

基于笔划宽度提取的手写体汉字归一化方法

王建平, 蔺 菲

(合肥工业大学 电气与自动化工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘 要: 手写体汉字书写变形是手写体汉字识别预处理阶段的重要问题之一。为了有效地改善手写体汉字变形并识别手写体汉字, 提出了手写体汉字笔划宽度提取, 以及基于提取出的笔划宽度的手写体汉字归一化的方法。用上述方法在计算机上进行仿真实验, 实验结果表明, 手写体汉字归一化的方法既能保证原手写体汉字的形状结构特征不变, 并可有效地改善手写体汉字变形差异。

关键词: 手写体汉字识别; 笔划宽度; 归一化

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2006)10-0029-03

Method of Handwritten Chinese Characters Normalization Based on Stroke Width Extraction

WANG Jian-ping, LIN Fei

(School of Electric Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Stroke deformation is an important factor to effect the performance of the handwritten Chinese character recognition system. In this paper, a method of Chinese character stroke width extraction is advanced. A technique to normalize handwritten Chinese character based on stroke width extracted are presented. It is found that proposed methods not only can reserve the stroke features of original handwritten Chinese characters, but also improve the differences of stroke deformation.

Key words: handwritten Chinese character recognition; stroke width; normalize

0 引 言

汉字识别是模式识别的一个分支。汉字的种类多、字形结构复杂, 汉字集合中形似字较多, 以及书写风格因人而异, 这些都是手写体汉字识别的困难所在。为此, 国内外学者分别针对手写体汉字识别系统的不同阶段, 对手写体汉字识别预处理问题提出了许多方案。文中仅对手写体汉字识别前的一些预处理算法^[1]进行了研究。

书写者所用的书写工具及书写时用力程度的不同而导致的手写体汉字样本笔划宽度不均匀, 是影响汉字识别系统性能的主要因素之一。以往的研究中也对此问题有过探索, 笔者借鉴以往的研究方法, 利用汉字图像边缘特征丰富的特点, 提出了一种有效的提取手写体汉字笔划宽度的方法, 并基于提取出的笔划宽度对手写体汉字笔划进行归一化处理。在几种目前较流行的特征提取方法上进行识别实验^[2,3], 证明该方法对于提高手写体汉字识别系统的识别率十分有效。除此之外, 对于手写体汉字图像的二值化算法^[4]也进行了研究。

1 手写体汉字图像二值化方法

依据图像灰度整体分布特性可知, 数字图像中每一个像素值均属于一个有限集合, 该集合即为灰度等级。像素的取值情况不同, 形成了不同的图像, 图像数据可以用离散随机变量来描述。

取一幅大小为 $M \times N$ 的手写体汉字图像 $f(i, j)$, 其灰度的可取值为 L_1, L_2, \dots, L_N , 用离散随机变量 X 来表示图像中任一像素点 $\Psi_{xy} (x = 1, 2, \dots, M, y = 1, 2, \dots, N)$, 则图像的灰度分布情况可以用概率分布来描述。各灰度级的出现的概率 $p_i (i = 1, 2, \dots, N)$ 分别为:

$$p_1 = P(L_1), p_2 = P(L_2), \dots, p_N = P(L_N) \quad (1)$$

$$\text{且有} \quad \sum_{n=1}^N p_N = 1$$

对于随机变量 X , 可以用下述密度矩阵来加以描述:

$$\begin{bmatrix} X \\ P(X) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 L_2 \dots L_N \\ p_1 p_2 \dots p_N \end{bmatrix} \quad (2)$$

可以看出, 对于不同的图像, 其密度矩阵是各不相同的。

图像中像素点的灰度值是一个随机变量, 采用随机变量分布“中心”进行划分, 即可达到最佳的平衡。

令 $h(L_N)$ 表示图像中灰度 L_n 出现的次数。以 μ_t 表示阈值, 则有:

$$\mu_t = \sum_{n=1}^N L_n P(L_n) = \sum_{n=1}^N L_n \frac{h(L_n)}{\sum_{n=1}^N h(L_n)} =$$

