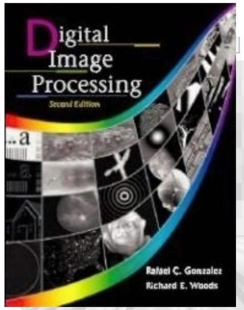


Aula 12

Morfologia

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Morphological Image Processing

A palavra morfologia normalmente denota uma área da biologia que trata da forma e da estrutura de animais e plantas

No contexto da matemática, é uma ferramenta para extrair componentes de uma imagem que sejam úteis na representação e descrição de formas de uma região, como fronteiras, esqueletos e o fecho convexo

As aplicações incluem técnicas de pré e pós-processamento, como:

- Filtragem morfológica
- afinamento
- poda

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

A morfologia se baseia na teoria dos conjuntos

Ex:

1) Em uma imagem binária, com fundo = 0 e objeto = 1, o conjunto de todos os pixels = 1 é uma descrição completa do objeto

2) O conjunto de todos os pixels = 1 com algum vizinho = 0 é uma descrição da fronteira dos objetos

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Dilatação e Erosão

Estas operações são as bases das operações posteriores

Definições básicas - Conjuntos

Sejam A e B conjuntos de Z^2, com componentes $a = (a_1,a_2)$ e $b = (b_1,b_2)$, respectivamente.

A união de A com B fica

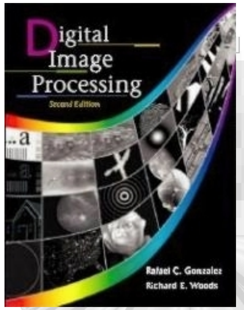
$$A \cup B = \{ x \mid x \in A \quad \text{ou} \quad x \in B \}$$

A interseção de A com B fica

$$A \cap B = \{ x \mid x \in A \quad \text{e} \quad x \in B \}$$

Ex.
$A = \{1,2,3\}$
$B = \{2,4,6\}$
$A \cup B = \{1,2,3,4,6\}$
$A \cap B = \{2\}$

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods



Sejam A e B conjuntos de Z^2, com componentes $a = (a_1,a_2)$ e $b = (b_1,b_2)$, respectivamente.

A translação de A por $x = (x_1,x_2)$, denotada por $(A)_x$, é definida como

$$(A)_x = \{\, c \mid c = a + x, \ \text{para} \ a \in A \,\}$$

A reflexão de B, denotada por $\hat{B}$, é definida como

$$\hat{B} = \{\, x \mid x = -b, \ \text{para}\ b \in B \,\}$$

O complemento de um conjunto A é definido como

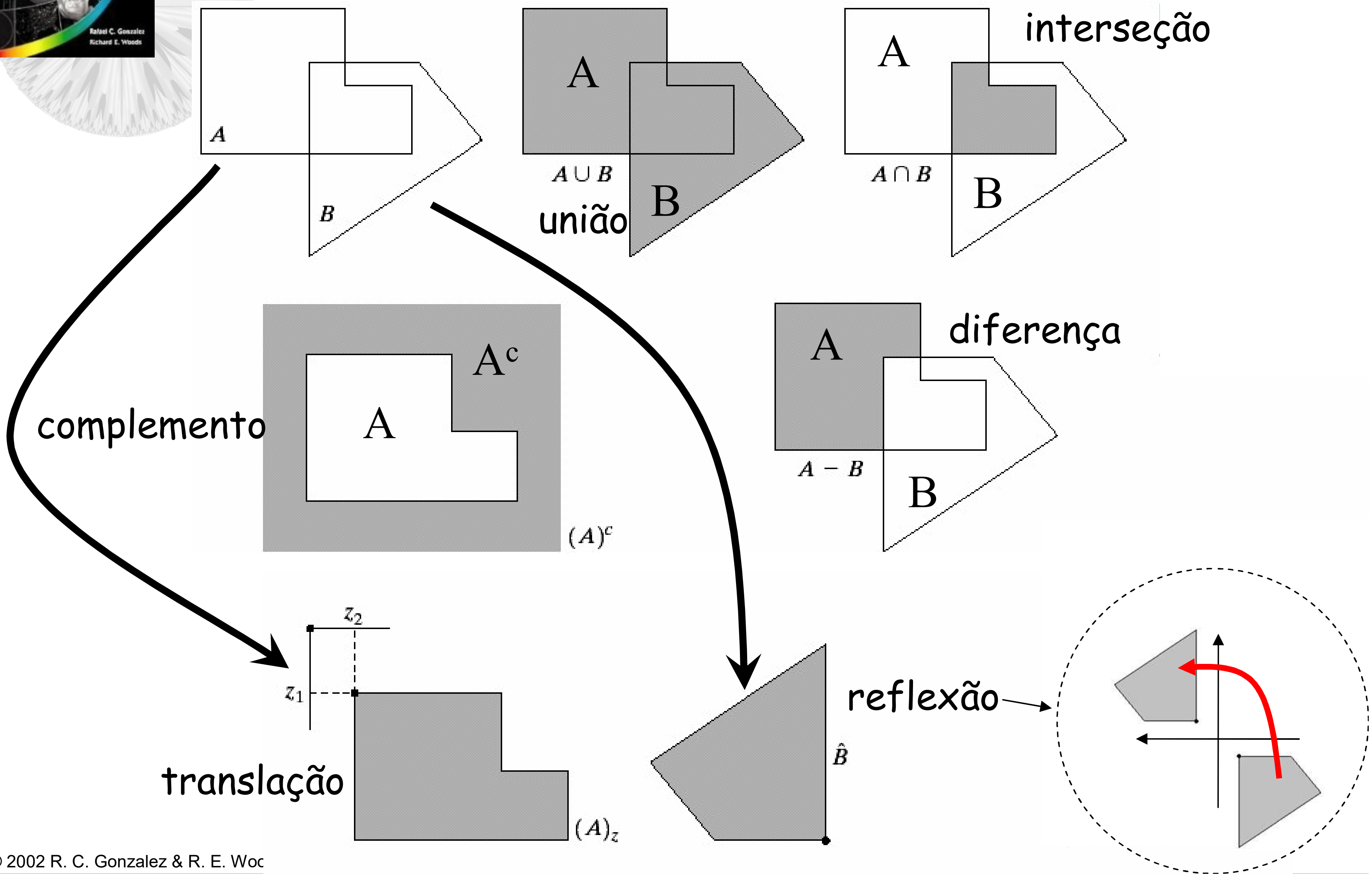
$$A^c = \{\, x \mid x \notin A \,\}$$

A diferença entre dois conjuntos A e B, é definida como

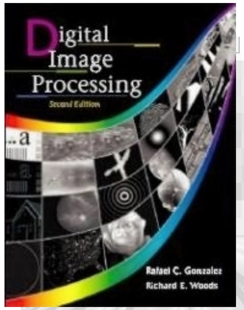
$$A - B = \{\, x \mid x \in A \text{ e } x \notin B \,\}$$

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Morphological Image Processing



© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods



Morphological Image Processing

Dilatação $\oplus$

A dilatação de A por B, denotada por $A \oplus B$, é definida como

$$A \oplus B = \{ x \mid \underbrace{(\overbrace{\hat{B}}^{\text{reflexão}})_x}_{\text{translação}} \cap A \neq \varnothing \}$$

O processo de dilatação começa na obtenção da reflexão de B em torno de sua origem, seguido da translação dessa reflexão por x

A dilatação de A por B é o conjunto de todos os deslocamentos x, tais que $\hat{B}$ e A sobreponham-se em pelo menos um ponto, ou seja,

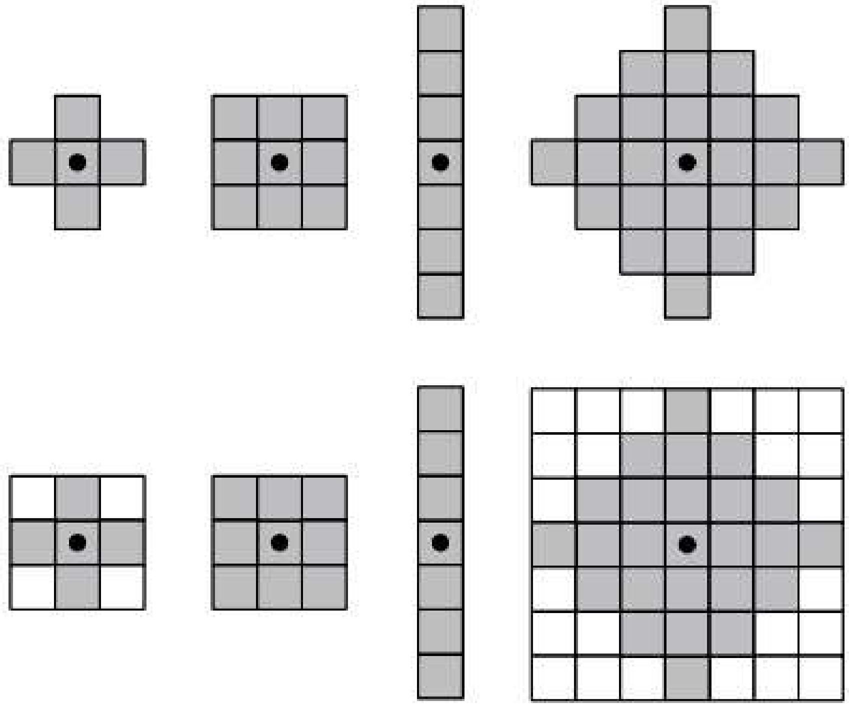
$$A \oplus B = \{ x \mid [(\hat{B})_x \cap A] \subseteq A \}$$

O conjunto B é normalmente chamado de <u>elemento estruturante</u> da dilatação e pode ser visto como uma máscara de convolução

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

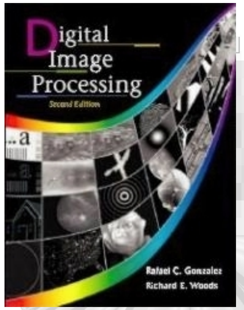
Morphological Image Processing

Exemplos de Elementos Estruturantes



Não obrigatoriamente, o ponto de referência é o centro do elemento

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods



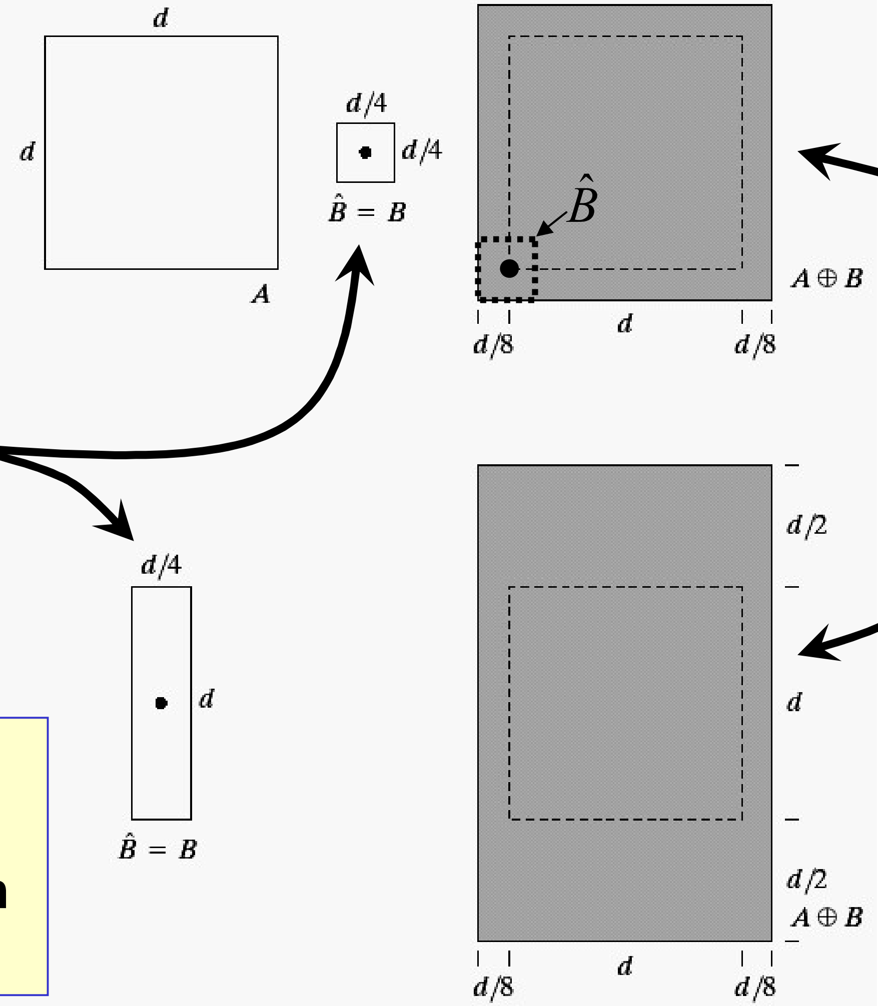
Morphological Image Processing

Dilatação ⊕

A dilatação de A por B, denotada por A ⊕ B, é definida como

Conjunto A

Conjuntos B
ou
elementos
estruturantes



Dilatações
de A por B

Desloque o centro de B pela borda de A. Tudo o que B sobrepor vai ser anexado em A, gerando a dilatação

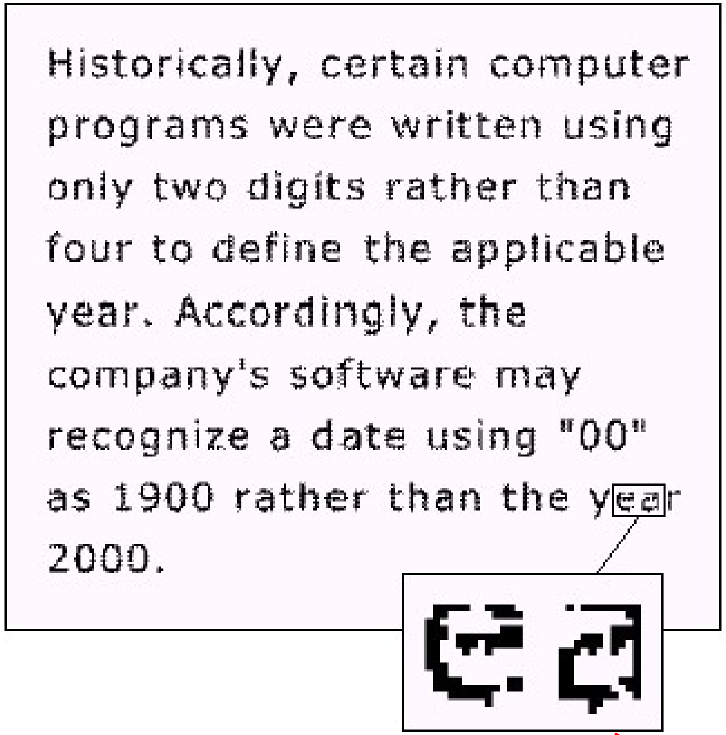
© 2002 R. C. Gonzalez & R. E.

