

基于自适应加权中值滤波的 二维 Otsu 图像分割算法*

倪 麟, 龚 劬, 曹 莉, 廖武忠

(重庆大学 数学与统计学院, 重庆 401331)

摘 要: 为解决传统二维 Otsu 算法在含噪声较多的图像应用中分割效果较差这一问题, 提出一种基于自适应加权中值滤波的二维 Otsu 图像分割算法。该算法首先利用一种新的自适应加权中值滤波对噪声图像中值滤波; 然后将中值图像的二维直方图区域划分由四分法改为二分法; 最后利用改进的二维 Otsu 算法对图像作精确分割。实验结果表明, 该算法对灰度噪声图像具有更强的抗噪性且分割效果也更为理想。

关键词: 加权中值滤波; 二维 Otsu; 图像分割; 阈值选取

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)02-0598-03

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2013.02.078

Two-dimensional Otsu image segmentation algorithm based on adaptive weighted median filter

NI Lin, GONG Qu, CAO Li, LIAO Wu-zhong

(College of Mathematics & Statistics, Chongqing University, Chongqing 401331, China)

Abstract: The traditional two-dimensional Otsu image segmentation algorithm got ineffectively result in the image segmentation while the image contains lots of noise. To solve the problem, this paper proposed a new two-dimensional Otsu image segmentation algorithm based on adaptive weighted median filter. This method firstly preprocessed the image with noise by a new adaptive weighted median filter, then transferred the region division in two-dimensional histogram of median image from four partitions into two partitions, finally segmented the image accurately by an improved two-dimensional Otsu algorithm. The experimental results show that the proposed algorithm has better anti-noise performance and better segmentation result for image with noise.

Key words: weighted median filter; two-dimensional Otsu; image segmentation; threshold selection

图像分割技术在计算机视觉、模式识别、医学图像处理等领域应用十分广泛,其主要目的是从一幅图像中提取感兴趣的目标,它是图像分析和图像理解的基础。至今,提出的分割算法已有上千种,其中最经典的方法就是基于灰度阈值的分割方法。在图像阈值化分割计算中,Otsu法^[1]因计算简单、实时性高等优点被广泛使用^[2,3]。但是,一维 Otsu 方法只考虑了图像灰度信息,对噪声较为敏感,抗噪性较弱。为此,刘健庄等人^[4]在像素灰度和邻域平均灰度的基础上提出了二维 Otsu 方法,对含噪声较少的图像具有比较好的分割效果。文献[5]提出基于分解的阈值选取算法,求解两个一维 Otsu 法的阈值来代替原始的二维 Otsu 法的最佳阈值。为了进一步提高其分割准确度和抗噪性能,有学者又提出了相应的三维 Otsu 算法^[6-8],取得了更好的效果。但对于含噪声较多的图像,二维和三维 Otsu 算法因存在区域误分使其抗噪性较弱,致使其分割效果也不够理想。

为解决传统二维 Otsu 算法在含噪声较多的图像应用中分割效果较差这一问题,本文提出一种基于自适应加权中值滤波的二维 Otsu 图像分割算法。该算法充分将自适应加权中值滤

波和二维 Otsu 算法结合起来,弥补了二维 Otsu 算法去噪性能的不足。本文首先利用自适应加权中值滤波对噪声图像进行滤波处理;然后再将滤波后的中值图像的二维直方图区域划分由原来的四分法改为二分法,充分考虑了二维直方图内的每一个像素点的信息,利用改进的二维 Otsu 算法对图像作精确分割,计算复杂度由 $O(L^4)$ 降为了 $O(L)$,提高了算法的实用性。

1 自适应加权中值滤波

考虑到二维 Otsu 算法在含噪声较多的图像应用中分割效果较差这一问题,本文首先提出一种自适应加权中值滤波,然后使用该滤波对噪声图像进行滤波处理。该滤波算法包括三个过程:a)对噪声图像进行噪声检测;b)依据窗口中噪声点的个数来自适应地确定滤波窗口的大小;c)利用加权中值滤波对噪声图像进行滤波。

1.1 对噪声图像进行噪声检测

噪声检测的质量直接影响着后文图像分割的准确度,是本文算法中比较重要的一个步骤。本文采用文献[9]给出的方法来检测噪声。在确定噪声点时,利用一个 3×3 窗口在图像

收稿日期: 2012-06-10; **修回日期:** 2012-07-16 **基金项目:** 中央高校基本科研业务费基金资助项目(CDJXS11100032)

作者简介: 倪麟(1987-),男,四川威远人,硕士研究生,主要研究方向为图像处理(nilin871124@126.com);龚劬(1963-),女,四川威远人,教授,博士,主要研究方向为图像处理和信号分析;曹莉(1988-),女,重庆人,硕士研究生,主要研究方向为图像分割和医药统计;廖武忠(1986-),男,四川安岳人,硕士,主要研究方向为图像分割。

上滑动,该窗口中心像素点 (i, j) 的灰度值为 $f(i, j)$,则该窗口内所有像素值构成如下的一个集合: $F_{i,j} = \{f(i+x, j+y) | x, y = -1, 0, 1\}$ 。窗口内的所有像素的平均值为 $\text{aver}(F_{i,j}) = \frac{1}{9}$

$\sum_{x=-1}^1 \sum_{y=-1}^1 f(i+x, j+y)$,取 $Z_{\min}$ 和 $Z_{\max}$ 分别表示 $F_{i,j}$ 中灰度值的最小值和最大值,令 $d_{i,j} = \frac{1}{3}$

$\sqrt{\sum_{x=-1}^1 \sum_{y=-1}^1 [f(i+x, j+y) - \text{aver}(F_{i,j})]^2}$,表示基于人眼视觉特性的噪声敏感度系数。确定一个像素点是噪声点的方法如下: $f(i, j) = Z_{\min}$ 或 $f(i, j) = Z_{\max}$ 或 $|f(i, j) - \text{aver}(F_{i,j})| > d_{i,j}$,噪声点标记为 $\text{numnoise} = 1$,非噪声点标记为 $\text{numnoise} = 0$ 。需要指出的是,对于同像素的窗口,由于窗口内的所有像素都相同,一般认为是非噪声点。

1.2 自适应确定滤波窗口的大小

标准中值滤波算法去除噪声的性能受到滤波窗口尺寸的影响较大。滤波窗口大,可加强噪声的抑制能力,但图像会变得模糊;滤波窗口小,可较好地保护图像细节和边界信息,但损失的是滤除噪声的能力。因此,结合大、小窗口滤波各自的优势,本文根据窗口内噪声点的个数来自适应确定滤波窗口的尺寸大小。根据前面的噪声检测办法,用下面的统计公式统计 3×3 窗口内噪声点的个数: $\text{num}(F_{i,j}) = \sum_{x=-1}^1 \sum_{y=-1}^1 \text{numnoise}(i+x, j+y)$ 。接下来根据窗口内噪声点的个数,自适应确定滤波窗口的大小,方法如下:

$$L_{i,j} = \begin{cases} 3 \times 3 & \text{numnoise} \in \{1, 2, 3\} \\ 5 \times 5 & \text{numnoise} \in \{4, 5, 6\} \\ 7 \times 7 & \text{numnoise} \in \{7, 8, 9\} \end{cases}$$

1.3 对噪声图像加权中值滤波

确定噪声点和滤波窗口大小之后,图像中的像素分为噪声点和非噪声点两类。对非噪声点仍然保留其原来的灰度值,而噪声点则采用一种新的加权中值滤波算法将其滤除掉。图像 $f(i, j)$ 的 $K \times K$ ($K=3, 5, 7$)窗口内的邻域加权中值定义为^[10]

$$h(i, j) = \text{med}\{f(i+m, j+n) * \text{weight}(m, n)\} \\ \text{weight}(m, n) = K - |m| - |n| \quad (1)$$

其中: $-K/2 \leq m \leq K/2$; $-K/2 \leq n \leq K/2$; * 表示加权;weight 表示权值。例如,一个像素灰度对应的权值为 w_1 ,那么在对窗口内的所有像素按照非递减排序时,这个像素对应的灰度值将重复出现 w_1 次。利用式(1)对滤波窗口中心像素点 (i, j) 作加权中值滤波就得到了噪声点滤波后对应的灰度值,进而可以得到噪声图像用自适应加权中值滤波滤波后的中值图像 h 。

2 改进的二维 Otsu 算法

在文献[4]中,刘健庄等人利用原始图像和邻域平滑图像联合直方图,提出了二维 Otsu 自适应阈值分割方法。该算法不仅考虑了像素点的灰度信息,而且还利用了像素点的空间邻域信息,在面对噪声较小的图像分割时,具有较好的分割效果。但是,当图像受噪声污染比较严重时,二维 Otsu 算法因二维直方图存在区域误分而导致了其抗噪性不够理想。为此,本文首先将图像 h 的二维直方图由四分法改为二分法,充分考虑每一个像素点的信息,利用改进的二维 Otsu 图像分割算法对滤波后的图像作细致精确分割。

2.1 二维直方图存在的错分与不足

定义 1 在二维直方图中,如图 1 所示,将与对角线 OM 垂直的并将二维直方图区域分成背景和目标的一系列直线,定义为二维直方图的分割线。

定义 2 经过最佳阈值点的分割线,定义为二维直方图的阈值线。

二维 Otsu 算法分割过程中存在着如下错分与不足:a)如图 1,对区域 2 和 4 的忽略不计与实际不符合,虽然区域 2 和 4 里像素点分布极少,但刻画了图像的大量边缘信息,忽略容易影响分割的准确度;b)时间复杂度较大,达到了 $O(L^4)$,使得计算时间较长。因此,本文不再将二维直方图分为四个区域,而是采用分割线将其划分为如图 2 所示的两个区域。这样不仅可以充分考虑平面内每一个信息点,而且还可由寻找二维最佳阈值转换到本文方法只需寻找一维最佳阈值(阈值线),即将算法的复杂度从 $O(L^4)$ 降到 $O(\sqrt{2}L) = O(L)$,减少了运算时间和存储空间。

2.2 二维直方图降维

通常情况下,二维直方图中的点分布在对角线 OM 附近,并且所有的点都位于一条且只位于一条分割线上。因为这些点的分布相对比较集中,故可用原点 O 到该分割线的距离来度量处于同一分割线的点。因此,二维直方图中的任意一点 (f, g) ,其分布均可用原点到该点所在的分割线的距离 d 来度量,其中 $d \in [0, \sqrt{2}L)$ 。而对于每一分割线,因为与对角线 OM 垂直,故可以用方程表示为 $f+g=C$,其中 C 为一个常数。由此可以将二维 Otsu 分割算法从求二维最佳阈值(s^*, t^*)转换为本文方法只需求一维最佳阈值 d^* 。具体的转换方法如下:首先建立一个与图像大小相同的二维数组 $\text{dis}(i, j)$,这里仍然将其看做一幅图像,灰度级为 $\sqrt{2}L$ 。然后利用像素点 (i, j) 的灰度值 f 和邻域均值 g 计算出原点到其所在分割线的距离 d ,此距离作为转换后图像中该点的灰度值,即 $\text{dis}(i, j) = d$ 。

