

文章编号:1001-9014(2011)01-0080-05

基于直方图互确认的图像阈值化分割

陈亮¹, 丁国辉², 郭雷^{1*}

(1. 西北工业大学自动化学院, 陕西西安 710072; 2. 天津航计算技术研究所, 天津 300141)

摘要: 目前图像阈值化中存在的主要问题是分割结果的有效性以及分割数目的确定, 本文提出一种新颖并且原理简单的图像阈值化算法. 根据图像在直方图上的直观分布, 提出一种新的阈值判断机制, 该机制基于峰谷对阈值的影响, 累积所有直方图对阈值的认可程度, 并结合一些加速策略, 使得算法具有很强的实用性和适用性. 算法结合最终认可的百分比确定取值数目, 进而确定分割数目. 在实验中, 引入两种较新的阈值化方法, 本文算法的分割效果在实验比较中表现良好, 也很稳定. 该方法在红外图像处理中也得到较为显著的分割效果.

关键词: 图像处理; 阈值化; 直方图; 互确认

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

Image thresholding based on mutual recognition of histogram

CHEN Liang¹, DING Guo-Hui², GUO Lei^{1*}

(1. Department of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. Jinhang Institute of Computing Technology, Tianjin 300141, China)

Abstract: For more effective image thresholding, a novel and simple method was proposed which based directly on the histogram of the image. According to the intuitive appearance of the histogram and the influence of peaks and valleys to final threshold, a new thresholding measurement is defined creatively. Accumulating mutual recognitions of all other histogram bins and combining some speeding-up strategies, the proposed measurement makes image thresholding more practicable and applicable. The number of segmentation is determined by the percentage of the final recognition value. As can be seen from the comparison with other methods in experiments, results of the proposed method looks better than other ones. Moreover, the objects are highlighted well in infrared image.

Key words: image processing; thresholding; histogram; mutual recognition

PACS: 42.30.Va

引言

图像分割是图像识别的关键和前提, 根据一致性属性准则把图像分成各具特性的互不重叠的区域, 以及区分出感兴趣目标的过程, 通常可分为: 阈值化分割、基于边缘的分割和基于区域的分割. 而阈值化分割是一种简单且实用的方法, 优点在于方法简单、计算量小、性能较为稳定. 通过一个或者几个灰度阈值, 将原图像中的前景和背景或者不同的目标分开, 因此分割结果直接依赖于阈值的选择, 如何确定一个好的阈值来保证有效的分割, 一直是阈值化分割的主要难点. 文献[1]综述了目前所有阈值化方法, 对其进行分类、评估. 对于阈值化方法, 本文

认为可分为两大类, 第一类是直方图和直方图变换方法. 直方图方法是通过对峰值和谷值的分析直接确定阈值, 如峰值搜索法^[2]、聚类法^[3~6]等. 假定目标和背景各自有明显的灰度分布, 也就是灰度直方图具有两个或多个峰值, 那么阈值分割的任务是选取阈值划分这些峰值. 国内在聚类研究方面有很多进展, 文献[5]利用自适应遗传算法处理局部极值的能力, 克服FCM算法对初始化的敏感并动态地确定空间信息影响因子, 提出一种基于加权空间函数FCM的分割算法, 而文献[6]则是比较新颖地将Rough集用于聚类算法之中. 直方图变换方法则是将实际图像的灰度直方图构造成一组分布函数, 如文献[7,8]. 这类方法中, 若实际图像的直方图与假

收稿日期: 2010-06-21, 修回日期: 2010-12-18

基金项目: 国家自然科学基金(60675015)资助项目

作者简介: 陈亮(1979-), 男, 吉林九台人, 博士, 主要从事图像处理、计算机视觉方面的研究, E-mail: lionbright@gmail.com.

* 通讯作者: E-mail: lguo@nwpu.edu.cn.

Received date: 2010-06-21, revised date: 2010-12-18

设的模型之间存在的误差太大,则得到的阈值分割效果可能会不好.第二类是基于一些准则,如类间方差法^[9],最小误差方法^[10],熵法^[11]和基于方差的统计方法^[12]等来选取阈值.这类方法计算量可能较大,而且很难自动确定分割类数,需要人为事先确定,若类数选择不合适时效果一样很差,而且在实际中分割数目一般不可能预先已知.

本文结合两类处理方法,从图像的直方图的直观特征出发,引入了累积互确认判别准则,定义了互确认判别函数,提出一种能够自动整合所有直方图单元对阈值的认可程度来自动确定最佳阈值的方法.该方法取决于直方图的分布,对灰度分布特征不同的图像分割效果都较好,方法简单合理,符合人眼识别机制.

1 图像直方图的表示

本文主要依赖直方图的直观外在表现形式.在通常情况下,图像中的目标与背景有明显的区别,因此会形成各自不同的峰值,而本文的目的就是要从峰值与谷值之间找到最佳的分割位置,从而达到较好的阈值化结果.另一方面,当直方图形成不同的峰值时,该值联合附近的灰度值元素在图像中占有很多的位置,并与其它峰值遥相呼应,可以将直方图划分成不同的块,也就是得到最终的阈值化结果.而大多数的图像都是符合上述假设的.因此,本文的假设也基于此,认为图像中的可分割的灰度区域会形成不同的峰值.同时,从外在直观的直方图表现可以得出,多灰度级阈值化的最佳阈值一般都处于谷底,本文通过直方图中各个灰度值的分布情况,以确认投票的形式将不同灰度值对阈值的认可积累起来,最终得到分割阈值.本算法的重点为,如何简单有效地集合峰谷之间的相互影响,并有效地定位谷底,得到对应的响应统计值,从而得到图像中的最佳阈值.

2 本文算法的细节

简单算法的有效实现需要一些策略作支撑,本节给出算法的实施过程,并具体介绍本算法涉及的相关细节.

2.1 基本流程

首先给出算法的基本思想:参照图像的直方图,本文将不同横轴观测值(即不同灰度值)对阈值的认可程度累加起来,获得最终阈值的确定.算法的具体处理流程如图1,分3个步骤.

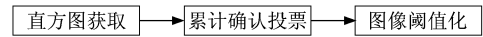


图1 算法整体流程图

Fig.1 The flowchart of the method

第一步实现简单,第二步进行认可投票,累积获得所有直方图对阈值的初步认可(其详细过程见2.2.1),通过第二步的操作,将得到一些连续的投票结果曲线,然后根据极值得到最佳阈值.其中,在高峰值处,根据停止条件(见2.2.2),由于出现两侧偏离过多以及急速下降过多,则不会产生互确认的投票,即不会积累响应值,那么响应值将只存在于谷处;而同时极大值也说明了确认投票的结果——对阈值的认可,因此结果曲线一般被峰值的位置划分为不同的区域,算法的第三步在这些区域中找出极大值作为最终的阈值;搜索相邻两个结果曲线小于等于0之间的最大值作为候选值.阈值化结果需要确定图像分割的数目,可以通过人为确定数目,或者根据最值.根据实验,本文首先取大于最大值的20~25%的值作为候选值,若数目多于任务设定数目,则取出固定个数的响应极大值为最终阈值.

2.2 算法核心

在整个流程当中,第二步是本文的主要贡献,需要一定的策略保证算法的有效实施.下面,我们从以下两个方面进行阐述.

2.2.1 判断机制

如前所述,峰谷是寻找阈值的依据,最大的认可响应是峰值所处的位置对谷值的确认投票.因此我们从当前位置出发,向两侧寻找指示峰谷的关系,其中包括判断灰度级位置与当前位置的差别、距离以及当前灰度级位置的本身所含的数目,令每次判断得到认可投票参照如下表达:

$$f_{cur}(Diff_l, Diff_r, d_l, d_r, h(cur)) \quad (1)$$

图2给出各变量的指示含义: $Diff_l$ 为左侧位置与当前位置的差别, $Diff_r$ 为右侧,而 d_l 与 d_r 分别为两侧判断位置与当前位置的距离, $h(cur)$ 为当前所处位置的灰度级数目.在此说明一下该定义的目的:本

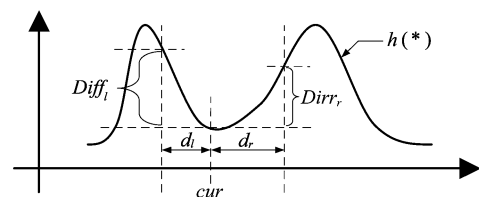


图2 公式(1)中各变量的图示说明

Fig.2 The visual description of variables of Eq. (1)

算法鼓励更大的差别和更远的距离,并且要求当前位置的直方图数目越小越好.

那么最终的互确认的认可程度设定为:

$$F(cur) = \sum_{l,r \in N_{cur}} f_{cur}(Diff_l, Diff_r, d_l, d_r, h(cur)) \quad (2)$$

其中 N_{cur} 为 cur 的两侧邻域.

在本算法中 $f_{cur}(\ast)$ 的计算过程如下:

$$f_{cur}(Diff_l, Diff_r, d_l, d_r, h(cur)) \propto \frac{(Diff_l + Diff_r) * (d_l + d_r)}{h(cur)} \quad (3)$$

在实验中,左式与右式是一种正比例的关系.比例系数仅用来调整显示最佳的结果曲线,根据预期的实验显示效果来确定.

2.2.2 加速策略

为使算法具有实用性,添加如下策略,以保证算法的高效性.

- 动态步长:若判断过程不是逐个实施的,而是通过变化的步长则可以加快效率.根据直方图的缓急情况,采用如下公式获得步长.

$$N_{step} = \begin{cases} Step & \text{if } Diff < TH_d/10 \\ Step/2 & \text{if } Diff < TH_d/2 \\ 1 & \text{Other} \end{cases} \quad (4)$$

N_{step} 为寻找下一位置的步长, TH_d 为偏离容忍度(见停止条件), $Step$ 为预先指定的最大步长,文中设置为 10. 式(4)的含义是:在直方图平滑区域,尽快搜索到比当前位置更大的峰值,进而获得更大的认可;在陡峭区域,则放缓步长,以防止越过附近最大的峰值.由于算法的主要目标是寻找两峰之间的谷,当阈值两侧的面积趋于相似时,分割也将很好的覆盖整个直方图,因此动态步长还能让位置两侧所覆盖的面积尽量平衡,平缓的区域形成的面积较小,因此要多跨过一些直方图区域,而陡峭时,形成的面积越来越大,步长即使为 1,也会覆盖大的面积.

- 停止条件:通过设定停止条件,使得一些不必要的测试判断尽快地被放弃,从而加速算法的运行.另一方面,停止条件还可以保证每个判断过程遇到明显的峰值时停止,这样就可以实现多阈值分割.针对直方图的缓急情况,将实施不同的停止判断条件,如下:

a) 当直方图平滑变化时,停止的条件为向下偏离过多.最低的容忍位置设为 $h(cur) * (1 - TH_d)$, 小于则停止步进,其中 TH_d 为偏离容忍度.实验中,将 TH_d 通过式(5)的线性变换进行差值得到,其中 d

来自于 d_l 和 d_r , 最小为 1, 最大为 254(另一侧必然存在一个灰度级).

$$Th_d = (d + 125) / 1008 \quad (5)$$

相邻两侧, Th_d 为 1/8, 最远距离近似为 3/8, 即,当距离变远时,偏离容忍度变大.

b) 当直方图急速下降时,停止条件为下降趋势太频繁.算法中设有一个记录下降次数的计数器 Cnt , 用来监视直方图曲线的下降程度,当 Cnt 超过设定次数 TH_i 时,则停止步进.算法实现中,设 $TH_i = 8$.

3 实验设计

在此根据实验来说明本文方法的功能效果.本文实验基于的平台是 Windows XP + MATLAB R2006b. 实验中采用 3 幅可见光图片以及 2 幅红外外图片,并与最新的阈值化方法[3,12]进行对比,同时基于性能测试标准来验证本文方法的有效性.

3.1 实验对比结果

如图 3 所示,不同算法的阈值化结果依次列出,相应的阈值显示在结果图像下侧.可以看出,本文算法有效地将直方图的峰值划分开,测试图 1 的结果说明了本文算法对可变光照的影响小于其它两种方法;而从测试图 2(Lena)和测试图 3(自然图像)的结果中可以看出本文算法分割后的均值图像更接近原始图像,与人眼分割的结果比较一致.

3.2 性能测试标准对比

算法是否有效需要一个标准来衡量,文献[1]中提及到了几种用于图像二值化的标准:错误分类误差(ME),相关前景面积误差(RAE),改良的 Hausdorff 距离(MHD)和区域不一致性(NU).但前三种都以图像的真实分割为参考,这种真实分割是由人工分割而来,很显然,具有主观性,而 NU 直接根据分割后的区域与原始图像的偏差,没有人为的介入.另外,还没有成熟的评测标准来衡量多阈值化方法,根据 NU 的表示形式,它很容易扩展到多阈值化评测之中.因此本文采用的性能评测标准是 NU. NU 是由原始前景与阈值化分割后的区域之间的方差与整幅图像的方差的比来表示的.因此在多阈值化过程中,本文扩展 NU 的定义为:

$$NU = \frac{\sum_i \sigma_i^2}{\sigma^2} = \frac{\sum_i \sum_{(x,y) \in R_i} [I(x,y) - \overline{I(x,y)}]^2}{\sum_{(x,y) \in I} [I(x,y) - \overline{I(x,y)}]^2} \quad (6)$$

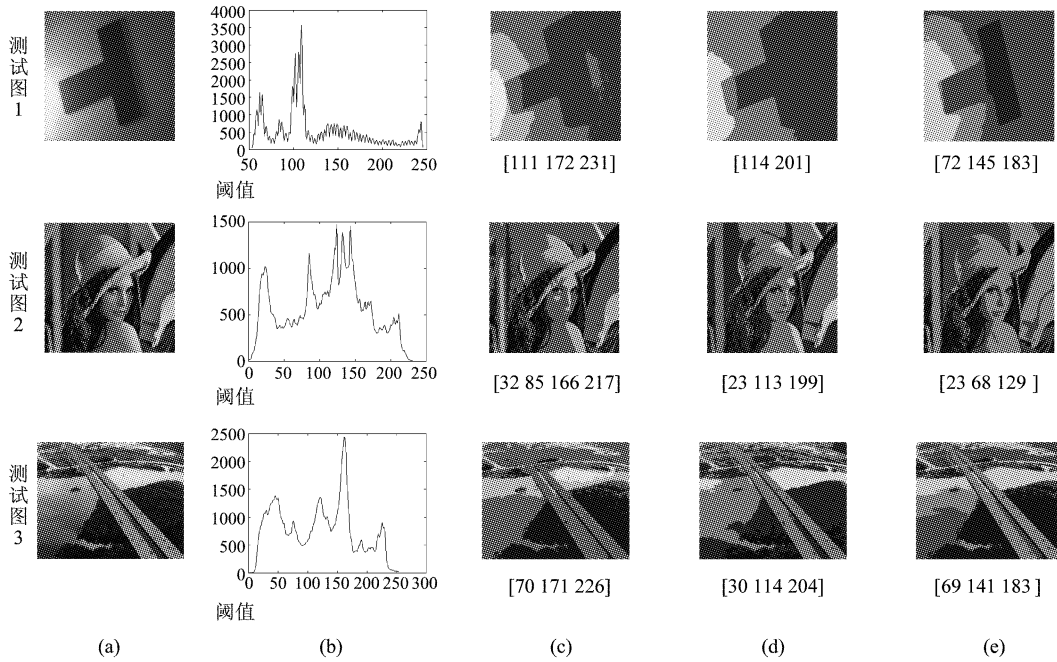


图3 算法在不同可见光图像中的结果对比 (a)原始图像 (b)直方图 (c)文献[12] (d)文献[3] (e)本文算法
 Fig.3 Comparison of images from different sources (a) Optical images (b) Histogram (c) Results of Ref. [12] (d) Results of Ref. [3] (e) Results of our method

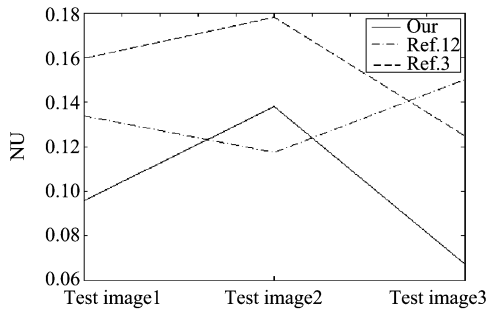


图4 NU 值对比
 Fig.4 Comparison of NU

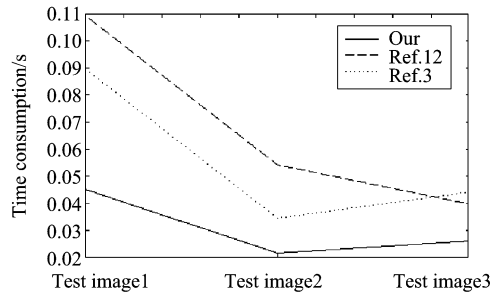


图5 与文献[3]及文献[12]中算法的时间消耗对比
 Fig.5 Time consumption comparison with the algorithms in Ref. [3] and Ref. [12]

其中 $I(x,y)$ 为区域内的像素, $\overline{I(x,y)}$ 为所有像素的均值, R_i 为第 i 个区域. NU 的值域为 $[0,1]$. 当 $NU = 0$ 时表明分割与原始图像没有任何差异, 而 NU 越大则表明差异越大, 分割效果越差. 图4给出了图3所展示的几幅图像的 NU 评测结果. 从图4中可以看出, 本文算法效果很好. 尽管测试图3的 NU 值排列第二, 综合起来本文算法的 NU 值排名是最好的. 从图3的效果来看, 分割的效果是非常符合人眼分辨结果的.

另一方面, 在时间消耗上, 对每个算法运行三次, 然后平均运行时间, 结果如图5所示. 本文方法相比而言, 具有最快的速度. 综合阈值化效果说明, 本方法在运行效率和实现效果方面具有良好的使用

前景.

3.3 红外图像

另外实验中采用了2幅不同背景的红外图像以说明算法的适用性. 红外图像的特殊性——分辨能力差、区别能力弱, 使得大部分像素的灰度值都很近似, 除了少数热的目标才会形成较亮的区域; 并且不同目标之间的像素灰度值的对比度与可见光图像大相径庭, 热源目标可以将温度较低的目标弱化到看不清. 因此其处理方法应该也与可见光图像的方法有很大不同. 本文算法正比于峰谷之间的差值以及反比于直方图的属性值, 能够对明显的热源目标进行阈值化划分. 其它算法并没有这些考虑, 使其并不太适应红外图像处理. 从图6的结果可以看出, 本

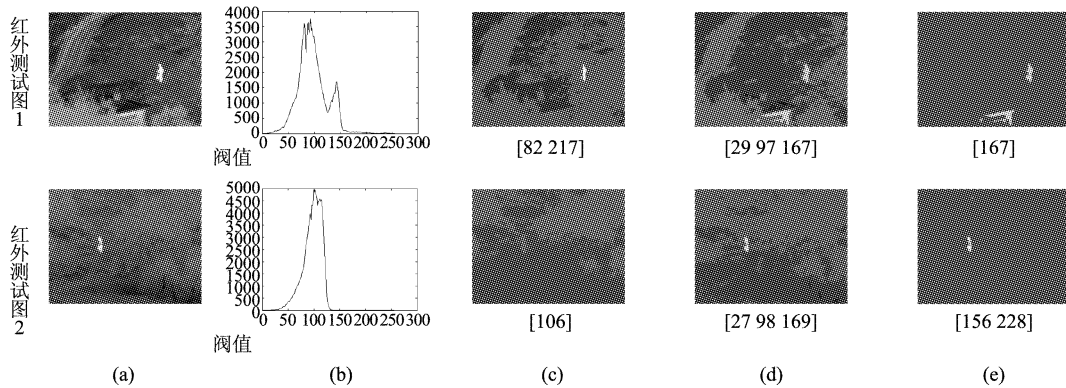


图6 算法在红外图像中的结果对比 (a)原始红外图像 (b)直方图 (c)文献[12] (d)文献[3] (e)本文算法
Fig.6 Comparison on infrared images (a)Infrared images (b)histogram (c)results of [12] (d) results of [3] (e) results of our method

文算法将显著的目标很好的突显出来,通过目标知识的限定,高层处理方法很容易将目标提取出来。

4 总结

图像处理中目标识别的重要性尤为重要,因此图像分割的质量是一切高级图像处理的基础,本文提出一种浅显易懂的图像阈值化分割的方法,基于直方图的本身所蕴含的外在表现,进行阈值化的尝试,提出一种新的判断机制使得阈值化能够更加鲁棒地分割图像.参照图像中不同目标在直方图中的普遍反映,我们总结了峰谷对最终阈值确定的影响,考虑到实际情况的特殊性,加入确认投票的思想,使得阈值化综合了全部直方图对该位置是否阈值的确认,最后根据最大的响应值得到阈值化结果,方法具有很广的适用性.本文还在多阈值化的层次上扩展了NU的定义,用来衡量算法的有效性.实验验证了本方法的效果,通过算法在可见光图像和红外图像的应用,表明本方法具有更广的应用范围和更大的适用性.后续研究将集中在更有效的确认投票准则思想,添加其它参数,或将当前使用的参数形式化,还有相关的度量函数的选择,以及与他人算法思想的结合得到更加优秀的阈值化结果。

REFERENCES

- [1] Sezgin M, Sankur B. Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation[J]. *J. Electron. Imaging*, 2004, **13**(1):146—165.
- [2] Sezan M I. A peak detection algorithm and its application to histogram-based image data reduction[J]. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1990, **49**(1):36—51.
- [3] Arora S, Acharya J, Verma A, et al. Multilevel thresholding for image segmentation through a fast statistical recursive algorithm [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2008, **29**(2):119—125.
- [4] Tsai D, Cheng Y. A fast histogram-clustering approach for multi-level thresholding [J]. *Pattern Recognition Letters*, 1992, **13**(4):245—252.
- [5] Tian X, Jiao L, Gou S. SAR image segmentation using optimized FCM with weighted spatial function[J]. *Journal of Xidian University*(田小林,焦李成,缙水平.加权空间函数优化FCM的SAR图像分割.西安电子科技大学学报), 2008, **35**(5):846—852.
- [6] Liu H, Liu Y. Method for image segmetnation based on rough sets[J]. *J. Infrared Millim. Waves*(刘宏建,刘允才.一种基于粗集理论的图像分割方法.红外与毫米波学报), 2004, **23**(6):459—464.
- [7] Kittler J, Illingworth J. Minimum error thresholding[J]. *Pattern Recognition*, 1986, **19**(1):41—47.
- [8] Lee J S, Yang M C K. Thresholding selection using estimates from truncated normal distribution[J]. *IEEE Trans. On System, Man and Cybernetics*, 1989, **19**(2):422—429.
- [9] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histogram[J]. *IEEE Trans. On System, Man and Cybernetics*, 1979, **9**(1):62—66.
- [10] Cho S, Haralick R, Yi S. Improvement of Kittler and Illingworth's Minimum Error Thresholding[J]. *Pattern Recognition*, 1989, **22**(5):609—617.
- [11] Brink A D. Thresholding of digital images using two-dimensional entropies [J]. *Pattern Recognition*, 1992, **25**(8):803—808.
- [12] Arifin A Z, Asano A. Image segmentation by histogram thresholding using hierarchical cluster analysis[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2006, **27**(13):1515—1521.