Morphological Image Processing

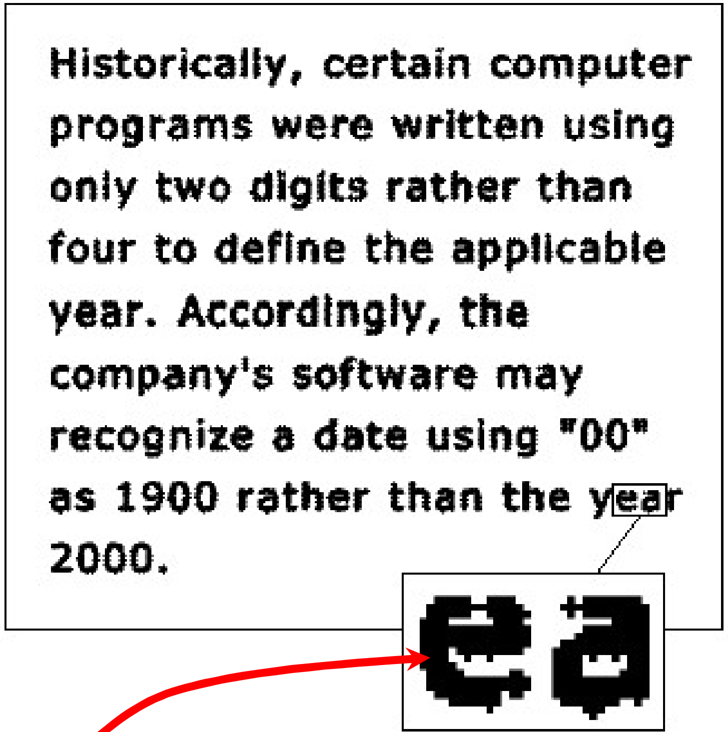
A Dilatação ajuda a fechar alguns buracos

aplicações

(a)



(c)



a) Texto ruim

b) Elemento estruturante

c) Resultado da dilatação de (a) por (b)

elemento estruturante

0	1	0
1	1	1
0	1	0

(b)

Caracteres partidos são recuperados (reconectados)

Morphological Image Processing

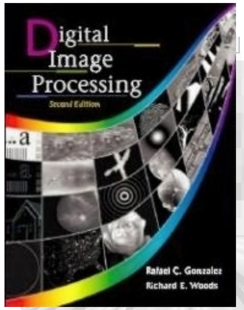
Erosão $\ominus$

A erosão de A por B, denotada por $A \ominus B$, é definida como

$$A \ominus B = \{ x \mid \underbrace{(\hat{B})_x}_{\text{reflexão},\ \text{translação}} \subseteq A \}$$

Ou seja, a erosão de A por B é o conjunto de todos os pontos x, tais que $\hat{B}$, quando transladado por x, fique contido em A

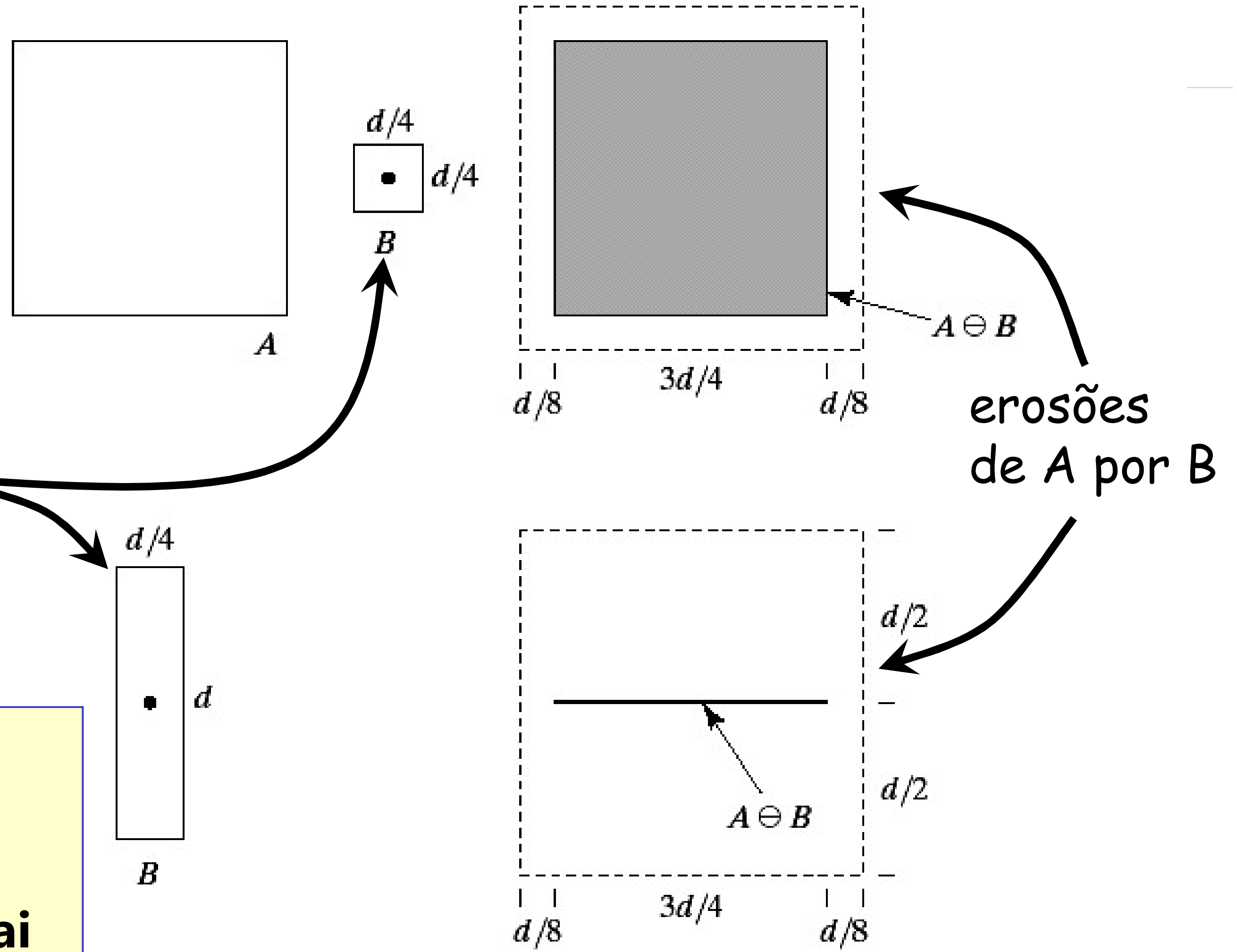
© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods



Morphological Image Processing

Conjunto A

Conjuntos B
ou
elementos
estruturantes

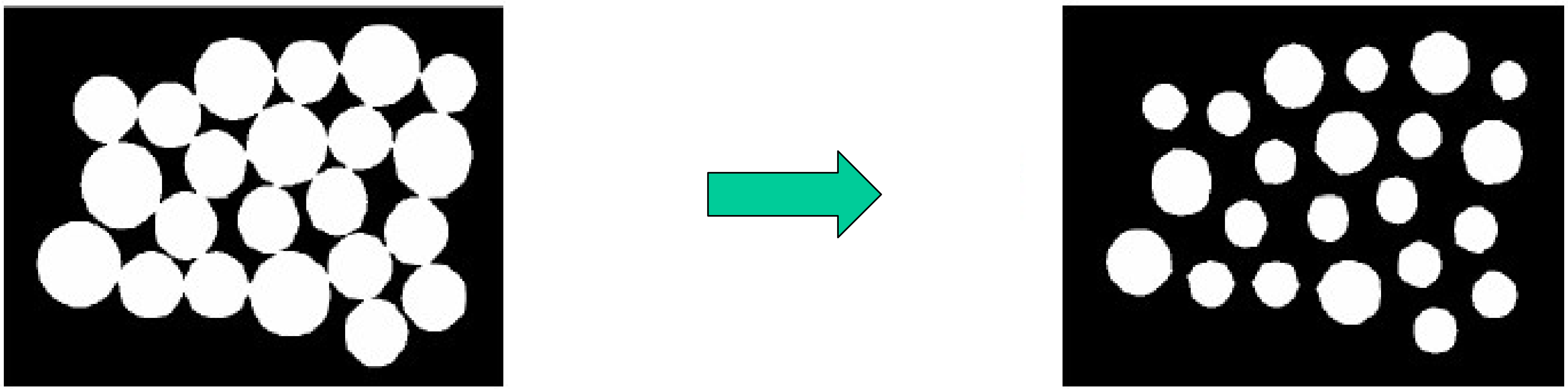


erosões
de A por B

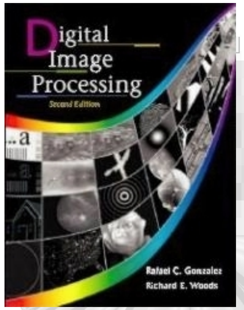
Desloque o objeto B completamente dentro de A. Apenas o que o centro de B sobrepor vai ser mantido, gerando a erosão

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

A Erosão ajuda a separar objetos unidos



© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods



Dilatação e Erosão

A Dilatação e a Erosão são operações duais em relação a complementação e reflexão, assim, vale a seguinte relação

$$(A \ominus B)^c = A^c \oplus \hat{B}$$

A complementação da Erosão de A por B é igual a dilatação da complementação de A pela reflexão de B

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Morphological Image Processing

Embora sejam operações simples, a Morfologia apresenta um conjunto de ferramentas capazes de realizar diversos processamentos na imagem, contemplando:

- **remoção de ruído**
- **detecção de bordas**
- **eliminação de objetos na imagem**
- **localização de objetos na imagem**
- **etc.**

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Morphological Image Processing

Abertura e Fechamento

Enquanto a dilatação expande um objeto na imagem, a erosão a reduz

A abertura geralmente suaviza o contorno de uma imagem, quebrando ligações estreitas e eliminando protusões finas

O Fechamento suaviza os contornos, funde as quebras em linhas finas, elimina buracos e preenche fendas em um contorno

Abertura é definida como: $A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$

(erosão de A por B, seguida da dilatação do resultado por B)

Fechamento é definido como: $A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$

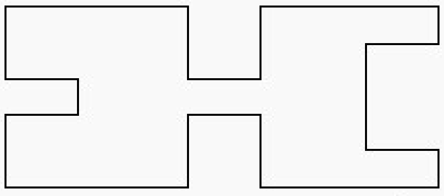
(dilatação de A por B, seguida da erosão do resultado por B)

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

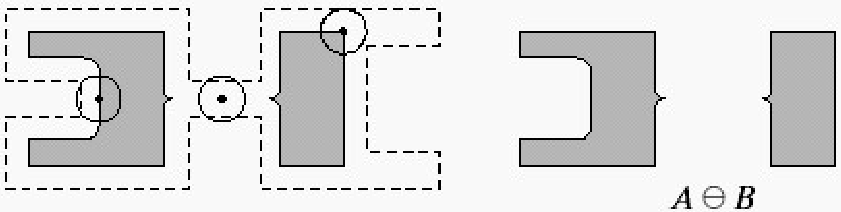
Morphological Image Processing

Usando um elemento estruturante em formato de bola

0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0



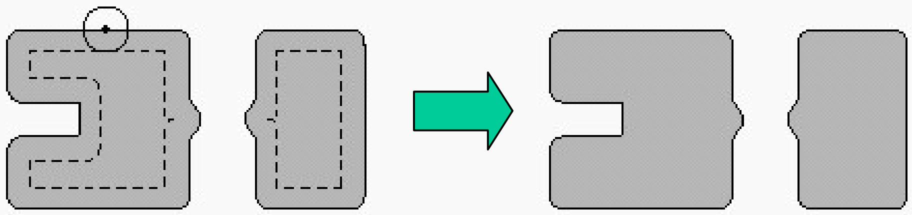
A



$A \ominus B$

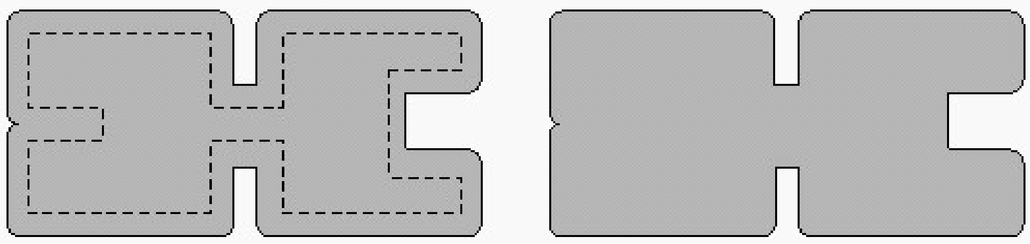
erosão de A

dilatação da erosão de A



$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$

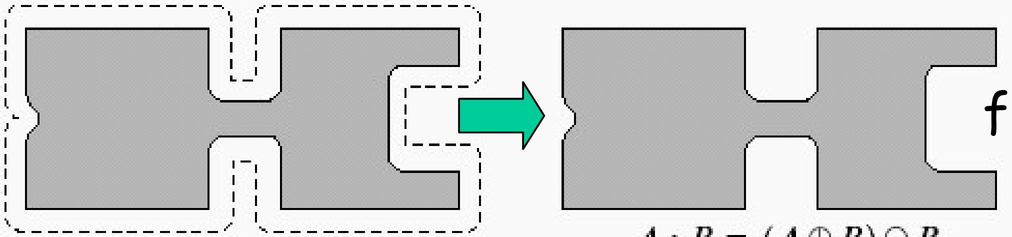
abertura



$A \oplus B$

dilatação de A

erosão da dilatação de A



$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$

fechamento

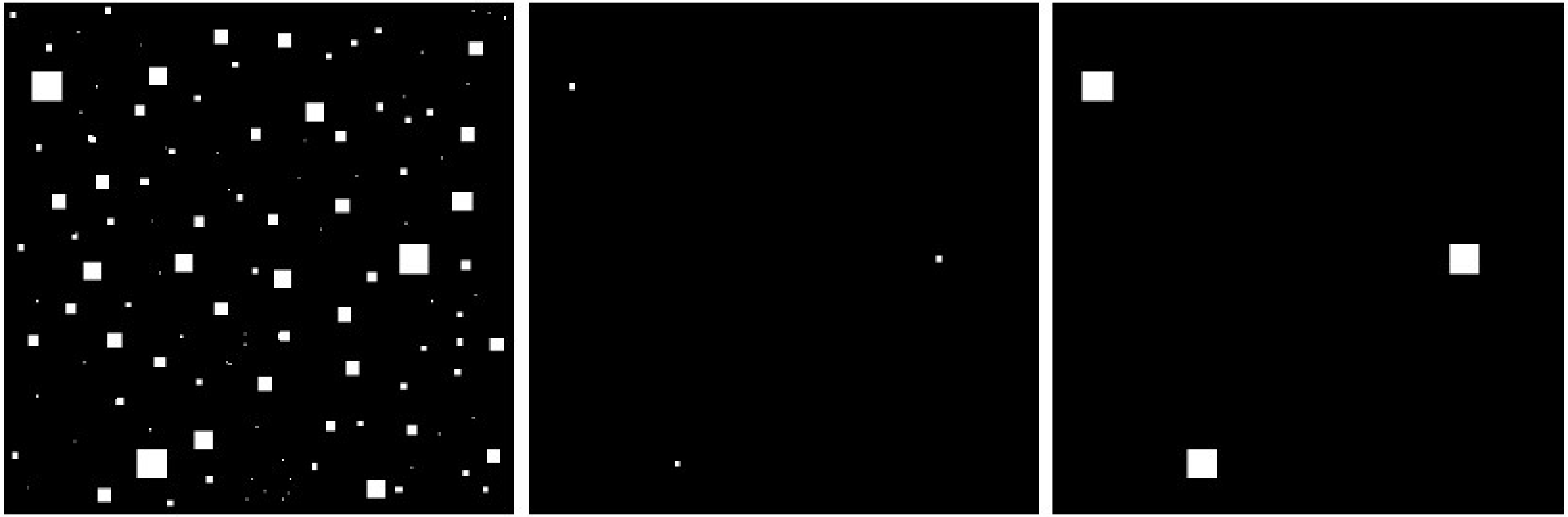
© 2002

Morphological Image Processing

Abertura e Fechamento

Aplicações: eliminar objetos pequenos ou ruído

original → erosão → dilatação



© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Abertura e Fechamento

A abertura e o fechamento são operações duais em relação a complementação e reflexão, assim, vale a seguinte relação

