

SISTEMAS MULTIMÍDIA

IMAGEM – JPEG

Prof.: Danilo Coimbra
(coimbra.danilo@ufba.br)



Compressão de Imagens - JPEG

2

- ❑ O quê é JPEG?
- ❑ Preparação da imagem/bloco
- ❑ Transformada DCT
- ❑ Quantização
- ❑ Codificação por Entropia
- ❑ Construção do Quadro

Compressão de Imagens - JPEG

3

- *Joint Photographic Experts Group (comitê)*
- ISO, ITU-T e IEC (International Standardization Organization, International Telecommunication Union, International Electrotechnical Commission)
 - 10918: criado em 1992 (iniciou em 1986)¹
 - Última versão em 1994
- Padrão para codificação de imagens estáticas de tons contínuos
- O codificador deve ser parametrizado
 - Permite a escolha da taxa de compressão e qualidade
- Possui 4 modos de operação:
 - **Sequencial (*baseline mode*)**; Progressivo; sem perdas; hierárquico

¹ <https://jpeg.org/jpeg/index.html>

Compressão de Imagens - JPEG

4

□ Possui 4 modos de operação: (1)

▣ **Sequencial (*baseline mode*)**

- Cada componente da imagem é codificado com **uma simples varredura** da esquerda para a direita e de cima para baixo
- Suportado por toda implementação JPEG

▣ **Progressivo**

- A imagem é codificada em **múltiplas varreduras** para aplicações no qual o tempo de transmissão é longo
- Avanços ao modo baseline

Compressão de Imagens - JPEG

5

□ Possui 4 modos de operação: (2)

□ Sem perdas

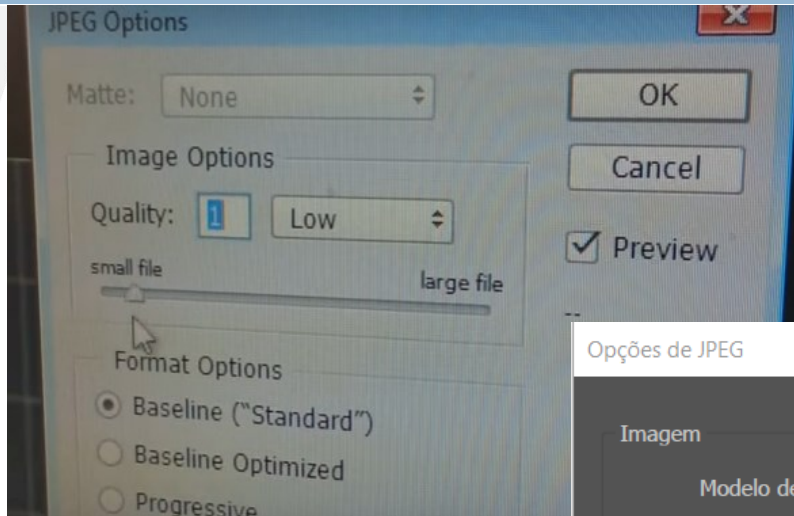
- A imagem é codificada garantindo a **reconstrução exata** da imagem original
- Necessária em aplicações que não toleram perdas
 - Médicas e legais

□ Hierárquico

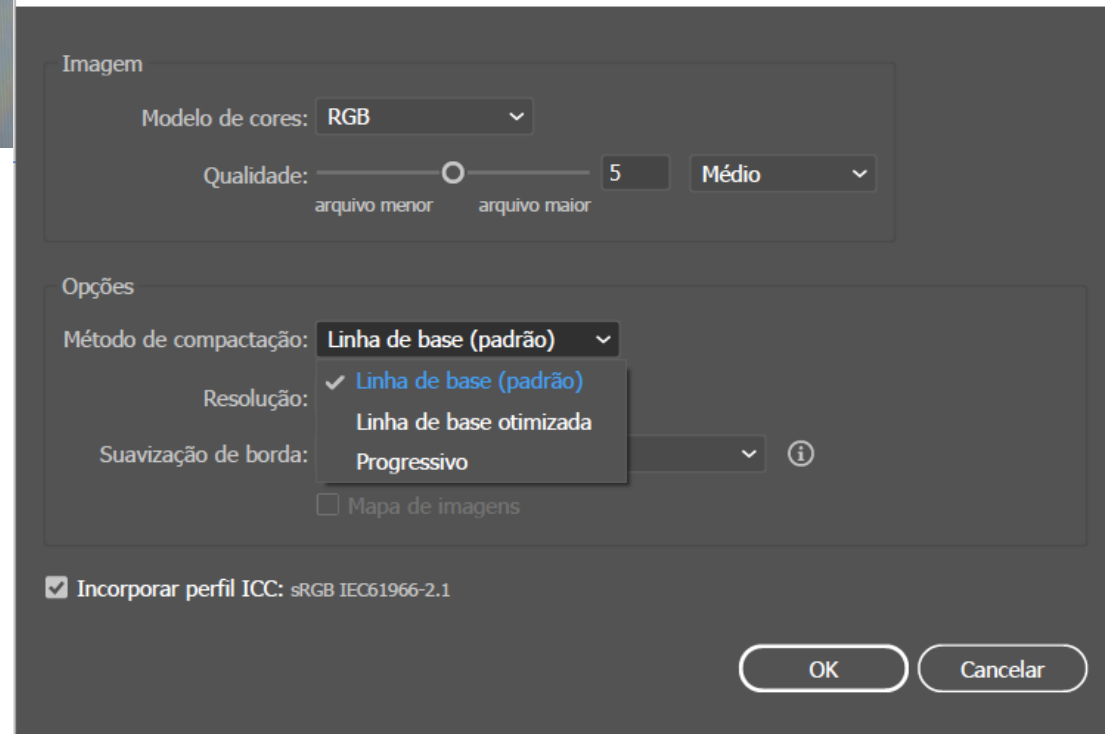
- Oferece uma codificação progressiva que aumenta de resolução espacial entre estágios progressivos
- Taxa de compressão é mais baixa

Compressão de Imagens - JPEG

6



Opções de JPEG



Compressão de Imagens - JPEG

7

□ Modo sequencial

- É um método de compressão com perdas

- Possui 5 etapas principais:

1. Preparação da imagem/bloco

- 1.1. Mudança de espaço de cor (RGB \rightarrow YCbCr)

- 1.2. Subamostragem da croma (downsampling)

