

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2013.06.009

基于非均匀光照下文本图像二值化改进算法

黄莅辰, 张 剑, 周 游, 谭芳芳

(湖南科技大学 信息与电气工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘 要: 针对传统局部阈值算法分割非均匀光照图像效果不佳, 且计算时间较长的问题, 提出了一种基于局部均值的图像二值化改进算法。该算法首先使用积分图像的快速算法计算出局部均值, 再将计算出的局部均值代入改进的阈值模型算法中, 最终完成分割, 从而进一步改善了在非均匀光照下的图像分割效果。对比实验结果表明, 改进的二值化算法大大提高了运算效率, 增强了图像分割效果, 在视觉效果和处理时间 2 个方面都优于 Niblack 算法、Sauvola 算法、Bernsen 算法以及基于局部对比度和均值的算法。

关键词: 二值化; 非均匀光照; 局部均值; 图像分割

中图分类号: TN911.73

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2013)06-0040-06

An Improved Image and Text Binarization Algorithm Based on Non-Uniform Illumination

Huang Lichen, Zhang Jian, Zhou You, Tan Fangfang

(School of Information and Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan 411201, China)

Abstract: For the poor effect of non-uniform illumination image and long time computing by the traditional local threshold segmentation algorithm, an image binarization optimization algorithm based on local mean is proposed. The algorithm uses the fast integral image algorithm to calculate the local mean and then substitutes the local mean into the improved model of the threshold algorithm to complete segmentation, thereof improves the image segmentation effect in non-uniform illumination. The contrast experiment results indicate that the proposed algorithm greatly improves the computation efficiency and enhances the image segmentation effect, which is superior to Niblack algorithm, Sauvola algorithm, Bernsen algorithm as well as local contrast and mean algorithm both in visual effect and processing time.

Keywords: binarization; non-uniform illumination; local mean; image segmentation

0 引言

图像分割在模式识别^[1-4]、计算机视觉^[5-6]、图像分析和视频的检索中起着重要作用。其中, 图像二值化是图像分割中的重要技术之一, 不仅是数字图像处理技术中的一项基本技术, 也是许多图像处理

技术的预处理技术, 在自动目标识别、图像分析、文本增强以及光学字符识别等图像处理中得到了广泛的应用。现有的二值化方法大多属于阈值化方法。阈值的选取决定着图像特征信息的保留, 因此, 阈值选取的方法非常值得研究, 好的阈值选取方法不仅能够保留图像中有用的信息, 而且还可以减少时

收稿日期: 2013-09-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51275169), 湖南省科技厅基金资助项目(2012FJ4112), 湖南科技大学研究生创新基金资助项目(S130021)

作者简介: 黄莅辰(1988-), 男, 湖南长沙人, 湖南科技大学硕士生, 主要研究方向为图像处理, E-mail: 942533749@qq.com

间上的开销。

阈值算法^[7-8]分为全局阈值算法和局部阈值算法。全局阈值算法^[9]比较简单,并且比较容易实现,适用于图像的灰度直方图有明显的双峰,此时可选灰度直方图的谷底对应的灰度值作为最佳阈值。但是当图像背景较为复杂或光照不均匀时,图像的灰度直方图往往没有明显的双峰或有多个峰,此时全局阈值算法受到极大的限制,而应采用局部阈值算法。常用的局部阈值算法有Sauvola算法、Bernsen算法等。使用局部阈值算法可以使图像的二值化效果更好,抗噪声能力更强。

然而局部阈值算法存在两个明显的缺陷:

- 1) 计算复杂度较高,计算时间较长;
- 2) 分割后,在强光区域易出现笔画断落及残缺现象,而暗光区域易出现笔画增粘现象。

基于上述原因,本文提出了一种基于非均匀光照下文本图像的二值化改进算法。该算法首先使用积分图像的快速算法计算出局部均值,然后将计算出的局部均值代入改进的阈值模型算法中,最终完成分割。该算法克服了计算复杂度较高的问题,并且改善了强光区域的笔画断落与残缺,以及暗光区域笔画增粘的现象,提高了非均匀光照下文本图像分割的有效性。

1 典型的图像二值化局部阈值算法

在局部自适应技术中,阈值是根据每个像素邻域中的一些统计特性,如均值、方差、对比度等,来进行计算的。常用的图像二值化局部阈值算法有Niblack算法、Sauvola算法、Bernsen算法、基于局部对比度和均值的算法等。其中,Niblack算法和Sauvola算法中采用的是局部均值方差技术,而Bernsen算法、基于局部对比度和均值的算法中采用的是局部对比度技术。

