

文章编号:1001-9081(2009)08-2071-03

基于梯度的图像分割新方法

秦 剑, 李 林, 李绍明, 王龙鹤, 时振通

(中国农业大学 信息与电气工程学院, 北京 100083)

(qinjian1985@gmail.com)

摘要: 针对玉米图像和 Lena 图像的分割方法进行了讨论与研究, 将传统的阈值分割与图像梯度计算结合在一起, 提出了一种新的彩色图像分割方法。该方法对玉米图像和 Lena 图像不但具有较好的分割效果, 而且具有计算简单, 抗噪声能力强, 并且同时适用于灰度与彩色图像的场合, 较好地克服了传统阈值分割方法的缺点。实验表明该算法不仅能够较好地分割出图像边界, 且具有较好的时间性能和较好的分割效果。

关键词: 图像分割; 阈值; 梯度

中图分类号: TP391.41 文献标志码:A

New image segmentation method based on gradient

QIN Jian, LI Lin, LI Shao-ming, WANG Long-he, SHI Zhen-tong

(College of Information and Electrical Engineering, China Agriculture University, Beijing 100083, China)

Abstract: To solve the problems of large computation, slow convergence, and easily falling into local extremum of traditional image segmentation algorithms, a new image segmentation method based on color image gradient calculation was proposed. The experimental results on corn and Lena images, compared with level set method and watershed method, show that the new method can segment images better, faster and steadier, and suits for both grey images and color images.

Key words: image segmentation; threshold; gradient

0 引言

图像分割是数字图像处理的基础, 也是进一步进行计算机自动识别和人工智能的前提和关键, 是数字图像处理领域的一个经典难题。

传统阈值分割算法具有实现简单、计算量小、性能较稳定等特点, 通常是利用图像的一维灰度的分布特征, 寻找灰度分布两波峰中间的波谷将图像分割开。然而这种分割方法依赖于图像一维灰度的分布, 对灰度分布比较窄或分布不呈双峰特征的图像, 往往会造成错误分割。二维灰度直方图的分割方法, 不仅充分利用了图像像素点的信息, 而且充分考虑了像素点与其邻域的空间关系信息, 具有较好的抗噪性, 适合低信噪比的图像分割。但二维直方图带来的计算量也是十分惊人的, 通常要在一个二维曲面上搜索全局最优解, 因此该方法的时间性能不能满足实际的需要。

分水岭算法^[1-2]于 1988 年由 S. Beucher 和 C. Lantuejoul 提出, 其主要思想是将梯度幅值图像看成地形图, 通过模拟水浸没的过程, 在两盆地汇合处建坝拦截, 最终形成分割边界。分水岭变换由于分水线总是位于梯度变换最剧烈的地方, 总是产生完整的边界, 而且计算速度快, 从而在对比度低的图像分割中显示出了无可比拟的优势。但经常由于图像本身的问题或者图像上的一些微小噪声, 在图像上形成很多局部极小值点, 由此产生严重的过分割问题。

近些年兴起的活动轮廓模型——Snake 模型^[3]和基于水平集方法的 MS(Mumford-Shah) 模型^[3]也是现在很流行的分

割方法。它们基本上都属于基于能量泛函最小化的变分方法和偏微分方程的数学方法。目前在人脸嘴部活动跟踪、医学细胞图像和 CT 图像的分割上有很多的应用, 但这种方法也存在计算量大、对于复杂问题收敛速度慢, 容易陷入局部极值等问题。

本文针对以上算法的缺陷和不足, 在传统阈值分割算法中引入彩色图像梯度计算, 在简化后的梯度图像上计算分割阈值, 从而克服以上算法分割不理想和计算时间长等缺点。本文依次给出图像梯度的定义、彩色图像梯度的定义以及最大类方差法的定义, 并给出算法的定义与实现。

1 分割算法

1.1 梯度图像的计算

梯度图像^[4]能够更好地适应图像的变化趋势, 边缘检测也常用各种微分算子来提取图像的边界。实践证明, 图像边界信息更多地与梯度有更大的关系, 而非图像本身, 因此对保存有完整图像边界信息的梯度图像进行分割更加合理。计算图像梯度主要有两个作用, 一方面通过计算梯度去除图像上众多的局部极小值和噪声, 另一方面通过简化图像去掉与边界无关的信息, 使得图像灰度直方图呈现更加明显的双峰情况有助于分割。

假设 $I(x, y)$ 代表一幅图像, 表示图像 I 的定义域, M_n 为一个尺寸为 n 的结构单元, 其数学形式的膨胀定义如下:

$$\delta(I)(x, y) = \text{Max}\{I(x - x_0, y - y_0) | (x - x_0, y - y_0) \in D_I; (x_0, y_0) \in M_n\} \quad (1)$$

收稿日期: 2009-03-03; 修回日期: 2009-04-20。 基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD10A01)。

作者简介: 秦剑(1985-), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 主要研究方向: 图像处理; 李林(1963-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 副教授, 主要研究方向: 软件工程。

其数学形式的腐蚀定义如下:

$$\varepsilon(I)(x, y) = \min\{I(x+x_0, y+y_0) | (x+x_0, y+y_0) \in D_I; (x_0, y_0) \in M_n\} \quad (2)$$

因此,图像 $I(x, y)$ 的数学形态梯度定义如下:

$$\nabla(I)(x, y) = \delta(I)(x, y) - \varepsilon(I)(x, y) \quad (3)$$

1.2 彩色梯度图像定义

彩色图像比灰度图像包含有更多的信息,更符合真实世界和人的视觉反映。考虑到很多时候仅靠图像的灰度信息并不能完全反映出图像的边界信息,本文将采用彩色图像的梯度^[5]计算方法。本文基于文献[5]中提出的方法,给出彩色图像梯度的定义。

设 L_1, L_2, \dots, L_m 为有限且有全序关系的集合,一般的一个彩色图像像素值可以表示成 $L = L_1 \times L_2 \times L_3$, 设 Z 为整数集的一个子集, $E = Z \times Z$ 。于是一个彩色图像可定义为从 E 到 L 的一个映射 $f(z) = f_1(z), f_2(z), f_3(z)$, $z \in E$ 其中, f_i 表示从 E 到 L_i 的一个映射, f_i 称为图像的一个分量。我们令泛函 $\text{Fun}[E, L]$ 代表所有从 E 到 L 的映射的集合。令 \wedge 代表集合的下确界或极小值, \vee 代表集合的上确界或极大值。在 HIS 色彩空间中, 定义梯度如下。

定义 1 设 $f \in \text{Fun}[E, L]$, 则图像 f 的梯度 1 定义为:

$$\nabla_B^I(f) = \vee \{\nabla_B(f_1), \nabla_B(f_2), \nabla_B(f_3)\} \quad (4)$$

定义 2 设 $f \in \text{Fun}[E, L]$ 则图像 f 的梯度 2 定义为:

$$\nabla_B^{II}(f) = \vee \{\nabla_B^I(f_1), \nabla_B^I(f_2), \nabla_B^I(f_3)\} \quad (5)$$

其中 $\nabla_B^I(f) = f - \varepsilon_B(f)$ 。

定义 3 设 $l, l' \in L$, 则两像素点的距离为 $d(l, l') = \vee \{|l_1 - l'_1|, |l_2 - l'_2|, |l_3 - l'_3|\}$, $f \in \text{Fun}[E, L]$ 图像 f 的梯度 3 定义为:

$$\begin{cases} \nabla_B^{III}(f)(x) = \vee_{y \in B_x} d(f(x), f(y)) \\ B_x = \{y \in E : (y - x) \in B\} \end{cases} \quad (6)$$

梯度 1 选择的都是原图像各分量灰度变化剧烈的地方, 较多地保留了图像原本的信息; 梯度 2 较多地考虑内部点的影响, 对物体内部边缘有一定的增强; 梯度 3 更多是反映不同分量之间的差别, 对同一分量的区域信息反映较少。目前对线性加权梯度定义也比较多, 但权值如何选择, 以及不同颜色空间选择和各分量如何量化, 对结果梯度图像有什么样的影响都有待深入讨论。本文使用第一种梯度定义方法在 HSV 颜色空间下进行梯度的计算。

1.3 最大类方差法

最大类间方差法(Otsu 法)是 1979 年 N. Otsu 提出的动态阈值方法, 其基本思想是通过图像的灰度直方图来寻找一个阈值, 使得这个阈值将图像分为目标和背景两部分, 同时使得这两部分的类间方差最大。假设图像 $I(x, y)$ 的灰度等级为 $G = \{0, 1, \dots, L-1\}$, 对于 (x, y) 像素点对应的灰度值表示为 $f(x, y)$ 。设 $t \in G$ 为图像的分割阈值, $B = \{b_0, b_1\}$ 表示一个二值图像, 则对于图像 $I(x, y)$ 上阈值 t 的分割结果 $f_t(x, y)$ 可表示为:

$$f_t(x, y) = \begin{cases} b_0, & f(x, y) \leq t \\ b_1, & f(x, y) > t \end{cases} \quad (7)$$

设灰度级为 i 的像素点出现的个数为 N_i 于是总的像素点

的数为 $M = \sum_{i=0}^{L-1} N_i$, 灰度级别为 i 的像素点出现的概率为:

$$p_i = N_i/M; p_i \geq 0, \sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1 \quad (8)$$

阈值 t 将像素分成了两类 (C_0, C_1) , 其中 C_0 为像素灰度为 $\{0, \dots, t\}$ 的像素点的集合, C_1 为像素灰度为 $\{t, \dots, L-1\}$ 的像素点的集合, 分别相对应为目标和背景。

背景像素所占比例为 $p(t) = \sum_{i=0}^t p_i$, 若记 $\mu_0(t) = \sum_{i=0}^t ip_i, \mu_1(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} ip_i$ 则背景和目标的平均灰度值为 $\mu_0 = \frac{\sum_{i=0}^t ip_i}{p(t)}, \mu_1 = \frac{\sum_{i=t+1}^{L-1} ip_i}{1-p(t)}$, 则两类之间的类方差为:

$$\sigma_t^2 = p(t)(1-p(t))(\mu_1 - \mu_0)^2 \quad (9)$$

于是就可以得到最优阈值 t^* , 满足:

$$\sigma_{t^*}^2 = \max(\sigma_t^2); t \in G \quad (10)$$

1.4 本文算法描述

本文在阈值分割的基础上, 为克服传统阈值对图像灰度分布不成明显双峰时分割不理想的缺点, 将图像梯度算子与阈值分割结合起来, 提出本文算法。首先将彩色图像应用本文定义的彩色梯度算子计算得到梯度图像, 然后在得到的梯度图像上运用最大类方差法进行阈值分割。将梯度计算与图像灰度扫描结合, 因此式(8)可写为:

$$\begin{cases} p_i = \mu(E)/M \\ E = \{i | i = \nabla_B(f), f \in L = L_1 \times L_2 \times L_3\} \end{cases} \quad (11)$$

其中 $\mu(E)$ 为集合的测度, 当 E 为有限集时 $\mu(E)$ 即为集合中包含元素的个数; $\nabla_B(f)$ 为式(4~6)定义的彩色梯度计算方法。

2 实验

图 1(a)是原始 Lena 图像。图 1(b)是图 1(a)利用传统 OTSU 阈值分割结果。可以看出在部分区域(如面部、右边背景)分割效果较好, 但是部分区域(如帽子、头发等)未能将图像边界完整分割开来。图 1(c)是图 1(a)利用分水岭算法分割的结果, 可以看出, 图像被分割成无数小的区域, 错误分割十分严重。图 1(d)是图 1(a)利用本文梯度计算方法计算结果, 可以看出图像细节在很大程度被简化, 图像边界明显清晰。图 1(e)是图 1(a)利用本文算法分割结果。与图 1(b, c)对比本文算法较好地分割出了图像完整的边界, 然而并未造成明显的错误分割。

图 2(a)是原始玉米图像。图 2(b)是图 2(a)利用传统 OTSU 阈值分割结果, 可以看出玉米籽粒并未被完整地分割开来。图 2(c)是图 2(a)利用分水岭分割的结果, 图 2(d)是图 1(c)部分区域放大图像, 可以看出分水岭算法将玉米籽粒分割成若干连通区域, 错误分割十分严重。图 2(e)是图 2(a)利用本文梯度计算方法计算结果, 图 2(f)是本文算法分割结果, 可以看出本文算法较好地将玉米籽粒分割开来。

图 3(a)是原始局部玉米图像, 图 3(b)是利用水平集方法 300 次迭代结果, 图 3(c)是水平集方法 1400 次迭代结果, 图 3(d)是水平集方法 4000 次迭代结果。可以看出, 虽然水平集方法在分割细胞图像等简单图像时有较好的效果, 但对

