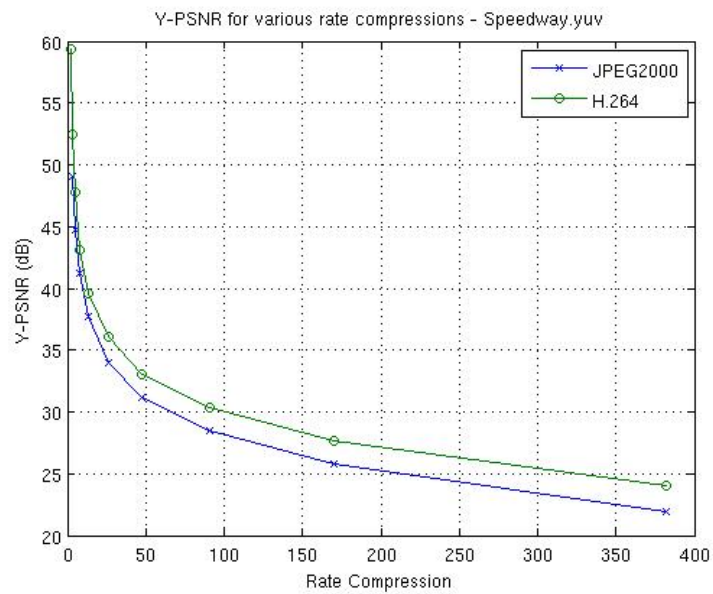
H.264/AVC MPEG-4 Part 10

Χρησιμοποιήθηκε το Joint Model (JM) v13.1 για την δημιουργία αρχείων H.264/AVC MPEG-4 Part 10. Χρησιμοποιήθηκαν οι default παράμετροι με εξαίρεση το γεγονός ότι έγινε χρήση μόνο pura intra coding και όχι inter-frame prediction για να είναι πιο δίκαιη η σύγκριση των δύο προτύπων.

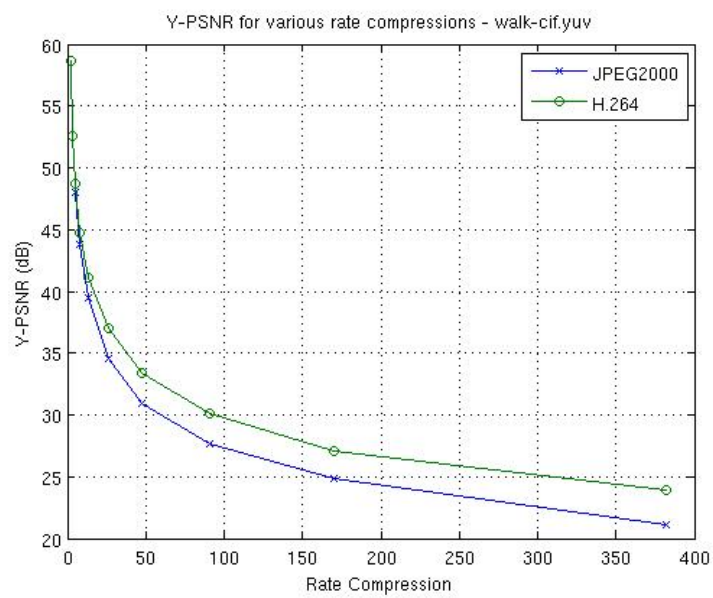
Αποτελέσματα

Αν και η πτώση της απόδοσης του H.264 από την επιλογή του pure intra coding είναι της τάξεως των 7-10 dB, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων δείχνουν ότι το πρότυπο H.264/AVC υπερτερεί σε όλες τις περιπτώσεις του Motion-JPEG2000 (σχήματα 2.17, 2.18, 2.19, 2.20 και 2.21). Πιο συγκεκριμένα, στις περιπτώσεις όπου τα videos έχουν χαμηλή ανάλυση εικόνας (CIF, QCIF), το H.264/AVC υπερτερεί σε όλα τα ratio συμπίεσης κατά 3 dB. Αυτό δίνει μια πολύ καθαρή εικόνα για τις δυνατότητες του H.264/AVC ακόμα και χωρίς την επιλογή του inter-frame prediction.

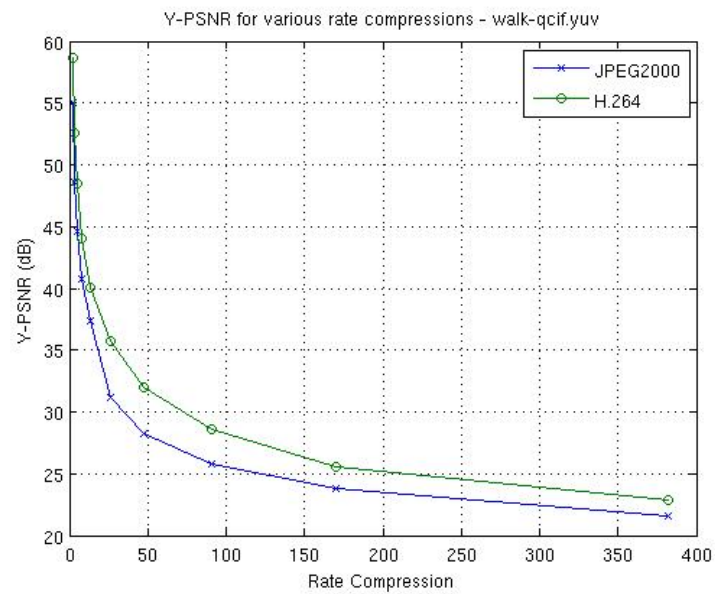
Στην περπτωση των videos με μεγαλύτερη ανάλυση (PAL, VGA), το H.264/AVC MPEG-4 Part 10 παρουσιάζει μία πολύ καλή απόδοση ως προς την παράμετρο R-D (παρατηρούμε ότι έχουμε διαφορά στην ποιότητα εικόνας ως προς ο Y-PSNR της τάξης των 5-6 dB) αλλά



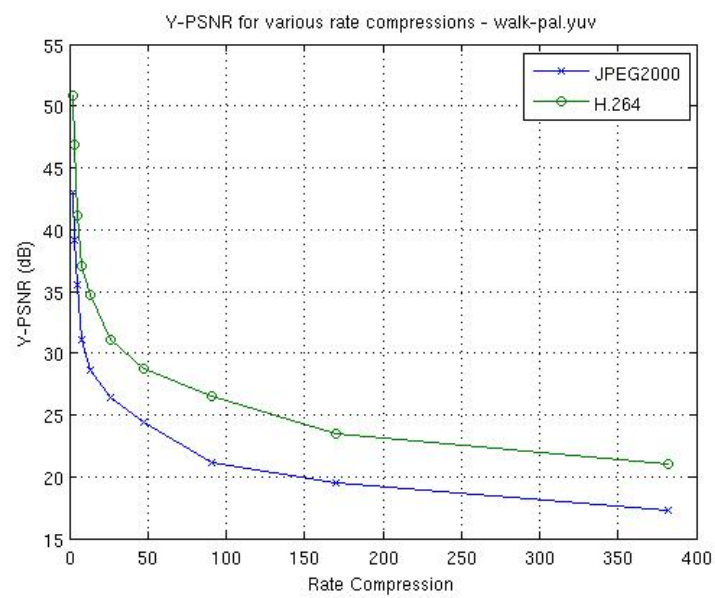
Σχήμα 2.17: Μέτρηση PSNR για την περίπτωση της speedway (CIF) ακολουθίας



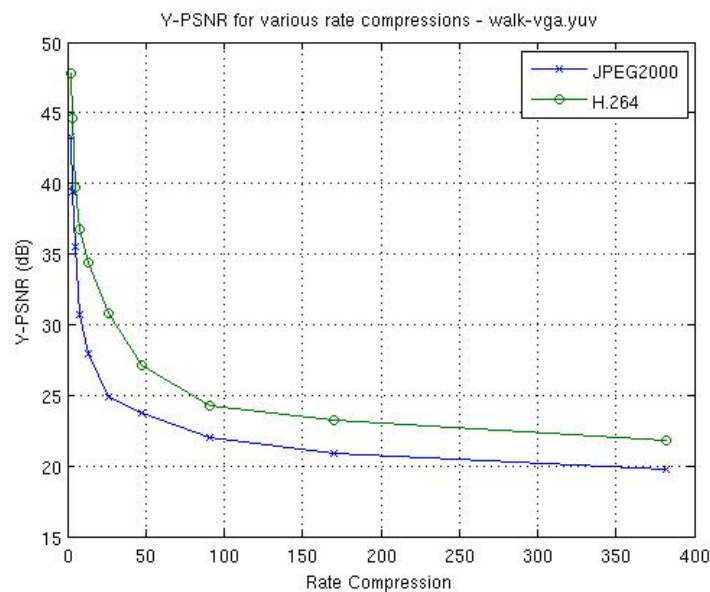
Σχήμα 2.18: Μέτρηση PSNR για την περίπτωση της Walk (CIF) ακολουθίας



Σχήμα 2.19: Μέτρηση PSNR για την περίπτωση της Walk (QCIF) ακολουθίας



Σχήμα 2.20: Μέτρηση PSNR για την περίπτωση της Walk (PAL) ακολουθίας



Σχήμα 2.21: Μέτρηση PSNR για την περίπτωση της Walk (VGA) ακολουθίας

ταυτόχρονα παρουσιάζει μία αδυναμία ως προς τον χρόνο κωδικοποίησης της ακολουθίας video. Με άλλα λόγια, μπορεί το Motion-JPEG2000 να μην έχει καλή ποιότητα εικόνας, παρ'όλα αυτά αποδίδει καλύτερα σε live streaming ως προς τον παράγοντα του χρόνου κωδικοποίησης. Βέβαια, το πείραμα αυτό δεν πραγματοποιήθηκε με την μελέτη όλων των παραμέτρων που δίνουν οι κωδικοποιητές, επομένως αποτελεί μία πρώτη εικόνα σύγκρισης των δύο υλοποιήσεων και όχι ο κανόνας. Οι χρόνοι κωδικοποίησης φαίνονται στους πίνακες 2.6-2.12.

Πολυπλοκότητα και λειτουργικότητα

Αν και μία αναλυτική μελέτη πάνω στην πολυπλοκότητα των προτύπων θα ήταν πολύ δύσκολο να γίνει, μπορούμε να βγάλουμε κάποια συμπεράσματα από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που έγιναν. Βέβαια, ακόμα και μία απλή ανάλυση της πολυπλοκότητας ως προς τις παραμέτρους των μνήμης, υπολογιστικής ισχύος και κόστους πολυπλοκότητας είναι αρκετά δύσκολη καθώς αυτή εξαρτάται από την συγκεκριμένη υλοποίηση του κωδικοποιητή (στην περίπτωση μας Open-JPEG v0.97 και JM 13.1).

Οι διάφορες software υλοποιήσεις που έχουν παρουσιαστεί, προσφέρουν μία πλούσια γκάμα

extra χαρακτηριστικών τα οποία επιβαρύνουν ή διευκολύνουν την διαδικασία της κωδικοποίησης/αποκωδικοποίησης και κατ'επέκταση επηρεάζουν την πολυπλοκότητα της διαδικασίας. Παραδείγματα αυτών είναι η επιλογή του wavelet kernel, το μέγεθος του tile ή του codeblock για την περίπτωση του JPEG2000 ή το μέγεθος του slice και τον αριθμό των prediction modes για την περίπτωση του H.264/AVC MPEG-4 Part 10. Μία εικόνα για την πολυπλοκότητα των διαδικασιών μπορεί να φανεί από τους παρακάτω πίνακες με τους χρόνους κωδικοποίησης των videos για τις διάφορες περιπτώσεις.

Πίνακας 2.6: Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Speedway - Μέρος 1

Codec	Ratio:	2.68	3.67	5.17	8.29	13.8
MotionJPEG2000	(sec)	0.01252	0.01251	0.01313	0.01311	0.01249
H.264/AVC	(sec)	0.193670	0.174747	0.152247	0.134618	0.118319

Πίνακας 2.7: Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Speedway - Μέρος 2

Codec	Ratio:	26.36	47.12	90.625	170.3	382.08
MotionJPEG2000	(sec)	0.01198	0.01303	0.01207	0.01202	0.01218
H.264/AVC	(sec)	0.100867	0.098680	0.08928	0.08927	0.08753

Πίνακας 2.8: Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Walk (CIF) - Μέρος 1

Codec	Ratio:	2.68	3.67	5.17	8.29	13.8
MotionJPEG2000	(sec)	0.02565	0.02574	0.02599	0.02591	0.02489
H.264/AVC	(sec)	0.183041	0.165986	0.148326	0.130410	0.117806

Πίνακας 2.9: Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Walk (CIF) - Μέρος 2

Codec	Ratio:	26.36	47.12	90.625	170.3	382.08
MotionJPEG2000	(sec)	0.02497	0.02510	0.02569	0.02621	0.02449
H.264/AVC	(sec)	0.105682	0.100014	0.09913	0.09297	0.08785

Πίνακας 2.10: Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Walk (PAL) - Μέρος 1

Codec	Ratio:	2.68	3.67	5.17	8.29	13.8
MotionJPEG2000	(sec)	0.2660	0.2535	0.2532	0.2516	0.2506
H.264/AVC	(sec)	7.9260	7.5303	7.6723	7.4987	7.5098

Πίνακας 2.11: Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Walk (PAL) - Μέρος 2

Codec	Ratio:	26.36	47.12	90.625	170.3	382.08
MotionJPEG2000	(sec)	0.2497	0.2490	0.2485	0.2479	0.2479
H.264/AVC	(sec)	7.4034	7.4675	7.5513	7.2868	7.3501

Πέρα από την διαδικασία της συμπίεσης, τα πρότυπα κωδικοποίησης video και εικόνας πρέπει να υποστηρίζουν μία σειρά από δυνατότητες που είναι απαραίτητες από συγκεκριμένες εφαρμογές. Εδώ, πρέπει να κάνουμε τον διαχωρισμό μεταξύ των βασικών λειτουργιών και των προαιρετικών χαρακτηριστικών. Από τα πιο σημαντικά βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να υποστηρίζει ένα multimedia standard είναι ένα κοινό, εύχρηστο interface για την μεγάλη ποικιλία μέσων αποθήκευσης και επιπέδων μετάδοσης. Για τον σκοπό αυτόν, το Motion-JPEG2000 παρέχει το MJ2 file format, το οποίο κληρονομείται από το JPEG2000 file format και το οποίο είναι στενά συνδεδεμένο με το MPEG-4 MP4 file format. Από την άλλη, το H.264/AVC MPEG-4 Part 10 παρέχει μία επίσης έξυπνη λύση: το Network Abstraction Layer (NAL). Το NAL μπορεί να περιέχει πληροφορίες για τον τρόπο απεικόνισης του video ανάλογα με τις

Πίνακας 2.12: Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Walk (QCIF) - Μέρος 1

Codec	Ratio:	2.68	3.67	5.17	8.29	13.8
MotionJPEG2000	(sec)	0.0167	0.0162	0.0162	0.0162	0.0160
H.264/AVC	(sec)	0.0942	0.0855	0.0769	0.0692	0.0637

Πίνακας 2.13: Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Walk (QCIF) - Μέρος 2

Codec	Ratio:	26.36	47.12	90.625	170.3	382.08
MotionJPEG2000	(sec)	0.0158	0.0157	0.0157	0.0157	0.0156
H.264/AVC	(sec)	0.0586	0.0548	0.0520	0.0498	0.0474

Πίνακας 2.14: Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Walk (VGA) - Μέρος 1

Codec	Ratio:	2.68	3.67	5.17	8.29	13.8
MotionJPEG2000	(sec)	0.2029	0.1911	0.1905	0.1893	0.1886
H.264/AVC	(sec)	4.5565	4.5180	4.2608	4.2849	4.0243

διαφορετικές ανάγκες του μέσου μετάδοσης ή αποθήκευσης (IP-based service, MP4 file format, MPEG-2 Systems etc). Επίσης, ένα βασικό χαρακτηριστικό που πρέπει να προσφέρει ένα multimedia πρότυπο είναι η ανόχη σε σφάλματα κατά την διάρκεια της μετάδοσης. Τόσο το Motion-JPEG2000 όσο και το H.264/AVC MPEG-4 Part 10 παρέχουν πληθώρα δυνατοτήτων προστασίας του codestream σε λάθη μετάδοσης.

Όσον αφορά τα προαιρετικά χαρακτηριστικά, το χαρακτηριστικό του scalability είναι το πιο εξέχον χαρακτηριστικό του προτύπου Motion-JPEG2000. Αυτό αποτελεί μία λειτουργικότητα που παρέχει και το πρότυπο H.264/AVC MPEG-4 Part 10 αλλά με διαφορετικό τρόπο. Επίσης, ένα χαρακτηριστικό που παρέχεται από το baseline πρότυπο JPEG2000 είναι η δυνατότητα επιλογής lossless και lossy αποκωδικοποίησης από το ίδιο codestream. Βέβαια, να τονίσουμε

Πίνακας 2.15: Χρόνος κωδικοποίησης της ακολουθίας Walk (VGA) - Μέρος 2

Codec	Ratio:	26.36	47.12	90.625	170.3	382.08
MotionJPEG2000	(sec)	0.1876	0.1874	0.1870	0.1870	0.1868
H.264/AVC	(sec)	3.9567	4.0383	4.1236	4.0138	3.9447

ότι η υποστήριξη του τελευταίου χαρακτηριστικού έχει κάποια επίδραση στο PSNR ως προς την rate-distortion παράμετρο.

2.4 Μελέτη προτύπων σχετικών με το JPEG2000

2.4.1 Εκτίμηση απόδοσης προτύπου JPWL

Η μετάδοση εικόνων και video μέσω ασύρματων καναλιών γίνεται όλο και πιο συχνή με την ανάπτυξη της τεχνολογίας κινητών συσκευών (mobile phones, PDAs, etc). Τα ασύρματα δίκτυα χαρακτηρίζονται από την συχνή εμφάνιση λαθών στην μετάδοση, γεγονός που δημιουργεί προβλήματα στην μετάδοση δεδομένων. Λόγω της δυνατότητας για υψηλή συμπίεση, το πρότυπο JPEG2000 ενδείκνυται για wireless multimedia εφαρμογές.

Εξαιτίας της συμπεριφοράς αυτής των ασύρματων καναλιών, το JPEG Group δημιούργησε μία επέκταση του JPEG2000 για ασύρματα δίκτυα, το JPWL. Σκοπός του JPWL είναι να διευρύνει την βασική υλοποίηση του προτύπου JPEG2000 έτσι ώστε να γίνει δυνατή η αποδοτική μετάδοση εικόνων πάνω σε θορυβώδη ασύρματα κανάλια. Πιο συγκεκριμένα, το JPWL υποστηρίζει εργαλεία και μεθόδους για την προστασία της ακολουθίας από λάθη κατά την μετάδοση, όπως επίσης και δομές για την περιγραφή της ευαισθησίας τμημάτων της ακολουθίας που χρειάζονται αυξημένη προστασία απέναντι στα λάθη. Μερικά από τα εργαλεία αυτά είναι η προστασία της κεφαλίδας της εικόνας και των tile (EPB), κώδικες Forward Error Correcting (FEC), Unequal Error Protection (UEP), κτλ.

Το JPWL δεν αποτελεί κάποιο συγκεκριμένο πρωτόκολλο δικτύου ή μετάδοσης αλλά προσφέρει λύσεις για αποδοτική μετάδοση των JPEG2000 ακολουθιών σε θορυβώδη περιβάλλοντα. Αν και βασικός τομέας εφαρμογής του JPWL είναι τα ασύρματα δίκτυα, τα ίδια εργαλεία μπορούν

να χρησιμοποιηθούν και σε άλλες περιστάσεις (ενσύρματα δίκτυα, κτλ) ([22],[24],[25],[26],[27]).

Ορισμοί FEC, EEP και UEP

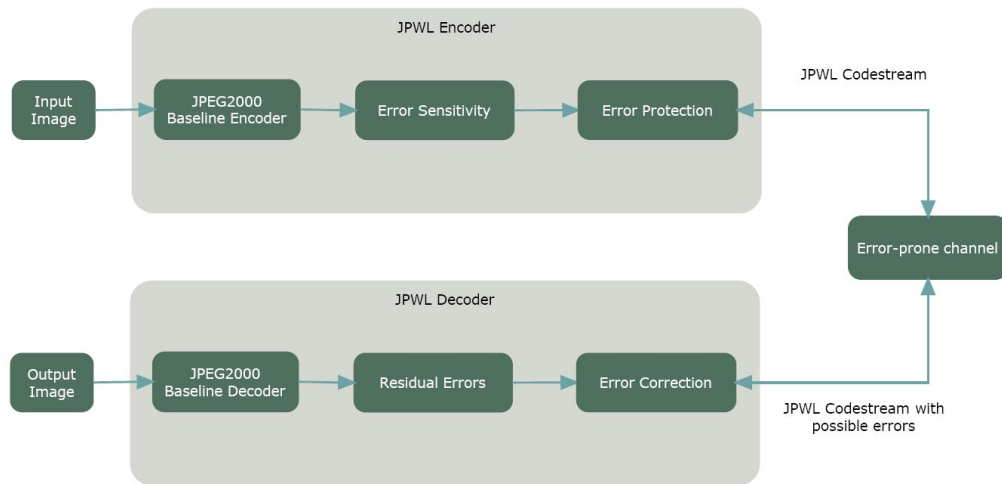
FEC: Το σκεπτικό στο οποίο βασίζεται ο μηχανισμός FEC είναι η προσθήκη πλεονασματικών πληροφοριών στη ροή των αρχικών πακέτων δεδομένων. Με κόστος την οριακή αύξηση της ταχύτητας των δεδομένων, οι πλεονασματικές πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανακατασκευή προσεγγίσεων ή πανομοιότυπων εκδόσεων για ορισμένα από τα χαμένα πακέτα [29].

EEP και UEP: Πρόκειται για τεχνικές που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θα εισαχθούν οι πλεονασματικές πληροφορίες στην ροή των πακέτων δεδομένων. Το EEP (Equal Error Protection) προτείνει προσθήκη κωδικών FEC, ισομεγέθη μεταξύ τους, με τον ίδιο τρόπο κατά μήκος της ακολουθίας των δεδομένων ενώ το UEP (Unequal Error Protection) εκμεταλλεύεται την σπουδαιότητα που έχουν τα δεδομένα π.χ. για την αποκωδικοποίηση της εικόνας, και ορίζει ισχυρότερους κώδικες FEC στα πιο σημαντικά από αυτά. Με τον τρόπο αυτό, προστατεύονται καλύτερα τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για την αποκωδικοποίηση της εικόνας, ενώ δεδομένα που απλώς αυξάνουν την ποιότητα μπορούν να παραληφθούν [29].

JPWL

Οι βασικές λειτουργίες ενός συστήματος JPWL είναι οι εξής: η προστασία της ακολουθίας από τυχόν λάθη μετάδοσης, η περιγραφή του βαθμού ευαισθησίας έναντι λαθών των διάφορων τμημάτων της ακολουθίας και η περιγραφή των θέσεων των λαθών που δεν διορθώθηκαν μέσα στην ακολουθία.

Ένα παράδειγμα συστήματος που υλοποιεί το πρότυπο JPWL είναι αυτό που φαίνεται στην εικόνα 2.22. Στην πλευρά της μετάδοσης, ο JPWL κωδικοποιητής αποτελείται από τρεις μονάδες: ένα βασικό κωδικοποιητή JPEG2000, ο οποίος συμπίεζει και κωδικοποιεί την εικόνα προς μετάδοση, ένα γεννήτορα που περιγράφει την ευαισθησία των τμημάτων της εικόνας και έναν επεξεργαστή που εφαρμόζει τα διάφορα εργαλεία για την προστασία της ακολουθίας. Με τον τρόπο αυτό, έχουμε μία JPWL ακολουθία ανθεκτική απέναντι σε λάθη μετάδοσης. Στην πλευρά του δέκτη, ο JPWL αποκωδικοποιητής αποτελείται και πάλι από τρεις μονάδες: έναν



Σχήμα 2.22: Περιγραφή συστήματος JPWL: κωδικοποιητής και αποκωδικοποιητής

επεξεργαστή που διορθώνει τυχόν λάθη στην ακολουθία, ένα γεννήτορα που περιγράφει τις θέσεις των διάφορων λαθών που ο επεξεργαστής δεν κατόρθωσε να διορθώσει και τέλος τον βασικό αποκωδικοποιητή JPEG2000.

Μέχρι στιγμής, το JPWL ορίζει τέσσετα νέα marker segments: Error Protection Capability (EPC), Error Protection Block (EPB), Error Sensitivity Description (ESD) και Residual Error Description (RED). Αυτά περιγράφονται πιο αναλυτικά παρακάτω.

Error Protection Capability (EPC): Ο EPC marker περιγράφει ποια εργαλεία έχουν χρησιμοποιηθεί στην ακολουθία για την αντιμετώπιση λαθών. Πιο συγκεκριμένα, το EPC περιλαμβάνει πληροφορίες για το αν τα τρία segments ESD, RED και EPB περιλαμβάνονται στην ακολουθία. Περισσότερες πληροφορίες για την σύνταξη του EPC μπορείτε να βρείτε στο [27].

Error Protection Block (EPB): Η βασική λειτουργία του EPB είναι να προστατεύει την βασική κεφαλίδα και τις κεφαλίδες των tiles. Όμως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την προστασία ολόκληρης της ακολουθίας. Το EPB περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με παραμέτρους και δεδομένα που πρέπει να προστατευτούν από τα λάθη. Περισσότερες πληροφορίες για την

σύνταξη του EPB μπορείτε να βρείτε στο [27].

Error Sensitivity Descriptor (ESD): Ο ESD marker περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την 'ευαισθησία' τμημάτων της ακολουθίας σε παρουσία λαθών. Αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά την εφαρμογή τεχνικών Unequal Error Protection (UEP). Πιο συγκεκριμένα, πιο αποδοτικοί κώδικες διόρθωσης λαθών χρησιμοποιούνται για την προστασία πιο ευαίσθητων τμημάτων του codestream. Επίσης, αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τεχνικές επιλεκτικής επαναμετάδοσης τμημάτων της ακολουθίας - μ'άλλα λόγια, ένας μεγαλύτερος αριθμός επαναμεταδόσεων επιχειρείται σε πιο κρίσιμα τμήματα της ακολουθίας. Περισσότερες πληροφορίες για την σύνταξη του ESD μπορείτε να βρείτε στο [27].

Residual Error Descriptor (RED): Ο RED marker περιλαμβάνει πληροφορίες για την παρουσία residual errors στην ακολουθία. Ο marker αυτός χρησιμοποιείται στην περίπτωση που ο JPWL decoder απότυχει να διορθώσει όλα τα λάθη στη ληφθείσα ακολουθία. Η πληροφορία που περιέχεται στο RED μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το JPEG2000 decoder για την καλύτερη αντιμετώπιση των λαθών - πιο συγκεκριμένα, ο αποκωδικοποιητής μπορεί να απαιτήσει επαναμετάδοση των τμημάτων που περιέχουν λάθη ή να μην επεξεργαστεί τμήματα κώδικα που περιέχουν residual errors, μειώνοντας έτσι την καταναλώμενη ενέργεια και τον χρόνο αποκωδικοποίησης του δέκτη. Περισσότερες πληροφορίες για την σύνταξη του RED μπορείτε να βρείτε στο [27].

Προσομοιώσεις

Παρακάτω, συγκρίνουμε την απόδοση του προτύπου JPWL με διαφορετικές παραμέτρους και σε διαφορετικές συνθήκες καναλιών. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιούμε την JPWL υλοποίηση του OpenJPEG, μιας και είναι η μοναδική υλοποίηση του JPWL προτύπου. Η υλοποίηση βασίζεται και επεκτείνει την βασική υλοποίηση του JPEG2000 κωδικοποιητή. Υποστηρίζει ένα μεγάλο αριθμό από εργαλεία προστασίας, σαν και αυτά που περιγράψαμε παραπάνω (δεν υπάρχει υλοποίηση για Residual Errors). Για την προσομοίωση, επιλέξαμε σαν εικόνες ένα frame (1.ppm) της ακολουθίας των πειραμάτων που θα ακολουθήσουν, μεγέθους 320x240 pixels, και την εικόνα Zelda24.ppm που αναφέρθηκε παραπάνω, μεγέθους 787x576 pixels. Επίσης,

το περιβάλλον προσομοίωσης περιλαμβάνει error-prone BSC (Binary Symmetric Channel) και Gilbert-Elliot κανάλια με πιθανότητες λάθους bits που κυμαίνονται από 3×10^{-6} μέχρι 3×10^{-4} . Για την περίπτωση του Gilbert-Elliot καναλιού, η πιθανότητα να έχουμε ακολουθία λαθών ισούται με 0.8 (burst errors).

Οι διαφορετικές περιπτώσεις που μελετήσαμε είναι τα εξής:

1. Καθόλου προστασία - πρόκειται για την απλή μετάδοση του JPEG2000 codestream μέσα από το κανάλι θορύβου.
2. Προστασία κεφαλίδων - εφαρμογή μόνο των EPB markers για προστασία των main header και tile-part headers.
3. Άνιση προστασία στα δεδομένα (UEP) με Reed Solomon Codes (78,32) για κωδικοποίηση των διαφόρων τμημάτων. Πιο συγκεκριμένα, predefined EPB στο main header, RS(64,32) για Tile-part headers από 0 έως 2, CRC-32 σε Tile-part headers για tiles 3 και 4, CRC-16 για τα υπόλοιπα Tile-part headers, EEP RS(78,32) για κάποια πακέτα δεδομένων.
4. Άνιση προστασία σε όλα τα δεδομένα (UEP) με CRC-16 για κωδικοποίηση διαφόρων τμημάτων. Ίδια με περίπτωση 4, αλλά αντί για RS(78,32), χρησιμοποιείται το CRC-16.
5. Ίση προστασία σε όλα τα δεδομένα με CRC-32 σε όλη την έκταση της ακολουθίας.
6. Ίση προστασία σε όλα τα δεδομένα με Reed Solomon (128,32) σε όλη την έκταση της ακολουθίας.

