



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Instrumente Structurale  
2007-2013



# Platformă de e-learning și curriculum e-content pentru învățământul superior tehnic

## Transmisia datelor multimedia in rețele de calculatoare

### 44. Descrierea standardului JPEG pentru imagini statice

# Standardului JPEG

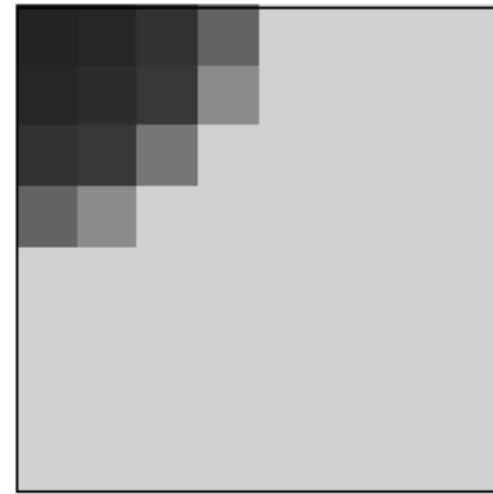
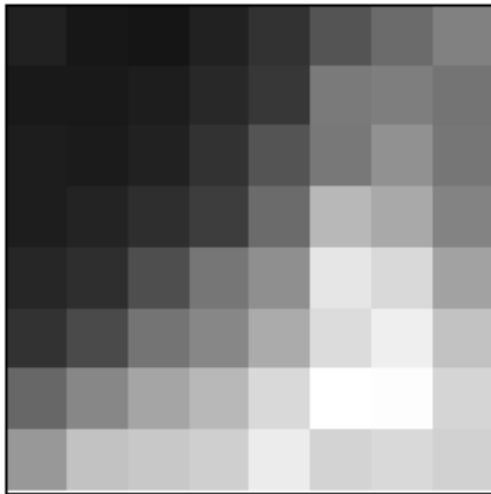
- In standardul de compresie JPEG (*Joint Photographic Experts Group*), fiecare coeficient DCT este normalizat (ponderat) cu valori ale unei matrici de normalizare, care este fixa pentru toate blocurile
  - Obiectivul ponderarii este evidentierea importantei coeficientilor in raport cu importanta perceptuala a fiecarui coeficient
  - Dupa normalizare coeficientii sunt rotunjiti la cel mai aproape intreg
- Pentru varianta de baza a standardului JPEG se pot folosi 4 matrici de normalizare, in raport cu luminanta si componentele de crominanta ale imaginii
  - Fiecare componenta a ariei de normalizare  $Q(u,v)$  este un intreg reprezentat pe 8 biti care – in efect – determina marimea pasului de cuantizare
  - JPEG lucreaza cu 24 de biti pentru culoare, (16.7 milioane de culori), indiferent de numarul de culori din imagine

# Standardului JPEG

- In general, frecventele spatiale de ordin mare sunt mai putin vizibile ochiului uman in comparatie cu frecventele joase
  - Astfel, intervalele de cuantizare sunt alese mai mari pentru frecvente mari
  - Urmatoarea matrice de cuantizare este folosita intens pentru imaginile monco-crome si pentru componenta de luminanta a imaginii color
  - Ea se folosteste in compresia JPEG si este determinata din masurarea pragului de vizibilitate al coeficientului DCT
  - Alte aplicatii pot folosi alte valori ale matrii de ponderare

# Standardului JPEG

- Vizualizand matricea de luminanta, **QL**, si matricea de crominanta, **QC**, pe o scara a nivelelor de gri se vede dependenta factorilor de cuantizare de frecventa, prin cresterea intensitatii incepand din coltul stanga sus inspre coltul dreapta jos (0 = negru si 121 = alb)