2. DCT

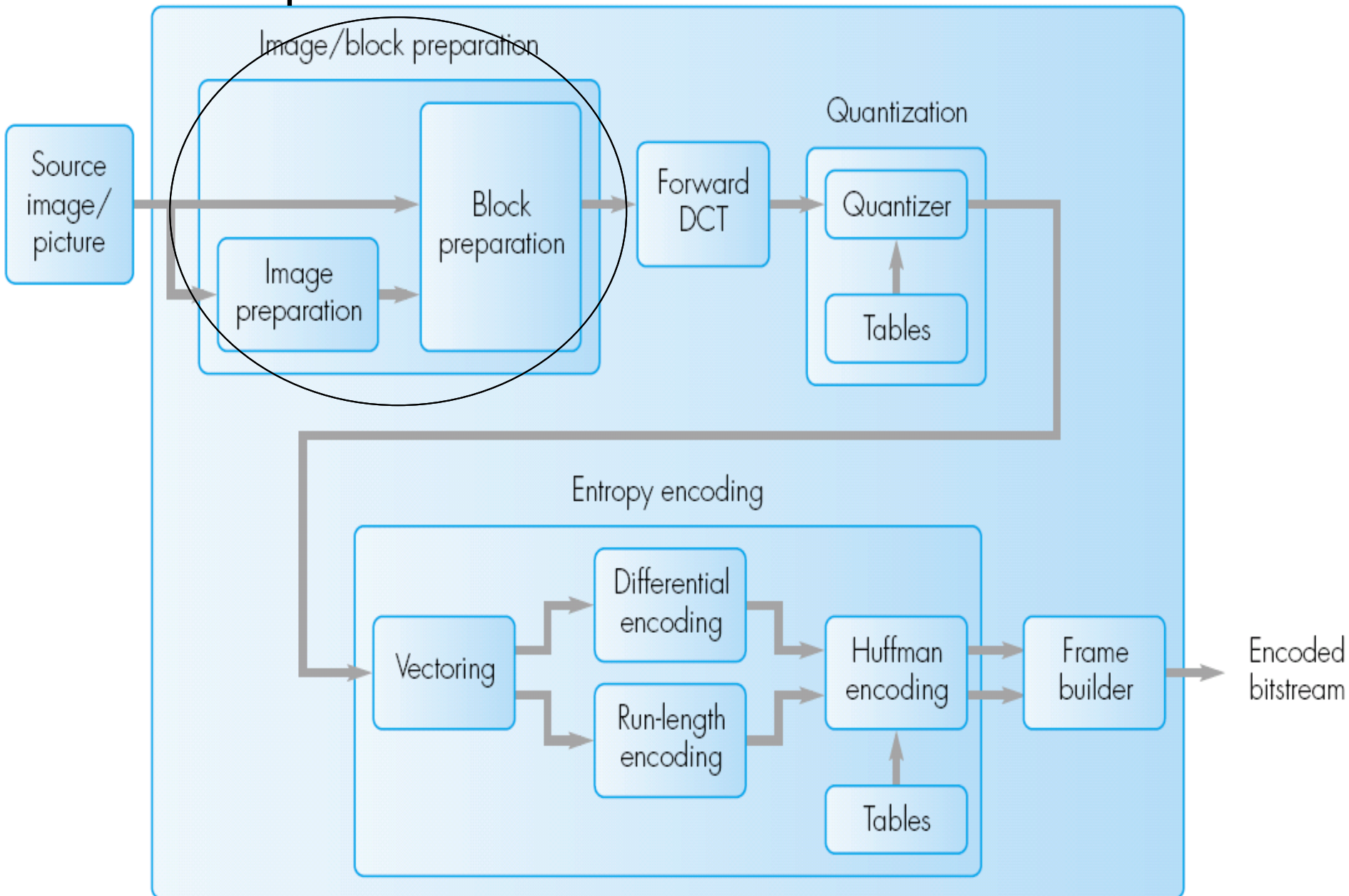
3. Quantização

4. Codificação

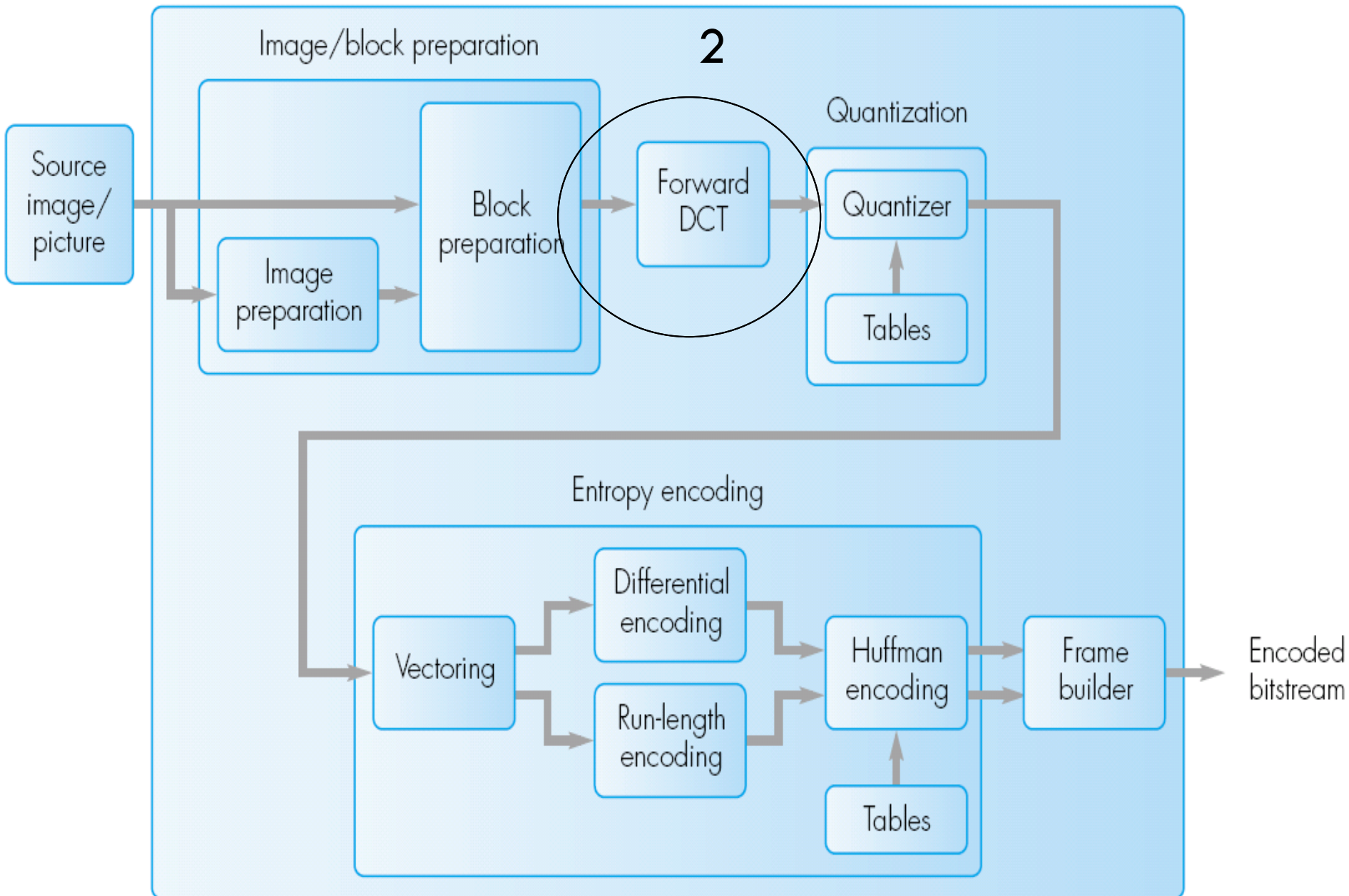
5. Construção do quadro

JPEG encoder

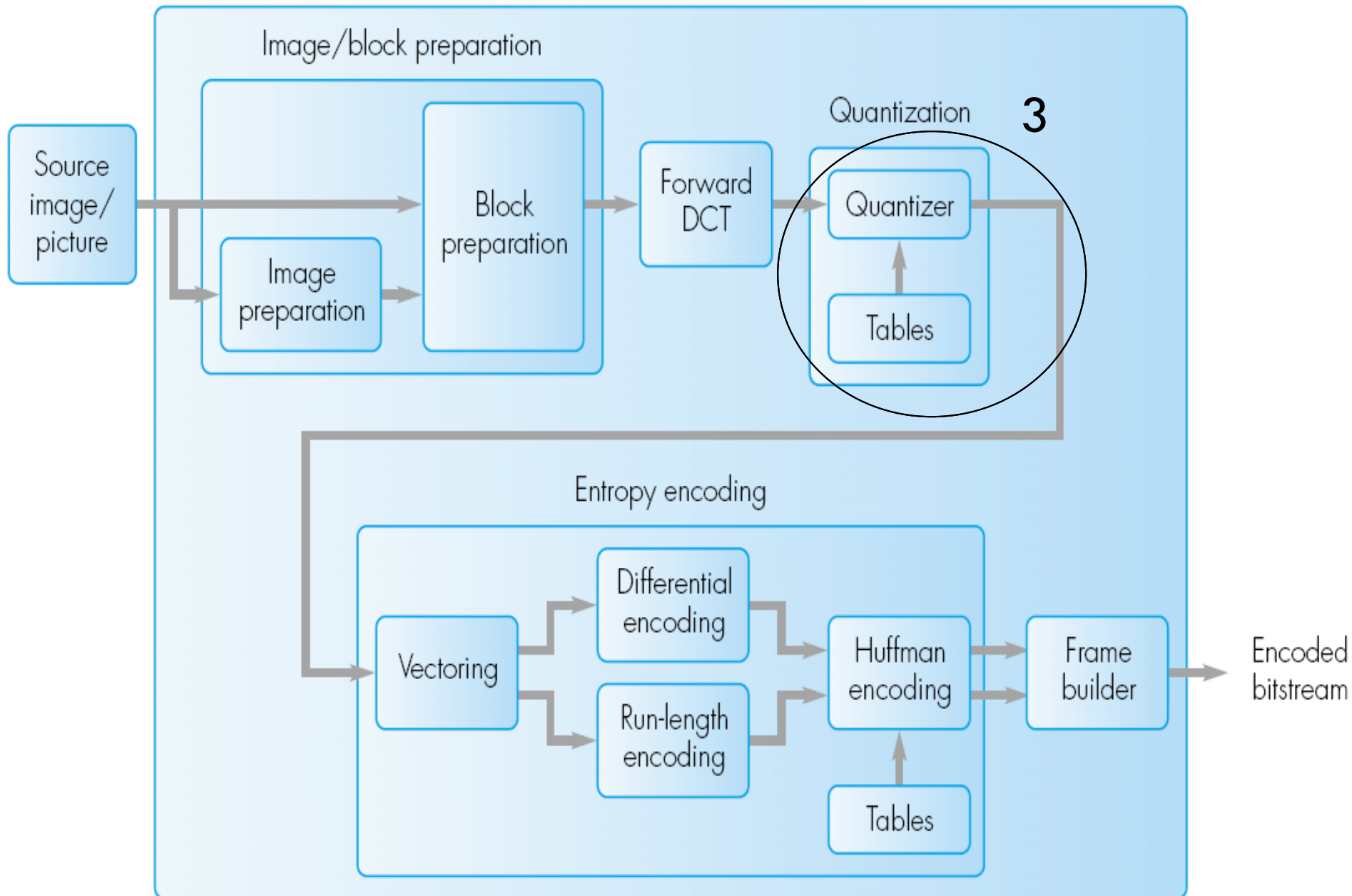
1



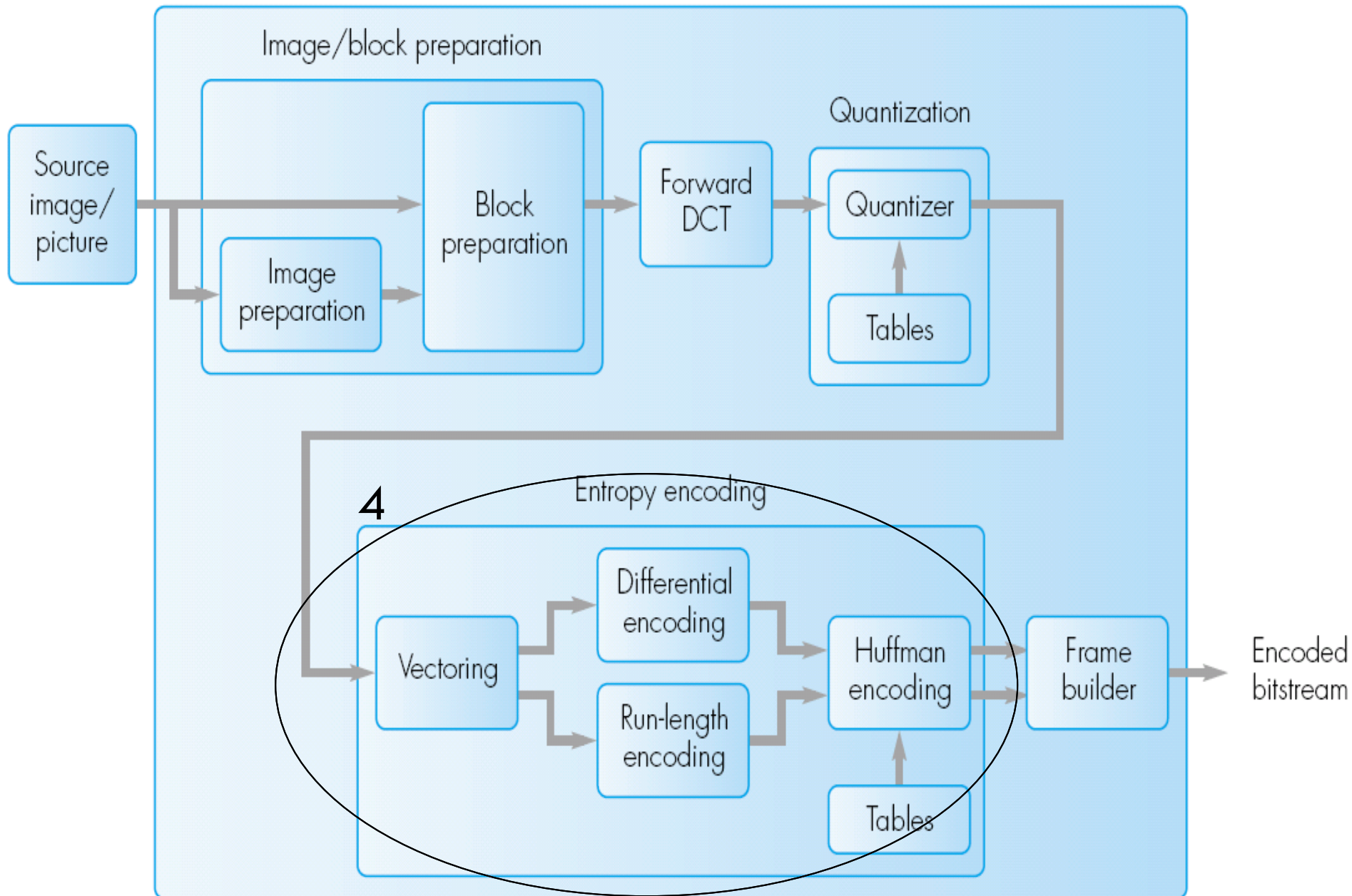
JPEG encoder



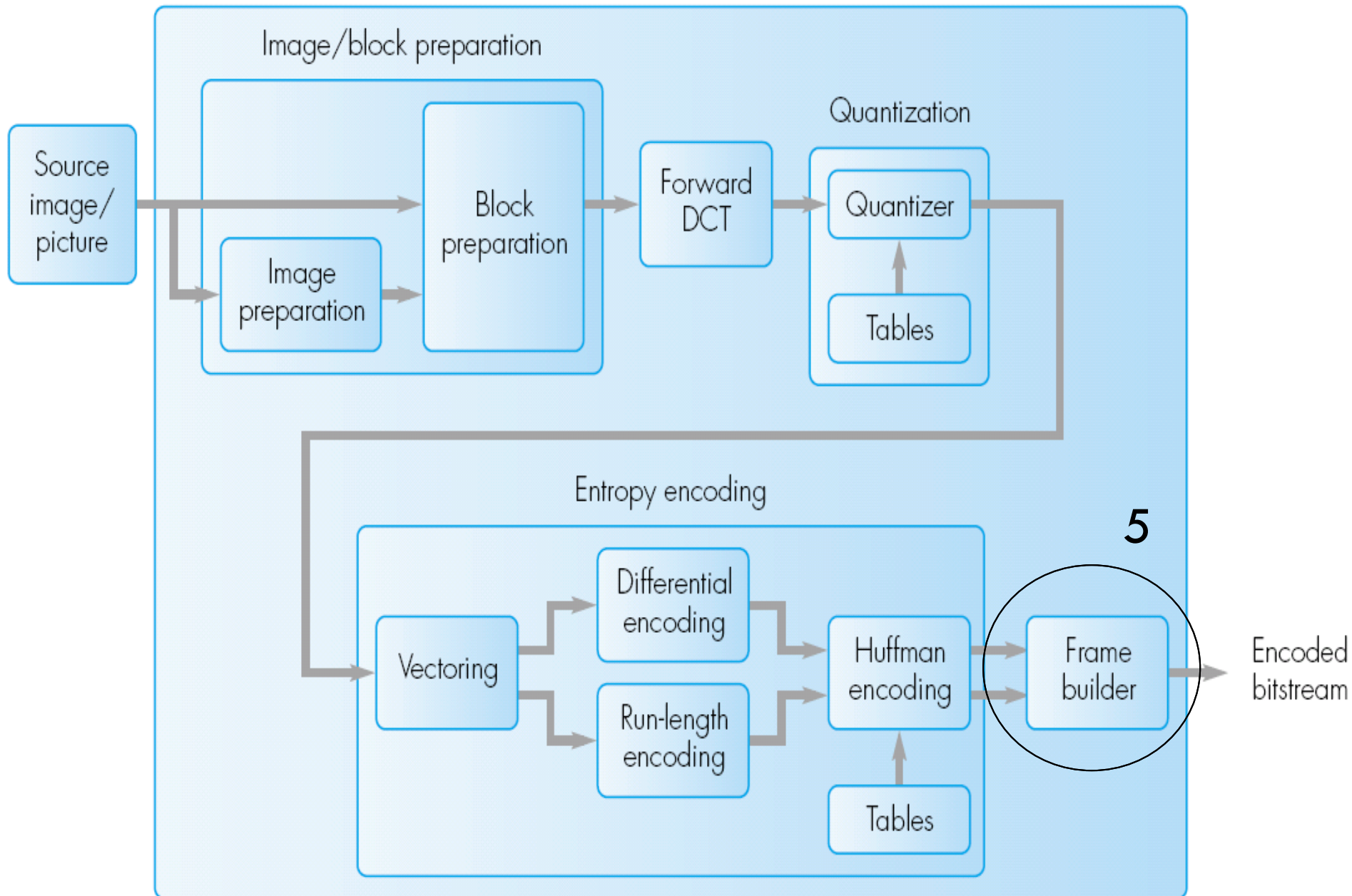
JPEG encoder



JPEG encoder



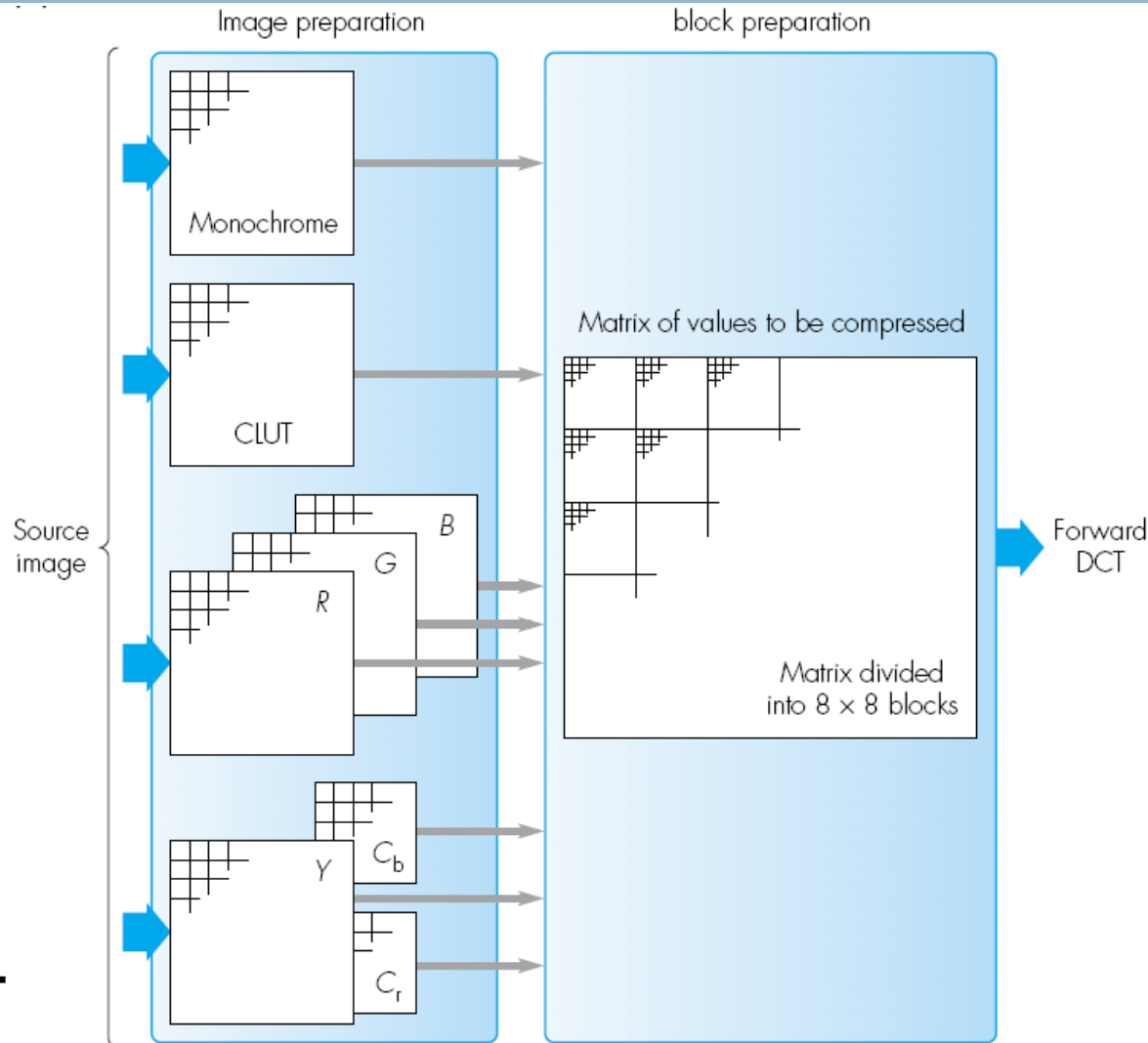
JPEG encoder



JPEG- Preparação da imagem/bloco

13

- Imagem é dividida em blocos de 8×8 pixels
 - ▣ Melhor custo/benefício
