

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2016.04.008

非均匀光照图像的自适应阈值分割

陈建平¹, 秦斌², 王欣²

(1. 湖南工业大学 计算机与通信学院, 湖南 株洲 412007; 2. 湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 针对非均匀光照图像产生的例如高光区域、阴影区域和不规则的边缘区域等问题, 提出一种基于非均匀光照图像的自适应阈值分割方法, 利用图像的局部区域阈值和动态微调值来实现目标与背景的分隔。实验结果验证该方法能够快速有效地将前景和背景分割出来, 并提取出有效的目标信息。

关键词: 非均匀光照; 自适应; 阈值分割; 目标信息

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2016)04-0036-05

An Adaptive Threshold Segmentation Method Based on Inhomogeneous Illumination Images

CHEN Jianping¹, QIN Bin², WANG Xin²

(1. School of Computer and Communication, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

2. School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: An adaptive threshold segmentation method, which is based on inhomogeneous illumination images, has been proposed in view of such flaws as highlight areas, shaded areas, and anomalous marginal areas caused by photographed images under the condition of inhomogeneous illumination. It seeks to realize the separation of the target and its background with the aid of the local threshold value and dynamic fine adjustment value of the images. The experimental results verify that the method can achieve a rapid and effective segmentation of the target and its background, thus extracting the target information efficiently.

Keywords: anomalous illumination; adaptive; threshold segmentation; target information

0 引言

随着现代计算机技术与科学的快速发展以及工业上对图像信息读取的需求不断提高, 在计算机视觉技术的辅助下, 人们能高效精准地完成相当复杂的工作。然而在实际的工业应用中, 拍摄的图像由于受光照条件或设备环境的限制, 导致光亮程度不均

匀, 对图像分割工作造成较大困难。因此, 找出一种能快速有效的算法来消除不均匀光照条件下对图像造成的影响, 是当前计算机视觉检测系统中必须解决的重要问题^[1]。

图像在光照不均匀条件下具体表现如下: 1) 图像部分区域的灰度级数相对偏低, 这主要是因为光

收稿日期: 2016-03-14

基金项目: 湖南省科技计划基金重点资助项目(2014FJ2018), 湖南省自然科学基金资助项目(13JJ3110), 湖南省教育厅科研基金重点资助项目(15A050)

作者简介: 陈建平(1990-), 男, 湖南临湘人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为计算机图像处理与识别, E-mail: 441418037@qq.com

通信作者: 秦斌(1963-), 男, 湖南永州人, 湖南工业大学教授, 主要从事复杂工业过程建模与优化控制, 机器学习方面的教学和研究, E-mail: qinbin99p@163.com

照集中在图像某一区域而导致其他部分明显偏暗, 光照充足区域目标对象相对于背景分割界限比较清晰, 易于区分, 而光照不充足区域目标对象相对于背景的分割界限不太明显, 不易区分; 2) 图像的整体区域的灰度级数比较低, 灰度级数太低导致图像中的各个目标对象难以提取和识别, 如工业现场条件下图像的拍摄; 3) 被拍摄的物体有类似镜面反射的部分, 以致于拍摄的图像有部分反光, 而造成图像中光照不均匀情况, 影响部分区域图像信息的获取。

目前, 在很多领域中针对图像光照不均匀现象已经有很多不同的算法^[2-4], 如矿井图像^[5]、车牌图像^[6-7]和蔬菜图像^[8]等。这些算法基本都是针对某种特定目标的检测, 不具有通用性。图像分割的主要目的是将有价值的目标信息从图片背景中分离出来, 为以后的目标识别做准备。而阈值分割技术因其具有简单、高效、易理解等特性而得到广泛研究和应用^[9-10], 经典的阈值分割算法有迭代收缩阈值算法^[14]、全局阈值分割算法等。但该类算法对光照十分敏感, 处理非均匀光照的图像效果不理想。因此, 本文提出一种改进型自适应的阈值分割方法来处理非均匀光照图像的分割问题, 该方法能对非均匀光照图像进行有效的分割。

1 阈值分割

1.1 阈值分割算法概述

图像阈值分割^[11]是一种应用非常广泛的图像分割技术, 它将一幅具有多灰度级图像转换为了一幅较少灰度级的图像, 这个转换过程常通过将各个像素的灰度值与一个参考值(阈值)进行比较, 并根据比较的结果将像素用代表“白色”或“黑色”的值来替换。

而阈值分割的关键是选取一个合适的阈值, 以确定图像中的每一个像素点是属于背景区域还是属于目标区域, 从而产生其相应的二值图像, 图1为一幅任意图像的直方图。

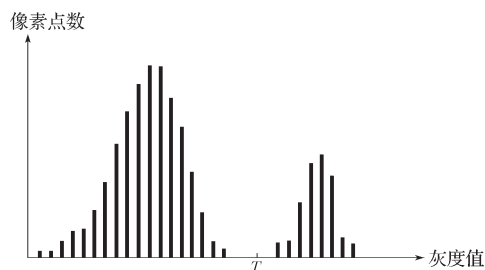


图1 图像直方图

Fig. 1 Image histogram

从图1中可以看出阈值选取的成功与否直接关

系到可区分的直方图模式的谷的宽度和深度。而影响波谷特性的关键因素是:

- 1) 波峰间的间距(波峰间的间隔越远, 则分离这些模式的机会就越好);
- 2) 图像中的噪声因素;
- 3) 物体和背景的相对尺寸;
- 4) 光源的均匀性。

对一幅输入图像阈值化并产生一个二值化版本的过程在数学上可描述为:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) > T; \\ 0, & f(x, y) \leq T. \end{cases} \quad (1)$$

式中: $g(x, y)$ 为二值化处理后的图像中 (x, y) 处的像素;

T 为阈值;

$f(x, y)$ 为图像中 (x, y) 处的像素。

在阈值分割的过程中, 最重要的步骤是选取到最优的阈值。如果在分割的过程中, 对图像上所有像素点都是按照同样的阈值来区分类别, 则称之为全局阈值法; 将原始图像划分成较小的图像, 并对每个子图像选取相应的阈值称之为局部阈值法。

阈值分割法的基本流程是: 1) 确定阈值; 2) 将图像的像素值与阈值进行比较; 3) 将该像素归类。其中如何选取最优阈值最为关键和重要, 如果可以找出最优阈值, 便能快速、准确地对图像进行分割。

1.2 最大类间方差阈值分割法

最大类间方差方法(OTSU法)的主要思路是: 首先, 基于直方图统计出各个像素的灰度级数发生频率, 并用一个分离界限的阈值变量 t 把图像中所有像素点分成2大类, 要求是使不同类之间的分离性最好; 然后, 计算出每一个类中像素点灰度级数的类间方差和类内方差, 选取能够满足这2类的类内方差最小且类间方差最大的 t 作为阈值。

设灰度图像中像素点 $f(x, y)$ 中的灰度级数为 L , $h(i)$ 表示灰度级数为 i 的在图像中像素点个数, 则各个灰度级发生的频率公式可表示为

$$p(i) = \frac{h(i)}{M \times N}, \quad (2)$$

式中: $\sum_{i=0}^{L-1} ip(i) = 1$;

$M \times N$ 为图像的大小。

通过阈值 t 可把图像中像素点划分为2类: 一类为目标类 $C_a = \{(x, y) | f(x, y) = 0, 1, \dots, t\}$, 另一类为背景类 $C_b = \{(x, y) | f(x, y) = t+1, t+2, \dots, L-1\}$, 则这2类发生的频率 $\omega_a(t), \omega_b(t)$ 公式可表示为

$$\omega_a(t) = \sum_{i=0}^t p(i), \quad (3)$$

$$\omega_b(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} p(i) = 1 - \omega_a(t). \quad (4)$$