$$(A \bullet B)^c = (A^c \circ B^c)$$

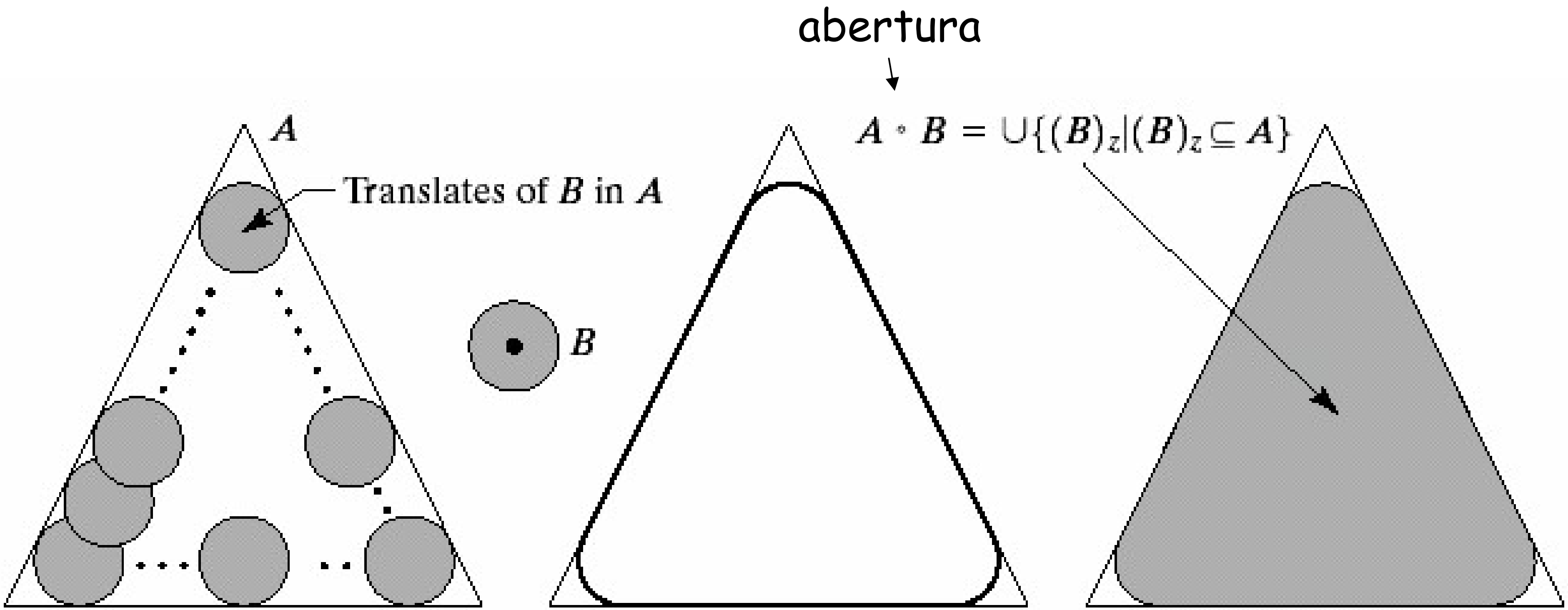
Fechamento Abertura

O complemento do fechamento de A por B equivale a abertura do complemento de A pelo complemento de B

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

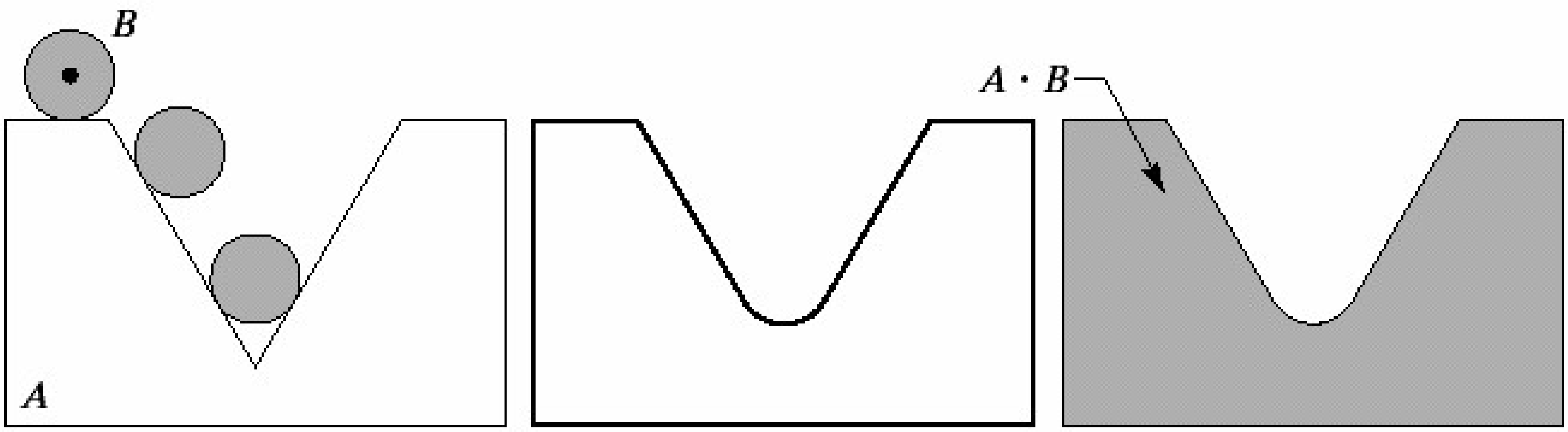
Interpretações geométricas - abertura

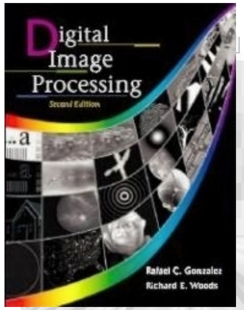
Supondo que o elemento estruturante B seja uma bola rolante então a fronteira de $A \circ B$ será dada pelos pontos na fronteira de B que alcançam o mais longe dentro da fronteira de A, na medida que B é rodado ao longo da parte interna de A



Interpretações geométricas - fechamento

Supondo que o elemento estruturante B seja uma bola rolante então a fronteira de A • B será dada pelos pontos na fronteira de B que alcançam o mais perto fora da fronteira de A, na medida que B é rodado ao longo da parte externa de A





Morphological Image Processing

Aplicações

$\ominus$ - erosão
$\oplus$ - dilatação
$\circ$ - abertura
$\bullet$ - fechamento

a) Imagem original com ruído

b) erosão de (a)

c) abertura de b)

d) dilatação de c)

e) fechamento de d)

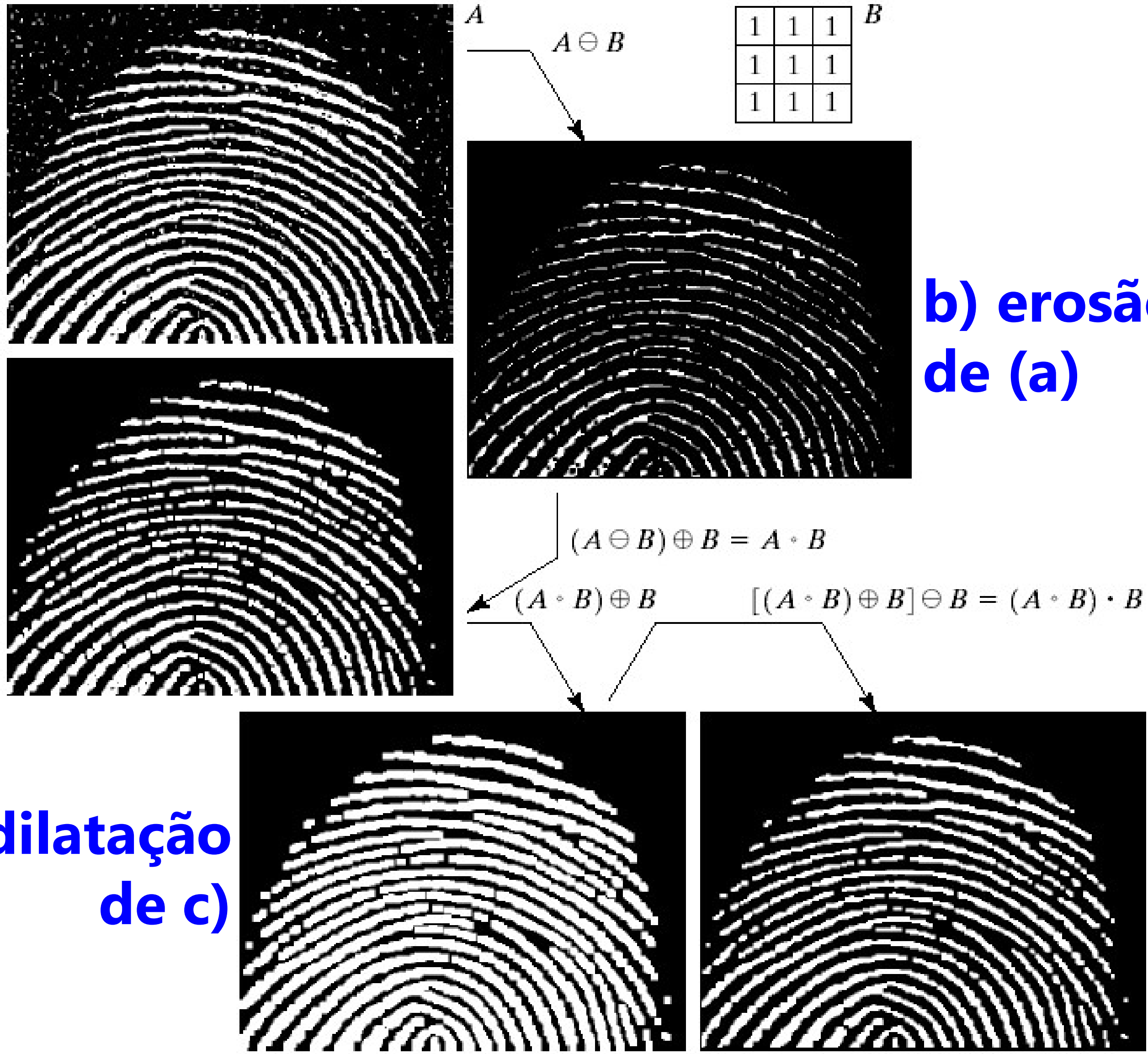


FIGURE 9.11 (a) Noisy image. (c) Eroded image. (d) Opening of A. (d) Dilation of the opening. (e) Closing of the opening. (Original image for this example courtesy of the National Institute of Standards and Technology.)

© 2002 R. C. Gonzalez & R

Transformada Hit-or-miss

A transformada morfológica hit-or-miss é uma ferramenta básica para a detecção de objetos

Ex: encontrar a posição de um objeto X

Transformada Hit-or-miss

$$A \circledast B = (A \ominus X) \cap [A^c \ominus (W - X)]$$

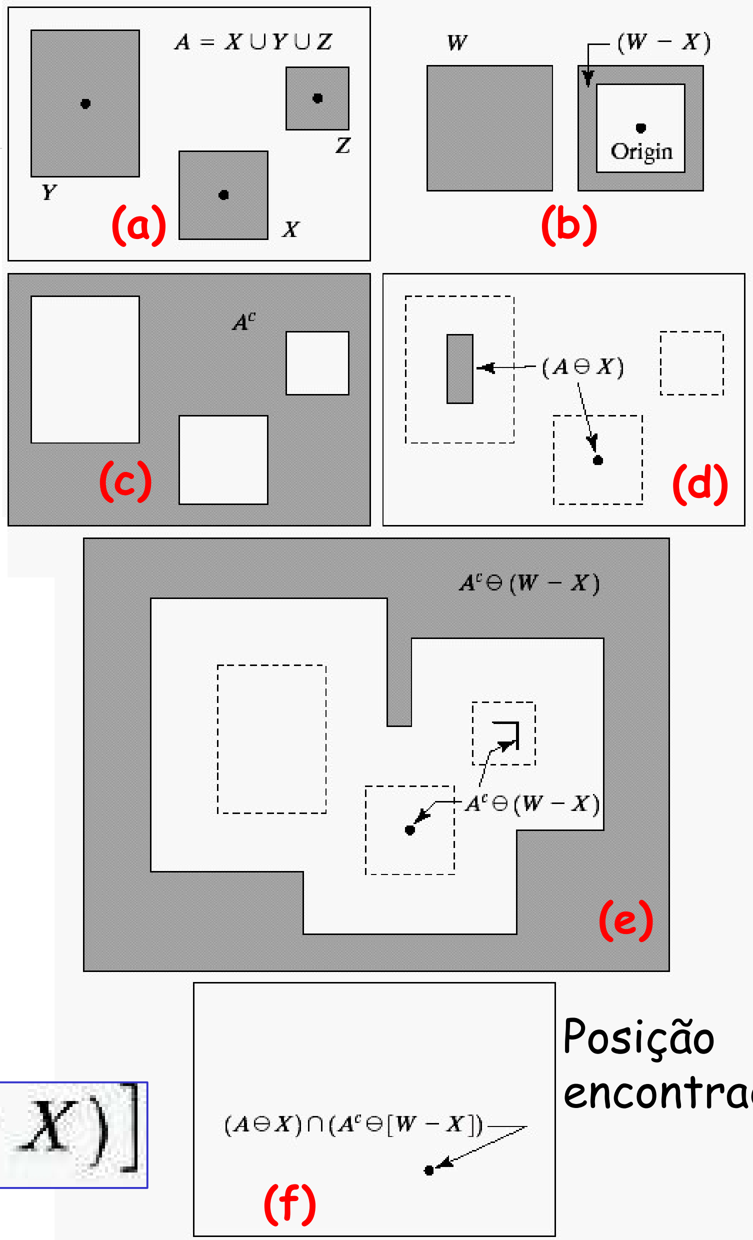
$\ominus$ - erosão
$\oplus$ - dilatação
$\circ$ - abertura
$\bullet$ - fechamento
$\circledast$ - hit-or-miss
$\otimes$ - fechamento
$\odot$ - espessamento

