



Programa de Pós-graduação em

**INFORMÁTICA**



**PUC Minas**

# Digital image processing

— Representation —

Silvio Guimarães

Audio-Visual Processing Laboratory, PUC Minas

September 2020

- 1 Representation – Brief introduction
  - Código da Cadeia
  - Aproximações Poligonais
  - Assinatura
  - Fecho Convexo
  - Esqueleto de um Objeto

# Representation and description

- ▶ Um dos problemas básicos no desenvolvimento de um sistema para análise de imagens é a **seleção** de um conjunto de características extraídas do objeto de interesse para o **propósito de classificação**.
- ▶ Após a imagem ter sido **segmentada** em regiões ou objetos, os agrupamentos resultantes de pixels são normalmente representados e descritos em formato apropriado para o processamento subsequente.
- ▶ Um objeto pode ser representado em termos de suas **características** externas (bordas) ou características internas (pixels que compõem o objeto).
- ▶ A descrição depende da representação adotada e deve permitir a caracterização de sua forma **sem ambiguidades** e com um **número reduzido** de características ou medidas extraídas do objeto.
- ▶ Diversos esquemas de representação e descrição de objetos têm sido propostos.

# Representation and description

- ▶ Um aspecto desejável nos descritores de forma é que eles deveriam ser pouco afetados na presença de ruído e por transformações geométricas como mudança de escala, rotação e translação.
- ▶ Abordagens para representação e descrição de objetos segmentados das imagens são classificadas de acordo com as características extraídas dos contornos ou das próprias regiões que formam os objetos.
- ▶ Outra classificação possível seria considerar o domínio no qual as características são derivadas, tanto no domínio espacial quanto de frequência.
- ▶ As técnicas de segmentação descritas anteriormente resultam em agrupamentos de pixels que correspondem às regiões homogêneas da imagem ou aos contornos (bordas) dos objetos.

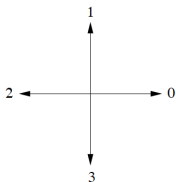
# Representation and description

- ▶ Um aspecto desejável nos descritores de forma é que eles deveriam ser pouco afetados na presença de ruído e por transformações geométricas como mudança de escala, rotação e translação.
- ▶ Abordagens para representação e descrição de objetos segmentados das imagens são classificadas de acordo com as características extraídas dos contornos ou das próprias regiões que formam os objetos.
- ▶ Outra classificação possível seria considerar o domínio no qual as características são derivadas, tanto no domínio espacial quanto de frequência.
- ▶ As técnicas de segmentação descritas anteriormente resultam em agrupamentos de pixels que correspondem às regiões homogêneas da imagem ou aos contornos (bordas) dos objetos.

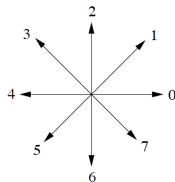
Estruturas adequadas de representação facilitam o armazenamento e a manipulação dos objetos segmentados da imagem, além de simplificarem o cálculo de certos descritores de forma.

# Código da Cadeia

- ▶ Freeman (1961 e 1974) propôs um esquema conhecido como **código da cadeia** para representar a borda de um objeto:
  - ▶ Ao invés de armazenar as coordenadas absolutas dos pixels, a representação pelo código da cadeia utiliza a **posição relativa** entre pixels consecutivos da borda.
  - ▶ Dado um ponto inicial pertencente à borda, o código é definido por uma sequência formada pelas **direções** entre cada pixel e seu vizinho, até que todos os pixels da borda sejam considerados.
  - ▶ A direção de cada segmento é codificada por um esquema de numeração baseado na **vizinhança-4** ou **vizinhança-8**.



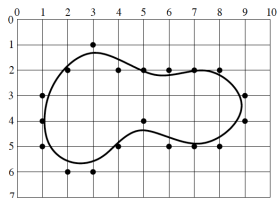
(a) vizinhança-4



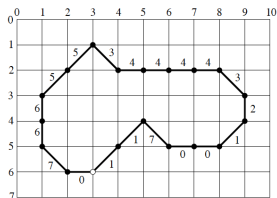
(b) vizinhança-8

# Código da Cadeia

- ▶ Essa representação baseia-se inicialmente na amostragem da borda a ser codificada por meio de uma grade cujo espaçamento determina a resolução da codificação.
- ▶ A figura (a) mostra um contorno e uma grade de amostragem. Os pontos marcados são os vértices da grade que estão mais próximos da curva e que serão usados na codificação. A figura (b) mostra o resultado da amostragem da borda com a grade.



(a) borda original com pontos amostrados sobre a grade

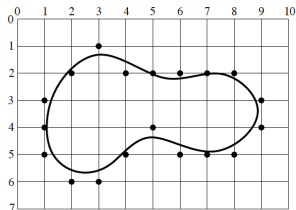


(b) reamostragem da borda, com códigos direcionais

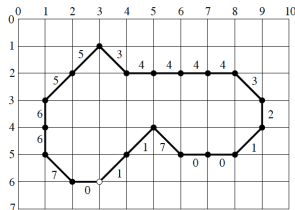
- ▶ Assumindo-se que a posição inicial seja o ponto (3,6), o código da cadeia referente à curva da figura (b) é dado pela sequência 1170012344443556670.

# Código da Cadeia

- ▶ O código da cadeia é gerado seguindo-se a borda do objeto, por exemplo, no sentido anti-horário e atribuindo-se uma direção aos segmentos que conectam cada par de pixels, de acordo com a vizinhança-4 ou vizinhança-8.
- ▶ Na forma descrita, o código da cadeia é **dependente** do ponto inicial da borda.



(a) borda original com pontos amostrados sobre a grade

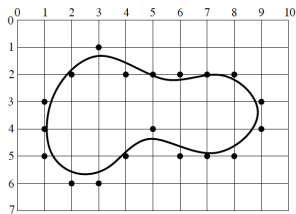


(b) reamostragem da borda, com códigos direcionais

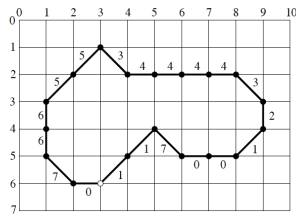


# Código da Cadeia

- ▶ Para torná-lo **invariante** com respeito à escolha do primeiro pixel da borda, um procedimento de normalização consiste em encontrar o pixel que resulte no **menor número inteiro**, considerando a sequência de dígitos como um número na base 4 ou 8, de acordo com o conceito de vizinhança adotado. Esse pixel é então utilizado como o ponto inicial.
- ▶ Esse processo é ilustrado na figura a seguir, em que o código da cadeia é obtido a partir do contorno do objeto da figura (b) anterior, tendo como ponto inicial o pixel (3,6).



(a) borda original com pontos amostrados sobre a grade



(b) reamostragem da borda, com códigos direcionais

- ▶ O resultado do primeiro deslocamento circular de dígitos, em que o dígito menos significativo passa a ser o dígito mais significativo, é ilustrado na figura (b).
- ▶ Isso é equivalente ao código formado utilizando-se o pixel (2,6) como ponto inicial.
- ▶ O resultado do segundo deslocamento, mostrado na figura (c), é equivalente ao código formado com o pixel (1,5) como ponto inicial.
- ▶ O código cujo número inteiro é mínimo considerando-se todos os deslocamentos é mostrado na figura (d), o qual é derivado a partir do pixel (6,5).

$C = 1\ 1\ 7\ 0\ 0\ 1\ 2\ 3\ 4\ 4\ 4\ 4\ 3\ 5\ 5\ 6\ 6\ 7\ 0$

(a)

$C = 0\ 1\ 1\ 7\ 0\ 0\ 1\ 2\ 3\ 4\ 4\ 4\ 4\ 3\ 5\ 5\ 6\ 6\ 7$

(b)

$C = 7\ 0\ 1\ 1\ 7\ 0\ 0\ 1\ 2\ 3\ 4\ 4\ 4\ 4\ 3\ 5\ 5\ 6\ 6$

(c)

$C = 0\ 0\ 1\ 2\ 3\ 4\ 4\ 4\ 4\ 3\ 5\ 5\ 6\ 6\ 7\ 0\ 1\ 1\ 7$

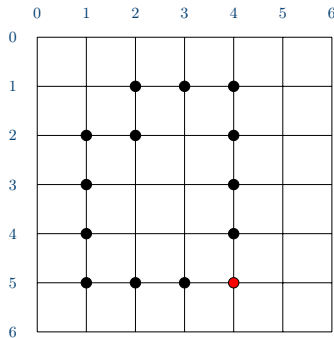
(d)

**Figura:** Invariância do código da cadeia com respeito à translação. (a) código da cadeia inicial; (b) resultado após primeiro deslocamento; (c) resultado após segundo deslocamento; (d) código da cadeia formado pelo menor número inteiro.

- ▶ Para tornar o código da cadeia **invariante quanto à mudança de escala**, a borda pode ser reamostrada em uma grade de espaçamento conveniente.
  - ▶ Com a subdivisão da borda, os comprimentos dos segmentos dos códigos devem-se ajustar às subdivisões.
- ▶ A normalização pode também ser feita para tornar o código da cadeia invariante com respeito à rotação, utilizando-se a primeira diferença do código da cadeia.
  - ▶ A diferença é obtida contando-se, no sentido anti-horário, o número de direções que separam cada elemento adjacente ao código.
  - ▶ Seja  $a_0 a_1 \dots a_{n-1}$  o código da cadeia que representa a borda de um objeto.
  - ▶ A primeira diferença do código da cadeia é dada por  $b_0 b_1 \dots b_{n-1}$ , em que  $b_k = a_k - a_{k-1}$ .
  - ▶ A diferença entre os elementos adjacentes é realizada de forma circular, ou seja, módulo 4 ou 8, conforme a vizinhança adotada para a adjacência dos pixels.

# Código da Cadeia

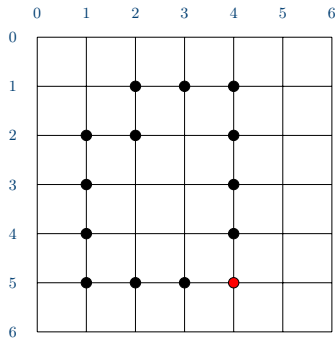
- Seja a borda  $B_1$  de um objeto mostrado na figura (a) a seguir. Considerando o ponto inicial como (4,5), o código da cadeia de vizinhança-4 correspondente à borda  $B_1$  é



(a) original

# Código da Cadeia

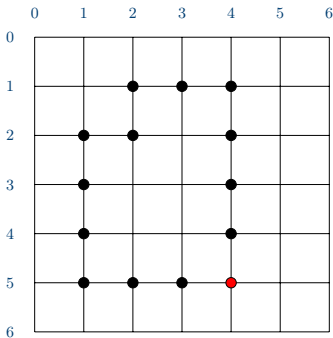
- Seja a borda  $B_1$  de um objeto mostrado na figura (a) a seguir. Considerando o ponto inicial como (4,5), o código da cadeia de vizinhança-4 correspondente à borda  $B_1$  é  $C_1 = 11112232333000$ .



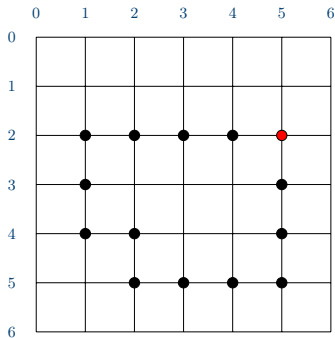
(a) original

# Código da Cadeia

- Seja a borda  $B_1$  de um objeto mostrado na figura (a) a seguir. Considerando o ponto inicial como (4,5), o código da cadeia de vizinhança-4 correspondente à borda  $B_1$  é  $C_1 = 11112232333000$ .
- Seja  $B_2$  a borda do mesmo objeto, porém, após ter sofrido uma rotação de 90 graus no sentido horário. Considerando o ponto inicial como (5,2), o código da cadeia associado à borda  $B_2$  é .



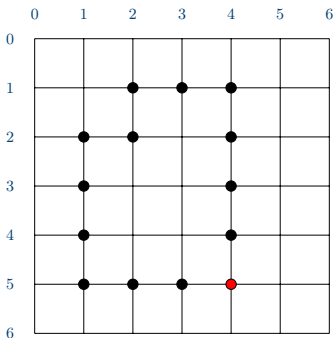
(a) original



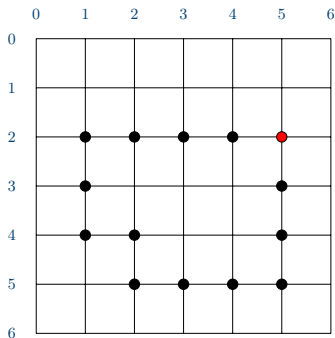
(b) rotação de 90 graus

# Código da Cadeia

- Seja a borda  $B_1$  de um objeto mostrado na figura (a) a seguir. Considerando o ponto inicial como (4,5), o código da cadeia de vizinhança-4 correspondente à borda  $B_1$  é  $C_1 = 11112232333000$ .
- Seja  $B_2$  a borda do mesmo objeto, porém, após ter sofrido uma rotação de 90 graus no sentido horário. Considerando o ponto inicial como (5,2), o código da cadeia associado à borda  $B_2$  é  $C_2 = 22223303000111$ .



(a) original



(b) rotação de 90 graus



- ▶ Após a rotação da borda, cada dígito do código da cadeia é alterado pelo mesmo valor, dependendo do grau de rotação, o que significa que dígitos adjacentes em um código da cadeia sempre terão a **mesma diferença**, mesmo após a rotação. Portanto, os códigos da cadeia representam a mesma borda de um objeto se pares de dígitos nos códigos possuem a mesma diferença.
- ▶ Assim, para a borda B2 do objeto após a rotação, cujo código da cadeia é 22223303000111, o código da primeira diferença é 0001013100100.
- ▶ Analogamente, para a borda B1 do objeto original, cujo código da cadeia é 11112232333000, o código da primeira diferença também é 0001013100100.
- ▶ Portanto, esses dois códigos da cadeia representam a **mesma borda**, uma vez que seus códigos de primeira diferença são iguais.

- ▶ Além da redução do espaço de armazenamento, o código da cadeia pode ser aplicado em várias tarefas de processamento e análise de imagens.
- ▶ Freeman (1974) propôs algoritmos para **cálculo de perímetro** e **área** baseado no código da cadeia para contornos fechados.
- ▶ A **detecção de cantos** ou junções em contornos de objetos descrita anteriormente é outra operação que pode ser realizada com o uso do código da cadeia.
- ▶ Kuhl e Giardina (1982) desenvolveram um procedimento para determinar os coeficientes de Fourier a partir do código da cadeia.
- ▶ Uma **desvantagem** do código da cadeia é sua **sensibilidade a pequenas perturbações** ao longo da borda, devido a ruído ou a imperfeições durante o processo de segmentação.

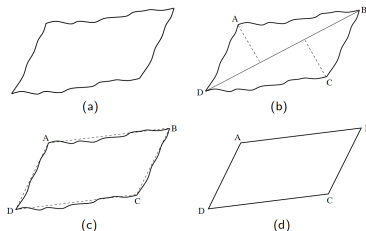
# Aproximações Poligonais

- ▶ A borda de um objeto pode ser aproximada por um polígono, segundo uma precisão arbitrária.
- ▶ No caso de um contorno fechado, a aproximação é exata quando o número de segmentos do polígono for igual ao número de pontos na borda, de maneira que cada par de pontos adjacentes defina um segmento do polígono.
- ▶ O principal objetivo da aproximação poligonal é capturar a essência da forma da borda com o menor número possível de segmentos poligonais.
- ▶ Esse problema não é, em geral, trivial, podendo se tornar uma busca iterativa bastante custosa.
- ▶ No entanto, várias técnicas de aproximação poligonal, com complexidade computacional relativamente baixa, podem ser bem adaptadas para aplicações em processamento de imagens.

- ▶ Uma solução possível é realizar a busca de **polígonos de perímetro mínimo**, os quais se ajustam à geometria estabelecida pela grade da imagem.
- ▶ Uma técnica baseada na divisão de segmentos consiste em **subdividir** sucessivamente um segmento em duas partes até que um determinado critério de erro seja satisfeito.
  - ▶ Um exemplo de critério é que a maior distância perpendicular entre o segmento da borda e a linha que une seus dois pontos extremos não exceda um determinado limiar.
  - ▶ Caso isso ocorra, o ponto mais distante no segmento da borda se torna um vértice que subdivide o segmento inicial em dois segmentos.
  - ▶ No caso de uma borda fechada, os melhores pontos iniciais são, em geral, os dois pontos mais distantes entre si da borda.

# Aproximações Poligonais

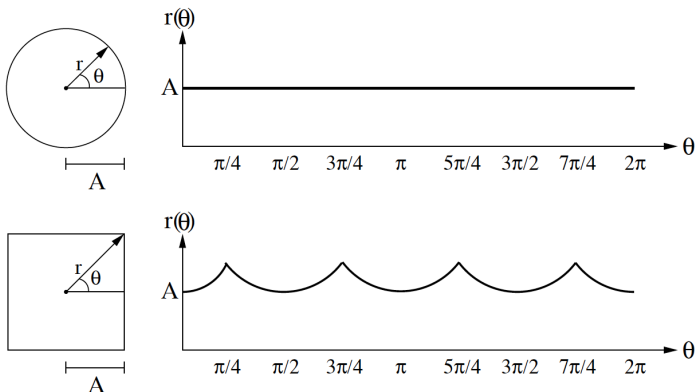
- ▶ A borda do objeto, mostrada na figura (a), é subdividida em seus pontos mais distantes, conforme ilustrado na figura (b).
- ▶ O ponto A possui a maior distância perpendicular entre o segmento superior e a linha BD. De maneira similar, o ponto C possui a maior distância em relação ao segmento inferior.
- ▶ O processo termina com o polígono mostrado na figura (d), uma vez que nenhum ponto nos segmentos da borda possui uma distância perpendicular ao seu segmento correspondente maior que o limiar definido.

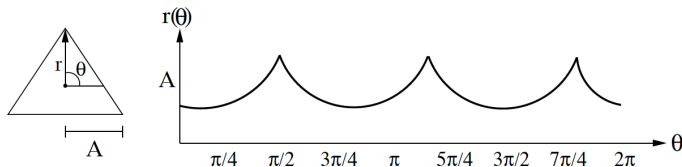


**Figura:** Aproximação poligonal. (a) borda original; (b) borda dividida em segmentos por meio de cálculo de distância; (c) união dos vértices; (d) polígono resultante.

# Assinatura

- Uma assinatura é uma **representação unidimensional** da borda de um objeto.
- Uma das formas mais simples é dada pelo gráfico da **distância da borda ao centróide** em função do ângulo.

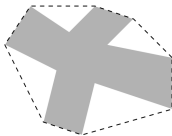




- ▶ Para essa definição, as assinaturas são invariantes com respeito à translação, mas são **dependentes** das transformações de rotação e mudanças de escala.
- ▶ A invariância com relação à rotação pode ser obtida pela seleção de um ponto inicial para a geração da assinatura, independente da orientação da forma.
  - ▶ Uma maneira é escolher o ponto mais distante do centróide, caso esse seja único.
  - ▶ Uma maneira alternativa é a seleção do ponto sobre o auto-eixo principal (maior) que esteja mais distante do centróide.
- ▶ A invariância com relação à escala pode ser obtida pela normalização dos valores de  $r(\theta)$ , por exemplo, no intervalo  $[0, 1]$ .

# Fecho Convexo

- ▶ O **fecho convexo** de uma região planar  $R$  corresponde ao **menor polígono convexo** contendo  $R$ .
- ▶ Em análise de imagens, o fecho convexo é usado para representar formas poligonais complexas por meio de um polígono mais simples, o qual engloba a forma original.
- ▶ Essa forma mais simples, muitas vezes, é suficiente para permitir o reconhecimento do objeto.
- ▶ Exemplo de fecho convexo, representado pelo polígono em linha tracejada, para um objeto extraído da imagem. Cada um dos ângulos dos vértices internos ao fecho convexo deve, naturalmente, ser menor que 180 graus.



**Figura:** Fecho convexo (representado pelo polígono em linhas tracejadas) para uma região planar.



# Esqueleto de um Objeto

- Uma abordagem importante para a representação da forma de um objeto é reduzi-la a uma **estrutura mais simples**, chamada de **esqueleto**.

# Esqueleto de um Objeto

- Uma abordagem importante para a representação da forma de um objeto é reduzi-la a uma **estrutura mais simples**, chamada de **esqueleto**.

O esqueleto de um objeto pode ser obtido por meio de técnicas como transformada do eixo médio, transformada de distância, diagrama de Voronoi e afinamento de objetos.

# Esqueleto de um Objeto

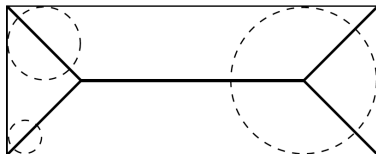
- ▶ Uma abordagem importante para a representação da forma de um objeto é reduzi-la a uma **estrutura mais simples**, chamada de **esqueleto**.

O esqueleto de um objeto pode ser obtido por meio de técnicas como transformada do eixo médio, transformada de distância, diagrama de Voronoi e afinamento de objetos.

- ▶ A transformada do eixo médio, proposta por Blum (1967), determina o conjunto de pontos que estão mais próximos da borda do objeto.
- ▶ Um ponto interno ao objeto pertencerá ao esqueleto do objeto se ele tiver, no mínimo, dois pontos mais próximos da borda.
- ▶ De uma maneira mais formal, o eixo médio de um objeto pode ser definido como o conjunto de pontos formado pelos **centros** das **maiores circunferências** que inscrevem o objeto, cuja tangência ocorre em dois ou mais pontos.

# Esqueleto de um Objeto

- Ilustração da definição para um objeto retangular.

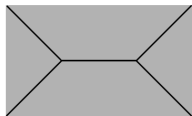


**Figura:** Eixo médio, representado pelos segmentos internos, para um objeto retangular.

- Embora a transformada do eixo médio resulte em um esqueleto intuitivamente aceitável, sua implementação direta é geralmente proibitiva em termos computacionais.
- Tal implementação envolve o **cálculo da distância** entre cada ponto interior e da borda do objeto. Inúmeros algoritmos têm sido propostos para melhorar a eficiência do cálculo dessa transformada.

# Esqueleto de um Objeto

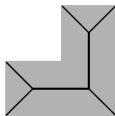
- ▶ Outros exemplos de esqueletos de objetos, representados pelos segmentos internos em preto levando-se em consideração a **distância Euclidiana** entre os pontos.
- ▶ Conforme figuras (a) e (e), dois objetos diferentes podem ter o mesmo esqueleto. O esqueleto, mostrado na figura (d), contém um número muito menor de pontos comparado com o objeto original, entretanto, representa as simetrias locais e a estrutura topológica do objeto.



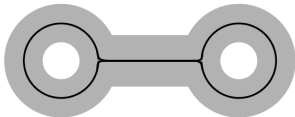
(a)



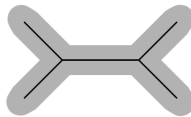
(b)



(c)



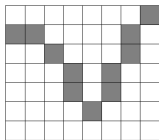
(d)



(e)

# Esqueleto de um Objeto

- ▶ A transformada de distância corresponde ao mapa resultante da distância entre cada ponto interior do objeto e de sua borda mais próxima.
- ▶ Os valores mais **altos** formam o esqueleto do objeto.
- ▶ Um exemplo da aplicação da transformada de distância em uma região da imagem é ilustrado, sendo adotados dois conceitos para a adjacência entre pixels na imagem, a vizinhança-4 e vizinhança-8.



(a)

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

(b)

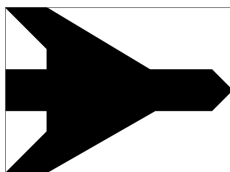
1	1	1	2	2	1	1	0
0	0	1	1	2	1	0	1
1	1	0	1	1	1	0	1
2	1	1	0	1	0	1	1
2	2	1	0	1	0	1	2
3	2	1	1	0	1	1	2
3	2	2	1	1	1	2	2

(c)

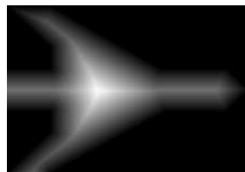
**Figura:** Transformada de distância. (a) imagem binária; (b) distâncias para vizinhança-4; (c) distâncias para vizinhança-8.

# Esqueleto de um Objeto

- A figura (a) mostra um objeto representado por uma imagem binária e o resultado da **transformada da distância Euclidiana**. O esqueleto do objeto, formado pelos valores mais altos de distância, corresponde às regiões mais claras mostradas na figura (b).



(a)

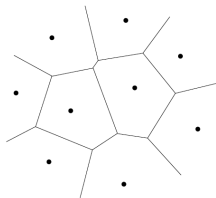


(b)

**Figura:** Transformada de distância. (a) imagem binária; (b) resultado da transformada da distância Euclidiana.

# Esqueleto de um Objeto

- ▶ O esqueleto de uma região também pode ser obtido por meio do **diagrama de Voronoi**.
- ▶ Seja  $S$  um conjunto de  $n$  pontos no plano. O diagrama de Voronoi do conjunto  $S$  é uma partição do plano em  $n$  regiões convexas  $V(p)$  ao redor de cada ponto  $p$ , tal que cada ponto no interior da região  $V(p)$  está mais próximo de  $p$  do que de qualquer outro ponto em  $S$ .
- ▶ Exemplo de diagrama de Voronoi para um determinado conjunto de pontos.

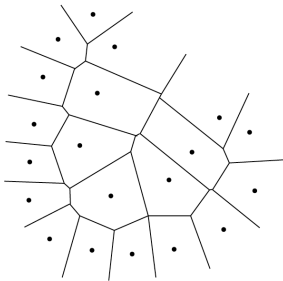


**Figura:** Diagrama de Voronoi para um dado conjunto de pontos.

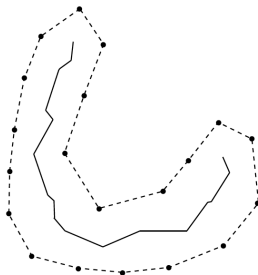


# Esqueleto de um Objeto

- As **arestas** do diagrama de Voronoi representam a **fronteira** entre regiões adjacentes no diagrama, tal que qualquer ponto sobre uma aresta possui mais de um ponto mais próximo. Assim, tomando-se as arestas de um diagrama de Voronoi, o resultado é chamado de esqueleto interno do objeto, como pode ser visto na figura a seguir.



(a) diagrama de Voronoi para um conjunto de pontos que forma o objeto



(b) arestas internas ao objeto

# Esqueleto de um Objeto

- ▶ Técnicas de afinamento devem respeitar algumas condições durante o processo de remoção de pixels.
- ▶ O algoritmo não deve remover pontos extremos, não deve interromper a conectividade e nem causar erosão excessiva do objeto.
- ▶ Uma maneira comum de realizar o afinamento é por meio de sucessivas remoções, até que os pixels remanescentes sejam aqueles que pertencem ao esqueleto do objeto.
- ▶ Para a discussão dos algoritmos de afinamento, a vizinhança de um pixel é definida conforme convenção abaixo.

$P_9$	$P_2$	$P_3$
$P_8$	$P_1$	$P_4$
$P_7$	$P_6$	$P_5$

- ▶ Assume-se que os objetos possuem pixels de valor 1 (preto), enquanto que os pixels pertencentes ao fundo possuem valor 0 (branco).

# Esqueleto de um Objeto

- ▶ O método de afinamento de Zhang e Suen (1984) verifica se um determinado pixel da imagem pode ser **eliminado** pela análise de seus oito pixels vizinhos.
  - ▶ O método é composto de dois passos.
    - ▶ No passo 1, um pixel  $p$  é eliminado se satisfizer todas as seguintes condições:
      - (a)  $2 \leq N(p) \leq 6$
      - (b)  $S(p) = 1$
      - (c)  $p_2 p_4 p_6 = 0$
      - (d)  $p_4 p_6 p_8 = 0$
- em que  $N(p)$  é o número de vizinhos não nulos de  $p$ , ou seja

$$N(p) = p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7 + p_8 + p_9$$

e  $S(p)$  é o número de transições de branco para preto (do valor 0 para o valor 1) na sequência ordenada  $p_2, p_3, p_4, \dots, p_9$ , ou seja, nos pixels que circundam o pixel central.

# Esqueleto de um Objeto

- ▶ A condição (a) –  $2 \leq N(p) \leq 6$  – verifica se existem ao menos dois pixels pretos que sejam vizinhos ao pixel  $p$ , e não mais do que seis. Essa condição procura remover sucessivamente pixels da borda do objeto, ao invés de suas partes internas.
  - ▶ A condição (b) –  $S(p) = 1$  – verifica se o número de conectividade do pixel  $p$  é igual a 1. Essa condição assegura que um pixel a ser removido pertença a apenas um único objeto.
  - ▶ A condição (c) –  $p_2 p_4 p_6 = 0$  – verifica se ao menos um dos pixels vizinhos  $p_2$ ,  $p_4$  ou  $p_6$  é fundo (branco) da imagem.
  - ▶ A condição (d) –  $p_4 p_6 p_8 = 0$  – verifica se ao menos um dos pixels  $p_4$ ,  $p_6$  ou  $p_8$  é fundo da imagem.

# Esqueleto de um Objeto

- ▶ No passo 2, um pixel  $p$  é eliminado se todas as condições abaixo forem satisfeitas:
  - (a)  $2 \leq N(p) \leq 6$
  - (b)  $S(p) = 1$
  - (c)  $p_2 \ p_4 \ p_6 = 0$
  - (d)  $p_4 \ p_6 \ p_8 = 0$
- ▶ Se um ponto satisfizer todas as condições (a) a (d), ele deve ser, inicialmente, marcado para ser removido.
- ▶ Em outras palavras, o ponto não deve ser efetivamente eliminado até que todos os pontos em cada passo tenham sido processados.
- ▶ Uma vez que o passo 1 tenha sido aplicado a todos os pontos, aqueles que tiverem sido marcados para remoção receberão o valor 0 (fundo).
- ▶ Em seguida, o passo 2 deve ser aplicado aos pontos resultantes exatamente da mesma maneira que o passo 1.
- ▶ Esse procedimento deve ser repetido até que não haja mais nenhum ponto a ser apagado, produzindo o esqueleto do objeto.

# Esqueleto de um Objeto

- ▶ O método de Holt et al. (1987) é um refinamento do método de Zhang e Suen.
  - ▶ Inicialmente, os passos 1 e 2, descritos anteriormente, são aplicados aos objetos da imagem.
  - ▶ Posteriormente, aplica-se um processo de **remoção de serrilhamento**, o qual consiste na observação de que metade dos pontos que apresentam forma semelhante a uma escada pode ser removida sem afetar o formato ou a conectividade do objeto.
  - ▶ O pixel central das máscaras mostradas a seguir pode ser **removido** se um dos valores X for 0 (branco).

0	1	X
1	1	X
X	X	0
$M_1$		

X	1	0
X	1	1
0	X	X
$M_2$		

0	X	X
X	1	1
X	1	0
$M_3$		

X	X	0
1	1	X
0	1	X
$M_4$		

**Figura:** Máscaras de Holt et al. (1987).

# Esqueleto de um Objeto

- ▶ O método de afinamento de Stentiford e Mortimer (1983) utiliza quatro máscaras M1, M2, M3 e M4 em que o valor 0 representa um pixel branco (fundo), valor 1 representa um pixel preto (objeto) e X denota que o pixel pode ter valor 0 ou 1.

X	0	X
X	1	X
X	1	X

$M_1$

X	X	X
0	1	1
X	X	X

$M_2$

X	1	X
X	1	X
X	0	X

$M_3$

X	X	X
1	1	0
X	X	X

$M_4$

**Figura:** Máscaras de Stentiford e Mortimer (1983).

- ▶ **Um ponto final** é definido como um pixel preto que possui apenas um outro pixel preto como seu vizinho: esses pixels não podem ser removidos da imagem.
- ▶ Os passos do método, bem com a ordem na qual as quatro máscaras devem percorrer a imagem, são mostrados no algoritmo a seguir.

---

**Algoritmo 1** Afinamento de Stentiford e Mortimer

---

- 1: Cada máscara deve percorrer a imagem em uma determinada ordem:
  - 2:    $M_1$ : da esquerda para a direita e de cima para baixo
  - 3:    $M_2$ : de baixo para cima e da esquerda para a direita
  - 4:    $M_3$ : da direita para a esquerda e de baixo para cima
  - 5:    $M_4$ : de cima para baixo e da direita para a esquerda
  - 6: Percorrer a imagem até encontrar um pixel que coincida com a máscara  $M_1$ .
  - 7: Se este pixel não for um ponto final e se o seu número de transições  $S_p$  for igual a 1, marcar este ponto para que seja removido posteriormente.
  - 8: Repetir os passos (1) e (2) para todos os pixels que coincidam com a máscara  $M_1$ .
  - 9: Repetir os passos (1), (2) e (3) para cada uma das máscaras  $M_2$ ,  $M_3$  e  $M_4$ , nesta ordem.
  - 10: Se algum ponto estiver marcado para ser removido, ele deve ser eliminado alterando seu valor para 0.
  - 11: Se algum ponto foi removido no passo (5), repetir todos os passos a partir do passo (1). Caso contrário, o processo termina.
-



# Esqueleto de um Objeto

**A B C D E F G H I J K L M N**  
**O P Q R S T U V W X Y Z**  
**0 1 2 3 4 5 6 7 8 9**

**A B C D E F G H I J K L M N**  
**O P Q R S T U V W X Y Z**  
**0 1 2 3 4 5 6 7 8 9**

(a) imagem original

A B C D E F G H I J K L M N  
O P Q R S T U V W X Y Z  
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

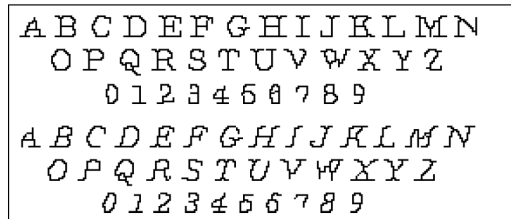
A B C D E F G H I J K L M N  
O P Q R S T U V W X Y Z  
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

(b) Zhang e Suen (1984)

# Esqueleto de um Objeto



(c) Holt et al. (1987)



(d) Stentiford e Mortimer (1983)

## ATRIBUIÇÃO DE EXERCÍCIOS