

基于模糊阈值的自适应图像分割方法

张永梅^{1,3}, 巴德凯², 邢阔²

(1. 北方工业大学 计算机学院, 北京 100144; 2. 北方工业大学 电子信息工程学院, 北京 100144;

3. 广东省普及型高性能计算机重点实验室, 深圳市服务计算与应用重点实验室, 广东 深圳 518060)

摘要: 针对现有的图像分割中自适应分割方法的研究难点, 以及传统的模糊阈值分割法中存在窗宽不能自动获取的问题, 在确定隶属函数的前提下, 以图像的直方图为依据, 利用分段计算和反变换的方法, 提出了一种自适应模糊阈值的图像分割方法, 并将该方法应用于机场目标的分割; 该方法实现其窗口宽度的自适应选取, 并且有效改善了模糊阈值法对直方图呈不明显双峰的图像分割困难的缺点, 拓展了模糊阈值图像分割方法的适用范围, 改善了模糊阈值分割方法的分割效果; 实验结果表明, 该方法对直方图呈单峰和多峰分布的图像有较好的分割效果和效率。

关键词: 图像分割; 模糊阈值; 自适应分割; 直方图

A Method of Fuzzy Threshold for Adaptive Image Segmentation

Zhang Yongmei^{1,3}, Ba Dekai², Xing Kuo²

(1. School of Computer Science, North China University of Technology, Beijing 100144, China;

2. School of Electronic Information Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China;

3. Guangdong Key Laboratory of Popular High Performance Computers, Shenzhen Key Laboratory of Service Computing and Applications, Shenzhen 518060, China)

Abstract: In the existing adaptive segmentation methods still exist difficulties, and traditional fuzzy threshold segmentation methods can not automatically obtain the window width, under the premise of determining membership functions. According to image histogram, an adaptive fuzzy threshold image segmentation method is proposed to extract target features for airports by using the burst method of calculation and the inverse transform. The method realizes the adaptive selection of window width, and overcomes the disadvantage of fuzzy threshold methods for image histogram difficulty without obvious bimodal effectively, expands the application scope of fuzzy threshold image segmentation methods, which improves segmentation results of the fuzzy threshold segmentation methods. Experimental results show better segmentation results and efficiency can be achieved by the proposed method with single peak and multi-peak distribution histogram.

Keywords: image segmentation; fuzzy threshold; adaptive segmentation; histogram

0 引言

图像的阈值分割是一种常用的图像分割方法, 其关键技术是基于目标与背景的灰度差异, 通过寻找最佳阈值, 将目标从背景中分离出来的技术^[1]。阈值的选取与计算方法一直是传统图像分割方法中的研究重点。

由于图像本身就具有模糊性, Pal 等人提出了模糊阈值分割法, 引入灰度图像的模糊数学描述, 通过计算图像的模糊率或模糊熵来选取图像分割阈值, 讨论了隶属函数窗口对阈值选取的影响^[2]。

在现有的图像分割方法中, 多数分割方法的适应范围十分有限, 分割方法不能根据图像的变换而进行自适应调整, 即自适应性。因此, 本文根据图像直方图以及模糊阈值分割方法中隶属度函数窗宽的特点, 对传统的模糊阈值分割方法进行了改

进, 提出了一种基于模糊阈值的自适应图像分割方法, 实现了自适应分割, 有效改善了分割效果。

1 模糊阈值法基本原理

图像具有的模糊性往往由三维目标投影为二维图像时的信息损失导致, 如边缘、边界、区域、纹理等的定义存在模糊性^[3]; 对图像底层处理结果的解释带有模糊性等因素引起^[4-5]。传统的模糊阈值分割方法是以数学的模糊模型的方法为基准, 将一幅图像转化为模糊阵列的形式, 通过计算图像的模糊率或模糊熵确定阈值。

在模糊阈值分割方法中, 选取的隶属度函数的分布特性与窗口宽度往往决定了图像分割阈值的大小。设图像 P 的长为 W 、宽为 H , 共有 L 级灰度 $\{0, 1, \dots, L-1\}$, 其单位为像素, 若像素 (w, h) 的灰度值为 $\mu(x_{wh})$, 则隶属度为 $\mu(x_{wh})$, 表示像素 (w, h) 具有的明亮程度, 其中 $w = 1 \sim W, h = 1 \sim H$ 。图像 P 的模糊率 $\nu(x)$ 是对图像模糊性的度量, 若图像中灰度值 i 的像素个数为 $h(i)$, 则图像在隶属函数下的模糊性的大小即为图像的模糊率 $\nu(x)$, 其定义如下:

$$\nu(x) = \frac{2}{W \times H} \sum_{i=0}^{L-1} h(i) \min[m(i), 1 - m(i)] \quad (1)$$