 - ▣ 16×16 muita complexidade para pouca compressão
- Isso permite aplicação mais eficiente da DCT

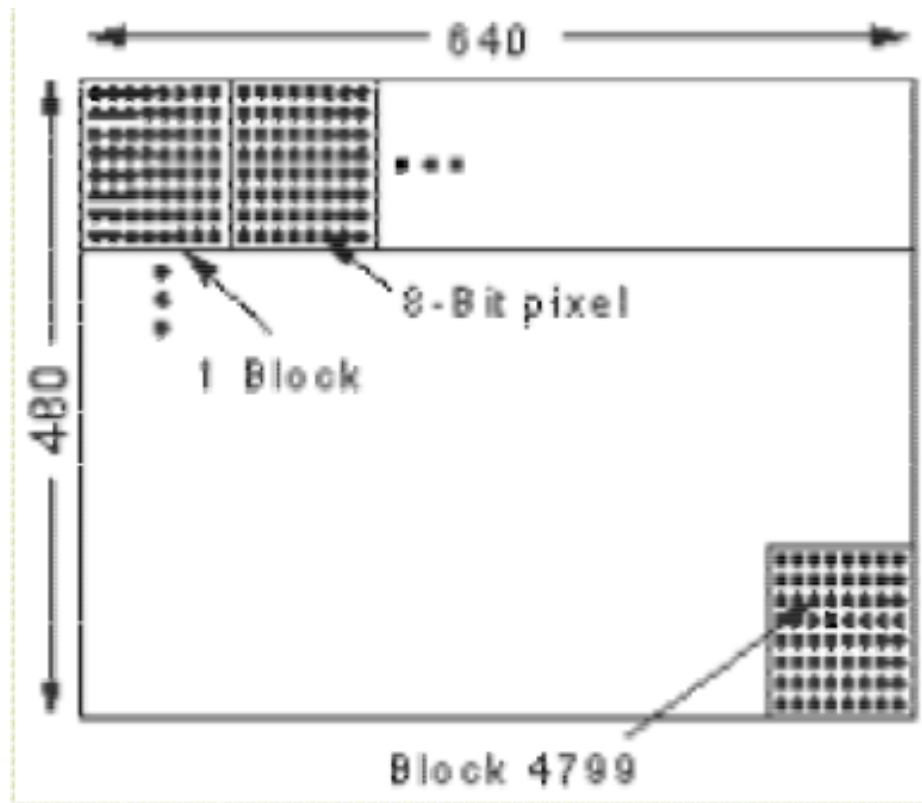


JPEG- Preparação da imagem/bloco

14

Exemplo

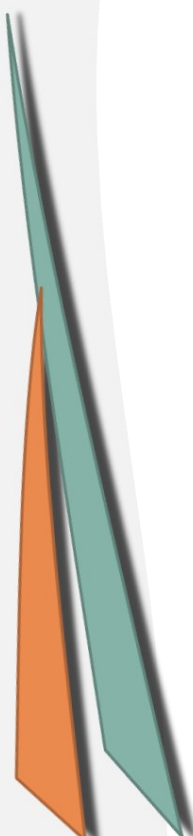
Imagem de 640x480



JPEG- Preparação da imagem/bloco

15

- 1.1 Conversão de cor (RGB \rightarrow YCbCr)
 - ▣ Componentes RGB apresentam uma relação muito íntima entre si
 - Inviável processamento de cada componente
 - ▣ RGB é convertido para um espaço de cores formado por luminância e crominâncias
