

Processamento digital de imagens

Agostinho Brito

DCA-CT-UFRN

4 de julho de 2018

O que é processamento digital de imagens?



O que é processamento digital de imagens

| Saída | Entrada | |
|--------|---|-------------------------|
| | IMAGEM | MODELO |
| IMAGEM | Processamento digital de Imagens | Computação gráfica |
| MODELO | Visão computacional | Geometria Computacional |

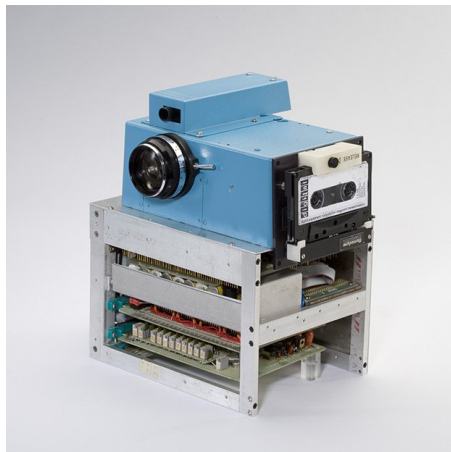
Primeira imagem digital

- Adquirida em 1957 por [Russel Kirsch](#), cientista do NIST.
- Tinha 176×176 pixels de tamanho.
- Diversos limiares precisaram ser ajustados para que a imagem em tom de cinza pudesse ser capturada no scanner monocromático desenvolvido.



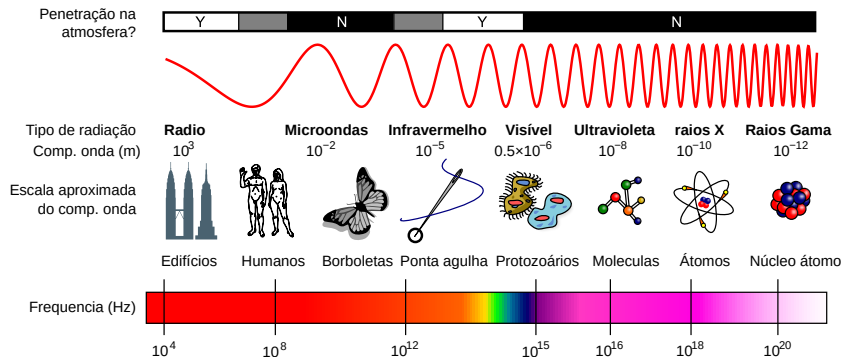
Primeira câmera digital

- Criada em 1975 por Steve Sasson.
- Resolução de 0.01 Megapixels.
- A imagem foi adquirida em 23 segundos.
- Para ver as imagens foi desenvolvido uma adaptação para uma TV.

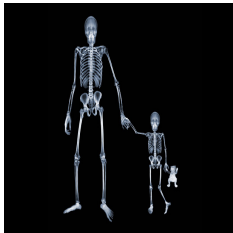


De onde vêm as imagens?

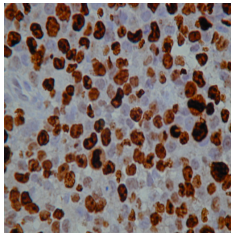
As mais comuns provêm do espectro de ondas eletromagnéticas



