

一种基于局部自适应的女书字符图像分割算法

孙阳光^{1,2}, 蔡志华^{1,2}

(1 中南民族大学 计算机科学学院, 湖北 武汉 430074; 2 武汉大学 软件工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘 要: 针对女书字符的结构特点, 结合 LLT 局部阈值算法的基本思想, 通过在局部窗口内引入基于最大类间方差的 OTSU 算法, 并设计相应的阈值修正参数, 给出了一种基于局部自适应的女书字符图像分割方法, 从而实现了局部阈值的自动获取. 通过与 OTSU 算法相比, 该算法不仅具有较强的抗噪能力, 而且较好克服了女书古籍文献中常见的光照不均匀性问题, 实验结果进一步验证了该算法的适应性和鲁棒性.

关键词: 局部自适应; 女书; 字符图像; 图像分割

中图分类号: TP391.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)03-0142-04

Research on Image Segmentation Method for NvShu Characters Based on Local Adaptive Algorithm

SUN Yang-guang^{1,2}, CAI Zhi-hua^{1,2}

(1 China College of Computer Science, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China;

2 State Key Laboratory of Software Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: For the structural characteristics of NvShu characters, by combining the basic idea in LLT local threshold algorithm and introducing OTSU algorithm based on maximal between-class variance into local windows, and designing the corresponding modify parameters for the threshold, an image segmentation method for NvShu characters image based on adaptive logical algorithm was presented in this paper, so that the automatic acquisition of local threshold was achieved. Compared with OTSU algorithm, the proposed algorithm not only has strong anti-noise capability, but better overcome the common problem with uneven illumination in NvShu ancient literature. Experimental results demonstrated its feasibility and robustness.

Key words: local adaptive; NvShu; character image; image segmentation

1 引言

随着信息化时代的来临, 利用数字信息化方式对少数民族语言文字进行文化保护和抢救已成为相关领域的研究热点, 并受到人们的高度重视. 女书是世界上唯一尚存的不属于某个民族、不依托某种宗教, 也是世界上唯一的女性专用文字, 它对研究女性文化、人类文字和文明的起源与发展有着重要的研究价值^[1]. 目前女书古籍文献多存在腐蚀老化、遗失严重等问题, 因此, 采用数字信息化技术对女书进行

文化保护和抢救有着时间的紧迫性和重要的现实意义.

图像分割是人们进行图像理解、图像分析以及图像识别的基础问题之一, 在计算机视觉等领域有着广泛的应用, 并一直受到人们的广泛关注^[2]. 在古籍文献的传承过程中, 由于年代久远和人为保存不善等多种原因, 往往不可避免地造成古籍文献不同程度退化和损伤, 这就要求所采用的字符图像分割方法应具有较强的抗噪能力和鲁棒性, 从而为后续的字识别等其他数字信息化处理提供必要的

收稿日期: 2013-06-01; 修回日期: 2013-07-22

基金项目: 国家自然科学基金(60975021); 湖北省自然科学基金(2012FFB07404); 武汉大学软件工程国家重点实验室开放基金(SKLSE20120934); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(CZY12007, CTZ12023)

基础.

目前,国内外学者提出了多种不同类型的图像分割算法,其中基于阈值的图像分割算法因其算法实现过程简单、运算复杂度小等特点在不同领域都取得了较为成功的应用^[3].根据阈值在图像中作用范围的不同,阈值分割法大致可以分为基于图像全局信息的全局阈值分割法和基于图像局部信息的局部阈值分割法.全局阈值分割法仅考虑整幅图像中全部像素的灰度信息获得相应的整体阈值,而并没有考虑图像空间中相邻像素之间的灰度信息,所以此类方法适合于感兴趣目标和图像背景之间差异相对明显的图像,例如基于最大类间方差的 OTSU 算法就是较为经典的基于图中像素灰度全局信息的图像分割方法^[4].然而,对于古籍文献中的字符图像,由于客观的条件和人为的影响,使得保存的文献中往往较为普遍的存在污迹、色彩脱落等图像降质问题,造成图像存在大量的噪声和光照明暗不均的现象,这就很大程度地限制了此类方法的应用.局部阈值分割法是利用图像局部区域内相邻像素的局部灰度信息,按照一定的算法规则获得各个局部区域内相应的阈值,从而完成整个图像的分割^[5,6].Kamel 和 Zhao 提出了基于图像局部信息的 LLT 算法(Logical Level Technique)^[7],该算法与其他图像分割算法相比具有算法适应性强、执行效率高等特点.文献[8-10]给出了 LLT 算法的相关改进和应用,进一步指出该方法在复杂背景下的图像分割中取得了较好的效果.

