

6-5-2020

## Multi-Objective Image Threshold Segmentation Based on Statistical Curve Difference Method

Yuanfei Zhu

*School of mechanical engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;*

Sixiang Zhang

*School of mechanical engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;*

Zhou Wei

*School of mechanical engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;*

Xiaochen Wang

*School of mechanical engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;*

*See next page for additional authors*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

# Multi-Objective Image Threshold Segmentation Based on Statistical Curve Difference Method

## Abstract

**Abstract:** In order to accurately segment the multi-objective image whose objective area is too small, and the background gray value is similar to the objective, a threshold segmentation algorithm based on statistical curve difference method is proposed. The mountain model of multi-objective gray image is established and the gray image is normalized. *The number of connected area is counted by threshold division. The statistical curve is plotted with the horizontal coordinate being the gray level with equal interval, and the vertical coordinate being the counting result. The threshold point is the point where the difference value of the statistical curve is close to zero.* Experiment results show that the proposed method is more accurate than the Otsu and the maximum entropy threshold segmentation method.

## Keywords

objective image, statistical curve, threshold segmentation, gray normalization

## Authors

Yuanfei Zhu, Sixiang Zhang, Zhou Wei, Xiaochen Wang, and Zhidong Li

## Recommended Citation

Zhu Yuanfei, Zhang Sixiang, Zhou Wei, Wang Xiaochen, Li Zhidong. Multi-Objective Image Threshold Segmentation Based on Statistical Curve Difference Method[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(11): 2927-2933.

# 基于统计曲线差分法的多目标图像阈值分割

朱远飞, 张思祥, 周围, 王晓辰, 李志东

(河北工业大学机械工程学院, 天津 300130)

**摘要:** 为准确地分割目标面积过小, 目标和背景灰度值相近的多目标图像, 提出一种基于统计曲线差分法的阈值分割算法。建立多目标灰度图像的山地模型, 对图像灰度归一化处理。用等间隔的阈值逐一分割, 计算连通区域个数。绘制统计曲线, 曲线横坐标为等间隔的灰度级, 纵坐标为计数结果。对统计曲线进行差分, 差分值趋近于零的点, 就是所要求得的阈值点。实验结果表明: 与目前性能较优越的 Otsu、最大熵阈值分割方法相比, 所提出的方法在多目标图像分割效果准确性更高。

**关键词:** 多目标图像; 统计曲线; 阈值分割; 灰度归一化

中图分类号: TP311 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2017) 11-2927-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201711044

## Multi-Objective Image Threshold Segmentation Based on Statistical Curve Difference Method

Zhu Yuanfei, Zhang Sixiang, Zhou Wei, Wang Xiaochen, Li Zhidong

(School of mechanical engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

**Abstract:** In order to accurately segment the multi-objective image whose objective area is too small, and the background gray value is similar to the objective, a threshold segmentation algorithm based on statistical curve difference method is proposed. The mountain model of multi-objective gray image is established and the gray image is normalized. The number of connected area is counted by threshold division. The statistical curve is plotted with the horizontal coordinate being the gray level with equal interval, and the vertical coordinate being the counting result. The threshold point is the point where the difference value of the statistical curve is close to zero. Experiment results show that the proposed method is more accurate than the Otsu and the maximum entropy threshold segmentation method.

**Keywords:** objective image; statistical curve; threshold segmentation; gray normalization

## 引言

图像处理应用中, 图像中目标和背景灰度值的差异使得采用某一合理的门限值可有效地将目标和背景区分开。事实上, 由于阈值分割方法实现简单、实时性好, 在许多图像处理问题中均得到广泛

应用, 如文档处理、细胞运动估计以及自动目标识别等。阈值分割的基本原理是通过将图像中的每个像素与某一门限值进行比较从而将图像区分为背景和目标, 其关键在于寻找一个合适的门限值来区分目标和背景而且不损害目标的完整性。但是自动选择最佳阈值一直都是图像处理中的一个悬而未解的问题<sup>[1]</sup>。