C_a 和 C_b 的灰度均值 $\mu_a(t)$, $\mu_b(t)$ 和总的均值 μ_T 分别是:

$$\mu_a(t) = \frac{\sum_{i=0}^t ip(i)}{\omega_a(t)} = \frac{\mu(t)}{\omega_a(t)}, \quad (5)$$

$$\mu_b(t) = \frac{\sum_{i=t+1}^{L-1} ip(i)}{\omega_b(t)} = \frac{\mu_T - \mu(t)}{1 - \omega_a(t)}, \quad (6)$$

$$\mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} ip(i) = \omega_a(t)\mu_a(t) + \omega_b(t)\mu_b(t). \quad (7)$$

式 (5) ~ (7) 中 $\mu(t) = \sum_{i=0}^t ip(i)$ 。

背景类 C_b 和目标类 C_a 的类间方差 $\sigma_B^2(t)$ 是:

$$\sigma_B^2(t) = \omega_a(t)(\mu_a(t) - \mu_T)^2 + \omega_b(t)(\mu_b(t) - \mu_T)^2 = \omega_a(t) \cdot \omega_b(t) (\mu_a(t) - \mu_b(t))^2. \quad (8)$$

当类间方差 $\sigma_B^2(t)$ 取得最大时获得最佳分割阈值 T^* , 即

$$T^* = \arg \max_{0 \leq t < L} \{\sigma_B^2(t)\}. \quad (9)$$

OTSU 法是基于二维直方图的统计特性, 如果图像的直方图出现较明显的双峰图形, 则分割效果最好。然而一旦图像存在噪声或光照干扰, 使得背景和背景灰度分布出现交叉现象, 将严重影响图像分割的效果。因此, 研究者提出了自适应阈值分割的理论, 该方法能对光照干扰图像进行有效的分割。

2 自适应阈值分割及基本步骤

2.1 自适应阈值法的主要原理

由于单一阈值法不考虑图像中像素实际的灰度级情况, 学者们提出了自适应阈值法。自适应阈值法(动态阈值法)对具有光照不规则、局部有阴影、明暗差异、随机的噪声等情况图像处理具有相当的优势, 能将图像中的目标对象与背景分割开。

在提出的自适应阈值法中, 将图像中的各像素定义为中心, 以其周围的邻域像素作为一个分块, 计算出这个分块的最小灰度级数和最大灰度级数, 然后求得最大灰度级数和最小灰度级数的均值作为阈值。如图 2 所示, 所选取的窗口为当前像素的 8 邻域窗口, 一般而言, 同一种运算的窗口越大, 则需要处理的数据也就越多, 花费的时间也就越长。

令 C 表示当前图像中的各个像素点, P_i 为当前像素点 C 的周围 8 个相邻的像素点, l_{\max} 表示这 8 个像素点中灰度级数的最大值, l_{\min} 表示这 8 各像素点中

灰度级数最小值, 则阈值可表示为 $T = \frac{l_{\max} + l_{\min}}{2}$, 也

可以设定均值为阈值 $T = \sum_{i=1}^8 P_i / 8$ 。

自适应阈值分割法把图像划分为若干个子图像 (F_1, F_2, \dots, F_n), 每一个子图像再根据自身分布的特征划分为多个邻域 (M_1, M_2, \dots, M_n), 使划分出来的邻域趋近于无穷小并且具有一定的特性, 这样对整个大图就会得到多个阈值 (a_1, a_2, \dots, a_n), 如图 2 所示。若划分的区域足够多, 那么每个阈值可以近似代表那个像素点的灰度值。采用自适应划分阈值的方法, 对于照明不均匀图像的多个局部特征得以保留, 这样就可以有效地避免背景和有效信息的错误划分。

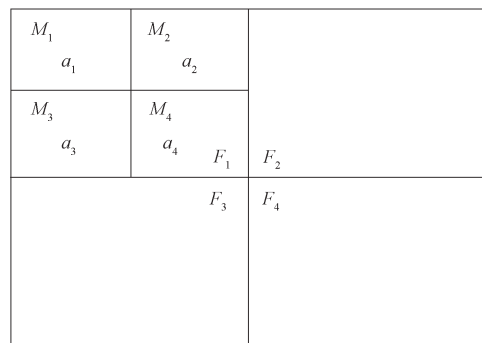


图 2 自适应阈值划分的原理图

Fig. 2 Schematic diagram of the adaptive threshold partition

2.2 自适应阈值法的基本步骤

针对非均匀光照图像, 课题组采用的自适应阈值分割法的基本步骤是: 首先对原始图像进行预处理, 如消除噪声、增强图像等; 然后根据非均匀光照强度求出其自适应的微调量, 则初步的阈值和自适应的微调量的差即为阈值分割的自适应阈值。具体实现方法如下。