针对女书字符的结构特点,本文结合 LLT 局部阈值算法的基本思想,通过在局部窗口内引入基于最大类间方差的 OTSU 算法,并设计相应的阈值修正参数,从而给出了一种基于局部自适应的女书字符图像分割方法,实现了局部阈值的自动获取.通过与 OTSU 算法相比,本文方法不仅具有较强的抗噪能力,而且较好的克服了古籍文献中常见的光照不均匀性问题.实验结果进一步验证了本文方法的适应性和鲁棒性.

2 LLT 算法基本原理

针对感兴趣目标图形具有一定像素宽度范围特性的图像,LLT 算法的基本思想是利用该宽度信息在其所对应的局部区域内实现感兴趣目标图形的分割.该算法是一种基于图像局部信息的阈值分割算法.

设 $f(x_p, y_p)$ 为图像中像素点 P 坐标值 $(x_p,$

$y_p)$ 所对应的像素灰度值.对于字符图像,令图像中字符笔画的宽度变化范围为 $[0, w]$,其中 w 为最大笔画宽度.此时所对应的局部处理窗口大小为 $(2w+1) \times (2w+1)$,则该像素点的窗口灰度均值被定义为:

$$AVE(P) = \frac{\sum_{-w \leq i \leq w} \sum_{-w \leq j \leq w} f(x_p - i, y_p - j)}{(2w+1)^2} \quad (1)$$

对于图像中某一局部窗口,令该窗口中心像素点为 G ,且其邻域内的八个邻近像素点为 $G_i (i = 0, 1, 2, \dots, 7)$.LLT 算法将该像素点 G 的灰度值与其邻域内八个像素点 G_i 各自的局部窗口灰度均值 $AVE(G_i)$ 进行比较.若中心像素点灰度值小于其至少四个邻域像素点 $G_i, G'_i, G_{i+1}, G'_{i+1}$ 窗口局部灰度均值 T 个灰度等级,则该点即为所求字符点.令 $t_i = L(G_i) \cap (G'_i) \cap L(G_{i+1}) \cap L(G'_{i+1})$,则图像字符点逻辑判断表达式 $b(x, y)$ 为

$$b(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } \bigcup_{i=0}^3 [t_i] \text{ 为真} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (2)$$

$$L(G_i) = \begin{cases} 1, & AVE(G_i) - g(x, y) > T \\ 0, & AVE(G_i) - g(x, y) \leq T \end{cases} \quad (3)$$

式中, $G'_i = G_{(i+4) \bmod 8}$, $(i = 0, 1, 2, \dots, 7)$, $g(x, y)$ 为中心像素点 G 所对应的灰度值.式(2)中逻辑判断值 $b(x, y)$ 取值 0 和 1 分别表示图像中的背景和字符.式(3)中逻辑值 $L(P_i)$ 表示 $g(x, y)$ 与其邻域点 G_i 的窗口局部灰度均值之间的比较值,其中阈值 T 是算法需预先设定的经验值.