对于分割目标面积过小, 目标和背景灰度值相近的多目标图像, 阈值的选取, 目前有很多经典算法。Otsu 提出最大类间方差法<sup>[2]</sup>, 该方法通过对整



收稿日期: 2016-05-30 修回日期: 2016-07-07;  
基金项目: 河北工业大学优秀青年科技创新基金 (2012008), 河北省青年基金(B2014202260);  
作者简介: 朱远飞(1993-), 男, 安徽, 硕士生, 研究方向为工业控制和传感器技术, 图像处理与检测。

<http://www.china-simulation.com>

• 2927 •

幅待处理的图像的统计特性处理,实现对阈值的选取,不需要其他辅助手段就可以完成对阈值的选取。理论上,最大类间方差法进行阈值分割处理,错旋率会最低。在细胞计数领域,J. Dahle 等在大津法来获取阈值。菌落计数研究,阈值的确定也是采用大津法来完成<sup>[3-4]</sup>。当目标和背景之间的灰度差别不大时,会出现较大块的黑白片连区域,甚至会导致对象整体的信息丢失。Prewitt 等提出的双峰法,是典型的全局单阈值分割方法,选取双峰间谷底处区域内所对应的灰度值作为阈值,可以将目标从背景分离出来。但图像背景环境复杂,目标同背景所占图像的比例悬殊、目标与背景灰度相近时,会出现双峰不明显,双峰重叠等现象,该方法有很大的局限性<sup>[5-6]</sup>。最大熵值法,通过计算图像灰度直方图的熵值,获得最佳阈值。该算法计算量较大,计算速度比较慢,当信噪比下降时,分割处理效果也相应下降<sup>[7-8]</sup>。p 参数法通过设定目标区域面积比 p,作为目标区域的灰度值频率累加值,反变换求图像分割的阈值<sup>[9]</sup>。P 参数法对阈值的选取过分依赖于目标区域面积比,精度很难保证。以上几种算法,在处理分割目标面积过小,目标和背景灰度值相近的多目标图像均存在弊端。

针对以上问题,为了准确地分割目标面积过小,目标和背景灰度值相近的多目标图像,提出了一种基于统计曲线差分法的阈值分割算法。对图像进行处理时,自动选择最佳阈值可以将目标从复杂背景中准确分割出来。

## 1 算法原理

### 1.1 基于灰度图像山地模型归一化

一幅多目标三维灰度图理解为一个高低起伏的山地模型,将模型的海拔用灰度值设定,目标出现的地方就是高耸的柱状山峰处,并且这些山峰的高度基本一致,山峰的宽窄正好对应目标的大小。在山地模型中,除了柱状山峰的存在之外,小的山谷、凸起也夹杂在其中,这些形状各异、高低起伏

不定的地带正好对应了多目灰度图中的各种背景噪声。多目标灰度图的山地模型有以下几个特点:

- (1) 所有目标整体的灰度值在一个范围内,且变化不大。
- (2) 单个目标的灰度值呈现从中心到边缘递减。
- (3) 其他背景图像的灰度值起伏不定并且没有规律。

线性函数灰度归一化将原始数据线性化的方法转换到[0 1]的范围,归一化公式如下:

$$x = \frac{x_i - a}{d - a} \quad (1)$$

该方法实现对灰度值的归一化,其中 X 为归一化后的数据在(0~1)区间,  $x_i$  为原始灰度值, a,d 分别山地模型的最小值和最大值。根据对灰度图像的山地模型分析,定义峰值灰度区间的下方为背景噪声区间(a,b),由于起伏不定的山谷、凸起小峰的存在,计数结果变化会非常剧烈接近山峰顶端的区间定义峰值灰度区间为(b,c),用这一区间的任意一值  $x_i$  对菌落图像进行阈值分割,并进行连通区域选取,其计数结果为  $S_i$ ,由于峰值灰度区间内其他山谷、凸起小峰不在其中,因此  $S_i$  的值基本变化不大;峰值灰度区间的上方我们定义其菌落消失区间为(c,d)。这三个区间组成了归一化的菌落图像灰度区间(0~1)。