步骤 1 首先将图像转换成为灰度图像, 如果原始图像是灰度图像, 则直接进行步骤 2。

步骤 2 对图像去噪处理, 以消除噪声对图像分割产生的影响(通常采用高斯滤波和中值滤波)。

步骤 3 对图像进行平滑处理(高斯滤波器能有效地对图像进行平滑处理)。

步骤 4 对图像进行增强处理。得到的目标图像 $D(x, y)$ 中所含目标信息可能会较暗, 为此需要对其进行增强处理, 以突出较暗的目标信息。由于 γ 矫正对较小的输入值有较大的响应输出; 而对较大的输入值, 其响应输出增加的幅度很小, 因此本文选用 γ 矫正方法进行增强处理。记矫正后目标图像为 $D'(x, y)$, 则增强公式为

$$D'(x, y) = 255 \times \left(\frac{D(x, y)}{255} \right)^\gamma, \quad (10)$$

式中 γ 为矫正值。

步骤5 对图像进行分块处理。将图像分成许多个子图像(F_1, F_2, \dots, F_n)。

步骤6 计算每个子图像的阈值。

步骤7 对图像进行二值化处理, 按照计算出来的阈值进行二值化转换, 在阈值判断时可以使用微调量进行自适应阈值, 最后再进行二值化的判断, 从而得到二值化图像。

图3为自适应阈值分割的总体流程图。

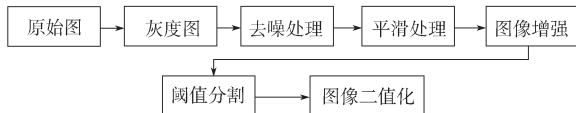


图3 自适应阈值分割的总体流程图

Fig. 3 Flow chart of the adaptive threshold segmentation

3 实验结果与分析

为了验证算法的性能, 本实验采用了3个不同的非均匀光照图像, 分别使用了全局阈值分割方法和自适应阈值方法进行对比实验。

实验环境: 处理器为 Intel(R) Pentium(R) CPU G2030 @3.00 GHz, 4 GB 内存; 操作软件为 MATLAB 2012a。

本次实验分别采用3幅不同的非均匀的图像进行测试, 分别使用全局阈值分割算法和自适应分割算法对其进行分割, 本文把每一幅图像进行二值化表示, 具体分割结果图如图4所示(由于受到拍摄设备和条件的影响, 仅列出了经典的非均匀光照图像的处理结果图)。

