



## ΒΕΣ 04 – Συμπίεση και Μετάδοση Πολυμέσων



# Συμπίεση Εικόνας: Το πρότυπο JPEG

- \* Εισαγωγή
- Ο μετασχηματισμός DCT
- Συμπίεση JPEG
- Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- Παραδείγματα

## Εισαγωγή

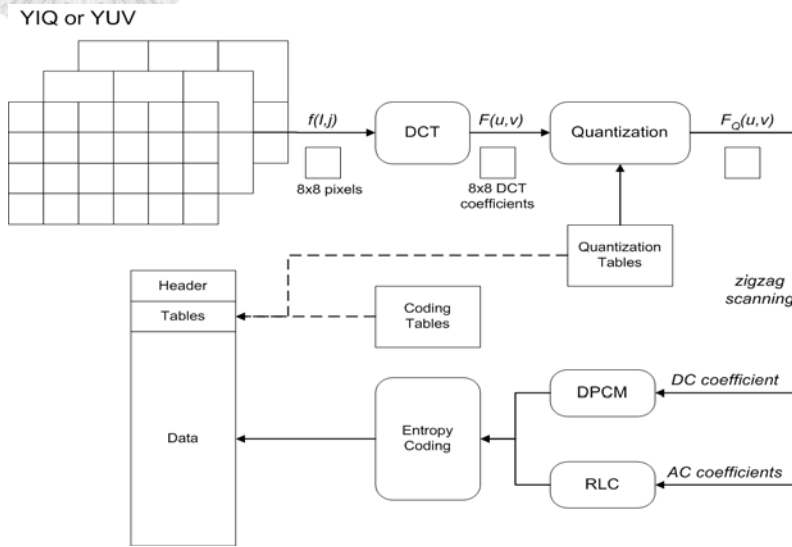


- ◇ Σχεδιάστηκε από την ομάδα Joint Photographic Experts Group σε συνεργασία με την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU-TS)
- ◇ Μπορεί να δώσει διαφορετικό αποτέλεσμα ανάλογα με τις απαιτήσεις που έχουμε για την ποιότητα της εικόνας και το λόγο συμπίεσης:
  - ◇ 10:1 έως 20:1 – υψηλή ποιότητα
  - ◇ 30:1 έως 50:1 – μέτρια ποιότητα
  - ◇ 60:1 έως 100:1 – κακή ποιότητα
- ◇ Είναι μορφή κωδικοποίησης με βάση την αντίληψη και βασίζεται στο γεγονός ότι:
  - ◇ Το μάτι είναι λιγότερο ευαίσθητο στις χρωματικές συνιστώσες (μικρότερη διακριτική ικανότητα) μιας εικόνα από ότι στη φωτεινότητα
  - ◇ Έχει πεπερασμένη διακριτική ικανότητα σε διαδοχικές αλλαγές της φωτεινότητας



- \* Εισαγωγή
- Ο μετασχηματισμός DCT
- Συμπίεση JPEG
- Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- Παραδείγματα

## Εισαγωγή (II)



Αποτελεί συνδυασμό διαφόρων τεχνικών συμπίεσης:

- Μετασχηματισμού (DCT)
- Στατιστική (Huffman)
- Προβλεπτική (DPCM)
- Μήκους διαδρομής (RLE)



- Εισαγωγή
- \* Ο μετασχηματισμός DCT
- Συμπίεση JPEG
- Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- Παραδείγματα

## Ο Μετασχηματισμός DCT

- ◇ Ο διακριτός μετασχηματισμός συνημίτονου (Discrete Cosine Transform - DCT) για μια εικόνα  $N \times N$  pixels δίνεται από τη σχέση:

$$F(u, v) = C(u, v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} \left( f(x, y) \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right) \right)$$