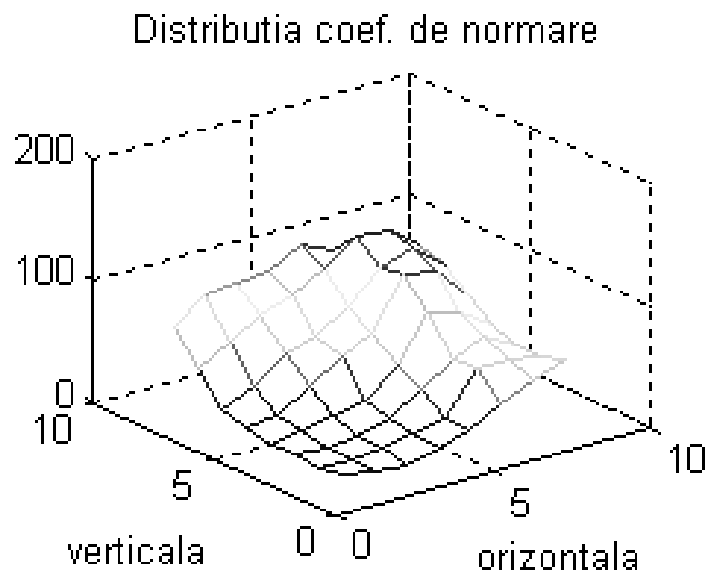


# Standardului JPEG

$$QL = \begin{bmatrix} 16 & 11 & 10 & 16 & 24 & 40 & 51 & 61 \\ 12 & 12 & 14 & 19 & 26 & 58 & 60 & 55 \\ 14 & 13 & 16 & 24 & 40 & 57 & 69 & 56 \\ 14 & 17 & 22 & 29 & 51 & 87 & 80 & 62 \\ 18 & 22 & 37 & 56 & 68 & 109 & 103 & 77 \\ 24 & 35 & 55 & 64 & 81 & 104 & 113 & 9 \\ 49 & 64 & 78 & 87 & 103 & 121 & 120 & 101 \\ 72 & 92 & 95 & 98 & 112 & 100 & 103 & 99 \end{bmatrix}$$

$$QC = \begin{bmatrix} 17 & 18 & 24 & 47 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 18 & 21 & 26 & 66 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 24 & 26 & 56 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 47 & 66 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \end{bmatrix}$$

# Standardului JPEG



# Standardului JPEG

- La efectuarea compresiei, se transforma matricea in blocuri si se cuantizeaza fiecare bloc
- La de-compresie se inmulteste fiecare bloc cu matricea de cuantizare si se obtine imaginea reconstruita
- Cuantizarea inseamna rotunjira la cel mai apropiat intreg

$$F^*(u, v) = \text{NINT}\left(\frac{F(u, v)}{Q(u, v)}\right)$$

# Standardului JPEG

- Prin normalizare si cuantizare se obtin multe valori de 0 pentru coeficientii DCT
- Inainte de codare entropica, coeficientii DCT sunt reformatati in format 1D prin scanare in zig-zag dupa urmatoarea configuratie (sau tabel de citire), in vederea gruparii celulelor care sunt corelate si a indepartarii acestei redundante prin codare entropica
- Aceasta arie este determinata de proprietatile sistemului olfactiv uman, care este mai putin sensibil la frecvente inalte, si permite folosirea corelatiilor celulelor invecinate
- $S =$

