

# 数字图象处理技术讲座

## 第三讲 图象分析

刘政凯

(中国科学技术大学无线电电子学系)

图象分析的目的是对图象特征进行检测和分析,从而对图象进行描绘。图象分析的输入往往是图象或景物,输出往往是线条轮廓、区域分块和数字描述等<sup>[1]</sup>。例如,在文字识别中,输入是一幅文字图象,输出是该文字的一系数码。在细胞分析中,输入图象可能是血液涂片的显微镜照片,输出则是各种细胞的分类计数。在放射图象分析中,输入可能是X射线胸透照片,输出则是心脏形状、肺的纹理特征和肺中肿瘤位置等。在遥感中,输入可能是多光谱照片,输出则是有关作物分类、土地利用或目标类型的分类地图。在工业自动化中,输出的图象可能是产品中缺欠的位置或者机器零件的位置和特性。

图象描绘主要指对所给图象的各个组成部分(例如区域、特征或目标)进行描述。因此,进行图象分析时往往第一步是分割,把图象分成各个部分,例如从文字图象中分割出文字。但是,这种分割并不一定会得到所需部分,还需对各个部分进行区域分割,即把该部分再分成各个区域,利用所属的各个区域的各种性质(数量、体积、形状、彩色和纹理等)来对该部分进行描绘。只有对各个部分描绘后,才能清楚地了解各部分间的关系,从而描绘了整个图象。

### 一、灰度分割

图象中各象素的灰度以及彩色是该象素的基本特征,例如在文字型图象中,文字通常为黑色,而背景为白色,或者说文字的灰度值低,背

物理

景的灰度值高。在遥感图象中,不同的目标的特征也是通过其在各个波段图象中的灰度值表现出来的,因此我们可以根据目标的灰度或彩色进行分割或分类。

灰度分割中必须设定一个门限值,当象素的灰度超过该门限时,归为一类;低于该门限值时,归为另一类。

门限值的选取有二种方法:一种是根据先验知识选取门限值;另一种是根据图象本身的灰度分布选取门限值。例如,对于文字型图象,如果我们事先知道拍摄时的光源照度以及墨水和白纸的反射率,那么便可以很容易地定义一个绝对灰度门限值,把墨水和背景白纸分割开来。如果我们事先不知道这些参数,那么我们可以计算出该幅图象的直方图,在直方图上可能存在二个峰值,低部峰值是代表黑的文字,高部峰值代表白色背景,然后取二个峰值之间的谷点的灰度值作为灰度门限值。当象素灰度值高于门限时,判定该象素为背景,反之为文字。多波段遥感图象的灰度分割比较复杂。二个波段的图象,可以计算其二维直方图,然后根据二维直方图选取分割门限值,但是对于大于三维的多波段图象,很难用直观的方法选取其分割门限值。

### 二、边界提取<sup>[2]</sup>

在图象增强一讲中,我们已经介绍了一些有关边缘增强的内容。在图象分析中常常需要增强和提取物体的边缘或边界。这一节介绍边

缘增强的一些基本方法。

### 1. 梯度运算法

物体的边缘或边界是指图象中存在灰度突变的方 处，因此我们可以用梯度运算或差分运算把边缘提取出来。

假设有一幅图象，在  $i, k$  点上的象素灰度为  $F(i, k)$ ，则水平方向上的边缘可用下式检测出来：

$$G(i, k) = F(i, k) - F(i, k + 1). \quad (1)$$

对图象所有象元都进行上述运算，即可检测出整个图象中的水平边缘。

同样，为了检测图象中的垂直方向上的边缘，可利用下式：

$$G(i, k) = F(i, k) - F(i + 1, k). \quad (2)$$

上面的梯度运算是线性差分运算。边缘增强也可利用非线性差分运算得到。例如，我们在图象增强一讲中已经介绍过 Sobel 运算。此外还有 Roberts 运算和 Kirsch 运算等。

Roberts 非线性差分运算的公式为

$$G_R(i, k) = \{ [F(i, k) - F(i + 1, k + 1)]^2 + [F(i, k + 1) - F(i + 1, k)]^2 \}^{1/2}, \quad (3)$$

表示对相邻四个象元取二个对角线的差分运算。也可采用对角线的绝对值的差分运算：

$$G_A(i, k) = |F(i, k) - F(i + 1, k + 1)| + |F(i, k + 1) - F(i + 1, k)|. \quad (4)$$

显然，

$$G_R(i, k) \leq G_A(i, k) \leq 2G_R(i, k). \quad (5)$$

Kirsch 运算采用如下的窗口，并按下式运算：

$A_0$	$A_1$	$A_2$
$A_7$	$F(i, k)$	$A_3$
$A_6$	$A_5$	$A_4$

$$G_K(i, k) = \max[1, \max_{i=0}^7 (|5S_i - 3T_i|)], \quad (6)$$

其中， $S_i = A_i + A_{i+1} + A_{i+2}$ ，

$$T_i = A_{i+3} + A_{i+4} + A_{i+5} + A_{i+6} + A_{i+7}, \quad (7)$$

这里， $A$  的下标值按模 8 进行计算。(6) 式的意义在于，首先令  $i = 0$ ，代入(7)式，求出  $S_0, T_0$ ，再计算  $5S_0 - 3T_0$  的绝对值。然后令  $i = 1$ ，再计算  $5S_1 - 3T_1$  的绝对值，这样重复下去直到  $i = 7$ ，再从得到的七个绝对值中选取最大绝对值。最后，把此最大值与 1 之间再选取最大值作为  $i$  和  $k$  点的梯度值  $G_K(i, k)$ 。

Kirsch 运算的优点是可得到该象元的最大方向梯度。

### 2. 模板法

前面介绍了水平和垂直方向边缘的检测方法。为了检测任一方向上的边缘，可采用方向梯度模板法，该法是利用图象  $f(x, y)$  与方向模板  $m$  卷积，从而实现某一方向上的边缘检测与增强。即为

$$g(x, y) = f(x, y) * m(x, y), \quad (8)$$

其中方向模板  $m$  可以选取以下几种：

北向	东北向
$m_0 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$	$m = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$
东向	东南向
$m = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$m = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$
南向	西南向
$m = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$m = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$
西向	西北向
$m = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$	$m = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$

如果不考虑边缘方向，只是为了边缘检测，那么可用 Laplace 模板。几种典型的 Laplace 模板如下：

$$m_1 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$m_2 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix},$$

$$m_3 = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}.$$

如果在上述边缘检测的同时加入门限判决,即设置门限值  $T$ ,梯度值大于  $T$  时,令其另一灰度值为 1;反之为 0,那么便可构成一幅二值的边缘图象。

### 三、边界跟踪<sup>[3]</sup>

进行上述边缘检出后,往往还不能由此得到一个完整的边界,因为在一幅图象中,噪声总是存在的。在边缘检测中,由于噪声的影响,使检出的物体边界可能出现断裂或多重边界。为检测出物体的真正边界轮廓,需要进行边界跟踪以形成物体的完整边界。物体边界跟踪常用等值边界跟踪法和松弛法。

#### 1. 等值跟踪法

假设在边缘检出后形成的二值图象中,背景灰度为 0,边缘灰度为 1。等值跟踪法就是以边界上某一点为边界起点,按照等灰度值的判据,判断边界起点周围各点的灰度值是否与边界起点的灰度值相等,如果灰度值相等,则认为该点在边界上;否则认为不在边界上。例如,边界起点的灰度值为 1,如果所寻找的周围点的灰度值也为 1,则认为该点是边界点。再以该点为新的起点,在其周围一定区域内寻找等灰度值边界点。寻找区域可以从小到大,直到找到新的等灰度点为止。然后,在起点与新点之间进行插值形成连续的边界。如此继续下去便可得到物体的连续边界。

#### 2. 松弛法

松弛法的基本思想是利用象素之间的相互关系来减小甚至消除原来图象中边界灰度值的含糊性。它是从已有的、不确切的边界灰度初始值出发,用迭代法逐步更新灰度,逐步接近,最终达到比较准确的边界点上的灰度等级。所

以,松弛法实际上是利用了各点同它周围点之间的相互有关信息来进行计算的,它是考虑周围点对该点的支持程度来决定如何更新该点的灰度。松弛法是一种有效算法,通过几次迭代后即可达到令人满意的结果。

### 四、特征检测和模板匹配<sup>[2]</sup>

在遥感图象分类识别和机器零件识别中,往往需要对图象所具有的典型特征进行检测。例如检测图象中的直线、圆和矩形等。图象中直线的检测可以采用 Hough 变换方法。我们知道,在直角坐标系  $x, y$  中,直线方程可用其坐标原点到该直线的法线的距离  $\rho$  及其与  $x$  轴的夹角  $\theta$  表示,即

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta, \quad (9)$$

因此该直线可用二个固定的参量  $\rho$  和  $\theta$  表示。也就是说,在  $\rho, \theta$  坐标上,该直线只是一个点  $Q$ ,直线愈长, $Q$  点的数目愈多。因此,把图象的直角坐标变换到  $\rho, \theta$  坐标后,便可很容易地检测出直线。这就是 Hough 变换直线检测方法。利用这种检测方法,可以成功地检测出遥感图象中的一些线性结构,为寻找矿藏提供依据。

此外,图象中有规则的特殊形状的检测还可采用模板匹配法。例如,要检测图象中的一个圆,可以像上面介绍的方向模板方法一样,我们可以制作一个一定尺寸的圆模板,将该模板与图象卷积,当模板中的圆与图象中的圆相匹配时,卷积最大。

### 五、区域分割

区域分割的目的是把一幅图象分割成某些有意义的区域。区域分割可以采用合并法,分裂法,或合并与分裂相结合的混合法。

合并法是把图象分成许多均匀的小块,例如分成  $2 \times 2, 4 \times 4$  或  $8 \times 8$  个象素组成的小块,然后找出每一小块的特征,例如灰度及其分布、均值和方差等统计特征。根据所选的特征,如果相邻小块是相似的,那么就取消二者之

间的边界而把它们合并成一块,然后更新这块的特征。重复这种合并过程,直到没有新的合并为止。这样即可按照所要求的特征,进行图象的区域分割。

分裂法与上述过程相反,它是把一大块图象逐步分裂成小块图象。例如,可以把原始图象分裂成四块,根据所选特征及判据,如果每块还需分裂,那么再把每小块一分为四。如此进行下去,直到不能再分裂为止。

实际应用时,通常采用合并和分裂相结合的混合法。该方法采用金字塔式的数据结构,即将图象分成多层次,例如 $n$ 层,最上层为零层,最下层为 $n$ 层。第 $n$ 层的每个数据是由原始图象的相邻 $2 \times 2$ 个象素,取其均值形成的。取第 $n$ 层相邻 $2 \times 2$ 个数据的均值作为第 $n-1$ 层的一个数据,如此形成金字塔的各层数据。

采用混合法进行区域分割时,可以根据实际需要,选定开始的层次。不一定像分裂法那样必须从上到下的分裂;也不一定像合并法那样必须从下向上合并。选定起始层次后,同层相似的数据单元可以向上层合并;否则向下层分裂。这样进行下去,直到满足要求为止。由于混合法是从某一选定的层次开始,根据某一判别准则,该分裂的就分裂,该合并的就合并,所以分割效率大大提高,因此混合法是一种常用的区域分割方法。

## 六、形状分析

如果一幅图象的区域已被分割出来,我们常常采用数学方法对物体的形状进行描绘。这种描绘对诸如形状、大小的变化、旋转和平移等应该是不太敏感的,以便于对不同形状的物体进行分类识别。

描绘物体形状的一个简单办法,是计算物体边界的周长平方与物体面积之比。这种定义可以明显区分出长形物体和圆形物体。对于很长的物体,该比值很大;对于很圆的东西,该比值很小。这种定义适合于识别简单的机械零件。

在形状分析中还常用傅氏描绘子和不变矩两种方法来描绘物体的边界形状。

### 1. 傅氏描绘子

假定在图象平面中有一物体,我们可以把图象平面看作为复平面,横坐标为实轴,纵坐标为虚轴。从物体边界上的任一点开始,沿边界追迹一周,产生一复数序列。对这个复数序列进行离散傅氏变换(DFT),再进行某些修正。这样,便可得到边界形状的傅氏描绘子(FD)

因为离散傅氏变换是可逆的线性变换,所以在变换过程中没有信息的增加或损失。对边界的这种频域表示作某些简单的处理,就可以避免对位置、大小以及取向等的依赖性。因此,傅氏描绘子可以做为物体边界形状的描绘,对物体的鉴别是非常有用的。

### 2. 不变矩<sup>[3]</sup>

上面介绍的傅氏描绘子,是假定一个区域的形状是以前边界上点的集合给出的。但是,有时一个区域是以前内部点的形式给出的,这时可采用不变矩来描绘给定区域的形状。不变矩对于区域的大小变化和旋转都是不变的。

对于二维图象 $f(x, y)$ ,  $0 \leq x, y \leq N-1$ , 其 $(p+q)$ 阶矩定义如下:

$$m_{pq} = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} x^p y^q f(x, y), \quad (10)$$

其中 $(p+q)$ 阶中心矩为

$$\mu_{pq} = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y), \quad (11)$$

其中

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{m_{10}}{m_{00}}, \\ \bar{y} &= \frac{m_{01}}{m_{00}}. \end{aligned} \quad (12)$$

规格化中心矩 $\eta_{pq}$ , 定义为

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^{\frac{p+q}{2}}}, \quad (13)$$

式中

$$r = \frac{p+q}{2}. \quad (14)$$

可以推导出下面七个不变矩,即

$$\begin{aligned}
 \phi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02}, \\
 \phi_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2, \\
 \phi_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} + \eta_{03})^2, \\
 \phi_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2, \\
 \phi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 \\
 &\quad - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} \\
 &\quad + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2], \\
 \phi_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\
 &\quad + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}), \\
 \phi_7 &= (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 \\
 &\quad - 3(\eta_{21} - \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} \\
 &\quad + \eta_{03})[3(\eta_{03} + \eta_{12})^2 - (\eta_{12} + \eta_{03})^2].
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

数学上可以证明,上述不变矩对于平移、旋转和比例变化都是不变的。

## 七、纹理分析<sup>[4]</sup>

什么是纹理,至今没有一个严格的定义,因为它比形状分析更为复杂,很难从数学上给纹理下一个严格的定义。人们只能从感观上去认识,例如布匹有纹理,砖地图案有纹理等等。因此,粗略地说,纹理就是图象呈现出的具有一定规律的简单结构。

由于纹理具有一定的结构,因此可以采用

(上接第 746 页)

的宽度决定。在飞行过程中,CCD 靠自扫描功能将信息不断地传送给地面,好象推着一把长刷子向前进,把地面扫出一条带条,所以这种方式也称为推刷扫描(push-broom)。

HRV 的具体结构见图 7 右图。它有一反射镜,平常与地面成 45° 取垂直于星下的景物,它还有斜视的能力,观察与垂直方向成 ± 27° 范围内的地物,这是以前各种扫描仪所不具有的。所以 HRV 虽然成像区域只有 60km 宽,但可以观察星下点左右 475 km 区域内的任何景物。望远系统的焦距是 1.082 m,相对孔径是 3.5。望远系统的焦面前放置三个二向色性棱

镜,将景物分为三个波段: 0.50—0.59 μm, 0.61—0.68 μm, 0.79—0.89 μm。每个波段有个 3000 元的 CCD,每个元对应的地面分辨率为 20m。另外还有一个 0.51—0.73 μm 的金色的 6000 个元的 CCD 构成的通道,它对应的地面分辨率为 10m。对 20 m 通道积分时间为 3ms, 10m 通道的积分时间为 1.5 ms。

可见和红外传感器向着高空间分辨率、高光谱分辨率的方向发展。1990 年,航天飞机将使用空间分辨率约 30 m 的传感器,其光谱通道为 128,每个通道的带宽为 10—20 nm,光谱范围为 0.4—2.5 μm。1994 年,卫星上也将使用类似的传感器。

句法结构分析法,也可以根据纹理的统计特征采用统计分析法,下面列举几种统计分析方法。

1. 利用图象统计参数。图象中各个区域的均值、方差等等都可以作为图象的纹理特征,例如可以利用相邻区域的平均灰度之差作为纹理特征的度量。当图象纹理较粗时,相邻区域的平均灰度差不大;当图象具有较细纹理时,平均灰度差可能很大。还可采用空间相关及共发概率等方法估测纹理特性。
2. 利用傅氏功率谱。由于计算纹理一定要选窗口,仅仅一个点是无纹理可言的,所以纹理是二维的。二维图象的功率谱可以作为纹理特征,它可以反映纹理的粗糙程度和定向情况,若纹理较粗,则功率谱中低频分量较多,高频分量较少;如果纹理较细,则高频分量较多;如果纹理中具有指向某一方向 θ 的许多线条及边界条纹,则功率谱中在垂直于 θ 方向上就有高峰值。

## 参 考 文 献

- [1] M. P Ekstrom, Digital Image Processing Techniques, Academic Press, INC, (1984).
- [2] W. K Pratt, Digital Image Processing, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, INC, (1978).
- [3] 李月贤, 图象识别技术及其应用, 机械工业出版社, (1983).
- [4] R. C Gonzalez and P. Wintz, Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, INC, (1977).