

分水岭算法的改进方法研究

刁智华^{1,2}, 赵春江¹, 郭新宇¹, 陆声链¹, 王秀徽¹

(1. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097; 2. 中国科学技术大学自动化系, 合肥 230027)

摘 要: 现有分水岭算法对噪声敏感且存在过分割现象。结合当前研究进展, 介绍模拟泛洪的分水岭算法和模拟降水的分水岭算法。针对传统算法的缺点, 总结4种分水岭算法的改进方法, 分析其优缺点并指出未来分水岭算法的研究方向。

关键词: 分水岭算法; 图像分割; 预处理滤波; 标记; 区域合并

Research on Improved Methods of Watershed Algorithm

DIAO Zhi-hua^{1,2}, ZHAO Chun-jiang¹, GUO Xin-yu¹, LU Sheng-lian¹, WANG Xiu-hui¹

(1. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097;

2. Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027)

【Abstract】 Existing watershed algorithm is sensitive to noise and has over-segmentation problem. Based on previous studies and combining with the current progress, this paper introduces watershed algorithm simulating flood and watershed algorithm simulating rain. It sums up four types of improved methods for watershed algorithm according to defects of the traditional algorithms. Problems and further research aspects of improved methods for watershed algorithm are discussed.

【Key words】 watershed algorithm; image segmentation; preprocessing filtering; labeling; region merging

1 概述

分水岭算法作为一种基于区域的图像分割方法, 建立在数学形态学的理论基础之上。20世纪70年代末, Beucher 和 Lantuejoul 提出应用分水岭算法进行图像分割, 实现了分水岭算法的模拟浸入过程, 并成功应用于灰度图像。其后, 分水岭算法作为一种经典的图像分割方法被关注。文献[1]提出基于模拟淹没的快速分水岭算法。文献[2]提出一种模拟降水的分水岭分割算法。

但分水岭算法存在如下缺点: (1)对图像中的噪声极敏感。输入图像通常是图像梯度, 原始图像中的噪声能直接恶化图像的梯度, 易于造成分割轮廓偏移。(2)易于产生过分割。由于受噪声、量化误差以及区域内纹理细节的影响, 因此会产生很多局部最小值, 在后续分割中将出现大量细小区域。(3)对低对比度图像易丢失重要轮廓。在此情况下, 区域边界像素的梯度值也较低, 目标的重要轮廓容易丢失。

为了克服传统分水岭算法的缺点, 很多学者进行了相关研究, 提出了一些改进型分水岭算法, 并成功应用到相关领域。Nguyen 等人提出能量最小化的水蛇算法, 提高了边界定位准确度和连续性, 但无法解决过分割问题。崔明等提出一种基于区域融合的改进型快速分水岭变换算法, 并将改进分水岭变换中获得的多尺度信息作为评价边界强度的指标。陈忠等利用非线性滤波和改进的快速区域合并算法优化分水岭变换得到初始分割结果, 实验结果表明该算法能获得良好的分割效果, 且极大减少了计算时间。

目前, 还没有学者对分水岭算法的改进方法做过综述。本文在借鉴大量前人研究成果的基础上, 结合新的研究进展, 对为了克服传统分水岭算法的缺点而提出的改进型算法进行综述, 从而为分水岭算法的研究提供支持。

2 传统分水岭算法

分水岭算法最初的思想来源于地理学, 它把一幅图像想象成一个立体的地形表面, 如图1所示。有关分水岭算法的不同直观理解对应不同的算法实现。

目前较著名且使用较多的有2种算法:

(1)自下而上的模拟泛洪的算法^[1];

(2)自上而下的模拟降水的算法^[2]。

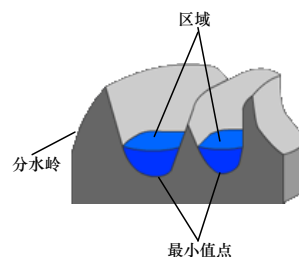


图1 图像三维表示

2.1 模拟泛洪的算法

一片高低起伏的地貌, 水从各个局部最低点开始向上漫溢, 不同的局部区域会渐渐充满水。随着水面上涨, 在各个区域的边缘, 从不同的地方漫溢上来的水便会交汇。如果在水面交汇的地方建起大坝隔开水, 这片地就被分成了不同的

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2007AA10Z237); 北京市自然科学基金资助项目(4081001)

作者简介: 刁智华(1964—), 男, 博士研究生, 主研方向: 图像处理, 模式识别; 赵春江, 研究员、博士; 郭新宇, 研究员、博士; 陆声链, 助理研究员、博士; 王秀徽, 博士

收稿日期: 2010-04-08 **E-mail:** zhaocj@nercita.org.cn

区域,分水岭算法中这些区域叫做汇水盆地,区域边缘建起大坝的地方称为分水岭,该过程就是泛洪。模拟泛洪的分水岭算法的工作原理如图2所示。

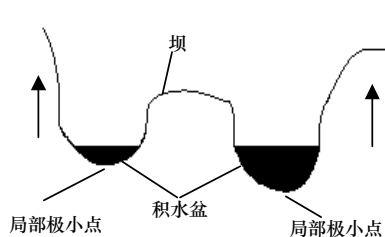


图2 模拟泛洪的算法原理

2.2 模拟降水的算法

模拟降水的算法把分水岭算法理解为一种模拟降水的过程:雨水降落在山地表面并顺着地势向下流动,如果水降落在2个不同的点上,最终会流到相同的局部最低点,则这2个点属于同一个区域。只有山脊上的雨水流入周围的区域的概率是一样的。因此,水落在其上能流入到相同局部最低点的表面形成一个分割区域,山脊就是区域边界,即分水岭。模拟降水的分水岭算法的工作原理如图3所示。

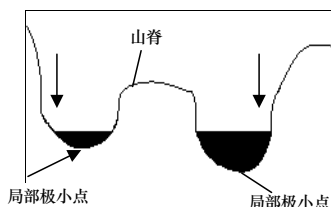


图3 模拟降水的算法原理

从应用的广度来讲,模拟泛洪的分水岭算法比模拟降水的分水岭算法更加通用。但Lin的研究结果表明,如果去除像素访问顺序的影响,2种算法可以得到完全相同的结果,且模拟降水的算法不需要像素的排序过程,可能更快。

3 分水岭算法的改进方法

针对传统分水岭算法对噪声敏感、容易产生过分割等缺点,并结合自身的研究需求,很多学者提出了相应的改进型分水岭算法,达到了很好的实验效果。一些学者将分水岭算法与其他方法相融合,为解决项目中遇到的实际问题提供了思路。在初始分割时尽量抑制噪声和细密纹理的影响,同时保留重要轮廓,合理降低区域数量,避免区域合并或减小合并难度和复杂度,成为解决传统分水岭算法问题的根本途径。就目前的研究进展而言,在解决传统分水岭算法的缺点方面,相关的改进方法可以归纳为4种:预处理滤波,标记,区域合并和其他方法。

3.1 预处理滤波

应用传统分水岭算法时,由于图像本身的噪声影响和量化误差的影响,会在本该形成一个被大边缘包围的区域内,分割出许多小区域,由于下一步的梯度信息对噪声较敏感,因此将造成在真正的边缘里混进许多虚假边缘,即过分割现象。为了避免产生过分割现象,可以采用预处理滤波的方法,在图像应用分水岭算法处理前滤除图像噪声。

很多学者在使用预处理滤波方法改善传统分水岭算法缺点方面进行了研究,做出了有益尝试,取得了很好的实验效果。康维等人先使用形态学滤波的方法来滤除原图中离散的细胞核点以及细胞核中的孔洞,然后将分水岭算法应用于重

叠细胞的分割,结果表明算法能提取理想的细胞组织边界。文献[3]使用各向异性滤波和形态学滤波来处理遥感图像,并和分水岭算法一起用于自动橄榄树检测,实验结果表明该算法有效,可解决分水岭算法的过分割问题。潘婷婷等针对卫星图像中道路的基本特征以及道路信息提取的难点,提出一种改进的分水岭算法。在算法中为了避免过分割问题,运用高通滤波器对原始图像进行去噪和平滑,取得了很好的效果。姬宝金等人针对过分割问题,在图像预处理过程中先对图像进行中值滤波来消除部分噪声,并对原始图像的梯度图进行开闭重建运算,在保留区域重要轮廓的同时去除了噪声和图像细节。

