



SCC661 – Multimídia e Hiperemídia

Prof.: Dr. Marcelo Manzato

(mmanzato@icmc.usp.br)

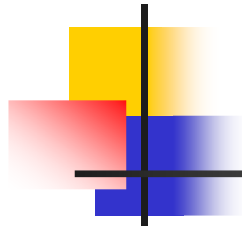
Aula 4 – Percepção, Cor e Imagens.

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC
Sala 3-160



Sumário

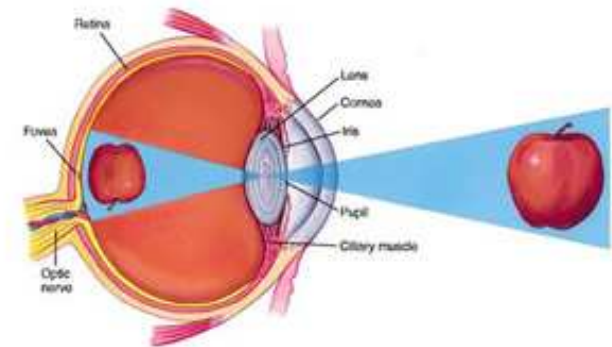
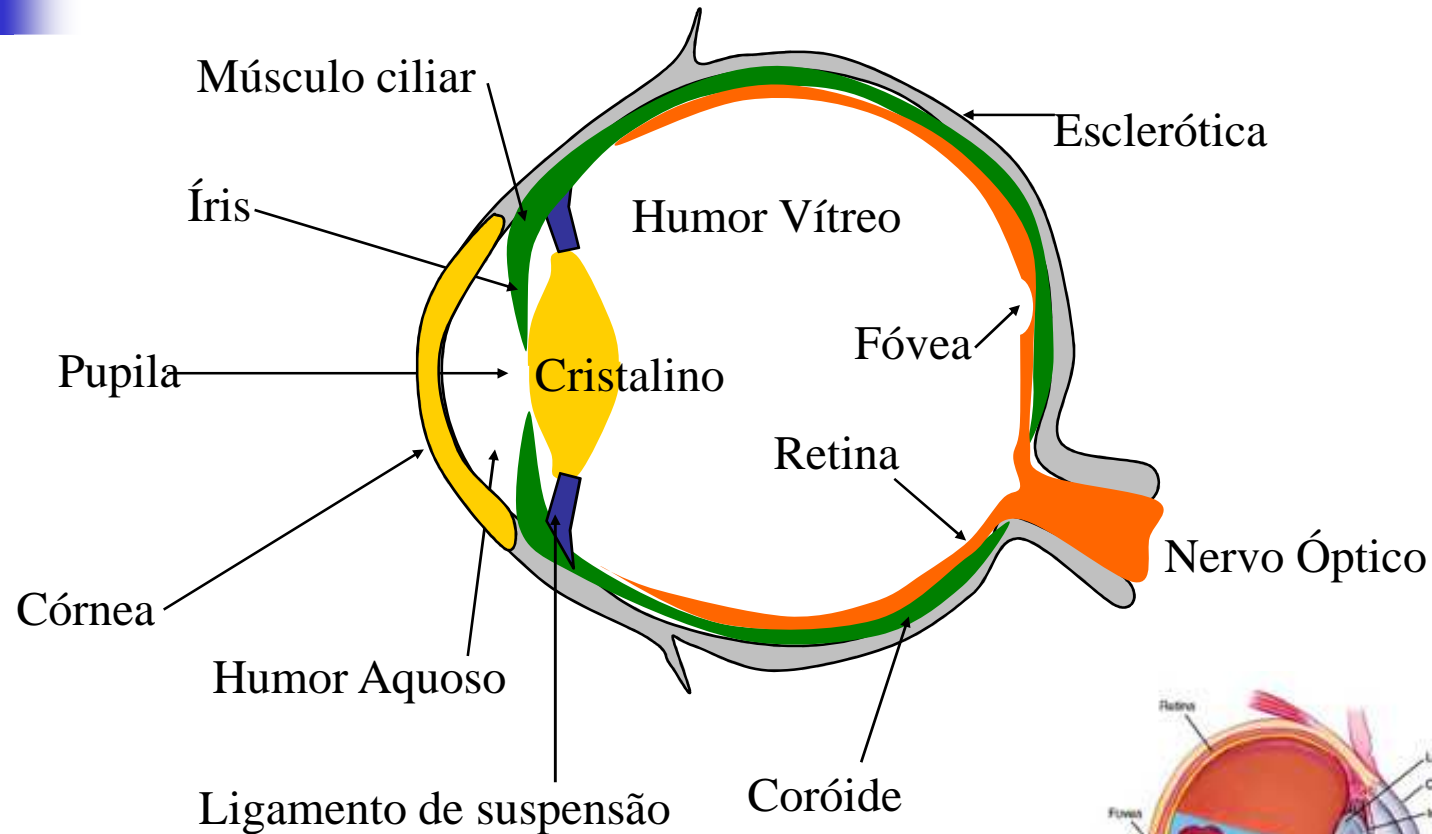
- 1 – Introdução
- 2 – O Sistema Visual Humano
- 3 – Luz e Cor
- 4 – Aquisição de Imagens
- 5 – Representação de Imagens
- 6 – Compressão de Imagens
- 7 – O Padrão JPEG
- 8 – JPEG 2000
- 9 – Outros Formatos



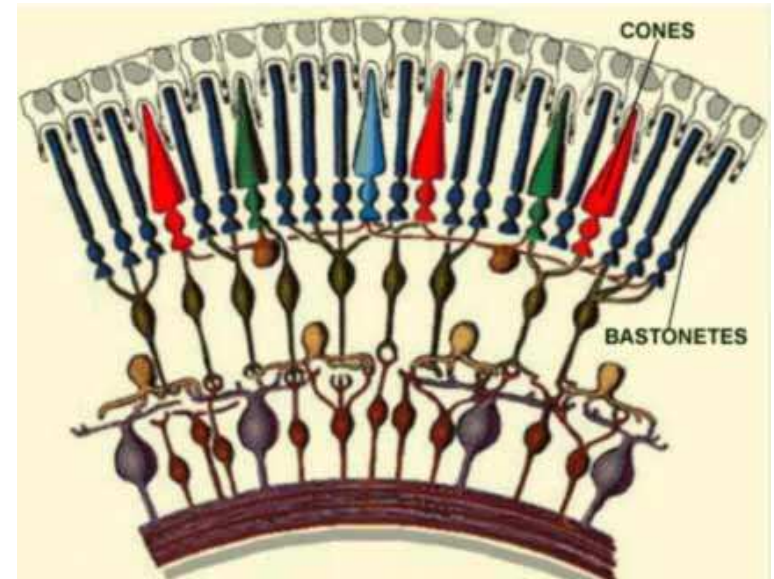
1. Introdução

- 70% das informações que coletamos vêm da visão.
- A visão é o nosso sentido mais importante
 - Relativamente à audição, olfato, tato e paladar.
 - É o mais usado nos sistemas multimídia.
 - É importante estudar o sistema humano de visão.
 - Para usarmos efetivamente a tecnologia multimídia.

2. Sistema Visual Humano



-





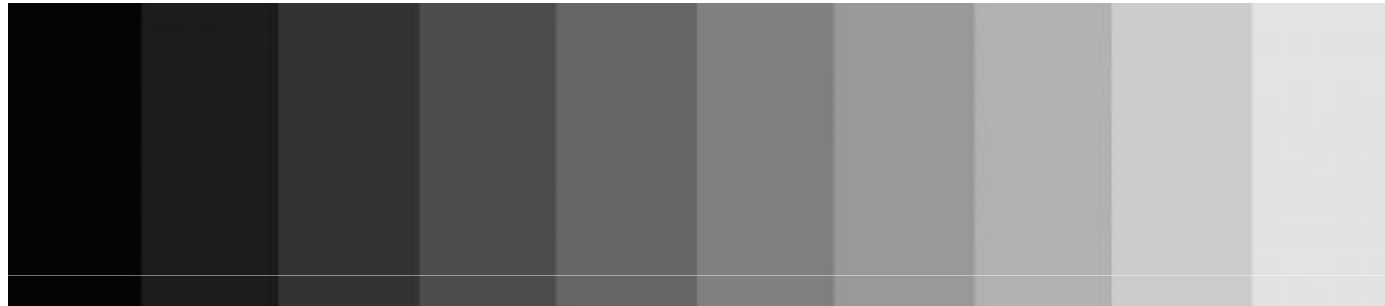
2. Sistema Visual Humano

- Adaptação ao brilho (*brightness adaptation*)
 - Por que é importante?
 - Nível de intensidade de luz:
 - Intervalo de adaptação do olho humano: 10^{10} !!!!
 - Não simultâneo!
 - Brilho é subjetivo.
 - **Brilho perceptível** não é simplesmente uma função de **intensidade**.
 - Olho humano tende a destacar regiões próximas com diferentes intensidades.