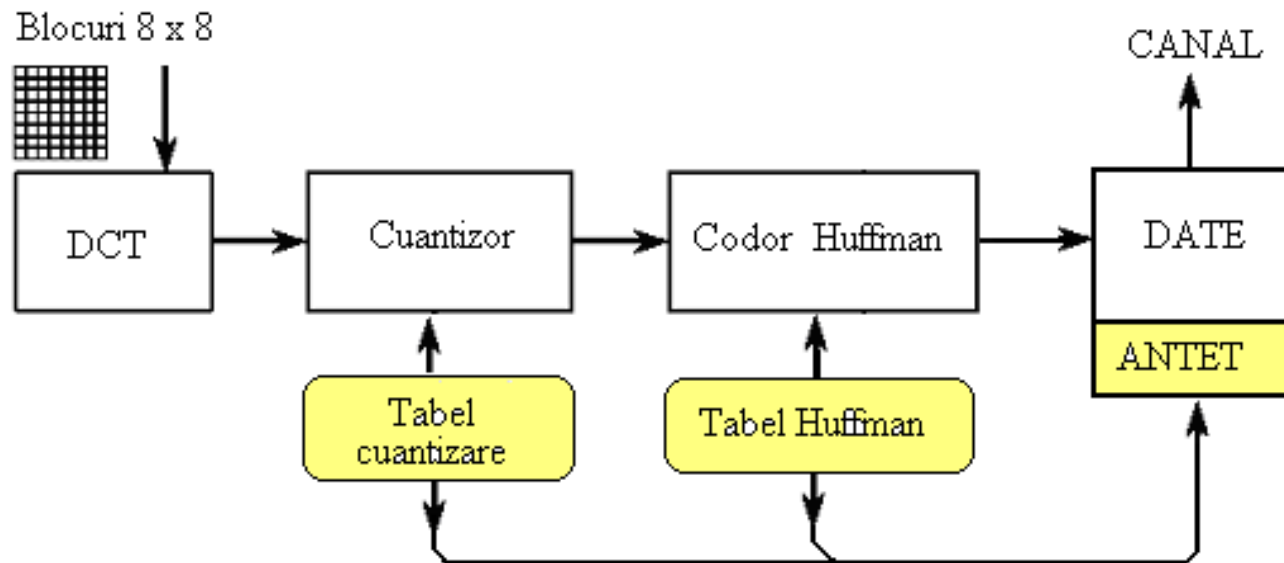
0	1	5	6	14	15	27	28
2	4	7	13	16	26	29	42
3	8	12	17	25	30	41	43
9	11	18	24	31	40	44	53
10	19	23	32	39	45	52	54
20	22	33	38	46	51	55	60
21	34	37	47	50	56	59	61
35	36	48	49	57	58	62	63



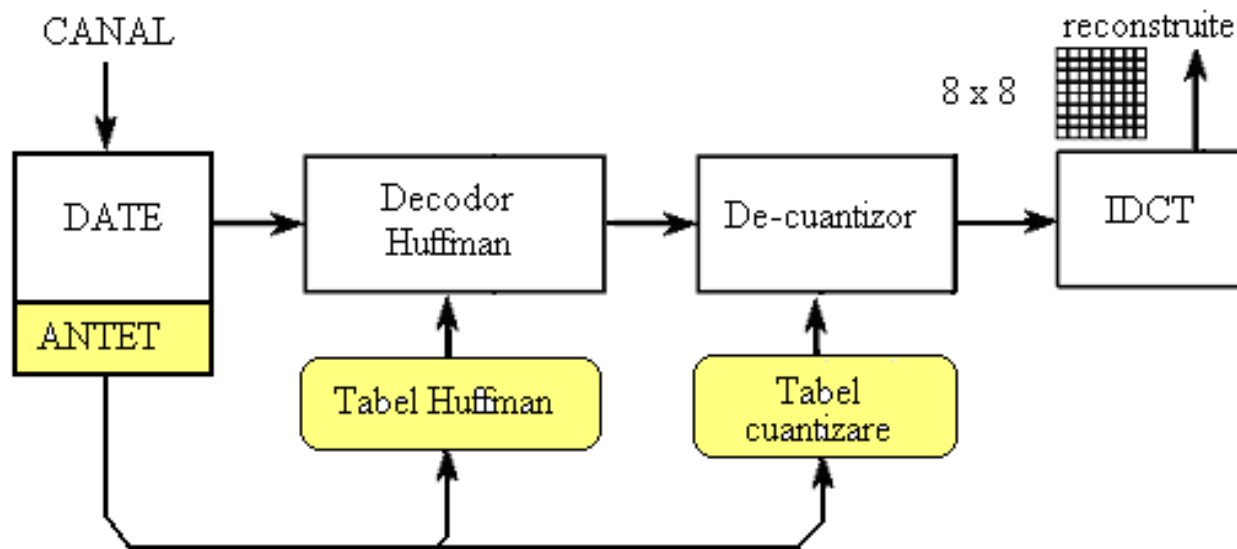
# Standardului JPEG

- Fiecare componenta din aria de normalizare este un intreg pe 8 biti si este transferata receptorului ca parte a informatiei de antet
- Se pot specifica pana la 4 arii de normalizare, de exemplu arii diferite pentru componentele de luminanta si crominanta ale unei imagini color
- Fiecare componenta de culoare este codata independent
  - De exemplu, o imagine reprezentata in spatiul YIQ este codata ca trei imagini separate