### 1.2 连通区域选取

连通区域的选取又称标注连接分量<sup>[11-13]</sup>。像素 p 的上下左右以及左上左下、右上右下 8 个相邻的像素,像素 P 的 8 个相邻像素记为  $N_8(p)$ ,如图 1(b)。如果像素  $q \in N_4(p)$ ,我们称 p 和 q 为 4 邻接,如图 1(c);同理,  $q \in N_8(p)$ ,称之为 8 邻接,如图 1(d)。如果 p 和 q 在对象(对象指所有为 1 的像素, p 和 q 的像素也是 1)之间存在一条全部是 4 邻接组成的路径,我们称之为 4 连接,如图 1(e);如果之间存在一个 8 邻接的路径,我们称之为 8 连接,如图 1(f)。

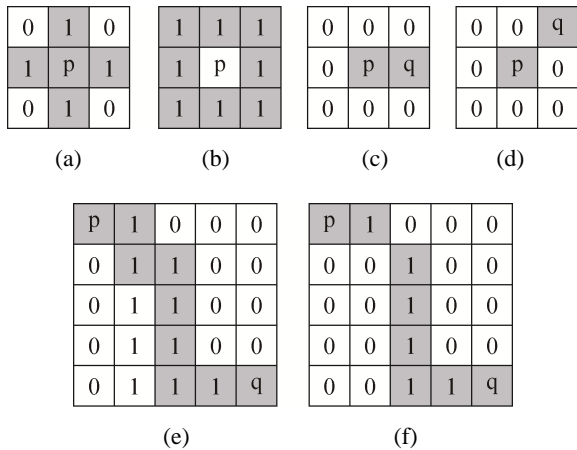
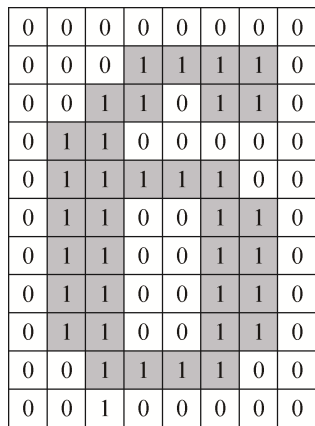


