MO815/MC861 - Análise de Imagem Orientada a um Problema do Mundo Real

Alexandre Xavier Falcão

Instituto de Computação - UNICAMP

afalcao@ic.unicamp.br

Operações em processamento de imagem que transformam uma ou mais imagens em outra(s), ou extraem vetores de características, podem ser de três tipos.

- **Pontuais**: o valor do pixel na saída depende apenas de seu valor na entrada.
- **Baseadas em adjacência**: o valor do pixel na saída depende dos valores dos pixels em uma dada adjacência.
- **Baseadas em conexidade**: o valor do pixel na saída depende dos valores de pixels em uma dada sequência de pixels adjacentes na imagem.

Operadores pontuais

O histograma $h(I)$ de uma imagem $\mathbf{I} = (D_I, I)$ cinza de b bits de profundidade (i.e., com valores $0 \leq I(p) \leq 2^b - 1$) é um operador pontual.

- O histograma $h(I)$ mede a frequência de cada valor na imagem.

O histograma $h(I)$ de uma imagem $\mathbf{I} = (D_I, I)$ cinza de b bits de profundidade (i.e., com valores $0 \leq I(p) \leq 2^b - 1$) é um operador pontual.

- O histograma $h(I)$ mede a frequência de cada valor na imagem.
- O histograma associa a cada bin $0 \leq l \leq 2^b - 1$ do vetor, o número de pixels $p \in D_I$ com valor $I(p) = l$.

O histograma $h(I)$ de uma imagem $\mathbf{I} = (D_I, I)$ cinza de b bits de profundidade (i.e., com valores $0 \leq I(p) \leq 2^b - 1$) é um operador pontual.

- O histograma $h(I)$ mede a frequência de cada valor na imagem.
- O histograma associa a cada bin $0 \leq I \leq 2^b - 1$ do vetor, o número de pixels $p \in D_I$ com valor $I(p) = I$.
- No caso de uma imagem colorida, os valores de cada componente de cor são quantizados em um número de intervalos igual à raiz cúbica do número de bins do histograma.

O algoritmo para cálculo do histograma pode ser descrito como:

Entrada: Imagem $\hat{I} = (D_I, I)$.
Saída: Histograma $h(I)$ com 2^b bins.

1. Para todo $I = 0, \ldots, 2^b - 1$, faça $h(I) \leftarrow 0$.
2. Para todo $p \in D_I$, faça $h(I(p)) \leftarrow h(I(p)) + 1$.

Operações matemáticas entre imagens sao .

Sejam $\hat{I} = (D_I, I)$ e $\hat{J} = (D_J, J)$ duas imagens cinzas de **mesmo domínio**, $D_I = D_J$.

Operadores pontuais

Operações matemáticas entre imagens sao .

Sejam $\hat{I} = (D_I, I)$ e $\hat{J} = (D_J, J)$ duas imagens cinzas de **mesmo domínio**, $D_I = D_J$.

- Uma operação $\odot$ (**lógica ou aritmética**) entre $\hat{I}$ e $\hat{J}$ gera uma imagem $\hat{K} = (D_K, K)$, $D_K = D_I = D_J$, onde $K(p) = I(p) \odot J(p)$ para todo $p \in D_K$.

Operadores pontuais

Operações matemáticas entre imagens sao .

Sejam $\hat{I} = (D_I, I)$ e $\hat{J} = (D_J, J)$ duas imagens cinzas de **mesmo domínio**, $D_I = D_J$.

- Uma operação $\odot$ (**lógica ou aritmética**) entre $\hat{I}$ e $\hat{J}$ gera uma imagem $\hat{K} = (D_K, K)$, $D_K = D_I = D_J$, onde $K(p) = I(p) \odot J(p)$ para todo $p \in D_K$.
- A operação $\odot$ pode ser *MINIMO* (*and* lógico), *MAXIMO* (*or* lógico), $+$, -, $/$, *, etc.
- Uma operação **aritmética** $\odot$ entre um escalar s e $\hat{I}$ gera uma imagem $\hat{K} = (D_K, K)$, $D_K = D_I$, tal que $K(p) = I(p) \odot s$ para todo $p \in D_K$.

Operadores pontuais

Operadores pontuais

- A operação $\odot$ pode ser $+, -, /, *, \hat{}$. Por exemplo, em $\hat{K} = \hat{I}^{1/2}$, $K(p) = \sqrt{I(p)}$.
- Um operador matemático $\mathbf{O}$ sobre uma imagem $\hat{I}$ gera uma imagem $\hat{K} = (D_K, K)$, $D_K = D_I$, tal que $K(p) = \mathbf{O}(I(p))$ para todo $p \in D_K$.

