

文章编号 1004-924X(2003)06-0632-05

基于改进 Hough 变换的符号线段特征提取

陈洪波, 王 强, 徐晓蓉, 张超英

(广西师范大学 物理与信息工程学院, 广西 桂林 541004)

摘要:研究了数学表达式识别中符号线段特征的提取问题。为正确提取符号的线段特征及其一些相关属性,提高识别系统的符号识别率,对 Hough 变换的局限性进行了分析,并作了一些改进,改进算法在原算法的基础上增加了线段的连续性的检测以及相关属性的提取,如线段数目、方向(角度)以及始末端点等。实验证明,该算法能有效地提取出符号线段及其一些属性,可应用于其他识别系统的符号特征提取。

关键词:数学表达式识别; Hough 变换; 线段检测; 特征提取

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A

Extraction of symbol line-features based on improved Hough transformation

CHEN Hong-bo, WANG Qiang, XU Xiao-rong, ZHANG Chao-ying

(College of Physics & Information Technology,
Guangxi Normal University, Guilin, 541004, China)

Abstract: In order to correctly extract the line-features of symbols and some of their attributes, Hough transformation has been improved based on the analysis of its limitations, and it has therefore the additional inspection of line continuity and extraction of associated attributes, such as number, direction (angle), start and finish of lines. Experimental results show that the algorithm proposed can be used to extract symbol lines and some of their attributes, and it can be used for extraction of symbol features in other recognition systems as well.

Key words: mathematical expression recognition; Hough transformation; line detection; feature extraction

1 引言

数学表达式识别^[1]是一个重要的模式识别问题,他对于扩充 OCR 软件的功能,以及对于减少人们对数学表达式输入的烦琐有着很重要的意

义。对模式识别问题的研究大多都集中在特征提取和分类器的设计两个方面,而提取出来的特征直接影响分类器性能。表达式符号识别是数学表达式识别过程的关键步骤之一,在识别过程中

收稿日期:2003-03-16;修订日期:2003-10-15.

基金项目:广西壮族自治区教育厅科研资助项目;广西科学基金项目(桂科基 0009004)

需要对符号图像进行特征提取。数学表达式中的符号有很多,总体上可以分为两类:基本符号和特殊符号。基本符号包含数字、英文字母、希腊字母、罗马字符等;特殊符号包含绑定关系符号、界定符号、运算符号等。要对它们进行正确的识别必须提取出稳定的、区分度高的特征。符号的线段特征具有平移、旋转和尺度不变性,是一个很稳定的符号特征,对它的正确识别,对于分类器的设计有着重要意义。Hough 变换^[2-3]是一种经典的直线检测方法。

2 Hough 变换及特点

2.1 Hough 变换

Hough 变换 (HT) 是由 Paul Hough 提出的,它实现了一种从图像空间到参数空间的映射关系。其基本思想是点-线的对偶性,即图像空间共线的点对应在参数空间里相交的线;反过来,在参数空间中相交于同一个点的所有直线(曲线)在图像空间里都有共线的点与之对应。近年来,它已广泛地应用于计算机视觉和模式识别等领域,如直线以及一些参数曲线的检测^[4-6]等。本文将改进的 Hough 变换应用到符号图像线段的检测。

平面中任意一条直线可以用 r 和 θ 两个参数确定下来,其中 r 为原点到直线的距离, θ 确定了直线的方向,对于图像空间任意点 (x, y) , 其函数关系为:

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (1)$$

如果对位于同一直线 l 上的 n 个点进行上述变换,则原图像空间 n 个点在参数空间中对应地得到 n 条正弦曲线,并且这些曲线相交于同一点。因此,图像空间中共线的点与参数空间中共点的线有对应关系,只要找出参数空间中共点的曲线,就能确定图像空间中的直线。在实际应用中,Hough 变换算法是根据式(1)将图像空间中的每一点 (x_i, y_i) 映射到 Hough 空间中的一组累加器 $HT(x_i, y_i, r_i)$,满足上式的每一点,将使对应的所有累加器中的值加 1。如果图像中包含一根直线,则有一个对应的累加器会出现局部最大值,设定一个阈值,若该局部最大值大于该阈值,则说明有直线存在。通过检测 Hough 空间中的局部最大值,可以确定与该条直线对应的一对参数 (r, θ) ,从而把该直线检测出来。

