

# 掺气水流中气泡区域的双层动态阈值分割方法

钱学明<sup>1)</sup> 朱虹<sup>1)</sup> 祝培<sup>1)</sup> 冯春来<sup>1)</sup> 陈刚<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(西安理工大学信息与自动控制工程学院, 西安 710048) <sup>2)</sup>(西安理工大学水利水电学院, 西安 710048)

**摘要** 准确地提取出掺气水流中的气泡, 是利用图像测量方法进行水流特性分析的前提。由于掺气水流中的气泡是无色透明的、对比度低, 而且由于实验过程的光照不均, 从而给图像高精度分割带来困难。由于光照不均, 致使掺气水流图像中, 气泡信息强弱不均, 此时又会因强信息淹没弱信息而导致气泡漏提取或提取气泡缺损, 为解决此问题, 提出了一种双层动态阈值的分割方法, 即首先在第1层完成对气泡所在局部区域的定位, 再通过贴标签处理确定出每一个气泡的局部区域; 然后在第2层的精分割中, 对所有局部区域进行精细分割, 以实现气泡区域的精确提取。实验结果证明, 该方法可以大大提高气泡提取的精度。

**关键词** 掺气水流 图像分割 气泡的提取 双层动态阈值

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)07-0793-05

## A Bubble Area Extraction Method of Aerated Water Flow with Two Layer Dynamic Thresholding

QIAN Xue-ming<sup>1)</sup>, ZHU Hong<sup>1)</sup>, ZHU Pei<sup>1)</sup>, FENG Chun-lai<sup>1)</sup>, CHEN Gang<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(Institute of Information and Automation Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048)

<sup>2)</sup>(Institute of Water Resources and Hydro-electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048)

**Abstract** Bubbles extraction in the images of aerated water flows accurately is the precondition to analyze the characteristics of water flows by image detection. Because bubbles are colorless and transparent in the aerated water flows and the contrast of object and background is too low and at the same time there are un-even illuminations during experimentation. It is difficult to segment bubbles accurately. In order to solve the problems of miss-extraction or deformity of bubbles which caused by un-uniformity of bubbles resulted from the un-balance illumination of the image, a method based on two layer dynamic thresholding is proposed in this paper. At first, the local areas which containing bubbles are obtained dynamically by labeling in the first layer processing. Then, bubbles are extracted accurately in the second layer with fine segmentation based on the labeled bubbles' area in the first layer. Experimental results show that the proposed method is very efficient in solving the bad illumination and can highly improve the accuracy of bubble extraction.

**Keywords** aerated water flows, image segmentation, bubble extraction, two-layer dynamic thresholding

## 1 引言

在复杂的掺气水流特性的研究中, 引入图像测量的方法, 由于可以克服传统测量方法的诸多限制, 因而逐渐受到重视。虽然在水中掺气后, 可通过对水中气泡的跟踪分析来进行水流特性的分析, 但是因

为气泡在水中的信息很弱, 并且其信息的强弱分布不均, 所以如何准确地提取出水流中的气泡区域, 是进行图像测量的关键。

图1是一幅掺气水流的样本图像。由于气泡本身是透明的, 所以气泡与背景差异所呈现出的信息比较弱。如果这种弱信息的差异分布比较均匀, 则用全局性的自适应类阈值方法<sup>[1~6]</sup>就可以得到比较好

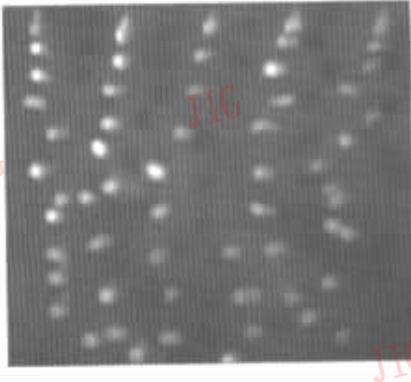
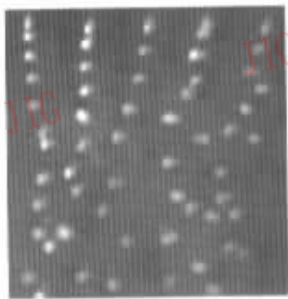
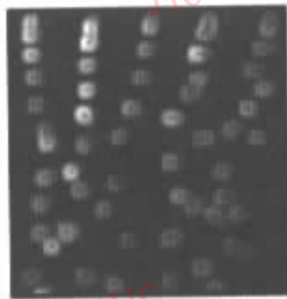


