

例 11.10 使用主分量描述图像

图 11.26 显示了由一个六波段多光谱扫描器生成的 6 幅图像,所使用的波段列在表 11.4 中。像本节开始时提到的那样,观察图 11.27 所示的图像,这些图像中每组对应的像素可以构成一个六维向量 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_6)^T$ 。在这个特定的应用事例中,图像分辨率为 384×239 ,因此总体包含有 91 776 个向量用于计算均值向量和协方差矩阵。表 11.5 显示了 $\mathbf{C}_x$ 的特征值。注意,前两个特征值的优势。

使用式(11.4.6)生成一组对应于 $\mathbf{x}$ 向量的 $\mathbf{y}$ 向量的变换。根据这些向量,6 个主要的分量图像被组合在一起(图像由简单地应用图 11.27 中反向的向量重构)。图 11.28 显示了结果。分量 1 代表由进行过向量转换的所有 y_i 的分量形成的图像,其他 5 幅图像也是如此。回想一下基本矩阵理论,例如,通过用列向量 $(\mathbf{x} - \mathbf{m}_x)^T$ 计算 $\mathbf{A}$ 的第一行的内积(点积)得到 y_1 。

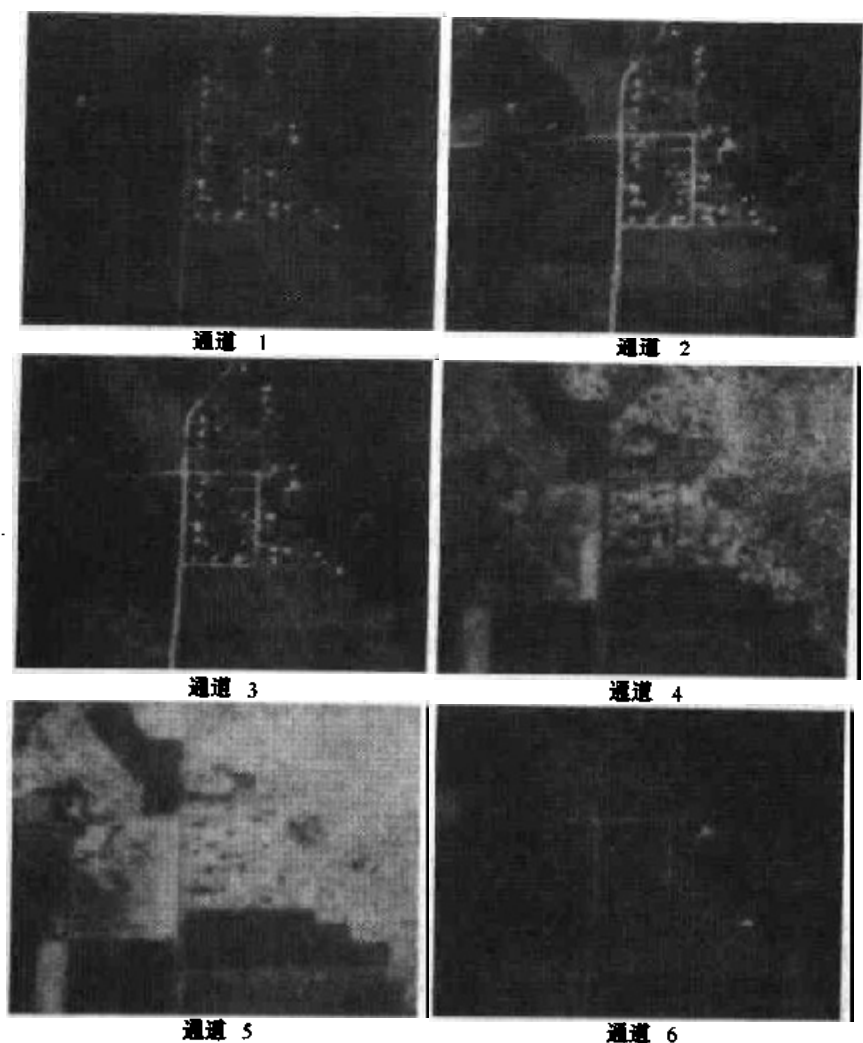


图 11.26 来自机载扫描器的 6 幅光谱图像(由 Purdue 大学遥感应应用实验室提供)

表 11.4 通道编号和对应的波长

通 道	波段(μm)
1	0.40 ~ 0.44
2	0.62 ~ 0.66
3	0.66 ~ 0.72
4	0.80 ~ 1.00
5	1.00 ~ 1.40
6	2.00 ~ 2.60

