

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

2020 / 2021, 2º Semestre



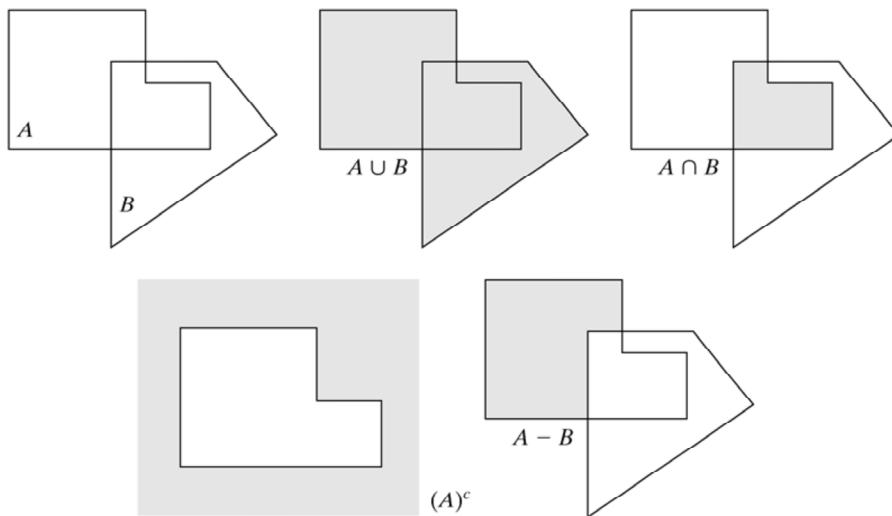
Capítulo 6

**Operações
Morfológicas**

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

6.1 Operações Morfológicas em Imagens Binárias



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Operadores Morfológicos

Operações básicas em 2 conjuntos A e B. Reunião, Intersecção, Complemento e Diferença.

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

6.1 Operações Morfológicas em Imagens Binárias

Exemplo

Imagens binárias

Ia, Ib

$$\begin{array}{c} I_a \quad | \quad I_b \\ \hline I_a \cup I_b \quad | \quad I_a \cap I_b \quad | \quad I_a \setminus I_b \end{array}$$

$$I_a \setminus I_b = I_a \cap I_b^C$$



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Operadores Morfológicos

Exemplo de operações morfológicas em imagens binárias.

- Complemento de Ia (I_a^C ou $\sim I_a$)
- Ia menos Ib ($I_a \setminus I_b$)

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

6.2 Operador Dilatação

Imagen binária: $f[x,y]$

Objecto: $F = \{ [x,y]: f[x,y]=1 \}$

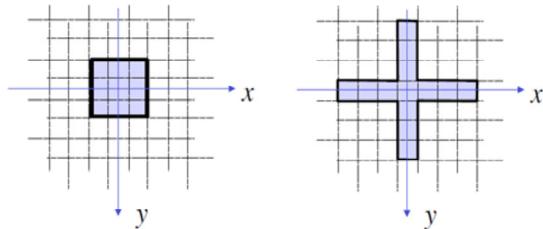
Fundo: $F^C = \{ [x,y]: f[x,y]=0 \}$

Dilatação: $F \oplus E = \{ [x+i,y+j]: [x,y] \in F, [i,j] \in E \}$

E – Elemento Estruturante

Exemplos:

$$F \oplus E = \bigcup_{e \in E} F_e$$



Operação Dilatação em imagens binárias.

A dilatação pode ser vista como a reunião de todas as translações da imagem original pelo vector e do elemento estruturante.

A dilatação é comutativa e associativa.

(Figura: B. Girod, 2011)

6.2 Operador Dilatação

Exemplo

F

```
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 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 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0  
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0  
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0  
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 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 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 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
```

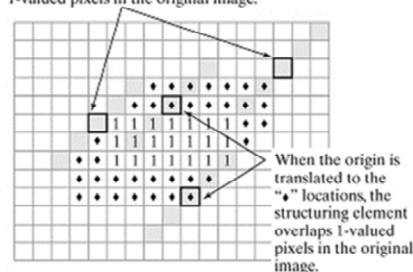
$F \oplus E$

```
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 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 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 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 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 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 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
```

Elemento
Estruturante (E)

1
1
1
1
1

The structuring element translated to
these locations does not overlap any
1-valued pixels in the original image.



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Operação Dilatação em imagens binárias.

Exemplo de dilatação duma imagem binária com um objecto rectangular.

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

6.2 Operador Dilatação

<u>Original</u>	<u>El. Estrut.</u>	<u>Final</u>																																																																																																																																																					
<table border="1"><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	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	<table border="1"><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	0	1	0	1	1	1	0	1	0	<table border="1"><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	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	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	1	1	1	0	0	0	0	0																																																																																																																																														
0	0	1	1	1	1	1	0	0	0																																																																																																																																														
0	0	1	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	1	0																																																																																																																																																					
1	1	1																																																																																																																																																					
0	1	0																																																																																																																																																					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																														
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0																																																																																																																																														
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0																																																																																																																																														
0	1	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	0	0																																																																																																																																														
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																														
<table border="1"><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<table border="1"><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	0	1	0	1	1	1	0	1	0	<table border="1"><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	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	0																																																																																																																																														
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0																																																																																																																																														
0	0	1	1	1	1	1	0	0	0																																																																																																																																														
0	0	1	1	1	1	1	1	1	0																																																																																																																																														
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																														
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																														
0	1	0																																																																																																																																																					
1	1	1																																																																																																																																																					
0	1	0																																																																																																																																																					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																														
0	0	0	1	1	1	0	0	0	0																																																																																																																																														
0	1	1	1	1	1	1	1	0	0																																																																																																																																														
0	1	1	1	1	1	1	1	1	0																																																																																																																																														
0	1	1	1	1	1	1	1	1	0																																																																																																																																														
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0																																																																																																																																														
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																														

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

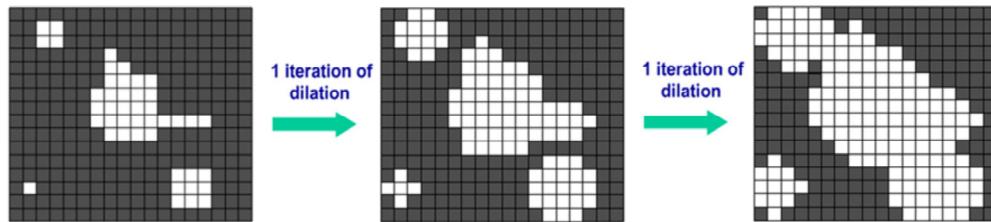
André Marçal, DM / FCUP

Exemplos de Dilatação

Exemplo de aplicação do operador Dilatação a uma pequena imagem binária, com elemento estruturante ‘4 vizinhos mais próximos’.

