

$$S_{1x} = \left. \frac{d^2 \operatorname{Re}[g_x(t, a_1)]}{dt^2} \right|_{t=n} \quad (10.6.12)$$

和

$$S_{2x} = \left. \frac{d^2 \operatorname{Im}[g_x(t, a_1)]}{dt^2} \right|_{t=n} \quad (10.6.13)$$

因为 g_x 是正弦的, 所以如果速度分量 v_1 是正的, 则在时间 n 时, S_{1x} 和 S_{2x} 在任意点有相同的符号。相反, S_{1x} 和 S_{2x} 的符号相反说明速度分量 v_1 是负的。如果 S_{1x} 或 S_{2x} 为零, 我们会考虑在时间上离得最近的下一个点 $t = n \pm \Delta t$ 。同样的结论可以应用于计算 v_2 的符号。

例 10.21 通过频率域检测小运动目标

图 10.51 通过图 10.54 说明了刚才得到的方法的有效性。图 10.51 显示了一组 32 帧的对地观测卫星(LANDSAT)图像中的一张, 这组图像的基准图像中加入了白噪声图像。这个图像序列中叠加了一个运动目标, 这个目标以 x 轴方向上每帧 0.5 个像素的速度和 y 轴上每帧 1 个像素的速度运动。目标在图 10.52 中用圆图标出。它在一个小区域内(9 像素)具有高斯亮度分布, 并且用肉眼不易辨别。令 $a_1 = 6$, $a_2 = 4$, 计算式(10.6.8)和式(10.6.9)得到的结果分别显示在图 10.53 和图 10.54 中。图 10.53 中位于 $u_1 = 3$ 处的波峰根据式(10.6.10)得到 $v_1 = 0.5$ 。同样, 图 10.54 中的波峰根据式(10.6.11)得到 $v_2 = 1.0$ 。

选择 a_1 和 a_2 的原则可以用图 10.53 和图 10.54 作为辅助进行解释。例如, 假设令 $a_2 = 15$ 取代 $a_2 = 4$ 。此时, 图 10.54 中的波峰将位于 $u_2 = 15$ 和 $u_2 = 17$ 。因为, $v_2 = 1.0$, 这会导致一个严重混淆的结果。正如在 2.4.4 节中讨论过的, 混淆是由于采样过疏造成的(由于 u 的范围由 K 决定, 所以在当前的讨论中使用的帧太少)。因为 $u = av$, 一种可能性是选择 a 作为最接近 $a = u_{\max}/v_{\max}$ 的整数, 这里 $u_{\max}$ 是确定 K 的混淆频率限制, 而 $v_{\max}$ 是对象的速度最大值。

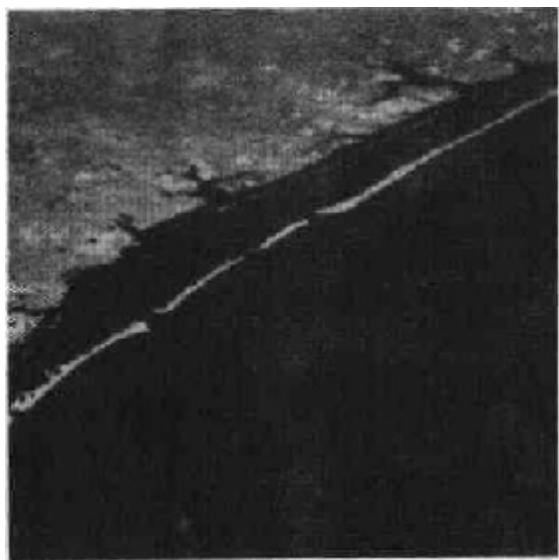


图 10.51 对地观测卫星图像中的一帧(Cowart, Snyder 和 Ruedger 提供)

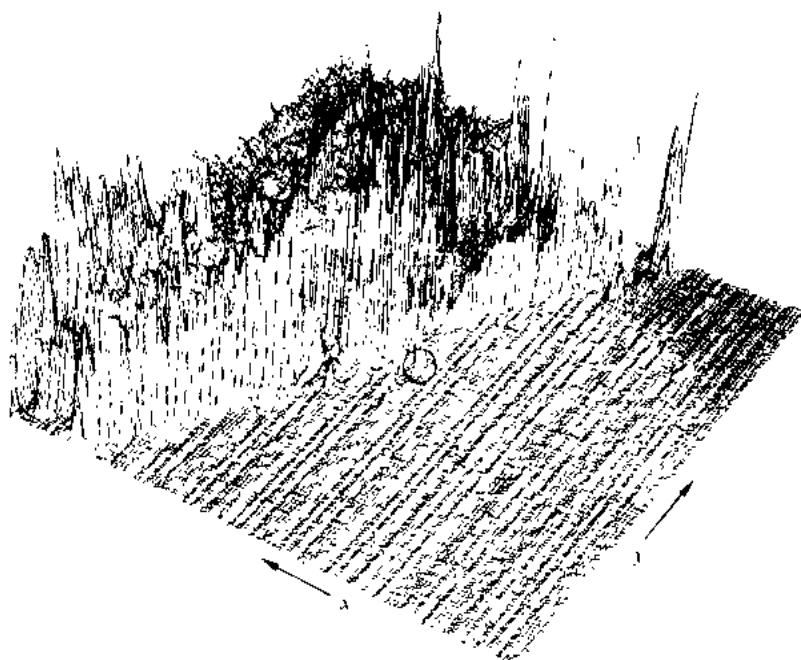


图 10.52 图 10.51 的图像亮度图。图中的目标用圆圈标出(Rajala, Riddle 和 Snyder 提供)

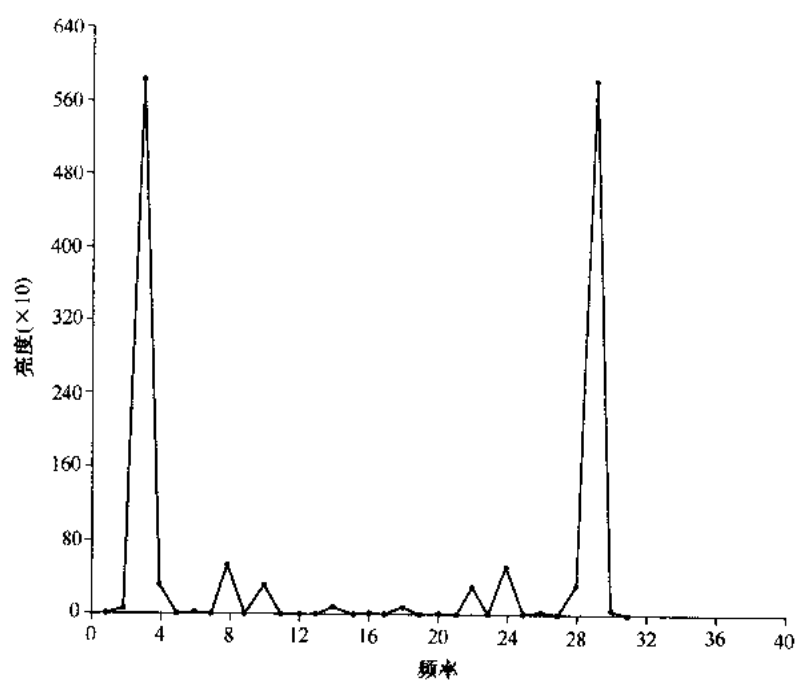


图 10.53 式(10.6.8)的频谱,显示了位于 $\mu_1 = 3$ 处的一个波峰(Rajala, Riddle 和 Snyder 提供)

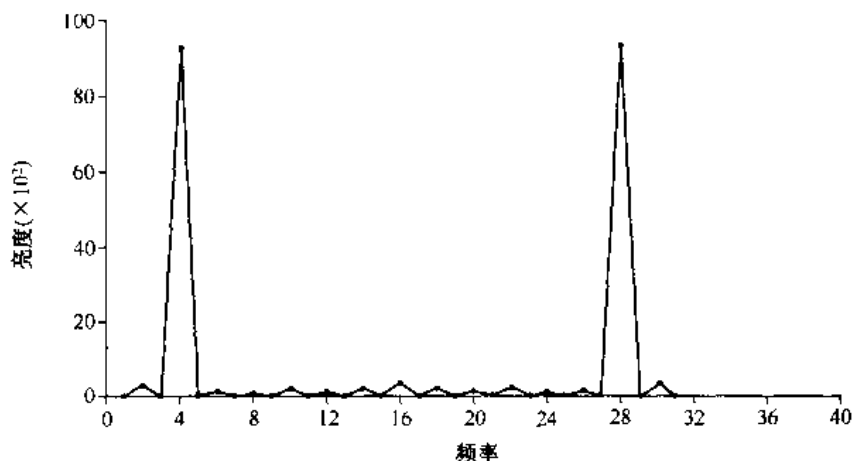


图 10.54 式(10.6.9)的频谱,显示位于 $u_2 = 4$ 处的一个波峰(Rajala, Riddle 和 Snyder 提供)

小结

图像分割在大多数自动图像模式识别和场景分析问题中是一个基本的预备性步骤。正如在前面各节中各种例子涉及的范围所说明的那样,选择一种分割技术而不选择另一种主要是由所面对问题的特点决定的。在本章中所讨论的各种方法,尽管并非十分的详尽,但确实是在实际应用中广泛使用的具有代表性的技术。下面的参考资料可以作为进一步研究这个主题的基础。

参考资料

由于分割在自动图像处理领域中所起的中心作用,因此,在大多数关于图像处理、图像分析和计算机视觉的著述中都涵盖了这一主题。下面提供一些书籍作为这一主题的阅读补充材料:Shapiro和Stockman[2001],Sonka等人[1999],Petrou和Bosdogianni[1999],以及Umbaugh[1998]。

使用模板检测灰度级间断具有很长的历史。这些年来人们提出了无数的模板,如Roberts[1965],Prewitt[1970],Kirsh[1971],Robinson[1976],Frei和Chen[1977]以及Canny[1986]。由Fram和Deutsch[1975]撰写的回顾性的文章包含了大量的模板以及对它们的效能的评价。模板效能存在的问题仍旧是相当重要的研究领域,特别是对边缘检测更是如此。这些在Qian和Huang[1996],Wang等人[1996],Heath等人[1997,1998]以及Ando[2000]的著述中均有例子。彩色图像的边缘检测在一些有多种意义的应用领域方面正逐渐普及开来。例如,Salinas,Abidi和Gonzalez[1996]的著述;Zugaj和Lattuati[1998]的著述;Mirmehdi和Petrou[2000]的著述;以及Platanotis和Venetsanopoulos[2000]的著述。图像特征和模板效能之间的相互影响也是当前感兴趣的课题,如Ziou[2001]的著述中举的例子。对拉普拉斯算子的零交叉性质的表达是以Marr和Hildreth[1980]的论文以及Marr[1982]的著述为基础的。也可以参见Clark[1989]的论文,其中涉及使用零交叉算法进行边缘鉴别的内容(Clark的论文的部分修正内容在Piech[1990]中给出)。如10.1节中提到的,通过一个高斯型的拉普拉斯算子的零交叉方法是一种重要的方法。它相对于其他方法的效能仍是研究中相当活跃的主题(Gunn[1998,1999])。

霍夫变换(Hough[1962])结合了过去10年的研究成果提出了全局像素连接和曲线检测的

选择方法。许多以这种基本变换为基础而做的进一步推广的方法在本章中进行了介绍。它们都是多年以前就提出的方法。例如,Lo和Tsai[1995]提出了一种检测细线的方法,Cuil等人[1995,1997]解决了霍夫变换的快速实现问题和简单曲线的检测问题,Daul等人[1998]对检测椭圆弧的方法做了进一步的推广,Shapiro[1996]解决了对灰度级图像的霍夫变换的实现问题。在10.2.3节中提出的算法是以Martelli[1972,1976]的著述为基础的。关于试探性图的搜索,参见Nilsson[1980],Umeyama[1988]和Sonka等人[1999]的相关著述。

如在10.3节的开始所提到的,门限技术享有特殊的地位。因为这类方法易于实现。所以有众多的著述在这个主题上着以相当多的文墨是并不奇怪的。从Sahoo等人[1988]和Lee等人[1990]的回顾性的文章中可以对这类文献所涉及的范围有一个较全面的评价。在10.3.2节关于门限处理中亮度的影响问题上,我们付出了相当大的努力。处理这类问题的方法在Perez和Gonzalez[1987],Parker[1991],Murase和Nayar[1994],Bischel[1998]以及Drew等人[1999]的相关著述中给予了说明。关于10.3.3节和10.3.4节的阅读材料参见Jain等人[1995]的著述。10.3.5节中讨论了Chow和Kaneko[1972]早期的工作。这些工作在说明基于门限的图像分割解决方案的关键内容方面仍被视为一种标准。实质上,10.3.6节中提到的材料也可以说具有相同的重要地位(由于White和Rohrer[1983]的著述)。这一节中我们将门限处理、梯度和拉普拉斯算子结合起来用于解决较为困难的分割问题。这两篇文章的时间与其在门限处理方面所做的工作相差了近20年(Cheriet等人[1998],Sauvola和Pietikainen[2000])。比较它们得出的图像分割能力方面的基本相似点是非常有趣的事。也可以见Liang等人[2000]和Chan等人[2000]对于检测图像中的边界问题的替代方法的论述。在概念方面他们与Chwo和Kaneko在这方面所做的研究相似。

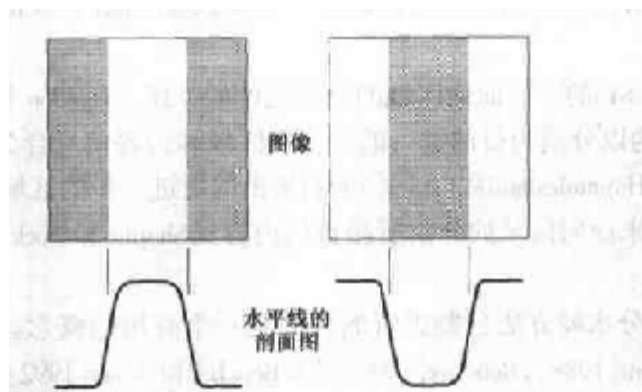
见Fu和Mui[1981]的一项面向区域的分割主题的综述。Haddon和Boyce[1990]以及Pavlidis和Liow[1990]所做的以分割为目的进行的关于将区域和边界信息合为整体的工作是在这方面最早进行的研究。Hojjatoleslami和Kittler[1998]提出的更进一步的区域生长方法也是很重要的。对于最近一段时期来面向区域的分割所涵盖的内容见Shapiro和Stockman[2001]以及Sonka等人[1999]的著述。

10.5节中对用分水岭方法分割进行的说明是一个有用的概念。这方面早期的分水岭分割的参考材料是Serra[1988],Beucher[1990]以及Beucher和Meyer[1992]的有关著述。Baccar等人[1996]所写的文章对数据融合及形态学分水岭方法有所论述。十多年以来,在这个领域中,有关模式识别的空间性问题[2000]方面的进展是很明显的。这是在这些年来研究人员在这个主题上全身心投入的结果。如我们在10.5节的讨论中说明的那样,使用分水岭方法的关键问题之一是过度分割问题。Najmanand和Schmitt[1996],Haris等人[1998]以及Bleau和Leon[2000]的文章对处理这类问题进行了说明。Bieniek和Moga[2000]提出了一种基于连通分量的分水岭分割算法。

10.6.1节中的材料是来自Jain,R.[1981]的著述。也可以参见Jain,Kasturi以及Schunck[1995]的著述。10.6.2节中的材料来自Rajala,Riddle和Snyder[1983]的著述。还可以参见Shariat和Price[1990]以及Cumani等人[1991]的文章。由Shapiro和Stockman[2001]写的以及Sonka等人[1999]写的书提供了关于运动估计方面的阅读材料。

习题

- ★10.1 有一幅包含水平的、垂直的、 45° 的和 -45° 直线的二值图像。给出一组 3×3 模板。这些模板可以用于检测这些直线中1个像素长度的间断。假设直线的灰度级是1并且背景的灰度级为0。
- 10.2 提出一种技术用于检测二值图像的线段中长度从1到 L 个像素的裂缝。假设线是1个像素宽度。你的技术要以8邻域连通性分析为基础,而不能试图构造检测裂缝的模板。
- 10.3 参考图10.4回答下列问题:
- ★(a) 图10.4(b)中某些连接焊点和中心元素的线是单线,而其他一些是双线。解释一下为什么。
- (b) 如何在图10.4(c)中除去不属于 -45° 直线的部分?
- 10.4 考虑一幅穿过二值图像中部的水平亮度剖面图。二值图像包括一个垂直通过图像中心的台阶状边缘。画出经过模糊处理后的图像的剖面图,处理的模板是大小为 $n \times n$,具有等于 $1/n^2$ 的系数的均值模板。为了简化,假设图像按比例绘制以便图像在边缘左边的灰度级为0,右边的灰度级为1。而且,假设模板的尺寸远小于图像尺寸,以便在水平亮度剖面图的中心附近不必关注图像的边界效应。
- ★10.5 假设使用图10.6中的边缘模型而不是边缘的斜面模型。写出每幅剖面图的梯度和拉普拉斯算子。



- 10.6 参考图10.8回答下列问题:
- (a) 假设使用Sobel模板得到 G_x 和 G_y 。说明此时使用式(10.1.4)和式(10.1.12)计算的梯度得出边缘在水平方向上和垂直方向上相同的结果。
- (b) 说明这一结论对于Prewitt模板也是正确的。
- ★10.7 说明图10.8和图10.9的Sobel和Prewitt模板只对于水平、垂直及 $\pm 45^\circ$ 的边线能得出各向同性的结果。
- 10.8 某些二维模板一遍处理得到的结果也可以通过一维模板两遍处理得到。例如,使用带有系数 $1/9$ 的 3×3 平滑处理模板得到的结果,通过对图像使用一次模板 $[1 \ 1 \ 1]$ 同样可以得到。得到的结果接着使用一次模板:

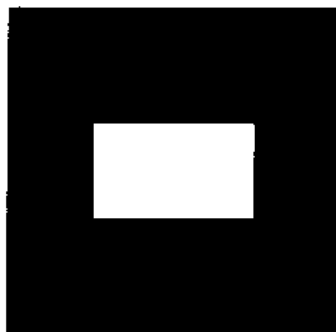
$$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

最后得到的结果乘以 $1/9$ 。说明使用 Sobel 模板(图 10.8)得到的结果可以通过使用一次形如 $\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 的差分模板(或其对应的正交阵),而后使用一次形如 $\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$ 的平滑处理模板(或其对应的正交阵)得到。

- ★10.9 所谓的罗盘梯度算子大小为 3×3 。它被用来计算 8 个方向上的梯度: E, NE, N, NW, W, SW, S 和 SE。写出系数值为 0, 1 或 -1 时这 8 个算子的形式。确定每个模板的梯度方向,记住,梯度方向与边缘方向是垂直的。

- 10.10 在二值图像中心显示的矩形大小为 $m \times n$ 个像素。

- 使用式(10.1.12)给出的近似方法描绘此图像的梯度。假设 G_x 和 G_y 是通过使用 Sobel 算子得到的,说明梯度图像中所有相关的不同像素的值。
- 描绘根据式(10.1.5)计算的边缘方向的直方图。精确标记直方图中每个波峰的高度。
- 描绘式(10.1.14)给出的近似图像拉普拉斯算子。说明在拉普拉斯图像中所有相关的不同像素值。



- 10.11 参考式(10.1.17),

- 说明拉普拉斯算子($\nabla^2 h$)的平均值为零。
- 证明所有用这个算子形成盘状结构的图像的平均值也是零。
- 在一般情况下,对于式(10.1.14)和式(10.1.15)所给出的拉普拉斯算子的近似,(b)还是正确的吗?请解释。

- 10.12 参考图 10.15,

- 解释为什么图 10.15(g)中的边缘构成闭合的轮廓线。
- 用于边缘定位的零交叉方法总是得到闭合轮廓线的结果吗?为你的答案找出原因。

- ★10.13 参考 10.2.2 节中的讨论。

- 解释为什么图 10.20(b)中点 1 的霍夫映射是一条直线。
- 这是仅有的能产生这样的结果的点吗?
- 解释图 10.20(d)中的邻接反射关系。

- 10.14 参考 10.2.2 节中的讨论。

- 根据直线的斜截式表示法 $y = ax + b$, 寻找一种得到直线标准表示方法的一般过程。
- 找到直线 $y = -2x + 1$ 的标准表示方法。

- 10.15 图像分割技术的一个重要的应用领域是处理来自所谓的泡沫室现象的图像。这些图像是在高能物理实验中得到的。在实验中,一束已知性质的粒子直接打到已知核子的目标上。典型的现象包括输入轨迹,在撞击现象中由撞击点分散出的粒子的二级轨迹。提出一种分割方法用于检测所有至少有 100 个像素并且下列 6 个方向上的所有的轨迹: $\pm 25^\circ$, $\pm 50^\circ$ 和 $\pm 75^\circ$ 。在这 6 个方向上允许的估计误差为 $\pm 5^\circ$ 。一条有效的轨迹必须不少于 100 个像素长并且间隙不多于 3 个,并且每个间隙不超过 10 个像素的长度。可以假设图像已经经过预处理以便形成二值图,且除了发出轨迹的撞击点以外所有轨迹均为 1 个像素宽。你的方案必须能够分辨原点不同但方向相同的轨迹(提示:以霍夫变换作为解决方案的基础)。

★10.16 参考图10.22和图 10.24。

(a) 将图 10.24 中的图给出的所有可能的边缘叠加到图 10.22 上。

(b) 计算最小开销路径的开销。

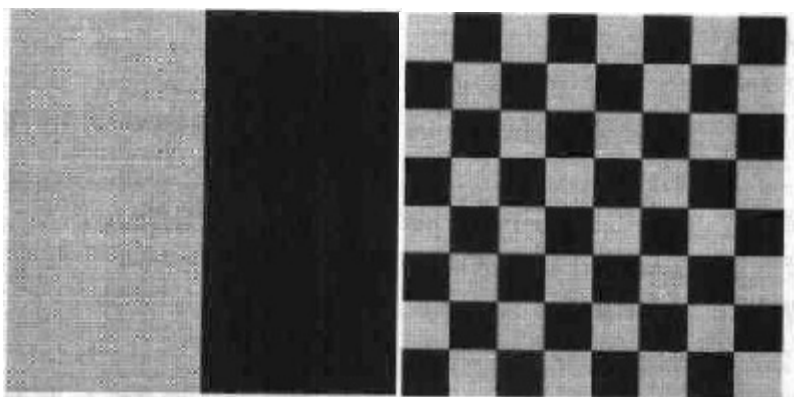
10.17 在显示的子图中找到对应于最小开销路径的边缘。括号中的数字是灰度级。外部的数字是空间坐标。假设边缘起始于第 1 列而结束于最后一列。

	1	2	3
1	• [2]	• [1]	• [0]
2	• [1]	• [1]	• [7]
3	• [6]	• [8]	• [2]

★10.18 下面显示的图像是很不相同的,但它们的直方图是相同的。假设每幅图像均用 3×3 的平滑处理模板进行模糊处理。

(a) 模糊处理后的图像的直方图还是一样的吗?

(b) 如果你的回答是不一样,则画出这两个直方图。



10.19 考虑一幅 $N \times N$ 大小的无噪声图像。此图像的前 $N/2$ 列具有灰度级 L_A , 剩下的列有灰度级 L_B 。这里 $L_B > L_A$ 。此图的直方图仅有两个高度相同波峰。一个位于 L_A 处另一个位于 L_B 处。根据灰度级将此图二等分是一种无意义的工作。可以通过使用设置于 L_A 和 L_B 之间的单一全局门限实现这种分割。然而,假设你用一个从左到右灰度级变化从 0 到 K 的楔形乘以此图像,此处 $K > L_B$ 。新的直方图是什么样子的? 对直方图的不同部分进行明确的标记。

10.20 参考10.3.3节中介绍的门限查找算法。假设在给定的问题中,直方图是双峰的并且模式的形状可以用形如 $A_1 e^{-(x-m_1)^2/n\sigma_1^2}$ 和 $A_2 e^{-(x-m_2)^2/n\sigma_2^2}$ 的高斯曲线进行拟合。假设 $m_1 < m_2$ 且当算法收敛时,下列给出的条件(根据这些曲线的参数)为真:

★(a) 门限等于 $(m_1 + m_2)/2$ 。

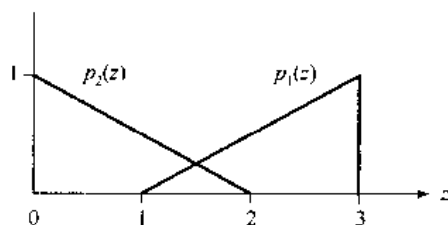
★(b)门限取小于 m_1 的值。

(c)门限在区间 $(m_1 + m_2)/2 < T < m_2$ 中取值。

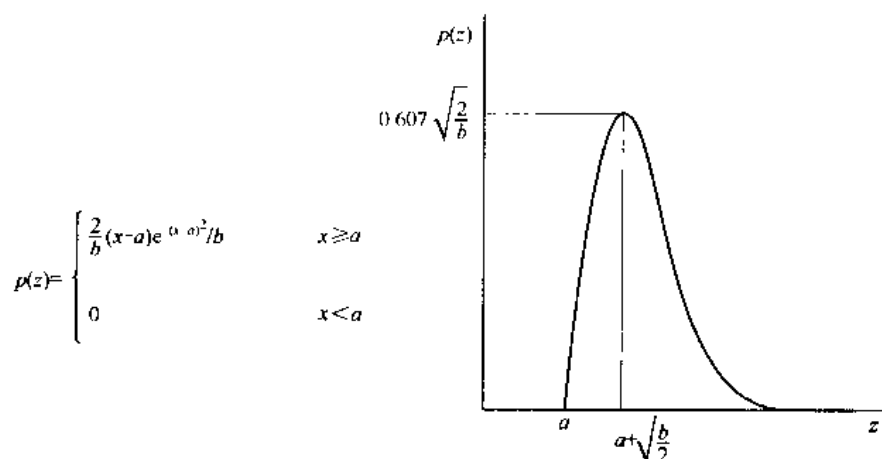
如果这些条件的任意一条不满足,请给出原因。

- 10.21 某一场景的照度 $i(x, y)$ 已知作为根据公式 $i(x, y) = A(1 + e^{-B[(x - N/2)^2 + (y - N/2)^2]})$ 得到的空间坐标的函数变化,并以标准单位进行测量。数字化的场景用 $f(x, y)$ 表示,场景的大小为 $N \times N$, $N = 1000$ 。常量 $A = 0.5$, $B = 10^{-4}$ 。已知要得到 $f(x, y)$ 时,子图区域的任意两点之间亮度变化不超过 0.1 个单位, $f(x, y)$ 的任何大于 10×10 像素的子图可以被适当地分割。在这些条件下用于分割图像得到的子图的门限可以使用 10.3.3 节中介绍的算法求出。提出一种能够对此幅图像进行门限处理的自适应技术。不是所有的子图都大小相同,但在图像中的任何位置都需要使用可能的最大子图。

- ★10.22 假设图像的灰度级概率密度函数如图所示。这里 $p_1(z)$ 对应于对象,而 $p_2(z)$ 对应于背景。假设 $P_1 = P_2$,找出对象像素和背景像素之间的最佳门限。