Exemplos de aplicações



Raios X



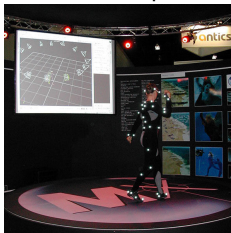
Microscopia



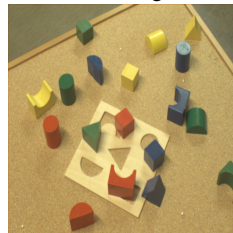
Ultrassonografia



Automação

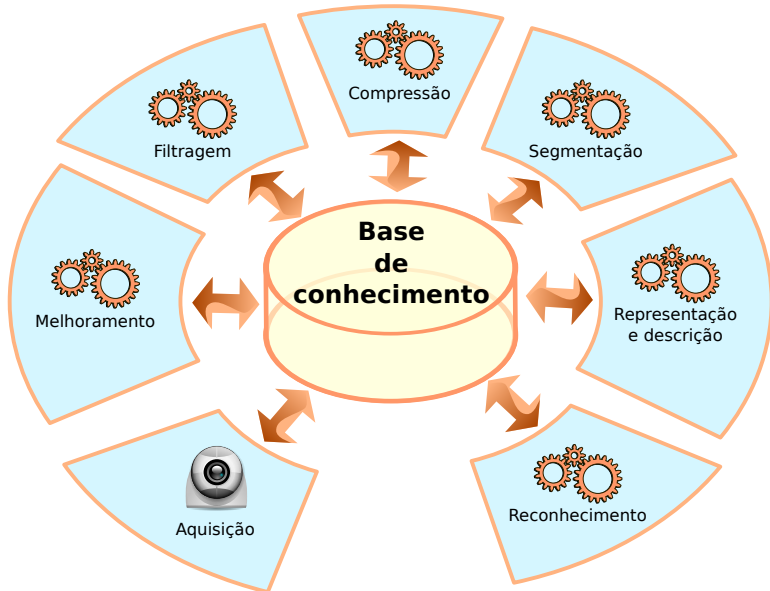


Entretenimento



Visão

Etapas envolvidas



Etapas envolvidas no processamento de imagens - exemplo

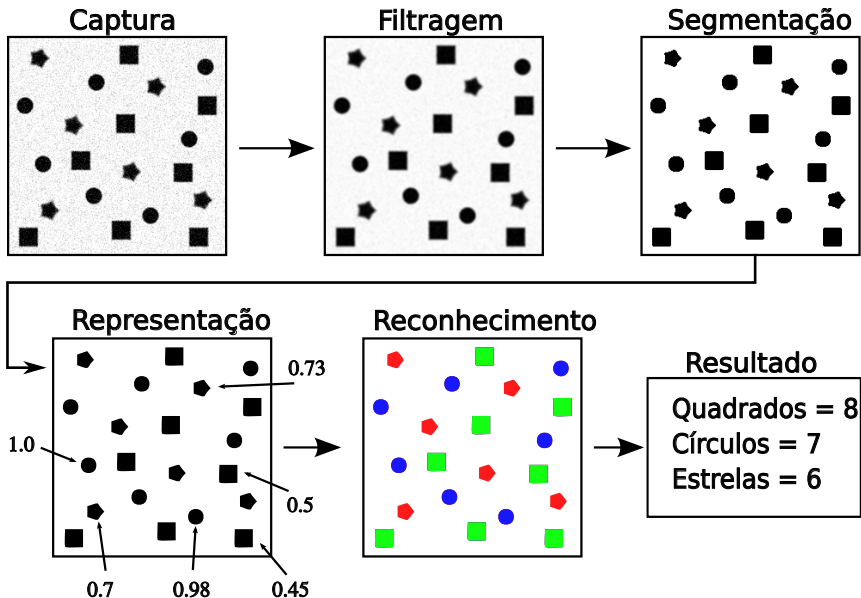


Imagem: definição

- Uma **imagem** pode ser definida como toda e qualquer visualização gerada pelo ser humano, seja em forma de objeto, de obra de arte, de registro foto-mecânico, de construção pictórica (pintura, desenho, gravura) ou até de pensamento.
- Uma imagem é uma **figura** quando é produzida por ordenação de pigmentos sobre algum suporte, geralmente utilizando técnicas de fotografia: impressão em filme de uma cena tomada com uso de uma câmera fotográfica.

Imagem monocromática

- Função de intensidade luminosa bidimensional $f(x, y)$, onde os valores de x e y denotam coordenadas espaciais e o valor de f em qualquer ponto (x, y) é proporcional ao brilho da imagem naquele ponto.
- As mais comuns são as imagens cinza (fotos antigas) e as imagens preto-e-branco (impressão em livros).

Representação de imagens monocromáticas

- Uma **imagem monocromática** é dita **digital** quando é representada por uma matriz cujos índices das linhas e colunas identificam um ponto na imagem e o elemento correspondente da matriz identifica o nível de cinza neste ponto.
- Os elementos da matriz são comumente chamados de **pixels**, ou pels, abreviaturas de *picture elements*.

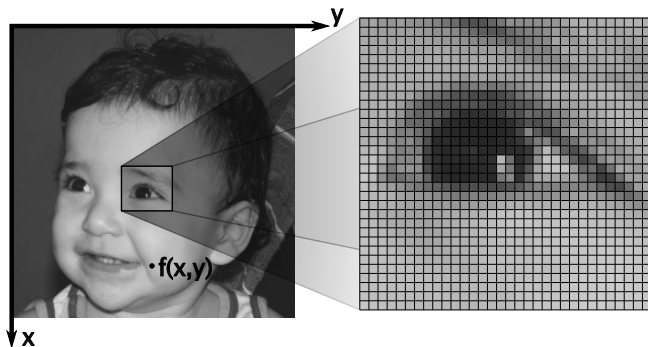


Imagem policromática

- Formada pela composição de funções de intensidade luminosa bidimensionais $f_i(x, y)$, onde os valores de x e y denotam coordenadas espaciais e o valor de f_i em qualquer ponto (x, y) para a função i é proporcional a uma resposta de uma região do espectro para a imagem naquele ponto.
- Normalmente, várias matrizes são necessárias para representar a noção de cor.
- As mais conhecidas são as imagens coloridas tradicionalmente armazenadas em arquivos como jpeg, png ou gif.