图 1 掺气水流中的气泡

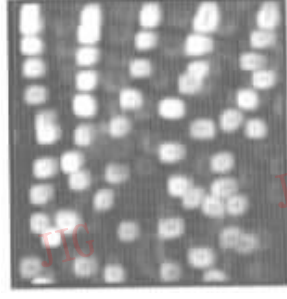
的结果,但是,由于气泡的信息存在强弱不均的情况,因而往往会产生强信息淹没弱信息的现象,其表现在气泡的提取上,就是强信息部分会使比较接近的气泡发生粘连,而弱信息部分则产生信息的缺损,甚至漏检。显然,要解决这个问题必须使用基于局部自适应阈值的方法,但是,如果用对图像进行划分子块的方法来确定局部的范围<sup>[7]</sup>,那么一个气泡区域就可能被分割到几个子图像块中。当某个气泡的一部分在某个子图像子块中恰好与这个子块中的背景特征近似时,则这部分信息就会丢失,也就是说,分割的结果具有块效应。为了解决这个问题,本文提出了一种双层动态阈值方法,即在第 1 层处理中,首先求取全图局部差分图像,然后对增强后的差分图像进行二值化,以确定初始的局部区域;在第 2 层处理中,对每个得到的包含完整气泡的图像子块用局部二维阈值方法进行精细分割处理,并使得图像中不同区域的气泡之间影响减小,以便提高气泡的提取精度。



(a) 原图



(b) 局部方差效果



(c) 模糊增强效果



(d) 二值化效果

图 2 基于局部方差的二值化

## 2 包含完整气泡的局部区域的分割方法(第 1 层阈值处理)

### 2.1 基于局部方差的图像二值化处理

众所周知,基于二维直方图<sup>[2~4]</sup>的二维阈值法<sup>[5,6,8,9]</sup>是基于像素点间的领域信息以及像素自身信息的综合方法,这类方法能够有效地削弱抵抗图像中的噪声干扰,但对图像中的目标信息强弱不均的现象无法克服。从图 1 可以看出,掺气水流图中气泡所在的局部区域,由于气泡的灰度值比背景灰度值略高,而且气泡的中心亮度较气泡边缘区域亮度高并且灰度是渐变的,而局部方差则是一个反映局部区域对比度的测度信息,所以利用下面局部方差<sup>[10]</sup>式即可以得出气泡所在的局部区域,

$$\sigma^2(i, j) = \frac{1}{w} \sum_{x=i-m}^{i+m} \sum_{y=j-n}^{j+n} [I(x, y) - \mu(i, j)]^2 \quad (1)$$

其中,  $\mu(i, j) = \frac{1}{w} \sum_{x=i-m}^{i+m} \sum_{y=j-n}^{j+n} I(x, y)$ ,  $w = (2n+1) \times (2m+1)$  为局部窗口的大小,  $m, n$  为窗口的半径,这里取  $m=n=7$ ,  $I(x, y)$  表示原图像  $I$  在  $(x, y)$  处的灰度值。

如图 2 所示,对图 2(a) 求局部方差后得到的结果如图 2(b) 所示。由图 2(b) 可以明显地看到,虽然目标物已全部凸现出来,但是仍同样存在着亮度差异。为了使较暗部分的区域不被漏提取,还需对局部方差图像进行模糊增强<sup>[11,12]</sup>,其效果如图 2(c) 所示,再对图 2(c) 用二维直方图最佳投影算法<sup>[3]</sup>进行处理,就可以得到包括完整气泡的局部区域的二值化图像(如图 2(d) 所示)。