收稿日期: 2005-12-22

作者简介: 王建平(1955-), 男, 河北藁城人, 教授, 研究方向为智能控制技术、数字图像处理与识别。

$$\sum_{n=1}^N L_n h(L_n) / \sum_{n=1}^N h(L_n) \quad (3)$$

可根据(3)式中的阈值 μ_i 对手写体汉字图像进行二值化处理。

2 手写体汉字笔划宽度提取

为了抑制手写体汉字书写时产生的形变、笔划宽度不均匀,可提取手写体汉字笔划宽度,进而将手写体笔划宽度归一化。文中采用特殊六边缘点跟踪法,提取手写体汉字笔划宽度。一幅汉字图像具有丰富的边缘信息,特殊六边缘点跟踪法正是依据这些信息。提取手写体汉字笔划宽度方法如下:

定义一幅大小为 24×24 的手写体汉字二值化图像 $f(i, j)$, 用以下算法找出汉字图像中特殊的 6 个边缘点(如图 1 中,最高最左点 ①、最高最右点 ②、最左最高点 ③、最右最高点 ④、最低最左点 ⑤、最低最右点 ⑥):

第一步,找出 6 个特殊的边缘点的行列数值:

- ①提取最高最左点的行列数值;
- ②提取最高最右点的行列数值;
- ③提取最左最高点的行列数值;
- ④提取最右最高点的行列数值;
- ⑤提取最低最左点的行列数值;
- ⑥提取最低最右点的行列数值。

如图 1 所示,箭头所指笔划端点即为上述搜索的 6 个特殊边缘点。

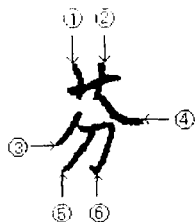


图 1 6 个特殊边缘点

第二步,分别找出这 6 个特殊的边缘点对应的笔划像素点横方向的列数和竖方向的行数。由于一幅 24×24 的手写体汉字图像的笔划宽度不可能大于 5,所以当其横/竖方向列/行数大于 5 则去除这一宽度,若等于 1 亦去除。找出这 6 个特殊的边缘点对应的笔划像素点横方向的列数和竖方向的行数。

若这 6 个特殊点中有对应的笔划像素点其横/竖方向行/列数大于 5 或等于 1,则将该边缘点向对应的方向增加一个点,再寻找对应的笔划像素点横方向的列数和竖方向的行数。若其横/竖方向行/列数还大于 5 或等于 1,则舍去该点。直至寻找完这 6 个特殊的边缘点对应的笔划像素点横方向的列数和竖方向的行数。笔划像素点横/竖方向的列/行数对应记为 WH_i ($i = 1, 2, \dots, K$), 其中 K 为找出的有效横/竖方向笔划的个数,则定义归一化手写体汉字笔划宽度 wh 为:

$$wh = \sum_{i=1}^K WH_i / K \quad (4)$$

由于这 6 个点都是汉字笔划的端点,因此 wh 定义为这 6 个特殊边缘点宽度的均值是符合实际情况的。同时对横、竖、撇、捺采用同一的归一化宽度。

3 手写体汉字笔划宽度归一化

由于人们书写时所用工具及书写习惯的不同,使得手写体汉字的笔划宽度不一致,这给手写体汉字特征提取带来了不少困难。文中提出了一种基于笔划宽度提取的手写体汉字笔划宽度归一化的方法^[5~7]。

通过数学形态学^[8],将笔划宽度归一化为以上所提取的手写体汉字笔划的宽度 wh 。首先对手写体汉字样本图像进行闭操作,使图像轮廓线更光滑,且可消除小的空洞,弥补轮廓线中的断裂;再运用图像细化方法来压缩闭操作后图像中的冗余信息;最后,对细化后的图像进行膨胀处理得到笔划宽度一致为 wh 的手写体汉字图像。实现过程中,应用 Visual C++ 语言^[9]进行闭操作、细化与膨胀运算,实验结果清晰地显示,本处理方法不仅保持了手写体汉字的原貌,而且规范了手写体汉字笔划形态,为提高手写体汉字识别率提供了一种有效的预处理方法。这一方法的流程图如图 2 所示。