A 的第一行是特征向量,它对应于总体协方差矩阵的最大特征值,并且这个特征值给出了第一幅经过变换的图像的灰度级方差。因此,基于表 11.5 中显示的数字,这幅图具有最高的对比度。这个结果在图 11.28 中是相当明显的。因为前两幅图像的方差值占了总体方差值的 94%,所以,另 4 幅主分量图像对比度低的事实是意料之中的事。因此,如果仅将变换后的前两幅图连同 $\mathbf{m}_x$ 和 A 的前两行进行存储,而不是为了以后处理而存储所有的 6 幅图像,那么为了可靠一些,在存储之后生成一幅与原来的 6 幅图像近似的图像是必需的。这种进行数据压缩的能力尽管以当今的标准衡量并未给人以深刻印象,但却是霍特林变换产生的一项有用的副产品。从图像描述的方面来讲,这种方法的意义在于可以用两幅图像加上均值向量和变换矩阵的前两行对 6 幅图像的内容进行描述。如果我们要论述的是区域而不是整幅图像,则同样的办法是可以应用的。

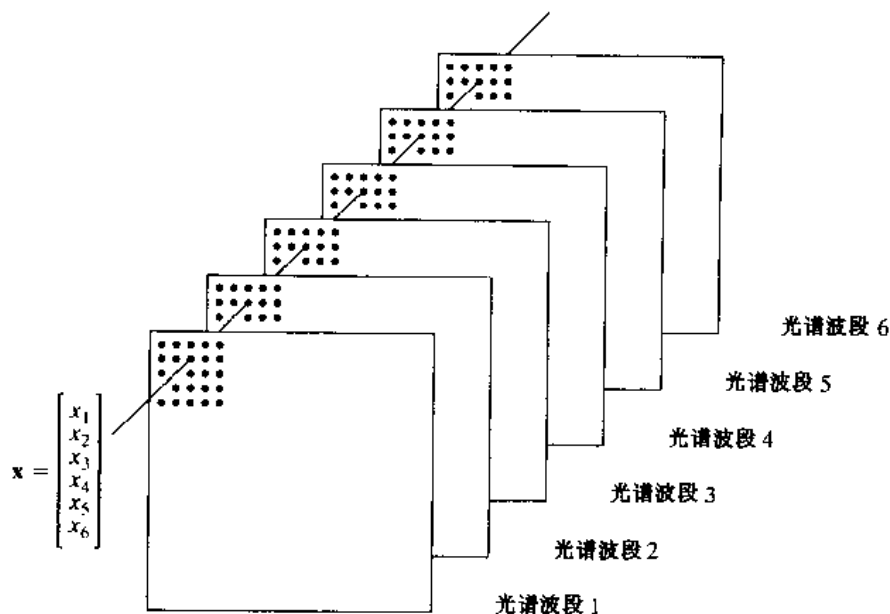


图 11.27 根据 6 幅图像对应的像素点构成的一个向量

表 11.5 从图 11.26 中的图像得到的协方差矩阵特征值

λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6
3210	931.4	118.5	83.88	64.00	13.40

