

一种改进的分水岭图像分割算法

张晓燕, 刘振霞, 朱子健

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:针对分水岭图像分割算法普遍存在受噪声影响大和过分割的问题,提出了一种基于梯度修正和相邻区域边缘强度合并的改进分水岭图像分割算法。首先对图像采用形态学开闭重建滤波,消除噪声对图像的干扰;其次,使用多尺度算子计算形态梯度,充分利用大结构元素和小结构元素的各自优点,获得更准确的形态学梯度;再用粘性形态学运算对梯度图像修正,有效去除产生过分割的局部极小梯度值;分水岭变换后,定义出相邻区域的边缘强度值,并基于相邻区域边缘强度合并过分割区域,进一步消除图像过分割,改进分割效果。实验表明:该方法不仅能够有效地去除图像噪声干扰,而且能够消除过分割区域,同时还具有较强的区域轮廓定位能力,有效提高了图像分割效果。

关键词:分水岭;开闭重建滤波;梯度修正;粘性形态学运算

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2010.06.012

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)06-0056-04

分水岭变换是一种适用于图像分割的强有力的形态工具,能够自动生成一系列封闭分割区域^[1]。分水岭变换的不足之处在于它易受噪声的影响产生过分割结果,因此一般需要对分割图像进行预处理或对分割结果进行后处理。如文献[2-3]采用对输入图像取阈值的方法来减少分水岭变换后区域的个数。然而,不合适的阈值很可能会破坏重要物体的轮廓,因此选取适当的阈值是一项非常困难的任务。文献[4-5]是区域合并法,即在分水岭算法之后,通过一定的合并准则将小区域合并到相邻区域。但分水岭变换后,区域数目很多,所以合并过程运算量极大,影响了分水岭图像分割算法的效率。

针对上述问题,本文提出了一种改进的图像分水岭分割算法,仿真实验表明,本文所提出的算法具有较强的噪声抑制能力,分割结果具有较为完整的轮廓和精确连续的边缘,所得的区域闭合性好。

1 改进的分水岭分割算法

1.1 形态重建滤波的图像降噪

开闭重建滤波器是一种常用的基于连通算子的形态滤波器:

$$\begin{cases} \text{开重建} & \tilde{\gamma}_N(f) = \gamma^{(\text{rec})}(\gamma_N(f), f) \\ \text{闭重建} & \tilde{\varphi}_N(f) = \varphi^{(\text{rec})}(\varphi_N(f), f) \end{cases} \quad (1)$$

式中: γ, φ 分别表示形态学中的开运算和闭运算; f 表示要重建的图像; (rec) 表示重建运算; N 表示运算使用的结构元素的尺寸。

形态开(闭)重建是在标准开(闭)运算的基础上增加了重建过程^[6]。重建过程可恢复图像中那些没有

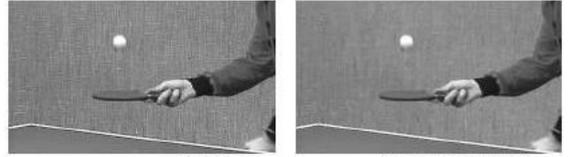
* 收稿日期:2010-05-07

基金项目:国家“863”计划资助项目(2007AA01Z294);博士启动基金项目(KDYBSJJ08301);陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2010JM8014);博士后基金资助项目(20100471838)

作者简介:张晓燕(1970-),女,陕西西安人,副教授,博士(后),主要从事序列图象处理,模式识别和计算机视觉研究。E-mail:zxyxjwxxj@163.com.

完全被开(闭)运算所滤除的对象边界,即开重建(闭重建)仅仅削去(填平)那些完全被结构元素所包含的“山峰”(“低谷”)。如果对图像进行一次开重建滤波后,再进行一次闭重建滤波,则图像中包含的细密纹理以及噪声同时被形态开闭运算剔除,而对象的显著轮廓却在重建过程中得以恢复,使图像在得到简化的同时保持了主要的轮廓信息。

图1显示了标准视频序列 Tabletennis 第1帧原图以及开闭重建滤波结果。从图1中可以看出,开闭重建滤波器能够很好地保留图像的边缘,并且能够达到较好的去噪效果。



(a) Tabletennis序列第1帧

(b) 开闭重建滤波结果

图1 开闭重建滤波结果(第1帧)