2. Sistema Visual Humano

Faixas de Mach:

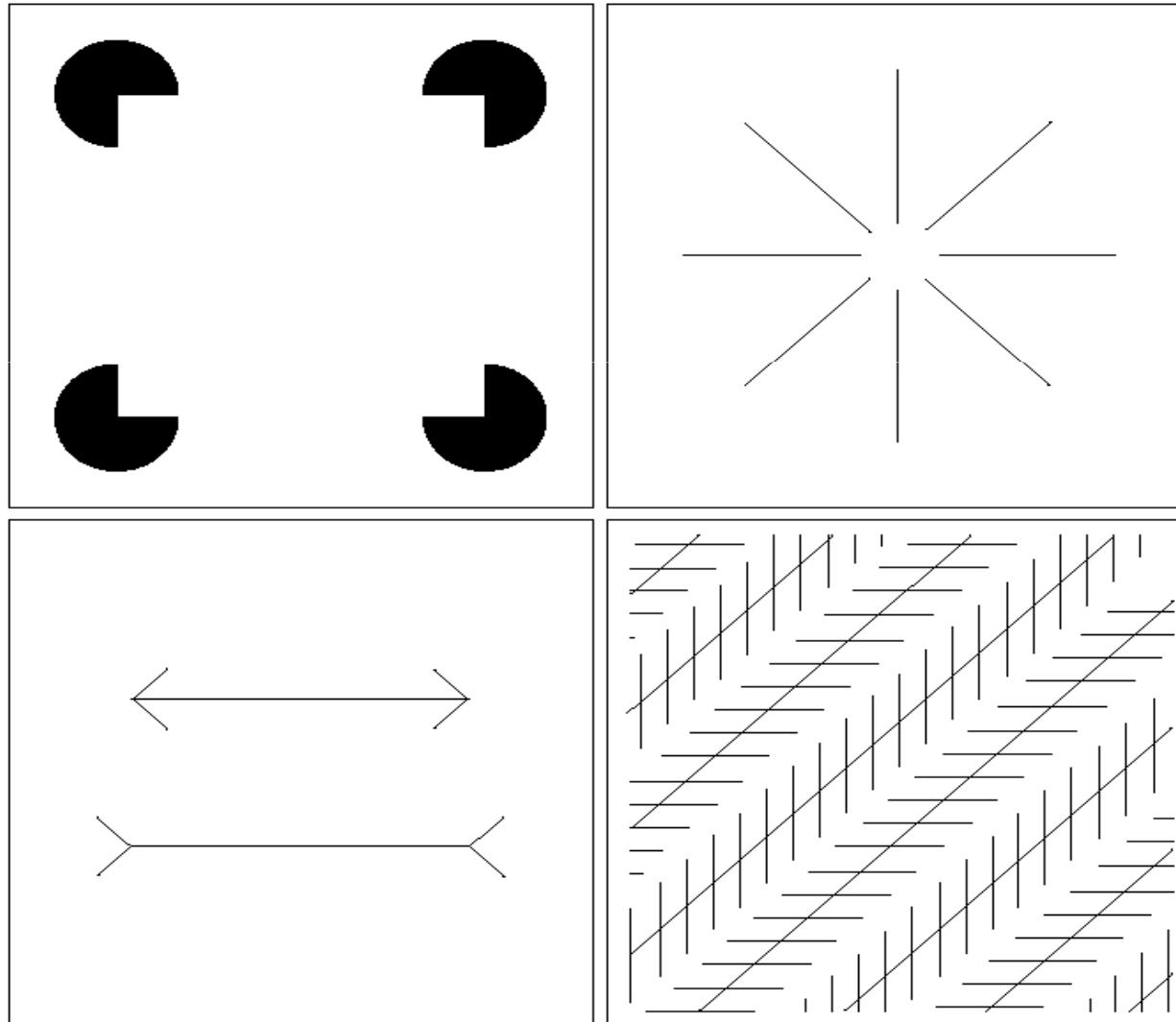


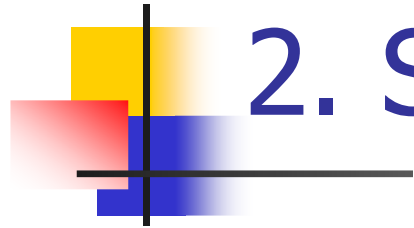
Contraste simultâneo:



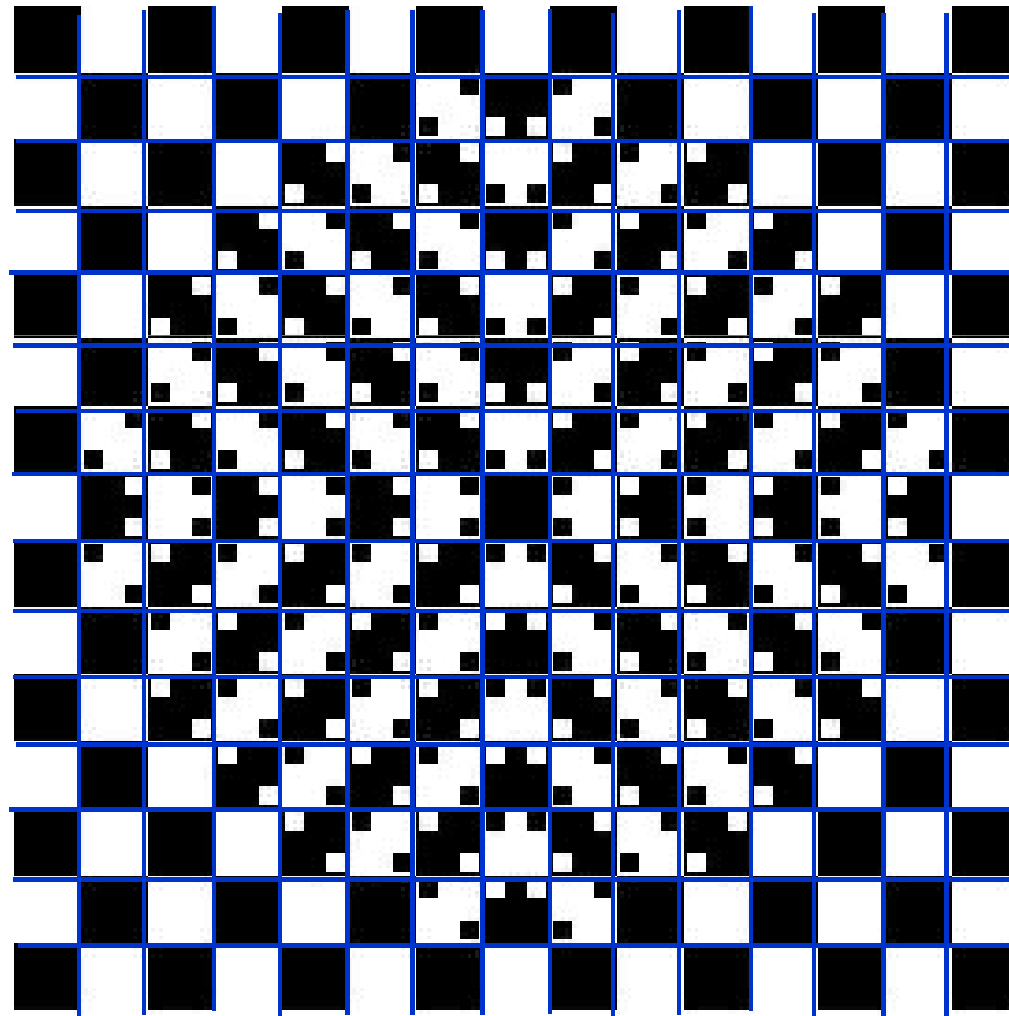


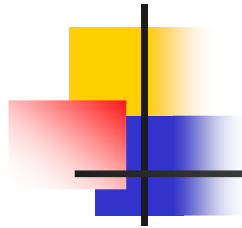
2. Sistema Visual Humano





2. Sistema Visual Humano

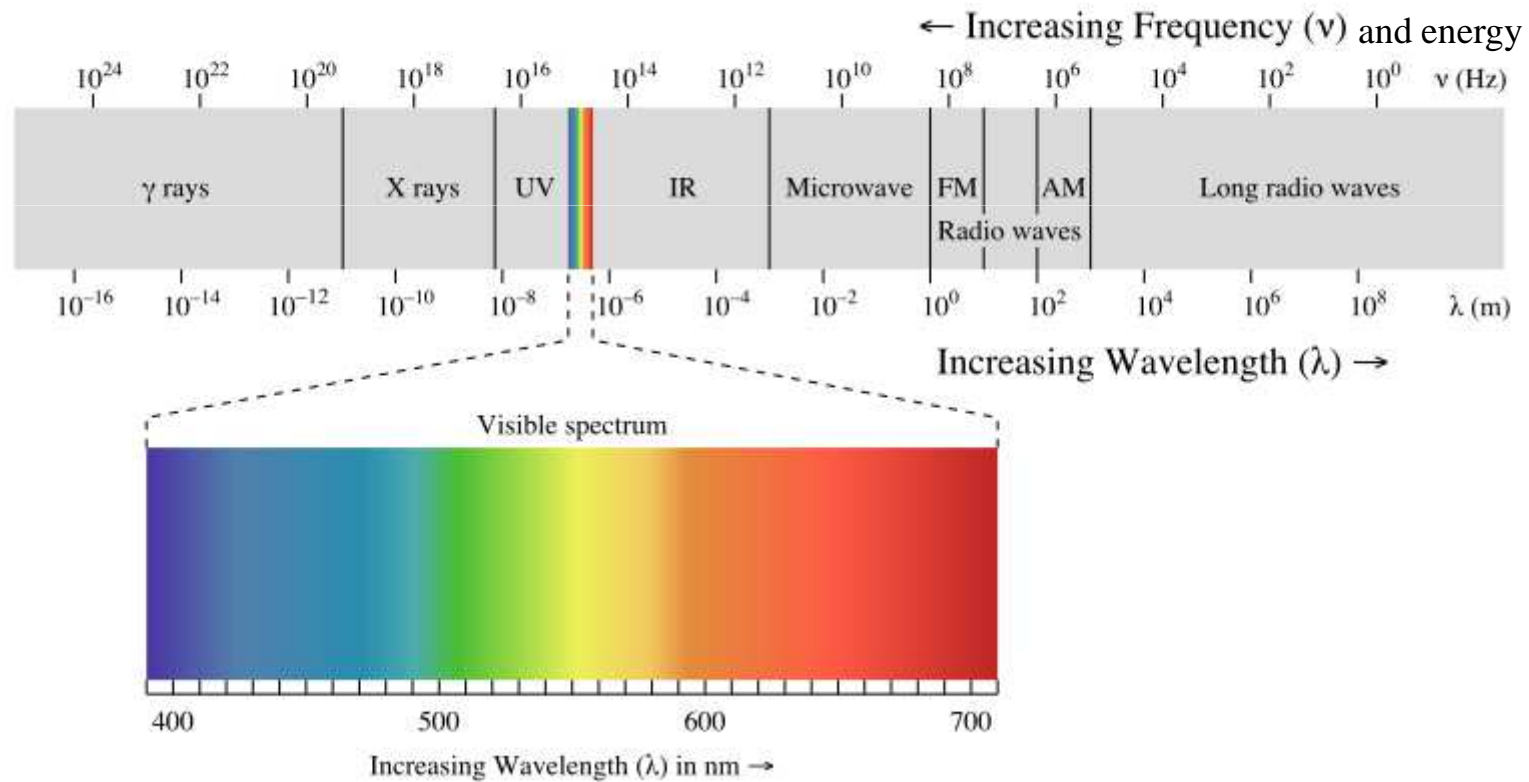




2. Sistema Visual Humano

- Cor é importante:
 - Identificação de objetos.
 - Podemos discernir milhares de cores e intensidades comparados a algumas dúzias de cinza.
- Percepção de cores pelo cérebro:
 - É um fenómeno fisiopsicológico.
 - Não é completamente entendido.

