

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



بینایی کامپیوتری

درس ۱۰

بازنمایی و توصیف

Representation and Description

کاظم فولادی
دانشکده مهندسی، پردیس فارابی
دانشگاه تهران

<http://courses.fouladi.ir/vision>

بازنمایی و توصیف

REPRESENTATION AND DESCRIPTION

نتیجه‌ی نهایی پیکسل‌های بخش‌بندی شده
برای پردازش‌های کامپیوتری بعدی،
باید به صورت مناسبی بازنمایی و توصیف شود.

دو گزینه برای بازنمایی یک ناحیه

*Two Choices for **Representing** a Region*

مشخصه‌های بیرونی

External Characteristics

مرز (مرز ناحیه)

Boundary

وقتی: تمرکز اصلی روی خصوصیات شکلی باشد.

مثل دایره / منحنی / ...

مشخصه‌های درونی

Internal Characteristics

پیکسل‌های تشکیل‌دهنده‌ی ناحیه

The Pixels Comprising the Region

وقتی: تمرکز اصلی روی ویژگی‌های ناحیه‌ای باشد.

مثل رنگ / بافت / ...

توصیف تصویر بر اساس بازنمایی انتخاب شده

توصیف

Description

مثلاً: یک تصویر با مرز آن **بازنمایی** می‌شود و
مرز با **ویژگی**‌هایی چون طول، جهت خط متصل‌کننده‌ی نقاط اکستریم و تعداد تقعر منحنی مرز **توصیف** می‌شود.

بازنمایی و توصیف

۱

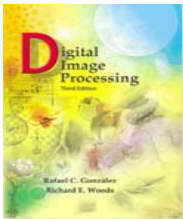
بازنمایی

پیگرد مرز (دنبال کردن کناره)

BOUNDARY TRACING (BORDER FOLLOWING)

مرتب‌سازی نقاط موجود در مرز یک ناحیه در جهت ساعت‌گرد (یا پادساعت‌گرد)

پیگرد مرز
Boundary Tracing

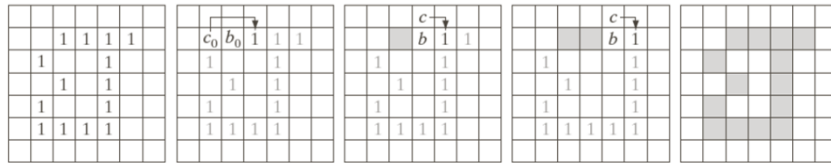


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description



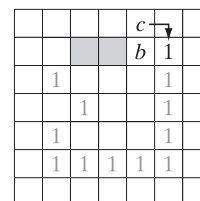
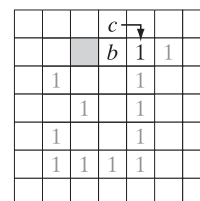
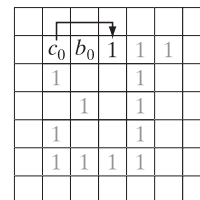
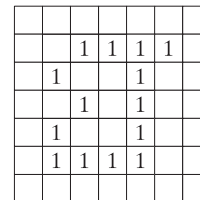
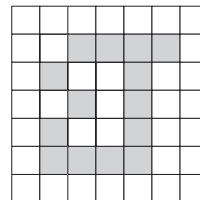
a b c d e

FIGURE 11.1 Illustration of the first few steps in the boundary-following algorithm. The point to be processed next is labeled in black, the points yet to be processed are gray, and the points found by the algorithm are labeled as gray squares.

پیگرد مرز (دنبال کردن کناره)

الگوریتم مور

BOUNDARY TRACING (BORDER FOLLOWING) (MOORE BORDER TRACKING ALGORITHM)



نقطه‌ی شروع را چپ‌ترین و بالاترین پیکسل 1 تصویر در نظر می‌گیریم:

این نقطه را b_0 و همسایه‌ی غربی آن را c_0 می‌نامیم. (c_0 حتماً پس‌زمینه است)

هر ۸ همسایه‌ی b_0 را با شروع از c_0 در جهت ساعت‌گرد آزمایش می‌کنیم:

اولین همسایه با مقدار 1 را b_1 و ماقبل بلافاصل آن در پس‌زمینه را c_1 می‌نامیم.

قرار می‌دهیم: $b \leftarrow b_1$ و $c \leftarrow c_1$

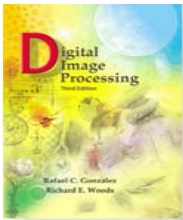
هر ۸ همسایه‌ی b را با شروع از c در جهت ساعت‌گرد تعیین کنید: $n_1, n_2, \dots, n_8$

اولین n_k که مقدار 1 دارد را می‌یابیم.

قرار می‌دهیم: $b \leftarrow n_k$ و $c \leftarrow n_{k-1}$ (c حتماً پس‌زمینه است)

تکرار تا زمانی که $b == b_0$ و نقطه‌ی مرزی بعدی b_1 شود.

ترتیب نقاط در دنباله‌ی b مشخص می‌شود.

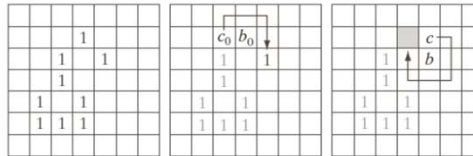


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description



a b c

FIGURE 11.2 Illustration of an erroneous result when the stopping rule is such that boundary-following stops when the starting point, b_0 , is encountered again.

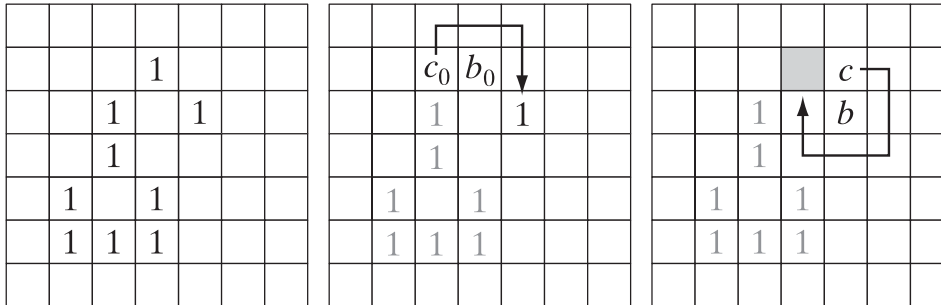
پیگرد مرز (دنبال کردن کناره)

الگوریتم مور: شرط پایان

BOUNDARY TRACING (BORDER FOLLOWING) (MOORE BORDER TRACKING ALGORITHM)

شرط پایان: زمانی که $b == b_0$ و نقطه‌ی مرزی بعدی b_1 شود.

شرط پایان نادرست: زمانی که $b == b_0$



پیگرد مرز (دنبال کردن کناره)

الگوریتم مور: مثال ۱ (انیمیشن)

BOUNDARY TRACING (BORDER FOLLOWING) (MOORE BOUNDARY TRACKING ALGORITHM)

Moore's Algorithm

Demonstration



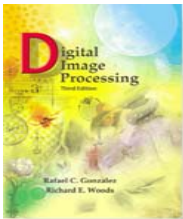
پیگرد مرز (دنبال کردن کناره)

الگوریتم مور: مثال ۲ (انیمیشن)

BOUNDARY TRACING (BORDER FOLLOWING) (MOORE BOUNDARY TRACKING ALGORITHM)

Demonstration:

**A reason to change
the
stopping criterion**

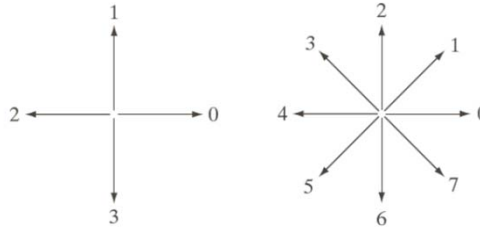


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description



a b

FIGURE 11.3

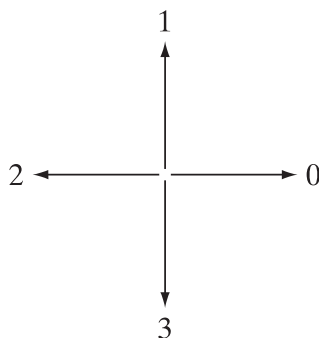
Direction numbers for (a) 4-directional chain code, and (b) 8-directional chain code.

کدهای زنجیره‌ای

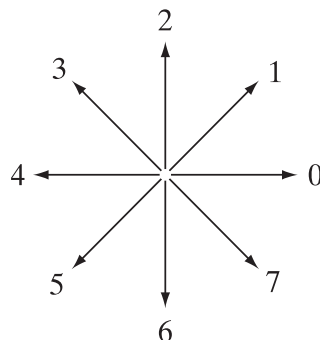
CHAIN CODES

هدف: بازنمایی که مرز به وسیله‌ی یک دنباله از پاره‌خط‌های راست متصل به هم دارای طول و جهت مشخص.
جهت هر پاره‌خط توسط یک شمای عددگذاری کد می‌شود.
کد حاصل: دنباله‌های حاصل از اعداد معرف جهت‌ها = کد زنجیره‌ای فری‌من

کد زنجیره‌ای
Chain Code

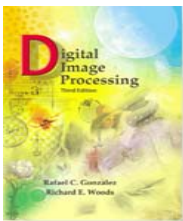


اعداد بیانگر جهت:
۴ - جهتی



اعداد بیانگر جهت:
۸ - جهتی

کد زنجیره‌ای فری‌من
Freeman Chain Code

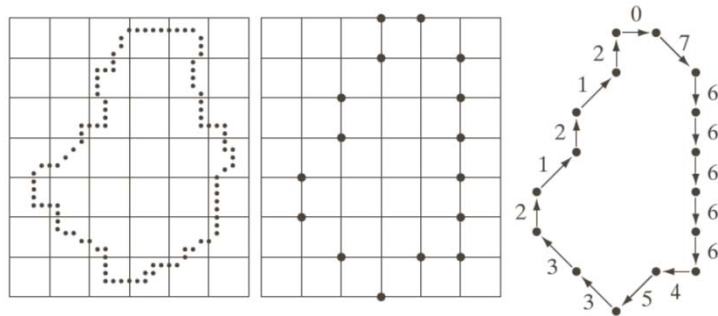


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

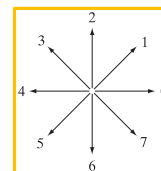
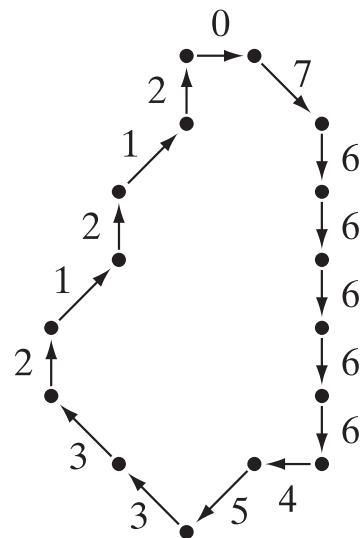
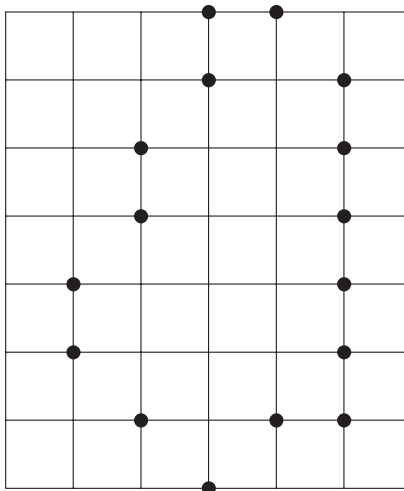
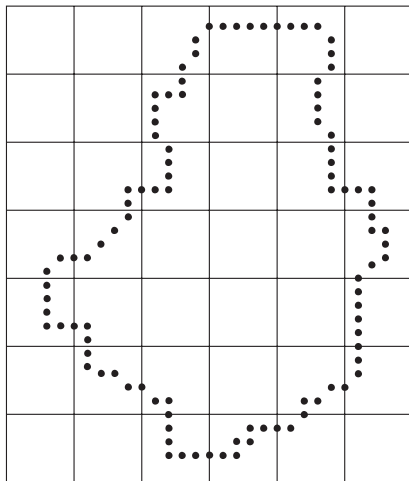


a b c

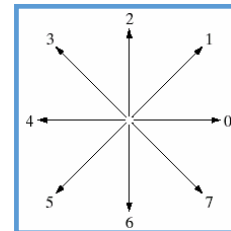
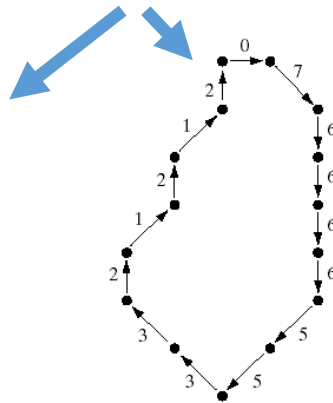
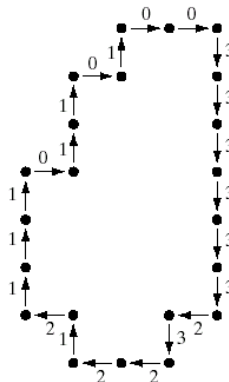
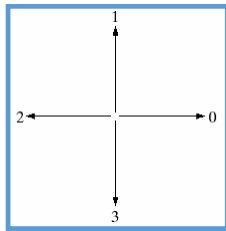
FIGURE 11.4
 (a) Digital boundary with resampling grid superimposed.
 (b) Result of resampling.
 (c) 8-directional chain-coded boundary.

کدهای زنجیره‌ای

مثال

CHAIN CODES

مثال



کدهای زنجیره‌ای

ویژگی‌ها

CHAIN CODES*The first difference of the chain code*

تفاضل اول کد زنجیره‌ای

شمارش تعداد تغییرات جهت (در یک جهت پادساعت‌گرد) بین دو نقطه از دنباله

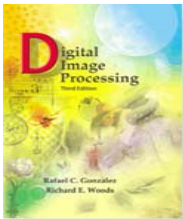
Example: the first difference of the 4-direction chain code 10103322 is 3133030

با فرض مسیر بسته: لیست اعداد کد را شیف‌ت چرخشی می‌دهیم تا زمانی که لیست اعداد حاصل، کوچک‌ترین عدد صحیح ممکن را تشکیل دهد.

نرمال‌سازی دورانی
Rotation Normalizationکد زنجیره‌ای
Chain Code

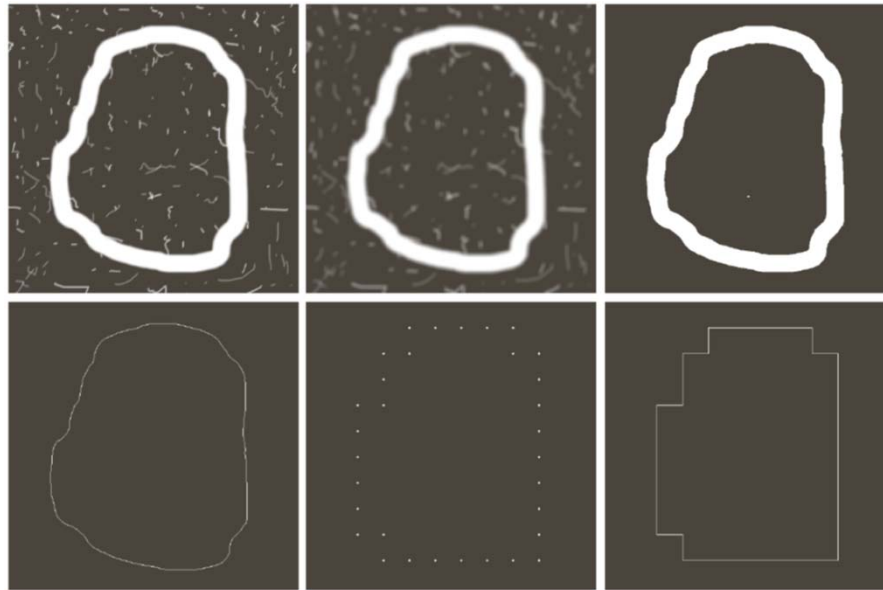
با تنظیم اندازه‌ی توری بازنمونه‌برداری (resampling grid) حاصل می‌شود.

نرمال‌سازی اندازه
Size Normalization



Chapter 11

Representation and Description



a b c
d e f

FIGURE 11.5 (a) Noisy image. (b) Image smoothed with a 9×9 averaging mask. (c) Smoothed image, thresholded using Otsu's method. (d) Longest outer boundary of (c). (e) Subsampled boundary (the points are shown enlarged for clarity). (f) Connected points from (e).

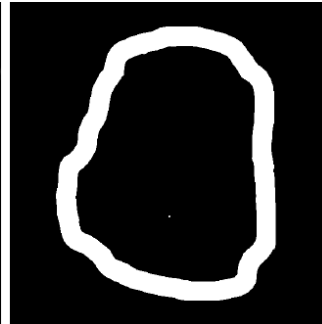
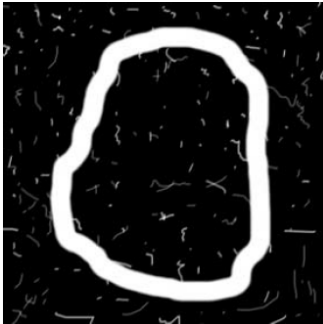
کدهای زنجیره‌ای

مثال

CHAIN CODES

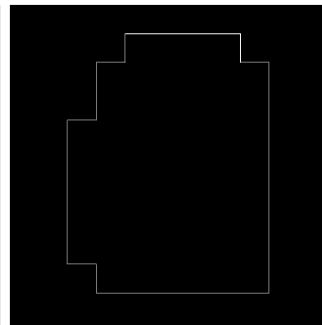
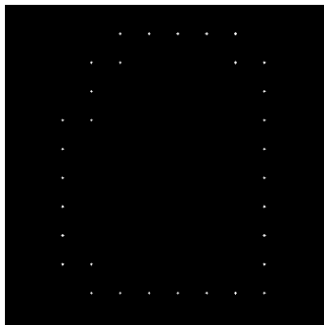
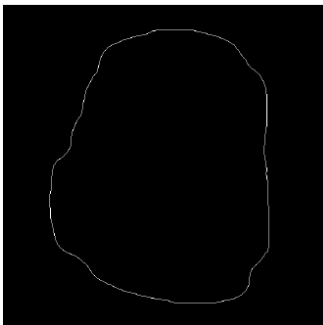
(۲) تصویر هموارسازی شده با
ماسک متوسط‌گیری ۹ در ۹

(۱)
تصویر اصلی
دارای نویز



(۳)
آستانه‌گیری از
تصویر هموار شده
با روش اوتسو

(۴)
طولانی‌ترین
مرز بیرونی (۳)

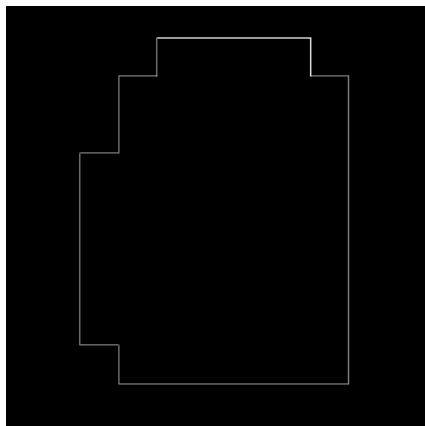


(۶)
نقاط متصل شده از
(۵)

(۵) مرز زیر نمونه برداری شده

کدهای زنجیره‌ای

مثال

CHAIN CODES

کد زنجیره‌ای فری‌من برای مرز ساده‌شده‌ی فوق با مختصات شروع (2,5) [بالاترین چپ‌ترین‌ها]:

00006066666666444444242222202202

عدد صحیح با کم‌ترین اندازه:

00006066666666444444242222202202

تفاضل اول:

00062600000006000006260000620626

تقریب‌های چندضلعی

با استفاده از چندضلعی با می‌نیم محیط

POLYGONAL APPROXIMATIONS USING MINIMUM-PERIMETER POLYGONS

تقریب‌های چندضلعی

Polygonal Approximations

برای بازنمایی یک مرز به وسیله‌ی پاره‌خط‌های راست:
یک مسیر بسته تبدیل به یک چندضلعی می‌شود.

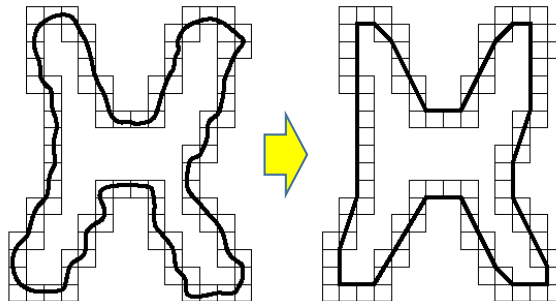
تعداد پاره‌خط‌های راست مورد استفاده، دقت تقریب را تعیین می‌کند.

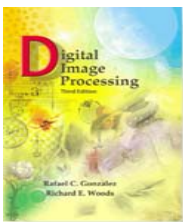
تقریب‌های با چندضلعی می‌نیم محیط

Minimum-Perimeter Polygons (MPP)

از حداقل تعداد اضلاع لازم برای حفظ اطلاعات شکلی مورد نیاز
استفاده می‌شود.

استفاده از تعداد ضلع بیشتر، فقط به مدل، نويز اضافه می‌کند.



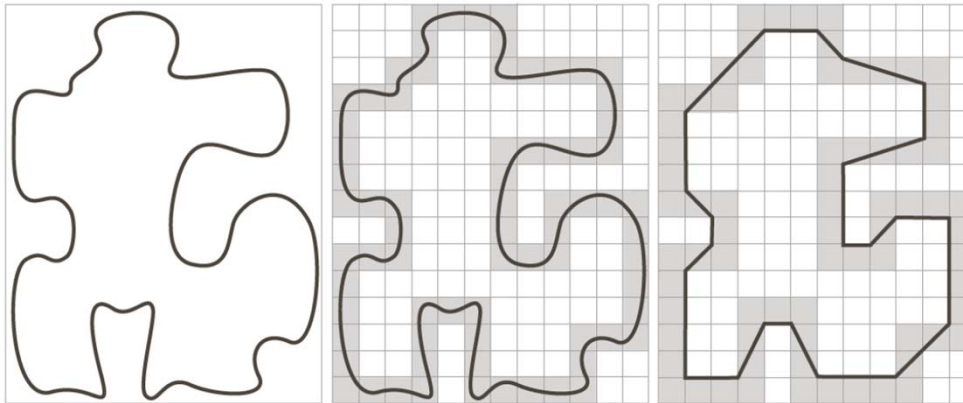


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description



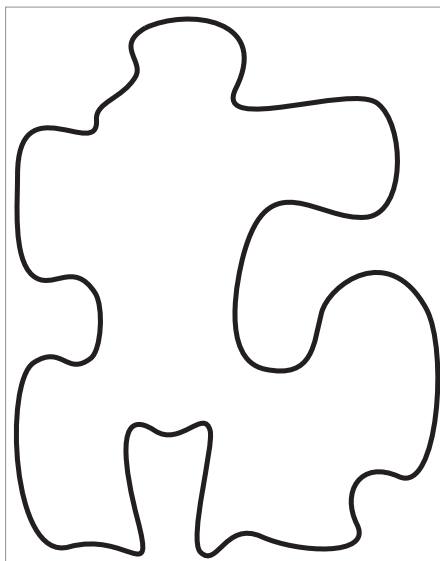
a b c

FIGURE 11.6 (a) An object boundary (black curve). (b) Boundary enclosed by cells (in gray). (c) Minimum-perimeter polygon obtained by allowing the boundary to shrink. The vertices of the polygon are created by the corners of the inner and outer walls of the gray region.

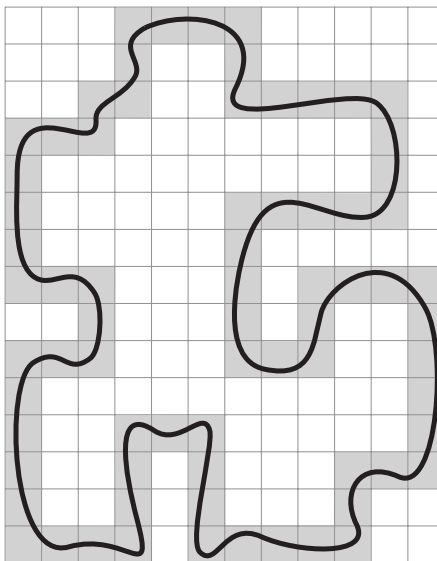
تقریب‌های چندضلعی

با استفاده از چندضلعی با می‌نیم محیط: مثال

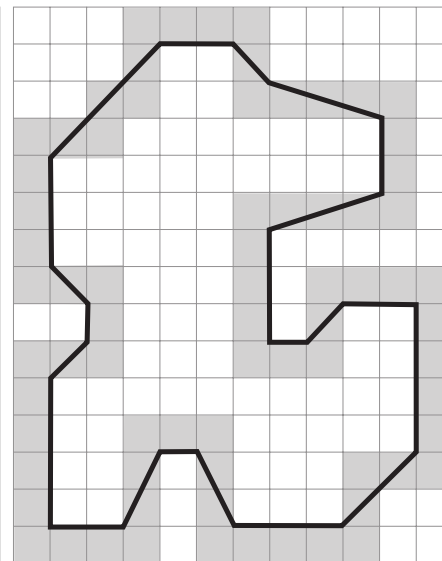
POLYGONAL APPROXIMATIONS USING MINIMUM-PERIMETER POLYGONS



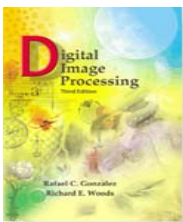
(۱) یک مرز شیء (منحنی سیاه)



(۲) مرز محصور شده در سلول‌ها (خاکستری)



(۳) چندضلعی با محیط می‌نیم
با اجازه دادن به مرز برای آب‌رفتن.
رئوس چندضلعی با گوشه‌های متشکل از
دیوارهای داخلی و خارجی ناحیه‌ی خاکستری
ایجاد می‌شود.