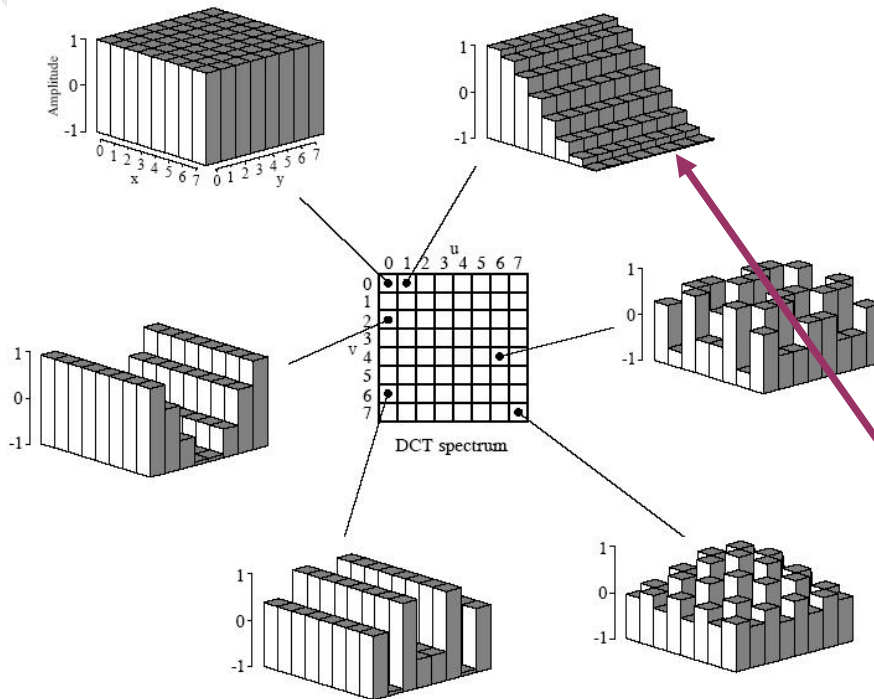
- ◇  $F(u, v)$  είναι ο DCT συντελεστής για τη χωρική συχνότητα  $(u, v)$
- ◇  $f(x, y)$  είναι η αρχική ένταση φωτεινότητας στη θέση  $(x, y)$
- ◇  $C(u, v)$  είναι ο παράγοντας κανονικοποίησης που ορίζεται ως:
  - ◇  $C(0, 0) = 1/N$
  - ◇  $C(0, v) = C(u, 0) = 1/(N\sqrt{2})$
  - ◇  $C(u, v) = 2/N, \quad u \neq 0, v \neq 0$

- ◇ **Προσοχή!** Ο πίνακας των χωρικών συχνοτήτων  $F(u, v)$  έχει τις ίδιες διαστάσεις με την αρχική εικόνα ( $N \times N$ )



- Εισαγωγή
- Ο μετασχηματισμός DCT
- Συμπίεση JPEG
- Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- Παραδείγματα

## Συναρτήσεις βάσης μετασχηματισμού DCT



Στο σχήμα φαίνονται μερικά παραδείγματα συναρτήσεων βάσης για μετασχηματισμό DCT σε μια εικόνα διαστάσεων 8x8:

- ◇ Ο συντελεστής DCT στη συχνότητα  $(u,v)=(1,0)$  μιας εικόνας 8x8 προκύπτει ως το άθροισμα των γινομένων (στοιχείο προς στοιχείο) της συνάρτησης βάσης  $(1,0)$  με τα pixel της εικόνας

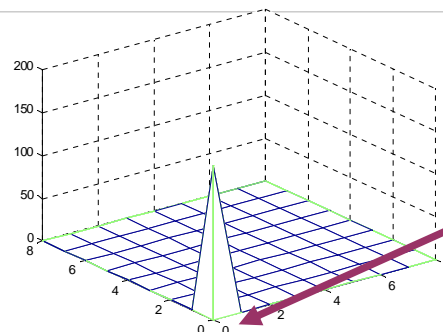


- Εισαγωγή
- Ο μετασχηματισμός DCT
- Συμπίεση JPEG
- Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- Παραδείγματα

