文章编号:1001-5078(2017)02-0234-05 ·图像与信号处理·

一种视觉表格图像全局阈值分割算法

聂仁灿[1,2],何 敏[1],周冬明[1],余 江[1],丁星丽[1]
(1. 云南大学信息学院,云南 昆明 650091;2. 东南大学自动化学院,江苏 南京 210096)

摘 要:针对复杂环境因素影响下的视觉表格图像,提出了一种有效的图像分割方法。首先利用图像的闭运算,估计出图像的背景变化,进而利用定义的图像对比度实现了图像的背景补偿。然后利用背景估计图像的均值作为补偿图像的全局分割阈值,成功实现了表格图像分割。实验仿真表明,本文方法的分割结果体现了较好的视觉效果,而且与基于补偿图像的OSTU方法和基于局部阈值的Niblack方法相比,它在图像单元格区域的过分割与欠分割之间实现了较好的均衡。

关键词:图像分割;背景估计;图像补偿;阈值估计
中图分类号:TP911.73 **文献标识码**:A **DOI**:10.3969/j.issn.1001-5078.2017.02.021

Global threshold segmentation algorithm for visual form images

NIE Ren-can[1,2], HE Min[1], ZHOU Dong-ming[1], YU Jiang[1], DING Xing-li[1]
(1. Information School, Yunnan University, Kunming 650091, China;
2. School of Automation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: For the visual form images under complex environments, an effective image segmentation method was presented. Firstly, the changes of image background were estimated by closed operation of images, and then the image background compensation was realized by defined image contrast. Then taking the mean value of the image background estimation as a global segmentation threshold of the compensation image, the form image segmentation was successfully achieved. Experimental results show that the segmentation method can obtain a good visual effect, and compared with the OSTU method based on compensation image and Niblack method based on local threshold, it can achieve a good balance between over-segmentation and under-segmentation of the image cell regions.

Key words: image segmentation; background estimation; image compensation; threshold estimation

1 引 言

视觉文档图像的分割是图像处理中的一个重要研究领域,它在光学字符识别(Optical Character Recognition, OCR)方法中是一个至关重要的步骤[1],其方法主要有基于全局阈值的OSTU和迭代最优法以及基于局部阈值的Niblack和Bernsen方法等[2-4]。

由于基于视觉文档图像的手机拍摄环境条件复杂多变,受到人为因素、光照变化、遮挡阴影、折痕和污渍等因素的影响,直接利用全局阈值实施分割通常是不可行的,因此在实施全局阈值分割前,往往需要对图像的背景进行估计和补偿[5-8]。而为了克服全局阈值对于文档图像背景变化的不适应性,不少学者又对基于局部阈值的分割方法进行了研

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 61463052,61463049);云南省科技创新强省计划(No. 2014AB016)资助。
作者简介:聂仁灿(1982-),男,博士,副教授,研究方向为图像处理、智能控制。
通讯作者:何 敏(1975-),女,博士,副教授,研究方向为计算机通信网络,图像处理,智能控制等。E-mail:hemin@ynu.edu.cn
收稿日期:2016-06-01;**修订日期**:2016-07-05

究[9-11]。如 Tsallis 熵法利用 Tsallia 熵的非广延性及目标和背景概率分布的相互关系来确定局部阈值[9];文献[10]提出了一种基于局部均值的图像二值化改进算法;文献[11]则研究了基于光照不均匀图像的灰度波动局部阈值分割算法,可在每对交替的波峰点或波谷点之间求取浮动阈值。

视觉表格图像是一种特殊的文档图像,它的二值分割方法是对填表内容进行精确定位、提取和识别等的关键技术。而表格图像内容的智能处理,对表格数据的统计分析,内容文本化和重录入等具有现实的应用价值和广阔的应用前景。然而,相较于常见的文本文档图像,表格图像分割时不但要考虑表格内文字分割的完整性,更要考虑分割结果中单元格边缘的连续性,以确保后续处理中对单元格区域进行精确检测与定位。然而,当前有关该类文档图像的分割方法研究文献还较为缺乏。因此,本文在表格文档图像的背景估计与补偿的基础上,提出了一种基于全局阈值的表格图像分割方法。该方法在表格图像的欠分割与过分割之间实现了良好的均衡,在分割结果中保证了表格单元格边缘的连续性,而且在表格的文本内容分割上也体现了良好的视觉效果。