Chapter 11

Representation and Description

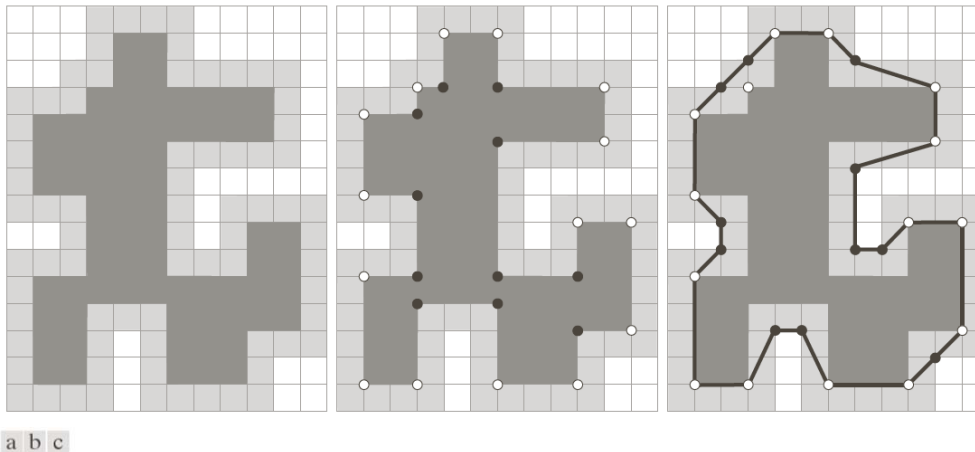
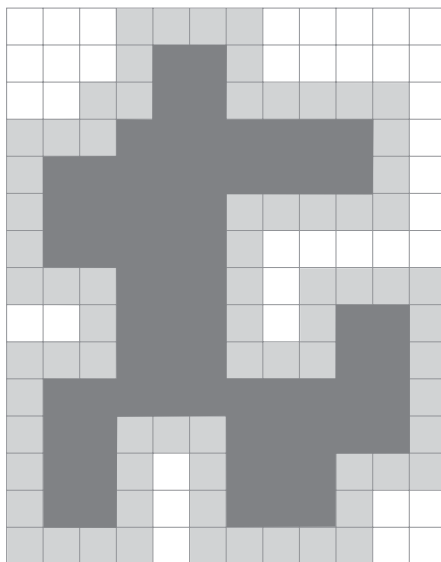


FIGURE 11.7 (a) Region (dark gray) resulting from enclosing the original boundary by cells (see Fig. 11.6). (b) Convex (white dots) and concave (black dots) vertices obtained by following the boundary of the dark gray region in the counterclockwise direction. (c) Concave vertices (black dots) displaced to their diagonal mirror locations in the outer wall of the bounding region; the convex vertices are not changed. The MPP (black boundary) is superimposed for reference.

تقریب‌های چندضلعی

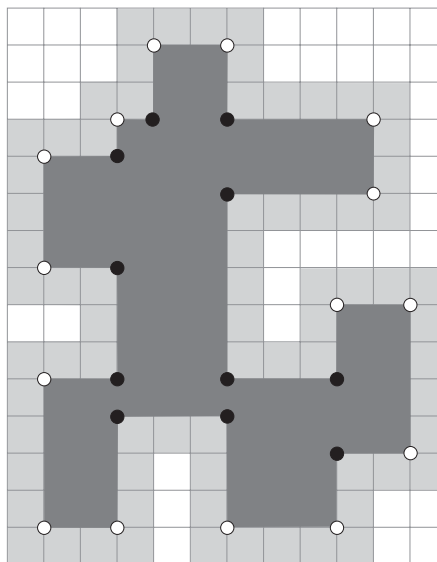
با استفاده از چندضلعی با می‌نیم محیط: مثال (الگوریتم)

POLYGONAL APPROXIMATIONS USING MINIMUM-PERIMETER POLYGONS



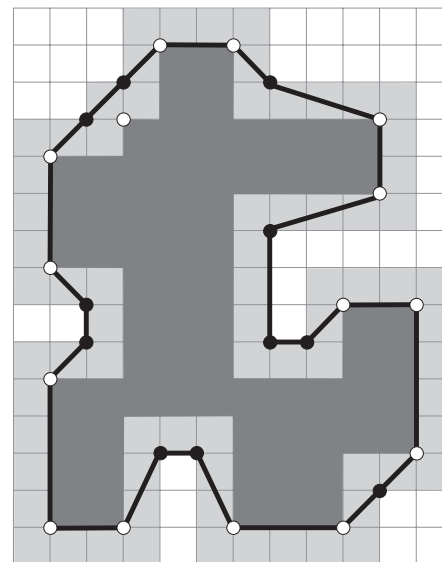
(۱)

ناحیه‌ی خاکستری تیره حاصل از
محصور شدن مرز اصلی با سلول‌ها



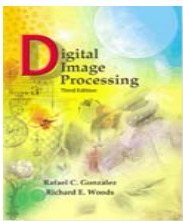
(۲)

رئوس محدب (نقاط سفید) و
رئوس مقعر (نقاط سیاه).
که با دنبال کردن مرز نواحی خاکستری تیره
در جهت ساعت‌گرد حاصل شده است.



(۳)

رئوس مقعر (نقاط سیاه) به آینه‌ی قطری خود
در دیواره‌ی خارجی ناحیه‌ی اتصال منتقل
شده‌اند. رئوس محدب تغییر نکرده‌اند:
MPP مرز سیاه است.



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description



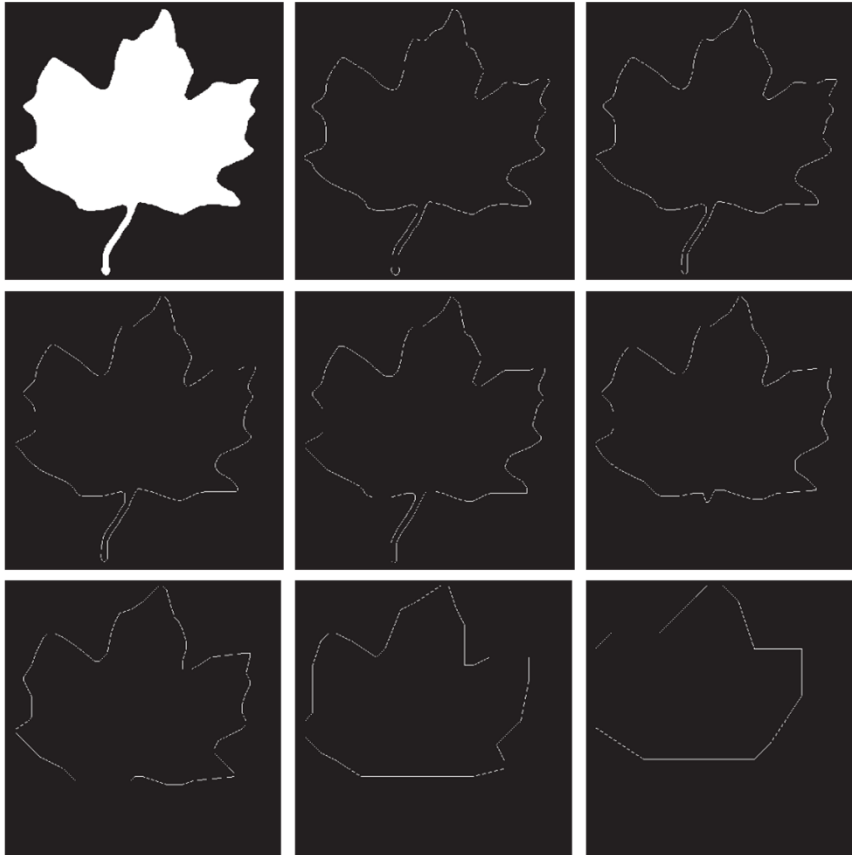
a	b	c
d	e	f
g	h	i

FIGURE 11.8

(a) 566×566 binary image.
(b) 8-connected boundary.
(c) through (i), MMPs obtained using square cells of sizes 2, 3, 4, 6, 8, 16, and 32, respectively (the vertices were joined by straight lines for display). The number of boundary points in (b) is 1900. The numbers of vertices in (c) through (i) are 206, 160, 127, 92, 66, 32, and 13, respectively.

تقریب‌های چندضلعی

با استفاده از چندضلعی با می‌نیم محیط: مثال



a	b	c
d	e	f
g	h	i

(a) 566×566 binary image.
 (b) 8-connected boundary.
 (c) through (i), MMPs obtained using square cells of sizes 2, 3, 4, 6, 8, 16, and 32, respectively (the vertices were joined by straight lines for display). The number of boundary points in (b) is 1900. The numbers of vertices in (c) through (i) are 206, 160, 127, 92, 66, 32, and 13, respectively.

تقریب‌های چندضلعی

روی‌کرده‌های دیگر برای تقریب چندضلعی

OTHER POLYGONAL APPROXIMATION APPROACHES

ادغام نقاط در امتداد مرز تا زمانی که خطای حداقل مربعات خط برازش‌یافته بر روی آن نقاط از یک مقدار آستانه‌ای از پیش تعریف شده کمتر باشد.

تکنیک‌های ادغام

Merging Techniques

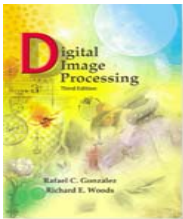
مشکل در بازنمایی گوشه‌ها!

تقسیم کردن ناحیه به صورت پی‌درپی به دو قسمت تا زمانی که معیار خاصی برآورده شود. (مثلاً تقسیم از قطر ناحیه، سپس از نقطه‌ای دارای بیشترین فاصله تا آن قطر و ...)

تکنیک‌های شکافت

Splitting Techniques

معمولاً تکنیک‌های **ادغام** و **شکافت همزمان** با هم به کار می‌روند تا مطمئن شویم رئوس در جاهایی ظاهر می‌شوند که به‌طور طبیعی در مرز به‌عنوان گوشه دیده می‌شوند.

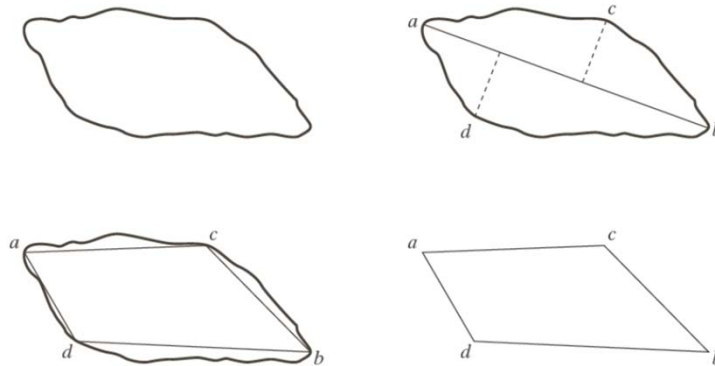


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description



a	b
c	d

FIGURE 11.9

(a) Original boundary.

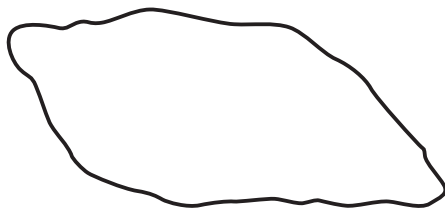
(b) Boundary divided into segments based on extreme points. (c) Joining of vertices. (d) Resulting polygon.

تقریب‌های چندضلعی

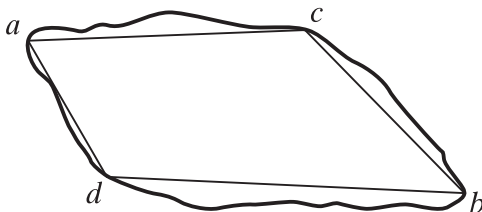
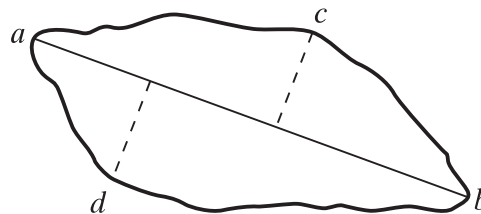
روی‌کردهای دیگر برای تقریب چندضلعی: مثال (ادغام و شکافت)

OTHER POLYGONAL APPROXIMATION APPROACHES

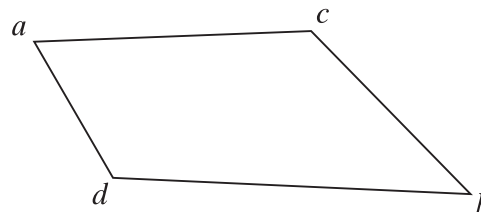
(۱) مرز اصلی



(۲) مرز بر اساس نقاط اکستریم به بخش‌هایی تقسیم شده است.



(۳) اتصال دادن رئوس



(۴) چندضلعی حاصل

امضاها

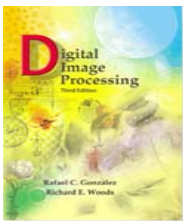
SIGNATURES

امضا

Signature

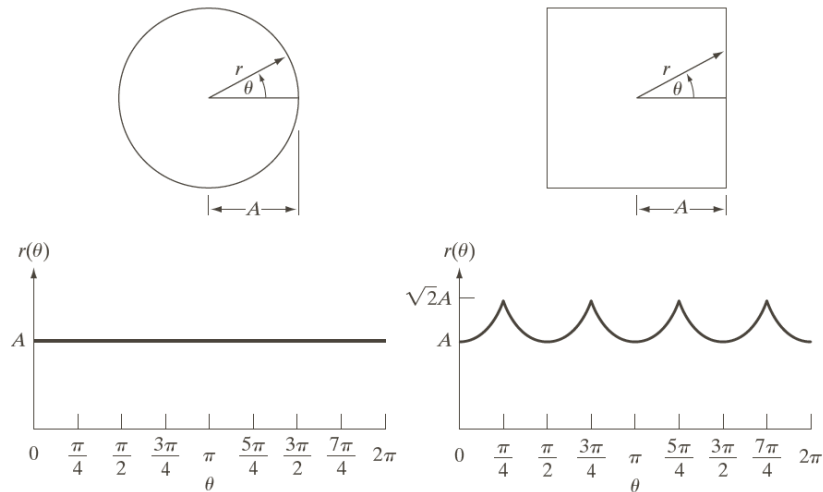
امضا، یک بازنمایی تابعی یک بعدی از یک مرز است.

روش های گوناگونی برای تولید امضا وجود دارد.
 اساس همه ی آنها: تبدیل بازنمایی دوبعدی مرز به بازنمایی یک بعدی



Chapter 11

Representation and Description



a b

FIGURE 11.10

Distance-versus-angle signatures.

In (a) $r(\theta)$ is constant. In

(b), the signature consists of

repetitions of the pattern

$r(\theta) = A \sec \theta$ for

$0 \leq \theta \leq \pi/4$ and

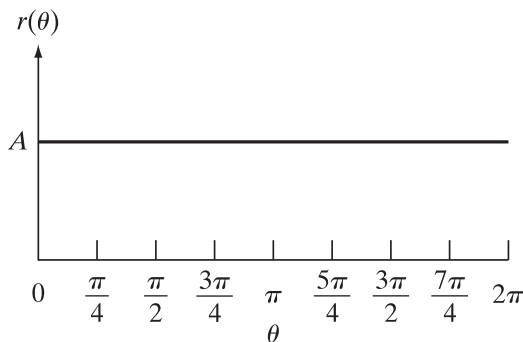
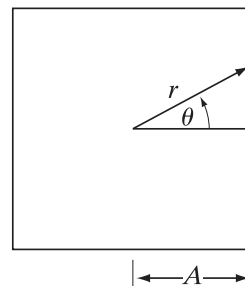
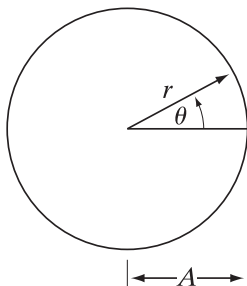
$r(\theta) = A \csc \theta$ for

$\pi/4 < \theta \leq \pi/2$.

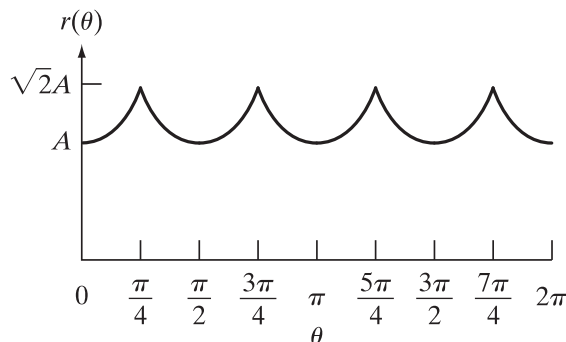
امضاها

مثال: استفاده از «فاصله در مقابل زاویه» به عنوان امضا

SIGNATURES



(۱) دایره



(۲) مربع

repetitions of the pattern

$r(\theta) = A \sec \theta$ for $0 \leq \theta \leq \pi/4$ and
 $r(\theta) = A \csc \theta$ for $\pi/4 < \theta \leq \pi/2$.

تعداد قله‌ها برای تمایز دو شکل کافی است!

امضاها

ویژگی‌های ناوردایی

SIGNATURES

امضا

Signature

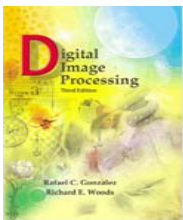
امضا، یک بازنمایی تابعی یک بعدی از یک مرز است.

امضاها نسبت به **تغییر مکان** ناوردا هستند.
اما نسبت به **دوران** و **تغییر اندازه** وابسته هستند.

الف) شروع از دورترین نقطه از نقطه‌ی مرجع یا
ب) استفاده از محور اصلی ناحیه
می‌تواند موجب **کاهش وابستگی** به **دوران** شود.

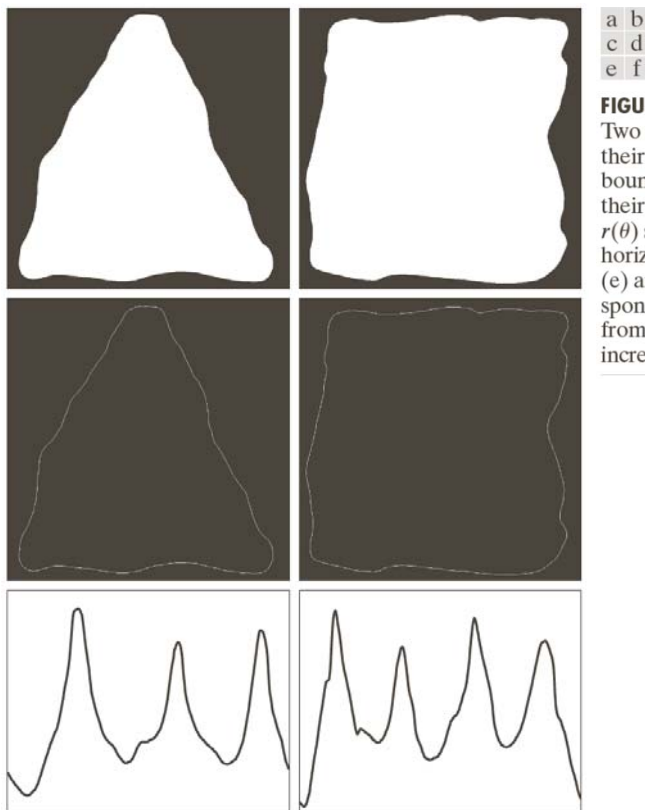
الف) مقیاس‌دهی تابع امضا با یک دامنه‌ی ثابت یا
ب) تقسیم مقادیر تابع بر انحراف استاندارد تابع
می‌تواند موجب **ناوردایی** نسبت به **تغییر اندازه** شود.





Chapter 11

Representation and Description



a	b
c	d
e	f

FIGURE 11.11

Two binary regions, their external boundaries, and their corresponding $r(\theta)$ signatures. The horizontal axes in (e) and (f) correspond to angles from 0° to 360° , in increments of 1° .

امضاها

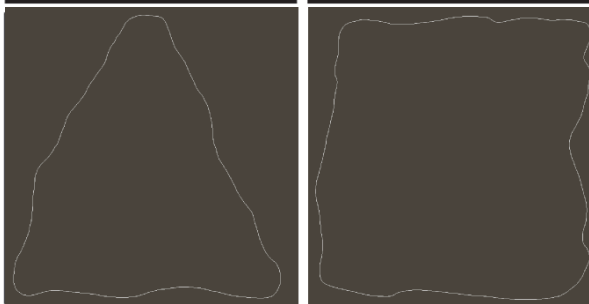
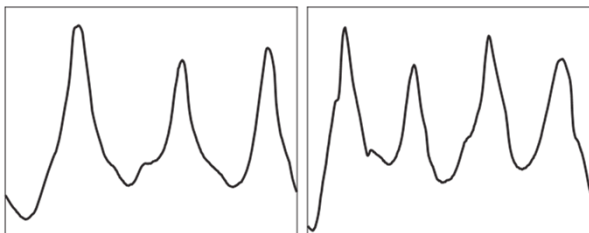
مثال

SIGNATURES

(۱) دو ناحیه‌ی دودویی

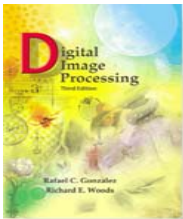


(۲) مرزهای نواحی دودویی فوق

(۳) امضاهای متناظر $r(\theta)$ $\theta \in [0^\circ: 1^\circ: 360^\circ]$ 

تعداد قله‌ها

برای تفکیک دو شکل کافی است.

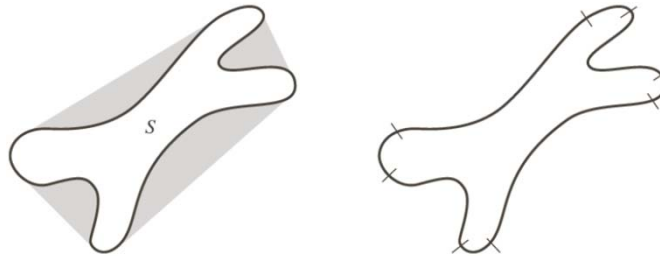


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description



a b

FIGURE 11.12
(a) A region, S , and its convex deficiency (shaded).
(b) Partitioned boundary.

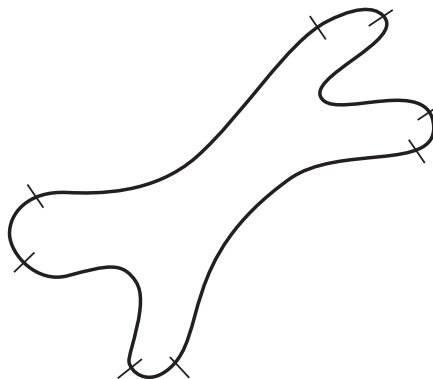
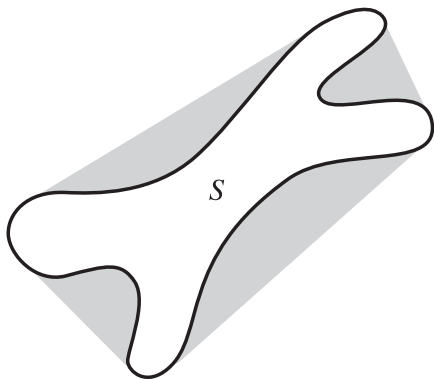
قطعه‌های مرز

BOUNDARY SEGMENTS

قطعه‌های مرز، یک مرز را به قطعه‌هایش تجزیه می‌کند.

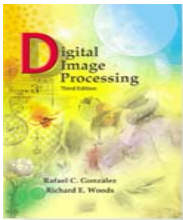
قطعه‌های مرز
Boundary Segments

استفاده از پوسته‌ی محدب ناحیه‌ی محصور شده با مرز،
ابزار قدرتمندی برای تجزیه‌ی قوام‌مند مرز است.



a b

(a) A region, S , and its convex deficiency (shaded).
(b) Partitioned boundary.

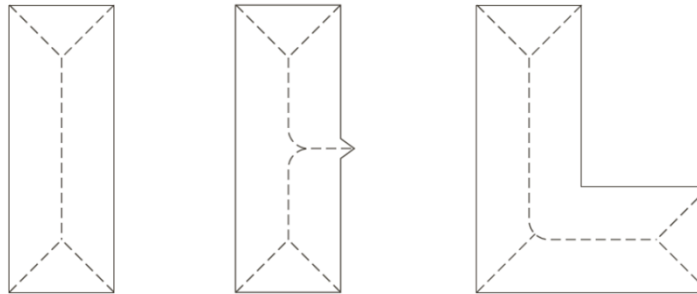


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description



a b c

FIGURE 11.13

Medial axes
(dashed) of three
simple regions.

اسکلت‌ها

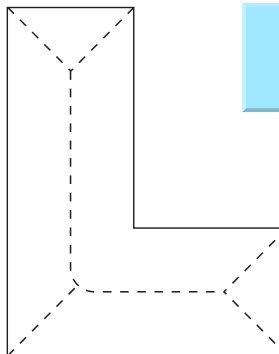
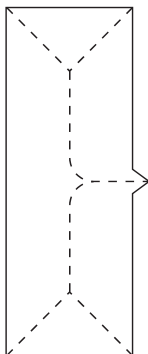
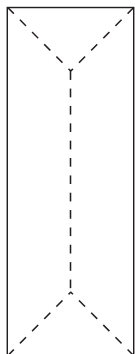
SKELETONS

بازنمایی کاهش‌یافته‌ی ساختار یک ناحیه‌ی مسطح به یک گراف

اسکلت

Skeleton

اسکلت‌های یک ناحیه را می‌توان از طریق تبدیل محور میانی (MAT) تعریف کرد.



تبدیل محور میانی

Medial Axis Transformation (MAT)

اسکلت‌ها

الگوریتم نازک‌سازی برای یافتن محور میانی

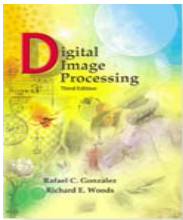
SKELETONS

ویژگی‌های الگوریتم نازک‌سازی برای یافتن محور میانی (به صورت حلقه‌ی تکرار):

۱) نقاط پایانی نباید حذف شوند.

۲) اتصال‌ها نباید شکسته شوند.

۳) موجب فرسایش بیش از حد ناحیه نشوند.



Digital Image Processing, 3rd ed.

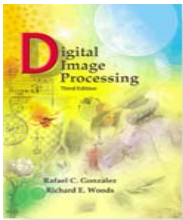
Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

p_9	p_2	p_3
p_8	p_1	p_4
p_7	p_6	p_5

FIGURE 11.14
Neighborhood
arrangement used
by the thinning
algorithm.



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

0	0	1
1	p_1	0
1	0	1

FIGURE 11.15

Illustration of conditions (a) and (b) in Eq. (11.1-4). In this case $N(p_1) = 4$ and $T(p_1) = 3$.

اسکلت‌ها

الگوریتم نازک‌سازی برای یافتن محور میانی

SKELETONS

گام صفر: یافتن نقاط کانتوری (contour point)

هر پیکسلی با مقدار 1 که حداقل یک پیکسل با مقدار 0 در همسایگی-۸ خود داشته باشد.

p_9	p_2	p_3
p_8	p_1	p_4
p_7	p_6	p_5

 $N(p_1)$ is the number of nonzero neighbors of p_1 ; that is,

$$N(p_1) = p_2 + p_3 + \dots + p_8 + p_9$$

 $T(p_1)$ is the number of 0-1 transitions in the ordered sequence $p_2, p_3, \dots, p_8, p_9, p_2$.

$$\begin{array}{ccc} 0 & 0 & 1 \end{array} \quad N(p_1) = 4$$

$$\begin{array}{ccc} 1 & p_1 & 0 \end{array} \quad T(p_1) = 3$$

$$\begin{array}{ccc} 1 & 0 & 1 \end{array}$$

اسکلت‌ها

الگوریتم نازک‌سازی برای یافتن محور میانی

SKELETONS

گام ۱: نشان‌گذاری نقاط کانتوری برای حذف (مرحله ۱)

نقطه‌ی کانتوری p_1 برای حذف نشان‌گذاری می‌شود اگر شرایط زیر ارضا شود:

p_9	p_2	p_3
p_8	p_1	p_4
p_7	p_6	p_5

$$(a) \quad 2 \leq N(p_1) \leq 6$$

$$(b) \quad T(p_1) = 1$$

$$(c) \quad p_2 \cdot p_4 \cdot p_6 = 0$$

$$(d) \quad p_4 \cdot p_6 \cdot p_8 = 0$$

اسکلت‌ها

الگوریتم نازک‌سازی برای یافتن محور میانی

SKELETONS

گام ۲: نشان‌گذاری نقاط کانتوری برای حذف (مرحله ۲)

دوباره، نقطه‌ی کانتوری p_1 برای حذف نشان‌گذاری می‌شود، اگر شرایط زیر ارضا شود:

p_9	p_2	p_3
p_8	p_1	p_4
p_7	p_6	p_5

$$(a) \quad 2 \leq N(p_1) \leq 6$$

$$(b) \quad T(p_1) = 1$$

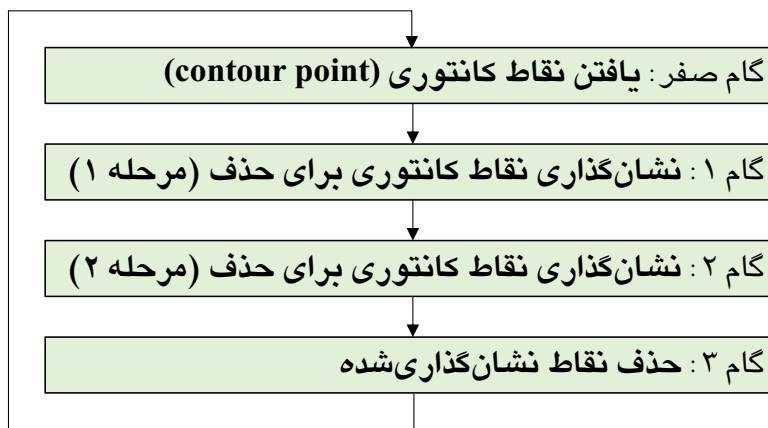
$$(c') \quad p_2 \cdot p_4 \cdot p_8 = 0$$

$$(d') \quad p_2 \cdot p_6 \cdot p_8 = 0$$

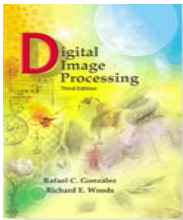
اسکلت‌ها

الگوریتم نازک‌سازی برای یافتن محور میانی

SKELETONS



تکرار تا زمانی که که نقطه‌ی دیگری برای
حذف باقی نماند.



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11

Representation and Description



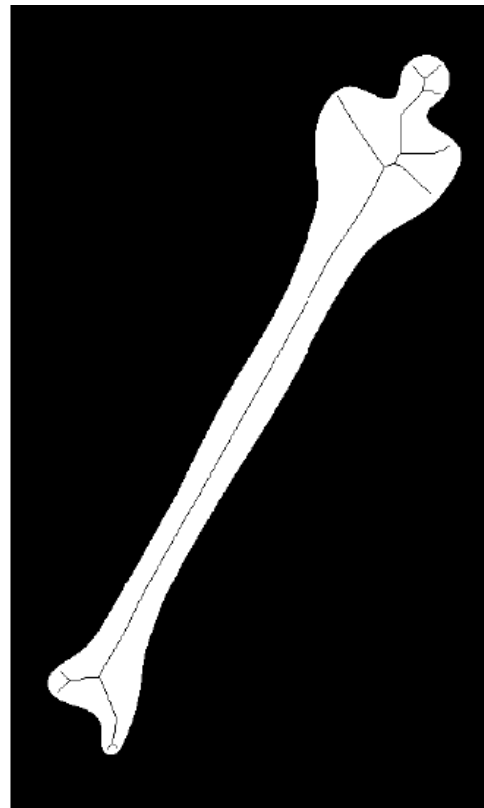
FIGURE 11.16
Human leg bone
and skeleton of
the region shown
superimposed.

اسکلت‌ها

مثال

SKELETONS

استخوان پای انسان
(محور میانی / اسکلت بر روی آن نشان داده شده است.)



بازنمایی و توصیف

۲

توصیف گره‌های
مرز

توصیف‌گرهای مرز

BOUNDARY DESCRIPTORS

اعداد شکل <i>Shape Number</i>	خروج از مرکز مرز <i>Eccentricity of Boundary</i>	طول مرز <i>Length of Boundary</i>
توصیف‌گرهای فوریه <i>Fourier Descriptors</i>	مستطیل پایه <i>Basic Rectangle</i>	قطر مرز <i>Diameter of Boundary</i>
گشتاورهای آماری <i>Statistical Moments</i>	انحنای <i>Curvature</i>	محور اصلی / فرعی مرز <i>Major/Minor Axis</i>

توصیف‌گرهای مرز

چند توصیف‌گر ساده

BOUNDARY DESCRIPTORS: SOME SIMPLE DESCRIPTORS

نمونه‌ی توصیف‌گرهای ساده‌ی مرز

تعداد پیکسل‌ها در طول یک مرز = تقریب خام طول در بازنمایی با کد زنجیره‌ای فواصل مساوی واحد در هر دو جهت = جمع تعداد اجزای عمودی و افقی و $\sqrt{2}$ برابر تعداد اجزای قطری	طول مرز <i>Length of Boundary</i>
طول پاره‌خط ما بین دورترین دو نقطه روی مرز $\text{Diam}(B) = \max_{i,j} [D(p_i, p_j)]$	قطر مرز <i>Diameter of Boundary</i>
محور اصلی: پاره‌خط ما بین دورترین دو نقطه روی مرز محور فرعی: بزرگ‌ترین پاره‌خط عمود بر محور اصلی محدود به مرز	محور اصلی / فرعی مرز <i>Major/Minor Axis</i>
نسبت ابعاد محور اصلی به محور فرعی مرز	خروج از مرکز مرز <i>Eccentricity of Boundary</i>
چهارگوش گذرنده از چهار نقطه‌ی تقاطع محورهای اصلی و فرعی با مرز که کل مرز را در برمی‌گیرد	مستطیل پایه <i>Basic Rectangle</i>
نرخ تغییر شیب در امتداد مرز اندازه‌گیری دقیق انحنا در یک نقطه از منحنی مرز دیجیتال دشوار است. یک توصیف‌گر برای انحنا در نقاط تقاطع قطعه‌ها: تفاضل شیب دو قطعه مرز مجاور	انحنا <i>Curvature</i>

توصیف‌گرهای مرز

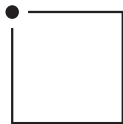
اعداد شکل

BOUNDARY DESCRIPTORS: SHAPE NUMBERS

تفاضل اول کد زنجیره‌ای با کوچک‌ترین مقدار عددی

عدد شکل
Shape Numberمرتبه‌ی عدد شکل (n): تعداد ارقام در بازنمایی آنمرتبه‌ی عدد شکل
Shape Number Order (n)

Order 4

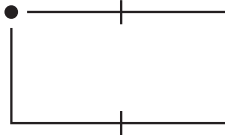


Chain code: 0 3 2 1

Difference: 3 3 3 3

Shape no.: 3 3 3 3

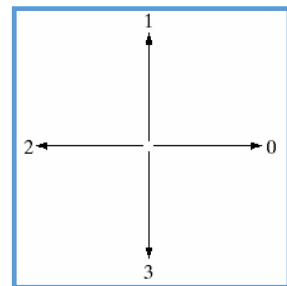
Order 6

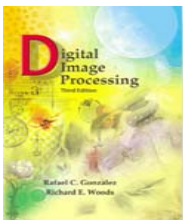


Chain code: 0 0 3 2 2 1

Difference: 3 0 3 3 0 3

Shape no.: 0 3 3 0 3 3





Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

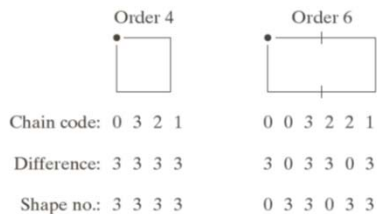
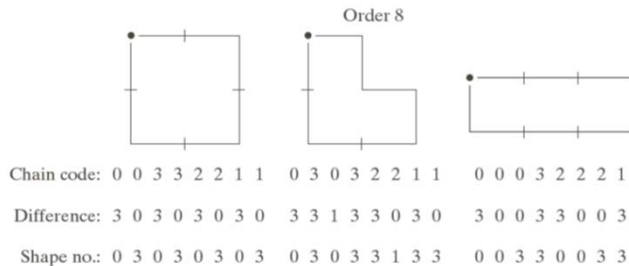


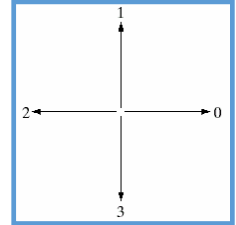
FIGURE 11.17

All shapes of order 4, 6, and 8. The directions are from Fig. 11.3(a), and the dot indicates the starting point.

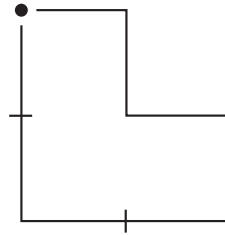
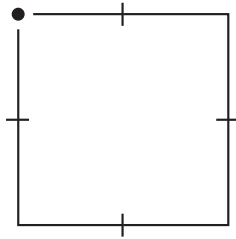


توصیف‌گرهای مرز

اعداد شکل: مثال

BOUNDARY DESCRIPTORS: SHAPE NUMBERS

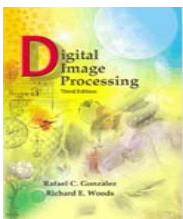
Order 8



Chain code: 0 0 3 3 2 2 1 1 0 3 0 3 2 2 1 1 0 0 0 3 2 2 2 1

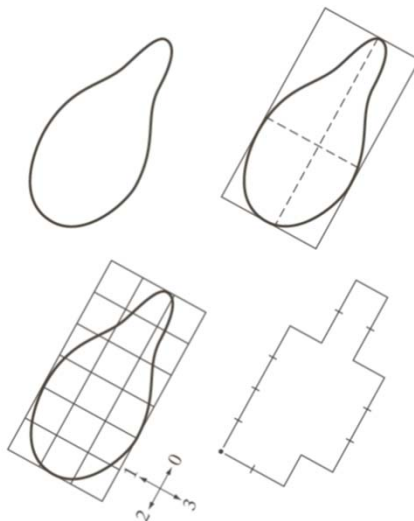
Difference: 3 0 3 0 3 0 3 0 3 3 1 3 3 0 3 0 3 0 0 3 3 0 0 3

Shape no.: 0 3 0 3 0 3 0 3 0 3 0 3 3 1 3 3 0 0 3 3 0 0 3 3



Chapter 11

Representation and Description



a	b
c	d

FIGURE 11.18
Steps in the
generation of a
shape number.

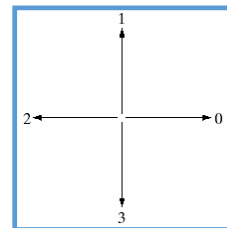
Chain code: 0 0 0 0 3 0 0 3 2 2 3 2 2 2 1 2 1 1

Difference: 3 0 0 0 3 1 0 3 3 0 1 3 0 0 3 1 3 0

Shape no.: 0 0 0 3 1 0 3 3 0 1 3 0 0 3 1 3 0 3

توصیف‌گرهای مرز

اعداد شکل: مثال

BOUNDARY DESCRIPTORS: SHAPE NUMBERS

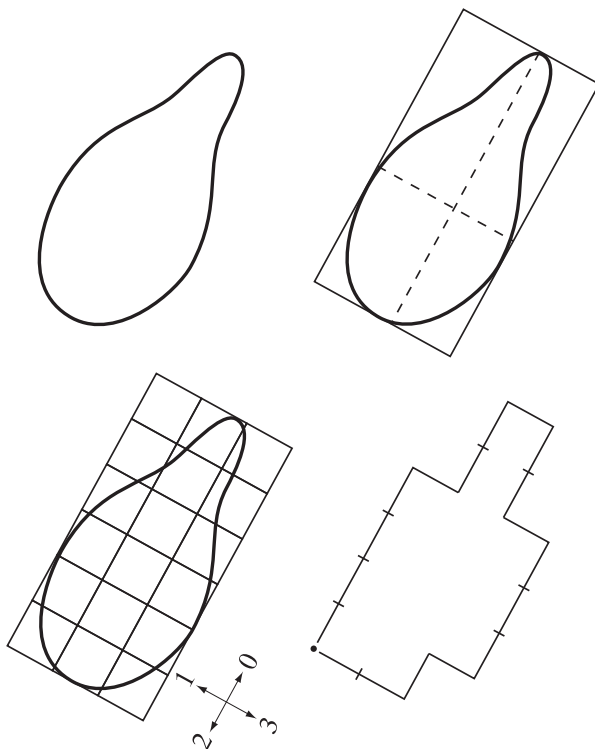
تولید عدد شکل پس از تولید مستطیل پایه

برای مرتبه‌ی $n = 18$ انتخاب مستطیل 3×6

Chain code: 0 0 0 0 3 0 0 3 2 2 3 2 2 2 1 2 1 1

Difference: 3 0 0 0 3 1 0 3 3 0 1 3 0 0 3 1 3 0

Shape no.: 0 0 0 3 1 0 3 3 0 1 3 0 0 3 1 3 0 3



توصیف‌گرهای مرز

توصیف‌گرهای فوریه

BOUNDARY DESCRIPTORS: FOURIER DESCRIPTORS

توصیف‌گرهای فوریه

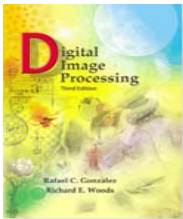
Fourier Descriptors

استفاده از تبدیل فوریه برای بازنمایی و تحلیل شکل یک مرز

- با مختصات x, y مرز به عنوان بخش‌های حقیقی و موهومی یک عدد مختلط برخورد می‌کنیم.
- با استفاده از تبدیل گسسته‌ی فوریه (DFT)، از این لیست نقاط تبدیل فوریه می‌گیریم.
- ضرایب فوریه‌ی حاصل، توصیف‌گرهای فوریه نام دارند.

فرکانس‌های پایین: شکل پایه‌ی ناحیه توسط چند ضریب اول فوریه مشخص می‌شود.

فرکانس‌های بالا: اطلاعات جزئیات بیشتر مرز توسط جملات فرکانس بالاتر فراهم می‌شود.



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

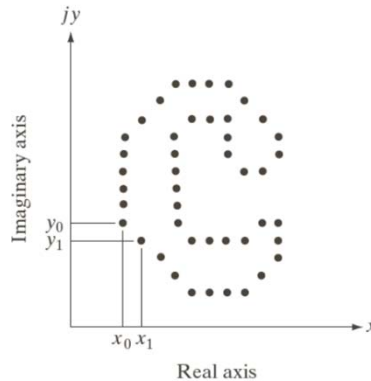


FIGURE 11.19

A digital boundary and its representation as a complex sequence. The points (x_0, y_0) and (x_1, y_1) shown are (arbitrarily) the first two points in the sequence.

توصیف‌گرهای مرز

توصیف‌گرهای فوریه

BOUNDARY DESCRIPTORS: FOURIER DESCRIPTORS

$$(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_{K-1}, y_{K-1})$$

مجموعه‌ی نقاط مرز با نقطه شروع دلخواه:

$$x(k) = x_k \quad y(k) = y_k$$

$$s(k) = [x(k), y(k)], \text{ for } k = 0, 1, 2, \dots, K - 1.$$

$$s(k) = x(k) + jy(k) \quad \text{for } k = 0, 1, 2, \dots, K - 1.$$

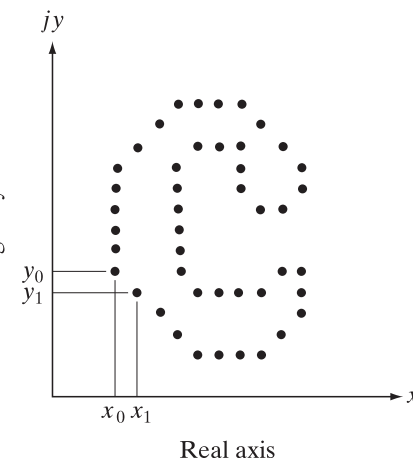
تبدیل فوریه‌ی گسسته: $a(u)$ توصیف‌گر فوریه است:

$$a(u) = \sum_{k=0}^{K-1} s(k) e^{-j2\pi uk/K} \quad u = 0, 1, 2, \dots, K - 1.$$

تبدیل معکوس فوریه‌ی گسسته:

$$s(k) = \frac{1}{K} \sum_{u=0}^{K-1} a(u) e^{j2\pi uk/K} \quad k = 0, 1, 2, \dots, K - 1.$$

$$\hat{s}(k) = \frac{1}{P} \sum_{u=0}^{P-1} a(u) e^{j2\pi uk/P} \quad k = 0, 1, 2, \dots, K - 1.$$

تقریب معکوس فوریه با P ضریب اول:

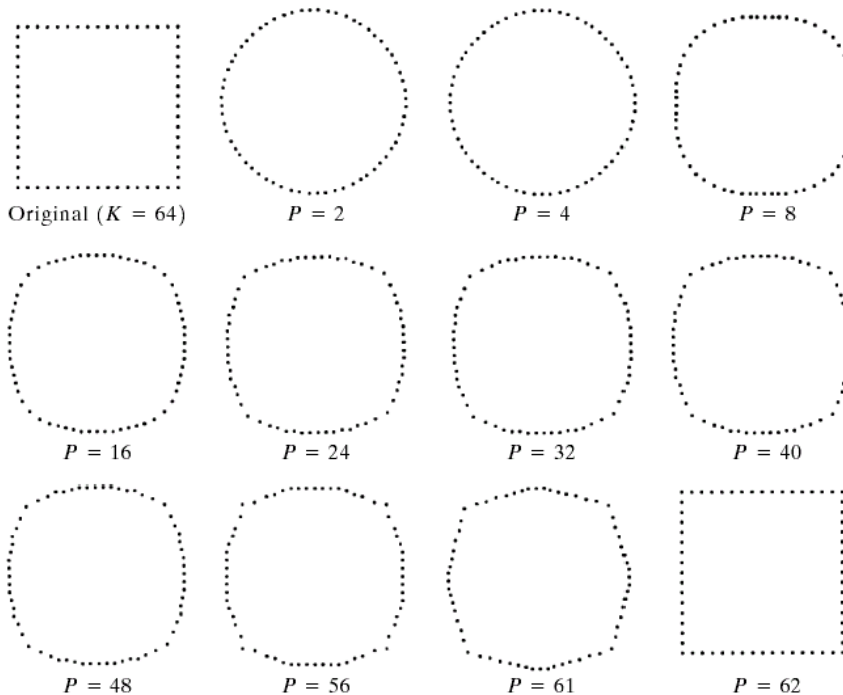
توصیف‌گرهای مرز

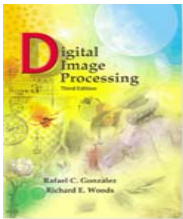
توصیف‌گرهای فوریه: مثال (بازسازی با تعداد مختلف توصیف‌گر فوریه)

BOUNDARY DESCRIPTORS: FOURIER DESCRIPTORS

$$\hat{s}(k) = \frac{1}{P} \sum_{u=0}^{P-1} a(u) e^{j2\pi uk/P} \quad k = 0, 1, 2, \dots, K - 1.$$

تقریب معکوس فوریه با P ضریب اول:





Chapter 11

Representation and Description

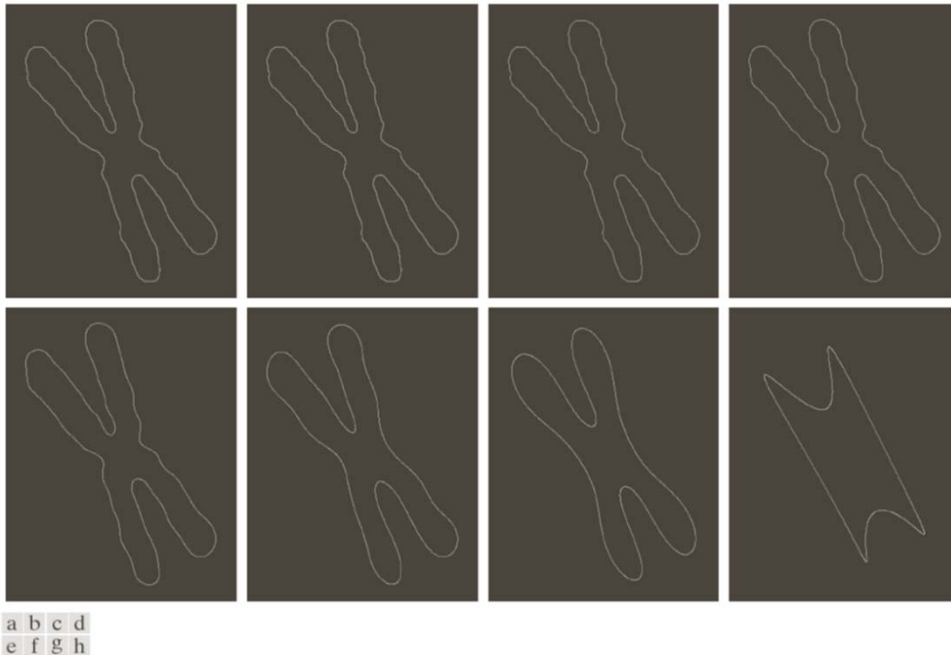


FIGURE 11.20 (a) Boundary of human chromosome (2868 points). (b)–(h) Boundaries reconstructed using 1434, 286, 144, 72, 36, 18, and 8 Fourier descriptors, respectively. These numbers are approximately 50%, 10%, 5%, 2.5%, 1.25%, 0.63%, and 0.28% of 2868, respectively.

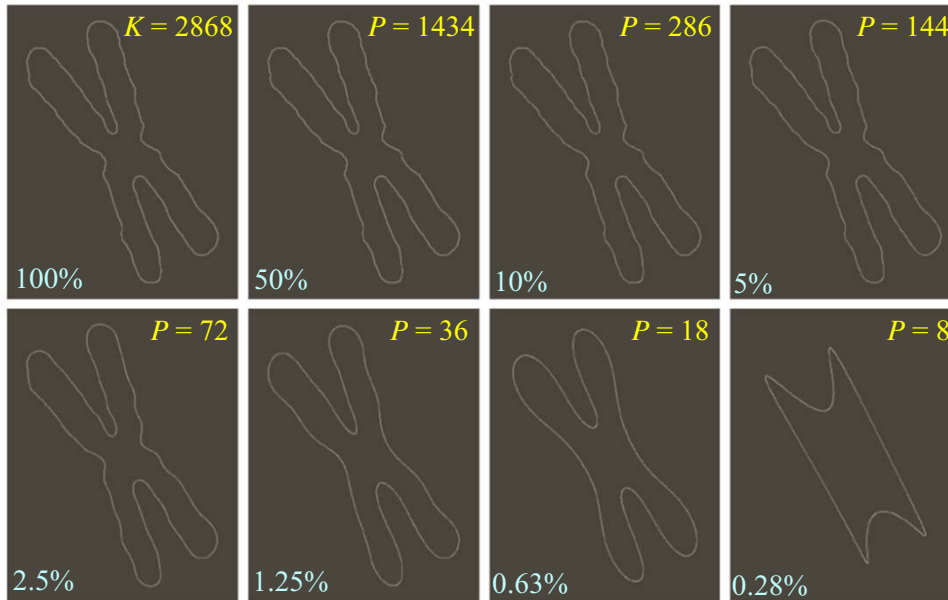
توصیف‌گرهای مرز

توصیف‌گرهای فوریه: مثال (بازسازی با تعداد مختلف توصیف‌گر فوریه)

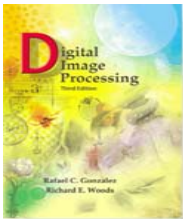
BOUNDARY DESCRIPTORS: FOURIER DESCRIPTORS

$$\hat{s}(k) = \frac{1}{P} \sum_{u=0}^{P-1} a(u) e^{j2\pi uk/P} \quad k = 0, 1, 2, \dots, K - 1.$$

تقریب معکوس فوریه با P ضریب اول:



نتیجه: با تعداد محدودی توصیف‌گر فوریه می‌توان اطلاعات زیادی در مورد شکل به‌دست آورد.



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

Transformation	Boundary	Fourier Descriptor
Identity	$s(k)$	$a(u)$
Rotation	$s_r(k) = s(k)e^{j\theta}$	$a_r(u) = a(u)e^{j\theta}$
Translation	$s_t(k) = s(k) + \Delta_{xy}$	$a_t(u) = a(u) + \Delta_{xy}\delta(u)$
Scaling	$s_s(k) = \alpha s(k)$	$a_s(u) = \alpha a(u)$
Starting point	$s_p(k) = s(k - k_0)$	$a_p(u) = a(u)e^{-j2\pi k_0 u/K}$

TABLE 11.1
Some basic
properties of
Fourier
descriptors.

توصیف‌گرهای مرز

توصیف‌گرهای فوریه: خصوصیات

BOUNDARY DESCRIPTORS: FOURIER DESCRIPTORS

توصیف‌گرهای فوریه تحت **انتقال**، **دوران** و **تغییر اندازه** ناوردا نیستند،
اما روابط ساده‌ای برای این تبدیل‌ها وجود دارد.
ضمناً توصیف‌گرهای فوریه به **نقطه شروع** هم حساس هستند.

Transformation	Boundary	Fourier Descriptor
Identity	$s(k)$	$a(u)$
Rotation	$s_r(k) = s(k)e^{j\theta}$	$a_r(u) = a(u)e^{j\theta}$
Translation	$s_t(k) = s(k) + \Delta_{xy}$	$a_t(u) = a(u) + \Delta_{xy}\delta(u)$
Scaling	$s_s(k) = \alpha s(k)$	$a_s(u) = \alpha a(u)$
Starting point	$s_p(k) = s(k - k_0)$	$a_p(u) = a(u)e^{-j2\pi k_0 u/K}$

دنباله‌ی نقاط حاصل از دوران θ

$$s(k)e^{j\theta} \Rightarrow a_r(u) = \sum_{k=0}^{K-1} s(k)e^{j\theta}e^{-j2\pi uk/K} = a(u)e^{j\theta}$$

$$u = 0, 1, 2, \dots, K - 1.$$

$$\Delta_{xy} = \Delta x + j\Delta y \quad s_t(k) = s(k) + \Delta_{xy}$$

دنباله‌ی نقاط حاصل از جابجایی

$$s_t(k) = [x(k) + \Delta x] + j[y(k) + \Delta y]$$

توصیف‌گرهای مرز

گشتاورهای آماری

BOUNDARY DESCRIPTORS: STATISTICAL MOMENTS

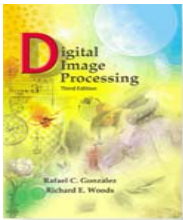
گشتاورهای آماری

Statistical Moments

گشتاورهای آماری، اندازه‌های آماری داده‌ها هستند.

- گشتاور مرتبه صفر = تعداد نقاط داده
 - گشتاور مرتبه یک = مجموع داده‌ها (مورد استفاده در میانگین)
 - گشتاور مرتبه دو = مورد استفاده در واریانس
 - گشتاور مرتبه سه = مورد استفاده در skewness داده‌ها
 - گشتاور مرتبه چهار = ...
- گشتاورهای مرتبه‌ی بالاتر معنی پیچیده‌تری دارند.

برای ایجاد تمایز بین شکل‌های مختلف، چند گشتاور اول آن کافی است.

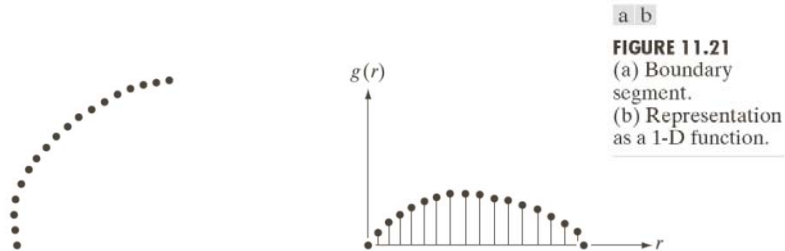


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description



a b

FIGURE 11.21

(a) Boundary segment.

(b) Representation as a 1-D function.

توصیف‌گرهای مرز

گشتاورهای آماری: محاسبه

BOUNDARY DESCRIPTORS: STATISTICAL MOMENTS

اگر $v = g(r)$ یک متغیر تصادفی معرف مرز باشد و p هیستوگرام نرمال‌شده‌ی آن باشد:

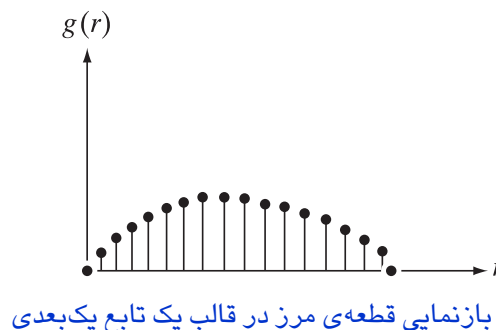
$$\mu_n(v) = \sum_{i=0}^{A-1} (v_i - m)^n p(v_i)$$

گشتاور n ام حول میانگین:
(تعداد مقادیر ممکن متغیر تصادفی است)

$$m = \sum_{i=0}^{A-1} v_i p(v_i)$$

میانگین:

برای یافتن $v = g(r)$ برای یک مرز، نقاط ابتدا و انتهای قطعه مرز را به هم متصل می‌کنیم و از زاویه‌ی خط حاصل با محور افقی برای دوران استفاده می‌کنیم:



توصیف‌گرهای مرز

گشتاورهای آماری: محاسبه (روش دیگر)

BOUNDARY DESCRIPTORS: STATISTICAL MOMENTS

منحنی $g(r)$ را به گونه‌ای نرمال می‌کنیم که مساحت زیر منحنی آن یک شود و:

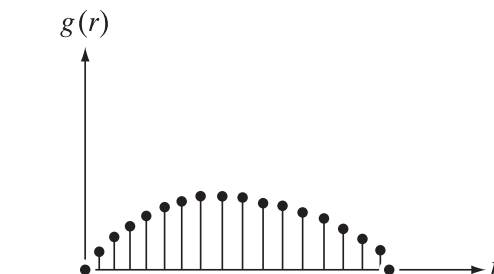
$$\mu_n(r) = \sum_{i=0}^{K-1} (r_i - m)^n g(r_i)$$

گشتاور n ام حول میانگین:
(K تعداد مقادیر ممکن متغیر تصادفی g است)

$$m = \sum_{i=0}^{K-1} r_i g(r_i)$$

میانگین:

برای یافتن $\nu = g(r)$ برای یک مرز، نقاط ابتدا و انتهای قطعه مرز را به هم متصل می‌کنیم و از زاویه‌ی خط حاصل با محور افقی برای دوران استفاده می‌کنیم:



بازنمایی قطعه‌ی مرز در قالب یک تابع یک‌بعدی

بازنمایی و توصیف

۳

توصیف گرهای
ناحیه‌ای

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

REGIONAL DESCRIPTORS

توصیف‌گرهای توپولوژیکی
Topological Descriptors

بافت
Texture

ناوردهای گشتاوری
Moment Invariants

متوسط شدت روشنایی
Mean of Intensities

میانه شدت روشنایی
Median of Intensities

می‌نیم شدت روشنایی
Minimum of Intensities

ماکزیم شدت روشنایی
Maximum of Intensities

تعداد پیکسل‌های ...
Number of Pixels ...

مساحت ناحیه
Area of Region

محیط ناحیه
Perimeter of Region

فشرده‌گی ناحیه
Compactness of Region

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

چند توصیف‌گر ساده

REGIONAL DESCRIPTORS

نمونه‌ی توصیف‌گرهای ساده‌ی ناحیه

تعداد پیکسل‌های داخل ناحیه	مساحت ناحیه <i>Area of Region</i>
طول مرز ناحیه	محیط ناحیه <i>Perimeter of Region</i>
نسبت مساحت بر مجذور محیط	فشرده‌گی ناحیه <i>Compactness of Region</i>

نسبت مساحت ناحیه به مساحت دایره (فشرده‌ترین شکل) ای که همان محیط را دارد.

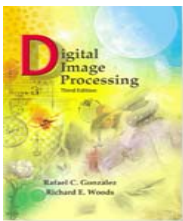
$$R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$$

A مساحت ناحیه‌ی تحت بررسی، P محیط ناحیه‌ی تحت بررسی

نسبت دایره‌ای بودن

Circularity Ratio

برای ناحیه‌ی دایره‌ای $R_c = 1$ برای ناحیه‌ی مربعی $R_c = \pi/2$
 فشرده‌گی بدون بعد است $\Leftarrow$ نسبت به تغییرات اسکالر یکنواخت غیرحساس است.
 فشرده‌گی نسبت به جهت حساس نیست (صرف‌نظر از خطاهای محاسباتی چرخش و ...).



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

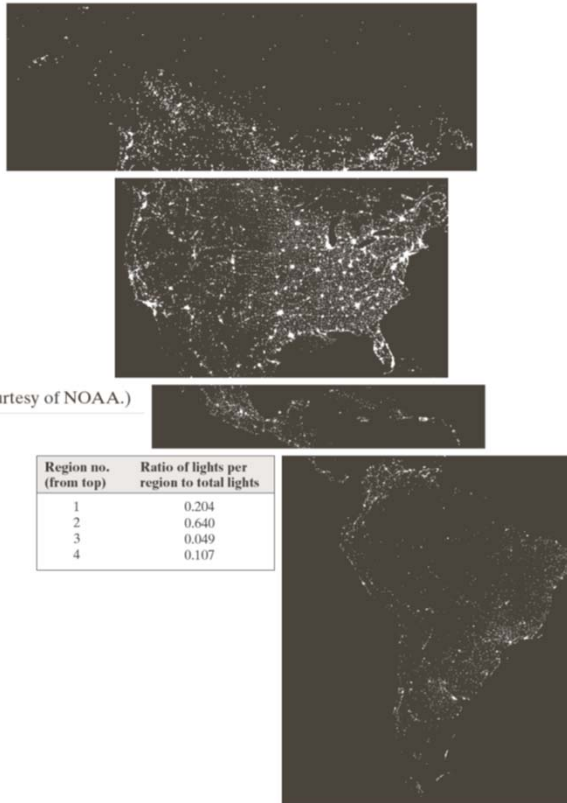


FIGURE 11.22 Infrared images of the Americas at night. (Courtesy of NOAA.)

Region no. (from top)	Ratio of lights per region to total lights
1	0.204
2	0.640
3	0.049
4	0.107

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

استفاده از محاسبات مساحت برای استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای مادون قرمز سنجش از دور

REGIONAL DESCRIPTORS



Region no. (from top)	Ratio of lights per region to total lights
1	0.204
2	0.640
3	0.049
4	0.107



میزان نور به عنوان معیاری از سکونت انسان

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

توصیف‌گرهای توپولوژیکی

REGIONAL DESCRIPTORS: TOPOLOGICAL DESCRIPTORS

توصیف‌گرهای توپولوژیکی

Topological Descriptors

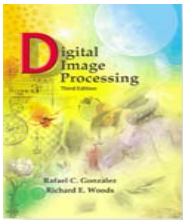
ویژگی‌هایی از یک ناحیه که در اثر تغییر حالت
(غیر از پاره‌شدن یا اتصال نواحی) ثابت می‌مانند.

مناسب برای توصیف سراسری از نواحی موجود در صفحه‌ی تصویر

- تعداد حفره‌های شکل (H)
- تعداد مؤلفه‌های همبند (C)
- عدد اوایلر (E)
- ...

$$E = C - H$$

توپولوژی، مطالعه‌ی ویژگی‌های یک شکل است که در اثر تغییر حالت (غیر از پاره‌شدن یا اتصال نواحی) متأثر نمی‌شوند.



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11

Representation and Description

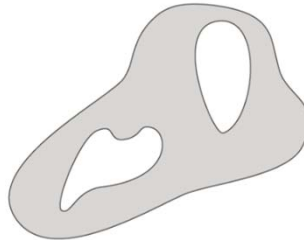


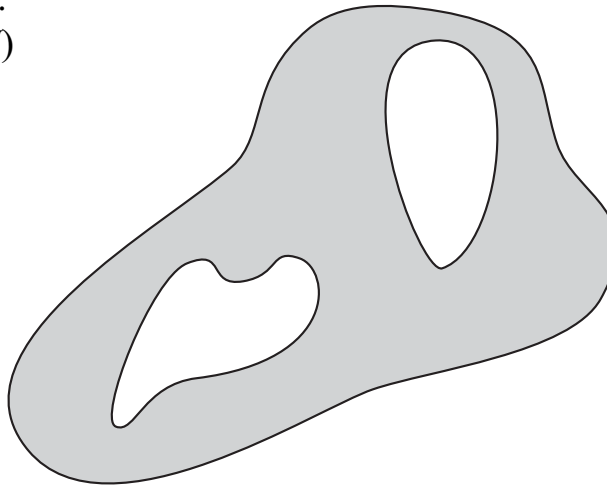
FIGURE 11.23
A region with
two holes.

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

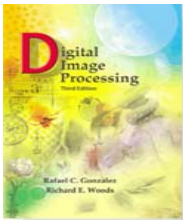
توصیف‌گرهای توپولوژیکی: مثال (تعداد حفره‌ها)

REGIONAL DESCRIPTORS: TOPOLOGICAL DESCRIPTORS

Topological property 1:
the number of holes (H)



یک ناحیه با ۲ حفره



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11

Representation and Description

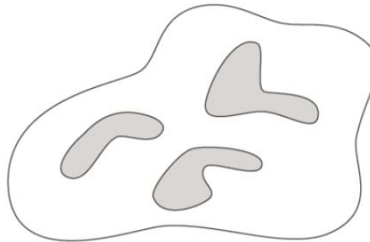


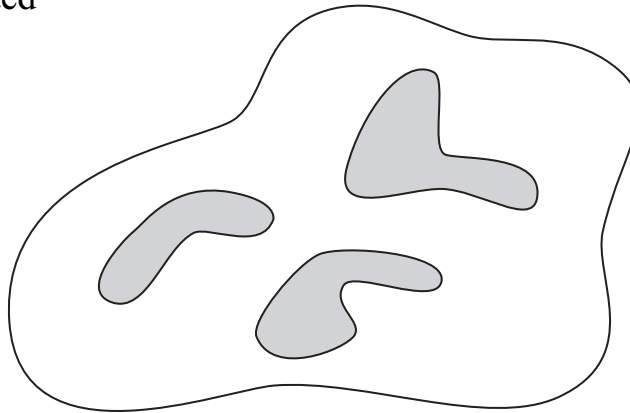
FIGURE 11.24
A region with
three connected
components.

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

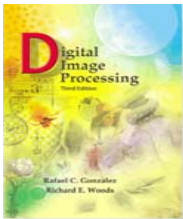
توصیف‌گرهای توپولوژیکی: مثال (تعداد مؤلفه‌های همبند)

REGIONAL DESCRIPTORS: TOPOLOGICAL DESCRIPTORS

Topological property 2:
the number of connected
components (C)



یک ناحیه با ۳ مؤلفه‌ی همبند

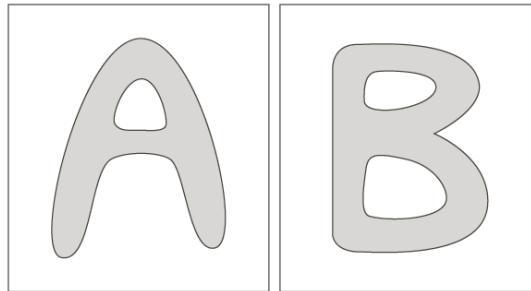


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description



a b

FIGURE 11.25
Regions with
Euler numbers
equal to 0 and -1 ,
respectively.

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

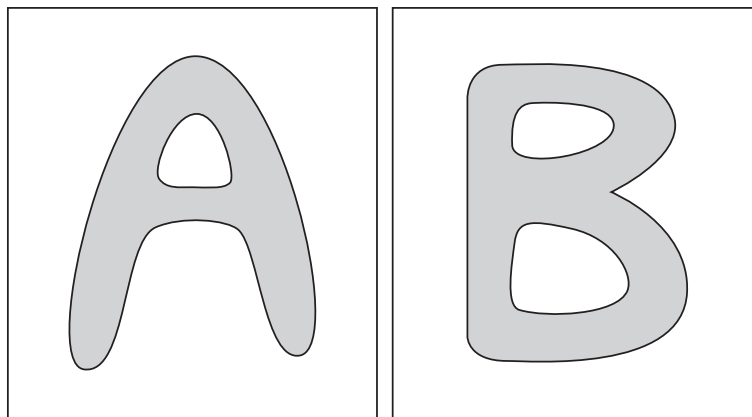
توصیف‌گرهای توپولوژیکی: مثال (عدد اوایلر)

REGIONAL DESCRIPTORS: TOPOLOGICAL DESCRIPTORS

Topological property 3:

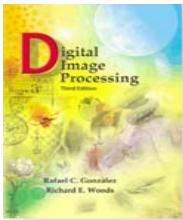
Euler number: the number of connected components subtract the number of holes

$$E = C - H$$



$$E = 0$$

$$E = -1$$



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

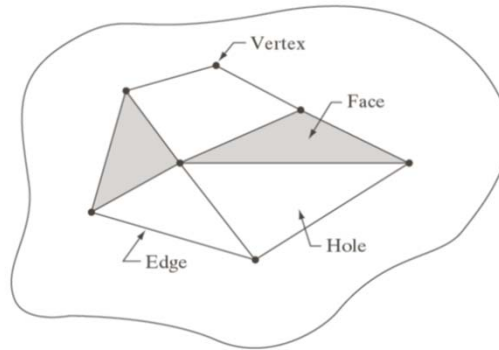


FIGURE 11.26 A region containing a polygonal network.

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

توصیف‌گرهای توپولوژیکی: (عدد اویلر برای نواحی بازنمایی شده با خطوط مستقیم [شبکه‌ای چندضلعی])

REGIONAL DESCRIPTORS: TOPOLOGICAL DESCRIPTORS

$$V - Q + F = C - H$$

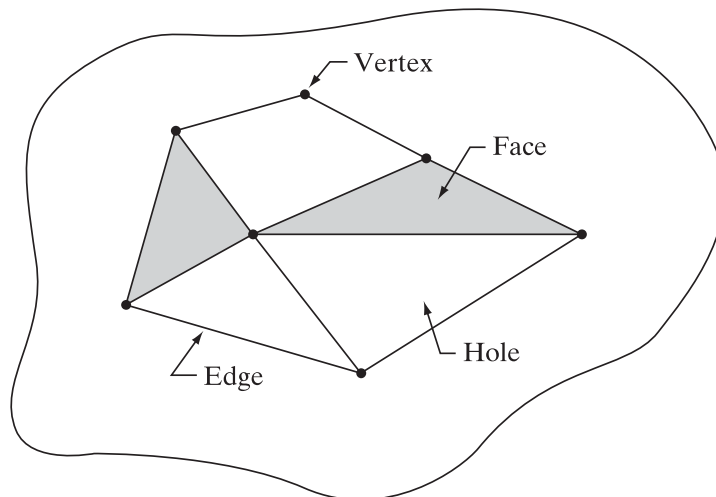
تعداد رئوس V

تعداد یال Q

تعداد وجه F

تعداد حفره H

تعداد مؤلفه‌ی همبند C

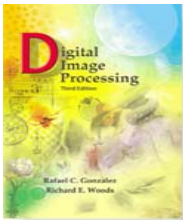


7 vertices, 11 edges, 2 faces, 1 connected region, and 3 holes; thus the Euler number is -2 :

$$7 - 11 + 2 = 1 - 3 = -2$$

$$V - Q + F = C - H$$

$$= E$$

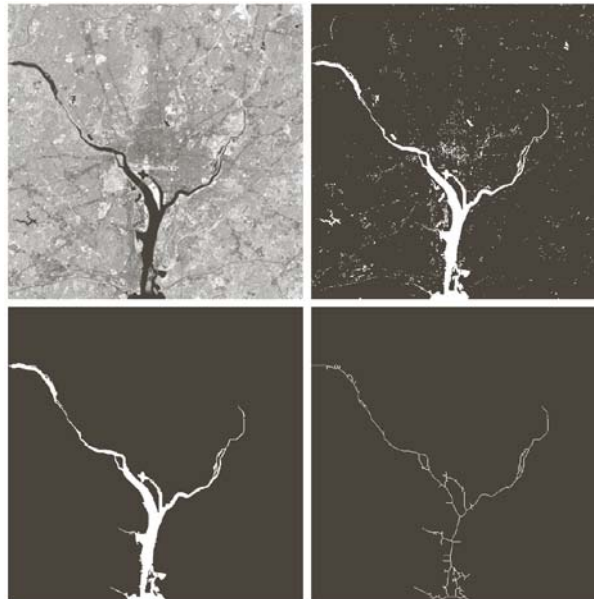


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description



a b
c d

FIGURE 11.27

(a) Infrared image of the Washington, D.C. area. (b) Thresholded image. (c) The largest connected component of (b). (d) Skeleton of (c).

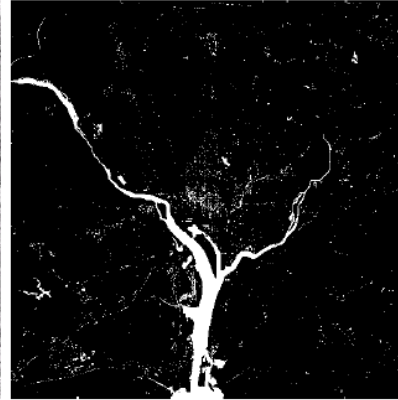
توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

توصیف‌گرهای توپولوژیکی: مثال (استفاده از مؤلفه‌های همبند برای استخراج بزرگ‌ترین ویژگی در یک تصویر بخش‌بندی شده)

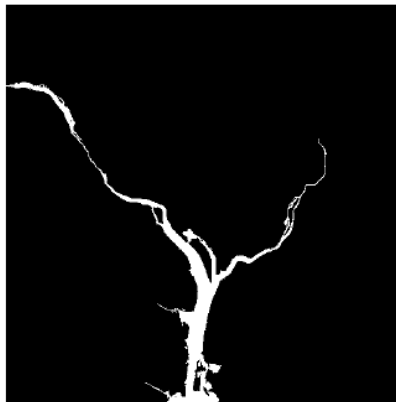
REGIONAL DESCRIPTORS: TOPOLOGICAL DESCRIPTORS

Topological
property 4:
**the largest
connected
component.**

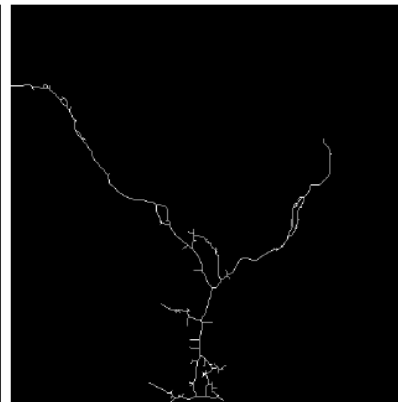
(۱) تصویر مادون‌قرمز از یک شهر



(۲) آستانه‌گیری



(۳) بزرگ‌ترین مؤلفه‌ی همبند



(۴) اسکلت

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

بافت

REGIONAL DESCRIPTORS: TEXTURE

بافت

Texture

الگوی همواری یا زبری یک سطح

بافت در بینایی کامپیوتری: ظاهر بصری یکنواختی یا عدم یکنواختی روشنایی و رنگ

انواع بافت

بافت منظم

Regular Texture

می‌تواند با کلمات، معادلات یا الگوهای ابتدایی تکراری
توصیف شود؛
(مثل سطح پارچه)

تحلیل با

روش‌های طیفی
Spectral Methods

روش‌های ساختاری
Structural Methods

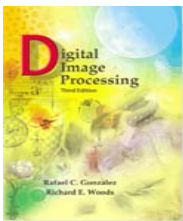
بافت تصادفی

Random Texture

نمی‌تواند دقیقاً با کلمات یا معادلات توصیف شود؛
بلکه باید به صورت آماری توصیف شود.
(مثل سطح توده‌ی آلودگی، یا سطح سنگ‌ها)

تحلیل با

روش‌های آماری
Statistical Methods

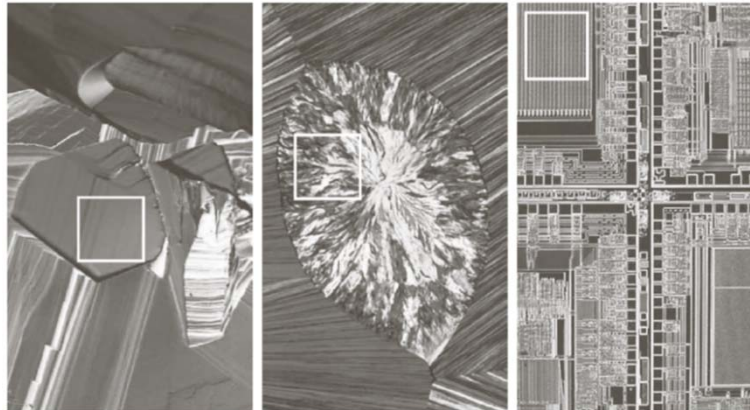


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description



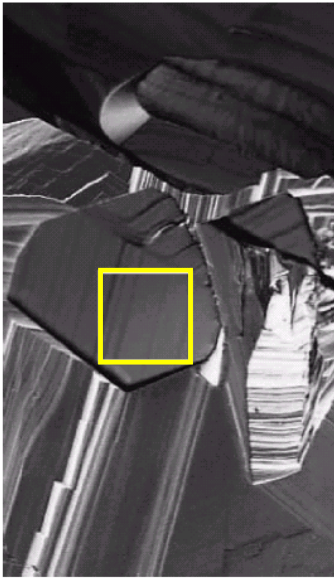
a b c

FIGURE 11.28

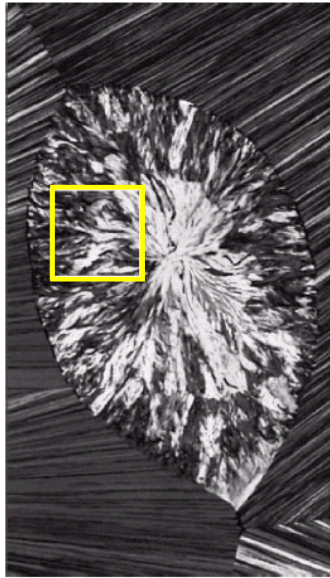
The white squares mark, from left to right, smooth, coarse, and regular textures. These are optical microscope images of a superconductor, human cholesterol, and a microprocessor. (Courtesy of Dr. Michael W. Davidson, Florida State University.)

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

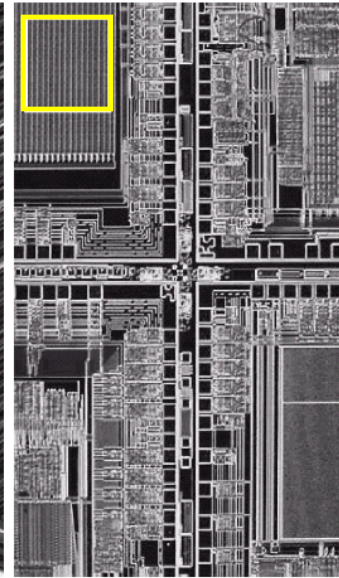
بافت

REGIONAL DESCRIPTORS: TEXTURE

بافت نرم
Smooth Texture



بافت زبر
Coarse Texture



بافت منظم
Regular Texture

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

بافت: روی‌کردهای آماری

REGIONAL DESCRIPTORS: TEXTURE: STATISTICAL APPROACHES

فرض می‌کنیم z یک متغیر تصادفی بیانگر سطوح خاکستری باشد و $p(z_i)$ برای $i = 0, 1, \dots, L-1$ هیستوگرام متناظر با آن باشد (L تعداد سطوح خاکستری است).

$$\mu_n(z) = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^n p(z_i) \quad m = \sum_{i=0}^{L-1} z_i p(z_i) \quad \text{میانگین}$$

$$\mu_0 = 1, \quad \mu_1 = 0, \quad \sigma^2(z) = \mu_2(z)$$

$$\mu_3(z) = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^3 p(z_i)$$

$$R(z) = 1 - \frac{1}{1 + \sigma^2(z)}$$

بیانگر میزان همواری نسبی
(با استفاده از واریانس نسبی با تقسیم σ بر $L-1$)

$$U(z) = \sum_{i=0}^{L-1} p^2(z_i)$$

بیانگر میزان یکنواختی بافت
(مقدار ماکزیمم برای تصویری با شدت روشنایی ثابت)

$$e(z) = - \sum_{i=0}^{L-1} p(z_i) \log_2 p(z_i)$$

بیانگر میزان قابلیت تغییر
(برای تصویر ثابت صفر است.)

گشتاور n -ام حول میانگین
n-th Moment about the Mean

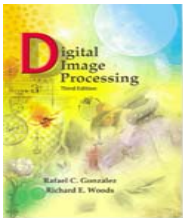
گشتاور دوم (واریانس): بیانگر میزان تفاوت شدت روشنایی
گشتاور سوم: معیار میزان چولگی هیستوگرام
گشتاور چهارم: معیار میزان تخت بودن نسبی هیستوگرام

R معیار
R Measure

یکنواختی
Uniformity

آنتروپی متوسط
Average Entropy

کمیت‌های آماری سنجش بافت (بر اساس هیستوگرام)



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11

Representation and Description

Texture	Mean	Standard deviation	R (normalized)	Third moment	Uniformity	Entropy
Smooth	82.64	11.79	0.002	-0.105	0.026	5.434
Coarse	143.56	74.63	0.079	-0.151	0.005	7.783
Regular	99.72	33.73	0.017	0.750	0.013	6.674

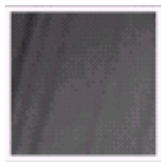
TABLE 11.2

Texture measures for the subimages shown in Fig. 11.28.

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

بافت: روی کردهای آماری: مثال

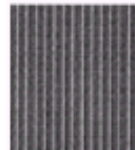
REGIONAL DESCRIPTORS: TEXTURE: STATISTICAL APPROACHES



بافت نرم
Smooth Texture



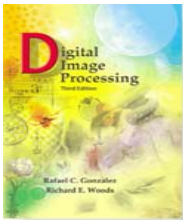
بافت زبر
Coarse Texture



بافت منظم
Regular Texture

کمیت‌های آماری سنجش بافت:

Texture	Mean	Standard deviation	R (normalized)	Third moment	Uniformity	Entropy
Smooth	82.64	11.79	0.002	-0.105	0.026	5.434
Coarse	143.56	74.63	0.079	-0.151	0.005	7.783
Regular	99.72	33.73	0.017	0.750	0.013	6.674



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

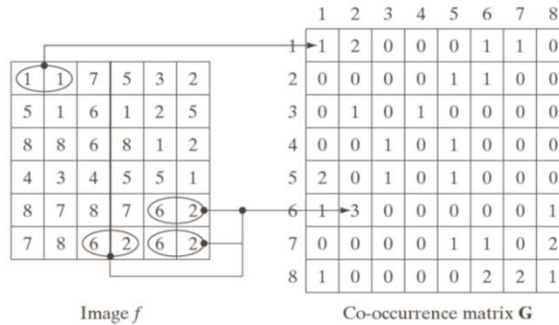


FIGURE 11.29
How to generate
a co-occurrence
matrix.

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

بافت: روی‌کردهای آماری: استفاده از هم‌وقوعی

REGIONAL DESCRIPTORS: TEXTURE: STATISTICAL APPROACHES

مشکل کمیت‌های سنجش بافت محاسبه‌شده تنها بر اساس هیستوگرام این است که از هیچ اطلاعاتی در مورد موقعیت نسبی پیکسل‌ها استفاده نمی‌کنند.

فرض می‌کنیم Q عملگری باشد که موقعیت پیکسل‌ها نسبت به یکدیگر را تعریف می‌کند و تصویر f دارای L شدت روشنایی ممکن باشد.

ماتریس G که عناصر g_{ij} آن تعداد دفعات وقوع زوج پیکسل‌هایی با شدت روشنایی z_i و z_j در f در موقعیت مشخص‌شده با Q باشد ($1 \leq i, j \leq L$).

ماتریس هم‌وقوعی
Co-occurrence Matrix

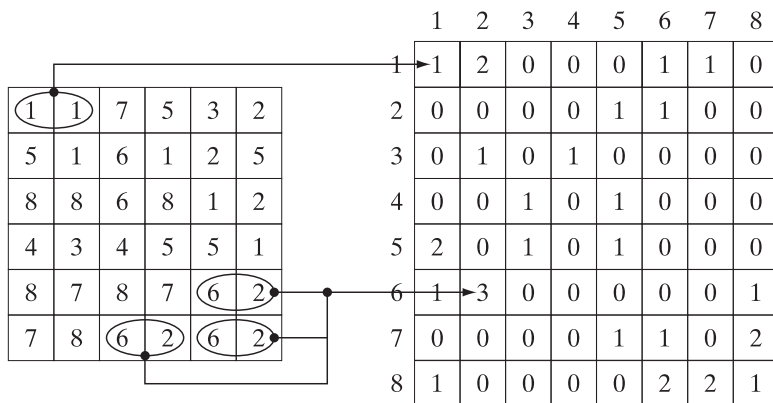
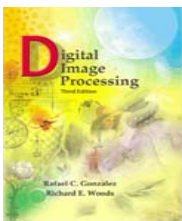


Image f

Co-occurrence matrix G

ماتریس هم‌وقوعی با $Q =$ یک پیکسل به راست (همسایه‌ی هر پیکسل، پیکسل سمت راست آن است.)



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

Descriptor	Explanation	Formula
Maximum probability	Measures the strongest response of G . The range of values is [0, 1].	$\max_{ij}(p_{ij})$
Correlation	A measure of how correlated a pixel is to its neighbor over the entire image. Range of values is 1 to -1, corresponding to perfect positive and perfect negative correlations. This measure is not defined if either standard deviation is zero.	$\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K \frac{(i - m_r)(j - m_c)p_{ij}}{\sigma_r \sigma_c}$ $\sigma_r \neq 0; \sigma_c \neq 0$
Contrast	A measure of intensity contrast between a pixel and its neighbor over the entire image. The range of values is 0 (when G is constant) to $(K - 1)^2$.	$\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (i - j)^2 p_{ij}$
Uniformity (also called Energy)	A measure of uniformity in the range [0, 1]. Uniformity is 1 for a constant image.	$\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K p_{ij}^2$
Homogeneity	Measures the spatial closeness of the distribution of elements in G to the diagonal. The range of values is [0, 1], with the maximum being achieved when G is a diagonal matrix.	$\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K \frac{p_{ij}}{1 + i - j }$
Entropy	Measures the randomness of the elements of G . The entropy is 0 when all p_{ij} 's are 0 and is maximum when all p_{ij} 's are equal. The maximum value is $2 \log_2 K$. (See Eq. (11.3-9) regarding entropy).	$-\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K p_{ij} \log_2 p_{ij}$

TABLE 11.3

Descriptors used for characterizing co-occurrence matrices of size $K \times K$. The term p_{ij} is the ij th term of **G** divided by the sum of the elements of **G**.

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

بافت: روی کردهای آماری: استفاده از هم‌وقوعی

REGIONAL DESCRIPTORS: TEXTURE: STATISTICAL APPROACHES

اگر n تعداد عناصری باشد که رابطه‌ی Q برای آن درست است:

$$p_{ij} = g_{ij}/n$$

در این صورت ماتریس هم‌وقوعی نرمالیزه را خواهیم داشت:

$$\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K p_{ij} = 1$$

$$m_r = \sum_{i=1}^K i \sum_{j=1}^K p_{ij} \quad \sigma_r^2 = \sum_{i=1}^K (i - m_r)^2 \sum_{j=1}^K p_{ij}$$

$$m_c = \sum_{j=1}^K j \sum_{i=1}^K p_{ij} \quad \sigma_c^2 = \sum_{j=1}^K (j - m_c)^2 \sum_{i=1}^K p_{ij}$$

$$P(i) = \sum_{j=1}^K p_{ij} \quad m_r = \sum_{i=1}^K iP(i) \quad \sigma_r^2 = \sum_{i=1}^K (i - m_r)^2 P(i)$$

$$P(j) = \sum_{i=1}^K p_{ij} \quad m_c = \sum_{j=1}^K jP(j) \quad \sigma_c^2 = \sum_{j=1}^K (j - m_c)^2 P(j)$$

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

بافت: روی‌کردهای آماری: استفاده از هم‌وقوعی: توصیف‌گرها

ماکزیم احتمال

همبستگی

کنتراست

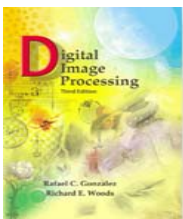
یکنواختی (انرژی)

همگنی

کنتراست

Descriptor	Explanation	Formula
Maximum probability	Measures the strongest response of G . The range of values is [0, 1].	$\max_{i,j}(p_{ij})$
Correlation	A measure of how correlated a pixel is to its neighbor over the entire image. Range of values is 1 to -1, corresponding to perfect positive and perfect negative correlations. This measure is not defined if either standard deviation is zero.	$\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K \frac{(i - m_r)(j - m_c)p_{ij}}{\sigma_r \sigma_c}$ $\sigma_r \neq 0; \sigma_c \neq 0$
Contrast	A measure of intensity contrast between a pixel and its neighbor over the entire image. The range of values is 0 (when G is constant) to $(K - 1)^2$.	$\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (i - j)^2 p_{ij}$
Uniformity (also called Energy)	A measure of uniformity in the range [0, 1]. Uniformity is 1 for a constant image.	$\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K p_{ij}^2$
Homogeneity	Measures the spatial closeness of the distribution of elements in G to the diagonal. The range of values is [0, 1], with the maximum being achieved when G is a diagonal matrix.	$\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K \frac{p_{ij}}{1 + i - j }$
Entropy	Measures the randomness of the elements of G . The entropy is 0 when all p_{ij} 's are 0 and is maximum when all p_{ij} 's are equal. The maximum value is $2 \log_2 K$. (See Eq. (11.3-9) regarding entropy).	$- \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K p_{ij} \log_2 p_{ij}$

Descriptors used for characterizing co-occurrence matrices of size $K \times K$. The term p_{ij} is the ij th term of **G** divided by the sum of the elements of **G**.

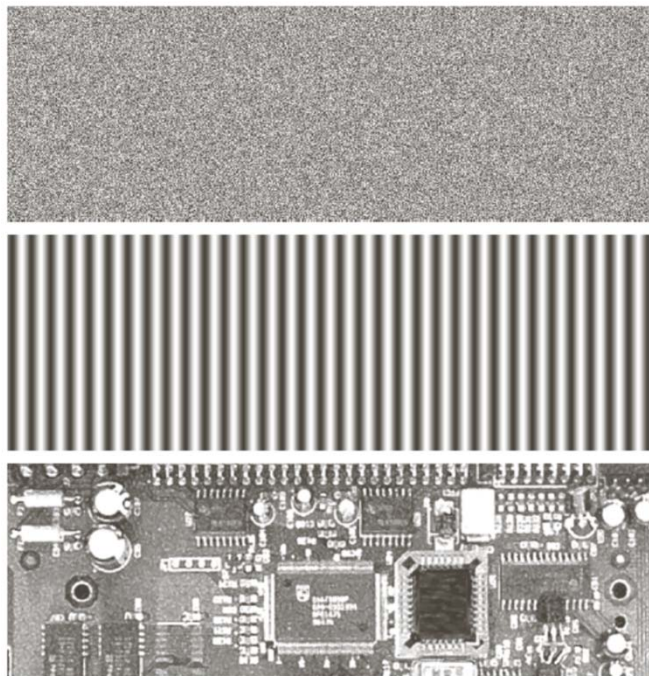


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

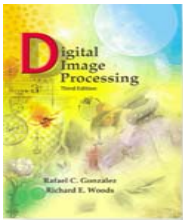
www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description



a
b
c

FIGURE 11.30
Images whose pixels have (a) random, (b) periodic, and (c) mixed texture patterns. Each image is of size 263×800 pixels.

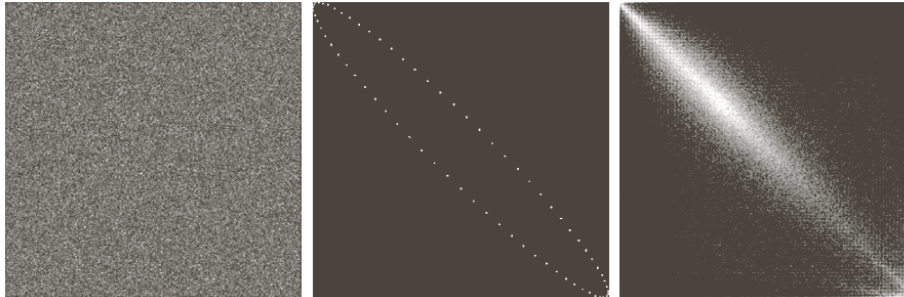


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

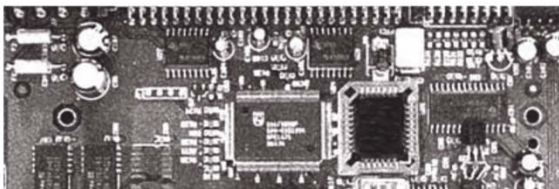
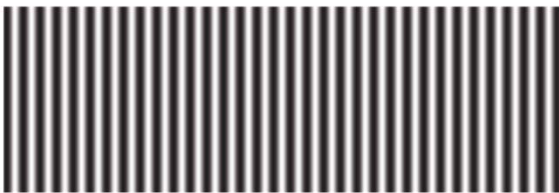
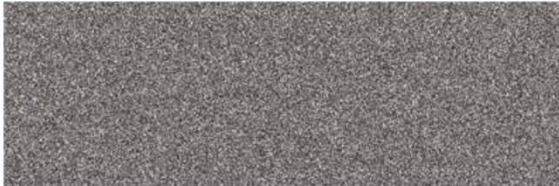


a b c

FIGURE 11.31
256 × 256 co-occurrence matrices, G_1 , G_2 , and G_3 , corresponding from left to right to the images in Fig. 11.30.

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

بافت: روی‌کردهای آماری: استفاده از هم‌وقوعی: مثال (۱ از ۳)



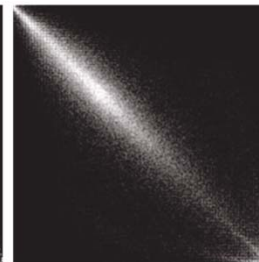
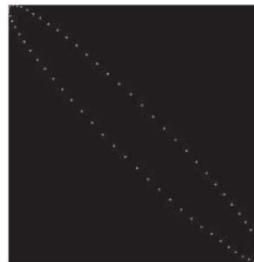
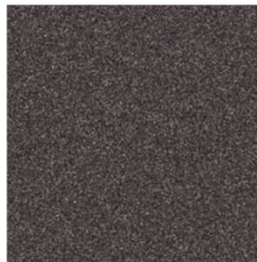
a
b
c

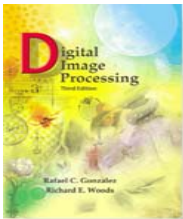
Images whose pixels have
(a) random,
(b) periodic, and
(c) mixed texture patterns. Each image is of size 263×800 pixels.

ماتریس‌های هم‌وقوعی:

a b c

256×256 co-occurrence matrices, G_1 , G_2 , and G_3 , corresponding from left to right





Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

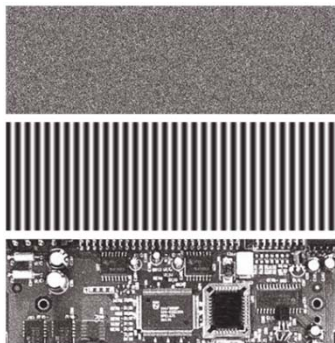
Normalized Co-occurrence Matrix	Descriptor					
	Max Probability	Correlation	Contrast	Uniformity	Homogeneity	Entropy
G_1/n_1	0.00006	-0.0005	10838	0.00002	0.0366	15.75
G_2/n_2	0.01500	0.9650	570	0.01230	0.0824	6.43
G_3/n_3	0.06860	0.8798	1356	0.00480	0.2048	13.58

TABLE 11.4

Descriptors evaluated using the co-occurrence matrices displayed in Fig. 11.31.

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

بافت: روی‌کردهای آماری: استفاده از هم‌وقوعی: مثال (۲ از ۳)

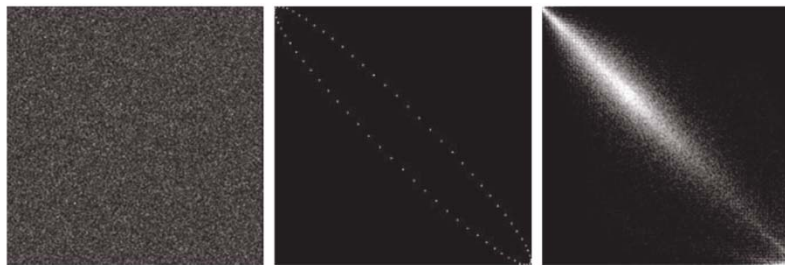


a
b
c

Images whose pixels have
(a) random,
(b) periodic, and
(c) mixed texture patterns. Each image is of size 263×800 pixels.

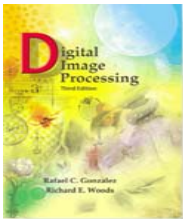
ماتریس‌های هم‌وقوعی:

a b c
 256×256 co-occurrence matrices, G_1 , G_2 , and G_3 , corresponding from left to right



توصیف‌گرهای بافت:
بر اساس هم‌وقوعی

Normalized Co-occurrence Matrix	Descriptor					
	Max Probability	Correlation	Contrast	Uniformity	Homogeneity	Entropy
G_1/n_1	0.00006	-0.0005	10838	0.00002	0.0366	15.75
G_2/n_2	0.01500	0.9650	570	0.01230	0.0824	6.43
G_3/n_3	0.06860	0.8798	1356	0.00480	0.2048	13.58



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

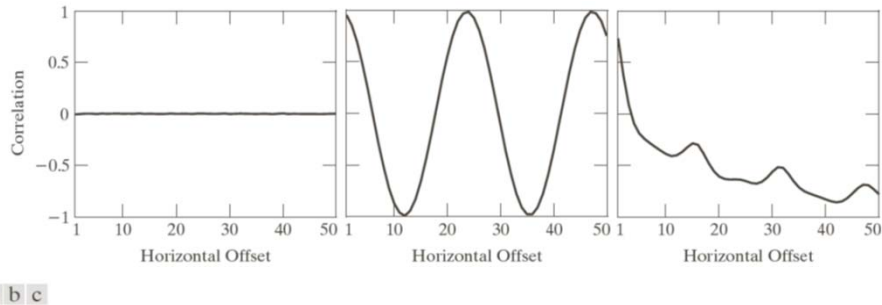
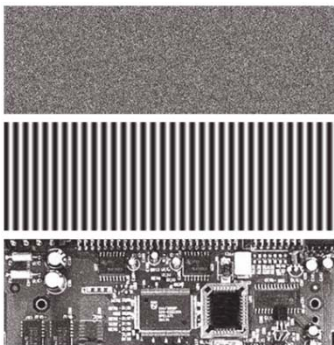


FIGURE 11.32 Values of the correlation descriptor as a function of offset (distance between “adjacent” pixels) corresponding to the (a) noisy, (b) sinusoidal, and (c) circuit board images in Fig. 11.30.

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

بافت: روی‌کردهای آماری: استفاده از هم‌وقوعی: مثال (۳ از ۳)

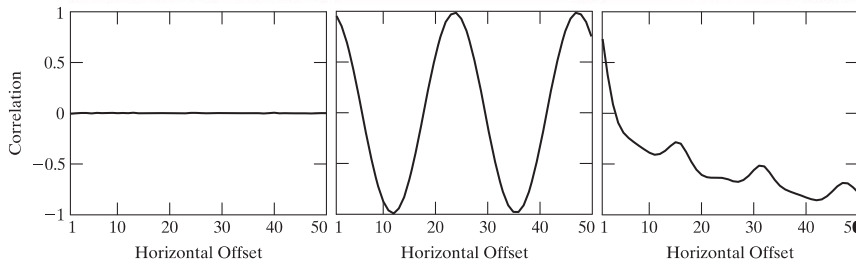
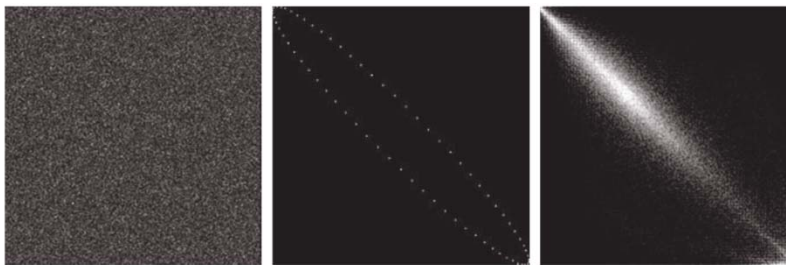


a
b
c

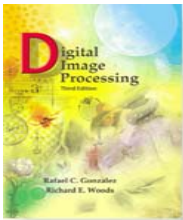
Images whose pixels have
(a) random,
(b) periodic, and
(c) mixed texture patterns. Each image is of size 263×800 pixels.

ماتریس‌های هم‌وقوعی:

a b c
 256×256 co-occurrence matrices, G_1 , G_2 , and G_3 , corresponding from left to right



مقادیر توصیف‌گر
همبستگی برای هر تصویر
به صورت تابعی از آفست
(فاصله میان
پیکسل‌های مجاور)
از ۱ تا ۵۰



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

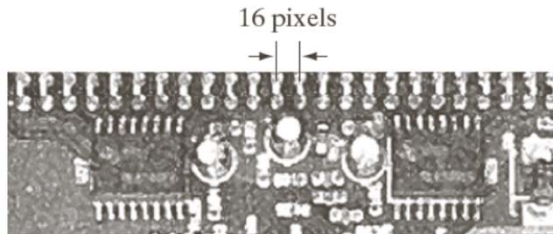


FIGURE 11.33
A zoomed section
of the circuit
board image
showing
periodicity of
components.

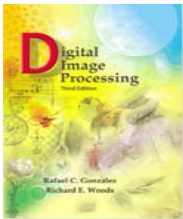
توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

بافت: روی‌کردهای آماری: استفاده از هم‌وقوعی

16 pixels



بخش بزرگ‌نمایی شده از یک مدار چاپی
که مؤلفه‌های متناوب را نشان می‌دهد.

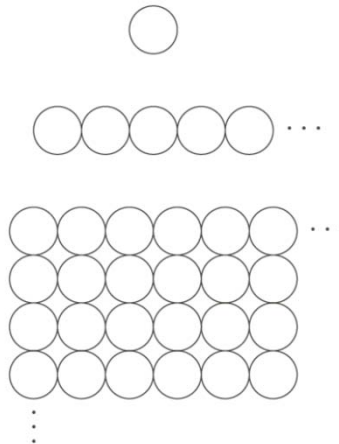


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description



a
b
c

FIGURE 11.34

(a) Texture primitive.

(b) Pattern generated by the rule $S \rightarrow aS$.

(c) 2-D texture pattern generated by this and other rules.

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

بافت: روی کردهای ساختاری

REGIONAL DESCRIPTORS: TEXTURE: STRUCTURAL APPROACHES

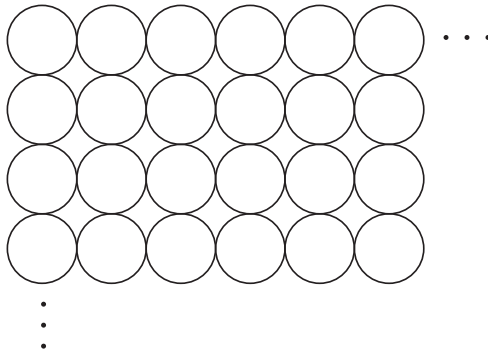
بافت را می‌توان با الگوهای ساختاری / نحوی تعریف کرد.



(a) Texture primitive.



(b) Pattern generated by the rule $S \rightarrow aS$.



(c) 2-D texture pattern generated by this and other rules.

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

بافت: روی‌کردهای طیفی

REGIONAL DESCRIPTORS: TEXTURE: SPECTRAL APPROACHES

طیف فوریه برای توصیف جهت‌دار بودن الگوهای متناوب یا تقریباً متناوب دوبعدی در یک تصویر مناسب است.

بافت: تمرکزهای بالای انرژی در بافت

سه خاصیت طیف فوریه مفید در توصیف بافت:

- قله‌های برآمده در طیف، جهت اصلی الگوی بافت را نشان می‌دهند.
- محل قله‌ها در صفحه‌ی فرکانسی، دوره‌ی تناوب اصلی مکانی الگو را نشان می‌دهد.
- حذف هر مؤلفه‌ی متناوب از طریق فیلترینگ، عناصر غیرمتناوب تصویر را باقی‌می‌گذارد (که قابل توصیف با تکنیک‌های آماری هستند).

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

بافت: روی‌کردهای طیفی

REGIONAL DESCRIPTORS: TEXTURE: SPECTRAL APPROACHES

برای الگوهای مکانی ابتدایی غیرتصادفی، تبدیل فوریه‌ی دوبعدی، این امکان را می‌دهد که الگوها برحسب مؤلفه‌های فرکانسی مکانی و جهت تحلیل شوند.

مفیدتر است که طیف بر حسب **مختصات قطبی**، بیان شود که هم فرکانس و هم جهت را مستقیماً در اختیار قرار می‌دهد.

فرض می‌کنیم $S(r, \theta)$ تابع طیف باشد و r و θ متغیرهای دستگاه مختصات قطبی باشد:

* برای هر جهت θ ، تابع $S(r, \theta)$ می‌تواند به‌عنوان یک تابع یک‌بعدی $S_\theta(r)$ در نظر گرفته شود.

* برای هر فرکانس r ، تابع $S(r, \theta)$ می‌تواند به‌عنوان یک تابع یک‌بعدی $S_r(\theta)$ در نظر گرفته شود.

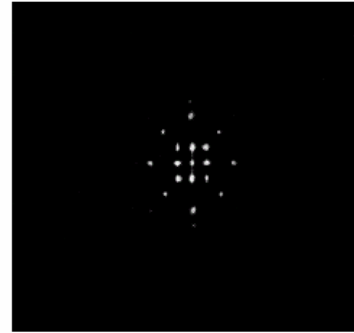
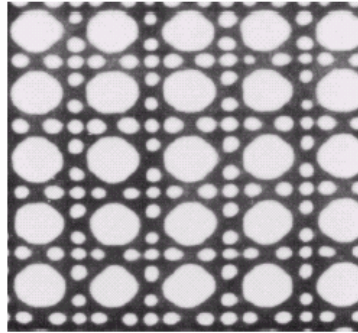
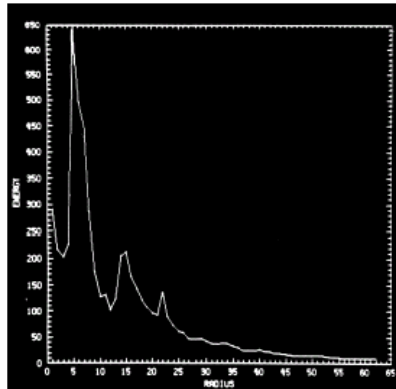
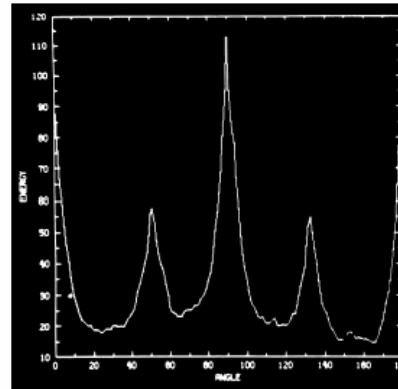
در این صورت توصیف سراسری می‌شود:

$$S(r) = \sum_{\theta=0}^{\pi} S_\theta(r)$$

$$S(\theta) = \sum_{r=1}^{R_0} S_r(\theta)$$

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

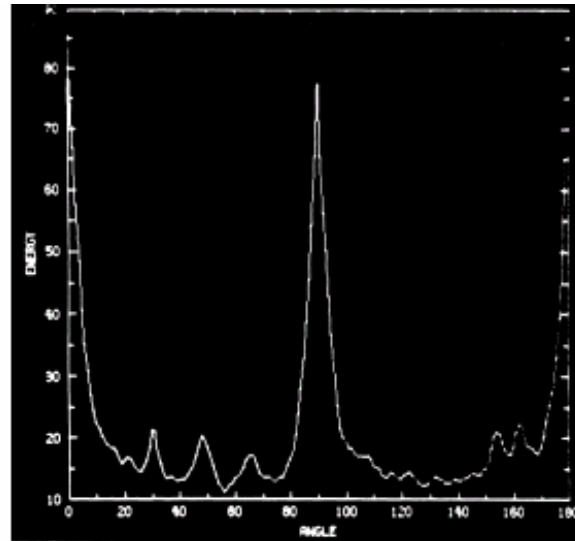
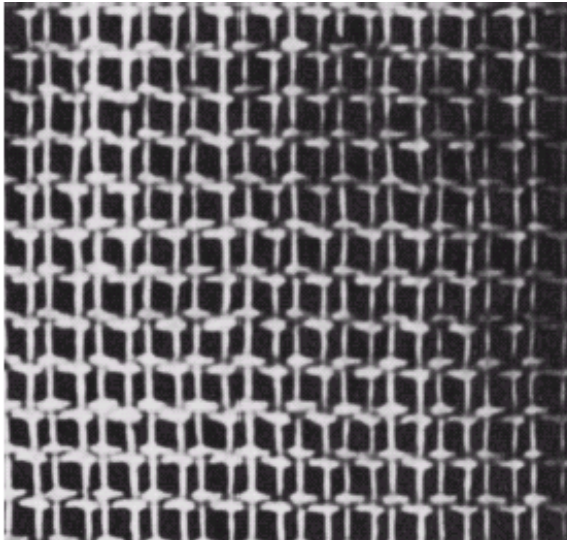
بافت: روی‌کردهای طیفی: مثال

REGIONAL DESCRIPTORS: TEXTURE: SPECTRAL APPROACHES $S(r, \theta)$  $S(r)$  $S(\theta)$

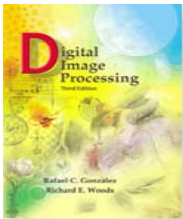
توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

بافت: روی‌کردهای طیفی: مثال

REGIONAL DESCRIPTORS: TEXTURE: SPECTRAL APPROACHES



$$S(\theta)$$



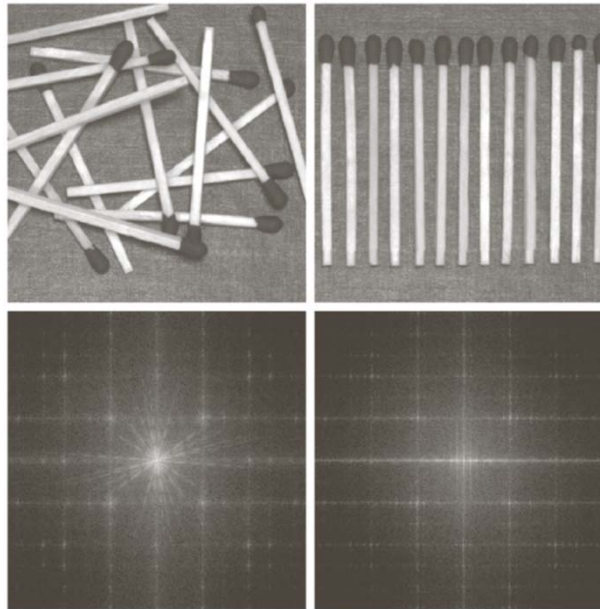
Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11

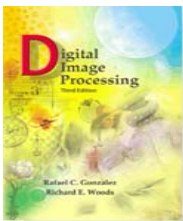
Representation and Description



a b
c d

FIGURE 11.35

(a) and (b) Images of random and ordered objects. (c) and (d) Corresponding Fourier spectra. All images are of size 600×600 pixels.

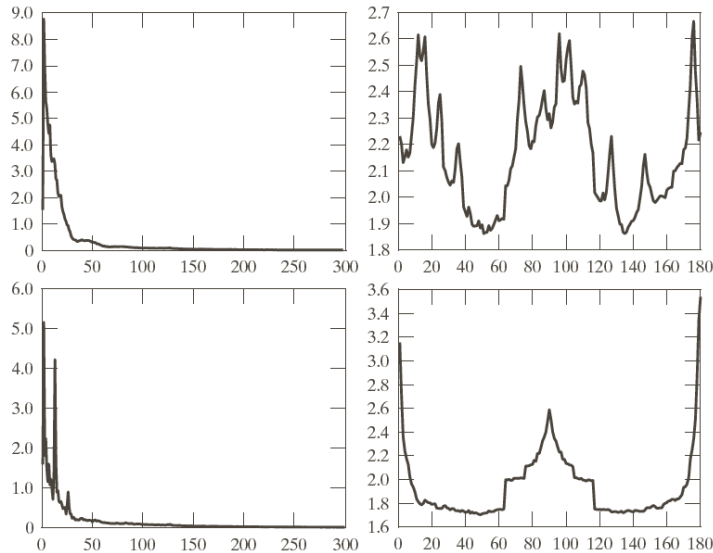


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

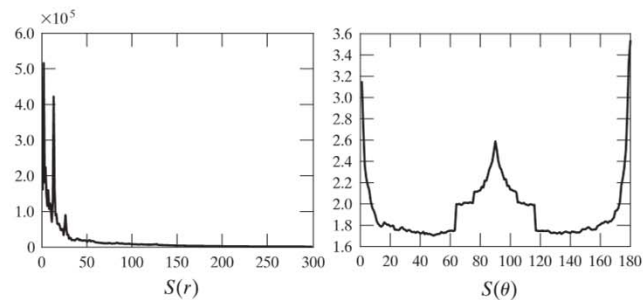
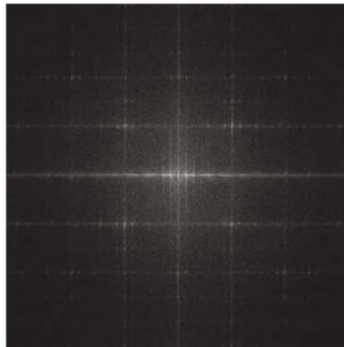
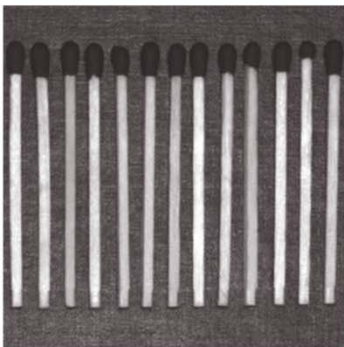
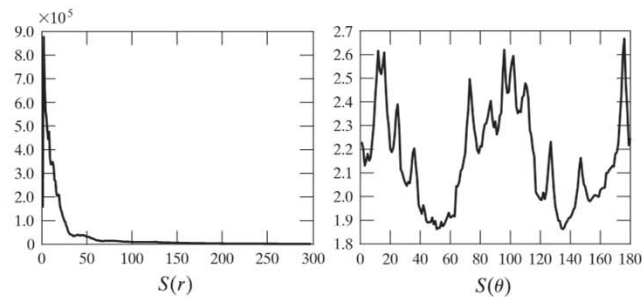
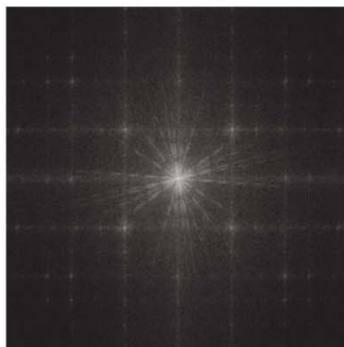


a b
c d

FIGURE 11.36
Plots of (a) $S(r)$ and (b) $S(\theta)$ for Fig. 11.35(a). (c) and (d) are plots of $S(r)$ and $S(\theta)$ for Fig. 11.35(b). All vertical axes are $\times 10^5$.

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

بافت: روی‌کردهای طیفی: مثال

REGIONAL DESCRIPTORS: TEXTURE: SPECTRAL APPROACHES

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

ناوردهای گشتاوری (ثابت‌های گشتاوری)

REGIONAL DESCRIPTORS: MOMENT INVARIANTS

ناوردهای گشتاوری

Moment Invariants

مجموعه‌ای از توابع تعریف شده بر حسب گشتاورهای دوبعدی تصویر که تحت جابجایی، دوران، آینه‌ای کردن و تغییراندازه ناوردا (ثابت) هستند.

ابتدا باید گشتاور دوبعدی را برای تصویر دیجیتال تعریف کنیم.

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

ناوردهای گشتاوری (ثابت‌های گشتاوری): تعریف گشتاورهای دوبعدی

REGIONAL DESCRIPTORS: MOMENT INVARIANTS

The 2-D *moment* of order $(p + q)$ of a digital image $f(x, y)$ of size $M \times N$ is defined as

$$m_{pq} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} x^p y^q f(x, y)$$

where $p = 0, 1, 2, \dots$ and $q = 0, 1, 2, \dots$ are integers.

The corresponding *central moment* of order $(p + q)$ is defined as

$$\mu_{pq} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y)$$

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad \text{and} \quad \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

The *normalized central moments*, denoted η_{pq} , are defined as

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^\gamma}$$

$$\gamma = \frac{p + q}{2} + 1 \quad \text{for } p + q = 2, 3, \dots$$

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

ناوردهای گشتاوری (ثابت‌های گشتاوری)

REGIONAL DESCRIPTORS: MOMENT INVARIANTS

A set of seven *invariant moments* can be derived from the second and third moments.

$$\phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02}$$

$$\phi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2$$

$$\phi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2$$

$$\phi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2$$

$$\phi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})$$

$$[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

$$\phi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})$$

$$\phi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03})$$

$$[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

This set of moments is invariant to translation, scale change, mirroring (within a minus sign) and rotation.

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

ناورداهای گشتاوری (ثابت‌های گشتاوری): محاسبات

REGIONAL DESCRIPTORS: MOMENT INVARIANTS

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y)$$

$$\mu_{00} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^0 f(x, y) = \sum_x \sum_y f(x, y) = m_{00}$$

$$\mu_{10} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^1 (y - \bar{y})^0 f(x, y) = m_{10} - \frac{m_{10}}{m_{00}} (m_{00}) = 0$$

$$\mu_{01} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^1 f(x, y) = m_{01} - \frac{m_{01}}{m_{00}} (m_{00}) = 0$$

$$\mu_{11} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^1 (y - \bar{y})^1 f(x, y) = m_{11} - \frac{m_{10}m_{01}}{m_{00}} = m_{11} - \bar{x}m_{01} = m_{11} - \bar{y}m_{10}$$

$$\mu_{20} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^2 (y - \bar{y})^0 f(x, y) = m_{20} - \bar{x}m_{10}$$

$$\mu_{02} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^2 f(x, y) = m_{02} - \bar{y}m_{01}$$

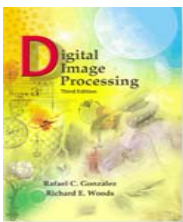
$$\mu_{21} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^2 (y - \bar{y})^1 f(x, y) = m_{21} - 2\bar{x}m_{11} - \bar{y}m_{20} + 2\bar{x}m_{01}$$

$$\mu_{12} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^1 (y - \bar{y})^2 f(x, y) = m_{12} - 2\bar{y}m_{11} - \bar{x}m_{02} + 2\bar{y}m_{10}$$

$$\mu_{30} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^3 (y - \bar{y})^0 f(x, y) = m_{30} - 3\bar{x}m_{20} + 2\bar{x}^2m_{10}$$

$$\mu_{03} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^3 f(x, y) = m_{03} - 3\bar{y}m_{02} + 2\bar{y}^2m_{01}$$

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^\gamma}$$



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

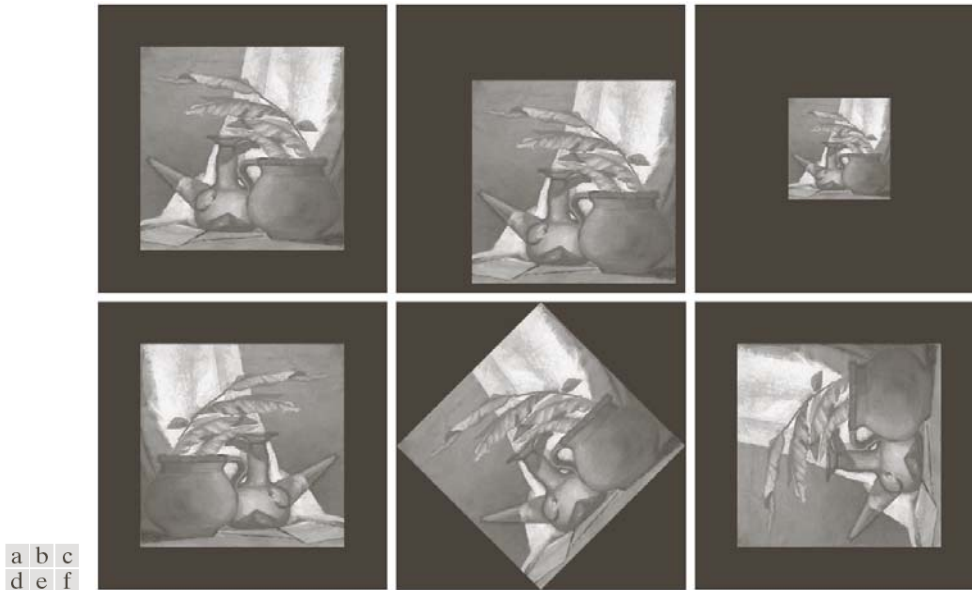
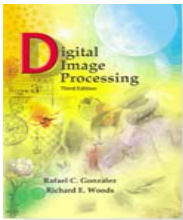


FIGURE 11.37 (a) Original image. (b)–(f) Images translated, scaled by one-half, mirrored, rotated by 45° and rotated by 90° , respectively.



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

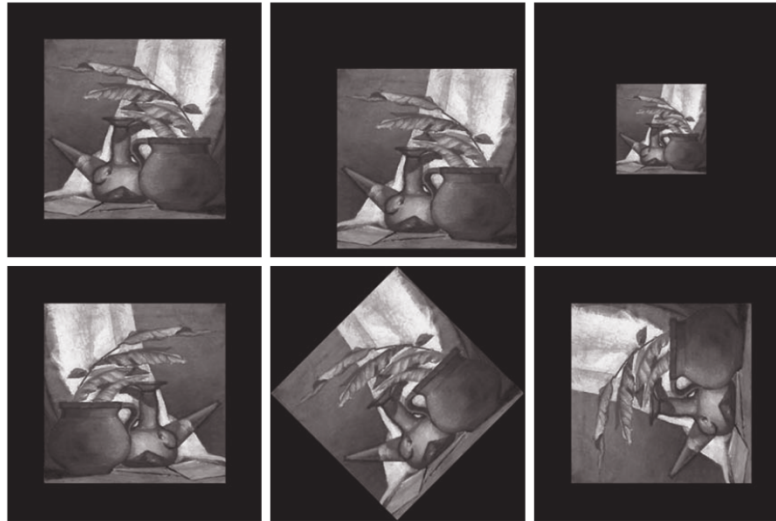
Chapter 11 Representation and Description

Moment Invariant	Original Image	Translated	Half Size	Mirrored	Rotated 45°	Rotated 90°
ϕ_1	2.8662	2.8662	2.8664	2.8662	2.8661	2.8662
ϕ_2	7.1265	7.1265	7.1257	7.1265	7.1266	7.1265
ϕ_3	10.4109	10.4109	10.4047	10.4109	10.4115	10.4109
ϕ_4	10.3742	10.3742	10.3719	10.3742	10.3742	10.3742
ϕ_5	21.3674	21.3674	21.3924	21.3674	21.3663	21.3674
ϕ_6	13.9417	13.9417	13.9383	13.9417	13.9417	13.9417
ϕ_7	-20.7809	-20.7809	-20.7724	20.7809	-20.7813	-20.7809

TABLE 11.5
Moment invariants for the images in Fig. 11.37.

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

ناوردهای گشتاوری (ثابت‌های گشتاوری): مثال

REGIONAL DESCRIPTORS: MOMENT INVARIANTS

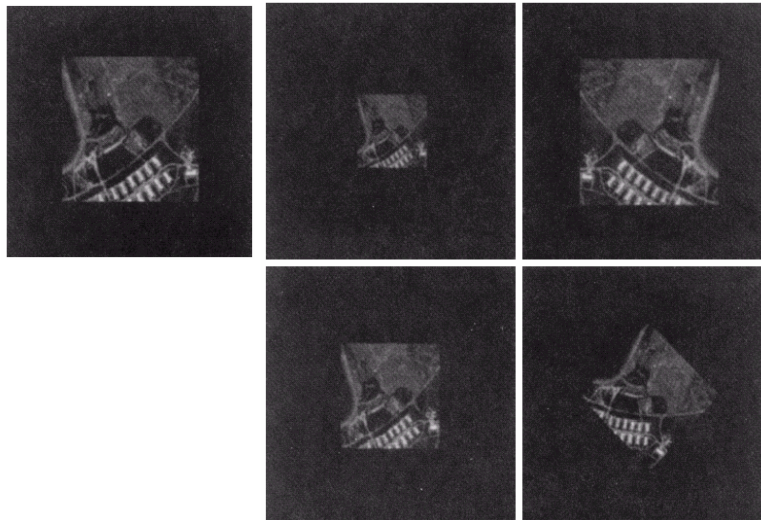
Moment Invariant	Original Image	Translated	Half Size	Mirrored	Rotated 45°	Rotated 90°
ϕ_1	2.8662	2.8662	2.8664	2.8662	2.8661	2.8662
ϕ_2	7.1265	7.1265	7.1257	7.1265	7.1266	7.1265
ϕ_3	10.4109	10.4109	10.4047	10.4109	10.4115	10.4109
ϕ_4	10.3742	10.3742	10.3719	10.3742	10.3742	10.3742
ϕ_5	21.3674	21.3674	21.3924	21.3674	21.3663	21.3674
ϕ_6	13.9417	13.9417	13.9383	13.9417	13.9417	13.9417
ϕ_7	-20.7809	-20.7809	-20.7724	20.7809	-20.7813	-20.7809

$$\text{sgn}(\phi_i) \log_{10}(|\phi_i|)$$

خطاهای جزئی
به دلیل دیجیتال
بودن تصویر
است.

توصیف‌گرهای ناحیه‌ای

ناوردهای گشتاوری (ثابت‌های گشتاوری): مثال

REGIONAL DESCRIPTORS: MOMENT INVARIANTS

Invariant (Log)	Original	Half Size	Mirrored	Rotated 2°	Rotated 45°
ϕ_1	6.249	6.226	6.919	6.253	6.318
ϕ_2	17.180	16.954	19.955	17.270	16.803
ϕ_3	22.655	23.531	26.689	22.836	19.724
ϕ_4	22.919	24.236	26.901	23.130	20.437
ϕ_5	45.749	48.349	53.724	46.136	40.525
ϕ_6	31.830	32.916	37.134	32.068	29.315
ϕ_7	45.589	48.343	53.590	46.017	40.470

$$\text{sgn}(\phi_i) \log_{10}(|\phi_i|)$$

خطاهای جزئی
به دلیل دیجیتال
بودن تصویر
است.

بازنمایی و توصیف

۴

استفاده از
مؤلفه‌های
اصلی
برای
توصیف

استفاده از مؤلفه‌های اصلی برای توصیف

USE OF PRINCIPAL COMPONENTS FOR DESCRIPTION

If we have n registered images, the vectors will be n -dimensional:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$$

The mean vector of the population is defined as

$$\mathbf{m}_x = E\{\mathbf{x}\} \qquad \mathbf{m}_x = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \mathbf{x}_k$$

The *covariance matrix* of the vector population is defined as

$$\mathbf{C}_x = E\{(\mathbf{x} - \mathbf{m}_x)(\mathbf{x} - \mathbf{m}_x)^T\} \qquad \mathbf{C}_x = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \mathbf{x}_k \mathbf{x}_k^T - \mathbf{m}_x \mathbf{m}_x^T$$

The matrix $\mathbf{C}_x$ is real and symmetric.

استفاده از مؤلفه‌های اصلی برای توصیف

مثال

USE OF PRINCIPAL COMPONENTS FOR DESCRIPTION

■ To illustrate the mechanics of Eqs. (11.4-4) and (11.4-5), consider the four vectors $\mathbf{x}_1 = (0, 0, 0)^T$, $\mathbf{x}_2 = (1, 0, 0)^T$, $\mathbf{x}_3 = (1, 1, 0)^T$, and $\mathbf{x}_4 = (1, 0, 1)^T$. Applying Eq. (11.4-4) yields the following mean vector:

$$\mathbf{m}_x = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 3 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Similarly, using Eq. (11.4-5) yields the following covariance matrix:

$$\mathbf{C}_x = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 3 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & -1 \\ 1 & -1 & 3 \end{bmatrix}$$

All the elements along the main diagonal are equal, which indicates that the three components of the vectors in the population have the same variance. Also, elements x_1 and x_2 , as well as x_1 and x_3 , are positively correlated; elements x_2 and x_3 are negatively correlated. ■

استفاده از مؤلفه‌های اصلی برای توصیف

تبدیل هتلینگ

USE OF PRINCIPAL COMPONENTS FOR DESCRIPTION: HOTELLING TRANSFORM

Because $\mathbf{C}_x$ is real and symmetric, finding a set of n orthonormal eigenvectors always is possible (Noble and Daniel [1988]). Let $\mathbf{e}_i$ and λ_i , $i = 1, 2, \dots, n$, be the eigenvectors and corresponding eigenvalues of $\mathbf{C}_x$,[†] arranged (for convenience) in descending order so that $\lambda_j \geq \lambda_{j+1}$ for $j = 1, 2, \dots, n - 1$. Let $\mathbf{A}$ be a matrix whose rows are formed from the eigenvectors of $\mathbf{C}_x$, ordered so that the first row of $\mathbf{A}$ is the eigenvector corresponding to the largest eigenvalue, and the last row is the eigenvector corresponding to the smallest eigenvalue.

Suppose that we use $\mathbf{A}$ as a transformation matrix to map the $\mathbf{x}$ s into vectors denoted by $\mathbf{y}$ s, as follows:

$$\mathbf{y} = \mathbf{A}(\mathbf{x} - \mathbf{m}_x)$$

$$\mathbf{m}_y = E\{\mathbf{y}\} = \mathbf{0} \quad \mathbf{C}_y = \mathbf{A}\mathbf{C}_x\mathbf{A}^T \quad \mathbf{C}_y = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & 0 \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \lambda_n \end{bmatrix}$$

Another important property of the Hotelling transform deals with the reconstruction of $\mathbf{x}$ from $\mathbf{y}$. Because the rows of $\mathbf{A}$ are orthonormal vectors, it follows that $\mathbf{A}^{-1} = \mathbf{A}^T$, and any vector $\mathbf{x}$ can be recovered from its corresponding $\mathbf{y}$ by using the expression

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}^T\mathbf{y} + \mathbf{m}_x \quad (11.4-10)$$

استفاده از مؤلفه‌های اصلی برای توصیف

تبدیل هتلینگ

USE OF PRINCIPAL COMPONENTS FOR DESCRIPTION: HOTELLING TRANSFORM

$$\mathbf{y} = \mathbf{A}(\mathbf{x} - \mathbf{m}_x)$$

$$\mathbf{m}_y = E\{\mathbf{y}\} = \mathbf{0} \quad \mathbf{C}_y = \mathbf{A}\mathbf{C}_x\mathbf{A}^T \quad \mathbf{C}_y = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & 0 \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \lambda_n \end{bmatrix}$$

Another important property of the Hotelling transform deals with the reconstruction of $\mathbf{x}$ from $\mathbf{y}$. Because the rows of $\mathbf{A}$ are orthonormal vectors, it follows that $\mathbf{A}^{-1} = \mathbf{A}^T$, and any vector $\mathbf{x}$ can be recovered from its corresponding $\mathbf{y}$ by using the expression

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}^T \mathbf{y} + \mathbf{m}_x \quad (11.4-10)$$

استفاده از مؤلفه‌های اصلی برای توصیف

بازسازی با بردارهای با طول کمتر (با استفاده از k مقدار ویژه‌ی بزرگ‌تر)

USE OF PRINCIPAL COMPONENTS FOR DESCRIPTION

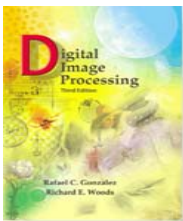
Suppose, however, that instead of using all the eigenvectors of $\mathbf{C}_x$ we form matrix $\mathbf{A}_k$ from the k eigenvectors corresponding to the k largest eigenvalues, yielding a transformation matrix of order $k \times n$. The $\mathbf{y}$ vectors would then be k dimensional, and the reconstruction given in Eq. (11.4-10) would no longer be exact (this is somewhat analogous to the procedure we used in Section 11.2.3 to describe a boundary with a few Fourier coefficients).

The vector reconstructed by using $\mathbf{A}_k$ is

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{A}_k^T \mathbf{y} + \mathbf{m}_x$$

It can be shown that the mean square error between $\mathbf{x}$ and $\hat{\mathbf{x}}$ is given by the expression

$$\begin{aligned} e_{\text{ms}} &= \sum_{j=1}^n \lambda_j - \sum_{j=1}^k \lambda_j \\ &= \sum_{j=k+1}^n \lambda_j \end{aligned}$$



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

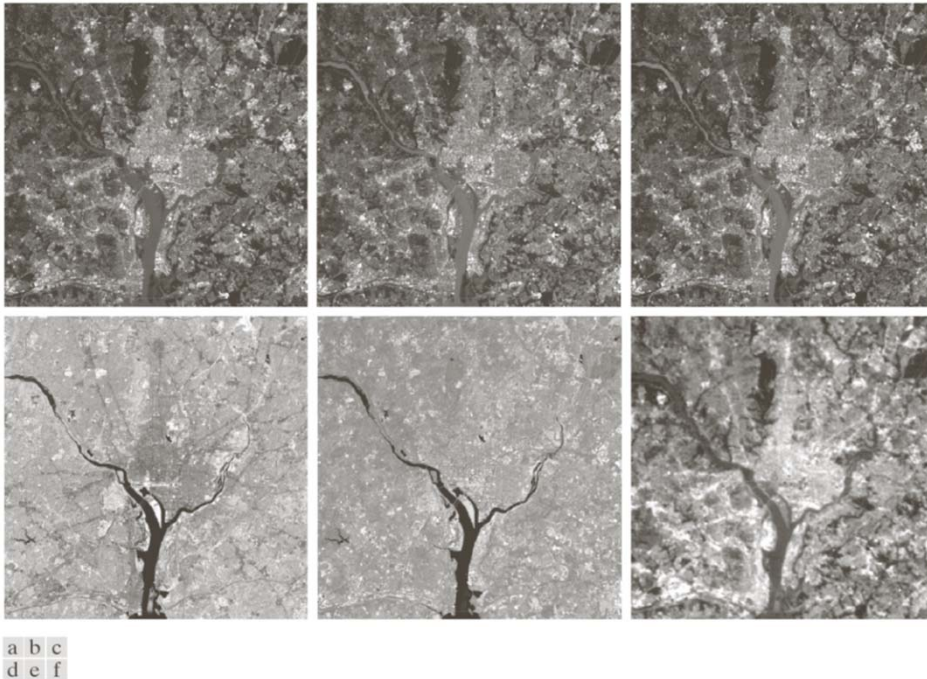


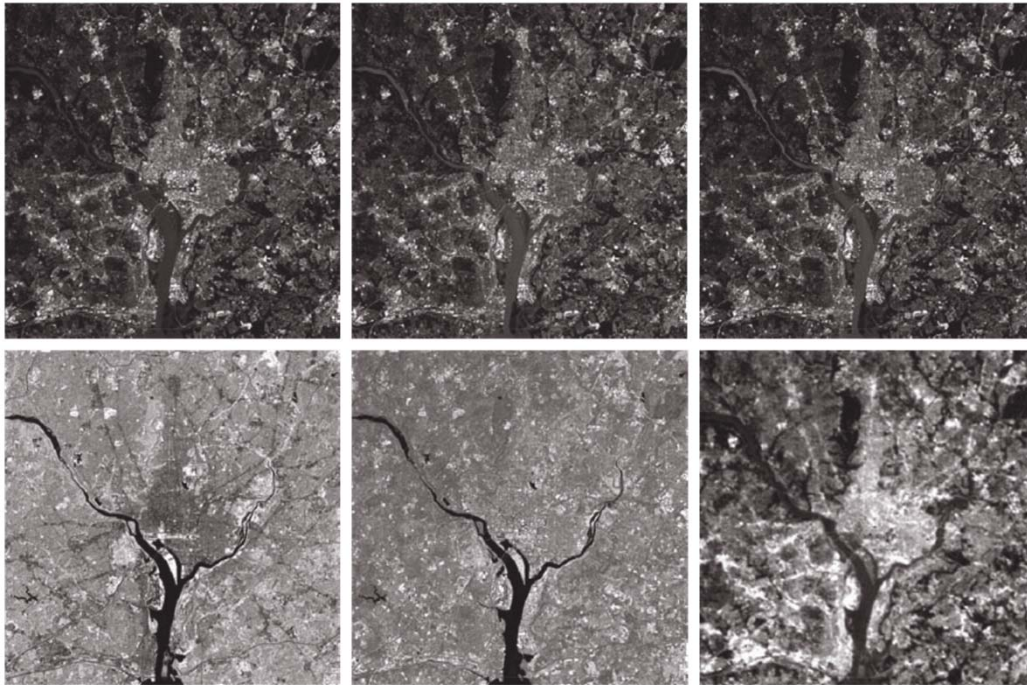
FIGURE 11.38 Multispectral images in the (a) visible blue, (b) visible green, (c) visible red, (d) near infrared, (e) middle infrared, and (f) thermal infrared bands. (Images courtesy of NASA.)

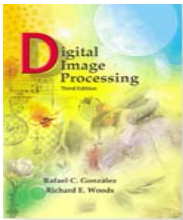
استفاده از مؤلفه‌های اصلی برای توصیف

مثال: تصاویر چندطیفی (۱ از ۵)

USE OF PRINCIPAL COMPONENTS FOR DESCRIPTION

(از یک صحنه در باندهای فرکانسی مختلف تصویر تهیه شده است)



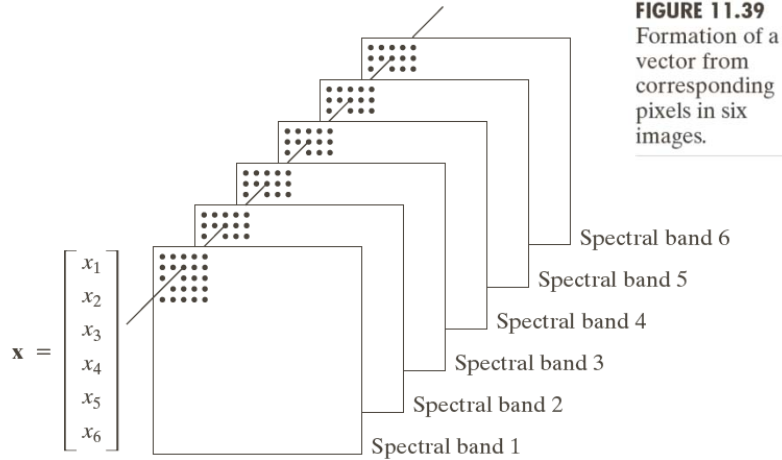


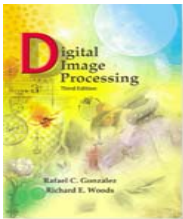
Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description





Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6
10344	2966	1401	203	94	31

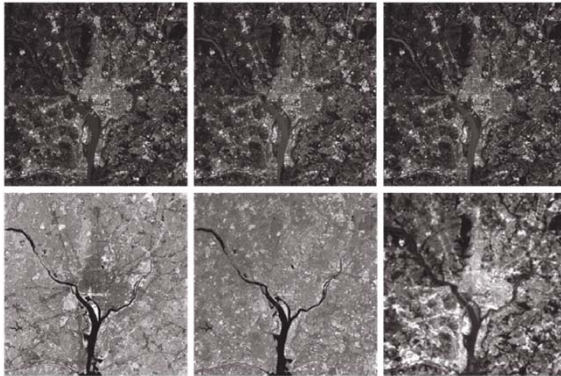
TABLE 11.6

Eigenvalues of the covariance matrices obtained from the images in Fig. 11.38.

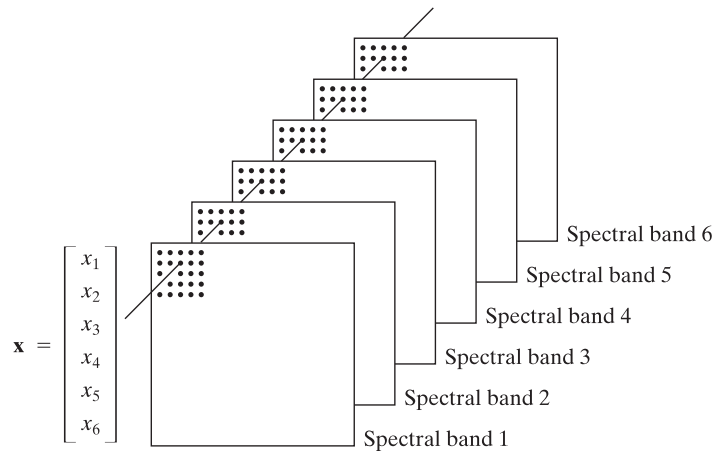
استفاده از مؤلفه‌های اصلی برای توصیف

مثال: تصاویر چندطیفی (۲ از ۵)

USE OF PRINCIPAL COMPONENTS FOR DESCRIPTION

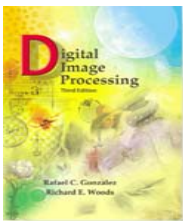


تشکیل یک بردار از پیکسل‌های متناظر در ۶ تصویر:



مقادیر ویژه متناظر با ماتریس کوواریانس حاصل:

λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6
10344	2966	1401	203	94	31

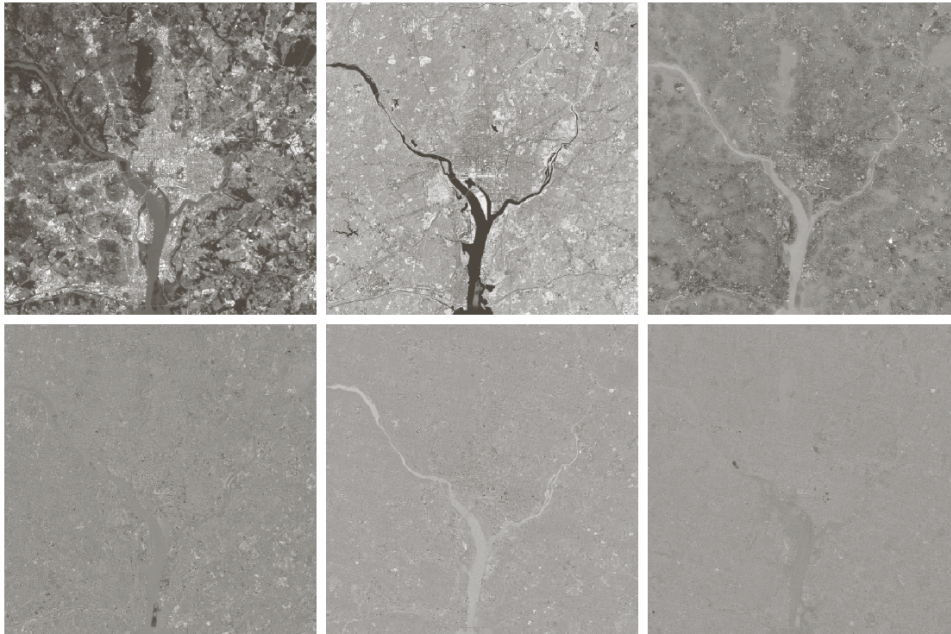


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description



a b c
d e f

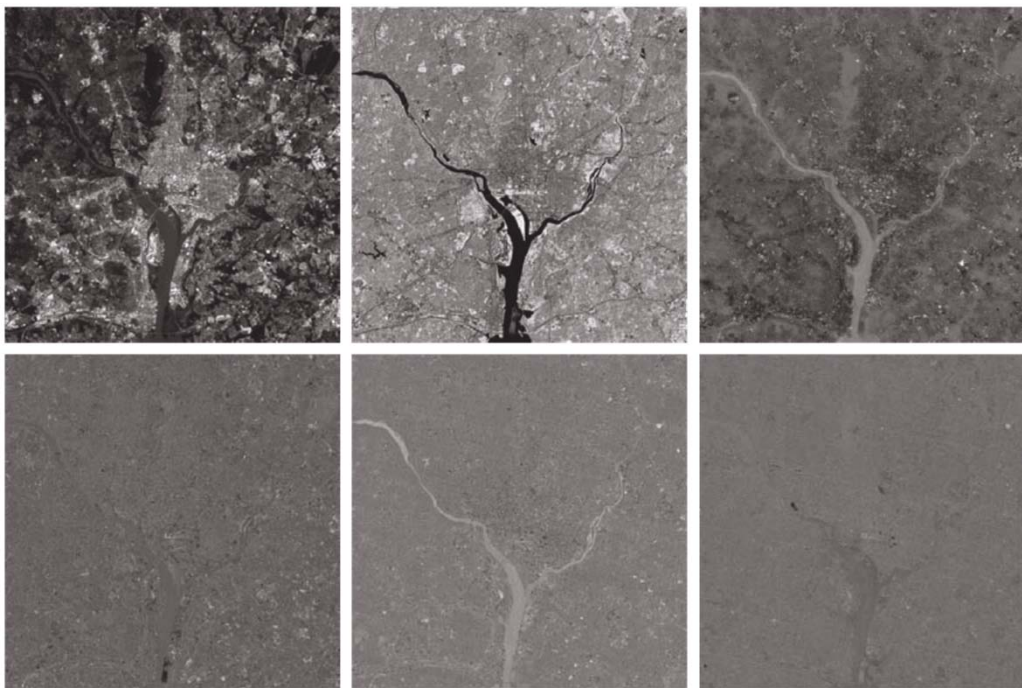
FIGURE 11.40 The six principal component images obtained from vectors computed using Eq. (11.4-6). Vectors are converted to images by applying Fig. 11.39 in reverse.

استفاده از مؤلفه‌های اصلی برای توصیف

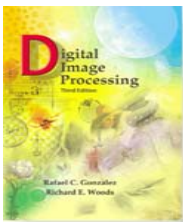
مثال: تصاویر چندطیفی (۳ از ۵)

USE OF PRINCIPAL COMPONENTS FOR DESCRIPTION

۶ تصویر متناظر با ۶ مؤلفه‌ی اصلی تصاویر طیفی (مؤلفه‌های بردار y)



$$y = A(x - m_x)$$



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

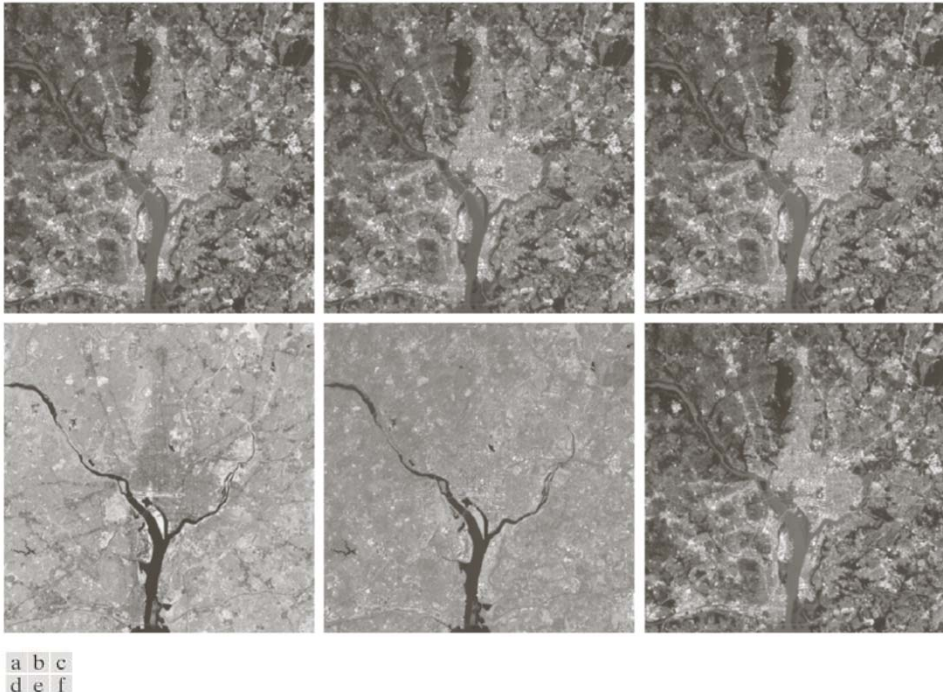


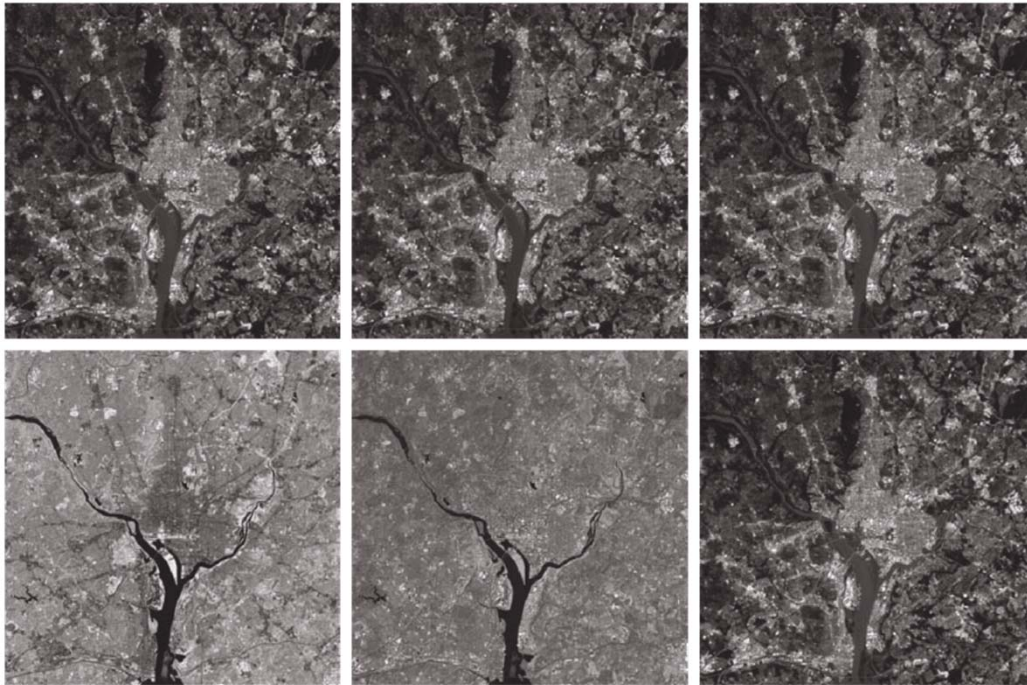
FIGURE 11.41 Multispectral images reconstructed using only the two principal component images corresponding to the two principal component images with the largest eigenvalues (variance). Compare these images with the originals in Fig. 11.38.

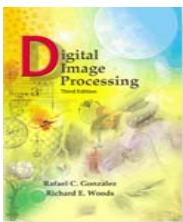
استفاده از مؤلفه‌های اصلی برای توصیف

مثال: تصاویر چندطیفی (۴ از ۵)

USE OF PRINCIPAL COMPONENTS FOR DESCRIPTION

بازسازی تصاویر طیفی با استفاده از تنها ۲ مؤلفه‌ی اصلی (۲ مقدار ویژه‌ی بزرگتر = واریانس بیشتر)





Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

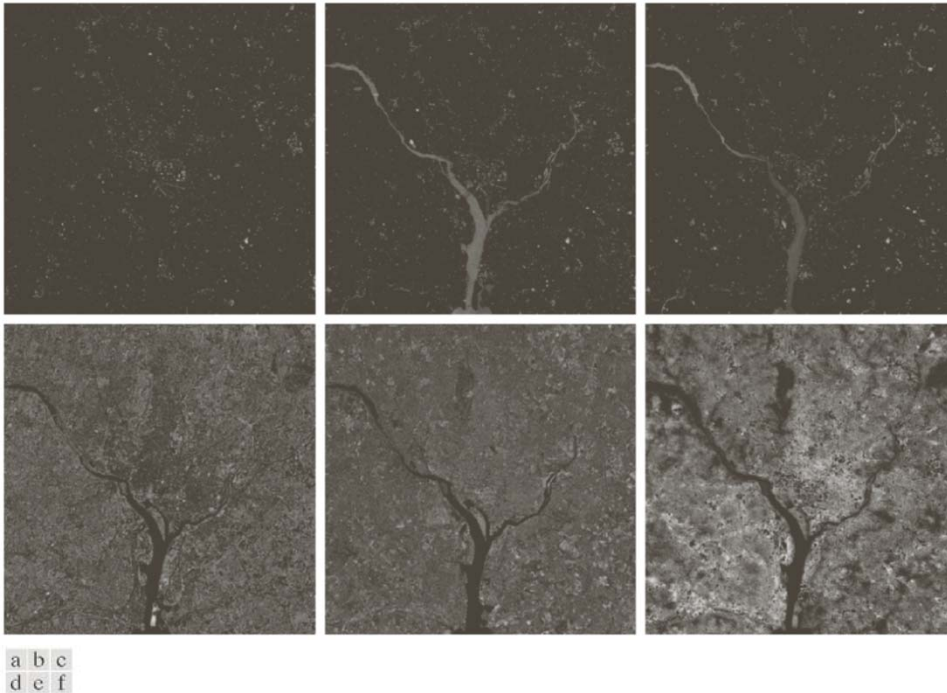
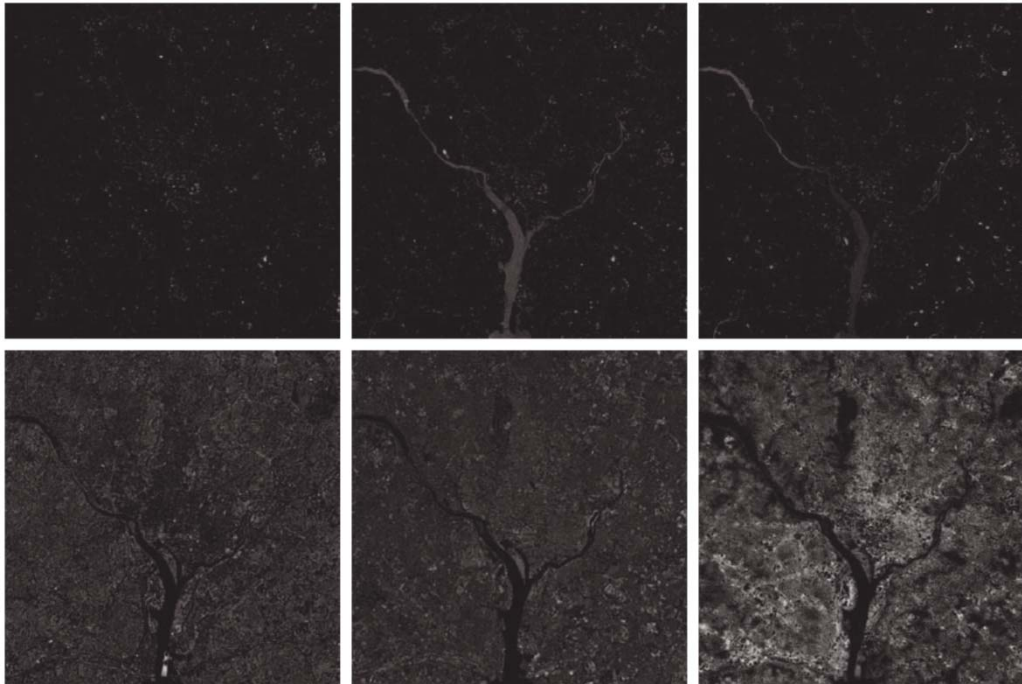
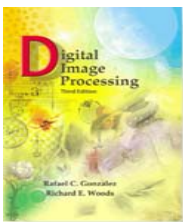


FIGURE 11.42 Differences between the original and reconstructed images. All difference images were enhanced by scaling them to the full $[0, 255]$ range to facilitate visual analysis.