Aquisição

- A **captura de imagens** envolve um dispositivo sensível à energia eletromagnética (luz visível, ultravioleta, infravermelho, raiosX) ou eletromecânica (ultrassom), e um dispositivo digitalizador, que converte a saída elétrica contínua do sensor para níveis digitais.
- Imagens digitais possuem valores discretos de intensidade e posição espacial. Os principais tipos de sensores são os **de linha** (*scanner* de mesa) e os **de área** (câmera filmadora).
- As imagens podem conter informação de cor ou não.
 - Para imagens coloridas, três componentes de cor (ou matrizes) são utilizadas: **Red**, **Green** e **Blue**.
 - Para imagens monocromática, apenas uma matriz é usada e a imagem é representada em **escala de cinza** (ou *grayscale*).

Representação

- Uma imagem é uma função bidimensional de intensidade de luz $f(x, y)$, onde

$$0 < f(x, y) < \infty$$

- A natureza dos tons da imagem pode ser caracterizada por duas componentes: intensidade luminosa, $i(x, y)$, depende da fonte de energia, e reflectância, $r(x, y)$, que depende das propriedades do material.

$$f(x, y) = i(x, y)r(x, y)$$

onde $0 < i(x, y) < \infty$ e $0 < r(x, y) < 1$

- $r(x, y) \rightarrow 1$: tendem a refletir a luz que incide sobre o material (Ex: superfície branca).
- $r(x, y) \rightarrow 0$: tendem a absorver a luz que incide sobre o material (Ex: superfície preta).

Quantização

Uma imagem $f(x, y)$ precisa ser digitalizada tanto no espaço quanto em intensidade (amplitude). Este processo é chamado de quantização. Pode ser feita:

- Espacialmente ($M_{linhas} \times N_{colunas}$)
- No número de níveis utilizados para representar cada pixel, denotado por $G = 2^m$, onde m é a quantidade de bits usada para representação.
- Com $m = 8$, cada pixel pode representar até 256 tons de cinza, suficientes para distinção pelo olho humano.

Quantização espacial - efeitos da redução de elementos na matriz de pontos

- Perda de detalhes
- Efeito “tabuleiro de xadrez”.



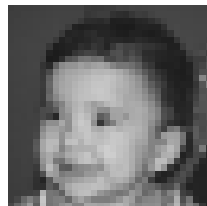
256



128



64



32

Quantização em tons de cinza - efeitos da redução da quantidade de bits para representação.

- Efeito de falso contorno.
- Visível em imagens com 16 tons de cinza ou menos.



5 bits



4 bits



3 bits



2 bits

Resolução espacial

- Número de elementos nos registradores.
- Quanto maior, melhor a riqueza de detalhes.

Armazenamento

- Fator relacionado com a quantidade de memória necessária para guardar uma imagem.
- Imagem cinza com resolução de 640x480 pixels necessita de 300K para ser armazenada. Para uma imagem com resolução de 1024x1024, a memória necessária é de 1M.
- Métodos de compressão reduzem estes números.

Processamento

- O processamento de imagens digitais é geralmente espreço na forma algorítmica. A maioria das funções de processamento pode ser implementada via *software*.
- O processamento via *hardware* geralmente só é necessário quando a velocidade é fator preponderante nos resultados e não pode ser alcançada via *software*.
- Para imagens em movimento, 30 quadros por segundo geralmente precisam ser processados.

Comunicação

- Envio de dados entre estações de processamento.
- Técnicas de compressão aceleram a transmissão de dados com ou sem perda de informações.

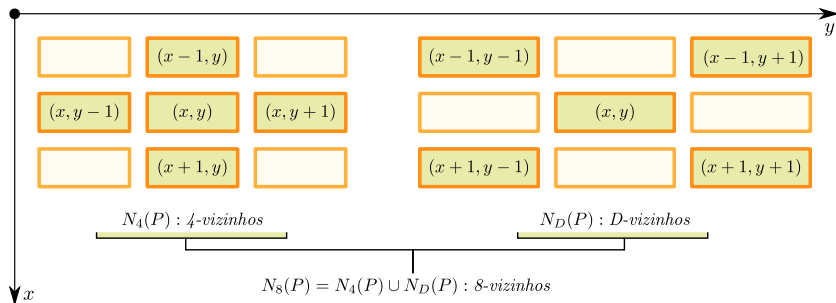
Apresentação

- Exibição da imagem em monitores de vídeo ou dispositivos de impressão.
- Imagens coloridas / *pseudocolor*.

| índice | R | G | B |
|--------|-----|-----|-----|
| 0 | 10 | 230 | 20 |
| 1 | 15 | 23 | 179 |
| ... | ... | ... | ... |
| 255 | 200 | 10 | 68 |

Relações entre pixels

- Cada pixel possui um conjunto de outros pixels que participam de sua vizinhança.
- O conceito de vizinhança é utilizado no estabelecimento de fronteiras e conectividade de regiões em uma imagem.
- Vizinhança de um pixel.