Operadores pontuais

- A operação $\odot$ pode ser $+, -, /, *, \hat{}$. Por exemplo, em $\hat{K} = \hat{I}^{1/2}$, $K(p) = \sqrt{I(p)}$.
- Um operador matemático $\mathbf{O}$ sobre uma imagem $\hat{I}$ gera uma imagem $\hat{K} = (D_K, K)$, $D_K = D_I$, tal que $K(p) = \mathbf{O}(I(p))$ para todo $p \in D_K$.
- O operador $\mathbf{O}$ pode ser o valor absoluto, logaritmo, exponencial, seno, etc. Por exemplo, em $\hat{K} = |\hat{I} - \hat{J}|$, $K(p) = |I(p) - J(p)|$.

Operadores pontuais

- A operação $\odot$ pode ser $+, -, /, *, \hat{}$. Por exemplo, em $\hat{K} = \hat{I}^{1/2}$, $K(p) = \sqrt{I(p)}$.
- Um operador matemático $\mathbf{O}$ sobre uma imagem $\hat{I}$ gera uma imagem $\hat{K} = (D_K, K)$, $D_K = D_I$, tal que $K(p) = \mathbf{O}(I(p))$ para todo $p \in D_K$.
- O operador $\mathbf{O}$ pode ser o valor absoluto, logaritmo, exponencial, seno, etc. Por exemplo, em $\hat{K} = |\hat{I} - \hat{J}|$, $K(p) = |I(p) - J(p)|$.

Desta forma podemos ter expressões lógicas e aritméticas envolvendo várias imagens e escalares.

No caso de imagens coloridas $\hat{I} = (D_I, \vec{I})$ em um dado espaço de cor, este espaço pode ser transformado em outro por multiplicação matricial e outras operações matemáticas. Esta também é uma operação pontual.

$$\begin{bmatrix} K_1(p) \\ K_2(p) \\ K_3(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1(p) \\ I_2(p) \\ I_3(p) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix}$$

Neste exemplo, o operador $\hat{K} = \mathbf{O}(\hat{I})$ transforma a imagem $\hat{I}$ do espaço RGB para uma imagem $\hat{K} = (D_K, \vec{K})$, $D_K = D_I$, no espaço YC_bC_r, onde K_1 é luminância Y, K_2 é crominância C_b e K_3 é crominância C_r.

Baseados em adjacência

Os exemplos mais simples de operadores baseados em adjacência são os operadores morfológicos.

- Uma relação de adjacência $\mathcal{A}$ pode ser vista como um elemento estruturante planar em morfologia matemática.

Baseados em adjacência

Os exemplos mais simples de operadores baseados em adjacência são os operadores morfológicos.

- Uma relação de adjacência $\mathcal{A}$ pode ser vista como um elemento estruturante planar em morfologia matemática.
- A dilatação $\hat{J} = \hat{I} \oplus \mathcal{A}$ de uma imagem $\hat{I}$ por um elemento estruturante planar $\mathcal{A}$ é definida por:

$$J(p) \quad = \quad \max_{\forall q \in \mathcal{A}(p)} \{I(q)\}.$$

Baseados em adjacência

Os exemplos mais simples de operadores baseados em adjacência são os operadores morfológicos.

- Uma relação de adjacência $\mathcal{A}$ pode ser vista como um elemento estruturante planar em morfologia matemática.
- A dilatação $\hat{J} = \hat{I} \oplus \mathcal{A}$ de uma imagem $\hat{I}$ por um elemento estruturante planar $\mathcal{A}$ é definida por:

$$J(p) = \max_{\forall q \in \mathcal{A}(p)} \{I(q)\}.$$

- A dilatação elimina regiões escuras da imagem, mas aumenta as regiões claras.

Baseados em adjacência

O algoritmo da dilatação pode ser descrito por:

Entrada: $\hat{I} = (D_I, I)$ e $\mathcal{A}$.
Saída: $\hat{J} = (D_J, J)$.
Auxiliar: Variável $i_{\max}$.

1. Para todo $p \in D_J$, faça
2. $\quad$ $i_{\max} \leftarrow -\infty$.
3. $\quad$ Para todo $q \in \mathcal{A}(p)$, tal que $q \in D_I$, faça
4. $\quad\quad$ Se $I(q) > i_{\max}$, então
5. $\quad\quad\quad$ $i_{\max} \leftarrow I(q)$.
6. $\quad$ $J(p) \leftarrow i_{\max}$.

Baseados em adjacência

- A erosão $\hat{J} = \hat{I} \ominus \mathcal{A}$ de uma imagem $\hat{I}$ por um elemento estruturante planar $\mathcal{A}$ é definida por:

$$J(p) \quad = \quad \min_{\forall q \in \mathcal{A}(p)} \{I(q)\}.$$

Baseados em adjacência

- A erosão $\hat{J} = \hat{I} \ominus \mathcal{A}$ de uma imagem $\hat{I}$ por um elemento estruturante planar $\mathcal{A}$ é definida por:

$$J(p) \quad = \quad \min_{\forall q \in \mathcal{A}(p)} \{I(q)\}.$$

- A erosão elimina regiões claras da imagem, mas aumenta as regiões escuras.

Baseados em adjacência

- A erosão $\hat{J} = \hat{I} \ominus \mathcal{A}$ de uma imagem $\hat{I}$ por um elemento estruturante planar $\mathcal{A}$ é definida por:

$$J(p) \quad = \quad \min_{\forall q \in \mathcal{A}(p)} \{I(q)\}.$$

- A erosão elimina regiões claras da imagem, mas aumenta as regiões escuras.
- Seu algoritmo requer uma variação simples do algoritmo da dilatação.

Baseados em adjacência

- A erosão $\hat{J} = \hat{I} \ominus \mathcal{A}$ de uma imagem $\hat{I}$ por um elemento estruturante planar $\mathcal{A}$ é definida por:

$$J(p) = \min_{\forall q \in \mathcal{A}(p)} \{I(q)\}.$$

- A erosão elimina regiões claras da imagem, mas aumenta as regiões escuras.
- Seu algoritmo requer uma variação simples do algoritmo da dilatação.
- Quando combinadas, elas geram vários filtros morfológicos que podem ser usados para realçar detalhes na imagem.

Filtros morfológicos apresentam as seguintes propriedades.

Baseados em adjacência

Filtros morfológicos apresentam as seguintes propriedades.

- monoticidade - O filtro Ψ preserva a relação de ordem entre as imagens cinza $\hat{I} = (D_I, I)$ e $\hat{J} = (D_J, J)$, onde $D_I = D_J$.

$$\hat{I} \leq \hat{J} \;\; \Rightarrow \;\; \Psi(\hat{I}) \leq \Psi(\hat{J}),$$

  onde $\hat{I} \leq \hat{J}$ significa que $I(p) \leq J(p)$, para todo pixel $p \in D_I$.

Filtros morfológicos apresentam as seguintes propriedades.

- monoticidade - O filtro Ψ preserva a relação de ordem entre as imagens cinza $\hat{I} = (D_I, I)$ e $\hat{J} = (D_J, J)$, onde $D_I = D_J$.

  $$\hat{I} \leq \hat{J} \quad \Rightarrow \quad \Psi(\hat{I}) \leq \Psi(\hat{J}),$$

  onde $\hat{I} \leq \hat{J}$ significa que $I(p) \leq J(p)$, para todo pixel $p \in D_I$.
- idempotência - O filtro Ψ aplicado duas vezes à imagem gera o mesmo resultado de quando é aplicado uma única vez.

  $$\Psi(\Psi(\hat{I})) \quad = \quad \Psi(\hat{I}).$$

Baseados em adjacência

Filtros de fechamento e de abertura morfológicos são exemplos que buscam reduzir as degradações causadas pela dilatação e erosão.

Filtros de fechamento e de abertura morfológicos são exemplos que buscam reduzir as degradações causadas pela dilatação e erosão.

- O fechamento $\hat{I} \bullet \mathcal{A}$ é dado por:

$$\hat{J} \quad = \quad (\hat{I} \oplus \mathcal{A}) \ominus \mathcal{A}$$

Baseados em adjacência

Filtros de fechamento e de abertura morfológicos são exemplos que buscam reduzir as degradações causadas pela dilatação e erosão.

- O fechamento $\hat{I} \bullet \mathcal{A}$ é dado por:

$$\hat{J} = (\hat{I} \oplus \mathcal{A}) \ominus \mathcal{A}$$

- A abertura $\hat{I} \circ \mathcal{A}$ é dada por:

$$\hat{J} = (\hat{I} \ominus \mathcal{A}) \oplus \mathcal{A}$$

Baseados em adjacência

Filtros de fechamento e de abertura morfológicos são exemplos que buscam reduzir as degradações causadas pela dilatação e erosão.

- O fechamento $\hat{I} \bullet \mathcal{A}$ é dado por:

$$\hat{J} = (\hat{I} \oplus \mathcal{A}) \ominus \mathcal{A}$$

- A abertura $\hat{I} \circ \mathcal{A}$ é dada por:

$$\hat{J} = (\hat{I} \ominus \mathcal{A}) \oplus \mathcal{A}$$

No caso de imagens coloridas, elas podem ser convertidas de RGB para YCbCr, os operadores serem aplicados em Y, e elas serem convertidas de volta para RGB. Vamos codificar e visualizar os resultados desses operadores...