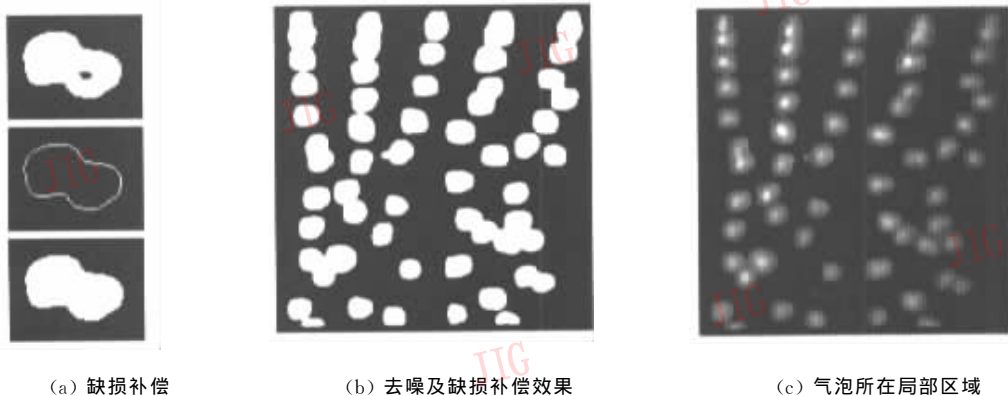
### 2.2 去噪声及缺损补偿

经过二值化处理之后,除了气泡所在区域被提取出来之外,图像中,由于实验装置所带或水中存在

的杂质等也会被提取出来,因此可以通过贴标签的方法来对图中的每个连通域分别进行面积判断,然后将其中面积很小的目标视作噪声去除。

如图 2(d)所示,因为气泡本身的灰度分布在一个局部区域比较均匀,所以基于局部方差的二值化结果会导致在某些连通域中出现“空穴”缺损。现以图 3(a)所示的某个目标物为例来对缺损的补偿方法进行说明:首先通过提取出该标号区域来获得其外轮廓,然后选取该区域内的一点作为种子点,再通

过区域生长将空穴填充,对于全图,其经过贴标签去噪处理及缺损补偿处理之后的效果如图 3(b)所示;最后将图 3(b)与原图进行求“与”就可以得到如图 3(c)所示地局部区域,由该图可以看出,在所得到的局部区域中均包含了完整的气泡。



(a) 缺损补偿

(b) 去噪及缺损补偿效果

(c) 气泡所在局部区域

图 3 去噪缺损补偿

### 3 基于局部阈值方法的气泡提取(第 2 层阈值处理)

#### 3.1 气泡的提取

由于掺气水流中的气泡是无色透明的,而且在实验过程中很难消除光照不均,致使所拍摄到的图像中的对比度比较小,因此,图像中某些区域的背景的灰度值比其他区域目标物的灰度值要高。这会使全局阈值因产生比较严重的误分割而导致分割的精度降低。经过上述方法处理之后,可以看出每个气泡都落入了初始的区域之中(如图 3(c)所示)。在后续处理中,由于在这个局部的小区域内,可以认为光照是均匀的,因此不同区域之间气泡信息的强弱不均对气泡提取精度的影响可以忽略。

设获得的当前局部区域为  $\Omega_k (k=1, 2, \dots, N)$ ,  $N$  为局部区域的个数,  $A_k$  为  $\Omega_k$  的面积,  $c_{i,j}^{(k)}$  表示[灰度, 灰度均值]出现的次数,则按照式(2),式(3)即可以求出  $\Omega_k$  的最佳分割阈值矢量  $(s_k, t_k)$ 。

$$\sigma_{\text{back}}^{(k)}(s, t) = \frac{[(W_{\text{object}}(s, t)h_i - u_i(s, t))^2 + (W_{\text{object}}(s, t)h_j - u_j(s, t))^2]}{W_{\text{object}}(s, t)(1 - W_{\text{object}}(s, t))} \quad (2)$$

$$\sigma_{\text{back}}^{(k)}(s_k, t_k) = \max_{0 \leq s, t \leq L} \{\sigma_{\text{back}}^{(k)}(s, t)\} \quad (3)$$

其中,  $W_{\text{object}}(s, t) = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t p_{i,j}$  表示以  $(s, t)$  为分割阈值矢量时,第 1 类出现的概率(第 2 类出现的概率