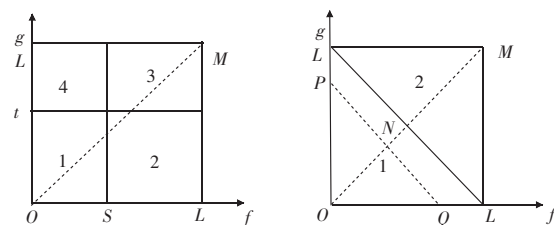


图 1 图像二维直方图四分法 图 2 图像二维直方图二分法

如图 2 所示,假设某一像素点 (i, j) 处的灰度值为 f ,邻域均值为 g ,那么该点所在的分割线 PQ 的方程可表示为 $f+g=C$ 。在 $\text{Rt}\triangle ONQ$ 中, $ON = OQ/\sqrt{2}$,而 $d = ON$, $OQ = C$,故 $\text{dis}(i, j) = (f+g)/\sqrt{2}$ 。所有的像素点转换完后,再利用一维 Otsu 准则来获取最佳阈值 d^* 。这样就可以将原算法的时间复杂度从 $O(L^4)$ 降到 $O(L)$,节省了计算时间,提高了运算的速度。

3 实验结果与分析

为了验证本文算法的有效性和可行性,实验选取了三幅噪声图像并与二维 Otsu 算法、二维 Otsu 快速算法、二维 Otsu 分解算法、加权三维 Otsu 算法进行了比较。实验环境为 Windows XP 操作系统,系统配置 1.96 GB 内存,3.19 GHz CPU, MATLAB7.5.0(R2007b)。

从图3~5可以看出,二维 Otsu 算法、二维 Otsu 快速算法、二维 Otsu 分解算法、加权三维 Otsu 算法的分割结果中明显含有大量的噪声,影响了分割的准确度。本文充分结合了自适应加权中值滤波对噪声所具备的良好过滤功能,以此弥补了二维 Otsu 算法去噪效果的不足。本文算法对以上的三幅噪声图像的分割,都能达到较好的去噪效果,并且分割效果较为理想。此外,在计算复杂度方面,本文提出了将二维直方图的四分法改为了二分法,使计算复杂度从 $O(L^4)$ 降为 $O(L)$,提高了算法的实用性。表1给出的是上述各个算法的时间对比。

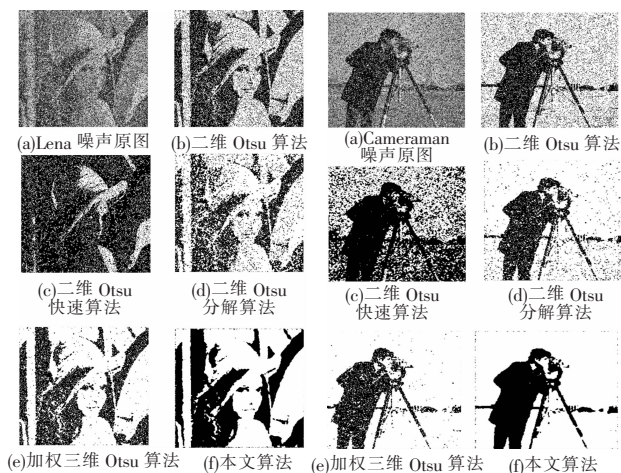


图3 Lena 椒盐噪声图像的分割效果

图4 Cameraman 噪声图像的分割效果



图5 车牌噪声图像的分割效果

表1 各个算法的时间对比

/s

图例	Lena 图像	Cameraman 图像	车牌图像
二维 Otsu 算法	26.5941	26.6001	26.5953
二维 Otsu 快速算法	0.4424	0.4290	0.5461
二维 Otsu 分解算法	0.0084	0.0206	0.0225
本文算法	0.0750	0.0782	0.1153

4 结束语

为解决二维 Otsu 算法在含有噪声较多的图像应用中分割效果较差这一问题,本文提出了一种基于自适应加权中值滤波的二维 Otsu 图像分割算法。该算法结合了自适应加权中值滤波滤除噪声的优良性能,并且将二维直方图进行了改进,利用二维 Otsu 准则求取最佳阈值进行分割。本文算法对含噪声较多的图像具有较为理想的分割效果。需要说明的是,本文算法在滤除噪声和细节保持上还有待改善,如何保持图像的细节并达到良好的去噪效果将是笔者进一步研究的方向。