 - Luminância (Y): imagem em tons de cinza
 - Crominâncias: informações de cores azul (Cb) e vermelho (Cr)



JPEG- Preparação da imagem/bloco

16

□ Como?

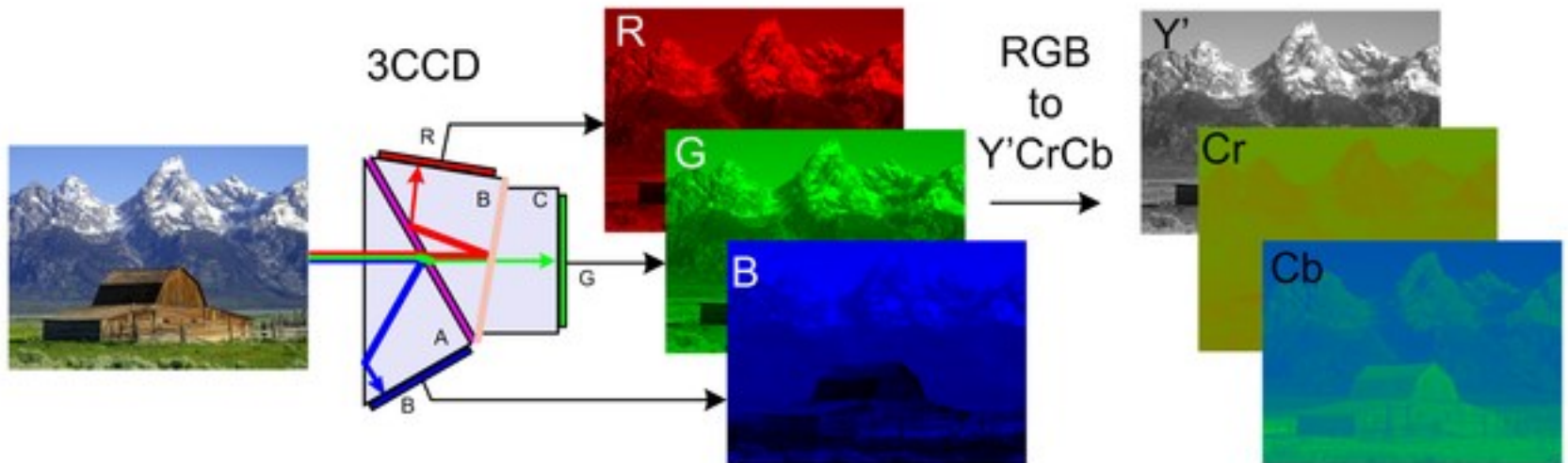
▣ Conversão RGB para YCBCR

$$\begin{aligned} Y' &= 0 + (0.299 \cdot R'_D) + (0.587 \cdot G'_D) + (0.114 \cdot B'_D) \\ C_B &= 128 - (0.168736 \cdot R'_D) - (0.331264 \cdot G'_D) + (0.5 \cdot B'_D) \\ C_R &= 128 + (0.5 \cdot R'_D) - (0.418688 \cdot G'_D) - (0.081312 \cdot B'_D) \end{aligned}$$

