

一种用区域直方图表示与描述形状的方法

谭明金 刘凯

(解放军理工大学工程兵工程学院计算机室, 南京 210007)

摘要 众所周知, 形状表示与描述是模式识别的中心内容。然而, 大多数简单类型的二维形状描述算法, 无论是基于边界特性还是基于区域特性的, 都有一定的应用范围或者在性能上存在某些不足。针对这样的情况, 基于区域边界上当前像素与前后两个相邻像素的坐标关系, 提出了一种称之为区域直方图的用于区域形状表示与描述的通用方法。该区域直方图是按照一定的分类与计算规则将区域沿边界序列化而得到的水平间距形式, 它在像素意义上表示了区域的边界长度与面积。利用 Rosen 与 Gleason 推荐的标准二维形状进行了形状描述能力的定量测试以及同类型算法的对比试验, 结果表明, 该方法在区域形状描述方面显得很有效, 能满足复杂区域形状表示与描述要求, 并且表现出较好的鲁棒性。它为区域形状表示与描述提供了一种新的有效手段, 从而在模式识别等机器视觉方面表现出一定的应用价值。

关键词 区域直方图 形状表示与描述 模式识别

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)07-0804-06

A General-purpose Method of Shape Representing and Describing by Region Histogram

TAN Ming-jin, LIU Kai

(Computer Section, Engineering Institute of Engineering Corps, PLA University of Science & Technology, Nanjing 210007)

Abstract As we all know, Shape description is a central problem in pattern recognition. However, most simple algorithms for generating 2D shape descriptors, whether they are based on boundary features or regional features, can only be used in certain applications or have deficiencies in some performances. To address such problem, based on the coordinate relationship between the current boundary pixel and its two lockstep boundary pixels, a general-purpose method (so called region histogram) for region shape representing and describing is presented in this paper. Region histogram is the sequenced horizontal intervals along the region boundary in accordance with some classification and calculation criterion, which actually represent the region's area and its boundary length in terms of pixels. In order to quantify the recognition ability of the region histogram method and compare it with the analogous ones, a series of tests were carried out using a set of standard shapes, which have been proposed by Rosen and Gleason, comprising of a disc, a square, a rectangle and an equilateral. The results show that region histogram method is robust and effective to region shape representing and describing; even it does better with complex regions which have much more global and local contour information. Therefore, this method presents a new effective way for shape representing and describing, and can be used in pattern recognition such as robot vision applications.

Keywords region histogram, shape representing and describing, pattern recognition

1 引言

在模式识别等机器视觉应用方面, 由于区域形状表示与描述发挥着中心环节的作用, 因而, 对形状进行有效的表示与描述, 对于模式识别的应用效果具有重要意义。现有的形状表示方法虽然很多^[1],

但基本上可以归结为基于边界轮廓特性与基于区域特性的形状表示与描述方法这两大类, 其中, 基于轮廓的形状表示与描述方法有 Freeman 链码、用边界长度或曲率等边界特性表示几何边界的方法、傅里叶边界变换、边界分段序列、样条表示、霍夫边界变换、数学形态描述以及神经网络识别等; 而基于区域的方法有用面积、欧拉数、投影、偏心率、伸长度等标

量特性表示区域的方法以及区域矩、区域骨架、区域框架图等方法。这些方法从不同角度为形状的表达与描述提供了一种有效的途径,但是,它们大多表现出很强的针对性,同时在适应性、应用性能或者鲁棒性方面均存在某些不足。

在前面列举的两类方法中,以用边界长度或者面积等几何性质来表示与描述形状的方法显得较为简单,其中,基于轮廓的区域法向轮廓距离标记图^[2](signature,指沿区域边界得到的如图 1 所示的法向轮廓距离的序列)是一种较为有效的形状表示与描述方法,其明显的不足在于对边界噪声敏感。比较起来,本文提出的用区域直方图来表示与描述形状的方法则表现出较好的鲁棒性,并显得更为简单有效。

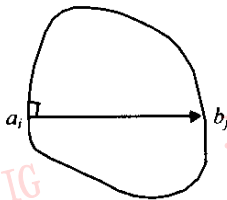


图 1 边界法向轮廓距离

2 用区域直方图表示与描述形状

2.1 区域直方图

文献^[3]提出了一种将任意区域(单连通与复连通区域)沿边界进行表示的方法,其基本思路可以归纳为:虽然区域边界像素的分布情况十分复杂,但利用当前像素 p_c 、前后相邻像素 p_f 、 p_h 等 3 个像素的坐标关系,却能够将各种边界像素判定为具有偶点(过当前像素的水平线与其左边的第 1 条边界相交的像素)与不具有偶点的两类。当前像素是否具有偶点的判定规则为:

当观察者沿边界逆时针行进至当前像素 p_c ,如其左边的邻接像素属于区域,那么记 $y_{ch} = y_{p_h} - y_{p_c}$, $y_{fc} = y_{p_c} - y_{p_f}$, $x_{ch} = x_{p_h} - x_{p_c}$, $x_{cf} = x_{p_f} - x_{p_c}$, $x_{fh} = x_{p_h} - x_{p_f}$,其中, y_{p_h} 表示像素 p_h 的 y 坐标,其他与此类似,如果下列逻辑表达式

$$\left. \begin{aligned} &(y_{ch} > 0 \text{ 且 } y_{fc} = 0 \text{ 且 } x_{cf} > 0) \\ &\text{或 } (y_{ch} = 0 \text{ 且 } y_{fc} > 0 \text{ 且 } x_{ch} > 0) \\ &\text{或 } (y_{ch} > 0 \text{ 且 } y_{fc} < 0 \text{ 且 } x_{fh} < 0) \\ &\text{或 } y_{ch} < 0 \text{ 且 } y_{fc} > 0 \text{ 且 } x_{fh} > 0) \\ &\text{或 } (y_{ch} > 0 \text{ 且 } y_{fc} > 0) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

成立,则 p_c 的偶点存在,否则不存在。

如果偶点存在,则求出偶点与当前像素之间的距离并存储之,否则以 0 标记。该处理过程如图 2 所示,图中曲线表示边界,水平箭头表示边界像素与偶点的间距。

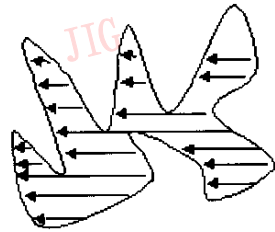


图 2 区域沿边界的序列化

由此可以看到,区域实际上沿边界序列化了,同时,如果以像素作为一个面积单位,则所有边界像素与偶点的间距之和近似为区域的面积。更进一步地,如果沿边界将像素顺次排列在 x 轴上进行编号来得到 x 坐标,并以像素与偶点的间距为 y 坐标进行绘图,则这种图与图像的灰度直方图很相似,即该图与 x 轴间覆盖的面积就是区域或者图像的面积。为简单起见,不妨将它称为区域直方图。当然,区域直方图的水平宽度就表示该区域的边界周长。

很明显,给出形状不同的区域,就可以得到能够体现其形状特性的区域直方图。

区域直方图要通过区域的边界来建立,而边界跟踪是很容易做到的,这类算法已经相当成熟^[1,4,5]。需要说明的是,区域直方图的建立过程要求边界像素在逻辑排列上存在一定的方向(即逆时针或者顺时针方向,前面给定的偶点判定条件是针对边界像素按逆时针排列情况的)。同时,为了满足处理复连通区域(中间有洞的区域)的需要,还要考虑复通区域可以存在多条边界(一条外轮廓边界和多条对应于洞的轮廓边界)的情况,其外轮廓边界像素要按逆时针方向进行排列,而其他几条对应于洞的轮廓边界则要按顺时针方向排列。边界像素的排列方向一般都能够能够在边界跟踪过程中得到保证(其实,边界像素的排列方向未必一定要在边界跟踪过程中加以确定,也可以在跟踪完毕后,通过边界多边形来判断其排列方向^[6])。

2.2 区域直方图的构造算法

由以上叙述可以看到,前面建立的那种区域直方图不具备旋转不变性,这是因为区域旋转以后会改变边界像素是否存在偶点的属性及其与偶点间的

x 坐标之差所致。不过,如果对该过程进行一些修改,就能够使它具备旋转不变性。很显然,对于一个给定区域,无论它怎么旋转,由于其外轮廓边界像素之间的最大距离总是不变的,因此可将最大距离用作解决旋转不变性问题的一种途径。

以图3为例,使区域绕连接间距最大的两个像素 p_1 与 p_2 连线的中点旋转,直到同时满足以下两个条件为止,然后再建立区域直方图。

(1) $p_1 p_2$ 与 y 轴平行;(2) $p_1 p_2$ 左方的边界像素个数比右方的多。



图3 左边的区域旋转为右边的区域

因此,不妨将这种旋转过程称为旋转归一化处理,这样针对经过旋转归一化处理的区域建立起来的区域直方图就表现出一定程度的旋转不变性。

当然,这种方法并不能完全做到旋转不变性,因为对于一个区域,特别是具有对称性的区域来说,满足边界像素间间距最大的连线可能不只一条,所以建立的区域直方图相互之间可能存在较大的差异。但是,如果考虑到实际的离散图像区域较不规则,即便是呈中心对称的圆形离散区域,满足给定条件的连线数目也非常有限(通常只有2条),加上条件(2)的限制,就基本上能够将同一区域在各种旋转情况下的区域直方图确定下来,即使在特殊情况下存在一个以上有差异的区域直方图,其数量也是很少的。这样一来,在进行形状识别时,就完全可以分别进行匹配。另外,由于具有多个区域直方图的区域体现了对称性,因此,该特性在进行区域识别时,同样可以加以利用。于是,这样的区域直方图就具备了满足应用需要的旋转不变性。

区域直方图的作用在于将区域沿边界序列化了。众所周知,任何序列都存在一定的顺序,区域直方图也不例外,而且其顺序跟开始处理的边界起点有关。由于将给定区域经过旋转归一化处理以后,可以考虑选取 y 坐标最小的边界像素作为起点(该点

在区域直方图的零点位置,为叙述方便不妨将它称为零点),因而可使区域直方图所表示的序列在顺序上具有唯一性。

具备了这些性质的区域直方图,就在一定程度上能满足区域形状识别的实际需要。综上所述,可以归纳出区域直方图建立过程的如下基本步骤:

(1)按一定方向跟踪出区域的全部边界像素,并存储之。

(2)沿外轮廓边界逐点计算各像素间距,并找出最大值,然后旋转边界线,即完成旋转归一化处理。

(3)沿外轮廓边界找出零点(即间距最大的两个像素之一),然后从零点开始,利用偶点判定规则判定,并沿所有边界找出偶点,即完成区域直方图的建立。其中,第1步边界跟踪是几乎所有区域形状识别都需要的,为了能够统一处理复连通区域,还需逐个处理由外轮廓边界线包围起来的区域的全部像素;第2步虽然只处理外轮廓边界(整个边界的子集),但尚需要计算距离;第3步用于完成沿整个边界逐一判定与搜索偶点,其所需时间可用边界像素数目的平方进行度量。综上所述,如果边界像素的个数为 n ,并以每个像素所需要的处理时间作为时间单位,则建立区域直方图的时间数量级为 n^2 。这是利用常见简单类型的区域表示方法进行区域形状识别通常所需要的时间水平。

图4列举了文献[2]中提到的由 Rosen 与 Gleason 给出的二维标准形状集合(包括圆盘、方块、矩形块与等边三角形块等4种形状的区域)各自对应的形状、边界、区域直方图以及法向轮廓距离标记图(以后简称区域标记图),其中,区域标记图以当前边界像素与其后的第5个像素连线的斜率作为当前像素的切向。

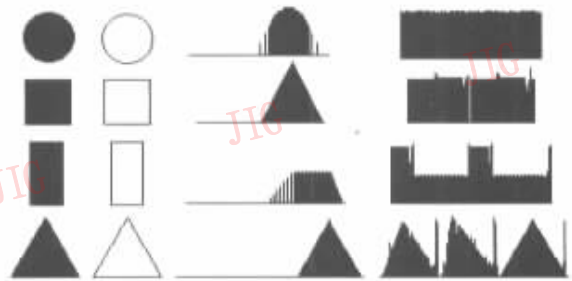


图4 标准形状及其边界、区域直方图与区域标记图

2.3 区域直方图的鲁棒性讨论

同形式上类似的区域标记图相比,区域直方图

对噪声较不敏感,并具有良好的鲁棒性,这首先表现在,其跟区域标记图一样,由于区域直方图同时基于区域的局部边界轮廓和全局信息,因而有较好的鲁棒性,其次,区域直方图对区域边界噪声不像区域标记图那样敏感。

区域标记图对边界噪声的敏感性主要体现在,由于一个边界噪声像素可能剧烈地改变该像素所对应的法向,从而使法向距离出现剧烈变化,对于区域直方图来说,边界像素存在偶点与否要由 3 个相邻像素的 x 与 y 坐标的复杂关系(由作为判定规则的逻辑表达式(1)所体现)共同决定,这使得在由相邻 3 点的坐标关系定义的边界像素类型中,只有大约一半的边界像素因受到噪声的影响而改变是否存在偶点的属性,并且由于边界像素与偶点的间距是在水平方向上定义的,因此在噪声的影响下,另外一半边界像素只是与偶点的间距出现数个像素程度的偏差。

噪声对区域直方图的影响带有一定的选择性,即特定情况下的边界像素才对噪声较敏感。具体地说,只有经过旋转归一化处理以后的水平边界像素点或者与 x 轴成 45° 或者 135° ,且向上方走的边界线像素点才对噪声比较敏感。同时,在区域直方图中,具有噪声的水平边界像素所对应的位置会出现单个像素宽且 y 值很大的毛刺,而存在噪声并向上方走的边界像素所对应的位置则会出现单个像素宽且 y 值为 0 的深凹槽(这些情况在图 4 的区域直方图中十分明显,即与黑白相间的多条竖直细线对应的部分),利用这些特性可以非常容易地在区域直方图中将这类噪声检测出来,并清除掉。

此外,区域直方图也可以像区域标记图构造过程所做的那样,以当前像素在边界上前后的第 5 个(5 是经验值)像素分别作为当前像素的前后邻点,以便进一步降低边界噪声的影响(该方法是区域标记图用来抑制噪声的基本方法)。

当然,也可以利用通常采取的对边界进行平滑处理的方法来去除噪声,然后再建立区域直方图,这是很通用的。

综上所述,区域直方图在区域的形状表示与描述方面具有较好的鲁棒性。

3 实验结果及其分析

为定量测试区域直方图在区域形状描述与表示方面的能力,采用由 Rosen 与 Gleason 给出的二维

标准形状集合,针对区域直方图及区域标记图进行了实验。具体做法是,首先随机选取 10 组大小不同,但各组面积近似相等的标准形状区域集合分别作为模板(对应于原始目标);然后,针对每组区域分别在其边界附近生成 10%、30%、50%、70% 或 90% 的随机噪声,并以之作为有噪声的实物(虽然实际噪声并不仅仅在边界附近产生,但由于这里讨论的是基于区域边界的形状表示方法,因此该噪声生成方法不失一般性);接着分别跟踪得到各区域的边界,并建立对应的区域直方图与区域标记图(为了测试区域直方图的基本效果,在实验中,区域直方图是基于相邻边界 3 个像素的坐标关系而直接建立的,但区域标记图是按照文献中给出的,以当前像素及其后第 5 个像素的连线作为当前边界法向这种进行了噪声处理的方法而构造的);随后,再将各噪声区域区域直方图和区域标记图分别与同大小的一组模板的区域直方图与区域标记图进行比较来求出相似度;最后,以该相似度作为依据,将区域形状判断为相似度最大的模板所对应的形状,这里采用的相似度是模板匹配中常用的基于两个向量之间的标准欧几里德距离的偏差,该偏差是使用匹配元素之间的绝对差值而不是差值的平方,其偏差越大,相似度越小。对于区域直方图与区域标记图来说,各匹配矢量都是一维的,它们的偏差可以定义为

$$s(m) = \sum_i |g(i) - t(i - m)|$$

其中, g, t 分别为噪声目标与模板中一个像素所对应的按区域直方图或者区域标记图定义的取值; i 与 m 的取值要保证 i 与 $i - m$ 两者均在各自对应的定义域内,也就是以边界像素较少的匹配元素作为逐项比较的基准。

实验结果见表 1 至表 5,其中 D、S、R 与 T 分别表示圆盘、方块、矩形块与等边三角形块, H 与 N 分别表示区域直方图与区域标记图;最左一列表示各个模板形状,最上一行表示物体目标的形状,表中的数字表示匹配成功的次数。

表 1 边界噪声为 10% 时的形状匹配结果

	D		S		R		T	
	H	N	H	N	H	N	H	N
D	9	10	2	0	0	0	1	0
S	0	0	6	10	0	1	0	1
R	0	0	1	0	9	9	0	0
T	1	0	1	0	1	0	9	9

表2 边界噪声为30%时的形状匹配结果

	D		S		R		T	
	H	N	H	N	H	N	H	N
D	10	10	1	1	0	0	3	1
S	0	0	7	9	0	1	0	5
R	0	0	0	0	10	9	0	1
T	0	0	2	0	0	0	7	3

表3 边界噪声为50%时的形状匹配结果

	D		S		R		T	
	H	N	H	N	H	N	H	N
D	6	10	1	2	0	1	3	3
S	1	0	6	8	0	1	1	4
R	0	0	0	0	9	8	0	0
T	3	0	3	0	1	0	6	3

表4 边界噪声为70%时的形状匹配结果

	D		S		R		T	
	H	N	H	N	H	N	H	N
D	8	10	6	1	0	0	3	3
S	0	0	3	9	0	0	1	2
R	0	0	0	0	9	10	0	2
T	2	0	1	0	1	0	6	3

表5 边界噪声为90%时的形状匹配结果

	D		S		R		T	
	H	N	H	N	H	N	H	N
D	6	10	4	3	0	0	2	4
S	0	0	4	7	0	1	1	2
R	0	0	0	0	8	9	0	3
T	4	0	2	0	2	0	7	1

实验结果表明,用区域直方图进行图形识别的总识别率为72.5%(145除以200),用区域标记图进行图形识别的总识别率为78.5%(157除以200),二者相差不大. 应该注意到,虽然这里的区域标记图是经过噪声处理的结果,而区域直方图是没有经过任何噪声处理而直接建立起来的,即使这样,区域直方图的总识别率仍然接近(处于同一个识别水准)区域标记图的识别率. 在噪声为10%的情况下,区域直方图的识别率为82.5%(33除以40),区域标记图的识别率为95%(38除以40);在噪声为30%的情况下,区域直方图的识别率为85%,区域标记图的识别率为77.5%;在噪声为50%的情况下,区域直方图的识别率为72.5%,区域标记图的识别率为72.5%;在噪声为70%时,区域直方图的识别率为65%,区域标记图的识别率为80%;噪声为90%时,区域直方图的识别率为62.5%,区域标记图的识别率为67.5%. 据此可以得出结论,区域

直方图在区域形状描述与表示方面具有较好的鲁棒性。

此外,区域直方图对圆盘、方块、矩形块和等边三角形块的识别率分别为78%(39除以50)、52%(26除以50)、90%与70%,而区域标记图对圆盘、方块、矩形块和等边三角形块的识别率分别为100%(50除以50)、86%(43除以50)、90%与38%. 对于区域直方图来说,由于它主要体现较为简洁的轮廓趋势,从而会因将方块错误识别为圆盘与等边三角形块的比例高而导致识别率降低,但它对区域标记图识别率很低的等边三角形的识别率却较高. 关于这一点通过对图4的分析可以得到如下结论:区域直方图对于轮廓较为复杂(边界总体轮廓或者局部轮廓的变化较大)的区域识别率较高,而区域标记图则对于简单的区域识别率较高. 其实,文献[2]中给出的区域标记图正是针对较为简单的目标形状识别而提出的,它并没有考虑复杂区域的应用情况,即没有指出法向直线与边界存在多个交点时,应该如何给出法向距离。

4 结论

在文献[3]的基础上,本文提出了用区域直方图表示与描述任意区域形状的通用方法,且这种区域直方图具备位置不变与旋转不变等性质. 利用标准二维形状,针对区域直方图进行的实验及其与区域标记图的对比实验表明,区域直方图具有一定的鲁棒性. 实验结果还表明,区域直方图更适合于复杂区域形状的表达与描述,而区域标记图则要在边界上判定局部轮廓的法向,并计算法向距离,两者相比,区域直方图的建立过程所需要的运算量要少一些,因而运算速度快。

综上所述,由于区域直方图能够对区域进行有效地表示与描述,从而为其在区域模式识别方面的应用提供了一种非常有效的手段. 此外,由于区域直方图能直接表示区域的面积与边界长度,因此还可以用于计算区域的伸长度、聚集度^[4]等进行区域形状识别的其他几何性质,也可用于区域填充及热区判断等. 至于如何使区域直方图具有比例不变性,则有待于今后进一步的研究来解决。

参考文献

1 Milan Sonika, Vaclav Hlavac, Roger Boyle. Image processing,

analysis, and machine version [M]. 北京:人民邮电出版社, 2002:228~289,123~227.

2 David Vernon. Two-dimensional object recognition using partial contours [J]. Image and Version Computing, 1987, 5(1): 21~27.

3 谭明金. 基于边界相邻三点的区域遍历算法[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8A(3): 322~327.

4 [美] Pavlidis Theo. 计算机图形显示和图像处理算法[M]. 北京:科学出版社, 1987: 121~152.

5 [美] Rosenfeld Akak. 数字图像处理[M]. 北京:人民邮电出版社, 1982: 271~350.

6 卢传贤. 实用计算机图形学[M]. 成都:西南交通大学出版社, 1996: 186~188.



谭明金 1972年生, 1996年获南京理工大学数字控制专业硕士学位, 现为解放军理工大学工程兵工程学院讲师。研究兴趣为计算机图形学。

E-mail: clienton@jlonline.com



刘凯 1959年生, 1995年获工程兵工程学院道桥专业硕士学位, 副教授。现从事计算机应用方面的教学科研工作。

遥感考古国际会议征文通知

由中国科学院、教育部、科技部、文化部、国家文物局、国家自然科学基金委员会联合主办, 中国科学院、教育部、国家文物局遥感考古联合实验室承办的“遥感考古国际学术会议(International Conference on Remote Sensing Archaeology)”将于 2004 年 10 月 18 日~21 日在北京友谊宾馆召开。欢迎各位同行踊跃投稿。

征文内容: 考古勘探传感器与平台; 遥感考古技术与方法; 考古信息提取图像处理技术; 考古勘查综合技术; 考古信息空间分析; 古地理与古环境重建; 探地雷达和其他无损探测技术考古应用; 虚拟考古与虚拟遗产; 数字技术历史文化遗产保护方法; 数字技术考古研究教育前景。

征文截止日期: 2004 年 7 月 31 日

大会网址: <http://www.rsarch.cn/>

联系人: 王长林

中国科学院遥感应用研究所, 北京 9718 信箱, 1000101

电话: 64838047; 传真: 64879740

电子邮件: wcl@irsa. irsa. ac. cn