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Morphological Image Processing

Transformada Hit-or-miss

Ex: encontrar a posição do objeto X



Posição encontrada

Supondo que a origem de cada forma está em seu centro e que W é uma pequena janela que cobre X

- a) Conjunto A
- b) W e W-X
- c) A^c
- d) Erosão de A por X
- e) Erosão de A^c por W-X
- f) (d) ∩ (e)

⊖ - erosão
⊕ - dilatação
∘ - abertura
• - fechamento
⊛ - hit-or-miss
⊗ - fechamento
⊙ - espessamento

$$A \circledast B = (A \ominus X) \cap [A^c \ominus (W - X)]$$

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Morphological Image Processing

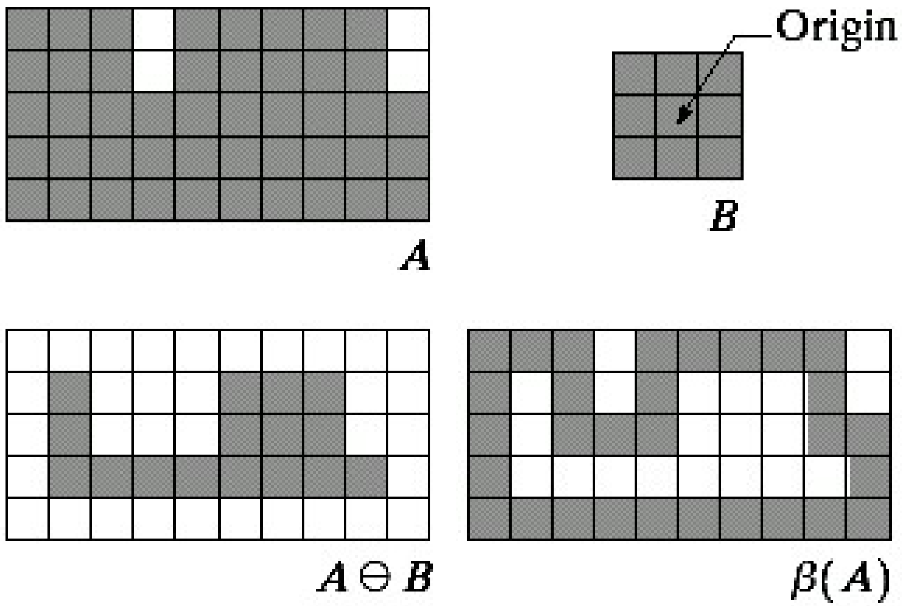
Extração de fronteira

BETA

A fronteira de um conjunto A, denotada por β(A), pode ser obtida através da erosão de A por B, seguida da diferença de A e sua erosão

erosão

$$\beta(A) = A - (A \ominus B)$$

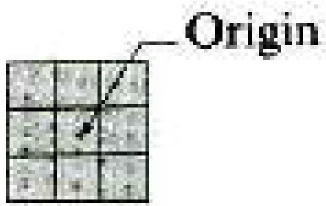


$\ominus$ - erosão
$\oplus$ - dilatação
$\circ$ - abertura
$\bullet$ - fechamento
$\circledast$ - hit-or-miss
$\otimes$ - fechamento
$\odot$ - espessamento

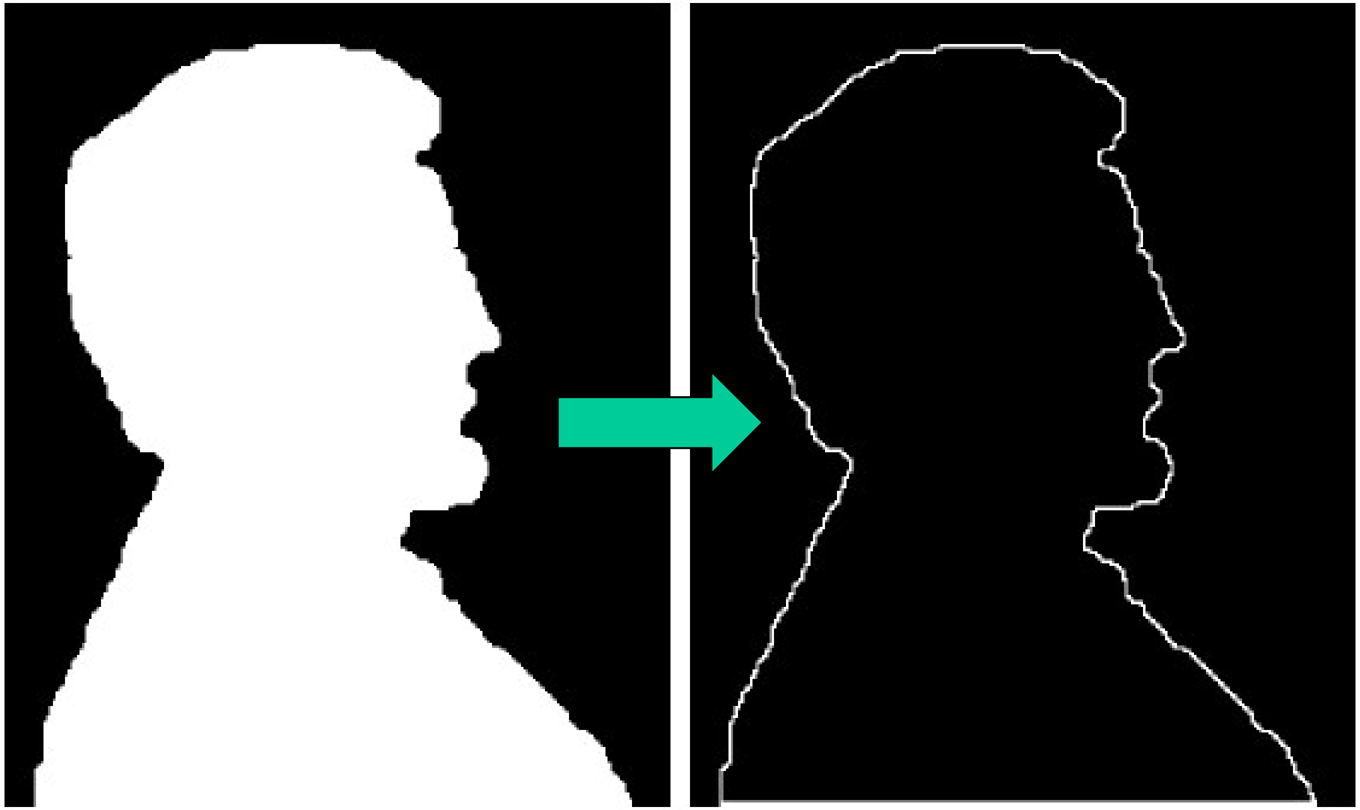
© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Extração de fronteira

B =

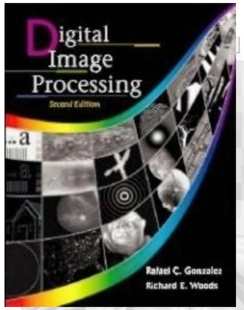


A



A dilatação menos a imagem daria uma borda maior que a imagem original

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods



Morphological Image Processing

Preenchimento de regiões

O preenchimento de regiões pode ser obtido através de dilatação, complementação e interseções.

O procedimento, que é realizado em vários passos, faz:

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A^c \quad k = 1, 2, 3, \ldots$$

$$X_2 = (X_1 \oplus B) \cap A^c$$

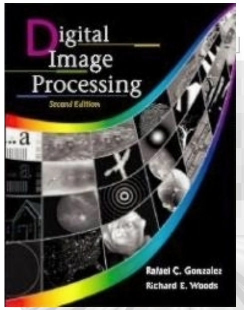
$$\bullet \bullet \bullet$$

X_0 é um ponto *p* dentro da fronteira

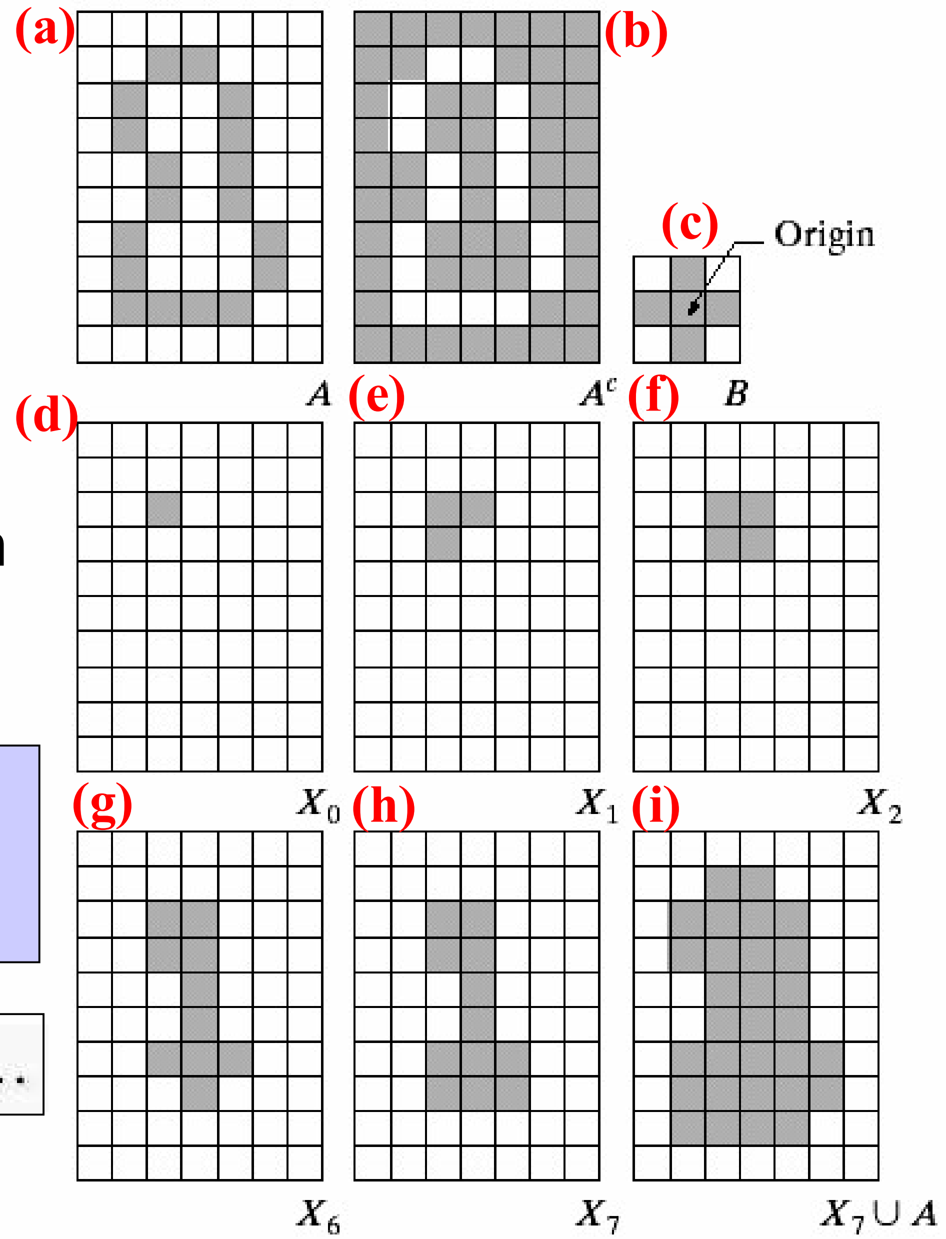
Próximo = atual dilatação com B,
interseção com A^c

⊖ - erosão
⊕ - dilatação
∘ - abertura
• - fechamento
⊛ - hit-or-miss
⊗ - fechamento
⊙ - espessamento

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods



Morphological Image Processing



Preenchimento da região

a) Conjunto A

b) Complemento de A

c) Elemento estruturante B

d) Ponto inicial dentro da borda

e) - h) vários passos

i) Resultado final

$\ominus$ - erosão
$\oplus$ - dilatação
$\circ$ - abertura
$\bullet$ - fechamento
$\circledast$ - hit-or-miss

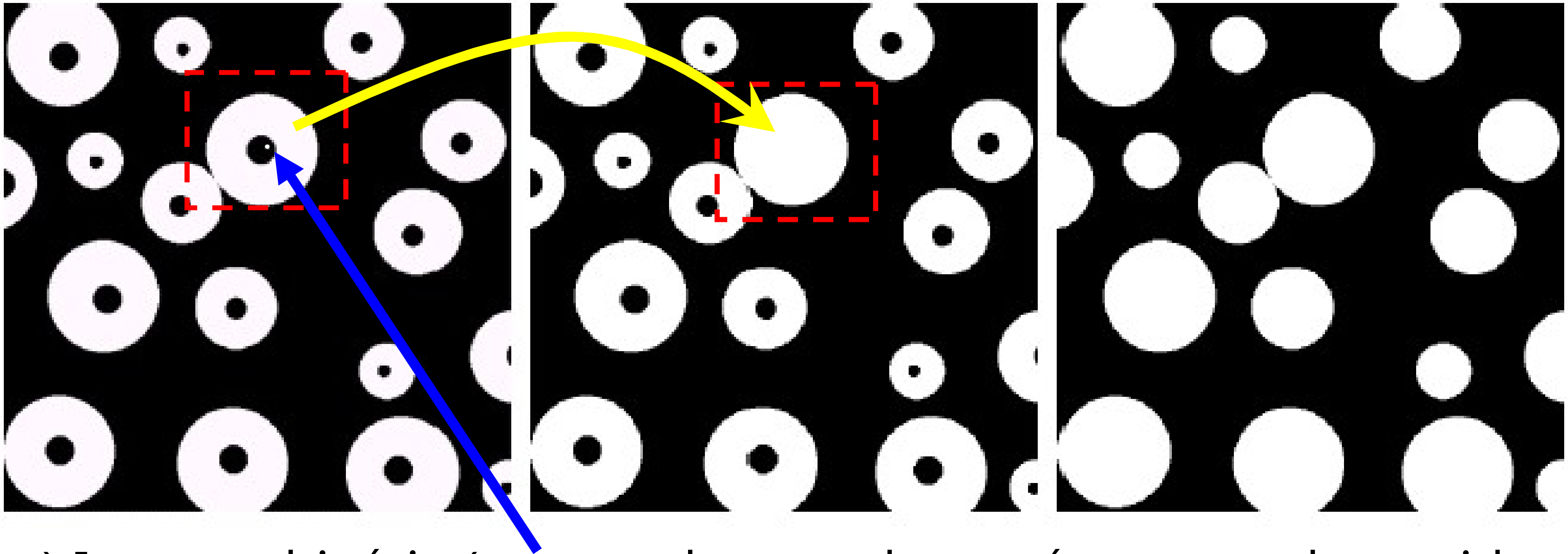
$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A^c \quad k = 1, 2, 3, \ldots$$

