

边缘信息引导的阈值图像分割算法

沙 莎 彭 丽 罗三定

(中南大学信息科学与工程学院, 长沙 410083)

摘 要 针对照度不均匀的图像提出了一种基于边缘信息构造阈值图像的分割算法。该算法着眼图像上目标、背景及照度在空间分布的连续性, 利用边缘处梯度大、阈值容易确定的特点, 以其边缘邻域中的极大值和极小值的均值作为该边缘处的阈值, 然后以稀疏的边缘阈值为控制点, 通过曲面拟合得到全图分布的阈值图像再对图像进行分割。该算法分割效果好, 边缘吻合度高于其他典型算法, 且抗模糊能力强, 有利于平滑去噪, 克服了基于边缘方法易受噪声影响的弱点。

关键词 边缘检测 照度不均匀 图像分割 曲面拟合

中图法分类号: TP391.4 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)03-490-05

A Threshold Image Segmentation Algorithm Directed by Edge Information

SHA Sha, PENG Li, LUO Sanding

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083)

Abstract Directed against uneven illumination of image, this paper proposes a threshold image segmentation algorithm based on edge detection. According to this method, the continuity of spatial distribution of the objects, background and the illumination has been considered to determine the threshold by using the information of the edge's gradient. Then, the average of the maximum and minimum value near the edge detected by edge detection algorithm is used as the local threshold for the pixels on the edge. Using surface fitting, the threshold surface is constructed by the edge-threshold control points for image segmentation. The experimental result shows that the algorithm is efficient and its Edge-Border Coincidence is higher than other typical algorithm. The ability of Anti-fuzzy of this algorithm is stronger and it has overcome the weakness of the edge-based method which is easy impacted by noise.

Keywords edge detection, uneven illumination, image segmentation, surface fitting

0 引 言

在计算机视觉系统中采用阈值处理分离目标与背景是最常见的处理方法^[1-2], 但对于光照不均匀和物体反射率差异而产生的照度不均匀的图像, 采用单一的全局阈值无法正确地进行二值化分割。

基于直方图的阈值分割是图像分割^[3]的一类主要方法, 但是直方图反映的是图像的灰度分布, 仅

目标和背景的灰度有明显的差别时效果较好。而局部阈值分割法是研究非均匀照度分割的重点。在局部范围内运用如峰谷法、OTSU法等经典方法求取各子块的最佳阈值。此方法针对背景和目标的灰度有明显差别的子块而言是有效的, 但阈值求取计算量较大, 而且不能很好地处理灰度比较均匀的单纯区域; 区域划分大小难以确定, 过大不能解决子块内光照不均问题, 过小又将出现大量单纯区域误分割。文献[4]提出了一种多阈值融合算法, 对灰度

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60573079)

收稿日期: 2008-09-18 改回日期: 2008-10-28

第一作者简介: 沙莎 (1955—), 女, 教授。1993年于中南大学获计算机应用专业硕士学位。主要研究方向为智能信息处理、计算机视觉。E-mail: cssh@csu.edu.cn

平稳和渐近变化的多目标间相互分离非常有效,但要求满足背景灰度均低(或高)于目标,不适合背景区域与目标区域存在灰度范围有交叠的非均匀照度场合。

文献[5]提出了一种基于图像边缘信息的 2 维阈值分割方法,根据强边缘上像素的灰度值和邻域平均灰度值相差较大的特点选取分割阈值。该方法只能选取全局阈值,而且对噪声很敏感。

文献[6]提出一种基于边缘的双阈值二值化方法,利用得到的边缘信息尽可能地减少照度不均匀和噪声的影响。目标与背景间的边界存在较强的边缘,关键是如何利用边缘信息。

本文所提出的基于边缘处邻域灰度差异大,阈值容易确定特点,用曲面拟合方法构造阈值图像的分割算法,实验分析表明它是一种照度自适应性好、抗模糊能力强、与目标物体大小无关、分割结果边缘吻合度高的二值化分割方法。

1 基于边缘的阈值计算

1.1 阈值图像的原理

定义 1 对一幅图像 A 的每个像素点 $a(i, j)$ 均采用独立的分割阈值 $b(i, j)$, 由 $b(i, j)$ 组成的图像 B 称为图像 A 的阈值图像。