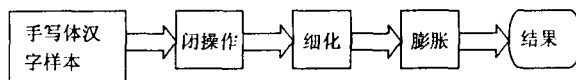


图 2 手写体汉字笔划宽度归一化流程图

3.1 改进的闭操作运算

定义一幅大小为 24×24 的手写体汉字二值化图像 $f(i, j)$, 要将 $f(i, j)$ 中每一笔划宽度均归一化为同一宽度 wh , 关键是选取合适的结构元素。

文中对于手写体汉字样本图像归一化宽度,其闭操作运算定义如图 3 所示的结构元素 A 为 $m \times m$ 矩阵,其中 m 定义为:

$$m = \begin{cases} wh & wh > 3 \\ 3 & 0 < wh \leq 3 \end{cases} \quad (5)$$

	1	2	...	m
1	1	1	...	1
2	1	1	...	1
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
m	1	1	...	1

图 3 结构元素 A

闭操作运算步骤如下:

第一步:首先用结构元素 A 对手写体汉字样本 $f(i, j)$ 进行一次膨胀运算。膨胀后的图像记作 $f_D(i, j)$, $f_D(i, j)$ 相当于原汉字在各个笔划宽度的基础上增加了宽度为 $m-1$ 的汉字部分。由此可见,膨胀可以修复汉字笔划中的间断部分。

第二步:再用结构元素 A 对 $f_D(i, j)$ 进行一次腐蚀运算。腐蚀后的图像记作 $f_E(i, j)$, $f_E(i, j)$ 相当于将 $f_D(i, j)$ 的汉字笔划减少了宽度为 $m-1$ 的汉字部分,并将这部分变为图像的背景部分。

由此可见,运用闭操作, $f_E(i, j)$ 与 $f(i, j)$ 中汉字的宽度基本没有改变,但是使扫描进入的手写体汉字的轮廓线更为光滑,消弥了汉字笔划之中狭窄的间断和长细的鸿沟,消除了小的孔洞,并填补了轮廓线中的断裂。

3.2 细化方法

文中所用的细化方法^[10]是通过使用 3×3 结构元素 $\{B\} = \{B^1, B^2, \dots, B^n\}$ 模板序列对图像 $f_E(i, j)$ 中的每一点闭运算操作。通过迭代依次剥去笔划区域边界,直至区域被细化成一条线。对于每一个黑像素点,如果没有上邻点(或下邻点 \ 左邻点 \ 右邻点),且不是孤立点或终止线,去除该黑像素点不会使区域断开,则去除该黑像素点;重复这一步骤直到没有黑像素点可以去除。定义细化后的汉字图像为 $f_F(i, j)$,公式如下:

$$f_F = f_E \circ \{B\} = ((\dots((f_E \circ B^1) \circ B^2) \dots) \circ B^n) \quad (6)$$

使用结构元素 $\{B\} = \{B^1, B^2, \dots, B^n\}$ 进行细化,细化操作表示 $f_E \circ \{B\}$ 。结构元素 B 选用如下模板:

<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>*</td><td>1</td><td>*</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table> B^1	0	0	0	*	1	*	1	1	1	<table><tr><td>*</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>*</td></tr></table> B^2	*	0	0	1	1	0	1	1	*	<table><tr><td>1</td><td>*</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>*</td><td>0</td></tr></table> B^3	1	*	0	1	1	0	1	*	0	<table><tr><td>1</td><td>1</td><td>*</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>*</td><td>0</td><td>0</td></tr></table> B^4	1	1	*	1	1	0	*	0	0
0	0	0																																					
*	1	*																																					
1	1	1																																					
*	0	0																																					
1	1	0																																					
1	1	*																																					
1	*	0																																					
1	1	0																																					
1	*	0																																					
1	1	*																																					
1	1	0																																					
*	0	0																																					
<table><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>*</td><td>1</td><td>*</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table> B^5	1	1	1	*	1	*	0	0	0	<table><tr><td>*</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>*</td></tr></table> B^6	*	1	1	0	1	1	0	0	*	<table><tr><td>0</td><td>*</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>*</td><td>1</td></tr></table> B^7	0	*	1	0	1	1	0	*	1	<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>*</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>*</td><td>1</td><td>1</td></tr></table> B^8	0	0	*	0	1	1	*	1	1
1	1	1																																					
*	1	*																																					
0	0	0																																					
*	1	1																																					
0	1	1																																					
0	0	*																																					
0	*	1																																					
0	1	1																																					
0	*	1																																					
0	0	*																																					
0	1	1																																					
*	1	1																																					

