

·信号与信息处理·

一种基于图像平滑的阈值分割方法

张俊生^{1,2}, 侯慧玲², 赵晓霞²

(1.太原工业学院电子工程系,山西 太原 030008;2.中北大学仪器科学与动态测试教育部重点实验室,山西 太原 030051)

摘要: 阈值分割是图像分割技术中一类广泛使用的方法, Otsu法是其典型代表。针对Otsu法不能准确分割低对比度或低信噪比的图像的缺点, 提出了一种新的动态阈值分割方法: 先用平滑滤波器平滑得到原始图像的动态背景图像, 原始图像与动态背景图像相减得到差图像, 在差图像上通过设定阈值来实现原始图像的分割。仿真实验表明, 该方法具有较低的算法复杂度, 容易实现且能成功分割出Otsu法不能分割的对象, 同时对噪声具有较好的抑制能力, 广泛适用于各种场景的图像分割。

关键词: 阈值分割; Otsu法; 图像平滑

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2011)06-0062-04

Threshold Segmentation Algorithm Based on Image Smoothing

ZHANG Jun-sheng^{1,2}; HOU Hui-lin²; ZHAO Xiao-xia²

(1. Department of Electronic Engineering, Taiyuan Institute of Technology, Taiyuan 030008, China; 2. Key Laboratory of Instrumentation Sciences and Dynamic Testing, Ministry of Education, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Threshold segmentation is widely used in the image segmentation, and the typical method is Otsu method. However, the Otsu method can not segment the low contrast or low signal to noise ratio image exactly, so a new dynamic threshold segmentation algorithm is proposed. The dynamic background image of the original image is obtained by the smoothing filter, the original image minus the dynamic background is the difference image, and the original image segmentation is achieved by setting the threshold. The experimental results show that the method has low algorithmic complexity, can segment successfully the objects which Otsu method can not segment and reduce the noise effectively, so it is suitable for a wide range of image segmentation.

Key words: threshold segmentation; Otsu method; image smoothing

在图像分析和图像理解领域里, 图像分割是一个需要首先解决的关键问题, 其目的是将图像中有意义的部分提取出来。在众多的图像分割技术中, 阈值分割是普遍使用的有效图像分割方法^[1], 它用一个或几个阈值将图像的灰度级分为几个部分, 属于同一部分的像素认定为同一个物体, 具有计算简单、运算效率高的特点^[2]。阈值选取是阈值分割技术的关键, 它直接决定了图像分割的准确度和精确度, 国内外众多学者对此进行了大量的研究, 提出了最大熵法^[3]、最优迭代法^[4]、最大类间方差法^[5]等多种类型的阈值自动选取方法。这些方法的特点是算法处理速度较快, 但在图像受到噪声干扰或对比度较低

时难以获得满意的分割效果, 其中最大类间方差法最受人们关注。

1 最大类间方差法

日本学者大津展之首先提出最大类间方差法, 也称做Otsu法。Otsu算法是根据图像的一维灰度直方图, 以背景和目标的类间方差为阈值选取准则。设一幅图像的灰度级数为 $L(0, 1, \dots, L-1)$, 灰度级为 i 的像素个数为 n_i , 总的像素个数为 n , 图像的灰度直方图表现为概率密度分布

$$p_i = \frac{n_i}{n} \quad (1)$$

收稿日期: 2011-10-29

基金项目: 山西省青年科技研究基金(2009021019-2); 教育部高校博士点专项科研基金(20100501JJ)

作者简介: 张俊生(1981-), 男, 山西忻州人, 硕士研究生, 讲师, 主要研究方向为射线无损检测, 图像识别和机器视觉。

假设阈值 k 将图像分成物体和背景两类,即 $C_0 = \{0, 1, \dots, t-1\}$ 和 $C_1 = \{t, t+1, \dots, L-1\}$, 定义类间方差 σ_B^2 为

$$\sigma_B^2 = \omega_0(\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2 \quad (2)$$

其中, $\omega_0 = \sum_{i=0}^{k-1} p_i$; $\omega_1 = \sum_{i=k}^{L-1} p_i$; $\mu_0 = \sum_{i=0}^{k-1} ip_i / \omega_0$;

$\mu_1 = \sum_{i=k}^{L-1} ip_i / \omega_1$; $\mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} ip_i$ 。Otsu 算法通过穷举法

不断修改 k 的取值,以 σ_B^2 最大的 k 作为图像分割的最优阈值。

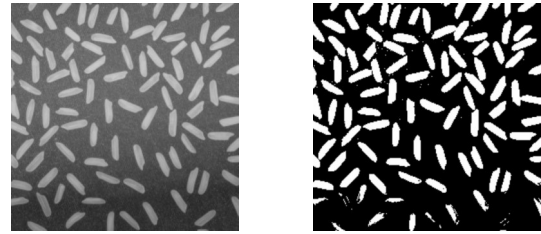
Otsu 算法基于图像的灰度直方图,当直方图出现 2 个峰值的分布时能将阈值自动确定为 2 个峰值之间的最小值,分割效果较好。对于受噪声干扰或对比较低度的图像,直方图仅有一个峰值,有时甚至没有绝对的峰值,Otsu 算法就很难得到理想的分割效果,会产生误分割。这是由于直方图仅仅反映了图像像素的自身灰度分布,没有完全反映出图像像素之间的空间信息,特别是当图像中含有噪声时,反映不出物体与背景的明显区别,最终导致分割失误。借助于二维直方图的概念,有学者提出了二维 Otsu 自动阈值分割算法^[6],分割性能有了较大的改善,但运算时间也大大增加,其快速算法也逐渐被人提出^[7,8],一定程度上缓解了这个问题。

受二维 Otsu 自动阈值分割算法的启发,即在利用图像像素灰度信息的同时综合考虑像素的空间位置关系,作者提出了一种先利用平滑滤波器对原始图像平滑生成动态模板图像,在原始图像和动态模板图像的差图像上进行判断、分割的方法。

2 基于图像平滑的阈值分割

图像中的目标物体之所以成为目标,是由于它的灰度值大于或小于周围背景的平均灰度值。当图像对比度较高、不受噪声污染时,这种差异在直方图上表现为 2 个峰值,一个代表背景,一个代表目标;当图像对比度较低、噪声污染严重时,差异在直方图上得不到明显的显示,但在局部区域内,目标物体的灰度值依然不同于背景像素的灰度值。Otsu 算法对整幅图像使用同一个阈值,也即对整幅图像使用一个背景亮度值,未能准确反应局部区域的灰度差异而导致分割错误。图 1a 为一幅大米粒的数字图像,使用 Otsu 算法对其进行阈值分割,结果如图 1b 所示:绝大部分大米粒都被准确分割出来,但其中靠下部分的几

粒大米分割效果较差,米粒大部分被丢失,同时分割后的二值图像出现了噪声点。



(a)原始图像 (b)Otsu法分割结果

图1 图像的Otsu分割

导致这种结果的原因是原始图像的背景亮度不均匀,靠上部分的背景亮度灰度值较大,靠下部分的背景亮度灰度值较小,使用统一的阈值无法准确分割对比度较低或者噪声较大的区域。如果能对图像不同区域使用不同的阈值,分割失误应该会有所降低。要想对图像不同区域使用不同的阈值,关键是找到不同区域的背景亮度。

使用图像平滑可以找到不同区域的背景亮度。以图像平滑中常见的均值滤波为例,假设使用 3×3 模板滤波,中心像素的灰度值就是这 3×3 区域内 9 个像素的平均灰度值。如果模板足够大,大到可以覆盖目标物体,那么均值滤波后的平滑图像就可视为原始图像不同区域的局部背景平均亮度图像。使用 30×30 均值模板对图 2a 进行平滑滤波,滤波后的结果如图 2b 所示。可以看到,大米粒被全部平滑掉,其中不同像素的灰度值是以该像素为中心的 30×30 这个区域内的平均亮度。原始图像与背景亮度图像相比较,没有大米粒的背景区域二者灰度相接近,有大米粒的目标区域原始图像要比背景亮度图像的灰度值大。这种差异可以通过二者相减的形式来凸显:原始图像减去背景图像得到二者的差值图像,如图 2c 所示。图 2c 的差值图像亮度与原始图像相比大大降低,但整幅图像的灰度背景均匀,很好地避免了原始图像背景上浅下深的问题,这可以从动态背景图像上找到答案: 30×30 均值模板把灰度的运算局限在了 900 个像素的小区域内,背景灰度较高的上部区域平均灰度也高,背景灰度较低的下部区域平均灰度也低,原始图像与动态背景图像相减正好抵消了这些差异。在差值图像上设定一个阈值来实现原始图像的二值化,图 2d 为将阈值设定为 25 时的分割结果。可以看到,原始图像中的所有大米粒被完整地分割出来,分割后的图像几乎没有噪声干扰。

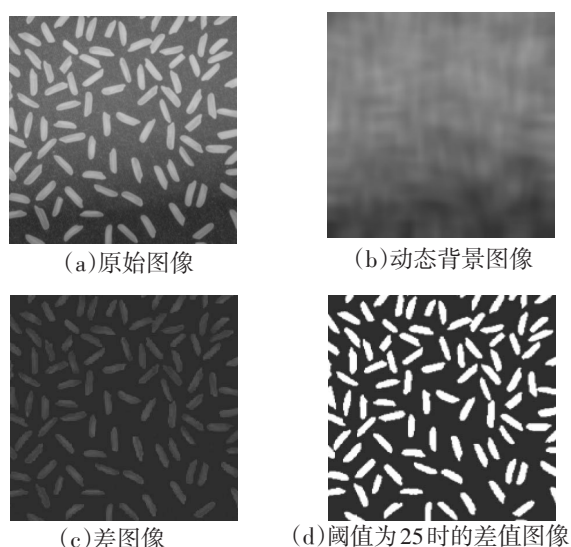


图2 图像使用文中提出算法的分割

可以看出,文中提出的利用平滑滤波后的背景图像作为参考,不同区域使用不同背景亮度的分割方法比Otsu法具有更好的鲁棒性。这种方法实质上是动态的阈值分割,每个像素的分割阈值为该位置上背景图像的灰度值加差值图像二值化时的阈值,对图2d而言差值图像上的阈值为25。由于图像平滑具有抗噪的功能,这种分割方法比Otsu法具有更好的噪声抑制能力,这可以从图1b和图2d的对比中得到印证。决定这种分割算法的2个因素是图像平滑时的模板和差值图像二值化时的阈值,下面分别对其进行讨论。

模板也称为样板或窗,由模板系数和模板尺寸构成,在图像空间上通过卷积来实现图像增强的目的,也即空域滤波^[9]。模板作为空域滤波的滤波器,其性能的好坏取决于模板的尺寸和系数:大尺度模板具有较强的去噪能力,但是它的边缘会产生模糊效应,小尺度模板的去噪能力比较差,达不到应用的要求^[10]。模板系数一般基于频域滤波的基本理论来设计,如常见的均值模板、高斯平滑模板等,也可以根据参与运算的像素特点赋予不同权值,也就是加权平均法^[11]。对于动态阈值分割,使用模板运算的最终目的是得到原始图像的动态背景,模板系数的选择上要求能平滑目标物体,选择常见的均值平滑系数即可;模板尺寸的选择上要求至少能覆盖目标物体,因为模板的大小就是背景图像上平均灰度所涉及的局部区域的大小,太小或太大均无法得到准确的局部背景。图3a为 10×10 的均值模板滤波后得到的动态背景图像,图3c为 60×60 的均值模板滤波后

得到的动态背景图像,从二者的对比中可以明显看到,较小的模板仅能得到小区域的平均灰度,大米粒依然可以准确分辨,动态背景图像中前景物体依然存在;较大的模板得到大区域的平均灰度,动态背景灰度变化平缓,较好反应了目标物体的动态背景。原始图像与这两幅图像分别求差得到差值图像,使用同样的阈值25将其二值化,分割结果如图3b和图3d所示。可见,模板变小对图像分割的影响很厉害,小模板得到的平均灰度没有很好地代表局部背景,导致分割不完整,目标物体的内部出现孔洞,背景区域出现了部分噪声点。对于本幅图像,由于米粒分布的范围很广,模板变大后对分割效果没有明显改变,但模板变大会导致运算量加大,而且如果目标物体分布比较集中的话,过大的模板会使得局部背景灰度变大,最终导致分割失误。在具体的应用中,应该充分权衡算法涉及的各个因素,选择能覆盖目标物体的均值平滑滤波模板即可。

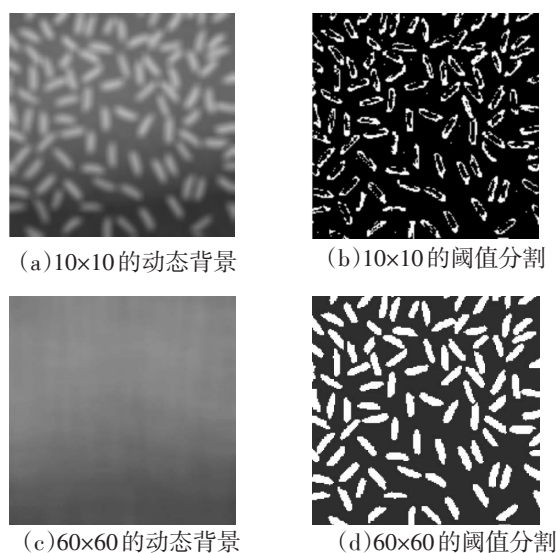
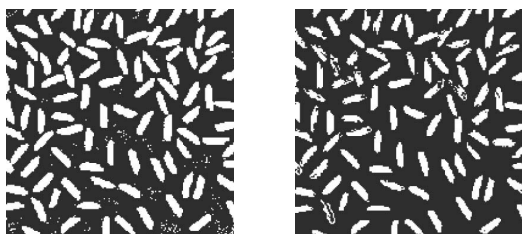


图3 模板大小变化时对分割效果的影响

图像的阈值分割通过找到一个能把图像分割为目标和背景的最优阈值来实现图像分割的目的,学者们根据不同的标准提出了大量图像阈值分割的方法,如基于II型模糊集理论的图像阈值分割方法、由新的评判函数得到的阈值分割方法、通过最小化一个加权均方误差和目标函数提出的图像阈值分割的迭代算法等^[12]。原始图像与动态背景图像相减得到的差值图像二值化时,选择的阈值用来衡量原始图像和背景图像之间的差异。若这个差异比阈值小,就认为该点像素是其所在区域的背景像素而将其置0;若这个差异大于等于阈值,就认为该点像素是其

所在区域的目标像素而置1。合理的阈值应该能准确分割出目标物体,尽可能多地抑制掉干扰和噪声,同时考虑算法的复杂程度,越简单越好。考虑到差值图像已经经过平滑、相减的预处理,目标物体和背景具有比较单一的对比度,在二者平均灰度分析的基础上阈值可以采用直接指定的方法产生。同时采用 30×30 的均值模板对原始图像平滑后,图4a为阈值取5的分割结果,图4b为阈值取45的分割结果。可以明显地看到,小的阈值会导致分割出现过多的噪声,大的阈值去掉噪声的同时也去掉了一部分目标物体的像素,只有合适的阈值才能产生完美的分割结果。合适的阈值可以通过相关算法来得到,如参考文献[5]中提到的Otsu法,但这不可避免地增加了算法的复杂程度,实际应用中针对特定的一类图像可以使用交互式的尝试方法来确定,如图2中选定的阈值为25那样。



(a)阈值为5的分割结果 (b)阈值为45的分割结果

图4 阈值大小变化时对分割效果的影响

3 结论

经过以上分析可知,基于图像平滑的动态阈值分割方法在选择好合理的参数后,会有比Otsu算法更鲁棒的分割效果。而且,平滑模板的大小和差值图像阈值的大小可以通过交互的方式来选择,对于工业应用领域中生产流水线上单一场景的图像分割,一次性选择最优参数就可以保证连续精确的分

割结果;不同的场景可以选择不同的最优参数,这使得本算法具有更好的灵活性和更广的适用范围。

参考文献

- [1] ZHANG Y J. A survey on evaluation methods for image segmentation[J]. Pattern Recognition, 1996, 29(8):1335-1346.
- [2] 韩思奇,王蕾.图像分割的阈值法综述[J].系统工程与电子技术,2002,4(6):91-102.
- [3] Kapur J N, Sahoo P K, Wong A K C. A new method for grey-level picture thresholding using the entropy of the histogram[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1985, 29(1): 273-285.
- [4] Ridler T W, Calvard S. Picture thresholding using an iterative selection method[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1978, SMC-8(8):620-632.
- [5] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histogram[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1979, 9(1):62-66.
- [6] 刘健庄,栗文青.灰度图像的二维 Otsu 自动阈值分割法[J].自动化学报,1993,19(1):101-105.
- [7] 郝颖明,朱枫.二维 Otsu 自适应阈值的快速算法[J].中国图像图形学报,2005,10(4):484-488.
- [8] 吴一全,樊军,吴诗娅.改进的二维 Otsu 法阈值分割快速迭代算法[J].电子测量与仪器学报,2011, 25(3): 218-224.
- [9] 章毓晋.图像工程(上册)图像处理[M].2版.北京:清华大学出版社,2007:97-98.
- [10] 葛婷,张建伟.一种基于自适应阈值的保细节平滑滤波器[J].计算机应用与软件,2007,24(7):151-154.
- [11] 杨永,赵玉珍.一种图像边缘保持的去噪平滑算法[J].大庆石油学院学报,2008,32(5):78-80.
- [12] 林正春,王知衍,张艳青.最优进化图像阈值分割算法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2010, 22(7): 1201-1206.

欢迎利用期刊网站浏览本刊已发表文章

为了满足读者对《光电技术应用》期刊文章的快速、方便、阅读需求,《光电技术应用》期刊网站(网址为:<http://www.gdjsyy.com>),为读者提供了《光电技术应用》期刊2009~2011年已发表文章的在线浏览。读者可在过刊目录下,查阅2009~2010年期刊各期目录,点击文章题目或摘要,阅读文章全文。欢迎广大读者登陆期刊网站,及时了解《光电技术应用》期刊已发表文章的最新信息。