3 基于局部自适应的女书字符图像分割算法

3.1 女书字符的结构特点

女书是人类历史上一个独特而神奇的文化现象,是世界上唯一的女性专用文字,也是中国语言生活中的一个奇特现象.它不仅社会功能和传承历史奇特,书写符号形体也很奇特^[11].女书脱胎于方块汉字,是方块汉字的变异,但在其发展过程中又经过简化和改造,具有以下主要特点:(1)整体倾斜,具有菱形结构;(2)把原来较为短小或者次要的笔画改造成圆点笔画;(3)改造成匀称的线条笔画,其中,保留少量较短长度的水平和垂直笔画,其余的改造成具有倾斜长线条的斜笔画,同时,改造笔画宽度,形成粗细均匀的笔画.这些使得女书文字的笔画只有点、竖、斜、弧四种,其字的整体轮廓呈现长菱形,笔迹秀丽娟细,造型独特,形成了女书字符独特的结构

特点.

3.2 基于局部自适应的女书字符图像分割

由 LLT 算法的基本原理可知,判断像素点 G 是否为字符点,是通过使其灰度值 $g(x, y)$ 与该点周围邻域像素点的窗口局部均值 $AVE(G_i)$ 的比较结果决定的. 在 LLT 算法中,由邻域像素点 $G_i, G'_i, G_{i+1}, G'_{i+1}$ 的定义可知,对于任意 i 值,四个像素点分成两组两两相邻的像素点,且其组内像素点关于中心像素点两两对称,即 G_i 和 G_{i+1}, G'_i 和 G'_{i+1} 两两相邻; G_i 和 G'_i, G_{i+1} 和 G'_{i+1} 关于中心像素点两两对称. 由女书字符书写的结构特点可知,女书只有点、竖、斜、弧四种笔画,且多以竖、斜和弧这三种笔画为主,同时字符具有整体倾斜的菱形结构. 由此可知,如果采用三个连续的邻域像素点 G_i, G_{i+1} 和 G_{i+2} 作为字符点的判决依据,则能使算法更好的符合女书字符的书写结构特点. 图 1 中给出了字符图像中典型的弧及局部窗口选取情况. 因此,采用三个连续的邻域像素点代替传统 LLT 算法中具有对称结构的邻域像素点,则更能符合女书字符的书写结构特点.

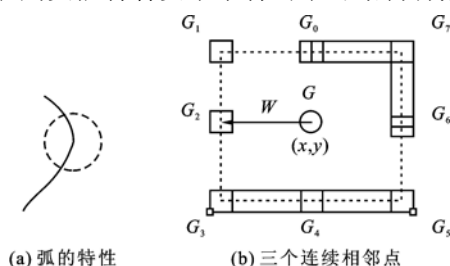


图 1 字符图像中典型的弧及局部窗口选取情况

设图像中字符的最大笔画宽度为 w , 则其局部处理窗口大小为 $(2w+1) \times (2w+1)$. 令 $t_i = L(G_i) \cap L(G_{i+1}) \cap L(G_{i+2})$, 其中 $L(G_i)$ 的定义如式(3)所示, 则图像字符点相应的逻辑判断表达式 $b(x, y)$ 为

$$b(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } \bigcup_{i=0}^7 [t_i] \text{ 为真} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (4)$$

在 LLT 算法的实现过程中, 阈值 T 是算法需预先设定的经验值, 其值的选取直接影响着最终的字符分割结果. 然而, 在算法实际应用中, 往往单一全局阈值的设定很难满足不同实际应用的需要, 尤其难以应对复杂背景的形象分割问题. 因此, 本文根据当前局部窗口的像素灰度分布特性, 利用基于最大类间方差的 OTSU 算法, 自适应获得当前窗口的灰度阈值, 然后再通过引入修正参数 α 来动态调整该局部阈值, 从而进一步提高算法的精确度.

设阈值 T_{otsu} 为在当前局部窗口内采用 OTSU

算法所获得的局部阈值, 则 LLT 算法中的阈值 T 可由下式自适应获取:

$$T = T_{otsu} \cdot \alpha \quad (5)$$

式中, α 的取值范围是 $[0, 1]$.