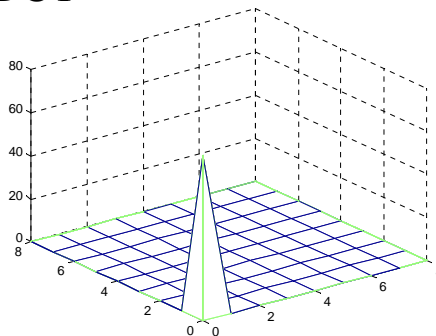
## Παράδειγμα (I): Ομοιόμορφη εικόνα



Εικόνα



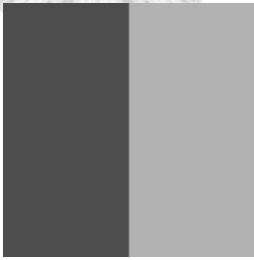
DCT =>



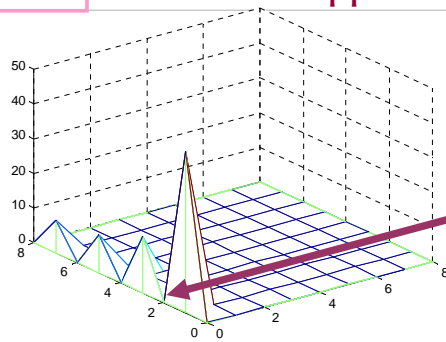
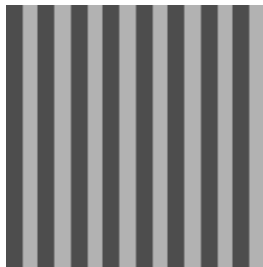
- ◇ Η χωρική συχνότητα  $F(0,0)$ :
- ◇ Αντιπροσωπεύει τη μέση φωτεινότητα της εικόνας
- ◇ Η τιμή της μπορεί να είναι από  $F(0,0)=0$  (μαύρη εικόνα) έως  $F(0,0) = 255$  (λευκή εικόνα) όταν έχουμε αναπαράσταση 256 σταθμών φωτεινότητας ή χρωμάτων

- ☑ Εισαγωγή
- ★ Ο μετασχηματισμός DCT
- ☐ Συμπίεση JPEG
- ☐ Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- ☐ Παραδείγματα

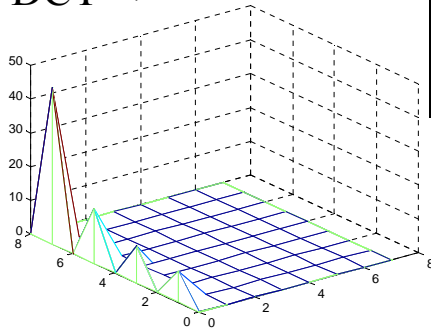
## Παράδειγμα (II): Μεταβολές της φωτεινότητας κατά την οριζόντια κατεύθυνση μόνο



Εικόνα



DCT =>



Οριζόντιες χωρικές συχνότητες  $F(0,v)$ :

- ◊ Όσο ταχύτερα μεταβάλλεται η φωτεινότητα κατά την οριζόντια κατεύθυνση τόσο γίνονται ισχυρότερες οι μεγάλες χωρικές συχνότητες (π.χ.  $F(0,7) > F(0,1)$ )

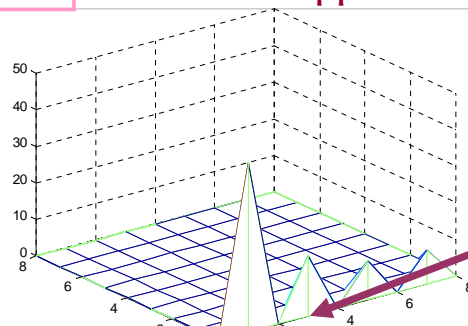
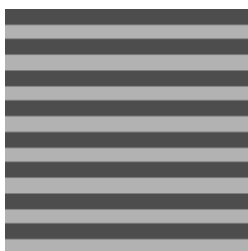


- ☑ Εισαγωγή
- ★ Ο μετασχηματισμός DCT
- ☐ Συμπίεση JPEG
- ☐ Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- ☐ Παραδείγματα

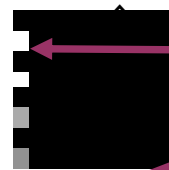
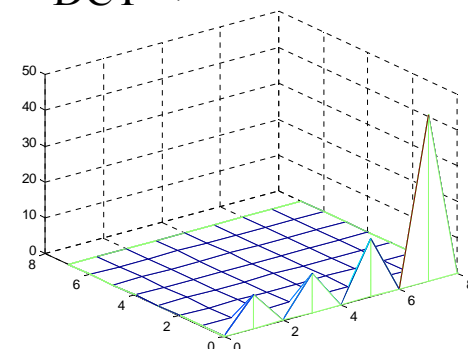
## Παράδειγμα (III): Μεταβολές της φωτεινότητας κατά την κάθετη κατεύθυνση μόνο



Εικόνα



DCT =>



Κάθετες χωρικές συχνότητες  $F(u,0)$ :

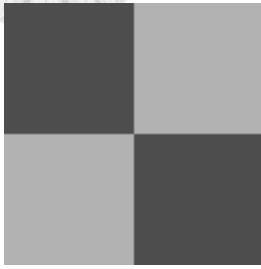
- ◊ Όσο ταχύτερα μεταβάλλεται η φωτεινότητα κατά την κάθετη κατεύθυνση τόσο γίνονται ισχυρότερες οι μεγάλες χωρικές συχνότητες (π.χ.  $F(7,0) > F(1,0)$ )