مثال: تصاویر چندطیفی (۵ از ۵)

تفاضل میان تصاویر اصلی و تصویر بازسازی‌شده‌ی آن با ۲ مؤلفه‌ی اصلی (پس از مقیاس‌دهی حاصل)





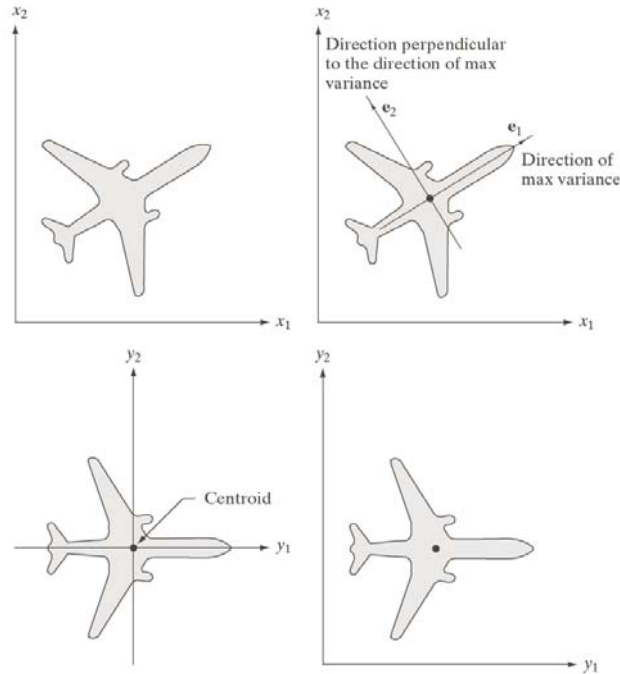
Chapter 11 Representation and Description

$$\mathbf{m}_x = \begin{bmatrix} 3 \\ 3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C}_x = \begin{bmatrix} 3.333 & 2.00 \\ 2.00 & 3.333 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{e}_1 = \begin{bmatrix} 0.707 \\ 0.707 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{e}_2 = \begin{bmatrix} -0.707 \\ 0.707 \end{bmatrix}$$



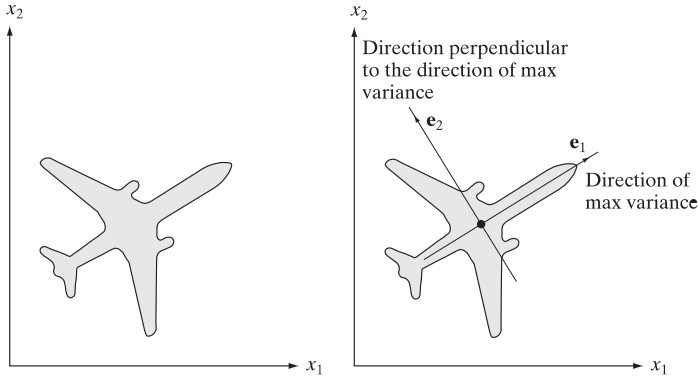
a b
c d

FIGURE 11.43
 (a) An object.
 (b) Object showing eigenvectors of its covariance matrix.
 (c) Transformed object, obtained using Eq. (11.4-6).
 (d) Object translated so that all its coordinate values are greater than 0.

استفاده از مؤلفه‌های اصلی برای توصیف

مثال: استفاده از مؤلفه‌های اصلی برای توصیف نرمالیزه نسبت به تغییرات اندازه، جابجایی و دوران

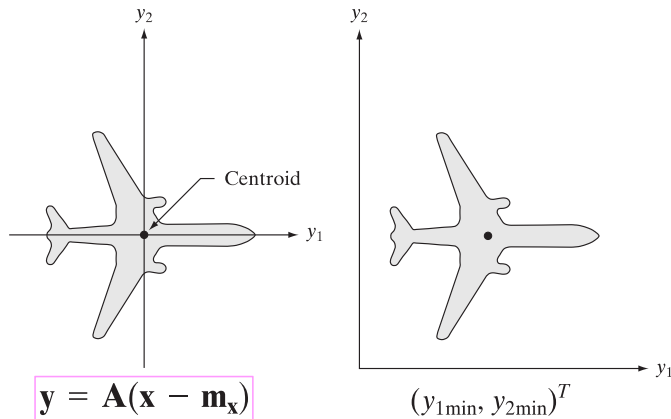
USE OF PRINCIPAL COMPONENTS FOR DESCRIPTION



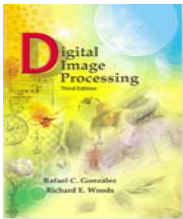
$$\mathbf{m}_x = \begin{bmatrix} 3 \\ 3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C}_x = \begin{bmatrix} 3.333 & 2.00 \\ 2.00 & 3.333 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{e}_1 = \begin{bmatrix} 0.707 \\ 0.707 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{e}_2 = \begin{bmatrix} -0.707 \\ 0.707 \end{bmatrix}$$



$$\mathbf{y} = \mathbf{A}(\mathbf{x} - \mathbf{m}_x)$$

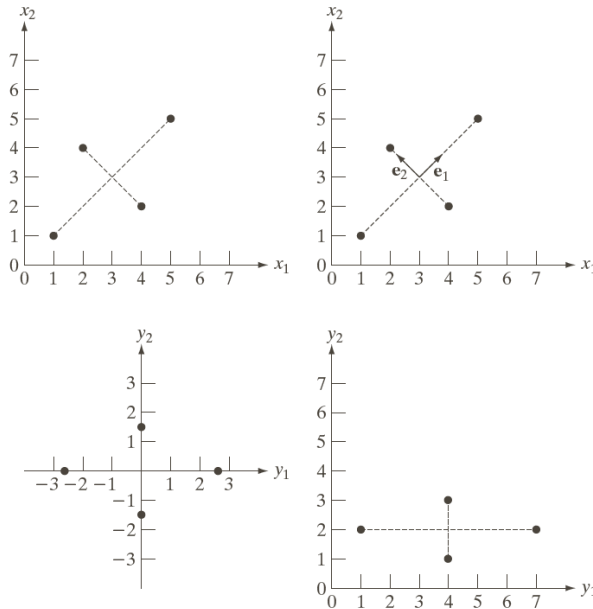


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description



a b
c d

FIGURE 11.44

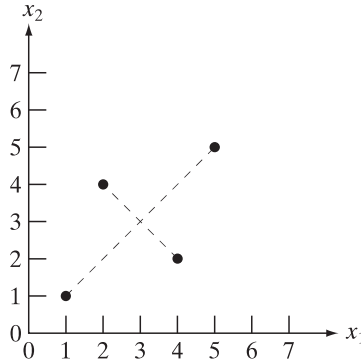
A manual example.
(a) Original points.
(b) Eigenvectors of the covariance matrix of the points in (a).
(c) Transformed points obtained using Eq. (11.4-6).
(d) Points from (c), rounded and translated so that all coordinate values are integers greater than 0. The dashed lines are included to facilitate viewing. They are not part of the data.

استفاده از مؤلفه‌های اصلی برای توصیف

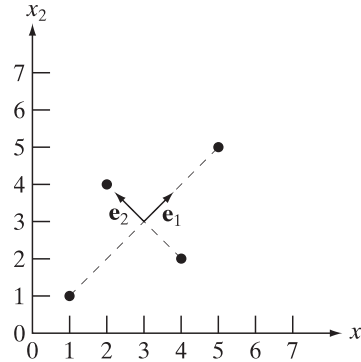
مثال: استفاده از مؤلفه‌های اصلی برای توصیف نرمالیزه نسبت به تغییرات اندازه، جابجایی و دوران

USE OF PRINCIPAL COMPONENTS FOR DESCRIPTION

(۱)
نقاط اصلی

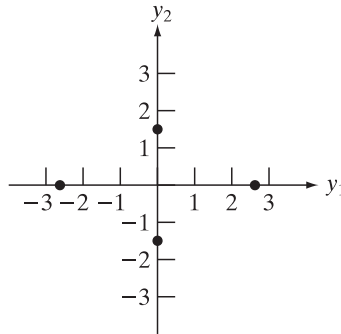


(۲)
بردارهای ویژه‌ی
ماتریس کواریانس



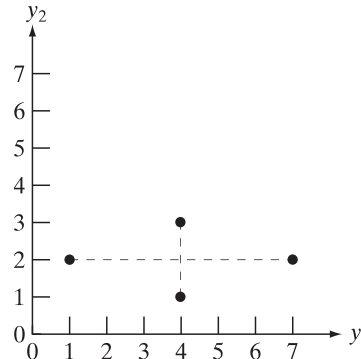
(۳)
پس از تبدیل هتلینگ

$$y = A(x - m_x)$$



(۴)
پس از انتقال به مرکز

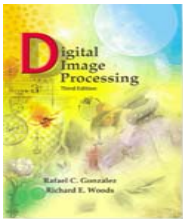
$$(y_{1min}, y_{2min})^T$$



بازنمایی و توصیف

۵

توصیف گره‌های
رابطه‌ای

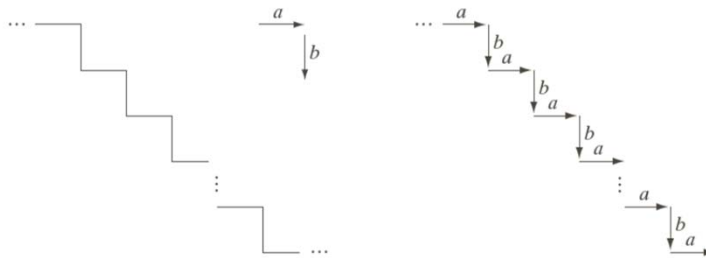


Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description



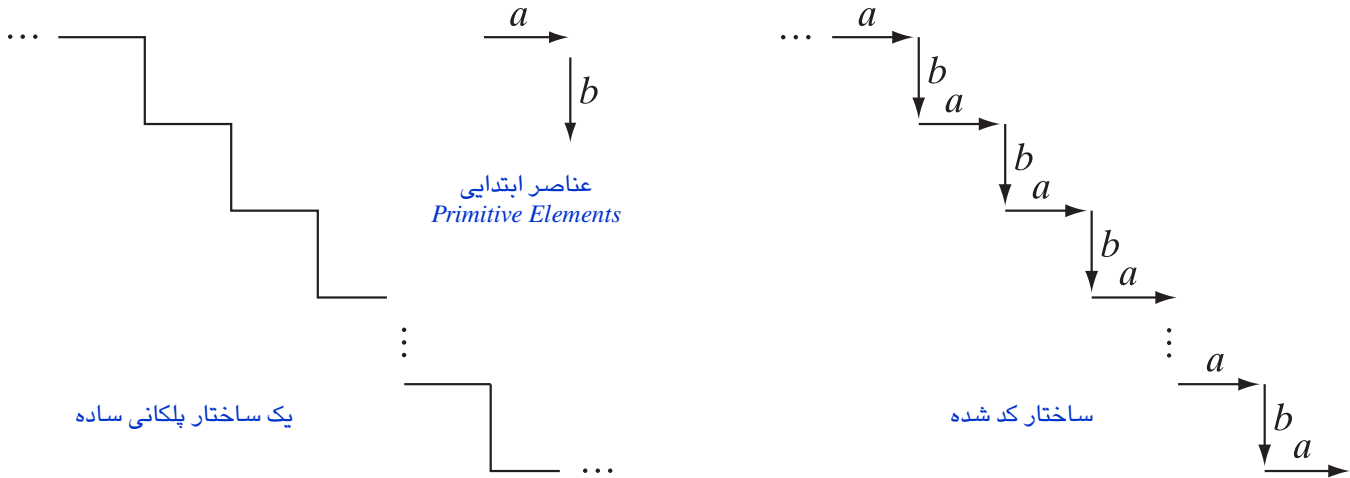
a b

FIGURE 11.45
(a) A simple staircase structure.
(b) Coded structure.

- (1) $S \rightarrow aA$,
- (2) $A \rightarrow bS$, and
- (3) $A \rightarrow b$,

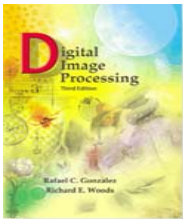
توصیف‌گرهای رابطه‌ای

مثال: قواعد بازنویسی

RELATIONAL DESCRIPTORS

rewriting rules:

- (1) $S \rightarrow aA,$
- (2) $A \rightarrow bS,$ and
- (3) $A \rightarrow b,$



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11 Representation and Description

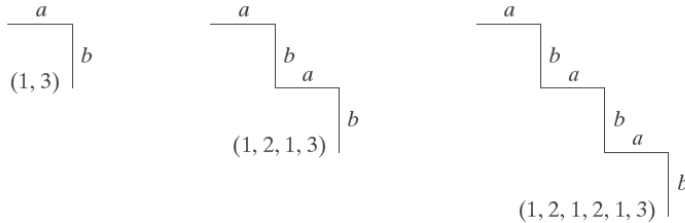
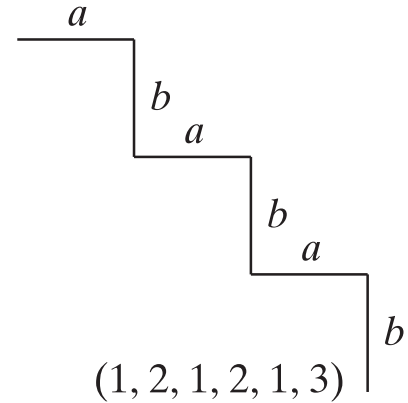
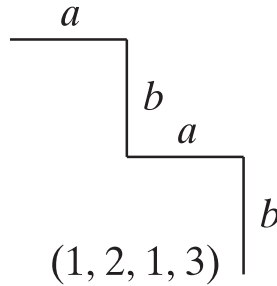
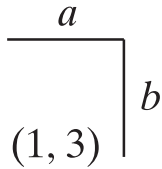


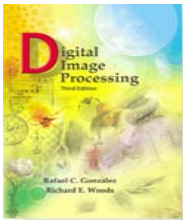
FIGURE 11.46
Sample
derivations for
the rules
 $S \rightarrow aA$, $A \rightarrow bS$,
and $A \rightarrow b$.

توصیف‌گرهای رابطه‌ای

مثال: قواعد بازنویسی

RELATIONAL DESCRIPTORS*rewriting rules:*

- (1) $S \rightarrow aA$,
- (2) $A \rightarrow bS$, and
- (3) $A \rightarrow b$,



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11

Representation and Description



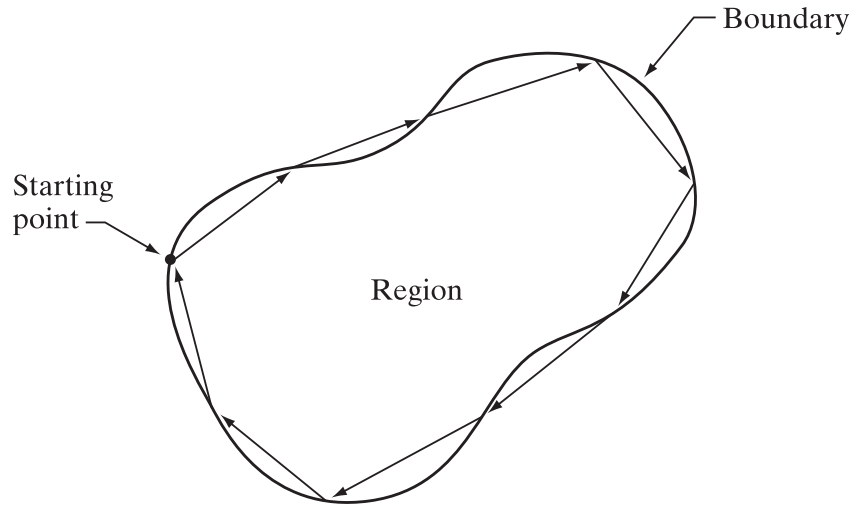
FIGURE 11.47
Coding a region
boundary with
directed line
segments.

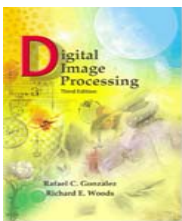
توصیف‌گرهای رابطه‌ای

مثال

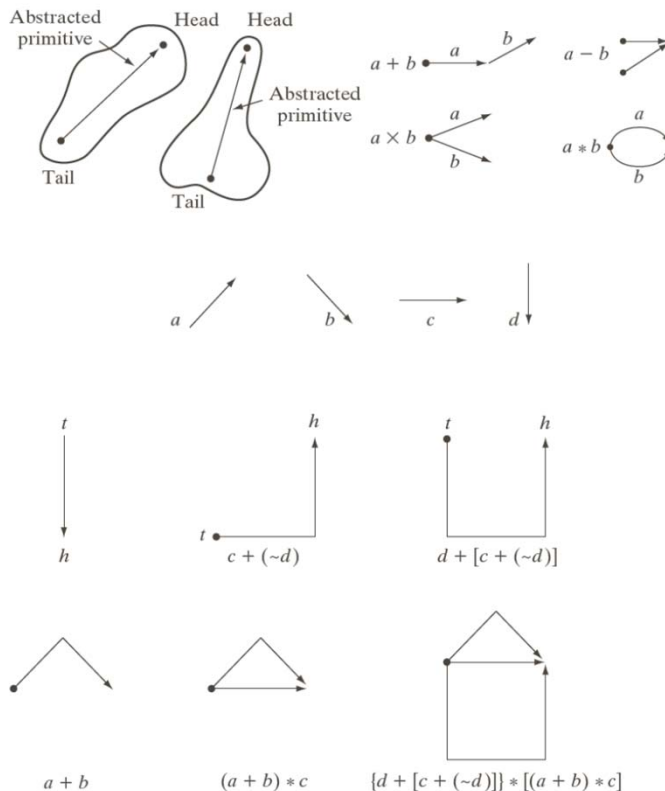
RELATIONAL DESCRIPTORS

Coding a region
boundary with
directed line
segments.





Chapter 11 Representation and Description

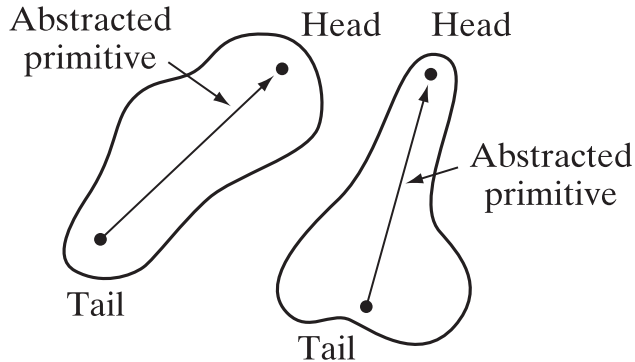
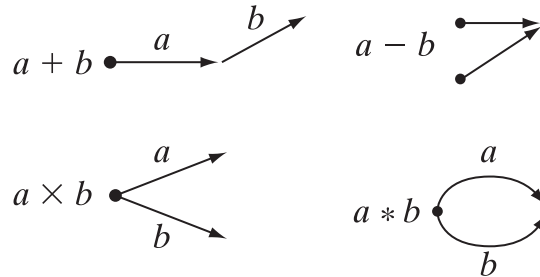
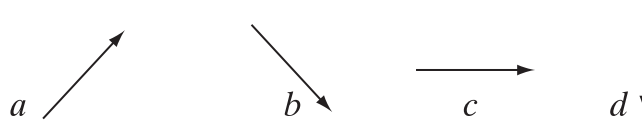


a b
c
d

FIGURE 11.48
(a) Abstracted primitives.
(b) Operations among primitives.
(c) A set of specific primitives.
(d) Steps in building a structure.

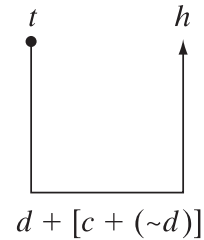
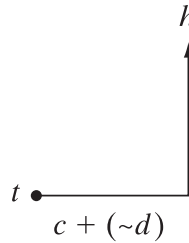
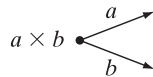
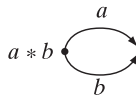
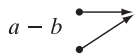
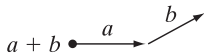
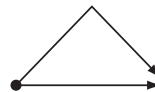
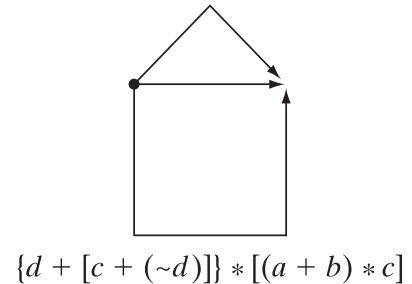
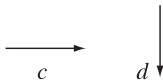
توصیف‌گرهای رابطه‌ای

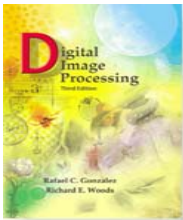
مثال

RELATIONAL DESCRIPTORS(a) Abstracted
primitives.(b) Operations
among primitives.(c) A set of
specific primitives.

توصیف‌گرهای رابطه‌ای

مثال

RELATIONAL DESCRIPTORS(b) Operations
among primitives.(c) A set of
specific primitives. $a + b$  $(a + b) * c$  $\{d + [c + (\sim d)]\} * [(a + b) * c]$ 



Digital Image Processing, 3rd ed.

Gonzalez & Woods

www.ImageProcessingPlace.com

Chapter 11

Representation and Description

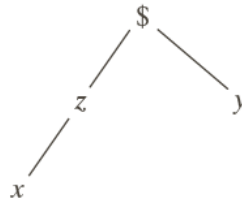
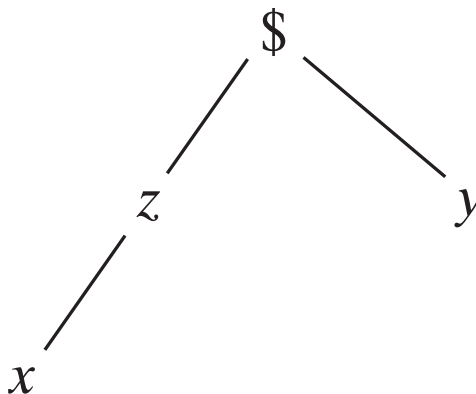
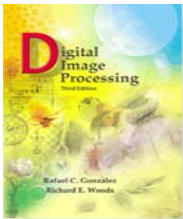


FIGURE 11.49 A simple tree with root \$ and frontier xy .

توصیف‌گرهای رابطه‌ای

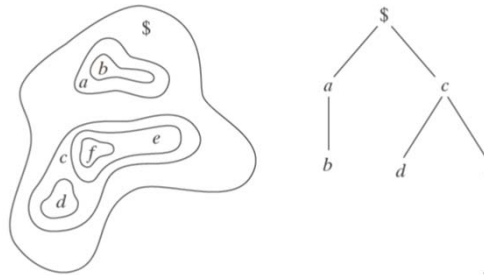
مثال: توصیف‌گر درختی

RELATIONAL DESCRIPTORSیک درخت ساده با ریشه‌ی \$ و کناره‌ی xy



Chapter 11

Representation and Description



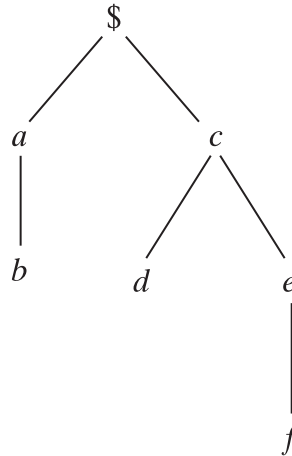
a b

FIGURE 11.50

(a) A simple composite region.
(b) Tree representation obtained by using the relationship “inside of.”

توصیف‌گرهای رابطه‌ای

مثال: توصیف‌گر درختی

RELATIONAL DESCRIPTORS

a b

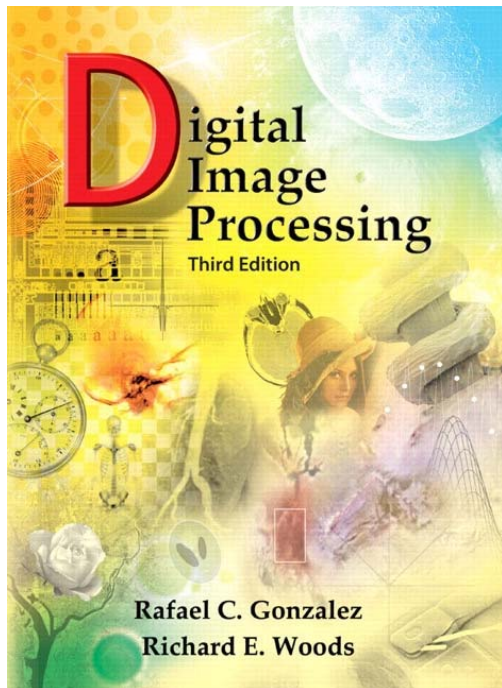
(a) A simple composite region.
 (b) Tree representation obtained by using the relationship "inside of."

بازنمایی درختی ناحیه‌ها با استفاده از رابطه‌ی «داخل»

بازنمایی و توصیف

۶

منابع



Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods,
Digital Image Processing,
Third Edition, Pearson Prentice Hall, 2008.
Chapter 11