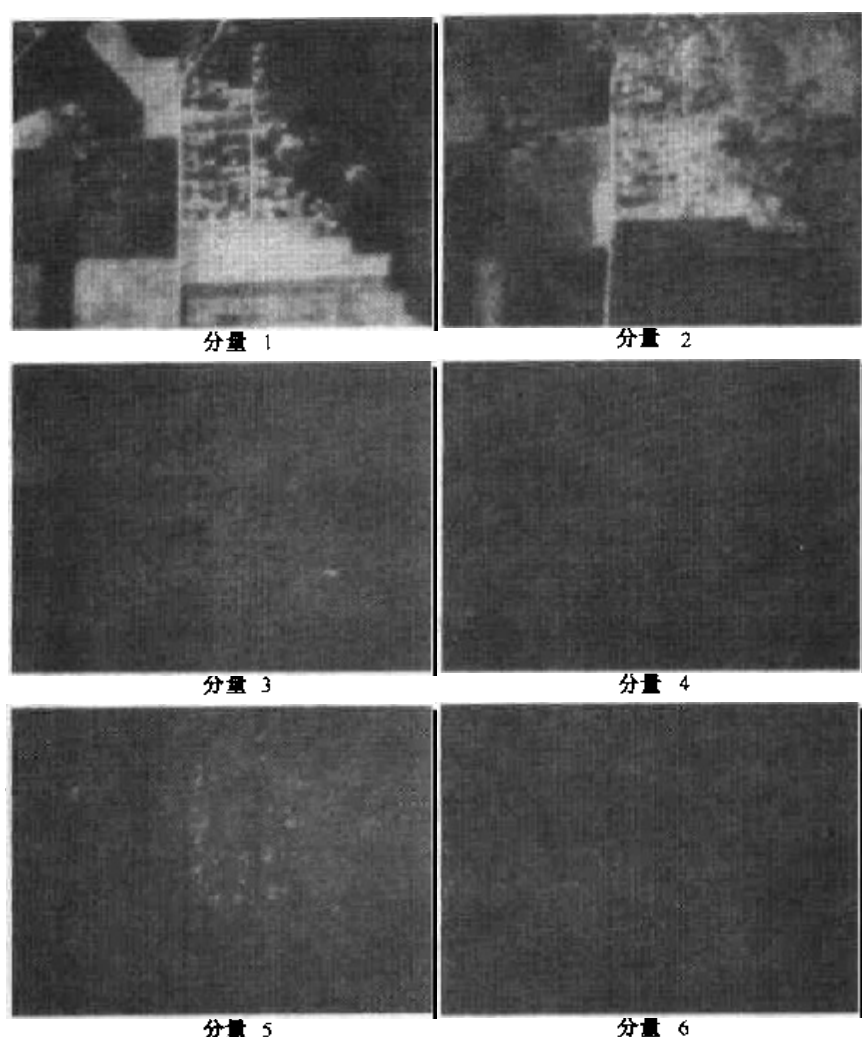


图 11.28 根据图 11.26 的数据计算得到的 6 幅主分量图像(由 Purdue 大学遥感应用实验室提供)

例 11.11 在单幅图像中使用主分量对边界和区域进行描述

在前面的讨论中,说明了如何对一组图像或区域使用主分量变换。在这个例子中,用图示说明如何使用主分量描述单幅图像中的边界和区域。方法是根据边界或区域的坐标生成二维向量。考虑图 11.29(a)中显示的对象。如果希望描述这个区域,就根据对象中像素点坐标生成向量。如果希望描述边界,就只使用边界上的点坐标。结果向量作为二维随机向量的总体处理。换句话说,对象中的每个像素点作为一个二维向量 $\mathbf{x} = (a, b)^T$ 去处理,这里 a 和 b 是像素关于 x_1 轴和 x_2 轴的坐标值。这些向量用于计算总体(对象)的均值向量和协方差矩阵。由于只在二维中计算,所以问题比以前简单了许多。

使用式(11.4.6)的实际结果是需要设置一个新的坐标系,这个坐标系以总体(均值向量的坐标)的质心为原点,以 $\mathbf{C}_x$ 的特征向量所指方向为轴的方向,如图 11.29(b)所示。这个坐标系清晰地显示出式(11.4.6)所进行的变换是一种旋转变换,这种变换使用特征向量将数据排列起来,如图 11.29(c)所示。实际上,这种排列正好是数据去相关的机理。再有,由于特征值沿着 $\mathbf{C}_x$ 的主对角线排布, λ_i 是沿着特征向量 $\mathbf{e}_i$ 的分量 y_i 的方差。这