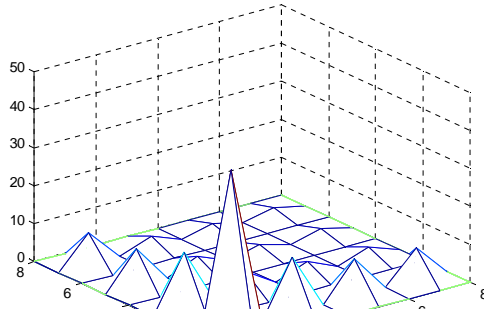
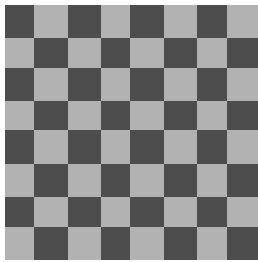
# Παράδειγμα (IV): Μεταβολές της φωτεινότητας και κατά τις δύο κατευθύνσεις



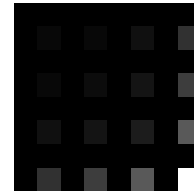
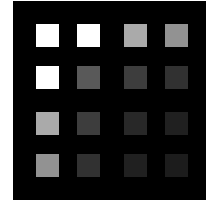
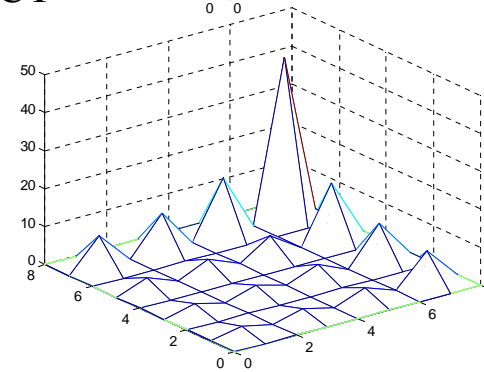
- Εισαγωγή
- Ο μετασχηματισμός DCT
- Συμπίεση JPEG
- Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- Παραδείγματα



Εικόνα



DCT =>



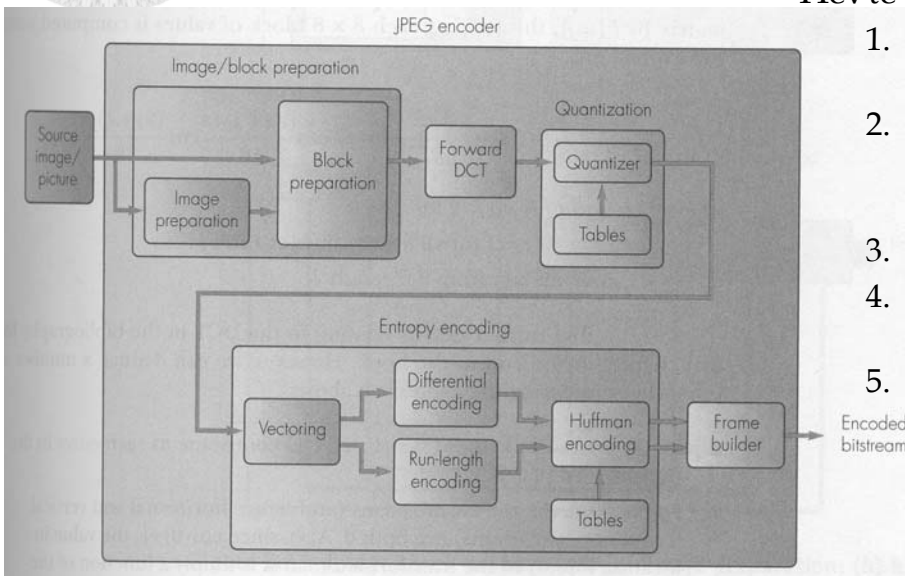
# Συμπίεση JPEG



- Εισαγωγή
- Ο μετασχηματισμός DCT
- Συμπίεση JPEG
- Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- Παραδείγματα