2 表格图像的背景估计

在数学形态学的灰度图像处理中,用结构元素 b 对输入的灰度图像 f 进行膨胀的操作记为 $f \oplus b$,其定义为:

$$(f \oplus b)(s,t) = \max\{f(s-x,t-y) + b(x,y) \mid (s-x),(t-y) \in D_f,(x,y) \in D_b\} \quad (1)$$

式中,D_f 和 D_b 分别表示 f 和 b 的定义域。对于平坦的结构元素 b,对灰度图像实施膨胀操作后,比背景亮的部分将得到扩张,而比背景暗的部分将得到收缩。

用结构元素 b 对输入的灰度图像 f 进行腐蚀的操作记为 $f \Theta b$,其定义为:

$$(f \Theta b)(s,t) = \max\{f(s+x,t+y) - b(x,y) \mid (s+x),(t+y) \in D_f,(x,y) \in D_b\} \quad (2)$$

与膨胀操作相反,对灰度图像实施腐蚀操作后,比背景暗的部分将得到扩张,而比背景亮的部分将得到收缩。

若对灰度图像先后实施膨胀和腐蚀运算,此种操作称为闭运算,其定义为:

$$B(f,b) = (f \cdot b) = (f \oplus b) \Theta b \quad (3)$$

在灰度表格图像的闭运算 $B(f,b)$ 处理中,膨胀运算将有效地去除低灰度的文本及表格线内容,得到高灰度的表格图像背景,但它也会造成背景的过度平滑;腐蚀运算恰好能一定程度上修复膨胀运算对图像背景的过度平滑。因此,表格图像的闭运算结果可作为它的背景估计。另外,在圆盘型结构元素 b 的半径 r 过小时,闭运算不能有效去除表格图像的文本及表格线,而半径 r 过大时,则又会使背景被过度平滑。因此,这里使用逐步增大半径 r 来对表格图像进行 K 次闭运算。

设圆盘半径的初始值 $r_1 = d$,图像 f 进行第 i 次闭运算时,其圆盘结构元素 b 的半径 $r_i = 2^{i-1}d$,则图像 f 的初次背景估计 $BG_1(f)$ 和第 i 次的背景估计 $BG_i(f)$ 分别为:

$$BG_1(f) = B(f,b(r_1)) \quad (4)$$

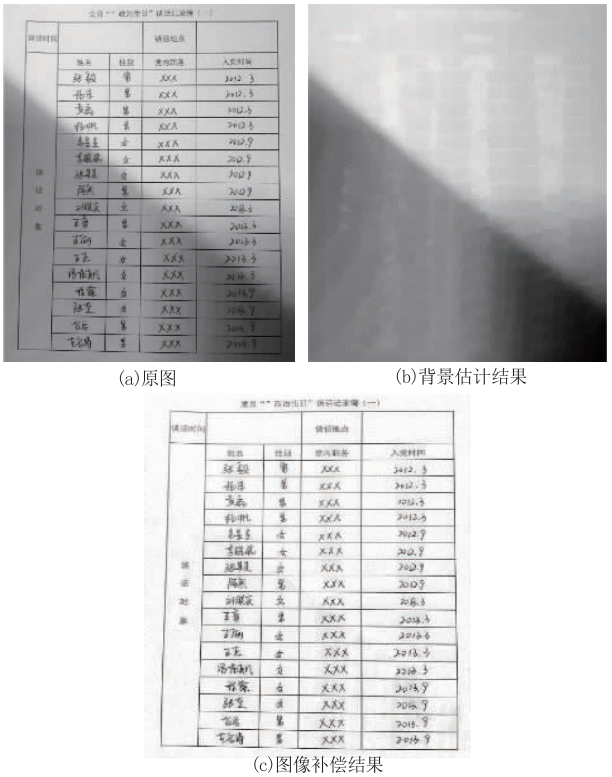
$$BG_i(f) = B(BG_{i-1}(f),b(r_i)) \qquad i \geqslant 2 \quad (5)$$