如果在式(5)中没有修正参数 α 或者其值选取太大, 则当图像中像素点的灰度值和其对应局部窗口的灰度均值都很高时, 本该选取较低值的局部阈值 T , 但此时取值将会相对较高, 造成局部阈值的选取不合理. 然而如果修正参数选取的过小, 则当图像中像素点的灰度值和其对应局部窗口的灰度均值都较低时, 算法将会获得一个更小的局部阈值, 同样造成局部阈值选取的不合理. 因此, 本文将通过修正参数 α 根据局部窗口中像素的灰度分布情况, 来对自适应获得的局部阈值 T_{otsu} 进行动态调整. 修正参数依经验设定, 本文根据古籍文献中女书文本字符图像的特点设定为:

$$\alpha = \begin{cases} 1 & \text{if } AVE < 30 \\ 0.3 & \text{if } 30 \leq AVE \leq 170 \\ 0.2 & \text{if } AVE > 170 \end{cases} \quad (6)$$

式中, AVE 为当前局部窗口的灰度均值. 通过依据局部窗口灰度分布特性, 来动态的调整修正参数, 获得更合理的局部阈值, 从而进一步提高自适应分割的准确度.

此外, 在 LLT 算法中, 图像字符的笔画宽度将决定局部处理窗口的大小. 因此, 字符笔画宽度将对算法在计算耗时和精度上有直接的影响. 然而女书笔画粗细均匀的字符结构特点, 降低了字符笔画宽度对算法的影响, 从而进一步提高了算法的自适应性.

3.3 算法的参数设置与分析

笔画宽度 w 是算法实现过程中重要的参数, 它的合理选取都直接影响着算法计算耗时和最终的分割结果. 若 w 选取过大, 则此时过多像素点包含在局部窗口中, 进而影响算法分割的准确度. 反之, 若 w 选取过小, 则运算中会产生过多的局部窗口, 从而使得计算量增加, 降低了算法的运算速度. 通常对于同一幅女书字符图像, 其字符笔画往往具有相对固定的宽度变化范围. 而由女书的字符结构特点可知, 其具有较为匀称的字符笔画, 这样我们可以很方便地估算给出女书字符图像中的笔画宽度, 从而获得较高的算法性能.

4 实验结果与分析

本文将分别对古籍文献中典型的图像噪声问题

和不均匀光照问题进行相关实验. 通过与传统 OTSU 算法进行比较, 进一步验证了本文方法的抗噪能力和鲁棒性. 实验中只需预先估计设定字符宽度最大值 w , 而局部阈值 T 则根据图像局部特性自适应获得.

4.1 具有不同强度噪声的女书字符图像

实验中我们选取具有不同强度的女书字符图像进行实验. 图 2(a) 给出了具有不同 Speckle 噪声强度的加噪图像, 其中从上至下所加噪声的方差依次为 0.002, 0.006 和 0.008. 图像大小为 320×240 . 图 2(b) 和 (c) 分别给出了采用传统 OTSU 算法和本文算法所获得的相应分割结果. 从图 1(b) 中可以看出, 噪声对采用 OTSU 算法得到的分割结果有着不同程度的影响, 并且随着噪声强度的增加, 噪声对其字符分割结果有着较为明显的影响, 而这对本文算法有较小的影响. 表 1 给出了 OTSU 算法和本文算法的实验准确度比较, 表中 NumS 表示图中分割出的字符点数, C 表示字符分割准确度误差, 即 $C = |\text{NumS} - \text{NumT}| \times 100\% / \text{NumT}$, 其中原始图像中字符像素点的个数 NumT 为 4 825. 从表中可进一步看出, 本文算法具有较强的抗噪能力.