- As relações de adjacência entre pixels são baseadas em um critério de similaridade (níveis de cinza iguais).
- Seja \mathbb{V} o conjunto dos níveis de cinza utilizados para definir conectividade.
- Para uma imagem binária, $\mathbb{V} = 1$. Para uma imagem em tons de cinza, o conjunto é determinado por uma faixa de tons de cinza, $\mathbb{V} = 16, 17, \dots, 32$.
- Principais tipos de conectividade
 - **conectividade 4** - dois pixels p e q com valores de \mathbb{V} são 4-conectados se q está no conjunto $N_4(p)$.
 - **conectividade 8** - dois pixels p e q com valores de \mathbb{V} são 8-conectados se q está no conjunto $N_8(p)$.

Rotulação de componentes conectadas

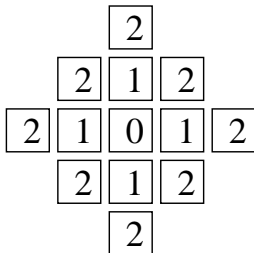
- A rotulação de componentes conectadas exerce importante papel no processamento automático de imagens binárias. Permite atribuir a cada componente um rótulo para diferenciá-la das outras componentes na imagem.
- Algoritmo `seedfill(x, y, rotulo)` (ou `floodfill`):
 - 1 Iniciar pilha de posições com a posição do pixel p , de coordenadas (x, y) .
 - 2 Retirar elemento da pilha.
 - 3 Para cada ponto p' vizinho do pixel p , se seu valor for igual a 255, empilhar a sua posição (x', y') na pilha de posições.
 - 4 Alterar o valor do pixel (x, y) para o valor do rótulo.
 - 5 Repetir até que a pilha esvazie.

Rotulação de componentes conectadas

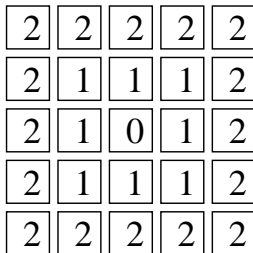
- Assumindo que os pixels de fundo têm valor igual a 0 e os pixels das várias componentes têm valor igual a 255, algoritmo de rotulação é o seguinte:
 - 1 Fazer $rotulo = 1$.
 - 2 Varrer a imagem sequencialmente, linha por linha, até encontrar pixel (x, y) com valor igual a 255.
 - 3 Executar algoritmo `seedfill(x, y, rotulo)`.
 - 4 Fazer $rotulo = rotulo + 1$.
 - 5 Continuar a varredura a partir do ponto seguinte ao ponto (x, y) .
 - 6 Repetir até a extinção de componentes conectadas.

Medidas de distância entre os pixels $p(x, y)$ e $q(s, t)$.

- Euclidiana: $D_e(p, q) = \sqrt{(x - s)^2 + (y - t)^2}$
- D_4 (quarteirão): $D_4(p, q) = \|x - s\| + \|y - t\|$
- D_8 (tabuleiro): $D_8(p, q) = \max(\|x - s\|, \|y - t\|)$



D_4



D_8

Translação

- deslocamento de um ponto com coordenadas (x, y) para uma nova localização (x', y') por (x_0, y_0) pixels, ou seja,

$$x' = x + x_0$$

$$y' = y + y_0$$

- O pixel na nova posição (x', y') assumirá a cor do pixel que existia na posição (x, y) antes da operação de translação.
- Costuma-se geralmente representar as transformações em coordenadas homogêneas, uniformizando-as em uma matriz. Para a translação, é feita a representação

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

- A matriz de translação em coordenadas homogêneas será então

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

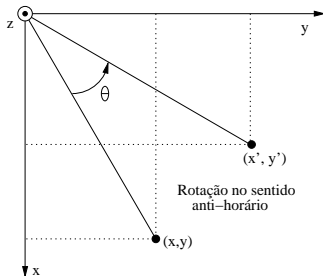
Transformações na geometria da imagem

Escalação

$$T = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rotação

$$T = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



- O mapeamento das transformações é feito no sentido inverso, ou seja, para cada pixel $p'(x', y')$ da imagem rotacionada, procura-se sua posição na imagem original, $p(x, y)$ e atribui-se o valor deste pixel à imagem processada.
- Se o mapeamento for realizado no sentido direto, a imagem resultante poderá conter pontos com valores indefinidos.

Transformações na geometria da imagem

- Diversas transformações podem ser representadas por uma única matrix 3×3 .
Ex:

$$p' = R_{\theta}(S(Tp)) = Ap$$
$$A = R_{\theta}ST$$