首先从 1 维阈值曲线来分析阈值图像原理。如图 1 所示为阈值曲线算法的原理示意图, 图中曲线 ① 为待分割的照度不均匀并且大小不一致的多目标图像的第 i 行的灰度曲线, 其中值较大部分为目标, 值较小部分为背景; 设曲线 ② 为曲线 ① 的阈值分割曲线, 则可以分离目标和背景如二值曲线 ③。可见阈值曲线需随目标和背景灰度缓慢变化, 始终介于两者之间。

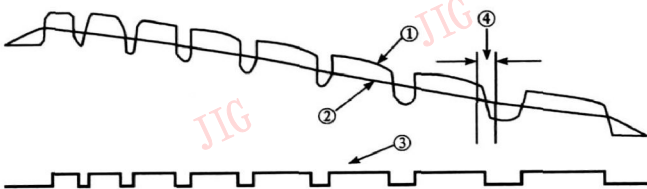


图 1 1 维曲线及其阈值曲线和分割结果

Fig. 1 1D curve and its threshold curve and result curve

推广到 2 维图像中, 如果可以求得一个阈值图像, 使得其在目标处, 阈值图像的灰度值小于待分割图像对应点的灰度值, 而在背景处, 阈值图像的灰度值大于待分割图像对应点的灰度值。

1.2 边缘阈值的获取

从图 1 可以看出, 如果选取曲线 ① 跳变前后邻域内(见曲线 ④)的最大值和最小值的均值作为阈值, 则对于背景和背景来说都是合适的, 由此可很好地确定边缘处的阈值。

图像的边缘处邻域内灰度变化较大, 采用有较好抗干扰能力的 8 方向最佳边缘检测法^[7], 获得边缘增强图像 G 。

$$g(x, y) = d_k = \max\{d_i \mid i = 0, 1, \dots, 7\} \quad (1)$$

其中, $d_k > \varepsilon$ d_i 为原图像 F 在 (x, y) 关于方向 i 的 3×3 差分。对边缘增强图像 G 提取关于方向 k 极大值构成细化的边缘图像 G' 。其边缘点 (i, j) 处对应的阈值(简称边缘阈值) $t(i, j)$ 由下式计算得到。

$$t(i, j) = (f_{\max} + f_{\min}) / 2$$

$$f_{\max} = \max\{f(p, q) \mid (p, q) \in S\} \quad (2)$$

$$f_{\min} = \min\{f(p, q) \mid (p, q) \in S\}$$

其中, S 为边缘点 (i, j) 的邻域。

1.3 非边缘阈值的估计

由式(2)可得到所有强边缘处的阈值, 构成边缘阈值图像 T , 但非边缘处的阈值尚不能确定。需要根据已知边缘阈值进行插值估计。形成完整的阈值图像。

对于 1 维阈值曲线可以采用线性插值方法, 如下式

$$t(x) = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} [t(x_2) - t(x_1)] + t(x_1) \quad (3)$$

$$x_1 < x < x_2$$

式中, 非边缘处的阈值 $t(x)$, $t(x_1)$ 和 $t(x_2)$ 为已知边缘阈值。

对于 2 维图像, 采用曲面插值方法估计非边缘处的阈值需要多个已知边缘阈值。根据曲面拟合的基本原理^[8], 当曲面次数为 n 时, 需要控制点的个数为 $N = (n + 1)(n + 2) / 2$ 。线性插值时取 $n = 1$, 需要控制点的个数为 3 且位置不共线。设曲面拟合方程为

$$t(x, y) = ax + by + c \quad (4)$$

其系数 a, b, c 通过求解以下方程得到。

$$\begin{bmatrix} t(x_1, y_1) \\ t(x_2, y_2) \\ t(x_3, y_3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (5)$$

点 (x_i, y_i) 对应的边缘阈值 $t(x_i, y_i)$ 是拟合阈值曲面的控制点。进行内插时可估计出所有 $t(x, y)$,

(x, y) 属于 $(x_i, y_i), i= 1, 2, 3$ 围成的三角形区域。

由准确的边缘阈值和由此估计计算出的非边缘阈值将构成一幅阈值图像。需要进一步研究的是如何合理地进行曲面划分问题使拟合出的阈值图像更为完善。

2 阈值图像拟合相关问题

2.1 拟合区域划分

用得到的 n 个边缘阈值点作为特征点构成众多的三角形区域,用以覆盖整个图像区域,三角形个数为 $n-2$ 。因为需要求解线性方程组 (5) 获得式 (4) 中的系数,除 3 个特征点不能共线以保证逆矩阵存在之外,还须防止出现狭长三角形以免病态方程组求解造成太大的计算误差,在进行三角区域划分时尽量构成锐角三角形,本文采用优化的 Delaunay 三角剖分方法^[9]进行区域划分。