(Figura: André R. S. Marçal)

6.2 Operador Dilatação



Historically, certain computer programs were written using only two digits rather than four to define the applicable year. Accordingly, the company's software may recognize a date using "00" as 1900 rather than the year 2000.

1 iteration of dilation

Historically, certain computer programs were written using only two digits rather than four to define the applicable year. Accordingly, the company's software may recognize a date using "00" as 1900 rather than the year 2000.

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplos de Dilatação

Operação Dilatação em imagens binárias.

1. Operador Dilatação aplicado 2 vezes, com elemento estruturante '4 vizinhos mais próximos'.

(Figura adaptada de: L. M. Bruce, IAEGS, Univ. Mississippi)

2. Operador Dilatação aplicado a uma imagem com texto.

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

6.2 Operador Dilatação

Original (RGB)



Quadrado ($L=3$)



Quadrado ($L=5$)



Quadrado ($L=10$)



Original (BW)



Círculo ($R=3$)



Círculo ($R=5$)



Círculo ($R=10$)



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplo da operação Dilatação

Exemplo de aplicação do operador Dilatação a uma imagem binária, com diferentes elementos estruturantes: Círculo de raio R e Quadrado de lado L , com $R=3, 5$ e 10 pixels e $L=3, 5$ e 10 pixels.

(Figura: André R. S. Marçal)

6.3 Operador Erosão

Erosão: $F \ominus E = \{ [x,y] : [x+i, y+j] \in F \ \forall [i,j] \in E \}$

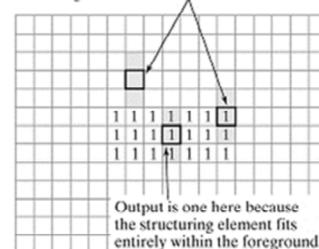
$$F \ominus E = \bigcap_{e \in E} F_{-e}$$

Exemplo

F ⊕ E

E

Output is zero in these locations because the structuring element overlaps the background.



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Operação Dilatação em imagens binárias.

A erosão pode ser vista como a intersecção de todas as translações da imagem original pelo vector -e do elemento estruturante.

A erosão não é comutativa nem associativa.

Exemplo de erosão duma imagem binária com um objecto rectangular.

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

6.3 Operador Erosão

<u>Original</u>	<u>El. Estrut.</u>	<u>Final</u>																																																																																																																																																					
<table border="1"><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	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	<table border="1"><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	0	1	0	1	1	1	0	1	0	<table border="1"><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	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	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	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																														
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																														
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0																																																																																																																																														
0	0	1	1	1	1	1	0	0	0																																																																																																																																														
0	0	1	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	1	0																																																																																																																																																					
1	1	1																																																																																																																																																					
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	0	0	0	0	0	0	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	0																																																																																																																																														
<table border="1"><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	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	<table border="1"><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	0	1	0	1	1	1	0	1	0	<table border="1"><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	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	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
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																														
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																														
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0																																																																																																																																														
0	0	1	1	1	1	1	0	0	0																																																																																																																																														
0	0	1	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	1	0																																																																																																																																																					
1	1	1																																																																																																																																																					
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	0	0	0	0	0	0	0	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																																																																																																																																														

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

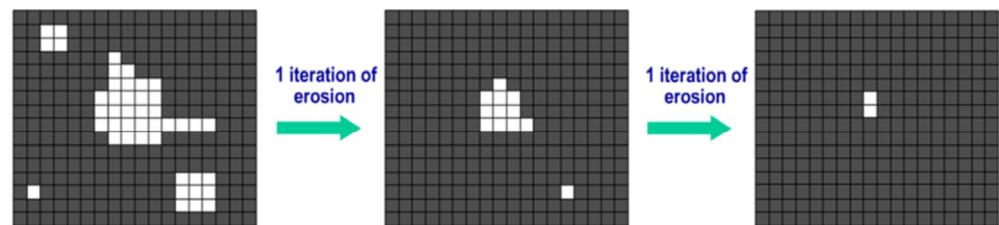
André Marçal, DM / FCUP

Exemplos de Erosão

Exemplo de aplicação do operador Erosão a uma pequena imagem binária, com elemento estruturante ‘4 vizinhos mais próximos’.

(Figura: André R. S. Marçal)

6.3 Operador Erosão



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplos de Erosão

Operação Erosão em imagens binárias.

1. Operador Erosão aplicado 2 vezes, com elemento estruturante ‘4 vizinhos mais próximos’.

(Figura adaptada de: L. M. Bruce, IAEGS, Univ. Mississippi)

2. Operador Erosão com elemento estruturante circular de raio 5, 10 e 20.

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

6.3 Operador Erosão

Original (RGB)



Quadrado ($L=3$)



Quadrado ($L=5$)



Quadrado ($L=10$)



Original (BW)



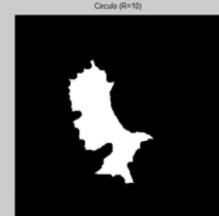
Círculo ($R=3$)



Círculo ($R=5$)



Círculo ($R=10$)



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

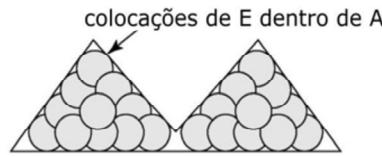
Exemplo da operação Erosão

Exemplo de aplicação do operador Erosão a uma imagem binária, com diferentes elementos estruturantes: Círculo de raio R e Quadrado de lado L , com $R=3, 5$ e 10 pixels e $L=3, 5$ e 10 pixels.