为  $1 - W_{\text{object}}(s, t)$ );  $p_{i,j} = \frac{c_{i,j}^{(k)}}{A_k}$  表示[灰度, 灰度均值]出现的概率

$$u_i(s, t) = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t i \cdot p_{i,j}; \quad u_j(s, t) = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t j \cdot p_{i,j};$$

$$h_i = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} i \cdot p_{i,j}; \quad h_j = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} j \cdot p_{i,j}$$

$(u_i(s, t), u_j(s, t))^T, (h_i, h_j)^T$  分别表示以  $(s, t)$  为分割阈值矢量时的二维直方图上的均值矢量以及二维直方图上总的均值矢量。

#### 3.2 算法的流程

综上所述,本算法的流程步骤如下:

- (1) 求取原图的局部方差图像;
- (2) 对局部方差图像进行模糊增强,并进行二值化处理;
- (3) 对二值图像进行贴标签处理,如果某个标签标定区域的面积小于某一阈值  $T$ ,则将其删除(去噪声处理),否则保留该区域,然后对有空穴的区域进行填充,并将统计保留下来的区域的标签总个数设为  $N$ ;
- (4) 提取出标签号为  $k (1 \leq k \leq N)$  所对应的区域  $\Omega_k$ ;

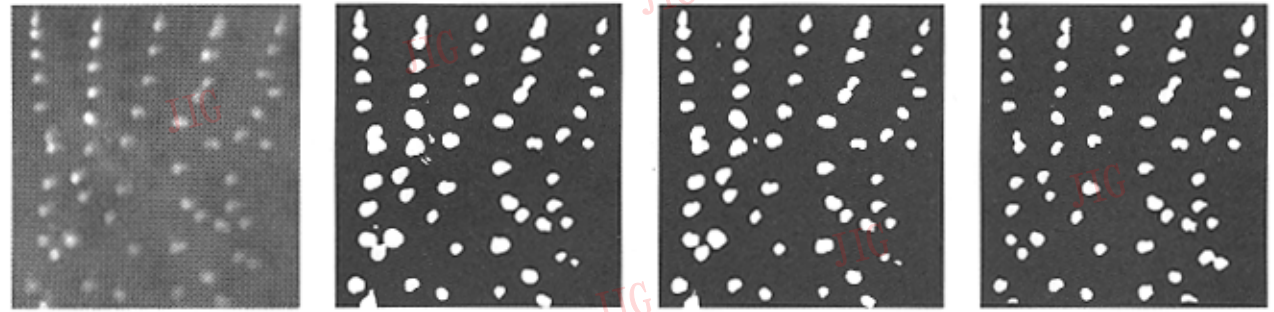
(5) 对  $\Omega_k$  用式(2),式(3)求得的分割阈值矢量进行分割处理,首先得到精细分割后的二值图像  $B_k$ ,然后通过标签计数值  $k = k + 1$ ,判断是否  $1 \leq k \leq N$ ,如果是,则转到步骤(4),否则转到步骤(6)。

(6) 将所得到的标签区域进行合成,即

$B = \bigcup_{k=1}^N B_k$ , 就可得到最终的分割结果图像。

## 4 实验结果分析

为了验证本算法的有效性,对实际拍摄的图像用近 10 种方法进行了对比实验,图 4 给出了效果较好的文献[3]、文献[4]算法以及本算法的效果比较



(a) 原图

(b) 文献[3]的效果

(c) 文献[4]的效果

(d) 本算法的效果

图 4 实验效果对比示例

为了客观评价不同算法的分割精度,本文在同一次实验样本图像中,首先随机取出 10 帧,每帧再分别选出 30 个与平均面积相差最小,且不发生粘连的气泡作为标准气泡样本,共计 300 个气泡;之后,将这 300 个气泡进行面积分布特性统计,其平均面积  $\bar{S}$  及面积的标准差  $\sigma$  的估计公式如下:

$$\bar{S} = \frac{1}{300} \sum_{l=1}^{300} S_l, \sigma = \sqrt{\frac{1}{300} \sum_{l=1}^{300} (S_l - \bar{S})^2}$$

(对这批实验标准气泡样本:  $\bar{S} = 212.9305$ ,  $\sigma = 32.8171$ )