图 1 4 连接与 8 连接  
Fig. 1 4 connections and 8 connections

本文在运算中采用 8 连接。图 2(a)进行连通区域计数时图中有 10 个对象, 由 0-9 十个阿拉伯数字组成, (b)图为数字 6 的像素情况。



(a) 连通区域计数的 10 个对象



(b) 数字 6 的像素

图 2 数字 6 的连通区域选取  
Fig. 2 Connected region selection of digital 6

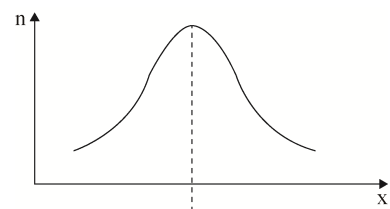
### 1.3 统计曲线差分法阈值的获取

灰度图像已经过归一化处理后, 运用等间隔灰度阈值逐一进行灰度阈值分割, 将得到的二值化图像在不进行任何处理的情况下直接标注连接分量,

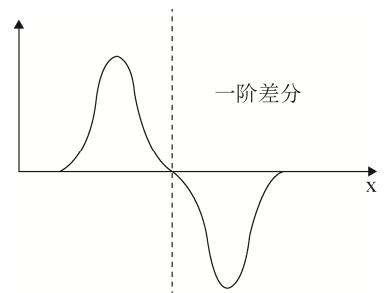
对计数结果进行统计、并绘制图形, 从而得到一副横坐标为等间隔的灰度级(0~1), 纵坐标为统计结果的离散点曲线, 离散曲线的结果呈脉冲状。选取为阈值点可以有效减少伪噪声的干扰, 是定义的峰值灰度区间的起始点。在数学中连续函数的变化率可以用导数求得, 当其导数趋近于零时, 也就是曲线平稳时。但是对于数字图像处理, 得到的都是离散点, 用差分代替求导过程, 从而寻找差分值趋近于零的点<sup>[14-16]</sup>。自变量取值为正整数的函数  $f(n)$  称为离散函数,  $f(n)$  函数的一阶差分为:

$$h(n) = f(n+1) - f(n) \quad (2)$$

脉冲两侧的两个平滑点所对应的灰度值相差很大, 最佳阈值点只有一个。如图 3(a)为理想脉冲状曲线, 可以看到在脉冲两个边缘它的陡峭程度逐渐减小, 在陡峭程度平缓处表示统计结果在灰度等间隔递增(或递减)时变化不大。图 3(b)阈值分割的图像背景标记为 0, 目标标记为 1, 在灰度图像中目标的灰度值是相对于背景灰度值大, 因此在直方图中目标对象的灰度值靠右, 背景灰度值靠左, 在阈值点选取上选定右侧的脉冲曲线平滑点, 对其进行一阶差分, 选取差分值趋近于零的第一个点, 从而最终确定该区域的具体坐标为阈值点。



(a) 理想脉冲曲线



(b) 一阶差分曲线

图 3 理想脉冲曲线及其一阶差分  
Fig. 3 Ideal pulse curve and its first order difference

## 2 算法流程

本文算法流程如图 4 所示。

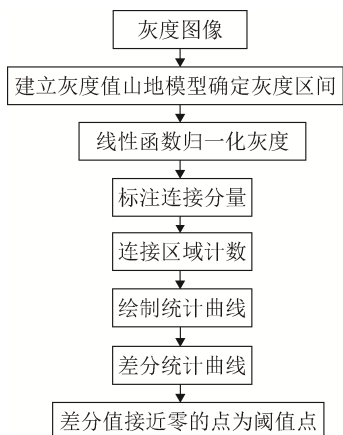


图 4 算法流程图  
Fig. 4 Algorithm flow chart

本文算法对如图 5 所示图像处理, 归一化的灰度图像进行等间隔二值化处理, 采用 0.01 作为等间隔灰度值之后对得到的阈值分割图像进行标注连接分量, 等到统计结果, 从而绘制横坐标为灰度值 0~1, 纵坐标为相应统计结果的灰度—统计曲线, 如图 5(a)所示。采样结果的连续性不是很好, 为了得到好的效果, 对其进行均值滤波, 滤波窗口选择为 1×5, 得到新的灰度—统计曲线, 如图 5(b)所示。之后我们对灰度统计结果进行一阶差分, 再对其进行均值滤波, 得到一阶统计差分如图 5(c)所示, 差分值接近于零的第一个点是所求的阈值点如图 5(d)所示。

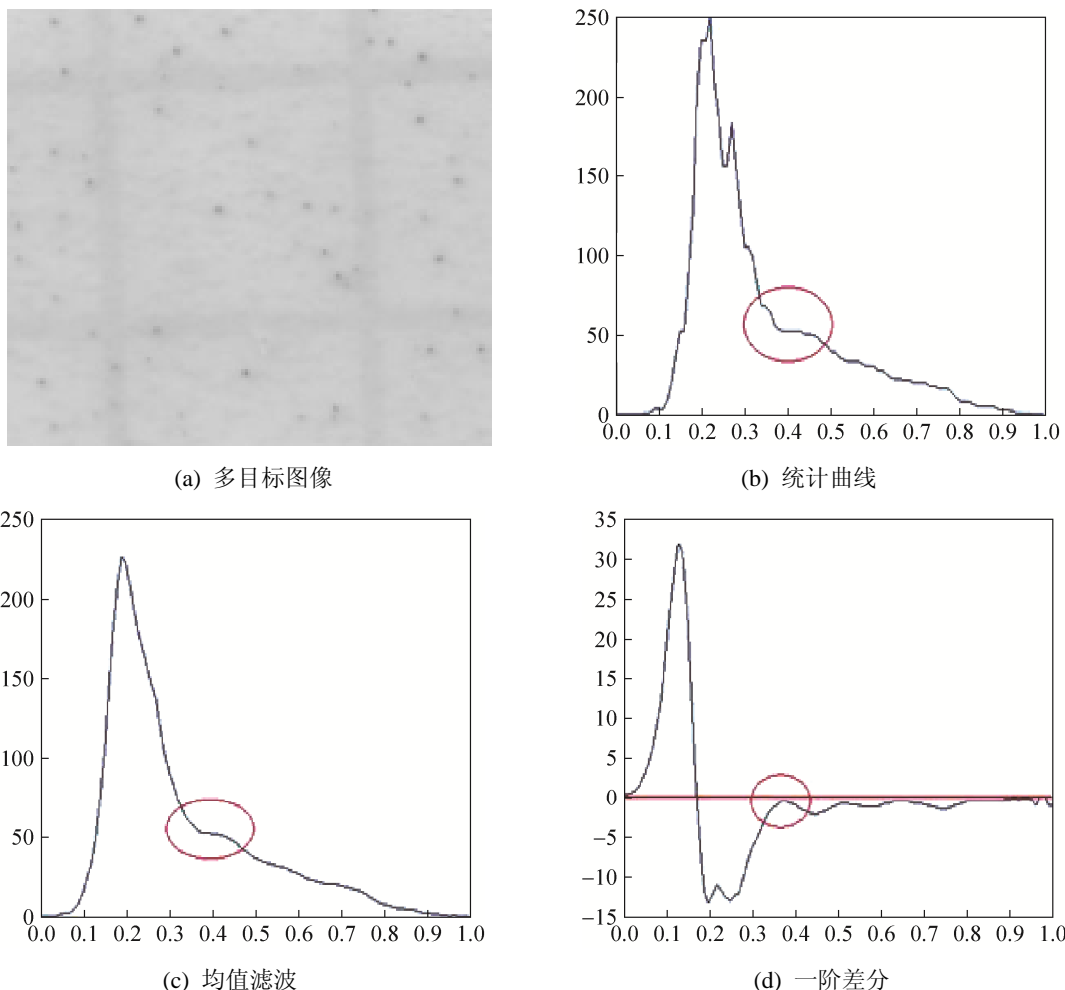


图 5 统计曲线和均值滤波、一阶差分图  
Fig. 5 Statistical curve and mean filter, first order difference graph

### 3 实验结果和分析

将本文提出的方法运用在分割如图 3 所示的三个不同的多目标图像上, 图像的大小分别为 275\*300、296\*310、354\*362。将本文的方法同最大类间方差法、最大熵值法分割的结果进行比较。分割结果如图 6, 各种方法得到的阈值以及算法运行时间见表 1, 各种方法对应的正确率见表 2。

阈值分割正确率公式如下:

$$f_r = \frac{T_r}{T_p} \quad (3)$$

式中:  $f_r$  是正确选择目标率;  $T_r$  是正确选为目标像素总数;  $T_p$  是总体像素总数。从图 6 中可以看出, 对图像(a)运用 OTSU 法进行阈值分割后背景的干

扰较为严重见(b)图, 运用最大熵值法和二维熵多阈值进行分割, 图像信噪比过低, 目标图像大多数都遗失, 见(d)(e)图; 对于图(g)、(m), 以上两种方法都不能很好的克服背景反光的干扰见(j)、(k)、(p)、(q)图, 这是因为这两种算法在实际计算中只考虑了直方图提供的灰度级信息。自适应最小误差法分割效果相对较好, 对于(m)图一些小的噪声点干扰仍然存在如图(o)。而本文提出的方法以多目标图像的使用意义为着手点, 研究阈值分割后连通区域计数结果与相应阈值的关系, 寻找在计数中适合多目标图像阈值分割的阈值, 从图 6 中的(f)、(l)(r)三图中, 可以证明运用本文提出的方法能够有效的克服多目标图像复杂背景对目标对象的干扰。

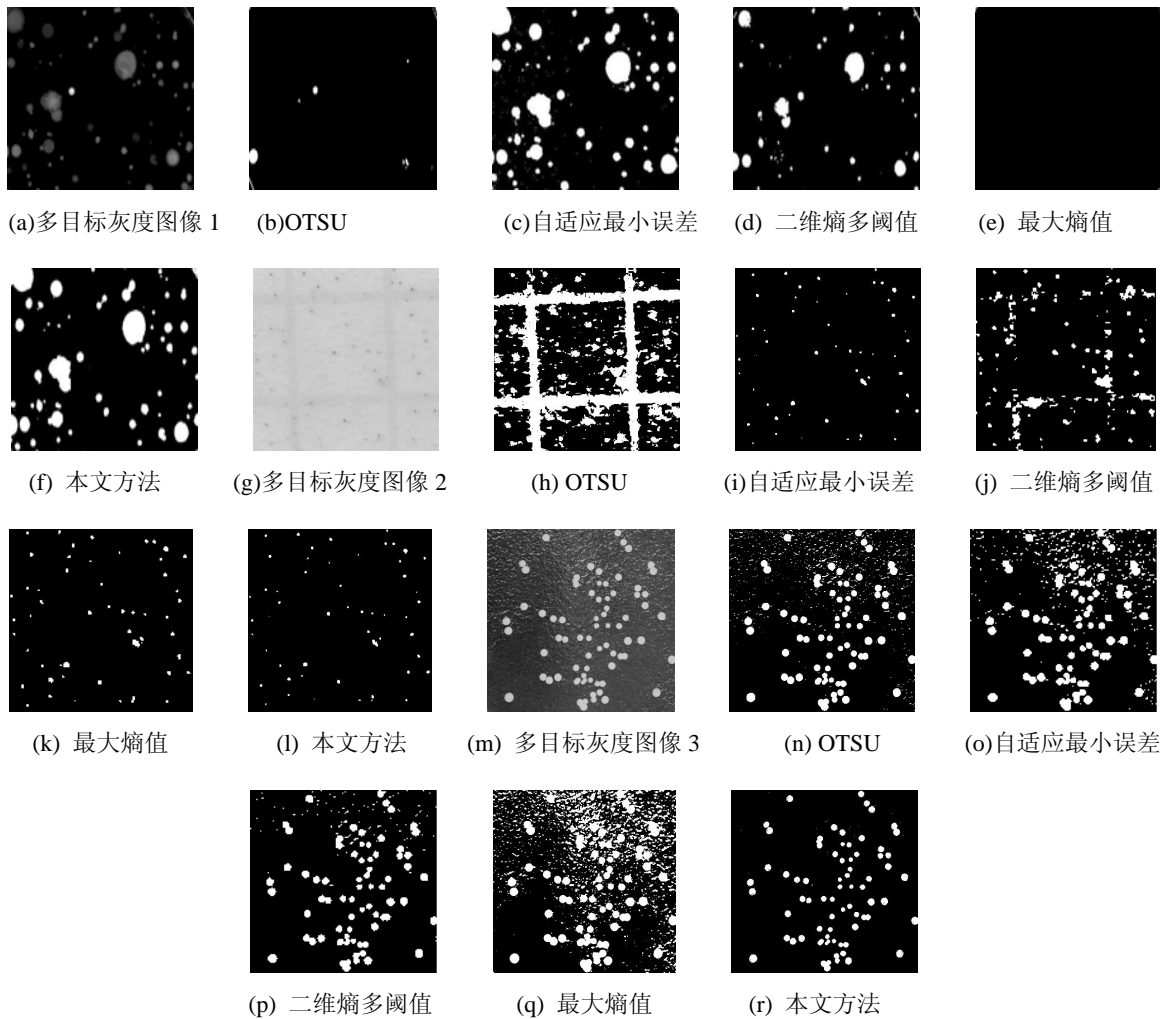


图 6 不同方法对图像的分割结果  
Fig. 6 Segmentation results of different methods

表 1 OTSU 法, 最大熵值法, 自适应最小误差, 二维熵多阈值, 本文方法得到的阈值以及运行时间

Tab. 1 Threshold and running time of OTSU method, maximum entropy method, adaptive minimum error, two-dimensional entropy, multi threshold and this method

方法	图像 1		图像 2		图像 3	
	阈值	运行时间/s	阈值	运行时间/s	阈值	运行时间/s
Otsu 法	0.06	0.581 1	0.21	0.6713	0.48	0.484 2
自适应最小误差	0.08	0.68 7	0.28	0.853	0.56	0.505 6
二维熵多阈值	0.65	2.142 3	0.25	2.014 5	0.42	3.012 1