JPEG- Preparação da imagem/bloco

17

Exemplos



JPEG- Preparação da imagem/bloco

18

1.2 Subamostragem (*Downsampling*) (1)

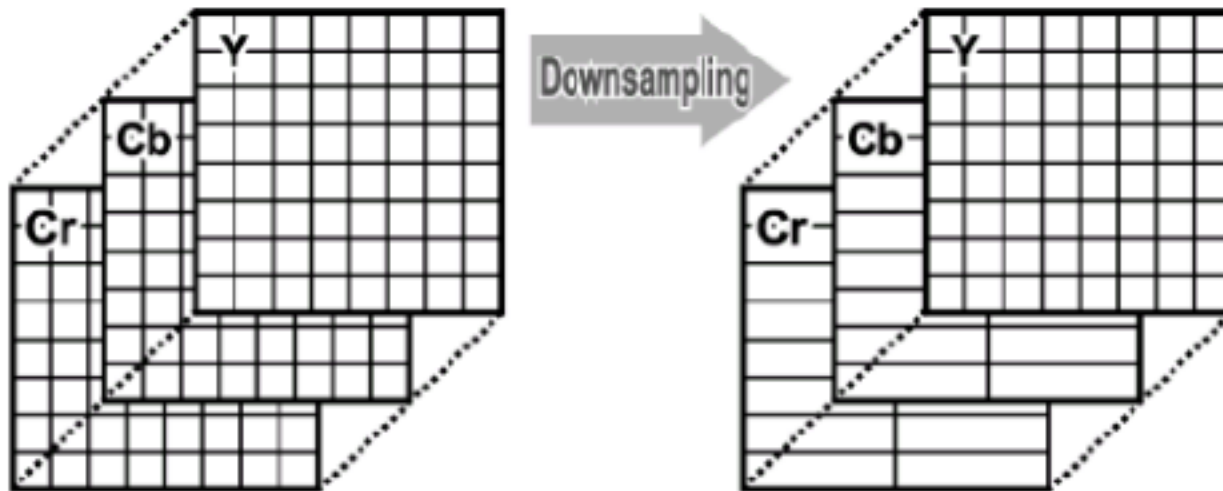
- Inicia-se o processo de redução de dados (lossy)
- Olho humano é mais sensível às informações de luminosidade do que cores
- Assim, parte das informações de Ycb e Ycr podem ser descartadas sem prejuízo aparente
- Especifica-se uma proporção
 - Ex.:4:1:1=para cada 4 informações de luminância, tem-se uma de Ycb e uma de Ycr

JPEG- Preparação da imagem/bloco

19

Subamostragem (*Downsampling*) (2)

- Bloco sofrendo subamostragem



- Se um bloco tem tamanho $64 \times 64 \times 64 = 192$ bytes
 - ▣ Agora possui $64 \times 16 \times 16 = 96$ bytes
 - ▣ 50% com perda perceptual pouco significativa

JPEG- DCT

20

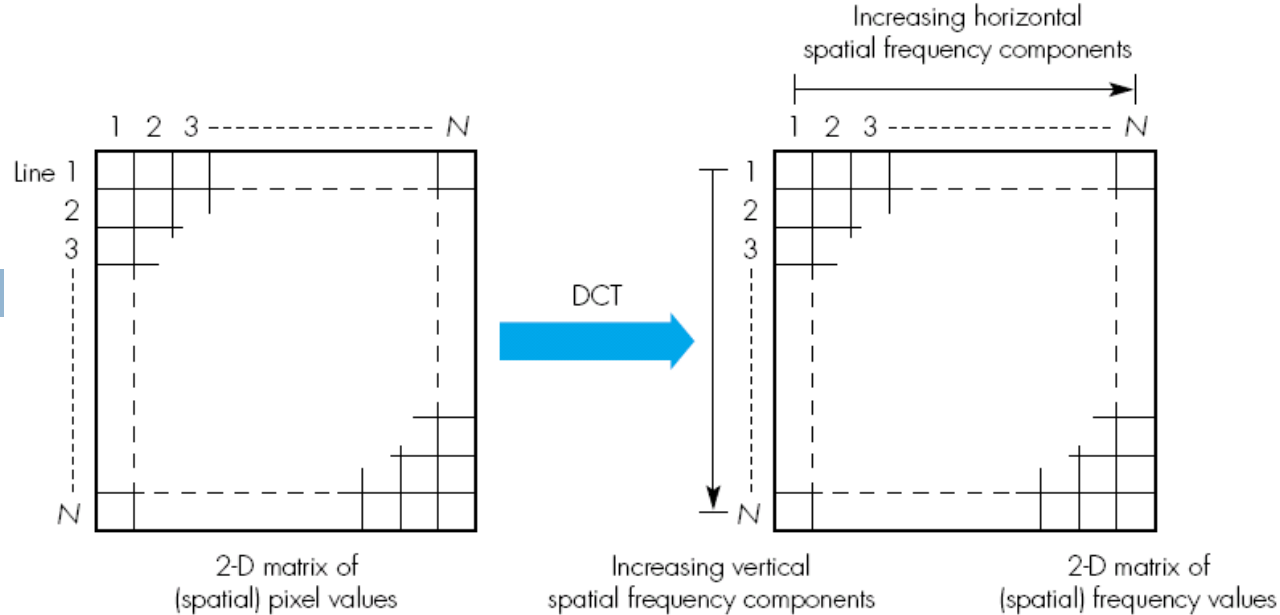
Transformada Discreta de Cosseno

- (*Discrete Cosine Transform* – DCT)
- Transformadas:
 - Transformam a informação de um formato (domínio) para outro
- Transformada DCT aplicada a imagens:
 - Transforma matriz (imagem) em matriz de frequências espaciais
 - Separa os componentes de alta frequência e baixa frequência
 - Não produz perdas
- Cada bloco é transformado pela DCT de duas dimensões (DCT2) de maneira independente

JPEG- DCT

21

- O olho humano tem menos percepção para as perdas de informação de alta-frequência que as perdas de baixa-frequência
 - Olho humano é menos sensível a distorções em regiões com alta frequência espacial
 - Se a amplitude, nas altas frequências, está abaixo de um limite, o olho não detecta a informação
- Ideia: obter as componentes de alta-frequência para depois reduzir sua influência na imagem
 - Tais componentes podem ser eliminadas de modo que o olho humano não perceba diferenças significativas
 - redundância psicovisual



DCT = discrete cosine transform

$$F[i, j] = \frac{1}{4} C(i) C(j) \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 P[x, y] \cos \frac{(2x+1)i\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)j\pi}{16}$$

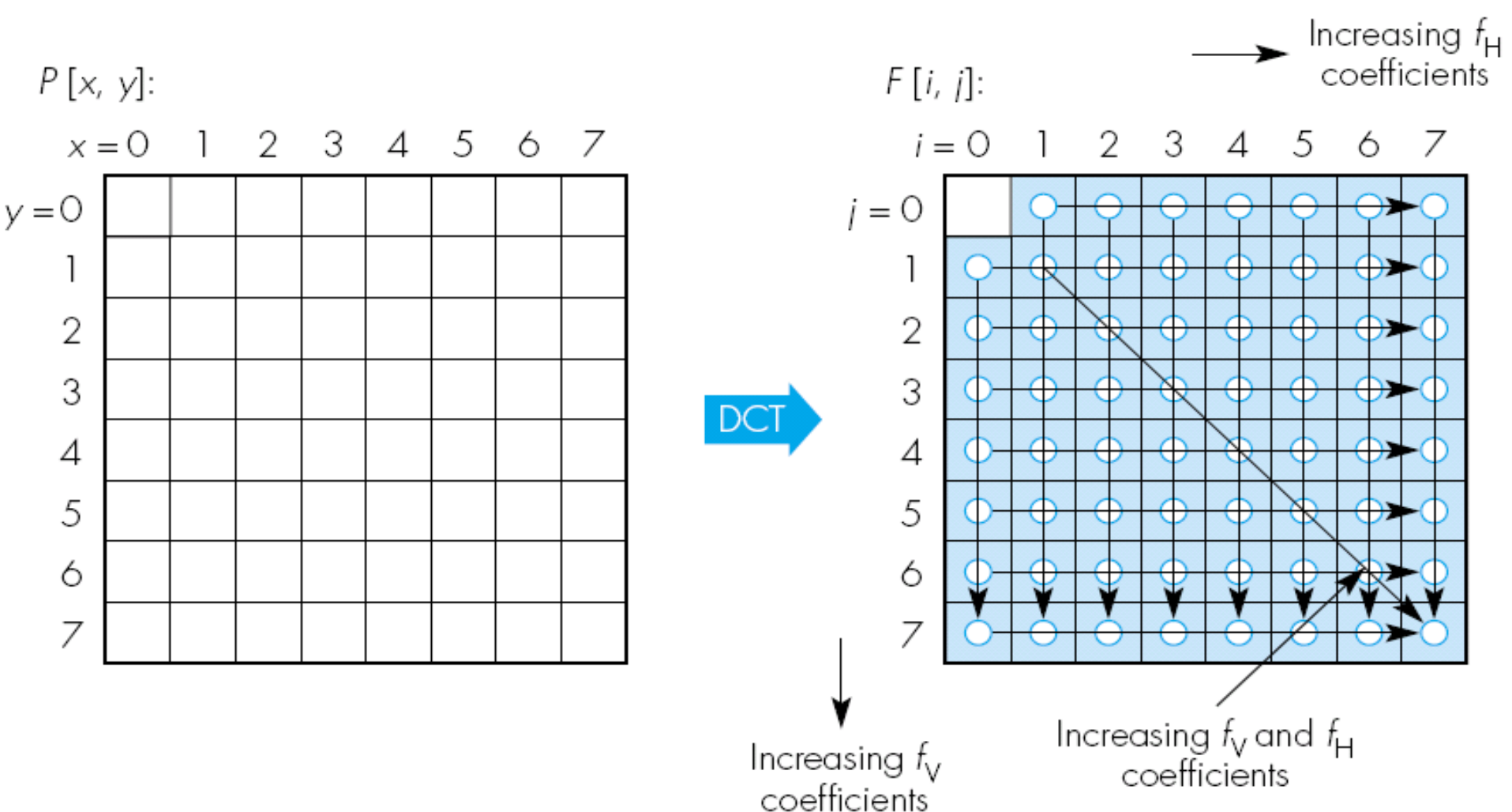
onde $C(i)$ e $C(j) = 1/\sqrt{2}$ para $i, j=0$
 $= 1$ para todos os outros valores de i e j .
 x, y, i e j todos variam de 0 a 7.

Transformada Discreta
de Cossenos (DCT)

$$P[x, y] = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 C(i) C(j) F[i, j] \cos \frac{(2x+1)i\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)j\pi}{16}$$

onde $C(i)$ e $C(j) = 1/\sqrt{2}$ para $i, j=0$
 $= 1$ para todos os outros valores de i e j .
 x, y, i e j todos variam de 0 a 7.

Transformada Discreta
de Cossenos Inversa
(IDCT)



$P[x, y] = 8 \times 8$ matrix of pixel values

$F[i, j] = 8 \times 8$ matrix of transformed values/spatial frequency coefficients

In $F[i, j]$: = DC coefficient = AC coefficients

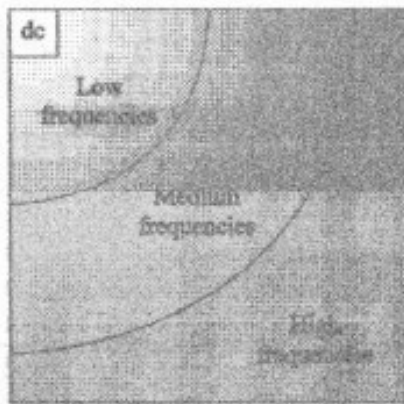
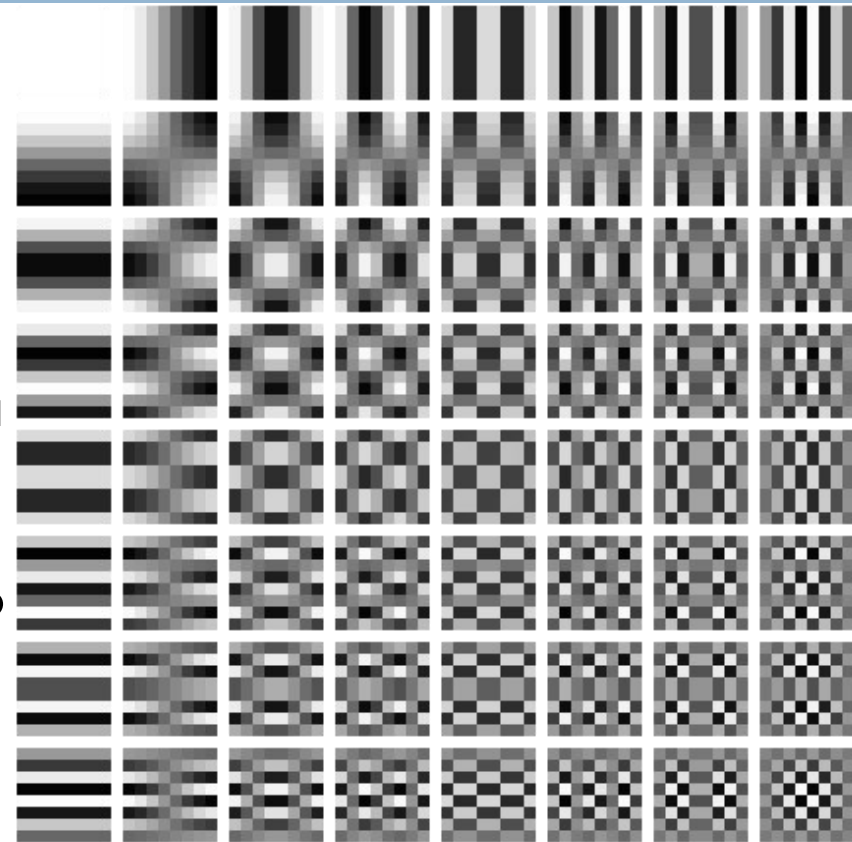
f_H = horizontal spatial frequency coefficient

f_V = vertical spatial frequency coefficient

JPEG- DCT

24

- Imagem ao lado mostra a combinação das frequências verticais e horizontais para uma Matriz (8x8) de uma DCT 2D
- Cada passo da esquerda para a direita e de cima para baixo aumenta a frequência em meio ciclo



JPEG- DCT

25

Exemplo

■ Bloco de imagem de 8-bit (escala de cinza)

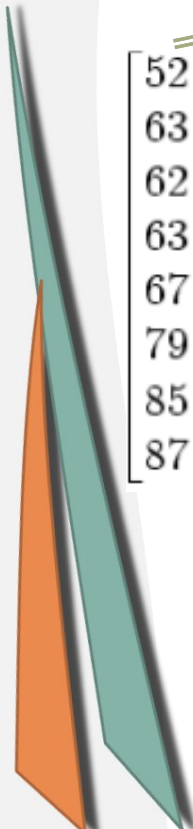


52	55	61	66	70	61	64	73
63	59	55	90	109	85	69	72
62	59	68	113	144	104	66	73
63	58	71	122	154	106	70	69
67	61	68	104	126	88	68	70
79	65	60	70	77	68	58	75
85	71	64	59	55	61	65	83
87	79	69	68	65	76	78	94

JPEG- DCT

26

- Bloco precisa ser normalizada de -128 a 127
 - ▣ *Block shifting*
 - ▣ Intervalo: cosseno varia de 1 a -1; imagem de 0 a 255



52	55	61	66	70	61	64	73
63	59	55	90	109	85	69	72
62	59	68	113	144	104	66	73
63	58	71	122	154	106	70	69
67	61	68	104	126	88	68	70
79	65	60	70	77	68	58	75
85	71	64	59	55	61	65	83
87	79	69	68	65	76	78	94

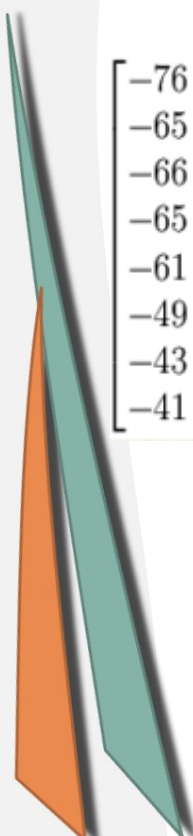


-76	-73	-67	-62	-58	-67	-64	-55
-65	-69	-73	-38	-19	-43	-59	-56
-66	-69	-60	-15	16	-24	-62	-55
-65	-70	-57	-6	26	-22	-58	-59
-61	-67	-60	-24	-2	-40	-60	-58
-49	-63	-68	-58	-51	-60	-70	-53
-43	-57	-64	-69	-73	-67	-63	-45
-41	-49	-59	-60	-63	-52	-50	-34

JPEG- DCT

27

□ Aplicando a transformada



-76	-73	-67	-62	-58	-67	-64	-55
-65	-69	-73	-38	-19	-43	-59	-56
-66	-69	-60	-15	16	-24	-62	-55
-65	-70	-57	-6	26	-22	-58	-59
-61	-67	-60	-24	-2	-40	-60	-58
-49	-63	-68	-58	-51	-60	-70	-53
-43	-57	-64	-69	-73	-67	-63	-45
-41	-49	-59	-60	-63	-52	-50	-34

DCT



-415	-30	-61	27	56	-20	-2	0
4	-22	-61	10	13	-7	-9	5
-47	7	77	-25	-29	10	5	-6
-49	12	34	-15	-10	6	2	2
12	-7	-13	-4	-2	2	-3	3
-8	3	2	-6	-2	1	4	2
-1	0	0	-2	-1	-3	4	-1
0	0	-1	-4	-1	0	1	2

JPEG- DCT

28

- Após aplicar a transformada
 - Todos os coeficientes são arredondados para o inteiro mais próximo
 - O valor mais alto da matriz (parte superior esquerda) é chamado de coeficiente DC
 - Representa a cor fundamental dos 64 pixels
 - Os 63 pixels restantes são chamados de AC
 - Representam os valores das pequenas

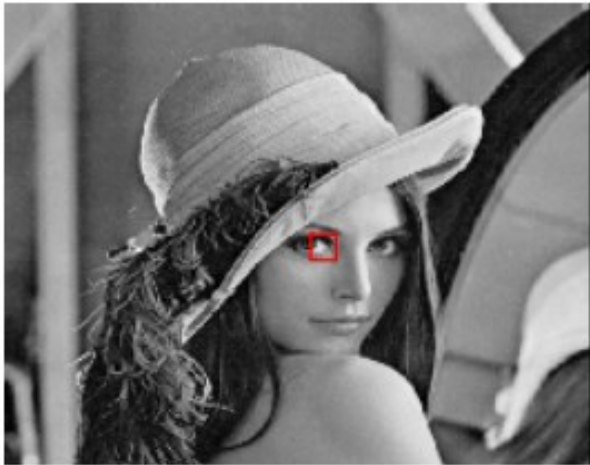
Variações de tonalidade ou cor

-415	-30	-61	27	56	-20	-2	0
4	-22	-61	10	13	-7	-9	5
-47	7	77	-25	-29	10	5	-6
-49	12	34	-15	-10	6	2	2
12	-7	-13	-4	-2	2	-3	3
-8	3	2	-6	-2	1	4	2
-1	0	0	-2	-1	-3	4	-1
0	0	-1	-4	-1	0	1	2

JPEG- DCT

29

Sumarizando



8x8



Normalização
(block shifting)

DCT

172	179	188	191	196	200	204	174
188	187	190	193	199	201	178	101
189	189	196	197	199	183	117	84
186	192	197	199	189	130	85	85
198	197	199	192	149	100	100	95
195	195	193	158	108	98	96	98
195	189	171	111	111	108	104	96
192	177	124	110	113	113	108	100



1256,4	228,6	-50,0	17,7	-15,6	2	-2,7	5,8
154,8	-80	-93,2	27	-6,5	12,3	2	0,7
9,7	-92,3	57,3	39,3	-29	3,4	6,3	1,5
16,3	-12,7	35,4	-47,6	-6,9	17,8	-2,1	4,4
2,1	-18,2	4	-14,4	27,6	-5,7	-12,9	-1,4
-3	-3,9	0,6	-9,3	2,5	-17,8	12,3	6,1
-1,2	-5,4	1,9	-7,2	6,2	-1,5	6,2	-11,8
7,1	-2,9	3,8	0,9	-1,4	0	2	2,9

JPEG- Quantização

30

Quantização

Olho humano:

- Boa resposta para coeficientes DC (baixa freq.)
- Baixa resposta para coeficientes AC (alta freq.)

Busca reduzir a quantidade de dados

- Limite da amplitude para frequências: divide os valores da matriz transformada pelos valores correspondentes em uma tabela pré-definida
- Isso diminui os valores dos coeficientes proporcionalmente à posição dos mesmos na matriz
- Ocorre perda. No caso ideal, não perceptível

JPEG- Quantização

31

- É nesta fase que o tamanho do arquivo diminui drasticamente
- Os coeficientes da matriz são truncados a partir de uma matriz de quantização
 - ▣ Como?

$$c_{i,j} = \text{round}\left(\frac{b_{i,j}}{q_{i,j}}\right)$$

- ▣ b_i são coeficientes DCT
- ▣ q_i são elementos da matriz de quantização

JPEG- Quantização

32

- O padrão JPEG adota uma matriz de quantização típica

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

- Porém, outras podem ser utilizadas, a depender da qualidade desejada (personalizadas)

DCT coefficients

$$B = \begin{pmatrix} 1500.2 & -263.7 & 91.0 & 26.8 & -61.0 & 16.1 & 28.3 & -32.3 \\ -311.9 & -211.7 & 71.8 & 25.3 & -47.2 & 15.4 & 20.8 & -20.3 \\ 16.9 & 38.3 & -13.0 & -8.6 & 9.5 & -2.8 & -5.7 & 4.4 \\ 103.8 & 62.4 & -27.1 & -17.6 & 15.7 & -8.7 & -11.4 & 10.2 \\ -25.7 & -8.3 & 5.9 & -3.2 & -5.0 & 1.2 & 0.7 & -0.2 \\ -24.8 & -16.4 & 13.4 & 1.6 & -4.0 & 2.4 & 2.6 & -6.3 \\ 10.8 & 11.6 & -4.5 & -8.5 & 9.3 & 3.7 & -10.2 & 8.0 \\ 2.5 & 10.6 & -2.7 & -11.0 & 6.0 & -2.4 & -5.2 & 5.9 \end{pmatrix}$$

Quantizer

Quantized coefficients

$$C = \begin{pmatrix} 94 & -24 & 9 & 2 & -3 & 0 & 1 & -1 \\ -26 & -18 & 5 & 1 & -2 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 7 & 4 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

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

Quantization table

JPEG- Codificação por Entropia

34

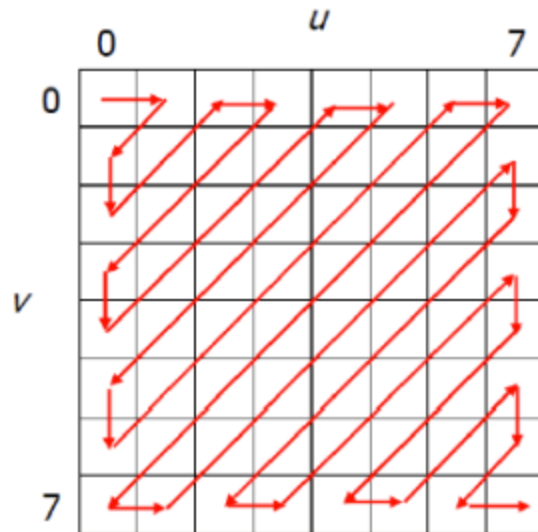
- Explora duas características da matriz quantizada:
 - ▣ Coeficiente DC será o maior valor da matriz
 - ▣ Muitos dos coeficientes de alta frequência serão zero

- Envolve quatro passos:
 - ▣ Vetorização
 - ▣ Codificação por diferença
 - ▣ Codificação por carreira (*run-length*)
 - ▣ Codificação Estatística (método de Huffman)

JPEG- Codificação por Entropia

35

□ Vetorização (zig-zag scan)

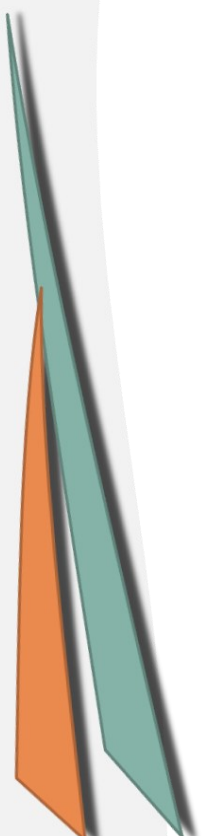


-26, -3, 1, -3, -2, -6, 2, -4, 1, -4, 1, 1, 5, 0, 2, 0, 0, -1, 2, 0,
0, 0, 0, 0, -1, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0

JPEG- Codificação por Entropia

36

- Vetorização (zig-zag scan)
- Resultados:
 - ▣ Coeficientes de alta-frequência (no canto direito inferior) tem valores mais próximos de zero, levando a uma maior eficiência da codificação por entropia



JPEG- Codificação por Entropia

37

Após a vetorização, as componentes são tratadas separadamente

- DC: Codificação por Diferença e Huffman
- AC: Codificação por comprimento de corrida (RLE)

JPEG- Codificação por Entropia

38

- Codificação dos coeficientes DC
 - ▣ Codificação por diferença e Huffman
 - ▣ DCs possuem alto grau de correlação (redundância espacial)
 - São blocos adjacentes na imagem
 - ▣ Exemplo:
 - Seqüência de coeficientes DC de blocos adjacentes: 12, 13, 11, 11, 10, ...
 - Valores codificados: 12, 1, -2, 0, -1, ...