1.1 Niblack算法

在Niblack局部阈值算法中,点 (x, y) 处的阈值 $T(x, y)$ 是在一个 $w \times w$ 大小的窗口内计算出来的,其计算式如下:

$$T(x, y) = m(x, y) + k \times \delta(x, y) \quad (1)$$

式中: $m(x, y)$ 为 $w \times w$ 窗口内像素点灰度值的均值;

$\delta(x, y)$ 为 $w \times w$ 窗口内像素点灰度值的标准差;
 k 为偏差系数。

Niblack算法的效果深受 w 值和 k 值的影响:当 w 值过大时,Niblack算法失去了局部的意义,而且影响算法的速度;当 w 值过小时,Niblack算法则容

易受到周边噪声的影响。 k 值也影响着算法的分割效果,当 k 值减小时,容易滤除细小目标,如文档图像的笔划变细或消失;当 k 值增大时,抗干扰能力下降,文档图像中的笔画变粗,背景噪声也逐渐显露。所以实际运行过程中要根据文档图像的不同情况和实际分割来不断调整算法中的 w 值和 k 值。

1.2 Sauvola算法

在Sauvola算法中,阈值 $T(x, y)$ 同样是在一个大小为 $w \times w$ 的窗口内,根据局部对比度值得点 (x, y) 处的阈值 $T(x, y)$,其计算式如下:

$$T(x, y) = m(x, y) \left[1 + k \left(\frac{\delta(x, y)}{R} - 1 \right) \right] \quad (2)$$

式中: R 为标准差的动态范围;

k 为一个给定偏差,一般取正值,这样就可以自适用地放大标准差对阈值的影响。

在图像高对比度区域中,标准差 $\delta(x, y)$ 趋近于 R ,这就导致了 $T(x, y)$ 近似等于 $m(x, y)$ 。这在Niblack算法中有同样的结果。但是,Sauvola算法与Niblack算法的不同之处在于:当Sauvola算法处理局部对比度非常低的图像时,其分割效果要明显好于Niblack算法。这是因为,在局部对比度非常低的邻域内,阈值 $T(x, y)$ 比均值 $m(x, y)$ 要小,这样一来,就可以成功地消除背景中较暗的区域。该算法对退化文档的读取有不错的效果,然而该算法在计算局部均值和标准差的时候,需要花费大量的时间,而且对参数变化比较敏感,需要大量的人工干预才能取得良好的分割效果。

1.3 Bernsen算法

考虑以 (x, y) 为中心的 $(2w+1) \times (2w+1)$ 模板, $f(x, y)$ 表示点 (x, y) 处的灰度值,则Bernsen算法可以描述如下。

1) 计算每点阈值

采用式(3)计算每点的阈值。在这里,Bernsen算法以局部窗口内最大值、最小值的均值作为对应考察点的阈值,所以计算耗时较长。此外,因为每幅文本图像中文字的字体大小可能存在较大的差异,对应的文字笔划宽度也会有很大区别,所以必须找到合适的 w 值,才能保证Bernsen算法能取得良好的分割效果。

$$T(x, y) = 0.5 \times \left(\max_{\substack{-w < k \leq w \\ -w < l \leq w}} f(x+k, y+l) + \min_{\substack{-w < k \leq w \\ -w < l \leq w}} f(x+k, y+l) \right) \quad (3)$$

2) 逐点二值化

以式(4)将各点二值化,即将用式(3)计算

出来的阈值与每点灰度值进行比较,如果满足 $f(x,y) < T(x,y)$,则 $b(x,y)=0$,否则 $b(x,y)=1$,即

$$b(x,y) = \begin{cases} 0, & f(x,y) < T(x,y); \\ 1, & f(x,y) \geq T(x,y). \end{cases} \quad (4)$$

由于Bersen算法的阈值由考察点邻域的灰度值确定,算法不存在预定阈值,因此该算法的适应性较全局阈值法广泛。

1.4 基于局部对比度和均值的算法

O. Imocha Singh在2012年提出了一种基于局部对比度和均值的算法^[10]。在该算法中,阈值 $T(x,y)$ 同样是在一个大小为 $w \times w$ 的窗口内,根据计算出的局部灰度值均值 $m(x,y)$ 来求得的,其计算式如下:

$$T(x,y) = k[m(x,y) + (I_{\max} - I_{\min})(1 - I(x,y))]. \quad (5)$$

式中: k 为偏差系数;

$m(x,y)$ 为局部灰度值均值;

I_{\max} 和 I_{\min} 分别为 $w \times w$ 窗口内的像素最大灰度值和像素最小灰度值;

$I(x,y)$ 为窗口内中心像素点的灰度值。

由于本算法涉及局部像素最大灰度值和像素最小灰度值,因此这个算法不适合使用积分图像的快速算法计算均值,且此算法和Niblack算法、Sauvola算法等局部阈值算法一样,其窗口大小决定了计算时间的长短。

2 基于局部均值的图像二值化改进算法

2.1 改进算法原理

由Niblack算法和Sauvola算法的阈值计算公式(1)和公式(2)可知,这两种算法的阈值是通过背景和对象之间的局部均值、局部标准差的不同来进行设计的,即

$$T(x,y) = T(m(x,y), \delta(x,y)). \quad (6)$$

通过实验发现,对于某一点的像素值 $f(x,y)$ 和局部均值 $m(x,y)$ 的差值在背景和对象之间也是有一定的差异的。所以本文提出的算法根据这个变化差异来设计阈值,即

$$T(x,y) = T(f(x,y), m(x,y)). \quad (7)$$

阈值计算公式为

$$T(x,y) = k \left[m(x,y) + \sqrt{|I(x,y) - m(x,y)|} \left(1 - \frac{I(x,y)}{m(x,y)} \right) \right]. \quad (8)$$

式中 k 为偏差系数,它需要根据不同的文档图像和分割效果来不断调整。

相较于上述Niblack算法和Sauvola算法,首先,

本文所提出的基于局部均值的图像二值化改进算法省去了每个像素点局部标准差的计算,因而大大降低了计算的复杂度;其次,由于算法中对局部均值和像素值进行了开方运算 $(\sqrt{|f(x,y) - m(x,y)|})$,所以对噪声点进行了抑制,并且增强了笔画所占像素的自适应度,因而避免了强光区域的笔画断落及残缺,以及暗光区域的笔画增粘现象,因而分割效果更佳。

2.2 积分图像的快速均值算法

积分图像的快速算法在机器视觉的领域内应用十分广泛,它是Viola and Jones根据早期图像技术提出的一种算法。一个图像 $I(x,y)$ 的积分图像 $g(x,y)$ 是指从图像的左上角到这个像素点所构成的矩形区域内所有像素点的灰度值之和。

像素点 (x,y) 的积分图像灰度值计算公式为

$$g(x,y) = \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y I(i,j). \quad (9)$$

任意灰度级图像的积分和图像也可以由如下过程快速得出:

首先,根据式(10)求出像素点 $(1,y)$ 第一行的积分和,

$$g(1,y) = I(1,y) + g(1,y-1). \quad (10)$$

式中 $y=2, 3, \dots, n$ 。

然后,根据式(11)求出像素点 $(x,1)$ 第一列的积分和,

$$g(x,1) = I(x,1) + g(x-1,1). \quad (11)$$

式中 $x=2, 3, \dots, m$ 。

最后,根据式(12)求出像素点 (x,y) 的积分和。

$$g(x,y) = I(x,y) + g(x,y-1) + g(x-1,y) - g(x-1,y-1). \quad (12)$$

式中 $x=2, 3, \dots, m$; $y=2, 3, \dots, n$ 。

因此,积分和图像 $g(x,y)$ 可以由方程(9)~(12)计算得出,它的图解过程如图1所示。

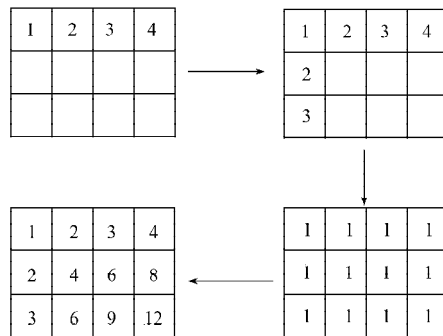


图1 积分和图像快速算法的实现步骤

Fig. 1 The implementation steps of the integral image fast algorithm

局部像素灰度值之和 $s(x,y)$ 是以点 (x,y) 为中心

的 $w \times w$ 窗口内所有像素灰度值之和, 且 $s(x, y)$ 可以被定义为

$$s(x, y) = \sum_{i=x-c}^{x+c} \sum_{j=y-c}^{y+c} I(i, j). \quad (13)$$

式中 $c = \frac{w-1}{2}$, 其中 w 为一个奇数。

当引入积分和图像时, 局部像素灰度值之和 $s(x, y)$ 可以通过简单的两次加法和一次减法的简化计算公式 (14) 来计算得出, 并且此计算公式不依赖于窗口的大小。

$$s(x, y) = [g(x+d-1, y+d-1) + g(x-d, y-d)] - [g(x-d, y+d-1) + g(x+d-1, y-d)]. \quad (14)$$

式中 $d = \text{round}\left(\frac{w}{2}\right)$ 。

因此局部均值可以定义为

$$m(x, y) = \frac{s(x, y)}{w^2}. \quad (15)$$

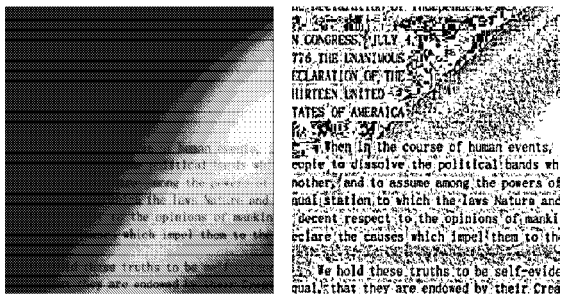
从局部均值的定义可知, 使用积分和不需要对窗口里面的所有像素点进行求和, 从而缩短了计算的时间。

3 实验结果与分析

本文选用Niblack算法、Sauvola算法、Bersnen算法、基于局部对比度和均值的算法以及本文提出的改进算法5种不同类型的局部阈值算法, 对不同非均匀光照文本图像进行分割处理, 并且在图片中写明了各算法所设参数值的大小。实验是通过在个人电脑上运行MATLAB7.14 (R2012a)来完成的, 且个人电脑的配置为: Inter® CoreTM2Duo T6600的CPU, 其主频为2.2 GHz, 2 GB的RAM, 32 bit的Windows XP操作系统。

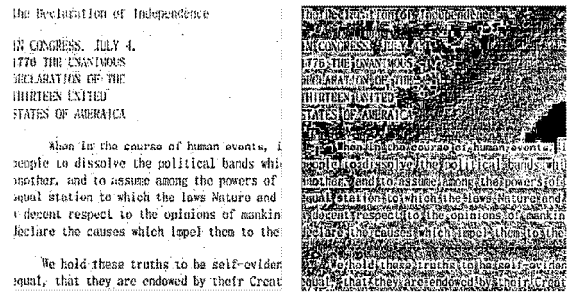
3.1 5种算法的视觉效果

为清晰看到本文算法的分割效果, 选用了前景目标分别为字母和电气零件, 且带有阴影的文本图像进行实验, 选用的原图及分割效果如图2和3所示。



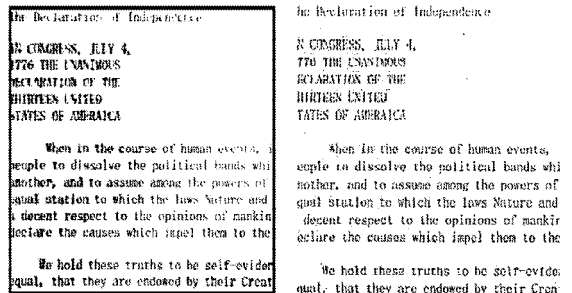
a) 原图像

b) 经 Niblack 算法处理后的图像, $w=5, k=0.2$



c) 经 Sauvola 算法处理后的图像, $w=5, k=0.2$

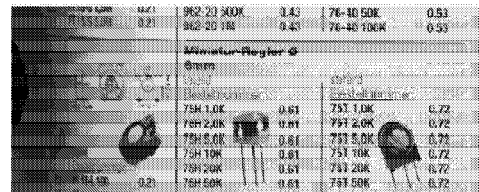
d) 经 Bernsen 算法处理后的图像, $w=5, k=0.5$



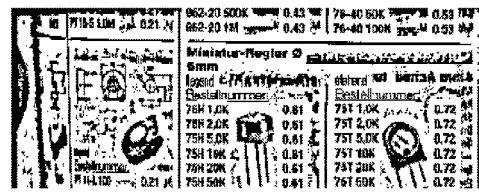
e) 经局部对比度和均值算法处理后的图像, $w=5, k=0.67$

f) 经本文优化算法处理后的图像, $w=5, k=0.91$

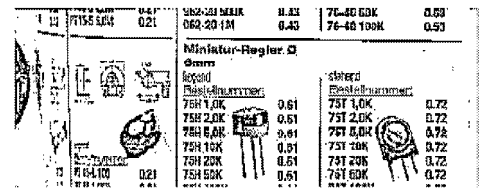
图2 用不同的局部阈值算法二值化被扫描的英文图片
Fig. 2 Binarized result of letters by different techniques



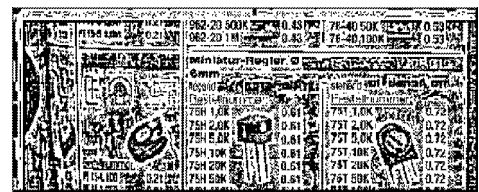
a) 原图像



b) 经 Niblack 算法处理后的图像, $w=5, k=0.3$



c) 经 Sauvola 算法处理后的图像, $w=5, k=0.07$



d) 经 Bernsen 算法处理后的图像, $w=5, k=0.5$

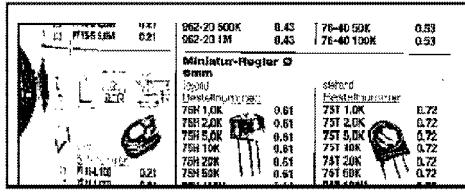
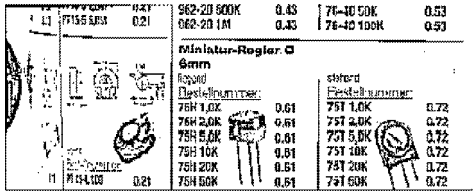
e) 经局部对比度和均值算法处理后的图像, $w=5, k=0.95$ f) 经本文优化算法处理后的图像, $w=5, k=0.95$

图3 用不同的局部阈值算法二值化被扫描的电气零件图片

Fig. 3 Binarized result of electrical parts by different techniques

图2和图3所示结果表明:Niblack算法对于处理非均匀光照后的图片抗噪声能力较差,在目标被分离出来的同时,其背景区域出现了大量的幻影,在对比度较大的地方,Niblack算法比较敏感,出现轮廓线刻意加粗而失真的现象,且内容失真度较高;而Sauvola算法虽然在处理效果上比Niblack算法效果好,能够消除大量的噪声,但是它是牺牲计算时间为代价的。Niblack算法和Sauvola算法的计算时间都比较长,它们对图像分割的处理效果取决于局部窗口大小:在Sauvola算法中,要得到高质量图片分割效果,局部窗口大小需要取为15,而在Niblack算法中,要得到高质量图片分割效果,局部窗口大小需要取为31。Bernsen算法以局部窗口内最大、最小灰度值作为考察点的邻域,当考察窗内无目标点时,个别噪声点将引起阈值的突变,背景灰度的非均匀性也将影响局部阈值的变化,当考察窗内均为目标点时,局部阈值被拉伸,这样势必使得宏观上本应同类的部分像素——目标(或背景),被强行二值化为背景(或目标),从而出现所谓的笔划断裂及伪影现象。对于O. Imocha Singh提出的基于局部对比度和均值的算法,虽然它比起Niblack算法和Sauvola算法来说,缩短了计算时间,但是又出现了在强光区域笔画残缺及断落,暗光区域笔画增粘的问题,使得图像分割效果大打折扣。

具体地,从图2中的图d可以看出,对应原图阴影附近区域有几处分割效果较差,例如:“When in the course”中的“W”出现了笔画增粘现象;而“human events”中的“n”出现了笔画断落现象。而从图3中的图d可以看出,图片左边处于阴影部分的两个零件及其尺寸标注图形失真较为严重,几乎看不出任

何有价值的信息。而本文提出的改进算法,不但在此算法基础上进一步缩短了计算时间,而且避免了在非均匀光照条件下分割图像时产生的笔画增粘或者残缺及断落的问题,图像效果较佳。

3.2 5种算法的时间比较

对于一幅 $n \times n$ 尺寸大小的文档图像,采用 $w \times w$ 的模板进行二值化处理,Niblack算法、Sauvola算法和Bernsen算法由于必须要计算均值与标准差,所以计算时间复杂度为 $O(W^2 \times N^2)$;基于局部对比度和均值的算法由于只要计算均值,所以计算时间复杂度为 $O(W \times N^2)$;而本文所提出的改进算法,是在遍历整个图像之前计算均值的,所以计算时间复杂度是 $O(N^2)$ 。实验所得5种算法的计算时间统计结果如表1所示。