Fig. 1 Opening/closing reconstruction

filter result of the Tabletennis(frame 1)

1.2 多尺度形态梯度

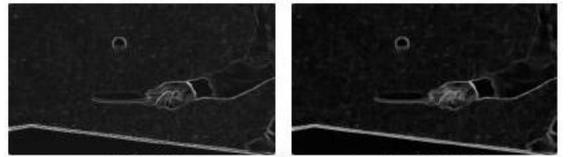
分水岭分割是在形态梯度的基础上进行的,单尺度形态学梯度定义为:

$$G[f(x)] = (f \oplus g) - (f \ominus g) \quad (2)$$

式中: f 为原始图像, g 为结构元素。单尺度形态学梯度算子的性能取决于结构元素 g 的大小。小尺度的结构元素能检测好的边缘细节,但去噪能力弱,大尺度的结构元素去噪能力强,但检测到的边缘较粗。为了利用大结构元素和小结构元素的各自优点,本文采用多尺度的形态学梯度子。假设 $B_i(0 \leq i \leq n)$ 为一组正方形的结构元素, B_i 的大小为 $(2i+1) \times (2i+1)$ 个像素点,则多尺度梯度定义为:

$$M_G(f) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(f \oplus B_i) - (f \ominus B_i)] \ominus B_{i-1} \quad (3)$$

图2为Tabletennis序列第1帧计算的单尺度形态学梯度和多尺度形态学梯度,其中式(3)中取 $n=3$ 。可以看出,由于多尺度形态学梯度是对多个尺度上梯度算子值的平均,所以比单尺度梯度噪声的敏感性低,有利于分水岭分割。



(a) 单尺度梯度

(b) 多尺度梯度

图2 单尺度及多尺度形态学梯度

Fig. 2 Mono-scale and multi-scale morphological gradient

1.3 粘性形态学运算对梯度修正

通常分水岭变换是在梯度图像的基础上进行的。

但在大多数情况下,由于受梯度图像计算和噪声等因素的影响,分割效果往往难以令人接受,主要表现为过分割和区域轮廓的定位不准确。为此对梯度图像进行粘性形态学修正^[7]。粘性形态学运算是建立在模拟粘性流体溢流特征的基础上。粘性形态学修正的目的在于一方面消除产生过分割的非规则细节及噪声因素,另一方面保持区域轮廓的准确定位^[8]。

梯度修正实际上就是对梯度进行粘性形态学闭运算滤波,依据粘性闭运算的性质,对于梯度图像中梯度值较小的灰度级采用大半径的结构元素进行闭运算,以消除因非规则细节和噪声导致的过多局部极小值,而对于梯度值较高的灰度级则采用小半径的结构元素,这样可以平滑梯度地貌表面,同时保持区域轮廓的准确定位。因此,在实际使用时,将梯度自下而上划分为若干个层面,每一层对应某一梯度级,对每一层面采用半径不同的结构元素作闭运算,消除非规则形状,并将每一层面的轮廓标记为修正结果。

假定梯度级为 l 时,相应的结构元素半径 $r(l)$ 为:

$$r(l) = r_0 [e^{-\alpha l} - e^{-\alpha \max(l)}] \quad , \quad 0 \leq l \leq \max(l), 0 < \alpha < 1 \quad (4)$$

式中: r_0 为最大半径; $\max(l)$ 为梯度最大值; α 为调节因子。实际应用当中,参数 α 的选取应保证当 l 取 $\max(l)$ 时, $r(l)$ 为最小结构元素半径值,而当 l 取梯度最小值时, $r(l)$ 趋于 r_0 。

设对应的层面而经修正后变为 g'_l ,则:

$$g'_l = \varphi(l, r(l)) \quad , \quad 0 \leq l \leq \max(l) \quad (5)$$

将每一层面的输出进行合并,即可确定修正后的梯度 g' :

$$g' = \bigcup_{0 \leq l \leq \max(l)} [g'_l] \quad (6)$$

粘性形态学闭运算实际上由一系列对应于不同梯度灰度级的标准二值闭运算组成。修正后的梯度图像

消除了产生过分割的非规则局部极小值,最大限度地保留了区域轮廓部分。

1.4 分水岭变换及区域合并

在修正后的梯度上采用 Vincent 等人的模拟涨水分水岭算法^[9]进行图像分割,得到区域分割结果。由于仍然存在过分割的问题,需要进一步处理。首先,把分水岭分割算法获得的区域使用区域相邻图(Region Adjacency Graph, RAG)表示^[10],其次采用相邻边缘强度信息进行区域合并。相邻边缘强度的定义为:扫描相邻区域间的边缘像素,如果其梯度值高于预设的阈值 T_1 ,则令其为强边缘像素,2 区域间的强边缘像素占相邻边缘像素的比例称为相邻边缘强度。合并算法为:

1) 设定一个区域面积的阈值 T_{size} ,扫描所有区域,记录区域面积小于 T_{size} 的区域,从面积最小的区域 R_i (结点 n_i) 开始:①在 R_i 的所有相邻区域中,找出与其相邻边缘强度最小的区域 R_j (结点 n_j);②合并 R_i 和 R_j 区域,更新区域相邻图 RAG。

2) 重复步骤 1),直到没有区域面积小于 T_{size} 。

算法中 T_{size} 的取值决定合并效果, T_{size} 设定越高,合并区域越多,消除过分割越好,但是可能会把一些微弱的重要边缘去掉。同样 T_1 的取值也与具体图像有关。因此应用时可根据图像通过实验设定。本文中取 $T_{size} = 50, T_1 = 18$ 。

2 实验结果及分析

采用本文方法对标准图像序列 Tabletennis 和 Akyio 的图像进行了分割,并与文献[11]分割结果进行了比较,结果见图 3、图 4。

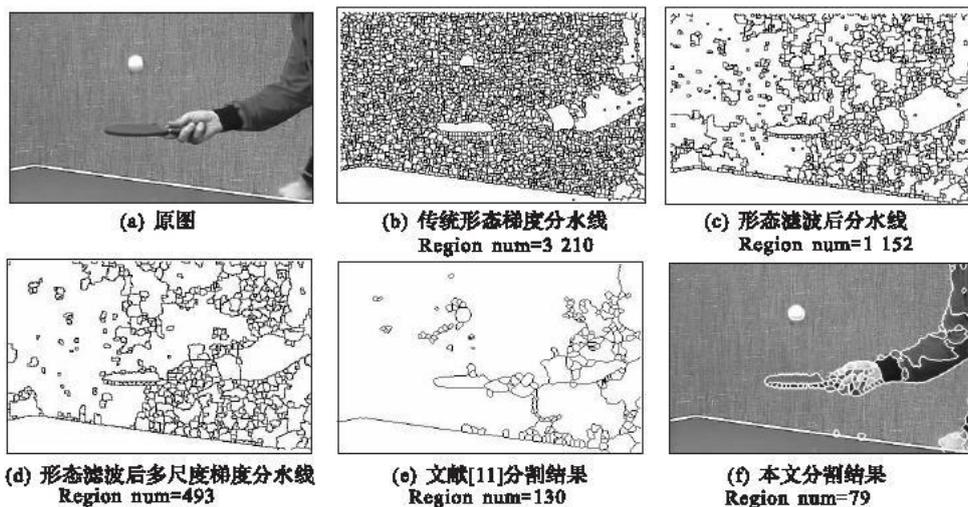


图3 Tabletennis (第1帧)分割实验结果

Fig. 3 Tabletennis(frame 1) segmentation result

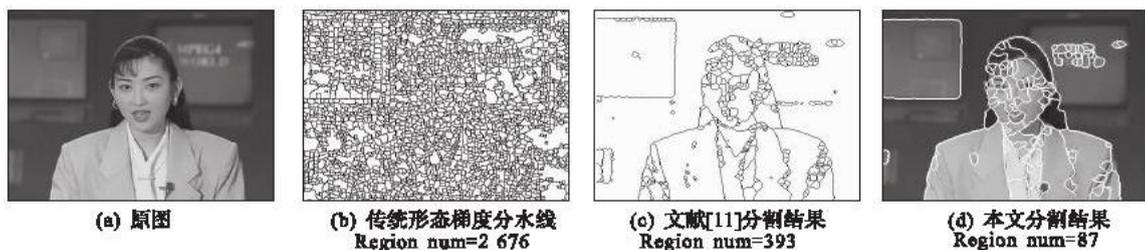


图4 Akyio (第4帧)分割实验结果

Fig. 4 Akyio (frame 4) segmentation result

从实验结果中可以看出,对图像使用传统形态梯度分水岭分割时,分割结果中存在大量的细小区域,尤其在平坦区域内部也有相当数量的细小区域存在,这样的分割结果是无法应用的。从图 3(c)看出,经过形

