

# Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης



Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών  
Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων



**Πτυχιακή Εργασία**

**Τίτλος: Κωδικοποίηση ιατρικών εικόνων με το πρότυπο  
JPEG-2000**

**Νικόλαος Ασπραδάκης (ΑΜ: 1101)**

**Επιβλέπων καθηγητής: Τριανταφυλλίδης Γεώργιος**

# Abstract

---

The purpose of this thesis is to investigate the possible existence of primacy of the Jpeg 2000 image compression standard, over the widespread (Jpeg), mainly for medical image compression (X-ray, Ultrasound) with the quote of the comparison results through the use of PSNR (Peak Signal - to - Noise Ratio). Specifically, there will be an analysis of the architecture and structures of the two compression standards separately for each, in the first two chapters. We will discuss about the coding of images and the compression quality.

In the third and final chapter, we will proceed to the essence of this thesis, which is the one to one comparison of the two standards, on natural but mostly on medical images. In this chapter, we will show how effective the compression of medical images is, in relation to natural ones and how high compression level can be achieved. Using the applications **Matlab R2009a**, **Morgan JPEG Toolbox V2**, **Irfanview v4.25**, we will try at first, in several random levels of compression, registering the optical and the "experimental" result (PSNR) and then we will attempt the greatest compression ratio on the medical and natural images that have been studied. Here, also using the PSN Ratio as mentioned above and using the application **Matlab r2009a**, we will be able to present with accuracy the difference in quality between the compressed images.

# Περίληψη

---

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνήσουμε πιθανή ύπαρξη υπεροχής του προτύπου συμπίεσης εικόνων (Jpeg 2000), έναντι του ευρέως διαδεδομένου (Jpeg), κυρίως στη συμπίεση ιατρικών εικόνων (X-ray, Ultrasound) με την παράθεση αποτελεσμάτων σύγκρισης, μέσω της χρήσης του δείκτη PSNR (Peak Signal - to - Noise Ratio). Συγκεκριμένα, στα πρώτα δύο κεφάλαια, θα γίνει μια ανάλυση των αρχιτεκτονικών και των δομών των δύο προτύπων συμπίεσης, χωριστά για το κάθε ένα. Θα μιλήσουμε για την κωδικοποίηση των εικόνων και για την ποιότητα συμπίεσης τους.

Στο τρίτο και τελευταίο κεφάλαιο, θα προχωρήσουμε στην ουσία της εργασίας, η οποία είναι η ένα προς ένα σύγκριση των δύο προτύπων, σε φυσικές αλλά κυρίως σε ιατρικές εικόνες. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, θα δείξουμε πόσο αποτελεσματικότερη είναι η συμπίεση για τις ιατρικές εικόνες σε σχέση με τις φυσικές και σε πόσο υψηλό βαθμό μπορεί να φτάσει αυτή η συμπίεση. Με τη χρήση των εφαρμογών **Matlab R2009a**, **Morgan JPEG Toolbox V2**, **Irfanview v4.25**, θα επιχειρήσουμε αρχικά, διάφορους τυχαίους βαθμούς συμπίεσης, καταγράφοντας το οπτικό αλλά και το “πειραματικό” αποτέλεσμα (PSNR) και στη συνέχεια, θα επιχειρήσουμε τους μέγιστους βαθμούς συμπίεσης των προς μελέτη, ιατρικών και φυσικών εικόνων. Κι εδώ με τη βοήθεια του δείκτη PSNR που αναφέραμε παραπάνω και τη χρήση της εφαρμογής **Matlab r2009a**, θα μπορούμε να παραθέσουμε με ακρίβεια τη διαφορά ποιότητας, μεταξύ των συμπιεσμένων εικόνων.

## Περιεχόμενα

Πίνακας Σχημάτων -Εικόνων - Πινάκων .....	6
1 JPEG .....	9
1.1) Η Γέννηση του Προτύπου JPEG.....	9
1.2) Αρχιτεκτονική Του Προτύπου JPEG .....	9
1.3) Βήματα Επεξεργασίας για την DCT Κωδικοποίηση .....	9
1.4) Κβάντιση .....	12
1.5) DC Κωδικοποίηση & Ακολουθία Zig-Zag.....	12
1.6) Κωδικοποίηση Εντροπίας .....	14
1.7) Ποιότητα συμπίεσης και εικόνων .....	14
1.8) Βήματα Επεξεργασίας για Μη Απολεστική (Lossless) Κωδικοποίηση με Εκτίμηση.....	15
1.9) Εικόνες Πολλαπλών Components.....	16
1.10) Τύποι Πηγαίας Εικόνας.....	17
1.11) Διάταξη κωδικοποίησης και Interleaving .....	18
1.12) Πολλαπλοί Πίνακες.....	19
1.13) Βασικός και άλλοι DCT ακολουθιακοί codecs.....	20
1.14) Προοδευτική Κατάσταση Λειτουργίας.....	21
1.15) Ιεραρχική κατάσταση λειτουργίας.....	23
Συμπεράσματα .....	23
2 JPEG 2000 .....	24
2.1) Η Γέννηση του Προτύπου .....	24
2.2 Ζητούμενα Χαρακτηριστικά .....	24
2.3 Η Δομή Του Προτύπου .....	26
2.4 Βήματα Επεξεργασίας για DWT Κωδικοποίηση .....	27
2.4.1 Το Tiling της Εικόνας.....	27
2.4.2 DC Μετατόπιση .....	27
2.4.3 Μετασχηματισμός Component.....	28
2.4.4 Διακριτός Μετασχηματισμός Κυματιδίου (wavelet transformation).....	29
2.4.5 Κβάντιση.....	33
2.4.6 Κωδικοποίηση Εντροπίας.....	34
2.5 Μορφοποίηση της ακολουθίας bit .....	35
2.5.1 Precincts & Code Blocks .....	35
2.5.2 Πακέτα & Layers .....	37
2.6 Αξιοπρόσεκτα χαρακτηριστικά .....	38

2.6.1 ROI .....	38
2.6.2 Scalability.....	42
2.6.3 Ανθεκτικότητα σε Σφάλματα.....	44
2.6.4 Βάρη Οπτικής Συχνότητας.....	44
2.6.5 IPR Δυνατότητες .....	45
2.7 Συμπεράσματα .....	45
3 Σύγκριση JPEG - JPEG 2000 .....	46
3.1 Σύγκριση JPEG - JPEG 2000 .....	46
3.2 Σύγκριση των δύο προτύπων στην πράξη .....	49
3.3 Συνεισφορά της Εργασίας .....	73
Οι εφαρμογές του JPEG2000.....	73
ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....	75

## Πίνακας Σχημάτων -Εικόνων - Πινάκων

<i>Σχήμα 1.1 Βήματα Επεξεργασίας DCT Κωδικοποιητή</i> .....	10
<i>Σχήμα 1.2 Βήματα Επεξεργασίας DCT Αποκωδικοποιητή</i> .....	10
<i>Σχήμα 1.3 Διαφορική DC Κωδικοποίηση</i> .....	13
<i>Σχήμα 1.4 Zig-Zag Ακολουθία</i> .....	13
<i>Σχήμα 1.5 Βήματα Επεξεργασίας Κωδικοποιητή Χωρίς Απώλειες</i> .....	15
<i>Σχήμα 1.6 Εκτίμηση 3 Γειτονικών Δειγμάτων</i> .....	16
<i>Σχήμα 1.7 JPEG Μοντέλο Πηγαίας Εικόνας</i> .....	17
<i>Σχήμα 1.8 Σειρά Non-Interleaved Δεδομένων</i> .....	18
<i>Σχήμα 1.9 Component-Interleave και Table Switching Control</i> .....	19
<i>Πίνακας 1.2 Βασική Κωδικοποίηση Εντροπίας</i> .....	20
<i>Σχήμα 1.10 Μέθοδοι Προοδευτικής Κωδικοποίησης: Φασματική Επιλογή Και Διαδοχική Προσέγγιση</i> .....	22
<i>Σχήμα 2.1 Δομή του Προτύπου JPEG 2000</i> .....	26
<i>Σχήμα 2.2 Βήματα Επεξεργασίας για DWT Κωδικοποίηση</i> .....	28
<i>Σχήμα 2.3 Μετασχηματισμός Εικόνας Πολλαπλών Components</i> .....	28
<i>Εικόνα 2.1 Η αποσύνθεση της εικόνας Lena σε υποζώνες</i> .....	30
<i>Σχήμα 2.5 Το φασματικό περιεχόμενο της εικόνας Lena</i> .....	30
<i>Πίνακας 2.1 Συντελεστές Φίλτρου Le Gall</i> .....	31
<i>Πίνακας 2.2 Συντελεστές Φίλτρου Daubechies</i> .....	32
<i>Σχήμα 2.6 Επεκταμένο Σήμα</i> .....	32
<i>Σχήμα 2.7 Ο ευθύς μετασχηματισμός κυματιδίου με την μέθοδο της ανύψωσης</i> .....	33
<i>Σχήμα 2.8 Precincts και Code Blocks</i> .....	35
<i>Σχήμα 2.9 Σειρά Κωδικοποίησης</i> .....	36
<i>Σχήμα 2.10 Πακέτα και Layers</i> .....	38
<i>Εικόνα 2.2 Εφαρμογή μάσκας ROI</i> .....	39
<i>Σχήμα 2.12 Κλιμάκωση</i> .....	39
<i>Σχήμα 2.13 Δημιουργία μάσκας ROI στον χώρο του κυματιδίου</i> .....	40
<i>Εικόνα 2.3 Παράδειγμα Χωρικής Scalability</i> .....	43

<i>Πίνακας 3.1 Υλοποιήσεις λογισμικού</i> .....	46
<i>Σχήμα 3.1 Απόδοση Συμπίεσης των Εξεταζόμενων Προτύπων</i> .....	47
<i>Εικόνα 3.1 Συμπιεσμένη Εικόνα “ski” στα 0.25 b/p με (a) JPEG και (b) JPEG 2000</i> .....	48
<i>Lena</i> .....	49
<i>Zappa</i> .....	50
<i>Michelle’s X-Ray</i> .....	50
<i>Spine</i> .....	51
<i>Rainbow</i> .....	53
<i>Chest X-Ray</i> .....	54
<i>Guitar</i> .....	55
<i>3D Ultrasound Baby Face</i> .....	56
<i>Eyebrow</i> .....	57
<i>3D Ultrasound Baby II</i> .....	58
<i>Fish</i> .....	59
<i>Broken Shin X-Ray</i> .....	60
<i>High Compression</i> .....	61
<i>Broken Shin X-Ray II</i> .....	61
<i>Palm X-Ray</i> .....	62
<i>Wrist X-Ray</i> .....	63
<i>3D Ultrasound Baby Face</i> .....	64
<i>2D Ultrasound</i> .....	65
<i>3D Ultrasound Baby III</i> .....	66
<i>Chest X-Ray</i> .....	67
<i>Σύγκριση πλάι - πλάι</i> .....	68
<i>Hotel &amp; Pool</i> .....	68
<i>Aerophotography</i> .....	69
<i>Elbow X-Ray</i> .....	70
<i>Spine X-Ray</i> .....	71
<i>Cells Ultrasound</i> .....	72





# 1 JPEG

---

## 1.1) Η Γέννηση του Προτύπου JPEG

Από τις αρχές του 1980 η ψηφιακή τεχνολογία παρουσίαζε αλματώδη ανάπτυξη από όλες τις πλευρές. Ειδικά οι συσκευές απόκτησης εικόνων, αποθήκευσης δεδομένων, εκτύπωσης και εμφάνισης εικόνων με δομική βάση το bit έφεραν στην επιφάνεια ένα μεγάλο αριθμό από εφαρμογές της ψηφιακής εικόνας. Οι εφαρμογές αυτές ήταν πολύ δαπανηρές και εξειδικευμένες λόγω του κόστους τους. Η ανάγκη για επέκτασή τους όμως σε γενικής χρήσεως υπολογιστικά συστήματα όπως το κείμενο και τα γεωμετρικά γραφικά ήταν εμφανής. Το κυριότερο εμπόδιο για πολλές εφαρμογές ήταν ο όγκος των δεδομένων που χρειάζεται για να αναπαρασταθεί μια ψηφιακή εικόνα απευθείας. Η μόνη λύση ήταν η συμπίεση εικόνας. Από μόνη της όμως η τεχνολογία συμπίεσης δεν είναι αρκετή. Είναι απαραίτητο ένα πρότυπο το οποίο θα εξασφαλίζει διαλειτουργικότητα σε πολλά περιβάλλοντα, συσκευές και εφαρμογές. Το κενό αυτό ήρθε να καλύψει το JPEG.

## 1.2) Αρχιτεκτονική Του Προτύπου JPEG

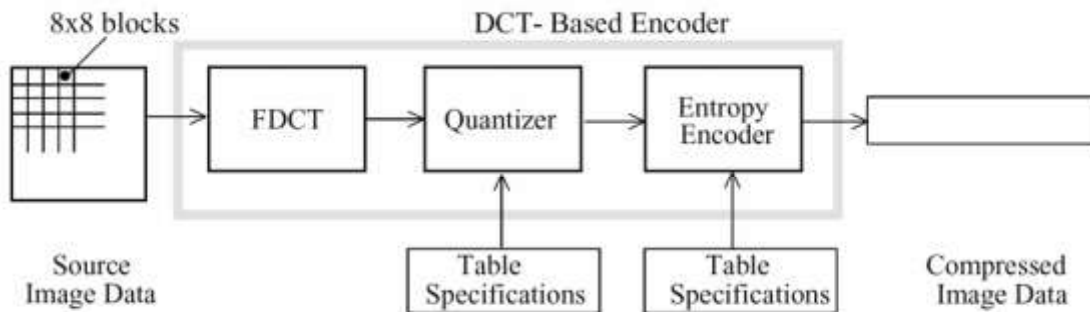
Το προτεινόμενο πρότυπο περιέχει τέσσερις "καταστάσεις λειτουργίας". Για κάθε κατάσταση, ένας ή περισσότεροι ευδιάκριτοι codecs ορίζονται. Οι codecs που περιλαμβάνονται σε μια κατάσταση λειτουργίας διαφέρουν ανάλογα με την ακρίβεια των δειγμάτων της πηγαίας εικόνας που μπορούν να χειριστούν ή την μέθοδο κωδικοποίησης εντροπίας που χρησιμοποιούν. Αν και η λέξη codec (κωδικοποιητής / αποκωδικοποιητής) χρησιμοποιείται συχνά στην βιβλιογραφία, δεν υπάρχει καμία απαίτηση ότι οι υλοποιήσεις πρέπει να περιλαμβάνουν και κωδικοποιητή και αποκωδικοποιητή. Πολλές εφαρμογές έχουν συστήματα ή συσκευές που απαιτούν μόνο τον ένα ή τον άλλο. Οι τέσσερις καταστάσεις λειτουργίας και οι διάφοροι codecs τους έχουν προκύψει από το στόχο του JPEG να είναι οικουμενικό και από την ποικιλομορφία των τύπων εικόνας στις εφαρμογές. Τα πολλά κομμάτια του JPEG μπορεί να δώσουν την εντύπωση μιας ανεπιθύμητης πολυπλοκότητας, αλλά πρέπει στην πραγματικότητα να θεωρηθούν ως ένα περιεκτικό "κουτί εργαλείων" που μπορεί να εκτείνεται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών εικόνας συνεχών τόνων. Ο βασικός ( Baseline ) ακολουθιακός codec είναι εγγενώς μια πλούσια και περίπλοκη μέθοδος συμπίεσης που είναι ικανοποιητική για πολλές εφαρμογές. Εφαρμόζοντας κατάλληλα αυτήν την ελάχιστη μονάδα του JPEG παρέχεται στη βιομηχανία μια σημαντική αρχική δυνατότητα για ανταλλαγή εικόνων.

## 1.3) Βήματα Επεξεργασίας για την DCT Κωδικοποίηση

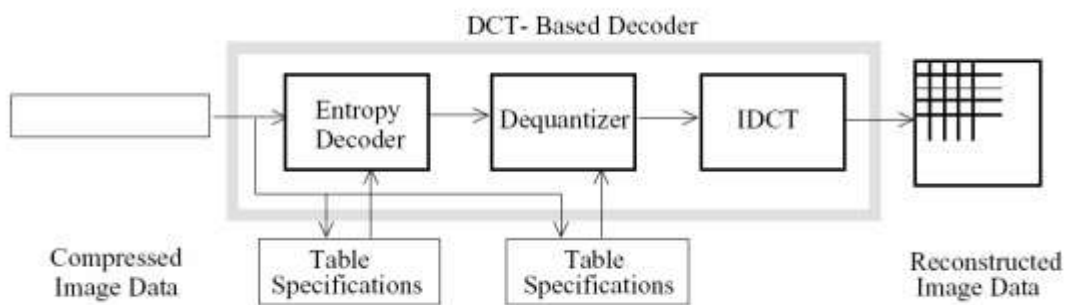
Τα σχήματα 1.1 και 1.2 παρουσιάζουν τα βασικά βήματα επεξεργασίας που είναι η καρδιά των DCT μεθόδων λειτουργίας. Αυτά τα σχήματα επεξηγούν την ειδική περίπτωση της συμπίεσης εικόνας ενός component (συνιστώσα-grayscale). Ο αναγνώστης μπορεί να καταλάβει τα βασικά της DCT συμπίεσης σκεπτόμενος την ουσιαστικά, ως συμπίεση μιας ακολουθίας 8x8 blocks των grayscale δειγμάτων της εικόνας. Η συμπίεση έγχρωμης εικόνας μπορεί έπειτα να θεωρηθεί περίπου ως συμπίεση πολλών grayscale εικόνων, καθεμία από τις οποίες συμπιέζεται εξ ολοκλήρου, μια κάθε φορά, ή συμπιέζονται διαδοχικά blocks 8x8 από κάθε μια από τις εικόνες.

Για την DCT ακολουθιακή λειτουργία οι codecs, οι οποίοι περιλαμβάνουν τον βασικό ακολουθιακό codec, τα απλουστευμένα διαγράμματα δείχνουν πώς δουλεύει η συμπίεση ενός component με έναν αρκετά πλήρη τρόπο. Κάθε 8x8 block εισάγεται, περνάει από κάθε βήμα επεξεργασίας, και δημιουργείται η συμπιεσμένη μορφή του στην έξοδο. Για τους codecs της

προοδευτικής DCT λειτουργίας, ένας απομονωτής εικόνας υπάρχει πριν από το βήμα της κωδικοποίησης εντροπίας, έτσι ώστε μια εικόνα να μπορεί να αποθηκευτεί και έπειτα να διανεμηθεί σε πολλαπλές σαρώσεις με διαδοχικά βελτιωμένη ποιότητα. Για την ιεραρχική μέθοδο λειτουργίας, τα βήματα που παρουσιάζονται χρησιμοποιούνται για την δημιουργία blocks μέσα σε ένα μεγαλύτερο πλαίσιο λειτουργίας.



**Σχήμα1.1 Βήματα Επεξεργασίας DCT Κωδικοποιητή**



**Σχήμα 1.2 Βήματα Επεξεργασίας DCT Αποκωδικοποιητή**

### 2.4.1 8x8 FDCT – IDCT

Στην εισαγωγή στον κωδικοποιητή, τα δείγματα της πηγαίας εικόνας είναι ομαδοποιημένα σε blocks 8x8, που μετατρέπονται από μη προσημασμένους ακέραιους αριθμούς με εύρος [0, -1] σε προσημασμένους ακέραιους αριθμούς με εύρος [-1, 1], και εισάγονται στον ευθύ DCT (FDCT). Στην έξοδο από τον αποκωδικοποιητή, ο αντίστροφος DCT (IDCT) βγάζει 8x8 blocks δειγμάτων για να ανακατασκευάσει την εικόνα. Οι ακόλουθες εξισώσεις είναι εξιδανικευμένοι μαθηματικοί ορισμοί του 8x8 FDCT και 8x8 IDCT:

$$F(u,v) = -C(u)C(v) \quad \text{—————} \quad \text{—————} \quad (1)$$

$$F(x,y) = - \quad \text{—————} \quad \text{—————} \quad (2)$$

Όπου :  $C(u), C(v)0 = -$  για  $u, v=0$

$C(u), C(v) = 1$  αλλιώς.

Ο DCT σχετίζεται με τον διακριτό μετασχηματισμό Fourier (DFT). Μερικά αυθόρμητα συμπεράσματα για την DCT συμπίεση μπορούν να ληφθούν βλέποντας τον FDCT ως ένα αναλυτή αρμονικών και τον IDCT ως έναν συνθέτη αρμονικών. Κάθε  $8 \times 8$  block των δειγμάτων της πηγαίας εικόνας είναι ουσιαστικά ένα διακριτό σήμα 64 σημείων το οποίο είναι συνάρτηση των δύο χωρικών διαστάσεων  $x$  και  $y$ . Ο FDCT παίρνει ένα τέτοιο σήμα ως είσοδο του και το αποσυνθέτει σε 64 ορθογώνια σήματα βάσης. Κάθε ένα περιέχει μια από τις 64 μοναδικές δισδιάστατες (2D) “χωρικές συχνότητες” που περιλαμβάνει το φάσμα του σήματος εισαγωγής. Η έξοδος του FDCT είναι το σύνολο των πλατών των 64 σημάτων βάσης ή “συντελεστές DCT” των οποίων οι τιμές καθορίζονται μοναδικά από το διακριτό 64 σημείων σήμα στην είσοδο.

Οι τιμές των συντελεστών DCT μπορούν έτσι να θεωρηθούν ως σχετικό ποσό των 2D χωρικών συχνοτήτων που περιλαμβάνονται στο σήμα εισαγωγής 64 σημείων. Ο συντελεστής μηδενικής συχνότητας και στις δύο διαστάσεις καλείται “DC συντελεστής” και οι υπόλοιποι 63 συντελεστές ονομάζονται “AC συντελεστές”. Επειδή οι τιμές των δειγμάτων τυπικά αλλάζουν αργά από σημείο σε σημείο κατά μήκος της εικόνας, το βήμα επεξεργασίας FDCT θέτει τα θεμέλια για την επίτευξη της συμπίεσης πληροφορίας με τη συγκέντρωση του περισσότερου σήματος στις χαμηλότερες χωρικές συχνότητες. Για ένα τυπικό  $8 \times 8$  block δειγμάτων από μια τυπική πηγαία εικόνα, οι περισσότερες από τις χωρικές συχνότητες έχουν πλάτος μηδέν ή κοντά στο μηδέν και δεν χρειάζεται να κωδικοποιηθούν.

Στον αποκωδικοποιητή ο IDCT αντιστρέφει αυτό το βήμα επεξεργασίας. Παίρνει τους 64 συντελεστές DCT (που σε εκείνο το σημείο έχουν κβαντιστεί) και ανακατασκευάζει ένα 64-σημείων σήμα εξόδου αθροίζοντας τα σήματα βάσης. Από μαθηματική άποψη, ο DCT είναι μια ένα προς ένα χαρτογράφηση για 64 σημείων διανύσματα μεταξύ και του πεδίου της συχνότητας και της εικόνας. Εάν ο FDCT και ο IDCT μπορούσαν να υπολογιστούν με τέλεια ακρίβεια και εάν οι συντελεστές DCT δεν ήταν κβαντισμένοι όπως στην ακόλουθη περιγραφή, το αρχικό σήμα 64 σημείων θα μπορούσε να ανακτηθεί τέλεια. Θεωρητικά το DCT δεν εισάγει καμία απώλεια στα δείγματα της πηγαίας εικόνας. Τα μετασχηματίζει μόνο σε ένα πεδίο στο οποίο μπορούν να κωδικοποιηθούν αποτελεσματικότερα.

Ακόμη και λαμβάνοντας υπόψη την πεπερασμένη ακρίβεια των εισόδων DCT και των αποτελεσμάτων, ανεξάρτητα σχεδιασμένες εφαρμογές του ίδιου αλγορίθμου FDCT ή IDCT διαφέρουν στην ακρίβεια με την οποία αναπαρίστανται όροι συνημίτονου ή ενδιάμεσα αποτελέσματα. Διαφέρουν επίσης στον τρόπο που αυτές αθροίζουν και στρογγυλοποιούν κλασματικές τιμές, και παράγουν τελικά ελαφρώς διαφορετικά αποτελέσματα με την ίδια είσοδο.

Για να διατηρηθεί η δυνατότητα για καινοτομία και προσαρμογή μέσα στις υλοποιήσεις, έχει επιλεγεί να μην διευκρινιστεί ένας μοναδικός αλγόριθμος FDCT ούτε ένας μοναδικός IDCT αλγόριθμος στα προτεινόμενα πρότυπα του JPEG. Αυτό κάνει δυσκολότερη την επιβεβαίωση της συμβατότητας με το πρότυπο, επειδή δύο συμβατοί κωδικοποιητές (ή αποκωδικοποιητές) δεν θα παράγουν, γενικά, τα ίδια αποτελέσματα με δεδομένη ίδια είσοδο. Το πρότυπο JPEG αντιμετωπίζει αυτό το ζήτημα με τη διενέργεια μιας δοκιμής ακρίβειας ως τμήμα του των δοκιμών συμβατότητας για όλους τους DCT κωδικοποιητές και αποκωδικοποιητές. Αυτό μας εξασφαλίζει έναντι υλοποιήσεων που θα υποβίβαζαν την ποιότητα της εικόνας.

Για κάθε DCT κατάσταση λειτουργίας, το JPEG διευκρινίζει χωριστά codecs για τις εικόνες με 8 bit και εικόνες με 12 bit (ανά component). Οι codecs 12 bit, που πρέπει να καλύψουν ορισμένους τύπους ιατρικών και άλλων εικόνων, που απαιτούν μεγαλύτερους υπολογιστικούς πόρους για να επιτύχουν την απαιτούμενη FDCT ή IDCT ακρίβεια. Εικόνες με άλλη ακρίβεια δείγματος μπορούν συνήθως να καλυφθούν είτε από 8 bit ή 12 bit codec, αλλά αυτό πρέπει να γίνεται εκτός του προτύπου JPEG. Παραδείγματος χάριν, θα ήταν η ευθύνη της εφαρμογής για να αποφασίσει πώς θα εισάγει ένα δείγμα 6 bit, στον 8 bit κωδικοποιητή, πώς θα το ανοίξει στην έξοδο του αποκωδικοποιητή, και πώς θα κωδικοποιήσει οποιοσδήποτε απαραίτητες σχετικές πληροφορίες.