# Schema bloc a codorului JPEG



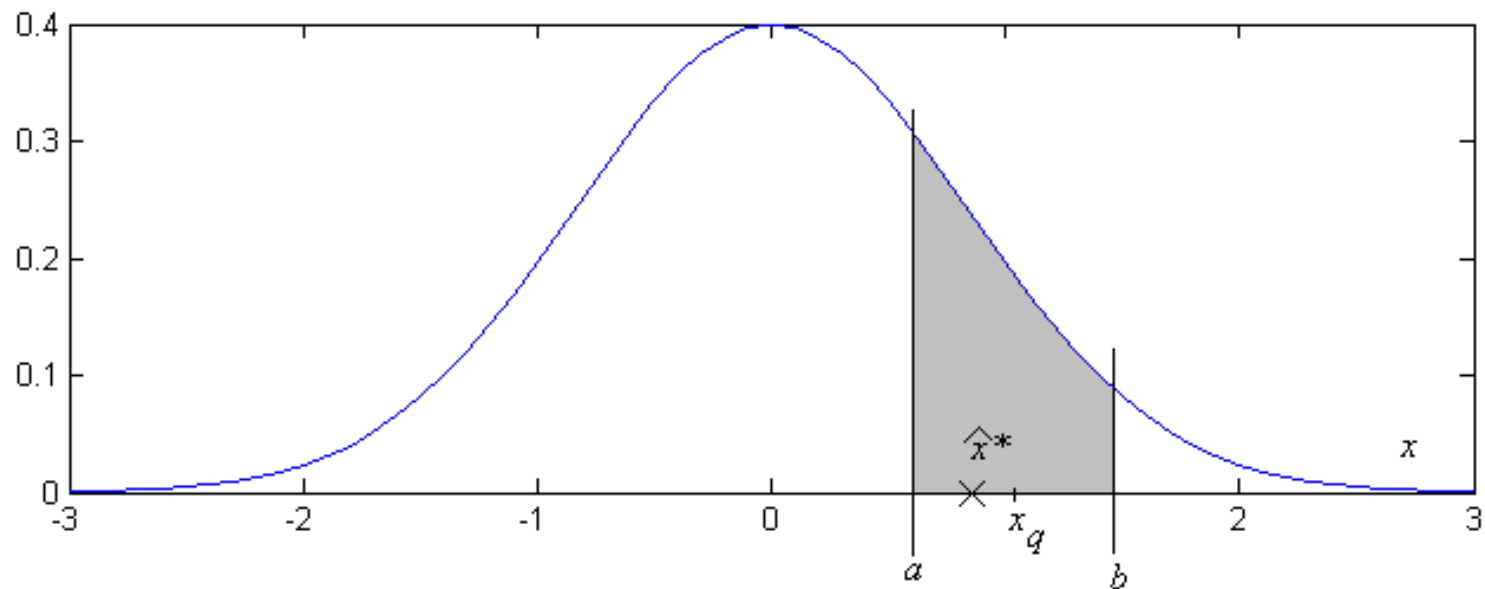
# Schema bloc a decodorului JPEG



# Observatii

- Inainte de efectuarea transformarii blocului imagine are loc o deplasare a valorii pixelilor in jos cu jumatate din gama dinamica folosita la reprezentare
  - De exemplu, daca se foloseste gama  $[0 \ 255]$  atunci se va scadea valoarea 128, inainte de aplicarea transformarii
- Pentru decuantizare, se foloseste regula punctului de mijloc la refacerea coeficientilor DCT, deci la mijlocul intervalului de cuantizare
  - Acest tip de reconstructie ar fi optimal daca si numai daca functia densitate de probabilitate a coeficientilor DCT ar fi uniforma
  - In realitate este neuniforma, astfel incat pentru a minimiza valoarea patratica medie se alege ca valoare estimata coordonata centroidului intervalului de cuantizare

# Determinarea pozitiei centroidului portiunii hasurate



# Observatii

- In contextul detectiei prezentei unei informatii ascunse intereseaza posibilitatile de determinare a modificarii functiei densitate de probabilitate
- Coeficientii DCT au fdp de tip Laplace, ceea ce corespunde valorii 1 a parametrului de forma in expresia functiei gaussiene generalizate
- Se considera expresia

$$w(x) = \frac{\lambda}{2} e^{-\lambda|x|}$$

unde  $x$  reprezinta valorile coeficientilor DCT

# Observatii

- Daca reprezinta valorile cuantizate si  $Q$  este pasul de cuantizare atunci valoarea reconstituita va fi in intervalul:

$$I_{x_q} = [a, b] = \left[ \left( x_q - \frac{1}{2} \right) \cdot Q, \left( x_q + \frac{1}{2} \right) \cdot Q \right]$$