两个特征向量是正交的。由于这个明显的原因, y 轴有时称为本征轴。

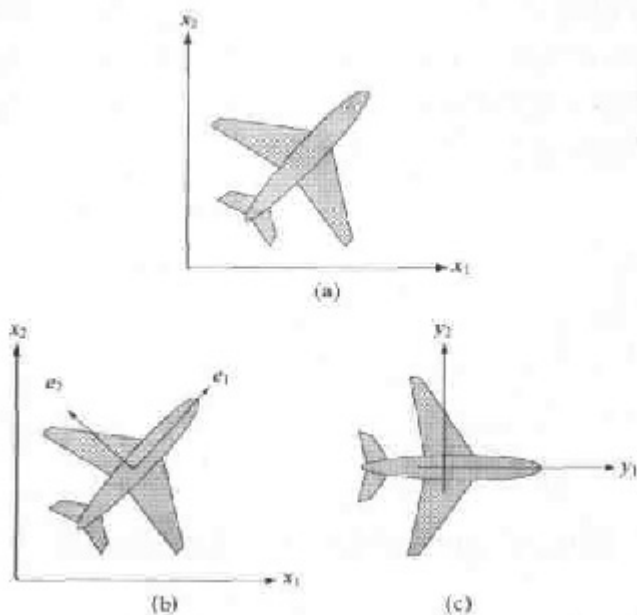


图 11.29 (a)一个对象,(b)特征向量,(c)使用式(11.4.6)使对象旋转。实际效果是将对象沿着自身的本征轴对准

使用主特征向量排列二维对象的概念在图像描述中起着十分重要的作用。如前面提到的,图像描述对于大小变化、平移和旋转变化本应是尽可能独立的。使用对象的主轴矫正的能力为消除旋转变化的影响提供了一种可靠手段。特征值是沿着本征轴的方差,并可用于尺寸的归一化。平移带来的影响可以通过将对象的均值设定为中心来解决,如式(11.4.6)所说明的。请记住,本节中推导的描述方法对区域和边界是同样适用的。

11.5 关系描绘

在 11.3.3 节中为描述纹理而介绍了重写规则的概念。本节中,在关系描绘子的内容中推广这一概念。这些概念对边界或区域同样适用,并且它们的主要目的是以重写规则的形式在边界和区域中获取基本的重复模式。

考虑如图 11.30(a)中所示的简单阶梯结构。假设这个结构是从一幅图像中分割出来的,并且希望用某种形式化的方法对它进行描述。通过定义如图所示的两个图元元素 a 和 b ,可以以图 11.30(b)所示的形式对图 11.30(a)进行编码。这个编码结构的最明显性质就是元素 a 和 b 的重复。所以,一种简单的描述方法是用公式表达一种包含这些图元元素的递归关系。一种可能是使用重写规则:

$$(a) S \rightarrow aA$$

$$(b) A \rightarrow bS$$

$$(c) A \rightarrow b$$

这里 S 和 A 是变元,元素 a 和 b 是对应于刚才定义的图元的常元。规则 1 表明 S (称为起始符)可以被图元 a 和变元 A 代替。依次地,这个变元 A 可以被 b 和 S 或只被 b 代替。用 bS 代

替 A , 然后回到第一条规则, 并且重复这一过程。用 b 代替 A 结束这一过程, 因为在表达式中不再存在变元。图 11.31 说明了一些由这些规则推导的例子, 这个结构下面的数字表示规则 1, 2, 3 应用的次序。 a 和 b 的关系被保存了, 因为这些规则使一个 b 总是跟在一个 a 后面。值得注意的是, 这 3 个简单的重写规则可以用于生成(或描述)无限多“相同的”结构。如将在第 12 章中说明的, 这种方法的优点有坚实的理论基础。

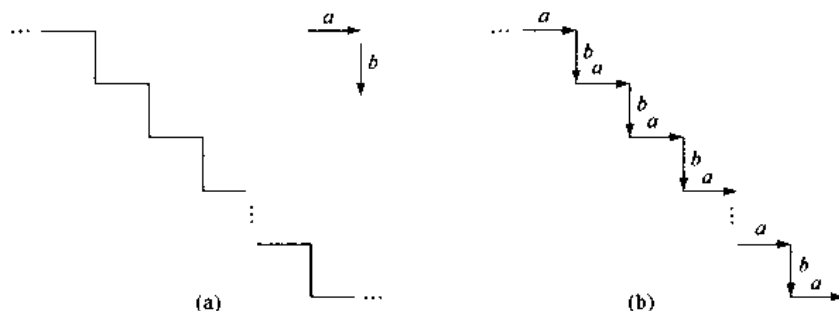


图 11.30 (a) 一个简单的阶梯结构, (b) 编码结构

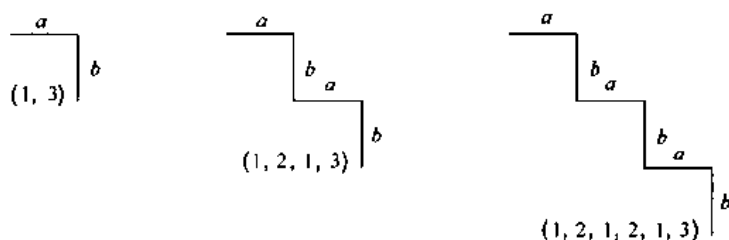


图 11.31 用规则 $S \rightarrow aA$, $A \rightarrow bS$ 和 $A \rightarrow b$ 推导的例子

因为串是一维结构, 所以将串应用于图像描述需要建立一种适当的方法, 将二维的位置关系转变为一维形式。大多数使用串对图像进行描述的应用都是基于从有用对象中抽取连接线段的思想。一种方法是沿着对象的轮廓线用指定了方向和长度的线段进行编码。图 11.32 说明了这一过程。