3 表格图像的对比度补偿

通过 N 次的闭运算对图像 f 进行背景估计后,即可对图像 f' 进行对比度补偿,其补偿后的图像可由下式来描述:

$$f'(x,y) = \frac{f(x,y)}{BG_K(x,y)} \quad (6)$$

如图 1 所示,通过图像的闭运算操作,表格图像中的背景已在大体上得到估计,而通过式(6)的图像对比度补偿方法,补偿图像已有效地消除了原始图像中背景变化的影响。



(a)原图 (b)背景估计结果

(c)图像补偿结果

图 1 图像的背景估计与补偿示例

Fig. 1 Sample of background estimation and compensation

4 图像的分割

4.1 补偿图像的分割阈值估计

表格图像的背景与内容具有强力的反差,对补偿图像进行二值化处理时,其分割阈值 T 设为背景图像 $BG_K(x,y)$ 的均值,即:

$$T = \frac{1}{MN}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N} BG_K(x,y) \tag{7}$$

其中, M 和 N 分别为图像对应行和列的大小。另外,从图像 f 进行闭运算的过程来看,补偿图像显示是一个归一化的图像,因此,在求取其均值 T 时,需要将其提前做归一化处理。

4.2 图像分割的算法步骤

本文提出的表格图像分割算法步骤如下:

(1)初始化:圆盘半径初始值 $r_1 = d$,图像 f 进行闭运算的最大次数 K;

(2)据式(4)和式(5),得到图像 f 的背景估计 $BG_i(x,y)$,重复 K 次;

(3)据式(6),得到图像 f 的补偿图像 f';

(4)将补偿图像 f' 归一化,并据式(7),得到它的分割阈值 T,从而得到表格图像 f' 的分割图像结果。

具体算法流程如图 2 所示。

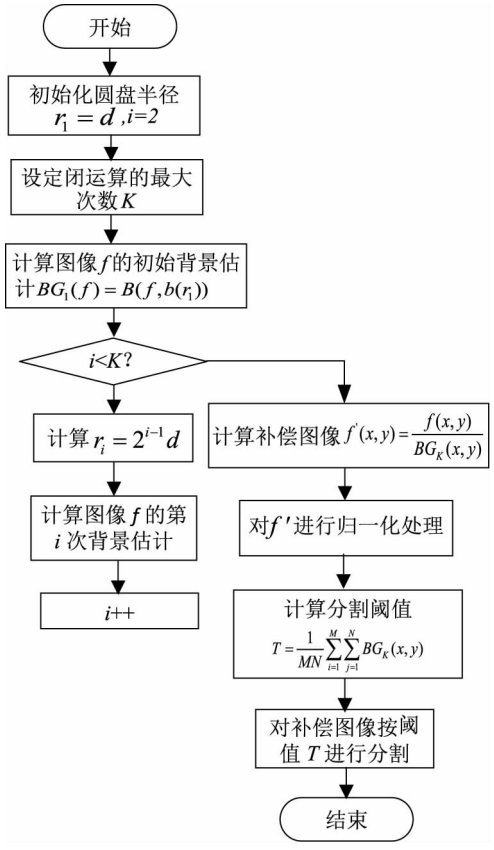


图 2 算法流程图

Fig. 2 The algorithm flow chart

5 实验仿真及分析

为了验证本文所提出的表格图像分割算法的有效性,利用手机在各种环境条件下拍摄所得到的图像进行了实验测试,测试表格图像的具体信息如表 1 所示。在实验中,图像闭运算时的圆盘半径初始值 $r_1 = 4$,闭运算操作次数 $K = 4$,实验结果如图 2 所示,其中第一列为原始图像,第二列为 OSTU 方法的补偿图像分割结果,第三列为 Niblack 方法的原图分割结果,第四列为本文方法的补偿图像分割结果,其中 Niblack 方法的邻域窗口大小为 5×5,修正系数为 -0.2。

表 1 实验所用图像的相关信息

Tab. 1 Information about test images

图像名	拍摄条件	图像大小
Pic1 M82	夜晚室内,有阴影	1000×1280
Pic2 D1	白天室内,无阴影	990×1280
Pic3 G02	白天室内,有阴影	1144×1280
Pic4 M48	白天室内,有大幅透视角度	998×1280
Pic5 D1	室外,太阳强光,无阴影	936×1280
Pic6 G9	室外,太阳强光,有阴影	1280×890
Pic7 G04	白天室内,有水渍	1118×1280
Pic8 G01	白天室内,有折痕	960×1280