- Valoarea optima a esantionului refacut, peste intervalul anterior, este:

$$\hat{x}^* = x_q \cdot Q + \varepsilon$$

- unde offsetul se determina din statistica imaginii originala sau a imaginii refacute

# Exemplu

- Sa se faca compresia imaginii s prin metoda codarii transformarii cu pierdere de informatie:

$$\begin{bmatrix} 10 & 10 & 10 & 10 \\ 200 & 5 & 10 & 200 \\ 200 & 5 & 10 & 200 \\ 200 & 5 & 10 & 200 \end{bmatrix}$$





# Exemplu

- Matricea transformării cosinus discrete este:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.50 & 0.50 & 0.50 \\ 0.65 & 0.27 & -0.27 & -0.65 \\ 0.5 & -0.5 & -0.5 & 0.5 \\ 0.27 & -0.65 & 0.65 & -0.27 \end{bmatrix}$$

- Transformata cosinus discreta aplicata imaginii  $s$  este:

$$\mathbf{S} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{s} \cdot \mathbf{A}^T = \begin{bmatrix} 321.25 & -2.02 & 288.75 & 4.89 \\ -122.49 & 0.88 & -125.75 & -2.13 \\ -93.75 & 0.67 & -96.25 & -1.63 \\ -50.73 & 0.36 & -52.09 & -0.88 \end{bmatrix}$$

# Exemplu

- Se alege matricea de cuantizare de forma:

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 10 & 15 & 37 & 57 \\ 15 & 23 & 59 & 67 \\ 25 & 53 & 91 & 96 \\ 70 & 90 & 100 & 106 \end{bmatrix}$$

- Transformata cuantizata:

$$\mathbf{s}_c = [\mathbf{s} ./ \mathbf{Q}] = \begin{bmatrix} 32 & -1 & 7 & 0 \\ -9 & 0 & -3 & -1 \\ -4 & 0 & -2 & -1 \\ -1 & 0 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

# Exemplu

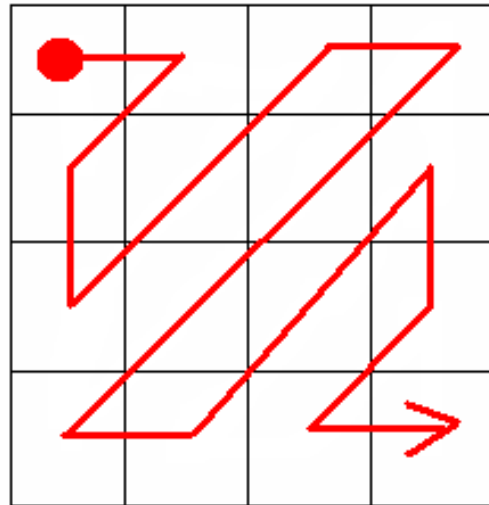
- Neglijand coeficientii mai mici de 1, 2.5 si 5 din maximumul coeficientilor AC se obtin transformatele ponderate reduse:

$$\mathbf{S}_{\text{cr1}} = \begin{bmatrix} 32 & 0 & 7 & 0 \\ -9 & 0 & -3 & 0 \\ -4 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{S}_{\text{cr2}} = \begin{bmatrix} 32 & 0 & 7 & 0 \\ -9 & 0 & -3 & 0 \\ -4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{S}_{\text{cr3}} = \begin{bmatrix} 32 & 0 & 7 & 0 \\ -9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

# Exemplu



- In vederea codarii coeficientii se parcurg in zigzag coeficientii transformarii, dupa traiectoria:

$$\mathbf{T} = [S(1,1), S(1,2), S(2,1), S(3,1), S(2,2), S(1,3), S(1,4), S(2,3), S(3,2), S(4,1), S(4,2), S(3,3), S(2,4), S(3,4), S(4,3), S(4,4)]$$