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. \

Morphological Image Processing

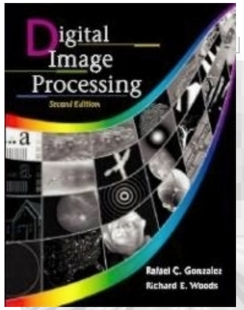
Preenchimento de regiões

Aplicação – eliminar os pontos pretos que ficaram nos centros dos círculos brancos



a) Imagem binária (o ponto branco dentro é o ponto de partida para o algoritmo de preenchimento de regiões; b)resultado do preenchimento daquela região; c) Resultado final

©



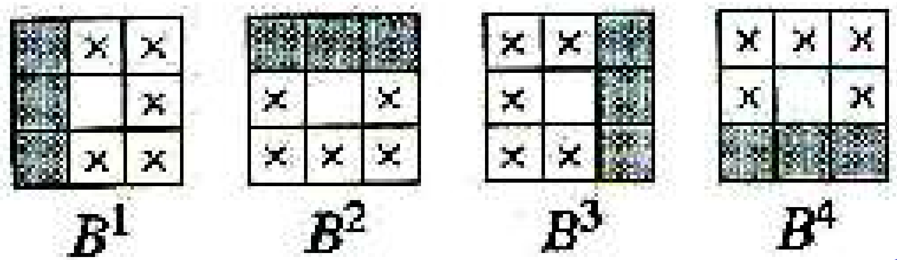
Morphological Image Processing

Obtenção do fecho convexo

A fecho convexo C(A) de um conjunto A pode ser obtido usando operações morfológicas

- $\ominus$ - erosão
- $\oplus$ - dilatação
- $\circ$ - abertura
- $\bullet$ - fechamento
- $\circledast$ - hit-or-miss

Sejam B^i com i = 1,2,3,4, os quatro elementos estruturantes



E repete-se os passos:

Transformada Hit-or-miss

$$X_k^i = (X_{k-1} \circledast B^i) \cup A \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad \text{and} \quad k = 1, 2, 3, \ldots$$

Com $X_0^i = A$

Agora, seja $D^i = X^i_{con}$ onde conv indica a convergência, ou seja, $X_k^i = X_{k+1}^i$

o fecho convexo é então dado por $C(A) = \bigcup_{i=1}^{4} D^i$

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

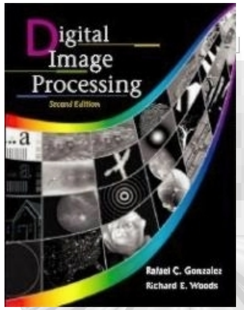
Em outras palavras, a obtenção do fecho convexo se dá através da aplicação iterativa da transformada hit-or-miss a A com B^1;

Quando não houver mais mudanças, realiza-se a união com A e se obtém D^1

Este procedimento é repetido usando B^2 para obter D^2, D^3 e D^4

Por fim, faz-se a união, dos D´s, para obter o fecho convexo

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods



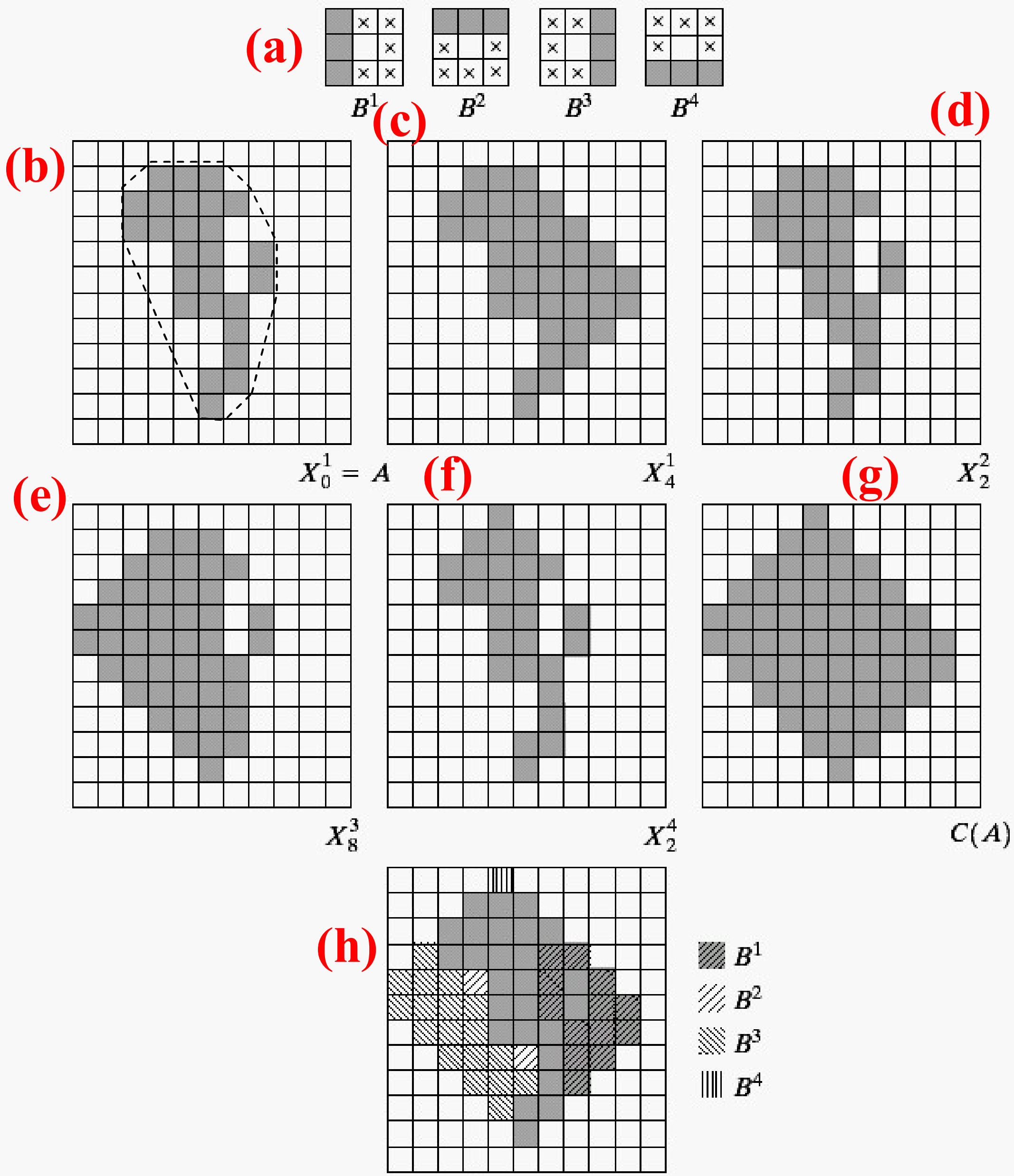
Morphological Image Processing

a) elementos estruturantes

b) conjunto A

c) até f) resultados da convergência com os elementos estruturantes em (a)

d) fecho convexo



© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Morphological Image Processing

Afinamento ⊗

O afinamento de um conjunto A por um elemento estruturante B, denotado por A ⊗ B, pode ser definido em termos da transformada hit-or-mix

$$A \otimes B = A - (A \circledast B)$$
$$= A \cap (A \circledast B)^c$$

⊖ - erosão
⊕ - dilatação
∘ - abertura
• - fechamento
⊛ - hit-or-miss
⊗ - afinamento

Um outra maneira mais útil consiste em usar uma sequência de elementos estruturantes $\{B\}=\{B^1,B^2,\ldots,B^n\}$, em que B^i é uma versão rotacionada de B^{i-1}
Deste modo, o afinamento fica definido por

$$A \otimes \{B\} = ((\ldots((A \otimes B^1) \otimes B^2)\ldots) \otimes B^n)$$

Ou seja, passa-se B^1, depois B^2 e assim por diante, até não ocorrer mais mudanças

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Morphological Image Processing

a) Elementos estruturantes para o afinamento

b) Conjunto A

c) Resultado do afinamento com o primeiro elemento

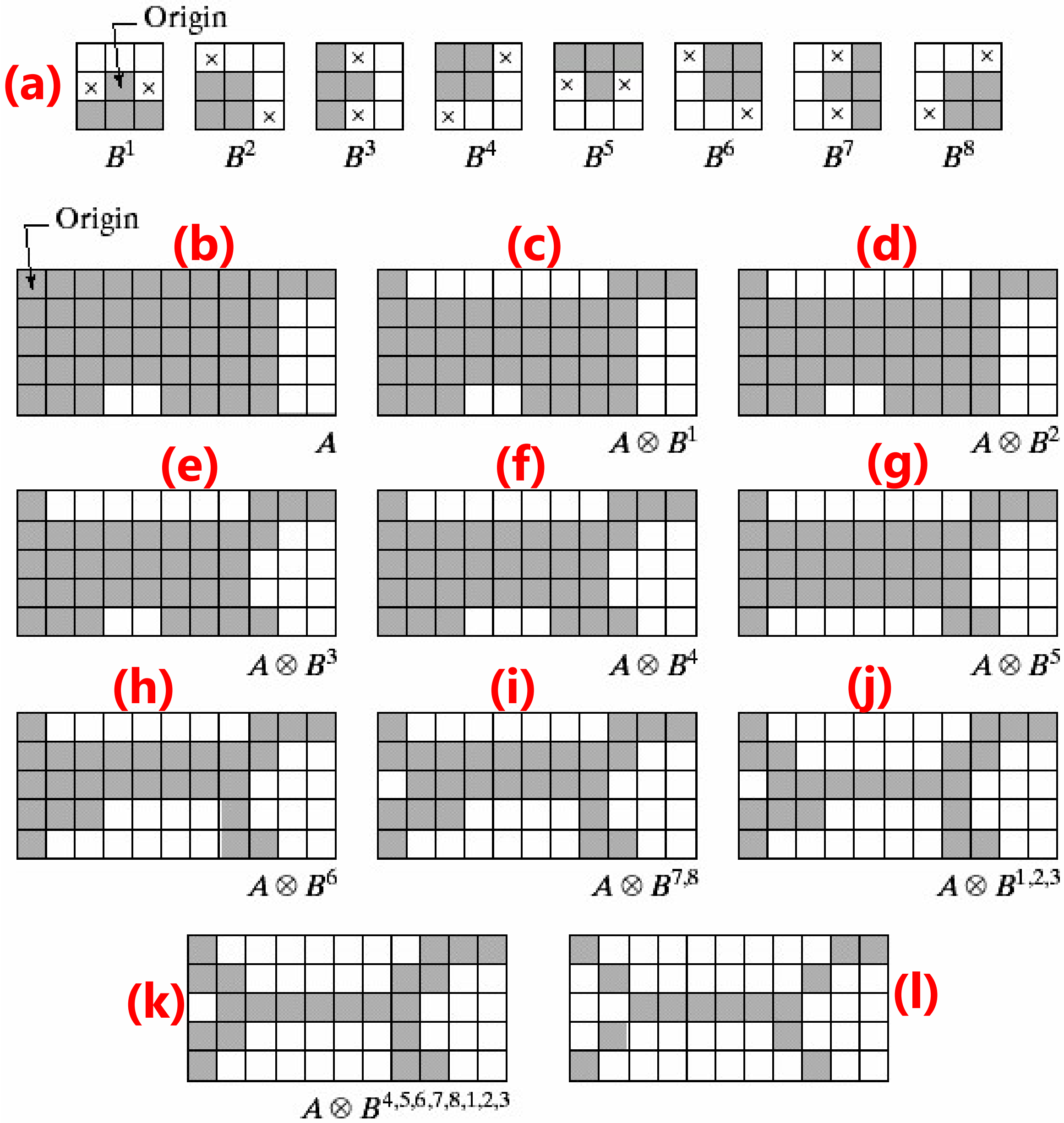
d)- i) Resultados do afinamento com os sete demais elementos

j) Resultado do afinamento com o primeiro elemento

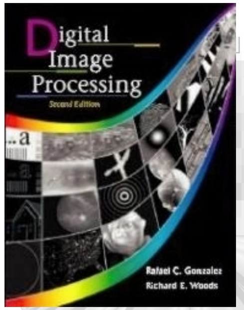
k) Resultado após convergência

l) Conversão para conectividade-m

$\ominus$ - erosão
$\oplus$ - dilatação
$\circ$ - abertura
$\bullet$ - fechamento
$\circledast$ - hit-or-miss
$\otimes$ - afinamento



© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods



⊖ - erosão
⊕ - dilatação
∘ - abertura
• - fechamento
⊛ - hit-or-miss
⊗ - afinamento
⊙ - espessamento

Morphological Image Processing

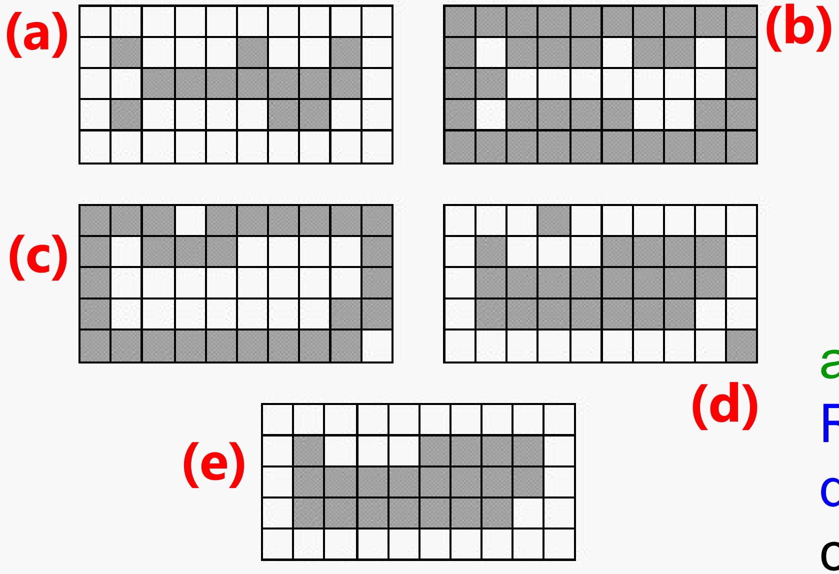
Espessamento ⊙

O espessamento é a operação dual do afinamento, sendo definida por

$$A \odot B = A \cup (A \circledast B)$$

Que também pode ser definido de maneira seqüencial, com

$$A \odot \{B\} = ((\ldots((A \odot B^1) \odot B^2)\ldots) \odot B^n)$$



os elementos estruturantes são os mesmos usados no afinamento, porém, invertidos

a) Conjunto A; b) Complemento de A; c) Resultado do afinamento do complemento de A; d) Espessamento obtido pelo complemento de (c); e) Resultado final, sem pontos desconectados