最大熵值法	0.96	1.163 8	0.26	1.223 8	0.34	1.355 8
本文方法	0.07	1.132 5	0.27	1.074 9	0.71	1.353 1

表 2 OTSU 法, 最大熵值法, 自适应最小误差, 二维熵多阈值, 本文方法得到的正确率

Tab. 2 Accuracy of OTSU method, maximum entropy method, adaptive minimum error, two-dimensional entropy multi threshold and this method

方法	图像 1	图像 2	图像 3
OTSU 法/%	30.24	70.12	90.13
自适应最小误差/%	85.15	90.76	92.43
二维熵多阈值/%	50.13	75.67	93.47
最大熵值法/%	1.23	99.73	89.54
本文方法/%	99.81	99.83	99.98

从表 2 中可以清晰的看到运用本文提出的方法错选对象率也是最小的。从表 1 中可以看到, 本文提出的方法在运行时间上和 Otsu 法还是有一定差距的, 是因为本文提出的算法采用统计曲线的采样以及差分双重过程。

## 4 结论

本文提出了一种基于统计曲线差分法的多目标图像阈值分割算法。通过对多目标图像的三维灰度模型进行分析, 研究阈值分割后连通区域计数结果与相应阈值的关系, 建立统计曲线并运用差分原理, 对采集到的多目标图像运用该方法进行阈值的选取, 从而得到了一个理想的二值化图像。实验证明, 本文所提出的方法可以很好的将目标对象从背景干扰中分割出来, 准确率达到 99.8% 以上。本文提出的方法在类似于需要对图像中对象个数进行统计的各类研究中同样适用。本文方法也存在不足, 运算时间比传统的 Otsu 算法时间长。对背景干扰的抑制过程中将很小的一部分目标图像也相应的剔除了,

精度受到了影响, 需要对算法进行进一步优化。

## 参考文献:

- [1] Albuquerque M P, Esquef I A, Mello A R G. Image thresholding using Tsallis entropy. *Pattern Recognition Letters* (S0167-8655), 2004, 25(10): 1059-1065.
- [2] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histogram[J]. *IEEE Trans.on Systems, Man and Cybernetic* (S2168-2216), 1979, 9: 62-66.
- [3] Jostein Dahle, Manish Kakar, etc. Automated counting of mammalian cell colonies by means of a flat bed scanner and image processing[J]. *Journal of the International Society for Advancement of Cytometry* (S1552-4930), 2004, 6: 182-188.
- [4] Chen, W B, Zhang C. An automated bacterial colony counting and classification system[J]. *Information Systems Frontiers* (S1572-9419), 2009, 11(4): 349-368.
- [5] Qian R J, and Huang T S. Optimal edge detection in two-dimensional images[J]. *IEEE Trans. Image Processing* (S1057-7149), 1996, 5(7): 1215-1220.
- [6] Rajapakse J C, Giedd J N, Rapoport J L. Statistical approach to segmentation of single-channel cerebral MR images[J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging* (S0278-0062), 1997, 16(2): 176-186.
- [7] 景晓军, 蔡安妮, 孙景鳌. 一种基于二维最大类间方差的图像分割算法[J]. *通信学报*, 2001, 22(4): 71-76.  
Jing Yi, Cai Anni, Sun Jingao. An image segmentation algorithm based on two dimensional maximum inter class variance[J]. *Journal of Communications*, 2001, 22(4): 71-76.
- [8] 吴成茂. 一种新信息熵定义及其在图像分割中的应用[J]. *西安邮电学院学报*, 2009, 14(1): 72-79.  
Wu Chengmao. A new definition of information entropy and its application in image segmentation[J]. *Journal of Xi'an University of Posts and Telecommunications*, 2009, 14(1): 72-79.
- [9] 房华, 程国建, 吴文海. 一种基于最大熵的改进型



- PCNN 图像分割新方法[J]. 软件导刊, 2010, 9(5): 189-191.
- Fang Hua, Cheng Guojian, Wu Wenhai. A new segmentation method of improved PCNN image based on maximum entropy[J]. Software Guide, 2010, 9(5): 189-191.
- [10] Doyle W. Operation. Useful for Similarity-Invariant Pattern Recognition[J]. Assoc. Computer. Mach (S0004-5411), 1962, 9: 259-267.
- [11] LAN J H, ZENG Y L Multi-threshold image segmentation using maximum fuzzy entropy based on a new 2D histogram[J]. Optik-Int. J. Light Electron Opt. (S0030-4026), 2013, 124(18): 3756-3760.
- [12] C Yi, Y L Tian. Text string detection from natural scene by structure-based partion and grouping[J]. IEEE transation on image processing (S1057-7149), 2011, 20(9): 2594-2605.
- [13] 宋斌. 一种新的图像连通区域快速标号算法[J]. 电子测量技术, 2009, 32(9): 67-68.
- Song Bin. A new fast labeling algorithm for image connected regions[J]. electronic measurement technology, 2009, 32(9): 67-68.
- [14] Zhang B G, Zhou Y. Oscillation of Difference Equations with Several Delays[J]. Computers and Mathematics with Applications (S0898-1221), 2002, 44(5): 817-821.
- [15] Wang X P. Oscillation of Delay Difference Equations with Several Delays[J]. J. Math. Anal. Appl (S0022-247X), 2003, 286(2): 664-674.
- [16] Gong X H, Zhong X Z, Jia J Q, et al. Oscillation of First-order Neutral Difference Equation[J]. Modem Applied Science (S1913-1844), 2009, 3(8): 90-94.

### 《系统仿真学报》荣获“2017 中国国际影响力优秀学术期刊”证书

由中国学术期刊（光盘版）电子杂志社与清华大学图书馆联合成立的中国学术文献国际评价研究中心，发布了 2017 版《中国学术期刊国际引证年报》，《系统仿真学报》荣获“2017 中国国际影响力优秀学术期刊”。

《年报》（2017 版）采用的统计源期刊为 20192 种，涵盖 WoS 收录的 SCI 期刊 8874 种、SSCI 和 A&HCI 期刊 4645 种，ESCI 期刊 5578 种；增补期刊 1762 种。参照中外文学术期刊总被引频次、影响因子、半衰期等各项国际引证指标，计算期刊影响力指数(CI)，对国内 6210 种学术期刊排序，遴选了人文社科、自然科学与工程技术两个类别的 TOP10% 为国际影响力品牌学术期刊。TOP5% 以内的期刊为“最具国际影响力学术期刊”、TOP5-10% 之间的为“国际影响力优秀学术期刊”。