2.2 控制点的简约

如果将所有强边缘点如图 2(b),都作为控制点,插值计算的代价非常大。为提高拟合计算速度,鉴于照度具有渐变特性,阈值图像灰度变化平缓特点,本文对边缘点进行合理的简约,即对每一个小的区域内选取区域内边缘点的重心作为控制点,以区域内这些点的平均阈值作为简约后控制点的阈值,区域大小由目标大小而定。如果原图是弱边缘图像,见图 2(a),虽图像中间部分的边缘信息很弱,可以通过适当降低边缘阈值来提取出完整的细化边缘图像,再进行后续处理。

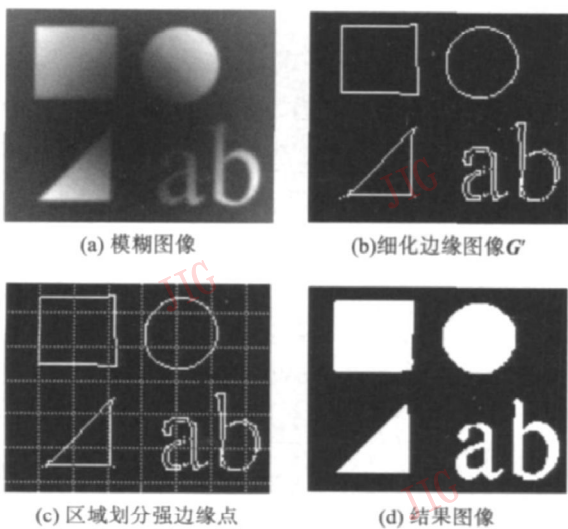


图 2 模糊图像的分割

Fig. 2 Result of fuzzy image under uneven illumination

2.3 阈值的外插问题

用已知边缘阈值进行三角剖分形成的区间不足以覆盖图像四边,导致图像四周区域无法估计阈值。如果在图像 4 个角上外插补充控制点,则可以保证完全覆盖整个图像区域。因四角上控制点的阈值通常无法直接通过边缘信息得到,本文采用邻近点进行估计。对于图像四角,分别以其最近的两个已知控制点 a 和 b 的距离加权平均值计算其阈值设估计点 p 到点 a 和 b 的距离为 l_a 和 l_b , a 和 b 点的阈值为 t_a 和 t_b , 则