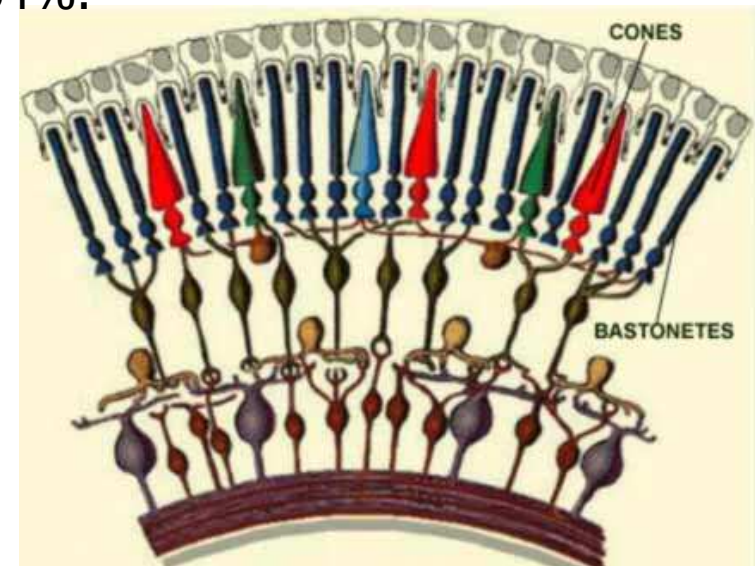
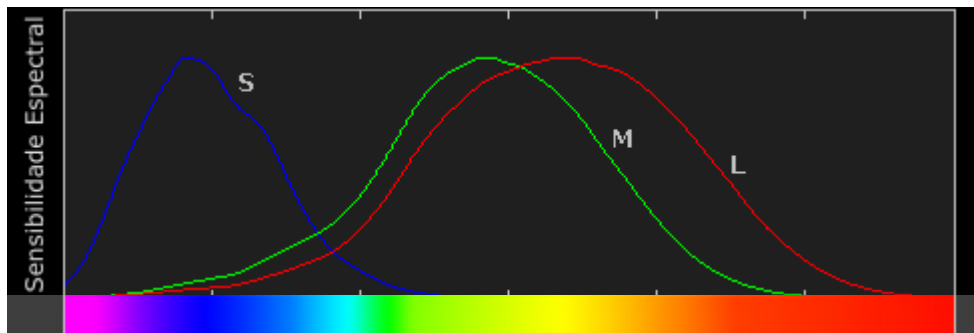
Espectro Eletromagnético



2. Sistema Visual Humano

- Cones:

- Teoria tristimulus da visão (*tristimulus theory of vision*)
- Possuem três tipos de fotorreceptores:
 - Azul, Verde e Vermelho.
 - Sensibilidade: 430nm, 530nm e 560nm
 - Espectro visível: ~400nm a 700nm de comprimento de onda.
 - Porcentagem de cones: 4%, 32% e 64%.





3. Luz e Cor

- Além da frequência, três outros aspectos são considerados:
 - Radiância
 - Total de energia que flui da fonte luminosa. Medida em watts (W)
 - Luminosidade
 - Quantidade de energia de uma fonte de luz percebida por um observador. Medida em lumens (lm)
 - Brilho
 - Noção acromática de intensidade. Subjetivo.
 - Preto: 0% brilho, 100% cinza
 - Branco: 100% brilho, 0% cinza
 - 10% cinza = 90% brilho

4. Aquisição de Imagens

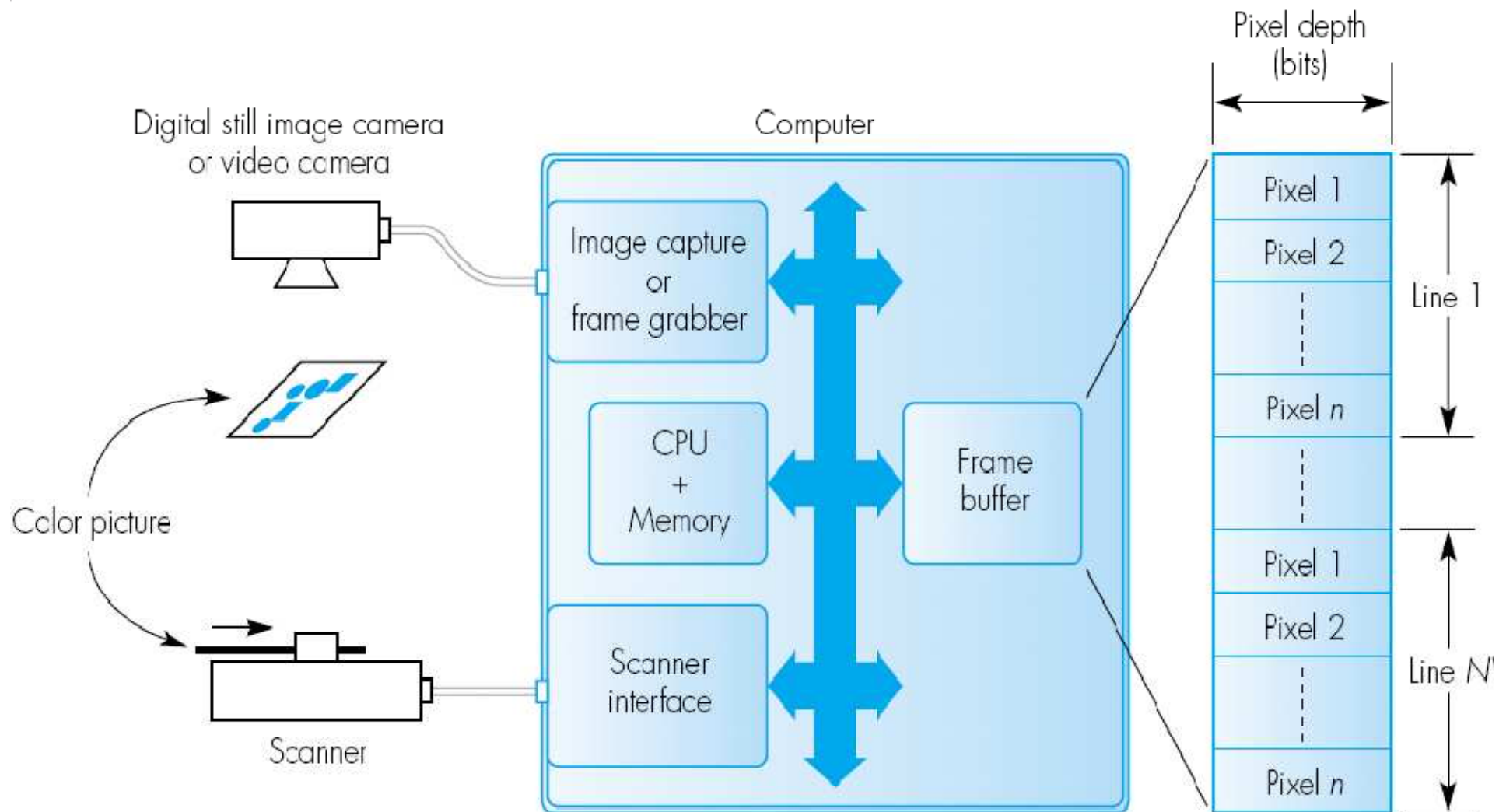
- Como as imagens são capturadas?
 - Tecnologia tenta “imitar” o olho humano.



| Olho | Câmera |
|-------------|---------------|
| Cristalino | Lente |
| Íris | Íris |
| Cones | CCD |
| Bastonetes | CCD |

- CCD = charge-coupled device

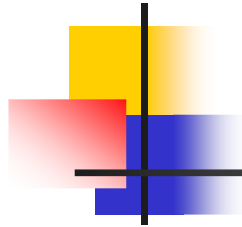
4. Aquisição de Imagens





4. Aquisição de Imagens

- Imagem é “entendida” como uma matriz de pontos.
 - Pixel ou Pel = Picture element.
- A luz proveniente de cada ponto da imagem é capturada por um sensor (CCD).
 - É composto por uma malha de material fotossensível. Cada célula da malha corresponde a um ponto da imagem.
 - A intensidade da luz incidente em cada célula é convertida em sinal elétrico.
 - Amostragem e quantização.
 - Informação digitalizada é armazenada no Frame Buffer como uma matriz de pontos.



4. Aquisição de Imagens

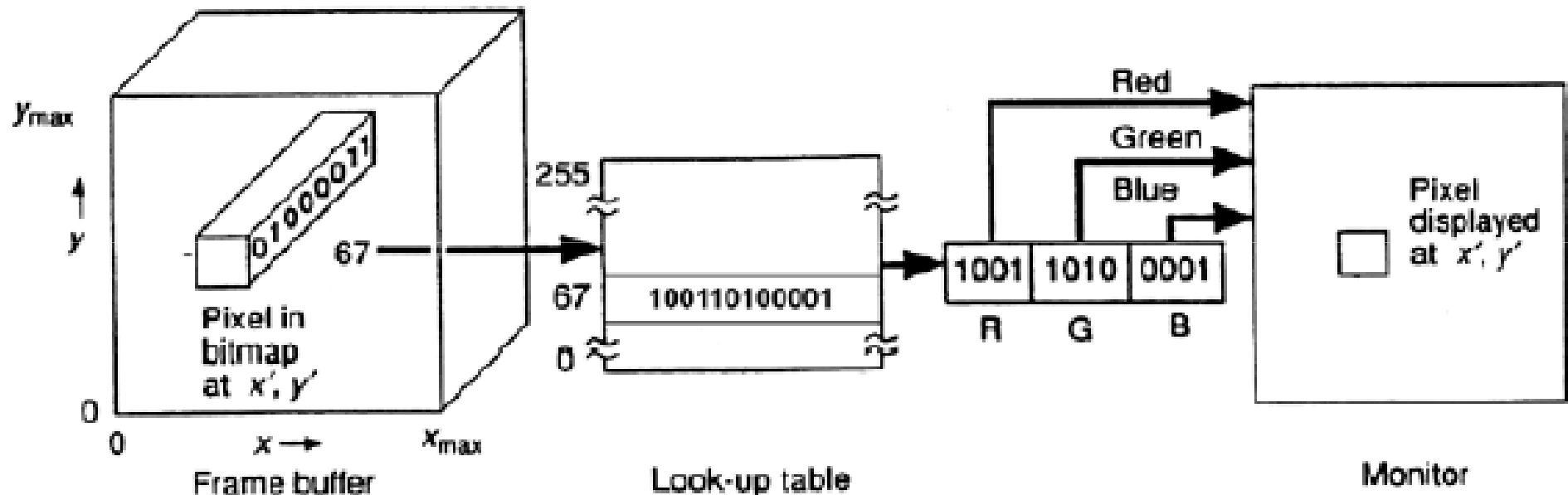
- Imagens coloridas:
 - Utilizam um CCD para cada primária (RGB).
 - Um filtro separa a luz incidente direcionando as componentes para o CCD correto.
 - Cada posição do frame buffer armazena informação dos três componentes.