(Figura: André R. S. Marçal)

6.4 Operadores Abertura e Fecho

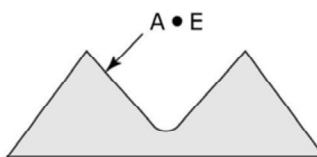
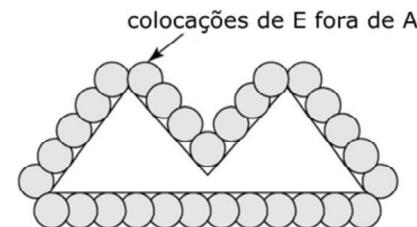
Abertura: $A \circ E = (A \ominus E) \oplus E$



E



Fecho: $A \bullet E = (A \oplus E) \ominus E$



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Operadores Abertura e Fecho

Representação gráfica das operações morfológicas Abertura e Fecho, sendo A o objeto e E o elemento estruturante.

(Figura: André R. S. Marçal)

6.4 Operadores Abertura e Fecho

Imagen Original

Erosão (azul) / **Dilatação** (amarelo)

Abertura

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

Fecho

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Operadores Abertura e Fecho

Exemplo de aplicação dos operadores Abertura (Erosão seguida de Dilatação) e Fecho (Dilatação seguida de Erosão) a uma pequena imagem binária, com elemento estruturante 8-vizinhos.

(Figura: André R. S. Marçal)

6.4 Operadores Abertura e Fecho

Abertura

Original (RGB)



Quadrado ($L=3$)



Quadrado ($L=5$)



Quadrado ($L=10$)



Original (BW)



Círculo ($R=3$)



Círculo ($R=5$)



Círculo ($R=10$)



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplo da operação Abertura

Exemplo de aplicação do operador Abertura a uma imagem binária, com diferentes elementos estruturantes: Círculo de raio R e Quadrado de lado L , com $R=3, 5$ e 10 pixels e $L=3, 5$ e 10 pixels.

(Figura: André R. S. Marçal)

6.4 Operadores Abertura e Fecho

Fecho

Original (RGB)



Quadrado ($L=3$)



Quadrado ($L=5$)



Quadrado ($L=10$)

Original (BW)



Círculo ($R=3$)



Círculo ($R=5$)



Círculo ($R=10$)

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplo da operação Fecho

Exemplo de aplicação do operador Fecho a uma imagem binária, com diferentes elementos estruturantes: Círculo de raio R e Quadrado de lado L , com $R=3, 5$ e 10 pixels e $L=3, 5$ e 10 pixels.

(Figura: André R. S. Marçal)

6.4 Operadores Abertura e Fecho

I



$I \circ E$



$I \bullet E$



$(I \circ E) \bullet E$



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplo de operações Abertura e Fecho

Imagen binária original (CSE). Aplicação do Operador Abertura (CSD) e Fecho (CIE) à imagem original. Aplicação da operação Abertura seguida da operação Fecho (CID).

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

6.4 Operadores Abertura e Fecho



$$\begin{array}{c} a \mid b \\ \hline \mid c \end{array}$$

- a) I
- b) $I \circ E$
- c) $(I \circ E) * E$



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplo de operações Abertura e Fecho

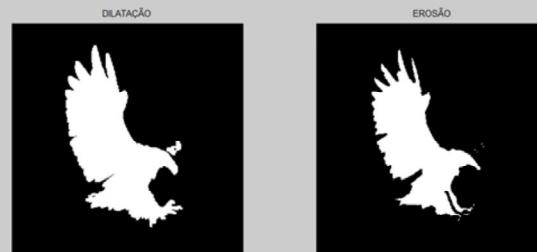
Imagen original binária (I) de uma impressão digital com ruído.

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

6.4 Operadores Abertura e Fecho

Elemento Estruturante:

Círculo, R=3



Original (BW)



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplo da operações Morfológicas

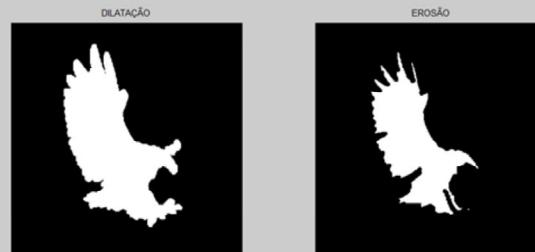
Exemplo de aplicação dos operadores Dilatação, Erosão, Abertura e Fecho a uma imagem binária, com elementos estruturante circular de raio R=3 pixels.

(Figura: André R. S. Marçal)

6.4 Operadores Abertura e Fecho

Elemento Estruturante:

Círculo, R=5



Original (BW)



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplo da operações Morfológicas

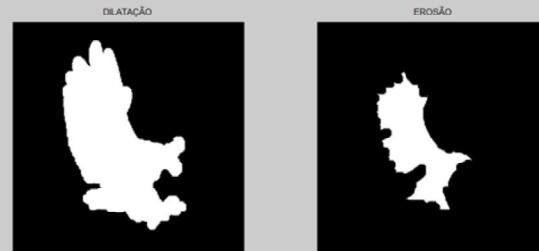
Exemplo de aplicação dos operadores Dilatação, Erosão, Abertura e Fecho a uma imagem binária, com elementos estruturante circular de raio R=5 pixels.

(Figura: André R. S. Marçal)

6.4 Operadores Abertura e Fecho

Elemento Estruturante:

Círculo, R=10



Original (BW)



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplo da operações Morfológicas

Exemplo de aplicação dos operadores Dilatação, Erosão, Abertura e Fecho a uma imagem binária, com elementos estruturante circular de raio R=10 pixels.

(Figura: André R. S. Marçal)

6.4 Operadores Abertura e Fecho

Erosão
(VIDEO)



Dilatação
(VIDEO)



Abertura
(VIDEO)



Fecho
(VIDEO)



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplo da operações Morfológicas

Videos com sequência de aplicação de operadores Dilatação, Erosão, Abertura e Fecho a uma imagem binária, com elementos estruturantes circulares de raio R a variar entre 1 e 50 pixels.