$$t_p = \frac{l_b}{l_a + l_b} t_a + \frac{l_a}{l_a + l_b} t_b \quad (6)$$

2.4 噪声抑制

利用边缘信息获取阈值图像,需要抑制图像噪声。生成阈值图像前先对原图像采用模糊处理,虽处理之后边缘变弱,但对最后的结果影响不大。

3 实验结果及分析

对各种照度不均匀的典型图像以及含噪声图像进行了分割实验(图 3~图 5),并与其他算法进行了比较(图 6,图 7)。

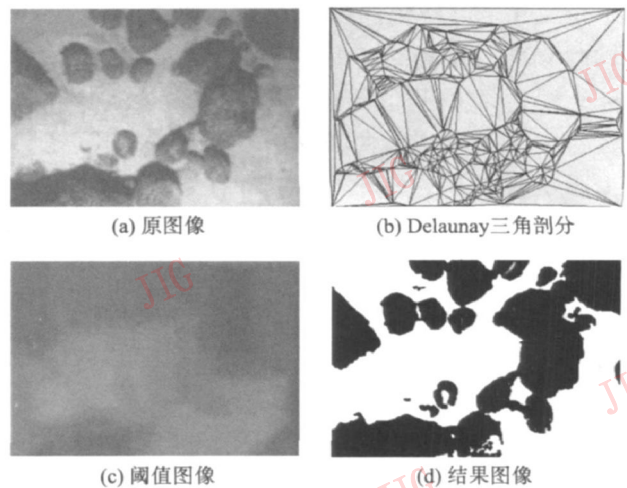


图 3 照度不均匀的海底图像分割

Fig. 3 Result of seabed image under uneven illumination

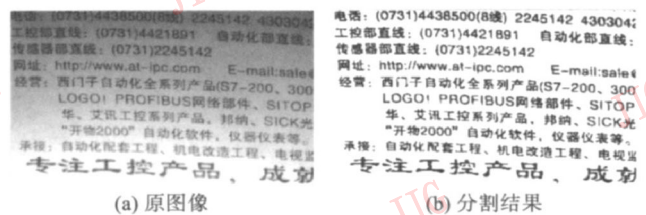


图 4 照度不均匀的文字图片分割

Fig. 4 Result of character image under uneven illumination

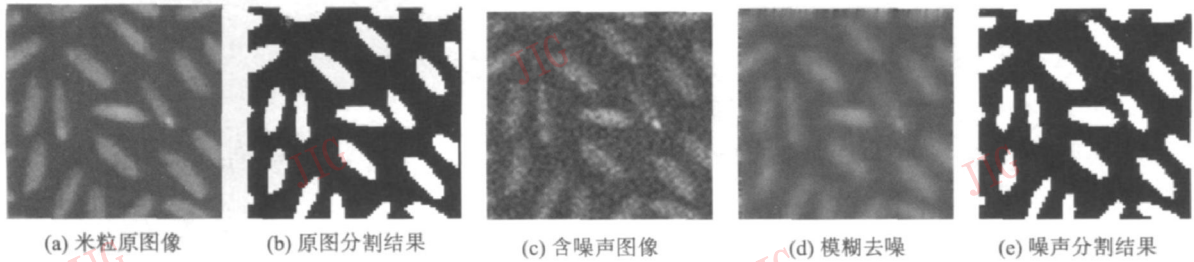


图 5 米粒原图和噪声图像分割比较

Fig. 5 Segmentation results of rice original and noisy image

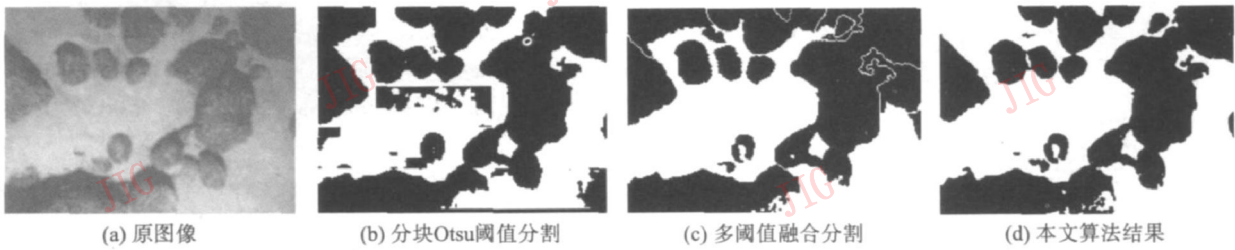


图 6 照度不均匀图像的分割结果比较

Fig. 6 Comparison results for seabed image under uneven illumination

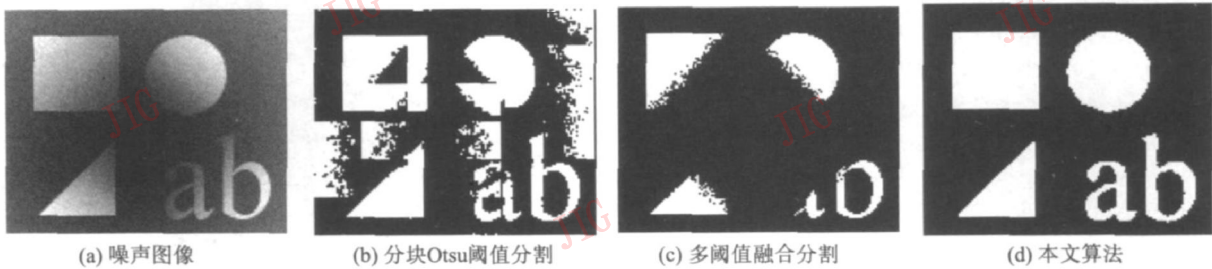


图 7 含噪声图像分割结果比较

Fig. 7 Comparison results for image with noise

图 3 和图 4 实验结果表明, 本文算法能够有效利用图像边缘信息进行三角剖分, 并延展出阈值图像, 对原图像进行很好的分布式阈值分割。

图 5 实验结果表明了平滑滤波策略的鲁棒性, 其中, 图 (b) 是对原图 (a) 处理的结果; 图 (c) 是在原图上添加了 10% 噪声的图像, 对其模糊去噪后得到图 (d); 再用本文算法进行分割, 得到图 (e)。与图 (b) 比较, 图 (d) 虽然有边缘比原图模糊, 但对最后的分割结果影响很小。