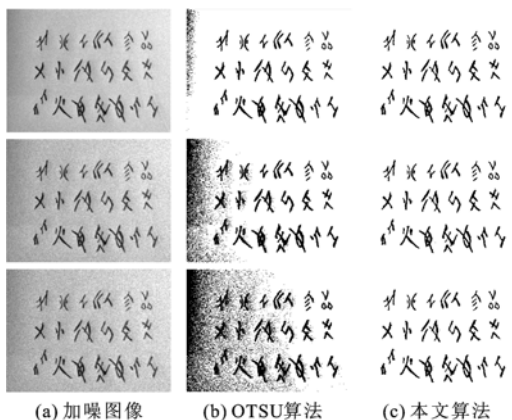


图 2 具有不同强度噪声的女书字符图像分割结果

表 1 不同强度噪声的分割结果准确度比较

方法		不同强度 Speckle 噪声的方差值				
		0.001	0.002	0.004	0.006	0.008
OTSU 算法	NumS	5246	5868	8114	12181	19942
	$C/\%$	8.73	21.62	68.17	152.46	313.31
本文算法	NumS	4818	4839	4853	4874	4885
	$C/\%$	0.15	0.29	0.58	1.02	1.24

4.2 具有不均匀光照的女书字符图像

实验中我们选取如图 3(a) 所示的具有不均匀光照的女书字符图像进行实验. 图像大小为 321×353 . 从图中可以看出, 该图像光照分布呈中心部分

亮度较高而四周部分亮度偏暗的特点. 图 3(b) 和 (c) 分别给出了采用传统 OTSU 算法和本文算法所获得的相应分割结果. 从实验结果中可以看出, 传统 OTSU 算法仅把图像中心光照分布亮度较高的部分分割了出来, 光照的不均匀性对图像分割的影响较大, 而本文方法则能正确分割出字符图像, 克服了不均匀光照对图像分割的影响, 获得了较为满意的实验结果.

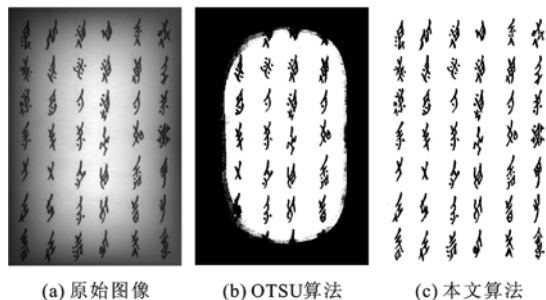


图 3 具有不均匀光照的女书字符图像分割结果

5 结束语

对少数民族语言文字利用信息化技术进行文化保护和抢救具有重要的意义. 本文针对女书字符的结构特点, 结合 LLT 局部阈值算法的基本思想, 提出了一种基于局部自适应的女书字符图像分割方法. 该算法较好的解决了 LLT 算法参数需手动设置的问题, 实现了局部阈值参数的自适应获取, 从而进一步提高了算法的抗噪能力, 克服了古籍文献图像中常见的光照不均匀和相近灰度对比度的影响, 这也对其他少数民族字符图像的分割具有一定的参考价值.

参考文献:

- [1] 谭峻. 江永女书—文字化石[J]. 新湘评论, 2008, 32(4): 45-47.
- [2] Pal N R, Pal S K. A review on image segmentation techniques [J]. Pattern Recognition, 1993, 26(9): 1277-1294.
- [3] Zhang H, Fritts J E, Goldman S A. Image segmentation evaluation: A survey of unsupervised methods [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(2): 206-280.
- [4] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.
- [5] Trier O D, Jain A K. Goal-directed evaluation of binarization methods [J]. IEEE Transaction Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995(17): 1191-1201.

(下转第 149 页)

107 702.18 μm^2 ,其中组合电路面积为 89 340.45 μm^2 .与文献[3]相比,考虑到后续的布局布线,该结果中组合电路的面积仍较为理想.使用 Modelsim 对乘法器进行仿真,结果如图 6 所示,可以看出在乘数与被乘数输入四个周期之后,即可得到输出结果.如果在保留站中存有多条乘法指令需要执行,采用流水线结构之后,则可以每个时钟周期执行一条新的指令,这将大大提高保留站中的指令完成速度,对处理器的性能提升有很大帮助.