从模糊率的定义可以看出, 图像的模糊率 $\nu(x)$ 的大小与隶属函数 $\mu(x)$ 有着直接关系。因此, 在本文所提出的自适应模糊

收稿日期: 2015-09-23; 修回日期: 2015-11-18。

基金项目: 国家自然科学基金项目(61371143); 广东省普及型高性能计算机重点实验/深圳市服务计算与应用重点实验室开放课题(SZU-GDPHCL2014); 北京市教委面向虚实融合的多源图像配准与识别科研平台项目(PXM2015_014212_000024); 北京市教委多源遥感图像配准与识别科研平台项目(XN081)。

作者简介: 张永梅(1967-), 女, 太原人, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事图像处理、人工智能方向的研究。

阈值图像分割方法中,隶属函数 $\mu(x)$ 选用 S 型函数,即:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq k - \Delta k \\ 2[(x - k + \Delta k)/2\Delta k]^2 & k - \Delta k \leq x \leq k \\ 1 - 2[(x - k + \Delta k)/2\Delta k]^2 & k < x \leq k + \Delta k \\ 1 & k + \Delta k < x \leq k + \Delta k \end{cases} \quad (2)$$

其中: $h(i)$ 为图像 P 中灰度值 i 所对应的图像像素个数,其值为一个常数。在隶属度函数中,设定窗宽为 $c = 2\Delta k$,由图像模糊率的定义可知,此时模糊率的大小仅与隶属度函数的大小有关。根据其定义可知,隶属度函数由窗宽 c 及参数 k 决定,一旦在隶属度函数中确定了窗宽, $\mu(x)$ 仅与参数 k 有关,从而可以通过在灰度区间上参数 k 的遍历影响模糊率曲线,从而决定阈值的选取。因此,窗宽的选取是图像的分割效果的决定性的因素。当 c 小于两峰间距时必定存在最小的模糊率,然而窗宽 c 的取值过小或者过大往往会出现假阈值或者阈值丢失的现象,因此,窗宽 c 一般为两波峰间距的 0.3~0.8 倍^[6]。

2 自适应模糊阈值分割方法

在传统的模糊阈值分割方法中,隶属度函数的窗口宽度的选取一直是关键性问题,而通过隶属度函数的约束条件往往可以找到与图像直方图特性相匹配的窗口宽度;然而通过这种方法所确定的窗宽,并不能根据图像的变化而自适应调整,这种现象很大程度上导致了图像的错误分割,因此,针对现有的窗宽选取问题以及传统方法对图像直方图呈单峰或双峰不明显的图像分割错误的现象,为了改善传统模糊阈值分割方法存在的缺点,本文提出了一种改善的模糊阈值自适应的图像分割方法,该方法可以根据不同的图像自适应选取隶属度函数窗口宽度,通过对图像直方图的一些变换处理,有效提高了传统分割方法对直方图呈单峰或双峰不明显的图像难于分割的情况。

根据图像的直方图,通过图像直方图的峰值分布,总能计算出适合的窗宽,但当改变图像时,由于不同图像的直方图分布不同,因此,最初预设的窗宽就会失效,从而会造成图像的错误分割、丢失阈值等情况的发生,所以如何根据图像自适应选取窗宽一直都是人们关注的问题。文献[1]指出单一阈值的分割方法对直方图分布较窄或不呈双峰特征的图像会造成误分割;文献[7]提出的改进模糊阈值图像分割方法虽然实现了阈值的自适应提取,但对直方图呈多峰分布的图像分割效果不好。

在模糊阈值分割方法中,图像的模糊率曲线是对图像的灰度直方图进行加权平均、平滑后结果,然而图像的分割阈值为其中的极小值。在以往的方法中,通过模糊率曲线极值点数量与图像已知像素类别的个数对比的方法计算窗宽,但此方法对图像直方图呈单峰分布或双峰不明显的图像分割效果较差,很容易导致分割失败^[8-15]。因此,针对传统方法的这种现象,本文提出自适应分割方法,根据不同的直方图,采用直方图变换的思想,将一些不呈明显双峰分布的图像进行变换,使其峰值更明显,然后通过新直方图的波谷确定波峰所在区域,从而确定两临近波峰间的距离,最后通过计算公式得到不同图像的隶属函数窗宽大小,完成最佳阈值的选取,实现分割阈值的自适应选取。具体选取方法如下,程序流程图如图 1 所示。