## 1.4)Κβάντιση

Μετά από την έξοδο από τον FDCT, κάθε ένας από τους 64 DCT συντελεστές κβαντίζονται ομοιόμορφα από κοινού με έναν πίνακα κβάντισης 64-στοιχείων (Quantization Table), ο οποίος πρέπει να είναι ορισμένος από την εφαρμογή (ή το χρήστη) σαν είσοδος στον κωδικοποιητή. Κάθε στοιχείο του μπορεί να έχει οποιαδήποτε ακέραια τιμή από 1 έως 255, γεγονός που ορίζει το μέγεθος βήματος του κβαντιστή για τον αντίστοιχο DCT συντελεστή του. Ο σκοπός της κβάντισης είναι να επιτύχει την περαιτέρω συμπίεση αναπαριστώντας τους DCT συντελεστές με ακρίβεια όχι μεγαλύτερη από αυτή που είναι απαραίτητη για να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα εικόνας. Με άλλα λόγια, ο στόχος αυτού του βήματος επεξεργασίας είναι να απορριφθούν οι πληροφορίες που δεν είναι οπτικά σημαντικές. Η κβάντιση είναι μια χαρτογράφηση πολλών σε ένα, και επομένως αξιωματικά περιλαμβάνει απώλειες. Είναι μάλιστα η κύρια πηγή απωλειών στους DCT κωδικοποιητές. Η κβάντιση ορίζεται ως το πηλίκο κάθε συντελεστή DCT με το αντίστοιχο μέγεθος βήματος του κβαντιστή, ακολουθούμενο από την στρογγυλοποίηση στον κοντινότερο ακέραιο αριθμό:

$$= \text{Integer round} \quad \text{————}$$

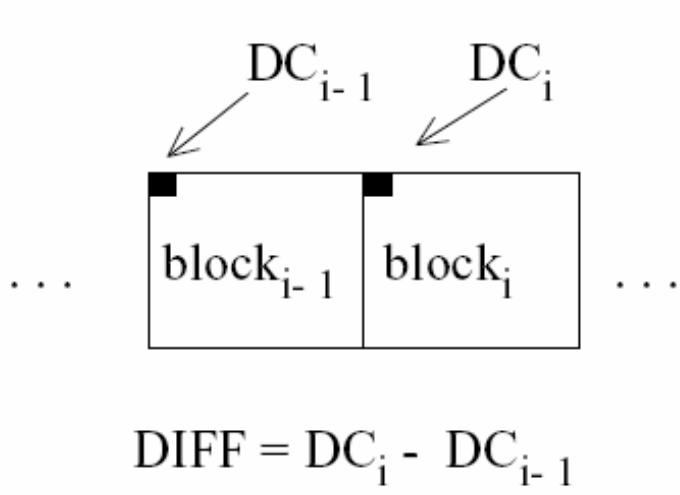
Αυτή η τιμή στην έξοδο κανονικοποιείται με το μέγεθος του βήματος του κβαντιστή. Η αποκβάντιση είναι η αντίστροφη λειτουργία, η οποία σε αυτή την περίπτωση σημαίνει απλά ότι η κανονικοποίηση αναιρείται πολλαπλασιάζοντας με το μέγεθος του βήματος, επιστρέφοντας το αποτέλεσμα σε μια αναπαράσταση κατάλληλη για την εισαγωγή στον IDCT:

$$= *Q(u,v)$$

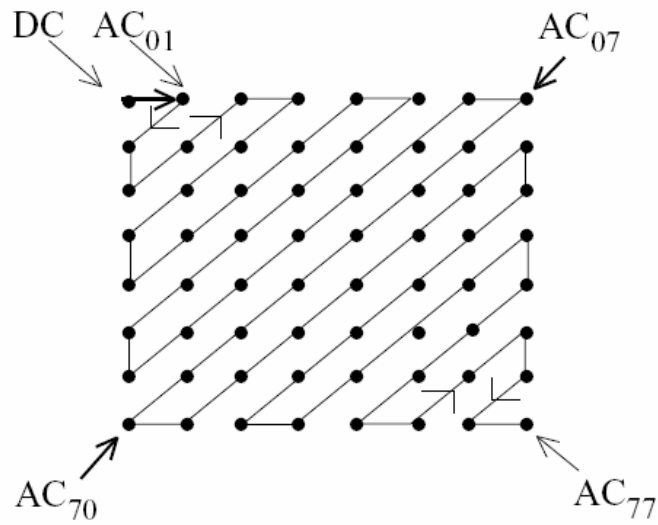
Όταν ο στόχος είναι να συμπεστεί η εικόνα όσο το δυνατόν περισσότερο χωρίς ορατά σημάδια, κάθε μέγεθος βήματος, ιδανικά, πρέπει να επιλεγεί ως το αντιληπτικά κατώτατο όριο ή αλλιώς η "ακριβώς παρατηρήσιμη διαφορά" για την οπτική συμβολή της αντίστοιχης βάσης συνημίτονου. Αυτά τα κατώφλια είναι επίσης συνάρτηση των χαρακτηριστικών της πηγαιάς εικόνας, των χαρακτηριστικών της οθόνης και της απόστασης παρατήρησης. Για εφαρμογές στις οποίες αυτές οι μεταβλητές μπορούν να είναι εύλογα και καλά καθορισμένες, ψυχο-οπτικά (psycho-optical) πειράματα μπορούν να διενεργηθούν για να καθοριστούν τα καλύτερα κατώφλια. Πειράματα που περιγράφονται στην διεθνή βιβλιογραφία έχουν οδηγήσει σε ένα σύνολο πινάκων κβαντοποίησης που περιλαμβάνονται στο πρότυπο ISO, όχι όμως σαν απαίτηση.

## 1.5) DC Κωδικοποίηση & Ακολουθία Zig-Zag

Μετά από την κβάντιση, ο DC συντελεστής αντιμετωπίζεται χωριστά από τους 63 συντελεστές AC. Ο DC συντελεστής είναι ένα μέτρο της μέσης τιμής των 64 δειγμάτων εικόνας. Επειδή υπάρχει συνήθως ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των DC συντελεστών των γειτονικών 8x8 blocks, ο κβαντισμένος DC συντελεστής κωδικοποιείται ως η διαφορά του από τον DC όρο του προηγούμενου block στην σειρά κωδικοποίησης (που καθορίζεται στην συνέχεια), όπως παρουσιάζεται στο *σχήμα 1.3*. Αυτή η ειδική επεξεργασία αξίζει τον κόπο, αφού οι DC συντελεστές περιέχουν συχνά ένα σημαντικό μέρος από τη συνολική ενέργεια της εικόνας. Τέλος, όλοι οι κβαντισμένοι συντελεστές διατάσσονται σε μια "zig-zag" ακολουθία, όπως παρουσιάζεται στο *σχήμα 1.4*. Αυτή η διάταξη βοηθά στην υλοποίηση της κωδικοποίησης εντροπίας τοποθετώντας τους χαμηλής συχνότητας συντελεστές (που είναι πιθανότατα διαφορετικοί από το μηδέν) πριν από τους συντελεστές υψηλής συχνότητας.



*Σχήμα 1.3 Διαφορική DC Κωδικοποίηση*



*Σχήμα 1.4 Zig-Zag Ακολουθία*

## 1.6) Κωδικοποίηση Εντροπίας

Το τελικό βήμα επεξεργασίας του DCT κωδικοποιητή είναι η κωδικοποίηση εντροπίας. Αυτό το βήμα επιτυγχάνει πρόσθετη συμπίεση χωρίς απώλειες με την κωδικοποίηση των κβαντισμένων DCT συντελεστών συμπαγώς βασισμένο στα στατιστικά τους χαρακτηριστικά. Το πρότυπο JPEG ορίζει δύο μεθόδους κωδικοποίησης εντροπίας: την κωδικοποίηση Huffman και την αριθμητική κωδικοποίηση. Ο βασικός codec χρησιμοποιεί την κωδικοποίηση Huffman, αλλά codecs και με τις δύο μεθόδους ορίζονται για όλες τις καταστάσεις λειτουργίας.

Είναι χρήσιμο να θεωρηθεί η κωδικοποίηση εντροπίας ως διαδικασία 2 βημάτων. Το πρώτο βήμα μετατρέπει την zig-zag ακολουθία κβαντισμένων συντελεστών σε μια ενδιάμεση ακολουθία συμβόλων. Το δεύτερο βήμα μετατρέπει τα σύμβολα σε μια ακολουθία στοιχείων στην οποία τα σύμβολα δεν έχουν πλέον εξωτερικά προσδιορισμένα όρια. Η μορφή και ο καθορισμός των ενδιάμεσων συμβόλων εξαρτάται και από την DCT κατάσταση λειτουργίας και από την μέθοδο κωδικοποίησης εντροπίας.

Η κωδικοποίηση Huffman απαιτεί ότι ένα ή περισσότερα σύνολα πινάκων κωδικοποίησης Huffman ορίζονται από την εφαρμογή. Οι ίδιοι πίνακες που χρησιμοποιούνται για να συμπεστεί μια εικόνα απαιτούνται και για να αποσυμπεστεί. Οι πίνακες Huffman μπορούν να προκαθοριστούν και να χρησιμοποιούνται μέσα σε μια εφαρμογή ως προεπιλεγμένοι, ή να υπολογίζονται ειδικά για κάθε δεδομένη εικόνα σε ένα αρχικό πέρασμα συλλογής στατιστικών στοιχείων πριν από τη συμπίεση. Τέτοιες επιλογές είναι θέμα των εφαρμογών που χρησιμοποιούν το JPEG. Το πρότυπο JPEG δεν ορίζει συγκεκριμένους πίνακες Huffman.

Αντιθέτως, η συγκεκριμένη αριθμητική μέθοδος κωδικοποίησης που ορίζεται στο πρότυπο JPEG δεν απαιτεί την εισαγωγή κάποιου πίνακα, επειδή είναι σε θέση να προσαρμοστεί στα στατιστικά χαρακτηριστικά της εικόνας ενώ κωδικοποιεί την εικόνα. (Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και εξωτερικοί πίνακες για ελαφρώς καλύτερη απόδοση, αλλά αυτό δεν είναι απαραίτητο). Η αριθμητική κωδικοποίηση έχει παράγει 5-10% καλύτερη συμπίεση από την Huffman για πολλές από τις εικόνες τις οποίες μέλη του JPEG έχουν εξετάσει. Εντούτοις, υπάρχει η αίσθηση ότι είναι πιο σύνθετη από την κωδικοποίηση Huffman για ορισμένες εφαρμογές, παραδείγματος χάριν, οι υψηλής ταχύτητας hardware υλοποιήσεις. (Σε όλη την ιστορία του JPEG, η "πολυπλοκότητα" έχει αποδειχθεί το πιο αόριστο κριτήριο για τη σύγκριση των μεθόδων συμπίεσης).

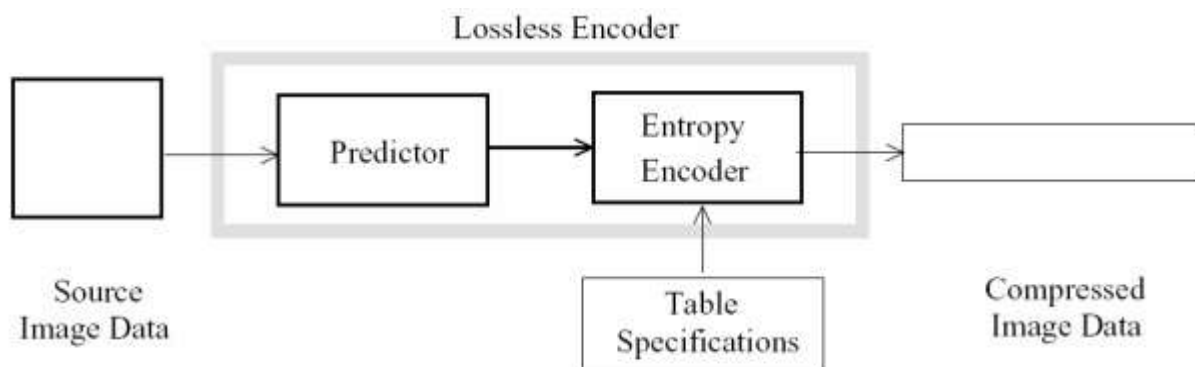
## 1.7) Ποιότητα συμπίεσης και εικόνων

Για τις έγχρωμες εικόνες με μέτρια σύνθετες σκηνές, όλες οι DCT καταστάσεις λειτουργίας παράγουν τυπικά τα ακόλουθα επίπεδα ποιότητας εικόνας για το αναφερόμενο εύρος συμπίεσης. Αυτά τα επίπεδα είναι μόνο ένας οδηγός. Η ποιότητα και η συμπίεση μπορούν να ποικίλουν σημαντικά ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της πηγαίας εικόνας και το περιεχόμενο των σκηνών. (Οι μονάδες "bits / pixel" εδώ σημαίνουν τον συνολικό αριθμό bits στη συμπεσμένη εικόνα, συμπεριλαμβανομένων των τμημάτων χρωμικότητας (chrominance), που διαιρούνται με τον αριθμό των δειγμάτων στο τμήμα φωτεινότητας.)

- 0.25-0.5 bits/pixel: μέτρια καλή ποιότητα, ικανοποιητική για κάποιες εφαρμογές
- 0.5-0.75 bits/pixel: καλή έως πολύ καλή ποιότητα, ικανοποιητική για πολλές εφαρμογές
- 0,75-1/5 bits/pixel: άριστη ποιότητα, ικανοποιητική για τις περισσότερες εφαρμογές
- 1.5-2.0 bits/pixel: συνήθως δεν ξεχωρίζει από την αρχική, ικανοποιητική για απαιτητικές εφαρμογές.

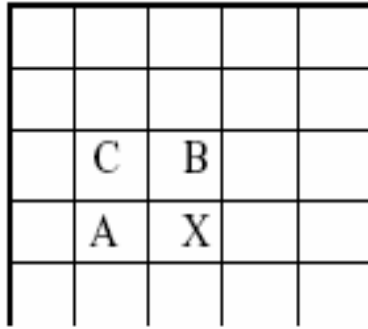
## 1.8) Βήματα Επεξεργασίας για Μη Απολεστική (Lossless) Κωδικοποίηση με Εκτίμηση

Μετά από την επιλογή μιας DCT μεθόδου το 1988, το JPEG ανακάλυψε ότι μια DCT χωρίς απώλειες μέθοδος κωδικοποίησης ήταν δύσκολο να οριστεί ως πρότυπο σύμφωνα με το οποίο κωδικοποιητές και αποκωδικοποιητές θα μπορούσαν να υλοποιηθούν ανεξάρτητα, χωρίς να επιβληθούν αυστηροί περιορισμοί σε αυτούς. Το JPEG για να καλύψει την απαίτησή για μια χωρίς απώλειες μέθοδο λειτουργίας επέλεξε μια απλή μέθοδο εκτίμησης η οποία είναι πλήρως ανεξάρτητη από την επεξεργασία DCT που περιγράφηκε προηγουμένως. Η επιλογή αυτής της μεθόδου δεν ήταν το αποτέλεσμα μιας αυστηρής ανταγωνιστικής αξιολόγησης όπως ήταν η DCT μέθοδος.



**Σχήμα 1.5 Βήματα Επεξεργασίας Κωδικοποιητή Χωρίς Απώλειες**

Το *σχήμα 1.5* παρουσιάζει τα κύρια βήματα επεξεργασίας για μια εικόνα ενός component. Ένας εκτιμητής συνδυάζει τιμές μέχρι τριών γειτονικών δειγμάτων (A, B, και C) για να κάνει μια εκτίμηση του δείγματος που υποδεικνύεται από το X στο *σχήμα 1.6*. Αυτή η εκτίμηση αφαιρείται έπειτα από την πραγματική αξία του δείγματος X, και η διαφορά κωδικοποιείται χωρίς απώλειες με οποιαδήποτε από τις μεθόδους κωδικοποίησης εντροπίας, Huffman ή αριθμητική. Οποιοσδήποτε από τους οκτώ εκτιμητές απαριθμημένους στον *πίνακα 1.1* (κάτω από την “επιλογή - τιμή”) μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Οι επιλογές 1, 2 και 3 είναι μονοδιάστατοι εκτιμητές και οι επιλογές 4, 5, 6 και 7 είναι διδιάστατοι εκτιμητές. Η επιλογή της τιμής 0 μπορεί μόνο να χρησιμοποιηθεί για διαφορική κωδικοποίηση στον ιεραρχική κατάσταση λειτουργίας. Η κωδικοποίηση εντροπίας είναι σχεδόν ίδια με αυτή που χρησιμοποιείται για τον DC συντελεστή.



**Σχήμα 1.6 Εκτίμηση 3 Γειτονικών Δειγμάτων**

Επιλογή Τιμή	Εκτίμηση
0	καμία εκτίμηση
1	A
2	B
3	C
4	A+B-C
5	$A + ((B-C)/2)$
6	$B + ((A-C)/2)$
7	$(A+B)/2$

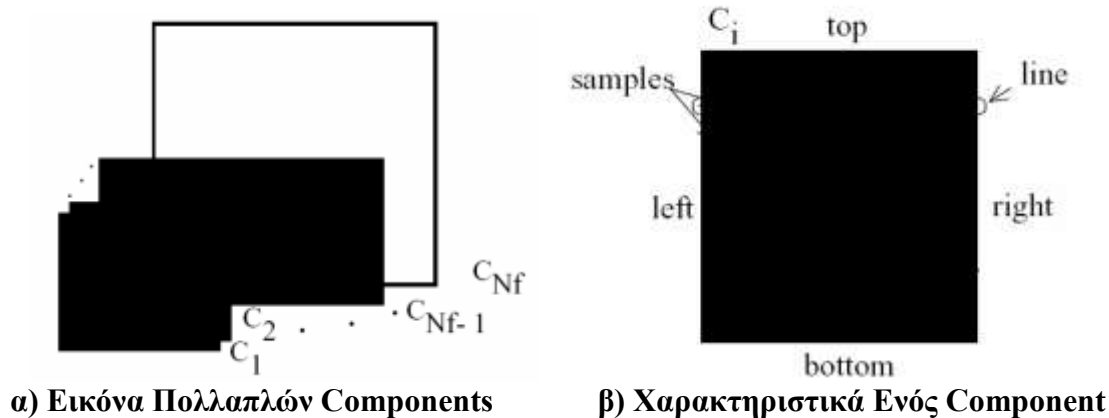
**Πίνακας 1.1 Εκτιμητές για Χωρίς Απώλειες Κωδικοποίησης**

Στην χωρίς απώλειες κατάσταση λειτουργίας, δύο διαφορετικοί codecs ορίζονται, ένας για κάθε μέθοδο κωδικοποίησης εντροπίας. Οι κωδικοποιητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιαδήποτε ακρίβεια πηγαίας εικόνας από 2 έως 16 bits/δείγμα, και μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε από τους εκτιμητές εκτός από την επιλογή της τιμής 0. Οι αποκωδικοποιητές πρέπει να μπορούν να χειριστούν οποιαδήποτε από τις ακρίβειες δειγμάτων και οποιοδήποτε από τους εκτιμητές. Οι χωρίς απώλειες codecs επιτυγχάνουν τυπικά περίπου 2:1 συμπίεση για τις έγχρωμες εικόνες με μέτρια σύνθετες σκηνές.

## 1.9) Εικόνες Πολλαπλών Components

Στις προηγούμενες ενότητες συζητήθηκαν τα βασικά βήματα επεξεργασίας των DCT και εκτιμητικών χωρίς απώλειες codecs στην περίπτωση των πηγαίων εικόνων ενός component. Αυτά τα βήματα επιτυγχάνουν την συμπίεση των δεδομένων της εικόνας. Αλλά μια καλή υλοποίηση της πρότασης JPEG ενδιαφέρεται επίσης για τον χειρισμό και τον έλεγχο των έγχρωμων εικόνων (ή άλλων) με πολλαπλά components. Ο στόχος του JPEG για ένα γενικό πρότυπο συμπίεσης απαιτεί η πρότασή του να εξυπηρετεί μια ποικιλία ειδών πηγαίας εικόνας.





Σχήμα 1.7 JPEG Μοντέλο Πηγαίας Εικόνας

## 1.10) Τύποι Πηγαίας Εικόνας

Το μοντέλο πηγαίας εικόνας που χρησιμοποιείται στο πρότυπο JPEG είναι μια γενίκευση από μια ποικιλία τύπων εικόνας και εφαρμογών και αποτελείται μόνο από ότι είναι απαραίτητο για την συμπίεση και ανακατασκευή των ψηφιακών δεδομένων της εικόνας. Το JPEG δεν κωδικοποιεί αρκετά δεδομένα για την πλήρη αναπαράσταση της εικόνας. Παραδείγματος χάριν, το JPEG δεν ορίζει ή δεν κωδικοποιεί οποιαδήποτε δεδομένα για τα pixel, τον χρωματικό χώρο, ή τα χαρακτηριστικά απόκτησης της εικόνας.

Μια πηγαία εικόνα περιέχει από 1 έως 255 components, που κάποιες φορές ονομάζονται χρώματα ή φασματικές ζώνες ή κανάλια. Κάθε component αποτελείται από έναν ορθογώνιο πίνακα δειγμάτων. Κάθε δείγμα ορίζεται σαν ένας μη προσημασμένος ακέραιος αριθμός με ακρίβεια  $P$  bits, με οποιαδήποτε τιμή στο διάστημα  $[0, 2^P - 1]$ . Όλα τα δείγματα όλων των components μέσα στην ίδια πηγαία εικόνα πρέπει να έχουν την ίδια ακρίβεια  $P$ . Το  $P$  μπορεί να είναι 8 ή 12 bits για DCT codecs, και 2 έως 16 bits για codecs εκτίμησης.

Το  $i$ -οστό component έχει διαστάσεις  $x_i, y_i$ . Για να εξυπηρετήσει τύπους εικόνας στους οποίους κάποια components της εικόνας δειγματοληπτούνται με διαφορετικούς ρυθμούς από άλλα, κάθε component μπορεί να έχει διαφορετικές διαστάσεις. Οι διαστάσεις πρέπει να έχουν μια αμοιβαία εσωτερική σχέση που ορίζεται από το  $H_i$  και το  $V_i$ , τους σχετικούς οριζόντιους και κάθετους συντελεστές δειγματοληψίας, οι οποίοι πρέπει να οριστούν για κάθε component. Οι γενικές διαστάσεις  $X$  και  $Y$  της εικόνας ορίζονται ως το μέγιστο  $ix$  και για όλα τα components της εικόνας, και μπορούν να είναι οποιοσδήποτε αριθμός μέχρι  $2iy$ . Το  $H$  και το  $V$  επιτρέπεται να πάρουν μόνο τις ακέραιες τιμές από 1 μέχρι 4. Οι κωδικοποιημένες παράμετροι είναι  $X, Y$ , και  $H_i$  και  $V_i$  για κάθε component. Ο αποκωδικοποιητής ανακατασκευάζει τις διαστάσεις  $ix$  και για κάθε component, σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση που φαίνεται στις εξισώσεις 1.5:

$$= \text{---}$$

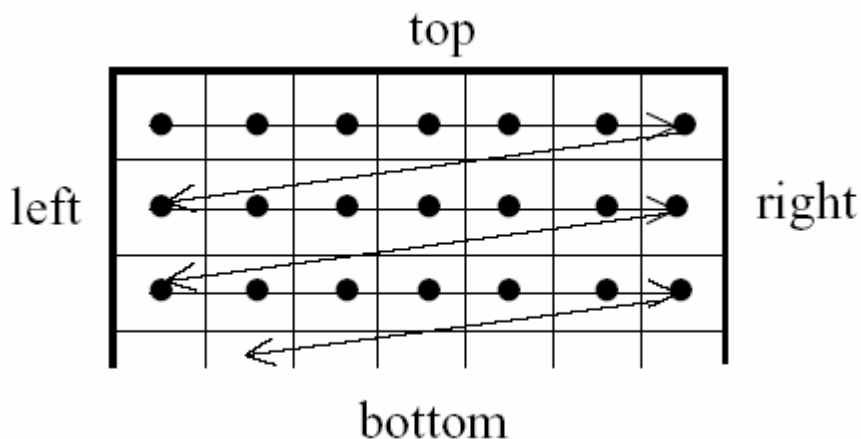
$$= \text{---}$$

Πού είναι η συνάρτηση ταβανιού (ceiling function).

## 1.11) Διάταξη κωδικοποίησης και Interleaving

Ένα πρακτικό πρότυπο συμπίεσης εικόνας πρέπει να εξετάζει πώς τα συστήματα θα πρέπει να χειριστούν τα δεδομένα κατά την διαδικασία της αποσυμπίεσης. Πολλές εφαρμογές πρέπει να εκτελέσουν την διαδικασία της εμφάνισης ή εκτύπωσης εικόνων πολλαπλών components παράλληλα με τη διαδικασία της αποσυμπίεσης. Για πολλά συστήματα, αυτό είναι εφικτό μόνο εάν τα components διαχωρίζονται μέσα στην συμπίεσμένη ακολουθία δεδομένων.

Για να γίνουν τα ίδια μηχανήματα interleaving, εφαρμόσιμα και στους DCT και στους εκτιμητικούς codecs, το JPEG καθόρισε την έννοια της μονάδας δεδομένων. Μια μονάδα δεδομένων είναι ένα δείγμα στους εκτιμητικούς codecs και έναν 8x8 block δειγμάτων DCT codecs. Η σειρά με την οποία οι συμπίεσμένες μονάδες δεδομένων τοποθετούνται στην συμπίεσμένη ακολουθία δεδομένων είναι μια γενίκευση της σειράς σάρωσης πλέγματος (raster). Γενικά, οι μονάδες δεδομένων διατάσσονται από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω σύμφωνα με τον προσανατολισμό που παρουσιάζεται στο *σχήμα 1.8*. (Είναι ευθύνη των εφαρμογών να καθορίσουν ποιες άκρες μιας πηγαίας εικόνας είναι πάνω, κάτω, αριστερά και δεξιά.). Εάν ένα component της εικόνας είναι non-interleaved (δηλ., συμπίεσμένος χωρίς να είναι interleaved με άλλα components), συμπίεσμένες μονάδες δεδομένων διατάσσονται σε μια σάρωση raster όπως φαίνεται **στο σχήμα 1.8**.



**Σχήμα 1.8** Σειρά Non-Interleaved Δεδομένων

Όταν δύο ή περισσότερα components είναι interleaved, κάθε component χωρίζεται σε ορθογώνιες περιοχές των με μονάδων στοιχείων, όπως φαίνεται στο γενικευμένο παράδειγμα στο σχήμα 1.9. Οι περιοχές διατάσσονται μέσα σε ένα component από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω, και μέσα σε μια περιοχή, οι μονάδες δεδομένων διατάσσονται από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω. Το JPEG καθορίζει την ελάχιστη μονάδα κωδικοποίησης (Minimum Coded Unit, MCU) για να είναι η μικρότερη ομάδα interleaved μονάδων δεδομένων. Για

το παράδειγμα που παρουσιάζεται, η  $MCU_1$  αποτελείται από τις μονάδες δεδομένων που λαμβάνονται πρώτα από την τέρμα πάνω-αριστερά περιοχή του  $C_1$ , και ακολουθείται από τις μονάδες δεδομένων από την ίδια περιοχή του  $C_2$ , και επιπλέον για τα  $C_3$  και  $C_4$ . Η  $MCU_2$  συνεχίζει το σχέδιο όπως φαίνεται.

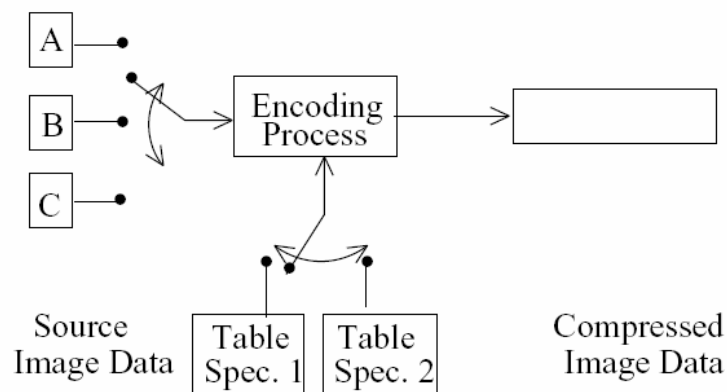
Κατά συνέπεια, τα interleaved δεδομένα είναι μια διαταγμένη ακολουθία των  $MCU$ 's, και ο αριθμός των μονάδων δεδομένων που περιλαμβάνονται σε ένα  $MCU$  είναι καθορισμένος από τον αριθμό των components που μπορούν να είναι interleaved και οι σχετικοί συντελεστές δειγματοληψίας τους. Ο μέγιστος αριθμός components που μπορεί να είναι interleaved είναι 4 και ο μέγιστος αριθμός μονάδων δεδομένων σε ένα  $MCU$  είναι 10. Ο τελευταίος περιορισμός εκφράζεται όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση, όπου το άθροισμα εκτείνεται σε όλα τα components:

$$* \leq 10$$

Λόγω αυτού του περιορισμού, δεν μπορεί κάθε συνδυασμός 4 συστατικών που μπορούν να αντιπροσωπευθούν σε μια non-interleaved σειρά μέσα σε μια JPEG συμπιεσμένη εικόνα επιτρέπεται να είναι interleaved. Επίσης, σημειώστε ότι το JPEG επιτρέπει σε μερικά components να είναι interleaved και μερικά να είναι non-interleaved μέσα στην ίδια συμπιεσμένη εικόνα.