图像细化后提取出了汉字的骨骼,减少冗余的信息量,突出了汉字的形状结构特征,保证了手写体汉字笔划宽度归一化准确性。

3.3 改进的膨胀运算

膨胀采用如图4所示的大小为 $n \times n$ 的结构元素 C 对细化后的汉字图像 $f_F(i, j)$ 进行处理,其中 $n = wh$ 。经过膨胀运算后,输入的手写体汉字样本的笔划宽度按照所希望的有效归一化为前面所提取的笔划宽度 wh 。

	1	2	...	n
1	1	1	...	1
2	1	1	...	1
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
n	1	1	...	1

图4 结构元素 C

3.4 笔划宽度归一化实验结果

实验结果如图5所示。图中(a)为手写体汉字原图,可根据(3)式中的阈值对手写体汉字图像进行二值化处理,然后再进行闭运算得到如图(b)所示的手写体汉字图像。取已经过闭运算的手写体汉字图像(b),对其进行细化后结果如图(c)所示。对细化后的手写体汉字图像(c)

进行膨胀运算,最终可得到笔划宽度归一化为同一宽度 wh 后的手写体汉字,如图(d)所示。



(a) 汉字原图像; (b) 闭运算后的汉字图像;
(c) 细化后的汉字图像;
(d) 膨胀后的汉字图像(即笔划宽度归一化后的结果)

图5 实验结果

4 结 论

对手写体汉字笔划宽度的提取及笔划宽度的归一化方法进行了研究,提出了一种手写体汉字识别预处理方法,并给出了算法。经实验表明,该方法简单,效果明显。笔划宽度归一化后的手写体汉字能保证原汉字的形状结构特征基本不变。

参考文献:

- [1] 张世辉. 汉字图像预处理算法的研究及实现[J]. 微机发展, 2003, 13(4): 55-58.
- [2] 金连文, 黄建成, 尹俊勋. 变形变换及其在汉字识别中的应用[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(2): 170-175.
- [3] 陈友斌, 丁晓青, 吴佑寿. 一种新的用于汉字识别的非线性归一化方法[J]. 模式识别与人工智能, 1998, 11(3): 310-317.
- [4] 杨 静. 基于数学形态学的图像分割研究及应用[D]. 合肥: 合肥工业大学自动化智能研究所, 2005.
- [5] 高 学, 金连文, 尹俊勋. 基于笔划密度的弹性网格特征提取方法[J]. 模式识别与人工智能, 2002, 15(3): 351-354.
- [6] 徐 睿, 金连文, 高 学, 等. 基于数学形态学的手写体汉字特征提取方法[A]. 第十二届全国神经网络学术年会[C]. 北京: [出版者不详], 2002. 470-476.
- [7] 金连文, 徐 睿, 龙钧宇. 一种简单有效的手写体汉字笔划粗细归一化方法[DB/OL]. 中国科技论文在线. <http://www.paper.edu.cn/>, 2003.
- [8] Sonka M, Hlavac V, Boyle R. 图像处理、分析与机器视觉(第2版)[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- [9] 向世明. Visual C++ 数字图像与图形处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [10] 王建平, 钱自拓. 基于数学形态学的图像汉字笔划细化和提取[R]. 合肥: 合肥工业大学自动化智能研究所, 2005.

(上接第 28 页)

- 学出版社, 2004.
- [9] Kalogeraki V, Gunopulos D, Zeinalipour-Yazti D. A Local Search Mechanism for Peer-to-Peer Networks[A]. In:

Proc of 11th Int'l Conf Information and Knowledge Management (CIKM'02)[C]. New York: ACM Press, 2002. 300-307.