2.1 直方图预处理

针对模糊阈值方法对直方图呈单峰分布的图像容易分割失

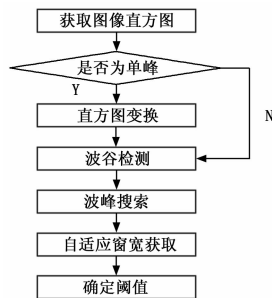


图 1 程序流程图

败的现象,本文采取对单峰直方图进行反变换,得到的新的直方图比原直方图,波谷、波峰进行相互转换,最终表现出双峰特性。

此外,由于图像本身的直方图存在峰值不明显、毛刺较多的现象,因此在对图像进行直方图平滑处理,以去除毛刺等现象,使处理之后的直方图更加清晰,减少误分割的概率。

2.2 波谷检测

对待预处理后的分割图像直方图进行梯度检测,通过梯度检测确定出波谷的位置,初步确定图像中满足式(3)的潜在阈值 i ,即把所有满足式(3)的灰度值 i 组成一个集合 $\{K_n\}$,若集合中满足 K_{n+1} 与 K_n 的差值大于任意设定的正整数 η ,则 K_{n+1} 为初始的阈值点,否则删除该阈值点,进而完成直方图的波谷检测,为下一步的直方图峰值的检测做准备,式(3)中图像中 $n(i)$ 为像素灰度值为 i 的个数。

$$\begin{cases} n(i+1) - n(i) > 0 \\ n(i) - n(i-1) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

2.3 峰值定位

在图像直方图中,一个波峰往往由波谷点(起始点)、上升段、峰值、下降段、下一波谷点(终止位置)几部分构成。由于波峰峰值必然在直方图上升段和下降段所在区间之中,图像有 n 个阈值点应该对应于 $n+1$ 个峰值,因此采用对直方图求微分和直线扫描相结合的方法来计算峰值的初步位置。由于直方图波峰的一阶微分在坐标系中必过零点,为避免图像中的噪声等干扰因素,要在峰值检测前对图像进行直方图均衡等处理。为避免峰值定位不准确的现象,本文采取了与直线扫描相结合的方法,即对图像直方图的横轴进行由下至上的逐点扫描,若在直方图与直线交点处满足交点左右 5 个值都满足小于等于交点时该值即为波峰。通过两种方法的结合可以较为准确地确定波峰位置。

2.4 隶属度函数窗宽的自适应选取

在步骤(3)中估测出了波峰的峰值 $F_{(j)}$,通过直方图可知临近峰值的距离 D :

$$D_j = F_{(j+1)} - F_{(j)} \quad (4)$$

Murthy 等人证明,隶属函数的窗宽 c 一般取相邻两波峰间距的 0.3~0.8 倍,图像的最小模糊率往往在窗宽小于两波峰间距的情况下存在^[2]。为实现窗宽的自适应,本文在窗宽的选取中,设计了在 $[0.3, 0.8]$ 内的参数 λ ,即根据不同峰值间距计算窗口宽度 c 的大小,实现窗宽的自适应选取,即:

$$c = \lambda D_j \quad (5)$$

2.5 确定分割阈值

模糊阈值方法的初衷就是计算分割阈值,把图像中的目标

从背景中分割出来。在计算直方图呈多峰分布的图像时，图像的模糊率曲线必为多峰分布，为了避免计算混乱，对其采用分段计算的方式，将直方图中各波峰分开计算，通过直方图求一阶微分和直线扫描的方法确定波谷，从而可将图像直方图分为 n 部分。确定峰值所在位置后，找出使模糊率曲线达到最小值时的参数 k ，即满足：

$$k = \operatorname{argmin} \nu_{(k)} \quad (6)$$

此时 k 即为图像的最佳阈值，通过这种方法对图像不同灰度区间的 $\nu_{(k)}$ 求取最小值，即可求取出各段直方图的最佳分割阈值，实现对图像的自适应分割。

3 实验结果及分析

本文利用 Visual C++ 6.0 进行编程，选取具有不同直方图类型的机场遥感图像对提出的自适应模糊阈值图像分割方法进行了分割测试，并将本文方法和最大类间方差方法、传统模糊阈值分割方法进行了对比，图 2 为软件的相关操作界面，图 3、4 分别给出了实验结果。

通过实验结果可以看到，本文所提出的自适应模糊阈值分割方法对多峰分布的图像、双峰不明显的图像都有较好的分割效果，和以往的单阈值和传统的模糊阈值分割方法相比，分割效果明显提升，并且降低了图像的误分率。图 3 给出了本文方法的多阈值分割效果，原图像如图 3 (a) 所示，根据其直方图曲线可以知道图像的直方图呈多峰分布，分三类分布，利用本文所提出的自适应图像模糊阈值分割法，计算出相应的最佳分割阈值，分别为 105 与 187，自适应窗宽为 51 和 32。图 3 (c) 为最大类间方差方法分割后的结果，图 3 (d) 为传统模糊阈值分割方法对图像进行分割后的结果，图 3 (e) 为利用本文提出的自适应模糊阈值法分割后的图像。通过对比可以明显看出最大类间方差方法虽然也是一种自适应阈值计算方法，但其只能计算单一阈值，对多峰分布的情况下，存在错误分割，不能将机场完整地分割出来；传统的分割方法虽然可以较好地分割出直方图呈双峰的图像，但对多峰图像仍然没有较好的效果，对比后不难发现，本文所提出的方法分割效果有较明显的改善。