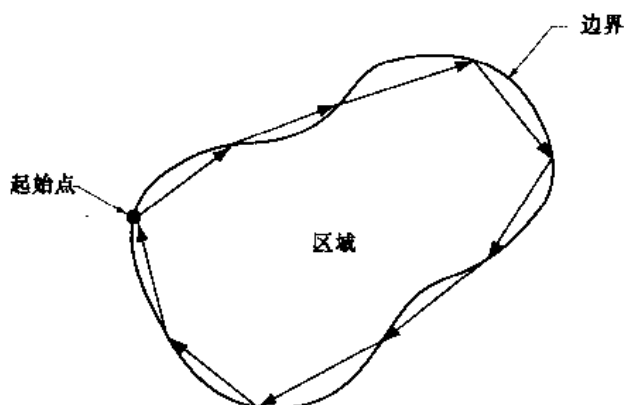


图 11.32 用定向线段对一个区域边界进行编码

另一种更为普遍一些的方法是, 通过定向线段描述一幅图像(如小的单色区域)的部分区域, 这种定向线段除了首尾连接关系外可以通过其他方法连接起来。图 11.33(a)说明了这一

方法,图 11.33(b)显示了一些典型操作,这些操作可以用于定义抽象图元。图 11.33(c)显示了一组由 4 个方向定义的线段组成的特定图元。图 11.33(d)显示了一个特定图形生成的步骤,这里($\sim d$)表示与图元 d 相同但方向相反的图元。注意每个复合结构只有一个头和一个尾。其有意义的结果就在于最后一个串,这个串描述了完整的结构。

串描述最适合应用于以首尾连接或其他连接方式表达的图元连通性情况。有时,从纹理或其他描绘子看来相似的区域却是不连接的,这就需要有描述这种情况的技术。用于处理这种情况的最有效方法之一是使用树描绘了。