本文方法和基于补偿图像的 OSTU 方法均属于基于全局阈值的分割方法。从图 3 可看出,对于在光照变化、阴影和折痕等环境因素影响下的表格图像,在分割结果的视觉效果上,这两种方法要明显优于基于局部阈值的 Niblack 方法。由于欠分割的影响,Niblack 方法的分割结果存在大量的分割噪声点及伪区域,这对表格图像单元格文字内容的后续处理会带来致命影响。另外,本文方法所得分割结果的区域边缘较 OSTU 方法要粗,换句话说,OSTU 的方法可能存在过分割的现象,这会造成图像中单元格边缘的不连续,从而将不同的单元格内容划分到同一单元格内,进而影响表格图像单元格区域的精确检测与定位。

为了从图像中单元格区域的有效检测与定位角度,定性地分析了各种分割方法的性能,试验中使用区域筛选的方法,在表格图像的分割结果中将区域面积小于 1/1000 图像面积的区域去掉,并检测筛选前后的图像单元格区域,结果如表 2 所示。

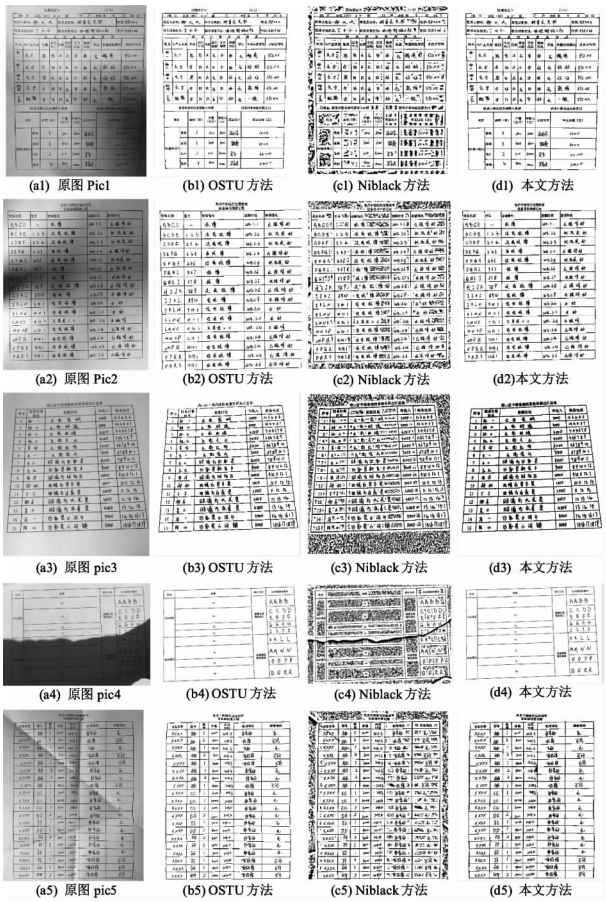


图 3 不同分割方法所得的各表格图像分割结果

Fig. 3 segmentation results of form images using different methods

表 2 表格图像在各种分割方法下的区域数及区域筛选结果

Tab. 2 Comparison of image cell regions using different segmentation methods

方法	区域检测数	视觉表格图像(实际单元格数)				
		Pic1(107)	Pic2(85)	Pic3(80)	Pic4(24)	Pic5(147)
OSTU	分割所得区域数	475	404	305	92	470
	筛选所得区域数	107	85	76	24	146
Niblack	分割所得区域数	779	584	648	91	678
	筛选所得区域数	107	85	80	26	147
本文方法	分割所得区域数	571	476	448	567	588
	筛选所得区域数	107	85	80	24	147

从表 2 可看到,在筛选前,Niblack 方法的分割结果具有最大的区域检测数,而 OSTU 方法具有最小的区域检测数。而在筛选后,对于所有试验所用的表格图像,本文方法的单元格区域检测数与图像中实际的单元格区域数完全吻合,对于图像 Pic3 和 Pic5,OSTU 方法的单元格区域检测数要小于图像中实际的单元格区域数,对于 Pic4,Niblack 方法的单元格区域检测数要大于图像中实际的单元格区域数。这些结果以定性的方式表明了 Niblack 方法对于表格图像存在欠分割的现象,而 OSTU 方法存在过分割的现象,同时也说明,本文方法对于复杂环境条件下的视觉表格图像是一种有效的分割方法。