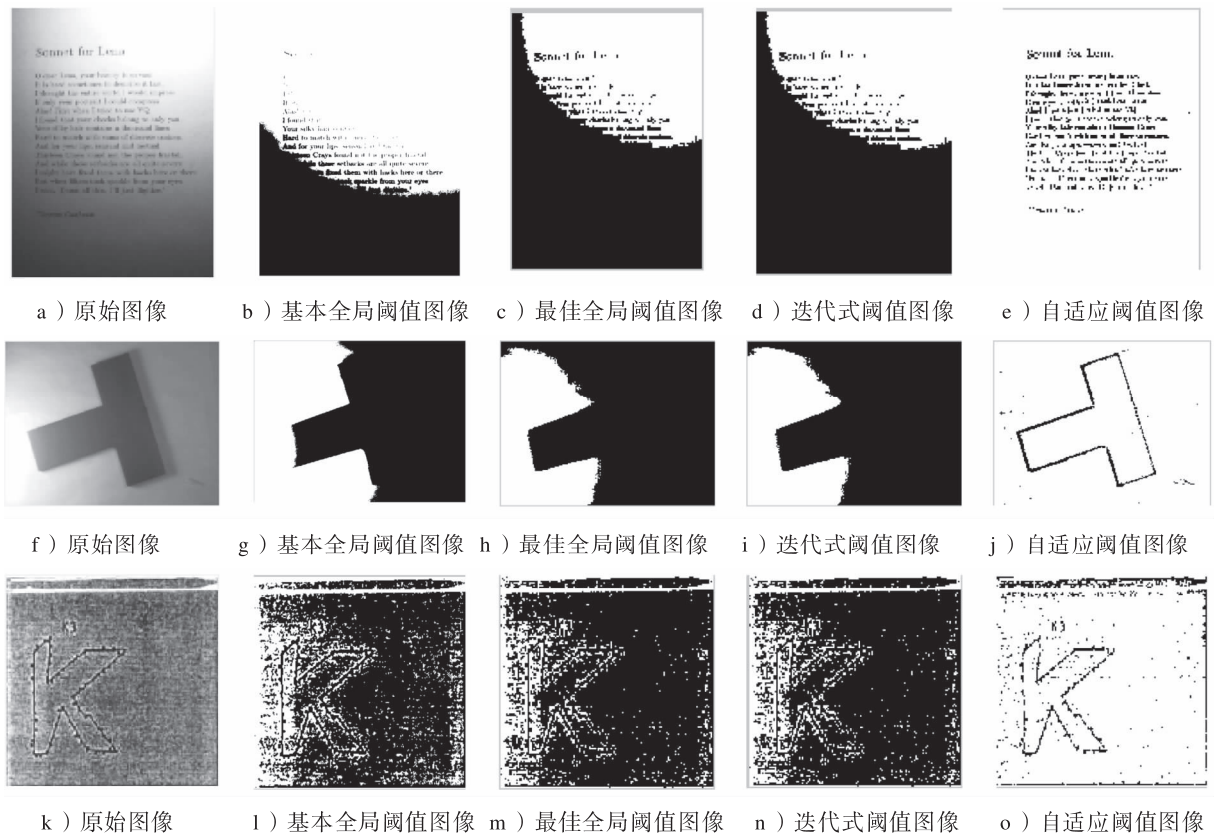


图4 阈值分割结果图

Fig. 4 Result chart of the threshold segmentation

从图4中可以看出, 原始图像都是非均匀光照图像, 通过基本全局阈值、最佳全局阈值和迭代式阈值方法分割得到的二值图像中目标信息丢失, 而使用了自适应阈值分割的二值图像的目标对象分割效果较好。经过多次实验对比发现, 对于非均匀光照下的数字、英文或者图像都可以采用自适应阈值法进行分割, 且提取效果较好。表1对丢失像素和丢失目标进行了比较。

表1 全局阈值图像与自适应阈值图像对比

Table 1 Contrast between the global threshold image and the adaptive threshold image

图像	噪声像素	干扰目标	丢失像素				丢失目标	
			全局		自适应		全局	自适应
			阈值	阈值	阈值	阈值		
图4a	475	0	259	121	2	0		
图4f	366	0	224	102	1	0		
图4k	332	0	163	88	1	0		

从表1中可以看出,为了对目标图像进行识别,衡量自适应阈值法是否达到要求,对一些重要指标进行了比较。与全局阈值算法相比,自适应阈值法的丢失目标和干扰目标的数量为零;虽然其丢失像素和噪声像素较大,但与全局阈值算法相比,还是减少了一些。从整体来讲,本文提出的算法对非均匀光照图像的处理结果较为理想。

4 结语

本文针对在非均匀光照下的图像含有部分区域阴影、局部反光以及随机噪声造成的模糊问题,提出使用自适应阈值分割方法进行非均匀光图像的分割。实验结果证明,选择了3张非均匀光照的图像进行实验验证,该方法能够快速有效地进行图像分割,从而使提取出目标图像中的目标对象的信息更容易完成。本文提出的方法对于非均匀光照下拍摄到的幕布投影图像、文档中文字图像以及物体图像都能提取出较为清晰的目标图像。然而,对于笔画太多而繁琐的汉字的目标分割,会因受到不规则光照的影响,使得文字不够清晰,让汉字的分割效果不佳,为改善这一情况还需要做进一步的研究。