图 6 的原图为照度不均匀且背景较复杂, 图 7 (a) 中含有大量噪声, 并且背景区域与目标区域的灰度存在交叠。

分块 Otsu 方法存在较多的误分割和漏分割现象, 其原因是分块选阈值时根据块中的目标和背景的灰度变化选择了局部阈值。由于多阈值融合算法是建立在背景灰度渐变条件下的, 在图 6 中有过分

割, 在图 7 中则有欠分割。本文算法能够很好地克服噪声和光照不均的影响, 整体目标提取完整。

客观评价边缘点与边界重合度 (EBC), 边界一致性^[10]如表 1 所示。对比分析表 1 中的数据可知, 本文算法边缘点与边界重合度以及边界一致性都明显优于另外两种算法。

表 1 不同算法处理的边缘特性

Tab. 1 Edge features of different methods

算法	照度不均匀 海底图片		照度不均匀 文字图片		人工合成 噪声图片	
	EBC	边界一 致性	EBC	边界一 致性	EBC	边界一 致性
分块 Otsu	0.499	0.363	0.794	0.775	0.571	0.468
多阈值融合	0.544	0.434	0.681	0.683	0.351	0.378
本文算法	0.678	0.522	0.824	0.811	0.735	0.783

4 结 论

本文提出了基于边缘检测的阈值图像分割方法。原理分析和实验表明该方法利用目标的轮廓边缘灰度变化,能够准确地分割目标,边缘吻合度高于其他典型算法;根据边缘阈值的空间分布生成分布阈值,解决了照度不均匀条件下的多目标分割问题;通过灰度聚类选择目标轮廓边缘的代表点提高了阈值曲面的插值速度;算法抗模糊能力强,有利于平滑去噪,克服了基于边缘方法易受噪声影响的弱点,算法有很好的鲁棒性。

为了进一步提高阈值图像拟合准确度,下一步研究须采用更具代表性的控制点简约算法。

参考文献 (References)

- [1] Han Siqi Wang Lei. A survey of thresholding methods for image segmentation [J] . Systems Engineering and Electronics 2002, 24(6): 91-102. [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, 24(6): 91-102.]
- [2] Zhang Y J. A survey on evaluation methods for image segmentation [J] . Pattern Recognition 1996 29(8): 1335-1346.
- [3] Li Jidong Ge Yu Philip Ogunbona. An efficient iterative algorithm for image thresholding [J] . Pattern Recognition Letters 2008, 29(9): 1311-1316.
- [4] Xing Yanchao Tang Zheng. Multi-threshold fusion based image segmentation [J] . Chinese Journal of Computers 2004 27(2): 252-256. [邢延超, 谈正. 基于多阈值融合的图像分割 [J] . 计算机学报, 2004 27(2): 252-256.]
- [5] Wang Yueyue Wang Qiguang. A Two-dimensional threshold method based on the information of image edge [J] . Journal of Image and Graphics 2007, 12(1): 78-81. [王玥玥, 王秋光 . 基于图像边缘信息的 2 维阈值分割方法 [J] . 中国图象图形学报, 2007, 12(1): 78-81.]
- [6] Chen Qiang Sun Quansen Heng Pheng Ann, et al. A double-threshold image Segmentation binarization method based on edge detector [J] . Pattern Recognition 2008 41(4): 1254-1267.
- [7] Luo Sanding Sha Sha Shen Deyao, et al. On-line visual counting system for production of steel bar [J] . Micro Systems 2004 25(4): 671-675. [罗三定, 沙莎, 沈德耀, 等. 棒材生产在线视觉计数系统研究 [J] . 小型微型计算机系统, 2004 25(4): 671-675.]
- [8] Donald Heam. Computer Graphics with OpenGL [M] . Beijing Publishing House of Electronics Industry, 2005 364-396. [赫恩 . 计算机图形学 [M] . 北京: 电子工业出版社, 2005 364-396.]
- [9] Mirko Zadavac, Borut Zalik. An almost distribution independent incremental Delaunay triangulation algorithm [J] . The Visual Computer 2005 21(6): 384-396.
- [10] Zhang Huizhang. Research on Image Understanding Methods Based on Visual Perception [D] . Shanxi Northwester Polytechnical University, 2003 60-62. [张会章 . 基于视觉感知的图像理解方法研究 [D] . 陕西: 西北工业大学, 2003 60-62.]