# Exemplu

- Pentru prima matrice,  $S_{cr1}$ , se obtine:

$$\mathbf{T}_1 = [ 32, 0, -9, -4, 0, 7, 0, -3, 0, 0, 0, -2, 0, 0, 0, 0, \text{EOB} ]$$

- Primul coeficient este codat diferential, cu referire la valoarea coeficientului din blocul anterior
- Ceilalti definesc simbolurile de codare de forma  $[run, level]$ :

$$\mathbf{T}_1 = \{ (1, -9), (0, -4), (1, 7), (1, -3), (3, -2), (3, 0), \text{EOB} \}$$

# Exemplu

- Simbolurile astfel obtinute se codeaza dupa un tabel de codare Huffman definit a priori, de obicei
- Pentru cazul de fata se va considera ca RLC binara plecand de la o reprezentare pe 8 biti a numerelor intregi cu semn
- Pentru bitul de semn, se considera 0 pentru numere pozitive
- Pentru caracterul EOB (End Of Block) se considera valoarea -127, foarte putin probabila sa apara in ultima pozitie
- Rezulta fluxul binar:

$$\mathbf{T}_{1bin} = \{0100.000, 0000.0000, 1001.0001, 1000.1001, 0000.0000, \\ 0000.1111, 0000.0000, \\ 1000.0011, 0000.0000, 0000.0000, 0000.0000, 1000.0010, \\ 0000.0000, 0000.0000, \\ 000.0000, 1111.1111\}$$

# Exemplu

- Prin codare RLC se obtine:

$$\mathbf{T}_{1Comprimat} = \{0, 1, 0*13, 1, 0*2, 1, 0*3, 1*2, 0*3, ,0*2, 1, 0*12, \\ 1*5, 0*5, 1*2, 0*24, 1 ,0*5, 1, 0*25, 1*8\}$$

- Impunand un numar maxim de 128 de repetari (maxim 7 biti) pentru cele doua simboluri (0 si 1) , rezulta numarul de biti necesar pentru aceasta reprezentare:

$$n = 1+1+8+1+8+1+8+8+8+8+1+8+8+8+8+8+1+8+1+8+8 = 119$$

- Raportul de compresie este:

$$RC_3 = \frac{nc \cdot nl \cdot 8biti}{n} = \frac{4 * 4 * 8}{119} = \frac{128}{119} = 1.07$$

# Exemplu

- In cazul refacerii imaginilor, dupa deponderare si transformare inversa:

$$\hat{\mathbf{s}}_1 = \mathbf{A}^T \cdot (\mathbf{S}_{\text{cr1}} \cdot * \mathbf{Q}) \cdot \mathbf{A} = \begin{bmatrix} -28 & 49 & 49 & -28 \\ 173 & 0 & 0 & 173 \\ 257 & -11 & -11 & 257 \\ 176 & 22 & 22 & 176 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\mathbf{s}}_2 = \begin{bmatrix} 17 & 3 & 3 & 17 \\ 127 & 45 & 45 & 127 \\ 211 & 34 & 34 & 211 \\ 221 & -24 & -24 & 221 \end{bmatrix}$$

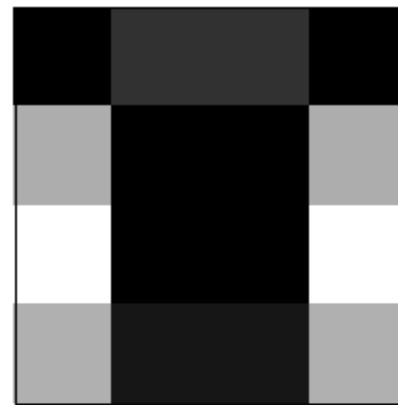
$$\hat{\mathbf{s}}_3 = \begin{bmatrix} 100 & -29 & -29 & 100 \\ 126 & -4 & -4 & 126 \\ 163 & 33 & 33 & 163 \\ 168 & 59 & 59 & 168 \end{bmatrix}$$