2.2 Hough 变换的特点^[7]

Hough 变换具有明了的几何解析性,一定的抗干扰能力和易于实现并行处理等优点,但也存在局限性,主要表现在:

(1)通过检测 Hough 变换的参数空间的最大值来检测得到的直线,只能检测出图像中某一条直线的存在;有些符号中包含了多条直线,这种情况就没办法检测出来,它只能检测出最长的那条。

(2)采用 Hough 变换检测得到的直线没能指出该直线的端点、长度以及方向等属性,对于线段来说,特别是将线段作为符号的一个识别特征,这些参数非常重要。

(3)由 Hough 变换的定义可知,传统 Hough 变换检测到的直线是由一些共线的点组成的直线,而不管其是否连通,一些离散的点或一些相距较远的线段都可能被认为是一条直线。也就是说,传统的 Hough 变换不能检测出线段,检测到的是些共线的点。若在某个方向共线的点最多,而且其点数目超过事先设定的阈值,这就是传统 Hough 变换所要检测到的结果。如图 1 所示,符号“m”应该有三条具有明显特征的线段,而传统的 Hough 变换不但不能将它的线段检测出来,而且还错误地检测出了一条断断续续“直线”。

(4)实际计算中所考虑的 θ 值及 r 值是离散的,某直线上的部分像素有可能也同时被认为是与它成一微小夹角的另一直线上的点,这样重复计算出的直线就会很多。由于不知道各线的端点,因而也无法判断哪些直线被重复计算。



图 1 传统的 Hough 变换,左图为原符号图像,右图为传统 Hough 变换得到的结果

Fig. 1 Standard Hough transformation (the left one is the source image, the right one is the result of standard HT)

3 Hough 变换的改进

针对上述 Hough 变换的局限性,应对其进行改进,使检测结果不是直线,而是具有确定长度和端点的线段,而且能统计出符号图像中像素个数大于某阈值的线段条数。

改进的 Hough 变换的思路是:充分利用 Hough 变换的参数空间数据,增加 Hough 变换的后处理,克服 Hough 变换的缺陷,以检测出包括诸如端点、方向等一些属性的线段。具体的算法描述:

(1) 搜索符号图像,将其所有前景色像素点(符号像素点)保存到一个数组 Temp 中,并设定阈值大小,即组成线段的最小像素个数。

(2) 对符号像素点逐点进行 Hough 变换,得到其参数空间矩阵 $HT[r_m][m]$,其中:

$$r_m = \sqrt{Height^2 + Width^2} \cdot \cos(\theta - \alpha), \quad 0 \leq m < 180$$

Height 表示图像的高,Width 表示图像的宽。

(3) 找到参数空间矩阵 $HT[r_m][m]$ 的最大值,并记录原点到极值点所对应直线的距离 r_{best} 以及角度 θ_{best} ,若该最大值小于阈值,则循环结束,执行第(8)步;否则第(4)步。

(4) 对该阈值点及其邻域清零。

(5) 对所有符号像素点按式:

$$r_m = x \sin \theta_{best} + y \cos \theta_{best}, \quad (2)$$

计算得到 r_m 的值,若 $r_m = r_{best}$,则将该点存放在另一个数组 Temp . Best 中。

(6) 以数组 Temp . Best 中的像素点为基础,判断其是否存在线段,判断是否存在线段的条件是:连续(邻接)的像素点的个数大于阈值。若存在线段,则将这些线段上的像素点保存到另一个数组 Temp . Point [n] 中,其中 n 表示临时保存的第 n 条线段上的像素点,注意在 Temp . Best 可能存在多条线段。

(7) 转到第(3)步。

(8) 由 Hough 变换的局限性的第(4)点可知,某一条线段有可能同时被检测出多条线段,所以要将这些相同的线段进行合并,最后统计出符号图像的线段条数,以及它们的始末位置等一些属性。