Esqueletos

O esqueleto de um conjunto A pode ser expresso em termos de erosões e aberturas, ou seja, denotando-se o esqueleto de A por S(A), tem-se que

$$S(A) = \bigcup_{k=0}^{K} S_k(A)$$

Subconjuntos de esqueletos

com $S_k(A) = (A \ominus kB) - (A \ominus kB) \circ B$

Sendo que B é um elemento estruturante, enquanto que ($A \ominus kB$) indica k sucessivas erosões de A, ou seja,

$$(A \ominus kB) = (\ldots(A \ominus B) \ominus B) \ominus \ldots) \ominus B$$

e K é o último passo antes que A seja erodido a um conjunto vazio, ou seja,

$$K = \max\{k \mid (A \ominus kB) \neq \varnothing\}$$

$\ominus$ - erosão
$\oplus$ - dilatação
$\circ$ - abertura
$\bullet$ - fechamento
$\circledast$ - hit-or-miss
$\otimes$ - afinamento
$\odot$ - espessamento

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

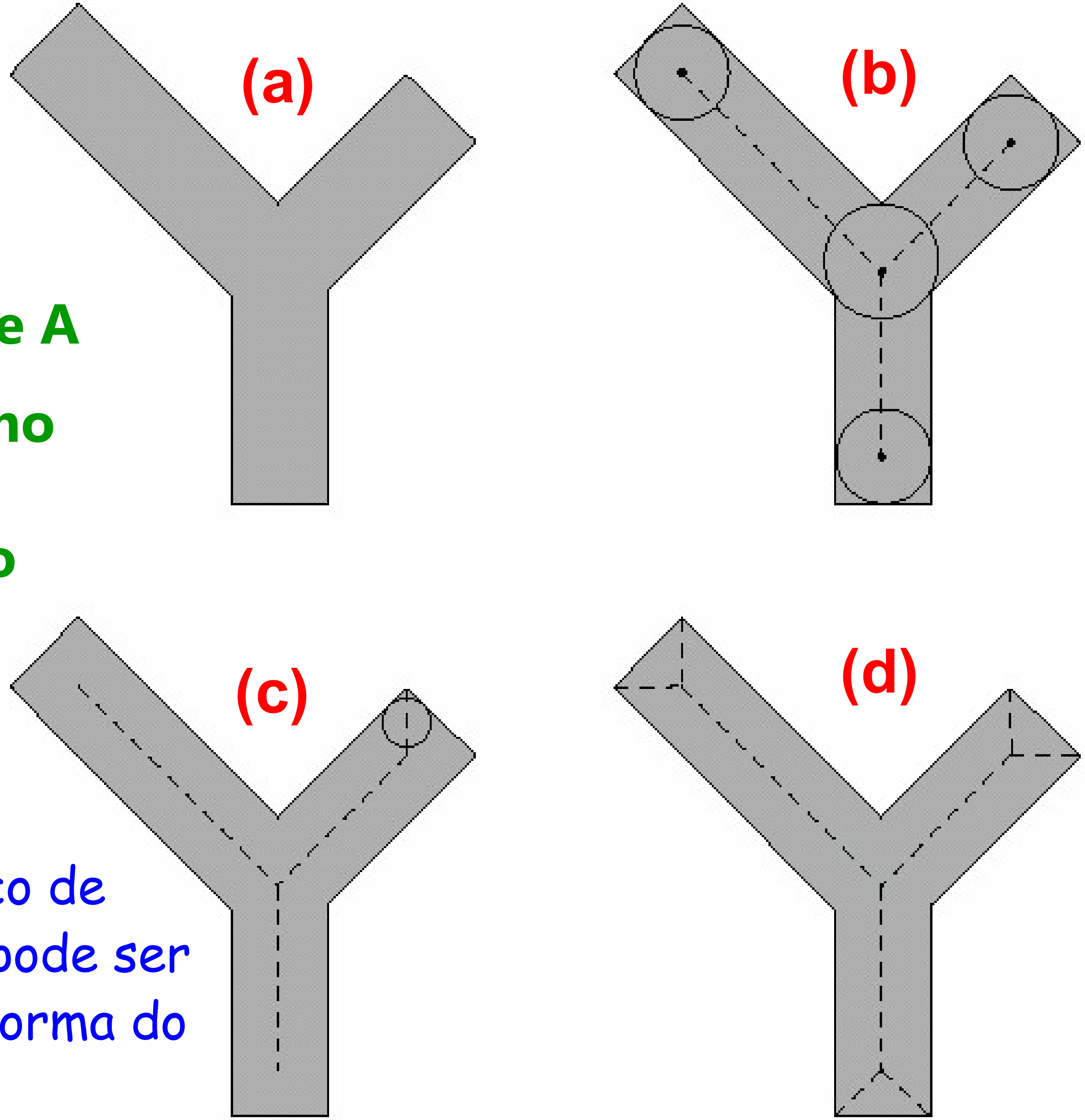
Morphological Image Processing

a) Conjunto A

b) Várias posições de um disco máximo com centro no esqueleto de A

c) Um outro disco máximo em um segmento diferente do esqueleto

d) Esqueleto completo



Exemplo de aplicação

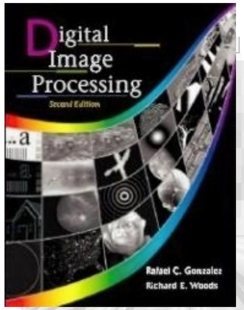
O reconhecimento automático de caracteres, escritos a mão, pode ser feito através da análise da forma do esqueleto de cada caractere

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Poda (Pruning)

Trata-se de um procedimento complementar a obtenção de esqueletos ou afinamentos, que sempre deixam alguns pontos isolados (parasitas), que precisam ser eliminados

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods



$\ominus$ - erosão
$\oplus$ - dilatação
$\circ$ - abertura
$\bullet$ - fechamento
$\circledast$ - hit-or-miss
$\otimes$ - afinamento
$\odot$ - espessamento

Morphological Image Processing

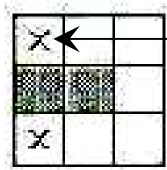
Poda (Pruning)

O processo consiste simplesmente em eliminar sucessivamente os pontos extremos

Extremos dos caracteres também vão desaparecer, mas pelo menos, os espúrios desaparecerão

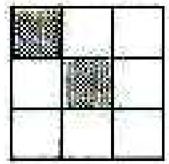
Após o afinamento, fazendo $X_1 = A \otimes \{B\}$ (aplicado três vezes sobre A)

Significa que não importa o que tem aqui



onde $\{B\}$ são os elementos estruturantes

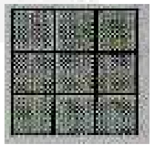
B^1, B^2, B^3, B^4 (rotated 90°)



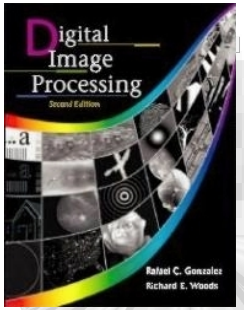
B^5, B^6, B^7, B^8 (rotated 90°)

em seguida, os extremos removidos indevidamente são recuperados,
porém, os pequenos segmentos, que foram extintos, não voltam mais

Isto é feito fazendo $X_2 = \bigcup_{k=1}^{8}(X_1 \circledast B^k)$ seguido de $X_3 = (X_2 \oplus H) \cap A$

Onde H é o elemento estruturante  é no final faz-se $\underbrace{X_4 = X_1 \cup X_3}_{\text{resultado final}}$

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

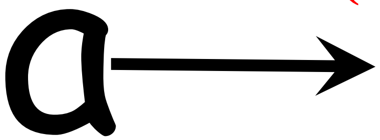


Morphological Image Processing

Poda (Pruning)

Imagem original

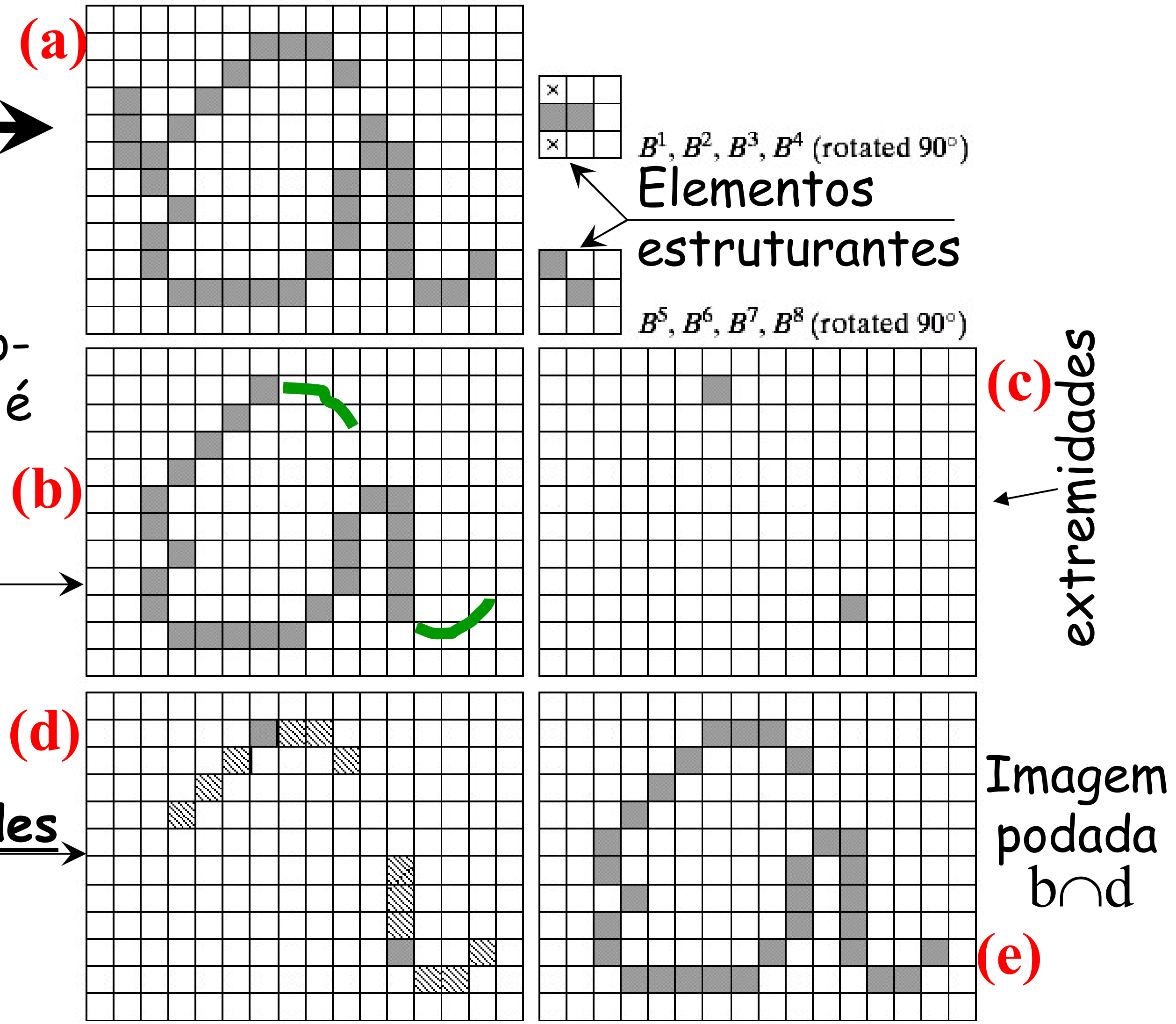
Caractere



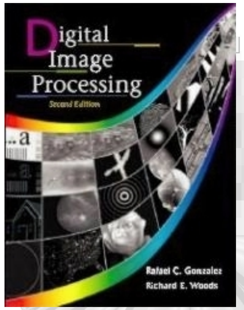
<u>Suposição inicial</u>
O tamanho de cada componente a ser removido não é maior que três pixels

Resultado após três iterações

Dilatação das **extremidades** condicionada a (a)



© 2002 R. C. Gonzalez &



$\ominus$ - erosão
$\oplus$ - dilatação
$\circ$ - abertura
$\bullet$ - fechamento
$\circledast$ - hit-or-miss
$\otimes$ - afinamento
$\odot$ - espessamento

Morfologia em níveis de cinza

Dilatação

A dilatação de níveis de cinza de f por b, denotada por $f \oplus b$, é definida por

$$(f \oplus b)(s,t) = \max\{f(s-x,t-y) + b(x,y) \mid (s-x),(t-y) \in D_f; (x,y) \in D_b\}$$

Tal que

Onde D_f e D_b são os domínios de f e b

b é o elemento estruturante, mas agora é uma função e não um conjunto

A condição $(s-x),(t-y) \in D_f$ é análoga à condição da definição da dilatação em que os dois conjuntos devem se sobrepor pelo menos em um ponto

No caso 1-d, fica

$$(f \oplus b)(s) = \max\{f(s-x) + b(x) \mid (s-x) \in D_f \quad \text{and} \quad x \in D_b\}$$

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

$\ominus$ - erosão
$\oplus$ - dilatação
$\circ$ - abertura
$\bullet$ - fechamento
$\circledast$ - hit-or-miss
$\otimes$ - afinamento
$\odot$ - espessamento

Morphological Image Processing

Morfologia em níveis de cinza

Erosão

$$(f \ominus b)(s,t) =$$

$$\min\{f(s+x, t+y) - b(x,y) \,|\, (s+x), (t+y) \in D_f; (x,y) \in D_b\}$$

No caso 1-d, fica

$$(f \ominus b)(s) = \min\{f(s+x) - b(x) \,|\, (s+x) \in D_f \text{ and } x \in D_b\}$$

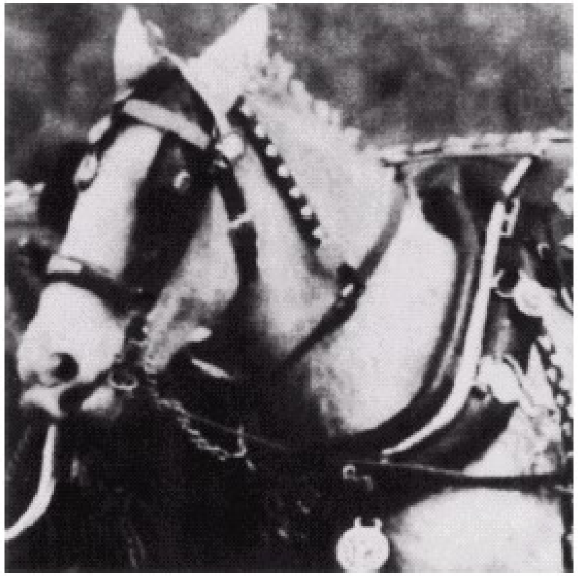
A dualidade agora será

$$(f \ominus b)^c(s,t) = (f^c \oplus \hat{b})(s,t)$$

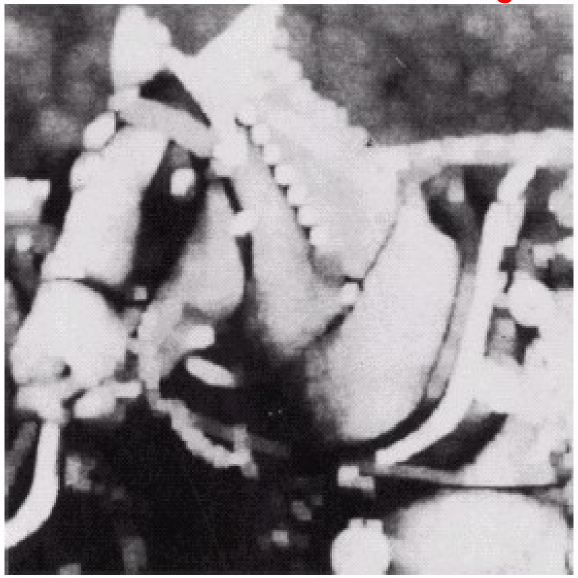
© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Morphological Image Processing