4. Aquisição de Imagens

- Imagem com resolução 640 x 480 com 24 bits por pixel:
 - 921.600 bytes ($\sim 1\text{MB}$)
 - 7.372.800 bits ($\sim 7\text{Mbps}$)
- Frame buffer???

4. Aquisição de Imagens



- Look-up table (LUT) ou color look-up table (CLUT)



4. Aquisição de Imagens

- Uma imagem na forma digital não apresenta, tecnicamente, uma resolução (dimensão)
 - Exemplo: a que tamanho podemos imprimir uma imagem com 600 x 300 pixels?
- Necessário saber a capacidade do equipamento em reproduzir um número de pixels por unidade de medida
 - Pixels por polegada (ppi) ou Pontos por polegada (dpi)
- Imagem de 600 pixels de largura
 - Impressora de 200dpi: 3" de largura
 - Impressora de 100 dpi: 6" de largura



4. Aquisição de Imagens

- Outro exemplo
 - Scanners: 600dpi
 - Impressoras: 300dpi
- Foto 6" x 4" escaneada a 600dpi:
 - Impressora 300dpi: imprime como 12" x 8".
- Exercício
 - A quantos dpi devo realizar a aquisição de uma foto 4" x 3" para exibi-la em um monitor com resolução de 1024 x 768?

4. Aquisição de Imagens

- Exibição no monitor

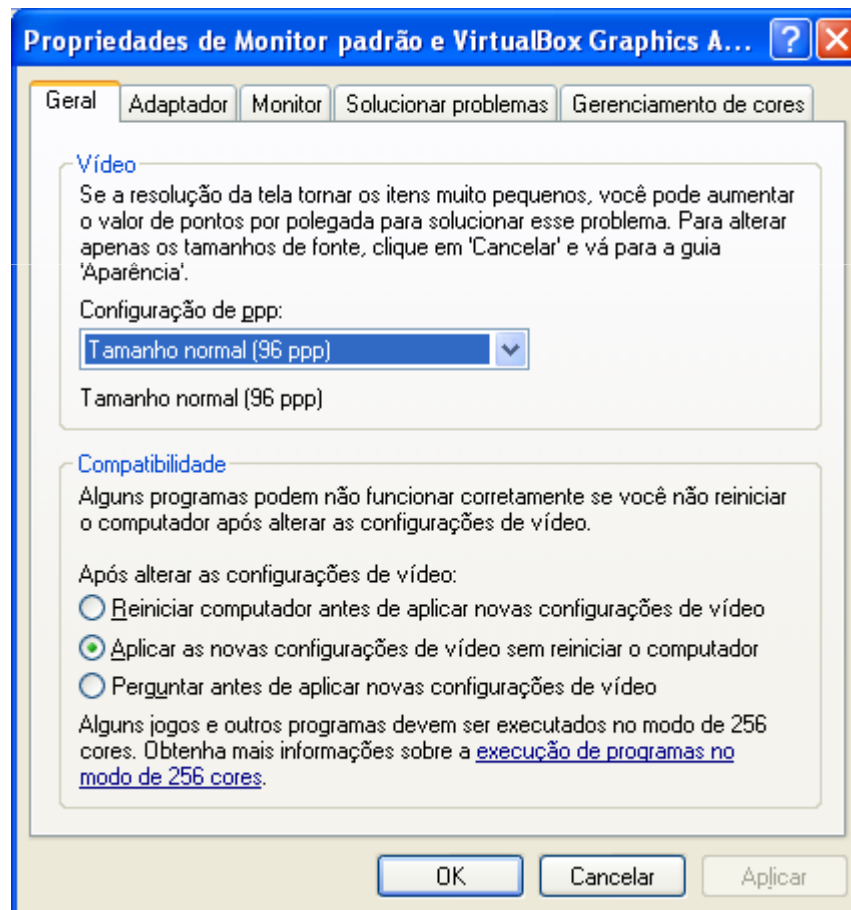


Tela: 640 x 480 pixels
Imagem: 400 x 300 pixels



Tela: 800 x 600 pixels
Imagem: 400 x 300 pixels

4. Aquisição de Imagens



Além da resolução de tela, pode-se configurar também a quantidade de pixels por polegada (ppi)



5. Representação de Imagens

- Representação de imagens:
 - Na memória do computador:
 - Matriz de pixels armazenada no frame-buffer.
 - Em arquivos:
 - Geradas por computador:
 - Gráficos.
 - Digitalizadas:
 - Documentos.
 - Imagens.



5. Representação de Imagens

- Imagens
 - Adquiridas por scanners ou câmeras.
 - Imagens de tom contínuo.
 - Tons de cinza: 8 bits por pixel.
 - Coloridas: de 8, 16, 24 ou 32 bits por pixel.
 - Conteúdo do frame-buffer em um arquivo.
 - Normalmente aplica-se compressão.
 - Diversos formatos
 - GIF, PNG, JPEG, ...



6. Compressão de Imagens

- O que é compressão de imagens?
- Necessidade de compressão.
- Princípios de compressão de imagens

6.1 O quê é compressão de imagens?

- “O termo *compressão de imagens* refere-se ao processo de reduzir a quantidade de dados necessários para representar uma imagem com uma qualidade subjetiva aceitável.”
- Dados x informação

6.3 Princípios de Compressão de Imagens

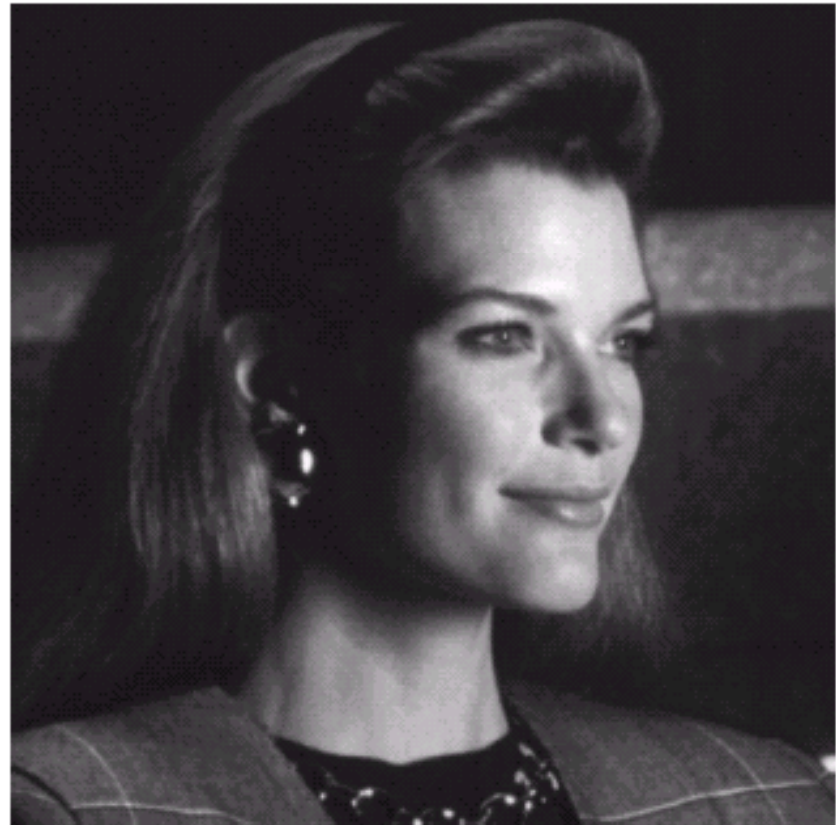
- Dados de imagem são altamente redundantes.
 - Remover redundâncias ajuda a alcançar compressão.
 - Redundâncias são matematicamente quantificáveis.
- Redundâncias em imagens:
 - Redundância estatística.
 - Também conhecida como redundância de codificação.
 - Redundância Espacial.
 - Também conhecida como redundância interpixel.
 - Redundância Psicovisual.
 - Utiliza conceitos do HVS.

6.3 Princípios de Compressão de Imagens

- Redundância Estatística.
 - Função de Densidade de Probabilidade (pdf).
 - Valores dos pixels em uma imagem tem pdf não uniforme.
 - Métodos de codificação estatística podem ser usados para compressão de imagens.

6.3 Princípios de Compressão de Imagens

- Valores dos pixels:
 - Irão variar de modo não uniforme.

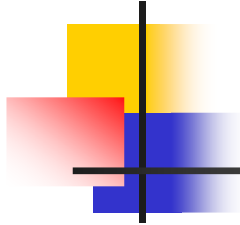


6.3 Princípios de Compressão de Imagens



- Redundância Estatística.
 - Codificação estatística.
 - Ou *Variable Length Coding*.
 - Lossless.
 - Códigos menores para símbolos (valores) mais freqüentes.
 - Huffman, codificação aritmética.