于复杂图像分割,该方法收敛速度过慢不能满足实际需要,且容易陷入局部极小值。相比之下本文算法计算速度快,稳定,能较好地适应分割图像。

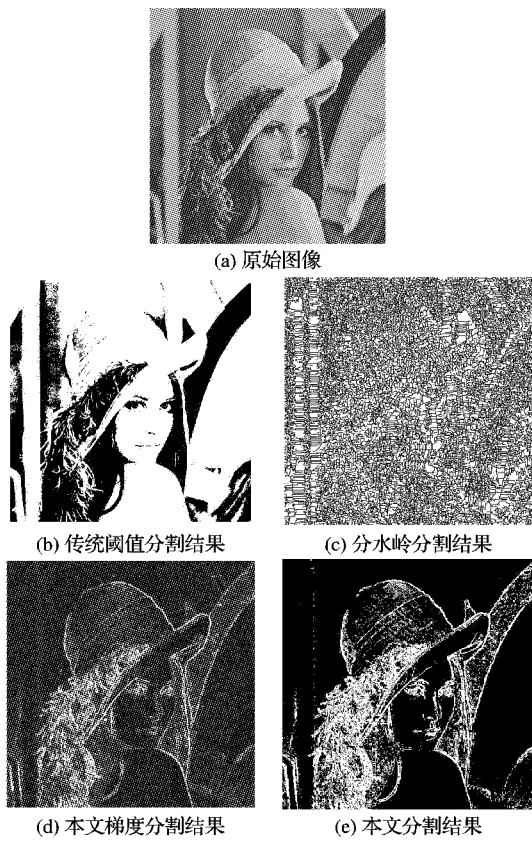


图1 Lena 图像分割结果

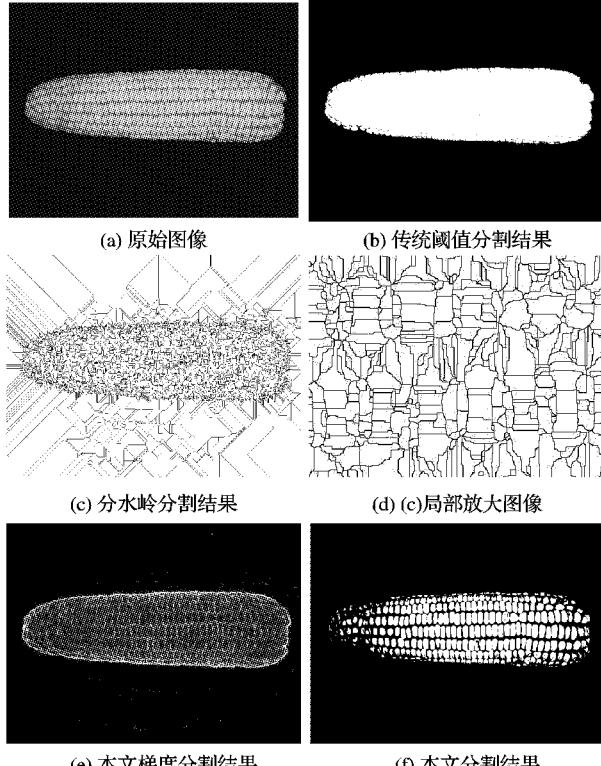


图2 玉米图像分割结果

3 结语

本文通过对传统分割方法的讨论,提出了一种将彩色梯

度计算与阈值分割相结合的算法。该方法对玉米图像不但具有较好的分割效果,而且具有计算简单,抗噪声能力强,并且同时适用于灰度与彩色图像的场合,较好地克服了传统阈值分割方法的缺点。实验说明本文算法不仅能够较好地分割出图像边界,且具有较好的时间性能。

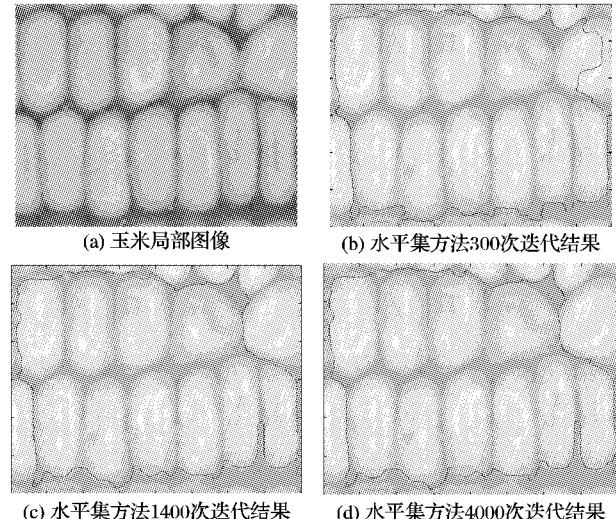


图3 对玉米局部图像的迭代结果

但在研究的过程中我们发现,全局统一的阈值门限往往不能满足整个图像的分割需要,如在玉米尖端处分割效果不是十分理想。另外能否像分水岭算法一样,分割总产生连续的单像素宽度的分割边界,这将对后续的图像处理和计算机识别问题都产生和很大的便利,这都是未来值得考虑和研究的问题。

参考文献:

- [1] VINCENT L. Morphological gray scale reconstruction in image analysis: Applications and efficient algorithms[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1993, 2(2): 583 – 598.
- [2] VINCENT L, SOILLE P. Watersheds in digital spaces – an efficient algorithm based on immersion simulations[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6): 583 – 598
- [3] KASS M, WITKIN A, TERZOPOULOS D. Snakes: Active contour models[J]. International Journal of Computer Vision, 1987, 1(4): 321 – 331.
- [4] CHAN T, VESE L. An efficient variation multiphase motion for the Mumford-Shah segmentation model[C]// Proceedings of Asiomar Conference on Signals, Systems, and Computers. Pacific Grove, CA, USA: IEEE Press, 2000: 490 – 494.
- [5] 张伟,蒋宏,任章.自适应多阈值图像分割算法[J].自动化技术与应用,2007,26(8):71 – 74.
- [6] 高丽,杨树元,李海强.一种基于标记的分水岭图像分割新算法[J].中国图象图形学报,2007,12(6):1032 – 1038.
- [7] HIRATA Jr R, FLORES F C, BARREIRA J, et al. Color image gradients for morphological segmentation [C]// IEEE Proceedings of SIBGRAPI' 2000. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2000: 316 – 322.
- [8] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1979, 9(1): 62 – 66.