Να τονίσουμε ότι τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων είναι αποτέλεσμα μέσης τιμής 10 επαναλήψεων σε κάθε περίπτωση. Επίσης, να τονίσουμε ότι σε πολλές περιπτώσεις και σε κάποια case studies, ο decoder αδυνατούσε να αποκωδικοποιήσει την εικόνα σε περιβάλλον με υψηλό BER (3×10^{-4}), ακόμα και με παρουσία error correcting codes (εμφάνιση πολλών residual errors κυρίως στην βασική κεφαλίδα). Όμως, η συχνότητα των περιπτώσεων όπου ήταν αδύνατη η αποκωδικοποίηση, ήταν πολύ υψηλότερη στην περίπτωση με απουσία προστασίας και χαμηλότερη σε κωδικοποίηση με υψηλή προστασία.

Αποτελέσματα - BSC

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για binary symmetric channel φαίνονται στα σχήματα 2.23-2.24 και στους πίνακες 2.16 και 2.17. Από τους πίνακες, παρατηρούμε πτώση ως προς την ποιότητα της εικόνας για την περίπτωση που δεν έχουμε προστασία δεδομένων (περιπτώσεις 1 και 2) σε σχέση με τις περιπτώσεις που έχουμε προστασία δεδομένων (περιπτώσεις 3-6). Παρ'όλα αυτά, η πτώση αυτή είναι πολύ μικρή λόγω μικρής πιθανότητα λάθους και τυχαιότητας της προσομοίωσης (στην περίπτωση του Gilbert-Elliot αλλάζει η εικόνα αυτή). Μπορούμε πάντως να διαπιστώσουμε μία επικράτηση του EEP Reed-Solomon (περ.6) και του UEP με Reed-Solomon (περ.3).

Πίνακας 2.16: Μελέτη JPWL για BSC - 1.ppm

BERs	Περ. 1	Περ. 2	Περ. 3	Περ. 4	Περ. 5	Περ. 6
3x10e-6	45.1891	45.6562	47.7378	46.4651	45.6764	48.7467
3x10e-5	33.8878	34.9260	36.8489	35.2338	34.6519	37.2059
1x10e-4	17.5948	18.2934	20.9537	20.9812	19.4105	21.503
3x10e-4	12.5948	12.2934	14.9537	13.9812	13.4105	15.103

Πίνακας 2.17: Μελέτη JPWL για BSC - Zelda24.ppm

BERs	Περ. 1	Περ. 2	Περ. 3	Περ. 4	Περ. 5	Περ. 6
3x10e-6	54.5486	53.3214	54.8642	51.3460	53.9542	54.3752
3x10e-5	34.1100	34.9963	35.9285	35.6514	38.3301	38.2664
1x10e-4	21.4976	20.2323	24.9740	24.7745	26.6815	28.6002
3x10e-4	11.5948	12.3214	14.5841	14.9812	14.5968	16.1030

Αποτελέσματα - Gilbert Elliot

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για κανάλι Gilbert-Elliot φαίνονται στα σχήματα 2.25-2.26 και στους πίνακες 2.18 και 2.19. Πρόκειται για την μελέτη των ίδιων περιπτώσεων. Όπως ήταν αναμενόμενο, λόγω μνήμης του καναλιού Gilbert-Elliot, τα αποτελέσματα που παίρνουμε είναι χειρότερα από την περίπτωση του BSC καναλιού. Η συμπεριφορά του καναλιού αυτού είναι πιο κοντινή με την αντίστοιχη των ασύρματων καναλιών, καθώς στα τελευταία είναι συνηθισμένες οι περιπτώσεις συνεχόμενων λαθών (burst errors).

Από τους πίνακες, και εδώ παρατηρούμε μεγαλύτερη πτώση ως προς την ποιότητα της εικόνας για την περίπτωση που δεν έχουμε προστασία δεδομένων (περιπτώσεις 1 και 2) σε σχέση με τις περιπτώσεις που έχουμε προστασία δεδομένων (περιπτώσεις 3-6). Για τον λόγο αυτό, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το πρωτόκολλο JPWL έχει ως αποτέλεσμα καλύτερη ποιότητα της λαμβανόμενης εικόνας στον δέκτη σε σχέση με την περίπτωση απλής μετάδοσης της εικόνας. Επίσης να τονιστεί ότι στην περίπτωση 2, ο αποκωδικοποιητής κατόρθωσε να αποκωδικοποιήσει την εικόνα με μεγαλύτερη συχνότητα σε σχέση με την περίπτωση 1. Αυτό υποδεικνύει ότι, παρά το γεγονός ότι τα δεδομένα και στις δύο περιπτώσεις είχαν λάθη κατά την μετάδοση, η εικόνα με προστατευμένα τα μέρη των κεφαλίδων οδηγεί σε επιτυχή αποκωδικοποίηση.

Πίνακας 2.18: Μελέτη JPWL για κανάλι Gilbert-Elliot - 1.ppm

BERs	Περ. 1	Πρ. 2	Περ. 3	Περ. 4	Περ. 5	Περ. 6
3x10e-6	37.1891	38.6562	42.7378	40.4651	41.6764	43.7467
3x10e-5	28.8878	28.9260	31.8489	32.2338	31.6519	31.2059
1x10e-4	14.5948	14.2934	15.9537	15.9812	15.4105	16.5030
3x10e-4	9.5948	10.2934	12.9537	10.9812	11.4105	12.1030

Παρατηρούμε ότι υπάρχουν διάφορες επιλογές όσον αφορά τον τρόπο προστασίας του code-stream και η επιλογή μίας ως καλύτερης δεν είναι εύκολη. Αυτό εξαρτάται από πολλές παραμέτρους και οι οποίες περιγράφονται παράκατω.

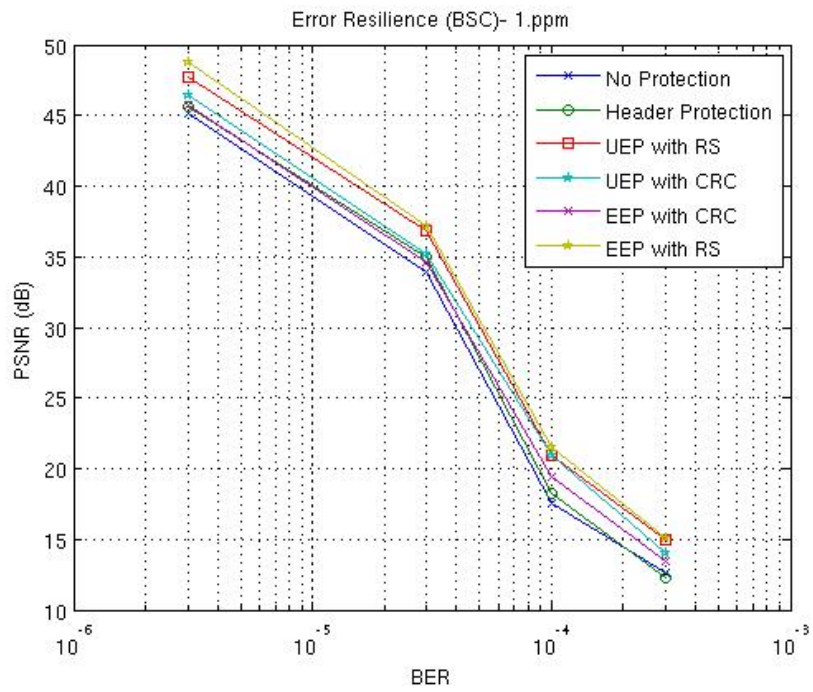
Πίνακας 2.19: Μελέτη JPWL για κανάλι Gilber-Elliot - Zelda24.ppm

BERs	Περ. 1	Περ. 2	Περ. 3	Περ. 4	Περ. 5	Περ. 6
3x10e-6	48.2245	48.4558	50.1547	49.1622	51.3698	51.7463
3x10e-5	31.9546	31.8741	32.6354	32.4466	35.1886	36.9524
1x10e-4	19.5685	19.8971	25.8701	24.2215	25.1393	26.8423
3x10e-4	10.1584	10.3512	13.3544	12.4163	15.1821	15.1003

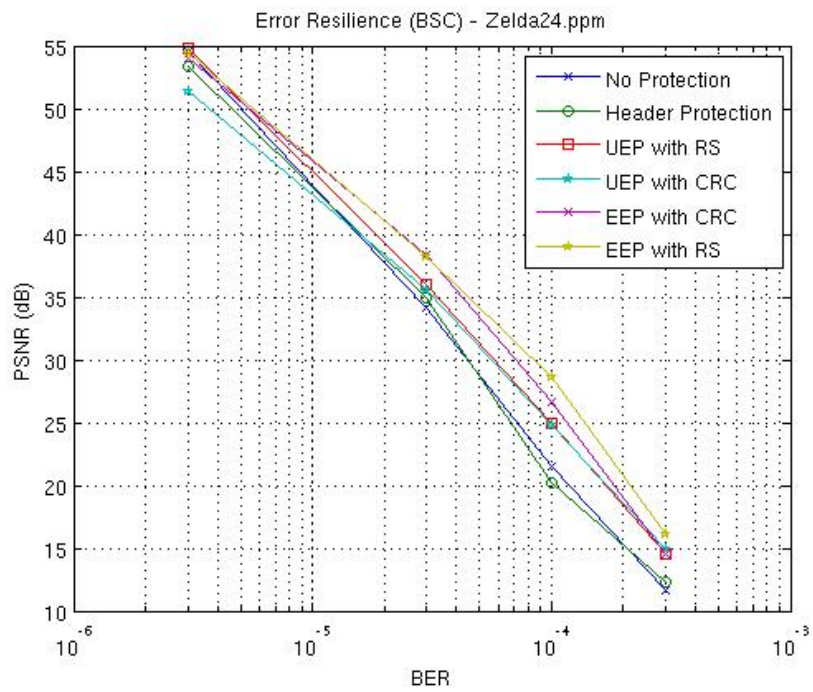
Ευαισθησία καναλιού: Σε κανάλια που είναι ανθεκτικά σε λάθη (χαμηλό BER), ακόμα και η επιλογή της μη-προστασίας του codestream είναι ικανοποιητική, καθώς αποδίδει πολύ καλά σε BER μικρότερα του 3×10^{-6} ($> 35\text{dB}$). Παράλληλα, η απουσία των error correcting codes οδηγεί και σε μικρότερο μέγεθος αρχείων, γεγονός που ίσως είναι επιθυμητό σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Αντιπροσωπευτικά, αναφέρουμε ότι το αποτέλεσμα της κωδικοποίησης χωρίς παρουσία error correcting codes οδήγησε σε μέγεθος αρχείου 434kB, ενώ η κωδικοποίηση με RS(128,32) σε όλο το μήκος της ακολουθίας οδήγησε σε μέγεθος αρχείου 713kB (το μέγεθος του αρχείου σε PPM μορφή είναι 768kB).

Από την άλλη, για περιπτώσεις ασύρματων καναλιών, όπου το BER είναι αρκετά υψηλό σε σχέση με τα ενσύρματα κανάλια, η παρουσία των error correcting codes βοηθάει στην αποκωδικοποίηση των εικόνων. Για παράδειγμα, στις περιπτώσεις όπου δεν έχουμε καθόλου προστασία ή χαμηλή προστασία, η απόδοση του συστήματος δεν θα είναι ίδια με την περίπτωση που θα χρησιμοποιήσουμε προστασία δεδομένων.

Μέγεθος αρχείου: Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η παρουσία μηχανισμών προστασίας μπορεί να προσδίδει ασφάλεια στην μετάδοση της ακολουθίας, όμως αυξάνει και το μέγεθος του αρχείου προς αποστολή. Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται για την προστασία του codestream είναι μεταξύ άλλων οι Reed-Solomon codes, CRC-32 κτλ. Οι κώδικες αυτοί, για να επιτύχουν την ασφάλεια που επιθυμείται, προσθέτουν παραπάνω bits πληροφορίας (check parity bits) ώστε να είναι δυνατή η εύρεση και διόρθωση λθών στον αποκωδικοποιητή. Με τον τρόπο αυτό, όμως, αυξάνεται η ποσότητα των bits προς αποστολή και έτσι δημιουργείται ένα trade-off

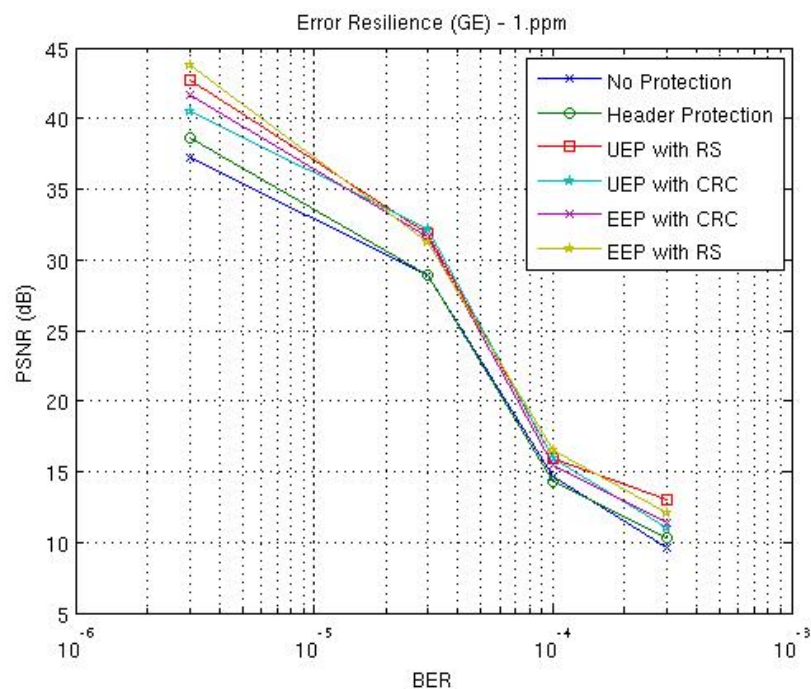


Σχήμα 2.23: JPWL - BSC για 1.ppm



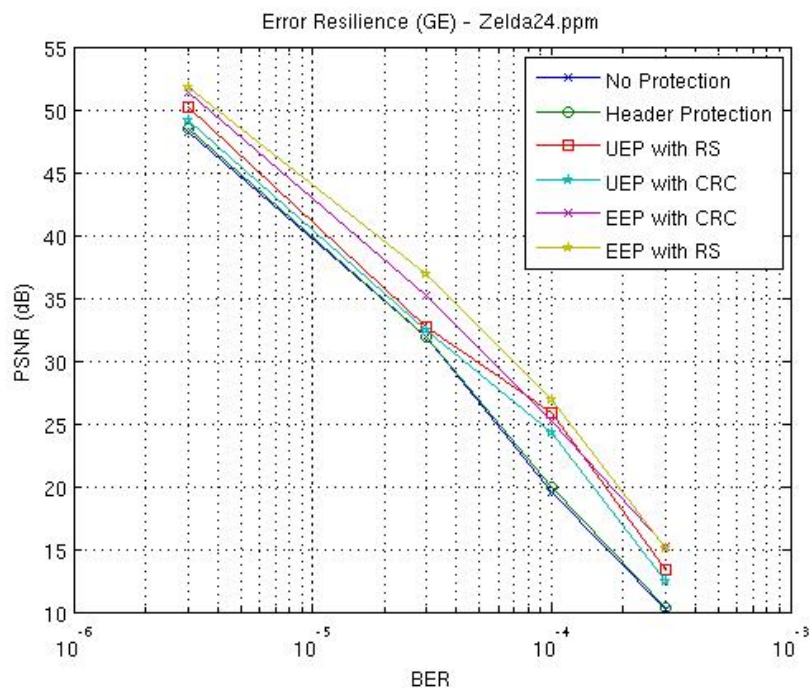
Σχήμα 2.24: JPWL - BSC για Zelda24.ppm

μεταξύ του μεγέθους αρχείου και ασφάλειας codestream. Για εφαρμογές που απαιτούν μικρά αρχεία εικόνων (λόγω διαθεσιμότητας μνήμης, κτλ), η χρήση μεθόδων όπως RS(128, 32) σε όλο το μήκος του codestream ίσως να είναι απαγορευτικό. Οπότε, η επιλογή του μηχανισμού προστασίας δεν είναι προκαθορισμένη για όλες τις περιπτώσεις και εξαρτάται κάθε φορά από την εκάστοτε εφαρμογή.



Σχήμα 2.25: JPWL - Gilbert-Elliot κανάλι για 1.ppm

Χρόνος επεξεργασίας: Αν και κατά την προσομοίωση δεν ήταν απολύτως ξεκάθαρο (λόγω υψηλής υπολογιστικής ισχύος), η προσθήκη μηχανισμών προστασίας του codestream οδηγεί σε αύξηση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας και, συνεπώς, αύξηση του χρόνου υπολογισμού και επεξεργασίας. Έτσι, εφαρμογές που εκτελούνται σε επεξεργαστές με χαμηλή υπολογιστική ισχύ ή εφαρμογές στις οποίες ο χρόνος επεξεργασίας και κωδικοποίησης (ή/και αποκωδικοποίησης) της εικόνας έχει αυξημένη σημασία για την εφαρμογή, ίσως θα ήταν προτιμότερο να μην επιβαρύνονται με διαδικασίες υπολογισμού των error correcting codes.



Σχήμα 2.26: JPWL - Gilbert-Elliot κανάλι για Zelda24.ppm

Συμπεράσματα προσομοίωσης

Από τα αποτελέσματα, θα μπορούσαμε να βγάλουμε κάποια γενικά συμπεράσματα:

1. Σε κανάλια με χαμηλό BER, ίσως είναι περιττό να εισάγουμε και τμήματα κώδικα που έχουν να κάνουν με εύρεση και διόρθωση λαθών. Σε γενικές γραμμές, η επιβάρυνση σε μέγεθος κώδικα μπορεί να ρυθμιστεί ανάλογα την περίπτωση, χάρη στην δυνατότητα για Unequal Error Protection.
2. Σε κανάλια με υψηλό BER, η παρουσία τμημάτων για την προστασία codestream είναι επιθυμητή καθώς τα αποτελέσματα από την αποκωδικοποίηση είναι πολύ καλύτερα. Ανάλογα με τις ιδιότητες της κάθε εφαρμογής, μπορεί να μελετηθούν τα χαρακτηριστικά του καναλιού μετάδοσης και να αποφασισθεί η πολιτική για την προστασία των δεδομένων προς αποστολή.
3. Σε εφαρμογές που το μέγεθος αρχείου παίζει ρόλο, γίνεται επιλογή των μεθόδων προστασίας ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

4. Η κωδικοποίηση Reed Solomon αποδίδει καλύτερα σε σχέση με τις κωδικοποιήσεις CRC-16 και CRC-32. Μειονέκτημα της κωδικοποίησης Reed Solomon είναι η υπερβολική αύξηση του μεγέθους του τελικού αρχείου.
5. Το πεδίο ESD μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον κωδικοποιητή/αποκωδικοποιητή για την επιλογή των τμημάτων κώδικα που είναι περισσότερο 'ευαίσθητα' σε σχέση με τα υπόλοιπα (χρειάζονται μεγαλύτερη προσοχή). Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να καθοριστεί η πολιτική επαναμετάδοσης δεδομένων ανάλογα με το μέτρο 'ευαισθησίας' τους.

2.5 Συμπεράσματα

Σύγκριση με άλλα πρότυπα κωδικοποίησης εικόνας

Στην μελέτη αυτή έγινε μία σύγκριση των τελευταίων υλοποιήσεων των προτύπων JPEG, JPEG-LS και JPEG2000 πάνω σε διαφορετικές λειτουργίες και συνθήκες περιβάλλοντος. Παράλληλα, μελετήθηκαν οι δυνατότητες κάθε προτύπου ώστε να σχηματιστεί μία γενική εικόνα ως προς την επίδοση των υλοποιήσεων.

Τα αποτελέσματα δείχνουν την βελτίωση που παρέχει το πρότυπο JPEG2000 σε διάφορους τομείς της επεξεργασίας εικόνας σε σχέση με τα πρότυπα JPEG, JPEG-LS. Το JPEG2000 παρέχει καλύτερη ποιότητα εικόνας, μεγαλύτερη συμπίεση και ποικιλία δυνατοτήτων που το καθιστούν κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές που δεν μπορούν να εφαρμοστούν τα JPEG, JPEG-LS. Από την άλλη, οι αυξημένες δυνατότητες του JPEG2000 οδηγούν σε μεγαλύτερη πολυπλοκότητα του αλγορίθμου και η χρήση ειδικού υλικού για την κωδικοποίηση/αποκωδικοποίηση κρίνεται απαραίτητη (τουλάχιστον για τις real-time εφαρμογές).

Συγκριση υλοποιήσεων JPEG2000

Στην ενότητα αυτή, έγινε παρουσίαση των κυριότερων υλοποιήσεων των προτύπων JPEG2000 και Motion JPEG2000. Οι υλοποιήσεις που παρουσιάστηκαν είναι: Kakadu, JasPer, OpenJPEG, JJ2000. Από τις παρατηρήσεις που κάναμε, καταλήγουμε ότι οι καλύτερες υλοποιήσεις ανοιχτού κώδικα προς μελέτη και ανάλυση είναι αυτές των OpenJPEG και Jasper, καθώς συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά όλων των άλλων κωδικοποιητών, παρουσιάζουν σταθερότητα στην κωδικοποίηση/αποκωδικοποίηση και παρέχουν υλοποιήσεις πάνω σε ασύρματα κανάλια (JPWL-

tools - για την περίπτωση του OpenJPEG), γεγονός που βοηθάει πολύ για την μελέτη των JPEG2000 και Motion JPEG2000 πάνω σε θορυβώδη κανάλια.

Σύγκριση MJPEG2000 με H.264/AVC MPEG-4 Part 10

Στην ενότητα αυτή, έγινε μια σύγκριση των προτύπων Motion-JPEG2000 και H.264/AVC για επεξεργασία video αρχείων ως προς την παράμετρο rate-distortion για pure intra coding. Για την σύγκριση αυτή, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για διαφορετικές αναλύσεις video που αφορούν διαφορετικές εφαρμογές. Από τις προσομοιώσεις αυτές, παρατηρήσαμε μία σημαντική υπεροχή του προτύπου H.264/AVC έναντι του Motion-JPEG2000 σε όλες τις περιπτώσεις (η διαφορά σε dB μεταξύ των δύο υλοποιήσεων κυμαινόταν απο 3dB για τα videos με χαμηλή ανάλυση μέχρι και 8-9dB για τα videos υψηλής ανάλυσης) αλλά παράλληλα παρατηρήσαμε μία αυξημένη πολυπλοκότητα του H.264/AVC όπου δεν συστήνεται σε περιπτώσεις live streaming εφαρμογών.

Μελέτη συμπεριφοράς JPWL σε θορυβώδη κανάλια

Τα αποτελέσματα έδειξαν μία αξιοσημείωτη βελτίωση της ποιότητας μετάδοσης που κυμαίνεται από 1dB μέχρι 6dB, ανάλογα με την περίπτωση που μελετάται και το κανάλι μετάδοσης. Παράλληλα, η ύπαρξη των μηχανισμών προστασίας μειώνει σημαντικά τα crashes του decoder κατά την αποκωδικοποίηση της εικόνας αλλά αυξάνει τον χρόνο επεξεργασίας και το μέγεθος του αρχείου.

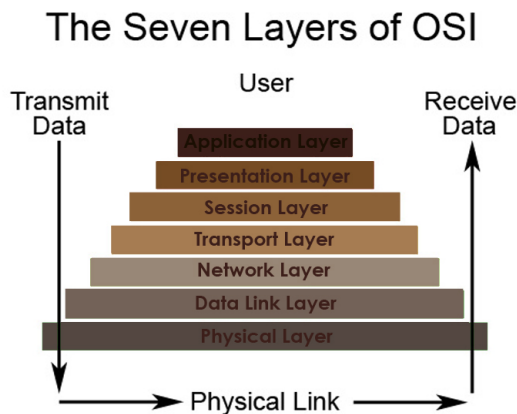
3

Ανάλυση Δικτύου

3.1 Μοντέλο OSI

Από την εποχή της ανάπτυξης δικτύων και υπολογιστών στην δεκαετία του '70, κάθε εταιρία και οργανισμός χρησιμοποιούσε την δική της δομή/αρχιτεκτονική με την οποία οργάνωνε τα δίκτυα επικοινωνίας της. Ο λόγος ύπαρξης τόσο διαφορετικών δομών είναι ακριβώς η δυνατότητα να οργανωθούν οι διάφορες εργασίες του δικτύου με πολλούς τρόπους. Παρ'όλες τις διαφορές τους όμως, παρουσίαζαν πολλές ομοιότητες: πρώτον, όλες οι υλοποιήσεις έχουν δομηθεί σε επίπεδα επεξεργασίας - δεύτερον, τα επίπεδα τείνουν να οργανώνονται μεταξύ τους με τον ίδιο τρόπο (το κατώτερο επίπεδο αναλαμβάνει την αποστολή και λήψη σημάτων μετάδοσης ενώ το ανώτερο επίπεδο αναλαμβάνει την επικοινωνία με τον χρήστη) - και, τρίτον, χρησιμοποιείται η μετάδοση πακέτων από άκρο σε άκρο για την επικοινωνία μεταξύ τερματικών.

Το 1977, το Εθνικό Αμερικάνικο Ινστιτούτο Προτυποποίησης (ANSI) ξεκίνησε μια μελέτη πάνω στην αρχιτεκτονική δικτύων που δομούνται σε επίπεδα επεξεργασίας. Βάσει αυτής της έρευνας, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Προτυποποίησης (ISO) ξεκίνησε την ανάπτυξη ενός μοντέλου αρχιτεκτονικής που ονομάζεται πρότυπο αναφοράς για την διασύνδεση ανοιχτών συστημάτων (open systems interconnection reference model - OSI model). Το μοντέλο OSI είναι μια αφηρημένη, διαστρωματωμένη περιγραφή της δομής πρωτοκόλλων επικοινωνιών και δικτύων υπολογιστών σε επτά επίπεδα στρώματα. Πιο συγκεκριμένα, από πάνω προς τα κάτω, το OSI μοντέλο αποτελείται από τα επίπεδα: Εφαρμογής, Παρουσίασης, Συνόδου, Διακίνησης, Δικτύου, Σύνδεσης Δεδομένων και Φυσικό, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα 3.1. Κάθε επίπεδο είναι ένα



Σχήμα 3.1: Μοντέλο OSI

σύνολο διεργασιών που παρέχουν υπηρεσίες στο επίπεδο πάνω από αυτό και εκμεταλλεύονται τις υπηρεσίες από το επίπεδο κάτω από αυτό. Για παράδειγμα, ένα επίπεδο που παρέχει αξιόπιστη επικοινωνία στο δίκτυο, δέχεται την διαδρομή που πρέπει να ακολουθηθεί από το επίπεδο εφαρμογής πάνω από αυτό και χρησιμοποιεί το κάτω επίπεδο για την αποστολή και λήψη πακέτων μέσω αυτής της διαδρομής.

Η αξιόπιστη μετάδοση πληροφοριών μεταξύ δύο υπολογιστών απαιτεί πολλές λειτουργίες του δικτύου. Η περιγραφή των λειτουργιών αυτών θα γίνει με την περιληπτική περιγραφή των επιπέδων του OSI που ακολουθεί [28].

Επίπεδο Εφαρμογής

Το επίπεδο εφαρμογής παρέχει και πραγματοποιεί υπηρεσίες σε επίπεδο εφαρμογών ηλεκτρονικών συσκευών μέσω διεργασιών της εκάστοτε εφαρμογής. Επίσης, προωθεί τις αιτήσεις στο επίπεδο παρουσίασης. Να τονίσουμε ότι αυτό το επίπεδο παρέχει υπηρεσίες σε εφαρμογές και όχι άμεσα στον χρήστη. Για παράδειγμα, στο επίπεδο αυτό ορίζεται το πρωτόκολλο για την μεταφορά δεδομένων (file transfer protocol - FTP), αλλά ο χρήστης πρέπει να επικαλεστεί το πρωτόκολλο μέσω μίας εφαρμογής. Το μοντέλο OSI δεν ορίζει την διασύνδεση μεταξύ των εφαρμογών και του επιπέδου της εφαρμογής. Ο σχεδιαστής του λογισμικού θέτει ως προϋπόθεση τα δύο τμήματα του επιπέδου εφαρμογής να έχουν την δυνατότητα να ανταλλάσσουν μηνύματα

αξιόπιστα, χρησιμοποιώντας την υπηρεσία που τους παρέχεται από το αμέσως κατώτερο επίπεδο.

Επίπεδο Παρουσίασης

Το επίπεδο παρουσίασης θέτει τον τρόπο αναπαράστασης δεδομένων για τους διάφορους τύπους τερματικών, δεδομένου ότι τα τερματικά που συμμετέχουν στην επικοινωνία μπορεί να έχουν διαφορετική σύνταξη και format για την αναπαράσταση δεδομένων. Έτσι, το επίπεδο εφαρμογών δίνει τα μηνύματα στο επίπεδο παρουσίασης, το οποίο τα μετατρέπει σε κάποια τυποποιημένη μορφή (Session Protocol Data Units) κατάλληλη για την μετάδοση στο επίπεδο παρουσίασης του δέκτη. Παράλληλα, το επίπεδο παρουσίασης μπορεί να εκτελέσει κάποιες άλλες λειτουργίες εκτός από την μετατροπή της μορφής, όπως η κρυπτογράφηση/αποκρυπτογράφηση δεδομένων.