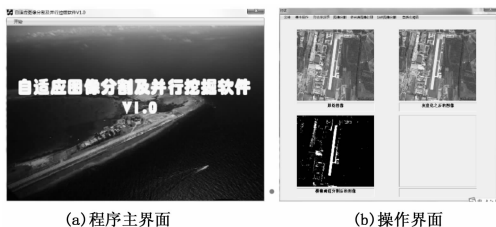


图 2 软件操作界面

图 4 为直方图双峰不明显的一幅机场图像，利用本文提出的分割算法对图 4 (a) 进行分割，通过峰值计算，得到隶属度函数的窗宽，从而计算出分割阈值为 155，自适应窗宽为 45，分割结果如图 4 (e) 所示；在对原图像采用最大类间方差方法进行分割所计算出的分割阈值为 133，图 4 (c) 为分割结果。图 4 (d) 是采用传统模糊阈值分割方法所分割后的结果，传统的方法对单峰或直方图不是明显双峰的图像分割效果不理想，通过对比分割结果可知，在本例中，传统的模糊阈值分割方法分割失败，本文所提出的自适应分割方法效果较好。

根据上述的实验结果，以及图 5、6 的分割对比图，可以

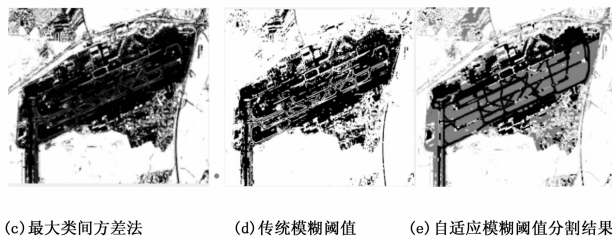
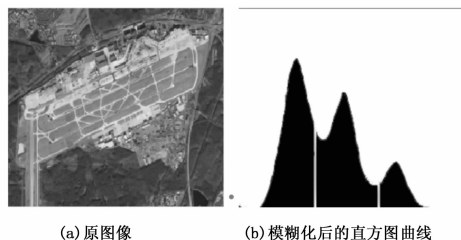


图 3 多峰图像分割结果

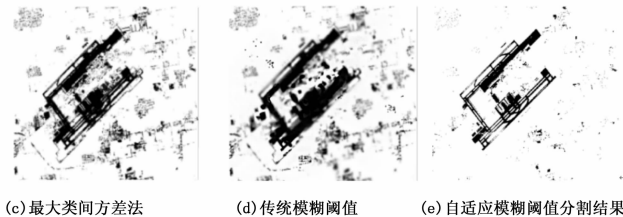
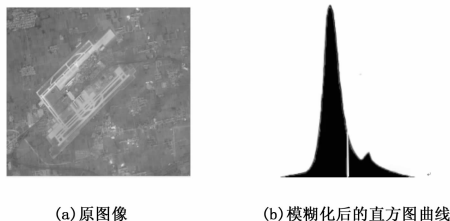


图 4 单峰图像分割结果

看出本文提出的自适应模糊阈值分割法根据隶属度函数的窗宽大小自适应调节的原理，对机场图像在细节上有着更为准确的分割效果，与传统的模糊阈值方法对比，根据分割出来的像素点与目标像素点的个数，求取出错误分割率。本文选取了 20 组不同的遥感图像进行分割效果对比，从中挑选了 4 组进行展示，其结果见表 1。从分割结果的对比以及分割阈值的确定，可以看到本文提出的自适应模糊阈值分割法分割准确度有所提升。此外，本文提出的方法有效地改善了传统模糊阈值分割方法对直方图呈单峰和双峰差别大的图像分割困难的现象，本方法根据图像直方图自适应调节阈值，对单峰或多峰图像都具有较好的分割效果。

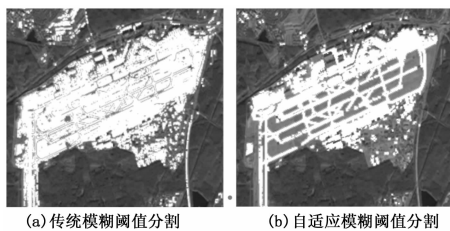


图 5 分割准确率对比图