

几种拐点不变量及其在目标识别中的应用

王延平 袁杰 苏祥芳

(武汉大学电子信息学院, 武汉 430072)

摘要 拐点不变量是局部不变量的一种, 广泛应用于缺损目标识别。介绍了三种拐点提取方法, 分割-融合算法、Hough变换和广义拐点方法。它们具有旋转、平移、尺度不变形。利用它们对4类缺损目标图象进行识别, 取得了较好的结果。

关键词 模式识别 局部不变量 拐点特征 缺损图象识别

0 引言

由于观察的位置、距离、角度不同, 目标图象会有旋转、平移、尺度缩放等变化。为识别这类图象, 可采用具有不变量的特征。当图象发生缺损时, 全局不变量会发生改变, 应选用局部特征量。这样即使物体的一部分被破坏, 剩下的信息仍可能对物体进行识别。拐点特征具有计算量小, 匹配简单, 旋转、平移、放缩不变, 不受图象缺损影响等优点^[1]。图象轮廓反映了图象的重要特征, 取出该轮廓曲率的局部极大值点作为拐点。对于目标的每一拐点, 提取它的两个特征 (θ_i, r_i) , 其中 θ_i 与前后两拐点所成的内夹角; $r_i = l_{i+1}/l_i$ 为与前后两拐点距离的比值; i 为该拐点在序列中的编号, 如图1所示。

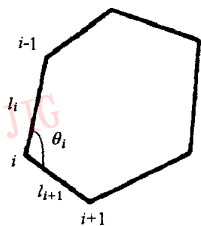


图1 图象轮廓的拐点特征

的曲率函数 $k(t)$

$$k(t) = \frac{dx/dt \times d^2y/dt^2 - d^2x/dt^2 \times dy/dt}{[(dx/dt)^2 + (dy/dt)^2]^{2/3}} \quad (1)$$

式中参数 t 为轮廓序号, x, y 为轮廓点坐标值。对于离散图象可以用差分代替微分。(2) 将局部 $k(t)$ 的极大值点组成端点的集合, 把这些点依次连接, 就得到轮廓线的多边形近似。

如果要得到更加精确的近似, 就要进行第二步算法: 设 $P_m = \{B_1, \dots, B_{N(m)}\}$ 为第 m 次迭代后得到的端点序列($m=0$ 时, P_0 即为第一步中得到的端点集合)。令 $B_{N(m)+1} = B_1$, B_i 和 B_{i+1} 为相邻的两个端点, S_{ij} 是 B_i 到 B_{i+1} 之间轮廓上的第 j 个点, D_{ij} 是 S_{ij} 到直线 $B_i B_{i+1}$ 的垂直距离; T_{ij} 是 B_i 到 B_{i+2} 之间轮廓上的第 j 个点, E_{ij} 是 T_{ij} 到直线 $B_i B_{i+2}$ 的垂直距离。如图2所示。

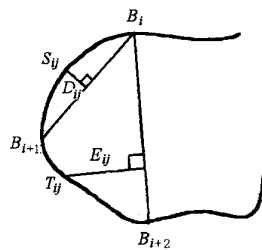


图2 分割-融合算法

1 拐点提取的分割-融合算法

用分割-融合算法对图象轮廓进行多边形近似的过程分为两个步骤: (1) 首先选定一个起始点。从该点按逆时针顺序对轮廓点排序, 然后计算每一点

在迭代过程中, 对所有端点 $i \in [1, N(m)]$, 找出一个 S_{ij} , 使得 $D_{ij} = \max\{D_{i1}, \dots, D_{ik}\}$, 其中 k 为 B_i 到 B_{i+1} 之间轮廓点的个数。若 D_{ij} 大于设定的门限值, 则将此点加入到集合 P_m 中, 成为一个新的端点, 同时将 $N(m)$ 的值加1。然后对所有的 $i \in [1, N(m)]$, 找出一个 T_{ij} , 使得 $E_{ij} = \max\{E_{i1}, \dots, E_{ik}\}$,

...)。若 F_{ij} 小于一个设定的门限值,则认为点 B_{i+1} 不能作为一个端点,将其从集合 P_m 中除去,同时将 $N(m)$ 的值减 1。重复这一过程,直到在一次迭代过程中 P_m 中的点不再改变为止,此时 P_m 中的点,即为最终所求的拐点。适当选取门限值,可以得到所需的精度。

2 用改进 Hough 变换的方法提取拐点

Hough 变换是提取二值图象中直线段的一种常用方法^[2]。本文利用 Hough 变换找出图象轮廓中的直线段,然后将相邻两直线段延长相交求得交点,定义该交点为拐点。由于 Hough 变换是统计平均的结果,所以求得的拐点较为稳固,受噪声的影响较小,从而提高了拐点的抗噪性。这样得到的拐点不一定位于图象轮廓上。

2.1 利用 Hough 变换提取直线

在极坐标系中的一条直线可以表示为:

$$r = x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta \quad (2)$$

其中 $\theta \in [0, 180^\circ]$, $r \in [-R, R]$, 这里 R 是原点到直线的垂直距离的最大可能值。假定位于同一直线 l 上的 n 个点,对这 n 个点逐一进行上述变换,则在参数空间 (θ, r) 中对应地得到 n 条曲线,这 n 条曲线必定经过参数空间的同一点 (θ_0, r_0) 。找到参数空间中

的这个点就决定了图象空间中的直线 l 。

Hough 变换先将 (θ, r) 量化,并相应设置一个二维累加器矩阵,每个累加器对 (θ, r) 平均面上的一个点进行描述。将图象中每一个轮廓点坐标 (x, y) 代入式(2)中 θ 的量化值,算出各个 r , 所得值(经量化)落在某个小格内,便对参数空间 (θ, r) 中的该量化点对应的累加器进行投票。当全部 (x, y) 点变换后,对参数点进行检验,票数值大的参数点对应于共线点,其 (θ, r) 值可以作直线拟合参数;票数值小的参数点一般反映非共线点,丢弃不用。最后在二维累加器矩阵中找出所有得票数目较大的参数点,若票数超过某一门限值,则认为有足够多的图象点位于该参数点所决定的直线上。

在上述方法中,每一个计数累加器单元只简单地计算映射于其上的图象点的数目,而没有考虑每一个图象点属于哪一条直线。这种方法存在三个不足之处:(1)无法得到第一条直线段的实际长度和位置;(2)无法区分共线的线段;(3)无法区分部分重叠的线段。为解决这些问题,需要把对本参数单元投票的图象点全部记录下来,由于计算机存储量的限制,很难做到。否则参数空间的量化不能做到很细致,导致直线参数不精确。

2.2 改进的 Hough 变换算法

为了更好地利用参数空间和图象空间的信息,可以将 Hough 变换逆过来看,如图 3 所示。

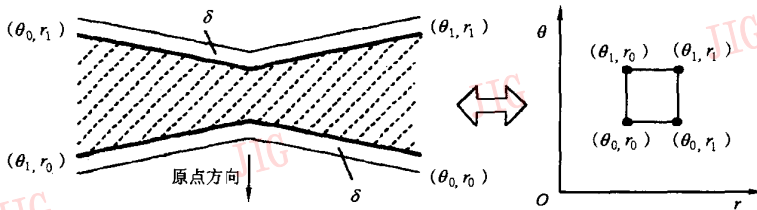


图 3 Hough 变换中的图象空间和参数空间

对于参数空间内的一个矩形格,在图象空间内与之对应的是一狭长的阴影区域。参数空间的矩形格趋近于无穷小时,该区域趋近于一条直线。图象空间中所有位于该阴影区域的点,经 Hough 变换后将对这个矩形格进行投票,单元格趋近于无穷小时,该区域趋近于一条直线,所以可以用检测图象点是否位于该方法来统计相应的矩形格的票数。

传统 Hough 变换中,参数空间被划分为均等的许多个单元格,需要的直线参数越精确,整个参数空

间就必须被划分得越细致,这需要大的存储容量和较长的计算时间。

首先将整个参数空间看作一个参数单元格,统计出它所容纳的图象点的数目;若图象点足够多,再将当前单元格一分为四,逐一统计每个格子所容纳的图象点个数;若当前格子容纳的图象点很少,则不对该单元格继续分下去,转而搜索其它格子,直至将参数空间分到足够细致;最后记下容纳图象点超过门限值的底层单元格参数。如图 4 所示(图中被涂黑

的格子表示该参数单元的尺度足够小,且容纳的图象点足够多)。

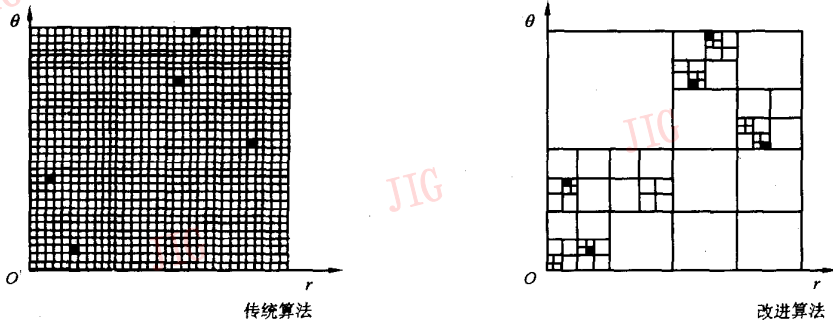


图4 对参数空间的划分搜索

由于参数空间中大部分区域不包含图象直线,所以不对其进行查找,这减少了计算时间,同时也减少了存储量的需求。每个参数所对应的一组图象点记录下来后,再结合图象空间内的信息,对直线段按它们在原图象轮廓中的前后关系排序。然后求解相邻两直线的参数方程,得到的交点就是所求的拐点。这样所得到的拐点受噪声的影响较小,更具稳定性。

3 广义拐点不变量

为更合理地表征目标的特征,我们将轮廓分段近似成以下4种单元:拐点、线段、圆弧、复杂曲线。定义一组新的局部不变量特征,称为“广义拐点不变量”。

(1) 线线相交

若当前拐点*i*与*i-1*和*i+1*号拐点间的轮廓被近似为两条直线段,如图5(a),则定义拐点*i*特征为($flag=0, \theta, l_1/l_2$),这与一般拐点的定义基本相同。

(2) 线弧相交

若拐点*i*与*i-1*和*i+1*号拐点间的轮廓被分别近似为一直线段和一圆弧,图5(b),则定义拐点*i*特征为($flag=1, \theta, l_1/l_2, l_1/r$),其中*l*₂为弧长;若轮

廓序列中圆弧为逆时针方向, θ 取正,若圆弧为顺时针方向, θ 取负;在图象轮廓顺序中,若先线后弧, l_1/r 为正,若先弧后线, l_1/r 为负。

(3) 弧弧相交

若拐点*i*与*i-1*和*i+1*号拐点间的轮廓被近似为两条圆弧,如图5(c),则定义拐点*i*特征为($flag=2, \theta, l_1/l_2, r_1/r_2$),其中*l*₁、*l*₂为弧长,若轮廓序列中两圆弧同为逆时针或顺时针方向, θ 取正,若两圆弧方向不同, θ 取负。

(4) 复杂曲线

若拐点*i*与*i+1*间线段或圆弧的数目大于1,说明该段轮廓的组成较为复杂,不能用单一的线段或圆弧进行表达,如图5(d)。采用以下方法来定义特征量。

从轮廓中选取1/4、1/2、3/4处的点,计算这些点与轮廓端点的夹角和比例,定义其特征为: ($flag=3, \theta_1, l_1/l'_1, \theta_2, l_2/l'_2, \theta_3, l_3/l'_3$), θ 为夹角, l/l' 为比例。

这样定义的特征量,也具有相似变换不变性、不受缺损影响、计算简单的优点。

为了得到良好的鲁棒性,对上述轮廓单元进行提取的过程中可以进行轮廓链码的中值滤波^[3]。

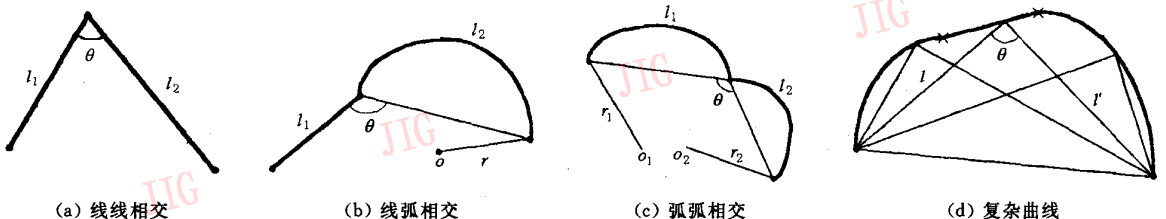


图5 广义拐点不变量

4 拐点权值

考查如图 6 所示轮廓拐点分布的目标。考虑第 3、4、5 号拐点和第 0、1、2 号拐点。很明显,由于各个拐点相联系的目标部分相差很大,如果在匹配过程中仅仅利用前述的拐点不变量是不够合理的。为了将各拐点与它们相应部分的相对尺度相联系,下面提出拐点权值的概念。对于第 i 个拐点, l_i 和 l_{i+1} 分别为与前后拐点的距离。当图象中一个拐点位置发生变化时,也改变了 l_i 与 l_{i+1} 的值,其前后两个拐点的特征值 r_i 必将随之变化。所以缺损图象若有连续 k 组拐点特征值得到匹配,则必有 $k+2$ 个拐点被保留。为使拐点反映图象保留部分在完整图象中的尺度特征,取拐点权值为 $l_i / \sum l_i$, $\sum l_i$ 为图象顺序拐点间的距离之和。若不能所有拐点全部匹配,则其中最后一个匹配拐点权值为 $(l_i + l_{i+1}) / \sum l_i$ 。

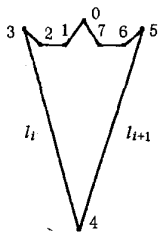


图 6 一个目标的轮廓拐点分布

假设从第 i 个拐点开始有 k 组特征值得到匹配,则匹配率定义为:

$$R = \frac{l_i + l_{i+1} + \dots + (l_{i+k-1} + l_{i+k})}{\sum l_i} \quad (3)$$

缺损图象与某一类库模板比较,就取该库的 $\sum l_i$ 作为分母。式(3)所决定的匹配率 R 不仅是分类的依据,而且反映了缺损图象的完整程度。

5 实验结果和结论

对于图 7 所示的 M_1 、 M_2 、 M_3 和 M_4 4 种目标图象以及与他们对应的 T_1 、 T_2 、 T_3 缺损图象,分别用了分割-融合算法、Hough 变换和广义拐点。所对应的轮廓分别示于图 7 的第 3、4、5 行图象。利用这 3 种方法所得到的缺损图象拐点不变量,按上述的匹配准则,将与完整库模板进行匹配分类,所得的匹配率 $R(\%)$ 分别示于表 1。

表 1 三种方法的识别率

(a) 分割融合方法匹配率 $R(\%)$

	M_1	M_2	M_3	M_4
T_1	62.2%	0.0%	16.3%	3.3%
T_2	13.9%	35.5%	13.6%	11.5%
T_3	17.2%	0.0%	60.9%	0.0%
T_4	10.8%	15.9%	0.0%	45.1%

(b) Hough 变换拐点不变量匹配率 $R(\%)$

	M_1	M_2	M_3	M_4
T_1	62.3%	10.9%	0.0%	6.7%
T_2	0.0%	67.9%	13.7%	7.3%
T_3	0.0%	25.0%	63.4%	14.5%
T_4	9.2%	15.1%	13.7%	51.6%

(c) 广义拐点不变量的匹配率 $R(\%)$

	M_1	M_2	M_3	M_4
T_1	61.7%	0.0%	0.0%	16.4%
T_2	0.0%	67.2%	13.6%	0.0%
T_3	0.0%	26.2%	59.1%	0.0%
T_4	16.1%	11.8%	0.0%	73.7%

分割-融合算法计算量小,但受噪声影响较大。与传统的 Hough 变换相比,改进算法更好地利用了图象空间和参数空间的对应关系,具有存储量和运算量小,所求得的直线是统计平均的结果,具有更强的稳定性和提取直线参数精度高的优点。但由于目标图象中有些轮廓段是光滑的曲线,将其近似成直线时存在多种近似结果的可能,从而导致每次求得的轮廓直线段不一样,影响识别结果的正确性。如 M_4 尾部基本由一段弧线构成,而将圆弧近似为几段直线时存在多种近似的可能,造成目标与模板求得的拐点可能不一致,降低匹配效果。

用广义拐点不变量,克服了将图象轮廓全部近似为直线段的缺点,更为合理地表征目标的特征,将其分段近似成损点、线段、圆弧、复杂曲线 4 种轮廓单元。在实际的算法实现中只需一次链码跟踪就可以搜索出各个轮廓单元。该算法对圆弧的近似仍然不是十分精确。

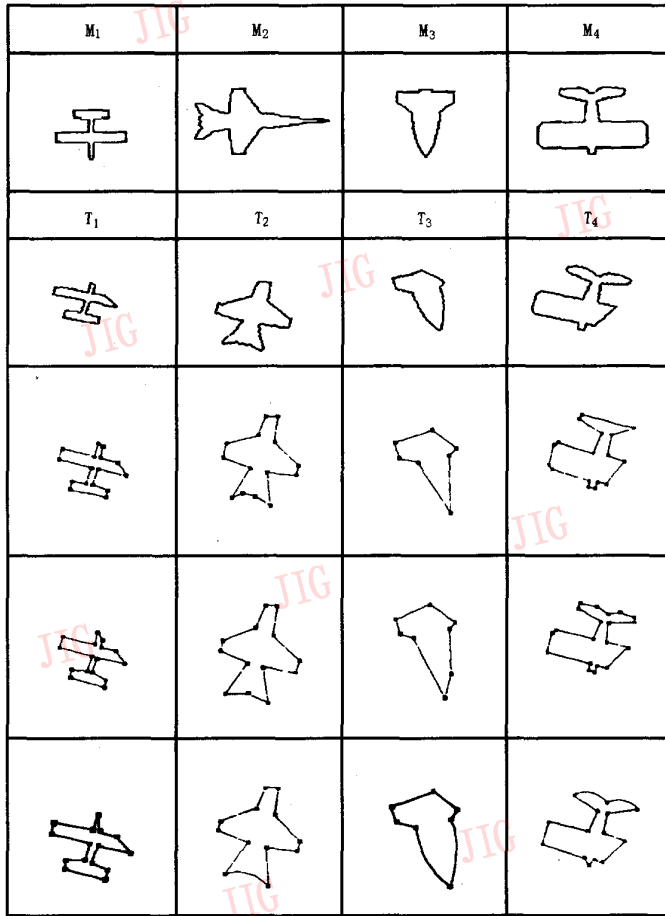


图7 4种原始和缺损目标轮廓及其轮廓近似结果

综上所述,由于观测过程引入的噪声不同,以及待识别目标的不同特性,各种不变量可以提供关于目标的不同信息。为了进一步降低系统的误判率,我们另文讨论利用多种信息进行融合的技术。

参考文献

- 1 袁捷,廖原,胡正仪,王延平. 缺损图象的特征模板匹配方法. 武汉大学学报(自然科学版),1997,43(5):655~660.
- 2 袁捷,胡正仪,王延平. 用 Hough 变换的方法提取图象拐点. 武汉大学学报(自然科学版),1998,44(1):85~88.
- 3 王延平, Larmagnac J P, 袁捷, 赵恒卓. Recognition of partially

occluded objects based on segmentation by median filtering of extended direction code. Wuhan Univ. of Journal of Natural Sciences, 1997, 2(4): 435~438.



王延平 武汉大学电子信息学院教授, 博士生导师。主要研究领域为图象处理, 信号复原和重建, 模式识别, 视频压缩等。发表论文约 100 篇, 书一部。曾获国家、部委和省市科技进步奖多项。

袁杰 邮电部北京设计院工程师。1995年毕业于武汉大学电子信息学院, 1998年获硕士学位。从事通信与信号处理领域的研究与开发。发表论文 6 篇。

苏祥芳 武汉大学电子信息学院副教授。主要从事数字信号处理, 图象处理与视频通信等研究和教学工作。发表论文数十篇, 获国家教委科技进步奖一项。

Corner Invariant and Its Application to Pattern Recognition

Wang Yanping, Yuan Jie and Su Xiangfang

(Faculty of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430072)

Abstract Corner feature is widely used in pattern recognition for it is invariant to scale, shift and rotation. This paper introduces three algorithms to extract corner feature, named splitting-merging algorithm, the extended Hough transform algorithm and the extended corner algorithm. Among them the splitting-merging algorithm is the easiest one to implement but is the most sensitive to noise. The extended Hough algorithm is much strong to noise and the last algorithm is much more suitable to describe the characteristics of practical contours. Result of computer simulation for recognizing four occluded objects by using these algorithms is given.

Keywords Pattern recognition, Local feature, Corner feature, Occluded image recognition

1440dpi 疾速七色打印机——BJC-5100

佳能公司最新推出桌面 A3 幅面七色喷墨打印机 BJC-5100。该打印机分辨率高达 1440dpi,同时采用先进的双墨盒系统,可以按需求作出灵活的组合,发挥高速的黑白或彩色打印、高质量的照片打印和完美的 DTP 打印等。

BJC-5100 采用崭新的双墨盒设计,在一个喷墨座上可同时容纳两个墨盒。可以省却一个喷墨头的运行时间和打印面积,大大加快打印的速度,安装两个 BC-23 黑色墨盒就可以实现最高速的黑色打印,每分钟可输出 10 页,同时安装两个彩色墨盒 BC-21e 实现最高速的彩色打印,每分钟可输出 4 页。全新的 BC-23 黑色墨盒使黑色打印更加黝黑,使文字图象细节更加清晰,打印效果可以与激光打印机媲美。BC-21e 及 BC-22e 的墨盒具备佳能独有的墨滴调整技术,提高彩色打印的质量,该技术使一个喷嘴能喷射两种不同大小的墨滴,有效地减少低密度区域的粒状感,使打印出来的图象更具自然的色彩层次感。

内置于驱动程序的打印系统可以实现 1440×720dpi 高分辨率的图象打印,尤其适合专业领域和商业领域的打印需要,无论打印图文混排文稿,还是照片质量的文件,都可以完全满足您的需要。在 BJC-5100 中同时安装 BC-21e 彩色墨盒和一个 BC-22e 照片墨盒可以实现 7 色打印,在打印图象的过程中,两种不同深浅的墨水组合,降低了图象的颗粒感,色彩过渡更加平滑。在高速打印的同时,保证了高质量的图象效果,即使是打印普通打印机最难输出的灰度效果,也表现得淋漓尽致。

BJC-5100 适用于打印多种幅面的文件,可以打印 A4、A4+(223.5×355.5mm),利用手动供纸器,可以打印 A3 幅面。该机型具备特殊的条幅打印模式,能够在超长的纸上打印。使用佳能的条幅纸,可以方便地得到漂亮的彩色条幅,用来装饰房间或者制作招贴画。另外,用户还可以自己设计它的其他用途。BJC-5100 可打印长达 6 张 A4 尺寸的条幅纸。

BJC-5100 可以适用于多种打印介质,它们是:普通纸、高光胶片(HG-201)、灯箱片(BF-102)、透明胶片(CF-102)、T 恤转印介质(TR-201)、纤维织物(FS-101)、高分辨率纸(HR-101)、光面 Photo 纸(GP-301)、照片纸(FM-101)等等。

参考价格:¥2,680 元

如欲知更多详情,请与各地佳能打印机热线中心接洽:

北京 TEL:(010)85298468 FAX:(010)85298622

广州 TEL:(020)83878323 FAX:(020)83870505

上海 TEL:(021)58773700 FAX:(021)58767758