参考文献:

- [1] 韩希珍, 赵建. 结合偏微分方程增强图像纹理及对比度[J]. 光学精密工程, 2012, 20(6): 1382-1388.
HAN Xizhen, ZHAO Jian. Enhancement of Image Texture and Contrast Combined with Partial Differential Equation[J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(6): 1382-1388.
- [2] 曾凡锋, 王战东, 郭正东. 非均匀光照文档图像快速二值化方法[J]. 计算机应用与软件, 2015, 32(11): 185-188.
ZENG Fanfeng, WANG Zhandong, GUO Zhengdong. Fast Binarisation Method for Uneven Illumination Document Images[J]. Computer Applications and Software, 2015, 32(11): 185-188.
- [3] 丁红, 张晓峰. 非均匀光照图像中粘连手写体和印刷体的辨别[J]. 计算机工程与设计, 2012, 33(12): 4634-4638.
DING Hong, ZHANG Xiaofeng. Connected Handwritten and Printed Text Discrimination in Uneven Lighted Images[J]. Computer Engineering and Design, 2012, 33(12): 4634-4638.
- [4] 沈晗. 非均匀光照文本图像的分割[D]. 武汉: 华东师范大学, 2006.
SHEN Han. Segmentation for Uneven Lighting Document Image[D]. Wuhan: East China Normal University, 2006.
- [5] 邓莉洁. 矿井非均匀照度下图像增强技术研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2014.
DENG Lijie. Research of Image Enhancement Technology on Non-Uniform Illumination of the Mine[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2006.
- [6] 黄腾, 施鹏飞. 非均匀光照下的车牌定位方法[J]. 智能系统学报, 2009, 4(5): 421-426.
HUANG Teng, SHI Pengfei. Locating Vehicle License Plates in a Non-Uniformly Illuminated Environment[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2009, 4(5): 421-426.
- [7] 欧阳庆. 不均匀光照下车牌图像二值化研究[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2006, 39(4): 143-146.
OUYANG Qing. Study on License Plate Binarization Method Under Nonuniform Illumination[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2006, 39(4): 143-146.
- [8] 孙月强. 非均匀光照下蔬菜病斑识别算法研究[J]. 计算机仿真, 2012(6): 257-260.
SUN Yueqiang. Research on Vegetables Disease Spot Recognition Algorithm in Uneven Illumination Conditions[J]. Computer Simulation, 2012(6): 257-260.
- [9] VANTARAM S R, SABER E. Survey of Contemporary Trends in Color Image Segmentation[J]. Journal of Electronic Imaging, 2012, 21(4): 177-187.
- [10] WEN J T, LI S M, SUN J D. A New Binarization Method for Non-Uniform Illuminated Document Images[J]. Pattern Recognition, 2013, 46(6): 1670-1690.
- [11] 郭臻, 陈远知. 图像阈值分割算法研究[J]. 中国传媒大学学报: 自然科学版, 2008, 15(2): 77-82.
GUO Zhen, CHEN Yuanzhi. Research of Thresholding Methods for Image Segmentation[J]. Journal of Communication University of China Science and Technology, 2008, 15(2): 77-82.
- [12] 龙建武, 申铨京, 陈海鹏. 自适应最小误差阈值分割算法[J]. 自动化学报, 2012, 38(7): 1134-1144.
LONG Jianwu, SHEN Xuanjing, CHEN Haipeng. Adaptive Minimum Error Thresholding Algorithm[J]. Automatica Sinica, 2012, 38(7): 1134-1144.
- [13] 胡敏, 李梅, 汪荣贵. 改进的OTSU算法在图像分割中的应用[J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(5): 443-449.
HU Min, LI Mei, WANG Ronggui. Application of an Improved OTSU Algorithm in Image Segmentation[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2010, 24(5): 443-449.
- [14] 赵雁. 基于FCM算法的图像分割技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
ZHAO Yan. Image Segmentation Based on FCM Algorithm[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.

(责任编辑: 申剑)