(Videos: André R. S. Marçal)

6.5 Identificação de Componentes Ligadas

A partir de uma imagem binária, é possível identificar objectos distintos considerando as componentes ligadas. A imagem binária dá origem a uma imagem de etiquetas (objectos).

A ligação pode ser definida através de um critério de vizinhança, como por exemplo:

- 4-vizinhos
- 8-vizinhos (vizinhança de 3x3)



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Identificação de componentes ligadas

(Figuras: A.R.S.Marçal ; Svoboda, 2008)

6.5 Identificação de Componentes Ligadas

Original

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

4-vizinhos

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	4	0		
0	1	1	0	0	4	0		
0	0	0	0	0	0	0		
0	2	2	0	5	5	0		
0	2	2	2	0	0	0		
0	0	0	0	6	6	0		
0	3	3	0	6	6	0		
0	3	3	0	6	6	0		
0	0	0	0	0	0	0		

8-vizinhos

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	4	0		
0	1	1	0	0	4	0		
0	0	0	0	0	0	0		
0	2	2	0	2	2	0		
0	2	2	2	0	0	0		
0	0	0	0	2	2	0		
0	3	3	0	2	2	0		
0	3	3	0	2	2	0		
0	0	0	0	0	0	0		

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

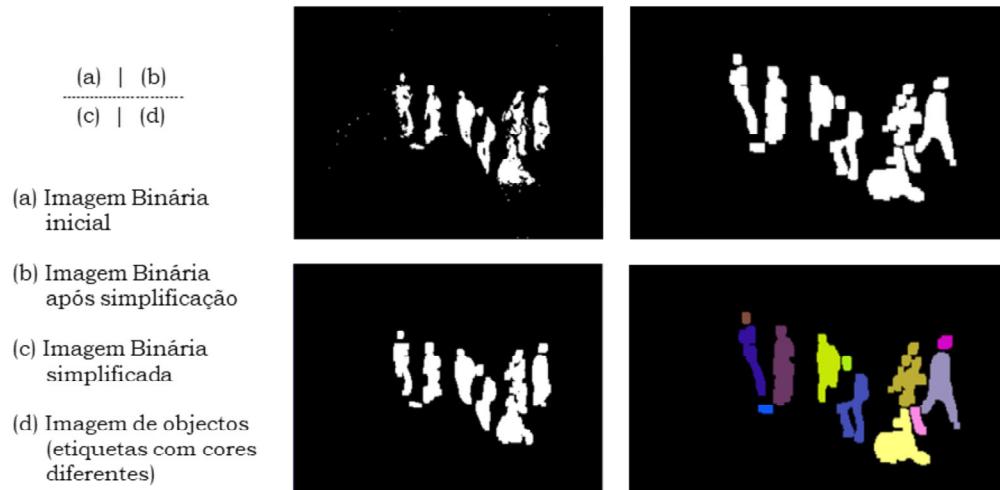
Identificação de componentes ligadas

Exemplo de aplicação do processo de Identificação de componentes ligadas a uma pequena imagem binária, com critérios de vizinhança 4-vizinhos e 8-vizinhos.

(Figura: André R. S. Marçal)

6.5 Identificação de Componentes Ligadas

Normalmente é necessário fazer algum tipo de processamento à imagem binária, para por exemplo eliminar objectos muito pequenos.



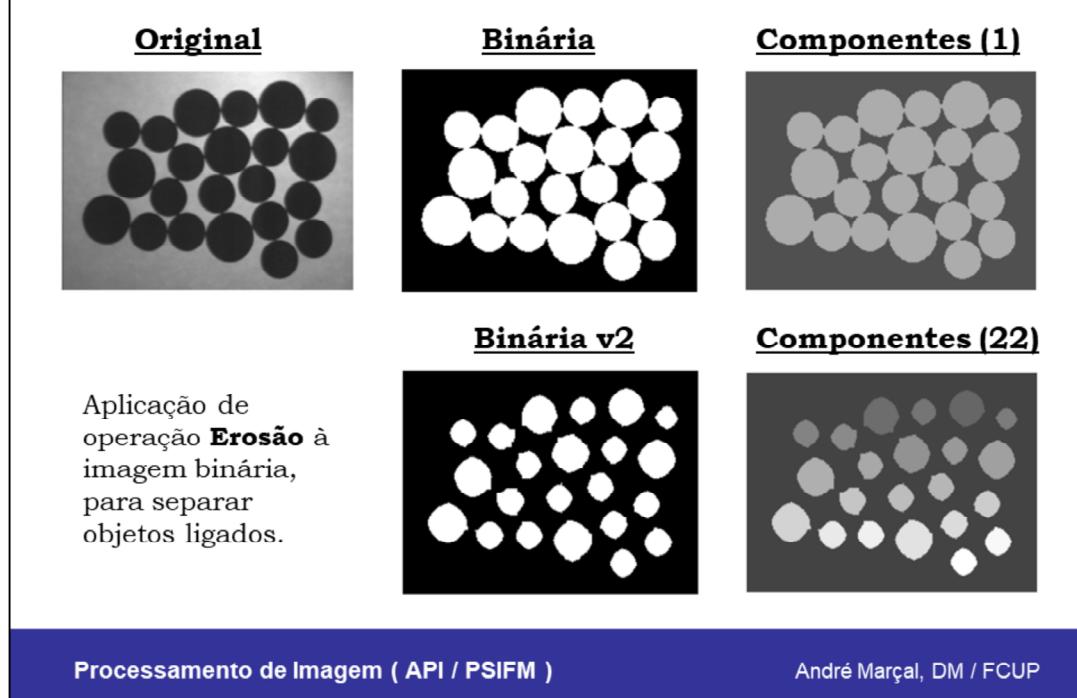
Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Identificação de componentes ligadas

(Figura: A. Duarte, J. Casaleiro)

6.5 Identificação de Componentes Ligadas



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplos de Aplicação de Operações Morfológicas

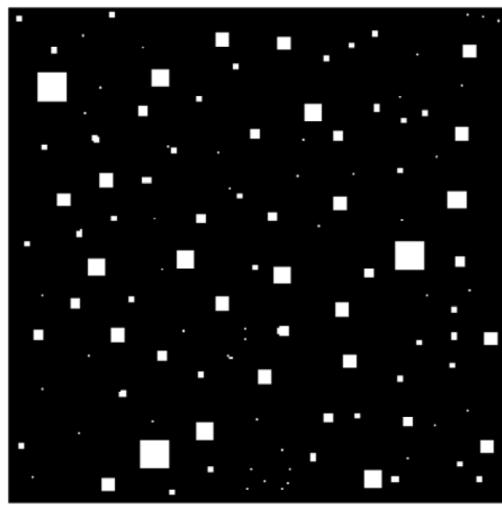
Processo para contar objetos presentes numa imagem, neste caso moedas.