Imagem original

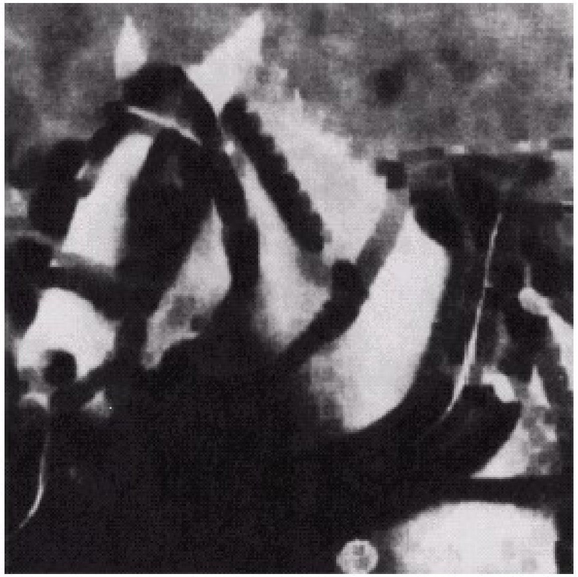


dilatação



Morfologia em níveis de cinza

erosão



Dilatação aumenta áreas claras
Erosão aumenta áreas escuras

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Morphological Image Processing

Morfologia em níveis de cinza

Imagem A

Dilatação aumenta áreas claras
Erosão aumenta áreas escuras

Dilatação de A

Erosão de A

$\ominus$ - erosão
$\oplus$ - dilatação
$\circ$ - abertura
$\bullet$ - fechamento
$\circledast$ - hit-or-miss
$\otimes$ - afinamento
$\odot$ - espessamento

Morfologia em níveis de cinza

Abertura e fechamento

$$f \circ b = (f \ominus b) \oplus b$$

$$f \bullet b = (f \oplus b) \ominus b$$

A dualidade agora será

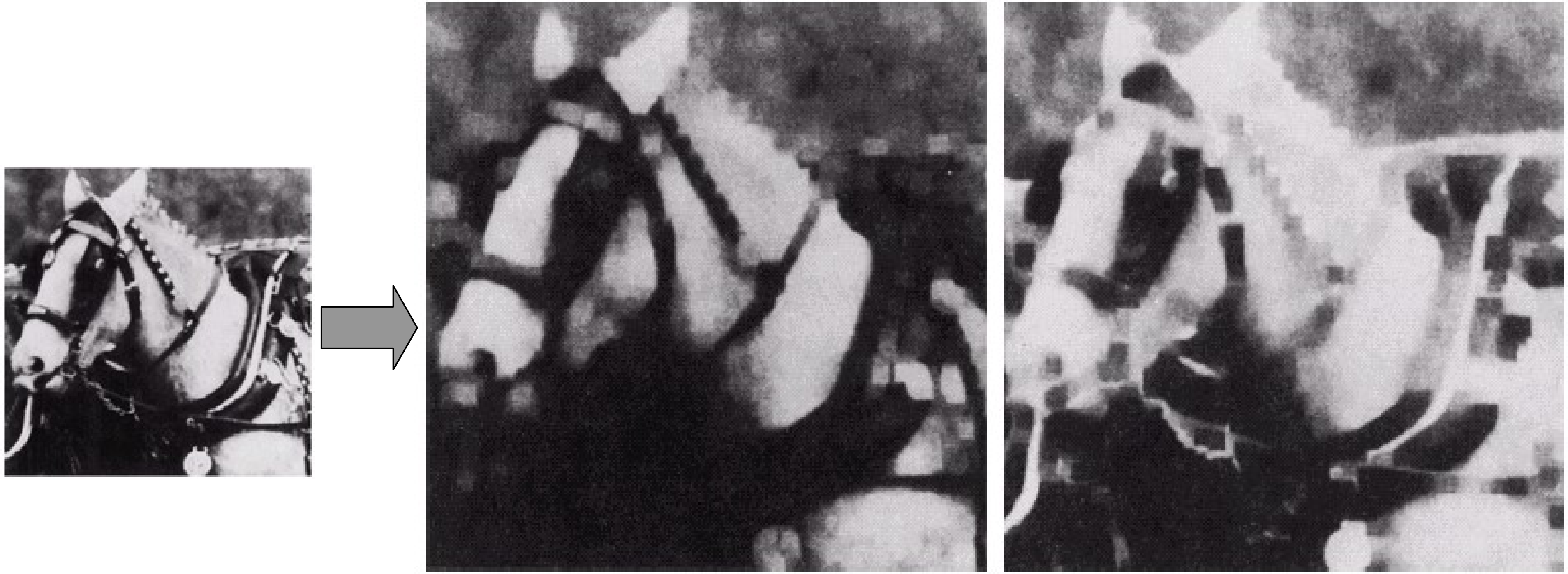
$$(f \bullet b)^c = f^c \circ \hat{b}$$

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Morphological Image Processing

Morfologia em níveis de cinza

Abertura Fechamento

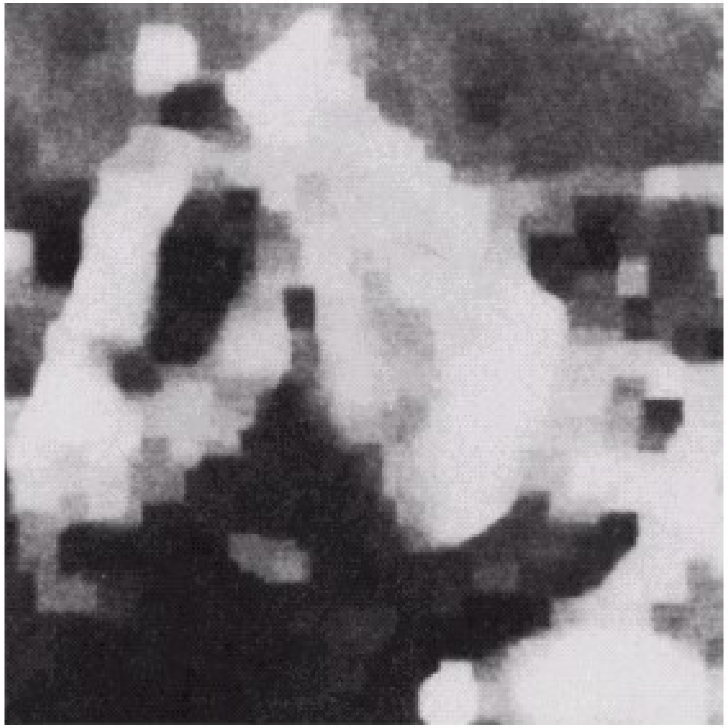


© 2002 |

Morfologia em níveis de cinza

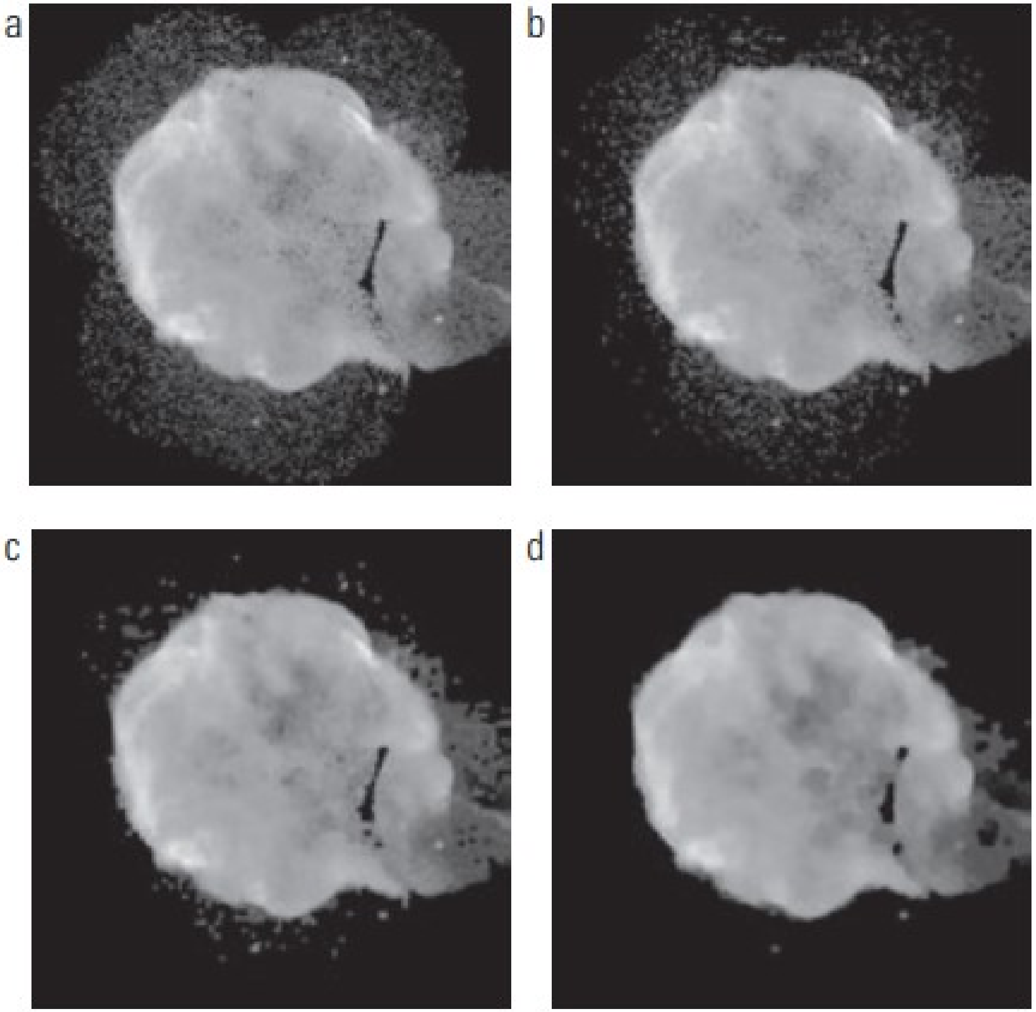
Suavização morfológica - borramento

Uma abertura seguida de um fechamento



Simplifica a imagem

Suavização morfológica



(a) Imagem (566×566) da supernova *Cygnus Loop* (Hubble/Nasa)

(b) a (d) Resultados da sequência abertura–fechamento na imagem original, com elementos estruturantes no forma de disco de raios 1, 3 e 5, respectivamente

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

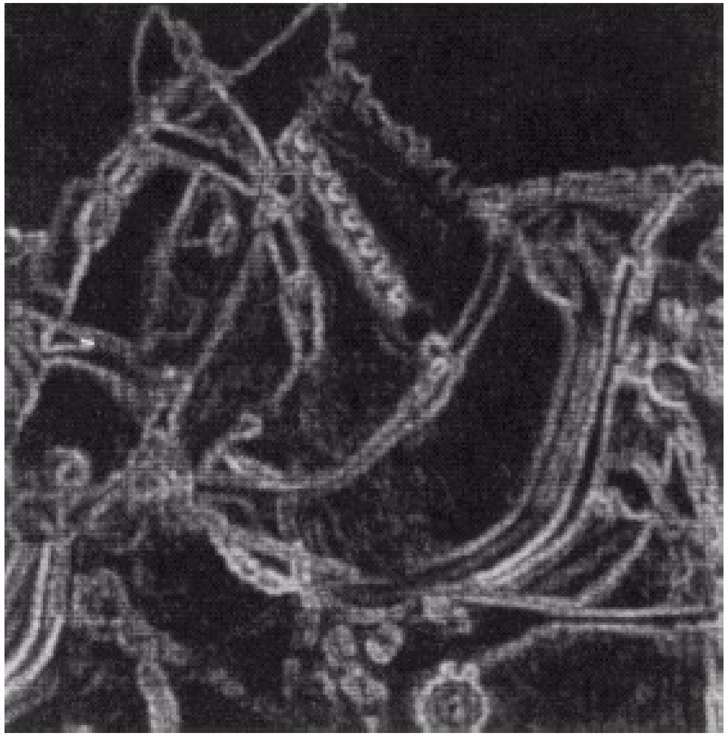
⊖ - erosão
⊕ - dilatação
∘ - abertura
• - fechamento
⊛ - hit-or-miss
⊗ - afinamento
⊙ - espessamento