6.3 Princípios de Compressão de Imagens

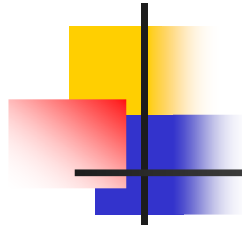


- Redundância Espacial
 - Refere-se à correlação entre pixels vizinhos em uma imagem.
 - Relação geométrica ou estrutural entre os objetos em uma imagem.

6.3 Princípios de Compressão de Imagens

- Redundância Espacial
 - O valor de um pixel pode ser razoavelmente “adivinhado” por meio dos valores de seus vizinhos.
 - Para remover redundância espacial:
 - Matriz de pixels deve ser transformada em um formato mais conveniente.
 - Diferenças entre pixels para representar a imagem.
 - Lossless: Codificação por diferença, codificação run-length.
 - Lossy: codificação preditiva, codificação por transformada.

6.3 Princípios de Compressão de Imagens

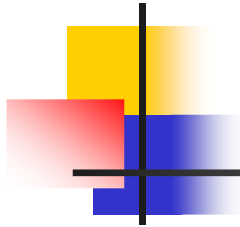


- Redundância Psicovisual
 - Percepção de brilho.
 - Olho não responde com igual sensibilidade a toda informação visual.
 - Algumas informações tem mais importância relativa que outras.
 - Informação psicovisual redundante.
 - Diferente das outras redundâncias.
 - Está associada com informação visual de fato.
 - Então como é possível eliminá-la?

6.3 Princípios de Compressão de Imagens

- Redundância Psicovisual
 - Sua eliminação implica em perda de informação visual quantitativa (real).
 - Daí o nome *quantização*.
 - É uma operação irreversível.

6.3 Princípios de Compressão de Imagens



- Redundância Psicovisual
 - Propriedades do sistema visual humano (HSV).
 - Maior sensibilidade a distorções em áreas suaves (com baixa frequência espacial).
 - Maior sensibilidade a distorções em áreas escuras de imagens.
 - Em imagens coloridas, maior sensibilidade a mudanças na luminância do que na cromaticidade.

6.3 Princípios de Compressão de Imagens



- Técnicas podem ser combinadas!
 - Estatísticas + Espaciais + propriedades do HSV
 - Vantagem?



7. O Padrão JPEG

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



7.1 O quê é JPEG?

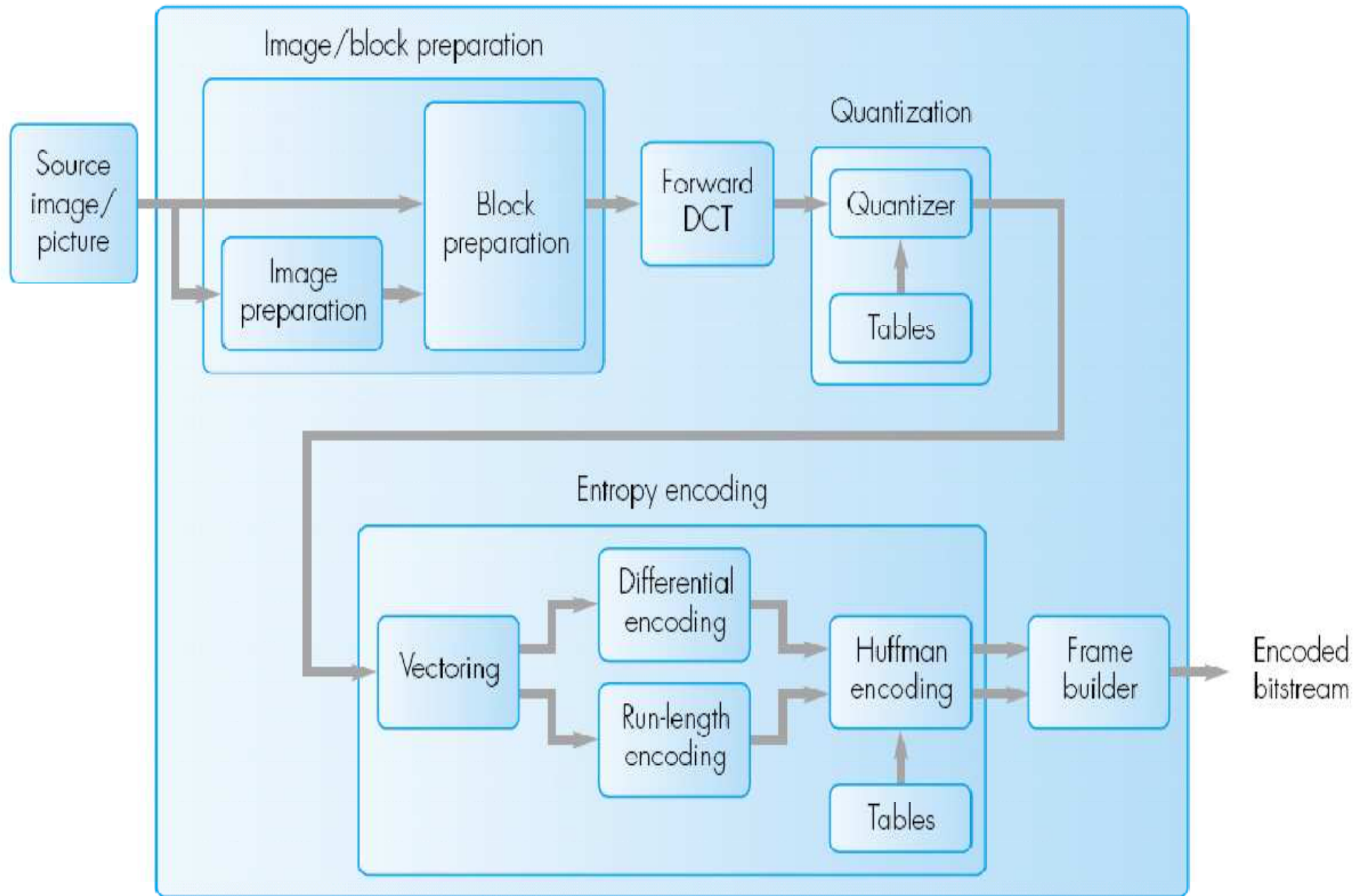
- Joint Photographic Experts Group.
 - ISO, CCITT e IEC.
 - Padrão para codificação de imagens estáticas de tons contínuos.
 - Possui 4 modos de operação:
 - **Seqüencial (*baseline mode*)**.
 - Progressivo.
 - Sem perdas.
 - Hierárquico.



7.1 O quê é JPEG?

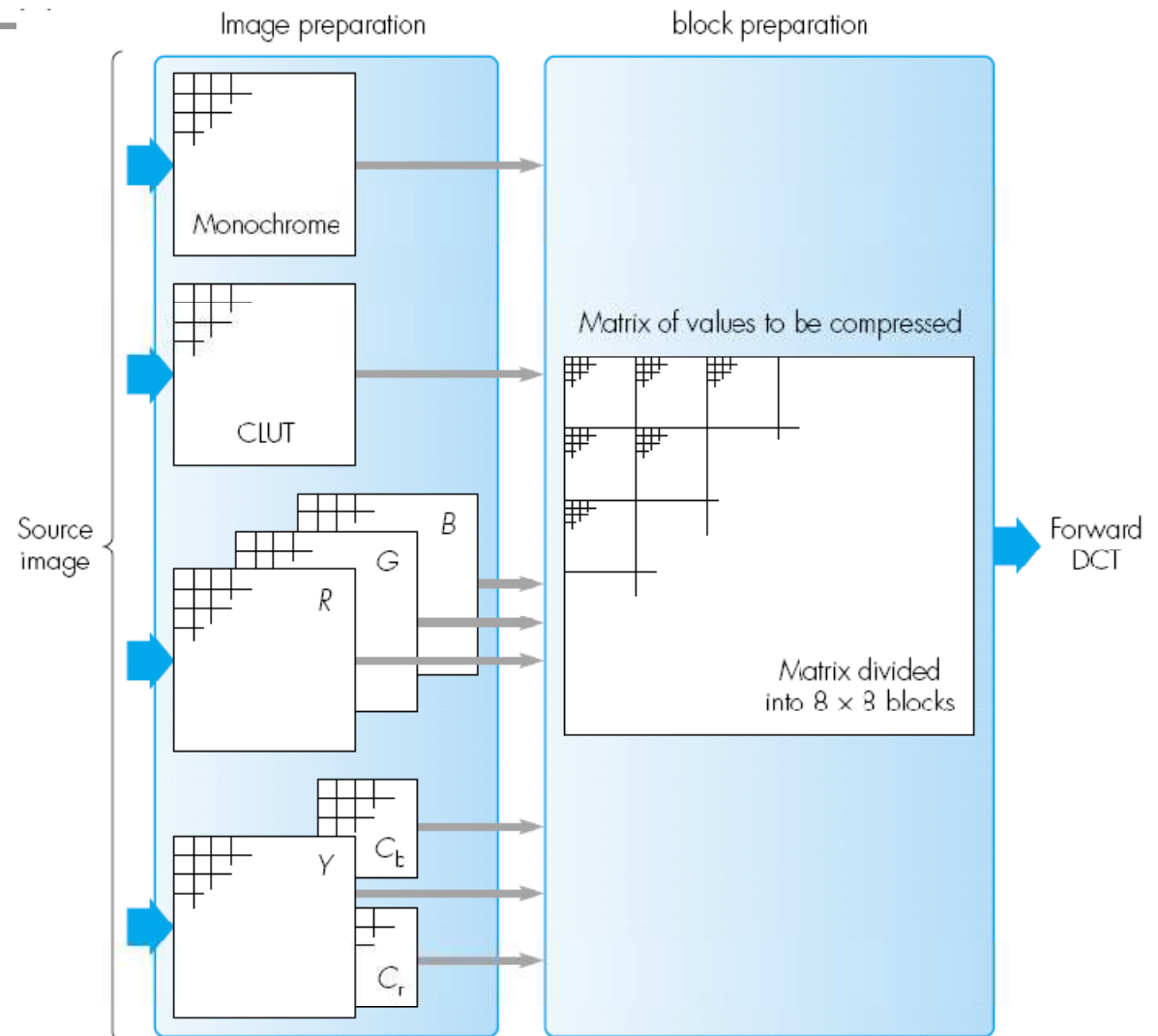
- Modo seqüencial
 - É um método de compressão com perdas.
 - Possui 5 etapas principais:
 - Preparação da imagem/bloco.
 - DCT.
 - Quantização.
 - Codificação.
 - Construção do quadro.