A imagem original é binarizada, sendo contadas as componentes ligadas.

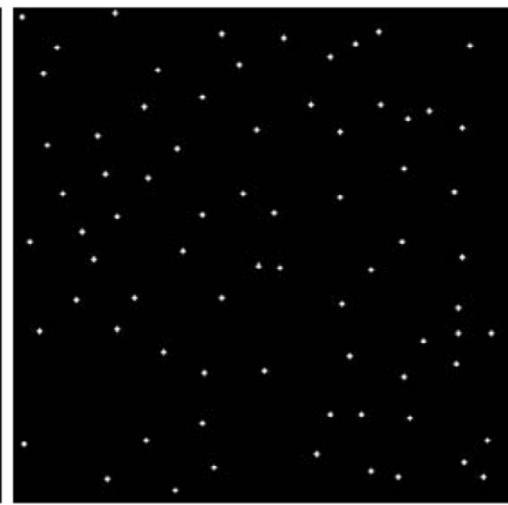
(Figura: P. Salembian)

6.6 Outras Operações Morfológicas

Imagen Original



Resultado de ‘Hit & Miss’



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Operador ‘Hit & Miss’

Resultado da aplicação do operador ‘Hit & Miss’ com elemento estruturante quadrado. Hits representados com *.

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

6.6 Outras Operações Morfológicas

Operador ‘Hit & Miss’

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
3	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
4	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0
5	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

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

E	E1	E2
0 -1 -1 1 1 -1 0 1 0	0 0 0 1 1 0 0 1 0	0 1 1 0 0 1 0 0 0
0 1 1 -1 1 1 -1 -1 0	0 1 1 0 1 1 0 0 0	0 0 0 1 0 0 1 1 0
0 -1 -1 1 1 -1 0 -1 -1	0 0 0 1 1 0 0 0 0	0 1 1 0 0 1 0 1 1

E	E1	E2
0 1 1 -1 1 1 0 -1 0	0 1 1 0 1 1 0 0 0	0 0 0 1 0 0 1 1 0
0 -1 -1 1 1 -1 0 -1 -1	0 0 0 1 1 0 0 0 0	0 1 1 0 0 1 0 1 1

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

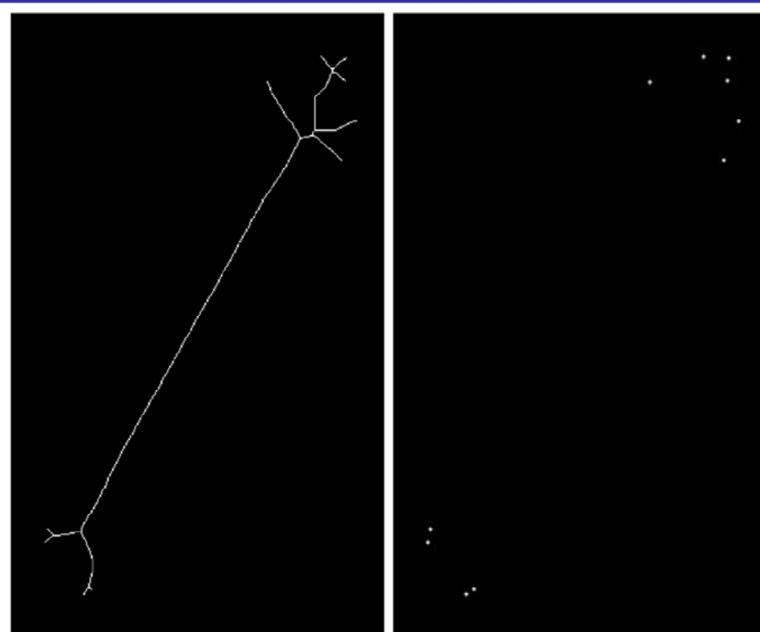
Operador ‘Hit & Miss’

Exemplo de aplicação do operador ‘Hit & Miss’ a uma pequena imagem binária, com 3 versões de elemento estruturante ‘4 vizinhos mais próximos’.

(Figura: André R. S. Marçal)

6.6 Outras Operações Morfológicas

Função
'endpoints'



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplos de Aplicação de Operações Morfológicas

Imagen original binária (esquerda). Resultado da aplicação da função “endpoints” (direita). O resultado consiste apenas em pontos, que aqui aparecem representados como cruzes.

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

6.6 Outras Operações Morfológicas



Função ‘thinned’