参考文献:

- [1] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, 1979, 9 (1):62-66.
- [2] MOGHADDAM R F, CHERIET M. A multi-scale framework for adaptive binarization of degraded document images [J]. Pattern Recognition, 2010, 43 (6):2186-2198.
- [3] YANG Wen-zhu, LI Dao-liang, ZHU Liang, et al. A new approach for image processing in foreign fiber detection [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 68 (1):68-77.
- [4] 刘健庄, 梁文青. 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.
- [5] 岳峰, 左旺孟, 王宽全. 基于分解的灰度图像二维阈值选取算法[J]. 自动化学报, 2009, 35 (7):1022-1027.
- [6] 景晓军, 李剑峰, 刘郁林. 一种基于三维最大类间方差的图像分割算法[J]. 电子学报, 2003, 31 (9):1281-1285.
- [7] 范九伦, 赵凤, 张雪峰. 三维 Otsu 阈值分割方法的递推算法[J]. 电子学报, 2007, 35 (7):1398-1402.
- [8] 吕燕, 龚劬. 加权三维 Otsu 方法在图像分割中的应用[J]. 计算机应用研究, 2011, 28 (4):1576-1579.
- [9] ZHANG Xu-ming, XU Bin-shi, DONG Shi-yun. Adaptive median filtering for image processing [J]. Journal of Computer Design & Computer Graphics, 2005, 17 (2):295-299.
- [10] 魏巍, 申炫京, 千庆姬, 等. 三维最大 Renyi 熵的灰度图像阈值分割算法[J]. 吉林大学学报:工学版, 2011, 41 (4):1083-1088.

(上接第590页)

6 结束语

本文提出了一种复杂空间曲面重构方法,解决了三维地质建模中复杂地质构造下的层位曲面重构问题,为等值线绘制、地质成块等提供了新的思路。该方法解决了复杂地质构造下的层位插值问题,解决了传统的网格化插值方案层位与断层无法严格相交的难题,同时本方案采用混合网格化的层位插值方法,既保证了数据的快速处理,又保证了拟合的精度。

参考文献:

- [1] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社, 2002.
- [2] ISAAKS E H, SRIVASTAVA R M. An introduction to applied geostatistics [M]. New York: Oxford University Press, 1989:278-322.

- [3] 李明超, 廖正建, 刘菲, 等. 复杂地质曲面三维插值—逼近拟合构造方法[J]. 中国工程科学, 2011, 13 (12):103-107.
- [4] 郭良辉, 孟小红, 郭志宏, 等. 地球物理不规则分布数据的空间网格化法[J]. 物探与化探, 2005, 29 (5):125-129.
- [5] 李晓军, 王长虹, 朱合华. Kriging 插值方法在地层模型生成中的应用[J]. 岩土力学, 2009, 34 (1):51-55.
- [6] 刘传志, 张华, 张亚男, 等. 等高线自动绘制中断层处理的新方法[J]. 海洋测绘, 2005, 25 (3):79-83.
- [7] 陈永辉, 卢德唐, 黄丰. 地质构造等值线原理及实现技术[J]. 计算机应用与软件, 2006, 23 (4):92-95.
- [8] 陈学工, 张坤. 带断层线的等值线生成方法[J]. 计算机应用研究, 2010, 27 (8):3144-3146.
- [9] 孟宪海, 杨钦, 李吉刚. 基于层面结构的三维闭合地质区块构造算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2005, 31 (2):45-48.
- [10] 侯卫生, 吴信才, 刘修国. 基于线框单元体的三维闭合地质块体构建方法[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2007, 37 (5):65-68.