JPEG encoder



7.2 Preparação da imagem/bloco

- Imagem é dividida em blocos de 8 x 8 pixels.
- Isso permite aplicação mais eficiente da DCT.

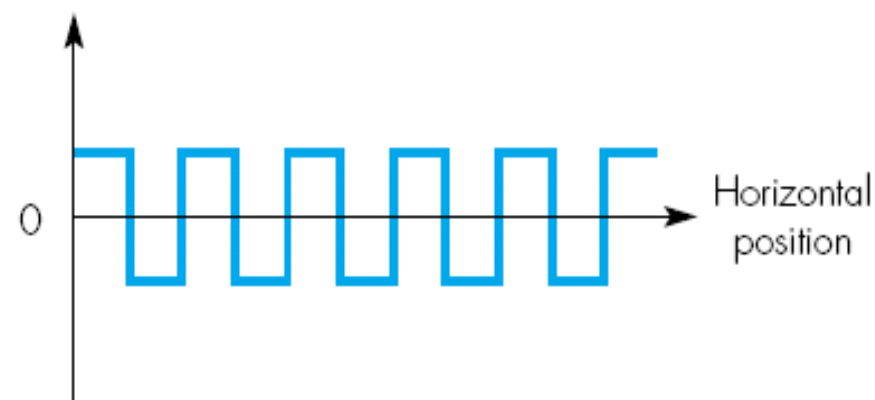
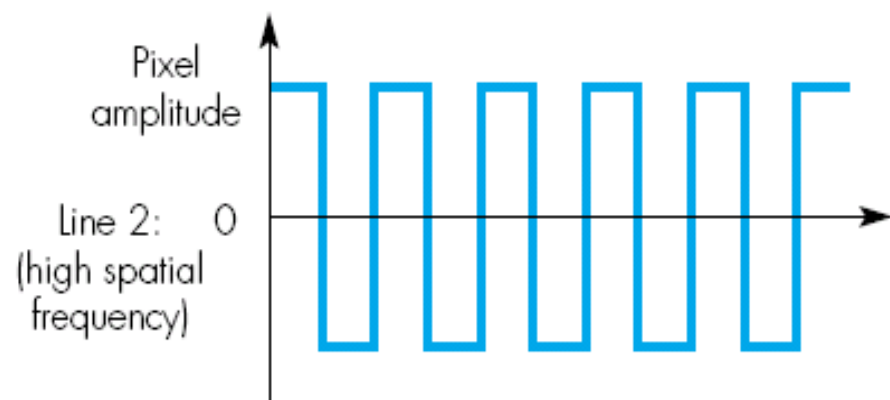
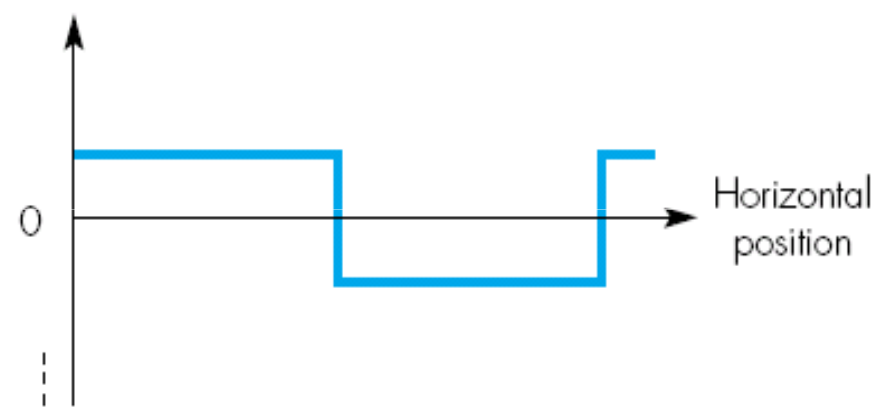
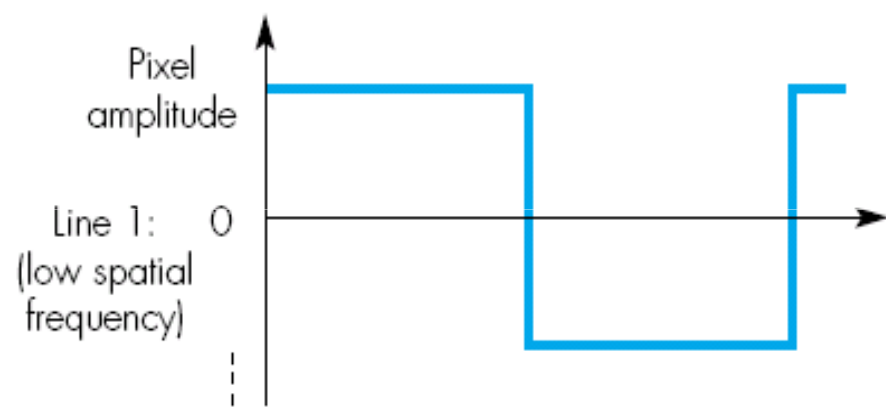
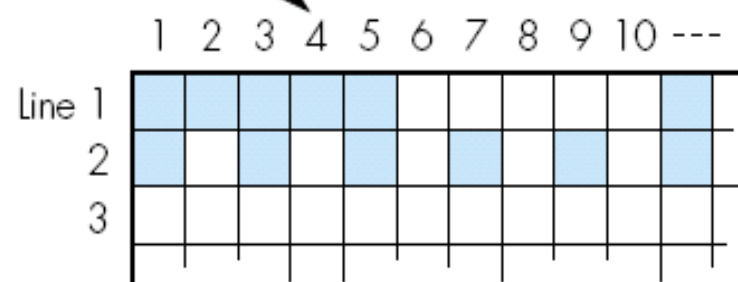
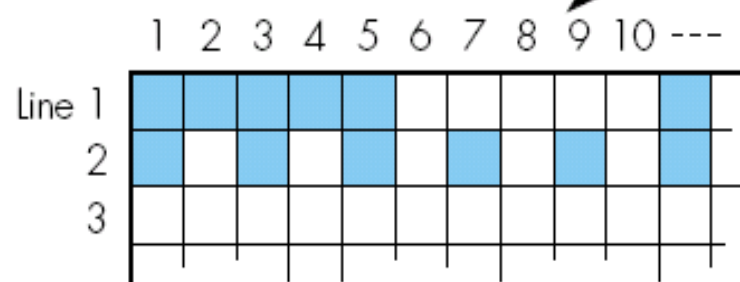


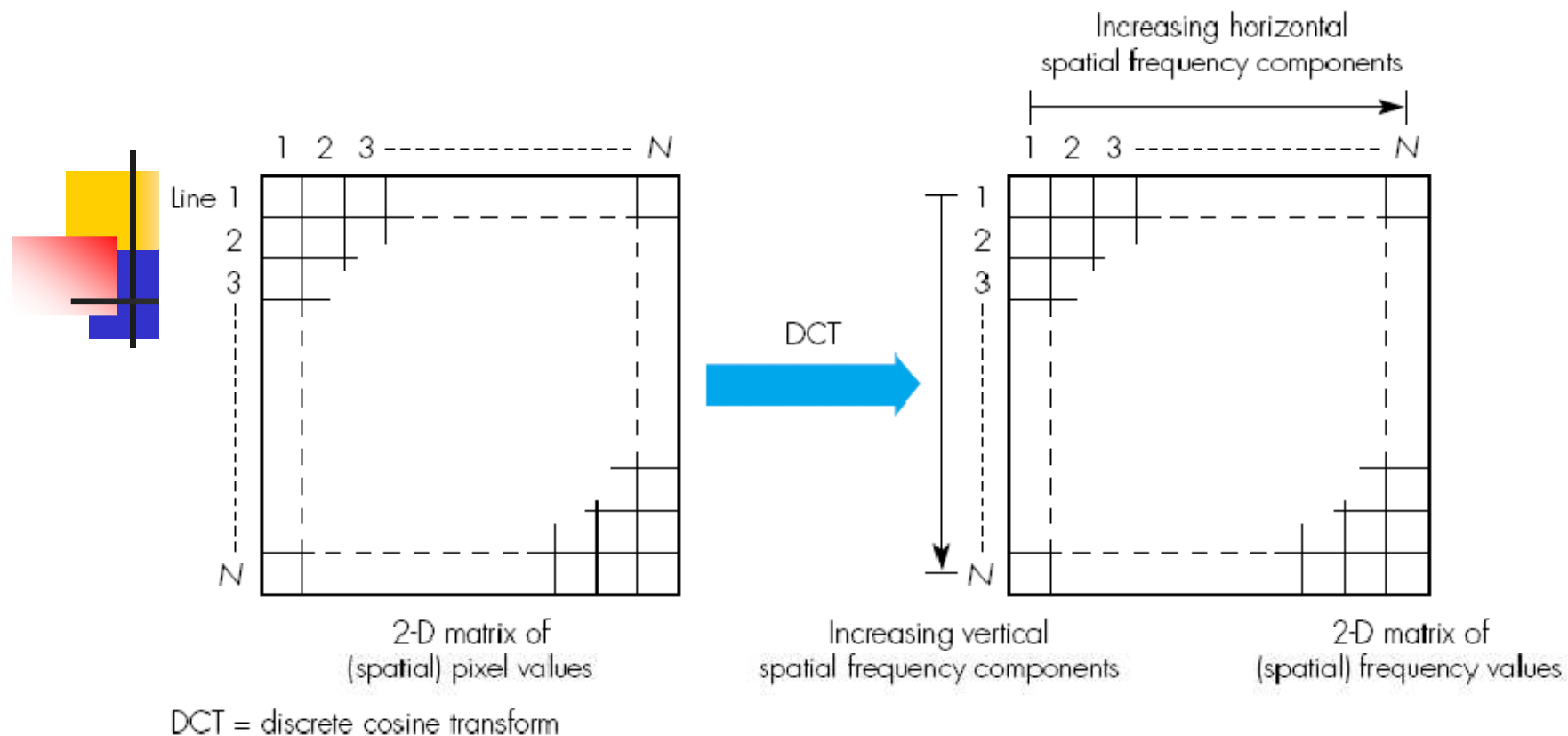


7.3 Transformada DCT

- Transformada Discreta de Cossenos (DCT).
- Transformadas:
 - Transformam a informação de um formato (domínio) para outro.
- Transformada DCT aplicada a imagens:
 - Transforma matriz (imagem) em matriz de frequências espaciais.
 - Não produz perdas.

Example pixel patterns





- 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.
- Matriz transformada ajuda a detectar e eliminar tais informações (redundância psicovisual).

- Todos os blocos, um a um, são submetidos à DCT.

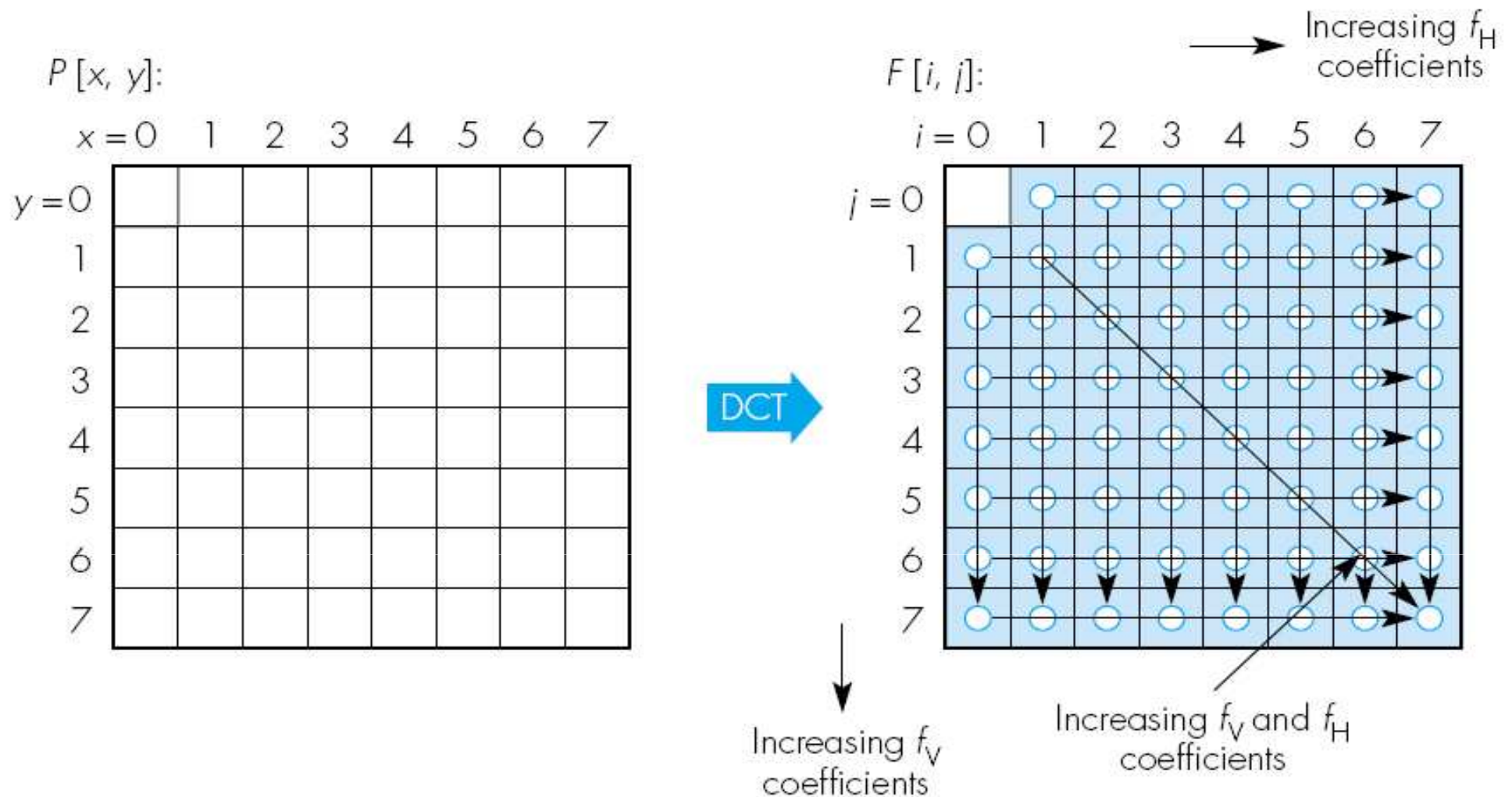
$$F[i, j] = \frac{1}{4} C(i) C(j) \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 P[x, y] \cos \frac{(2x+1)i\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)j\pi}{16}$$

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.

-

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

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.



$P[x, y] = 8 \times 8$ 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



7.3 Transformada DCT

- Após DCT:
 - As regiões da imagem que possuem uma única cor geram matrizes com coeficientes DC idênticos (ou próximos) e poucos coeficientes AC.
 - As regiões da imagem que possuem transições de cores geram matrizes com coeficientes DC distintos e muitos coeficientes AC.
- Tamanho do bloco na imagem.
- Regiões com pouca/muita transição de cor X coeficientes DC/AC.



7.4 Quantização

- 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.

DCT coefficients

| | | | | | | | |
|-----|----|----|----|---|---|---|---|
| 120 | 60 | 40 | 30 | 4 | 3 | 0 | 0 |
| 70 | 48 | 32 | 3 | 4 | 1 | 0 | 0 |
| 50 | 36 | 4 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 4 | 5 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Quantized coefficients

| | | | | | | | |
|----|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 6 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 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 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Quantizer

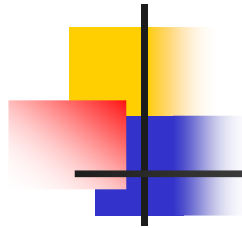
| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| 10 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 |
| 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 |
| 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| 35 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 |

Quantization table



7.4 Quantização

- Tabelas de quantização:
 - JPEG define duas tabelas *default*
 - Uma para luminância.
 - Uma para croma.
 - JPEG permite a utilização de tabelas personalizadas.



7.5 Codificação por Entropia

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

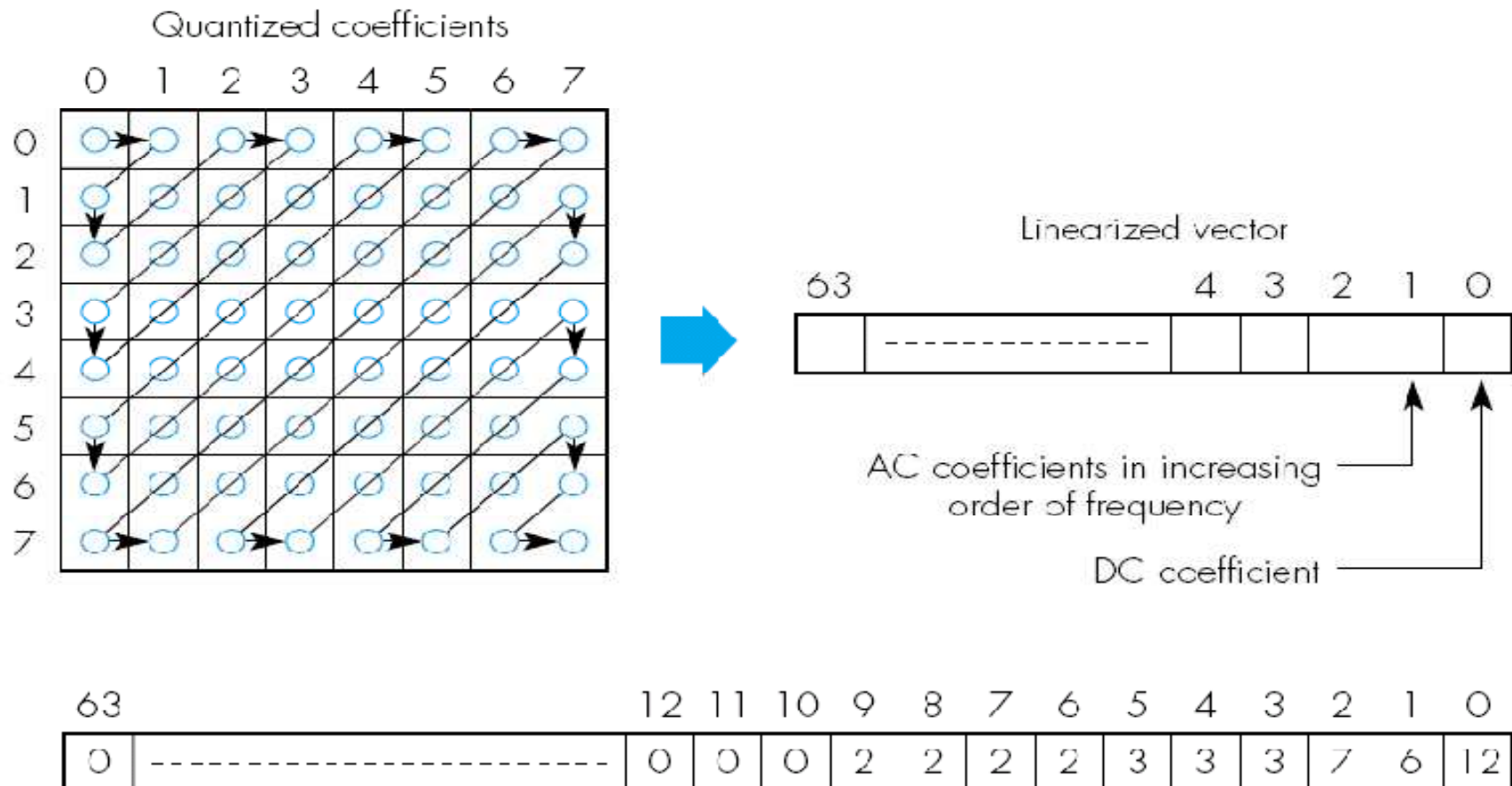


7.5 Codificação por Entropia

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

7.5 Codificação por Entropia

■ Vetorização (zig-zag scan)





7.5 Codificação por Entropia

- Codificação por diferença
 - Codificação dos coeficientes DC.
 - 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, ...

-

[illegible]

-



7.5 Codificação por Entropia

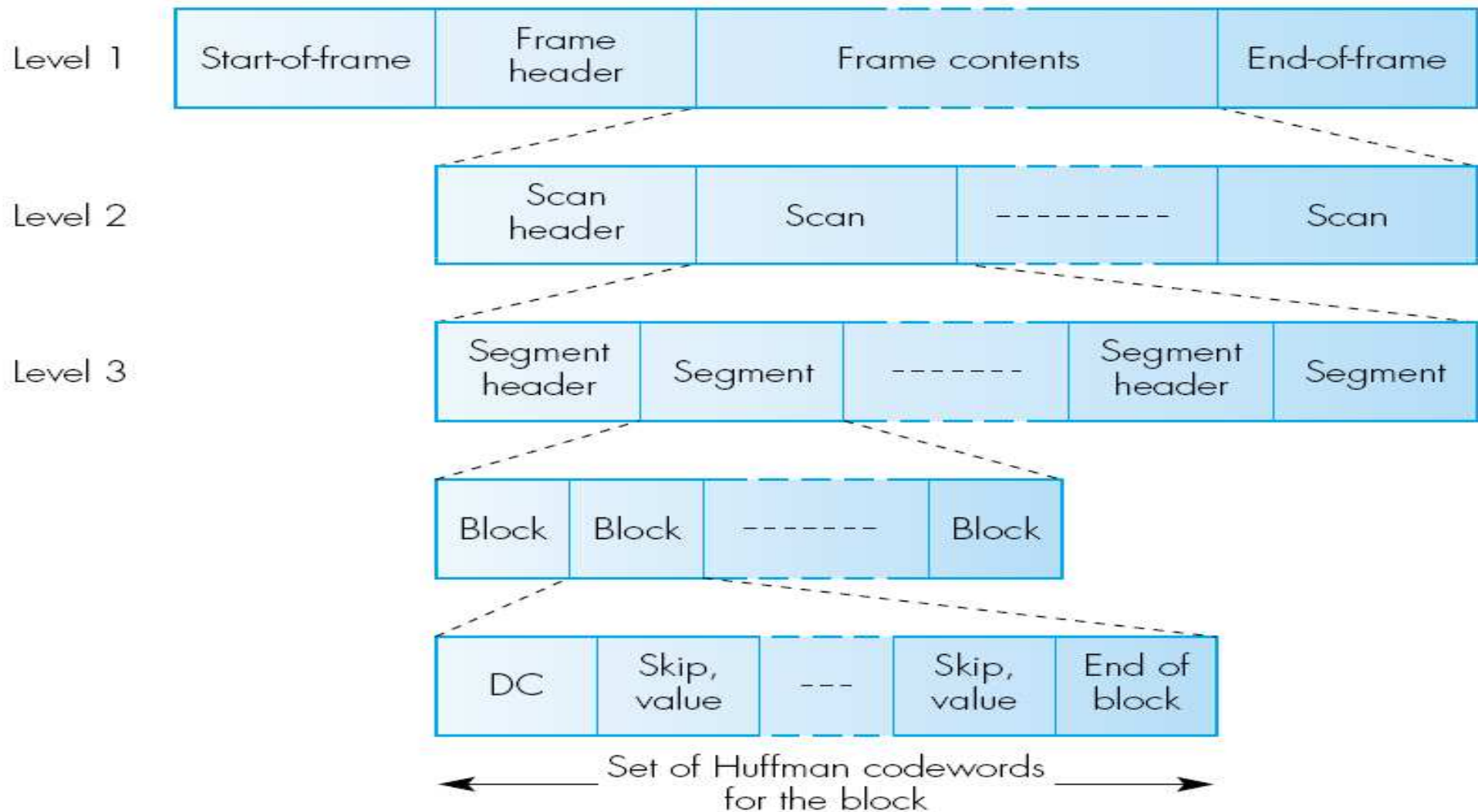
- Codificação estatística
 - Após a codificação Run-Length é aplicada uma codificação estatística.
 - JPEG usa Huffman.
 - A codificação estatística é aplicada no vetor inteiro, o que inclui o resultado das codificações dos DCs e ACs.
 - Vetor possui cadeias de bits – apropriado para codificação estatística.
 - JPEG usa tabela de códigos (prefixo).
 - São 256 códigos possíveis.
 - Pré-definida ou enviada junto com o *bitstream* da imagem.



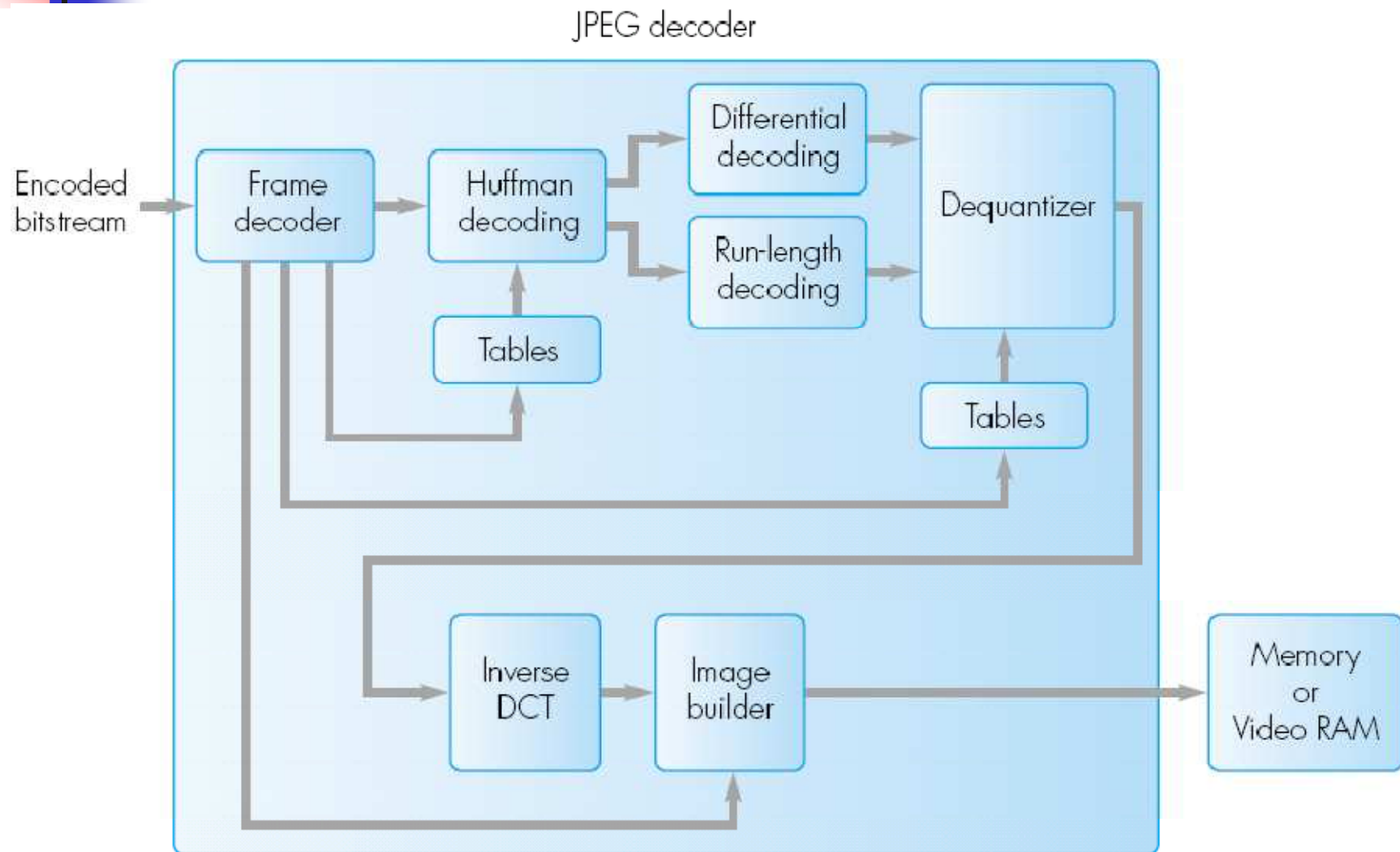
7.5 Codificação por Entropia

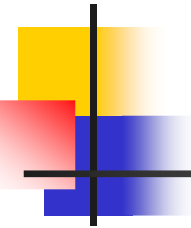
- Codificação estatística
 - Após a codificação Run-Length é aplicada uma codificação estatística.
 - JPEG usa Huffman.
 - A codificação estatística é aplicada no vetor inteiro, o que inclui o resultado das codificações dos DCs e ACs.
 - Vetor possui cadeias de bits – apropriado para codificação estatística.
 - JPEG usa tabela de códigos (prefixo).
 - São 256 códigos possíveis.
 - Pré-definida ou enviada junto com o *bitstream* da imagem.

7.6 Construção do Quadro



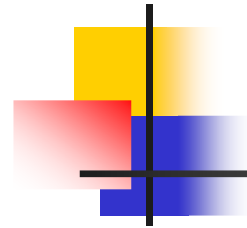
7.7 Decodificação





Exemplo – bloco original

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 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 |



Bloco com shifting

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 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

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



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 quantização

$$\begin{bmatrix} 62 & -4 & 2 & -1 & 2 & -1 & -1 & -1 \\ 4 & -5 & 3 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ -2 & -3 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



Últimos passos

- **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

- **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)(001) (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)(0) (00)(1) (111010)(0) (1111010)(0) (1100)(0) (111010)(1) (1111011)(1) (1100)(1) (1010)



7.8 Considerações Sobre JPEG

- JPEG:

- 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.
 - É adequado para imagens de tom contínuo.



8. JPEG2000

- Uma das maiores limitações do JPEG:
 - Desempenho degrada em baixas taxas de dados (*bitrate*).
- Emprega transformada Wavelet.
- Melhorias:
 - Codificação estática/dinâmica de alta qualidade de uma região específica.
 - Recuperação de erros.
 - Desempenho: até 50:1 (níveis de cinza), 100:1 (cor).



9. Outros Formatos

- Outros formatos populares são:
 - GIF
 - PNG
 - TIFF, BMP, ...



Para Saber Mais

- 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.