- a) Imagem original
 - b) 1 aplicação
 - c) 2 aplicações
- a | b
----- | c



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

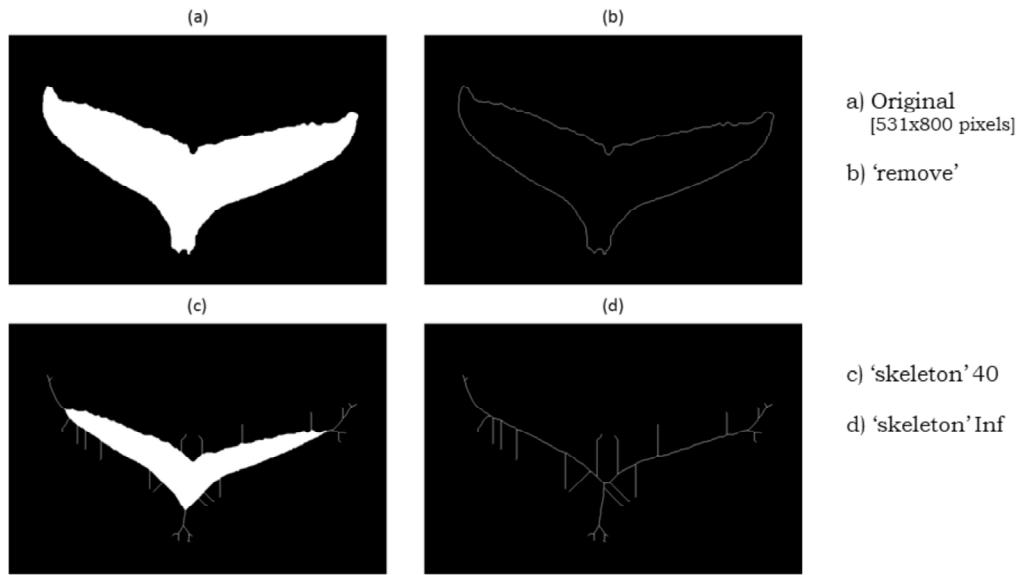
André Marçal, DM / FCUP

Exemplos de Aplicação de Operações Morfológicas

Função “thinned”.

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

6.6 Outras Operações Morfológicas



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

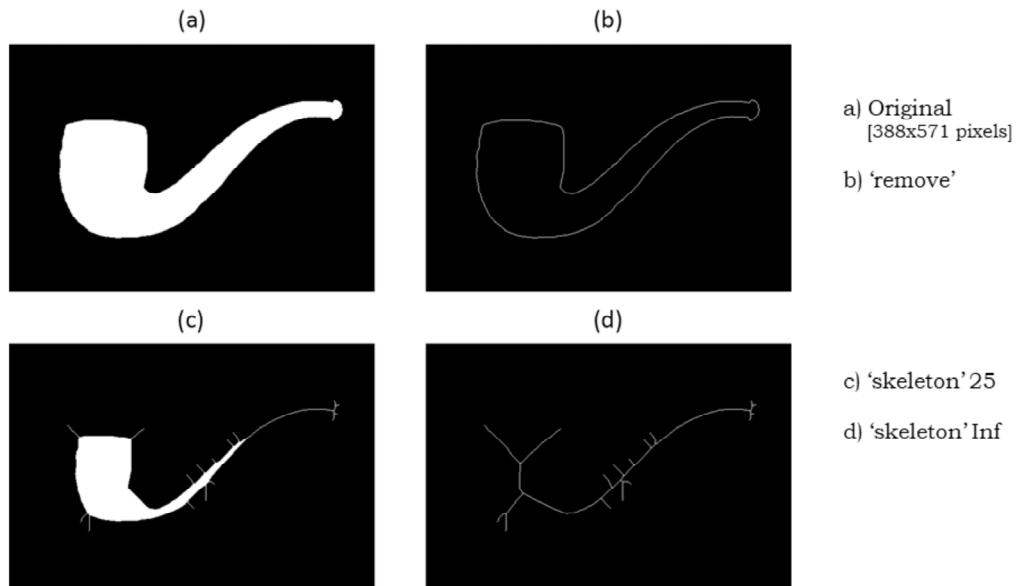
Exemplo de Aplicação de Operações Morfológicas

Exemplo de aplicação de operações morfológicas elaboradas:

- (a) imagem binária original, de 531x800 pixels
- (b) operação remove
- (c) operação skeleton com parâmetro 40
- (d) operação skeleton com parâmetro Inf

(Figura: André R. S. Marçal)

6.6 Outras Operações Morfológicas



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplo de Aplicação de Operações Morfológicas

Exemplo de aplicação de operações morfológicas elaboradas:

- (a) imagem binária original, de 388x571 pixels
- (b) operação remove
- (c) operação skeleton com parâmetro 25
- (d) operação skeleton com parâmetro Inf

(Figura: André R. S. Marçal)

6.7 Operações Morfológicas em Imagens de Cinzento

Dilatação:

$$(A \oplus E)(x, y) = \max\{(x + i, y + j) : (x, y) \in A; (i, j) \in E\}$$

Erosão:

$$(A \ominus E)(x, y) = \min\{(x + i, y + j) : (x, y) \in A; (i, j) \in E\}$$

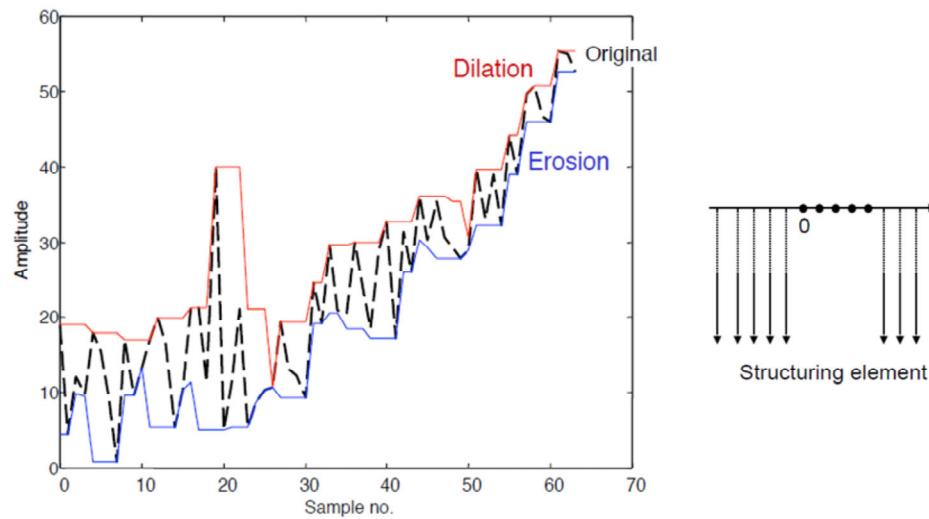
A – Imagem de escala de cinzento (1 banda)

E – Elemento Estruturante (binário)

Erosão e Dilatação em Imagens de Cinzento

As operações morfológicas podem ser estendidas a imagens de escala de cinzento ('greyscale'), ou seja imagens com 1 banda.