Επίπεδο Συνόδου

Στο επίπεδο αυτό γίνεται ο έλεγχος των συνδέσεων/συνόδων μεταξύ των υπολογιστών. Πιο συγκεκριμένα, το επίπεδο συνόδου εγκαθιστά, ελέγχει και τερματίζει τις συνδέσεις μεταξύ τοπικής και απομακρυσμένης εφαρμογής. Λειτουργεί για full-duplex, half-duplex και simplex διαδικασίες και ορίζει διαδικασίες τερματισμού και επανεκκίνησης διαδικασιών. Το επίπεδο συνόδου μπορεί επίσης να εποπτεύει την επικοινωνία κάνοντας τα δύο τερματικά να συμφωνούν περιοδικά πάνω σε σημεία συγχρονισμού που χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση της επικοινωνίας σε περίπτωση βλάβης. Στο επίπεδο αυτό ανήκει και το πρωτόκολλο RTP/RTCP που θα περιγράψουμε παρακάτω.

Επίπεδο Μεταφοράς ή Διακίνησης

Το επίπεδο μεταφοράς παρέχει εγγυημένη μεταφορά των δεδομένων μεταξύ των χρηστών, παρέχοντας αξιόπιστες υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων στα ανώτερα επίπεδα. Το επίπεδο ελέγχει την αξιοπιστία μίας συγκεκριμένης σύνδεσης μέσω ελέγχου ροής, ελέγχου λαθών κτλ. Κάποια από τα πρωτόκολλα επιπέδου μεταφοράς κρατάνε την προηγούμενη κατάστασή τους και αποτελούν υπηρεσίες με σύνδεση: αυτό σημαίνει ότι το επίπεδο μεταφοράς μπορεί να επαναμεταδώσει πακέτα που δεν έφτασαν στον προορισμό τους. Αν και δεν αναπτύχθηκαν βάσει του OSI μοντέλου και δεν ακολουθούν πιστά τους κανόνες του μοντέλου, τα πιο γνωστά παραδείγματα του

επιπέδου μεταφοράς είναι τα TCP και UDP. Αναλυτική περιγραφή αυτών ακολουθεί παρακάτω.

Επίπεδο Δικτύου

Το επίπεδο δικτύου παρέχει τα λειτουργικά και διαδικαστικά μέσα για την μεταφορά μεταβλητού μεγέθους ακολουθίας δεδομένων από την πηγή στον προορισμό μέσω ενός ή περισσότερων δικτύων, ενώ παράλληλα διατηρεί την ποιότητα της υπηρεσίας από άκρο σε άκρο όπως αυτή ορίζεται από το επίπεδο μεταφοράς. Εδώ γίνεται η δρομολόγηση των δεδομένων μέσα από τις ζεύξεις ανάλογα με το πόσο συμφορημένα είναι διάφορα τμήματα του δικτύου. Επίσης, μπορεί να αναφέρονται και λάθη μετάδοσης που μεταφέρονται στο επίπεδο μεταφοράς για επεξεργασία. Το πιο γνωστό παράδειγμα του τρίτου επιπέδου OSI είναι το Internet Protocol (IP).

Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων

Κάθε πακέτο μεταδίδεται μέσα από μία ζεύξη ως ακολουθία από bits. Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων παρέχει τα μέσα για την μεταφορά δεδομένων μεταξύ οντοτήτων δικτύου και εντοπίζει και διορθώνει τα λάθη που συμβαίνουν στο φυσικό επίπεδο. Γνωστά πρωτόκολλα του επιπέδου είναι το Ethernet (802.3), τα ασύρματα 802.11, το Bluetooth (802.15) που χρησιμοποιούνται στα πειράματα της εργασίας.

Φυσικό Επίπεδο

Για να μεταδοθεί ένα πακέτο, κάθε bit μετατρέπεται σε ένα ηλεκτρικό (ή οπτικό) σήμα από το φυσικό επίπεδο. Το φυσικό επίπεδο ορίζει όλες τις ηλεκτρικές και φυσικές προδιαγραφές των συσκευών που συμμετέχουν στην επικοινωνία. Πιο συγκεκριμένα, ορίζει την σχέση μεταξύ της συσκευής και του φυσικού μέσου. Τα σήματα στέλνονται μέσα από την φυσική ζεύξη και λαμβάνονται στο άλλο άκρο, όπου μετατρέπονται και πάλι σε bits. Διαδοχικά bits ανασυγκροτούνται σε πακέτα στον δέκτη και παραδίδονται στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων.

Από τα παραπάνω επίπεδα, εκείνα που μελετήθηκαν διεξοδικά είναι:

1. Το RTP/RTCP στο επίπεδο συνόδου καθώς είναι το πρωτόκολλο συνόδου που βρίσκει ευρεία εφαρμογή σε συστήματα μετάδοσης πολυμέσων και υλοποιήσεις του συναντώνται

σε πολλά προϊόντα και ερευνητικά προγράμματα.

2. Το UDP πρωτόκολλο στο επίπεδο μεταφοράς ως το γρηγορότερο πρωτόκολλο μεταφοράς, ιδιότητα που χρειάζεται σε εφαρμογές ευαίσθητες σε καθυστερήσεις.
3. Τα Ethernet, 802.11 και Bluetooth στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων καθώς αποτελούν τρία από τα πιο γνωστά και ευρείας χρήσης πρωτόκολλα επικοινωνίας για ενσύρματες και ασύρματες ζεύξεις.

Τα πρωτόκολλα αυτά θα περιγραφούν αναλυτικά παρακάτω.

3.2 Επίπεδο Συνόδου - RTP

Τα τελευταία χρόνια, η μετάδοση αποθηκευμένων πολυμέσων με συνεχή ροή και η μετάδοση συνεχούς ροής ζωντανού ήχου/video έγιναν δημοφιλείς εφαρμογές στα σύγχρονα δίκτυα επικοινωνιών. Δεδομένου ότι το κόστος των αποθηκευτικών μέσων θα συνεχίζει να μειώνεται με παράλληλη αύξηση του δυνατού χώρου αποθήκευσης στην ίδια μονάδα επιφάνειας και τα σύγχρονα δίκτυα θα τείνουν να παρέχουν την, ολοένα αυξανόμενη, απαραίτητη χωρητικότητα για την αποστολή τόσο μεγάλου μεγέθους δεδομένων, η χρήση των εφαρμογών αυτών θα αυξάνεται εκθετικά με το πέρασμα των χρόνων.

Στην μετάδοση ήχου/video, οι χρήστες ζητούν αρχεία συμπιεσμένα με συγκεκριμένους κωδικοποιητές τα οποία είτε είναι αποθηκευμένα σε εξυπηρετητές είτε αποστέλλονται αμέσως μετά την λήψη τους από την κάμερα. Αφού λάβει μία αίτηση από χρήστη, ο εξυπηρετητής παραδίδει το ζητούμενο αρχείο πολυμέσων στέλνοντάς το σε ένα socket. Στην πράξη χρησιμοποιούνται τα sockets τόσο του TCP όσο και του UDP. Πριν την αποστολή του στο δίκτυο, το αρχείο χωρίζεται σε μικρότερα τμήματα και κάθε τμήμα ενθυλακώνεται σε ειδικές κεφαλίδες κατάλληλες για την αποστολή και λήψη δεδομένων πολυμέσων. Για τον σκοπό αυτόν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το πρωτόκολλο RTP/RTCP (Real-Time Transfer Protocol/Real-Time Transfer Control Protocol), το οποίο περιγράφουμε στην συνέχεια ([30],[31],[32]).

3.2.1 RTP

Το πρωτόκολλο RTP παρέχει υπηρεσίες αποστολής και παράδοσης πακέτων από άκρο σε άκρο για δεδομένα με χαρακτηριστικά εφαρμογής πραγματικού χρόνου, όπως interactive ήχος και

εικόνα. Μερικές από τις υπηρεσίες αυτές είναι συγκεκριμένη ενθυλάκωση δεδομένων ανάλογα με την εφαρμογή, αρίθμηση πακέτων, χρονοχαρτογράφηση των δεδομένων και έλεγχος παραλαβής των πακέτων. Οι εφαρμογές που βασίζονται στο RTP συνήθως χρησιμοποιούν στο επίπεδο μεταφοράς sockets UDP για τις ιδιότητες που παρέχει σε σχέση με το TCP (περιγραφή δίνεται παρακάτω). Το RTP υποστηρίζει μεταφορά δεδομένων σε πολλαπλούς προορισμούς ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας την ιδιότητα του multicasting, σε περίπτωση βέβαια που υποστηρίζεται από το εκάστοτε δίκτυο.

Το πρωτόκολλο RTP, το οποίο ορίζεται στο έγγραφο RFC 3550, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μετάδοση κοινών μορφών ήχου όπως οι PCM, GSM και MP3, καθώς και μορφών εικόνας και video MPEG, H.264 και Motion-JPEG2000. Σήμερα, το RTP απολαμβάνει ευρείας αποδοχής και υλοποιήσεις του συναντώνται σε εκατοντάδες προϊόντα και ερευνητικά πρωτότυπα.

Στις υποενότητες που ακολουθούν, θα περιγράψουμε σε βάθος το RTP και το συντροφικό του πρωτόκολλο, RTCP.

Τα Βασικά του RTP

Όπως προαναφέρθηκε, το RTP χρησιμοποιεί κυρίως το πρωτόκολλο μεταφοράς UDP. Ο αποστολέας χωρίζει τα δεδομένα σε μικρότερα τμήματα και κάθε ένα από αυτά ενθυλακώνεται σε ένα πακέτο RTP με συγκεκριμένη δομή που θα περιγραφεί σε επόμενη ενότητα. Στην συνέχεια, το αποτέλεσμα της ενθυλάκωσης αυτής, ενθυλακώνεται περαιτέρω σε ένα πακέτο μετάδοσης UDP. Το πακέτο αυτό παραδίδεται στο επίπεδο δικτύου για να μεταδοθεί στο δίκτυο. Από την άλλη πλευρά, ο δέκτης γνωρίζει την δομή των ενθυλακώσεων του UDP και του RTP και διαχωρίζει τα δεδομένα από τις κεφαλίδες των πακέτων. Τα δεδομένα τέλος οδηγούνται προς αποκωδικοποίηση και αναπαραγωγή. Με τον τρόπο αυτό, η εφαρμογή παρέχει στον δέκτη πληθώρα πληροφοριών ως προς τον τύπο δεδομένων, τον αριθμό πακέτου, ενδείξεις χρόνου κτλ.

Πρέπει να τονίσουμε ότι το RTP από μόνο του δεν παρέχει μηχανισμό που εξασφαλίζει την παράδοση των πακέτων σε στενά χρονικά περιθώρια ούτε εγγύηση για ποιότητα παράδοσης των πακέτων, αλλά βασίζεται σε άλλα πρωτόκολλα που καλύπτουν τις υπηρεσίες αυτές. Επίσης, δεν εγγυάται την παράδοση των πακέτων ούτε την παραλαβή τους με την σωστή σειρά. Ο αύξων αριθμός που περιλαμβάνεται στις κεφαλίδες των πακέτων επιτρέπει στον δέκτη να

επανακατασκευάσει σωστά την ακολουθία, όπως επίσης να αποκωδικοποιηθούν τα πακέτα σε διαφορετική σειρά αφού γνωρίζουμε ακριβώς την πληροφορία που περιγράφεται στα πακέτα (για παράδειγμα στην περίπτωση του video). Παρά το γεγονός ότι το RTP χρησιμοποιείται κυρίως για εφαρμογές πολυμέσων, δεν περιορίζεται μόνο σε τέτοιου είδους εφαρμογές.

Ορισμοί

RTP Payload: πρόκειται για τον τρόπο που ενθυλακώνονται τα δεδομένα σε πακέτα πριν αποσταλλούν για ενθυλάκωση σε RTP πακέτα και είναι διαφορετικός για τους διάφορους τύπους πολυμέσων. Στην υλοποίηση μας χρησιμοποιήθηκε η επίσημη πρόταση για JPEG2000 αρχεία και περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω.

RTP πακέτο: αποτελείται από τα δεδομένα προς αποστολή, τις κεφαλίδες του payload για το συγκεκριμένο format αρχείου και τις κεφαλίδες για την δημιουργία του RTP πακέτου. Η δομή των πεδίων στην κεφαλίδα ενός πακέτου RTP περιγράφεται παρακάτω.

Port: πρόκειται για την θύρα επικοινωνίας που χρησιμοποιείται από τα πρωτόκολλα επικοινωνίας για να διακρίνουν τον σωστό προορισμό από τους πολλούς που μπορεί να έχει το τερματικό. Τα πρωτόκολλα TCP, UDP αναγνωρίζουν τα ports σαν ακέραιους αριθμούς.

Διεύθυνση μεταφοράς: Ο συνδυασμός θύρας επικοινωνίας και διεύθυνσης δικτύου χαρακτηρίζουν μοναδικά τον προορισμό μέσα από ένα σύνολο εφαρμογών και τερματικών. Τα πακέτα μεταδίδονται από την διεύθυνση της πηγής στην διεύθυνση προορισμού.

Τύπος πολυμέσων: όπως έχει αναφερθεί, το πρωτόκολλο RTP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μετάδοση κοινών μορφών ήχου και εικόνας. Για την διάκριση του τύπου αρχείων που μεταδίδονται χρησιμοποιούνται διαφορετικοί κωδικοί αριθμοί που χαρακτηρίζουν μοναδικά τον τύπο αρχείων που μεταδίδεται.

Σύννοδος RTP: Η σύνδεση δύο ή περισσότερων τερματικών μεταξύ τους και η αποστολή/λήψη αρχείων πολυμέσων μεταξύ των χρηστών. Ένας χρήστης μπορεί να συμμετάσχει σε περισσότερες από μία συνόδους ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας διαφορετικά ζεύγη ports - διεύθυνσεων. Όλοι οι χρήστες μπορεί να μοιράζονται ένα ζεύγος port - διεύθυνσης προορισμού, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του multicast, ή κάθε χρήστης μπορεί να έχει ένα μοναδικό ζεύγος port - διεύθυνσης προορισμού, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του unicast. Στην πε-

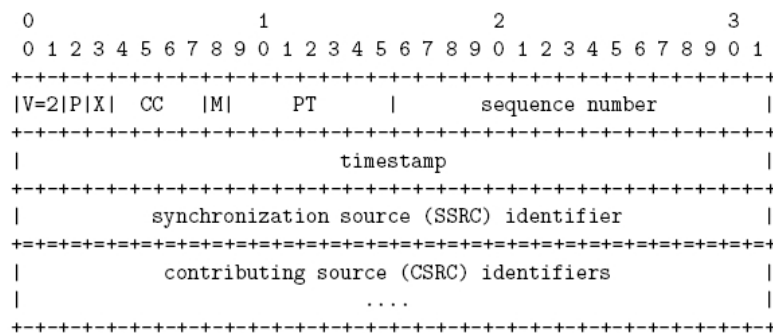
ρίπτωση του unicast, ο δέκτης μπορεί να δέχεται δεδομένα από μία ή περισσότερες πηγές. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται χαρακτηριστικά στις κεφαλίδες των ενθυλακώσεων ώστε να διαχωρίζονται τα ληφθέντα πακέτα μεταξύ τους, όπως οι αναγνωριστές SSRC (ορίζεται παρακάτω) και CSRC. Οι συμμετέχοντες σε μία σύνοδο αποτελούνται από εκείνους που μπορούν να λάβουν έναν αναγνωριστή SSRC από άλλο συμμετέχοντα στην περίπτωση του RTP ή ένα αναγνωριστή CSRC στην περίπτωση του RTCP.

Αναγνωριστής πηγής (SSRC): Πρόκειται για δεικτοδότηση της πηγής των πακέτων μέσω ενός 32-bit αριθμού που βρίσκεται στην κεφαλίδα του RTP. Όλα τα πακέτα που προέρχονται από την ίδια πηγή αναγνωρίζονται στον δέκτη μέσω του SSRC και επεξεργάζονται στην ίδια σύνοδο με τα ήδη ληφθέντα πακέτα από την ίδια πηγή.

Αναγνωριστής συμβαλλόμενης πηγής (CSRC): χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που τα αρχεία πολυμέσων προέρχονται από περισσότερες από μία πηγές. Πρόκειται για μία λίστα από SSRC αναγνωριστές που συμμετέχουν στην μετάδοση των αρχείων. Δεν μελετήθηκε στα πειράματα και δεν θα αναλυθεί παραπάνω.

Κεφαλίδες RTP

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.2, τα πεδία στην κεφαλίδα ενός πακέτου RTP είναι τα εξής:



Σχήμα 3.2: Κεφαλίδα RTP

- version (V): αναγνωρίζει την εκδοση του RTP. Μέγεθος πεδίου 2 bits.

- padding (P): το πεδίο αυτό πληροφορεί για την ύπαρξη πρόσθετων bits στο τέλος του πακέτου που δεν αποτελούν μέρος του payload των δεδομένων. Τα πρόσθετα αυτά bits μπορεί να χρειάζονται σε συγκεκριμένους αλγόριθμους κωδικοποίησης με αμετάβλητο μέγεθος blocks. Μέγεθος πεδίου 1 bit.
- extension (X): το πεδίο αυτό πληροφορεί για την ύπαρξη κεφαλίδας πέραν της κύριας κεφαλίδας RTP σαν επέκταση. Μέγεθος πεδίου 1 bit.
- CSRC count (CC): το πεδίο αυτό περιέχει τον αριθμό των αναγνωριστών CSRC που ακολουθούν την κύρια κεφαλίδα RTP. Μέγεθος πεδίου 4 bits.
- marker (M): δεν έχει οριστεί ακριβής χρησιμότητα του συγκεκριμένου πεδίου. Στην υλοποίηση μας, χρησιμοποιείται για την δεικτοδότηση ότι το συγκεκριμένο πακέτο αποτελεί το τελευταίο πακέτο του αρχείου που αποστέλλεται. Μέγεθος πεδίου 1 bit.
- payload type (PT): αναγνωρίζει και πληροφορεί τον δέκτη για το είδος αρχείου που αποστέλλεται. Για κάθε είδος πολυμέσων ορίζεται διαφορετικός τύπος payload ώστε οι εφαρμογές να μπορούν να εκμεταλλευτούν τα χαρακτηριστικά τους. Στην περίπτωση μας, έχουμε υλοποιήσει το payload για JPEG2000 αρχεία και περιγράφεται σε επόμενη ενότητα. Μέγεθος πεδίου 7 bits.
- sequence number: πρόκειται για αύξοντα αριθμό που δεικτοδοτεί την σειρά αποστολής των πακέτων. Κάθε πακέτο χαρακτηρίζεται από τον αριθμό αυτό και χρησιμοποιείται από τον δέκτη για τοποθέτηση των πακέτων σε σειρά. Σε περίπτωση που έχει χαθεί πακέτο κατά την μετάδοση, μπορεί να βρεθεί από τον sequence number ποιο πακέτο χάθηκε ακριβώς και ίσως να ζητηθεί η επαναμετάδοση του. Μέγεθος πεδίου 16 bits.
- timestamp: το πεδίο αυτό αντικατοπτρίζει τη χρονική στιγμή της δειγματοληψίας του πρώτου byte στο πακέτο δεδομένων RTP. Ο δέκτης χρησιμοποιεί αυτήν την πληροφορία για να εξαλείψει την διακύμανση καθυστέρησης κατά την μετάδοση των πακέτων και για να παρέχει σύγχρονη αναπαραγωγή. Το timestamp παράγεται από ένα χρονόμετρο δειγματοληψίας στον αποστολέα. Με τον τρόπο αυτό, ορίζεται ένα χρονικό σημείο αναφοράς ώστε να γίνει η ομαλή αναπαραγωγή των πολυμέσων στον δέκτη. Το χρονόμετρο συνεχίζει να αυξάνεται με σταθερό ρυθμό ακόμη και όταν η πηγή των δεδομένων είναι ανενεργή. Μέγεθος πεδίου 32 bits.
- SSRC: Το πεδίο SSRC έχει μέγεθος 32 bits. Προσδιορίζει την πηγή δεδομένων RTP. Τυπικά, κάθε ρεύμα δεδομένων σε μία σύνοδο RTP έχει διαφορετικό προσδιοριστικό

SSRC. Το SSRC δεν είναι η διεύθυνση IP του αποστολέα αλλά ένας αριθμός τον οποίο αναθέτει τυχαία η πηγή όταν ξεκινά μία νέα ροή δεδομένων. Η πιθανότητα να τεθεί το ίδιο SSRC σε δύο ροές δεδομένων είναι πολύ μικρή. Σε αυτή την περίπτωση, επιλέγεται καινούρια τιμή SSRC.

3.2.2 RTCP

Το Real-Time Transport Control Protocol (RTCP) αποτελεί πρωτόκολλο επικοινωνίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετάδοση πολυμέσων σε συνδυασμό με το RTP. Το πρωτόκολλο ορίζεται στο έγγραφο RFC 3550.

Το RTCP παρέχει πληροφορίες ελέγχου της συνόδου RTP σε ξεχωριστή ροή δεδομένων. Συνοδεύει την αποστολή και λήψη των πακέτων RTP αλλά δεν περιλαμβάνει δεδομένα πολυμέσων. Χρησιμοποιείται περιοδικά για την αποστολή πακέτων ελέγχου στους συμμετέχοντες της συνόδου τα οποία κοινοποιούν στατιστικά στοιχεία τα οποία θα μπορούσαν να είναι χρήσιμα για την εφαρμογή. Τα στατιστικά στοιχεία περιλαμβάνουν τον αριθμό των bytes που έχουν σταλεί, τον αριθμό των πακέτων που έχουν σταλεί και τον αριθμό των πακέτων που χάθηκαν κατά την μετάδοση, την καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, τον μέγιστο χρόνο παράδοσης πακέτων μεταξύ πηγής και προορισμού, κτλ. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν από την εφαρμογή για να αυξήσει την ποιότητα της υπηρεσίας, μειώνοντας την ποιότητα εικόνας ή χρησιμοποιώντας διαφορετικό κωδικοποιητή.

Τύποι πακέτων RTCP

Το RTP επιτρέπει ένα είδος πακέτων προς μετάδοση - αυτό το οποίο περιέχει δεδομένα. Σε πολλές περιπτώσεις, υπάρχει ανάγκη για μηνύματα τα οποία περιέχουν πληροφορίες σχετικές με την ποιότητα της υπηρεσίας. Τέτοιου είδους πακέτα είναι τα πακέτα του RTCP. Το RTCP έχει πέντε είδη πακέτων ή μηνυμάτων: αναφορά αποστολέα, αναφορά παραλήπτη, μήνυμα περιγραφής πηγής, μήνυμα αποχώρησης, μήνυμα εφαρμογής.

- Αναφορά αποστολέα: Η αναφορά αποστολέα αποστέλλεται περιοδικά από τους ενεργούς πομπούς σε μία σύνοδο για να αναφέρουν στατιστικά στοιχεία μετάδοσης και λήψης για όλα τα RTP πακέτα. Η αναφορά περιλαμβάνει πεδία όπως απόλυτο timestamp, το οποίο

είναι ο αριθμός των δευτερολέπτων από την 1η Ιανουαρίου 1970, το προσδιοριστικό SSRC, τον αριθμό πακέτων και bytes που έχουν αποσταλλεί.

- Αναφορά παραλήπτη: πρόκειται για την αναφορά παραληπτών της συνόδου. Οι αναφορές αυτές ενημερώνουν τους αποστολείς για την ποιότητα της υπηρεσίας. Πεδία της αναφοράς είναι το προσδιοριστικό SSRC, το πλήθος των πακέτων που χάθηκαν, ο αριθμός ακολουθίας του τελευταίου πακέτου που παραλήφθηκε, η διακύμανση καθυστέρησης στην μετάδοση πακέτων.
- Μήνυμα περιγραφής πηγής: αποστέλλεται περιοδικά και περιέχει πρόσθετες πληροφορίες για την πηγή όπως όνομα, e-mail, αριθμός τηλεφώνου και διεύθυνση του χρήστη.
- Μήνυμα αποχώρησης: αποστέλλεται από μία πηγή που πρόκειται να εγκαταλείψει την σύνοδο.
- Μήνυμα εφαρμογής: επιπλέον μηνύματα ανάλογα με την εφαρμογή.

Από τα παραπάνω χρησιμοποιούμε μόνο την αναφορά παραλήπτη και το μήνυμα αποχώρησης.

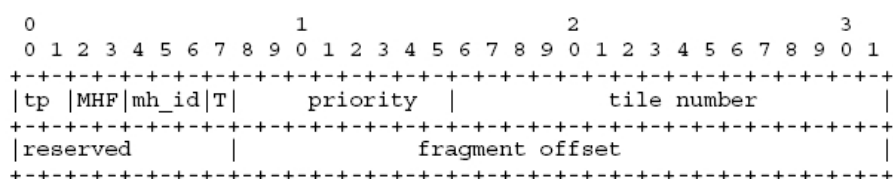
3.2.3 JPEG2000 Payload

Πριν την ενθυλάκωση των δεδομένων σε RTP πακέτα, η ακολουθία bits πρέπει να ενθυλακωθεί σε πακέτα JPEG2000 που παρέχουν πληροφορίες στον δέκτη για το περιεχόμενο των δεδομένων. Για τον σχεδιασμό της δομής του payload που εκμεταλλεύεται σε μέγιστο βαθμό τις δυνατότητες του JPEG2000, λαμβάνουμε υπόψιν τα εξής:

- Πιθανότητα απώλειας πακέτων: Στο Internet, 5% των πακέτων κατά μέσο όρο χάνονται και σε ορισμένες περιπτώσεις το ποσοστό αυτό μπορεί να ανέλθει σε 20%. Για τον διαχωρισμό των JPEG2000 αρχείων σε RTP πακέτα, πρέπει να βρεθεί αποτελεσματικός τρόπος διαχωρισμού της ακολουθίας ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα αποκωδικοποίησης λόγω χαμένων πακέτων. Σε περίπτωση που η βασική κεφαλίδα του αρχείου χανθεί, το αρχείο δεν αποκωδικοποιείται.
- JPEG2000 scalability: όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, το JPEG2000 παρουσιάζει ιδιαίτερες δυνατότητες ως προς την σταδιακή μετάδοση της ακολουθίας και για τον λόγο αυτό ειδικοί markers μπορούν να οριστούν στο payload για να εκμεταλλευθούν αυτές οι δυνατότητες.

Δομή κεφαλίδας RTP Payload JPEG2000

Για κάθε RTP πακέτο, η κεφαλίδα του RTP ακολουθείται από την κεφαλίδα του RTP payload JPEG2000, η οποία τέλος ακολουθείται από τα δεδομένα προς αποστολή. Τα μέρη της RTP κεφαλίδας έχουν περιγραφεί παραπάνω, οπότε θα επικεντρωθούμε στην κεφαλίδα του RTP payload JPEG2000. Μία εικόνα της δομής της κεφαλίδας φαίνεται στην εικόνα 3.3.



Σχήμα 3.3: RTP payload για το JPEG2000

Τα πεδία της κεφαλίδας είναι τα εξής:

- tp (type): περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο σαρώνεται η εικόνα (σταδιακά ή interlaced). Επειδή χρησιμοποιούμε πάντα σταδιακή σάρωση, το πεδίο έχει πάντα την τιμή 0. Μέγεθος πεδίου 2 bits.
- MHF (Main Header Flag): υποδεικνύει εάν η βασική κεφαλίδα ή μέρος της βασικής κεφαλίδας της εικόνας βρίσκεται στο πακέτο (εικόνα 3.4). Εάν το πακέτο δεν περιέχει

MHF Value	Description
0	no main header in the payload
1	piece of fragmented header
2	last part of a fragmented header
3	a whole main header

Σχήμα 3.4: Χρήσεις πεδίου MHF

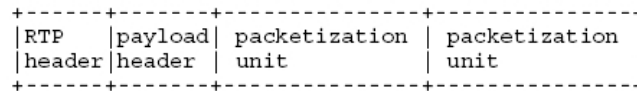
μέρος της βασικής κεφαλίδας, το MHF έχει τιμή 0. Εάν υπάρχει μέρος της κεφαλίδας στο

πακέτο ή το τελευταίο τμήμα της κεφαλίδας, το MHF παίρνει την τιμή 1 ή 2 αντίστοιχα. Τέλος, αν ολόκληρη η κεφαλίδα βρίσκεται στο πακέτο προς αποστολή, το MHF παίρνει την τιμή 3. Μέγεθος πεδίου 2 bits.

- mh-id (Main Header Identification): είναι χρήσιμο σε ειδικές περιπτώσεις και δεν χρησιμοποιείται στην υλοποίηση μας. Δεν θα αναλυθεί περαιτέρω. Μέγεθος πεδίου 3 bits.
- T (Tile field invalidation flag): δείχνει αν το περιεχόμενο του πεδίου tile number (περιγράφεται παρακάτω) είναι έγκυρο. Μέγεθος πεδίου 1 bit.
- Priority: το πεδίο αυτό περιγράφει την σπουδαιότητα των δεδομένων που περιέχονται στο συγκεκριμένο πακέτο. Τυπικά, υψηλή προτεραιότητα έχουν τα δεδομένα της βασικής κεφαλίδας και των κεφαλίδων των tiles. Οι τιμές κυμαίνονται από 0 μέχρι το 255 με τις μικρότερες τιμές να δείχνουν μεγαλύτερη προτεραιότητα. Μέγεθος πεδίου 8 bits.
- Tile number: περιέχει τον αριθμό του tile που περιέχεται στο πακέτο. Έχει ισχύ μόνο όταν το πεδίο T είναι 0. Επειδή η κωδικοποίηση που κάνουμε στις εικόνες δημιουργεί ένα μόνο tile (με μέγεθος ίδιο με αυτό της εικόνας), το πεδίο αυτό το παραβλέπουμε. Μέγεθος πεδίου 16 bits.
- R (Reserved): πεδίο για μελλοντική χρήση. Μέγεθος πεδίου 8 bits.
- fragment offset: περιγράφει την απόσταση των δεδομένων του πακέτου από την αρχή της ακολουθίας του αρχείου. Χρησιμοποιείται για τη μετάδοση του ίδιου αρχείου από πολλαπλές πηγές οπότε δεν χρησιμοποιείται στην περίπτωση μας. Μέγεθος πεδίου 24 bits.