4 实 验

在线段的检测之前,需要对图像进行细化操作,这是因为细化之后符号像素的数目就会减少, Hough 变换的时间也会得到相应的减少,对线段的检测也少一些干扰。这里对细化操作的要求是能很好地保持字符的骨架,这样有利于 Hough 精

确地检测出符号的线段。细化算法有很多,如: Hilditch 算法, Pavlidis 算法以及基于索引表的的细化算法。采用基于索引表的细化算法,因为它细化得到的图像是 8 连通的骨架图像,还能很好地保持符号的形状,而且速度也要快一些,有利于 Hough 变换的线段检测。

另外,对于算法中阈值,即线段的最小长度的定义,是随着符号图像的大小而不同的。符号越大,所定义的阈值也应该越大。该实验将符号图像对角线的 1/3 作为阈值,也就是说,所检测出来的线段的最小长度应为符号图像对角线的 1/3,即 $Threshold = \frac{\sqrt{Height^2 + Width^2}}{3}$ 。

将改进的 Hough 变换用于符号图像的线段检测,结果如图 2 和图 3 所示。检测到的线段数目以及线段的方向、始末点坐标见表 1。

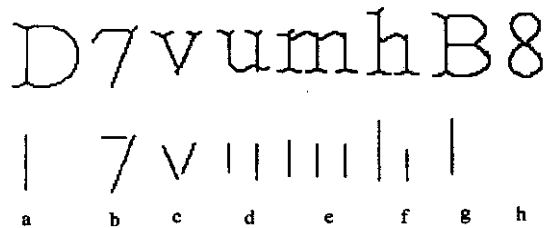


图 2 直线段检测实验 1(第 1 行为原图像,第 2 行为本文算法检测出来的直线段结果图像)

Fig. 2 Experiment (1) of line detection (The images in the first row are the source images; those in the second row are lines detected by the algorithm proposed in this paper)

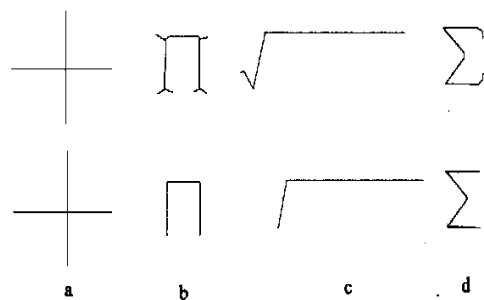


图 3 直线段检测实验 2(第 1 行为原图像,第 2 行为本文算法检测出来的直线段结果图像)

Fig. 3 Experiment (2) of line detection (the images in the first row are the source images, those in the second row are lines detected by the algorithm proposed in this paper)

由图中可以看出由本文改进的 Hough 变换可以正确地检测出各个符号的线段,如符号“m”采用传统的 Hough 变换只能检测到一条断断续续的“直线”,利用改进的算法可以检测出 3 条线

段,而且像用传统 Hough 变换检测到的“直线”被排除了,像图 3(a)中的加号,两条相交的线段也能被正确地检测出来,检测到的线段数目(如表 1)也是正确的。

表 1 采用改进的 Hough 变换检测到的线段及其一些属性

Tab. 1 Number and some attributions of the lines detected by modified HT

图	线段数	线段方向(度)	始末点	图	线段数	线段方向(度)	始末点
图 2 (a)	1	0	((14,11),(45,11))	图 2 (h)	0	--	--
图 2 (b)	2	-20	((11,31),(43,19))	图 3 (a)	2	90	((53,12),(53,70))
图 2 (c)	2	90	((12,14),(12,26))			0	((22,43),(80,43))
图 2 (d)	2	-22	((10,29),(27,22))	图 3 (b)	3	0	((6,15),(33,15))
图 2 (e)	3	23	((12,12),(30,20))			90	((6,34),(33,34))
图 2 (f)	2	0	((9,29),(29,29))	图 3 (c)	2	90	((5,17),(5,31))
图 2 (g)	1	0	((9,14),(25,14))			-11	((6,18),(6,95))
		0	((13,12),(33,12))	图 3 (d)	4	42	((7,17),(32,12))
		0	((13,27),(33,27))			90	((6,4),(20,17))
		0	((13,42),(33,42))			90	((35,7),(35,24))
		0	((10,12),(44,12))			90	((6,9),(6,23))
		0	((27,27),(44,27))			-38	((21,17),(31,9))
		0	((15,21),(46,21))				