6.7 Operações Morfológicas em Imagens de Cinzento



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Operadores Erosão e Dilatação

As operações morfológicas podem ser estendidas a imagens ‘greyscale’ (tons de cinzento).

(Figura: P. Salembian)

6.7 Operações Morfológicas em Imagens de Cinzento

Abertura e Fecho:

$$A \circ E = (A \ominus E) \oplus E \quad A \bullet E = (A \oplus E) \ominus E$$

Gradiente Morfológico:

$$G(A, E) = A \oplus E - A \ominus E$$

$$G_i(A, E) = A - A \ominus E \quad G_i - \text{Gradiente interno}$$

$$G_e(A, E) = A \oplus E - A \quad G_e - \text{Gradiente externo}$$

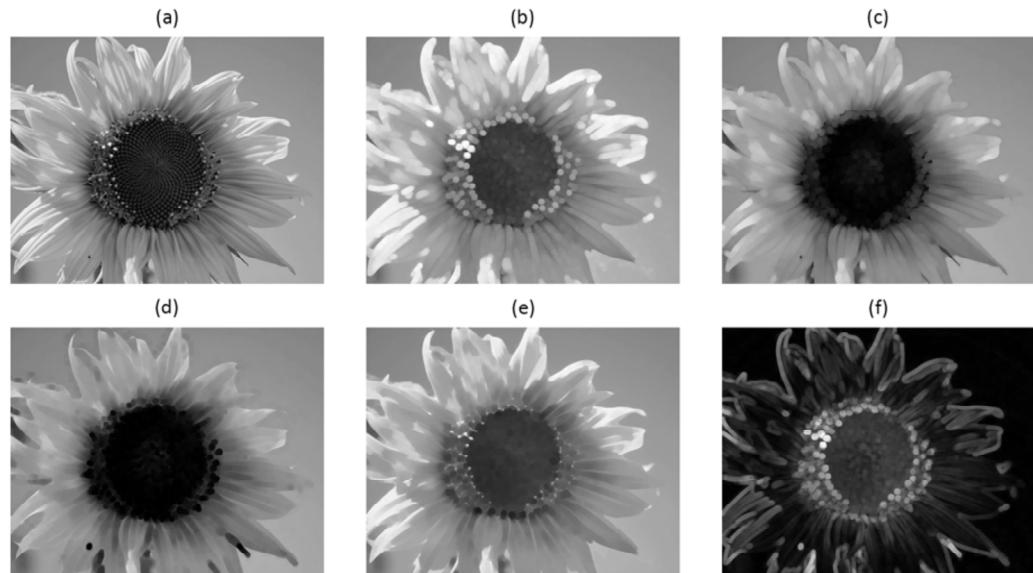
Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Abertura, Fecho e Gradiente Morfológico

Operações morfológicas Abertura, Fecho e Gradiente Morfológico para imagens de escala de cinzento ('greyscale'), 1 banda.

6.7 Operações Morfológicas em Imagens de Cinzento



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Operações Morfológicas em Imagens de Cinzento

Exemplo de aplicação de operações morfológicas em Imagens de escala de cinzento:

- (a) imagem original, de 468x593 pixels
- (b) Dilatação
- (c) Erosão
- (d) Abertura
- (e) Fecho
- (f) Gradiente morfológico, obtido de b e d
Elemento estruturante circular de raio 5 pixels.

(Figura: André R. S. Marçal)

6.7 Operações Morfológicas em Imagens de Cinzento

Original

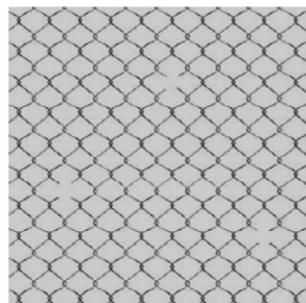
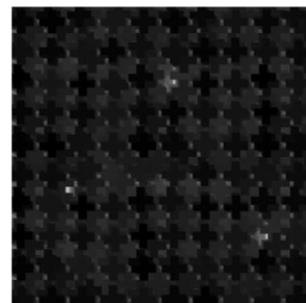


Imagen
'greyscale'

Erosão



Elemento
Estruturante:
cruz de 31x31

Final



Imagen binária
obtida por
'thresholding'

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

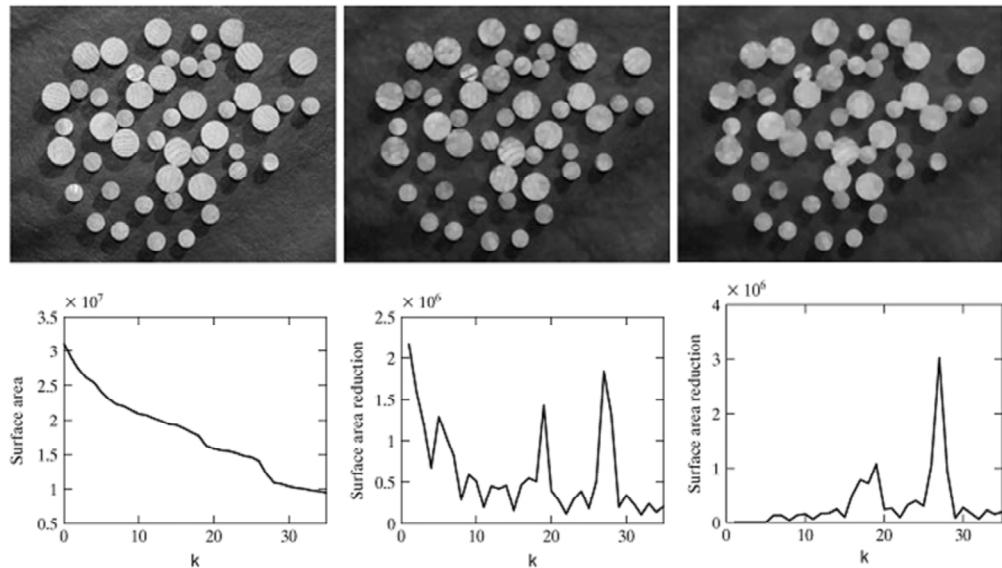
André Marçal, DM / FCUP

Exemplos de Aplicação de Operações Morfológicas

Exemplo de detecção de buracos numa rede.