## 1.12) Πολλαπλοί Πίνακες

Εκτός από τον έλεγχο του interleaving που συζητήθηκε προηγουμένως, οι JPEG codecs πρέπει να ελέγχουν την εφαρμογή του κατάλληλου πίνακα δεδομένων στα κατάλληλα components. Ο ίδιος πίνακας κβάντισης και ο ίδιος πίνακας κωδικοποίησης εντροπίας (ή σύνολο πινάκων) πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την κωδικοποίηση όλων των δειγμάτων μέσα σε ένα component. Οι αποκωδικοποιητές JPEG μπορούν να αποθηκεύουν μέχρι 4 πίνακες διαφορετικής κβαντοποίησης και μέχρι 4 πίνακες διαφορετικής (σύνολα πινάκων) κωδικοποίησης εντροπίας ταυτόχρονα. (Ο βασικός ακολουθιακός αποκωδικοποιητής είναι η εξαίρεση και μπορεί να αποθηκεύσει μόνο μέχρι 2 σύνολα πινάκων κωδικοποίησης εντροπίας.) Αυτό είναι απαραίτητο για την εναλλαγή μεταξύ διαφορετικών πινάκων κατά τη διάρκεια αποσυμπίεσης μιας σάρωσης που περιέχει πολλαπλά (interleaved) components, προκειμένου να εφαρμοστεί ο κατάλληλος πίνακας στο κατάλληλο συστατικό. (Οι πίνακες δεν μπορούν να είναι φορτωμένοι κατά τη διάρκεια της αποσυμπίεσης μιας σάρωσης.) Το σχήμα 1.9 επεξηγεί τον έλεγχο μεταστροφής του πίνακα.



Σχήμα 1.9 Component-Interleave και Table Switching Control

## 1.13) Βασικός και άλλοι DCT ακολουθιακοί codecs

Η ακολουθιακή DCT κατάσταση λειτουργίας αποτελείται από τον FDCT και την κβαντοποίηση από την παράγραφο 1.4, και τον έλεγχο πολλαπλών components. Εκτός από τον βασικό ακολουθιακό κωδικοποιητή-αποκωδικοποιητή, και άλλοι ακολουθιακοί DCT codecs ορίζονται για να προσαρμόσουν τις δύο διαφορετικές ακρίβειες δειγμάτων (8 και 12 bit) και τις δύο διαφορετικές μεθόδους κωδικοποίησης εντροπίας (Huffman και αριθμητική).

Η βασική ακολουθιακή κωδικοποίηση είναι για τις εικόνες με δείγματα 8 bit και χρησιμοποιεί την κωδικοποίηση Huffman μόνο. Διαφέρει επίσης από τον άλλο ακολουθιακό DCT codec δεδομένου ότι ο αποκωδικοποιητής του μπορεί να αποθηκεύσει μόνο δύο σύνολα πινάκων Huffman (ένας AC πίνακας και ένας DC πίνακας ανά σύνολο). Αυτός ο περιορισμός σημαίνει ότι, για εικόνες με τρία ή τέσσερα components, τουλάχιστον ένα σύνολο πινάκων Huffman πρέπει να χρησιμοποιηθεί από δύο components. Αυτός ο περιορισμός δεν θέτει κανένα όριο για τα non-interleaved components. Ένα νέο σύνολο πινάκων μπορεί να φορτωθεί στον αποκωδικοποιητή πριν αρχίσει η αποσυμπίεση ενός non-interleaved component.

Για πολλές εφαρμογές όπου πρέπει τα τρία components να είναι interleaved, αυτός ο περιορισμός πρακτικά δεν είναι περιορισμός. Οι χρωματικοί χώροι (YUV, CIELUV, CIELAB, και άλλοι) που αντιπροσωπεύουν τα χρωματικά δεδομένα σε δύο components και τον άχρωμο ("grayscale") δεδομένα σε ένα τρίτο είναι αποδοτικότεροι για τη συμπίεση από χώρους όπως το RGB. Ένα σύνολο πινάκων Huffman μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το άχρωμο component και ένα για τα components χρωμικότητας. Οι στατιστικές ιδιότητες των συντελεστών DCT είναι παρόμοιες για τα δύο components χρωμικότητας στις περισσότερες εικόνες, και ένα σύνολο από πίνακες Huffman μπορούν να κωδικοποιήσουν και τους δύο σχεδόν τόσο καλά όσο δύο. Πριν από την κωδικοποίηση εντροπίας, συνήθως υπάρχουν λίγοι συντελεστές διαφορετικοί από το μηδέν και πολλοί μηδενικοί. Ο στόχος της κωδικοποίησης εντροπίας είναι να κωδικοποιήσει αυτούς τους λίγους συντελεστές αποτελεσματικά. Η περιγραφή της βασικής ακολουθιακής κωδικοποίησης εντροπίας βασικών γραμμών δίνεται σε δύο βήματα: μετατροπή των κβαντισμένων DCT συντελεστών σε μια ενδιάμεση ακολουθία συμβόλων και ανάθεση των μεταβλητού μήκους κωδίκων στα σύμβολα.

Μέγεθος	Πλάτος
1	-1,1
2	-3,-2,2,3
3	-7..-4,4..7
4	-15..-8,8..15
5	-31..-16,16..31
6	-63..-32,32..63
7	-127..-64,64..127
8	-255..-128,128..255
9	-511..-256,256..511
10	-1023..-512,512..1023

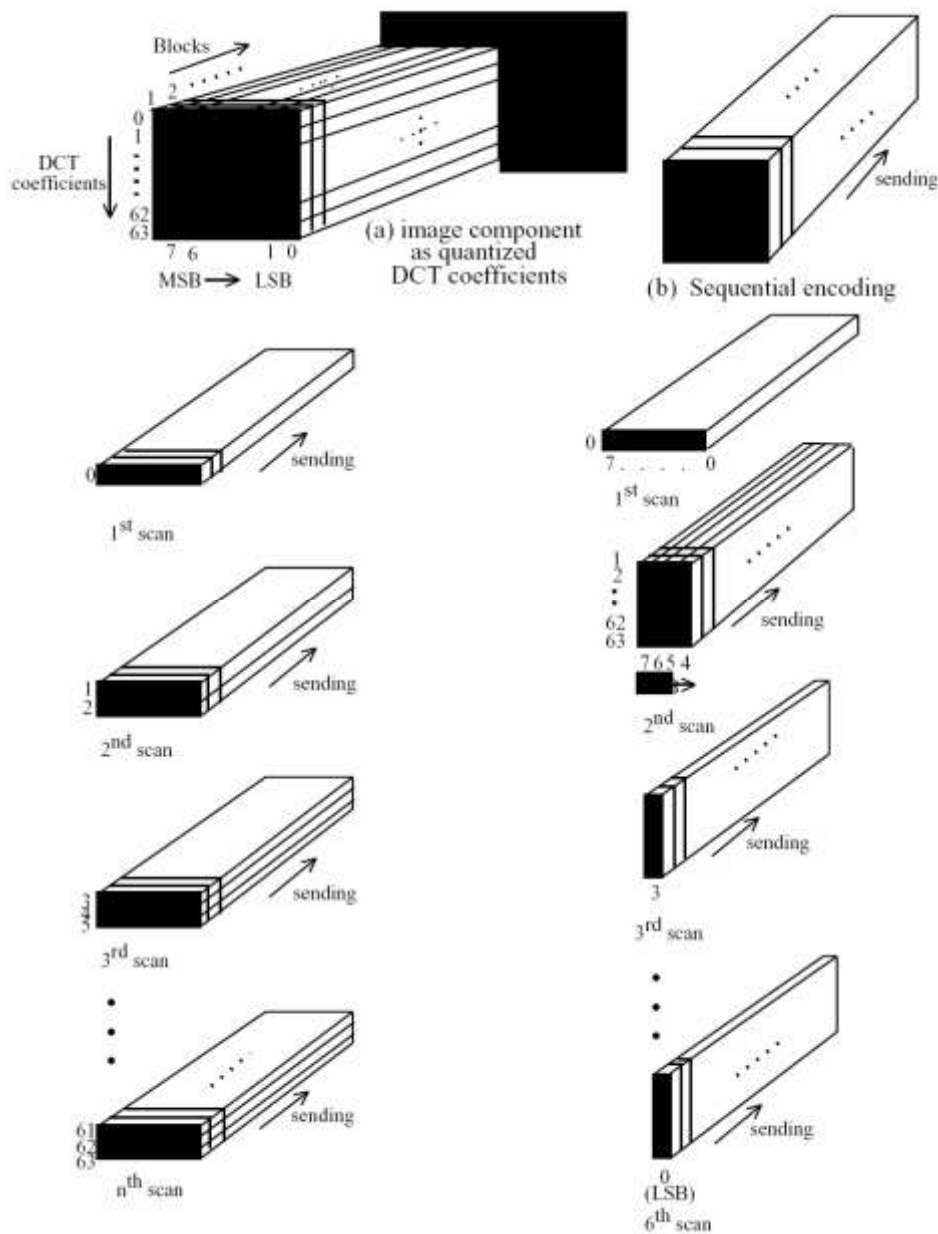
**Πίνακας 1.2 Βασική Κωδικοποίηση Εντροπίας**

## 1.14) Προοδευτική Κατάσταση Λειτουργίας

Η προοδευτική DCT κατάσταση λειτουργίας αποτελείται από τα ίδια βήματα FDCT και κβάντισης (από την παράγραφο 1.4) που χρησιμοποιείται από την ακολουθιακή DCT κατάσταση λειτουργίας. Η βασική διαφορά είναι ότι κάθε component της εικόνας κωδικοποιείται σε πολλαπλές σαρώσεις και όχι σε μια μόνο σάρωση. Η πρώτη σάρωση κωδικοποιεί μια χονδρική αλλά αναγνωρίσιμη έκδοση της εικόνας που μπορεί να διαβιβαστεί γρήγορα σε σύγκριση με το συνολικό χρόνο μετάδοσης, και βελτιώνεται με τις επόμενες σαρώσεις μέχρι την επίτευξη ενός επιπέδου ποιότητας εικόνας που καθορίζεται από τους πίνακες κβάντισης.

Για να το επιτύχει αυτό απαιτεί την προσθήκη μιας μνήμης απομονωτή (buffer) μεγέθους ίδιου με της εικόνας στην έξοδο του κβαντιστή, πριν από την είσοδο στον κωδικοποιητή εντροπίας. Η μνήμη απομονωτή πρέπει να είναι ικανοποιητικού μεγέθους για να αποθηκεύσει την εικόνα με την μορφή κβαντισμένων συντελεστών DCT, κάθε ένας από τους οποίους (εάν αποθηκεύεται απευθείας) είναι 3 bits μεγαλύτερος από τα δείγματα της πηγαίας εικόνας. Μετά από κάθε block DCT οι συντελεστές κβαντίζονται, αποθηκεύονται στο buffer συντελεστών. Οι αποθηκευμένοι συντελεστές έπειτα κωδικοποιούνται μερικώς σε κάθε μια από τις πολλαπλές σαρώσεις.

Υπάρχουν δύο συμπληρωματικές μέθοδοι με τις οποίες ένα block κβαντισμένων συντελεστών DCT μπορεί να είναι μερικώς κωδικοποιημένο. Κατ' αρχής, μόνο μια ορισμένη "ζώνη" συντελεστών από την zig-zag ακολουθία χρειάζεται να κωδικοποιηθεί σε μια δεδομένη σάρωση. Αυτή η διαδικασία λέγεται φασματική επιλογή, επειδή κάθε ζώνη τυπικά περιέχει τους συντελεστές που καταλαμβάνουν ένα χαμηλότερο ή υψηλότερο μέρος του χωρικού φάσματος συχνότητας για εκείνο το 8x8 block. Αφετέρου, οι συντελεστές μέσα στην τρέχουσα ζώνη δεν χρειάζεται να κωδικοποιηθούν στην ολική τους (κβαντισμένη) ακρίβεια σε μια δεδομένη σάρωση. Κατά την διάρκεια της πρώτης κωδικοποίησης ενός συντελεστή, τα N σημαντικότερα bits μπορούν να κωδικοποιηθούν πρώτα, όπου το N είναι προσδιορίσιμο. Στις επόμενες σαρώσεις, τα λιγότερο σημαντικά bits μπορούν να κωδικοποιηθούν. Αυτή η διαδικασία καλείται διαδοχική προσέγγιση. Και οι δύο διαδικασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωριστά ή μικτά, σε ευέλικτους συνδυασμούς.



γ) Φασματική Επιλογή

δ) Διαδοχική Προσέγγιση

**Σχήμα 1.10 Μέθοδοι Προοδευτικής Κωδικοποίησης: Φασματική Επιλογή Και Διαδοχική Προσέγγιση**

Κάποια ιδέα για τη φασματική επιλογή και την διαδοχική προσέγγιση μπορεί να δώσει το σχήμα 1.10. Οι κβαντισμένοι συντελεστές πληροφορίας DCT μπορούν να αντιμετωπιστούν σαν ένα ορθογώνιο για το οποίο οι άξονες είναι οι συντελεστές DCT (σε διάταξη zig-zag) και τα πλάτη τους. Η φασματική επιλογή τεμαχίζει τις πληροφορίες κατά την μια διάσταση και η διαδοχική προσέγγιση κατά την άλλη.

## 1.15) Ιεραρχική κατάσταση λειτουργίας

Η ιεραρχική κατάσταση παρέχει μια “πυραμιδική” κωδικοποίηση της εικόνας σε πολλαπλές αναλύσεις, με κάθε μια να διαφέρει στην ανάλυση από την παρακείμενη κωδικοποίησή του κατά ένα παράγοντα δύο είτε κατά την οριζόντια είτε κατά την κάθετη διάσταση ή και κατά τις δύο. Η διαδικασία κωδικοποίησης μπορεί να είναι συνοψιστεί ως εξής:

1. Φιλτράρισμα και υποδειγματοληψία της αρχικής εικόνας κατά τον επιθυμητό αριθμό πολλαπλασίων του 2 σε κάθε μια διάσταση.

2. Κωδικοποίηση αυτής της μειωμένου μεγέθους εικόνας χρησιμοποιώντας ένα από τους: ακολουθιακό DCT, προοδευτικό DCT, ή χωρίς απώλειες κωδικοποιητές που περιγράφονται προηγουμένως.

3. Αποκωδικοποίηση της μειωμένου μεγέθους εικόνας και έπειτα παρεμβολή και υπερδειγματοληψία της κατά 2 οριζόντια ή/και κάθετα, χρησιμοποιώντας το ίδιο φίλτρο παρεμβολής που ο δέκτης πρέπει να χρησιμοποιήσει.

4. Χρησιμοποίηση αυτής της υπερδειγματοληπτημένης εικόνας ως εκτίμηση της αρχικής σε αυτή την ανάλυση, και κωδικοποίηση της εικόνας διαφοράς χρησιμοποιώντας ένα από τους: ακολουθιακό DCT, προοδευτικό DCT, ή χωρίς απώλειες κωδικοποιητές που περιγράφονται προηγουμένως.

5. Επαναλαμβάνονται τα βήματα 3 και 4 μέχρι η πλήρης ανάλυση της εικόνας να έχει κωδικοποιηθεί.

Η κωδικοποίηση στα βήματα 2) και 4) πρέπει να γίνεται χρησιμοποιώντας μόνο DCT διαδικασίες, μόνο χωρίς απώλειες διαδικασίες, ή DCT διαδικασίες με μια τελικά χωρίς απώλειες διαδικασία για κάθε component. Η ιεραρχική κωδικοποίηση είναι χρήσιμη σε εφαρμογές μέσα στις οποίες μια εικόνα πολύ υψηλής ανάλυσης πρέπει να εμφανιστεί σε μια οθόνη χαμηλής ανάλυσης. Ένα παράδειγμα είναι μια εικόνα που σαρώνεται και συμπιέζεται σε υψηλή ανάλυση για έναν πολύ υψηλής ποιότητας εκτυπωτή, όταν η εικόνα πρέπει επίσης να δειχθεί σε μια χαμηλής ανάλυσης οθόνη υπολογιστή.

## Συμπεράσματα

Το πρότυπο συμπίεσης εικόνων συνεχών τόνων JPEG δεν ήταν μια πανάκεια για τα μυριάδες ζητήματα που έπρεπε να αντιμετωπιστούν πριν οι ψηφιακές εικόνες ενσωματωθούν πλήρως μέσα σε όλες τις εφαρμογές. Παραδείγματος χάριν, εάν δύο εφαρμογές δεν μπορούσαν να ανταλλάξουν ασυμπίεστες εικόνες επειδή χρησιμοποιούσαν ασυμβίβαστους χρωματικούς χώρους, διαφορετικές διαστάσεις, κ.λπ. μια μέθοδος συμπίεσης δεν μπορούσε να βοηθήσει. Εντούτοις, πολλές εφαρμογές ήταν κολλημένες επειδή οι δαπάνες αποθήκευσης ή μετάδοσης εικόνων ήταν πάρα πολύ μεγάλες. Για αυτές τις εφαρμογές, το πρότυπο JPEG προσέφερε νέες, οικονομικότερες λύσεις. Επιπλέον με την καθιέρωση του ως ένα διεθνές πρότυπο άνοιξε νέους ορίζοντες στην διαλειτουργικότητα των εφαρμογών. Αποτέλεσε δηλαδή σημαντικό εργαλείο στην διεύθυνση της συμπιεσμένης ψηφιακής εικόνας σε καθημερινές εφαρμογές. Ήταν δηλαδή ένα άλμα μπροστά από την τότε υπάρχουσα τεχνολογία, δεν μπόρεσε όμως να καλύψει τις εξειδικευμένες ανάγκες επιμέρους εφαρμογών. Το κενό αυτό έρχεται να καλύψει το νέο πρότυπο JPEG 2000.

## 2 JPEG 2000

---

### 2.1) Η Γέννηση του Προτύπου

Με την συνεχή εξάπλωση των πολυμέσων και των εφαρμογών του διαδικτύου, οι ανάγκες και οι απαιτήσεις μεγάλωσαν και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται εξελίχθηκαν. Το πρότυπο JPEG χρησιμοποιείται εδώ και μια δεκαετία περίπου. Έχει αποδειχτεί ένα πολύτιμο εργαλείο κατά την διάρκεια αυτών των χρόνων, αλλά δεν μπορεί να καλύψει τις υψηλού επιπέδου απαιτήσεις του σήμερα. Η ακίνητη εικόνα σήμερα είναι πολύ απαιτητική, όχι μόνο από την πλευρά της ποιότητας, αλλά και από την άποψη του μεγέθους. Το μέγεθος μιας εικόνας καλύπτει τάξεις μεγέθους, κυμαινόμενο από λογότυπα με μέγεθος μικρότερο από 100 Kbits μέχρι υψηλής ποιότητας σαρωμένες εικόνες μεγέθους 40 Gbits. Η ψηφιακή εικόνα έχει γίνει ένα αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μας, και η ανάγκη για ένα νέο ισχυρό εργαλείο που θα προσφέρει υψηλού επιπέδου δυνατότητες σε σχεδιαστές και χρήστες εφαρμογών εικόνας είναι έντονη.

Με φόντο αυτά τα δεδομένα τον Μάρτιο του 1997 έλαβε χώρα μια παγκόσμια πρόσκληση για την συμμετοχή στην ανάπτυξη ενός καινούριου προτύπου για την συμπίεση ακίνητης εικόνας, το πρότυπο JPEG 2000. Αυτή η ομάδα εργασίας που συγκροτήθηκε είχε σκοπό να δημιουργήσει ένα νέο σύστημα κωδικοποίησης εικόνας κατάλληλο για διαφορετικούς τύπους ακίνητης εικόνας (δύο επιπέδων, επιπέδων του γκρι, έγχρωμη, multi component), με διαφορετικά χαρακτηριστικά (φυσικές, επιστημονικές και ιατρικές εικόνες, ανίχνευση εξ' αποστάσεως, κείμενο, κ.τ.λ.) επιτρέποντας διαφορετικά μοντέλα χρήσης της εικόνας (client/server, μετάδοση πραγματικού χρόνου, ψηφιακών βιβλιοθηκών εικόνας, περιορισμένου εύρους ζώνης πόρους, κ.τ.λ.) κατά προτίμηση σε ένα ενοποιημένο σύστημα. Αυτό το σύστημα κωδικοποίησης έπρεπε να επιτρέπει λειτουργία σε χαμηλά bit-rates με παραμόρφωση εύρους και υποκειμενική ποιότητα εικόνας ανώτερη από αυτή των υπάρχοντων προτύπων, χωρίς να θυσιάζεται η απόδοση σε άλλα σημεία του παραμορφωμένου εύρους φάσματος, και την ίδια στιγμή να ενσωματώνει πολλά νέα ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά.

Το διεθνές πρότυπο JPEG 2000 εκπροσωπεί τις εξελίξεις στην τεχνολογία συμπίεσης εικόνας παρουσιάζοντας ένα σύστημα κωδικοποίησης που είναι βελτιστοποιημένο όχι μόνο στην απόδοση, αλλά επίσης στην κλιμάκωση και την διαλειτουργικότητα σε δικτυακά και κινητά περιβάλλοντα. Παρέχει μια ομάδα λειτουργιών που είναι σημαντικές για πολλές τελευταίας τεχνολογίας εμφανιζόμενες εφαρμογές που εκμεταλλεύονται αυτές τις νέες τεχνολογίες. Απευθύνεται σε τομείς όπου τα υπάρχοντα πρότυπα αποτυγχάνουν να παράγουν την καλύτερη ποιότητα ή απόδοση και παρέχει νέες δυνατότητες σε αγορές που μέχρι σήμερα δεν χρησιμοποιούσαν συμπίεση. Οι αγορές και οι εφαρμογές που εξυπηρετούνται καλύτερα από το πρότυπο JPEG 2000 είναι το διαδίκτυο, η εκτύπωση, η σάρωση, η ψηφιακή φωτογραφία, οι αισθητήρες, η κινητή και ιατρική εικόνα, ψηφιακές βιβλιοθήκες, και το ηλεκτρονικό εμπόριο.

### 2.2 Ζητούμενα Χαρακτηριστικά

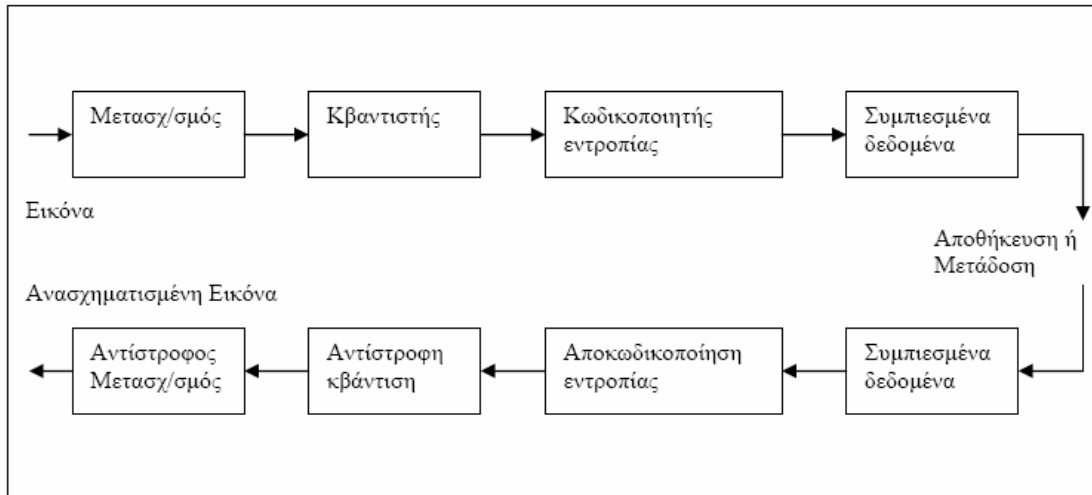
Ένα καινούριο πρότυπο για να επικρατήσει πρέπει να καλύψει τις ανάγκες μιας ευρείας περιοχής εφαρμογών παρουσιάζοντας μια πληθώρα νέων χαρακτηριστικών αλλά και κορυφαίες επιδόσεις στις προϋπάρχουσες λειτουργίες. Κάθε εφαρμογή επιβάλλει κάποιες απαιτήσεις που το πρότυπο, μέχρι κάποιο βαθμό, πρέπει να πληρεί. Κάποια από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά τα οποία ένα νέο πρότυπο πρέπει να έχει είναι τα εξής:



- **Ανώτερη απόδοση σε χαμηλά bit rates:** Το πρότυπο πρέπει να προσφέρει απόδοση ανώτερη από αυτήν των υπάρχοντων προτύπων σε πολύ χαμηλά bit rates. Η μετάδοση εικόνας σε δίκτυο και η ανίχνευση εξ' αποστάσεως είναι μερικές από τις εφαρμογές που απαιτούν αυτό το χαρακτηριστικό.
- **Συνεχών-Τόνων και Δύο Επιπέδων συμπίεση:** Επιδιώκεται να έχουμε ένα πρότυπο κωδικοποίησης που είναι σε θέση να κωδικοποιήσει και συνεχών-τόνων και δύο επιπέδων εικόνες. Εάν είναι εφικτό, αυτό το πρότυπο πρέπει να προσπαθεί να το επιτύχει αυτό χρησιμοποιώντας παρόμοιους πόρους σε ένα σύστημα. Το σύστημα πρέπει να συμπίεσει και να αποσυμπιέσει εικόνες με διαφορετικές δυναμικές περιοχές (π.χ., 1 έως 16 bit) για κάθε component χρώματος. Παραδείγματα εφαρμογών που μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτό το χαρακτηριστικό είναι τα σύνθετα έγγραφα με εικόνες και κείμενο, οι ιατρικές εικόνες με τις επικαλύψεις σχολίων, γραφικά και παραγμένες στον υπολογιστή εικόνες με δυαδικές ή σχεδόν δυαδικές περιοχές.
- **Χωρίς απώλειες και με απώλειες συμπίεση:** Είναι επιθυμητό να παρέχει χωρίς απώλειες συμπίεση φυσικά κατά τη διάρκεια μιας προοδευτικής αποκωδικοποίησης. Παραδείγματα εφαρμογών που μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτό το χαρακτηριστικό περιλαμβάνουν τις ιατρικές εικόνες, όπου η απώλεια δεν είναι πάντα ανεκτή, αρχειακές εφαρμογές εικόνας, όπου η υψηλότερη ποιότητα είναι ζωτικής σημασίας για τη συντήρηση αλλά μη απαραίτητη για την επίδειξη και εφαρμογές δικτύων που τροφοδοτούν συσκευές με διαφορετικές δυνατότητες και πόρους. Επίσης επιδιώκεται το πρότυπο να έχει την ιδιότητα να δημιουργεί μια ακολουθία bit η οποία επιτρέπει προοδευτική με απώλειες έως και χωρίς απώλειες ανακατασκευή.
- **Προοδευτική μετάδοση:** Η προοδευτική μετάδοση που επιτρέπει στις εικόνες να ανακατασκευαστούν με αυξανόμενη ακρίβεια pixel ή χωρική ανάλυση, είναι ουσιαστική για πολλές εφαρμογές όπως η περιήγηση στο διαδίκτυο, η αρχειοθέτηση εικόνων και η εκτύπωση τους.
- **Κωδικοποίηση Περιοχής Ενδιαφέροντος (Region Of Interest, ROI):** Συχνά υπάρχουν μέρη μιας εικόνας που είναι μεγαλύτερης σημασίας από άλλα. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα επιτρέπει στους χρήστες να καθορίσουν ορισμένες ROIs στην εικόνα ώστε να κωδικοποιηθούν και να μεταδοθούν σε καλύτερη ποιότητα και με λιγότερη διαστρέβλωση από το υπόλοιπο της εικόνας.
- **Ανοικτή αρχιτεκτονική:** Είναι επιθυμητό να επιτρέψουμε την ανοικτή αρχιτεκτονική, ώστε να μπορεί να βελτιστοποιηθεί το σύστημα για διαφορετικού τύπου εικόνες και εφαρμογές. Σύμφωνα με αυτό το χαρακτηριστικό, ένας αποκωδικοποιητής απαιτείται μόνο να υλοποιεί τον πυρήνα του κώδικα και τον parser που καταλαβαίνει την ακολουθία του κώδικα.
- **Ανθεκτικότητα σε σφάλματα bit:** Είναι επιθυμητό να εξεταστεί η ανθεκτικότητα στα σφάλματα bit σχεδιάζοντας την ακολουθία του κώδικα. Μια εφαρμογή, όπου αυτό είναι σημαντικό, είναι η μετάδοση μέσω ασύρματων καναλιών επικοινωνίας. Κομμάτια της ακολουθίας του κώδικα μπορεί να είναι σημαντικότερα από άλλα στον καθορισμό της ποιότητας της αποκωδικοποιημένης εικόνας. Κατάλληλος σχεδιασμός της ακολουθίας του κώδικα μπορεί να βοηθήσει τα επόμενα συστήματα αποκατάστασης σφαλμάτων στην ανακούφιση από τυχόν καταστροφική αποτυχία αποκωδικοποίησης.
- **Προστασία και ασφάλεια της εικόνας:** Προστασία μιας ψηφιακής εικόνας μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια διαφορετικών προσεγγίσεων όπως η υδατογράφιση, το μαρκάρισμα, η σφραγίδα ή η κρυπτογράφηση.

## 2.3 Η Δομή Του Προτύπου

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η δομή του Part I του προτύπου JPEG 2000 . Η βασική δομή του προτύπου φαίνεται στο παρακάτω block διάγραμμα το οποίο μάλιστα μοιάζει σημαντικά με το αντίστοιχο του απλού JPEG.



**Σχήμα 2.1 Δομή του Προτύπου JPEG 2000**

Πίσω όμως από τα επιμέρους κομμάτια κρύβονται σημαντικές διαφορές. Θα κάνουμε μια σύντομη περιγραφή ολόκληρου του συστήματος :

- Η πηγαία εικόνα αποσυντίθεται στα components της.
- Τα components της εικόνας (προαιρετικά) αποσυντίθενται σε τετράγωνα tiles τα οποία αποτελούν την βασική μονάδα της αρχικής ή ανακατασκευασμένης εικόνας.
- Ένας μετασχηματισμός κυματιδίου εφαρμόζεται σε κάθε tile. Το tile αποσυντίθεται σε διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης.
- Τα επίπεδα ανάλυσης είναι φτιαγμένα από υποζώνες συντελεστών που περιγράφουν τα συχνοτικά χαρακτηριστικά της τοπικής περιοχής του tile και όχι του συνολικού component της εικόνας.
- Οι υποζώνες των συντελεστών κβαντίζονται και συγκεντρώνονται σε ορθογώνιους πίνακες που λέγονται code blocks.
- Τα επίπεδα bit των συντελεστών σε ένα code block ( δηλαδή τα bits εκείνα των συντελεστών τα οποία έχουν την ίδια βαρύτητα ) κωδικοποιούνται με βάση την εντροπία.
- Η κωδικοποίηση μπορεί να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε ορισμένες περιοχές ενδιαφέροντος να μπορούν να κωδικοποιηθούν σε υψηλότερη ποιότητα από ότι το παρασκήνιο.
- Τοποθετούνται στην ακολουθία bit “σημάδια” που θα βελτιώσουν την αντοχή σε σφάλματα.
- Η ακολουθία κώδικα έχει ένα header στην αρχή που περιγράφει την αρχική εικόνα και τους διάφορους τύπους αποσύνθεσης και αποκωδικοποίησης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να

εντοπίσουν, να εξάγουν, να αποκωδικοποιήσουν και να ανασυνθέσουν την εικόνα με την επιθυμητή ανάλυση, πιστότητα, περιοχή ενδιαφέροντος και άλλα χαρακτηριστικά.

## 2.4 Βήματα Επεξεργασίας για DWT Κωδικοποίηση

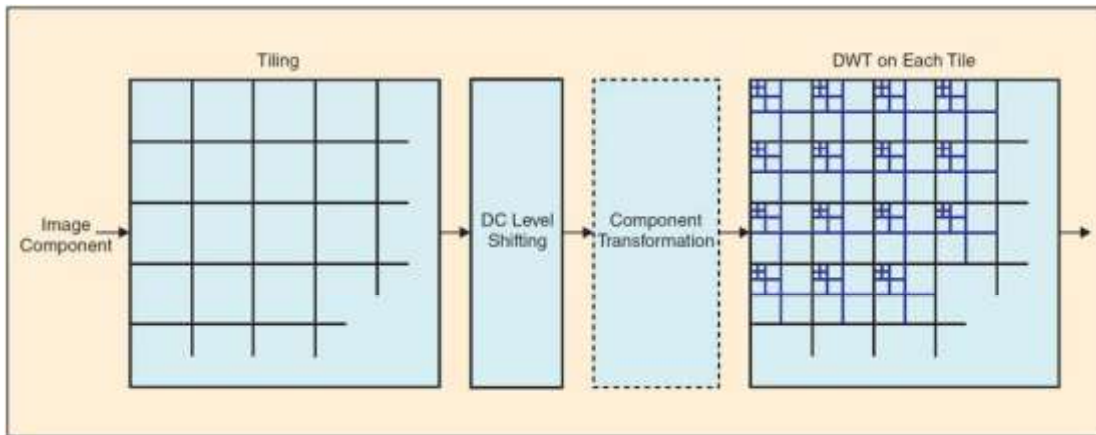
### 2.4.1 Το Tiling της Εικόνας

Με τον όρο ‘tiling’ αναφερόμαστε στην κατάτμηση της αρχικής εικόνας σε ορθογώνια μη αλληλεπικαλυπτόμενα κομμάτια (tiles) τα οποία συμπίεζονται ανεξάρτητα, σαν να ήταν τελείως διαφορετικές εικόνες. Όλες οι διαδικασίες, συμπεριλαμβάνοντας την μίξη των components, τον μετασχηματισμό κυματιδίου, την κβάντιση και την κωδικοποίηση εντροπίας εκτελούνται ανεξάρτητα στα κομμάτια αυτά της εικόνας. Το tile ενός component είναι η βασική μονάδα της αρχικής και της ανακατασκευασμένης εικόνας. Το tiling μειώνει τις απαιτήσεις σε μνήμη. Επιπλέον τα κομμάτια αυτά ανακατασκευάζονται ανεξάρτητα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποκωδικοποίηση συγκεκριμένων μερών της εικόνας αντί ολόκληρης της εικόνας. Όλα τα tiles έχουν ακριβώς τις ίδιες διαστάσεις, εκτός ίσως από εκείνα που βρίσκονται στα όρια της εικόνας. Τα tiles επιτρέπεται να πάρουν αυθαίρετα μεγέθη, συμπεριλαμβανομένου και ολόκληρης της εικόνας (δηλ. ολόκληρη η εικόνα θεωρείται ως ένα tile). Τα components με διαφορετικούς παράγοντες υποδειγματοληψίας είναι κατατεμημένα με βάση ένα υψηλής ευκρίνειας πλέγμα, το οποίο εξασφαλίζει χωρική συνέπεια στα προκύπτοντα tiles ενός component.

Όπως αναμένεται, το tiling έχει επιπτώσεις στην ποιότητα της εικόνας και υποκειμενικά και αντικειμενικά. Μικρότερα tiles δημιουργούν περισσότερα φαινόμενα κατάτμησης της τελικής εικόνας έναντι των μεγαλύτερων tiles. Με άλλα λόγια, μεγαλύτερα tiles αποδίδουν οπτικά καλύτερα από τα μικρότερα tiles. Η υποβάθμιση της εικόνας είναι χειρότερη στην περίπτωση του χαμηλού bit-rate σε σχέση με την περίπτωση του υψηλού bit-rate.

### 2.4.2 DC Μετατόπιση

Πριν από τον υπολογισμό του μετασχηματισμού κυματιδίου (DWT) σε κάθε tile εικόνας, όλα τα δείγματα του tile component εικόνας DC μετατοπίζονται με την αφαίρεση της ίδιας ποσότητας  $2^{P-1}$ , όπου το P είναι η ακρίβεια του component. Η μετατόπιση DC εκτελείται μόνο στα δείγματα των συστατικών που δεν είναι προσημασμένα. Η μετατόπιση DC δεν έχει επιπτώσεις στις στατιστικές αποκλίσεις. Στην πραγματικότητα μετατρέπει μια μη προσημασμένη αναπαράσταση σε μια αναπαράσταση συμπληρωματική ως προς το 2, ή και το αντίθετο. Εάν ο μετασχηματισμός χρώματος χρησιμοποιείται, η DC μετατόπιση εκτελείται πριν από τον υπολογισμό του μετασχηματισμού component. Στην πλευρά του αποκωδικοποιητή, αντίστροφη DC μετατόπιση εκτελείται στα αναδημιουργημένα δείγματα με την προσθήκη σε αυτά της ποσότητας  $2^{P-1}$  μετά από τον υπολογισμό του αντίστροφου μετασχηματισμού component.

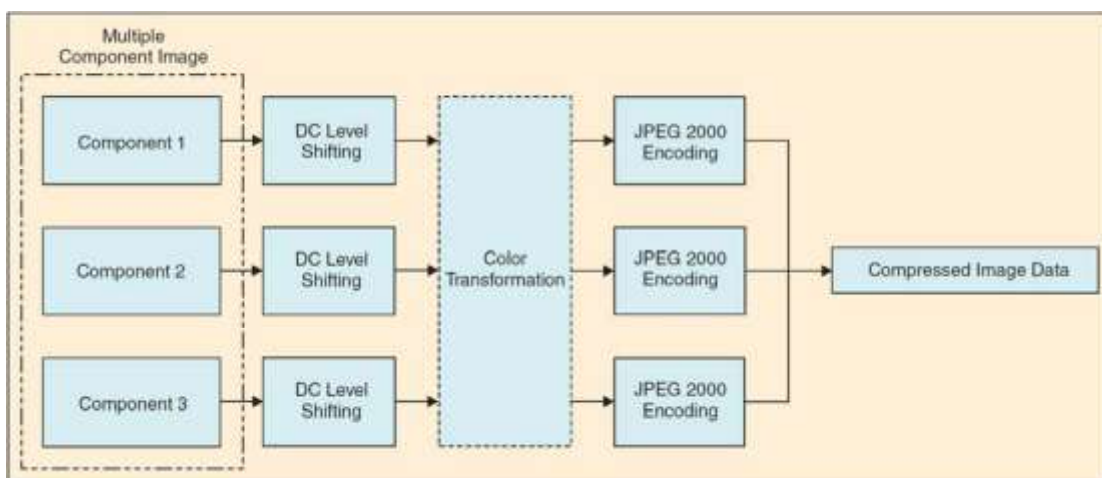


**Σχήμα 2.2 Βήματα Επεξεργασίας για DWT Κωδικοποίηση**

### 2.4.3 Μετασχηματισμός Component

Το JPEG 2000 υποστηρίζει εικόνες πολλαπλών components. Τα διαφορετικά components δεν χρειάζεται να έχουν το ίδιο βάθος ούτε είναι ανάγκη όλα τα bit να είναι προσημασμένα ή μη. Για αντιστρέψιμα (δηλ., χωρίς απώλειες) συστήματα, η μόνη απαίτηση είναι το βάθος bit κάθε τμήματος της ανακατασκευασμένης εικόνας να είναι ίδιο με το βάθος bit του αντίστοιχου τμήματος της αρχικής εικόνας.

Οι μετασχηματισμοί component βελτιώνουν τη συμπίεση και επιτρέπουν την βέλτιστη κβαντοποίηση, χρησιμοποιώντας την θεωρία της υποκειμενικής οπτικής. Το πρότυπο υποστηρίζει δύο διαφορετικούς μετασχηματισμούς component, έναν μη αντιστρέψιμο μετασχηματισμό component (ICT) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κωδικοποίηση με απώλειες και έναν αντιστρέψιμο μετασχηματισμό component (RCT) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κωδικοποίηση με ή χωρίς απώλειες, και όλα αυτά επιπρόσθετα στην κωδικοποίηση χωρίς μετασχηματισμό χρώματος. Το block διάγραμμα του πολλαπλών components κωδικοποιητή JPEG 2000 φαίνεται παρακάτω. (Χωρίς περιορισμό της γενικότητας, μόνο τρία components παρουσιάζονται. Αυτά τα components θα μπορούσαν να αντιστοιχούν στα RGB μιας έγχρωμης εικόνας).



**Σχήμα 2.3 Μετασχηματισμός Εικόνας Πολλαπλών Components**

Δεδομένου ότι οι ICT μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για τη με απώλειες κωδικοποίηση, μπορεί μόνο να χρησιμοποιηθεί με τον 9/7 μη αντιστρέψιμο μετασχηματισμό κυματιδίου. Ο ευθύς και ο αντίστροφος μετασχηματισμός ICT επιτυγχάνονται με τη βοήθεια των παρακάτω σχέσεων:

$$= *$$

$$= *$$

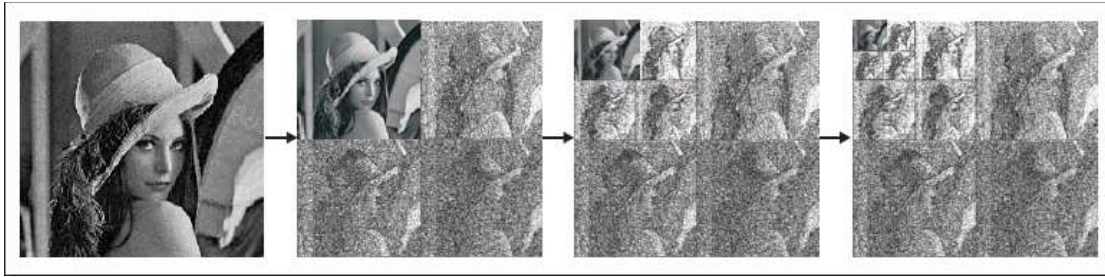
Δεδομένου ότι ο RCT μπορεί να χρησιμοποιείται για με ή χωρίς απώλειες κωδικοποίηση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο με τον 5/3 αντιστρέψιμο μετασχηματισμό κυματιδίου. Το RCT είναι ένας αποσυσχετιστικός μετασχηματισμός, ο οποίος εφαρμόζεται στα τρία πρώτα components κάθε εικόνας. Τρεις στόχοι επιτυγχάνονται με την χρήση αυτού του μετασχηματισμού, αποσυσχετίση χρώματος για αποδοτική συμπίεση, χρήση λογικού χρωματικού χώρου με σεβασμό στο ανθρώπινο οπτικό σύστημα για την κβάντιση και δυνατότητα συμπίεσης χωρίς απώλειες. Δηλαδή, ακριβή ανακατασκευή με πεπερασμένη ακρίβεια ακέραιων αριθμών. Για τα RGB συστατικά, ο RCT μπορεί να θεωρηθεί ως η προσέγγιση ενός μετασχηματισμού YUV. Και τα τρία components θα έχουν τις ίδιες παραμέτρους δειγματοληψίας και το ίδιο βάθος bit. Πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον τρία components εάν χρησιμοποιείται αυτός ο μετασχηματισμός. Ο ευθύς και ο αντίστροφος RCT εκτελούνται με τη βοήθεια των παρακάτω σχέσεων, αντίστοιχα, όπου ο δείκτης  $r$  αντιπροσωπεύει αντιστρεψιμότητα,

$$= \frac{\text{---}}{\text{---}}$$

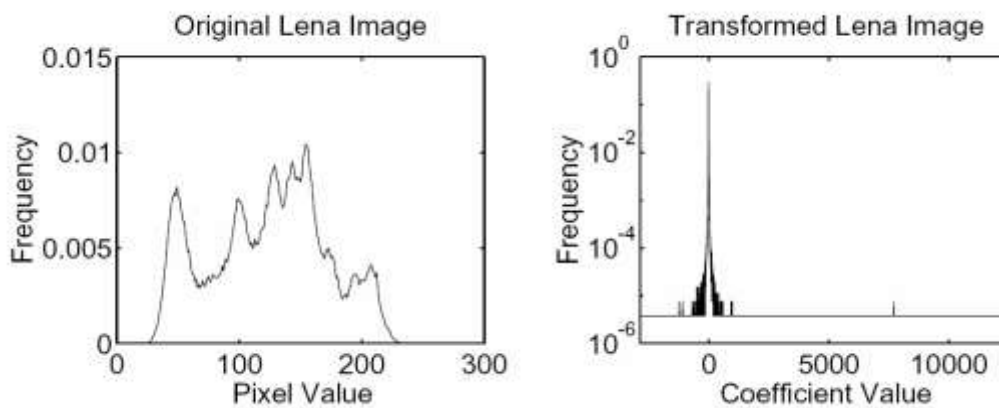
όπου είναι ο μεγαλύτερος ακέραιος αριθμός που δεν υπερβαίνει το  $a$ . Μελέτες πάνω σε διάφορες εικόνες αναφοράς έχουν δείξει ότι στον καινούριο χρωματικό χώρο που εισάγεται τα αποτελέσματα της συμπίεσης είναι πολύ καλύτερα τόσο χωρίς απώλειες όσο και με απώλειες.

#### 2.4.4 Διακριτός Μετασχηματισμός Κυματιδίου (wavelet transformation)

Η μετασχηματισμός κυματιδίου χρησιμοποιείται για την ανάλυση των tiles ενός component σε διαφορετικά επίπεδα αποσύνθεσης. Αυτά τα επίπεδα αποσύνθεσης περιέχουν έναν αριθμό υποζωνών, οι οποίες αποτελούνται από τους συντελεστές που περιγράφουν τα οριζόντια και κάθετα χωρικά χαρακτηριστικά συχρότητας του αρχικού tile component. Στο Part I του JPEG 2000 επιτρέπεται αριθμός αποσυνθέσεων που είναι δύναμη του 2 υπό μορφή δυαδικής αποσύνθεσης όπως φαίνεται για την εικόνα "Lena".



**Εικόνα 2.1 Η αποσύνθεση της εικόνας Lena σε υποζώνες**



**Σχήμα 2.5 Το φασματικό περιεχόμενο της εικόνας Lena**

Για να εκτελεστεί ο ευθύς DWT το πρότυπο χρησιμοποιεί μονοδιάστατη (1-D) αποσύνθεση υποζωνών ενός 1-D συνόλου δειγμάτων σε χαμηλοπερατά και υψιπερατά δείγματα. Τα χαμηλοπερατά δείγματα αντιπροσωπεύουν μια υποδειγματοληπτική χαμηλής ανάλυσης έκδοση του αρχικού συνόλου. Τα υψιπερατά δείγματα αντιπροσωπεύουν το υπόλοιπο μιας υποδειγματοληπτικής έκδοσης του αρχικού συνόλου, που απαιτείται για την τέλεια ανακατασκευή του αρχικού συνόλου από το χαμηλοπερατό σύνολο. Ο DWT μπορεί να είναι αντιστρέψιμος ή μη. Ο προεπιλεγμένος μη αντιστρέψιμος μετασχηματισμός εφαρμόζεται με τη βοήθεια του φίλτρου Daubechies 9-tap/7-tap. Η ανάλυση και οι αντίστοιχοι συντελεστές φίλτρων σύνθεσης δίνονται στον πίνακα 2.2. Ο προεπιλεγμένος αντιστρέψιμος μετασχηματισμός εφαρμόζεται με τη βοήθεια του φίλτρου Le Gall 5-tap/3-tap, οι συντελεστές του οποίου δίνονται μέσα στον πίνακα 2.1.

Table 4. Le Gall 5/3 Analysis and Synthesis Filter Coefficients.				
i	Analysis Filter Coefficients		Synthesis Filter Coefficients	
	Low-Pass Filter $h_L(i)$	High-Pass Filter $h_H(i)$	Low-Pass Filter $g_L(i)$	High-Pass Filter $g_H(i)$
0	6/8	1	1	6/8
$\pm 1$	2/8	-1/2	1/2	-2/8
$\pm 2$	-1/8			-1/8

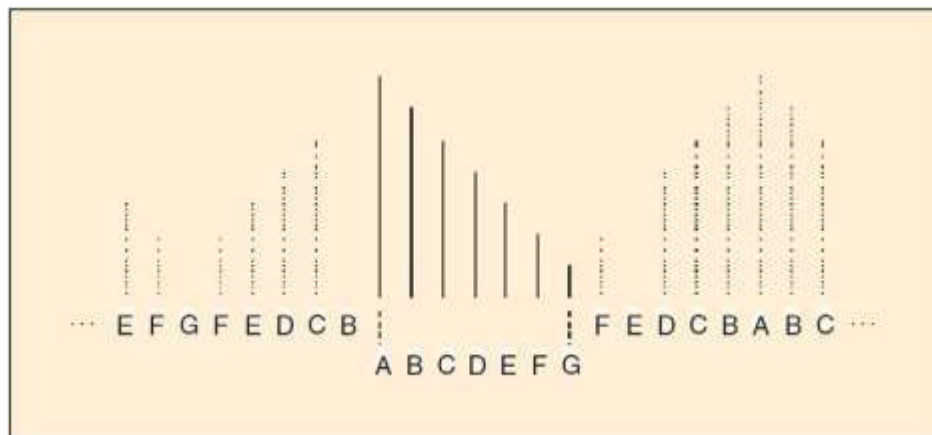
**Πίνακας 2.1 Συντελεστές Φίλτρου Le Gall**

Το πρότυπο μπορεί να υποστηρίξει δύο τρόπους φιλτραρίσματος: βασισμένο στην συνέλιξη και βασισμένο στην ανύψωση. Και για τους δύο τρόπους που εφαρμόζονται, το σήμα πρέπει πρώτα να επεκταθεί περιοδικά. Αυτή η περιοδική συμμετρική επέκταση χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει ότι για τις διαδικασίες φιλτραρίσματος που πραγματοποιούνται και στα δύο άκρα του σήματος, ένα δείγμα σήματος υπάρχει και αντιστοιχεί σε κάθε συντελεστή της μάσκας φίλτρου. Ο αριθμός πρόσθετων δειγμάτων που απαιτείται στα όρια του σήματος επομένως εξαρτάται από το μήκος του φίλτρου. Η συμμετρική επέκταση των άκρων είναι τύπου (1:1), δηλ., τα πρώτα και τελευταία δείγματα εμφανίζονται μόνο μια φορά και είναι ολόκληρο δείγμα (Whole Sample) αφού το μήκος του πυρήνα είναι περιττό.

Το βασισμένο στην συνέλιξη φιλτράρισμα συνίσταται στην εκτέλεση μιας σειράς πολλαπλασιασμών ανάμεσα στις δύο μάσκες και το επεκταμένο σήμα 1-D. Το βασισμένο στην ανύψωση φιλτράρισμα αποτελείται από μια ακολουθία πολύ απλών διαδικασιών φιλτραρίσματος για τις οποίες οι διαδοχικά περιττές τιμές δειγμάτων του σήματος διορθώνονται με ένα σταθμισμένο άθροισμα των άρτιων τιμών δειγμάτων, και οι άρτιες τιμές δειγμάτων διορθώνονται με ένα σταθμισμένο άθροισμα των περιττών τιμών δειγμάτων (Σχήμα 2.6).

Table 3. Daubechies 9/7 Analysis and Synthesis Filter Coefficients.		
Analysis Filter Coefficients		
i	Low-Pass Filter $h_L(i)$	High-Pass Filter $h_H(i)$
0	0.6029490182363579	1.115087052456994
$\pm 1$	0.2668641184428723	-0.5912717631142470
$\pm 2$	-0.07822326652898785	-0.05754352622849957
$\pm 3$	-0.01686411844287495	0.09127176311424948
$\pm 4$	0.02674875741080976	
Synthesis Filter Coefficients		
i	Low-Pass Filter $g_L(i)$	High-Pass Filter $g_H(i)$
0	1.115087052456994	0.6029490182363579
$\pm 1$	0.5912717631142470	-0.2668641184428723
$\pm 2$	-0.05754352622849957	-0.07822326652898785
$\pm 3$	-0.09127176311424948	0.01686411844287495
$\pm 4$		0.02674875741080976

**Πίνακας 2.2 Συντελεστές Φίλτρου Daubechies**



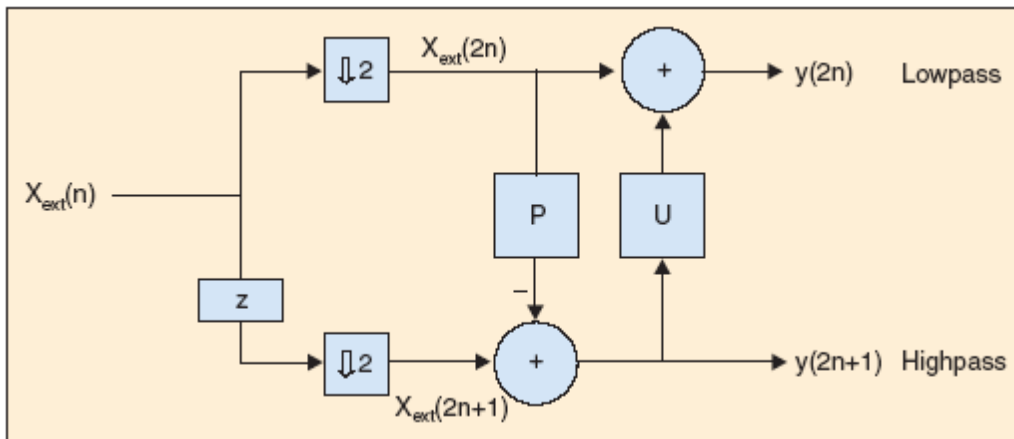
**Σχήμα 2.6 Επεκταμένο Σήμα**



Για την αντιστρέψιμη (χωρίς απώλειες) περίπτωση τα αποτελέσματα στρογγυλοποιούνται σε ακέραιες τιμές. Το φιλτράρισμα που βασίζεται στην ανύψωση για το 5/3 το φίλτρο ανάλυσης επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των:

$$y(2n+1) = (2n+1) - \frac{X_{ext}(2n) - X_{ext}(2n+1)}{2}$$

$$y(2n) = (2n) - \frac{X_{ext}(2n) + X_{ext}(2n+1)}{2}$$



**Σχήμα 2.7 Ο ευθύς μετασχηματισμός κυματιδίου με την μέθοδο της ανύψωσης**

Οι παραδοσιακές υλοποιήσεις του μετασχηματισμού κυματιδίου απαιτούν ολόκληρη η εικόνα να αποθηκεύεται σε κάποιο buffer και η λειτουργία φιλτράρισματος εκτελείται σε κατακόρυφες και οριζόντιες διευθύνσεις. Ενώ το φιλτράρισμα κατά την οριζόντια διεύθυνση είναι πολύ απλό, το φιλτράρισμα κατά την κάθετη διεύθυνση είναι πιο δύσκολο. Το φιλτράρισμα κατά μήκος μιας σειράς απαιτεί να διαβαστεί μια σειρά ενώ το φιλτράρισμα κατά μήκος μιας στήλης απαιτεί να διαβάζεται το σύνολο της εικόνας. Ο μετασχηματισμός κυματιδίου κατά γραμμή ξεπερνά αυτή τη δυσκολία, παρέχοντας ακριβώς τους ίδιους συντελεστές με την παραδοσιακή εφαρμογή μετασχηματισμού κυματιδίου. Εντούτοις, ο κατά γραμμή μετασχηματισμός κυματιδίου μόνο, δεν παρέχει ένα πλήρες παράδειγμα κωδικοποίησης κατά γραμμή για JPEG 2000. Ένας πλήρης κωδικοποιητής κατά γραμμή πρέπει να λαμβάνει επίσης υπόψη όλα τα επόμενα στάδια κωδικοποίησης μέχρι την κωδικοποίηση εντροπίας.

## 2.4.5 Κβάντιση

Μετά από το μετασχηματισμό, όλοι οι συντελεστές κβαντίζονται. Μια ομοιόμορφη κλιμακωτή κβάντιση χρησιμοποιείται στο Part I και κατά Trellis κωδικοποιημένη κβάντιση (TCQ) στο Part II του προτύπου. Η κβάντιση είναι η διαδικασία κατά την οποία μειώνεται η ακρίβεια των συντελεστών. Αυτή η λειτουργία προκαλεί απώλειες, εκτός αν το βήμα κβάντισης είναι 1 και οι συντελεστές είναι ακέραιοι αριθμοί, όπως γίνεται στον αντιστρέψιμο μετασχηματισμό κυματιδίου ακεραίων 5/3. Κάθε ένας από τους συντελεστές μετασχηματισμού  $(u,v)$  της υποζώνης  $b$  είναι κβαντισμένος στην τιμή  $(u,v)$  σύμφωνα με τον τύπο:

Το μέγεθος του βήματος κβάντισης αναπαριστάται σε σχέση με το δυναμικό εύρος της υποζώνης  $b$ . Με άλλα λόγια, το πρότυπο JPEG 2000 υποστηρίζει ξεχωριστά μεγέθη βήματος κβάντισης για κάθε υποζώνη. Εντούτοις, ένα μόνο μέγεθος βήματος κβάντισης επιτρέπεται ανά υποζώνη. Το δυναμικό εύρος εξαρτάται από τον αριθμό των bit που χρησιμοποιούνται για να αντιπροσωπεύσουν το αρχικό tile ενός component της εικόνας και από την επιλογή του μετασχηματισμού κυματιδίου. Όλοι οι κβαντισμένοι συντελεστές του μετασχηματισμού είναι προσημασμένες τιμές ακόμα και όταν τα αρχικά components είναι μη προσημασμένα. Για αντιστρέψιμη συμπίεση, το μέγεθος του βήματος κβάντισης απαιτείται να είναι ένα.

#### 2.4.6 Κωδικοποίηση Εντροπίας

Η κωδικοποίηση εντροπίας επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός συστήματος αριθμητικής κωδικοποίησης που συμπίεζει τα δυαδικά σύμβολα με βάση ένα προσαρμοστικό μοντέλο πιθανότητας που συνδέεται με κάθε ένα από 18 διαφορετικά περιεχόμενα κωδικοποίησης. Ο αλγόριθμος κωδικοποίησης MQ χρησιμοποιείται για να εκτελέσει αυτή τη δουλειά και για να διαχειριστεί την προσαρμογή των υποθετικών προτύπων πιθανότητας. Αυτός ο αλγόριθμος έχει επιλεχτεί εν μέρει για λόγους συμβατότητας με την μηχανή αριθμητικής κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται από το πρότυπο συμπίεσης JBIG2 και έχει καταβληθεί κάθε προσπάθεια για να εξασφαλιστεί ομογένεια (commonality) μεταξύ των υλοποιήσεων και παρεμφερών ζητημάτων πνευματικής ιδιοκτησίας για το JBIG2 και το JPEG 2000.

Η επαναλαμβανόμενη υποδιαίρεση διαστήματος πιθανότητας της κωδικοποίησης Elias είναι η βάση για τη δυαδική διαδικασία αριθμητικής κωδικοποίησης. Με κάθε δυαδική απόφαση, το τρέχον διάστημα πιθανότητας υποδιαιρείται σε δύο υποδιαστήματα, και η ακολουθία κώδικα είναι τροποποιημένη (εάν είναι απαραίτητο) έτσι ώστε να δείχνει τη βάση (το χαμηλότερο όριο) του υποδιαστήματος πιθανότητας που ορίστηκε στο σύμβολο, το οποίο εμφανίστηκε. Αφού η διαδικασία κωδικοποίησης περιλαμβάνει την προσθήκη των δυαδικών κλασμάτων και όχι την αλληλουχία ακέραιων κωδικών λέξεων, οι πιθανότερες δυαδικές αποφάσεις μπορούν συχνά να κωδικοποιούνται με κόστος πολύ μικρότερο από ένα bit ανά απόφαση.

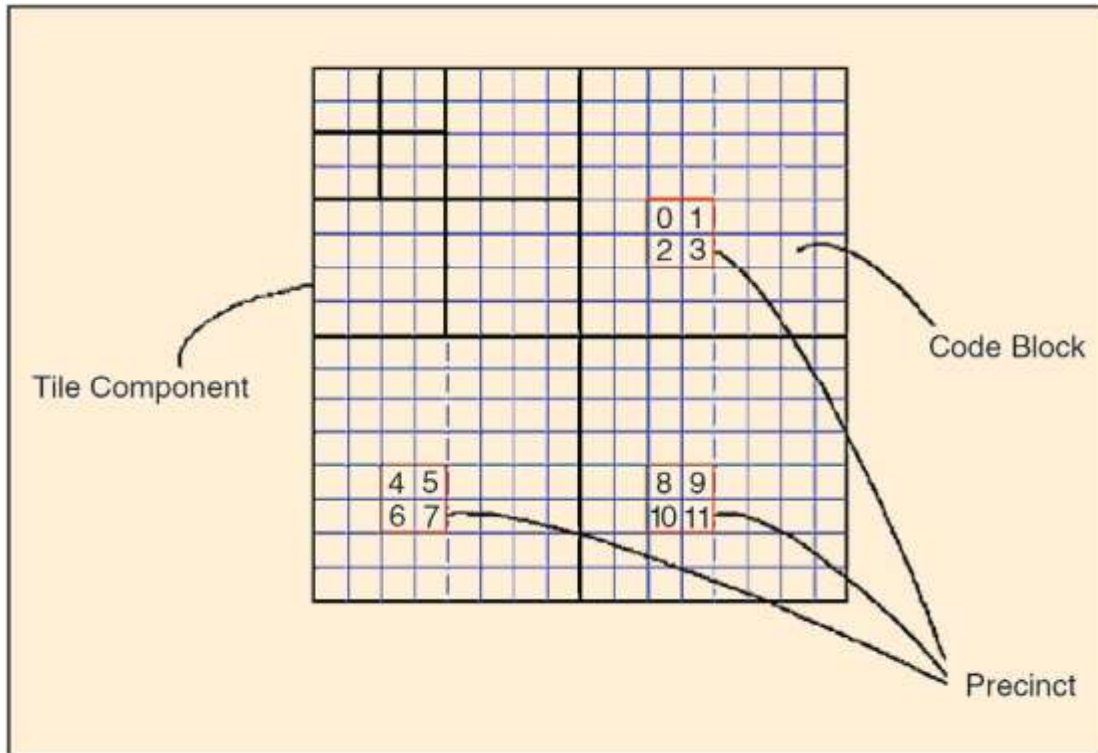
Όπως αναφέρεται παραπάνω, το JPEG 2000 χρησιμοποιεί πολύ περιορισμένο αριθμό περιεχομένων για οποιοδήποτε δεδομένο τύπο bit. Αυτό επιτρέπει τη γρήγορη πιθανοτική προσαρμογή και μειώνεται το κόστος των ανεξάρτητα κωδικοποιημένων τμημάτων. Το μοντέλο περιεχομένου επανεκκινείται πάντα στην αρχή κάθε ενός code block και ο αριθμητικός κωδικοποιητής τερματίζεται πάντα στο τέλος κάθε block (δηλ., μια φορά, στο τέλος του τελευταίου επιπέδου bit). Αυτό είναι επίσης χρήσιμο για την ανθεκτικότητα σε σφάλματα. (Ένα code block είναι η θεμελιώδης οντότητα για την κωδικοποίηση εντροπίας).

Επιπρόσθετα, ένας γρήγορος τρόπος (lazy mode) κωδικοποίησης χρησιμοποιείται για να μειώσει τον αριθμό συμβόλων που κωδικοποιούνται αριθμητικά. Με αυτόν τον τρόπο, μετά από την κωδικοποίηση του τέταρτου επιπέδου bit, το πρώτο και δεύτερο πέρασμα συμπεριλαμβάνονται ακατέργαστα (ασυμπίεστα στοιχεία), δηλ., ο MQ κωδικοποιητής παρακάμπτεται, ενώ μόνο στο τρίτο πέρασμα κωδικοποίησης κάθε επιπέδου bit χρησιμοποιείται αριθμητική κωδικοποίηση. Αυτό οδηγεί σε σημαντική επιτάχυνση τις εφαρμογές λογισμικού σε υψηλά bit rates. Η γρήγορη κωδικοποίηση έχει μια αμελητέα επίδραση στη αποδοτικότητα της συμπίεσης για τις περισσότερες φυσικές εικόνες, αλλά όχι για σύνθετες εικόνες.

## 2.5 Μορφοποίηση της ακολουθίας bit

### 2.5.1 Precincts & Code Blocks

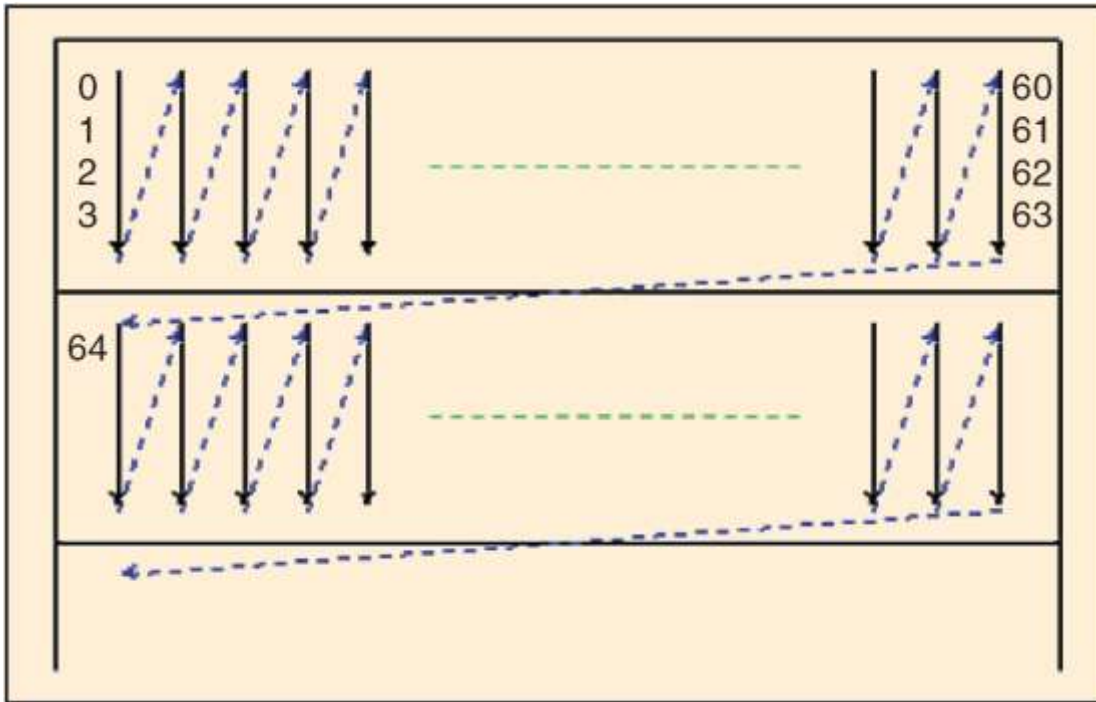
Μετά από την κβάντιση, κάθε υποζώνη διαιρείται σε ορθογώνια blocks, δηλ., σε μη αλληλεπικαλυπτόμενα ορθογώνια. Τρία χωρικά συμπαγή ορθογώνια (ένα από κάθε υποζώνη σε κάθε επίπεδο ανάλυσης) σχηματίζουν ένα precinct. Κάθε precinct διαιρείται περαιτέρω σε μη αλληλεπικαλυπτόμενα ορθογώνια, που λέγονται code blocks, τα οποία αποτελούν την είσοδο στον κωδικοποιητή εντροπίας. Το τυπικό μέγεθος του code block είναι τυπικά 64x64 και τουλάχιστον 32x32.



**Σχήμα 2.8 Precincts και Code Blocks**

Μέσα σε κάθε υποζώνη τα code blocks σαρώνονται με σειρά ράστερ. Αυτά τα code blocks κωδικοποιούνται έπειτα ανά επίπεδο bit κάθε φορά ξεκινώντας από το σημαντικότερο επίπεδο bit με μη μηδενικά στοιχεία και μέχρι το λιγότερο σημαντικό επίπεδο bit. Κάθε code block κωδικοποιείται εξ ολοκλήρου ανεξάρτητα, χωρίς αναφορά σε άλλα blocks στην ίδια ή άλλες υποζώνες. Αυτή η ανεξάρτητη ενσωματωμένη κωδικοποίηση blocks προσφέρει σημαντικά οφέλη, όπως η χωρική τυχαία πρόσβαση στο περιεχόμενο της εικόνας, αποδοτικούς γεωμετρικούς χειρισμούς της εικόνας, ανθεκτικότητα σφάλματος, παράλληλους υπολογισμούς κατά τη διάρκεια της κωδικοποίησης ή αποκωδικοποίησης, κ.λπ. Τα ανεξάρτητα επίπεδα bit των συντελεστών στο code block κωδικοποιούνται μέσα σε τρία περάσματα κωδικοποίησης. Κάθε ένα από αυτά τα περάσματα κωδικοποίησης συλλέγει τις συναφείς πληροφορίες για τα στοιχεία του επιπέδου bit. Ο αριθμητικός κωδικοποιητής χρησιμοποιεί αυτές τις συναφείς πληροφορίες και την εσωτερική κατάσταση του και παράγει μια συμπιεσμένη ακολουθία bit. Διαφορετικοί μηχανισμοί τερματισμού επιτρέπουν διαφορετικά επίπεδα ανεξάρτητης εξαγωγής της πληροφορίας αυτού του σταδίου της κωδικοποίησης. Κάθε επίπεδο bit ενός code block σαρώνεται με μια συγκεκριμένη σειρά. Ξεκινώντας από πάνω αριστερό, τα πρώτα τέσσερα bit της πρώτης στήλης σαρώνονται. Κατόπιν σαρώνονται τα πρώτα τέσσερα bit της δεύτερης στήλης, μέχρι που το πλάτος του code block καλύπτεται. Κατόπιν τα

δεύτερα τέσσερα bit της πρώτης στήλης ανιχνεύονται και έτσι συνεχίζεται η διαδικασία. Μια παρόμοια κάθετη σάρωση συνεχίζεται για όλες τις εναπομείναντες σειρές στα χαμηλότερα code blocks της υποζώνης. Αυτό το ύψος λωρίδας έχει προσεκτικά επιλεγεί για να διευκολύνει τις αποδοτικές υλοποιήσεις υλικού και εφαρμογών λογισμικού.



**Σχήμα 2.9 Σειρά Κωδικοποίησης**

Κάθε bit συντελεστή στο επίπεδο bit κωδικοποιείται σε ένα μόνο από τα τρία περάσματα κωδικοποίησης, δηλαδή καθορισμός σημασίας (significance propagation), ο έλεγχος μεγέθους (magnitude refinement), και το πέρασμα καθαρισμού (cleanup pass). Για κάθε πέρασμα, πλαίσια δημιουργούνται που παρέχονται στον αριθμητικό κωδικοποιητή.

Κατά τη διάρκεια του περάσματος καθορισμού σημασίας, ένα bit κωδικοποιείται εάν η θέση του δεν είναι σημαντική, αλλά τουλάχιστον ένα από τα του οκτώ γειτονικά bit είναι σημαντικό. Εννέα δοχεία περιεχομένου δημιουργούνται βασισμένα σε πόσα και ποια από αυτά είναι σημαντικά. Εάν ένας συντελεστής είναι σημαντικός κατόπιν δίνεται η τιμή 1 για τη δημιουργία του περιεχομένου, διαφορετικά δίνεται η τιμή 0. Η χαρτογράφηση του περιεχομένου εξαρτάται επίσης από το σε ποια υποζώνη (σε δεδομένο επίπεδο αποσύνθεσης) βρίσκεται το code block. Το πέρασμα καθορισμού σημασίας περιλαμβάνει μόνο τα bits των συντελεστών που δεν είναι σημαντικά (τα σημαντικά bits δεν έχουν αντιμετωπιστεί ακόμα) και έχουν ένα μη μηδενικό περιεχόμενο. Όλοι οι άλλοι συντελεστές παρακάμπτονται. Το περιεχόμενο μεταφέρεται στον αριθμητικό αποκωδικοποιητή (μαζί με ακολουθία bit) και το αποκωδικοποιημένο bit του συντελεστή επιστρέφεται.

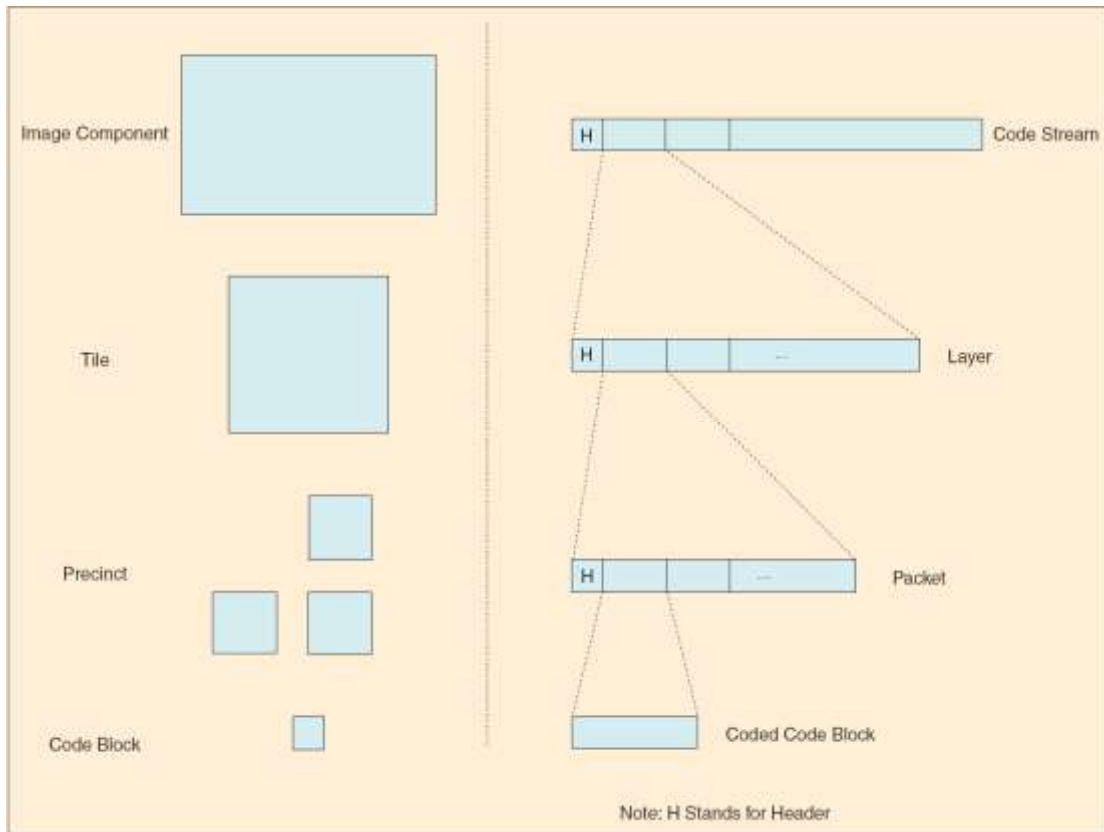
Το δεύτερο πέρασμα είναι το πέρασμα ελέγχου μεγέθους. Κατά τη διάρκεια αυτού του περάσματος, όλα τα bits που έγιναν σημαντικά σε ένα προηγούμενο επίπεδο bit κωδικοποιούνται. Το πέρασμα ελέγχου μεγέθους περιλαμβάνει τα bits από τους συντελεστές που είναι ήδη σημαντικοί (εκτός από εκείνους που έγιναν μόλις σημαντικοί στο αμέσως προηγούμενο πέρασμα απόδοσης σημασίας). Το περιεχόμενο που χρησιμοποιείται καθορίζεται από το άθροισμα της κατάστασης σημασίας των οριζόντιων, κάθετων, και διαγώνιων γειτόνων. Αυτές είναι οι καταστάσεις που αυτήν την στιγμή είναι γνωστές στον αποκωδικοποιητή, όχι οι καταστάσεις που χρησιμοποιούνται πριν από την πέρασμα αποκωδικοποίησης σημασίας. Επιπλέον, εξαρτάται από το εάν αυτό είναι το πρώτο bit ελέγχου (το bit αμέσως μετά από το bit σημασίας και τα bits πρόσημου) ή όχι.

Το τελικό πέρασμα είναι το πέρασμα καθαρισμού στο οποίο όλα τα bits που δεν κωδικοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των προηγούμενων περασμάτων κωδικοποιούνται (δηλ., συντελεστές που είναι ασήμαντοι και είχαν την τιμή περιεχομένου μηδέν κατά τη διάρκεια του περάσματος καθορισμού σημασίας). Το πέρασμα καθαρισμού όχι μόνο χρησιμοποιεί το περιεχόμενο των γειτόνων, όπως αυτό από το πέρασμα καθορισμού σημασίας, αλλά και το περιεχόμενο μήκους διαδρομής. Η κωδικοποίηση μήκους διαδρομής εμφανίζεται όταν και οι τέσσερις θέσεις σε μια στήλη της ανίχνευσης είναι ασήμαντες και κάθε μια έχει μόνο ασήμαντους γείτονες.

## 2.5.2 Πακέτα & Layers

Για κάθε code block, μια ξεχωριστή ακολουθία bit παράγεται. Καμία πληροφορία από άλλα blocks δεν χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της παραγωγής κάποιου block από την ακολουθία bit. Η βελτιστοποίηση της παραμόρφωσης εύρους χρησιμοποιείται για να εντοπίσει τα σημεία αποκοπής σε κάθε code block. Η ακολουθία bit έχει την ιδιότητα ότι μπορεί να είναι περικομμένη σε μια ποικιλία διακριτών μηκών, και η παραμόρφωση που έχει υποστεί κατά την ανακατασκευή κάθε ένα από αυτά τα υποσύνολα, υπολογίζεται και φαίνεται από το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Mean Squared Error, MSE). Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κωδικοποίησης, τα μήκη και οι παραμορφώσεις υπολογίζονται και αποθηκεύονται προσωρινά με την ίδια την συμπιεσμένη ακολουθία bit. Οι συμπιεσμένες ακολουθίες bit από κάθε code block σε έναν precinct περιλαμβάνει το σώμα ενός πακέτου. Μια συλλογή πακέτων, ένα από κάθε precinct κάθε επιπέδου ανάλυσης, αποτελεί το layer (σχήμα 2.10).

Ένα πακέτο θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως μια ποιοτική αύξηση για ένα επίπεδο ανάλυσης σε μια χωρική θέση, δεδομένου ότι τα precincts αντιστοιχούν κατά προσέγγιση στις χωρικές θέσεις. Ομοίως, ένα layer θα μπορούσε να ερμηνευθεί σαν μια ποιοτική αύξηση για ολόκληρη την εικόνα σε πλήρη ανάλυση. Κάθε layer διαδοχικά βελτιώνει την ποιότητα της εικόνας, έτσι ώστε ο αποκωδικοποιητής να είναι σε θέση να αποκωδικοποιήσει την συνεισφορά των code blocks που περιλαμβάνονται σε κάθε layer μέσα στην ακολουθία. Η τελική ακολουθία bit οργανώνεται σαν μια διαδοχή από layers. Κάθε component κωδικοποιείται ανεξάρτητα, και τα κωδικοποιημένα στοιχεία είναι interleaved στο επίπεδο των layers. Υπάρχουν τέσσερις τύποι προοδευτικότητας στην JPEG 2000 ακολουθία bit, δηλαδή ανάλυσης, ποιότητας, χωρικής θέσης και component. Οι διάφοροι τύποι προοδευτικότητας επιτυγχάνονται με κατάλληλη διάταξη των πακέτων μέσα στην ακολουθία bit (υποθέτοντας ότι η εικόνα αποτελείται από ένα ενιαίο tile).



**Σχήμα 2.10 Πακέτα και Layers**

## 2.6 Αξιοπρόσεκτα χαρακτηριστικά

Το πρότυπο JPEG 2000 επιδεικνύει πολλά ωραία χαρακτηριστικά, με σημαντικότερο την δυνατότητα να καθοριστεί ROI σε μια εικόνα, χωρική και (ποιοτική) SNR scalability, ανθεκτικότητα σε σφάλματα, και τη δυνατότητα της προστασίας δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά ενσωματώνονται μέσα σε έναν ενοποιημένο αλγόριθμο. Μια επισκόπηση αυτών των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων ακολουθεί.

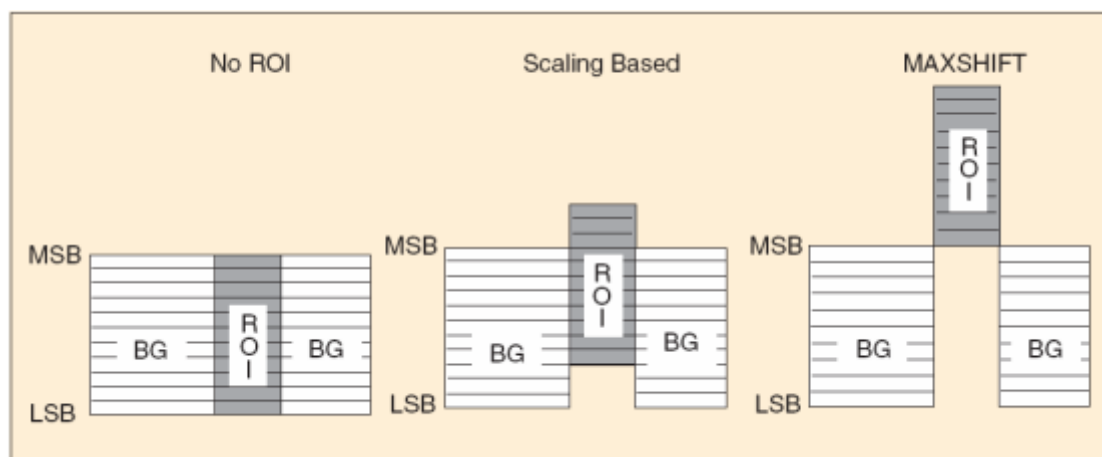
### 2.6.1 ROI

Η λειτουργία ROI είναι σημαντική σε εφαρμογές όπου ορισμένα μέρη της εικόνας είναι σημαντικότερα από άλλα. Σε αυτή την περίπτωση, αυτές οι περιοχές πρέπει να κωδικοποιηθούν σε υψηλότερη ποιότητα από άλλες (πχ. Στην εικόνα 2.11 τα κεφάλια των δυο παιδιών είναι κωδικοποιημένα σε εμφανώς καλύτερη ποιότητα από την υπόλοιπη εικόνα). Κατά τη διάρκεια της μετάδοσης της εικόνας, αυτές οι περιοχές πρέπει να μεταδοθούν πρώτα ή με υψηλότερη προτεραιότητα, όπως παραδείγματος χάριν στην περίπτωση της προοδευτικής μετάδοσης.



**Εικόνα 2.2 Εφαρμογή μάσκας ROI**

Η διαδικασία κωδικοποίησης ROI στο Part I του προτύπου είναι βασισμένη στην αποκαλούμενη μέθοδο MAXSHIFT. Η μέθοδος MAXSHIFT είναι μια επέκταση της γενικής ROI μεθόδου κλιμακωτής κωδικοποίησης. Η γενική αρχή της, βασισμένης στην κλιμάκωση μεθόδου, είναι η κλιμάκωση (shift) των συντελεστών έτσι ώστε τα bit που συνδέονται με την ROI να τοποθετούνται σε υψηλότερα επίπεδα bit από τα bit που συνδέονται με το παρασκήνιο όπως απεικονίζονται στο σχήμα 2.12. Κατόπιν, κατά τη διάρκεια της ενσωματωμένης διαδικασίας κωδικοποίησης, τα σημαντικότερα επίπεδα bit ROI τοποθετούνται στην ακολουθία bit πριν από οποιαδήποτε επίπεδα bit παρασκήνιου της εικόνας. Ανάλογα με την τιμή της κλιμάκωσης, μπορεί μερικά bit των συντελεστών ROI να κωδικοποιηθούν μαζί με συντελεστές που δεν ανήκουν στην ROI. Κατά συνέπεια, η ROI θα αποκωδικοποιηθεί, ή θα ραφιναριστεί, πριν από την υπόλοιπη εικόνα. Ανεξάρτητα από την κλιμάκωση, μια πλήρης αποκωδικοποίηση της ακολουθίας bit οδηγεί στην ανακατασκευή ολόκληρης της εικόνας με την υψηλότερη διαθέσιμη ανάλυση.

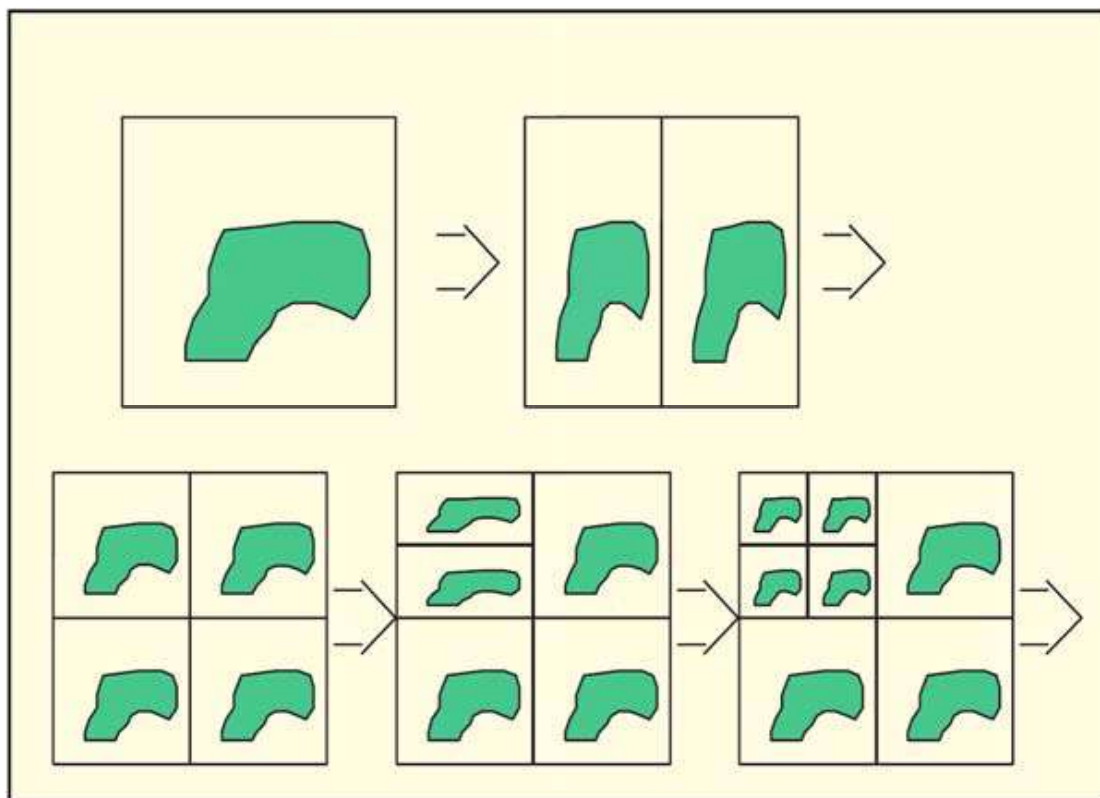


**Σχήμα 2.12 Κλιμάκωση**



Εάν η ακολουθία bit είναι περικομμένη, ή η διαδικασία κωδικοποίησης ολοκληρωθεί πριν να κωδικοποιηθεί πλήρως ολόκληρη η εικόνα, η ROI θα είναι υψηλότερης ανάλυσης από το υπόλοιπο της εικόνας. Στο JPEG 2000, η γενική μέθοδος κλιμάκωσης εφαρμόζεται ως εξής:

1. Υπολογίζεται ο μετασχηματισμός κυματιδίου.
2. Εάν μια ROI έχει καθοριστεί, παράγεται τότε μια μάσκα ROI, που δείχνει το σύνολο των συντελεστών που απαιτούνται για την χωρίς απώλειες ανακατασκευή της ROI.
3. Οι συντελεστές του μετασχηματισμού κυματιδίου κβαντίζονται. Οι κβαντισμένοι συντελεστές αποθηκεύονται με μια αναπαράσταση πρόσημου - μεγέθους. Τα bit μεγέθους περιλαμβάνουν το σημαντικότερο μέρος της χρησιμοποιούμενης ακρίβειας της υλοποίησης (ένας από τους λόγους για αυτό είναι για να επιτρέψει την υποδειγματοληψία των συντελεστών παρασκηνίου).
4. Οι συντελεστές που δεν ανήκουν στην ROI μειώνονται κατά μια ορισμένη τιμή κλιμάκωσης.
5. Οι προκύπτοντες συντελεστές σταδιακά μπαίνουν στον κωδικοποιητή εντροπίας (με τα σημαντικότερα επίπεδα bit πρώτα).



**Σχήμα 2.13 Δημιουργία μάσκας ROI στον χώρο του κυματιδίου**

Ο αποκωδικοποιητής αντιστρέφει αυτά τα βήματα για να ανακατασκευάσει την εικόνα (το βήμα 2 εκτελείται πριν από το βήμα 3). Σαν επιπλέον πληροφορίες, η τιμή κλιμάκωσης που ορίζονται για την ROI και οι συντεταγμένες της ROI προστίθενται στην ακολουθία bit. Ο αποκωδικοποιητής εκτελεί επίσης την δημιουργία της μάσκας ROI αλλά κλιμακώνει προς τα πάνω τους συντελεστές παρασκηνίου προκειμένου να αναδημιουργηθούν οι αρχικοί συντελεστές.



Σύμφωνα με τη μέθοδο MAXSHIFT, που χρησιμοποιείται στο Part I του προτύπου JPEG 2000, η τιμή κλιμάκωσης υπολογίζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε είναι δυνατές αυθαίρετα διαμορφωμένες ROIs χωρίς να είναι αναγκαία τα δεδομένα της μορφής που έχουν οι ROIs στον αποκωδικοποιητή. Αυτό σημαίνει επίσης ότι ο αποκωδικοποιητής δεν είναι απαραίτητο να δημιουργήσει μάσκες ROI (αυτό μπορεί ακόμα να απαιτείται στον κωδικοποιητή). Ο κωδικοποιητής σαρώνει τους κβαντισμένους συντελεστές και επιλέγει μια τιμή S κλιμάκωσης έτσι ώστε ο ελάχιστος συντελεστής που ανήκει στην ROI να είναι μεγαλύτερος από το μέγιστο συντελεστή του παρασκήνιου (περιοχή μη ROI). Ο αποκωδικοποιητής λαμβάνει την ακολουθία bit και αρχίζει τη διαδικασία της αποκωδικοποίησης. Κάθε συντελεστής που είναι μικρότερος από το S ανήκει στο παρασκήνιο και επομένως κλιμακώνεται προς τα πάνω. Ο αποκωδικοποιητής χρειάζεται μόνο στο να κλιμακώσει προς τα πάνω τους λαμβανόμενους συντελεστές παρασκήνιου.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου MAXSHIFT, σε σύγκριση με τη γενική μέθοδο κλιμάκωσης, είναι ότι η κωδικοποίηση αυθαίρετα διαμορφωμένων ROIs είναι τώρα δυνατή χωρίς την ανάγκη για δεδομένα μορφής στον αποκωδικοποιητή (δηλ., δεν απαιτείται αποκωδικοποιητής μορφής) και χωρίς την ανάγκη για υπολογισμό της μάσκας ROI. Ο κωδικοποιητής είναι επίσης απλούστερος, δεδομένου ότι καμία κωδικοποίηση μορφής δεν απαιτείται. Ο αποκωδικοποιητής είναι σχεδόν τόσο απλός όσο ένας που δεν είναι ικανός να αποκωδικοποιήσει ROI, ενώ μπορεί ακόμα να χειριστεί ROIs αυθαίρετης μορφής.

Στη μέθοδο MAXSHIFT, δεδομένου ότι τα επίπεδα bit με τις πληροφορίες που ανήκουν στην ROI είναι εντελώς χωρισμένα από εκείνα που ανήκουν στο παρασκήνιο, ο αριθμός των επιπέδων bit για την ROI και για το παρασκήνιο μπορεί να επιλεγεί ανεξάρτητα. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να επιλεγθούν διαφορετικά bit rates για το ROI και για το παρασκήνιο. Για να το κάνει αυτό, είναι αρκετό να απορρίψει τα λιγότερο σημαντικά επίπεδα bit της ROI και του παρασκήνιου. Με τη γενική μέθοδο κλιμάκωσης, δεν είναι δυνατό να ελεγχθούν αυτοί οι αριθμοί ανεξάρτητα.

Τα πειράματα έχουν δείξει ότι για τη χωρίς απώλειες κωδικοποίηση των εικόνων με ROIs, η μέθοδος MAXSHIFT αυξάνει το bit rate κατά περίπου 1% σε σύγκριση με τη χωρίς απώλειες κωδικοποίηση της εικόνας χωρίς ROI. Αυτός ο αριθμός είναι ακόμα μικρότερος έναντι της γενικής μεθόδου κλιμάκωσης, ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη τιμή κλιμάκωσης. Αυτό ισχύει για τις μεγάλες εικόνες (μεγαλύτερες από 2K\*2K) και για μεγέθη ROI περίπου 25% της εικόνας. Μια τέτοια επιπλέον πληροφορία είναι πράγματι μικρή, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η γενική μέθοδος κλιμάκωσης για αυθαίρετα διαμορφωμένη ROI θα απαιτούσε τις πληροφορίες μορφής για να διαβιβαστεί στον αποκωδικοποιητή, αυξάνοντας κατά συνέπεια το bit rate (χωρίς να ξεχάμε και την ανάγκη της παραγωγής κωδικοποιητών/αποκωδικοποιητών μορφής και μασκών ROI στην πλευρά του αποκωδικοποιητή). Η μέθοδος MAXSHIFT οδηγεί σε μια πολύ μικρή αύξηση στο bit rate, έναντι της γενικής μεθόδου κλιμάκωσης. Στην πραγματικότητα, για αυθαίρετα διαμορφωμένες περιοχές, όπου οι πληροφορίες μορφής πρέπει να περιληφθούν στην ακολουθία bit, η γενική μέθοδος κλιμάκωσης και η μέθοδος MAXSHIFT επιτυγχάνουν παρόμοια bit rates.

Η μέθοδος MAXSHIFT επιτρέπει σε αυτούς που υλοποιούν ένα κωδικοποιητή να εκμεταλλευτούν διάφορες λειτουργίες που υποστηρίζονται από έναν συμβατό αποκωδικοποιητή. Παραδείγματος χάριν, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος MAXSHIFT για να κωδικοποιηθεί μια εικόνα με διαφορετική ποιότητα για τη ROI και το παρασκήνιο. Η εικόνα κβαντίζεται έτσι ώστε το ROI παίρνει την επιθυμητή ποιότητα (με ή χωρίς απώλειες) και εφαρμόζεται έπειτα η μέθοδος MAXSHIFT. Εάν η εικόνα κωδικοποιείται με έναν προοδευτικό κατά layers τρόπο, δεν χρειάζεται να κωδικοποιηθούν όλα τα layers των συντελεστών κυματιδίου που ανήκουν στο παρασκήνιο. Αυτό αντιστοιχεί στη χρησιμοποίηση διαφορετικών βημάτων κβαντοποίησης για την ROI και το παρασκήνιο. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μέθοδος MAXSHIFT μπορεί να δώσει τα παρόμοια αποτελέσματα με τη γενική μέθοδο κλιμάκωσης, χωρίς την ανάγκη των πληροφοριών μορφής και της παραγωγής μασκών στον αποκωδικοποιητή.

Η διαδικασία της κλιμάκωσης συντελεστών μπορεί, σε μερικές περιπτώσεις, να προκαλέσει προβλήματα υπερχειλίσης λόγω της πεπερασμένης ακρίβειας της υλοποίησης. Στο JPEG 2000 αυτό το πρόβλημα ελαχιστοποιείται δεδομένου ότι οι συντελεστές παρασκήνιου μειώνονται, και δεν κλιμακώνονται προς τα πάνω οι συντελεστές ROI. Κατά συνέπεια, εάν η ακρίβεια της υλοποίησης ξεπερνιέται μόνο τα λιγότερο σημαντικά επίπεδα bit του παρασκήνιου χάνονται (ο αποκωδικοποιητής ή ο κωδικοποιητής θα αγνοήσει αυτό το μέρος). Το πλεονέκτημα είναι ότι η ROI, που θεωρείται το

σημαντικότερο μέρος της εικόνας, αντιμετωπίζεται ακόμα βέλτιστα, ενώ η ποιότητα του παρασκηνίου επιτρέπεται να υποβαθμιστεί, αφού θεωρείται οπτικά λιγότερο σημαντικό.

## 2.6.2 Scalability

Κλιμακωτή κωδικοποίηση ακίνητης εικόνας σημαίνει την δυνατότητα να επιτυγχάνεται κωδικοποίηση σε περισσότερες από μια ποιότητες και / ή αναλύσεις ταυτόχρονα. Η κλιμακωτή κωδικοποίηση εικόνας εμπλέκει την παραγωγή μιας κωδικοποιημένης αναπαράστασης (bit stream) με ένα τρόπο που καθιστά δυνατή την παραγωγή εικόνων σε περισσότερες από μια ποιότητες και / ή αναλύσεις με κλιμακωτή αποκωδικοποίηση. Η κλιμάκωση (scalability) του bit stream είναι εκείνη η ιδιότητα του bit stream που επιτρέπει την αποκωδικοποίηση των κατάλληλων υποσυνόλων του bit stream για να δημιουργηθούν ολοκληρωμένες εικόνες ποιότητας και / ή ανάλυσης εξαρτώμενης από το ποσοστό του bit stream που αποκωδικοποιείται. Αποκωδικοποιητές διαφορετικής πολυπλοκότητας (από χαμηλής μέχρι υψηλής απόδοσης) μπορούν να συνυπάρχουν για ένα scalable bit stream. Ενώ αποκωδικοποιητές χαμηλής απόδοσης μπορούν μόνο να αποκωδικοποιήσουν μικρά κομμάτια του bit stream παράγοντας την βασική ποιότητα, οι αποκωδικοποιητές υψηλής απόδοσης μπορούν να αποκωδικοποιήσουν πολύ περισσότερα και να παράγουν σημαντικά καλύτερη ποιότητα.

Οι πιο σημαντικοί τύποι scalability είναι η SNR scalability και η χωρική ή ανάλυση scalability. Το πρότυπο κωδικοποίησης JPEG 2000 υποστηρίζει την scalability. Ένα βασικό πλεονέκτημα της κλιμακωτής συμπίεσης είναι ότι το bit rate στο οποίο στοχεύουμε δεν χρειάζεται να είναι γνωστό την στιγμή της συμπίεσης. Ένα σχετικό πλεονέκτημα πρακτικής σημασίας είναι ότι η εικόνα δεν χρειάζεται να κωδικοποιηθεί πολλές φορές ώστε να πάρουμε το επιθυμητό bit rate, πράγμα που είναι συχνό με το πρότυπο JPEG. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της scalability είναι η δυνατότητα να προσδίδει αντοχή σε σφάλματα μετάδοσης, καθώς η πιο σημαντική πληροφορία του χαμηλότερου στρώματος μπορεί να σταλθεί μέσω του καναλιού με καλύτερη απόδοση σφάλματος, ενώ η πληροφορία των λιγότερο σημαντικών στρωμάτων βελτίωσης μπορεί να σταλεί από κανάλι με κακή απόδοση σφάλματος. Και οι δυο τύποι scalability είναι πάρα πολύ σημαντικοί για το διαδίκτυο και τις εφαρμογές πρόσβασης δεδομένων και κλιμάκωσης εύρους ζώνης για ανθεκτική μετάδοση. Οι τύποι SNR και χωρική scalability περιλαμβάνουν την προοδευτική και ιεραρχική κωδικοποίηση που ορίζονται στο JPEG, αλλά είναι πιο γενικοί.

**SNR Scalability:** Η SNR scalability προορίζεται για χρήση σε συστήματα με πρωταρχικό κοινό χαρακτηριστικό ότι τουλάχιστον δυο layers είναι απαραίτητα. Η SNR scalability εμπλέκει την παραγωγή δυο τουλάχιστον layers εικόνας της ίδιας χωρικής ανάλυσης, αλλά διαφορετικής ποιότητας, από μια πηγαία εικόνα. Το χαμηλότερο layer κωδικοποιείται από τον εαυτό του για να προσφέρει την βασική ποιότητα εικόνας και τα layers βελτίωσης κωδικοποιούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιώνουν το χαμηλότερο layer. Ένα βελτιωτικό layer όταν προστίθεται στο χαμηλότερο στρώμα δημιουργεί μιας υψηλότερης ποιότητας ανακατασκευή της εικόνας εισόδου.

**Χωρική Scalability:** Η χωρική scalability προορίζεται για χρήση σε συστήματα με το πρωταρχικό κοινό χαρακτηριστικό ότι το ελάχιστο των δυο layers χωρικής ανάλυσης είναι απαραίτητο. Η χωρική scalability εμπλέκει την παραγωγή δυο τουλάχιστον layers χωρικής ανάλυσης από μια πηγή τέτοια ώστε το χαμηλότερο layer να κωδικοποιείται από μόνο του για να προσφέρει την βασική χωρική ανάλυση και το layer βελτίωσης περιλαμβάνει το χωρικό συμπλήρωμα του χαμηλότερου στρώματος και εμπεριέχει την πλήρη χωρική ανάλυση της εικόνας εισόδου.



**Εικόνα 2.3 Παράδειγμα Χωρικής Scalability**

Η χωρική scalability είναι χρήσιμη σε γρήγορης πρόσβασης βάσεις δεδομένων όπως και στην μεταφορά διαφορετικών αναλύσεων σε τερματικά με διαφορετικές δυνατότητες στον τομέα της εμφάνισης και του εύρους ζώνης.

Το JPEG 2000 υποστηρίζει επίσης ένα συνδυασμό χωρικής και SNR scalability. Είναι λοιπόν δυνατό να προχωρήσουμε προοδευτικά με χωρική scalability σε ένα δοσμένο επίπεδο ανάλυσης και μετά να αλλάξουμε την προοδευτικότητα σε SNR scalability σε ένα υψηλότερο επίπεδο. Αυτή η σειρά στην προοδευτικότητα επιτρέπει σε ένα εικονίδιο (thumbnail) να εμφανίζεται πρώτα, μετά μια εικόνα στην ανάλυση της οθόνης και στην συνέχεια σε ανάλυση κατάλληλη για εκτύπωση. Είναι φανερό ότι η SNR scalability σε κάθε ανάλυση επιτρέπει την καλύτερη δυνατή εικόνα να εμφανιστεί σε αυτή την ανάλυση.

Παρατηρείστε ότι η ακολουθία bit περιέχει δείκτες που ταυτοποιούν τον τύπο της προοδευτικότητας της ακολουθίας bit. Η πληροφορία αποθηκεύεται σε πακέτα τα οποία είναι ίδια ανεξάρτητα με τον τύπο της scalability που χρησιμοποιείται. Είναι λοιπόν ζωτικής σημασίας να αλλάξουμε τον τύπο της προοδευτικότητας ή να εξάγουμε οποιαδήποτε απαραίτητη πληροφορία από την ακολουθία bit. Για να αλλάξουμε την προοδευτικότητα από SNR προοδευτική σε προοδευτική ανάλυσης, ένας parser μπορεί να διαβάσει τους δείκτες, να αλλάξει τον τύπο της προοδευτικότητας στους δείκτες, και να γράψει τους νέους δείκτες στην νέα σειρά. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να επιτευχθεί γρήγορος μετασχηματισμός της ακολουθίας bit από ένα server χωρίς να απαιτείται η αποκωδικοποίηση και η επανακωδικοποίηση, ούτε καν η χρήση του MQ κωδικοποιητή. Η απαιτούμενη πολυπλοκότητα είναι αντίστοιχη με αυτή της απλής αντιγραφής της εικόνας.

Με παρόμοιο τρόπο, οι εφαρμογές που απαιτούν την χρήση της ασπρόμαυρης έκδοσης μιας συμπίεσμνης έγχρωμης εικόνας, όπως για παράδειγμα στην εκτύπωση μιας έγχρωμης εικόνας σε έναν ασπρόμαυρο εκτυπωτή, δεν χρειάζεται να παραλάβει όλα τα έγχρωμα components. Ένας αναλυτής (parser) μπορεί να διαβάσει τους δείκτες από τα color components και να γράψει τους δείκτες για το ένα μόνο component (πετώντας τα πακέτα που περιέχουν την πληροφορία του χρώματος).

### 2.6.3 Ανθεκτικότητα σε Σφάλματα

Η αντοχή σε σφάλματα είναι μια από τις πιο επιθυμητές ιδιότητες σε κινητές εφαρμογές και εφαρμογές διαδικτύου. Το JPEG 2000 χρησιμοποιεί έναν μεταβλητού μήκους κωδικοποιητή (αριθμητικό κωδικοποιητή) για να συμπίεσει τους κβαντισμένους συντελεστές κυματιδίου. Η μεταβλητού μήκους κωδικοποίηση είναι γνωστό ότι είναι επιρρεπής σε σφάλματα καναλιού και μετάδοσης. Ένα σφάλμα bit έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια συγχρονισμού στον αποκωδικοποιητή εντροπίας και η ανακατασκευασμένη εικόνα μπορεί να είναι κατεστραμμένη σε μεγάλο βαθμό. Για να βελτιωθεί η απόδοση της μετάδοσης συμπιεσμένων εικόνων σε κανάλια επιρρεπή σε σφάλματα, ανθεκτικά σε σφάλματα b/p και εργαλεία συμπεριλαμβάνονται στο πρότυπο. Τα εργαλεία ανθεκτικότητας σε σφάλματα αντιμετωπίζουν τα σφάλματα καναλιού χρησιμοποιώντας τις παρακάτω προσεγγίσεις: κατάτμηση δεδομένων και επανασυγχρονισμός, ανίχνευση σφαλμάτων και κάλυψη τους, και μετάδοση QoS βασισμένη στην προτεραιότητα. Η ανθεκτικότητα σε σφάλματα επιτυγχάνεται στο επίπεδο της κωδικοποίησης εντροπίας και στο επίπεδο των πακέτων.

Η κωδικοποίηση εντροπίας των κβαντισμένων συντελεστών γίνεται μέσα σε code blocks. Αφού η κωδικοποίηση και η αποκωδικοποίηση είναι ανεξάρτητες διαδικασίες, τα bit σφάλματα στην ακολουθία bit ενός code block περιορίζεται μέσα σε αυτό το block. Για να αυξηθεί η ανθεκτικότητα σε σφάλματα, ο τερματισμός του αριθμητικού κωδικοποιητή επιτρέπεται μετά από κάθε πέρασμα κωδικοποίησης. Αυτό επιτρέπει στον αριθμητικό αποκωδικοποιητή να συνεχίσει την αποκωδικοποίηση ακόμα και αν έχει γίνει κάποιο σφάλμα.

Η λειτουργία κωδικοποίησης lazy είναι επίσης χρήσιμη για τα την ανθεκτικότητα σε σφάλματα. Αυτό έχει σχέση με την προαιρετική αριθμητική κωδικοποίηση κατά την οποία τα bits δίνονται όπως είναι στην ακολουθία bit χωρίς αριθμητική κωδικοποίηση. Αυτό αποτρέπει την αναπαραγωγή των σφαλμάτων στα οποία είναι επιρρεπής η μεταβλητού μήκους κωδικοποίηση.

Στο επίπεδο του πακέτου, ένα πακέτο με δείκτη επανασυγχρονισμού επιτρέπει τον χωρική κατάτμηση και τον επανασυγχρονισμό. Αυτό τοποθετείται μπροστά από κάθε πακέτο σε ένα tile με μια ακολουθία αριθμών που ξεκινάει από το μηδέν και αυξάνεται με κάθε πακέτο.

### 2.6.4 Βάρη Οπτικής Συχνότητας

Το ανθρώπινο οπτικό σύστημα παίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα της συμπιεσμένης εικόνας που αντιλαμβανόμαστε. Οι σχεδιαστές συστημάτων και οι χρήστες πρέπει να είναι ικανοί να εκμεταλλευτούν τις παρούσες γνώσεις στην οπτική αντίληψη, π.χ. να υλοποιούν μοντέλα της μεταβλητής ευαισθησίας του οπτικού συστήματος σε χωρικές συχνότητες, όπως μετρούνται στην συνάρτηση ευαισθησίας αντίθεσης (CSF). Αφού η βαρύτητα της CSF υπολογίζεται από την οπτική συχνότητα του συντελεστή μετασχηματισμού, θα υπάρχει ένα CSF βάρος ανά υποζώνη στον μετασχηματισμό κυματιδίου

Δύο τύποι βαρών οπτικής συχνότητας υποστηρίζονται από το πρότυπο JPEG 2000. Η σταθερή οπτική στάθμιση (FVW) και η οπτική προοδευτική κωδικοποίηση ή οπτική προοδευτική στάθμιση (VPW). Στο FVW, μόνο ένα σύνολο βαρών CSF επιλέγεται και εφαρμόζεται σε συμφωνία με τις συνθήκες θέασης (viewing conditions). Στο VPW, διαφορετικά σύνολα CSF βαρών χρησιμοποιούνται στα διάφορα στάδια της ενσωματωμένης κωδικοποίησης. Αυτό γίνεται επειδή κατά τη διάρκεια ενός σταδίου προοδευτικής μετάδοσης, η εικόνα εμφανίζεται σαν να βρίσκεται σε διαφορετικές αποστάσεις. Παραδείγματος χάριν, στα χαμηλά bit rates, η εικόνα φαίνεται από μια σχετικά μεγάλη απόσταση, ενώ όσο περισσότερα bits λαμβάνονται η ποιότητα βελτιώνεται, η απόσταση θέασης μειώνεται (ο χρήστης ενδιαφέρεται για λεπτομέρειες και η απόσταση θέασης μειώνεται ή η εικόνα μεγεθύνεται, που είναι ισοδύναμο με τη μείωση της απόστασης θέασης). Η FVW μπορεί να θεωρηθεί ως ειδική περίπτωση της VPW.

## 2.6.5 IPR Δυνατότητες

Το πρότυπο αρχείων JPEG 2000 ξεκινά με μια μοναδική υπογραφή (unique signature) και περιέχει το μέγεθος της εικόνας, το βάθος bit των components στο αρχείο σε περιπτώσεις όπου το βάθος bit δεν είναι σταθερό σε όλα τα components, τον χρωματικό χώρο της εικόνας, ο τύπος και η διάταξη των components μέσα στην ακολουθία κώδικα, η ανάλυση της εικόνας, η ανάλυση στην οποία η εικόνα ελήφθη, η προεπιλεγμένη ανάλυση στην οποία η εικόνα πρέπει να επιδειχθεί, η ακολουθία κώδικα, πληροφορίες πνευματικής ιδιοκτησίας για την εικόνα, ένα εργαλείο με το οποίο οι προμηθευτές μπορούν να προσθέσουν XML πληροφορίες σε ένα JP2 αρχείο, και άλλες πληροφορίες.

Η JP2 μορφή αρχείων είναι προαιρετική στο πρότυπο. Το JP2 πρότυπο αποτελεί τη βάση για την αποθήκευση στοιχείων για συγκεκριμένες εφαρμογές ( μεταδεδομένα ) σε συνδυασμό με μια JPEG 2000 ακολουθία κώδικα, καθώς και τις πληροφορίες που απαιτούνται για να εμφανιστεί η εικόνα. Αυτός ο τύπος έχει προβλέψει και για την εικόνα και για τα μεταδεδομένα και ορίζει μηχανισμούς για να εμφανίζουν ιδιότητες της εικόνας, όπως η κλίμακα των τόνων ή ο χρωματικός χώρος της εικόνας, για να αναγνωρίσει την ύπαρξη πληροφοριών δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας (IPR) στο αρχείο και για να συμπεριλάβει μεταδεδομένα. Τα μεταδεδομένα δίνουν την ευκαιρία στον αναγνώστη να αποσπάσει πληροφορίες για την εικόνα, χωρίς να πρέπει να την αποκωδικοποιήσει, επιτρέποντας κατά συνέπεια τη γρήγορη, βασισμένη στο περιεχόμενο, αναζήτηση σε μια βάση δεδομένων. Εκτός από τη διευκρίνιση του χρωματικού χώρου, το πρότυπο επιτρέπει την αποκωδικοποίηση ενός μόνο component της εικόνας.

## 2.7 Συμπεράσματα

Το νέο πρότυπο JPEG 2000 ήρθε στην ζωή μας με σκοπό να ταραξεί τα νερά στην τεχνολογία της συμπίεσης της εικόνας αλλά κατ' επέκταση και της συμπίεσης κινούμενης εικόνας. Υλοποιεί τον μετασχηματισμό κυματιδίου και την τεχνολογία των φίλτρων πολλαπλών ρυθμών (multi-rate filters) με αποτέλεσμα να βρίσκεται στην αιχμή της τεχνολογίας σε ότι αφορά την συμπίεση. Διαθέτει πολλά χαρακτηριστικά, που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν και "εξωτικά", που ανοίγουν νέους δρόμους και δημιουργούν νέες εφαρμογές της συμπίεσης εικόνας σε τομείς που μέχρι τώρα ήταν απρόσιτοι.

Από την άλλη πλευρά είναι ένα καινούριο πρότυπο το οποίο δεν είναι ακόμα πλήρως εξελιγμένο και κυρίως δεν έχει αφομοιωθεί από την αγορά. Η δοκιμή του προτύπου σε μεγάλες εφαρμογές, η προσαρμογή του από τους ίδιους τους χρήστες και η ευελιξία που μπορεί να επιδείξει ώστε να καθιερωθεί στην συνείδηση των χρηστών του είναι πάρα πολύ σημαντικά θέματα. Πρέπει δηλαδή να πείσει τους υποψήφιους χρήστες ότι είναι τόσο καλύτερο από τα προηγούμενα πρότυπα που αξίζει να τα αντικαταστήσει. Αυτή είναι μια ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία και παράλληλα δοκιμασία μέχρι την καθιέρωση. Εξάλλου η ιστορία έχει αποδείξει ότι δεν κερδίζει πάντα ο καλύτερος. Τα πρώτα βήματα του πάντως είναι θετικά και έχει ξεκινήσει η διείσδυση του στην αγορά. Το μέλλον του λοιπόν αναμένεται.

## 3 Σύγκριση JPEG - JPEG 2000

---

### 3.1 Σύγκριση JPEG - JPEG 2000

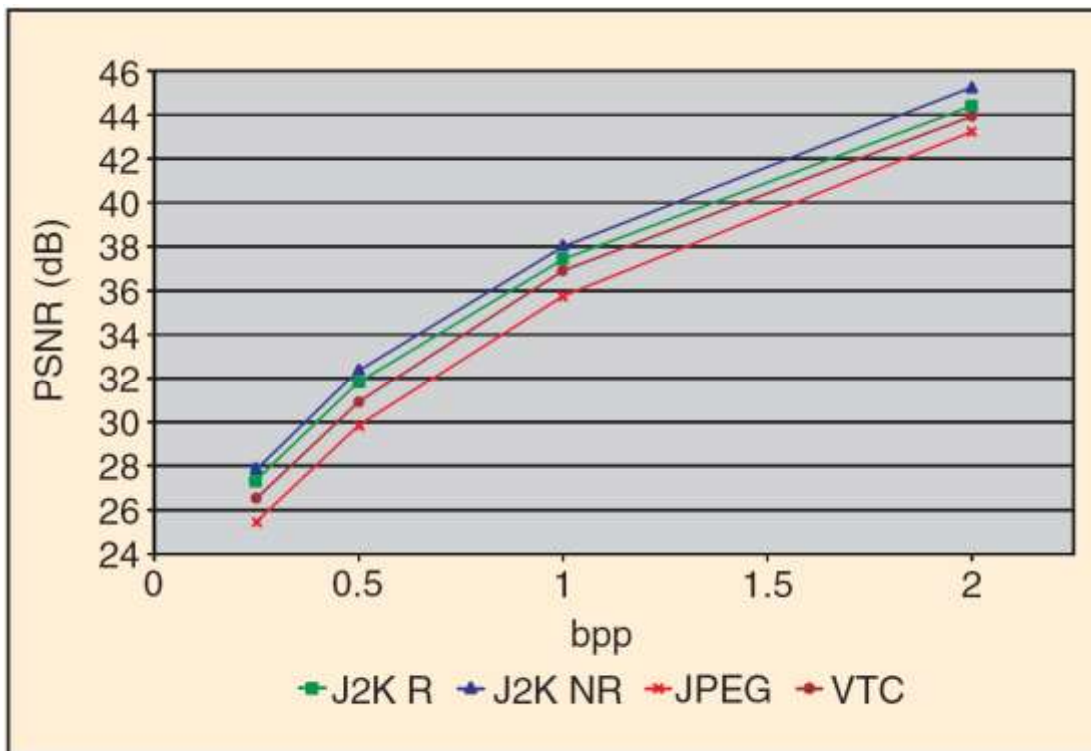
Για να κριθεί η απόδοση του JPEG 2000 σε σύγκριση με άλλα πρότυπα, εκτενείς συγκρίσεις έχουν γίνει όσον αφορά την απόδοση της κωδικοποίησης με ή χωρίς απώλειες και την ανθεκτικότητα σε σφάλματα. Οι αλγόριθμοι έχουν αξιολογηθεί σε διάφορες εικόνες οι οποίες καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα των τύπων εικόνας. Εδώ παρουσιάζεται μια μελέτη όπως παρουσιάστηκε από το περιοδικό Signal Processing Magazine της IEEE στο τεύχος Σεπτεμβρίου του 2001. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται για τα πειράματα αναφέρεται στον *πίνακα 3.1* και περιλαμβάνει υλοποιήσεις των προτύπων JPEG 2000, JPEG, JPEG LS και PNG.

Standard	Name of the Software	Source Code	Software Developers	Available at
JPEG 2000	Verification Model 8.6	C		<a href="http://www.jpeg.org">http://www.jpeg.org</a> (*)
JPEG 2000	JasPer	C	Image Power Univ. of British Columbia	<a href="http://www.ece.ubc.ca/mdadams/jasper">http://www.ece.ubc.ca/mdadams/jasper</a> <a href="http://spmg.ece.ubc.ca">http://spmg.ece.ubc.ca</a> <a href="http://www.imagepower.com">http://www.imagepower.com</a>
JPEG 2000	JJ2000	JAVA	Cannon Research EPFL Ericsson	<a href="http://jj2000.epfl.ch">http://jj2000.epfl.ch</a>
JPEG		C	Independent JPEG Group	<a href="http://www.ijg.org">http://www.ijg.org</a>
JPEG-LS	SPMG	C	Univ. of British Columbia	<a href="http://spmg.ece.ubc.ca">http://spmg.ece.ubc.ca</a>
Lossless JPEG		C	Cornell University	<a href="ftp://ftp.cs.cornell.edu/pub/multimed">ftp://ftp.cs.cornell.edu/pub/multimed</a>
PNG	PNG	C		<a href="ftp://ftp.uu.net/graphics.png">ftp://ftp.uu.net/graphics.png</a>

(\*) Available to members only

**Πίνακας 3.1** Υλοποιήσεις λογισμικού

**Συμπίεση Με Απώλειες:** Τα αντικειμενικά αποτελέσματα σύγκρισης (PSNR) μεταξύ των διαφορετικών προτύπων παρουσιάζονται γραφικά στο σχήμα 3.1. Είναι φανερό ότι το (non-reversible) JPEG 2000 με απώλειες (J2K NR) ξεπερνά όλα τα άλλα πρότυπα.



**Σχήμα 3.1 Απόδοση Συμπίεσης των Εξεταζόμενων Προτύπων**

Έναντι του προτύπου JPEG, το JPEG 2000 αποδίδει καλύτερα κοντά περίπου 2 DB για όλες τις αναλογίες συμπίεσης. Όπως αναμένεται, το χωρίς απώλειες (reversible) JPEG 2000 (J2KR) δεν αποδίδει το ίδιο καλά, λόγω της χρήσης των αντιστρέψιμων φίλτρων.

Η ανωτερότητα του JPEG 2000 έναντι του JPEG μπορεί να κριθεί και υποκειμενικά με τη βοήθεια της εικόνας 3.1, όπου η αναδημιουργημένη έγχρωμη εικόνα "ski" παρουσιάζεται μετά από τη συμπίεση σε 0,25 b/p. Αυτή η ανωτερότητα απόδοσης του JPEG 2000 αυξάνεται όσο μειώνεται το bit rate. Στην πραγματικότητα, από την άποψη της συμπίεσης, το JPEG 2000 δίνει περίπου 10 με 20% καλύτερη συμπίεση έναντι του βασικού JPEG, για ένα bit rate περίπου 1 b/p. Οπτικές συγκρίσεις συμπιεσμένων JPEG εικόνων (βασικό JPEG με βελτιστοποιημένους πίνακες Huffman) και JPEG 2000 συμπιεσμένων εικόνων έδειξε ότι για μια μεγάλη ομάδα εικόνων, το μέγεθος των αρχείων JPEG 2000 ήταν κατά μέσον όρο 11% μικρότερο από αυτό του JPEG σε 1,0 b/p, 18% μικρότερο σε 0,75 b/p, 36% μικρότερο σε 0,5 b/p και 53% μικρότερο σε 0,25 b/p. Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι για τις υψηλής ποιότητας εφαρμογές απεικόνισης (δηλ., 0.5-1.0 b/p) το JPEG 2000 είναι 10-20% καλύτερο από το JPEG.





**Εικόνα 3.1 Συμπιεσμένη Εικόνα “ski” στα 0.25 b/p με (a) JPEG και (b) JPEG 2000**

**Συμπίεση Χωρίς Απώλειες:** Η απόδοση συμπίεσης χωρίς απώλειες του αντιστρέψιμου JPEG 2000 (J2KR), του JPEG-LS, του χωρίς απώλειες JPEG (L-JPEG), και του PNG αναφέρονται στον πίνακα 3.4. Φαίνεται ότι το JPEG 2000 αποδίδει ισοδύναμα με το JPEG-LS στην πτώση των φυσικών εικόνων. Το JPEG-LS, εντούτοις, είναι ανώτερο στην περίπτωση σύνθετης εικόνας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το JPEG-LS είναι σημαντικά λιγότερα σύνθετο από το JPEG 2000, είναι λογική η χρήση JPEG-LS για τη χωρίς απώλειες συμπίεση.

<b>Table 7. Lossless Compression Ratios.</b>				
	J2K <sub>R</sub>	JPEG-LS	L-JPEG	PNG
aerial2	1.47	1.51	1.43	1.48
bike	1.77	1.84	1.61	1.66
cafe	1.49	1.57	1.36	1.44
chart	2.60	2.82	2.00	2.41
cmpnd1	3.77	6.44	3.23	6.02
target	3.76	3.66	2.59	8.70
us	2.63	3.04	2.41	2.94
average	2.50	2.98	2.09	3.52

**Πίνακας 3.4** Λόγος Συμπίεσης Χωρίς Απώλειες



**Αντοχή σε Σφάλματα:** Οι μελέτες που έχουν γίνει πάνω στην αντοχή σε σφάλματα βασίζονται στην εξομοίωση ενός καναλιού που εισάγει σφάλματα στα δεδομένα. Το JPEG 2000 απέδειξε ότι με τους μηχανισμούς και την προστασία που διαθέτει αντέχει καλύτερα σε σφάλματα. Στα χαμηλά bit rates πάντως, η ποιότητα των εικόνων του JPEG 2000 μειώνεται γρηγορότερα από αυτήν των εικόνων του JPEG για υψηλότερους ρυθμούς σφαλμάτων. Και για τα δυο πρότυπα η αύξηση του bit rate έχει αρνητικές συνέπειες στην ποιότητα της αποκωδικοποιημένης εικόνας, και μάλιστα περισσότερες για το JPEG.

### 3.2 Σύγκριση των δύο προτύπων στην πράξη

Μερικές έγχρωμες εικόνες για αρχή:

*Lena*

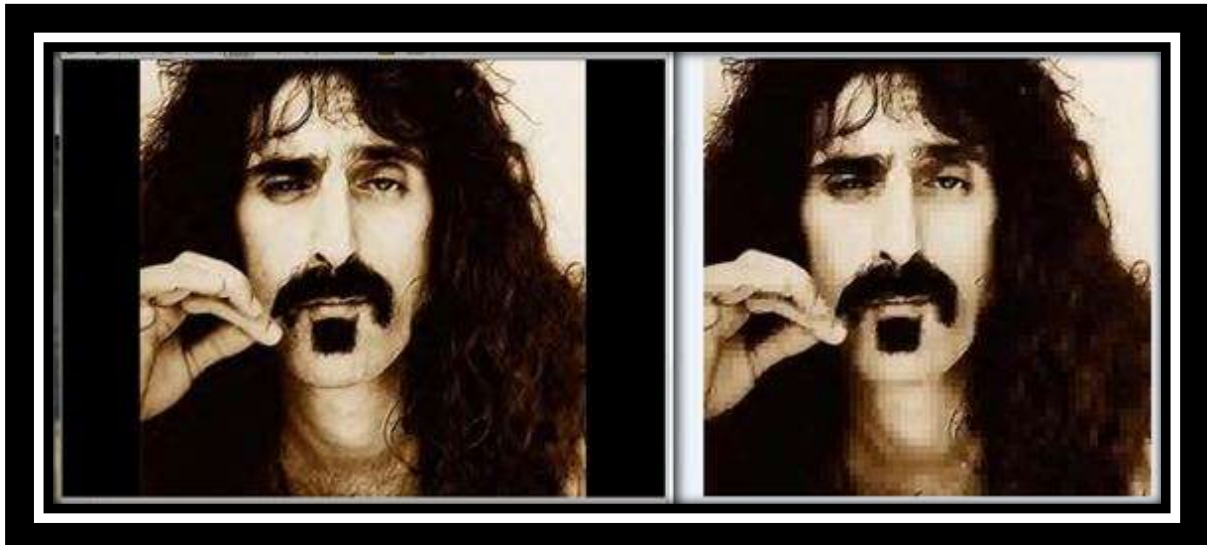


Μέγεθος αρχείου: j2k→8,23kb

jpg→8,24kb

Διάσταση εικόνας 512\*512 pixels και για τις δύο εικόνες.

## *Zappa*



Μέγεθος αρχείου: j2k→7,42 kb

jpg→7,45 kb

Διάσταση εικόνας 491\*480 pixels και για τις δύο εικόνες.

Μερικές X-Ray για τη συνέχεια:

## *Michelle's X-Ray*



Μέγεθος αρχείου: j2k→10,8 kb

jpg→10,8 kb

Διάσταση εικόνας 563\*480 pixels και για τις δύο εικόνες.

Και... Μεγάλη συμπίεση...

*Spine*



Μέγεθος αρχείου: j2k→9,25 kb

jpg→9,84 kb

Διάσταση εικόνας 1149\*821 pixels και για τις δύο εικόνες.

Και πιο τεκμηριωμένα αποτελέσματα, κάνοντας σύγκριση κανονικών εικόνων με ιατρικές εικόνες, χρησιμοποιώντας ανά 2, τον ίδιο λόγο συμπίεσης «compression». Θα χρησιμοποιήσουμε επίσης το δείκτη PSNR όπου πειραματικά με τη χρήση του MATLAB, θα μας δείξει, πόσο καλύτερη ποιότητα εικόνας έχουμε με συμπίεση j2 σε αντίθεση με το jpeg, με δεδομένο μέγεθος αρχείου και δεδομένη διάσταση εικόνας.

PSNR→ peak signal-to-noise ratio

Το οποίο ορίζεται ως εξής:

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

Παρακάτω, γίνεται παράθεση του κώδικα θα χρησιμοποιήσουμε στο Matlab r2009a:

```
function PSNR(A,B)  
  
if A == B  
    error('Images are identical: PSNR has infinite value')  
end  
  
max2_A = max(max(A));  
max2_B = max(max(B));  
min2_A = min(min(A));  
min2_B = min(min(B));  
  
if max2_A > 1 || max2_B > 1 || min2_A < 0 || min2_B < 0  
    error('input matrices must have values in the interval [0,1]')  
end  
  
error_diff = A - B;  
decibels = 20*log10(1/(sqrt(mean(mean(error_diff.^2)))));  
disp(sprintf('PSNR = +%5.2f dB',decibels))
```

*Rainbow*



640x480 225KB



jpg 22,5:1 640x480 10KB psnr=20.5821

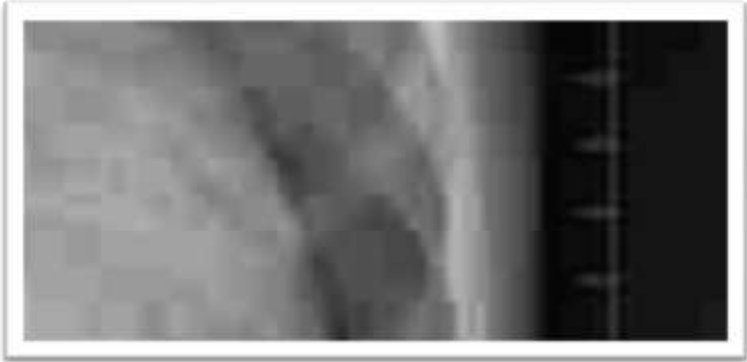


jp2 22,5:1 640x480 10KB psnr=27.5411

*Chest X-Ray*



X-ray 400x366 127KB



Jpg 22,5:1 5,6 KB psnr= 28.5555



Jp2 22,5:1 5,6 KB psnr= 33.2154

*Guitar*



640x480 76KB



jpg 7,6:1 640x480 10KB psnr= 24.5936



Jp2 7,6:1 640x480 10KB psnr= 26.464

*3D Ultrasound Baby Face*



3D Ultrasound 393x294 339KB



jpg 7,6:1 392x294 44,6KB psnr= 46.5780



Jp2 7,6:1 392x294 44,6KB psnr= 52.8083



*Eyebrow*



500x375 21,2 KB



Jpg 4,24:1 500x375 5KB psnr= 26.6011



Jp2 4,24:1 500x375 5KB psnr= 30.3632

*3D Ultrasound Baby II*



ultrasound 400x295 346KB



jpg 4,24:1 400x224 81KB psnr= 46.4393

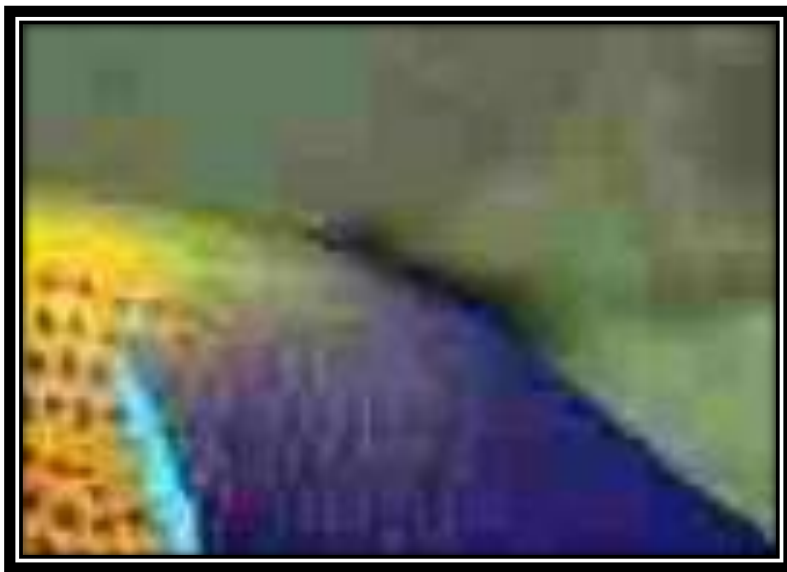


Jp2 4,24:1 400x224 81KB psnr= 46.6572

*Fish*



554x422 34,6 KB



Jpg 3,46:1 554x422 9,94 KB psnr= 26.9762



Jp2 3,46:1 554x422 9,94 KB psnr= 30.0819

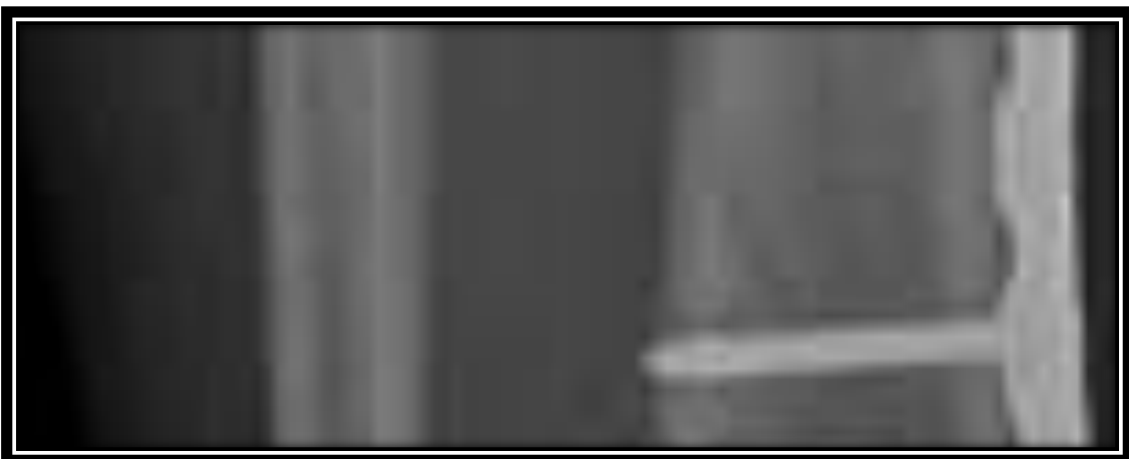
*Broken Shin X-Ray*



X-ray 301x320 283KB



jpg 3,46:1 301x320 81KB psnr= 51.2859



Jp2 3,46:1 301x320 81KB psnr= 64.0657

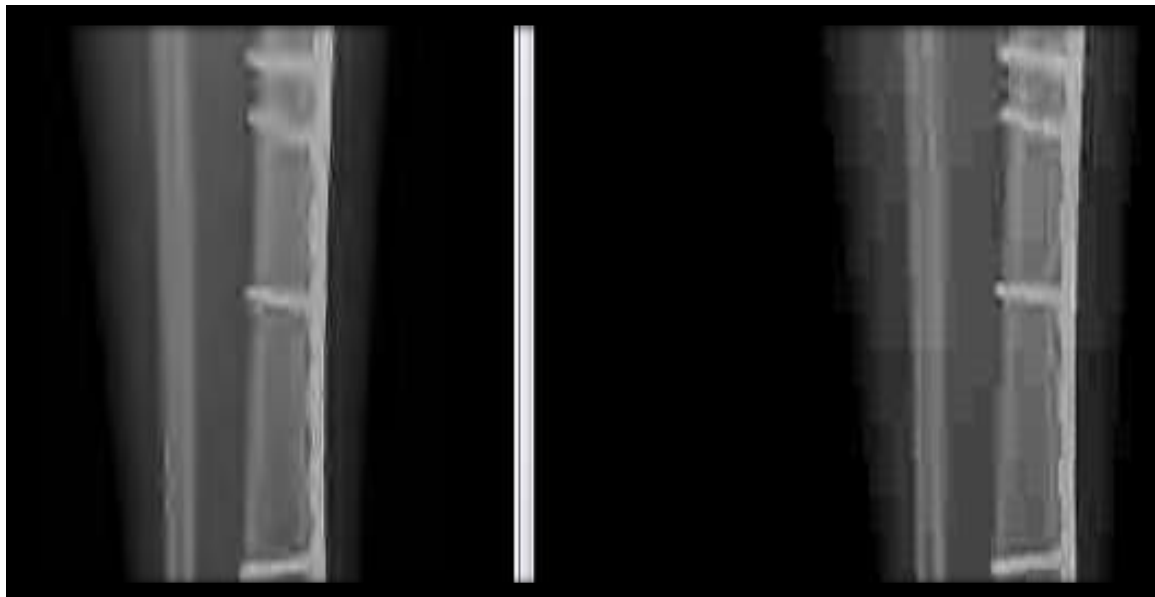
### *High Compression*

Και τώρα για να τεστάρουμε τα όρια συμπίεσης τω δύο προτύπων, όπου και θα φανεί πολύ καλύτερα η υπεροχή του JPEG 2000, θα φτάσουμε σε πολύ μικρά μεγέθη αρχείων, μεγέθη στα οποία δε μπορούν να συμπιεστούν οι κοινές εικόνες. Μόνο οι ιατρικές «X-rays, Ultrasound».

### *Broken Shin X-Ray II*



.png 301\*320 283kb



.j2k 2.92kb psnr=32.6649

.jpg 2.99kb psnr=28.3637

*Palm X-Ray*



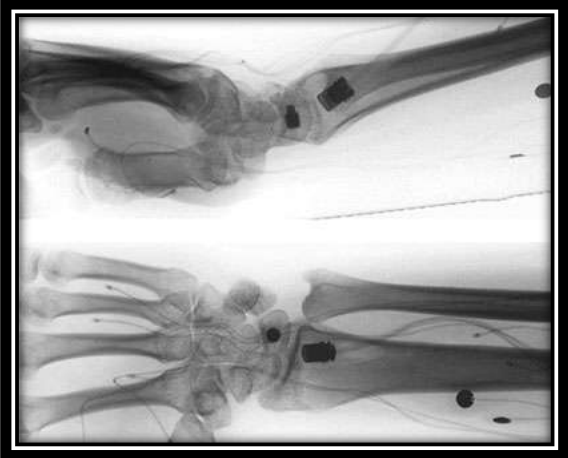
.png 351\*420 145kb



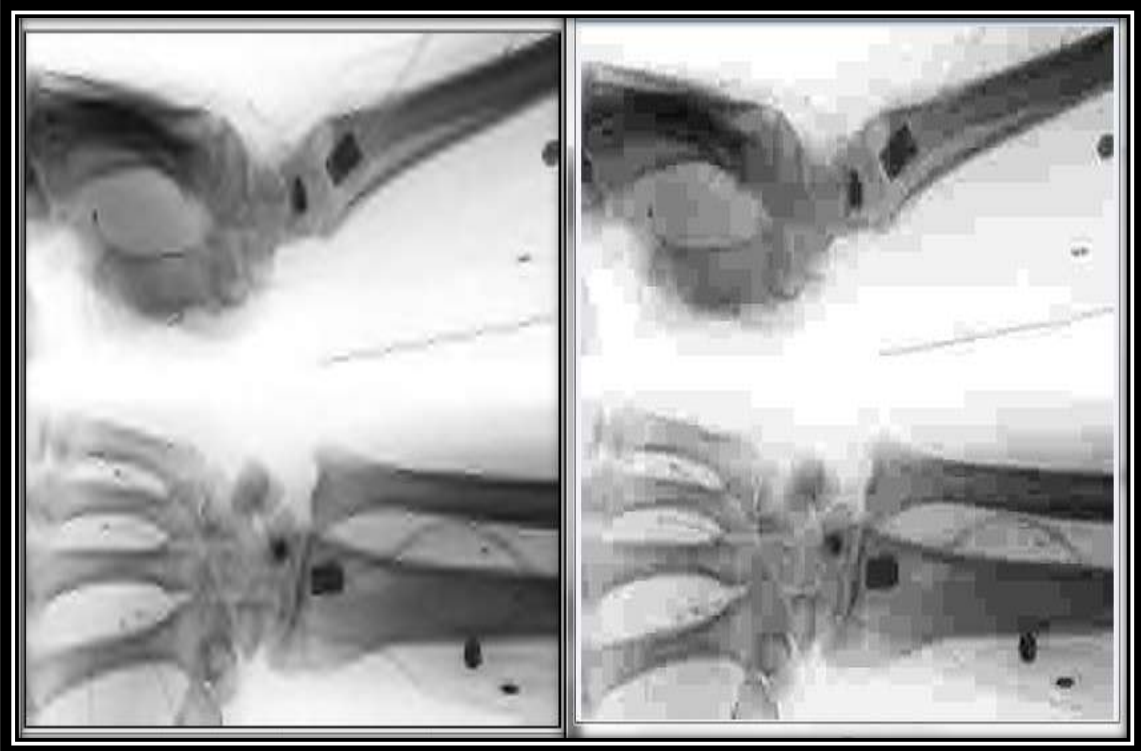
.jp2 2.93kb psnr=30.5734

.jpg 2.98kb psnr=25.6893

*Wrist X-Ray*



**.png 400\*320 375kb**



**.j2k 2.92kb psnr=32.4892**

**.jpg 2.98kb psnr=29.9967**

*3D Ultrasound Baby Face*



**.png 393\*294 339kb**



**.j2k 3.89kb psnr=39.3290**

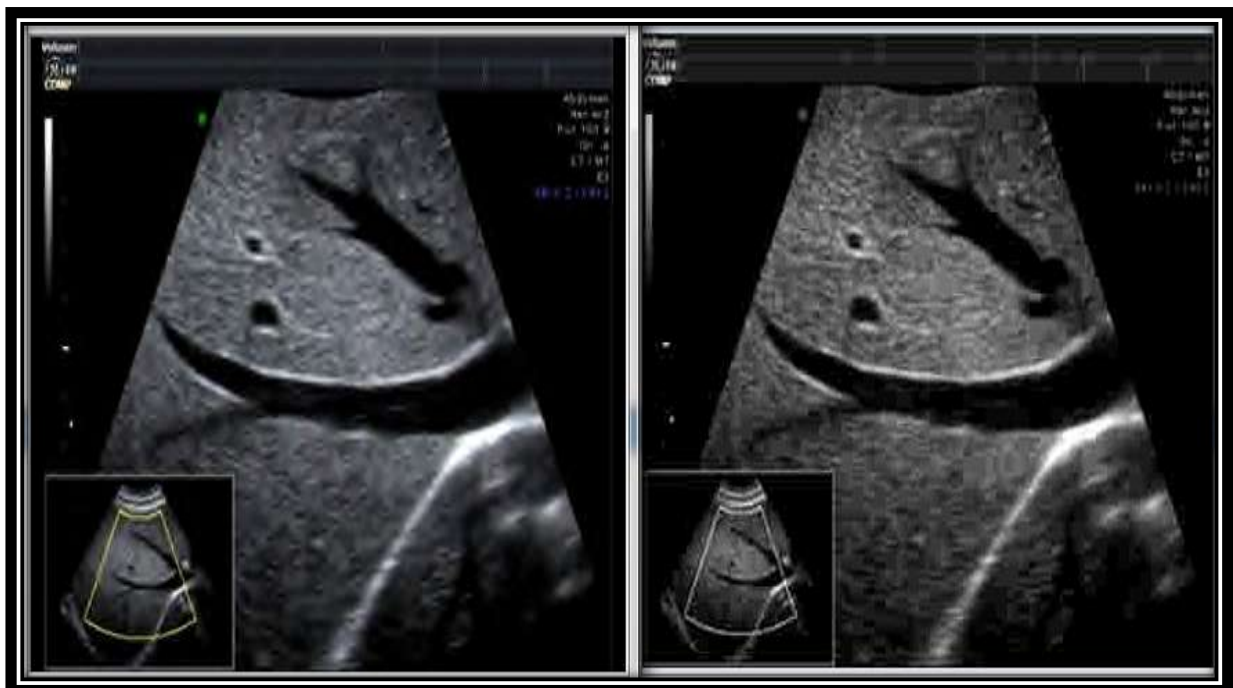
**.jpg 3.93kb psnr=34.4306**



*2D Ultrasound*



**.png 413\*312 378kb**



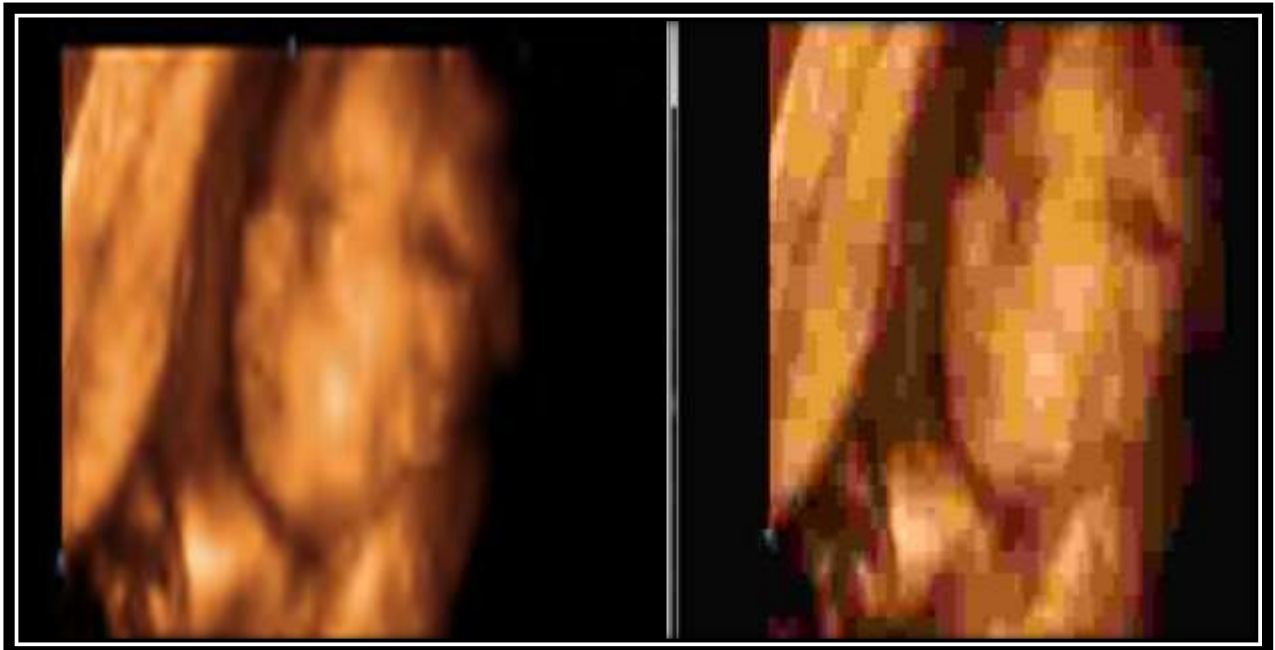
**.j2k 4.88kb psnr=30.9402**

**.jpg 4.93kb psnr=29.1600**

*3D Ultrasound Baby III*



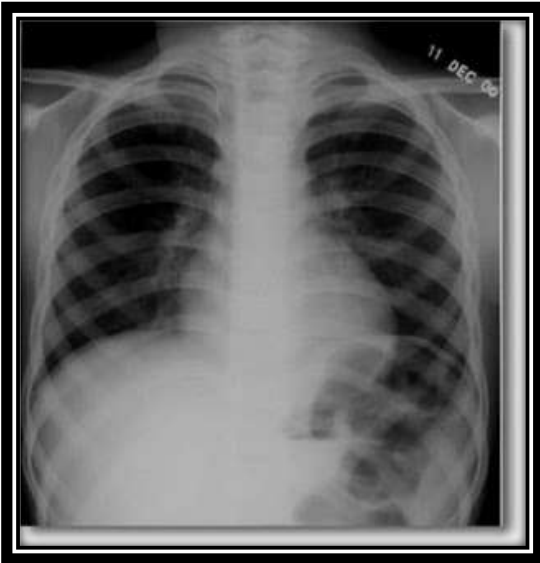
**.png 600\*450 792kb**



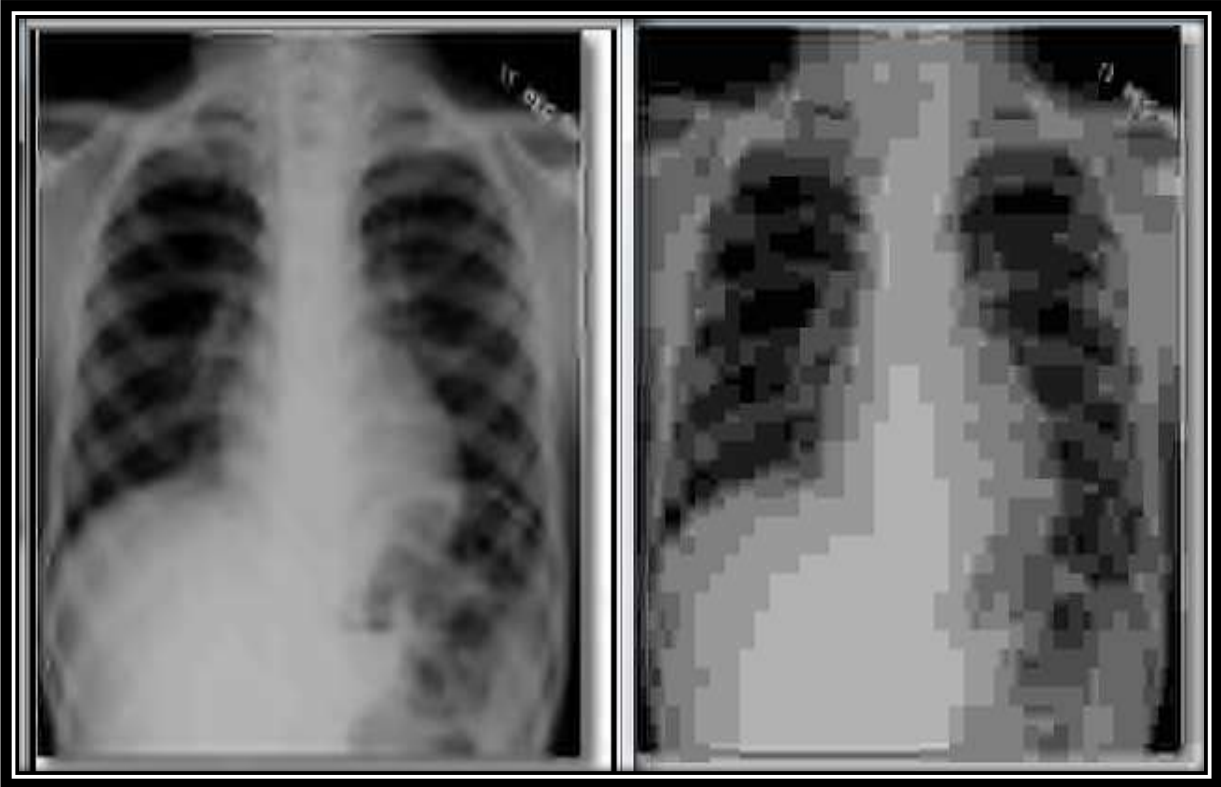
**.j2k 4.88kb psnr=30.7911**

**.jpg 4.79kb psnr=25.4094**

*Chest X-Ray*



.png 308\*320 289kb



.j2k 1.94kb psnr=30.1648

.jpg 1.96kb psnr=26.9802

## Σύγκριση πλάι - πλάι

Παρακάτω θα δούμε ακόμα πιο άμεσες συγκρίσεις, μεταξύ φυσικών και ιατρικών εικόνων, σε διάφορους βαθμούς συμπίεσης, κι επίσης πόσο υψηλότερο δείκτη psnr πετυχαίνουμε για ίδιους ή και μεγαλύτερους βαθμούς συμπίεσης, από φυσικές σε ιατρικές..

### Hotel & Pool



Original 29.6kb

jpg 1,6:1

jp2 1,6:1

jpg 3:1

jp2 3:1

jpg 3,3:1

jp2 3,3:1

Psnr= 36.7539

psnr= 40.1941

psnr= 31.7989

psnr= 35.3553

psnr= 31.3690

psnr= 33.9944

### Zoomed

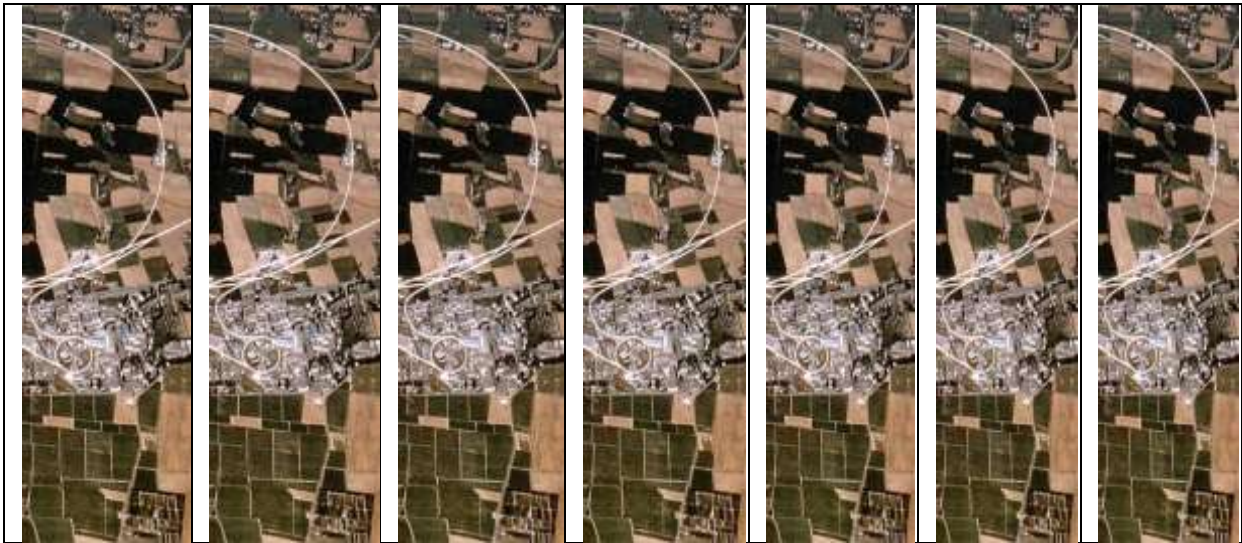


Lowest quality jpg 9kb 3,3:1

Lowest quality jp2 9kb 3,3:1



***Aerophotography***



**Original 53.5 kb    jpg 2.2:1    jp2 2.2:1    jpg 2.97:1    jp2 2.97:1    jpg 3.34:1    jp2 3.34:1**  
**Psnr= 29.7934    psnr= 32.7951    psnr= 27.7545    psnr= 30.5536    psnr= 26.9858    psnr=29.5829**

***Zoomed***



**Lowest quality jpg 16kb 3.34:1**

**Lowest quality jp2 16kb 3.34:1**

*Elbow X-Ray*



Original 56.9kb    jpg 7.12:1    jp2 7.12:1    jpg 11.4:1    jp2 11.4:1    jpg 14.25:1    jp2 14.25:1  
Psnr= 44.0461    psnr= 47.1930    psnr= 42.0697    psnr= 45.3555    psnr= 40.9013    psnr= 44.2314

**Zoomed**



Lowest quality jpg 5 kb 14.25:1

Lowest quality jp2 5 kb 14.25:1

**Spine X-Ray**



**Original 22.3kb**

**jpg 1.4:1**

**jp2 1.4:1**

**jpg 2.47:1**

**jp2 2.47:1**

**jpg 3.71:1**

**jp2 3.71:1**

**Psnr= 46.6274**

**psnr= 49.5718**

**psnr= 42.9659**

**psnr= 45.6929**

**psnr= 40.2497**

**psnr= 43.1534**

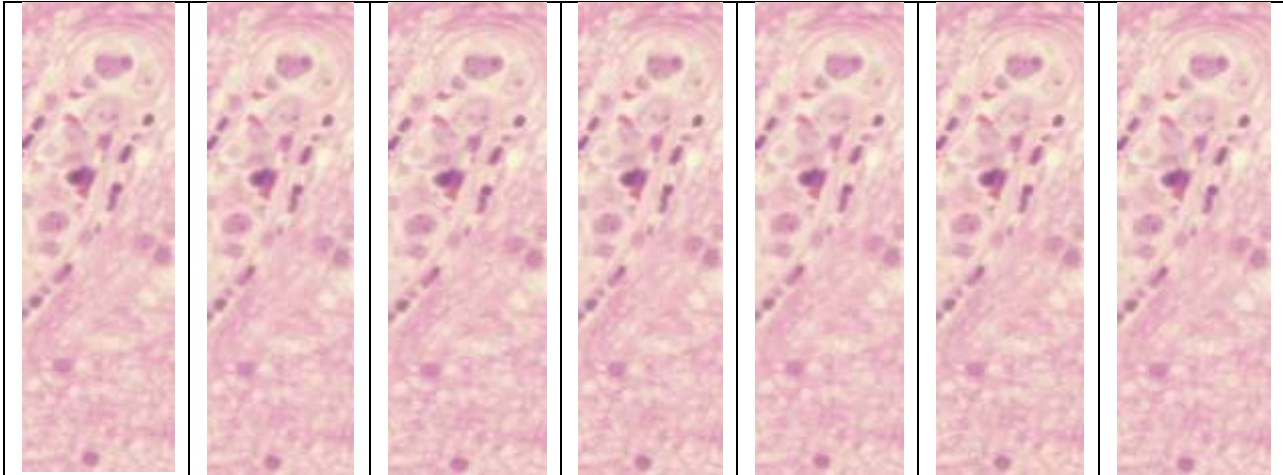
**Zoomed**



**Lowest quality jpg 6kb 3.71:1**

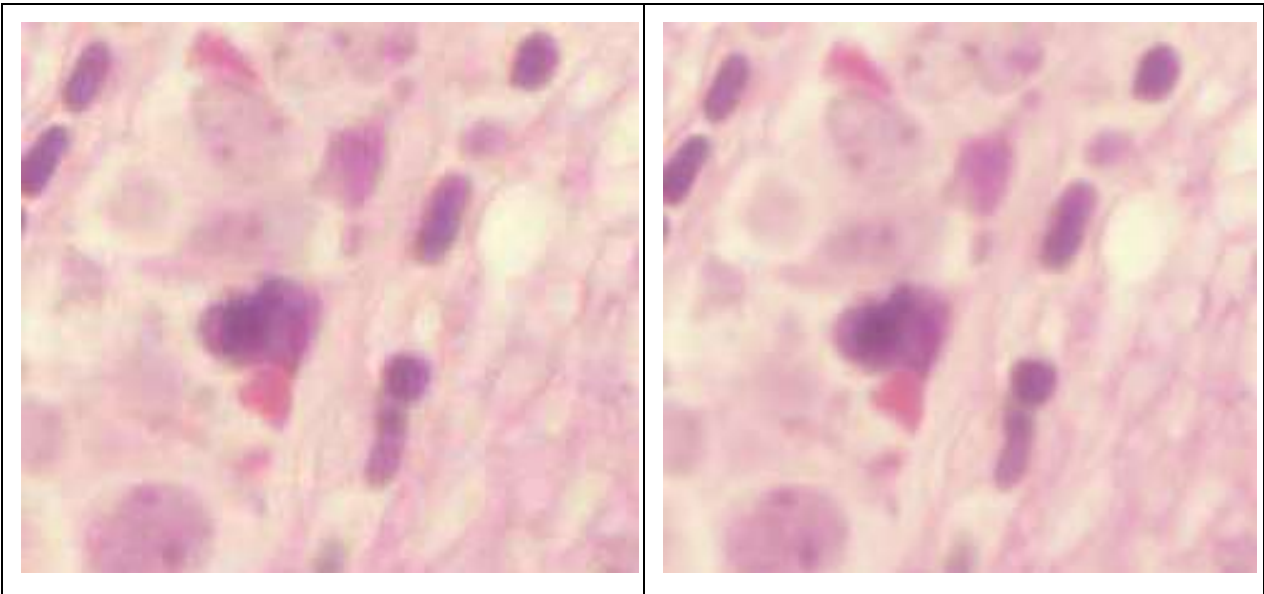
**Lowest quality jp2 6kb 3.71:1**

*Cells Ultrasound*



Original 53.5 kb    jpg 1.44:1    psnr= 43.7091    jp2 1.44:1    psnr= 45.9710    jpg 2.97:1    psnr= 38.8937    jp2 2.97:1    psnr= 43.6479    jpg 4.11:1    psnr= 36.5842    jp2 4.11:1    psnr=42.1422

**Zoomed**



Lowest quality jpg 13kb 4.11:1

Lowest quality jp2 13kb 4.11:1



### 3.3 Συνεισφορά της Εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μετά από μια σύντομη παράθεση των αρχιτεκτονικών και των τρόπων λειτουργίας των δύο προτύπων, προχωρήσαμε στη σύγκρισή τους, με τη χρήση των εφαρμογών που αναφέραμε και στην εισαγωγή.

Στο τρίτο κεφάλαιο είδαμε και πρακτικά την αποτελεσματικότητα συμπίεσης ιατρικών κυρίως εικόνων, με το πρότυπο JPEG2000 σε αντίθεση με το JPEG. Είδαμε και μέσω της χρήσης του PSNR πόσο πιο ποιοτικό αποτέλεσμα μπορούμε να επιτύχουμε, αρχικά σε σχετικά μικρούς βαθμούς συμπίεσης, ειδικά για τις ιατρικές εικόνες, σε σχέση με τις κανονικές, με JPEG2000.

Στη συνέχεια σε μεγάλους βαθμούς συμπίεσης, βαθμούς που το πρόγραμμα επεξεργασίας αδυνατούσε να συμπίεσει τις κανονικές εικόνες, είδαμε κατ' αρχάς πόσο αποδοτικότερη είναι η συμπίεση ιατρικών εικόνων, αλλά και πόσο ποιοτικότερη συμπίεση μπορεί να επιτύχει το JPEG2000 έναντι του JPEG, που σε αυτό το επίπεδο είναι πλέον ορατό με το μάτι, πέρα από τον δείκτη PSNR.

#### Οι εφαρμογές του JPEG2000

Οι εφαρμογές όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί το JPEG 2000, είναι πολλές! Για παράδειγμα, κατά την περιήγηση στο διαδίκτυο, πολλές εικόνες εμφανίζονται ως μικρογραφίες εικόνων που μπορούν να διευρυνθούν, κάνοντας κλικ πάνω στην εικόνα. Επί του παρόντος, η μικρή εικόνα και η μεγάλη εικόνα, πρέπει να είναι ξεχωριστά αρχεία εικόνων με διαφορετικές αναλύσεις. Χρησιμοποιώντας JPEG 2000, το ίδιο αρχείο εικόνας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, κι ο χρήστης θα μπορούσε να έχει πρόσβαση σε οποιαδήποτε επιθυμητή ανάλυση. Αυτό το χαρακτηριστικό του JPEG 2000, θα εξοικονομούσε πολύ χρόνο και χώρο μνήμης κάθε φορά που μια εικόνα πρέπει να εμφανίζεται σε διαφορετικές αναλύσεις. Η συνολική ποιότητα των εικόνων θα βελτιωθεί καθώς από το JPEG 2000 επιτυγχάνεται καλύτερη ποιότητα συμπίεσης από παλαιότερες μεθόδους συμπίεσης. Επειδή τα αρχεία JPEG 2000 είναι τόσο ευπροσάρμοστα, ένα εικονικό σύστημα αρχείων μέσα στο αρχείο της εικόνας, μπορεί ευέλικτα να οργανώνεται από τους φορείς παροχής εικόνας, για να ταιριάζει καλύτερα στον τρόπο που οι χρήστες τους επιθυμούν να έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες. Για παράδειγμα, μια "progressive-by-resolution" δομή, θα επιτρέπει τη ροή τις πληροφορίας της εικόνας προς το χρήστη, ξεκινώντας με μια version χαμηλής ανάλυσης και στη συνέχεια σταδιακά, θα προσθέτει μεγαλύτερη ανάλυση, ανάλογα με τις απαιτήσεις. Από την άλλη πλευρά, μια "progressive-by-quality" δομή, μπορεί ενδεχομένως να αρχίσει με μια πλήρη version της εικόνας, αλλά με ελάχιστα δεδομένα χρώματος ανά pixel και στη συνέχεια σταδιακά, να προσθέτει περισσότερα bits ανά pixel όπου απαιτείται.

Μια άλλη εφαρμογή του JPEG 2000 είναι στην ιατρική. Οι ιατρικές εικόνες χρησιμοποιούνται με μια ποικιλία από τρόπους. Συνήθως οι εικόνες λαμβάνονται από κάποιο μέρος του σώματος του ασθενούς, για να διαπιστωθεί αν κάτι πάει στραβά. Επειδή η λεπτομέρεια είναι πολύ σημαντική στην ιατρική απεικόνιση, η διατήρηση εικόνων υψηλής ποιότητας είναι πάντα πρωταρχικό μέλημα. Έτσι, η ικανότητα του JPEG 2000 για μη απωλεστική αποθήκευση εικόνων, θα είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα. Επίσης, οι γιατροί συχνά θέλουν να εξετάσουν μια συγκεκριμένη περιοχή μιας εικόνας με περισσότερη λεπτομέρεια. Το JPEG 2000 το επιτρέπει αυτό εύκολα, χρησιμοποιώντας τη δυνατότητα της περιοχής ενδιαφέροντος. Ένας γιατρός θα είναι σε θέση να δει ολόκληρη την εικόνα σε μια δεδομένη ανάλυση, να κάνει ζουμ σε ορισμένα τμήματα της εικόνας, καθώς και να την εμφανίσει σε μία ικανοποιητική γι' αυτόν ανάλυση. Έτσι, είναι βέβαιο πως θα επιτραπεί στους γιατρούς, να μπορούν πιο εύκολα να παρατηρήσουν και να ανιχνεύσουν ανωμαλίες που μπορούν να οδηγήσουν σε ασθένειες όπως ο καρκίνος. Άλλος ένας τομέας της ιατρικής που μπορεί να ωφεληθεί, είναι η τηλεϊατρική, όπου έχουμε μετάδοση εικόνας, με ανάγκη για όσο το δυνατό υψηλότερη ποιότητα, σε όσο το δυνατό χαμηλότερο ή συγκεκριμένο Bandwidth. Π.χ. μετάδοση μέσα από δίκτυο GSM.

*Χρήσιμος Πίνακας Εφαρμογών που υποστηρίζουν τα πρότυπα..*

Application support for JPEG 2000					
Program	Basic <sup>[Note 1]</sup>		Advanced <sup>[Note 1]</sup>		License
	Read	Write	Read	Write	
ACDSee	Yes	Yes	?	?	Proprietary
Accusoft Pegasus <sup>[4]</sup> <a href="#">↗</a>	Yes	Yes	?	?	Proprietary
Adobe Photoshop <sup>[Note 2]</sup>	Yes	Yes	Yes	Yes	Proprietary
Apple iPhoto	Yes	No	Yes	No	Proprietary
Apple Preview	Yes	Yes	Yes	?	Proprietary
Blender <sup>[39]</sup>	Yes	Yes	?	?	GPL
Corel Photo-Paint	Yes	Yes	Yes	Yes	Proprietary
DBGallery <a href="#">↗</a>	Yes	No	?	No	Proprietary
digikam <sup>[40][41]</sup> (KDE <sup>[42]</sup> )	Yes	Yes	?	?	GPL
FastStone Image Viewer	Yes	Yes	Yes	Yes	Proprietary
FastStone MaxView	Yes	No	Yes	No	Proprietary
Mozilla Firefox 3	via extension <sup>[Note 3]</sup>	-	?	-	LGPL
GIMP	Yes <sup>[43]</sup>	No	?	No	GPL
Gwenview (KDE <sup>[42]</sup> )	Yes	Yes	?	?	GPL
ImageMagick	Yes	Yes	No	No	ImageMagick License <a href="#">↗</a>
IrfanView	Yes <sup>[Note 4]</sup>	Partial <sup>[Note 4]</sup>	No	No	Proprietary
KolourPaint (KDE <sup>[42]</sup> )	Yes	Yes	?	?	GPL
Mathematica	Yes	Yes	?	?	Proprietary
Matlab	via toolbox	via toolbox	via toolbox	via toolbox	Proprietary
Opera	via Quicktime	-	?	-	Proprietary
Paint Shop Pro	Yes	Yes	Yes	Yes	Proprietary
Pixel image editor	Yes	Yes	?	?	Proprietary
Safari	Yes	-	?	-	Proprietary
SilverFast	Yes	Yes	Yes	Yes	Proprietary
SView5	Yes	Yes	?	?	Proprietary
XnView <sup>[Note 5]</sup>	Yes	Yes	Yes	Yes	Proprietary
Ziproxy	Yes	Yes	No	No	GPL

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. A.Skodras, C.Christopoulos, T.Ebrahimi, “The JPEG 2000 Still Image Compression Standard”, IEEE Signal Processing Magazine, Sept. 2001, pp. 36-58.
2. R.R.Coifman, M.V.Wickerhauser, “Entropy-based algorithms for best basis selection”, IEEE Trans. on Inf. Theory, vol. 38, 2, pp. 713-718.
3. C.Herley, J.Kovacevic, K.Ramchandran, M.Vetterli, “Tilings of the Time-Frequency Plane: Construction of Arbitrary Orthogonal Bases and Fast Tiling Algorithms”, IEEE Trans. Signal Processing, vol. 41, No. 12, pp. 3341-3359.
4. E.Candes, D.L.Donoho, “Ridgelets: A key to higher-dimensional intermittency?”, Phil. Trans. R. Soc. London A., 1999, pp. 2495-2509.
5. D.L. Donoho, M.R. Duncan, “Digital Curvelet Transform: Strategy, Implementation and Experiments”, Stanford University, Nov. 1999.

<http://www.jpeg.org/index.html>

<http://www.w3.org/>

<http://www.jpeg2000info.com>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Jpeg>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Jpeg2000>

<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/135-psnr>

**Επίσης για τη διεκπεραίωση της εργασίας, έγινε χρήση των παρακάτω εφαρμογών:**  
**Matlab R2009a**  
**Morgan JPEG Toolbox V2**  
**Irfanview v4.25**