图6 采用四级流水线结构的乘法器仿真结果

该乘法器使用 Xilinx ISE10.1 的 Spartan 3E 的 FPGA 模型进行了综合验证,在不加流水线结构的情况下,该乘法器的最大延迟为 25.288 ns,其中布线延迟占到近 55%.与文献[4]相比较,性能大幅提高,在加入流水线结构之后该乘法器的时钟频率可以最高达 200.08 MHz.考虑到 FPGA 的 lut 单元内部的门在编译过程中不能完全利用,对布局布线将会产生影响,因此如果将该乘法器在 ASIC 上实现,则性能又将会获得提升.

7 结束语

本文对乘法器各级电路结构进行了优化,与其他文献中设计方法相比,减少了乘法器各级的延迟与面积.根据综合结果中的延迟信息,在对应电路结构中插入了流水线寄存器,使该乘法器加速了保留站中等待指令的完成速度,其延迟、面积与功耗满足

了处理器中的设计要求.在本文的设计中,最后一级加法器的延迟仍然较大,对该加法器的优化将是本课题未来的研究重点.

参考文献:

- [1] 李军强,李东生,李奕磊,等. 32×32 高速乘法器的设计与实现[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(12): 23-26.
- [2] 常静波,郭立. 一种 3 级流水线 Wallace 树压缩器的硬件设计[J]. 微电子学与计算机, 2005, 22(1): 160-162.
- [3] 许琪,原巍,沈绪榜,等. 一种新的树型乘法器的设计[J]. 西安电子科技大学学报:自然科学版, 2002, 29(5): 580-583.
- [4] 栾玉霞,李存志. 32×32 乘法器的一种设计[J]. 西安电子科技大学学报:自然科学版, 2004, 31(1): 16-20.
- [5] Yeh W C, Jen C W. High-speed booth encoded parallel multiplier design[J]. IEEE Transactions on Computers, 2000, 49(7): 692-701.
- [6] David A Patterson, John L Hennessy. 计算机体系结构—量化研究方法[M]. 3 版. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [7] 陈海民,李峥,谢铁顿,等. 基于 Radix-4Booth 编码的乘法器优化设计[J]. 计算机工程, 2012, 38(1): 233-235.

作者简介:

翟召岳 男, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为计算机体系结构、专用集成电路设计.

韩志刚 男, (1972—), 副教授. 研究方向为电力电子及电源管理集成电路设计、模拟集成电路设计、数模混合集成电路设计.

(上接第 145 页)

- [6] Farrahi M R, Mohamed C. A multi-scale framework for adaptive binarization of degraded [J]. Pattern Recognition, 2010(10): 1016-1028.
- [7] Kamel M, Zhao A G. Extraction of binary character/graphics images from grayscale document images [J]. Graphics Models and Image Processing, 1993, 55(3): 203-217.
- [8] Yang Y B, Yan H. An adaptive logical method for binarization of degraded document images [J]. Pattern Recognition, 2000, 33(5): 787-807.
- [9] Zhao M S. Image thresholding technique based on fuzzy partition and entropy maximization[D]. University of Sydney, Doctor of Philosophy. 2004.
- [10] Ntirogiannis K, Gatos B, Pratikakis I. A modified adaptive logical level binarization technique for historical document images[C]//Proc of 10th International Conference on Document Analysis and Recognition. Barcelona: IEEE, 2009: 1171-1175.
- [11] 谢志民. 中国女书作品的文体特点及其分类[J]. 世界文学评论, 2007, 65(1): 250-254.

作者简介:

孙阳光 男, (1978—), 博士, 讲师. 研究方向为图像处理、机器视觉、目标检测与识别.

蔡志华 男, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为图像处理和目标检测.