表 1 统计特征参数比较

图像	平均面积 $\bar{S}$	标准差 $\sigma$
图 4 (b)	316.4643	201.7520
图 4 (c)	285.4821	130.7973
图 4 (d)	250.9245	89.6835

从表 1 的比较可以看出,本文算法所得出的气泡平均面积、标准差和标准气泡样本的参数 ( $\bar{S} = 212.9305$ ,  $\sigma = 32.8171$ ) 最接近,但仍有较大差别,其原因是:由于气泡的粘连,使得面积、标准差的统计精度有一定的偏差。可见,如何对粘连的气泡进行分离,也是后续的研究目标。

## 5 结论

为了用图像测量的方法来分析掺气水流特性,

从该图可以看出,文献[3]和文献[4]的算法均无法很好地解决信息强弱不均的问题,从图 4(b),图 4(c)中可以看到,强信息部分气泡的提取面积过大,而弱信息部分气泡的提取面积则过小,这在后续的特征参数求取时,会导致很大的误差。本文所提出的算法则可以有效地抵抗图像中信息强弱不均的问题(如图 4(d)所示)。

本文提出了一种精确提取气泡的双层阈值分割方法,即在第 1 层的粗分割中,首先得到所有包含气泡的局部区域;然后在第 2 层的精分割中,依次对前面所得到的局部区域进行局部的二值化处理,以便将气泡准确地提取出来。实验证明,通过这个方法可有效地解决气泡因水中信息强弱不均所导致的强信息淹没弱信息的问题,实验结果图像与原图像的定性比较以及对所得气泡特性参数进行定量分析的结果表明,本方法由于可以有效地克服图像中的光照不均,从而能实现气泡区域高精度的提取。

## 参考文献

- Ostu N A. Threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, 1979, 9(1):62~66.
- 李弼程,柳葆芳.基于二维直方图的模糊门限分割方法[J].数据采集与处理,2000,15(3):324~329.
- 李立源,龚坚,陈维南.基于二维灰度直方图最佳一维投影的图像分割方法[J].自动化学报,1996,22(3):315~322.
- 刘健庄,栗文青.灰度图象的二维 Otsu 自动阈值分割法[J].自动化学报,1993,19(1):101~105.
- David Jansing E, Albert Thomas A, Chenoweth Darrel L. Two-dimensional entropic segmentation [J]. Pattern Recognition Letters, 1999, 20(3):329~336.
- 王培珍,陈维南.基于二维阈值化与 FCM 相混合的图象快速分割方法[J].中国图象图形学报,1998,3(9):735~738.
- 朱虹,钱学明,冯春来等.掺气水流图象检测中的一种气泡区域提取方法[J].中国图象图形学报,2003,8(11):1254~1260.

- 8 景晓军,蔡安妮,孙景鳌.一种基于二维最大类间方差的图像分割算法[J].通信学报,2001,22(4):71~76.
- 9 Meyer F, Beucher S. Morphological segmentation[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 1990,1(1): 21~46.
- 10 Wu Ke-nong, David Gauthier, Levine Martin D. Live cell image segmentation[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1995,42(1):1~12.
- 11 朱俊株,郭立,王宁.一种基于模糊增强的图像分割方法[J].微机发展,1999,6(6):33~35.
- 12 雷向康.一种改进的图像模糊增强方法[J].系统工程与电子技术,1997,12: 21~24.



祝培 1981年生,2001年获得西安理工大学模式识别与智能系统专业硕士研究生。主要研究方向为图像恢复和弱视环境下图像增强。



冯春来 1976年生,2001年获得西安理工大学模式识别与智能系统专业硕士研究生。主要研究方向为计算机视觉和图像处理。



陈刚 1966年生,现为西安理工大学水利水电学院教授。主要从事高速水流方面的研究。



钱学明 1975年生,2001年获得西安理工大学模式识别与智能系统专业硕士研究生。主要研究方向为图像压缩和视频图像处理。

E-mail:qian\_xueming@163.com



朱虹 1963年生,1999年获日本福井大学信息工程学科博士,现为西安理工大学信息与自动化工程学院教授。主要从事图像处理与应用、图像自动识别技术、图像压缩编码以及模式识别等方面的研究。

## 更 正

2004年第6期第664页图4(a)排错,现更正如下:

