

文章编号: 1006-4710(2011)02-0185-05

基于分水岭算法的气泡图像分割

邵建斌¹, 陈刚²

(1. 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2. 安康学院, 陕西 安康 725000)

摘要: 针对水中气泡图像的特点, 设计了由反色, 低通滤波和降低图像灰度级构成的预处理方法, 使用基于形态学理论的分水岭算法对气泡图像进行分割, 较好地从中提取出了气泡。与常用的全局阈值法相比较, 本研究具有精度高, 能自动分割粘连气泡的优点。

关键词: 图像测量; 水气两相流; 气泡; 分水岭分割算法

中图分类号: F830.5 **文献标志码:** A

Image Segmentation of Bubble Based on Watershed Algorithm

SHAO Jianbin¹, CHEN Gang²

(1. Faculty of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. Ankang University, Ankang 725000, China)

Abstract: Considering optical characteristics of the bubble in water, an integrated image preprocessing method based on reverse brightness color, low-pass filter and reducing the grayscale resolution are proposed, and then, using a watershed algorithm based on Morphology theory on bubble image segmentation is used to extract the bubble better from the aerated flow image. Compared with the conventional contrast-based segmentation techniques in using a single global threshold, the watershed algorithm has the advantage of high accuracy and can segment the adhered bubble automatically.

Key words: image measurement; water-air phase flow; bubble; watershed segmentation algorithm

气泡广泛存在于水利、化工、核工业、船舰等各个领域, 其运动极为复杂, 因而一直以来缺乏对其微观运动精确的测量手段。目前, 多采用高速摄影获取气泡图像, 再利用图像处理得到气泡的尺寸、运动速度等参数^[1-3]。由于气泡与水都是透明的, 水气交界面对光线的反射明暗层次多, 拍摄得到的气泡照片往往难以区分水和气泡的边界, 因而对气泡的精确识别与分割是测量手段能否成功的难点和关键。

图像分割至今已经提出了上千种各种类型的算法, 但大多是针对具体问题的, 还没有一种适合于所有图像的通用算法。现有算法大致可分为两类, 第一类是基于亮度的不连续变化进行边缘检测, 有并行法和串行法两种^[4]。这类算法很难得到闭合的气泡边界, 因此很少被采用。第二类是利于图像不

同区域的相似型对图像进行分割, 例如门限处理、区域生长、区域分离和聚合^[4]。目前对于气泡图像的分割, 多采用二值化阈值分割, 如迭代法^[5]、最大类间方差法^[5]、最大直方图熵阈值分割法^[5]、双层动态阈值分割法^[6]、基于灰度期望值的二值化算法^[7]。这些算法各有其优缺点, 就总体而言, 这类算法都仅适用于前景与背景对比明显的图像。背投光实验条件下得到的气泡图像(见图1), 利用阈值分割法得到的分割效果较理想(见图1(b))。而在对沸水中气泡对热传递的影响的研究中, 由于容器背后边壁要布置加热管, 故无法采用背投光的方式进行拍摄。这时采用侧上方对容器进行照明, 得到的气泡图像对比度差, 如图2(a)所示。采用阈值分割方法难以得到好的分割识别效果, 如图2(c), 2(d)所示。另外, 采用阈值分割方法不能分离出粘

收稿日期: 2011-03-01

基金项目: 国家自然科学基金委员会, 二滩水电开发有限责任公司雅砻江水电开发联合研究基金资助项目(50579085); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20060700001); 陕西省重点学科建设专项基金资助项目。

作者简介: 邵建斌(1973-), 男, 陕西兴平人, 博士研究生, 研究方向为水力学及河流动力学, 多相流, PIV 流场测量。

E-mail: abc231@126.com。

连和重叠气泡的边缘,当气泡重叠或粘连时,会将多个气泡当作一个气泡来处理,如图 2(c)、2(d)方框中的气泡分割效果,当阈值较大时(见图 2(c)),气泡被过度分割为多个气泡,而当阈值较小时(见图 2