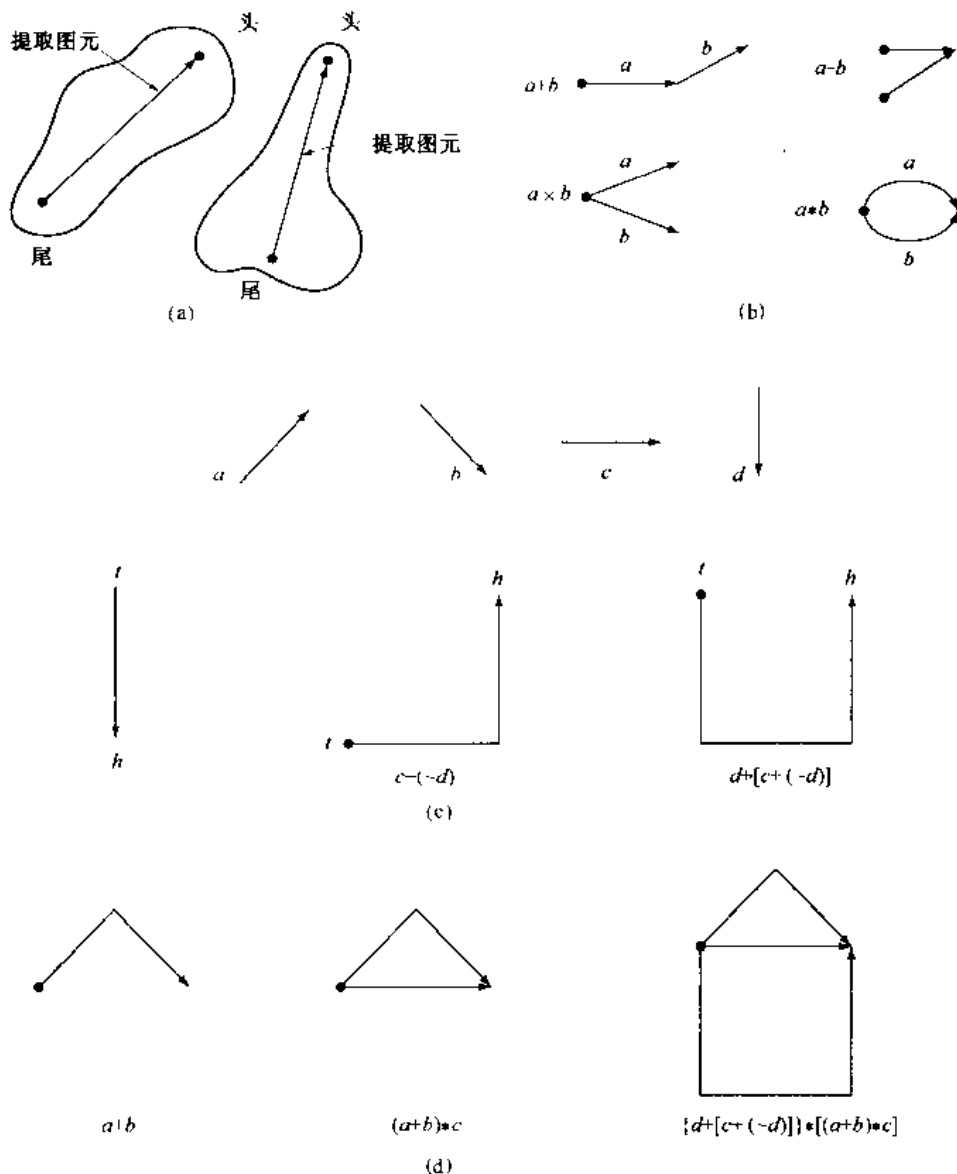


图 11.33 (a)一个提取的图元,(b)图元间的操作,(c)一组特定的图元,(d)生成一个结构的步骤

一棵树 T 是一个或多个节点的有限集合:

(a) 仅有惟一一个根节点 $\$$, 并且

(b) 余下节点被分成彼此不连接的集合 $T_1, \dots, T_m$ (依次均为一棵树, 称为 T 的子树)。

树的末梢节点是在树的底端从左到右依次排列的节点集合(叶子)。例如, 图 11.34 显示的树有根 $\$$ 和末梢 xy 。

一般来说, 树中的两类信息是重要的: (1) 关于节点的信息, 它是以描述节点的一组字来存储的, (2) 一个节点与它的相邻节点关系的信息, 它是以指向那些相邻节点的指针集合来存储的。

正如图像描述中那样, 第一类信息表示一幅图的结构(例如, 区域或边界线段), 而第二类信息定义了一个结构和其他结构间的物理关系。例如, 图 11.35(a) 可以用树通过使用“在……之内”的关系进行描绘。因此, 如果树的根用 $\$$ 表示, 图 11.35(a) 显示出第一级关系, 即 a 和 c 包含于 $\$$, 这种关系产生两个由根节点发出的分支, 如图 11.35(b) 所示。下一级关系包括 b 在 a 内, d 和 e 在 c 内。最后, 由 f 在 e 内完成整棵树。

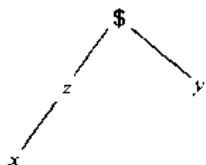


图 11.34 带有根节点 $\$$ 和末梢节点 xy 的简单树

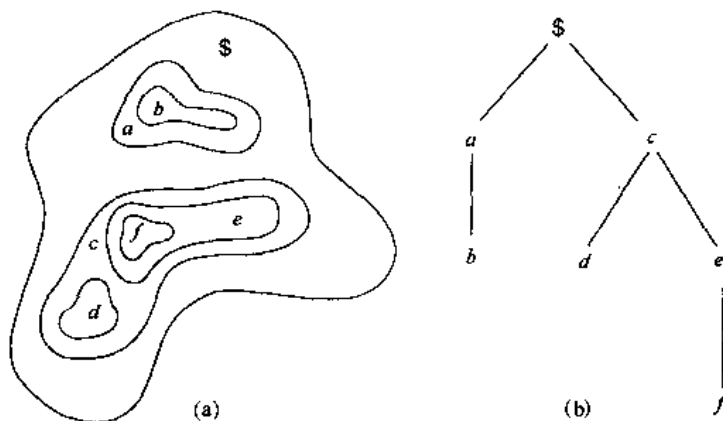


图 11.35 (a) 一个简单的复合区域, (b) 通过使用关系“在……之内”得到的树描绘

小结

从图像中分割出来的对象或区域的表示方法和描绘方式是大多数图像自动处理过程的前期步骤。例如, 这些描绘构成了将在下一章中展开讨论的对象识别方法的输入。正如这一章描绘技术所涵盖范围指出的那样, 从各种方法中挑选哪一种方法是由所面对的问题决定的。

目的就是选择能够“抓住”对象或对象类之间本质差异的描绘子,而对于各种因素的变化,比如位置、尺寸和方向,应尽可能地保留这种差异的独立性。

参考资料

11.1.1 节中讨论的链码表示是由 Freeman[1961, 1974]首次提出的。近年来有关使用链码的研究可以见 Bribiesca[1999]的著述,他将链码推广到了三维空间(Bribiesca[2000])。边界的多边形描绘(见 11.1.2 节)由于它有用而简单很值得考虑。

十年前 Bengtsoon 和 Eklundh[1991]及 Sato[1992]的论文对这一领域中典型的研究工作进行了论述。Zhu 和 Chirdian[1995]写的论文论述了一种有意义的沿着曲线变形点检测的方法。这种方法也可以参见 Hu 和 Yan[1997]的著述。最近这一领域的研究工作集中于不变量的多边形拟合(参见 Voss 和 Suesse[1997]的著述)和多边形近似算法(参见 Rosin[1997]的著述)的效果评估、一般实现(参见 Huang 和 Sun[1999]的著述)及计算速度(参见 Davis[1999]的著述)。

符号(见 11.1.3 节)的讨论可参考 Ballard 和 Brown[1982]及 Gupta 和 Strinath[1988]的著述。关于寻找凸壳和凸形缺陷(见 11.1.4 节)的基本公式表示可参见 Preparata 和 shamos[1985]的著述。也可参考 Liu-Yu 和 Antipolis[1993]的论文。Katzir 等人[1994]讨论了部分封闭曲线的检测。Zimmer 等人[1997]讨论了计算凸壳的一个改进算法, Latecki 和 Lakämper[1999]讨论了图形分解的凸性法则。

11.1.5 节中讨论的骨架化算法基于 Zhang 和 Suen[1984]的著述。另外一些关于这个算法的性质和实现的有用论述包括在 Lu 和 Wang[1986]论文中。Jang 和 Chin[1990]的论文在 11.1.5 节中的讨论和 9.5.5 节中介绍的关于细化的形态学概念之间提供了有机的联系。对于存在噪声的细化方法见 Shi 和 Wong[1994]以及 chen 和 Yu[1996]的著述。Shaked 和 Bruckstein[1998]讨论了一种修剪算法,对消除骨架中的痕迹非常有用。中轴变换的快速计算在 Sahni 和 Jenq[1992]以及 Ferreira 和 Ubéda[1999]的著述中进行了讨论。由 Loncaric[1998]写的关于 11.1 节中讨论的许多方法的综述文章也很有意义。

Freeman 和 Shapira[1975]给出了寻找一个闭合链码曲线的基本矩形算法(见 11.2.1 节)。11.2.2 节中的关于形状数目的讨论是基于 Bribiesca 和 Guzman[1980]以及 Bribiesca[1981]的工作。对于傅里叶描绘子(11.2.3 节)的其他读物见 Zahn 和 Roskies[1972]以及 Persoon 和 Fu[1977]的早期论文。也可以参见 Aguado 等人[1998]和 Sonka 等人[1999]的著述。Reddy 和 Chatterji[1996]讨论了使用 FFT 算法实现平移、旋转和比例缩放变换的不变性的重要方法。11.2.4 节中的材料基于基本的概率理论(例如,参见 Peebles[1993]和 Popoulis[1991]的著述)。

关于 11.3.2 节的其他读物,参见 Rosenfeld 和 Kak[1982]以及 Ballard 和 Brown[1982]的著述。关于纹理(11.3.3 节)的精辟介绍参见 Haralick 和 Shapiro[1992]的著述。早期的关于纹理的综述参见 Wechsler[1980]的著述。Murino 等人[1998]和 Garcia[1999]的论文以及 Shapiro 和 Stockman[2001]所做的论述是当前这一领域中有代表性的研究成果。

11.3.4 节中讨论的矩不变方法来自 Hu[1962]的著述。也可参见 Bell[1965]的著述。要了解矩不变量应用范围的概念,参见 Hall[1979]关于图像匹配的论述和 Cheung 与 Teoh[1999]关于使用矩描述对称性的论述。Mamistvalov[1998]的论述将矩的不变量方法推广到 n 维空间。

Hottelling[1933]是第一个推导并发表将离散变量转换成不相关系数这一方法的人。他把这种技术称为主分量方法。他的论文对这种方法有相当的见地,值得一读。霍特林变换被