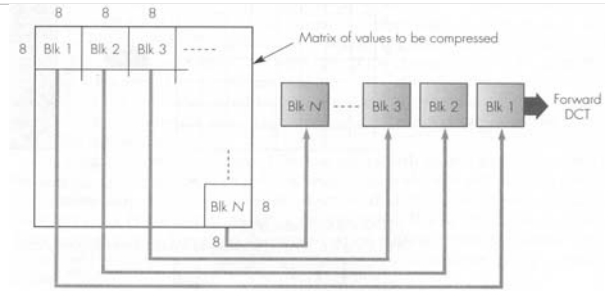
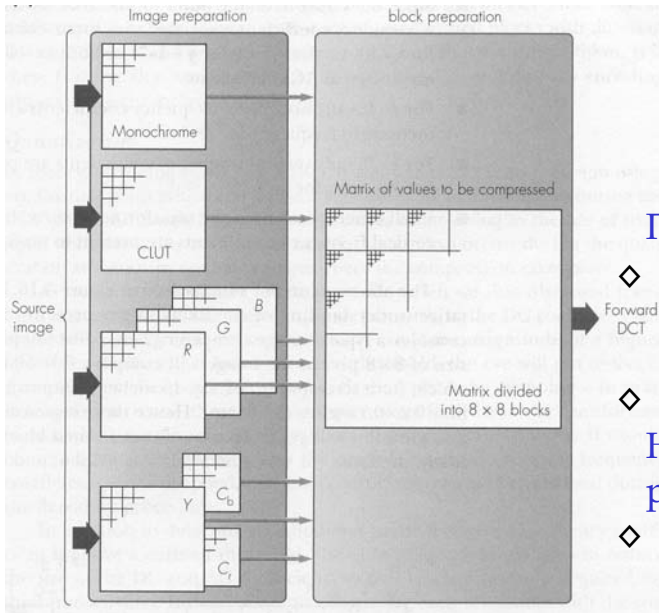
Πέντε βασικά στάδια:

1. Προετοιμασία εικόνας / μπλοκ
2. Ευθύς μετασχηματισμός DCT
3. Κβαντισμός
4. Κωδικοποίηση εντροπίας
5. Δημιουργία Frame (πλασιού)



- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Ο μετασχηματισμός DCT
- ★ Συμπίεση JPEG
- ☐ Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- ☐ Παραδείγματα

## Προετοιμασία εικόνας / μπλοκ

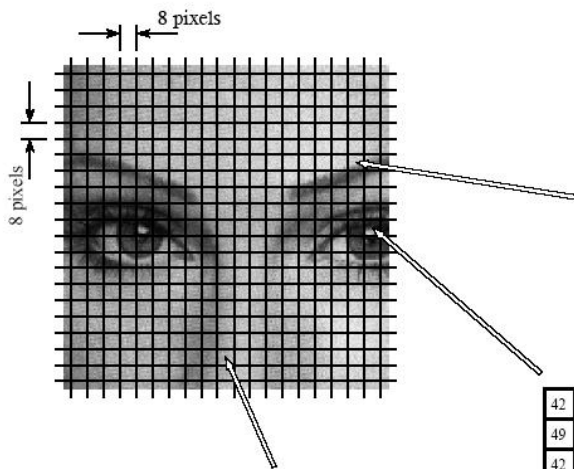


### Προετοιμασία εικόνας:

- ◇ Τα διάφορα χρωματικά κανάλια (π.χ. R,G,B ή Y, Cr, Cb) κωδικοποιούνται ως διαφορετικές εικόνες
  - ◇ Προετοιμασία μπλοκ
- Η εικόνα χωρίζεται σε μπλοκ 8x8 pixels έκαστο
- ◇ Τα μπλοκ μεταδίδονται με πρώτο το πάνω αριστερά και τελευταίο το κάτω δεξιά

- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Ο μετασχηματισμός DCT
- ★ Συμπίεση JPEG
- ☐ Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- ☐ Παραδείγματα

## Προετοιμασία εικόνας / μπλοκ (II)



231	224	224	217	217	203	189	196
210	217	203	189	203	224	217	224
196	217	210	224	203	203	196	189
210	203	196	203	182	203	182	189
203	224	203	217	196	175	154	140
182	189	168	161	154	126	119	112
175	154	126	105	140	105	119	84
154	98	105	98	105	63	112	84

42	28	35	28	42	49	35	42
49	49	35	28	35	35	35	42
42	21	21	28	42	35	42	28
21	35	35	42	42	28	28	14
56	70	77	84	91	28	28	21
70	126	133	147	161	91	35	14
126	203	189	182	175	175	35	21
49	189	245	210	182	84	21	35