Morphological Image Processing

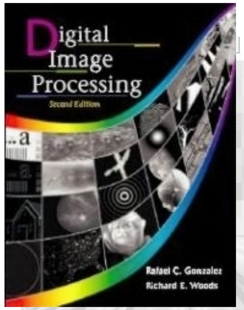
Morfologia em níveis de cinza

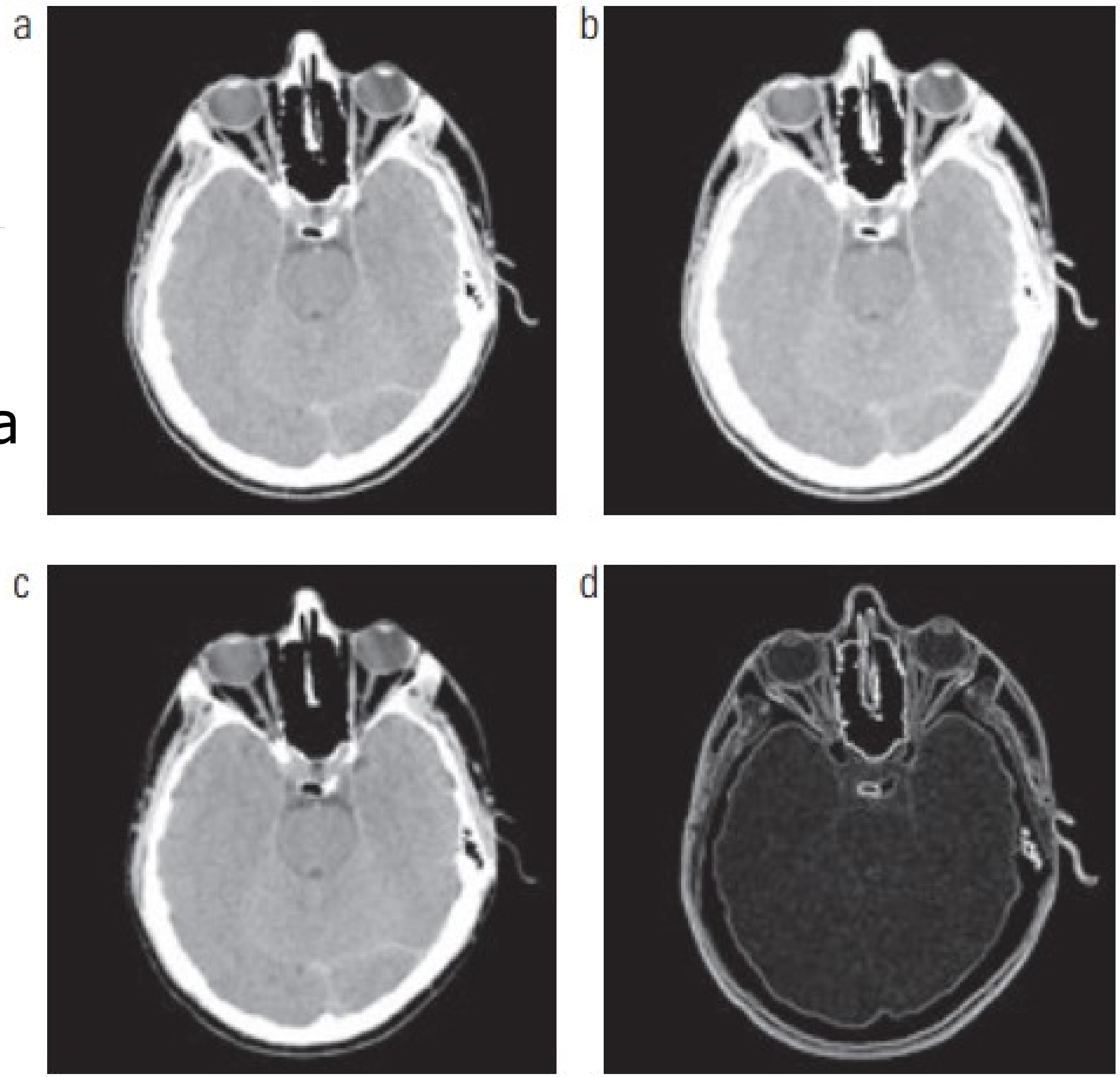
Gradiente morfológico - bordas

$$g = (f \oplus b) - (f \ominus b)$$



© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Wo





(a) Imagem 512×512 de Tomografia Computadorizada de crânio

(b) Dilatação

(c) Erosão

(d) Gradiente morfológico, calculado como a diferença entre (b) e (c)

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

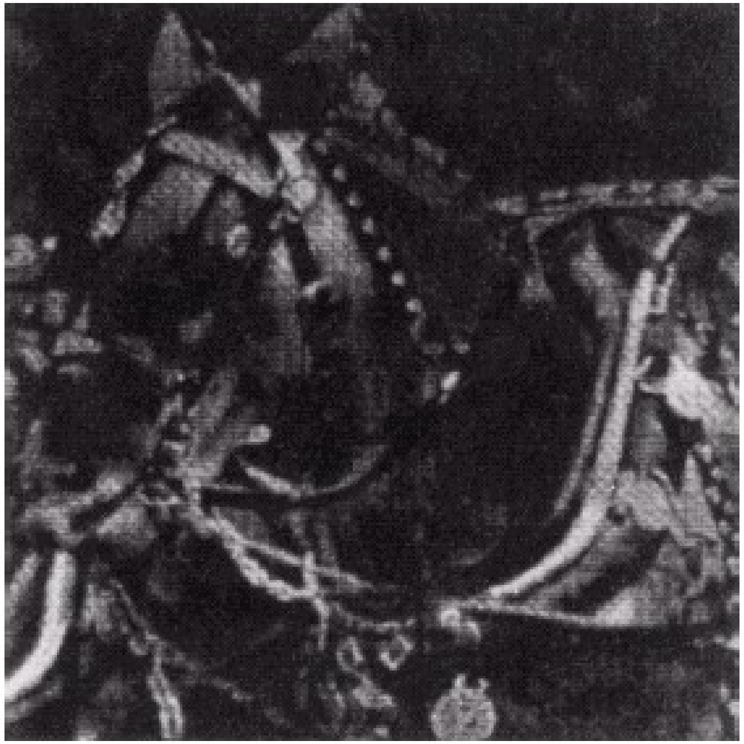
Morphological Image Processing

Morfologia em níveis de cinza

⊖ - erosão
⊕ - dilatação
∘ - abertura
• - fechamento
⊛ - hit-or-miss
⊗ - afinamento
⊙ - espessamento

Transformada top-hat (cartola) – enfatiza detalhes na presença de sombreamento

$$h = f - (f \circ b)$$



© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. W

Um uso importante das **transformadas *top-hat*** é na correção dos efeitos da **<u>iluminação não uniforme</u>**

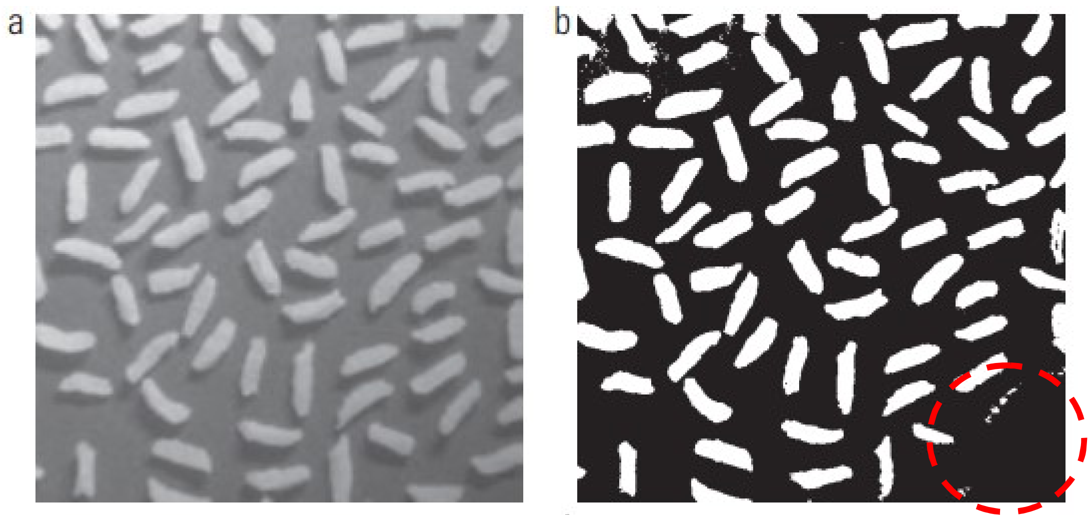
a) Imagem original 600×600

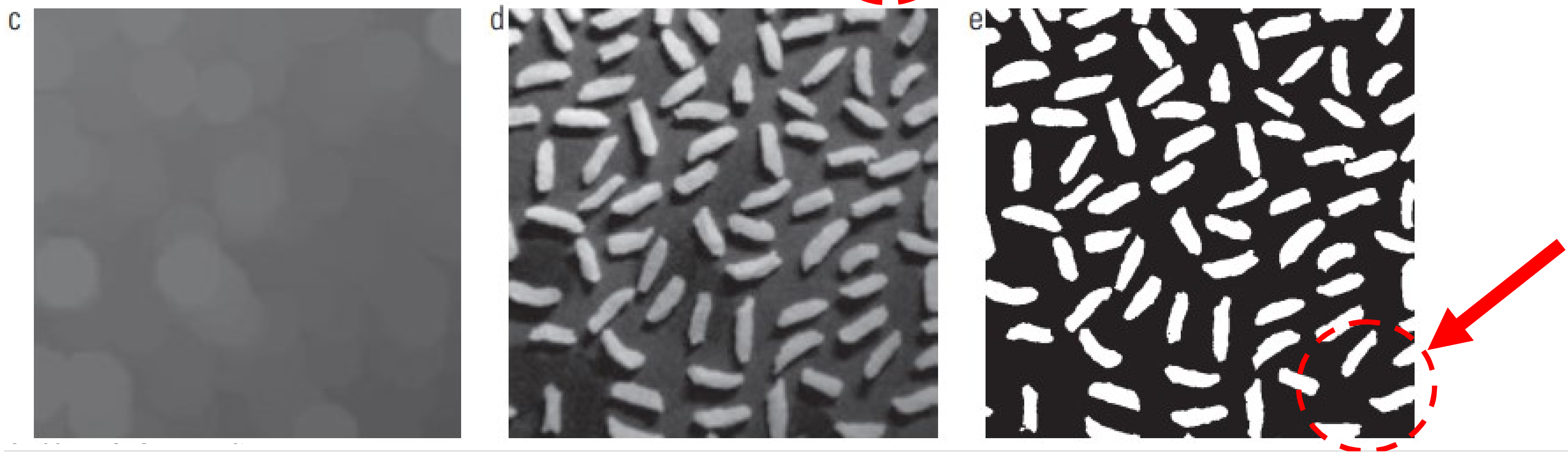
b) Imagem após limiarização

c) Imagem aberta usando um ES em forma de disco de raio 40

d) Transformada *top-hat* (a imagem menos a sua abertura)

e) Imagem *top-hat* após a limiarização



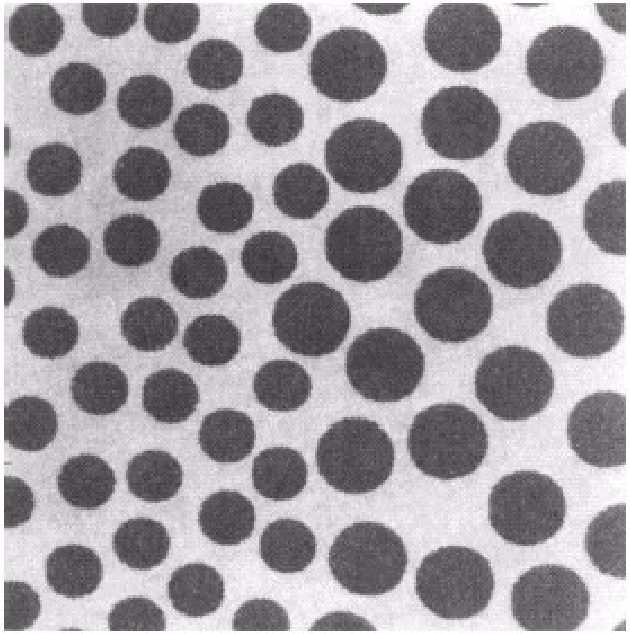
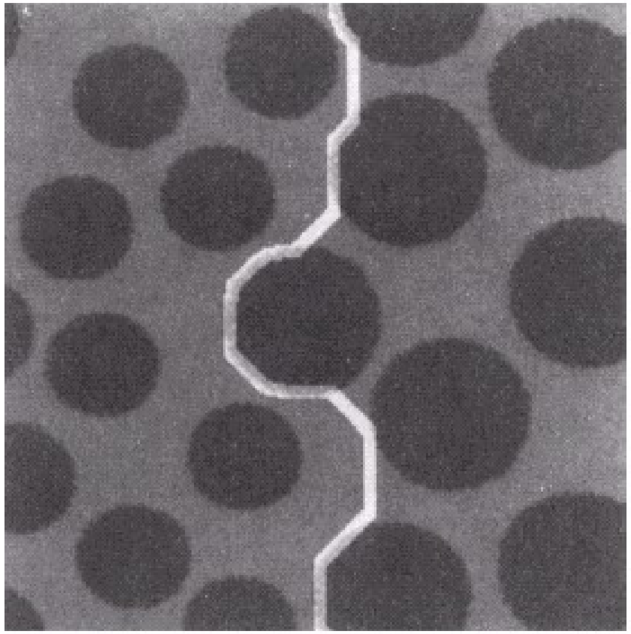
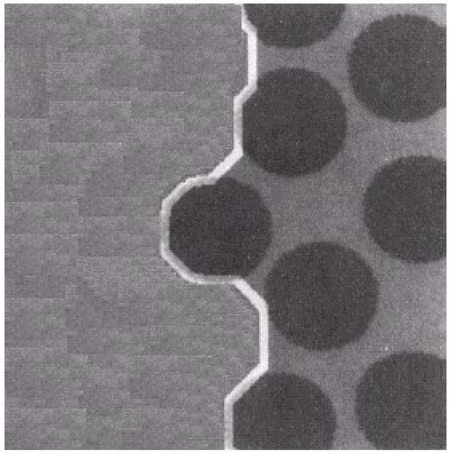


Morfologia em níveis de cinza

Segmentação por textura

Usar fechamentos sucessivos usando elementos estruturantes cada vez maiores

Quando o tamanho do elemento estruturante for do tamanho dos objetos pequenos, eles serão eliminados, deixando um fundo claro na região em que estavam antes

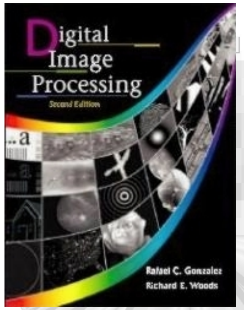
DILATAÇÃO

```
void __fastcall TForm1::Button2Click(TObject *Sender)
{   // dilatação
    int masc[3][3] = { {0,1,0},
                       {1,1,1},
                       {0,1,0} };
    int cor, x, y, i, j;

    for (x=0; x<=largura-1; x++)
     for (y=0; y<=altura-1; y++)
      Image2->Canvas->Pixels[x][y] = clBlack;

    for (x=1; x<largura-1; x++)
     for (y=1; y<altura-1; y++)
      {
       cor = Image1->Canvas->Pixels[x][y];
       if (cor > 0)
        for (i=-1; i<=1; i++)
         for (j=-1; j<=1; j++)
          {
            if (masc[i+1][j+1] == 1)
             Image2->Canvas->Pixels[x+i][y+j] = clWhite;
          }
      }
    Image1->Picture = Image2->Picture;
}
```

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods



EROSÃO

```
void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)
{// erosão
   int masc[3][3] = { {0,1,0},
                      {1,1,1},
                      {0,1,0} };
   int cor;
   int x, y, i, j;
   int remove;

   for (x=0; x<=largura-1; x++)
    for (y=0; y<=altura-1; y++)
     Image2->Canvas->Pixels[x][y] = clBlack;

   for (x=1; x<largura-1; x++)
    for (y=1; y<altura-1; y++)
     {
      cor = Image1->Canvas->Pixels[x][y];
      if (cor > 0) // cor do objeto, pois o fundo é preto = 0
       {
       remove = false;
       for (i=-1; i<=1; i++)
        for (j=-1; j<=1; j++)
         { // se centro da máscara dentro da imagem e máscara(i,j) = 1  e
           // imagem = fundo, então, a máscara está fora do objeto
          if ((masc[i+1][j+1] == 1) && Image1->Canvas->Pixels[x+i][y+j] == 0)
           remove = true;
         }
         if (remove)
          Image2->Canvas->Pixels[x][y] = clBlack;
         else
          Image2->Canvas->Pixels[x][y] = clWhite;
        }
     }
   Image1->Picture = Image2->Picture;
}
```

Elemento estruturante

Imagem de saída

Imagem de entrada

Prática

Implemente a operação de dilatação e erosão de imagens binárias

Compare o resultado da erosão com o método de afinamento de Zhang e Suen

© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods