

基于标记的数学形态学滤波分水岭算法

蔡子文, 费向东

(四川大学 计算机学院 视觉合成图形图像技术重点学科实验室, 四川 成都 610064)

摘要:经典的分水岭算法存在过分割问题,文中针对图像分割提出了一种基于预处理的改进算法。目的是为了抑制分割过程中的过分割现象,缓解过分割问题。首先对图像进行应用数学形态学去噪,滤波。再求取梯度图像,然后根据梯度图像局部极小值的综合信息自适应地提取内部标记,再进行距离分水岭变换提取外部标记。并以提取的标记为依据,对梯度图像进行修正,最后对修正后的梯度图像实施分水岭算法。实验结果表明:与传统分水岭算法相比,本算法能较好地缓解过分割问题。

关键词:数学形态学;分水岭算法;图像分割;过分割;梯度图像;标记提取

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)03-0038-03

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.03.010

Mathematical-morphological Watershed Algorithm Based on Marking

CAI Zi-wen, FEI Xiang-dong

(National Key Laboratory of Fundamental Science on Synthetic Vision, College of Computer,
Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: The over-segmentation is a problem of classical watershed algorithm, it presents an improved watershed algorithm based on pre-processing for image segmentation. The purpose is to suppress over-segmentation phenomena in the process of segmentation, alleviate the over-segmentation problem. Firstly, the morphological is used to denoise and filter. Then calculate the gradient image, subsequently, adaptively extract internal marker according to the integrated information of gradient image local minimum value, then carry on the distance watershed transformation to extract external marker. Based on the marker, correct the gradient image, finally, the watershed algorithm is used to gradient image corrected. The result shows that compared with traditional watershed algorithm, this method can effectively remit the over-segmentation problem.

Key words: mathematical morphology; watershed algorithm; image segmentation; over-segmentation; gradient image; marker-extraction

0 引言

根据图像的某些独特性质或是特定的区域来把图像分割成不同的区域从而从中提取感兴趣的区域的技术和过程被称为图像分割。现实表明,图像分割的结果对随后的分析和理解有直接的影响。分水岭算法^[1]是进行图像分割时常用的一种技术,该算法基本思想是通过将图像中的每一个像素点的灰度值映射到一个对应的海拔高度,灰度值越大,海拔越高,对应于“山脊”,灰度值越小,海拔越低,对应于“盆地”。从而将图像模拟为地形地貌图像,再通过再模拟的地形图中

找出“山脊”,从而获得各个“盆地(目标区域)”,实现图像的分割。

在将图像模拟为地貌地形图后,经典分水岭算法通过模拟浸水过程或者模拟降水过程的处理方式来实现对图像的分割。

其中,模拟浸水过程的实现思想是,将对应于图像的等同时地貌模型垂直缓缓浸入水中,并设想在各个“盆地”最低处有孔洞与水面保持连通,以便水能浸入,保证模型内的水面与模型外的水面在同一水平线上。随着水位的上升,各相邻“盆地”内的水将漫过“山脊”而汇合,这将会使得范围内的“盆地”无法被正确的分割。为了防止这种情况,就要在水将要淹没“山脊”时升高“山脊”的海拔高度,即在“山脊”上构筑一道“水坝”来阻止相邻“盆地”内的水汇合。最后,当在模型的上方俯视时,能看到“水坝”将水面分割成了一个小小的区域,这些区域即是各“盆地”的所在,

收稿日期:2012-06-06;修回日期:2012-09-08

基金项目:国家“973”重点基础研究发展计划项目(2009CB320803)

作者简介:蔡子文(1988-),男,硕士,主要研究方向为计算机图形学;费向东,副教授,硕士生导师,主要研究方向为计算机图像处理和图形学。

从而实现对图像的分割。

模拟降水过程的实现思想是,设想在图像的模拟地貌模型整个上方有水滴掉落,那么落下的水滴将会汇聚在各个“盆地”形成积水,积水中的每一个水滴经过的路线都是连通的,同一个积水区内的水滴通过的路线的集合,即所有的连通路线区域的集合构成一个“集水盆地”。“集水盆地”即是目标区域,从而实现图像分割。

分水岭算法因其能得到定位精确、单像素宽、连续封闭的分割边缘,因而为学界所关注和重视。但传统分水岭算法存在着会对图像中真实目标的提取产生严重干扰的过分割问题。

为了解决这个问题,学者给出了许多的解决办法^[2~8],目前的解决办法主要从两个方面着手:

1) 在进行分水岭变换前,通过对图像滤波,标记提取等手段抑制噪声引起的过分割;

2) 在分水岭变换后,通过一定的合并准则,将小区域合并到相邻区域中,减少过多的无意义的细小区域。

基于分水岭算法变换后的区域合并过程没有固定的准则,而且计算量大^[9],对图像处理效果的提升效果有限。因此文中对传统的分水岭算法的改进通过在分割前对待分割图像进行预处理。首先,处理图像通过数学形态学进行平滑去噪处理,再求取处理图像的梯度图像,接着根据梯度图像局部极小值的综合信息自适应地提取标记,再以提取的标记为根据,对梯度图像进行修正。然后,在修正后的梯度图像进行分水岭变换,检测边缘,提取目标。同时,根据图像特点,文中采用模拟浸水过程实现分水岭分割。

1 改进分水岭方法的实现

1.1 算法流程

文中算法的流程描述如下:

- 1) 通过对图像形态学滤波去除图像中的噪声点。
- 2) 对1)中得到的消除噪声的图像求取梯度图像。
- 3) 对2)中得到的梯度图像根据其标定的局部极小值自适应地提取内部标记。
- 4) 对3)中得到的内部标记图像进行距离分水岭变换以提取外部标记。

5) 通过3)和4)中得到的标记,对1)中得到的消除噪声的图像求取梯度图像进行修正并对修正后的图像实施分水岭变换。

1.2 形态学去噪

腐蚀运算和膨胀运算是形态学中的两种基本运算,其灰度图像的定义分别为式(1)和式(2):

$$(f \ominus g)(x, y) = \min_{i, j} \{f(x - i, y - j) - g(-i, -j)\} \quad (1)$$

$$(f \oplus g)(x, y) = \max_{i, j} \{f(x - i, y - j) + g(i, j)\} \quad (2)$$

其中的 f 为一灰度图像,“ \ominus ”代表腐蚀运算,“ \oplus ”代表膨胀运算, g 为一个灰度结构元。

可以定义两个以腐蚀和膨胀运算作为基础的二级运算—开运算和闭运算。其灰度图像的定义分别为式(3)和式(4)。

$$f \circ g = (f \ominus g) \oplus g \quad (3)$$

$$f \bullet g = (f \oplus g) \ominus g \quad (4)$$

开运算的特点是先对图像进行腐蚀运算,再进行膨胀。用来实现清除背景中的小结构,滤除孤立的噪声点。

闭运算与开运算相反,先膨胀再腐蚀。用来实现对背景中不包含结构元素的部分填充,消除连通区域的孔洞。

文中通过先对图像进行开运算再进行闭运算,然后对图像运用基于重建的滤波方法来滤除待处理图像中的噪声点。

1.3 自适应内部标记提取

Soille指出:通常物体内部比较平坦,因此噪声对应的极小值的深度一般比梯度图像中对应的极小值区的深度浅。于是基于形态学的扩展最小变换(H-minima)技术^[10,11]被他提出,通过对阈值参数 H 的设定,H-minima变换消除了深度小于 H 的局部极小值,从而使得过分割的区域很大程度上的减少。提取标记的关键在于对参数 H 的选择,过大的 H 容易丢失深度较小的真实汇水盆地,从而导致欠分割,而过小的 H 对局部极小值的扩展作用不明显,不能较好地抑制过分割。由于Soille未给出 H 的取值方法,通常是预先设定一个经验值。采用文献[12]的方法,设预处理图像的梯度图像为 ΔI ,梯度 ΔI 中标定的局部极小值为 ΔI_{\min} ,有式(5):

$$H = \text{mean}(\Delta I_{\min}) \quad (5)$$

其中,mean()为求标定的局部极小值的平均值。

在获得 H 后,通过对梯度图像实施扩展最小变换提取内部标记,以获得内部标记图像。

设变换后获得内部标记图像为 ΔI_{mark} ,有式(6):

$$\Delta I_{\text{mark}} = \text{Hchange}(\Delta I, H) \quad (6)$$

其中,Hchange()表示扩展最小变换。 ΔI_{mark} 为经变换后获得的标记图像, ΔI 为梯度图像,“1”元素标记局部极小值区域。

1.4 外部标记提取

在获得内部标记图像 ΔI_{mark} 后,采用找到的像素去标记背景,即外部标记。因为外部标记恰好位于内部

标记符间的中间位置,所以采用对内部标记图像 ΔI_{mark} 进行距离分水岭变换。因为分水岭脊线位于 ΔI_{mark} 标记的中间位置,因此,是很好外部标记。有式(7):

$$\Delta I_{\text{bmark}} = \text{watershed}(\text{bwdist}(\Delta I_{\text{mark}})) = 0 \quad (7)$$

其中 $\text{bwdist}()$ 表示距离变换, $\text{watershed}()$ 表示分水岭变换,“ $=0$ ”用于将变换后的图像取反。“1”元素标记外部标记。

1.5 基于标记的分水岭变换

利用形态学极小值标定技术^[10,11]以及获取的目标相关的极小值标记对 ΔI 进行修改,得到标记后的梯度 $\Delta I'$ 。将 $\Delta I'$ 中对应 ΔI_{mark} 为 1 的点,强制标定极小值点,其余点保持不变,有式(8):

$$\Delta I' = \text{Imin}(\Delta I, \Delta I_{\text{mark}} \mid \Delta I_{\text{bmark}}) \quad (8)$$

其中, $\text{Imin}()$ 表示进行 Soille 提出的极小值强制标定运算。

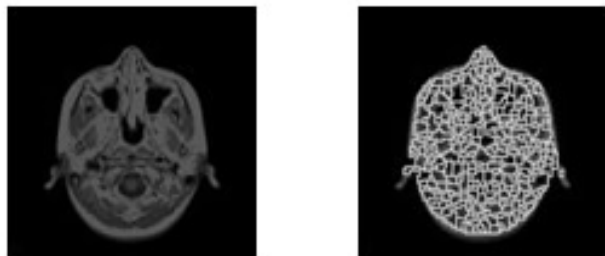
对标定后的 $\Delta I'$ 进行分水岭变换,设分割结果为 I_{ws} ,有式(9):

$$I_{\text{ws}} = \text{Watershed}(\Delta I') \quad (9)$$

其中, $\text{Watershed}()$ 表示分水岭变换。

2 实验结果与分析

使用文中的分水岭算法对图 1(a) 所示的人脑 MRI 图像进行分割,图 1(b) 为直接使用分水岭算法对 MRI 图像进行分割的结果:



(a) 人脑 MRI 图像 (b) 直接分水岭结果

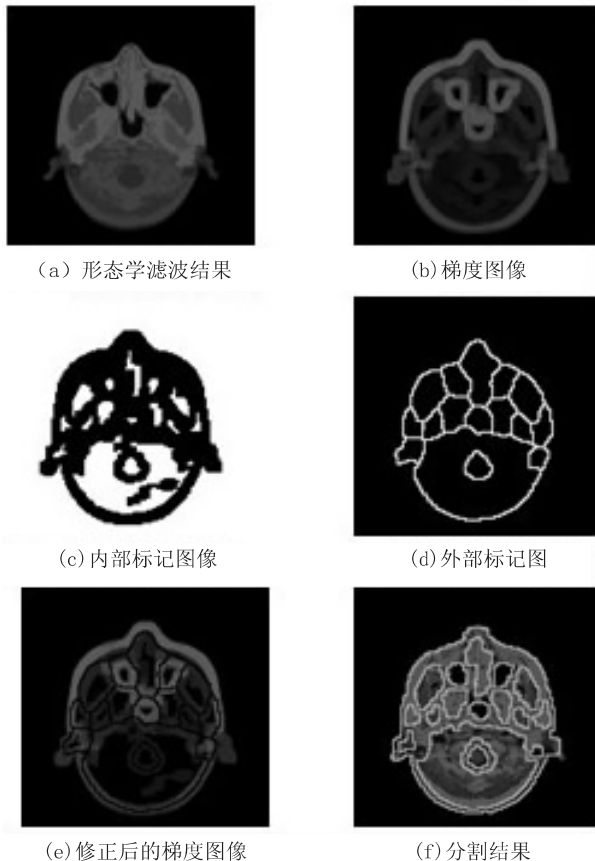
图 1 基于分水岭算法的 MRI 图像分割结果

实验结果如图 2,其中图 2(a) 为形态学滤波的结果;图 2(b) 为预处理的梯度图像;图 2(c) 为内部标记图像;图 2(d) 为外部标记图像;图 2(e) 为修正后的梯度图像;图 2(f) 为对修正的梯度图像采用分水岭算法得到的分割结果,该结果较好地对图像进行了分割,各区域的分割较为完整。可以看到,与图 1(b) 相比较,采用文中给出的方法得到的分割图像边界清晰,目标区域分割完整,提取准确,分割过程中的过分割问题很好地得到了缓解,整个图像的过分割现象被有效地抑制。整个分割图像也更准确、更清晰、更完整。

3 结束语

针对传统分水岭算法在分割过程中存在的过分割

问题,文中给出了一种基于预处理的改进分水岭分割算法。该算法为了抑制和清除待处理图像中引起过分割现象的因素,在进行图形分割前对待处理图像进行一些预处理工作。在预处理工作完成后再对处理后的待分割图像进行分水岭变换。实验表明:使用该方法对 MRI 图像进行处理,得到了较完整的轮廓,有意义的分割区域,并且有效地抑制了过分割现象。不过分割边缘有些许偏差,同时自适应的标记提取对图像类型和特点的依赖比较严重。如何解决这些问题将是下一步的工作重点。



(a) 形态学滤波结果

(b) 梯度图像

(c) 内部标记图像

(d) 外部标记图

(e) 修正后的梯度图像

(f) 分割结果

图 2 改进算法的实验结果

参考文献:

- [1] 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): 583-588.
- [2] Hairs K, Efstratiadis S. Hybrid image segmentation using watersheds and fast region merging[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 1998, 7(12): 1684-1698.
- [3] Hieu T, Marcel M, Rejn V. Watersnakes: energy-driven watershed segmentation[J]. IEEE Transaction on PAMI, 2003, 25(3): 330-342.
- [4] 王忠义. 分水岭变换在医学图像分割中的应用[J]. 电脑知识与技术, 2009, 5(12): 3221-3223.

文中试验在 Windows XP 环境下开发,硬件配置为 Inter(R) core(TM) 2 duo CPU E7500 @ 2.93GHz, 1.96GB 内存,采用 myeclipse805 作为开发工具。试验结果如图 4。

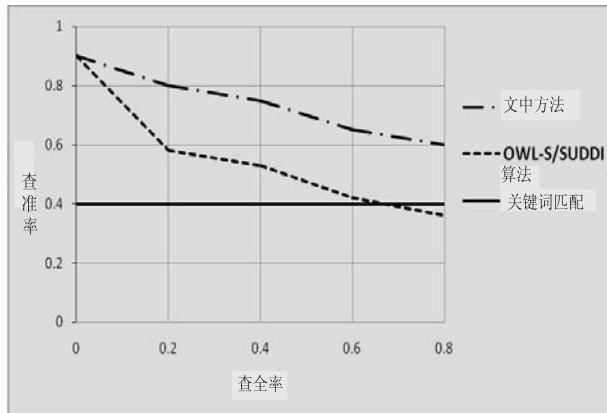


图 4 查全率与查准率对比

通过分析图 4 可以发现,与基于关键词匹配方法相比较,由于引入了领域本体,使得可以从语义上搜索相关的服务而不仅仅是关键词的匹配,因此提高了服务的查全率和查准率;与 OWL-S/UDDI 匹配算法相比,文中算法随着查全率的提高,查准率始终高于 OWL-S/UDDI 匹配算法,这时因为 OWL-S/UDDI 匹配算法只是 4 个离散的匹配程度,不能给出服务之间的精确匹配且没有包含关系的服务都为失败匹配,而文中考虑了两个概念间的边数及与最近公共节点概念在本体层次结构中所处的深度,从而实现查全率与查准率的提高。