- 10.23 瑞利概率密度函数的函数形式和典型图形如下图所示。这个密度很适合于近似偏斜的直方图,如图 10.29 所示。使用瑞利密度提出一个与习题 10.22 一样的两类双峰问题。找出关于先验概率 P_1 和 P_2 的最佳门限和瑞利密度的参数。两个密度的长“尾巴”应该是彼此反向的,如图 10.29 所示。



- ★10.24 从式(10.3.10)开始推导出式(10.3.12)和式(10.3.13)。

- 10.25 从式(10.3.12)和式(10.3.13)开始推导式(10.3.14)。

- ★10.26 图像中背景像素的均值和标准差分别为 110 和 15。对象像素的均值和标准差分别为 200 和 40。提出一个用于从图像中分割对象的门限处理方案。清楚地阐述在处理这个问题时所做的假设。



10.27 提出一种以区域生长为基础的分割习题 10.26 中图像的方法。清楚地阐述在处理这个问题时所做的假设。

10.28 通过使用 10.4.3 节中讨论的拆分和聚合过程分割所显示的图像。如果 R_i 中所有像素具有相同的灰度级, 则令 $P(R_i) = \text{TRUE}$ 。说明对应于你做的分割的四叉树。

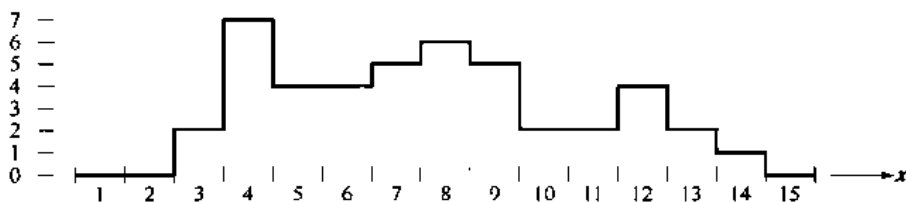
10.29 参考 10.5.3 节中的讨论。

★(a) 说明在分水岭算法执行期间, 集合 $C_n(M_i)$ 和 $T[n]$ 中的元素是不会被替换的。

(b) 说明集合 $C_n(M_i)$ 和 $T[n]$ 中元素的数目不是增加, 就是与 n 保持同步增长。

10.30 10.5 节中说明的使用分水岭分割算法得到的边界构成了闭合的环。确定是否使用这种算法总会得到这样的闭合边界。

★**10.31** 对显示的一维灰度级交错部分逐步写出构建水坝的实现步骤。在每一步说明交错的部分, 说明水位和水坝的形成过程。



10.32 如果我们在式(10.6.4)中使用 T 而不是 $-T$ 进行检验, 则图 10.49(c) 中的负 ADI 图像会是什么样子?

10.33 判断下列说法是否正确。对你的答案进行解释。

(a) 只要对象正在运动, 绝对 ADI 的非零项的尺度就不断增大。

(b) 不管对象做何种运动, 正 ADI 中的非零项总是占据相同的面积。

(c) 只要对象正在运动, 负 ADI 的非零项的尺度就不断增大。

10.34 假设例 10.21 中将沿着 x 轴方向的运动设为 0。现在对象仅沿着 y 轴以每帧 1 个像素的速度运动 32 帧, 然后瞬间转向, 向相反方向运动 32 帧。在这些条件下, 图 10.53 和图 10.54 会是什么样子?

- 10.35** 飞行中的子弹的速度使用高速成像技术进行估计。选择的方法涉及电视照相机和可以照亮场景 K 秒的闪光灯。子弹 2.5 cm 长, 1 cm 宽, 速度范围在 750 ± 250 m/s。光学照相机生成的一幅图像中, 子弹占据了分辨率为 256×256 的数字图像水平方向的 10%。
- (a) 判断 K 的最大值以保证图像中由于运动造成的模糊不超过 1 个像素。
 - (b) 判断每秒必须得到的帧数的最小值, 以便保证在子弹穿过照相机的视场时至少得到两幅子弹的完整图像。
 - (c) 提出一种自动从帧序列中提取子弹图像的分割程序。
 - (d) 提出一种自动判断子弹速度的方法。