注明:(1)表中“-”表示没有检测到相应数据;(2)始末点的格式((S_y, S_x),(E_y, E_x)),其中 S_y, S_x 分别表示起始点的 Y, X 坐标, E_y, E_x 分别表示终点的 Y, X 坐标,坐标原点是在图像的左上角, X 代表水平方向, Y 代表垂直方向;(3)线段方向采用线段及其延长线和 Y 轴的夹角表示,单位是“°”。

稳定地提取符号的线段特征,对于提高符号的识别率有着重要的意义。提高了符号之间的区分度,如在符号识别时符号“B”和“8”的区分是有一定的困难,他们之间比较明显的区别是“B”的左边是一条线段,如图 2 和表 1 所示,而“8”没有可以提取线段特征来对他们进行正确地区分。

5 小 结

符号的线段是一个稳定的特征,它具有平移、旋转和尺度不变性,正确提取符号的线段特征,对

于提高符号之间的区分度,从而提高符号的识别率有着重要意义。传统的 Hough 变换虽然有很多优点,但只能检测在某方向上的直线(一条),有时还是断断续续的,对于比较复杂的符号图像而言,用传统的 Hough 变换是没办法准确地提取符号的线段的。本文对 Hough 变换作了一些改进,改进的思路采用 2 次 Hough 变换的方法。实验表明,改进后的 Hough 变换能稳定地提取符号的线段特征。当然,这种线段的提取算法也可以作为识别其他符号的特征提取,如车牌号识别、汉字识别、票据识别等识别系统的特征提取。

参考文献:

[1] CHAN K F, YEUNG D Y. Mathematical expression recognition: a survey [J]. *International Journal on Document Analysis and Recognition*, 2000, 3(1): 3-5.

[2] 朱森良. 计算机视觉[M]. 浙江:浙江大学出版社,1997.

HU M L. *Computer vision* [M]. Zhejiang: Zhejiang University Press, 1997. (in Chinese)

[3] 胡占义, 杨长江, 马颂德. Hough 变换的新定义[J]. *计算机学报*, 1997, 20(8): 744-752.

ZHU ZH Y, YANG CH J, MA S D. A new definition of the Hough transformation [J]. *Chinese J Computers*, 1997, 20(8): 744-752. (in Chinese)

- [4] 王强,胡建平.一种用于圆检测的快速 Hough 变换算法[J].小型微型计算机系统,2000,21(9):970-973.
WANG Q, HU J P. A high speed Hough transformation algorithm for circle detection[J]. *Mini-micro System*, 2000,21(9):970-973. (in Chinese)
- [5] 郭强,陈桂林.基于 Hough 变换的遥感图像相干干扰分析[J].光学精密工程,2001,9(2):121-126.
GUO Q, CHEN G L. Analysis of correlation jam in the remote sensing image based on the transformed space Hough algorithm[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2001,9(2):121-126. (in Chinese)
- [6] 王强,胡维平.Hough 变换实时检测算法研究[J].计算机工程与设计,2001,22(3):76-80.
WANG Q, HU W P. The study of Hough transformation real-time detect algorithm[J]. *Computer Engineering and Design*, 2001,22(3):76-80. (in Chinese)
- [7] 刘桂雄,申柏华.基于改进的 Hough 变换图像分割方法[J].光学精密工程,2002,10(3):257-260.
LIU G X, SHEN B H. Study of image segmentation based on improved Hough transform[J]. *Optics Engineering and Design*, 2002,10(3):257-260. (in Chinese)

作者简介:陈洪波(1972-),男,湖南茶陵人,硕士研究生,主要研究方向为数字图像处理、模式识别、神经网络、人工智能等,发表论文 8 篇;

王强(1952-),男,博士研究生,广西师大信息学院教授,硕士生导师,主要研究方向为图像处理、模式识别、神经网络、计算机视觉等,在国内外学术刊物上公开发表论文 30 余篇,并获专利 3 项。