3.2.4 Οργάνωση πακέτων

Ο αποστολέας πρέπει να διαχωρίσει το αρχείο JPEG2000 σε πακέτα ώστε να εκμεταλλευθεί τις δυνατότητες του προτύπου JPEG2000 και τις ιδιαιτερότητες του εκάστοτε δικτύου. Πριν προχωρήσουμε, ορίζουμε ως τμήμα πακέτου είτε την κεφαλίδα του JPEG2000 αρχείου είτε την κεφαλίδα των tiles είτε δεδομένα της εικόνας JPEG2000. Αρχικά, ο αποστολέας χωρίζει την ακολουθία JPEG2000 σε τμήματα πακέτου και ενθυλακώνει τα τμήματα αυτά σε κεφαλίδες RTP Payload JPEG2000 και RTP. Ο χρήστης μπορεί να τοποθετήσει όσα τμήματα πακέτου θέλει σε ένα πακέτο RTP αρκεί να μην υπερβαίνει το μέγιστο επιτρεπόμενο μέγεθος των RTP πακέτων. Στην υλοποίηση μας, χωρίζουμε την βασική κεφαλίδα του JPEG2000 από τα υπόλοιπα



Σχήμα 3.5: Οργάνωση πακέτων RTP

δεδομένα, τα οποία χωρίζουμε περαιτέρω σε τμήματα των 2300 bytes. Το μέγεθος αυτό είναι αυθαίρετο και μπορεί να αλλάξει από τον χρήστη της εφαρμογής. Μία απεικόνιση των παραπάνω φαίνεται στην εικόνα 3.5. Σε περίπτωση που το μέγεθος των τμημάτων υπερβαίνει το μέγιστο επιτρεπόμενο μέγεθος των RTP πακέτων, τα τμήματα πρέπει να διαχωριστούν περαιτέρω.

3.3 Επίπεδο Μεταφοράς - UDP/TCP

Όπως προαναφέραμε, το επίπεδο μεταφοράς αναλαμβάνει την μεταφορά και παράδοση δεδομένων σε συγκεκριμένους προορισμούς στο δίκτυο. Η μετάδοση αυτή περιλαμβάνει στατιστική πολυπλεξία των δεδομένων από διάφορες διαδικασίες όπως σχηματισμός των πακέτων, πρόσθεση διευθύνσεων προορισμού στην κεφαλίδα του πακέτου κτλ. που όλες μαζί αποτελούν ένα πρωτόκολλο επιπέδου μεταφοράς. Τα δύο πιο γνωστά πρωτόκολλα μεταφοράς είναι το TCP (Transmission Control Protocol) και το UDP (User Datagram Protocol).

3.3.1 TCP

Το TCP παρέχει αξιόπιστη, ταξινομημένη μετάδοση bits, κατάλληλη για εφαρμογές όπως email και μεταφορά αρχείων. Το πρωτόκολλο εγγυάται την παραλαβή των δεδομένων στον προορισμό χωρίς απώλεια ή περιττή επανάληψη πακέτων, χρησιμοποιώντας βεβαιώσεις λήψης και επαναμεταδόσεις πακέτων. Με τον τρόπο αυτό ο παραλήπτης πρέπει να απαντήσει με επιβεβαίωση για κάθε σωστό πακέτο που δέχεται. Από την άλλη πλευρά, ο αποστολέας κρατάει ιστορικό των πακέτων που δεν έχει λάβει επιβεβαίωση και σε περίπτωση απώλειας πακέτου, ξεκινά επαναμετάδοση.

Το TCP έχει κεφαλίδα που περιέχει πληροφορίες σχετικές με την διεύθυνση πηγής και προορισμού, αριθμό επιβεβαίωσης, αριθμό πακέτου κτλ. Αποτελείται από την κεφαλίδα και τα δεδομένα όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.6. Το TCP δέχεται δεδομένα από το επίπεδο συνόδου

Bit offset	Bits 0-3	4-7	8-15	16-31
0	Source port			Destination port
32	Sequence number			
64	Acknowledgment number			
96	Data offset	Reserved	CWR ECE URG ACK PSH RST SYN FIN	Window Size
128	Checksum			Urgent pointer
160	Options (optional)			
160/192+	Data			

Σχήμα 3.6: Κεφαλίδα TCP

και χωρίζει τα πακέτα σε segments, τα οποία οδηγούνται στο επίπεδο δικτύου. Η διαδικασία αποστολής δεδομένων του TCP χωρίζεται σε τρεις φάσεις:

- Εγκατάσταση σύνδεσης
- Μεταφορά δεδομένων
- Τερματισμός σύνδεσης

Με τον τρόπο αυτό, το TCP καταναλώνει περισσότερο χρόνο σε σχέση με το UDP, το οποίο μπορεί να μεταδώσει πακέτα αμέσως. Η ιδιότητα αυτή του TCP δεν το καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές real-time όπου η παράμετρος του χρόνου και της καθυστέρησης είναι σημαντική.

3.3.2 UDP

Από την άλλη πλευρά, το UDP δεν παρέχει την αξιοπιστία που προσφέρει το TCP. Τα πακέτα UDP (Datagrams) μπορεί να φτάσουν στον παραλήπτη εκτός σειράς, ίσως με περιττή επανάληψη, ή μπορεί να μην φτάσουν στον προορισμό τους. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η χρονική επιβάρυνση του ελέγχου παραλαβής πακέτων και έτσι το UDP παρουσιάζει ταχύτητα και αποτελεσματικότητα σε εφαρμογές που δεν είναι σημαντική η παράδοση όλων των πακέτων. Επίσης, εφαρμογές στις οποίες ο χρόνος είναι σημαντικός παράγοντας για την ομαλή τους λειτουργία προτιμούν το UDP καθώς καθυστερήσεις για την αποστολή και λήψη επιβεβαιώσεων είναι ανεπιθύμητες. Τέλος, αντίθετα με το TCP, το UDP είναι συμβατό με multicasting αποστολές πακέτων, σημαντικό για real-time streaming video. Η δομή του πακέτου UDP αποτελείται από την κεφαλίδα και τα δεδομένα και φαίνεται στο σχήμα 3.7.

+	Bits 0 - 15	16 - 31
0	Source Port	Destination Port
32	Length	Checksum
64	Data	

Σχήμα 3.7: Κεφαλίδα UDP

3.3.3 Σύγκριση UDP - TCP

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το TCP χαρακτηρίζεται από αξιοπιστία στην μετάδοση μέσω των επιβεβαιώσεων για την σωστή λήψη των πακέτων και την επαναμετάδοση πακέτων σε περίπτωση λάθους. Επίσης, τα πακέτα TCP δεν φτάνουν εκτός σειράς, γεγονός που διευκολύνει τον δέκτη στην επεξεργασία των πακέτων. Όμως, τα χαρακτηριστικά αυτά καθιστούν το πρωτόκολλο αργό για εφαρμογές που είναι ευαίσθητες σε καθυστερήσεις λόγω επιβεβαιώσεων και επαναμεταδόσεων.

Από την άλλη, το UDP δεν χαρακτηρίζεται από αξιοπιστία καθώς λείπουν οι επιβεβαιώσεις σωστής λήψης πακέτων και οι επαναμεταδόσεις, ενώ στον δέκτη μπορεί να υπάρχουν εκτός σειράς πακέτα ή πακέτα που επαναμεταδόθηκαν άδικα. Αυτό αυξάνει την πολυπλοκότητα της επεξεργασίας στον δέκτη. Όμως τα χαρακτηριστικά αυτά καθιστούν το πρωτόκολλο γρηγορότερο σε σχέση με το αντίπαλο του, ιδιότητα που χρειάζεται σε εφαρμογές ευαίσθητες σε καθυστερήσεις.

Για τους λόγους αυτούς και λόγω της φύσης της εφαρμογής που αναπτύσσουμε, επιλέγουμε το πρωτόκολλο UDP ως πρωτόκολλο μεταφοράς για την μετάδοση των πακέτων JPEG2000.

3.4 Επίπεδο ζεύξης δεδομένων

Ως προς το επίπεδο ζεύξης δεδομένων, δεν θα αναφερθούμε στα πρωτόκολλα του Ethernet και του 802.11 καθώς αυτά χρησιμοποιούνται κατά κόρον στις σύγχρονες επικοινωνίες και υπάρχουν πολλές αναφορές στην παγκόσμια βιβλιογραφία. Στην υποενότητα αυτή, θα κάνουμε μία σύγκριση μεταξύ ασύρματης και ενσύρματης μετάδοσης και θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά στον τρόπο που λειτουργεί το Bluetooth.

3.4.1 Ασύρματη vs. Ενσύρματη Μετάδοση

Η ασύρματη μετάδοση προσδίδει τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα στην επικοινωνία μεταξύ των τερματικών σε σχέση με την ενσύρματη μετάδοση δεδομένων. Παρακάτω, παραθέτουμε μερικά από αυτά έτσι ώστε να έχουμε μία πρώτη εικόνα για την λειτουργία του συστήματος σε ασύρματες ζεύξεις ([33],[34]).

Πλεονεκτήματα Ασύρματης έναντι Ενσύρματης Μετάδοσης: Υπάρχουν πολλά προφανή πλεονεκτήματα που οδηγούν στη χρήση της ασύρματης επικοινωνίας, τα οποία συνήθως βασίζονται στην αδυναμία της ενσύρματης μετάδοσης να τα υλοποιήσει. Μερικά από αυτά είναι τα εξής:

- **Χρηστικότητα:** αποτελεί το κατ'εξοχήν πλεονέκτημα έναντι της ενσύρματης επικοινωνίας. Με την ασύρματη σύνδεση, από την στιγμή που το τερματικό βρίσκεται στην περιοχή εκπομπής ενός Access Point, είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο. Έτσι, αποφεύγονται οι συνδέσεις μέσω καλωδίων και εξοικονομείται κόστος από την σύνδεση και εγκατάσταση όλων των τερματικών στο δίκτυο.
- **Περιορισμός απόστασης:** Υπάρχουν περιπτώσεις που η απόσταση (μήκος καλωδίου) μεταξύ του δρομολογητή δικτύου και του τερματικού είναι τέτοια ώστε να έχουμε εξασθένιση σήματος και υποβάθμιση της ποιότητας σύνδεσης. Οι ασύρματες ζεύξεις υπερσκελίζουν το πρόβλημα αυτό καθώς υλοποιούν συνδέσεις 'line-of-sight' με τον δρομολογητή. Η ένταση του σήματος για τις ασύρματες συνδέσεις κυμαίνεται από 30 έως 100 μέτρα για εσωτερικούς χώρους και 300 μέτρα για υπαίθριους χώρους (ανάλογα με τα εμπόδια που παρεμβάλλονται). Προφανώς, η ασύρματη σύνδεση ξεπερνά κατά πολύ το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος καλωδίου για ενσύρματη σύνδεση που είναι 100 μέτρα.
- **Τύπος συσκευών:** Λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας και της ολοένα αυξανόμενης χρήσης κινητών συσκευών (κινητά τηλέφωνα και υπολογιστές, PDAs, κτλ), η ασύρματη σύνδεση δεσπόζει ως η μόνη λύση για τον τρόπο μετάδοσης πολυμέσων μεταξύ τερματικών.

Προβλήματα Ασύρματης Μετάδοσης: Η ποιότητα της ασύρματης σύνδεσης επηρεάζεται αρνητικά από πολύ περισσότερους παράγοντες σε σχέση με την ενσύρματη μετάδοση. Οι

παράγοντες αυτοί είναι συνήθως εξωγενείς (έχουν σχέση κυρίως με το περιβάλλον που λειτουργεί το ασύρματο δίκτυο) και προκαλούν εξασθένηση του σήματος. Μερικούς από αυτούς τους παράγοντες περιγράφουμε περιληπτικά παρακάτω.

- Εξασθένηση σήματος λόγω συνθηκών περιβάλλοντος: Επειδή το ασύρματο δίκτυο προορίζεται και για εξωτερικούς χώρους, πρέπει να δωθεί ιδιαίτερη προσοχή στις συνθήκες που μπορεί να επικρατούν στο χρονικό διάστημα της σύνδεσης. Μερικοί από τους παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την επικοινωνία είναι φυσικά εμπόδια (κτίρια, δέντρα κτλ.), βροχή, χιόνι, ομίχλη συνθήκες ατμόσφαιρας (ρύπανση, υγρασία, διακυμάνσεις θερμοκρασίας). Οι παράγοντες, σε εξαιρετικές βέβαια περιπτώσεις, μπορούν να προκαλέσουν εξασθένηση του σήματος, παρεμβολή μεταξύ συνδέσεων που βρίσκονται στον ίδιο χώρο κτλ.
- Φαινόμενο Multipath: Παραμόρφωση λόγω του φαινομένου multipath ονομάζεται η παραμόρφωση που προκαλείται όταν το εκπεμπόμενο σήμα φτάνει στον δέκτη μέσω περισσοτέρων του ενός διαδρομών. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται από ανακλάσεις του σήματος σε νερό, λόφους ή ψηλά κτίρια. Στην χειρότερη περίπτωση, το ανακλώμενο σήμα φτάνει στον δέκτη την ίδια στιγμή με το σήμα που στάλθηκε αλλά με διαφορετική φάση με αποτέλεσμα το άθροισμα αυτών να αλληλοεξουδετερώνει τα δύο σήματα. Σε μία άλλη περίπτωση, το ανακλώμενο σήμα μπορεί να φτάσει στον δέκτη με καθυστέρηση και να δημιουργήσει παραμόρφωση στα σήματα που ακολουθούν. Αυτές είναι κάποιες περιπτώσεις που μειώνουν την ποιότητα της ασύρματης σύνδεσης.
- Παρεμβολή από άλλα ασύρματα δίκτυα: το πρωτόκολλο 802.11 λειτουργεί στην περιοχή των 2.4GHz, που είναι γνωστή ως ISM band (Industrial Scientific Medical band). Στην ίδια περιοχή λειτουργούν και άλλα πρωτόκολλα δικτύων όπως και μικροκύματα και υπάρχει περίπτωση να γίνει παρεμβολή σημάτων και άρα παραμόρφωση στα σήματα που αποστέλλονται.

Όλα τα παραπάνω πρέπει να ληφθούν υπ'όψιν πριν την εγκατάσταση και σύνδεση τερματικών σε ασύρματο δίκτυο.

3.4.2 Bluetooth

Το Bluetooth είναι ένα ασύρματο πρωτόκολλο επικοινωνίας μικρών αποστάσεων για μεταφορά φωνής και δεδομένων μεταξύ σταθερών ή/και κινητών συσκευών. Βασικός σκοπός δημιουργίας του Bluetooth ήταν η ανάπτυξη ενός κοινού πρωτοκόλλου ψηφιακής ασύρματης επικοινωνίας με το οποίο θα μπορούν να συνδέονται διαφορετικές συσκευές και θα υπερσκελίζονται προβλήματα συγχρονισμού και συμβατότητας μεταξύ αυτών. Οι συσκευές αυτές μπορεί να είναι κινητά τηλέφωνα, υπολογιστικά συστήματα, εκτυπωτές, GPS συσκευές, ψηφιακές μηχανές, παιχνιδιομηχανές, κτλ ([35],[36]).

Βασικές αρχές Bluetooth

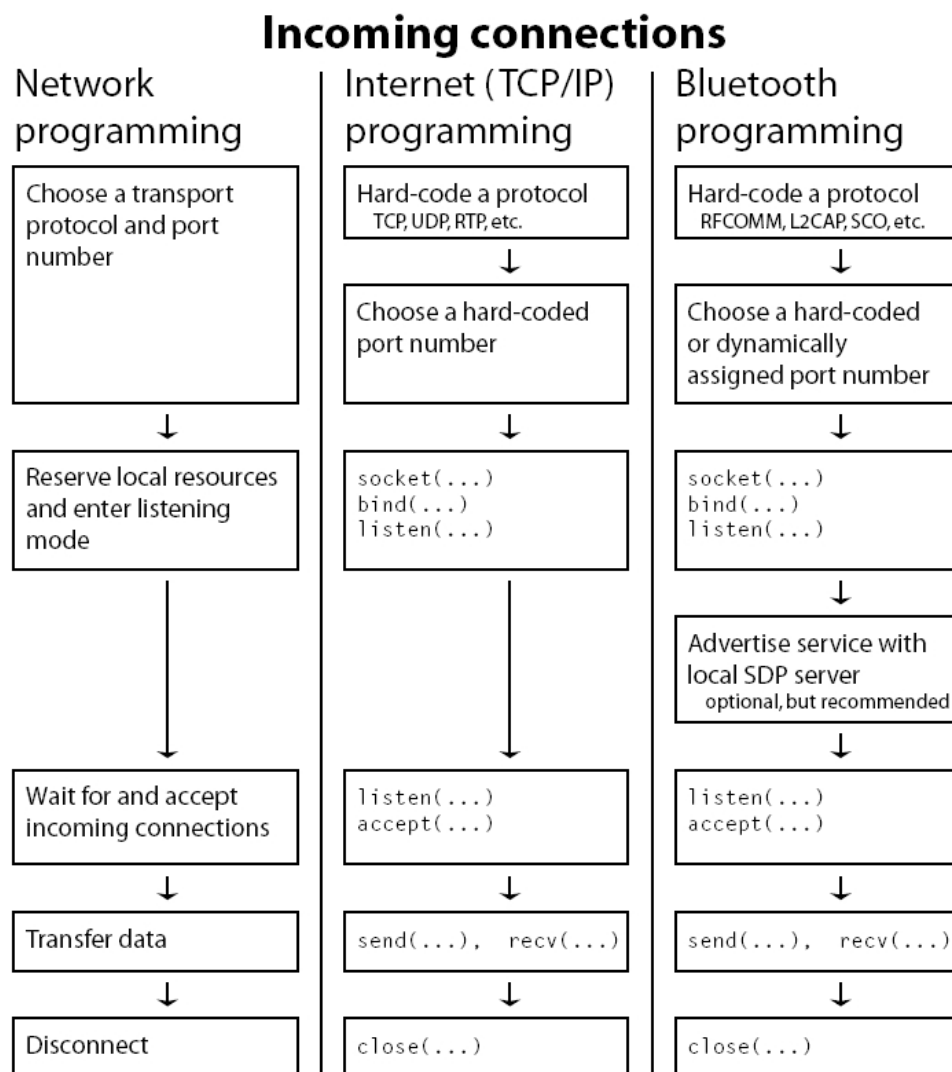
Παρά το γεγονός ότι σχεδιάστηκε από μηδενική βάση, οι βασικές αρχές του πρωτοκόλλου Bluetooth δεν είναι διαφορετικές από εκείνες που χρησιμοποιούνται στα πρωτόκολλα Ethernet και 802.11. Τόσο το Bluetooth όσο και τα Ethernet και 802.11 μοιράζονται τις ίδιες αρχές ως προς την επικοινωνία και την μεταφορά δεδομένων μεταξύ συσκευών. Βασική διαφορά μεταξύ των πρωτοκόλλων αυτών είναι το γεγονός ότι η απόδοση Bluetooth βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην απόσταση μεταξύ των συσκευών, σε αντίθεση με τα Ethernet και 802.11 που δεν επηρεάζονται σημαντικά από τον παράγοντα της απόστασης (για αποστάσεις τερματικών που δεν ξεπερνούν τα 50 μέτρα). Η διαφορά αυτή επηρεάζει σημαντικά τον τρόπο με τον οποίο συσκευές ανιχνεύουν και επικοινωνούν άλλες συσκευές.

Ο τρόπος με τον οποίο δημιουργείται σύνδεση μεταξύ δύο συσκευών βασίζεται στο ποια συσκευή στέλνει το πρώτο πακέτο δεδομένων για την αρχικοποίηση της σύνδεσης. Ο διαχωρισμός των συσκευών στην σύνδεση γίνεται με τους τίτλους 'σύνδεση εξόδου' και 'σύνδεση εισόδου', κάτι αντίστοιχο με τους ρόλους client - server. Η διαδικασία έχει ως εξής:

1. Η συσκευή που δέχεται τα δεδομένα δημιουργεί μία σύνδεση εισόδου - επιλέγει το πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων και στην συνέχεια εισέρχεται σε κατάσταση αναμονής πριν αρχίσει να δέχεται δεδομένα.
2. Η συσκευή που θέλει να στείλει δεδομένα δημιουργεί μία σύνδεση εξόδου - επιλέγει την συσκευή στην οποία θέλει να στείλει τα δεδομένα και το πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων πριν αρχίσει την μεταφορά δεδομένων.

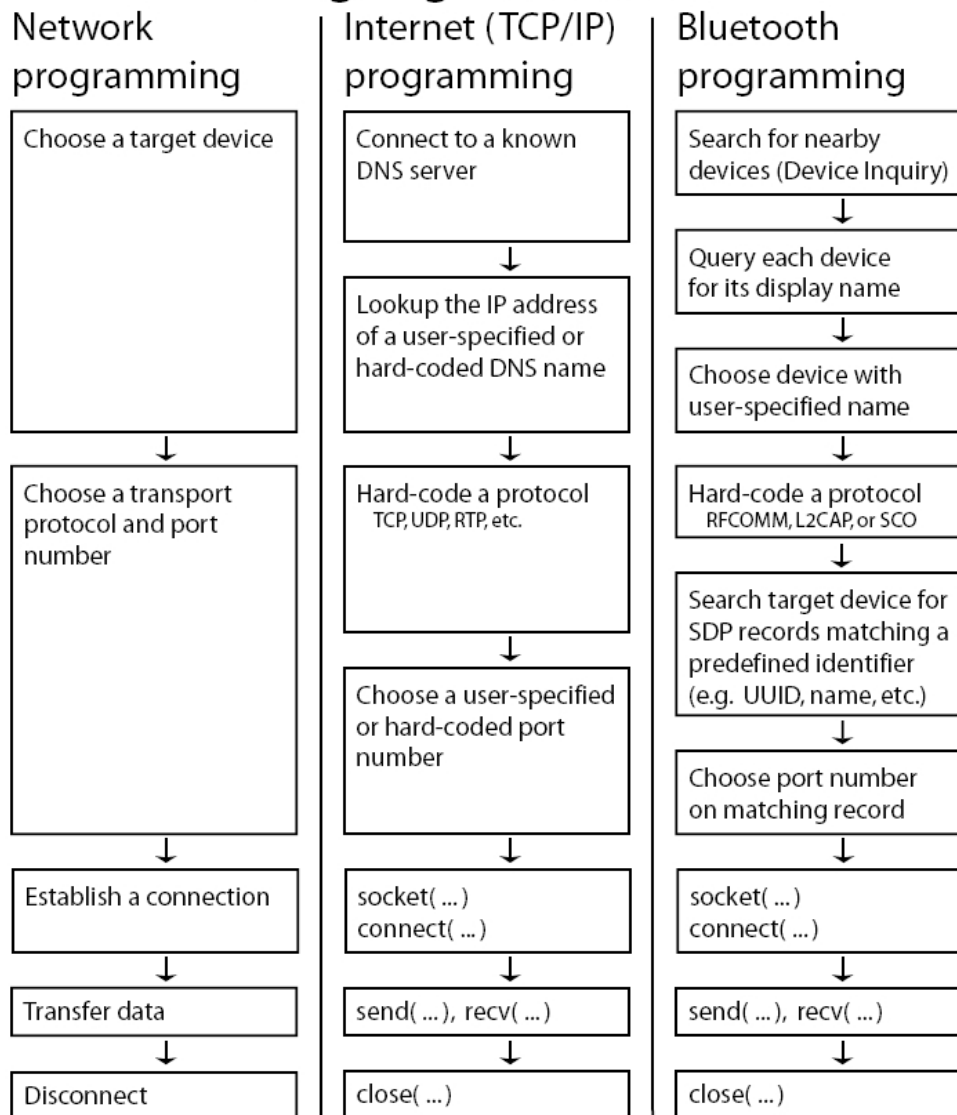
3. Μετά τον συγχρονισμό των συσκευών, η διαδικασία μεταφοράς δεδομένων είναι περίπου ίδια με τα πρωτόκολλα επικοινωνίας Ethernet και 802.11.

Τα παραπάνω βήματα και ο συσχετισμός της διαδικασίας Bluetooth με εκείνη των Ethernet και 802.11 φαίνονται στα σχήματα 3.8 και 3.9.



Σχήμα 3.8: Σύνδεση εισόδου Bluetooth

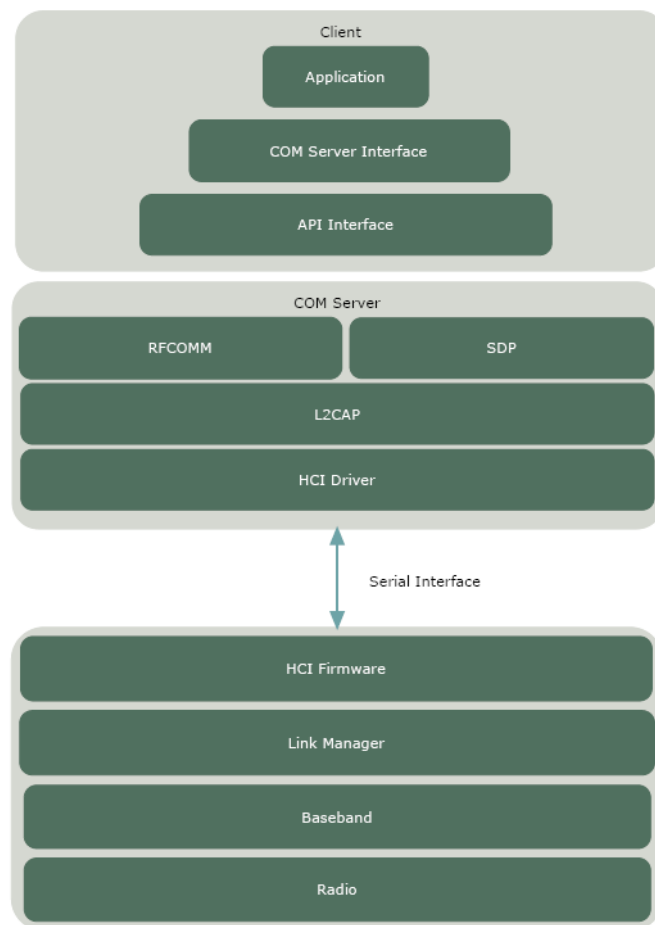
Outgoing connections



Σχήμα 3.9: Σύνδεση εξόδου Bluetooth

Αρχιτεκτονική Bluetooth

Η αρχιτεκτονική του Bluetooth ακολουθεί την διαστρωμάτωση του μοντέλου OSI γεγονός που απλοποιεί την υλοποίηση συσκευών Bluetooth αλλά και διευκολύνει την συγγραφή των μερών του πρωτοκόλλου που βασίζονται σε λογισμικό. Η αρχιτεκτονική Bluetooth παρουσιάζεται στο σχήμα 3.10. Τα πιο σημαντικά μέρη περιγράφονται περιληπτικά παρακάτω:



Σχήμα 3.10: Αρχιτεκτονική Bluetooth

- Επίπεδο Ραδιοσυχνοτήτων (RF): πρόκειται για το φυσικό επίπεδο επικοινωνίας του Bluetooth. Εδώ, τα bits μετατρέπονται σε σήματα και αντίστροφα με διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση, παρέχοντας στο ψηλότερο επίπεδο μία ιδεατή ροή bits.

- Επίπεδο Baseband: στο επίπεδο αυτό γίνεται η πακετοποίηση των δεδομένων που έρχονται από το επίπεδο ραδιοσυχνοτήτων και εδώ γίνεται η διατησία χρήσης του καναλιού. Η διαδικασία δημιουργίας πακέτων είναι αυτόματη και δεν χρειάστηκε να επέμβουμε στην λειτουργία του επιπέδου.
- Επίπεδο διεπαφής ελέγχου (Host Control Interface - HCI): Το επίπεδο αυτό προσφέρει στα στρώματα που βρίσκονται πάνω από αυτό πρόσβαση σε λειτουργίες χαμηλότερων επιπέδων. Είναι υλοποιημένο εν μέρει σε λογισμικό που τρέχει στην συσκευή Bluetooth και εν μέρει σε λογισμικό που τρέχει στην συσκευή στην οποία είναι συνδεδεμένη η συσκευή Bluetooth. Έτσι, επιτυγχάνεται διαφανής επικοινωνία των προγραμμάτων της συσκευής ελεγκτή με τη συσκευή Bluetooth πάνω σε οποιοδήποτε δίαυλο επικοινωνίας.
- Επίπεδο λογικών καναλιών (L2CAP): παρέχει στα υψηλότερα στρώματα πολλαπλά κανάλια πάνω από μία ζεύξη. Επειδή το πρωτόκολλο υτό θα χρησιμοποιηθεί στην υλοποίηση μας, περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω.
- RFCOMM: Το επίπεδο αυτό προσομοιώνει το πρωτόκολλο RS-232 για σειριακή επικοινωνία πάνω από το επίπεδο L2CAP. Μαζί με το L2CAP αποτελούν το επίπεδο μεταφοράς δεδομένων του πρωτοκόλλου Bluetooth. Περιγράφεται περισσότερο αναλυτικά παρακάτω.
- Πρωτόκολλο ανακάλυψης υπηρεσιών (Service Discovery Protocol - SDP): Το επίπεδο αυτό επιτρέπει μία συσκευή να ανακαλύψει τις υπηρεσίες που προσφέρουν οι συσκευές που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Δεν χρησιμοποιείται στα πειράματα και δεν θα περιγραφεί περαιτέρω.

Επίπεδο ραδιοσυχνοτήτων

Ισχύς επικοινωνίας

Οι συσκευές Bluetooth χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ισχύος επικοινωνίας - η μόνη διαφορά μεταξύ τους είναι τα επίπεδα ισχύος στην μετάδοση δεδομένων. Το σχήμα 3.11 συνοψίζει τα χαρακτηριστικά των κλάσεων αυτών. Σχεδόν όλα τα κινητά τηλέφωνα, τα Bluetooth ακουστικά, τα υπολογιστικά συστήματα και άλλες συσκευές καθημερινής χρήσης ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία. Οι συσκευές της πρώτης κλάσης χρησιμοποιούνται για ειδικές περιπτώσεις, ενώ οι συσκευές της τρίτης κλάσης παρουσιάζουν περιορισμένες δυνατότητες και δεν χρησιμοποιούνται.

Class	Maximum Permitted Power mW(dBm)	Range (approximate)
Class 1	100 mW (20 dBm)	~ 100 meters
Class 2	2.5 mW (4 dBm)	~ 10 meters
Class 3	1 mW (0 dBm)	~ 1 meter

Σχήμα 3.11: Κατηγορίες ισχύος Bluetooth

Οι αποστάσεις που αναφέρονται στον πίνακα αποτελούν προσεγγίσεις και ποτέ δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Σε πραγματικές συνθήκες, το εύρος επικοινωνίας μίας συσκευής Bluetooth διαφοροποιείται σημαντικά από τις συνθήκες περιβάλλοντος. Τοίχοι, κτίρια, δέντρα και άλλα εμπόδια επηρεάζουν την ισχύ του σήματος. Επίσης, άλλες ασύρματες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε κοντινές αποστάσεις όπως το πρωτόκολλο 802.11, μπορεί να επηρεάσουν την λειτουργία των συσκευών Bluetooth.

Ταχύτητα επικοινωνίας

Όπως με το εύρος επικοινωνίας, έτσι και η ταχύτητα επικοινωνίας μίας σύνδεσης Bluetooth είναι δύσκολο να εκτιμηθεί με ακρίβεια. Θεωρητικά, δύο συσκευές που συνδέονται με ένα κανάλι επικοινωνίας έχουν μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων στα 732.2 Kbps για ασύμμετρη μετάδοση και 433.9 Kbps για αμφίδρομη μετάδοση. Στην πραγματικότητα, οι ταχύτητες αυτές είναι ονομαστικές τιμές και οι ταχύτητες μετάδοσης είναι πολύ μικρότερες από αυτές τις τιμές λόγω θορύβου στα κανάλια επικοινωνίας και του overhead λόγω των κεφαλίδων από τα πρωτόκολλα μετάδοσης σε κάθε πακέτο δεδομένων.

Όπως κάθε ασύρματη μέθοδος επικοινωνίας, η ισχύς του σήματος υποβαθμίζεται τετραγωνικά σε σχέση με την απόσταση μεταξύ των συσκευών. Δεδομένου ότι τα ασθενή σήματα είναι περισσότερο επιρρεπή σε λάθη λόγω θορύβου, η μέγιστη ταχύτητα αξιόπιστης μετάδοσης μεταξύ των συσκευών έχει άνω όριο που ορίζεται από την απόσταση μεταξύ τους. Επομένως, κατά την σύνδεση συσκευών για την μετάδοση δεδομένων, καλή πρακτική είναι η δημιουργία συστήματος που ανέχεται χαμηλές ταχύτητες επικοινωνίας και απώλεια πακέτων λόγω ασθενούς σήματος.

Από το 2004 έχει παρουσιαστεί το νέο πρωτόκολλο Bluetooth 2.0 το οποίο έχει τριπλάσια ταχύτητα μετάδοσης σε σχέση με τον πρόγονο του (2178 Kbps για ασύμμετρη και 1306 Kbps για αμφίδρομη μετάδοση). Δεν υπάρχουν πολλές συσκευές που ικανοποιούν το πρωτόκολλο

αυτό αλλά προβλέπεται σύντομα το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών να επικοινωνεί με το νέο πρότυπο.

Χαρακτηριστικά πομπού

Για να είναι ελεύθερη η χρήση των συσκευών Bluetooth επιλέχθηκε να λειτουργούν στην περιοχή των 2.4GHz, που είναι γνωστή ως ISM band (Industrial Scientific Medical band). Αυτό σημαίνει ότι οι συσκευές Bluetooth χρησιμοποιούν τις ίδιες ραδιοσυχνότητες με τις συσκευές μικροκυμάτων, ασύρματης μετάδοσης 802.11 και κάποιων ειδικών κινητών τηλεφώνων. Αυτό που κάνει το πρωτόκολλο Bluetooth να διαφέρει από αυτές τις συσκευές είναι η τεχνική του channel hopping. Πιο συγκεκριμένα, το Bluetooth χωρίζει την περιοχή των 2.4GHz σε 79 διαφορετικές περιοχές συχνοτήτων του 1MHz (σε αντίθεση με το πρωτόκολλο 802.11 που χωρίζει την περιοχή των 2.4GHz σε περιοχές των 5MHz), στις οποίες μεταπηδά η συσκευή κατά την μετάδοση και λήψη δεδομένων και έτσι δεν προκαλείται παρέμβαση μεταξύ των συσκευών, καθώς σε μία τέτοια περίπτωση οι συσκευές αλλάζουν τυχαία σε μία άλλη συχνότητα λειτουργίας. Κάθε συσκευή Bluetooth εκπέμπει για διάστημα 625μsec και έπειτα αλλάζει περιοχή συχνοτήτων. Προφανώς, δύο συσκευές που επικοινωνούν μεταξύ τους πρέπει να αλλάζουν περιοχή συχνοτήτων ταυτόχρονα, ώστε να μπορούν να μεταδίδουν δεδομένα στην ίδια πάντα περιοχή συχνοτήτων. Η επιλογή της επόμενης συχνότητας λειτουργίας γίνεται με ένα ψευδοτυχαίο τρόπο.

Η διαδικασία της περιοδικής αλλαγής συχνοτήτων κάνει το Bluetooth πιο ανεκτικό στις παρεμβάσεις από άλλα ραδιοκύματα και επιτρέπει πολλές συσκευές Bluetooth να βρίσκονται στον ίδιο χώρο. Νεότερες εκδόσεις του Bluetooth χρησιμοποιούν την adaptive frequency hopping τεχνική, όπου οι συσκευές αναγνωρίζουν τις περιοχές συχνοτήτων με τις περισσότερες παρεμβάσεις και μεγαλύτερα επίπεδα θορύβου και φροντίζουν να αποφεύγουν την μεταπήδηση σε εκείνες τις περιοχές.

Επίπεδο μεταφοράς δεδομένων - L2CAP και RFCOMM

Διαφορετικές εφαρμογές έχουν διαφορετικές απαιτήσεις ως προς την ποιότητα της επικοινωνίας, γι'αυτό και τα διάφορα πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων. Άλλα πρωτόκολλα παρέχουν αξιοπιστία στην μετάδοση εισάγοντας καθυστερήσεις στην μετάδοση, ενώ άλλα προσπαθούν να μεταδώσουν εγκαίρως τα πακέτα αγνοώντας την ποιότητα επικοινωνίας. Το πρωτόκολλο

Bluetooth περιέχει διάφορα πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων, πολλά από τα οποία δημιουργήθηκαν για ειδικές εφαρμογές. Αυτά που θα μελετήσουμε είναι τα RFCOMM και L2CAP και περιγράφονται παρακάτω.

RFCOMM

Το πρωτόκολλο RFCOMM (Radio Frequency Communications) είναι ένα πρωτόκολλο αξιόπιστης μετάδοσης πακέτων. Παρέχει τις ίδιες υπηρεσίες και αξιοπιστία με το πρωτόκολλο TCP. Η βασική διαφορά με το TCP έγκειται στον ορισμό των θυρών επικοινωνίας: σε αντίθεση με το TCP που παρέχει 65.535 διαφορετικές θύρες, το RFCOMM επιτρέπει μόνο 30. Κατά τα άλλα, παρουσιάζει ίδια λειτουργία με το TCP.

L2CAP

Το πρωτόκολλο L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) είναι ένα πρωτόκολλο μεταφοράς πακέτων με διάφορα επίπεδα αξιοπιστίας. Το εξ'ορισμού μέγεθος των πακέτων που στέλνει το L2CAP είναι μήκους 672 bytes, αλλά μπορεί να ρυθμιστεί έως και 65.535 bytes ανάλογα με το είδος της εφαρμογής. Το L2CAP μπορεί να συγκριθεί με το πρωτόκολλο UDP, αλλά υπάρχουν διαφορές μεταξύ των δύο πρωτοκόλλων που καθιστούν το L2CAP κατάλληλο για μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών. Αντίθετα με το UDP που μπορεί τα πακέτα να φτάσουν με διαφορετική σειρά στον προορισμό, στο L2CAP τα πακέτα πάντοτε φτάνουν στον δέκτη στην σωστή σειρά. Επίσης, το L2CAP μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις ίδιες εφαρμογές που χρησιμοποιείται το UDP (καθώς υποστηρίζει την τεχνική best-effort transmission) αλλά και σε εφαρμογές που το UDP δεν είναι εφαρμόσιμο. Αυτό γίνεται καθώς στο L2CAP είναι δυνατή η ρύθμιση του μέτρου της αξιοπιστίας στην επικοινωνία με τις εξής επιλογές:

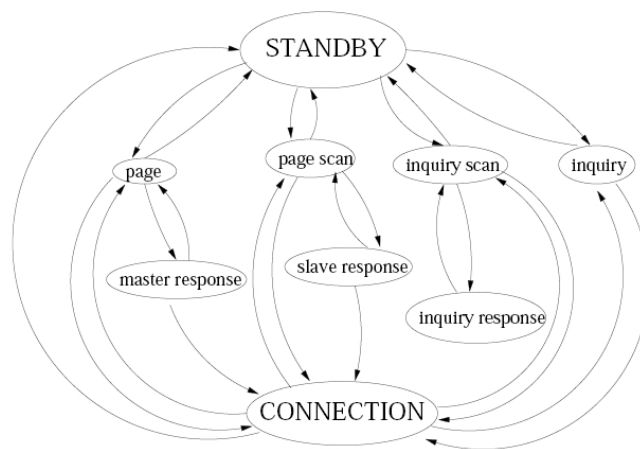
- Μη επαναμετάδοση χαμένων πακέτων.
- Επαναμετάδοση χαμένων πακέτων μέχρι την επιτυχή παραλαβή τους ή σφάλμα σύνδεσης.
- Επαναμετάδοση χαμένων πακέτων μέχρι το πέρας ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, ορισμένου από τον χρήστη.

Αν και η ύπαρξη των επιλογών αυτών φαίνεται να προσδίδουν πλεονεκτήματα έναντι άλλων πρωτοκόλλων, η χρήση τους πρέπει να γίνεται με προσοχή καθώς μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στην ομαλή επικοινωνία μεταξύ των συσκευών της σύνδεσης αλλά και συσκευών

που δεν συμμετέχουν στην επικοινωνία. Βάσει των χαρακτηριστικών του L2CAP και της συσχέτισής του με το UDP, αποτελεί το πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματά μας.

Καταστάσεις Bluetooth

Η λειτουργία σε χαμηλό επίπεδο των συσκευών Bluetooth μπορεί να μοντελοποιηθεί σαν μία μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.12. Κάθε χρονική στιγμή η



Σχήμα 3.12: Καταστάσεις Bluetooth

συσκευή Bluetooth μπορεί να βρίσκεται σε μία μόνο κατάσταση. Ο περιορισμός αυτός επηρεάζει αρνητικά τη συμπεριφορά του Bluetooth λόγω του χρόνου που χρειάζεται για να γίνουν οι μεταβάσεις από κατάσταση σε κατάσταση. Οι καταστάσεις του πρωτοκόλλου είναι οι εξής:

- Κατάσταση αναμονής (Standby): πρόκειται για την κατάσταση στην οποία βρίσκονται οι συσκευές Bluetooth όταν δεν συμμετέχουν σε καμία διαδικασία. Στην κατάσταση αυτή η συσκευή Bluetooth καταναλώνει ελάχιστη ενέργεια καθώς δεν επιτελείται καμία λειτουργία εκτός από την περιοδική μετάβαση στις καταστάσεις ανίχνευσης αιτήσεων σύνδεσης (Page Scan) ή αναζήτησης (Inquiry Scan). Η μετάβαση αυτή είναι απαραίτητη για να μπορέσουν άλλες συσκευές να συνδεθούν με την συσκευή και να ανακαλύψουν την ύπαρξή της, αντίστοιχα.

- Κατάσταση αναζήτησης (Inquiry): Η διαδικασία αναζήτησης συσκευών που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση γίνεται ως εξής: Αρχικά η συσκευή που θέλει να βρει τους γείτονές του στέλνει μήνυμα αναζήτησης και περιμένει απαντήσεις. Κάθε απάντηση περιέχει την διεύθυνση της συσκευής και ένα ακέραιο που δείχνει το είδος της συσκευής (κινητό τηλέφωνο, υπολογιστής, κτλ). Για περισσότερες πληροφορίες όσον αφορά τις συσκευές που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση, η συσκευή πρέπει να συνδεθεί με κάθε μία συσκευή ξεχωριστά.

Γενικά, η αναζήτηση συσκευών είναι μία χρονοβόρα διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα, στο πείραμα που διεξήχθηκε, δύο συσκευές που βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση χρειάζονται τουλάχιστον 5 δευτερόλεπτα να αλληλοαναγνωριστούν, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις ο χρόνος αυτός ανέρχεται σε 10 δευτερόλεπτα.

- Κατάσταση αίτησης σύνδεσης (Page): χρησιμεύει ως ενδιάμεση κατάσταση για την μετάβαση στην κατάσταση σύνδεσης. Στην κατάσταση αυτή μπαίνει μία συσκευή όταν δοκιμάζει να συνδεθεί με μια άλλη συσκευή της οποίας τη διεύθυνση γνωρίζει.
- Κατάσταση χειραψίας Master/Slave: στην κατάσταση αυτή, οι συσκευές προς σύνδεση στέλνουν μεταξύ τους πακέτα χειραψίας για την ρύθμιση διάφορων παραμέτρων της σύνδεσης.
- Κατάσταση σύνδεσης (Connection): η κατάσταση αυτή προκύπτει μετά από μία επιτυχημένη χειραψία συσκευής-server και συσκευής-client. Εδώ, οι συσκευές έχουν τελειώσει την διαδικασία της χειραψίας και σχηματίζουν μεταξύ τους ένα μικροδίκτυο. Η συσκευή που έχει μεταβεί στην κατάσταση σύνδεσης από την κατάσταση αίτησης σύνδεσης γίνεται η συσκευή-server και εκείνη που απάντησε στην αίτηση γίνεται συσκευή-client.

Χαρακτηριστικά Συσκευών Bluetooth

Κάθε συσκευή Bluetooth χαρακτηρίζεται από μία παγκοσμίως μοναδική διεύθυνση μεγέθους 48-bit που ονομάζεται διεύθυνση Bluetooth ή διεύθυνση συσκευής. Η διεύθυνση αυτή είναι αντίστοιχη της Machine Address Code (MAC) διεύθυνσης που χρησιμοποιείται στα πρωτόκολλα Ethernet και 802.11. Οι διεθύνσεις Bluetooth, που ορίζονται την στιγμή της δημιουργίας των συσκευών, παραμένουν μοναδικές καθ'όλη την διάρκεια ζωής των συσκευών. Με τον τρόπο αυτό, λειτουργούν σαν βασικό μέσο δεικτοδότησης των Bluetooth συσκευών.

Για να επικοινωνήσει μία συσκευή Bluetooth με μία άλλη, πρέπει να γνωρίζει την Bluetooth διεύθυνση του προορισμού. Η διεύθυνση αυτή χρησιμοποιείται σε όλα τα επίπεδα της επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών - από το φυσικό επίπεδο και την ασύρματη σύνδεση μέχρι το επίπεδο εφαρμογών. Μία διαφορά με το πρωτόκολλο Ethernet είναι ότι στο τελευταίο η MAC διεύθυνση δεν φαίνεται στο επίπεδο εφαρμογών και αντικαθιστάται από ζεύγη διεύθυνσεων - θυρών.

Δεδομένου ότι 48-bit διευθύνσεις είναι πολύ δύσκολο να απομνημονευθούν, οι συσκευές Bluetooth μπορούν να έχουν ονόματα για να ξεχωρίζουν μεταξύ τους. Το όνομα αυτό εμφανίζεται στον χρήστη έναντι του 48-bit αριθμού για να διακρίνονται οι συσκευές, αλλά η Bluetooth διεύθυνση είναι αυτή που χρησιμοποιείται στην επικοινωνία. Σε πολλές συσκευές, όπως κινητά τηλέφωνα και υπολογιστές, το όνομα αυτό ορίζεται από τον χρήστη και δεν είναι υποχρεωτικό να είναι μοναδικό - βέβαια αυτό μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα σύγκρουσης ονομάτων μεταξύ συσκευών που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση.

4

Ανάπτυξη Συστήματος

Για να μελετήσουμε και να μετρήσουμε την απόδοση του προτύπου JPEG2000 σε περιπτώσεις ζωντανής μετάδοσης εικόνων για διαφορετικές εφαρμογές και σε διάφορα περιβάλλοντα, θα χρησιμοποιήσουμε μία σειρά από σενάρια και τρόπους επεξεργασίας και αποστολής για να έχουμε μία ολοκληρωμένη εικόνα για την επίδοση του προτύπου. Στο κεφάλαιο αυτό, αρχικά περιγράφουμε τις καινούριες υλοποιήσεις, τις αλλαγές και τις προσθήκες στις βιβλιοθήκες που κάναμε για την δημιουργία της εφαρμογής. Ακολουθεί η περιγραφή του τρόπου αποστολής των πολυμέσων και η περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του συστήματος από την πλευρά του client και του server. Τέλος, περιγράφουμε τις συσκευές που χρησιμοποιήσαμε και τα χαρακτηριστικά των αρχείων προς μετάδοση.

4.1 Υλοποίηση συστήματος

Το σύστημα αποτελείται από μία σειρά πακέτων λογισμικού/βιβλιοθήκες στα οποία έγιναν πολλές αλλαγές με σκοπό την υλοποίηση του συστήματος μετάδοσης εικόνας και video. Οι νέες υλοποιήσεις, οι προσθήκες και οι αλλαγές που έγιναν για την επίτευξη του στόχου της διπλωματικής περιγράφονται με την μορφή λίστας παρακάτω:

- Υλοποίηση λογισμικού διεπαφής για τους χρήστες των δύο άκρων της επικοινωνίας (client-server). Η διεπαφή αυτή δίνει την δυνατότητα στους χρήστες (πομπό-δέκτη/ες) να επιλέξουν μεταξύ πληθώρας επιλογών για το είδος της μετάδοσης πολυμέσων. Περισσότερα για τον τρόπο λειτουργίας δίνονται παρακάτω.

- Ενσωμάτωση των βιβλιοθηκών Jasper, ImageMagick, Bluez, jRTPlib, X11 στην εφαρμογή ώστε όλες οι παραπάνω βιβλιοθήκες να χρησιμοποιούνται για την μετάδοση, επεξεργασία και εμφάνιση εικόνας και video.
- Αλλαγή του τρόπου αποκωδικοποίησης εικόνων JPEG2000 από την βιβλιοθήκη Jasper. Πιο συγκεκριμένα, έγιναν πολλές αλλαγές ως προς το μέγεθος του κώδικα της βιβλιοθήκης για την αποκωδικοποίηση των εικόνων καθώς μεγάλο μέρος αυτού δεν χρησίμευε στην διαδικασία και αύξανε τον χρόνο αποκωδικοποίησης.
- Αλλαγή του τρόπου εμφάνισης εικόνων από την βιβλιοθήκη ImageMagick και ενσωμάτωση δυνατότητας εμφάνισης αλληλουχίας εικόνων με την εισαγωγή νέων συναρτήσεων στην βιβλιοθήκη και με την βοήθεια της βιβλιοθήκης X11.
- Μελέτη και χρήση συναρτήσεων X11 για την παραπάνω λειτουργία.
- Υλοποίηση των διαφορετικών τρόπων αποστολής και λήψης δεδομένων (adaptive framerate, adaptive encoding/decoding, scaler). Ο κώδικας αυτός έχει ενσωματωθεί στο λογισμικό διεπαφής των χρηστών με το σύστημα.
- Υλοποίηση της ενθυλάκωσης JPEG2000 RTP Payload όπως αυτή ορίζεται από την επίσημη πρόταση RTP και ενσωμάτωση νέων στοιχείων σε αυτή για την υποστήριξη των διαφορετικών επιλογών αποστολής (adaptive framerate, adaptive encoding/decoding, scaler).

Τα παραπάνω περιγράφονται περισσότερο στην συνέχεια.

4.2 Βιβλιοθήκες

Για την δημιουργία του συστήματος ζωντανής μετάδοσης εικόνων ήταν απαραίτητη η χρήση πέντε βιβλιοθηκών που έχουν να κάνουν με την υλοποίηση του RTP πρωτοκόλλου, την αποκωδικοποίηση των JPEG2000 εικόνων, την εμφάνιση των λαμβανόμενων εικόνων στην οθόνη του δέκτη και την ασύρματη μετάδοση Bluetooth. Οι βιβλιοθήκες αυτές είναι οι jRTPlib, Jasper, ImageMagick, X11 και Bluez που περιγράφονται παρακάτω. Στο τέλος της υποενότητας, παραθέτουμε διαγράμματα που δείχνουν την χρήση των βιβλιοθηκών αυτών σε όλη την διαδικασία του πομπού και του δέκτη για τις περιπτώσεις Ethernet-802.11 και Bluetooth.

4.2.1 Βιβλιοθήκη *jRTPlib*

Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για την ανάπτυξη μιας δικτυακής εφαρμογής βασιζόμενης στο RTP. Η πρώτη προσέγγιση απαιτεί από τον κατασκευαστή της εφαρμογής να ενσωματώσει χειροκίνητα το RTP. Η δεύτερη προσέγγιση απαιτεί από τον κατασκευαστή της εφαρμογής να χρησιμοποιήσει υπάρχουσες βιβλιοθήκες για το RTP. Μερικές από αυτές τις υλοποιήσεις είναι τα Live555, ccRTP, VOIPLIB, Vovida, κτλ. Στην υλοποίηση μας χρησιμοποιήσαμε την βιβλιοθήκη *jRTPlib*, μία αντικειμενοστρεφή βιβλιοθήκη γραμμένη σε C++ η οποία βοηθά προγραμματιστές σε εφαρμογές που κάνουν χρήση του πρωτοκόλλου RTP. Η βιβλιοθήκη παρέχει την δυνατότητα μετάδοσης και λήψης δεδομένων μέσω RTP χωρίς να ασχολούμαστε με θέματα SSRC, χρονοπρογραμματισμού διαδικασιών και μετάδοσης RTCP δεδομένων. Ο χρήστης απλώς χρειάζεται να παρέχει στην βιβλιοθήκη το payload των δεδομένων που θα μεταδοθούν στο δίκτυο και η βιβλιοθήκη παρέχει πρόσβαση σε εισερχόμενα δεδομένα RTP και RTCP [37].

4.2.2 *Jasper JPEG2000 decoder*

Κατά την δοκιμή του συστήματος, παρατηρήθηκε μία αυξημένη πολυποκρότητ στην live αποκωδικοποίηση των λαμβανόμενων εχόνων με αποτέλεσμα να αργεί ο δέκτης να εμφανίζει εγκαίρως τις εικόνες, να δημιουργείται καθυστέρηση στην ομαλή λειτουργία και να εν τέλει να έχουμε υπερχειλίση δεδομένων στην στοίβα λαμβανόμενων πακέτων και απώλεια πληροφορίας. Για τον λόγο αυτό, μειώσαμε τον κώδικα του αποκωδικοποιητή *Jasper* στο ελάχιστο για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Η διαδικασία αυτή έγινε με την απομάχρυνση κομματιών κώδικα που δεν έχουν σχέση με την εφαρμογή και κατανάλωναν αρκετό χρόνο κατά τη αποκωδικοποίηση. Με το τρόπο αυτό, η επίδοση του συστήματος αυξήθηκε δραματικά αυξάνοντας σε όλες τις περιπτώσεις το επιτρεπόμενο framerate ακόμα και κατά 100%. Οι αλλαγές φαίνονται στον κώδικα του *Jasper* και δεν θα αναλυθούν περαιτέρω.

4.2.3 *ImageMagick*

Πρόκειται για μία συλλογή εργαλείων που δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να δημιουργεί, να επεξεργάζεται και να συνθέτει εικόνες. Έχει την δυνατότητα να διαβάσει, να μετατρέπει και να γράφει εικόνες σε μία μεγάλη ποικιλία κωδικοποιήσεων (πάνω από 100) - συμπεριλαμβανομένου

και των JPEG και JPEG2000 (για το JPEG2000 χρησιμοποιεί την βιβλιοθήκη του JasPer) και επιτρέπει διάφορους τύπους επεξεργασίας εικόνων όπως περιστροφή, μεγέθυνση, επεξεργασία χρωματικής απόχρωσης, ειδικά εφέ κτλ. Η βιβλιοθήκη ImageMagick περιέχει όλα αυτά τα εργαλεία σε μία μεγάλη ποικιλία υλοποιήσεων: G2F (Ada), MagickCore (C), MagickWand (C), ChMagick (Ch), ImageMagickObject (COM+), Magick++ (C++), JMagick (Java), L-Magick (Lisp), NMagick (Neko/haXe), MagickNet (.NET), PascalMagick (Pascal), PerlMagick (Perl), MagickWand for PHP (PHP), IMagick (PHP), PythonMagick (Python), RMagick (Ruby), ή TclMagick (Tcl/Tk). Στην περίπτωση μας, χρησιμοποιήσαμε την υλοποίηση MagickCore [38].

Παρά τις πολλές δυνατότητες που παρέχει η βιβλιοθήκη ImageMagick, παρέχει μόνο την δυνατότητα εμφάνισης μίας εικόνας μετά από επεξεργασία και όχι μία ακολουθία εικόνων. Λόγω της έλλειψης αυτής, προσθέσαμε στην βιβλιοθήκη την δυνατότητα για συνεχή εμφάνιση εικόνων. Για την προσθήκη αυτή προστέθηκαν νέες συναρτήσεις, έγιναν αλλαγές σε πολλά αρχεία της βιβλιοθήκης, αφαιρέθηκαν κομμάτια κώδικα που δεν χρησιμεύουν στην διαδικασία και χρησιμοποιήθηκαν συναρτήσεις της βιβλιοθήκης γραφικών X11 (περιγράφεται παρακάτω).

4.2.4 X11

Επίσημα ονομάζεται X Window System και πρόκειται για σύστημα που υλοποιεί ένα περιβάλλον παραθύρων σε τερματικά υπολογιστών. Πιο συγκεκριμένα, αποτελεί μία χαμηλού επιπέδου μέθοδο για την δημιουργία παραθύρων, για την λήψη εισόδου από το χρήστη (μέσω πληκτρολογίου ή ποντικιού), για τον σχηματισμό γραμμών, γραμματοσειρών, καμπυλών κτλ [39].

Για την υλοποίηση του συστήματος, χρησιμοποιήσαμε αρκετές από τις συναρτήσεις που υπάρχουν στην βιβλιοθήκη του πρωτοκόλλου X11 και αφορούν κυρίως την αρχικοποίηση του παραθύρου και την εμφάνιση της λαμβανόμενης εικόνας.

4.2.5 Bluez

Για την υλοποίηση του Bluetooth real-time streaming video συστήματος, χρησιμοποιήθηκε η C υλοποίηση του πρωτοκόλλου, BlueZ. Η υλοποίηση αυτή περιλαμβάνει μια συλλογή από οδηγούς συσκευών Bluetooth, βιβλιοθήκες σε γλώσσα C και εργαλεία που βοηθούν στην α-

νάπτυξη εφαρμογών. Υπάρχουν και άλλες υλοποιήσεις που περιγράφονται στην εικόνα 4.1 [40]. Δεδομένου ότι οι συσκευές Bluetooth έχουν περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας

PyBlueZ (GNU/Linux)	RFCOMM	L2CAP	SCO	HCI
PyBlueZ (Windows XP)	RFCOMM	L2CAP	SCO	HCI
BlueZ (GNU/Linux)	RFCOMM	L2CAP	SCO	HCI
Microsoft (Windows XP)	RFCOMM	L2CAP	SCO	HCI
Widcomm (Windows XP)	RFCOMM	L2CAP	SCO	HCI
Java – JSR82 (cross-platform)	RFCOMM	L2CAP	SCO	HCI
Series 60 Python (Symbian OS)	RFCOMM	L2CAP	SCO	HCI
Series 60 C++ (Symbian OS)	RFCOMM	L2CAP	SCO	HCI
OS X	RFCOMM	L2CAP	SCO	HCI

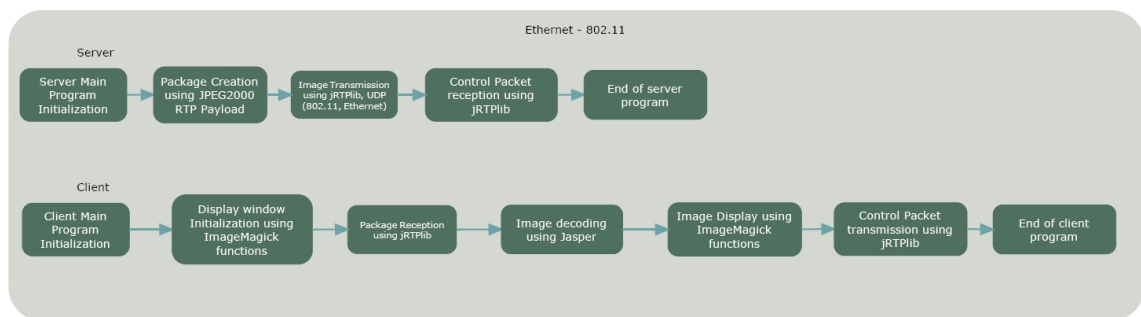
Σχήμα 4.1: Bluetooth Βιβλιοθήκες

και μνήμης, επιλέχθηκε η συγκεκριμένη υλοποίηση που παρέχει προχωρημένες δυνατότητες ελέγχου της συσκευής Bluetooth σε επίπεδο hardware. Παράλληλα, η χρήση της γλώσσας C προσδίδει μεταφερσιμότητα στην εφαρμογή καθώς χρησιμοποιείται ήδη κατά κόρον σε αντίστοιχες εφαρμογές. Το Bluez παρέχει πρόσβαση σε διάφορα επίπεδα του Bluetooth μέσω BSD sockets. Συνοπτικά οι τύποι sockets που παρέχει το Bluez είναι οι εξής:

- HCI sockets: επιτρέπει την απευθείας αποστολή εντολών στη συσκευή Bluetooth.
- L2CAP sockets: επιτρέπει την αποστολή αυτόνομων μηνυμάτων σε σειρά πάνω από μία σύνδεση επιπέδου L2CAP.
- SCO sockets: πρόκειται για sockets για την αποστολή και λήψη πακέτων ήχου.
- RFCOMM sockets: επιτρέπουν την αποστολή δεδομένων χωρίς να διατηρούνται τα όρια μεταξύ των μεμονωμένων μηνυμάτων που στέλνονται.

Όπως έχει αναφερθεί, στις μετρήσεις μας χρησιμοποιήσαμε L2CAP επικοινωνία. Αφού τα δεδομένα παραληφθούν στον δέκτη, παραμένουν αποθηκευμένα έως ότου κάποια εφαρμογή του χρήστη τα ζητήσει. Ο χώρος αποθήκευσης είναι ξεχωριστός και σταθερός για κάθε socket. Αν τα πακέτα παραλαμβάνονται και επεξεργάζονται από την εφαρμογή χρήστη με αργό ρυθμό, τελικά θα έχουμε υπερχείλιση του αποθηκευτικού χώρου και απώλεια δεδομένων. Η παροχή ελέγχου ροής σε αυτό το επίπεδο ξεφεύγει από τα πλαίσια της λειτουργίας του L2CAP και γι'αυτό δε αντιμετωπίζεται. Αναμένουμε λοιπόν να έχουμε απώλειες πακέτων κατά τις μετρήσεις μας.

Στα διαγράμματα 4.2 και 4.3 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιούνται οι βιβλιοθήκες σε όλη την διαδικασία του πομπού και του δέκτη για τις περιπτώσεις Ethernet-802.11 και Bluetooth.

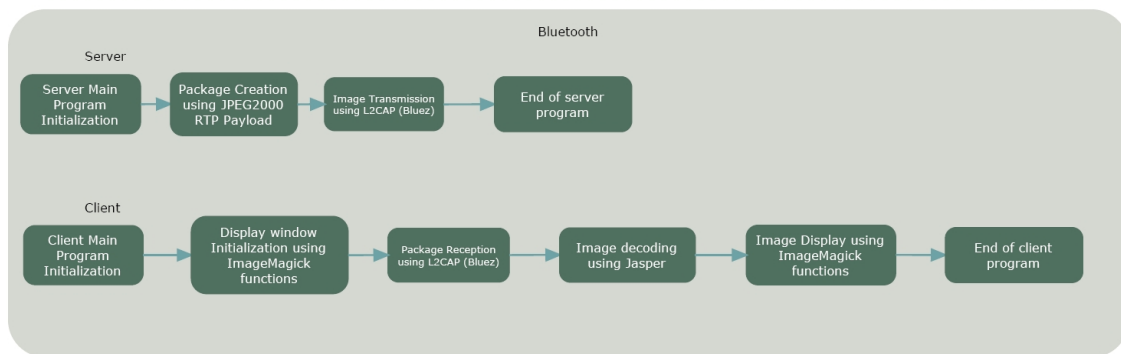


Σχήμα 4.2: Διάγραμμα καταστάσεων για την συμμετοχή των βιβλιοθηκών στην περίπτωση του Ethernet-802.11

4.3 Περιγραφή τρόπων αποστολής

4.3.1 Scaler

Η τεχνική του scaler βασίζεται στην δυνατότητα του JPEG2000 προτύπου να διαχωρίζει τα δεδομένα της εικόνας με συγκεκριμένο τρόπο ώστε τα τμήματα που δημιουργούνται να συμβάλουν διαφορετικά στην εμφάνιση της εικόνας: ως προς την ανάλυση, το επίπεδο λεπτομέρειας και τις χρωματικές συνιστώσες. Βασικά, ο λόγος ύπαρξης της ιδιότητας του scalability είναι η δυνατότητα κωδικοποίησης και μετάδοσης δεδομένων της εικόνας με διαφορετική σπουδαιότητα στο τελικό αποτέλεσμα. Έτσι, σημαντικά δεδομένα για την αποκωδικοποίηση της εικόνας απο-



Σχήμα 4.3: Διάγραμμα καταστάσεων για την συμμετοχή των βιβλιοθηκών στην περίπτωση του Bluetooth

στέλλονται με εγγύηση για την σωστή παραλαβή τους (επαναμετάδοση σε περίπτωση λάθους, κώδικες διόρθωσης λαθών, κτλ) ενώ δεδομένα που απλώς βελτιώνουν το αποτέλεσμα μπορεί να μην παραληφθούν σωστά. Όμως, η ιδιότητα του scalability μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μετάδοση προσαρμοστικού video ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν σε ασύρματα και ενσύρματα δίκτυα. Έτσι, βασικός σκοπός του συστήματος scaler είναι η αποστολή real-time video σε ετερογενή δίκτυα για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των χρηστών. Οι απαιτήσεις των χρηστών εξαρτώνται κυρίως από τον τύπο των συσκευών που χρησιμοποιούνται ως τερματικά (υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, PDA, κτλ). Ο scaler παρέχει τις εξής τρεις επιλογές για το τύπο του scalability:

- Resolution scalability
- Layer scalability
- Component scalability

Και οι τρεις επιλογές μειώνουν την υπολογιστική ισχύ που χρειάζεται για την αποκωδικοποίηση των εικόνων. Η ικανότητα αυτή είναι σημαντική λόγω της ποικιλομορφίας των συσκευών του δικτύου ως προς τις δυνατότητες που παρέχουν ([41],[42],[43],[44],[45]).

4.3.2 Adaptive encoding/decoding

Σε προηγούμενο κεφάλαιο, αποδείξαμε ότι πέραν των δυνατοτήτων του, το πρότυπο παρουσιάζει και υψηλή πολυπλοκότητα κωδικοποίησης/αποκωδικοποίησης. Λόγω της ποικιλίας συσκευών, και άρα δυνατοτήτων, στο δίκτυο, υπάρχουν περιπτώσεις που το πρότυπο JPEG2000 δεν είναι κατάλληλο για την αποστολή ζωντανού video και ίσως άλλα πρότυπα εικόνες θα απέδιδαν καλύτερα. Σκοπός του adaptive encoding/decoding είναι ακριβώς η αυτόματη επιλογή του κατάλληλου προτύπου κωδικοποίησης ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο δίκτυο και ανάλογα με την υπολογιστική ισχύ των τερματικών. Πέραν των JPEG2000, το σύστημα υποστηρίζει τύπους αρχείων JPEG (ουσιαστικά πρόκειται για ένα σύστημα M-JPEG) και PPM. Από αυτά, το JPEG παρουσιάζει μικρότερη πολυπλοκότητα από το JPEG2000 και μικρότερο μέγεθος αρχείων από εκείνα του PPM. Αντίθετα, το PPM δεν παρουσιάζει υψηλή πολυπλοκότητα αλλά δημιουργεί μεγάλα αρχεία εικόνες, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα λόγω χωρητικότητας του καναλιού.

4.4 Περιγραφή λειτουργίας συστήματος

4.4.1 Server

Αρχικοποίηση

Αρχικά, ζητούνται από τον χρήστη διάφορες πληροφορίες για την μετάδοση προς τον δέκτη. Οι πληροφορίες αυτές πρέπει να συμφώνουν με τις αντίστοιχες πληροφορίες που εισάγονται στο τερματικό του δέκτη για την ομαλή λειτουργία του συστήματος. Οι πληροφορίες έχουν να κάνουν με διάφορες παραμέτρους της μετάδοσης και παρέχουν στον χρήστη πληθώρα επιλογών από τις οποίες μπορούν να βγουν συμπεράσματα για την ποιότητα της σύνδεσης και την επίδοση του προτύπου JPEG2000. Οι παράμετροι αυτές έχουν να κάνουν με τον ρυθμό αποστολής των εικόνων (framerate), τον τρόπο αποστολής και λήψης των εικόνων (adaptive encoding/decoding ή scaler επιλογή), την αποκωδικοποίηση των εικόνων σε ασπρόμαυρες ή όχι (μόνο για την περίπτωση του scaler), την ακολουθία που θα αποσταλλεί και, τέλος, το μέγεθος των πακέτων προς αποστολή. Μετά τον ορισμό των παραμέτρων της μετάδοσης, ο server πηγαίνει στον κατάλληλο κατάλογο ειδόνων (ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη) και αρχικοποιεί την λίστα εικόνων προς αποστολή. Γενικά, οι επιλογές έχουν ως εξής:

- Σε περίπτωση που η μετάδοση αφορά έγχρωμη αναπαράσταση και γίνει με την επιλογή scaler, ο τύπος εικόνων που υποστηρίζεται είναι μόνο JPEG2000, καθώς είναι χαρακτηριστικό μόνο αυτού του προτύπου. Στην περίπτωση αυτή, οι αναλύσεις που υποστηρίζονται είναι 176x144, 320x240 και 640x480.
- Σε περίπτωση που η μετάδοση αφορά ασπρόμαυρη αναπαράσταση (επιλογή scaler), ο τύπος εικόνων που υποστηρίζεται είναι μόνο JPEG2000 και η ανάλυση περιορίζεται στα 320x240.
- Σε περίπτωση που έχει adaptive encoding/decoding, δεν υποστηρίζεται ταυτόχρονα η επιλογή scaler καθώς είναι μόνο προνόμιο του JPEG2000 προτύπου και οι αναλύσεις που υποστηρίζονται είναι 176x144, 320x240 και 640x480.

Στην συνέχεια, ο server συνδέεται σε συγκεκριμένο port που δίνεται από τον χρήστη, αρχικοποιούνται η παράμετρος του timestamp για την σύνοδο RTP, η παράμετρος του payload type, το μέγιστο επιτρεπόμενο μέγεθος πακέτου και δημιουργείται η σύνοδος δημιουργώντας ένα αντικείμενο RTPSession με συναρτήσεις της βιβλιοθήκης jRTPlib. Αφού αρχικοποιηθεί η σύνοδος, ζητούνται ο αριθμός των δεκτών στην σύνοδο και τα ζεύγη διευθύνσεων τους (port και IP διεύθυνση). Στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότεροι του ενός δέκτες, ο server συνδέεται σε multicast group για να είναι δυνατή η multicast μετάδοση.

Παράλληλα με την σύνοδο για την αποστολή εικόνων, ο server συνδέεται με τον πρώτο δέκτη της λίστας προορισμών με άλλη σύνδεση για την λήψη πακέτων που ρυθμίζουν την ποιότητα της επικοινωνίας. Οι πληροφορίες που λαμβάνονται από τον δέκτη έχουν να κάνουν με τον ρυθμό αποστολής εικόνων - σε περίπτωση που δεν υπάρχουν λάθη στην επικοινωνία ζητείται να αυξηθεί το framerate ενώ σε αντίθετη περίπτωση να μειωθεί - και με τον τύπο των εικόνων που πρέπει να αποστέλλονται (αφορά την adaptive encoding/decoding επιλογή).

Επεξεργασία εικόνων

Πριν την αποστολή των εικόνων και στην περίπτωση του scaler, γίνεται μία προεπεξεργασία των εικόνων για να ληφθούν κάποιες πληροφορίες για τις εικόνες προς αποστολή. Οι πληροφορίες αυτές έχουν να κάνουν με την ανάλυση της εικόνας, τον αριθμό των χρωματικών συνιστωσών, τον αριθμό των επιπέδων λεπτομέρειας και τον αριθμό των αναλύσεων που υποστηρίζει η

κωδικοποίηση της εικόνας. Ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη, το σύστημα διαλέγει εκείνα τα offsets που οριοθετούν τα δεδομένα για μία συγκεκριμένη ανάλυση, επίπεδο λεπτομέρειας ή χρωματικής συνιστώσας. Τα offsets αυτά χρησιμοποιούνται από τον δέκτη για να οριοθετήσει την ποσότητα της πληροφορίας που θα αποκωδικοποιήσει με αποτέλεσμα να μειώνεται ο χρόνος αποκωδικοποίησης. Οι πληροφορίες πακετάρονται μαζί με τα δεδομένα και αποστέλλονται στο δέκτη, όπως θα περιγραφεί και παρακάτω.

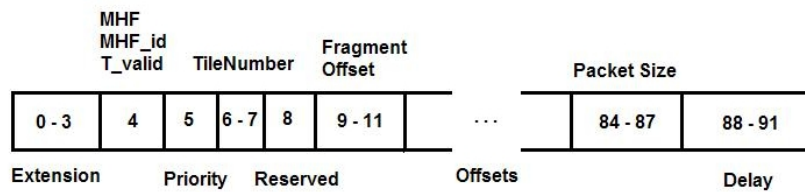
Τμηματοποίηση εικόνων

Η αποστολή των εικόνων γίνεται μέσω UDP sockets για τους λόγους που έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Το socket UDP στέλνει μόνο δεδομένα ενθυλακωμένα σε πακέτα UDP. Επειδή τα πακέτα UDP μπορούν να περιέχουν το πολύ 8Kbyte δεδομένα, είναι απαραίτητο να χωρίσουμε τις εικόνες σε πακέτα. Ο διαχωρισμός γίνεται με τον εξής τρόπο: αρχικά χωρίζεται η βασική κεφαλίδα από τα υπόλοιπα δεδομένα και στην συνέχεια τα tiles χωρίζονται μεταξύ τους. Τέλος, αν το μέγεθος των tiles είναι σχετικά μεγάλο για να χωρέσει σε ένα πακέτο, χωρίζεται και αυτό περαιτέρω. Στην περίπτωση μας που οι εικόνες αποτελούνται από ένα μόνο tile, χωρίζεται η βασική κεφαλίδα από τα δεδομένα του tile και το τελευταίο χωρίζεται περαιτέρω.

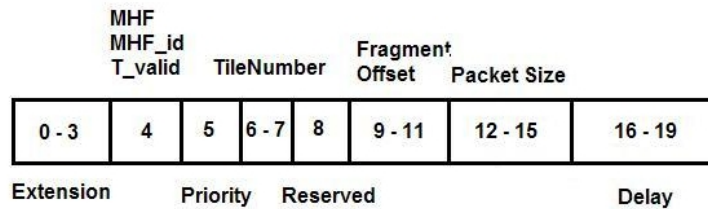
Δημιουργία JPEG2000 Payload

Μετά την τμηματοποίηση της εικόνας, κάθε κομμάτι δεδομένων ενθυλακώνεται σε πακέτα προς αποστολή. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά δημιουργείται το κομμάτι του JPEG2000 Payload για το συγκεκριμένο τμήμα της εικόνας όπως περιγράφηκε σε προηγούμενα κεφάλαια και ακολουθούν τα δεδομένα που περιγράφονται από το συγκεκριμένο payload. Πέραν των πεδίων που περιέχει το επίσημο JPEG2000 Payload, προσθέσαμε κάποια δεδομένα παραπάνω και το payload στη περίπτωση μας έχει την μορφή των σχημάτων 4.2 και 4.3:

- **Extension:** το πεδίο αυτό αποτελείται από 4 bytes που περιγράφουν την μορφή εικόνας που στέλνουμε. Το πεδίο αφορά το adaptive encoding/decoding και χρησιμοποιείται από τον δέκτη για να γνωρίζει τη μορφή της εικόνας που θα αποκωδικοποιήσει. Οι επιτρεπόμενες τιμές είναι ".jp2", ".jpg" και ".ppm".
- **Πεδία των bytes 4-11:** έχουν περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.



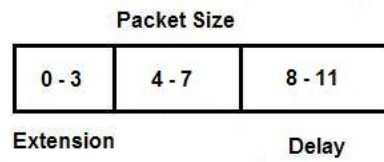
Σχήμα 4.4: Μορφή payload τελευταίου πακέτου εικόνας JPEG2000



Σχήμα 4.5: Μορφή payload πακέτου εικόνας JPEG2000

- PacketSize: περιέχει το μέγεθος του πακέτου προς αποστολή.
- Delay: περιέχει τον χρόνο που δαπανά η αποκωδικοποίηση και εμφάνιση αυτού του κομματιού δεδομένων στην όλη αναπαραγωγή. Χρήσιμο πεδίο για την σωστή λειτουργία του RTP.
- Offsets: ΜΟΝΟ για το τελευταίο πακέτο κάθε εικόνας για την περίπτωση του scaler. Περιέχει τα offsets από την αρχή του αρχείου για τις διάφορες αναλύσεις, χρωματικές συνιστώσες και επίπεδα λεπτομέρειας. Με τον τρόπο αυτό, ο δέκτης γνωρίζει μέχρι πιο σημείο να αποκωδικοποιήσει την εικόνα βάσει των επιλογών που έκανε ο χρήστης.

Για την περίπτωση που χρησιμοποιείται adaptive encoding/decoding, δεν υλοποιούμε συγκεκριμένο payload και τα πακέτα δεδομένων περιλαμβάνουν επιπλέον τα εξής πεδία (4.4):



Σχήμα 4.6: Μορφή πακέτου εικόνων JPEG2000

Δημιουργία πακέτων και αποστολή

Μετά την δημιουργία του JPEG2000 Payload, σχηματίζεται το πακέτο προς αποστολή. Αυτό αποτελείται από το JPEG2000 Payload ακολουθούμενο από το αντίστοιχο κομμάτι δεδομένων. Η αποστολή των πακέτων γίνεται με την συνάρτηση `SendPacket` της βιβλιοθήκης `jRTPLib` η οποία αναλαμβάνει να ενθυλακώσει περαιτέρω τα δεδομένα σε πακέτο UDP και να ενημερώσει την σύνοδο.

Έλεγχος ποιότητας σύνδεσης

Ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ο πομπός δέχεται πακέτα από τον δέκτη που ελέγχουν την ποιότητα της σύνδεσης. Τα πακέτα αυτά περιέχουν πληροφορίες για τον προτεινόμενο ρυθμό μετάδοσης των εικόνων (framerate) ανάλογα με την ποιότητα της εικόνας στον δέκτη. Πιο συγκεκριμένα, στις περιπτώσεις που υπάρχουν λάθη στην επικοινωνία, ο δέκτης ζητά να μειωθεί το framerate, και στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει πρόβλημα λήψης, ζητείται να αυξηθεί ο ρυθμός αποστολής. Επίσης στην περίπτωση του adaptive encoding/decoding, παράλληλα με το framerate, ο δέκτης επιλέγει και την μορφή των εικόνων που θα αποσταλούν.

4.4.2 Client

Αρχικοποίηση

Αρχικά, αρχικοποιείται το γραφικό περιβάλλον του X Server για όλα τα είδη εικόνας που πιθανόν θα αποκωδικοποιηθούν. Στην περίπτωση μας, γίνεται αρχικοποίηση για αποκωδικοποίηση εικόνων σε μορφή JPEG2000, JPEG και PPM. Η αρχικοποίηση γίνεται με συναρτήσεις που

ενσωματώσαμε στην βιβλιοθήκη του ImageMagick. Στην συνέχεια, ζητούνται από τον χρήστη πληροφορίες σχετικά με τον αρχικό ρυθμό μετάδοσης, το σχήμα της μετάδοσης (scaler, adaptive encoding/decoding, απλή μετάδοση), την ανάλυση της εικόνας, κτλ. Οι πληροφορίες αυτές πρέπει να συμφωνούν με τις αντίστοιχες πληροφορίες που εισάγονται στο τερματικό του πομπού για την ομαλή λειτουργία του συστήματος. Ειδικά για την περίπτωση του scaler, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει να αποκωδικοποιήσει την εικόνα σε μικρότερη ανάλυση από την πρωτότυπη εικόνα, σε χαμηλότερη ποιότητα και συγκεκριμένο αριθμό ρωματικών συνιστωσών. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα για μεγέθυνση ή σμίκρυνση της τελικής εικόνας, διαδικασία που προσθέτει θόρυβο και αλλοιώνει την εικόνα - η επιλογή αυτή είναι χρήσιμη στις περιπτώσεις που απαιτείται μεγαλύτερη ανάλυση καταναλώνοντας μικρότερο χρόνο επεξεργασίας. Οι επιλογές που δίνονται είναι ίδιες με αυτές που περιγράφηκαν στον server. Στην συνέχεια, ο client συνδεέται στην σύνοδο που έχει αρχικοποιηθεί από τον πομπό με πληροφορίες που δίνονται από τον χρήστη (ζεύγη θυρών - IP διευθύνσεων). Επίσης, κάθε client συνδέεται σε συγκεκριμένο multicast group για την περίπτωση που συνδέονται περισσότεροι του ενός δέκτη με τον πομπό.

Λήψη πακέτων

Μετά την αρχικοποίηση της σύνδεσης, ο δέκτης μπαίνει σε μία κατάσταση που περιμένει πακέτα προς επεξεργασία από τον πομπό. Σε περίπτωση που ο δέκτης δεν λάβει δεδομένα για 20 δευτερόλεπτα, θεωρείται ότι είτε η σύνδεση έχει χαθεί είτε ο πομπός έχει σταματήσει την αποστολή δεδομένων και η σύνδεση τερματίζει από την πλευρά του δέκτη. Αντίθετα, σε περίπτωση που ο δέκτης λάβει πακέτο, προχωράει στην επεξεργασία αυτού.

Επεξεργασία πακέτων

Όταν ο δέκτης λάβει ένα πακέτο, ακολουθεί μία συγκεκριμένη διαδικασία για την επεξεργασία του. Τα βήματα που ακολουθεί είναι τα εξής:

1. Αρχικά, ελέγχει αν είναι το τελευταίο πακέτο μίας εικόνας. Αυτό γίνεται με τον έλεγχο ενός συγκεκριμένου πεδίου που υπάρχει στο λαμβανόμενο πακέτο και ονομάζεται marker bit. Το πεδίο αυτό έχει μέγεθος ενός bit και σε περίπτωση που είναι ίσο με μονάδα σηματοδοτεί ότι πρόκειται για το τελευταίο πακέτο ενός frame.

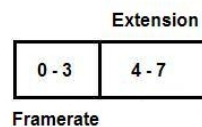
2. Σε περίπτωση που το ληθέν πακέτο δεν είναι το τελευταίο, ο δέκτης απομακρύνει την κεφαλίδα του UDP πακέτου και παίρνει πληροφορίες για το περιεχόμενο του πακέτου από τα πεδία του JPEG2000 Payload. Πιο συγκεκριμένα:
 - (α') Αρχικά αναγνωρίζει την κωδικοποίηση της εικόνας.
 - (β') Σε περίπτωση που πρόκειται για εικόνα JPEG2000, ο δέκτης παίρνει πληροφορίες για τα πεδία type, MHF καθώς και για το μέγεθος των δεδομένων και το delay που πρέπει να ληφθεί υπόψιν για το κομμάτι αυτό των δεδομένων.
 - (γ') Σε περίπτωση που πρόκειται για άλλη κωδικοποίηση, ο δέκτης παίρνει πληροφορίες μόνο για το μέγεθος των δεδομένων και το delay.
 - (δ') Γνωρίζοντας αυτές τις πληροφορίες, ο δέκτης δεσμεύει μνήμη και προσάπτει στο τέλος αυτής τα νέα δεδομένα.
3. Στην περίπτωση που το πακέτο είναι το τελευταίο της εικόνας, ο δέκτης κάνει την ίδια διαδικασία και επισυνάπτει τα νέα δεδομένα στο τέλος της μνήμης όπου αποθηκεύεται προσωρινά η εικόνα και στην συνέχεια εμφανίζεται (στην περίπτωση του scaler ο δέκτης ανακτά πρώτα τα offsets από την κεφαλίδα του JPEG2000 Payload για να τα χρησιμοποιήσει ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη).

Εμφάνιση εικόνων

Ο δέκτης στην συνέχεια απλώς φορτώνει την εικόνα από την μνήμη σε ένα αντικείμενο image της βιβλιοθήκης Imagemagick μέσω της συνάρτησης BlobToImage. Με την συνάρτηση αυτή, η βιβλιοθήκη αντιλαμβάνεται το είδος της εικόνας και την αποκωδικοποιεί για την εμφάνισή της στο X παράθυρο της εφαρμογής. Σε περίπτωση που δεν είναι δυνατή η αποκωδικοποίηση της εικόνας (είτε λόγω λαθών κατά την μετάδοση είτε λόγω απώλειας δεδομένων από υπερχείληση του stack από τα λαμβανόμενα δεδομένα), ο δέκτης εμφανίζει την προηγούμενη σωστή εικόνα που έλαβε για να δημιουργηθεί η εντύπωση της συνέχειας και να μην υπάρχουν κενά στην ακολουθία του video. Επειδή πρόκειται για μετάδοση των εικόνων σε πραγματικό χρόνο, δεν επιλέχθηκε η περίπτωση διόρθωσης λαθών στην ληφθείσα εικόνα, καθώς αυτό θα δημιουργούσε καθυστέρηση στην αναπαραγωγή για τις επόμενες εικόνες.

Έλεγχος ποιότητας σύνδεσης

Κατά την λήψη των εικόνων, ο δέκτης υπολογίζει το ποσοστό των εικόνων που έλαβε σωστά ή λάθος. Το ποσοστό αυτό βγαίνει από τον αριθμό των λανθασμένων ή σωστών εικόνων από μία σειρά διαδοχικών εικόνων. Σε περίπτωση που 3 (ή περισσότερες) στις 10 διαδοχικές εικόνες είναι λάθος, ο δέκτης ζητά από τον πομπό να μειώσει τον ρυθμό αποστολής των εικόνων. Από την άλλη, αν για 10 συνεχόμενα frames δεν υπάρχει λάθος, ο δέκτης υποθέτει ότι δεν υπάρχει πρόβλημα στην μετάδοση και ζητά να αυξηθεί το framerate. Επειδή υπάρχει περίπτωση το σύστημα να αμφιταλαντεύεται γύρω από ένα συγκεκριμένο framerate, το σύστημα απαγο-



Σχήμα 4.7: Μορφή πακέτου εικόνων JPEG2000

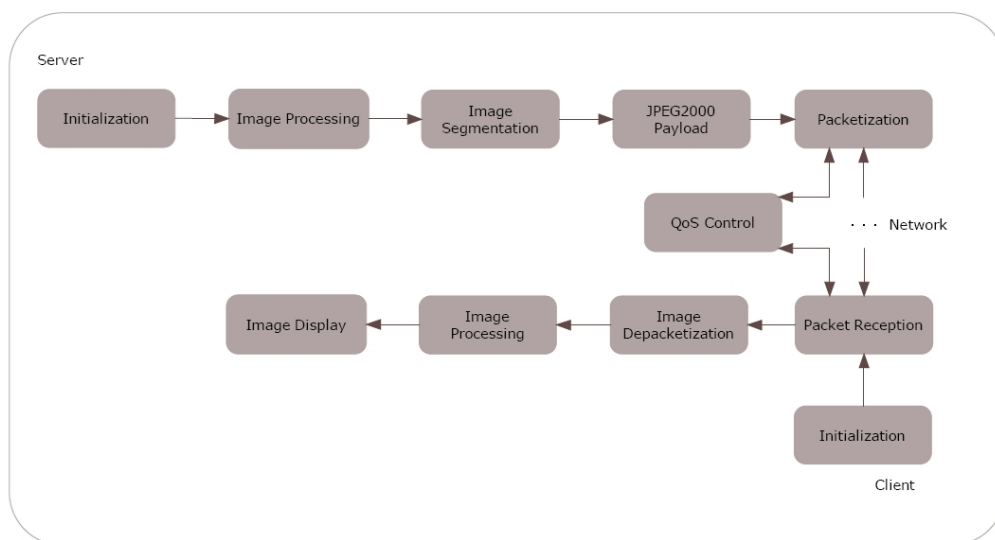
ρεύει την αύξηση του framerate αν προηγουμένως έχει μειωθεί δύο φορές μετά από αύξησή του. Παράλληλα, για την περίπτωση του adaptive encoding/decoding, αποστέλλεται και η προτεινόμενη κωδικοποίηση των εικόνων που πρέπει να ακολουθήσει ο πομπός. Η επιλογή της κωδικοποίησης γίνεται με τον εξής τρόπο. Έτσι, μορφή που παίρνουν τα πακέτα ελέγχου της επικοινωνίας φαίνεται στην εικόνα 4.5.

Η διαδικασία που ακολουθεί ο server και ο client φαίνονται στην εικόνα 4.6 και είναι ίδια για τις περιπτώσεις Ethernet, 802.11 και Bluetooth, εκτός από το κομμάτι του QoS control για την περίπτωση του Bluetooth.

4.5 Περιβάλλον Μετρήσεων

4.5.1 Περιγραφή τερματικών

Για τις μετρήσεις του συστήματος, χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικά υπολογιστικά συστήματα σε διαφορετικούς ρόλους το καθένα ανάλογα με το σενάριο λειτουργίας που μελετάμε. Τα βασικά χαρακτηριστικά των υπολογιστών αυτών φαίνονται στον πίνακα 4.1.



