

基于迭代均值漂移滤波图像分割新算法

蒋 菱

(四川大学 计算机学院, 四川 成都 610207)

摘 要: 图像分割技术在系统计算机视觉领域一直扮演着重要的角色. 针对传统的图像分割迭代算法由于过分重视图像分割的精确度, 造成算法复杂度大大的增加. 为了解决该问题, 提出了一种全新的基于迭代均值漂移滤波图像分割方法. 算法采用了熵作为停止准则, 并使用均值移动跟踪滤波来给出递归实时的分割过程. 仿真实验结果表明, 提出的迭代均值漂移滤波图像分割能快速的有效的分割图像, 不仅可以得到了比较高的分割精度, 还大大减少了计算量, 一定程度上能够改善图片分割的效率和质量.

关键词: 熵; 图像分割; 均值漂移; 平滑滤波器

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)09-0147-04

Image Segmentation Based on the Mean Shift Smoothing Filter Algorithm

JIANG Ling

(School of Computer, Sichuan University, Chengdu 610207, China)

Abstract: Image segmentation plays an important role in many systems of computer vision. The good performance of recognition algorithms depend on the quality of segmented image. According to the opinion of many authors the segmentation concludes when it satisfies the observer's objectives, the more effective methods being the iterative. However, a problem of these algorithms is the stopping criterion. In this work the entropy is used as stopping criterion in the segmentation process by using recursively the mean shift filtering. In such sense a new algorithm is introduced. The good performance of this algorithm is illustrated with extensive experimental results. The obtained results demonstrated that this algorithm is a straightforward extension of the filtering process.

Key words: entropy; image segmentation; mean shift; smoothing filter

1 引言

图像分割和轮廓提取是许多高级系统采用的重要步骤. 目前分割图像应用广泛. 然而由于研究对象形状和图像质量的变化性, 图像分割面临艰巨挑战. 尽管截至目前已研究出了最先进的复数算法, 图像分割在很大程度上仍依赖于应用程序, 而无法基于单一算法便能够解决宇宙中的所有问题. 为获得更加准确有效的分割方法. Koss 和 Braiek^[1]曾提出一些好的算法, 其中一些专用于生物医学图像的分割. 但是分割是个无确切解决方案的复杂性问题. 采

用传统的低层次图像处理技术的分割法包括阈值、直方图、区域生长等传统方法需要大量的互动指导, 才能达到满意的效果. 每个对象自身及各个对象之间的复杂性、阴影和变化性导致难以实现这些无模型方法的自动应用. 另外, 在使用上述方法时, 噪音和其它图像伪影可造成区域错误或研究对象边界的不连续.

目前用于分割的最有效的算法是迭代法^[2], 这种方法涉及包括数学形态学^[3]、形变模型和阈值法的各类技术的应用^[4], 但是迭代技术存在停止准则的问题. 均值漂移是一种用作特征分析工具的功能

极其丰富的非参数程序,可为多种计算机视觉任务提供可靠的解决方案.均值漂移的概念最初由 Fukunaga^[5]和 Hostetler^[6]于1975年提出的,直至1995年 Cheng 在其论文中重新提出前几乎被遗忘.以使用均值漂移分割作为平滑滤波的第一步,随后被用于分割过程.“熵”的概率主要基于信息理论的领域并非一个新概念,它已被用于图像恢复和边缘检测,近来被用作图像分割的评价方法.

图像分割技术^[7]在系统计算机视觉领域一直扮演着重要的角色.针对传统的图像分割迭代算法由于过分重视图像分割的精确度,造成算法复杂度大大的增加.为了解决该问题,提出了一种全新的基于迭代均值漂移滤波图像分割方法.算法采用了熵作为停止准则,并使用均值移动跟踪滤波来给出递归实时的分割过程.仿真实验结果表明,提出的迭代均值漂移滤波图像分割能快速的有效的分割图像,不仅可以得到了比较高的分割精度,还大大减少了计算量,一定程度上能够改善图片分割的效率和质量.

2 图像分割原理

图像分割就是指把图像分成各具特性的区域并提取出感兴趣目标的技术和过程.图像分割是将整个图像区域分割成若干个互不交叠的非空子区域的过程,每个子区域的内部连通的,同一区域内部具有相同或相似的特性,这些特性可以是灰度、颜色、纹理等.对于灰度图像来说,区域内部的像素一般具有灰度相似性,而在区域边界上一般具有灰度不连续性.

设原始图像的大小为 $N \times M$,其灰度级和邻域的平均灰度级均为 L ,形成一个二元组 (i, j) :像素点的灰度值和它的邻域平均灰度值.设 q_{ij} 即为二元组出现像素点个数, P_{ij} 为二元组 (i, j) 发生的概率.

一幅图像经过数据采集,添加噪声,蜕化等过程后,由理想的二值化图像变化为一幅灰度图像,其蜕化过程可表示为:

$$I(x, y) = A * B(x, y) + N \quad (1)$$

其中, A 表示的是蜕化矩阵, N 表示的是系统噪声.

3 迭代均值漂移滤波图像分割

3.1 迭代均值漂移算法

以归一化密度梯度估量引入均值漂移的迭代过程.通过采用微内核,可将密度梯度的估量定义为核密度估量的梯度,即:

$$\hat{\nabla} f(x) = \nabla \hat{f}(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n \nabla K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

根据学者 Fukunaga 文献中的结论推导出 $K(x)$ 和 h 的条件,以保证式(1)估量的渐近无偏性、均方一致性以及统一性.对于叶帕涅奇尼科夫核:

$$K_{E(x)} = \begin{cases} 1/2c_d^{-1}(d+2)(1-\|x\|^2), & \|x\| < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

密度梯度估量为:

$$\begin{aligned} \hat{\nabla} f_E(x) &= \frac{1}{n(h^d c_d)} \cdot \frac{d+2}{h^2} \sum_{x_i \in S_h(x)} (x_i - x) \\ &= \frac{n_x}{n(h^d c_d)} \cdot \frac{d+2}{h^2} \left(\frac{1}{n_x} \sum_{x_i \in S_h(x)} (x_i - x) \right) \end{aligned} \quad (2)$$

其中,区域 $S_h(x)$ 是超球半径 h , 体积为 $h^d c_d$ 、以 x 为中心、含有 n_x 个数据点,即:均匀核.式(2)最后一项为样本均值漂移

$$\begin{aligned} M_{h,U}(x) &= \frac{1}{n_x} \sum_{x_i \in S_h(x)} (x_i - x) \\ &= \frac{1}{n_x} \sum_{x_i \in S_h(x)} (x_i - x) \end{aligned} \quad (3)$$

$\frac{n_x}{n(h^d c_d)}$ 表示为核密度估量 $f_U(x)$ (均匀核)在

超球 $S_h(x)$ 条件下的计算结果,因此可将式(2)写为:

$$\hat{\nabla} f_E(x) = \hat{f}_U(x) \cdot \frac{d+2}{h^2} M_{h,U}(x) \quad (4)$$

由此得出

$$M_{h,U}(x) = \frac{h^2}{d+2} \cdot \frac{\hat{\nabla} f_E(x)}{\hat{f}_U(x)} \quad (5)$$

式(5)表明,可通过以 x 为中心的均匀核计算出标准梯度的估量.此外,通过叶帕涅奇尼科夫核获得的估量,均值漂移具有 x 上密度估量梯度方向.由于均值漂移向量总是指向密度增加最大的方向,可定义局部最大密度的一个路径,即密度模型.将数字图像表示为二维数组 p -维向量(像素),其中,灰度条件下, $p=1$ 表示为三色图像;多谱段条件下, $p>3$.

当载体的位置和范围连接在联合空间范围域 $d = p+2$ 时,其性质差异将通过 h_s 和 h_r 参数得到补偿.因此,多变量核被定义为二径向对称内核和欧几里得度量每个域的单个带宽的产物,即:

$$K_{h_s, h_r}(x) = \frac{C}{h_s^2 h_r^p} k\left(\left\|\frac{x^s}{h_s}\right\|^2\right) k\left(\left\|\frac{x^r}{h_r}\right\|^2\right)$$

其中, x^s 表示为空域分量, x^r 为特征向量分量, $k(x)$ 表示为两个域的常用元素, h_s 和 h_r 表示为两个域的核宽, C 为相应归一化常数.其创新之处在于联合空间范围域内数据点上均值漂移过程的应用.

3.2 熵值终止规则

从数字图像处理的角度来看,熵的定义见下列表达式:

$$E(x) = - \sum_{x=0}^{2^B-1} p(x) \log_2 p(x) \quad (6)$$

其中, B 表示为数字化图像的总位数, 这里定义 $\log_2 0 = 0$; $p(x)$ 是灰度值出现的概率. 在一个完全统一的区域熵达到最低值. 从理论上来看, 灰度值出现的概率为 1. 在使用实像的实践中, 一般情况下, 由于图像存在的噪音, 熵不会达到零值. 如果考虑将熵作为系统内无序性的度量, 则可通过均值漂移滤波将其作为迭代过程的停止准则. 当各区域变得更加均匀, 出现整个图像时, 每个区域内的熵减小, 直到达到一个稳定值. 当达到收敛点时, 获得一个完全分割图像. 由于它不会发生在某些数学形态的滤波器上. 此外基于均值漂移过程的图像分割是不连续性平滑算法的直接扩展, 该分割步骤并未造成过滤过程成本的明显增加.

在选择熵作为度量前需要增加两个独立的随机变量, 即信号和相加噪音, 该变量的增大会使熵增加. 由于分割图像是原始图像的简化版, 熵(分割图像)变得更小. 噪音熵减小速度比信号熵减小速度快, 所以熵迭代的相对变化率低于某阈值时, 应采用一个有效的停止准则.

3.3 算法的主要步骤

设 X_i 和 z_i , $i = 1, 2, \dots, n$, 分别表示为联合空间范围域的输入量及滤波图像. 对于每个像素 $p \in X_i$, $p = (x, y, z) \in R^3$, 其中, $(x, y) \in R^2$, 且 $z \in [0, 2^B - 1]$, β 表示为图像的像素数量. 该滤波算法包括以下步骤:

- (1) 赋予初始值, $j = 1, y_{i,1} = p_i$.
- (2) 通过式(3)计算像素收敛点的均值漂移值, 即计算直至收敛点的均值漂移 $y = y_{i,c}$.
- (3) 将计算值灰度分量并置于 z_i : $Z_i = (x_i^s, y_{i,c}^s)$, 其中 x_i^s 表示为空间分量, $y_{i,c}^s$ 表示为区域分量.
- (4) 根据式(6)计算滤波图像熵值.
- (5) 计算出上一步得出的熵值的绝对误差值. 该分割算法是过滤算法的直接扩展, 当熵达到稳定值时结束计算.

4 实验结果与分析

在 Windows 操作系统下, 文中在 PC P4 T2310 1.86G, 2GRAM, Intel 182865G 显卡的计算机上实验. 图像分割就是将灰度值分解成均匀区域可能是

所有计算机视觉系统中最重要步骤之一. 一般情况下, 均匀性被定义为像素值的相似性, 其中在图像上建立一个分段常数模型. 所有的分割实验均采用一个均匀核完成. 应用 EDISON 系统得出的仿真实验结果如图 1 所示.

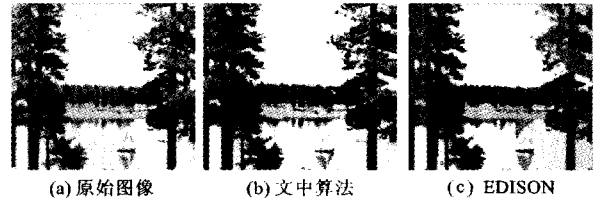


图1 湖面图像分割结果

从人眼观察分析来看, 使用文中算法和 EDISON 系统获得的图像分割并无太大区别. 但是, 使用文中算法进行的图像分割与原始图像相比, 看上去更加自然.

为使分割过程更加可视化, 图 2 显示为三维显示. 可以看出, 这些数据显示在水平轴上, 强度大于 z , 以便显示更多的信息. 可以看到, 这两个图像中的这些板块达到了相同的强度等级(轴 z). 尽管使用这两种算法得出的结果非常相似, 由于需要进采取滤步骤和其他分割步骤而存在差异. 在最后一步, 使用邻接图和分层技术时, 可能会较为复杂.

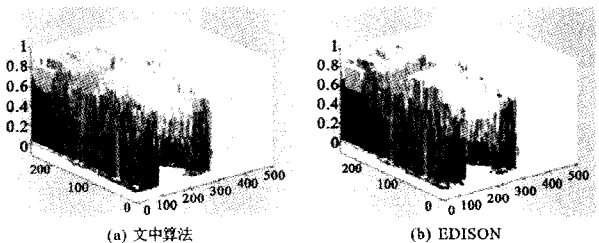


图2 均值漂移分割的三维可视化

图 3 所示为采用文中算法和 EDISON 方法的另一个分割实例. 注意到采用这两种算法得出的分割图像并无明显视觉差异. 通过文中算法 8 次迭代达到收敛点, 采用文中方案的草坪更加均匀. 对其他地区进行保持, 结果发现三脚架和建筑物均被理想分割. 但是, 使用文中算法 $h_r = 15$ 的摄影师手部区域并不理想.



图3 摄影师图像分割结果

采用上述两种方法进行的分割图像的三维效果如图 4 所示. 可以看出, 与图像天空和草坪对应的两个图像较为理想, 两者的细微差别是图 4(b) 图像中草坪板块有些弯曲. 在其他细节方面没有发现显著差异. 与文献[3] 算法相比, 文中算法的优势在于简单性. 在自动分割过程中, 文中算法非常实用.

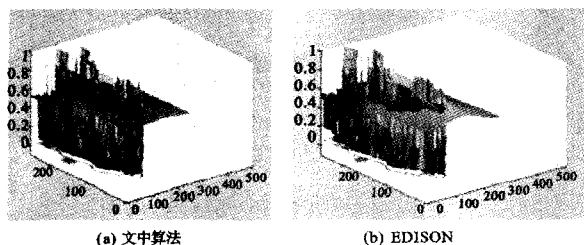


图 4 均值漂移分割的三维可视化

图 5 显示的是采用上述两种方法进行的分割实例. 对两个图像进行视觉分析发现分割理想, 可以观察到一些细节差异但均不显著. 不同参数(h_r , h_s) 的使用可导致这些差异. 在这种情况下, 使用文中算法进行 10 次迭代达到了收敛点. 与使用 EDISON 算法进行分割图像结果相同, 达到收敛点后, 使用文中



图 5 校园图像分割结果图

算法未取得最大值.

5 结束语

文中提出了一种基于均值漂移过滤迭代过程的分割算法. 实验结果证明该算法易于收敛, 且通过三位可视化测试, 证明该收敛性存在于不同对象的均匀区域. 这一算法还可以被应用到彩色图像的分割. 研究结果表明该方法是有用的.

参考文献:

- [1] 纪则轩, 陈强, 孙权森, 等. 各向异性权重的模糊 C 均值聚类图像分割[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2009, 21(10): 1451-1459.
- [2] 卓茗, 孙增圻. 一种新型的基于遗传算法的进化模糊推理系统[J]. 计算机工程, 2006, 32(3): 180-182.
- [3] 王晓飞, 郭敏. 结合模糊 C 均值聚类与分割的图像分割方法[J]. 计算机应用, 2009, 29(7): 1918-1920.
- [4] 王玥玥, 王秋光. 基于图像边缘信息的 2 维阈值分割方法[J]. 中国图像图形学报, 2007, 12(1): 78-81.
- [5] 黎燕, 樊晓平, 李刚. 一种新的图像阈值分割算法[J]. 计算机仿真, 2006, 23(06): 50-53.
- [6] 钱晓军. 粒子群算法在二维 Otsu 图像分割中的应用研究[J]. 计算机仿真, 2010, 29(12): 279-281.
- [7] 金聪, 彭嘉雄. 基于遗传策略的图像灰度多阈值选择方法[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(8): 23-26.

作者简介:

蒋菱女, (1989-), 硕士研究生, 研究方向为机器智能.

(上接第 146 页)

剩余能量、通信距离和三角形几何原理, 建立自适应的分簇机制和簇头竞选机制, 合理并充分利用网络剩余节点的能量, 发挥簇头节点的汇聚能力和管理能力, 提高数据采集和转发的实时性、可靠性. NS-2 仿真实验和数学分析表明, 该自适应拓扑控制技术能够有效提高异构传感网的能量利用率, 极大地延长网络的生存周期.

参考文献:

- [1] Akyildiz LF, Su WL. survey on sensor networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8): 102-114.
- [2] 陈瑶, 梁加红, 邹顺, 等. 无人机 Ad Hoc 网络拓扑控制算法研究[J]. 计算机仿真, 2010, 27(7): 33-37.
- [3] Erranilli V, Bestavros A. On the interaction between data aggregation and topology control in wireless sensor networks[C]// 2004 First Annual IEEE Communications Soci-

ety Conference. Boston: IEEE, 2004: 557-565.

- [4] 吴臻, 金心宇. 无线传感器网络的 LEACH 算法的改进[J]. 传感技术学报, 2006, 19(1): 34-36.
- [5] Heinzelman WR, Chandrakasa AP. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[J]. Proc of the Hawaaiian Int'l Conf on System Science (HICSS). Washington: IEEE Press, 2000: 3005-3014.
- [6] 尹安, 汪秉文, 戴志诚, 等. 无线传感器网络 HEED 分簇协议的研究与改进[J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31(10): 2002-2006.
- [7] 孙发军, 吴昊. 一个基于 TOSSIM 的异构传感器网络仿真方案[J]. 计算机仿真, 2007(10): 126-130.

作者简介:

钱晓军 男, (1971-), 硕士, 副教授. 研究方向为物联网、数据库.

蒋云贵 男, (1971-), 硕士, 高级工程师. 研究方向为电器自动化、物联网.