3.2 标记

分水岭算法对图像的变化高度敏感,图像含有噪声和其他因素(如梯度局部不规则性)常会导致过度分割,使希望得到的轮廓被大量不相关轮廓所淹没。一种有效的解决方案是采用标记的方法与分水岭算法相结合。首先使用强制最小值算法确定梯度图像中目标区域最小值点,将抽取的标记强制性地作为梯度图像地极小值,以此来修改梯度图像。然后对修改后的梯度图像应用分水岭算法,完成图像分割。

一些学者在标记分水岭算法方面做了相关改进,并将其应用于实际项目中,取得了一定成绩。Meyer等人给出一种基于标记的分水岭算法,它有效地避免了过分割现象,但在自动标记方面存在明显缺点,且分割边界的精度随标记数量的增多而减小。

文献[1]提出的分水岭算法实际上是一种经典区域标记方法,算法建立在测地距离的概念基础之上。王鑫等人先利用小波变换产生多分辨率图像,然后对最低分辨率图像采用基于标记的分水岭分割,得到初始的分割区域,最后利用区域标记和小波反变换,得到高分辨率图像的分水岭分割结果,较好地解决了分水岭变换方法中的过分割问题。

文献[4]针对传统分水岭分割算法对噪声敏感和易于产生过分割的问题,提出一种基于开闭二次重建和非线性处理的分水岭图像分割方案。在像素连通关系的基础上,研究了一种改进的分水岭标记算法进行分割,并给出具体实现流程。仿真实验结果说明,该方案能抑制传统算法中的过分割,且边缘定位准确。Trieu等人采用基于标记的并行分水岭算法,并将其应用于实时图像分割系统中。实验结果表明,对于一个 512×512 的图像来说,该算法在实时应用中的速度足够快。

文献[5]为实现医学临床显微图像自动快速分析,先将二值化后的图像进行距离变换,然后采用快速灰度重建算法重建距离变换后的图像,最终用分水岭算法分割变换图像,有效避免了为防止过分割而提取分水岭标记点过分依赖于图像先验知识的缺陷,实现了自动探测目标细胞并分割重叠细胞。实验结果表明,将该算法应用于临床细胞图像的分割是可行的。本文将标记与分水岭算法相结合,在淹没过程中采用四连通法进行生长,用于小麦病害叶片以及病斑的分割,能得到准确的边界信息,取得了很好的效果。

3.3 区域合并

在应用传统分水岭算法进行图像分割时,由于各种原因产生的过分割情况会导致分割的区域更多更小,因此可以采用区域合并的方法来改善过分割现象,即根据某个准则反复地对相邻或相近的区域做合并操作。但由于区域合并本身非

常耗时,因此影响了其应用推广,需要在合并准则和快速性方面作相关改进。

学者们在区域合并方面做了很多尝试性工作,并针对区域合并本身的缺点进行了改进,取得了较好效果。尤鸿霞等人将分水岭算法与区域合并相结合,应用于虹膜图像的分割,在分割图像的过度分割部分进行区域合并。实验结果表明,该方法在虹膜分割中能减少过度分割现象,可以得到精确、封闭的虹膜边缘。刘海宾等人采用相似区域合并的方法来解决过分分割现象,使得图像区域明显减少,达到了分割要求。Harrisk 等人提出对分水岭分割所得区域进行区域融合,是一种有效的改进方法,但由于初始分水岭分割所得区域数目往往很大,因此融合过程计算量极大。杨海峰结合图像灰度、边缘信息与信息熵,改进了基于地形学距离的分水岭算法。根据最大熵准则停止合并过程,获取最终的分割结果。魏光杏等人将模糊关系与模糊 C 均值聚类算法相结合,利用模糊关系合并相似区域,有效克服了分水岭算法的过分分割问题,极大提高了图像分割质量。杨卫莉等人采用蚁群算法在分割区域间进行聚类合并,消除了分水岭算法带来的过分分割现象。

3.4 其他方法

在解决传统分水岭算法带来的过分分割现象时,一些学者将链码、小波变换、图论、能量驱动等其他技术与分水岭算法相结合,对分水岭算法进行改进,在算法鲁棒性、适应性以及降低时间和空间复杂度方面取得了很好的效果。孙涵等人为了快速准确地进行图像分割,借鉴图像处理中常用的链码思想,提出了基于链码的分水岭变换算法。

实验结果表明,新算法具有较低的时间和空间复杂度,且变换结果更有利于后续图像理解。陈州徽等人提出在小波多分辨率域中使用分水岭算法对图像进行区域分割和融合的新方法,实验结果表明,该方法可以减少存在噪声时的过分分割现象。冯林等人将分水岭算法与图论相融合,提出一种新的图像分割方法。结合分水岭变换得到的小区域的灰度和空间信息,从全局角度用规一化分割方法在区域之间进行分割,可以消除过分分割现象。

文献[6]针对传统分水岭算法在分割过程中较少用到边界特征信息、图像的过分分割问题比较突出等缺点,提出利用能量驱动的分水岭算法,并将其应用到人脑 MRI(Magnetic Resonance Imaging)中的海马分割。多套 MRI 海马的分割结果表明,该算法可应用于海马等复杂结构的分割。张鲲等人提出一种顺序无关的改进分水岭图像分割算法,为了减少顺序无关分水岭算法中的脊线标记 RIDGE 的数量,引入像素的湖最小值作为附加地形特征来消除不确定性,同时,为了解决分水岭算法的过分分割问题,引入落差来控制分割区域的形成过程,取得了很好的实验结果。

目前,在上述 4 种分水岭算法的改进方法中,标记方法和区域合并方法被学者广泛采用,对消除图像处理过程中遇到的过分分割以及对噪声敏感的现象取得了很好的效果,并已应用在一些实际系统中。而预处理滤波方法作为一种辅助而非改变算法本身的方法,没有从根本上解决传统分水岭算法的缺点,较少被学者使用。将链码、小波变换、图论、能量驱动等其他技术与分水岭算法相结合的方法则为分水岭算法的研究提供了思路,拓宽了研究方向。

4 存在的问题及研究方向

分水岭算法作为图像分割中一种经典有效的方法,因为具有边缘定位准确、运算简单等优点,所以在图像分割算法中越来越得到人们的重视。研究者在传统分水岭算法的改进方法及其与其他方法的结合上做了大量工作,提出了很多实用的改进型算法,使分水岭算法得到广泛应用和极大发展,目前已成为图像分割领域最活跃的研究主题之一。但分水岭算法在实际应用中还存在很多需要改善的地方,其改进方法目前存在的问题以及未来的研究方向可以归纳为以下几点:

(1)处理时间长一直是应用分水岭算法的瓶颈,当需要处理的图片尺寸过大时,运算速度较慢。特别是应用标记或区域合并等改进算法时,由于在操作过程中需要进行标记和多重的区域合并,使得运算复杂度增加,加大了处理时间,因此不适合应用在输入为大尺寸图像的实时处理系统中。

(2)目前虽然对分水岭算法的改进方法进行了一些尝试,但是对于如何使用这些改进方法还没有统一的标准,没有一种通用的方法适合所有应用需求。

(3)对于诸多改进方法,没有一个评价标准来衡量何种方法是项目实际需要的最好方法,不利于选择分水岭算法的改进方法。

(4)有待进一步研究预处理滤波和其他方法在解决过分分割问题上的效果,将其他更有效的方法和技术与分水岭算法相结合,以解决项目实际应用中遇到的问题。

(5)目前分水岭算法和理论多用于灰度图像,如何将分水岭算法及其改进方法应用于彩色图像,是未来的研究方向。

5 结束语

综上所述,未来分水岭算法的研究方向包括如何选择合适的改进方法、制定选择改进方法的评价标准、研究其他更有效的解决过分分割问题的方法和技术,进而从根本上提高算法的处理速度,并结合分水岭算法的最新应用进展,将其应用到各种图像处理领域。

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): 583-598.
- [2] Smet P D, Pires R L. Implementation and Analysis of an Optimized Rain Falling Watershed Algorithm[C]//Proc. of SPIE'00. San Diego, CA, USA: [s. n.], 2000: 759-766.
- [3] Karantzalos K, Argialas D. Improving Edge Detection and Watershed Segmentation with Anisotropic Diffusion and Morphological Levellings[J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27(24): 5427-5434.
- [4] 杨文明, 陈国斌, 沈晔湖, 等. 一种基于分水岭变换的图像分割方案[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2006, 40(9): 1503-1510.
- [5] 丛培盛, 孙建忠. 分水岭算法分割显微图像中重叠细胞[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(12): 1781-1784.
- [6] 鲁向, 芦勤, 罗述谦. 基于能量驱动的分水岭算法在 MRI 海马图像分割中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(6): 748-752.

编辑 陈 晖