Kramer 和 Mathews[1956]以及 Huang 和 Schultheiss[1963]再次发现。主分量方法在大量应用中依旧是用于图像描绘的基本工具,在 Swets 和 Weng[1996]以及 Duda, Heart, Stork[2001]的著述中举有这方面的例子。11.5 节中的参考材料来自 Gonzalez, Thomason[1978]和 Fu[1982]的著述,也可参见 Sonka 等人[1999]的著述。

习题

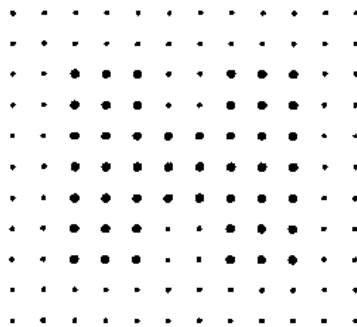
- 11.1★(a)**说明链码起点的重定义方法以使得到的编号序列构成一个具有最小量级的整数。这种重定义使编码不依赖于边界上的初始起点。
- (b)**找出编码 11076765543322 的归一化起点。
- 11.2 (a)**像 11.1.1 节解释的那样,说明链码的首差使其对于旋转变换实现归一化。
- (b)**计算编码 01010303033232212111 的首差。
- 11.3★(a)**说明 11.1.2 节中讨论的橡皮带多边形近似方法生成一个具有最小周长的多边形。
- (b)**说明如果每个单元对应一个边界上的像素,那么单元中最大可能的误差为 $\sqrt{2}d$, 这里 d 是相邻像素之间的最小可能水平或垂直距离(即,用于生成数字图像的取样网格的直线间距离)。
- 11.4★(a)**如果将 11.1.2 节中讨论的聚合方法的误差门限值设为零,讨论对得到的多边形的影响。
- (b)**对分割方法有什么影响?
- 11.5★(a)**使用 11.1.3 节讨论的正切角方法划分方形边界的图。
- (b)**用斜率密度函数重复上述划分。
- 假设这个方形的边分别与 x 轴和 y 轴形成一条直线, x 轴为基准线。以最靠近原点的点为起点。
- 11.6** 为下列每条边界图形找到一个表达式,并划分图形。
- ★(a)**一个等边三角形
- (b)**一个矩形
- (c)**一个椭圆形
- 11.7** 画出下列图形的中轴
- ★(a)**一个圆
- ★(b)**一个方形
- (c)**一个矩形
- (d)**一个等边三角形
- 11.8** 对下页每个显示的图形:
- ★(a)**讨论在点 p 执行 11.1.5 节中介绍的骨骼化算法的第一步时所执行的操作。
- (b)**重复算法的第二步。假设在所有情况下 $p = 1$ 。

1	1	0	0	0	0	0	1	1	0
1	p	0	1	p	0	1	p	1	0
1	1	0	0	0	0	0	1	0	0

11.9 参考 11.1.5 节中介绍的骨骼化算法,在执行下列操作后图形是什么样子?

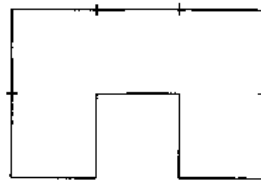
★(a) 执行一遍算法的第一步。

(b) 执行一遍第二步(在第一步的结果上执行,不是对原图像)。



11.10★(a) 对所显示的图形,形状数的阶数是什么?

(b) 写出形状数。



11.11 11.2.3 节中讨论的使用傅里叶描绘子的过程用复数表示轮廓坐标,写出这些复数的 DFT,并仅保留一些 DFT 的分量作为边界图形的描绘子。逆 DFT 是对原始轮廓线的近似。哪一类轮廓图形具有由实数构成的 DFT,并且如何设置图 11.13 中的轴系统才能得到这些实数?

★**11.12** 给出区分图 11.5 中显示的图形所需的最小数目的统计矩描绘子。

11.13 给出两个具有相同均值和三阶统计矩描绘子但二阶统计矩不同的边界图形。

★**11.14** 提出一组能区分字符 0,1,8,9 和 X 形状的描绘子(提示:将拓扑描绘子和凸壳一起使用)。

11.15 考虑一个由黑白方块交错组成的跳棋棋盘图形,每个方块大小为 $m \times m$ 。给出可以生成一个对角的共生矩阵的位置算子。

11.16 画出 5×5 大小的图像的灰度共生矩阵,图像由交错的 1 和 0 的跳棋棋盘图案组成。

★(a) 位置算子 P 定义为“右边的一个像素”和