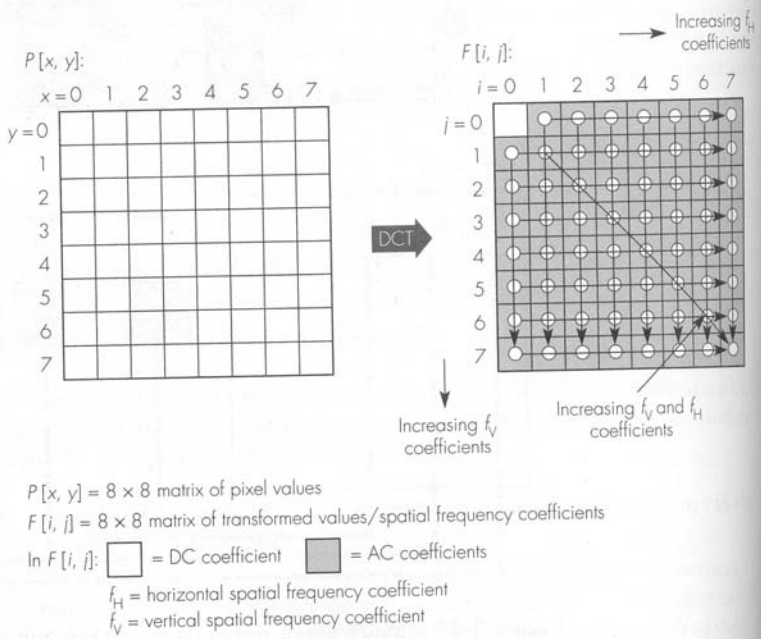
154	154	175	182	189	168	217	175
154	147	168	154	168	168	196	175
175	154	203	175	189	182	196	182
175	168	168	168	140	175	168	203
133	168	154	196	175	189	203	154
168	161	161	168	154	154	189	189
147	161	175	182	189	175	217	175
175	175	203	175	189	175	175	182

Η εικόνα χωρίζεται σε μπλοκ 8x8 pixels έκαστο



- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Ο μετασχηματισμός DCT
- ★ Συμπίεση JPEG
- ☐ Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- ☐ Παραδείγματα

## Ευθύς μετασχηματισμός DCT



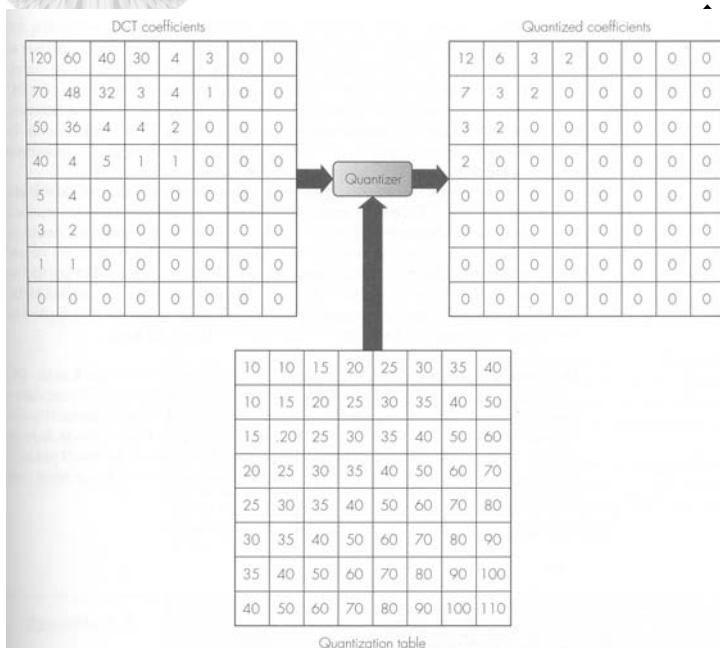
Σε κάθε μπλοκ εφαρμόζεται μετασχηματισμός DCT:

- ◇ Πριν την εφαρμογή του DCT από κάθε ριxel του μπλοκ αφαιρείται η τιμή 128 (οπότε τελικά οι τιμές του μπλοκ θα λαμβάνουν τιμές στο διάστημα [-128 127] αντί στο διάστημα [0 255])
- ◇ Ο συντελεστής  $F(0,0)$  ονομάζεται **DC**.
- ◇ Οι υπόλοιποι συντελεστές ονομάζονται **AC**.



- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Ο μετασχηματισμός DCT
- ★ Συμπίεση JPEG
- ☐ Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- ☐ Παραδείγματα

## Κβαντισμός



Το μάτι έχει διαφορετική ευαισθησία και διακριτική ικανότητα όσον αφορά τις χωρικές μεταβολές της φωτεινότητας (χωρικές συχνότητες):

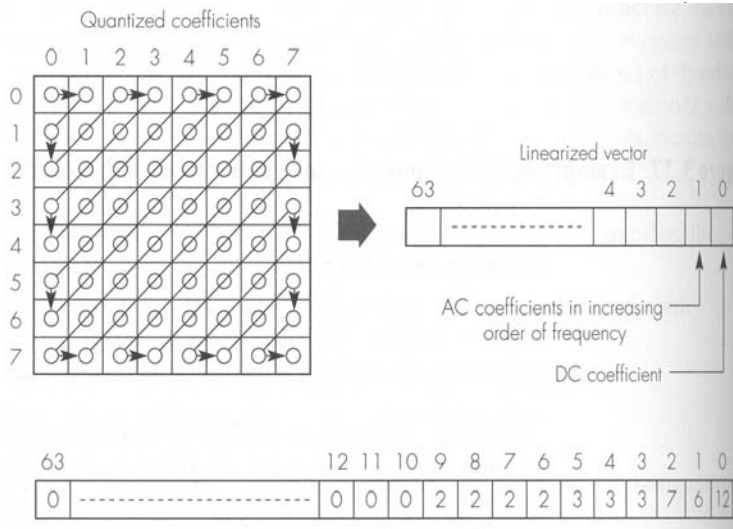
- ◇ Οι πίνακες κβαντισμού αντιπροσωπεύουν την ευαισθησία αυτή
- ◇ Όσο μικρότερος είναι ο αντίστοιχος συντελεστής στον πίνακα κβαντισμού τόσο μεγαλύτερη θεωρείται η διακριτική ικανότητα του ματιού στη συγκεκριμένη συχνότητα



- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Ο μετασχηματισμός DCT
- ★ Συμπίεση JPEG
- ☐ Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- ☐ Παραδείγματα

## Κωδικοποίηση

Η κωδικοποίηση περιλαμβάνει τα εξής στάδια:



Διανυσματοποίηση του μπλοκ από τους κβαντισμένους συντελεστές με zig-zag scanning

Διαφορική κωδικοποίηση των συντελεστών DC γειτονικών μπλοκ

Κωδικοποίηση μήκους διαδρομής για τους AC συντελεστές κάθε μπλοκ

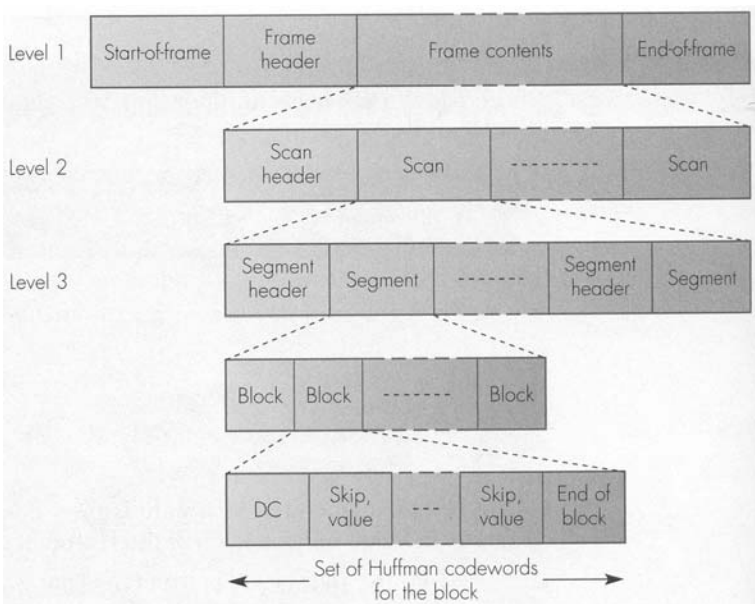
Huffman coding επί των συμβόλων που προέκυψαν από τη διαφορική κωδικοποίηση και την κωδικοποίηση μήκους διαδρομής



- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Ο μετασχηματισμός DCT
- ★ Συμπίεση JPEG
- ☐ Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- ☐ Παραδείγματα

## Δημιουργία JPEG frame

Δημιουργία JPEG frame:



Προσθήκη ένδειξης αρχής και τέλους frame

Επικεφαλίδες (χρωματικά κανάλια, διαστάσεις εικόνας, κλπ)

Περιεχόμενα εικόνας (πολυπλεξία μπλοκ από διαφορετικά χρωματικά κανάλια ώστε να επιτυγχάνεται σταδιακή αποκωδικοποίηση)

