

一种可识别破碎图形的特殊广义 Hough 变换方法^{*}

李智磊 翟宏琛[†] 王明伟

(南开大学现代光学研究所, 光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300071)

(2006 年 9 月 22 日收到, 2006 年 10 月 19 日收到修改稿)

提出了一种与现有广义 Hough 变换(GHT)不同的识别破碎图形的方法, 称为特殊广义 Hough 变换(SGHT)方法. 该方法在参数表制作阶段和识别阶段, 都与现有 GHT 方法不同. 理论分析和实验的结果表明, 采用 SGHT 方法, 可以解决常规 GHT 方法难以识别破碎图形的困难, 且有很高的配准精度和速度, 既可用于破碎图形的识别也可用于非破碎图形的识别, 具有普适、快速和准确的特点.

关键词: 特殊广义 Hough 变换, 广义 Hough 变换, 参数表, 8 邻域

PACC: 4230S

1. 引 言

物体识别是光学图像处理的重要分支, 此类文献也很多, 如文献 [1] 是一个识别三维物体的例子, 文献 [2] 是对细胞的识别.

广义 Hough 变换(GHT)是一种利用计算机进行图形识别的图像处理方法, 可以用于识别形状已知的图形, 亦可用于识别不能用解析式表示的比较复杂图形^[3,4]. GHT 方法最大的优点是具有很强的抗噪能力. 目前对于完整图形和部分遮挡但并不破碎的图形的识别, 已有很多成熟的 GHT 方法来解决^[5-8]. 但是在一些实际应用中, 我们也会遇到需要对破碎图形进行识别的情况. 所谓破碎图形, 是指存在大量不连续区域的图形. 常见的破碎图形有: (1) 用虚线勾画的图形; (2) 由于被镂空物体遮挡而导致的具有大量不连续区域的图形. 而对于这种破碎图形的识别, 用现有的 GHT 方法就很难实现. 其原因是, GHT 方法中的重要一环是轮廓点边界方向(或梯度角)的计算. 通常采用的计算方法有 (1) 先进行多边形近似得到原图形的近似多边形, 再由近似多边形各邻边之间的夹角导出边界方向(或梯度角)^[5,6]. 但是当待识别图像中所包含的目标图形是破碎图形时, 由于对破碎图形很难做区域划分^[9], 因而会在多边形近似中产生相当多的无效信息和不容

乐观的误差, 所以不能够得到很好的识别效果; (2) 利用轮廓点附近灰度信息计算梯度方向^[10], 这一方法有很强的局限性, 并依赖于灰度信息的完整性, 因此在很多情况下不能得到较准确的结果, 特别是对于二元图像, 最多只能得到 4 种方向, 无法起到较好的分类索引作用. 针对常规 GHT 方法不能很好地识别破碎图形的缺陷, 本文提出了特殊广义 Hough 变换(SGHT)方法, 对常规 GHT 方法进行了改进, 能够很好的解决上面提到的这些问题.

2. GHT 和 SGHT

2.1. GHT

常规 GHT 方法在识别图形时, 通常分两个阶段进行. 第一阶段主要是将样本轮廓点信息制成参数表, 第二阶段利用第一阶段制作的包含样本信息的参数表, 对待识别图像各点的坐标进行 Hough 空间坐标变换. 待识别图像中给定形状的图形上的所有点都集中到该 Hough 空间上的某个点的附近, 形成峰值. 寻找符合条件的峰值, 即可得到目标图形在图像中存在的位置及缩放、旋转状态.

(1) 和 (2) 式是常规 GHT 方法的 Hough 空间坐标变换公式,

$$x'_R = x + \rho(\phi)S \cdot \cos[\alpha(\phi) + \tau], \quad (1)$$

$$y'_R = y + \rho(\phi)S \cdot \sin[\alpha(\phi) + \tau], \quad (2)$$

^{*} 国家自然科学基金(批准号: 60577017)和天津市自然科学基金(批准号: 05YFJMJC01700)资助的课题.

[†] 通讯联系人, E-mail: zhai@nankai.edu.cn

其中 (x'_R, y'_R) 为潜在的目标参考点坐标, (x, y) 为待识别图像特征点坐标, ϕ 为样本图形轮廓点的边界方向(或梯度角), ρ 为轮廓点与参考点的欧氏距离, θ 为轮廓点与参考点连线跟 x 轴正方向的夹角, S 为缩放比例, τ 为旋转角度.

2.2. SGHT

SGHT 方法与常规 GHT 方法在第一阶段中的参数表制作和在第二阶段中 Hough 空间的计算方式上都有所不同. 其流程如图 1 所示.

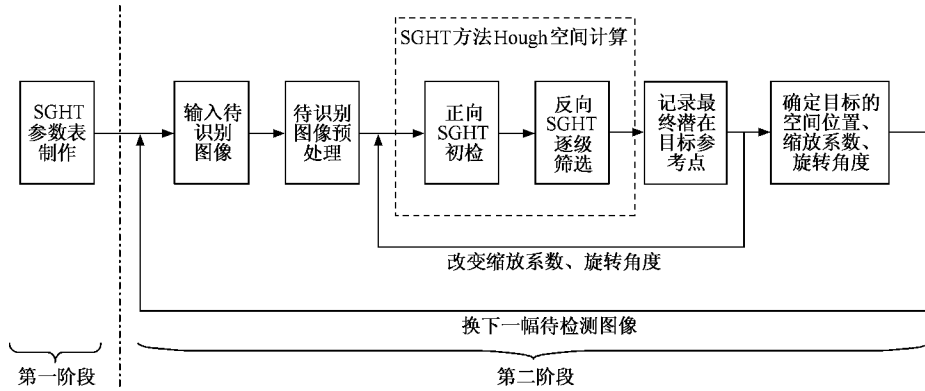


图 1 SGHT 方法流程图

第一阶段 SGHT 方法的参数表的制作

第 1 步 本方法将缩放、旋转等运算提前于参数表制作阶段进行. 具体做法是, 首先确定待识别图像缩放系数、旋转角度的最小间隔和最广范围. 然后以样本参考点为中心, 以缩放系数、旋转角度的最小间隔为步长, 对样本图形在最广范围内进行缩放、旋转, 并记录全部可能的变换图形. 对每一个变换图形提取特征点, 从而得到全部在可能的缩放系数、旋转角度下的特征点. 这里, 由于特征点应具备足以表征样本图形特征的能力, 所以在选取上需对其给予充分的注意. 通常选取的特征点一般为轮廓点、骨架点或全部样本图形点.

第 2 步 对样本特征点进行分组. 分组在每一缩放系数、旋转角度下分别进行, 是半随机的. 做法是对该缩放系数、旋转角度下的特征点先按是否拐点分为两类; 接着, 分别对每一类中的点随机排序; 之后, 将不是拐点的一类特征点整体排到是拐点的一类特征点后边; 最后, 将所得队列从前至后分为多组, 并制定每组的阈值.

这一步骤是为 SGHT 方法的 Hough 空间计算过程做准备. 具体分多少组、每组多少个点、以及每组阈值的取值大小, 则需根据具体情况而定, 详见后面的分析.

第 3 步 为每一缩放系数、旋转角度下的每一组的特征点制作参数表. 本方法的参数表以特征点的 8 邻域状态值为索引, 以样本图形参考点与其特征

点的相对位移分量为内容, 如图 2 所示. 可以认为, 样本图形参考点与其特征点的相对位移的分量就是 SGHT 方法的 Hough 参数空间的坐标. 其中, 8 邻域状态值的求法按图 3 所示标号进行. 若记特征点 $Q(x, y)$ 的 8 邻域值依次为 $P(0), P(1), \dots, P(7)$, 则 Q 的 8 邻域状态值为

$$\eta = \sum_{i=0}^7 P(i), \quad (3)$$

可知 $\eta \in [0, 255], \eta \in Z$.

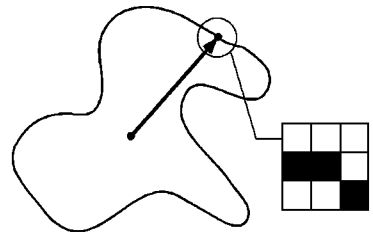


图 2 参数表制作示意图

$P(0)$ $(x-1, y-1)$	$P(7)$ $(x, y-1)$	$P(6)$ $(x+1, y-1)$
$P(1)$ $(x-1, y)$	$Q(x, y)$	$P(5)$ $(x+1, y)$
$P(2)$ $(x-1, y+1)$	$P(3)$ $(x, y+1)$	$P(4)$ $(x+1, y+1)$

图 3 8 邻域标号示意图

样本图形参考点与其特征点的相对位移分量计

算公式为

$$x_h = x_R - x, \quad (4)$$

$$y_h = y_R - y, \quad (5)$$

其中 x_h, y_h 为样本图形参考点与其特征点的相对位移分量即 Hough 参数空间坐标, x_R, y_R 为样本参考点坐标, x, y 为特征点坐标.

第二阶段 基于 SGHT 方法的目标识别

第二阶段为对待识别图像上可能存在的目标图形实际进行识别的阶段. SGHT 方法在此阶段的流程如图 1 所示. 下面分别对每一个步骤进行详细说明:

Step 1. 读取待识别图像.

Step 2. 对待识别图像进行预处理. 提取待识别图像的特征点. 特征点的选取方式应与第一阶段参数表制作过程中特征点的选取方式相同. 将待识别图像的每个特征点以其 8 邻域状态为索引、自身坐标为内容制成待识别图像数据表.

Step 3. Hough 空间的计算. SGHT 方法采用二维 Hough 空间, 且每一次二维 Hough 空间的计算都是在单一缩放系数、单一旋转角度下进行的. 进行一次二维 Hough 空间计算的步骤依次为 (1) 建立并初始化该 Hough 空间, 即令该 Hough 空间中所有点的值为零 (2) 正向 SGHT 初检, 即利用第 1 组特征点的 Hough 参数空间坐标与待识别图像中所含点的坐标, 通过正向空间坐标变换进行初检的过程 (3) 反向 SGHT 逐级筛选, 即根据正向 SGHT 初检的结果, 通过反向空间坐标变换, 进一步对潜在目标参考点进行投票、筛选的过程.

正向空间坐标变换公式为

$$x'_R = x + x_h, \quad (6)$$

$$y'_R = y + y_h, \quad (7)$$

其中 x'_R, y'_R 为潜在的目标参考点坐标, x, y 为待检测图像特征点坐标, x_h, y_h 是参数表中与 x, y 索引值相同的 Hough 参数空间坐标.

反向空间坐标变换公式为

$$x = x'_R - x_h, \quad (8)$$

$$y = y'_R - y_h, \quad (9)$$

其中 x, y 为潜在目标特征点坐标, x'_R, y'_R 为潜在的目标参考点坐标, x_h, y_h 是参数表中与 x, y 索引值相同的 Hough 参数空间坐标.

Step 4. 记录最终潜在目标参考点. 在每一次二维 Hough 空间计算结束后, 得到的一系列潜在目标参考点称为最终潜在目标参考点. 记录这些最终潜

在目标参考点的坐标以及相应 Hough 空间值, 然后释放该二维 Hough 空间.

Step 5. 改变缩放系数或旋转角度, 重复进行 Step 3—5, 直至所有缩放系数和旋转角度下的最终潜在参考点的坐标以及相应 Hough 空间值都被记录下来为止.

Step 6. 确定目标的空间位置、缩放系数以及旋转角度. SGHT 方法对目标的空间位置、缩放系数以及旋转角度的确定方法与常规 GHT 方法基本相同. 记录下来的最终潜在目标参考点坐标及其相应 Hough 值, 在包含笛卡尔坐标、缩放系数坐标、旋转角度坐标的多维空间中, 通常呈分块聚集状态. 该多维空间的一系列峰值点的笛卡尔坐标、缩放系数坐标、旋转角度坐标即为识别出的目标在图像中的位置、缩放系数以及旋转角度. 至此, 对该图像的识别完成.

3. 实 验

实验 1 采用的样本图形如图 4 所示. 该样本图形无旋转时所含点的数目为 2970. 为验证本方法对破碎图形识别的可行性, 实验时, 将样本图形的实线替换为虚线, 并对其位置和角度分别作随机改变后, 选取其中九个作为一组, 构成待识别目标图像, 并在其中设置了一些线状条纹作为干扰信息, 如图 5 所示. 按照 SGHT 方法识别时, 将样本图像和待识别图像细化, 随机选取得到的骨架上的一些象素点作为特征点, 并制成参数表. 在参数表中, 一个旋转角度下选取的特征点总数为 1000. 最终得到识别结果如图 6 所示. 可见, 本方法能够从待识别图像中识别出用虚线勾画的目标图形.

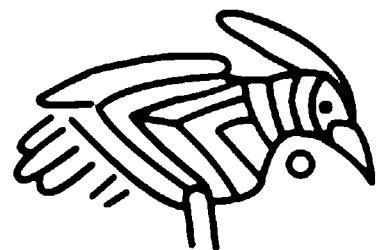


图 4 实验 1 和实验 2 的样本图形

然后重复上述实验, 对 100 个破碎目标图形进行识别, 得到的纵横坐标、角度与真实纵横坐标、角度的误差, 见表 1, 误差分布直方图见图 7.

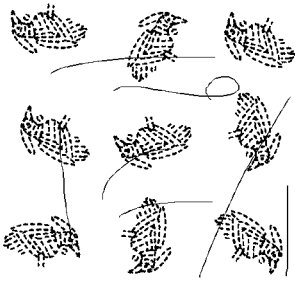


图 5 待检测图像(1)

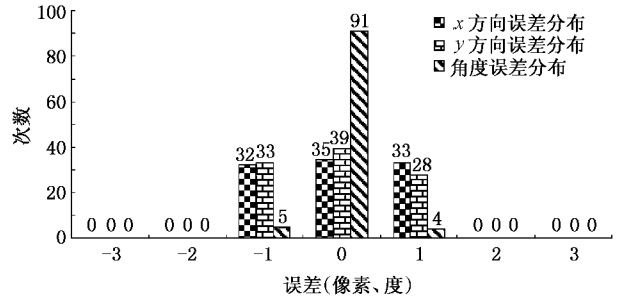


图 7 实验 1 误差分布直方图

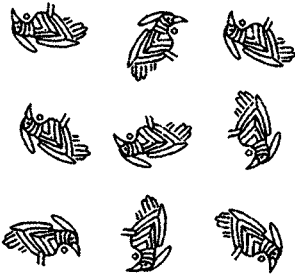


图 6 检测结果(1)

表 1 实验 1 误差统计表

	x 方向(像素)	y 方向(像素)	角度(°)
误差绝对值的最大值	1	1	1
误差绝对值的平均值	0.6500	0.6100	0.0900

实验 2 为进一步验证 SGHT 方法的有效性,并对 SGHT 方法的精确度加以分析,我们随机选取了如图 8 所示的 10 个样本图形,对每个样本图形的角度和位置都分别进行了 100 次的随机变化,然后进行破碎化处理,之后用 SGHT 方法分别对每一个位置角度随机变化后的破碎目标图形进行一次识别实验.其中破碎化处理的方式描述如下:以图 9(a)所示待识别图形为例,先用与目标图形颜色不同的网格遮挡目标图形,如图 9(b),再通过去除与网格颜色近似区域的方式进行去网格处理,得到的图像就是含有破碎图形的图像,如图 9(c).图 10 是图 8 的 10 个样本图形经过破碎化处理之后的效果图.

实验中特征点的提取方式有 Thin 和 Remove 两种,其中 Thin 方式是通过细化图像而得到骨架点作为特征点,而 Remove 方式则是去除 4 邻域值都为 1 的点(即内部点)而得到轮廓点作为特征点.

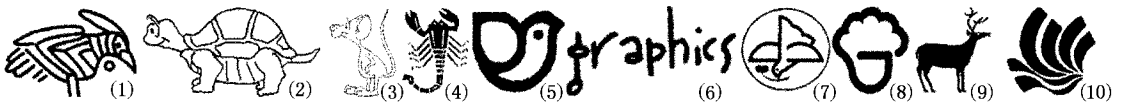


图 8 实验 2 的样本

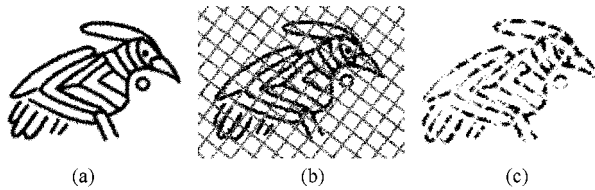


图 9 位置角度随机变化之后的待识别图形截图(2)(a)和被网格遮挡之后(b)及去掉网格后的待识别图形(c)

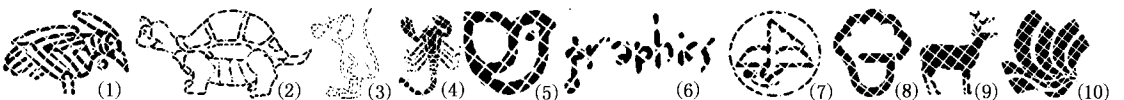


图 10 对实验 2 的样本图形 1—9 进行处理而得到的破碎效果

实验得到的误差数据如表 2 所示. 其中因为随着样本图形的旋转, 样本所含点数会有所不同, 表 2

中的“样本所含点数”是指样本无旋转时所含点的总数.

表 2 实验 2 误差统计表

实验组次	样本序号	位置误差绝对值统计(像素)				角度误差绝对值统计(度)		样本尺寸 (像素 × 像素)	样本所含 点数	特征点 提取方式	可选特征点 总数	所选特 征点数
		x 方向		y 方向		最大	平均					
		最大	平均	最大	平均							
1	(1)	2	0.80	2	0.76	1	0.09	140 × 93	2970	Thin	1000	1000
2	(2)	0	0.00	0	0.00	0	0.00	288 × 140	3458	Thin	1557	1000
3	(3)	0	0.00	0	0.00	0	0.00	240 × 294	4103	Thin	2017	1000
4	(4)	0	0.00	0	0.00	0	0.00	120 × 151	3897	Remove	1575	1000
5	(5)	0	0.00	0	0.00	0	0.00	86 × 80	2575	Remove	517	344
6	(6)	2	1.30	2	1.21	2	0.45	120 × 120	1021	Thin	465	310
7	(7)	1	0.68	1	0.75	1	0.29	116 × 104	1863	Thin	1029	686
8	(7)	1	0.61	1	0.64	1	0.23	116 × 104	1863	Remove	1132	754
9	(8)	1	0.66	1	0.62	1	0.43	119 × 134	3129	Remove	597	398
10	(9)	0	0.00	0	0.00	0	0.00	103 × 108	2659	Remove	600	400
11	(10)	1	0.69	1	0.66	2	0.22	150 × 119	6313	Remove	1064	709

由表 2 的实验结果可看出, SGHT 方法能够识别破碎图形, 具有较高的精确度. 特别是当样本图形线条较细或图形破碎后对轮廓线的影响不大时, 精确度非常高. 如第 2, 3, 4, 5, 10 组实验的识别结果都是完全准确的. 而当图形破碎后对轮廓线和骨架影响较大时, 实验误差较大. 如第 6 组实验.

4. 总结与讨论

SGHT 方法是一种普适而高效的图形检测方法, 是对现有 GHT 方法的补充和拓展. 其优点如下:

(1) SGHT 方法建立的参数表是以样本图形参考点与其特征点的相对位移分量为内容的, 避免了常规 GHT 方法采用多边形近似时识别破碎图形所遇到的种种困难. 又因为不存在取整误差, 所以在理论上有很高的精度, 并在实验上得到了验证.

(2) SGHT 方法的参数表是以 8 邻域状态值为索引的. 理论上一个非边缘点的 8 邻域状态值共 256 种可能. 根据提取方式的不同, SGHT 方法中特征点的 8 邻域状态值可能不会取遍 0—255 的所有整数. 实际可能的取值会依特征点的提取方法的不同而不同, 但仍足以对大量特征点进行分类. 这与按常规 GHT 方法根据边界方向(或梯度角)制作索引的方式类似, 避免了大量不必要的运算, 提高了识别速度.

(3) SGHT 方法将缩放、旋转等运算提前于参数表制作阶段进行, 一方面解决了 8 邻域状态值在经过缩放、旋转等变换后不能通过简单计算而得到的问题, 另一方面提高了识别阶段的速度.

(4) SGHT 方法将特征点半随机分组处理, 可迅速淘汰不满足条件的点, 进一步提高了识别速度.

缺点和需要进一步研究的地方是

(1) 由于 SGHT 方法将缩放、旋转等运算提前于参数表制作阶段进行, 所以每多考虑一种几何变换(如平移、缩放、旋转), 参数表也将增加 1 维数, 增加了参数表制作过程的时间复杂度和参数表的空间复杂度. 但通常情况下, 由于参数表制作是一次性的, 而利用制作好的参数表对不同图像的识别是反复多次的, 所以大多数情况下总体运算时间是减少的. 特别适合于待识别图像很多及样本图形较小的情况. 另外, 由于缩放系数间隔、旋转角度间隔等在参数表制作过程中已经确定, 因此如果识别过程需要更小的间隔以提高精度, 就需要重新制作参数表. 这也是需要注意的地方. 此外, 关于几何变换的问题, 除了仿射变换(平移、缩放、旋转)之外, 用这种方法亦可检测纵横比不同的缩放、扭曲等各种变换. 此时只需对这种缩放、扭曲有一定的先验知识, 如纵横比范围、扭曲方式及其各系数的范围等, 然后将范围内的图形以一定的系数间隔置入参数表中即可.

(2) 分组时, 一组所包含特征点的数量越多, 则

一次 Hough 空间的筛选就会越有效,但数量过多则会拖延非目标参考点的排除时间,降低整体识别速度,所以每组特征点的数量应当适当,具体优化数值有

待分析.

本方法在物体识别、物体定位、人工智能等方面具有明显的应用前景.

- [1] Shen J Y , Li X G , Chang S J , Zhang Y X 2005 *Acta Phys . Sin .* **54** 5157 (in Chinese) [申金媛、李现国、常胜江、张延 2005 物理学报 **54** 5157]
- [2] Ren H P , Ping Z L , Bo W R G , Sheng Y L , Chen S Z , Wu W K 2003 *Chin . Phys .* **12** 610
- [3] Ballard D H 1981 *Pattern Recognition* **13** 111
- [4] Lee H M , Kittler J , Wong K C 1992 11th *IAPR International Conference on Pattern Recognition* **3** 285
- [5] Beinglass A , Wolfson H J 1991 *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* 461
- [6] Wong K C , Sim H C , Kittler J 1995 *Inter . Confer . on Image Process .* **3** 376
- [7] Chau C P , Siu W C 2004 *Inter . J . of Computer Vision* **59** (2) 183
- [8] Kimura A , Watanabe T 2002 *Inter . Confer . on Pattern Recog .* **1** 65
- [9] Liang Y M , Zhai H C , Chang S J , Zhang S Y 2003 *Acta Phys . Sin .* **52** 2655 (in Chinese) [梁艳梅、翟宏琛、常胜江、张思远 2003 物理学报 **52** 2655]
- [10] Fung P F , Lee W S , King I 1996 13th *Inter . Confer . on Pattern Recog .* **2** 511

A 8-neighborhood based generalized Hough transform for fragmented graphics recognition^{*}

Li Zhi-Lei Zhai Hong-Chen[†] Wang Ming-Wei

(*Institute of Modern Optics , Key Laboratory of Optoelectronic Information Technical Science , Ministry of Education of China , Nankai University , Tianjin 300071 , China*)

(Received 22 September 2006 ; revised manuscript received 19 October 2006)

Abstract

This paper proposes a 8-neighborhood based generalized Hough transform (SGHT) method developed from the existing generalized Hough transform (GHT) method . The difference chiefly shows in the process of generating the Reference-Table and recognizing the graphics . The new method resolves the difficulty in the process of recognizing fragmented graphics from images by conventional GHT , which can be employed not only in the un-fragmented graphics recognition but also in the fragmented graphics recognition with significant precision and rapidity . The effectiveness of ENHT has been proved in our experiments .

Keywords : 8-neighborhood based generalized Hough transform , generalized Hough transform , R-Table , 8-neighborhood

PACC : 4230S

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60577017) and the Natural Science Foundation of Tianjin , China (Grant No. 05YFJMJC01700) .

[†] Corresponding author . E-mail : zhai@nankai.edu.cn