(Figura: B. Girod, 2011)

6.7 Operações Morfológicas em Imagens de Cinzento



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplos de Aplicação de Operações Morfológicas

Granulometria através de operações morfológicas de Processamento de Imagem.

Em cima: Imagem original de comprimidos circulares de diversos diâmetro (esquerda), e suavizada através de Abertura (centro) e Abertura seguida de Fecho (direita).

Em baixo: Superfície em função do raio do elemento estruturante (esquerda), redução da superfície em função do raio (centro) e redução da superfície em função do raio para uma imagem suavizada (direita).

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

6.8 Operações Morfológicas em Imagens a Cores

Os operadores morfológicos podem ser aplicado a:

- Imagens binárias
- Imagens tons de cinzento
- Imagens a cores (RGB e/ou outros modelos)

Exemplo para uma imagem RGB e versões tons de cinzento e binária.



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

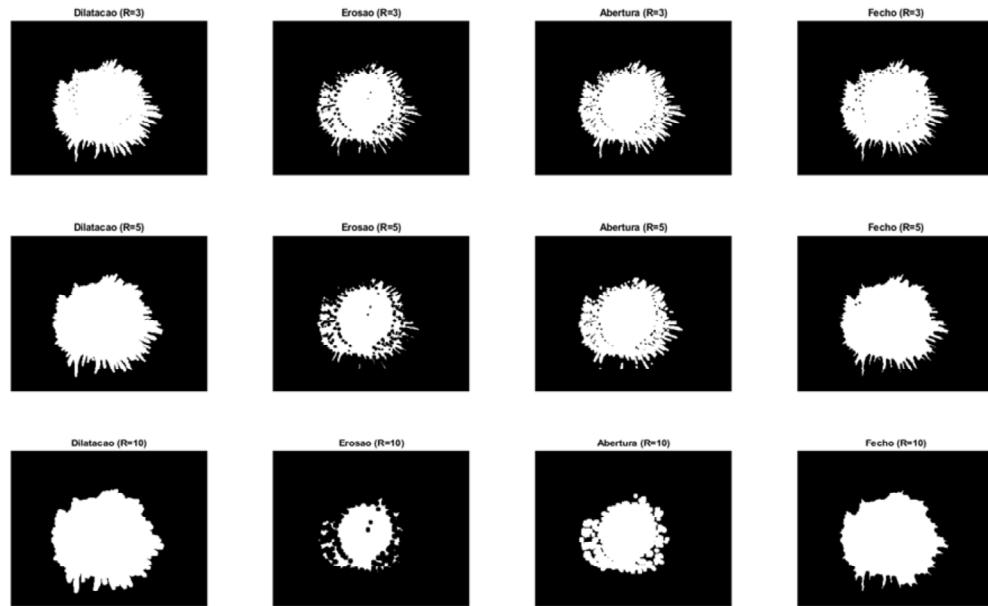
André Marçal, DM / FCUP

Exemplo de Operadores Morfológicos

Imagen original RGB e versões ‘grey-scale’ e binária.

(Figura: André R. S. Marçal)

6.8 Operações Morfológicas em Imagens a Cores



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

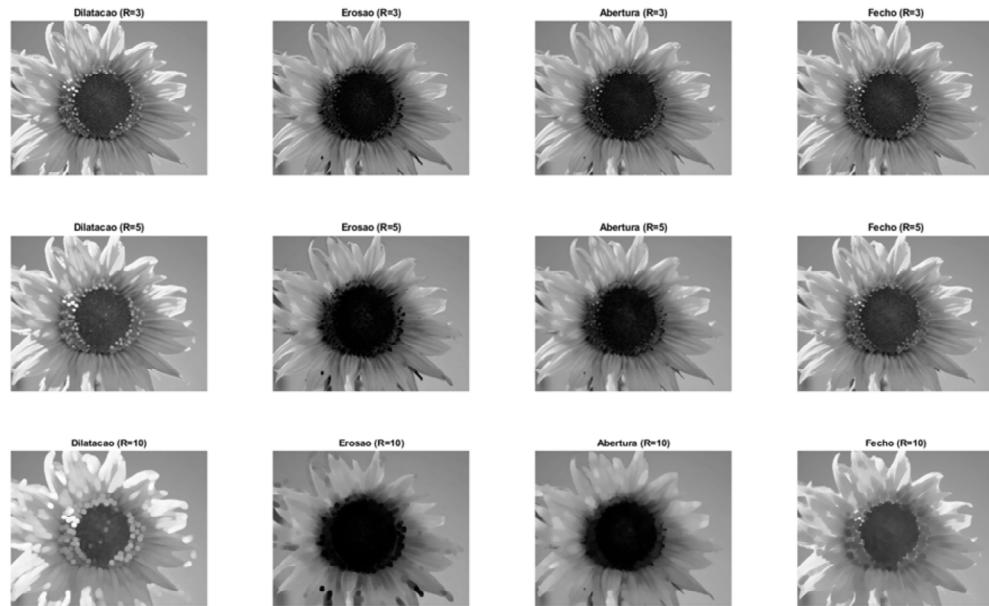
André Marçal, DM / FCUP

Exemplo de Operadores Morfológicos

Em versão binária da imagem original.

(Figura: André R. S. Marçal)

6.8 Operações Morfológicas em Imagens a Cores



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Operadores Abertura e Fecho

Em versão ‘grey-scale’ (tons de cinzento) da imagem original.

(Figura: André R. S. Marçal)

6.8 Operações Morfológicas em Imagens a Cores



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplo de Operadores Morfológicos

Na imagem original (RGB).

(Figura: André R. S. Marçal)

6.8 Operações Morfológicas em Imagens a Cores



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplo de Operadores Morfológicos

No modelo HSV (apenas em V) da imagem original (RGB).

(Figura: André R. S. Marçal)