Σχήμα 4.8: Διάγραμμα λειτουργίας server-client

Πίνακας 4.1: Περιγραφή Τερματικών

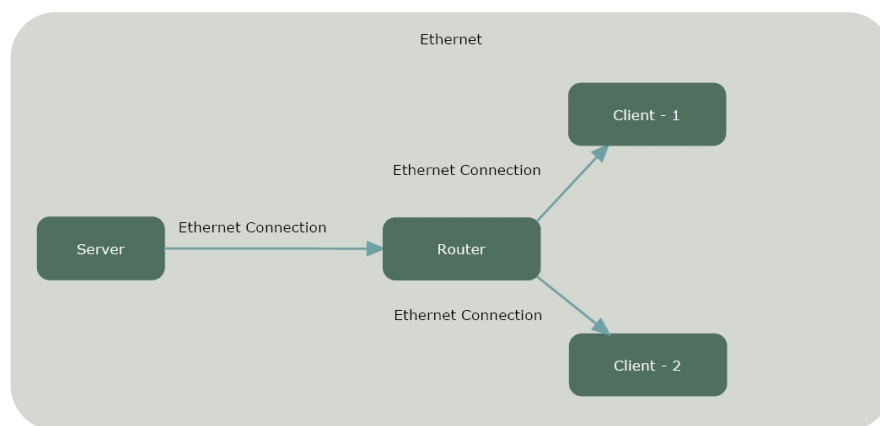
Όνομα	CPU	RAM	Λειτουργικό	Ethernet/802.11
MPIRLAS	Intel Core Duo 2 - 2.16GHz	3.3Gb	Ubuntu 8.04	✓/✓
GESTALD	Intel Core 2 - 2.13GHz	1.0Gb	Ubuntu 7.10	✓/X
STRAPATSIREN	Intel Core 2 - 1.8GHz	2.0Gb	Ubuntu 8.04	✓/X

4.5.2 Ethernet

Για την περίπτωση του ενσύρματου δικτύου χρησιμοποιήθηκε συσκευή δρομολογητή (router) για την σύνδεση των τεσσάρων τερματικών ταυτόχρονα στο σύστημα. Τα χαρακτηριστικά του δρομολογητή και των συσκευών διασύνδεσης των τερματικών περιγράφονται στον πίνακα 4.2:

Πίνακας 4.2: Περιγραφή Συσκευών Ethernet

Όνομα	Συσκευή Ethernet	Ταχύτητα Επικοινωνίας
MPIRLAS	Integrated Intel Gigabit Network	10/100/1000 Mbit
GESTALD	Integrated Broadcom 5755 Netxtreme	10/100/1000 Mbit
STRAPATSIREN	Onboard Marvell 8056 chip	10/100/1000 Mbit
LINKSYS WAG200G	4 x 10/100 Ethernet	10/100 Mbit



Σχήμα 4.9: Σύνδεση τερματικών για την περίπτωση του Ethernet

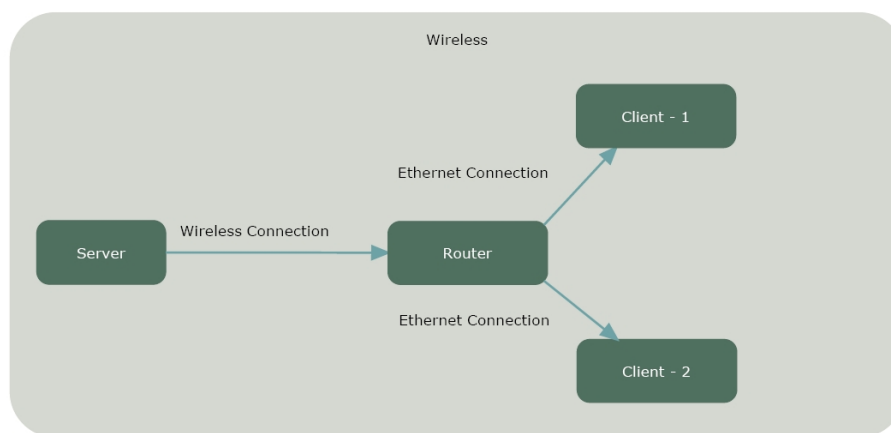
4.5.3 Πρωτόκολλο 802.11

Για την μελέτη του συστήματος με το πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας 802.11 χρησιμοποιήθηκε μόνο μία συσκευή διασύνδεσης και το router, που παρείχε δυνατότητα ασύρματης

Πίνακας 4.3: Περιγραφή Συσκευών 802.11

Όνομα	Συσκευή 802.11	Ταχύτητα Επικοινωνίας
MPIRLAS	Intel PRO/Wireless 3945 802.11g	54 Mbit
LINKSYS WAG200G	Unknown Product	54 Mbit

μετάδοσης. Με τον τρόπο αυτό δεν υπήρχε από άκρο σε άκρο επικοινωνία μεταξύ των τερματικών αλλά ασύρματη μετάδοση των δεδομένων στον δρομολογητή και ενσύρματη επαναμετάδοση των δεδομένων από τον δρομολογητή στους δέκτες. Η μέγιστη ταχύτητα από άκρο σε άκρο μεταξύ πομπού - δέκτη φράσσεται από την ταχύτητα επικοινωνίας της ασύρματης ζεύξης οπότε μπορούμε να βγάλουμε κάποια συμπεράσματα για την ποιότητα της ασύρματης επικοινωνίας. Τα χαρακτηριστικά της ασύρματης κάρτας επικοινωνίας και του δρομολογητή ως προς την ασύρματη μετάδοση φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 4.3.



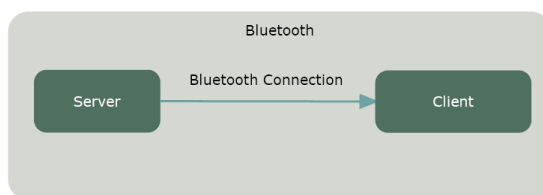
Σχήμα 4.10: Σύνδεση τερματικών για την περίπτωση του 802.11

4.5.4 Συσκευές Bluetooth

Οι μετρήσεις για την περίπτωση του Bluetooth θα γίνουν με τη χρήση πραγματικών συσκευών. Οι συσκευές που είχαμε στην διάθεση μας και χρησιμοποιήσαμε φαίνονται στον πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4: Περιγραφή Συσκευών Bluetooth

Συσκευή	Πρωτόκολλο Bluetooth	Σύνδεση	Κατηγορία
Integrated System Solution	v1.2	USB v1.1	2 (10 μέτρα)
Bluetooth LevelOne	v1.2	USB v1.1	1 (100 μέτρα)



Σχήμα 4.11: Σύνδεση τερματικών για την περίπτωση του Bluetooth

4.6 Περιγραφή περιπτώσεων δοκιμής (test cases)

Για την μέτρηση της απόδοσης του συστήματος, χρησιμοποιούμε ακολουθίες εικόνων που έχουν διαφορετικές αναλύσεις και ο δέκτης μπορεί να επιλέξει μεταξύ αυτών. Οι ακολουθίες αυτές είναι σε χρωματικό πρότυπο YCbCr, έχουν αναλύσεις 176x144 (QCIF), 320x240 (CIF) και 640x480 (VGA) και φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Η λήψη των εικόνων αυτών έγινε με webcam Logitech Webcam for Notebooks Deluxe και κάνοντας χρήση του εργαλείου motion σε περιβάλλον linux. Το motion είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα που λειτουργεί σαν ανιχνευτής κίνησης. Πιο συγκεκριμένα, αντιλαμβάνεται κίνηση στο πεδίο λήψης και μόνο τότε αποθηκεύει την εικόνα που λαμβάνει εκείνη την στιγμή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι ακολουθίες των εικόνων να μην έχουν σταθερό ρυθμό λήψης (framerate) αλλά αυτό δεν εμποδίζει να χρησιμοποιήσουμε τις ακολουθίες αυτές για την μελέτη του συστήματός μας, καθώς οι εικόνες που θα αποστέλλονται θα είναι πρώτα αποθηκευμένες στον πομπό.

Για την περίπτωση της JPEG2000 κωδικοποίησης, παράλληλα με την κωδικοποίηση της εικόνας δημιουργείται και ένα αρχείο περιεχομένων (index) της κάθε εικόνας. Το αρχείο αυτό

Πίνακας 4.5: Περιγραφή περιπτώσεων δοκιμής

Ακολουθία	Ανάλυση	Αριθμός frames
176x144Adaptive	176x144	71
320x240Adaptive	320x240	259
640x480Adaptive	640x480	375
176x144Layer	176x144	187
320x240Layer	320x240	259
640x480Layer	640x480	375
320x240Gray	320x240	259

χρησιμοποιείται στην περίπτωση του scaler και περιέχει πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά της εικόνας, καθώς και τα offsets των διαφόρων τμημάτων της εικόνας από την αρχή του αρχείου όπως το μέγεθος της βασικής κεφαλίδας, της κεφαλίδας των tiles, των δεδομένων κτλ. Η δομή που ακολουθεί το αρχείο του index είναι η εξής:

- Image Size
- Progression Order
- Tile Size
- Number of Components
- Number of Layers
- Number of Decompositions
- Precinct Size
- Main Header End Position
- Codestream Size
- Time 0 information (start position, end position...)
- Tile 1 information (start position, end position...)
- ...
- Packet 0 of Tile 0 information (layer num, Resolution num, comp num, start position, end position...)

- Packet 1 of Tile 0 information (layer num, Resolution num, comp num, start position, end position...)
- ...
- Packet 0 of Tile 1 information (layer num, Resolution num, comp num, start position, end position...)
- ...
- Packet M of Tile N information (layer num, Resolution num, comp num, start position, end position...)
- Maximum distortion reduction on the whole image
- Total distortion on the whole image

5

Πειράματα και Μετρήσεις

5.1 Περιπτώσεις Λειτουργίας

Για την εξαγωγή μετρήσεων και αποτελεσμάτων από το σύστημα, δοκιμάσαμε διάφορους τρόπους αποστολής δεδομένων και διαφορετικά πρότυπα εικόνας για τα διάφορα κανάλια επικοινωνίας.

Οι διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας είναι οι εξής:

- **Adaptive framerate:** Χρησιμοποιείται στην περίπτωση των Ethernet και 802.11 πρωτοκόλλων επικοινωνίας και για όλα τα πρότυπα κωδικοποίησης εικόνας JPEG, JPEG2000, PPM. Στην επιλογή αυτή, το σύστημα βρίσκει μόνο του το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης που υποστηρίζει το τερματικό του δέκτη. Με τον τρόπο αυτό, υπολογίζουμε το μέγιστο δυνατό ρυθμό framerate που μπορεί να επιτύχει ένα συγκεκριμένο πρότυπο εικόνας για τις διάφορες αναλύσεις εικόνας κατά την προσομοίωση του συστήματος.
- **Adaptive encoding/decoding:** Χρησιμοποιείται στην περίπτωση των Ethernet και 802.11 πρωτοκόλλων επικοινωνίας και για όλα τα πρότυπα κωδικοποίησης εικόνας JPEG, JPEG2000, PPM. Με την επιλογή αυτή, το σύστημα αλλάζει αυτόματα το πρότυπο κωδικοποίησης εικόνας που χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση των εικόνων ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος. Τα όρια απόφασης έχουν οριστεί βάσει των αποτελεσμάτων της adaptive framerate επιλογής. Πιο συγκεκριμένα:

1. Για την περίπτωση της ανάλυσης 640x480: για framerate από 1 έως 10 επιλέγεται το πρότυπο JPEG2000 και από 11 και πάνω το πρότυπο JPEG.

2. Για την περίπτωση της ανάλυσης 320x240: για framerate από 1 έως 3 επιλέγεται το πρότυπο PPM, από 3 έως 16 επιλέγεται το πρότυπο JPEG2000 και από 17 και πάνω το πρότυπο JPEG.
 3. Για την περίπτωση της ανάλυσης 176x144: για framerate από 1 έως 8 επιλέγεται το πρότυπο PPM, από 9 έως 20 επιλέγεται το πρότυπο JPEG2000 και από 21 και πάνω το πρότυπο JPEG.
- **Scaler:** Χρησιμοποιείται στην περίπτωση των Ethernet, 802.11 και Bluetooth πρωτοκόλλων επικοινωνίας και μόνο για το πρότυπο κωδικοποίησης JPEG2000. Με την επιλογή αυτή, το σύστημα εκμεταλλεύεται την δυνατότητα του scalability - πρόκειται για σταδιακή μετάδοση πληροφορίας, δομημένης με τέτοιο τρόπο ώστε ο χρήστης στον δέκτη να μπορεί να απομονώσει τις πληροφορίες που χρειάζεται για την επεικόνιση της εικόνας σε συγκεκριμένη ανάλυση, ποιότητα εικόνας και χρωματική απόχρωση. Ποιο συγκεκριμένα, οι επιλογές που δίνονται είναι:
 1. Διαφορετικές αναλύσεις: δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να αποκωδικοποιήσει όση πληροφορία χρειάζεται για 4 διαφορετικές αναλύσεις, υποδιπλάσιες της αρχικής. Π.χ. για video ανάλυσης 640x480, οι αναλύσεις που υποστηρίζονται είναι 320x240, 160x120, 80x60, 40x30.
 2. Διαφορετική ποιότητα εικόνας: δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να αποκωδικοποιήσει όση πληροφορία χρειάζεται για 3 διαφορετικά SNR: 25dB, 35dB, 55dB. Έτσι, η λαμβανόμενη εικόνα έχει διαφορετική ποιότητα σε σχέση με την πρωτότυπη.
 3. Χρωματική απόχρωση εικόνας: ο χρήστης μπορεί να διαλέξει να αποκωδικοποιηθεί μόνο η Y συνιστώσα της YCbCr εικόνας, με αποτέλεσμα να πάρει μία ασπρόμαυρη απεικόνιση της αρχικής εικόνας.
 - **Best framerate:** Χρησιμοποιείται στην περίπτωση του Bluetooth πρωτοκόλλου επικοινωνίας και για όλα τα πρότυπα κωδικοποίησης εικόνας JPEG, JPEG2000, PPM έναντι του adaptive framerate. Δεν μελετήθηκε η περίπτωση του adaptive framerate καθώς η επιπρόσθετη επικοινωνία μεταξύ των τερματικών για την επιλογή του προτύπου, υποβάθμιζε την ποιότητα επικοινωνίας. Με την επιλογή αυτή, δοκιμάζουμε χειροκίνητα και

υπολογίζουμε το μέγιστο δυνατό ρυθμό framerate που μπορεί να επιτύχει ένα συγκεκριμένο πρότυπο εικόνας για τις διάφορες αναλύσεις εικόνας κατά την προσομοίωση του συστήματος για το συγκεκριμένο πρωτόκολλο ζεύξης δεδομένων.

Τα πρότυπα κωδικοποίησης εικόνας που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις είναι τα εξής:

- JPEG2000: Αναλύθηκε διεξοδικά σε προηγούμενα κεφάλαια.
- JPEG: Πρόκειται για το γνωστό ISO/ITU-T πρότυπο που δημιουργήθηκε στο τέλος της δεκαετίας του '80. Περιγράφεται περιληπτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο.
- PPM: Πρόκειται για πρότυπο εικόνας που παρέχει πολύ βασικές δυνατότητες και αποτελεί μέσο αποθήκευσης εικόνων πριν την περαιτέρω επεξεργασία/κωδικοποίηση της εικόνας. Το PPM format δεν είναι συμπιεσμένο καθόλου και για αυτό το λόγο αρχεία εικόνας αυτού του προτύπου καταναλώνουν εξαιρετικά μεγάλο χώρο αποθήκευσης και χωρητικότητα καναλιού. Λόγω έλλειψης συγκεκριμένης κωδικοποίησης, η αποκωδικοποίηση και εμφάνιση της εικόνας δεν απαιτεί ισχυρή επεξεργαστική ισχύ. Απαιτείται όμως χώρος αποθήκευσης και διαθέσιμη μνήμη. Στα πλαίσια της εργασίας, μελετάται ως ένα πρότυπο με χαμηλή πολυπλοκότητα αποκωδικοποίησης και υψηλή κατανάλωση χωρητικότητας καναλιού σε αντίθεση με το JPEG2000 που παρουσιάζει υψηλή πολυπλοκότητα και υψηλή συμπίεση.

Στην μελέτη δεν περιλαμβάναμε την περίπτωση του H.264/AVC MPEG-4 Part 10, καθώς το λογισμικό που είχαμε στην διάθεση μας δημιουργούσε αρχεία video αποτελούμενα από αλληλουχία εικόνων που δεν μπορούν να διαχωριστούν μεταξύ τους ώστε να μπορέσουμε να αποστείλουμε τις εικόνες ανεξάρτητες μεταξύ τους. Επιπλέον, το συγκεκριμένο πρότυπο παρουσίαζε υψηλότερη πολυπλοκότητα κωδικοποίησης/αποκωδικοποίησης σε σχέση με το JPEG2000 (όπως φαίνεται και από την προσομοίωση που κάναμε σε προηγούμενο κεφάλαιο) με αποτέλεσμα να μην ενδείκνυται για χρήση σε real-time frame-based εφαρμογές. Για τους λόγους αυτούς, δεν μελετήθηκε το πρότυπο αυτό στην προσομοίωση του συστήματος.

5.2 Μετρήσεις Ethernet

Για την περίπτωση του Ethernet, συνδέσαμε όλα τα τερματικά και δοκιμάσαμε όλες τις δυνατές περιπτώσεις λειτουργίας. Αρχικά, δοκιμάσαμε την περίπτωση του adaptive framerate χωρίς

την ενεργοποίηση των επιλογών scaler ή adaptive encoding/decoding. Τα αποτελέσματα που παίρνουμε για τις διάφορες αναλύσεις, στην περίπτωση του Ethernet, φαίνονται στον πίνακα 5.1. Ενεργοποιώντας την επιλογή adaptive encoding/decoding, έχουμε τα αποτελέσματα του πίνακα 5.4. Για την επιλογή scaler επιλέγουμε δύο τερματικά και ανάλυση ακολουθίας 320x240. Τα αποτελέσματα για τις διάφορες αναλύσεις αποκωδικοποίησης φαίνονται στον πίνακα 5.7.

5.3 Μετρήσεις 802.11

Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία για την περίπτωση του ασύρματου 802.11, παίρνουμε τα αποτελέσματα που φαίνονται στους πίνακες 5.2, 5.5, 5.8.

5.4 Μετρήσεις Bluetooth

Λόγω περιορισμένου αριθμού συσκευών Bluetooth, δοκιμάζουμε τις διάφορες περιπτώσεις για την αποστολή και λήψη μεταξύ δύο μόνο συσκευών. Τα αποτελέσματα για το πρωτόκολλο Bluetooth φαίνονται στους πίνακες 5.3, 5.6 και 5.9.

5.5 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής μελετήσαμε την συμπεριφορά του προτύπου JPEG2000 σε σχέση με άλλα γνωστά πρότυπα εικόνων (JPEG, PPM) σε εφαρμογές πολυμέσων πραγματικού χρόνου. Για την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την επίδοση και τις δυνατότητες του κάθε προτύπου δοκιμάστηκαν όλοι δυνατοί τρόποι αποστολής (adaptive framerate, adaptive encoding/decoding και scaler) σε διάφορα κανάλια επικοινωνίας (Ethernet, 802.11 και Bluetooth) και έγιναν μετρήσεις ως προς τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης εικόνων που μπορεί να υποστηρίξει κάθε πρότυπο για κάθε επιλογή και τον αριθμό των λανθασμένων εικόνων στον δέκτη.

Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, εκτελέσαμε κάθε πείραμα για 10 επαναλήψεις και βγάλαμε μέρο όρο των μετρήσεων που πήραμε (το μεγαλύτερο ποσοστό των περιπτώσεων παίρναμε τα ίδια αποτελέσματα οπότε δεν χρειάστηκε να κάνουμε στρογγυλοποίηση στα αποτελέσματα που πήραμε). Για κάθε πείραμα και για τις μετρήσεις κάθε τερματικού, γινόταν αποστολή εικόνων και στα δύο τερματικά ώστε να πάρουμε αποτελέσματα σε περιπτώσεις πλήρους λειτουργίας του συστήματος.

Για την περίπτωση του Ethernet χρησιμοποιήσαμε καλώδια 10Base-T για την σύνδεση του πομπού με τον δρομολογητή και καλώδια 100Base-TX για την σύνδεση του δρομολογητή με τους δέκτες. Τα καλώδια αυτά υποστηρίζουν 10Mbps/sec και 100Mbps/sec αντίστοιχα. Για τον λόγο αυτό, η ολική σύνδεση περιορίζεται στην ταχύτητα της αργότερης σύνδεσης που είναι 10Mbps/sec. Αυτό εξηγεί και την χαμηλότερη επίδοση του Ethernet σε σχέση με την ασύρματη σύνδεση, όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα. Βέβαια, σκόπος της εργασίας δεν είναι η σύγκριση των πρωτοκόλλων Ethernet και 802.11 μεταξύ τους αλλά η συμπεριφορά του συστήματος σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας.

Επίσης, να τονίσουμε ότι η περίπτωση του ασύρματου δικτύου δεν είναι αμιγώς ασύρματη καθώς δεν είχαμε στην διάθεση μας περισσότερες από μία κάρτες ασύρματης σύνδεσης. Ο τρόπος με τον οποίο μετρήσαμε την ασύρματη σύνδεση ήταν ο εξής: τα δεδομένα από τον πομπό αποστέλλονται μέσω ασύρματης κάρτας στον δρομολογητή του δικτύου (router). Στον δρομολογητή του συστήματος είναι συνδεδεμένα και τα άλλα τερματικά μέσω ethernet και δέχονται τα δεδομένα μέσω καλωδίων. Επειδή η ταχύτητα σύνδεσης μέσω καλωδίων Ethernet μεταξύ δεκτών και δρομολογητή είναι υψηλότερη από αυτή του 802.11 (100Mbps/sec έναντι 54Mbps/sec), η συνολική σύνδεση πομπού-δέκτη φράσσεται από την ταχύτητα του ασύρματου δικτύου. Οπότε, τα αποτελέσματα που παίρνουμε δεν μας δίνουν την δυνατότητα να συμπεράνουμε με ασφάλεια για την επίδοση των δύο πρωτοκόλλων αλλά παρέχουν μία πρώτη εικόνα για την επίδοση του συστήματος στα πρωτόκολλα αυτά.

Τέλος, αναφέρουμε ότι στην περίπτωση του Bluetooth δεν μελετήθηκαν οι περιπτώσεις των adaptive encoding/decoding και adaptive framerate καθώς η παραπάνω σύνδεση μεταξύ πομπού-δέκτη για τον έλεγχο της ποιότητας επικοινωνίας επιβάρυνε την επικοινωνία δεδομένων. Τα νέα πρότυπα Bluetooth δεν θα παρουσιάζουν τέτοια προβλήματα.

Αριθμός λαθών: Όπως φαίνεται και από τους πίνακες, πέραν του αριθμού framerate, μετράμε και τον αριθμό λανθασμένων εικόνων (εικόνων που δεν ήταν δυνατή η εμφάνισή τους) ως προς τον συνολικό αριθμό των frames. Ο αριθμός αυτός αυξάνεται συνήθως όταν δοκιμάζουμε το πρότυπο στα όρια λειτουργίας του - όταν δοκιμάσουμε το σύστημα για χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης, ο αριθμός των λαθών μειώνεται δραματικά.

Ο αριθμός των λαθών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες:

1. Υπολογιστική ισχύ
2. Διαθέσιμη μνήμη
3. Πολυπλοκότητα αποκωδικοποίησης
4. Διαθέσιμη χωρητικότητα δικτύου σε συνδυασμό με το μέγεθος των αρχείων εικόνας
5. Διαφορετικές ιδιότητες καναλιού

Επειδή οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν ταυτόχρονα τις προσομοιώσεις και δεν μπορούν να απομονωθούν για να δούμε την συμπεριφορά του συστήματος για κάθε παράγοντα ξεχωριστά, δεν μπορούμε να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα για την ανοχή σε λάθη των προτύπων κωδικοποίησης εικόνας. Έτσι, για παράδειγμα, σε άλλες περιπτώσεις έχουμε λάθη λόγω υψηλής πολυπλοκότητας αποκωδικοποίησης στον δέκτη, σε άλλες περιπτώσεις λόγω συμφόρησης δικτύου, σε άλλες λόγω έλλειψης διαθέσιμης μνήμης ή χαμηλής υπολογιστικής ισχύος. Επίσης, μεταξύ ασύρματου και ενσύρματου δικτύου υπάρχουν διαφορές ως προς την ασφάλεια επικοινωνίας και τα χαρακτηριστικά του καναλιού. Τέλος, επειδή τα λάθη αυτά προκύπτουν κατά την διαδικασία εύρεσης του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης, αντιστοιχούν σε λάθη για διαφορετικά framerate.

5.5.1 Ethernet και 802.11

Adaptive framerate: Στην επιλογή adaptive framerate, μελετάμε την δυνατότητα κάθε προτύπου σε περιπτώσεις εφαρμογών πραγματικού χρόνου. Ξεκινώντας σε κάθε περίπτωση με framerate ίσο με μονάδα, παρατηρούμε τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης που μπορεί να φτάσει το κάθε πρότυπο, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τον αριθμό λανθασμένων εικόνων που φτάνουν στον δέκτη.

Motion-PPM

Το PPM παρουσιάζει χαμηλή επίδοση καθώς, παρά την χαμηλή πολυπλοκότητα αποκωδικοποίησης, δημιουργεί πολύ μεγάλα αρχεία εικόνας με αποτέλεσμα να εμφανίζεται συμφόρηση στο δίκτυο και υπερχείληση των buffers στους δέκτες και να εμποδίζεται η αύξηση του framerate. Αυτό φαίνεται στους πίνακες 5.1 και 5.2. Πιο συγκεκριμένα, για την περίπτωση του Ethernet (πίνακας 5.1) παρατηρούμε χαμηλή επίδοση για υψηλή ανάλυση (640x480 - framerate 1 και 320x240 - framerate 3) ενώ το framerate αυξάνεται δραματικά στην περίπτωση της χαμηλής ανάλυσης (176x144 - framerate 11). Για την περίπτωση του 802.11 (πίνακας 5.2), έχουμε τα

ίδια αποτελέσματα με μία μικρή βελτίωση στην χαμηλότερη ανάλυση λόγω μεγαλύτερου εύρους του ασύρματου καναλιού. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι επειδή τα αρχεία PPM είχαν μέχρι και 900kbytes μέγεθος (για την περίπτωση της ανάλυσης 640x480) ενώ τα αρχεία JPEG και JP2 ήταν 5 με 6 φορές μικρότερα (το μέγεθος των αρχείων δεν είναι σταθερό καθώς κάθε frame έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά και ο encoder εκμεταλλεύεται με διαφορετικό τρόπο τις τοπικότητες της πληροφορίας).

MJPEG

Από τους πίνακες για τις περιπτώσεις Ethernet και 802.11 (πίνακες 5.1 και 5.2), συμπεραίνουμε την υπεροχή του προτύπου JPEG, καθώς σε όλες τις αναλύσεις εικόνες παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης. Πιο συγκεκριμένα, για την περίπτωση του Ethernet (πίνακας 5.1) παρατηρούμε πολύ καλή επίδοση για υψηλή ανάλυση (640x480 - framerate 16 και 320x240 - framerate 21) ενώ το framerate αυξάνεται δραματικά στην περίπτωση της χαμηλής ανάλυσης (176x144 - framerate 27). Για την περίπτωση του 802.11 (πίνακας 5.2), έχουμε την ίδια συμπεριφορά για όλες τις περιπτώσεις με μία βελτίωση στο framerate που κυμαίνεται από 4 έως 6 μονάδες λόγω μεγαλύτερου εύρους του ασύρματου καναλιού. Αυτό οφείλεται στην χαμηλή πολυπλοκότητα αποκωδικοποίησης των εικόνων JPEG στον δέκτη και στην σχετικά υψηλή συμπίεση που προσδίδει ο αλγόριθμος κωδικοποίησης JPEG.

MJPEG2000

Τέλος το πρότυπο JPEG2000 παρουσιάζει χειρότερη επίδοση ως προς το JPEG με διαφορά ως προς τον ρυθμό μετάδοσης που κυμαίνεται από 1 μέχρι 4. Παρά την πολύ υψηλή συμπίεση του JPEG2000 (ορισμένες περιπτώσεις μέχρι 4 φορές μικρότερα αρχεία εικόνες σε σχέση με το JPEG ενώ σε άλλες περιπτώσεις δίνουν το ίδιο μέγεθος αρχείου), η αποκωδικοποίηση των εικόνων στον δέκτη παρουσιάζει υψηλή πολυπλοκότητα με αποτέλεσμα το σύστημα να καθυστερεί και να μην είναι δυνατή η αύξηση του framerate. Πιο συγκεκριμένα, για την περίπτωση του Ethernet (πίνακας 5.1) παρατηρούμε καλή επίδοση για υψηλή ανάλυση, 1 με 3 μονάδες χαμηλότερα από JPEG (640x480 - framerate 13 και 320x240 - framerate 19) ενώ το framerate αυξάνεται δραματικά στην περίπτωση της χαμηλής ανάλυσης (176x144 - framerate 26). Για την περίπτωση του 802.11 (πίνακας 5.2), έχουμε την ίδια συμπεριφορά για όλες τις περιπτώσεις με μία βελτίωση στο framerate που κυμαίνεται από 3 έως 5 μονάδες λόγω μεγαλύτερου εύρους του ασύρματου καναλιού. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την μεγάλη χωρητικότητα στην

μετάδοση δεδομένων που παρουσιάζουν τα κανάλια Ethernet και 802.11 επιτρέπουν το πρότυπο JPEG να υπερτερεί σε σχέση με το JPEG2000.