# Reconstructia imaginilor din trunchierea transformarilor

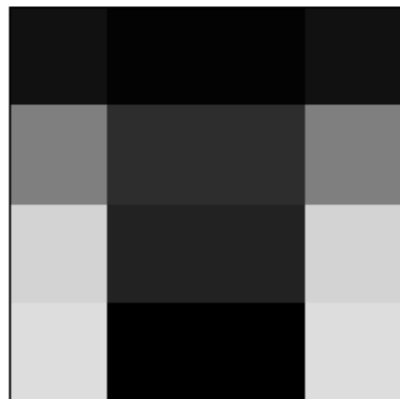


*original*

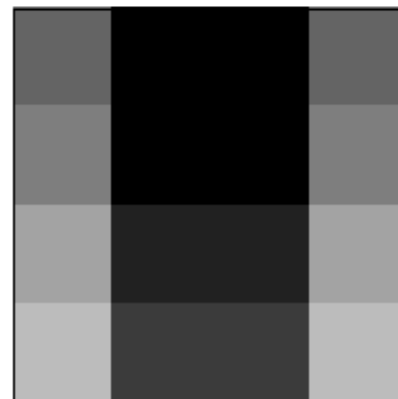


$S(u,v) > 1$

$S(u,v) > 2.5$



$S(u,v) > 5$



# Exemplu

- Compresia imaginii „cameraman” cu algoritmul JPEG si blocuri de marime 8x8
- S-au considerat mai multe variante in care numarul de coeficienti considerati ai transformarii sunt 4, 9 si 16
- Raportul de compresie este:

$$RC = \frac{nl \cdot nc \cdot np \cdot nb\_per\_pixel / n\_blocuri \cdot}{n\_coef \cdot n\_bit\_per\_coef}$$

unde  $nl$  este numarul de linii

$nc$  este numarul de coloane

$np$  este numarul de pixeli

$nb\_per\_pixel$  este numarul de biti pentru un pixel

$n\_blocuri$  este numarul de blocuri in care se descompune imaginea (blocuri de dimensiune 8x8)

$n\_coef$  este numarul de coeficienti ai transformarii ce sunt memorati,

$n\_bit\_per\_coef$  este numarul de biti pentru reprezentarea unui coeficient

# Exemplu

- Este interesant de observat ca aceste valori ale raportului de compresie s-au obtinut fara a se considera si codarea entropica la care este supusa imaginea dupa normalizare si scanare in zig-zag
- Numarul de variabil de coeficienti se obtine prin modificarea matricii de ponderare

64 coef, NMSE=0



RC = 64 ; 4 coef, NMSE=377



RC = 28 ; 9 coef, NMSE=223



RC = 16 ; 16 coef, NMSE=142



# Codarea coeficientilor in JPEG

- JPEG a emis mai multe standarde:
  - JPEG cu pierdere de informatie, bazata pe DCT
  - JPEG-LS fara pierdere de informatie, bazata pe codare predictiva si codare entropica
  - JPEG2000, cu sau fara pierdere de informatie, bazata pe transformata undinelor (*wavelet transform*)
- Versiunea de baza a JPEG presupune efectuarea urmatoarelor calcule:
  - impartirea in blocuri de 8x8 pixeli
  - pentru fiecare bloc executa:
    - calculeaza DCT
    - cuantizeaza perceptual
  - codifica cu lungime variabila dupa schema RLC + Huffman

# Codarea coeficientilor in JPEG

- Cuantizarea coeficientilor se poate face si uniform si inlaturarea coeficientilor celor mai mici dupa diverse criterii:
  - Cuantizarea neuniforma este superioara intrucat tine seama de perceptia vizuala
- Coeficientii cu semnificatie de componenta medie (DC *coefficients*) sunt codati prin codare predictiva, folosind valorile din blocul anterior si codarea erorii prin codare Huffman
- Coeficientii cu semnificatie de componente alternative (AC *coefficients*) sunt codati astfel:
  - Scaneaza matricea coef DCT in zig-zag
  - Defineste simboluri compuse de forma  $\{run, level\}$ , unde *run* reprezinta numarul de zerouri de dinaintea unei valori non-zero si *level* este valoarea coef iceintului considerat

# Codarea coeficientilor in JPEG

- Pentru codarea Huffman a simbolurilor compuse se poate folosi o tabela Huffman implicita sau una construita prin tehnicile cunoscute
  - In locul codarii Huffman se poate folosi si codarea aritmetica pentru a obtine o cresterea a raportului de compresie

## Exemplu (DC)

- Fie coeficientul DC curent cu valoarea 2
- Fie valoarea in blocul anteriori 4
- Eroarea de predictie este -2
- Eroarea de predictie se codeaza in doua parti:
  - codul categoriei careia ii apartine eroare, in cazul de fata 2, cu cuvantul de cod "100"
  - codul pozitiei in cadrul categoriei; -2 este in pozitia 1 in cadrul categoriei 2, si are codul "01"
- Codul final este "100"+"01"="10001"

# Exemplu (AC)

- Fie primul simbol (0,5)
- Valoarea “5” este reprezentata in doua parti
  - Prima valoare este data de categoria careia ii apartine valoare “5”
    - In cazul de fata “3” cu codul “100”
  - A doua valoare, este data de pozitia in cadrul categoriei
    - In cazul de fata “5” este in pozitia 5 in categoria 3 si are codul “101”
- Codul final este “100+101”



# Tabelele de codare pentru coeficientii DC -DCT sub JPEG standard

**TABLE 8.17**  
JPEG coefficient  
coding categories.

Range	DC Difference Category	AC Category
0	0	N/A
-1, 1	1	1
-3, -2, 2, 3	2	2
-7, ..., -4, 4, ..., 7	3	3
-15, ..., -8, 8, ..., 15	4	4
-31, ..., -16, 16, ..., 31	5	5
-63, ..., -32, 32, ..., 63	6	6
-127, ..., -64, 64, ..., 127	7	7
-255, ..., -128, 128, ..., 255	8	8
-511, ..., -256, 256, ..., 511	9	9
-1023, ..., -512, 512, ..., 1023	A	A
-2047, ..., -1024, 1024, ..., 2047	B	B
-4095, ..., -2048, 2048, ..., 4095	C	C
-8191, ..., -4096, 4096, ..., 8191	D	D
-16383, ..., -8192, 8192, ..., 16383	E	E
-32767, ..., -16384, 16384, ..., 32767	F	N/A

**TABLE 8.18**  
JPEG default DC  
code (luminance).

Category	Base Code	Length	Category	Base Code	Length
0	010	3	6	1110	10
1	011	4	7	11110	12
2	100	5	8	111110	14
3	00	5	9	1111110	16
4	101	7	A	11111110	18
5	110	8	B	111111110	20

# Tabelele de codare pentru coeficientii ACDC -DCT sub JPEG standard

Run/ Category	Base Code	Length	Run/ Category	Base Code	Length
<b>0/0</b>	<b>1010 (= EOB)</b>	<b>4</b>			
0/1	00	3	8/1	11111010	9
0/2	01	4	8/2	11111111000000	17
0/3	100	6	8/3	111111110110111	19
0/4	1011	8	8/4	111111110111000	20
0/5	11010	10	8/5	111111110111001	21
0/6	111000	12	8/6	111111110111010	22
0/7	1111000	14	8/7	111111110111011	23
0/8	1111110110	18	8/8	111111110111100	24
0/9	111111110000010	25	8/9	111111110111101	25
0/A	111111110000011	26	8/A	111111110111110	26
1/1	1100	5	9/1	11111000	10
1/2	111001	8	9/2	111111110111111	18
1/3	1111001	10	9/3	111111111000000	19
1/4	111110110	13	9/4	111111111000001	20
1/5	11111110110	16	9/5	111111111000010	21
1/6	111111110000100	22	9/6	111111111000011	22
1/7	111111110000101	23	9/7	111111111000100	23
1/8	111111110000110	24	9/8	111111111000101	24
1/9	111111110000111	25	9/9	111111111000110	25
1/A	111111110001000	26	9/A	111111111000111	26
2/1	11011	6	A/1	11111001	10
2/2	1111000	10	A/2	111111111001000	18
2/3	111110111	13	A/3	111111111001001	19
2/4	111111110001001	20	A/4	111111111001010	20
2/5	111111110001010	21	A/5	111111111001011	21
2/6	111111110001011	22	A/6	111111111001100	22
2/7	111111110001100	23	A/7	111111111001101	23

**TABLE 8.19**  
JPEG default AC  
code (luminance)  
(continues on next  
page).