表1 各算法的计算时间

Table 1 The computation time for different algorithms

算法	图1	图2
Niblack 算法	11.63	5.35
Sauvola 算法	15.02	7.17
Bernsen 算法	10.05	4.41
基于局部对比度和均值的算法	8.01	4.19
本文优化算法	0.07	0.04

分析表1所示包括本文所提出的优化算法在内的5种算法处理英文图片和电气零件所需时间的数据统计结果可知:Niblack算法和Sauvola算法由于需要计算局部标准差等具有统计特性的变量,所以计算阈值时间较长;Bernsen算法和基于局部对比度和均值的算法也因为需要寻找局部最大、最小灰度值而使计算耗时较长。由表中的数据可看出,本文所提出的改进算法在处理这两类图片时,相较其他4种算法,所需时间最短。

4 结语

本文提出了一种快速局部阈值计算的方法,该算法采用与窗口大小无关的积分和图像来计算局部均值,再利用局部均值和图像灰度值求得局部阈值,而不需要标准差,进一步缩短了运算时间。本文还采用了先设置零矩阵,再通过阈值分割将大于阈值的像素点设置为1,以空间换取时间。通过实验表明,该算法在视觉效果和处理时间2个方面都优于Niblack算法、Sauvola算法、Bernsen算法和基于局部对比度和均值的算法。

参考文献:

- [1] 胡敏, 许艳侠, 王晓华, 等. 自适应加权完全局部二值模式的表情识别[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(10): 1279-1284.
Hu Min, Xu Yanxia, Wang Xiaohua, et al. Facial Expression Recognition Based on AWCLBP[J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(10): 1279-1284.
- [2] 张文超, 山世光, 张洪明, 等. 基于局部 Gabor 变化直方图序列的人脸描述与识别[J]. 软件学报, 2006, 17(12): 2508-2517.
Zhang Wenchao, Shan Shiguang, Zhang Hongming, et al. Histogram Sequence of Local Gabor Binary Pattern for Face Description and Identification[J]. Journal of Software, 2006, 17(12): 2508-2517.
- [3] 付晓峰, 韦巍. 大型人脸库上基于局部二元模式直方图映射的快速识别[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2010, 44(1): 136-140.
Fu Xiaofeng, Wei Wei. Local Binary Pattern Histogram Projection Based Fast Recognition on Large-Scale Face Database[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2010, 44(1): 136-140.
- [4] 高涛, 何明一, 戴玉超, 等. 多级 LBP 直方图序列特征的人脸识别[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(2): 202-207.
Gao Tao, He Mingyi, Dai Yuchao, et al. Face Recognition Using Multi-Level Histogram Sequence Local Binary Pattern [J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(2): 202-207.
- [5] 李雄, 刘允才. 视觉机制研究对机器视觉的启发示例[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(2): 152-156.
Li Xiong, Liu Yuncai. The Motivation of Visual Mechanisms to Machine Vision: Examples[J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(2): 152-156.
- [6] Van De Sande K E A, Gevers T, Snoek C G M. Evaluating Color Descriptors for Object and Scene Recognition[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 2010, 32(9): 1582-1596.
- [7] 张伟斌, 冯象初, 王卫卫. 图像恢复的小波域加速 Landweber 迭代阈值方法[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(2): 342-346.
Zhang Weibin, Feng Xiangchu, Wang Weiwei. Accelerated Landweber Iterative Thresholding Algorithm in Wavelet Domain for Image Restoration[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2011, 33(2): 342-346.
- [8] 曾业战, 钱盛友, 刘畅. 基于最佳熵的三维 Otsu 图像分割算法[J]. 电气电子教学学报, 2010, 32(4): 51-54.
Zeng Yezhan, Qian Shengyou, Liu Chang. A Method for Image Segmentation of Three-Dimension Otsu Based on Optimal Entropy[J]. Journal of Electrical & Electronic Education, 2010, 32(4): 51-54.
- [9] Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.
- [10] Imocha O Singh, Tejmani Sinam, James O T. Local Contrast and Mean Based Thresholding Technique in Image Binarization[J]. International Journal of Computer, 2012, 51(6): 0975-8887.

(责任编辑: 廖友媛)