Adaptive encoding/decoding: Η επιλογή adaptive encoding/decoding επιβεβαιώσε όλα τα παραπάνω, καθώς το σύστημα αποφάσιζε αυτόματα την αλλαγή του κωδικοποιητή /αποκωδικοποιητή ώστε στο τέλος να επιτευχθεί ο μέγιστος ρυθμός αποστολής εικόνων. Τα αποτελέσματα για τα κανάλια επικοινωνίας Ethernet και 802.11 φαίνονται στους πίνακες 5.3 και 5.4 αντίστοιχα. Οι κωδικοποιήσεις που εφαρμόζονται στην επιλογή είναι οι JPEG, JPEG2000 και PPM. Βέβαια να τονίσουμε ότι τα όρια για την απόφαση αλλαγής κωδικοποίησης ορίστηκαν από εμάς βάσει των αποτελεσμάτων που πήραμε παραπάνω. Με την επιλογή αυτή δεν συμπεραίνουμε κάτι παραπάνω αλλά δημιουργούμε ένα αυτοματοποιημένο σύστημα μετάδοσης video που προσαρμόζεται στην εκάστοτε συνθήκες δικτύου (ταχύτητα μετάδοσης, επεξεργαστική ικανότητα τερματικών, κτλ.).

Scaler: Η επιλογή του scaler εφαρμόστηκε μόνο στο πρότυπο JPEG2000 καθώς η ικανότητα του scalability είναι μοναδική για το συγκεκριμένο πρότυπο. Για την επιλογή αυτή χρησιμοποιήθηκε αλληλουχία εικόνων διαφορετική με εκείνη που μελετήθηκε στις περιπτώσεις των adaptive framerate και adaptive encoding/decoding. Η αλληλουχία αυτή κωδικοποιήθηκε διαφορετικές επιλογές κωδικοποίησης, που οδήγησαν σε μεγαλύτερο μέγεθος αρχείων εικόνας σε σχέση με εικόνες των περιπτώσεων adaptive framerate και adaptive encoding/decoding, με αποτέλεσμα η σύγκριση της επίδοσης του scaler με τις άλλες επιλογές να μην είναι δόκιμη.

Με την επιλογή αυτή προσδίδουμε στον χρήστη την δυνατότητα να επιλέγει ο ίδιος την ανάλυση και την ποιότητα που επιθυμεί να έχει η λαμβανόμενη εικόνα ανάλογα με την επεξεργαστική ικανότητα της τερματικής συσκευής. Από τα αποτελέσματα και στα δύο κανάλια επικοινωνίας (Ethernet και 802.11 - πίνακες 5.5 και 5.6 αντίστοιχα), διαπιστώνουμε αύξηση στην ταχύτητα μετάδοσης εικόνων όσο ο χρήστης επιλέγει μικρότερη ανάλυση και χαμηλότερη ποιότητα εικόνας σε σχέση με την πρωτότυπη εικόνα. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε μία σημαντική αύξηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων όταν ζητούμε μικρότερη ανάλυση από την κανονική (διαφορά που κυμαίνεται από 5 μονάδες μέχρι 1 μονάδα - πίνακες 5.5 και 5.6) και ο ρυθμός αύξησης αυτής μειώνεται όσο διαλέγουμε ολοένα μικρότερες αναλύσεις σε σχέση με

την πρωτότυπη εικόνα (για μικρές αναλύσεις οι διαφορές διαδοχικών αναλύσεων είναι μικρές και έχουν μικρή επίδραση στην διαδικασία της αποκωδικοποίησης). Επίσης, παρατηρούμε μία σημαντική αύξηση του ρυθμού μετάδοσης (και άρα μείωση της πολυπλοκότητας αποκωδικοποίησης στον δέκτη) όταν διαλέγουμε χαμηλότερη ποιότητα εικόνας για υψηλές αναλύσεις (διαφορά της τάξεως των 5 και 7 μονάδων - πίνακες 5.5 και 5.6) - αντίθετα η αύξηση αυτή για τις χαμηλές αναλύσεις είναι σχετικά μικρή γιατί η ποσότητα πληροφορίας που προστίθεται για την αναβάθμιση της ποιότητας μίας χαμηλής ανάλυσης είναι πολύ μικρή. Για παράδειγμα, παρατηρούμε μία βελτίωση κατά δύο μονάδες όταν επιλέγουμε χαμηλή ποιότητα απεικόνισης έναντι μέτριας ποιότητας απεικόνιση για ανάλυση 320x240 ενώ έχουμε βελτίωση κατά 6 μονάδες όταν επιλέγουμε απεικόνιση μέτριας ποιότητας έναντι υψηλής για την ίδια περίπτωση - πίνακες 5.5 και 5.6. Σε γενικές γραμμές, η επιλογή του scaler δίνει την δυνατότητα στους χρήστες συσκευών με χαμηλή ανάλυση απεικόνισης και χαμηλής ισχύος να επιλέξουν την ποιότητα της υπηρεσίας που τους συμφέρει, κερδίζοντας σε ρυθμό μετάδοσης.

5.5.2 Bluetooth

Η περίπτωση του Bluetooth μελετάται ξεχωριστά καθώς αλλάζουν τα αποτελέσματα σύγκρισης των προτύπων. Αρχικά να τονιστεί ότι δεν μελετήθηκε η περίπτωση του adaptive encoding/decoding καθώς η επιπρόσθετη επικοινωνία μεταξύ των τερματικών για την επιλογή του προτύπου, υποβάθμιζε την ποιότητα επικοινωνίας.

Best framerate: Για την περίπτωση του Bluetooth και για τα διάφορα πρότυπα κωδικοποίησης εικόνας, δοκιμάστηκαν όλοι οι πιθανοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων ώστε να διαπιστώσουμε την καλύτερη επίδοση του πρωτοκόλλου για κάθε πρότυπο ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα που πήραμε φαίνονται στον πίνακα 5.7 και περιγράφονται πιο αναλυτικά παρακάτω.

Motion-PPM

Το PPM παρουσιάζει πάρα πολύ χαμηλή επίδοση καθώς, παρά την χαμηλή πολυπλοκότητα αποκωδικοποίησης, τα μεγάλα αρχεία εικόνας γεμίζουν την, ελάχιστη για εφαρμογές πολυμέσων, διαθέσιμη χωρητικότητα του πρωτοκόλλου με αποτέλεσμα να διαρκεί αρκετά δευτερόλεπτα η αποστολή μίας και μόνο εικόνας (κυρίως για την μεγαλύτερη ανάλυση). Πιο συγκεκριμένα, στον πίνακα 5.7, παρατηρούμε εξαιρετικά χαμηλή επίδοση για όλες τις αναλύσεις (640x480 - framerate

Πίνακας 5.1: Adaptive framerate για την περίπτωση Ethernet

Τερματικό	Ανάλυση Video	Codec	Framerate	Αριθμός Λαθών/Εικόνων
STRAPATSIREN	640x480	PPM	1	101/375
		JPEG	16	7/375
		JP2	13	34/375
	320x240	PPM	3	13/259
		JPEG	21	8/518
		JP2	19	42/518
	176x144	PPM	11	11/374
		JPEG	27	6/374
		JP2	26	9/374
GESTALD	640x480	PPM	1	19/375
		JPEG	16	6/375
		JP2	15	22/375
	320x240	PPM	3	6/259
		JPEG	22	9/518
		JP2	20	38/518
	176x144	PPM	11	10/374
		JPEG	27	5/374
		JP2	26	4/374

Πίνακας 5.2: Adaptive framerate για την περίπτωση 802.11

Τερματικό	Ανάλυση Video	Codec	Framerate	Αριθμός Λαθών/Εικόνων
STRAPATSIREN	640x480	PPM	1	120/375
		JPEG	20	15/375
		JP2	16	27/375
	320x240	PPM	3	10/259
		JPEG	28	7/518
		JP2	25	43/518
	176x144	PPM	14	10/374
		JPEG	31	10/374
GESTALD	640x480	JP2	29	12/374
		PPM	1	22/375
		JPEG	20	14/375
	320x240	JP2	18	22/375
		PPM	3	17/259
		JPEG	28	12/518
	176x144	JP2	26	39/518
		PPM	14	9/374
		JPEG	32	8/374
		JP2	32	8/374

Πίνακας 5.3: Adaptive encoding/decoding για την περίπτωση Ethernet

Τερματικό	Ανάλυση Video	Framerate
STRAPATSIREN	640x480	15
	320x240	20
	176x144	26
GESTALD	640x480	16
	320x240	21
	176x144	27

Πίνακας 5.4: Adaptive encoding/decoding για την περίπτωση 802.11

Τερματικό	Ανάλυση Video	Framerate
STRAPATSIREN	640x480	19
	320x240	27
	176x144	31
GESTALD	640x480	20
	320x240	28
	176x144	31

Πίνακας 5.5: Scaler για την περίπτωση Ethernet

Τερματικό	Ανάλυση Video	Ποιότητα	Framerate	Αριθμός Λαθών/Εικόνων
STRAPATSIREN	320x240	Υψηλή	7	31/518
		Μέτρια	13	19/518
		Χαμηλή	15	35/518
	160x120	Υψηλή	12	42/518
		Μέτρια	15	56/518
		Χαμηλή	16	13/518
		Υψηλή	15	39/518
		Μέτρια	17	25/518
		Χαμηλή	18	22/518
GESTALD	320x240	Υψηλή	8	9/518
		Μέτρια	14	47/518
		Χαμηλή	16	26/518
	160x120	Υψηλή	14	27/518
		Μέτρια	15	54/518
		Χαμηλή	17	28/518
		Υψηλή	16	37/518
		Μέτρια	18	50/518
		Χαμηλή	18	42/518

Πίνακας 5.6: Scaler για την περίπτωση 802.11

Τερματικό	Ανάλυση Video	Ποιότητα	Framerate	Αριθμός Λαθών/Εικόνων
STRAPATSIREN	320x240	Υψηλή	8	39/518
		Μέτρια	14	37/518
		Χαμηλή	15	53/518
	160x120	Υψηλή	12	34/518
		Μέτρια	16	58/518
		Χαμηλή	16	30/518
	40x30	Υψηλή	15	22/518
		Μέτρια	17	41/518
		Χαμηλή	17	31/518
GESTALD	320x240	Υψηλή	9	28/518
		Μέτρια	15	49/518
		Χαμηλή	16	32/518
	160x120	Υψηλή	14	40/518
		Μέτρια	17	61/518
		Χαμηλή	17	36/518
	40x30	Υψηλή	15	38/518
		Μέτρια	17	39/518
		Χαμηλή	18	37/518

0.05, 320x240 - framerate 0.2 και 176x144 - framerate 0.625). Για τον λόγο αυτό, το πρότυπο PPM πετυχαίνει πολύ χαμηλό ρυθμό μετάδοσης (σε υψηλές αναλύσεις, πολύ χαμηλότερο της μονάδας) και ουσιαστικά δεν μπορούμε να μιλάμε για μετάδοση κινούμενης εικόνας καθώς δεν δίνεται καθόλου η εντύπωση της κίνησης.

MJPEG

Από τους πίνακες, συμπεραίνουμε την υπεροχή του προτύπου JPEG έναντι του PPM, καθώς σε όλες τις αναλύσεις εικόνας παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης. Πιο συγκεκριμένα, στον πίνακα 5.7, παρατηρούμε χαμηλή επίδοση για όλες τις αναλύσεις (640x480 - framerate 2, 320x240 - framerate 4 και 176x144 - framerate 5). Αυτό οφείλεται στην δυνατότητα υψηλότερης συμπίεσης των εικόνων JPEG που προσδίδει ο αλγόριθμος κωδικοποίησης κατά την λήψη. Και σε αυτή την περίπτωση πάντως, ο ρυθμός μετάδοσης φράσσεται από το μέγεθος των αρχείων (κυρίως για υψηλές αναλύσεις).

MJPEG2000

Τέλος, για όλες τις δυνατές αναλύσεις, διαπιστώσαμε μία υπεροχή του προτύπου JPEG2000 έναντι των JPEG και PPM. Πιο συγκεκριμένα, το JPEG2000 ξεπερνάει το JPEG κατά διπλάσιο framerate κάθε φορά (640x480 - framerate 4 έναντι 2 του JPEG, 320x240 - framerate 8 έναντι 4 του JPEG και 176x144 - framerate 12 έναντι 5 του JPEG). Η διαφορά αυτή οφείλεται στην ικανότητα υψηλής συμπίεσης του αλγορίθμου κωδικοποίησης JPEG2000 σε σχέση με το JPEG που, σε συνδυασμό με την χαμηλή χωρητικότητα δεδομένων του πρωτοκόλλου Bluetooth, επιτρέπει την αποστολή εικόνων με μεγαλύτερο ρυθμό. Επομένως, στην περίπτωση που η χωρητικότητα του καναλιού είναι ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει την μετάδοση, το JPEG2000 ξεπερνά σε απόδοση τα JPEG και PPM.

Scaler: Στην περίπτωση του scaler (πίνακας 5.8) μελετήθηκε η περίπτωση του 176x144 video σε κωδικοποίηση JPEG2000 λόγω χαμηλής χωρητικότητας δεδομένων του καναλιού επικοινωνίας. Επειδή ο τρόπος που λειτουργεί ο scaler δεν μειώνει το μέγεθος των αρχείων στο δίκτυο αλλά την πολυπλοκότητα αποκωδικοποίησης στον δέκτη και επειδή η χωρητικότητα του καναλιού Bluetooth είναι αυτή που καθορίζει τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης, σε όλες τις αναλύσεις και σε όλα τα επίπεδα ποιότητας ο ρυθμός μετάδοσης παραμένει σταθερός.

Πίνακας 5.7: Framerates για την περίπτωση Bluetooth

Τερματικό	Ανάλυση Video	Codec	Framerate	Αριθμός Λαθών/Εικόνων
STRAPATSIREN	640x480	PPM	0.05	0/518
		JPEG	2	0/518
		JP2	4	0/518
	320x240	PPM	0.2	0/518
		JPEG	4	0/518
		JP2	8	0/518
	176x144	PPM	0.625	0/518
		JPEG	5	0/518
		JP2	12	0/374

Πίνακας 5.8: Scaler για την περίπτωση Bluetooth

Τερματικό	Ανάλυση Video	Ποιότητα	Framerate	Αριθμός Λαθών/Εικόνων
STRAPATSIREN	176x144	Υψηλή	12	0/379
		Μέτρια	12	0/379
		Χαμηλή	12	0/379
	88x72	Υψηλή	12	0/379
		Μέτρια	12	0/379
		Χαμηλή	12	0/379
	44x36	Υψηλή	12	0/379
		Μέτρια	12	0/379
		Χαμηλή	12	0/379

6

Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία

6.1 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής μελετήσαμε το πρότυπο JPEG2000 για την χρήση του σε εφαρμογές real-time αποστολής πολυμέσων. Πριν την εφαρμογή του JPEG2000 στο σύστημα μετάδοσης video, μελετήσαμε τις δυνατότητες που προσφέρει το πρότυπο και συγκρίναμε τις επιδόσεις του σε διάφορους τομείς με άλλα πρότυπα κωδικοποίησης εικόνας και video.

Το JPEG2000 καταφέρνει να συνδυάζει τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα της συμπίεσης εικόνας παρέχοντας ένα ενωποιημένο εργαλείο τόσο για lossless όσο και lossy συμπίεση/αποσυμπίεση από την ίδια ακολουθία δεδομένων και χρησιμοποιώντας τον ίδιο αλγόριθμο. Η αρχιτεκτονική του αλγορίθμου εκτός της ικανότητας συμπίεσης σε οσοδήποτε χαμηλό bit-rate, παρέχει δυνατότητες που το κάνουν κατάλληλο μέσο για μεταφορά πολυμέσων ακόμα και σε θορυβώδη ασύρματα δίκτυα. Άλλα ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά είναι τα: Region-of-Interest, scalability, συμπίεση έγχρωμων και δυαδικών εικόνων, πρόσβαση σε οποιοδήποτε σημείο της εικόνας και επεξεργασία αυτού, κτλ.

Από την σύγκριση που κάναμε μέσω προσομοιώσεων μεταξύ του JPEG2000 με JPEG, JPEG-LS, διαπιστώνουμε βελτίωση σε διάφορους τομείς της επεξεργασίας εικόνας. Το JPEG2000 παρέχει καλύτερη ποιότητα εικόνας, μεγαλύτερη συμπίεση και ποικιλία δυνατοτήτων αλλά και υψηλότερη πολυπλοκότητα. Επίσης, μέσω προσομοιώσεων, μελετήσαμε το πρότυπο JPWL και διαπιστώσαμε μία αξιοσημείωτη βελτίωση της ποιότητας μετάδοσης σε σχέση με την μετάδοση χωρίς προστασία που κυμαίνεται από 1dB μέχρι 6dB, ανάλογα με την περίπτωση που μελετάται

και το κανάλι μετάδοσης.

Στην σύγκριση με το πρότυπο H.264/AVC MPEG-4 Part 10, παρατηρήσαμε από τα αποτελέσματα μία σημαντική υπεροχή του προτύπου H.264/AVC σε όλες τις περιπτώσεις αλλά παράλληλα παρατηρήσαμε μία αυξημένη πολυπλοκότητα του H.264/AVC σε σχέση με το JPEG2000 όπου δεν συστήνεται σε περιπτώσεις live streaming εφαρμογών.

Στην συνέχεια, υλοποιήσαμε ένα σύστημα μετάδοσης video βασισμένο στο JPEG2000 για την επικοινωνία μέσω καναλιών Ethernet, 802.11 και Bluetooth. Το σύστημα εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες του JPEG2000 για σταδιακή μετάδοση και δίνει την δυνατότητα στον δέκτη να διαλέξει την ανάλυση, ποιότητα και χρωματική απόχρωση της εικόνας ανάλογα με τις δυνατότητες της συσκευής του δέκτη (scaler). Επίσης, αποφασίζει αυτόματα τον αλγόριθμο αποκωδικοποίησης στον δέκτη ανάλογα με τις συνθήκες του δικτύου και την επεξεργαστική ισχύ του δέκτη μέσω της επιλογής του adaptive encoding/decoding.

Από τις μετρήσεις που πήραμε, συμπεραίνουμε τα εξής:

- Στις περιπτώσεις που απαιτείται μόνο μία συγκεκριμένη ανάλυση και ποιότητα εικόνας, το πρότυπο JPEG υπερέχει ελάχιστα του προτύπου JPEG2000 για τις περιπτώσεις των δικτύων Ethernet και 802.11 λόγω υψηλής χωρητικότητας δικτύου και χαμηλής πολυπλοκότητας αποκωδικοποίησης του αλγορίθμου JPEG. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το JPEG2000 αποτελεί μία πολύ καλή εναλλακτική λύση με μεγαλύτερη γκάμα δυνατοτήτων. Αντίθετα, στην περίπτωση του Bluetooth που παρουσιάζει χαμηλή χωρητικότητα, το JPEG2000 παρορσιάζει καλύτερη επίδοση έναντι των άλλων προτύπων λόγω υψηλής συμπίεσης του αλγορίθμου JPEG2000 που έχει ως αποτέλεσμα μικρά αρχεία εικόνας και άρα μεγαλύτερο ρυθμό framerate.
- Στις περιπτώσεις που υπάρχει ετερογένεια στις δυνατότητες των τερματικών του δικτύου (επεξεργαστική ισχύς, ανάλυση οθόνης, διαθέσιμη μνήμη), το JPEG2000 είναι το μόνο πρότυπο που παρέχει το χαρακτηριστικό του scalability και δίνει στον χρήστη πληθώρα επιλογών για την λαμβανόμενη εικόνα (ανάλυση, ποιότητα).

Εν κατακλείδι, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το πρότυπο JPEG2000 παρέχει δυνατότητες και χαρακτηριστικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές όπου, σε συνδυασμό με τα υπάρχοντα πρότυπα εικόνας, να επιτευχθεί καλύτερη απόδοση ως προς την ποιότητα εικόνας,

την ποιότητα της σύνδεσης (QoS) κτλ. ή σε εφαρμογές που η αντικατάσταση των διαφόρων προτύπων εικόνας από το JPEG2000 να αυξήσει την απόδοση του συστήματος.

6.2 Μελλοντική Εργασία

Η εργασία επικεντρώθηκε στην αποστολή εικόνων JPEG2000 μεταξύ συγκεκριμένου αριθμού χρηστών και για συγκεκριμένους τρόπους αποστολής. Μία επέκταση της εργασίας αυτής θα μπορούσε να είναι η μελέτη περισσότερων προτύπων εικόνας, περισσότερων τερματικών (διαφορετικής υπολογιστικής ισχύος), περισσότερων Bluetooth και 802.11 συσκευών και περισσότερων τρόπων αποστολής. Ως προς τον τρόπο αποστολής, μία επέκταση του scaler θα μπορούσε να είναι η αποστολή μόνο των τμημάτων της εικόνας που επιθυμεί ο χρήστης, χωρίς να δημιουργείται (άδεια) συμφόρηση στο δίκτυο.

Ενδιαφέρουσα επέκταση της εργασίας είναι η σύνδεση του συστήματος με κάμερα λήψης εικόνων και η μελέτη του συστήματος σε λήψη εικόνων πραγματικού χρόνου.

Όπως γίνεται φανερό και από τη περιγραφή των βιβλιοθηκών που χρησιμοποιήθηκαν, το σύστημα βασίζεται εξ'ολοκλήρου σε λογισμικό και δεν εκμεταλλεύεται κάποιον συγκεκριμένο ψηφιακό επεξεργαστή σήματος (DSP). Μία ενδιαφέρουσα επέκταση της εργασίας είναι η σύγκριση της υλοποίησης βασισμένη σε λογισμικό με την υλοποίηση που χρησιμοποιεί βοήθεια hardware. Επίσης, βασισμένοι σε ήδη υπάρχουσες υλοποιήσεις υλικού, μπορεί να γίνει μία μελέτη για την βελτιστοποίηση της επιτάχυνσης κωδικοποίησης/αποκωδικοποίησης εικόνων JPEG2000 μέσω hardware.

Στα πλαίσια της εργασίας μεετήθηκε η αποστολή απλών εικόνων από τον πομπό στον δέκτη χωρίς την εκμετάλλευση των δυνατοτήτων που παρέχει το πρότυπο JPEG2000. Προέκταση της εργασίας αυτής αποτελεί η δημιουργία ενός διαδραστικού περιβάλλοντος το οποίο θα παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα να ορίσει τις σημαντικές περιοχές της λαμβανόμενης εικόνας, εκμεταλλεύοντας έτσι την ιδιότητα του ROI.

Μέρος της εργασίας ήταν η δημιουργία του JPEG2000 Payload για την μετάδοση μέσω πρωτοκόλλου RTP. Πέραν της υλοποίησης, δεν έγινε εκμετάλλευση των πεδίων του payload για την βελτίωση της ποιότητας επικοινωνίας. Μία προέκταση της δουλειάς αυτής είναι η εκμετάλλευση της πληροφορίας αυτής για την αύξηση του QoS.

Ως προς το πρωτόκολλο επικοινωνίας, για την περίπτωση Bluetooth υλοποιήθηκε μία απλή

μετάδοση δεδομένων μεταξύ δύο τερματικών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον αποτελεί η έρευνα για την υλοποίηση συστήματος video πραγματικού χρόνου για περισσότερες συσκευές Bluetooth που σχηματίζουν τοπικά δίκτυα (piconets) και η αντιμετώπιση προβλημάτων ταυτόχρονης μετάδοσης, δρομολόγησης δεδομένων, σύνδεσης τοπικών δικτύων μεταξύ τους, κτλ. Περαιτέρω μελέτη μπορεί να γίνει προς την κατεύθυνση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (Wireless Sensor Networks) ως προς το πρωτόκολλο επικοινωνίας (Bluetooth, Wibree, κτλ), ως προς την ενέργεια κατανάλωσης, κτλ.

Βιβλιογραφία

- [1] T. Acharya and P. Tsai, *JPEG2000 Standard for Image Compression: Concepts, Algorithms and VLSI Architectures*, Wiley, pages 137-159, 213-225, 2005.
- [2] G. Tsagkatakis, *Real-time Transmission of Video with Error Correction Algorithm*, TUC, 2005.
- [3] A. Skodras et al, *JPEG2000: The Upcoming Still Image Compression Standard*, IEEE Signal Processing Letters, 1999.
- [4] D. Santa Cruz and T. Ebrahimi, *An Analytical Study of JPEG2000 Functionalities*, International Conference on Image Processing, 2000.
- [5] D. Santa Cruz et al, *JPEG2000 still image coding versus other standards*, SPIE, 2000.
- [6] S. Battiato et al, *Analysis and Characterization of JPEG2000 Standard for Imaging Devices*, IEEE Vol.49, 2003.
- [7] F. Ebrahimi et al, *JPEG vs. JPEG2000: An Objective Comparison of Image Encoding Quality*, Proceedings of SPIE, 2004.
- [8] M. Adams, *JasPer Software Reference Manual (Version 1.900)*, 2006.
- [9] JJ2000: An Implementation of the JPEG2000 standard in Java, <http://jj2000.epfl.ch/index.html>.
- [10] OpenJPEG, <http://www.openjpeg.org>.
- [11] Kakadu Software, <http://www.kakadusoftware.com>.
- [12] HP Labs LOCO-I/JPEG-LS Home Page, <http://www.hpl.hp.com/loco/>.

- [13] The Independent JPEG Group JPEG Implementation, <http://www.ijg.org/>.
- [14] The Lossless JPEG codec of Cornell University, <ftp://ftp.cs.cornell.edu/pub/multimed/>.
- [15] G. Pearson et al, *An Evaluation of Motion JPEG 2000 for Video Archiving*, Proc. Archiving, 2005.
- [16] D. Marpe et al, *Performance evaluation of Motion-JPEG2000 in comparison with H.264/AVC operated in pure intra coding mode*, Proc. Archiving, 2004.
- [17] J. Mohr et al, *Motion JPEG2000 for High Quality Video Systems*, IEEE Transactions on Computer Electronics Vol. 49, 2003.
- [18] A. Al et al, *Quality and Complexity Comparison of H.264 Intra Mode with JPEG2000 and JPEG*, ICIP Vol.1, 2004.
- [19] G. Camperi and V. Picco, *H.264/AVC intra coding and JPEG2000 Comparison*, Proceedings of SPIE, 2008.
- [20] H. Man et al, *Performance Analysis of the JPEG2000 Image Coding Standard*, Multimedia Tools and Applications Vol.1, Springer Netherlands, 2005.
- [21] Vcodex, *An Overview of H.264 Advanced Video Coding*, White Paper, Vcodex, 2007.
- [22] A. Tourapis et al, *H.264/MPEG-4 AVC Reference Software Manual*, White Paper, 2007.
- [23] M. Agueh et al, *A wireless Motion JPEG2000 video streaming scheme with a priori channel coding*, European Wireless 2007 (EW-2007), 2007.
- [24] M. Grangetto et al, *Error Sensitivity Data Structures and Retransmission Strategies for Robust JPEG2000 Wireless Imaging*, IEEE Transactions on Computer Electronics Vol.49, 2003.
- [25] D. Nicholson et al, *JPEG2000 Backward Compatible Error Protection with Reed-Solomon Codes*, IEEE Transactions on Computer Electronics Vol.49, 2003.
- [26] F. Dufaux et al, *JPWL - an Extension of JPEG2000 for Wireless Imaging*, Circuits and Systems ICSAS 2006 IEEE Proceedings, 2006.
- [27] A. Natsu and D. Taubman, *Unequal Protection of JPEG2000 Code-Streams in Wireless Channels*, IEEE Global Telecommunications Conference Vol.1, 2002.

- [28] M. Mushkin and I. Bar-David, *Capacity and Coding for the Gilbert-Elliot Channels*, IEEE Transactions on Information Theory Vol.35, 1989.
- [29] J. Walrand, *Δίκτυα Επικοινωνιών*, Wiley, pages 122-131, 1997.
- [30] J. Kurose and K. Ross, *Δικτύωση Υπολογιστών*, Wiley, pages 555-560, 2003.
- [31] H. Schulzrinne et al, *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*, RFC3550 White Paper, 2003.
- [32] S. Futemma et al, *RTP Payload Format for JPEG 2000 Video Streams*, Internet-Draft, 2005.
- [33] A. Leung et al, *Payload Format for JPEG 2000 Video: Extensions for Scalability and Main Header Recovery*, Internet-Draft, 2008.
- [34] F. Frescura et al, *JPEG2000 and MJPEG2000 Transmission in 802.11 Wireless Local Area Networks*, IEEE Transactions on Computer Electronics Vol.49, 2003.
- [35] Syngress, *Wired versus Wireless and Wireless-aware LANs*, Syngress, 2007.
- [36] A. Huang and L. Rudolph, *Bluetooth Essentials for Programmers*, Cambrigde, pages 67-111, 2007.
- [37] Μανόλης Σταματογιαννάκης, *Αρχιτεκτονικές δικτύων προσωπικής περιοχής βασισμένων στην τεχνολογία Bluetooth*, Πανεπιστήμιο Κρήτης, 2003.
- [38] J. Liesenborgs, *JRTPLIB 3.5.2: An object-oriented RTP implementation*, 2006.
- [39] ImageMagick, <http://www.imagemagick.org/script/index.php>.
- [40] X.org X11, <http://www.x.org/wiki/>.
- [41] Bluez Official Linux Bluetooth protocol stack, <http://www.bluez.org/>
- [42] E. Itakura et al, *JPEG2000 Based Real-Time Scalable Video Communication System over the Internet*, IEEE Consumer Communications and Networking ConferenceS, 2005.
- [43] C. Tham, Y. Jiang and Y. Gan, *Layered Coding for a Scalable Video Delivery System*, 2001.
- [44] R. Qiao et al, *Motion-JPEG2000 Stream Scaling for Multi-Resolution Video Transmission*, IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems, 2005.

- [45] J. Xin et al, *Multi-user Motion JPEG2000 over wireless LAN: run-time performance-energy optimization with application-aware cross-layer scheduling*, White Paper, Journal of Tokyo University, 2005.
- [46] S. Wee and J. Apostolopoulos, *Secure Scalable Streaming and Secure Transcoding with JPEG-2000*, IEEE Conference on Image Processing Vol.1, 2003.