态学开闭重建滤波后,由于去除了部分噪声的影响,分割结果有了改进。图3(d)表明采用多尺度计算梯度后,分割结果有了很大改进,分割出的有效区域数目明显减少。采用本文方法进一步进行粘性形态学运算梯度修正,并基于边缘强度区域合并后,明显提高了分割效果。从结果的对比中也可以看出:本文的方法获得的结果优于文献[11]的分割结果,能够获得更有意义的分割,更适于高层次的分析和抽象表达。

3 结束语

本文提出了一种改进的分水岭图像分割算法,首先使用形态学开闭重建滤波器对图像滤波,有效地去除了噪声,保留了图像的细节。计算多尺度形态梯度,充分利用了大结构元素和小结构元素的各自优点,使梯度值更加准确。基于粘性形态学运算的梯度修正方法,使得梯度修正具有自适应性,既能消除产生过分割的区域极小值因素,又能保持高梯度区域轮廓的准确定位,基于边缘强度的区域合并则进一步改进了分割结果。仿真实验表明该方法不仅能有效地消除标准分水岭存在的过分割现象,而且具有较强的区域轮廓定位能力。

参考文献:

- [1] Roerdink J, Meijster A. The Watershed Transform: Definitions, Algorithms and Parallelization Strategies[J]. *Fundamenta Informatics*, 2000, 41:187-228.
- [2] 蒋志勇,陈晓玲,秦前清. 一种基于淹没的分水岭变换算法[J]. *武汉大学学报:信息科学版*, 2009, 53(5):509-513.
JIANG Zhiyong, CHEN Xiaoling, QIN Qianqing. Watershed Transform Based on Flooding [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University: Information Science Edition*, 2009, 53(5):509-513. (in Chinese)
- [3] Wang D. A Multi-scale Gradient Algorithm for Image Segmentation Using Watershed[J]. *Pattern Recognition*, 1997, 30(12):2043-2053.
- [4] 魏志强,杨森. 基于分水岭变换和区域融合的建筑彩色图像分割[J]. *红外与毫米波学报*, 2008, 27(6):447-451.
WEI Zhiqiang, YANG Miao. Segmentation of Color Building Images Based on Watershed and Merging [J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2008, 27(6):447-451. (in Chinese)
- [5] Wan Jia, Lu Hanqing, Eude G. A Fast Region Merging Algorithm for Watershed Segmentation[C]//1CSP04 7th International Conference. Beijing: IEEE Press, 2004:781-784.
- [6] 任明艺,李晓峰,李在铭. 运动视频对象的时空联合检测技术[J]. *光电子·激光*, 2009, 20(7):911-915.
REN Mingyi, LI Xiaofeng, LI Zaiming. Spatio-temporal Detection of Video Moving Object[J]. *Journal of Optoelectronics· Laser*, 2009, 20(7):911-915. (in Chinese)
- [7] Meryer F, Vachier C. Image Segmentation Based on Viscous Flooding Simulation[C]//Proceedings of ISMM 2002. Sydney: CSIRO, 2002:69-77.
- [8] Maragos P, Vachier C. A PDE Formulation for Viscous Morphological Operations with Extensions to Intensity-adaptive Operators[C]//Proceedings of ICIP 2008. San Diego, CA: IEEE Press, 2008:2200-2203.
- [9] Vincent L. Morphological Gray Scale Reconstruction in Image Analysis: Applications and Efficient Algorithms[J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 1993, 12(2):176-201.
- [10] Kim J B, Kim H J. Multiresolution-based Watersheds for Efficient Image Segmentation[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2003, 24:473-488.
- [11] 王彦敏,林小竹,杜天苍,等. 一种基于分水岭的图像分割方法[J]. *北京石油化工学院学报*, 2005, 13(4):40-44.
WANG Yanmin, LIN Xiaozhu, DU Tiancang, et al. A Segment Method Based on Watershed Transformation[J]. *Journal of Beijing Institute of Petro-chemical Technology*, 2005, 13(4):40-44. (in Chinese)

(编辑:徐楠楠)

(下转第84页)