(d)),粘连气泡被识别为一个气泡。应用该方法测量气泡群中气泡的个数、气泡粒径分布等参数时,会产生较大的测量误差。因此需要寻找一种将粘连的气泡图像分割为一个单独气泡的方法。

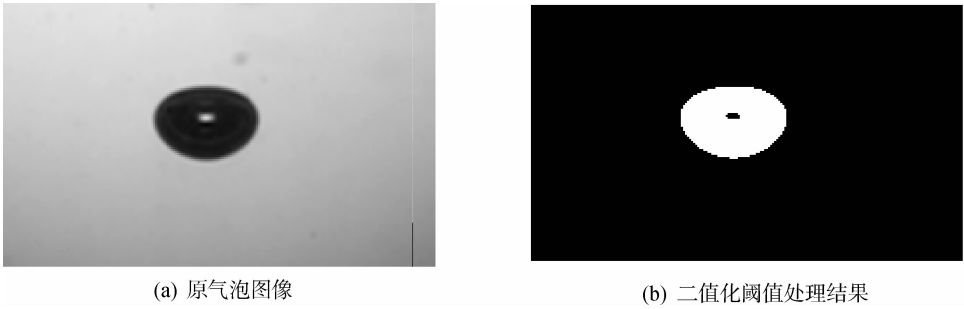


图 1 高对比度气泡图像的阈值分割效果
Fig. 1 Segmentation of the high contrast bubble image.

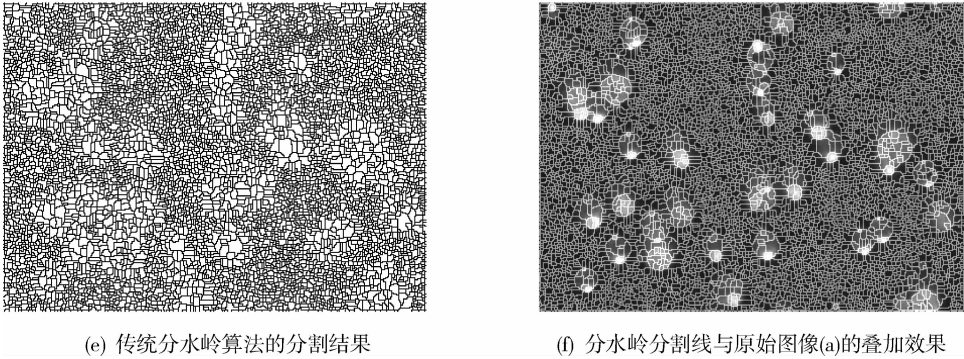
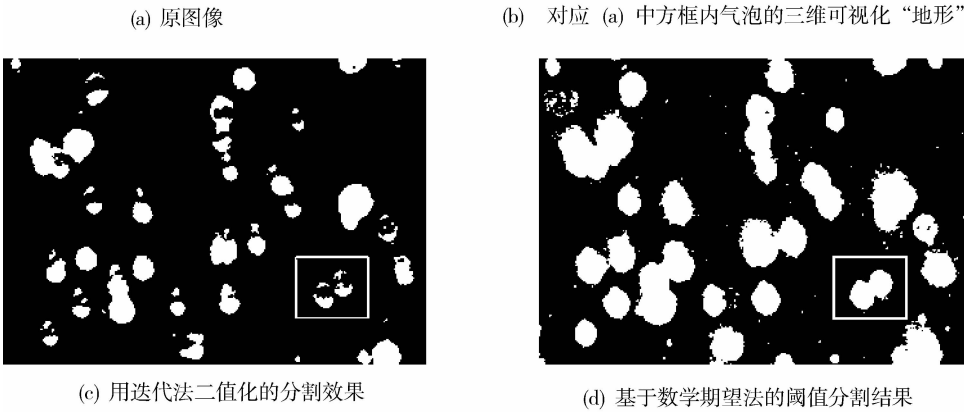
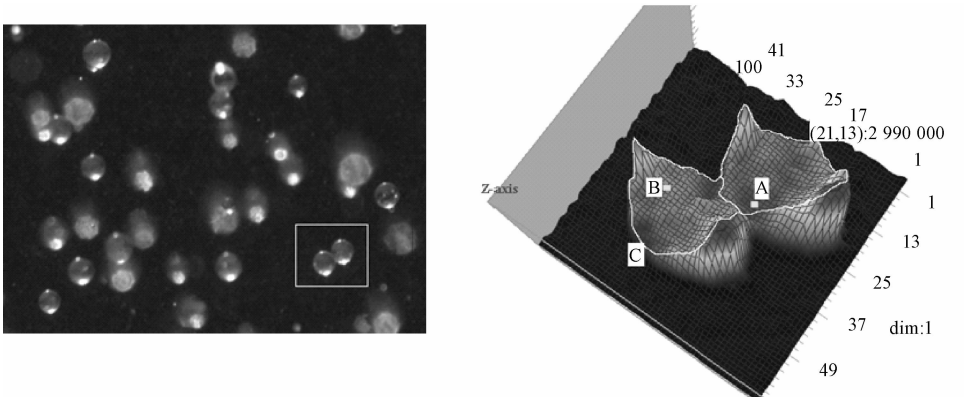


图 2 两种二值化阈值法与传统分水岭算法的分割效果图
Fig. 2 The segmentation effect pictures by two kinds of threshold method and traditional watershed transform

分水岭变换是数字图像分割领域最有价值的工具之一^[8],其突出的特征是对微弱边缘具有良好的响应,这是得到气泡封闭连续边缘且能够分割粘连气泡的保证。但同时,它也对图像中噪声产生的灰度细微变化进行响应。

本研究设计了由反色、低通滤波和降低图像灰度级构成的预处理方法,消除了气泡图像上不规则的亮度变化导致的过度分割现象。采用 Visual fortran 编程,实现了气泡的识别和分割。实验结果显示,本研究算法能够检测出粘连和重叠气泡的微弱边缘,对复杂光照条件下的气泡有较好的分割和识别效果。

1 传统分水岭算法

传统分水岭算法中较著名且使用较多的有模拟泛洪的算法及模拟降水的算法,这两种算法对图像的分割效果基本相同^[9-10],是以对图像进行三维可视化处理为基础的。

图2(a)中方框内气泡的“地形”如图2(b)所示,对应地形中的任意一点,其 x, y 坐标为气泡平面图像的像素坐标, z 坐标是该像素的灰度值,像素灰度值越大,地势越高。像素灰度值较低的像素区域构成汇水盆地。

可以设想,在汇水盆地的最低处(即局部灰度最小值处,如图2(b)中的A点)打一个洞并且让水以均匀的上升速率从洞中溢出,水位从低到高逐渐淹没地形,当来自两个不同局部最小值的水将要合并时,在要合并的像素点处修建大坝,使水只能达到大坝顶部而不能淹没或越过大坝。当水淹没整个地形时,这些大坝的整体就是这个图像的分水岭,即由分水岭算法提取出边界线^[9]。

分水岭算法假设前景物体内部和背景的灰度值分布都比较均匀,仅在前景与背景相交处灰度值差别较大。由于灰度值相似意味着图像梯度小,反之则图像梯度大,因此实际常使用梯度图像而不是源图像来进行分水岭变换。在这种条件下,高梯度的区域地势高,低梯度的区域构成汇水盆地。采用传统分水岭算法得到的分割图像如图2(e)所示,分割线与原图的叠加图像如图2(f)所示,显示出严重的过度分割,这是图像噪声及气泡表面由于反光所造成的灰度值分布不均匀导致的。

相关分水岭的改进方法可以归纳为4种,即,预处理滤波、标记、区域合并及其他方法^[10]。本研究利用气泡图像的特点,采用预处理滤波与标记相结合的改进分水岭算法来实现对气泡的合理分割。

2 本文算法

2.1 预处理

通常采用数学形态学中的腐蚀、膨胀运算,即先用极限腐蚀标记^[11]所有区域,将得到的标记点作为“种子”,进而再得到分割线。标记点质量的高低决定分水岭算法的分割效果。本研究采用 6×6 邻域平均低通滤波法进行低通滤波,使用 3×3 的sobel算子(式(1),式(2))计算图像的梯度。利用图像梯度图进行分水岭算法,其标记点识别效果如图3所示。

$$S = (d_x^2 + d_y^2)^{0.5} \quad (1)$$

$$d_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, d_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

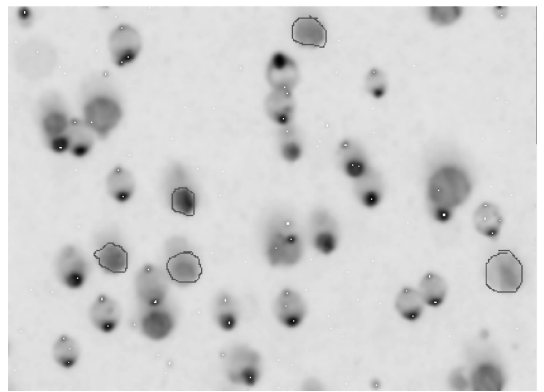


图3 传统预处理方法标记点示意图

Fig. 3 The coded points which are extracted based on the traditional pre-processing method

图3中的白色点即为标记点,理想的标记点应该是每个气泡正好对应一个标记点,而由图3可见,有的气泡有两个以上的标记点,造成了气泡的过度分割。而图3中黑色曲线圈中的气泡均没有标记点,这又会造成气泡不能被识别。低通滤波器的参数很难控制,对图像平滑不够就会造成过度分割,而对图像平滑过度,则会造成有的气泡被当作噪声而不能识别。

为便于分析,本研究采用分辨率高的气泡图像(见图4(a))。从气泡中心由左至右进行像素灰度值采样(见图4(b))。可见,气泡边缘与背景反差明显,而气泡中心与背景相似,气泡边缘不透光,而中心透光。由于气泡是三维运动的,不可避免有的气泡不在焦平面上,这会造成灰度低谷不明显,因此,过度平滑必然导致气泡上没有极小值点。由于气泡上强反光点组成的弧线在平滑不足时会造成气泡的过度分割。

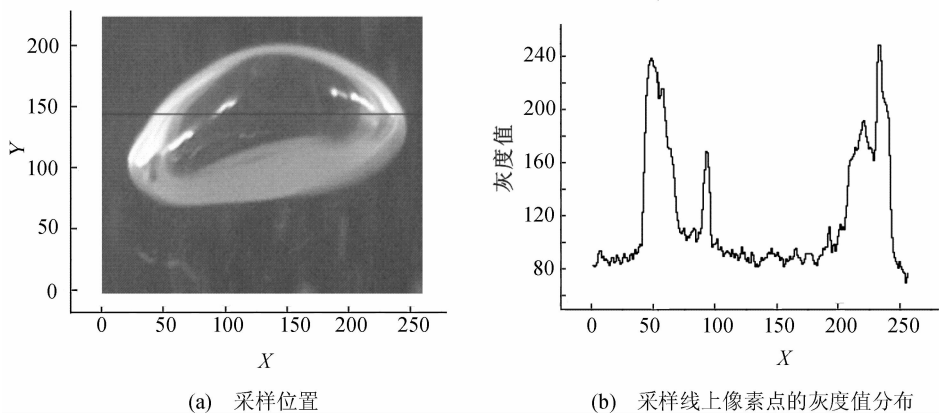


图 4 气泡图像的灰度变化特征
Fig. 4 The variation characters of intensity distribution in the bubble image

因此,本研究设计了一种新的预处理方法。即,先对原图像进行反色,对反色后的图像采用 5×5 窗口进行中值滤波,再将所得图像中的像素按划定的范围表示出来。

级别可根据图像的特点首先假定。比如一幅像素值为 $0 \sim M$ 的图像,可将其颜色压缩为 n 个 ($n < M$),方法为,将灰度在 $0 \sim (M+1)/n$ 范围内的像素值变为 0,在 $(M+1)/n \sim (M+1) \times 2/n$ 范围内时变为 $(M+1)/n$,将像素值在 $(M+1)(n-1)/n \sim M$ 范围时变为 $(M+1)(n-1)/n$,这样依次类推,则对一幅图像既完成了低通滤波,又在很大程度上避免了传统低通滤波造成的气泡与背景衔接处的模糊。

在此基础上对图像进行标记,求出“种子”点。在本研究中 $M=255, n=9$ 。平滑效果如图 5 所示。

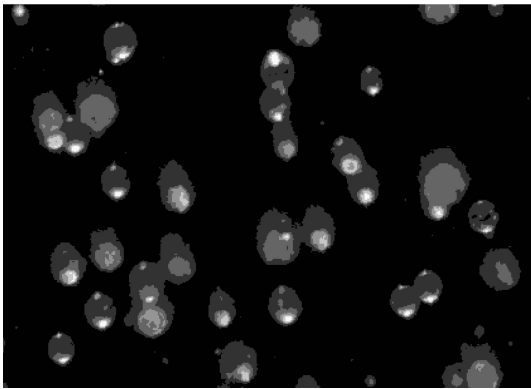


图 5 本文算法对图 2(a)的低通滤波效果
Fig. 5 Result of lowpass filtering the image in Fig. 2(a)

2.2 分水岭算法的实现

从每个标记点出发使水位从低到高逐渐淹没“地形”构造分水岭是本算法的最后一步。如图 5 所示,因为气泡表面有反光点,所有气泡的灰度值分布并不均匀,采用梯度图进行分水岭分割仍不能得到好的结果。因此,本研究采用源图像进行分水岭变换。

实现方法为,先找到所标记区域的个数,即连通域的个数。寻找连通域的方法参见文献[12]。淹没的过程为将图像的灰度值从小到大排序,相当于水位从低到高上升,在每一个局部极小值表面,刺穿一个小孔,然后把整个模型慢慢浸入水中,随着浸入的加深,每一个局部极小值的影响域慢慢向外扩展,当到达某一水位的时候两个积水盆将会汇合在一起,即连通域的数量减少时在两个集水盆汇合处构筑大坝,即形成分水线。

这样循环下去,直到图中的连通域不再减少为止。形成的分水线将图中的气泡分成了一系列区域。应用分水岭方法分割的气泡图像如图 6 所示。

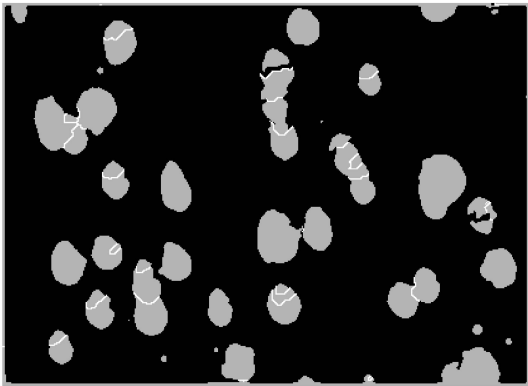


图 6 分水岭分割后的图像
Fig. 6 Result of segmentation based on watershed algorithm

由图 6 可见,本文算法基本上分离出了图中的气泡,图中白色线条为标记的边界线,大部分粘连气泡间的边界被正确分割出来,但同时也存在一些问题,即对于少数气泡造成了过度分割。

3 结 论

1) 采用传统分水岭方法对气泡图像进行分割,必然有过度分割或个别气泡不能被正确识别的问题,

本研究采用了特殊的低通滤波方法,在一定程度上解决了此类问题。

2) 运用灰度阈值分割法分割气泡图像,当阈值较小时粘连气泡被当作一个气泡分割,而当阈值较大时气泡会被过度分割为多个气泡,或不被识别。采用本研究算法,基本上把所有气泡都正确识别出来了,仅有个别气泡被过度分割。相对于前者算法而言,分水岭算法具有能够较好地提取运动对象的轮廓、准确地得到运动物体边缘的优点,且提高了算法的精度。

3) 对于同一图像,灰度阈值分割法瞬时即可完成,本研究算法在运算中要经过反色、低通滤波等多种操作才能完成,复杂度较高,运算时间较长。

参考文献:

- [1] Voisin C, Jeandet P, Liger B G. On the 3D-reconstruction of taylor-like bubbles trapped inside hollow cellulose fibers acting as bubble nucleation sites in supersaturated liquids [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochem*, 2005, 263: 303-314.
- [2] Celata G P, Annibale F, Marco P D, et al. Measurements of rising velocity of a small bubble in a stagnant fluid in one and two-component systems [J]. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2007, 31: 609-623.
- [3] Rafiei A A, Robbertze M, Finch J A. Gas holdup and single bubble velocity profile [J]. *International Journal of Mineral Processing*, 2011, 98(1-2): 89-93.
- [4] 章毓晋. 图像处理和分析[M]. 北京:清华大学出版社, 1999.
- [5] 刘荣丽, 戴光清, 陈刚. 掺气水流数字图像上气泡提取的二值化阈值确定[J]. *水力发电*, 2002, (11): 59-61.
Liu Rongli, Dai Guangqing, Chen Gang. Calculation of binary threshold value to detect bubble from digital image of

aeration water flow[J]. *Water Power*, 2002, (11): 59-61.

- [6] 钱学明, 朱虹, 祝培, 等. 掺气水流中气泡区域的双层动态阈值分割方法[J]. *中国图象图形学报*, 2004, (7): 793-797.
Qian Xueming, Zhu Hong, Zhu Pei, et al. A bubble area extraction method of aerated water flow with two layer dynamic thresholding [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2004, (7): 793-797.
- [7] 高永英, 张利, 吴国威. 一种基于灰度期望值的图象二值化算法[J]. *中国图象图形学报*, 1999, (4): 524-528.
Gao Yongying, Zhang Li, Wu Guowei. An algorithm for threshold based on arithmetic mean of gray value[J]. *Journal of Image and Graphics*, 1999, (4): 524-528.
- [8] Bleau A, Leon L J. Watershed-based segmentation and region merging [J]. *Comput Vision Image Understanding*, 2000, (3): 317-370.
- [9] Rafael C G, Richard E W, 著. 数字图像处理[M]. 第二版. 阮秋琦, 阮宇智, 译. 北京: 电子工业出版社, 2006: 500-507.
- [10] 刁智华, 赵春江, 郭新宇, 等. 分水岭算法的改进方法研究[J]. *计算机工程*, 2010, (36): 4-6.
Diao Zhihua, Zhao Chunjiang, Guo Xinyu, et al. Research on improved methods of watershed algorithm[J]. *Computer Engineering*, 2010, (36): 4-6.
- [11] Serra J, Vincent L. An overview of morphological filtering [J]. *Circuits System Signal Process*, 1992, (1): 555-557.
- [12] 孔斌. 快速连通域分析算法及其实现[J]. *模式识别与人工智能*, 2003, (1): 110-115.
Kong Bin. A fast connected component analysis algorithm and its implementation[J]. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2003, (1): 110-115.

(责任编辑 李虹燕)