Δεδομένα των μπλοκ



- Εισαγωγή
- Ο μετασχηματισμός DCT
- Συμπίεση JPEG
- ★ Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- Παραδείγματα

## Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG



- ◇ Η κωδικοποίηση JPEG εκτός από τη βασική της μορφή (η οποία εξετάστηκε μέχρι τώρα και ονομάζεται **ακολουθιακή κωδικοποίηση JPEG - Sequential Mode**) υποστηρίζει και τις ακόλουθες μεθόδους:
  - ◇ Προοδευτική - **Progressive Mode**.
    - ◇ Επιλογή συντελεστών (spectral selection).
    - ◇ Επιλογή επιπέδων κβάντισης (Successive approximation). Τα MSB bits των συντελεστών DCT μεταδίδονται πρώτα και τα LSB ακολουθούν
  - ◇ Ιεραρχική - **Hierarchical Mode**. Μετάδοση χαμηλότερων αναλύσεων της εικόνας πρώτα
  - ◇ Χωρίς Απώλειες - **Lossless Mode**. Δεν περιλαμβάνει κβαντισμό συντελεστών αλλά μόνο προβλεπτική κωδικοποίηση. Εφαρμόζεται σε κωδικοποίηση ιατρικών εικόνων όπου δεν επιτρέπεται η απώλεια πληροφορίας

- Εισαγωγή
- Ο μετασχηματισμός DCT
- Συμπίεση JPEG
- ★ Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- Παραδείγματα

## Προοδευτική κωδικοποίηση



DC + 7 AC συντελεστές



DC + 15 AC συντελεστές



DC + 31 AC συντελεστές

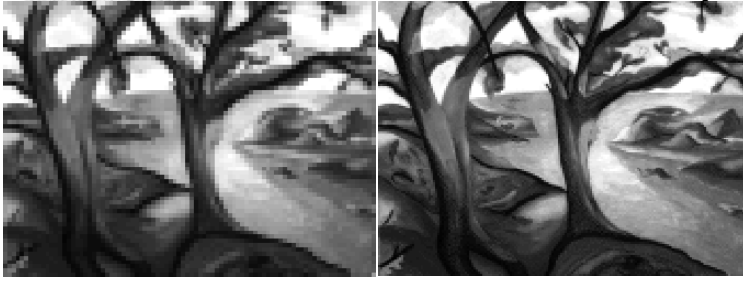
Δημιουργήθηκε για την μετάδοσης εικόνων σε πραγματικό χρόνο (streaming).

Οι συντελεστές DCT των μπλοκ μεταδίδονται σε πολλαπλά «περάσματα» της εικόνας αρχίζοντας από τους DC συντελεστές.

Με κάθε πέρασμα ο αποκωδικοποιητής μπορεί να παράγει μια υψηλότερης ποιότητας εκδοχή της εικόνας, οπότε μια προεκδοχή της μπορεί να σταλεί γρήγορα και να αποφασίσει ο χρήστης που την λαμβάνει εάν θέλει να την αφήσει να ολοκληρωθεί και να βελτιωθεί σε ποιότητα.

- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Ο μετασχηματισμός DCT
- ☑ Συμπίεση JPEG
- ★ Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- Παραδείγματα

## Ιεραρχική κωδικοποίηση



Ανάλυση 128x128

Ανάλυση 256x256 ◊



Ανάλυση 512x512

Η εικόνα αναπαριστάται σε διαφορετικές αναλύσεις. Έτσι, μια ανάλυση της εικόνας που θέλουμε να επεξεργαστούμε θα μπορούσε να είναι 128 x 128, μια άλλη 256 x 256, και μια άλλη 512 x 512.

Η κάθε ανάλυση κωδικοποιείται ως το σύνολο των διαφορών που έχει από την αμέσως χαμηλότερη της ανάλυση και επομένως δεν έχουμε άσκοπη επανάληψη δεδομένων που ήδη έχουμε λάβει με την προηγούμενη εκδοχή της εικόνας.

- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Ο μετασχηματισμός DCT
- ☑ Συμπίεση JPEG
- ☑ Μέθοδοι κωδικοποίησης JPEG
- ★ Παραδείγματα

## Παραδείγματα



Συμπίεση 37:1



Συμπίεση 66:1

Η αριστερά εικόνα έχει συμπιεστεί με ποιότητα (quality) = 0.50 και αντιστοιχεί σε συμπίεση 37:1).

Η δεξιά εικόνα έχει συμπιεστεί με ποιότητα (quality) = 0.20 και αντιστοιχεί σε συμπίεση 66:1).