6 结 论

视觉表格图像的手机拍摄环境条件较为复杂,图像常受到光照变化、阴影和折痕等因素的影响,这给图像单元格检测与定位中的图像分割带来了极大的挑战。本文提出了一种有效的视觉表格图像分割方法,该方法利用图像的闭运算操作大体上估计出了图像的背景变化,并以此为基础,利用定义的图像对比度实现了图像的背景补偿,最后利用图像背景估计的均值作为补偿图像的全局分割阈值,得到了图像的最终分割结果。实验仿真表明,本文方法的分割结果体现了较好的视觉效果,它能有效地避免 Niblack 方法存在的欠分割现象和 OSTU 方法在补偿图像中体现的过分割现象。

参考文献:

[1] JING Tao, WANG Zhong. A survey of optical character recognition[J]. Computer Engineering, 2003, 29(2): 1 – 2. (in Chinese)
荆涛,王仲. 光学字符识别技术与展望[J]. 计算机工程,2003,29(2):1 – 2.

[2] CHEN Zheng, SHI Yongpeng, JI Shupeng. Improved image threshold segmentation algorithm based on OTSU method [J]. Laser & Infrared, 2012, 42(5): 584 – 588. (in Chinese)
陈峥,时永鹏,吉书鹏. 一种改进的 Otsu 图像阈值分割算法[J]. 激光与红外,2012,42(5):584 – 588.

[3] SHI Weiren, FANG Li, CHEN Shuhan. Algorithm for Image Binarization Based on Improved Otsu an Niblack[J]. World Sci-Tech R&D, 2013, 35(3): 395 – 398. (in Chinese)
石为人,方莉,陈舒涵. 基于改进 Otsu 和 Niblack 的图像二值化方法[J]. 世界科技研究与发展,2013,35(3):395 – 398.

[4] WANG Xialing, LÜ Yue, WEN Ying. Automatic location and recognition of barcodes on objects with complex background and non-uniform lighting[J]. CAAL Transactions on Intelligent Systems, 2010, 5(1): 35 – 40. (in Chinese)

王霞玲,吕岳,文颖. 复杂背景和非均匀光照环境下的条码自动定位和识别[J]. 智能系统学报,2010,5(1):35 – 40.

[5] XU Yiyi, LIU Zhiqi, LIU Qi. Fast adaptive compensation based binarization method for text images[J]. Computer Simulation, 2011, 28(10): 240 – 243. (in Chinese)
徐奕奕,刘智琦,刘琦. 基于文本图像的自适应补偿二值化处理算法[J]. 计算机仿真, 2011, 28(10): 240 – 243.

[6] HE Zhiming. Binarization of photo document image based on background normalization[J]. Journal of Shanghai University of Engineering Science, 2012, 26(2): 180 – 184. (in Chinese)
贺志明. 基于背景规范化的照相文本图像二值化[J]. 上海工程技术大学学报,2012,26(2):180 – 184.

[7] FENG Yan. Degraded historical document image binarization based on background estimation and contrast compensation[J]. Science Technology and Engineering, 2015, 15(34): 105 – 109. (in Chinese)
冯炎. 基于背景估计和对比度补偿的退化古籍图像二值化算法[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(34): 105 – 109.

[8] XU Haiyang, MA Longlong, WU Jian. Document image binarisation based on background estimation and edge detection[J]. Computer Applications and Software, 2014, 31(8): 196 – 200. (in Chinese)
许海洋,马龙龙,吴健. 基于背景估计和边缘检测的文档图像二值化[J]. 计算机应用与软件,2014,31(8):196 – 200.

[9] DI Qiuyan. Study on methods of thresholding image segmentation based on tsallis entropy[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2009. (in Chinese)
邸秋艳. 基于 Tsallis 熵的阈值图像分割方法研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2009.

[10] HUANG Lichen, ZHANG Jian, ZHOU You, et al. An improved image and text binarization algorithm based on non-uniform Illumination[J]. Journal of Hunan University of Techonology, 2013, 27(6): 40 – 45. (in Chinese)
黄莅辰,张剑,周游,等. 基于非均匀光照下文本图像二值化改进算法[J]. 湖南工业大学学报,2013,27(6):40 – 45.

[11] ZHU Lei, BAI Ruilin, JI Feng. Local threshold segmentation based on grayscale wave for uneven illumination image[J]. Computer Engineering and Applications, 2015, 51(12): 144 – 149. (in Chinese)
朱磊,白瑞林,吉峰. 光照不均匀图像的灰度波动局部阈值分割[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(12): 144 – 149.