JPEG- Codificação por Entropia

39

□ Codificação dos coeficientes DC

▣ Codificação na forma (SSS, value)

■ **SSS**: no. de bits necessários; **value**: bits

Exemplo anterior:

Seq. a ser codificada: 12, 1, -2, 0, -1

Valor	SSS	Value
12	4	1100
1	1	1
-2	2	01
0	0	
-1	1	0

Formato (SSS, Value)
(4,1100)(1,1)(2,01)(0)(1,0)

Difference value	Number of bits needed (SSS)	Encoded value
0	0	
-1, 1	1	1 = 1, -1 = 0
-3, -2, 2, 3	2	2 = 10, -2 = 01
		3 = 11, -3 = 00
-7..-4, 4.. 7	3	4 = 100, -4 = 011
		5 = 101, -5 = 010
		6 = 110, -6 = 001
		7 = 111, -7 = 000
-15...-8, 8...15	4	8 = 1000, -8 = 0111
		...

JPEG- Codificação por Entropia

40

□ Codificação dos coeficientes DC

- ▣ **SSS**: codificados segundo uma árvore de Huffman pré-definida

Exemplo anterior:

Seq. a ser codificada: 12, 1, -2, 0, -1

Valor	SSS	Value
12	4	101
1	1	011
-2	2	100
0	0	010
-1	1	011

(101,1100)(011,1)(100,01)(010)(011,0)

Number of bits needed (SSS)	Huffman codeword
0	010
1	011
2	100
3	00
4	101
5	110
6	1110
7	11110
⋮	
11	111111110

JPEG- Codificação por Entropia

41

- ❑ Codificação dos coeficientes AC
 - ❑ RLE
 - ❑ Vetor de coeficientes possui longas cadeias de zeros
 - Suprimir essas cadeias
 - ❑ Formato:
(skip, value): skip indica a quantidade de zeros a ser “pulada”;
value é o próximo valor não zero da seq.
- ❑ Vetor ordenado
 - ❑ -26, -3, 1, -3, -2, -6, 2, -4, 1, -4, 1, 1, 5, 0, 2, 0, 0, -1, 2, 0,
0, 0, 0, 0, -1, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
- ❑ Resultado da codificação RLE
 - ❑ (0,-3)(0,1)(0,-3)(0,-2)(0,-6)(0,2)(0,-4)(0,1)(0,-4)
(0,1)(0,1)(0,5)(1,2)(2,-1)(0,2)(5,-1)(0,-1) EoB (end of block)

JPEG- Codificação por Entropia

42

□ Codificação dos coeficientes AC

(skip, value): **skip** indica a quantidade de zeros a ser “pulada”; **value** é o próximo valor não zero da seq.

■ Campo **value** é também codificado na forma **SSS/value**

■ Ex.: (0,6) → Skip = 0; SSS = 3; Value=110

codificado via
árvore de Huffman

Difference value	Number of bits needed (SSS)	Encoded value
0	0	
-1, 1	1	1 = 1, -1 = 0
-3, -2, 2, 3	2	2 = 10, -2 = 01
-7..-4, 4.. 7	3	3 = 11, -3 = 00
		4 = 100, -4 = 011
		5 = 101, -5 = 010
		6 = 110, -6 = 001
		7 = 111, -7 = 000
-15...-8, 8...15	4	8 = 1000, -8 = 0111
		...

JPEG- Codificação por Entropia

43

- Codificação estatística

- ▣ Coeficientes DC

- Codificação por Huffman nos bits do campo SSS

- ▣ Coeficientes AC

- Bits em Skip e SSS são tratados como um único símbolo e codificados segundo tabela Huffman contendo todas as combinações possíveis

JPEG- Resumo

44

Exemplo- resumo

Imagem /bloco 8bits (512 bits)

140	144	147	140	139	155	179	175
144	152	140	147	140	148	167	179
152	155	136	167	163	162	152	172
168	145	156	160	152	155	136	160
162	148	156	148	140	136	147	162
147	167	140	155	155	140	136	162
136	156	123	167	162	144	140	147
148	155	136	155	152	147	147	136

Imagem normalizada

12	16	19	12	11	27	51	47
16	24	12	19	12	20	39	51
24	27	8	39	35	34	24	44
40	17	28	32	24	27	8	32
34	20	28	20	12	8	19	34
19	39	12	27	27	12	8	34
8	28	-5	39	34	16	12	19
20	27	8	27	24	19	19	8

Após a DCT

185.88	-17.962	14.943	-9.0778	23.125	-9.0856	-13.901	-19.110
20.365	-34.045	26.557	-9.1747	-11.106	10.935	13.866	6.7143
-10.547	-23.469	-1.6402	5.9121	-18.238	3.3890	-20.329	-1.0530
-8.2518	-5.0009	14.524	-14.729	-8.3648	-2.5596	-3.0050	8.2253
-3.3750	9.5359	8.0480	1.2188	-11.125	18.051	18.450	15.068
3.7574	-2.1876	-18.039	8.4227	8.1706	-3.4929	0.92215	-6.9987
8.8337	0.65168	-2.8289	3.5882	-1.2401	-7.3423	-1.1098	-2.0184
0.014635	-7.8035	-2.3794	1.5633	1.1648	4.2876	-6.3987	0.26693

Tabela de quantização

3	5	7	9	11	13	15	17
5	7	9	11	13	15	17	19
7	9	11	13	15	17	19	21
9	11	13	15	17	19	21	23
11	13	15	17	19	21	23	25
13	15	17	19	21	23	25	27
15	17	19	21	23	25	27	29
17	19	21	23	25	27	29	31

Após a quantização

62	-4	2	-1	2	-1	-1	-1
4	-5	3	-1	-1	1	1	0
-2	-3	0	0	-1	0	-1	0
-1	0	1	-1	0	0	0	0
0	1	1	0	-1	1	1	1
0	0	-1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

JPEG-Resumo

45

□ Zig-zag sequence

- 62, -4, 4, -2, -5, 2, -1, 3, -3, -1, 0, 0, 0, -1, 2, -1, -1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, -1, -1, 1, -1, -1, 1, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 0, -1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0

□ Intermediate symbol sequence

- (6)(62), (0,3)(-4), (0,3)(4), (0,2)(-2), (0,3)(-5), (0,2)(2), (0,1)(-1), (0,2)(3), (0,2)(-3), (0,1)(-1), (3,1)(-1), (0,2)(2), (0,1)(-1), (0,1)(-1), (1,1)(1), (0,1)(1), (1,1)(1), (1,1)(1), (0,1)(-1), (0,1)(-1), (0,1)(1), (0,1)(-1), (0,1)(-1), (0,1)(1), (3,1)(-1), (5,1)(-1), (1,1)(-1), (3,1)(1), (6,1)(1), (1,1)(1), (0,0)

□ Encoded bit sequence (total 154 bits)

- (1110)(111110) (100)(011) (100)(100) (01)(01) (100)(010) (01)(10) (00)(0) (01)(11) (01)(00) (00)(0) (111010)(0) (01)(10) (00)(0) (00)(0) (1100)(1) (00)(1) (1100)(1) (1100)(1) (00)(0) (00)(0) (00)(1) (00)(0) (00)(0) (00)(1) (111010)(0) (1111010)(0) (1100)(0) (111010)(1) (1111011)(1) (1100)(1) (1010)

JPEG

46

- ❑ Padrão abrangente
- ❑ Alcança boas taxas de compressão para imagens de tons contínuos. (até 20:1)
- ❑ Desempenho diminui em imagens com muita transição de cores
- ❑ Baseado em particularidades do sistema visual humano:
 - ▣ Não é necessário reproduzir cantos com fidelidade
 - ▣ O olho humano não responde bem a transições nas altas frequências espaciais

JPEG

47

- Qualidade diminui consideravelmente quando aplicado a
 - ▣ Imagens gráficas com contornos e áreas bem definidas de cor
 - ▣ Imagens com textos, logotipos
- Para imagens gráficas e/ou textos
 - ▣ JPEG introduz ruídos nas zonas de imagens compostas por cores sólidas, distorcendo o aspecto geral da imagem
 - ▣ Imagem PNG ou GIF compactam mais eficiente que JPEG e apresenta uma melhor definição dos contornos do texto

Referências

- ❑ Gonzales & Woods. Digital Image Processing. 2nd ed. Prentice-Hall, 2002. Capítulo 8, seção 8.1.
- ❑ Halsall, F. Multimedia Communications: Applications, Networks, Protocols, and Standards, Addison-Wesley Publishing, 2001. ISBN: 0201398184. Capítulo 2, seção 2.4 e capítulo 3, seções 3.2 e 3.4.
- ❑ Pennebaker & Mitchell. JPEG Still Image Data Compression Standard. Van Nostrand Reinhold, 1993.
- ❑ Keith Jack. Video demystified: a handbook for the digital engineer. Elsevier, 2011