4 结束语

云制造语义匹配有其特殊之处,文中根据其语义类型,运用当前比较行之有效的相似度匹配算法,提出了能在云制造背景下适用的服务匹配算法,实验结果证实,该算法能基本满足云制造系统下的服务匹配需

求。

参考文献:

- [1] 李伯虎,张霖,王时龙,等. 云制造-面向服务的网络化制造新模式[J]. 计算机集成制造系统,2010,16(1):1-7.
- [2] 黄果,周竹荣,周亨. 基于领域本体的语义相似度计算研究[J]. 计算机工程与科学,2009(5):112-117.
- [3] 郝君甫,刘国华,唐军军,等. 基于本体的关系数据库关键词语义查询扩展方法[J]. 燕山大学学报,2010,34(3):231-235.
- [4] 李伯虎. 云制造-制造领域中的云计算[J]. 中国制造业信息化,2011(10):24-26.
- [5] OWL-S Coalition. OWL-S 1.0 Release [EB/OL]. 2004-08-17. <http://www.daml.org/services/owl-s/1.0>.
- [6] Paolucci M, Kawamura T, Payne T, et al. Semantic matching of web services capabilities[C]//Proceedings of the First International Semantic Web Conference. Sardinia, Italy: Springer-Verlag, 2002:333-347.
- [7] 彭晖,史忠植,邱莉榕,等. 基于本体概念相似度的语义 Web 服务匹配算法[J]. 计算机工程,2008,34(15):51-53.
- [8] 杨惠荣,刘珊珊,尹宝才,等. 基于语义距离的 Web 服务匹配算法[J]. 北京工业大学学报,2011,37(4):591-595.
- [9] 杨佳,张金广,杨龙,等. 基于本体概念集合的 Web 服务匹配[J]. 计算机技术与发展,2012,22(8):56-59.
- [10] Lin Y H, Bander Z A, Mclean D. An approach for measuring semantic similarity between words using multiple information sources[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2003, 15(4):871-882.
- [11] 冯勇,方欣,徐红艳. 带有高效索引的语义 Web 服务 I/O 匹配优化方法[J]. 计算机应用,2011,31(3):677-679.
- [12] Sirin E, Parsia B. SPARQL-DL: SPARQL Query for OWL-DL [C]//Proceedings of the OWLED 2007 Workshop on OWL: Experiences and Directions. Innsbruck, Austria; [s. n.], 2007.

(上接第 40 页)

- [5] 朱俊良,王茂芝,郭科. 基于形态预处理和标记提取的分水岭分割算法[J]. 信息技术,2010(9):17-20.
- [6] 卢中宁,强赞霞. 基于梯度修正和区域合并的分水岭分割算法[J]. 计算机工程与设计,2009,30(8):2075-2077.
- [7] 高丽,杨树元,夏杰,等. 基于标记的 Watershed 图像分割新算法[J]. 电子学报,2006,34(11):2018-2023.
- [8] 徐伟,王希常,郑志宽. 一种基于改进分水岭算法的图像分割方法[J]. 计算机技术与发展,2008,18(12):39-40.
- [9] 李然. 基于改进分水岭算法的图像分割[J]. 电脑知识与

技术,2011,7(16):3920-3922.

- [10] Solie P. Morphological Image Analysis Principles and Applications [M]. Berlin, Germany: Springer Verlag, 1999:123-140.
- [11] Solie P. Morphological image analysis applied to crop field mapping [J]. Image and Vision Computing, 2000, 18(13):1025-1032.
- [12] 余旺盛,侯志强,宋建军. 基于标记分水岭和区域合并的彩色图像分割[J]. 电子学报,2011,39(5):1007-1012.